

関東の農業気象 *E-Journal*

第 2 号

日本農業気象学会 関東支部会誌 電子媒体版

平成17年11月(2005)

日本農業気象学会関東支部 2005 年度例会
講演要旨集

2005 年 12 月 2 日 東京都環境科学研究所（東京都江東区新砂）

日本農業気象学会関東支部事務局
〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1
中央農業総合研究センター 耕地環境部 気象立地研究室

関東の農業気象 E-Journal 第2号(2005) 目次

シンポジウム 「ヒートアイランド現象と緑化による対策」

東京におけるヒートアイランドの実態—高密度観測網 METROS による観測結果—	安藤晴夫	1
東京都におけるヒートアイランド対策の取り組み	光本和宏	5
ヒートアイランド対策の現状と課題—屋上緑化等の被覆対策技術を中心として—	三坂育正	10
緑によるヒートアイランド緩和効果—研究の現状と今後の展望—	成田健一	15

一般研究発表

芝生校庭とダスト舗装校庭における熱環境の比較	横山 仁・久保田哲也・横家将納・堀江勝年・山口隆子・青木正敏	19
都市の温暖化対策としての屋上緑化と特殊舗装面に関する微気象研究	福岡義隆・松本 太・丸本美紀	20
大阪城公園からの冷気のにじみ出し現象の測定結果	竹林英樹・森山正和	24
夏季静穏日における東京都区部の局地気圧系の日変化	仁科淳司・三上岳彦	25
気候緩和機能に関するモデル数値実験とフィールド気象観測	井上君夫	26
Measurements of the evapotranspiration and crop factor above a red pine forest and different crop fields in Japan	Pedram ATTAROD, Daisuke KOMORI, Keisuke NONAKA, Shangxun ZHANG Tiwa PAKOKTOM, Katsutoshi HORIE, Masatoshi AOKI and Shoji MATSUMURA	27
ガウシアンプロセスを用いた晩霜期の最低気温予測	高橋昇平・松岡延浩・今 久	28
ビワの寒害対策について	石原幹也・高橋 悟・渡邊文雄・関山哲雄	29
青色光照射時のクロロプラストおよび液胞内 pH 変化の多光子レーザー走査顕微鏡による観察の試み	蔵田憲次・若林 潤	30

東京都におけるヒートアイランドの実態 — 高密度観測網 METROS による観測結果 —

安藤晴夫・市野美夏・横山仁・山口隆子・石井康一郎（都環研）

1. はじめに

東京都環境科学研究は、都内のヒートアイランド現象の詳細な実態把握を目的として、2002年夏からMETROS20とMETROS100と呼ばれる2種類の気象観測システムにより、都区部を中心に多数の地点で気温や風など多項目の気象要素について連続観測を行ってきた。ここではMETROSの観測結果から明らかになった都区部における夏期の気温分布の特徴と、2004年8月に都内で発生した局地的強雨の観測事例について報告する。

2. 観測方法

2.1 METROS100

METROS100は、東京都23区内の小学校約100校の百葉箱内に設置した温湿度ロガーにより10分間隔で気温・湿度を測定するシステムである(図1、2)。観測地点は約2km間隔で配置され、2002年7月中旬から今日まで継続して観測が行われている。約45日間隔で測定データを回収し、器差補正後、異常値の検出、除去処理を行い、解析に使用した。

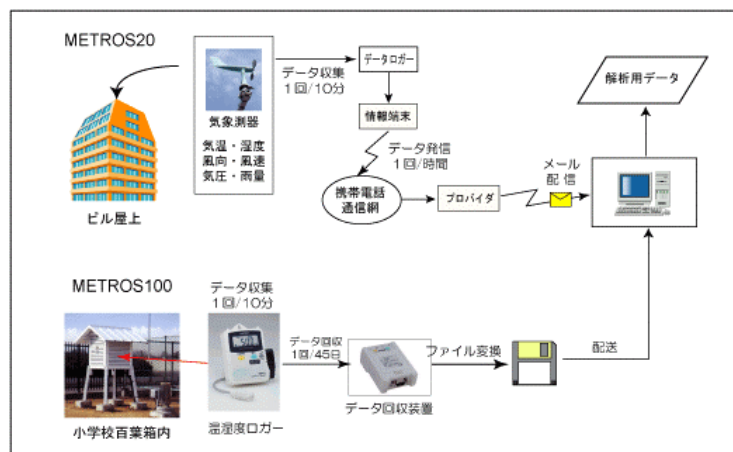


図1 都内ヒートアイランド観測システムMETROS

2.2 METROS20

METROS20は、都内20地点の高層ビルや学校の屋上に設置した気象測器により、10分間隔で気温、湿度、気圧、風向風速、雨量を測定するシステムである(図1、2)。観測地点は約6km間隔で配置され、2002年8月～2005年3月まで観測を行った。なお、キャノピー層境界付近のデータを収集するため、測器の設置高度は周囲の状況により異なる(標高30～193m)。1時間毎に電子メールとしてPC端末に配信されてくる測定データを、点検・整理し、解析に使用した。

3. 結果と考察

3.1 都区部の気温分布の特徴

図3、4は、2002、2003、2004年の7月20日～9月30日にMETROS100で観測された気温データから、年別に気温が25℃及び30℃を越えた時間割合(%)を地点毎に求め、コンター図に表したものである。

夜間の気温の下がり難さに関連すると考えられ



図2 METROS観測地点

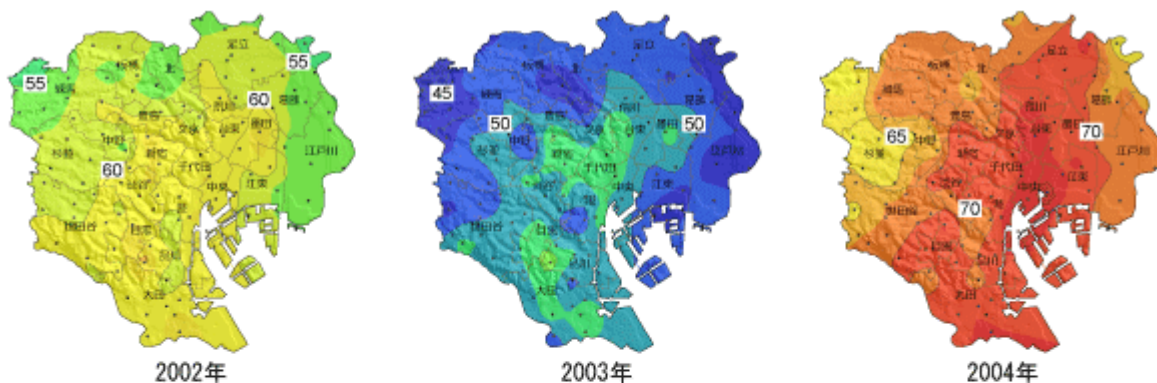


図3 気温 25°C以上の時間割合(%) (7月20日～9月30日)

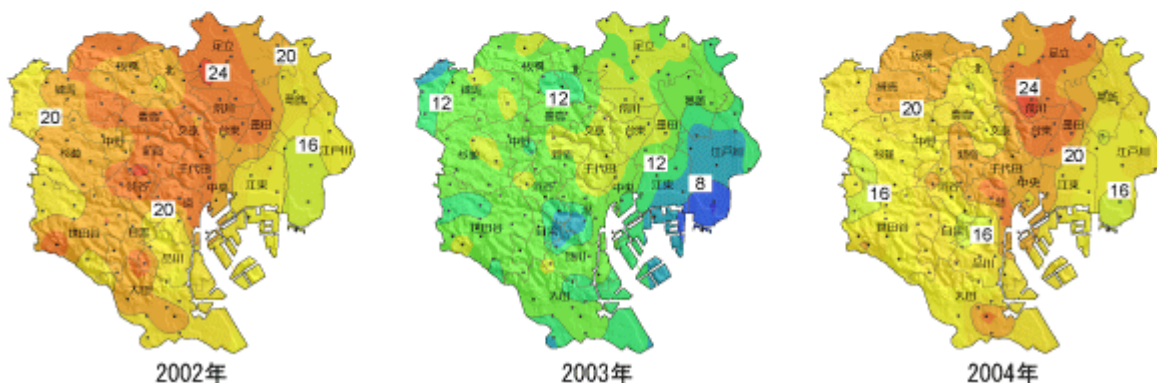


図4 気温 30°C以上の時間割合(%) (7月20日～9月30日)

る 25°Cを超えた時間の割合は、東京湾岸寄りの地域で相対的に高い傾向が認められた。また3年間の比較では、2004年が約70%で最も高く、2002年、2003年の順に概ね10%ずつ値が低くなっていた。

一方、気温が 30°C以上の時間割合が高い地域は、各年とも都心部から北側の内陸部に広がっていた。3年間の値を比較すると、冷夏であった2003年の時間割合は、猛暑であった2002、2004年と比べて約1/2であった。また、2002年と2004年との比較では、2002年の方が割合がやや高いことが分かった。

同じ期間の気温データを用いて、真夏日日数、熱帯夜日数、日最高気温平均値、日最低気温平均値の分布についても検討したところ、熱帯夜日数と日最低気温の分布は25°C以上の時間割合と、真夏日日数と日最高気温平均値の分布は30°C以上の時間割合と同様な分布傾向を示した。

3.2 気温の日変化パターンの解析

METROS100で観測された2002年夏季(7月20日～8月31日)の各地点の気温偏差(地点の気温と全域の平均気温との差)に主成分分析を適用して、気温分布の日変化パターンを検討した。累積寄与率は第1, 第2, 第3主成分まででそれぞれ30, 50, 60%であった。

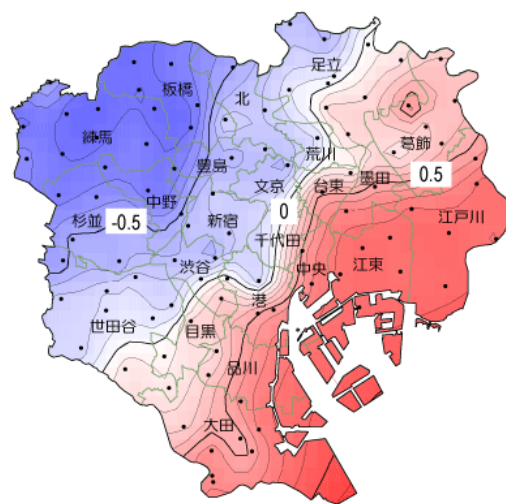


図5 第一主成分因子負荷量の空間分布

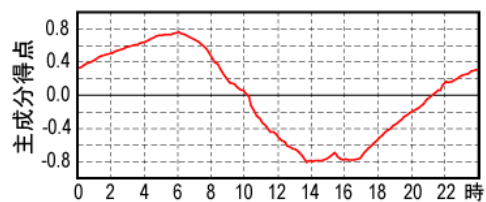


図6 第1主成分得点の日間変動特性

第1主成分の因子負荷量の平面分布を図5に示す。23区北西の内陸部と南東の沿岸部を結ぶ線に沿って因子負荷量の値が変化し、正負が逆転する構造が認められる。すなわち、相対的な気温の高低が、内陸部と沿岸部では逆の傾向を示している。第1主成分得点の時刻別平均値を図6に示す。主成分得点は、各地点について「因子負荷量×気温偏差」として計算される値の総和に比例する。すなわち、今回の場合、因子負荷量の符号により地点を沿岸部と内陸部に分けて単純化すると、次式(a)により

主成分得点 $\propto$

沿岸部の因子負荷量（正）×沿岸部の気温偏差

+内陸部の因子負荷量（負）×内陸部の気温偏差 ・ ・ ・ ・ ・ (a)

と表される。式(a)から、気温偏差に関して、沿岸部が正、内陸部では負の場合に主成分得点が最も高くなり、両者の正負が全く逆の場合には主成分得点は最も低くなることが分かる。この式と図6から、主成分得点が最も高い朝6時頃は沿岸部の気温偏差が正で、内陸部は負の場合に相当し、14～16時には内陸部の気温偏差が正で、沿岸部の気温偏差が負になっていると考えられる。言い換えれば、6時頃には沿岸部の気温が、14～16時頃は内陸部の気温が相対的に最も高くなるという気温の日変化パターンが存在することをこの結果は示している。

3.3 局地的強雨時の気象状況

前述のように、時空間的に高密度な気象データが得られることがMETROS観測の特徴である。ここでは、その一例として、2004年8月10日に都心部で発生した局地的強雨時(雷雨)の観測結果を紹介する。

METROSデータによれば、当日の気温は、12:00には、都区部のほぼ全域で30℃を超え、海側からの南東風によって、練馬区周辺に収束域の形成が認められた。

降雨は12:50～13:50の約1時間に、都区部の中央に位置する5地点で観測され、これらの地点の積算雨量は0.5～10.5mmで、新宿区内の地点が最も多かった。10分間雨量の最大値は4.5mmであった。

図7は、新宿区内の地点の気象要素

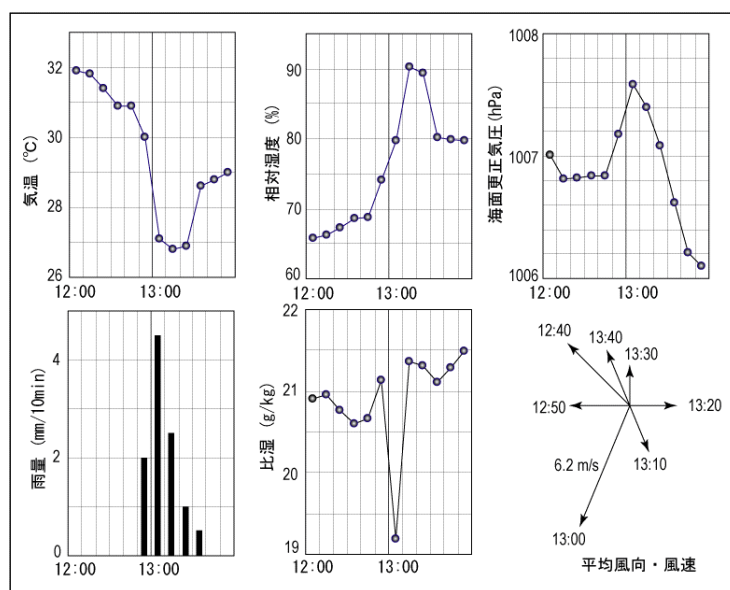


図7 新宿区(NETROS20)における気象要素の時系列変化

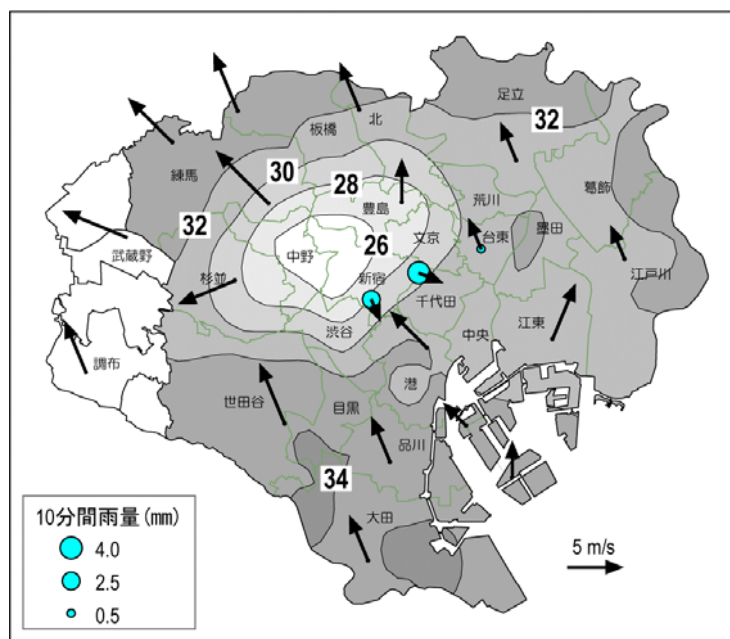


図8 気温、風、雨量の分布（2004年8月10日13時10分）

の時系列変化を示したものである。

12:00 に 32℃であった気温は、降雨前から下がり始め、降雨に伴い急激に 27℃まで低下し、その後すぐに 29℃まで上昇した。相対湿度は、降雨に伴い上昇し、降雨後に再び低下した。気圧は、最も雨が強くなった 13:00 に最も高くなり、その後低下した。比湿は、13:00 に急激に下がり、すぐに再び急上昇した。風向は、当初の南東風が、降雨が始まった 12:50 頃から次第に北向きに転じ、反時計回りに約 1 時間で 1 回転した。風速は、13:00 の 6.2m/s が最も強かった。

