

# 微気象・水文観測に基づく緑化屋上からの 蒸発散量の算定および排水水質分析

高野保英<sup>1</sup>・江藤剛治<sup>2</sup>・竹原幸生<sup>3</sup>・福原輝幸<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 近畿大学助手 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江三丁目 4-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 近畿大学教授 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江三丁目 4-1)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 近畿大学助教授 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江三丁目 4-1)

<sup>4</sup>正会員 工博 福井大学教授 工学部建築建設工学科 (〒910-8507 福井市文京三丁目9-1)

近畿大学に屋上緑化区画および微気象・水文観測システムを構築し、蒸発散量の実測による緑化屋上における植生維持に必要な水量の算定、および緑化区画からの排水の水質調査を試みた。その結果、以下のことが明らかとなった。(1) 今回の観測より得られた夏季における芝の屋上緑化区画からの日蒸発散量は、4.4 mm および 6.2 mm であった。(2) 緑化区画からの排水には、除草剤・肥料に起因するもののみならず、今回使用した人工土壌に起因すると思われる硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンが含まれていた。(3) 屋上緑化区画からの排水水質を、最も厳しい基準である水域類型 I の湖沼の水質環境基準値と比較すると、硝酸・亜硝酸態窒素濃度は 7 ~ 10 倍程度、リン酸態リン濃度は 800 ~ 1400 倍程度であった。

*Key Words* : rooftop planting, water use for planting, evapotranspiration, water quality of drainage

## 1. はじめに

ヒートアイランドの緩和対策として都市における緑化が注目されており、東京都では 2001 年 4 月、条例により新築のビルディングの屋上への緑化が義務付けられた。その背景としては、公園、緑地および建物屋上も対象とした、緑化による熱環境改善効果に関する研究の進展が挙げられる。これらの研究を通じて、夏季における緑化域の気温上昇緩和あるいは緑化域からの冷気の吹き出しなどが確認され、ヒートアイランド現象緩和の効果定量的に実証されつつある<sup>1)</sup>。

しかしながら既往の研究では、緑化あるいは植栽に必要な不可欠となる、“水”に対する視点が不十分であると思われる。すなわち、数値解析により緑被率と気温低下量の関係を試算する事例<sup>2)</sup>は多いが、その緑被を維持するために必要な水量、すなわち緑化用水量に関する試算や実測の例はあまりみられない。例えば筆者らは、屋上緑化施設の水使用量の現状を知るために、大阪市内およびその周辺に位置する 5ヶ所の屋上緑化施設の管理者にヒアリング調査を行った。その結果、いずれの緑化施設においても植生への灌水量を定量的に把握していないことが判った。また、屋上緑化の施工・管理を行う企業においても、実測に基づいて緑化区画への散水量を決定し

ておらず、灌水時には水を多めに与えるよう指導していることが分かった。

屋上緑化施設の構築にあたって、その費用対効果を考える場合、植生維持のための水使用量は必須の原単位となる。また、国内の水資源利用の状況を踏まえると、緑化用水量には制限がある。特に夏季の渇水期においては植生維持のために多量の水が必要となるが、都市用水・農業用水の確保が優先されるため、大規模な緑地・緑化屋上を長期に渡って維持することは困難になると考えられる。

もう一つ緑化に関わる“水”の問題としては、その排水水質の問題があげられる。すなわち、緑地の維持のために除草剤・肥料等を使用することになるが、地上・屋上を含めて緑化面積の拡大を図った場合に、もはやこれらの化学物質が排水を通じて水質に与える負荷を無視することはできない。

従って、緑化による気候緩和を有効に進めるためには、蒸発散量および排水量の実測に基づいた緑化用水量の算定、あるいは排水の水質を測定することが重要となる。

筆者らは、近畿大学構内に屋上緑化区画および微気象・水文観測システムを構築し、緑化屋上における植栽による気温上昇抑制効果の検討、蒸発散量の実測による

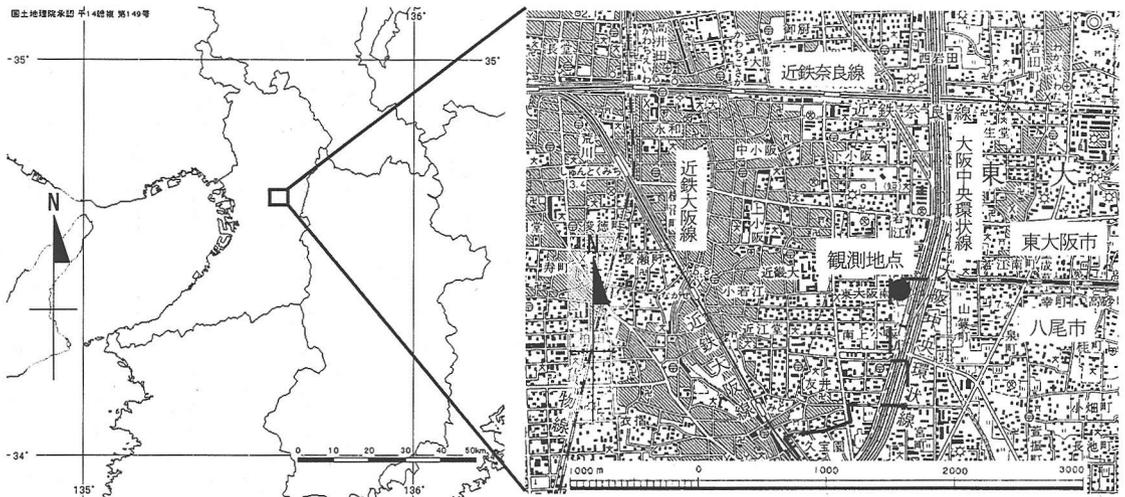


図-1 観測地点所在地

(ソフトウェア「白地図 KerMap」の地図画像および国土地理院発行 5 万分 1 地形図を基に作成)

