

市街地における樹木の蒸散特性 —オアシス効果に関する野外実測—

高野 武将*

Transpiration rate of trees in an urban area -Field experiment about oasis effect-

Takemasa TAKANO

1. はじめに

ヒートアイランド現象の対策として都市緑地が注目されている。最近の広域観測結果によれば、夏季、都市域からは無視できない量の水蒸気が街路樹や庭木から放出され、その値は森林における値に緑地面積率を乗じた値よりもはるかに大きくなっている。都市域では樹木が単木として散在するため、都市の高温乾燥状態では高いオアシス効果によって大量の潜熱が放出されている可能性がある。オアシス効果とは、樹木を100%植栽したものと20%植栽したものとでは植栽比率と蒸発散量が比例せず、全面湿潤に比べ湿潤部分と乾燥部分が混在した条件下の方が単位面積あたりの蒸散量が大きくなる現象をいう。しかし、今現在このオアシス効果に関する定量的データが存在せず、都市緑地の熱的効果を把握する上で無視し評価になっている。

そこで本実験では、鉢植えの植栽（サザンカ）を用いて配置密度の異なる状態での1日の重量変化を蒸散量とし、オアシス効果の基礎的な実験データを得ることを目的とした。

2. 実験概要

2-1. 実験場所と期間 日本工業大学キャンパスの拡張地に「戦略的創造研究推進事業（CREST）」として完成した実験サイト（100m×50m）において予備実験（8月11日から8月29日）と本実験（9月2日から11月8日の間）を約4ヶ月間行った。**Fig.1**の実験サイト内には温湿度計（○印）、全天日射計（◇印）、3次元超音波風速温度計（☆印）を設置し、バックグラウンドの気象条件を把握した。

2-2. 実験方法 一般的に住宅地などの生垣に良く用いられているサザンカの鉢植え203鉢（平均樹高約2m、平均重量約27kg、平均葉面積密度 $5.03\text{m}^2/\text{m}^3$ ）を用いた。そのうち比較的活性の良い鉢を55鉢抽出し1～55番の固体認識番号を付け試験体とした。本研究では植栽の蒸散量変化のみを対象としているため、重量測定を行う試験体の土壌面にカバーを装着した。実験の効率化のため試験体およびその他の鉢にキャスター付きの台座を自作した。

2-3. 配置 鉢植えの配置は、**Fig.1**の枠内に単木（3×3鉢・6m間隔・計9鉢・試験体9鉢）、疎（5×5鉢・1m

間隔・計25鉢そのうち試験体9鉢）、密（13×13鉢・0.5m間隔・計169鉢そのうち試験体37鉢）と相対的に密度の異なるよう配置した（**Fig.2**）。群落内の気象条件を測定するため全天日射計を疎配置には6台、密配置には9台、3次元超音波風速計を疎配置には1台（高さ1m）、密配置には2台（高さ1m、2.2m）に設置した。

2-4. 実験の流れ 試験体55鉢を実験サイト北側に設置した計測小屋まで運び（**Fig.1**）、土壌含水率のばらつきによる影響を防ぐため飽和重量（定義は後述）の97%になるまで給水する。配置後1日の重量変化（1g精度の重量計を使用）を蒸散量とし、蒸散量には個体差があるため毎回乱数発生によりランダムに試験体を配置した。この作業は測定時間差による誤差をなくするため、蒸散速度が小さくなる日没後に行った。この一連の作業を繰り返し行い、降雨時は欠測とし翌日は乾燥期間とした。実験期間中、計28回のデータを得た。

2-5. 飽和重量の定義 本実験の前に55鉢の試験体に十分に散水し、底部の排出口からの流出が起こらなくなった時点での重量を測定し飽和重量とした。このとき散水の仕方により「水みち」が出来てしまい、十分に水が染み込まないことが考えられるため注意をしながら繰り返し散水した。また自然下での散水として降雨後の状態も飽和とみなし重量を測定した。両者の方法で得た4回の重量の最大値を飽和重量とした。

