

# 香 川 大 学 農 学 部 紀 要

第 54 号

1 9 9 0 年10月

MEMOIRS OF FACULTY OF AGRICULTURE  
KAGAWA UNIVERSITY

No.54, October 1990

植物基盤としてのマサ土の問題点と  
その改良法に関する研究

増 田 拓 朗

香 川 大 学 農 学 部

香川県木田郡三木町

FACULTY OF AGRICULTURE, KAGAWA UNIVERSITY

Miki-chō, Kagawa-ken, Japan

香川大学農学部紀要

第 54 号

1990年11月 発行

各研究室の業績を発表するため、本学部は“香川大学農学部学術報告”と“紀要”を発行している。この“紀要”は研究の完成した比較的長い論文を発表するために発行されている。既刊の標題は最後の i-v 頁に記載されている。“学術報告”および“紀要”の交換または寄贈については、香川県木田郡三木町 香川大学農学部 (〒761-07) あて照会されたい。

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

No. 54, October, 1990

The Faculty of Agriculture, Kagawa University publishes “Technical Bulletin” (Gakuzyutu Hōkoku) and “Memoirs” (Kiyō), and latter contains extended treatises. The titles of each number of “Memoirs” are printed on the pages i to v inside back cover. Correspondence concerning the exchange of publications should be directed to Faculty of Agriculture, Kagawa University, Miki-chō, Kagawa-ken, 761-07 Japan.

# 植栽基盤としてのマサ土の問題点とその改良法に関する研究

増 田 拓 朗

Studies on the Characteristics of Masa Soil as a Medium for  
Tree Growth and Methods for its Improvement

Takuro MASUDA

## 目 次

I 章 研究の背景と目的 .....	1
II 章 土壌の圧縮が土壌物理性および樹木の生育に及ぼす影響 .....	3
II-1 マサ土客土によって造成された公園における土壌物理性とケヤキの生育 .....	3
II-2 踏圧による表土の圧縮がクスノキ幼木の生育に及ぼす影響 .....	9
II-3 荷重によるマサ土の圧縮および圧縮に対する土壌改良資材の緩衝効果 .....	15
III 章 マサ土地盤に植栽された地被植物の生育に及ぼす踏圧の影響 .....	23
III-1 芝生広場の利用実態と芝草の生育状態について—公洲森林公園（高松市）の事例— .....	23
III-2 マサ土に植栽されたチャボリュウノヒゲの生育に及ぼす踏圧の影響 .....	29
IV 章 土壌改良資材によるマサ土の改良 .....	37
IV-1 マサ土への土壌改良資材の混入がヘデラの生育に及ぼす効果 —とくにヘデラの生育と土壌中の窒素含有量について— .....	37
IV-2 マサ土への有機質土壌改良資材の混入が樹木の生育および土壌の団粒形成に及ぼす効果 .....	44
IV-3 マサ土の保水性改善に及ぼす土壌改良資材の効果 .....	47
IV-4 土壌量および灌水量の違いがヘデラの生育に及ぼす影響 .....	54
IV-5 土壌改良資材としての石炭灰の利用 .....	60
V 章 結 び .....	67
謝 辞 .....	69
参考文献 .....	71
英文要約 .....	75



## I 章 研究の背景と目的

### 1. 緑地土壌をめぐる問題

公園緑地における土壌の問題については、これまであまり目が向けられてこなかった。土壌学の本をみても、水田土壌、畑地土壌、果樹園土壌、茶園土壌、桑園土壌、森林土壌といった項目はあっても、公園土壌あるいは緑地土壌といった項目は見あたらない。その理由としては、公園樹や街路樹は果実の生産量や材の成長量を問題にするわけではないから、少々生育が悪くても問題にするほどのことではない、いいかえれば、そこからの収益がないのにその生育基盤（土壌）に投資をする必要はないということではなかったかと思われる。

転圧・踏圧による土壌の圧縮によって土壌物理性が悪化し（土壌硬度および仮比重の増大、孔隙量の減少、通気透水性の悪化など）、樹木の生育に悪影響を及ぼすという問題については、ピクニック・グラウンドやキャンプ・サイトなど森林レクリエーションの場における利用者の踏圧の問題としてBurden<sup>4)</sup>、Frissel<sup>11)</sup>、LaPage<sup>34)</sup>、Legg<sup>35)</sup>、Lutz<sup>36)</sup>、Marion<sup>64)</sup>、Merriam<sup>65)</sup>、Settergren<sup>83)</sup>によって、あるいは森林における集材時の転圧の問題としてAllbrook<sup>1)</sup>、Froelich<sup>12)</sup>、Gent<sup>14),15),16)</sup>によって、主として森林土壌学の立場から多くの調査研究がなされてきている。わが国においては、1964年の東京オリンピックを契機として芝生地の踏圧に関する研究が行われるようになってきた（本多<sup>19)</sup>、本間<sup>20)</sup>、北村<sup>25),26)</sup>）が、市街地の公園緑地における一般樹木の生育と土壌物理性に関する研究にはあまり目が向けられなかった。

しかし、近年、わが国においては、大規模な土地開発が行われるようになり、都市およびその周辺部から急速に緑が失われてくるという事態の中で、改めて緑の存在価値が認識されるようになってきた。樹木のもつ物理的な機能（大気浄化、微気象の緩和、防火、防音など）や心理的効果（潤い、やすらぎ）あるいは修景機能などに関する研究も活発になり、これまで非生産的なものとみなされることの多かった都市の緑に対して積極的な評価が行われるようになってきた。

このような緑地に対する期待と要望の高まりの中で、大規模造成地の緑化も盛んに行われるようになってきたが、これらの造成地の土壌はほとんどの場合未熟な下層土であって、もともと樹木の生育にとって好ましいものでない上に、造成工事中の大型重機の転圧によって圧縮され、堅く締め固められてしまっていることが多い。このような不利な条件が重なった結果として、植栽樹木の生育不良（緑化の失敗）を招くという事態が頻繁にみられるようになってきた。

緑化および緑地土壌をめぐるこのような状況の中で、市街地の公園緑地における土壌についても調査研究が行われるようになってきた。森本<sup>54),55),56),57),58),59),62)</sup>は、多くの公園緑地における調査から、転圧・踏圧による土壌の圧縮が土壌物理性を悪化し、樹木の生育不良の原因となっていることを明らかにしている。筆者も森本らとの共同研究を進める中で、市街地緑地における樹木の生育に及ぼす土壌物理性の影響についていくつかの知見を報告してきた<sup>40),42)</sup>。また、岡本<sup>78)</sup>も固結土壌における樹木生育調査<sup>78)</sup>を行うとともに、大規模造成地における固結土壌の改良法についても研究を行っている<sup>75),76),77),79),80)</sup>。

日本造園学会においても、公園緑地の土壌に関する研究発表が増え、その重要性が認識されるに至り、1980年から土壌分科会が発足し、緑化事業における植栽基盤整備の課題と手法について検討を続け<sup>29),30),31),32)</sup>、1984年「緑化事業における植栽基盤整備マニュアル<sup>71)</sup>」としてまとめられた。この中で、一応の整備基準および土壌改良目標が提示されたが、適切な改良手法の選択およびその開発などの点については、なお今後の課題として残されている。

## 2 植栽基盤としてのマサ土をめぐる問題

大規模な緑地造成が行われるようになり、その客土材として、西日本においては多くの場合、花崗岩の風化土であるマサ土が使われている。しかしそれは、マサ土が植栽基盤として優れているという理由からではなく、一応の規格のそろったものが大量に入手できるということによる。客土に使われる大部分は未熟な心土（B層、C層）であり、またマサ土は砂質であって保水力、保肥力に乏しいなど、むしろ植栽基盤として不利な点も多い<sup>69)</sup>。造成時の重機による転圧、あるいは利用者の踏圧によって、軟岩状に固結してしまうことも大きな問題である。このよく締め固まるという特性が土地造成の客土として多用される一つの理由でもあるわけだが、樹木の生育という点からみれば好ましくない性質ということになる。

しかしながら、現在のところ、質と量（とくに量）の点でマサ土に代わる客土材は見あたらない。したがって、その問題点を把握し、取扱法および改良法を確立していくことが、緑化を成功に導く上で非常に重要なことだと思われる。

瀬戸内地域には花崗岩の分布が多くみられ、とくに香川県はその面積1425km<sup>2</sup>のうち、約450km<sup>2</sup>が領家花崗岩類で占められており<sup>2)</sup>、盛土、切土にかかわらず多くの造成地においてマサ土が出現する。マサ土は一般に受食的で、土砂災害の発生率が高く、防災上の観点からの研究<sup>2),8),81),91)</sup>が多く行われているが、樹木の生育基盤という観点からの研究はこれまであまり行われてこなかった。

筆者は、香川大学着任（1978年）以来、植栽基盤としてのマサ土について関心をもち、調査研究を行ってきた。本論文は、筆者がこれまで行ってきた植栽基盤としてのマサ土に関する研究の成果<sup>42),43),44),46),47)</sup>を取りまとめたもので、Ⅱ章では踏圧・転圧によるマサ土の圧縮が土壌物理性および樹木の生育に及ぼす影響について、Ⅲ章では踏圧がマサ土地盤に植栽された地被植物の生育に及ぼす影響について、Ⅳ章では土壌改良資材によるマサ土の改良について論じた。

なお、本論文で研究対象としたマサ土は礫および砂分を多く含む、いわゆる「真砂土」である。各実験に用いたマサ土の粒径組成は若干の幅はあるが、いずれも礫含有率40～60%を示し（その大部分は粒径5～10mmの礫である）、原土の粒径組成でいえば礫土あるいはそれに近い状態のものである。礫を除いた細土部分（粒径2mm以下）についてみると、シルトおよび粘土をそれぞれ数%～10%程度、砂を80～90%程度含んでおり、土性でいえばS（砂土）、LS（壤質砂土）あるいはSL（砂壤土：ただし、SLの中でもLSに近い非常に粗いSLである）に分類される砂質土である（国際土壌学会法の分類基準による）。

マサ土といわれる中にもシルトおよび粘土を30～40%程度含む、土性分類でいえばL（壤土）、SCL（砂質植壤土）、CL（植壤土）に相当するものがみられるが<sup>2),8)</sup>、本論文においてはこれらの比較的埴質なマサ土については研究対象としなかった。最近、緑地造成に使用される客土の中にも埴質なマサ土が増えてきているようである。砂質土と埴質土では明かに物理的および化学的性質は異なる。今後、砂質なマサ土とともに、埴質なマサ土についても研究を進めていきたいと考えている。

## Ⅱ 章 土壌の圧縮が土壌物理性および樹木の生育に及ぼす影響

本章では、転圧・踏圧によるマサ土の圧縮に関する問題について取りまとめた。

Ⅱ-1では、マサ土客土によって造成された屋島中央公園（高松市）において、ケヤキの生育と土壌物理性の関係について調査した結果についてまとめ、造成時の転圧および利用者の踏圧が土壌物理性に及ぼす影響、およびケヤキの根系発達を制限する土壌物理性（固相率、土壌硬度）の条件について明らかにした。

Ⅱ-2では、マサ土にクスノキの幼木を植栽して、2年間にわたって踏圧実験を行った結果について検討し、踏圧が土壌物理性に及ぼす影響およびクスノキ幼木の生育に及ぼす影響について明らかにした。

Ⅱ-3では、マサ土に各種の土壌改良資材を混入して、人間の体重に相当する荷重をかけて圧縮し、踏圧による圧縮に対する各種の土壌改良資材の緩衝効果について検討した。

なお、地被植物の踏圧については、植物体自身が踏みつけられるという、一般樹木とはやや異なった条件が入ってくるので、章を分け、Ⅲ章で取り扱うこととした。

### Ⅱ-1 マサ土客土によって造成された公園における土壌物理性とケヤキの生育

#### 1. はじめに

香川県は県土面積の約1/3が花崗岩地帯であり<sup>2)</sup>、緑地造成にも花崗岩の風化土であるマサ土が多く用いられている。屋島中央公園（高松市）も、マサ土客土によって造成された公園のひとつであるが、そこに植栽されているケヤキの生育状態と土壌物理性の関係、および若干の土壌改良効果について調査・実験を行った。

#### 2. 調査地の概要

屋島中央公園は、高松市東部の塩田跡地に造成された大規模な住宅団地の一角に設けられた近隣公園であり、遊歩道をめぐらした植栽部とソフトボールのできるグラウンド部からなっている。あらかじめ計画された植栽部は築山状に盛土されており、そこに植栽されている樹木はほぼ健全な生育を示していた。これに対し、グラウンド周辺部に植栽されているケヤキ（9個体）はいずれも先枯れ、胴ぶきなどの症状を呈し、生育不良であった。

この生育不良原因を探るため、予備調査を行ったところ、土壌のpH、EC、塩分濃度については、樹木の生育に対して問題となるような点は見出されず、土壌物理性—転圧、踏圧によって密に締め固められている—に問題があるものと考えられた。そこで次のような調査を実施した。なお、グラウンド部の土層は、表層から深さ約50cmまでが客土されたマサ土であり、その下は浚渫された海底土砂となっていた。

#### 3. 調査方法

グラウンド周辺部に植栽されているケヤキ9個体を調査対象とし、春季調査を1980年5月23日～6月6日に、秋季調査を同年11月5日～11月17日に実施した。

調査木の形状寸法および活力度を表Ⅱ-1に示す。活力度は科学技術庁資源調査会の示す方法<sup>70)</sup>に準じて判定した。土壌調査は、まず表土の硬度を調査木の根元から半径20cm以内、20～50cm、50～80cm、80～100cmの各距離毎に分けて山中式土壌硬度計を用いて測定した（図Ⅱ-1）。次に9個体のケヤキを3個体ずつ3処理に分け、下記のような調査および処理を行った。

I ----- 春季無処理，秋季土壌断面調査。

II ----- 春季土壌断面調査，そのまま埋め戻し（処理A），秋季土壌断面調査。

表Ⅱ-1 調査木の形状寸法および活力度

No.	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	活力度	処 理
1	4.5	5.5	2.4	Ⅲ
2	4.8	5.5	2.3	Ⅰ
3	4.7	5.7	2.5	Ⅱ
4	5.0	5.9	2.7	Ⅲ
5	4.8	5.7	2.2	Ⅱ
6	4.8	6.0	2.5	Ⅰ
7	4.9	5.7	2.4	Ⅲ
8	3.4	6.0	3.2	Ⅰ
9	3.9	5.7	2.3	Ⅱ

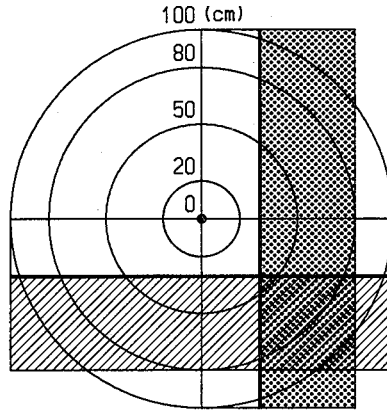
注1)活力度は科学技術庁資源調査会の評価基準に準じて行った。

注2)処理は次の通り

Ⅰ：春季無処理，秋季のみ土壌断面調査。

Ⅱ：春季土壌断面調査，そのまま埋め戻し（処理A）。秋季土壌断面調査。

Ⅲ：春季土壌断面調査，埋め戻し時にピートモスを容積比で15%混入（処理B）。秋季土壌断面調査。



図Ⅱ-1 土壌硬度調査および土壌断面調査平面図

表土の土壌硬度は調査木の根元から，0～20cm，20～50cm，50～80cm，80～100cmの各距離毎に分けて測定した。土壌断面調査は調査木の根元から30cm離れた所に，長さ2m，深さ60cmのトレンチを掘って行った。秋季調査時のトレンチ（黒点部）は，掘り返し処理の効果をみるため春季調査時のトレンチ（斜線部）と直交するように設定した。

Ⅲ……春季土壌断面調査，埋め戻し時にピートモスを容積比で15%混入（処理B），秋季土壌断面調査。

土壌断面調査は，調査木の根元から30cm離れたところに長さ2m，深さ60cm，幅50cmのトレンチを掘って行った。秋季には，春季における処理部と無処理部の比較ができるように，春季のトレンチと直交するようにトレンチを掘った（図Ⅱ-1）。

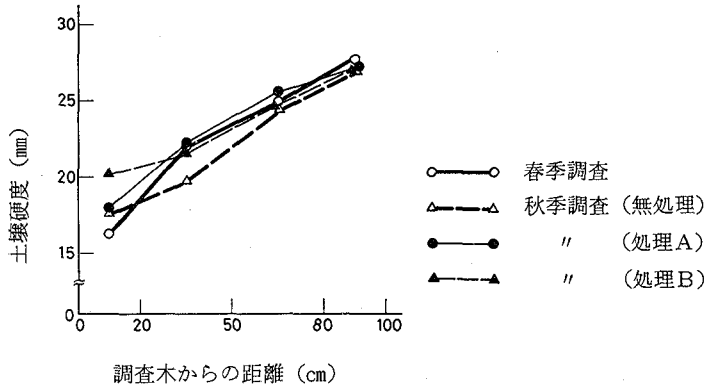
土壌断面調査を行った後，容積100mlの円筒採土器（底面積20cm<sup>2</sup>，高さ5cm）を用いて非攪乱的に土壌試料を採取し，仮比重，三相分布，透水係数などの測定を行った。土壌試料の採取は，各調査木毎に樹木正面およびその横40～80cmのところの2ヶ所で，深さ20cm毎に3層に分けて行った。土壌試料採取後，根を切らないように注意して根元まで土を突き崩し，根系観察を行った<sup>3),23)</sup>。また，長谷川式土壌貫入計<sup>17)</sup>を用いて，動貫入試験を行った。



4. 結果と考察

(1) 土壌硬度

樹木の根元からの距離別にみた表土の土壌硬土を図Ⅱ-2に示す。調査時期および処理の違いにかかわらず、樹木の根元から離れるにしたがって土壌硬度が増加していることが指摘される。根元から半径20cm以内では土壌硬度16~20mm程度の値であるが、50~80cmでは24~26mm、80~100cmでは26~28mmという大きな値を示し、グラウンド中央部では30mmを超える値を示した。表土の硬度は、春に掘り返し処理を行ったところでも秋には無処理部と同程度まで固くなっており、利用者の踏圧の影響が大きいものと考えられる。



図Ⅱ-2 調査木の距離と表土の土壌硬度の関係  
無処理、処理A、処理Bの説明については、表Ⅱ-1の(注2)を参照。土壌硬度は山中式土壌硬度計を用いて測定した。

なお、山中式土壌硬度計の測定値は一般に指標硬度 (mm) で表されることが多く、本論文でもこの単位を用いて検討していくことにするが、力の単位、すなわち単位体積あたりの絶対硬度 (kg/cm<sup>3</sup>) や単位面積あたりの硬度 (kg/cm<sup>2</sup>) で表されることもしばしばみられる。これらの単位の関係について、ここで少し整理しておきたい。絶対硬度および硬度と指標硬度の関係は次式のように表される<sup>6)</sup>。

X: 指標硬度 (cm), Y<sub>1</sub>: 絶対硬度 (kg/cm<sup>3</sup>), Y<sub>2</sub>: 硬度 (kg/cm<sup>2</sup>) として

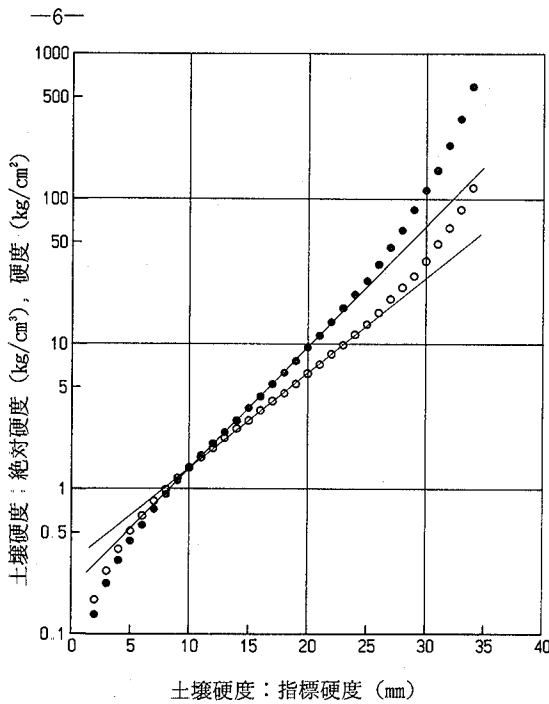
$$Y_1 = k_1 \cdot X / (4 - X)^3 \quad (k_1 = 4.718) \quad \text{-----(1)}$$

$$Y_2 = k_2 \cdot X / (4 - X)^2 \quad (k_2 = 12.58) \quad \text{-----(2)}$$

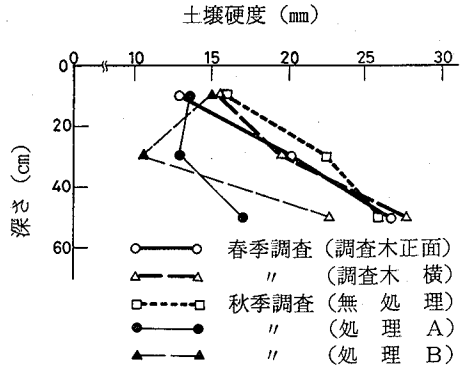
この関係をグラフに表したものが図Ⅱ-3である。指標硬度8mm程度から25mm程度の間は、片対数グラフ上で直線関係がみられるが、両端にいくにしたがってずれが大きくなっている。指標硬度で30mmを超えるような場合には力としては非常に大きくなっているということに注意する必要がある。

土壌硬度の垂直分布を図Ⅱ-4に示す。春季調査における樹木正面の土壌断面、その横40~80cmの土壌断面、および秋季調査における春季無処理部の土壌断面では、ほぼ同様の値を示しており、深さ30cm前後の中間層で土壌硬度20mmを超え、50cm以下の下層で25mmを超えている。一方、処理部では中間層の値が10~13mm、下層でも17~22mmを示し、掘り返し処理による土壌膨軟化の効果が認められる。ただし、処理A(掘り返しのみ)と処理B(埋め戻し時にピートモス混入)の違いは明らかでなく、ピートモス混入の効果ははっきりしない。容積比15%では混入量が少なく、明かな差が出るに至らなかったものと考えられる。

秋季調査において、処理部では深さ10cm前後の表層より深さ30cmの中間層の方がやわらかくなっているが、人



図Ⅱ-3 山中式土壌硬度計の指標硬度と単位体積あたりの絶対硬度および単位面積あたりの硬度との関係  
●：絶対硬度 (kg/cm<sup>3</sup>)，○：硬度 (kg/cm<sup>2</sup>)



図Ⅱ-4 土壌硬度の垂直分布  
土壌硬度は山中式土壌硬度計を用いて測定した。

間の踏圧が大きく影響するのは深さ10~20cm程度までであり<sup>28),76)</sup>、それ以下にはほとんど影響が及んでいないためである。

なお、表層の深さ10cm前後のところでは土壌硬度13~17mmであり、図Ⅱ-2で示した表面の土壌硬度より数mm低めの値となっている。乾燥状態の違いなどもあり、表面の方が若干硬くなっていることに間違いはないが、いまひとつ測定方法の違いが影響しているかも知れない。土壌硬度の水平分布(図Ⅱ-2)は地表面に垂直方向に測定したものであるが、土壌硬度の垂直分布(図Ⅱ-4)はトレンチを掘った後、土壌断面に垂直(地表面に水平)方向に測定したものであり、とくに表層付近ではトレンチを掘ったことによる影響(土壌の緩み)が微妙に出ている可能性もある。したがってある程度の幅をもってデータをみる必要があるが、それを考慮に入れても、上で述べた土壌硬度の垂直分布の全体的な傾向には変わりはない。

長谷川式土壌貫入計を用いた動貫入試験の結果については省略するが、山中式土壌硬度計による測定結果とはほぼ同様の傾向を示した。図Ⅱ-5に示すように、動貫入試験の貫入値(1回の打撃で貫入する深さ)と山中式土壌硬度計の測定値(指標硬度)の間には高い負の相関関係が認められた( $r = -0.960^{***}$ )。絶対硬度( $r = -0.968^{***}$ )および硬度( $r = -0.965^{***}$ )で計算してもほぼ同じ相関関係が得られた。ただし、図Ⅱ-3で示したように、指標硬度30mm以上では指標硬度と絶対硬度および硬度とのずれが非常に大きくなっている。山中式土壌硬度計の測定値と他の物理量を比較する際、指標硬度で30mmを超える値が多い場合には、絶対硬度または硬度を用いた方が適切であろう。

詳細な土壌調査を行うには土壌断面調査が必要であるが、時間と労力の点で数多く行うことは難しい。土壌を掘らずに、地表面から土壌の硬さの垂直分布を測定できるという点では、動貫入試験が簡便であり、また山中式

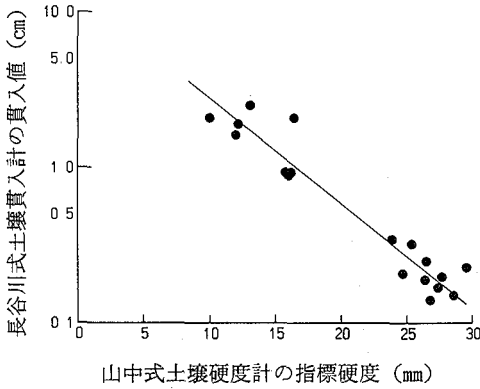


図 II - 5 マサ土における山中式土壌硬度計の指標硬度 (X)と長谷川式土壌貫入計の貫入値(Y)の関係  
 回帰式は、

$$\log Y = 1.18 - 0.0704X$$

(  $r = -0.960^{***}$  )

Xを硬度 (kg/cm<sup>2</sup>) で表した場合には、

$$\log Y = 0.582 - 0.995 (\log X)$$

(  $r = -0.965^{***}$  )

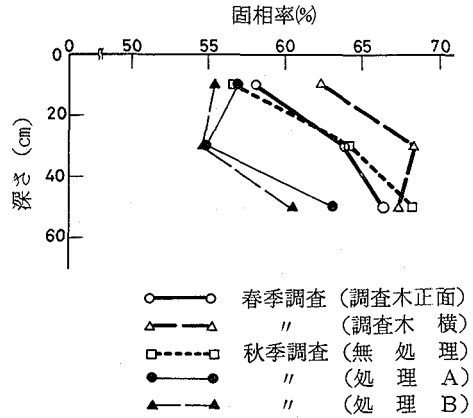


図 II - 6 固相率の垂直分布

土壌硬度計の測定値との相関も高く、土壌の硬さを診断する有力な手段といえよう<sup>17),33)</sup>。

### (2) 固相率

土壌の緻密さの程度を表す指標として、土壌硬度のほかにも固相率、孔隙率あるいは仮比重（容積重）がよく用いられる。固相率と孔隙率は同じものを反対側からみているわけで（孔隙率=100-固相率）、全く同じことである。また、理論的には土壌の真比重が一定ならば固相率（孔隙率）と仮比重（容積重）の間には一次の直線関係が成り立つ<sup>85)</sup>。今回調査したマサ土の真比重は2.55~2.65の範囲にあり、両者の間に一次の直線関係が成り立つと考えてよい。すなわち固相率、仮比重のどちらを指標としても同じことであるが、ここでは固相率を用いて検討する。

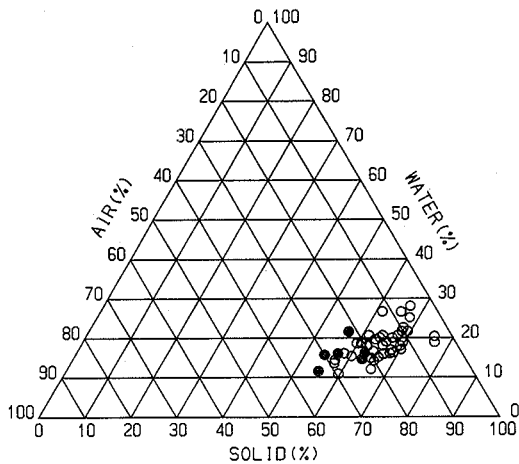
固相率の垂直分布を図 II - 6 に示す。土壌硬度の垂直分布と同じ傾向がみられる。すなわち、春季調査および秋季調査における無処理部では、中間層以下が固相率64~68%を示しているのに対し、処理部では中間層約55%、下層60~63%の値であり、土壌掘り返しの効果が認められる。ただし、土壌硬度の場合と同様、処理Aと処理Bの違い、すなわちピートモス混入の効果は明らかでない。

### (3) 透水係数

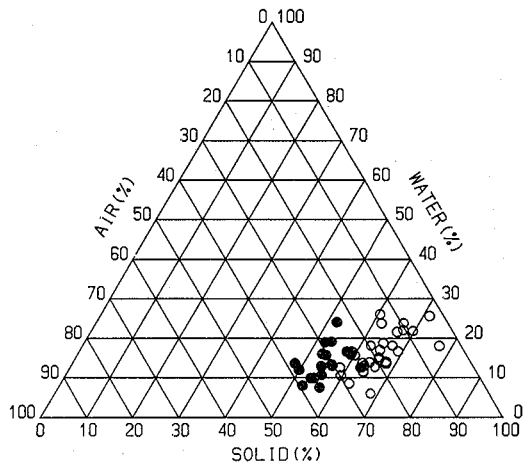
定水位法により飽和透水係数を測定<sup>53)</sup>したところ、すべての試料が $10^{-1} \sim 10^{-3}$  (cm/sec) のオーダーの値を示し、とくに土壌改良効果との関係は見出されなかった。土壌硬度および固相率から考えて、 $10^{-4}$  のオーダー以下の低い値も出るのではないかと予測したのであるが、結果はすべて比較的高い値であった。この理由として、調査地の土壌が礫を多く含む非常に砂質なマサ土であり、転圧、踏圧を受けても植質な土壌ほどには透水性が悪くならないことがあげられる。また、礫が多く、砂の粒径も粗いため、測定時のエッチ・エラーが無視できず、透水量が過大に評価されている可能性もある。現場透水係数の測定は行っていないが、現地の実際の透水性は、採取した円筒試料の透水係数よりも幾分低いものと推測される。

### (4) 土壌物理性と根系分布の関係

調査期間中を通して、地上部の生育状態には処理の差はみられなかった。しかし、秋季調査において、根系分



図Ⅱ-7 春季調査時の土壌の三相分布  
●：根系あり，○：根系なし

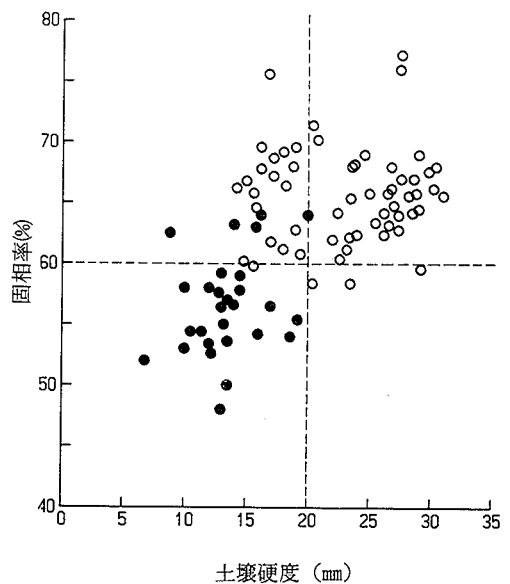


図Ⅱ-8 秋季調査時の土壌の三相分布  
●：根系あり，○：根系なし

布に顕著な差がみられた。以下、土壌物理性と根系分布の関係について検討する。

春季および秋季調査における土壌の三相分布をそれぞれ図Ⅱ-7、図Ⅱ-8に示す。春季に比べ秋季には根系分布の見られる箇所が多くなっているが、これは土壌を掘り返して膨軟にした効果によるものと判断できる。根系分布のみられた箇所は、春季、秋季ともほぼ固相率60%以下、気相率20%以上のところである。森本<sup>62)</sup>は愛知県の工場緑地においてケヤキとソメイヨシノの生育調査を行い、固相率60%以上では生育不良であったとしており、増田<sup>41)</sup>が行った名古屋における街路樹の生育調査においてもほぼ同様の結果が得られている。丹原<sup>84)</sup>は温州みかん園における調査から、温州みかんの「根群域土層として適正な土壌三相分布範囲を設定するとすれば、固相率40~57%、水分率20~45%、空気率10~37%の範囲が得られる」としている。また、多くの畑作において、非火山灰土における根群分布良好域は固相率55%以下であることが報告されている<sup>53)</sup>。これらのことから、非火山灰土においては、植物の生育にとっては、固相率55%以下であることが望ましく、55~60%では根系発達はやや困難であり、固相率60%を超えると根の侵入がほとんど不可能になるということができよう。

液相率、気相率に関しては、ケース毎に若干のくい違いがみられた。土壌水分については、水分張力別の水分量が重要であり、液相率としての基準は出しにくいと考えられる。気相率については、屋島中央公園のケヤキの場合、気相率20%以下で根系分布がみられなかったわけであるが、これは固相率60%以上の箇所と重なっており、むしろ固相率が制限要因となっているものと考えられる。森本<sup>62)</sup>、丹原<sup>84)</sup>らの調査結果からみると気相率10%以下では根系発達が困難なようである。気相率20%以上あれば問題ないとい



図Ⅱ-9 土壌硬度と固相率の関係 ( $r=0.602^{**}$ )  
土壌硬度は山中式土壌硬度計の指標硬度  
●=根系あり，○：根系なし

えよう。

土壌の種類が同じであれば、固相率と土壌硬度の間に高い正の相関関係が成り立つことが認められており<sup>27)</sup>、今回の調査においても、図Ⅱ-9に示すように、両者の間に正の相関が認められた ( $r=0.602^{**}$ )。根系分布の見られる範囲は、おおよそ土壌硬度20mm以下、固相率60%以下である。

#### (5) まとめ

屋島中央公園のグラウンド部は、造成時の転圧および利用者の踏圧によって非常に緻密になっており、このことがケヤキの生育を阻害していることが明らかになった。この緻密な土層を掘り返して、土壌を膨軟にしてやると、根系発達が促進された。

緑地造成および植栽の維持管理にあたっては、造成時の転圧をできるだけ少なくすること、供用開始後は利用者の踏圧を受けないよう根元周囲を保護することなどが必要であろう。一旦圧縮され、密に締め固められた土壌が、自然に元の膨軟な土壌に回復するには非常に長い年月を要する<sup>13),22) 63),90)</sup>。したがって、土壌が緻密になってしまっている場合には、掘り返し処理を行って土壌を膨軟にしてやるが必要となろう。

## Ⅱ-2 踏圧による表土の圧縮がクスノキ幼木の生育に及ぼす影響

### 1. はじめに

前節では、公園緑地における樹木生育阻害要因のひとつとして、造成時の転圧および利用者の踏圧による土壌物理性の悪化が考えられることを指摘した。

本節では、踏圧に焦点を絞り、マサ土にクスノキ (*Cinnamomum Camphora* Sieb.) の幼木を植栽して行った踏圧実験の結果をもとに、踏圧による土壌物理性の悪化およびそれが樹木の生育に及ぼす影響について考察する。

### 2. 実験方法

#### (1) 実験区の設定

実験は香川大学農学部の研究圃場で行った。実験に使用した研究圃場は水田跡地で、通気透水性の悪い埴壤土からなっている。この上にコンクリートブロック (40cm×20cm×10cm) を用いて、1m×1m (高さ40cm) の枠をつくり、その中にマサ土を客土した (表層の20cmには、オガクズ牛糞堆肥を容積比で20%混入した)。一般に、水田跡地などに公園緑地が造成される場合、水田土壌の上に厚さ40~50cmのマサ土客土が行われており、本実験はこのような状況を想定して行ったものである。

