

筑波台地表層火山灰土の土壤水分特性に関する研究

I. 植被が土壤水分におよぼす影響

矢野 義治*

YANO, Yoshiharu: Studies on Water Characteristics of Volcanic Ash Soil on the Tsukuba Upland in Kanto Plain I. The Influence of Vegetation Cover on Soil Moisture Retention

土壤は無機成分から構成されている部分が多く、その全体としての取り扱いも無機質としてとらえられてきた。19世紀末に至って、ソ連の土壤学者ドクチャエフは従来の古典的な土壤概念を破って新しい近代土壤学とも言える生成的土壤学の学説を発表した(菅野 1972)。土壤と土壤生成因子の間にみられる関係の研究はその後の研究者に受け継がれて発展し、現在では土壤生成因子を気候、生物、母岩、地形、年代、人為の6因子に要約している。そして、土壤生成においては6因子の相互作用により独立の土壤が作られると考えられるようになった。水が土壤生成に大きく作用することは各地の土壤調査からも明らかである。土壤生成に関与する水については、気候と地形の因子に包含され議論されてきた。しかし、水の因子は小地域を対象として土壤生成を論ずるときは一つの独立した因子と考えられる重要な因子である。土壤と水の関連は土壤生成論において重要であるほかに、土壤を植物の生育の場とみなす場合には特に重要である。

また一方では、土壤中の水分の多少は植物の生育を左右し、乾燥が進めば植物はしおれついには枯死に至る。土壤中の水分は主として降雨により供給されるために自然状態では気候と関連して論ぜられることが多い。しかし、同じ気候区に発達した土壤でも母材の違いや堆積状態や地形の変化に応じて、保水性や透水性の異なる土壤の分布が見られ、単に降水量や蒸発散量など気象条件のみで土壤中の水分を規定出来ない。とりわけ火山灰地のように噴出源を異にする数種の火山灰層から構成されている台地においては複雑な水分環境のもとにあると言える。

土壤中の水分の研究は、灌漑農業の発達にともなって進展した。そのために乾燥地の常に水不足地域で、しかも農作物の生育期間のみを対象としたものであった。植物園のように通年植物を管理する立場からの土壤水分と植物に関する調査研究は、ほとんど手をつけられていない。

本報告では、土壤水分と植物の生育と管理に関連して、筑波実験植物園における土壤の水分特性、土壤水分の年間変化、地表面処理の土壤水分に与える影響および灌水効果について報告する。

筑波実験植物園の土壤水分立地

土壤に含まれる水分は、大気中から供給される量と土壤表面や植物からの蒸発散および地下への浸透などによって失われる量との収支によって決定される。本園の土壤水分立地として土壤、植物群落および気候の関与が考えられる。これらの概要を記す。

1) 土壤特性

本園は筑波台地のほぼ中央部に位置している。この台地の基底部は10万年以上前に海底で堆積し

* 国立科学博物館 筑波実験植物園 Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Ibaraki Prefecture 305.

た砂質の成田層で構成されている。台地の南部には成田層をおおって竜ヶ崎砂層と呼ばれる灰色の中粒～粗粒砂が 4～5 m の厚さで堆積しているが、本園ではこれらの存在が判然としない。成田層の上部は常総粘土層および関東ローム層が堆積している。常総粘土層は地下水の運動に大きな影響をおよぼしている層で、表層にある関東ローム層の水分環境を考察するうえで重要である。平坦な台地面では常総粘土層が難透水性のために浅層地下水を保持する層位となる。しかし、植物の生育に直接関与する地表部では、関東ローム層の諸性質がより重要な役割を果している。関東ローム層には箱根、富士、浅間などを噴出源とする火山灰が堆積していると思われるが、永塚ら (1982) によれば淡色黒ボク土で、南関東に分布する立川ローム層と同一起源の火山灰であると推測している。

本園の詳細土壌調査は未だ完成されていないが、既往の調査結果 (茨県農試 1975, 経企庁 1969) などから総合して、淡色黒ボク土褐色壤質型いわゆる“あかのっぼ”が主体を占める。しかし、本園造成において切土や盛土を行ない表層部はかなり移動されており、これが土壌中の水分移動にも影響をおよぼしている。本園土壌は淡色黒ボク土が大部分を占めているが、そのほかに微地形の変化にともない凹地では表層に腐植含量の多い厚層多腐植質黒ボク土や砂礫地区画のように基盤改良した砂礫土および切土・盛土など人為により移動した攪乱土が存在する。

