

都市域における樹木の蒸散特性

オアシス効果に関する野外実験

TRANSPIRATION RATA OF TREES IN AN URBAN AREA Field experiments on oasis effect

成田 健一*, 萩島 理**, 谷本 潤***, 高野 武将****

Ken-ichi NARITA, Aya HAGISHIMA, Jun TANIMOTO and Takemasa TAKANO

Green space in an urban area has been expected to mitigate urban heat island. According to the recent study, the latent heat flux in urban area is larger than expected. In other words, we have to consider that trees in an urban area transpire more effective than that of vast forest area. The phenomenon that water demand of vegetations increases in the area surrounded by dry surface is generally called "oasis effect" in climatology. Above results imply that the oasis effect also exists for the roadside trees and the hedge in residential area.

In this study, field experiments were performed in order to get quantitative data of the oasis effect. About two hundreds of potted plants, which is two meter in height, were used for this experiment. They were arranged in three types of density; isolate pattern (3 rows, 3 lines, 6m interval), sparse pattern (5 rows, 5 lines, 1m interval), and dense pattern (13 rows, 13 lines, 0.5m interval). As for 55 samples selected among them, their weights were measured once a day after sunset to get a daily transpiration rate. To avoid the influence of soil water deficit, each pot was irrigated until 97% of saturated condition before setting the position for experiment. Because the conditions of each tree sample like total leaf area, activation of photosynthesis, were varied widely, the individual transpiration rate of each sample was examined as a preliminary test under the sufficiently sparse uniform arrangement. In addition to the compensation using this individual rate, positions of sample were changed with random number table every time. Finally, 28 data sets were obtained from the beginning of September to mid November.

The ration of transpiration rate of isolated pattern to this core zone of dense pattern becomes 1.59. Using not averaged rate but that of each case data set, the influence of wind direction and sunshine were analyzed about dense pattern. In such an analyses, clear difference owing to these physical factors dose not appears.

Keywords : *heat island, latent heat, advection, urban green, heat balance, water balance*

ヒートアイランド, 潜熱フラックス, 移流, 都市緑地, 熱収支, 水収支

1. 序

ヒートアイランド現象は、一般に都市域における人工排熱の増大と地表面改変という二つの要因で説明される。後者は、地表面被覆の変化に伴う熱収支構造の変化として記述され、様々なモデルによる考察が多数報告されてきた。これら熱収支モデルによる感度解析から導かれる結論の一つは、都市と郊外の熱収支の違いを決定づける最大の要因は潜熱フラックスの差異であるという点である¹⁾⁻³⁾。一方、昨今の国や自治体におけるヒートアイランド対策においては、緑化に関連した施策が中心となっており、緑化によるヒートアイランド対策効果の正確な評価が緊要の課題となっている。現在この種の評価はモデルによる計算が主流であるが⁴⁾、その精度の検証に関しては、必ずしも十分であるとはいえないと思われる。

都市スケールの広域的な緑化の効果の把握に用いられるメソスケールモデルにおいては、GIS データやリモートセンシングによる地表面被覆分布情報をもとに、土地被覆ごとに熱収支パラメータを与

えて各熱フラックスの計算が行われるのが一般的である⁵⁾。また、都市域の土地被覆は非常に細分化されているため⁶⁾、多くの場合計算メッシュは複数の土地被覆が混在する状況となる。この場合には各土地被覆の面積率に応じたパラメータが設定されるか、最も占有率が大きい土地被覆で代表させるという操作がなされる。このようなモデル化では、熱フラックスの計算において、個々の土地被覆の面積や隣接する他の土地被覆面との関係は考慮されていない。

森脇らが東京都の久が原で継続的に行っているタワーを用いた広域フラックス観測によれば、夏季、都市域ではかなりの量の水蒸気フラックスが存在している⁷⁾。その値は、同じ気象条件で観測される森林での水蒸気フラックスに周辺の緑地面積率を乗じた値よりもはるかに大きい。この原因として、ソースエリアの緑地の大半が個人住宅の庭木であり、このような孤立状態に近い樹木からの蒸散量が非常に大きくなる可能性が指摘されている。乾燥地域の農地においては、潜熱フラックスが正味放射量を上回る現象が古くから知ら

*日本工業大学工学部建築学科 教授・工博

**九州大学大学院総合理工学研究院 助教授 博士(工学)

***九州大学大学院総合理工学研究院 教授 工博

****大成温調 工修

Prof., Department of Architecture, Faculty of Eng., Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.
Associate Prof., Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng.
Prof., Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng.
Taisei Oncho Co., Ltd., M. Eng.

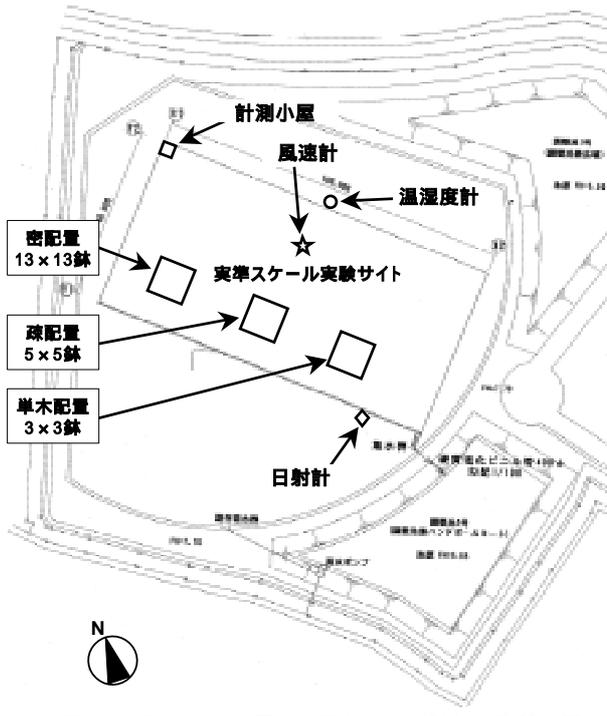


図1 .実験サイトの周辺状況および試験体と測器の配



図2 .試験体の配置状況 (北西から南東方向を望む)