実験区は踏圧頻度によって、A区 (無踏圧)、B区 (踏圧1日1回) およびC区 (踏圧1日10回) の3段階とし、各区3区画ずつの繰り返しとした。なお、実験に使用したマサ土は香川県三木町産のものであり、オガクズ牛糞堆肥は「クラフミン」(クラレ緑化産業) を用いた。

#### (2) 植え付け

供試樹としては、緑化樹としてよく用いられているクスノキの幼木 (2年生ポット苗) を用いた。苗木は100個体購入し、まず形状寸法の揃ったもの60個体を選び、その中からランダムに取り出して、各区12個体 (1区画あたり4個体) ずつ配分した。植え付けは1981年5月23日に行った。

植え付け時の各区の平均の樹高および地際直径は表Ⅱ-2に示すとおりであり、樹高・地際直径とも各区の間に有意差はみられなかった。

(3) 踏圧処理

踏圧処理は、植え付け1週間後の1981年6月1日から10月31日までに行い、各区3区画のうち1区画(4個体)を11月11~12日に掘り上げ、地上部と地下部に分けて乾重を測定した。各区とも残りの2区画(8個体)については継続して実験を行うこととした。冬期間は踏圧を中止し、翌1982年4月16日から踏圧処理を再開し、11月9日まで行った。11月10日に全個体を掘り上げ、乾重を測定した。

踏圧を行うにあたっては、できるだけ均等に踏圧をかけられるよう、ゴム裏で底の偏平なズック靴を用いた。接地圧は約0.35kg/cm<sup>2</sup>で、これは3t級の普通型ブルドーザーの接地圧に相当する圧力である<sup>82)</sup>。

(4) 実験期間中の調査および管理

実験期間中、10日~2週間間隔で樹高および地際直径を測定した。また、同時に山中式土壌硬度計を用いて地表面の土壌硬度を測定した。

掘り上げ時に、容積100mlの円筒採土器(底面積20cm<sup>2</sup>、高さ5cm)を用いて、深さ10cm毎に土壌試料を採取し、三相分布および透水係数の測定を行った。

実験期間中の管理としては灌水と除草を行った。灌水は1区画につき1日2ℓ(降水量に換算して2mm)としたが、降雨日およびその翌日は中止した。除草は適宜行った。

表Ⅱ-2 植え付け時の樹高および地際直径

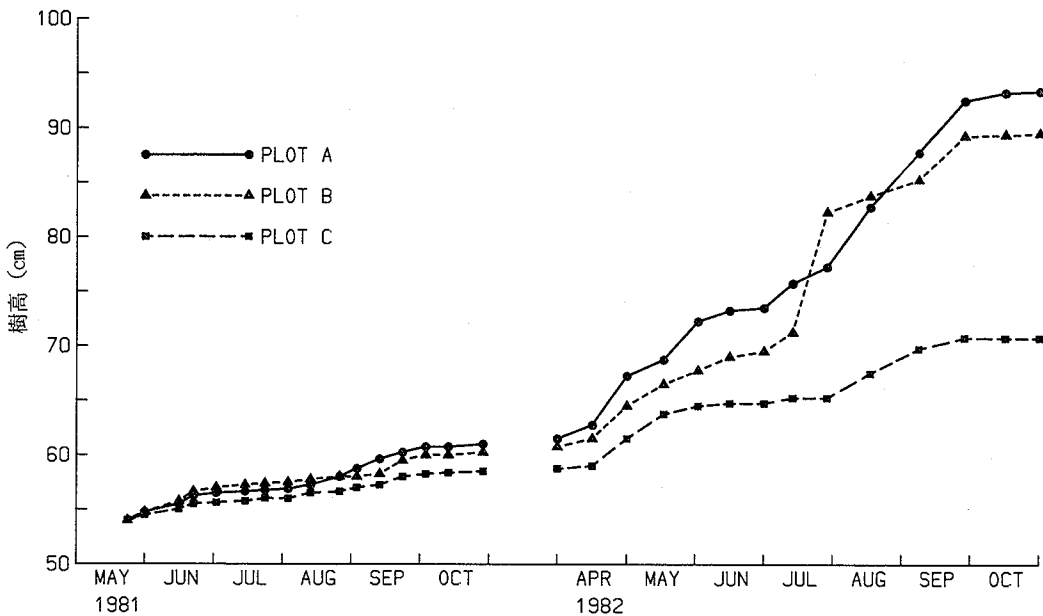
実験区	樹高 (cm)	地際直径 (mm)
A	53.8(1.5)	6.5(0.3)
B	54.1(1.9)	6.5(0.4)
C	54.0(1.7)	6.6(0.3)

注1)表の数値は、平均値(標準偏差)。

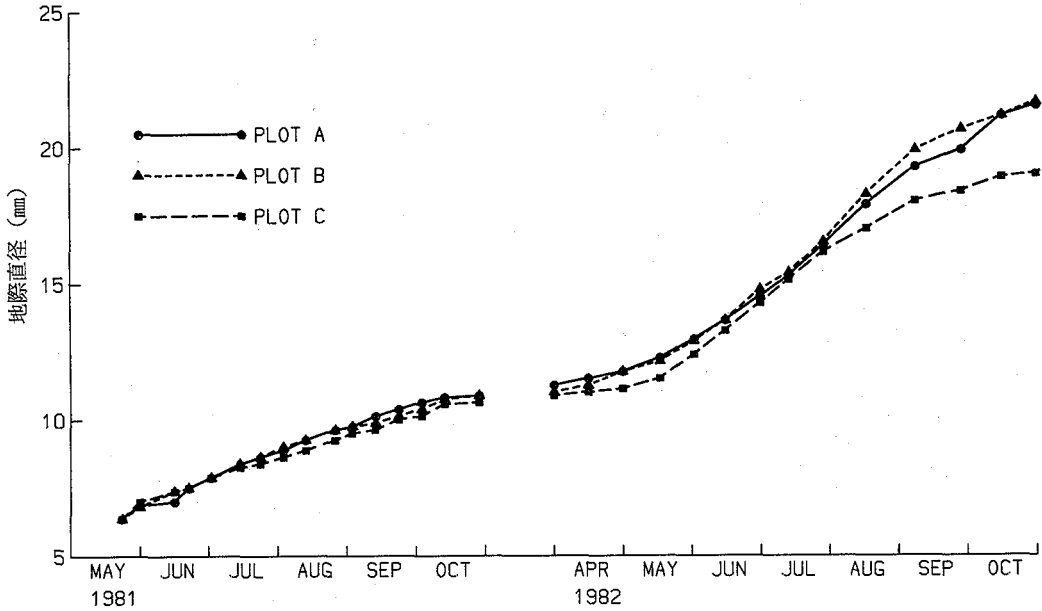
注2)樹高、地際直径とも各区の間に5%水準で有意差なし(Duncan法による)。

3. 結果と考察

(1) クスノキの成長量



図Ⅱ-10 樹高の経時変化



図Ⅱ-11 地際直径の経時変化

樹高・地際直径

樹高および地際直径の経時変化をそれぞれ図Ⅱ-10および図Ⅱ-11に示す。植え付け時の平均樹高は約54cm、平均地際直径は約6.5mmで、樹高、地際直径ともに各区の間に差がなかったことは表Ⅱ-2で示したとおりである。

1年目においては、樹高成長量はA区（無踏圧）約7cm、B区（1日1回踏圧）約6cm、C区（1日10回踏圧）約4.5cmで、移植直後ということもあって各区とも成長量はあまり大きくないが、C区がA区、B区に比べてやや小さいといえる。地際直径は各区とも5mm程度の成長を示し、各区の間に差はみられなかった。

2年目にはいると各区の成長に差が始め、7月以降とくに差が大きくなった。10月になるとほぼ成長が停止したので、10月末で踏圧処理を終了し全個体を掘り上げた。掘り上げ時における樹高はA区約93cm（2年間の樹高成長量約39cm）、B区約89cm（同約35cm）、C区約70cm（同16cm）であり、C区の樹高成長量はA区、B区の半分以下にとどまった。地際直径はA区、B区はともに約21~22mm、C区は約19mmで、断面積増加量に換算するとC区はA区、B区の70~80%になる。1日10回踏圧のC区の成長がA区、B区に比べて明らかに劣っていることが指摘される。

表Ⅱ-3 地上部および地下部乾重

区	地上部乾重 (g)			地下部乾重 (g)				計	T/R	
	幹・枝	葉	計	細根	小径根	中径根	大径根			
1年目	A	11.2	12.2	23.4	10.5	13.0	8.2	—	31.7	0.74
	B	11.3	10.7	22.0	6.6	14.9	4.8	—	26.3	0.84
	C	9.1	7.2	16.3	6.7	9.8	4.7	—	21.2	0.77
2年目	A	88.1	67.0	155.1	16.0	18.8	60.0	72.4	167.2	0.93
	B	79.4	68.0	147.4	16.6	16.7	55.1	61.0	149.3	0.99
	C	56.5	30.0	86.5	15.6	22.7	37.0	63.2	138.5	0.62

注) 各区とも、1年目は4個体、2年目は8個体の平均値。

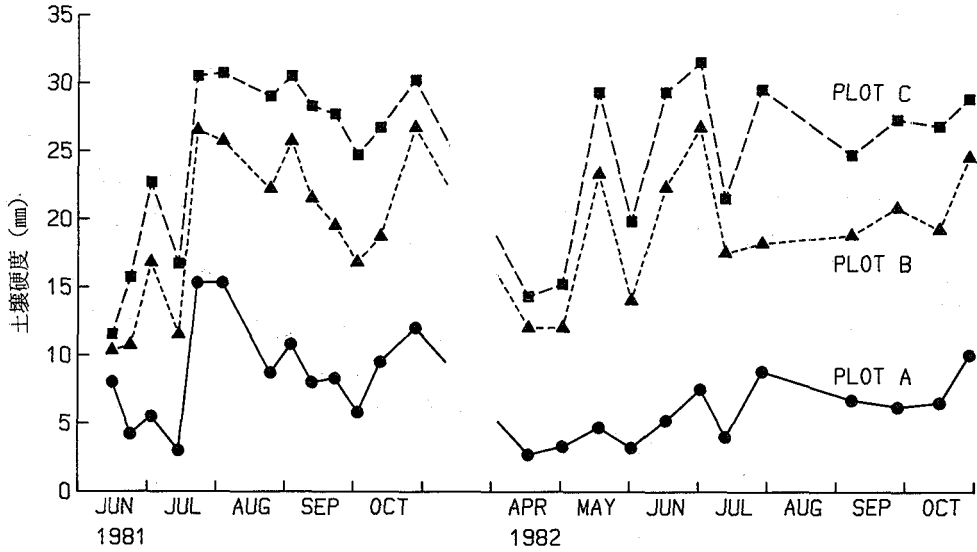


図 II-12 地表面の土壌硬度の経時変化  
土壌硬度は山中式土壌硬度計の指標硬度

乾重

掘り上げ時の地上部および地下部の乾重を表 II-3 に示す。

1年目の地上部乾重はA区23g, B区22g, C区はやや小さく16gであった。地下部乾重はA区32g, B区26g, C区21gであり, 踏圧頻度の高い区ほど根量が少なくなる傾向が認められた。

2年目の地上部乾重はA区155g, B区147g, C区87gと各区とも1年目に比べて非常に大きな増加量を示したが, A区, B区に比べC区は著しく劣っている。地下部乾重はA区167g, B区149g, C区139gで, 1年目と同様, 踏圧頻度の高い区ほど根量が少なくなっている。とくにC区では表層には全く根系がみられず, 踏圧の影響が根系の垂直分布にはっきりと出ている。

なお, 地下部は根の太さによって, 細根(直径2mm以下), 小径根(2~5mm), 中径根(5~20mm)および大径根(20~50mm)にわけて測定したが<sup>23)</sup>, 踏圧頻度と根の太さの間には, とくに傾向は認められなかった。

さて, 踏圧の影響がクスノキ幼木の成長量にはっきり出たわけであるが, それでは, 土壌物理性はどうなっていたのであろうか。次にみってみる。

(2) 土壌物理性

地表面の土壌硬度

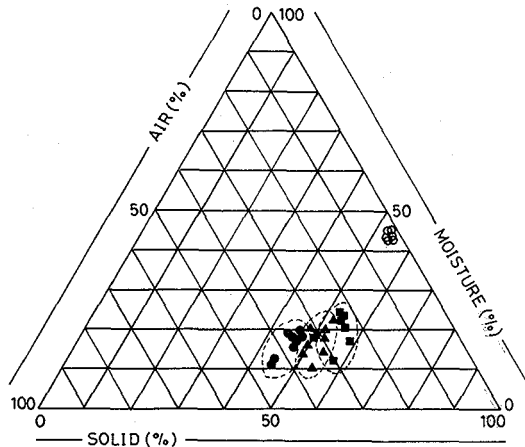
地表面の土壌硬度の経時変化を図 II-12 に示す。実験開始時は各区とも指標硬度で10mm前後であったが, B区, C区は踏圧によって次第に土壌硬度が増していき, 踏圧開始約2ヶ月後の7月末には, B区約25mm, C区約30mmに達した。その後は土壌の水湿状態によって若干の変動を示したが, A区5~10mm, B区20~25mm, C区25~30mmの範囲の値を示した。冬期(1981年11月~1982年3月)は踏圧処理を中止したので, 霜柱などによる土壌の膨軟化もあって, 2年目の春には, A区2~3mm, B区12~13mm, C区14~15mmと各区ともかなりやわらかくなっていた。しかし, 踏圧処理を再開するとともに土壌硬度は増加を示し, ほぼ1年目と同じ硬度で平衡状態に達した。



三相分布・透水係数

土壌の三相分布と透水係数を表Ⅱ-4に、また三相分布を三角座標に表したものを図Ⅱ-13に示した。各区とも深さ0~40cmはマサ土、40~50cmは水田土壌である。

深さ40~50cmの水田土壌は埴壤土であり、固相率53~56%、液相率42~46%、気相率0~3%と、液相率が大きく、気相率が著しく小さくなっており、透水係数もすべて $10^{-5}$  (cm/sec) と著しく不良であった。図Ⅱ-13の三角座標からも明らかなように、この水田土壌の三相分布はマサ土とは全く異なったものである。著しく気相率の低い、通気透水性の悪い土層であるため、この層には根系はほとんど侵入しておらず、何本か侵入した根もすべて根腐れ状態であった。したがって、根系のほとんどすべてが深さ0~40cmのマサ土の中に分布していたわけ



図Ⅱ-13 各実験区の土壌の三相分布

- : A区 (無踏圧)
- : C区 (踏圧1日10回)
- ▲ : B区 (踏圧1日1回)
- : 深さ40cm以下の水田土壌

表Ⅱ-4 土壌の三相分布および透水係数

区	深さ (cm)	1年目 (1981年11月)				2年目 (1982年11月)			
		固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)	透水係数 (cm/sec)	固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)	透水係数 (cm/sec)
A	0-10	45.5	10.2	44.3	$6.1 \times 10^{-2}$	44.8	12.3	42.9	$6.7 \times 10^{-2}$
	10-20	46.8	17.5	35.7	$5.6 \times 10^{-2}$	44.2	19.6	36.2	$1.3 \times 10^{-1}$
	20-30	47.2	17.4	35.4	$1.1 \times 10^{-1}$	46.4	19.8	33.8	$1.7 \times 10^{-1}$
	30-40	47.0	15.0	38.0	$1.1 \times 10^{-2}$	48.0	18.3	33.7	$9.8 \times 10^{-3}$
	40-50	54.4	43.0	2.6	$1.3 \times 10^{-5}$	53.3	46.3	0.4	$6.5 \times 10^{-5}$
B	0-10	54.2	10.0	35.8	$1.5 \times 10^{-2}$	54.4	14.4	31.2	$1.4 \times 10^{-2}$
	10-20	53.0	18.0	29.0	$2.8 \times 10^{-2}$	48.1	20.4	31.5	$2.7 \times 10^{-2}$
	20-30	49.5	14.0	36.5	$8.9 \times 10^{-2}$	51.3	19.6	29.1	$2.6 \times 10^{-2}$
	30-40	49.4	16.2	34.8	$6.8 \times 10^{-2}$	51.9	21.9	26.2	$1.2 \times 10^{-2}$
	40-50	54.0	43.5	2.5	$1.3 \times 10^{-5}$	55.2	43.5	1.3	$6.5 \times 10^{-5}$
C	0-10	58.0	12.0	30.0	$1.3 \times 10^{-3}$	59.2	17.3	23.5	$5.8 \times 10^{-3}$
	10-20	56.5	20.8	22.7	$2.6 \times 10^{-2}$	53.8	23.5	22.7	$3.2 \times 10^{-2}$
	20-30	50.0	18.5	31.5	$9.5 \times 10^{-2}$	53.7	23.6	22.7	$3.8 \times 10^{-2}$
	30-40	51.0	19.0	30.0	$9.2 \times 10^{-2}$	54.2	23.0	22.8	$1.9 \times 10^{-2}$
	40-50	54.2	43.8	2.0	$1.3 \times 10^{-5}$	56.2	42.4	1.4	$6.5 \times 10^{-5}$

であるが、図Ⅱ-13に示したように、このマサ土の層の三相分布には、A区、B区、C区で明かな違いがみられた。

A区は、固相率44~48%で、若干下層の方が固相率が高いようであるが、これは自然圧密によるものと考えられる。いずれにしてもA区の固相率はマサ土としては低い値である。表層0~10cmは液相率10~12%とやや乾燥気味であるが、深さ10cm以下の層は1年目15~18%、2年目18~20%を示している。1年目に比べて2年目の液相率が各層とも2~3%高くなっている。この理由としては、土壌試料採取前の降雨条件の違いによるものと考えられるが、土壌の孔隙分布が変化していることも考えられる。気相率は表層が43~44%、深さ10cm以下の層では34~38%であった。透水係数は全層 $10^{-1}$ ~ $10^{-2}$  (cm/sec) のオーダーの値を示した。

B区は、表層0~10cmの固相率が54%と、下層に比べてやや高くなっており、踏圧の影響がみられる。深さ20~40cmの下層も1年目49~50%、2年目51~52%とA区に比べるとやや高く、また1年目から2年目にかけて2%程度高くなっている。表層ほどではないが、下層にも踏圧の影響が及んでいることがうかがえる。液相率は、表層は10~14%とA区同様乾燥気味であるが、深さ10cm以下の層では、各層ともA区よりも1~2%高い値になっている。気相率は1年目が29~37%、2年目が26~32%で、A区に比べ数%低い値となっている。

C区は、表層0~10cmの固相率が58~59%と非常に緻密に締め固められている。深さ20~40cmの下層でも1年目50~51%、2年目約54%と踏圧の影響がみられる。液相率をみると、やはり表層は乾燥気味であるが、1年目12%、2年目17%と、A区、B区に比べてやや高い値になっている。下層も1年目19~21%、2年目23~24%とB区よりさらに高い値になっている。気相率は1年目23~30%、2年目23~24%と低くなっている。透水係数は深さ0~10cmの表層が $10^{-3}$  (cm/sec) のオーダーに落ち込んでおり、踏圧の影響が出ている。

以上のように、A区、B区、C区の三相分布を比較すると、踏圧によって固相率が増加し、気相率が減少していることがわかる。また、踏圧によって液相率が少しずつ増加していることも指摘される。無踏圧の場合には粗大な孔隙（非毛管孔隙）が多く、気相率が高いが、この粗孔隙が踏圧を受けることによって破壊されてより小さな孔隙（毛管孔隙）となり、液相率を高くしているものと考えられる<sup>54),62)</sup>。

### (3) まとめ

踏圧によって表土が圧縮されて、物理性が悪化し、それがクスノキ幼木の生育に影響を及ぼしていることが認められた。1日10回踏圧のC区の表層は固相率58~59%を示し、根系分布がほとんどみられなかった。B区の表層およびC区の間層は固相率55%前後であったが、これらの層には根系分布がみられた。前節において、固相率55%以下であれば根系発達に支障ないが、55~60%ではやや困難になり、60%を超えると根系の侵入が不可能になることを述べたが、今回の実験結果もこれを裏付けるものとなった。

今回の実験では、衰弱あるいは枯死といったような著しい生育阻害がみられたわけではなく、成長量に差がみられただけである。実験区の設定時において、下層土には転圧を加えておらず、また最大1日10回という頻度の踏圧を加えただけであるので、1日10回踏圧のC区においても表層の0~10cmを除けば、固相率は48~56%で、十分根の生育できる条件<sup>42),84)</sup>であった。本実験は2年間で打ち切ったが、1年目から2年目にかけてなお土壌物理性の悪化が進んでおり、さらに長期間実験を継続した場合、あるいは、さらに高頻度の踏圧を加えた場合には（利用頻度の高い公園・広場や通路などでは、もっと高い頻度の踏圧を受けている）、もっと大きな生育阻害が出たものと推測される。下層土が転圧されている場合にも同じことがいえよう。

また、冬期間の踏圧中断によって、土壌硬度の低下がみられた（土壌が膨軟になった）が、もっと緻密に圧縮され、土壌が固結化している場合には、土壌硬度の回復（土壌の膨軟化）の速度ははるかに遅くなるものと考えられる<sup>13),22),63),90)</sup>。

Ⅱ-3 荷重によるマサ土の圧縮および圧縮に対する土壌改良資材の緩衝効果

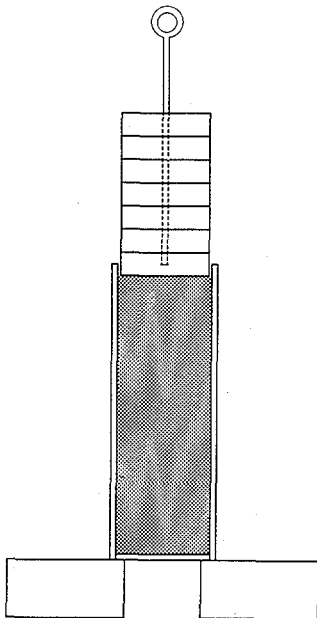
1. はじめに

Ⅱ-1, Ⅱ-2において, 踏圧による表土の圧縮が土壌物理性を悪化させ, 樹木の生育に悪影響を及ぼすことを指摘した。マサ土の圧縮および締め固め特性については土質工学の分野でよく研究されているが<sup>2),8)</sup>, 構造物を建設する(地盤を締め固める)という立場からの研究であり, 対象とする荷重も比較的大きい。樹木の生育を考えるとこの立場からの, また人間の踏圧という比較的小さな荷重を対象とした研究は少ない<sup>62)</sup>。マサ土客土によって造成される公園緑地が増加しており, そこにおける踏圧が問題となっている現在, 樹木の生育という立場からの研究が必要とされている。

踏圧によってマサ土がどのような圧力を受け, 圧縮させられるのか。また, 一般に土壌の物理性を改善する目的で使用されている土壌改良資材は, 踏圧に対してどのような緩衝効果をもっているのだろうか。このような点を解明するために, 下記のような実験を行った。

2 実験方法

実験は, 透明なプラスチック製円筒(内径16cm, 高さ50cm, 底板には多数の小孔を開け, 排水がスムーズに行われるようにした)に土壌を入れ, 表面からほぼ人間の踏圧に相当する荷重をかけて圧縮する方法で行った。荷重は直径15cmの鉄製円盤を重ねて(合計重量約60kg, 単位面積あたり約340 g/cm<sup>2</sup>)使用した(図Ⅱ-14)。実験は下記のように, 実験Ⅰ~Ⅲに分けて行った。なお, 実験区の設定(土壌構成)は表Ⅱ-5に示したとおりである。



図Ⅱ-14 荷重試験

透明なプラスチック製円筒(内径16cm, 高さ50cm, 底には多数の小孔を開け, 排水がスムーズに行えるようにした)に供試土壌を入れ, 鉄製の円盤を重ねて荷重(接地圧約340 g/cm<sup>2</sup>: 人間の踏圧に相当)をかけた。

表Ⅱ-5 実験区の土壌構成

実験区	土壌構成
対照区	マサ土のみ
畑土区	畑土(壊土)のみ
パーライト20%区	マサ土にパーライトを容積比で20%混入
パーライト40%区	マサ土にパーライトを容積比で40%混入
バーク堆肥20%区	マサ土にバーク堆肥を容積比で20%混入
バーク堆肥40%区	マサ土にバーク堆肥を容積比で40%混入
オガクズ牛糞堆肥20%区	マサ土にオガクズ牛糞堆肥を容積比で20%混入
オガクズ牛糞堆肥40%区	マサ土にオガクズ牛糞堆肥を容積比で40%混入

注) 実験Ⅰ, Ⅱはこの表の8区全部, 実験Ⅲは対照区およびパーライト, バーク堆肥, オガクズ牛糞堆肥の各40%区の4区について行った。

(1) 実験Ⅰ

土圧の垂直分布を調べる目的で行ったものである。

円筒に土壌を入れ、表面から深さ 5, 10, 15, 20, 30, 40cm に土圧計のセンサーを置き、荷重をかける前、荷重をかけた時、荷重をはずした後の土圧を測定した。土圧計は小形ひずみ測定器 TC-1K (東京測器研究所製)、センサーは Soil Pressure Transducer KD-2E (同) を用いた。

供試土壌は、マサ土 (香川県三木町産のもの: 実験に用いた円筒の直径が 16cm, 土圧計センサーの直径が 5 cm であり、粒径の大きな礫が入った場合には測定誤差が大きくなるので、2 mm の篩を通過した細土部分を使用した) および比較のために研究圃場の畑土 (シルト分の多い壤土) を用い、土壌改良資材としては、パーライト、バーク堆肥およびオガクズ牛糞堆肥を用いた。実験区としては、表Ⅱ-5 に示したように、対照区 (マサ土のみ)、畑土区、パーライト 20% 区、同 40% 区、バーク堆肥 20% 区、同 40% 区、オガクズ牛糞堆肥 20% 区、同 40% 区の 8 区を設定した。測定は各層とも 4 回ずつ繰り返して行った。

なお、実験に使用した土壌改良資材は、パーライト (ネニサンソ 2 号, 三井金属パーライト)、バーク堆肥 (ブライトチップ, 無公害農法研究所エイト商事)、オガクズ牛糞堆肥 (クラフミン, クラレ緑化産業) である。

(2) 実験Ⅱ

荷重による沈下量 (圧縮の程度) を調べる目的で行ったものである。

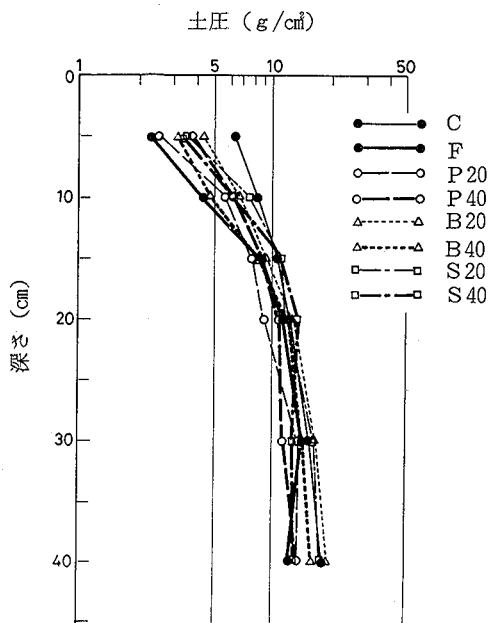
実験Ⅰと同じ実験区の設定で行った。円筒に土壌を入れる時、表面からの深さ 5, 10, 15, 20, 30, 40cm の各深さにネットを敷いて、各層の境界が外側から見えるようにして、荷重をかけた時に、深さ毎にどれだけ沈下するのかを調べた。測定は 3 回ずつ繰り返して行った。

(3) 実験Ⅲ

土壌は荷重をかけられるとすぐにある程度の沈下を示し (即時沈下)、その後継続して荷重がかけられている場合にはわずかず沈下を示す (時間依存性沈下)。また、浸水に伴う沈下も示す<sup>8)</sup>。実験Ⅱでは、即時沈下について調べたわけだが、土壌が最終的にどの程度沈下するのか (圧縮されるのか) を明らかにするためには、時間依存性沈下および浸水に伴う沈下についても明らかにしておく必要がある。このような観点から、次のような実験を行った。

まず、円筒に土壌を入れ、荷重をかける (ここで即時沈下量を測定する)。継続して荷重をかけておくと、わずかず沈下が進むが、数日で沈下の進行が停止する。そこで一旦荷重をはずし、十分に灌水し、灌水後 24 時間経過した時点 (重力水が抜けた時点) で、再度荷重をかけ、沈下が停止するまで測定を続ける、という方法で行った。

なお、実験区は、対照区 (マサ土 100%)、



図Ⅱ-15 荷重をかける前 (荷重前) の土圧—実験Ⅰ—

- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| C : 対照区            | B 20 : バーク堆肥 20% 区    |
| F : 畑土区            | B 40 : バーク堆肥 40% 区    |
| P 20 : パーライト 20% 区 | S 20 : オガクズ牛糞堆肥 20% 区 |
| P 40 : パーライト 40% 区 | S 40 : オガクズ牛糞堆肥 40% 区 |

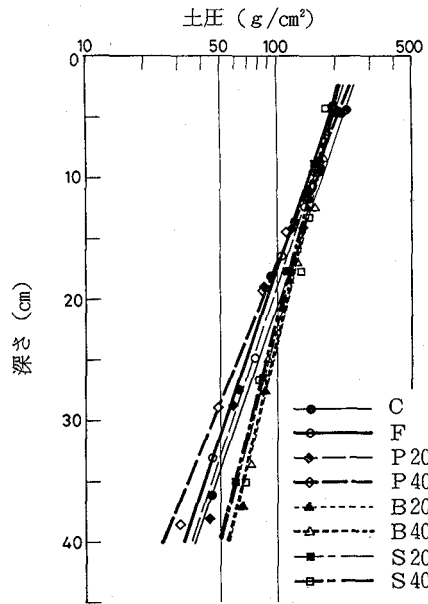
パーライト40%区、バーク堆肥40%区およびオガクズ牛糞堆肥40%区の4区について行った。

3. 結果と考察

(1) 実験 I

荷重をかける前（以下、荷重前と略記）の土圧の垂直分布を図Ⅱ-15に示す。各区の差はほとんどなく、深さ5cmでは2~6g/cm<sup>2</sup>であり、深くなるにしたがって土圧は増加するがその増加量はわずかであって、深さ40cmでは12~20g/cm<sup>2</sup>であった。その中でも畑土区およびパーライト20%区、同40%区は12~13g/cm<sup>2</sup>と小さく、対照区、バーク堆肥20%区、オガクズ牛糞堆肥20%区は18~20g/cm<sup>2</sup>とやや大きかった。

次に、荷重をかけた時（以下、荷重時と略記）の土圧を図Ⅱ-16に示す。図中、測定点の深さがバラバラに表



図Ⅱ-16 荷重時の土圧（回帰式は表Ⅱ-6参照）-実験Ⅰ-

- C : 対照区
- F : 畑土区
- P20 : パーライト20%区
- P40 : パーライト40%区
- B20 : バーク堆肥20%区
- B40 : バーク堆肥40%区
- S20 : オガクズ牛糞堆肥20%区
- S40 : オガクズ牛糞堆肥40%区

表Ⅱ-6 荷重時の土圧と深さの関係

実験区	回帰式	相関係数
パーライト40%区	$Y = 94 - 16.5 \log X$	-0.993***
畑土区	$Y = 106 - 19.2 \log X$	-0.986***
対照区	$Y = 113 - 20.1 \log X$	-0.985***
パーライト20%区	$Y = 114 - 20.8 \log X$	-0.980***
オガクズ牛糞堆肥40%区	$Y = 136 - 25.0 \log X$	-0.981***
オガクズ牛糞堆肥20%区	$Y = 143 - 26.3 \log X$	-0.991***
バーク堆肥40%区	$Y = 151 - 27.8 \log X$	-0.982***
バーク堆肥20%区	$Y = 156 - 28.6 \log X$	-0.982***

注1) X : 土圧, Y : 深さ (図Ⅱ-16参照)  
 注2) 傾きの緩い (絶対値の小さい) ものほど土圧の伝わり方が小さい。  
 注3) \*\*\*は、0.1%水準で有意なことを表す。

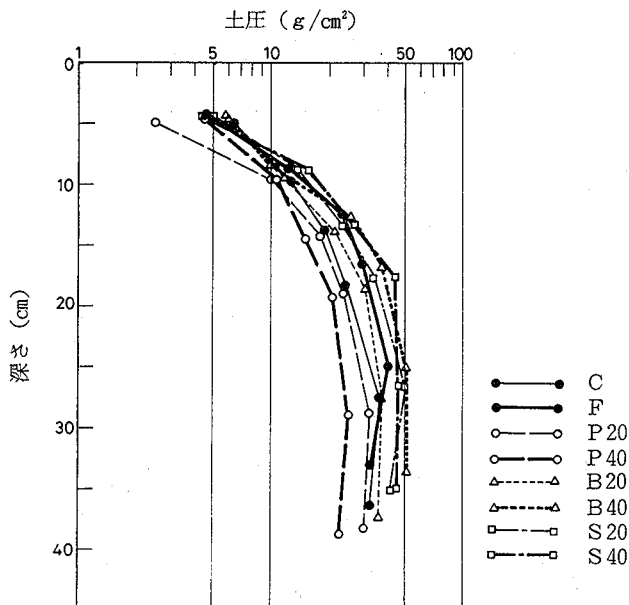
示されているが、これは、荷重をかけることによって土壌が圧縮され、表面からの深さが変化するので、次の実験Ⅱの荷重による土壌の圧縮のデータを用いて深さを修正したためである。土圧は深くなるにしたがって指数関数的な減少を示し、土圧をX (g/cm<sup>2</sup>)、深さをY (cm)とすると、両者の間には、次式の関係が認められる。

$$Y = A - B \cdot \log X \quad \text{----- (1)}$$

この傾き (B) が緩いほど土圧の伝わり方が小さいわけで、いいかえれば、踏圧に対する緩衝力が大きいということになる。この傾きは表Ⅱ-6に示したように、パーライト40%区が16.5と最も緩く、次いで畑土区19.2、対照区20.1、パーライト20%区20.8であり、バーク堆肥混入区およびオガクズ牛糞堆肥混入区は25~29であった。パーライトは踏圧に対する緩衝力が大きいといえるが、バーク堆肥およびオガクズ牛糞堆肥といった有機質土壌改良資材は効果がなく、マサ土に混入した場合、対照区 (マサ土) よりも大きな土圧を示す結果となった。

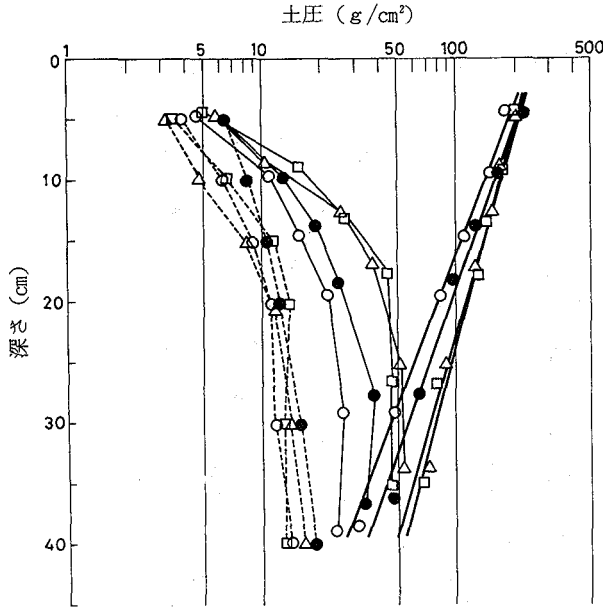
荷重をはずした後 (以下、荷重後と略記) の土圧を図Ⅱ-17に示す。各層ともに荷重をかける前の土圧よりも大きくなっており、深さ40cmでは20~50 g/cm<sup>2</sup>を示している (荷重前は12~20 g/cm<sup>2</sup>)。実験区別にみると、パーライト40%区が最も小さく、次いでパーライト20%区、対照区、畑土区であり、バーク堆肥混入区、オガクズ牛糞堆肥混入区は対照区よりも高い値を示した。バーク堆肥混入区およびオガクズ牛糞堆肥混入区は荷重時の土圧も対照区より高かったが、荷重後も、圧縮された土壌が緩んでいないことがわかる。