今回の土壌水分調査地点の淡色黒ボク土の土壌断面は次のとおりである。

位置：本園アカマツ林区

地形：台地上の平坦面

植生：アカマツ、クリ、コナラ、ヒサカキなど、林床植物はアズマネザサ、ヤマツツジ、ノガリヤス、イチヤクソウ、シュンラン

母材：火山灰

断面形態

A₀₀: +2～0 cm クリ、アカマツの落葉未分解層 (F層)

A₁₁: 0～5 cm 湿色 極暗褐色 (7.5 YR 2/3), 乾色 暗褐色 (7.5 YR 3/3), 腐植に富む CL, 発達弱の細粒状構造, ち密度10, 細孔多, 半乾, 粘着性弱, 小根に富む, 層界平坦で判然。

A₁₂: 5～11 cm 湿色 暗褐色 (7.5 YR 3/4), 乾色 褐色 (7.5 YR 4/4), 腐植を含む CL, 発達弱の細粒状構造, ち密度14, ササの中根に富む, 半乾, 層界平坦で判然。

A₃: 11～26 cm 湿色 褐色 (7.5 YR 4/4), 乾色 褐色 (7.5 YR 4/6), CL ないし LiC, 発達弱の小中亜角塊状構造, ち密度16, 小根を含む, 乾, 粘着性弱, 層界波状判然。

B: 26～40 cm 湿色 褐色 (7.5 YR 4/6), 乾色 明褐色 (7.5 YR 5/6), LiC, 発達弱の中亜角塊状構造, ち密度16, 中根を含む, 粘着性中, 半乾, 層界平坦明瞭。

II A₁: 40～86 cm 湿色 暗褐色 (7.5 YR 3/3), 乾色 褐色 (7.5 YR 4/3), 腐植を含む LiC, 発達中の中亜角塊状構造, ち密度18, 細根を含む, 半湿, 粘着性強, 直径 1～3 cm の粘土塊を含む, 層界平坦明瞭。

III A₁: 86～132 cm 湿色 褐色 (7.5 YR 4/4), 乾色 明褐色 (7.5 YR 5/6), CL ないし LiC, かべ状構造, ち密度21, 細根わずかに含む, 半湿, 粘着性中, 明赤褐色 (5 YR 5/8) の軽石風化物を含む, 細孔隙多, 層界波状明瞭。

III B₁: 132～155 cm 湿色 褐色 (7.5 YR 3/3), 乾色 明褐色 (7.5 YR 5/6), LiC, かべ状構造, ち密度22, 半湿, 粘着性強, 赤褐色 (5 YR 4/8) の斑鉄含む, 層界漸変。

土壌断面に示した地点の A₁₁ 層, A₃ 層 (15～20 cm), II A₁ 層 (50～55 cm) の3層について、土壌の含水量や土壌水の運動速度あるいは植物根の吸水の難易などを知る pF-水分曲線を Fig. 1 に

示す。測定は遠心法を用いた。土壤に保持されている水分で、植物が生育するに支障なく吸収できる水を圃場容水量の pF 1.8 から永久萎凋点の pF 4.2 と設定すると、その値は A₁₁ 層で 27 vol%, A₃ 層で 23 vol%, II A₁ 層で 23 vol% である。表層は有機物含量が多く、土壤構造も発達しているために保持される水分も多くなっている。pF 1.5 以下の粗孔隙量は表層で 14 vol%, A₃ 層で 19 vol% と大きく、下層の II A₁ 層では 10 vol% と最小の値を示す。

一定容積の土壤が保持する水分量は三相分布における孔隙量からも推測される。昭和59年4月9日に採取した土壤の測定値を Table 1 に示す。液相は下層に向かって増加し、気相が減少している。II A₁ 層で固相は16.8%と小さい値を示す。この層は乾燥による収縮が大きい層位としても注目されるものである。

