

フィルムマルチ下地温の水平方向の バラツキとマルチ効果

II. フィルムの種類と被覆季節の相違による地温のバラツキ

鈴木晴雄・伊藤博紀*

DEVIATIONS IN THE HORIZONTAL DISTRIBUTION OF SOIL TEMPERATURES BENEATH FILM MULCH AND EVALUATION OF THE MULCH EFFECT

II. Deviations of Soil Temperatures in Terms of Films and Mulching Seasons

Haruo SUZUKI · Hiroki ITO*

Deviations in the horizontal distribution of soil temperatures beneath film mulch were studied in relation to meteorological conditions, aiming at identifying characteristics of the deviation in terms of films and mulching seasons. Transparent PE film (0.04mm in thickness) and black PE film (0.03mm) were tested as mulching materials and a broad bean variety was used for the mulched culture. The results are as follows.

(1) Diurnal changes in the deviation of soil temperatures under uncultured conditions became small both during the day and night in parallel with the soil depth, regardless of the mulched plots with transparent and black PE films or a bare plot. As regard seasonal changes, the deviation in each plot was smaller in the winter than in the summer.

(2) Results of multi-regression analysis on the deviation of soil temperatures and meteorological factors showed no common characteristics among the tested plots in the case of summer, but, in the winter, three moisture-related variables were found as common factors in each plot. In addition, depth (0-30cm) -independent variables were found: mean wind velocity in the mulched plot with transparent PE film, mean wind velocity and mean humidity in the bare plot and five other variables in the plot with black film.

(3) Deviations of row soil temperatures during broad bean culture differed with the measured points, i. e., central part (*intrarow spacing*) and *isterrow space*, and such a tendency was remarkable in the mulched plots compared with the bare plot. No clear relation was found between the deviations and growth of the crop.

On the basis of these results, it was confirmed that the deviation of soil temperatures was an important factor for the evaluation of temperatures beneath various mulched films.

*現在：高知県中村農業改良普及所

本実験では、フィルムマルチ下の同一深における地温測定値のバラツキを主に気象要因との関係から検討し、フィルムの種類とフィルムの被覆時期の違いによるバラツキの特徴を明らかにすることを目的とした。マルチ資材として使用したフィルムは、透明ポリエチレンフィルム (0.04mm厚) と黒色ポリエチレンフィルム (0.03mm厚) であり、またフィルムによる栽培にはソラマメを用いた。

- (1) 無植生下における地温バラツキの日変化は、透明マルチ区、黒色マルチ区、無マルチ区ともに夜間と昼間は地中深くなるほど小さく、また季節的变化では各区のバラツキは夏期よりも冬期の方が小さくなる傾向にあった。
- (2) 地温のバラツキと気象要因に関する重回帰分析の結果によると、夏期の場合は各区に共通した特徴はみられなかったが、冬期の場合には水に関連する3変数が各区に共通して選択された。また、透明マルチ区では平均風速の変数が各深さ (0-30cm) に共通して選択され、無マルチ区では平均風速と平均湿度が、黒色マルチ区では他の5変数が同様に選択された。
- (3) ソラマメ栽培における畝地温のバラツキは、地温測定部が中央部 (株間部) と条間部とで異なり、その傾向は無マルチよりもマルチの場合が顕著となった。バラツキと生育の間には明確な関係は得られなかった。

以上の結果から、各種マルチ用フィルム下の温度評価に際しては、地温のバラツキは重要な要因であることが明らかになった。

1. はじめに

栽培における各種の農業用被覆資材の導入は生産費の増加につながるため、被覆資材の性能及び効果の評価については経済的意味においても厳密になされるべきである。しかし、現状では開発段階における技術的側面の評価が強調されており、実際の栽培現場での効果の比較については余り関心が持たれていない。そこで、ここでは多数の被覆資材の中から、もっとも施設面積の多いマルチ用フィルムを取り上げた。

すなわち、マルチによって農作物の主たる根圏環境である地温は大きく変わり、その程度はマルチ資材の種類によっても大きく異なる。この各種のマルチによる地温高低の区間比較には、期間平均を求めるなどの慣習的な方法が取られている場合が多く、それ以上の厳密な効果の判定はなされていない。

これに関して筆者のうちの鈴木は前報⁽¹⁾にて、フィルムマルチ下の同一深における地温測定値のバラツキを主に気象要因との関係から明らかにし、バラツキを考慮したフィルムマルチ下地温上昇効果の比較法について検討し、提案を行った。

本実験でも、マルチ用フィルムによる地温効果の比較について実験を行った。今回はフィルムの日射透過率に極端な差のある2種の資材を用いて行い、同時に被覆季節の相違による効果の変化について検討した。

なお、本報告の概要は、1989年7月25日開催の日本農業気象学会全国大会において発表した。

2. 実験方法

実験は香川大学農学部構内圃場において、1986年7月より翌1987年の3月にかけて行った。実験に供した畦 (畦長8.0m, 畦幅1.0m, 畦高25cm) は、いずれも東西方向である。

1986年7月より11月にかけては、無植生の状態で実験を行った。すなわち、畦を透明ポリエチレンフィルム (0.04mm厚) で被覆した透明マルチ区、黒色ポリエチレンフィルム (0.03mm厚) による黒色マルチ区、裸地状態の無マルチ区とし、畦方向の同一深における地温のバラツキを測定した。以下、「地温のバラツキ」と記述する場合は、畦方

