

作物栽培環境情報収集及びデータ解析

(研究課題番号 01560254)

平成2年度文部省科学研究費補助金(一般研究(C))

研究成果報告書

平成3年3月

研究代表者 山村善洋

(宮崎大学農学部 助手)

作物栽培環境情報収集及びデータ解析

はしがき

本研究は、平成元年度から平成2年度までの2ヶ年にわたって、文部省科学研究費（一般研究（C））課題番号01560254の補助を受けて行われたものである。

1. 研究組織

研究代表者 山村 善洋 宮崎大学農学部 助手
(研究者番号 471090117028)

2. 研究費

文部省科学研究費補助金 平成元年度 1,700千円
平成2年度 400千円

研究遂行に当たり、文部省一般設備費により気象観測情報収集システムが平成元年度に設置でき、非常に有益な効果をもたらしたこと。さらに、昭和63年度から平成2年度まで文部省科学研究費（試験研究(B)(1)代表矢野友久教授）の分担研究として補助を受けていることを付記する。

3. 研究発表（平成3年2月現在）

□頭発表：

Y.Yamamura, Occurrence of Zero Flux Plane in the Unsaturated Zones.
The 1990 Western Pacific Geophysics Meeting, Kanazawa, Japan, Transactions,
American Geophysical Union, Vol.71 No.28 July 10, 1990, p.870

作物栽培環境情報収集及びデータ解析

研究目的

作物栽培環境と作物生育生理との関係を明らかにし、作物栽培環境条件の改良あるいは気象災害防止策を考える上で、その栽培環境の諸条件要因を知ることは必要不可欠である。そのためにはまず第一に、作物が栽培されているその栽培環境を経時的（数秒ないし数分毎）に播種から収穫までの長期間にわたって、直接測定することが必要不可欠である。しかも、その測定およびデータ収集は、作物が栽培されている栽培環境を環境測定用計器類のセットあるいは測定者の立ち入りによって変えることなく行なわれる必要がある。

ところで、圃場観測におけるデータ収集に当たっては、実際に作物が栽培されている圃場には、電源が無い、条件によっては高温多湿になり精密機器をセットしておくことができない等の測定・データ収集の基本的な制約条件がある。そこで、本研究は現地作物栽培圃場にセットされたセンサーから得られるデータを収集・転送し、最新の計測機器、パソコン等を組み合わせた環境情報収集システムを作り上げ、それに基づいて作物栽培環境と作物生育生理との関係を解析することを目的とする。

研究方法

研究目的の中に述べたように、圃場観測におけるデータ収集に当たっては、実際に作物が栽培されている圃場には、電源が無い場合とか、もし電源があっても条件によっては高温多湿になり精密機器をセットしておくことができない等の測定・データ収集には基本的な制約条件がある。この制約条件を考慮し、作物の栽培環境を経時的に、しかも環境測定用計器類のセットによって栽培環境を変えずに、直接測定するために、計測機器、パソコン等をデータの無線転送システムと組み合わせた環境情報収集システムを作り上げる。

研究目的達成のために、以下のことを計画した。

- ①調査地点として大学構内および作物が栽培されている現地に実験圃場を選定し、実際に作物（大豆）を栽培する。
- ②電源の無いことを想定し、実用性の確認された太陽電池の活用法についての検討を行う。
- ③栽培環境の基本である諸気象要因について、各種センサーを用いて測定を行い、そのデータをデータロガーに収録する情報収集システムを作り上げる。
- ④③でデータロガーに収録されたデータを、ワイヤレスモデムを介してラップトップ・パソコンに転送、データ収集するシステムの可能性（限界）を検討する。
- ⑤本環境情報収集システム方法の汎用性を、圃場条件、測定項目等の条件を拡大するための方策を含めた観点から検討する。

当初計画との変更点

本研究の実施段階において研究推進に大きく影響することが2件生じた。

その一つは電波法の改正により、従来の機種ワイヤレス・モデムの使用が規制されたことである。従来の機種ワイヤレス・モデムの販売は平成元年6月から中止された。それ以前に購入されたものについては5年間の使用は許可されるとの情報得られたので、別途の予算により本研究推進のために、ワイヤレス・モデムをその期限直前に購入した。

他の一つは文部省の平成元年度の一般設備費で気象観測装置の購入が可能となったことである。従って、本研究テーマの中心となる作物栽培環境情報収集システムの検討をこの観測装置のデータ収集システム構築の考え方の中に拡大して充分に行うことができた。

以上のように、当初計画した時点における研究内容を一部変更せざるを得ない状況になったが、研究目的は十分に達せられた。

調査地点として大学構内の実験圃場を選定し、実際に作物（大豆）を栽培することを試みた。平成元年7月末に台風11号の襲来により壊滅的な被害を受けた。そのために平成元年度には夏期間のデータ収集はできなかった。平成2年度は大豆が栽培されていた現地圃場に調査地点を変更し、種々の栽培環境の情報収集を行うと共に、平成元年度末に設置された気象観測装置を利用して、情報収集システム方法の検討を行った。実験圃場は大学から車で1時間半の離れた地点であったために、調査期間が短期間に限られるという点はあったものの本研究の当初計画との大きな変更点はなかった。

従って、本報告書は気象観測装置の情報収集システム方法、および現地圃場における栽培環境情報収集および解析の2部構成とした。

第 1 部 気象観測装置の情報収集システム方法

1. 気象観測装置概要

この気象観測装置は、宮崎大学構内の実験圃場における一般気象観測を目的とするシステムで構成されている。本システムは、主な気象要素である風向、風速、気温、湿度（露点）、雨量、日照、日射、蒸発、気圧、地温（7点）等を観測し、メインコントローラにて日報、月報をプリントアウトすると同時にフロッピーディスクに電氣的に書き込むシステムである。

図 1 に気象情報収集管理システムのデータ収録部の概要を示す。図 2 は気象情報収集管理システムのブロック構成図を示す。

メインコントローラでは 1 分毎のデータが処理されているが、この 1 分毎のデータは必要に応じてラップトップ・コンピュータ等によりフロッピーに収録することが可能である。このシステムで得られたデータを、後述するワイヤレス・モデムにより転送する検討を行った。

データレコーダにより書き込まれたフロッピーディスクをパーソナルコンピュータにて、年表をプリントアウトしたり月、年のグラフをプロットする。

また、ハイブリッドレコーダにより各データは 1 分毎に打点印字され、アナログ記録（同じ用紙にデジタル印字）を行う。

2. 気象観測装置の特徴

1) 観測項目は一般気象を網羅し、地温を加えたものであ。

2) 各発信器は気象庁等で多くの実績があり、高い信頼がある。

風向計……シンクロ電機方式である。

風速計……光電パルス式である。

温度計……4 線式で、精度・安定性において良好である。精度：±0.2℃以下

露点計……露点温度と気温の相関から相対湿度を求める方法を採用し、信頼性が高い。

雨量計……転倒ます方式である。

日照計……太陽電池方式を採用し、精度は±3%以内である。

日射計……熱電対式全天日射方式である。

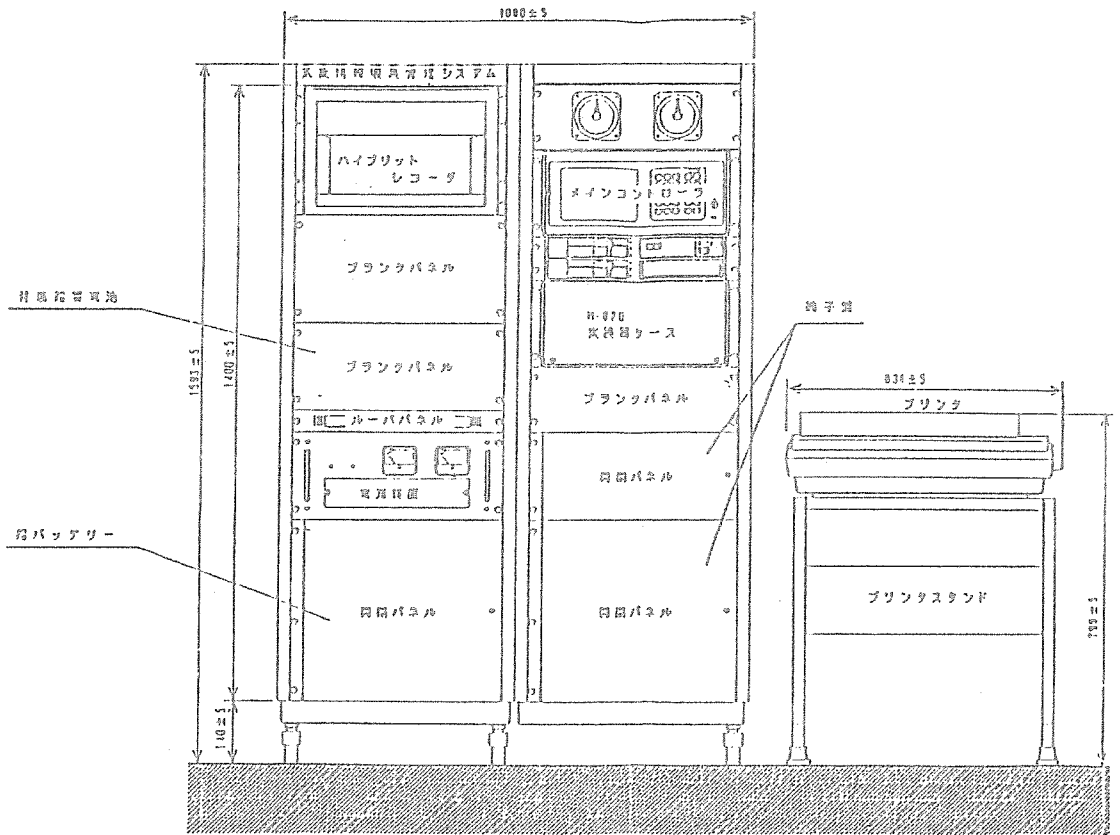
蒸発計……ポテンシオメータ方式である。（フロートで水位を検出）。

気圧計……測定範囲：940～1040，出力：DC4～20mA, DC1～5V, DC0～10mV

電 源：AC100V, 取付方法：壁面取付型

3) 変換器は各要素の感部から出力された信号を取り込み、気象関連演算処理を行い、デジタル信号およびアナログ信号を出力する。

風向風速…0.4 秒間隔で測定しているので瞬間値が敏速に測れる。また瞬間値の 6 秒間区間平均し、さらに 10 分間移動平均値を演算しているため精度の高い値がえ



頁 05000

図 1 気象情報収集管理システムのデータ収録部概要

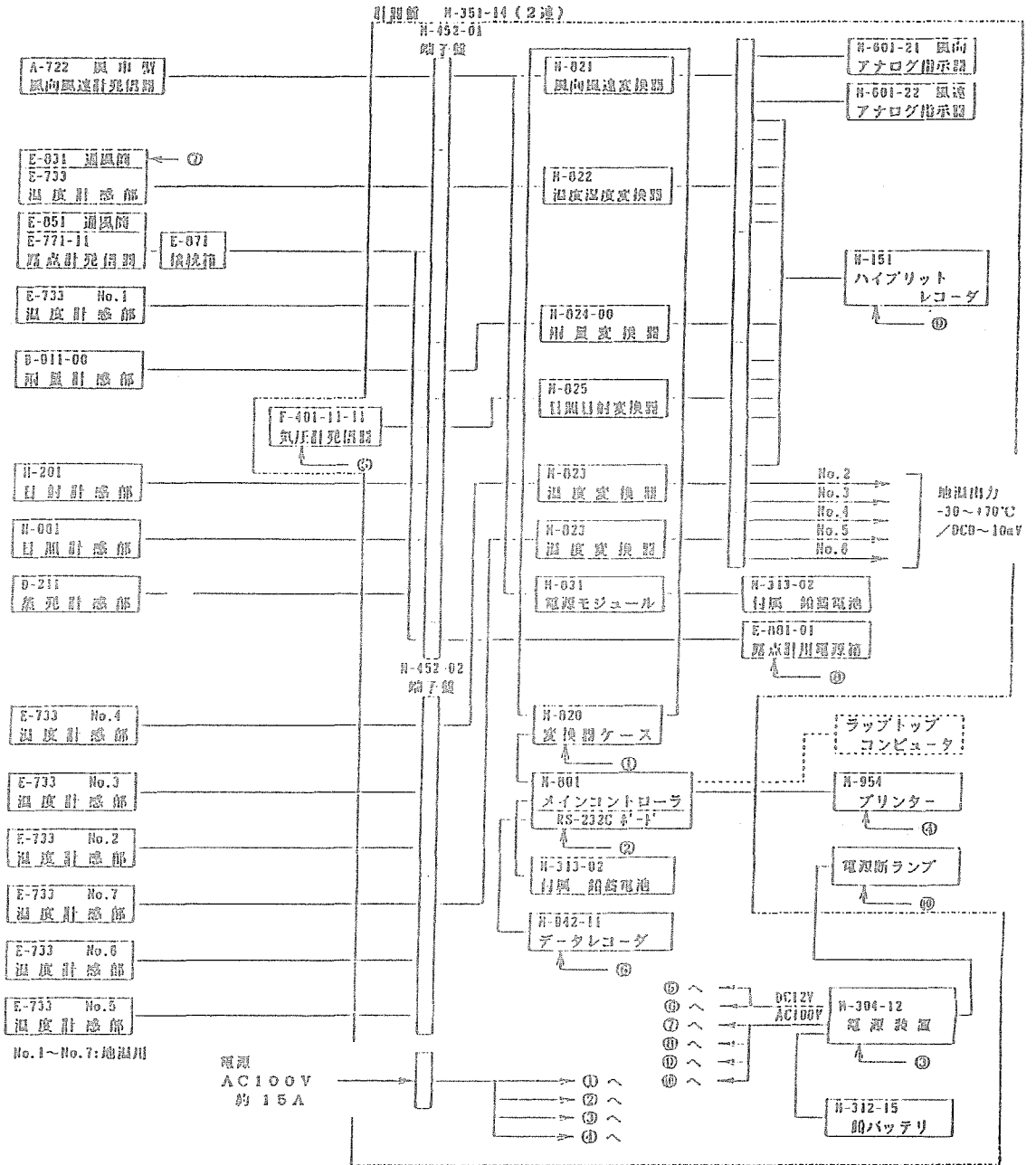


図2 気象情報収集管理システムのブロック構成図

られる。そのうえ風速に関しては、瞬間値または5分間毎の最大値をアナログ出力する。

気温………5秒間隔で測定し、瞬間値を出力するか、または5分間毎の移動平均値を出力することが出来る。そしてアナログ出力範囲を選択設定できる。

湿度………気温と露点温度の相関から内部の演算処理によって相対湿度や実効湿度を出力する。また気温同様に5秒間隔で測定し、瞬間値をアナログ出力するかまたは5分毎の移動平均の露点温度を出力する。

雨量………感部の転倒ますが0.1, 0.5, 1.0 mmのいずれでも測定できる。連続記録とリセットによって記録する方式に区別され、リセットする方法は選択できる。

日照………アナログ出力は毎日24時にリセットに選択設定する。

日射………アナログ出力のリセットは、日照同様毎日24時にリセットする。そのほか積算日射に選択設定する。

蒸発………現在の水位値をアナログ出力する。

気圧………現在の気圧値をアナログ出力する。出力範囲は940~1040mb(100等分)に選択。

地温………気温同様に5秒間隔で測定し瞬間値を出力するか、または5分間毎の移動平均を出力する。また出力範囲を選択設定できる。

4) ハイブリットレコーダを置くことにより、アナログ記録およびデジタル印字にてデータ記録できる。各チャンネルごとに上下限值が設定出来、地温のように各データが一致しても、記録紙上では区別して記録される。

5) メインコントローラにより、デジタル記録は60分毎プリンタに印字し、日界時(24時)には、日平均値や日極値および日積算値の日報を作成する。また半旬・旬・月処理も行い、月末には月報を作成する。表1、表2に日報、月報の一例を示す。

またプリンタの出力インターバル(60分)と同期してデータロガーのフロッピーディスクにも生データを書き込む。データロガーには2ドライブ用意され、月が変わると今書いているドライブが他のドライブに変わる。書き込まれたフロッピーディスクを、パソコン(PC-9801)にて年表やグラフ作成できる。

《容量》 フロッピーディスクの容量 MD/2HD 1Mbyt

60分で書き込んだ場合、約40日 但し、1ヶ月で切り替わる。

《解析内容》

プリンタ：年表

プロッタ：月グラフ……折れ線グラフ 気温、風速、地温 etc

棒グラフ 雨量、日照、日射 etc

円グラフ 風向のみ

6) 停電バックアップ機能があり、アナログ記録は4時間以上、又メインコントローラおよび発信器、変換器は6時間以上の停電補償の能力がある。

777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900																																		

7) 発信器からの入力端子部には、すべて避雷素子が組み込まれ機器を導雷から防ぐ役目をもつ端子盤を備えている。

3. ワイヤレスモデムによるデータ転送

データ転送の方法としてワイヤレスモデムによる方法を検討した。

使用したワイヤレスモデムは図3に仕様、ブロック図、接続図が示されている。

具体的には、先述の気象情報収集管理システムのメインコントローラから RS-232C ケーブルを介して1分毎のデータをラップトップ・コンピュータに取り込むことができる。このようにして得られたデータをワイヤレスモデムを介してコンピュータA機（送信側）からコンピュータB機（受信側）に転送することを試みた。ワイヤレスモデムによるデータ転送に使用したコンピュータA機（送信側）、B機（受信側）各々のプログラムを図4に示す。