さて、荷重前、荷重時、荷重後の土圧をそれぞれ別のグラフにしたので、土圧の変化が少しわかりにくいかも知れない。そこで、これらを同一グラフ上に表してみた。ただし、各土壌改良資材の特徴をみやすくするために、図には対照区と各土壌改良資材40%区についてのみ図示した (図Ⅱ-18)。これを見ると、①荷重前は各区の間にほとんど差がないこと、②荷重時の土圧の伝わり方はパーライト40%区が最も小さく、バーク堆肥40%区、オガクズ牛糞堆肥40%区は対照区よりも土圧の伝わり方が大きいこと、③荷重後の土圧は、各区とも荷重前のレ



図Ⅱ-17 荷重をはずした後 (荷重後) の土圧-実験Ⅰ-

- |                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| C : 対照区         | B20 : バーク堆肥20%区    |
| F : 畑土区         | B40 : バーク堆肥40%区    |
| P20 : パーライト20%区 | S20 : オガクズ牛糞堆肥20%区 |
| P40 : パーライト40%区 | S40 : オガクズ牛糞堆肥40%区 |



図Ⅱ-18 荷重前, 荷重時, 荷重後の土圧の変化-実験Ⅰ-  
荷重による土圧の変化を見やすくするため, 図Ⅱ-15, 16, 17から, 対照区, パーライト40%区, バーク堆肥40%区およびオガクズ牛糞堆肥40%区を抜きだして, 同一座標軸上に表したもの。

点 線: 荷重前 ●: 対照区  
太い実践: 荷重時 ○: パーライト40%区  
細い実践: 荷重後 △: バーク堆肥40%区  
□: オガクズ牛糞堆肥40%区

ベルまで戻っていないが, その回復(減少)の程度は荷重時の土圧に影響されている。すなわち, パーライト40%区が最も土圧が小さくなっており, 逆にバーク堆肥40%区およびオガクズ牛糞堆肥40%区は対照区よりも大きな土圧のままである。

(2) 実験Ⅱ

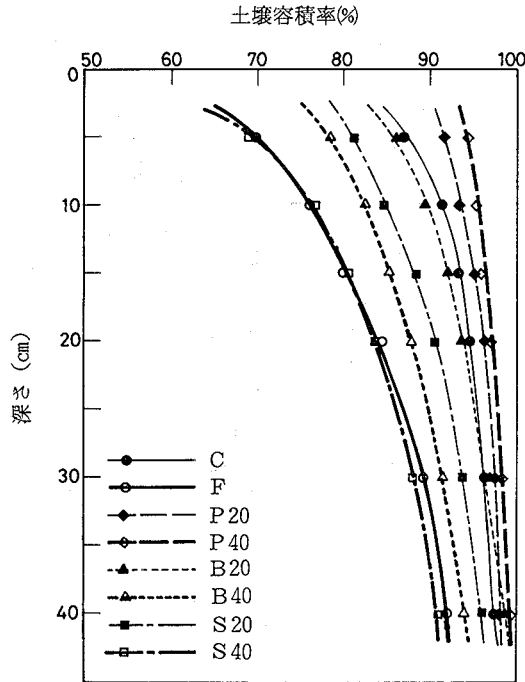
実験Ⅰでみたように, 荷重時の土圧はパーライト混入区で小さく, 有機質土壌改良資材混入区で大きかったわけであるが, 土壌の圧縮についてはどうであろうか。荷重前の土壌容積 ( $V_0$ ) に対する荷重後の土壌容積 ( $V$ ) の割合(土壌容積率:  $V_R$ ) および土壌の圧縮率 ( $C_R$ ) はそれぞれ次のように表される。

$$\text{土壌容積率 (\%)} : V_R = 100 \times (V/V_0) \quad \text{-----(2)}$$

$$\text{圧縮率 (\%)} : C_R = 100 \times (V_0 - V) / V_0 \quad \text{-----(3)}$$

各区の土壌容積率 ( $V_R$ ) の垂直分布を図Ⅱ-19に示す。深さ5cmにおける土壌容積率は, パーライト40%区94%, 同20%区92%, 対照区87%, バーク堆肥20%区86%, オガクズ牛糞堆肥20%区81%, バーク堆肥40%区78%, 畑土区70%, オガクズ牛糞堆肥40%区69%であった。各区とも下層になるにしたがって, 圧縮率は指数関数的な減少を示すが, その減少の程度は表層の圧縮率に規定されている。深さ40cmでは, パーライト40%区, 同20%区が99%, バーク堆肥20%区, 対照区が98%, オガクズ牛糞堆肥20%区が96%, バーク堆肥40%区94%, 畑土区92%, オガクズ牛糞堆肥40%区91%であった。

すなわち, パーライトの混入が荷重(転圧・踏圧)による圧縮に対して効果があること, マサ土だけでも深さ



図Ⅱ-19 荷重前の土壌容積に対する荷重後の土壌容積の割合(土壌容積率)の垂直分布-実験Ⅰ-

- |                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| C : 対照区         | B20 : バーク堆肥20%区    |
| F : 畑土区         | B40 : バーク堆肥40%区    |
| P20 : パーライト20%区 | S20 : オガクズ牛糞堆肥20%区 |
| P40 : パーライト40%区 | S40 : オガクズ牛糞堆肥40%区 |

40~50cmでは荷重の影響はなくなるが、バーク堆肥やオガクズ牛糞堆肥を混入した場合には、圧縮率が高くなり、深さ50cm以下にまで荷重による圧縮が及ぶということが指摘される。本実験では土壌層の厚さを50cmとしたが、もっと厚くした場合、バーク堆肥混入区およびオガクズ牛糞堆肥混入区では、土壌層全体の沈下量(深さ)はさらに大きくなる。土壌層が厚いということは樹木の生育にとって好ましいことであるが、沈下量が大きいうことは造成上の問題点として指摘される。

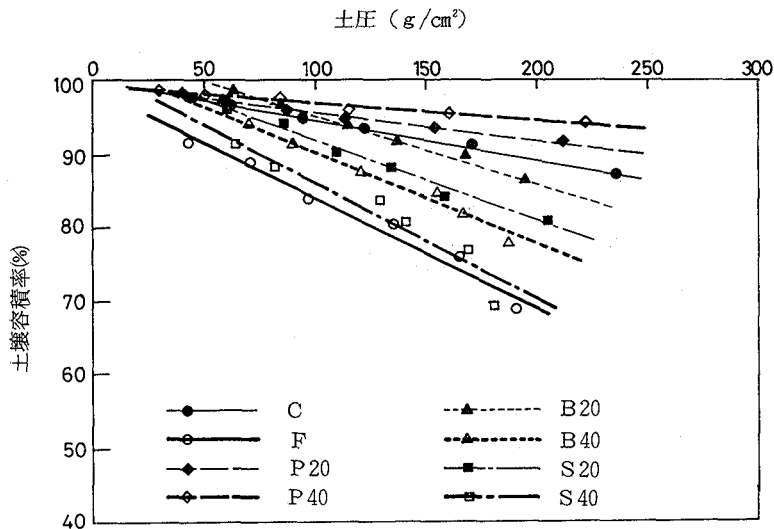
なお、全層を通した(深さ50cmまでの)土壌容積率( $V_R$ )は、パーライト40%区、同20%区が97%、対照区96%、バーク堆肥20%区93%、オガクズ牛糞堆肥20%区91%、バーク堆肥40%区88%、畑土区85%、オガクズ牛糞堆肥40%区84%であった。

さて、いまみてきた土壌の深さは、図Ⅱ-16を考慮すると、土圧と読みかえることもできる。そこで、土圧(P)と土壌容積率( $V_R$ )の関係を調べてみたところ、両者の間には、次式で表されるような直線関係がみられた(図Ⅱ-20)。

$$V_R = 100 - k \cdot P \quad \dots\dots\dots(4)$$

各区の回帰直線の式は、表Ⅱ-7に示したとおりである。傾き(k)の小さなものほど圧縮されにくいことを示しており、結果としては、先にみた土壌容積率の垂直分布と同じことであるが、荷重による圧縮に対してはパーライト混入の効果が大きいこと、バーク堆肥、オガクズ牛糞堆肥は圧縮率が高いことが指摘される。





図Ⅱ-20 土圧と土壌容積率の関係(回帰式は表Ⅱ-7参照) - 実験Ⅱ -

- C : 対照区
- F : 畑土区
- P 20 : パーライト20%区
- P 40 : パーライト40%区
- B 20 : バーク堆肥20%区
- B 40 : バーク堆肥40%区
- S 20 : オガクズ牛糞堆肥20%区
- S 40 : オガクズ牛糞堆肥40%区

表Ⅱ-7 荷重時の土圧と荷重前の土壌容積に対する荷重後の土壌容積の割合(土壌容積率)の関係

実験区	回帰式	相関係数
パーライト40%区	$Y = 99.3 - 0.0231X$	-0.962***
パーライト20%区	$Y = 99.7 - 0.0384X$	-0.986***
対照区	$Y = 100.1 - 0.0540X$	-0.995***
バーク堆肥20%区	$Y = 104.2 - 0.0885X$	-0.994***
オガクズ牛糞堆肥20%区	$Y = 102.8 - 0.1069X$	-0.991***
バーク堆肥40%区	$Y = 102.5 - 0.1210X$	-0.971***
畑土区	$Y = 99.1 - 0.1472X$	-0.973***
オガクズ牛糞堆肥40%区	$Y = 101.8 - 0.1552X$	-0.932***

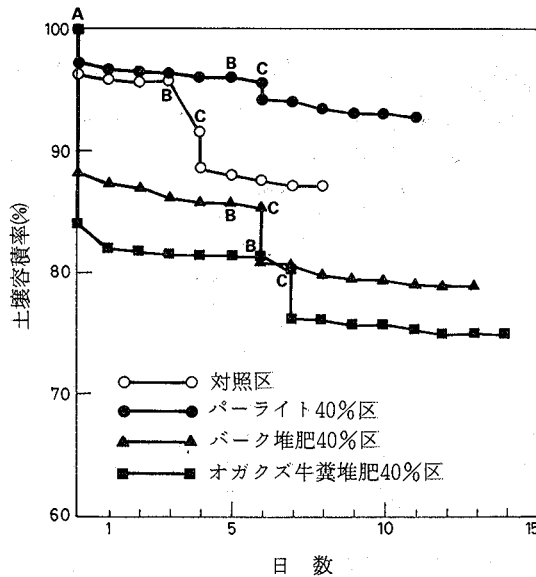
注1) X : 土圧, Y : 深さ (図Ⅱ-20参照).

注2) 傾きの緩い(絶対値の小さい)ものほど圧縮されにくいことを表す.

注3) \*\*\*は, 0.1%水準で有意なことを表す.

### (3) 実験Ⅲ

実験Ⅲは, 継続して荷重をかけ, 時間依存性沈下および浸水による沈下を調べたものである。図Ⅱ-21に土壌容積率の経時変化を示した。荷重直後の土壌容積率は, 実験Ⅱで得られた数値と全く同じで, パーライト40%区97%, 対照区96%, バーク堆肥40%区88%, オガクズ牛糞堆肥40%区84%であった。そのまま荷重をかけた状態で放置しておいたところ, パーライト40%区は5日間で96% (荷重直後からの減少1%), 対照区は3日間で95% (同1%), バーク堆肥40%区は5日間で85.5% (同2.5%), オガクズ牛糞堆肥40%区は6日間で81% (同3%)にそれぞれ減少し, 沈下が停止した。そこで荷重を取り除き, 十分に灌水して24時間放置したところ, パーライト40%区は95.5% (灌水による減少0.5%), 対照区は91.5% (同3.5%), バーク堆肥40%区は85% (同0.5%), オガクズ牛糞堆肥40%区は80% (同1%)にそれぞれ減少した。ここで再度荷重をかけると, 荷重直後に, パー



図Ⅱ-21 荷重および灌水による土壌の沈下—実験Ⅲ—

- A: 荷重をかける。
- B: 沈下がほぼ停止した時点で十分に灌水する。
- C: 灌水24時間後、再度荷重をかける。

ライト40%区は94% (再荷重による減少1.5%), 対照区は88.5% (同3%), バーク堆肥40%区は81% (同4%), オガクズ牛糞堆肥40%区は76% (同4%)に減少した。さらに継続して荷重をかけておいたところ、パーライト40%区は5日間で93% (再荷重後の時間依存性沈下として1%), 対照区は4日間で87.5% (同1%), バーク堆肥40%区は6日間で79.5% (同1.5%), オガクズ牛糞堆肥40%区は7日間で75% (同1%)に達してほぼ沈下が停止した。

以上の結果から、パーライトは圧縮に対する緩衝力が強く、また、浸水に対しても沈下量が少ないこと、マサ土は荷重に対する圧縮はほぼパーライトのみであるが、浸水に対しては非常に沈下しやすいこと、バーク堆肥およびオガクズ牛糞堆肥は荷重に対して圧縮されやすく、また、浸水による沈下は非常に少ないが、浸水後、水を十分に含んだ状態の時に荷重をかけられると著しく圧縮されることが明らかになった。

(4) まとめ

マサ土自体は踏圧による圧縮に対してはかなり強いが、浸水に伴う沈下が大きいことが問題であり、何らかの対策が必要であろう。

森本<sup>62)</sup>は、パーライトとピートモスを用いて、マサ土の締め固まり防止効果を検討し、両者ともに効果があることを報告している。本実験においても、パーライトの混入が効果的であることは確認されたが、バーク堆肥およびオガクズ牛糞堆肥の混入は効果がなく、むしろマサ土のみの場合よりも圧縮率が大きくなった。バーク堆肥、オガクズ牛糞堆肥はともに有機質土壌改良資材として腐植を供給する効果があり、広く利用されているわけであるが、施用した場合には、転圧・踏圧が加わらないように配慮すること、あるいはパーライトと混用するなどの配慮が必要と考えられる。

### Ⅲ章 マサ土地盤に植栽された地被植物の生育に及ぼす踏圧の影響

わが国においては、踏圧が芝草の生育に及ぼす影響についての研究は、1964年の東京オリンピックを契機として、1960年前後から盛んに行われるようになってきた(本多ら<sup>19)</sup>、本間ら<sup>20)</sup>、北村ら<sup>25),26)</sup>。初期の研究は、踏圧頻度と芝草の生育との関係について解明しようとするものが主であったが、その後、より実際的な立場から、芝生地の収容力に関する研究が近藤<sup>33)</sup>、前中ら<sup>37)38)39)40)</sup>、吉田ら<sup>95)</sup>によって行われるようになってきた。

また近年、地被植物の多様化、芝草に代わる地被植物に対する要望も高くなってきている。

こうした背景の中で、筆者も地被植物について関心をもって研究に取り組んでいるが<sup>43)44)45)</sup>、本章では、マサ土地盤に植栽された地被植物の生育と踏圧の関係について取りまとめた。

Ⅲ-1では、芝生広場における利用実態と芝草の生育状態について高松市内の都市公園における調査結果をもとに検討を加えた。

Ⅲ-2では、日陰地の地被植物としてよく利用されているチャボリュウノヒゲの生育に及ぼす踏圧の影響について、圃場における踏圧実験をもとに検討した。

#### Ⅲ-1 芝生広場の利用実態と芝草の生育状態について

##### —公洲森林公園(高松市)の事例—

##### 1 はじめに

踏圧が芝草の生育に及ぼす影響については、これまでも多くの研究が行われている。北村<sup>26)</sup>は、*Zoysia*属12品種の踏圧実験を行い、1日数回程度の踏圧であれば無踏圧の場合よりも葉数は増加するが、1日10回の踏圧では無踏圧と同等、またはそれより劣り、1日20回の踏圧では著しく劣るとしている。本多ら<sup>19)</sup>によるコウライシバの踏圧実験においてもほぼ同様の結果が報告されている。興水ら<sup>28)</sup>は、ヒメコウライシバの踏圧実験を行い、踏圧頻度が高くなるほど緑葉面積率は低下するが、1日20回程度の踏圧であれば、概ね芝生として利用できる妥当な生育を維持でき、この場合施肥の効果が大きいとしている。

これらの実験結果は芝生地管理の上で貴重な指針となるものであるが、実際の芝生地においては、毎日一定の踏圧が繰り返されるといことはまずない。そこで、どの程度の利用があると芝生の生育に影響が出るのかという、いわゆる芝生地の収容力(Carrying Capacity)に関する研究が行われるようになってきた(近藤<sup>33)</sup>、前中ら<sup>37)</sup>、吉田ら<sup>95)</sup>)。しかしながら、収容力をどうとらえるかという点が様々であり、また、個々の芝生地のおかれた状況、すなわち、利用のされ方、管理条件、土壌条件などが異なっているため、結論は必ずしも一致していない。むしろ、個々の芝生地において、それぞれの置かれている条件の下での収容力(利用実態と芝草の生育との関係)を出しておくことが、管理の上で重要なことだと思われる。

このような観点から、香川県高松市にある公洲森林公園の芝生広場における利用実態と芝草の生育状態について調査を行なった。以下、その調査結果について検討を加える。なお、本調査は1979年に行ったものである。

##### 2 調査地の概要

公洲森林公園は、高松市郊外の山麓部にある県立公園で、森林学習館、アスレチック・コース、樹木見本園などを備え、公園の中央部には面積約0.6haの芝生広場を設けている。芝草はコウライシバ(*Zoysia matrella* Merr.)であり、1975年6月に植え付けられたものである。高松市における数少ない芝生広場であり、春秋の休日には家族連れでにぎわう所である。

管理状況は、刈り込み（年2回：6月，8月），目土（年1回：4月），施肥（年1回：5月，化成肥料），灌水（夏期，週に約1回）であり，この他，随時除草が行われている。

### 3 調査方法

芝生広場の利用実態調査を，ゴールデンウィークの5月5日（子供の日），6日（日），夏の7月15日（日），秋の行楽シーズンの10月14日（日），28日（日），11月3日（文化の日）に行った。

公測公園の芝生広場の利用は日中に集中しており，早朝，夜間の利用はごくわずかである。本調査においては，調査時間は，午前9時から午後5時までを基準とし，7月15日のみ，午前8時から午後6時までとした。

調査は，1時間毎に，初めの30分間は芝生広場への入場者数を数え，その後，芝生広場内の滞在者数を数えた。30分間の入場者数を2倍して1時間あたりの入場者数とし，これを積算して1日の入場者数とした。

利用人数と芝草の生育状態の関係を調べるため，10月28日と11月3日は，芝生広場を10m×10mのメッシュに切り，各区画毎の滞在者数を調べた。芝生広場にロープを張るわけにはいかないので，あらかじめ芝生広場の周囲に縦横10m間隔に目印の杭を打ち込んでおき，調査時に調査補助者をこの杭の位置に立たせ，区画の位置を確認しながら滞在者数の調査を行った。区画の番号は，芝生広場の西北隅を起点として，東に向かってA～G，南に向かって1～10とし，A-1，B-2というように表すことにした（図Ⅲ-1参照）。

11月中旬に，芝生の生育状態を調査した。調査は，芝生の生育状態を〈健全〉，〈生育不良〉，〈裸地化している〉の3段階に分けて，各区画毎にそれぞれの程度の面積割合かを調べた。

それぞれの生育状態の代表的な地点を10ヶ所程度ずつ選び，山中式土壌硬度計を用いて土壌硬度を測定した。また，容積100mlの円筒採土器（底面積20cm<sup>2</sup>，高さ5cm）を用いて非攪乱的に土壌試料を採取し，三相分布および透水係数を測定した。

### 4 結果と考察

#### (1) 利用実態

各調査日の利用者数を表Ⅲ-1に示す。1日の入場者数は5月5日が3,152人で最も多く，5月6日2,442人，11月3日2,300人，10月14日と28日が約1,640人であった。春秋に比べると夏は利用者が少なく，7月15日は200人弱であった。なお，5月と10月の週日（月～金曜日）に何回か簡単な利用者数調査（日中の数時間）を行ったところ，遠足など団体利用が重なった場合には数百人の利用者がみられることもあったが，その他の日は利用者は数人から数十人であり，休日の利用密度が圧倒的に高いことが確認された。

表Ⅲ-1 公測森林公園芝生広場の利用人数調査結果

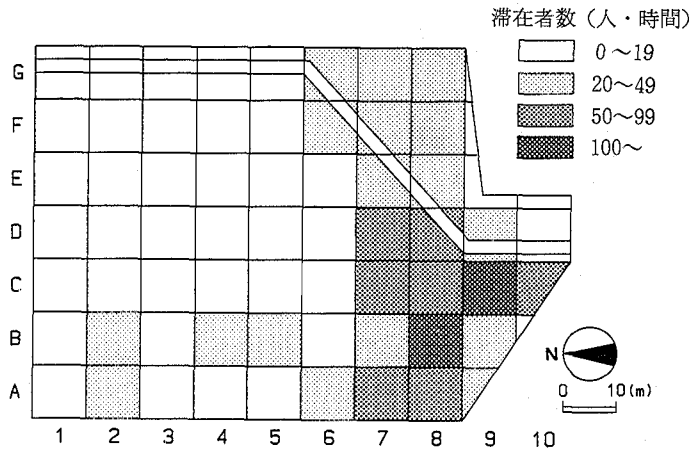
月 日 (曜)	入場者数 (人)	滞在者数 (人・時間)	平均滞在時間 (時間)
5. 5 (土)	3152	3195	1.01
5. 6 (日)	2442	1556	0.64
7. 15 (日)	198	115	0.58
10. 14 (日)	1638	1805	1.10
10. 28 (日)	1642	1687	1.03
11. 3 (土)	2300	3277	1.42

注) 調査は9～17時（7月15日のみ8～18時）の間とし，1時間毎に，はじめの30分間の入場者数を数え，その後，芝生広場内の滞在者数を調べ，これを1時間毎に繰り返す方法で行った。表中の入場者数は，30分間の入場者数を2倍して1時間あたりの入場者数とし，これを積算して1日の入場者数としたものである。滞在者数は，1時間毎の滞在者数を積算したものである。したがって，滞在者数を入場者数で割った値を平均滞在時間とみなすことができる。

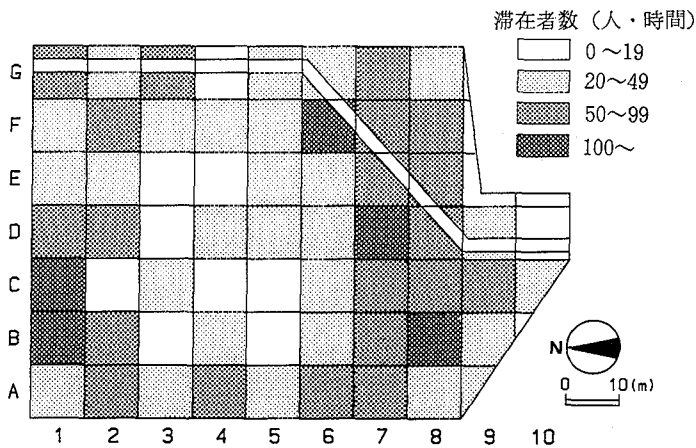
ここでいう1日の滞在者数は、1時間毎に調査した滞在者数の合計値であり、単位は(人・時間)である。したがって、1日の滞在者数を1日の入場者数で割った値(滞在者数/入場者数)は、利用者1人あたりの平均滞在時間とみなすことができる。表Ⅲ-1に示すように、公測森林公園の芝生広場における利用者の平均滞在時間は、ほぼ1時間程度であるといえる。

利用者は、芝生広場のどのような場所でどのような行動をしているのであろうか。10月28日に行ったメッシュ法による滞在者数の調査結果を図Ⅲ-1に示す。B-8、C-9は1日の滞在者数が100人・時間を超えており、この付近の利用密度が高いことが指摘される。芝生広場の中央部から北半分にかけては数人・時間から10数人・時間までの所が多く、利用密度は低い。芝生広場の南西部(A~Dの8列および9列付近)には、クスノキなどが緑陰樹として何本か植栽されており、この根元を中心にシートを敷いて休息する人が多くみられた。

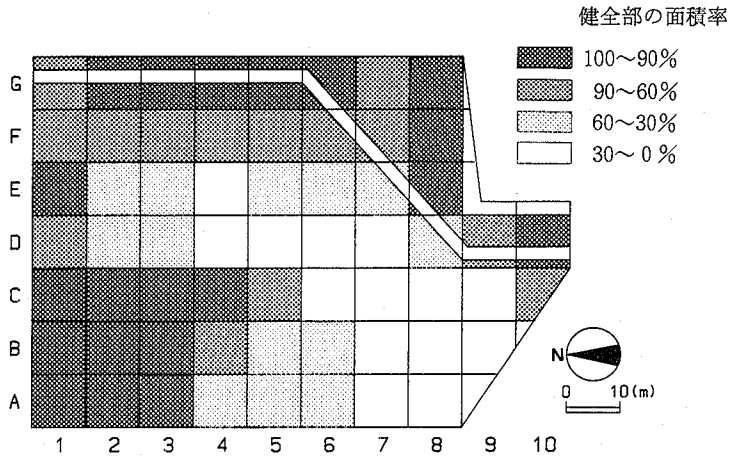
11月3日の滞在者数の調査結果を図Ⅲ-2に示す。芝生広場南西部で滞在者数が多いことは10月28日と同じであるが、この日は入場者数2,300人と10月28日の約1.5倍を示し、滞在者数は3277人・時間と10月28日の約2倍の値を示した。そのため、利用者が芝生広場南西部に偏ることなく、広い範囲に分布していることが観察された。芝生広場の中央部は滞在者数がやや少ないが、周辺部は数十人・時間から百人・時間を超える区画が数多くみられる。



図Ⅲ-1 芝生広場の滞在者数(10月28日)



図Ⅲ-2 芝生広場の滞在者数(11月3日)



図Ⅲ-3 芝草の生育状態

(2) 芝草の生育状態

芝草の生育状態の調査は、利用実態調査に用いたメッシュを用いて行った。各区画毎に生育状態を次の4段階に分けて、図Ⅲ-3に表示した。①健全部が90%以上を占める。②健全部が90~60%を占める。③健全部は60~30%である。④健全部は30%以下である。(なお、裸地化している部分の多くは④の区画でみられたが、②、③においても一部裸地化している部分のみられた。)

図Ⅲ-3をみると、芝生広場の北西部(A~Cの1~3列)および北側から東側にかけての芝生広場周辺部で芝草の生育状態がよく、南西部(A~Cの7~9列付近)および中央部において、芝草の生育がよくないことがわかる。

これを、10月28日の滞在者数調査結果(図Ⅲ-1)と比べてみると、滞在者数の多いところで、芝草の生育状態が悪いということがいえるようである。ただし、11月3日の調査結果(図Ⅲ-2)とはあまり関係がなさそうである。そこで、生育状態の段階別に滞在者数を計算してみた。その結果を表Ⅲ-2に示す。

11月3日は、滞在者数が3277人・時間と最も多かった日であり、芝生広場全体にわたって利用がみられたため、滞在者数と芝草の生育状態との関係は認められない。10月28日は、滞在者数1642人で、ほぼ春秋の休日の平均的な利用状況であった。健全部の面積率が60%以上の区画では1日の滞在者数が17人・時間程度であり、60~30%の区画では30人・時間、30%以下は47人・時間となっており、滞在者数と芝草の生育状態の間に関係が認められる。このことから、芝草の生育に対しては、春秋1~2回程度みられる過剰利用の影響はそれほど大きくなく、休日毎に繰り返される恒常的な利用の影響が大きいことが指摘される。

表Ⅲ-2 芝草の生育状態と滞在者数の関係

健全部の面積率 (%)	区画数	1区画内の平均滞在者数 (人・時間)	
		10/28	11/3
100~90	20	17.5 (9.7)	58.4 (61.2)
90~60	13	17.2 (10.9)	51.8 (38.4)
60~30	13	29.4 (44.5)	38.8 (21.8)
30~0	14	47.1 (32.7)	58.9 (29.6)

注1) 1区画の大きさは10m×10mである。A-9, B-10は区画の面積が小さいので計算から除外した。

注2) 平均滞在者数は1区画あたりの平均値、( )内は標準偏差。

ただし、健全部の面積率90%以上と90~60%の区画で差がないこと、60%以下の区画の標準偏差が大きいことが指摘される。この理由としては利用形態の違いが考えられる。図Ⅲ-1~3をみればわかるように、とくに芝生広場中央部において、利用密度が低いにもかかわらず芝草の生育状態のよくない区画がみられる。芝生広場周辺部は主として静的な利用（休息）がなされているが、中央部は遊びや運動など動的な利用がなされている。芝生広場中央部においては、滞在者数が少なくても、踏圧頻度はたかく、また擦り切れなど植物体の受ける損傷の度も大きいものと推察される。このことが、滞在者数だけで芝草の生育状態を説明できない主な原因だと考えられる。

(3) 土壌物理性

健全部、生育不良部、裸地部の地表面の土壌硬度を表Ⅲ-3に示す。健全部は16mm、損傷部は22mm、裸地部は24mmとなっており、踏圧によって土壌が圧縮されていることがわかる。

表層土の透水係数を表Ⅲ-4に示す。健全部と生育不良部は平均値はともに約 $3 \times 10^{-2}$  (cm/sec) であるが、健全部がほぼ全て $10^{-2}$  (cm/sec) のオーダーであるのに対して、生育不良部では $10^{-3}$  (cm/sec) の箇所もいくつかみられる。裸地部は $3.6 \times 10^{-3}$  (cm/sec) と1桁小さな値となっており、 $10^{-4}$  (cm/sec) のオーダーを示す箇所もみられる。

表Ⅲ-3 芝草の生育状態と土壌硬度の関係

健全部		生育不良部		裸地部	
区画	土壌硬度	区画	土壌硬度	区画	土壌硬度
A-2	16.1	A-5	22.2	A-8a	28.2
B-2a	17.0	A-7	21.6	A-8b	25.6
B-2b	19.6	B-9	22.2	B-9	20.8
C-1	16.5	C-6	22.9	C-7	27.7
D-1	17.0	C-8	18.3	C-8	23.6
D-10	16.2	D-2	19.2	C-10	20.5
F-8	18.2	D-6	21.3	D-1	22.3
G-1	18.7	D-7	28.4	D-4	26.2
G-3a	12.0	E-4	20.9		
G-3b	8.8				
G-6	15.9				
平均	16.0	平均	21.9	平均	24.4

注1) 区画の位置は、図Ⅲ-3参照。同一区画内で2箇所測定した場合はa, bを付けた。

注2) 単位は山中式土壌硬度計の指標硬度 (mm)。

注3) 各区画の土壌硬度は5回ずつ測定した平均値。

表Ⅲ-4 芝草の生育状態と土壌の透水係数の関係

健全部		生育不良部		裸地部	
区画	透水係数	区画	透水係数	区画	透水係数
A-2	$2.9 \times 10^{-2}$	A-7	$4.4 \times 10^{-2}$	A-8a	$2.0 \times 10^{-3}$
B-2	$3.0 \times 10^{-2}$	B-9	$3.7 \times 10^{-2}$	A-8b	$1.0 \times 10^{-2}$
C-2	$6.0 \times 10^{-3}$	C-8a	$2.0 \times 10^{-3}$	A-8c	$5.0 \times 10^{-3}$
D-2	$1.6 \times 10^{-2}$	C-8b	$8.0 \times 10^{-3}$	B-9	$1.0 \times 10^{-3}$
D-10	$2.7 \times 10^{-2}$	D-2	$7.7 \times 10^{-2}$	C-8a	$3.0 \times 10^{-3}$
F-8	$5.6 \times 10^{-2}$	E-4	$5.0 \times 10^{-3}$	C-8b	$7.4 \times 10^{-2}$
G-1	$2.0 \times 10^{-2}$			C-10	$1.0 \times 10^{-4}$
G-2	$5.7 \times 10^{-2}$			D-1	$4.0 \times 10^{-3}$
G-3	$2.6 \times 10^{-2}$			D-4	$1.0 \times 10^{-4}$
平均	$3.0 \times 10^{-2}$	平均	$2.9 \times 10^{-2}$	平均	$3.6 \times 10^{-3}$

注) 透水係数は定水位法で測定、単位は (cm/sec)。

図Ⅲ-4に、表層土の三相分布を示した。健全部、生育不良部、裸地部でわずかずつではあるが三相分布に違いがみられる。

固相率についてみると、健全部は30~45%の間にあり、裸地部は40~55%、生育不良部は両者の中間のあたりに分布している。平均値でみると、健全部39%、生育不良部42%、裸地部47%であった。これらの値は、屋島中央公園のグランド部(Ⅱ-1参照)やマサ土を用いた踏圧実験(Ⅱ-2参照)に比べると、小さな値であるが、この理由としては、芝草の茎葉および根系がクッションの役割を果たして、踏圧の影響を和らげていることが考えられる。また、腐植含有量が多いほど土壌の真比重が小さくなること、真比重の小さな土壌の方が固相率が小さくなることが知られている<sup>85)86)</sup>。芝生地の土壌は芝草の茎葉や目土などによって土壌中の腐植含有量が高くなっており、この点も影響しているものと考えられる。

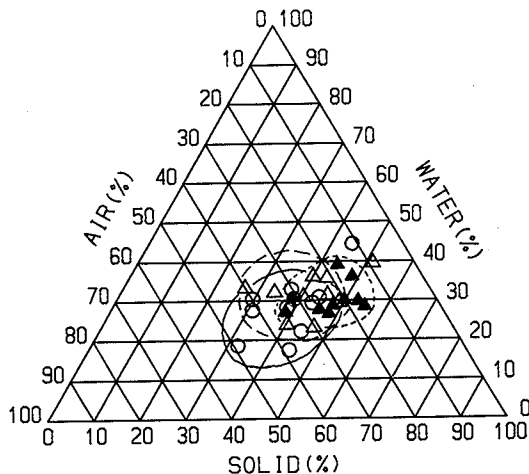
液相率はあまり差がなく、健全部が29%、生育不良部32%、裸地部30%といずれもほぼ30%前後の値であった。

気相率は、健全部33%、生育不良部27%、裸地部23%と大きな差がみられた。裸地部においても、マサ土の三相分布としてはあまり問題はないように思われるが、透水係数を考慮すると、土壌条件としてはやはり問題があるといわねばならない。

(4) まとめ

近藤<sup>33)</sup>は、新宿御苑の芝生広場における調査から、適正収容力450人/ha、標準収容力640人/ha、限界収容力960人/haとし、吉田<sup>95)</sup>は万博公園の芝生広場における調査から、過密利用1000人/ha、標準利用400~1000人/ha、適正利用100~400人/haとしている。前中<sup>37)</sup>は、淀川河川公園の芝生広場における調査から、最大滞留者数約150人/haを適正収容力の理想的基準としている。近藤と吉田ではアプローチの方法は異なっているが、収容力の基準としては非常に近い数値を提出している。前中の場合、利用頻度に時間的な波があることを考慮した上で、最大滞留者数150人/haという基準を提出している。

公測森林公園の芝生広場の場合、春、秋の平均的休日の滞在者数が1区画(10m×10m)あたり17人・時間程度、すなわち1,700人・時間/ha程度で、主として静的な利用が行われるならば、ほぼ健全な状態を維持できると考えられる。平均滞在時間が約1時間であることを考慮すれば、平均して200人/ha程度(×8~9時間)の利用