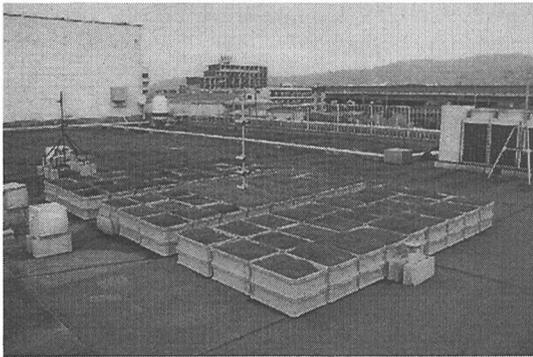


写真-1 屋上緑化区画

緑化屋上における植生維持に必要な水量の算定，さらに緑化区画からの排水の水質調査を試みている．その結果，夏季における屋上緑化区画からの日蒸発散量，あるいはその時間変化などの特性と緑化区画からの排水に含まれる硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度の時間変化を知ることができたので，報告する．

## 2. 観測区画およびシステムの概要

屋上緑化区画および微気象・水文観測機器は，2001年6月，近畿大学 34 号館（大阪府八尾市，北緯 34 度 38 分 45 秒，東経 135 度 35 分 51 秒，建物高さ約 8 m）屋上に設置され，それ以後，継続的に計測および緑化区画の拡張・増設が進められている（図-1 および写真-1 参照）．近畿大学 34 号館は，大阪府の東部にある東大阪市と八尾市の境界付近に位置しており，両市とも大阪の都市域を形成する，住宅・工場が密集した地帯で

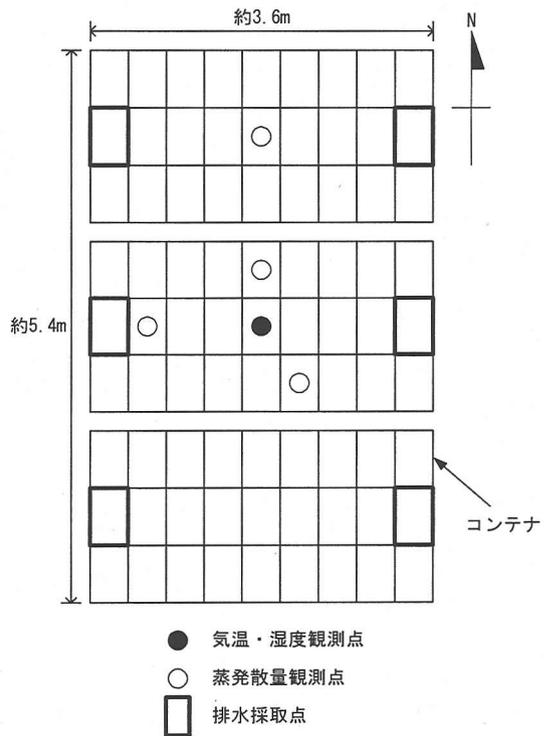


図-2 屋上緑化区画配置図

ある．

緑化区画は写真-1 および図-2 に示すように，プラスチック製コンテナ（外形 567 × 399 × 166 mm）を上下二段に計 162 個並べたものである．上段の各コンテナの内部は図-3 のように，排水フィルターとマットで構成された排水層，および人工軽量土壌（発泡スチロール混合土，以下，人工土壌と称す）層が設けられ，表面は

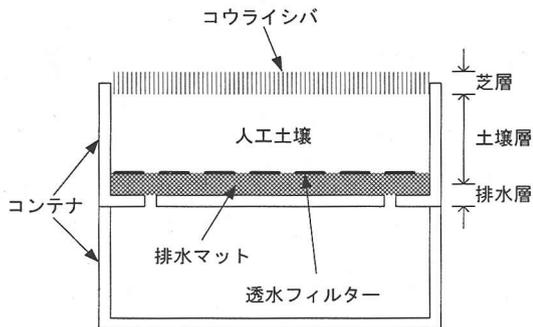


図-3 コンテナ断面図

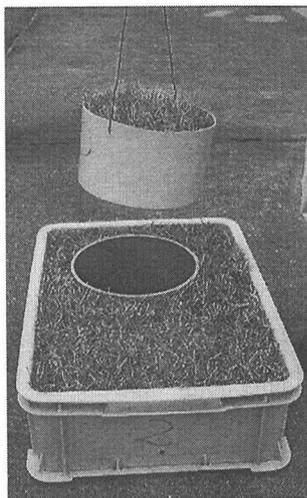


写真-2 蒸発散量測定用カラム

コウライシバ (学名 *Zoysia tenuifolia* Wild.) で覆われている。下段のコンテナは空であり、緑化区画からの排水の採取に使用する。正味の緑被面積は  $14.9 \text{ m}^2$  となる。なお灌水は、降水が確認された日を除いて毎日 1 個の緑化コンテナにつき 1  $\lambda$  (水位換算で  $5.45 \text{ mm}$ , 12月～7月) あるいは 2 $\lambda$  (水位換算で  $10.89 \text{ mm}$ , 8月～11月) を与える。

緑化区画の芝面からの蒸発散量の測定には、写真-2 に示すようなカラムを用いる。内径  $200 \text{ mm}$ 、長さ  $116 \text{ mm}$  の塩ビ管を緑化コンテナ内の人工土壌に埋設し、その中にプラスチック容器 (カラム) をはめ込む。カラム内には、コンテナと同様に人工土壌を詰め、その表面にコウライシバを敷設している。また、カラム底部には排水用の穴を設ける。このカラムを取り出し、その重量変化を電子天秤 (ユー・アンド・ディー製) で測定することにより、蒸発散量を求めることができる。また、排水量は、下段の排水コンテナに溜まった水の重量を測定することにより得られる。また、採取された水は水質分析にも使用される。なお、採水をしない排水コンテナの底

