

畑地における鉛直平均温度測定による気温と地温の特性

高田奈緒子・ポンサアヌティン ティーラサク・鈴木晴雄

Characteristics of Air and Soil Temperatures in a Field Measured at Multiple Vertical Points

Naoko TAKADA, Teerasak PONGSA-ANUTIN and Haruo SUZUKI

Abstract

In this experiment, average air and soil temperatures in a field were measured at multiple vertical points, and compared with the results of conventional single-point measurement. Two experimental zones were established in a field, one with and one without vegetation, and one additional zone in a glasshouse without vegetation. Average temperatures of multiple heights from 0 to 150 cm and those at single-height points (150 cm high) were compared. The former were higher than the latter in some cases, but the opposite was also found in some cases, depending on the measurement heights and if there was vegetation. The differences between the former and latter were greatly impacted by the solar radiation, daily average air temperature, and average wind speed. The degree of the impact, however, varied depending on if there was vegetation and the measurement heights. Vegetation and measurement heights clearly need to be considered when assessing air temperature. As for comparing average soil temperatures of multiple depths from 0 to 30 cm and single-depth soil temperature (10 cm depth), the single-depth temperatures were higher than the average temperatures of multiple depths during daytime. The relationship, however, reversed during the night. In addition to the solar radiation, the rainfall and soil moisture also impacted on the differences between the average and single-depth soil temperatures. The meteorological conditions greatly impacted on the vertical distribution of the air and soil temperatures.

Key words: Air temperature, Field, Soil temperature, Vertical mean.

1. はじめに

畑地や水田における微気象環境は、作物の生育へ直接影響を及ぼす。特に温度は生育にとって重要な要因であるため、従来から数多くの研究がなされてきた。気温の測定高度は、WMO⁽¹⁾によると1.25m~2.10mと定められており、気象官署ではそれに準じて地上1.5mの高さの気温としている⁽²⁾。この気温測定は、実験や栽培現場では1点程度でしか行われていない。しかし、気温は一般に地表面に近いほど昼間は高く、夜間には逆転する傾向があり⁽³⁾、鉛直方向には温度分布が生じている。また、植被がある場合は、植被内外で気温の鉛直分布は異なり⁽⁴⁾、植被によって影響を受ける。これら植被内外における気温の鉛直分布を明確にするためには、鉛直方向の

測定を密に行う必要がある。

地温については、藤本・鈴木⁽⁵⁾が平均温度センサーを試作して鉛直平均地温を求め、数点の測定値による近似値との比較を行って、地温の鉛直分布測定の重要性を報告した。

次に気温、地温の温度評価法には様々なものが報告されている。例えば、日平均気温と基準温度との差を積算した有効積算気温^(6,7)、気温と地温の両要因から生育予測が可能なGDD⁽⁸⁾、気温がある基準温度を超える時間帯のみ基準温度を除く三角法⁽⁹⁾、温度に加えて日長時間を考慮したPTU⁽¹⁰⁾などである。

これらの温度評価法はいずれも1点の測定値、あるいは測定点数は明示されていないが1点程度と推測される場合が多く⁽⁹⁾、いずれも鉛直方向の温度分布は考慮され

ていない。

そこで本実験では、畑地において気温と地温の鉛直平均測定と1点測定による温度評価を比較し、測定点数による温度評価について検討した。

2. 実験区の設置と測定方法

2.1 実験区の設置

実験は香川大学農学部内の実験圃場と実験ハウス（南北棟）にて行った。期間は2001年10月6日から2002年1月12日にかけて（秋期実験）と、2002年4月1日から2002年7月28日にかけて（春期実験）の期間とした。

実験圃場に畦長11m、畦幅70cm、畦高15cmの南北畦を計5畦たて、各畦を2等分して各々を1つの実験区とした。2等分した畦の北側を裸地状態の無植生の区とし、南側を植生の区とした。

供試作物として秋期実験にはダイコン“耐病総太り秋の幸”を、春期実験にはダイズ“早生枝豆”を用いて、それぞれ2001年10月6日と2002年4月1日に播種した。栽植距離はいずれも株間は30cm、条間は30cm（秋期実験）と40cm（春期実験）とし、慣行に準じて栽培管理を行った。

ハウス内では中央付近に畦長3m、畦幅50cm、畦高20cmの東西畦を計3畦立てた。各畦はすべて無植生の区とした。

2.2 温度センサー

地表面からある高さまでの平均気温を直接測定するための気温センサーと、地表面からある深さまでの平均地温（0cm～30cm）を直接測定するための地温センサーを試作⁽¹¹⁾した（Fig. 1）。

気温センサーについては、T型熱電対を2枚のアルミ製シェルター（7cm×7cm、0.4mm厚）の間に取り付けて作成した。シェルターは、形状の違いや通風の有無によって気温に誤差が生じる⁽¹²⁾。熱電対の直径は0.2mmとした。気温センサーへの日射の照射を避けるために支柱の北側部分にシェルター設け、十分な通風が得られるようにした。この熱電対は地表面から2.0mの範囲で、4cm毎の配置とした。

