

傾斜角度の異なる「傾斜装置」における土壤水分張力の分布

Distribution of Soil Water Tension in “Slope Type System” with Different Slope Angles

藤井道彦・石原清治*

Michihiko FUJII and Seiji ISHIHARA

（平成11年10月4日受理）

Summary

Soil drying characteristics of slope type system for the evaluation of drought resistance was made clear by investigating soil water tension distribution of slope type systems with different slope angles. As the results of the comparison of soil water tension distribution between slope type systems with different slope angles, pF in large slope angle (10°) was maintained higher and differences in pF among plots were larger than that in small slope angle (6°). It was made clear that in small slope angle, pF tends to decline more sharply and soil drying tends to be weaker than that in large slope angle as the influence of cloudy and rainy weather. This means that slope type system with small angle in this experiment is not adequate to create enough soil drying stages for the evaluation of drought resistance. Moreover differences in pF between upper and lower parts in each plot tend to be larger in small slope angle than in large one. So in slope type system with small slope angle, pF was affected by weather more strongly than in that with large slope angle, and differences in pF among plots were smaller and differences in pF between upper and lower parts in each plot were larger. Therefore between the slope angles used in this experiment, it became clear that slope type system with large slope angle which has been used in my former experiments is more suitable as the slope type system for the evaluation of drought resistance than that with small angle. And pF in slope type system started declining about 10 days after cloudy and rainy weather continued.

はじめに

東南アジアでは、イネの天水栽培面積が多いため、干ばつが大きな問題となっており¹⁾、干ばつ抵抗性品種のスクリーニングが重要となっている。

干ばつ抵抗性の研究において、圃場条件下で灌水により段階的な土壤乾燥条件を設けた例は多くみられるが^{2,3,4,5,6)}、大規模な圃場面積と灌水装置が必要である。また、圃場における大規模な傾斜実験の例はみられるが、大面積を必要とする^{7,8)}。著者は、段階的な土壤乾燥条件を設定

*自然観察実習地

することを目的に、階段型模擬「圃場」⁹⁾を考案したが、水面から処理区の地面までの高さが1 m以上と高く、多量の土壌と労力を必要とする欠点があった。また、自動灌水式苗床の例もあるが^{10,11)}、強度の乾燥のためには地下水位が約1 mと深くなり、大きな地下水位を設定するために装置が大きくなる。

作物を栽培した状態で土壌に傾斜を与え、土壌水分の違いが生育に及ぼす影響を調べた例は、管見する限りハツカダイコンで一例¹²⁾あるが、土壌水分の分布については明らかにされていない。

著者は、これまでの研究の中で、小規模で容易に段階的な土壌乾燥条件を設定可能な傾斜装置¹³⁾を用いて土壌乾燥段階を設定し、イネの干ばつ抵抗性を評価することができるという仮説のもとに、イネを生育させた状態での傾斜装置における土壌水分張力の測定を行ってきた^{14,15,16)}。しかし、イネを生育させない裸地での傾斜装置における土壌乾燥状態の基礎データは明らかにしていなかった。

本研究では、作物を生育させない状態で土壌水分張力の分布を調べ、傾斜装置の土壌乾燥特性を明らかにすることを第一の目的とした。また、従来用いてきた傾斜角度の傾斜装置よりも土壌乾燥程度が弱い、中程度までの乾燥条件の設定の可能性を調べるために、従来の傾斜装置より傾斜角度の小さい傾斜装置を作成し、従来型の傾斜装置と比較して、その特性を明らかにすることを第二の目的とした。

