

香 川 大 学 農 学 部 紀 要

第 7 号

1961年 3 月

傾斜地開発利用に関する物理気象的研究

上 原 勝 樹

MEMOIRS OF FACULTY OF AGRICULTURE
KAGAWA UNIVERSITY

No. 7, March, 1961

Physical and Meteorological Studies on the Cultivation
and Utilization of Slope Land

Masaki UEHARA

香 川 大 学 農 学 部

香川県木田郡三木町

FACULTY OF AGRICULTURE, KAGAWA UNIVERSITY

Mikityô, Kagawa-ken, Japan

香川大学農学部紀要 第7号

1961年3月発行

各研究室の業績を発表するため学部では“香川大学農学部学術報告”を発行しており本年度(1960~61年)は第12巻となっている。研究の完成した比較的長い論文を発表するためこの“紀要”が発行されている。既刊の標題は別記のとおりである。“学術報告”および“紀要”の交換または寄贈については香川県木田郡三木町香川大学農学部科学研究委員あてに照会されたい。

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

No. 7, March, 1961

The Faculty of Agriculture, Kagawa University is publishing “Technical Bulletin” (Gakuzyutu Hôkoku) (Vol. 1 in 1949-50 to Vol. 11 in 1960-61) as well as “Memoirs” (Kiyô), which contains more or less extended treatises. The titles of each number of “Memoirs” are printed on the third page of the cover. Correspondence concerning the exchange of publications should be directed to the Scientific Research Committee, Faculty of Agriculture, Kagawa University, Mikiyô, Kagawa-ken, Japan.

傾斜地開発利用に関する物理気象的研究

目 次

緒 言

| | |
|---------------------------|----|
| 第1篇 傾斜地における理論日射量の研究 | 1 |
| 第1章 傾斜の角度と理論日射量 | 1 |
| 第1節 平地における日射量 | 1 |
| 第2節 傾斜地における日射量 | 1 |
| 第3節 日射量の日変化 | 2 |
| 第4節 日射量の年変化 | 5 |
| 第5節 傾斜の角度と日射量 | 6 |
| 第2章 直立樹幹, 直立壁並びに防風林と日射量 | 9 |
| 第1節 直立樹幹の日射量 | 9 |
| 第2節 直立壁, 防風林と投影問題 | 10 |
| 第3章 畦の形態と日射量 | 12 |
| 第1節 平地における縦畦と横畦 (東西畦と南北畦) | 12 |
| 第2節 傾斜地における縦畦と横畦 | 13 |
| 第2編 傾斜地開墾前後における微気象変化の研究 | 15 |
| 第1部 傾斜地開墾当初における微気象変化の研究 | 15 |
| 第1章 開墾地と未開墾地における微気象の日変化 | 15 |
| 第1節 研究方針と研究方法 | 15 |
| 第2節 日 射 量 | 16 |
| 第3節 接地気温と地面温度 | 17 |
| 第4節 接地気層における湿度, 水蒸気張力並びに風 | 20 |
| (1) 湿 度 | 20 |
| (2) 水蒸気張力 | 22 |
| (3) 風 | 23 |
| 第5節 蒸 発 量 | 24 |
| 第2章 開墾地と未開墾地における微気象の季節変化 | 26 |
| 第1節 研究方針と研究方法 | 26 |
| 第2節 接地気温と地面温度 | 26 |
| (1) 半月平均気温並びに地面温度 | 26 |
| (2) 半月平均温度日較差 | 28 |
| (3) 半月平均日最高及び最低温度 | 29 |
| 第3節 蒸 発 量 | 30 |
| 第3章 開墾地と未開墾地における微気象の年変化 | 31 |
| 第1節 接地気温と地面温度 | 31 |
| (1) 月平均温度差 | 31 |
| (2) 月平均温度日較差 | 32 |
| 第2節 接地気温の解析 | 33 |
| 第3節 蒸 発 量 | 33 |
| 第2部 傾斜地開墾後における微気象の研究 | 34 |
| 第1章 開墾畑地と果樹園における日射量 | 34 |
| 第1節 日射量の日変化 | 34 |

| | | |
|-----|-----------------------------|----|
| 第2節 | 日射量の年変化 | 35 |
| 第2章 | 開墾畑地、果樹園における接地気温と地面温度 | 35 |
| 第1節 | 研究方針と研究方法 | 35 |
| 第2節 | 温度日変化と日較差 | 36 |
| (1) | 畑地と立木作りの園 | 36 |
| (2) | 棚作りの園 | 40 |
| (3) | 立木作り並びに棚作り園における温度日変化の特性 | 42 |
| 第3節 | 温度差 | 43 |
| 第4節 | 葉温と植物体温 | 44 |
| 第5節 | 接地気温と地面温度の季節変化 | 46 |
| 第3章 | 開墾畑地と果樹園における湿度、水蒸気張力、蒸発並びに風 | 47 |
| 第1節 | 研究方針と研究方法 | 47 |
| 第2節 | 接地気層における湿度と水蒸気張力の日変化と季節変化 | 47 |
| 第3節 | 接地気層における蒸発と風の日変化と季節変化 | 50 |
| 第3編 | 傾斜地における地中温度に関する研究 | 54 |
| 第1部 | 傾斜の角度と地中温度の基礎的研究 | 54 |
| 第1章 | 地中温度の日変化に関する理論 | 54 |
| 第1節 | 地中における熱伝導 | 54 |
| 第2節 | 地中温度の理論 | 55 |
| 第3節 | 平地と傾斜地の地中温度に関する諸項 | 56 |
| 第4節 | 地中における熱量の交換 | 57 |
| 第2章 | 東斜面における地中温度 | 57 |
| 第1節 | 日射量 | 57 |
| 第2節 | 地中温度の日変化 | 58 |
| 第3節 | 地中温度の解析 | 59 |
| (1) | 地中温度の調和分析 | 59 |
| (2) | 地温の深さと振巾との関係 | 59 |
| (3) | 地温日変化の及ぶ深さ | 60 |
| (4) | 地中熱拡散率 | 61 |
| 第4節 | 地中における熱量の交換 | 61 |
| 第3章 | 西斜面における地中温度 | 62 |
| 第1節 | 日射量 | 62 |
| 第2節 | 地中温度の日変化 | 62 |
| 第3節 | 地中温度の解析 | 63 |
| (1) | 地中温度の調和分析 | 63 |
| (2) | 地温の深さと振巾との関係 | 64 |
| (3) | 地温日変化の及ぶ深さ | 64 |
| (4) | 地中熱拡散率 | 64 |
| 第4節 | 地中における熱量の交換 | 65 |
| 第4章 | 南斜面における地中温度 | 65 |
| 第1節 | 日射量 | 65 |
| 第2節 | 地中温度の日変化 | 65 |
| 第3節 | 地中温度の解析 | 66 |
| (1) | 地中温度の調和分析 | 66 |
| (2) | 地温の深さと振巾との関係 | 66 |
| (3) | 地温日変化の及ぶ深さ | 66 |

| | |
|------------------------------|----|
| (4) 地中熱拡散率 | 66 |
| 第4節 地中における熱量の交換 | 66 |
| 第5章 北斜面における地中温度 | 68 |
| 第1節 日射量 | 68 |
| 第2節 地中温度の日変化 | 68 |
| 第3節 地中温度の解析 | 69 |
| (1) 地中温度の調和分析 | 69 |
| (2) 地温の深さと振巾との関係 | 71 |
| (3) 地温日変化の及ぶ深さ | 71 |
| (4) 地中熱拡散率 | 71 |
| 第4節 地中における熱量の交換 | 71 |
| 第2部 傾斜地開墾前後における地中温度に関する研究 | 72 |
| 第1章 傾斜地開墾当初における地中温度の日変化 | 72 |
| 第1節 地中温度の日変化 | 72 |
| 第2節 地中温度の解析 | 74 |
| (1) 地中温度の調和分析 | 74 |
| (2) 地温の深さと振巾との関係 | 74 |
| (3) 地温日変化の及ぶ深さ | 74 |
| (4) 地中熱拡散率 | 74 |
| 第3節 地中における熱量の交換 | 74 |
| 第2章 傾斜地開墾当初における地中温度の季節変化と年変化 | 76 |
| 第1節 地中温度の季節変化 | 76 |
| (1) 半月別日平均温度 | 76 |
| (2) 半月平均温度日較差 | 78 |
| (3) 半月平均日最高及び最低温度 | 79 |
| 第2節 地中温度の年変化 | 79 |
| (1) 月平均温度 | 79 |
| (2) 月平均温度日較差 | 80 |
| 第3節 地中温度の解析(年変化) | 80 |
| (1) 地中温度の調和分析 | 80 |
| (2) 地温の深さと振巾との関係 | 81 |
| (3) 地温年変化の及ぶ深さ | 81 |
| (4) 地中熱拡散率 | 81 |
| 第4節 地中における熱量の年変化 | 81 |
| 第3章 傾斜地開墾後における地中温度の日変化 | 82 |
| 第1節 地中温度の日変化 | 82 |
| (1) 畑地と立木作りの園 | 82 |
| (2) 棚作りの園 | 86 |
| (3) 立木作り並びに棚作り園における温度日変化の特性 | 87 |
| 第2節 温度差 | 87 |
| 第3節 地中温度の解析 | 88 |
| (1) 地中温度の調和分析 | 88 |
| (2) 地温の深さと振巾との関係 | 93 |
| (3) 地温日変化の及ぶ深さ | 93 |
| (4) 地中熱拡散率 | 93 |
| 第4節 地中における熱量の交換 | 94 |

| | |
|------------------------|-----|
| 第4章 傾斜地開墾後における地中温度の年変化 | 96 |
| 第1節 地中温度の年変化 | 96 |
| 第2節 地中温度の解析 | 97 |
| 第3節 地中における熱量の年変化 | 98 |
| 総括 | 99 |
| 参考文献 | 104 |
| Résumé | 107 |

緒 言

耕地面積が狭小な国土の僅か14%にしか過ぎない現在の我が国において、緊急かつ重要課題の一つは食糧の増産であって、その手段の一つとしては農地開発と既存耕地の一層合理的な利用を計ることにあるが、農地の開発には傾斜地を開発利用することが、比較的容易であるので盛んに行われている現状にある。

ところが、これら傾斜地において、その開墾適地を選定したり、既存の傾斜耕地をより合理的に活用し、栽培能率を高めるためには、その自然条件である微気象をよく心得ておかなければならない。

然るに傾斜地における微気象は、傾斜の方位や角度、植物被覆の有無やその程度等によって複雑な差異が現われ、その如何が作物の生育、収量並びに品質等に重大な影響をもたらすので、これら傾斜地を開発利用し、又は既存の傾斜耕地をより一層能率的に活用する 위해서는、傾斜地における微気象分布の特性を知り、それを作物栽培にうまく利用し、又は制禦してゆかねばならない。従って傾斜地におけるこれらの研究の重要なことは今更多言を要しない。而しながらこれらに関する研究は何れも断片的で総合的な研究は極く少なく、未だ明確にされていない多くのものが残されている。

筆者は以上の理由から、実際に傾斜地を開墾して農地を造成した場合に、その微気象分布が開墾当初にはどうか、また未開墾地に比べてどのように変化するか、なお開墾後15年以上も経過した成園においてはどうか等について、昭和23年7月より、昭和32年8月まで香川大学農学部附属傾斜地農場を中心に総合的な実験研究を行い、各方面に面した開墾前後における傾斜地の接地気層内における温度、湿度、水蒸気張力、蒸発、風、日射、地中温度並びに植物体温等の垂直分布の状態、日変化及び年変化の性状を究明し、また各傾斜地における地中の熱交換量や、地表面における日射の配布状態等の特性を理論と実験の両面より究明し、傾斜地開発利用についての指針等、重要な基礎資料を得ることが出来た。而してこれは農地造成や農地保全等の問題に重要な意義を有するものと思われるので、ここに取纏めて発表するしだいである。

本研究遂行にあたっては、元京都大学農学部大枝益賢教授、同元理学部滑川忠夫教授の御懇切なる御指導と香川大学農学部前川忠夫教授、同前農学部長黒上泰治教授の御厚情とを賜わり、京都大学農学部富士岡義一教授からは御激励と御助言を戴き、また実験に際して何かと御援助を戴いた香川大学農学部教官各位に対し深甚の謝意を表するとともに、日頃親しく研究或は整理にきわめて熱心に協力下さった中山一義助手、池浦弘衛、磯崎義政元助手、住友博子、森沢惇子氏をはじめ当時の専攻学生諸氏に厚く感謝の意を表するしだいである。

第一編 傾斜地における理論日射量の研究

太陽からくる日射は接地気温、地温等の分布状態を支配する本源をなすものであり、その如何は傾斜地開発利用に際して基本的な重要問題となるので、各方向に面した各傾角の斜面が受ける日射量の日変化及び年変化を理論的計算によって示し、日射の面から各傾角の斜面の特性を究明し、また傾斜地に防風林、防霜林等を設置した場合の日蔭の問題、並びに傾斜地利用の際の縦畦、横畦について日射の面より解析検討する。

第一章 傾斜の角度と理論日射量⁽¹⁾

北緯 34°16' (香川大学農部構内) の場所における東・西・南・北及びその中間の合計 8 方位に面する各斜面について、毎月15日の日射量を、傾角 0° の平地から傾角 90° まで 10° 毎に理論的計算を行い、その結果について考察する。

第一節 平地における日射量

太陽高度 h の時地表面の単位面積が受ける日射量は、太陽常数を S_0 とすると $S_0 \sin h dt$ である。太陽高度 h は時刻と共に変化するから、日出の時刻を $-t_1$ 、日没の時刻を $+t_1$ とすれば、1 日中に受ける日射量 Q は

$$Q = \int_{-t_1}^{+t_1} S_0 \sin h dt \quad (1)$$

であるが、その地の緯度を φ 、太陽の赤緯を δ 、時角を t とすると、ある時刻における太陽の高度 h は星学上の公式により

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t \quad (2)$$

であるから(1)式は

$$Q = \int_{-t_1}^{+t_1} S_0 (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t) dt \quad (3)$$

となり(3)式を積分すればよい、但しこれは大気吸収を考慮しない場合の値であるが、若し大気吸収を考慮に入れると

$$Q = \int_{-t_1}^{+t_1} S_0 P^{\frac{1}{\sin h}} (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t) dt \quad (4)$$

とせねばならない。ここに P は透過率である。

而し(4)式の積分は大変厄介であるので、ここでは簡単のために大気吸収を考慮に入れない場合について計算する。そこで実際的には(2)式に求むる場所の緯度 φ と、求むる期日の日赤緯 δ 及び時角 t の値を入れて毎時間の $\sin h$ を計算する⁽²⁾。若し $S_0=1$ とすると平地の日射量は簡単に $\sin h$ にて示されることになる。従って全1日間の日射量を求むるには、水平軸と日射曲線で包んだ面積をプランメーターを用いて求むればよい。

第2節 傾斜地における日射量

傾斜面のうける日射量は、斜面に対する太陽高度を h' 、太陽常数を S_0 とすると、単位時間、単位面積当りの日射量は $S_0 \sin h'$ であるが、斜面の傾斜角度を α 、その斜面の偏角を β 、太陽の方位を A とすれば

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h + \sin \alpha \cos h \cos (A - \beta) \quad (5)$$

であり、太陽の方位は

$$\cos h \sin A = \cos \delta \sin t \quad (6)$$

から求めることが出来る。ここに太陽の方位 A は真南よりの偏角とし、西の方向を正とす、また傾斜面の偏角 β

も南から西への方向を正とすることにする。

而して傾斜面の受ける一日間の日射量は、平地の場合と同様に

$$Q' = \int_{t_1}^{t_2} S_0 \sin h' dt \quad (7)$$

によって計算せられる、但し t_1, t_2 は日出及び日没の時刻で傾斜面の場合には t_1 と t_2 は一般に一致しない。

そこで(7)式は(5)式を入れて一般に

$$Q' = \int_{t_1}^{t_2} S_0 \{ \cos \alpha \sin h + \sin \alpha \cos h \cos(A - \beta) \} dt \quad (8)$$

となるが、これを積分するには日出 t_1 から日没 t_2 までの $\sin h$ を計算し

$$\cos \alpha \sin h + \sin \alpha \cos h \cos(A - \beta)$$

を各時について計算し、図式又は器械的に行わねばならない。この場合にも $S_0=1$ とすれば傾斜面の日射量は $\sin h'$ である、而しこれは勿論大気の吸収を考慮しない場合である。

以上の計算を行うに当っては

(i) 南面傾斜面の場合： $\beta=0$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h + \sin \alpha \cos h \cos A \quad (9)$$

(ii) 北面傾斜面の場合： $\beta=\pi$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h - \sin \alpha \cos h \cos A \quad (10)$$

(iii) 東面傾斜面の場合： $\beta = -\frac{\pi}{2}$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h - \sin \alpha \cos h \sin A \quad (11)$$

(iv) 西面傾斜面の場合： $\beta = \frac{\pi}{2}$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h + \sin \alpha \cos h \sin A \quad (12)$$

(v) 北東傾斜面の場合： $\beta = -\frac{3}{4}\pi$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h - \sin \alpha \cos h \sin\left(\frac{\pi}{4} + A\right) \quad (13)$$

(vi) 南東傾斜面の場合： $\beta = -\frac{\pi}{4}$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h + \sin \alpha \cos h \cos\left(\frac{\pi}{4} + A\right) \quad (14)$$

(vii) 南西傾斜面の場合： $\beta = \frac{\pi}{4}$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h + \sin \alpha \cos h \cos\left(\frac{\pi}{4} - A\right) \quad (15)$$

(viii) 北西傾斜面の場合： $\beta = \frac{3}{4}\pi$

$$\sin h' = \cos \alpha \sin h - \sin \alpha \cos h \sin\left(\frac{\pi}{4} - A\right) \quad (16)$$

として計算する。

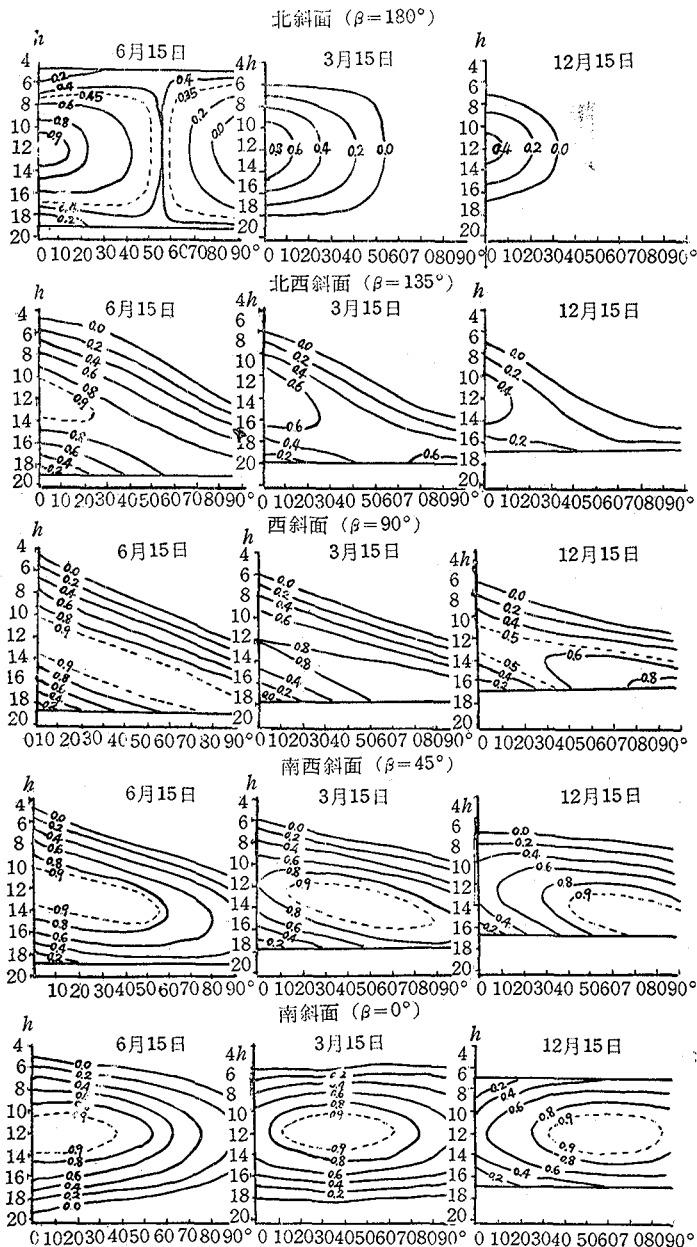
第3節 日射量の日変化

1日間にうける日射量はその地点の緯度に関係し、また季節に関係する。即ちこれらの変によって太陽の高度、日照時間、太陽と地球との距離等に変化を生じ、且つ傾斜地においては傾斜の方向と角度によって変化する。いま傾斜の角度 90° までの各方位における、毎月15日の日射量の日変化を 10° 毎に計算し、6月、3月及び12月の各々南、南西、西、北西及び北斜面における日射量を、傾斜角度と時間について isopleth 図を描き、日変化の模様を一目瞭然たらしめたのが第1図である。これらの値は太陽常数を1とした場合であるから、各々に1.94を乗ずると

大気の吸収を考えない場合の $\text{gr.cal/cm}^2\cdot\text{min}$ の値になる。各図ともに傾斜角度は 0° より 90° までの値が示されており、各図の左端は平面上の日射量で、右端は垂直壁上の日射量になっている。また上端は日出時、下端は日没時のものである。

先ず南斜面 ($\beta=0^\circ$) についてみる、何れの月においても isopleth は正午に対して対称的であり、3月や12月には日出、没時に南斜面は同時に太陽に照射される。従って日照時数は傾斜角度の如何に拘らず各々相等しい。太陽高度の最も高い6月の頃には傾斜角度が増すにつれて斜面に対する日出は遅れ、日没は早くなり、結局日照時数が次第に短くなって日照量は減少する。日射量の最大は何れの月も正午であり、且つ太陽に直角な照射角度をもつ傾斜角度のところに現われている。

北斜面 ($\beta=180^\circ$) についてみると、南斜面と同じく各月とも isopleth は正午に関して対称である。6月には日



第1図 各斜面の各傾角における日射量の日変化

出没線は直線状をなして時間の軸に直角で、全傾斜角度に対して日出、没時刻は等しいことを示している。而し北斜面は傾斜角度が非常に大きく(80°以上)になると、正午には日射量は零となり、朝と夕方頃しか照射しないようになる。3月や12月には傾斜の角度が増すにつれて、斜面に対する日出は遅れ日没は早くなり、傾斜角度が大きくなると日射はなくなる。

また北斜面では、日射の最大は3月や12月においては南斜面と同様に正午に現われているが、傾斜角度よりみると、南斜面とは異り、日射の最大は何れも傾斜角度0°のところに現われている。特に6月には日射の最大は55°附近までの傾斜角度に対しては正午に現われているが、それを過ぎて傾角が大きくなると、日射は正午に最小となり80°以上の傾角になると正午の日射量は零となる。この点は全く他の斜面と異なるところである。

西斜面($\beta=90^\circ$)についてみると、傾斜面に対する日出時刻は各月ともに傾斜角度が大きくなるにつれて遅れるが、日没時刻は全斜面同時であり、傾斜角度の増大によって日照時数が減少することを示している。そして日射量の最大は平地では何れも正午であるが、傾斜の角度が増すにつれて次第に遅れる。

南西斜面($\beta=45^\circ$)についてみると、斜面に対する日出時刻は傾斜角度の増加に伴って、何れも遅れているが、日没時刻は同時であり、また日射量の最大に達する時刻も、傾斜角度の増大につれて次第に遅れてくる点は西斜面と同じである。また傾斜角度に対する日射量の最大値は南面の場合より高角度のところに移ってくる。

次に北西斜面($\beta=135^\circ$)についてみると、西斜面に傾向は似ているが、日射量は全般的に少なく、また日出時刻の遅れが傾斜角度の増大に伴って顕著であるが、北斜面にみる様な全日に亘って日射をうけない傾斜角度のところは存在しない。

東、南東及び北東斜面における日変化の模様は、夫々西、南西、及び北西斜面における状態と正反対であるのでここには省いた。

以上について考察すれば、日射量の日変化は南北両斜面ともに各月全傾角を通じて正午に関して対称で、日射の最大は北斜面の4~9月を除いて何れも正午に現われている。

4~9月頃までの北斜面においては傾角55°附近までは日射量は正午に最大で、更に傾角がすすむと斜面に対する太陽高度の関係で、日射量は正午に最小となり、凹型の変化を示し、遂には早朝と夕方に短時間しか照射をうけないようになる。これ即ち太陽高度の高い季節には日出・没が北東、北西に偏するからである。また北斜面は寒候期になるにつれて、太陽高度は低下するので斜面に対する日照時数も短くなり、それは傾角のすすむに従って益々顕著になり、遂に全日照射をうけない様になる。

南斜面においても、暖候期には傾斜の角度がすすむにつれて日照時数は短くなる。また寒候期には全般的に日照時数は短くなるが、斜面に対する日出・没時間は全傾角同一である。そして日射量の最大は、夏は低傾角(10°附近)のところに、冬は高傾角(60°附近)に現われ、また北斜面は一年中傾角0°に現われる。

次に南西、西及び北西斜面においては、日没時刻は1年中全傾角とも平地と同時であるが、日出は傾角がすすむにつれて次第に遅れるので日照時間が短くなる。また日射量の最大が現われる時刻も、傾角がすすむにつれて次第に遅れてくるが、何れにしてもこれらの各斜面では午後の日射を潤沢にうけることになる。特に南西斜面は午前中日射をうけ始める時刻は少し遅れるが、全般的に温度も上昇した午後斜面に対して太陽が南中するので、熱効率も倍加され、地温、気温等の上昇は顕著で、早春等において南面よりも最も有利な場所を出現するものと考えられる。

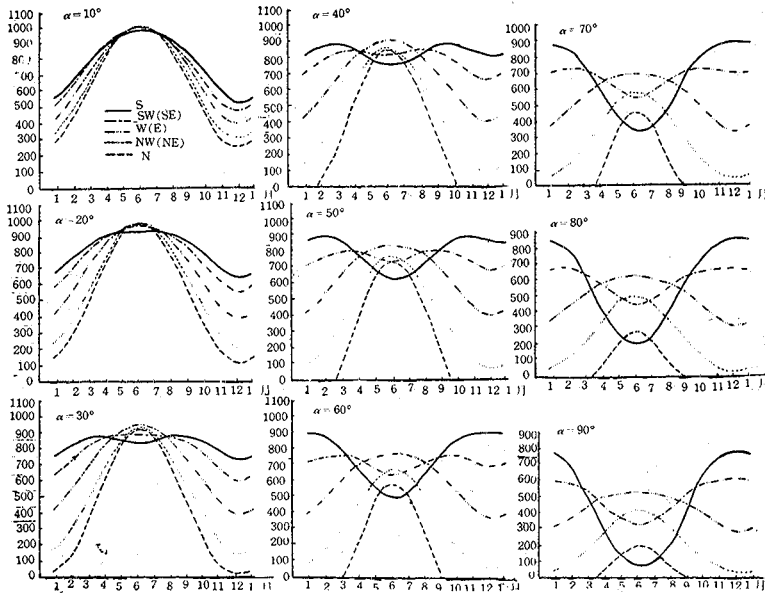
南東、東及び北東斜面においては、日出時刻は南西、西及び北西斜面とは反対に、全傾角とも平地と同一であるが、日没時刻は傾角がすすむに従って早くなり、日照時数の減少する状態は西側の三斜面と夫々対称的である。従ってこれらの各斜面は全傾角とも早朝における日射量は潤沢であるが、午後の日射に恵まれない。即ち北東及び東斜面は早朝における日射を潤沢にうけるので、早春等の地温、気温ともに未だ低い季節においては、早く夜の寒気から脱して露や霜を融かし、その温度や植物体温を上昇させ、且つ同化作用に必要な日光を早くうけるという点では、西半分の各斜面より有利であると考えられるが、而し早朝の直射光線はかえって凍霜害の危険性を倍加させる結果になる様な場合もある。またこれらの各斜面は照射角度の関係で、早く日射は消失し、尙午前中の日射は主として露や霜を蒸発させるために使用されるので、地温、気温等の顕著な上昇には役立たない、日射の日総量は夫々同じであってもかえって西側の各斜面の方が、温度効果が大きい。

第4節 日射量の年変化

各方位に面した傾斜面における日射日総量の月別変化を傾斜角度別に示すと第2図の様になる。即ち図は横軸に月をとり、縦軸には1日間の日射量をとったものである。

これによると、北、北西（北東）及び西（東）の斜面においては、90°までの全傾角に対して、平地と同様に太陽高度の最も高い夏至に日射量は最大になり、太陽高度の最も低い冬至に最小になっている。而しそれらの最大及び最小値は何れも傾斜の角度が大きくなるに従って小さくなり、特に北斜面においては早く零になっている。そして各月全傾角を通じて西（東）>北西（北東）>北である。

南斜面においては傾斜の角度が小さい間は、日射量の最大は夏至に最小は冬至に現われているが、傾斜角度が増す



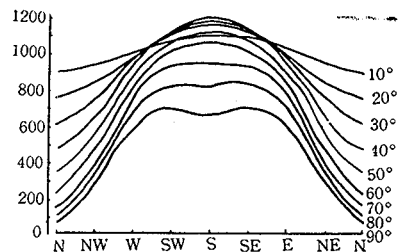
第2図 各傾角の斜面における日射量の年変化

と30°以上の傾角のところにおいてみるように、春分と秋分の頃に極大値が現われるようになる。そして夏至には極小値を現わすようになるが、更に傾斜がすすんでくると、その極小値は益々小さくなり、傾斜角度40°以上における様に遂に最小値を表わす様になる。これと同時に傾斜の角度がすすんでくると、2つの極大値の現われる時期が夏至より次第に遠ざかり、傾角90°における様に冬至に最大値が現われる様になる。

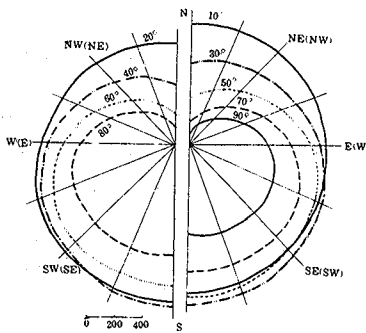
次に南西（南東）の斜面についても南斜面と同じように、傾斜の角度が小さい間は、夏至に日射量は最大で、冬至に最小であるが、傾斜の角度がすすんでくると、夏至を中心に2つの極大が現われるようになり、傾角40°にみる様に、夏至には極小になり、更に傾斜がすすむと遂には最小値を表わす様になってき、傾角90°においては冬至に日射量は最大値を示す。また何れの傾角においてもこれらの最大値（極大値）は南>南西（南東）で、最小値（極小値）は南<南西（南東）になっている。

また各傾角の斜面における日射の年総量と傾斜の方位との関係を示したのが第3～4図である。第3図は横軸に傾斜の方位をとり、縦軸には日射の年総量をとってある。第4図は16方位にわけて、各方位における年総量を現わし、南北線に対して何れか半分だけを示してある。

日射の年総量は何れの傾角においても最小は北斜面で、最大は傾角70°までは南斜面であるが、それを越えると南西と南東の両斜面寄りに2つの極大が現われるようになり、傾角90°においては南西、南東の両面に現われている。従って日射の年総量の傾斜方位による分布状



第3図 日射年総量の傾斜方位との関係



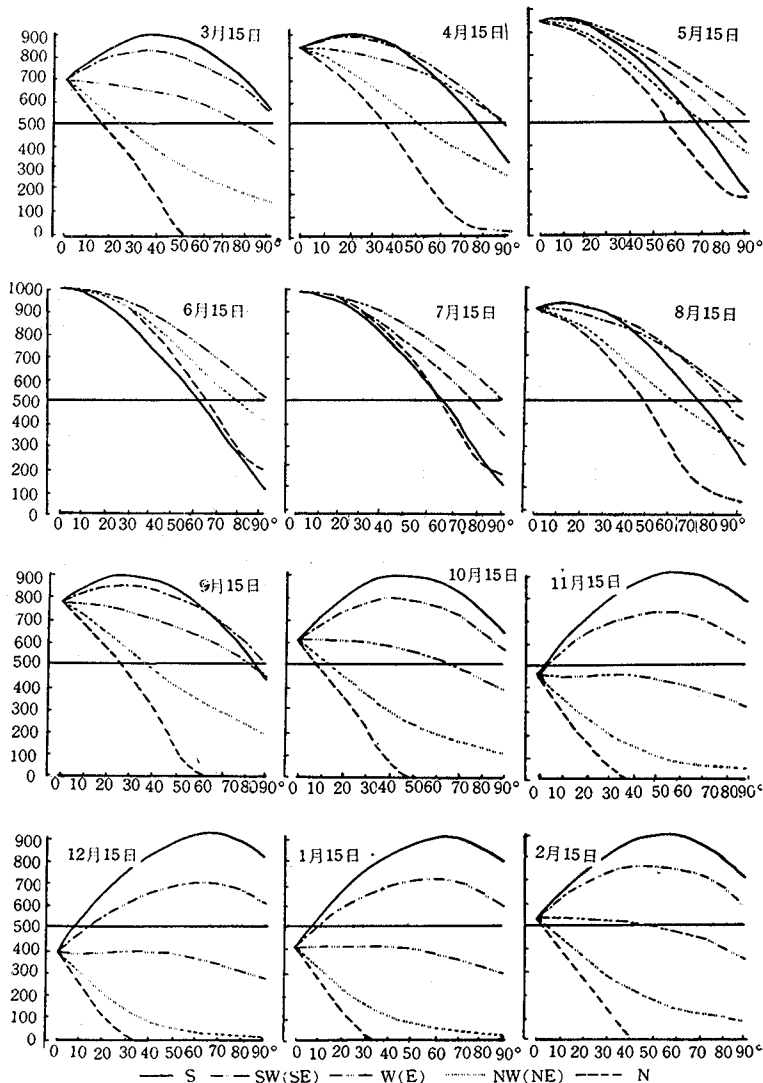
第4図 各傾斜面のうける日射年総量
北西（北東）及び北斜面では、平地の日射量より何れも少なく、これは傾斜角度が増すにつれて次第に減少し、北斜面においては早く日射は消失する。西（東）斜面は北西（北東）及び南西（南東）斜面のほぼ中間

態は第4図の様に傾斜の角度がすすんでくると、ハート型になるが、次第に偏平な横長型のハート型に変わってくる。

第5節 傾斜の角度と日射量

南、南西（南東）、西（東）、北西（北東）及び北斜面において、毎月15日の日射日総量と傾斜角度との関係を示すと第5図のようになる。また各月における平地の日射量と各方位の各傾斜角度に対する日射量との比数を求めると第1表のようになる。

これらによると、太陽高度の低い冬季には南及び南西（南東）斜面は、傾斜の角度が大きくなるにつれて、日射量は次第に増し、傾斜角度60°附近において最大になり、以後は傾斜角度の増大に伴って次第に減少する。北西（北東）及び北斜面では、平地の日射量より何れも少なく、これは傾斜角度が増すにつれて次第に減少し、北斜面においては早く日射は消失する。西（東）斜面は北西（北東）及び南西（南東）斜面のほぼ中間



第5図 傾斜の角度と日射量との関係

にある。冬季に日射を最も潤沢にうけるのは各傾角を通じて南斜面で、次いで南西(南東)、西(東)、北西(北東)の順で北斜面が最も少ない。

第1表 日射日総量の平地との比数

| 傾斜角度 方位 | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|------------|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1月 15日 | S | 132 | 160 | 181 | 198 | 208 | 216 | 214 |
| | SW(SE) | 121 | 141 | 153 | 165 | 169 | 172 | 168 | 158 | 144 |
| | W(E) | 101 | 100 | 101 | 99 | 99 | 92 | 87 | 80 | 73 |
| | NW(NE) | 78 | 57 | 41 | 28 | 21 | 16 | 13 | 11 | 8 |
| | N | 66 | 35 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2月 15日 | S | 121 | 139 | 153 | 165 | 167 | 165 | 159 | 148 | 131 |
| | SW(SE) | 116 | 127 | 136 | 142 | 141 | 139 | 135 | 126 | 109 |
| | W(E) | 101 | 99 | 99 | 96 | 93 | 88 | 85 | 77 | 67 |
| | NW(NE) | 85 | 68 | 54 | 43 | 33 | 27 | 22 | 19 | 16 |
| | N | 77 | 51 | 26 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3月 15日 | S | 112 | 122 | 127 | 129 | 125 | 118 | 108 | 95 | 79 |
| | SW(SE) | 109 | 116 | 118 | 119 | 115 | 110 | 103 | 93 | 79 |
| | W(E) | 100 | 99 | 97 | 94 | 91 | 85 | 79 | 72 | 62 |
| | NW(NE) | 89 | 78 | 67 | 56 | 46 | 40 | 33 | 27 | 23 |
| | N | 85 | 67 | 48 | 26 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月 15日 | S | 105 | 107 | 105 | 102 | 93 | 82 | 69 | 53 | 37 |
| | SW(SE) | 105 | 106 | 104 | 101 | 95 | 88 | 79 | 69 | 56 |
| | W(E) | 100 | 98 | 96 | 93 | 88 | 81 | 75 | 67 | 58 |
| | NW(NE) | 96 | 88 | 79 | 70 | 60 | 52 | 45 | 37 | 32 |
| | N | 93 | 83 | 70 | 56 | 38 | 20 | 7 | 5 | 4 |
| 5月 15日 | S | 100 | 98 | 91 | 83 | 73 | 61 | 47 | 32 | 17 |
| | SW(SE) | 101 | 99 | 93 | 87 | 80 | 72 | 64 | 52 | 41 |
| | W(E) | 101 | 100 | 95 | 90 | 86 | 78 | 71 | 62 | 53 |
| | NW(NE) | 99 | 95 | 88 | 80 | 70 | 61 | 53 | 46 | 38 |
| | N | 98 | 94 | 85 | 74 | 62 | 45 | 32 | 18 | 17 |
| 6月 15日 | S | 97 | 92 | 83 | 75 | 63 | 50 | 37 | 23 | 9 |
| | SW(SE) | 98 | 96 | 90 | 82 | 74 | 65 | 55 | 44 | 34 |
| | W(E) | 99 | 98 | 94 | 90 | 83 | 77 | 69 | 61 | 52 |
| | NW(NE) | 100 | 97 | 92 | 85 | 76 | 66 | 56 | 49 | 42 |
| | N | 100 | 97 | 91 | 84 | 71 | 58 | 45 | 27 | 19 |
| 7月 15日 | S | 97 | 94 | 86 | 78 | 65 | 54 | 39 | 25 | 12 |
| | SW(SE) | 99 | 96 | 90 | 84 | 76 | 67 | 58 | 47 | 36 |
| | W(E) | 100 | 97 | 94 | 90 | 83 | 77 | 69 | 62 | 52 |
| | NW(NE) | 99 | 96 | 91 | 82 | 73 | 65 | 55 | 47 | 39 |
| | N | 99 | 96 | 90 | 81 | 69 | 53 | 39 | 24 | 18 |
| 8月 15日 | S | 102 | 100 | 97 | 91 | 79 | 68 | 55 | 41 | 25 |
| | SW(SE) | 102 | 101 | 97 | 94 | 87 | 79 | 71 | 58 | 47 |
| | W(E) | 100 | 98 | 95 | 91 | 86 | 79 | 72 | 64 | 55 |
| | NW(NE) | 97 | 92 | 84 | 75 | 65 | 49 | 50 | 41 | 35 |
| | N | 96 | 88 | 79 | 66 | 51 | 33 | 18 | 11 | 8 |

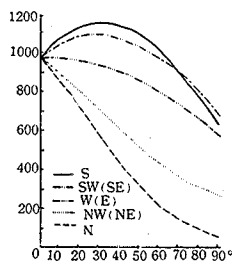
| 傾斜角度 方位 | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|------------|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 9月 15日 | S | 109 | 114 | 115 | 115 | 107 | 100 | 88 |
| | SW(SE) | 107 | 111 | 110 | 109 | 104 | 98 | 90 | 79 | 67 |
| | W(E) | 101 | 99 | 96 | 92 | 89 | 82 | 77 | 69 | 58 |
| | NW(NE) | 94 | 85 | 74 | 63 | 54 | 45 | 39 | 33 | 27 |
| | N | 89 | 76 | 60 | 42 | 22 | 3 | 1 | 0 | 1 |
| 10月 15日 | S | 117 | 130 | 142 | 145 | 145 | 141 | 133 | 121 | 115 |
| | SW(SE) | 112 | 122 | 127 | 129 | 128 | 125 | 118 | 105 | 94 |
| | W(E) | 101 | 100 | 99 | 96 | 93 | 87 | 82 | 74 | 65 |
| | NW(NE) | 87 | 74 | 62 | 49 | 40 | 33 | 28 | 24 | 19 |
| | N | 80 | 60 | 39 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11月 15日 | S | 130 | 152 | 170 | 185 | 193 | 193 | 191 | 182 | 167 |
| | SW(SE) | 119 | 137 | 148 | 155 | 157 | 158 | 153 | 143 | 130 |
| | W(E) | 99 | 99 | 101 | 100 | 97 | 92 | 86 | 79 | 70 |
| | NW(NE) | 79 | 61 | 46 | 34 | 25 | 19 | 16 | 14 | 11 |
| | N | 69 | 40 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12月 15日 | S | 133 | 165 | 188 | 209 | 222 | 230 | 229 | 223 | 206 |
| | SW(SE) | 124 | 142 | 156 | 170 | 178 | 179 | 179 | 170 | 156 |
| | W(E) | 100 | 100 | 102 | 100 | 99 | 94 | 87 | 81 | 72 |
| | NW(NE) | 75 | 54 | 36 | 22 | 17 | 14 | 11 | 8 | 8 |
| | N | 64 | 29 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

太陽高度の高い6月やそれに近い月には傾斜面の日射量は何れも平地より少なく、且つ傾斜の角度が増すにつれて次第に減少する。6月には南斜面の日射量が各傾角を通じて最も小さく、西(東)斜面が最も大きい。また6、7月以外の月は全傾角を通じて北斜面が最も日射に恵まれない。

春、秋の季節には、南及び南西(南東)斜面においては、平地より傾斜の角度が大きくなるに従って、曲線は次第に上昇して最高に達し、以後再び下降し、その模様は季節によって異なるが、傾角30~50°附近において日射量は

第2表 日射年総量の平地との比数

| 傾角 方位 | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|----------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| | S | 101 | 116 | 118 | 120 | 112 | 105 | 94 | 81 | 65 |
| | SW(SE) | 107 | 112 | 111 | 111 | 106 | 101 | 93 | 83 | 70 |
| | W(E) | 101 | 98 | 97 | 93 | 89 | 82 | 76 | 68 | 59 |
| | NW(NE) | 93 | 83 | 74 | 63 | 54 | 46 | 38 | 33 | 28 |
| | N | 89 | 75 | 60 | 46 | 34 | 22 | 16 | 10 | 6 |



第6図 傾斜角度と日射年総量との関係

最大になる。その他の斜面では冬季と同様に、平地より何れも日射量最は少なく、傾角の増大によって曲線は下降している。

次に各斜面における日射の年総量について、傾斜角度との関係を示すと第6図のようになり、平地との比数を示したのが第2表である。

これによると、南及び南西(南東)斜面においては、平地より傾斜の角度が大きくなるに従って、日射の年総量は増加し、南斜面では傾角35°、南西(南東)斜面では傾角30°附近に最も大きく、以後傾角の増加に伴って次第に減少する。西(東)、北西(北東)及び北斜面に

おいては、平地より何れも日射量は少なく且つ北斜面は全傾角を通じて最も少ない。

以上について考察するに、夏季においては、傾斜面は一般に平地より日射量は少なく、これらは傾角が大となる程顕著で、例えば6・7月頃に南斜面においては傾角30°にて約80%、60°で約50%に減少しており、北斜面では夫々約90%、55%である。従ってこれらの点から考えると、夏季においては傾斜面は平地よりかえって冷涼な気候を作り出すであろうと云えるので、この点は傾斜面の利用に際して考慮すべきであると思う。

寒候期においては、日射量は何れも南斜面に最も多く、次いで南西（南東）、西（東）、北西（北東）斜面の順で北斜面が最も少ない。そして南及び南西（南東）斜面では傾角60°附近において日射量は最大に達し、12月には南斜面は平地の約3倍に、南西（南東）斜面では約1.8倍に達している。これらのことは冬季や早春に傾斜面を利用する場合に極めて大きな意味をもち、苺の栽培等にその例をみる⁽⁶⁻⁸⁾。また西（東）、北西（北東）及び北斜面においては何れも平地より日射量は少なく、傾角の増大につれて益々少なくなる。

以上のような日射量配布の点よりすると、傾斜地に例えば果樹等の園芸作物を栽植する場合には、斜面が北へ偏するにつれ、また傾斜の角度が急になる程、栽植距離を大にし、或は枝葉を疎にするような処置をとるべきであると考えられる。

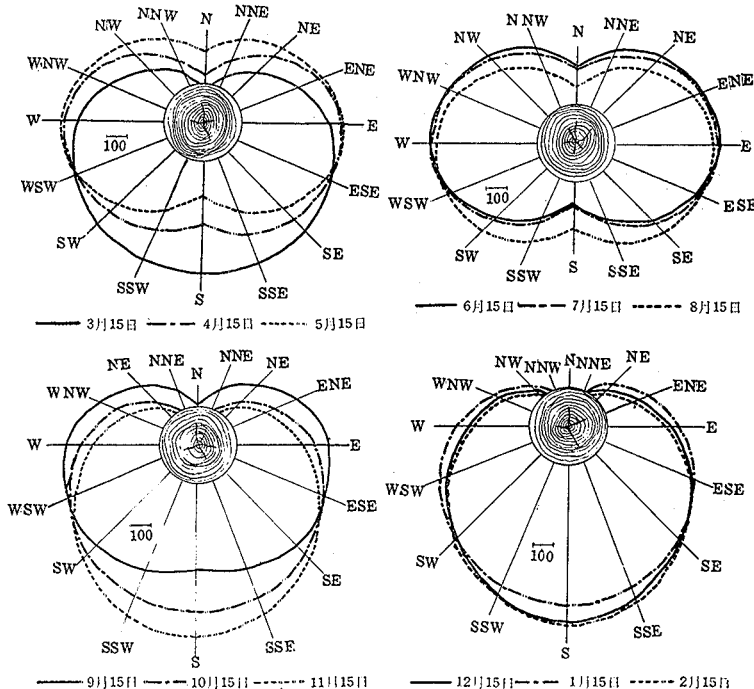
第2章 直立樹幹、直立壁並びに防風林と日射量^(1,9)

平地や傾斜地における直立樹幹のうける日射量は、その季節や傾斜方向等の如何によっては樹木に皮焼等の危険性をもたらす、特に果樹類等の園芸作物に重要な意義を有している。

また平地や傾斜地に、耕地防風林や防霜林（壁）等を設置するに当っては、それらによって作り出される日陰の問題は、土地利用の上に重要な問題となるので、これらの諸量を理論的に算出して、その分布状態を明かにし考察を行う。

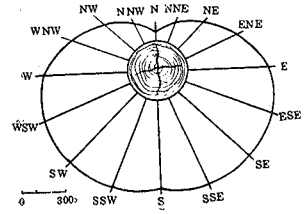
第1節 直立樹幹の日射量

直立樹木の幹に1日間にうける日射量について各月15日の値を16方位にわけて示したのが第7図であり、年総量を示したのが第8図である。図の中央部は樹幹の横断面である。



第7図 直立樹幹のうける日射量

これらの図によると、太陽高度の最も高い6月や、それに近い7月頃には、樹幹の北側は多くの日射をうけ、南側よりかえって多い。樹幹の東及び西側のうける日射量は南及び北側にうける日射量の約3倍である。太陽高度の低い冬や秋には幹の北側は太陽の恩恵をうけることが少なく、10～3月頃までは北側においては1日中日射をうけない。またこの時期には樹幹の南側では多量の日射をうけ、これらの時期には6、7月に南側のうける日射量の約4倍以上になっている。年総量については、樹幹の南側よりも南西や南東側に多く北側には最も少ない。



第8図 直立樹幹のうける日射年総量

これら樹幹のうける日射量について考察すると、樹幹の日射量は植物の繁茂の程度や、園の方位、傾斜の角度等によって異なるのは勿論である。夏季の候には樹木の北側においても相当ありて6月には南側より多い。而し東西方向の面には及ばなく、南北方向の日射量は東西方向の $\frac{1}{2}$ 以下である。また太陽高度の低い冬季や早春には、南側に最も多量の日射をうける。即ち夏季の南側における日射量の4倍以上になっており、これらのことは未だ夜間は低温であるのに昼間の強力な日射により樹幹の日焼の原因ともなる可能性のあることを示している。これらの期間には樹幹の北側は1日中日射をうけない。また各方向に面した樹枝のうける日射量については、前述の各方向に面した各傾角の斜面がうける日射量の配布状態からその概要はわかるであろう。それらによる日焼現象の危険性については実測結果とも略一致している^(10~12)。

第2節 直立壁、防風林と投影問題

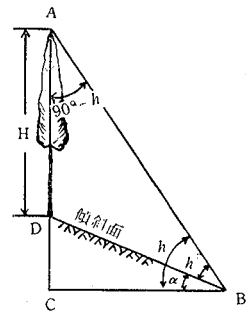
防風林の防風効果や機能に関する実験研究は古くから数多くみられその効果についてはかなり明らかにされている^(13~20)。そして防風林は主風が5m/sec以上で通風のよい平潤な土地、または風速はそれ以下でも乾燥しがちな土地、季節的に暴風が襲来する土地、冷害のおそれのある高冷地などに設定するとし⁽²¹⁾、その位置は防風機能をよく発揮し、且つ農耕地のつぶれ地が少なくなるような所であることが必要であるが、防風林や防霜林が耕地におとす影については余り考慮されていないようであるので^(22,23)、以下防風林や防霜林における影の問題について考究する。

平地における影の長さは、太陽高度を h とすれば、樹高 H の影の長さは

$$l = H \cot h \tag{17}$$

にて簡単に求めることが出来る。傾斜地の場合についてみると、第9図のように樹高 H の傾斜面上における影の長さを l とすると、 $l = DB$ であって、これを求めるには図の符号を使うと、

$$\begin{aligned} \frac{CA}{BC} &= \frac{CD}{BC} + \frac{DA}{BC} = \tan h \\ \therefore \tan \alpha + \frac{H}{l \cos \alpha} &= \tan h \\ \frac{H}{l \cos \alpha} &= \tan h - \tan \alpha = \frac{\sin(h-\alpha)}{\cos h \cdot \cos \alpha} \\ \frac{H}{l} &= \frac{\sin(h-\alpha)}{\cos h} = \frac{\sin h'}{\cos h} \\ \therefore l &= H \frac{\cos h}{\sin h'} \end{aligned} \tag{18}$$



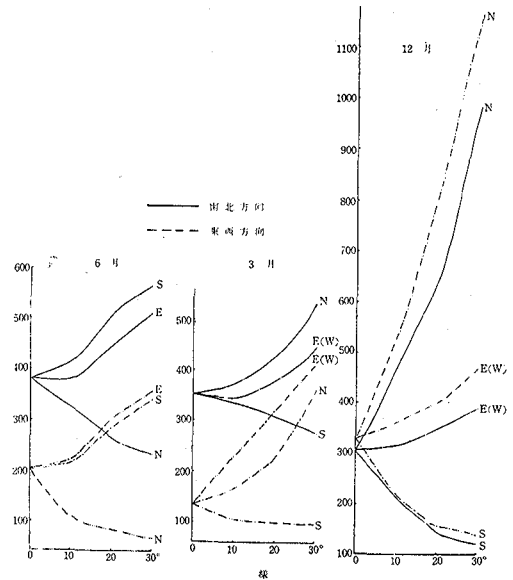
第9図

であるから⁽²⁴⁾、 h と h' がわかれば任意の時刻における影の長さが計算される。但し h' は傾斜面上の高度で、太陽が傾斜面の背後にあるときは $h + \alpha$ で、傾斜面の前方にあるときは $h - \alpha$ である。

而して傾斜地利用に際し、農地保全の一環として、東・西・南・北の各方向に面した傾角 10° 、 20° 及び 30° の各斜面並びに平地において、樹高 10m の防風林 (或る場合には防霜林) を東西方向や南北方向に設定した場合について北緯 $34^\circ 16'$ (農学部構内) における6月、3月及び12月の各月15日の毎時間における平地及び傾斜面上の影の長さを (17)、(18) 式から計算 (h , $\sin h'$ は (2)、(5) 式を用う) し、林列と直角方向の傾斜面上において林列の前後面

100m の間におとす影巾の日変化曲線を求め、その日総量をプランメーターにて求積すると第10図のようになり、また平地との比数を求めると第3表のようになった。

即ち防風林（或は防霜林）を南北方向に設定した場合には、何れの月においても、午前中は林列の西側に、午後は東側に影を生じ、正午に影巾は零となるのであるが、影巾の日変化曲線と時間軸との包む面積即ち日変化の総量は第10図からわかるように、太陽高度の最も大きい6月においては、南斜面では、各傾角を通じて最も大きく、北斜面では最も小さい。そして東斜面は西斜面と同量で、両者の中間にあるが、南斜面の状態に近い、そして南斜面及び東（西）斜面では傾角の増加に従って次第に影の日総量は増加し、傾角30°では夫々平地の約1.5倍、1.4倍に達し、北斜面では反対に減少を示し、傾角30°では平地の約60%になっている。3月及び12月においては、各傾角ともに北斜面に最も大きく、南斜面は最も小で6月の場合と正反対で、東（西）斜面は何れもその中間にある。そして北斜面並びに東（西）斜面では傾角の増加に伴って影の日総量は増し、夫々傾角30°では平地の約1.5倍、1.3倍（3月）；約3.2倍、1.3倍（12月）に達し、南斜面は傾角30°では平地の夫々約80%（3月）、40%（12月）を示している。



第10図 防風林列の影巾の日変化量と傾斜角度との関係

第3表 影量の平地との比数

| | 月 | 0° | E-slope | | | W-slope | | | S-slope | | | N-slope | | |
|-------------|----|-----|---------|-----|-----|---------|-----|-----|---------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | | | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° |
| 南北方向 の林列 | 6 | 100 | 101 | 117 | 135 | 101 | 117 | 135 | 109 | 133 | 149 | 86 | 69 | 61 |
| | 3 | 100 | 98 | 108 | 127 | 98 | 108 | 127 | 96 | 57 | 78 | 107 | 122 | 152 |
| | 12 | 100 | 104 | 114 | 126 | 104 | 114 | 126 | 70 | 47 | 40 | 156 | 215 | 322 |
| 東西方向 の林列 | 6 | 100 | 107 | 148 | 175 | 103 | 148 | 175 | 103 | 140 | 168 | 55 | 42 | 33 |
| | 3 | 100 | 168 | 239 | 304 | 168 | 239 | 304 | 79 | 74 | 71 | 123 | 171 | 267 |
| | 12 | 100 | 110 | 122 | 141 | 110 | 122 | 141 | 66 | 48 | 42 | 163 | 253 | 354 |

次に東西方向の林列についてみると、6月には南北方向の場合と傾向は似ているが東（西）斜面において影の日総量は最も大きい。そして東（西）及び南斜面は傾角30°にて平地の夫々1.75倍、1.68倍になっており北斜面は平地の約30%に過ぎない。3月には東（西）斜面が最も大きく、南斜面に最も小で東（西）及び北斜面は傾角30°において平地の夫々3.04倍、2.67倍を示し、南斜面では平地の約70%に減少している。12月になると南北方向の林列の場合と傾向は同じであり、北及び東（西）斜面の傾角30°では平地の夫々3.54倍、1.41倍になり、南斜面では平地の約40%に減少している。

南北方向と東西方向についてみると、6月及び3月には、各斜面毎に夫々南北方向の林列における影の日総量が東西方向のそれより大きく、12月には反対に東西方向の林列における総量が南北方向より大きい。

以上を総括すると、冬季においては、南北方向、東西方向の林列ともに南斜面では傾斜面への影量は小さく、日射に恵まれることになり、これは傾角の増加に伴って益々有利になることがわかり、北斜面では南北、東西方向共に影量は最も大きく、これは傾角の増加に伴って急増してゆく。そして東西方向の林列に対しては傾角30°で全日日射をうけなくなってくる。東（西）斜面は両者の中間にあるが傾角の増加につれて影量は増す。

春季においても、南斜面は東西及び南北方向ともに影量は小さく、傾角の増加に伴って益々有利となり、東西方

向の林列では、南斜面においては全傾角について、他の北及び東（西）斜面は 20° 附近までの傾角に対して南北方向の林列の場合より影量は小さい。

夏季においては 3 月及び 12 月とは反対に、北斜面では南北及び東西方向の林列に対して影量は小さく、特に東西方向の林列に対しては、北斜面は全傾角を通じて、南及び東（西）斜面では傾角 15° 附近までの低傾角において、南北方向の林列の場合より影量は小さくなっている。

第 3 章 畦の形態と日射量⁽⁹⁾

傾斜地を開墾して農地を造成し、そこに作物を栽培するに当り畦の方向を決定することは、傾斜地の土壌保全上に⁽²⁵⁾、また作物に対する日射の配布状態に重要な関係があるが、ここでは日射との関係について取扱う。

平地における作物の栽培方向と日射についての研究は若干なされているので^(26~29)、筆者は特に傾斜畑における各々縦畦と横畦に栽培された作物のうける日射量を、各方向の各傾角について、6 月、3 月及び 12 月の夫々 15 日における日変化の模様を算出し、それらの結果について傾斜面の得失を考究する。

第 1 節 平地における縦畦と横畦(東西畦と南北畦)

平地に作物を栽培した場合に作物の側面がうける日射量について考える。作物側面のうける日射量は畦の方向によって、即ち隣接畦の作物によって陰影を生じ全々直達日射をうけない時間が起りうるわけであるが、この陰影の関係は平地では太陽高度とその方位角及び緯度によって律せられる。従って作物栽培に当ってはつとめてこの陰影を少なくして直達日射量が多くなるよう工夫する必要がある。

いま地面に垂直に立てられた壁面のうける単位時間、単位面積当りの日射量は垂直壁面に対する太陽高度を h' 、太陽常数を S_0 とすると大気的吸收等のない場合は $S_0 \sin h'$ であるが、垂直壁面の偏角を β 、太陽の方位を A とすれば

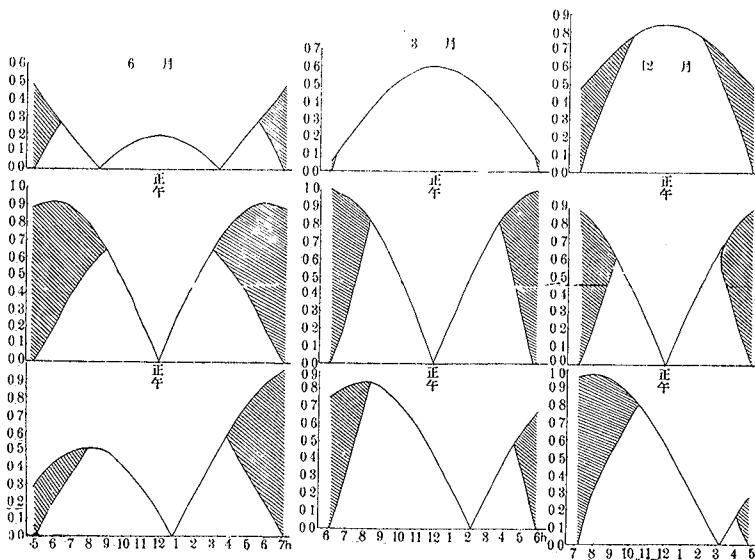
$$S_0 \sin h' = S_0 \cos h \cdot \cos(A - \beta) \tag{19}$$

である。若し $S_0=1$ とすると簡単に

$$\sin h' = \cos h \cdot \cos(A - \beta) \tag{20}$$

で示される。

ここに h は平地に対する太陽高度で



第11図 平地における作物側面への日射量 (上段: 東西作, 中段: 南北作, 下段: 北東-南西作)

$$\sin h = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos t$$

で与えられる。

そこで東西及び南北方向並びにその中間の北東—南西、北西—南東方向に間隔 90cm の作条を設けて作物を栽培した場合、各条における作物側面のうける単位面積単位時間当りの平均日射量を、北緯 34°16′（農学部構内）の場所について 6 月、3 月及び 12 月の各月 15 日における毎時間の値を上記の式を使用して求め、その日変化曲線を描くと第 11 図のようになった。ここに作物の草丈は 6 月には 100cm、3 月及び 12 月には夫々 50cm とした。図においてハッチを施した部分は、隣接の作条における作物によって影を生じるため、日射が遮断せられた部分を示すものである。また北西—南東作の日射量日変化曲線は北東—南西作の場合と恰度正反対になるので、ここには北東—南西作を示した。

而してこれら作物側面の単位面積がうける平均日射量の日変化曲線をプランニメーターにて求積して、日射の日総量を求めると第 12 図の平地における値になる。6 月においては南北作の方が日射量は最も順次にうけることがわかり、東西作は最も不利であることもわかる。北東—南西作（北西—南東作）はその中間にある。即ち北東—南西作（北西—南東作）は南北作の 85.5%、東西作は南北作の 37.8% になっている。冬期の 12 月においては 6 月とは反対に東西作が最も日射量が多く、南北作が最も少ない。北東—南西作（北西—南東作）はその中間にある。即ち北東—南西作（北西—南東作）、南北作は夫々東西作の 66.3、54.8% である。3 月には何れの方向に作付しても日射量の差異は少ないが、やはり 6 月と同様な傾向を有し、南北作 > 北東—南西作（北西—南東作） > 東西作であり、南北作を 100% とすれば他は夫々 98.5、95.6% である。

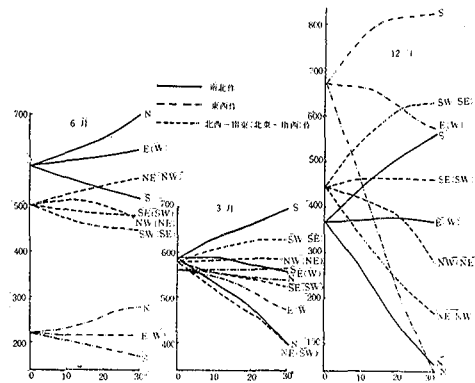
第 2 節 傾斜地における縦畦と横畦

傾斜地に作物を栽培した場合、作物側面への直達日射の配布状態は平地の場合より複雑である。即ち隣接畦の作物によって陰影を生じる模様が、太陽高度とその方位角及び緯度の外に、傾斜方位や角度に関係をもってくるのである。