図 8 は、13:10 の気温と風、10 分間雨量の分布で、降雨域付近を中心に同心円状に気温の低下域が認められる。風は、この降雨域から周囲に発散している。また、20 地点における観測結果によれば、降雨域の気圧は周辺部に比べ高い傾向を示した。

以上の結果から、2004 年 8 月 10 日の降雨では、雲内で生じた下降流による冷気の吹き出しが認められ、その空間スケールは測定地点間の距離（約 5～6km）より小さいものであったと考えられる。

4. おわりに

METROS の観測結果から、都区部における気温分布等の地域特性が明らかになってきた。また、こうした高密度観測が、都市型集中豪雨などの空間スケールが数 km オーダーの局地的気象現象の実態把握にも非常に有効であることも、これまでの解析結果から分かってきた。現在は、METROS データと衛星リモートセンシングデータや人工廃熱データ、土地利用データなど、各種データとを組み合わせより詳細な検討を進めており、今後報告していきたい。

なお、インターネットのホームページ上に「ヒートアイランド現象を探る」のタイトルで観測結果の概要や関連情報を掲載中であり、ご覧いただければ幸いである。

（ホームページのアドレス：<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/heat2/>）

東京都におけるヒートアイランド対策の取組

光本和宏（東京都環境局都市地球環境部計画調整課）

1 はじめに

東京の年平均気温は、過去 100 年の間で約 3.0℃の気温上昇（全地球平均約 0.6℃）が観測されており、国内の他の大都市の平均気温の上昇が 2.4℃、中小規模の都市では 1.0℃であることから東京における都市の温暖化の進行は明らかである。

また、大手町で観測された熱帯夜日数は 30 年前と比較すると、約 2 倍程度に増加した傾向にあり（図 1）、さらに、昨年度においては、真夏日日数（70 日：気象庁）や熱中症搬送人数（7 月、8 月合計、892 人：消防庁）が過去最高の値を更新するなど、2 つの温暖化の進行に伴い都民の健康への影響も考えられ、東京におけるヒートアイランド対策は喫緊の課題といえる。

2 東京のヒートアイランド現象の現状

ヒートアイランド現象は局地性の高い現象であり、東京都環境科学研究所では、平成 14 年夏期より、東京都立大学（現：首都大学東京）三上研究室と共同で、東京都区部内 100 箇所に観測機器を設置し、ヒートアイランド現象の詳細な観測（METROS）を行っている。以下に昨夏のヒートアイランド現象の様子を示す。

気温 30℃を超える時間割合（％）分布は、区部中央部から北部にかけて多い傾向がある。これらの原因としては、「地表面被覆の人工化」や「人工排熱の発生」が考えられる。また北部は、内陸であることから日中、高温となりやすいと考えられるが、区部中央部付近からの高温空気の移流も無視できない原因の一つと推察される。

一方、一部を除く東京湾岸部と区部東部及び西部は、気温 30℃を超える時間割合が相対

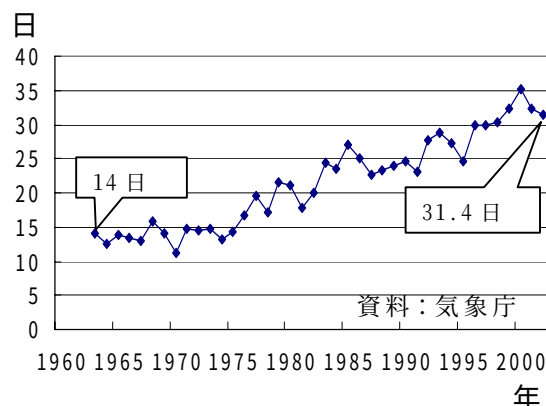


図 1 熱帯夜日数の推移（5 年移動平均）

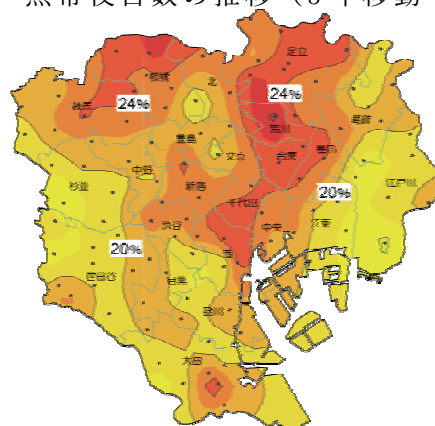


図 2 気温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 時間割合（％）の分布
（平成 16 年 7 月 1 日～9 月 30 日）

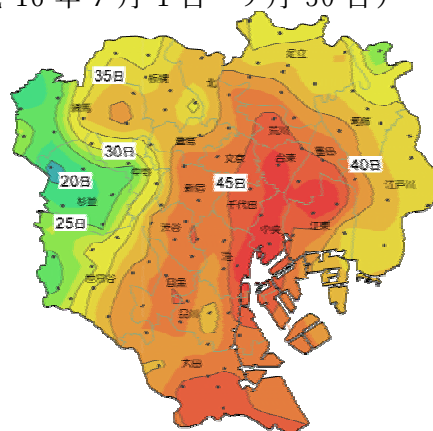


図 3 熱帯夜（日最低気温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ）
日数の分布
（平成 16 年 7 月 1 日～9 月 30 日）

的に少ない傾向が認められた。これらの原因としては、東京湾沿岸部や区部東部および西部は、東京湾から海風が浸入しやすいことや、人工排熱が都心に比べ小さいこと、さらには、緑地が多く存在すること等により高温になりにくいものと考えられる（図2）。

熱帯夜日数の分布は、区部中央部から東よりの地域と東京湾に沿った南部沿岸部にかけ多い傾向が認められた。区部中央部等の熱帯夜日数の多い地域は、「地表面被覆の人工化」により、日中蓄えられた熱が夜間に放出されることと、夜間も続く「人工排熱の発生」により、気温が下がりにくくなっているものと考えられる（図3）。

以上の傾向は、平成15年夏は冷夏、平成16年夏は記録的な猛暑となるなど、気象条件は各年で異なることから時間割合・日数等に差は生じているものの、現象の分布は類似した傾向を示していたことから、ヒートアイランド現象には地域差が生じていることが確認された。

3 東京都におけるこれまでの取組

都では、平成14年1月に東京都環境基本計画を改定し、その中で初めてヒートアイランド対策を施策の一つとして位置づけている。本計画内では、「平成27年までに、熱帯夜の発生を現状の30日/年程度から20日/年程度に減少させる」という具体的な目標を設定しており、本目標を達成すべく都議会議事堂の屋上緑化、都道における保水性舗装の実施等、各種率先プロジェクトは既に開始されている。

平成14年8月には、全庁的な取り組みを確実に進めるため、庁内に「ヒートアイランド対策推進会議」を設置し、平成15年3月には、今後の対策の方向性を定めた「東京都ヒートアイランド対策取組方針」を策定し、現在は本方針に基づき各局で、屋上緑化、街路樹再生、保水性舗装、再生水散水等の施策を進めているところである（図4）。

また、ヒートアイランド対策を推進するに当たっては、近年開発の進む各種対策技術の普及促進や更なる技術革新を促していくことも必要である。そこで、平成15年度の重点事業では、各局と連携し、ヒートアイランド対策に資する技術開発として、薄層屋上緑化、壁面緑化、高反射率塗料等の技術についてヒートアイランド現象緩和効果を調査した。

本調査結果によると、軽量・薄層の屋上緑化技術においては、コンクリート躯体と比較して約25℃表面温度が低下しており、蒸発散効果による大気温度上昇抑制効果が確認されている（図5）。さらに、高反射率塗料においても、日射反射率の高い製品には、標準塗料



図4 下水道再生水散水の様子（汐留）

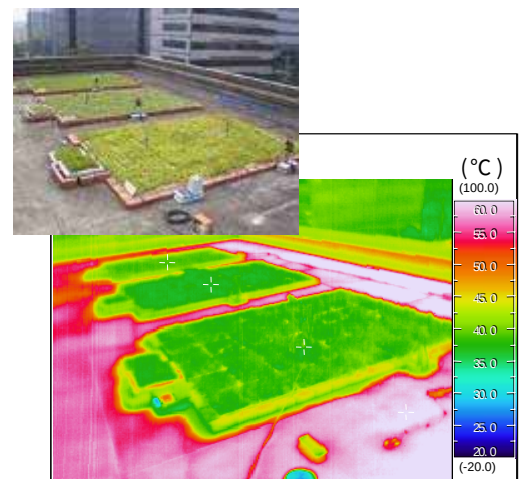


図5 薄層屋上緑化の効果（東京都環境科学研究所での実験の様子）

と比較して最大で約 20℃（黒色の場合）表面温度上昇を抑制する効果を有することが確認されている。

これらの技術は、荷重等の問題を抱える既存建築物においても適用可能であることから、今後、本製品の普及促進を図っていくことで、広域的なヒートアイランド対策の推進につながることを期待される。

4 熱環境マップの作成及びヒートアイランド対策推進エリアの設定

これまで、都では各局と連携し、各種対策の実施や調査を行っているところであるが、ヒートアイランド現象は大都市特有の課題であり、幅広い主体による取組が必要である。すなわち、東京の大半を占める民間建築物での対策が不可欠であり、民間事業者や一般市民が、建設や改修などを行う際に、地域の熱環境に応じたヒートアイランド対策を取り込んでもらうことが有効である。

そのためには、地域における熱環境の情報をわかりやすい形で提供していく必要があることから、これまでの METROS の分析等を踏まえ、ヒートアイランド現象形成の主要因とされる、地表面被覆、人工排熱及び都市形態の 17 項目について、熱環境上の特徴から東京都区部を 5 つの地域に分類をした。

さらに、相対的に熱負荷の大きい、類型Ⅰ（業務集積地域）から 3 種類を、類型Ⅱ（住宅密集地域）から 2 種類を課題地域として抽出した上で同様に色分けを行い、他の類型と併せて 10 種類の地域に分類し、500mメッシュで地図上にプロットした「熱環境マップ」を作成した（図 6）。

本マップから、ヒートアイランド現象の要因の地域的な分布や大気に与える熱負荷の大小がわかるようになった。

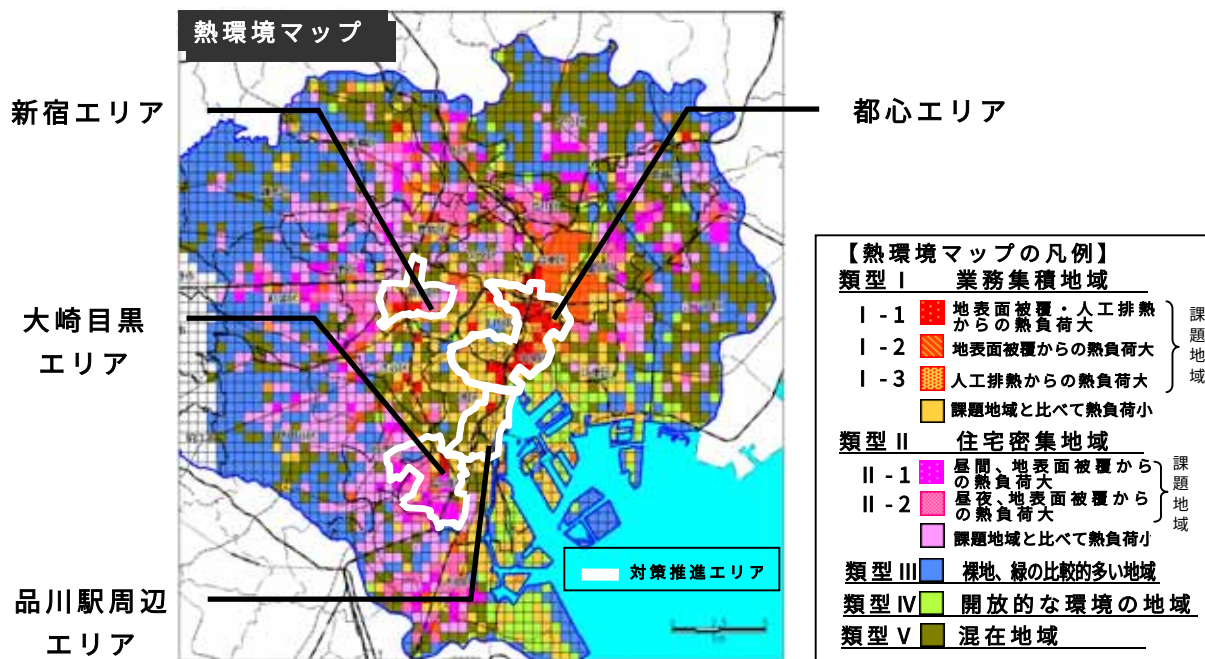


図 6 熱環境マップとヒートアイランド対策推進エリア

しかし、熱環境マップに見られるように、地域におけるヒートアイランド現象の要因は

異なっていることから、対策もその特性に応じて実施していくことが効果的であるが、対策手法などに関する情報は未だ十分ではない。

そこで、本年 7 月、熱環境マップ各類型の地域特性に適した対策メニュー、オフィス・商業、工場・倉庫、集合住宅など建物用途別の対策メニューを作成し、前述の熱環境マップと併せて「ヒートアイランド対策ガイドライン」を取りまとめ、わかりやすい情報として示すことで民間建築物におけるヒートアイランド対策の推進を図っている。

今後、建築主・設計者が、本ガイドラインを活用し、その地域に適した熱環境を把握するとともに、その地域に適した対策を設計内容に取込み、効果的・広範なヒートアイランド対策が着実に進むことが期待される。

5 ヒートアイランド対策推進エリアの設定及び対策推進協議会の設置

ヒートアイランド現象は、長期間をかけて形成され、また広域的な現象であるので、その解決には長期間を要する。しかし、東京におけるヒートアイランド現象の進行は大変顕著であることから、本年 4 月、以下 3 つの考え方に基つき、都心エリア、新宿エリア、大崎・目黒エリア、品川駅周辺エリアの 4 箇所を、特に対策が必要な地域「ヒートアイランド対策推進エリア」として設定し、今後 3 ヶ年で重点的に対策を行っていくこととしている。また、本エリアは、都市再生本部の都市再生プロジェクト「地球温暖化対策・ヒートアイランド対策モデル地域」としても指定されており、国の施策とも連携しながら、対策を推進していく。

【エリア設定の考え方】

- 熱環境マップに基つき大気へ与える影響（熱負荷）の大きい地域（業務集積地域及び住宅密集地域）を抽出
- 環境に配慮した民間開発を誘導できる都市再生緊急整備地域を核とする
- 将来広範囲に開発が見込まれ、あらかじめヒートアイランド対策を取り込みながら、都市開発を計画的に誘導すべき地域を設定

さらに、本年 7 月には、ヒートアイランド対策推進エリア内には、「ヒートアイランド対策推進エリア協議会」を設置し、ヒートアイランド対策に関する情報の共有化を図るとともに、幅広い主体の協働により、総合的なヒートアイランド対策を実施することとしている。

【ヒートアイランド対策推進エリア協議会構成メンバー】

- 国：内閣官房都市再生本部、国土交通省、環境省
- 都：知事本局、都市整備局、建設局、下水道局、環境局
- 区：千代田区、中央区、港区、新宿区、台東区、品川区、目黒区