向の同一深におけるバラツキを意味する。

透明ポリフィルムと黒色ポリフィルムを選んだのは、両フィルムの日射透過率の大小が市販されているフィルムのなかでそれぞれの極値を示すので、両フィルムを用いることによって他のフィルムによる効果の程度も推定できると考えたからである。

測定は、記録を開始する約1月前に両区の地表面、地下2.5, 5, 10, 20, 30cmの各深さへ地温センサーを10本ずつ埋設(30cm間隔)し、連日15時に値を読み取った(以降、10点地温として記述)。地温センサーには熱電対(T, 径0.65mm, 0.75級)を用い、その先端はハンダにて接合した後、保護用として銅管(外径6mm, 内径4mm, 長さ20mm)を被せた。なお、測定にあたって同一深での測点が10点もあり、それらの代表値(10点平均)が得られるので、各点でのバラツキをなくする温度調整⁽¹⁾は特にしなかった。

次の1986年11月より1987年3月にかけてはマルチ栽培を行い、マルチ資材として黒色マルチを選び、無マルチ区との比較を行った。供試作物としてソラマメ‘清水一寸’を選び、10月29日に両区へ播種(株間50cm, 条間40cm)した。生育調査は主に草高と地被率⁽²⁾について行い、測定は地下10cmの10点地温(Fig. 1)と植部下の日射透過率(農

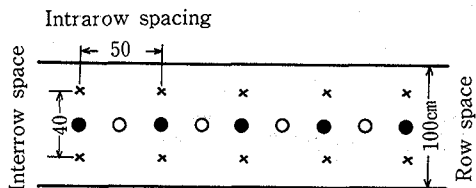


Fig. 1 Plane view of the row. Open circles show the position of the earth thermometer buried at the intrarow spacing, solid circles that of the interrow space, and crosses the broad bean plant.

試電試型日射計を使用)について行った。なお、上記の2区のほかに無植生のマルチ区と無マルチ区も設置し、植生の2区と同様にして測定を行った。

実験期間中、地温変化へ大きく影響を及ぼす土壌水分含量を測定するためにテンショメータを使用し、各区の10cm深の値を求めた。さらに、各地温センサー埋設地付近の土壌を適宜採取し、乾熱法にて含水率を求めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 マルチ下地温のバラツキ

地温高低の区間差の判定に影響する同一深における地温のバラツキは、深さによって特徴ある日変化を呈するものと推測できる。ここでは透明マルチ区、黒色マルチ区、無マルチ区における各深さの地温のバラツキの経時変化を、夏期(Fig. 2(a))と冬期(Fig. 2(b))の場合とで示した。

まず、夏期の地温変化についてみると、図中の下部に示した地温の推移は各区とも夜間は地中深くなるほど高温になるが、昼間になるとそれが逆になって夜間とは対照的な変化を呈している。地温変化そのものは、透明マルチ区が最も顕著であった。

こうした地温変化において、10点地温のバラツキを標準偏差(σ)で示すと、次のような特徴がみられた。

すなわち、夏期の透明マルチ区では夜間(20時~6時, 18時~20時)の σ は各深さを通じて0.2~0.6°Cの比較的狭い範囲で推移している。5cm深を除いて、 σ は地温の高い地中深くなるほど小さくなると言える。昼間(8時~16時)の σ は地表面が最も大きく、10時に最大の1.7°Cを示すが、夜間の場合と同様に地温の低い地中深くなるほど σ は小さくなり(地表面以外で0.2~1.4°C)、30cm深の最高値(発現時刻18時)は0.4°Cである。このように夜間と昼間ともに、地中深くなるほど σ は小さくなる傾向にあった。

黒色マルチ区になると全般的傾向は透明マルチ区の場合と同じであるが、透明マルチ区とは若干異なった様相を呈している点がある。すなわち、黒色マルチ区では深さによる変化に特徴があり、20時~14時にかけては地表面と

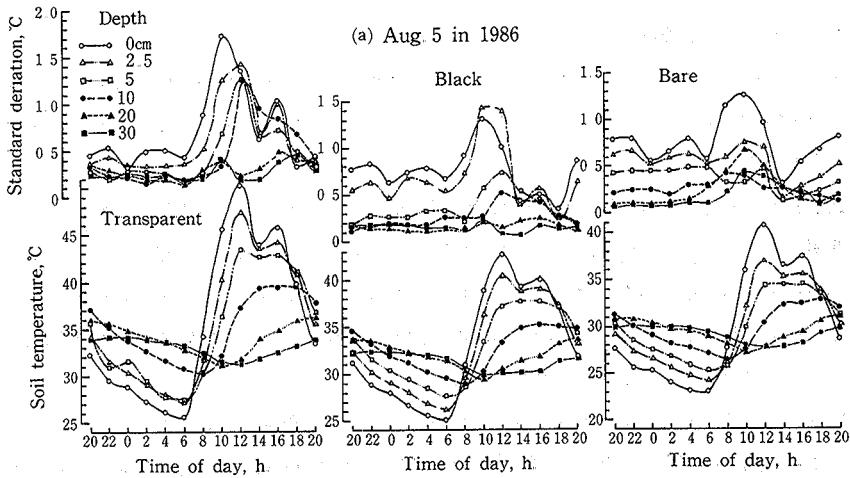


Fig. 2(a)