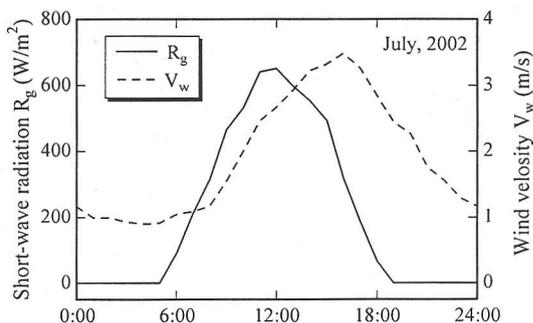


図-4 短波放射量および風速の月平均日変化 (2002年7月)

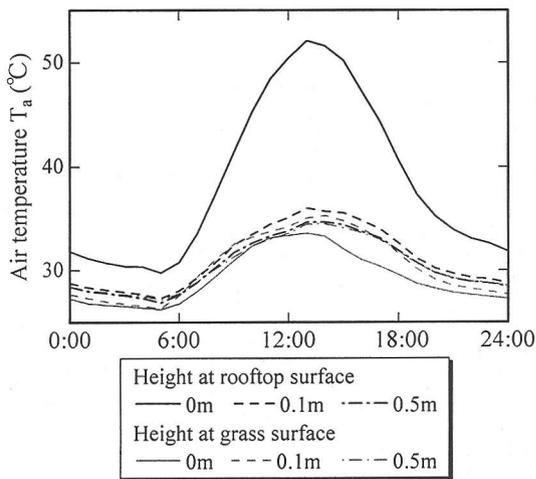


図-5 気温および表面温度の月平均日変化 (2002年7月)

には、穴を設けている。

散水量 (および降雨量) から、カラムの重量変化量および排水量を差し引いたもの (散水、降水、排水いずれも無い場合には重量変化量そのもの) が蒸発散量となる。カラムを埋設するコンテナ (4カ所) および採水するコンテナ (6カ所) の位置については、図-2を参照されたい。

次に、微気象観測システムと計測方法について述べる。気温の計測には熱電対を使用し、芝面およびその上方4点に設置する。大気の相対湿度は、湿度センサー (TDK製) により、芝面上方の3点で計測を行う。熱電対および湿度センサーは、直射日光や雨が当たらないように塩ビパイプ製のシェルターで覆われている。以上のセンサーは、図-2に示すように中央の緑化コンテナ上方に配置している。他の気象要素の計測機器として、屋上より上方  $1.7 \text{ m}$  に風杯式風速計 (英弘精機製)、屋上面上に短波放射計 (英弘精機製) および簡易雨量計<sup>3)</sup> (手製、2台) を設置している。

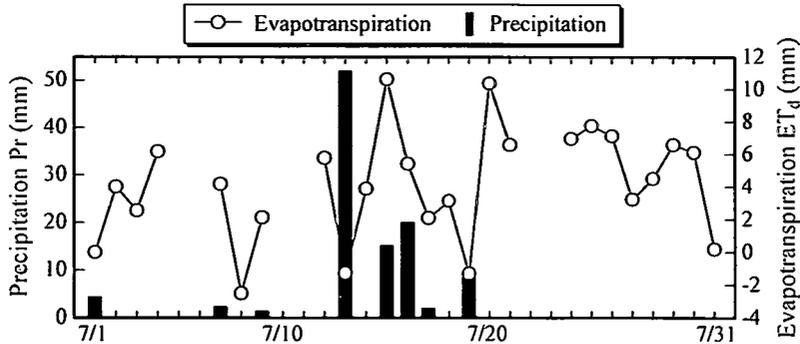


図-6 降水量および蒸発散量の日変化 (2002年7月)

なお、植生の有無による微気象特性の違いを知るために、緑化区画に隣接する屋上面（コンクリート面）上でも、温度・湿度の観測を行う（使用機器および設置高度は緑化区画と同じ）。

蒸発散量、雨量および排水量は、毎日1回測定を行う。またそれ以外の機器による計測は、10分～1時間間隔で連続的に行い、データはデータロガーやAD変換器を介して、パーソナルコンピュータに自動的に記録する。

### 3. 長期連続観測結果の例

本章では、微気象・水文観測例として、2002年7月の観測結果を紹介する。

図-4に、短波放射量  $R_s$  および風速  $V_w$  の月平均日変化を示す。 $R_s$  は5:00から上昇し始め、正午に約  $650 \text{ W/m}^2$  で最大となり、19:00に0となる。風速  $V_w$  は、深夜(0:00～6:00)には  $1 \text{ m/s}$  前後でほぼ一定、6:00から徐々に増加し、16:00に  $3.5 \text{ m/s}$  で最大となる。

図-5に、芝面上および屋上面上の気温  $T_a$  の月平均日変化を示す。屋上面(0 m)の温度は、13:00に約  $52 \text{ }^\circ\text{C}$  で最大になるのに対して、芝面のそれは蒸発散および植生による遮光の影響により、 $33.6 \text{ }^\circ\text{C}$  に留まっている。また両者の  $0.1 \text{ m}$  上における気温  $T_a$  は、例えば13:00の屋上面上で  $36 \text{ }^\circ\text{C}$ 、芝面上で  $35.1 \text{ }^\circ\text{C}$  であり、最大で  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  程度の違いが見られ、植生による気温上昇の抑制効果は確認された。ただし屋上面積に対して緑化区画の面積が小さいため、 $0.5 \text{ m}$  上になると  $T_a$  の違いはほとんど観測されない。

