傾斜地利用についての影と日射の問題

上 原 勝 樹

Problems of the shadow and insolation for the utilization of sloping farm

Masaki UEHARA
(Laboratory of Agricultural Engineering)

(Received June 30, 1959)

I 緒 言

傾斜地を開墾して農地を造成し，そこに作物を栽培する場合，畦の方向を決定することは作物に対する日射の配布状態に重要な関係がある．従ってそこの作物が受ける日射の配布状態を明らかにしておくことは傾斜地利用の上から極めて大切であるがこれらに関する研究はごく少ない.(1)(2)(3) そこで筆者は傾斜面における各々縦畦と横畦に栽培された作物の受ける日射量を，各方向に面した各傾角の斜面について日変化の模様を理論的に求めた．また農地保全の一環として傾斜地に防風林（または防霜林）を設置した場合の影の問題についても余り考慮されていないので，(4) その日変化の模様を明らかにしたのでここにそれらの概要を報告する．

II 防風林（又は防霜林）と影

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略明らかにされるに至った．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等に設定するとし，その位置は防風機能をよく発揮し且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あまり考慮されていないようであるので，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

$$l = H\cot h \qquad (1)$$

にて簡単に求めることができる．

傾斜地の場合についてみると第１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

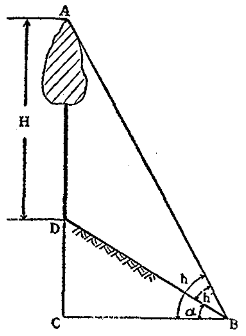
$$\frac{CA}{BC}=\frac{CD}{BC}+\frac{DA}{BC}=\tan h$$

$$\therefore \tan\alpha+\frac{H}{l\cos\alpha}=\tan h$$

$$\frac{H}{l\cos\alpha}=\tan h-\tan\alpha=\frac{\sin(h-\alpha)}{\cos h\,\cos\alpha}$$

$$\frac{H}{l}=\frac{\sin(h-\alpha)}{\cos h}=\frac{\sin h'}{\cos h}$$

$$\therefore l=H\frac{\cos h}{\sin h'} \qquad (2)$$



第 1 図

であるから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．また(1)，(2)式の計算にはよく知られた式

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

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

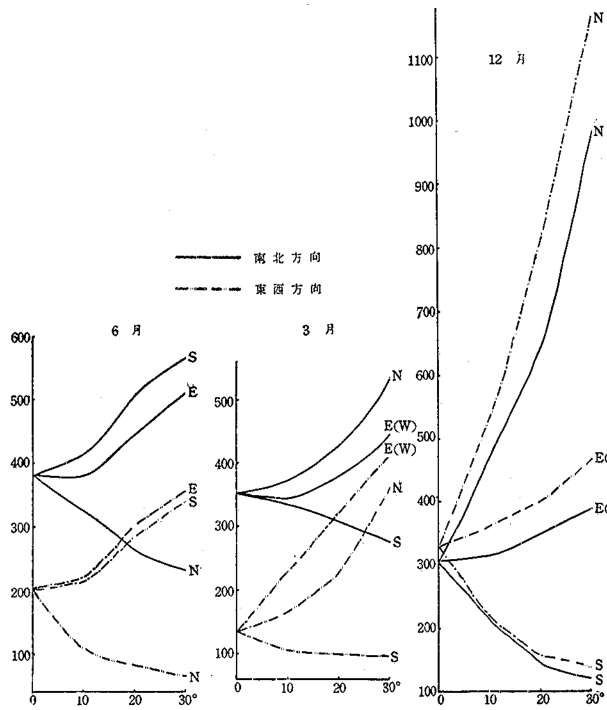
からｈ，$\sin h'$ を求めるとよい。

ここに φ はその地の緯度，δ は太陽の赤緯，ｔは時角でありまたAは太陽の方位，β は斜面の偏角である。

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

並びに平地に樹高10mの防風林（または傾斜地に防霜林）を東西方向や南北方向に設定した場合について，北緯34°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上記の式から計算（h, sinh′ は筆者(5)がかつて計算した結果を用いて）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，その日総量をプラニメーターにて求積すると第２図のようになり，また平地との比数を求めると第１表のようになった。

即ち防風林（あるいは防霜林）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，影巾の変化曲線と時間軸との包む面積即ち日変化の総量は第２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



第２図　防風林列の影巾の日変化量と傾斜角度との関係

第1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

（西）斜面では傾角の増加に従って次第に影巾の日総量は増加し，傾角30°ではそれぞれ平地の約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６割になっている．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，南斜面は最も小さく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）斜面は傾角の増加に伴って影巾の日総量は増し，それぞれ傾角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，南斜面では傾角30°で平地のそれぞれ８割（３月）４割（12月）を示している．

