

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系自然環境学専攻
自然環境形成学分野

2007 年度
修士論文

壁面緑化への利用に向けたタケ・ササ類 3 種の生理生態的特性の把握
**Toward Effective Wall Greening: Understanding the ecophysiological
characteristics of three dwarf bamboos**

2008 年 1 月 31 日提出

2008 年 3 月修了
指導教員 横張 真 教授

66735

横道 峻平

1. 序論	3
1.1. 背景	3
1.2. 壁面緑化における問題点	4
1.3. 植物種の選定	5
1.4. 既往研究	6
1.5. 目的	7
2. 実験 1: 垂直植栽における異なる土壌水分条件下でのタケ・ササ類 3 種の生理生態的 性の把握	8
2.1. 実験方法	8
2.1.1. 実験場所	8
2.1.2. 供試植物	8
2.1.3. 実験装置の作成	8
2.1.4. 測定方法	11
2.1.5. 土壌含水率以外の要因が与える影響の検証	12
2.2. 結果・考察	21
2.2.1. 普通植栽における異なる水分条件下での生理生態的特性	21
2.2.2. 垂直植栽におけるタケ・ササ類 3 種の生理生態的特性	28
3. 実験 2: タケ・ササ類 3 種の耐風性	37
3.1. 実験方法	37
3.1.1. 実験場所	37
3.1.2. 供試植物	37
3.1.3. 実験装置の作成	37
3.1.4. 測定方法	37
3.2. 結果・考察	37
4. まとめ	41
4.1. タケ・ササ類 3 種の壁面緑化に対する有効性	41
4.2. 今後の課題	43
参考文献・参考資料	44
謝辞	46
要旨	47

1. 序論

1.1. 背景

近年、地球温暖化とともに、都市部におけるヒートアイランド現象が深刻な問題となっている。その解決策として都市内の緑地面積を増やす必要性が高まっている。しかしながら、建築物が密集した都市部において大規模な緑地を地上部に確保することは困難である。これに対して、都市部における建築物の屋上や壁面を緑化することによって日射を遮ることは直接的に有効であると考えられている。関係府省連絡会議（2004）によると、都市部においては、緑化を推進することが主要な施策として位置づけられている。この屋上緑化と壁面緑化の技術を用いれば、都市化の進行が著しい日本においても、より多くの緑化スペースを作り出すことができると考えられる。

屋上緑化と壁面緑化は、冷暖房負担の軽減効果や都市内のアメニティ形成効果をもたらしている。屋上緑化については、既に技術的には相当な蓄積が図られつつあり、民間レベルでも普及段階にある。また、制度面からも税制上の優遇措置が図られる等、屋上緑化を普及していくための技術面・制度面での整備が整いつつある。一方、壁面緑化に関しては、壁面という植物の生育環境としては極めて特殊な条件下にあり、これまでは、主に修景効果を目的とした事例が多かった。しかしながら、東京都産業労働局農業試験場編（2003）によると、最近では、環境保全面での配慮を主要な目的とし、設計段階から建築外壁の主要構造に一体化された緑化の事例も見られるようになった。このように、壁面緑化においても技術的には整備されてきたが、屋上緑化ほどではなく、知見も不十分であるといえる。すなわち、壁面緑化に関する知見を充実させるという寄与は、これからの都市環境形成において非常に有意義であると考えられる。

1.2. 壁面緑化における問題点

壁面緑化は建物の外壁温度の上昇を抑止することによる室内温度上昇抑止効果や修景効果等、様々な効果を持っており、都市部においてよく見かけられるようになってきた。しかしながら、問題点もいくつか存在する。その一つが壁面緑化に使用できる植物種数である。数年前までは、壁面緑化における使用植物は阪神甲子園球場等に代表されるツタ類がほとんどであり(渋谷,2005)、その景観の画一さが問題であった。今までの壁面緑化では、ツタ類を使用していたので、登攀型の種を用いて壁面を這わせるか、下垂型の種を用いて壁面を緑化するしかなかった。両種ともに、植物はツタ類なので、建物や壁面の構造に左右されることが多く、緑化することによって返って景観的に粗悪になってしまう例もあることが明らかになっている(武藤,2005)。しかし、近年では、壁面緑化技術の向上によって使用可能植物種が増加し、施工主の嗜好にあわせた緑化が可能になってきている。つまり、パネル型の壁面緑化基盤内に植物を生育させ、その基盤を壁面に装着させることで壁面を緑化させるのである。これにより、ツタ類のように壁面に直接登攀する能力がない植物も壁面緑化に使用できるようになった。しかしながら、施工主の嗜好に左右される壁面緑化において、その使用可能植物種数は限定されている状況であり、今後増加することが求められている(下村ら,2005)。

二つ目の問題点として、実施した壁面緑化において十分な緑被ができずに失敗してしまう事例がいくつか存在することである。壁面緑化においては、植物にとって水分と風環境が劣悪になる事例が多い(珠数ら,2005a)。最近では、自動灌水装置などでできる限り基盤内の土壌含水率を均一になるようにすることが可能になってきている。しかし、それでもなお土壌含水率の不均一が生じ、緑被に差が生じてしまう例がある。また、管理や施工コスト等はできるかぎり抑えることが望まれるので、より耐乾性の強い植物を選定することや、植栽方法を工夫することが必要となる。また、都市部におけるビル風等の強風により、つる性植物の葉の萎凋化、新芽の枯れ・変形、生長量減少が見られ、予定した緑化が失敗する例もある(珠数ら,2005b)。これは、つる性植物の葉が風により壁面に接触することや、土壌の乾燥等による水ストレスが起こったためである。

これらの失敗は、壁面緑化を実施する前に使用する植物種の生理生態特性を十分に把握しないまま、経験則で実施してしまっていることが起因となっている。よって、壁面緑化という、植物にとっては異例の生育環境における植物の生理生態的特性を種毎に把握する必要があると考えられる。

1.3. 植物種の選定

使用する植物種に関して、どの植物でも使用できるわけではなく、壁面緑化に向いている植物を選定する必要がある。地被植物に求められる特性としては、①高さ 50cm 以下に維持できる、②できるだけ常緑多年生である、③地表を密に被覆できる、④成長が早い、⑤地下茎、ほふく茎等で旺盛に繁殖する、⑥地上部の広がり大きいだけでなく地下部も深く広がりが大きい、⑦葉・花あるいは果実の形や色が美しい、⑧無害である、⑨なるべく維持管理を必要としない、⑩病虫害に対して丈夫である、等が挙げられる（近藤,1980）。岡田ら（2005）によると、立面緑化に用いる植物として常緑の植物が最も好ましいことが明らかとなっている。また、同じ研究により、立面緑化を実施している住民はその使用植物を選定した理由として、壁面や塀のデザインに合うことや、その植物が好きだからという項目が高い回答率を示すことが明らかとなっている。つまり、壁面緑化に用いられる植物は嗜好に左右されるということである。以上の項目を考慮すると、植物としての機能が壁面緑化に適していることと、地被植物としてある程度の需要が確保されていることが、壁面緑化に使用する植物を選定する上で重要になると考えられる。

以上を踏まえると、タケ・ササ類が一つの候補として挙げられる。タケ・ササ類は上述の地被植物に求められる特性の多くが認められる。また、タケ・ササ類は刈り込みに対して強い種が多いことなど、壁面緑化においても求められる特性を持っている。その中で、タケ・ササ類が持っている壁面緑化に有効な特性として、その地下茎による旺盛な繁殖が挙げられる。この特性を利用することによって、土壌含水率の不均衡が起きるといった壁面緑化の問題を解消することができると考えられる。つまり、他の植物にはない地下茎という形態が旺盛に伸長することで、緑化基盤内における苗周辺の土壌含水率の差をなくし、均一な緑被が可能になると考えられる。また、タケ・ササ類による緑化は日本のいたる場所で見受けられる。折からの重要の増加に伴って、地被植物としての小型タケ・ササ類のポット苗生産量は飛躍的に向上している。以上より、これらの特性を持つタケ・ササ類は壁面緑化に適していると考えられる。よって、本研究では、壁面緑化に利用する植物としてタケ・ササ類を選定する。

1.4. 既往研究

壁面緑化に関しては、屋上緑化に比べて技術開発や普及に関して遅れをとっている状態である。現在までに行われてきた壁面緑化に関する研究の多くが、環境負荷軽減に着目したものが多く。例えば、梅干野ら（1985）は、ツタによる西日遮蔽に関する効果を検証するため、ツタの西日遮蔽効果を実験的に検討し、外壁の表面温度上昇は、直接日射を受けた西壁の値と比較して、最大時で 10℃近く低くなることを報告している。また、野島ら（1993）は、壁面緑化による夏期の壁面温度上昇の抑止効果について、緑被された壁面と緑被されていない壁面の温度、壁面での熱流の経時変化を計測するとともに、葉からの蒸散量の計測を行った結果、壁面緑化により壁面の表面温度は約 10℃低下し、蒸散量の経時変化と壁面緑化による壁面表面温度の低減量の経時変化との相似性を指摘している。これらの研究は、建築物の壁面温度や日射の遮蔽等が建築物の内部環境に与える負荷軽減に重きが置かれている。その他に、アンケート調査による壁面緑化に関する研究も行われている。鈴木ら（2005）と佐久間ら（2001）は壁面緑化の設計・施工・管理を行っている造園・緑化会社や壁面緑化を行っている住民へのアンケートを通して、壁面緑化に好まれる植物種や維持管理の必要性、技術開発の必要性等を明らかにしている。これらの壁面緑化に関する多くの研究が行われているが、壁面緑化における植物の生育に関する研究は見受けられない。壁面緑化という植物にとっては極めて特殊な生育環境において、植物がどのような生理生態的特徴を示すのかを明らかにすることは、今後の壁面緑化の発展を考慮すると必要な知見であると考えられる。

タケ・ササ類に関する研究は数多くなされている。柴田（1987a）と柴田（1987b）は、ササの生理生態的特性を把握するため、植栽初期におけるクマザサ、オカメザサ、オロシマチクの地下茎の季節的な動きを調査し、それぞれの伸長時期、伸長量を明らかにした。また、柴田（1992）は、植栽地におけるササの管理方法を検討するため、クマザサ、アケボノザサ、ヤクシマザサを用いて、当年生稈が出筍してから枯死するまでの地上部の変化を調査し、分枝能力や着葉数の季節変化を明らかにした。柴田（1984）は、地被植物としてのササを利用するための基礎研究として、土壤水分条件の違いに対するオロシマチク、ミヤコザサ、コグマザサおよびオカメザサの耐乾性を明らかにした。近藤ら（1982）、成ら（2001）、張ら（2004）は、タケ・ササ類以外にも多くの植物における耐乾性を明らかにしている。しかしながら、これらの研究は、普通の植栽地における生理生態的特徴に関する研究であり、壁面緑化という特殊な植栽地においてササがどのような生理生態的特徴を示すのかを明らかにした研究はない。また、浅野ら（1983）は、海岸付近の強風を受けるササの生育型を明らかにした。しかしながら、タケ・ササ類が強風によりどの程度の生育阻害を受けるのかを明らかにした研究はない。

1.5. 目的

以上より、本研究は、壁面緑化への利用に向けたタケ・ササ類の生理生態的特性の把握とその有効性を明らかにすることを目的とする。そのために、壁面緑化において生じやすい土壌不均衡におけるタケ・ササ類の生理生態的特性と強風への耐性を明らかにする。具体的には、垂直にではなく普通に植栽した場合のタケ・ササ類が示す生理生態的特性と壁面緑化を想定した垂直植栽におけるタケ・ササ類の生理生態的特性を明らかにすることで、土壌含水率が不均一になりやすい壁面緑化におけるタケ・ササ類の生理生態的特性を明らかにする。また、長時間強風を当て続けることによって、タケ・ササ類がどの程度の耐風性を持っているのかを明らかにする。これらを合わせて、壁面緑化に対するタケ・ササ類の有効性を検討する。

2. 実験 1：垂直植栽における異なる土壌水分条件下でのタケ・ササ類 3 種の生理生態的特性の把握

2.1. 実験方法

2.1.1. 実験場所

実験の場所として、東京大学新領域創成科学研究科先端生命科学専攻遺伝子実験施設内の北側フェンス沿い（南向き）を選定した。植物の光合成能力を中心とする生理生態的特性を把握するために、8～10月初旬にかけて計測を行った。

2.1.2. 供試植物

本実験には、クマザサ (*S.veitchii*)、オカメザサ (*S.kumasaca*)、アケボノザサ (*Pargenteo-striatus f.akebono*) の 3 種を用いた。クマザサとオカメザサについては、現在地被植物としての使用頻度が高いこと、アケボノザサについては、今後の高い使用頻度が期待されているので選択した。それぞれの種を図 1 に示す。クマザサはササ属、オカメザサはオカメザサ属、アケボノザサはメダケ属である。クマザサとアケボノザサはササ類に含まれるが、オカメザサはタケ類に含まれる。