図Ⅲ-4 芝草の生育状態別にみた表土の三相分布  
○：健全部，△：生育不良部，▲：裸地部



であれば問題ないといひ換えることもできよう。この数値は、研究手法が異なるため直接比較するのは無理かとも思うが、前中の基準に近いといえるかも知れない。1日の利用人数という点からみると、近藤、吉田らの基準よりかなり大きな数字であるが、公測公園の場合は、毎日の平均ではなく、春と秋の平均的休日における基準であり、ウィークデイの利用ははるかに少ないという条件が入っていることを考慮しなければならない。また、動的な利用がなされる場合には、この数字はもっと低く見積らねばならない。さらに、芝生広場を細かく区切ってみた場合、常に利用密度の高い場所、常に利用密度の低い場所、常に動的利用がなされる場所などがほぼ決まっている。このようなことに対応するためには、芝生広場全体を均一に管理するのではなく、管理の密度を変えるとか、使用区域（あるいは使用禁止区域）のローテーションを行うなどの配慮が必要であろう。

芝生広場の管理を考える上で、適正な収容力を把握しておくことは重要なことである。しかし、その基準は一般的に〇〇人/haという数字があるのではなく、個々の芝生広場における利用実態、土壌条件および管理水準との関係の中で出てくるものであり、さらに、ひとつの芝生広場の中でも場所毎に対応を考える必要があるということ認識しておくことが重要であろう。

芝生地の土壌の三相分布については、地べのない場合とは基準を変えて考える必要がある。相当な頻度の踏圧を受けても固相率60%に達するようことはまずないものと思われる。本調査の結果では、裸地部の固相率の平均が47%であった。固相率50%を超えるような場合には、かなりの踏圧を受けているものとみななければならない。マサ土地盤に造成された芝生地の土壌を診断する上で注意すべき点である。

### Ⅲ-2 マサ土に植栽されたチャボリュウノヒゲの生育に及ぼす踏圧の影響

#### 1 はじめに

半陰地の地被植物としてジャノヒゲ（一名リュウノヒゲ、*Ophiopogon japonicus* Ker）とともに、その矮性品種であるチャボリュウノヒゲ（一名ギョクリュウ（玉竜）、*O. japonicus* Ker. *forma nurnus hort.*）がよく用いられているが、その生育と環境条件との関係についてはあまり研究されていない。筆者らは、先に、相対照度の違いがその生育に及ぼす影響について報告している<sup>45)</sup>が、造園的な利用範囲を広げるという意味では、踏圧に対する抵抗性に関しても明らかにしておくことが必要である。以下、チャボリュウノヒゲを用いて行った踏圧実験の結果について検討する。

#### 2. 実験方法

- (1) 実験場所 香川大学農学部研究圃場
- (2) 実験期間 植え付け 1982年5月23日  
踏圧処理 1982年7月2日～12月2日  
掘り上げ 1982年12月3日

#### (3) 実験区の設定

実験区は、対照区（無踏圧）、1区（3日に1回踏圧）、2区（1日1回踏圧）、3区（1日3回踏圧）、4区（1日10回踏圧）の5段階の踏圧頻度に分けて設定した。各区とも圃場にブロックで1.1m×1.1mの枠を作り、マサ土にオガクズ牛糞堆肥を容積比で20%混入した用土を厚さ20cm盛土した。

供試材料は、圃場で生育させていたチャボリュウノヒゲを株分けして、形状寸法のそろったものを600個体選び出し、1区あたり100個体を10cm間隔で植え付け（5区、計500個体）、残りの100個体は地上部と地下部に分けて乾重を測定した。植え付け時の地上部乾重は $0.30 \pm 0.11$  g、地下部乾重は $0.56 \pm 0.26$  gであった。

先に行った遮光実験の結果、相対照度約56%（寒冷紗白井300の2枚重ね）において最もよい生育を示すことが認められた<sup>45)</sup>ので、本実験においても同様の庇陰格子を使用した。

踏圧は体重約70kgの者が底の平らな運動靴をはいて行ったが、雨の日には行わなかった。接地圧は約0.35kg/cm<sup>2</sup>であり、この値は3t級の普通ブルドーザー（接地圧約0.33kg/cm<sup>2</sup>）とほぼ同じ、湿地ブルドーザー（接地圧約0.28kg/cm<sup>2</sup>）よりやや大きな値である<sup>82)</sup>。

(4) 実験期間中の調査および管理

実験期間中の成長量の変化をみるために、10日毎に1個体あたりの葉数および最大葉長の測定を行った。葉数については、緑色部分が1cm以上になったものを1枚として数えた。また、地表面の土壌硬度を山中式土壌硬度計を用いて測定した。土壌硬度の測定は踏圧開始後2週間は3日毎に、それ以降は10日毎に行った。

5ヶ月間の踏圧処理を行った後、12月初旬に掘り上げ、1個体あたりの葉数、最大葉長、最大根長、分けつ数、塊根数を調べた後、地上部と地下部に分け乾重を測定した。また、掘り上げ時に、土壌硬度の垂直分布を測定した。

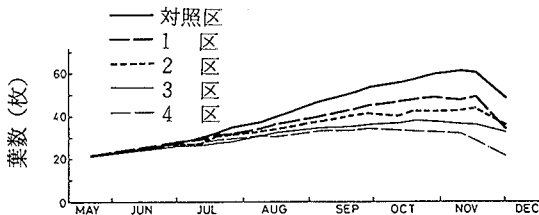
実験期間中の管理としては、灌水および除草を適宜行った。追肥は行わなかった。

3. 結果と考察

(1) 成長量の経時変化

〈葉数〉実験期間中の1個体あたりの葉数の経時変化を図Ⅲ-5に示す。植え付け時の葉数は各区とも約22枚、踏圧開始の7月2日には約27枚であった。9月までは各区ともほぼ直線的な増加を示し、10月に入って増加の速度がやや鈍くなっている。葉数の増加は踏圧頻度の高い区ほど少なく、10月末の葉数は、対照区約61枚、1区約49枚、2区約42枚、3区約37枚、4区約32枚であった。11月以降、各区とも落葉がみられ、葉数は減少している。なお、実験期間中に親株から分けつして子株ができていますが、地表面からでは親株の葉か子株の葉かの区別がやや困難なものもあったため、両者も含めて1個体の葉として数えている。次に述べる最大葉長についても同様である。

〈最大葉長〉実験期間中の最大葉長の経時変化を図Ⅲ-6に示す。植え付け時には各区とも約6.6cm、7月2日の踏圧開始時には約7.1cmであった。7月以降、対照区はほぼ横ばいの状態であるが、踏圧を加えた区は踏圧頻度が高い区ほど短くなっており、とくに1日10回踏圧の4区は7月末から急激な減少を示している。9月末の各区の1個体あたりの最大葉長は、対照区約7.4cm、1区約6.4cm、2区約6.2cm、3区約5.6cm、4区約4.2cmであった。踏圧による最大葉長の減少は、ひとつには成長が抑制されることもあるが、主として長い葉の擦り切れによるところが大きい。土壌が粒径の粗い、角礫を多く含むマサ土であるため、とくに擦り切れが多くみられたようである。



図Ⅲ-5 各区の1個体あたりの葉数の経時変化

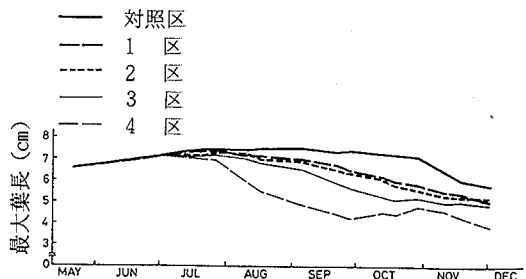
対照区：無踏圧

1区：3日に1回踏圧

3区：1日3回踏圧

2区：1日に1回踏圧

4区：1日10回踏圧



図Ⅲ-6 各区の1個体あたりの最大葉長の経時変化

表Ⅲ-5 掘り上げ時の1個体あたりの葉数

実験区(踏圧頻度)	葉数 (親株のみ)	葉数 (子株も含む)
対照区(無踏圧)	22.6±6.7 <sup>a</sup>	47.7±16.4 <sup>a</sup>
1区(3日に1回)	18.4±6.7 <sup>b</sup>	35.8±17.7 <sup>b</sup>
2区(1日に1回)	21.0±6.3 <sup>b</sup>	35.5±11.3 <sup>ab</sup>
3区(1日に3回)	18.9±7.5 <sup>b</sup>	32.1±12.0 <sup>b</sup>
4区(1日に10回)	10.0±7.2 <sup>c</sup>	20.6±12.2 <sup>c</sup>

注) 表の数値は、平均値±標準偏差。異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを表す(Duncan法による)。

表Ⅲ-6 掘り上げ時の最大葉長

実験区(踏圧頻度)	最大葉長(mm) (親株のみ)	最大葉長(mm) (子株も含む)
対照区(無踏圧)	56.5±7.4 <sup>a</sup>	57.9±6.7 <sup>a</sup>
1区(3日に1回)	48.8±9.9 <sup>bc</sup>	49.7±7.9 <sup>b</sup>
2区(1日に1回)	50.6±8.7 <sup>b</sup>	52.3±6.7 <sup>b</sup>
3区(1日に3回)	45.8±12.0 <sup>c</sup>	48.8±10.1 <sup>b</sup>
4区(1日に10回)	29.4±17.6 <sup>d</sup>	38.4±12.8 <sup>c</sup>

注) 表の数値は、平均値±標準偏差。異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを表す(Duncan法による)。

## (2) 掘り上げ時における個体の大きさ

〈葉数〉掘り上げ時の1個体あたりの葉数を表Ⅲ-5に示す。まず、親株だけの葉数をみると、対照区から3区までは大きな差はなく、植え付け時(約22枚)とあまり変わりはないが、4区は10枚と著しく減少している。子株を含めた葉数でみると、対照区が48枚で最も多く、1~3区は対照区よりやや少なく32~36枚、4区は21枚と最も少なかった。

〈最大葉長〉掘り上げ時の最大葉長を表Ⅲ-6に示す。子株を含めた値でみると対照区が5.8cmと最も長く、次いで1~3区が4.9~5.2cmであり、4区は3.8cmと最も短かった。また、対照区から3区までは、親株のみの値と子株を含めた値との差は1~3mmと小さく、親株も子株もほぼ同じような葉長であるといえるが、4区ではこの差が9mmあり、親株の葉長の減少が著しいといえる。

〈乾重〉掘り上げ時の1個体あたりの地上部乾重を表Ⅲ-7に示す。子株を含めた値でみると、対照区が約0.6gと最も大きく、次いで1~3区が0.39~0.45gであり、4区は0.27gと最も劣った。植え付け時の地上部乾重の推定値は0.30gであり、4区においては子株を含めた値でも植え付け時より小さくなっている。

地下部乾重を表Ⅲ-8に示す。地上部乾重よりも各区の間の差が大きい。子株を含めた値でみると、対照区1.57g、1区1.29g、2区0.97g、3区0.74gおよび4区0.60gであり、3区と4区の間には有意差はみられないが、その他の区の間には有意差がみられ、踏圧頻度が高くなるにしたがって、地下部乾重が小さくなっていることがわかる。

〈最大根長〉掘り上げ時の最大根長を表Ⅲ-9に示す。対照区および1区では、親株より長い根をもつ子株がいくつかみられたが、2~4区では親株を超えるものはみられなかった。各区の最大根長は、対照区約30cm、1, 2区約27cm、3, 4区約24cmであった。やはり踏圧頻度の高い区ほど短くなる傾向がみられたが、地下部乾重ほど大きな差はない。踏圧は根の長さよりも根の量(根の本数)に大きく影響しているようである。

〈分けつ数・塊根数〉掘り上げ時の1個体あたりの分けつ数および塊根数を表Ⅲ-10に示す。分けつ数は、対照区約2、1区約1.6、2~4区は約1であった。

塊根は貯蔵養分量の指標となると考えられる。塊根がみられたのは親株のみで、子株にはまだみられなかったが、対照区、1区が4個、2～4区が3個弱であった。

(3) 土壌硬度

地表面の土壌硬度の経時変化を図Ⅲ-7に示す。対照区は実験期間中、土壌硬度6～8mmを保ち、ほとんど変動していない。1～4区においては、踏圧開始後すぐに変化が現れ、3～4週間ではほぼ一定の値に達し、その後の変動は小さかった。8月から11月の間の各区の平均の土壌硬度は、1区10mm前後、2区16mm前後、3区20mm前後

表Ⅲ-7 掘り上げ時の地上部乾重

実験区 (踏圧頻度)	地上部乾重(g) (親株のみ)	地上部乾重(g) (子株も含む)
対照区 (無踏圧)	0.36±0.11 <sup>a</sup>	0.59±0.20 <sup>a</sup>
1区 (3日に1回)	0.30±0.13 <sup>b</sup>	0.45±0.22 <sup>b</sup>
2区 (1日に1回)	0.31±0.11 <sup>b</sup>	0.45±0.16 <sup>b</sup>
3区 (1日に3回)	0.27±0.10 <sup>b</sup>	0.39±0.14 <sup>b</sup>
4区 (1日に10回)	0.18±0.08 <sup>c</sup>	0.27±0.12 <sup>c</sup>

注) 表の数値は、平均値±標準偏差。異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを表す (Duncan法による)。

表Ⅲ-8 掘り上げ時の地下部乾重

実験区 (踏圧頻度)	地下部乾重(g) (親株のみ)	地下部乾重(g) (子株も含む)
対照区 (無踏圧)	1.16±0.34 <sup>a</sup>	1.57±0.49 <sup>a</sup>
1区 (3日に1回)	1.06±0.48 <sup>a</sup>	1.29±0.64 <sup>b</sup>
2区 (1日に1回)	0.80±0.31 <sup>b</sup>	0.97±0.40 <sup>c</sup>
3区 (1日に3回)	0.64±0.21 <sup>c</sup>	0.74±0.25 <sup>d</sup>
4区 (1日に10回)	0.54±0.21 <sup>c</sup>	0.60±0.24 <sup>d</sup>

注) 表の数値は、平均値±標準偏差。異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを表す (Duncan法による)。

表Ⅲ-9 掘り上げ時の最大根長

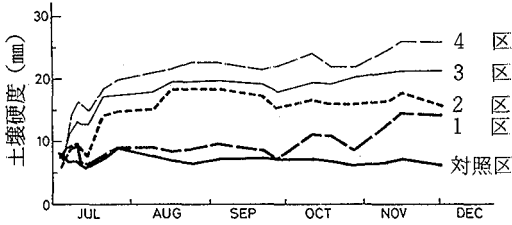
実験区 (踏圧頻度)	最大根長(mm) (親株のみ)	最大根長 (mm) (子株も含む)
対照区 (無踏圧)	302.7±45.3 <sup>a</sup>	304.3±44.7 <sup>a</sup>
1区 (3日に1回)	274.9±47.7 <sup>b</sup>	276.3±45.0 <sup>b</sup>
2区 (1日に1回)	271.7±48.1 <sup>b</sup>	271.7±48.1 <sup>b</sup>
3区 (1日に3回)	242.7±46.8 <sup>c</sup>	242.7±46.8 <sup>c</sup>
4区 (1日に10回)	238.9±51.6 <sup>c</sup>	238.9±51.6 <sup>c</sup>

注) 表の数値は、平均値±標準偏差。異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを表す (Duncan法による)。

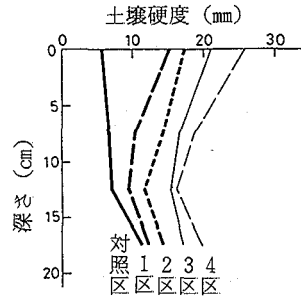
表Ⅲ-10 掘り上げ時の分けつ数, 塊根数

実験区 (踏圧頻度)	分けつ数	塊根数
対照区 (無踏圧)	2.03±1.20 <sup>a</sup>	4.13±2.58 <sup>a</sup>
1区 (3日に1回)	1.58±1.21 <sup>b</sup>	4.03±2.70 <sup>a</sup>
2区 (1日に1回)	1.16±0.69 <sup>c</sup>	2.86±2.68 <sup>b</sup>
3区 (1日に3回)	1.08±0.82 <sup>c</sup>	2.74±2.55 <sup>b</sup>
4区 (1日に10回)	1.02±0.75 <sup>c</sup>	2.96±2.41 <sup>b</sup>

注) 表の数値は、平均値±標準偏差。異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを表す (Duncan法による)。



図Ⅲ-7 各区の地表面の土壌硬度の経時変化



図Ⅲ-8 掘り上げ時の各区の土壌硬度の垂直分布

後、4区23mm前後である。マサ土にクスノキを植栽して行った踏圧実験(Ⅱ-2参照)では、1日1回の踏圧で20mm前後、1日10回の踏圧で30mm前後の値を示したが、これに比べると本実験の土壌硬度はやや小さく、公測森林公園の芝生広場における土壌硬度測定結果(Ⅲ-1参照)に近い値である。この理由としては、芝生広場同様、地表および地下部においてチャボリュウノヒゲの茎葉および根系がクッションの役割を果たしていることが考えられる。

次に、掘り上げ時の土壌硬度の垂直分布を図Ⅲ-8に示す。踏圧の影響は表土で最も大きく、深くなるにしたがってその影響は小さくなっている。興水らがヒメコウライシバを用いて行った踏圧実験では、深さ15cm程度で踏圧の影響は全くみられなくなっている<sup>28)</sup>が、本実験においては、深さ15~20cmでも踏圧の影響がいくらかみられる。この理由としては、ひとつには植物体による地表面の被覆密度および地下部の根系密度の違いが考えられる。また興水らは赤土(関東ローム)を用いており、本実験ではマサ土を用いている。土壌の違いも影響しているものと考えられる。

(4) まとめ

チャボリュウノヒゲに踏圧を加えた場合、踏圧頻度が高くなるほど生育が劣った。芝草の場合、1日数回の踏圧であれば、葉数および分けつ数が無踏圧より増加することが知られている<sup>19),25),26)</sup>が、チャボリュウノヒゲの場合、3日に1回という踏圧頻度でも無踏圧より葉数、分けつ数ともに少なかった。

実験終了時の1個体(子株を含む)あたりの葉数は、対照区が植え付け時の2.2倍、1~3区が1.5~1.6倍、4区が0.95倍であり、対照区、1~3区、4区間に有意差が認められた。4区の踏圧頻度は1日10回であるが、葉数、地上部乾重ともに植え付け時とはほぼ同じまたはやや下回る結果になっており、この程度の踏圧が加えられると成長が困難であるといえるようである。

チャボリュウノヒゲを地被として使う場合、その地表面の被覆率が問題となるわけであるが、被覆の程度も、葉数および地上部のデータが示すとおり結果となっている(写真Ⅲ-1~5参照)。4区においては損傷が著しく、地被を形成することが困難な状況である。

実験終了時の1個体(子株を含む)あたりの地下部乾重は、対照区が植え付け時の2.8倍、1区2.3倍、2区1.7倍、3区1.3倍、4区1.1倍と、踏圧頻度が高くなるにしたがって減少している(写真6~10参照)。

土壌硬度は踏圧頻度の高い区ほど大きいですが、裸地を踏圧した場合ほど土壌硬度は大きくならず、地上部および密度の高い根系がクッションの役割を果たしているものと考えられる。

本実験の結果からみれば、チャボリュウノヒゲは1日3回程度の踏圧であれば、旺盛とはいえないまでも成長を示し、地被を形成できるが、1日10回の踏圧では地被を形成することは困難であるといえる。ただし、チャボリュウノヒゲの生育阻害の原因として、踏圧による土壌物理性の悪化ということよりも、むしろ踏まれることに

よる直接的な損傷（葉の擦り切れ）が大きいと考えられる。マサ土の場合、粒径の粗い角礫を多く含んでおり、とくに葉の擦り切れが多いものと考えられる。粗大な角礫を除く、あるいはピートモスなどの弾力性のある土壌改良資材を混入するなどの対策を講じてやれば損傷は軽減されるものと考えられる。また、本実験の場合、植栽40日後から踏圧を加えたが、もっと長期間養生して、地上部の被覆率を100%にし、根系も十分に発達された後に、踏圧を加えるならば、踏圧に対する抵抗性もある程度大きくなるものと推測される。

チャボリュウノヒゲは、芝草ほど踏圧に対する抵抗性は強くないが、ある程度の踏圧には耐えることが認められた。踏圧頻度の低い場所や、煉瓦敷や平板敷の目地などには十分使えるものと思われる。また、マサ土の場合には、粗大な角礫による葉の損傷が大きいと思われるので、上に述べたような対策を講ずることが望まれる。

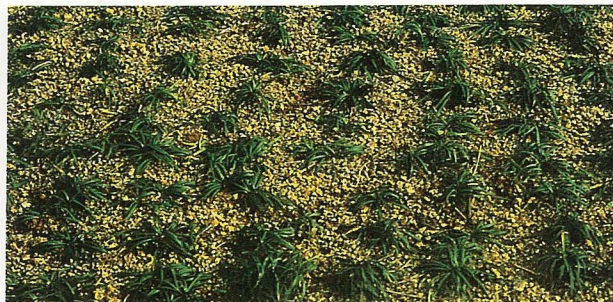


写真1  
対照区（無踏圧）



写真2  
1区（3日に1回踏圧）



写真3  
2区（1日1回踏圧）



写真4  
3区（1日3回踏圧）

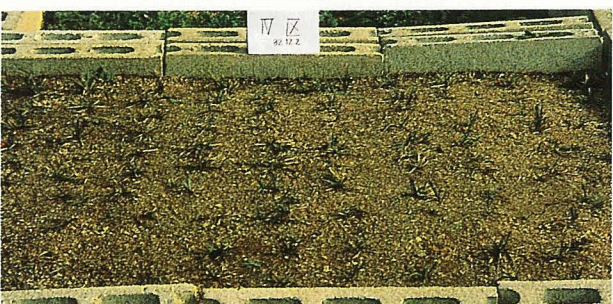


写真5  
4区（1日10回踏圧）

写真1～5は、掘り上げ  
前日（1982.12.2）撮影



写真6  
対照区の個体



写真7  
1区の個体



写真8  
2区の個体



写真9  
3区の個体

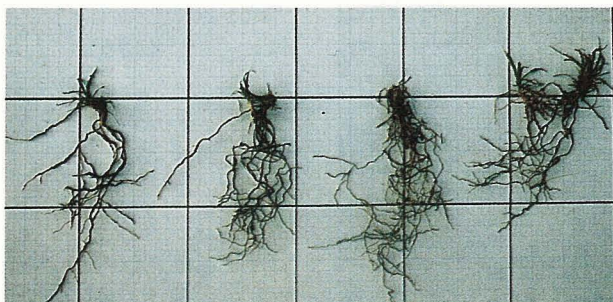


写真10  
4区の個体

写真6～10は、掘り上げ  
直後（1982.12.3）撮影



## Ⅳ章 土壌改良資材によるマサ土の改良

一般に、緑地造成用として用いられているマサ土は未熟であり、腐植含有量も少ない。そのため腐植の供給源として、パーク堆肥、オガクズ堆肥、ピートモスなどの有機質土壌改良資材がよく用いられている。また、砂質で保水性が乏しいため、パーライトなどの多孔質の土壌改良資材が混入されることもある。

しかしながら、実際の施工現場においては、経験的、場当りのに行われていることが多く、マサ土に混入した場合の各土壌改良資材の土壌物理性および樹木の生育に及ぼす効果、あるいはその適切な混入割合などについては未だ不明な点も多い。

筆者は、これらの点を解明すべく研究を行ってきた。本章では、これらの研究結果について検討を加える。

Ⅳ-1では、マサ土に各種の土壌改良資材を混入して生育実験を行い、樹木の生育に及ぼす各土壌改良資材の効果、とくに土壌中の窒素含有量および消失量と樹木の生育との関係を明らかにした。

Ⅳ-2では、マサ土の団粒形成に及ぼす有機質土壌改良資材の効果について検討した。

Ⅳ-3では、マサ土に各種の土壌改良資材を混入してクスノキを植栽し、断水試験を行って、マサ土の保水性改善に及ぼす各土壌改良資材の効果について検討した。

Ⅳ-4では、土壌改良資材、土壌量および灌水量（灌水間隔）をかえてヘデラを生育させ、各要因が土壌水分およびヘデラの生育に及ぼす影響について検討した。

Ⅳ-5では、最近土壌改良資材としての再利用が期待されている石炭灰（ボトムアッシュ）を用いて実験を行い、その特性について検討した。

これらの実験に用いたマサ土は、香川県三木町産のものであり、土壌改良資材は、パーク堆肥（ブライトチップ、無公害農法研究所エイト商事）、オガクズ牛糞堆肥（クラフミン、クラレ緑化産業）、ピートモス（カナダ、ニューブランズウィック州産）、パーライト（ネニサンソ2号、三井金属パーライト）、パーミキュライト（旭工業）およびボトムアッシュ（ポーラスアッシュTRY88、東洋殖産）である。

また、植物材料としては、ヘデラ・ヘリックス、トウネズミモチ、クスノキおよびシャリンバイを用いた。これらの樹種はいずれも関東以西の暖地において一般によく用いられている常緑の緑化樹である。実験の都合上、全ての実験に同一樹種を使用することはできなかったが、本章における実験は、各種の土壌改良資材の特性（とくにマサ土に混入した場合の効果）を知ることを目的に行ったものであり、物理性の測定と併せて生物学的な「ものさし」として緑化樹を用いたものである。緑地の造成および維持管理を考える上で、各緑化樹の樹種特性を明らかにしておくことは非常に重要なことであるが、この点については、現在研究を進めているところであり、今後、研究成果を発表していきたいと考えている。

### Ⅳ-1 マサ土への土壌改良資材の混入がヘデラの生育に及ぼす効果

#### —とくにヘデラの生育と土壌中の窒素含有量について—

##### 1. はじめに

数種の土壌改良資材の特性および樹木の生育に及ぼす効果を明らかにするためにポット実験を行った。実験に供した土壌改良資材はオガクズ牛糞堆肥、パーク堆肥、ピートモス、パーライトおよびパーミキュライトの計5種類である。これらの土壌改良資材をマサ土に混入し、ヘデラ・ヘリックスの1品種“ピッツバーグ” (*Hedera helix* “Pittsburgh”) を植栽して、その生育に及ぼす土壌改良資材の効果について検討した。

2 実験方法

- (1) 実験場所 香川大学農学部研究圃場
- (2) 実験期間 植え付け 1983年4月12日  
掘り上げ 1983年12月6日～9日
- (3) 実験材料

実験に供した土壌改良資材は、有機質土壌改良資材として、オガクズ牛糞堆肥、バーク堆肥およびピートモスの3種、無機質土壌改良資材としてパーライトおよびバーミキュライトの2種、合計5種類である。今回使用した土壌改良資材およびマサ土の炭素、窒素含有率およびC/N比は表Ⅳ-1に示すとおりである（C、Nの定量には柳本MT500型CNコーダーを用いた）。これを見るとオガクズ牛糞堆肥とバーク堆肥は炭素、窒素ともほぼ同じ含有率、ピートモスは窒素含有率が前者の約半分である。バーク堆肥の炭素、窒素含有率およびC/N比は市販されている製品のはば平均的な値に近いものである<sup>24)</sup>。

植物材料としては、ヘデラ・ヘリックスの1品種であるヘデラ・ヘリックス・ピッツバーグ (*Hedera helix* "Pittsburgh") を用いた。ヘデラ属の仲間は大ラント・カバーや壁面緑化の材料として利用されており、その造園的利用に関する研究が、小沢ら<sup>72),73),74)</sup>、森本<sup>60),61)</sup>、古谷ら<sup>21)</sup>によって行われている。なかでもカナリエンシス (*H. canariensis* Willd.) の仲間やヘリックスの基本種 (*H. helix* L.) がよく使われているが、近年、緑化樹(地被植物)の多様化が求められており、ピッツバーグの需要も伸びている。

(4) 実験区の設定

それぞれの土壌改良資材について、マサ土に対する混入比を容積比で、1:4(20%区)、2:3(40%区)、3:2(60%区)の3段階とし、対照区(マサ土のみ)と合わせて計16通りの実験区を設定した。

植え付けには1/5000 a のワグナーポットを用い、1区あたりの繰り返し数は8個体(1ポットにつき1個体)とした。実験に供した苗は前年11月下旬に挿し木しておいたものである。植え付け時の各区の供試個体の地際直径およびつる長は表Ⅳ-2に示すとおりである。地際直径は、各区の平均値が2.2~2.3mm(標準偏差0.2mm前後)と非常によく揃っている。つる長は、各区の平均値が3.5~6.9cm(標準偏差1~3cm)とややバラツキがみられた。しかし、地際直径、つる長ともに5%水準で各区の間に有意差がなく(Duncan法による)、各区の個体の大きさはほぼ一様であったと考えてよい。なお、ヘデラの挿し木の時期について、東京においては11月では遅すぎるという報告<sup>73)</sup>もあるが、筆者らが、ピッツバーグのほか数品種のヘデラ・ヘリックスについても同時期に挿し木を試みた結果では、いずれも90%以上の高い活着率を示した。これは、香川県が比較的温暖な地域であること、

表Ⅳ-1 供試材料の炭素、窒素含有率およびC/N比

供試材料	C (%)	N (%)	C/N
オガクズ牛糞堆肥	42.99	1.21	35.5
バーク堆肥	42.77	1.41	30.3
ピートモス	50.56	0.64	79.0
マサ土	0.03	0.01	—

注) マサ土はC、Nともに含有率が小さく、C/N比は意味がない。

表Ⅳ-2 植え付け時の地際直径およびつる長

実験区	地際直径(mm)	つる長(cm)
オガクズ牛糞堆肥20%区	2.25 (0.21)	3.6 (2.1)
〃 40%区	2.26 (0.19)	4.8 (2.6)
〃 60%区	2.20 (0.18)	5.1 (2.9)
バーク堆肥20%区	2.20 (0.21)	5.5 (3.0)
〃 40%区	2.28 (0.20)	4.3 (1.5)
〃 60%区	2.29 (0.21)	6.6 (1.7)
ピートモス20%区	2.24 (0.25)	5.2 (2.5)
〃 40%区	2.28 (0.20)	4.4 (1.9)
〃 60%区	2.31 (0.20)	4.8 (2.0)
パーライト20%区	2.16 (0.21)	6.9 (2.1)
〃 40%区	2.23 (0.24)	5.2 (2.4)
〃 60%区	2.21 (0.19)	6.0 (1.6)
バーミキュライト20%区	2.29 (0.20)	3.5 (1.2)
〃 40%区	2.18 (0.18)	6.4 (3.6)
〃 60%区	2.22 (0.21)	5.0 (1.4)
対照区(マサ土のみ)	2.24 (0.19)	5.0 (3.1)

注1) 表の数値は、平均値(標準偏差)。

注2) 地際直径、つる長ともに、5%水準で各区の間に有意差なし(Duncan法による)。

また筆者らはガラス室内（無加温ではあるが）で行ったことなど温度条件の違いによるところが大きいものと思われる。温暖な地域では晩秋の挿し木も十分可能であるものと考えられる。

(5) 実験期間中の調査、管理など

実験期間中の成長量の変化をみるために、10日毎に地際直径とつる長の測定を行った。実験期間中の管理としては、適宜、灌水と除草を行っただけで、追肥は行わなかった。

完全に成長の停止した12月初旬に全個体を掘り上げ、地際直径、つる長の測定を行った後、葉、つる、根に分けて乾重の測定を行った。

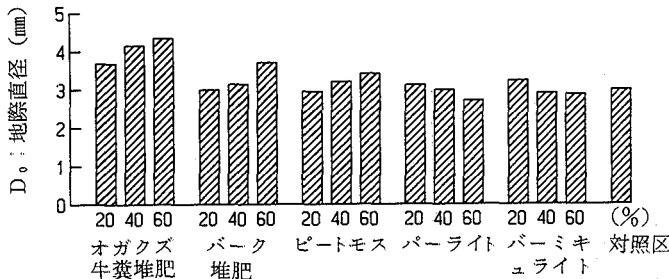
また、植え付け時と掘り上げ時に、各区のポットから土壌を採取し、炭素および窒素含有率を測定した。

3. 結果と考察

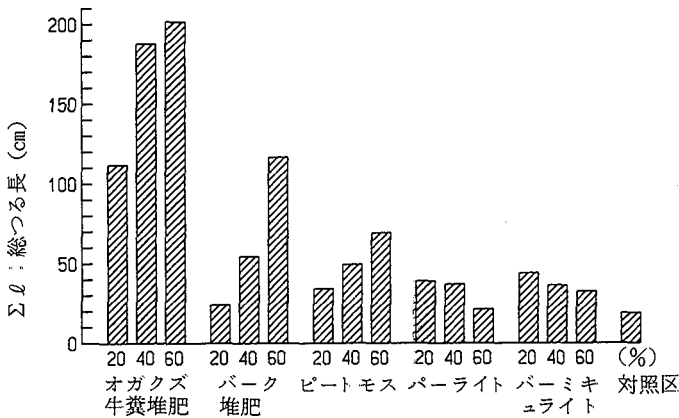
(1) 各区の成長量の比較

成長量としては、厳密に言えば、掘り上げ時の値から植え付け時の値を差し引いた値を使うべきであるが、本実験においては、植え付け時の個体の大きさが掘り上げ時のそれに比べて非常に小さいこと、および植え付け時には各区の個体の大きさに有意差がみられなかったことから考えて、成長の良否を比較するのに、成長量の代わりに掘り上げ時の値を用いてもよいと考えられる、以下、この値を用いて検討する。

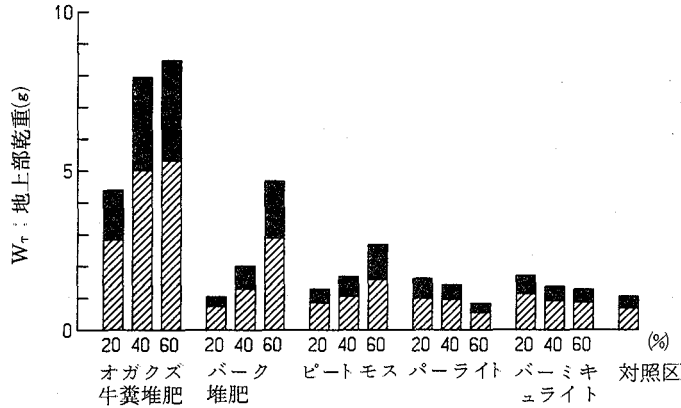
まず地際直径 ( $D_0$ ) をみると (図Ⅳ-1)、オガクズ牛糞堆肥60%区 (4.3mm)、同時40%区 (4.2mm) が最も大



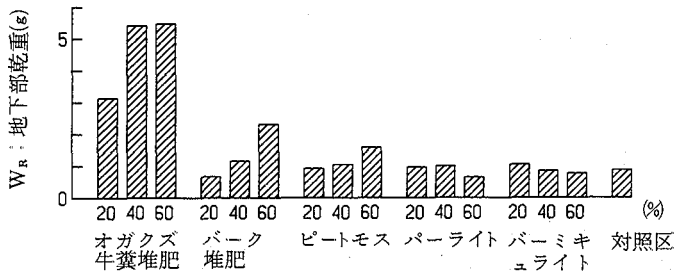
図Ⅳ-1 掘り上げ時の各区の地際直径 ( $D_0$ )



図Ⅳ-2 掘り上げ時の各区の総つる長 ( $\Sigma l$ )



図Ⅳ-3 掘り上げ時の各区の地上部乾重  
 地上部乾重 ( $W_T$ ) = 葉乾重 ( $W_L$ ) + つる乾重 ( $W_V$ )  
 斜線部：葉乾重 ( $W_L$ )，黒塗部：つる乾重 ( $W_V$ )



図Ⅳ-4 掘り上げ時の各区の地下部乾重 ( $W_R$ )

大きく、次いでバーク堆肥60%区 (3.7mm)、オガクズ牛糞堆肥20%区 (3.7mm) となっており、以下その他の区は3mm前後 ( $\pm 0.3$ mm) で、これらの区の間には有意な差はない (有意水準5%, Duncan法による。以下同じ)。植え付け時の地際直径は2.2~2.3mmであった。オガクズ牛糞堆肥60%区、同40%区では約2mm (ほぼ2倍) の増加を示し、無機質土壌改良資材混入区および対照区では0.5~1mmの増加であったことになる。

