

露場の気温、地温の垂直分布

倉敷における月別5カ年平均

高須謙一・木村和義・則武起夫

接地層における気温地温の垂直分布については数多くの研究報告がなされて来た。しかしその大部分は種々の環境における特定の日、時に限られたものであり、同一の地点で数年間を通じて温度の垂直分布の観測を行なった例はあまり見られない。もちろん气象台、測候所をはじめ学校、試験場等での長年にわたる気温の観測記録はあるが、それは高さ150cmの百葉箱内のものである。

農作物がその生活の根拠をおいているところは高さ150cm以下の地面に近接した気層および地層である。この接地層の気象が農作物にとって重要な意義をもつことは今更言うまでもなく、これが微気候学、微気象学の誕生をもたらした訳である。以来個々の農作物圃場の微気候の特徴について研究されて来たが、作物の種類、生育時期によって複雑な性状を示し、これを簡単にとりあげることはむづかしい。筆者らも種々の作物の圃場における微気候の解明を試みて来たのであるが、標準露場と圃場の微気象を比較検討することにより、その圃場の植被内での微気象の特徴をつかむことが出来るとの考えから露場測定値との偏差を求めることを行なって来た(1, 2, 3)。圃場は作物の種類又は生育時期により、草高も植生の密度も異り、微気象もそれぞれ差異がある。しかし露場は一般気象観測の目的でつくられたもので平坦な地面と短く刈った芝生であり、作物の種類、生育段階、その他障害物による接地層の状態変化を考慮せずに、微気象の季節変化の特徴を求めることが出来る。

このような観点から、個々の農作物圃場と露場との差異を検討する前に、露場における接地気象を検討する。5カ年(1965~1969年)の露場での気象観測の結果から接地層の気温、地温の垂直分布を天候別、月別に図示して報告する。

本稿を草するに当り、平岡直子、小川妙子、木元栄子の諸姉は5カ年間の長い間、面倒な観測に従事され、資料の整理に尽力せられた。ここに深謝の意を表する次第である。

観 測 方 法

観測露場は倉敷市住吉町岡山大学農業生物研究所構内水田圃場(東西120m南北200m; 冬期麦畑となる)のほぼ中央にあり、標準気象観測露場として保守管理されているものである。

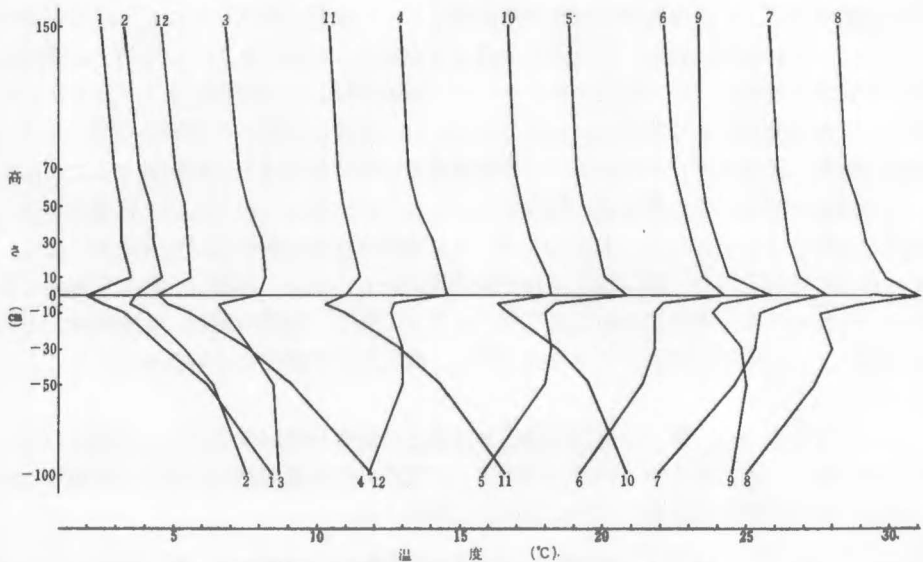
芝生上高さ150, 70, 50, 30, 10cmにそれぞれ西内式最高最低温度計を設置し、それぞれ小板屋根で日の直射を防ぎ、更に球部にアルミ箔(厚さ0.1mm)の簡易輻射除を附してある。地表面、深さ5, 10, 30, 50, 100cmの地温は曲管地中温度計および鉄管地中温

度計で測定を行なった。地表面の温度測定に関しては、種々の議論があるが、一応球部が土壤にかくれる程度に埋めたものである。なお温度計はほぼ1年毎に再検定し、補正を行なった。抵抗温度計、サーミスター、或は熱電対等の多くのすぐれた又便利な測定装置がある現状において、敢えて簡易最高最低温度計を使用したのは、1) 農耕地の現場において、農地微気象の観測を行なうには、多くの測器を同時に使用する必要があり、又一般農家がたやすく使用出来る簡単で安価なものが要求される。2) 百葉箱内の温度(現在なお多くは寒暖計の示度による)との比較より、その偏差を明らかにする点を考慮したこと等による。

観 測 結 果

1. 9時定時観測時における気温地温の垂直分布

露場接地層の気温および地温について、1965~1969年の5カ年間、9時の定時観測の結果より各月毎の平均値を求めたものが附表-Iであり、その垂直分布を示したものが第1図である。



第1図 月別気温地温の垂直分布(図中の数字は月を示す)

気温について、各月とも接地層の特性として周知の如く、150 cm より10 cm と地面に近づくにつれて気温は上昇しており、各月とも例外なく10 cm 以上は受熱型を示している。しかし地表面は、熱の受授面であるため、季節により高さ10 cm の気温より、或は高く(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10月)、又低くなっている(1, 2, 3, 11, 12月)。地中浅層の温度は年変化に9時と言う一日における特別な時刻の影響が加わって複雑な様相を呈している。