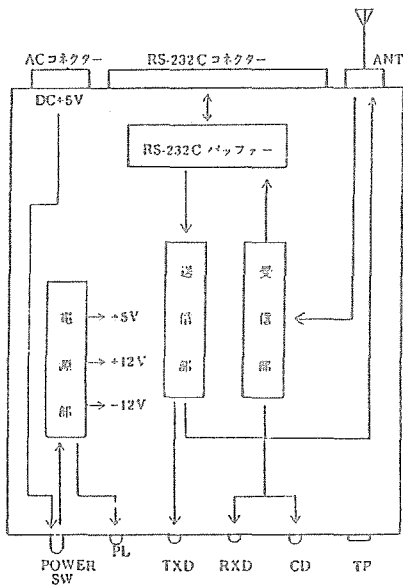
結論として、ワイヤレスモデムによるデータ転送方法は可能な方法であるが、現実に電源のない圃場等での使用は余り実用性はないと考えられる。転送するためには、先ず転送するデータをデータロガーやコンピュータで収集し、さらにこれを転送するためにコンピュータが必要でこの電源を確保する必要があるからである。従って、ワイヤレスモデムによるデータ転送方法は、例えば、A・B両地点ともに電源は利用できるが、A地点とB地点をオンラインで接続できない場合の様な特殊な条件下においてその威力を発揮できると考えられる。

仕様

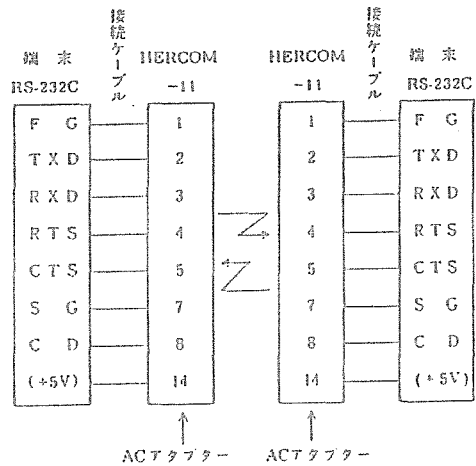
規格

項目	規格	備考
通信距離	約100 m	見通しであること
通信方式	全二重非同期	
インターフェイス	RS-232C	単徳
通信速度	75~9600bps	
信号線	入力2本 出力3本	電源、グラウンドを 除く
電源電圧	DC + 5 V	ACアダプター又は、14pinより供給
使用周波数	VHF~UHF帯 2波	
変調方式	周波数変調	
使用環境	温度 0 ~ 40°C 湿度 80%以下	結露なきこと
適合コネクタ	J A E D B-25 P 又は相当品	
寸法		別記参照

ブロック図



HERCOM-11 接続図



*専用ACアダプターを使用の場合、+5Vは内部でACアダプター側からのみ供給されるように切りかわります。

図3 ワイヤレスモデムの仕様、ブロック図、接続図

図4 ワイヤレスモデムによるデータ転送プログラム

コンピュータA機 (送信側)

```

10 'RS-232-C from M-801          テーテンソウ by HERCOM11
20 'か'リテイ  偶数
30 'テ'タヒ'ツ'ト長  7ヒ'ツ'ト
40 'ストップ'ヒ'ツ'ト長  1ヒ'ツ'ト
50 'SA'ラメ-タ  YES
60 'SA'ラメ-タ  NO
100 *MAIN
110 CLS 3
120 PRINT :PRINT
130 PRINT TAB(5);"***** MENU *****"
140 PRINT :PRINT
150 PRINT TAB(20);" ----- FLOPPY DATA IN OR OUT -----"
160 PRINT :PRINT
170 PRINT TAB(5);"PICK No INPUT ?"
180 PRINT :PRINT
190 PRINT TAB(10);"DATA IN          ----- [1]":PRINT
200 PRINT TAB(10);"DATA IN or SAVE ----- [2]":PRINT
210 PRINT TAB(10);"DATA READ          ----- [3]":PRINT
215 PRINT TAB(10);"DATA READ & テンソウ by HERCOM [4]":PRINT
220 PRINT TAB(10);"END          ----- [E]":PRINT
230 PRINT TAB(5);INPUT "PICK No  PUSH KEY ";P$
240 IF P$="1" THEN 1000
250 IF P$="2" THEN 2000
260 IF P$="3" THEN 3000
265 IF P$="4" THEN 6000
270 IF P$="E" THEN END
280 GOTO 110

6000 HEAD & テンソウ by HERCOM
6010 E=0:CLS 3:KEY 1,"MENU"
6020 PRINT :PRINT
6030 PRINT TAB(10);"!! KEY ----- MENU"
6040 GOSUB 900
6050 PRINT :PRINT
6060 PRINT TAB(5);INPUT "START OK!  Y or N";B$
6070 IF B$="Y" THEN 6090
6080 GOTO 6060
6090 CLS 3
6100 OPEN "2:DATA.TXT"AS #1
6105 OPEN "COM:EB3NN" AS #2
6110 IF EOF(1) THEN 6200
6120 LINE INPUT #1,A$
6125 PRINT #2,A$
6130 LINE INPUT #2,A$
6135 PRINT #1,A$
6140 GOTO 6110
6200 CLOSE #1
6205 CLOSE #2
6300 END

```

コンピュータB機 (受信側)

```

90 REM "HERFDD"  WIRELESS MODEM HERCOM 11
100 '*****
110 'HERCOM-11    PROGRAM ----- [D]
120 '      1985.04.07  HERHIU/H.S
130 '*****
140 '
150 '----- OPEN FILE / EVEN PARITY  8 BITS 2 STOP' -----
160 OPEN "COM:EB3NN" AS #2
170 '-----
180 LINE INPUT #2, A$: PRINT A$:          'DATA READ & PRINT
190 IF A$= "END" THEN 230                'END CHECK
200 PRINT #2,A$                          'DATA SEND
210 GOTO 180
220 '-----
230 CLOSE
240 END

```

第2部 栽培環境情報収集および解析

— 水分ストレスと作物体内水分ポテンシャルおよび葉温 —

1. 研究目的

水は、作物生活の不可欠な物質であり、作物は、土壤中の水分を吸収し、また蒸散することによって生命を維持している。作物と土壤水分の作用関係は、ロジスティック理論により成長促進作用と成長抑制作用を兼ね備えている。従って、圃場に於ける作物の生産が順調に行われるためには、作物の体内水分が適当な状態に維持されることが重要である。土壤水分は、作物栽培、生育にとってきわめて重要な要素であるばかりでなく、土壤の物理的な諸特性に対しても大きく関与している。そのために土壤水分は直接、間接に作物の生育生理に影響を及ぼす。従って、土壤水分を最適にし、作物体内水分を好適にするためには、圃場内の水の収入、支出の均衡を保つ必要がある。

栽培環境の操作を行うための一つとして灌漑時期を判定するには、作物による土壤水分の吸水、蒸散の状況の正確な把握が非常に重要である。吸水、蒸散に伴う土壤水分の動態を考慮する場合には、土壤-植物-大気よりなる連続体（SPAC）内での水分ポテンシャル状態と水分フラックスを取り扱うことが重要である。このことは、土壤水分の動態が、土壤の物理性、植物の生育、生理と密接な関係があり、大気条件下での植物-土壤システムの応答の結果として定まってくることを示している。

本研究は、SPACモデルにおいて水分ストレスすなわち作物体の水分状態に直接、間接に影響する要素について、栽培環境条件として土壤水分、作物体内水分ポテンシャル、作物体温（葉温）、蒸発散量等の観点から種々検討した。

2. 研究内容

1) 蒸発散能の推定方法

いくつかの蒸発散能の推定方法のうち、その推定に必要な現地圃場における気象要素の測定の可能性およびその方法によって得られる推定精度の両観点から、Penman法による蒸発散能の推定方法を用いた。

Penman法によって蒸発散能の推定値（ET_{pen}）を得るためには平均気温、平均湿度、平均風速、純放射量のデータがあれば良い。もし純放射量データが無い場合には日射量データからの推定値を代わりに使用する。

表3に、第1部で述べた気象観測情報収集システムで得られた6、7月の日データに基づいて算定した蒸発散能の推定値（ET_{pen}）を示す。表4に7月13、19両日の定時データに基づいて算定した蒸発散能の推定値（ET_{pen}）を示す。

表3 6. 7月の日データに基づいて算定した蒸発散能の推定値 (ET_{pen})
(宮崎大学気象観測情報収集システムデータに基づく)

6月日	日射量 ly/day	気温 °c	湿度 %	風速 m/s	蒸発散能 mm/day
1	142.7	21.5	90.3	1.80	1.7
2	411.1	21.9	88.4	2.00	3.8
3	125.0	18.2	91.8	1.70	1.4
4	71.0	18.7	99.8	1.30	0.7
5	437.1	20.9	88.4	1.80	4.0
6	661.1	21.6	84.7	2.40	6.0
7	498.5	21.9	85.6	2.80	4.8
8	132.7	22.3	95.2	4.10	1.6
9	427.3	22.9	78.1	3.40	4.8
10	483.8	20.9	65.6	2.20	5.2
11	685.4	21.1	70.4	2.50	6.6
12	414.4	20.8	87.4	2.30	3.9
13	436.4	22.1	88.1	1.90	4.1
14	221.9	22.0	96.2	1.60	2.1
15	466.7	26.8	80.6	2.80	6.4
16	368.2	25.1	81.7	2.70	4.3
17	689.8	22.5	70.4	2.60	6.9
18	652.7	22.2	72.8	2.60	6.5
19	549.0	24.6	83.4	2.50	5.6
20	603.9	27.5	76.2	2.00	6.6
21	647.8	27.3	73.5	2.60	7.2
22	559.0	28.1	75.1	2.00	6.3
23	547.8	26.2	81.6	2.30	5.8
24	641.0	27.2	78.9	2.30	6.9
25	533.1	26.0	81.0	2.20	5.7
26	311.2	27.5	76.6	2.30	4.1
27	829.6	29.3	67.5	3.60	8.0
28	351.6	26.3	88.8	1.70	3.8
29	64.0	23.1	98.8	1.50	0.8
30	381.7	23.0	92.5	2.00	3.6

7月日	日射量 ly/day	気温 °c	湿度 %	風速 m/s	蒸発散能 mm/day
1	114.0	22.3	99.2	1.30	1.1
2	153.9	25.6	87.1	1.70	2.1
3	423.3	28.8	72.7	2.60	5.5
4	672.3	27.3	77.2	3.00	7.4
5	669.5	23.7	83.7	2.30	6.4
6	481.0	25.3	87.4	2.00	4.9
7	570.0	26.9	83.5	2.60	6.1
8	609.5	27.6	81.0	2.60	6.6
9	616.7	27.0	85.9	2.30	6.4
10	517.2	27.1	89.0	2.30	5.4
11	527.0	27.1	89.6	1.90	5.4
12	339.0	27.9	76.2	3.10	4.6
13	595.7	28.2	75.0	3.00	7.0
14	421.6	28.1	77.4	1.80	5.0
15	534.0	29.7	71.3	2.30	6.6
16	520.0	28.6	79.0	1.90	5.9
17	493.8	29.0	76.3	2.00	5.8
18	577.7	28.7	74.8	2.20	6.6
19	647.1	29.5	72.1	2.40	7.6
20	608.5	28.2	80.4	2.40	6.7
21	606.9	27.8	87.8	2.40	6.3
22	620.9	27.4	86.9	2.40	6.4
23	561.8	27.4	86.2	2.50	6.0
24	532.8	27.7	83.9	2.20	5.8
25	567.9	28.7	80.6	2.30	6.4
26	489.9	28.1	78.2	2.40	5.7
27	546.9	27.7	82.9	2.50	6.0
28	507.1	27.6	87.9	2.30	5.4
29	521.4	27.7	88.6	2.20	5.5
30	538.7	27.9	79.5	2.30	6.0
31	582.8	27.6	82.4	2.40	6.3

表4 定時データに基づいて算定した蒸発散能の推定値 (E T pen)
 (宮崎大学気象観測情報収集システム, 7月13, 19日データ)
 7月13日の宮大圃場内E T p e n算出結果

7月13日の1時間当たりのデータ							
時	日射量 ly/h	気温 °c	湿度 %	風速 m/s	蒸発散量(1) mm/h	蒸発散量(2) mm/h	蒸発散量 mm/h
0 -- 1	0.00	25.8	83.0	3.9	0.008	0.048	0.057
1 -- 2	0.00	25.9	80.1	3.1	0.009	0.049	0.057
2 -- 3	0.00	26.1	78.7	4.2	0.009	0.064	0.073
3 -- 4	0.00	25.5	82.0	2.3	0.009	0.037	0.045
4 -- 5	0.00	25.2	81.5	2.6	0.009	0.040	0.049
5 -- 6	1.17	25.8	78.1	2.5	0.019	0.047	0.066
6 -- 7	11.45	26.9	80.2	1.8	0.108	0.037	0.144
7 -- 8	21.96	28.1	73.9	2.8	0.201	0.063	0.264
8 -- 9	42.28	29.1	67.2	3.8	0.380	0.096	0.478
9 --10	58.40	30.5	69.6	5.0	0.543	0.113	0.656
10 --11	61.20	31.0	64.8	4.1	0.565	0.115	0.680
11 --12	71.25	31.4	65.3	4.0	0.664	0.112	0.776
12 --13	76.85	32.4	61.7	4.1	0.721	0.128	0.849
13 --14	66.58	33.0	60.7	3.5	0.632	0.120	0.751
14 --15	66.81	33.3	57.6	3.3	0.629	0.125	0.754
15 --16	51.39	33.0	58.6	3.0	0.485	0.114	0.600
16 --17	38.08	32.1	58.4	3.4	0.355	0.122	0.477
17 --18	22.19	28.6	79.5	3.0	0.210	0.052	0.262
18 --19	6.07	26.6	85.7	2.6	0.061	0.032	0.093
19 --20	0.00	25.4	93.1	1.1	0.007	0.010	0.017
20 --21	0.00	25.4	90.3	2.0	0.008	0.018	0.026
21 --22	0.00	24.3	94.7	1.0	0.008	0.007	0.015
22 --23	0.00	25.3	86.0	3.4	0.008	0.036	0.044
23 --24	0.00	25.0	84.0	3.0	0.009	0.038	0.046
0 --24					5.7	1.6	7.3

7月13日の1日のデータ						
日射量 ly/day	気温 °c	湿度 %	風速 m/s	蒸発散量(1) mm/day	蒸発散量(2) mm/day	日蒸発散量 mm/day
595.7	28.2	75.6	3.1	5.5	1.5	7.0

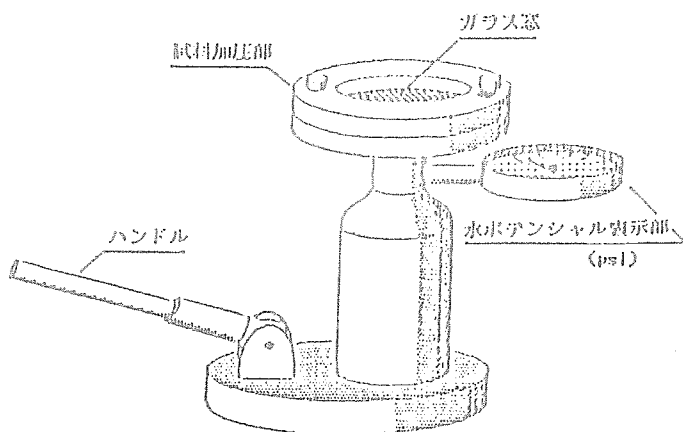
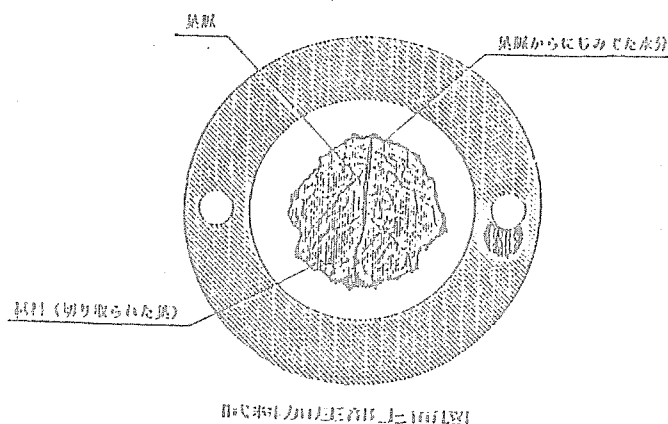
7月19日の宮大圃場内E T p e n算出結果

7月19日の1時間当たりのデータ							
時	日射量 ly/h	気温 °c	湿度 %	風速 m/s	蒸発散量(1) mm/h	蒸発散量(2) mm/h	蒸発散量 mm/h
0 -- 1	0.00	24.6	91.9	1.4	0.008	0.013	0.021
1 -- 2	0.00	24.4	92.5	0.7	0.008	0.009	0.017
2 -- 3	0.00	24.9	87.1	0.4	0.008	0.014	0.022
3 -- 4	0.00	23.6	94.1	1.5	0.008	0.009	0.017
4 -- 5	0.00	23.6	92.4	1.1	0.008	0.011	0.019
5 -- 6	1.17	24.0	93.0	1.1	0.018	0.010	0.028
6 -- 7	14.25	27.1	88.3	0.7	0.135	0.015	0.150
7 -- 8	31.54	29.2	73.6	2.5	0.292	0.061	0.353
8 -- 9	42.05	30.4	70.4	3.3	0.394	0.083	0.476
9 --10	62.37	32.1	63.5	2.8	0.587	0.095	0.682
10 --11	73.35	32.7	58.2	2.6	0.682	0.105	0.788
11 --12	77.56	33.4	57.6	4.0	0.731	0.142	0.873
12 --13	79.42	34.0	56.7	3.9	0.755	0.144	0.899
13 --14	73.58	34.3	57.5	4.6	0.707	0.160	0.867
14 --15	67.28	34.8	54.9	3.9	0.647	0.153	0.799
15 --16	54.86	34.5	57.6	4.2	0.530	0.150	0.681
16 --17	39.48	33.8	59.5	3.3	0.383	0.121	0.503
17 --18	22.89	32.6	61.8	2.5	0.222	0.094	0.316
18 --19	7.48	31.2	63.7	2.5	0.077	0.007	0.164
19 --20	0.00	30.0	66.6	2.4	0.009	0.076	0.086
20 --21	0.00	29.1	69.3	2.3	0.009	0.067	0.076
21 --22	0.00	29.1	69.7	2.4	0.009	0.068	0.077
22 --23	0.00	28.6	68.8	2.5	0.009	0.071	0.080
23 --24	0.00	27.1	76.0	2.6	0.009	0.054	0.063
0 --24					6.2	1.8	8.1