2) 植物群落特性

低木林区画の下草雑草等は早春にはロゼットで越冬するハルジオンが主体であり、次にヨモギが旺盛な生育をしめし大部分を占めるようになる。続いて隣接して植栽されているモミジイチゴも測定区内に出てくる。6月からチガヤの

旺盛な生育が見られ、夏期間を通して優先種である。ここで、9月の下草雑草組成をコードラート(1×1m 方形)をとりブラウン・プランケに準じた方法にしたがって調べた。その結果を Table 2 に示す。植物根が土壤水分を吸収し茎葉部で蒸発散する一連の水分消費の過程において、根の分布状態は土壤層位別の水分消費および移動に関連が深く重要である。しかし、今回は蒸発散に影響をおよぼす地上部の茎葉の量を知るために、種類別の生体重を測定し Table 2 に示した。夏期の植物繁茂による蒸発散が土壤水分の変化に関与することは測定結果の項で述べる通りである。植物が土壤水分立地として重要なことが解る。

3) 気候特性

本園での気候観測項目は少なく、蒸発散について述べるほどのデータの蓄積はない。それで、近傍の高層気象台のデータを編纂したものを Fig. 2 に示す。年平均気温は 13.7°C、年降水量は1299 mm、地表から 50 cm 深さで地温 15.2°C である。蒸発散量について天野 (1984) がヴォロブエフの方法に準じて算出した結果によると降水量が多く全ての月で可能蒸発散量を上まわっている (Fig. 2)。しかし、1978年のような寡雨年には降水量が可能蒸発散量を下まわる夏期がある。

測定場所および測定方法

土壤水分の測定は園内のほぼ中央に位置する台地平坦面の低木林区画で行なった。この土壤は淡色黒ボク土で前に示したアカマツ林区のものとはほぼ同じ断面形態を示す。しかし植栽基盤の造成に当り表土が数 cm はぎ取られている。低木林区に植物被覆の状態を異にした3区を作り、テンシオメータを設置した。すなわち、測定期間を通して下草雑草等に手を加えないで自然の変化に放置した

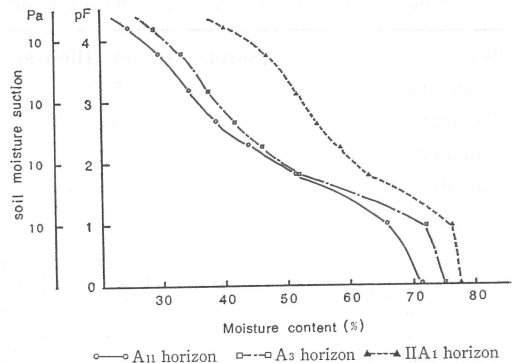


Fig. 1. Soil moisture retention curves of undisturbed samples (taken on April 9, 1984).

Table 1. Three phase of used soil.

	Solid (%)	Liquid (%)	Air (%)
A ₁₁ horizon	20.7	39.2	41.1
A ₃ horizon	21.8	48.6	29.6
II A ₁ horizon	16.8	59.7	23.5

(% of total volume)
(sampled on April 9, 1984)

Table 2. The *Imperata cylindrica* Community.

Site	Shrubs section (High altitudes)		
Vegetation height	85 cm		
Vegetation cover	90 cm		
Number of species	12		
Quadrat area	1×1 m		
Species	cover- age	socia- bility	weight of standing crop (g)
<i>Imperata cylindrica</i>	4	3	730
<i>Artemisia princeps</i>	3	2	180
<i>Equisetum arvense</i>	1	1	42
<i>Rubus palmatus</i> var. <i>coptophyllus</i>	+	1	26
<i>Solidago altissima</i>	+	1	23
<i>Miscanthus sinensis</i>	1	2	22
<i>Erigeron annuus</i>	1	1	13
<i>Trifolium repens</i>	1	2	13
<i>Erigeron philadelphicus</i>	+	1	2
<i>Setaria glauca</i>	+	1	2
<i>Sacciolepis indica</i> var. <i>oryzetorum</i>	+	1	2
<i>Arthraxon hispidus</i>	r	1	1