5カ年平均気温、地温とも、当然ながら、1月が最低、8月が最高である。高さ150 cm、地表面、地下100 cm の年最高温、年最低温、年較差は次の如くである。

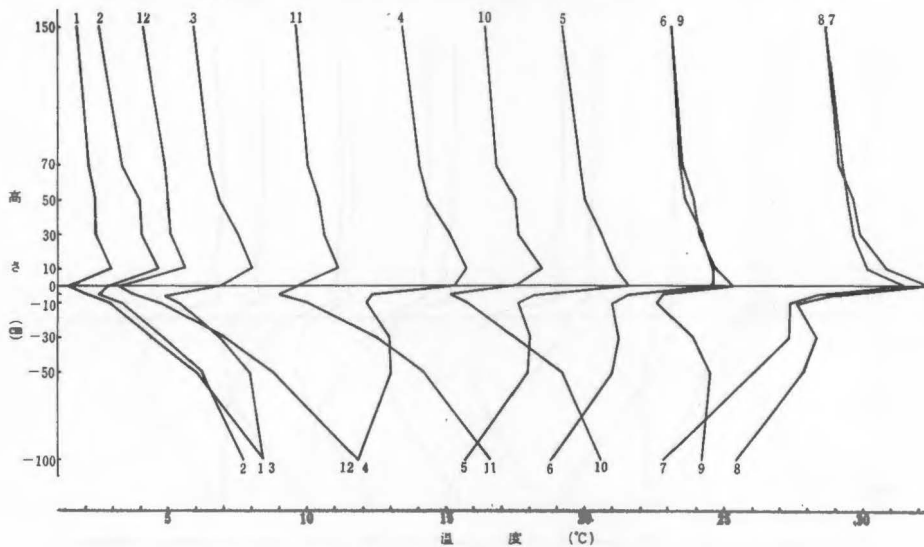
高さ	1月	8月	年較差
150 cm	2.5°C	28.2°C	25.7°C
地表面	2.0°C	31.1°C	29.1°C
地表下 100 cm	8.5°C	25.0°C	16.5°C

8月における地表面および深さ100 cmの温度は高さ150 cmの気温よりそれぞれ2.5°C高く、3.5°C低い。最も低温の1月においては反対に地表が0.5°C低く、深さ100 cmの地温は6.5°C高い。もっとも地下温度の偏差の少ない月は3、4月および9月で、これらの月は地表、地下5 cmの間にかかなりの傾度が現われているが、全体として見るとほぼ垂直に立った等温型に近い様相を呈する。

2. 天候別気温地温垂直分布

i) 天候別気温地温の垂直分布

5カ年間の9時の定時観測の結果から快晴（雲量0～2）、曇天（雲量8～10）、雨天の日をぬき出し、天候別の気温、地温の垂直分布を示したのが第2、3、4図である。ぬき出された各天候の月別日数およびその観測値の平均は附表-IIに示されている。