7月19日の1日のデータ						
日射量 ly/day	気温 °c	湿度 %	風速 m/s	蒸発散量(1) mm/day	蒸発散量(2) mm/day	日蒸発散量 mm/day
647.1	29.5	71.9	2.5	6.0	1.6	7.6

2) 水分ストレスと作物体内水分ポテンシャル

灌漑時期の判定法として水分ストレスの状態を判読することが可能になると非常に有益である。本研究ではその1つの方法として作物体内水分ポテンシャルの観点から検討することを試み、J-14 LEAF PRESS (商品名) を用いて水分ポテンシャルを測定した。この LEAF PRESS は図に示されるハンドルを上下することによって試料加压部の圧力を上昇させていき、試料の葉の葉脈から水分が浸出してくる限界の圧力を読み取り、その時の水分ポテンシャルとするものである。従って、乾燥状態下にある葉は水分ポテンシャルが低下しており、大きな圧で葉脈から水分が浸出してくることになることが推定される。作物体内水分ポテンシャルは S P A C モデルにおける大気のパテンシャル状態と密接に関連していることが考えられる。



J-14 Leaf Press 概観

大気中の水分量は、気象学的には通常、湿度あるいは相対湿度の概念が使用されている。しかし土壌水分量あるいは土壌水分ポテンシャルと大気の乾湿の程度との関連で蒸発、蒸発散現象を説明するには必ずしも湿度の概念だけでは十分ではない。そこで土壌水分ポテンシャルを論じる際に使用されるケミカルポテンシャル ($\Delta \mu$) の概念を大気の乾湿の程度を表す概念として拡大し ($\Delta \mu_{atm}$)、Atm.pF を用いる。Atm.pF は Atmospheric pF の略語である。即ち、

$$\Delta \mu_{atm} = -8.314 \times 10^{-7} \times \frac{273+T}{18} \times \log_e \frac{100}{RH}$$

$$\Psi_{atm} = -\Delta \mu_{atm} / g$$

$$\text{Atm.pF} = \log_{10} \Psi_{atm}$$

つまり、Atm.pF とは相対湿度 (RH) と気温 (T) の関数として表される指数であって、土壌水分と大気の乾湿の程度を統一ポテンシャルで論じられるという点で好都合である。この概念は、土壌-植物-大気システム (SPAC) における各部分の水分移動に関する研究に有益であると考えられる。式から明らかなように、Atm.pF は相対湿度、気温とから求められる。

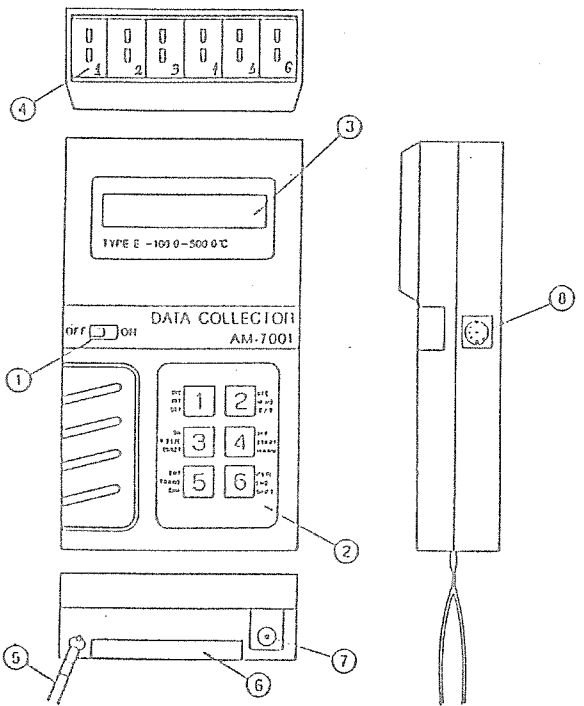
3) 水分ストレスと葉温

灌漑時期の判定法として水分ストレスの状態を判読することが可能になると非常に有益である。

作物は気孔を通して CO_2 を吸収して光合成を行なう、と同時に気孔を通して蒸散を行う。後者の蒸散は水分を蒸気態として大気中に放出すると共に、この蒸散によって葉温の調節を行っている。従って、土壌水分の減少に伴って体内水分が減少し、ストレスがかかり始め蒸散活動を弱めることは葉温の上昇を結果としてもたらすことになる。

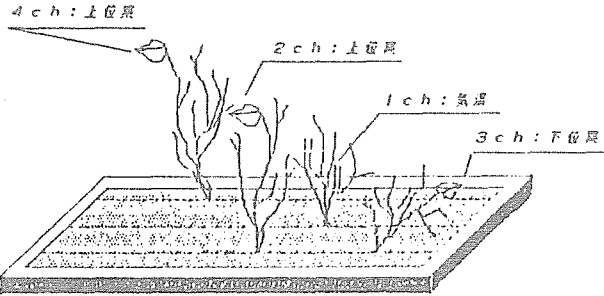
そこで、1つの方法として葉温の観点から検討することを試み、図に示すデータ・コレクタを用いて葉温を測定した。

図5に葉温、気温の測定(位置)方法を、図6に2分毎に記録されたデータをXYプロッターで出力された結果を示す。



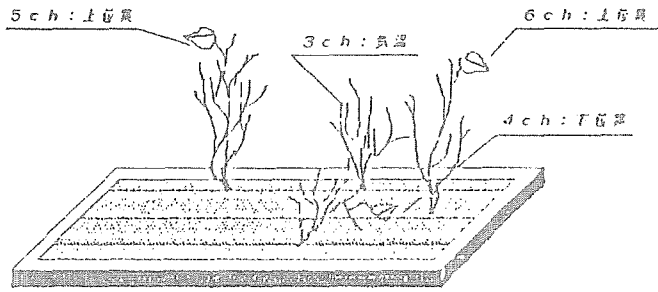
データ・コレクタ 概要図

7月30日 葉温センサー配置図 1区(2mm深水区)



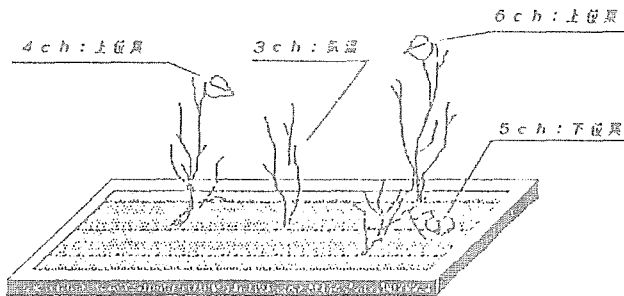
* 図は南(入口)向き。

7月30日 葉温センサー配置図 2区(3mm深水区)



* 図は南(入口)向き。

7月30日 葉温センサー配置図 3区(4mm深水区)



* 図は南(入口)向き。

図5 葉温, 気温の測定(位置)方法

90/07/30 08:07:34 M.NO.01
AM-001 ヨウガン アンタ* 1990.7.30 M-NO.1

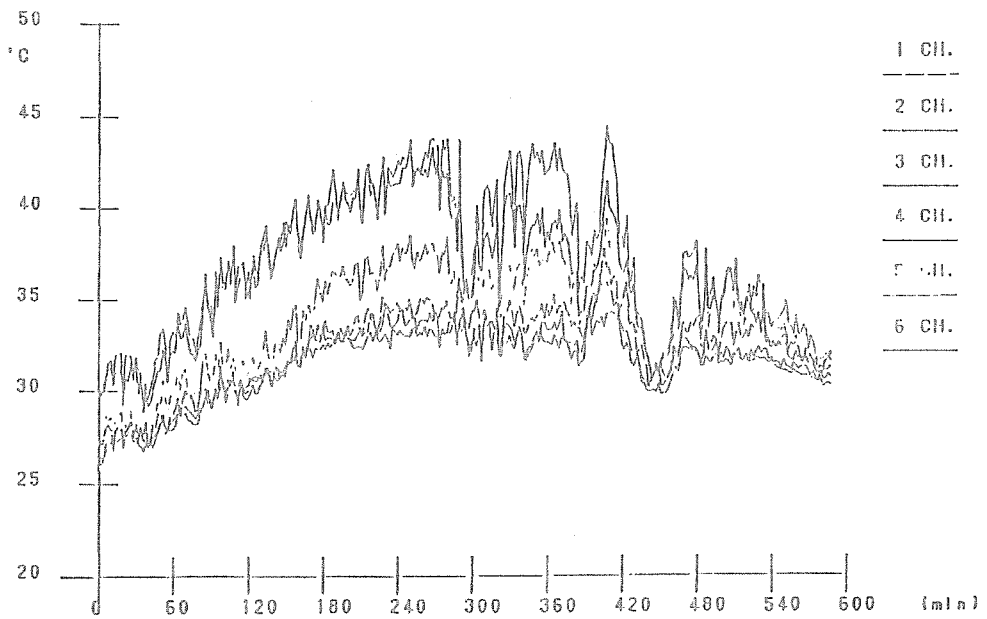
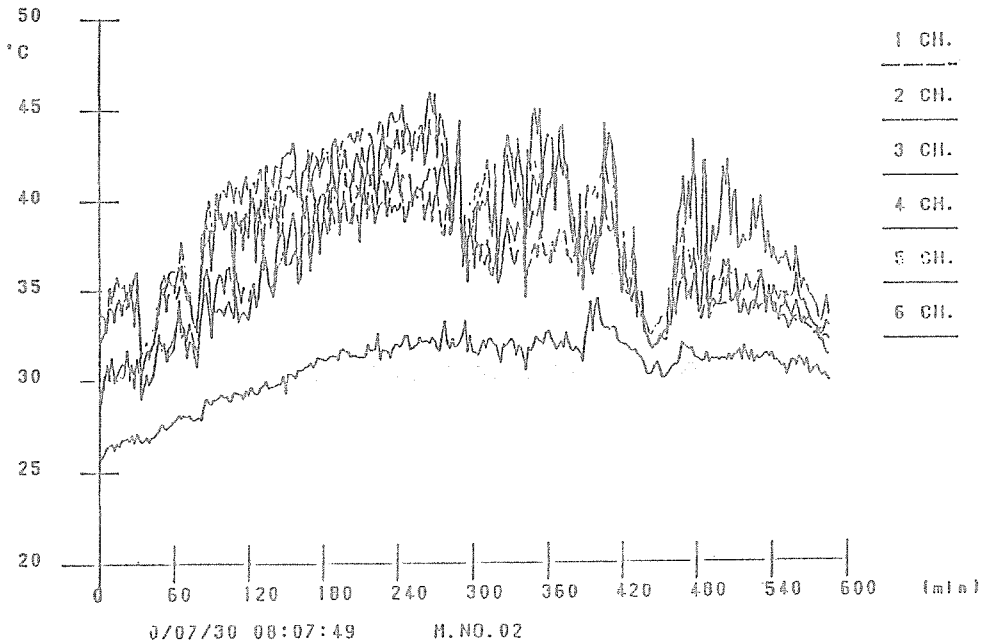


図6 2分毎に記録された葉温データの出力結果 (XYプロッター)

3. 研究方法

平成元（1989）年は、消費水量が年間を通して最大となる梅雨明け後の調査最適期の7月末に、台風の直撃を受け大豆は倒伏、葉はもぎ取られ、この夏期間のデータを得ることができなかった。研究最終年度の平成2（1990）年の調査期間は5月10日から9月10日までの4ヶ月間で、その間7月に集中観測を行った。この期間に1967年以来の大干ばつの被害が南九州畑作地帯を襲った。調査地点では7月10日から8月10日までの一月間全くの無降水で、調査にとっては非常に好都合であった。

調査実施地点は、宮崎県都城市下長飯町温水地区の都城市展示圃の一角に設定しているハウス内・外の試験区である。この調査試験区において、灌水量と間断日数の組合せをかえて、作物の水分ストレスが異なる実験区をハウス内外に設定し灌漑の実証試験を行った。平成元年の調査で、灌水量 5.4, 3 mm/d. が過多であるとの結果が得られたので、平成2年は、灌水量 4.3, 2 mm/d. の3通りと無灌水、および間断日数9, 11日の2通りであった。

土壌水分調査は各試験区10cm間隔で5 cm深から75cm深までと、95, 125, 145cm深の計11点のテンシオメータにより測定を行った。ハウス内での気象条件を知るために、気温、湿度および小型計器蒸発量の測定を行った。その他の気象データは宮崎大学農学部の気象観測データを参照した。供試作物は、大豆を選定した。

土壌水分動態調査とともに、ベンマン法によるポテンシャル蒸発散量の推定を併せて行った。電源の無い調査地点であるため、それに必要なデータ収集は原則としてアナログ記録紙に記録する方法をとった。

調査ではハウス内に自記温度計、自記湿度計、ロビッチ日射計、自記風速計を設置してデータ収集を行った。ロビッチ日射計の記録紙から得られる日射量値は気象庁検定付日射計（宮崎大学農学部圃場設置）で得られた日射量値で検定を行った。その結果を用いてハウス内 ETpen を算定した。さらに、土壌水分状態と水分ストレスとの関係を検討するために、葉温と葉の水分ポテンシャルの測定を行なった。灌水量の違い、すなわち土壌水分状態と各区の根群分布とがどの様に関連するかを検討するために根群分布調査を行った。

4. 結果

1) 土壌水分変動調査結果

調査地点の土壌断面は調査区間で相当複雑に異なり、かつテンシオメータ設置深さにおける土壌の水分量をテンシオメータの値から推定することが困難である。

調査圃場土壌断面推定図を図7、調査圃場概要を図8に示す。

各区の灌漑間断毎のpFプロフィール経日変動を図9-1～図9-3に示す。

各区の等pF値線図を図10に示す。

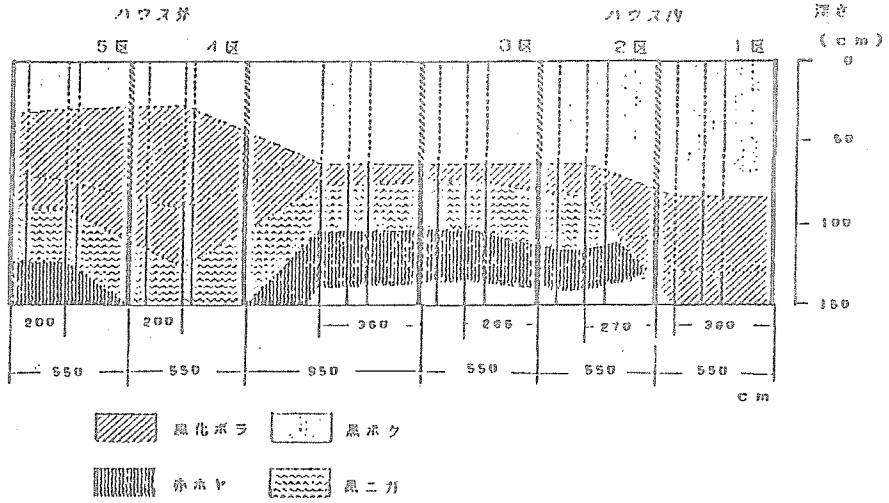
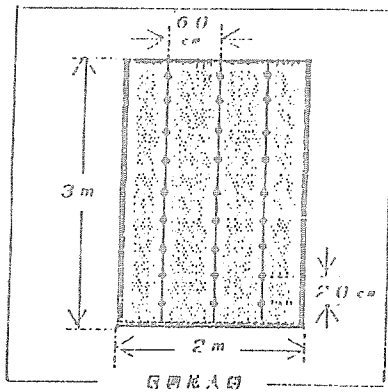
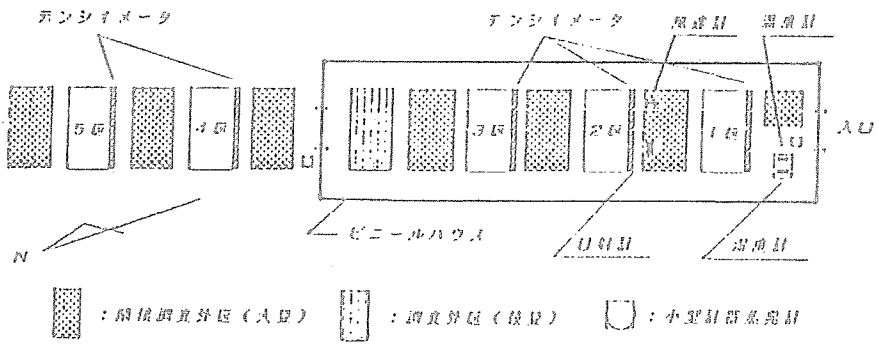


図7 調査圃場土壌断面推定図



- 1 調査区
 ハウス内
 1区: 2mm深調査
 2区: 3mm深調査
 3区: 4mm深調査
 ハウス外
 4区: 2mm深調査 (5, 6月)
 : 3mm深調査 (7, 8月)
 5区: 観測区