6 平成 17 年度のヒートアイランド対策事業

ヒートアイランド対策推進エリアでは、本年度よりヒートアイランド対策事業を重点的に実施しているが、エリア外においても、積極的な対策を推進していく必要があることは言うまでもない。本年度においては、区との連携により、都区部全域で総額約 40 億円のヒートアイランド対策事業（保水性舗装、屋上緑化、壁面緑化、校庭芝生化、散水事業等）を実施している。

校庭芝生化については、都の 17 年度重点事業「ヒートアイランド対策の推進」の一つに位置づけられており、区立小中学校が実施する校庭芝生化事業費の一部を都が補助することで、地表面被覆の改善を図っている（図 7）。

芝生化は、施工後の維持管理が大きな課題であるが、その維持管理を保護者や地域住民等が協働して実施する仕組みを構築する場合は、100%の補助を行っており、維持管理が適切に行われる仕組みの構築の誘導も図っている。

また、壁面緑化も重点事業に位置づけられており、都立高校や区立小中学校などにおいても、ヘチマやきゅうりなどを用いた「緑のカーテン」が実施されている（図 8）。



図 7 校庭芝生化の事例
（写真提供：荒川区尾久西小）

7 おわりに

昨年の猛暑や近年の異常現象などにより、都民のヒートアイランド現象への関心は益々高まっている。

今後も、ヒートアイランド対策推進エリアを中心に、都の率直的な取組を進めるとともに、ヒートアイランド対策推進エリア協議会などを通して、国・区などとの連携を深め、幅広い主体による取組を進めていく予定である。

都におけるヒートアイランド現象の様子、熱環境マップやガイドラインなどについては、以下の東京都環境局ホームページにて紹介をしているので、今後のヒートアイランド対策の参考にご利用いただければ幸いである。



図 8 壁面緑化の事例
（写真提供：足立区中島根小）

東京都環境局ホームページ URL：<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/>

ヒートアイランド対策の現状と課題

— 屋上緑化等の被覆対策技術を中心として —

三坂育正（㈱竹中工務店技術研究所）

1. はじめに

ヒートアイランド現象の主な形成要因の一つとして、都市化に伴う地表面の不透水性化があげられる。この対策として植物の蒸発散効果を利用した都市の緑化が注目されており、国や自治体の指導の下、広がりを見せている。しかしながら、都市部における限られた緑化スペースを踏まえると、地上の緑化の普及は容易ではないと考えられ、建物の緑化や道路の保水化による対策が注目されている。

建築物の緑化や道路の保水化といった対策技術は、開発が進み普及が始まっているが、より普及を促進するためには、そのヒートアイランド緩和効果に関して、特に蒸発散特性や熱収支特性などの評価が重要であると考えられる。実際に建物や都市開発を企画・設計し、実現していく過程において、ヒートアイランド緩和を考慮するには、計画段階におけるシミュレーションによって、対策効果を事前に検討していくことが重要である。しかしながら、建物緑化や特殊舗装といった対策技術に関しては、シミュレーションにおいて必要なパラメータが整理できていない、特に蒸発特性を示すデータが不足しているのが現状である。その要因として、これら対策技術の熱収支特性を明らかにする実験・計測の難しさを挙げることができる。

ここでは、建物緑化や特殊舗装によるヒートアイランド緩和効果に関して、熱収支特性や蒸発・蒸発散特性を評価した試みについて報告する。本研究では、これら対策技術の試験体を製作し、個々の対策技術に適応した実験・評価方法を検討し、熱収支解析や蒸発特性の評価を試みた。解析に用いる基本式は右に示す通りである。

熱収支解析を進めていく上での基本的な考え方として、蒸発による効果で対策を考える技術に対して、それぞれの表面における伝達特性を明らかにし、蒸発性能を示す指標としての「蒸発効率」を算出し、効果を評価することとした。

- ① 熱収支式： $Rn = H + G + LE$
 Rn, G : 正味放射量, 伝導熱フラックス [W/m^2]
 H, LE : 顕熱・潜熱フラックス [W/m^2]
- ② 放射収支式： $Rn = (1-a)S\downarrow + L\downarrow = \varepsilon\sigma T_s^4$
 a, ε : アルベド, 放射率
 $S\downarrow, L\downarrow$: 日射量, 大気放射量 [W/m^2]
 σ : ステファン・ボルツマン定数
 T_s : 表面温度 [K]
- ③ 顕熱フラックス： $H = a(\theta_s - \theta_a)$
 θ_s, θ_a : 表面温度 [°C], 外気温度 [°C]
- ④ 伝達率のアナロジー： $a/C = 0.83k$
 a : 対流熱伝達率 [$W/m^2 \cdot K$]
 C : 湿り空気の比熱 [$J/kg \cdot K$]
- ⑤ 物質伝達率： $k = E/\Delta x$
 k : 物質伝達率 [$kg/(m^2 \cdot g \cdot (kg/kg'))$]
 E : 蒸発速度 [$kg/m^2 \cdot s$]
 Δx : 表面と大気の絶対湿度の差 [kg/kg']
- ⑥ 潜熱フラックス： $LE = L\beta k(x_s - x_a)$
 β : 蒸発効率
 x_s : 表面の絶対湿度 [kg/kg']
 x_a : 外気の絶対湿度 [kg/kg']
 L : 気化の潜熱 [J/kg]

2. 重量法による屋上緑化の熱収支特性の評価

2-1 実験概要

既存建物に適用可能な軽量・薄層型屋上緑化によるヒートアイランド緩和効果を定量的に評価することを目的として、既存建物屋上に複数の緑化試験体を設置し、その熱特性や熱収支特性の評価を行った。実験は、東京都江東区の建物上に試験区を設置

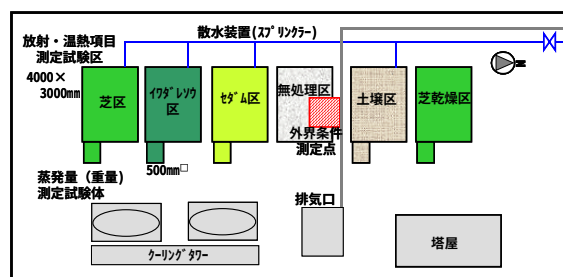


図-1 試験区設置状況

し、無処理を含めた 5 種類の試験区を対象として行った（図-1）。緑化試験区は、塩ビ製のパレット式植栽基盤（500mm×500mm×80mmH）を製作し、その中に人工軽量土壌を 80mm（セダム区は、50mm）充填し、各試験区の指定された植物を植栽したものを設置した。測定項目および測定点断面図は図-2 に示す。緑化試験区および測定機器の設置は 2003 年 7 月下旬に行い、測定は 8 月 10 日より開始した。

2-2 実験結果

屋上緑化の効果を定量的に評価するために、放射収支・熱収支特性の評価を行った。

正味放射量については、放射収支式②において、日射量・大気放射量および表面温度の測定値と、アルベド・放射率を用いて算出した。潜熱フラックスは、重量測定値から得られる蒸発散量から算出し、地中への伝導熱フラックスは、表面からの深さ 10mm に設置した熱流計による伝導熱量の測定値に、各試験区の表面から 10mm までの蓄熱量を加える補正を行い算出した。顕熱フラックスに関しては、熱収支式①の残差として算出した。さらに、得られた熱収支項から、蒸発効率を算出し比較を試みる。得られた顕熱と表面温度－気温の温度差から算出する対流熱伝達率 α から、ルイス則を仮定して物質伝達率 k を算出した（式③～⑤参照）。この物質伝達率に表面の飽和絶対湿度及び空気の絶対湿度との差を乗じることによって得られる潜熱フラックスを、重量変化から算出した潜熱の測定値と比較することで蒸発効率 β の算出を試みた（式⑥）。

蒸発特性に関して、図-3 は 8 月 19 日～9 月 20 日における、日積算日射量と各試験区における蒸発効率の変化を示したものである。植栽試験区の中でも、芝区およびイワダレソウ区では、蒸発効率は定期的な散水を行った 8 月後半では 0.3～0.6 程度で安定して推移し、散水の頻度を減らした 9 月中旬では散水後に徐々に小さくなる傾向がみられるが、0.2 以上を維持している。一方で、セダム区は定期的な散水を行った 8 月 20～23 日およびその後の 8 月下旬は 0.4 程度の蒸発効率であったが、9 月中旬ではほぼ 0.1 以下となり、散水を行っても蒸発効率はあまり高くならなかった。

以上の結果から、既存建物においても、屋上緑化を行うことにより、植栽の蒸発散による潜熱消費によって、大気を加熱したり、建物に熱を伝えたり蓄える熱が小さくなることで、ヒートアイランド緩和の効果があることが確認できた。蒸発効率は、散水状況や植物の生育・生理状況によって変化がみられ、蒸発散効果の指標として、またヒートアイランド緩和効果を評価する上での指標として有効であると考えられる。

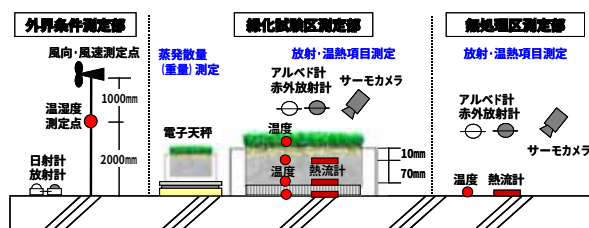


図-2 測定項目および測定点断面図

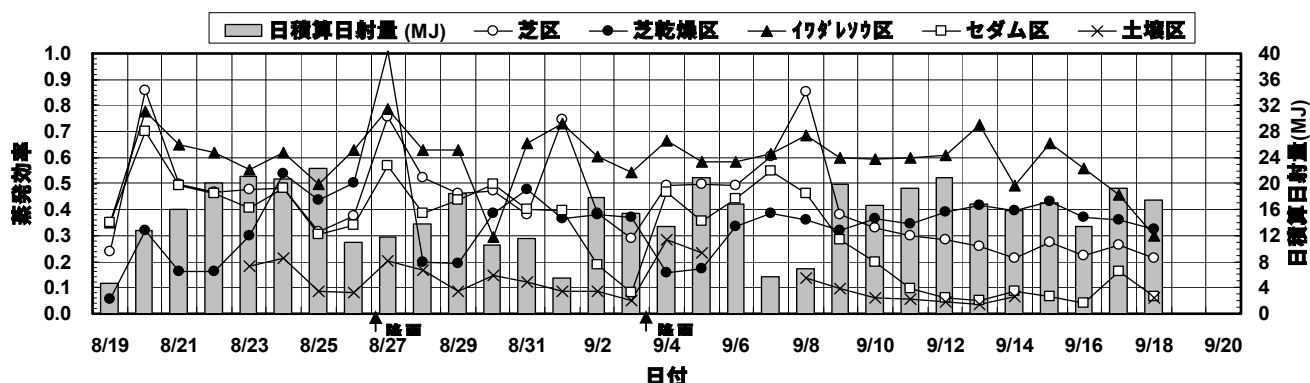


図-3 実験期間中の日積算日射量と蒸発効率

3. SAT計を用いた壁面緑化の熱収支特性評価

壁面緑化によるヒートアイランド緩和効果を定量的に評価することを目的として、壁面緑化パネル試験体を用いた実験を行い、SAT計による伝達率を求める手法を用いて、蒸発散特性や熱収支特性の評価を行った。

実験は、茨城県つくば市にある建物の1階屋上部南面の壁面に、緑化パネル試験体を設置して行った(図-4)。緑化パネル試験体は、ピートモスを基盤材とした縦30cm×横30cm×厚さ4cmのユニットを、縦・横に6個ずつの計36個並べて1.8×1.8mのパネルとし、屋上面から1.0m、壁面から約0.4mmの間隔を置いて設置した。対象植物はヘデラヘリックス (*Hedera herix*) とし、緑化パネル面は全面が植物でほぼ被覆された状態とし、葉面積指数LAIは、1.45(m²/m²)であった。この試験体を対象として、放射・温熱環境に関する測定を実施した。緑化パネル試験体および測定機器の設置は2005年7月下旬に行い、8月1日より31日まで測定を行った。

緑化パネル表面の伝達率算出を目的として、緑化パネルを模擬したSAT計ユニットを製作して計測を行った。SAT計は、ユニットと同じサイズで、対象植物と類似した形状のプラスチック製模擬植物を、緑化パネルとほぼ同じ葉面積となるように基盤材の断熱材に固定し、全体をつや消し黒色にて着色した。SAT計は、緑化パネルの一部として組み込み、図-5に示す測定を行った。

SAT計では蒸発と伝導が無いと仮定し、熱収支式は $Rn=H$ と表現できる。また、表面が黒色であるため、アルベド、放射率を1.0と仮定することで、正味放射量は入射日射と大気放射量および表面からの長波放射量の計測より得ることができる。得られた顕熱フラックスと表面温度と気温の関係から対流熱伝達率 α および物質伝達率 k を算出する(式③～⑤参照)。得られた対流熱伝達率と物質伝達率の風速との関係では、ともに風速とは良好な対応関係が見られたので、風速の測定値より測定期間中における熱および物質伝達率の算出が可能となり、緑化パネル試験体の熱収支項の算出を行った。正味放射量については長短波放射計、伝導熱フラックスは熱流計による測定値を用い、顕熱フラックスは対流熱伝達率と緑化パネル表面温度と気温の温度差から算出し、熱収支式の残差を潜熱フラックスとした。さらに、物質伝達率に表面の飽和絶対湿度および空気の絶対湿度との差を乗じることで算出した蒸発散量と、熱収支式で得られた潜熱フラックスから求めた蒸発散量 E の測定値との比から、蒸発効率 β を算出した(式⑥)。

緑化パネルの蒸発効率について、8月21日の経時変化を潜熱フラックスと併せて図-6に示す。蒸発効率は、夜間は0近傍で推移し、日の出とともに

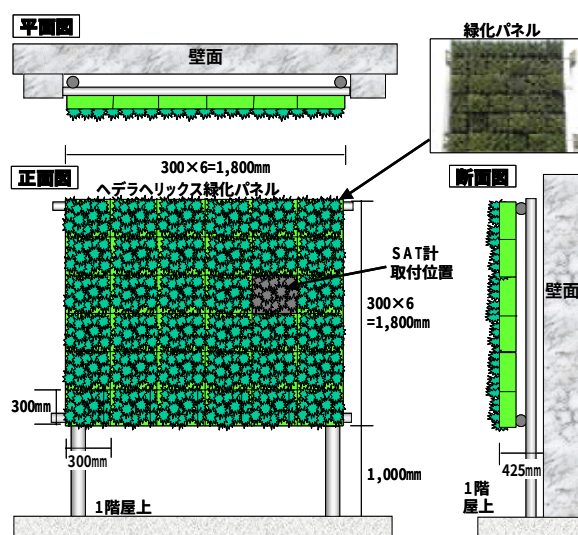


図-4 壁面パネル試験体の概要



図-5 SAT計の測定と測定項目・測定点

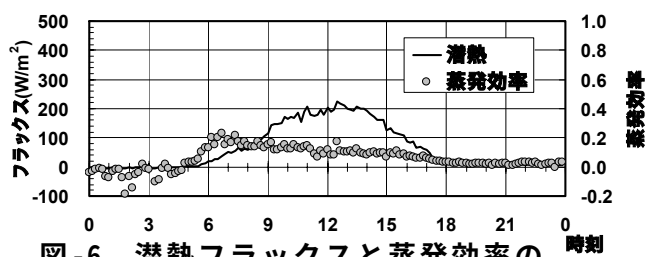


図-6 潜熱フラックスと蒸発効率の経時変化(8月21日)

に上昇し、午前中はやや高く、その後徐々に小さくなる傾向が見られる。日中における緑化パネルの蒸発効率は、0.15 程度であった。

以上の結果から、壁面緑化によるヒートアイランド緩和効果についても、S A T 計を用いた実験により蒸発散特性を評価し、定量的な効果評価が可能になるものと考えられる。