れており、「オアシス効果」と呼ばれてきた。この現象は、周辺からの顕熱の水平移流で説明され、特に境界付近で顕著となる⁸⁾⁻¹⁰⁾。高温乾燥な都市域では、高いオアシス効果によって街路樹や庭木から大量の潜熱が放出されている可能性があるが、これら都市域の疎植された植栽の場合には、移流の効果に加え、樹冠の受ける日射量が増大し、さらに樹冠周縁風速も強まることによる蒸散促進効果も含まれることになる。このような植栽密度による効果をオアシス効果に含めるべきか否かは議論の余地が残されているが、本稿では両者を含めて「オアシス効果」と呼ぶこととして論をすすめる。

現在このようなオアシス効果に関するデータは皆無と言ってもよく、都市緑地の熱的效果を評価する上で懸案となっている¹¹⁾⁻¹²⁾。そこで本研究では、鉢植えの植栽を用いて屋外において蒸散量を測定し、配置密度の異なる状態でのオアシス効果の定量的評価を試みた。

2. 実験方法

実験サイトは、埼玉県宮代町の日本工業大学キャンパス内(北緯36度01分24秒、東経139度42分28秒)に作成されたコンクリート平板(100m×50m)である。図1に実験サイトの周辺状況を示す。住宅地の生垣に良く用いられるサザンカの鉢植え203鉢(平均樹高約1.7m、平均重量約27kg)を用意し、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。これらの鉢植え試験体を、図1の枠内に、**単木配置**(3×3鉢・6m間隔・計9鉢・試験体9鉢)、**疎配置**(5×5鉢・1m間隔・計25鉢のうち試験体9鉢)、**密配置**(13×13鉢・0.5m間隔・計169鉢のうち試験体37鉢)と相対的に密度の異なる3パターンに配置した。設置状況の写真を図2に示す。重量変化を測定する試験体は、図3の■印の位置に配置している。疎配置では外周を除く中心部とし、密

黒色部分に試験体を配置(白色部分はその他の鉢) [印:日射計, 印:超音波風速温度計]

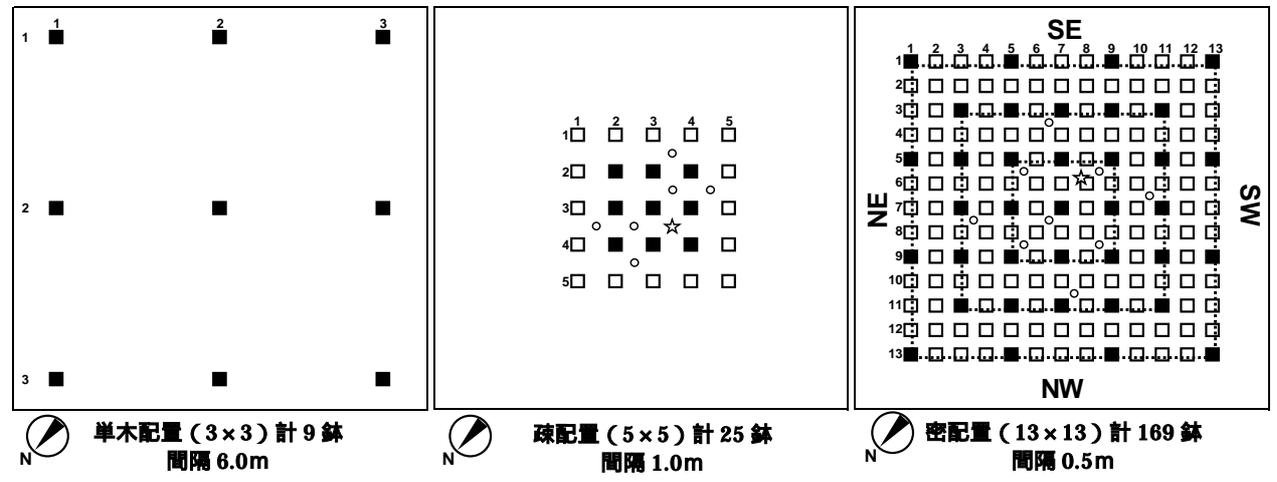


図3 .試験体配置の詳細と群落内の測器配置

表1．測定実施日の一覧（基準測定を含む）

Run	実験期間	Run	実験期間
(P1)	8月22日～8月23日	16	9月28日～9月29日
(P2)	8月23日～8月24日	17	10月2日～10月3日
(P3)	8月27日～8月28日	18	10月3日～10月4日
1	9月2日～9月3日	19	10月6日～10月7日
2	9月4日～9月5日	20	10月8日～10月9日
3	9月5日～9月6日	(Q1)	10月9日～10月10日
4	9月6日～9月7日	(Q2)	10月10日～10月11日
5	9月7日～9月8日	(Q3)	10月16日～10月17日
6	9月8日～9月9日	(Q4)	10月19日～10月20日
7	9月9日～9月10日	21	10月24日～10月25日
8	9月10日～9月11日	22	10月25日～10月26日
9	9月11日～9月12日	23	10月26日～10月27日
10	9月12日～9月13日	24	10月30日～10月31日
11	9月15日～9月16日	25	10月31日～11月1日
12	9月16日～9月17日	26	11月1日～11月2日
13	9月17日～9月18日	27	11月4日～11月5日
14	9月18日～9月19日	28	11月7日～11月8日
15	9月27日～9月28日		