而して東、西、南、北及びその各々中間に面した傾角 10°、20° 及び 30° の各斜面に作物を縦方向や横方向（縦畦や横畦）に栽培した場合について、作物側面のうける単位面積、単位時間当りの平均日射量を 6 月、3 月及び 12 月の各月 15 日の毎時間について、前節の式と第 1 章の結果を用いて計算と作図より求め日変化曲線を描き、日総量をプランニメーターにて求積すると第 12 図のようになった。また平地との比数を求めると第 4 表のようになった。但し栽培条件は前節と同じく、北緯 34°16′（農学部構内）の場所で作物の間隔 90cm、草丈は 6 月 100cm、3 月と 12 月は夫々 50cm とした。また日総量においては何れも東斜面と西斜面は同量であるので何れか一方を示してある。また北東斜面における北西—南東作と、北西斜面の北東—南西作とも日射の日総量は同じであるから何れか一方のみを示した。

第 12 図についてみると 6 月においては東（西）、南、北の各斜面において南北作が日射量は最も多く、東西作において最も少なくなっている。それらの中間の斜面における北東—南西作や北西—南東作ではその中間にある。そして北及び東（西）斜面における南北作では傾角の増加につれて日射量は増加し、南斜面では減少しており、傾角 30° においては夫々平地の 1.19、1.06、0.87 倍を示している。また日射量の最も少ない東西作においても、北斜面では傾角の増加に伴って日射量は増加し、南斜面では減少を示しているが東（西）斜面では殆んど一定であり、平地の夫々 1.25、0.97、0.77 倍を示している。

冬季の 12 月においては、各傾角の東（西）、南、北各斜面ともに、東西作に日射量は最も多く、南北作が最も少ない。そして東西作では南斜面においては傾角の増加に伴って日射量は増加し、東（西）及び北斜面では反対に減少している。そして傾角 30° において平地の夫々 1.23、0.86、0.06 倍を示し、南



第 12 図 作物側面のうける日射の日総量と傾斜角度との関係

第4表 傾斜畑の作物側面への日射量(平地との比数)

| | 月 | 0° | E-slope | | | W-slope | | | S-slope | | | N-slope | | |
|------------|----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|
| | | | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° |
| 南北作 | 6 | 100 | 101 | 104 | 106 | 101 | 104 | 106 | 95 | 92 | 87 | 105 | 110 | 119 |
| | 3 | 100 | 101 | 98 | 95 | 101 | 98 | 95 | 108 | 113 | 119 | 91 | 81 | 68 |
| | 12 | 100 | 101 | 103 | 100 | 101 | 103 | 100 | 121 | 139 | 152 | 73 | 39 | 15 |
| 東西作 | 6 | 100 | 98 | 97 | 97 | 98 | 97 | 97 | 92 | 84 | 77 | 105 | 117 | 125 |
| | 3 | 100 | 98 | 92 | 85 | 98 | 92 | 85 | 100 | 101 | 101 | 99 | 98 | 96 |
| | 12 | 100 | 99 | 91 | 86 | 99 | 91 | 86 | 115 | 121 | 123 | 68 | 32 | 6 |
| | 月 | 0° | NE-slope | | | NW-slope | | | SE-slope | | | SW-slope | | |
| | | | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° | 10 | 20 | 30° |
| 北西— 南東作 | 6 | 100 | 104 | 108 | 112 | 102 | 99 | 94 | 97 | 96 | 95 | 94 | 91 | 89 |
| | 3 | 100 | 90 | 81 | 68 | 101 | 102 | 102 | 96 | 94 | 91 | 107 | 108 | 109 |
| | 12 | 100 | 75 | 53 | 37 | 94 | 86 | 62 | 103 | 104 | 103 | 123 | 140 | 141 |
| 北東— 南西作 | 6 | 100 | 102 | 99 | 94 | 104 | 108 | 112 | 94 | 91 | 89 | 97 | 96 | 95 |
| | 3 | 100 | 101 | 102 | 102 | 90 | 81 | 68 | 107 | 108 | 109 | 96 | 94 | 91 |
| | 12 | 100 | 94 | 86 | 62 | 75 | 53 | 37 | 123 | 140 | 141 | 103 | 104 | 103 |

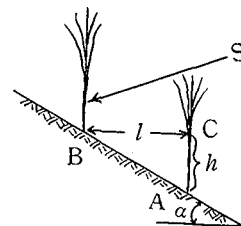
北作では夫々1.52, 1.00, 0.15倍で、東西作、南北作何れも冬季の北斜面は日射量から云って最も不利であり、反対に南斜面では何れも有利であるが特に東西作に対して最も有利であることがわかる。以上の各斜面の中間に面した各斜面における北東—南西作(北西—南東作)では東西作と南北作の略中間にあると云えるが、南西斜面における北西—南東作(或は南東斜面の北東—南西作)が日射量は多く、且つこれは傾角の増加に伴って日射量は増加している。

3月においては、各斜面における作付方向の差異による日射量の相違は少なくなっているが、南斜面の南北作が最も日射量は多く、ついで南西斜面における北西—南東作(或は南東斜面の北東—南西作)に多い。そしてこれは傾角の増加につれて次第に増加する。日射量の最も少ないのは北東斜面における北西—西東作(或は北西斜面の北東—南西作)で、次いで北斜面における南北作である。またこれらは傾角の増加に伴って益々減少している。

以上を総括すると夏季においては平地、傾斜地ともに南北作が日射量は多く、東西作は日射に恵まれないことがわかる。また北東—南西作や北西—南東作ではその略中間にある。冬季には各傾角ともに南及び東(西)斜面における東西作や南西斜面においては北西—南東作(或は南東斜面の北東—南西作)が日射量からみると有利で、北斜面における南北作、東西作は共に日射量少なく、また北東斜面の北西—南東作(或は北西斜面の北東—南西作)も同様で不利であることがわかるであろう。3月においては、南斜面では南北作、南西斜面においては北西—南東作(或は南東斜面の北東—南西作)が日射に恵まれて有利で、北斜面の南北作や北東斜面の北西—南東作(或は北西斜面の北東—南西作)は日射量が少なく不利なこともわかつて思う。

また第13図のように太陽に直面する傾斜面においては、傾斜角度の増加に伴って隣接せる作条の作物による日射の遮断量が減少するので結局傾斜角度を α とし、条間距離を l とすると

$$h = l \tan \alpha \quad (21)$$



第13図

だけ平地に比べて影の量が減ることであり、これは太陽側における隣接作条の作物丈が低下したのと同じであって、その効果は傾斜の角度が増すにつれて大きくなる。

第2編 傾斜地開墾前後における微気象 変化の研究

傾斜地を開墾して耕地を造成した場合、その微気象状態が開墾前に比べてどう変わってくるか、それは傾斜の方向によってはどうか、また開墾当初や、その後の年数経過に伴ってどう変化するか等について夫々比較観測し、傾斜地開墾前後における微気象変化の実状と各要素分布の特性を明らかにしておくことは、傾斜地開発利用に際しての基礎資料として極めて重要であるが、これらについての総合的な研究は極めて少なく⁽³⁰⁻³⁴⁾、未だ明確にされていない多くのものが残されている。

かゝる見地から本学部附属の傾斜地農場その他における開墾畑地、果樹園及び未開墾松林等において、上述の各々の場合について総合的に行った実験観測結果について述べる。

第1部 傾斜地開墾当初における微気象 変化の研究⁽³⁵⁾

開園作付2年目の果樹園において昭和29年9月から5年目の昭和32年8月までの実験観測結果について、開墾当初においてはその微気象状態が開墾前に比べてどう変わってくるか、その日変化や季節変化並びに年変化の実状を明らかにし、各要素分布の特性について考察する。

第1章 開園地と未開園地における微気象の日変化

第1節 研究方針と研究方法

開墾当初の耕地においては、その微気象日変化の状態が開墾前に比べてどんなに変わってくるかということについて夫々比較観測し、各季節における各要素日変化の特性を詳細に検出することが目的である。然るに各種環境下の耕地における微気象日変化の特性は、一般に風の弱い好晴日に顕著に発現するから、かかる特定日の気象要素の日変化の性状は、環境的差異の特性をよく現わしているのである。

従って以上の見地から第14図に示した香川県木田郡三木町井戸にある本学部附属傾斜地農場における南北両斜面の未開墾松林 (No. 1, No. 6) とそれに隣接する開墾2年目の南面桃園 (No. 2)、南東面柿園 (No. 3)、東面葡萄園 (No. 4) 及び北面栗園 (No. 5) の6ヶ所において、各季節における微気象のよく発達した好晴日を選んで、接地気層における温度、湿度、水蒸気張力、蒸発、風、地温並びに日射量を1~2時間置きに24時間連続観測を行った。観測地点の概況並びに観測装置と方法について述べると次の如くである。

No. 1: 傾斜角度約17°の南斜面で樹令約60年の赤松林内、つつじ科、さかき科の灌木類を下木とし鬱閉稍密なり、

No. 2: No. 1の東隣で南斜面の階段状桃園内、元の傾斜約20°でテラスの勾配約8°栽植本数反当20本

No. 3: No. 2の東隣で南東斜面の階段状柿園内、元の傾斜は約18°でテラスの勾配約8°、栽植本数反当20本

No. 4: 傾斜角度約17°の東斜面の棚仕立葡萄園内、栽植本数反当40本

No. 5: No. 4に隣接の北斜面における階段状栗園内、元の傾斜は約30°でテラスの勾配約8°、栽植本数反当50本

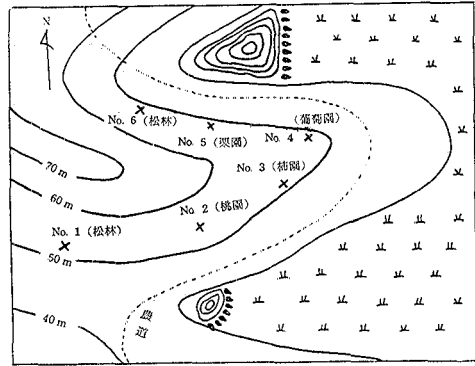
No. 6: No. 5の西隣で傾斜角度約25°の黒松、赤松混雑林内、つつじ、やしやぶし、しだ類等の下木密生し鬱閉密なり

以上の各測点は何れも傾斜面の中腹部で等高線上に設けた。また開園地の各果樹類は観測初年目には樹令2年生、樹高150cm内外でほとんど裸地に近い状態であった。

而して接地気層における温度と湿度はアスマン通風乾湿計を用いて地上各々10, 50, 150cmのものを、地温は曲管地中温度計を用いて地表及び地下10, 20, 30cmを、地下50cmは鉄管地中温度計にて2時間置きに観測した。地表面に來射する全天輻射はEKOゴルテンスキー日射計を用いて毎時観測し、また蒸発量は平田式紙面蒸発計⁽³⁶⁾を用いて、地表及び地上10, 50, 150cmのものを極量500gr、感度½grの上皿天秤にて2時間置きに測定した。

外に風盃型の小型風速計を用いて地上 150cm の風速を自記させた。また必要により熱電対温度計、熱線風速計を用いて接地気温、植物体温、並びに風速の詳細な観測も行った。

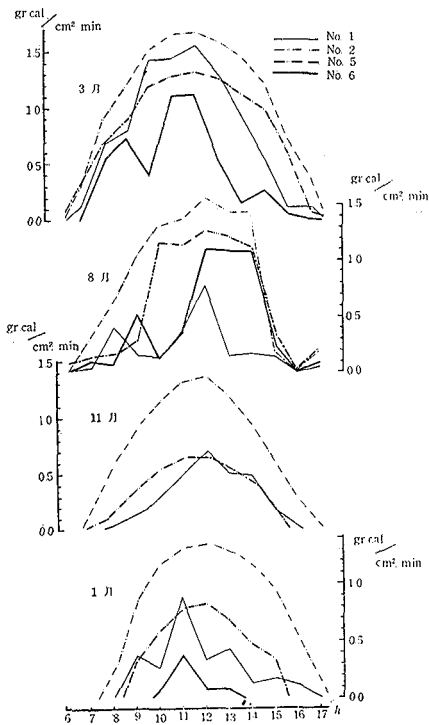
而して前記の No. 1 と No. 2 とを対比することによって南斜面上の開園前後の状態がわかり、No.5 と No.6 を対比することによって、北斜面における開園前後の状態を知ることが出来、No. 1 と No. 6 を対比すると未開の松林における南北斜面の状態がわかり、No. 2 と No. 5 を対比すると、果樹の種類は異なるが開園後の南北両斜面の状態がわかる。また No. 2~No. 5 を比較することによって開園後の各園の地形的相違による特性がわかると思うが、ここでは繁雑さをさけるために、同じ方向の斜面について開園前後の状態を取扱い、No. 1 No. 2, No. 5 及び No. 6 について考察をすすめる。



第14図 実験観測地見取図

第2節 日 射 量

太陽からくる日射の大部分は大気層を通過して地表に達し、地表はこれを吸収してその温度を高め、その熱は次第に地中内部へも伝わり、また地表からはその温度に相應する輻射をなして大気温度を左右する。また日射は植物に対しては同化作用に必要な光線として、他は熱として二重に作用するのであって、何れにしても日射は開園地と未開園地における環境条件を支配する本源をなすものである。かかる見地から EKO ゴルチンスキー日射計を用いて各斜面における開園地及び未開園地の地表面に來射する日射量を観測した結果について、その配布の特性を考察する。



第15図 日射量の日変化

春季 植物の発芽や生理上重要な早春の結果は第15図のようで、南北両斜面とも正午に最大で夫々開園地は 1.67, 1.30 gr.cal/cm².min., 未開園地は 1.55, 1.13 gr.cal/cm².min., を示している。北斜面の未開園地は日照時間も7時から17時までで最も短かく、結局日総量において南斜面の No.2 は 776.4 cal/cm².day, No.1 は 556.8 cal/cm².day で未開園地は開園地の 71.7%に過ぎない。北斜面では No. 5 は 592.8 cal/cm².day, No. 6 は 303.6 cal/cm².day で未開園地は開園地の 51.2%程度であった。

南北両斜面を比較すると、No. 2 を 100% とすれば No. 1 は 71.7%, No. 5 は 76.4%, No. 6 は 39.1%を示している。

夏季 8月15日の結果をみると、開葉期で、地表面に來射する日射量の分布状態は複雑であるが、最大は何れも12時に現われており、南斜面の No. 2 は 1.55 gr.cal/cm².min., No. 1 は 0.77 gr.cal/cm².min. を示し、北斜面では No. 5 は 1.25 gr.cal/cm².min., No. 6 は 1.09 gr.cal/cm².min. で、日総量においては夫々 579.6, 142.8, 452.4, 282.0 gr.cal/cm².day であって、南斜面の未開園地は開園地の 24.6%, 北斜面では 66.8%を示し、No. 2 を 100% とすれば、No. 1 は 24.6%, No. 5 は 72.9%, No. 6 は 48.7%

%であった。

秋季 南斜面の No. 2 は最も日斜が順沢で、早朝 6 時 30 分頃より 17 時までうけ、最大は正午に 1.37 gr.cal/cm².min を示し、日総量も最も大きく 507.6 gr.cal/cm².day であった。

No. 1 では樹間を漏れてくる日射量は割合大きい、陰陽が時々刻々変り 1 時間々隔の測定では日射量配布の状態を詳細に catch することは困難であったが、大体 7 時 30 分より 15 時 30 分頃までうけ、最大は正午で 0.72 gr.cal/cm².min、日総量は 174 gr.cal/cm².day で開園地の 34.3% に当る量をうけている。北斜面の No. 6 は全日地表面に日射をうけないが、No. 5 では早朝 6 時 50 分頃よりうけ始め、15 時 30 分頃に零となり、最大はやはり正午であるが、その値は小さく 0.63 gr.cal/cm².min で、1 日間の積算量も 205.2 gr.cal/cm².day である。これを No. 2 に比べると、No. 1 は 34.3%、No. 5 は 40.4%、No. 6 は 0% であった。

冬季 最後に 1 月 27 日の快晴日に実測した冬季の 1 例をみると、南北両斜面ともに開園地は落葉期に当り、裸地の状態に近いので、日射の日変化曲線も正午に頂点を有し、裸地における分布状態に似ている。そして正午における最大値は No. 2 は 1.35 gr.cal/cm².min、No. 5 は 0.81 gr.cal/cm².min、で日総量も夫々 555.6、236.6 gr.cal/cm².day であった。而し未開園地の松林では複雑で、何れも 11 時に日射量は最大を示し、No. 1 は 0.88 gr.cal/cm².min、No. 6 は 0.37 gr.cal/cm².min、で日総量も少く夫々 159.6、34.8 gr.cal/cm².day であった。いま南斜面における No. 2 の日射日総量を 100% とすると No. 1、No. 5、No. 6 は夫々 28.7、42.5、6.2% であり、No. 5 を 100% とすると No. 6 は 14.7% である。

以上を総括すると、南北両斜面における未開園地と開園当初の果樹園における地表面がうける日射の日総量は第 5 表のようである。

第 5 表 日射日総量の比数 (%)

| | | 開園地との比数 | | | | 南斜面の開園地との比数 | | | |
|-----|------|---------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| | | 3 月 | 8 月 | 11 月 | 1 月 | 3 月 | 8 月 | 11 月 | 1 月 |
| 南斜面 | 開園地 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 未開園地 | 71.7 | 24.6 | 34.3 | 28.7 | 71.7 | 24.6 | 34.3 | 28.7 |
| 北斜面 | 開園地 | 100 | 100 | 100 | 100 | 76.4 | 72.9 | 40.4 | 42.5 |
| | 未開園地 | 51.2 | 66.8 | 0.0 | 14.7 | 39.1 | 48.7 | 0.0 | 6.2 |

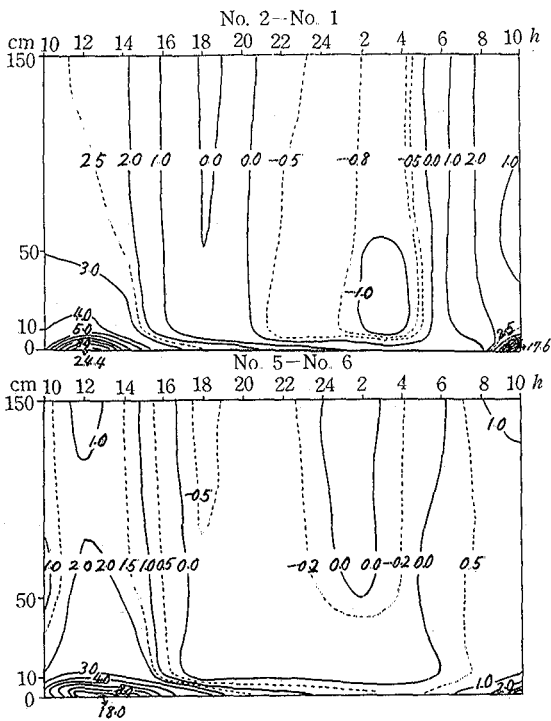
第 3 節 接地気温と地面温度

接地気温と地面温度の観測結果を一々示すのは繁雑に過ぎるから、昼夜別平均をとって表記すると第 6～9 表の様になり、また開園前後の状態を比較するために開園地と未開園地との温度差をとって isopleth 図を描き第 16～19 図を得た。以下これらについて考察する。

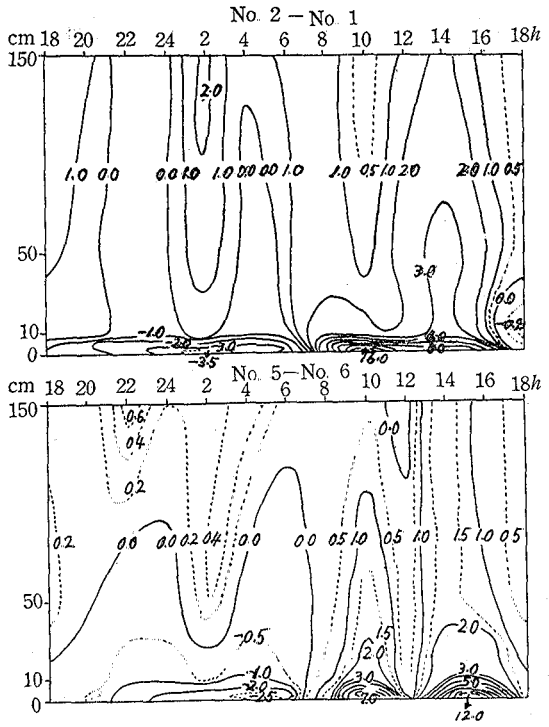
春季 3 月 28～29 日の快晴日に観測した一例を示した第 6 表について、昼夜別平均の垂直分布状態をみると昼間平均は何れの斜面においても、開園・未開園地ともに地表面が最も高温で地上に高さと共に降温し、特に開園地は顕著な受熱型を示している。南斜面の No. 2 は地表、地上を通じて最も温度が高く、地表面は 23.8°C で No. 1 より 9.5°C 高く、地上 150cm においても 11.9°C で開園地が 1°C 高温を示している。また北斜面においても No. 5 が No. 6 より高温で、地表面では 6.8°C、地上 150cm でも 0.4°C 夫々開園地が高温である。

第 6 表 昼夜別平均温度 (°C)

| | 南面松林 | | 南面桃園 | | 北面栗園 | | 北面松林 | |
|-------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 |
| 150cm | 10.9 | 3.1 | 11.9 | 3.7 | 11.4 | 3.8 | 11.0 | 3.5 |
| 50 | 10.7 | 2.9 | 12.4 | 3.1 | 12.2 | 3.1 | 11.3 | 3.2 |
| 10 | 11.8 | 3.3 | 13.6 | 2.5 | 13.5 | 2.5 | 11.7 | 3.1 |
| 0 | 14.3 | 4.0 | 23.8 | 1.0 | 19.5 | 1.6 | 12.7 | 3.7 |



第16図 春季における開園地と未開園地の温度差



第17図 夏季における開園地と未開園地の温度差

夜間平均についてみると、南北斜面ともに開園地は地表面が最も低温で、地上へ高さと共に昇温して顕著な放熱型の垂直分布を示している。未開園地においては地面温度は気温より何れも高温で、特に南斜面においては微弱ではあるが受熱型の分布を示している。そして夜間においては開園地と未開園地間の温度差は少なく、特に地上50cm以上においては殆んどない。地上10cmから地表面にかけて大きく、例えば地表面ではNo. 2は3.0°C、No. 5は2.1°C開園地が低温を示している。

これらの模様を一目瞭然たらしめるために、南北両斜面における開園地と未開園地の温度差をとって描いたisoploth図を示すと第16図のようである。図において温度差の正值は何れも開園地が高温であり、負値はその逆の場合を示すものである。

夏季 年間の最高温度を現わし、植物の地上及び地下部における高温障害を生じ易い盛夏の8月15~16日における一例は第7表のようである。

第7表 昼夜別平均温度(°C)

| | 南面松林 | | 南面桃園 | | 北面栗園 | | 北面松林 | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 |
| 150cm | 30.2 | 25.3 | 31.9 | 25.0 | 30.1 | 24.0 | 29.4 | 24.1 |
| 50 | 30.9 | 25.3 | 32.7 | 24.9 | 30.7 | 23.7 | 29.8 | 23.8 |
| 10 | 31.5 | 25.4 | 33.9 | 24.9 | 31.7 | 23.6 | 30.3 | 23.9 |
| 0 | 33.4 | 27.2 | 41.6 | 28.4 | 40.1 | 26.9 | 31.7 | 25.8 |

これによると昼間は何れも受熱型を現わし、特に開園地において顕著である。そして南北両斜面とも地上・地表を通じて、開園地は未開園地より高温で両者の温度差は特に地表面に大きい。即ちNo. 2の地表面においては41.6°CでNo. 1より8.2°C高く、地上10~150cmまで夫々約2°C No. 2が高温である。北斜面は南斜面より一般に低温であるが、No. 5は地表面においてNo. 6より8.4°C高く40.1°Cを示している。地上10cm以上

においては温度差は小さく 1°C 内外である。

夜間においては、地上部は略等温状で地面温度より低く、開園地と未開園地の温度差は何れも小さく 0.5°C 以下であるが、両斜面ともに開園地が低温を示している、而し地表面は開園地が約 1°C 高温になっているがこれは開園地の地中における日中の熱量の蓄積が未開園地に比べて大きいことによるものと考えられる。

次に開園地と未開園地における温度差を示すと第17図のようである。

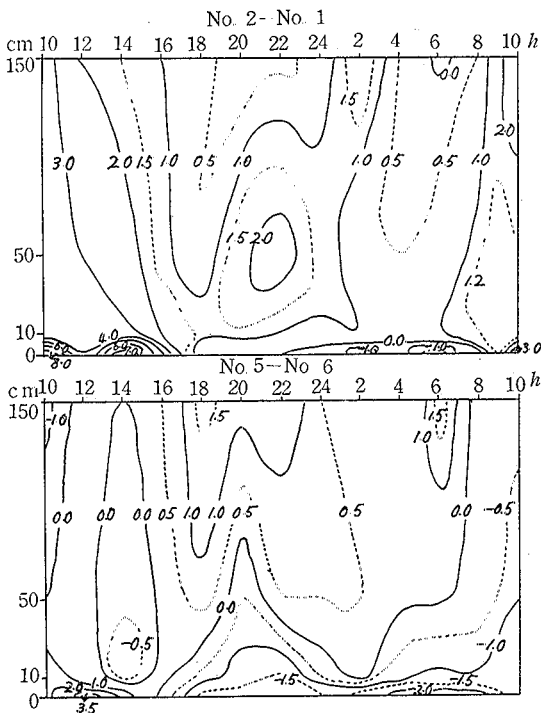
秋季 11月19~20日における結果は第8表に示すように、気温、地面温度とも全般的に低下しており、昼間平均において南斜面は開園地・未開園地ともに受熱型の垂直分布を示し、No. 2 は No. 1 より高温で、特に地表面においては差が大きく No. 2 は No. 1 より 4°C 高く 16.4°C を示している。北斜面では開園地・未開園地ともに昼間も放熱型を示し、地表及び地上部における開園地と未開園地の温度差は殆んど認められない。

夜間は南北両斜面とも開園地においては純然たる放熱型を示しており、特に北斜面の No. 5 に顕著である。未開

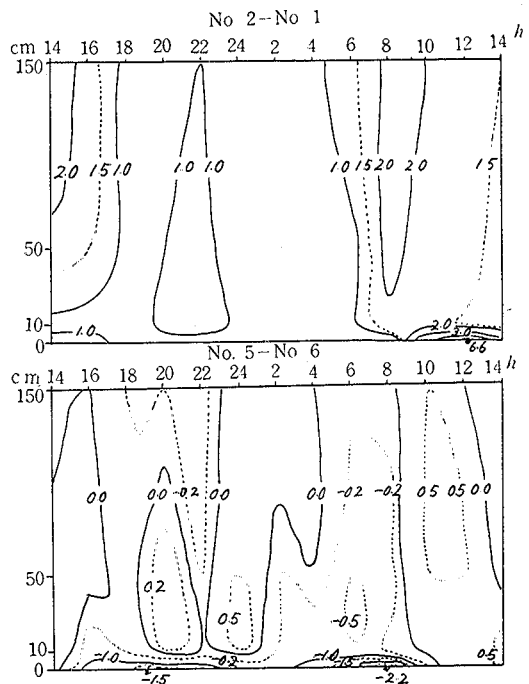
第8表 昼夜別平均温度 (°C)

| | 南面松林 | | 南面桃園 | | 北面栗園 | | 北面松林 | |
|-------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 |
| 150cm | 11.1 | 6.8 | 12.7 | 7.7 | 11.6 | 8.3 | 11.4 | 7.5 |
| 50 | 11.2 | 7.0 | 13.2 | 8.1 | 11.4 | 7.4 | 11.3 | 7.2 |
| 10 | 11.1 | 7.0 | 13.7 | 8.1 | 11.0 | 6.4 | 11.0 | 7.2 |
| 0 | 12.4 | 7.6 | 16.4 | 6.9 | 10.0 | 5.6 | 9.8 | 7.4 |

園地では略等温状を呈し、地面温度が気温より何れも高温を示している。そして南北斜面とも地表面では開園地が未開園地より低温で、特に北斜面ではその差が大きく No. 5 は 1.3°C 低く 5.6°C を示し、地上 50cm 以上においては何れも開園地が高温になっている。これら開園地と未開園地の温度差の日変化の模様を示したのが第18図である。



第18図 秋季における開園地と未開園地の温度差



第19図 冬季における開園地と未開園地の温度差

冬季 夏とは反対に年間の最低温度を現わし、植物にとって寒害や凍害を生起する危険のある冬季の状態をみるため、1月28～29日の結果を第9表に示した。

第9表 昼夜別平均温度 (°C)

| | 南面松林 | | 南面桃園 | | 北面栗園 | | 北面松林 | |
|-------|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|
| | 昼 間 | 夜 間 | 昼 間 | 夜 間 | 昼 間 | 夜 間 | 昼 間 | 夜 間 |
| 150cm | 3.0 | 0.9 | 4.9 | 1.9 | 3.8 | 1.5 | 3.9 | 1.5 |
| 50 | 3.0 | 0.9 | 4.7 | 1.8 | 3.8 | 1.5 | 3.8 | 1.5 |
| 10 | 3.3 | 0.7 | 4.4 | 1.8 | 3.8 | 1.6 | 3.7 | 1.6 |
| 0 | 2.4 | 0.2 | 4.8 | 0.5 | 1.8 | -0.2 | 2.5 | 1.1 |

全般的に温度は低く、昼間平均と雖も秋季の夜間平均より2～3°C低い。この季節には南北何れの斜面も昼間、夜間平均ともに放熱型の垂直分布を示している。そして昼夜間とも南斜面ではやはりNo.2>No.1で、地上部は昼間約2°C、夜間も約1°C No.2が高温を示している。地表面においては、昼間はNo.2がNo.1より2.4°C高温で4.8°Cを、夜間は殆んど差が認められない。北斜面においては開園地と未開園地の温度差は地上部では認められず、地表面にて昼間は開園地が0.7°C低く1.8°Cを示し、夜間は-0.2°Cで1.3°C低温を示している。冬季における開園地と未開園地の温度差を示すと第19図のようである。

第4節 接地気層における湿度、水蒸気張力並びに風

接地気層における湿度、水蒸気張力及び風速分布の特性については、Geiger氏その他の観測結果や理論から、かなり明かにされているが(3,4,37-53)、これら分布の様相は極めて複雑で大勢を明かにすることは困難である。また種々な傾斜地における開園地や未開園地等の観測例は極めて少ない。

ここには南北両斜面における開園地と未開園地の接地気層内における湿度、水蒸気張力並びに風の観測結果について述べる。

(1) 湿度

南北両斜面における開園地と未開園地の地上10, 50, 150cmの湿度をアスマン通風乾湿計を用いて、各季節の代表的快晴日に2時間置に観測した結果のうち、昼夜別の平均値を示すと第10表のようであり、また開園地と未開園地を比較するため両者の湿度差をとってisopleth図を描いたのが第20～23図である。これらにより各地点における湿度分布の特性を考察する。何れの季節においても湿度は夜間に高く特に春季には昼夜間の差異が最も大きい。

第10表 昼夜別平均湿度 (%)

| | | 南面松林 | | 南面桃園 | | 北面栗園 | | 北面松林 | |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 昼 間 | 夜 間 | 昼 間 | 夜 間 | 昼 間 | 夜 間 | 昼 間 | 夜 間 |
| 3 月 | 150cm | 51.7 | 93.3 | 55.8 | 89.6 | 44.9 | 82.1 | 47.1 | 83.4 |
| | 50 | 51.3 | 93.3 | 53.1 | 90.0 | 42.6 | 83.7 | 47.9 | 83.7 |
| | 10 | 52.2 | 94.1 | 55.2 | 90.5 | 43.3 | 83.9 | 48.5 | 84.8 |
| 8 月 | 150 | 72.9 | 90.1 | 67.3 | 91.4 | 72.1 | 94.3 | 77.1 | 95.5 |
| | 50 | 73.2 | 89.1 | 67.3 | 90.9 | 71.6 | 95.0 | 75.2 | 95.9 |
| | 10 | 74.3 | 88.6 | 66.1 | 90.9 | 69.7 | 95.9 | 76.8 | 96.1 |
| 11 月 | 150 | 78.5 | 93.0 | 71.7 | 86.8 | 89.1 | 98.2 | 87.3 | 93.8 |
| | 50 | 79.8 | 93.8 | 72.1 | 87.5 | 86.3 | 98.5 | 87.9 | 94.5 |
| | 10 | 80.5 | 94.8 | 72.3 | 87.4 | 89.0 | 98.5 | 91.5 | 98.8 |
| 1 月 | 150 | 71.3 | 81.5 | 50.8 | 65.3 | 60.1 | 77.5 | 56.2 | 73.0 |
| | 50 | 70.8 | 81.5 | 50.4 | 66.3 | 61.3 | 77.5 | 58.7 | 74.5 |
| | 10 | 73.7 | 81.5 | 56.5 | 67.3 | 65.3 | 78.5 | 64.8 | 77.2 |

即ち昼間南斜面の No. 2 は約 38%, No. 1 では約 42%夜間より低く、北斜面では No. 5 は 40%, No. 6 は 36% 夫々低い。

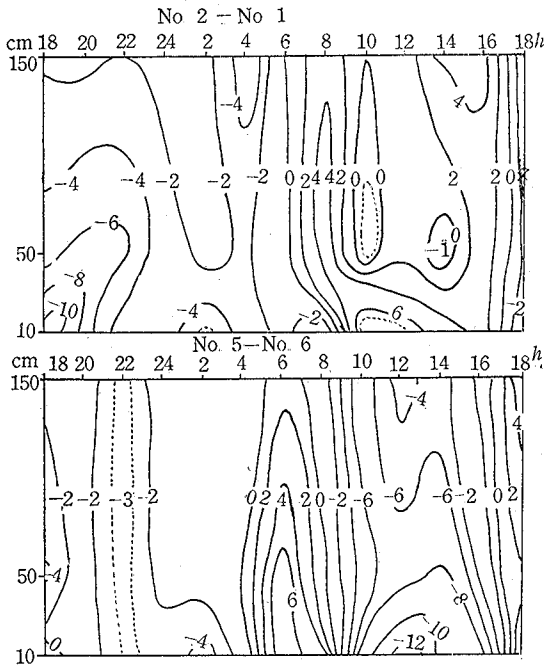
開園地と未開園地の状態についてみると、南斜面では昼間 No. 2 が No. 1 より 3%高く、夜間には 3%低い。北斜面では昼夜間とも開園地が低湿で昼間は約 5%の差を示し、それら開園地と未開園地の湿度差の分布状態や日変化の様子は第20図のようである。

次に南北両斜面における湿度を比較すると、開園、未開園地ともに何れも南斜面に高く、また湿度の垂直分布についてみると、高さによる変化は少ないが、何れも地表面に近づくにつれて高くなっている。

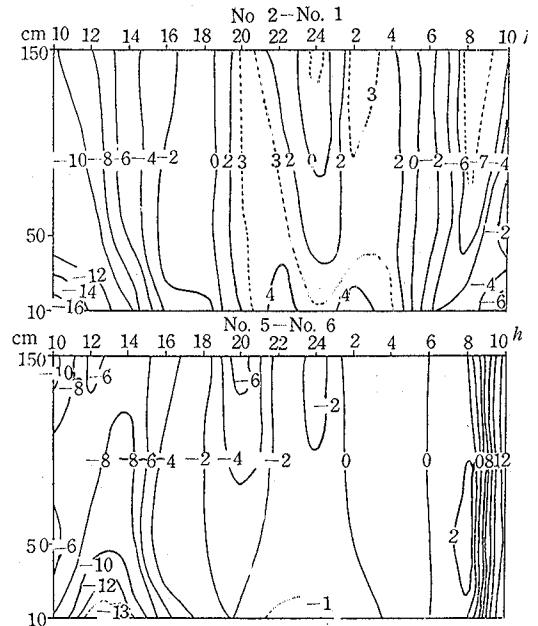
夏季になると南北斜面ともに湿度の昼夜間の差異は減少し、昼間平均において No. 2 は 24%, No. 1 は 16%, No. 5 は 24%, No. 6 は 20%夫々夜間より低くなっている。

湿度の開園地と未開園地の差異は、南北両斜面ともに昼間平均において開園地は 5~6%未開園地より低く、夜間には両者の差が極めて僅かで 1~2%にすぎない。また湿度差の日変化の様子は第21図のようである。

湿度の高さによつての変化は昼夜別平均においては殆んどみられない。また南北両斜面における湿度を比較すると、開園、未開園地とも何れも南斜面が低くなっている。



第20図 春季における開園地と未開園地との湿度差



第21図 夏季における開園地と未開園地の湿度差

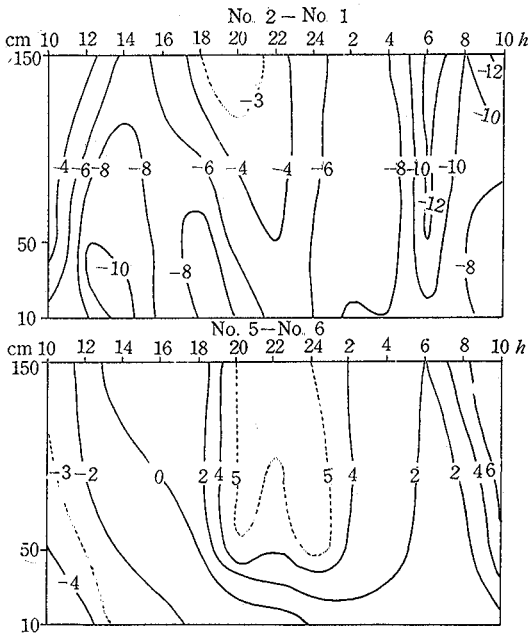
秋季においては南北斜面とも湿度は高くなるが、昼夜間の差異は少なく、昼間平均において南斜面は No. 2, No. 1 とともに、夜間より約 15%低く、北斜面では No. 5 は 10%, No. 6 は 8%夫々夜間より低い。

開園地と未開園地における湿度の差異は、南北斜面ともに昼間は開園地が低く、南斜面では平均 7%の差を示している。夜間においても南斜面では開園地が平均 6%低いが、北斜面では未開園地が 3%低くなっている。そして何れの斜面も湿度は昼夜間ともに上方に減少している。また開園・未開園地とも南斜面が低湿であることは夏季と同じである。

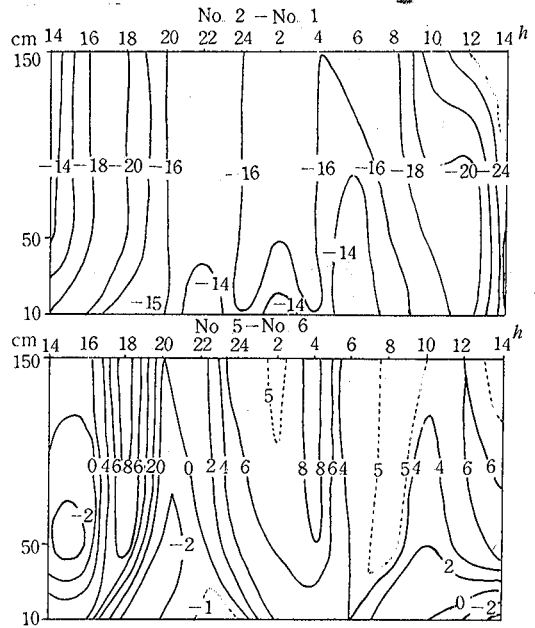
秋季における開園地と未開園地の湿度差の日変化の状態は第22図のようである。

冬季になると昼夜間とも湿度は低く、昼間平均において No. 2 は 14%, No. 1 は 9%夜間より低い。また北斜面では No. 5 は 16%, No. 6 は 19%夫々夜間より低くなっている。

湿度の開園地と未開園地との差異は大きく、南斜面においては昼夜間とも開園地が低く、特に昼間平均で 20%, 夜間も 15%の差を示している。北斜面では開園地と未開園地の差異は小さいが、昼夜間とも平均において開園地が約 3%高くなっている。これら湿度差の日変化の詳細は第23図に示す通りである。



第22図 秋季における開園地と未開園地の湿度差



第23図 冬季における開園地と未開園地の湿度差

次に湿度の南北両斜面における状態を比較すると、未開園地では南斜面に高く、開園地では低かった。またその垂直分布は何れも上方で減少している。

以上を総括すると接地気層における水蒸気は主として地表面からの蒸発と、植物からの蒸発によって供給される外、水面からの蒸発も考えねばならないがこれらによって供給された水蒸気は、主として *austauch* によって熱量と一緒に上層に運ばれ、周囲の乾燥空気と混合されるのである。そして空気中における水蒸気の包含能力は気温に依存しているので、湿度の日変化も気温の変化に支配されるところが大きい。

従って南北両斜面における湿度の日変化は、開園地・未開園地ともに気温の日変化と正反対で、日中は低く、夜間に高い。そして日最高・最低の出方は気温と恰度逆になっているが、これは湿度の定義から考えてその場所の接地気層内に含まれている水蒸気の分圧が、気温の変化による飽和水蒸気圧の著しい変化にくらべてそれほど変わらないということであり、ただいまの場合昼夜間の差異は特に春季に大きく現われている。

開園地と未開園地の湿度を比較すると、季節によっても異なるが、一般に昼夜間とも開園地が低く、両者の差は南斜面において大きく、それは特に冬季に顕著である。それは植被は土壌から与えられる水蒸気の移動を阻止し、また植物体からの蒸発作用によって連続的に水蒸気が供給されることによるのであるが、いまの場合は開園地にも植被があり、しかしそれは幼木で結局植被の繁茂の程度と密閉度の如何が湿度に差異を生じた主な原因であろう。冬季に差異の大きく現われたのは、開園地は地被植物の落葉によって裸地に近づいた結果、未開園地との差が一層顕著になったものと考えられる。また開園地と未開園地の湿度差は *isopleth* 図から明かなように、何れの季節においても、日中地表面に近づく程大きく、また地上 150cm 附近にも大きい傾向にある。

南北両斜面における湿度を比較すると、南斜面においては、昼夜間を問わず開園地は春季以外に、未開園地では夏と秋季に、北斜面より低く、それ以外の季節においては北斜面より高くなっている。

次に湿度の垂直分布は開園地・未開園地ともに、昼間・夜間を問わず常に上方に減少しており、これは気温の受熱型分布の場合に似ている。

(2) 水蒸気張力

アスマン通風乾湿計を用いて観測した結果から求めた水蒸気張力の日変化を一々表示する繁雑さを避け、湿度と同様に各季節における昼夜別平均を示すと第11表のようである。

これによると水蒸気張力は、南北両斜面における開園地・未開園地ともに昼間は地表面近くの方が大きく、夜間は

上下の差異は少ないが地表面附近の方が小さい傾向にある。即ち昼間には wet type を、夜間には dry type を示していることがわかる。また昼夜間の差異は1月、3月には殆んど認められないが8月、11月には大きく、何れも昼間には夜間より大きい。

開園地と未開園地の水蒸気張力を比較すると、季節や傾斜の方位等によって複雑ではあるが、一般に昼間においては開園地が未開園地より大きく、夜間は反対に開園地が小さい。

第11表 昼夜別平均水蒸気張力 (mm)

| | | 南面松林 | | 南面桃園 | | 北面栗園 | | 北面松林 | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 |
| 3月 | 150cm | 4.85 | 5.10 | 5.66 | 5.26 | 4.84 | 4.75 | 4.72 | 4.78 |
| | 50 | 4.67 | 5.05 | 5.63 | 5.04 | 4.68 | 4.82 | 4.71 | 4.66 |
| | 10 | 5.36 | 5.32 | 7.15 | 5.00 | 5.14 | 4.65 | 4.92 | 4.77 |
| 8月 | 150 | 23.74 | 21.70 | 24.17 | 21.51 | 23.91 | 21.48 | 24.39 | 21.25 |
| | 50 | 24.25 | 29.86 | 24.77 | 21.50 | 23.80 | 21.01 | 23.60 | 21.08 |
| | 10 | 25.03 | 21.89 | 25.13 | 21.43 | 24.14 | 21.04 | 24.35 | 21.36 |
| 11月 | 150 | 7.89 | 7.05 | 8.36 | 6.81 | 9.35 | 7.79 | 8.68 | 7.11 |
| | 50 | 7.98 | 7.11 | 8.21 | 7.10 | 9.08 | 7.32 | 8.69 | 7.17 |
| | 10 | 8.17 | 6.85 | 8.34 | 7.15 | 9.24 | 7.11 | 8.89 | 7.58 |
| 1月 | 150 | 4.18 | 3.77 | 3.28 | 3.37 | 3.67 | 4.78 | 3.35 | 3.55 |
| | 50 | 4.02 | 3.86 | 3.70 | 3.41 | 3.72 | 4.10 | 3.50 | 3.58 |
| | 10 | 4.09 | 3.88 | 3.87 | 3.70 | 3.98 | 4.01 | 3.80 | 3.76 |

(3) 風

地表面は空気との摩擦が大きいために風は非常に弱く、風速は地上に高さを増すに従い増加するが、地表に植生がある場合その接地気層内における風速の分布は非常に複雑で、枝葉の繁茂の状態等によって異なるが、一般に樹冠下に入ると風速は急に減少する。

風速の垂直分布については多くの研究があるが、近時おもに対数法則で表わした

$$u = 5.75v_* \log \frac{z}{z_0} \tag{22}$$

の如き式が用いられている。ここにuは地上zmの風速(m/s)で、v_*は摩擦速度、z_0は粗度の長さと呼ばれる。若し麦畑等のように地表植物が密集していると、地表面修正量dを考慮して(22)式はzをz-dとして表わされる。

風の有無とその強弱は接地気層における温度分布に重大なる影響を及ぼし、風速の増大は空気の交換現象を活発にし、結局温度勾配を減少させるがこれは日中の温度を低くし、夜間の温度を高くする向きに働く。また風の強弱は蒸発や蒸散作用にも大きな関係を有することは勿論であるが、これら風速の分布は地形や地被植物の状態によって複雑に変わるので甚だ厄介である。

第12表 昼夜別平均風速 (m/sec)

| | 南面松林 | | 南面桃園 | | 北面栗園 | | 北面松林 | |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 |
| 3月 | 2.1 | 0.3 | 2.0 | 0.1 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 0.2 |
| 8月 | 1.6 | 0.0 | 0.9 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 1.2 | 0.0 |
| 11月 | 0.3 | 0.0 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.1 |
| 1月 | 3.0 | 3.6 | 1.4 | 1.5 | 2.4 | 1.7 | 0.9 | 0.7 |

ここに南北両斜面の開園地と未開園地における地上 150cm の風速を、ピラム型微風計を用いて2時間置きに

前述の温湿度と併行して観測した結果から昼夜別平均を示したのが第12表である。

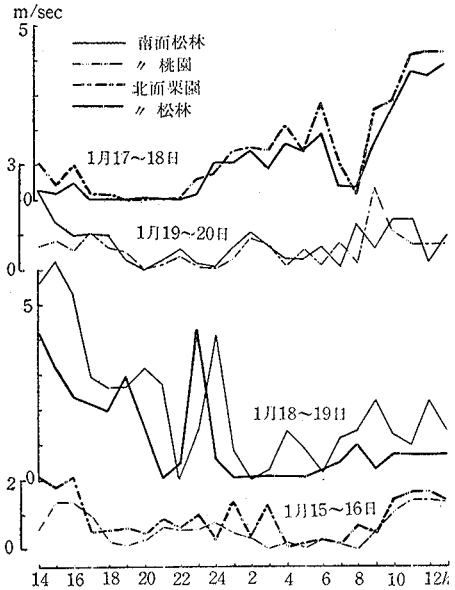
接地気層においては一般に風速の最大は日中に現われ、最小は夜半に現われるのであるが、いまの場合もやはり冬季以外は昼間は夜間より風速は大きくなっている。しかし季節風の烈しい1月頃には夜間にも風速が大きい場合が多く、そして南斜面において開園地が未開園地より風速が小さいのは、恰度未開園地が開園地の西隣にありて、防風林の働きをつとめた結果になり開園地の風速を小さくしたものである。また北斜面においては未開園地の風速が開園地より小さいが、これは未開園地の地形的関係で袋状の陰部に存在すること、植被の効果によるものと考えられる。

次に冬季における風特に季節風の分布は園芸作物等の栽培に関連して、傾斜地利用の上に重要な意義を有している。ここに南北両斜面の開園地と未開園地における地上150cmの風速を1月15~20日にかけて風盃型の小型日記風速計を用いて観測した1例を示すと第24図のようである。

図について開園地と未開園地における風速を比較すると、南斜面では未開園地>開園地であり、北斜面では開園地>未開園地となっている。これは風向が主として北西方向であったことから前述のような理由で斯様な結果になったものと思われる。

また南北両斜面の未開園地についてみると、南斜面が北斜面より風速は大きくなっているが、これも北西方向の風向に対して北斜面の未開園地は袋状で陰部に当ること、南斜面の未開園地は北西方向が比較的開けていた点を併せて考えると了解される。次に開園地について南北両斜面を比較すると、北斜面>南斜面となっている。これは風向と傾斜方位との関係で風速は北斜面に大きかったものと思われる。

以上の結果から夫々昼夜別平均をとってみると第13表の通りである。



第24図 開園地と未開園地における風速の日変化

第13表 風速の昼夜別平均 (m/sec)

| | No.1 | | No.2 | | No.5 | | No.6 | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 |
| 1月15~16日 | — | — | 0.86 | 0.33 | 1.15 | 0.63 | — | — |
| 〃 17~18日 | — | — | — | — | 1.50 | 0.61 | 2.20 | 0.77 |
| 〃 18~19日 | 2.56 | 1.67 | — | — | — | — | 1.37 | 1.37 |
| 〃 19~20日 | 0.99 | 0.44 | 0.78 | 0.34 | — | — | — | — |

第5節 蒸発量

蒸発の現象は極めて複雑で、これを支配する因子は甚だ多く、微かな気流の存在、地形の複雑なる変化や、植物被覆の状態等に伴う熱授受の相違から生ずる微気象の変化が蒸発速度には顕著に影響を及ぼすのである。

この蒸発は蒸発面の温度に対する水蒸気の飽和圧力 E_w と現存している空気の水蒸気圧力 e との差即ち $E_w - e$ に蒸発速度は比例する。即ち e が小さい程、また E_w が大きい程この差は大きくなり蒸発速度は大きくなる。つまりこれは空気が乾燥している程、気温が高い程一般に蒸発は早く、また蒸発面を暖める程早く蒸発することである。若し蒸発面の温度が気温に等しいときは $E_w = E_t$ 即ち空気の温度の飽和圧力に等しくなるので蒸発は飽差 $E_t - e$ に比例するという Dalton の法則になる。

いま南北両斜面の開園地と未開園地における地表及び地上 10, 50, 150cm の蒸発量を、平田式紙面蒸発計を用

いて各季節の代表的快晴日に2時間置に測定した結果から日総量を示したのが第14表である。

日変化の模様は理論的にも云えるが12~14時の頃蒸発量は最も多く、夜間には少ない。そして日変化曲線は温度のそれに平行的である。

四季における日総量の垂直分布についてみると、春季においては南北両斜面ともに開園地は未開園地より多く、何れも蒸発量は地表面に少なく地上に高くなるに従って増加しており、No.1以外は地上50cmが最多である。即ち地上150cmまでの平均において南斜面では開園地は未開園地の129.1%、北斜面は156.4%を示している。また開園地・未開園地ともに南斜面は北斜面より多く、いまNo.2を100%とするとNo.1, No.5, No.6は夫々77.5, 92.0, 58.8%であった。

第14表 日合計の蒸発量 (gr.)

| | 高 さ | 南面松林 | 南面桃園 | 北面栗園 | 北面松林 |
|-----|-------|------|------|------|------|
| 3月 | 150cm | 43.0 | 50.5 | 49.5 | 42.0 |
| | 50 | 50.0 | 58.0 | 55.5 | 33.5 |
| | 10 | 39.0 | 52.0 | 47.0 | 27.0 |
| | 0 | 27.5 | 45.5 | 37.5 | 18.5 |
| 8月 | 150cm | 46.0 | 48.0 | 43.0 | 42.0 |
| | 50 | 52.0 | 57.5 | 52.0 | 43.0 |
| | 10 | 39.0 | 53.5 | 44.0 | 31.0 |
| | 0 | 34.0 | 43.0 | 40.5 | 26.0 |
| 11月 | 150cm | 11.0 | 15.0 | 10.5 | 8.5 |
| | 50 | 13.0 | 21.0 | 12.5 | 7.0 |
| | 10 | 10.5 | 14.0 | 5.0 | 3.0 |
| | 0 | 7.5 | 12.0 | 2.5 | 1.5 |
| 1月 | 150cm | 20.5 | 28.0 | 28.0 | 19.5 |
| | 50 | 19.5 | 23.5 | 24.5 | 15.0 |
| | 10 | 18.0 | 21.5 | 20.0 | 12.0 |
| | 0 | 14.0 | 16.5 | 15.0 | 8.5 |

夏季においても分布状態は春季と略同様であって、蒸発量は南北両斜面とも開園地は未開園地より多く、また南斜面は北斜面より多い。そして蒸発量は何れも地表面に少なく、高さと共に多くなっているが、いまの場合地上150cmの量が50cmより少ないのは恰度その高さに枝葉が繁茂し、通風等 austausch が弱かったことと、日蔭の効果もあつかったものと思われる。そしてNo.2はNo.1の117.8%、No.5はNo.6の126.5%を示している。またNo.2を100%とするとNo.1, No.5, No.6は夫々84.9, 89.1, 70.4%であった。

秋季には温度も低くなってくるので、蒸発量も一般に減少してくるが、その分布状態は変わらない。そして南斜面では開園地は未開園地の147.6%、北斜面では152%を示し、No.2を100%とするとNo.1, No.5, No.6は夫々67.7, 49.0, 32.3%である。

冬季は落葉期で、開園地は裸地に近づいてくるのであって、そのため垂直分布は高さと共に増大して蒸発量は裸地におけるような分布を示している。未開園地も下木の灌木は落葉して、松林における樹冠下の空域が広大的なるため地上150cmまでの蒸発量はやはり上方向多くなっている。そして全般的に局部的差異が少なくなっているがやはり開園地に多く、南斜面は北斜面より多い。そして南斜面の開園地は未開園地の124.4%、北斜面では158.7%と差異が大きく、またNo.2を100%とするとNo.1, No.5, No.6は夫々80.4, 97.8, 61.6%を示している。

以上を総括すると、南北両斜面における未開園地と開園当初の果樹園における日合計蒸発量は、夫々地上150cmまでの平均において開園地との比数は第15表のようである。

第15表 日合計蒸発量の比数 (%)

| | | 開園地との比数 | | | | 南斜面の開園地との比数 | | | |
|-----|------|---------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| | | 3月 | 8月 | 11月 | 1月 | 3月 | 8月 | 11月 | 1月 |
| 南斜面 | 開園地 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 未開園地 | 77.5 | 84.9 | 67.7 | 80.4 | 77.5 | 84.9 | 67.7 | 80.4 |
| 北斜面 | 開園地 | 100 | 100 | 100 | 100 | 92.0 | 89.1 | 49.0 | 97.8 |
| | 未開園地 | 63.9 | 79.1 | 65.8 | 63.0 | 58.8 | 70.4 | 32.3 | 61.6 |

第2章 開園地と未開園地における微気象の季節変化

第1節 研究方針と研究方法

傾斜耕地の微気象が開墾前に比べて如何に変化していくかということの詳細に検出することが目的であるが、種々の環境による差異の検出には長年月の同時観測の必要があり、そのためには多数の測器と人手を必要とするので容易ではない。そこで各場所における微気象の概要を掴むため、前述した日変化の観測を行った6ヶの観測点(第14図)において、最高、最低温度及び蒸発量の毎日継続観測を行い、不十分ながらも目的を果すことが出来るという簡易微気象観測法⁽⁴⁴⁾によることにした。そしてこの方法と前述の快晴日における日変化の精密観測とを併用すれば微気象的差異の検出は略完全に達成されるわけである。

しかして接地気温並びに地温の観測は、各測点ともに夫々地上 150, 50, 10cm と地表には棒状の、地下 10cm には曲管の最高及び最低温度計 ($\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ 目盛) を設置し、また地下 50cm には鉄管温度計 ($\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ 目盛) を設置して測定した。そして接地気温測定用の温度計は簡易輻射除を施した架に取付けた。蒸発量は平田式紙面蒸発計を測温用架に地上 50cm の高さに据付けて、極量 500gr, 感度 $\frac{1}{2}$ gr の上皿天秤にて毎日定時に(雨天を除く)総量を測定した。

以上の装置と方法によって、開墾当初の昭和29年7月より32年8月まで毎日継続観測を行ったが、日変化の場合と同様に南北両斜面における開園地 (No.2, No.5) と未開園地 (No.1, No.6) について述べる。

第2節 接地気温と地面温度

第14図に示した南面松林 (No.1) とそれに隣接の同桃園 (No.2)、北面栗園 (No.5) 及び北面松林 (No.6) における地表及び地上 10, 50, 150cm の日最高、並びに日最低温度の観測から $\frac{1}{2}$ (最高+最低)によって日々の平均温度を求めた。

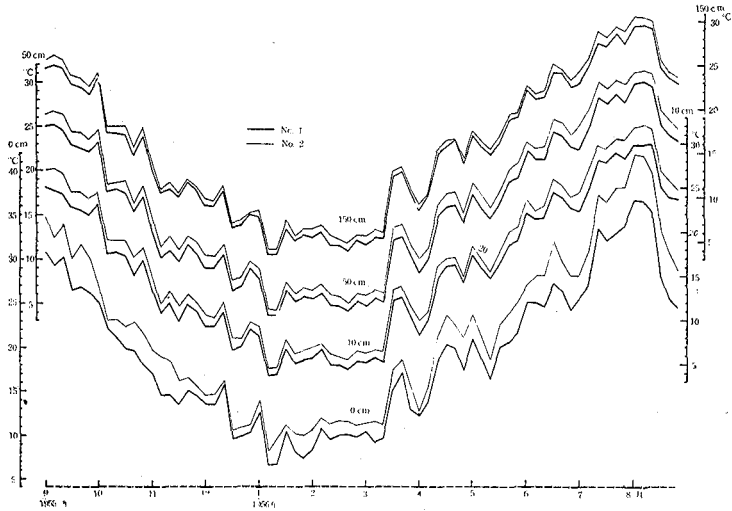
各場所における接地気温並びに地温は前述せる如く、太陽の照射時間の長短並びに照射角度の大小によって決ってくるのであるが、それは各場所における環境条件の相違から生ずる熱の授受機構に関係することは勿論である。従って晴、曇、風、雨等の天気の状態に大いに支配されるので、特に天気の持続性及び週期性等から考えて^(45~47)、旬間平均や月平均をとって考察するより半月平均をとった方が、天気の移り変りを示す上にも、またそれによる各園の特性や、相違をより適確に表示する上からも意味があると考えられるので、半月平均値について考察する。

(1) 半月平均気温並びに地面温度

未開地松林とそれに隣接の開墾果樹園における開園2年目の昭和29年7月より32年8月まで溝3ヶ年間の観測結果を一々掲げる繁雑さをさけて、昭和30年9月~31年8月までの観測第2年目について主として考察する。第25~26図は南北両斜面における開園地と未開園地の地表及び地上 10, 55, 100cm における半月平均温度の季節変化を示したものである。

未開園地松林や開園地の温度変化の本源は勿論太陽輻射にありて、松林や果樹園内のように地表に植物のある場合には、その樹冠表面が熱授受の第1能動面であり、地表は第2の能動面になるのであるが、いまの場合開園地は植栽後間もないので、第1能動面の働きは弱く、第2能動面である地表が裸地の場合のように天候の影響を直接うけて変化するので、他の高さのところに比べて fluctuation が最も著しい。また地面温度は日射をうけると著しく高くなるから、地面温度曲線の山となっているところは天気がよかった時であり、谷となっているところは曇又は雨の日が多かったときを示すものである。

南斜面 第25図について南斜面における状態をみると、何れも開園地は未開園地より高温でその温度差は各季節とも地表面に最も大きく、地上に高くなるに従い急に減少し、各高さを通じて暖候期に大きい。そして南斜面の No.2 は地表面への日射の透過が良好で、暖候期には裸地の温度分布に似て地表面が最も高温を示し、高さと共に降温して純然たる受熱型を示している。未開園地の No.1 は No.2 より全般に低温で、微弱ではあるが受熱型になっており、何れもこの時期には受熱状態にあることを示している。寒候期になると接地気温、地面温度ともに次第に降下して、上下の温度勾配も次第に減少してくるが、南斜面においては地面温度が気温より高くなっている。そしてこれらは晴天の多い半月には温度勾配が大きく、雨天又は曇天の多い半月には勾配が緩であるが、その程度は



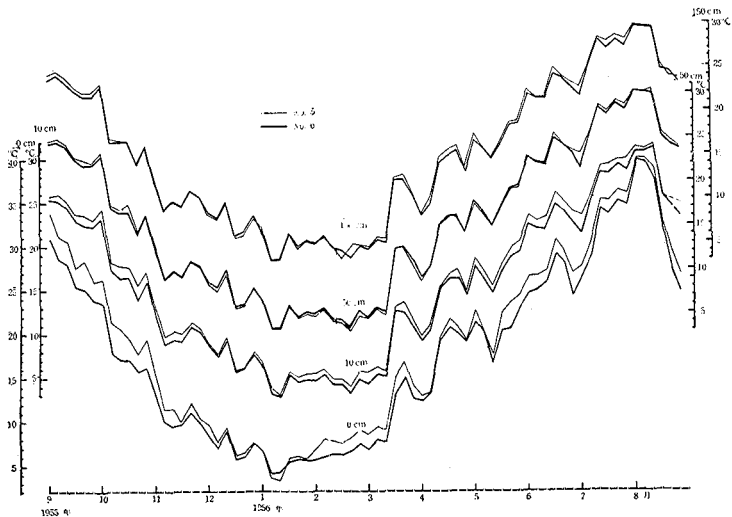
第25図 半月平均温度の季節変化 (1955.9~1956.8)

各場所によって異り、立地条件の相違によって熱授受の様相が夫々異っていることがわかる。

開園地と未開園地における温度差は、地表面では、夏期の候に顕著で、特に最高温度の現われる8月に最も大きい。即ち No.2 は No.1 より 5.2°C 高く 41.7°C を示し最大となっている。また温度差は地表よりの高さが増すと急に小さくなり、例えば地上 50cm では温度、温度差ともに地表より極めて小で、それらの大きい8月においても最高 30.5°C を示し、温度差も 1.0°C 内外で地表面の $\frac{1}{5}$ に過ぎない。次に寒候期には開園地と未開園地の温度差は小さく、地表面において No.2 は約 1°C 高く、そして1月に最低温度 8°C を示している。地上 150cm では年間を通じて No.2, No.1 間の差異は極めて小さいので、寒候期における顕著な減少は認められないが半減しており No.2 は1月に最低温度 4°C を示している。

北斜面 北斜面における状態を示した第26図についてみると、接地気温、地面温度ともに暖候期には開園地が高温を示しているが、寒候期になると北斜面の性質上開園地は日射量が少ない上に落葉によって夜間の放熱が良好になるので冬季には未開園地より低温になっている。