4. 保水舗装の効果評価

4-1 実験概要

幹線道路に施工可能な保水性舗装を対象に、その保水性能評価を屋外にて実施した。本実験では、蒸発効果を直接表す「蒸発効率」を指標に、効果の持続性を施工現場で確認できる評価手法を行った。実験は、八王子市にある工場の駐車場に施工した試験体を用いて行った。計測現場の平面図を図-11 に示す。施工した試験体は、厚さ 10cm の密粒度舗装（アスファルト舗装、以下密粒度）、厚さ 10cm の保水性舗装（保水性 10cm）、保水性と密粒度を厚さ 5cm ずつとした舗装（保水性 5cm）の 3 種であり、寸法はいずれも 5m×2.5m である。なお、熱電対は各試験体の表面から深さ 2.5cm の位置と、保水性舗装 10cm に関しては深さ 7.5cm の位置にも施工の段階で予め埋設した。試験体の断面図を図-9、設置した測定機器の配置図を図-10 に示す。

実験期間は 2003 年 8 月 20 日から 9 月 5 日までの 16 日間とし、5 日間は試験体に人工散水を行い、それ以外の日においては、降雨を対象とした自然状態での評価を行った。人工散水は、毎分 6ℓ のペースで 8 時から 9 時の間にスタートし 1 時間の散水を実施した。

4-2 実験結果

保水性舗装の保水性能評価指標として、水面蒸発量に対する蒸発量の比で表す蒸発効率 β を用いる。蒸発効率は、濾紙蒸発量測定から伝達率を求める手法を用いて算出した。物質伝達率測定に際しては、厚さ 5mm のアクリル板に濾紙を貼付けた 60cm×60cm の試料を用いた（図-11）。濾紙に滴り落ちない程度の水を含ませ、施工した試験体付近で 15～30 分間暴露し（図-12）、その重量変化から物質伝達率を算出した（式⑤）。延べ 4 日間で計 29 ケースのデータを取得し、物質伝達率と近傍高さで計測した風速との対応関係を求め、さらに物質伝達と熱伝達のアナロジーを仮定し、熱伝達率を算出した（式④）。図-13 は、物質および熱伝達率と風速との関係を示したもので、風速と伝達率との間で明確な対応関係が得られた。この熱伝達率および舗装表面温度と気温から顕熱フラックスを算出し（式③）、熱収支式①の残差より潜熱フラックスを求めた。

実験精度確認のため、散水未実施日における保水性舗装の蒸発効率の経時変化を図-14 に示す。8 月 24 日と 28 日では、正味放射量に大き

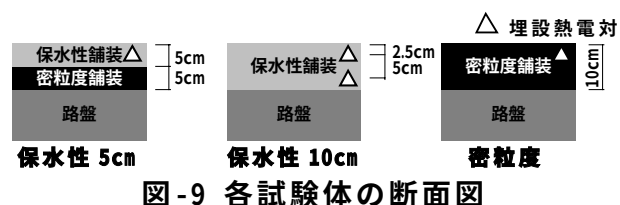


図-9 各試験体の断面図

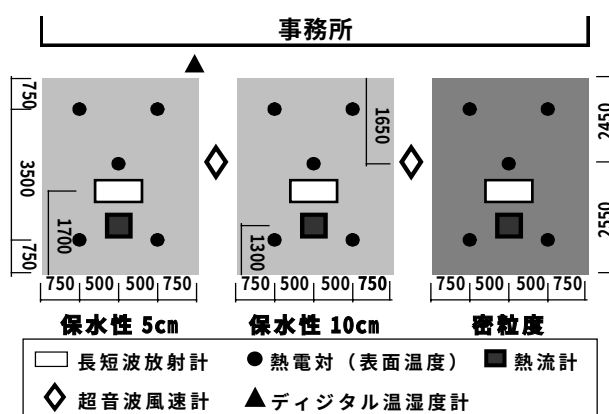


図-10 試験体に設置した測定機器の配置

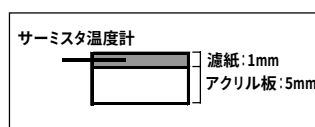


図-11 濾紙試料の断面

図-12 濾紙を用いた物質伝達率の測定



な差異が見られるが、散水を行わない場合の蒸発効率 β は0となることが確認できた。

図-15は8月25日における保水性10cmと5cmの表面温度と蒸発効率 β を表わしたものである。両者の変化はよく対応していることが確認できる。散水開始直後には β が1を越えることはなく、また散水終了後も直ちに β がほぼ1前後に急減している。このことは、給水時において、舗装に吸水されずに流出水によって系外へ持ち去られる熱量が β の過大評価の要因であると考えられる。散水終了時から蒸発効率が0となるまでの保水持続性は約2時間であった。保水材の最大吸収率から算定される保持可能水量は、舗装厚5cmで水柱4.5mm相当であり、十分な吸水が行われれば、まる1日は蒸発が持続する量であることから、保水性舗装の吸水性能や吸水状態が、蒸発冷却効果の持続性を大きく左右するものといえる。

ヒートアイランド対策として展開されている保水舗装技術に関して、本手法により算出する蒸発効率が、指標としてその効果の大きさや持続性を評価できるものと期待できる。

5. おわりに

ヒートアイランド対策として推進されている被覆対策としての建物緑化や保水舗装に関して、熱収支特性、特に蒸発散特性を明らかにすることを目的として、指標としての蒸発効率を算出する手法について実験を行った。今後も対策技術の普及に向けて、これらの特性データの充実が必要になるものと考えられる。

今回の報告内容は、東京都環境科学研究所、日本工業大学および建築研究所と共同で実施したものである。

[引用・参考文献]

- 1) 軽量・薄層型屋上緑化技術のヒートアイランド緩和効果の定量評価に関する研究．日本建築学会技術報告集，21，pp.195-198，2005
- 2) 横山仁，山口隆子，石井康一郎：屋上緑化のヒートアイランド緩和効果-軽量薄層型屋上緑化に関する検討-，東京都環境科学研究所年報，pp.3-10，2004
- 3) 高尾京子，谷本潤，萩島理：壁面緑化システムの熱収支構造に関する長期屋外観測，日本建築学会学術講演梗概集，pp.711-712，2004
- 4) 成田健一，野々村善民，小笠頭：自然風下における窓面对流物質伝達率の実測 都市域における建物外表面対流熱伝達率に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文集，No.491，pp.29-56，1997.1
- 5) 成田健一，三坂育正，国島武史，中山康志，若林伸介：蒸発効率を用いた保水性舗装の性能評価，日本建築学会技術報告集，No.20，pp.187-190，2004.12
- 6) 三坂育正，鈴木弘孝，水谷敦司，村野直康，田代順孝：壁面緑化植物の熱収支特性の評価に関する研究，日本建築学会技術報告集（投稿中）

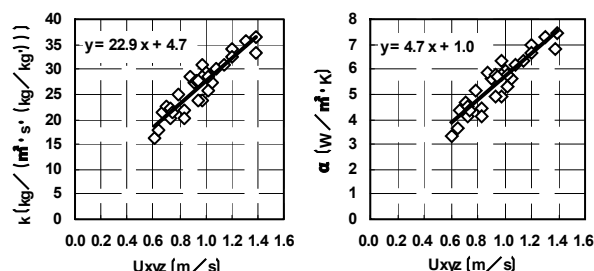


図-13 物質伝達率・熱伝達率と風速の関係

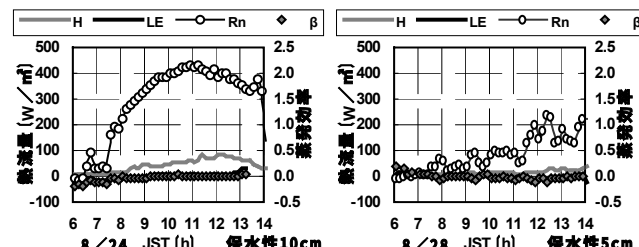


図-14 散水未実施日における蒸発効率の検証

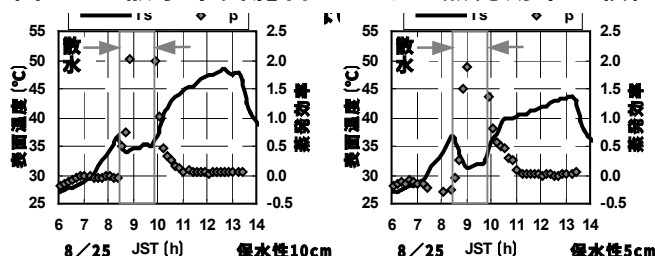


図-15 保水の持続性（左：保水10cm，右：保水5cm）

緑によるヒートアイランド緩和効果

－研究の現状と今後の展望－

成田健一（日本工業大学工学部）

1. はじめに

平成 15 年 3 月、筆者らは日本建築学会主催の公開勉強会「屋上緑化はヒートアイランド対策に寄与するか」を企画した。その主旨は、当時の「屋上緑化」にまつわる錯綜した議論を、最新の研究成果を踏まえ、純粋に学問的に整理したいということであった。しかし、一部の方々からは、行政も業界も盛り上がっているこの時期に、こんなテーマをよくも取り上げたものだ・・・と揶揄された。その状況は「屋上緑化」にとどまらず、都市緑化全般に関して、今も変わらないと言えるかもしれない。今回のシンポジウムは、その意味でまさしく時宜を得た企画である。筆者なりに研究の現状を俯瞰し、議論の一助としたい。

2. 評価指標と空間スケール

ヒートアイランド緩和効果を議論する場合、その評価指標として「気温低下」と「顕熱フラックス（大気加熱量）の削減」が挙げられる。しかしながら、両者は必ずしも同時に達成されるとは限らない。緑地からの冷気のにじみ出しは、静穏で乱流フラックスが抑えられている（周辺大気を冷やさない）から緑地内に冷気が蓄積して低温となることで生じている。このような「にじみ出し現象」は、緑地の周囲のみに限られ、空間的な広がりには決して広くはない。また、木陰が生み出す涼しさは放射環境によるところが大であり、局所的に体感指標が向上しているクールスポットである。このような局所的な快適環境創造を、都市スケールでのヒートアイランド対策と混同すべきではないという意見もある。

3. 時間帯による冷却メカニズムの違い

緑地がなぜ冷えるのかというメカニズムを考えると、当然のことであるが、日中と夜間では大きく異なっている。この点は、効果的な緑地の構造や配置を考える上で重要である。

	冷却のメカニズム	緑に関するパラメータ	気象条件	周辺への影響
日中	蒸発散／日傘効果	蒸発効率／バルク係数／LAI	日射量／風速	乱流拡散／移流
夜間	放射冷却	天空率	雲量／風速	冷気流（重力流）

日中に関しては緑量豊かな樹林が最も効果的となるが、夜間は熱容量が小さく天空率が大い芝生が理想的となる。また、昼夜の大気安定度の違いが気温差形成に与える影響は大であり、混合が盛んな日中は、緑地の創出がそのエリアの気温低下に直接結びつきにくい。

4. 熱収支の把握とモデル化における課題

緑によるヒートアイランド緩和効果の定量化に向けての課題としては、様々な緑地におけるパラメータの同定、特に蒸発効率の把握（降雨後の変化、季節変化）とバルク（抵抗・輸送）係数の精度向上が望まれる。一方、都市の緑はパッチ状に存在するものが多いことから、スケール効果の把握も重要である。オアシス効果が働くため、広域一様な森林でのフラックス観測結果に単純な面積率を乗じる方法では大きな誤差を生じる可能性がある。緑地の配置に関する、いわゆる SLOSS（single large or several small）問題に答えるためにも緊要の課題である。