図-6に、2002年7月1日～7月31日における芝面からの日蒸発散量  $ET_d$  (水位換算、以下同じ) および日降雨量  $Pr$  の経日変化を示す。なお、 $ET_d$  のプロットが無い期間は欠測日である。また  $ET_d$  が負の値になる場合は、降水等による重量の増加があった場合を示しており、蒸発散量には相当しない。

日蒸発散量は、主に降雨のあった日の前後に大きな変動が観られ、その値が  $10 \text{ mm}$  以上になる日もあり、観測精度に疑問が残った。そこで原因を検討した結果、降雨後の排水量の測定については、観測を続けている過程で次のような問題点が浮上した。人工土壌を通過した水が排水層に残ったため、排水コンテナに溜まった排水量は正確な値ではないという可能性である。この問題への対策としてこれ以後、排水を採取する前に緑化コンテナを少し傾け、排水層に水が残らないように努めた。

以上のような問題点があったため、降雨の無い日の  $ET_d$  を観ると、その値は概ね  $5 \sim 6 \text{ mm}$  であり、散水量 ( $5.45 \text{ mm}$ ) と同程度の蒸発散が確認された。

現在のところ、上述のような観測結果が得られているが、緑化屋上の熱収支あるいは水分収支を得るには至っていない。今後さらに、長波放射・熱伝導量などの観測項目を増やすとともに、長期観測を継続的に行い、熱・水分収支の定量的な把握に努める。

### 4. 蒸発散量の集中観測

#### (1) 観測の目的

前章で緑化区画からの日蒸発散量の経日変化を示したが、このデータだけでは以下の点が不明である。

- (a) 散水および降雨がまったく無い場合の蒸発散量
- (b) 蒸発散が卓越する時間帯や蒸発散速度などの日変化特性

そこで、降雨・散水が無い場合の24時間に渡る屋上緑化区画からの蒸発散量の変化を知るために、2002年8月に蒸発散量の集中観測を行った。

#### (2) 観測概要

集中観測は、2002年8月2日～7日 (Series 1) および8月20日～23日 (Series 2) の2回行う。両観測期間中とも概ね快晴が続き、8月2日の15:00～

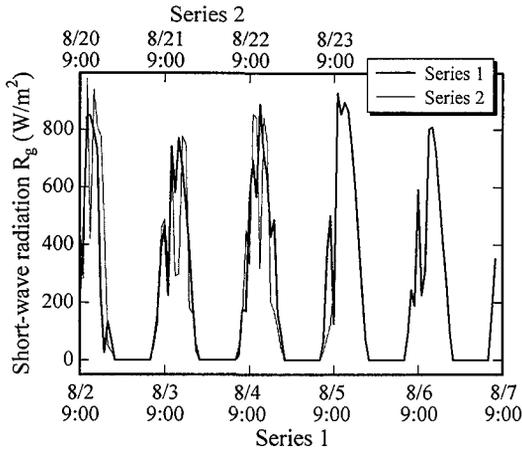


図-7 短波放射量の経時変化 (Series 1 および Series 2)

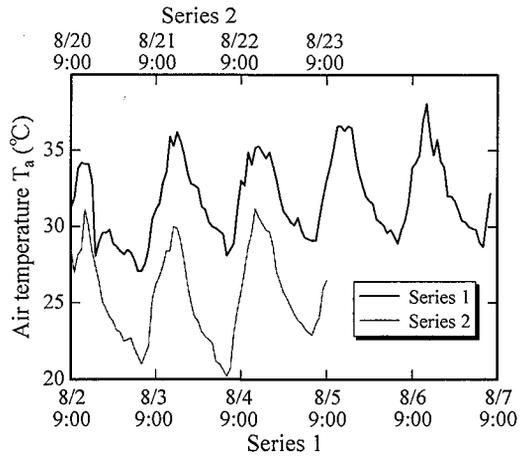


図-9 気温の経時変化 (Series 1 および Series 2)

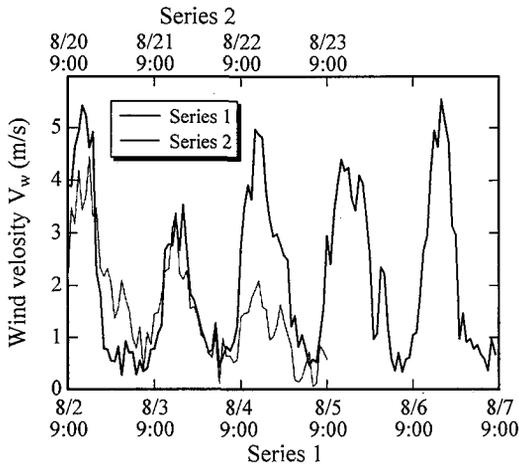


図-8 風速の経時変化 (Series 1 および Series 2)

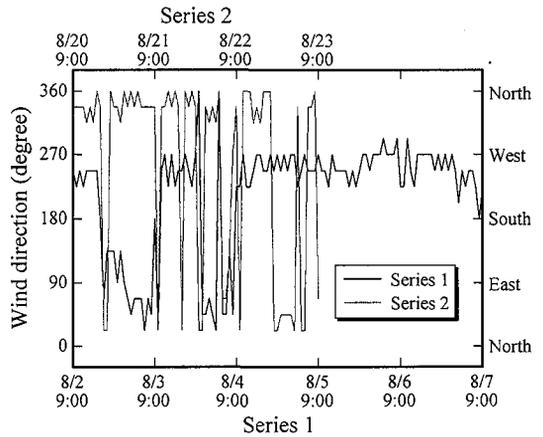


図-10 風向の経時変化 (Series 1 および Series 2)