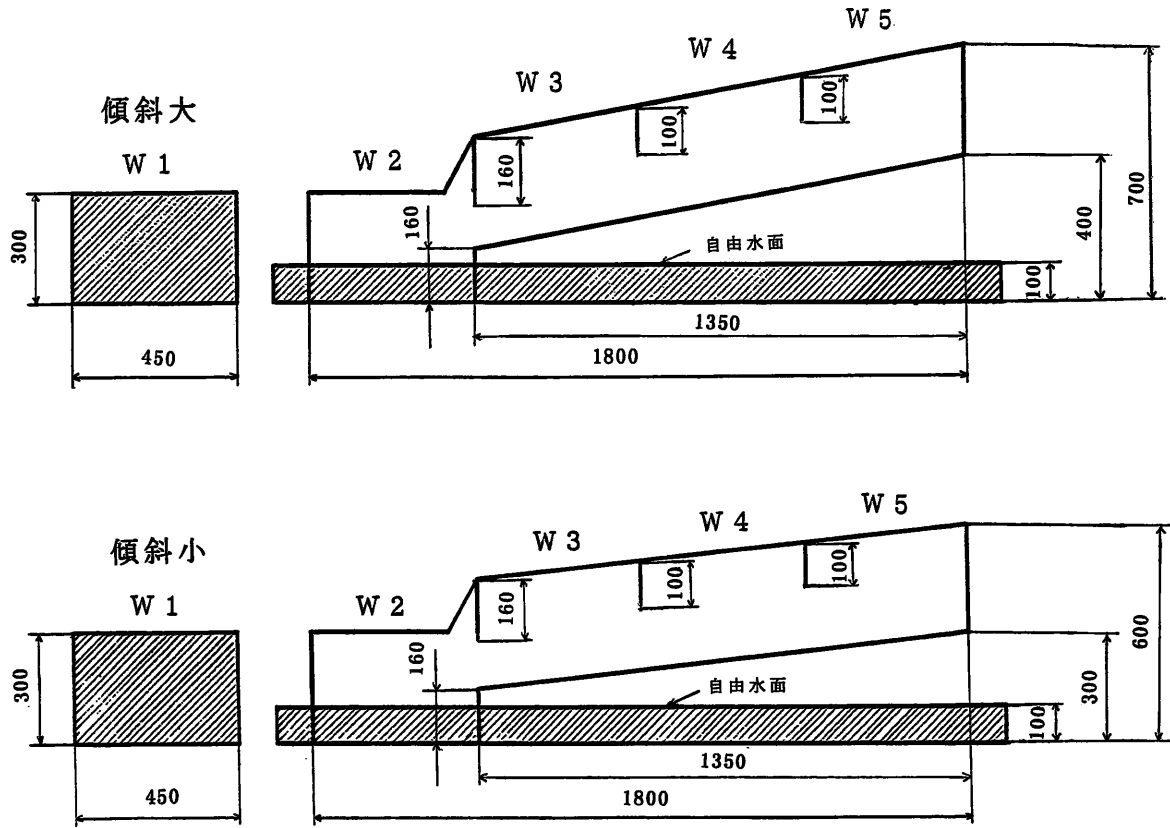
材料と方法

傾斜装置は、傾斜させた土壌の一端を水面に浸すことにより、W2からW5までの段階的な土壌乾燥条件を設定可能な装置（第1図）で、W1は湛水区、W2は湿潤区、W3は弱い乾燥区、W4は中程度の乾燥区、W5は強度の乾燥区とした。W2の底部は水面に接しているが、W3からW5は水面に接しておらず、W3からW5の土壌の下側は空洞とした。傾斜装置は、周囲をブロックで囲んで水を貯めているビニルシートの上に設置し、前部のブロックの高さにより水位を調節した。W2のみが水面に接しており、灌水を行わない場合、W3からW5においては、W2を通してのみ毛管水の上昇により土壌水分の供給が行われるように設定した。なお、処理区の中の土壌水分を均一にするために、W2の下端には穴のあいたパイプを3本入れた。

本研究では、傾斜角度の違いが土壌水分の分布に及ぼす影響を明らかにするために、これまで用いてきた傾斜角度の傾斜装置（傾斜大）に加え、傾斜角度の小さい傾斜装置（傾斜小）を各1台用いた（第1図）。傾斜大は、著者がこれまで用いてきたもので^{13,14,15,16)}、長さ180cm、高さ70cm、W1からW5までの各区の大きさは縦45×幅75cm、深さ30cmとした。一方、傾斜小は、長さは傾斜大と同じだが、高さは60cmと、傾斜大よりも10cm低くした。それぞれの傾斜は、傾斜大では10°（長さに対する高さの勾配18%）、傾斜小では6°（勾配10%）に相当した。なお、傾斜大と傾斜小で、W2の周囲の水位を一定とするため、両者は同じ水面上に設置した。

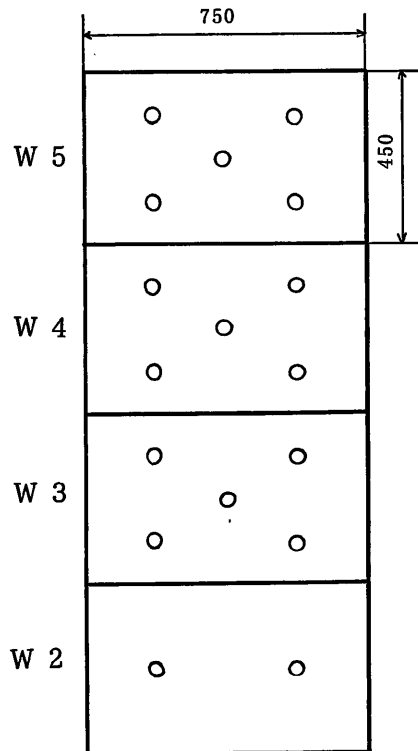
湛水区のW1を除き、W2（湿潤区）からW5（強度の乾燥区）において、土壌の深さ30cmの平均である深さ15cmにテンシオメータを設置して、pFを毎日測定した。なお、W1では、湛水区のためpFは測定していない。テンシオメータは、第2図のようにW2では2カ所、W3からW5の各区では5カ所設置した。

傾斜装置は、降雨を避けるため、静岡大学教育学部自然観察実習地のガラス室内に設置した。気温を屋外と近づけるため、風雨時を除き、ガラス室の周囲の窓は開放した。1997年7月17日



第1図 階段装置の模式図
幅は75cmである。

に、W2からW5までの土壌水分が飽和状態となるように、W2の下端から水が流出するまで、傾斜装置の土壌表面に十分に灌水した。以後、土壌表面への灌水は停止し、土壌水分の供給はW2の周囲の水面からW2を經由しての下からの水の移動のみとした。W2の下部のみが浸っている周囲の水の深さは、乾燥処理開始の7月17日から8月6日までは10cmに保ったが、乾燥が弱かったためにそれ以降は水を補給せず、8月25日には水深は3cmまで低下した。さらに乾燥を促進するために、8月26日以降9月10日までは水深を0cmとしたが、土壌が乾燥した9月11日以降は再給水し、水深を1cmに保った。気温、湿度、日射量の気象データは、静岡地方気象台における測定値を用いた。