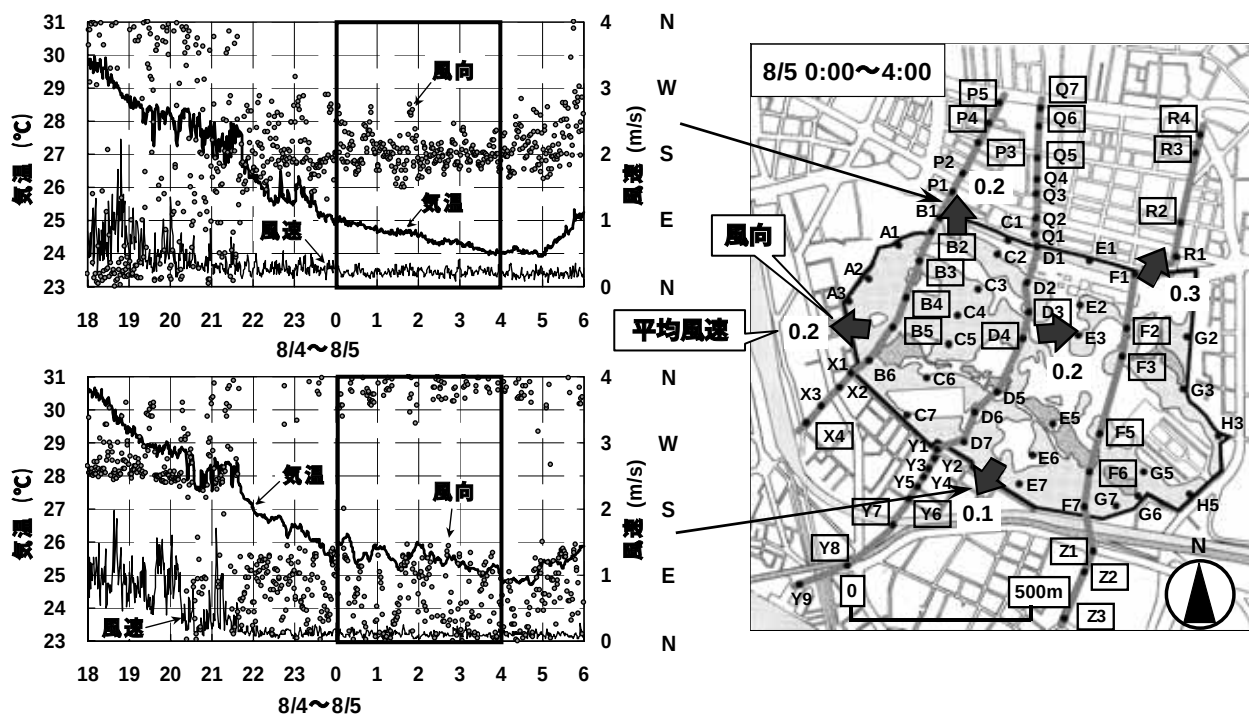


図1. 超音波風速温度計で捉えられた「冷気のにじみ出し現象」 —新宿御苑での実測例¹⁾—

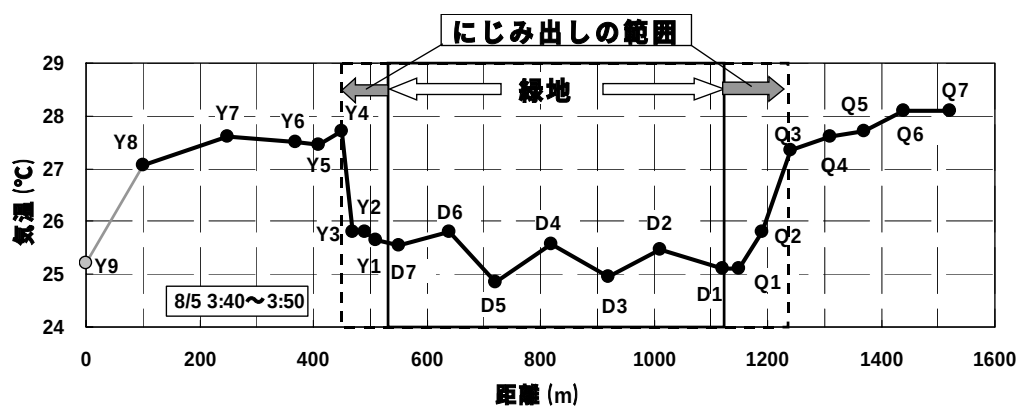


図2. 「冷気のにじみ出し現象」出現時の御苑とその周辺の気温分布（地点番号は図1参照）¹⁾

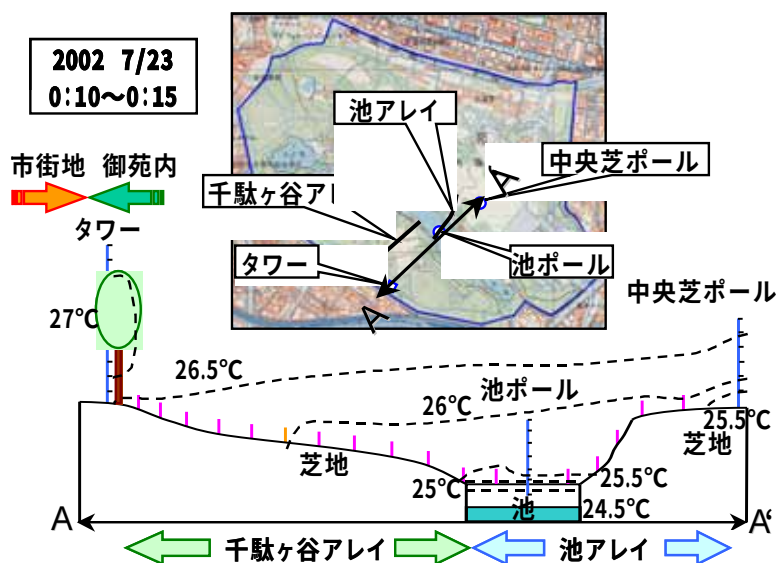


図3.「冷気のにじみ出し現象」が始まる直前の緑地内気温断面分布

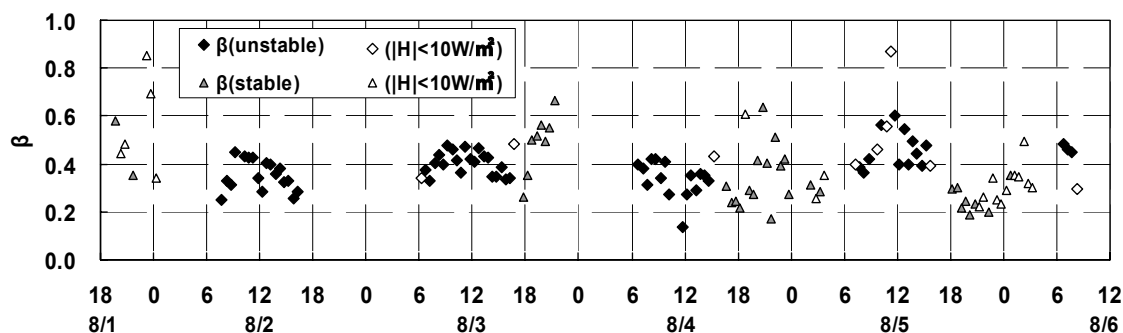


図 4. 芝生面の蒸発効率 (β) の実測例²⁾

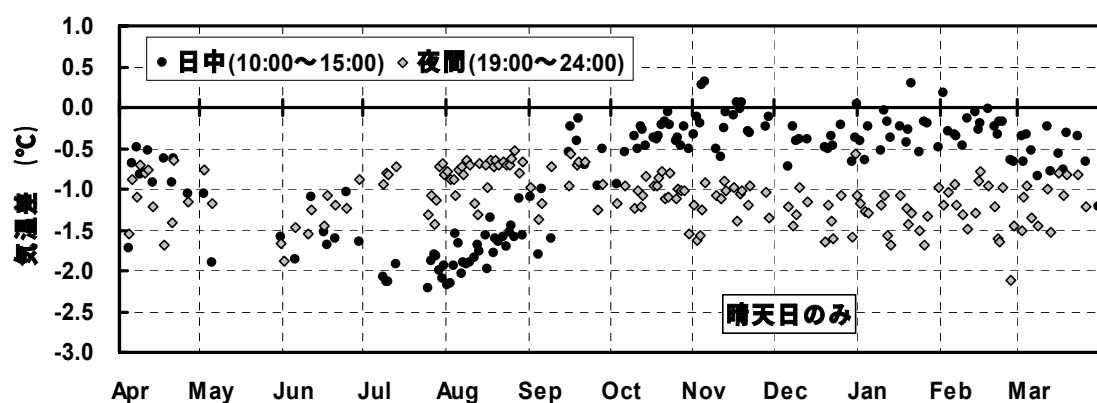


図 5. 緑地と周辺市街地の気温差（クールアイランド強度）の季節変化³⁾

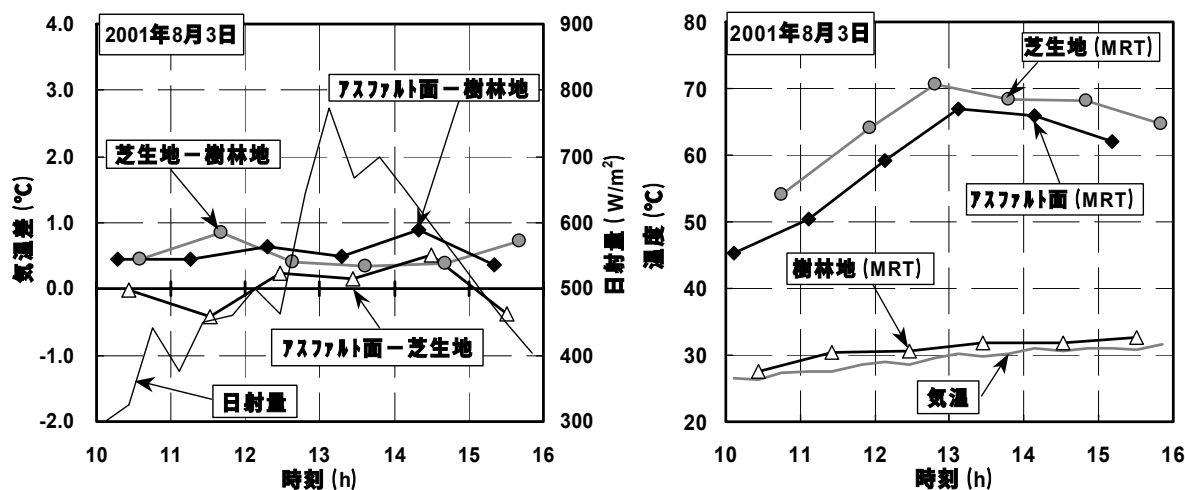


図 6. 緑陰の涼しさの正体—樹林地内外の気温差とMRTの実測例²⁾

- 1) 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條 毅・木村圭司・桑田直也(2004):新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象:地理学評論 77,403-420+口絵
- 2) 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條 毅 (2004):新宿御苑における蒸発効率と温熱環境の実測:環境情報科学論文集, vol.18, pp.253-258
- 3) K. Narita (1997):Annual observation on the temperature field in Hiroshima City:“Klimaanalyse fuer die Statplanung”, Second Japanese-German Meeting – Toward Reconstruction in Kobe-, 169-172

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〕

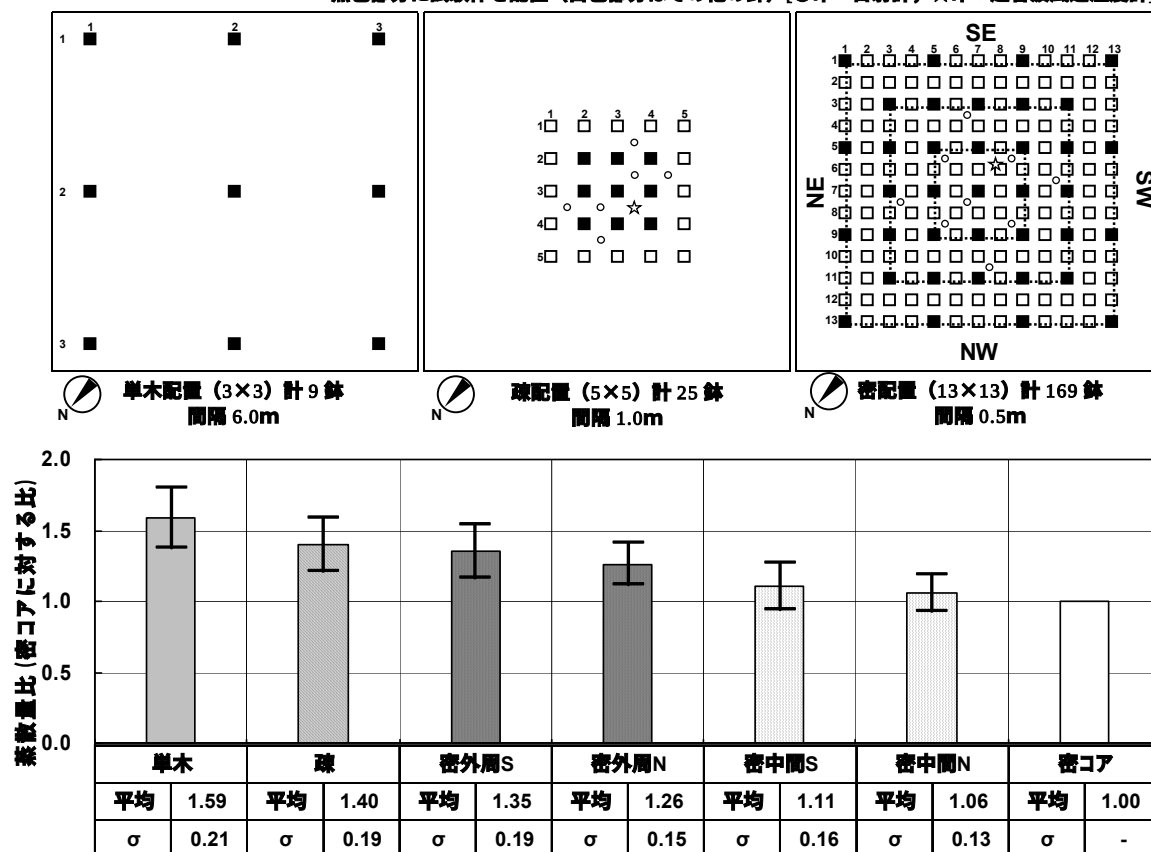


図 7. ポット植栽を用いたオアシス効果の野外実験—植栽密度による蒸散量の違い⁴⁾



写真 1. オアシス効果の野外実験の様子

4) 高野武将・成田健一・萩島 理・谷本 潤(2004): 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 (その 1) —: 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.725-726

芝生校庭とダスト舗装校庭における熱環境の比較

横山 仁¹, 久保田哲也², 横家将納²・堀江勝年², 山口隆子¹, 青木正敏²

(¹東京都環境科学研究所, ²東京農工大学)

【はじめに】

近年、学校の校庭芝生化が全国で広がりを見せているが、東京都においてもヒートアイランド対策の一環として重点的に推進を図っている。今後、より効果的な事業の展開のためには、実測データに基づいた対策実施効果の定量的評価が不可欠である。そこで、本年8月、都区部にある芝生化された校庭と一般的なダスト舗装の校庭において、気温や熱収支等の比較観測を行った。本稿では観測結果の一部を報告する。

【方 法】

2005年8月11～17日に、校庭が芝生化された杉並区立和泉小学校（校庭面積約2600 m²、以下「芝生校庭」と、隣接する一般的な校庭の同区立和泉中学校（校庭は和泉小とほぼ同面積、以下「ダスト舗装校庭」）において熱環境に関する比較観測を行った（表1）。

【結果と考察】

(1) 地表面温度 図1に晴天日の日中（13:30）における地表面の熱画像を示す。地表面温度は、ダスト舗装校庭の平均値が42.4℃であったのに対して、芝生校庭は34.1℃で、芝生校庭の方が8.3℃低かった。

(2) 気温 図2に晴天日における高さ1.5mと0.2mの気温の経時変化を示す。高さ1.5mでは、ダスト舗装校庭で最高気温が33.3℃であったのに対して、芝生校庭は30.9℃で、芝生校庭の方が2.4℃低かった。また、ダスト舗装校庭では、約6時間にわたり30℃を超えていたが、芝生校庭で30℃を超えていたのは約3時間であった。高さ0.2mにおける気温は、ダスト舗装校庭で最高気温が33.8℃であったのに対して、芝生校庭では30.9℃で、芝生校庭の方が2.9℃低かった。

(3) 地表面熱収支 図3に晴天日における地表面熱収支の経時変化を示す。9時～15時の平均値で比較すると、正味放射は芝生校庭の方がダスト舗装校庭よりも約130W/m²大きかった。正味放射に占める割合は、前日および前々日に降雨（練馬アメダスで28mmおよび14mm）があったことから、両校庭ともに潜熱が最も大きかったが、芝生校庭の方がダスト舗装校庭よりも約130W/m²大きかった。ダスト舗装校庭では、潜熱に次いで大きいのは顕熱で約90W/m²であったが、芝生校庭では、顕熱が全体で最も小さく約40W/m²であった。ボーエン比は、ダスト舗装校庭で0.32、芝生校庭で0.10となり、芝生校庭の方が小さかった。今後、体感温度等快適性に関する解析も進める予定である。

表1観測項目の概要

観測項目	機器	設置高さ(m)
日射	日射計	1.2
風向風速	プロペラ式風向風速計	2.2
正味放射	放射収支計	1.2
乾球・湿球温度	通風乾湿球温度計	5高度(0.1,0.2,0.5,0.8,1.5)
地中伝導熱	熱流板	-0.01
地温	熱電対	3深度(-0.01,-0.05,-0.15)
地表面温度	サーモカメラ	約20
土壌水分	pF計・ADR土壌水分計	-0.15

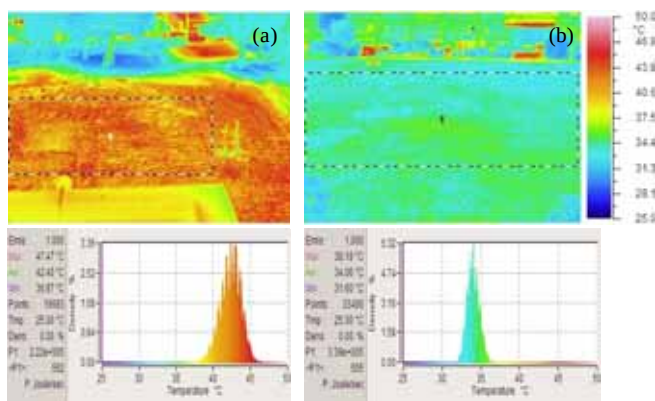


図1. ダスト舗装校庭(a), 芝生校庭(b)の熱画像およびヒストグラム (2005年8月17日 13:30, 放射率:1.00)

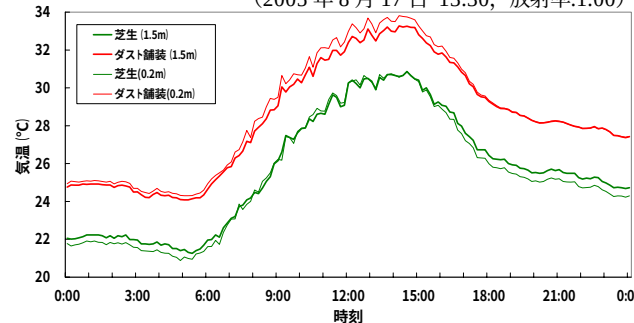


図2. ダスト舗装校庭と芝生校庭における気温の経時変化 (2005年8月14日)