19:00 の間のみ約 3.4 mm の降雨があった (排水は無し)。

集中観測開始日 (8月2日および8月20日) の9:00に、各緑化コンテナに2λ (水位換算で10.89 mm) の灌水を与え、以後観測終了時まで水を与えず (上述の8月2日の降雨を除く)、蒸発散量測定カラムの重量変化量と排水量を1時間 (昼間) ~ 6時間 (夜間) 毎に計測した。なお、灌水後の排水は2時間で終了した。あらかじめ行ったコンテナ内土壌の水分量の予備測定により、重力排水終了後の土壌は自重と同程度の水 (約5 kg) を保持していることが確認された。気温・湿度等の微気象観測は、2. で述べた方法と同様に計測された。

### (3) 観測結果

図-7~図-9に、屋面上上の短波放射量  $R_g$ 、風速  $V_w$  および屋面上上1mの気温  $T_a$  の経時変化を、それぞれ Series 1 および Series 2 について示す。

Figure 7 shows the diurnal variation of short-wave radiation  $R_g$  (W/m<sup>2</sup>) from August 20, 9:00 to August 7, 9:00. Both Series 1 (solid line) and Series 2 (dashed line) exhibit similar patterns with peaks around 800-900 W/m<sup>2</sup> and troughs near 0 W/m<sup>2</sup>.

Figure 9 shows the diurnal variation of air temperature  $T_a$  (°C) from August 20, 9:00 to August 7, 9:00. Series 2 (dashed line) is consistently lower than Series 1 (solid line), with a difference of approximately 5-8°C.

Figure 10 shows the diurnal variation of wind direction (degree) from August 20, 9:00 to August 7, 9:00. The y-axis ranges from 0 to 360 degrees. Series 1 (solid line) shows a clear shift from West (270) to North (0) around 8/3. Series 2 (dashed line) shows highly variable wind directions, generally staying between 0 and 90 degrees.

Figure 8 shows the diurnal variation of wind velocity  $V_w$  (m/s) from August 20, 9:00 to August 7, 9:00. Both Series 1 (solid line) and Series 2 (dashed line) show diurnal cycles with peaks around 5 m/s and troughs near 0 m/s.

Figure 11 shows the diurnal variation of the integrated evaporation quantity ET from August 20, 9:00 to August 7, 9:00. Series 1 (solid line) shows a peak around 6.2 mm, while Series 2 (dashed line) shows a peak around 4.4 mm.

Figure 12 shows the diurnal variation of the integrated evaporation quantity  $Q_{ET}$  from August 20, 9:00 to August 7, 9:00. Series 1 (solid line) shows a peak around 6.2 mm, while Series 2 (dashed line) shows a peak around 4.4 mm.

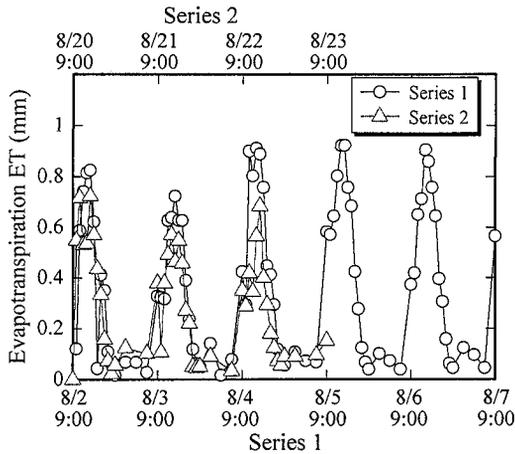


図-11 蒸発散量の経時変化 (Series 1 および Series 2)

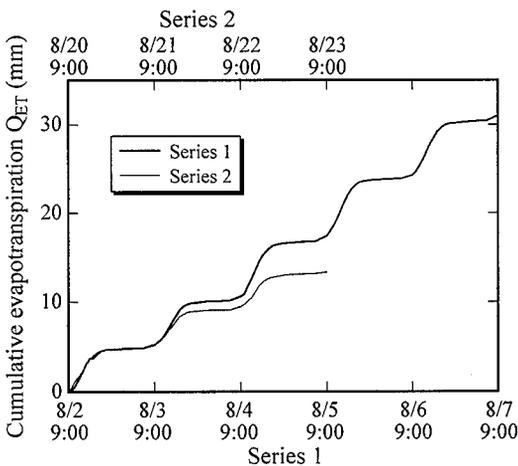


図-12 積算蒸発散量の経時変化 (Series 1 および Series 2)

のティフトンシバからの蒸発散量を計測し、その結果に基づいて夏季(2000年8月)における日平均蒸発散量を6.5mm程度と推定している。今回行った屋上における観測結果は、これに比べて若干小さい。

また図-11 および図-12 から、緑化屋上からの蒸発散特性について興味深い点が幾つか観られる。

最初に Series 1 の日蒸発散量の変化に注目する。途中の降雨を除いて、水をまったく与えていないため、蒸発散の進行すなわち土壌水分量の減少とともに、日蒸発散量は徐々に低下すると思われたが、観測開始後、日蒸発散量は毎日ほぼ同じ値であり、5日目になってもその低下が見られない。この現象は、人工土壌の保水特性あるいは透水特性に起因すると思われる。人工土壌を用いた緑化屋上の水収支を理解する上において、人工土壌の物性に関する知見が重要であることを示唆する。