総つる長 ( $\Sigma l$ ) は、図Ⅳ-2に示したとおりであり、地際直径と同様の傾向を示している。植え付け時のつる長は3.5~6.9cmであったので、各区ともかなり伸長しているといえるが、なかでもオガクズ牛糞堆肥60%区 (202cm)、同40%区 (188cm) の両区が他の区より有意に大きく、次いでバーク堆肥60%区 (117cm)、オガクズ牛糞堆肥20%区 (112cm) であり、以下、その他の区は全て70cm以下となっている。

地上部乾重 ( $W_T$ ) は、葉乾重 ( $W_L$ ) とつる乾重 ( $W_V$ ) に分けて測定したが、両者ともほぼ同様の傾向を示しており、また当然のことながら、地際直径および総つる長の傾向とも同じである (図Ⅳ-3)。

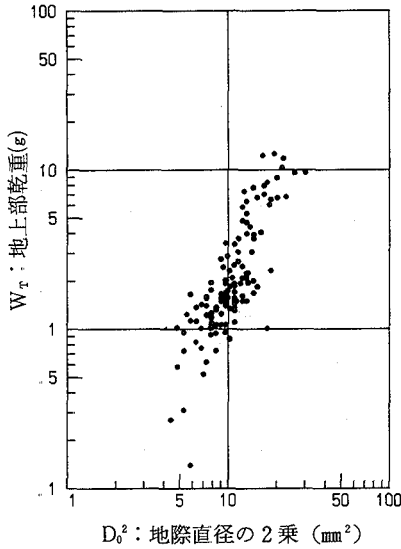
葉乾重は、オガクズ牛糞堆肥60%区 (5.3g)、同40%区 (5.0g) の両区が有意に大きく、次いでバーク堆肥60%区 (2.9g)、オガクズ牛糞堆肥20%区 (2.8g) であり、以下、ピートモス60%区 (1.6g) からパーライト60%区 (0.6g) まで、ほぼ1g前後の値を示した。つる乾重も同様の傾向を示した。

地下部乾重 ( $W_R$ ) も地上部と同様の傾向であり、オガクズ牛糞堆肥60%区 (5.5g)、同40%区 (5.4g) の両区が他の区に比べて有意に大きく、次いでオガクズ牛糞堆肥20%区 (3.1g)、バーク堆肥60%区 (2.3g) であ

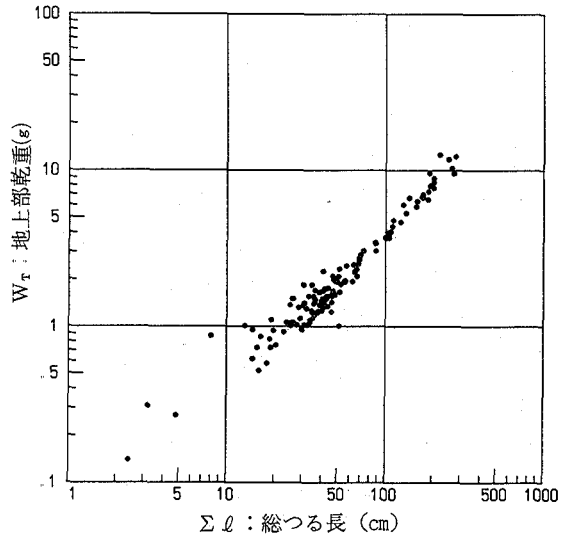
表Ⅳ-3 相対成長関係の相関係数

Y	X	地際直径 <sup>2</sup> ( $D_0^2$ )	総つる長 ( $\Sigma \ell$ )	葉乾重 ( $W_L$ )	つる乾重 ( $W_V$ )	地上部乾重 ( $W_T$ )
総つる長( $\Sigma \ell$ )		0.731***				
葉乾重( $W_L$ )		0.813***	0.939***			
つる乾重( $W_V$ )		0.791***	0.978***	0.965***		
地上部乾重( $W_T$ )		0.837***	0.968***	0.991***	0.982***	
地下部乾重( $W_R$ )		0.800***	0.909***	0.948***	0.926***	0.963***

注1) 回帰式は、 $Y = ax^b$   
 注2) 地上部乾重 ( $W_T$ ) = 葉乾重 ( $W_L$ ) + つる乾重 ( $W_V$ )  
 注3) \*\*\*は0.1%水準で有意であることを表す。



図Ⅳ-5 地際直径の2乗と地上部乾重の関係



図Ⅳ-6 総つる長と地上部乾重の関係

り、その他の区は1g前後であった(図Ⅳ-4)。

T/R比(地上部乾重と地下部乾重の比)は1.2~2.0の間にあり、各区の間に有意な差はみられなかった。

なお、成長量の経時変化に関するデータは省略したが、成長のパターンとしては各区ともほぼ同様であり、つるの伸長成長は5~6月および9月が盛んであり、7~8月の盛夏には停滞していた。肥大成長は伸長成長の止まる6~8月に大きい傾向がみられた。

(2) 相対成長関係

上に述べたように、地際直径( $D_0$ )、総つる長( $\Sigma \ell$ )、地上部乾重( $W_T$ )、地下部乾重( $W_R$ )はいずれもほぼ同様の傾向を示しており、相互に関連しているようである。そこでこれらの間の相対成長関係を調べてみた。表Ⅳ-3にその相関係数を示す。また $D_0^2$ と $W_T$ の関係を図Ⅳ-5に、 $\Sigma \ell$ と $W_T$ の関係を図Ⅳ-6に示す。 $D_0^2$ と他の指標との相関係数が他に比べるとやや低い値であるが、しかし、いずれも0.1%水準で有意という高い相関関係を示している。 $\Sigma \ell$ 、 $W_L$ 、 $W_V$ 、 $W_T$ 、 $W_R$ 相互の相関係数は全て0.9以上で、図Ⅳ-6からもわかるように、ごく小さな個体を除けばバラツキは非常に小さい。森本<sup>60)61)</sup>は、ナツヅタとカナリエンシスを調査し、 $D_0^2H$ と各部分重の相関が高いことを報告しており、古谷ら<sup>21)</sup>は、カナリエンシスを用いた実験から、根元断面積と総つる長の高い相関のあることを報告している。 $D_0^2$ よりも $D_0^2H$ を用いた方がより高い相関が得られるには違いない

だろうが、つる植物のH（樹高、つる長）を測定することはなかなか困難であり、実際的には $D_0^2$ を用いても大きな違いはないと考えられる。

(3) 無機質土壌改良資材の効果

無機質土壌改良資材混入区は有機質土壌改良資材混入区に比べると成長量が少なく、対照区との差もあまりみられなかったわけであるが、細かくみると、一定の傾向が認められる。無機質土壌改良資材20%区、40%区では対照区よりもよい成長を示しているが、混入割合が大きくなるほど成長量は少なくなり、パーライト60%区では地上部乾重、地下部乾重とも対照区を下回り、パーミキュライト60%区でも地下部乾重が対照区を下回った（図Ⅳ-1～4）。

無機質土壌改良資材混入区は、保水性および通気透水性といった土壌水分条件の点で対照区よりもよい条件にあったものと考えられる。しかし、多量に混入した場合には土壌養分（とくに窒素分）の点で不利になったことが考えられる。次に、土壌中の窒素含有量と成長量の関係のみてみたい。

(4) 土壌中の窒素含有量と成長量

1ポットあたりの土壌中の全窒素含有量および実験期間中の消失量を表Ⅳ-4に示した。実験開始時の全窒素含有量( $N_0$ )をみると、バーク堆肥混入区が最も多く、オガクズ牛糞堆肥混入区はバーク堆肥混入区の約80%、ピートモス混入区は20数%の値となっている。この実験開始時の値( $N_0$ )から実験終了時の値( $N$ )を引いたものが消失量( $\Delta N$ )である。もちろん、このなかには流失した分も含まれているわけで、全てがヘデラに吸収されたわけではないが、可給態窒素含有量の一つの目安になるものと思われる。実験開始時の全窒素含有量( $N_0$ )はバーク堆肥混入区が最も大きい、消失量( $\Delta N$ )ではオガクズ牛糞堆肥混入区がやや上回っている。

そこで、 $N_0$ および $\Delta N$ と成長量との相関を調べてみた（表Ⅳ-5）。ともに高い相関を示しているが、 $\Delta N$ のほうがより高い相関を示している（どの指標でみても0.1%水準で有意である）。このように土壌中の窒素消失量( $\Delta N$ )と成長量との相関は非常に高いのであるが、細かくみると土壌改良資材の種類によって若干の違いがみられる。一例として、窒素消失量( $\Delta N$ )と地上部乾重( $W_T$ )の関係を図Ⅳ-7に示したが、こ

表Ⅳ-4 土壌中の全窒素量および消失量

実 験 区	$N_0$	N	$\Delta N$
オガクズ牛糞堆肥20%区	1.53	1.03	0.50
〃 40%区	3.00	1.88	1.12
〃 60%区	4.36	2.30	2.06
バーク堆肥20%区	1.93	1.56	0.37
〃 40%区	3.70	3.10	0.60
〃 60%区	5.46	3.43	2.03
ピートモス20%区	0.52	0.25	0.27
〃 40%区	0.88	0.39	0.49
〃 60%区	1.23	0.41	0.82
パーライト20%区	0.14	0.10	0.04
〃 40%区	0.11	0.08	0.03
〃 60%区	0.07	0.05	0.02
パーミキュライト20%区	0.14	0.01	0.04
〃 40%区	0.11	0.08	0.03
〃 60%区	0.07	0.05	0.02
対照区（マサ土のみ）	0.18	0.15	0.03

注)  $N_0$  : 実験開始時の1ポットあたりの土壌中の全窒素量  
 N : 実験終了時の1ポットあたりの土壌中の全窒素量  
 $\Delta N$  : この間の消失量 ( $N_0 - N$ )  
 いずれも単位は (g/ポット)

表Ⅳ-5 実験開始時の土壌中の全窒素含有量および消失量と成長量の各指標との間の相関係数

Y	X	全窒素含有量 ( $N_0$ )	窒素消失量 ( $\Delta N$ )
地際直径 ( $D_0$ )		0.726**	0.842**
総つる長 ( $\Sigma l$ )		0.726**	0.836**
葉乾重 ( $W_L$ )		0.709**	0.816**
つる乾燥 ( $W_V$ )		0.726**	0.843**
地上部乾重 ( $W_T$ )		0.716**	0.827**
地下部乾重 ( $W_R$ )		0.635**	0.749**

注1)  $N_0$ は実験開始時の1ポットあたりの土壌中の全窒素含有量、 $\Delta N$ は実験期間中の消失量（表Ⅳ-4参照）。

注2) 回帰式は、 $Y = AX + B$

注3) \*\*は1%、\*\*\*は0.1%水準で有意なことを示す。

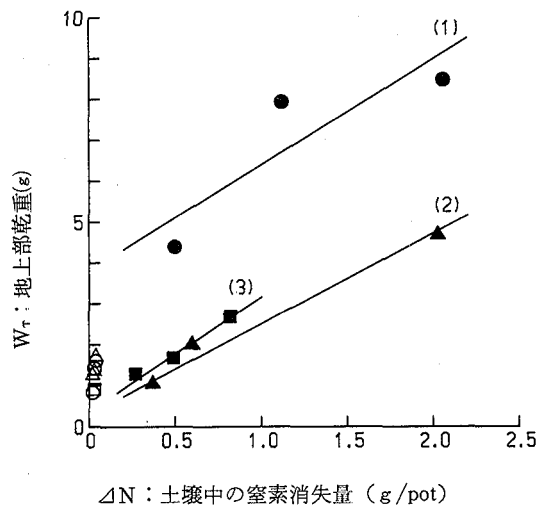
れをみると各土壌改良資材毎に別々の回帰直線が引けそうである。各区とも3点ずつしかないので、早急な判断はできないが、同じ $\Delta N$ でありながら、 $W_T$ が大きく異なるということは、窒素以外の要因（土壌物理性など）も影響していると考えらるべきであろう。この点については、次節以降でさらに検討を加える。

(5) まとめ

有機質土壌改良資材としてオガクズ牛糞堆肥、バーク堆肥およびピートモスの3種、無機質土壌改良資材としてパーライトおよびバーミキュライトの2種、計5種類の土壌改良資材をマサ土に混入し、ヘデラ・ヘリックス“ピッツバーグ”を植栽して、成長に及ぼす効果について検討した。マサ土に対する各土壌改良資材の混入割合は、容積比で20%、40%、60%の3段階とした。

ヘデラの成長は、オガクズ牛糞堆肥60%区、同40%区が最も旺盛であり、次いでバーク堆肥60%区、オガクズ牛糞堆肥20%区であり、その他の区は対照区（マサ土のみ）と有意な差はみられなかった。

ヘデラの成長量と実験期間中に消失した土壌中の全窒素量との間には高い相関が認められた。無機質土壌改良資材の効果はほとんどみられなかったが、無機質土壌改良資材は主として水分条件を改善する効果をもつものであり、本実験のように、十分な灌水管理のもとでの生育実験ではその効果が確かめられないのも当然であったかも知れない。なお、マサ土の水分特性およびその改良法に関しては、この後、Ⅳ-3、Ⅳ-4、Ⅳ-5において詳しく検討する。



図Ⅳ-7 土壌中の窒素消失量 ( $\Delta N$ ) と地上部乾重 ( $W_T$ ) の関係

- : オガクズ牛糞堆肥混入区  
回帰直線(1) :  $Y = 3.94 + 2.45X$  ( $r = 0.868$ )
- ▲ : バーク堆肥混入区  
回帰直線(2) :  $Y = 0.51 + 2.07X$  ( $r = 0.992$ )
- : ピートモス混入区  
回帰直線(3) :  $Y = 0.54 + 2.57X$  ( $r = 0.990$ )
- : パーライト混入区
- △ : バーミキュライト混入区    □ : 対照区

## IV-2 マサ土への有機質土壌改良資材の混入が樹木の生育および土壌の団粒形成に及ぼす効果

## 1 はじめに

前節において、マサ土への有機質土壌改良資材（バーク堆肥およびオガクズ牛糞堆肥）の混入が樹木の生育に効果があることを述べたが、その中で、土壌中の窒素含有量が樹木の生育に大きく影響しているが、土壌物理性など、その他の要因も影響を及ぼしていることを指摘した。本節では、有機質土壌改良資材を用いて行った生育実験の結果から、有機質土壌改良資材のマサ土への混入が樹木の生育に及ぼす効果、および土壌の肥沃化の目安である団粒形成に及ぼす効果について検討する。

## 2 実験方法

(1) 実験場所 香川大学農学部研究圃場

(2) 実験期間 植え付け 1981年5月23日  
掘り上げ 1982年11月10日～15日

(3) 実験材料

有機質土壌改良資材として、バーク堆肥とオガクズ牛糞堆肥を用いた。供試樹としては、主要な緑化樹であるトウネズミモチ (*Ligustrum lucidum* Ait.) の3年生ポット苗を用いた。

(4) 実験区の設定

各有機質土壌改良資材とマサ土の混合割合（容積比）をそれぞれ、1：9（10%区）、2：8（20%区）、3：7（30%区）、4：6（40%区）、5：5（50%区）および6：4（60%区）の6段階とし、対照区（マサ土のみ）と合わせて計13の実験区を設定した。1区あたりの反復数は8個体とし、購入したポット苗の中から形状寸法の揃ったものを選び出し、ランダムに各区に配分したが、植え付け時の各区の平均の地際直径は7.2～7.7mm、樹高は62～64cmで、各区の間に有意差はみられなかった。植え付けには素焼の8合鉢（上面鉢径24cm）を用いた。底には礫を厚さ4cm敷き、その上に供試土壌を入れた。1鉢あたりの供試土壌量は約4ℓ（土壌の深さ12cm）であった。

(5) 実験期間中の調査および管理など

1981年5月23日に植え付け、以後2週間毎に地際直径および樹高の測定を行った。2年間生育させた後、1982年11月10日～15日に掘り上げ、地上部と地下部に分けて乾重を測定した。掘り上げ時に各区の土壌を採取し、団粒分析を行った。団粒分析は団粒分析装置（大起理化製）を用いて、水中篩別法<sup>9)</sup>で行った。なお、土壌試料は表層（深さ0～6cm）と下層（6～12cm）に分けて採取した。

実験期間中の管理としては、灌水と除草を行った。灌水は土壌の水湿状態を指触で判定して均一の水分会状態を保つよう行った。追肥は行わなかった。

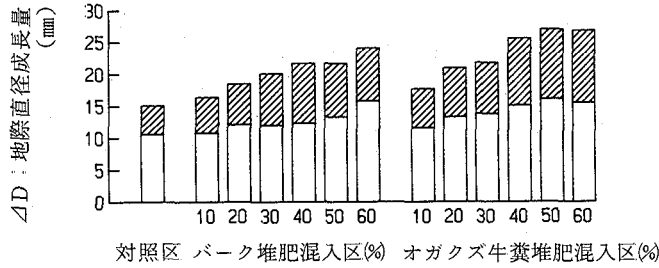
## 3 結果と考察

(1) 成長量

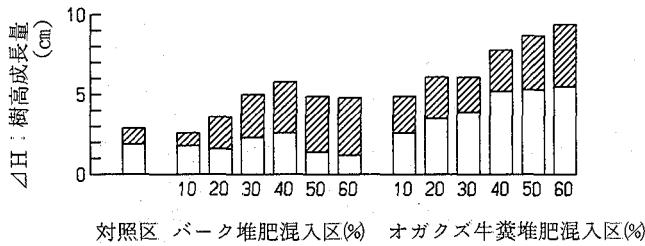
地際直径の成長量を図Ⅳ-8に示す。バーク堆肥混入区、オガクズ牛糞堆肥混入区とも対照区を上回っており、しかも、混入割合が大きくなるほど成長量も大きくなっている。バーク堆肥とオガクズ牛糞堆肥の違いはほとんどみられない。

樹高成長量を図Ⅳ-9に示す。やはり、有機質土壌改良資材混入区で対照区より大きな成長を示しているが、とくにオガクズ牛糞堆肥の多量混入区で成長がよい。





図Ⅳ-8 地際直径成長量 (ΔD)  
白抜き部：1年目(1981年), 斜線部：2年目(1982年)



図Ⅳ-9 樹高成長量 (ΔH)  
白抜き部：1年目(1981年), 斜線部：2年目(1982年)

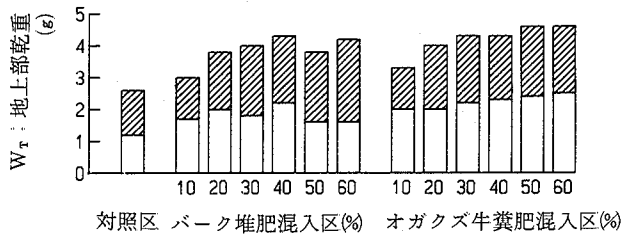
掘り上げ時の地上部乾重 ( $W_T$ ) を図Ⅳ-10に示す。植え付け時の乾重はわからないが、実験に使用しなかった個体を用いて相対成長関係を利用して推定したところでは、地上部乾重は約10g (幹枝重  $5.2 \pm 0.2$ g, 葉重  $5.0 \pm 0.2$ g) であった。

掘り上げ時の幹枝重 ( $W_{SB}$ ) は、オガクズ牛糞堆肥60%区, 同50%区, 同40%区およびバーク堆肥60%区が15~16gで最も重く、次いでオガクズ牛糞堆肥30%区, 同20%区およびバーク堆肥50%区が13~14g, オガクズ牛糞堆肥10%区, バーク堆肥30%区, 同20%区が約12gであり、バーク堆肥10%区と対照区は約11gであった。

葉重 ( $W_L$ ) は、オガクズ牛糞堆肥60%区, 同50%区, 同40%区が約11g, 次いでオガクズ牛糞堆肥30%区, 同20%区およびバーク堆肥60%区, 同50%区, 同40%区, 同30%区が8~9gであり、オガクズ牛糞堆肥10%区とバーク堆肥10%区は約6g, 対照区は約5gであった。有機質土壌改良資材の10%区および対照区では葉重がほとんど増加していないが、2年目に葉量が減少したことによる。追肥を行っていないので、肥料切れが起きたものと考えられる。

掘り上げ時の地下部乾重 ( $W_R$ ) を図Ⅳ-11に示す。地上部乾重と同様、有機質土壌改良資材の多量混入区で成長がよい。植え付け時の推定乾重は約3.2gであり、乾重の増加量は各区とも地上部よりも大きい。

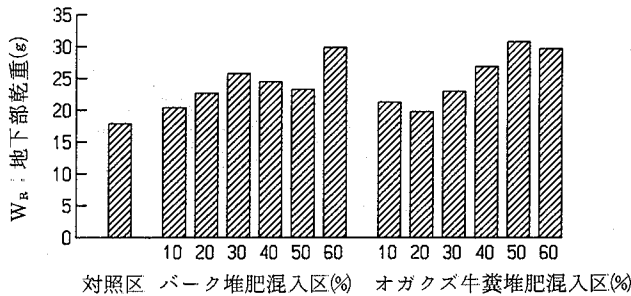
以上総合してみると、オガクズ牛糞堆肥の多量混入区で最も成長がよく、次いでバーク堆肥の多量混入区であり、以下、オガクズ牛糞堆肥の少量混入区, バーク堆肥の少量混入区, 対照区という順になる。この理由としては、前節でも明らかにしたように、土壌中の窒素含有量があげられるが、その他土壌物理性も考えられる。次に、土壌物理性に大きな影響を及ぼすと考えられる土壌の団粒について検討してみる。



図Ⅳ-10 地上部乾重 (W<sub>T</sub>)

地上部乾重 (W<sub>T</sub>) = 幹枝重 (W<sub>SB</sub>) + 葉重 (W<sub>L</sub>)

白抜き部: 幹枝重 (W<sub>SB</sub>), 斜線部: 葉重 (W<sub>L</sub>)



図Ⅳ-11 地下部乾重 (W<sub>R</sub>)

(2) 土壌の団粒について

土壌の団粒の分析法および表示法については議論のあるところであるが<sup>6),8)</sup>, 本実験では, わが国において最も一般的に行われている方法(水中篩別法)に従って分析を行い<sup>9)</sup>, 結果は団粒化度で表した。団粒化度とは, 一定粒径以下の一次粒子のうち, 何%が団粒化しているかを示す表示法である<sup>6),9)</sup>。

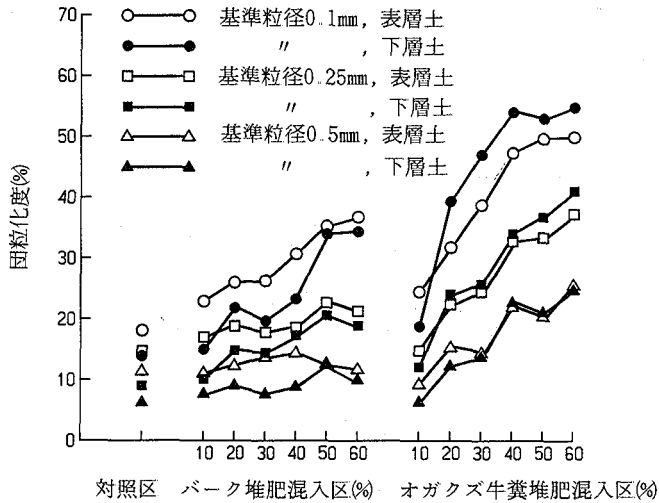
団粒化度を図Ⅳ-12に示す。表層と下層に分けて土壌を採取し, 分析したが, 表層と下層でとくに大きな差はみられなかった。図中の表層と下層の差はバラツキの範囲とみなしてよい。基準粒径0.1mmでは, 対照区(表層18%, 下層14%)が最も小さく, バーク堆肥混入区では10%区(23%, 15%)から60%区(37%, 35%)へと混入割合の増加にともなって団粒化度も大きくなっている。オガクズ牛糞堆肥混入区では団粒化度はさらに大きく, 10%区(25%, 19%)から60%区(50%, 55%)となっている。粒径が大きくなるにしたがって, 団粒化度は小さくなっているが, 有機質土壌改良資材の混入割合が高いほど団粒化度も大きくなるという傾向は同じであった。基準粒径1mm以上については図示しなかったが, 基準粒径1mmでは団粒化度5~10%程度で, 実験区による差は明かでなかった。

なお, 平均重量直径<sup>6),9)</sup>も計算してみたが, 団粒化の傾向は団粒化度の結果とほぼ同じであった。

有機質土壌改良資材, とくにオガクズ牛糞堆肥の混入がマサ土の団粒化に効果的であることが明らかになった。土壌の団粒を形成する因子としては, いくつかの要因が指摘されている<sup>92),94)</sup>が, 土壌の細粒分やCaCO<sub>3</sub>とならんで高分解性有機物が挙げられている。オガクズ牛糞堆肥は高分解性有機物を多く含んでおり, 団粒化を促進したものと考えられる。

(3) まとめ

一般によく用いられている有機質土壌改良資材であるオガクズ牛糞堆肥とバーク堆肥をマサ土に混入し, トウ



図Ⅳ-12 団粒化度

ネズミモチの3年生ポット苗を植栽して生育に対する効果を検討した。実験区としては、マサ土に対する各土壌改良資材の混入割合を容積比で10%、20%、30%、40%、50%、60%の6段階とし、対照区（マサ土のみ）と合わせて計13区を設定した。また、各区の土壌の団粒化度を測定し、各土壌改良資材の団粒形成効果についても検討した。

オガクズ牛糞堆肥、バーク堆肥ともに混入割合が大きいほどトウネズミモチの成長はよく、また、同じ混入割合でみると、前節で述べたヘデラの場合と同様、バーク堆肥混入区よりもオガクズ牛糞堆肥混入区の方がよい成長を示した。

団粒化もバーク堆肥、オガクズ牛糞堆肥の混入によって促進されるが、とくにオガクズ牛糞堆肥の効果が大きかった。

### Ⅳ-3 マサ土の保水性改善に及ぼす土壌改良資材の効果

#### 1 はじめに

マサ土に混入した土壌改良資材の効果について、Ⅳ-1では窒素分供給の面から、Ⅳ-2では団粒形成促進の面から検討した。本節では、マサ土の保水性改善に及ぼす土壌改良資材の効果について検討を加える。

#### 2 実験方法

- (1) 実験場所 香川大学農学部研究用ガラス室
- (2) 実験期間 植え付け 1984年4月18日  
灌水停止 1984年8月23日～11月26日
- (3) 実験材料および実験区の設定

土壌改良資材として、バーク堆肥、オガクズ牛糞堆肥およびパーライトの3種を用い、各土壌改良資材について、マサ土に対する混入比（容積比）を1：4（20%区）、2：3（40%区）の2段階とし、対照区（マサ土100%）と合わせて計7通りの実験区を設定した。なお、マサ土は5mmの篩を通過した部分を使用した。植物材料としては、クスノキ（*Cinnamomum Camphora* Sieb.）2年生ポット苗を用いた。ポット苗は鉢土を水でよく洗

い落とした後、ワグナーポット (1/5000 a) を用いて植え付けた。1区あたりの反復数は5個体とした。また、樹木からの蒸散と土壌表面からの蒸発を比較検討するために、樹木を植栽しない土壌だけのポットを1区あたり1ポットずつ設置した。

#### (4) 実験方法

植え付け後、8月22日までは通常の管理(灌水, 除草)の下で生育させ、8月22日夕方に十分灌水した後、翌23日から灌水を停止した。灌水停止後、毎日夕方ポットの重量を測定し、水分減少量(蒸発散量)を求めた。

なお、8月23日の測定前に、ポットを少し傾けて底に残っている余剰の重力水を排出させた。ポットの重量はほぼ重力水が抜けたと考えられる8月23日の測定値を初期値とした。この時の土壌水分量はほぼ圃場容水量(pF1.8)に相当するものと考えられる。重量測定と同時に供試樹の生育状態(シオレ, 枯れなど)を観察した。重量測定は、各ポットの重量の変化がなくなる(風乾状態に達する)まで行った。供試樹は9月15日(灌水停止後24日目)までに全て枯死し、ポットの重量変化もほとんど0となったが、樹木を植栽しない土壌だけのポットは10月下旬ないし11月下旬まで重量の減少を示した。最終的に11月26日で測定を打ち切った。

また、各区の土壌を採取し、遠心法<sup>9)</sup>で水分張力別の土壌水分量(含水比)を求めた。

### 3. 結果と考察

#### (1) 供試樹の大きさ

植え付けにあたっては、各区の供試樹の大きさに差が出ないように、用意したポット苗100個体の中から比較的形状寸法のそろったものを35個体(5個体×7区)を選び、各区に配分した。表Ⅳ-6に植え付け時(4月18日)の各区の樹高、地際直径を示したが、ともに各区の間に有意差はみられなかった。

灌水停止時(8月23日)の各区の樹高、地際直径および葉数も表Ⅳ-6に示した。各区の成長量の間に若干の差が出るのではないかと予想したが、樹高、地際直径および葉数のいずれも各区の間に有意差は認められなかった。ただ、葉数の標準偏差がやや大きく、区の中でのバラツキが大きくなっているようであるが、葉数の影響の有無については後で検討する。

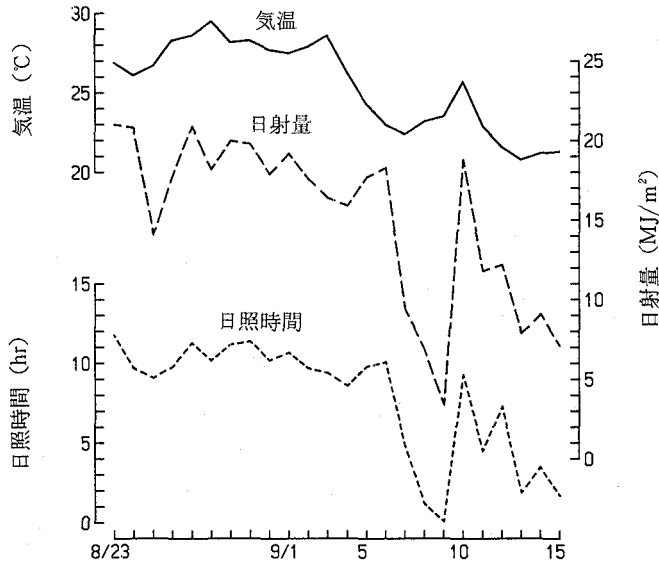
#### (2) 灌水停止期間中の気象条件

蒸発散の程度は気象条件に大きく左右されることが考えられる。灌水停止後から全ての供試樹が枯れるまでの期間(8月23日～9月15日)の気象条件(平均気温, 日照時間, 日射量)を図Ⅳ-13に示す。なお、これらのデータは香川大学農学部科学研究委員会管理の自動気象観測装置(香川大学農学部構内に設置)の観測データから借用したものである。試験開始後2週間は安定した天候(晴天)が続いたが、9月7日以降やや天候が崩れた。後で述べるように、蒸発散量は最初の数日間は1ポットあたり100 g/day程度の値を示したが、次第に減少し9月5日以降は10 g/day以下になっており、9月7日以降の天候の不順の影響はあまり大きくなかったと考えられる。

#### (3) 供試樹の生育状態と蒸発散量

灌水停止からシオレ始めるまでの日数は、パーライト混入区が最も長く(20%区11.7日, 40%区14.0日)、次いでオガクズ牛糞堆肥混入区(20%区10.3日, 40%区11.7日)、バーク堆肥混入区(20%区9.7日, 40%区9.7日)であり、対照区は9.3日と最も短かった(表Ⅳ-7)。

この間の蒸発散量も、表Ⅳ-7に示すとおり、日数とよく似た傾向を示している。ただし、先にも述べたように、灌水停止時に樹高、地際直径にはほとんど差がなかったものの葉数にはややバラツキがみられた。日数は蒸発散量だけでなく葉数の影響も受けているかも知れない。そこで、蒸発散量と葉数を独立変数、日数を従属変数と



図N-13 灌水停止期間中の気象条件

表N-6 植え付け時および灌水停止時の樹高，地際直径，葉数（葉数は灌水停止時のみ）

実験区	植え付け時（4月18日）		灌水停止時（8月23日）		
	樹高 (cm)	地際直径 (mm)	樹高 (cm)	地際直径 (mm)	葉数 (枚)
対照区（マサ土のみ）	56.4 (13.5)	6.3 (0.9)	63.8 (14.7)	7.9 (1.0)	143 (57)
バーク堆肥20%区	54.3 (7.8)	7.0 (0.4)	62.2 (7.7)	7.9 (0.6)	205 (86)
バーク堆肥40%区	56.1 (8.4)	6.6 (1.3)	63.2 (9.7)	7.9 (0.8)	128 (66)
オガクズ牛糞堆肥20%区	52.2 (5.9)	7.0 (1.4)	59.9 (6.5)	8.1 (1.3)	149 (56)
オガクズ牛糞堆肥40%区	55.1 (8.9)	7.0 (1.1)	60.4 (6.8)	8.1 (1.2)	102 (26)
パーライト20%区	51.0 (10.6)	7.0 (0.4)	57.7 (12.5)	8.7 (1.2)	104 (27)
パーライト40%区	52.9 (8.7)	6.2 (0.8)	58.8 (8.5)	7.6 (0.6)	90 (28)

注1) 表の数値は，平均値（標準偏差）。

注2) 各項目とも有意水準5%で各区の間に有意差なし（Duncan法による）。

表N-7 灌水停止後，〈シオレ始める〉までおよび〈枯れる〉までの日数とその間の蒸発散量

実験区	灌水停止～シオレ始め		シオレ始め～枯れ		灌水停止～枯れ	
	日数	蒸発散量	日数	蒸発散量	日数	蒸発散量
対照区（マサ土のみ）	9.3 (2.9)	546 (105)	5.3 (0.6)	58 (23)	14.7 (2.3)	604 (47)
バーク堆肥20%区	9.7 (1.5)	467 (28)	7.7 (2.5)	71 (23)	17.3 (2.3)	539 (33)
バーク堆肥40%区	9.7 (1.5)	501 (52)	10.7 (6.7)	88 (38)	19.7 (7.5)	589 (49)
オガクズ牛糞堆肥20%区	10.3 (2.1)	611 (80)	10.7 (1.5)	82 (14)	21.0 (2.6)	693 (40)
オガクズ牛糞堆肥40%区	11.7 (0.6)	708 (35)	9.0 (4.0)	76 (31)	20.7 (4.0)	785 (21)
パーライト20%区	11.7 (1.5)	655 (46)	6.7 (1.2)	44 (9)	18.3 (0.6)	699 (22)
パーライト40%区	14.0 (1.7)	803 (72)	5.3 (3.2)	32 (11)	19.3 (4.9)	835 (44)

注) 表の数値は，平均値（標準偏差）。蒸発散量の単位は（g/ポット）

して重回帰分析を行ってみたところ，次のような結果が得られた。

Y：灌水停止からシオレ始めるまでの日数

X<sub>1</sub>：この間の蒸発散量

X<sub>2</sub>：葉数

として，

—50—

$$Y = 1.603 + 0.01517X_1$$

標準偏回帰係数  $X_1$  : 0.8692 $X_2$  : 0重相関係数  $R = 0.8692$ 寄与率  $R^2 = 75.55$  (%)

葉数の偏回帰係数は0となり、日数には全く影響していないこと、日数と蒸発散量の間には高い正の相関関係があることが認められた。

なお、植物がシオレ始める時点の土壌水分張力は初期シオレ点 (pF3.8) であるが、ポット実験の場合、ポット全体の土壌水分張力が均一になっているとはいえず (表層から乾燥していくため、表層と下層では土壌水分張力が異なる)、本実験において、灌水停止からシオレ始めるまでの間の蒸発散量が圃場容水量から初期シオレ点の間 (pF1.8~3.8) のいわゆる有効水にぴったり一致しているとはいえないが、ポット全体としてみればそれに近い水分量であるものと推測される。なお、pF-水分量については、供試土壌をサンプリングし、遠心法で測定した。その結果については後でまとめて検討する。