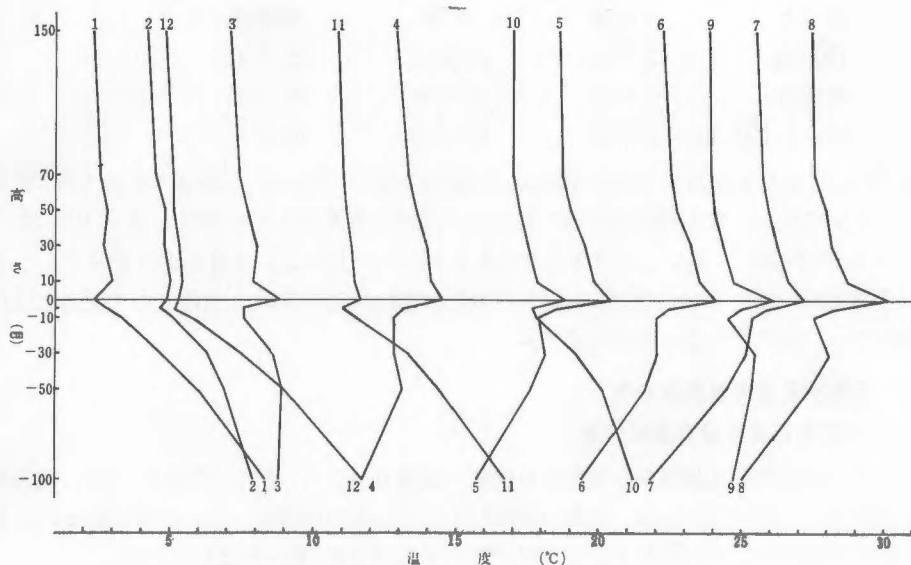


第2図 快晴（雲量0～2）の日の気温地温の垂直分布（図中の数字は月を示す）

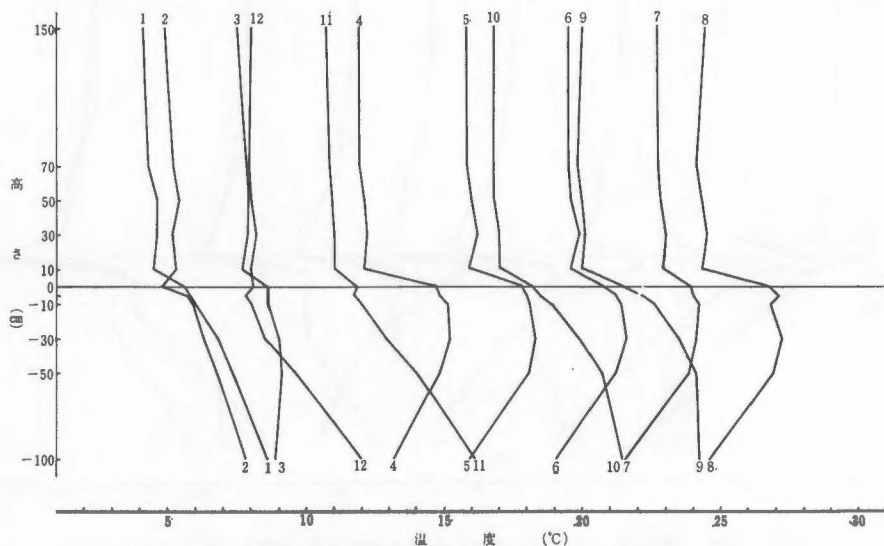
晴の日は曇天、雨天に比し、夏は高温、冬は低温を示し、年較差も大きい。1月と8月の平均温度は次の如くである。

高さ	1月	8月	年較差
150 cm	1.7°C	28.6°C	26.9°C
地表面	1.3°C	30.8°C	29.5°C
地表下 100 cm	8.4°C	25.4°C	17.0°C

曇天では温度分布曲線は、晴天に比し、傾斜が立って来る。又年較差も小さくなる。



第3図 曇（雲量8～10）の日の気温地温の垂直分布（図中の数字は月を示す）



第4図 雨の日の気温地温の垂直分布（図中の数字は月を示す）

高さ	1月	8月	年較差
150 cm	2.3°C	27.4°C	25.1°C
地表面	2.4°C	30.1°C	27.7°C
地表下100 cm	8.3°C	25.0°C	16.7°C

雨天では温度分布曲線は直立して年較差は更に小さくなる。

高さ	1月	8月	年較差
150 cm	4.1°C	24.4°C	20.3°C

地表面	5.6°C	26.8°C	21.2°C
地表下 100 cm	8.6°C	24.6°C	16.0°C

これらのことより、天気の良い程気温、地表温の変動がはげしく、気温の振巾の大きいことがわかる。雨の日は年較差も少なく、高さによる差異もほとんど見られない。地表下 100 cm の地温になると晴、曇、雨の天候とは関係なくほとんど差異がない。又雨の日は各月とも浅層の地温が気温より高温であった。晴天、曇天において、冬季は地温より気温が低く、地中からの放熱型を示すのに対し、夏季は地温が気温より低く、受熱型を示す。雨天の際は各季節を通じて地表面から深さ 50 cm までの地層の温度より接地 気温が低い型を示す。

ii) 月別気温、地温の天候による差異

各月の晴天、曇天、雨天の日の気温、地温の垂直分布を比較して示したのが第 5 図である。

1, 2, 3 月には気温、地温とも晴の日の気温、地温が最も低温で、曇、雨の順に温度が高くなる。4, 5, 6 月は逆に気温は雨の日の気温が低く、天気の良い程温度が高い。地温は 4 月雨の日の気温よりかなり高いが、5, 6 月は各天候ともほとんど同じである。7, 8 月は気温、地温とも晴、曇、雨の差異がいちじるしく、9 月は曇の日の気温、地温とも高く、雨の日は最も低い。10, 11 月になると気温は天候によってそれ程差異がなく、地温が晴の日は曇天、雨天よりも低いのが目立つ。12 月は 1, 2 月とほぼ同じような傾向を示す。

iii) 標準高 150 cm の気温からの偏差

露場 150 cm の気温はその地域の代表値と見なされている。この露場 150 cm と各高さ、深さの気温、地温が天候別にどのような偏差を示すかを比較したのが第 6, 7, 8 図である。

晴天：気温は地表面に近づく程偏差が大きくなるが、その偏差曲線はほとんど併行しており、各高さにおける特徴らしいものはない。これに対して地表面は 2 つの頂をもつ山型の変化を示している。即ち 2 月より徐々に差を増し、5 月で第 1 の山、8 月に第 2 の山（最高値）となり、以後降下する。地温は気温の偏差曲線と様相を異にし、4 月から 8 月まで高さ 150 cm より低温で、9 月から 3 月までの寒冷期は高温である。10, 30, 50, 100 cm と深さを増すごとに偏差は大となり、特に深さ 100 cm においては偏差曲線の最低が 7 月、最高が 12 月に現われる。前者において、高さ 150 cm の値より 5.5°C 低く、後者は 7.7°C 高い。