図 1. 供試植物（左からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ）

2.1.3. 実験装置の作成

図 2 のように、木製枠（奥行き 25cm、横幅 25cm、高さ 25cm）を使用し、普通植栽と垂直植栽を設定した。タケ・ササ類 3 種を各 6 ポットずつ植栽した。土壌は実施されている緑化事例を考慮し、使用する土壌は黒土：ピートモス＝8：2 で混ぜ合わせたものにした。土壌水分条件は、対照区 pF1.5、弱乾燥区 pF2.0～2.4、強乾燥区 pF3.5 の 3 条件を設けた。7 月は根付かせ期間とし、苗を土壌に根付かせた。実験では土壌水分をコントロールするため pF 値を用いる。pF 値とは土壌から水分を引き離すのに必要な力を水中の高さの対数で

示したもので、土壌の水分状態の指標とすることができる。本実験を始める前に使用する土壌の水分特性を把握しておく必要があるので、pF 価 1.0~3.5 と土壌含水率 (θ) の関係を吸引法と加圧板法を用いて明らかにした。また、ふるいにかけたもの（ふるい土）とかけないもの（生土）の 2 種を用意し、その違いを検討した。その結果を以下に示す。ふるい土と生土の土壌水分特性を図 3 に示す。t 検定を行った結果、ふるい土と生土には有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。よって、本実験においてはふるいにかけずに黒土とピートモスを混合した土壌（生土）を使用することにした。図 4 は、HYDROSENSE のキャリブレーションの結果である。以上の結果より、本実験で設定する pF1.5、2.0~2.4、3.5 は HYDROSENSE での数値としてはそれぞれ 49%、40%、23%前後になることが明らかとなった。本実験においてはこれらの数値を目安に水分調整を行った。



図 2. 普通植栽と垂直植栽の実験装置（上が普通植栽）

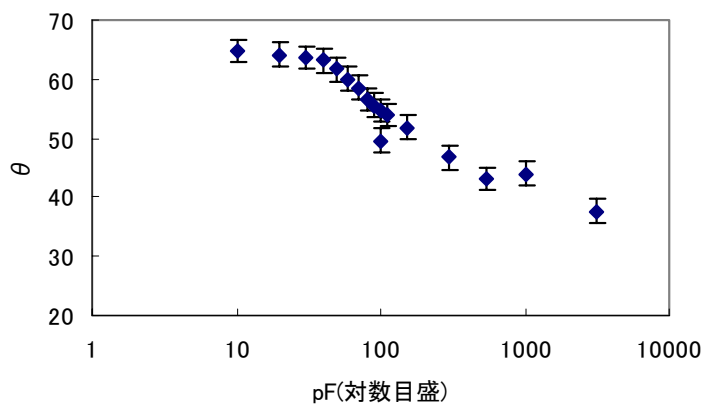
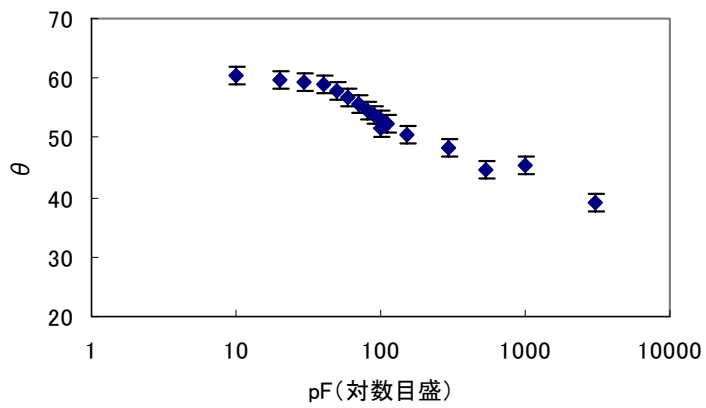


図 3. ふるい土と生土における水分特性（上がふるい土）

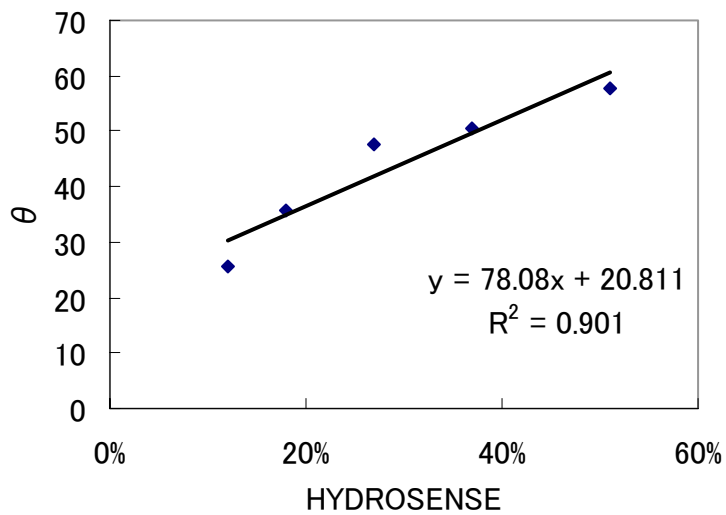


図 4. HYDROSENSE のキャリブレーション

2.1.4. 測定方法

各水分条件区は、HYDROSENSE のセンサー（センサー長 12cm）を普通植栽においては地面に垂直方向に、垂直植栽においては地面に水平に差し込んだ時の値を計測した。垂直植栽においては、実際の壁面緑化を想定して、各水分条件間を隔てるものは用意せず、土壤が一繋がりになっている状態にした。よって、pF 値の示す値の意味が異なるので、普通植栽の pF1.5 を A1、pF2.0~2.4 を A2、pF3.5 を A3 とし、垂直植栽の pF1.5 を B1、pF2.0~2.4 を B2、pF3.5 を B3 とする（図 5）。

8 月から 10 月におけるそれぞれの条件の光合成蒸散速度を計測した。また、各条件の形態変化（葉生乾重量、葉数、稈数、稈高、稈直径、地下茎生乾重量、地下茎長、根重量）を 10 月上旬に計測した。光合成蒸散速度に関しては、携帯型光合成蒸散速度測定装置（LI-6400 Li-Cor 社製）を用いた。測定毎に人工光源によって $1000 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光を照射してそのときの光合成蒸散速度を計測した。

以上より得られたデータのうち、普通植栽における各水分条件区を比較することで、本来のタケ・ササ類 3 種の生理生態的特性（耐乾性）を明らかにする。それを踏まえて、垂直植栽における各水分条件下の生理生態的特性を考察する。

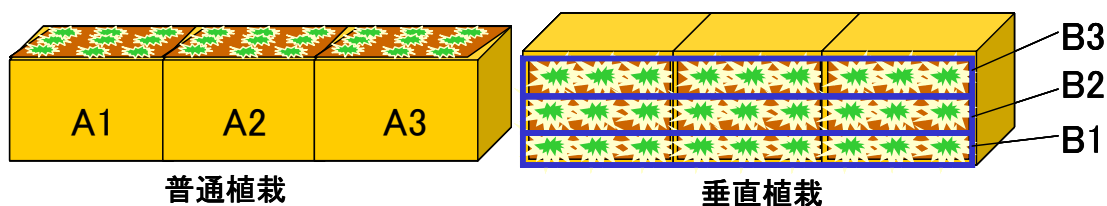


図 5. 普通植栽と垂直植栽における実験模式図

2.1.5. 土壌含水率以外の要因が与える影響の検証

本実験は、土壌含水率を制限要因とし、普通植栽と垂直植栽におけるそれぞれの条件でのササの生理生態的特性を把握する。よって、本実験装置において、土壌含水率以外の要因がタケ・ササ類の光合成特性や生育に影響を与え得るのかを検証する必要がある。ゆえに、以下にア) 光量子束密度 (PPFD)、イ) 地下茎や根の伸長方向、ウ) 垂直植栽によるストレスの3要因がもたらす影響に関して検証を行った。

ササ3種を普通植栽と垂直植栽に設定し、それぞれ6ポットずつ、垂直植栽については、上段と下段に分け、それぞれ3ポットずつ植栽した。

ア) 光量子束密度は葉が光合成に利用できる光の量を示す指標であり、これに関しては、植栽方法の違いによって、葉が利用できる光の量に違いが出るのかを検証する必要がある。そのため、それぞれの植栽方法で葉が受ける光の量を測定し、タケ・ササ類3種において光合成能力に違いが出るのかを検証した。光量子束密度は照度計(東京光電社製)と換算式(星,1996)により算出した。垂直植栽において、植栽されたポット苗は、葉を地面と垂直な面に向けているので、光量子束密度の測定は照度計を地面に垂直に向けて計測した。

イ) 地下茎や根の伸長方向に関しては、実験装置の構造の影響で、地下茎の伸長が妨げられていないかを検証する必要がある。そのため、普通植栽と垂直植栽で生育した苗の地下茎と根を観察し、その影響を確かめた。

ウ) 垂直植栽によるストレスに関しては、垂直にすること自体がストレスとなって光合成能力や生育に影響を与えていないかを検証する必要がある。そのため、十分な灌水を施しながら普通植栽と垂直植栽で生育させた苗の光合成能力と形態変化を計測し、その影響を検証した。

その結果を以下に示す。

まず、ア) 光量子束密度について。図6に普通植栽と垂直植栽の葉が受ける光量子束密度のグラフを示した。このグラフより、垂直植栽における葉面が受ける光量子束密度は普通植栽に比べ小さいことが判明した。そこで、各種の光合成曲線を作成し(図7)、垂直植栽における光量子束密度との関係を考察した。その結果、3種共に $500\sim 700\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ で十分な光合成を行えることがわかり、垂直植栽による光量の減少が直接的にササの光合成能力を低下させることはないと考えられた。また、高い光合成能力を示すことができる $500\sim 700\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の光量を受ける時間の長さが、普通植栽と垂直植栽とでは異なるので、1日における光合成量に大きな差が生じることが考えられる。しかしながら、 $1500\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ を越える光量を受ける普通植栽においては、日中は葉内水分の蒸発を防ぐために気孔を閉じるのでほとんど光合成を行わないので、普通植栽と垂直植栽において1日における光合成量に明らかな差が生じることが考えられない。

次に、イ) 地下茎や根の伸長方向について。普通植栽に関しては、根は下方に伸長するので、伸長量に影響は出ないが、地下茎は、通常地面に垂直方向に伸長するので、十分な

伸長スペースがないといえる。よって、その影響により、光合成能力や生育に影響がでるかもしれない。また、垂直植栽の下段においては、通常下方に伸長する根の伸長スペースがない。よって、根の伸長量や水の吸水能力に影響がでると、光合成能力に影響がでることが考えられる。しかしながら、実際に両植栽方法の苗を観察してみると、普通植栽においては、地下茎と根を含む地下部は下方に伸長していた。また、垂直植栽においても、地下部はしっかりと水平方向に伸長しており、目視からは生育に影響が観察されなかった。つまり、本実験における植栽方法が地下部の伸長に対して致命的な影響を与えることはないと考えられる。

次にウ)について。まず、普通植栽と垂直植栽における光合成能力を比較すると、図 8-a,b,c のようなグラフが得られた。クマザサとオカメザサに関しては、図 8-a,b より、垂直植栽によって普通植栽と比べて光合成能力が大きく劣るということではなかった。垂直植栽において、実験開始から光合成能力が実験開始時の 1 より下回ることはなかったので、垂直植栽にすること自体が直接的に光合成能力に影響をもたらすことはないと考えられる。アケボノザサに関しては、図 8-c より、垂直植栽にすることによって、普通植栽よりも光合成能力が低い値を示すことが分かった。しかしながら、上述の 2 種と同様に、垂直植栽において光合成能力が実験開始時の 1 を下回ることはなく、やはり、垂直植栽による光合成能力への直接的な影響はないと考えられる。

では、なぜアケボノザサにおいては、普通植栽と垂直植栽において明確な光合成能力の違いが表れたのであろうか。ここで、各形態の変化量(図 9)を見てみると、普通植栽におけるアケボノザサの地下茎と根が垂直植栽よりも大きく伸長していることがわかる。つまり、普通植栽におけるアケボノザサは地下茎と根を伸長させることで、より多くの水分を土壤中から吸収することができるようになったので、より高い光合成能力を示すことができたと考えられる。しかしながら、地下茎の伸長は見られないが、根の伸長が見られるオカメザサについては、光合成能力の顕著な向上は見られない。これは、葉の光合成能力のポテンシャルが関係しているのではないだろうか。つまり、地下茎や根の伸長によって、更なる水分の吸収が可能になったとしても、葉内の葉緑体が消費できる水分の閾値を越えてしまった、言い換えれば、既に最大限の光合成能力を発揮していたので、結果的に光合成能力の値としては大きくならなかったのではないだろうか。よって、最大限の光合成能力によってできた養分は、グラフから読み取れる稈数の増加や葉枚数の増加に使用されたと考えられる。

また、アケボノザサにおいて、実験途中に害虫による被害が観察され(図 10)、その頃から明らかな光合成能力の低下が見られた。よって、アケボノザサに見られる垂直植栽における光合成能力の急激な低下は、害虫による葉へのダメージが原因であると考えられる。