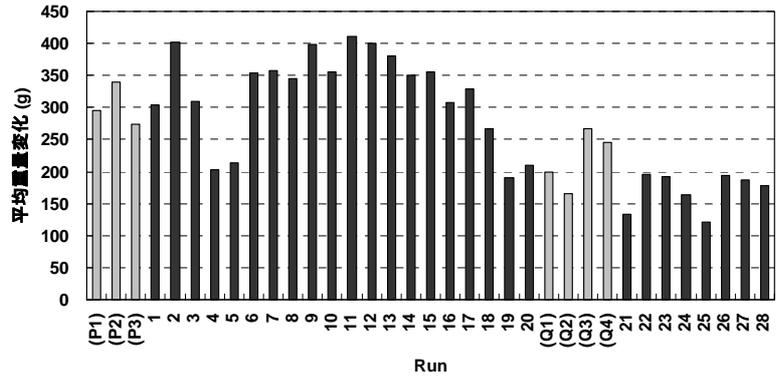


図4．各測定日の平均重量変化量

配置では群落内の位置による差異も検討するため、中心から外周まで、また方位による偏りもないよう均等に配置した。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）設置した。なお、バックグラウンドの気象条件は、図1に示す各位置に設置した温湿度計（○印）、全天日射計（◇印）、3次元超音波風速温度計（☆印）を用いて把握した。

実験は、まず試験体55鉢を実験サイト北側に設置した計測小屋（図1参照）まで運び、無風条件で重量測定する。測定には1g精度の重量計を使用した。次に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%になるまで根元の土壌面にジョウロで静かに給水する。その後、試験体を群落の所定の位置に配置する。なお、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ている。翌日、再び試験体を小屋へ運び、前日との重量変化から日蒸散量を算出した。これらの作業は、測定時間差による誤差をできるだけなくすため、蒸散速度が小さくなる日没後に行った。55鉢の試験体の回収・測定・給水・再配置に要した時間は、2時間半～3時間である。降雨があった場合は欠測とし、翌日は乾燥期間とした。なお、実験の効率化のため試験体およびその他の鉢にキャスト付き台座（35cm角）を自作した（図5参照）。なお、鉢の直径は上部（土壌面位置）で約35cmである。

表1に、測定実施日の一覧を示す。実験の期間は2003年8月22日から11月8日までの約2ヶ月半で、この間に計28回のデータを得た。なお、表中のP1～P3、およびQ1～Q4は、個体差の把握のために別途行った基礎実験で、この日に関しては図3の配列とは無関係に、すべての試験体を3.6mグリッドの等間隔に配置して測定を行っている。図4に、これら各測定日の平均重量変化量（後述する個体比で基準化した値の平均値）を示す。重量変化の値は、55鉢の平均で410～120gのオーダーである。28回の本実験についてのバックグラウンドの気象条件は、表2に示すとおりである。

表2．各測定日の気象条件と平均重量変化量

Run No.	積算日射量 [MJ/m ²]	平均気温 [°C]	平均飽差 [g/kg]	平均風速 [m/s]	平均重量差 [g]
1	16.86	26.6	6.68	1.06	304
2	21.21	23.8	7.47	1.70	401
3	16.74	24.3	6.71	1.20	310
4	3.07	21.9	3.92	1.98	203
5	7.81	21.2	3.80	1.08	214
6	19.46	25.6	7.35	1.24	353
7	14.47	26.8	7.56	1.57	357
8	15.12	27.6	7.88	1.11	344
9	17.01	27.7	7.67	1.72	398
10	14.16	27.0	6.33	2.12	355
11	14.90	23.9	7.34	1.68	410
12	18.66	24.2	7.59	1.42	400
13	17.18	25.5	7.23	1.44	380
14	13.98	25.3	7.31	1.11	351
15	18.33	20.1	5.48	1.77	356
16	17.57	19.8	5.36	1.50	308
17	12.34	18.1	6.88	1.71	328
18	13.75	16.7	5.71	1.57	267
19	10.38	14.2	3.07	1.41	191
20	16.22	13.5	3.77	1.55	210
21	11.79	13.6	3.15	1.40	134
22	7.65	15.4	3.07	0.90	195
23	16.48	14.1	3.95	1.64	193
24	13.37	14.6	4.09	1.41	163
25	4.88	11.9	2.97	1.38	121
26	14.29	14.2	3.67	1.70	193
27	9.53	14.3	3.81	1.52	186
28	12.82	12.4	3.53	1.31	178

野で一般に「黒土」と呼ばれている土壌であるが、短時間に大量の散水を行った場合、土壌中の連続的な空隙が「水路」となり、排水口から流出しているにもかかわらず、土壌の一部に水が染み込んでいない部分が残されている可能性がある。そこで、自然の弱い長雨の後も飽和とみなし、同様に重量を測定した。両者の方法で得た計4回の重量の最大値を、各試験体の飽和重量とした。

鉢植えの植栽の重量変化には、植物の葉からの蒸散量と、根元の土壌面からの蒸発量の両方が含まれることになる。本研究の目的に対して、蒸散量のみを評価すべきか、土壌面蒸発を含めた蒸発散量を評価すべきかについては意見が分かれるところであるが、ここで

3．土壌水分と土壌面蒸発に関する予備的考察

今回の実験の目的は、群落の密度による蒸散量の差異を明らかにすることであるため、誤差要因となる土壌水分欠乏による蒸散抑制が働かないよう考慮した。本実験の前に55鉢の試験体に十分に散水し、底部の排出口から水が流出しなくなった時点での重量を測定し、そのときの値を飽和重量とした。鉢に充填されている土壌は造園分