次に、Series 1 および Series 2 とともに積算蒸発散量の

表-1 各都市における緑化可能屋上を総て緑化した場合の蒸発散量試算結果

都市名	緑化可能屋上面積 (m <sup>2</sup> ) <sup>a)</sup>	蒸発散量	
		(m <sup>3</sup> /day)	(m <sup>3</sup> /s)
仙台	14,580,000	90,396	1.1
東京	29,610,000	183,582	1.8
名古屋	25,850,000	160,270	1.6
大阪	12,420,000	77,004	0.8
広島	11,410,000	70,742	0.7
福岡	12,290,000	76,198	0.8

時間勾配が大きい時間帯、すなわち蒸発散が卓越する時間帯は9:00から16:00であることが分かる。筆者らは、他の研究者による森林や草地からの蒸発散量の実測あるいは計算結果等<sup>5),6)</sup>を踏まえて、蒸発散は日の出あるいはその直後に相当する6:00~7:00頃から増加し、日の入り後の19:00~20:00頃にほぼ0になると予想していたが、屋上緑化区画からの蒸発散はそれよりも遅く始まり、早く終わることが示された。

この原因としては、次のようなことが考えられる。

- (a) 一般的に、風速の増大に伴い蒸発散量も増加する。今回の観測結果によれば、風速の増大が始まる時間は、短波放射量のそれよりも若干遅い。その結果、蒸発散量が増加し始める時間もまた遅くなる。
- (b) 今回設置した緑化コンテナの下には空のコンテナがあり、コンテナ底面からあるいはコンテナ底面への熱伝導は生じない。その結果、熱収支の構成要素の時間変化が、地上の緑地面と異なる可能性がある。今後、土壌温度等の計測を実施し、熱収支を定量的に把握した上で、この原因を究明する。

#### (4) 主要都市における屋上緑化用水量の試算

今回の計測結果を基に、8月期の屋上緑化面からの日蒸発散量を6.2mmと想定し、主要都市の緑化可能な屋上面積を総て緑化した場合の日および秒当たりの蒸発散量を試算した。その結果を表-1に示す。

もとより今回の観測結果は、日本全国あるいは一年を通じて適用できる結果ではない。しかしながら、ここでは以下のような観点から試算を行った。屋上緑化施設の植生維持のためには、少なくとも蒸発散量以上の用水量が必要となるが、緑化面積の拡大に伴いその量もまた増大する。その結果、渇水時などにおいて緑化用水量の確保の問題が、国内の水資源利用の問題に関わる可能性も無視できない。ここで示す試算結果は、そのような状況の理解の一助になることを期待して、参考のために供するものである。なお、表中の緑化可能屋上面積は(財)都市緑化技術開発機構による推定値<sup>7)</sup>である。

一人一日当りの生活用水使用量はおよそ320λ/人・

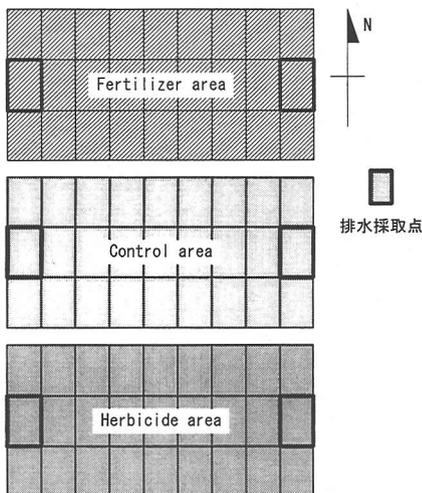


図-13 排水水質連続観測区画の概要

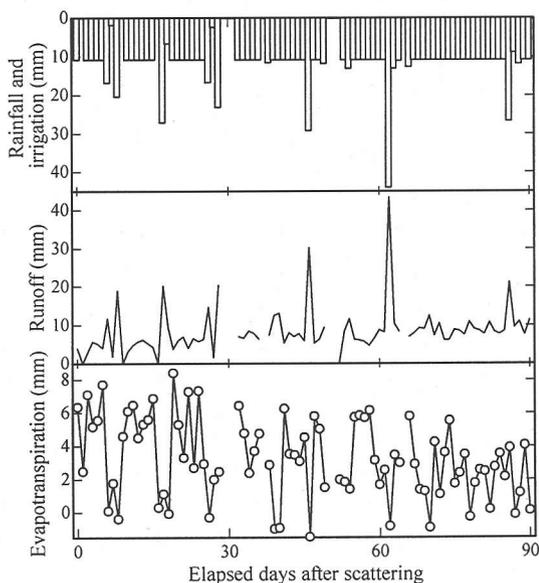


図-14 排水水質連続観測期間中における日毎の降水量と灌水量の和、排水量および蒸発散量の経時変化

日（平成9年度、全国平均）<sup>8)</sup>である。表-1 から、緑化可能屋上を全て緑化した場合、例えば東京では約55万人分の生活用水使用量と同程度の緑化用水量が毎日必要となる。降雨や天候不良により、今回想定した蒸発散量よりも実際のそれはやや小さくなるであろうが、ここで示した数値は緑化屋上のみを対象とした試算結果であり、地上の緑地あるいは緑化壁面も考慮した場合、必要緑化用水量はさらに多くなることが予想される。