地温については、深さ30cmから50cm前後で日変化がほとんどみられない不易層となる⁽¹¹⁾。そこで植物の根群が多い0cm～30cm深に各熱電対を設定した。なお、この高さ平均気温センサーと深さ平均地温センサーの出力について、室内にて検定を行った。

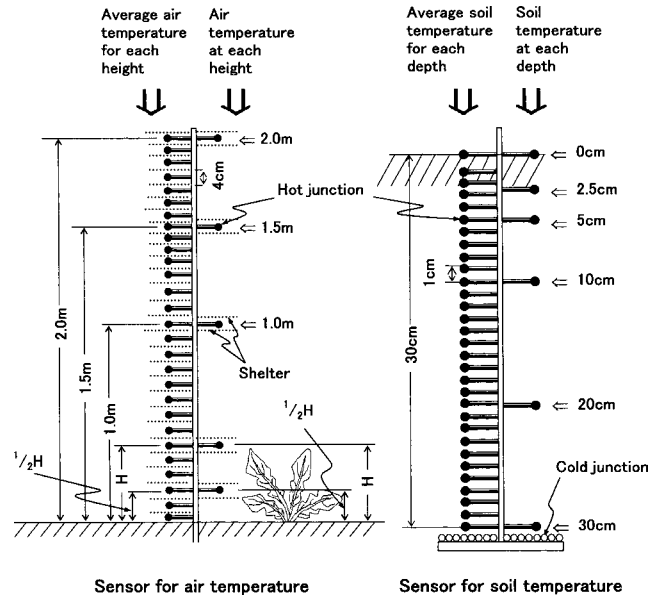


Fig. 1 Sensor of air and soil temperature for vertical mean, and of temperature at each point.

2.3 測定方法

気温については、地表面から高さ2.0mまでの鉛直平均気温を測定するために、試作した高さ平均気温センサー（以降、このセンサーの出力を高さ平均気温と記述）を使用し、さらに気温の1点測定値も測定した（ポイント気温）。ポイント気温の測定は2m、1.5m、1m、草高の高さ、植被内の1/2草高の高さで行った。なお、両気温センサーは各区に1本ずつ設置した。

地温については気温の場合と同様に鉛直平均地温センサーを試作し、鉛直平均地温を求めた（深さ平均地温）。また、地温の1点測定値も測定した（ポイント地温）。測定は、各区の条間中央部に0～30cmの深さ平均地温センサーを埋設し、さらに地表面、2.5cm、5cm、10cm、20cm、30cmの各深さにポイント地温センサーを埋設して行った。なお、センサーは畦方向に10本ずつ（ハウスは1本）、30cm間隔に埋設した。

気温と地温の測定時刻は早朝と昼間の2回行い、早朝は秋期実験では7時、春期実験は6時とし、昼間はいずれも15時に行った（定時測定）。なお、観測期間中に24時間測定を2時間間隔で行った。また、畦面上0～1.5m高の高さ平均気温とポイント気温（1.5m）、さらに0～30cm深の深さ平均地温と深さ10cmのポイント地温は、ロガーにて1時間間隔で記録した（連続測定）。

ダイコンとダイズの生育調査は、草高、地被率、LAIについて期間中、適宜行った。なお、上記の要因の他に日射量、土壌水分、湿度の測定も実施した。

2. 実験結果と考察

2.1 高さ平均気温とポイント気温

地上0cmから150cmまでの高さ平均気温と、地上150cmのポイント気温との差を求め、それを無植生下の場合(Fn)と植生下の場合(Fp)、さらにハウス(無植生)の場合(Hn)についてFig. 2に表した。