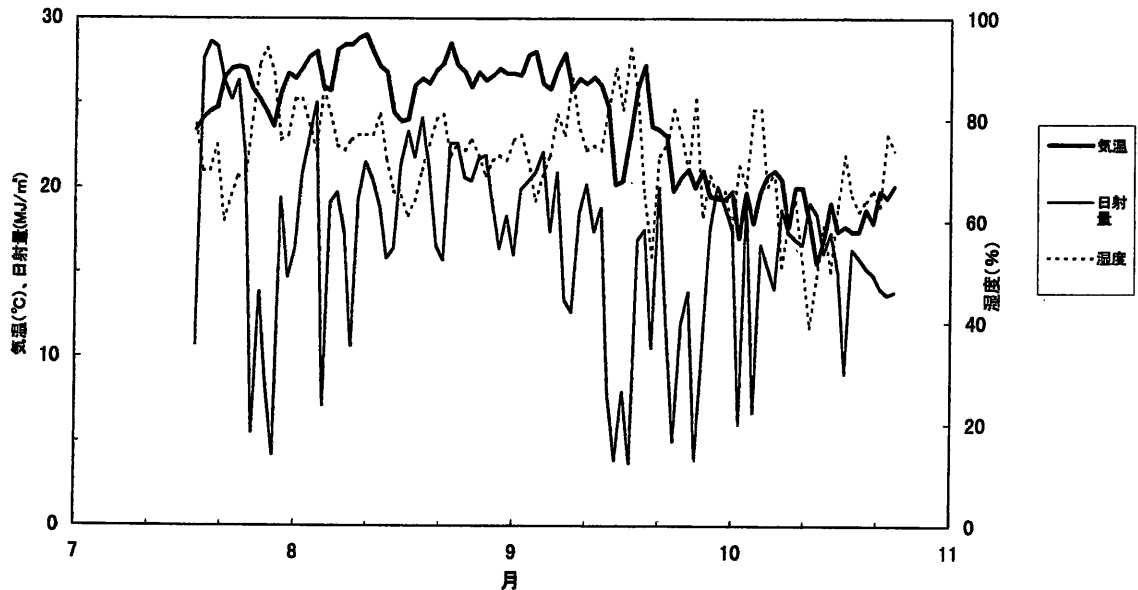


第2図 土壌水分張力 (pF) の測定位置

結果と考察

1. pF 測定期間中における気象条件

第3図に、pF 測定期間中における気温、日射量、湿度の推移を示す。気象データからみて、7月末と8月初め、9月の中下旬には、日射量、気温が低下し、湿度が高く、曇雨天であったが、それ以外の日はほぼ晴天であった。