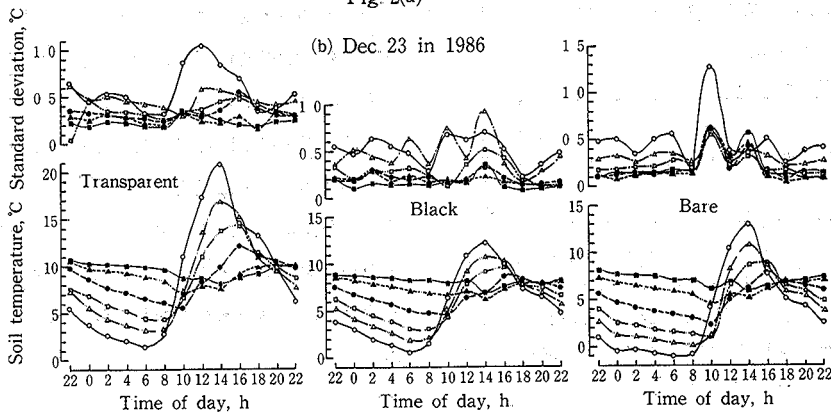


Fig. 2(b)

Fig. 2 Variations of mean soil temperatures for 10 points and their standard deviations in each plot. Transparent: Mulched plot with transparent PE film, Black: Mulched plot with black PE film, Bare: Bare plot.

2.5cmとが5cm以下とかけ離れた推移であり、さらに σ の最高値は透明マルチ区のような地表面ではなく2.5cmに生じている。無マルチ区では比較的単純な変化を呈しており、夜間は地中深くなるにしたがって σ は小さく、昼間は地表面での変化が顕著となった。

次に冬期 (Fig. 2(b)) についてみると、全般的に地温及び σ の変化は夏期の場合よりも小さい傾向にある。 σ については各区の傾向そのものは夏期の場合と等しく、透明マルチ区では夜間の各深さごとの σ はむしろ夏期の場合よりも明確となっている。黒色マルチ区では地表面と2.5cmは互いに傾向が定まらない変化で、夏期と同様に各深さの中で2.5cmが最高値 (0.9°C) を示している。無マルチ区では地表面10時の値が各区を通じて最も顕著となった。同区の昼間における各深さの σ は、夏期の場合とは違って地表面以外は極めて接近して推移している。

このように、夏期と冬期とはそれぞれ特徴がある。なお、両観測日に共通した現象である黒色マルチ区2.5cm深における大きいバラツキの原因は、次のように考えている。すなわち、昼間のバラツキは前報⁽¹⁾でも明らかにしたように地温の高い地表部ほど大きくなり、同時にバラツキは土壌水分張力が大きく、つまり土壌が乾燥するほど大きい傾向にある。今回の場合、地中鉛直方向の土壌水分の詳細な分布は不明であるが、実験現場での目視観察によると黒色フィルムの裏面地表面付近が特に過湿状態であった。地温のバラツキには温度と水分の両要因相互が関連するが、地表面以下の高地温を示す深さで、かつ地表面ほど過湿でない深さとして2.5cm深が、他の深さよりもバラツ

キが相対的に大きくなったものと推測している。これに関しては、今後、定量的に明らかにする必要がある。

以上、夏期と冬期それぞれにおける1日間の観測結果ではあるが、全般的に地温変化そのものは夏期の場合よりも冬期の場合が小さくなり、同時にバラツキも小さくなることが得られた。バラツキの昼間と夜間における傾向は、夏期と冬期とでは若干異なることが明らかになった。

3.2 地温のバラツキと土壌・気象要因

3.2.1 土壌要因

個々の地温センサーに大きく影響を及ぼす土壌含水量を、地温のバラツキの関連で夏期(7月28日-9月20日)における場合を次に示した。

$$\text{透明マルチ区} \quad (Tsd = 1.36 - 0.17pF) \quad r = -0.04 \quad (1)$$

$$\text{黒色マルチ区} \quad Tsd = -0.31 + 0.45pF \quad r = 0.48^* \quad (2)$$

$$\text{無マルチ区} \quad Tsd = -0.18 + 0.22pF \quad r = 0.60^{**} \quad (3)$$

ただし、pFは土壌水分張力、Tsdは10点地温のバラツキ(σ)で、いずれも10cm深におけるものである。

上記のように透明マルチ区を除いた2区において、バラツキと土壌水分張力との間に関連性が得られた。水分張力のバラツキに対する変化は、無マルチ区に比べて黒色マルチ区では約2倍になることが、両回帰係数に表れている。無マルチ区と同じ水分量変化に対して黒色マルチ区ではバラツキが大きくなることから、各種マルチフィルム下地温の比較には土壌含水量は重要な要因であることが示されている。なお、透明マルチ区で無相関であったのは各センサー埋設地付近の水分量の違いもあるが⁽¹⁾、同区では10点地温そのものがかなり高いので10点測定値のバラツキは拡大するに対して、他の要因である水分量のバラツキへの影響は相対的に小さくなったためと推測している。