図5．試験体の鉢の状況（左：移動用キャスト、右：土壌面力バー）

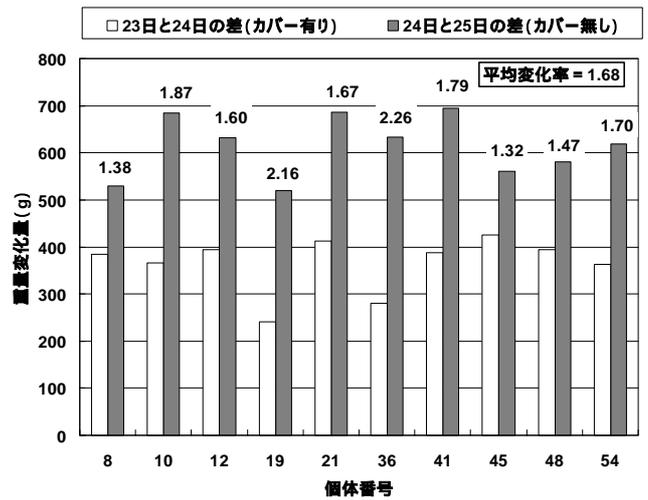
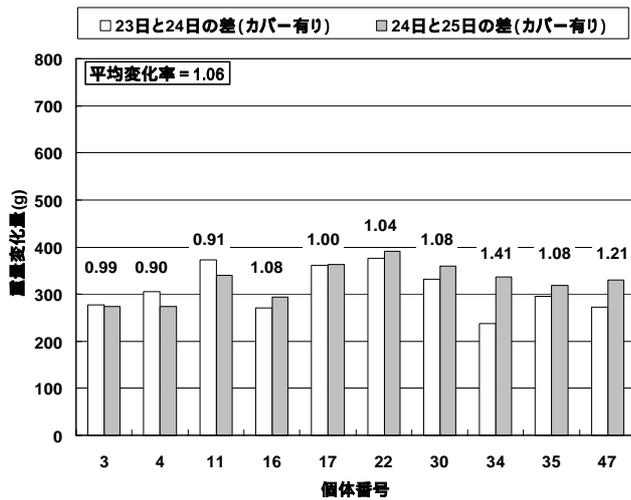


図6. 土壌面蒸発量の寄与率の検討

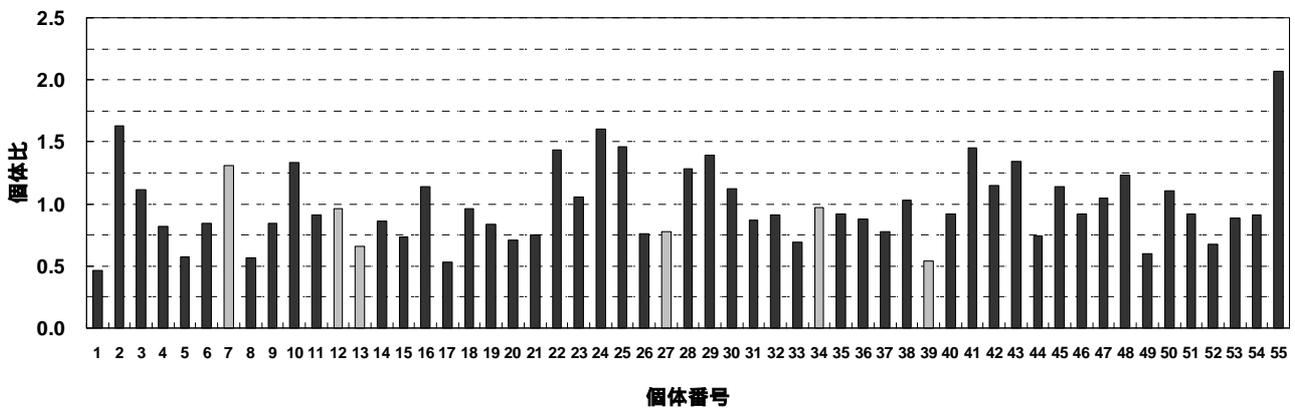


図7. 基礎実験による個体比の同定結果

は土壌面蒸発量は別途評価可能であるとの観点から、蒸散量のみを測定することとした。そこで、試験体とした鉢には透明ビニールで鉢全体を覆うカバーを装着し、土壌面蒸発を防いだ(図5)。

次に、鉢全体の重量変化に対する土壌面蒸発の寄与を検討するため、以下のような予備実験を行った。55鉢の試験体から任意に20鉢を選び、基礎実験と同様の配列で、初日は全ての鉢にカバーを装着し、2日目は半分の10鉢についてカバーを取り外して測定を行った。結果を図6に示す。両日ともカバー有りで測定したグループでは、1回目(23日~24日)に対する2回目(24日~25日)の平均変化率は1.06であった。これはバックグラウンドの変化による増加とみなせる。一方、カバーを外したグループに関しては同じ変化率が1.68となった。従って、土壌面蒸発により約6割(1.68/1.06=1.58)の増加が生じたことになる。土壌面の面積は950cm²程度であり、葉面積の平均1.15m²(付録参照)に対して8%程度に過ぎないが、土壌を十分湿らせた状態での実験であることから大きな量となったものと思われる。

4. 各試験体の蒸散量の個体比とその経時変化

図7に、基礎実験(3.6m等間隔配置)による個体比同定結果を示す。ここでいう個体比とは、各々の測定に関して蒸散量の全試験体(55鉢)の平均値を算出し、各試験体についてその平均値に対する蒸散量比を求めたものである。個体比の値は0.46~2.07の範囲に

分布しており、試験体により最大4.5倍の蒸散量の違いがあった。図8に、最も個体比が小さかった試験体(No.1)と最も個体比が大きかった試験体(No.55)の写真を示す。同一樹種で樹高もほぼ等しい個体をそろえても、蒸散量にはかなりの違いがでる結果となった。



図8. 試験体の例(左: No.1, 右: No.55)

以上の基礎実験をふまえて、9月2日より図3に示した3種類の群落密度に関する本実験を繰り返した。この間、試験体には特に施肥は行わず、毎回の重量測定後に各試験体について同定した飽和重量の97%まで水を加えたのみである。

本実験を開始して約1週間経過した時点で、55鉢の試験体のうち6鉢の試験体(No.7・12・13・27・34・39)で、鉢の下に敷いたトレイへの漏水が認められた。これらに関しては、この時点(Run 5~)で飽和重量を95%程度に変更する措置をとった。しかしなが