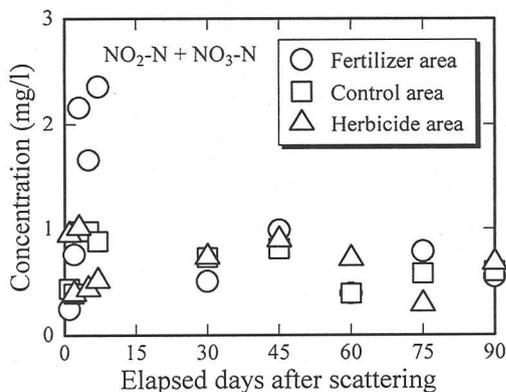


図-15 排水中の硝酸・亜硝酸態窒素濃度経時変化

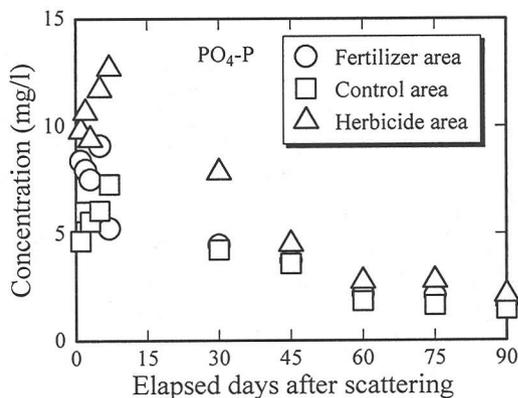


図-16 排水中のリン酸態リン濃度経時変化

## 5. 排水水質連続観測

### (1) 観測の目的

屋上緑化区画に、肥料および除草剤を与えた場合、排水にはそれらを起源とする物質が含まれることになり、水質に与える影響を考慮しなければならない。この問題に関する基礎的な知見を得るため、植栽に使用される化学物質に一般的に多く含まれる窒素およびリンに注目して、2002年8月31日より90日間に亘って、屋上緑化区画からの排水水質の連続観測を行った。

### (2) 観測概要

2002年8月31日、上述の緑化区画内の北側に配置された27個の緑化コンテナに化成肥料（粒状、保証成分（%）N:8、 $PO_4$ :8、 $K_2O$ :8）を $60.6 \text{ g/m}^2$ 、また南側の27個の緑化コンテナに除草剤（DCBN粒剤、2,6-ジクロロチオベンザミド4.0%）を $10 \text{ g/m}^2$ 、それぞれ散布する。中央の27個の緑化コンテナは、比較対照のための基準区画として、何も散布しない（図-13参照）。肥料および除草剤の散布量は、それぞれの製品に記載されている使用

表-2 屋上緑化区画からの排水水質と水質環境基準値との比較

	観測結果の平均値(カッコ内は最大値)				生活環境の保全に関する水質環境基準(湖沼)	
	肥料区画	基準区画	除草剤区画		水域類型 I	水域類型 V
硝酸・亜硝酸態窒素(mg/l)	1.04(2.36)	0.67(0.98)	0.66(1.01)	全窒素	0.1mg/l以下	1mg/l以下
リン酸態リン(mg/l)	5.25(9.11)	4.24(7.31)	7.43(12.7)	全リン	0.005mg/l以下	0.1mg/l以下

方法に従って決定された。

散布後原則として、降水が確認された日を除いて、所定の灌水(10.89 mm)を毎日与え、総ての区画について2ヶ所の排水コンテナから排水を採取する。排水採取は散布翌日から開始し、散布2, 3, 5, 7, 30, 45, 60, 75, 90日後にそれぞれ採水する。吸光光度法により、排水内の硝酸・亜硝酸態窒素( $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ )およびリン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )の濃度を測定する。なお、灌水する水および降水の分析も行ったが、上記の物質はほとんど含まれていないことが確認されている。

### (3) 観測結果

図-14に、観測期間中における日毎の降雨量と灌水量の和、排水量および蒸発散量の経時変化を示す。また図-15および図-16に、各区画からの排水中の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンの濃度経時変化をそれぞれ示す。

まず硝酸・亜硝酸態窒素濃度に注目すると、基準区画(□)および除草剤区画(△)では、ほとんど濃度の変化が観られない。一方肥料区画(○)では、散布1週間後までは濃度が高く、散布30日後以降は他の2区画とほぼ同じ値を示す。従ってこの頃までに、肥料の成分として加えられた量に相当する硝酸・亜硝酸態窒素は、土壤中から失われていることが知れる。また、基準区画の排水からも常に0.5～1 mg/l程度の硝酸・亜硝酸態窒素が検出されており、人工土壌から窒素が排出されていることが示唆される。

次にリン酸態リンの経時変化を観ると、総ての区画について、散布直後から高い濃度が検出されていることが判る。特に除草剤区画では散布1週間後までに濃度が急上昇し、その後指数関数的に減少する。散布45日後以降、総ての区画でリン酸態リン濃度はほぼ同じ値を示しながら漸減する。また硝酸・亜硝酸態窒素と同様に、基準区画の排水からも高濃度のリン酸態リンが検出されており、人工土壌にはリンも多量に含まれていることが予想される。

基準区画排水中の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンが、人工土壌起源のものかどうかを検討するために、緑化基盤として使用した人工土壌0.1gを100mlの水に加え、よく攪拌させた後、水の硝酸・亜硝酸態窒素濃度とリン酸態リン濃度を測定した。その結果、前者は

3.8 mg/l、後者が2.5 mg/lであり、人工土壌からも硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンが排出されることが判った。

### (4) 排水水質の環境基準との比較

表-2に、今回の観測より得られた排水の硝酸・亜硝酸態窒素濃度とリン酸態リン濃度の平均値と最大値を示す。窒素およびリンは、湖沼などの富栄養化を引き起こす最も大きな要因である。そのことを踏まえて、同表には「水質汚濁にかかわる環境基準」中の「生活環境の保全に関する水質環境基準」で定められた、湖沼(水域類型IおよびV)における全窒素および全リンの基準値も示されている。

まず窒素について見ると、排水中の平均濃度は、最も基準が厳しい水域類型I(自然環境保全、水道用水等の利用に適応する水域)の基準値の7～10倍程度である。最も基準が緩い水域類型V(工業用水、農業用水等の利用に適応する水域)の基準値と比べても、同程度か7割弱である。観測結果は硝酸・亜硝酸態窒素のみであり、これにアンモニア態窒素が加わると、基準値を上回る可能性もある。