以上の夏期の場合とは別に冬期においてもバラツキと水分量との関係を求めたが、夏期に比べて冬期の各区は低水分で経過しており、いずれの区も相関係数は低く($r = -0.02 \sim -0.10$)、バラツキとの関連性は認められなかった。これについては、土壌水分含量がバラツキに大きく影響を及ぼすところのある温度範囲があるものと考えている。

3.2.2 気象要因

(a) 一般気象要因

実験期間中における連日15時の地温バラツキ(10cm)を、一般気象要因との関係で検討するために、10点地温のバラツキを目的変数とし、実験区に隣接した気象観測露場で観測された各気象要因と土壌水分含量(地下10cm)を説明変数とする重回帰式を求めた。回帰分析はステップワイズ法で行い、また選択された各変数は変数間の相対的重要度を見るために標準偏回帰係数で示した⁽³⁾。

夏期の場合を示したTable 1についてみると、選択された変数の数は各区及び各深さを通じて1~5個で、重相関係数は0.588~0.934であった。透明マルチ区では、各深さにほぼ共通して選択された変数(3個以上)は最高気温と日射量であり、黒色マルチ区は最低湿度、無マルチ区は平均湿度と日照時間であった。このように夏期では各区に共通した明確な特徴は得られていない。

一方、冬期(Table 2)についてみると、選択された変数は4~8個と夏期の場合よりも多く、重相関係数も0.992~0.996と高く、かつ安定している。各深さ全てに共通した変数もあり、特に水に関連した降雨後係数⁽⁴⁾、降雨量、土壌水分張力は3区に共通であった。これらの変数の他に透明マルチ区では平均風速、無マルチ区では平均風速と平均湿度が選択されているが、黒色マルチ区では平均風速は選択されていない。ただ、黒色マルチ区では平均気温、最高気温、最低気温、平均湿度、蒸発量が各深さに共通して比較的多く含まれている。

以上、地温のバラツキは土壌水分及び一般気象要因と密接に関係しており、さらにマルチの有無、マルチの種類

Table 1. Standard partial regression coefficients in the multiple regression between the standard deviations of temperatures measured at 3:00 p.m., meteorological factors and soil moisture from July 28 to September 20 in 1986.

Standard deviation	Meteorological factor ¹⁾											Soil moisture pF	Multiple regression coefficient ²⁾
	Te	Ta	Ti	He	Hi	Pr	Ev	Ia	Du	Um	Ua		
0 cm		0.494		-0.821	0.551								0.696**
2.5									0.881				0.877**
T ³⁾ 5	0.830	-0.595						0.851		-0.198			0.913**
10								0.893					0.889**
20		0.381						0.576					0.892**
30									-0.273	0.712			0.599**
0	-0.720	1.327											0.651**
2.5		0.317							0.676			-0.272	0.934**
B ³⁾ 5					-0.180				0.655	0.248		-0.374	0.841**
10					-0.383			0.929					0.926**
20				-1.022	0.762		0.353	0.329					0.864**
30			-0.390	-0.847									0.799**
0				-0.483	0.389	0.287			0.744				0.849**
2.5		0.301		-0.286		0.167		-1.226	1.538				0.834**
N ³⁾ 5	0.818		-0.596	-0.632			-0.300						0.814**
10				-0.525					0.331				0.777**
20				-1.976	1.136						-1.539	0.889	0.744**
30								0.607					0.588**

1) Notations: Te=daily mean air temp; Ta=daily maximum air temp; Ti=daily minimum air temp; He=daily mean humidity; Hi=daily minimum humidity; Pr=amount of precipitation; Ev=amount of evaporation; Ia=amount of insolation; Du=duration of sunshine; Um=daily mean wind velocity; Ua=daily maximum wind velocity; pF=soil moisture suction (pF)=in mulched plot.

2) Adjusted for degrees of freedom.

3) Notations: B=mulched plot with black PE film; T=mulched plot with transparent PE film; N=unmulched plot

** : Significant at 1% level.

Table 2. Standard partial regression coefficients in the multiple regression between the standard deviations of temperatures measured at 3:00 p.m., meteorological factors and soil moisture from November 5 to December 29 in 1986.

Standard deviation	Meteorological factor ¹⁾											Soil moisture ¹⁾			Multiple regression coefficient ²⁾
	Te	Ta	Ti	He	Pr	Pk	Ev	Ia	Du	Um	Tm	Bm	Nm		
0 cm					0.815	-0.132				0.039	0.075	-0.186		0.993**	
2.5	-0.194	0.162			0.670	-0.176	0.039	-0.096			0.087	-0.246		0.995**	
T ³⁾ 5					0.803	-0.142					0.076	-0.201		0.993**	
10	-0.198	0.160			0.683	-0.141		-0.080			0.105	-0.212		0.995**	
20					0.810	-0.140					0.078	-0.191		0.993**	
30					0.811	-0.141					0.077	-0.191		0.994**	
0	0.162		-0.178	-0.147	0.960	-0.082	-0.068					-0.187		0.996**	
2.5	0.149		-0.164	-0.148	0.940	-0.083	-0.066					-0.185		0.996**	
B ³⁾ 5	0.191	-0.074	-0.164		1.066	-0.113	-0.047					-0.189		0.996**	
10	0.145		-0.150	-0.172	0.904	-0.080	-0.064					-0.187		0.996**	
20		-0.078			0.807	-0.128						-0.181		0.995**	
30		-0.080			0.808	-0.128						-0.178		0.995**	
0				-0.241	0.685	-0.117					-0.055		-0.164	0.992**	
2.5				-0.242	0.682	-0.117					-0.055		-0.166	0.992**	
N ³⁾ 5				-0.239	0.684	-0.117					-0.055		-0.167	0.992**	
10				-0.236	0.685	-0.118					-0.055		-0.170	0.992**	
20				-0.239	0.683	-0.118					-0.056		-0.170	0.992**	
30				-0.250	0.673	-0.118					-0.058		-0.169	0.992**	