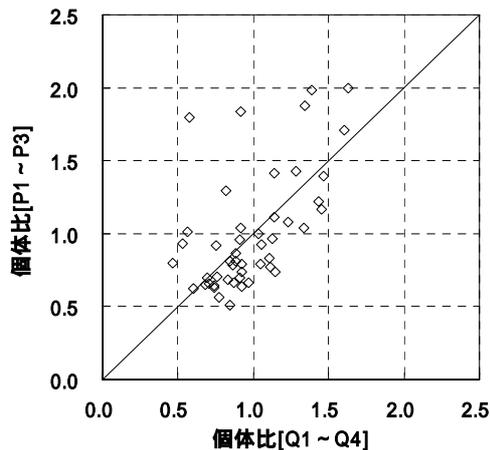


図9．実験期間における個体比の変化

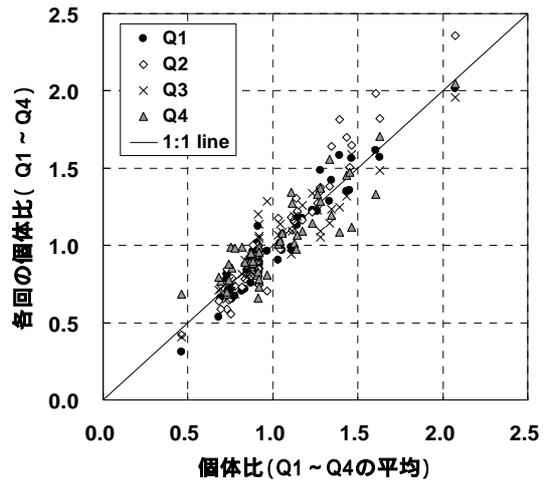


図10．基礎実験における個体比の変動

ら、これらの6鉢はその後も活性の低下が著しく落葉も見られるようになったため、Run 15 (9月27日)から別の試験体と入れ替えを行った。

20 ケースを終了した時点で、これら途中から入れ替えた6鉢と新規の交代要員としての7鉢を含めた62鉢について、再度、等間隔配置の基礎実験を4回実施した(Q1~Q4)。図9は、個体比の経時変化をチェックするため、途中で取替えた6鉢を除く49鉢の試験体について、2度の基礎実験で求められた個体比の関係を示したものである。実験条件としては、両者が1:1の直線上に並ぶことが望ましかったが、いくつかの試験体で個体比が大きく減少していることが認められた。図10は、4回の基礎実験における個体比の変動幅を示したものである。おおむね個体比の再現性はあるものの、中には4回のばらつきが大きい試験体が見られた。そのため、図9で個体比の変化が大きかった鉢と、図10の4回の基礎実験での毎回の個体比の変動が大きかった計7鉢(No.5・6・8・16・17・20・49)を、新規の交代要員の試験体と入れ替えることとした。これら交代された試験体の大半は、基礎実験での個体比(図7)が0.75以下とかなり小さい値を示していることがわかる。

5．群落密度による蒸散量の違い

本実験の解析は、各試験体の蒸散量を各々の個体比で除した値を

グループごとに平均し、グループ間の比較を行った。比較したグループは、単木配置(サンプル数:9)、疎配置(サンプル数:9)、密配置に関しては、中心部の「コア」(サンプル数:9)、「外周」(サンプル数:12)および「中間」(サンプル数:16)にゾーニングし、「外周」と「中間」についてはさらに南側(南東辺と南西辺)「S」と北側(北東辺と北西辺)「N」に2分した。東端と西端のサンプルは共通に含めることとし、「外周S」と「外周N」は(サンプル数:7)、「中間S」と「中間N」は(サンプル数:9)のグループとし、合計7つのグループについて集計を行った(図3参照)。なお、前項に記した途中交代した鉢の値は、集計から除外している。

以上の集計を、28回の本実験に関して行った段階で、再度、異常値を示すサンプルがないかをチェックした。その結果、基礎実験で個体比が最小となった(No.1)の鉢を含むグループ(乱数で配置しているため、含まれるグループは毎回異なる)が、常に大きなグループ内変動を示すことがわかった。この試験体は、残った試験体の中で極端に個体比が小さく、葉のつき方もかなり少ない。そのため、この段階でこの試験体の値も集計から除外することとした。

図11は、以上の集計で得られたグループ間の蒸散量の差異を、密配置のコア部分に対する比率の形で表したものである。「密コア」を基準とした理由は、このグループが今回の実験の中では最も広域

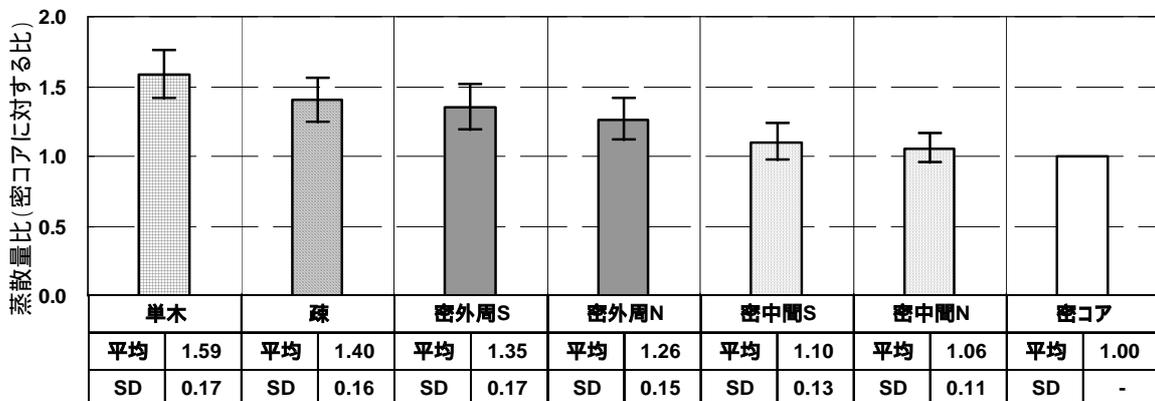


図11．各種配置および密配置内の部位による蒸散量の差異(密配置コアに対する蒸散量比)