以上のア)～ウ)の考察より、光量子束密度、地下部の伸長方向、垂直植栽によるストレスが本実験における測定項目に影響を与えることはないと考えられた。よって、本実験

において、土壌含水率を制限要因とし、光合成能力と形態変化を中心に生理生態的特性を把握することは可能であると考えられる。

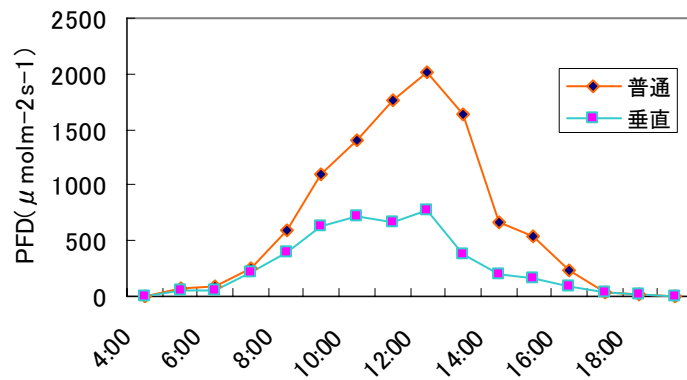


図 6. 普通植栽と垂直植栽における葉面が受ける光量子束密度

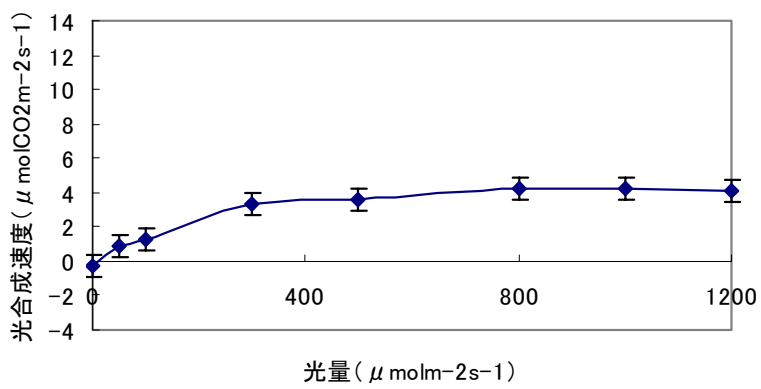
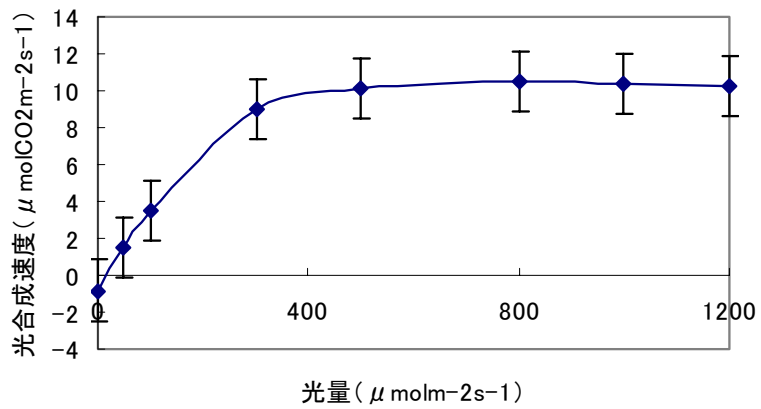
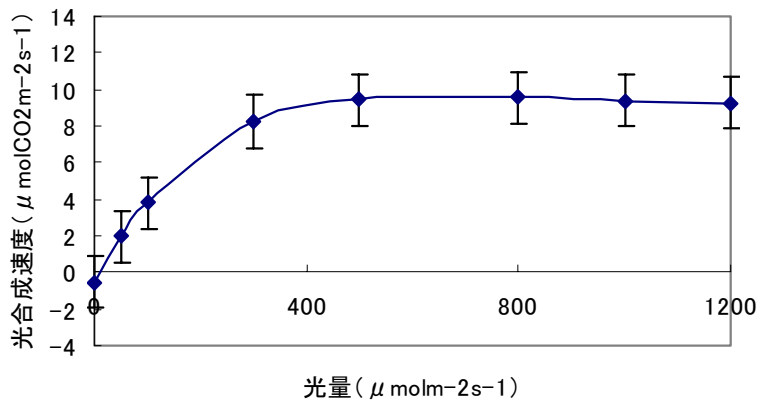


図 7. クマザサ、オカメザサ、アケボノザサの光合成曲線（上からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ）

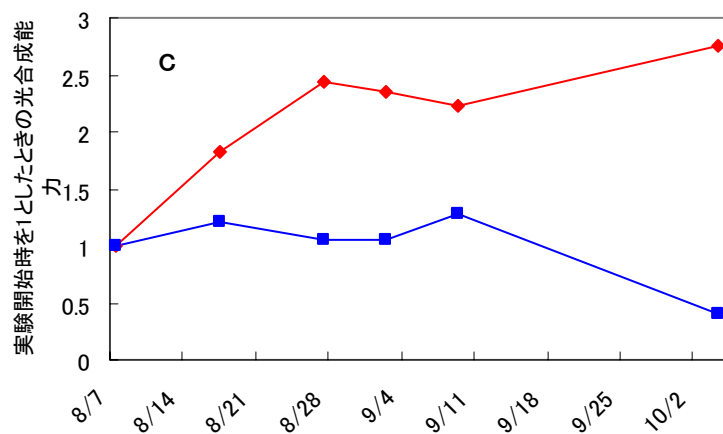
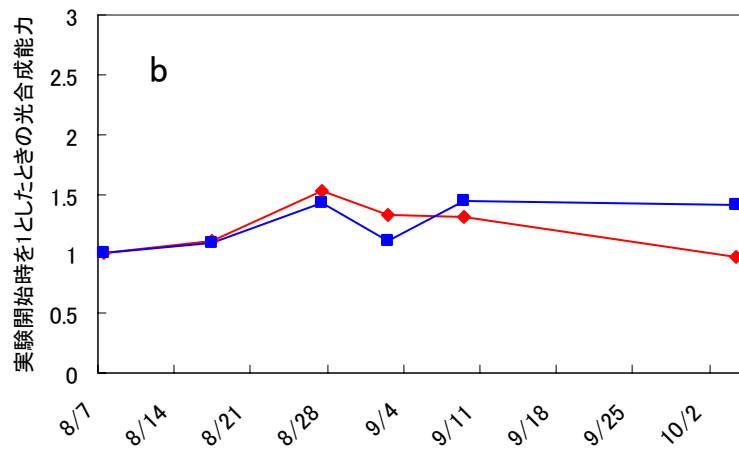
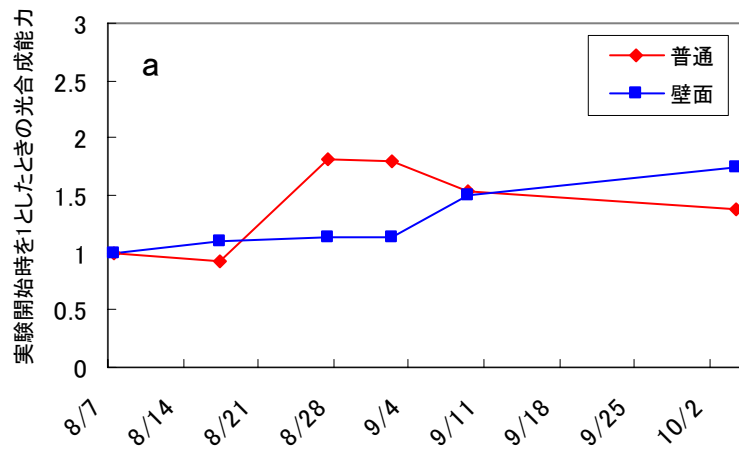
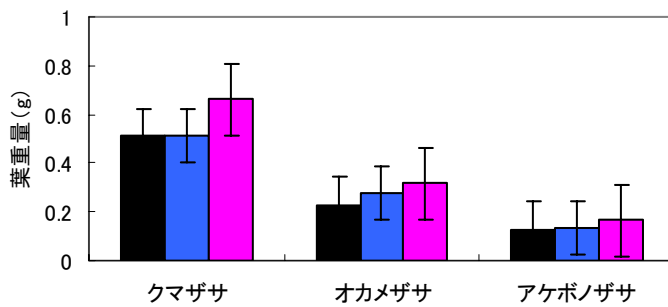
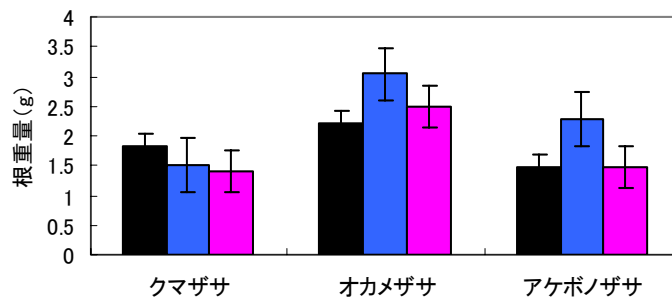
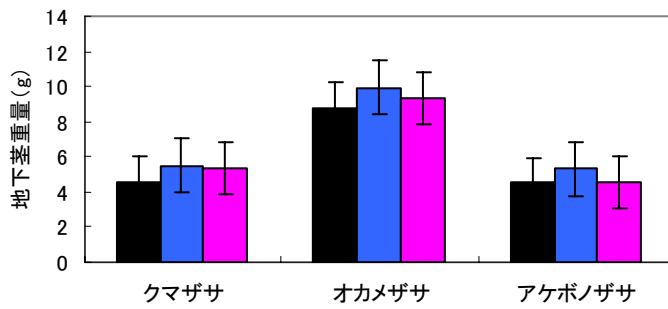
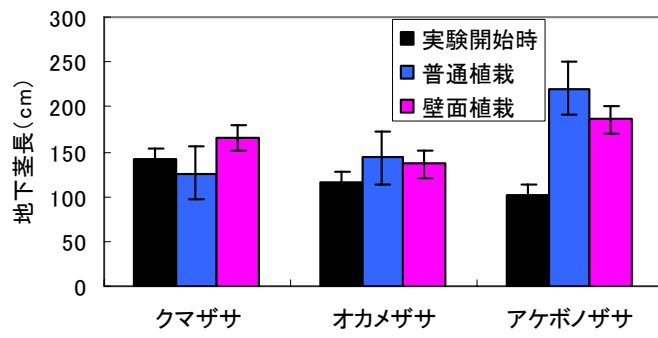
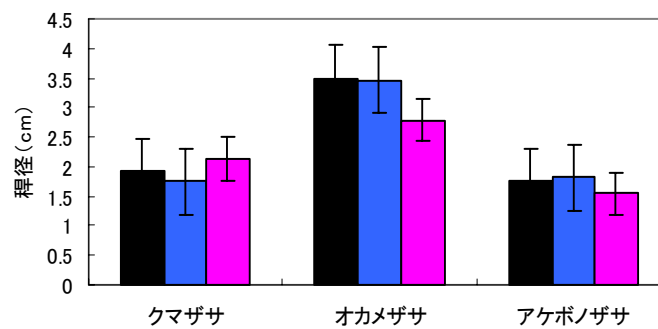
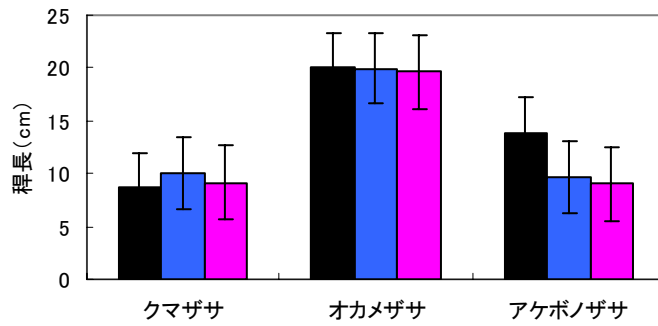
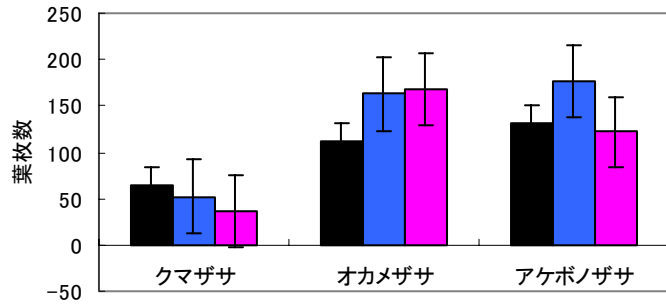
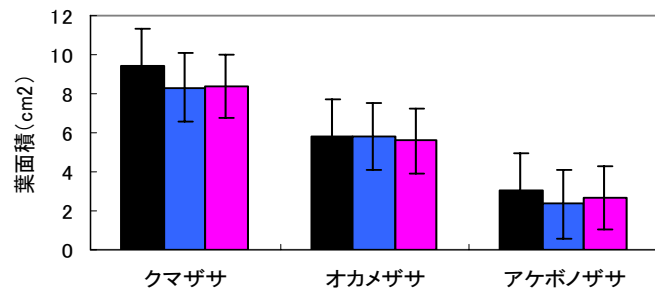