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）斜面において影巾の日総量は最も大きい．そして東（西）及び南斜面は傾角30°にて平地のそれぞれ1.75倍，1.68倍になっており北斜面は平地の約３割にすぎない．３月は東（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°において平地のそれぞれ3.04倍，2.67倍を示し南斜面では平地の約７割に減少している．12月になると南北方向の場合と傾向は同じでり，北及び東（西）斜面の傾角30°では平地のそれぞれ3.54倍，1.41倍になり，南斜面では平地の約４割に減少している。

南北方向と東西方向についてみると，６月及び３月には各斜面ごとにそれぞれ南北方向の林列における影巾の日総

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，南北及び東西方向の林列ともに南斜面では傾斜面への日蔭は少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る．北斜面では南北，東西方向ともに日蔭の量は最も大きく，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°で全日日射を受けなくなってくる．東（西）斜面は両者の中間にあるが傾角の増加につれて日蔭の量は増す．春季においても南斜面は東西及び南北方向ともに日蔭の量は少く．傾角の増加に伴って益々有利であり，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は南北方向の林列の場合より日蔭の量は少い．夏季においては３月及び12月と反対に，北斜面では南北及び東西方向の林列に対して日蔭の量は少く，特に東西方向の林列に対して北斜面は全傾角を通じて，南及び東（西）斜面では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日蔭の量は小さくなっている．

Ⅲ 畦の形態と日射量

1. 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受ける日射量について考える．

作物側面の受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，全然直達日射を受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受ける単位面積，単位時間当りの日射量は，垂直壁面に対する太陽高度を h'，太陽常数を S_0 とすると大気の吸収のない場合は $S_0 \sin h'$ であるが，垂直壁面の偏角を β，太陽の方位をAとすれば

$$S_0 \sin h' = S_0 \cos h \cos(A-\beta) \qquad (3)$$

である．若し $S_0=1$ とすると簡単に

$$\sin h' = \cos h \cos(A-\beta) \qquad (4)$$

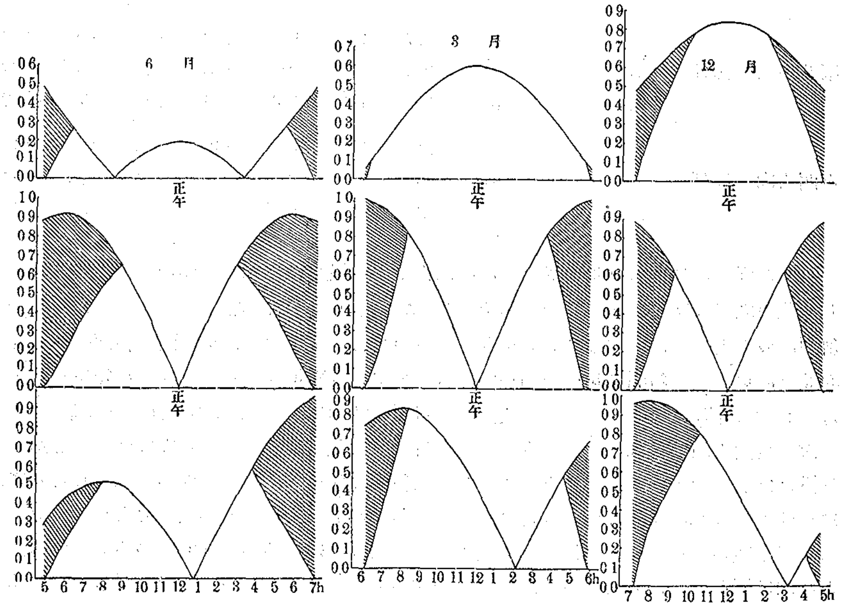
で示される．

ここにhは平地に対する太陽高度で

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

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陰影の部分を考慮して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日の毎時間の値を大気の吸収等を度外視して理論的に求め，その日変化曲線を描くと第３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50cmとした．



第３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）

第３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－南西作の場合とちょうど正反対になるので，ここには北東－南西作のみを示した。