1) Notations: Te=daily mean air temp; Ta=daily maximum air temp; Ti=daily minimum air temp; He=daily mean humidity; Pr=amount of precipitation; Pk=coefficient of rain fall; Ev=amount of evaporation; Ia=amount of insolation; Du=duration of sunshine; Um=daily mean wind velocity; Tm=soil moisture content in mulched plot with transparent PE film; Bm=soil moisture content in mulched plot with black PE film; Nm=soil moisture content in unmulched plot.

2) Adjusted for degrees of freedom.

3) Same as in Table 1.

** : Significant at 1% level.

と被覆する季節によって影響する要因の異なることが明らかになった。

(b) 日射量

実際に地温比較を行う場合、地温測点が今回のように多点の場合には個々のセンサーの指示値によりバラツキが求まる。しかし、それが1点の場合には、1点の測定値からバラツキを推定することが区間差の判定に必要となる。その際には、バラツキと最も関係深い単変数を利用すること等については前報⁽¹⁾で示したが、今回も同様にして重回帰式をもとめる過程での相関行列から、日射量がその変数となった。ここでは、選択された日射量とバラツキとの関係を見る。

夏期の場合を示した Fig. 3(a)についてみると、日射量の増加に伴う地温バラツキの増大は全般的に透明マルチ区が最も大であり、後は黒色マルチ区、無マルチ区が続いている。さらに、透明マルチ区では地表面でのバラツキが最大で、日射量 $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ の時の σ は 1.3°C であり、黒色マルチ区 (0.8°C)、無マルチ区 (0.7°C) の各々1.6倍、1.9倍である。また、透明マルチ区では2.5, 5, 10cmの σ も大きく、日射量 $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ に対していずれも 0.9°C 前後である。しかし、20cm深、30cm深になるとバラツキは急激に小さく推移した。なお、同マルチ区での深さごとの σ は日射量 $6.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ と $13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 付近を境として大きく変わり、深さが増すにつれて σ は小さくなる傾向にあった。

こうした特徴は黒色マルチ区でもほぼ同じであるが、ただ2.5cm深の σ は日射量が $12 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上になると地表面におけるよりも大きくなった。無マルチ区では深さごとの σ の違いは整然としており、各深さの直線は他の2区の場合よりも比較的接近している。

冬期 (Fig. 3(b)) になるとバラツキは夏期の場合よりも全般的に小さいが、変化そのものは夏期の場合と同様に透明マルチ区 > 黒色マルチ区 > 無マルチ区 の順である。透明マルチ区では特に10cm深の σ が夏期の場合とは異なっており、5cm深の σ より上回って変化している。黒色マルチ区では深さごとの推移は整然としており、無マルチ区では深さによる σ の差はあまりみられていない。

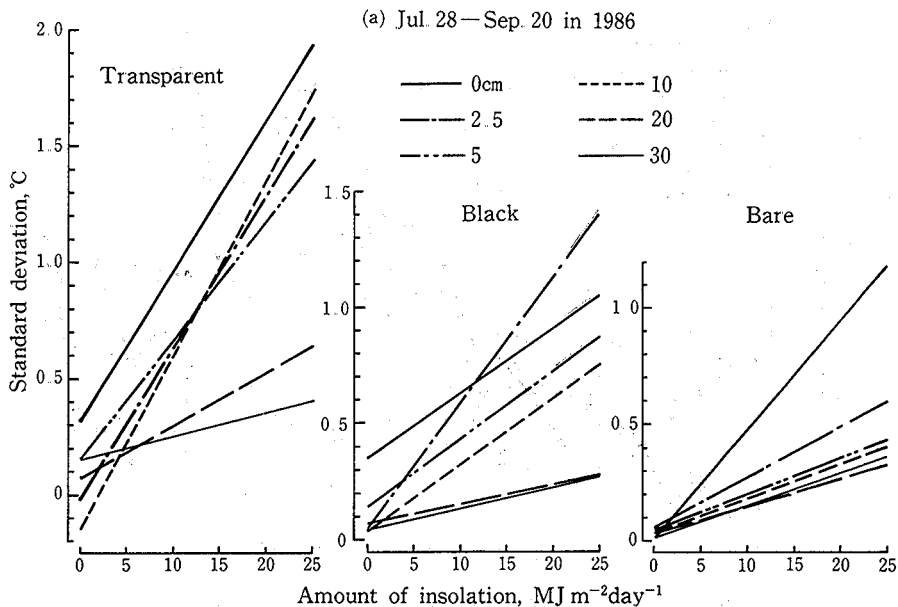


Fig. 3(a)