図8 調査圃場概要

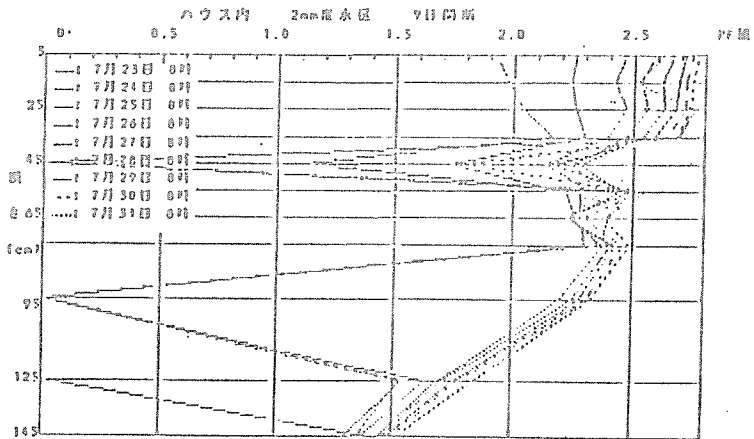
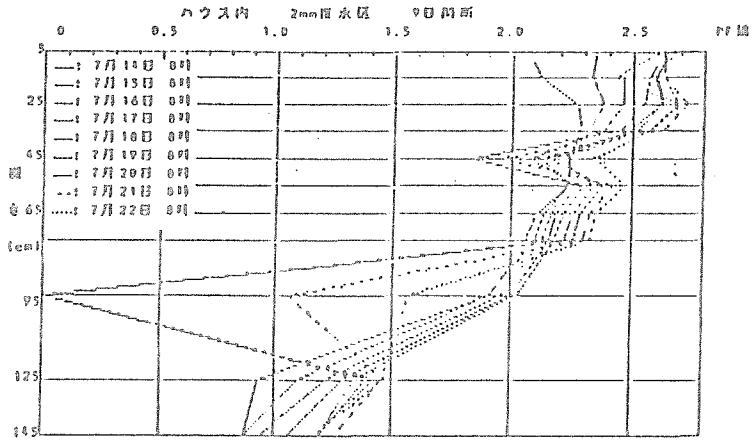
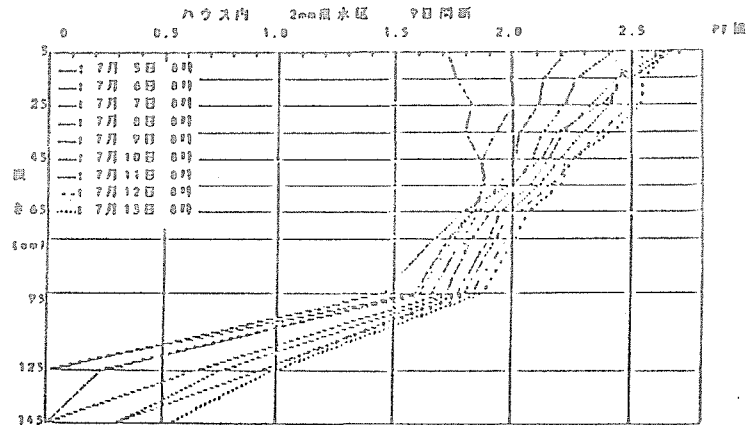


図9-1 1区(2mm溜水区)の溜水区断毎のpHプロフィール経口変動

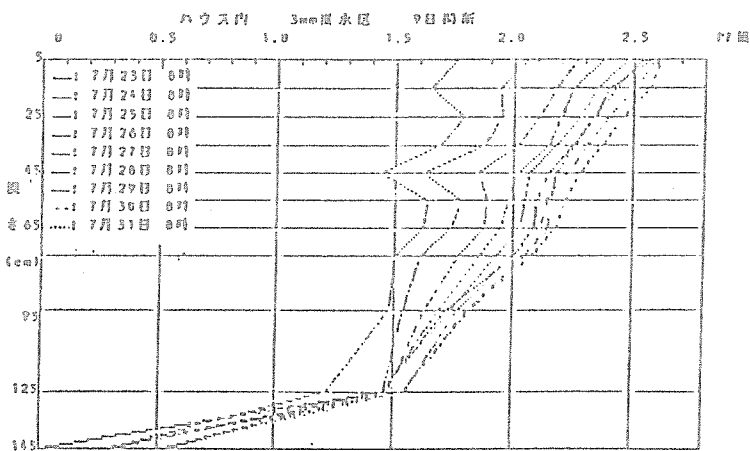
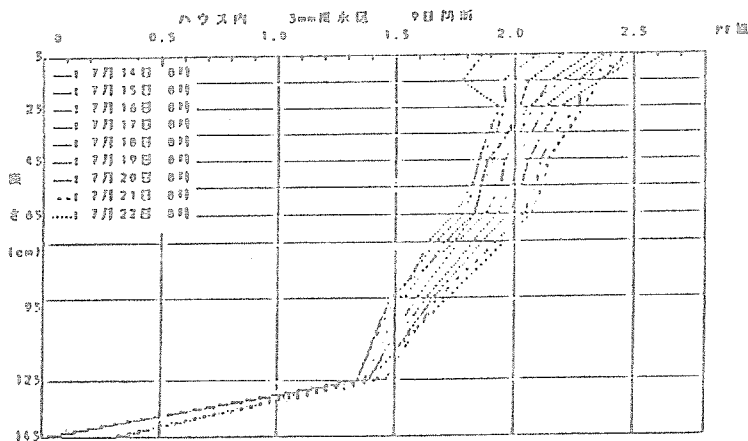
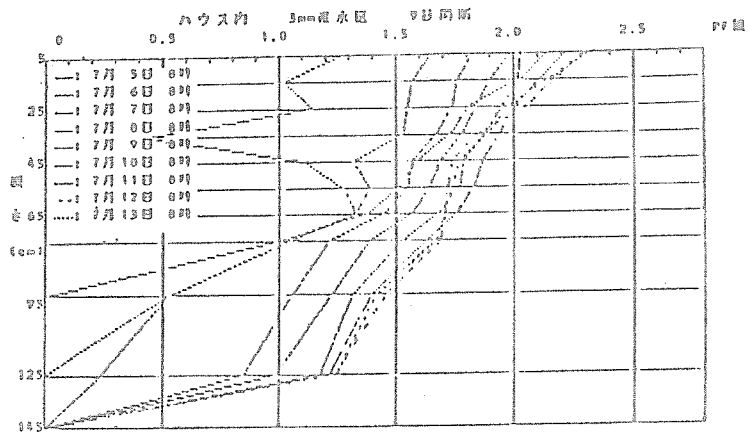


図9-2 2区(3mm湛水区)の湛水断面毎のpFプロファイル経日変動

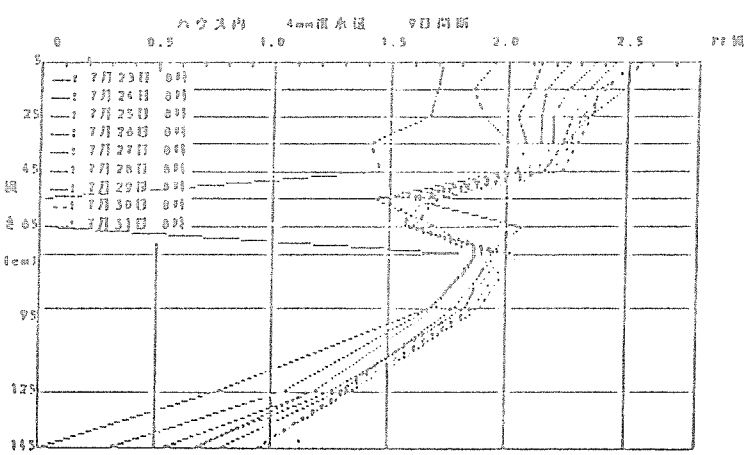
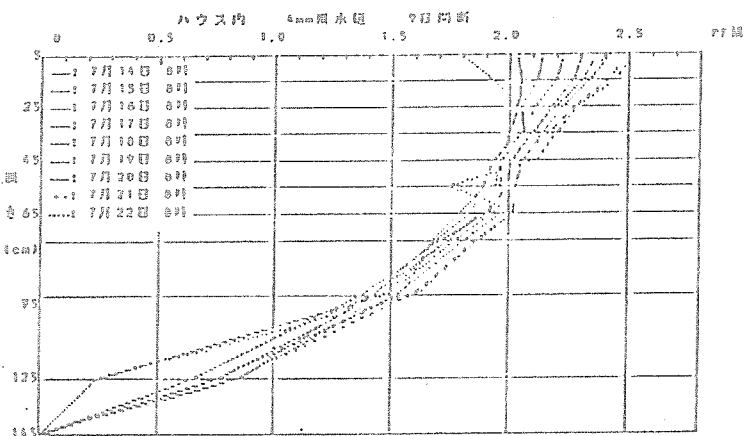
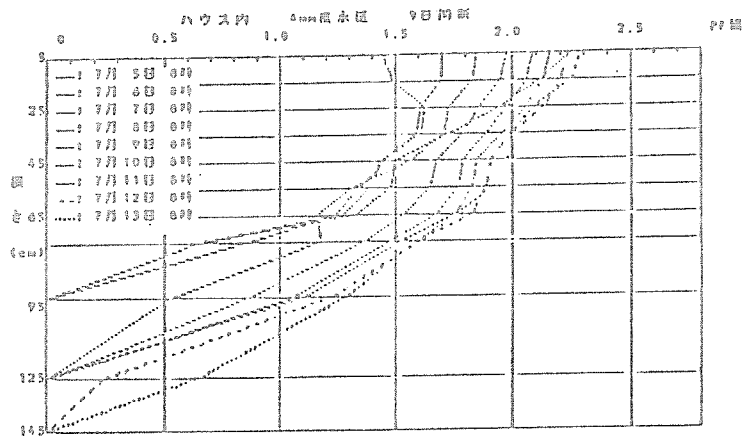


図9-3 3区(4mm溜水区)の溜溜間断毎のpHプロファイル経日変動

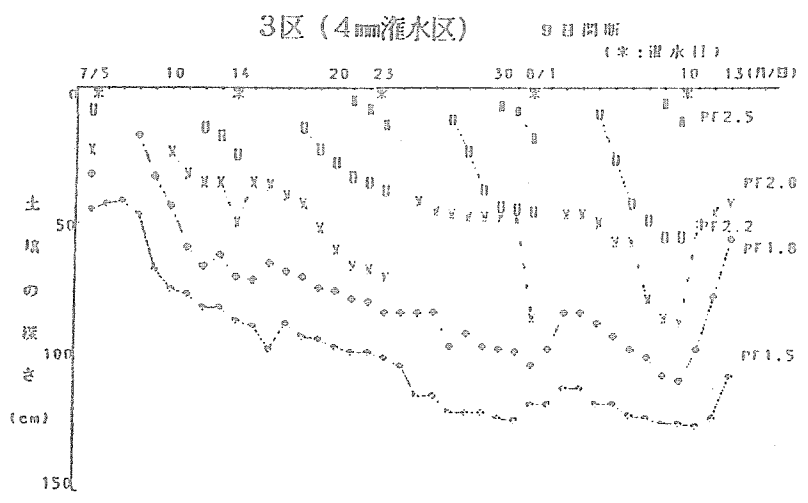
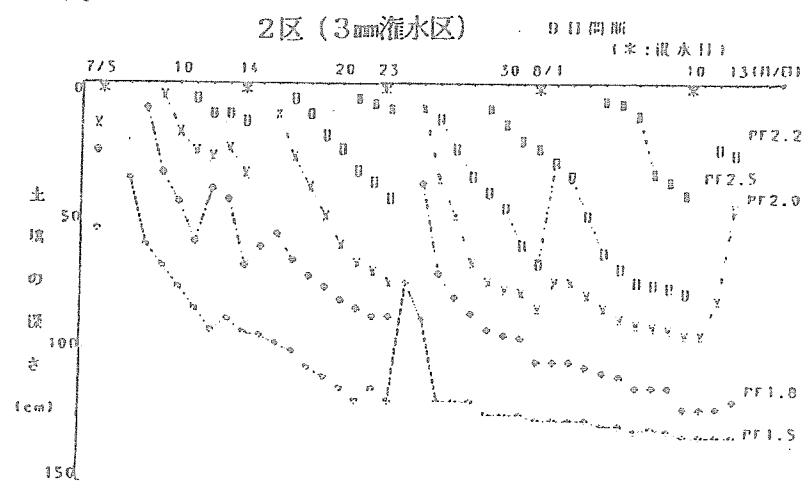
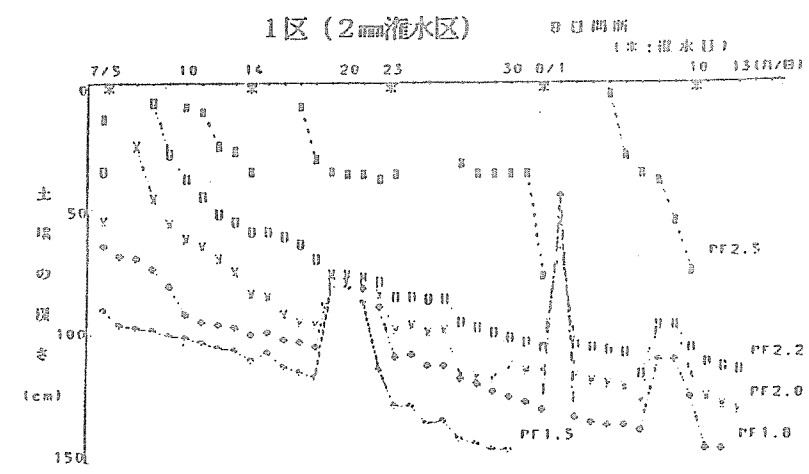


図10 各区の等pH値線図

2) 根群分布調査結果

各区の根群分布調査結果を図11に示す。

3) ペンマン (Penman) 法による蒸発散量の推定結果

ハウス内の6~7月の気象データと蒸発散量 ET_{pen} (Penman ET) 算定値を図12に示す。

ハウス内、ハウス外蒸発量 (小型蒸発計) の経日変化を図13に示す。

日射量については、ハウスのビニール被覆によりハウス内外では差があることが昨年度確認されていたが、検定の結果、ビニール被覆により22%の日射量がカットされることが確認された。

4) 水分ポテンシャルの測定結果

ハウス内灌水量 2, 3.4mm/d.の中断日数 9日に対応する区の8回(日)の、8時から14時までの2時間毎、および15, 16時の集中観測で測定された葉の水分ポテンシャルデータに基づいて得られた結果を以下に示す。なお、この期間における灌水日は7月23日と8月1日である。

各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化を $Atm. pF$ の経時変化とともに、図14-1~図14-8に示す。

各区の上位葉の水分ポテンシャル全データに基づくヒストグラムを図15-1に示す。各区の下位葉の水分ポテンシャル全データに基づくヒストグラムを図15-2に示す。水分ポテンシャルの単位は psi で1 barが約15psiに相当する。これを pF 値に換算すると15psiが $pF 3$ 、150psiが $pF 4$ になる。

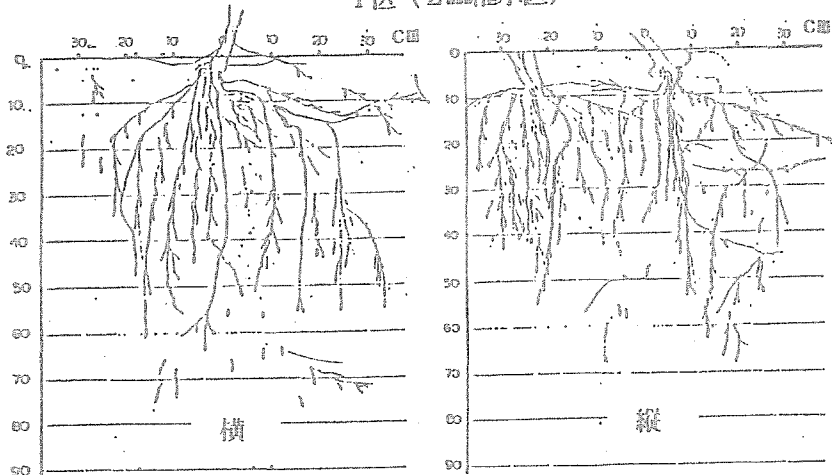
各区の各測定時刻における葉の水分ポテンシャル・ヒストグラムの経時変化を図16-1~図16-6示す。

この結果を見ると、作物体内水分ポテンシャルは大気のポテンシャルに連動する形で変動していることが明確に認められる。

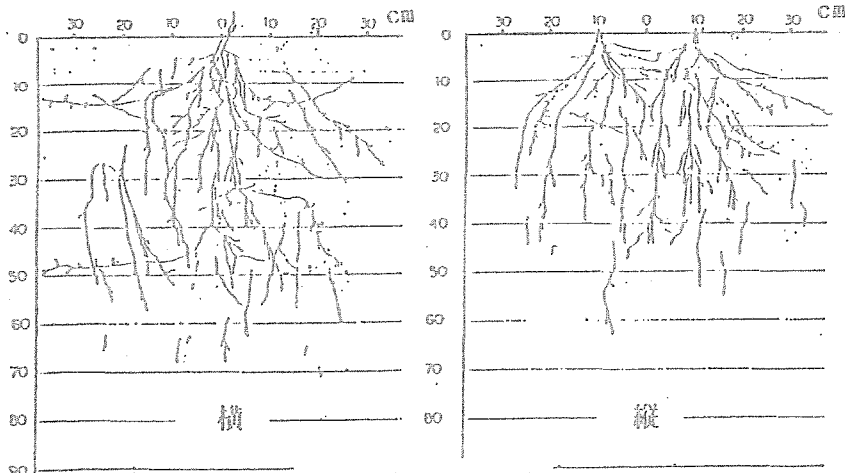
5) 水分ストレスと葉温

ハウス内灌水量 2, 3.4mm/d.の中断日数 9日に対応する各区の8回(日)の集中観測で、2分毎に観測された葉温を10分移動平均した結果を図17-1~図17-8に、さらに1時間平均葉温および葉気温差(気温-葉温)を求め、その結果を経時変化として図18-1~図18-8に示す。