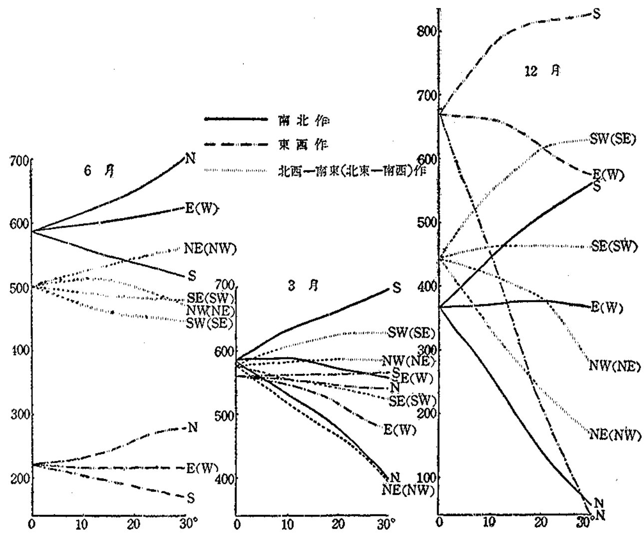
而してこれら作物側面の単位面積が受ける平均日射量の日変化曲線をプラニメーターにて求積して日射の日総量を求めると第４図の平地における値になる。６月においては南北作の方が日射量は最も潤沢にうけることがわかり，東西作は最も不利であることもわかる。北東－南西作（北西－南東作）はその中間にある。比率でいえば北東－南西作（北西－南東作）は南北作の85.5%，東西作は南北作の37.8%になっている。冬季の12月においては６月とは逆になり東西作が最も日射量が多く，南北作が最も少い。北東－南西作（北西－南東作）はその中間にある。これを比率でいえば北東－南西作（北西－南東作），南北作はそれぞれ東西作の66.3，54.8%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％とすれば他はそれぞれ98.5，95.6%である。

2.　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ず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ことである。

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（縦畦及び横畦）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，各方向の各傾角における日射量を筆者(5)が理論計算した結果を用いて計算と作図により求め，日変化曲線を描き，日総量をプラニメーターにて求積すると第４図のようになった。また平地との比数を求めると第２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）の場所で作条の間隔90cm，草丈は６月は100m，３月と12月にはそれぞれ50cmとした。

日総量においてはいずれも東斜面と西斜面は同量であるのでいず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－南西作ともその日射日総量は同じであるからいずれか一方のみを示した。



第４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°においてはそれぞれ平地の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つて日射量は増加し，南斜面では減少を示しているが，東（西）斜面ではほとんど一定であり平地のそれぞれ1.25，1.05，0.97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い。そして東西作では南斜面においては傾角の増加に伴つて日射量は増加し，東（西）及び北斜面では反対に減少している。そして傾角30°において平地のそれぞれ1.23，0.86，0.06倍を示し，南北作ではそれぞれ1.52，1.00，0.15倍で東西作，南北作いずれも冬季の北斜面は日射量からいつて最も不利であり，反対に南斜面ではいず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斜面における北東－南西作（北西－南東作）の日射量は東西作と南北作の略中間にあると言えるが，南西斜面における北西－南東作（あるいは南東斜面

の北東一南西作）が日射量は多く，且つこれは傾角の増加に伴つて日射量は増加している．

第２表　日射量の平地との比数

	月	0°	E - slope			W - slope			S - slope			N - slope		
			10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
南　北　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	125	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

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くなっているが，南斜面の南北作が最も日射量は多く，次いで南西斜面における北西－南東作（あるいは南東斜面の北東－南西作）に多い。そしてこれは傾角の増加につれて日射量も増加する。そして日射量の最も少いのは北斜面における北西－南東作（あるいは北西斜面の北東－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つて日射量も減少している。

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（あるいは南東斜面の北東－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，東西作はともに日射量少く，また北東斜面の北西－南東作（あるいは北西斜面の北東－南西作）も同様に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（あるいは南東斜面の北東－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（あるいは北西斜面の北東－南西作）は日射量が少く不利なこともわかるであろう。

Ⅳ　摘　　　要

１．傾斜地利用に際して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防風林（または傾斜地に防霜林）を東西や南北方向に設けた場合，影の日変化量を理論的に求め，防風林等を設ける場合の参考資料を得た。

２．また傾斜地において各々縦畦と横畦に栽培された作物側面の受ける日射量を，各方向に面した各傾角の斜面について理論的に求め，日射の面から傾斜地利用の指針を示した。

参　考　文　献

１．稲垣乙丙：農業気象学（1941）

２．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）

３．福井英一郎：農業と日射量，農業気象の研究，第４集（1948）

４．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）

５．上原勝樹：傾斜地果樹園における微細気象の研究（第１報），園芸学会誌，**24** (2)（1955）

Résumé

1. As to the use of the sloping region, we got some referential data for determining wind break forest (or frost break forest) on the slopes with angles of inclination of 10°, 20°, and 30°—(which face every direction of East, West, South and North)— or on the flat surface into the east-western or south-northern direction, and also for setting up the wind break forest by the theoretical research of the diurnal variation of the shadow.

2. We had a theoretical research for the quantity of insolation to be received by the vegetables cultivated on the vertical ridge and on the lateral one with each angle of inclination of the sloping ground. We clarified the advantages and the disadvantages of the slopes from the view-point of the quantity of insolation.