シオレ始めてから枯れるまでの日数は、対照区およびパーライト混入区が5.3~6.7日と短く、バーク堆肥混入区およびオガクズ牛糞堆肥混入区が7.7~10.7日と長くなる傾向がみられた (表Ⅳ-7)。この間の蒸発散量は、対照区、パーライト混入区で少なく、有機質土壌改良資材混入区で多い傾向がみられた (表Ⅳ-7)。そこで、先ほどと同様に重回帰分析を行ってみた。

Y : シオレ始めてから枯れるまでの日数

 $X_1$  : この間の蒸発散量 $X_2$  : 葉数

として、

$$Y = 3.067 + 0.1106X_1 - 0.01774X_2$$

標準偏回帰係数  $X_1$  : 0.8695 $X_2$  : -0.2899重相関係数  $R = 0.9116$ 寄与率  $R^2 = 83.11$  (%)

葉数の影響も0ではないが、この間の日数もほとんど蒸発散量に規定されているといってよい。

なお、この間の蒸発散量と土壌水分張力の関係も、先に述べたことと同様、正確に一致するわけではないが、初期シオレ点から永久シオレ点 (pF3.8~4.2) の間の水分量に近い数字であると考えてよいであろう。

灌水停止から枯れるまでの全日数は、対照区が最も短い、その他の区はあまり差がなく日数とこの間の蒸発散量との関係もはっきりしない。重回帰分析の結果は次のとおりである。

Y : 灌水停止から枯れるまでの日数

 $X_1$  : この間の蒸発散量 $X_2$  : 葉数

として、

$$Y = 23.94 + 0.03898X_2$$

標準偏回帰係数  $X_1$  : 0 $X_2$  : -0.5531

重相関係数  $R=0.5531$

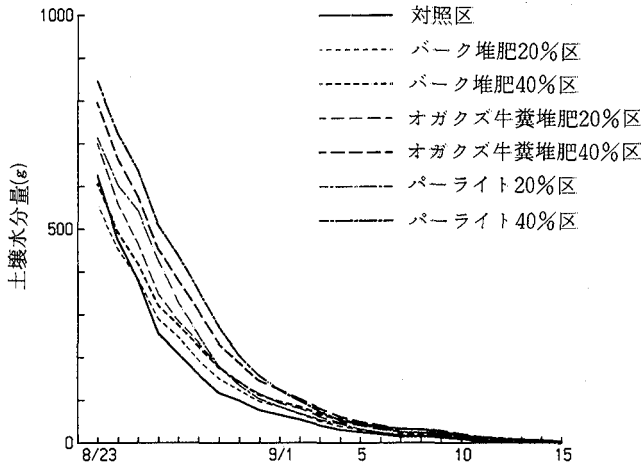
寄与率  $R^2=30.59(\%)$

蒸発散量の偏回帰係数は0となり、日数は葉数だけの単回帰式で表されるが、寄与率は30%しかなく、回帰式が全く意味をもたないことを示している。

灌水停止からシオレ始めるまで、およびシオレ始めてから枯れるまでの日数はそれぞれの期間の蒸発散量と高い相関関係があり、個体の大きさ(葉数)は無関係であった。ただし、これは灌水停止時の各区の個体の大きさに有意差がなかったことによるもので、個体の大きさに明かな差がある場合には、当然個体の大きさが影響してくるものと考えられる。

(4) 蒸発散速度について

土壌水分量の変化を図N-14に示した。区によって初期の土壌水分量に差があるが、蒸発散速度(曲線の傾き)は各区ともよく似ており、また、曲線の傾きによっていくつかの段階に分けられるようである。そこで、曲線の傾きが大きく変わるところで、I期、II期、III期というように分けてみた。表N-8に示すように、各期毎の蒸発散速度は各区ともほぼ同様の値を示し、I期は90~120 g/day、II期は40~60 g/day、III期は20 g/day前



図N-14 土壌水分量の経時変化

土壌水分量は風乾状態を0とした1ポットあたりの水分量である

表N-8 蒸発散速度の変化

実験区	I期	II期	III期
対照区(マサ土のみ)	123 (28)	57 (4)	19 (6)
バーク堆肥20%区	89 (18)	44 (10)	19 (5)
バーク堆肥40%区	95 (19)	44 (10)	20 (6)
オガクズ牛糞堆肥20%区	115 (28)	49 (14)	20 (5)
オガクズ牛糞堆肥40%区	114 (22)	62 (18)	22 (4)
パーライト20%区	106 (21)	64 (14)	18 (4)
パーライト40%区	112 (24)	64 (22)	18 (3)

注1) 表の数値は、平均値(標準偏差)。単位:(g/日/ポット)。

注2) I期:蒸発散速度90~120 g/day

II期:蒸発散速度40~60 g/day

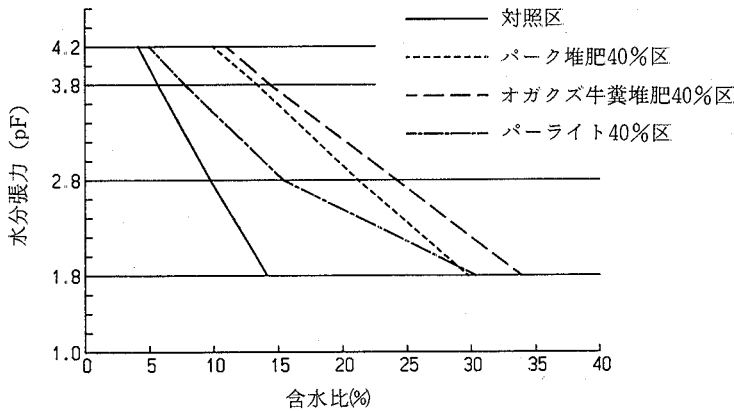
III期:蒸発散速度約20 g/dayの期間のうちシオレ始めるまで。

表Ⅳ-9 蒸発散速度別にみた蒸発散量

実験区	I期	II期	III期	小計	IV期	V期	合計
対照区 (マサ土のみ)	369 (59)	115 (18)	62 (10)	546 (87)	58 (9)	22 (4)	626 (100)
バーク堆肥20%区	268 (48)	164 (30)	35 (6)	467 (84)	74 (13)	16 (3)	557 (100)
バーク堆肥40%区	285 (47)	190 (32)	26 (4)	501 (83)	88 (14)	17 (3)	606 (100)
オガクズ牛糞堆肥20%区	383 (54)	180 (26)	47 (7)	610 (87)	80 (12)	10 (1)	700 (100)
オガクズ牛糞堆肥40%区	342 (43)	309 (39)	57 (7)	708 (89)	75 (9)	13 (2)	796 (100)
パーライト20%区	318 (45)	278 (39)	59 (8)	655 (92)	44 (6)	15 (2)	714 (100)
パーライト40%区	337 (40)	403 (48)	63 (7)	803 (95)	32 (4)	11 (1)	846 (100)

注1) 単位：(g)。ただし、( ) 内の数字はパーセントを表す。

注2) I, II, III期は表Ⅳ-8参照。IV期：シオレ始めてから枯れるまで。V期：枯れてから風乾状態まで。



図Ⅳ-15 供試土壌のpF-含水比曲線

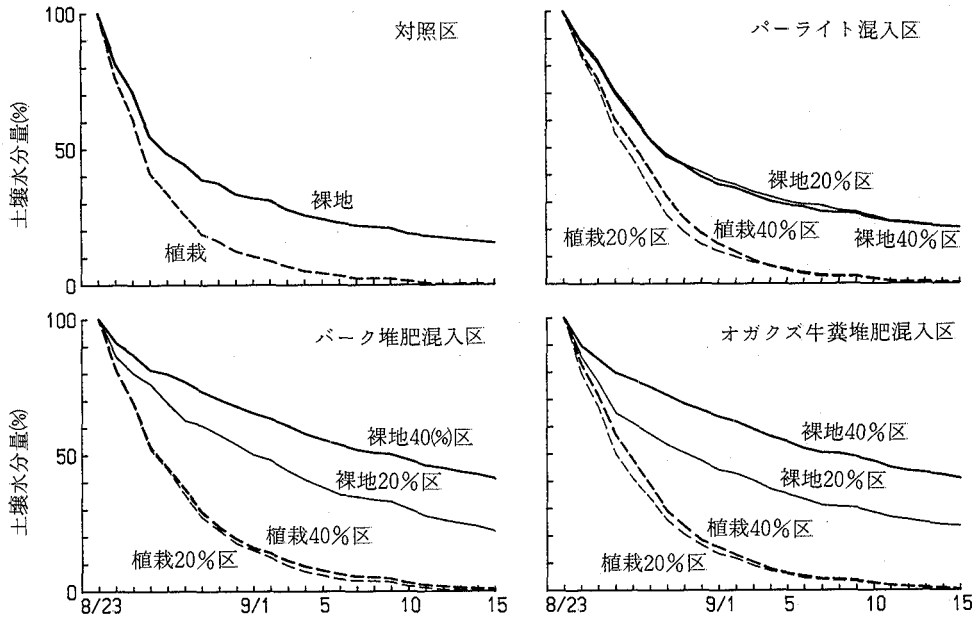
後であった。なお、III期は供試樹がシオレ始めるまでとし、それ以後の値は含んでいない。樹木にとっては、I, II期の蒸発散量に相当する土壌水分が使い易い水（易効水）といえよう。

さて、蒸発散速度には差はみられなかったわけであるが、それぞれの期間に相当する土壌水分量はどうか。各期間毎の土壌水分量を表Ⅳ-9に示す。I期の水分量は各区とも大差ないが、II期の水分量は対照区が最も少なく、パーライト混入区が最も多くなっている。シオレ始めるまで（I, II, III期の合計）の水分量は、パーライト混入区が最も多く、次いで、オガクズ牛糞堆肥混入区となっている。シオレ始めてから枯れるまでの土壌水分量はバーク堆肥混入区およびオガクズ牛糞堆肥混入区で多くなっている。

(5) 土壌水分量と水分張力

供試土壌のpF-含水比曲線を図Ⅳ-15に示した（各土壌改良資材の20%混入区の土壌については測定を省略した）。先にも述べたように、ポット実験においては土壌の水分張力に深さによる差が生じるため、供試樹のシオレ始め、枯れ始めがポット内の土壌の初期シオレ点、永久シオレ点と完全に一致しているわけではない（ポット下層に有効水があれば生存可能であるので、ポット全体の平均値としては、供試樹の症状に相当する水分張力より少し乾燥側に進んでいるものと推測される）が、表Ⅳ-9の蒸発散速度別の蒸発散量と図Ⅳ-15の水分張力別の含水比を比較してみると、よく対応していることが認められる。すなわち、パーライト混入区で圃場容水量から初期シオレ点まで（pF1.8~3.8）のいわゆる有効水、とりわけ圃場容水量から毛管連絡切断点まで（pF1.8~2.8）のいわゆる易効水が多いこと、初期シオレ点から永久シオレ点の間（pF3.8~4.2）の水分量はバーク堆肥混入区およびオガクズ牛糞堆肥混入区で多いことなど、全く同じ傾向を示している。





図Ⅳ-16 裸地ポットと植栽ポットの土壌水分量の経時変化  
土壌水分量は圃場容水量を100，風乾状態を0として計算した。

(6) 土壌表面からの蒸発について

樹木を植栽したポットは灌水停止後24日間ではほぼ風乾状態に達したわけであるが、樹木を植栽しなかった土壌だけのポットは蒸発速度が遅く、対照区が70日、パーライト20%区、40%区および有機質土壌改良資材の20%区がほぼ80日、有機質土壌改良資材の40%区がほぼ90日を要した。もちろん、秋になって気温、日射量ともに低下してくるので、ただ単純に日数を比較することはできないが、樹木がある場合、ポット全体から水分が消費される（本実験においてはポット全体に供試樹の根が分布していた）のに対して、土壌だけの場合、土壌表面からの蒸発だけであるので、水分消費の速度が遅いことは確かである。粒径の粗い砂土（例えば、砂丘の砂など）の場合、表面から乾砂層が発達し、これがマルチング効果を果たすので地表面からの蒸発が非常に抑制される<sup>50)51)67)</sup>が、マサ土のような砂土ないし粗い砂壤土の場合も、乾砂層が形成され（乾砂層とその下の湿潤層との境界が粗砂の場合ほど明瞭ではないが）、蒸発を抑制していることが考えられる。

8月23日（圃場容水量）を100%，風乾状態を0%とした時の土壌水分の経時変化を図Ⅳ-16に示した。樹木を植栽したポットでは、対照区が他の区に比べてわずかに水分消費速度が速いほかはほとんど差がない。土壌だけのポットでは、水分消費速度は前者に比べてずっと遅くなっている。9月15日の時点で残っている水分は、対照区が15%，パーライト20%区、40%区および有機質土壌改良資材の20%区が約20%，有機質土壌改良資材の40%区が約40%となっている。また、対照区とパーライト混入区、バーク堆肥混入区とオガクズ牛糞堆肥混入区がそれぞれよく似た曲線を示している。

(7) まとめ

マサ土の保水性改善に及ぼす土壌改良資材の効果を明らかにするために実験を行ったわけであるが、とくにパーライトの効果が大きいことが認められた。パーライト40%混入区では対照区の1.5~2倍の有効水を含んでおり、灌水停止からシオレ始めるまでの日数も対照区の9.3日に対して、14.0日と1.5倍を示した。岡本ら<sup>79)</sup>は

「真珠岩パーライトの保水力は著しく、40%区では対照区の約2倍の含水率（平均有効含水率）がみられる」と報告しているが、筆者らの実験でも灌水停止の数日後には、パーライト40%区の有効水含有量は対照区の2～3倍の値になっている。適度の灌水あるいは降雨が期待できるところでは、パーライト40%の混入によってマサ土の2～3倍の有効水を常に保持できるといえよう。ただし、パーライトはpF3.8～4.2の水分含有量が少なく、シオレ始めてから枯れるまでの日数が短いということも指摘しておかねばならない。

バーク堆肥混入の効果はあまり認められなかった。野田<sup>66)</sup>は、「バーク堆肥による有効水分保持効果は、山砂、山土、赤土のいずれの用土においても認められなかった」「山砂へのバーク堆肥の施用は有効水分の保持期間をかえて短くした」としている。今回の実験では有効水の保持期間が短くなることはなかったが、保水性改善効果があまり認められなかったことでは同様である。また長谷川<sup>18)</sup>はバーク堆肥の保水力について「土中で十分に分解するまでは逆に低下する」としている。バーク堆肥についてはC/N比がよく問題にされる<sup>18)24)</sup>が、水分条件を取ってみても問題があるといえよう。

#### IV-4 土壌量および灌水量の違いがヘデラの生育に及ぼす影響

##### 1 はじめに

前節においては、ポットに植栽したクスノキ幼木への灌水を停止して、シオレおよび枯れに至るまでの日数およびその間の蒸発散量を測定し、シオレ始めるまでの日数の延長および保水量の増加にパーライトが効果的であることを明らかにした。

実際の緑地においては、シオレというような状態に至らしめることなく、良好な生育状態を維持するよう管理されねばならない。このような緑地における樹木管理という立場からみた場合、土壌の保水力、土壌量（逆にいえば植栽密度）および灌水量といった要因の相互関係を明らかにする必要がある。このような観点から、土壌量、土壌改良資材および灌水量（灌水間隔）を変えて樹木を生育させ、それらが樹木の生育に及ぼす影響について検討した。

##### 2 実験方法

(1) 実験場所 香川大学農学部研究用ガラス室

(2) 実験期間 植え付け 1986年4月14日

掘り上げ 1986年12月2日～4日

(3) 実験区の設定

実験区は次の3要因についてそれぞれ2段階の処理を設定し、その組み合わせで表Ⅳ-10に示すように合計8通りとした。

① パーライト……（混入-1, 3, 5, 7区）（無混入-2, 4, 6, 8区）

② 土壌量……（9ℓ-1, 2, 5, 6区）（3ℓ-3, 4, 7, 8区）

③ 灌水間隔……（毎日-1, 2, 3, 4区）（5日毎-5, 6, 7, 8区）

各区とも腐植を供給する意味で、オガクズ牛糞堆肥を容積で30%混入することとした。供試土壌の構成（容積割合）は、パーライト混入区はマサ土40%、パーライト30%、オガクズ牛糞堆肥30%とし、パーライト無混入区はマサ土70%、オガクズ牛糞堆肥30%とした。

土壌量は9ℓと3ℓの2段階とした。9ℓ区は10号鉢、3ℓ区はワグナーポット（1/5000a）を用い、どちらも底4cmに礫を敷き、その上に供試土壌を入れた（供試土壌の厚さはどちらも約15cmであった）。また、10号鉢に

表Ⅳ-10 実験区の設定

実験区	土壌構成 (容積%)			土壌容積 (ℓ)	灌水間隔・量 (ml)
	マサ土	PL	堆肥		
1 区	40	30	30	9	毎日 300
2 区	70	0	30	9	毎日 300
3 区	40	30	30	3	毎日 100
4 区	70	0	30	3	毎日 100
5 区	40	30	30	9	5日毎 300
6 区	70	0	30	9	5日毎 300
7 区	40	30	30	3	5日毎 100
8 区	70	0	30	3	5日毎 100

注) PL: パーライト, 堆肥: オガクズ牛糞堆肥.

は耐水性の白ペンキを塗って, ワグナーポットとの間に環境条件で差がでないよう配慮した.

灌水は, 毎日と5日毎の2段階とし, 1回の灌水量は9ℓ区は300ml, 3ℓ区は100mlとした. これは降水量に換算すると約5mmに相当する. したがって, 毎日灌水区では1ヶ月あたり約150mm, 5日毎灌水区では約30mmの降水量ということになる. 高松における5~8月の月平均降水量は131mm (東京は148mm) であり<sup>87)</sup>, 毎日灌水区の場合, 野外におけるほぼ平均的な値といえることができる. 5日毎灌水区については, Ⅲ-3の実験結果 (土壌水分量) からみて, 灌水間隔3日程度では毎日灌水区と差が出ないだろうと予想されたこと, また1週間間隔にした場合には枯死する危険性があると判断されたことから灌水間隔を決め, 設定したものである. ちなみに, 月降水量30mmというのは地中海性気候 (ローマ) の夏に相当する値である<sup>87)</sup>.

供試樹としては, ヘデラ・ヘリックスの1品種 (*H. helix* 'Königer's Auslese') を用いた. 1区あたり8個体とし, 前年秋に挿し木しておいた苗木の中から形状寸法のそろった発根状態の良好な個体を選び出し, 各区の間に差がでないように配分した.

#### (4) 実験期間中の調査および管理など

蒸発散量を知るために, 毎日夕方, 各区1ポットずつ重量を測定した. 灌水は重量測定後に行った. なお, 9月中旬から, 日射量の低下に伴い蒸発散量が減少し過湿気味になる傾向がみられたので, 9月20日から灌水量をそれぞれ2/3 (300ml→200ml, 100ml→67ml) に減らした.

実験期間中, 2週間毎に地際直径とつる長を測定し, 12月に掘り上げて, 地上部と地下部に分け乾重を測定した.

実験期間中, 適宜除草を行った. 追肥は行わなかった.

### 3. 結果と考察

#### (1) 成長量

植え付け時および掘り上げ時の地際直径とつる長を表Ⅳ-11に示す. 植え付けにあたっては, 地際直径およびつる長ともに各区の間に有意差が出ないように供試個体を配分した. 成長量は各区の間はかなり大きな差がみられたが, 次にその経時変化についてみる.

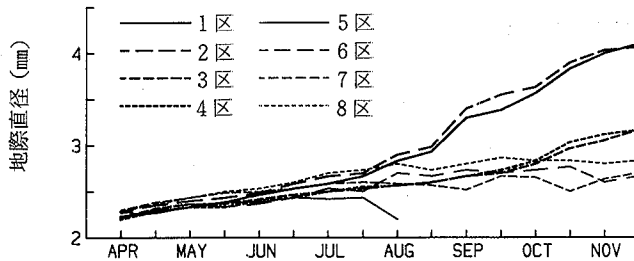
地際直径の成長曲線を図Ⅳ-17に示す. 7月までは各区ともゆるやかな肥大成長を示し, 区間の差は小さかった. 毎日灌水の1, 2区は7月以降大きな成長を示し, また, 3, 4区は10月に肥大成長を示したが, 5日毎灌水の5~8区は8月以降成長が停止したままであった. なお, 毎日灌水区では, 各区とも全個体が掘り上げ時まで生存したが, 5日毎灌水区では, 5区が8月中旬に全個体枯死, 6~8区も8個体中5個体が枯死した (表Ⅳ-11, 12, 図Ⅳ-17, 18に示した各区の値は生存個体の平均値である). 5日毎の灌水でも生存は可能ではないか

との予測のもとに実験を行ったわけであるが、8月は少々苦しかったようである。その理由の一つとして、供試苗がやや小さく根系発達が不十分で、表層の狭い範囲にしか根系分布がなく、ポット全体の土壌水分を利用できなかった（とくに表層は乾燥の進行が早い）ことが考えられる。ただし、全個体とも8月初旬までは生育していたこと、各区8個体中3個体は12月まで生存し、旺盛とはいえないが成長を示したことを考えると、8月中旬（真夏）に一時期限界的な状況にあり、その他の時期には十分とはいえないまでも供試樹が生育できるだけの有

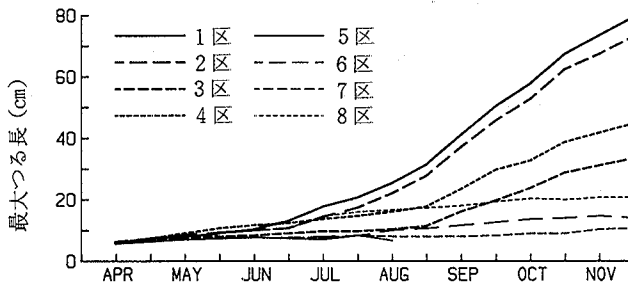
表Ⅳ-11 植え付け時および掘り上げ時の地際直径とつる長

実験区	地際直径 (mm)		つる長 (cm)	
	植え付け時	掘り上げ時	植え付け時	掘り上げ時
1 区	2.3 <sup>a</sup>	4.1 <sup>d</sup>	6.0 <sup>a</sup>	150.0 <sup>d</sup>
2 区	2.3 <sup>a</sup>	4.1 <sup>d</sup>	6.0 <sup>a</sup>	204.8 <sup>d</sup>
3 区	2.2 <sup>a</sup>	3.1 <sup>bc</sup>	5.8 <sup>a</sup>	51.3 <sup>c</sup>
4 区	2.2 <sup>a</sup>	3.2 <sup>c</sup>	5.8 <sup>a</sup>	59.4 <sup>c</sup>
5 区	2.2 <sup>a</sup>	—	5.6 <sup>a</sup>	—
6 区	2.3 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	6.2 <sup>a</sup>	17.0 <sup>ab</sup>
7 区	2.3 <sup>a</sup>	2.7 <sup>ab</sup>	6.1 <sup>a</sup>	12.2 <sup>a</sup>
8 区	2.3 <sup>a</sup>	2.9 <sup>ab</sup>	5.9 <sup>a</sup>	26.1 <sup>b</sup>

- 注1) 植え付けは1986年4月14日、掘り上げは同年12月2日。  
 注2) 掘り上げ時の〈つる長〉は、分枝も含めた〈総つる長〉。  
 注3) 表の数値は平均値、異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを示す（植え付け時はDuncan法、掘り上げ時は各区の個体数が異なるためCochran-Cox法によって検定した）。  
 注4) 1～4区は全個体生存。5区は8月中旬に全個体が、6～8区は5個体が枯死。5～8区のデータは生存個体についてのもの。



図Ⅳ-17 地際直径の成長曲線  
 実験区の設定は表Ⅳ-10参照。



図Ⅳ-18 最大つる長の経時変化  
 実験区の設定は表Ⅳ-10参照。

表V-12 掘り上げ時の地上部および地下部乾重

実験区	地上部乾重 (g)			地下部乾重 (g)	T/R
	つる乾重	葉乾重	計		
1 区	2.36 <sup>d</sup>	3.53 <sup>d</sup>	5.89 <sup>d</sup>	2.05 <sup>d</sup>	2.92 <sup>d</sup>
2 区	2.70 <sup>d</sup>	3.94 <sup>d</sup>	6.64 <sup>d</sup>	1.60 <sup>d</sup>	4.29 <sup>e</sup>
3 区	0.63 <sup>c</sup>	1.12 <sup>c</sup>	1.75 <sup>c</sup>	0.85 <sup>c</sup>	2.17 <sup>bc</sup>
4 区	0.82 <sup>c</sup>	1.31 <sup>c</sup>	2.13 <sup>c</sup>	0.84 <sup>c</sup>	2.64 <sup>cd</sup>
5 区	—	—	—	—	—
6 区	0.19 <sup>ab</sup>	0.38 <sup>ab</sup>	0.57 <sup>ab</sup>	0.28 <sup>a</sup>	1.92 <sup>b</sup>
7 区	0.15 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>
8 区	0.27 <sup>b</sup>	0.60 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	0.48 <sup>b</sup>	1.97 <sup>b</sup>

注1) 表の数値は平均値、異なるアルファベットは5%水準で有意差のあることを示す (Cochran-Cox法による)。

注2) 各区の個体数については、表V-11の注4参照。

効水分はあったと考えられる。

最大つる長の成長曲線を図V-18に示す。地際直径の成長曲線とはほぼ同様のパターンを示しており、1、2区は7月以降、3、4区は9月以降大きな伸長を示した。5日毎灌水区は8月以降ほとんど伸長していない。

掘り上げ時の地上部乾重および地下部乾重を表V-12に示す。1、2区(土壌量9ℓ, 毎日灌水)の成長が最もよく、次いで、3、4区(土壌量3ℓ, 毎日灌水)で、5日毎灌水区は成長が劣った。地上部乾重は1、2区が約6g, 3、4区が約2gで、ほぼ土壌量に比例した値であり、6~8区は1、2区の1/10程度であった。地下部乾重は地上部乾重ほど各区の間の差は大きくないが、3、4区が1、2区の1/2程度、6~8区が1/5程度であった。

T/R比(地上部乾重/地下部乾重)をみると、毎日灌水区に比べて5日毎灌水区の方が小さい。すなわち、5日毎灌水区は地上部に比べて地下部が大きい、逆にいえば、地下部に比べ地上部が小さいということである。5日毎灌水区では土壌水分が少ないため、小さな地上部を支えるためにも広い範囲から水分を集める必要があるためと考えられる。土壌中の有効水分が少ないところでは、根系分布範囲が広くなり、T/R比も小さくなるということが、砂丘上に生育する植物の調査でも確認されており<sup>49),50)</sup>、今回の実験結果からも同様のことが指摘される。

パーライト混入の影響は、土壌量および灌水量ほど大きくは出ていないが、全くないともいえない。各要因がヘデラの生育に及ぼした影響について、次にもう少し詳しく検討してみる。

(2) 成長量に及ぼす各要因の影響

上でみたように、毎日灌水の土壌量9ℓ区で最もよい成長を示したわけだが、①パーライト混入、②土壌量、③灌水量(灌水間隔)の各要因がヘデラの生育にどのような影響を及ぼしたかを、もう少し詳しく検討するために、これら3つの要因を説明変数として数量化理論I類による解析を行ってみた(数量化理論I類とは、定量的変数を複数の定性的変数で説明あるいは予測するための、いわゆる重回帰分析に対応するモデルである<sup>52)</sup>)。その結果を表V-13に示す。

表V-13 成長量に及ぼす各要因の影響  
—数量化I類による分析結果—

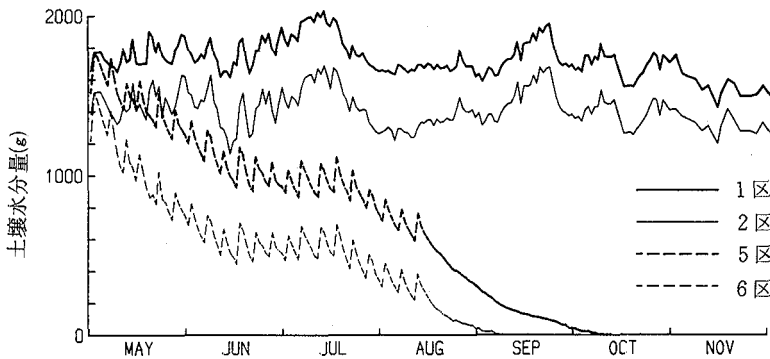
成長量の指標	寄与率 (%)	各要因の偏相関係数		
		灌水間隔	土壌量	パーライト
つる乾重	79.14	0.7953	0.7539	0.0328
葉乾重	79.79	0.8078	0.7501	0.0180
地上部乾重	79.51	0.8030	0.7510	0.0177
地下部乾重	74.67	0.7642	0.6048	0.5346

地上部乾重については約80%という高い寄与率が得られた。偏相関係数は、灌水量が約0.8、土壌量が約0.75と高い値を示し、この2つの要因が地上部の成長に大きく影響していることが認められた。パーライトの偏相関係数は0.02~0.03であり、全く影響がみられなかった。この理由としては、毎日灌水区の場合には土壌の保水力はあまり問題にならないことが考えられ、また5日毎灌水区の場合には土壌水分量としてはパーライト混入区の方が無混入区よりも多く含んでいるが(図Ⅳ-19, 20参照)、Ⅳ-3でも述べたように表層の乾燥が早く進むのに対して、供試個体が小さく、根が深くまで伸長していなかったために、ポット中の土壌水分を十分利用できなかったことが考えられる。

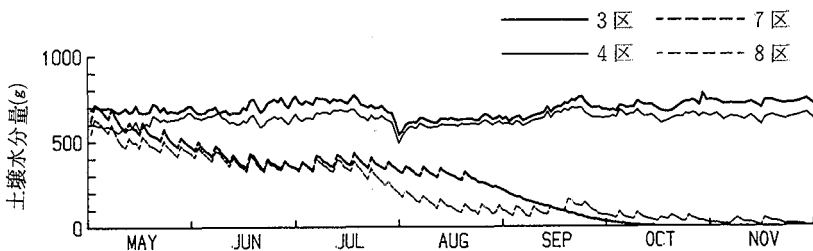
地下部乾重についても寄与率約75%で、ほぼ地上部なみの寄与率が得られた。灌水量および土壌量の偏相関係数もそれぞれ約0.76、0.60と地上部に比べるとやや低い、強く影響していることがうかがえる。また、パーライトの偏相関係数は、約0.53で地上部に比べると非常に高くなっている。パーライトが根系発達を促すことは別の実験でも確認されたが、その理由としては、有効水分が多いこと、通気透水性がよいことのほか、パーライト自身は養分を含んでいないので、同じ養分量を吸収するのにより広い範囲に根系を発達させることが要求されるということも考えられる。表Ⅳ-12に示したように、他の条件が同じ場合には、パーライト混入区の方が無混入区よりもT/R比が小さくなっている。

(3) 土壌水分量の変化

土壌水分量の経時変化を図Ⅳ-19(土壌量9ℓ区)および図Ⅳ-20(土壌量3ℓ区)に示す。なお、土壌水分量は風乾状態を0とした時の1ポットあたりの土壌水分量で表した。毎日灌水区(1, 2, 3, 4区)は、梅雨



図Ⅳ-19 土壌水分量の経時変化(1)-土壌量9ℓ区-  
土壌水分量は風乾状態を0とした1ポットあたりの水分量である。



図Ⅳ-20 土壌水分量の経時変化(2)-土壌量3ℓ区-  
土壌水分量は風乾燥状態を0とした1ポットあたりの水分量である。

表N-14 土壌水分量の変化（毎日灌水区）

実験区	5/1～6/20	6/21～7/21	7/22～9/8	9/9～9/20	9/21～10/24
1 区	1739 (70)	1885 (85)	1673 (38)	1847 (69)	1684 (73)
2 区	1425 (113)	1524 (95)	1340 (62)	1583 (72)	1388 (78)
3 区	683 (19)	731 (18)	629 (31)	708 (30)	696 (20)
4 区	612 (30)	647 (24)	594 (27)	667 (21)	640 (18)

注1) 表の数値は風乾状態を0とした土壌水分量 (g/pot) で、平均値 (標準偏差)。

注2) 9月中旬になって蒸発散量が低下してきたので、9月20日以降、灌水量をそれまでの2/3の量に減らした。

表N-15 土壌水分量の変化（5日毎灌水区）

実験区		5/1～6/15	6/16～7/20	7/21～8/10
5 区	灌水日間の減少量	249 (47)	216 (44)	206 (22)
	灌水後の増加量	173 (25)	204 (40)	150 (33)
6 区	灌水日間の減少量	272 (54)	198 (47)	204 (24)
	灌水後の増加量	171 (24)	194 (36)	157 (15)
7 区	灌水日間の減少量	92 (20)	67 (18)	65 (5)
	灌水後の増加量	56 (8)	67 (16)	51 (10)
8 区	灌水日間の減少量	86 (21)	71 (22)	83 (14)
	灌水後の増加量	58 (7)	64 (14)	43 (18)

注1) 表の数値は風乾状態を0とした土壌水分量 (g/pot) で、平均値 (標準偏差)。

注2) 8月10日以降は枯死する個体が出たため、計算から除外した。

期における土壌水分量の増加、夏期における日射量の増加および成長量の増加に伴う土壌水分量の減少がみられるものの、全期間を通してほぼ一定した土壌水分を保持していることが認められる。なお、9月中旬以降、日射量の減少に伴って蒸発散量が減少し、過湿ぎみになる傾向がみられたので、灌水量をそれまでの2/3 (300ml→200, 100ml→67ml) に減らした。その結果、10～11月の土壌水分量はほぼ一定の値を維持した。毎日灌水区の各時期毎の土壌水分量は表N-14に示したとおりである。実験は、毎日夕方ポットの重量を測定した後に灌水するという方法を行ったので、ここに示された土壌水分量は、夏期の一時期を除き、ほぼ圃場容水量に近い値を示しているものと考えられる。

5日毎灌水区 (5, 6, 7, 8区) は1日の灌水と4日間の乾燥という5日周期の繰り返しであり、各区ともに土壌水分量は徐々に減少する経過をたどった (梅雨期のみはほぼ一定の土壌水分量を保った)。8月中旬以降、調査個体が枯死したものについては灌水を停止した。

この灌水と乾燥の繰り返しについて、もう少し詳しい数字を比較したものが表N-15である。梅雨前 (5/1～6/15) において、灌水日間の土壌水分減少量は9区においても3区においても、灌水量 (それぞれ300ml, 100ml) 以下であるにもかかわらず、次の灌水でこれを回復できていない。なお、表中の「灌水後の増加量」とあるのは灌水翌日 (24時間後) に保持している増加分 (すなわち、重力水を除く) を指している。梅雨期 (6/16～7/20) においては、灌水日間の土壌水分減少量がそれ以前の70～80%になっているが、これについては次の灌水でほぼ全量を回復できている。梅雨後の夏期 (7/21～8/10まで。8/10以降は枯死した個体があるため、表N-15の計算からは除外した) においては、灌水日間の土壌水分減少量は梅雨期とほぼ同じ値であるが、次の灌水によって回復できていない。梅雨期よりも日射が強くなっているにもかかわらず、土壌水分減少量 (蒸発散量) が梅雨期と同程度であり、しかも灌水後の増加量が梅雨期よりも少ないというのは、保持しうる土壌水分量が減少し

ていることを示している。

梅雨前および梅雨後の夏期において土壌水分量が減少を示すことは、土壌の孔隙分布が変化し、保持しうる土壌水分量が減少していることの結果と考えられる。一般に、乾燥は土壌粒子をかたく結びつけ、小さな団粒を増加させることが知られているが、「0.5mm以下の団粒は土壌の容水量を増加させず、排水や通気をよくする比較的粗い孔隙をつめてしまう<sup>83)</sup>」ともいわれている。