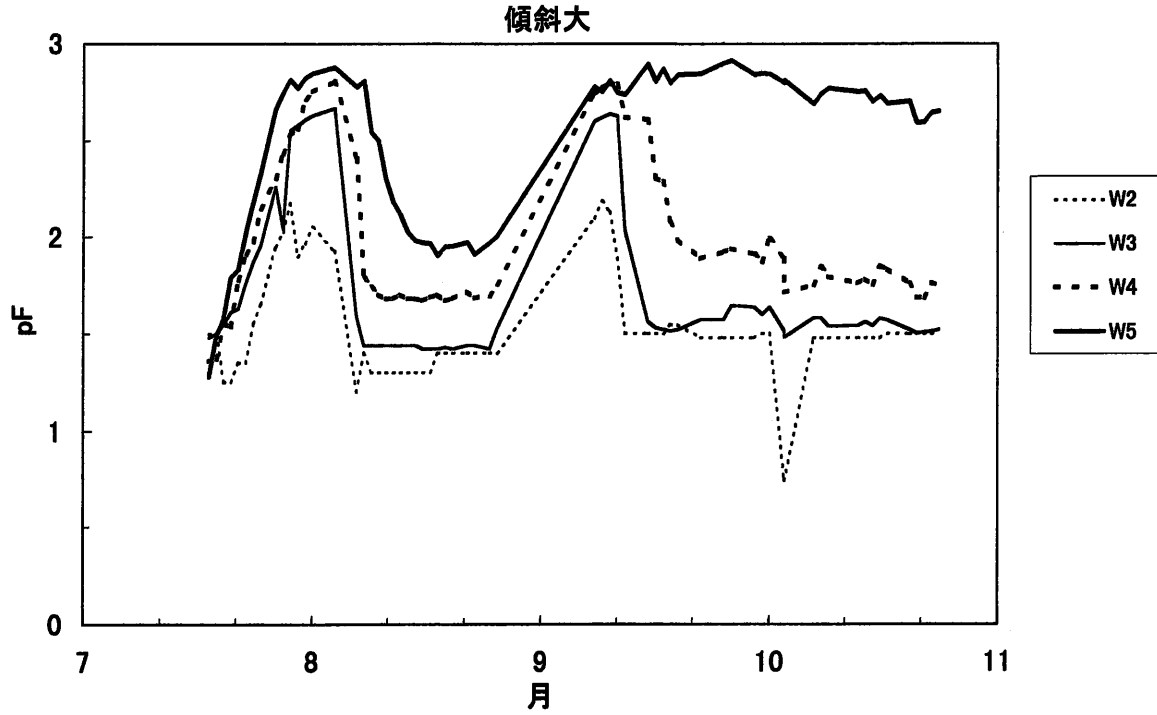
第3図 pF 測定期間中における気温、日射量、湿度の推定

2. 傾斜大と傾斜小の各傾斜装置における pF の推移

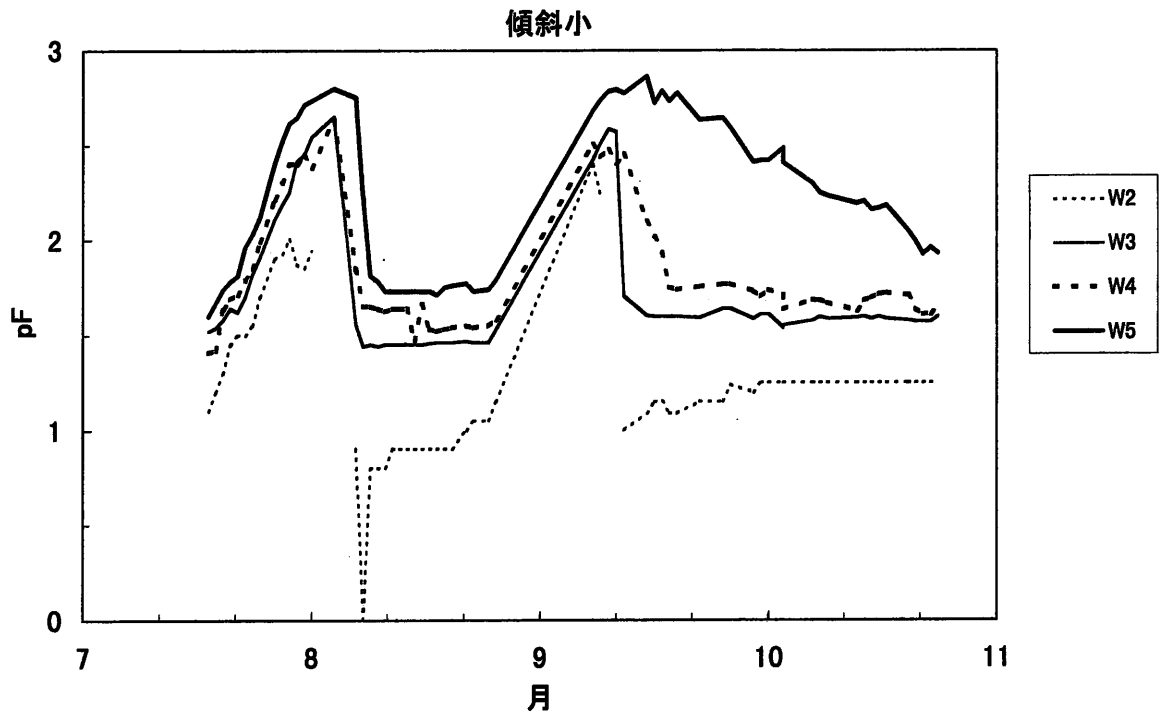
第4図は、傾斜が大きい傾斜装置における pF の推移を示したものである。なお、pF はW2では2カ所、W3からW5の各区では5カ所で測定しているが(第2図)、ここでは各区の pF を比較するために、各区の平均 pF で示した。7月17日の土壤乾燥処理開始後、傾斜大の傾斜装置における各区の pF は上昇し、7月下旬から8月初めまで、W5で約2.8、W4で約2.6、W3で約2.5、W2で約2.0と高い値を示した。その後、各区の pF は徐々に低下したため、W2が浸っている周囲の水深を3 cmまで低下させたが、pFは8月下旬にはW5で約2.0、W4で約1.7、W3で約1.4まで低下した。降雨を避けているため、各区の pF が低下したのは、日射量が少なく湿度が高かった気象条件によるものと考えられる。

8月26日以降は水深を0 cmとして土壤乾燥を促進させた結果、9月上旬には、各区の pF はW5で約2.8、W4で約2.7、W3で約2.6、W2で約2.1まで上昇した。ただし、8月27日から9月7日までは、pFの測定を行っていない。再び水深を1 cmとした9月中旬以降、各区の pF はW5では約2.7と高く保たれたが、W4では約1.8、W3では約1.5まで低下した。いずれの測定日においても、W5からW2の各区の pF 間には、それぞれ大きな差がみられた。とくに、W5からW3までは、W4以下の pF が低下したときに pF の区間差が拡大し、明確になる傾向にあった。

第5図は、傾斜が小さい傾斜装置における pF の推移を示したものである。傾斜小でも、7月17日の土壤乾燥処理開始後に各区の pF は上昇し、8月初めの pF は傾斜大とほぼ同じ高い値を



第4図 傾斜が大きい傾斜装置における pF の推移



第5図 傾斜が小さい傾斜装置における pF の推移

示したが、傾斜大と比較し、8月中旬のpFの低下が大きく、強乾燥区のW5でも約1.7まで低下し、W4の約1.7、W3の約1.4との差がほとんどみられなくなった。なお、W2ではテンシオメータの故障により、pFを測定できない日があった。