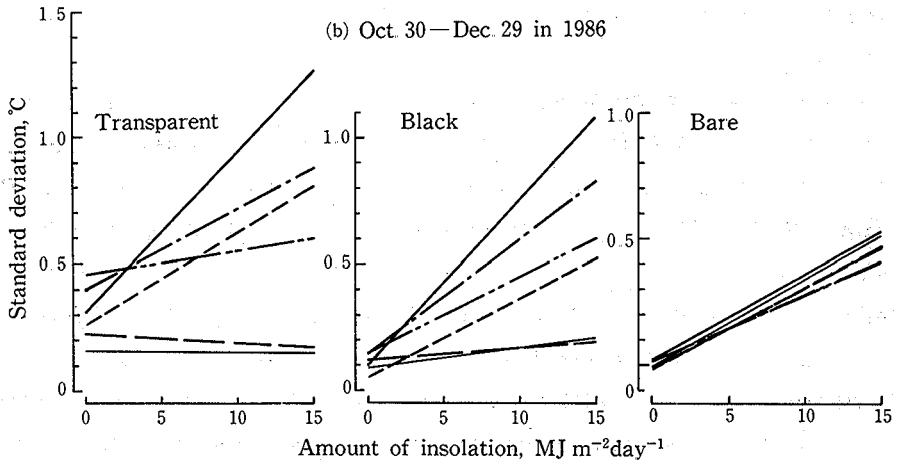


Fig. 3(b)

Fig. 3 Relations between standard deviations of soil temperatures at 3: 00 p.m. and daily solar radiation in $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$.

このようにフィルムの種類, 被覆季節, 地中深さによってバラツキと日射量との関連性は異なることになった。

3.3 植生下地温のバラツキ

3.3.1 栽培期間中の推移

フィルムマルチ下地温のバラツキを無植生下における夏期と冬期の場合とで比較してきたが, ここではソラマメの植生下における特徴をみることにした。

すなわち, 畦中央部(株間部)と条間部 (Fig. 1)における地温バラツキの推移を, 黒色マルチと無マルチの両区で得た (Fig. 4)。なお, Fig. 4に示した各点における期間平均の地温とそのバラツキは, Table 3に示した。

最高地温: 最高地温 (Fig. 4(a))については黒色マルチ区の中央部が最も大きなバラツキ (σ)を示し, 測定開始

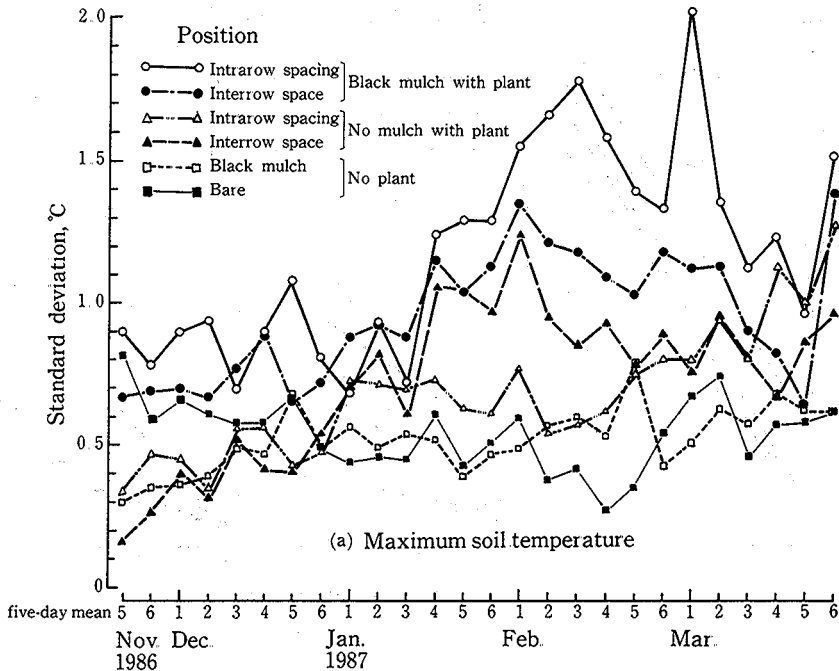


Fig. 4(a)

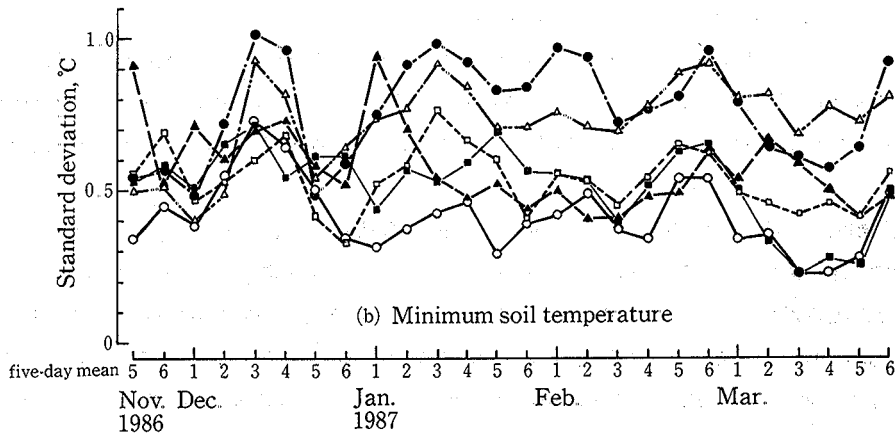


Fig. 4(b)

Fig. 4 Seasonal variations of standard deviations of soil temperatures at 10 cm depth.