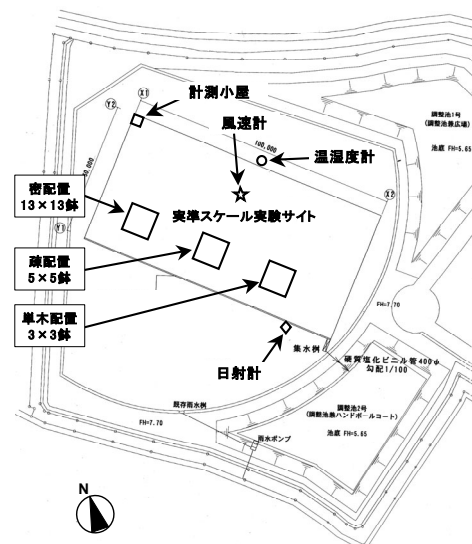
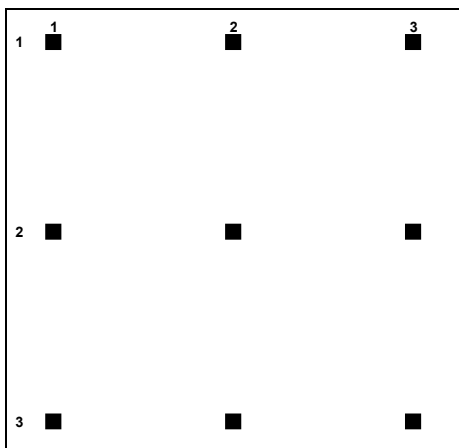


Fig.1 実験場所と配置

単木配置
3×3鉢
(計9鉢)

試験体
9鉢

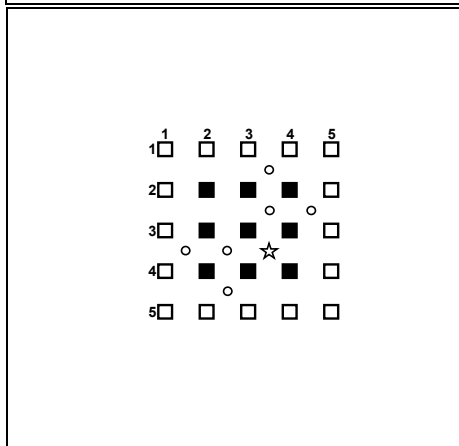
間隔
6.0m



疎配置
5×5鉢
(計25鉢)

試験体
9鉢

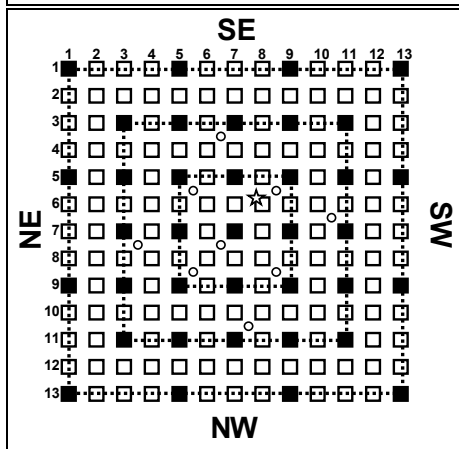
間隔
1.0m



密配置
13×13鉢
(計169鉢)

試験体
37鉢

間隔
0.5m



黒色部分に試験体を配置（白部分はその他の鉢）
(○印:日射計 ☆印:3次元超音波風速温度計)