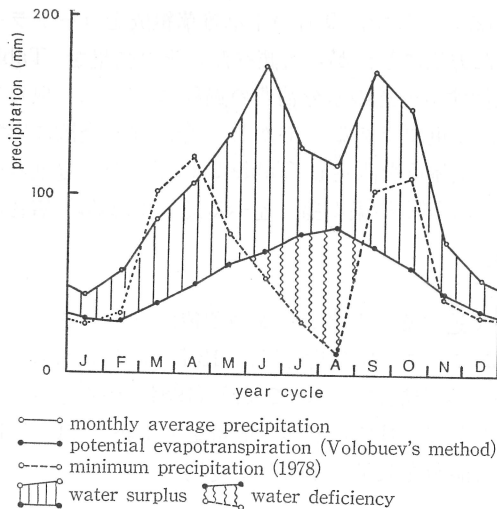


Fig. 2. Annual fluctuation of water balance (Data based on Aerological Observatory, TATENO. after Amano, 1984).

は植生との関連もあるので、59年3月～6月、58年7月～12月、59年1月～2月のデータに基づき概観する。春先の3月上中旬は pF 1.7～2.0 で、比較的湿潤状態で経過したが下旬になり気温の上

状態の区（自然区）と、下草雑草等を常に 5 cm 程度に刈込んだ区（刈込区）および農耕地のように耕耘し地表の植物を撤去すると同時に地表から 8 cm 程度を膨軟にした裸地区である。裸地区は降雨後地表面にクラストが形成され固くなるので時々シャベルで攪乱し膨軟な表面を維持した。

土壌水分や土壌中の水分移動の測定方法には土柱法、テンシオメータ法、中性子水分計、石膏ブロックおよび誘電式などがある。これらの方法は測定範囲や測定場所に制限や限定があり 2.3 の方法を組合せて利用している。

テンシオメータ法は比較的湿った状態での土壌水分移動を圃場など現地で直接測定できる簡易な測定法であるので今回はこれを用いた。土壌水分の測定範囲は pF 0（飽和含水量）から pF 2.7（毛管連絡切断含水量）までの間である。飽和含水量は土壌中の総ての孔隙が水で満たされたときの土壌が有する水分量をいい、土壌の保水性を示す値の一つである。毛管連絡切断含水量は土壌中の毛管孔隙の水分の減少によって、水の連続性が切断されて毛管移動ができなくなる土壌含水量である。

テンシオメータは各区とも地表から 10 cm, 20 cm (59年4月から 30 cm, 50 cm を追加) に埋設した。測定は毎日午前 9 時、期間は昭和58年7月から59年6月までの1年間である。なお、冬期間も断熱材で保護しカップ内の水の凍結を防止し通年測定した。

結果および考察

1) 裸地区 10 cm の土壌水分張力の季節変化測定は58年7月から59年6月までの2年間にわたるものであるが、ここで

昇に伴ない pF 2.1 以上となった。11日連続旱天があった4月30日には pF 2.40 まで上った。5月は pF 2.2 以上で経過し、4月より一段と乾燥状態となり最高値は pF 2.55 を示した。表層がこの程度乾燥すると1日当たり 10~15 mm の降雨があっても1日後の pF は 2.2~2.3 までにしか回復せず乾燥状態が持続される。6月は梅雨期であり降水量も多く低 pF の湿潤状態で経過するが、時には59年のように上旬の12日連続旱天で pF 2.62 まで上昇した。この時はスプリンクラによる灌水を行ったほどである。梅雨時の 5.6 mm/day 以下の雨量強度では土壤水分にあまり影響をおよぼさず pF 2.1 ~2.3 で経過している。梅雨明けの7月中旬から8月下旬までは pF 2.2~pF 2.56 で4、5月と同程度の乾燥状態で経過する。この期間の 10 mm 以下の日降水量では 10 cm 以下の土層にはほとんど影響をおよぼさず、いわゆる表面のおしめり程度の水分供給と考えられる。9月は降水量、降水日数ともに多く pF 2.2 以下で経過した。9月の平均降水量は 170 mm (高層气象台、谷田部町館野、1951~1978) であるが、59年9月は約2倍の 336 mm (本園内) を観測しており、異常年であったと思われる。10月は9月からの多雨傾向が続き pF 2.1 以下で経過したが、11月にはいり旱天日数が持続されるにしたがって乾燥状態となり、初霜を観測した11月23日には pF 2.51 となった。12月は季節風も強く pF 2.2~2.3 と乾燥気味に経過した。特に下旬には pF 2.4~2.5 を10日以上記録した。59年1月も中旬まで pF 2.4~2.5 の乾燥状態が続いたが、19日の降雪およびその後の5、6日間隔の降雪により2月上旬まで pF 1.6~1.9 の状態であった。3月も寒波は続き pF 2.2 より高くなることはなかった。