図 8. タケ・ササ類 3 種の普通植栽と垂直植栽における B1 の光合成能力(上からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ)





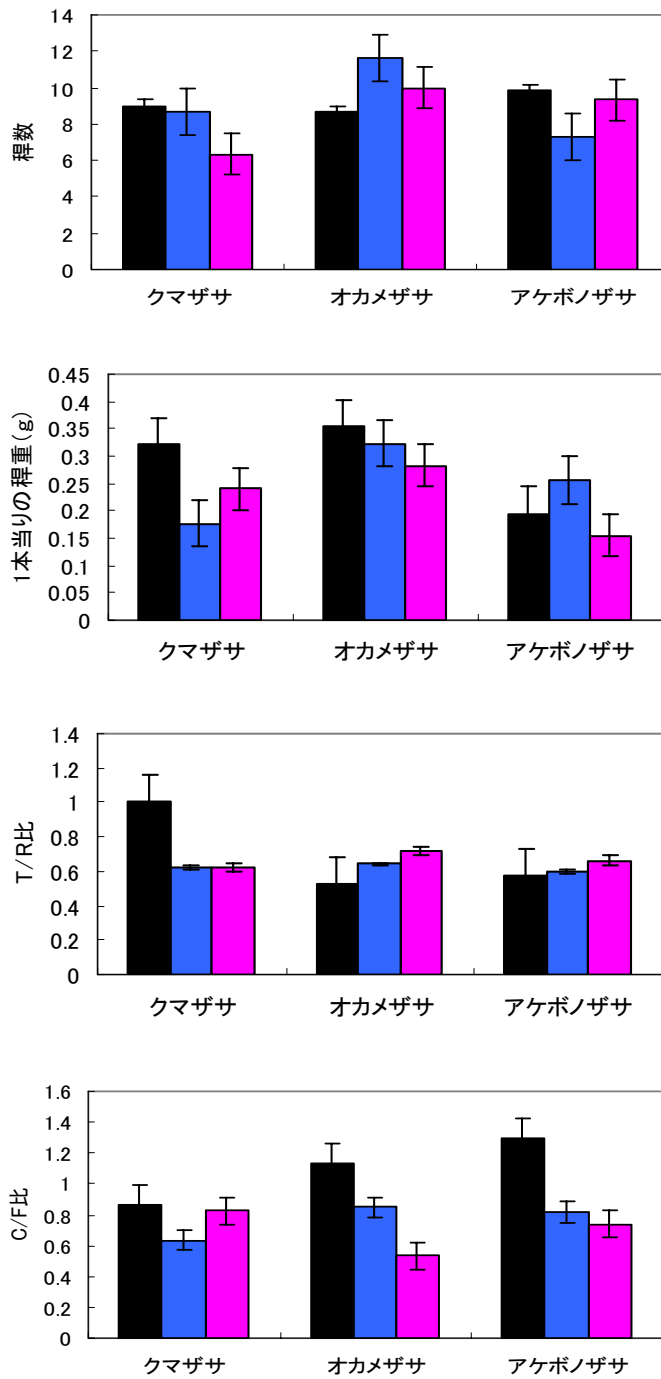


図 9. タケ・ササ類 3 種の普通植栽と垂直植栽における B1 の各形態変化



図 10. 害虫により斑点状の障害が観察された葉

2.2. 結果・考察

2.2.1. 普通植栽における異なる水分条件下での生理生態的特性

まず、普通植栽における各水分条件区を比較し、本来のタケ・ササ類 3 種の耐乾性を考察する。図 11 に普通植栽における各水分条件下の光合成能力を示した。図 11 より、まず、3 種ともに A3 では明らかに低い光合成能力を示すことがわかった。また、A1 と A2 においてはほとんど変わらない値を示した。特にオカメザサ、アケボノザサの A3 において 9 月の下旬に光合成能力が向上していることがわかるが、これは、実験装置に施していた雨避けのカバーが台風により飛ばされてしまい、降雨による灌水が施されてしまったためであると考えられる。よって、それ以前の値で考察するのが妥当であると考えられる。また、9 月下旬から 10 月初旬にかけての光合成能力の落ち込みは季節的な影響であると考えられる。

次に形態変化について考察する。図 12 に普通植栽におけるタケ・ササ類 3 種の各形態変化を示した。まず、クマザサについて。稈については、A2 において新稈の出筈による稈数の増加が見られた。しかしながら、1 本当りの稈重量が他区に比べ低い値を示した。つまり、新稈の重量が旧稈に比べて軽量であると考えられる。稈長も他区に比べて短いことや 10 月初旬の計量時にまだ開葉していない稈もあったことから、生長途中であったことが示唆された。地下茎に関しては、A1 が他区よりも長かったが、どの実験区においても顕著な伸長は観察されなかった。根については、どの区も明確な伸長をみせなかった。葉については、A3 において枯死による葉枚数の減少が見られた。また、乾燥するに従って、葉面積の減少が見られた。これは、葉面積の計測において、斑の部分を除いて計測しているからであると考えられる。植物は乾燥条件になると、葉面積を減少させ、葉厚を増加させることで乾燥から耐えようとするが、本実験において葉厚はほぼ変化していないので、実験期間中に上述の耐乾性を示したとは考えられない。A3 における突出した C/F 比に関しては、顕著な葉枚数の減少が原因であると考えられる。

次に、オカメザサに関して。稈については乾燥による顕著な被害は見受けられなかった。地下茎と根については、すべての区において伸長が見られた。葉については、A2 において顕著な葉枚数の増加が観察された。T/R 比、C/F 比にみられる A2 の特異性はこの葉枚数の増加によるものであると考えられる。以上より、オカメザサにとっては、本実験条件においては A2 が生育に最適であると考えられる。

最後に、アケボノザサについて。稈については、クマザサと同様な観察結果が得られた。つまり、A2 において、新稈の出筈による稈数の増加が見られたが、1 稈当りの重量は軽量であったため、生長途中であったことが示唆された。地下茎に関しては、どの区においても伸長がみられた。しかしながら、地下茎の重量は実験開始時と変わらない値を示していたので、非常に細く、密度の低い地下茎であることが示唆された。また、根に関しては A1 のみで顕著な伸長は見せ、他条件区は根の伸長は観察されず、地下茎のみが伸長したこと

がわかった。葉に関しても A1 においてのみ増加がみられ、乾燥するに従い落葉することがわかった。この落葉が A3 における T/R 比の落ち込みに影響していると考えられる。以上より、アケボノザサにとっては、今回の実験の中では A1 が最適な生育条件であることが示唆された。

柴田^{14,15)}によると、クマザサの地下茎は 6 月と 9 月に旺盛な伸長を示す。オカメザサは 7～10 月に示す。アケボノザサについては、オロシマチクと同属のため同じような挙動を示すと考えると、地下茎は 6 月から 8 月初旬にかけて旺盛な伸長を見せることがわかっていいる。本実験では、7 月を根付かせ期間とし、それぞれの実験区において十分な灌水を行い、8 月から 10 月までの間は土壌含水率をそれぞれの条件に設定した。以上のことを踏まえて、以下に地下茎に関する考察を行う。クマザサの A3 においては、7 月の根付かせ期間における十分な灌水があったが、地下茎が伸長する時期である 9 月には十分な土壌含水率ではなかったため、地下茎を伸長させることができなかったと考えられる。A1 においては、根付かせ期間に根の伸長はみられなかったが、9 月においても十分な土壌含水率であったため、地下茎が伸長できたと考えられる。また、A1、A2 の光合成能力の結果より、8 月下旬に光合成能力の向上がみられる。これは、柴田¹⁴⁾の研究における、ミヤコザサ（クマザサと同属）は生育に pF1.0～2.0 の土壌水分が必要である、つまり pF1.0～2.0 の間であれば正常に生育できるという実験結果に一致していると考えられる。加えて、本実験においては、柴田¹⁴⁾より明らかとなったクマザサの地下茎の伸長は 9 月ではなく 8 月の下旬に始まっていたと考えられる。オカメザサに関しては、すべての区において地下茎と根の伸長がみられた。これは 7 月の根付かせ期間内に地下茎と根が旺盛な伸長をみせ、8 月以降はその伸長は沈静化したと考えられる。アケボノザサについても、オカメザサ同様、7 月の根付かせ期間内に地下茎と根の旺盛な伸長が起こり、8 月以降は沈静化したと考えられる。このアケボノザサにおいても、柴田¹⁴⁾の研究結果における、オロシマチク（アケボノザサと同属）は乾燥条件 pF3.4 で葉枚数が減少するという点で一致している。以上より、クマザサはミヤコザサと、アケボノザサはオロシマチクと同じ挙動を示すと考えると、本実験で示されたタケ・ササ類 3 種の耐乾性は、柴田¹⁴⁾の実験結果に近似していると考えられる。これらの結果を踏まえて、次項では、壁面緑化を想定した垂直植栽におけるタケ・ササ類 3 種の生理生態的特性を明らかにする。