Table 3. Average values of soil temperatures (°C) for 10 points and their standard deviations (°C) at 10 cm depth in each plot from November 23 in 1986 to March 31 in 1987.

	Cultivated				Uncultivated	
	Mulched		Unmulched		Mulched	Unmulched
	Intrarow ³⁾	Interrow ³⁾	Intrarow	Interrow		
Max. Temp. ¹⁾	11.8	11.2	11.5	10.4	13.9	12.1
S.D. ²⁾	1.2	1.0	0.7	0.8	0.5	0.5
Min. Temp. ¹⁾	4.7	5.3	3.7	3.4	5.9	4.2
S.D. ²⁾	0.4	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5

- 1) Mean soil temperatures for 10 points measured at 3:00 p.m.
- 2) Standard deviations of 10 soil temperatures.
- 3) Points of measurement (see Fig. 1).

の11月第5半旬より1月第3半旬にかけて σ はほぼ1.0°C以下で推移するが、それ以後は顕著に大きくなり、3月第1半旬では最高の2.0°Cを記録した。同区の条間部でも大略の傾向は中央部の場合と同じであるが、同中央部よりも低い値で推移し、最高値は2月第1半旬の1.4°Cであった。

一方の無マルチ区中央部の σ は低く経過し、実験期間の始めより終わりにかけて徐々に上昇する傾向であった。条間部でも期間の始めより1月第1半旬にかけては低く推移したが、1月第2半旬より2月第6半旬まではかなり高く(中央部との差は平均約0.4°C)、その後は再び低く経過した。

この無マルチ区を先のマルチ区との比較のために、区間差が典型的に出現している2月第4半旬より3月第4半旬でみると(各区の草高は約23cmより40cmに変化)、バラツキの順位はマルチ区(中央部) > マルチ区(条間部) > 無マルチ区(条間部) > 無マルチ区(中央部)であり、マルチの有無による違いは当然のことであるが、測定点による明確な違いが生じた。

なお、この期間における無植生下では、両区とも実験期間の始めより12月第4半旬まで区間差は大きい(無マルチ > マルチ)、その後は僅差にて順位の入替わりを繰り返しながら、小さなバラツキ (Table 3) で経過した。

最低地温: 最低地温では最高地温の場合とは異なって全体的にバラツキは大きくはなく、明確な季節変化も特にみられていない。マルチ区における中央部のバラツキは、最高地温の場合とは逆に他の3地点より最も小さく経過

し(期間平均値 0.4°C), 条間部(同 0.8°C)の方は反対に大きい。

一方の無マルチ区の中央部では比較的バラツキは大きく, マルチ区の条間部にそって変化している。無マルチ区の条間部は実験期間の始めより12月第2半旬などは同区の中央部より大きい, 以降, 中央部よりほぼ低く経過してマルチ区の場合とは対照的である。なお, 無植生の両区では, 全期間を通してマルチ区>無マルチ区の関係であった。

地温の高低順位: 上記の最高・最低地温を期間中の一日毎の高低関係でみたのが, Table 4である。バラツキは気象条件等で大きく変化するので, 地温高低関係を求めるにはバラツキを考慮して一日毎に区間比較を行う必要がある⁽¹⁾。たとえば期間平均値を示したTable 3によるとマルチの最高地温では中央部 11.8°C , 条間部 11.2°C となつて, 計測系の誤差の問題はあるがこれまでの慣習的な判定では, 中央部>条間部である。バラツキを考慮したTable 4によると, 計97日間のうち中央部>条間部の関係は14日間のみで後の83日間は区間差が認められていない。他の場合もこれと同じようなことが言え, 結局, 地温高低順位は中央部と条間部の地温センサーの埋設場所によって大きく異なることになる。

以上の傾向から栽培期間中の最高・最低地温のバラツキは, ともに植生とマルチの有無によって異なり, 測点の違いによっても大きく異なることが得られた。これらのことから植性下マルチ被覆による温度評価に際しては, 測点によるバラツキの違いを重視する必要があることが判明し, さらに植生下での地温測定には何らかの測定基準があるものと思われた。

3.3.2 土壌と気象要因

無植生下の場合と同じようにして, 植生下の地温バラツキに影響する環境要因についてみた。すなわち, 実験期間中, 各区における土壌の三層分布について調査した。Table 5によると全体的に区間差はほとんど明確ではない。しかし, 植生下の4地点(無マルチ区とマルチ区の中央部と条間部)が無植性下の2点に比べると, 植生による降雨遮断の影響によって固相率は低く, 液相率も低く, また気相率は高い傾向にあったと言える。両植生下のマルチ

Table 4. Order relation for soil temperature at 10 cm depth by t-test in broad bean field from November 23 in 1986 to March 31 in 1987.

Relation	Mulched		Unmulched	
	Max.	Min.	Max.	Min.
Intrarow* > Interrow*	14 days	1	71	10
Intrarow = Interrow	83	50	26	87
Intrarow < Interrow	0	46	0	0

* : Points of measurement (see Fig. 1).