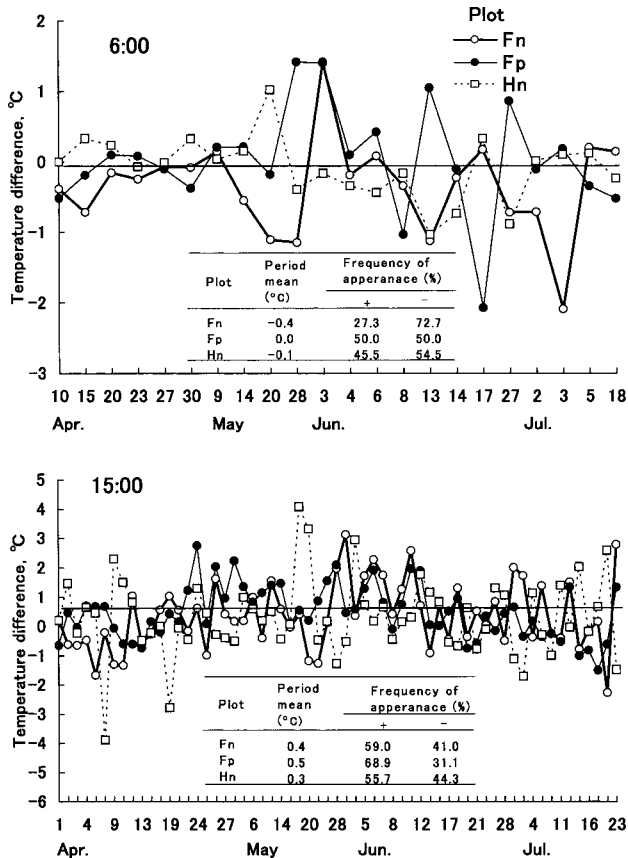


Fig. 2 Seasonal variation of air temperature difference from April 1 to July 23 in 2002. Temperature difference: [Air temperature for vertical mean from soil surface to 150 cm height] - [Air temperature at 150 cm height]. Fn: Plot without plant at field, Fp: Plot with plant at field, Hn: Plot without plant at house.

Fig. 2について6時の早朝では、一般に圃場やハウス内の地表面上では放熱型の気温分布を呈する⁽³⁾。そこで高さ平均気温とポイント気温の差の期間平均をみると、圃場無植生(Fn)とハウス無植生(Hn)では負値となり、高さ平均気温<ポイント気温の関係になった。その出現頻度も50%以上となった。他方、圃場植生(Fp)では植生の存在によって、植被外に比べて植被内ではわずかに高い気温となり、高さ平均気温とポイント気温間の差はみられなく、正負の出現頻度も僅差となった。

15時では、4月中旬から6月中旬は他の期間に比べて

圃場無植生(Fn)、圃場植生(Fp)、ハウス無植生(Hn)の各区ともに高さ平均気温の方がポイント気温よりも高い傾向にあった。圃場の無植生と植生間の違いは明確ではなかった。なお、ハウスでは期間中、高さ平均気温よりポイント気温の方が高い場合と低い場合が頻繁にみられた。高さ平均気温とポイント気温間の差についての期間平均は、 $Fp > Fn > Hn$ の順位であったが、各々の区間に大差はみられなかった。

この15時の日中では、圃場の地表面に近いほど気温分布は受熱型になるために、高さ平均気温の方が150cmを測定するポイント気温よりも高くなったと考えられた。植生があると能動面が上がるために、この傾向はさらに顕著に現れ、圃場植生区(Fp)では+0.5℃の気温差として表れた。ハウス無植生区(Hn)でも高さ平均気温の方がわずかに高かったが、ポイント気温との差は僅少であった。つまり、ハウスのような閉鎖空間では圃場とは異なる気温垂直分布を呈した。

次に高さ平均気温とポイント気温間の差について差の正負を期間中の頻度で示すと、いずれの3区ともに正值

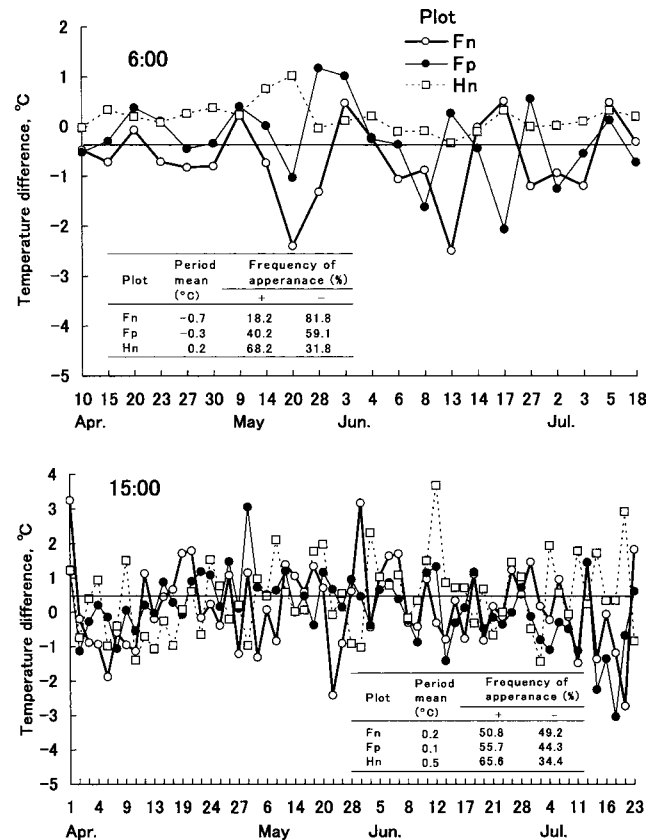


Fig. 3 Seasonal variation of air temperature difference from April 1 to June 23 in 2002. Temperature difference: [Air temperature for vertical mean from soil surface to 150 cm height] - [Approximate air temperature for vertical mean].