1区 (2mm²灌水区)



2区 (3mm²灌水区)



3区 (4mm²灌水区)

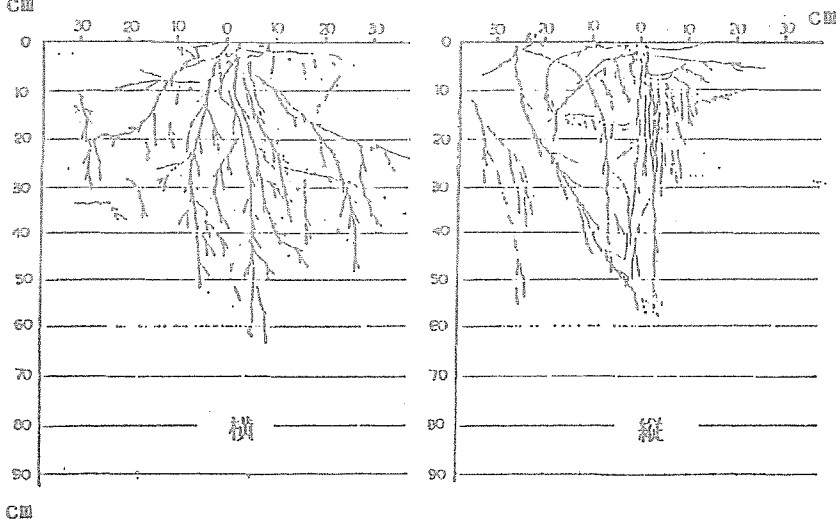


図 1 1 各区の根群分布調査結果

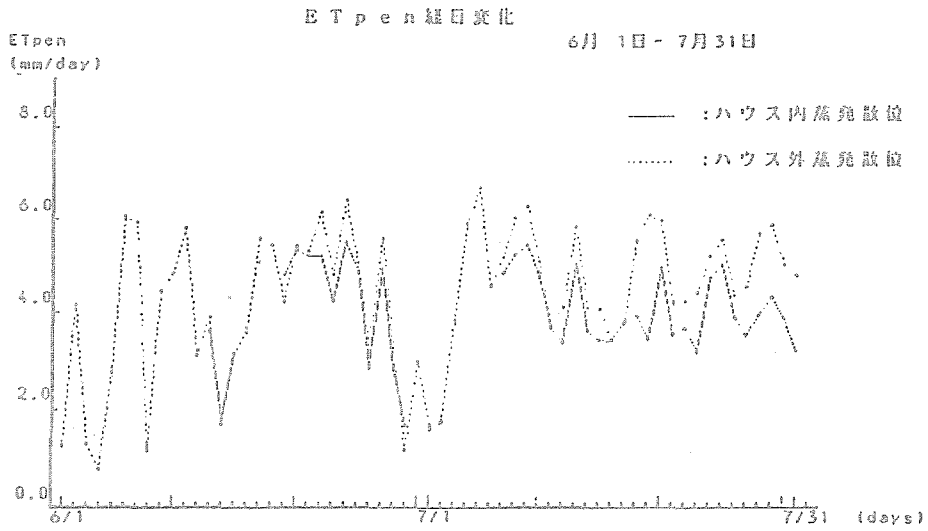


図12 ハウス内・外 ETpen (Penman ET) 算定値

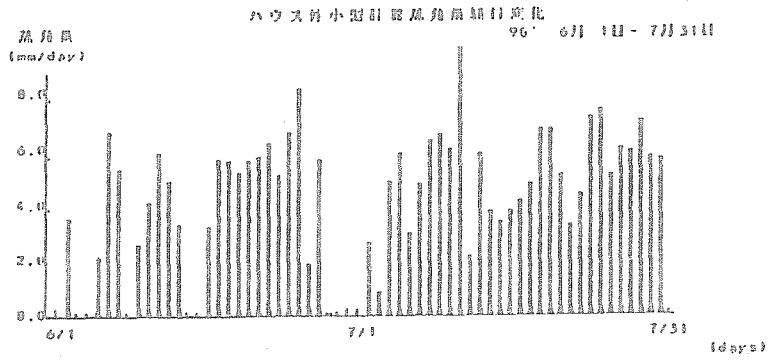
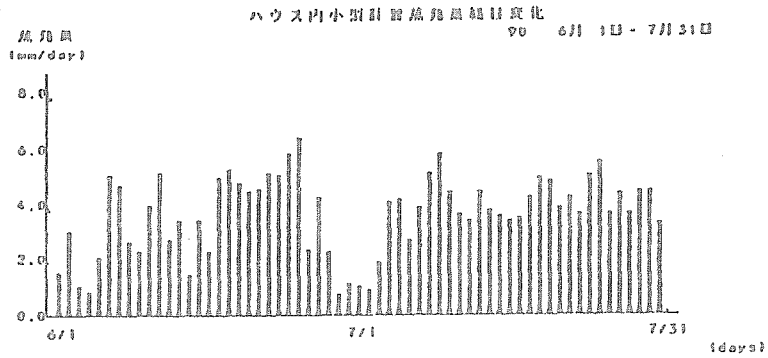


図13 ハウス内、ハウス外蒸発量 (小型蒸発計) の経日変化

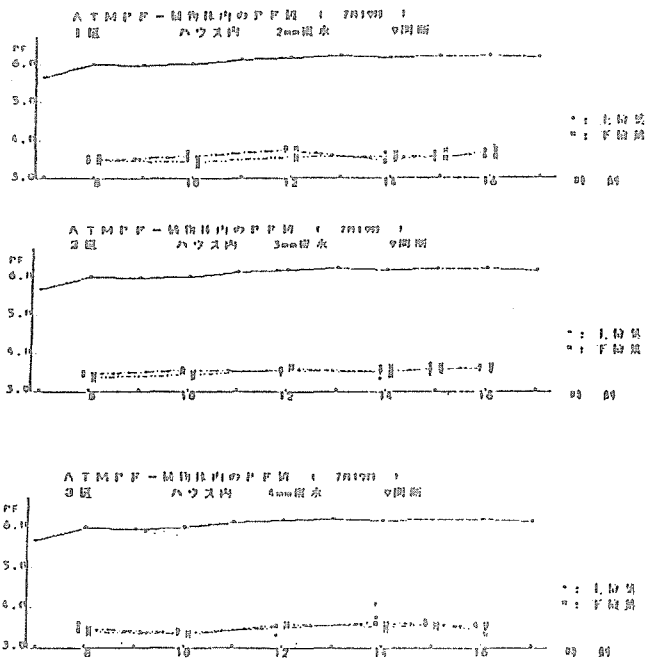


図14-1 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月19日)

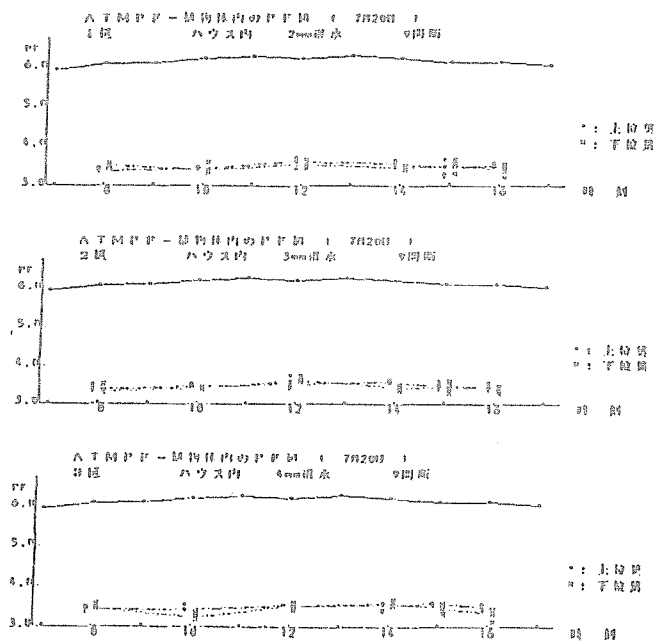


図14-2 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月20日)

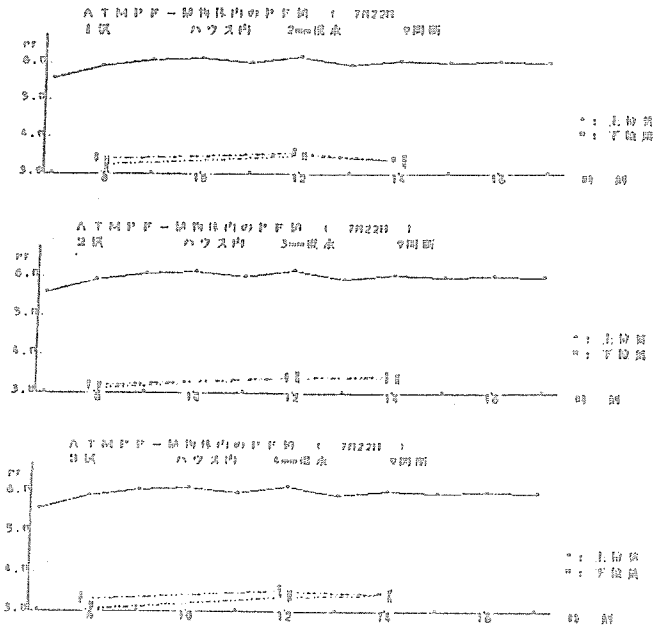


図14-3 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月22日)

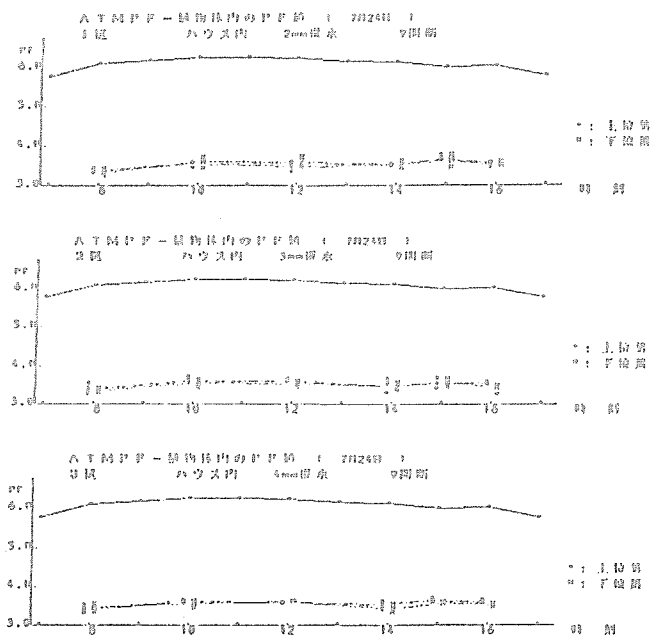


図14-4 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月24日)

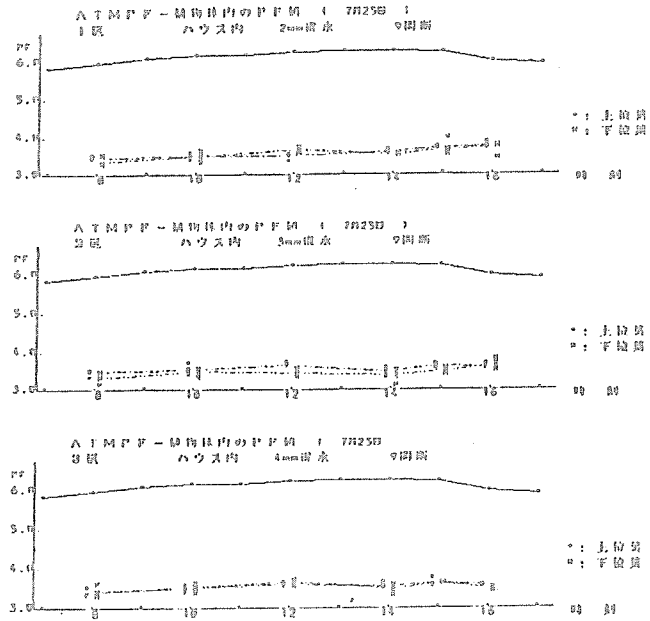


図14-5 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月25日)

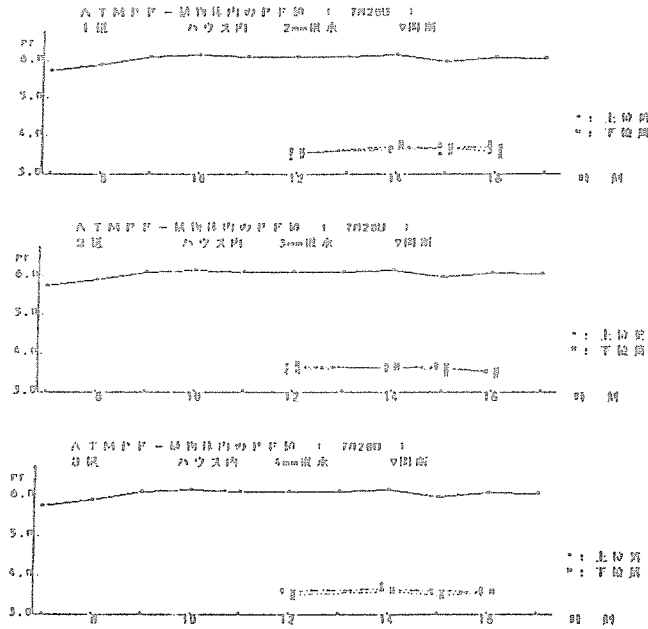


図14-6 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月28日)

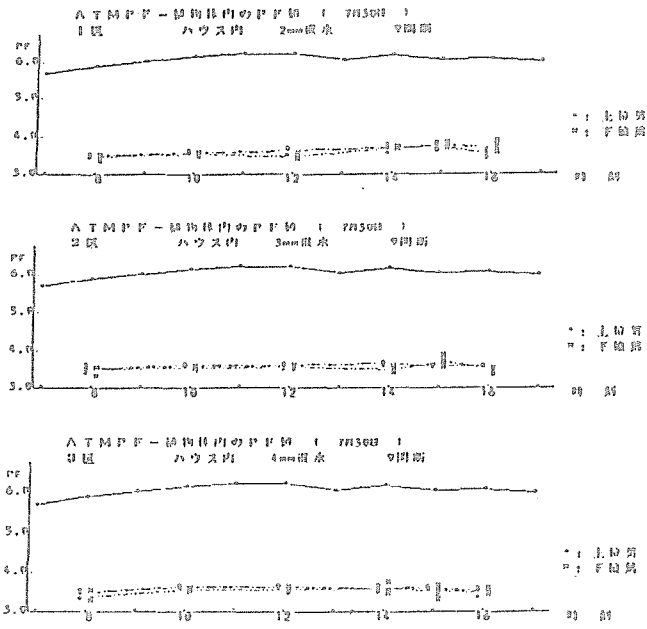


図1-4-7 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月30日)

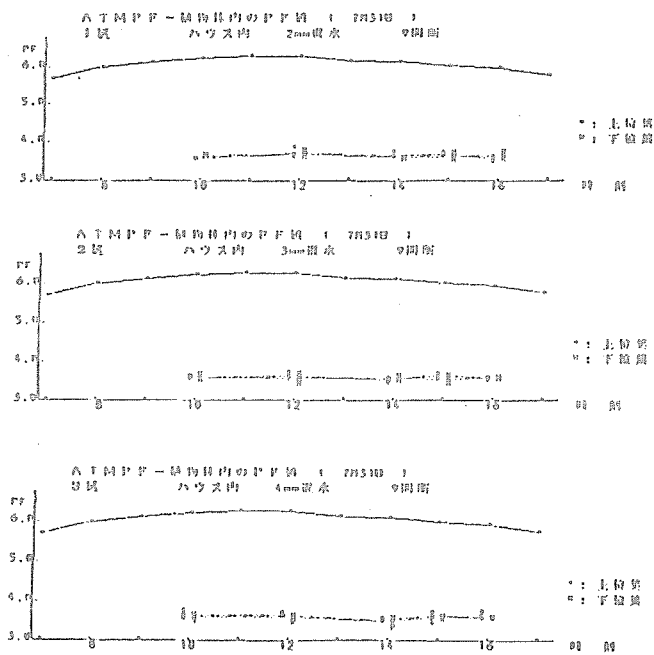


図1-4-8 各区の葉の水分ポテンシャルの経時変化 (7月31日)