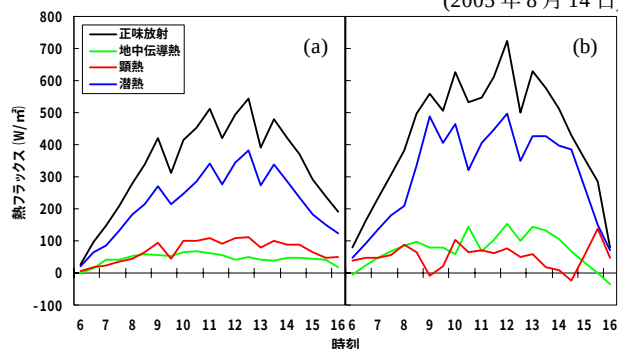


図3. ダスト舗装校庭(a)と芝生校庭(b)における地表面熱収支の経時変化(2005年8月14日)

都市の温暖化対策としての屋上緑化と特殊舗装面に関する微気象研究

福岡義隆（立正大地球環境）・松本太（立正大・P D）・丸本美紀（立正大・非）

1. はじめに

地球温暖化への寄与と、そのフィードバック効果による都市気候（都市の温暖化）を緩和することは昨今の温暖化対策上でも火急の課題となっている。都市の温暖化緩和として公園や街路樹などがあるが、それらを合計してもわが国の都市の緑地率は、先進国では欧米にくらべて極めて低い。緑地がどのくらい必要なのか、都市の発展を維持しながらの最適規模の緑化率を求め、それを目標に対策を講じねばならない。

そのような公園とか街路樹といった通常の緑化空間の急速な拡充・改善が望めない現状においては、「屋上緑化」や「壁面緑化」という特殊空間緑化政策が国や自治体で推進されつつある。旧建設省による試算（1995）では、主要都市の特殊緑化空間の推定量ではあるが、市街化区域面積に対する屋上緑化可能面積の比率は7%とされている。しかし現実には緑化されている屋上面積は僅かであり、その実態と効果についての基礎的な研究は国内外ともに極めて少ない。都市内緑地の多い欧米では殆どない。本研究では「さいたま新都心」駅前に建設された屋上緑地「けやきひろば」（樺広場）を屋上緑化施設とみなして、その温暖化への緩和効果を微気象学的に把握することを一つの目的としている。

さらに、本研究ではヒートアイランドを緩和させるための局部的修復装置として、都市内駐車場や人道などに蒸発散効果の高い物質を設置することによるクールスポット増設の可能性を実験的試みとしても実施中である。特殊舗装面を用いた実験装置による温熱緩和効果・冷却効果を検証することも本研究の目的である。

2. 研究方法

調査対象の「けやきひろば」と特殊舗装面実験装置の概要

「けやきひろば」は埼玉県さいたま市の「さいたま新都心」JR 駅わきサイタマアリーナ前に、2000年に造られた大規模な屋上緑化施設（植栽は2001年2月完成）の一種である。面積約10,200 m²（およそ100m×100m）で、樹高約10mのケヤキが220本植栽されている。直下の1階は商店飲食店街などが混在し、地下1階は駐車場となっている（図1、2）。

特殊舗装面実験装置は、熊谷市郊外の立正大学キャンパス内の総合気象観測施設の隣の空き地に、約30cmの土盛りを5m×16mほどの広さで設置した（2004年8月、図3）。この中に11種類の特殊舗装面（産業廃棄物リサイクル製品や自然木製などからなる）と芝生面の12種の表面材質について温度分布および熱収支・放射収支を実測している。

調査方法

「けやきひろば」における屋上緑化効果の研究については、2001年から2004年にかけて、3年間、夏秋冬春の各季節に1昼夜（24時間）、気温・湿度・風などの微気象の予備観測を行ってきた。2005年から2007年にかけて本調査を実施した。予備調査では「けやきひろば」における30箇所での移動観測により得られた気温・湿度の分布状態に加え、周辺の気温湿度との比較ということで車による移動観測も行っている。

特殊舗装面実験装置についての研究は、すでに2004年夏に立正大学熊谷キャンパス内に設置済みで、目下、土壌の安定化および周辺などの芝生の整備を行った。本装置には芝生だけの面も含め12種類の特殊材利用の舗装面（いずれも1m×1m）覆われている。それら各面の中央部にポールをたて地表30cmと150cmの高さに気温・湿度のセンサーを取り付け自動記録をすでに開始してい

る。これら試作品を対象に基礎データを収集し簡単な熱収支計算なども行っている。実際のアスファルトやコンクリート面などとの比較観測も予定している。

3. 研究結果

1) 気温分布について

「けやきひろば」における気温の分布について概観する。8月14日の12時頃の分布は年間で最も暑い季節の日最高気温に相当する(図4)。この空間内で最も高い気温はサンクンプラザというガラスばりの広場と芝生広場の2ヶ所のオープンスペースで、33℃を越える高温である。北側のケヤキの樹下の31.9℃と1.3℃の差がある。落葉した冬季1月31日の日最高気温の分布においてもサンクンプラザ辺りが最も高温で11℃、樹下の最も低温の8.5℃と2.5℃も差がみられる。落葉の有無を問わず、オープンスペースの部分の方が樹下より気温が高いのが日中の特徴であることが分かる。一応屋上緑化による緑陰効果も樹下あたりに見られる。終始、風は弱く、風向との関係は見られない。

それに比べ、早朝の日最低気温の分布傾向は、夏季と冬季で異なる。夏季の日最低気温の分布は、おおよそ日最高気温と逆の配置関係になっており、芝生広場などオープンスペースがそうでないところより低温である。それに対して、冬季の日最低気温はオープンスペース辺りでやや高温で、その両側で低温となり、広場の北西部で最も低温となっているのが注目される。その時の風が強くないが冬の季節風である北西風の侵入に対応しているようにも思われる。

2) 放射冷却の強さについて

日最高気温と日最低気温の分布の違いから、夜から早朝にかけての放射冷却の強さの違いが推測される。夏季も冬季も観測日は良く晴れた穏やかな日であって、夜から朝方にかけての放射冷却が強く現われたと考えられる。そこで、その放射冷却の強さを反映した結果としての、気温の日較差を求めその分布状態について検討してみた(図5)。放射冷却による地表温度低下量を評価する Brunt の式における表面物質の熱的特性の効果が推定される。

3) 屋上と階下の気温の日変化について

屋上緑化の気温緩和効果がある程度は示唆されたとして、次に、年間で最も気温が高くなる8月13日～14日にかけて実施した「けやきひろば」(屋上)と1階での移動による微気象(気温・湿度)の観測結果から、気温の日変化について、屋上の芝生広場、ケヤキの樹下、1階のやや壁側および広場(吹抜けのオープンスペース)の4ヶ所に関して比較してみた。1日の殆どの時間帯において、屋上の芝生広場に比べてケヤキ樹下で低温であるが、直下である1階ではいずれも屋上より低温である。日の出ころの数時間だけは、ちょうどこの逆になっている。屋上においてはオープンスペース(この場合は芝生広場)に比べて、ケヤキの下では最大で1.3℃気温が低く抑えられ、さらにルーフを隔てた1階では3℃も低下することが分かる。逆に、放射冷却の最も強い早朝は屋上広場における気温が最低で、室内的な1階の方がやや高温であり、日最高・日最低という極値温度が屋上緑化によって和らげられていることなどが分かった(図6)。

4) 屋上緑化と周辺都市気温との関係

けやき広場と周辺の気温差については2005年夏秋冬の観測結果の一部から、図7及び図8のように明らかに屋上緑化である「けやき広場」は周辺より0.1～1.7℃低温であることが示された。この温度差がそのまま屋上緑化効果とは言えないまでも、樹木があることによる温度降下はみられる。

5) 熱画像による解析結果

また、サーモレーサによる熱画像でみると、真夏(8月)の例では、けやき林の樹下で約35℃、樹間で37～38℃、樹幹部で約40℃、ビル屋上のコンクリート表面は40～44℃であった。

6) 特殊舗装面実験装置についての調査結果

特殊舗装材など(9図参照)の表面温度と、地表30cm高さの温度および気温との比較した結果の一部を図示してみると、地表30cm温度と気温の時間変化をみると、日中に温度差が大きく特に午前中は7～8℃もあり夕方から早朝までは殆ど差がない。日の出前の2～3時間前で気温の方が2℃前後高いのが注目される。地表面温度と気温の変化を比較すると、その差は素材によって大きく

異なり、木レンガがもっとも大きくエコプレートは中間くらいであった。エコプレートが熱緩和にかなり有効であることが示唆された。(図10)

謝辞：本研究を進めるに際して、住友財団研究助成金の一部を使用させて頂いた。観測にあたっては立正大学地球環境科学部環境システム学科学生諸氏に協力いただいた、併せて深謝の意を表する。

文献：

福岡義隆・松本太・後藤真太郎（2002）：さいたま新都心「けやきひろば」の屋上緑化の温熱緩和効果に関する研究、環境情報科学論文集16、411～416。

福岡義隆・松本太・丸本美紀（2005）：埼玉県の都市・農村における環境修復の試み、立正大学16年度ORC報告書、28～31。

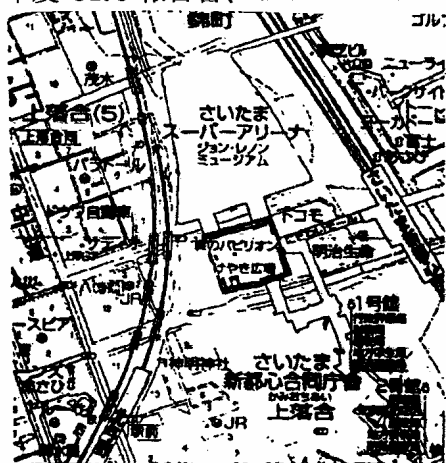


図1 「けやきひろば」の地理的位置



図2 「けやきひろば」の断面図

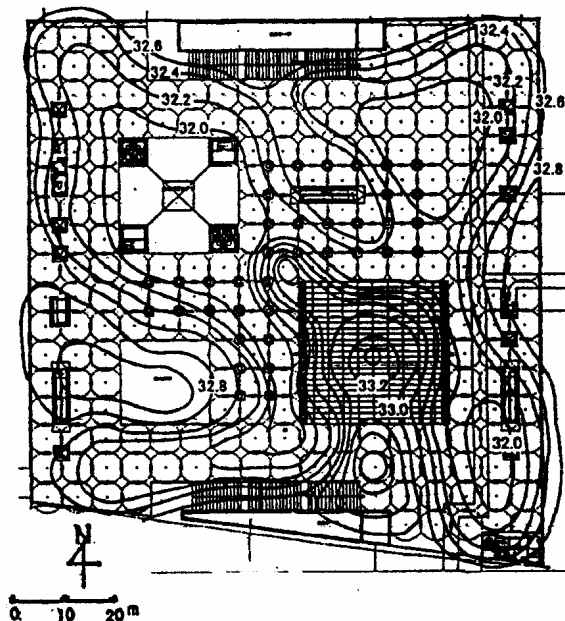


図4 夏季の日最高気温時の分布図
2001年8月14日12時

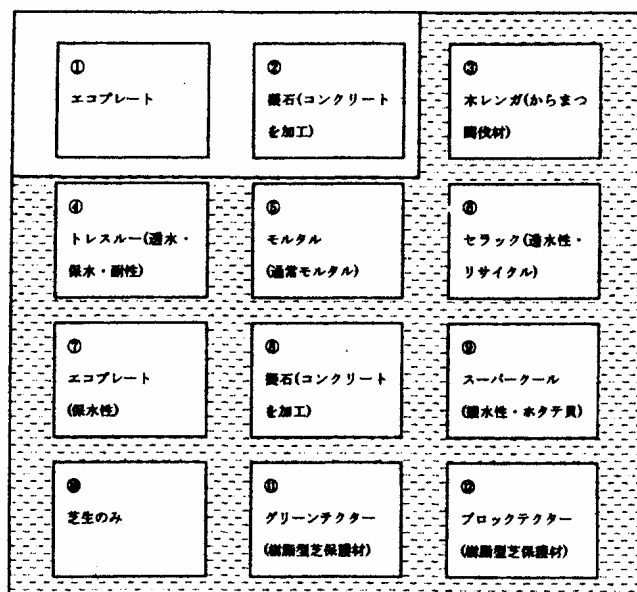


図3 各種舗装材の配置図

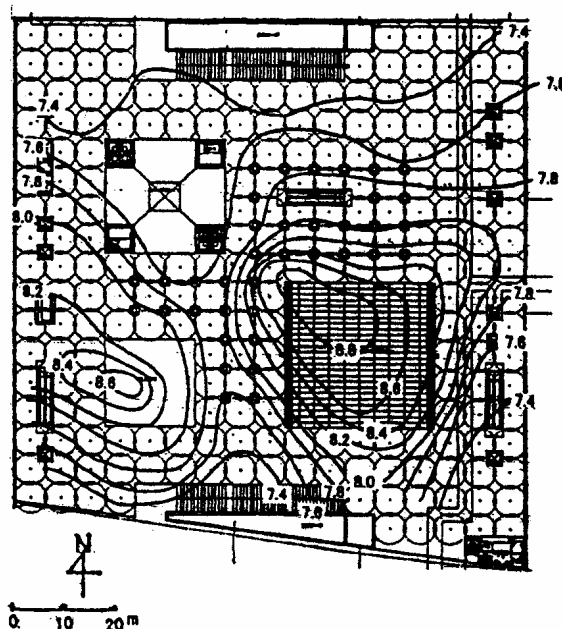


図5 夏季の気温日較差の分布図
(早朝にいたる冷却度に相当する)

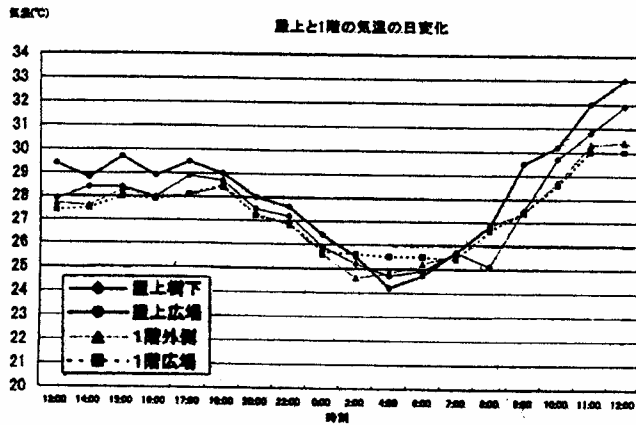


図6 気温の日変化 (夏季)

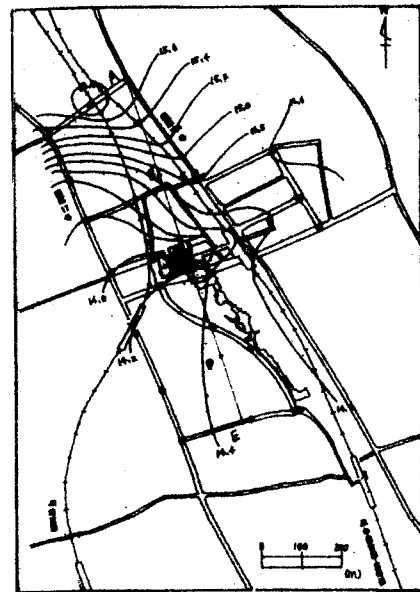


図7 屋上緑化「けやき広場」内気温 C と周辺気温分布例 (A,B,D,E)