Fig.2 試験体配置の詳細と群落内の測器配置

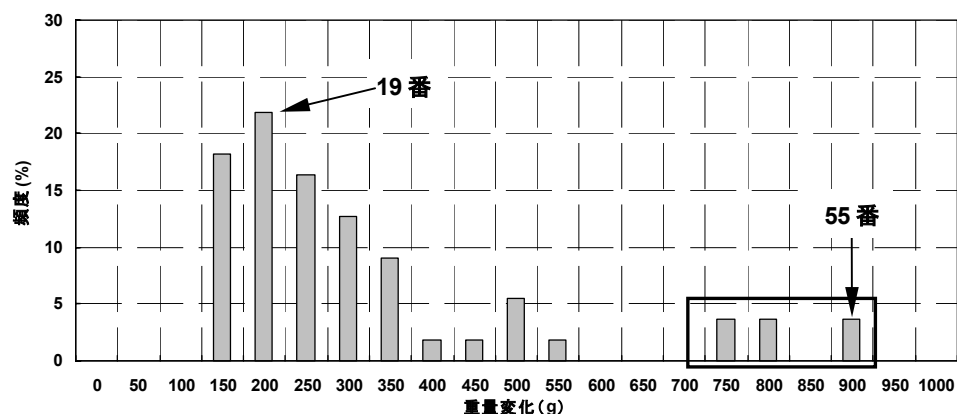


Fig.3 予備事実験時の重量変化の頻度分布

3. 実験方法に関する予備実験と誤差要因の検討

3-1. 土壌面蒸発の寄与率の把握 本実験の前に、3 回行った予備実験で重量変化の変動の小さい試験体を 55 鉢の中から 20 鉢抽出して均等間隔に配置し、同条件下における土壌面蒸発の寄与率を求めた。1 日目は 20 鉢すべての試験体にカバーを装着し、2 日目は抽出した 20 鉢中 10 鉢についてはカバーをはずした。2 回ともにカバーを装着していた試験体の蒸散量の比率は約 1.06 であった。この関係から 2 日目ではカバーをはずした試験体の 1 日目との比率を求めた結果は約 1.68 であった。カバー無しではカバー有りに比べ土壌面蒸発の寄与により重量変化が 68% も大きいことがわかった。

3-2. 個体差と誤差要因の把握 均等間隔でおこなった、予備実験時に測定した蒸散量の頻度分布を Fig.3 に示す。1 日の平均的な重量変化のピークは 200~250g であり、図中の黒枠に示すように重量変化の大きい試験体がある。これは、他の試験体に比べて特別活性の良いものであった (Fig.4)。このように各試験体には個体差があることから、本実験期間中に計 4 回、試験体を均等間隔に配置し、それぞれの蒸散量比を求めた (以下、個体比)。この値を用いて以後の解析において個体差を補正した。期間中に明らかに枯れた試験体は途中で入れ替え、それらの試験体は予備実験より求めた個体比を使用した。また、誤差要因として活性の低下による水漏れや個体比の変化が考えられる。そこで、実験終了後に予備実験と本実験の個体比の関係から活性の低下を把握した。試験体は、この結果からも活性低下が確認された。しかし、活性が落ちたと判断できるが入れ替えていない試験体もある。これらについては、以後の解析において、除去や個体比の修正を行った。

4. サザンカを用いたオアシス効果の実験

4-1. 配置密度による蒸散量の違い 密配置の外周に位置する試験体は日射 (日当たり) や風速の影響を大きく受けるため、密配置全体を森林などの広域のものとは想定しがたい。そこで密配置内でも配置位置による蒸散量の差異を見るため、Fig.2 の点線のように外周・



Fig.4 個体差の一例 左:55番 右:19番

コア・その中間の3つに分け、コア部分はそのままに外周と中間はさらに方位によりSE・SW・NE・NW（各4鉢）の4つに分け、計9グループに分割した。このグループ分割の各回の密コアに対する蒸散量比の一部をFig.5に示す。これを見ると、疎や密外周、密中間配置の蒸散量が単木配置よりも大きくなるなど、かなりばらつきがあることが分かる。