以上、昭和58年7月から昭和59年6月までの年変化である。9月の異常降水量、1月~2月の降雪および寒波など例年と異なる点も多いが、一年間の土壤水分張力変化を概観した。

2) 土壤被覆植物の状態と土壤水分張力変化

雑草生育の旺盛な夏期間は自然区の表層 10 cm が一番乾燥状態にあり、続いて自然区 20 cm, 裸地 10 cm, 刈込区 10 cm, 裸地区 20 cm, 刈込区 20 cm の順になっている (Fig. 3)。自然区の表層における土壤水分張力の増加は土壤面からの直接の蒸発に加えて雑草の蒸発散作用に伴なうものであろう。最大値はほぼ pF 2.9 を示した。この状態では植物の生長が阻害されるし長く続くと枯死するようになる。ただし、本園のような土層状態の地域では下層に多くの水分を保持した層位があり多少表層の乾燥化が進んでも下層からの水分供給が続くと思われるので、枯死することはない。裸地区は刈込区よりも乾燥して経過している。これは地被の有無による地表面での蒸発散量の違いを示したもので興味ある現象である。夏期、地表面からの発散が多い期間の日やけを防止し、適度な土壤水分保持の方法として、枯草や麦稈などによるマルチングの有効なことは経験的に知られている。今回も 5 cm に刈込んだ植被区の土壤水分張力が裸地区よりも小さいことから実証されたと言える。

雑草等が枯れ、植物の蒸発散作用が行なわれなくなった冬期間の土壤水分張力の変化を Fig. 4 に示した。この期間は裸地区表層 10 cm の乾燥が大きい、植被区の刈込区、自然区ともにほぼ

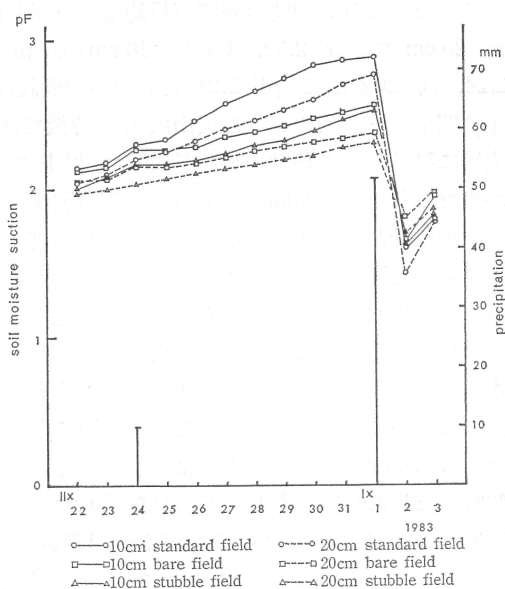


Fig. 3. Fluctuation of soil moisture suction at different depths of volcanic ash soil.

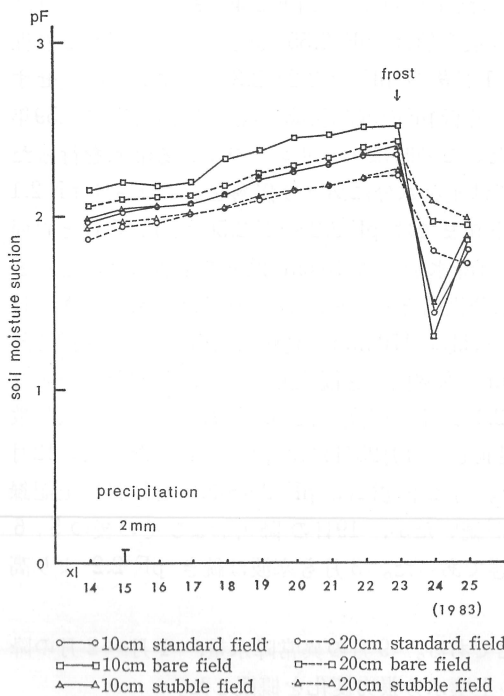


Fig. 4. Fluctuation of soil moisture suction in winter.