そして開園地・未開園地ともに暖候期には例外なく地表面が高温で微弱ながら受熱型を示し、寒候期になると温度勾配は次第に減少して略等温状となり、遂に勾配は負となって地表面が最も低温でそこが放熱面であることを示



第26図 半月平均温度の季節変化 (1955.9~1956.8)

し、No.6 は10月下旬頃より、No.5 は11月下旬頃より純然たる放熱型に変わり、この時期には放熱状態にあることを示している。

開園地と未開園地の温度差は南斜面より極めて少ないがやはり暖候期に大で寒候期に小さい。かつ地上 150cm の温度差は極く僅かで、差異の最も大きい時でも 1°C 以下であり、地表面においても最大 3°C である。そして No.5 の地上 150cm、地表面では 8月に夫々最高温度 29.7°C 、 40°C を示している。寒候期には開園地と未開園地の差異は地上 150cm においては殆んどなく、地表面では1月に No.5 が 1°C 低く最低温度 3.2°C を示している。

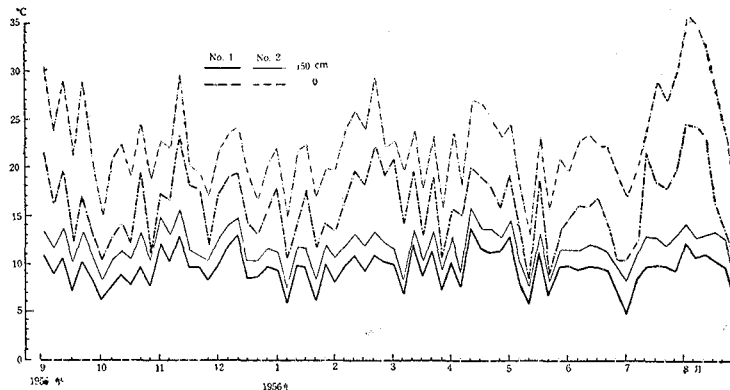
(2) 半月平均温度日較差

温度日較差はその所の緯度、水陸分布、地形、地表の被覆状態、海拔高度、天気の状態、特に雲量の多寡等によって著しく影響されるのであるが、いまの場合は地形、植被の状態及び天気等に最も大きく支配されるものと考えられる。

A. WOELKOF 氏⁽⁴⁸⁾ は丘陵、山、台地等の如き凸状の地形は日較差を小さくし、傾斜が大きい程著しく、反対に谷や盆地等の凹状の地形は日較差を大きくする事実を明かにした。また日較差は、地上高くなるにつれて小さくなり、特に最初の間は急激に減少し、漸次変化は小となる。植物にとっては日中の温度より夜間の温度が低下すること、ひいては温度日較差の大きいことが作物の生育を良好にし収穫を多くするとされている。

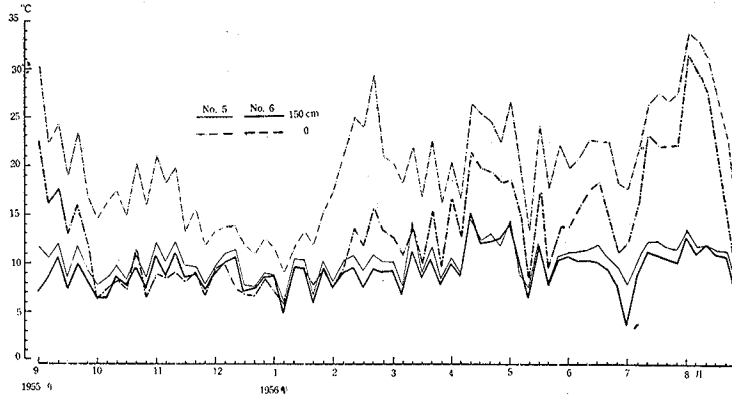
いま半月平均温度日較差の季節変化を示した第27~28図についてみると、四季を通じて較差は開園地が未開園地より大きく、そして何れも地表面に最も大きく現われており、そこでは両者の差異も大きく fluctuation も著しい。またこれらは晴天の多い半月に顕著である。また較差は地上に高さを増すにつれて急に小さくなり、地上 150cm では開園地、未開園地の差異も小さく、両者間の変位の中も季節によって変らなくなって地表面の影響は極く弱くなっていくことがわかる。

南斜面 開園地と未開園地についてみると、地表面において較差の最も大きいのは夏期で特に最高温度の現われている8月の晴天旬にして、No.2 は 36°C 、No.1 は 24.7°C で何れも最大で両者の差も 11.3°C に達している。また較差の小さいのは雨又は曇天の多い半月にして、5月に No.2 は 13°C 、No.1 は 8°C で夫々最小を示しその差も 5°C となっている。地上 150cm になると開園、未開園間の変位の中は四季を通じて略一定しており、 $1.5\sim 3^{\circ}\text{C}$ であるが夏期の候に大きい傾向にある。そして較差の最大は4月で、No.2 は 15.8°C 、No.1 は 14°C を示している。



第27図 半月平均温度日較差の季節変化

北斜面 南斜面と同様に開園地における較差は未開園地より大きい、較差やその fluctuation は南斜面より小さい。地表面における較差は、南斜面と同様8月に No.5 は 34.1°C 、No.6 は 31.7°C と最大を示し、両者の差は南斜面より極めて小さい。しかし太陽高度の低い秋から冬にかけての両者の差は極めて大きく、11月の晴天旬に No.5 は 21.3°C 、No.6 では 9°C でその差も大きく、また曇天旬においても No.5 は 15.9°C 、No.6 は 6.5°C でその差は 9.4°C にも達している。地上 150cm では南斜面に比べて fluctuation も小さく、両者の差異も僅かで、7月に最大 4°C を示し、他は何れも 2°C 以下である。また較差の最大は4月の晴天旬で、No.5 は 14.9°C No.6 は 14.7°C を示し、最小は1月で No.5 は 6.2°C 、No.6 は 5.0°C を示している。

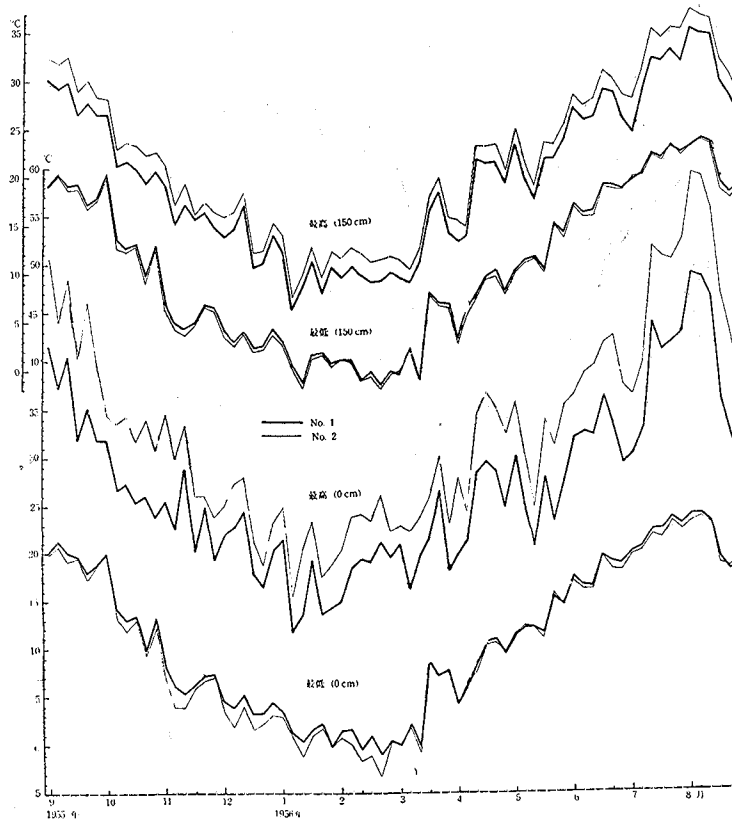


第28図 半月平均温度日較差の季節変化

(3) 半月平均日最高及び最低温度

南北両斜面における開園地と未開園地の地表面並びに地上 150cm の半月平均日最高及び最低温度の季節変化を示したのが第29～30図である。そして植物生理の上からも夏季には最高温度が、冬季の候には最低温度が問題となるので、特に夏季の最高温度と冬季の最低温度について考察する。

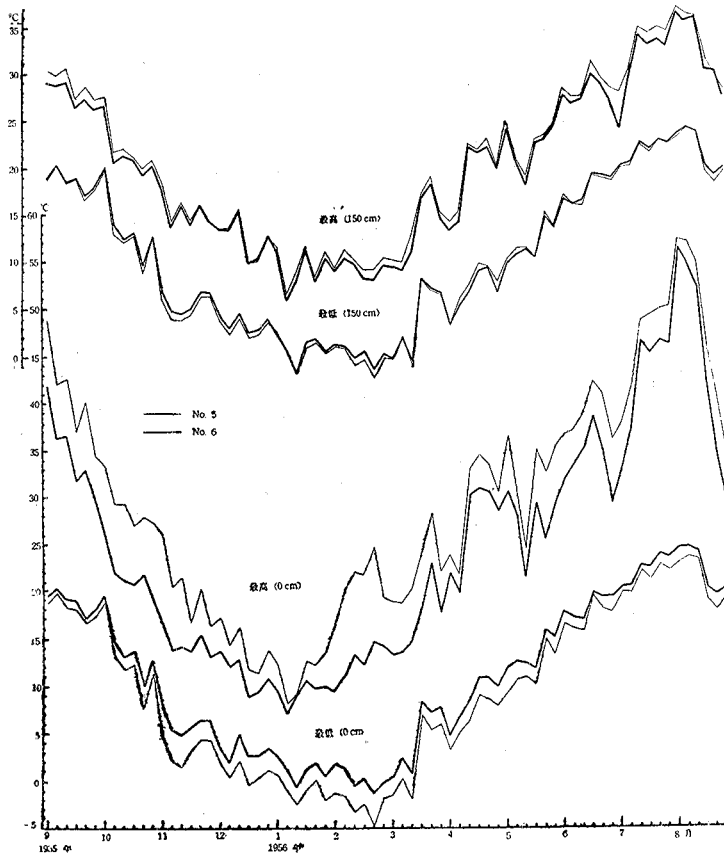
これによると最高温度は南北両斜面ともに開園地に高く、地表面では8月上旬の前半に南斜面の開園地は 59.6 °C、未開園地は 49.3 °C と夫々年間での最高を示し、また北斜面では夫々 57 °C、56.2 °C を示している。また最高温度は地表面より高くなるに従って急に低下しており、地上 150cm においては、南斜面は開園、未開園地と



第29図 半月平均日最高及び最低温度の年変化

も夫々 37.4°C 35.4°C を、北斜面では夫々 36.5°C, 36.1°C を示してともに年間の最高を示している。そして最高温度には fluctuation や、高さによる温度変化、開園、未開園地間の温度差が顕著に現われている。

最低温度についてみると、最高温度の場合とは逆に開園地の方が南北両斜面ともに低温を示しており、fluctuation や、高さによる温度変化、開園、未開園地間の温度差は最高温度の場合に比べると極めて小さい。即ち地表面においては2月下旬の前半に温度は最低で、南斜面では開園、未開園地夫々 -3.3°C, -1.0°C, 北斜面でも夫々 -4.8°C, -1.4°C を示して何れも開園地が未開園地より低温であり、地上150cmにおいては、2月下旬の前半に南斜面では開園、未開園地とも夫々 2.1°C, 2.6°C を、北斜面では夫々 1.6°C, 2.4°C と何れも年間の最低を示し、開園地が低温である。



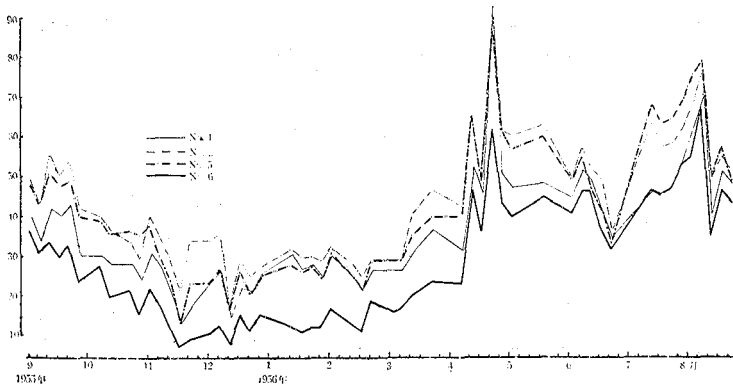
第30図 半月平均日最高及び最低温度の年変化

第3節 蒸発量

南北両斜面における開園地と未開園地の地上50cmに据付けた、平田式紙面蒸発計による半月平均蒸発量(雨天日を除く)を示したのが第31図である。

南斜面における蒸発量は四季を通じてNo.2はNo.1より多く、そして両者の差異も、また蒸発量とともに暖候期が寒候期より大きい。そして蒸発量の最も少ないのは12月中旬の前半で、No.2は平均17gr, No.1は14.5gr.で、また最高は4月下旬の前半に現われ、No.2は92.5gr, No.1は87.5gr.を示している。

北斜面についてみると南斜面と同様に四季を通じて開園地が未開園地より多く、両者の差は南斜面より顕著で、夏季に最大21gr.に達している。また蒸発量は寒候期に少なく、暖候期に多い。そして最も少ないのは11月中旬の後半で、No.5は12.5gr, No.6は7gr.を、最大は4月下旬の前半でNo.5は87.5gr, No.6は62.5gr.を示している。



第31図 蒸発量の季節変化

これら蒸発量が場所によって差異を生じ、また fluctuation を生ずる原因は、地表被覆植物の繁茂の程度や、傾斜の方位の相違が主な原因になるが、曇天日数の多少、日照時間の長短、温度の高低等が重要な因子となること勿論であり、いまの場合も日照時間が長く、高温な半旬には蒸発量も全般的に多く、またそれは fluctuation の山になっている時で、谷になっている時はそれらの逆の場合である。

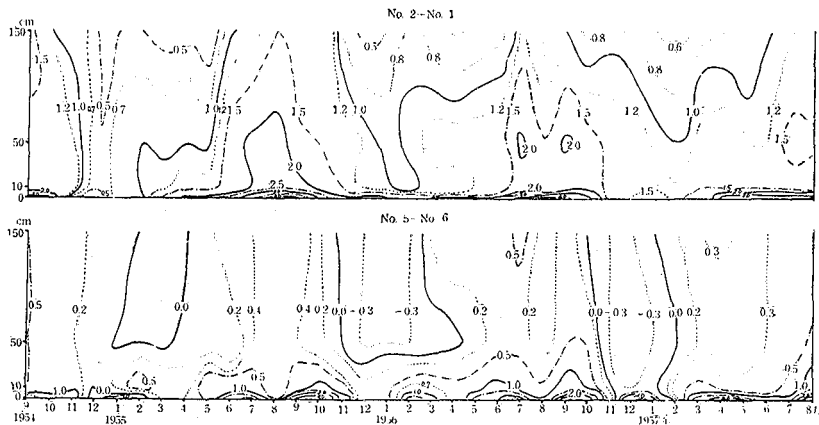
第3章 開園地と未開園地における微気象の年変化

第1節 接地気温と地面温度

(1) 月平均温度差

山林を開墾して果樹園等耕地を造成した場合、その接地気温や地面温度がどう変化するか、その季節的推移の状態や経年変化の実状を一目瞭然たらしめるため、南北両斜面における開園地と未開園地との月平均温度差をとって 0.2°C 毎の isopleth 図を描いたのが第32図である。ここに温度差の正值は何れも開園地が高温であることを示し、負値は未開園地の方が高温であることを表わしている。

これによると南北両斜面ともに、開園、未開園地間の温度差は夏季に大きく、冬季に小さい。そして南斜面では年間を通じて開園地が未開園地より高温であり、両者の温度差は地表面に近づく程大きくなり、特に夏季に最も大きい。これは初年目、2年目と年数経過に伴って次第に温度差は減少しており、即ち開園地の地被植物が成長繁茂してゆく状態がよくわかるであろう。そしてこれは例えば温度差 2°C の等温線をみるとよくわかる。



第32図 南北両斜面における開園地と未開園地の温度差

北斜面についてみると、暖候期には開園地が未開園地より高温を示しているが、冬季には反対に低温である。例えば初年目に地表付近では12~2月頃、地上50cm以上では1~3月頃まで開園地が低温で、2年目においても地上40cm以上では11~4月頃まで開園地が低温を示して。また第3年目には地表面から地上を通じて11~2月にかけて開園地が低温を示している。

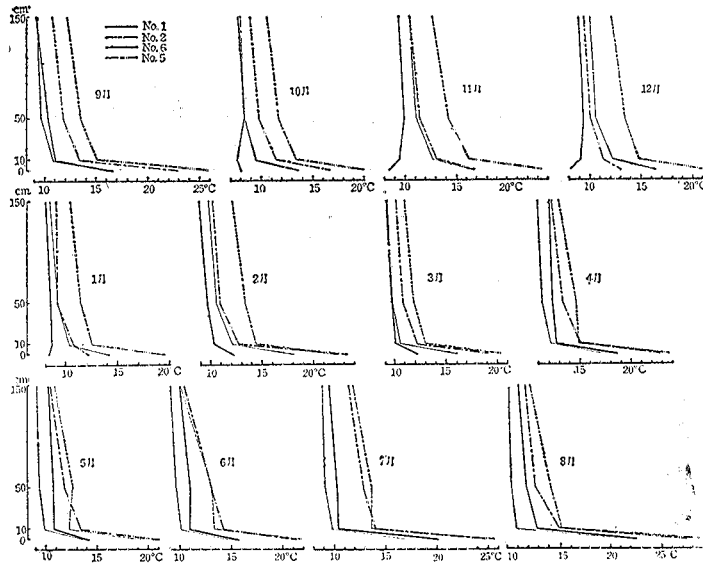
(2) 月平均温度日較差

南北両斜面の開園地と未開園地における月平均温度日較差の垂直分布を示すと第33図のようである。

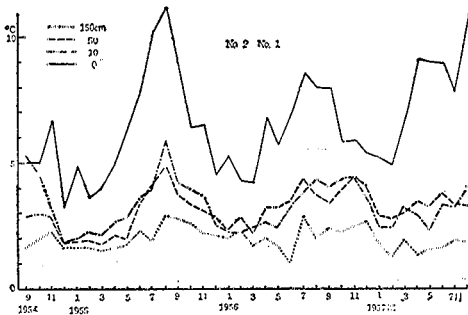
南斜面では、開園と未開園地とで、程度の差はあるが、年間を通じて例外なく温度垂直分布の受熱型と同型で、地表面は熱授受の作用面であることを物語っている。勿論その程度は雨天又は曇天の多い月には微弱であり、未開園地は開園地に比べて弱いこともよくわかるであろう。

北斜面においては、開園地、未開園地とも較差の垂直分布は、暖候期には何れも微弱であるが南斜面と同型を呈し、そして太陽高度の低い11月頃から未開園地は温度分布の放熱型と同型に変わり、10月には既にそれへの移行型が現われ、太陽高度が次第に高くなるにつれて2月頃から再び受熱型と同型の分布に変ってくる。

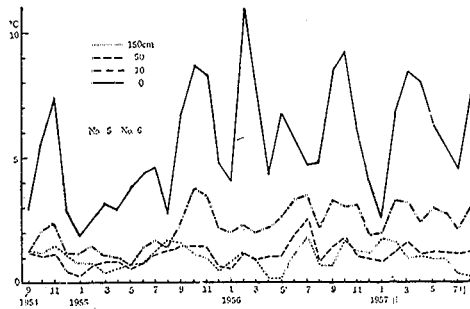
次に較差の開園地と未開園地間の差異についてみると、年間を通じて開園地の較差は未開園地より大きく、両者の差異は南斜面が北斜面におけるより大きい。これらの詳細については第34~35図をみると季節変化や経年変化の様相がよくわかるであろう。



第33図 月平均温度日較差の垂直分布 (1955.9~1956.8)



第34図 南斜面における開園地と未開園地の温度較差の差 (No.2-No.1)



第35図 北斜面における開園地と未開園地の温度較差の差 (No.5-No.6.)

第2節 接地気温の解析

南北両斜面の開園地と未開園地における接地気温、地面温度の年変化の特性を理論的に表現するため、地表並びに地上 10, 50, 150cm の月平均温度を調和分析法⁽⁴⁹⁾によって処理した。

即ち接地気温、地面温度の日変化や年変化の如き週期変化は一般に正弦曲線の合成とみて

$$y = a_0 + a_1 \sin(\sigma t + \epsilon_1) + a_2 \sin(2\sigma t + \epsilon_2) + a_3 \sin(3\sigma t + \epsilon_3) + \dots \quad (23)$$

のような Fourier 級数を以て表わすことが出来る。

ここに a_0 は観測値の平均にして第2項目の $a_1 \sin(\sigma t + \epsilon_1)$ は日変化の場合には1日1回の最大、最小を示すのでこれを1日項といい、 a_1 をその振巾、 ϵ_1 を位相という。同様に第3項目の $a_2 \sin(2\sigma t + \epsilon_2)$ は1日2回の最大・最小を示し半日を週期とするものでこれを半日項といい、また $a_3 \sin(3\sigma t + \epsilon_3)$ は1/3日項という。ここに a_2, a_3 はその振巾、 ϵ_2, ϵ_3 は位相を示すこと前述の通りであるが、ただいまの場合は何れも年変化を取扱うのであるから(23)式の第2項目は1年項、第3項目は1/2年項、第4項目は1/3年項ということになる。上記の式は数学的には無限級数であるが、実際問題としては初の4項程にて年変化の状態は略完全に示されるのであるが、ここにはその概略をみるため1年項を示したのが第16表である。(第2年目の値を示す)

第16表 調和分析の1年項

| | No.1 | | | No.2 | | | No.5 | | | No.6 | | |
|-------|---------|---------|--------------|---------|---------|--------------|---------|---------|--------------|---------|---------|--------------|
| | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| 150cm | 16.0 °C | 10.7 °C | 135°29' | 16.2 °C | 10.9 °C | 135°10' | 15.3 °C | 11.3 °C | 136°57' | 15.2 °C | 11.0 °C | 136°09' |
| 50 | 15.4 | 10.9 | 135 16 | 16.8 | 11.2 | 135 28 | 15.6 | 11.5 | 137 24 | 15.5 | 11.2 | 137 38 |
| 10 | 15.7 | 10.9 | 135 38 | 17.0 | 11.2 | 133 36 | 16.1 | 11.8 | 137 56 | 15.4 | 11.5 | 138 01 |
| 0 | 19.1 | 10.9 | 135 07 | 21.9 | 12.2 | 135 36 | 19.3 | 14.0 | 141 45 | 17.9 | 13.4 | 142 38 |

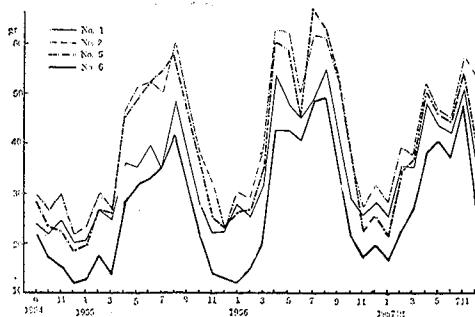
第16表についてその概要を考察すると、振巾 a_1 は何れも開園地においては地表面に最大で、地上へ高さと共に減少し、未開園地では高さによる変化は殆んどない。また振巾は何れも開園地が未開園地より大きく、北斜面では南斜面におけるより大きい。

次に位相 ϵ_1 は開園・未開園地とも北斜面では、南斜面より進んでおり、また各場所とも地表面が最も進んでいる。開園地と未開園地における位相を比べると、南斜面は地上 50cm を除いて開園地が遅れており、北斜面でも開園地の位相が未開園地より遅れている。これら位相の遅れは各場所における最高・最低温度の発現時期が遅延することを示すもので、接地気層における熱授受の機構を表わすものである。

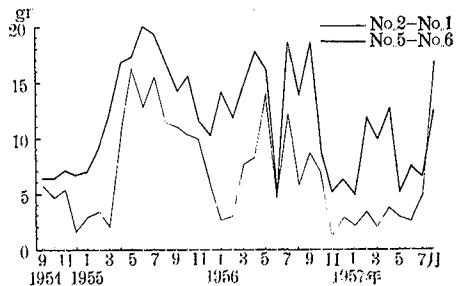
第3節 蒸 発 量

南北両斜面の開園地と未開園地における蒸発量の月平均値を示すと第36図のようである。

これによると蒸発量は開園・未開園地ともに12~1月には小さく、8月に最大を示している。そして南斜面では、



第36図 蒸発量の経年変化



第37図 開園地と未開園地における蒸発量の差

第2年目における春, 夏, 秋, 冬の平均において No.2, No.1 は夫々 54.5, 44.6gr.; 57.3, 49.8gr.; 39.6, 29.1 gr.; 29.1, 25.3gr. で北斜面の No.5, No.6 において夫々 51.2, 35.0gr.; 58.4, 45.9gr.; 36.0, 22.2gr.; 25.3 13.2gr. を示し, 南北両斜面ともに開園地が未開園地より何れも多く, また両者の差は北斜面に大きい。いま南北両斜面における開園地と未開園地の蒸発量の差を示すと第37図のようである。

第2部 傾斜地開墾後における微気象の研究

開墾後15年以上経過した成園においては, その微気象状態はどうであるかについて畑地と果樹園等における微気象の日変化, 季節変化並びに年変化の実状を明かにし, 各要素分布の特性について考察する。

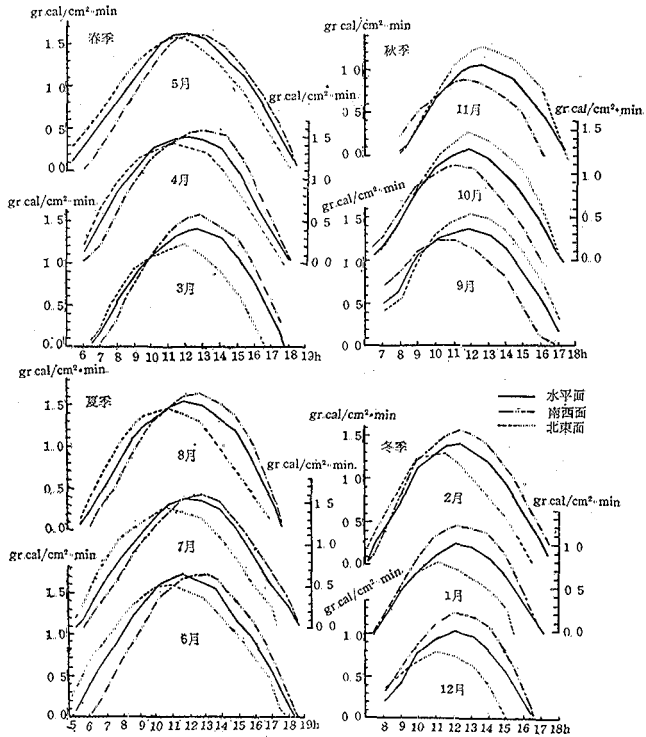
第1章 開墾畑地と果樹園における日射量⁽¹⁾

第1節 日射量の日変化

開墾後の成園における微気象分布の実状を明かにするためには, 先づその接地気温, 地温等の変化の本源をなす日射量の配布状態を明かにして

おかねばならない。かかる意味から第40図に示した実験地の南西面畑地(傾角18°)と北東面果樹園(傾角15°)並びに水平面において, 昭和24年9月~25年8月まで各月1回快晴日或はそれに近かった日に, 地表面に來射する日射量をEKOゴルチンスキー日射計を用いて毎時観測を行い第38図のような結果を得た。また各月における日射量の実測値を理論値と比較するため特に傾斜角度15°の北東面並びに18°の南西面の値を各月の15日について計算し, 実測値及び理論値の夫々平地日射量に対する比数を示したのが第17表である。

これらの結果によると, 何れの月においても北東面は, 日出とともに早く日射をうけ, 且つ照射角度等の関係から他の斜面より日射量が多いが, 11時に既に最高に達し, それ以後は他の2面における



第38図 各月における日射量の日変化

第17表 平地の日射量に対する比数

| 月 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|
| SW | 実測値 | 108 | 114 | 127 | 127 | 128 | 115 | 110 | 101 | 95 | 93 | 99 | 104 |
| | 理論値 | 108 | 115 | 129 | 136 | 134 | 122 | 111 | 103 | 97 | 94 | 95 | 99 |
| NE | 実測値 | 85 | 83 | 82 | 67 | 73 | 85 | 81 | 95 | 96 | 96 | 92 | 91 |
| | 理論値 | 86 | 79 | 69 | 50 | 66 | 74 | 82 | 90 | 95 | 99 | 97 | 93 |

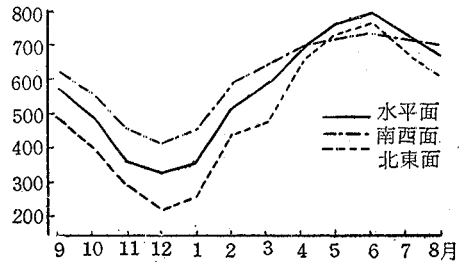
より急速に減少して早く消失している。これに反して南西斜面は、日出後暫くは直射をうけず早朝には他の2面より日射量は少ないが、太陽高度が高くなると、他の2面より何れも大きな値となり、且つ斜面に対する太陽高度の最大になる午後1時に日射量は最大になり日没時まで潤沢にうけている。また水平面における日射量は、平地に対する太陽高度の最大になる正午に日射量は最大となり南西及び北東斜面の中間にある。

第2節 日射量の年変化

南西及び北東斜面並びに平地のうける日射量の実測値より、年変化の模様を示すと第39図のようである。

日射量の最も少ないのは何れの面においても12月で、且つ南西面>水平面>北東面で、最も多いのは何れも6月で水平面>北東面>南西面である。

そして太陽高度の最も高い6月やそれに近い月には、かえって南西斜面における日射量が何れも水平及び北東の両面より少なく、それ以外の時期には反対になっている。これらの諸点は傾斜地における日射量配布の特徴でその差異は傾斜の角度が増すにつれて顕著になることは理論計算の結果がよく示している。



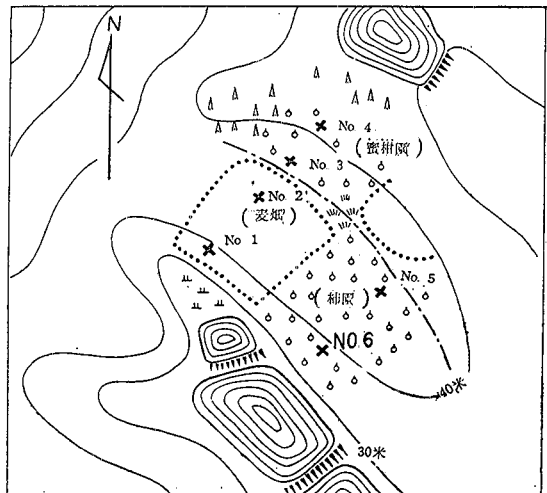
第39図 日射量の年変化

第2章 開墾畑地、果樹園における接地気温と地面温度⁽⁵⁰⁾

第1節 研究方針と研究方法

これは傾斜地開墾後15年以上経過した成園においては、その接地気温、地面温度等の垂直分布や日変化並びに季節変化の状態はどうであるかについて詳細に比較測定して、各園における分布の特性を検出することにある。しかしそれら環境による差異の検出には、同時観測の必要があり、また長年月の経続観測によらねばならないのであるが、第1部、第1章の第1節で述べたように、各園における微気象の特性は一般に風の弱い好晴日に顕著に発現するから、かかる特定日の気象要素日変化の性状は環境の差異の特性をよく現わしており、従ってそれを観測することによって微気象の特性の概要は把握することが出来る。

かかる見地から第40図に示したような香川県木田郡三木町にある南東に突出した標高45mの香川大学農学部附属傾斜地農場において、その北東斜面蜜柑園及び南西斜面の畑地並びに柿園内に6ヶの観測点を設け、各測点について地上10, 50, 150cmの接地気温はアスマン通風乾湿計を用い、地表及び地下5, 10, 20, 30cmは曲管地中温度計を、地下50cmは鉄管地中温度計を用いて昭和23年7月~25年8月まで毎月1~2日間快晴日を選んで2時間々隔に観測を行った。また必要により熱電対温度計を用いて接地気温、植物体温等の詳細な観測を行った⁽⁵¹⁾。



第40図 観測地略図

- No.1: 傾斜角度約18°の南西斜面畑地の下腹部
- No.2: 同斜面における畑地上腹部でNo.1と高低差5m、以上2測点の畑地は夏作は甘藷、冬作は麦が栽培された。

※ 熱電対は銅コンスタンタン線 (32 BS) にて作り、検流計は島津製L型C級 (感度 $36 \times 10^{-8} \text{amp.}$, $10 \times 10^{-6} \text{volt.}$ 週期 2.1秒) を使用した。

No.3: 傾斜角度約15°の北東斜面蜜柑園の上腹部で No.2 と同高のところ

No.4: 同斜面における蜜柑園の下腹部で No.1 と同高のところ

No.5: No.2 に隣接の南西斜面における同傾角の柿園上腹部で No.2, No.3 と同高のところ

No.6: 同斜面における柿園下腹部で No.1, No.4 と同高のところ

尚柿園は樹令約15年生の富有柿で反当25本栽植され生育良く鬱閉稍密であり、蜜柑園は樹令約10年生の温州蜜柑が反当約70本の割合で栽植されているが生育悪く疎である。

第2節 温度日変化と日較差

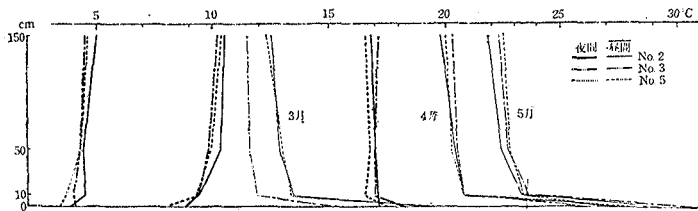
南西及び北東斜面における畑地と立木作りの園並びに北斜面の棚作りの園について、接地気温、地面温度を観測した結果から、各月における各園の日平均温度、日較差及び昼夜別平均温度の垂直分布について、またNo.2, No.3及びNo.5における各季節の日変化について述べる。

(1) 畑地と立木作りの園

春季 No.1~6 における地表及び地上 10, 50, 150cm の日平均温度並びに日較差を示すと第18表のようである。

第18表 日平均温度並びに日較差 (°C)

| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 3月24~25日 | 150cm | 7.9 | 12.0 | 8.8 | 12.5 | 8.0 | 10.5 | 7.6 | 10.5 | 8.5 | 12.5 | 8.0 | 12.0 |
| | 50 | 8.2 | 13.5 | 8.6 | 14.3 | 8.0 | 11.0 | 8.1 | 12.5 | 8.6 | 14.0 | 8.2 | 12.9 |
| | 10 | 8.7 | 14.0 | 9.0 | 15.0 | 8.0 | 11.5 | 8.4 | 15.5 | 8.5 | 15.6 | 8.4 | 17.0 |
| | 0 | 11.6 | 26.4 | 11.6 | 26.0 | 9.8 | 19.0 | 9.8 | 22.9 | 11.7 | 28.5 | 11.1 | 28.9 |
| 4月15~16日 | 150 | 14.5 | 16.5 | 15.2 | 16.5 | 15.3 | 17.0 | 14.6 | 16.5 | 15.2 | 16.5 | 14.5 | 16.0 |
| | 50 | 14.4 | 18.0 | 15.3 | 17.0 | 15.1 | 17.0 | 14.6 | 18.4 | 15.1 | 18.0 | 14.7 | 17.4 |
| | 10 | 14.4 | 19.0 | 15.1 | 18.5 | 15.1 | 19.0 | 14.9 | 20.5 | 15.0 | 19.5 | 14.8 | 21.7 |
| | 0 | 19.3 | 32.0 | 18.1 | 31.4 | 17.4 | 27.7 | 16.9 | 30.2 | 18.4 | 35.5 | 17.7 | 29.8 |
| 5月29~30日 | 150 | 19.9 | 9.0 | 19.3 | 10.0 | 19.7 | 9.8 | 20.1 | 10.6 | 19.5 | 11.0 | 20.1 | 10.7 |
| | 50 | 20.3 | 10.1 | 19.8 | 11.0 | 19.8 | 11.0 | 20.0 | 10.6 | 19.8 | 11.0 | 20.1 | 10.3 |
| | 10 | 20.6 | 10.5 | 20.2 | 12.5 | 20.3 | 11.5 | 20.7 | 13.7 | 20.0 | 11.5 | 20.3 | 11.2 |
| | 0 | 24.1 | 21.2 | 23.3 | 18.8 | 24.6 | 20.2 | 23.4 | 21.5 | 22.4 | 22.2 | 23.6 | 20.8 |



第41図 春季における昼夜別平均温度

これによると日平均温度は3, 4, 5月ともに各園の上腹部と下腹部即ち標高差5m程度の位置の相違によって生ずる地面温度や接地気温の差異は殆んどなく、何れも1°C内外である。また同じ南西斜面にある畑地と柿園では、4月の頃は柿園も開葉期前後で、地表面への日射の透入が良好で畑地との温度差は僅かであるが、5月になると地表面温度に1°C内外の差が現われている。次に南西と北東斜面を比べるとやはり接地気温より地面温度に差異が大きく、そして、これらの差異は南西斜面の畑地と果樹園間の差より大きく地面においては2°C内外になっている。

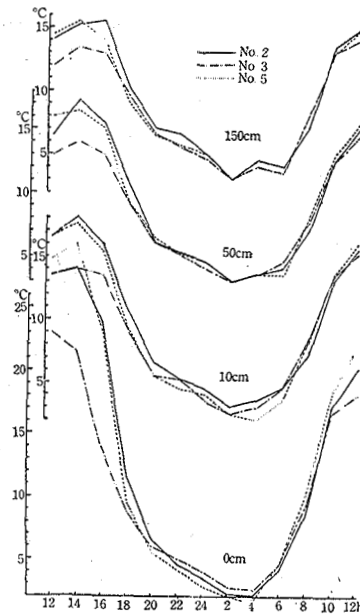
温度日較差も各園の上・下腹部における差異は小さい。また較差は何れも地表面に最も大きく、そこでは局部的差異も大きい。3月においては北東面の蜜柑園は南西面の畑地・柿園より日較差は何れも小さく、地上部の平均に

おいて例えば No.3 は No.2, No.5 より夫々約 3°C 小さく、地表面では No.2 より 7°C, No.5 より 9.5°C 小さい。4 月には 3, 5 月より日較差は何れも大きい。局所的差異は 3 月より小さく、また 5 月には一層小さくなっている。

次に昼夜別平均温度の垂直分布を示した第41図についてみると、昼間は各月ともに各園何れも地表面に温度は最も高く、それより地上へ高くなるにつれて次第に低下し純然たる受熱型の垂直分布を示し、夜間は各園ともに 3, 4 月は地表面が最も低温で純然たる放熱型を示している。5 月には垂直分布は立って高さによる変化が少くなっている。

また各園とも何れの月も昼夜の温度差は地表面に顕著である。早春の 3 月においては昼間南西斜面の No.2, No.5 は略同温で何れも北東斜面の No.3 より高く特に地表面では 4°C 内外高温である。夜間は各月とも接地気温における差は僅かである。尙 3 月における日変化の詳細は第42図のようである。

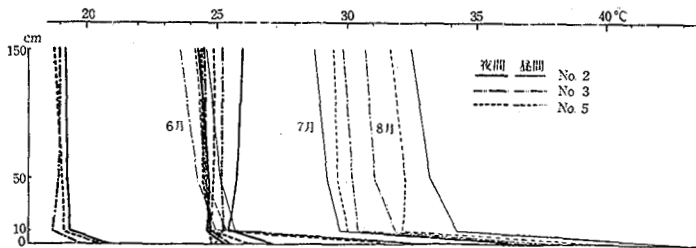
夏季 この時期には地表及び植物体面における熱取引が旺盛で、快晴で風の弱い日にはその微細気



第42図 3月における接地気温、地面温度の日変化

第19表 日平均温度並びに日較差 (°C)

| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 6月16~17日 | 150cm | 22.1 | 9.1 | 21.9 | 10.5 | 21.3 | 7.5 | 21.5 | 7.2 | 21.5 | 9.2 | 21.9 | 8.5 |
| | 50 | 22.1 | 9.2 | 22.3 | 10.0 | 21.6 | 9.0 | 21.6 | 8.0 | 21.9 | 10.0 | 22.1 | 8.7 |
| | 10 | 22.6 | 11.0 | 22.6 | 12.0 | 19.8 | 10.0 | 22.6 | 11.2 | 22.4 | 11.0 | 22.1 | 9.4 |
| | 0 | 27.0 | 22.5 | 26.7 | 22.0 | 26.1 | 24.5 | 27.2 | 22.5 | 26.2 | 24.0 | 26.2 | 22.2 |
| 7月13~14日 | 150 | 26.8 | 8.3 | 26.5 | 7.6 | 27.2 | 8.0 | 27.4 | 9.2 | 27.0 | 7.5 | 27.3 | 9.4 |
| | 50 | 27.0 | 8.4 | 27.0 | 7.5 | 27.4 | 8.5 | 27.4 | 8.7 | 27.1 | 7.7 | 27.4 | 9.0 |
| | 10 | 27.4 | 9.3 | 27.2 | 8.0 | 27.6 | 8.2 | 27.5 | 8.3 | 27.4 | 8.2 | 27.7 | 10.0 |
| | 0 | 31.3 | 16.7 | 31.5 | 19.1 | 31.3 | 20.7 | 30.1 | 16.5 | 31.7 | 20.1 | 31.6 | 22.2 |
| 8月9~10日 | 150 | 29.2 | 9.5 | 29.3 | 10.3 | 27.9 | 8.6 | 27.6 | 7.7 | 28.3 | 11.4 | 28.2 | 11.1 |
| | 50 | 29.3 | 11.0 | 29.6 | 11.0 | 28.2 | 8.7 | 27.5 | 8.8 | 28.6 | 12.0 | 28.3 | 11.6 |
| | 10 | 29.7 | 13.0 | 29.9 | 13.0 | 28.6 | 9.4 | 27.6 | 9.4 | 28.5 | 12.2 | 28.6 | 13.6 |
| | 0 | 34.2 | 23.9 | 35.1 | 25.1 | 31.9 | 22.8 | 31.3 | 21.9 | 32.8 | 27.5 | 33.1 | 27.0 |



第43図 昼夜別平均における接地気温の垂直分布

象はよく発達し、環境による差異が顕著に現われるので、その点からも夏季における観測結果は重要な意義を有する。

第19表によると、日平均温度は同じ方向の斜面では、上・下腹部の差異は僅かである。また南西斜面の畑地と柿園では顕著な差異はみられないが8月に畑地は接地気温において約1°C 地面温度で約2°C 柿園より高温である。また8月には南西、北東両斜面における接地気温の差は地上部の平均において約1.4°C 南西斜面が高温である。また温度日較差は各園とも地表面に最も大きく、且つ局部的差異も大きい。そして較差は各月ともに南西斜面>北東斜面で、その差異は8月に大きい。

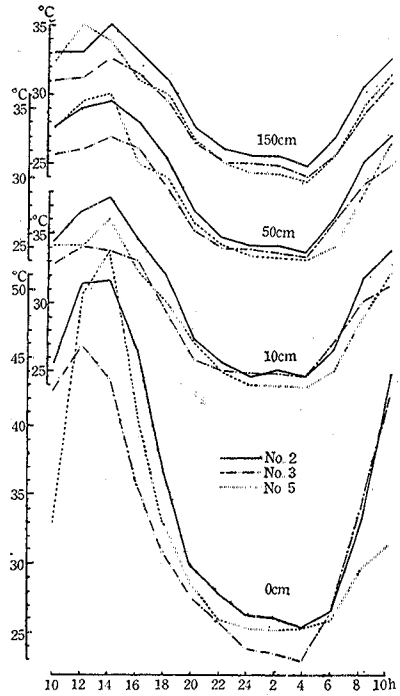
次に第43図について昼夜別平均温度の垂直分布をみると、昼間は各園ともに何れの月も顕著な受熱型を示し、局部的差異は8月に大きい。6、7月には接地気温、地面温度ともに局部的差異は小さい。夜間においては8月のNo.3 以外は何れも接地気温が地面温度より低く、純然たる放熱型が現われていない。そして地上10cm 附近が最も低温であり、全般に局部的差異が小さい。いま8月における温度日変化の詳細を示すと第44図のようである。

柿園内における精密観測

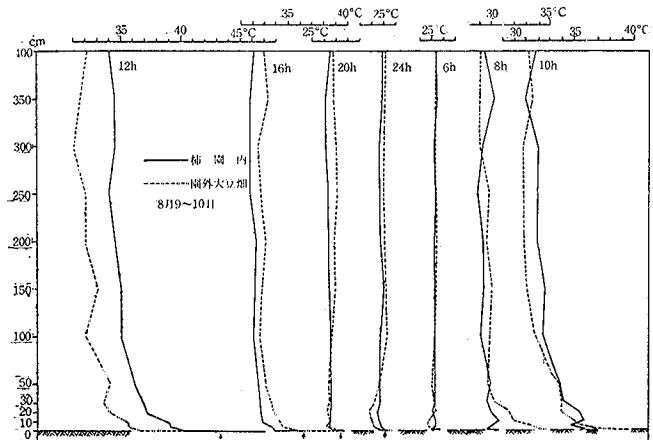
南西斜面上腹部の柿園と、隣接大豆畑において、地表及び地上1, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 cm の各高さの温度を熱電対温度計を用いて昭和24年7月13~14日, 8月9~10日の快晴日に2時間置に観測した結果から8月の状態を示すと第45図のようである。

午前6時にはまだ太陽の直射をうけないので、園の内外はほぼ同温でともに上下の温度差は殆んどなく、8時になると、園外表面は太陽の直射をうけて受熱型の分布に変ってくるが、園内は未だ地表面への入射少なく、園外より低温で且つ上下の温度差も少ない。ついで太陽が次第に高くなると10時のように園内10cm 以上の気温は園外より高くなり、正午頃になると園内外とも上下高の純然たる受熱型を呈し、且つ園内は地表面において4°C、気温もまた3°C 内外園外より高くなっている。午後になると太陽の高度、枝葉の状態等によって複雑ではあるが次第に園内は園外より低温となって16時のような分布型になり、受熱型も衰え、太陽が没すると放熱はとみに旺盛となって、最低温度の出現する頃には園内外の温度はほぼ等しくなつて来て、何れも上下の温度差が少く純然たる放熱型は現われない。そして最低温度は地表面ではなく、地上5~10cm のところで現われている。

秋季 日平均温度並びに日較差を示した第20表によると、日平均



第44図 8月における接地気温、地面温度の日変化

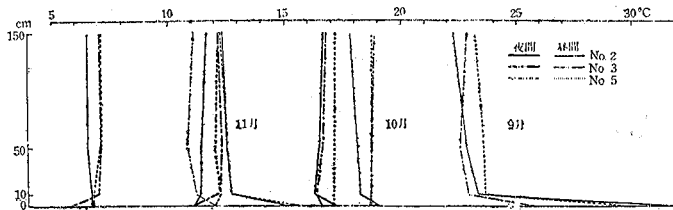


第45図 接地気温の垂直分布

第20表 日平均温度並びに日較差 (°C)

| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 9月27~28日 | 150cm | 19.4 | 10.1 | 19.5 | 10.0 | 19.9 | 10.9 | 19.7 | 12.3 | 20.3 | 10.2 | 20.0 | 10.5 |
| | 50 | 19.7 | 11.0 | 19.7 | 11.9 | 19.6 | 11.3 | 19.7 | 12.0 | 20.4 | 11.2 | 20.1 | 11.0 |
| | 10 | 19.8 | 12.5 | 19.9 | 12.5 | 19.7 | 12.6 | 20.0 | 11.9 | 20.4 | 11.6 | 20.2 | 11.2 |
| | 0 | 22.5 | 18.9 | 24.4 | 26.4 | 21.2 | 19.2 | 20.8 | 17.0 | 23.4 | 26.2 | 21.6 | 14.6 |
| 10月28~29日 | 150 | 14.5 | 10.8 | 14.8 | 9.9 | 15.6 | 10.0 | 15.2 | 9.2 | 15.5 | 11.5 | 15.3 | 11.1 |
| | 50 | 14.4 | 11.5 | 14.9 | 11.0 | 15.6 | 9.9 | 15.2 | 10.4 | 15.5 | 11.7 | 15.2 | 11.5 |
| | 10 | 14.6 | 12.0 | 14.9 | 11.8 | 15.6 | 10.2 | 15.1 | 12.1 | 15.6 | 12.3 | 15.0 | 11.4 |
| | 0 | 15.3 | 13.1 | 15.2 | 13.9 | 15.0 | 12.7 | 14.8 | 14.4 | 15.4 | 12.5 | 15.0 | 13.5 |
| 11月25~26日 | 150 | 9.4 | 8.9 | 9.5 | 9.7 | 9.1 | 6.5 | 9.0 | 7.6 | 9.7 | 9.0 | 9.5 | 8.9 |
| | 50 | 9.5 | 10.0 | 9.6 | 10.0 | 9.2 | 6.6 | 9.1 | 7.8 | 9.9 | 9.2 | 9.4 | 8.9 |
| | 10 | 9.9 | 11.1 | 9.8 | 10.2 | 9.2 | 6.6 | 9.3 | 9.3 | 9.9 | 10.0 | 9.3 | 8.8 |
| | 0 | 11.8 | 15.0 | 11.0 | 13.9 | 9.1 | 12.0 | 10.1 | 14.0 | 11.3 | 15.4 | 9.8 | 14.2 |

温度は9月においては地表面に局部的差異が顕著で、南西斜面は北東斜面より何れも4~6°C高温である。また南西斜面では畑地が柿園より高温で、例えば No.2 は No.3, No.5 より夫々3.2°C, 1.0°C, No.5 は No.3 より



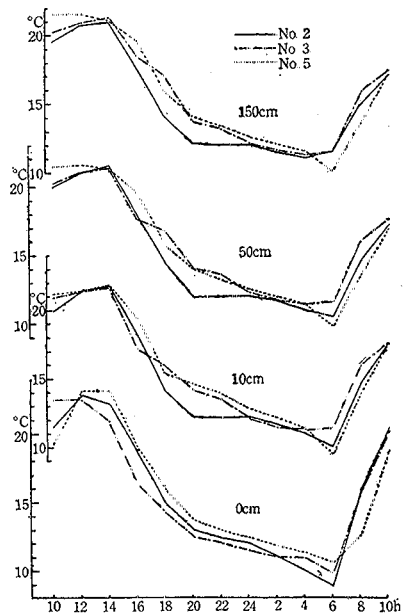
第46図 昼夜別平均における接地気温の垂直分布

2.2°C 高い。気温は南西斜面の柿園が最も高く、北東斜面は何れも低温である。また10月以後は全般に降温し、局部的差異も小さく、10月には No.3, 4並びに No.5, 6において、11月には No.3 において温度は地表面が最も低く放熱型に変ってくる。

温度日較差は何れの月も地表面に最大で、局部性も顕著である。昼夜別平均温度の垂直分布は第46図のように、昼間9月に受熱型が顕著で局部的差異も地表面に大きく、No.3 は No.2, No.5 より夫々6.8°C, 3.8°C 低い。また地上 50cm 以下において、No.3 はNo.2, No.5 より低温を示している。

10月には好天候に恵まれなかったが、10、11月と寒候期に向うに従って、受熱型は次第に微弱になり、11月になると全般的に降温して、昼間温度もほぼ10月の夜間温度に近くなっているが、局部性は相当顕著で No.3 は No.2, No.5 より低温で、地上 50cm においてともに 1.7°C, 地表では夫々3.0, 3.7°C 低い。

夜間の分布は9月には略等温状で、接地気温は地



第47図 10月における接地気温、地面温度の日変化

表面温度より低く、純然たる放熱型を示さない。しかし2時間置の観測結果では No.3 及び No.5 において夫々2～6時、6～8時頃に、また10月及び No.2 以外の11月には純然たる放熱型を示し、11月の No.2 においても2～4時頃には放熱型を示している。

以上のように秋季の夜間における温度垂直分布は、北東斜面は9月頃より、南西斜面は10月頃より、寒候期に向うに従って放熱型は次第に強く現われてきており、昼間は何れも受熱型を示すも、果樹園内では一部放熱型を示す時がある。10月における温度日変化の詳細は第47図のようである。

第21表 日平均温度並びに日較差 (°C)

| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|-----------|-------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 12月18～19日 | 150cm | 9.0 | 5.6 | 9.0 | 6.0 | 8.5 | 5.8 | 9.1 | 9.1 | 8.7 | 5.6 | 8.6 | 6.3 |
| | 50 | 9.0 | 6.3 | 8.9 | 5.8 | 8.5 | 6.0 | 9.1 | 9.0 | 8.8 | 6.4 | 8.6 | 6.5 |
| | 10 | 8.1 | 6.5 | 8.9 | 6.4 | 8.5 | 6.0 | 9.2 | 9.3 | 8.8 | 6.5 | 8.7 | 8.0 |
| | 0 | 8.5 | 9.1 | 8.4 | 10.3 | 8.0 | 7.3 | 7.5 | 7.0 | 8.3 | 10.6 | 7.8 | 7.1 |
| 1月20～21日 | 150 | 4.8 | 3.9 | 5.6 | 2.9 | 5.3 | 2.5 | 5.4 | 2.9 | 5.6 | 2.9 | 5.6 | 4.5 |
| | 50 | 5.5 | 3.4 | 5.6 | 2.5 | 5.4 | 2.5 | 5.5 | 3.0 | 5.8 | 3.3 | 5.2 | 2.5 |
| | 10 | 5.5 | 3.5 | 5.8 | 3.0 | 5.4 | 2.5 | 5.4 | 4.0 | 5.8 | 3.0 | 5.7 | 3.0 |
| | 0 | 5.5 | 7.9 | 5.1 | 7.5 | 5.0 | 6.8 | 3.4 | 5.5 | 4.9 | 7.5 | 5.4 | 7.5 |
| 2月25～26日 | 150 | 7.9 | 4.0 | 7.8 | 2.9 | 7.5 | 2.5 | 8.3 | 3.0 | 7.6 | 3.0 | 6.8 | 3.8 |
| | 50 | 7.9 | 4.0 | 7.9 | 3.7 | 7.4 | 2.5 | 7.6 | 3.3 | 7.6 | 3.0 | 6.7 | 3.8 |
| | 10 | 8.0 | 4.5 | 7.9 | 4.0 | 7.5 | 3.1 | 7.8 | 5.0 | 7.7 | 3.5 | 7.5 | 4.0 |
| | 0 | 8.4 | 6.1 | 8.2 | 5.6 | 7.6 | 5.9 | 8.3 | 6.3 | 8.1 | 6.2 | 8.0 | 6.7 |

冬季 冬季における接地気温、地面温度の昼夜別平均及び日較差を示したのが第21表である。

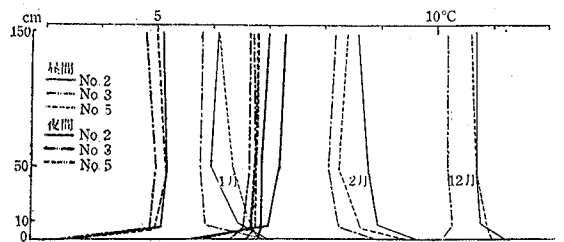
日平均温度は各園ともに1月が最も低く、12、1月には地面温度が気温より低く放熱型を示し、2月になると各園とも次第に受熱型に変わって来る。何れのも各園相互の温度差は僅かであるが No.3 は南西斜面の各園より低温である。温度日較差は各園とも地表面に大きく、地上に高くなるにつれて減少しているが、全般的に小さく、また局部的差異も小さい。そして北東斜面の日較差は南西斜面の各園より何れも小さい。

次に昼夜別平均温度の垂直分布は第48図のように昼間は各月とも微弱ながら受熱型を、夜間は例外なく放熱型を示している。これは最低温度の現われている1月に顕著である。また各園間の温度差は昼間に大きいが何れも 1°C 程度であり No.3 は昼夜間とも No.2, No.5 より低温である。1月における温度日変化の詳細は第49図のようである。

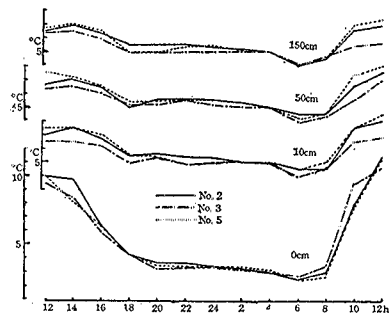
(2) 棚作りの園

傾斜地開墾後10年以上経過した成園において、棚作り葡萄園に利用されている場合の例について述べる。

標高 50m, 傾斜角度 12° の北面葡萄園の内外において、アスマン通風乾湿計と熱電対温度計を用いて、昭和24



第48図 昼夜別平均における接地気温の垂直分布



第49図 1月における接地気温、地面温度の日変化

年8月6～7日の快晴日に2時間置の観測を行った。いまその結果から、アスマン通風乾湿計にて観測した日平均温度と日較差を示すと第22表のようである。葡萄園は約10年生の「キャンベルスアーリー」が高さ150cmに棚仕立栽培され、枝葉は棚全面を覆って、僅かに日光を通すに過ぎない状態である。

日平均温度は地上150cmまでは園内が園外より低く、それ以上の高さになると反対に園内が高温になっているが、接地気温における園内外の差異は僅かである。園外は地表面が最も高温で32.6°Cを示し、地上へ高さと共に降温して受熱型の温度分布を示している。園内は10cm附近と棚高附近に高い傾向にあるが接地気温は何れも地面温度より高温である。地面温度は園外より5.9°C低く26.7°Cを示している。

温度日較差は園外では地面に最も大きく23.4°Cを示し、地上に高さと共に急減している。園内では棚の上方面においては園外より大きい、棚面以下では何れも園外より小さく、地面ではその差16.4°Cに達している。そして園内は地面に近づくにつれて較差は次第に減少する。

次に接地気温・地面温度の昼夜別平均における垂直分布は第50図のようで昼間園外は地面が最も高温で受熱型を示し、園内は棚の附近が高温で地上1m附近に稍低く、地面附近に再び高くなっている。また棚附近の150cm以上では園外より高温で地上1m以下は園外より低温を示し地表面は10.9°C低い。

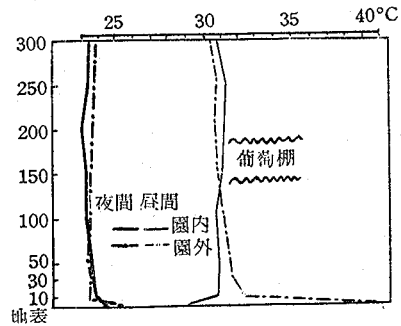
夜間においては接地気温は園内外ともに上下の温度差が少なく、ともに地面温度より低く、園内ではくの字型で棚面の樹冠表面附近の温度が最も低く、そこが夜間における主たる放熱面であることを示している。

次に園内における接地気温、植物体温の日変化並びに垂直分布の特性を詳細に検出するため、熱電付温度計にて測定した結果を示した第51図についてみると、早朝6時には上下の温度差は殆んどなく、接地気温は地面温度より低い。棚面に日射をうけ始めると、8時以後にみるように次第に昇温し、特に棚面樹冠附近の温度が最も高く(約2°C)なり、そこが主たる受熱面であることを示している。そして棚面より上下に向かって降温しているが、棚下においては、地面附近に少し昇温して第2の最高が現われている。しかしこれは樹冠附近の最高よりは低い。また地面温度は気温より低い。これらは園内における昼間の受熱型とみる事が出来、その代表的な型は14時によく現われている。

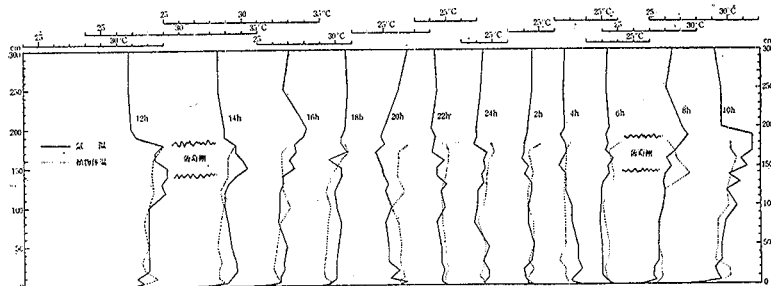
午後太陽が低くなると、受熱は次第に衰え、気温の分布に上下の差が少なくなり、ついで夜間になると、気温は

第22表 日平均温度並びに日較差(°C)

| 高さ (cm) | 園内 | | 園外 | |
|------------|------|------|------|------|
| | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 300 | 27.2 | 11.3 | 27.2 | 9.9 |
| 250 | 27.4 | 10.9 | 27.3 | 10.5 |
| 200 | 27.1 | 10.8 | 27.2 | 11.3 |
| 150 | 27.3 | 10.8 | 27.2 | 11.6 |
| 100 | 27.1 | 10.3 | 27.3 | 11.7 |
| 50 | 27.3 | 10.6 | 27.5 | 11.9 |
| 30 | 27.4 | 10.5 | 27.6 | 12.0 |
| 10 | 27.4 | 10.0 | 27.9 | 13.5 |
| 0 | 26.7 | 7.0 | 32.6 | 23.4 |



第50図 昼夜別平均温度の垂直分布



第51図 園内における接地気温、地面温度並びに樹幹表面温度の垂直分布

樹冠附近に最も低くなってくの字型の20時にみるような分布になり、そこより上・下に昇温して、この面が主たる放熱面であることを示す。

更に時間の経過につれて、温度は次第に低下し、垂直分布にも上下の温度差が少なくなるが、22~24時頃樹冠附近に少しの昇温がみられる外は、ほぼ等温状であるが、いつも樹冠附近に温度は低い傾向にある。且つ気温は地面温度より低い。これらは園内における夜間の放熱型とみる事が出来、その代表的な型は20時によく現われている。

(3) 立木作り並びに棚作り園における温度日変化の特性

以上の(1)、(2)において傾斜地が立木作りと棚作り園に利用されている場合について、夫々観測結果によって温度日変化の実状を明かにしたのであるが、次にそれらを一括して温度日変化の特性を考察する。

接地気温、地面温度等の日変化の根源は日射にあることは勿論であるが、気温は日射の直接の影響ではなくして、地表面を通じて関係するので、地表の状態によって両者の関係は複雑である。そしてその温度関係は地表に植物が繁茂している場合には、植物の株間の大小や、枝葉の繁茂の程度等によって違い、またこれらの違いは日射が強い程、換言すれば、晴天で雲のない程、照射角度が大きい程、日照の時間が長い程大きいのである。そしてまた地面が傾斜している場合にはその方向や、角度の違いによってそれらの関係は一層複雑になる^(52~56)。