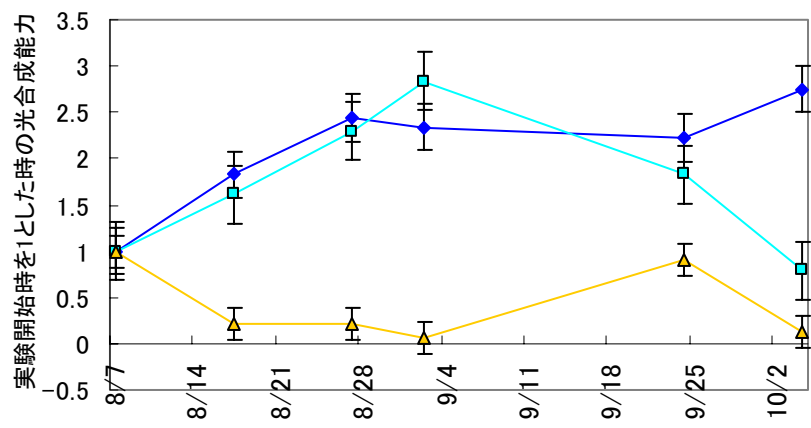
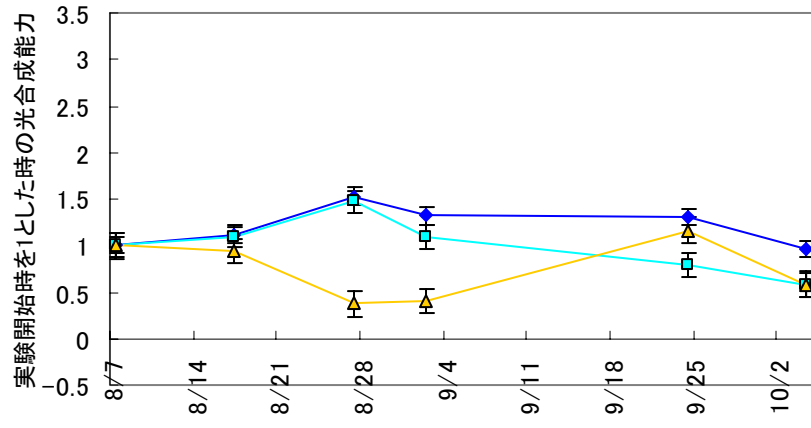
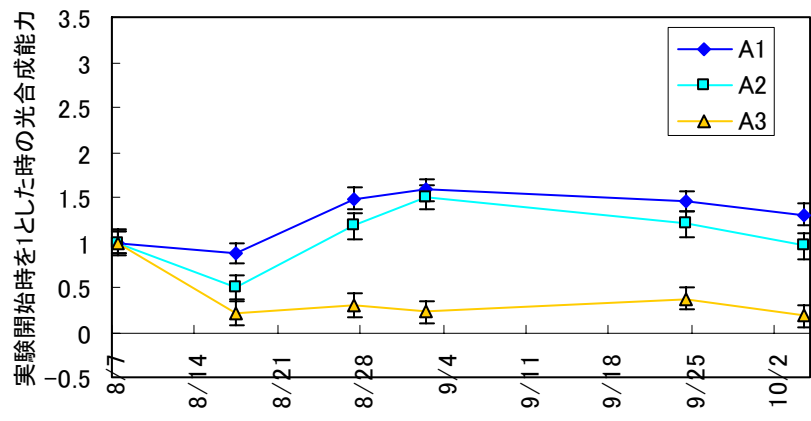
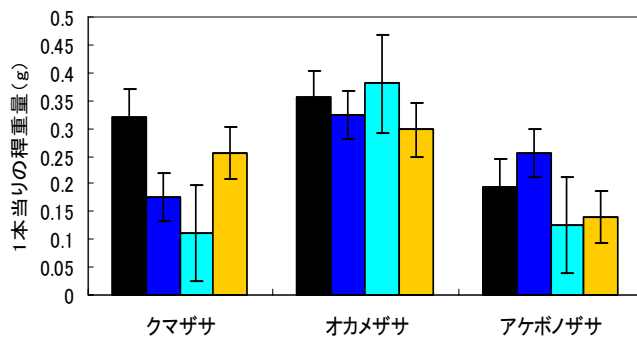
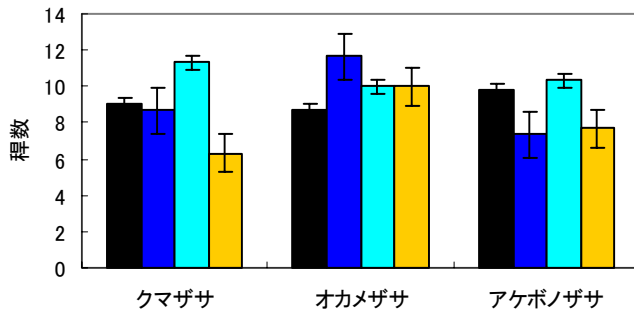
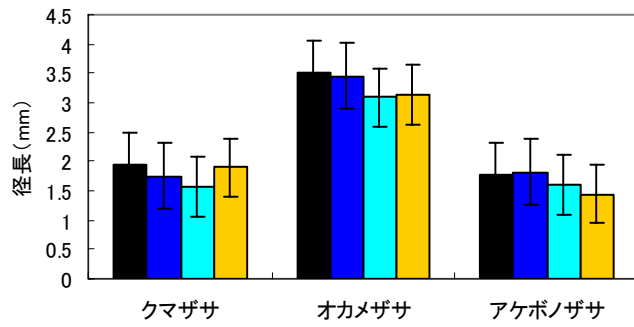
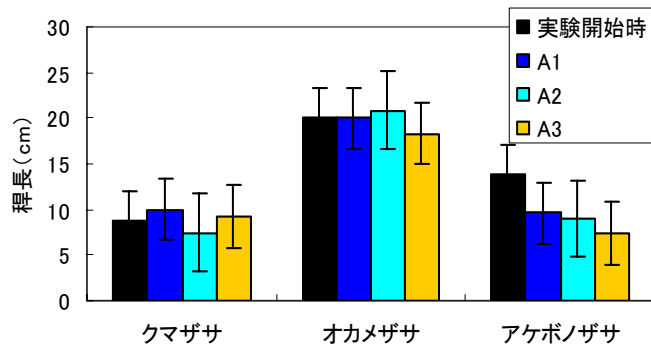
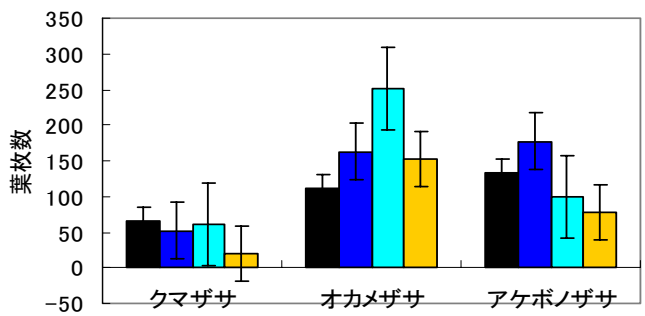
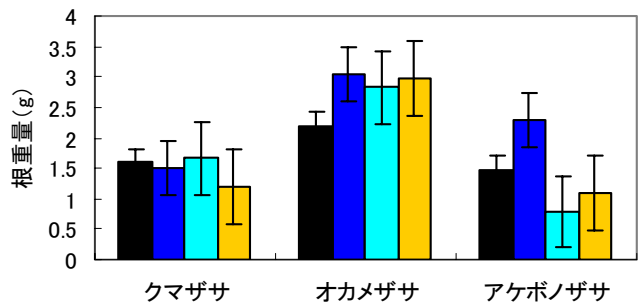
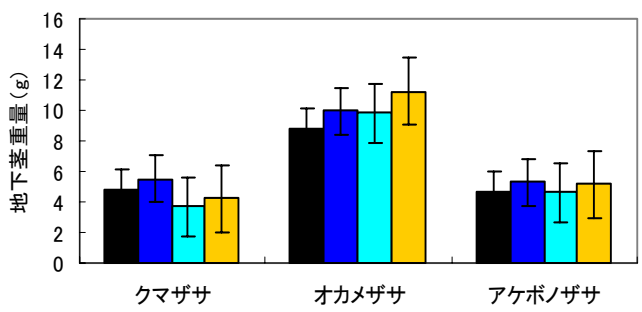
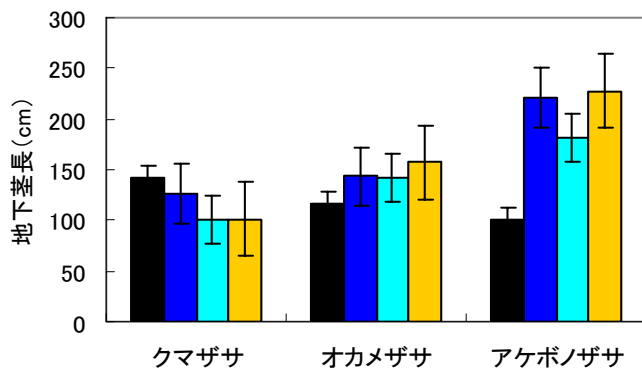
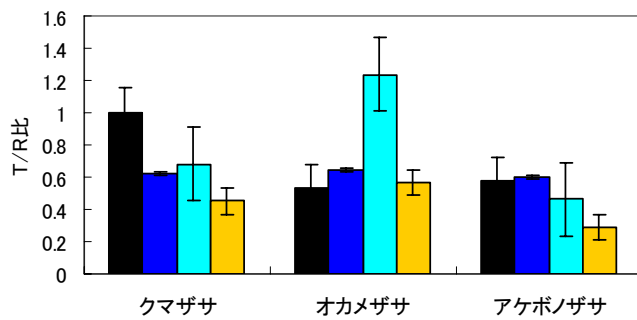
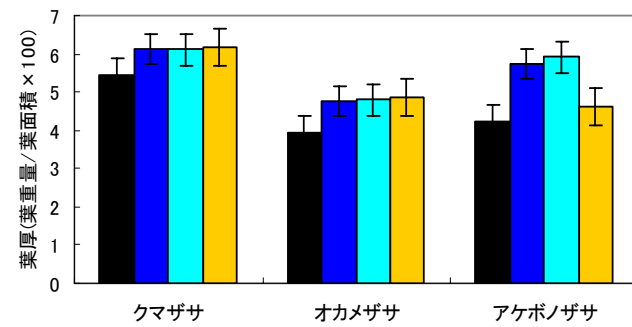
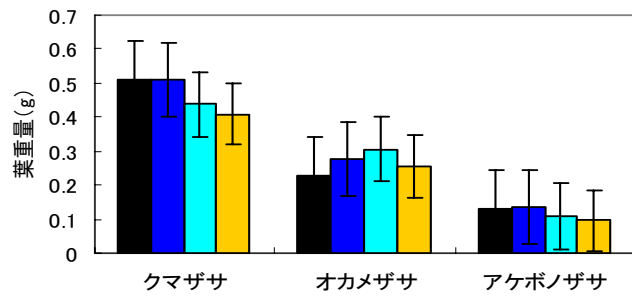
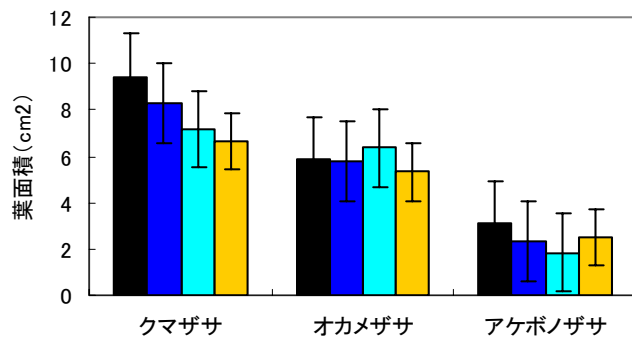


図 11. 普通植栽におけるクマザサ、オカメザサ、アケボノザサの光合成能力（上からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ）







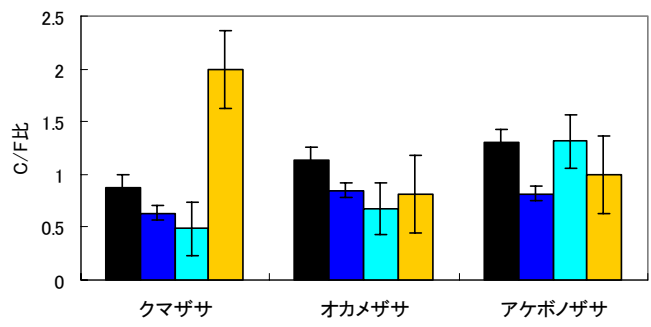


図 12. 普通植栽におけるタケ・ササ類 3 種の各形態変化

2.2.2. 垂直植栽におけるタケ・ササ類 3 種の生理生態的特性

次に、垂直植栽における各水分条件下の生理生態的特性を明らかにする。図 13-a,b,c に垂直植栽におけるタケ・ササ類 3 種の光合成能力を示し、図 14 にそれぞれの形態変化を示した。普通植栽では A3 において極端な光合成能力の低下が見られたが、図 13 より、3 種ともに垂直植栽の B3 においては光合成能力が低下せず、種によっては他区よりも高い光合成能力を示したことがわかった。これは、B3 でも B1 や B2 とほぼ同量の水分を吸収することができたからであると考えられる。つまり、本実験装置の構造とササの根を含む地下茎が関係していると考えられる。本実験において、垂直植栽装置は普通植栽装置を横に寝かした状態であり、水分条件は高さで区分した。各水分条件間を隔てる装置はないので、土壤が一繋がりになっている状態である。この状態で、ササの上部の根が下方に伸長すると十分な水分吸収が可能になると考えられる。つまり、B3 の地下茎や根が下方の B1 まで伸長させることで水分確保を実現したことが示唆された。

そこで、以下に、タケ・ササ類 3 種の形態変化の結果と考察を示す。まず、クマザサについて。稈に関しては、B3 において顕著な新稈の出筈による稈数の増加がみられたが、これらの稈は普通植栽におけるクマザサ B2 と同様、1 稈当りの重量は軽量であったため、生長途中であったことが示唆された。地下茎に関しては、どの実験区においても普通植栽よりも伸長していたが、伸長差はみられなかった。根に関しては、B3 において顕著な伸長がみられた。苗を掘り起こして目視で観察したところ、図 15 のように、地下茎は地面と水平方向に伸長しており、やはり B3 での根の伸長量が特徴的であった。ここでの根の伸長は、ポット内に納まっていた地下茎から出ている根の伸長と、地面と水平方向に新たに伸長した地下茎から出ている根の伸長が含まれる。葉に関しても、B3 において新稈による葉枚数の増加が見られ、葉重量の増加も観察された。よって、クマザサにとっては、B3 が最も生長を示した区となった。これは以下のような成長過程によることが予想される。7 月の根付かせ期間に、ポット苗に収まっていた地下茎から出た根が実験装置下方に伸長することによって水分を吸収した。8 月下旬に、地下茎が地面と水平方向に伸長した。そして、その伸長した地下茎から新たな根が伸長し、実験装置下方の水分を十分に吸収することができた。下方の水分を十分に吸収できるようになり、光合成能力が向上した（図 13-a）。その結果、葉枚数や葉重量の増加に繋がったと考えられる。

次にオカメザサについて。稈に関しては、乾燥するに従い、新稈の出筈による稈数の増加が見られた。地下茎と根に関しては、B3 において旺盛な伸長が見られた。苗を掘り起こし目視による観察を行うと、図 15 のように、地下茎は地面と水平方向に伸長し、根が地面と垂直方向に伸長していた。よって、7 月初旬から旺盛な地下茎の伸長を見せるオカメザサにとって、根の伸長できるスペースが大きい B3 において、根が最も伸長できたと考えられる。葉に関しては、B3 における葉枚数の増加が顕著であった。よって、オカメザサは 7 月初旬から地下茎が旺盛に伸長し、8 月初旬からの光合成能力の測定時には下方の水分を十分

に吸収することができた。その結果、B3においても他区と変わらない光合成能力を発揮できたと考えられる（図 13-b）。そして、それらの地下部の伸長と活発な光合成活動によって葉枚数の増加がみられたと考えられる。

最後に、アケボノザサに関して。稈については、他種と同様に B3 において新稈の出筈による稈数の増加が見られた。地下茎に関しては、すべての区において旺盛な伸長をみせたが、特に B3 においてその伸長は顕著であった。根に関しては、B3 においてのみ旺盛な伸長をみせた。目視による地下部を観察すると、他の 2 種とは違い、地下茎は地面と水平方向から垂直方向に放物線を描くように伸長していた。根は地面と垂直方向に伸長していた。地下茎に関して B3 が最も伸長していたのは、伸長するスペースが大きかったからであると考えられる。また、6 月から 7 月にかけて旺盛に地下茎が伸長するアケボノザサにとって 7 月に 1 ヶ月間の根付かせ期間があったことがこの結果に結びついたと考えられる。葉に関しては、B3 においてのみ葉枚数の増加が見られた。よって、7 月に旺盛な地下茎の伸長を見せた B3 は、オカメザサと同様に 8 月の光合成能力の計測を開始したときには、十分な水分を確保できている状態であった。よって、他区と変わらない光合成能力を発揮できたと考えられる（図 13-c）。その結果、オカメザサと同様に、葉枚数の増加を実現できたと考えられる。