これは測定上カバーできなかった誤差の影響であると考えられる。そこで、活性の低下による水漏れおよび個体比の変化のチェックのため、共通する疑わしいすべての個体データを書き出し、修正や除去を行った（Fig.6）。その結果、ばらつきが抑えられた。しかし、所々単木配置よりも蒸散量が大きい回がある。これは誤差ではなく、特別個体差の大きい試験体の影響であることがわかった。Fig.7は修正後の毎回の密コア部分に対する蒸散量比の平均値である。これを見ると、単木配置の蒸散量が密コア配置よりも59%大きくなっている。各回での評価では単木配置よりも蒸散量の大きいものもあるが、平均することによりキャンセルされ、配置位置による蒸散量の差が明確にあらわれている。また密配置内においても外周や中間部分がコア部分よりも大きい結果となっており、日射量（日当たり）や風速の影響を受け蒸散量に差異があることもわかった。

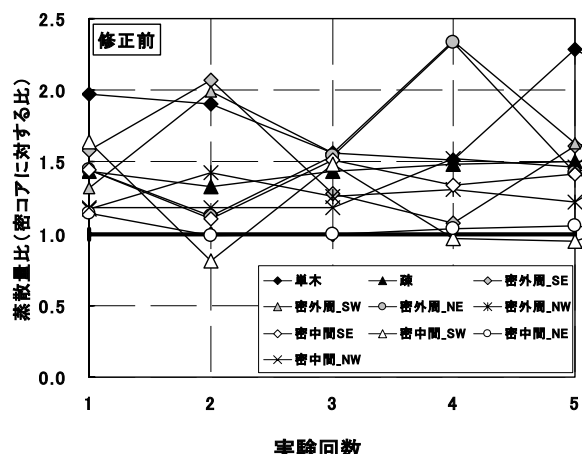


Fig.5 各回の密コアに対する蒸散量比の一部（修正前）

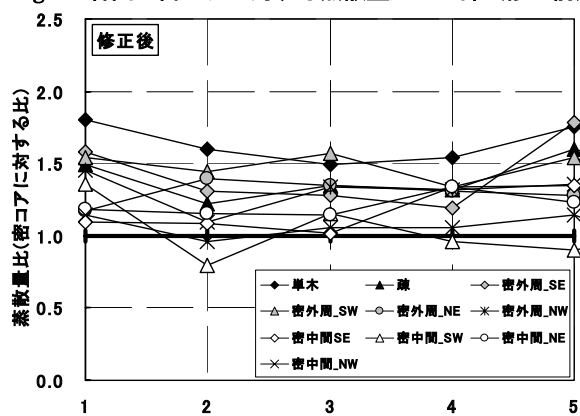


Fig.6 各回の密コアに対する蒸散量比の一部（修正後）

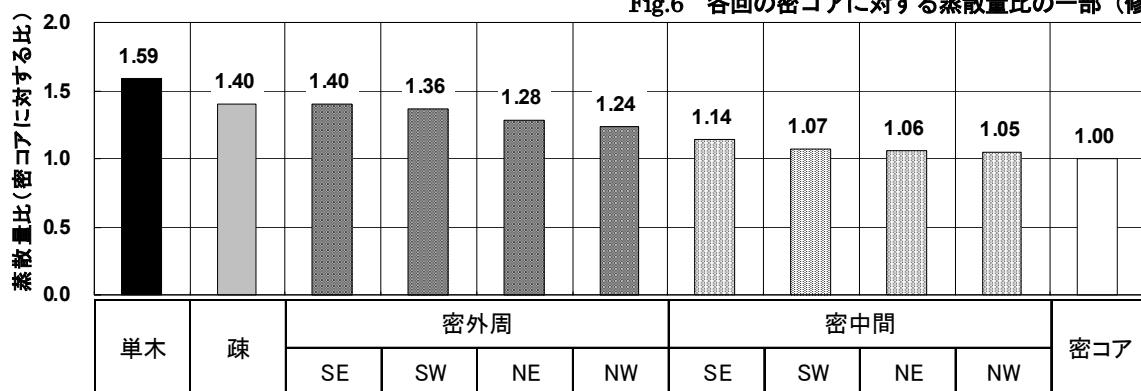


Fig.7 各回の密コアに対する蒸散量比の平均 (11 グループ分割)