リンについては、どの区画の平均濃度も環境基準値を大きく上回っている。水域類型Iおよび水域類型Vの基準値と比較した場合、除草剤区画ではそれぞれ約1400倍と約70倍、基準区画でもそれぞれ約800倍と約40倍になっている。窒素と同様、観測結果はリン酸態リンのみの値であり、有機態のリンが加わると更に大きな値となる。

以上より、今回の観測で得られた屋上緑化区画からの排水中の窒素およびリンの濃度は、環境中の水域のそれらに比べて高いことが知れる。特に、除草剤・肥料を使用していない基準区画でも、リン濃度は最も緩い環境基準値をはるかに超える。従って、屋上緑化施設からの排水の水質を考える場合、肥料や除草剤などに起因する物質のみならず、人工土壌に起因する物質も考慮しなければならない。

## 6. まとめ

緑化による気候緩和を有効に進めるためには、蒸発

散量および排水量の実測に基づいて緑化用水量を算定する必要がある。また肥料・除草剤などの化学物質が、排水を通じて水質に与える影響も考慮しなければならない。本研究では基礎的研究として、大阪の東部に位置する近畿大学構内に屋上緑化区画を設置し、微気象観測および屋上緑化区画からの蒸発散量の実測および排水水質の調査を試みた。得られた知見を以下に記す。

- (1) 小規模な屋上緑化区画であるが、芝面上での気温上昇抑制効果が確認された。
- (2) 今回の観測より得られた夏季の屋上緑化区画からの日蒸発散量は4.4 mm および6.2 mm である。
- (3) 水を与えない条件下においても、夏季の屋上緑化区画からの日蒸発散量は、5日間経ってもほとんど変化しない。
- (4) 屋上緑化区画からの蒸発散量が卓越する時間帯は、9:00 ~ 16:00 であり、地上の草地等におけるそれに比べて時間が短い。
- (5) 緑化区画からの排水には、肥料・除草剤起源のみならず、今回使用した人工土壌起源の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンが含まれている。従って、屋上緑化施設からの排水水質に影響を与える物質として、人工土壌に起因する物質も考慮する必要がある。
- (6) 緑化区画からの排水の水質を、最も基準が厳しい水域類型Ⅰの湖沼の水質環境基準値と比べると、硝酸・亜硝酸態窒素濃度は7~10倍であり、リン酸態リン濃度は800~1400倍程度であった。また、最も基準が緩い水域類型Ⅴの湖沼の環境基準値と比較しても、硝酸・亜硝酸態窒素濃度について0.7~1倍、リン酸態リン濃度について40~70倍程度であった。

緑化用水の節約あるいは植生維持管理の容易さの観点

から、近年、屋上緑化用植物としてセダム類などの耐乾性植物が注目されている。これらの植物の使用は、緑化用水量の低減には大きく寄与するであろうが、緑化区画に与えられる水が少なくなると、蒸発散による気温上昇抑制効果も小さくなる恐れがある。また、本論文で紹介した観測を現在も継続しているが、緑化屋上の熱収支あるいは水分収支を得るには至っていない。今後は微気象観測の項目を増やすとともに、芝のみならず種々の植物を用いて屋上緑化区画を拡張し、より精細な計測に基づく熱・水分収支の算定を行い、緑化による気温上昇抑制効果と植生維持に必要な緑化用水量の算定を試みる。

#### 参考文献

- 1) 例えば、神田学、森脇亮、高柳百合子、横山仁、浜田崇：明治神宮の森の気候緩和機能・大気浄化機能の評価(1)1996年夏期集中観測，天気，Vol. 44，No. 10，pp. 713-722，1997。
- 2) 例えば、吉田伸治、村上周三、持田灯、大岡龍三、富永植秀、金相璠：対流・放射・湿気輸送を連成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析，日本建築学会計画系論文集，No. 529，pp. 77-84，2000。
- 3) 牛山素行編：身近な気象・気候調査の基礎，古今書院，2000。
- 4) 加藤泰子，山本聡，石田均，前中久行：土壌水分および日射量測定に基づく薄層土壌の必要保水量について，ランドスケープ研究，Vol. 64，No. 5，pp. 541-544，2001。
- 5) 近藤純正編：水環境の気象学，朝倉書店，1994。
- 6) 近藤裕昭編：人間空間の気象学，朝倉書店，2001。
- 7) (財)都市緑化技術開発機構編：屋上・壁面緑化技術のてびき，大蔵省印刷局，1999。
- 8) 国土庁長官官房水資源部編：平成12年度版日本の水資源，大蔵省印刷局，2000。

(2007. 3. 14 受付)

## ESTIMATION OF EVAPOTRANSPIRATION RATE AND DRAINAGE WATER QUALITY FROM VEGETATION ON ROOFTOP BASED ON METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL OBSERVATION

Yasuhide TAKANO, T. Goji ETOH, Kohsei TAKEHARA and Teruyuki FUKUHARA

To estimate evapotranspiration rate and drainage water quality from vegetation on rooftop, meteorological and hydrological observation on rooftop planting has been carried out at Kinki University since 2001. The evapotranspiration from the grass surface was measured by the column buried in the grass-covered area. It was found that the average evapotranspiration rate from grass-cover area on rooftop is 4.4mm to 6.2mm. Chemical analysis of drainage water from rooftop planting showed that the concentration of  $\text{NO}_2\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$  is 7 to 10 times of the most strict water quality standard of lakes in Japan, and the concentration of  $\text{PO}_4\text{-P}$  is 800 to 1400 times of that.