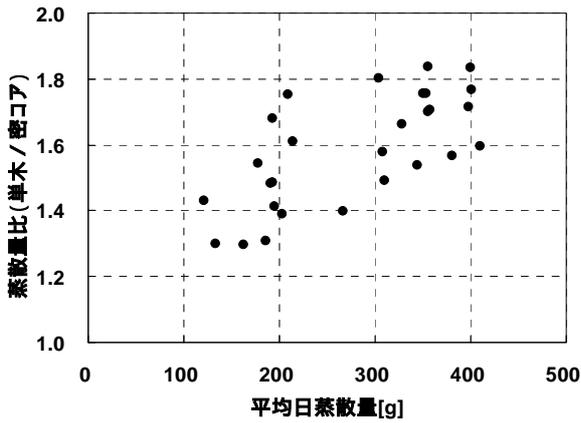


図 12 . 平均日蒸散量と蒸散量比の関係

の森林に近い条件となっていると考えられるからである。図には、28回の本実験についての平均値と標準偏差を示した。

まず、3種類の密度の違いによる差に注目すると、「密コア」に対して疎配置では1.4倍、単木配置では1.59倍という結果となった。今回基準とした「密コア」は、実験した配列の中では最も森林に近いとはいえ、森林気象の分野で実測されている広域のフィールドとは比較にならない小スケールの群落である。従って、基準とした「密コア」自体が、かなりのオアシス効果を含んでいると考えるのが自然であり、今回得られた疎配置や単木配置の倍率は、広域の森林に対する倍率としては過小評価されていると考えられる。それでも約6割の増加という結果は、都市域における樹木の蒸散を評価する上で、このオアシス効果を考慮することが非常に重要であると結論できる。図12は、単木配置についての蒸散量比と各Runの平均日蒸散量の関係を示したものである。密度による蒸散量比の変化は、蒸散量自体が大きくなる条件(晴天・乾燥・有風時)に大きくなる傾向が明らかである。平均では1.59という値であるが、条件によっては8割を超える増加となっている。

次に、図11における密配置における群落内の差異に注目すると、「外周」>「中間」>「コア」の順に変化しており、さらに方位については「南側」>「北側」という傾向が明確に現れている。外周部の南側の値はコアの1.35倍で、疎配置の値に近くなっている。方位による差異は、南側は北側に対して外周で約7%、中間で約5%大きいという結果である。なお、以上の7グループにおけるグルー

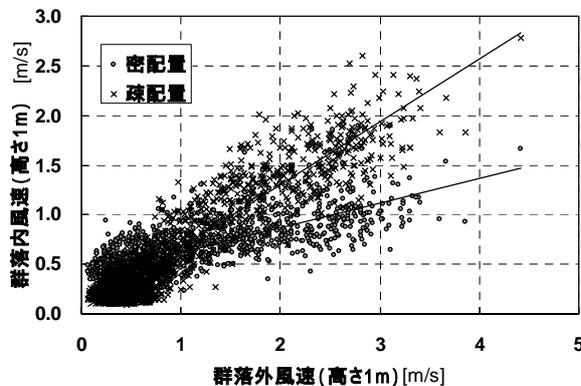


図 13 . 群落内外の風速の比

プ間の平均値の差に関しては、危険率1%の水準で有意であることを確認している。

参考として、群落内外の風速の比較を図13に示す。内外の風速比は風速依存性があるため一概には言えないが、群落外風速2m/s付近で、密配置は0.4程度、疎配置は0.6~0.7程度となっている。一方、日射透過率に関しては、9月の晴天日に関する集計で、密配置で0.257、疎配置で0.799であった。

6. 個別蒸散量データと気象要素との関連

以上のように、ランダムに配置で個体差を無くす工夫をし、全ゼータについて集計した平均値に関しては、明確な傾向を得ることができた。次に、密配置内の各回のデータを用いて気象要素による差異があるかを検討した。

まず、風向による差異を検討するため、群落の風上側と風下側の差に注目した。この季節、実験サイトにおいては南東風が卓越風向で、わずかに逆風の北西風が現れる。蒸散量を測定している時間帯に合わせ、18時から翌日の18時までの24時間で各実験日の風配図を描き、1日を通して風向が安定していた日(南東風:7例、北西風:2例)を抽出した。これらの日に関して、図14(上段)に示すように、外周・中間・コアに含まれる、南東側のサンプルと北西側のサンプルの平均値を求め、その蒸散量の比と風速の関係をプロットした(図14下段)。図の横軸は、左側が南東風、右側が北西風のときの風速を表しており、一方縦軸は南東側に対する北西側の蒸

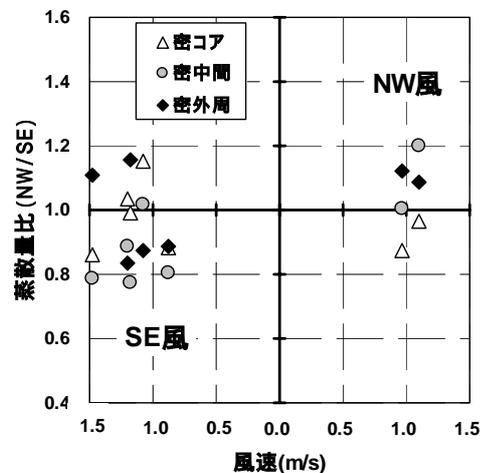
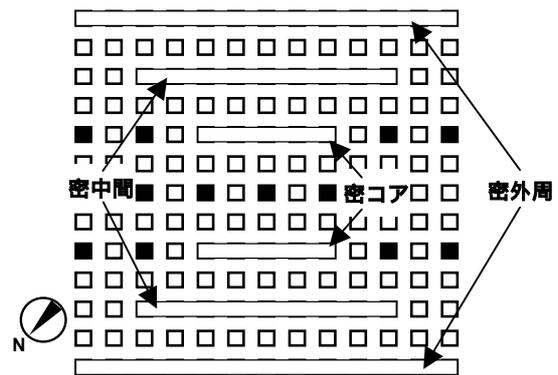