傾斜小においても、水深を0 cmとして土壤乾燥を促進させた8月末以降、各区のpFは上昇し、9月上旬には、W5で約2.8、W4からW2ではいずれも約2.5まで上昇した。しかし、再び水深を1 cmとした9月中旬以降10月にかけて、pFはW5においても約2.0にまで徐々に大きく低下した。また、W4とW3のpFはそれぞれ約1.6、約1.5と大きく低下し、また、W4とW3との差もほとんどみられなくなった。なお、傾斜小では、W2のpFが約1と傾斜大のW2と比べて小さい値を示しているが、W2に関しては傾斜大と傾斜小とで地下水位や傾斜の条件が全く同一であることから、両者間に差があることは考えられない。pFは土壤水分張力を対数で表したものであることから、pFが1.5以下の小さい値における差は、土壤水分張力の差としては小さいものと考えられる。

第1表に測定期間中におけるW2からW5までの各区のpFの平均値を示す。なお、8月26日から9月8日までは、水深を0 cmとしてpFの測定を行っていないため、8月26日までと9月8日以降とに分けて示している。傾斜大では、pFの平均がW5で2.48、W4で1.97、W3で1.71であったのに対し、傾斜小ではW5で2.21、W4で1.82、W3で1.71と、W5とW4におけるpFが低く、またW4とW3の間におけるpFの差が小さい傾向が認められた。

したがって、傾斜大においては、pFが低下傾向にあるときでも強乾燥区であるW5のpFは低下しにくく、W5からW3の各区間の差が大きく保たれたことから、傾斜大は干ばつ抵抗性の評価のための段階的な土壤乾燥段階の設定として、適しているものと考えられる。これに対し、傾斜小においては、pFが低下傾向にあるときには、W5のpFも8月中旬頃に約1.7、10月には約2.0まで大きく低下した。pFの測定は深さ15cmにおいて行っており、地表近くのpFは15 cmにおける測定値よりも高いことが考えられるが、作物の正常な生育が阻害されるのはpF2.8以上とされている¹⁷⁾ことから、傾斜小では干ばつ抵抗性の評価に必要な乾燥条件を十分に設定できないものと考えられる。また、傾斜小においては、W3とW4の間でpFの差がほとんどみられず、傾斜小は干ばつ抵抗性の評価のための段階的な土壤乾燥段階の設定としては適していないものと考えられる。このことは、外観からも認められ、pFが低下傾向にあるとき、傾斜大ではW4とW5の土壤表面は乾燥した状態であったが、傾斜小ではW5を除くと、W4においても土壤表面が湿潤な状態であった。

第1表 各区における測定期間中のpFの平均値

		pF		
		7/18~8/26	9/8~10/24	平均
傾斜大	W 2	1.50	1.52	1.51
	W 3	1.72	1.70	1.71
	W 4	1.91	2.04	1.97
	W 5	2.21	2.77	2.48
傾斜小	W 2	1.20	1.28	1.24
	W 3	1.71	1.71	1.71
	W 4	1.79	1.85	1.82
	W 5	2.00	2.43	2.21

3. 傾斜の違いが各区の平均 pF に及ぼす影響

W5 からW3 の各区ごとに、傾斜の違いが平均 pF に及ぼす影響を検討する。強乾燥区のW5 における pF の推移を傾斜の大小で比較すると（第4, 5 図）、両者の pF が約2.8に上昇したときには、両者の差は0.1以下とほとんどみられなかったが、pF が低下傾向にあるときには、傾斜小における pF は傾斜大よりも急激に低下し、両者の差は最大で約0.9にまで拡大した。

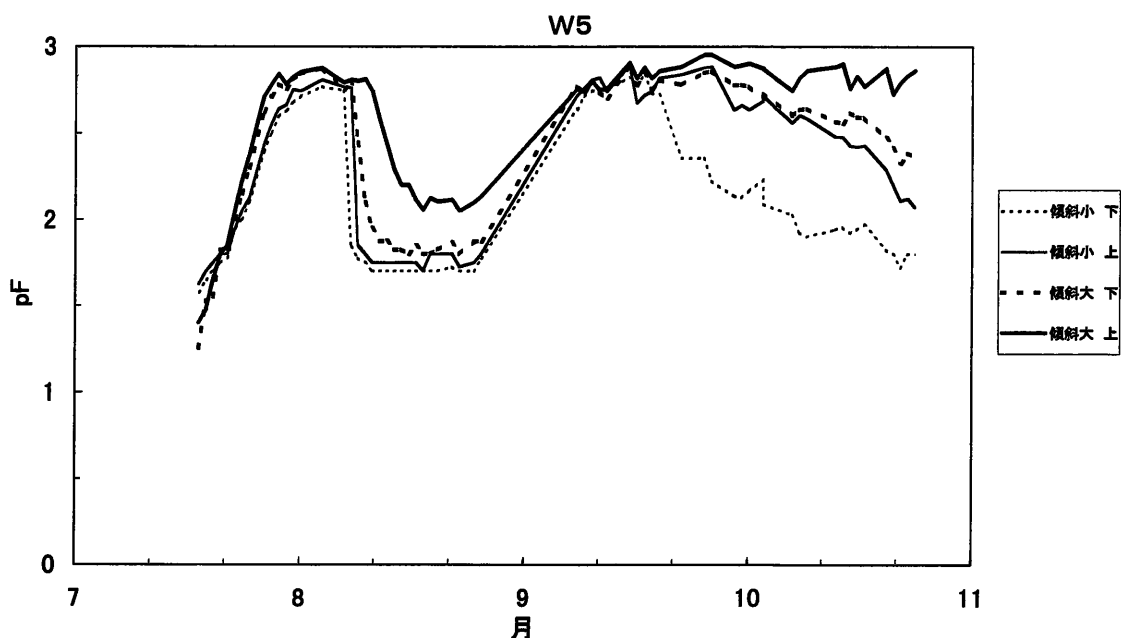
中程度の乾燥区のW4 においても、測定期間全般にわたり、傾斜大の方が傾斜小よりも高い pF を示す傾向がみられた。W4 においては、pF が低い値のときには傾斜大と傾斜小との差は約0.1と小さかったが、pF が高い値を示したときには、傾斜大の方が傾斜小よりも約0.4高く、差が拡大する傾向がみられた。