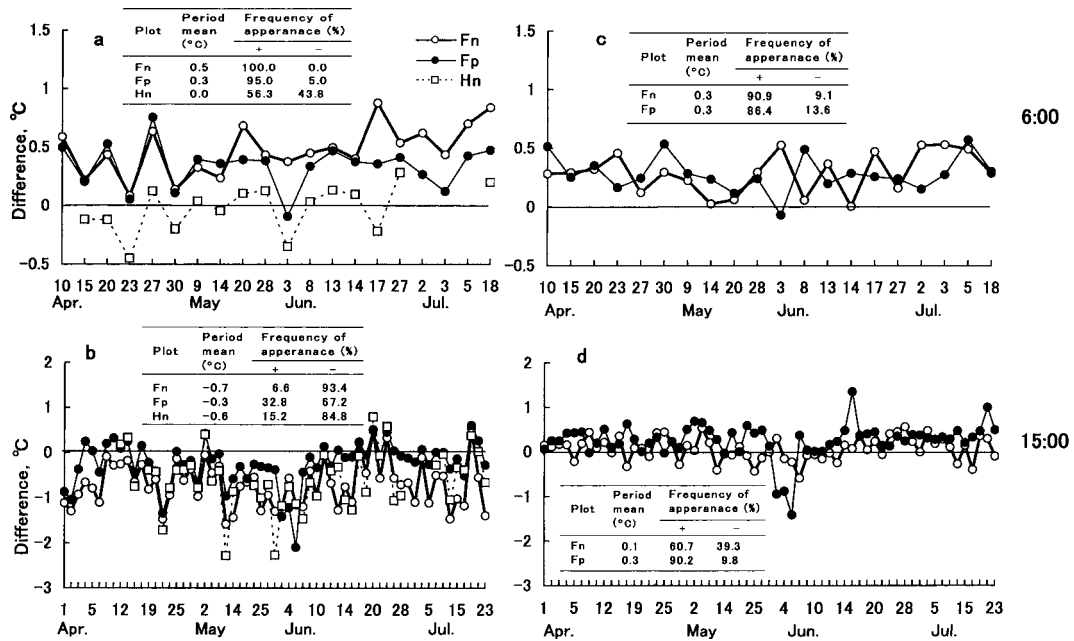


Fig. 4 Seasonal variation of soil temperature difference from Apr. 1 to Jul. 23 in 2002. Temperature difference of “a” and “b” : [Soil temperature for vertical mean from soil surface to 30 cm depth] - [Soil temperature at 10 cm depth]. Temperature difference of “c” and “d” : [Soil temperature for vertical mean from soil surface to 30 cm depth] - [Approximate soil temperature for vertical mean from soil surface to 30 cm depth].

が50%以上となり、特に圃場の植生 (Fp) では70%にも達した。

上記のように高さ平均気温とポイント気温間の差異が生じたが、ポイント気温は高さ平均気温の測定範囲の中で最端部 (1.5m) のものである。そこで、同測定範囲における全てのポイント気温 (植被高 1/2 高, 植被高, 1 m, 1.5m) を用いた多項式近似によって、測定範囲の平均気温を求めた。高さ平均気温と多項式近似のポイント気温間の差をFig. 3に示した。

Fig. 3の6時について、高さ平均気温とポイント気温の差はFig. 2の場合よりも広がった。圃場無植生区 (Fn) と圃場植生区 (Fp) では -0.7°C 、 -0.3°C と差が広がり、ハウスでは正負が逆になった。Fig. 2との比較から、ポイント気温 (1.5m) のみによるよりも、多項式近似ポイント気温の方が高さ平均気温センサーの値よりわずかに高温を呈した。

15時になると、期間中の両者の温度差は圃場では小さくなった。圃場無植生 (Fn) の場合、ポイント気温が1.5 mのみの場合は温度差は 0.4°C であったが (Fig. 2), 多項式近似によると差は半分になり、植生 (Fp) があると1/5程度に減少した。他方、ハウスでは 0.3°C (Fig. 2) から 0.5°C (Fig. 5) へ約60%も増加した。これらはいずれも1.5m以下の温度をより反映した結果とみられた。なお、出現頻度について圃場の場合 (Fn, Fp), 正負割合の差はより縮小したが、ハウス (Hn) では逆に広がっ

た。

以上、期間中の両センサーによる気温の推移を比較したが、高さ平均気温はポイント気温とは明確に異なることが示された。

2.2 深さ平均地温とポイント地温

地温について、深さ平均地温とポイント地温を比較した (Fig. 4)。

Fig. 4 (a) の6時について、深さ平均地温 (0-30cm) とポイント地温 (10cm) 間の差は、ハウス (Hn) と異なって圃場の2区 (Fn, Fp) では期間中ほぼすべてが、深さ平均地温 (0-30cm) > ポイント地温 (10cm) となった。さらに、4月よりも7月になるほど無植生 (Fn) の地温差 > 植生 (Fp) の地温差の関係が顕著に現れた。それに対してハウスでは、季節とは無関係に両地温の関係は一定しなかった。