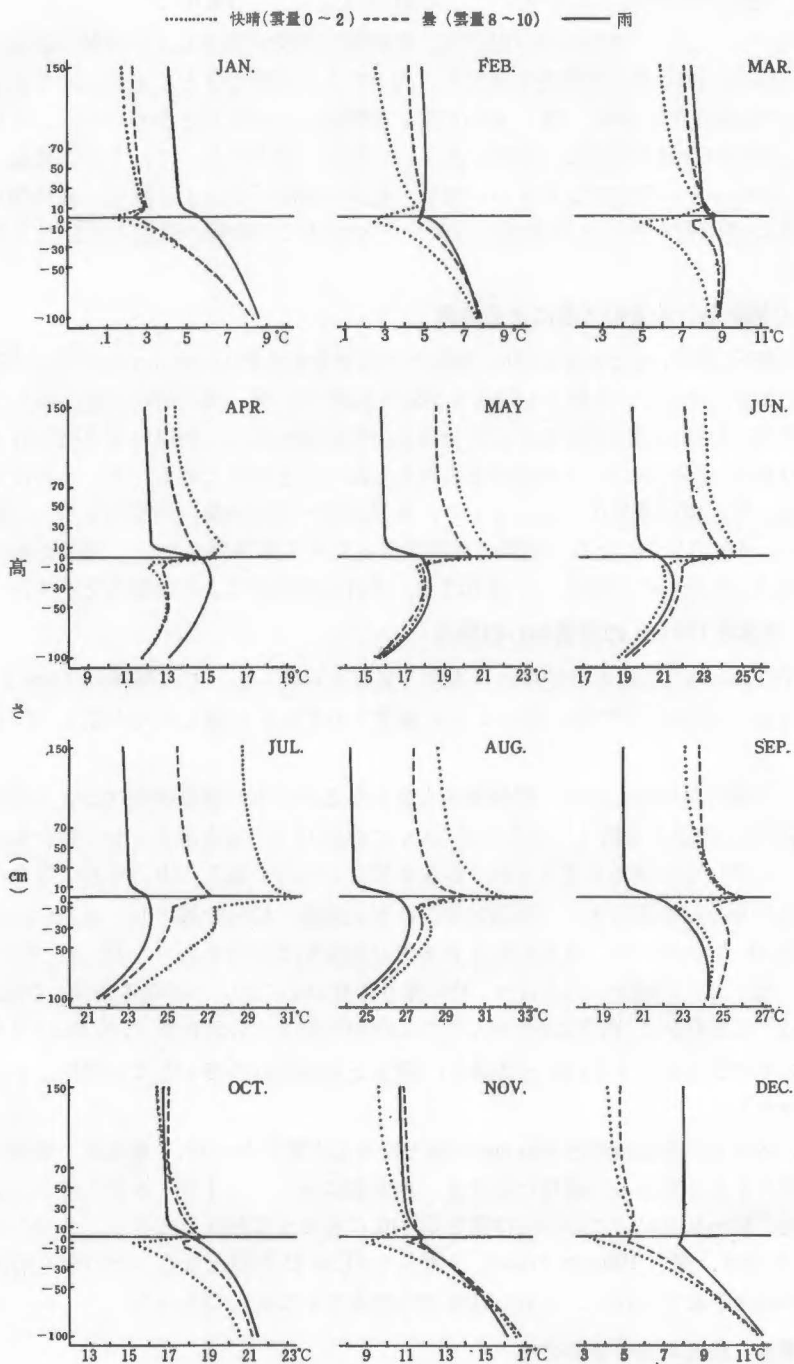
曇天：全体的に高さ 150 cm と各高さ、深さとの偏差は小さくなるが傾向としては晴天と類似である。

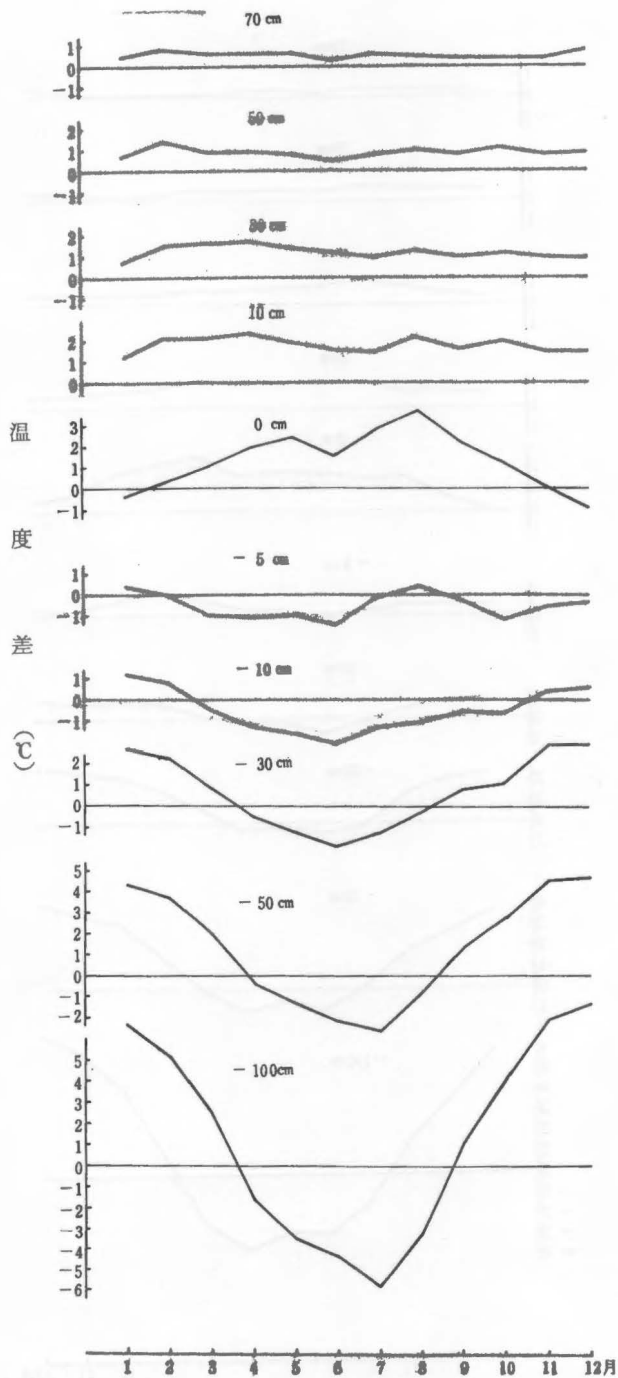
雨天：各高さの気温は高さ 150 cm の値とほとんど変わらないが、地表温、地温は晴天や曇天の場合と全く異なった様相を呈する。地表面において、4 月と 8 月に頂点を有する山型の偏差が現われるが、この傾向は深さ 50 cm に至るまで存在しており、各月とも 2~3°C 高温を示す。深さ 100 cm のみ 6, 7 月 0.5~1.0°C 低温となる。その形も晴天の場合の様な単純な形を示さない。これらは雨天の特徴として良いであろう。