(i) 立木作りの園

立木作りの果樹園等においては、樹冠表面に凹凸の差が極めて大きく、従って樹冠層の厚さが極めて大で、樹冠表面層の熱授受に関する作用は裸地におけるより極めて弱く、樹冠面の温度不安定の現象は少ないのである。殊に最近には深耕疎植の栽培法がとられて来て、樹木の間隔が比較的疎で、園内地表面には比較的良好に太陽光線が入射し、地表面の熱授受に関する作用はかなり強くなっている。これらについては昭和24年の夏柿園内での観測結果がその状態をよく示している。

即ち第45図に示したように日出後暫くすると園外地表面は太陽の直射をうけて次第に昇温し、8時のような受熱型になるが、園内は照射角度の関係で日射の侵入は未だ少なく、また蒸散作用などによって昇温が妨げられ、園外畑地より低温で、且つ等温状の垂直分布を示す。太陽が高くなるにつれて園内地表面へもよく入射し、また園内は葉、幹、小枝等が直接日射を吸収すること等によって園内の空気へ直接熱を与え、また空気の交換も少ないと考えられるので、地表面でうけた熱の保持が良好で昇温率は大きく、園外より3°C内外も高温となり12時の様な分布型になる。

太陽が低くなると遂に放熱は受熱に勝り温度は次第に低下し、地表面の熱交換作用も弱くなり、太陽が没すると受熱はなくなり、放熱は益々旺盛になり、枝葉の冷却も盛に行われて、昼間と逆の作用を呈して、園内が園外よりかえって低温となり、また上下の温度差も少なくなる。そして最低温度の現われる頃になると、園の内外に温度の差はなくなって6時にみるような分布状態になる。また夜間には純然たる放熱型を示さず最低温度は地表面より少し上った地上5~10cm附近に現われているが、この現象については後で改めて考察する。

冬季においては柿園は落葉のため、接地気温、地面温度ともに裸地のような状態を示し、園内外の差は小さい。

次に傾斜面は夜間冷却した空気が斜面に沿って下降し、それを補うため暖気が上からきて入れかわるから斜面は夜間に暖かく、また昼間には反対の現象を呈すると云われているが⁽⁵⁷⁾、棒状温度計を竹筒の中に挿入して、昭和23年9月に観測した例では⁽⁵⁸⁾、その傾向が顕著に現われたのであったが、アスマン通風乾湿計を用いて観測した只今の場合には、通風による気層の攪乱その他の複雑な原因によってか、明確には観測されなかった。またそれは実験地の斜面が小さかったことにも原因があるものと思われる。

(ii) 棚作りの園

北斜面の棚仕立葡萄園における接地気温、地面温度の日変化は第51図に示した如く、昼間太陽熱を最もよくうけるのは、棚面の樹冠表面で、その附近に温度は最も高い。即ち棚面の樹冠表面が裸地における地表面の働をしていることがわかる。樹冠面を出て高くなるにつれて、次第に降温し一般大気中の気温減滅率に近づく。また棚下においては棚の直下方に低温部が現われているが、地表面或はその附近で再び昇温して、第二の最高が現われるが、樹冠附近の最高よりは低い。

夜間は樹冠表面附近に盛に放熱が行われて、先づその附近に冷却が始まり、その結果その温度が最も低くなり、樹冠表面より上下に向って気温は逆昇して、くの字型の20時にみるような標準的な放熱型の温度分布になる。つい

で冷却が進んでくると、樹冠附近で冷えて重くなった空気は、内部へ枝葉の繁茂状態に応じて徐々に沈降して地表面まで達するものと思われ、つまり冷気は園内各部にゆきわたり、気温の分布状態には上下の温度差がなくなり最低温度の現われる4時頃にみられるような、ほぼ等温状の垂直分布になる。また日没後冷却が或る程度すすみ、樹冠層の気温が露点以下になってくると、枝葉に露が生じ、その際生じる潜熱の関係で、樹冠層の冷却が弱められて24時のような分布型になったものと考えられる。

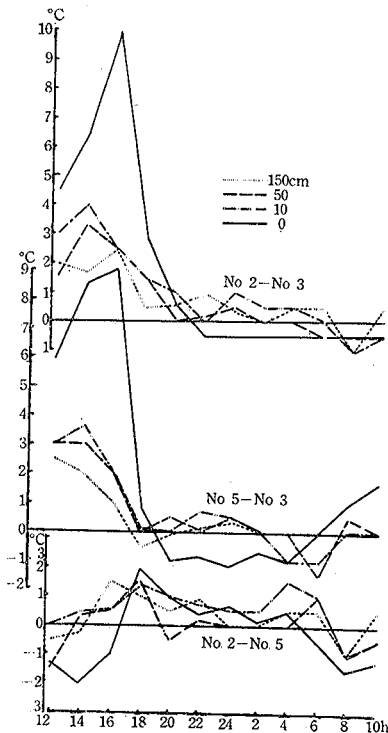
かかる日変化を夏の晴天日には繰返すものと考えられるが、その程度及び状態は勿論棚の高さや、枝葉繁茂の程度並びに棚面の傾斜方位や角度等によって変わってくるものと思われる^(59,60)。また以上のような棚面附近における顕著な昼夜の温度分布の特性は、果実の生理作用その他に重要な意味をもつものと思われる⁽⁶¹⁾。

第3節 温度差

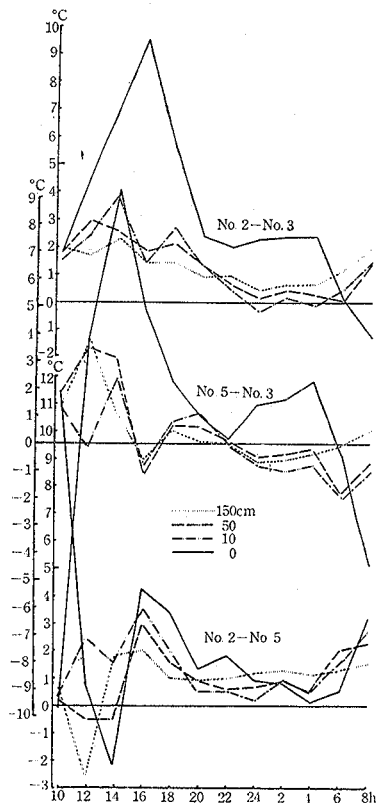
前節においては傾斜地開墾後15年以上経過した成園における各園の接地気温、地面温度日変化の特性について述べたのであるが、本節では傾斜の方位、植物被覆の有無等が接地気温、地面温度の分布に及ぼす影響を詳細に比較考察する。それが為めには各季節において No.2, No.3 及び No.5 の内夫々2ヶ所宛観測値の差をとって温度差の日変化をみる。

春季 3月について各園における接地気温、地面温度の2ヶ所宛の差をとって描いたのが第52図である。温度差の正值は No.2—No.3, No.2—No.5 では No.2 が、No.5—No.3 では No.5 が高温であることを表す。

3月には No.2—No.3 の結果では、接地気温は殆んど全日、地面温度は夜半頃まで No.2 が高く、両地点間の差異は地表面に最大で、地上に高くなるに従って急減していることがよくわかる。その温度差は昼間に顕著で、特に接地気温は14時、地面温度は16時に最大で、夜間は何れも小さい。No.5—No.3 は No.2—No.3 の場合とほぼ同様な変化を示しており、No.2—No.5 では接地気温、地面温度ともに差異は小さいが、No.5 は昼間において No.2 より高温である。



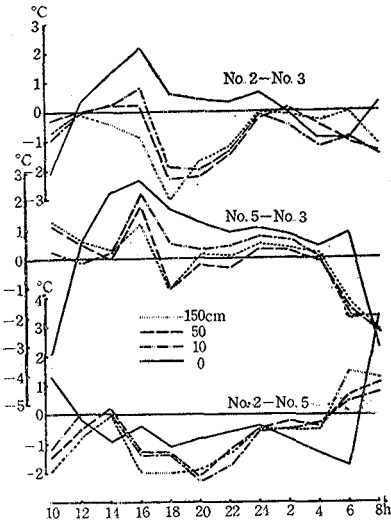
第52図 3月における温度差



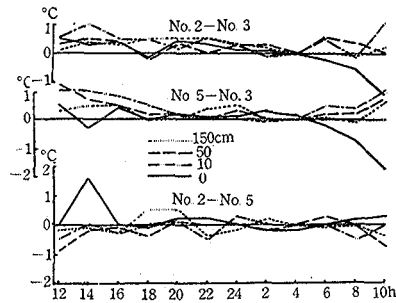
第53図 8月における温度差

夏季 年間の最高温度を出現する8月についてみると第53図のように No.2—No.3 は接地気温、地面温度ともに、殆んど全日 No.2 が No.3 より高温で、両者の差異は昼間に大きいと共に地表面において顕著である。No.5—No.3 は接地気温は夜半頃まで、地面温度は正午から夜間にかけて No.5 が No.3 より高温であるが、特に地表面において顕著である。また No.2—No.5 では、接地気温、地面温度ともに、No.2 が No.5 より殆んど全日高く、それらの差異は夜間には小さく、昼間に大きい、No.5 は植物被覆の関係で、それらの差異の時間的変化は複雑である。

秋季 第54図について10月における状態をみると、No.2—No.3 は接地気温において殆んど1日中 No.3 が高く、その差は18～22時頃に大きい。地面温度は午前中は No.3 が高くなっている。No.5—No.3 は接地気温は No.5 が高いが、早朝6～8時頃には No.3 が高くまた、地面温度も8～10時頃 No.3 が高温を示しているが、これらは No.3 が北東斜面にある関係で早朝の太陽放射に恵まれるからであろう。



第54図 10月における温度差



第55図 1月における温度差

No.2—No.5 では接地気温が6～8時頃 No.2 に高いが、それ以外の時刻には常に No.2 は No.5 より低温で、その差は20時頃に大きい。即ちこれは No.2 は畑地であって、放熱の顕著なことを示している。また地面温度は8～10時頃に No.2 が高温で、それ以外の時刻には No.5 が高温を示している。

冬季 年間の最低温度を示した1月についてみると、第55図のように全般的に温度差は小さく、1°C 以下であるが、No.2—No.3 では接地気温が No.2 に高く、地面温度も早朝以外は No.2 が高温で、6時～10時頃には No.3 が高温である。No.5—No.3 も No.2—No.3 と同様な変化を示している。No.2—No.5 では落葉によって、畑地との温度差は殆んどなく14時頃に No.2 の地面が約 1.5°C 高温を示している。

第4節 葉温と植物体温

傾斜地開墾後の成園における微気象分布の様相は、園の方位や傾角の如何によって異なるのは勿論であるが、地表における植生の有無や繁茂の程度により複雑に変ってくることは前述の通りである。そしてこの接地気層においては、植物体が日中は太陽輻射をうけて体温を上昇させ、植物体からの輻射や *austauch* 等によって、周囲の気温を高め、また園内では枝葉の繁茂による拡散係数の減少等が手伝って、日中の温度垂直分布は最繁部の樹冠附近に最高温度が現われる。夜間は植物体表面からの輻射放令によって、体温が低下し、次第に周囲の気温を降下させるのでやはり最繁部の樹冠附近に最低温度が現われる。しかし冷気塊は次第に沈降するので、枝葉繁茂の程度によって異なるが、夜間の最低は日中の最高程顕著には現われない。

斯くの如く園内の気温分布は植物体温に影響するところが大きいのでこの観測も併せて行い、分布の様相をかなり明かにすることが出来た。従来植物体温についての観測研究は主として物質代謝の問題に関連して植物生理学の面から行われていたようであり園芸作物等についても富樫氏、HARVEY MIX 氏らの研究がある⁽⁶²⁻⁶⁷⁾。

筆者は南西斜面柿園の No.5 及び No.6 において、柿樹幹の地上 1 m における表面及び皮下部の温度を北東と

南西側について、昭和24年5月21~22日の快晴日に熱電対温度計を用いて2時間置に観測した結果の一例は第23表のようである。

第23表 柿樹温、葉温の日変化(°C)

| 時 | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| No.5 | 気 温 | 22.8 | 24.3 | 24.4 | 23.3 | 20.7 | 18.6 | 17.2 | 16.3 | 15.4 | 15.1 | 15.3 | 23.0 | |
| | 幹表面 | 北東側 | 28.9 | 24.9 | 25.3 | 24.6 | 21.4 | 19.0 | 17.3 | 16.0 | 15.3 | 14.7 | 15.5 | 23.0 |
| | | 南西側 | 25.4 | 25.4 | 24.1 | 23.3 | 22.1 | 21.1 | 17.6 | 16.7 | 15.5 | 15.4 | 15.3 | 20.4 |
| | 幹皮下 | 北東側 | 30.4 | 26.7 | 26.3 | 25.8 | 23.4 | 19.6 | 17.3 | 16.2 | 15.3 | 14.7 | 15.5 | 24.1 |
| | | 南西側 | 24.8 | 24.9 | 25.4 | 25.6 | 23.4 | 21.6 | 17.6 | 16.5 | 17.3 | 15.7 | 15.3 | 20.4 |
| | 葉表面 | 25.9 | 25.7 | 24.7 | 24.6 | 20.8 | 18.6 | 17.1 | 16.4 | 15.3 | 14.9 | 15.3 | 19.5 | |
| 葉裏面 | 23.7 | 25.2 | 24.1 | 24.1 | 20.7 | 19.1 | 17.3 | 16.8 | 15.2 | 15.1 | 15.3 | 19.7 | | |
| No.6 | 気 温 | 21.6 | 22.9 | 24.1 | 22.6 | 21.2 | 18.6 | 17.2 | 16.0 | 15.5 | 14.8 | 15.0 | 19.5 | |
| | 幹表面 | 北東側 | 25.4 | 25.8 | 25.3 | 23.8 | 22.4 | 18.9 | 17.3 | 16.2 | 15.7 | 14.8 | 14.8 | 21.2 |
| | | 南西側 | 21.6 | 22.2 | 25.6 | 23.8 | 22.9 | 19.7 | 18.1 | 16.2 | 15.5 | 14.8 | 14.9 | 19.3 |
| | 幹皮下 | 北東側 | 29.0 | 28.9 | 26.1 | 24.6 | 24.2 | 19.4 | 17.6 | 16.2 | 15.5 | 14.8 | 14.8 | 23.0 |
| | | 南西側 | 23.4 | 24.8 | 26.1 | 24.6 | 23.7 | 20.1 | 17.8 | 16.3 | 15.4 | 14.8 | 14.9 | 19.5 |
| | 葉表面 | 24.6 | 27.6 | 26.9 | 23.0 | 20.8 | 18.7 | 16.7 | 15.9 | 15.0 | 14.8 | 14.9 | 22.0 | |
| 葉裏面 | 23.8 | 27.1 | 26.1 | 23.0 | 21.1 | 18.9 | 17.0 | 16.4 | 15.1 | 14.9 | 15.0 | 20.4 | | |

第24表 蜜柑の樹幹表面温度の日変化(°C)

| 時 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 気 温 | 21.4 | 23.3 | 24.9 | 22.8 | 21.2 | 18.7 | 16.7 | 16.2 | 16.1 | 15.2 | 15.1 | 20.4 |
| 白 塗 幹 | 25.6 | 25.6 | 27.3 | 24.1 | 22.9 | 18.9 | 16.9 | 15.9 | 15.7 | 14.8 | 14.8 | 20.0 |
| 無 塗 布 幹 | 27.9 | 29.4 | 29.4 | 26.1 | 23.4 | 20.6 | 16.9 | 15.9 | 16.0 | 14.8 | 15.0 | 21.2 |

No.5 は昼間は樹幹表面及び皮下部とも北東側が南西側より夫々 1.2, 2.0°C 高く、夜間は反対に南西側が夫々 0.6, 1.0°C 高かった。また南西、北東両面とも昼間は皮下部が表面より夫々 0.6, 1.4°C 高い、これらは No.6 においてもほぼ同様である。

葉温は表裏ともに日中は気温より夫々平均 2.2, 1.6°C 高く、夜間は気温より僅かに低い、また表面は裏面より日中は平均 0.6°C 高く、夜間は 0.2°C 低かった。このような枝葉密度の比較的疎な園内の樹陰においては、植物体温は日中気温より高く、夜間は気温より低くなっている。特に午前10時頃北東側において約 6°C 気温より高いのは日射の影響と思われる。

また No.6 に近い場所の蜜柑に white wash を塗布せるものと、しなかったものについて、地上 1m の幹表面温度を5月20~21日に測定した結果は第24表で何れも気温と平行的な変化をしているが、白塗幹は昼間は平均 1.9°C、夜間も 0.3°C 無白塗幹より低く、これを気温に比べると昼間は夫々 1.8, 3.7°C 気温より高く、夜間は両者とも気温より僅かに低かった。これら両者の差異は、黒色物体は日中熱線を速かに吸収し、昇温が顕著で、夜間は逆に熱を放散させる速度も早いので、冷却も顕著であるが、いまの場合夜間の温度差が僅かで、且つ無白塗幹が高温の傾向さえ認められるのは、樹幹の熱伝導度、植物の生理作用等にも影響しているものと思われる。

葡萄の樹幹温度を昭和24年の夏測定した結果は第51図に示した通りで、この場合は棚作りであるので太陽の直射

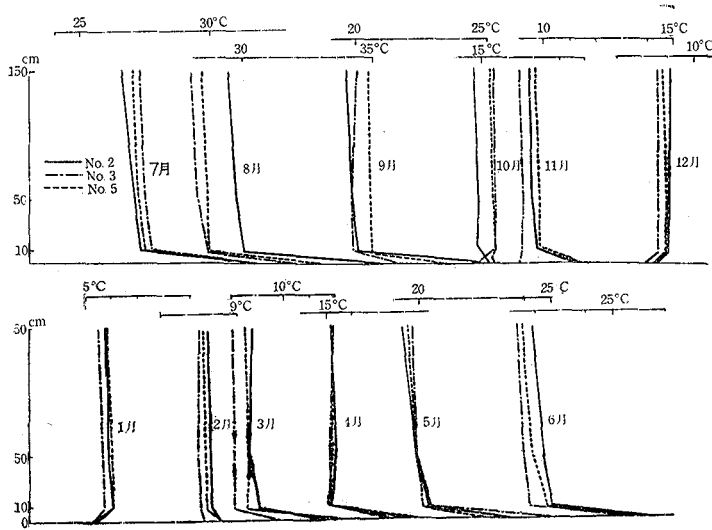
第25表 葉温の日変化(°C)

| 時 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 気 温 | 32.8 | 33.6 | 33.3 | 30.3 | 25.0 | 24.2 | 23.8 | 24.0 | 22.6 | 23.3 | 29.0 | 31.5 | 31.5 |
| 葉 表 面 | 35.4 | 35.3 | 35.1 | 28.0 | 24.5 | 24.4 | 23.4 | 23.7 | 23.5 | 24.1 | 30.3 | 33.0 | 35.3 |
| 葉 裏 面 | 35.2 | 33.2 | 32.4 | 28.8 | 24.7 | 25.1 | 23.8 | 25.5 | 23.0 | 23.8 | 29.8 | 31.0 | 33.9 |

は殆んど受けておらず、また北斜面であること等によって、直射による昇温はみられず、気温の分布とよく似ている。しかし昼間は何れも気温より低く、夜間は高い傾向にあって、気温の昇降におくれて昇降し、体温は気温に支配されていることを示している。また同園内の樹冠層における葉温の日変化は第25表のようで日中は気温より高く、夜間は気温より低い。そして葉の表面は裏面より日中は高く、夜間は低温となって、輻射の出入は表面が裏面よりも大きいことを示している。

第5節 接地気温と地面温度の季節変化

No.2, No.3 及び No.5 における各月の日平均温度の垂直分布を示すと第56図のようで、これについて考察する。



第56図 各月における接地気温の垂直分布

春季においては3月は太陽高度がまだ低く、従って全般的に温度は低い。特に夜間は非常に冷たいのに、日中は傾斜面への最大照射角度が南西斜面には $66^{\circ}36'$ でかなり大きく、北東斜面では $43^{\circ}25'$ で小さい、また日照時間等の関係で南北両斜面のうける受熱量に大差が現われ、その結果昼間は勿論(第41図)、日平均においても局部的差異を顕著にするものと考えられる。

4、5月と月がすすむにつれて、各斜面のうける日射量は次第に増加し、また南北両斜面の受熱量に差が少なくなり、従って温度差も小さくなり、5月にみるように各斜面における接地気温並びに地面温度は日射の配布状態とほぼ一致してくるものと思われる。また3、4月には南西斜面にある No.2 と No.5 に温度差は認められないが、5月に No.5 の地上 10cm 以下が No.2 より低温となっているのは、柿園の新葉が地表面への日射を遮ったためと考えられる。とに角春季においては、受熱が放熱に勝って地中に熱量の蓄積が行われて地温並びに気温が上昇する。垂直分布は何れも受熱型で月がすすむにつれて顕著になる。

6月には日射量は最大になり、7月になるとやや減少するが、南西、北東両斜面における差が少なく、また北東斜面への照射時間も長いので、6月には5月とともに南西斜面より受熱量は多く、また枝葉の状態、照射角度等の関係で特に南北両斜面における地表面の温度差が減少するものと思われる。なおこの頃は受熱期で気温、地面温度ともに上昇を続けているが、8月には日射量は減少して4月とほぼ同量になり、日照時間も短くなるので遂に受熱と放熱が相等しくなって、気温、地面温度ともに年間の最高が現われ、局部性も顕著に現われている。

秋季になると更に受熱量は減少してくるので、9月には既に放熱が受熱に勝るようになり、温度は次第に低下してくる。それ故9月以後になると、斜面の方向による日射の配布状態が、そこの温度関係を大きく左右して北東斜面は何れも低温を示し、且つ9月にみるように早く放熱型に変ってくる。南西斜面においては北東斜面より遅れて9月には移行型と云えよう。

冬季になると、日射量は12月に最小で、1月には次第に増加してくるが、日照時間は未だ短かく、何れも放熱状態にあって低温である。以後日射量は更に増加し、日照時間も長くなって、受熱が放熱に勝るようになって2月に

みるように、微弱ではあるが受熱型に変わってくる。

なお分布型について今少し詳細に考察すると、春夏の暖候期には、各園とも、日平均温度の垂直分布は受熱型を示しており、また昼間は殆んど例外なく受熱型を現わすが、果樹園内では枝葉の繁茂状態にもよるが一部放熱型乃至それに近い分布型を示す場合がみられる。夜間には3、4月頃は純然たる放熱型を示すが、5月になると地上部の垂直分布は立って高さによる差異が少なく、且つ気温は地面温度より低く従って最低温度は地表面でなく地上10 cm 附近にあるようで、夏季における柿園内外での精密観測では最低温度は地上5~10cm にあった。

しかし夜間には GEIGER 氏の提唱したような放熱型は現われなく、その現象は6月以後の暖候期になると一層顕著になり、標準的な放熱型の分布を示すことは稀になる。かかる現象は高緯度地方の北欧では観測されないと GEIGER 氏は述べているが、RAMDAS氏及びAIMANATHAN 氏⁽⁶⁸⁾は印度のような熱帯地方では夜間の最低温度は多くの場合地表面ではなく、上方幾らか離れたところにあることを報告しており、また坪井氏^(69,60)、川原氏⁽⁶⁹⁾らの観測結果とも一致する。そして川原氏は無風晴夜の麦畑での観測で、これは地中よりの放熱で地面近くの気層が熱せられて不安定になるため convective austausch の結果だろうとしている。

秋冬の候になると、夜間は9月を除いて何れも放熱型の分布を示し、昼間は受熱型を示しているが、12月の北東斜面においては、正午前後を除いて地上部は放熱型乃至それに近い分布型を示す場合がある。また日平均温度についても12、1月の受熱量の少ない頃には地上部においては純然たる放熱型を示している。

第3章 開墾畑地と果樹園における湿度、水蒸気張力、蒸発並びに風⁽⁶⁹⁻⁷⁴⁾

第1節 研究方針と研究方法

傾斜地開墾後15年以上経過した成園における微気象分布の特性を検出するため、第2章、第1節に示した方針と方法にならって、第40図に示した各園において、温度以外の各要素も、昭和23年7月~25年8月まで温度の観測と併行して同時に測定を行った。

湿度と水蒸気張力は、地上 10, 50, 150 cm におけるアスマン通風乾湿計の2時間おき観測から求め、蒸発量は、平田式面蒸発計を用いて各々地表及び地上 50, 150 cm の高さについて2時間置に測定した。また各園における風速は、ピラム型微風計にて地上 150 cm のものを測定した。尙局部的差異の精密な検出のためには、観測高さ及び時間等を目的により変更した。

第2節 接地気層における湿度と水蒸気張力の日変化と季節変化

接地気層における湿度と水蒸気張力の2時間置の観測結果から各園における昼夜別平均と日平均をとって考察する。

春季 南西斜面畑地、柿園並びに北東斜面蜜柑園における4、5月の日平均湿度、水蒸気張力は第26表の様であり、昼夜別平均における垂直分布を示したのが第57図である。

第26表 日平均湿度(%)、並びに水蒸気張力(mm)

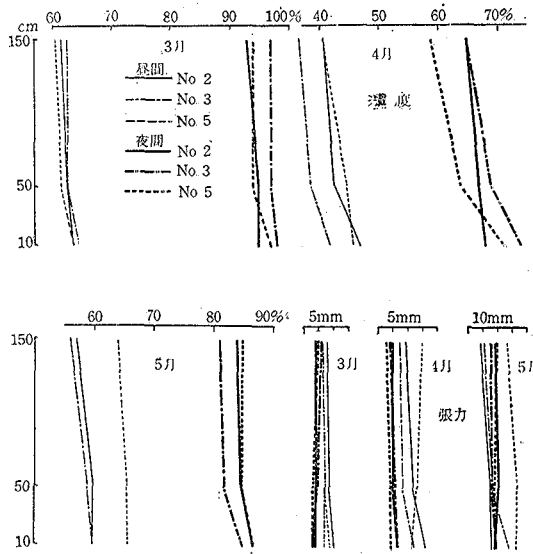
| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| | | 湿度 | 水蒸気張力 | 湿度 | 水蒸気張力 | 湿度 | 水蒸気張力 | 湿度 | 水蒸気張力 | 湿度 | 水蒸気張力 | 湿度 | 水蒸気張力 |
| 3月24~5日 | 150cm | 87 | 6.80 | 78 | 6.26 | 80 | 6.28 | 85 | 6.52 | 78 | 6.15 | 85 | 6.56 |
| | 50 | 86 | 6.87 | 79 | 6.49 | 82 | 6.40 | 84 | 6.52 | 78 | 6.23 | 84 | 6.72 |
| | 10 | 86 | 7.47 | 79 | 6.65 | 81 | 6.26 | 85 | 6.75 | 80 | 6.41 | 84 | 6.80 |
| 4月15~16日 | 150 | 63 | 7.37 | 53 | 6.45 | 51 | 6.19 | 64 | 7.90 | 52 | 6.81 | 62 | 7.27 |
| | 50 | 69 | 8.29 | 55 | 6.86 | 54 | 6.52 | 65 | 7.86 | 54 | 6.90 | 65 | 7.46 |
| | 10 | 76 | 8.75 | 57 | 7.44 | 58 | 7.09 | 71 | 8.47 | 57 | 6.81 | 69 | 8.06 |
| 5月29~30日 | 150 | 80 | 13.15 | 70 | 11.40 | 68 | 11.37 | 78 | 13.63 | 75 | 12.35 | 81 | 13.96 |
| | 50 | 81 | 14.11 | 72 | 11.97 | 71 | 11.79 | 82 | 14.01 | 75 | 12.76 | 82 | 13.96 |
| | 10 | 80 | 14.15 | 71 | 11.89 | 72 | 12.53 | 86 | 15.67 | 75 | 12.73 | 82 | 14.30 |

湿度は各月ともに上方に減少しており、夜間は昼間より大で、その差は顕著である。即ち各高さを通じての平均において No.2, No.3, No.5 は3月には夫々 31, 33, 33%, 4月は 23, 30, 21%, で5月には 12, 12, 10% となっており、湿度の昼夜間における差異は3月に最も大きい。また湿度は昼夜間とも春季には全般的に低下しており、特に4月に低く、地表近くにおいてさえ昼間は 50% 以下で、夜間も尙夫々 75% をこえない。

湿度の各園における局部的差異は複雑で整然としていないが、日平均においては各園相互の差異より傾斜面の上,下腹部間の差が大きく、何れの斜面においても、下腹部の湿度が高くなっている。

水蒸気張力についてみると、各園における昼夜間の差異は極めて小さいが、昼間に大きい傾向にある。また局部的差異も小さい。

夏季 湿度は、夜間は昼間より高く、且つ夜間における局部的差異は小で、昼夜間ともに高さによる湿度の変化は小さい。また昼夜間ともに南西斜面の No.5 が No.2 より高く、北東斜面の No.3 はその中間にあり



第57図 昼夜別平均の垂直分布

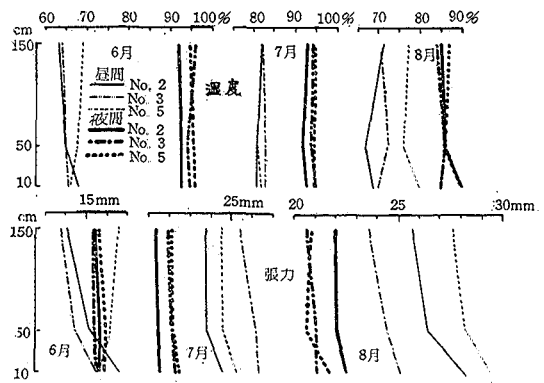
第27表 日平均湿度 (%), 並びに水蒸気張力 (mm)

| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| | | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 |
| 6月16~17日 | 150cm | 89 | 17.66 | 78 | 14.75 | 79 | 14.61 | 90 | 17.18 | 85 | 16.09 | 89 | 17.41 |
| | 50 | 98 | 18.62 | 79 | 15.46 | 80 | 15.00 | 91 | 17.51 | 89 | 16.05 | 89 | 17.31 |
| | 10 | 91 | 18.71 | 87 | 16.16 | 81 | 15.58 | 90 | 18.28 | 88 | 15.88 | 90 | 17.86 |
| 7月13~14日 | 150 | 87 | 22.71 | 88 | 22.59 | 88 | 23.73 | 90 | 25.49 | 88 | 23.30 | 85 | 21.89 |
| | 50 | 87 | 23.20 | 86 | 22.70 | 89 | 24.19 | 91 | 24.88 | 88 | 23.42 | 86 | 23.05 |
| | 10 | 87 | 23.64 | 88 | 23.15 | 89 | 24.41 | 94 | 24.79 | 88 | 23.88 | 86 | 23.27 |
| 8月9~10日 | 150 | 75 | 22.86 | 78 | 23.85 | 77 | 22.10 | 77 | 22.12 | 82 | 24.27 | 80 | 23.59 |
| | 50 | 75 | 23.04 | 77 | 24.30 | 79 | 22.82 | 81 | 23.30 | 81 | 24.50 | 80 | 23.91 |
| | 10 | 75 | 23.45 | 79 | 25.49 | 78 | 23.19 | 81 | 24.42 | 85 | 25.67 | 82 | 24.71 |

て、同じ向きの斜面では植木の大きな果樹園が畑地より高湿であることを示している。(第58図)

傾斜面の上腹部と下腹部の差異は6月には春季と同様何れの斜面も下腹部が上腹部より高湿で、7, 8月には何れも差異は少ないが北東斜面では下腹部が、南西斜面においては上腹部が高湿になっている(第27表)。

水蒸気張力は各園ともに地面に近づくに従って大となり、昼夜間の差異は明瞭で夜間は昼間より小さい。そして分布の様相は複雑であるが、昼間南西斜面においては湿度分布と同様に果樹園内が畑地より水蒸気張力は高く、夜間も 6, 7月においては同様な分布を示している。

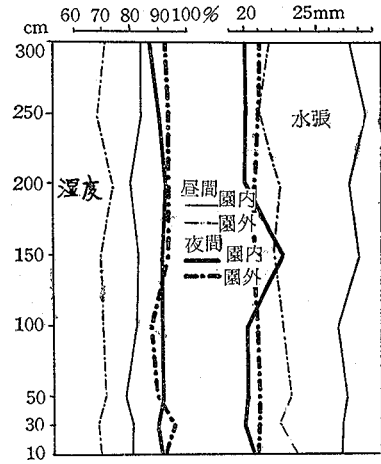


第58図 昼夜別平均の垂直分布

次に棚作りの北面傾斜葡萄園における8月の1例を第59図についてみると、湿度は園内外とも夜間は昼間より高く、園内では平均9%、園外は平均22%も高くなっている。且つ昼間園内は園外より約11%高く、夜間は地上50~100cm附近を除いて反対に園内が約3%低くなっている。

水蒸気張力は湿度と反対に、園内外何れも昼間は夜間より夫々約6.7, 1.4mm高く、また昼間園内は園外より約4.8mm高い、夜間は地上150cm附近を除いてかえって園内が低くなっている。

秋季湿度及び水蒸気張力について、昼間、夜間平均の垂直分布並びに日平均値を示した第60図、第28表につき秋季における分布の特性をみる。湿度の垂直分布状態は各月、各園において昼間は常に上方に減少しており、夜間もその傾向にある。そして何



第59図 昼夜別平均の垂直分布

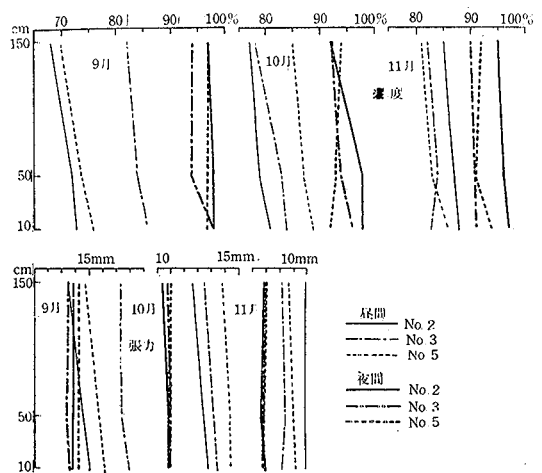
第28表 日平均湿度(%)，並びに水蒸気張力(mm)

| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| | | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 |
| 9月27~28日 | 150cm | 85 | 13.99 | 83 | 13.63 | 89 | 15.49 | 89 | 15.51 | 84 | 14.55 | 86 | 14.79 |
| | 50 | 84 | 14.07 | 85 | 14.25 | 89 | 15.51 | 90 | 15.56 | 85 | 15.10 | 85 | 14.76 |
| | 10 | 86 | 14.65 | 86 | 14.54 | 92 | 15.94 | 90 | 15.83 | 86 | 15.30 | 88 | 15.46 |
| 10月28~29日 | 150 | 88 | 10.86 | 84 | 10.57 | 85 | 11.18 | 87 | 11.28 | 89 | 11.95 | 92 | 12.35 |
| | 50 | 91 | 11.15 | 89 | 11.23 | 89 | 11.72 | 88 | 11.39 | 90 | 11.97 | 91 | 12.05 |
| | 10 | 89 | 11.07 | 89 | 11.43 | 90 | 11.73 | 89 | 11.69 | 90 | 12.20 | 92 | 11.98 |
| 11月25~26日 | 150 | 92 | 8.38 | 90 | 8.36 | 86 | 7.52 | 87 | 7.57 | 86 | 7.79 | 85 | 7.59 |
| | 50 | 93 | 8.59 | 91 | 8.33 | 87 | 7.71 | 87 | 7.64 | 87 | 7.95 | 85 | 7.47 |
| | 10 | 92 | 8.59 | 92 | 8.52 | 87 | 7.63 | 91 | 8.19 | 90 | 8.16 | 88 | 7.90 |

れも夜間は昼間より高湿である。また湿度の局部的差異は昼間に大きい、これは寒候期に向うに従って、昼夜間の差異と共に減少している。

9月においては局部性が最も顕著で、昼間北東斜面のNo.3が最高を示し、各高さの平均において84%で、南西斜面のNo.2は最低で、平均71%、両者の差は13%に達している。夜間は昼間と反対にNo.2が最も高く各高さの平均で98%、No.3は最低で平均95%を示している。また湿度の昼夜間の差はNo.2が最大で27%、No.3は最小で11%となっている。

10月になると局部性は弱くなり、No.2は昼間最低で夜間最高を示していることは9月と同様であるが、昼夜間の差は各高さの平均で17%に減少している。またNo.5では昼夜間の差異は小さく、平均において6%に過ぎない。11月には昼夜間の差異も、局部性も微弱であるが、No.2は昼夜間とも最高で、その差は平均9%を示している。また湿度の傾斜面



第60図 昼夜別平均の垂直分布

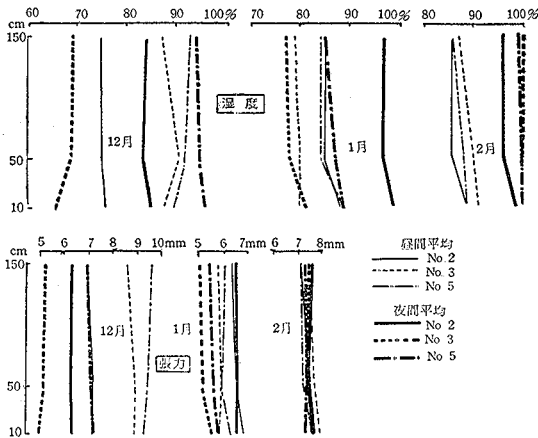
上腹部と下腹部との差異は複雑であるが、秋季には微弱で第28表のようである。

次に水蒸気張力は、各園とも昼間は上方に減少しており、局部性も明瞭であるが、夜間においては結露の関係か地表附近が地上 50 cm におけるより低いところもあり、局部的差異も小さく、上下の差も少ない。また水蒸気張力は夜間は昼間より何れも低い。

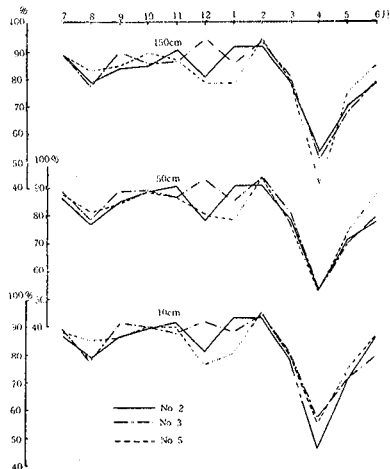
冬季 各園における湿度及び水蒸気張力の日平均並びに昼夜別平均を示したのが第61図、第29表である。

第29表 日均湿度(%)、並びに水蒸気張力(mm)

| | | No.1 | | No.2 | | No.3 | | No.4 | | No.5 | | No.6 | |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 | 湿度 | 張力 |
| 12月18~19日 | 150cm | 79 | 6.73 | 80 | 6.79 | 94 | 8.28 | 93 | 7.28 | 78 | 6.88 | 76 | 6.63 |
| | 50 | 81 | 6.89 | 79 | 6.82 | 94 | 8.30 | 95 | 8.38 | 80 | 7.06 | 79 | 6.88 |
| | 10 | 84 | 7.13 | 81 | 6.82 | 93 | 8.29 | 93 | 8.19 | 77 | 6.96 | 82 | 7.07 |
| 1月20~21日 | 150 | 88 | 6.18 | 93 | 6.37 | 85 | 5.75 | 86 | 5.77 | 78 | 5.40 | 79 | 5.37 |
| | 50 | 91 | 6.22 | 94 | 6.53 | 86 | 5.77 | 86 | 5.33 | 79 | 5.57 | 78 | 5.29 |
| | 10 | 93 | 6.30 | 94 | 6.69 | 89 | 6.07 | 86 | 5.76 | 81 | 5.69 | 75 | 5.13 |
| 2月25~26日 | 150 | 88 | 7.30 | 91 | 7.39 | 93 | 7.21 | 94 | 7.22 | 94 | 7.55 | 94 | 7.58 |
| | 50 | 90 | 7.41 | 91 | 7.45 | 94 | 7.27 | 94 | 7.31 | 95 | 7.56 | 96 | 7.59 |
| | 10 | 91 | 7.50 | 94 | 7.56 | 95 | 7.41 | 96 | 7.43 | 96 | 7.72 | 96 | 7.75 |



第61図 昼夜別平均の垂直分布



第62図 湿度の年変化

湿度の昼夜別平均における垂直分布は、12月は整然としていないが、1、2月には昼夜間とも何れも上方に減少しており、夜間は昼間より高湿である。また各園間の局部性は昼夜間とも2月に最も微弱でNo.2、No.3、No.5において夫々各高さの平均で10、12、11%夜間に高い。12月には各園間における局部的差異が顕著に現われている。水蒸気張力については湿度と反対に昼間に高く、局部的差異は12月に最も大きく、2月に小さい。

最後に接地気層における湿度の季節変化の模様を一目瞭然たらしめたのが第62図である。

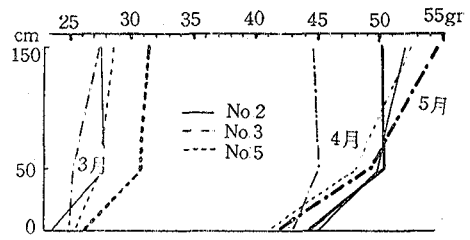
第3節 接地気層における蒸発と風の日変化と季節変化

各園における地表並びに地上 50、150 cm の蒸発量を平田式紙面蒸発計を用いて測定した各月の昼間総量について主として考察する。また風速はピラム型微風計で地上 150 cm において観測した結果を述べる。

春季 第63図についてみると蒸発量は各園とも地表面に最も少なく、高くなるに従って増加している。また局部的差異は3月に小さいが5月には最も大きく現われている。即ち各月とも夫々No.2の蒸発量に比較すれば、No.3、

No.5 においては夫々 3月には 98, 103%, 4月には 88, 94%, 5月には 101, 61%で5月における No.5 の蒸発量は No.2, No.3 の約 6割に過ぎないが、いまの場合 No.5 の風速は最も小さかったため、これは柿園の新葉繁茂に主として原因しているものと思われる。

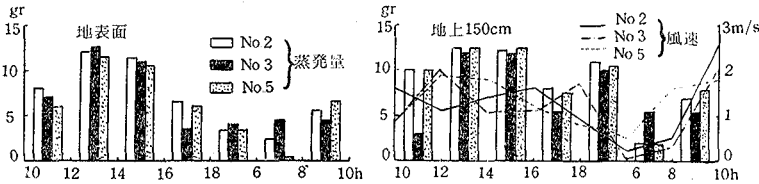
4月の蒸発量は3月に比して急増して5月の量に近いが、これは4月には湿度も年間の最低が現われ



第63図 蒸発量の垂直分布 (太線は5月)

第30表 夜間における蒸発量 (gr)

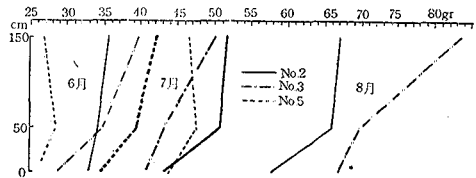
| | 4月15~16日 | | | 5月29~30日 | | |
|-------|----------|------|------|----------|------|------|
| | No.2 | No.3 | No.5 | No.2 | No.3 | No.5 |
| 150cm | 11.0 | 10.0 | 10.5 | 7.5 | 7.0 | 2.4 |
| 50 | 8.8 | 8.5 | 8.5 | 7.2 | 6.8 | 1.2 |
| 0 | 3.5 | 4.0 | 3.5 | 5.5 | 2.8 | 0.3 |



第64図 4月における蒸発量と風速の日変化 (夜間の風は平均値を示す)

ていること等から考えて、特に乾燥していたためと思われる。尚、4, 5月には夜間にも蒸発量は相当あり、それは第30表のようであった。夜間においても蒸発量の垂直分布状態並びに局部的差異は昼間と同様であることがわかる。4月における蒸発量と風速の日変化の様子は第64図のようである。

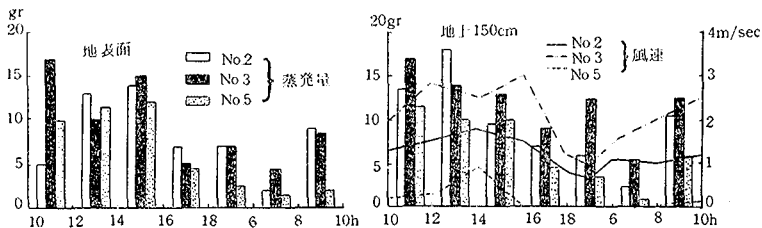
夏季 蒸発量の日総量の垂直分布を示した第65図についてみると、何れの月においても地上に高さを増すにつれて多くなっており、かつ南西斜面の No.5 が蒸発量は各月ともに最も少ない。



第65図 蒸発量の垂直分布 (太線は7月)

そして局部的差異は、6, 7, 8月と月がすすむにつれて増し、8月において最も顕著に現われており、蒸発量も最大値を示している。8月に最も多いのは No.3 で地表面にて 6.7 gr、地上 150 cm では 83.5 gr、となっており、最も少ないのは No.5 で、

地表面にて 44 gr、地上 150 cm では 46.5 gr。で両者の差異は地表面にて 23 gr、150 cm で 37 gr. の多きに達している。これら蒸発量に局部的差異の現われるのは飽差、風速、温度等諸要素の総合的な作用によるものと思われるが、いま風速の昼間平均についてみると、6月には No.2, No.3, No.5 において夫々 0.9, 1.3, 0.3 m/sec、

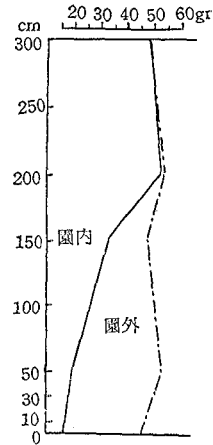


第66図 8月における蒸発量と風速の日変化 (夜間の風は平均値を示す)

7月には夫々 2.3, 1.8, 0.6 m/sec, 8月には夫々 1.3, 2.3, 0.2 m/sec であって、何れの月においても No.5 の風速は最も小さい。この No.5 における風速が同じ方向に面した隣接畑地である No.2 より小さいのは、No.5 における柿樹の枝葉繁茂による風速殺減効果によるもので、それらの結果として蒸発量も最小となっているものと考えられる。また8月における No.3 の蒸発量が最も多いのは、北東斜面にある関係上、北方寄りの海風が日中卓越した結果と考えられる。いま8月における蒸発量と風速の日変化を示すと第66図のようである。

次に棚作りの葡萄園における蒸発量の分布は、第67図のようで園の内外での顕著な差異を示し蒸発総量は園外の方が多く、特に地上 150 cm 以下において園内外の差異が大きく、棚栽培の特性がよく表われている。即ち園内は地上 150 cm にて 14.1 gr. 50 cm において 33.3 gr. 地表にて 30.1 gr. 園外より夫々少ない。

尚垂直分布状態は、園内地表面が最も少なく、日量 18.6gr. にして高さを増すにつれて多くなり、樹冠上表附近の地上 200 cm において最大で 53.3 gr. を示している。園外は上下の差異は小さいが地表に近づくに従って減少の傾向にある。風速は園内において樹冠下の 50cm と樹冠内の 150 cm 及び樹冠上方の 250 cm で観測し、地上 50cm においては極めて弱く、樹冠内の 150 cm では全日無風状態になっており、樹冠を出て高くなると、大空の気象状態に支配されて風速も急増加している。

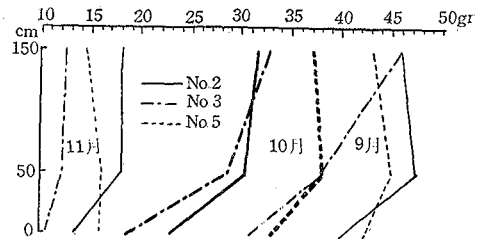


第67図

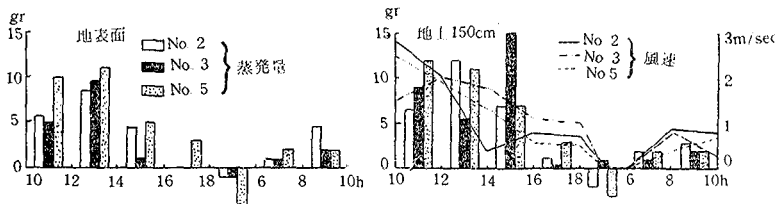
秋季 各月における蒸発量の昼間総量についてみると第68図のようで何れの月においても蒸発量は地表面に最も少なく、これは極く地面に近い気層における交換現象の微弱であることを示している。

また秋季における蒸発量は寒候期に向うに従って次第に減少を示しているが、特に北東斜面における No.3 の蒸発量は地上 50 cm 以下において南西斜面の No.2, No.5 より何れも小で、11月には各高さを通じて少なくなっている。

これは No.2, No.3 及び No.5 における秋季の風速が昼間平均において夫々 9月は 0.5, 0.5, 0.4



第68図 蒸発量の垂直分布 (太線は10月)



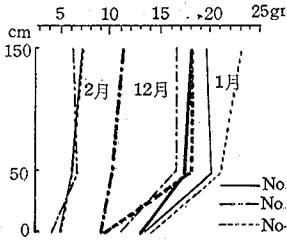
第69図 10月における蒸発量と風速の日変化 (夜間の風は平均値を示す)

m/sec, 10月は 1.3, 1.4, 1.2 m/sec で11月には 0.3, 0.5, 0.8 m/sec と微弱でかつ局部的差異が少ないので、北東斜面に蒸発量が少ない主な原因は南西斜面の各園に比較して地面温度並びに極く地面近くの気温が低かったことによるものと思われる。10月における蒸発量並びに風速の日変化は第69図のようである。

冬季 各月における蒸発量の昼間総量を示すと第70図のようで (2月は中途にて降雨のため10~18時の総量を示した)、各園とも蒸発量は1月に多く、また何れの月も地上に高さを増すにつれて増加している。北東斜面の No.3 は南西斜面の No.2, No.5 より何れも蒸発量が少なく、それらの差異は12月に顕著に現われており、いま12月における No.2 の蒸発量と比較すると、夫々各高さの平均において No.3, No.5 は夫々 61, 73% であり、1月にも南西斜面の蒸発量は北東斜面より多く、No.2 に比較すると No.3 は 83%, No.5 は 109% であった。

以上のように冬季における蒸発量が南西斜面に多いのは、日射量の配布状態その他による外、特に冬季の季節風

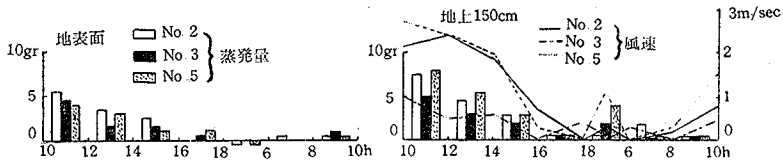
の方向並びにその強弱に関係するものと思われる。いま風速を昼間と夜間にかけて表示すると 第31表のようである。



第70図 蒸発量の垂直分布 (太線は12月)

第31表 昼間及び夜間平均風速 (m/sec)

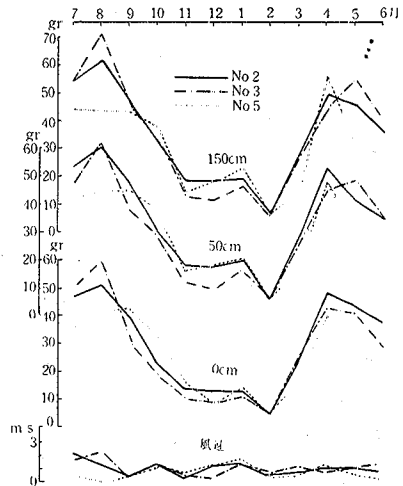
| | No.2 | | No.3 | | No.5 | |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 | 昼間 | 夜間 |
| 12月 | 1.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 1.3 | 1.1 |
| 1 | 1.5 | 0.9 | 1.3 | 1.1 | 1.8 | 1.4 |
| 2 | 0.7 | 0.1 | 0.8 | 0.0 | 0.6 | 0.1 |



第71図 12月における蒸発量と風速の日変化 (夜間の風は平均値を示す)

ただいまの場合各園における冬季の主風向は西又は西北西であったので、南西斜面の各園の蒸発量は北東斜面におけるより多くなっているのもそのためであろう。これらは柑橘その他園芸作物における寒風害防禦等の冬季保護を行う上に極めて重要事項であると思われる。いま1月における蒸発量と風速の日変化の様相を示すと第71図のようである。

最後に各園における蒸発量と風速の季節変化を一目瞭然たらしめたのが第72図である。これによると各月における変化の概要がよくわかるであろう。



第72図 蒸発量と風速の年変化

第3編 傾斜地における地中温度に関する研究

地中温度の高低は作物種子の発芽、根の生長、水分及び養分の吸収などに密接な関係を有し、ひいては作物の収量、品質に重大な影響を及ぼす。従って作物栽培の場である土地の温度関係についての研究は極めて大切で多くなされているがそれは主として平地についてである(76~90)。

ところが、傾斜地を開墾し利用するに当っては、その微気象と併せて地下部の状態特に地中温度関係が重要な因子となるので、本編では主として開墾前後における傾斜地の地中温度について、その実状を理論的に解析して変化の様相や分布の特性を検出する。すなわち、まづ開墾限界までの 0~35° の裸地の斜面を各方向に人工して地中温度と傾斜角度との関係の基礎実験を行い、また前編の微気象を観測した実験地において、地上部の観測と併行して地中各深さの温度を観測し、その実状を解析検討して、開墾前後の状態を詳細に究明する。

第1部 傾斜の角度と地中温度の基礎的研究

傾斜地の地中温度は傾斜の角度や方向等の相違によって変わってくるが、地表に植被があると、その関係を更に複雑にすることは、実測結果がよく物語っているところである。

いま、地表に植被のない傾斜地開墾直後の様な標準的な裸地について傾斜角度と地中温度との関係を明かにするために、花崗岩風化土壌を用いて、傾角 0, 5, 10, 20, 30, 35° の開墾限界までの斜面を各方向に人工して、各斜面における地表及び地下 5, 10, 20, 30 cm の各深さにおける温度、地表面の日射量等を夏季と冬季の快晴日に 2 時間置き観測を実施し、その結果を理論的に解析して、これら各要素の日変化並びに傾斜角度との関係を明かにした。

第1章 地中温度の日変化に関する理論⁽⁹¹⁾

第1節 地中における熱伝導

(i) 傾斜面に垂直方向への熱伝導

この場合は平地と同様等温面は地表面に平行で第73図において Z 方向への熱伝導を考える。熱伝導は熱が高温部から低温部へ物質を運って移動する現象で、いま土壌内に等温面を考え、それは地表面に平行とすると、熱は等温面に垂直に移動し、実験によると其処の温度勾配 $\frac{\partial \theta}{\partial z}$ に比例する。すなわち深さ z における面の単位面積を単位時間に通過する熱量を Q_z とすると

$$Q_z = -K \frac{\partial \theta}{\partial z} \tag{24}$$

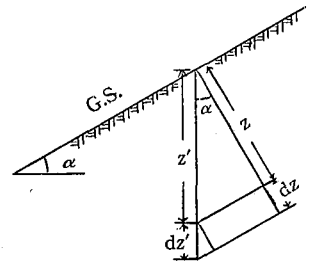
である。 K は土の熱伝導率で等温面に直角な方向の 1 cm の間に 1°C の差があるとき、等温面 1 cm² を横切って 1 秒間に流れる熱量である。

また $z+dz$ から流出する熱量を Q_{z+dz} とすると

$$Q_{z+dz} = Q_z + \frac{\partial Q_z}{\partial z} dz = -K \frac{\partial \theta}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) dz$$

故に dz 間に残留する熱量は

$$Q_z - Q_{z+dz} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) dz$$



第73図

で、この過剰熱量は dz 間の温度を単位時間に $\frac{\partial \theta}{\partial t}$ 上昇せしめるから

$$c\rho dz \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) dz$$

c は土の比熱で、 ρ は密度である。いま K が深さ z に無関係であれば

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{K}{c\rho} \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}$$

又は

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad \text{但し、} \quad k = \frac{K}{c\rho} \tag{25}$$

両式が z 方向における熱伝導の微分方程式である。 k は温度伝導率又は熱拡散率という (cm^2/sec)。

(ii) 傾斜面において鉛直下方(重力方向)への熱伝導

いま第73図のような傾斜角度 α の斜面について z' 方向への熱伝導を考えよう。図から明かなように

$$z = z' \cos \alpha, \quad \text{また} \quad dz = dz' \cos \alpha$$

$$\therefore \frac{dz}{dz'} = \cos \alpha$$

いま

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial \theta}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} = \frac{1}{\cos \alpha} \frac{\partial \theta}{\partial z'}$$

また

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) = \frac{1}{\cos \alpha} \frac{\partial^2 \theta}{\partial z'^2} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \frac{\partial^2 \theta}{\partial z'^2}$$

上式を(25)式に代入すると

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = k \frac{1}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial z'^2} \tag{26}$$

又は

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = A \frac{\partial^2 \theta}{\partial z'^2}, \quad \text{但し} \quad A = k \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{K}{c\rho} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} \tag{27}$$

(26)又は(27)式が求むる z' 方向へのものである。

第2節 地中温度の理論

地表面における温度変化 $\theta_0 = f(t)$ が与えられたとき、任意の深さの温度変化 $\theta_z = f(t, z)$ はどうかについて考える。日変化や年変化の場合は $\theta(zt) = \theta(zt + T)$ 、すなわち日変化なれば $T = 1$ 日、年変化なら $T = 1$ 年で、1日又は1年で繰返しが行われていることを示す。なお $z \rightarrow \infty$ では温度は不変とする。

いま地表面の温度変化が

$$\theta_0 = f(t) = a_0 + a_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varepsilon_1\right) + a_2 \sin\left(\frac{2\pi}{T}2t + \varepsilon_2\right) + \dots \tag{28}$$

で表わされるものとする、以上の諸条件を満足し、熱伝導の微分方程式を満足する解は次の如くである。

(i) 傾斜面に垂直方向への場合

$$\theta(zt) = a_0 + a_1 e^{-h_1 z} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varepsilon_1 - h_1 z\right) + a_2 e^{-h_2 z} \sin\left(\frac{2\pi}{T}2t + \varepsilon_2 - h_2 z\right) + \dots \tag{29}$$

ここに

$$h_1 = \sqrt{\frac{\pi}{kT}}, \quad h_2 = \sqrt{\frac{2\pi}{kT}}, \quad \dots$$

(ii) 傾斜面に対して鉛直下方（重力方向）への場合

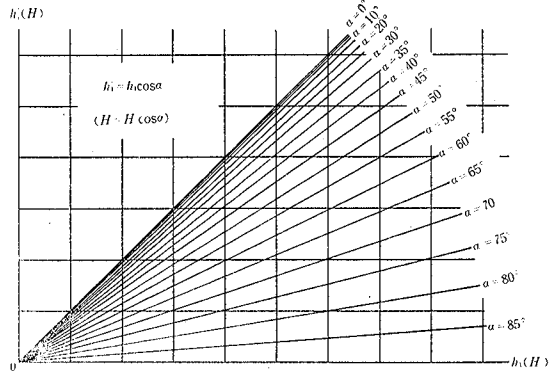
$$\theta(zt) = a_0 + a_1 e^{-h_1' z'} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varepsilon_1 - h_1' z'\right) + a_2 e^{-h_2' z'} \sin\left(\frac{2\pi}{T}2t + \varepsilon_2 - h_2' z'\right) + \dots$$

但し
$$h_1' = \sqrt{\frac{\pi}{AT}}, \quad h_2' = \sqrt{\frac{2\pi}{AT}}, \quad \dots \quad (30)$$

従って
$$h_1' = \sqrt{\frac{\pi}{k \frac{1}{\cos^2 \alpha} T}} = \cos \alpha \sqrt{\frac{\pi}{kT}} = h_1 \cos \alpha,$$

$$h_2' = \sqrt{\frac{2\pi}{k \frac{1}{\cos^2 \alpha} T}} = \cos \alpha \sqrt{\frac{2\pi}{kT}} = h_2 \cos \alpha,$$

となるので、傾斜面に垂直方向への場合における地温振巾の減少係数は重力方向へのものに $1/\cos \alpha$ を乗すればよいことがわかる。いまこれらの関係を図示すると第74図となる。



第74図

第3節 平地と傾斜地の地中温度に関する諸項

(i) 地温の振巾と深さとの関係

地中温度の日変化や年変化の振巾は、地面から土壌内部に入るに従って次第に減少し、或る深さに至ると遂に零になるのであるが その間の関係は土壌が均質なものとすると、指数曲線的に減少する。いまその関係を平地又は傾斜面に垂直方向への場合について示すと

$$a_{1z} = a_{10} e^{-h_1 z} \quad (31)$$

である。上式の両辺の対数をとって変形すると

$$h_1 = \frac{\log_{10} a_{10} - \log_{10} a_{1z}}{z \log_{10} e} \quad (32)$$

となり、重方向への場合においては

$$a_{1z'} = a_{10} e^{-h_1' z'}$$

で

$$h_1' = \frac{\log_{10} a_{10} - \log_{10} a_{1z'}}{z' \log_{10} e} \quad (33)$$

となる。よって $h_1 = \frac{1}{\cos \alpha} h_1'$ の関係から何れか一方がわかれば他方を算出することが出来る。

(ii) 地中熱拡散率

地中熱拡散率は理論的には地中における熱伝導の微分方程式を解いた結果より得られる。いま平地域は傾斜面に垂直方向への場合には

$$h_1 = \sqrt{\frac{\pi}{kT}} \quad \text{より} \quad k = \frac{\pi}{h_1^2 T} \quad (34)$$

重力方向への場合には

$$h_1' = \sqrt{\frac{\pi}{k'T}} \quad \text{より} \quad k' = \frac{\pi}{k_1'^2 T} \quad (35)$$

である。但しここに $k = k' \cos^2 \alpha$ の関係を利用することによって何れか一方がわかれば他方を導くことが出来る。この関係を図示すると第75図のようになる。

(ii) 地温の不易層の深さ

平地域は傾斜面に垂直方向への場合について考えると、地温振巾が 0.1°C に減少する層を不易層と考えて

$$0.1 = a_{10} e^{-h_1 H}$$

より不易層の深さを求める。両辺の対数をとって変形すると

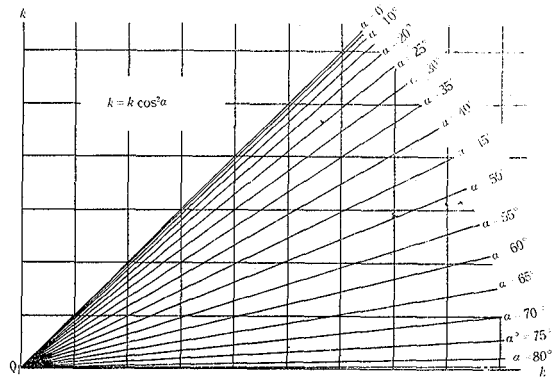
$$H = \frac{\log_{10} a_{10} - \log_{10} 0.1}{h_1 \log_{10} e} \quad (36)$$