日の観測例では、午前8時30分の観測値が裸地区10cmでpF 2.27、同20cmでpF 2.46、刈込区10cmでpF 2.25、同20cmでpF 2.44、自然区10cmでpF 2.17、同20cmでpF 2.44であった。これが13時の観測（17時もほぼ同じ値を観測した）では、裸地区10cmでpF 2.35、同20cmでpF 2.32、刈込区10cmでpF 2.28、同20cmでpF 2.22、自然区10cmでpF 2.24、同20cmでpF 2.21と表層が乾燥状態となる一般的な土壌水分分布状態であった。この現象は関東ローム層のような火山灰土の特徴であると言えるが、霜柱の発生により下層の土壌水分が表層に移動しその移動の範囲が20cm以上にもおよぶこと、またこの状態が地温上昇とともに霜柱が氷解したあと短時間で土壌水分も表層乾燥、下層湿潤の一般的な状態になることがわかった。

降雨や灌漑水が土壌に浸透し土壌水分にどのような変化を与えるかを知ることは、それぞれの土壌に適した灌漑計画を立てるうえで重要である。Fig. 5は昭和59年6月上旬の乾燥期にスプリンクラにより灌水した時の土壌水分張力の変化を示したものである。自然区10cmでpF 2.82を示した夕刻に3時間で12mmの灌水を行なった。翌日土壌水分張力は自然区10cmでpF 2.35と灌水による効果が見られたが、20cmでは変化なく、その下層の30cm、50cmでは上昇傾向にあり、灌水効果がこの層位までおよんでいないことを示した。2日目に同じく12mmの灌水を行なったところ30cmまで影響をおよぼしたと認められるが、50cmではまだ変化が見られなかった。1日間断で24mmを灌水して表層から50cmの下層まで影響を及ぼしたのは5日目であった。一方、裸地区では翌日に30cmまで灌水の影響があらわれている。しかし、50cmまで影響するのは4日目であった。自然区では地上部に植物が繁茂しており、これらの茎葉に保持される水量もかなりの量であり、そのために土壌に到達する時間が遅れ、裸地区より下層の影響のあらわれるのが遅いものと思う。

同様の変化を示している。裸地区表層の乾燥化は季節風による地表からの発散が大きく関与しているものと思われる。このことは冬期間においても植被が土壌水分保持に有効であることがわかる。11月23日は霜柱の発生により表層10cmの土壌水分張力が低下したと思われる。このような現象は冬期間によく観察された。

以上、土壌水分を適度に保つ方法として雑草等により地表面をマルチすることが有効である。しかし、雑草等を自然の生長のままに放置すれば、蒸発散作用により乾燥化するのみならず、栄養素の吸収も旺盛となり、植栽樹木の分も横取りされることになり生長の停滞、遅延を招く弊害を生ずる。このため下草雑草等は刈込む等して管理された状態に置かれなければならない。

3) 外的要因と土壌水分張力変化

土層の深さ別による土壌水分張力の分布は特殊な場合、例えば降雨直後など外部からのインパクトがあった時を除いて下層ほど低い値を示す。ところが、冬期間霜柱が見られるような時の午前中の早い時間帯は表層よりも下層（20cm）で水分張力が高い（乾燥）状態となる。昭和58年12月7

要 約

土壤を自然史的物体としてとらえ、生きたものとみなしその変化を調べようとした。土壤と植物生育の関連で重要な役割をはたす土壤水分についてテンシオメータをもちい土壤水分張力の変化を筑波実験植物園の低木林区画で測定した。これに基づいて筑波台地表層を構成する火山灰土の水分環境を規制する土壤特性、植物群落特性および気候特性について概観した。土壤水分特性について次のような結果が得られた。