3. 最高、最低気温の垂直分布

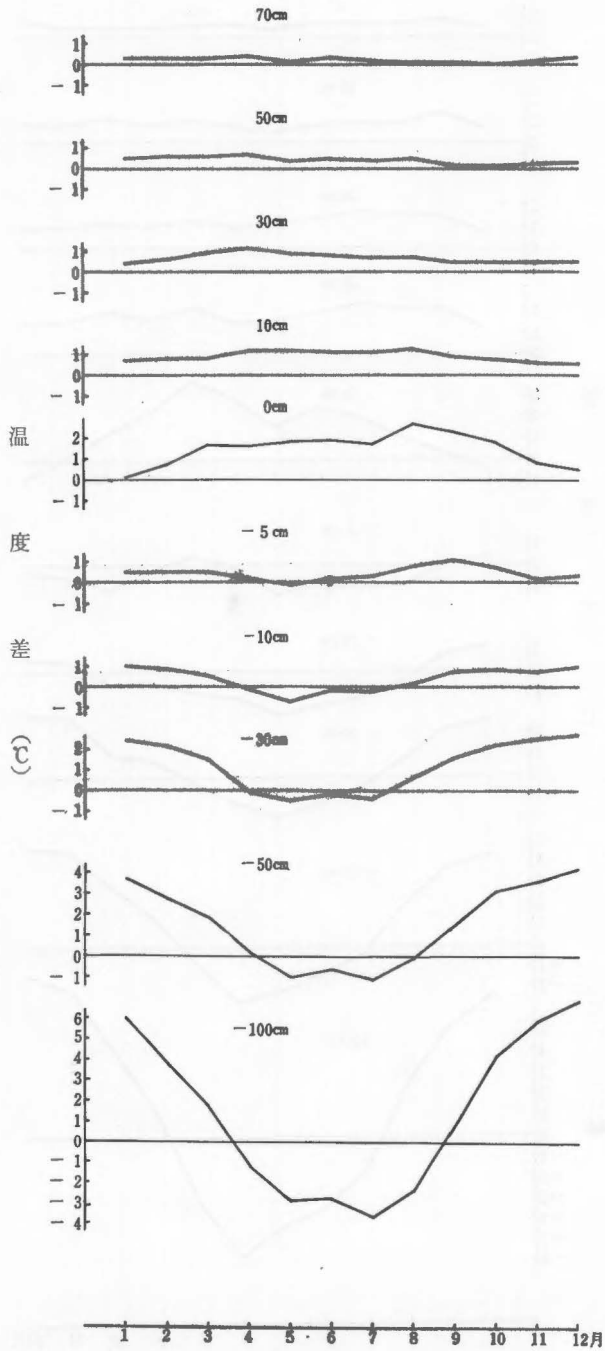
i) 日最高、最低気温と 9 時の定時観測

9 時における定時観測の結果について取り上げたので、参考のため、日最高、日最低値

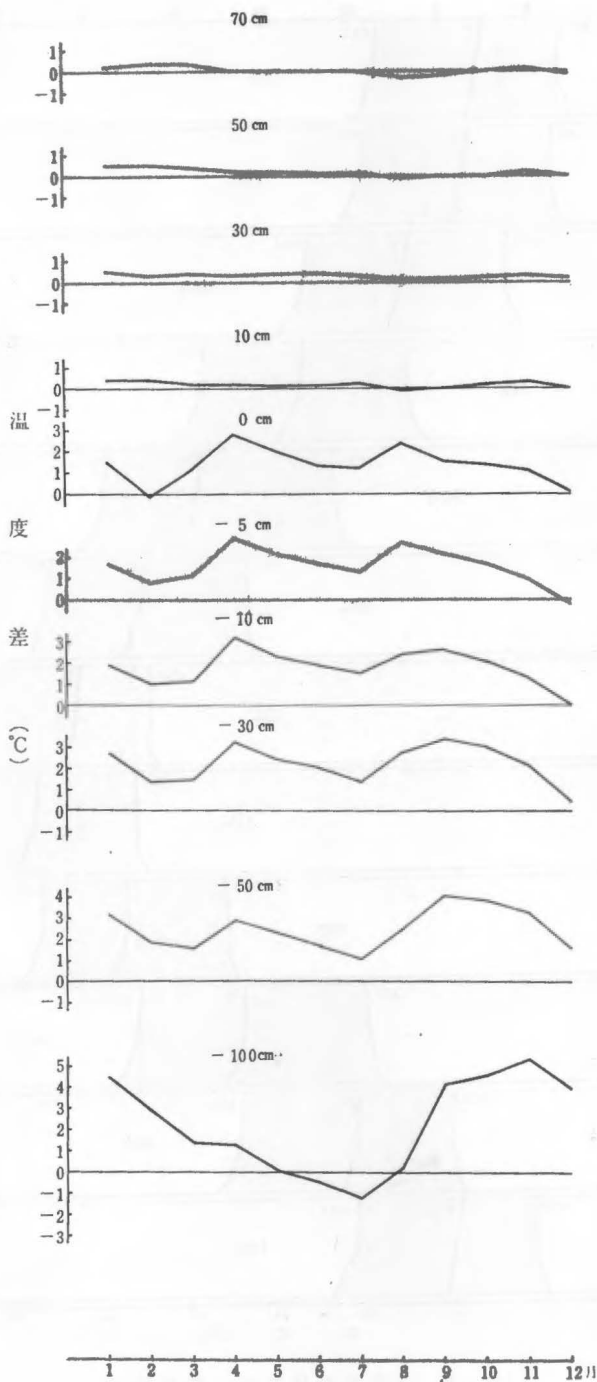




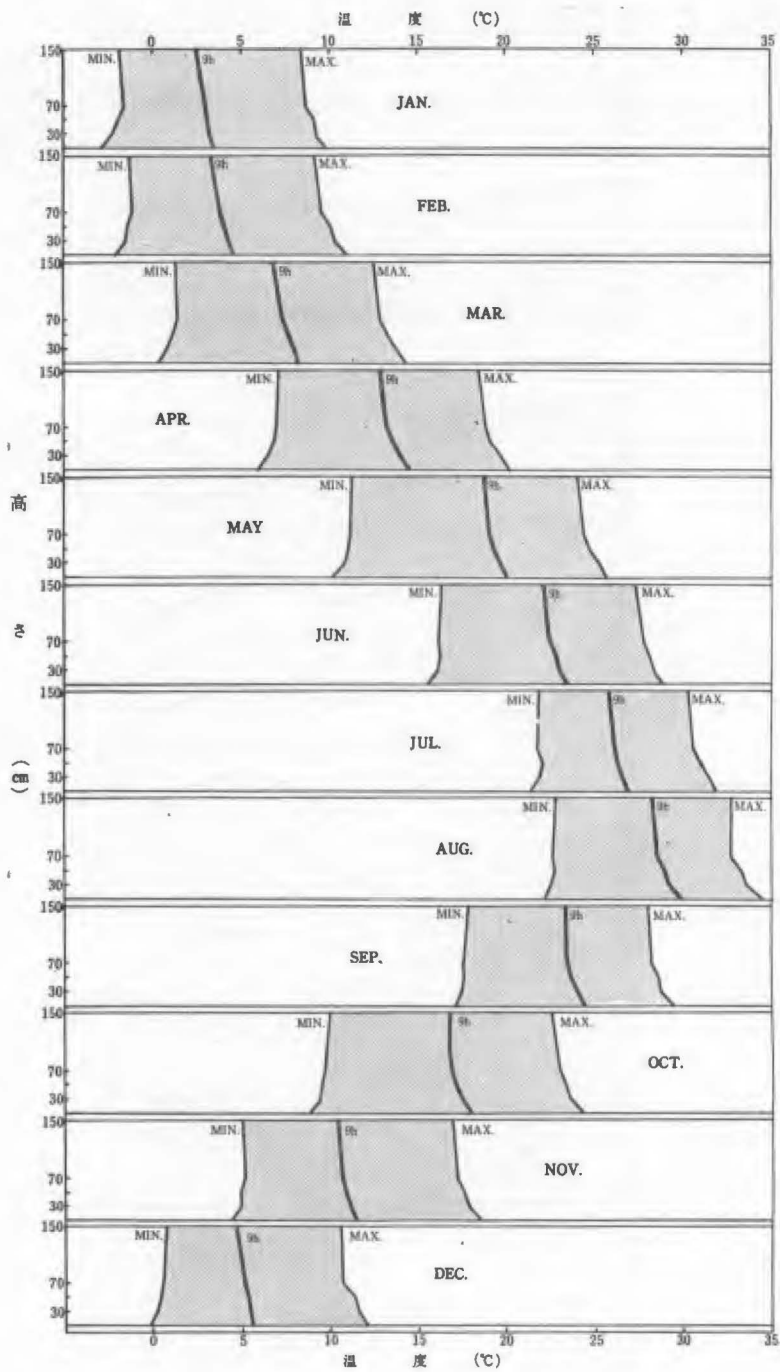