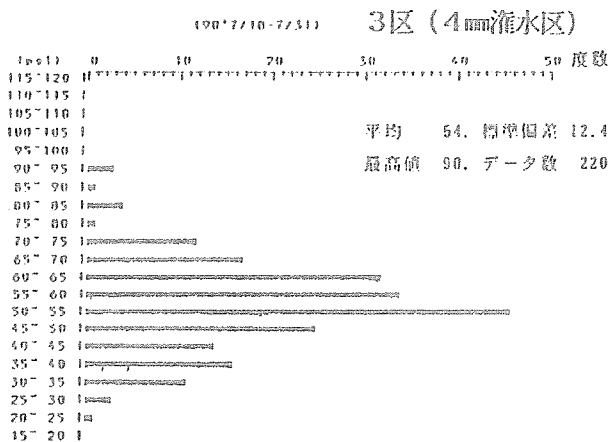
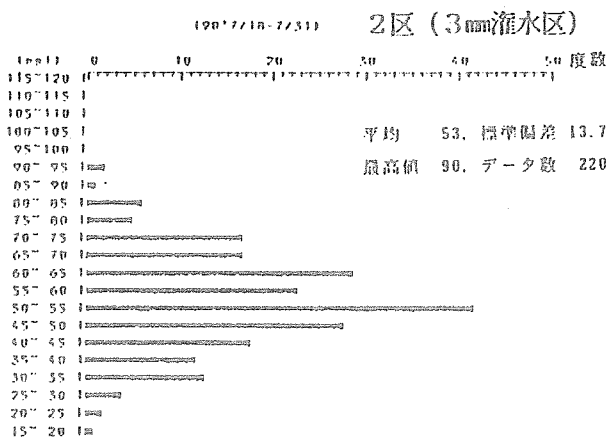
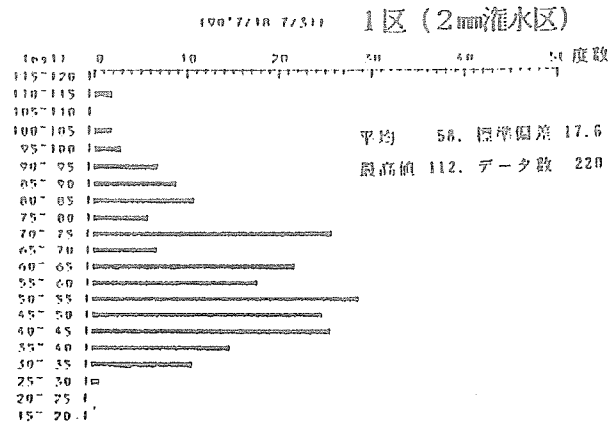


図15-1 各区の上位葉の水分ポテンシャル全データに基づくヒストグラム

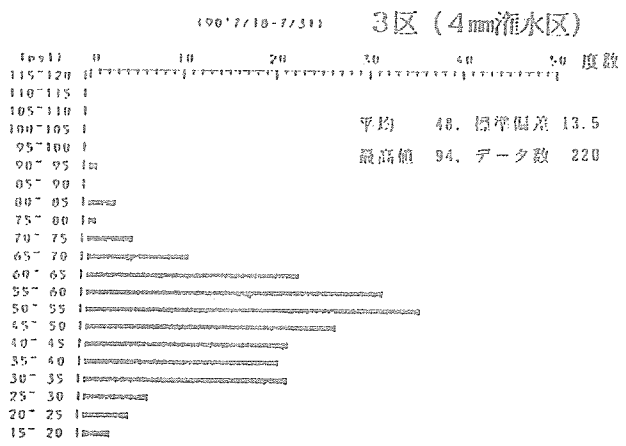
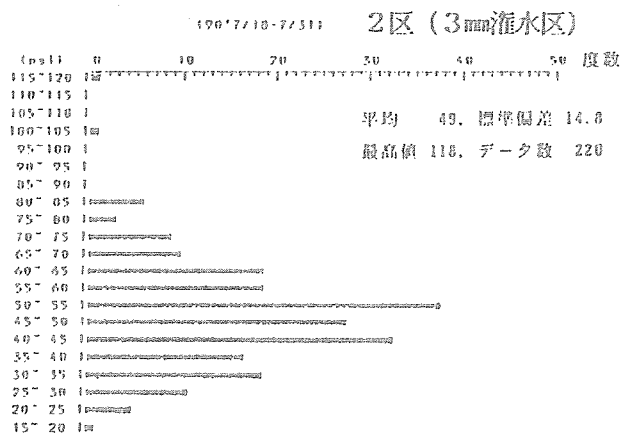
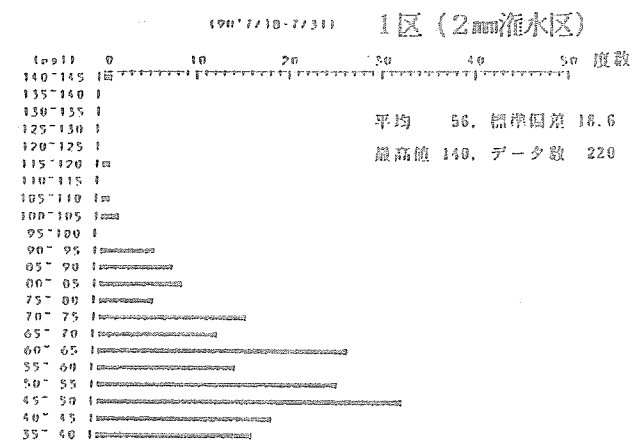


図15-2 各区の下位集の水分ポテンシャル全データに基づくヒストグラム

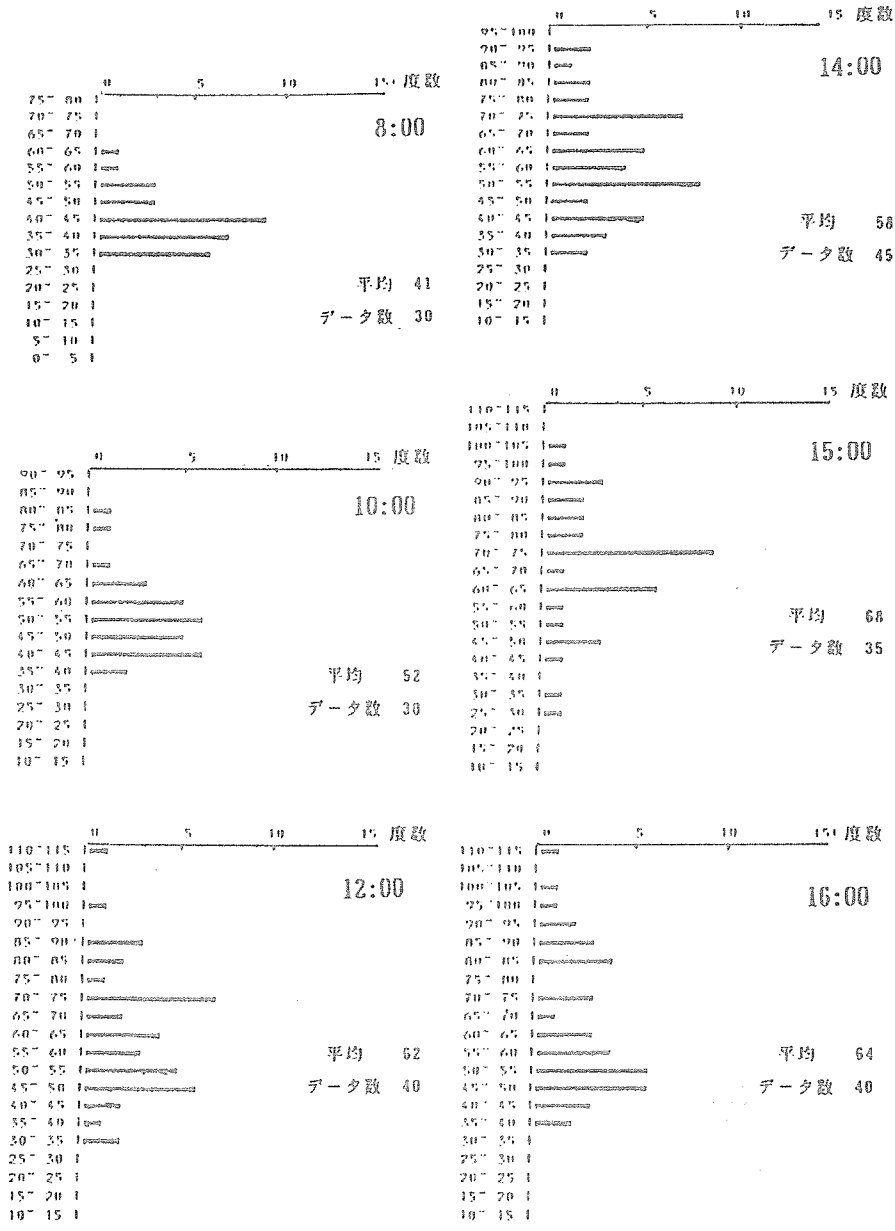


図16-1 1区(2mm滲水区)の上位葉の水分ポテンシャル・ヒストグラムの経時変化

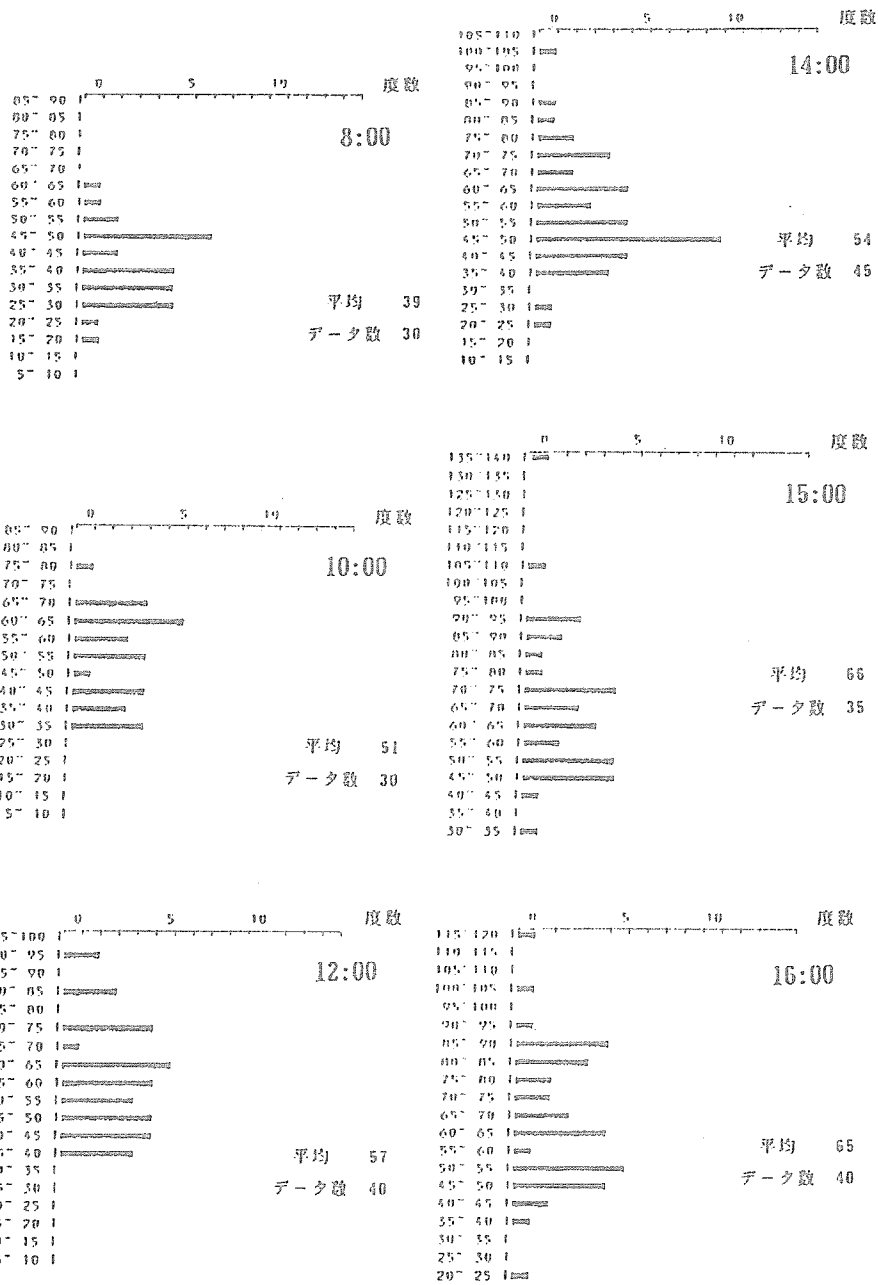


図16-2 1区(2mm含水区)の下位葉の水分ポテンシャル・ヒストグラムの経時変化

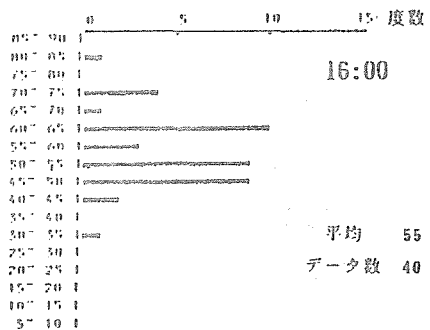
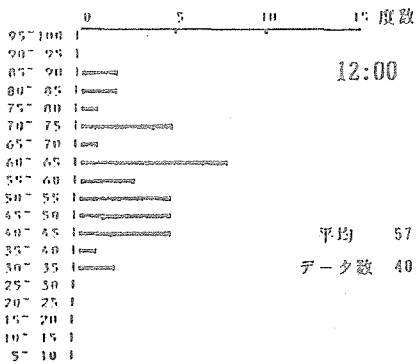
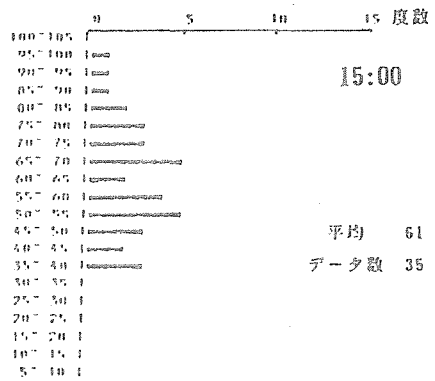
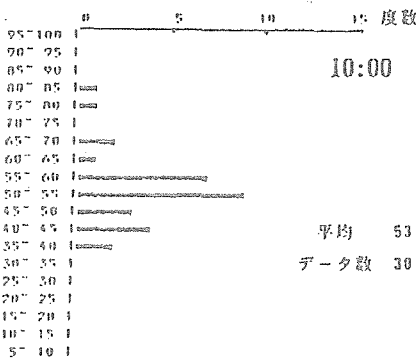
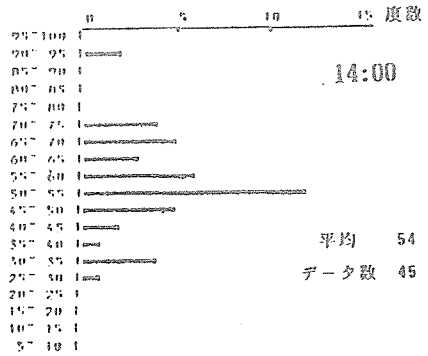
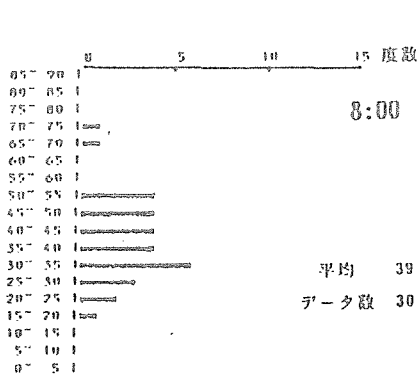