である。また重力方向への場合は

$$0.1 = a_{10} e^{-h_1' H'}$$

より
$$H' = \frac{\log_{10} a_{10} - \log_{10} 0.1}{h_1' \log_{10} e} \quad (37)$$

である。そしてここに $h_1 = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot h_1'$ の関係を利用して $H = H' \cos \alpha$ となり何れか一方がわかれば他方を計算することが出来る。この関係は第74図のようである。



第75図

第4節 地中における熱量の交換

地面は日中太陽熱を吸収して昇温しそれを地中内部へ伝えるが、夜間は地面が放熱して冷却し地中内部の熱は地面に向って流れ地面から放出される。従って土壤中に含まれている熱量は一日を週期として変化する。また同様に暖候期には蓄積して寒候期には放出する。

いま土壤中に単位面積の底を有し深さ H の垂直土壌柱のある部分に dh なる微小柱を考え t_1, t_2 時におけるその温度を θ_1, θ_2 とし、単位容積の土壌の熱容量を c、 t_1, t_2 時における土壌柱の熱量を u_1, u_2 とすると、両時刻間における土壌柱の熱量変化は

$$u_2 - u_1 = \int_0^H c(\theta_2 - \theta_1) dh \quad (38)$$

である。若し c が深さに関して一定であるとすれば

$$u_2 - u_1 = c \int_0^H (\theta_2 - \theta_1) dh = cH \left\{ \frac{1}{H} \int_0^H \theta_2 dh - \frac{1}{H} \int_0^H \theta_1 dh \right\} = cH(\Theta_2 - \Theta_1) \quad (39)$$

ここに

$$\Theta_1 = \frac{1}{H} \int_0^H \theta_1 dh, \quad \Theta_2 = \frac{1}{H} \int_0^H \theta_2 dh$$

で Θ_1, Θ_2 は夫々 t_1, t_2 時における土壌柱全体の平均温度である。

第2章 東斜面における地中温度

第1節 日 射 量

地中温度を支配する本源をなすものは、主として地表面に來射する直達日射量の大小に関するものと見做すことが出来る。傾斜地にありては傾斜の方向や角度の相違によって地表面にうける日射の配布状態は異なり、その結果地

中温度に相違を生ずるわけである。

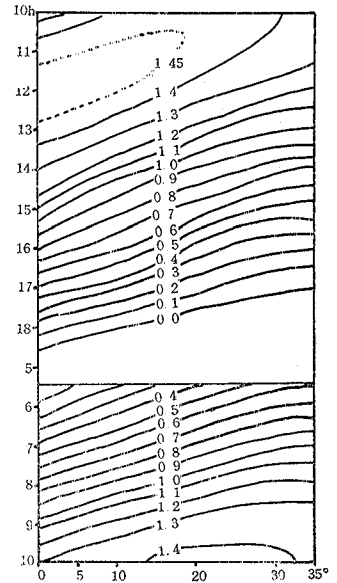
いま地面に植生のない裸地の場合における各傾角の斜面にうける日射量は、大気の散乱や吸収のない場合第1編第1章の理論的計算により明かにされたが、本実験における傾斜地閼壘限界までの傾角 $0^{\circ} \sim 35^{\circ}$ までの各斜面の地表面日射量を、EKO ゴルチンスキー日射計にて毎時観測した実状も、略同様な配布状態を示している。第76図は昭和32年8月15~16日における1例である。

すなわち東斜面においては日出時刻は全傾角ともに同時であるが、日没時刻は傾角がすすむにつれて早くなり、結局日照時間が減少していく。そして日射量の最大は平地では正午に、傾角が進むにつれてその時刻は早くなり、何れも午前中に最高の peak が現われ、午前中の日射に恵まれている。

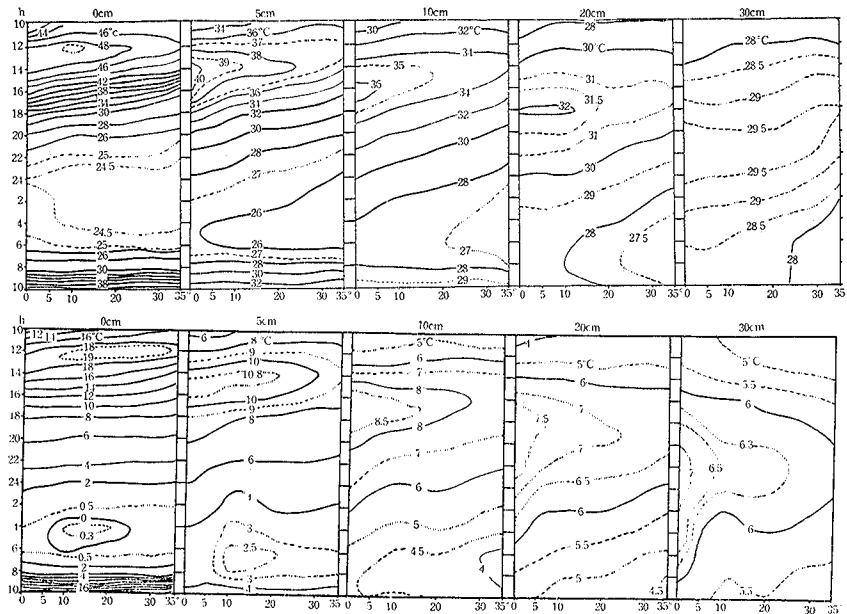
1日間にうける日射の総量は8月15~16日の例では、傾角 $5^{\circ} \sim 35^{\circ}$ の斜面においては平地の夫々 99.1, 100.1, 94.7, 89.6, 87.5%であった。

第2節 地中温度の日変化

東斜面における地中温度日変化の状態と傾斜角度との関係を、夏季と冬季について各深さ別に 2°C 毎の isopleth 図を描き一目了然たらしめたのが第77図である。



第76図 日射量の日変化



第77図 各傾角における深さ別の地中温度日変化 (上: 8月, 下: 2月)

これによると、日中地表面は太陽の輻射熱をうけて昇温し、表層の地温は内部より高くなるので、地中への熱流を生じ、その様子は傾角の大小によって異なるが、各傾角における地中温度分布の状態は日射の配布状態に平行的である。すなわち、地温の最高温度発現時は8月、2月ともに地表面では何れも日射の最大時より約1時間の遅れを示している。そして最高温度の発現時刻は傾角の増加に伴って次第に早くなっていく。またこれら最高温度の発現時刻は地中に深くなるにつれて次第に遅れて、例えば平地では8月、2月ともに地表面では13時頃であるが、地下5cmでは15時、地下10cmでは17時、地下20cmでは18~20時頃、地下30cmでは22時に現われている。そして

地中深くなるにつれて最高温度は次第に低くなっている。

夜間受熱が放熱に代ると先づ表層が冷却し、地中内部の温度より低くなるので熱流は地表へ向い、表層の冷却は次第に地中内部へ及ぶが、これが傾角との関係も図からよくわかる。また最低温度の発現時刻は同じ深さの地層では、傾角の増加につれて早くなり、また地中へ深くなるに従って最低温度の発現時刻が遅れること等は最高温度の場合と同様である。しかし最低温度は地中深くなるに従って高くなり、傾斜角度の相違による差異は最高温度の場合に比べて、極く僅かである。

第32表 東斜面における最高・最低温度並びに温度較差(°C)

| | | 最高温度 | | | | | 最低温度 | | | | | 温度較差 | | | | | | | |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° |
| 8月 | 0cm | 49.5 | 48.7 | 49.6 | 48.3 | 47.5 | 46.7 | 24.5 | 24.3 | 24.4 | 24.0 | 24.1 | 24.0 | 25.0 | 24.4 | 25.2 | 24.3 | 23.4 | 22.7 |
| | 5 | 40.7 | 39.8 | 39.1 | 38.3 | 37.7 | 37.5 | 26.3 | 26.0 | 25.8 | 25.8 | 25.4 | 25.3 | 14.4 | 13.8 | 13.3 | 12.5 | 12.3 | 12.2 |
| | 10 | 36.3 | 36.0 | 35.5 | 34.7 | 34.5 | 34.2 | 27.3 | 27.1 | 27.0 | 27.0 | 26.6 | 26.0 | 9.0 | 8.9 | 8.5 | 7.7 | 7.9 | 8.2 |
| | 20 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 31.4 | 31.3 | 30.9 | 26.9 | 27.7 | 28.0 | 27.6 | 27.1 | 26.7 | 5.1 | 4.3 | 4.0 | 3.8 | 4.2 | 4.2 |
| | 30 | 29.8 | 29.5 | 29.6 | 29.6 | 29.5 | 29.5 | 27.4 | 27.8 | 28.0 | 27.8 | 27.7 | 27.3 | 2.4 | 1.7 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 2.2 |
| 2月 | 0 | 18.0 | 18.7 | 19.3 | 20.0 | 19.4 | 18.7 | 0.2 | 0.2 | -0.3 | -0.3 | 0.3 | 0.2 | 17.8 | 18.5 | 19.6 | 20.3 | 19.1 | 18.5 |
| | 5 | 10.8 | 10.8 | 10.9 | 10.8 | 10.0 | 9.3 | 3.5 | 3.5 | 2.2 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 7.3 | 7.3 | 8.7 | 8.3 | 7.2 | 6.3 |
| | 10 | 8.9 | 8.7 | 8.5 | 8.4 | 7.9 | 7.6 | 3.0 | 3.3 | 3.7 | 4.4 | 3.9 | 3.8 | 5.9 | 5.4 | 4.8 | 4.0 | 4.0 | 3.8 |
| | 20 | 8.0 | 7.6 | 7.4 | 7.0 | 6.8 | 6.8 | 3.6 | 3.8 | 4.0 | 4.0 | 4.2 | 4.2 | 4.4 | 3.8 | 3.4 | 3.0 | 2.6 | 2.6 |
| | 30 | 7.4 | 6.6 | 6.4 | 6.4 | 6.2 | 6.0 | 5.2 | 5.2 | 4.9 | 4.8 | 4.7 | 4.5 | 2.2 | 1.4 | 1.5 | 1.7 | 1.5 | 1.5 |

地温日変化の較差は第32表のようで、8月、2月ともに何れの傾角においても地表面に最も大きく、地中に深くなるに従って減少しているが深さによる温度日較差の減少率は大きい。しかし各深さを通じて傾角の相違による日較差の差異は小さく、かつ傾角の増加につれて較差は次第に減少する傾向にあるが、地温の最も高かった傾角のところに日較差は大きく現われている。

第3節 地中温度の解析

(1) 地中温度の調和分析

地表及び地中温度の観測結果を、観測時刻の不同を調整し、かつ日変化の特性を理論的に表現するため調和分析法によって処理した。

すなわち、地表及び地中温度の日変化や年変化のような週期的変化は一般に正弦曲線の合成とみて

$$y = a_0 + a_1 \sin(\sigma t + \epsilon_1) + a_2 \sin(2\sigma t + \epsilon_2) + a_3 \sin(3\sigma t + \epsilon_3) + \dots$$

のような Fourier 級数にて表わし、その1日項を表出したのが第33表である。

これによると 東斜面においては8月、2月ともに振巾 a_1 は何れも地表面に最大で、そこから深さに伴って減少し、8月に a_1 は地表面を除いて傾角 0° に最も大きく、傾角の増加に伴い次第に減少している。2月には地下5cmまでの極く浅層では傾角 10° に最も大きい、10cm以下では傾角の増加につれて減少している。

位相 ϵ_1 は8月、2月ともに全傾角の斜面を通じて地表面に最も進んでおり、深さと共に遅れている。これは地中へ深くなる程最高・最低温度の発現時刻が遅退することを示すものであり、また各傾角の斜面における位相の状態をみると8月、2月ともに各深さ毎に位相は傾角の増加につれて次第に進んでいる。これは各深さ毎に最高・最低温度の発現時刻が傾角の増加に伴って早くなることを示すものである。この位相が傾斜の角度や各深さによって相違することは、地中における熱授受の機構を示すものであって、この位相は各斜面の熱的特性を表現する因子として大切である。

(2) 地温の深さと振巾との関係

地温日変化の振巾は、地中へ深く入るに従って次第に減少するが、その模様は深さの増加に伴って指数函数的に減少するので、いま土壌が均質なものとして、その間の関係を表わすと第34表のようになる。

第33表 東斜面における調和分析の1日項 (°C)

| 傾角 (°) | 深さ (cm) | 8 月 | | | 2 月 | | |
|-----------|------------|---------|---------|--------------|--------|--------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| 0 | 0 | 33.0 °C | 12.2 °C | 38° 18' | 7.2 °C | 8.0 °C | 26° 16' |
| | 5 | 32.0 | 7.0 | 14 37 | 6.7 | 3.4 | 347 51 |
| | 10 | 31.2 | 4.3 | 342 01 | 6.5 | 2.3 | 311 37 |
| | 20 | 29.6 | 2.1 | 307 32 | 6.4 | 1.7 | 283 04 |
| | 30 | 28.7 | 1.1 | 261 57 | 6.4 | 1.0 | 240 36 |
| 5 | 0 | 32.6 | 12.1 | 43 31 | 7.2 | 8.3 | 27 36 |
| | 5 | 31.5 | 6.5 | 17 25 | 6.5 | 3.3 | 358 06 |
| | 10 | 30.9 | 4.1 | 352 32 | 6.2 | 2.2 | 324 17 |
| | 20 | 29.8 | 2.0 | 313 54 | 6.1 | 1.5 | 295 20 |
| | 30 | 28.8 | 0.8 | 259 54 | 6.0 | 1.0 | 264 15 |
| 10 | 0 | 32.4 | 12.8 | 47 06 | 7.1 | 8.6 | 29 34 |
| | 5 | 31.2 | 6.3 | 23 39 | 6.0 | 4.1 | 3 21 |
| | 10 | 30.7 | 4.0 | 0 58 | 6.1 | 2.2 | 332 27 |
| | 20 | 29.9 | 2.0 | 315 36 | 6.0 | 1.3 | 296 28 |
| | 30 | 28.8 | 0.8 | 267 41 | 5.8 | 0.6 | 270 00 |
| 20 | 0 | 31.8 | 11.4 | 49 46 | 7.2 | 8.5 | 32 09 |
| | 5 | 30.7 | 6.1 | 29 40 | 6.4 | 3.4 | 4 55 |
| | 10 | 30.3 | 3.7 | 7 55 | 6.2 | 1.8 | 328 12 |
| | 20 | 29.4 | 1.8 | 324 30 | 5.8 | 1.2 | 286 46 |
| | 30 | 28.8 | 0.8 | 277 57 | 5.8 | 0.2 | 202 51 |
| 30 | 0 | 32.3 | 10.7 | 53 09 | 7.1 | 8.1 | 34 38 |
| | 5 | 30.3 | 6.1 | 36 21 | 6.0 | 3.1 | 6 12 |
| | 10 | 30.0 | 3.8 | 15 29 | 5.7 | 1.8 | 332 54 |
| | 20 | 29.1 | 2.1 | 338 58 | 5.7 | 1.1 | 295 12 |
| | 30 | 28.6 | 1.0 | 304 00 | 5.6 | 0.7 | 258 00 |
| 35 | 0 | 30.8 | 10.2 | 56 23 | 6.8 | 7.7 | 36 08 |
| | 5 | 29.8 | 5.8 | 40 49 | 5.9 | 3.0 | 6 09 |
| | 10 | 29.6 | 3.9 | 18 27 | 5.6 | 1.8 | 333 46 |
| | 20 | 28.9 | 2.0 | 339 56 | 5.6 | 1.0 | 285 43 |
| | 30 | 28.3 | 1.1 | 314 46 | 5.5 | 0.4 | 241 31 |

第34表 地温の深さと振巾との関係

| 傾角 | 8 月 | 2 月 |
|----|---------------------------|---------------------------|
| 0 | $A_z = 24.42e^{-0.0959z}$ | $A_z = 16.04z^{-0.1114z}$ |
| 5 | $A_z = 24.26e^{-0.1041z}$ | $A_z = 16.56z^{-0.1204z}$ |
| 10 | $A_z = 25.54e^{-0.1111z}$ | $A_z = 17.16z^{-0.1178z}$ |
| 20 | $A_z = 22.82e^{-0.1042z}$ | $A_z = 17.02z^{-0.1401z}$ |
| 30 | $A_z = 21.34z^{-0.0939z}$ | $A_z = 16.10z^{-0.1285z}$ |
| 35 | $A_z = 20.42e^{-0.0915z}$ | $A_z = 15.32z^{-0.1343z}$ |

(3) 地温日変化の及ぶ深さ

地温の日変化振巾は地中に深くなるに従って次第に減少し、ある深さに達すると殆んど零となり、換言すれば一

日中殆んど変化しないことになる。この層の深さすなわち地温日変化の不易層を求めると第35表のようになる。

第35表 地温日変化の不易層 (cm)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 57.3 | 52.8 | 49.9 | 52.1 | 57.1 | 58.1 |
| 2 | 45.6 | 42.4 | 43.7 | 39.6 | 39.6 | 37.5 |

(4) 地中熱拡散率

地中の熱拡散率を理論式 $K = \frac{\pi}{h^2 T}$ より求めると第36表のようになった。

第36表 地中熱拡散率 ($\times 10^{-13}$ C.G.S.)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 3.95 | 3.36 | 2.94 | 3.35 | 4.13 | 4.34 |
| 2 | 2.93 | 2.51 | 2.62 | 1.85 | 2.20 | 2.02 |

第4節 地中における熱量の交換

地面は日中太陽熱を吸収し地下へ伝導せしめ、熱を地下へ蓄積し、夜間にこれを放出する。熱が蓄積されつつあるときは地表に向い高温を示し、逆に放出時は地表程低温となっている。故に地表面での温度勾配 $d\theta/dz=0$ の時、地下蓄積量は最大又は最小となる。従って、土壌中に含まれている熱量は一日を週期として変化する。

而して、 t_1, t_2 時刻間における土壌柱の熱量変化は

$$u_2 - u_1 = c \int_0^H (\theta_2 - \theta_1) dh$$

で示される。変形して右辺は $cH(\theta_2 - \theta_1)$ となるが、 θ_1, θ_2 は夫々 t_1, t_2 時における土壌柱全体の平均温度である。いま c は土壌の組成や含水量等によって異なるであろうけれども、熱交換量の概略を求めるために 0.5 cal とし、平均温度には地下 2.5 cm 毎の平均を用い u_1 を1日平均の熱量にとり、 u_2 を偶数時における熱量とし、 $u_2 - u_1$ すなわち 1日平均熱量からの偏差を求めると第37表のようになる。但し深さは 30 cm とした。

これによると東斜面においては、熱量の最大は8月には14時、2月には16時に、最小は何れの月も6時に現われている。熱量変化の振巾は8月には $0 \sim 35^\circ$ まで夫々 $115.0, 105.0, 106.2, 99.6, 101.0, 102.2 \text{ cal/cm}^2$ で傾角 0° が最も大きく、傾角 20° に最小であった。2月には夫々 $58.5, 58.5, 61.5, 56.0, 53.0, 49.5 \text{ cal/cm}^2$ で傾角 10°

第37表 地中における熱量の交換 (Cal/cm^2)

| 傾角 \ 時 | 時 | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | |
| 8 月 | 0 | -16.2 | 26.9 | 65.7 | 61.7 | 38.3 | 10.2 | -7.7 | -22.1 | -32.1 | -41.7 | -48.3 | -34.7 |
| | 5 | -0.8 | 39.3 | 59.4 | 51.9 | 30.5 | 5.9 | -8.9 | -24.0 | -32.9 | -43.7 | -45.6 | -31.2 |
| | 10 | 9.0 | 45.6 | 60.8 | 48.8 | 23.7 | 3.2 | -11.3 | -25.2 | -34.5 | -43.1 | -45.5 | -31.0 |
| | 20 | 20.4 | 47.6 | 57.2 | 41.7 | 19.5 | -0.2 | -14.6 | -25.2 | -33.9 | -41.0 | -42.5 | -28.8 |
| | 30 | 29.4 | 56.3 | 56.4 | 37.1 | 17.4 | -2.4 | -15.3 | -28.2 | -36.6 | -42.5 | -44.6 | -29.1 |
| | 35 | 36.2 | 56.6 | 58.4 | 31.4 | 14.1 | -4.4 | -16.4 | -26.9 | -36.6 | -41.7 | -43.8 | -28.2 |
| 2 月 | 0 | -28.5 | 0 | 30.0 | 31.5 | 22.5 | 18.0 | 9.0 | 0 | -13.5 | -21.0 | -27.0 | -27.0 |
| | 5 | -19.5 | 10.5 | 30.0 | 33.0 | 21.0 | 13.5 | 6.0 | -7.5 | -16.5 | -22.5 | -25.5 | -25.5 |
| | 10 | -9.0 | 18.0 | 31.5 | 33.0 | 22.5 | 12.0 | 4.5 | -10.5 | -18.0 | -25.5 | -28.5 | -28.5 |
| | 20 | -6.0 | 19.5 | 25.5 | 28.5 | 18.0 | 10.5 | 3.0 | -6.0 | -15.0 | -22.5 | -27.5 | -25.5 |
| | 30 | -3.0 | 18.0 | 27.5 | 27.5 | 19.5 | 10.5 | 4.5 | -7.5 | -15.0 | -21.0 | -25.5 | -25.5 |
| | 35 | 3.0 | 16.5 | 21.0 | 22.5 | 18.0 | 10.5 | 0 | -9.0 | -16.5 | -21.0 | -27.0 | -25.5 |

に最も大きい値を示している。

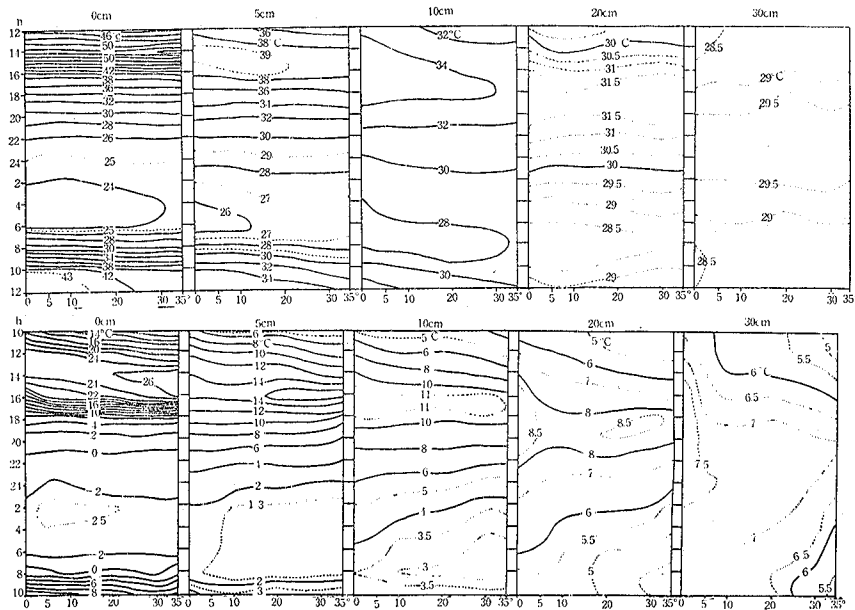
第3章 西斜面における地中温度

第1節 日 射 量

西斜面における各傾角のうける日射の日総量は、夫々東斜面のそれと全く同じであり、その日変化の様子は東斜面と正反対になっていることは理論計算から容易にわかる。

すなわち日出時刻は各月とも傾斜角度の増大に伴い遅れるが、日没は全傾角の斜面同時であって、その結果日照時間が傾角の増大につれて減少する。日射の最大は平地では正午であるが、傾角が増大するに従って次第に遅れることである。従って西斜面における日射の配布については、第2章第1節の東斜面における結果より容易に知ることが出来るので詳細は省略する。

第2節 地中温度の日変化



第78図 各傾角における深さ別の地中温度日変化（上：8月，下：2月）

第38表 西斜面における最高・最低温度並びに温度較差（°C）

| | | 最高温度 | | | | | | 最低温度 | | | | | | 温度較差 | | | | | |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° |
| 8月 | 0cm | 53.0 | 53.5 | 53.5 | 53.5 | 54.0 | 55.0 | 24.0 | 23.6 | 23.4 | 23.6 | 24.0 | 24.0 | 29.0 | 29.9 | 30.1 | 29.9 | 30.0 | 31.0 |
| | 5 | 39.5 | 39.4 | 39.2 | 39.0 | 39.0 | 38.8 | 25.5 | 25.7 | 25.9 | 27.9 | 26.3 | 26.5 | 14.0 | 13.7 | 13.3 | 11.1 | 12.7 | 12.3 |
| | 10 | 26.5 | 35.2 | 35.0 | 34.0 | 34.1 | 34.1 | 27.4 | 27.2 | 27.0 | 27.6 | 27.5 | 28.3 | 9.1 | 8.0 | 8.0 | 6.4 | 6.6 | 5.8 |
| | 20 | 32.0 | 31.6 | 31.5 | 31.9 | 32.1 | 31.7 | 28.2 | 28.1 | 28.0 | 28.3 | 28.5 | 28.5 | 3.8 | 3.2 | 3.9 | 3.6 | 3.6 | 3.2 |
| | 30 | 29.6 | 29.8 | 29.8 | 29.7 | 29.7 | 29.8 | 28.0 | 28.4 | 28.7 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 1.6 | 1.4 | 1.1 | 1.4 | 1.2 | 1.3 |
| 2月 | 0 | 25.5 | 24.7 | 24.7 | 26.0 | 26.6 | 27.6 | -2.3 | -2.8 | -2.9 | -2.4 | -2.4 | -2.5 | 27.8 | 27.5 | 27.6 | 28.4 | 29.0 | 30.1 |
| | 5 | 14.4 | 14.6 | 15.1 | 16.3 | 16.9 | 17.3 | 1.4 | 1.2 | 0.4 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 13.0 | 13.4 | 14.7 | 15.4 | 16.0 | 16.5 |
| | 10 | 11.4 | 11.4 | 11.1 | 11.2 | 11.4 | 10.6 | 3.5 | 3.5 | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 2.7 | 7.9 | 7.9 | 8.1 | 8.2 | 8.6 | 7.9 |
| | 20 | 9.4 | 8.4 | 8.2 | 8.5 | 8.6 | 8.4 | 5.3 | 5.4 | 5.4 | 4.8 | 4.5 | 4.0 | 4.1 | 3.0 | 2.8 | 3.7 | 4.1 | 4.4 |
| | 30 | 8.6 | 7.6 | 7.4 | 7.4 | 7.2 | 7.0 | 6.3 | 6.1 | 5.7 | 5.7 | 5.0 | 4.6 | 2.3 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 2.2 | 2.4 |

西斜面における地中温度日変化の実状を8月、2月について、2°C 毎の isopleth 図を描き各深さ別に傾角との関係を示すと第78図のようになる。

これによると、各傾角の斜面における地中温度分布の状態は日射の配布状態と平行的であり、地温の最高及び最低は各深さとともに、傾角の増大に伴ってその発現時刻が次第に遅れる点等は東斜面と正反対である。また西斜面は東斜面と日射の日総量は同じであるが、西斜面においては、午前中の日射によって地温も上昇し、土壌も比較的乾燥している上に午後の日射に恵まれるので、地中温度は東斜面に比べて昇温率がよく温暖なわけである。いま西斜面の各傾角における8月、2月の最高・最低温度並びに温度日較差を示すと第38表のようである。

第3節 地中温度の解析

(1) 地中温度の調和分析

西斜面における各傾角の地表及び地中温度の観測結果を調和分析にかけ、第1日項の調和常数を示すと第39表のようである。

第39表 西斜面における調和分析の1日項

| 傾角 (°) | 深さ (cm) | 8 月 | | | 2 月 | | |
|-----------|------------|---------|---------|--------------|--------|---------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| 0 | 0 | 33.1 °C | 12.2 °C | 69° 10' | 6.7 °C | 13.1 °C | 40° 15' |
| | 5 | 31.8 | 6.6 | 44 25 | 6.6 | 6.6 | 8 20 |
| | 10 | 31.4 | 4.2 | 24 48 | 7.0 | 3.7 | 345 07 |
| | 20 | 30.1 | 1.7 | 343 35 | 7.4 | 1.9 | 319 13 |
| | 30 | 29.0 | 0.8 | 277 35 | 7.5 | 1.0 | 284 19 |
| 5 | 0 | 32.9 | 12.7 | 69 08 | 6.5 | 13.9 | 36 56 |
| | 5 | 31.9 | 6.4 | 44 21 | 6.4 | 6.3 | 359 54 |
| | 10 | 31.2 | 3.6 | 18 54 | 6.7 | 3.6 | 338 57 |
| | 20 | 29.9 | 1.7 | 336 09 | 6.8 | 1.3 | 310 47 |
| | 30 | 29.1 | 0.6 | 278 25 | 6.9 | 0.6 | 236 38 |
| 10 | 0 | 32.8 | 12.5 | 68 35 | 6.4 | 13.6 | 36 19 |
| | 5 | 31.9 | 6.2 | 42 40 | 5.9 | 7.8 | 28 01 |
| | 10 | 31.1 | 3.3 | 13 22 | 6.4 | 3.8 | 339 30 |
| | 20 | 29.8 | 1.7 | 334 59 | 6.6 | 1.4 | 312 59 |
| | 30 | 29.1 | 0.6 | 276 32 | 6.7 | 0.9 | 236 05 |
| 20 | 0 | 32.8 | 12.0 | 66 28 | 6.7 | 13.6 | 32 30 |
| | 5 | 31.8 | 5.9 | 38 06 | 6.1 | 6.9 | 3 28 |
| | 10 | 30.9 | 3.0 | 2 50 | 6.6 | 3.5 | 348 12 |
| | 20 | 30.1 | 1.7 | 340 27 | 6.4 | 1.8 | 301 14 |
| | 30 | 29.2 | 0.7 | 295 01 | 6.7 | 0.8 | 247 04 |
| 30 | 0 | 32.8 | 11.9 | 64 20 | 6.5 | 13.3 | 28 45 |
| | 5 | 31.6 | 5.9 | 35 19 | 5.7 | 6.6 | 358 27 |
| | 10 | 30.8 | 2.8 | 2 43 | 5.9 | 4.0 | 339 37 |
| | 20 | 30.2 | 1.6 | 343 02 | 6.2 | 1.9 | 301 38 |
| | 30 | 29.1 | 0.6 | 276 30 | 6.3 | 0.9 | 255 48 |
| 35 | 0 | 32.8 | 12.1 | 63 03 | 6.5 | 13.8 | 29 02 |
| | 5 | 31.7 | 6.0 | 36 37 | 5.4 | 6.2 | 2 15 |
| | 10 | 30.9 | 2.7 | 4 35 | 5.7 | 3.7 | 333 11 |
| | 20 | 30.1 | 1.6 | 0 08 | 5.8 | 1.9 | 306 26 |
| | 30 | 29.1 | 0.5 | 288 16 | 5.9 | 1.0 | 269 24 |

(2) 地温の深さと振巾との関係

西斜面における各傾角の地中温度の深さと振巾との関係は第40表のようである。

第40表 地温の深さと振巾との関係

| 傾角 | 8月 | 2月 |
|----|--------------------------|--------------------------|
| 0 | $Az = 24.48e^{-0.1052z}$ | $Az = 26.16e^{-0.1114z}$ |
| 5 | $Az = 25.30e^{-0.1179z}$ | $Az = 27.80e^{-0.1298z}$ |
| 10 | $Az = 24.93e^{-0.1190z}$ | $Az = 27.12e^{-0.1076z}$ |
| 20 | $Az = 24.06e^{-0.1199z}$ | $Az = 27.12e^{-0.1170z}$ |
| 30 | $Az = 23.72e^{-0.1205z}$ | $Az = 26.56e^{-0.1131z}$ |
| 35 | $Az = 24.16e^{-0.1195z}$ | $Az = 27.64e^{-0.1195z}$ |

(3) 地温日変化の及ぶ深さ

地温日変化の振巾が 0.1°C に減少する層は、実際上日変化しないと見做すことができるので、その深さを求めると第41表のようになった。

第41表 地温日変化の不易層 (cm)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 52.3 | 47.0 | 46.4 | 45.7 | 45.4 | 45.9 |
| 2 | 44.3 | 43.4 | 52.1 | 47.9 | 49.4 | 46.9 |

(4) 地中熱拡散率

西斜面における地中熱拡散率を理論式より求めると第42表のようになった。

第42表 地中熱拡散率 ($\times 10^{-3}$ C.G.S.)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 3.28 | 2.62 | 2.57 | 2.53 | 2.50 | 2.55 |
| 2 | 2.93 | 2.16 | 3.14 | 2.16 | 2.84 | 2.55 |

第43表 地中における熱量の交換 (Cal/cm^2)

| | | 時 | | | | | | | | | | | |
|----|----|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 傾角 | | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 8月 | 0 | 39.8 | 61.7 | 48.3 | 29.9 | 11.4 | -8.7 | -22.7 | -39.9 | -45.9 | -51.2 | -33.5 | -6.8 |
| | 5 | 30.3 | 57.2 | 45.5 | 28.5 | 11.6 | -7.1 | -19.5 | -33.0 | -39.2 | -47.0 | -34.5 | 7.5 |
| | 10 | 44.3 | 57.0 | 45.2 | 26.7 | 11.3 | -7.2 | -17.3 | -30.8 | -38.6 | -46.2 | -35.4 | 6.6 |
| | 20 | 22.7 | 54.8 | 44.1 | 31.2 | 12.6 | -5.1 | -16.1 | -29.9 | -36.3 | -44.9 | -35.1 | 1.5 |
| | 30 | 18.6 | 53.1 | 46.8 | 32.0 | 11.7 | -0.6 | -17.6 | -28.4 | -33.9 | -39.2 | -34.5 | -0.3 |
| | 35 | 18.6 | 55.1 | 47.1 | 33.8 | 14.4 | -5.4 | -16.1 | -28.7 | -35.1 | -39.3 | -31.2 | -14.0 |
| | | 時 | | | | | | | | | | | |
| 傾角 | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 2月 | 0 | -4.5 | 37.5 | 61.5 | 31.5 | 24.0 | 9.0 | -7.5 | -21.0 | -34.5 | -40.5 | -43.5 | -45.0 |
| | 5 | -10.5 | 27.5 | 52.5 | 58.5 | 33.0 | 10.5 | -7.5 | -22.5 | -33.0 | -37.5 | -39.0 | -39.0 |
| | 10 | -9.0 | 28.5 | 52.5 | 64.5 | 33.0 | 13.5 | -9.0 | -22.5 | -31.5 | -37.5 | -42.0 | -40.5 |
| | 20 | -3.0 | 19.5 | 51.0 | 72.0 | 33.0 | 13.5 | -6.0 | -22.5 | -33.0 | -37.5 | -45.0 | -43.5 |
| | 30 | -18.0 | 9.0 | 46.5 | 78.0 | 43.5 | 18.0 | -4.5 | -24.0 | -33.0 | -37.5 | -40.5 | -42.0 |
| | 35 | -18.0 | 9.0 | 48.0 | 85.5 | 39.0 | 18.0 | -6.0 | -22.5 | -31.5 | -34.5 | -39.0 | -39.0 |

第4節 地中における熱量の交換

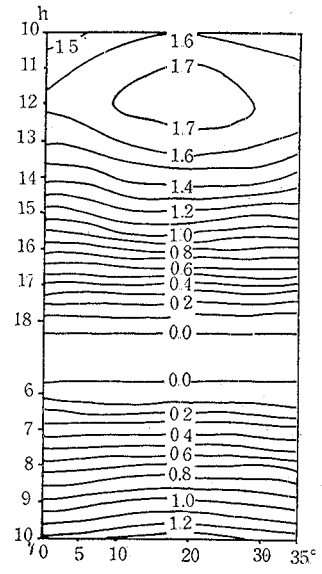
西斜面の各傾角における地下 30 cm までの地中熱交換量を求めると第43表のようである。

上表によると、西斜面の8月には熱量の最大は14時、最小は何れも6時で、熱量変化の振巾は傾角 0°~35° において夫々 112.9, 104.1, 103.2, 99.6, 92.3, 94.4 cal/cm² を示し、また2月には傾角 0° で14時に、5°~35° では16時に地中熱量は最大で、最小は何れも6~8時に現われて、熱量変化の振巾は傾角 0~35° まで夫々 106.5, 98.0, 106.5, 117.0, 120.0, 124.5 cal/cm² を示している。

第4章 南斜面における地中温度

第1節 日 射 量

南斜面における傾角 0~35° の日射量分布は理論計算からも明かなように、何れの月も isopleth は正午に関して対称で、日出没時刻は3月や12月には全斜面同時であるが、6月には傾斜の角度がすすむにつれて斜面に対する日出は遅れ、日没は早くなって、日照時間が短くなり日射量は減少する。いま8月における1例を示すと第79図のようで、全傾角を通じて日射の極大は何れも正午に現われており、傾角が増加するにつれてその極大値は次第に大きくなり、傾角 20° 附近において最大となり、以後傾角の増加につれて次第に減少する。すなわち傾角 0°~35° の正午の値は夫々 1.62, 1.64, 1.71, 1.77, 1.69, 1.67 gr. cal/cm². min であつた。傾角 5°~35° の斜面が1日間にうける日射の総量は平地の夫々 102.5, 107.6, 110.0, 106.5, 103.6%で傾角 20° に最も大きい。



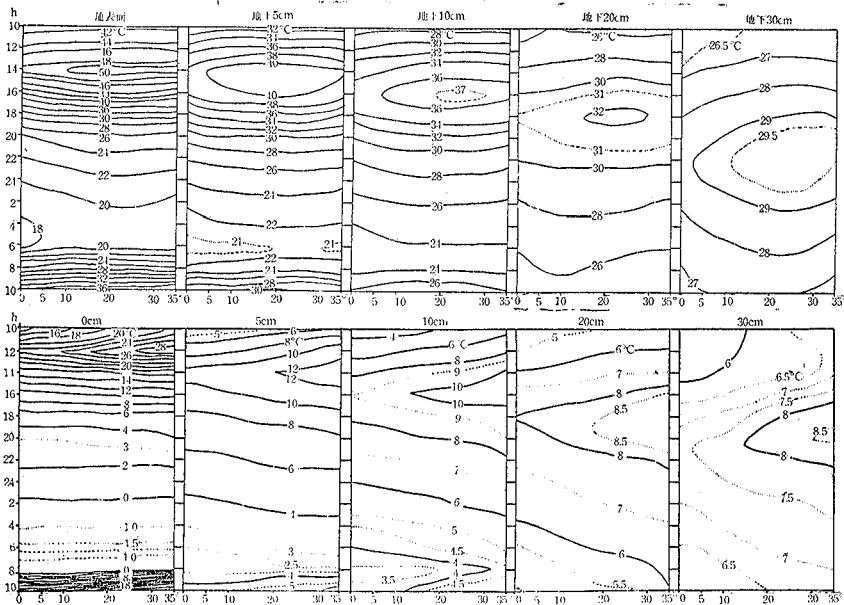
第79図

第2節 地中温度の日変化

南斜面の各傾角における8月及び2月の地中温度日変化の状態と傾角との関係を一目瞭然たらしめるため、各深さ別に 2°C 毎の isopleth 図を描くと第80図のようになる。これによると各傾角における地中温度分布の状態は日射の配布と平行的であり、地温の最高は何れの深さにおいても日射の最大な傾角 20° 附近に現われている。それらの模様は第44表のようである。また、最高温度や最低温度の発現時刻は、各深さ毎に全傾角の斜面とも同じであるが、地表面からの深さを増すにつれて次第に発現時刻が遅れる状態も図からよくわかるであろう。そして傾角の相違による最低温度の差異は僅か 1°C 以下である。

第44表 南斜面における最高・最低温度並びに温度較差 (°C)

| | | 最高温度 | | | | | | 最低温度 | | | | | | 温度較差 | | | | | |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° |
| 8月 | 0cm | 48.6 | 49.3 | 50.0 | 51.3 | 50.9 | 50.6 | 17.6 | 18.0 | 18.1 | 18.6 | 18.4 | 18.4 | 31.0 | 31.3 | 31.9 | 32.7 | 32.5 | 33.2 |
| | 5 | 39.6 | 40.1 | 40.5 | 41.1 | 40.3 | 40.2 | 20.4 | 20.7 | 20.8 | 21.1 | 21.0 | 20.9 | 19.2 | 19.4 | 19.7 | 20.0 | 19.3 | 19.3 |
| | 10 | 35.5 | 35.9 | 36.3 | 37.1 | 37.0 | 36.6 | 23.2 | 23.6 | 23.8 | 23.8 | 23.8 | 23.6 | 12.3 | 12.3 | 12.5 | 13.3 | 13.2 | 13.0 |
| | 20 | 31.3 | 31.1 | 31.7 | 32.3 | 32.0 | 31.9 | 25.3 | 25.8 | 26.0 | 25.9 | 25.5 | 25.4 | 6.0 | 5.5 | 5.7 | 6.4 | 6.5 | 6.5 |
| | 30 | 28.9 | 29.2 | 29.4 | 30.0 | 29.8 | 29.6 | 26.0 | 26.4 | 26.4 | 26.7 | 26.3 | 26.3 | 2.9 | 2.8 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.3 |
| 2月 | 0 | 22.5 | 23.6 | 24.8 | 26.8 | 28.8 | 30.0 | -1.6 | -1.8 | -2.0 | -1.6 | -1.6 | -1.8 | 24.1 | 25.4 | 26.8 | 28.4 | 30.4 | 31.8 |
| | 5 | 10.5 | 10.8 | 11.1 | 12.0 | 12.9 | 13.9 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 8.5 | 8.8 | 9.0 | 9.6 | 10.5 | 11.5 |
| | 10 | 9.1 | 9.4 | 9.7 | 10.6 | 10.8 | 10.9 | 3.3 | 3.4 | 3.4 | 3.5 | 3.9 | 4.3 | 5.8 | 6.0 | 6.3 | 7.1 | 6.9 | 6.6 |
| | 20 | 8.0 | 8.1 | 8.2 | 8.5 | 9.0 | 9.1 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 5.0 | 5.2 | 5.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.5 | 3.8 | 3.7 |
| | 30 | 7.2 | 7.5 | 7.6 | 8.2 | 8.5 | 8.6 | 5.6 | 5.7 | 5.8 | 6.2 | 6.3 | 6.8 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 1.8 |



第80図 各傾角における深さ別の地中温度日変化（上は8月，下は2月）

地温の日較差は何れの傾角も地表面に最も大きく、地下に入るに従って減少しているが、全傾角の斜面を通じて各深さとも地温の最も高かった傾角 20° に日較差は最も大きく現われている。

第3節 地中温度の解析

(1) 地温の調和分析

南斜面の各傾角における8月と2月の地表及び地中温度を調和分析して、各調和常数を求め1日項を示したのが第45表である。

これによると、振巾 a_1 は何れも地表面に最大で、深さと共に減少しており、その値は8月には傾角 20° に最も大きく、2月には傾角の増加に伴って大きくなっている。

位相 e_1 は何れの月も地表面に最もすすんでおり、深さと共に遅れているが、これは地中へ深くなる程最高・最低温度の発現時刻が遅れることを示すものであり、また位相の状態と傾斜角度との関係は、8月には地下各深さ毎に位相は略同じで、最高・最低温度の発現時刻が同じであることを示している。

(2) 地温の深さと振巾との関係

南斜面の各傾角における地中温度の深さと振巾との関係を示すと第46表のようである。

(3) 地温日変化の及ぶ深さ

南斜面の各傾角における地温日変化の及ぶ深さ、すなわち、地温の不易層の深さを計算すると第47表のようになった。

(4) 地中熱拡散率

各傾角の斜面における8月及び2月の地中熱拡散率を理論式より計算すると第48表のようである。

第4節 地中における熱量の交換

南斜面の各傾角における8月と2月の地中熱交換量を求めると第49表のようで、これによると8月には熱量の最大は全傾角ともに16時に最小は6時に現われているが、2月には傾角 0°~30° までは16時に最大で傾角 35° では14時に現われている。熱量の最小は何れも8時に現われ、熱量変化の振巾は8月には傾角 0°~35° まで夫々 145.5, 145.5, 150.0, 154.5, 156.0, 151.5 cal/cm² で傾角 30° に最も大きい。2月には夫々 63.0, 66.0, 67.5, 72.0,

第45表 南斜面における調和分析の1日項

| 傾角 (°) | 深さ (cm) | 8月 | | | 2月 | | |
|-----------|------------|--------|--------|--------------|-------|-------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| 0 | 0 | 29.2°C | 14.5°C | 34° 51' | 5.7°C | 8.5°C | 37° 08' |
| | 5 | 28.7 | 8.9 | 11 31 | 5.6 | 3.4 | 352 57 |
| | 10 | 28.5 | 5.7 | 351 06 | 5.9 | 2.5 | 322 51 |
| | 20 | 28.2 | 2.8 | 307 14 | 6.3 | 1.5 | 296 34 |
| | 30 | 27.5 | 1.3 | 259 58 | 6.5 | 0.8 | 290 18 |
| 5 | 0 | 29.8 | 14.3 | 35 44 | 5.8 | 8.9 | 37 35 |
| | 5 | 29.2 | 9.1 | 11 26 | 5.7 | 3.4 | 353 58 |
| | 10 | 28.9 | 5.7 | 350 11 | 6.1 | 2.5 | 325 47 |
| | 20 | 28.5 | 2.7 | 306 42 | 6.4 | 1.5 | 295 54 |
| | 30 | 27.9 | 1.3 | 259 39 | 6.7 | 0.9 | 255 05 |
| 10 | 0 | 30.2 | 15.0 | 34 39 | 6.0 | 9.2 | 38 45 |
| | 5 | 29.4 | 9.2 | 11 07 | 5.9 | 3.5 | 354 31 |
| | 10 | 29.2 | 5.7 | 349 42 | 6.3 | 2.6 | 328 58 |
| | 20 | 28.7 | 2.7 | 306 02 | 6.6 | 1.4 | 295 22 |
| | 30 | 28.1 | 1.3 | 256 41 | 6.8 | 0.9 | 72 39 |
| 20 | 0 | 31.0 | 15.0 | 33 36 | 6.7 | 10.0 | 41 01 |
| | 5 | 29.7 | 9.4 | 11 51 | 6.5 | 3.8 | 357 02 |
| | 10 | 29.5 | 6.2 | 351 35 | 6.6 | 1.9 | 317 32 |
| | 20 | 28.9 | 3.1 | 309 36 | 6.9 | 1.4 | 295 18 |
| | 30 | 28.4 | 1.5 | 257 01 | 7.2 | 0.5 | 75 22 |
| 30 | 0 | 30.6 | 14.9 | 34 04 | 7.2 | 10.8 | 42 56 |
| | 5 | 29.4 | 9.1 | 11 30 | 6.9 | 4.1 | 0 04 |
| | 10 | 29.4 | 6.1 | 351 55 | 7.0 | 2.7 | 333 30 |
| | 20 | 28.6 | 3.1 | 310 56 | 7.2 | 1.6 | 297 49 |
| | 30 | 28.4 | 1.5 | 268 49 | 7.4 | 0.8 | 269 44 |
| 35 | 0 | 30.3 | 14.8 | 34 32 | 7.5 | 11.3 | 43 25 |
| | 5 | 29.3 | 9.0 | 11 32 | 7.2 | 4.4 | 3 31 |
| | 10 | 29.1 | 6.1 | 353 22 | 7.3 | 2.8 | 331 57 |
| | 20 | 28.5 | 3.1 | 311 30 | 7.4 | 1.5 | 296 42 |
| | 30 | 28.2 | 1.5 | 269 08 | 7.6 | 0.7 | 279 09 |

第46表 地温の深さと振巾との関係

| 傾角 | 8月 | 2月 |
|----|--------------------------|--------------------------|
| 0 | $Az = 28.96e^{-0.0883z}$ | $Az = 16.94e^{-0.1186z}$ |
| 5 | $Az = 28.66e^{-0.0871z}$ | $Az = 17.76e^{-0.1213z}$ |
| 10 | $Az = 29.88e^{-0.0904z}$ | $Az = 18.50e^{-0.1231z}$ |
| 20 | $Az = 29.96e^{-0.0846z}$ | $Az = 19.92e^{-0.1383z}$ |
| 30 | $Az = 29.76e^{-0.0859z}$ | $Az = 21.62e^{-0.1281z}$ |
| 35 | $Az = 29.56e^{-0.0856z}$ | $Az = 22.54e^{-0.1336z}$ |

76.5, 76.5 cal/cm² で何れも8月の半分以下にして、振巾は傾角の増加に伴って増大している。

第47表 地温日変化の不易層 (cm)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 64.3 | 65.0 | 63.1 | 67.4 | 66.3 | 66.5 |
| 2 | 43.3 | 42.7 | 42.4 | 38.3 | 42.0 | 40.6 |

第48表 地中熱拡散率 ($\times 10^{-3}$ C.G.S.)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 4.66 | 4.79 | 4.45 | 5.08 | 4.92 | 4.96 |
| 2 | 2.59 | 2.47 | 2.40 | 1.93 | 2.22 | 2.04 |

第49表 地中における熱量の交換 (Cal/cm²)

| 時 \ 傾角 | 時 | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | |
| 8 月 | 0 | -3.0 | 34.5 | 75.0 | 78.0 | 48.0 | 13.5 | -4.5 | -22.5 | -42.0 | -57.0 | -67.5 | -52.5 |
| | 5 | -3.0 | 43.5 | 73.5 | 79.5 | 46.5 | 15.0 | -1.5 | -22.5 | -45.0 | -55.5 | -66.0 | -51.0 |
| | 10 | -1.5 | 34.5 | 70.5 | 82.5 | 48.0 | 16.5 | -4.5 | -24.0 | -40.5 | -57.0 | -67.5 | -52.5 |
| | 20 | -4.5 | 30.0 | 75.0 | 84.0 | 52.5 | 18.0 | -6.0 | -27.0 | -43.5 | -58.5 | -70.5 | -55.5 |
| | 30 | -3.0 | 36.0 | 76.5 | 85.5 | 51.0 | 18.0 | -4.5 | -25.5 | -42.0 | -58.5 | -70.5 | -57.0 |
| | 35 | -1.5 | 36.0 | 78.0 | 84.0 | 49.5 | 18.0 | -4.5 | -27.0 | -43.5 | -58.5 | -67.5 | -57.0 |
| 2 月 | 0 | -12.0 | 16.5 | 28.0 | 31.5 | 22.5 | 13.5 | 4.5 | -3.0 | -12.0 | -21.0 | -28.0 | -31.5 |
| | 5 | -10.5 | 19.5 | 28.5 | 31.5 | 21.0 | 12.0 | 4.5 | -4.5 | -13.5 | -24.0 | -30.0 | -34.5 |
| | 10 | -10.5 | 22.5 | 28.5 | 31.5 | 21.0 | 12.0 | 3.0 | -6.0 | -15.0 | -22.5 | -31.5 | -36.0 |
| | 20 | -9.0 | 24.0 | 31.5 | 31.5 | 19.5 | 10.5 | 0 | -9.0 | -18.0 | -27.5 | -31.5 | -40.5 |
| | 30 | -3.0 | 28.0 | 34.5 | 36.0 | 22.5 | 12.0 | -1.5 | -7.5 | -16.5 | -28.0 | -33.0 | -40.5 |
| | 35 | -1.5 | 33.0 | 36.0 | 33.0 | 21.0 | 12.0 | -1.5 | -10.5 | -19.5 | -30.5 | -34.5 | -40.5 |

第5章 北斜面における地中温度

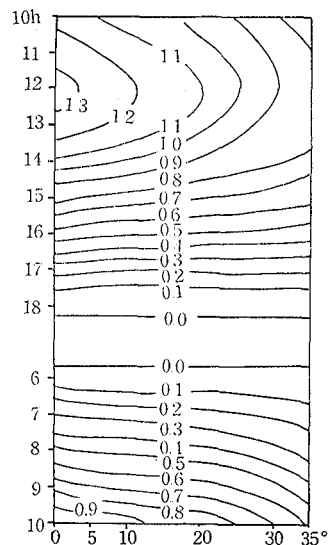
第1節 日射量

南斜面と同じく各月ともに isopleth は正午に関して対称である。6月には日出没時刻が全傾角の斜面に対して同時で、3月や12月には傾斜の角度が増すと斜面に対する日出時刻は次第に遅れ、日没時刻は早くなって傾角が大きくなると、遂には全日日射をうけなくなってくる。そして何れの月においても日射の最大は傾角 0° において現われること等も理論計算から明らかである。いま傾角 0~35° までの各斜面における9月の例を示すと第81図のようである。

日射の極大は何れの傾角においても正午に現われ、傾角の増加につれてその極大値は次第に小さくなっており、それは傾角 0°~35° まで夫々 1.33, 1.28, 1.22, 1.11, 0.91, 0.86 gr. cal/cm². min であった。そして1日間にうける日射の総量は傾角 5~35° までの斜面では夫々平地の 98.3, 89.5, 82.4, 68.6, 67.2%を示している。

第2節 地中温度の日変化

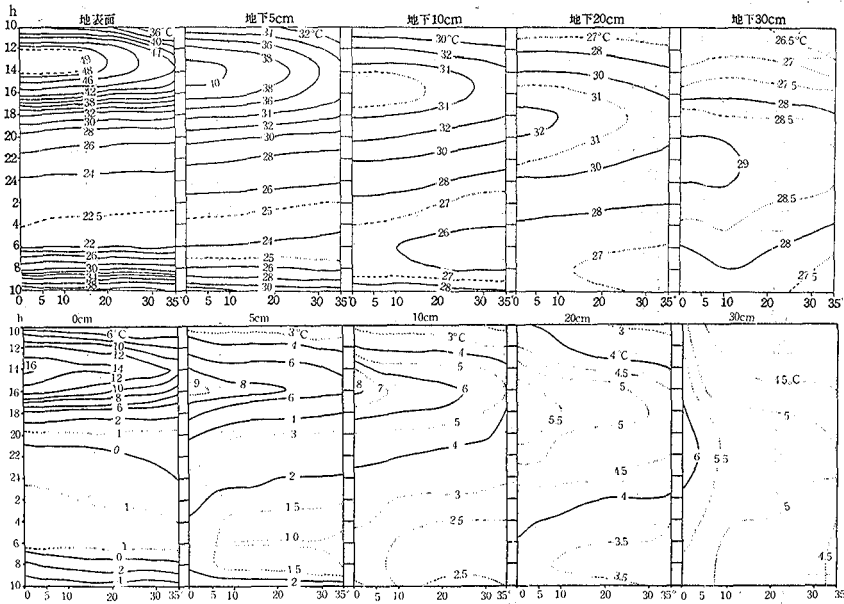
傾角 0~35° までの北斜面における9月及び2月の観測結果を各深さ別に 2°C 毎の isopleth 図に示して、地中温度日変化の状態と傾



第81図

斜角度との関係を一目瞭然たらしめたのが第82図である。

北斜面の各傾角における地中温度分布の状態はどれも日射の配布状態と平行的であり、最高温度の発現時刻は南斜面と同様に全傾角の斜面とも同時であり、地表面においては日射の最大時より少し遅れて13時頃であるが、地下5cmでは更に遅れて14時、地下10cmでは16時、地下20cmでは18時、地下30cmでは22時に現われている。



第82図 各傾角における深さ別の地中温度日変化（上は8月，下は2月）

第50表 北斜面における最高・最低温度並びに温度較差（°C）

| | | 最高温度 | | | | | 最低温度 | | | | | 温度較差 | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35° | |
| 8月 | 0cm | 49.9 | 49.7 | 49.4 | 47.8 | 45.0 | 44.0 | 22.2 | 22.1 | 22.0 | 22.0 | 21.9 | 21.8 | 21.7 | 21.6 | 21.5 | 21.4 | 21.3 | 21.2 | 21.2 |
| | 5 | 41.0 | 40.7 | 39.9 | 38.5 | 36.0 | 34.9 | 24.0 | 23.9 | 24.0 | 23.7 | 23.8 | 23.7 | 17.0 | 16.8 | 15.9 | 14.8 | 12.2 | 11.2 | |
| | 10 | 35.9 | 35.8 | 35.6 | 34.8 | 33.3 | 32.6 | 26.1 | 26.0 | 25.6 | 25.4 | 25.5 | 10.4 | 9.2 | 9.6 | 9.2 | 8.4 | 7.7 | | |
| | 20 | 32.2 | 32.0 | 32.0 | 31.2 | 30.7 | 30.4 | 26.3 | 26.4 | 26.3 | 26.0 | 26.0 | 6.0 | 5.7 | 5.6 | 4.9 | 4.7 | 4.4 | | |
| | 30 | 29.3 | 29.1 | 29.1 | 28.8 | 28.7 | 28.6 | 26.6 | 26.8 | 26.6 | 26.3 | 26.2 | 2.7 | 2.3 | 2.1 | 2.2 | 2.4 | 2.4 | | |
| 2月 | 0 | 16.8 | 15.7 | 14.8 | 14.5 | 12.5 | 11.8 | -1.5 | -1.9 | -1.6 | -1.6 | -1.5 | -1.5 | 18.3 | 17.6 | 16.4 | 16.1 | 14.0 | 13.3 | |
| | 5 | 9.4 | 9.0 | 8.5 | 8.2 | 7.0 | 6.3 | 1.6 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 7.8 | 7.5 | 7.5 | 7.2 | 6.0 | 5.5 | |
| | 10 | 8.2 | 7.8 | 6.5 | 6.4 | 5.5 | 5.1 | 2.6 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 5.6 | 5.1 | 4.2 | 4.1 | 3.2 | 3.1 | |
| | 20 | 6.0 | 5.7 | 5.5 | 5.5 | 5.0 | 4.7 | 3.8 | 3.7 | 3.4 | 3.0 | 2.9 | 2.7 | 2.2 | 2.0 | 2.1 | 2.5 | 2.1 | 2.0 | |
| | 30 | 6.3 | 5.9 | 5.3 | 5.2 | 5.1 | 5.0 | 5.1 | 4.5 | 4.4 | 4.3 | 4.2 | 4.0 | 1.2 | 1.4 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | |

最低温度も各斜面とも各深さ毎に同時に現われ、深さを増すにつれて遅れることも最高温度の場合と同様であるが、最低温度は傾角の相違による差異が僅か度1°C程度であった。各傾角における最高・最低温度並びに日較差を示すと第50表のようである。

地温の日較差は何れの傾角においても地表面に最も大きく、地下に入る程次第に減少し、また較差は傾角0°に最も大きく、傾角の増大につれて次第に減少している。

第3節 地中温度の解析

(1) 地中温度の調和分析

北斜面の各傾角における9月と2月の地温観測結果を調和分析して各調和常数を算出し、1日項を示したのが第51表である。

第51表 北斜面における調和分析の1日項

| 傾角 (°) | 深さ (cm) | 9月 | | | 2月 | | |
|-----------|------------|---------|---------|--------------|--------|--------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| 0° | 0 | 32.4 °C | 13.4 °C | 37° 11' | 4.0 °C | 7.8 °C | 33° 11' |
| | 5 | 31.2 | 8.0 | 15 43 | 4.3 | 3.2 | 0 01 |
| | 10 | 30.3 | 4.6 | 349 17 | 4.5 | 2.3 | 346 04 |
| | 20 | 29.2 | 2.9 | 310 59 | 4.8 | 1.0 | 324 59 |
| | 30 | 28.1 | 1.2 | 256 33 | 5.8 | 0.1 | 242 58 |
| 5 | 0 | 32.3 | 13.3 | 37 05 | 3.6 | 7.8 | 30 57 |
| | 5 | 30.9 | 7.8 | 16 07 | 3.8 | 3.0 | 0 05 |
| | 10 | 30.3 | 4.6 | 349 51 | 4.2 | 1.9 | 340 47 |
| | 20 | 29.2 | 2.7 | 311 05 | 4.6 | 0.9 | 317 09 |
| | 30 | 28.2 | 1.1 | 254 12 | 5.3 | 0.6 | 248 39 |
| 10 | 0 | 32.0 | 13.2 | 37 22 | 3.4 | 7.0 | 31 09 |
| | 5 | 30.7 | 7.5 | 16 27 | 3.3 | 2.8 | 5 29 |
| | 10 | 30.1 | 4.5 | 351 18 | 3.9 | 1.8 | 340 31 |
| | 20 | 29.2 | 2.6 | 313 05 | 4.4 | 0.9 | 318 38 |
| | 30 | 28.2 | 1.0 | 247 20 | 4.9 | 0.4 | 255 36 |
| 20 | 0 | 31.4 | 12.2 | 36 36 | 3.3 | 6.5 | 30 32 |
| | 5 | 30.0 | 6.8 | 16 59 | 3.3 | 2.8 | 5 30 |
| | 10 | 29.7 | 4.3 | 354 54 | 3.8 | 1.8 | 341 10 |
| | 20 | 28.8 | 2.3 | 312 49 | 4.2 | 1.0 | 309 40 |
| | 30 | 28.0 | 0.9 | 255 19 | 4.8 | 0.4 | 243 13 |
| 30 | 0 | 30.4 | 10.7 | 33 35 | 2.7 | 5.6 | 28 25 |
| | 5 | 29.2 | 5.8 | 12 32 | 3.0 | 2.4 | 4 56 |
| | 10 | 29.2 | 4.0 | 351 53 | 3.5 | 1.4 | 337 19 |
| | 20 | 28.5 | 2.2 | 307 12 | 4.0 | 0.9 | 301 05 |
| | 30 | 27.8 | 1.1 | 257 38 | 4.7 | 0.4 | 252 18 |
| 35 | 0 | 30.1 | 10.3 | 32 16 | 2.6 | 5.0 | 27 55 |
| | 5 | 28.8 | 5.4 | 8 12 | 2.8 | 2.2 | 1 58 |
| | 10 | 28.9 | 3.7 | 350 24 | 3.2 | 1.2 | 335 11 |
| | 20 | 28.3 | 2.0 | 305 35 | 3.9 | 0.9 | 297 47 |
| | 30 | 27.7 | 1.1 | 255 19 | 4.5 | 0.5 | 266 42 |

第52表 地温の深さと振巾との関係

| 傾角 | 9月 | 2月 |
|----|--------------------------|--------------------------|
| 0 | $Az = 26.70e^{-0.0913z}$ | $Az = 15.68e^{-0.1206z}$ |
| 5 | $Az = 26.68e^{-0.0946z}$ | $Az = 15.60e^{-0.1215z}$ |
| 10 | $Az = 26.34e^{-0.0971z}$ | $Az = 13.96e^{-0.1166z}$ |
| 20 | $Az = 24.32e^{-0.0987z}$ | $Az = 13.08e^{-0.1391z}$ |
| 30 | $Az = 21.44e^{-0.0949z}$ | $Az = 11.16e^{-0.1292z}$ |
| 35 | $Az = 20.58e^{-0.0975z}$ | $Az = 9.90e^{-0.1285z}$ |

これによると、振巾 a_1 は何れの月も地表面に最大で、深さと共に減少しており、その値は9月・2月ともに各深さを通じて傾角 0° に最も大きく、傾角の増加につれて減少している。