第6図 高さ150 cmの気温よりの偏差(快晴)



第7図 高さ150cmの気温よりの偏差(曇天)



第8図 高さ150 cmの気温よりの偏差(雨天)

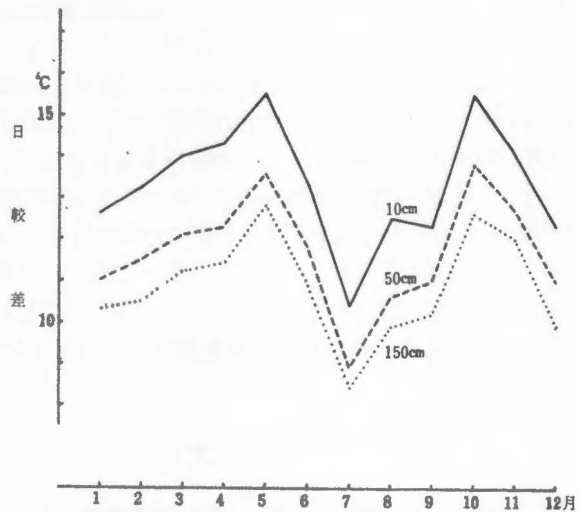


第9図 日最高最低気温の垂直分布
(高さ150cmから10cmまでの気温について示す)