図 14 . 風向による蒸散量の差異の検討

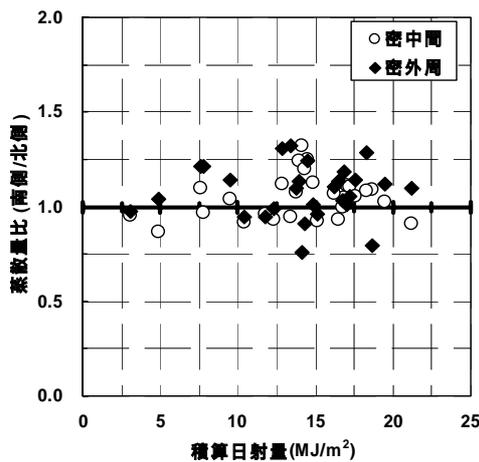
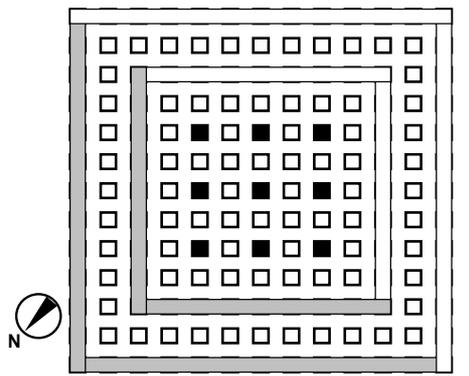


図 15 . 日射量による蒸散量の差異の検討

散量比を表している。従って、もし風上側で蒸散量が大きくなるのであれば、右上がりの傾向が現れるはずである。前項の結果から推測して、このような風向による差異は、コア部分よりも外周部で明確に出現すると思われたが、必ずしもそのような明確な傾向は認められなかった。

もう一つの検討として、日射による差異を検討した。平均値における結果をふまえ、図 15 (上段) に示すように外周と中間に関して南側と北側の区画に分け、両者の蒸散量比と日射量との関係をプロットした (図 15 下段)。縦軸は北側に対する南側の蒸散量比を表しているため、日射量の増大に伴って日向側の蒸散量が増大するのであれば、右上がりにプロットが布置するはずである。結果は、外周に関しても蒸散量比がむしろ 1 以下となるプロットもいくつか認められ、明確な傾向があるとは必ずしも言えない。

以上のように、各回のデータによる解析では、平均値で見られたような明確な傾向は全体的に現れない結果となった。図 10 にも示したように、各回の蒸散量は、同じ試験体に関してもある程度のばらつきをもつ。各回のデータを用いた解析では、このような変動が検討を試みた気象要素による全体傾向を上回り、明確な傾向が現れなかったものと思われる。

7 . 結語

本稿では、都市域の樹木の蒸散特性、特にオアシス効果に関する定量的なデータを得るため、ポット植栽群を用いた密度の異なる 3

つの群落における日積算蒸散量を比較検討した。実験では、土壌含水率を飽和に近い条件とすることでその影響を除き、また試験体ごとの個体差に関しては、等間隔の基本実験から蒸散量の個体比を求め、また乱数に基づき配置場所を毎回変化させることで取り除くよう工夫した。ただし、活性低下による個体比の経時的変化ならびに気象条件による個体比の変動は考慮されていない。

全期間の平均では、単木配置の蒸散量は密配置のコア部分の約 1.6 倍となった。この倍率は、限られた広さの群落に対する比率であるため、実際の広域の森林に対する比率はこれよりさらに大きいと推測される。なお、この密度による蒸散量の変化は、蒸散速度が大きくなる条件下で大きくなる傾向が認められ、最大では 1.8 倍を超える値となった。また、密配置の群落内分布に関しては、外周から中心に向かって (エッジからの距離が長くなるにつれて) 蒸散量は減少し、コア部分は外周の 77% 程度となった。

以上のように、樹木の密度の違いのみによって、ある条件では同一樹種においても約 2 倍の蒸散が起こりうるということが実験的に確かめられた。ただし、ここで注意しておかなければならないことは、この結果をもって、都市域における樹木からの蒸散量が森林より 2 倍近く大きいと結論付けることは早計である。今回の結果は、あくまで土壌水分による蒸散抑制がないという条件での結果であり、都市域の樹木、とりわけ街路樹等の多くは劣悪な土壌水分条件下にある可能性が大である。実測されたフラックスとの比較を行う上では、この点に関する検討も不可欠であろう。とはいえ、オアシス効果に関する定量的な増加比の値を得ることができた点は、大きな成果として評価できると思われる。

< 謝辞 >

本研究は、科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業の「都市生態圏一大気圏一水圏における水・エネルギー交換過程の解明」(代表者東京工業大学 神田 学) によるものである。なお、実験に際しては、日本工業大学の学生諸氏に多大な協力を頂いた。また、防衛大学・菅原広史氏からは、論文内容に関して貴重なコメントを頂いた。ここに記して謝意を表します。