4-2. 風向との関係 密配置中でも蒸散量に差があることから、風向との関係を検討した。実験期間中の1日単位の風配図を作成し、風向が安定した日を把握した。おおむね南東（SE）風であったが、その逆の北西（NW）風が吹く日もあることから、対応する回の蒸散量を抽出し Fig.8 のように外周、中間、コアそれぞれ SE・NW にグループを分割し、SE 側と NW 側の蒸散量の比をとり、風向依存性を検討した。Fig.9 は密配置における風向と蒸散量の関係である。縦軸は SE 側に対する NW 側の比、横軸は 0 を基準に左側は SE 風、右側は NW 風を表す。風速は日平均値である。第 1、第 3 象限にプロットがあれば風上側で大となる風向依存性があると

考えられる。影響を大きく受ける外周に注目すると若干そのような傾向が見えるが、必ずしも風向依存性があるとはいえない結果となった。

4-2. 日当たりの関係 次に密配置における各回の蒸散量と日当たりとの関係を見た。Fig.7 で全体的に南側の蒸散量が大きくなっていることから、ここでは Fig.10 のように外周、中間を南側（SE&SW）と北側（NE&NW）に分け、各回毎の北側に対する南側の比によって評価した（Fig.11）。おおむね 1.0 を超え日射量の増加に伴い南側の蒸散量が大きくなる右上がりの傾向が見える。しかし、中には日射量の増加に伴い北側の方が大きくなる回もあり、必ずしも日当たりの影響により蒸散量