15時 (Fig. 4 b) についてみると、全体的に3区ともに変化の傾向は同様であり、期間中の4月前半と6月は、深さ平均地温 > ポイント地温の関係が多かった。各区の期間平均値の順位は、圃場 (植生) > ハウス (無植生) > 圃場 (無植生) となり、さらに、深さ平均地温 < ポイント地温、の関係となった。出現頻度についても地温差の大きい圃場無植生区では高い負の頻度を示し、6時の場合 (a) と対照的な結果となった。

次に深さ平均地温 (0-30cm) と、各ポイント地温

を用いた多項式近似による深さ平均地温間の6時では(c), 期間中, 圃場無植生区(Fn)と圃場植生区(Fp)ともに約90%の頻度で地温差+0.3°Cを示し, 深さ平均地温の方が高く出現した。

15時(d)では, 前図(a)の場合よりも, 圃場の無植生区と植生区ともに地温差は小さく出現し, それらの期間平均値は各々0.1°C, 0.3°Cであった。つまり, 10cm深でのポイント地温よりも垂直方向に測点を増した方がより深さ平均地温に近づく結果となった。

2.3 各温度評価法による温度差

有効積算温度： 従来から用いられている有効積算温度による評価法として, 日平均気温および日平均地温から基準温度(11°C)を引いた値を, ダイズの各生育ステージごとに積算した⁽¹³⁾。なお, 日平均気温または日平均地温が基準温度より低い場合, 有効積算温度は0とした。毎正時における両温度の平均値を用いて求めた温度差は, 鉛直方向の平均温度から求めた有効積算温度と, ポイント温度から求めた温度との差とした。

Fig. 5 (a)によると, 播種-着莢始の間では気温差が0.8~3.6°Cと小さかったが, 着莢始-成熟始間では7.0°Cとなり, 播種-着莢始間の2倍程度になった。成熟始-成熟期の間では気温差は10.2°Cとさらに拡大した。

次に地温差について, 発芽揃-開花始期間, 着莢始-成熟始期間, 成熟始-成熟期間の各地温差は4.0~5.2°Cとなって, 他の生育期間より若干高くなった以外は期間中あまり変わらなかった。各期間ごとの差は気温の場合よりも0.3~5.8°Cほど低くなった。また, 気温と地温ともに期間を通して温度差は負となり, ポイント気温とポイント地温の方が, 高さ平均気温と深さ平均地温よりも高くなった。

三角法： 三角法とは, 1日の温度が日最低温度から日最高温度まで直線的に変化すると想定し, 温度が基準温度を超える時間帯についてのみ基準温度を差し引くモデルのことである⁽⁹⁾。主に昆虫等を対象として用いられている評価法である。ここでは日最低温度は5時の値, 日最高温度は15時の値を用いた。基準温度は前述(2.3.1)と同様に11°Cとした。

Fig. 5 (b)によると, 播種-発芽揃間の気温差は0.1~0.7°Cと小さかったが, 発芽揃-開花始の間は5.0°Cと高くなり, 着莢始-成熟始期間と成熟始-成熟期間では6.4°Cとさらに高くなった。有効積算気温(a)とは異なって, 三角法では高さ平均気温の方がポイント気温よりも高い頻度が多くなった。