Table 5. Three phase of soil at 0 to 5 cm depth in the mulched plot with black PE film and in the bare plot on February 24 in 1987.

	Cultivated				Uncultivated	
	Mulched		Unmulched		Mulched	Unmulched
	Intrarow	Interrow	Intrarow	Interrow		
Solid ratio*	44.9%	42.0	43.6	41.9	45.5	44.8
Water ratio*	21.3	19.0	22.1	20.3	24.8	23.5
Air ratio*	33.8	38.9	34.4	37.9	29.8	31.7

* : Means of 5 samples.

Table 6. Relations between standard deviations of soil temperatures and daily solar radiation in the mulched plot with black PE film and in the bare plot from November 22 in 1986 to March 31 in 1987.

Plot	Item	Position	Relation	
Mulch	Max.	Intrarow spacing	$T\sigma=0.13+12.77 \cdot 10^{-2} \text{ Ia}$	$r = 0.81^{**}$
		Interrow space	$T\sigma=0.29+7.78 \cdot 10^{-2} \text{ Ia}$	$r = 0.73^{**}$
	Min.	Intrarow spacing	$(T\sigma=0.43+0.05 \cdot 10^{-2} \text{ Ia})$	$r = 0.01$
		Interrow space	$T\sigma=0.43+3.97 \cdot 10^{-2} \text{ Ia}$	$r = 0.73^{**}$
Bare	Max.	Intrarow spacing	$T\sigma=0.18+5.25 \cdot 10^{-2} \text{ Ia}$	$r = 0.55^*$
		Interrow space	$T\sigma=0.24+5.79 \cdot 10^{-2} \text{ Ia}$	$r = 0.69^{**}$
	Min.	Intrarow spacing	$T\sigma=0.40+3.25 \cdot 10^{-2} \text{ Ia}$	$r = 0.75^{**}$
		Interrow space	$T\sigma=0.73-1.95 \cdot 10^{-2} \text{ Ia}$	$r = -0.64^{**}$

Notations: $T\sigma$ = Five day mean of standard deviations of 10 soil temp. at 10 cm depth; Ia = Five day mean of daily solar radiation in $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$.

* : Significant at 5% level, ** : Significant at 1% level.

の有無については、マルチ被覆をして約90日も経過するにもかかわらず、本実験では顕著な差はみられていない。そこで土壌の状態を、連日の水分量変化としてとらえてバラツキとの関係を検討したが、今回のソラマメの場合は明らかでなかった。

次に前述(3.2)の無植生の場合と同じ理由により、地温のバラツキの推定にかかわるバラツキと相関の高い日射量との関係を求めて Table 6 に表した。Table 6 によるとマルチ区の最高地温のバラツキは中央部の方が条間部よりも大きく、日射量に伴う変化は条間部の1.64倍にも達した。これはソラマメ株と地温センサーとの位置関係により、中央部の方が条間部のものよりも植被による日射遮蔽の日変化が大きかったためであろう。一方、最低地温については日射量は無相関のようにみえるが、その日の日射量が多いほど、早朝における土壌浅層部の地温は低くなり、結局、それはバラツキにも影響を及ぼしてくる。マルチ区中央部をみると回帰係数は小さく(5%水準で有意差なし)、条間部では中央部の3.97倍になっており、これは最高地温の場合とは反対の傾向である。

次に無マルチでは、最高地温のバラツキは中央部より条間部の方が若干大きく推移しているが大差はない。最低地温の中央部では相関関係は認められ、条間部ではマルチ区の場合とは異なって回帰係数の符号は負に転じている。

植生下のバラツキと日射量との関係は上記のような特徴があるが、無植生下の場合と同様にして植生下の地温バラツキを各気象要因・土壌含水量を説明変数とした重回帰分析を行った。しかし、無植生下(3.2.2)とは異なってマルチ区と無マルチ区の最高・最低地温ともに選択された変数の数は極端に少なく(1~3個)、また各区に共通した変数はほとんどなかった。さらに、植生の変化(草高、地被率)をバラツキに大きく影響を及ぼす要因として検討したが、変数としては選択されなかった。

このようにソラマメ植生下における地温バラツキは、植被面に到達する日射量と比較的明確な関係がみられ、このことは植生下の地温バラツキの推定が観測露場などの気象測定値から間接的にできる可能性を示すものとみられたが、この植性とバラツキとの関連性については他の植性とも比較を行い、今後さらに実験的に明らかにしたい。

引用文献

- (1) 鈴木晴雄・棚田英雄: フィルムマルチ下地温の水平方向のバラツキとマルチ効果, 農業気象, 44, 119-126(1988).
- (2) 小倉祐幸: 空気調和ガラス室における入射エネルギーと蒸散の関係, 日本作物学会紀事, 38, 163-167(1969).

- (3) 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉沢 正：多変量解析法，25-152，東京，日科技連出版社，1974。
- (4) 鈴木晴雄・宮本硬一：畦面被覆の微気象に関する研究IXフィルムマルチにおける植穴の有無が地温に及ぼす影響。香川大学農学部学術報告，35，1-12 (1984)。

(1989年5月31日受理)