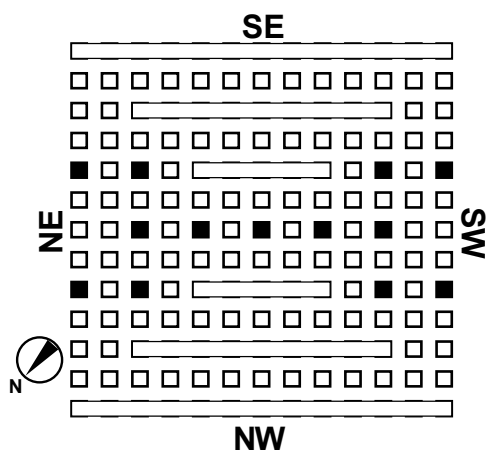


Fig.8 SE・NWのグループ分割

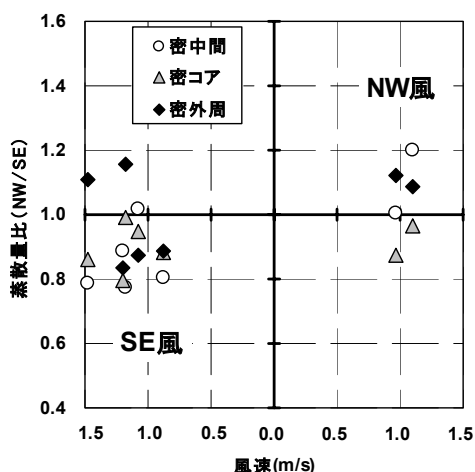


Fig.9 密配置における風向と蒸散量比の関係

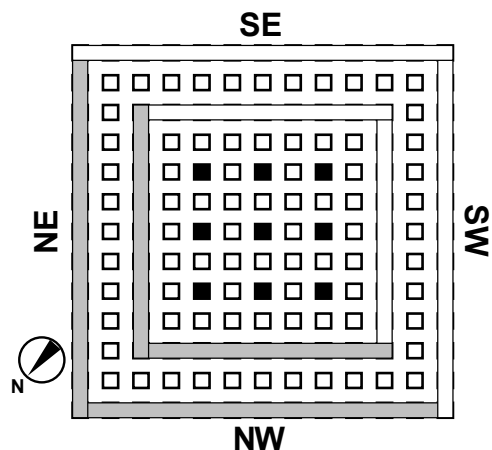


Fig.10 [SE&SW]・[NE&NW]のグループ分割

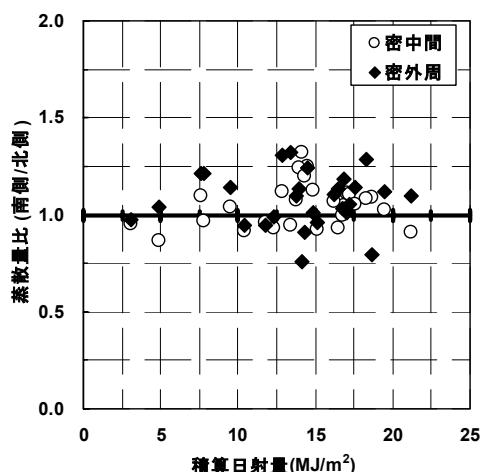


Fig.11 密配置における日射量と蒸散量比の関係

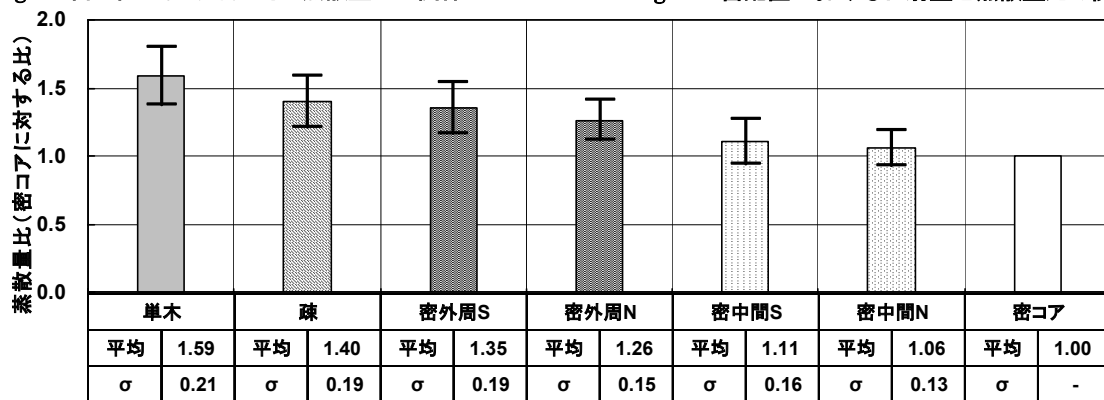


Fig.12 各回の密コアに対する蒸散量比の平均 (7グループ分割)

が大きくなるとは言いがたい結果となった。

4-3. 実験結果の有意性の検討 以上の検討から最終的に前項の7分割を採用し、蒸散量比の平均値について有意性を検討した。**Fig.12**はその平均値と標準偏差である。これを見ると全体的に南側の蒸散量が大きくなっているのがわかる。各回毎の日射量と蒸散量との評価では個体比のみでは補正しきれず、あまり良い関係が見えなかったが、ランダムに配置転換を行った28回の平均を取ることで、配置密度の蒸散量の差を明確に捉えることができた。この結果に関して配置間の平均値の差を統計的に検定した。結果、危険率1%で有

意であった。

5. まとめ 各回毎の蒸散量と風向や日射量との評価ではあまり良い対応関係が見えなかった。しかし、28回の平均を取ることで配置密度の差や群落内の外周部分とコア部分など配置内の位置による蒸散量の差異を定量的に捉えることができた。密コア配置に比べ単木配置の蒸散量は59%大きくなることが分かった。本実験において毎回乱数発生により試験体をランダムに位置替えしたことがこのような明確な差異につながった。

審査員(主査) 教授 成田 健一
 審査員(副査) 教授 市橋 重勝
 審査員(副査) 教授 伊藤 庸一