弱い乾燥区のW3 では、傾斜大と傾斜小との pF の差はほとんどみられなかった。ただし、pF が高い値を示したときには、傾斜大の方が0.2ほど高い値がみられることもあった。

これらのことから、傾斜大と傾斜小との pF の差は、土壌乾燥の強度なW5 とW4 においてみられ、土壌乾燥の弱いW3 ではほとんどみられないことが明らかとなった。また、傾斜小のW5 における pF の最大値は傾斜大と同程度に高かったことから、傾斜小においても土壌乾燥が促進される条件下ではW5 は強度に乾燥するが、土壌乾燥が軽度となる条件下では pF が急激に低下して湿潤となる傾向が明らかになった。したがって、傾斜小における土壌乾燥は、傾斜大よりも気象条件の影響をより大きく受けて変動することが明らかとなった。

4. 傾斜の違いが各区内における pF の分布に及ぼす影響

次に、W5 からW3 の各区の上部と下部における pF の差について検討する。W3 からW5 の各区では5カ所で pF を測定しているが（第2 図）、各区の上部と下部各2カ所における pF の平均を比較した。第6 図は、強乾燥区のW5 の上部と下部における pF の推移を、傾斜の大小で



第6 図 傾斜の異なる傾斜装置のW5（強乾燥区）の上部と下部における pF の推移

比較したものである。上部と下部の pF がいずれも高い値を示した 8 月初めと 9 月中頃には、傾斜大でも傾斜小でも、上部と下部の pF にはほとんど差がみられなかった。しかし、9 月中頃以降になると、傾斜小では pF が低下する傾向が認められたが、とくに下部の pF が急激に低下したため、傾斜小における上部と下部との pF の差が約 0.5 から 0.6 と拡大する傾向がみられ、土壤水分に区の中で大きなばらつきがみられた。一方、傾斜大でも 9 月中頃以降に下部の pF がやや低下する傾向は認められたが、上部と下部との pF の差が小さく、10 月下旬に 0.5 近くであったのを除き、ほぼ 0.1 から 0.2 の範囲内であった。

中程度の乾燥区である W4 においても、傾斜大と比べ傾斜小の方が、上部と下部との pF の差がやや大きい傾向にあり、とくに下部の pF が低下したときに 0.5 以上と大きな差がみられた (第 7 図)。

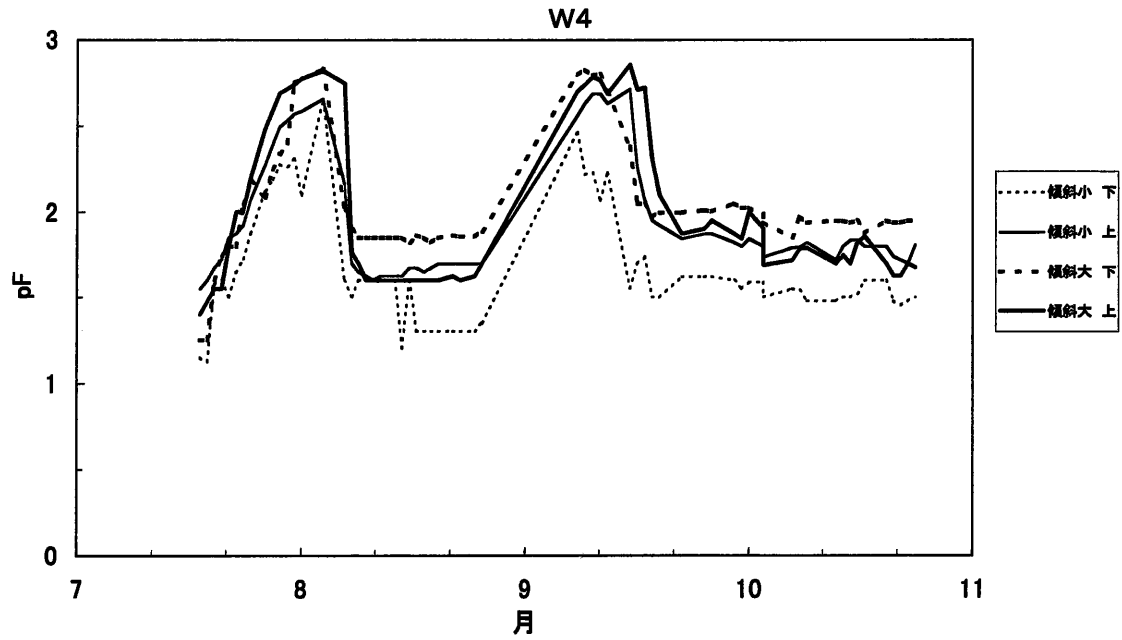
弱い乾燥区である W3 においても、傾斜大と比べ傾斜小の方が、上部と下部との pF の差がやや大きい傾向がみられた (第 8 図)。