図16-3 2区(3mm漕水区)の上位巢の水分ポテンシャル・ヒストグラムの経時変化

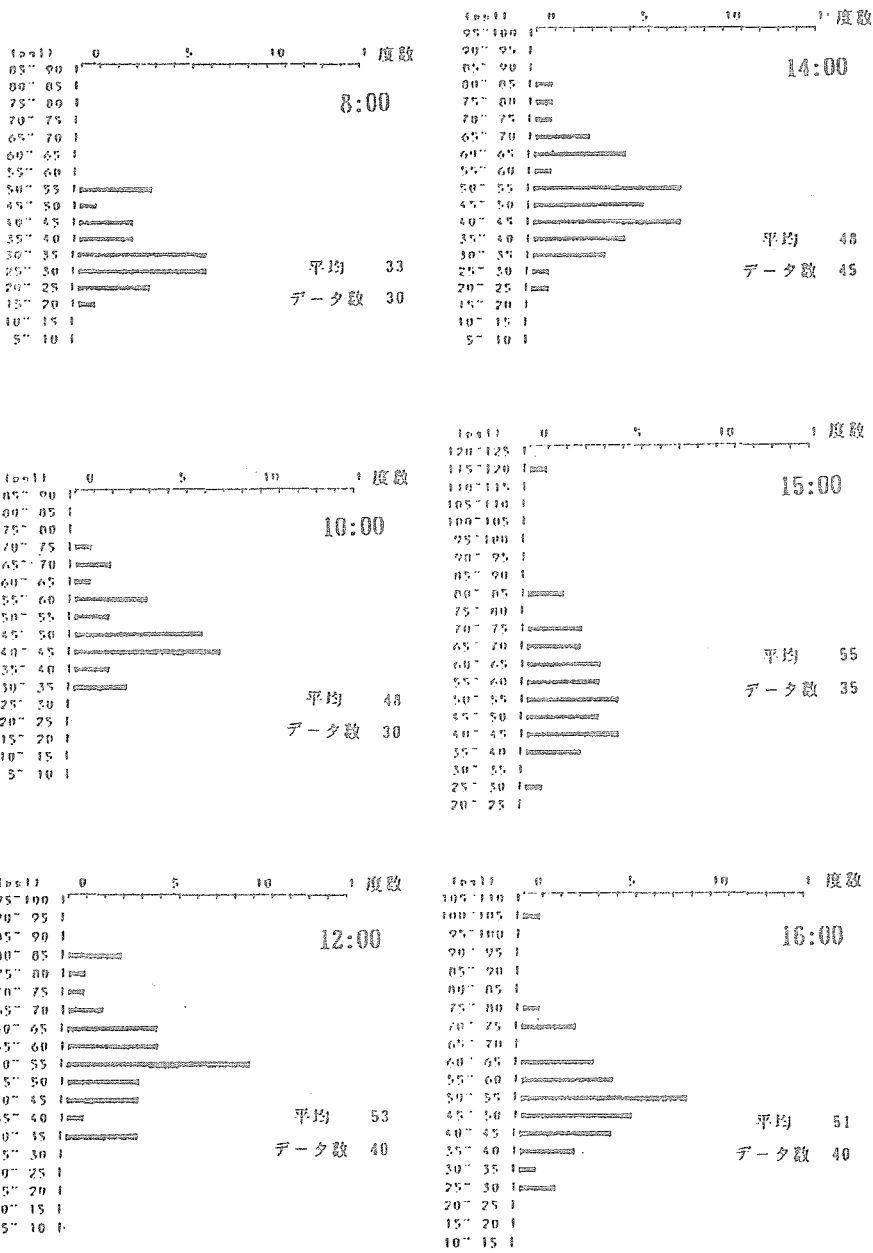


図16-4 2区(3mm滲水区)の下位葉の水分ポテンシャル・ヒストグラムの経時変化

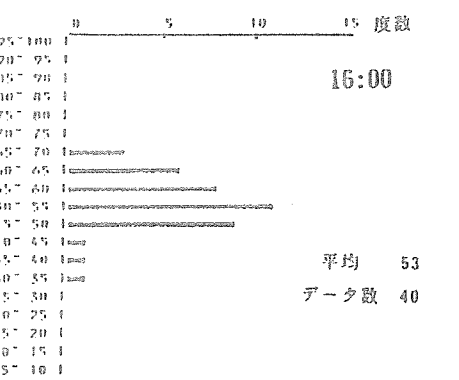
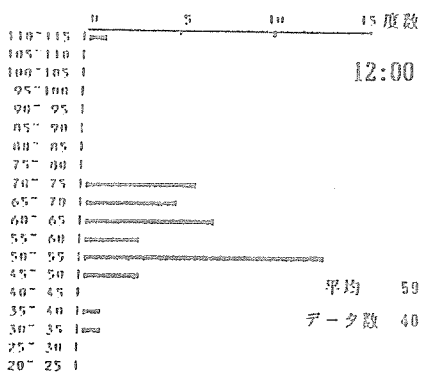
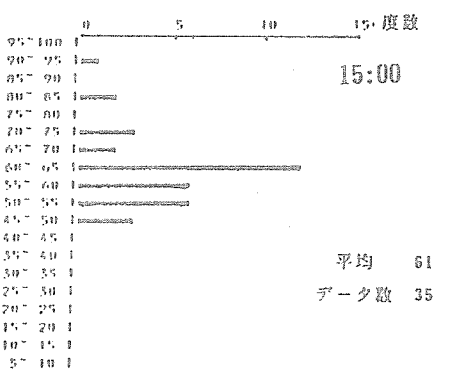
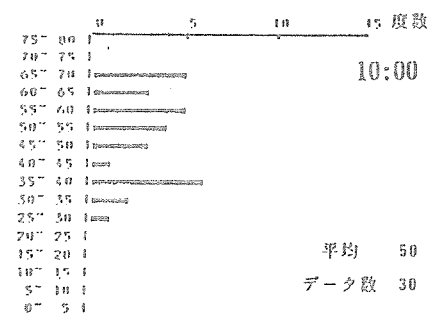
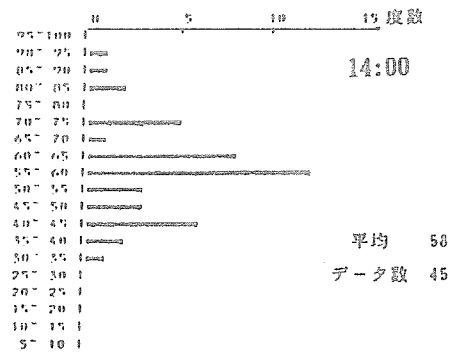
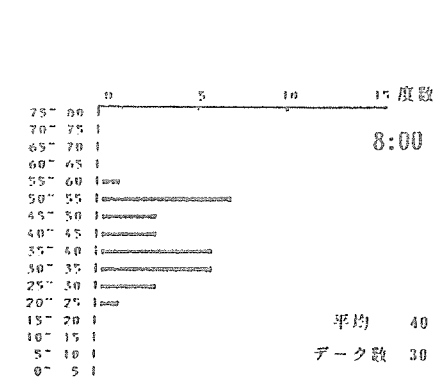


図16-5 3区(4mm漕水区)の上位集の水分ポテンシャルヒストグラムの経時変化

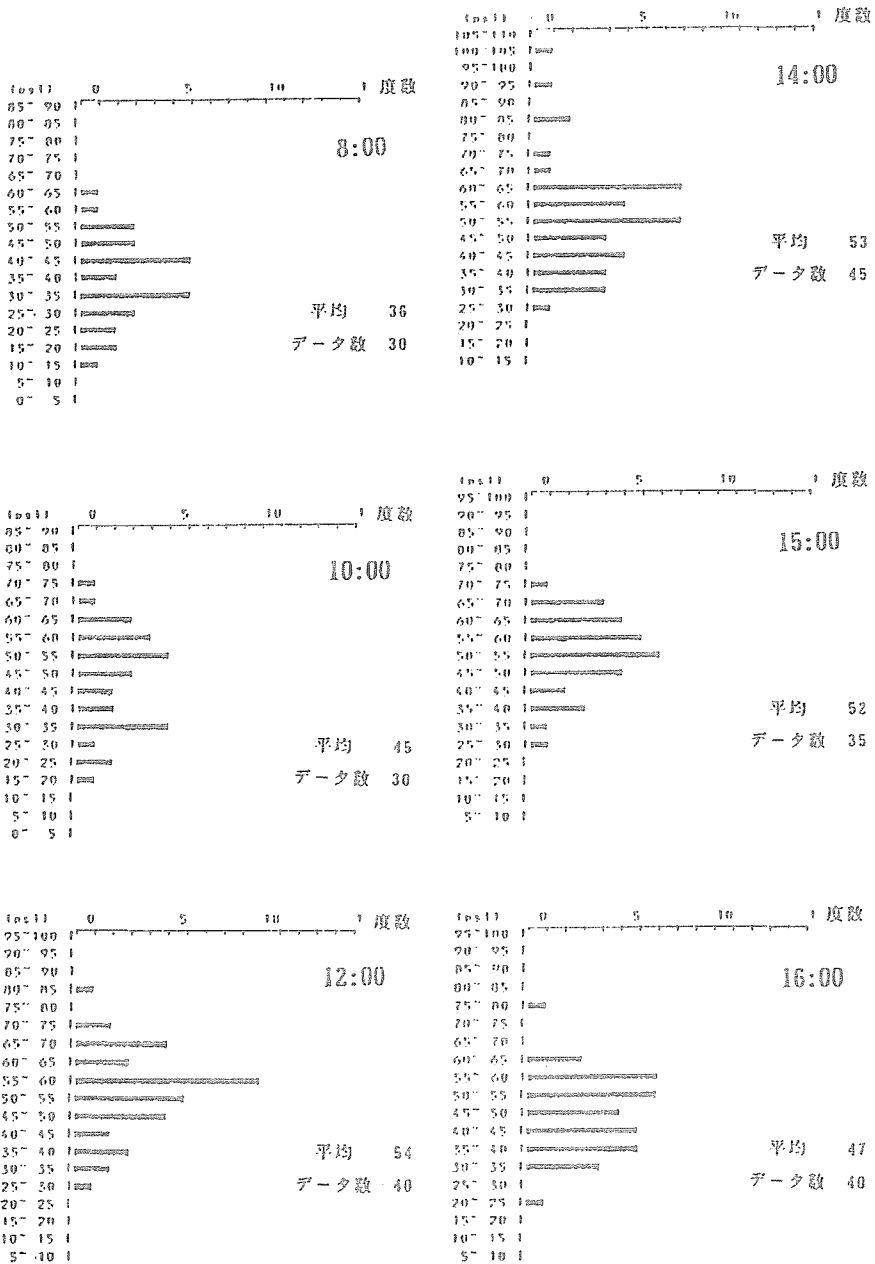


図16-6 3区(4mm灌水区)の下位葉の水分ポテンシャル・ヒストグラムの経時変化

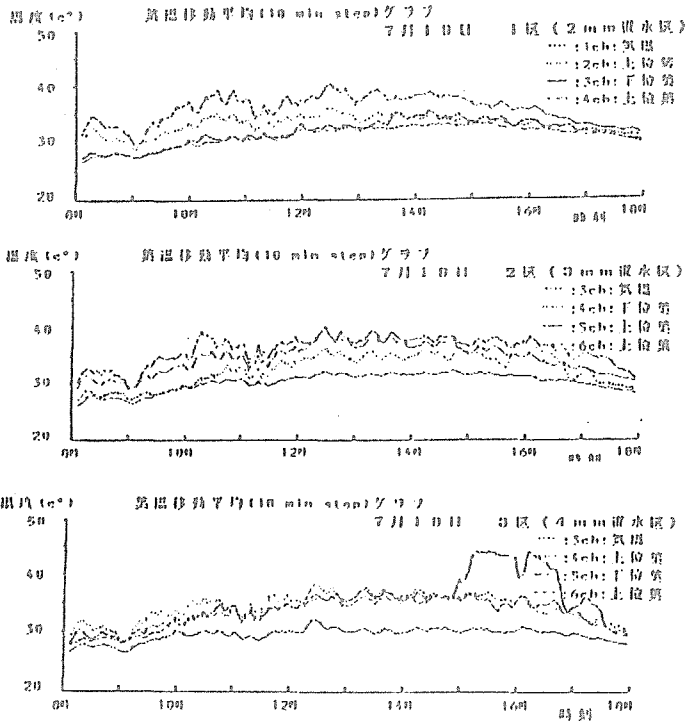


図17-1 各区の10分移動平均葉温(7月19日)

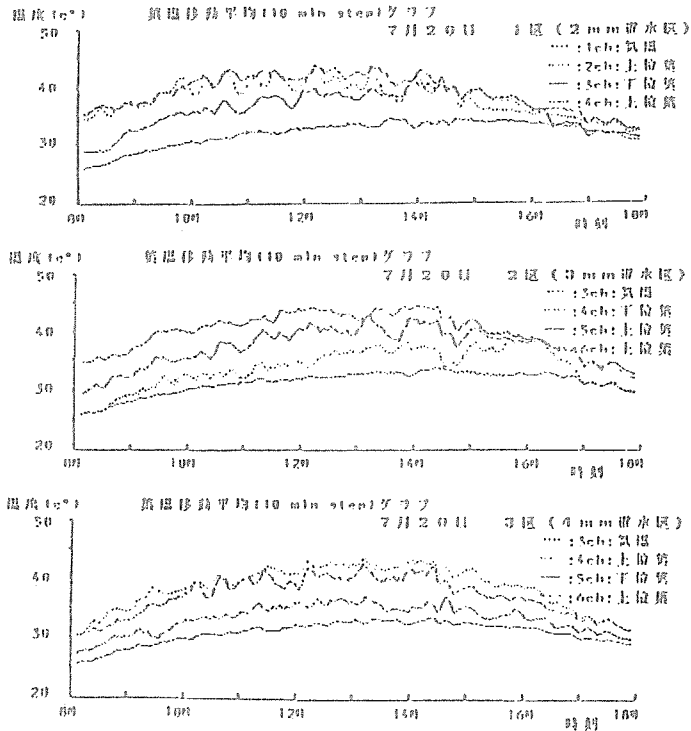


図17-2 各区の10分移動平均葉温(7月20日)

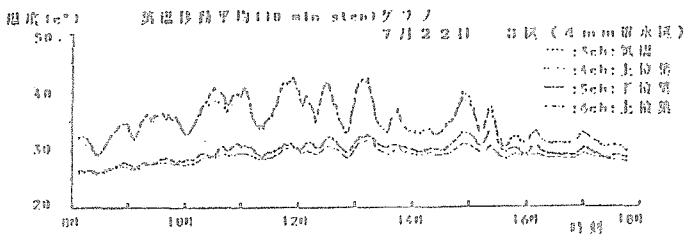
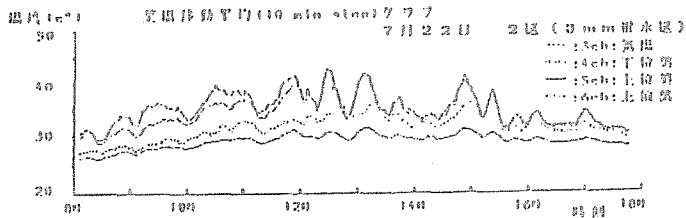
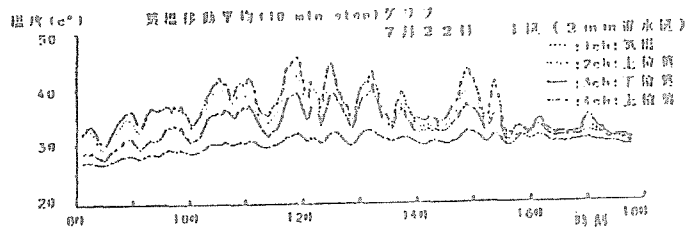


図17-3 各区の10分移動平均葉温(7月22日)

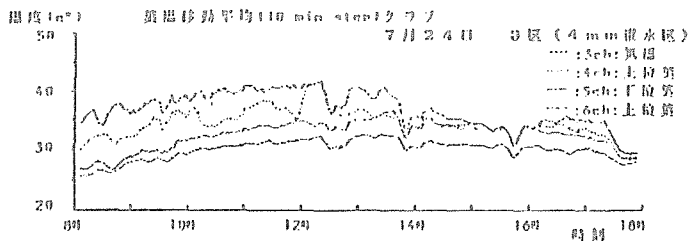
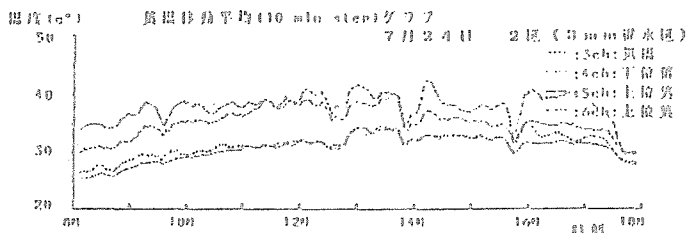
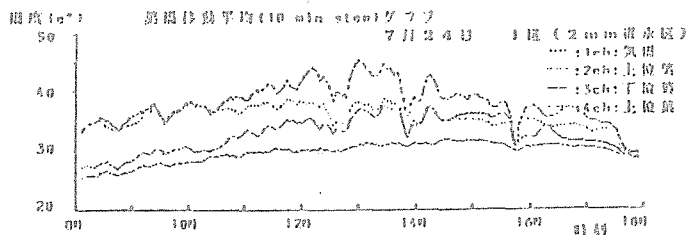


図17-4 各区の10分移動平均葉温(7月24日)

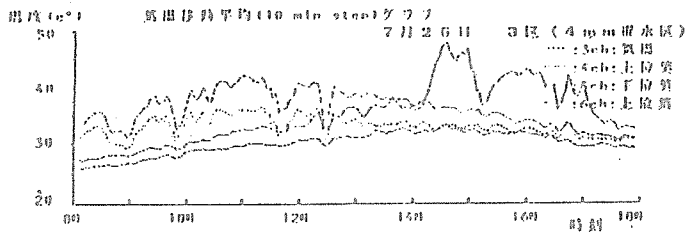
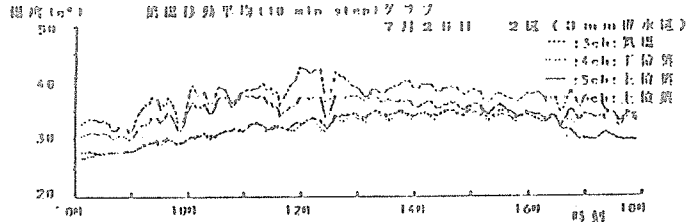
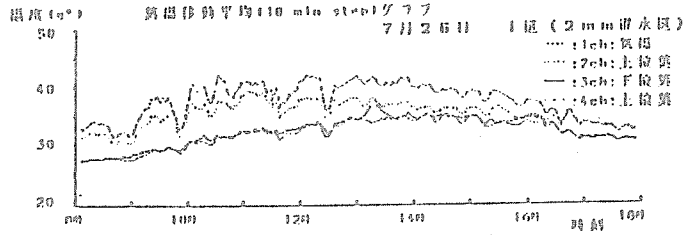


図 17-5 各区の 10 分移動平均葉温 (7月25日)

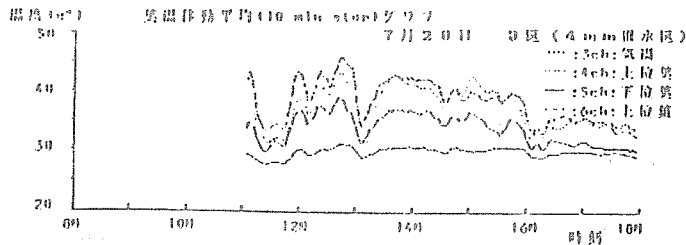
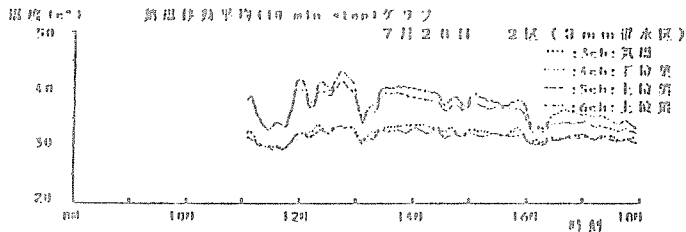
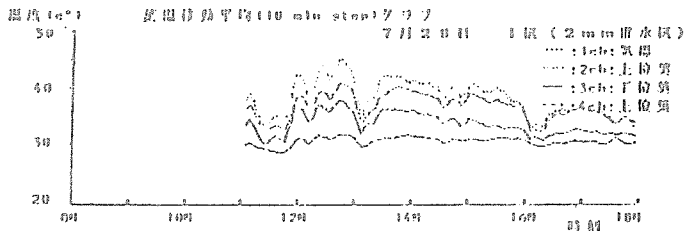