の垂直分布を示したのが第9図である。比較のため9時の観測結果を併せて示した。この図から日最高と日最低の月々の平均値の年間の推移がわかる。最低値は1, 2月で、ほとんど差がないが、5, 6, 7, 8月と小さく上昇しており、年間の気候の動きが察知される。9時における観測値は最高値と最低値のほぼ中間の値を示している。詳細に見れば1, 2, 12月(寒冷期)は明らかに中央値よりも最低線の方に近く、5, 8, 9月(暖期)はやや最高値に片寄って現われる。又垂直分布の型も年間を通じていずれも受熱型である。これは9時と言う時刻の性格上当然のことである。一応地面にごく近接した高さはともかくとして、一日一回の観測が9時に定められていることに対して、多少とも日平均値に近いと言う利点はやはり認められて良い様である。

ii) 最高、最低気温の日較差

第10図は日最高、最低気温の日較差の月別平均を示したものである。特に150, 50, 10cmの高さについて検討する。この図に明らかかなように日較差の大きい時期と小さい時期がそれぞれ年2回ずつ現われる。前者は5月と10月で、後者は7月と12月である。日較差の大きさは高さ150cmにおいて、較差の大なる時 12.8°C 、小なる時 8.4°C である。150, 50, 10cmの各高さの日較差を比較すると、地表面に近づく程大きくなり、150cmと10cmとの偏差は $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ である。



第10図 最高気温と最低気温の日較差の月別平均

これらの結果について特筆すべき事はないが、接地層の気温地温の垂直分布についてのこの種の報告はあまりなされていない。上述の観測結果から季節、天候による接地層の温度の垂直分布の違いを見出すことが出来、一般気象観測で標準とされている150cmの気温からのいろいろの高さ、深さの温度を推測出来る。本報告で9時における5カ年平均の温度の垂直分布について検討したが、これも時刻が違うと当然異なってくるもので、9時と言う観測時刻に問題がないとは言えない。しかし接地層における一応の微気象の特徴を表わしているものと考え、一例として提示した。

この様な接地層の温度分布についての観測結果から推察すると、植物体内における温度分布は非常に複雑になると考えられる。植物体内は複雑な温度勾配が成立しており、それは外界条件の日変化並びに年変化に伴って時々刻々変化することは当然のことである。すべての生理現象における温度の重要性から考えて、このような複雑な温度分布が植物の生活に重要な意義をもつことは容易に想像出来る。植物の生理現象が器官内、器官間の温度勾配によって如何に影響されるかについての研究の今後の進展が要望される。今回の5カ年間の接地層温度の垂直分布の観測が将来この方面の研究の一助となれば幸いである。

摘 要

作物圃場における微気象を明らかにする前提として、まず標準となるべき露場における気温、地温の垂直分布について5カ年間(1965~1969年)観測した結果を主として図示し、検討した。

1) 9時定時観測時における気温、地温の垂直分布を図示したが、9時と言う特定の時刻であるため、気温はすべて受熱型である。地表および地温はこれに日変化の時間的ずれが加わるため複雑な様相を呈した。

2) 5カ年間の観測から典型的な晴天(雲量0~2)、曇天(雲量8~10)、雨天の日をぬき出し、天候別の垂直分布を示した(第2, 3, 4図)。晴曇の日は冬季、地温よりも気温が低く、地中からの放熱型であり、夏季は地温が気温より低く、受熱型であった。雨天においては地温より各季節とも低温で、放熱型であった。

3) 標準高150 cmの気温から各高さ、深さの温度偏差が求められた(第6, 7, 8図)。晴天や曇天の日の気温には大きな特徴はないが、雨天の日には標準気温と比較して各高さの気温はほとんど偏差がなく、地温は各月とも2~3°C高温であった。

4) 日最高、日最低気温の月平均について、その垂直分布と9時の定時観測値とを併せて図示し検討した(第9図)。一般に一日一回の気象観測が9時に定められている理由として日平均値に近いと言われているが、これらの結果からも、これを再認識した。第10図より日較差の大きい5, 10月、小さい7, 12月と年2回ずつの較差の大小の時期が現われた。又最高、最低気温の日較差について高さ150 cmと10 cmとの偏差は3°C前後であった。

文 献

1. 高須謙一・木村和義. 1970. 圃場の微細気象〔1〕, 甘藷畑の気温, 湿度, 地温, 炭酸ガス濃度の日変化. 農学研究 53: 167-179.
2. 高須謙一・木村和義・則武越夫. 1970. マツタケ発生林内微気象観測例. 農学研究 53: 181-188.
3. 高須謙一・木村和義. 1971. 圃場の微細気象〔2〕, 大豆畑の気温, 湿度, 炭酸ガス濃度の日変化. 農学研究 53: 205-213.

附表一 I

午前9時における気温および地温の月別5カ年平均値

(岡山大学農業生物研究所 露場, 1965~1969年)

月 高さ(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
150	2.5	3.3	6.8	12.9	18.8	22.1	25.8	28.2	23.3	16.7	10.4	4.6	14.6
70	3.0	3.8	7.3	13.2	19.1	22.5	26.1	28.5	23.4	16.9	10.7	5.1	15.4
50	3.1	4.2	7.6	13.5	19.3	22.8	26.3	28.9	23.6	17.2	10.9	5.4	15.2
30	3.2	4.2	8.0	14.0	19.7	23.0	26.5	29.1	24.0	17.5	11.2	5.4	15.5
10	3.5	4.6	8.2	14.4	20.1	23.5	26.9	29.9	24.4	18.1	11.5	5.6	15.9
0	2.0	3.7	8.0	14.6	20.8	24.2	27.8	31.1	25.8	18.2	11.0	4.5	16.0
- 5	2.6	3.5	6.6	12.8	18.4	22.1	26.3	28.9	24.1	16.3	10.3	4.8	14.7
- 10	3.3	4.1	6.8	12.6	18.0	21.8	25.5	27.6	23.8	16.7	11.0	5.6	14.7
- 30	4.7	5.4	7.7	13.0	18.2	21.8	25.3	28.0	24.8	18.4	12.9	7.6	15.7
- 50	6.2	6.4	8.5	13.0	13.0	21.4	24.6	27.4	25.0	19.6	14.3	9.1	16.1
-100	8.5	7.7	8.7	11.8	15.8	19.2	21.9	25.0	24.5	20.8	16.6	11.9	16.0