このように、傾斜小では傾斜大と比べ、W5 から W3 の各区における上部と下部での pF の差が大きい傾向が認められた。区の中での pF の変化が大きいことは、段階的な乾燥条件の設定として望ましくない。傾斜小では、とくに W5 と W4 において、上部と下部との pF の差が大きかったが、このことは、区の上部は乾燥状態、下部は湿潤状態と、区の中の土壤水分状態の差が大きいことを意味しており、作物を栽培した場合には、区の上部と下部とで生育に大きな差が生じることが予想される。干ばつ抵抗性の評価のためには、数個体について生育を調査することを考えると、区の中での pF の差が大きかった傾斜小は、傾斜大と比較して、干ばつ抵抗性の評価のための段階的な土壤乾燥段階の設定としては適していないものと考えられる。

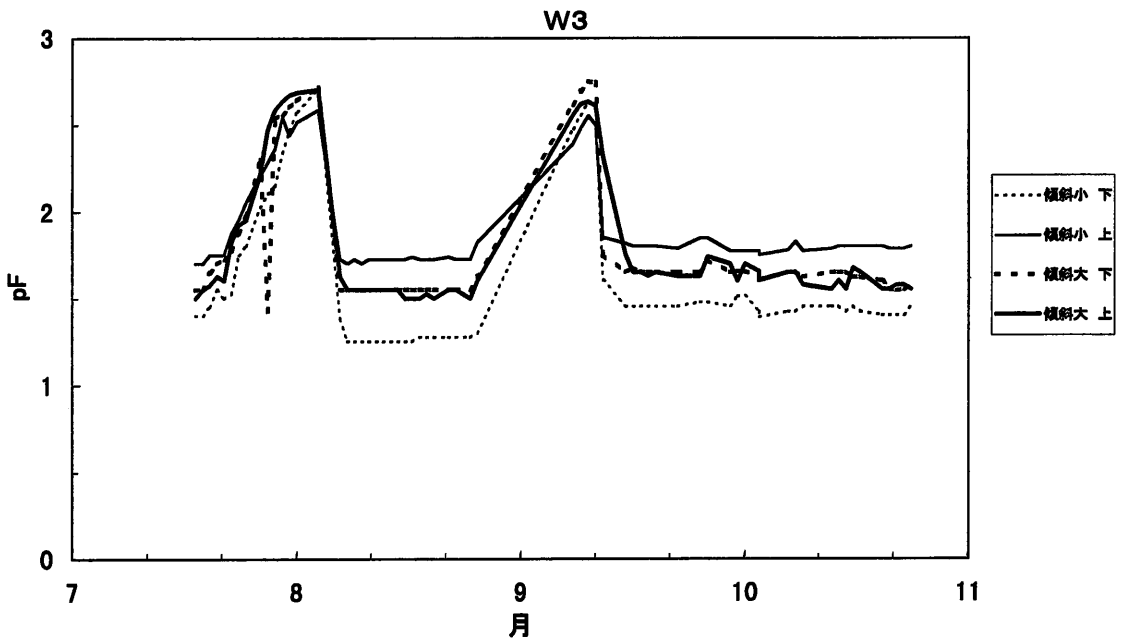
5. pF の推移と気象条件との関係

傾斜大ならびに傾斜小において、8 月 7 日から 8 月 10 日における各区の pF は、周囲の水深は 10cm で一定に保っていたにもかかわらず急激に大きく低下したが (第 4, 5 図)、第 3 図に示したように、8 月初めの雨天日は 8 月 5 日の 1 日のみで、日射量および湿度からみても、このときの pF の低下以前に雨天が継続したのは 7 月 26 日から 29 日であった。したがって、pF は曇雨天が継続すると、約 10 日遅れて大きく低下を始める傾向にあるものと考えられた。傾斜装置における土壤乾燥が気象条件に影響され、制御することができない点は課題点であると考えられる。

本研究では、作物を生育させずに、角度の異なる傾斜装置における土壤の pF のみを測定したが、作物を生育させた条件下では、蒸発とともに蒸散が土壤乾燥に大きく影響し、とくに葉面積が大きい条件下では蒸発散に占める蒸散の割合が高くなるとされている^{18,19)}。このため、本研究でみられたような曇雨天の影響による pF の低下は、蒸散がある条件下では蒸発のみの場合と比べて小さいと考えられる。実際、これまで傾斜装置にイネを生育させた条件下では、急激な pF の低下はみられていない^{14,16)}。このため、この点に関しては今後の検討課題で、イネを生育させた条件においても、傾斜装置の傾斜角度の影響についてさらに検討していく予定である。