5日毎灌水区の場合、強度の乾燥が繰り返されることによって土壌がかたく締め、保水力が低下する過程が現れているものと考えられる。梅雨期においては、土壌の孔隙分布が変化するほどには乾燥しなかったものと思われる。

#### (4) まとめ

土壌の保水性、土壌量、灌水量（灌水間隔）を変えて、ヘデラを生育させ、それぞれの要因がどのように影響するかを明らかにするため、実験を行った。実験区は次の3つの要因についてそれぞれ2段階の処理を設定し、計8通りとした。要因は①パーライト（混入、無混入）、②土壌量（9ℓ、3ℓ）、③灌水量、灌水間隔（毎日灌水、5日毎灌水；1回の灌水量は5mmとした）の3つである。

これらの各要因がヘデラの生育にどのような影響を及ぼしたかを検討するために、数量化理論Ⅰ類を用いて解析したところ、地上部乾重については約80%という高い寄与率が得られ、偏相関係数は、灌水量が0.8、土壌量が0.75であったが、パーライトは0.1以下で、全く影響を認められなかった。地下部乾重についても約75%の寄与率が得られた。偏相関係数は、灌水量が0.76、土壌量が0.60で、地上部よりやや小さいが、パーライトの偏相関係数は0.53と、地上部に比べ著しく大きい値を示した。この結果をみれば、ヘデラの生育には土壌量および灌水量が大きく影響しており、土壌量および灌水量が少なければ、いくらパーライトを入れても追いつかないということは明かであるが、ただし、パーライトの混入が根系発達を促していることもまた明かである。

毎日灌水区では、実験期間中はほぼ一定の水分を保持していることが認められたが、5日毎灌水区では、梅雨期を除いて、灌水日間の水分減少量が1回の灌水量以下であるにもかかわらず、次の灌水でこれを回復できず、徐々に水分量が減少した。極度の乾燥の繰り返しによって、土壌の孔隙部分に変化し、保持しうる水分量が減少したのものと考えられる。梅雨期においては、そこまで極度の乾燥状態には至らなかったということであろう。どの程度の乾燥であれば、土壌の保水力を低下させずに済むかといった点については、さらに研究が必要である。

## IV-5 土壌改良資材としての石炭灰の利用

### 1. はじめに

都市ごみや下水汚泥をコンポスト（堆肥）化して利用することが行われるようになってきた<sup>68)</sup>。廃棄物を有効に再利用することは今後ますます重要になってくるものと考えられる。このような廃棄物のひとつに石炭灰がある。石炭を燃焼させた後に炉に残る灰（ボトムアッシュ）は、これまで廃棄物として処分されてきた。この石炭灰（ボトムアッシュ）はpH9を超える強アルカリ性であることから、これまで土壌改良資材としてはあまり考慮されてこなかったが、近年、省資源および廃棄物再利用に対する関心の高まりの中で、多孔質であること、圧縮に対して抵抗力が強く、締め固まりにくいことなど土壌改良資材としての利点を備えていることが注目されるようになってきた。

本研究は、ボトムアッシュを代表的な無機質土壌改良資材であるパーライトと比較することによって、ボトムアッシュの土壌改良資材としての有効性を検討しようとしたものである。なお、本研究で用いたボトムアッシュは東洋殖産㈱の「ポーラスアッシュTRY88」で、有害成分は規制基準値以下であり、特殊肥料の認可を受けてい



るものである。

## 2. 実験方法

- (1) 実験場所 香川大学農学部研究圃場
- (2) 実験期間 1989年3月10日～11月16日
- (3) 実験区の設定

実験区は、表Ⅳ-16に示したとおり対照区を含めて7区とした。マサ土に対するボトムアッシュ、パーライトの混入割合（容積％）を、それぞれ20％と40％の2段階とし、ボトムアッシュ混入区については、ピートモス混入と無混入の2通りを設定した。これは後で述べるように、ボトムアッシュがpH9を超える強アルカリ性を示すため、ピートモス混入によるpH調整効果のみようとしたものである。また、肥料分および腐植分供給のため、全ての区にオガクズ牛糞堆肥を容積比で20％混入した。実験区の名称は表に示したように、それぞれ「対照区」「BA20%区」「BA40%区」「BA20%(+PM)区」「BA40%(+PM)区」「PL20%区」「PL40%区」とした。なお、BA、PM、PLはそれぞれ、ボトムアッシュ（bottom ash）、ピートモス（peat moss）、パーライト（perlite）の略である。

供試土壌は、内径20cm、深さ11cmの塩化ビニール製のポットにいれ、シャリンバイ（*Raphiolepis umbellata* Makino）の2年生ポット苗を植え付けた。1区あたりの反復数は7個体とし、植え付けにあたっては、各区の個体の大きさに有意差が出ないように配分した。なお、土壌調査用に樹木を植え付けないポットを各区2ポットずつ用意した。

### (4) 土壌のpHおよび物理性

各区の土壌について、pH、pF-水分特性を測定し、また、圧縮に対する抵抗性を調べるために、圧縮程度を4段階に分けて土壌試料を作成し、三相分布および透水係数を測定した。

pHの測定はガラス電極pHメータを用いて常法<sup>7)</sup>に従って行った（pHの測定は水浸出液で行った。正しくはpH(H<sub>2</sub>O)と書くべきであるが、本実験ではpH(KCl)の測定は行っていないので単にpHと表すことにする）。

pF-水分特性は、pF2.2～4.2については遠心法<sup>9)</sup>で測定した。実験装置の関係上pF1.8については測定できなかったため、24時間容水量を代用した。24時間容水量はほぼ重力水が抜けた状態と考えられ、多くの場合pF1.8前後の水分張力であることが確認されているが、砂質土では若干この値が低く、pF1.5前後のことが多いようである<sup>5)</sup>。本実験では、マサ土を用いていることから若干pF値が低い可能性もあるが、重力水の移動がほぼ停止した状態ということでpF1.8として表した。

三相分布および透水係数の測定は100mlの採土円筒（底面積20cm<sup>2</sup>、高さ5cm）を用いて行った。土壌試料の圧縮

表Ⅳ-16 各区の土壌構成

実験区	マサ土	オガクズ牛糞堆肥	ボトムアッシュ	ピートモス	パーライト
対照区	80	20	0	0	0
BA20%区	60	20	20	0	0
BA40%区	40	20	40	0	0
BA20%(+PM)区	50	20	20	10	0
BA40%(+PM)区	30	20	40	10	0
PL20%区	60	20	0	0	20
PL40%区	40	20	0	0	40

注1) 単位：容積％

注2) BA：ボトムアッシュ、PM：ピートモス、PL：パーライトの略。

は、採土円筒を3つ重ねてビニールテープで止め、下の2つ（高さ10cm）に土壌試料を圧縮しないように充填し、円柱状のランマー（重さ2kg、底面の直径4.5cmで、円筒内の土壌試料をほぼ均等に圧縮できる）を土壌表面より5cm上から落下させるという方法で行い、最下段の円筒を測定用の試料とした。各区の土壌についてそれぞれ4段階の圧縮状態の試料を作成した（ランマーの落下回数をそれぞれ0回、10回、50回および200回の4段階とした）。

#### (5) 生育調査および実験期間中の管理

シャリンバイについては3月10日に植え付けた後、月2回の割合で、地際直径と樹高を測定した。日常的な管理としては、土壌の水湿状態をみながら灌水を行い、また、適宜除草を行った。4月14日に緩効性の化成肥料（N:P:K=10:10:10）を1ポットあたり5gずつ施用した。また、虫害の発生がみられたので5月10日と15日に殺虫剤を散布した。

### 3 結果と考察

#### (1) pH

供試材料および各実験区の土壌のpHを表Ⅳ-17に示した。ボトムアッシュはpH9.18と強アルカリ性を示し、パーライトもpH8.14とやや高いアルカリ性を示した。一方、マサ土はpH5.62と酸性を、ピートモスはpH3.85と強酸性を示し、オガクズ牛糞堆肥はpH7.26とほぼ中性を示した。

対照区はpH6.62とマサ土とオガクズ牛糞堆肥の中間のpH値を示した。BA20%区、BA40%区はそれぞれpH7.23、pH7.33を示し、ボトムアッシュの強アルカリ性はマサ土およびオガクズ牛糞堆肥によって緩和されている。BA20%(+PM)区、BA40%(+PM)区はそれぞれpH6.58、pH7.20とピートモス無混入区よりもやや低いpH値を示した。ピートモス混入の効果は予想したほど大きくないが、マサ土によってある程度中和されていることおよび腐植（オガクズ牛糞堆肥）による緩衝作用が働いていることが考えられる。PL20%区、PL40%区はそれぞれpH6.92、pH7.12で、ボトムアッシュ混入区よりもやや低いpH値を示した。これはパーライトの方がボトムアッシュよりもほぼ1程度pHが低いことによるものであろう。いずれの実験区においてもpH値にとくに問題は無いと考えてよいであろう。

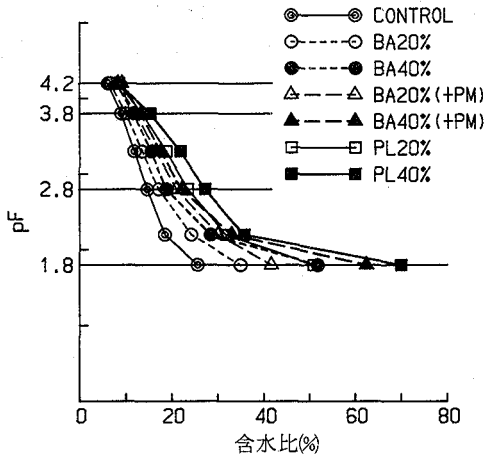
#### (2) pF-水分特性

各区の土壌のpF-含水比曲線を図Ⅳ-21に示す。どの水分張力においても、対照区の含水比が最も小さく、ボトムアッシュあるいはパーライトの混入によって含水比が高くなっている。また、同じ混入割合であればボトムアッシュ混入区よりもパーライト混入区の方が含水比が大きくなっている。

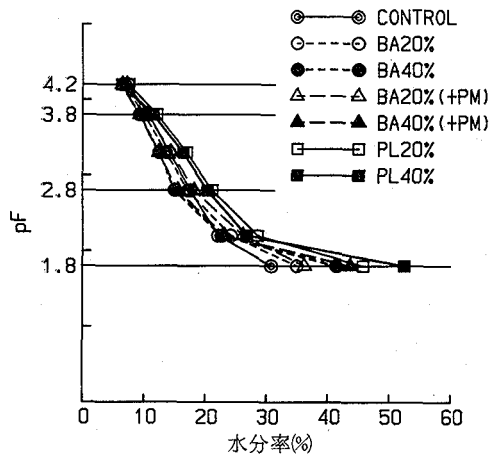
ただし、これは含水比（重量%：乾土重量に対する水分量の割合）でみた場合である。各区の土壌の仮比重がかなり異なっているので、一定容積の土壌中の水分量を比較するという意味では、水分率（容積%：土壌の全容積に占める水分量の割合）を用いる必要がある。また、実用的な意味からも水分率で比較しておく必要がある。

表Ⅳ-17 供試材料および各区の土壌pH

供試材料	pH (H <sub>2</sub> O)	実験区	pH (H <sub>2</sub> O)
ボトムアッシュ	9.18	対照区	6.62
パーライト	8.14	BA20%区	7.23
ピートモス	3.85	BA40%区	7.33
オガクズ牛糞堆肥	7.26	BA20%(+PM)区	6.58
マサ土	5.62	BA40%(+PM)区	7.20
		PL20%区	6.92
		PL40%区	7.12



図Ⅳ-21 各区の土壌のpF-水分曲線(1)  
-含水比(重量%)でみた場合-



図Ⅳ-22 各区の土壌のpF-水分曲線(2)  
-水分率(容積%)でみた場合-

図Ⅳ-21に示した含水比(重量%)に仮比重をかけて水分率(容積%)に換算したもの。

そこで、仮比重を用いて含水比を水分率に換算してみた。用いた仮比重は土壌調査用ポットから試料を採取し測定したもので、対照区1.2、BA20%区1.0、BA40%区0.8、BA20%(+PM)区0.87、BA40%(+PM)区0.7、PL20%区0.9、PL40%区0.75であった。pF-水分率曲線を図Ⅳ-22に示す。全体の傾向は含水比と変わらないが、各区の間の差は含水比で比較した場合よりも小さくなっている。もう少し詳しく検討するために、水分張力別に水分率を計算してみた(表Ⅳ-18)。pF1.8-2.8のいわゆる易効水の水分量は、PL40%区が最も多く、以下BA40%(+PM)区、BA40%区、PL20%区、BA20%(+PM)区、BA20%区の順で、対照区が最も少ない。なお、対照区の易効水は約13%となっているが、これにはオガクズ牛糞堆肥を混入した効果が含まれており、マサ土自体の易効水の量はもっと少ない(図Ⅳ-15参照)。なお、実験方法のところで述べたように、ここで用いたpF1.8の水分量は24時間含水量であり、正確なpF1.8の値ではないが、重力水と毛管水の区分として用いるには、より適切だと考えられる。pF2.8以上の水分量については、パーライト混入区がやや多いが、対照区とボトムアッシュ混入区の間にはほとんど差はみられない。

以上の点から、ボトムアッシュはpF1.8-2.8のいわゆる易効水の増加に効果的であるということができよう。

表Ⅳ-18 各区の土壌の水分張力別含水率

実験区	pF1.8	pF2.2	pF2.8	pF3.3	pF3.8	pF4.2
対照区	12.34	4.50	3.52	3.32	3.46	7.30
BA20%区	10.18	7.02	3.65	3.53	3.38	6.61
BA40%区	18.74	7.63	2.65	3.09	2.92	6.41
BA20%(+PM)区	10.12	7.91	3.87	3.87	3.42	7.11
BA40%(+PM)区	34.63	7.58	3.20	3.06	2.93	6.35
PL20%区	17.24	7.41	4.26	4.78	4.61	7.52
PL40%区	25.77	6.28	4.08	4.85	5.20	6.33

注) 単位:容積%

(3) 圧縮に対する抵抗力

パーライトが締め固まり防止に効果的であることは、Ⅱ章(Ⅱ-3)でも述べたとおりであるが、それではポ

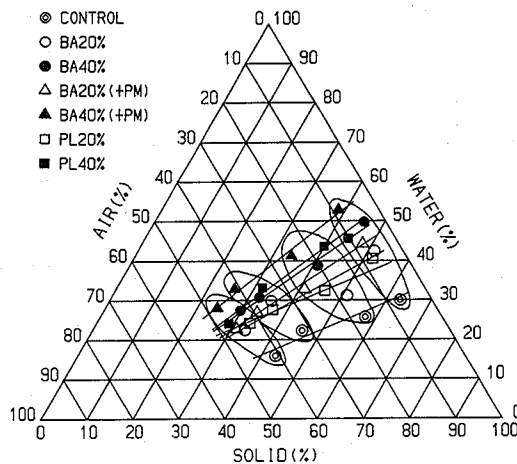
トムアッシュほどの程度の効果が期待できるのだろうか。各実験区の土壌試料を用いて実験を行ってみた。

各区の土壌試料について、①自然状態（圧縮しない状態）、②ランマー10回落下、③同50回落下および④同200回落下の4段階の圧縮状態の試料を作成し、三相分布を測定した。その結果を図Ⅳ-23に示す。

圧縮による変化は、各区とも三角座標上に右上がりの直線で示され、圧縮にともなって固相率、液相率が増加し、気相率が減少することを示している。圧縮による土壌粒子（固相率）の増加に比例して水分（液相率）が増加し、粗大な孔隙（非毛管孔隙）が破壊され、気相率が減少することは当然であるが、その変化量は実験区によって異なっている。なお、この測定に用いた試料は、通常の灌水管理を行っていたものであり、測定時の水分張力は、図Ⅳ-21を用いて含水比から求めると、各区ともほぼpF2.0-2.2の間にあり、実験区の違いによる差はほとんどなかった。

さて、固相率についてみると、①自然状態から④ランマー200回落下までの圧縮に対して、対照区が約20%（43%→63%）の増加を示しているのに対し、BA20%区（33%→51%）、BA20%（+PM）区（31%→48%）、PL20%区（34%→52%）とボトムアッシュおよびパーライトの20%混入区は17~18%の増加であり、BA40%区（30%→45%）、BA40%（+PM）区（25%→39%）、PL40%区（29%→44%）と各40%混入区は14~15%の増加にとどまった。固相率の増加はそのまま孔隙率の減少であり、対照区で約20%、各20%混入区で17~18%、各40%混入区で14~15%の孔隙が減少したことを意味している。

また、同じ圧縮状態（ランマーの落下回数が同じ；図中線で囲んだグループ）の試料について比較すると、ボトムアッシュ混入区およびパーライト混入区では対照区よりも気相率が数%から10%程度高くなっていることが認められる。ただし、④のランマー200回落下の場合には、気相率はPL40%区（10.3%）を除いて全て10%以下となり、明かな差は認められないが、この④の状態は今回の実験条件において可能な最大の圧縮状態に達していた

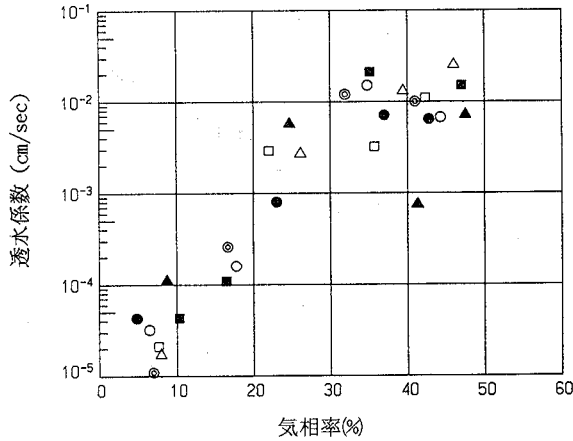


図Ⅳ-23 圧縮にともなう三相分布の変化

各区の土壌について、採土円筒（容積100ml）に

- ① 圧縮しない
- ② 重量 2 kg のランマーを 5 cm の高さから 10 回落下
- ③ " " " 50 回 "
- ④ " " " 200 回 "

の 4 段階の圧縮状態の試料を作成し、測定した。  
線で囲んだものは、同じ圧縮条件のものである。



図Ⅳ-24 土壌の気相率と透水性係数の関係

○対照区 △BA20%(+PM)区 ▲BA40%(+PM)区  
 ○BA20%区 ●BA40%区 □PL20%区 ■PL40%区

ものと考えられる。最大の圧縮状態に達するまでの過程においては、ボトムアッシュはパーライトと同様、気相率の減少を緩和する効果があるといえる。

気相率と透水性係数の間には正の相関関係が認められた(図Ⅳ-24)。古賀<sup>27)</sup>はミカン園土壌について調査を行い、非毛管孔隙率と透水性係数の間に正の相関関係を見出している。それによれば、非毛管孔隙率10%で透水性係数はほぼ $10^{-4}$  (cm/sec)、20%でほぼ $10^{-3}$  (cm/sec)であり、小細根分布の適正域は非毛管孔隙率20%以上、すなわち透水性係数 $10^{-3}$  (cm/sec)以上となっている。今回の実験に用いた土壌試料の水分張力はほぼpF2.0-2.2であったので、非毛管孔隙率は図Ⅳ-24に示した気相率よりも数%程度小さいものと推定されるが(図Ⅳ-22参照)、この点を考慮しても、今回の実験結果と古賀の調査結果は非常によく一致している。通気透水性の点からみても、気相率を大きく保つことの重要性が指摘される。

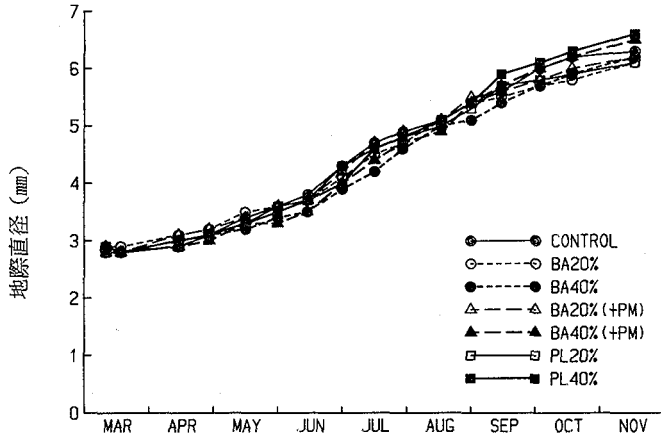
(4) シャリンバイの成長

これまで述べたように、ボトムアッシュは土壌物理性の改善に効果的であることが認められた。しかし、最も重要なことは樹木の生育に対する影響である。図Ⅳ-25に地際直径成長曲線、図Ⅳ-26に樹高成長曲線を示した。地際直径、樹高ともに各区の間に有意差はみられない。このことから、少なくともボトムアッシュがシャリンバイの生育に障害とはなっていないことが確認される。また、対照区の成長がとくに劣るということもなく、上に述べたような水分特性の差が現れてはいないが、これは本実験が十分な灌水管理のもとで行われていることによるものである。十分な灌水管理が行われず、無灌水、無降雨が続くような場合には、ボトムアッシュはその水分特性から考えて、パーライトに近い効果を発揮するものと期待される。

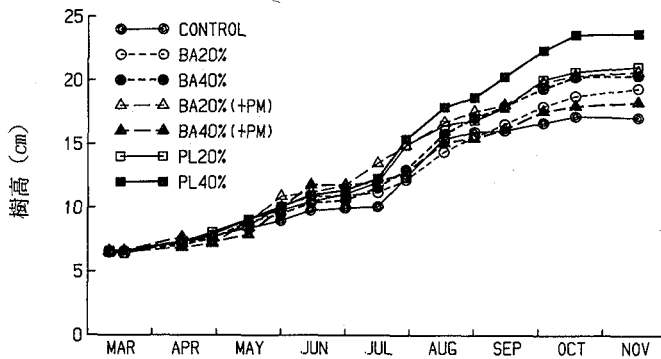
(5) まとめ

石炭灰(ボトムアッシュ)が土壌改良資材として使えるかどうか、シャリンバイを用いた生育実験を行い、同時にpH、pF-水分特性、圧縮に対する抵抗性などについて実験を行った。

ボトムアッシュについては、pH9を超える強アルカリ性が最も懸念された点であるが、マサ土(pH5.62)、ボトムアッシュ(pH9.18)およびオガクズ牛糞堆肥(pH7.26)を容積割合でそれぞれ40%、40%、20%を混入した場合にはpH7.33とほぼ中性に近くなり、ピートモス(pH3.85)を混入した場合にはpHはさらに低くなった。ボトムアッシュのpHの問題は、酸性材料および緩衝作用をもつ腐植分を混入することによって解決できるといえ



図Ⅳ-25 シャリンバイの地際直径成長曲線



図Ⅳ-26 シャリンバイの樹高成長曲線

るだろう。

マサ土にボトムアッシュを混入した場合、 $pF_{1.8-2.8}$ のいわゆる易効水が、パーライト混入に比べればやや少ないが、ほぼそれに近い割合で増加しており、ボトムアッシュがマサ土の保水性改善に効果のあることが認められた。

圧縮に対する抵抗性については、実験的に試料を締め固めて三相分布の変化を調べてみた。その結果、マサ土にボトムアッシュを混入した場合、マサ土のみの場合よりも固相率の増加および気相率の減少が小さく、パーライトとはほぼ同様の締め固まり防止効果のあることが認められた。

シャリンバイの成長は、対照区（マサ土）、ボトムアッシュ混入区、パーライト混入区で有意差はみられなかった。すなわち、ボトムアッシュによる生育阻害はみられなかったということである（現在、シャリンバイ以外の数種の緑化樹についても生育実験を行っているところであるが、生育阻害は出ていない）。なお、対照区でも成長が劣ることはなかったが、これは実験期間中十分な灌水を行っていたことによるものと考えられる。長期間無降雨が続く、しかも十分な灌水が期待できないような場合には、ボトムアッシュの混入が、その $pF$ -水分特性からみて、効果を発揮することはまちがいないものと考えられる。

以上のように、ボトムアッシュはパーライトに代わる無機質土壌改良資材としての効果を十分持っていることが認められた。

## V章 結 び

西日本において、緑地造成用の客土として多用されているマサ土の問題点とその改良法について、いくつかの調査および実験をもとに検討を加えてきた。以下、各章において述べた内容を要約して、結びとしたい。

I章においては、本研究の背景と目的について述べた。まず、わが国における緑地造成および緑地土壌をめぐる問題について触れ、次いで筆者が研究対象としてマサ土を選んだ背景と目的についてまとめた。

II章においては、転圧・踏圧によるマサ土の圧縮が土壌物理性および樹木の生育に及ぼす影響について検討を加えた。II-1では、マサ土客土によって造成された高松市内の公園において、ケヤキの生育調査を行い、転圧・踏圧によって密に締め固められた土壌条件がケヤキの生育を阻害していることを明らかにした。II-2では、研究圃場において、マサ土にクスノキ幼木を植栽して踏圧実験を行った結果について検討した。II-1、II-2の結果を総合すると、土壌の固相率と根系分布の関係は次のようにまとめられる。

- ①固相率55%以下……根系発達に支障がない。
- ②固相率55~60%……根系発達にやや支障がある。
- ③固相率60%以上……根系発達が困難である。

森本<sup>60)</sup>、丹原<sup>81)</sup>らの調査結果においてもほぼ同様の数字が報告されており、ここに挙げた数字は、マサ土だけでなく非火山灰土に植栽された（あるいは生育する）多くの樹種に共通した基準であるといえる。

液相率については、ケース毎に若干のくい違いがみられた。粒径組成が異なると孔隙分布が違ってくるので、土壌水分量の指標としては、液相率よりも水分張力別の水分量の方が意味をもつためと考えられる。気相率についても液相率との関係で明確な境界線は引きにくい、気相率10%以下では根系発達が困難であり、20%以上あれば支障はないといえるようである。気相率10%台ではケース毎に違いがみられる。

II-3では、荷重によるマサ土の圧縮および圧縮に対する土壌改良資材の緩衝効果について検討した。その結果、荷重による圧縮に対しては、パーライトの混入が効果的であること、マサ土自体は荷重に対しては比較的強い、浸水による沈下量が大きいこと、バーク堆肥あるいはオガクズ牛糞堆肥をマサ土に混入した場合はマサ土のみの場合よりも圧縮されやすくなることなどの点が明らかになった。バーク堆肥およびオガクズ牛糞堆肥などの有機質土壌改良資材は、腐植を供給する役割があり、樹木の生育を旺盛にする効果は高い（IV章参照）。したがって、有機質土壌改良資材を混入した場合には、転圧・踏圧を受けないよう配慮することが必要であり、また、踏圧が予想される場合には、パーライトを混用するなどの処置をとることが望まれる。

III章においては、マサ土地盤に植栽された地被植物の生育に及ぼす踏圧の影響について考察した。III-1では、高松市にある公測森林公園の芝生広場における利用実態と芝草（コウライシバ）の生育状態の関係について検討した。その結果、春秋の平均的休日における利用者が1700人・時間/ha以下で、主として静的な利用が行われるならば、芝草の生育には支障がないものと推察された。なお、動的な利用が行われる場合には、この基準はもっと低い数字となる。また、芝生広場を細かく区切ってみると、常に利用頻度が高い（低い）場所、常に静的利用（休息）がなされる場所、常に動的利用（運動、ゲーム）がなされる場所など、場所毎にその利用形態がほぼ決まっている。したがって、芝生広場の管理を考える上では、全体を一つの基準でとらえるのではなく、場所によって管理の水準を変えたり、使用（あるいは使用禁止）区域のローテーションを行うなどのきめ細かな配慮が必要であろう。

III-2では、日陰地の地被植物としてよく利用されているチャボリュウノヒゲをマサ土に植栽して踏圧実験を行った結果について検討した。その結果、チャボリュウノヒゲは1日3回程度の踏圧であれば地被を形成するこ

とができるが、1日10回の踏圧では地被を形成することは困難であることが認められた。

なお、踏圧による地被植物の生育阻害の原因としては、踏圧による土壌物理性の悪化および植物体自体が踏みつけられるという2点が挙げられる。土壌の圧縮という点では、裸地の場合よりも圧縮される率は小さい。これは、地被植物の地上部および地下部がクッションの役割を果たしているからである。マサ土の場合、粒径の粗い角礫を多く含んでおり、その鋭い稜によって植物体が損傷を受けたり、あるいは葉が切断されるという直接的な損傷が大きいように思われる。踏圧による生育阻害を軽減するために、粗大な角礫を除く、あるいは土壌改良資材を混入するなどして、直接的な損傷を防ぐことも効果的だと思われる。

Ⅳ章では、土壌改良資材によるマサ土の改良効果について検討した。Ⅳ-1では、有機質土壌改良資材としてバーク堆肥、オガクズ牛糞堆肥、ピートモスの3種、無機質土壌改良資材としてパーライト、バーミキュライトの2種、計5種類の土壌改良資材をマサ土に混入して（容積比20, 40, 60%）、ヘデラ・ヘリックス (*Hedera helix* 'Pittsburgh') を植栽し、その生育に及ぼす効果を比較検討した。オガクズ牛糞堆肥混入区で最も成長がよく、次いでバーク堆肥混入区であった。無機質土壌改良資材の20%混入区では対照区よりもよい生育を示したが、混入割合が大きくなるほど成長量は減少し、60%混入区では対照区より劣った。土壌中の養分量（とくに窒素）の問題であろう。ヘデラの成長量と土壌中の窒素含有量（とくに実験期間中における土壌中の窒素消失量）との間には高い正の相関関係がみられたが、土壌改良資材の種類毎に別々の回帰直線が得られ、窒素以外の要因も影響していることが推察された。

Ⅳ-2では、有機質土壌改良資材（バーク堆肥、オガクズ牛糞堆肥）をマサ土に混入して（容積比で10, 20, 30, 40, 50, 60%）、トウネズミモチの幼木を植栽し、その生育および土壌の団粒形成に及ぼす効果について検討した。トウネズミモチの生育に及ぼす効果についてはⅣ-1のヘデラの場合とはほぼ同様であった。また、土壌改良資材の混入割合が大きくなるほど土壌の団粒化度は大きくなり、また、バーク堆肥よりもオガクズ牛糞堆肥の方が団粒形成促進効果が高いことが認められた。

有機質土壌改良資材については、容積比で最大60%まで混入して実験を行ったが、Ⅳ-1、Ⅳ-2ともに、混入割合が大きくなるほど樹木の生育に及ぼす効果は大きく、過剰障害はみられなかった。しかし、実際問題としては60%混入というのは現実的でないという指摘も受けた。また、転圧・踏圧による圧縮ということを考えると、あまり多量に混入することは問題かも知れない（Ⅱ章参照）。ただし、10%では対照区（マサ土のみ）とあまり変わらず、土壌改良資材としての効果を期待するためには、最低限20%程度は混入することが必要であろう。

Ⅳ-3では、マサ土の保水性改善に及ぼす土壌改良資材の効果について検討を加えた。マサ土に土壌改良資材（バーク堆肥、オガクズ牛糞堆肥およびパーライト）を混入し（容積比で20, 40%）、クスノキ幼木を植栽して、断水試験を行い、シオレ始める（および枯れる）までの日数と土壌水分量の関係を調べた。その結果、パーライトの効果が大きいことが認められた。パーライト40%区では対照区（マサ土のみ）の1.5～2倍の有効水分を含んでおり、灌水停止からシオレ始めるまでの日数も、対照区の9.3日に対して14日と約1.5倍を示した。バーク堆肥はあまり効果が認められなかった。

Ⅳ-4では、①土壌量の多少（9ℓ, 3ℓ）、②灌水量・灌水間隔の違い（300ml, 100ml/毎日, 5日毎）、③パーライト（混入、無混入）の3つの要因がヘデラ (*H. helix* 'Königer's Auslese') の生育に及ぼす影響について検討した。数値化Ⅰ類を用いて実験結果を解析したところ、ヘデラの生育に土壌量および灌水量が大きく影響していることが認められた。パーライト混入によって土壌水分量は増加しているが、地上部の生育に及ぼす効果はあまり明かでなかった。この理由としては、ひとつには毎日灌水区では土壌の保水力はあまり関係ないこと、いまひとつは供試個体が小さかったために、根系がポット全体の土壌水分を利用できなかったことが考えられる。



一方、地下部の成長はパーライト混入によってよくなっており、パーライトが根系発達を促すことが認められた。なお、5日毎灌水区では、梅雨期を除いて土壌の水分が減少する傾向を示し、乾燥によって土壌が凝縮して孔隙分布が変化し、保水力が低下したものと推察された。

Ⅳ-5では、石炭灰（ボトムアッシュ）の土壌改良資材としての特性について検討した。ボトムアッシュは、pH9を超える強アルカリ性であることが問題点のひとつとして指摘されているが、酸性のマサ土やビートモス（pH未調整）と混合することによって中和することができた。pF-水分特性を調べたところ、ボトムアッシュはパーライトに比べるとやや少ないものの、pF1.8~2.8のいわゆる易効水を多く含んでおり、マサ土の保水性改善に効果のあることが認められた。また、圧縮に対する抵抗力も強く、締め固まり防止効果のあることも認められた。廃棄物の再利用というメリットもあり、今後、土壌改良資材としての利用が期待される。

以上、本論文の内容を簡単にまとめた。Ⅰ章でも述べたように、緑地土壌に関する研究は活発になってきており、造園関係者の緑地土壌に対する認識も高まってきているように思われる。しかしながら、緑地造成現場においてはまだまだ失敗が繰り返されている。筆者のここ2~3年の経験でも、もう少し土壌に配慮して欲しかったら、と思う事例が少なからずみられた。

本研究はマサ土（とくに砂質なマサ土）を対象として行ったものであり、ここで得られた知見（とくに基準となる数字）は他の土壌においては異なる場合もあると考えられるが、問題意識および方法論としては共通する部分が多いと思う。また、本研究は基礎的な研究ということでポット実験が多くなった。実際の緑地における調査・研究が必要であるが、今後さらに研究を深めていきたいと考えている。

## 謝 辞

筆者が、香川大学に着任して以来11年、京都大学造園学研究室で「緑化樹の生育と土壌条件」に関する研究を始めてから16年の歳月が流れた。この間、生来の怠け癖故になかなか研究をまとめることができなかったが、多くの方々のご協力と励ましを頂き、ようやくここにまとめることができた。

なんとかここまで漕ぎ着けることができたのも、全く造園学の基礎のないまま一夜漬けで大学院に滑り込んだ筆者を快く受け入れて頂き、基礎からお教え頂いた中村一先生（京都大学農学部教授）はじめ京都大学造園学研究室の先生方の暖かいご指導のおかげである。また、白幡洋三郎先生（国際日本文化研究センター助教授）には、筆者が造園に進むきっかけを与え頂き、その後も研究会あるいは日常的な交遊を通して造園・緑化に対する筆者の狭くなりがちな視野を広げて頂いた。厚くお礼申し上げる次第である。

筆者が「緑化樹の生育と土壌条件」に関する研究に係わるようになったのは、堤利夫先生（京都大学名誉教授）のご指導のもとに行われた京都御苑における樹木生育調査に参加して以来である。その後、圃場実験を行うとともにいくつかの現地調査を経験したが、これらの調査研究を通して森本幸裕先生（京都芸術短期大学教授）には一貫してご指導頂いた。長谷川秀三氏（大島造園土木）には造成緑地における固結土壌の問題について多くの事例を紹介して頂くとともに、緑地土壌研究に対するその情熱に教えて頂くところが多かった。また、小橋澄治先生（京都大学農学部教授）はじめ京都緑化研究会（旧斜面緑化研究会）のメンバーの方々からは、貴重なご意見と暖かい励ましを頂いた。深く感謝する次第である。