以上より、結果的には、タケ・ササ類 3 種において、普通植栽 A3 では見られなかった地下茎もしくは根の伸長が、垂直植栽 B3 において起こったために、苗周辺の土壤水分条件が乾燥条件であっても高い光合成能力を示すことができたと考えられる。

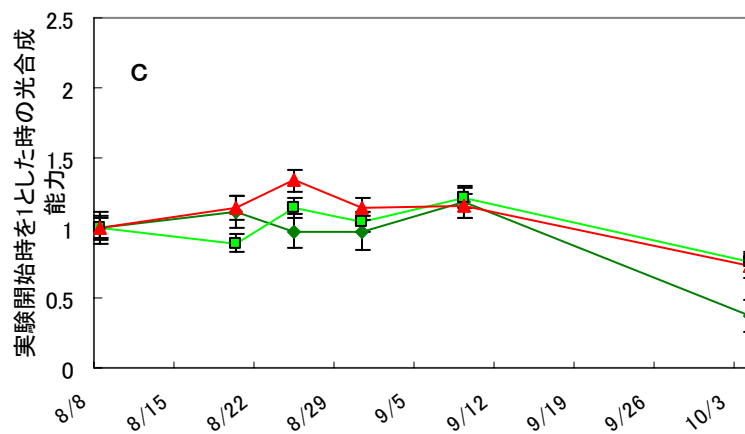
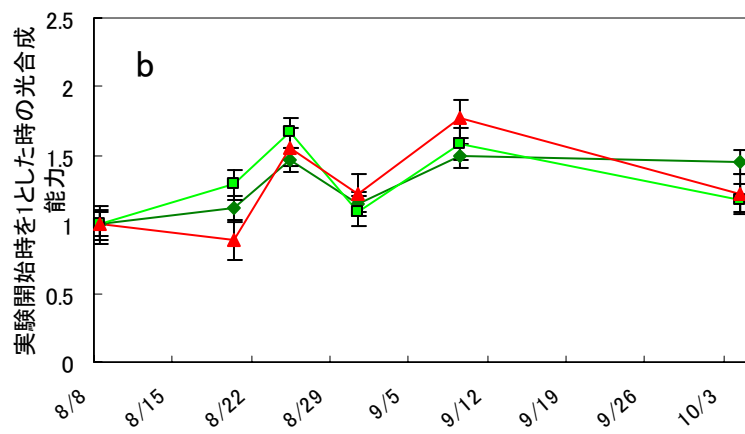
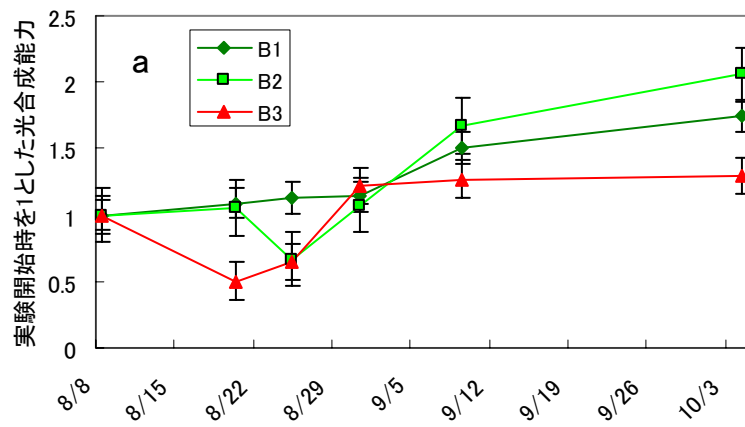
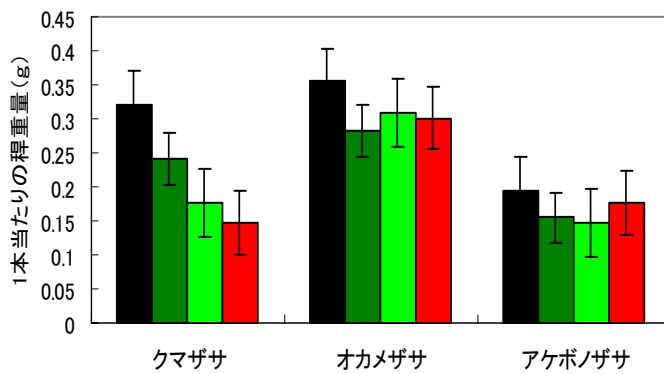
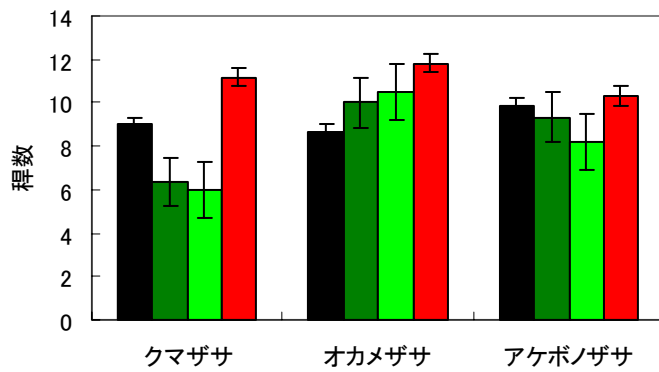
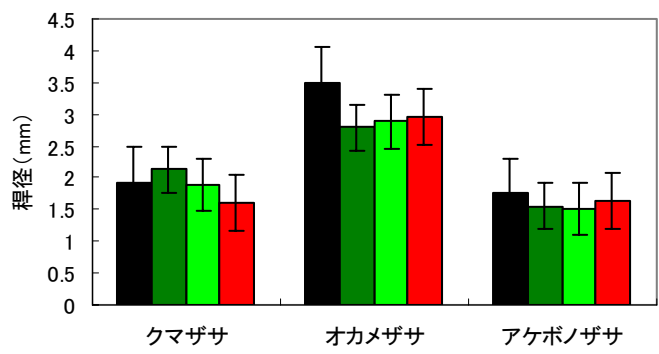
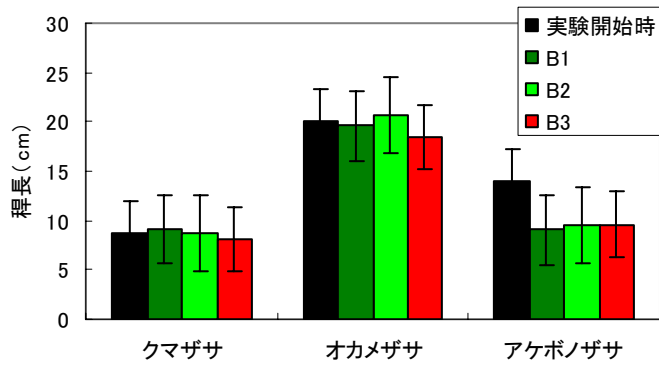
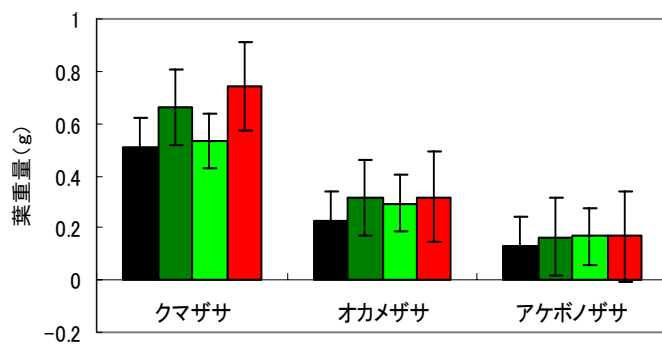
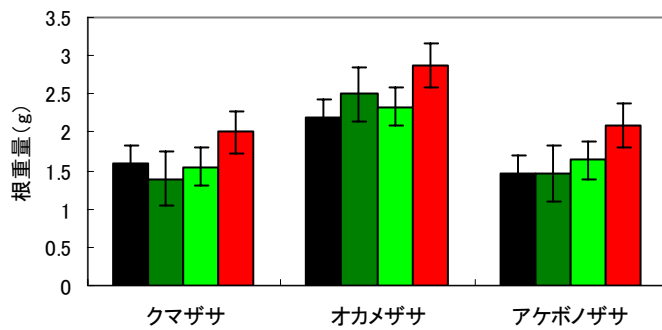
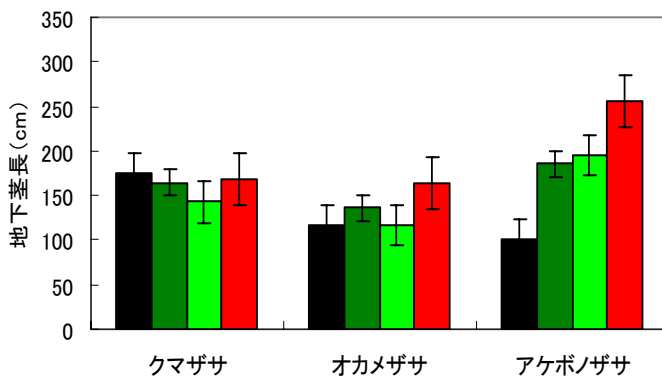
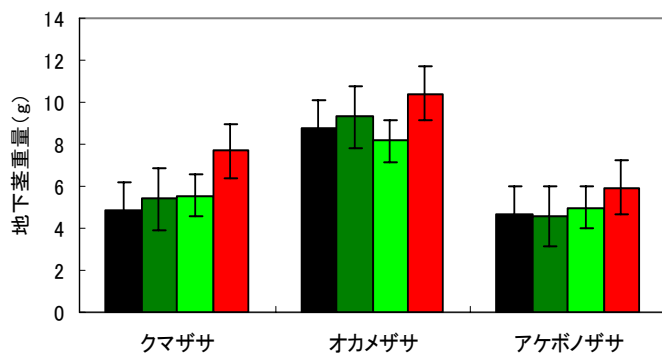
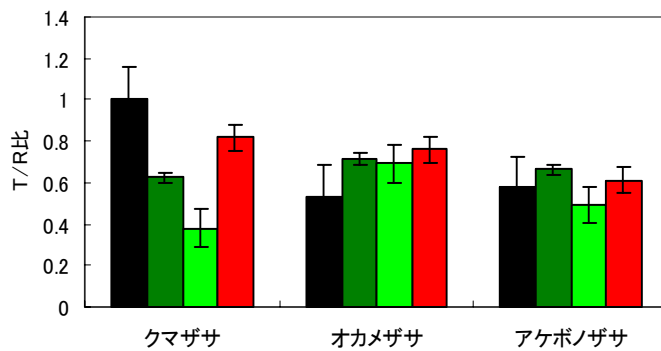
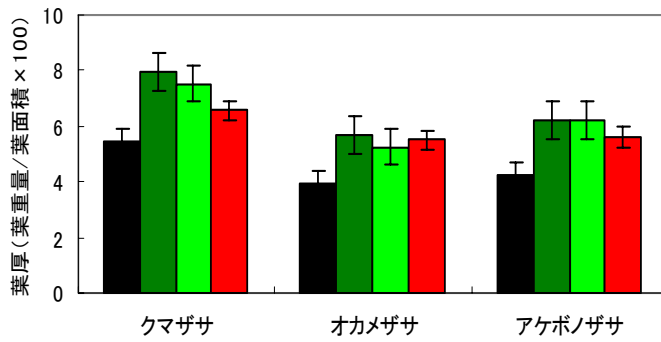
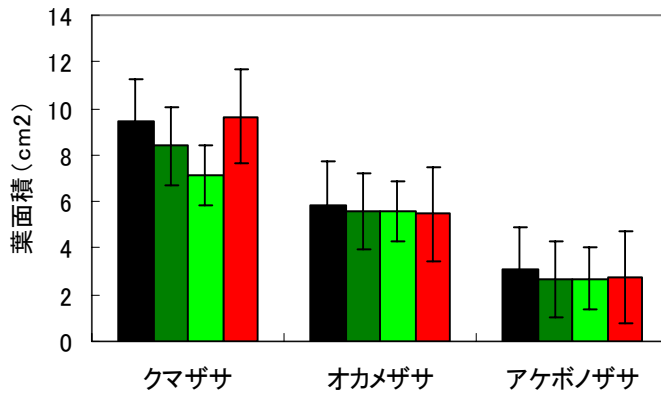
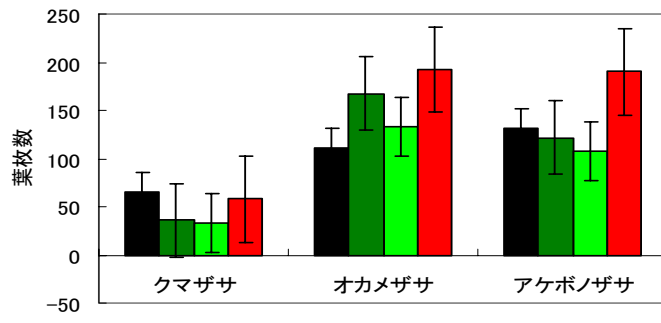