図 17-6 各区の 10 分移動平均葉温 (7月28日)

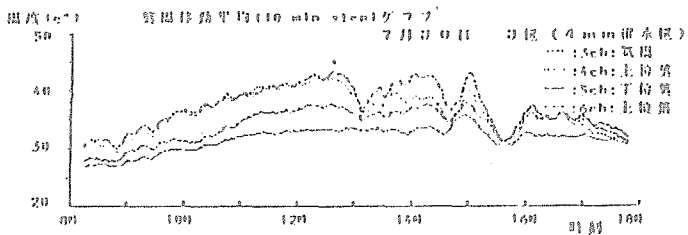
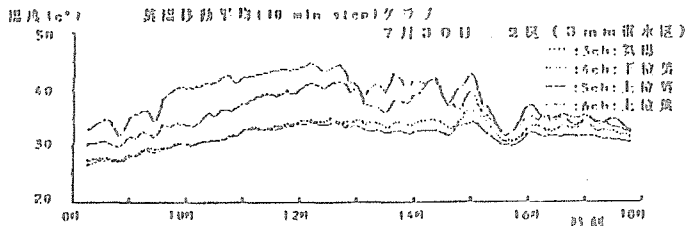
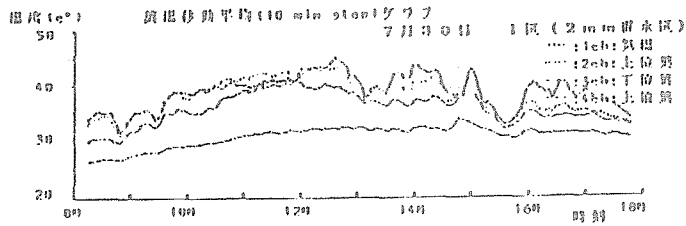


図17-7 各区の10分移動平均葉温 (7月30日)

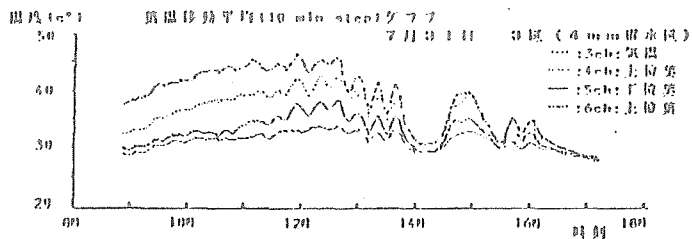
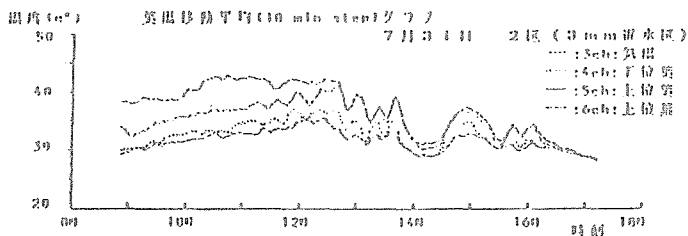
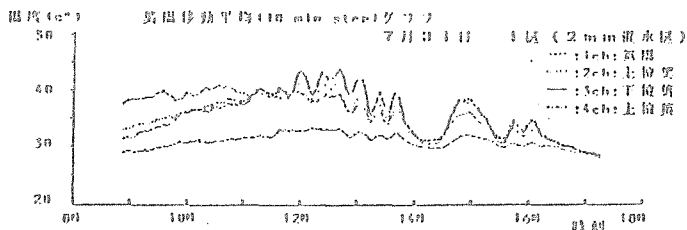


図17-8 各区の10分移動平均葉温 (7月31日)

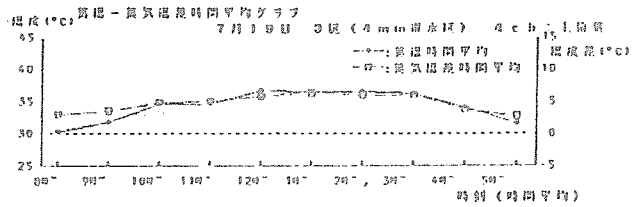
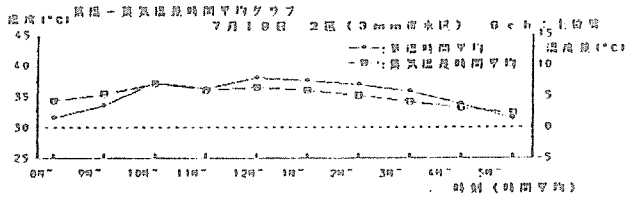
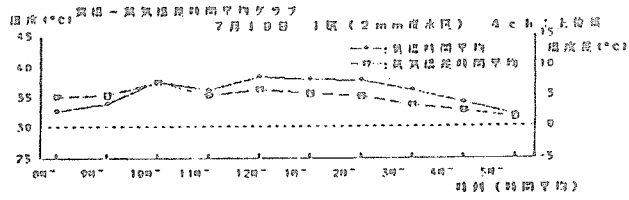


図18-1 各区の1時間平均葉温および葉気温差の経時変化(7月19日)

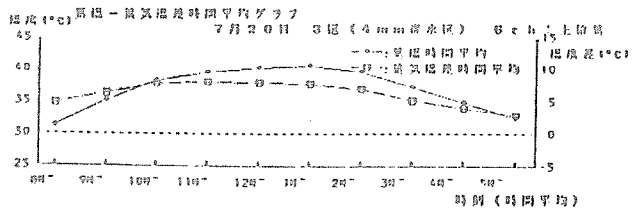
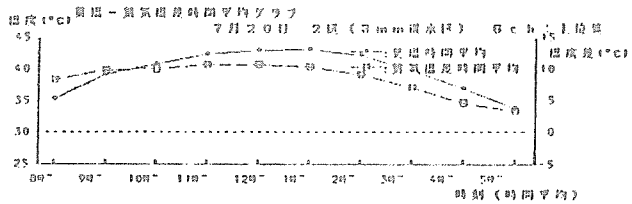
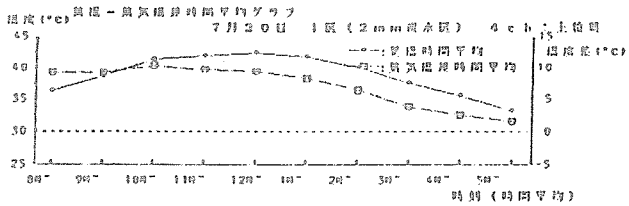


図18-2 各区の1時間平均葉温および葉気温差の経時変化(7月20日)

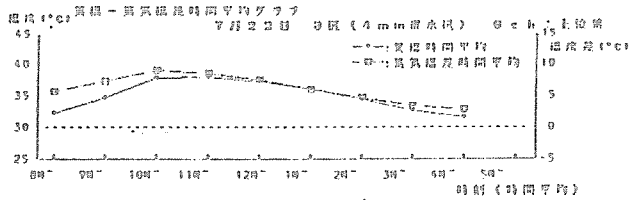
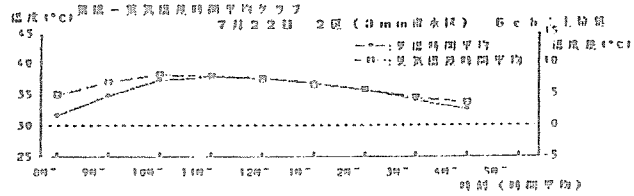
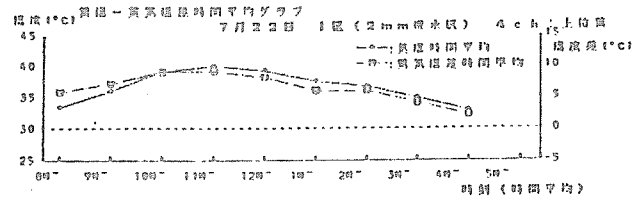


図18-3 各区の1時間平均葉温および葉気温差の経時変化(7月22日)

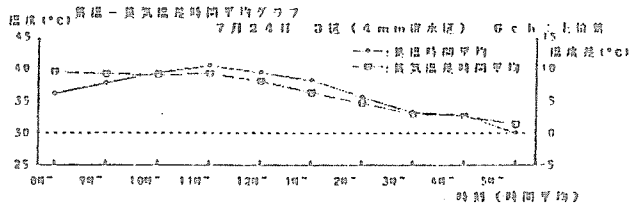
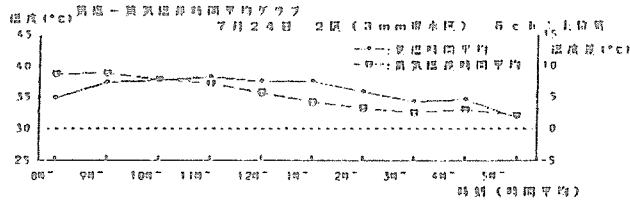
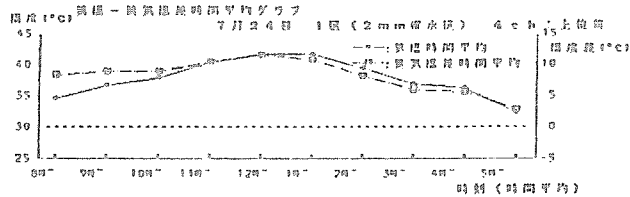


図18-4 各区の1時間平均葉温および葉気温差の経時変化(7月24日)

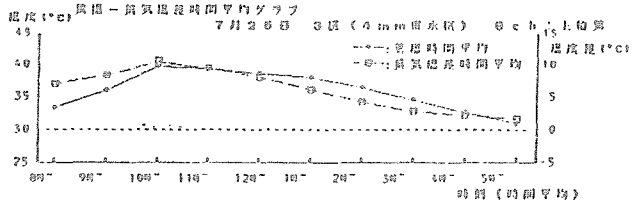
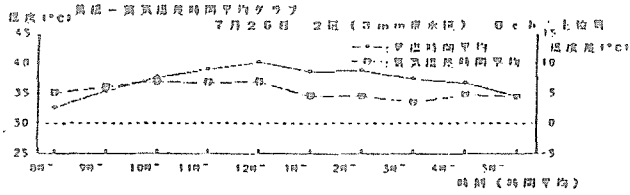
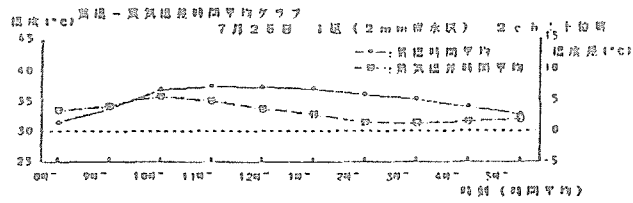


図18-5 各区の1時間平均葉温および葉気温度の経時変化(7月25日)

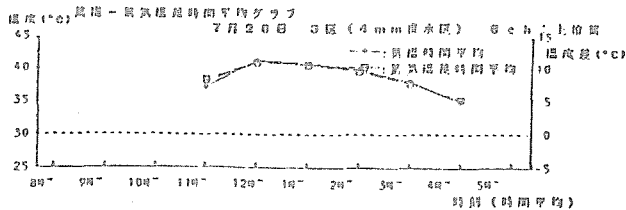
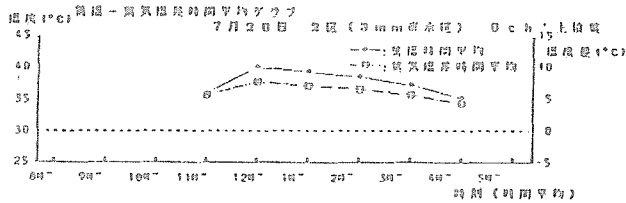
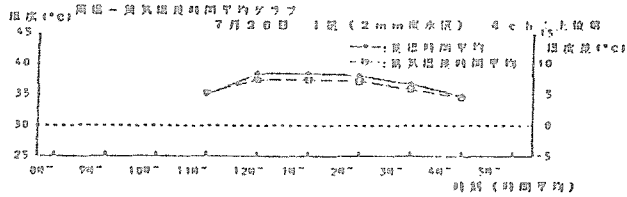


図18-6 各区の1時間平均葉温および葉気温度の経時変化(7月28日)

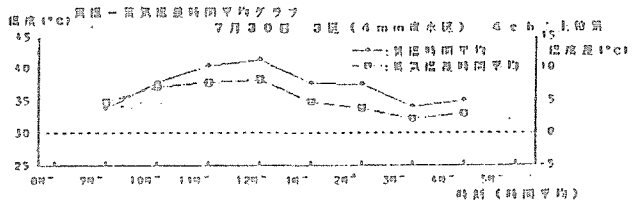
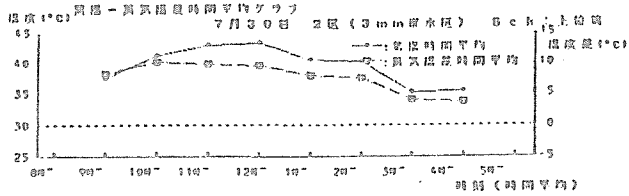
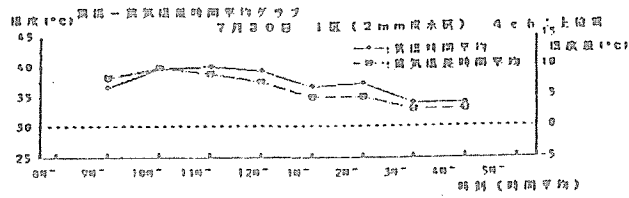


図18-7. 各区の1時間平均葉温および葉気温度の経時変化 (7月30日)

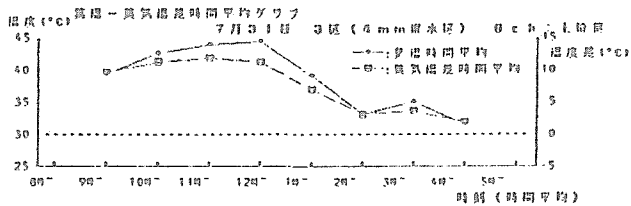
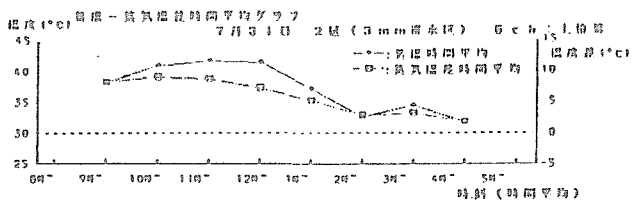
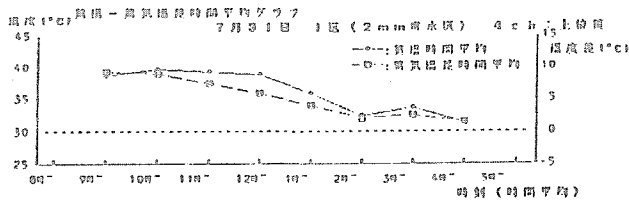


図18-8 各区の1時間平均葉温および葉気温度の経時変化 (7月31日)

5. 結果の総合考察

pF値経日変動の長期傾向において、pF値が上昇する傾向にあることは灌水水量に対して消費水量が上回っていることを意味しており、逆にpF値が降下する傾向にあることは灌水水量に対して消費水量が下回っていることを意味している。

従って、6～7月の結果から、各区のpF値経日変動を比較検討することによって調査期間における日消費水量は約4 mm/d.前後であったと推察される。

pF7プロファイル経日変動を各灌水期間において検討すると、各土壌深さにおけるpF値がどの範囲で変動しているかが一目瞭然である。そのpF値の変動幅が作物にとっての有効水分領域にあるか否かによって灌水水量が有効に利用されているかいないかの判断材料になる。すなわち、各灌水水量が適正灌水水量であるか、過剰灌水水量であるか、もしくは過少灌水水量であるかの判断ができる。

一方、ペンマン法によるハウス内での6～8月の蒸発散量の推定結果は、約4 mm/d.であり、この値は計器蒸発量のデータと比較してもほぼ妥当な値が算定されている。この値にハウスのビニール被覆による日射量遮蔽率約20%を考慮すると、ハウス外での消費水量は約5 mm/d.と推定される。この蒸発散量の推定値は前述の灌水水量とpF値経日変動およびpF7プロファイル経日変動を各灌水期間において検討した結果から推定される土壌水分消費水量とも矛盾しない。

更に、灌漑時期の判定の参考に水分ストレスの状態を水分ポテンシャルと葉温を測定した。

その結果、水分ポテンシャルは大気および土壌水分ポテンシャルに連動しながら経時的に変動することが認められた。かつ、水分ポテンシャルが低下した状態では水分ストレスがかかっている判断される。しかし、水分ストレスの前歴によって水分ポテンシャルは変動し、これには作物の耐干性が密接に関係していることが認められた。従って、この水分ポテンシャルの値それだけで水分ストレスを判断し、灌漑時期を判定することは困難であると考えられる。

一方、葉温は蒸散活動と密接に関連しているために、葉気温差（気温－葉温）のデータを経時変化として土壌水分量変化と対応させると、水分ストレスに直接影響を受けることが認められた。従って、葉温を測定し葉気温差として表すと水分ストレスの状態を判断できることが確認できた。