本論文は、筆者が香川大学着任以後に行った研究についてまとめたものである。この間、研究を進めるにあたって香川大学農学部造園学研究室の吉田重幸先生（香川大学農学部教授）、守屋均先生（同助手）、米沢いく子さんには多大のご協力を頂き、また何かとご迷惑をおかけした。また、筆者のもとで卒業研究に取り組んでくれた専攻生諸氏にも調査研究を通して多大のご協力を頂いた。心から感謝する次第である。

本論文を取りまとめるにあたって、久馬一剛先生（京都大学農学部教授）、岩坪五郎先生（同教授）、吉田博宣先生（同助教授）には、それぞれ土壌学、森林土壌学、造園学、の立場から貴重なご意見・ご助言を頂いた。深く感謝する次第である。また、京都大学農学部造園学研究室の城代和枝さんにも大変お世話になった。心からお礼申し上げる次第である。

なお、本論文は京都大学審査学位論文を印刷に付したものである。

## 参 考 文 献

- 1) ALLBROOK, R. F. (1986) : Effects of skid trail compaction on a volcanic soil in central Oregon, *Soil Sci Soc. Am. J.*, **50**, 1344-1346.
- 2) 青柳省吾 (1987) : 四国北部の瀬戸内沿岸における花崗岩風化残積土 (マサ土) および安山岩風化残積土の土壌特性に関する研究, 香川大学農学部紀要, **52**, 1-59.
- 3) BOHM, W. (1979): Method of studying root systems, *Ecological studies*, **33**, 1-188, Springer-Verlag (Heidelberg).
- 4) BURDEN, R. F. (1972) : Quantitative studies of effects of human trampling on vegetation, *J. Appl. Ecol.*, **9**, 439-457.
- 5) 土壌物理研究会編 (1978) : 土壌物理性用語事典, 1-205, 養賢堂 (東京).
- 6) 土壌物理性測定法編集委員会編 (1972) : 土壌物理性測定法, 1-505, 養賢堂 (東京).
- 7) 土壌養分測定法委員会編 (1978) : 土壌養分分析法, 30-31, 養賢堂 (東京).
- 8) 土質工学会編 (1979) : 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用 土質工学ライブラリー-16, 185-204, 土質工学会 (東京).
- 9) 土質工学会編 (1980) : 土の試験実習書, 1-267, 土質工学会 (東京).
- 10) DICKERSON, D. P. (1976) : Soil compaction after tree-length skidding in northern Mississippi, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **40**, 965-966.
- 11) FRISSELL, S. S. (1978) : Judging recreation impacts on wilderness campsites, *J. Forestry*, **76**, 481-483.
- 12) FROELICH, H. A. (1979) : Soil compaction from logging equipment: effects on growth of young Ponderosa Pine, *J. Soil Water Conserv.*, **34**, 276-278.
- 13) FROELICH, H. A., D. W. R. MILES and R. W. ROBBINS (1985) : Soil bulk density recovery on compacted skid trails in central Idaho, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 1015-1017.
- 14) GENT, J. A. JR., R. BALLARD and A. E. HASSAN (1983) : The impact of harvesting and site preparation on the physical properties of Lower Coastal Plain forest soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **47**, 595-598.
- 15) GENT, J. A. JR., R. BALLARD, A. E. HASSAN and D. K. CASSEL (1983) : Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 173-177.
- 16) GENT, J. A. JR and L. A. MORRIS (1986) : Soil compaction in the Upper Gulf Coastal Plain, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **50**, 443-446.
- 17) 長谷川秀三・川九邦雄・今川映二郎 (1981) : 長谷川式土壌貫入計による緑化地の土壌調査, 昭和56年度日本造園学会春季大会発表要旨, 43-44.
- 18) 長谷川秀三・川九邦雄 (1983) : 有機質土壌改良資材 (バーク堆肥と汚泥類) の緑化樹に対する施用効果について, 造園雑誌, **46**(5), 176-181.
- 19) 本多 侖・山野辺寛 (1959) : 日本芝の生育に及ぼす踏圧の影響, 造園雑誌, **22**(4), 16-20.
- 20) 本間 啓・小沢知雄 (1962) : 土壌構成と日本芝の生育ならびに踏圧による影響に関する実験的研究, 造園雑誌, **26**(1), 27-30.
- 21) 古谷誠治・塘 隆男・川九邦雄 (1982) : オカメヅタ (ヘデラ・カナリエンシス) の初期生育と土壌改良

- 法, 昭和57年度日本造園学会秋季大会研究発表要旨, 46-47.
- 22) HATCHELL, G. E. and C. W. RALSTON (1971) : Natural recovery of surface soils disturbed in logging, *Tree Planters' Notes*, 22(2), 5-9.
- 23) 苅住 昇 (1979) : 樹木根系図説, 449-466, 誠文堂新光社 (東京).
- 24) 河田弘 (1981) : バーク (樹皮) 堆肥, 88-93, 博友社 (東京).
- 25) 北村文雄 (1961) : 西洋芝栽培の基礎的研究 (第3報), 造園雑誌, 24(3), 56-60.
- 26) 北村文雄・小沢知雄 (1965) : 日本芝園芸品種栽培の基礎的研究 (第1報), 造園雑誌, 28(3-4), 12-17.
- 27) 古賀 汎 (1972) : 温州みかん園における下層土の物理性に関する研究, 四国農業試験場報告, 25, 119-232.
- 28) 興水 肇・飯塚克身・藤崎健一郎 (1979) : 踏圧がヒメコウライシバ芝生の生育に与える影響について, 芝草研究, 8(1), 41-47.
- 29) 興水 肇 (1980) : 緑地土壌研究の課題と方法, 造園雑誌, 44(1), 24-29.
- 30) 興水 肇 (1981) : 緑化事業における土壌保全の手法と課題, 造園雑誌, 45(1), 17-25.
- 31) 興水 肇 (1982) : 植栽基盤整備のための土壌調査の手法とその標準化, 造園雑誌, 46(1), 35-43.
- 32) 興水 肇 (1983) : 植栽基盤整備の手法とその標準化について, 造園雑誌, 47(1), 32-38.
- 33) 近藤三雄 (1987) : 公園芝生地の収容力に関する研究, 1-122, 東京農業大学出版会 (東京).
- 34) LAPAGE, W. F. (1962) : Recreation and the forest site, *J. Forestry*, 60, 319-321.
- 35) LEGG, M. H. and G. SCHNEIDER (1977) : Soil deteriorations on campsites : northern forest types, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 437-441.
- 36) LUTZ, H. (1945) : Soil condition on picnic grounds in public forest parks, *J. Forestry*, 43, 121-127.
- 37) 前中久行・伊藤雅彦・高橋理喜男 (1981) : 淀川河川公園芝生広場における生態的収容力に関する研究, 昭和56年度日本造園学会秋季大会研究発表要旨, 13.
- 38) 前中久行 (1984) : 踏みつけによる芝生の損耗とその回復生長の数式モデル, 造園雑誌, 47(5), 129-134.
- 39) 前中久行・大窪久美子 (1986) : 都市公園芝生地における利用密度調査と植生解析, 造園雑誌, 49(5), 143-148.
- 40) 前中久行・清水未来 (1987) : 一時的集中利用が芝生地植生に及ぼす影響, 造園雑誌, 50(5), 108-113.
- 41) 増田拓朗・森本幸裕・長谷川修三 (1981) : 街路樹土壌の特性と樹木の生育, 造園雑誌, 44(3), 155-160.
- 42) 増田拓朗・藤原賢一・吉田重幸 (1983) : ケヤキの生育に及ぼす土壌物理性の影響, 香川大学農学部学術報告, 34(2), 157-162.
- 43) 増田拓朗 (1984) : 芝生地における踏圧, 芝草研究, 13(1), 41-46.
- 44) 増田拓朗・古家 徹・吉田重幸 (1984) : ジャノヒゲの生育に及ぼす踏圧の影響, 造園雑誌, 47(5), 117-122.
- 45) 増田拓朗・黄地正治・吉田重幸 (1984) : 相対照度の違いがジャノヒゲの生育に及ぼす影響, 造園雑誌, 48(2), 123-127.
- 46) 増田拓朗・広畑晴彦・吉田重幸 (1985) : マサ土への土壌改良剤の混入がヘデラの生育に及ぼす効果, 造園雑誌, 48(5), 109-114.
- 47) 増田拓朗・渡辺幸照・吉田重幸 (1986) : マサ土の保水性改善に及ぼす土壌改良剤の効果, 造園雑誌, 49(5), 85-89.

- 48) 増田拓朗・小林達明・吉川賢・森本幸裕・小橋澄治 (1988) : 毛鳥素沙地における土壌水分条件, 緑化研究, 10, 30-41.
- 49) 増田拓朗・小林達明・吉川賢・森本幸裕・小橋澄治 (1988) : 毛鳥素沙地における旱柳 (*Salix matsudana*) の根系分布, 緑化研究, 10, 42-55.
- 50) 増田拓朗・小林達明・吉川賢・小橋澄治 (1988) : 毛鳥素沙地における水分収支解明のための基礎的調査, 緑化研究, 10, 56-65.
- 51) 松田昭美・神近牧男・安東登志広 (1977) : 砂丘地の地表面付近における温度の垂直分布について, 鳥取大学農学部砂丘研究所報告, 16, 9-13.
- 52) 三宅一郎・中野嘉弘・水野欽司・山本嘉一郎 (1977) : SPSS統計パッケージⅡ 解析編, 166, 東洋経済新報社 (東京).
- 53) 三好 洋・丹原一寛 (1977) : 土の物理性と土壌診断, 1-241, 日本イリゲーションクラブ (東京).
- 54) 森本幸裕・増田拓朗 (1975) 踏圧による土壌の圧密と樹木の生育状態について, 造園雑誌, 39(2), 34-42.
- 55) 森本幸裕・増田拓朗 (1976) : 表土圧密が樹木の生長に及ぼす影響について, 昭和51年度日本造園学会春季大会研究発表要旨, 123-125.
- 56) 森本幸裕・増田拓朗 (1976) : 市街地緑地の土壌物理性相互の関係について, 昭和51年度日本造園学会春季大会研究発表要旨, 126-129.
- 57) 森本幸裕・増田拓朗 (1977) : 固結土壌への植栽に関する実験的研究, 昭和52年度日本造園学会春季大会研究発表要旨, 65.
- 58) 森本幸裕 (1979) : 岐阜市の公園緑地におけるケヤキの生育と土壌条件について, 京都芸術短大「瓜生」, 2, 13-19.
- 59) 森本幸裕 (1980) : 固結土壌における樹木生育とその診断に関する事例的研究, 京都芸術短大「瓜生」, 3, 19-29.
- 60) 森本幸裕 (1980) : ツル植物の生産構造に関する研究, 斜面緑化研究, 第2集, 8-17.
- 61) 森本幸裕 (1980) : ツル植物の生育に及ぼす土壌量の影響-その1-, 斜面緑化研究, 第2集, 18-27.
- 62) 森本幸裕 (1985) : 緑地における樹木生育基盤に関する研究, 緑化研究, 別冊1号, 1-160.
- 63) MACE, A. C. JR. (1971) : Recovery of Forest Soils from Compaction by Rubbed-tired Skidders, *Minn. For Res Notes*, No226, Univ. of Minnesota, St. Paul.
- 64) MARION, J. L. and L. C. MERRIAM (1985) : Predictability of recreational impact on soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 751-753.
- 65) MERRIAM, L. C. JR. and C. K. SMITH (1974) : Visitor impact on newly developed campsite in the Boundary Waters Canoe Area, *J. Forestry*, 72, 627-630.
- 66) 野田敏秀 (1982) : 造園, 緑化用土への有機質土壌改良剤の施用が用土の保水性に及ぼす影響, 環境緑化研究, 第2集, 109-134.
- 67) 野村安治・井上光弘 (1979) : 散水後の乾砂層の発達とその特性, 鳥取大学農学部砂丘研究所報告, 18, 27-33.
- 68) 日本土壌肥料学会編 (1979) : 下水汚泥, 1-214, 博友社 (東京).
- 69) 日本道路公団広島建設局・道路緑化保全協会 (1983) : 中国地域の自動車道におけるマサ土 (土壌) と植栽に関する調査研究報告書, 1-128.

- 70) 日本公園緑地協会編 (1975) : 造園施工管理 技術編, 153-154, 日本公園緑地協会 (東京).
- 71) 日本造園学会土壌分科会 (1984) : 緑化事業における植栽基盤整備マニュアル, 造園雑誌, 48(2), 133-145.
- 72) 小沢知雄・近藤三雄 (1972) : *Hedera*属の造園の利用に関する基礎的研究 (I), 造園雑誌, 36(1), 45-55.
- 73) 小沢知雄・近藤三雄 (1972) : *Hedera*属の造園の利用に関する基礎的研究 (II), 造園雑誌, 36(2), 16-24.
- 74) 小沢知雄・近藤三雄 (1972) : *Hedera*属の造園の利用に関する基礎的研究 (III), 造園雑誌, 36(3), 10-18.
- 75) 岡本認明 (1979) : 臨海埋立地における土壌改良が植栽樹木の生育に及ぼす影響, 環境緑化研究, 93-157.
- 76) 岡本認明・木山徹 (1982) : 踏圧土壌の物理性改善を目的とした土壌改良材の施用がクスノキ苗の生育に及ぼす影響, 環境緑化研究, 2, 1-59.
- 77) 岡本認明 (1982) : 有機質系土壌改良材のピートモスとパーク堆肥の施用がクスノキの生育に及ぼす影響, 環境緑化研究, 2, 97-107.
- 78) 岡本認明 (1982) : 植栽基盤造成時の土壌の固結が植栽木の活着と生育に及ぼす影響, 環境緑化研究, 2, 163-181.
- 79) 岡本認明・敷根俊一・笹本英治 (1984) : 2, 3の土壌改良材の施用が土壌物理性およびクスノキ幼木の生育に及ぼす影響, 造園雑誌, 47(5), 79-84.
- 80) 岡本認明 (1986) : マサ土で盛られた斜面に土壌改良材を混入した場合の6種の地被植物について, 造園雑誌, 49(5), 90-95.
- 81) 斉藤 実・長谷川修一 (1984) : 四国の地質と災害特性, 土と基礎, 32(1)0, 107-116.
- 82) 関口有方 編著 (1982) : 造園工学, 94, 地球社 (東京).
- 83) SETTERGREN, C. D. and D. M. COLE (1970) : Recreation effects on soil and vegetation in the Missouri Ozarks, *J. Forestry*, 68, 231-233.
- 84) 丹原一寛 (1969) : 愛媛県における柑橘園土壌の物理性に関する研究, 愛媛県農業試験場報告, 9, 1-108.
- 85) 堤 利夫 (1958) : 森林土壌の物理性相互の関係について (第1報), 日本林学会誌, 40(2), 47-52.
- 86) 堤 利夫 (1958) : 森林土壌の物理性相互の関係について (第2報), 日本林学会誌, 40(6), 237-241.
- 87) 東京天文台編 (1985) : 理科年表-気象部, 187-411, 丸善 (東京).
- 88) 梅田 裕・横瀬広司・山田宣良・古屋 隆 (1979) : 土壌の団粒の表示法について, 香川大学農学部学術報告, 30(2), 143-148.
- 89) VAN BAVEL, C. H. M (1949) : Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14, 20-23.
- 90) WEBB, R. H., J. W. STEIGER, and H. G. WILSHIRE (1986) : Recovery of compacted soils in Mojave Desert ghost towns, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 1341-1344.
- 91) 矢橋辰吾・金光達太郎・佐久間 護 (1983) : マサ土法面の安定化に関する研究, 造園雑誌, 46(5), 188-193.
- 92) 山田宣良・古屋 隆 (1982) : 圃場における団粒形成因子, 農業土木学会論文集, 98, 1-6.
- 93) 山根一郎 (1976) : 土壌学の基礎と応用, 82, 農文協 (東京).
- 94) 横瀬広司・山田宣良 (1977) : 団粒を形成する因子について, 農業土木学会論文集, 70, 1-6.
- 95) 吉田博宣・小橋澄治・吉田鐵也 (1984) : 芝生地の利用と管理に関する基礎的研究, 造園雑誌, 47(5), 123-128.

## Studies on the Characteristics of Masa Soil as a Medium for Tree Growth and Methods for its Improvement

Takuro MASUDA

### Summary

The background and purpose of the studies in this paper were mentioned in chapter I. Decomposed granite, commonly called 'Masa soil' is often used for reclaiming land in Western Japan.

However, Masa soil is not always suitable for tree growth. Its texture is generally very coarse, sometimes containing more gravel than fine soil. Therefore, its water retention capacity and nutrient holding capacity are very poor. In addition, Masa soil is apt to become very densely compacted due to the activity of construction machinery or human trampling. The purpose of the studies in this paper is to clarify the characteristics of Masa soil when used as a medium for tree growth and to examine methods for its improvement.

In chapter II, the effects of compaction by machine traffic and human trampling on the physical properties of the soil and tree growth are investigated.

First, the effects of the physical properties of the soil on the growth of the trees (*Zelkova serrata* Makino) growing in Yashima Chuo Park, Takamatsu, were investigated. This park was constructed on land reclaimed using Masa soil (II-1). An experiment was also carried out, in an experimental field (II-2), in order to clarify the effects of soil compaction by human trampling on the growth of trees. From this investigation and experiment, the following relationships between the solid phase ratio of the soil and the tree's root development were discovered.

- 1) Where the solid phase ratio was under 55% there were no problems for root development.
- 2) Where the solid phase ratio was between 55% to 60% root development was restricted to some extent.
- 3) Where the solid phase ratio was over 60% almost no roots could develop.

The compaction of Masa soil by loading and the buffering effect of some soil amendments when subjected to compaction were examined (II-3). The results were as follows:

- 1) Perlite was effective in preventing volume decrease when subjected to loading.
- 2) Masa soil resists compaction, due to loading fairly well. However, when it is loaded after being well watered, it showed a large volume decrease.
- 3) Organic soil amendments such as bark compost and sawdust compost (including cow manure) were less resistive to compaction.

In chapter III, the effects of human trampling on the growth of ground cover plants grown in Masa soil were examined.

The relationship between the growth of turf grass (*Zoysia matrella* Merr) and the number of visitors to the turf playground in Kinbuchi Forest Park, Takamatsu, was investigated (III-1). This park is very crowded on weekends and holidays, especially in spring and fall, but on the other hand, it has few visitors on weekdays. From the investigation, it is apparent that turf was not injured if the average number of users on holidays in spring and fall was less than 1700 (person hour/ha/day). However, if it were used for active recreation such as running, sliding or jumping, this standard level would have to be substantially reduced.

Another experiment was carried out in order to clarify the effect of human trampling on the growth of dwarf mondo grass (*Ophiopogon japonicus* Ker *forma nanus hort*) (III-2). Dwarf mondo grass could tolerate trampling 3 times a day and grow to completely cover the ground, but it could not grow when it was trampled 10 times a day.

In chapter IV, the effects of several soil amendments, when mixed with Masa soil, were examined.

The following five soil amendments were used in the first experiment: 1) sawdust compost including cow manure, 2) bark compost, 3) peat moss, 4) perlite and 5) vermiculite (IV-1). Each soil amendment was mixed with Masa soil in the proportions of 20%, 40% and 60% by volume. Then, *Hedera helix* was planted. The plants grew best in the mixes containing 60% sawdust compost and 40% sawdust compost, with the next best results being in the mixes containing 60% bark compost and 20% sawdust compost. It was supposed that the plant growth generally depended on the available nitrogen content of the mixes. Sawdust compost and bark compost contained almost the same amount of total nitrogen. But, the former contained more available nitrogen than the latter. In addition, sawdust compost showed a higher degree of aggregation than bark compost (IV-2). I suppose that this is another reason why the plants grew best in the 40% sawdust compost mix and 60% sawdust compost mix.

Water is essential for plants to grow, so the soil's water retention capacity is as important as its nutrient holding capacity. Another experiment was carried out to clarify the effects of some soil amendments on the improvement in water retentivity of Masa soil (IV-3). The soil amendments used in the experiment were sawdust, bark compost and perlite. Each soil amendment was mixed with Masa soil the proportion of 20% and 40% by volume. Then, young Camphor trees (*Cinnamomum Camphora* Sieb.) were planted in each plot on April 18, 1984. No water was given to the trees after August 23 and they were allowed to die. Soil water content was measured every day. The results were as follows:

- 1) A close correlation was found between the number of days required before wilting began and the available water content of the mixes.
- 2) Perlite retained more available water than the other two soil amendments.
- 3) Bark compost produced almost no improvement in water retentivity of Masa soil.

An additional experiment was carried out to clarify the relationship between plant growth and soil water status. The experimental plots were set up in combination with three factors, namely soil volume (9L or 3L), watering interval (every day or every five days) and perlite (included or not included), then the plants (*Hedera helix*) were planted. The results, analyzed using a 'quantification scale type 1' were as follows:



1) Soil volume and watering interval had a great influence on plant growth

2) The effect of perlite was evident in the underground growth.

In the past, bottom ash (ash of coal) has been discarded as waste matter, but recently, because of its porous structure, trial use has been made of it as a soil amendment. In N-5, the characteristics of bottom ash, when used as a soil amendment, were examined. It is often pointed out that one of the problems with bottom ash is its high alkalinity (over pH9). However, the high alkalinity of bottom ash could be neutralized by mixing with Masa soil (pH5.6) and peat moss (pH3.8). Bottom ash can improve the water retentivity of Masa soil; more importantly it increased soil water to the pF1.8 to 2.8 range where it can easily be taken up by plants. It also showed good resistance to pressure. It is assumed that bottom ash could be used as a substitute for perlite.

## 香川大学農学部紀要

- 第1号 幡 克 美：アカマツ材の成分並びにパルプ化に関する研究（1955年3月）
- 第2号 内 藤 中 人：植物成長ホルモンに関する植物病理学的研究 特に植物病原菌に及ぼす影響について  
（1957年10月）
- 第3号 松 沢 寛：アオムシコマユバチの生態に関する研究（1958年3月）
- 第4号 梶 明：和紙原料の醗酵精練に関する研究（1959年3月）
- 第5号 森 和 男：傾斜地蜜柑園経営の構造分析（1960年3月）
- 第6号 玉 置 鷹 彦：ガラク並びに池泥の研究（1960年3月）
- 第7号 上 原 勝 樹：傾斜地開発利用に関する物理気象的研究（1961年3月）
- 第8号 桑 田 晃：オクラとトロロアオイとの種間交雑およびそれらより育成された種々の雑種ならびに  
倍数体に関する研究（1961年9月）
- 第9号 中 潤三郎：甘藷の生育過程に関する作物生理学的研究（1962年3月）
- 第10号 斉 藤 実：香川県及び北愛媛県の地質について（1962年3月）（英文）
- 第11号 小 杉 清：グラジオラスの生産と開花に関する研究（1962年9月）（英文）
- 第12号 吉 良 八 郎：貯水池の滞砂に関する水理学的研究（1963年2月）
- 第13号 野 田 愛 三：禾穀類の根軸に関する研究（1963年3月）
- 第14号 川 村 信一郎：豆類のデンプンの研究（1963年3月）（エスペラント文）
- 第15号 浅 野 二 郎：種子の耐塩性を中心とした海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツ林の成立に関する  
研究（1963年3月）
- 第16号 山 中 啓：乳酸菌のペントース・イソメラーゼに関する研究（1964年8月）（英文）
- 第17号 葦 沢 正 義：香川県における葡萄の旱害に関する研究（1964年3月）
- 第18号 谷 利 一：カキ炭疽病の病態生理学的研究、とくに罹病果実の病徴発現にあずかるペクチン質分  
解酵素の役割（1965年3月）
- 第19号 樽 谷 隆 之：カキ果実の貯蔵に関する研究（1965年3月）
- 第20号 狩 野 邦 雄：ラン種子の発芽培地に関する研究（1965年3月）（英文）
- 第21号 山 本 喜 良：コモンベッチおよびその近縁種の雑種に関する研究（1965年3月）
- 第22号 中 広 義 雄：鶏における飼料の消化率測定法に関する研究（1966年10月）
- 第23号 井 上 宏：ナツダイダイの果実発育に関する研究、とくに水腐病の発生機構を中心として（1967  
年3月）
- 第24号 宮 辺 豊 紀：異常乳の生成と塩類均衡とくにカゼイン磷酸カルシウムに関する研究（1967年8月）  
（英文）
- 第25号 十 河 村 男：樹皮リグニン及び樹皮フェノール類に関する研究（1971年9月）
- 第26号 大 島 光 昭：赤クローバーサイレージ中の窒素栄養源に関する研究（1971年11月）（英文）
- 第27号 辰 巳 修 三：林木葉部中におけるカルシウムの化合形態とその生理に関する基礎的研究（1974年11月）
- 第28号 樽 谷 勝：ブドウの葉脈黄変による早期落葉の研究（1974年12月）
- 第29号 倉 田 久 男：カボチャ・スイカの性の分化におよぼす日長および温度の影響に関する研究（1976年3月）
- 第30号 鎌 田 萬：中小河川治水計画に適用する計画降雨の合理的算定法に関する研究（1976年6月）

- 第31号 山本弘幸：エンバク冠さび病の抵抗性発現機構に関する研究（1978年3月）
- 第32号 岡本秀俊：テントウムシの摂食の生態に関する実験的研究（1978年3月）
- 第33号 山崎徹：*p*-ヒドロキシフェニル並びにシリングリグニンに関する研究（1978年9月）（英文）
- 第34号 市川俊英：イネを加害する4種の同翅亜目顎吻群昆虫の配偶行動に関する研究（1979年2月）  
（英文）
- 第35号 吉田博：農業生産共同組織の展開・構造・運営に関する研究（1980年3月）
- 第36号 一色泰：鶏盲腸の栄養生理学的研究（1980年3月）
- 第37号 中條利明：富有カキ果実の発育ならびに品質に及ぼす温度条件に関する研究（1982年2月）
- 第38号 五井正憲：温帯花木の花芽形成ならびに開花調節に関する研究（1982年2月）
- 第39号 松井年行：和三盆糖の食品学的研究（1982年2月）
- 第40号 藤目幸擴：ハナヤサイ類の花らい形成並びに発育の温度条件に関する研究  
—特に異常花らいについて—（1983年2月）
- 第41号 西山壮一：カンガイ用管水路における空気混入流の水撃作用に関する研究（1983年2月）
- 第42号 真山滋志：エンバク冠さび病の抵抗性発現におけるアベナルミンの役割（1983年10月）（英文）
- 第43号 門谷茂：海洋堆積物中のアミノ酸の初期統成過程に関する研究（1983年10月）
- 第44号 一井真比古：水稲育種における再生茎形質の選抜指標としての効用に関する研究（1984年11月）  
（英文）
- 第45号 片岡郁雄：ブドウ果実の着色に関する研究  
—とくにアブジジン酸による着色の制御について—（1986年10月）
- 第46号 鈴木晴雄：畑地栽培におけるフィルムマルチと植被が地温に及ぼす影響に関する農業気象学的研究（1986年10月）
- 第47号 蓑輪雅好：開放型畜舎内の放射熱環境に関する研究（1986年10月）
- 第48号 藤田政之：サツマイモ塊根組織のチトクロムP-450系酵素に関する研究（1986年10月）
- 第49号 田中道男：組織培養によるファレノプシスの栄養繁殖に関する研究（1987年2月）
- 第50号 長谷川暁：東洋系シンビジウムの繁殖に関する研究（1987年12月）
- 第51号 笠井忠：大豆の少糖類の加水分解に関する研究（1987年12月）
- 第52号 青柳省吾：四国北部の瀬戸内沿岸における花崗岩風化残積土（マサ土）および安山岩風化残積土の土壌特性に関する研究（1987年12月）
- 第53号 片山健至：*Fusarium solani* M-13-1によるリグニンサブストラクチャーモデル化合物の分解  
（1989年11月）（英文）
- 第54号 増田拓朗：植栽基盤としてのマサ土の問題点とその改良法に関する研究（1990年10月）

## Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

- No. 1 Katsumi HATA : Studies on the Constituents and Pulping of "Akamatsu" (*Pinus densiflora* SEB et ZUCC) Wood (March, 1955)
- No. 2 Nakato NAITO : Phytopathological Studies Concerning Phytohormones with Special Reference to Their Effect on Phytopathogenic Fungi (October, 1957)
- No. 3 Hiroshi MATSUZAWA : Ecological Studies on the Branconid Wasp, *Apanteles glomeratus* (March, 1958)
- No. 4 Akira KAJI : Studies on the Retting of Plant Fiber Materials for Japanese Paper Manufacture (March, 1959)
- No. 5 Kazuo MORI : An Analytical Study on the Structure of the Mandarin Orange Growing Orchard Farm in a Sloping Land Region (March, 1960)
- No. 6 Takahiko TAMAKI : Studies of Garaku Paddy Soil and Reservoir Deposits (March, 1960)
- No. 7 Masaki UEHARA : Physical and Meteorological Studies on the Cultivation and Utilization of Slope Land (March, 1961)
- No. 8 Hikaru KUWADA : Studies on the Interspecific Crossing between *Abelmoschus esculentus* MOENCH and *A. Manihot* MEDIC and the Various Hybrids and Polyploids Derived from the Above Two Species (September, 1961)
- No. 9 Junzaburo NAKA : Physiological Studies on the Growing Process of Sweet Potato Plants (March, 1962)
- No.10 Minoru SAITO : The Geology of Kagawa and Northern Ehime Prefectures, Shikoku, Japan (March, 1962) (in English)
- No.11 Kiyoshi KOSUGI : Studies on Production and Flowering in Gladiolus (September, 1962) (in English)
- No.12 Hachiro KIRA : Hydraulic Studies on the Sedimentation in Reservoirs (February, 1963)
- No.13 Aizo NODA : Studies on the Coleorhiza of Cereals (March, 1963)
- No.14 Sin'itiro KAWAMURA : Studoj pri Ameloj de Legumenoj (March, 1963) (in Esperanto)
- No.15 Jiro ASANO : A Study on the Formation of Pine Forests on Seaside Areas, giving due Consideration to the Salt Resistance of the Seeds (March, 1963)
- No.16 Kei YAMANAKA : Studies on the Pentose Isomerases of Lactic Acid Bacteria (August, 1963) (in English)
- No.17 Masayoshi ASHIZAWA : Studies on the Drought Damage of Grape Trees in the Region of Kagawa Prefecture (March, 1964)
- No.18 Toshikazu TANI : Studies on the Phytopathological Physiology of Kaki Anthracnose, with Special Reference to the Role of Pectic Enzymes in the Symptom Development on Kaki Fruit (March, 1965)
- No.19 Takayuki TARUTANI : Studies on the Storage of Persimmon Fruits (March, 1965)
- No.20 Kunio KANO : Studies on the Media for Orchid Seed Germination (March, 1965) (in English)
- No.21 Kiyoshi YAMAMOTO : Studies on the Hybrids among the *Vicia sativa* L and its Related Species (March, 1966)

- No.22 Yoshio NAKAHIRO : Studies on the Method of Measuring the Digestibility of Poultry Feed (October, 1966)
- No.23 Hiroshi INOUE : Studies on the Fruit Development of Natsudaidai (*Citrus Natsudaidai* HAYATA), with Special Reference to Water Spot Injury (March, 1967)
- No.24 Toyoki MIYABE : Studies on the Production and the Salt Balance in Relation to Calcium Phosphocaseinate of Abnormal Milk (August, 1967) (in English)
- No.25 Murao SOGO : Studies on the Bark Lignin and Bark Phenolic Compounds (September, 1971)
- No.26 Mitsuaki OHSHIMA : Studies on Nutritional Nitrogen from Red Clover Silage (November, 1971) (in English)
- No.27 Shuzo TATSUMI : Fundamental Studies of the Chemical Forms of Calcium and Their Metabolisms in the Tree Leaves (November, 1974)
- No.28 Masaru KURETANI : Studies on the Early Summer Defoliation of Grape Vines Caused by Veinyellowing (December, 1974)
- No.29 Hisao KURATA : Studies on the Sex Expression of Flowers Induced by Day-length and Temperature in pumpkin and Watermelon (March, 1976)
- No.30 Takashi KAMADA : Studies on the Rational Estimation of Rainfall for Design Flood (June, 1976)
- No.31 Hiroyuki YAMAMOTO : Study on the Mechanism of Resistance Expression in the Crown Rust Disease of Oat (March, 1978)
- No.32 Hidetoshi OKAMOTO : Laboratory Studies on the Food Ecology of Aphidophagous Lady Beetles (Coleoptera : Coccinellidae) (March, 1978)
- No.33 Toru YAMASAKI : Studies on *p*-Hydroxyphenyl- and Syringyl Lignins (September, 1978) (in English)
- No.34 Toshihide ICHIKAWA : Studies on the Mating Behavior of the Four Species of Auchenorrhynchous Homoptera which Attack the Rice Plant (February, 1979) (in English)
- No.35 Hiroshi YOSHIDA : A Study of the Development, Structure and Management of Co-operative Groups (March, 1980)
- No.36 Yutaka ISSHIKI : Nutritional and Physiological Studies on the Function of Ceca in Chickens (March, 1980)
- No.37 Toshiaki CHUJO : Studies on the Effects of Thermal Conditions on the Growth and Quality of Fruits of Fuyu Kaki (February, 1982)
- No.38 Masanori GOI : Studies on the Flower Formation and Forcing of Some Ornamental Trees and Shrubs in East Asia (February, 1982)
- No.39 Toshiyuki MATSUI : Food Chemical Studies on Wasanbon-to Sugar (Japanese traditionally refined suger) (February, 1982)
- No.40 Yukihiko FUJIME : Studies on Thermal Conditions of Curd Formation and Development in Cauliflower and Broccoli, with Special Reference to Abnormal Curd Development (February, 1983)
- No.41 Souichi NISHIYAMA : Studies on the Water Hammer of the Air-entrained Flow in Irrigation Pipe Lines (February, 1983)
- No.42 Shigeyuki MAYAMA : The Role of Avenalumin in the Resistance of Oats to Crown Rust (October,

1983) (in English)

- No.43 Shigeru MONTANI : Early Diagenesis of Amino Acids in Marine Sediments (October, 1983)
- No.44 Masahiko ICHII : Studies on the Utility of Ratoon Traits of Rice as the Indicator of Agronomic Characters in Breeding (November, 1984) (in English)
- No.45 Ikuro KATAOKA : Studies on the Coloration of Grape Berries with Special Reference to the Regulation of Color Development by Abscisic Acid (October, 1986)
- No.46 Haruo SUZUKI : Agrometeorological Studies on the Effect on Soil Temperature, of Film Mulching and Canopy in the Upland Mulching Culture (October, 1986)
- No.47 Masayoshi MINOWA : A Study on Thermal Radiation Environment in an Open-type Livestock Barn (October, 1986)
- No.48 Masayuki FUJITA : Studies on Cytochrome P-450-Dependent Mixed Function Oxygenase in Sweet Potato Root Tissue (October, 1986)
- No.49 Michio TANAKA : Studies on the Clonal Propagation of *Phalaenopsis* through *in vitro* Culture (February, 1987)
- No.50 Atsushi HASEGAWA : Studies on the Propagation of Oriental Cymbidium (December, 1987)
- No.51 Tadasu KASAI : Studies on the Hydrolysis of Oligosaccharides of Soybeans (December, 1987)
- No.52 Shogo AOYANAGI : Studies on the Physical Properties of Residual Granitic and Andesitic Soils in Setouchi Coastal Region, Northern Shikoku (December, 1987)
- No.53 Takeshi KATAYAMA : Degradation of Lignin Substructure Model Compounds by *Fusarium solani* M-13-1 (November, 1989) (in English)
- No.54 Takuro MASUDA : Studies on the Characteristics of Masa Soil as a Medium for Tree Growth and Methods for its Improvement (October, 1990)

平成2年10月25日印刷 平成2年10月31日発行

香川県木田郡三木町

香川大学農学部

印刷所 株式会社 美巧社

高松市多賀町1-8-10