位相 ϵ_1 は9月・2月ともに各傾角を通じて地表面に最もすすんでおり、深さと共に遅れを示している。

(2) 地温の深さ振巾との関係

北斜面における各傾角の地温の深さと振巾との関係を示すと第52表のようである。

(3) 地温日変化の及ぶ深さ

地温日変化の振巾が 0.1°C に減少する層の深さを計算すると第53表のようになった。

第53表 地温日変化の不易層 (cm)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 9 | 61.2 | 59.1 | 57.4 | 55.7 | 56.6 | 54.6 |
| 2 | 36.3 | 39.1 | 38.4 | 40.4 | 38.8 | 39.4 |

不易層の深さは夏季には冬季より一般に深く、すなわち温度日変化が地中深くまで達することがわかる。9月には傾角 0° において最も深く、傾角の増加につれて次第に浅くなっているが、2月は9月と反対の傾向にあるようである。

(4) 地中熱拡散率

北斜面における地中熱拡散率を理論式より計算すると第54表のようになった。

第54表 地中熱拡散率 ($\times 10^{-3}$ C.G.S.)

| 月 \ 傾角 | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 35 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 9 | 4.36 | 4.07 | 3.86 | 3.73 | 4.04 | 3.83 |
| 2 | 2.50 | 2.46 | 2.67 | 1.88 | 2.18 | 2.20 |

第4節 地中における熱量の交換

北斜面における各傾角の地下 30 cm までの熱交換量を求めると第55表のようで、9月においては傾角 $0 \sim 20^\circ$ までの斜面では地中の熱量は14時に最大となり、傾角 $30 \sim 35^\circ$ では15時頃になっているが、熱量の最小は何れの傾角においても6時に現われている。2月には何れの傾角においても地中熱量は16時に最大で6時に最小となっている。そして熱量変化の振巾は9月には傾角 $0 \sim 35^\circ$ まで夫々 126.9, 124.5, 120.5, 119.1, 99.9, 95.7 cal/cm², 2

第55表 地中における熱量の交換 (Cal/cm²)

| | 傾角 \ 時 | 時 | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 9 月 | 0 | 2.0 | 40.8 | 66.9 | 53.9 | 38.6 | 16.2 | -3.6 | -24.2 | -39.3 | -46.1 | -60.0 | -44.9 |
| | 5 | -8.0 | 36.6 | 67.1 | 63.8 | 38.6 | 14.1 | -4.5 | -23.9 | -40.5 | -47.6 | -57.5 | -39.5 |
| | 10 | -4.8 | 39.6 | 66.9 | 52.7 | 36.9 | 12.8 | -5.9 | -22.8 | -38.9 | -46.2 | -53.6 | -36.2 |
| | 20 | -4.8 | 36.5 | 65.3 | 58.7 | 33.8 | 10.5 | -8.1 | -21.8 | -35.3 | -44.4 | -53.9 | -35.4 |
| | 30 | -10.1 | 26.4 | 52.2 | 53.6 | 34.8 | 14.6 | -4.8 | -16.5 | -29.9 | -38.6 | -46.4 | -33.6 |
| | 35 | -12.8 | 19.1 | 47.1 | 51.9 | 34.2 | 13.8 | -2.1 | -14.1 | -27.9 | -35.0 | -43.8 | -30.6 |
| 2 月 | 0 | -13.5 | 12.0 | 40.5 | 46.5 | 18.0 | 3.0 | -4.5 | -13.5 | -18.0 | -21.0 | -24.0 | -19.5 |
| | 5 | -12.0 | 10.5 | 33.0 | 43.5 | 15.0 | 3.0 | -3.0 | -9.0 | -16.5 | -19.5 | -22.5 | -18.0 |
| | 10 | -9.0 | 10.5 | 30.0 | 39.0 | 15.0 | -1.5 | -6.0 | -9.0 | -13.5 | -18.0 | -21.0 | -19.5 |
| | 20 | -12.0 | 7.5 | 28.5 | 36.0 | 16.5 | 1.5 | -6.0 | -7.5 | -13.5 | -18.0 | -21.0 | -18.0 |
| | 30 | -10.5 | 4.5 | 27.0 | 28.5 | 13.5 | 4.5 | -1.5 | -6.0 | -10.5 | -13.5 | -18.0 | -13.5 |
| | 35 | -10.5 | 3.0 | 24.0 | 25.5 | 10.5 | 3.0 | 0 | -3.0 | -10.5 | -13.5 | -18.0 | -10.5 |

月には夫々 70.5, 67.0, 60.0, 57.0, 46.5, 43.5 cal/cm² で、何れの月においても傾角 0° に最も大きく、傾角の増大に伴って減少している。

第2部 傾斜地開墾前後における地中温度に関する研究

南北両斜面における未開墾地と、それに隣接せる開墾当初の果樹園、並びに開墾後15年以上経過した成園における地中温度の日変化や季節変化を、接地気温と併行して観測し分布の実状を明かにし、また、その結果を理論的に解析して分布の特性を考究する。以下、開墾当初の園と開墾後の成園について述べるが、考察の便宜上、地表面温度も含めて取扱う。

第1章 傾斜地開墾当初における地中温度の日変化⁽³⁵⁾

第14図に示した南面松林 (No.1) と、それに隣接せる開墾当初の桃園 (No.2)、北面栗園 (No.5) 及び北面松林 (No.6) において、第2編、第1部、第1章の方針によって、接地気温と同時に地中各深さの温度を観測し、開墾当初における開墾地と未開墾地の地中温度日変化の実状を検出し、その結果を調和分析法によって処理し、また地温の深さと振巾との関係、地温日変化の不易層の深さ、地中熱拡散率並びに地中における熱交換量を求めて理論的に各場所の熱的温度的特性を考究する。

第1節 地中温度の日変化

南北両斜面における開墾地と未開墾地の地表及び地下 5, 10, 20, 30, 50 cm の地中温度観測結果を一々示すのは繁雑に過ぎるから、四季における昼夜別平均をとり、また、開墾前後の状態を比較するために、開墾地と未開墾地との温度差をとって isopleth 図を描いて考察する。

春季 3月における結果を第56表についてみると、昼間平均は何れも受熱型を示し、No.2は地中 50 cm までの各深さを通じて最も高温で、地表面は23.8°C を示し、No.1より9.5°C 高い。また地下 50 cm においても 9.7°C で、No.1より 1.6°C 高くなっている。北斜面においても開墾地の No.5 が No.6 より高温で、地表面では 6.8°C、地下 50 cm でも 0.6°C 高温であった。

夜間平均は、南北斜面ともに特に開墾地は顕著な放熱型を示している。また夜間における開墾地と未開墾地の温度差は、地表面では、No.2は 3.0°C、No.5は 2.1°C、開墾地が低く、南斜面では地下 20 cm 北斜面では地下 5 cm 以下において開墾地が高温になっている。

これらの模様を一目瞭然たらしめるために、南北両斜面における開墾地と未開墾地との温度差をとって描いた isopleth 図は第83図のようで、図において温度差の正值は何れも開墾地が高温であり、負値は未開墾地が高温であることを示す。

夏季 年間の最高温度を出現する盛夏の

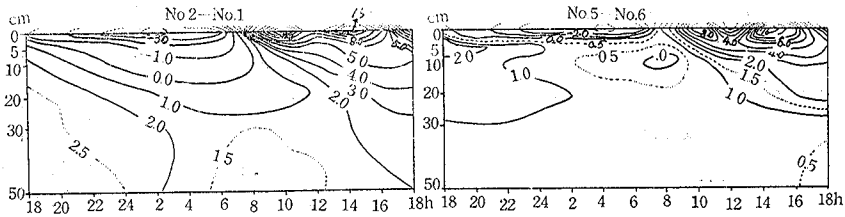
観測結果は第57表のようで、昼間は何れも受熱型を現わし、開墾地の温度勾配は未開墾地より大きい。そして地温

第56表 昼夜別平均温度 (3月)

| | No.1 | | No.2 | | No.5 | | No.6 | |
|-----|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|
| | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 |
| 0cm | 14.3 | 4.0 | 23.8 | 1.0 | 19.5 | 1.6 | 12.7 | 3.7 |
| 5 | 12.6 | 5.8 | 16.2 | 5.1 | 12.2 | 6.5 | 8.6 | 5.4 |
| 10 | 9.9 | 7.9 | 13.2 | 7.8 | 9.5 | 6.7 | 7.7 | 6.1 |
| 20 | 8.9 | 8.4 | 10.9 | 9.7 | 7.8 | 7.7 | 6.4 | 6.5 |
| 30 | 7.7 | 7.9 | 9.7 | 10.1 | 7.3 | 7.7 | 6.6 | 6.8 |
| 50 | 8.1 | 7.8 | 9.7 | 8.4 | 7.7 | 7.9 | 7.1 | 7.2 |

第57表 昼夜別平均温度 (8月)

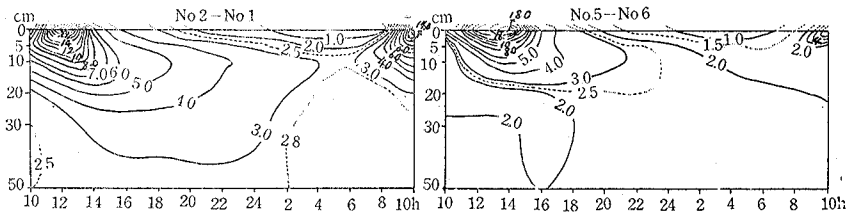
| | No.1 | | No.2 | | No.5 | | No.6 | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 |
| 0cm | 33.4 | 27.2 | 41.6 | 28.4 | 40.1 | 26.9 | 31.7 | 25.8 |
| 5 | 31.8 | 28.0 | 38.5 | 30.6 | 34.8 | 29.2 | 30.7 | 26.9 |
| 10 | 29.6 | 28.2 | 35.8 | 31.8 | 32.7 | 30.2 | 29.3 | 27.8 |
| 20 | 28.7 | 28.8 | 32.6 | 32.1 | 29.5 | 29.9 | 27.7 | 27.6 |
| 30 | 28.1 | 28.4 | 31.0 | 31.4 | 29.0 | 29.6 | 26.9 | 27.2 |
| 50 | 27.4 | 27.5 | 30.1 | 30.3 | 28.6 | 29.0 | 26.5 | 26.7 |



第83図

は何れの深さとも開園地が高温で、両者の温度差は特に地表面に大きく、南斜面では No. 2 は No. 1 より 8.2°C 高く 41.6°C を示し、地下 10 cm では 6.2°C、また地下 50 cm でも 2.7°C 高温で、夫々 35.8°C、30.1°C を示している。北斜面では南斜面より低温であるが、開園地の No. 5 は No. 6 より地表面にて 8.4°C 高く 40.1°C を地下 10 cm で 3.4°C、地下 50 cm でも 2.1°C 高く夫々 32.7°C、28.6°C を示している。

夜間においては、地下 20 cm までの浅層では地表への熱流を現わす放熱型を示し、深層では地下へ向い日中の受熱型が残っている。開園地と未開園地の温度差は地下部においては何れも開園地が高温で、特に地下 10 cm 以下の温度差が大きく、No. 2 の地下 10 cm では No. 1 より 3.6°C、地下 50 cm でも 2.8°C 高温を示している。北斜面においては南斜面より低温であるが、開園地の No. 5 は No. 6 より地下 10 cm で 2.4°C、地下 50 cm でも 2.3°C 夫々高温である。これら夜間に開園地が未開園地より高温なのは、地中における日中の熱量の蓄積が未開園地より大きいことによるものと考えられる。これらの模様を示すために開園地と未開園地の温度差をとって isopleth 図を描くと第84図のようである。



第84図

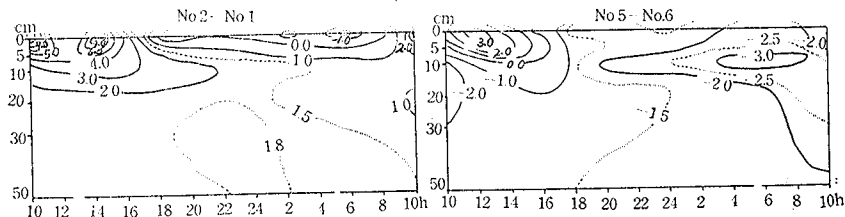
秋季 秋季になると第58表に示したように地温は低下し 昼間平均において南斜面は、開園地、未開園地とも地下 20 cm 附近までの浅層では受熱型を、

深層では放熱型が残っている。No. 2 は No. 1 より地中各深さを通じて高温で、特に地表面での差が大きい、すなわち、No. 2 は No. 1 より 4.0°C 高く 16.4°C を地下 50 cm でも 1.3°C 高く 14.1°C を示している。北斜面では、開園地・未開園地とも地下極く浅層では昼間受熱型を、深層は放熱型で、両者の温度差も深層に大きく、ここでは開園地が低温を示している。

第58表 昼夜別平均温度 (11月)

| | No.1 | | No.2 | | No.5 | | No.6 | |
|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 |
| 0cm | 12.4 | 7.6 | 16.4 | 6.9 | 10.0 | 5.6 | 9.8 | 7.4 |
| 5 | 11.6 | 8.9 | 15.0 | 9.6 | 9.5 | 6.2 | 9.1 | 8.3 |
| 10 | 10.3 | 10.0 | 13.7 | 11.6 | 8.4 | 7.2 | 9.9 | 9.9 |
| 20 | 11.2 | 11.5 | 12.4 | 13.0 | 8.5 | 9.0 | 10.2 | 10.5 |
| 30 | 11.5 | 11.9 | 13.0 | 13.7 | 8.8 | 9.2 | 10.6 | 10.9 |
| 50 | 12.8 | 12.6 | 14.1 | 14.1 | 9.9 | 9.7 | 11.4 | 11.3 |

夜間はどの斜面も放熱型を示し、特に



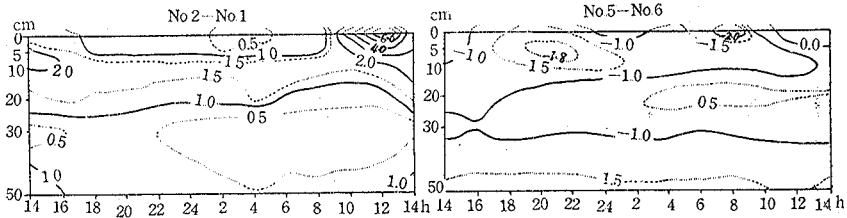
第85図

No. 2 に顕著である。そして南斜面では地下 5 cm 以下において、開園地は未開園地より高温で、また北斜面では各深さを通じて低温を示し、両者の差は地下 10 cm 以下において大きい。これら温度差の日変化は第85図のようである。

冬季 南北両斜面の1月における地温の昼・夜間平均を示した第59表についてみると、冬季は開園地・未開園地ともに昼間も放熱型を示し、そして南斜面では昼夜間ともに開園地が未開園地より高温で、地表面

第59表 昼夜別平均温度（1月）

| | No.1 | | No.2 | | No.5 | | No.6 | |
|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|
| | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 | 昼 | 夜 |
| 0cm | 2.4 | 0.2 | 4.8 | 0.5 | 1.8 | -0.2 | 2.5 | 1.1 |
| 5 | 3.0 | 1.6 | 5.0 | 2.2 | 2.5 | -0.9 | 3.4 | 2.4 |
| 10 | 3.2 | 2.6 | 5.1 | 4.3 | 2.5 | 1.6 | 3.7 | 3.0 |
| 20 | 4.2 | 4.2 | 5.4 | 5.2 | 3.4 | 3.6 | 4.1 | 4.2 |
| 30 | 4.9 | 5.1 | 5.2 | 5.4 | 3.7 | 3.9 | 4.6 | 4.8 |
| 50 | 5.8 | 5.9 | 6.6 | 6.6 | 4.0 | 4.0 | 5.6 | 5.6 |



第86図

では昼間 2.4°C 高く 4.8°C を示し、地下に入るに従って温度差は減少し、地下 50 cm では 0.8°C になっている。北斜面においては 開園地が低温で、それらの模様は第86図のようである。

第2節 地中温度の解析

(1) 地中温度の調和分析

各季節における地温の2時間置き観測結果を、観測時刻の不同を調整し、日変化の特性を理論的に表現するために、調和分析にかけ その1日項を示したのが第60表である。

これによると、振巾 a_1 は南北両斜面の開園地・未開園地とも、何れの季節においても、地表面に大きく、地中へ深くなるにつれて次第に減少し、また、地中各深さを通じて No. 2 における振巾が最も大きい。

位相 ϵ_1 の相違は、各場所における熱授受の機構を示すものであるが、何れの季節においても、地表面に最も進んでおり、特に No. 2 においては、何れの場所よりも全地中を通じて最も進んでいる。また、南北両斜面とも開園地は未開園地より地中各深さを通じて振巾は大きく位相は進んでいる。

(2) 地温の深さと振巾との関係

地温の振巾は、地中へ深くなるに従って指数函数的に減少するので、地温の深さと振巾との関係を求めると第61表のようになる。

振巾の減少係数は、南斜面では8月、北斜面は11月以外において開園地が大きい。

(3) 地温日変化の及ぶ深さ

地温日変化の振巾が 0.1°C 以下に減少する地層を地温日変化の不易層と考えて、その深さを求めると第62表のようになる。これによると地温日変化の及ぶ深さは、南斜面では8月以外において開園地が未開園地より小さく、北斜面では両者の関係が判然としていなかった。

(4) 地中熱拡散率

南北両斜面の開園地と未開園地における地中熱拡散率を理論式より計算すると第63表のようになった。すなわち南斜面では未開園地に大きく、北斜面も未開園地に大きい傾向にある。

第3節 地中における熱量の交換

開園地と未開園地における各季節の地中熱交換量を算出すると、第64表のようになった。

第60表 調和分析の一日項

| | | No.1 | | | No.2 | | | No.5 | | | No.6 | | |
|-----|-----|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| 3月 | cm | °C | °C | 182° 20' | °C | °C | 193° 24' | °C | °C | 185° 59' | °C | °C | 348° 15' |
| | 0 | 9.1 | 8.3 | 165 48 | 12.4 | 17.6 | 168 02 | 10.5 | 14.4 | 156 21 | 8.2 | 4.2 | 155 00 |
| | 5 | 9.2 | 6.2 | 133 12 | 10.7 | 9.6 | 145 38 | 9.3 | 5.6 | 155 12 | 7.0 | 3.3 | 137 46 |
| | 10 | 8.9 | 3.1 | 117 39 | 10.5 | 6.0 | 117 21 | 8.1 | 3.1 | 104 06 | 6.9 | 2.3 | 95 23 |
| | 20 | 8.6 | 1.7 | 82 47 | 10.3 | 3.2 | 102 20 | 7.8 | 1.4 | 51 13 | 6.5 | 0.7 | 59 28 |
| | 30 | 7.8 | 0.6 | 232 11 | 9.9 | 1.2 | 32 32 | 7.5 | 0.4 | 24 52 | 6.7 | 0.2 | 45 00 |
| 50 | 7.9 | 0.3 | | 9.8 | 0.1 | | 7.8 | 0.1 | | 7.2 | 0.1 | | |
| 8月 | 0 | 30.0 | 4.9 | 25 11 | 35.0 | 9.9 | 49 19 | 33.5 | 11.3 | 35 00 | 23.8 | 4.7 | 28 17 |
| | 5 | 29.9 | 3.6 | 11 13 | 34.6 | 6.6 | 26 05 | 32.0 | 5.4 | 12 10 | 28.8 | 3.5 | 12 54 |
| | 10 | 28.9 | 2.3 | 344 27 | 33.1 | 4.3 | 4 21 | 31.4 | 3.6 | 349 13 | 28.6 | 2.1 | 358 53 |
| | 20 | 28.7 | 0.9 | 306 39 | 32.3 | 1.6 | 356 44 | 29.8 | 1.3 | 296 31 | 27.6 | 1.2 | 317 40 |
| | 30 | 28.2 | 0.3 | 273 46 | 31.2 | 0.7 | 290 56 | 29.3 | 0.5 | 248 48 | 27.1 | 0.4 | 276 13 |
| | 50 | 27.5 | 0.1 | 210 00 | 30.2 | 0.2 | 214 38 | 28.8 | 0.3 | 221 51 | 26.6 | 0.2 | 210 00 |
| 11月 | 0 | 1.0 | 4.0 | 37 45 | 11.7 | 7.7 | 41 38 | 7.8 | 3.8 | 37 38 | 8.6 | 1.7 | 19 29 |
| | 5 | 10.3 | 2.6 | 14 41 | 12.3 | 4.8 | 23 43 | 7.8 | 3.0 | 19 46 | 8.7 | 1.0 | 358 18 |
| | 10 | 10.5 | 1.7 | 347 11 | 12.7 | 2.6 | 253 35 | 7.8 | 1.8 | 350 16 | 10.0 | 0.7 | 302 45 |
| | 20 | 11.3 | 0.8 | 292 44 | 12.7 | 1.0 | 287 01 | 8.7 | 0.9 | 294 21 | 10.3 | 0.4 | 273 00 |
| | 30 | 11.7 | 0.4 | 242 47 | 13.3 | 0.6 | 244 48 | 9.0 | 0.4 | 240 48 | — | — | — |
| | 50 | 12.6 | 0.1 | 212 00 | 14.1 | 0.1 | 265 14 | 9.8 | 0.2 | 59 32 | 11.3 | 0.1 | 81 52 |
| 1月 | 0 | 1.3 | 2.0 | 82 35 | 2.7 | 3.6 | 95 49 | 0.8 | 2.0 | 76 06 | 1.7 | 1.6 | 69 18 |
| | 5 | 2.3 | 1.7 | 58 15 | 3.6 | 2.6 | 80 11 | 1.7 | 1.6 | 73 38 | 2.9 | 1.5 | 53 11 |
| | 10 | 3.0 | 1.3 | 39 40 | 4.7 | 1.5 | 41 29 | 2.0 | 1.2 | 51 21 | 3.3 | 1.2 | 38 49 |
| | 20 | 4.2 | 1.0 | 15 37 | 5.3 | 1.1 | 23 38 | 3.5 | 0.4 | 1 06 | 4.2 | 0.7 | 14 41 |
| | 30 | 5.0 | 0.3 | 358 37 | 5.3 | 0.6 | 359 37 | 3.8 | 0.2 | 331 25 | 4.7 | 0.2 | 342 21 |
| | 50 | 5.9 | 0.2 | 323 07 | 6.6 | 0.2 | 18 56 | 4.0 | 0.1 | 210 02 | 5.6 | 0.0 | 345 23 |

第61表 深さと振巾との関係

| | | No.1 | No.2 | No.5 | No.6 |
|-----|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 3月 | | $Az=8.3e^{-0.0786z}$ | $Az=17.6e^{-0.1052z}$ | $Az=14.4e^{-0.0785z}$ | $Az=4.2e^{-0.0729z}$ |
| 8月 | | $Az=9.7e^{-0.077z}$ | $Az=19.8e^{-0.077z}$ | $Az=22.5e^{-0.109z}$ | $Az=9.4e^{-0.072z}$ |
| 11月 | | $Az=7.9e^{-0.0672z}$ | $Az=15.4e^{-0.0796z}$ | $Az=7.5e^{-0.0539z}$ | $Az=3.5e^{-0.0668z}$ |
| 1月 | | $Az=4.0e^{-0.0457z}$ | $Az=7.1e^{-0.0656z}$ | $Az=4.0e^{-0.0647z}$ | $Az=3.1e^{-0.0466z}$ |

第62表 地温日変化の不易層 (cm)

| | No.1 | No.2 | No.5 | No.6 |
|-----|------|------|------|------|
| 3月 | 65.2 | 55.7 | 63.3 | 60.7 |
| 8月 | 59.6 | 68.8 | 49.8 | 63.1 |
| 11月 | 65.1 | 63.3 | 80.1 | 53.2 |
| 1月 | 80.9 | 65.5 | 57.0 | 74.0 |

第63表 地中の熱拡散率 ($\times 10^{-3}$ C.G.S.)

| | No.1 | No.2 | No.5 | No.6 |
|-----|-------|------|-------|-------|
| 3月 | 5.89 | 3.29 | 5.90 | 6.82 |
| 8月 | 6.13 | 6.13 | 3.06 | 7.01 |
| 11月 | 8.08 | 5.77 | 12.54 | 8.08 |
| 1月 | 17.41 | 8.45 | 8.69 | 16.74 |

これによると南北斜面ともに、春季には開園地では地中熱量の最大は16時に、最小は6時で、未開園地では最小は何れも6時に現われているが、最大は南斜面では14時に、北斜面は12時に現われている。そして熱量変化の振巾は開園地では何れも大きく、南斜面では 175 cal/cm^2 、北斜面は 105 cal/cm^2 を示し、未開園地においては夫々

第64表 地中の熱交換量 (Cal/cm²)

| | | 時 | | | | | | | | | | | |
|------|-------|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 3 月 | No. 1 | -25.0 | 45.0 | 46.5 | 46.5 | 39.0 | -2.5 | -7.5 | -17.5 | -25.0 | -35.0 | -45.0 | -37.5 |
| | No. 2 | -7.5 | 55.0 | 80.0 | 95.0 | 70.0 | 0 | -17.5 | -32.5 | -47.5 | -65.0 | -80.0 | -52.5 |
| | No. 5 | 0 | 35.0 | 52.5 | 57.5 | 30.0 | 12.5 | -12.5 | -20.0 | -32.5 | -40.0 | -47.5 | -40.0 |
| | No. 6 | -5.0 | 30.0 | 25.0 | 27.5 | 20.0 | 2.5 | 0 | -7.5 | -15.0 | -22.5 | -27.5 | -25.0 |
| 8 月 | No. 1 | -12.5 | 15.0 | 27.5 | 25.0 | 27.5 | 7.5 | -2.5 | -10.0 | -15.0 | -25.0 | -30.0 | -25.0 |
| | No. 2 | 2.5 | 55.0 | 60.0 | 42.5 | 22.5 | 12.5 | -7.5 | -22.5 | -35.0 | -47.5 | -55.0 | -27.5 |
| | No. 5 | -15.0 | 35.0 | 67.5 | 30.0 | 22.5 | 10.0 | -2.5 | -12.5 | -22.5 | -32.5 | -40.0 | -35.0 |
| | No. 6 | -10.0 | 7.5 | 22.5 | 22.5 | 12.5 | 5.0 | -5.0 | -12.5 | -22.5 | -27.5 | -32.5 | -27.5 |
| 11 月 | No. 1 | -7.5 | 15.0 | 20.0 | 20.0 | 10.0 | 5.0 | 0 | -2.5 | -10.0 | -15.0 | -17.5 | -17.5 |
| | No. 2 | 10.5 | 23.3 | 40.5 | 30.5 | 8.0 | 3.0 | -2.0 | -7.5 | -17.0 | -27.0 | -32.0 | -29.5 |
| | No. 5 | -8.5 | 19.0 | 24.0 | 21.5 | 9.0 | 1.5 | -1.0 | -3.5 | -11.0 | -13.5 | -18.5 | -18.5 |
| | No. 6 | -11.75 | 0.75 | 8.25 | 8.25 | 8.25 | 5.75 | 0.75 | 0.75 | -1.75 | -4.25 | -9.25 | -4.25 |
| 1 月 | No. 1 | -13.3 | -0.8 | 26.0 | 17.0 | 12.0 | 5.5 | 2.8 | -2.0 | -6.0 | -9.3 | -14.5 | -17.0 |
| | No. 2 | -11.5 | 12.5 | 27.3 | 24.3 | 16.0 | 6.8 | 1.0 | -4.0 | -9.5 | -15.3 | -24.3 | -23.3 |
| | No. 5 | -10.3 | 1.5 | 23.8 | 14.3 | 7.5 | 1.8 | -1.8 | -2.8 | -3.5 | -8.0 | -11.0 | -12.3 |
| | No. 6 | -12.0 | -7.0 | 20.0 | 18.3 | 12.3 | 5.3 | 3.5 | -3.0 | -5.8 | -9.3 | -9.3 | -12.3 |

91.5, 57.5 cal/cm² であった。そしてこの季節における日変化較差の大きいのは、夜間は未だ冬の名残を止めて冷たいのに、太陽高度は既にかなり高く、日射は強く、従って日中入る熱量も相当大きいために熱量の変化が大きく現われるものと思われる。

夏季になると、地中熱量の最大は14時で、最小は6時に現われている。そして熱量変化の較差はやはり開園地に大きく、南斜面では 115 cal/cm²、北斜面では 107.5 cal/cm²、また、未開園地においては夫々 57.5, 55.0 cal/cm² を示しており、春季におけるより稍小さくなっているが、これは夏季には高温の時期であるが、日中の受熱に比べて夜間の放熱が少ないために、春季の様な差が現われないものと思われる。

秋季になると、地温も一般に降下し、熱量の最大は14時、最小は6時で、やはり熱量変化の較差は開園地に大きく、南斜面では 72.5 cal/cm²、北斜面では 42.5 cal/cm² を、未開園地においては夫々 37.5, 17.5 cal/cm² を示している。

冬季には、落葉によって開園地は裸地の状態に近づくのであるが、熱量の最大は同時で14時に、最小は No. 2 は6時、他は何れも8時に現われている。そして熱量変化の振巾は開園地に大きく、南斜面では 51.6 cal/cm²、北斜面は 36.1 cal/cm² を、未開園地においては夫々 43.0, 32.3 cal/cm² を示している。

第2章 傾斜地開墾当初における地中温度の季節変化と年変化⁽³⁵⁾

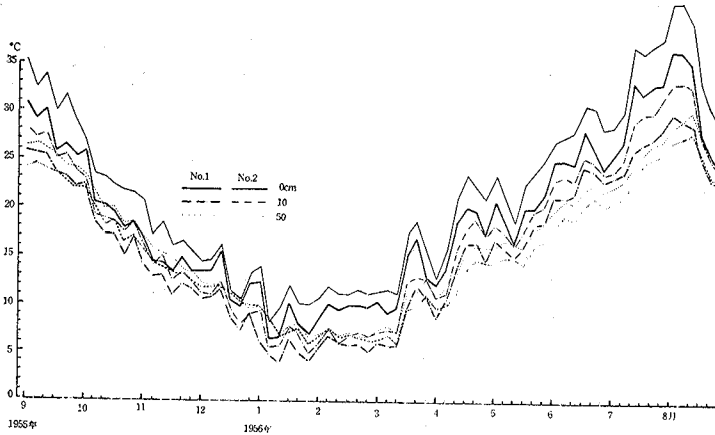
第14図の南北両斜面における未開墾地松林とそれに隣接の開墾当初の果樹園において、第2編第1部第2章の方針に従って、接地気温の観測と併行して、地表及び地下 10 cm の最高・最低温度及び地下 50 cm の温度を開園2年目の昭和29年9月～32年8月まで毎日継続観測を行い、半月別平均をとってその季節変化及び年変化の特性について考察し、またその結果を調和分析にかけ開園地及び未開園地における地温分布の特性を理論的に考究する。

第1節 地中温度の季節変化

(1) 半月別日平均温度

第14図に示した南面松林 (No. 1) と隣接の桃園 (No. 2)、北面栗園 (No. 5) 及び北面松林 (No. 6) における地温観測結果を、第1編第1部第1～2章にならって昭和30年9月～31年8月までの観測第2年目について主として考察する。

南斜面 第87図について半月別平均温度の季節変化をみると、何れの季節においても開園地は未開園地より高温



第87図 開園地と未開園地の地中温度の季節変化

で、その温度差は地表面に最も大きく 地中へ深くなるに従って急に減少し、また各深さを通じて暖候期に大きい。

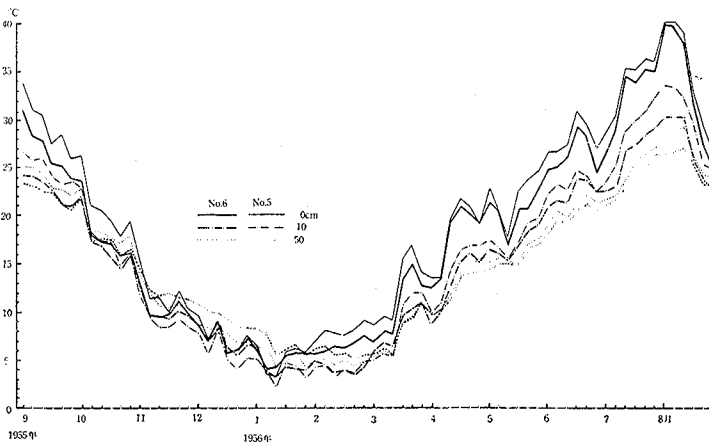
そして No.2 は、地表面への日射の透通が良好で、暖候期には裸地の温度分布に似て、純然たる受熱型を示している。未開園地の No.1 は全般的に No.2 より低温であるが、微弱ながら受熱型になっている。寒候期になると10月頃より地中は温度勾配が次第に減少し、遂に負となって、すなわち、深さと共に昇温し、暖候期とは反対に上向の熱流を示す放熱型に変ってくる。そしてこれらは接地気温の場合と同様に晴天の多い半旬に温度勾配は大きく、雨天または曇天の多い半旬には勾配が緩である。

開園地と未開園地における温度差は、地表面では夏季の候に顕著で、特に最高温度の現われる8月に大きく、そして開園地は未開園地より 5.2°C 高く 41.7°C を示して最大となっている。地下 10 cm では温度の最高はやはり8月で、その時期には両者の温度差も大きく、No.2 は No.1 より 3.8°C 高く 33.3°C を示し、初年度には No.2 は 33.2°C で 4.0°C 、3年度には 29.8°C で 2.3°C 夫々未開園地より高温で、地中においては開園後の年数経過による両者間の温度差の減少が顕著に現われている。

地下 50 cm では両者の温度差が地下 10 cm より小さく、8月には No.2 が 2.3°C 高温で 30.3°C を示し最高となっている。

寒候期になると開園地と未開園地の温度差は小さくなり、地表面でも No.2 は約 1.0°C 高く、1月に最低温度 8.0°C を示している。地下 10 cm になると差は僅かで No.2 は最低温度 5.5°C を示し、また地下 50 cm でも No.2 は約 1.0°C の差で最低温度 6.5°C を示し、地下 10 cm より高温で放熱状態にあることがわかる。

北斜面 第88図について北斜面における開園地と未開園地の状態をみると、地中温度は各深さを通じて暖候期に



第88図 開園地と未開園地の地中温度の季節変化

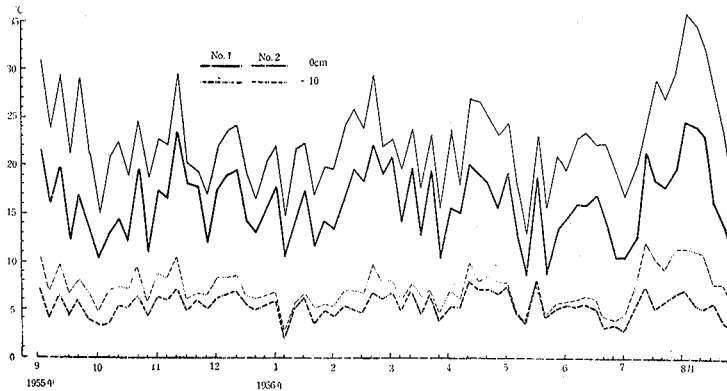
は開園地が高温を示しているが、寒候期になると北斜面は地表面への日射量が少ない上に、落葉によって夜間の放熱が良好になるので地下部は秋の中頃から未開園地より低温になっている。そして暖候期には開園地・未開園地とも地表面が高温で受熱型を寒候期になると温度勾配は次第に減少して略等温状となり遂に勾配は負になって、地表面が最も温度低く放熱面であることを示し、No. 6 は11月上旬頃より、また No.5 は11月下旬頃にみるような放熱型になる。

開園地と未開園地の温度差は暖候期に大きく寒候期に小さいことは南斜面と同様であるが、No. 5 と No.6 の温度差は南斜面より極めて小さい。すなわち、地表面においても両者の温度差は小さく最大 3°C を示し、また8月に No. 5 は最高温度 40°C を示している。地下 10 cm では地表面より差が大きい傾向にあって、最高温度の出現する8月に No. 5 は 3.3°C 高く 33.5°C を、地下 50 cm でも 2.3°C 高く 29.3°C を示している。

寒候期になると開園地と未開園地の温度差は、地表面では1月に No. 5 は No. 6 より 1°C 低く 3.2°C で最低温度を示し、地下 50 cm でも約 1°C 低く 4°C で温度は年間の最低となっている。

(2) 半旬平均温度日較差

半旬平均温度日較差の季節変化を示した第89図について、南斜面の開園地と未開園地における第2年目の模様をみると、日較差は両者とも地表面に最も大きく、またそこでは天候の直接の影響をうけて変化するので fluctuation も大きい。



第89図 南斜面における半旬平均温度日較差の季節変化

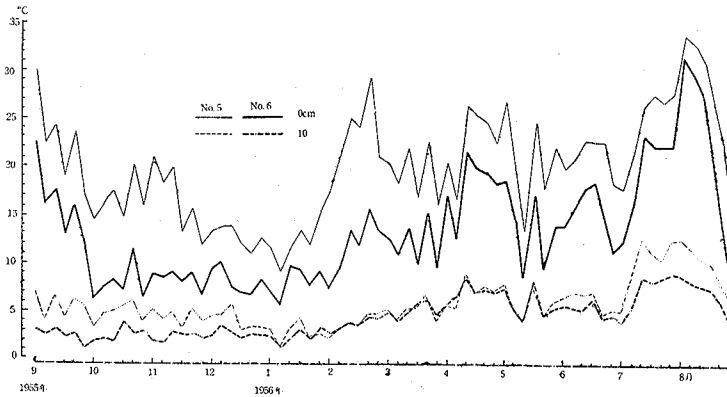
地表面において日較差の大きく現われているのは何れも天気よかつた半旬であり、最も大きいのは8月の晴天旬であった。すなわち、No. 2 は No. 1 より 11.3°C 大きく 36°C を示し、また較差の小さく現われているのは雨天又は曇天の多かつた半旬で、最も小さかつたのは5月に No. 2 は 13°C 、No. 1 は 8°C でその差 5°C となっている。そして較差は年間を通じて開園地が大きい。

地下 5 cm になると較差やその fluctuation 並びに開園地と未開園地との差異は地上 150 cm の状態に近いが、両者間の変位の巾は一定せず季節や晴曇等によって変動し、地表の影響がかなり強く現われており夏季の候に較差は大きい。そして較差の最大は7月の晴天旬に No. 2 は 12.1°C 、No. 1 は 7.6°C で最小は1月の曇天旬に失々 2.7 、 1.9°C を示し、やはり年間を通じて開園地の較差が未開園地より大きい。

次に北斜面における状態を第90図についてみると、地表面の較差は南斜面と同様に8月の晴天旬に最も大きく、No. 5 は No. 6 より 2.4°C 大きく 34.1°C を示しており両者の差異は小さいが、秋から冬にかけての差は極めて大きく、11月の晴天旬に 12.3°C 、曇天旬においても 9.4°C に達している。

而して、北斜面においても年間を通じて開園地は未開園地より温度較差は大きく、ともに暖候期に大きく寒候期には小さい。しかし開園・未開園地間の差異は南斜面とは反対で、暖候期には小さく寒候期に大きい、較差も fluctuation も南斜面よりは小さい。

地下 10 cm になると南斜面より較差も fluctuation も減少しているがやはり暖候期に大きく、較差の最大は7月に No. 5 は 12.6°C 、No. 6 は 8.7°C 、最小は1月に夫々 1.4 、 1.0°C となり1～5月までは両者の差が殆んどなくなっている。



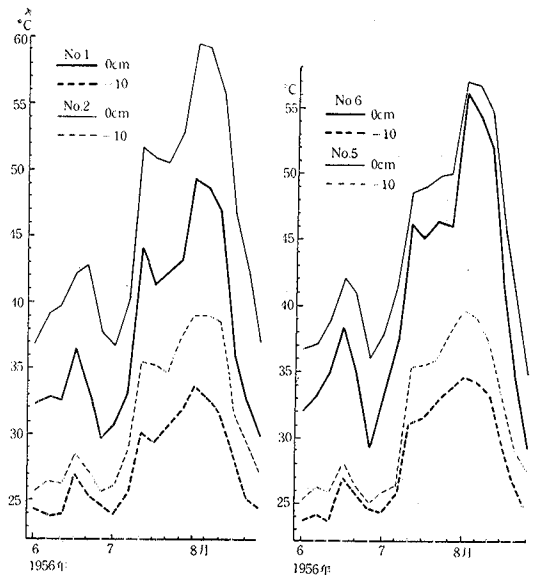
第90図 北斜面における半月平均温度日較差の季節変化

(3) 半月平均日最高及び最低温度

傾斜地利用の面から考えて、地下部においては夏季の最高、冬季の最低温度が問題となるので、特に夏季の最高温度と冬季の最低温度の分布を示したのが第91～92図である。

地表面については既に述べたので(第2編第1部第2章参照)地下10cmについてみると、地表面と同様に何れも開園地が南北両斜面とも高温で、南斜面では8月上旬の前半に39.0°Cで5.4°C高く、北斜面でも39.6°Cで5.1°C高く何れも年間の最高を示している。そして開園地・未開園地間の差異は地表・地下10cmともに南斜面が大きい。

次に最低温度についてみると fluctuation や開園・未開園地間の温度差は最高温度に比べると極めて小さいが温度差は南斜面より北斜面に大きく現われている。また最低温度は地表及び地下10cmとも何れも開園地が低温を示している。

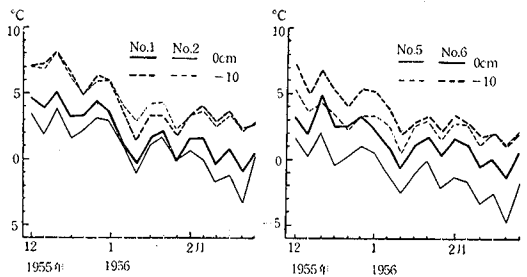


第91図 夏季の最高温度

第2節 地中温度の年変化

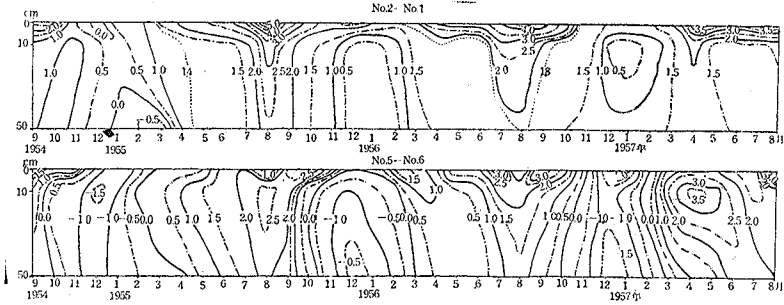
(1) 月平均温度

南北両斜面における未開園松林と開園当初の果樹園における昭和29年9月～32年8月までの満3ケ年間に於ける月平均温度の差をとって isopleth 図を描き、傾斜地開園後の地中温度の季節的推移の状態や経年変化の実状を一目瞭然たらしめたのが第93図である。温度差の正值は何れも開園地が高温であり、負値は未開園地が高温であることを示す。



第92図 冬季の最低温度

これによると、南北斜面ともに開園・未開園地の差は夏季に大きく冬季に小さい。南斜面では初年目の地下40cm附近に1～3月頃開園地が低温を示しているが、その他の季節には何れも開園地が高温であり、また夏季には地表面の温度差が最も大きい、これは初年目、2年目と年数経過に伴って次第に差は減少している。これは開園地の植被が繁茂してゆく状態を示すものと思われるが、その程度等は例えば温度差2°Cの線を見るとよくわかるであろう。



第93図 南北両斜面における開園地と未開園地の地中温度差

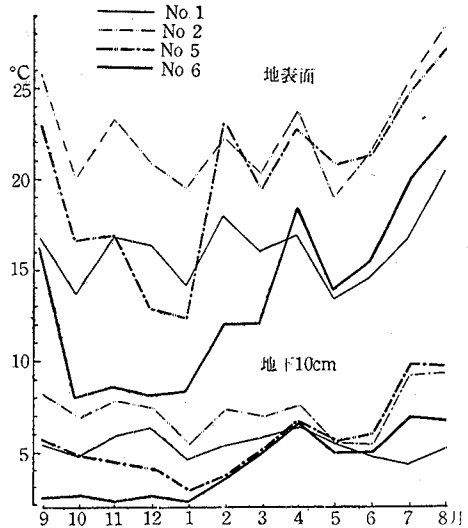
北斜面においては、夏季には開園地が地中の各深さを通じて高温であるが、冬季には反対に低温である。例えば初年目の地表付近では11～3月頃、地下10cm以下においては10～2月頃まで開園地が低温で地中へ深くなる程その期間は長くなっている。2年目においては地表面は12月頃、地下10cm付近では10月中旬頃から2月中旬頃まで未開園地が高温で、地中へ深くなる程その期間は長くなる傾向にある。

第3年目には地表面は11月～2月頃まで、地下10cmでは10月中旬～1月中旬頃まで開園地が低温であり、深さと共にその期間は長くなっている。また南北両斜面とも地下部における温度差は7～9月頃に最大を示している。

(2) 月平均温度日較差

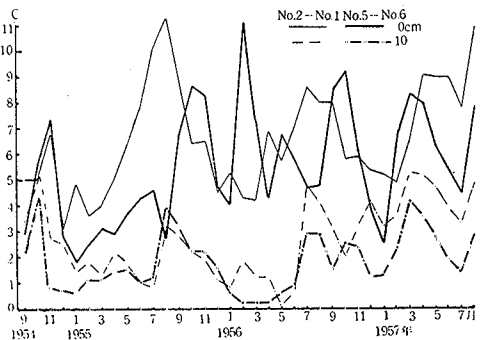
南北両斜面における開園地と未開園地の月平均温度日較差を示すと第94図のようである。地温の日較差は、地温日変化のげしさを示すものであって図から明かなように、地温の日変化は何れの斜面においても開園地に顕著である。そして日較差は地表面に最も大きく、地中に入ると急に減少し地下10cmになると、日較差の大きい南斜面の開園地においても7°C内外である。

また何れの斜面においても開園・未開園地ともに日較差は地表面に季節変化が激しく、特にそれは北斜面においてである。地下10cmにおいても北斜面では南斜面より日較差の季節変化は大きく、また日較差は地表面とともに寒候期に小で、暖候期に大きく現われており、特に8月頃の盛夏の候に顕著である。



第94図 月平均温度日較差

次に開園地と未開園地における月平均温度日較差の差をとって、その季節変化の模様を示したのが第95図である。これによると、地温日較差は南北両斜面とも開園地は例外なく何れの月も未開園地より大きく、またその差は地表面に大きい。そして南斜面では何れの年も差は地表面・地下10cmとも8月に大で、1月頃に小さいが北斜面においては判然としていない。



第95図 月平均温度日較差の差

第3節 地中温度の解析 (年変化)

(1) 地中温度の調和分析

南北両斜面における開園地と未開園地の地中温度

年変化の特性を理論的に表現するため、地表及び地下 10・50 cm の月平均温度を調和分析にかけ、その1年頃を求めたのが第65表である。(第2年目の値を示す。)

第65表 調和分析の1年頃

| | No. 1 | | | No. 2 | | | No. 5 | | | No. 6 | | |
|----|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------|
| | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| cm | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ | | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ | | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ | | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ | |
| 0 | 19.1 | 10.9 | 135° 07' | 21.9 | 12.2 | 135° 36' | 19.3 | 14.0 | 141° 45' | 17.9 | 13.4 | 142° 38' |
| 10 | 15.8 | 10.6 | 132 22 | 17.4 | 11.2 | 132 30 | 15.2 | 12.5 | 140 38 | 14.8 | 11.4 | 137 25 |
| 50 | 15.5 | 8.9 | 124 18 | 16.7 | 9.6 | 125 41 | 14.9 | 10.6 | 130 58 | 14.7 | 9.3 | 128 14 |

第65表によって概要を考察すると、振巾 a_1 は開園・未開園地ともに地表面に最大で、地中へ深さと共に減少しており、また振巾は地中各深さを通じて開園地は未開園地より大きく、北斜面は南斜面よりも大きい。

位相 ϵ_1 は一般に北斜面では、開園・未開園地ともに南斜面より進んでおり、また各場所とも地表面に最も進み、地中へ深くなるにつれて次第に遅れを示している。開園地と未開園地における位相を比べると、地下部においては南北両斜面とも開園地が進んでおり、最高、最低温度発現時期の遅進を示している。

(2) 地温の深さと振巾との関係

地温年変化の振巾は地中へ深くなるに従って次第に減少することは上述から明かであり、南北両斜面の開園地と未開園地における地温の深さと振巾との関係式を求めると次の様になる。

No. 1 : $Az = 21.7e^{-0.0031z}$

No. 2 : $Az = 24.4e^{-0.0069z}$

No. 5 : $Az = 28.0e^{-0.0085z}$

No. 6 : $Az = 26.8e^{-0.0119z}$

すなわち、振巾の減少係数は何れも北斜面に大きく、特に未開地松林に最大値を示している。

(3) 地温年変化の及ぶ深さ

地温年変化の振巾は地中へ深くなるに従って減少し、或る深さに至ると殆んど零となり1年中変化しないことになる。この層を地温年変化の不易層というが、いまの場合地温年変化の振巾が 0.1°C に減少する深さを地温年変化の不易層と考えてその深さを求めると、No.1 : 17.2 m, No.2 : 8.0 m, No.5 : 6.7 m, No.6 : 4.7 m であって最も深いのは南斜面の未開地松林で、北斜面の未開地松林が最も浅くなっている。

(4) 地中熱拡散率

地中熱拡散率は No. 1, No. 2, No. 5 及び No. 6 において夫々 10.14, 2.08, 1.39, 0.70×10^{-3} C.G.S. で北斜面の未開地松林が最も小さく、南斜面においては一般に大きい値を示している。

第4節 地中における熱量の年変化

南北両斜面における開園地と未開園地の地下 50 cm までにおける地中熱交換量を $u_2 - u_1 = cH(\Theta_2 - \Theta_1)$ を用いて計算すると第66表のようになる。

これによると熱量の最大は何れの斜面においても8月で、最小は1~2月に現われている。そして熱量変化の振

第66表 地中の熱交換量 (Cal/cm²)

| 月 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|
| No. 1 | 212.5 | 65.0 | -67.5 | -140.0 | -240.0 | -240.0 | -180.0 | -65.0 | 20.0 | 145.0 | 225.0 | 265.0 |
| No. 2 | 230.0 | 67.5 | -65.0 | -170.0 | -255.0 | -262.5 | -182.5 | -62.5 | 12.5 | 142.5 | 252.5 | 285.0 |
| No. 5 | 232.5 | 62.5 | -132.5 | -220.0 | -252.5 | -252.5 | -177.5 | -40.0 | 42.5 | 175.0 | 290.0 | 325.0 |
| No. 6 | 197.5 | 60.0 | -107.5 | -180.0 | -250.0 | -252.5 | -182.5 | -57.5 | 40.0 | 162.5 | 260.0 | 292.5 |

巾は No. 1, No. 2, No. 5 及び No. 6 において夫々 505.0, 547.5, 577.5, 545.0 cal/cm² であつて、地中熱交換量の最も大きいのは北斜面の開園地で、最小は南斜面の未開園地にして、南斜面の熱交換量は北斜面より何れも小さい。

第3章 傾斜地開墾後における地中温度の日変化^(50,70~75)

傾斜地開墾後15年以上経過した成園における南西及び北東に面した畑地と果樹園(第40図参照)その他において、昭和23年7月~25年8月まで毎月1~2回快晴日に地上部の接地気温観測と併行して地表及び地下5, 10, 20, 30, 50 cm の温度を同時に観測して、各園における地温分布の実状を明かにし、また結果を調和分析にかけて地温日変化の特性を理論的に考究する。

第1節 地中温度の日変化

南西及び北東斜面の畑地と立木作りの園並びに北斜面の棚作り園について、各月における地温日変化の実状や分布の特性を考究する。

(1) 畑地と立木作りの園

春季 南西及び北東斜面の各園における地表並びに地下5, 10, 20, 30, 50 cm の日平均温度及び日較差を示すと第67表のようで、これによると日平均温度は各月ともに同じ方向の斜面では上腹部と下腹部の差異は僅か何れも1°C内外である。

第67表 日平均温度並びに日較差(°C)

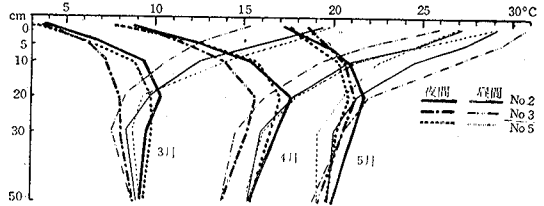
| | | No. 1 | | No. 2 | | No. 3 | | No. 4 | | No. 5 | | No. 6 | |
|-----------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 3月24日~25日 | 0cm | 11.6 | 26.4 | 11.6 | 26.0 | 9.8 | 20.5 | 9.8 | 22.9 | 11.7 | 28.5 | 11.1 | 28.9 |
| | 5 | 11.8 | 16.1 | 11.6 | 17.4 | 9.4 | 12.0 | 9.6 | 15.6 | 11.8 | 20.0 | 11.0 | 20.6 |
| | 10 | 11.2 | 11.3 | 11.0 | 9.6 | 9.1 | 8.1 | 9.1 | 8.9 | 11.5 | 12.0 | 10.2 | 8.4 |
| | 20 | 10.3 | 4.6 | 10.1 | 4.2 | 8.2 | 3.0 | 8.6 | 3.7 | 9.6 | 4.0 | 9.9 | 4.0 |
| | 30 | 9.7 | 3.3 | 9.2 | 2.5 | 7.9 | 1.5 | 8.9 | 2.1 | 9.3 | 3.2 | 8.7 | 2.4 |
| | 50 | 10.4 | 1.0 | 9.2 | 0.7 | 8.9 | 0.5 | 8.3 | 0.9 | 9.4 | 0.7 | 9.1 | 1.0 |
| 4月15日~16日 | 0 | 19.3 | 32.0 | 18.1 | 31.4 | 17.4 | 27.7 | 16.9 | 30.2 | 18.4 | 35.5 | 17.7 | 29.8 |
| | 5 | 18.2 | 19.6 | 18.6 | 23.0 | 16.9 | 17.3 | 16.2 | 18.2 | 18.8 | 23.3 | 18.0 | 17.8 |
| | 10 | 18.4 | 15.9 | 18.2 | 14.3 | 16.6 | 11.8 | 16.5 | 13.0 | 18.6 | 14.0 | 17.8 | 11.4 |
| | 20 | 16.9 | 6.6 | 17.8 | 6.7 | 15.9 | 4.7 | 15.8 | 4.4 | 17.5 | 7.8 | 17.1 | 6.2 |
| | 30 | 16.4 | 2.3 | 16.6 | 3.9 | 15.0 | 1.6 | 15.7 | 2.6 | 16.6 | 4.0 | 16.2 | 2.7 |
| | 50 | 15.4 | 0.7 | 15.4 | 0.3 | 13.9 | 0.4 | 15.1 | 0.9 | 15.4 | 0.8 | 14.6 | 0.4 |
| 5月29日~30日 | 0 | 24.1 | 21.2 | 23.3 | 18.8 | 24.6 | 20.2 | 23.4 | 21.5 | 22.4 | 22.2 | 23.6 | 20.8 |
| | 5 | 23.9 | 15.9 | 23.4 | 14.5 | 24.4 | 16.5 | 23.4 | 17.5 | 21.7 | 13.8 | 23.0 | 14.3 |
| | 10 | 23.4 | 11.0 | 22.7 | 10.0 | 23.7 | 11.8 | 22.9 | 10.8 | 21.5 | 7.8 | 22.1 | 8.6 |
| | 20 | 21.8 | 5.2 | 21.6 | 5.0 | 21.7 | 4.8 | 21.3 | 4.4 | 20.8 | 4.0 | 20.7 | 3.7 |
| | 30 | 20.6 | 2.6 | 20.7 | 2.7 | 20.9 | 2.2 | 20.5 | 2.3 | 19.8 | 2.7 | 20.3 | 2.2 |
| | 50 | 19.6 | 0.6 | 20.0 | 0.5 | 19.2 | 0.4 | 19.5 | 0.4 | 19.6 | 1.0 | 19.0 | 0.6 |

また、同じ南西斜面の畑地と柿園では3, 4月には両者の差異は僅かであるが、5月になると1°C内外柿園が低温となり、北東斜面の蜜柑園では3月には南西斜面の各園より1.7°C内外低温を示しているが、4月になると地温の差異は減少し、5月には反対に南西斜面の柿園より約1.4°C高くなっている。

地温の日較差も各園の上・下腹部の差異は少なく、日較差の最も大きいのは何れも地表面で、且つ局部的差異も大きい。各園とも地中に深くなるにつれて日較差は急に減少して地下50 cm では殆んど日変化はなくなっている。

3月には北東斜面の蜜柑園は南西斜面の各園より日較差は何れも小で地中各深さの平均において、例えば No. 3 は No. 2, No. 5 より夫々 2.7, 4.0°C 小さく、特に地表面では No. 2, No. 5 より夫々 7.0, 9.5°C 小さい。4月には3, 5月より日較差は何れも大きい、局部的差異は3月より小で5月には一層小さくなっている。そして5月には No. 3 は No. 2, No. 5 より地中各深さの平均において 0.7°C 大きい。

次に No. 2, No. 3 及び No. 5 における昼夜別平均温度の垂直分布を示すと第96図のようで、昼間4, 5月においては各園とも地表面に温度は最も高く、地中へ深さと共に降温して、地下への熱流を示す受熱型を呈しているが、早春の3月には未だ受熱量が少ないので地下 50 cm まで完全な受熱型を示さず、地下 30 cm 以下では上向の熱流を示す放熱状態が残っている。また早春の夜間には No. 3 においては、地下 50 cm まで完全な放熱型を示しているが、他の各園においては何れの月も地下 20 cm 附近までは上向の熱流を示す放熱型で、それ以深では下向の熱流を示し昼間の状態が残っている。



第96図 昼夜別平均温度の垂直分布

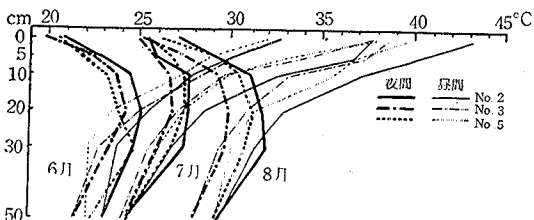
次に各月における温度分布について各園相互の関係をみると、3月には昼間南西斜面の No. 2 と No. 5 は略同温度で、何れも北東斜面の No. 3 より高温を示し、特に地表面では 4°C 内外高温である。夜間も No. 2 と No. 5 は温度差が小さく、何れも No. 3 より高温で、地下 10 ~ 30 cm 附近においては 2°C 内外高い。4 ~ 5月になると昼間局部的差異がかなり現われ、4月にNo. 3 は他の各園より 1.5°C 内外低温を示しているが、5月には No. 5 が最も低く No. 3 が最も高温であった。

尚3月における地温日変化の状態は第97図のようである。但し、地表面温度は省略した(第42図参照)。

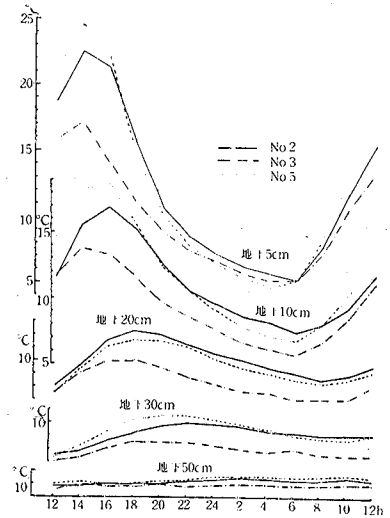
夏季 この季節においては、年間の最高温度を出現し、傾斜地利用の上からも盛夏の地中温度分布の究明は重要な意義を有するのであるが、各園における日平均温度並びに較差を示した第68表によると、各園の上下腹部における地中温度は南西、北東何れの斜面においても差異は小さい。また南西斜面の畑地と柿園においては顕著な差異はみられないが、畑地は地中各深さを通じて 1°C 内外高温を示している。また8月に南西斜面は北東斜面より平均 1.4°C 内外高温であった。

地中温度日較差は何れの斜面においても地表面に最も大きく、局部的差異も大きい。そして各月とも南西斜面が北東斜面より大でそれは8月に顕著である。

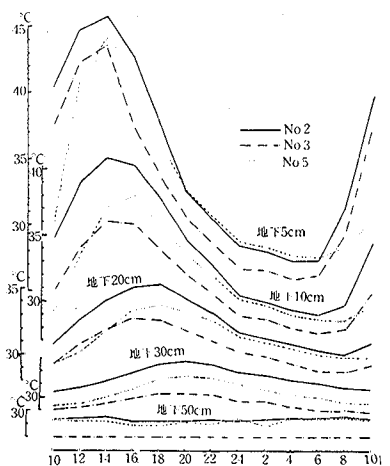
次に No. 2, No. 3 及び No. 5 における昼夜別平均温度の垂直分布を第98図についてみると、何れの月も夏季においては地下 50 cm まで完全な受熱型を昼間には例外なく示している。夜間地下 20 cm ま



第98図 昼夜別平均温度の垂直分布



第97図 3月における地中温度の日変化



第99図 8月における地中温度の日変化

第68表 日平均温度並びに日較差 (°C)

| | | No. 1 | | No. 2 | | No. 3 | | No. 4 | | No. 5 | | No. 6 | |
|-----------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 6月16日~17日 | 0cm | 27.0 | 22.5 | 26.7 | 22.0 | 26.1 | 24.5 | 27.2 | 22.5 | 26.2 | 24.0 | 26.2 | 22.2 |
| | 5 | 26.8 | 13.6 | 26.4 | 14.4 | 26.2 | 14.8 | 27.1 | 16.4 | 25.3 | 15.2 | 26.6 | 16.1 |
| | 10 | 26.7 | 11.5 | 26.2 | 9.6 | 26.0 | 10.2 | 26.9 | 11.6 | 25.2 | 9.6 | 26.1 | 10.5 |
| | 20 | 24.9 | 4.4 | 25.2 | 4.4 | 24.6 | 4.3 | 25.2 | 5.8 | 23.5 | 3.8 | 23.7 | 5.9 |
| | 30 | 24.3 | 3.0 | 24.2 | 2.2 | 23.1 | 1.5 | 23.9 | 2.8 | 22.7 | 1.9 | 21.7 | 0.27 |
| | 50 | 22.5 | 0.3 | 23.0 | 0.2 | 21.4 | 0.3 | 22.3 | 0.5 | 22.2 | 0.5 | 24.5 | 0. |
| 7月13日~14日 | 0 | 31.3 | 16.7 | 31.5 | 19.1 | 31.3 | 20.7 | 30.1 | 16.1 | 31.7 | 20.1 | 31.6 | 22.2 |
| | 5 | 30.7 | 14.0 | 31.2 | 16.4 | 29.9 | 13.9 | 29.9 | 13.1 | 29.8 | 12.7 | 30.1 | 13.5 |
| | 10 | 29.6 | 7.9 | 29.9 | 10.0 | 28.1 | 6.8 | 29.3 | 8.6 | 28.6 | 7.6 | 28.5 | 7.3 |
| | 20 | 28.9 | 4.4 | 28.1 | 4.4 | 26.9 | 2.5 | 27.8 | 4.0 | 27.4 | 3.5 | 27.0 | 3.3 |
| | 30 | 27.5 | 1.8 | 27.2 | 2.3 | 25.7 | 1.2 | 26.3 | 1.2 | 26.4 | 2.2 | 25.8 | 0.8 |
| | 50 | 25.3 | 0.8 | 24.4 | 0.6 | 24.0 | 0.5 | 24.8 | 0.5 | 24.3 | 0.0 | 23.5 | 0.0 |
| 8月9日~10日 | 0 | 34.2 | 23.9 | 35.1 | 25.1 | 31.9 | 22.8 | 31.3 | 21.9 | 32.8 | 27.5 | 33.1 | 27.0 |
| | 5 | 34.1 | 14.6 | 34.6 | 18.5 | 32.3 | 17.8 | 31.0 | 14.6 | 33.0 | 16.8 | 31.9 | 13.0 |
| | 10 | 33.5 | 10.3 | 33.9 | 11.9 | 31.1 | 8.5 | 31.3 | 9.5 | 32.9 | 9.5 | 31.1 | 6.8 |
| | 20 | — | — | 32.3 | 5.5 | 30.3 | 4.1 | 30.4 | 4.4 | 31.1 | 4.0 | 30.1 | 3.4 |
| | 30 | 31.6 | 2.6 | 31.6 | 2.1 | 29.6 | 1.5 | 29.5 | 1.6 | 30.5 | 2.1 | 29.6 | 0.6 |
| | 50 | 29.9 | 0.3 | 29.3 | 0.3 | 28.0 | 0.0 | 28.5 | 0.0 | 29.2 | 0.5 | 27.5 | 0.4 |