第7図 傾斜の異なる傾斜装置のW 4（中程度の乾燥区）の上部と下部における pF の推移



第8図 傾斜の異なる傾斜装置のW 3（弱い乾燥区）の上部と下部における pF の推移

要 旨

傾斜装置の傾斜角度を変えて土壤水分張力の分布を調べることにより、干ばつ抵抗性の評価を行う上での傾斜装置の土壤乾燥特性を明らかにすることができた。傾斜角度の異なる傾斜装置における pF の分布を比較した結果、傾斜が大きな傾斜装置（角度10°）の方が傾斜が小さな傾斜装置（角度6°）よりも pF が高く保たれ、また、各処理区間における pF も明確な差で設定することができることが明らかとなった。また、傾斜小では、傾斜大よりも天候の影響によって pF が大きく低下して、土壤乾燥が軽度になりやすいことが明らかになった。このことは、干ばつ抵抗性の評価に用いるためには、本研究で用いた傾斜小の傾斜装置では十分な土壤乾燥段階を設定することができないことを示している。さらに、傾斜小では傾斜大よりも、各区内での上部と下部における pF の差が大きい傾向にあった。したがって、傾斜小では傾斜大よりも pF が天候の影響を大きく受け、各区間での pF の差が小さく、一方、各区内における上部と下部で pF の差が大きかったことから、今回用いた角度では、これまで用いてきた傾斜大の方が傾斜小よりも、干ばつ抵抗性の評価を行うための傾斜装置として適していることが明らかとなった。また、傾斜装置における pF は、曇雨天の継続後約10日遅れてから低下を始めた。

謝 辞

本論文を取りまとめるに当たり、貴重な御助言を頂いた、静岡大学教育学部大河内信夫教授に、厚く感謝の意を表します。

引用文献

1. Chang, T. T., G. C. Loresto, J. C. O'Toole and J. L. Armento-Sato 1982. Strategy and methodology of breeding rice for drought-prone areas. In Drought resistance in crops with emphasis on rice, IRRI. Los Baños, Philippines. 217-244.
2. Cruz R. T. and J. C. O'Toole 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. Agron. J. 76: 178-183.
3. Plaut Z., M. Ben-Hur, and A. Meiri 1992. Yield and vegetative growth as related to plant water potential of cotton irrigated with a moving sprinkler system at different frequencies and wetting depths. Irrig. Sci. 13: 39-44.
4. Sheriff, D. W., M. J. Fisher, G. Rusitzka and C. W. Ford 1986. Physiological relations to an imposed drought by two twining pasture legumes: *Macroptilium atropurpureum* (desiccation sensitive) and *Galactia striata* (desiccation insensitive) Aust. J. Plant Physiol. 13: 431-445.
5. Turner, N. C., J. C. O'Toole, R. T. Cruz, O. S. Namuco and S. Ahmad 1986. Responses of seven diverse rice cultivars to water deficits. I. Stress development, canopy temperature, leaf rolling and growth. Field Crops Research 13: 257-271.
6. Turner, N. C., J. C. O'Toole, R. T. Cruz, O. S. Namuco and S. Ahmad 1986. Responses of seven diverse rice cultivars to water deficits. II. Osmotic adjustment, leaf extension, leaf death, stomatal conductance and photosynthesis. Field Crops Research 13: 273-286.
7. IRRI 1986. Annual Report for 1985. Los Baños, Philippines. 305-319.

8. Mambani, B., and R. Lal 1983. Responses of upland rice varieties to drought stress. II. Screening rice variety by means of variable moisture along a toposequence. *Plant Soil* 73: 73-94.
9. 藤井道彦 1993. 階段型模擬「圃場」を用いたイネの水ストレスレベルの品種間差異と乾物生産の関係. 静岡大学教育学部研究報告(自然科学篇) 43: 27-39.
10. 玉井虎太郎 1956. 畑作用水法の合理化に関する研究. 愛媛大学紀要第六部農学 2(2) 1-176.
11. 玉井虎太郎 1971. 植物用水管理の理論と技術 [6]. 農業および園芸 46: 117-120.
12. 増田繁 1986. 「栽培」領域における教材基礎研究(I) 日本産業技術教育学会 28(3) 1-13.
13. 藤井道彦 1994. 傾斜装置による水ストレス条件下におけるイネの葉温の品種間差異. 静岡大学教育学部研究報告(自然科学篇) 44: 51-63.
14. 藤井道彦 1995. 水ストレス勾配条件下のイネ葉温に及ぼす施肥窒素の影響. 静岡大学教育学部研究報告(自然科学篇) 45: 35-47.
15. Fujii, M., T. Takahashi and T. Horie 1996. A simple method for estimation of crop water stress index with use of model leaves, and its application to rice. In *Crop research in Asia: Achievements and Perspective. Proceedings of the 2nd Asian Crop Science Conference* (Eds. R. Ishii and T. Horie). 698-699.
16. 高橋孝明・藤井道彦 1996. 高温干ばつがイネの水ストレスに及ぼす影響の品種間差異—乾物重と葉温からみて—. 日本作物学会記事 65(別2): 105-106.
17. 横井肇 土壌の物理性 1987. 農学大事典, 養賢堂 191-196.
18. 桜谷哲夫・堀江武 1985. 作物の蒸発散に関する研究 (1)水田蒸発散の季節・品種特性と簡易推定法. 農業気象 41(1): 45-55.
19. Sakuratani, T. 1987. Studies on evapotranspiration from crops (2) Seperate estimation of transpiration and evaporation from a soybean field without water shortage. *J. Agr. Met.* 42(4): 309-317