地温では, 開花期-着莢始期間を除いて全生育期間は

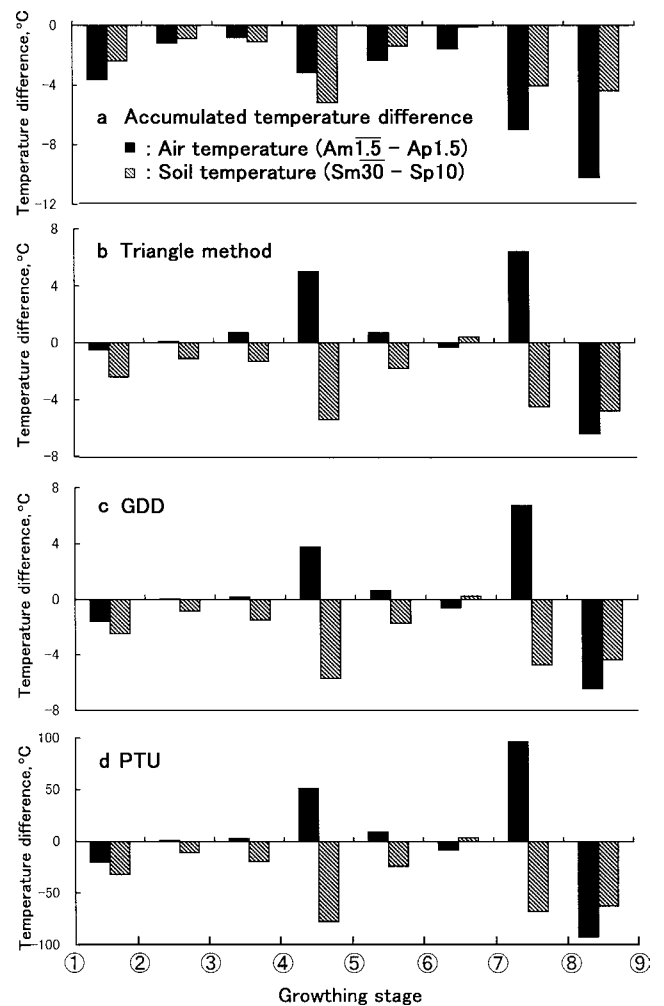


Fig. 5 Accumulated temperature difference for each growing period of soybean from April 1 to July 23 in 2002. Am1.5: Air temperature for vertical mean from 0 cm to 150 cm height, Ap1.5: Air temperature at 150 cm height, Sm30: Soil temperature for vertical mean from 0 cm to 30 cm depth, Sp10: Soil temperature difference at 10 cm depth. Growing stage: ① Seedling time, ② First germination time, ③ Germination time, ④ Full germination time, ⑤ First flowering time, ⑥ Flowering time, ⑦ First pod setting time, ⑧ First ripening time, ⑨ Ripening time.

負値となり, つまり, ポイント地温の方が深さ平均地温よりも高くなった。発芽揃-開花始期間, 着莢始-成熟始期間, 成熟始-成熟期間の各地温差は4.5~5.4°Cと若干高くなった。生育期間ごとの温度差の変化は気温の場合よりも小さくなった。

気温と地温ともに, 特定の生育期間で三角法よりも有効積算温度の方が高くなったが, ほぼ全ての生育期間において鉛直平均温度の積算温度とポイント温度の積算温度間の差は, 気温と地温とで正負が逆となった。

GDD： 気温又は地温の測定値から1日あたりのGDD

Table 1 Standard partial regression coefficient in the relations between two plots (air temperature [Am1.5 - Ap1.5]; Soil temperature [Sm30 - Sp10]). The temperature differences (air and soil temperature) were measured from Apr. 1 to Jul. 23 in 2002.

Temperature difference ¹⁾	Meteorological factor ²⁾						MRC ³⁾
	Am	Pr	Is	Wv	Sm	Ph	
Am1.5 - Ap1.5	Accumulated temperature	-0.279					0.259
	Triangle method			0.261			0.239
	GDD			0.222			0.195
	PTU			0.224			0.197
Sm30 - Sp10	Accumulated temperature	-1.622			0.255	1.332	0.818
	Triangle method	-1.152			0.384	0.922	0.719
	GDD	-1.200	-0.217		0.282	0.993	0.672
	PTU	-1.190	-0.211		0.280	0.942	0.677

1) Criterion variables.

2) Explanatory variables.

Notation: Am: Daily mean air temp.; Pr: Amount of precipitation; Is: Amount of insolation; Wv: Daily mean wind velocity
Sm: Soil moisture suction; Ph: Plant height.

3) MRC: Multiple regression coefficient (Adjust for the degree of freedom).

を求め⁸⁾, 生育期間ごとにGDDを積算してFig. 5 (c) に表した. 日最高温度, 日最低温度, 基準温度は, 三角法 (b) の場合と同様にした.

気温差については, 各生育期間における正負の出現は三角法の場合とほぼ同じ傾向であったが, 播種-発芽始間と発芽揃-開花始期間は三角法の場合よりも1.1~1.2℃大きくなった. この理由は, 三角法では1日の温度が最低温度から最高温度まで直線的に増加する経時的な温度変化をみたものであるのに対し, GDDでは最高温度と最低温度のみに基づくため, GDDの方が温度差は若干大きくなったものと推測した.

地温差では, 全生育期間は三角法の場合 (Fig. 5 (b) よりも0.1~0.3℃大きくなったが全て負となり, 三角法の場合と同じ傾向であった.

このように気温差は生育初期と生育終期では負となり, 生育中期では正になったのに対し, 地温差では開花期-着莢始期間を除く全ての期間で負となった.

PTU: Fig. 5 (d) は, McMaster and Wilhelm⁸⁾ が提案した気温と地温に加えて日長時間を考慮した式によって求めたPTUの積算値を, 各生育期間ごとに示したものである. 日最高温度, 日最低温度, ダイズの基準温度については, 三角法とGDDにおける同じ値を用いた. 日長時間は日の出から日没までの時間とした.

気温差については, PTUが高くなる発芽揃-開花始期間, 着莢始-成熟始期間, 成熟始-成熟期間で差が大きくなった. GDDの場合と同じ傾向であり, これはPTUがGDDの式に日長時間をかけたものであり, 計算に用いた日平均温度も同じであったためである.

地温差は, 開花期-着莢始期間を除いた全ての生育期間で負値になり, ポイント地温のほうが深さ平均地温よ

りも常に高くなった. また地温差は, 気温差のように極端に変化が大きくなる生育期間はなく, 全生育期間を通じてほぼ一定となった.