< 付録 > 試験体の葉面積密度の実測

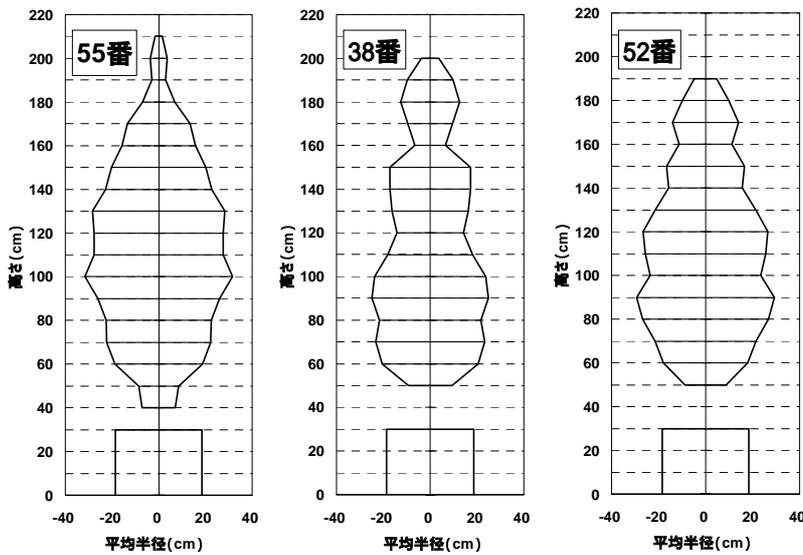
すべての測定が終了した後、個体比が異なる 3 本の試験体を選び、葉面積密度の実測を行った。まず、高さ 10cm 毎に 4 方向の直径を測定し、その値から樹木の体積を算出した (付図 1)。葉面積については、サンプルとして様々な大きさの 200 枚の葉をスキャナでパソコンに読み込み、デジタル化して面積を算出した。同時に、これらのサンプルについて方眼紙上で「たて」と「よこ」の長さを読み取り、実測面積との関係を求めた (付図 2)。3 本の試験体については、全ての葉について「たて」と「よこ」の長さを計測し、上記の関係をj用いて葉面積に換算した。

計測結果を付表 1 に示す。葉の数は、平均 2000 枚程度、推定葉面積合計は 1.15 m²であった。蒸散量の個体比は No.55 > No.38 > No.52 の順であった (図 7 参照) が、葉面積では、No.38 と No.52 の値が逆転している。最大直径をベースとした葉面積密度は、2.80 ~ 3.88 m²/m³、平均で 3.48 m²/m³ という値となった。

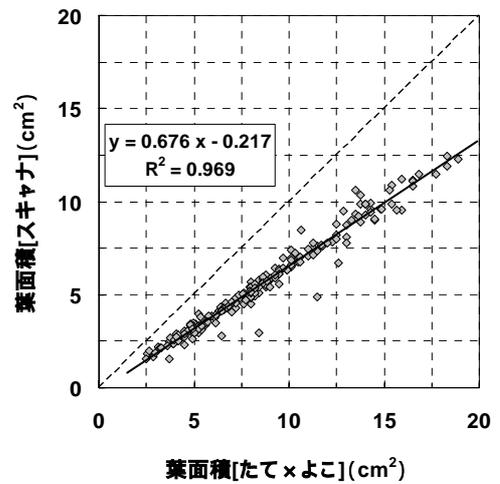
参考文献

- 1) Myrup, L. O. : A numerical model of the urban heat island, *J. Appl. Meteor.*, Vol.8 908-918, 1969

- 2) 森山 正和：地域環境アセスメントにおける地表面熱収支理論の応用研究（第3報・地表面熱収支の計算スタディ），日本建築学会計画系論文集，第272号，97-103，1978.10
- 3) 菅原広史，近藤純正：都市における各種地表面温度の敏感度解析，天気，42巻，12号，813-818，1995.1
- 4) 吉田伸治，大岡龍三，持田 灯，富永禎秀，村上周三：樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿気輸送連成解析による樹木の屋外温熱環境緩和効果の検討，日本建築学会計画系論文集，第536号，87-94，2000.10
- 5) 村上周三，持田 灯，金 相璣，大岡龍三：関東地方における土地利用状況の変化と流れ場・温度場の関係—Mellor-Yamada 型の都市気候モデルによる局地気象解析，日本建築学会計画系論文集，第491号，31-39，1997.1
- 6) 梅干野晃，加藤倍敬：高分解能航空機MS Sデータを用いた自動分類による市街地におけるみどりの抽出，日本建築学会計画系論文集，第407号，37-45，1990.1
- 7) 森脇 亮，神田 学：都市接地層における放射・熱・水・CO₂ フラックスの長期連続観測，水文・水資源学会誌，16，No.5，477-490，2003.
- 8) Miller, B. D. : Effect of local advection on evaporation rate and plant water status, *Aust. J. Agric. Res.*, Vol.15, 85-90, 1964
- 9) Dyer, A. J. and Crawford, T. V. : Observation of the modification of the microclimate at a leading edge, *Quart. J. R. Met. Soc.*, Vol.91, 345-348, 1965
- 10) Lang, A. R. G., Evans, G. N. and Ho, P. Y. : The influence of local advection on evapotranspiration from irrigated rice in a semi-arid region, *Agr. Meteor.*, Vol.13, 5-13, 1974
- 11) Oke, T. R. : Advectionally-assisted evapotranspiration from irrigated urban vegetation, *Boundary-Layer Meteor.*, Vol.17, 167-173, 1979
- 12) Spoken-Smith, R. A., Oke, T. R., Lowry, W. P. : Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park, *International Journal of Climatology*, 20, 1033-1047, 2000



付図1．葉面積密度を測定したサンプルのプロポーシオン



付図2．葉縦横長の計測による葉面積の推定

付表1．試験体の葉面積密度の実測結果

試験体番号	55	38	52	平均
枚数	2454	1641	2015	2037
推定面積合計 (m ²)	1.47	0.98	0.99	1.15
体積合計[平均直径] (m ³)	0.21	0.13	0.18	0.18
体積合計[最大直径] (m ³)	0.38	0.35	0.26	0.33
葉面積密度[平均直径] (m ² /m ³)	6.89	7.25	5.58	6.57
葉面積密度[最大直径] (m ² /m ³)	3.88	2.80	3.75	3.48