図 13. 垂直植栽におけるタケ・ササ類 3 種の光合成能力 (上からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ)







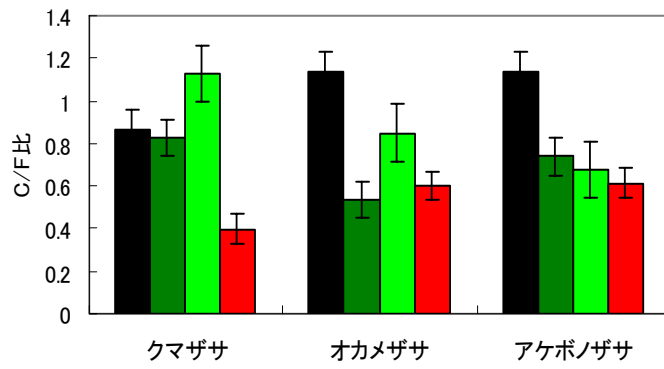


図 14. 垂直植栽におけるタケ・ササ類 3 種の各形態変化



図 15. タケ・ササ類 3 種の地下茎と根の伸長の様子（上からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ）



図 16. 垂直植栽におけるカンチクの新稈の出筈

3. 実験 2：タケ・ササ類 3 種の耐風性

3.1. 実験方法

3.1.1. 実験場所

耐風性実験に関しては、風を制限要因とし、その影響を把握する。そのため、風以外の条件を揃える必要があるため、場所は人工気象室内を選定した。使用した人工気象室は、千葉大学環境健康都市園芸フィールド科学教育研究センター内にある人工気象室を使用した。

3.1.2. 供試植物

実験 2 で用いる供試植物は実験 1 で用いた種と同様、クマザサ、オカメザサ、アケボノザサの 3 種を選定した。

3.1.3. 実験装置の作成

一定の風を慢性的に当てることによる植物体への影響を把握するため、人工気象室内で送風機を用いて 24 時間送風した。人工気象室内の気象条件は、気温 25℃、湿度 50%、CO₂ 濃度 1000ppm、光量子束密度 400 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に設定した。灌水に関しては、毎日一定量自動灌水した。風の条件は、対照区（風速 1.0m/s）、弱風区（風速 2.5～3.0m/s）、強風区（風速 4.0～4.5m/s）の 3 区を設けた。対照区は実験室内の空調の関係により、風速 0m/s には設定できなかった。

3.1.4. 測定方法

以上の条件下で、LI-6400 を用いてそれぞれの光合成蒸散速度と気孔コンダクタンスを測定し、耐風性を評価する。また、目視による葉の形態変化を監察するために、計測毎にデジタルカメラ（Panasonic LUMIX DMC-LS1）による撮影も行った。また、本実験では、風そのものの植物に対する影響を明らかにするため、ササ 3 種を垂直植栽ではなく、ポット苗のまま傾けずに実験を行った。

3.2. 結果・考察

風を当て始めてからの約 1 ヶ月間のクマザサ、オカメザサ、アケボノザサの光合成能力を図 17 に、気孔コンダクタンスを図 18 に示した。個体間差異をなくすために実験開始時の光合成能力を 1 としてグラフを作成した。

クマザサに関しては、対照区と弱風区においては明確な差が見られなかったが、強風区においては光合成能力の低下が示唆された。気孔コンダクタンスにおいても、強風区で低い値をとることがわかった。つまり、これは、苗が水ストレスを受けたので気孔コンダク

タンスが低下し、光合成能力の低下が起こったと考えられる。オカメザサに関しては、対照区に比べて、明らかに弱風区と強風区において光合成能力の低下が見られた。気孔コンダクタンスにおいても、明確な低下が見られた。アケボノザサに関しては、対照区、弱風区、強風区となるに従い光合成能力が低下していった。気孔コンダクタンスに関しても同様な推移が見られた。以上より、それぞれの種において、風による光合成能力、気孔コンダクタンスの低下が見られた。また、光を受けている状態にもかかわらず、光合成を行わずに呼吸していることもあり、風による乾燥ストレスが顕著に示された。この風による葉への影響は次のように起こる。葉が風を受けることにより葉面の空気が入れ替わるので、葉の蒸散速度が上がる。その結果、水分を吸収する速度が光合成に追いつかなくなるので、気孔コンダクタンスが低下する。また、矢吹（1990）より、低湿度・高日射・高風速条件下では、葉内の水分が減少するという極端な水ストレス状態であり、光合成速度は減少することが明らかとなっている。今回の実験においても同様の現象が起こったと考えられる。

また、CO₂濃度に関して、今回は1000ppmという自然状態よりも高い濃度で実験を行った。この点を考慮すると、CO₂濃度が低くなると光合成能力は低くなると考えられるので、屋外では今回の実験結果よりもより低い光合成速度を示すと考えられる。つまり、今回の実験で見受けられた、光合成を行わずに呼吸を行う時間が長くなり、より生育に与える影響が大きくなると考えられる。

目視による観察の結果、枯死した葉は、アケボノザサの弱風区で1枚みられただけであった。その他の葉は実験中約1ヶ月間枯死することはなかった。しかしながら、葉に少なからず障害が観察された葉があった。その障害が発生するまでの日数を表1にまとめた。表1より、クマザサとオカメザサは強風区でなければ目立った傷害を受けることなく生育可能であり、アケボノザサが他の2種に比べて耐風性が低いといえる。実験中、オカメザサの光合成能力と気孔コンダクタンスは他種に比べて低い値を示したが、障害を受けやすいことはなく、種間差異があることが示唆された。つまり、それぞれの種において、風に対して障害を受ける限界点、障害の出方が異なると考えられる。また、上述したように、本実験におけるCO₂濃度は自然状態よりも高く設定してあるので、自然状態では表1に示した葉に影響が出るまでの日数は短くなると考えられる。

しかしながら、本実験における強風区は風速4.0m/s以上であり、その強風が24時間30日間当たるといふ、生育環境としては非常に厳しい条件である。よって、壁面緑化への有効性という観点から考察すると、クマザサとオカメザサは十分な耐風性を備えているといえる。しかしながら、アケボノザサにおいては、他の2種に比べて葉に風による障害が出やすく、壁面緑化に用いる植物として有効な耐風性を備えているとはいえない。

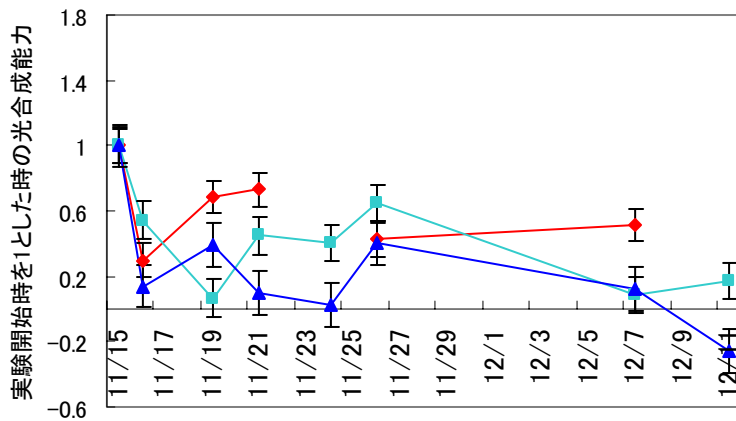
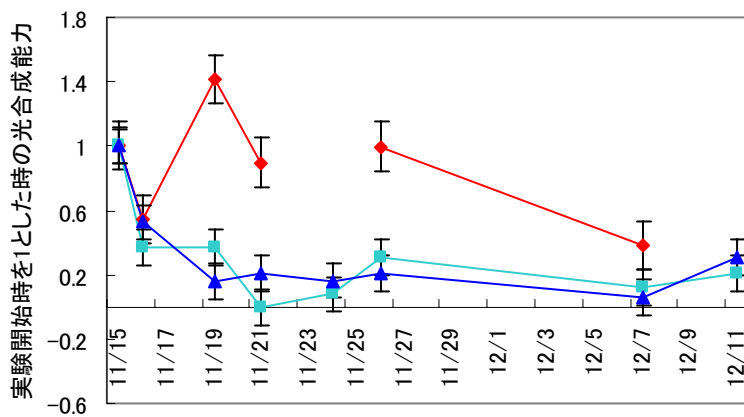
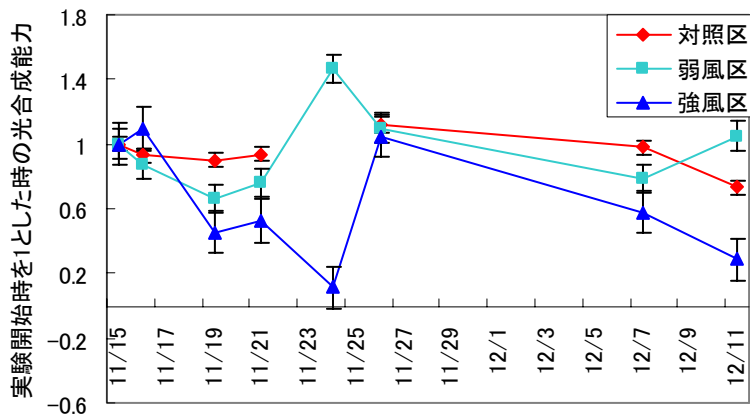


図 17. 耐風性実験におけるタケ・ササ類 3 種の光合成能力 (上からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ)

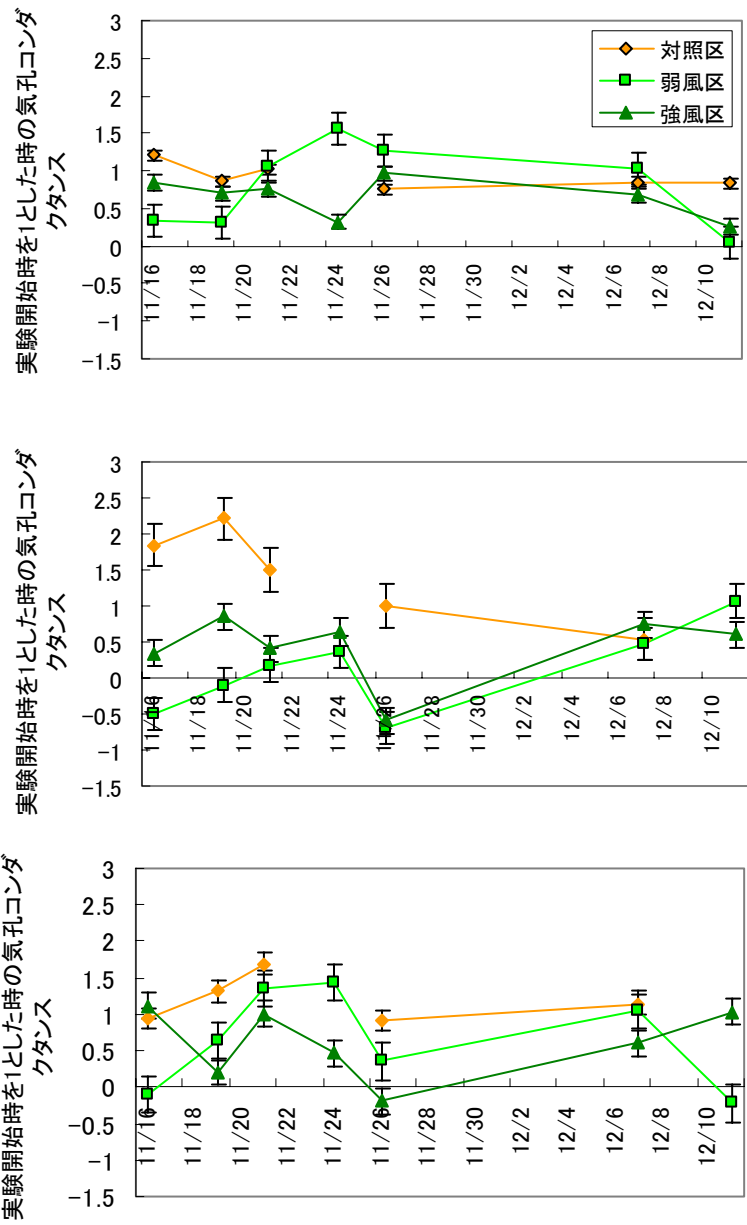


図 18. 耐風性実験におけるタケ・ササ類 3 種の気孔コンダクタンス（上からクマザサ、オカメザサ、アケボノザサ）

表 1. 葉に障害が表れるまでの平均日数

	クマザサ	オカメザサ	アケボノザサ
対照区	-	-	-
弱風区	-	-	7
強風区	13	7	5

4. まとめ

4.1. タケ・ササ類 3 種の壁面緑化に対する有効性

実験 1 から得られた結果・考察を表 2、3 にまとめた。表 2 より、稈数や葉枚数の増加、地下部の発達から、普通植栽においては、クマザサとオカメザサは A2、アケボノザサは A1 が最適生育条件であると考えられる。しかしながら、表 3 より、壁面植栽においては、3 種ともに B3 において最も生長を示した。これは、地下茎の実験装置下方への伸長により、実験装置下方の水分を吸収することができたので、高い光合成能力を示すことができた。それにより、稈数の増加や葉枚数の増加などの形態生長に繋がったと考えられる。つまり、垂直植栽においては、苗周辺の土壌含水率が低くても根付かせ期間等で地下茎の伸長が伴えば、十分な生長が見込めるので、緑被の不均衡は避けられる。土壌の不均衡が起りやすい壁面緑化において、タケ・ササ類の地下茎の伸長時期を正確に把握し、その時期に合わせて根付かせ期間を設けることができれば、有効な緑被が可能になると考えられる。これが可能になると、維持・管理面で問題となりやすい灌水に関しても、従来のシステムよりさらに簡略化したもので維持・管理できるようになると考えられる。