第69表 日平均温度並びに日較差 (°C)

| | | No. 1 | | No. 2 | | No. 3 | | No. 4 | | No. 5 | | No. 6 | |
|------------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 9月27日~28日 | 0cm | 22.5 | 18.9 | 24.4 | 26.4 | 21.2 | 19.2 | 20.8 | 17.0 | 23.4 | 26.2 | 21.6 | 19.8 |
| | 5 | 22.5 | 13.2 | 22.8 | 15.7 | 21.4 | 12.9 | 21.3 | 12.5 | 23.3 | 19.1 | 21.0 | 13.6 |
| | 10 | 23.1 | 9.0 | 23.1 | 10.3 | 22.3 | 9.1 | 22.1 | 7.1 | 23.2 | 10.9 | 22.3 | 9.4 |
| | 20 | 23.5 | 4.8 | 23.1 | 4.0 | 22.6 | 2.1 | 22.3 | 3.3 | 23.1 | 3.5 | 22.9 | 2.7 |
| | 30 | 23.5 | 1.6 | 23.7 | 1.5 | 23.2 | 1.1 | 22.8 | 1.6 | 23.4 | 1.4 | 23.6 | 0.8 |
| | 50 | 24.6 | 0.6 | 24.5 | 0.5 | 24.2 | 0.6 | 23.7 | 0.6 | 24.4 | 0.8 | 22.9 | 0.4 |
| 10月28日~29日 | 0 | 15.3 | 13.1 | 15.2 | 13.9 | 15.0 | 12.7 | 14.8 | 14.4 | 15.4 | 12.5 | 15.0 | 13.5 |
| | 5 | 16.2 | 9.2 | 15.9 | 12.5 | 15.1 | 9.3 | 15.5 | 10.1 | 16.3 | 8.5 | 15.5 | 7.2 |
| | 10 | 16.6 | 7.1 | 17.0 | 7.0 | 16.1 | 6.2 | 16.4 | 6.7 | 17.1 | 6.0 | 16.5 | 4.5 |
| | 20 | 17.6 | 3.9 | 18.3 | 2.8 | 16.8 | 2.7 | 16.6 | 3.7 | 17.6 | 2.5 | 16.9 | 1.4 |
| | 30 | 18.2 | 1.8 | 18.2 | 1.2 | 17.5 | 1.0 | 17.2 | 1.4 | 18.2 | 1.1 | 17.5 | 0.7 |
| | 50 | 19.6 | 0.2 | 19.1 | 0.4 | 18.8 | 0.2 | 17.8 | 0.2 | 18.8 | 0.2 | 18.6 | 0.3 |
| 11月25日~26日 | 0 | 11.8 | 15.0 | 11.0 | 13.9 | 9.1 | 12.2 | 10.1 | 15.0 | 11.3 | 15.4 | 9.8 | 14.2 |
| | 5 | 12.4 | 12.7 | 11.5 | 10.9 | 10.0 | 8.6 | 10.3 | 10.1 | 11.9 | 11.3 | 10.6 | 8.8 |
| | 10 | 12.7 | 7.8 | 12.2 | 7.5 | 11.0 | 5.6 | 10.2 | 6.9 | 12.2 | 7.5 | 11.3 | 6.1 |
| | 20 | 13.3 | 4.1 | 13.3 | 2.9 | 11.4 | 2.4 | 11.2 | 3.0 | 12.7 | 2.8 | 11.9 | 2.3 |
| | 30 | 13.3 | 2.3 | 13.2 | 1.5 | 12.6 | 1.2 | 12.0 | 1.7 | 13.0 | 2.3 | 12.7 | 0.6 |
| | 50 | 14.8 | 0.4 | 14.3 | 0.4 | 13.9 | 0.5 | 13.1 | 0.2 | 14.2 | 0.1 | 14.1 | 0.5 |

での浅層は放熱型を、それ以下の深層では下方への熱流を現わし日中の受熱型が残っている。そして局部的の差異は昼夜間とも8月に大きく No. 2 > No. 5 > No. 3 である。

いま8月における各園の地温日変化の模様を示すと第99図のようである。

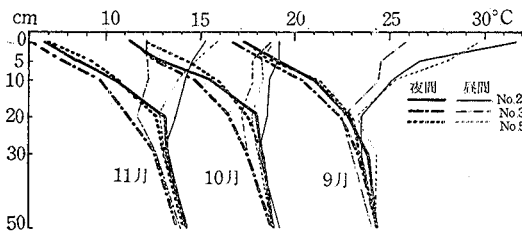
秋季 No.1~No.6における地温の日平均温度並びに日較差は第69表のようで、秋季には昼間各園の地表面にうける受熱量は次第に減少して放熱は受熱に勝り、次第に地温は降下してくる。

日平均温度は9月には地表面及び地下浅層に局部的差異が顕著で、南西斜面は北東斜面より高温である。また南西斜面では柿園より畑地が高温である。そして北東斜面や南西斜面の No.1 では地中へ深くなる程昇温して地表への熱流を示す放熱型になっている。10月以後は地温は益々降下し局部的差異も減少して、地温の垂直分布は何れも放熱型を呈してくる。

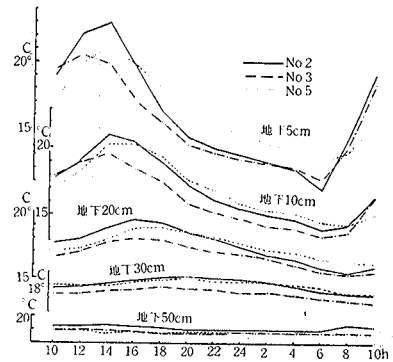
地温の日較差は何のれ月も地表面に大きく、また局部性もそこでは大であり、地中へ深さと共に減少して地下50cmでは殆んど0に近づき、地温日変化の不易層に近づくことを示している。

昼夜別平均温度の垂直分布は第100図のようで、何れの月も秋季には各園ともに昼間は地下20cm附近までは受熱型を示し、それ以下の深層では上向の熱流を示す放熱型になっており、受熱型を現わす深さが夏季より浅くなっている。夜間には各月・各園とも完全な放熱型になっている。

地温は昼間局部的差異が大きく現われており、特に9月地表面に顕著で No.3はNo.2, No.5より夫々6.8, 3.8°C低くそしてNo.3は殆んど各月昼夜間を通じてNo.2及びNo.5より低温である。また昼夜間の温度差は地中深くなるに従って急減し、地下20cmにおいて既に0.5°C内外となり、地下50cmでは0.3°C以下に減少している。且つ地下50cmの温度は10, 11月と寒候期に向うに従って約5°C宛降温していることがわかる。10月における地中温度日変化の詳細は第101図のようである(地表面については第47図参照)。



第100図 昼夜別平均温度の垂直分布

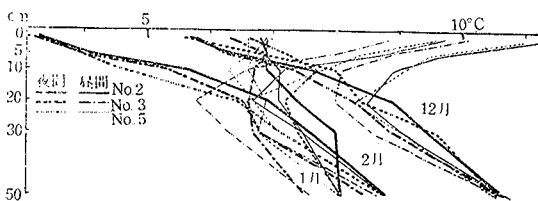


第101図 10月における地中温度の日変化

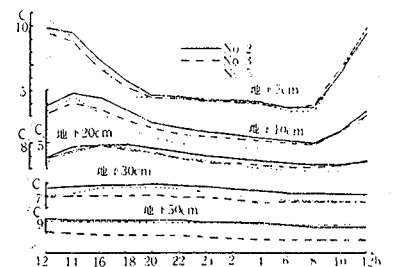
冬期 No.1~No.6における冬期の地温日平均並びに日較差を示すと第70表のようである。これによると日平均温度は地下30cmまでは各園とも何れも1月に、地下50cm附近までは2月に最も低温を示している。また12月、1月には各園とも日平均温度は放熱型を示している。2月になると各園ともに地下浅層の温度分布は次第に受熱型に変ってきている。

温度日較差は各月・各園とも地表面に大きく、地中へ深さと共に急減しており、日較差は冬季には全般的に小さく局部的差異も小さい。また北東斜面では南西斜面より小さい。

次に No.2, No.3 及び No.5 における地温の昼夜別平均の垂直分布を示した第102図についてみると、年間の最低温度を示している。1月の昼間においては、極く地表附近以外の地中では放熱型の分布を示し、2月、12月は地下



第102図 昼夜別平均温度の垂直分布



第103図 1月における地中温度の日変化

第70表 日平均温度並びに日較差 (°C)

| | | No. 1 | | No. 2 | | No. 3 | | No. 4 | | No. 5 | | No. 6 | |
|------------|-----|-------|-----|-------|------|-------|-----|-------|-----|-------|------|-------|-----|
| | | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 | 日平均 | 日較差 |
| 12月18日~19日 | 0cm | 8.5 | 8.9 | 8.4 | 10.3 | 8.0 | 7.6 | 7.5 | 7.0 | 8.3 | 10.6 | 7.8 | 6.6 |
| | 5 | 8.9 | 5.1 | 8.0 | 6.1 | 7.6 | 4.8 | 7.7 | 4.1 | 8.1 | 4.8 | 8.2 | 3.4 |
| | 10 | 8.2 | 3.3 | 8.3 | 3.6 | 7.7 | 3.1 | 7.9 | 3.2 | 8.5 | 3.5 | 8.5 | 2.6 |
| | 20 | 9.1 | 2.8 | 8.7 | 1.9 | 8.1 | 1.9 | 8.2 | 2.3 | 8.4 | 2.5 | 8.5 | 1.5 |
| | 30 | 9.0 | 1.5 | 9.3 | 0.8 | 8.7 | 0.7 | 8.6 | 0.6 | 9.4 | 1.1 | 9.3 | 0.5 |
| | 50 | 11.3 | 0.2 | 10.7 | 0.2 | 10.7 | 0.4 | 9.8 | 0.3 | 10.6 | 0.2 | 10.9 | 0.8 |
| 1月20日~21日 | 0 | 5.5 | 7.9 | 5.1 | 7.5 | 5.0 | 6.8 | 4.4 | 5.0 | 4.9 | 7.5 | 5.1 | 7.5 |
| | 5 | 5.9 | 6.5 | 5.5 | 6.2 | 5.3 | 5.9 | 5.2 | 4.6 | 5.2 | 6.2 | 6.1 | 5.4 |
| | 10 | 6.7 | 4.4 | 6.4 | 3.9 | 6.0 | 3.3 | 5.5 | 3.8 | 5.5 | 4.6 | 6.1 | 2.6 |
| | 20 | 6.8 | 2.1 | 7.0 | 1.6 | 6.7 | 1.7 | 5.8 | 2.1 | 6.6 | 1.9 | 7.0 | 1.0 |
| | 30 | 7.9 | 1.3 | 7.6 | 0.8 | 6.8 | 0.5 | 6.7 | 1.0 | 7.1 | 1.1 | 7.6 | 0.6 |
| | 50 | 9.6 | 0.4 | 8.8 | 0.5 | 8.6 | 0.3 | 7.7 | 0.5 | 8.8 | 0.2 | 9.1 | 0.2 |
| 2月25日~26日 | 0 | 8.4 | 4.1 | 8.2 | 5.6 | 7.6 | 5.9 | 8.3 | 6.3 | 8.1 | 6.2 | 8.0 | 6.7 |
| | 5 | 8.0 | 3.6 | 7.9 | 4.0 | 7.4 | 3.7 | 7.6 | 3.8 | 7.8 | 4.1 | 7.3 | 4.3 |
| | 10 | 8.0 | 4.1 | 7.1 | 3.5 | 6.6 | 3.2 | 6.9 | 3.7 | 7.7 | 3.3 | 6.8 | 3.8 |
| | 20 | 7.4 | 2.7 | 7.0 | 1.5 | 6.2 | 1.7 | 6.7 | 2.4 | 6.9 | 2.2 | 6.2 | 2.8 |
| | 30 | 7.5 | 1.4 | 7.7 | 0.8 | 6.5 | 0.7 | 6.3 | 1.4 | 7.1 | 1.0 | 6.5 | 1.1 |
| | 50 | 9.1 | 0.2 | 8.1 | 0.1 | 7.5 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 8.1 | 0.3 | 8.0 | 0.1 |

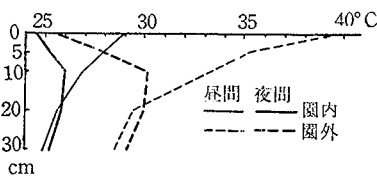
20 cm 附近まで受熱型を、それ以下の層では放熱型を示している。また夜間は何れも放熱型を示している。1月における地温日変化の様態を示すと第103図のようである。

(2) 棚作りの園

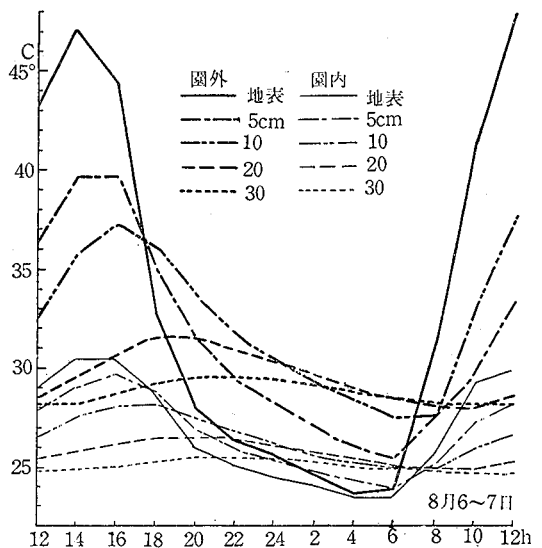
北面傾斜棚作り葡萄園における昭和24年8月6~7日の快晴日における結果から園内外の地温日平均及び日較差を示すと第71表のようである。日平均温度は園内外ともに受熱型を示しているが、園外受熱型は顕著で地中各深

第71表 日平均温度並びに日較差(°C)

| | 園内 | | 園外 | |
|-----|------|-----|------|------|
| | 日平均 | 較差 | 日平均 | 較差 |
| 0cm | 26.7 | 7.0 | 32.6 | 23.4 |
| 5 | 26.6 | 5.7 | 31.6 | 14.1 |
| 10 | 26.4 | 3.1 | 31.7 | 9.7 |
| 20 | 25.8 | 1.5 | 29.7 | 3.5 |
| 30 | 25.1 | 0.7 | 28.8 | 1.4 |



第104図 昼夜別平均温度の垂直分布



第105図 棚作り葡萄園内外の地温日変化

さを通じて園内より温度は高く、地表面にて 5.9°C 、地下 30 cm においても 3.7°C 高かった。

温度日較差も地中各深さを通じて園外は園内より大きく、地表面にて 16.4°C 、地下 30 cm においては 0.7°C の差を示している。そして較差は地中へ深さと共に急減している。

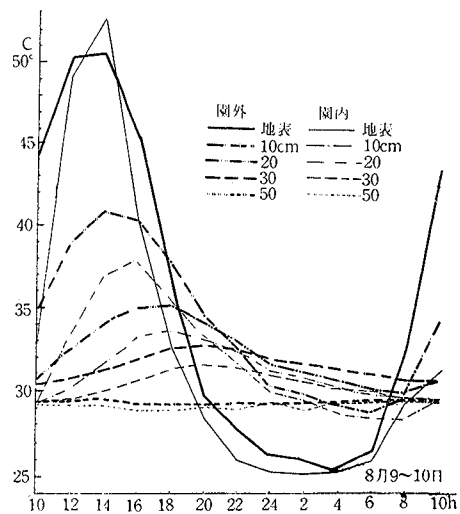
次に地温の昼夜別平均における垂直分布は第104図のように、昼間は園内外ともに受熱型を示し、夜間は地下 10 cm 附近までの浅層では放熱型を、それ以下の深層では地下への熱流を示す受熱型を示しているが、昼夜間ともに園外が高温で両者の温度差は、昼間は地表面及び地下浅層に大きく、夜間は地下 10 cm 以下の深層に大きく現われている。そして昼間は地表面にて 10.9°C 、地下 30 cm においても 3.6°C の差を示し、夜間は地表面、地下 10 、 30 cm において夫々 0.9 、 4.2 、 3.9°C 園外が高温である。

いま園内外における地温の日変化を示すと第105図のようで、園内は園外に比べて地中各深さを通じて全日低温で較差も小さい。最高温度も地表及び地下 30 cm において夫々 16.6 、 4.1°C 低く、最低温度も夫々 0.2 、 3.4°C 低くなっている。

(3) 立木作り並びに棚作り園における温度日変化の特性

立木作り並びに棚作り園に利用されている傾斜耕地の地中温度日変化の実状は (1), (2) において述べた通りであるが、かかる利用法の耕地における地中温度分布は傾斜の方向・傾角の相違の外に植生の程度によって決まるところの地表面日射量の分布状態に主として左右されるのであるが、立木作りの園における日変化の模様は、昭和24年8月9～10日の快晴日に No. 2 及び No. 5 の柿園内外において観測した例から明かである (第106図参照)。かかる立木作りの深耕疎植法によって栽培されている園においては、枝葉の間を漏れてくる日射量は比較的多く、また地表面附近は *austausch* が小さいので地表面にうけた熱の保持が良好となり、従って地表面温度の上昇率がよく、地表面温度は園外より高温になる場合もあるが、一般に園内は園外より地温の振巾は小さく、且つ低温である。

棚作りの園においては、地表面に平行な棚面の存在によって、地表面への日射が遮断されるので、立木作りの園に比べて地面温度は勿論地中各深さの温度も低く、また日変化の振巾も小さく、園内地表面における熱交換は微弱であることを示している。これらは棚面における枝葉繁茂の程度等によって異なるのは勿論であるが棚仕立栽培における園内地温の緩和作用は見のがすことが出来ない。(第104図参照)。



第106図 柿園内外の地中温度日変化

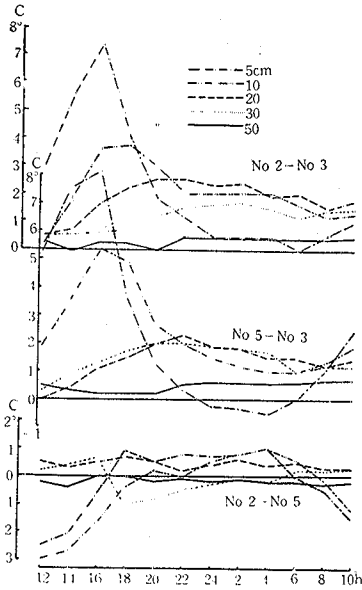
第2節 温度差

南西斜面の畑地・柿園並びに東北斜面の蜜柑園における夫々2ヶ所宛の観測値の差をとって、傾斜の方位、地被植物の有無等が地温に及ぼす影響をみるに、先づ第107図について春季における温度差日変化の状態をみる。温度差の正值は No. 2-No. 3, No. 2-No. 5 では No. 2 が、No. 5-No. 3 では No. 5 が高温であることを示す。

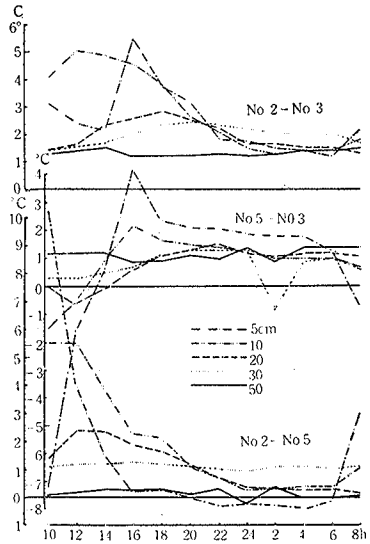
3月に No. 2-No. 3 は地中各深さを通じて No. 2 が高温で、且つ昼間は夜間より差が大きい。また地中深くなるにつれて差異は小さくなっている。No. 5-No. 3 においても同様な傾向にあるが、No. 2-No. 5 では両者の差異は小さく、昼間は No. 5 が僅かに高温で、夜間は反対になっている。

局部的差異が顕著に現われている盛夏の1例を第108図についてみると、No. 2 は地中の各深さを通じて全日 No. 3 より高く、地下浅層においては昼間は夜間よりは差異が大きい。No. 5-No. 3 の地下 30 cm 以下においては全日 1°C 内外、また 20 cm までの浅層では正午過から夜間にかけて夫々 No. 5 が高温を示している。No. 2-No. 5 では、No. 2 が殆んど全日高温で、その差異は夜間に小さく昼間大きい。

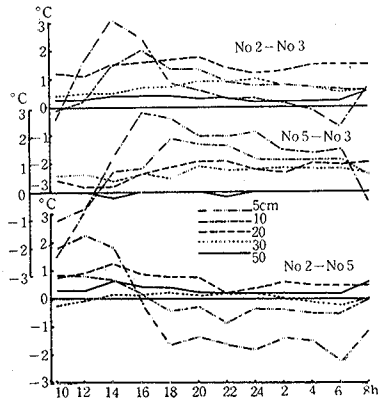
次に秋季における状態を10月についてみると第109図のようで、No. 2-No. 3 は地下 10 cm 以下の各深さでは全日 No. 2 が高温を示している。また地下 5 cm までの浅層では、早朝北東斜面が日射に恵まれるので、その時間に



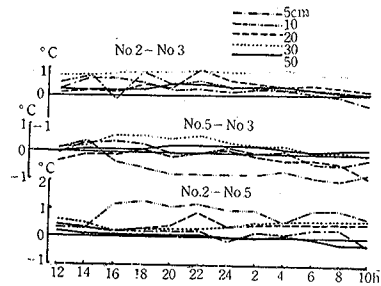
第107図 3月における地温差



第108図 8月における地温差



第109図 10月における地温差



第110図 1月における地温差

は No.3 が高温であるが、それ以外の時間にはやはり No.2 が高温である。

No.5-No.3 は地下 50 cm では全日差異がなく、地下 30 cm までの深さにおいては 8~10時頃を除き No.5 が高温である。また、No.2-No.5 では地下 20 cm 以下において殆んど全日 No.2 が高温であるが、10 cm までの浅層では夜間 No.2 が No.5 より低温を示し、昼間は反対になっている。

冬季においては、最低温度を現わした 1 月についてみると第110図のように各園間の差異は僅かで、何れも 1°C 以下であった。

第 3 節 地中温度の解析

(1) 地中温度の調和分析

開墾後15年以上経過した成園における南西斜面の畑地と柿園、北東斜面の蜜柑園における地表並びに地下 5, 10, 20, 30 及び 50 cm の温度観測結果を、観測時刻の不同を調整し、日変化の特性を理論的に表現するため調和分析法によって処理した。そして各調和常数を求め、1 日項 $a_1 \sin(\omega t + \epsilon_1)$ について考究する

春季 3, 4, 5月における各園の地表及び地下 50 cm までの地温観測結果から 1 日項の調和常数を表出したのが第72表である。

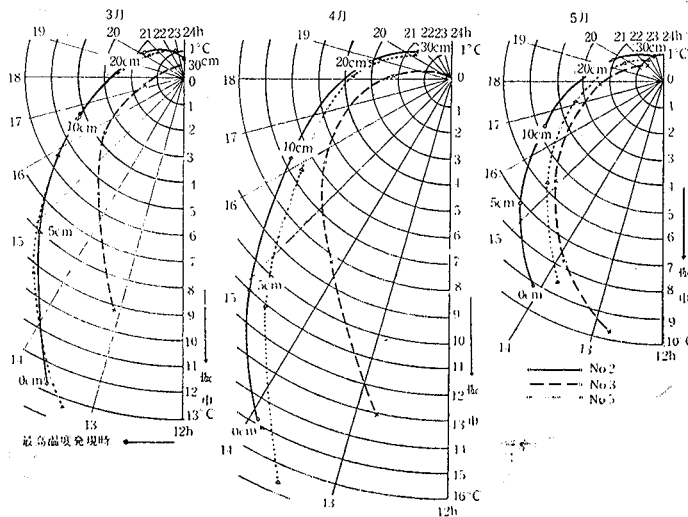
振巾 a_1 は各月各園ともに地表面に最大で、地中深くなるにつれて減少しているが、振巾の最も大きい地表面につ

いてみると、3月には南西面と北東面の差が最も顕著に現われており4月、5月と月が進むにつれてその差は次第に減少してくる。すなわち、北東斜面では3月には3.6~4.2°C、4月は1.8~3.6°C 夫々南西斜面より小さいが、5月には反対に南西斜面より0.6~1.3°C大きくなっている。

位相 ϵ_1 は各月各園ともに地表面に最も進んでいる。そして地中に深くなるに従って遅れてきているが、これは地下へ深さと共に最高・最低温度の起時が遅退することを示している。そして地表面で位相が最も進んでいるのは

第72表 春期における地中温度の調和分析結果

| | | 3月24日~25日 | | | 4月15日~16日 | | | 5月29日~30日 | | |
|-------|-----|-----------|---------|--------------|-----------|---------|--------------|-----------|--------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| No. 2 | 0cm | 11.6 °C | 12.7 °C | 65° 31' | 18.1 °C | 14.8 °C | 31° 46' | 23.3 °C | 9.2 °C | 29° 02' |
| | 5 | 11.6 | 8.0 | 46 37 | 18.6 | 11.0 | 16 13 | 23.4 | 7.1 | 11 34 |
| | 10 | 10.9 | 4.2 | 18 59 | 18.2 | 6.8 | 356 07 | 22.7 | 4.7 | 350 33 |
| | 20 | 10.1 | 1.8 | 328 49 | 17.8 | 3.1 | 318 33 | 21.6 | 2.1 | 305 30 |
| | 30 | 9.2 | 0.8 | 270 43 | 16.6 | 1.8 | 292 46 | 20.7 | 1.1 | 257 35 |
| | 50 | 9.2 | 0.3 | 212 00 | 15.4 | 0.1 | 251 34 | 20.0 | 0.2 | 237 16 |
| No. 3 | 0 | 9.8 | 9.1 | 73 49 | 17.4 | 13.0 | 47 30 | 24.6 | 9.8 | 48 27 |
| | 5 | 9.4 | 5.4 | 52 45 | 16.9 | 8.2 | 27 03 | 24.4 | 7.8 | 30 50 |
| | 10 | 9.1 | 3.7 | 33 34 | 16.6 | 5.6 | 3 49 | 23.7 | 5.5 | 13 47 |
| | 20 | 8.2 | 1.5 | 6 36 | 15.9 | 2.2 | 324 57 | 21.7 | 2.4 | 330 09 |
| | 30 | 7.9 | 0.6 | 297 27 | 15.0 | 0.1 | 270 14 | 20.9 | 0.9 | 275 05 |
| | 50 | 8.9 | 0.1 | 241 23 | 13.9 | 0.0 | 180 00 | 19.2 | 0.2 | 222 53 |
| No. 5 | 0 | 11.7 | 13.3 | 70 31 | 18.4 | 16.6 | 38 17 | 22.4 | 8.5 | 27 35 |
| | 5 | 11.8 | 9.2 | 52 38 | 18.8 | 11.0 | 20 08 | 21.7 | 5.8 | 11 10 |
| | 10 | 11.5 | 5.6 | 32 16 | 18.6 | 6.5 | 1 35 | 21.5 | 3.4 | 343 15 |
| | 20 | 9.6 | 1.7 | 328 31 | 17.5 | 3.7 | 326 19 | 21.8 | 1.7 | 302 56 |
| | 30 | 9.3 | 1.2 | 290 50 | 16.6 | 1.9 | 294 38 | 19.8 | 1.1 | 271 31 |
| | 50 | 9.4 | 0.3 | 198 26 | 15.4 | 0.3 | 202 45 | 19.6 | 0.4 | 216 34 |



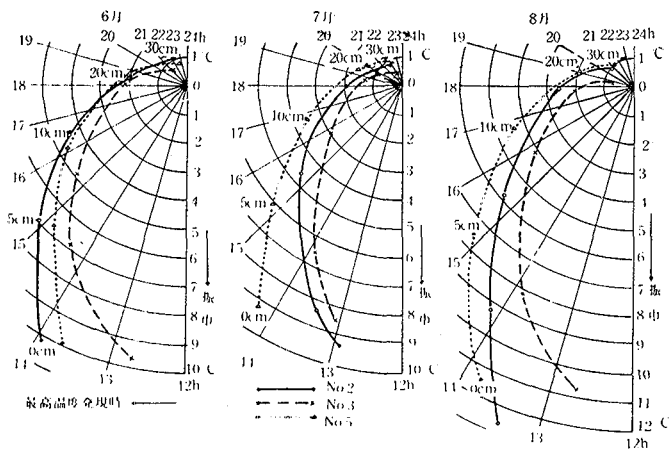
第111図 春季における各園の最高温度発現時とその振巾(地温)

各月とも北東斜面の蜜柑園で、最も遅れているのは南西斜面畑地である。これら位相の相違は地中における熱授受の機構を示すものであって、いま最高温度発現時刻と深さによる振巾の減少状態を示すと第111図の通りである。

夏季 この季節における地温の調和分析結果は第73表で、また8月における北面傾斜棚作り葡萄園内外における結果は第74表である。第73表によって立木作りの園における状態をみると、振巾 a_1 は地中に深くなるに從って減少し位相 ϵ_1 は遅れている。しかし、各月ともに各斜面における振巾の局部性は、太陽の最も高い6月前後に極めて小さく現われ、また振巾は各月とも北東斜面の蜜柑園では南西斜面の畑地及び柿園より何れも小さい。地表において位相の最も進んでいるのは6月・8月には北東斜面、7月には南西斜面の畑地で、最も遅れているのは6月は南西斜面の畑地、7、8月には南西斜面の柿園である。從って各園における最高温度の発現時と振巾の減少状態は

第73表 夏季における地温の調和分析結果

| | | 6月16日~17日 | | | 7月13日~14日 | | | 8月9日10日 | | |
|-------|------|-----------|--------|--------------|-----------|--------|--------------|---------|--------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| No. 2 | cm | °C | °C | | °C | °C | | °C | °C | |
| | 0 | 26.7 | 10.1 | 30° 40' | 31.5 | 9.3 | 76° 14' | 35.1 | 12.7 | 67° 40' |
| | 5 | 26.4 | 6.9 | 12 53 | 31.2 | 8.4 | 68 11 | 34.6 | 9.2 | 58 35 |
| | 10 | 26.2 | 4.4 | 353 01 | 29.9 | 4.8 | 41 15 | 33.4 | 5.9 | 39 33 |
| | 20 | 25.2 | 2.0 | 320 40 | 28.1 | 2.0 | 0 00 | 32.3 | 2.6 | 0 32 |
| | 30 | 24.2 | 1.1 | 265 40 | 27.2 | 0.9 | 304 26 | 31.6 | 1.0 | 318 16 |
| 50 | 23.0 | 0.1 | 212 00 | 24.4 | 0.3 | 189 06 | 29.3 | 0.1 | 135 00 | |
| No. 3 | 0 | 26.1 | 9.6 | 49 10 | 30.4 | 8.5 | 74 27 | 32.0 | 10.7 | 79 19 |
| | 5 | 26.2 | 6.8 | 23 44 | 29.9 | 6.6 | 61 08 | 32.3 | 8.2 | 62 16 |
| | 10 | 26.0 | 4.8 | 8 01 | 28.1 | 3.0 | 33 38 | 31.0 | 4.1 | 32 48 |
| | 20 | 24.6 | 2.2 | 326 24 | 26.9 | 1.3 | 349 49 | 30.5 | 2.0 | 4 39 |
| | 30 | 23.1 | 0.7 | 275 38 | 25.6 | 0.5 | 295 28 | 29.7 | 0.7 | 327 28 |
| | 50 | 21.4 | 0.1 | 209 03 | 24.0 | 0.2 | 180 00 | 28.0 | 0.0 | — |
| No. 5 | 0 | 26.2 | 9.8 | 34 16 | 30.8 | 9.4 | 56 18 | 32.8 | 11.4 | 63 25 |
| | 5 | 25.3 | 6.6 | 16 41 | 29.8 | 6.0 | 42 53 | 33.0 | 7.4 | 43 02 |
| | 10 | 25.2 | 4.7 | 358 54 | 28.6 | 3.4 | 18 07 | 31.6 | 4.4 | 22 16 |
| | 20 | 23.5 | 2.0 | 314 10 | 27.4 | 1.6 | 337 48 | 31.2 | 1.9 | 344 45 |
| | 30 | 22.7 | 0.9 | 257 12 | 26.4 | 0.9 | 296 16 | 30.5 | 1.0 | 311 49 |
| | 50 | 22.2 | 0.3 | 215 19 | — | — | — | 29.2 | 0.2 | 168 41 |



第112図 夏季における各園の最高温度発現時とその振巾(地温)

第112図のようである。

次に北斜面の棚作り葡萄園についてみると第74表のようで、園内外における地中各深さの振巾の差異は顕著で何れも園内は園外の $\frac{1}{3}$ 以下である。

位相は地表面が最も進み、深さと共に遅れている。また位相は園内は園外より遅れて、最高・最低温度発現時刻の遅退を示している。

秋季 9, 10, 11月における地温の調和分析結果は第75表のようであって、1日項の振巾 a_1 は各園・各月ともに深さと共に減少しており、且つ振巾の南西斜面と北東斜面における差異は顕著に現われている。いま地表面についてみると、9月には No.2 は 11.7°C, No.3 では 7.3°C にして、両者の差は 4.4°C を示し、傾斜方位の相違が振巾に及ぼす影響が大きい。10月には雲量(平均 4.2)の関係にて各園相互間の差異は少ないが、11月には No.2 において 6.6°C, No.3 は 5.4°C で 1.2°C の差を示している。

第74表 地温の調和分析結果

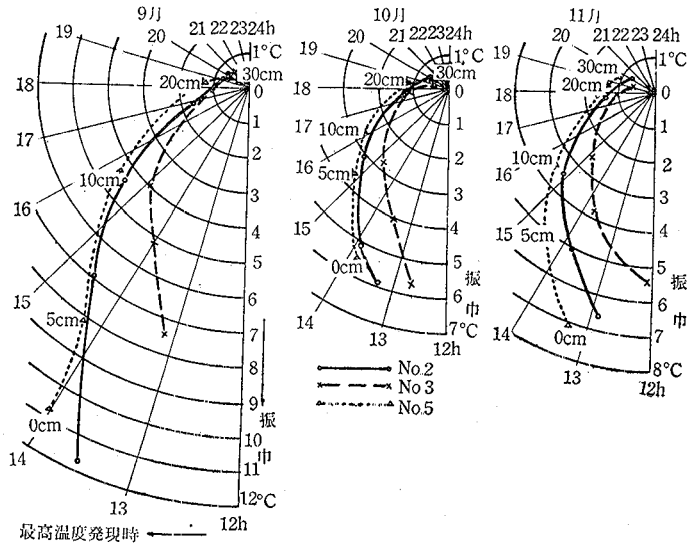
| | 園内 | | | 園外 | | |
|----|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| cm | °C | °C | | °C | °C | |
| 0 | 26.7 | 3.5 | 53° 37' | 32.6 | 11.4 | 65° 56' |
| 5 | 26.6 | 2.6 | 36 39 | 31.6 | 6.6 | 42 29 |
| 10 | 26.4 | 1.5 | 9 09 | 31.7 | 4.5 | 16 39 |
| 20 | 25.8 | 0.8 | 330 26 | 29.7 | 1.7 | 328 04 |
| 30 | 25.1 | 0.4 | 295 52 | 28.8 | 0.7 | 293 24 |

第75表 秋期における地温の調和分析結果

| | cm | 9月27日~28日 | | | 10月28日~29日 | | | 11月25日~26日 | | |
|------|----|-----------|-------|--------------|------------|-------|--------------|------------|-------|--------------|
| | | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 | a_0 | a_1 | ϵ_1 |
| No.2 | 0 | 22.4 | 11.7 | 157° 08' | 15.2 | 5.9 | 157° 08' | 11.0 | 6.6 | 45° 40' |
| | 5 | 22.8 | 6.7 | 142 17 | 15.9 | 5.1 | 142 17 | 11.5 | 5.0 | 32 07 |
| | 10 | 23.1 | 4.3 | 128 42 | 17.0 | 3.1 | 128 42 | 12.2 | 3.5 | 13 55 |
| | 20 | 23.2 | 1.6 | 106 09 | 18.3 | 1.3 | 106 09 | 13.3 | 1.4 | 333 15 |
| | 30 | 23.7 | 0.7 | 49 08 | 18.2 | 0.6 | 49 08 | 13.2 | 0.7 | 296 11 |
| | 50 | 24.5 | 0.1 | 16 42 | 19.1 | 0.2 | 16 42 | 14.3 | 0.1 | 143 58 |
| No.3 | 0 | 21.2 | 7.3 | 163 33 | 15.0 | 5.6 | 163 33 | 9.2 | 5.4 | 59 45 |
| | 5 | 21.4 | 5.2 | 150 21 | 16.1 | 4.0 | 150 21 | 10.0 | 3.8 | 34 34 |
| | 10 | 22.3 | 3.9 | 136 03 | 16.8 | 2.8 | 136 03 | 11.0 | 2.5 | 16 21 |
| | 20 | 22.6 | 1.0 | 79 29 | 17.5 | 1.1 | 79 29 | 11.4 | 1.0 | 336 57 |
| | 30 | 23.2 | 0.6 | 40 04 | 17.5 | 0.3 | 40 04 | 12.6 | 0.6 | 312 50 |
| | 50 | 24.2 | 0.3 | 350 54 | 18.8 | 1.1 | 350 54 | 13.9 | 0.1 | 45 00 |
| No.5 | 0 | 23.4 | 10.8 | 149 44 | 15.4 | 5.5 | 149 44 | 11.3 | 7.1 | 41 10 |
| | 5 | 23.3 | 8.0 | 146 47 | 16.3 | 3.6 | 146 47 | 11.9 | 4.9 | 21 27 |
| | 10 | 23.2 | 4.3 | 128 39 | 17.1 | 2.7 | 128 39 | 12.2 | 3.4 | 6 10 |
| | 20 | 23.1 | 1.2 | 82 28 | 17.6 | 1.1 | 82 28 | 12.7 | 1.3 | 318 44 |
| | 30 | 23.4 | 0.6 | 57 03 | 18.2 | 0.4 | 57 03 | 13.0 | 1.1 | 308 30 |
| | 50 | 24.4 | 0.3 | 360 00 | 18.8 | 0.0 | 360 00 | 14.2 | 0.1 | 164 03 |

位相 ϵ_1 は各園とも各月を通じて、深さと共に遅れを示している。地表において位相の最も進んでいるのは、各月とも北東斜面の No.3 で、最も遅れているのは南西斜面の No.5 である。そして地表における最高温度発現時は9月は No.3 に最も早く12時24分、No.2 では13時30分、No.5 は14時と次第に遅れてきており、10月、11月においても No.3, No.2, No.5 の順に夫々12時42分、13時18分、13時54分、及び、12時、12時54分、13時18分となっている。いまそれらの関係を示すと第113図のようである。

冬季 南西斜面畑地、柿園並びに北東斜面蜜柑園における 12, 1, 2月の地温を調和分析して1日項の常数を示したのが第76表である。



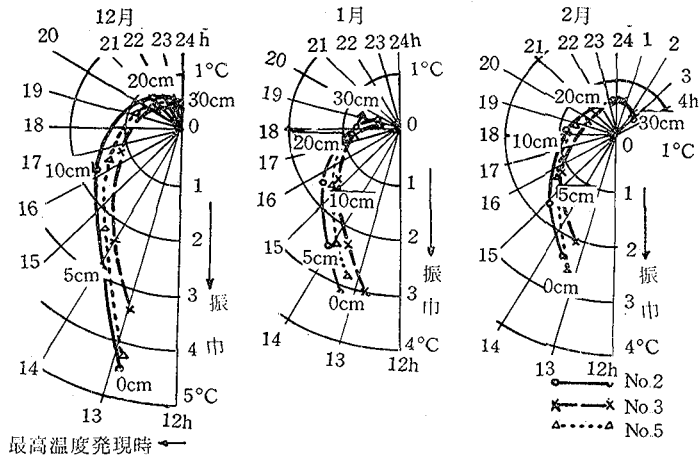
第113図 秋季における各園の最高温度発現時とその振巾(地温)

第76表 冬期における地温の調和分析結果

| | cm | 12月18日~19日 | | | 1月20日~21日 | | | 2月25日~26日 | | |
|-------|----|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | | a_0 °C | a_1 °C | ϵ_1 | a_0 °C | a_1 °C | ϵ_1 | a_0 °C | a_1 °C | ϵ_1 |
| No. 2 | 0 | 8.4 | 4.5 | 45° 27' | 5.1 | 3.1 | 69° 44' | 8.2 | 2.4 | 35° 16' |
| | 5 | 8.0 | 2.8 | 30 41 | 5.5 | 2.5 | 58 57 | 7.9 | 1.8 | 17 31 |
| | 10 | 8.3 | 1.7 | 357 20 | 6.4 | 1.7 | 32 38 | 7.1 | 0.8 | 328 13 |
| | 20 | 8.7 | 0.7 | 284 27 | 7.0 | 0.8 | 358 32 | 7.0 | 0.6 | 240 52 |
| | 30 | 9.3 | 0.4 | 246 22 | 7.6 | 0.4 | 341 34 | 7.7 | 0.3 | 187 22 |
| | 50 | 10.7 | 0.0 | 63 26 | 8.8 | 0.2 | 345 58 | 8.1 | 0.0 | 225 00 |
| No. 3 | 0 | 8.0 | 3.4 | 45 15 | 5.0 | 3.0 | 78 09 | 7.6 | 2.1 | 42 32 |
| | 5 | 7.6 | 2.3 | 29 54 | 5.3 | 2.3 | 63 59 | 7.4 | 1.2 | 6 39 |
| | 10 | 7.7 | 1.1 | 350 17 | 6.0 | 1.4 | 38 08 | 6.6 | 0.6 | 305 25 |
| | 20 | 8.1 | 0.6 | 290 54 | 6.7 | 0.8 | 11 40 | 6.2 | 0.7 | 237 16 |
| | 30 | 8.7 | 0.3 | 253 18 | 6.8 | 0.3 | 356 11 | 6.5 | 0.3 | 205 49 |
| | 50 | 10.7 | 0.2 | 126 52 | 8.6 | 0.1 | 51 21 | 9.5 | 0.1 | 90 00 |
| No. 5 | 0 | 8.3 | 4.3 | 47 32 | 4.9 | 2.8 | 69 24 | 8.1 | 0.5 | 41 14 |
| | 5 | 8.1 | 2.3 | 23 47 | 5.2 | 2.3 | 62 01 | 7.8 | 1.3 | 1 20 |
| | 10 | 8.5 | 1.4 | 355 58 | 5.5 | 1.5 | 41 28 | 7.7 | 0.8 | 316 31 |
| | 20 | 8.4 | 0.8 | 310 36 | 6.6 | 0.9 | 1 56 | 6.9 | 0.6 | 266 12 |
| | 30 | 9.3 | 0.4 | 260 45 | 7.1 | 0.6 | 341 14 | 7.1 | 0.5 | 223 24 |
| | 50 | 10.6 | 0.1 | 120 58 | 8.8 | 0.1 | 344 03 | 8.1 | 0.1 | 180 00 |

振巾 a_1 は各園・各月とも地表面に最も大きく、深さと共に減少し、振巾の南西斜面と北東斜面の相違は、他の季節における程顕著でないが、各月ともに北東斜面に小さい。すなわち、振巾の最も大きい地表面でも12月に差は1°Cでその他の月は何れも差が殆んどない。

位相 ϵ_1 は各園・各月ともに地中へ深くなるにつれて遅れており、最高温度の発現時刻と振巾との関係を示すと第114図のようである。



第114図 冬季における各園の最高温度発現時とその振巾 (地温)

(2) 地温の深さと振巾との関係

地温の振巾は深さと共に減少するが、その間の関係は指数関数で現わされるので、南西斜面の畑地と柿園並びに北東斜面の蜜柑園における各月の関係式を求めると第77表のようになった。

第77表 地温の深さと振巾との関係

| 月 | No. 2 | No. 3 | No. 5 |
|---|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 春 | 3 $Az = 25.3e^{-0.0898z}$ | $Az = 18.2e^{-0.0927z}$ | $Az = 26.7e^{-0.0836z}$ |
| | 4 $Az = 29.5e^{-0.0776z}$ | $Az = 25.9e^{-0.1081z}$ | $Az = 33.2e^{-0.0805z}$ |
| | 5 $Az = 18.5e^{-0.0690z}$ | $Az = 19.5e^{-0.0660z}$ | $Az = 17.0e^{-0.0750z}$ |
| 夏 | 6 $Az = 10.1e^{-0.0822z}$ | $Az = 9.6e^{-0.0780z}$ | $Az = 9.8e^{-0.0766z}$ |
| | 7 $Az = 18.6e^{-0.0630z}$ | $Az = 17.0e^{-0.0845z}$ | $Az = 18.8e^{-0.0895z}$ |
| | 8 $Az = 25.5e^{-0.0794z}$ | $Az = 21.1e^{-0.0814z}$ | $Az = 22.7e^{-0.0861z}$ |
| 秋 | 9 $Az = 23.3e^{-0.1003z}$ | $Az = 14.6e^{-0.0773z}$ | $Az = 21.7e^{-0.0856z}$ |
| | 10 $Az = 11.9e^{-0.0645z}$ | $Az = 11.2e^{-0.0787z}$ | $Az = 11.0e^{-0.0843z}$ |
| | 11 $Az = 13.1e^{-0.0699z}$ | $Az = 10.8e^{-0.0764z}$ | $Az = 14.2e^{-0.0771z}$ |
| 冬 | 12 $Az = 8.9e^{-0.0921z}$ | $Az = 6.8e^{-0.0837z}$ | $Az = 8.7e^{-0.0967z}$ |
| | 1 $Az = 6.1e^{-0.0610z}$ | $Az = 6.0e^{-0.0666z}$ | $Az = 5.5e^{-0.0552z}$ |
| | 2 $Az = 4.9e^{-0.0789z}$ | $Az = 4.3e^{-0.0885z}$ | $Az = 4.9e^{-0.0881z}$ |

(3) 地温日変化の及ぶ深さ

土壌は熱の伝導が小さいので、地面にうけた熱を下層に伝導することが遅く、従って日射の日変化の如きは地中内部に影響する深さが割合に小さい。

そこで、地温日変化の振巾が 0.1°C に減少する地層を地温日変化の不易層と考えて各園における地温日変化の及ぶ深さを計算すると第78表のようである。

地温日変化の及ぶ深さは春季や冬季に北東斜面では南西斜面の畑地や柿園より浅く、夏季には両者の中間にある。また南西斜面の畑地と柿園についてみると、何れの季節においても柿園内は畑地より日変化の及ぶ深さが浅い傾向にある

(4) 地中熱拡散率

各園の各季節における地中熱拡散率を理論式より計算すると第79表のようになった。

第78表 地温日変化の及ぶ深さ (cm)

| 場 所 | 季 節 月 | 春 | | | 夏 | | | 秋 | | | 冬 | | |
|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 |
| | | No.2 | 61.6 | 73.3 | 75.5 | 64.6 | 82.8 | 69.7 | 54.4 | 74.1 | 69.7 | 48.7 | 67.4 |
| No.3 | 53.4 | 51.5 | 79.8 | 67.4 | 60.6 | 65.8 | 64.6 | 59.9 | 61.3 | 50.4 | 61.4 | 42.4 | |
| No.5 | 66.8 | 72.0 | 68.4 | 68.8 | 58.6 | 63.0 | 63.0 | 55.7 | 64.2 | 46.2 | 72.6 | 44.2 | |

第79表 地中熱拡散率 ($\times 10^{-3}$ C.G.S.)

| 場 所 | 季 節 月 | 春 | | | 夏 | | | 秋 | | | 冬 | | |
|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 |
| | | No.2 | 4.76 | 6.04 | 7.64 | 5.38 | 9.16 | 5.77 | 3.61 | 8.74 | 7.44 | 4.29 | 9.77 |
| No.3 | 4.61 | 3.11 | 8.35 | 5.98 | 5.09 | 5.49 | 6.09 | 5.87 | 6.23 | 5.19 | 8.20 | 4.76 | |
| No.5 | 5.12 | 5.81 | 6.46 | 6.20 | 4.54 | 4.91 | 4.96 | 5.12 | 6.12 | 3.89 | 11.93 | 4.78 | |

かくの如く地中における熱拡散率が求まると、地表面における温度の日変化が分っていれば任意の時刻における地温の垂直分布状態は理論より求めることが出来る。

第4節 地中における熱量の交換⁽⁹³⁾

地面は日中太陽熱を吸収して、これを地中内部へ伝るが、夜間には地面が輻射によって熱を失うから地中内部の熱は地面向って流れ、地面から放出される。依って、土壌中に含まれている熱量が1日を週期として変化することは前述の通りであるが、いま、南西斜面の畑地及び柿園並びに北東斜面の蜜柑園における地中熱量の日平均からの偏差を $u_2 - u_1 = CH(\theta_2 - \theta_1)$ から求めると第80表のようになる。ここに深さHは 50 cm とし、平均温度は深さ 2.5 cm おきの平均を用い、土壌の熱容量は 0.5 cal として計算した。

これによると、春季においては No.2 は熱量の最大は16時、最小は6時で熱量変化の振巾は3月、4月、5月と夫々 107.5, 187.5, 117.5 cal/cm² で No.5 は14時過に地中熱量は最大となり、6時或はそれ以前に最小となって日変化の振巾は3, 4, 5月に夫々 125, 185, 92.5 cal/cm² を示している。北斜面の No.3 では何れも14時に熱量は最大で、6時に最小となり、振巾は夫々 87.5, 135, 127.5 cal/cm² で No.2, No.5 より3月、4月には小さいが、5月には大きくなっている。

夏季においてNo.2は6月には16時、7, 8月は14時に地中熱量は最大となり、最小は何れも6時に現われ、熱量変化の振巾は6, 7, 8月と夫々 120, 115, 150 cal/cm² で、No.5 では7月に16時、6, 8月は14時に熱量は最

第80表 各月における地中の熱交換量 (Cal/cm²)

| 月 | 場 所 | 時 | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| 春 | 3 | No.2 | 22.5 | 55.0 | 65.0 | 32.5 | 7.5 | -10.0 | -20.0 | -30.0 | -40.0 | -42.5 | -30.0 | 0.0 |
| | | No.3 | 32.5 | 50.0 | 40.0 | 20.0 | 2.5 | -10.0 | -20.0 | -27.5 | -37.5 | -35.0 | -30.0 | -2.5 |
| | | No.5 | 32.5 | 72.5 | 72.5 | 35.0 | 7.5 | -10.0 | -25.0 | -40.0 | -50.0 | -52.5 | -35.0 | -2.5 |
| | 4 | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| | | No.2 | -7.5 | 40.0 | 92.7 | 100.0 | 65.0 | 27.5 | -2.5 | -32.5 | -52.5 | -70.0 | -87.5 | -67.5 |
| | | No.3 | 12.5 | 55.0 | 67.5 | 57.5 | 30.0 | 7.5 | -10.0 | -30.0 | -42.5 | -60.0 | -67.5 | -30.0 |
| | 5 | No.5 | -5.0 | 55.0 | 100.0 | 95.0 | 57.5 | 25.0 | -10.0 | -32.5 | -57.5 | -75.0 | -85.0 | -62.5 |
| | | No.2 | 17.5 | 10.0 | 47.5 | 65.0 | 47.5 | 15.0 | -2.5 | -15.0 | -32.5 | -42.5 | -52.5 | -32.5 |
| | | No.3 | -10.0 | 45.0 | 72.5 | 57.5 | 30.0 | 10.0 | -10.0 | -25.0 | -40.0 | -55.0 | -52.5 | -17.5 |
| | No.5 | -40.0 | 12.5 | 55.0 | 50.0 | 32.5 | 17.5 | 5.0 | -7.5 | -22.5 | -30.0 | -37.5 | -35.0 | |

| 月 | 場所 | 時 | | | | | | | | | | | | |
|----|----|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| 夏 | 6 | No. 2 | -15.0 | 27.5 | 60.0 | 62.5 | 35.0 | 12.5 | -2.5 | -17.5 | -32.5 | -42.5 | -45.0 | -57.5 |
| | | No. 3 | 15.0 | 52.5 | 70.0 | 47.5 | 27.5 | 5.0 | -12.5 | -22.5 | -35.0 | -45.0 | -45.0 | -47.5 |
| | | No. 5 | -25.0 | 27.5 | 70.0 | 55.0 | 27.5 | 10.0 | -5.0 | -17.5 | -32.5 | -40.0 | -40.0 | -40.0 |
| | | | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 7 | No. 2 | 47.5 | 67.5 | 57.5 | 27.5 | 5.0 | -15.0 | -25.0 | -35.0 | -45.0 | -47.5 | -17.5 | -12.5 |
| | | No. 3 | 42.5 | 50.0 | 45.0 | 17.5 | 0.0 | -10.0 | -20.0 | -27.5 | -35.0 | -37.5 | -15.0 | -7.5 |
| | | No. 5 | 17.5 | 47.5 | 62.5 | 30.0 | 10.0 | -5.0 | -20.0 | -27.5 | -35.0 | -40.0 | -37.5 | -17.5 |
| | | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| | 8 | No. 2 | 15.0 | 60.0 | 82.5 | 72.5 | 40.0 | 7.5 | -15.0 | -42.5 | -47.5 | -57.5 | -67.5 | -45.0 |
| | | No. 3 | 15.0 | 55.0 | 65.0 | 45.0 | 25.0 | 5.0 | -15.0 | -37.5 | -40.0 | -47.5 | -52.5 | -32.5 |
| | | No. 5 | -35.0 | 45.0 | 72.5 | 60.0 | 32.5 | 12.5 | -5.0 | -25.0 | -35.0 | -42.5 | -47.5 | -42.5 |
| | 秋 | | | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| 9 | | No. 2 | 7.5 | -7.5 | -15.0 | -20.0 | -37.5 | -50.0 | -55.0 | -37.5 | 20.0 | 42.5 | 70.0 | 67.5 |
| | | No. 3 | 10.0 | 0.0 | -5.0 | -12.5 | -27.5 | -40.0 | -42.5 | -30.0 | 22.5 | 47.5 | 47.5 | 22.5 |
| | | No. 5 | 5.0 | -5.0 | -12.5 | -20.0 | -30.0 | -45.0 | -47.5 | -45.0 | -10.0 | 52.5 | 85.0 | 77.5 |
| | | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 10 | | No. 2 | 12.5 | 30.0 | 47.5 | 35.0 | 20.0 | 0.0 | -10.0 | -15.0 | -2.5 | -30.0 | -45.0 | -25.0 |
| | | No. 3 | 25.0 | 15.0 | 37.5 | 32.5 | 10.0 | -5.0 | -12.5 | -17.5 | -22.5 | -27.5 | -40.0 | -22.5 |
| | | No. 5 | 5.0 | 22.5 | 35.0 | 32.5 | 17.5 | 5.0 | -5.0 | -12.5 | -17.5 | -22.5 | -32.5 | -32.5 |
| | | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 11 | | No. 2 | 5.0 | 37.5 | 47.5 | 40.0 | 15.0 | -2.5 | -15.0 | -20.0 | -25.0 | -30.0 | -37.5 | -30.0 |
| | | No. 3 | 15.0 | 37.5 | 40.0 | 25.0 | 10.0 | 0.0 | -10.0 | -17.5 | -17.5 | -22.5 | -27.5 | -22.5 |
| | | No. 5 | 17.5 | 27.5 | 52.5 | 47.5 | 25.0 | 2.5 | -10.0 | -17.5 | -25.0 | -35.0 | -40.0 | -37.5 |
| 冬 | 12 | No. 2 | -5.0 | 20.0 | 22.5 | 20.0 | 10.0 | 0.0 | -2.5 | -10.0 | -10.0 | -10.0 | -12.5 | -10.0 |
| | | No. 3 | -15.0 | 15.0 | 22.5 | 17.5 | 12.5 | 2.5 | -2.5 | -2.5 | -5.0 | -5.0 | -7.5 | -10.0 |
| | | No. 5 | -15.0 | 12.5 | 22.5 | 22.5 | 10.0 | 2.5 | -7.5 | -12.5 | -12.5 | -12.5 | -12.5 | -12.5 |
| | | | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 1 | No. 2 | 22.5 | 27.5 | 20.0 | 7.5 | 0.0 | -2.5 | -7.5 | -10.0 | -15.0 | -20.0 | -22.5 | -7.5 |
| | | No. 3 | 25.0 | 27.5 | 17.5 | 7.5 | 0.0 | -5.0 | -7.5 | -10.0 | -15.0 | -17.5 | -15.0 | 2.5 |
| | | No. 5 | 22.5 | 27.5 | 20.0 | 7.5 | 0.0 | -5.0 | -7.5 | -10.0 | -15.0 | -22.5 | -22.5 | -5.0 |
| | | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| | 2 | No. 2 | -17.5 | 2.5 | 7.5 | 10.0 | 5.0 | 2.5 | 0.0 | -2.5 | -5.0 | -5.0 | -5.0 | -5.0 |
| | | No. 3 | -12.5 | 2.5 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2.5 | 0.0 | 2.5 |
| | | No. 5 | -20.0 | -2.5 | 5.0 | 7.5 | 7.5 | 2.5 | 2.5 | 0.0 | -2.5 | -5.0 | -2.5 | -2.5 |

大で、6時に最小を示して、熱量変化の振巾は夫々 110, 102.5, 120 cal/cm² で何れの月においても No.2 より小さく、No.3 は熱量の最大が14時、最小は6時で、振巾は 6, 7, 8月と夫々 117.5, 87.5, 117.5 cal/cm² で6月には南西斜面の No.2 と No.5 の間にあるが、7, 8月の盛夏の候には何れも南西斜面より小さくなっている。

秋季には、No.2 は熱量の最大が何れの月も14時に、最小は6時に現われ、熱量変化の振巾は9, 10, 11月と夫々 125, 92.5, 85 cal/cm² で、No.5 は各月とも最大は同じく14時であるが、最小は7時頃である。そして変化の振巾は9, 10, 11月に夫々 132.5, 67.5, 92.5 cal/cm² で No.2 とともに夏季より何れも小さい。No.3 においては熱量の最大は他の各園より早く13時頃で、最小は何れの月も6時で、その振巾は9, 10, 11月に夫々 90, 77.5,

67.5 cal/cm² で南西斜面の各園におけるより小さく、また夏季よりも小さくなっている。

冬季においては、No.2 は12, 1月には14時に、2月は16時に熱量は最大で、最小は6~7時頃で、熱量変化の振巾は12, 1, 2月と夫々 35, 50, 27.5 cal/cm², No.5 は14~15時頃に最大が現われているが、最小は何れも7時頃で、振巾は夫々 37.5, 50.0, 27.5 cal/cm² で No.2 と略同じである。No.3 は熱量の最大は12, 1月には14時、最小は7時に現われ、2月には夫々16時、5時に現われ、熱量変化の振巾は夫々 37.5, 45.0, 17.5 cal/cm² で南西斜面の各園より小さい。

次に北面傾斜棚作り葡萄園内外における8月の結果は第81表のようで、園の内外ともに、地中熱量の最大は16時に、最小は6時で、熱量変化の振巾は園内では 40.0 cal/cm², 園外は 109.7 cal/cm² を示し、園内は園外の $\frac{1}{2}$ 以下である。また、立木作りの園内外においては園内 120 cal/cm², 園外 150 cal/cm² で、園内は園外の8割程度であった。

第81表 ぶどう園内外における地中熱量の変化 (Cal/cm²)

| 時 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 2 | 4 | 5 | 8 | 10 |
|----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 園内 | 3.8 | 14.6 | 20.0 | 18.0 | 7.5 | 2.0 | -4.5 | -10.5 | -15.9 | -20.0 | -14.9 | -0.2 |
| 園外 | 20.7 | 51.5 | 60.6 | 36.0 | 11.0 | -7.1 | -19.4 | -30.5 | -38.4 | -49.1 | -36.0 | 0.0 |

第4章 傾斜地開墾後における地中温度の年変化

第3章においては開墾後15年以上経過した南西斜面及び北東斜面における成園について、地中温度日変化の実状及びその分布の特性を実験的に、理論的に、考究したのであるが、ここでは年変化について考究する。

第1節 地中温度の年変化

日変化の特性について考究した南西斜面の畑地及び柿園並びに北東斜面蜜柑園における各月特定日の日平均温度を示すと第82表のようである。いまこれによりその月別変化について考察すると、地中温度を左右する本源は主と