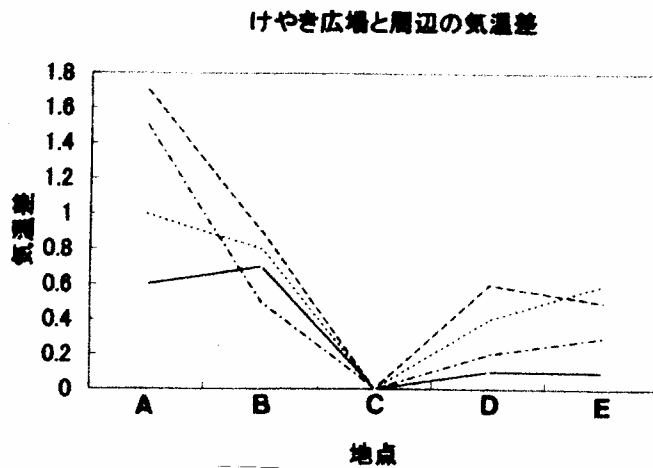


図8 「けやき広場」と周辺の気温差例

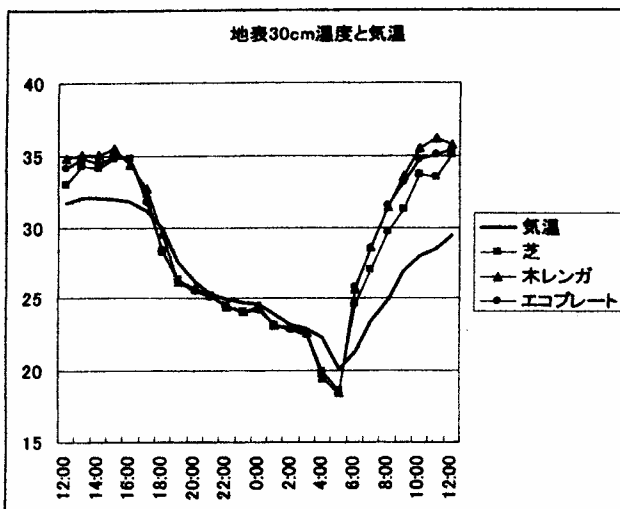


図9 各種舗装材30cm温度と気温の比較

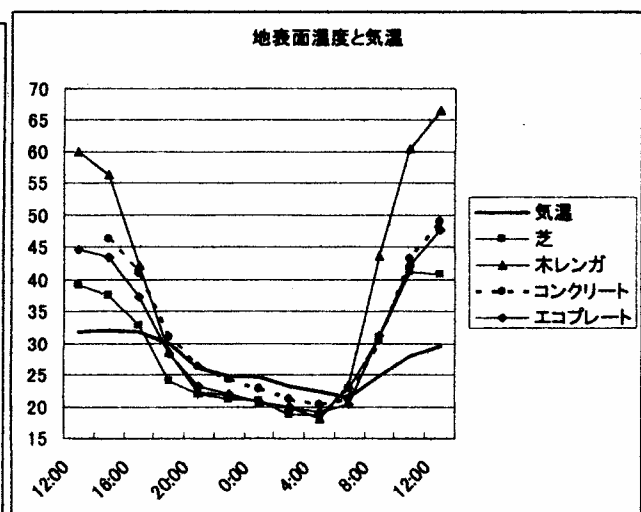


図10 各種舗装材表面温度と気温の比較

大阪城公園からの冷気のにじみ出し現象の測定結果

竹林英樹（神戸大学），森山正和（神戸大学）

今夏，環境省による「平成 17 年度大阪府におけるヒートアイランド対策調査」の一環として，大阪市中心部におけるヒートアイランド現象の観測調査が実施された．この調査に併せて大阪城公園西の丸庭園の市街地に面した土手の上に超音波風速計を設置し，冷気のにじみ出し現象を捉えることを試みた．ただし，超音波風速計を設置した場所は西の丸庭園西端の土手上 1.5m の 1 点であり，その周辺で気温の鉛直分布と表面温度の測定を行ったが，公園全体からの冷気のにじみ出しを捉えることは対象としていない．

測定期間は 2005 年 8 月 9 日午後～12 日朝までである．この期間のうち 11～12 日の夜間のみ移動測定を行い，大阪城の東西南北端において同時刻に公園の中心から市街地へ向けて放射状に風が吹き出していることを確認した．図 1,2 に 10 日～11 日夜間の気温，風向，風速，気温鉛直分布の観測結果を示す．測定器を設置した土手の東側が芝地の庭園，西側は水を蓄えた堀である．西風は海風の風向，東風は公園から市街地へにじみ出す風向である．この夜間には数回東風に替わっている．そのとき大阪管区気象台の風速は若干小さくなり，風向はばらつく傾向にある．東風に替わったとき気温は急に 3°C 程度も低下する場合（0 時頃）があった．このとき 10m 上空と地表付近の温度差は 2°C 程度になり，冷気が溜まった状態であったと考えられる．図 3, 4 の風向，気温偏差の相関図より，東風に替わったときの平均的な風速は小さいが，比較的大きい場合に気温低下量も大きく，東風 0.5m/s で 0.8°C 程度低下していた．ただし冷気のにじみ出す側には堀があり，こののにじみ出し現象が市街地の気温低下に及ぼす影響は環境省の調査結果等で明らかにされる見込みである．

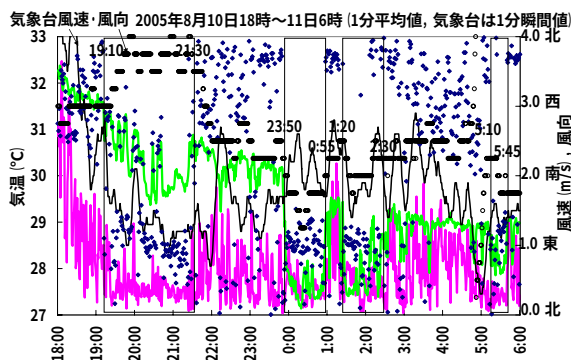


図 1 気温，風向，風速の観測結果

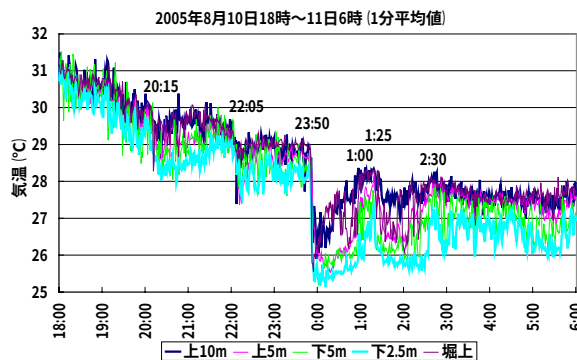


図 2 気温鉛直分布の観測結果

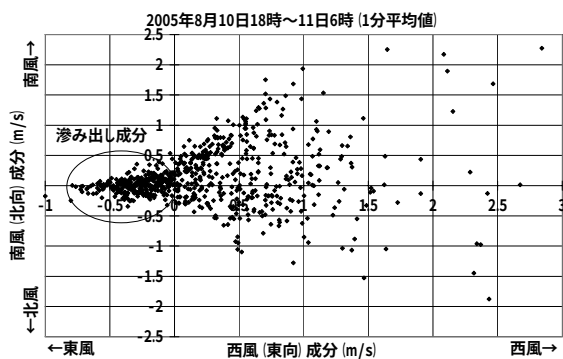


図 3 西風と南風の相関

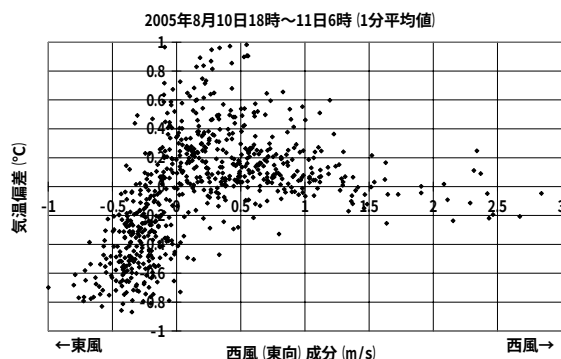


図 4 西風と気温偏差（30 分平均との差）の相関

夏季静穏日における東京都区部の局地気圧系の日変化

仁科淳司(明治学院大・非常勤)・三上岳彦(首都大東京)

大都市内部における気圧の分布は、観測点の少なさもあり、東京に限れば、喜多(1939)以来ほとんど論じられていない。今回、東京都と旧都立大学によって整備されたMETROSにより気圧の観測値が得られたので、総観場の気圧傾度や一日の変化が小さいと判断される夏の日を対象に、東京都区部の気圧系の日変化を論じる。対象としたのは2004年7月7日、8日、20日、24日、8月1日、2日、8日、13日で、8日間の平均値をもとに、当日6時から翌日12時までの地上・海面更正気圧の分布を1時間ごとに検討した。

下の図は、大手町(気象庁)を加えた海面更正気圧の空間平均からの偏差、及び1時間前からの地上気圧の変化量の分布を示したものである。当日11時の海面更正気圧の分布には、東西に伸びる高压部と、北西部及び品川区を中心とする低压部が見られる。このパターンは1日を通して大きくは替わらない。この時間帯は、海岸部や新宿区周辺での低下量はむしろ小さく、武蔵野市など北西の内陸部で気圧低下量が大きい。これは中部山岳に発生する熱的な局地低気圧の影響によるものと考えられる。これに対し、14時になると都心部で気圧低下量が大きくなり、江戸川区との気圧差は大きくなる。日没後は、まず都心部で気圧が大きく上昇する(図は省略)。大気潮汐により気圧の低下する時間帯である24時～翌日2時では、逆に都心部～海岸部の気圧低下量が大きくなる。中部山岳を含む範囲の局地天気図を描いても、まれに局地低気圧が解析されることがある。気圧が上昇傾向に転じる翌日3時以降でもこの傾向は保たれ、都心部～海岸部の気圧上昇が抑えられる。最も気圧が高くなる7時頃までこの状態が続くが、都心部以外の気圧上昇量が小さい場所は、時間帯によって異なる。このように、局地気圧系の日変化は、単純な「排熱量の増加→気圧低下」のような図式では説明しにくい複雑なものになっている。

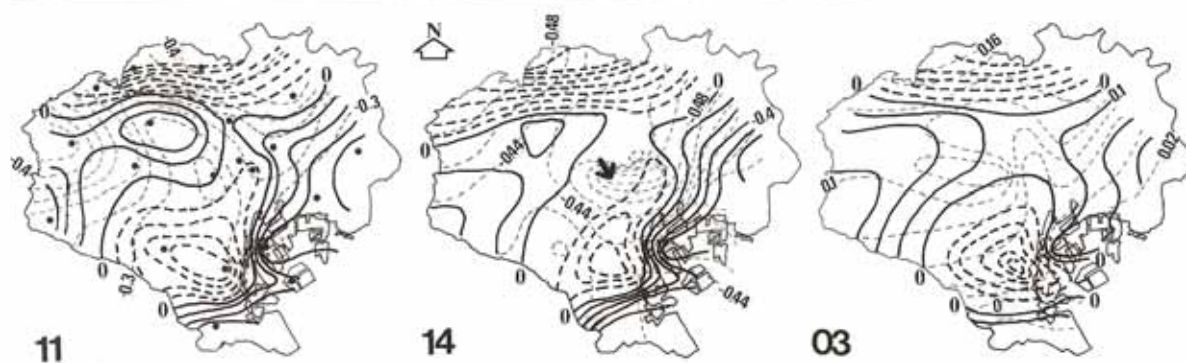


図 8日間平均した海面更正気圧の空間平均からの偏差(太線)

及び1時間前からの地上気圧の変化(細破線)

左:当日11時 中:当日14時 右:翌日3時

左図の黒丸は観測点の位置を示す。海面更正気圧の偏差の等値線は0.1hPaごとに描き、+を実線で、-を破線で示した。地上気圧の1時間前からの変化は0.02hPaごとに描いた。

気候緩和機能に関するモデル数値実験とフィールド気象観測

井上君夫（気候緩和研究グループ代表）、木村富士男、黒川知恵、井上忠雄（筑波大学）、後藤伸寿、吉川 実（みずほ情報総研）、内海孝雄、畠中昭二（関東農政局）、菅野洋光、佐々木 華織、脇山恭行、中園 江、大原源二（NARO）

1. はじめに

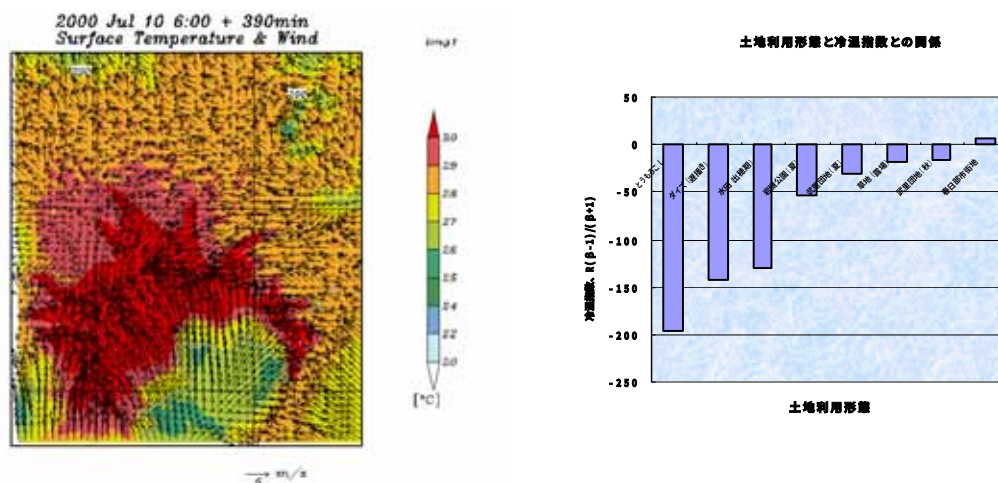
新農業基本法において、中山間地域の振興が目的の一つとして明記された。その手法としてはじめて導入された直接支払制度が国民から支持されるには、科学的論拠が必要である。筆者らは、この視点より農業の持つ気候緩和機能が評価できるモデル開発とフィールド観測等に基づく指標化を 2004 年より農水省の高度化事業として実施してきており、その成果について報告する。

2. NARO-RAMS の開発と Bowen 比の観測

土地利用の改変が気候緩和機能に及ぼす影響を評価するため、改良 RAMS (Regional Atmospheric Modeling System/C.S.U.) と各種 DB (Ncep/Ncar)、GUI から構成される NARO-RAMS が開発された。気候緩和機能の指標として、土地利用と密接な関係にある Bowen 比に着目し、土地利用別の Bowen 比観測と米沢、春日部、鴻巣において Heat-Island 観測を実施した。

3. 結果と考察

NARO-RAMS による 2000 Jul. 10 12:30 の風向・風速分布と気温分布のシミュレーション結果を左図に示したが、都市域の昇温状態 (Heat-Island) や海風前線の挙動がよく再現されている。このような局地気象シミュレーションが全国を対象に GUI を用いて簡単に実行できる環境となった。右図は水田・畑作物および市街地、公園などで観測された Bowen 比で表わした冷温指数である。負の冷温指数は顕熱 flux より潜熱 flux が上回るため、気層への加熱程度は弱く、豊潤な環境が作出される。また、春日部の市街地においても、蒸発散による気候緩和効果は期待できる状況にあり、自動車による温・湿度観測からも大都市とは違うことが鮮明となった。これに対して、埼玉県鴻巣市で 2005 年 7～9 月にかけて実施した移動観測および定点観測の結果は、先の米沢や春日部の市街地一郊外の温度変化とは異なり、鴻巣の中心街と約 3 km 離れた水田地帯の間の温度がほぼ直線的に変化することが分かった。また、約 3 km の荒川河川敷は水田地帯と同程度に大きな気候緩和効果を有していた。



Measurements of the evapotranspiration and crop factor above a red pine forest and different crop fields in Japan

Pedram ATTAROD, Daisuke KOMORI, Keisuke NONAKA, Shangxun ZHANG

Tiwa PAKOKTOM, Katsutoshi HORIE, Masatoshi AOKI, Shoji MATSUMURA

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Tokyo, 183-8509, JAPAN

1. Introduction

Evapotranspiration (ET) is the major component of water loss from land surface. It is also one of the main elements in the hydrological cycle. The main objective of the present study is to compare evapotranspiration and crop factor among a red pine forest and several crop fields including summer and winter season crops as well as an irrigated paddy rice field.