附表一Ⅱ

天候別気温地温の垂直分布

(午前9時の気温地温の月別5カ年平均値：岡
山大学農業生物研究所露場，1965～1969年)

1. 快 晴 (雲量0～2)

月 日数 高さ (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
	49	49	55	41	57	30	13	46	43	71	62	55	
150	1.7	2.5	5.9	13.4	19.2	23.1	28.6	28.6	23.1	16.4	9.6	4.1	14.7
70	2.1	3.3	6.5	14.0	19.8	23.4	29.2	29.1	23.5	16.8	10.0	4.9	15.2
50	2.4	3.9	6.8	14.3	20.0	23.6	29.4	29.6	23.9	17.5	10.4	5.0	15.6
30	2.4	4.0	7.5	15.1	20.6	24.2	29.6	29.9	24.1	17.6	10.6	5.1	15.9
10	2.9	4.6	8.0	15.7	21.1	24.6	30.1	30.8	24.7	18.4	11.1	5.6	16.5
0	1.3	2.8	6.9	15.3	21.6	24.6	31.4	32.3	25.3	17.6	9.7	3.2	16.0
- 5	2.1	2.5	4.9	12.3	18.2	21.6	28.4	29.0	22.8	15.2	9.0	3.7	14.1
- 10	2.9	3.3	5.4	12.1	17.6	21.0	27.3	27.6	22.6	15.8	10.0	4.7	14.2
- 30	4.4	4.8	6.8	12.9	18.0	21.2	27.3	28.3	23.9	17.5	12.5	7.0	15.4
- 50	6.0	6.2	7.9	13.0	17.9	21.0	26.0	27.8	24.5	19.2	14.2	8.8	16.0
-100	8.4	7.7	8.4	11.8	15.7	18.8	22.8	25.4	24.2	20.6	16.6	11.8	16.0

2. 曇 (雲量8～10)

月 日数 高さ (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
	52	53	65	65	53	70	78	58	60	52	38	53	
150	2.3	4.2	7.1	12.9	18.6	22.2	25.5	27.4	23.8	17.0	10.8	4.8	14.7
70	2.6	4.5	7.4	13.3	18.7	22.5	25.7	27.5	23.9	17.0	11.0	5.1	14.9
50	2.8	4.8	7.7	13.6	19.0	22.7	25.9	27.9	24.0	17.2	11.1	5.1	15.2
30	2.7	4.8	8.0	14.0	19.5	23.2	26.2	28.1	24.3	17.5	11.3	5.3	15.4
10	3.0	5.0	7.9	14.1	19.8	23.5	26.6	28.7	24.7	17.8	11.4	5.4	15.7
0	2.4	4.9	8.8	14.5	20.4	24.1	27.2	30.1	26.1	18.8	11.6	5.3	16.2
- 5	2.8	4.7	7.6	13.1	18.5	22.4	25.8	28.2	24.9	17.7	11.0	5.2	15.2
- 10	3.3	5.1	7.6	12.8	17.9	22.0	25.3	27.5	24.5	17.8	11.5	5.8	15.1
- 30	4.7	6.3	8.6	12.8	18.1	22.0	25.1	28.0	25.4	19.2	13.3	7.5	15.9
- 50	6.0	6.9	8.9	13.1	17.6	21.6	24.4	27.3	25.3	20.1	14.4	9.0	16.2
-100	8.3	7.9	8.8	11.7	15.7	19.4	21.8	25.0	24.7	21.2	16.7	11.7	16.1

3. 雨

月 日数 高さ (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
	9	5	10	20	20	17	23	2	19	10	15	10	
150	4.1	4.9	7.5	11.9	15.8	19.5	22.7	24.4	20.0	16.8	10.7	8.0	13.9
70	4.3	5.2	7.8	11.9	15.8	19.5	22.7	24.1	19.8	16.8	10.8	7.9	13.9
50	4.6	5.4	7.9	12.1	16.0	19.7	22.8	24.3	20.0	16.8	10.9	8.0	14.0
30	4.6	5.2	7.9	12.2	16.2	19.9	23.0	24.5	20.1	17.0	11.0	8.2	14.2
10	4.5	5.3	7.7	12.1	15.9	19.7	22.9	24.3	20.0	17.0	11.0	8.0	14.0
0	5.6	4.8	8.6	14.7	17.8	20.8	23.9	26.8	21.5	18.2	11.8	8.1	15.2
- 5	5.8	5.7	8.6	14.8	18.0	21.2	24.0	27.1	22.2	18.5	11.7	7.8	15.5
- 10	6.0	5.9	8.6	15.1	18.1	21.4	24.2	26.8	22.6	18.9	12.0	8.0	15.6
- 30	6.8	6.3	9.0	15.2	18.3	21.6	24.1	27.2	23.5	19.9	12.9	8.5	16.1
- 50	7.3	6.8	9.1	14.8	18.1	21.2	23.8	26.9	24.1	20.7	14.0	9.6	16.4
-100	8.6	7.8	8.9	13.2	15.9	19.1	21.5	24.6	24.2	21.4	16.1	12.0	16.1