耐風性に関しては、実験より、タケ・ササ類 3 種ともに風速 4.0~4.5m/s という強風により、光合成能力、気孔コンダクタンスの低下がみられた。これは、強風によって乾燥ストレスが生じ、気孔が閉じることによる気孔コンダクタンスの低下が起り、それに附随して光合成能力が低下したと考えられる。約 1 ヶ月間風を当て続けた結果、タケ・ササ類 3 種ともに葉に障害が表れるまでの日数から、クマザサ、オカメザサはアケボノザサに比べてより強い耐風性を持っていることがわかった。また、それぞれの種において、風に対して障害を受ける限界点、障害の出方が異なることが示唆された。

また、新稈の出筈に関して述べる。木本植物はあて材というものを形成することによって地面に対して垂直方向に立ち上がろうとする性質を示す。また、モウソウチクなどの大型タケ類に関しても地面と垂直方向に立ち上がろうとする性質をもっている。図 15 より、垂直植栽においてオカメザサ、アケボノザサに関しては、稈が出筈した段階で、もしくは出筈してから稈が屈曲することによって地面と垂直上方向、つまり太陽の方向に向いていることがわかった。しかしながら、クマザサについては、他種とは違い、地面と垂直下方向に新稈が出筈した。本実験では扱っていないが、カンチクを垂直植栽にして生育させると、オカメザサやアケボノザサと同様に地面に対して垂直上方向に新稈が伸長した(図 16)。オカメザサ、カンチクはタケ類に属し、クマザサとアケボノザサはササ類に属する。よって、タケ類は、稈が地面に対して垂直に伸長する性質を有し、ササ類に関しては、新稈の重力に対する性質には種間差異があることがわかった。長期間の壁面緑化を実施する際に、植物種の選択は施工主の主観に委ねられるので、この新稈の伸長方向というものが大きな問題となり得ると考えられる。壁面緑化という極めて特殊な生育環境である上、新稈が地

面と垂直下方向に伸長すると、植物の成育には致命的な条件になることが考えられる。よって、クマザサの壁面緑化には、特別な管理方法が必要であると考えられる。

また、実験期間中にアケボノザサにのみ、害虫による被害がみられた。病虫害に対して丈夫であるということが地被植物としての条件であることを考慮すると、アケボノザサは実験中その被害がみられなかったクマザサとオカメザサに対して有効性は弱いといえる。

表2. 普通植栽における各水分条件下の形態変化

		稈			葉			地下茎		根		
		稈長	稈径	稈数	稈重量	葉枚数	葉面積	葉重量	葉厚	地下茎長	地下茎重量	根重量
クマザサ	A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A2	×	-	○	×	-	-	-	-	-	-	-
	A3	-	-	-	-	×	×	-	-	-	-	-
オカメザサ	A1	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○
	A2	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-
	A3	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○
アケボノザサ	A1	-	-	-	-	○	-	-	-	○	-	○
	A2	×	-	○	×	×	-	-	-	○	-	×
	A3	-	-	-	-	×	×	-	-	○	-	-

* ○: 伸長または増加 ○○: 顕著な伸長または増加 ×: 減少 ××: 顕著な減少

表3. 壁面植栽における各土壌水分条件下の形態変化

		稈			葉			地下茎		根		
		稈長	稈径	稈数	稈重量	葉枚数	葉面積	葉重量	葉厚	地下茎長	地下茎重量	根重量
クマザサ	B1	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
	B2	-	-	-	-	-	×	-	-	-	-	-
	B3	×	-	○	×	○	○	○	-	-	○	○
オカメザサ	B1	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
	B2	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
	B3	-	-	○○	-	○○	-	-	-	○	○	○
アケボノザサ	B1	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
	B2	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
	B3	-	-	○	-	○	-	-	-	○○	○	○

* ○: 伸長または増加 ○○: 顕著な伸長または増加 ×: 減少 ××: 顕著な減少

4.2. 今後の課題

今回の実験では、地下茎の伸長によりタケ・ササ類の壁面緑化への有効性が示唆された。しかしながら、これは、今回用いたタケ・ササ類の地下茎の伸長時期が実験期間中であったためである。つまり、今後の課題として、地下茎という形態を持つ植物を壁面緑化に使用する場合は、それらの植物の地下茎が伸長する時期を把握しておく必要がある。また、今回の実験装置は、25cm 四方の木枠で行ったが、実際の基盤は奥行きがより狭く、それにより生育体積が制限される。よって、地下茎と根がいわゆる根詰まりを起こす可能性がある。よって、ポット苗を壁面緑化基盤に植栽したときにどの程度根詰まりせずに生育できるのかということ種毎に把握する必要がある。さらに、今回の実験では、地下茎は地面と水平方向に伸長し、壁に当たると上下左右に移動するという挙動を示した。よって、それぞれの生育基盤によって、伸長できるだけ伸長することが予想される。そこで、求められる項目が、ポット苗の地下茎の伸長量限界はどの程度であるのかということである。伸長した地下茎から新たな稈が出筈するという特性を活かし、新稈が出筈することで緑被面積が増加していくという今までにない長期的な緑化も可能であると考えられる。また、タケ・ササ類を壁面緑化に用いるにはパネル型植栽基盤が用いられると考えられる。通常、パネル型植栽基盤を実施する際は、苗の幹の部分以外をカバーで多い、土壌の流出を抑えるようにする。しかしながら、タケ・ササ類は地下茎からの新稈が基盤内のどこから出筈するのか分からない。よって、新稈が出筈した際にその部分のみ破け、同時に土壌流出を抑えることができるカバーの開発という技術的な課題も残される。以上の課題を解決することにより、タケ・ササ類を用いた壁面緑化の繁栄が期待できる。

参考文献・参考資料

- ・浅野貞夫・小滝一夫（1983）：アズマネザサの海岸での生育型-アズマネザサの観察、第二報-。富士竹類植物園報告,27,6-16
- ・張文三・水庭千鶴子・飯島健太郎・近藤三雄（2004）：*Zoysia* 属植物の耐乾性について。日本緑化工学会誌,30(1),51-55
- ・梅干野晃・茶谷正洋・八木幸二（1985）：ツタの西日遮へい効果に関する実験研究。日本建築学会計画系論文報告集,351,11-19
- ・珠数孝・木田幸男（2005a）：緑被完成までの期間と計画生産。「立体緑化による環境共生-その方法・技術から実施事例まで-」,ソフトサイエンス社,256-259
- ・珠数孝・木田幸男（2005b）：立体緑化における管理項目と留意事項。「立体緑化による環境共生-その方法・技術から実施事例まで-」,ソフトサイエンス社,260-267
- ・近藤三雄（1980）：地被植物（造園修景大辞典 5）
- ・近藤三雄・山崎光司・小沢知雄（1982）：緑化用植物の耐干（乾）性に関する実験的研究-特に低木類、芝生用植物について-。緑化工技術,9(1),1-10
- ・関係府省連絡会議（2004）：ヒートアイランド対策大綱
- ・武藤浩（2005）：一般の人々に受け入れられやすい立体緑化のあり方。下村孝・梅干野晃・輿水肇編：「立体緑化による環境共生-その方法・技術から実施事例まで-」,ソフトサイエンス社,79-87
- ・野中義照・沖中健・小林達明・坊垣和明・瀬戸祐直・倉山千春（1993）：壁面緑化による建築物の壁面温度の上昇抑止効果の実証的研究。造園雑誌,56(5),115-120
- ・岡田準人・山崎美幸・下村孝（2005）：京都市内の戸建て住宅で実施されている立面緑化の管理実態と住民の意識。ランドスケープ研究,68(5)
- ・柴田昌三（1984）：ササ類のグランドカバー利用に関する基礎研究-土壌水分条件の違いに対するササ類の適応力について-。Bamboo J,2,27-40
- ・柴田昌三（1987a）：植栽初期におけるクマザサとオカメザサの地下茎の伸長・発達。造園雑誌,50(5),84-89
- ・柴田昌三 b（1987b）：オロシマチクの植栽初期における地下茎の伸長。富士竹類植物園報,31,52-61
- ・柴田昌三（1992）：地被材料として利用されるササ類の地上部の成長の季節変化（II）ミヤコザサとコグマザサ。Bamboo J,7,18-26
- ・佐久間護・輿水肇・原田鎮郎・武藤浩（2001）：建築物の壁面緑化に関する研究その1 緑化の目的と緑化手法の現状。日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1 分冊,681-682
- ・成富根・近藤三雄（2001）：ヘデラ属植物の耐乾性の究明に関する実験的研究。東京農大農学集報,46(3),208-212

- ・ 渋谷圭助（2005）：東京都における壁面緑化の調査結果. 下村孝・梅干野晃・輿水肇編：「立体緑化による環境共生-その方法・技術から実施事例まで-」, ソフトサイエンス社, 269-276
- ・ 下村孝・梅干野晃・輿水肇（2005）：「立体緑化による環境共生-その方法・技術から実施事例まで-」, ソフトサイエンス社, 318
- ・ 鈴木弘孝・小島隆矢・島田俊平・野島義照・田代順孝（2005）：壁面緑化に関する技術開発の動向と課題. 日本緑化工学会誌, 31(2), 247-259
- ・ 東京都産業労働局農業試験場編（2003）：壁面緑化の現況調査. 東京都産業労働局農業試験場, 134
- ・ 矢吹満壽（1990）：風と光合成-葉面境界層と植物の環境対応. 農山漁村文化協会, 146-155
- ・ 星岳彦（1996）：植物生産における光に関連した単位
<<http://www.fb.u-tokai.ac.jp/WWW/hoshi/env/light-j.html>>

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京大学新領域創成科学研究科自然環境学専攻自然環境形成学分野の横張真教授、安形康助手には大変お世話になりました。教授の専門分野とは異なる分野の研究テーマを選択し、それを意固地に貫いてしまい、数々のご迷惑、お手数おかけいたしましたことを深く反省するとともに、それにも関わらず、ゼミでご丁寧にご指導いただいたことに感謝いたします。また、ご自身のお知り合いで私の研究のご指導いただける方を紹介していただいたことには心から感謝申し上げます。安形康助手も然り、限られた時間の中で尽力してくださったことには大変感謝いたしております。また、お二方とは、研究以外においても有意義な時間を過ごさせていただきました。その中でも特にモノの考え方、捉え方に深く感銘を受けたので、今後の精進に役立てたいと考えております。

また、本研究を行うにあたり、東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻環境地水学研究室の宮崎毅教授、井本博美技術専門職員には、土壌水分に関する講義から実験のご指導までしていただき大変お世話になりました。また、突然の実験のお願いにも関わらず快く承諾していただきましたことも深く感謝いたしております。

また、本研究を行うにあたり、実験場所を提供してくださった、東京大学新領域創成科学研究科先端生命科学専攻機能生命科学講座三谷啓志教授、尾田正二講師、千葉大学環境健康都市園芸フィールド科学教育研究センター北条雅章准教授には大変お世話になりました。双方には、それぞれの実験場所の一部をお借りし大きなご迷惑をおかけしたことと、実験終了予定よりも大幅に延長してしまったことを深くお詫びいたすとともに、お許しいただいたことに心から感謝申し上げます。

さらに、データ収集をするにあたり、東京大学新領域創成科学研究科先端生命科学専攻機能生命科学講座園池公毅助教授には光合成蒸散速度測定器（LI-6400）をお貸しいただいたことに深く感謝いたします。花野井君にも大変御迷惑をおかけいたしましたことにお詫び申し上げます。また、光合成蒸散速度の計測に関し、ご指導くださった自然環境評価学研究室の小田さん、計測を手伝ってくれた藤崎君、額谷さんには深く感謝いたします。

また、京都大学フィールド科学教育研究センター里域生態系部門柴田昌三教授には、本研究に関してのご指導やアドバイスをいただきまして、深く感謝いたしております。京都に伺った際に快く受け入れていただきまして有難うございました。

最後になりましたが、自然環境形成学分野の皆様には本当にお世話になりました。心から感謝申し上げます。共に切磋琢磨しながら研究生活を送れたことをうれしく思います。また、大学院に通う中で、アルバイトをしなかった自分に資金面での援助をし続けてくれた母に感謝申し上げます。また、家族の存在も大きな力となったので、ここに感謝の意を表したいと思います。