第82表 地温の年変化 (°C)

| 月 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| No.2 | 0cm | 31.5 | 35.1 | 24.4 | 15.2 | 11.0 | 8.4 | 5.1 | 8.2 | 11.6 | 18.1 | 23.3 | 26.7 |
| | 5 | 31.2 | 34.6 | 22.8 | 15.9 | 11.5 | 8.0 | 5.5 | 7.9 | 11.6 | 18.6 | 23.4 | 26.4 |
| | 10 | 29.9 | 33.9 | 23.1 | 17.0 | 12.2 | 8.3 | 6.4 | 7.1 | 11.0 | 18.2 | 22.7 | 26.2 |
| | 20 | 28.1 | 32.3 | 23.1 | 18.3 | 13.3 | 8.7 | 7.0 | 7.0 | 10.1 | 17.8 | 21.6 | 25.2 |
| | 30 | 27.2 | 31.6 | 23.7 | 18.2 | 13.2 | 9.3 | 7.6 | 7.7 | 9.2 | 16.6 | 20.7 | 24.2 |
| | 50 | 24.4 | 29.3 | 24.5 | 19.1 | 14.3 | 10.7 | 8.8 | 8.1 | 9.2 | 15.4 | 20.0 | 23.0 |
| No.3 | 0 | 31.3 | 31.9 | 21.2 | 15.0 | 9.1 | 8.0 | 5.0 | 7.6 | 9.8 | 17.4 | 24.6 | 26.1 |
| | 5 | 29.9 | 32.3 | 21.4 | 15.1 | 10.0 | 7.6 | 5.3 | 7.4 | 9.4 | 16.9 | 24.4 | 26.2 |
| | 10 | 28.1 | 31.1 | 22.3 | 16.1 | 11.0 | 7.7 | 6.0 | 6.6 | 9.1 | 16.6 | 23.7 | 26.0 |
| | 20 | 26.9 | 30.3 | 22.6 | 16.8 | 11.4 | 8.1 | 6.7 | 6.2 | 8.2 | 15.9 | 21.7 | 24.6 |
| | 30 | 25.7 | 29.6 | 23.2 | 17.5 | 12.6 | 8.7 | 6.8 | 6.5 | 7.9 | 15.0 | 20.9 | 23.1 |
| | 50 | 24.0 | 28.0 | 24.2 | 18.8 | 13.9 | 10.7 | 8.6 | 7.5 | 8.9 | 13.9 | 19.2 | 21.4 |
| No.5 | 0 | 31.7 | 32.8 | 23.4 | 15.4 | 11.3 | 8.3 | 4.9 | 8.1 | 11.7 | 18.4 | 22.4 | 26.2 |
| | 5 | 29.8 | 33.0 | 23.3 | 16.3 | 11.9 | 8.1 | 5.2 | 7.8 | 11.8 | 18.8 | 21.7 | 25.3 |
| | 10 | 28.6 | 32.9 | 23.2 | 17.1 | 12.2 | 8.5 | 5.5 | 7.7 | 11.5 | 18.6 | 21.5 | 25.2 |
| | 20 | 27.4 | 31.1 | 23.1 | 17.6 | 12.7 | 8.4 | 6.6 | 6.9 | 9.6 | 17.5 | 20.8 | 23.6 |
| | 30 | 26.4 | 30.5 | 23.4 | 18.2 | 13.0 | 9.4 | 7.1 | 7.1 | 9.3 | 16.6 | 19.8 | 23.5 |
| | 50 | 24.3 | 29.2 | 24.4 | 18.8 | 14.2 | 10.6 | 8.8 | 8.1 | 9.4 | 15.4 | 19.6 | 22.2 |

して太陽輻射にあることは既に述べた通りであるが、この太陽輻射の大小は傾斜面への照射角度の大小等に関係するので、いま参考のため傾角 0° の水平面と、南西 18°、北東 15° の各傾斜面に対する最大照射角度を毎月15日について計算すると第83表ようになる。

第83表 各斜面における最大照射角度

| 月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平地 | 34°24' | 42°41' | 53°11' | 65°07' | 74°18' | 78°56' | 77°24' | 70°06' | 59°10' | 47°36' | 37°30' | 32°31' |
| 南西面 (18°) | 47 51 | 56 07 | 66 36 | 78 28 | 87 05 | 87 12 | 88 12 | 83 25 | 71 50 | 61 02 | 50 56 | 45 58 |
| 北東面 (15°) | 24 38 | 32 55 | 43 25 | 55 20 | 64 30 | 69 09 | 67 37 | 60 20 | 49 24 | 37 50 | 27 44 | 22 45 |

早春の3月頃には太陽はまだ低いので、北東斜面に対する照射角度は最大 43°25' で南西斜面のそれより甚だ小さく、従って地表面の受熱量には大差を生じ、またこの季節には夜間は非常に冷たく地温も一般に低いので、日射量の大小が地温に大きく影響するものと考えられ、No.3 は No.2 及び No.5 より低温でその差異も顕著であるが、地下 30 cm までの浅層においては何れも受熱型を示している。

4月、5月と月が進むにつれて各斜面への照射角度は増し、日射量も増加してくるので南西及び北東斜面の受熱量には差が少なくなって、温度差も小さくなり6、7月頃にもなるようになる。そして地中においては何れも受熱型を示しているが、それは太陽高度の高い受熱量の多い月程顕著である。そしてこの時期には熱流は何れも下向で、受熱は放熱に勝り8月にはその頂点に達して地温は年間の最高を現わし8月迄は受熱期で地下部では熱量の蓄積が行われていることを示している。

9月になると照射角度は減少し、日照時間も短くなっていくので放熱は受熱に勝る様になって温度は次第に低下してくる。そして照射角度の大小が地温に大きく影響してくるようになり、北東斜面は何れも低温で9月のように早く放熱型になる。No.2、No.5 での分布型は移行型とみなすことが出来る。以後月が進むと各園とも完全な放熱型の垂直分布を示し、この時期には熱流は上向で放熱が受熱に勝り、暖候期に蓄積した地中熱量は地表面を通じて放出されつつあることを示す放熱期である。1月にはその頂点に達し地温も年間の最低を示し、以後再び照射角度が大きくなり、日照時間も長くなって受熱が放熱に勝るようになるので3月にみるような受熱型になるが、2月にはそれへの移行型と考えられよう。

第84表 調和分析の1年項

| | 深さ (cm) | a ₀ | a ₁ | ε ₁ |
|------|---------|----------------|----------------|----------------|
| No.2 | 0 | 18.2°C | 13.0°C | 88°38' |
| | 5 | 18.1 | 12.7 | 87 25 |
| | 10 | 18.0 | 12.3 | 86 24 |
| | 20 | 17.7 | 11.4 | 82 27 |
| | 30 | 17.4 | 10.9 | 79 16 |
| | 50 | 17.2 | 9.6 | 73 27 |
| No.3 | 0 | 17.3 | 12.8 | 92 10 |
| | 5 | 17.2 | 12.6 | 90 33 |
| | 10 | 17.0 | 12.0 | 87 34 |
| | 20 | 16.6 | 11.4 | 83 02 |
| | 30 | 16.5 | 10.8 | 78 27 |
| | 50 | 16.6 | 9.3 | 70 41 |
| No.5 | 0 | 17.9 | 12.5 | 89 19 |
| | 5 | 17.8 | 12.0 | 87 37 |
| | 10 | 17.7 | 11.7 | 86 01 |
| | 20 | 17.1 | 11.1 | 81 56 |
| | 30 | 17.0 | 10.6 | 78 33 |
| | 50 | 17.1 | 9.4 | 73 21 |

第2節 地中温度の解析

No.2, No.3 及び No.5 における地中温度の年変化の特性を理論的に表現するために、調和分析にかけて1年頃 $a_1 \sin(\sigma t + \epsilon_1)$ の各常数を求めると第84表のようになる。

これによると年変化の振巾 a₁ は深さと共に減少しているが、最も大きいのは No.2 にして、小さいのは No.5 においてである。

位相 ε₁ は何れも地表面に最も進んでおり深さと共に遅れている。そして位相は No.3 においては No.2, No.5 より進んでいる。すなわち No.3 は最高・最低温度の発現時期が他の斜面に比べて早いことを示すものである。

次に地温年変化の振巾と深さとの関係式を求めると、

No.2 : $A_z = 26.0e^{-0.0056z}$

No.3 : $A_z = 25.5e^{-0.0053z}$

No.5 : $A_z = 25.0e^{-0.0065z}$

となる。振巾の減少係数は No.5 に最も大きく、No.3 に最小である。また地温年変化の及ぶ深さ、すなわち地温年変化の不易層の深さを求めると、No.2: 9.86 m, No.3: 10.42 m, No.5: 8.46 m で、No.3 が最も深くまで年変化は及ぶことがわかる。そして浅いのは No.5 である。

地中熱拡散率を理論式より求めると、No.2: 3.13×10^{-3} , No.3: 3.53×10^{-3} , No.5: 2.34×10^{-3} C.G.S. となり、No.3 は熱拡散率が最も大きく、No.5 においては最も小さかった。

第3節 地中における熱量の年変化

No.2, No.3 及び No.5 の各月における地中熱量の年平均値からの偏差を地下 50 cm までについて $u_2 - u_1 = CH$ ($\theta_2 - \theta_1$) によって求めると第85表のようになる。

第85表 地中における熱量の交換 (Cal/cm²)

| 月 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| No.2 | 256.3 | 359.3 | 151.3 | 4.8 | -116.3 | -212.3 | -260.0 | -250.8 | -190.5 | -14.8 | 94.5 | 178.5 |
| No.3 | 250.3 | 333.3 | 154.8 | 8.5 | -119.3 | -200.9 | -248.5 | -247.5 | -203.0 | -31.3 | 123.0 | 181.5 |
| No.5 | 245.3 | 346.5 | 155.3 | 11.8 | -111.3 | -202.5 | -261.8 | -244.0 | -180.3 | -4.0 | 81.3 | 165.3 |

第85表によると、熱量の最大は南西、北東斜面の各園ともに8月で、最小は何れも1月に現われており、熱量年変化の振巾は No.2, No.3 及び No.5 において夫々 619.3, 581.8, 608.3 cal/cm² で、北東斜面の蜜柑園は南西斜面の各園より小さく、また南西斜面の畑地が柿園より大きい。

総 括

農地開発の一環として傾斜地を開発利用し、または現在利用されつつある傾斜耕地を一層高度に活用するためには、傾斜地における自然環境条件、特に農作物の生育する接地気層における各気象要素の分布特性、並びに地下部における土壌の熱的温度的関係等を明かにして、その結果を開墾適地の選定に活用し、また それらを作物栽培にうまく利用し、或いは適当に制御してゆかねばならない。

かかる見地から、香川大学農学部附属傾斜地農場の各方向に面した未開墾の60年生松林、開墾直後の果樹園、並びに開墾後15年以上経過した畑地と果樹園等を中心に、昭和23年7月より昭和32年8月まで、各斜面における接地気温、湿度、水蒸気張力、蒸発、風、日射、植物体温並びに地中温度関係等についての総合的な実験観測研究を行った。

そして傾斜地開墾前後における各斜面の微気象分布の特性と、各要素の日変化、季節変化等の実状を詳細に検出し、地中温度関係については、開墾前後の種々な斜面における地中温度分布と地中熱量変化の実状を明かにして、微気象的な、熱学的な面から各傾斜地の特失を究明し、傾斜地開発利用に関する指針等重要資料を得た。

また開墾限界までの東、西、南及び北に面した標準的な裸地の斜面を人造して、模型実験的に夏季と冬季における地中温度分布や、地中熱量変化の特性も明かにした。

また特に地表面がうける日射量は、傾斜地においてはその方向や角度の相違等によって変わってくるが、その大小は接地気温、地温等を左右し、また日射は植物に対しては同化作用に必要な光線として、他は熱として二重に作用するので、日射量配布状態の如何は、傾斜地における環境条件を支配する本源をなすと共に、傾斜地の利用価値を左右する重要な因子である。従って日射量配布について各斜面における実状の究明と併せて、平地から傾角 90° までの各斜面への日射量を理論計算によって明かにした。また傾斜地における縦畦、横畦栽培についての日射量、並びに傾斜地における耕地防風林（または防霜林）の投影問題については、傾斜地の利用上極めて重要問題であるが、何れも殆んどかえりみられていない現状にあるので、これらについて理論的計算によって分布や変化の様相を究明し、作物の栽培方向や防風林等の設置方向について夫々日射の面から検討し各斜面の特失と利用価値を示した。

而して以上の結果から傾斜地開発利用に関する指針等重要なる幾多の新しい基礎的資料を得たが、これらは農地造成や農地保全等の上にも物理気象的な重要な足場を与えるものと信ずる。本研究は (1)、傾斜地における理論日射量に関する研究、(2)、傾斜地開墾前後における微気象変化の研究、(3)、傾斜地における地中温度に関する研究の三項目に大別することが出来るので、以下その各々について要約し、最後に傾斜地開発利用に関する知見を述べる。

I. 傾斜地における理論日射量に関する研究

北、北西（北東）、西（東）、南西（南東）及び南斜面（北緯 34°16'）における 90° までの各斜面について、毎月15日の日射量を算出し、その配布状態や日変化、年変化の特性を明かにし、また傾斜耕地の作条問題や防風林（防霜林）の投影問題等を併せて考究し、日射の配布状態から傾斜地の特失を論じ、傾斜地利用の方法について日射の面から検討した。その主な事項は

(1) 傾斜角度と日射量との関係は、寒候期に日射量は南斜面に最も多く、ついで南西（南東）、西（東）、北西（北東）の順で、北斜面に最も少ない。そして南及び南西（南東）斜面では傾角 60° 附近に日射量は最大で、12月の南斜面は平地の約3倍、南西（南東）斜面では約1.8倍に達する。これは冬季及び早春における傾斜地利用に極めて大きい意味をもち、苺の栽培等にその例をみる。北及び北西（北東）斜面の日射量は平地より少なく、それは傾角の増加につれて減少し、西（東）斜面では北西（北東）と南西（南東）斜面のほぼ中間にある。

暖候期における傾斜地の日射量は何れも平地より少なく、傾角がすすむにつれて減少する。特に夏季の南斜面では、傾角 10° 附近に最大で、傾角 30° にて平地の約 80%、60° で約 50% 減少し、北斜面では夫々約 90、55% 程度である。従ってこの点よりすれば夏季の傾斜地は、平地よりかえって冷涼な気候を作り出す筈であって、傾斜地の利用に際して特に考慮すべき点であろう。

(2) 北東、東及び南東斜面においては、早朝の日射は潤沢であるが午後の日射に恵まれない。南西、西及び北西

の各斜面では反対に午後の日射に恵まれることである。前者は早春等の地温、気温ともに未だ低い季節において早く夜の寒気から脱して露、霜をとかしその温度や植物体温を上昇させ、同化作用に必要な日光を早くうける点では西半分の斜面より有利であろうが、早朝の直射光線はかえって霜凍害の危険性を増す場合もあるので、この点は大きい考慮されなければならない。

後者の斜面は、日射の日総量は前者の各斜面と同じであるが、温度的効果は大きい。従って南西斜面等、南寄りの斜面は早春における促成栽培等の場所として考慮すべきであろう。

(3) 日射の日総量は、寒候期においては各傾角を通じて南>南西(南東)>西(東)>北西(北東)>北であり、暖候期の6月及びそれに近い月には南斜面が最も小さく、西(東)斜面が最も大きい。

(4) 日射の年総量は、各傾角の斜面を通じて北斜面が最も小さく、傾角 70° までにおいては南斜面が最も大で、それ以上の傾角では南西と南東寄りに極大が現われ、分布型はハート型になり、それは傾角の増加につれて次第に扁平になってくる。

(5) 樹幹のうける日射量は、6、7月においては北側が南側より多い。寒候期に北側は全日日射をうけないが、南側では夏季にうける量の4倍以上に達する。これらのことは樹幹の日焼現象と関聯して考慮すべきであろう。

(6) 平地から傾角 30° までの各方向に面した斜面における、縦畦及び横畦栽培と日射量の関係については、夏季は平地、傾斜地ともに南北作は東西作より日射量は多く、特に6月には北斜面の南北作が最も有利である。そして北東—南西(北西—南東)作は略前兩者の中間にある。またこれらの季節の東西作や南北作は、斜面が北に偏する程日射量は多い。

冬季は夏季と反対に、各斜面とも東西作が南北作より日射量は潤沢で、北東—南西(北西—南東)作はその中間にある。南斜面の東西作が最も有利で、また東西作や南北作では斜面が南に偏する程有利である。3月頃には南北作が東西作より有利で、南斜面がよい。

(7) 平地から傾角 30° までの東、西、南及び北に面した各斜面に、東西または南北方向に防風林(或る場合には防霜林)等を設けた場合、林列と直角方向への地面におとす影巾の日変化量は、冬季においては各方向の斜面とも夫々東西方向>南北方向で、何れも南斜面に最も小さく、傾角が増す程有利となる。そして斜面が北へ偏する程影の量は増し、北斜面で各方向の林列とも最大で、傾角が大きくなる程不利である。

夏季は冬季と反対で、各斜面ともに南北方向>東西方向で、何れも北斜面に最小で、傾角が増す程有利になる。南斜面では大きく、傾角の増加につれて不利となり、春季は東西方向>南北方向で何れも冬季と同様に南斜面が有利である。

而して防風林等の設置場所は、地形的の因子によって主として決ってくると思われるが、投影問題についても考慮すべきであろう。

II、傾斜地開墾前後における微気象変化の研究

傾斜地を開墾して農地を造成した場合、その微気象が開墾前に比べてどう変わってくるか、それは傾斜の方向によってはどうか、また開墾当初や開墾後15年以上経過した成園ではどうなっているか、について実験観測により究明した。主な事項は開墾当初においては

(1)、南北両斜面の開墾地果樹園と未開墾松林の地表面にうける日射量は、何れも未開墾地に少なく、日総量において南斜面は春、夏、秋、冬夫々開墾園は未開墾松林の夫々139.4、405.8、291.1、348.1%、北斜面は夫々195.2、160.4、205.2、679.8%であった。

(2)、半旬平均温度は、南斜面においては何れの季節も開墾園が未開墾松林より高温で、両者の温度差は暖候期に大きく寒候期に小さい。そして何れも地表面に温度差が大きく、例えば開墾3年目の8月に 5.2°C を示し、地上、地下へと減少して、地上50cmでは地表面の $\frac{1}{5}$ に、地下50cmでは $\frac{1}{2}$ に減少している。

北斜面では地上、地中を通じて暖候期には開墾園が未開墾松林より高温で、寒候期になると地上部は冬季に、地下部は秋の中頃から開墾地が反対に低温となってくる。また両者の温度差は暖候期>寒候期で、例えば3年目の8月に地表面では最高 3°C を、地下50cmにて 2.3°C であった。

(3)、半旬平均温度日較差は、南北両斜面ともに何れの季節も開墾園>未開墾松林で、何れも地表面に最大で両者の差も大きい。そして fluctuation も著しい。例えば3年目の8月に南斜面の地表面は 11.3°C 、北斜面でも 2.4°C

の差を示している。秋から冬にかけての差異は北斜面に極めて大きく、11月の晴天旬に 12°C、曇天旬でも 9.4°C であった。

(4) 蒸発量は南斜面では四季を通じて開墾園>未開墾松林で両者の差も、蒸発量もともに 暖候期>寒候期である。北斜面においては南斜面と分布状態は似ているが、開墾園、未開墾松林間の差が南斜面より顕著に現われ、夏季最大 21 gr に達している。

(5) 接地気温、地温の月平均温度について、南北両斜面における開墾園と未開墾松林の差をとり isopleth 図を画き、経年変化の模様を明かにした。これによると特に地中温度において開墾園と未開墾松林間の温度差が年と共に減少しているが、その減り方や温度差の分布状態等、開墾園の特性とその経年変化の模様が詳細にうかがわれる。

(6) 南北両斜面における開墾園と未開墾松林の湿度はともに夜間>昼間で、特に春季にはその差が大きい。また湿度は季節によって異なるが、一般に昼夜間とも開墾園に低く、両者の差は南斜面に大きく、それは特に秋冬の候に大で、夏季には小さい。

次に開墾後15年以上経過した南西及び北東に面した畑地及び果樹園等における主な事項は

(7) 南西及び北東斜面の畑地並びに果樹園における接地気温、地温の分布状態は、日射の配布とほぼ平行的で、同じ方向の斜面においてはその上、下腹部(高低差 5 m)における温度差が僅かで、日平均で 1°C 程度にすぎない。各園ともに地上、地中を通じて日平均温度は 8 月に最高で、最低温度は地上部から地下 10 cm までは 1 月に、地下 50 cm 附近では 2 月に現われている。

(8) 温度日較差は各園とも地表面に最大で局部的差異も大きい。そして地上、地中へ次第に減少し、特に地下部での減少率は大きく、地下 50 cm 内外で殆んど零となり、1 日間における熱伝導の深さを示している。また日較差は何れの月も南西斜面の畑地に大きく北東斜面に小さい。南西斜面の果樹園はその中間にあって、寒候期にはその差が小さい。日較差は天候、各園の状態によって異なるであろうが、地中においては暖候期の 4 月に大きく、寒候期の 2 月に最小を示している。

(9) 各園間の温度差は地表面に最も大きく、それより上、下に次第に減少しているが、地上 10 cm から地下 10 cm にかけて何れも大きく、これは日較差の大きい 4 月に特に顕著で、冬季には何れも小さかった。

(10) 接地気温、地温の垂直分布は、日平均において春・夏の候には何れも受熱型で、秋・冬には地下部は放熱型を示すが、12、1 月の受熱量の少ない頃には地上部にも放熱型が現われ、また北東斜面では他の斜面より早く 9 月に既に地温は放熱型の垂直分布を示すことを認めた。

(11) 昼間平均温度の垂直分布は、春・夏の暖候期には受熱型を示すが、柿園内では一部放熱型或はそれに近い分布型を現わす場合があった。夜間平均温度の垂直分布は、地下部は何れも放熱型を示し、地上部も 3、4 月は純然たる放熱型を示し、5 月になると Geiger 氏の提唱したような純然たる放熱型にはならず、ほぼ等温状態で気温の最低は地表面より 5~10 cm の高所に現われ、6 月以後の暖候期になると地上部に放熱型は殆んど現われなくなる。秋冬の候には昼間は受熱型を示すが、北斜面では日中受熱型を示す時間が次第に短くなり、夜間 9 月以後には例外なく放熱型を示した。

(12) 南西斜面の柿園内外における夏期の接地気温、地温の精密観測を行い、園内における温度分布の特性と、温度変化の機構を明かにした。

樹冠表面層の熱授受に関する作用は裸地より極めて弱かつたが、園内地表面の熱交換はかなり旺盛であった。

(13) 北面傾斜の棚作り葡萄園内外における夏季の接地気温、地温、湿度、風等を詳細に観測し、園内における各要素分布の特性を明かにした。

特に温度関係については熱授受の作用面は、園内では二つ明瞭に認められ、一つは棚面の樹冠表面附近で、そこが最も強く、いま一つは地表面であるが、ここでは極めて微弱であった。

樹冠層附近は正午前後に約 2°C 内外高温を示し、夜間は反対に低温で、かかる昼夜間の顕著な温度分布の特性は果実の生理作用等に重要な意味をもつものと思われる。また棚下の気温、地温は園外に比べて著しく緩和され、特に地表面は昼間平均で 10.9°C、地下 30 cm では 3.6°C 低く、夜間も夫々 0.9、3.9°C 低かつた。

(14) 湿度の各園における分布の特性を明かにした。即ち各斜面ともに一般に下腹部においては上腹部より高湿で、その差は冬季以外において比較的顕著に現われている。また夜間は昼間より湿度は高いが局部的差異は複雑で判然

としていない。湿度は4月に最も低かった。

(15) 蒸発量は、年間で最も多いのは各高さとも最高温度の8月と、低湿の4月で、最小は2月に現われている。一般に蒸発量及びその局部的差異は暖候期に大きく、寒候期に小さい。そして暖候期には南西斜面の柿園に最小で、北東斜面蜜柑園に大きく、冬季には反対になっている。これら分布の様相は風の配布状態に平行的で、夏の北寄りの風、冬の西寄りの季節風に重要な関係があることがわかる。

(16) 各傾斜地の接地気層における温度関係に密接な影響を及ぼす植物体温並びに葉温について観測し、日変化の様相を明かにした。体温及び葉温は何れも気温の変化と平行的であるが、日射の配布状態に特に支配される。また樹幹を白塗したものは然らざるものより低温であった。

III 傾斜地における地中温度に関する研究

未開墾松林及び開墾当初の果樹園、並びに開墾後15年以上経過した畑地や果樹園等において、接地気層の微気象観測と併行して、地中温度関係についての総合的な実験観測を行い、開墾限界までの各種斜面を人造しての基礎実験と併せて、各傾斜面における地中温度や熱量の分布並びに変化の特性を理論的に実験的に解明した。その主な事項は

(1) 傾角 5, 10, 20, 30, 35° の夫々東, 西, 南, 北に面した裸地の斜面並びに平地について、8月と2月における地中温度分布の特性を明かにした。

傾斜角度と地中温度との関係は夏, 冬とも日射量の配布状態に平行的であり、温度波の進行速度は地中 10 cm について約2時間程度であることをみた。また地中温度日変化の較差も日射量の配布に密接な関係を有し、日射量の最多な傾角のところに日較差も大きい傾向をもっている。

(2) 東, 西, 南, 北に面した夫々 0~35° までの裸地の斜面における地中温度日変化の特性を理論的に表現するため、観測結果を調和分析にかけ、各調和常数を求め一日項について考究した。

また各傾角の斜面における地温日変化の振巾と深さとの関係を指数函数にて表わし、地温日変化の及ぶ深さや、地中熱拡散率を理論式から計算して、夫々各傾角の標準的な裸地の斜面における温度的熱学的特性を明かにした。

(3) 地中における熱交換量の日変化を求めて、各方向に面した各傾角の斜面を通じて出入する熱量を算定し、熱交換量と傾斜角度との関係は日射量の配布状態に平行的であることを認めた。

(4) 開墾当初における南北両斜面の果樹園、並びに未開墾松林について、地中温度の日変化と年変化の特性を理論的に表現するため、観測結果を調和分析にかけその一日項(一年項)について考察した。

地温日変化の振巾は各季節とも、南斜面の開墾園が他の各場所より大きく、そこでは位相も進んでいる。また南北両斜面とも振巾は地中の各深さを通じて、開墾園が未開墾松林より大きく、位相も進んでいる。

地温年変化の振巾は、地中各深さを通じて北斜面は南斜面より大で、何れも開墾園が未開墾松林におけるより大きく、位相も北斜面は南斜面より進んでいる。

(5) 南北両斜面における開墾園と未開墾松林の、地中温度日変化並びに年変化の及ぶ深さを計算し、日変化は南斜面の未開墾松林は1月に 80.9 cm で最も深く、北斜面開墾園の8月に最も浅く 49.8 cm であった。

地温の年変化は、南斜面の未開墾松林は最も深く 17.2 m まで達し、北斜面の未開墾松林は最も浅く 4.7 m までしか達しないことがわかった。

また地中温度日変化や年変化の場合における、深さと振巾との関係を指数函数にて表わし、地中熱拡散率も求めた。年変化の深さと振巾との関係は次のようである。

$$\text{未開墾松林 (南斜面)} : A_z = 21.7e^{-0.0031z}$$

$$\text{開墾果樹園 (南斜面)} : A_z = 24.4e^{-0.0069z}$$

$$\text{未開墾松林 (北斜面)} : A_z = 26.8e^{-0.0119z}$$

$$\text{開墾果樹園 (北斜面)} : A_z = 28.0e^{-0.0085z}$$

(6) 南北両斜面の開墾当初の果樹園と、未開墾松林における地中の熱交換量の日変化及び年変化を求めた。(表-64~66) 日変化の振巾は何れの季節においても、南斜面は北斜面より大きく、かつ開墾園が未開墾松林より大きい。

また季節的には南北両斜面とも、春季に大きく秋季に小さい。即ち次表のようである。

| | 春季(cal/cm ²) | 秋季(cal/cm ²) |
|------------|--------------------------|--------------------------|
| 未開墾松林(南斜面) | 91.5 | 37.5 |
| 開墾果樹園(/) | 175.0 | 72.5 |
| 未開墾松林(北斜面) | 57.5 | 17.5 |
| 開墾果樹園(/) | 105.0 | 42.5 |

年変化の振巾は、北斜面の開墾園に最も大きく 577.5 cal/cm²、南斜面の未開墾松林に最小で 505.0 cal/cm² を示し、地中熱交換量は南斜面は何れも北斜面より小さい。

(7) 開墾後15年以上経過した南西及び北東斜面の成園における、地中温度の日変化並びに年変化の特性を理論的に表現するため、調和分析法によって結果を処理し、一日項(一年項)について考究した。(表-72~76, 84) また各月における地温の振巾と最高温度発現時刻との関係を探ると(図-119~122)のようになった。

(8) 開墾後15年以上経過した成園における地中温度日変化の深さと振巾との関係、並びに地温日変化の及ぶ深さ、地中熱拡散率を計算して(表-77~79)を得た。

地中温度年変化の深さと振巾との関係は

$$\text{南西斜面畑地: } Az = 26.0e^{-0.0056z}$$

$$\text{北東斜面蜜柑園: } Az = 25.5e^{-0.0053z}$$

$$\text{南西斜面柿園: } Az = 25.0e^{-0.0065z}$$

で表わされる。

また地中温度の年変化は、南西斜面畑地は 9.86 m、同柿園は 8.46 m、北東斜面蜜柑園は 10.42 m まで達することがわかった。地中熱拡散率を理論式より求めると、南西斜面の畑地及び柿園は $3.13, 2.34 \times 10^{-3}$ C.G.S.、北東斜面蜜柑園は 3.53×10^{-3} C.G.S. であった。

(9) 以上の各園における地中の熱交換量は(表-30, 85)のようで、地中熱量の年変化振巾は、南西斜面の畑地、柿園において夫々 619.3, 608.3 cal/cm² で、北東斜面蜜柑園は 581.5 cal/cm² であり、南西斜面の畑地が最も大きく北東斜面蜜柑園に最も小さかった。

以上を要するに傾斜地開発利用に関する重要な基本問題として、筆者は傾斜地における微気象の総合的な実験観測を行い、それらによって得られた結果は、傾斜地の開墾適地選定に、或は傾斜地のより高度な利用に際しての幾多の新しい指針や参考資料を提供した。

特に日射について平地から 90° までの各方向の斜面への配布量を明かにした。そして各傾角の斜面における接地気温、地温、温度較差、蒸発量並びに地中熱交換量等の分布はすべて日射の配布状態に平行的であることを確かめ、また傾斜地に耕地防風林(防霜林)を設定したり、作物の栽培形態を決定する際の規準を日射の上から確立した。

現在開発利用されている傾角約 35° までの斜面では、東、西、南、北何れの方角も夏季には日射の差が少ない。それ故接地気温、地温の差は僅かで、特に北斜面や、それに近い斜面の温度関係は南斜面に劣らずかえつて南斜面より高温な場合もあつて、生育期間の短い作物栽培に利用する場合には南斜面と同様の価値がある。即ち夏作に対して傾斜の方角の考慮はさほど重要ではない。

而し夏作ではどの方向の斜面でも南北作は東西作よりよく、特に北斜面が有利であるが、北斜面の南北作は縦畦に当るので、土壌侵食その他の条件も考えねばならないが、傾斜が急になればテラスを設ける等して、南北作にすると日射の面では申し分ない。東や西斜面では等高線栽培が最も理想的と云えよう。冬季は南斜面以外では斜面が北へ偏するほど日射は少なく、接地気温、地温ともに低くなつて不利である。而し冬作は東西作がよく、特に南斜面が最もよろしい。従つてそこでは等高線栽培が最も理想的である。

また日射配布の面よりすると、傾斜地に園芸作物を栽植する場合等には、斜面が北へ偏するにつれて、また傾斜の角度が急になるほど栽植距離を大にし、或は枝葉を疎にするような整枝法をとるべきであると云える。

次に耕地防風林(防霜林)の設定は、地形の関係等によって略決ってくるが、日射の面より注視すべき点は、南斜面の冬作に対しては、東西、南北方向何れでもよくこれは傾斜が急になるほど益々有利になる。夏作への防風林は東西方向がよいが、何れも傾斜が急になるほど日陰が多くなる。

北斜面の夏作においては、防風林は東西、南北何れの方角に設けてもよいが、特に東西方向がよい。冬作の防風林(防霜林)は何れの方角にしても 15° までの低傾角の斜面について考えるべきであらう。何れにしても防風林は

夏作にのみ必要な場合は、冬作への日陰を考慮して落葉樹を考える等、処置を講ずることが必要であることは勿論である。

以上のように、傾斜地の開発利用に当っては、傾斜地の微気象的、熱学的な種々の特性を理解して、それらをうまく利用し、或は制禦してゆくなれば、栽培能率を高め、経営のより合理化を期することが出来ると信ずる次第である。

引用文献

- (1) 上原 勝樹：傾斜地果樹園における微細気象の研究 (I), 園芸学会誌 **24** (2), 1955.
- (2) 鈴木清太郎：農業物理学, 1946.
- (3) GEIGER, R. The Climate near the ground, 1950.
- (4) ——— Mikroklima und pflanzenklima. Handb. d. Klimatologie. Bd. 1. Teil D., 1930.
- (5) WOELFLE, M.: Waldbau und Forstemeteorologie, Neudamn u. Berin, 1939.
- (6) 鈴木清太郎：苺栽培と石垣の傾斜角, 農業及園芸 **16** (7), 1941.
- (7) ——— 荒井哲男, 浜瀬敬一：苺栽培における石垣の気象, 産業気象調査報告 **21** (1), 1957.
- (8) 岩間誠造・中山茂則：寒地の促成苺栽培—その研究と普及について—農及園 **35** (8), 1960.
- (9) 上原勝樹：傾斜地利用についての影と日射の問題, 香川大学農学部学術報告 **11** (1), 1959.
- (10) 岡本 茂：桃樹の日焼に関する研究 (1), 日焼現象の実態と枝幹温度, 園芸学会誌, **20** (3.4), 1952.
- (11) ——— : 同上 (II), 枝梢日焼の形態学的観察, 園芸学研究集録 **6**, 1953.
- (12) 岡本茂, 竹内信一：桃樹の日焼に関する研究 (IV). 樹幹温度が樹体に及ぼす影響, 静岡大研究報告 **5**, 1955.
- (13) 農林省山林局：防風林, 1935.
- (14) 白鳥 勝義：防風林機能の農業気象学的研究 (1), 季節風調査会誌 **1**. 1937.
- (15) ——— : 同上 (II), 季節風調査会誌 **2**, 1940.
- (16) 佐藤 敬二：耕地防風林 (I), 農学 **2** (6), 1948.
- (17) ——— : 同上 (II), 農学 **2** (7), 1948.
- (18) 佐藤敬二外 7 氏：耕地防風林に関する研究, 科学試験研究報告 **8**, 1952.
- (19) 田中貞雄外 3 氏：防風垣前後の風に関する研究 (7), 林帯の型式と防風機能, 農業気象 **12** (1), 1956.
- (20) 山本 良三：起伏地形における圃面の防風, 天気 **2** (3), 1955.
- (21) 山崎不二夫：農地造成, 1958.
- (22) 佐藤 正一：耕地に対する防風林の投影—宮崎市の計算例—, 農業気象 **11** (1), 1955.
- (23) 田中貞雄・佐野洋・谷沢恒夫・柿沼計：防風垣の庇陰が作物に及ぼす影響について, 農業気象 **16** (1), 1960.
- (24) 平田徳太郎：日射と温度, 1923.
- (25) 前川忠夫, 片岡隆四：傾斜耕地の縦畦と横畦について, 岩手大学術商告 **26**, 1950.
- (26) 稲垣 乙丙：農業気象学, 1941.
- (27) 鈴木清太郎：傾斜面の気象 (2), 農及園 **22** (2), 1947.
- (28) 福井英一郎：作物の栽培方向による日射の差異について, 応用気象 **2** (3), 1947.
- (29) ——— : 農業と日射量, 農業気象の研究第 4 集, 1948.
- (30) 平田徳太郎：南北両斜面における比較観測の成績, 森林治水気象彙報 **13**, 1933.
- (31) 山本健吾, 大泉久一：傾斜地利用に関する研究 (1), 農業気象 **4**, 1948.
- (32) ——— : 同上 (2), 傾斜面における高低による環境条件差異に就いて, 農及園 **23** (5), 1948.
- (33) ——— : 同上 (3), 南面傾斜畑に於ける蒸発量に就いて, 農業気象 **5** (3), 1950.
- (34) CANTLON, J. E.: Vegetation and microclimates on north and south slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. *Ecol. Monog.* **23**, 1953.
- (35) 上原 勝樹：傾斜地果樹園の開墾に関する微気象学的研究, 香川大学農学部学術報告 **11** (1), 1959.
- (36) 平田徳太郎：紙面蒸発計に就て, 気象集誌 **6**, 1928.
- (37) GEIGER, R.: Micrometeorology, Compendium of Meteorology. *Amer. Met. Soc.*, 1951.
- (38) 大後 美保：農地微気象の研究, 1948.
- (39) SUTTON, O. G.: Micrometeorology, 1953.
- (40) ——— : Atmospheric turbulence, 1949.
- (41) 武田 京一：大気乱流の研究, 第 1 報, 地面附近

- における風速の垂直分布について, 気象集誌 **27**, 1949.
- (42) 武田京一: 地面附近の乱流について(英文), 林試研究報告 No.58, 1953.
- (43) 川原 琢磨: 地表面附近における気象要素の垂直分布について, 農業土木研究 **18**(2), 1950.
- (44) 滑川忠夫, 高須謙一: 微細気候の観測並びに研究(第1報), 服部報公会研究報告第9輯, 1941.
- (45) FUJIWARA and NAKATA: On the persistence of weather, *Geophys. Mag.* **3**(1), 1930.
- (46) S. WATANABE: On the theory of durability, *Geophys. Mag.* **7**(3), 1933.
- (47) 高橋浩一郎: 気象統計 1945.
- (48) 福井英一郎: 気候学 1938.
- (49) 滑川 忠夫: 農林気象学, 謄写印刷 1956.
- (50) 上原 勝樹: 傾斜地果樹園における微細気象の研究(第2報), 園芸学会誌 **25**(1), 1956.
- (51) 武田 京一: 微気象観測における二・三の問題 応用気象 **1**(2, 3), 1947.
- (52) 武智修, 菊池重次: 栽植密度を異にする柑橘園の微気象について(1), 農業気象 **9**(3, 4), 1954.
- (53) 金関 四郎: 柿園内の温度微気候例, 農業気象 **10**(1, 2), 1954.
- (54) 日本農業気象学会: 農業気象新典, 1954.
- (55) 広島地方気象台: 島嶼柑橘園の気温分布, 産業気象調査報告, **14**(1), 1950.
- (56) 坪井八十二: 傾斜畑における冬季気温分布, 農業気象 **7**(3, 4), 1952.
- (57) 鈴木清太郎: 傾斜面の気象, 農及園, **22**(1), 1947.
- (58) 上原 勝樹: 傾斜地開発利用に関する研究(I) 傾斜地における微細気象に就いて(1), 香川農専研究報告 **1**(1), 1949.
- (59) 坪井八十二, 中川行夫: 葡萄園の微気象的特性(1), 農業気象, **8**(3, 4), 1953.
- (60) ———, 本田勲夫: 同上(2), 農業気象, **10**(1, 2), 1954.
- (61) 小林 章: 果樹園芸総論, 環境, 結実, 栄養編, 1954.
- (62) 大後 美保: 植物生理気象学 1946.
- (63) 富樫 浩吾: 樹の温度の変化に就て, 農及園 **6**(4), 1931.
- (64) 中川 行夫: 植物体温に関する研究(I), 農業気象 **12**(3), 1957.
- (65) K. TAKASU: Leaf temperatures under natural environments (Microclimatic Study V), 1953.
- (66) WALLACE, R. and CLUM, H. H.: Leaf temperature *Amer. Jour. Bot.*, **25**, 1938.
- (67) 郡場 寛: 植物気候の主要因子としての葉体, 植及動, 1935.
- (68) RAMDAS, L. A. & ATMANATHAM, S.: The vertical distribution of air temperature near the ground during night. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, **37**, 1932.
- (69) 川原琢磨, 八幡敏雄: 麦間の微気候, 第1報 生育期のタバコ畑における観測の1例, 三重大学術報告 **2**, 1951.
- (70) 上原 勝樹: 傾斜地開発利用に関する研究II. 北面傾斜ブドウ園における夏期の微細気象状態について, 香川農専研究報告 **1**(2), 1949.
- (71) ———: 同上III. 傾斜地における微細気象に就いて(2). 同誌 **1**(3), 1950.
- (72) ———: 同上IV. 傾斜地における微細気象に就いて(3). 香川農大術報告 **2**(1), 1950.
- (73) ———: 同上V. 傾斜地における秋期の微細気象状態に就いて 同誌 **2**(3), 1951.
- (74) ———: 同上VI. 傾斜地における冬季の微細気象状態に就いて 同誌 **3**(1), 1951.
- (75) ———: 同上VII. 傾斜地における春期の微細気象状態に就いて 同誌 **3**(2), 1951.
- (76) 八鍬利助, 田口竜雄: 神戸における地中温度に就て 海と空 **5**(8), 1925.
- (77) ———, ———: 同上(承前), 同誌 **5**(10), 1925.
- (78) ———: 土壌の水分含量と地中温度, 農及園 **12**, 1937.
- (79) 肥沼 寛一: 地中温度の日変化について, 海と空 **14**(2), 1934.
- (80) ———: 地面温度の日変化について 同誌 **15**(5), 1935.
- (81) KEEN, B. A.: Soil physics in relation to meteorology. *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.* **58**, 1932.
- (82) 壺井 伊八: 地面温度に關した調査(1) 海と空 **15**(5), 1935.
- (83) 八鍬 利助: 三種の土壌の地表及び地中温度に就て 海と空 **10**(4), 1930.
- (84) ———: 札幌の地温に就て 気象集誌 **18**(1), 1940.
- (85) ———: Über die Bodentemperaturen in den verschiedenen Bodenarten in Hokkaido

- Geophysical Magazine*, **14**(1), 1945.
- (86) 東 修三：地中温度の観測から土壌の熱拡散率を算定する方法に対する二、三の注意。西京大学学術報告 **2**, 1952.
- (87) ————：地面温度の日変化について、同誌 **2**(1), 1955.
- (88) BAVER, L. D. Soil physics, 1948.
- (89) COURTS, J. R. H.: Observation of soil temperatures in north-east Scotland. *Sixieme congre's De La science Du Sol*, 1956.
- (90) 秋葉満寿次：土地改良の方向, 1956.
- (91) 上原 勝樹：地中温度に関する二、三の問題。農業土木学会中四国支部研究報告。4, 1951.
- (92) ———— 太巻光彦：傾斜の角度と地中温度に関する研究—北斜面における地中温度について（その1）—鳥取農学会報 **11**(4), 1958.
- (93) 上原 勝樹：傾斜地開発利用に関する研究—傾斜地における秋期の微細気象状態並びに地中における熱量の交換について—, 農業土木学会中四国支部講演会抄録2, 1950.

Physical and meteorological studies on the cultivation and utilization of slope land

By

Masaki UEHARA

Résumé

This report deals with the outline of the result of systematic studies carried out from 1948 to 1957 on the air temperature near the ground, humidity, vapour tension, evaporation, wind, insolation, plant and unreclaimed temperature and the underground temperature in reclaimed and unreclaimed lands facing various directions on the sloping farms at Omiya and Ido, Faculty of Agriculture, Kagawa University near Takamatsu city, in order to gain fundamental data regarding the cultivation and utilization of sloping lands.

I. Theoretical studies on the amount of insolation at the slopes

We clarified the character of the distribution and the variation through a day and a year, calculating the amount of insolation on each slope in lat. $34^{\circ}16'N$.—north, northwest (north-east), west (east), southwest (southeast) and south slopes,—the slope inclination of which was not more than 90° . We considered the merits and demerits of slopes from the point of insolation and studied the method of utilizing them, taking into account the problem both of the arrangement of crops in the sloping farms and of the shadow of the wind break forest.

The main results are as follows:

(1) Concerning the relation between the slope inclination and the amount of insolation, in the cold season, the south slope receives the greatest insolation, south-west (southeast), west (east), northwest (northeast) receive lesser in this order, and the north the smallest. On the south and southwest (southeast) slope, in the neighbourhood of 60° incline, the quantity of insolation is maximal. On the south slope it comes to about three times as great as that of level land and on the southwest (southeast) slope about 1.8 times as great as that of level land in December.

This has a great meaning in the use of the slope in winter and early spring such as the cultivation of strawberries.

The quantity of insolation on the north and northwest (northeast) slopes is smaller than that on level land and diminishes according to increase of the slope inclination. On the west (east) slope it is about in the middle between those on the northwest (northeast) and southwest (southeast) slopes.

In the warm season the quantity of insolation on every slope is smaller than that on level land and diminishes according to the increase of the incline.

Especially on the south slope in summer, the quantity of insolation is maximal in the neighbourhood of 10° incline, about 80% of that on level land at incline 30° and about 50% of that on level land at incline 60° ; on the north slope it is about 90% and 55% of that on level land at inclines 30° and 60° , respectively.

Thus the climate on the slope in summer is to be rather cooler than that on level land. This point should be taken into consideration in using the slope.

(2) On the northeast, east, and southeast slopes insolation is great early in the morning, but small in the afternoon. On the contrary, other slopes (namely, southwest, west, and northwest ones) receive great insolation in the afternoon. The former has greater advantage in receiving the inso-

lation needed in assimilation early in the morning than the western half of slopes, because night coldness can be overcome earlier in the season when it is cold both in the air and in the earth for the air and plant temperatures to rise without cold attack by dew and frost. However, the direct morning sunlight increases the danger of the cold-weather damages such as frost and freezing injuries. Thus we should consider both the advantage and the disadvantage.

The latter slopes have the same daily total amount of insolation, but greater thermal effect. Thus they should be considered as the places for the cultivation in early spring.

(3) In the cold season, the daily total amount of insolation, is largest on the south slope through out every inclination in all directions, the amount of insolation becomes smaller in the following order, southwest (southeast), west (east) and northwest (northeast) slopes, and the north slope receives the smallest. In the warm season the south slope receives the smallest and the west (east) slope receives the largest.

(4) The yearly total amount of insolation, is smallest on the north slope, throughout each inclination of the slope. The south slope receives the largest amount up to 70° inclination, but over the degrees, the largest amount appears towards the southwest and southeast slopes.

Thus, as the inclination of the slope increases, the distribution of the amount of insolation takes the form of a heart, and it becomes gradually flat as the inclination increases further.

(5) The amount of insolation received by a trunk of a plant is larger on its northern side than on its southern one, in the warm season about June or July.

In the cold season, the northern side of a trunk takes no sunlight all the day, while the southern side takes a great deal of sunlight—more than four times as much as it takes in the summer.

(6) Regarding the relation between the cultivation by up-and-down and contour furrows and the amount of insolation on slopes, the slope inclination of which are not more than 30°, both on level land and slopes in summer, south-northern cultivation enjoys more insolation than east-western one and particularly in June south-northern cultivation on north slope is the most desirable. And north-east-southwestern (or northwest-southeastern) cultivation is in the middle of the former two.

Both east-western and south-northern cultivation in this season have the more insolation, the more the slope is northward.

In winter each slope has more insolation in east-western cultivation than in south-northern one, and in northeast-southwestern (or northwest-southeastern) cultivation it has the middle of the two. East-western cultivation is the most desirable on south slope.

In east-west and south-northern cultivation, on the other hand, the more it is desirable, the more the slope is southward.

About in May south-northern cultivation is more desirable than east-western on south slope.

(7) In the case of setting up east-western or south-northern wind breaks on each slope—east, west, south and northward—the slope inclination of which is not more than 30°, the diurnal variation of the shadow width falling on the ground vertically to the trees-line is greater in east-western direction than in south-northern direction and is minimum on south slope in every direction in winter, and according to the increase of the slope inclination the shadow width decreases. The more northward the slope is, the more the shadow quantity increases, and on north slope, it is maximum regardless of the direction of trees-line and the increase of the slope inclination is undesirable.

On the contrary, in summer any slope has more shadow in south-northern direction than in east-western one and both have the minimum shadow on north slope. In this case the increase of the slope inclination is favourable, too. On south slope the shadow quantity is the largest and steep inclination is unfavourable. In spring east-western line has larger shadow quantity than south-

northern one, and in both lines, southward is most desirable as in winter.

The place of locating wind-breaks etc. may be chosen mainly by geographical factor, but the problem about the shadow quantity should also be considered.

II. Studies on the micrometeorological change before and after reclamation of slopes.

We studied by experimental observation the change of the micrometeorology there in comparison with that before reclamation and the relation with the direction of slopes when they had been reclaimed into farms and also we studied how it changed in farms which had been just reclaimed or more than fifteen years ago.

The main results are as follows:

(1) The amount of insolation on the ground surface is larger in reclaimed orchards than in unreclaimed pine forests, on both south and north slopes. The percentage of the daily total amount of insolation in reclaimed orchards on south slope in the spring, summer, autumn and winter is 139.4, 405.8, 291.1 and 348.1 of that in unreclaimed pine forest, respectively, and on north slope it is 195.2, 160.4, 205.2 and 679.8, respectively.

(2) The five-day average temperature in the south slope of the reclaimed land is higher than that of the unreclaimed one throughout the year, and the difference of the temperature is large in the warm season. In the north slope the reclaimed land has a higher temperature in the warm season. The underground part of the reclaimed land becomes less warm from middle of the autumn and the surface of it becomes less warm in the winter.

(3) As to the five-day average diurnal range of the air and ground surface temperature the reclaimed land has a larger range than the unreclaimed one has throughout the year both in the north and south slopes, and the difference has a maximum value on the surface. The difference in the reclaimed land and the unreclaimed land at the north slope is far larger from the autumn to the winter.

(4) The amount of evaporation in the south slope is larger in the reclaimed land than in the unreclaimed one all the year and both the difference between the two and the amount of evaporation are greater in warm season than in cold season. North slope has the distribution resembling with that of south slope. Moreover the former shows more remarkable difference between that in reclaimed land and in unreclaimed pine forest and has the maximum 21g in summer.

(5) The monthly average value of the air temperature near the ground and underground temperature was compared between the reclaimed land and the unreclaimed one. A chart of isopleth was drawn. The aspect of the change of temperature according to the yearly progress of reclamation is represented remarkably in the underground temperature by this chart.

(6) The humidity both in the reclaimed and unreclaimed lands of both inclined planes (i. e. north and south) is higher in the night than in the daytime and the difference becomes remarkable in the spring. The humidity of the reclaimed land is lower than that of the unreclaimed one, and the difference is the largest in the south slope in the autumn and the winter.

Next, main results in southwest and northeast fields and orchards are as follows:

(7) The distribution of the air temperature near the ground and underground temperature in the fields and orchards on the southwest and northeast slopes runs almost parallel with that of insolation. On the slopes of the same direction, moreover, the difference of temperature at the foot of the slope (the difference in height is 5 m) is small and only about 1°C on the average through a day. In each orchard the average temperature through a day is maximum in August both on and

under the ground. The lowest temperature appears in January from on the ground to 10 cm under the ground and in February in the neighbourhood of 50 cm under the ground.

(8) The diurnal range of the temperature is, at every slope, the largest on the ground surface, and the partial difference is also large. It decreases as it goes up or down from the ground, and especially it decreases suddenly as the station becomes deeper, and becomes zero about 50 cm under the ground, which shows the depth of daily permeation of heat.

Every month the diurnal range of temperature is large on the field in the southwest slope, and it is smallest on the orange orchard in the northeast slope, and it is about medial of the two, on the persimmon orchard in the southwest slope, but in the cold season, every diurnal range is small.

The diurnal range was large about April and the smallest in February.

(9) The difference of temperature between each observation point is the largest on the ground surface, and becomes gradually smaller as it goes up or down, but up to 10 cm from the surface or under the ground it is large.

This is especially large in April when the diurnal range is large, and it is small in cold seasons.

(10) I examined the vertical distribution of the air temperature near the ground and underground temperature of each slope. The vertical distribution of the daily average temperature showed simply, at every observation point, an incoming radiation type in spring and summer.

An outgoing radiation type was shown under the ground in autumn and winter, but towards December and January when the amount of the incoming radiation is small, the air temperature near the ground also showed the outgoing radiation type, and the northeast slope already showed it in September earlier than the other slopes.

(11) In warm season—in spring and summer, the vertical distribution of the average temperature in the daytime showed the incoming radiation type almost without exception, but in the persimmon orchard, part of the outgoing radiation type or a type approximate to it was shown.

The vertical distribution of average temperature during the night showed the outgoing radiation type at every part of the underground, and the air temperature near the ground showed simply the outgoing radiation type in March and April, but in May instead of showing simply the outgoing radiation type as Dr. R. GEIGER brought forward a minimum air temperature appeared about 10 cm about the surface of the ground.

After June when it is warm, the outgoing radiation type hardly came to appear in the air temperature near the ground.

In autumn and winter, every daytime showed the incoming radiation type, but on the northeast slope, the time to show the incoming radiation type became shorter and shorter.

During the night, except in September, every observation point showed the outgoing radiation type.

(12) I fully observed the air temperature near the ground and underground temperature in summer within and without the persimmon orchard in the southwest slope, and plainly showed the special character of the distribution of the temperature in the orchard.

I consider that the action about the heat exchange on the surface of the tree crown is much weaker than on the bare land, and that the action concerning the heat exchange on the ground surface in the orchard is very strong.

(13) I observed in detail the air temperature near the ground and underground temperature inside and outside a vineyard with vine trellis on the north slope, and made clear the special character of the distribution of the temperature in the yard.

It was clearly shown that in the yard there were two faces where the heat was exchanged.

The 1st was the surface of the tree crown of the vine trellises, where the heat exchange was the strongest. The 2nd was the surface of the ground, where it was the weakest.

The temperature in the neighbourhood of the tree crown was about 2°C higher at noon, and on the contrary it was lower at night. The character of such conspicuous distribution of temperature between night and day seems to have important meaning to the physiological actions of fruits.

And the air and underground temperature under the vine trellises is moderated greatly in comparison with that of the outside of orchard, especially on the ground surface was 10.9°C and at 30 cm under the ground 3.6°C lower on an average in daytime, and was 0.9 and 3.9°C lower respectively in night, too.

(14) We clarified the character of the distribution of humidity in each orchard; each slope has generally higher humidity in the foot-zone than in the top-zone, and the difference between those in the foot and the top-zone can be found remarkably, except in winter.

And the humidity is higher in night than in day, but the partial difference is complicated and it is not clear. The humidity was the lowest in April.

(15) The amount of evaporation is largest, at any height, in August through a year, when we have the highest temperature, and in April, when we have low humidity, and it is smallest in February.

Generally the amount of evaporation and the partial difference are large in warm season and small in cold season.

In warm season they are the smallest in the persimmon orchard on southwest slope and are large in the orange orchard on northeast slope; in winter the reverse is true.

The conditions of these distributions are parallel to the distribution of wind, and have the important relation with the wind by north in summer and with the monsoon by west in winter.

(16) I observed the temperature of the trunks of plants and their leaves, and made clear the condition about their daily variation.

Both the temperature of the trunk of plants and that of their leaves vary in accordance with the air temperature, and especially they are all subject to the distribution of the insolation. The temperature of the orange trunks which were white-washed was lower than the temperature of those which were not.

III. Studies on the underground temperature on the slopes.

We experimented and observed synthetically the matters about the underground temperature the parallel with the observation of the micrometeorology, in the unreclaimed pine forest, the orchards just reclaimed, and the fields and orchards etc. reclaimed more than 15 years ago, and found out theoretically and experimentally the underground temperature, the distribution of heat quantity and the character of the change on each slope, parallel with the fundamental experiment, which was done by artificializing various slopes up to the limit of reclaiming.

Main results are as follows:

(1) We clarified the character of the distribution of the underground temperature both in August and in February on the naked slopes, the oblique angle of which are 5°, 10°, 20°, 30°, 35°, and level lands facing east, west, south and north.

We found that the relation between the oblique angle and the underground temperature is parallel with the distribution of the insolation both in winter and summer and that the progressive speed of the wave of temperature is about 2 hours per 10 cm under the ground.

Also the diurnal range of underground temperature has the dose relation with the distribution of the insolation and the diurnal range tends to be large at the incline at which the quantity of insolation is the largest.

(2) In order to express theoretically the character of the diurnal variation of the underground temperature on each naked slope ($0^{\circ}\sim 35^{\circ}$) facing east, west, south and north. We made the harmonic analysis of the result of observation, searched for the harmonic constant and studied the diurnal term.

We illustrated the relation between the amplitude of the diurnal variation of the underground temperature and the depth in the ground on the slopes of each incline as the exponential function, calculated the depth to which the diurnal variation of the underground temperature reached and the thermal diffusivity under the ground applying the theoretical formula, and clarified the temperature and thermotic character on the standard naked slopes of each incline.

(3) We recognized that the relation between the quantity of heat exchange and the slope inclination is parallel with the distribution of the insolation, by seeking the diurnal variation of the quantity of heat exchange under the ground and by calculating the heat quantity coming and going through the slopes of each incline facing each direction.

Thus we found out the character of the slope thermotically.

(4) In order to express theoretically the character of the diurnal and annual variations of the underground temperature about the just reclaimed orchards and the unreclaimed pine forest both south and north slopes, we made the harmonic analysis of the results of the observation and studied on diurnal term (annual term).

The amplitude of diurnal variation of the underground temperature is, in each season, greater in the reclaimed orchard on south slope than on northern one, where the phase proceeds, too. And both on the south and north slope the amplitude is greater in the reclaimed orchard than in the unreclaimed pine forest through each depth under the ground, and also the phase proceeds.

The amplitude of annual variation of the underground temperature is, through each depth under the ground, greater on the north slope than on the south slope, and is greater in the reclaimed orchard than in the unreclaimed pine forest, and also the phase makes more progress on the north slope than on the southern one.

(5) According to the calculation of the depth to which the diurnal and annual variations of the underground temperature reached in the reclaimed orchard and the unreclaimed pine forest both on the south and north slopes, the diurnal variation in the unreclaimed pine forest on the south slope extends to be deepest point, 80.9 cm in January, and in the reclaimed orchard on the north slope extends to the most shallow point, 49.8 cm in August.

We found that the annual variation of underground temperature extends to the deepest point, 17.2 m in the unreclaimed pine forest on the south slope and that extends to the most shallow point, 4.7 m in the unreclaimed pine forest on the north slope.

We illustrated by exponential function the relation between the depth and the amplitude of diurnal and annual variations of underground temperature, and got the thermal diffusivity under the ground, too.

The relation between the depth and the amplitude of annual variation of underground temperature is as follows:

The unreclaimed pine forest (on southern slope):

$$A_z = 21.7e^{-0.0031z}$$

The reclaimed orchard (on southern slope):

$$A_z = 24.4e^{-0.0069z}$$

The unreclaimed pine forest (on northern slope):

$$A_z = 26.8e^{-0.0119z}$$

The reclaimed orchard (on northern slope):

$$A_z = 28.0e^{-0.0085z}$$

(6) We got the diurnal and annual variations of the thermal exchange quantity in the just reclaimed orchards and the unreclaimed pine forest both on the south and north slopes (Tables 64~66). The amplitude of the diurnal variation is greater on the south slope than on the northern one, and it is greater in the reclaimed orchard than in the unreclaimed pine forest all the year round.

From the point of season, on the other hand, it is great in spring and small in autumn both on southward and northward lands, as shown in the following table.

| | in spring (cal/cm ²) | in autumn (cal/cm ²) |
|---|----------------------------------|----------------------------------|
| The unreclaimed pine forest (on south slope) | 91.5 | 37.5 |
| The reclaimed orchard (on south slope) | 175.0 | 72.5 |
| The unreclaimed pine forest (on north slope) | 57.5 | 17.5 |
| The reclaimed orchard (on north slope) | 105.0 | 42.5 |

(7) In order to express theoretically the character of the diurnal and annual variations of underground temperature in the farms on the southwest and northeast slopes, which had been reclaimed more than fifteen years ago, we studied the diurnal term (the annual term), deposing the result by harmonic analysis (Tables 72~76 and 84). And we inquired the relation between the amplitude of the underground temperature in every month and the appearance time of the maximum temperature and gained the result illustrated in Figs. 119~122

(8) Calculating the relation between the diurnal variation of underground temperature in farms reclaimed more than fifteen years ago and amplitude of it, the depth to which the diurnal variation of underground temperature reached, and the thermal diffusivity under the ground, we gained Tables 77~79.

The relation between the depth and the amplitude is as follows:

In fields on southwest slope: $A_z = 26.0e^{-0.0056z}$

In orange orchard on north slope: $A_z = 25.5e^{-0.0053z}$

In persimmon orchard on southwest slope: $A_z = 25.0e^{-0.0065z}$

It is found out that the annual variation of the underground temperature extends to the depth of 9.86 m in fields on southwest slope, 8.46 m in the persimmon orchard on the same slope and 10.42 m in the orange orchard on northeast slope. From the theoretical formula, the thermal diffusivity under the ground was 3.13×10^{-3} C. G. S. in the fields on southwest slope, 2.34×10^{-3} C. G. S. in the persimmon orchard on the same slope, and 3.53×10^{-3} C.G.S. in orange orchard on northeast slope.

(9) The quantity of heat exchange under the ground in each orchard of the above is indicated in the Tables 30 and 85, and the amplitude of the annual variation of heat quantity under the ground is 619.3 and 608.3 cal/cm² in the field and the persimmon orchard on southwest slope, respectively.

It was maximum in fields on southwest slope and minimum in the orange orchard on northeast slope.

香 川 大 学 農 学 部 紀 要

- 第1号 幡 克 美 : アカマツ材の成分並びにパルプ化に関する研究 (1955年3月)
第2号 内 藤 中 人 : 植物生長ホルモンに関する植物病理学的研究
特に植物病原菌に及ぼす影響について (1957年10月)
第3号 松 沢 寛 : アオムシコマユバチの生態に関する研究 (1958年3月)
第4号 梶 明 : 和紙原料の醱酵精練に関する研究 (1959年3月)
第5号 森 和 男 : 傾斜地蜜柑園経営の構造分析 (1960年3月)
第6号 玉 置 鷹 彦 : ガラク並びに池泥の研究 (1960年3月)
第7号 上 原 勝 樹 : 傾斜地開発利用に関する物理気象的研究 (1961年3月)

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

- No. 1 Katsumi HATA : Studies on the Constituents and Pulping of "Akamatsu"
(*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) Wood (March, 1955).
No. 2 Nakato NAITO : Phytopathological Studies Concerning Phytohormones with
Special Reference to Their Effect on Phytopathogenic Fungi (October, 1957).
No. 3 Hiroshi MATSUZAWA : Ecological Studies on the Braconid Wasp, *Apanteles*
glomeratus (March, 1958).
No. 4 Akira KAJI : Studies on the Retting of Plant Fiber Materials for Japanese
Paper Manufacture (March, 1959).
No. 5 Kazuo MORI : An Analytical Study on the Structure of the Mandarin
Orange-Growing Orchard Farm in a Sloping Land Region (March, 1960).
No. 6 Takahiko TAMAKI : Studies of Garaku Paddy Soil and Reservoir Deposits
(March, 1960).
No. 7 Masaki UEHARA : Physical and Meteorological Studies on the Cultivation
and Utilization of Slope Land (March, 1961).

昭和三十六年三月二十五日 印刷

昭和三十六年三月三十一日 発行

香川県木田郡三木町

編集兼発行 香川大学農学部

大阪市都島区野田町43番地

印刷者 出 間 照 久

印刷所 株式会社 天 業 社