2. Material and methods

The measurements were conducted at three measurement sites in Japan, a red pine forest (35° 52' N, 137° 58' E, 800 MSL) in Nagano prefecture, an irrigated paddy rice field (35° 41' N, 139° 29' E, 59MSL) in Fuchu honmachi city, and the experimental farm (35° 41' N, 139° 29' E, 60 MSL) of Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT) locates in Fuchu city, Tokyo. Winter season (Wheat and rye-grass) and summer season crops (maize and soybean) have been examining in the experimental farm. Actual evapotranspiration (AET) were measured out using the Bowen ratio energy balance method (BREB) during 2000-2002 in the pine forest and during the 1999-2005 in the paddy rice field and the experimental farm. Penman-Monteith equation recommended by the FAO (Allen, et al., 1998) was used to estimate daily reference crop evapotranspiration (ET_0). Crop factor (K_c) were calculated using the equation $K_c = AET/ET_0$.

3. Results and discussion

The average values of daily evapotranspirations were observed 4.1, 2.4 and 3.5mm in the irrigated paddy rice field, winter season and summer season crops, respectively. The average daily evapotranspiration above the red pine forest was 2.8mm. The variations of AET at all sites were roughly the same (Standard deviation, SD: 1.3mm). Our results indicated a good correlation between AET and ET_0 in the irrigated paddy rice field as well as in the red pine forest, suggesting that evapotranspiration from both vegetations is highly related to meteorological parameters, solar radiation and vapor pressure deficit in particular. Daily K_c factor varied in the red pine forest between 1.4 and 0.4, in the winter season crops between 1.2 and 0.2 and in the summer season crops between 1.2 and 0.4. Variation of the K_c factor in the irrigated paddy rice field was smaller than those of other sites. Average values of LE/R_n ratio for summer and winter season crops were found to be approximately 70% and 55%, respectively. LE/R_n ratio for the red pine forests was around 60%. Pine forest had less amounts of average AET as well as LE/R_n ratio during the growing season in compare to other summer season crops and the paddy rice field. The average amounts of K_c factor in the pine forest and the paddy rice field were higher than those of other crops.

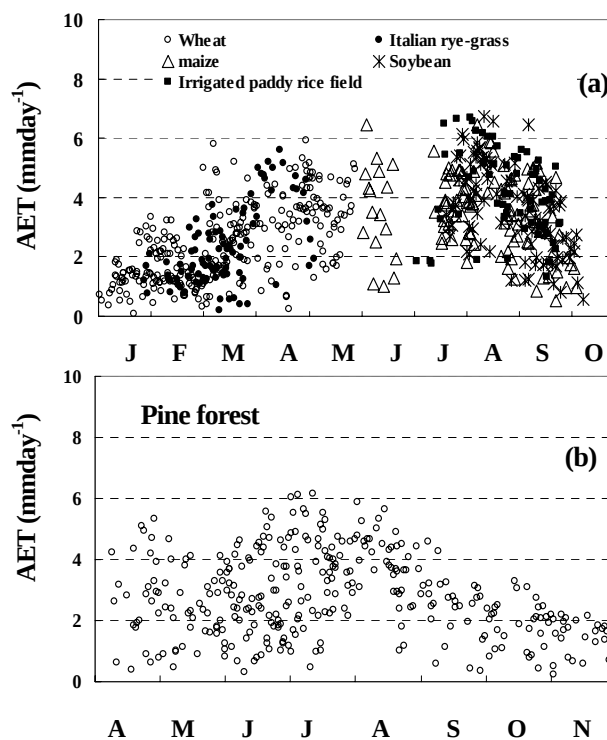


Fig.1. Trends of AET in summer and winter season crops and the paddy rice field (a) in the red pine forest (b)

ガウシアンプロセスを用いた晩霜期の最低気温予測

高橋昇平、松岡延浩、今久(千葉大園芸)

はじめに 晩霜期の霜害対策を効率よく行うためには、翌朝の最低気温を正確に予測する必要がある。気象官署で記録されている気象データと気象庁発表の最低気温予測から、ガウシアンプロセス（以下GP）、重回帰式（以下MR）、土屋(1988)の手法と、土屋に準じて夜間天気を分類したMRを用いて朝方の最低気温を予測し、予測誤差を比較した。気象庁が最低気温予測値を発表する、前日 17 時以外の時間として、前日 15 時と 21 時のデータを用いて解析を行った。

方法 予測対象は宇都宮、甲府、千葉、東京、前橋、水戸、横浜の 7 地点とした。関東地方の晩霜期 3、4、5 月の前日 15 時および 21 時の気圧(hPa)、気温(℃)、露点温度(℃)、風速(m/s)、気象庁前々日 18 時発表の最低気温予測値(℃)、当日 1~7 時における最低気温(℃)、前日午後 6 時~当日 6 時までの天気概況を資料として用いた。気象データには気象庁年報（1997 年~2000 年）を用いた。GP、MRは最低気温を目的変数とし、5 要素のデータを説明変数として解析した。土屋(1988)では、夜間天気を天気概況に従って快晴、晴、曇、雨の 4 分類し、それぞれの天気について気温、露点温度を用いて 2 変数MRを作成し予測を行った。夜間天気を分類し、説明変数を 5 要素としたMRによる予測も行った。解析を行う際、1997 年~1998 年 178 日分のデータを従属資料とし、1999 年~2000 年 177 日分のデータを独立資料とした。GPによる解析はTpros Ver.6.3(Gibbs and Mackay, 1998)を用いた。予測結果はRMSE(Root mean square error)により比較した。

結果および考察 7 地点平均RMSEを比較すると、気象庁の最低気温予測値を用いたGP、MRの方が、土屋(1988)よりもRMSEが小さくなった。15 時の予測では、GPとMRで 7 地点平均RMSEに差はなかった。21 時の予測ではGPを用いた場合に、7 地点平均RMSEが最小になった。15 時、21 時どちらの予測でも、最低気温 3℃以下の場合に、GPはMRと比べて 7 地点平均RMSEが小さくなった。以上の結果から、気象庁最低気温予測値が 3℃以下になると霜注意報が発令されることを考慮すると、霜害対策の観点からはGPの方が良い手法と言える。

表 1 15 時および 21 時のデータを用いた最低気温予測 RMSE

その地点で一番小さかった手法の RMSE を下線付きで表した。

15時	気象庁前々日 18時予測値	GP	MR	土屋	天気別 MR	21時	GP	MR	土屋	天気別 MR
宇都宮	2.4	1.9	1.9	2.3	<u>1.8</u>	宇都宮	<u>1.6</u>	1.7	1.8	1.6
甲府	2.6	<u>1.9</u>	2.0	2.0	<u>1.9</u>	甲府	1.5	1.6	<u>1.4</u>	<u>1.4</u>
千葉	2.2	1.7	<u>1.6</u>	2.2	1.9	千葉	<u>1.3</u>	1.4	1.6	1.5
東京	2.1	<u>1.5</u>	<u>1.5</u>	1.8	1.6	東京	1.3	<u>1.2</u>	1.4	1.4
前橋	2.3	<u>1.7</u>	1.8	1.8	1.8	前橋	<u>1.4</u>	<u>1.4</u>	1.8	<u>1.4</u>
水戸	2.4	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>	2.3	<u>2.0</u>	水戸	<u>1.8</u>	<u>1.8</u>	2.0	1.9
横浜	2.0	1.5	<u>1.4</u>	1.8	1.5	横浜	<u>1.2</u>	<u>1.2</u>	1.4	<u>1.2</u>
7地点平均	2.3	<u>1.7</u>	<u>1.7</u>	2.0	1.8	7地点平均	<u>1.4</u>	1.5	1.6	1.5

単位：℃

ビワの寒害対策について

石原幹也・高橋 悟・渡邊文雄・関山哲雄（東京農業大学）

1.はじめに

霜害、寒害対策については、これまでに燃焼法や送風法、被覆法などの方法が開発されており、各々の効果についての研究がなされている。しかし、ビワ栽培において、幾つかの対策を講じた上での総合的な防止効果を定量的に解析し、作物への影響と関連させた評価は少ない。そこで本研究ではビワの産地として有名な千葉県富浦町において、幾つかの対策を講じた状態で実験を試みた。この結果を分析し、効果的な寒害対策について検討することを目的とした。

2.測定方法

千葉県富浦町のビワ園の傾斜地および平地で観測した。いずれの場所も同様のセンサーを用い温湿度、地温を測定した。平地においては温度の応答性を高めること、葉温、果実温を測定することを理由にT型熱電対(0.3 mm Φ)も使用した。なお葉温、果実温は熱電対(0.1 mm Φ)をセロハンテープで植物体に固定させた。さらに平地の代表地点において日射量、風向、風速、地中伝熱量、雨量を連続測定し、放射収支量を適宜測定した。寒害防止対策についての実験は最近寒害が問題となっている平地を主とし、2005年2月から草刈、送風法、被覆法を実施した。

3.結果と今後の展開

草刈実施前では標高の高い順に地温が高かったが、草刈実施後では平地地温が上昇し、標高70m地点の傾斜地地温に近づいた(図-1)。快晴無風の条件でファンの稼動と停止を21時から2時間毎に繰り返し行った結果、ファンによる明確な昇温効果は得られなかった(図-2)。園内に設定した無処理区に対して竹被覆区、被覆材区の2つの被覆区を設けた。夜間の放射収支量が無処理区を100%として表した結果、竹被覆が70%に、被覆材が50%に放射を抑える効果があり、さらに被覆材は層数を多くすれば、より効果が高くなることがわかった(図-3)。各対策を行った上での寒害被害の状態を知るため、摘果果実の全数調査を行った。その結果、被覆材区が健全な果実の割合が32%と高く、次いで竹被覆区が20%、無処理区は14%であった(図-4)。今後は各対策の効果を分析し、より実用的な寒害防止方法を明らかにしていく必要がある。

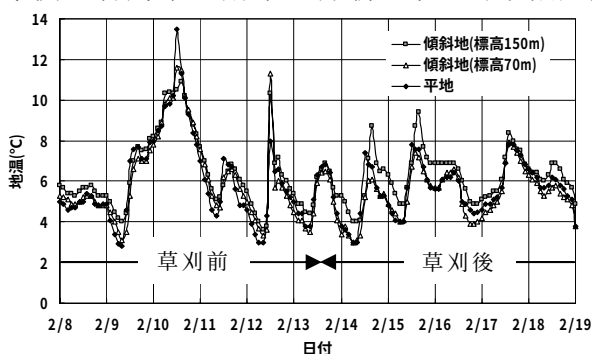


図-1 草刈前後の地温変化(2月8日～18日 13日に草刈)

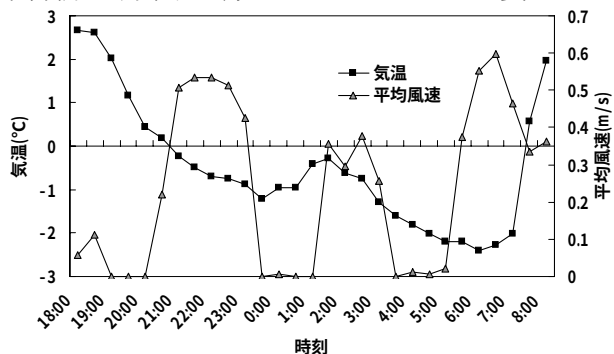


図-2 送風による気温変化(3月13日 18:00～14日 8:00)

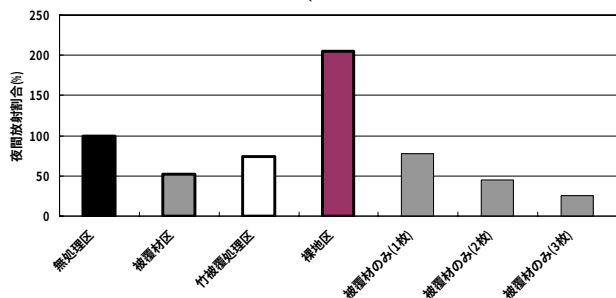


図-3 被覆による夜間放射防止効果(無処理区基準)

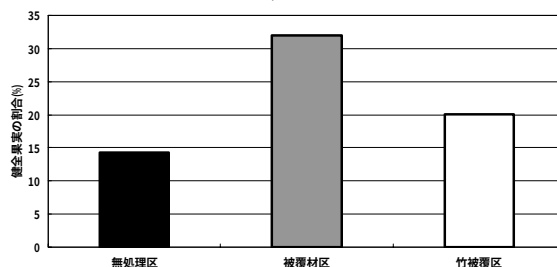


図-4 健全状態の果実の割合(4月21日調査)

(3月14、25、26日実施)

青色光照射時のクロロプラストおよび液胞内 pH 変化の 多光子レーザ走査顕微鏡による観察の試み

蔵田憲次・若林潤 （東京大学大学院農学生命科学研究科）

はじめに： 光合成の電子伝達の過程で、プロトンが閉鎖空間を形作るチラコイド膜外側（ストロマ）から内側（ルーメン）に伝達される。したがって、光合成が開始されると、ストロマの pH は上昇するはずである。しかし、今までにストロマ内の pH 分布およびその変化を可視化した例はない。その可視化が可能となれば、より詳細な電子伝達系の諸相が明らかになると考えられる（たとえば、pH 変化の速度、光むらと pH 分布の関係、クロロプラスト内の電子伝達能力の分布など）。

今までに、クロロプラスト内 pH（ストロマは、クロロプラストの大半の空間を占める）の可視化ができなかった理由は単純である。一般的には、pH 感受性プローブを観察対象に導入し、蛍光顕微鏡、あるいは共焦点レーザ走査顕微鏡によって pH 変化を観察できる。プローブの励起光として、紫外線あるいは可視光が用いられる。観察対象がクロロプラストの場合、励起光は生理作用（光合成など）を持つものである。すなわち、観察手段が観察対象の変化を引き起こしてしまう。近年、普及しつつある多光子レーザ走査顕微鏡（以下、MPLSM: MultiPhoton Laser Scanning Microscope）は、この問題を大幅に改善できる可能性がある。なぜなら、励起光として、植物に生理作用がないといわれている近赤外光（波長 800nm 以上）の使用が可能だからである（ただし、プローブからの蛍光やクロロフィルの自家蛍光は可視光なので、上記の問題が完全に解決されるわけではない）。さらに、観察可能深度が深いことも MPLSM の長所といえる。しかし、MPLSM は動物細胞への適用例は数多くあるが、植物を対象とした観察例は少なく、技術上の問題が山積している。その一つがクロロフィルからの自家蛍光の問題である。本研究では、植物細胞を MPLSM で観察する場合の技術的問題を克服し、クロロプラスト内 pH 変動を可視化することを最終目的としている。本報告では、最終目的への前段階として、細胞質の pH を一定に保ちつつ（細胞質 pH を H^+ イオノフォアにて調節）、クロロフィルおよび液胞内 pH の空間的平均値の、青色光照射時の経時変化を MPLSM 観察から算出した。

方法： 観察対象はハウレンソウのプロトプラストとした。蛍光プローブにはレーシオイメージング（2 波長で観察し、両観察の比から pH 画像を得る方法）が可能な SNARF1 を用い、その AM 体を細胞に導入した。青色 LED 光照射 30s 前から 10s 間隔で画像を取得し、照射開始後 3,900s まで観察した（300s 以降は 60s 間隔）。また、青色光を照射しない観察も行った。この観察とは別に、SNARF1 を導入せずに、同じ観察を行い、クロロフィル自家蛍光の強度と変化を調べた。

結果： 液胞の pH は、光を照射しなかった細胞では、ほぼ一定の値を維持したのに対し、光を照射すると、pH は低下した。クロロプラストの自家蛍光は、プローブからの蛍光に比べ、強度が弱く、また光照射の有無に関わらず、ほぼ一定の値を保った。プローブからの蛍光から自家蛍光を差し引いて求めた pH は、光照射しない細胞では低下したが、光照射した細胞ではほぼ一定の値を保った。なぜ、非光照射で pH 低下が起きたのかは不明である。以上の結果から、MPLSM によるクロロプラスト pH 変動観察の可能性が示された。