1) 本園淡色黒ボク土の表層 10 cm 層位の土壤水分は、年間を通して pF 2.0 以上で経過する。

2) 夏期乾燥時は pF 2.6 にも上昇するし、冬期でも pF 2.4 を記録した。土壤表層の乾湿は気温よりも降水量および連続旱天日数に関連が深い。

3) 冬期の表層土壤水分は、凍結融解により大きな変動を示し、その影響土層は表層から 20 cm 以上にもおよぶし、変動に要する時間も短い。

4) 下草雑草等の生育旺盛な期間は、pF 2.8 まで上昇し樹木の生育にも影響をおよぼす水分環境におかれる。一方、雑草等を 5 cm 程度に刈込むことによりマルチの役目をはたし、植被が土壤水分保持に有効である。

5) 乾燥期に 1 回 12 mm、1 日間断で 2 回灌水することにより表層から 30 cm まで影響をおよぼした。これより深い土層まで水分を供給するためには、2 回以上の灌水が必要である。

謝 辞

本論文をまとめるに当り、筑波大学多田敦博士および農業土木試験場長谷川周一博士には終始貴重な助言と批判を賜わった。国立科学博物館筑波実験植物園黒川 遼園長には校閲の労を賜わった。pF-水分曲線の測定は北海道開発局土木試験所小林信也氏の協力による。また下草雑草等の同定は本園松本定氏の協力を得た。記して感謝する次第である。

Summary

Water contained in the soil has been considered to be one of the most important elements in the soil formation. It also plays an important role for plants which grow on the soil. Even though the amount of rainfall exceeds the potential evapotranspiration in every month through a year in Japan, a drought sometimes holds for over 20 days and the water content of the soil seems to decrease especially in dry summer.

In the present study, soil water contents were measured at different depths of

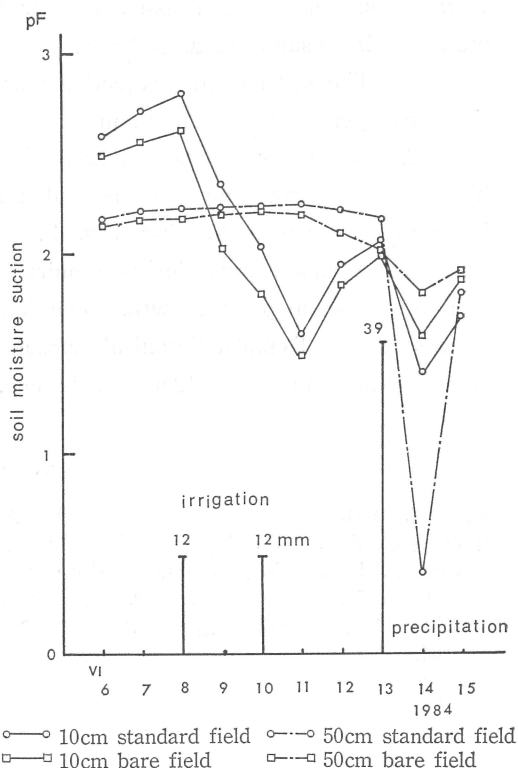


Fig. 5. Fluctuation of soil moisture suction after irrigation and precipitation.

volcanic ash soil in the Tsukuba Botanical Garden in 1983-84 by means of the tension-meter. The results are as follows:

1. The soil moisture retention was more than pF 2.0 at 10 cm below the surface through a year, with the maximum of pF 2.7 on September 1st.

2. When frost formed in ground in night, the moisture retention was remarkably higher in the surface layer of the soil (up to 10 cm in depth) than in lower layer (20 cm in depth) in the next morning (Fig. 4).

3. Adequate irrigation is required in a drought period in summer in order to maintain a usual plant growth. The following manner of irrigation can be recommended at least at the Tsukuba Botanical Garden. That is more than two times irrigation in each day and more than 12 mm each time.

引用文献

- 天野洋司, 1984. 農業技術研究所ほ場の土壌および三要素試験の概要, 農業技術研究所化学部資料第3号 1-3.
茨城県農業試験場, 1975. 土壌汚染機構解析調査報告書.
経済企画庁, 1969. 1/50万土地分類図, 関東・中部地方.
菅野一郎, 1972. 土壌の生態学, 1-19. たたら書房. 鳥取.
永塚鎮男・大羽 裕, 1982. 筑波台地における土壌の分布様式と成因的特徴, 日本土壌肥科学雑誌 53: 457-464.