このように気温では, 高さ平均気温とポイント気温間の差が大きくなる期間があったが, 地温では気温に比べて温度差の変化は小さくなった.

2. 4 各温度と気象条件

鉛直平均温度とポイント温度間の差と気象要因との関係を検討するため, 重回帰分析をおこなった (Table 1). 目的変数は, 気温 (Am1.5, Ap1.5) と地温 (Sm30, Sp10) について, それぞれの温度差 (Am1.5 - Ap1.5, Sm30 - Sp10) である. 説明変数は日平均気温, 降水量, 日射量, 平均風速, 土壌水分張力, 草高の計6要因とした.

Table 1によると, 積算温度の気温差については日平均気温が選択されたが, 重相関係数は0.259と小さかった. 地温差の場合は日平均気温の他に平均風速と草高が選択され, 重相関係数は0.818と気温の場合よりも顕著に高くなった.

三角法の気温では, 気温鉛直分布に最も影響の大きい日射量のみが選択され, 重相関係数は0.239と低かった. 地温では日平均気温, 平均風速, 草高が選択され, 重相関係数 (0.719) は上昇した. GDDの気温では, 三角法と同じ日射量が選択され, 地温では三角法の場合の要因に気温の要因が選択された. PTUはGDDとほとんど同じ傾向であった.

上記のように各温度の特徴が得られたが, 気温差では積算温度以外は日射量が共通の要因となった. 他方の地温差では, 各温度とも気温, 風速, 草高が共通要因

Table 2 Discriminant analysis of the difference between mean temperature for vertical direction to temperature at fixed position from April 1 to July 23 in 2002.

	Calculations	Correct discrimination (%)		Linear discriminant function ¹⁾
		+	-	
Air temperature difference ²⁾	Accumulated temperature	58.1	36.1	$y = -0.160Am + 3.067$
	Triangle method	52.3	43.2	$y = -0.076Am + 1.542$
	GDD	64.0	37.0	$y = 0.108Is - 1.783$
	PTU	64.0	37.0	$y = 0.108Is - 1.783$
Soil temperature difference ³⁾	Accumulated temperature	85.5	8.6	$y = 4.862Wv - 14.513$
	Triangle method	80.0	19.2	$y = -0.263Am + 1.753Wv + 0.366$
	GDD	83.6	18.8	$y = -0.503Am + 1.748Wv + 0.075Ph + 2.937$
	PTU	83.6	18.8	$y = -0.503Am + 1.748Wv + 0.075Ph + 2.937$

1) Am: Daily mean air temp.; Pr: Amount of precipitation; Is: Amount of insolation; Wv: Daily mean wind velocity; Sm: Soil moisture suction; Ph: Plant height.

2) Air temperature difference: [Average air temperature for vertical direction from soil surface to 150 cm height] - [Air temperature at 150 cm height].

3) Soil temperature difference: [Average soil temperature for vertical direction from soil surface to 30 cm depth] - [Soil temperature at 10 cm depth].

となった。GDDとPTUのみはさらに降雨が共通要因となった。温度積算の方法の違いによって、気温差と地温差に影響を及ぼす要因の異なることが明らかになった。

2.5 温度間差と気象要因

前述(2.4)のように、各温度の評価法による温度について鉛直平均温度とポイント温度間では影響する要因が異なった。そこで、両温度差を決定する要因について判別分析を行い、判別関数を求めた(Table 2)。目的変数には各温度評価法から求めた鉛直平均温度とポイント温度間の差を、説明変数には重回帰分析の場合(2.4)と同じ気象要因を用いた。

Table 2によると、気温差の場合、有効積算温度法と三角法では日平均気温のみが説明変数として選択された。これは両者が日平均温度を用いる計算法であることが大きい。

正負の2分類の正誤率については、正值の場合は有効積算温度法が三角法より約6%高いが、負値の場合は逆に三角法が有効積算温度法より約7%高くなった。

GDDでは日射量に影響し、基本的にGDDと同じ算定法のPTUでも日射量が選択された。正誤率はGDDとPTUともに正值と負値は同じであった。

次に地温について有効積算温度法では平均風速のみが判別に選択され、三角法では平均風速に加えてさらに日平均気温が選択された。GDDとPTUでは、三角法で選択された要因に加えて草高が選択された。草高が新たに選択されたのは、植被繁茂による温度上昇の抑制効果が特に大きかったためと考えられた。

正值の正誤率は、各温度評価法ともに80~85%でほぼ同じであった。負値の場合、特に有効積算温度法は他の温度評価法の約1/2と小さくなり、他の評価法間は僅差であった。

上記から、気温差は有効積算温度法と三角法の差では日平均気温によって、地温差では平均風速と日平均気温

によって正負が決定された。GDDとPTUの気温では日射量が、地温差では日平均気温、平均風速、草高の3要因によって正負が決定されたとみられる。

3. 結 論

畑地において気温と地温の鉛直平均温度の測定を行い、従来の1点測定との比較を行った。0cm~150cm間の鉛直平均気温と150cm高のポイント気温との差については、測定高度の違いや植被の有無によって、高さ平均気温が高くなる場合(正值)とポイント気温が高くなる場合(負値)とがあった。これから気温測定では植被と測定高度による影響を考慮に入れた測定を行う必要のあることが明らかになった。また地温について深さ平均地温(0-30cm)とポイント地温(10cm)の差は、昼間ではポイント地温が深さ平均地温より高く推移したが、夜間では逆に推移した。

次に温度差と気象要因の関係では、気温の場合は日射量、日平均気温、平均風速による影響を大きく受けたが、植被の状態や測定高度によって影響度が異なった。地温の場合は、日射量の他に降水量や土壤水分による影響が認められた。

これらの結果から、気象条件は温度の鉛直分布に大きな影響を及ぼした。1点の測定を代表値とする従来の捉え方には問題があるので、作物の生育環境として鉛直方向の広範囲の測定が望ましいことになった。

さらに、鉛直平均温度とポイント温度を用いて、作物生育に関する各種の温度評価を行い、両者間の差について比較検討した。気温と地温ともに、いずれの評価法でも全生育期間において両者の積算温度には差がみられ、さらに温度評価法による各温度の差に影響を及ぼす要因は異なった。これらのことから作物の生育予測においては、温度測定法と評価法による相違を明らかにすることが検討すべき課題と考えられた。

摘 要

本実験は、畑地における気温と地温の鉛直平均温度の測定を行い、従来の1点測定との比較を行った。実験区として圃場は無植生と植生の2区、ハウスでは無植生の1区を設けた。0 cm~150cm間の鉛直平均気温と150cm高のポイント気温との差については、測定高度の違いや植被の有無によって、高さ平均気温が高くなる場合とポイント気温が高くなる場合とがあった。これから気温測定では植被と測定高度による影響を考慮に入れた測定を

行う必要のあることが明らかになった。地温について深さ平均地温(0-30cm)とポイント地温(10cm)の差は、昼間ではポイント地温が深さ平均地温より高く推移したが、夜間では逆の関係で推移した。温度差と気象要因の関係では、気温の場合は日射量、日平均気温、平均風速による影響を大きく受けたが、植被の状態や測定高度によってその影響度が異なった。地温の場合は、日射量の他に降水量や土壌水分による影響が認められた。気象条件は気温と地温の鉛直分布に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

引 用 文 献

- (1) 日本気象協会：地上気象観測法. pp.46-47 (1971) .
- (2) 新編農業気象学用語解説集編集委員会編：新編農業気象学用語解説集. p.11. 日本農業気象学会, 東京 (1997).
- (3) Geiger, R. : The climate near the ground, pp.153 - 166. Harvard University Press, Cambridge (1965).
- (4) 米谷俊彦, 瀬尾琢郎, 佐橋謙：ソルガム群落内外における平均気温の高度分布と気温変動の測定. 農学研究, 61 (1), 19-27 (1986).
- (5) 藤本圭一, 鈴木晴雄：植生が深さ平均地温に及ぼす影響. 香川大学農学部学術報告, 48 (2), 119 - 127 (1996).
- (6) 吉田朋史, 釋一郎, 濱田千裕, 谷俊男：水稻の生育予測診断技術(第4報)有効積算気温に基づく不耕起乾田直播水稻の出芽期予測. 愛知農業総合試験場研究報告, 33, 41-48 (2001).
- (7) 神田英司, 鳥越洋一, 小林隆：有効積算気温を用いた簡易モデルの穂の発育ステージ予測への適用. 日本作物学会紀事, 71 (3), 394-402 (2002).
- (8) McMaster, G.S. and Wilhelm, W.W : Is Soil Temperature Better than Air Temperature for Predicting Winter Wheat Phenology?. *Agron.J.*, 90. 602-607 (1998).
- (9) 坂上泰輔, 是永龍二：有効積算温度の簡易な新算出法“三角法”について. 日本応用動物昆虫学会誌, 25, 52-54 (1981).
- (10) McMaster, G.S. and Smika, D.E. : Estimation and evaluation of wheat phenology in the Central Great Plains. *Agric.For.Meteorol.*, 43, 1-18 (1988).
- (11) Suzuki, H. : Direct measurement of average temperature at different soil depths. *Technical Bulletin of Faculty of Agriculture, Kagawa University*, 41, 153-157 (1989).
- (12) 細野達夫, 廣部明泰, 青木正敏：気温測定における放射除け・通風筒の種類及び形状と測定誤差. 農業気象, 44 (3), 215-218 (1988).
- (13) 多田久, 穴水孝道, 熊谷泰治, 井畑勝博, 木村晶子：ダイズ品種「オクシロメ」の生育各時期における温度反応と適作地域. 青森農業試験場研究報告, 31, 73-94 (1990).

(2009年10月31日受理)