

東京都環境科学研究所

No.45

ニュース

目 次

平成16年度公開研究発表会の開催 P 1

講演 揮発性有機化合物（VOC）対策の現状と問題点

発表 光化学オキシダントの原因物質を探る

におい測定における欧州式と日本式との比較

魚のメス化と環境ホルモンの影響

屋上緑化によるヒートアイランド緩和効果

「研究所の窓」（研究所の活動の紹介） P 18

2004東京都環境科学研究所年報の発行

研究所施設公開のお知らせ

平成16年度公開研究発表会の開催

平成17年1月13日（木）、都庁の都民ホールにおいて、第10回「東京都環境科学研究所公開研究発表会」を開催しました。この発表会は、環境科学研究所が行っている研究の成果を、都民の方をはじめとして企業、行政部門の方々にお知らせすることを目的に、毎年開催しています。

このニュースでは、発表会当日、会場で配布しました「研究発表の要旨」と、ご参加いただいた皆さまからのアンケートの集計結果を報告します。また、今回掲載している発表の要旨と当日使用したパワーポイントは、研究所のホームページでご覧いただけます。



揮発性有機化合物（VOC）対策の現状と問題点

参事研究員 岩崎好陽

1 はじめに

VOC（Volatile Organic Compounds）とは、大気中に排出され、又は飛散したときに気体状で存在する有機化合物を指し、その中には、ベンゼン、トルエンなどの人間に有害な物質を含むとともに、光化学オキシダントの原因物質も多く含まれる。さらに、SPM（浮遊粒子状物質）の生成に関する原因物質の一つでもあることからVOCは大気汚染に係る重要な物質である。

このような重要な物質であるにもかかわらず、従来から日本においてはVOCに関しては、ベンゼン、トルエンなどVOCを構成する各有機化合物に対する単独の規制は行われてきたものの、VOC全体としての規制はなかった。ここでは、このVOC対策について、主に光化学オキシダントとの関連で、その必要性から問題点に至るまで簡単に述べる。

2 VOC対策の必要性

図1に東京都内における光化学オキシダント濃度の経年変化を示した。この図からわかるように、近年、光化学オキシダント濃度は上昇傾向にあり、さらに光化学スモッグ注意報の発令回数も増加傾向が伺える。この傾向は全国的にも確認されている。図2に、VOCが光化学オキシダント濃度にどのように関与しているかを概略的に示した。VOCはOHラジカルやオゾンなどと反応して、NOからNO₂への反応を阻害する。そのためNO₂からNOへの反応が促進され、オゾンは増加するのである。

東京都においては検討会を立ち上げ、光化学オキシダント濃度の上昇傾向の原因について検討してきたところであるが、その中で光化学オキシダント生成の原因物質であるVOCの排出量を削減する早急な対策が求められている。

図1 オキシダント昼間の年平均濃度の経年変化

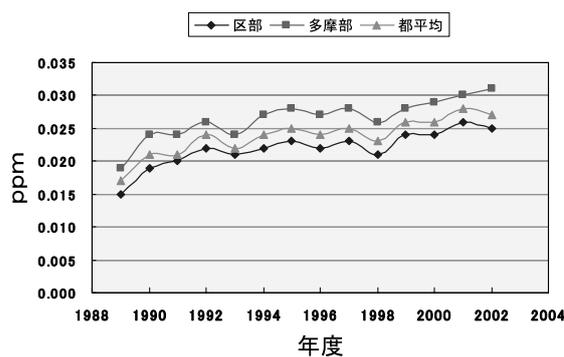
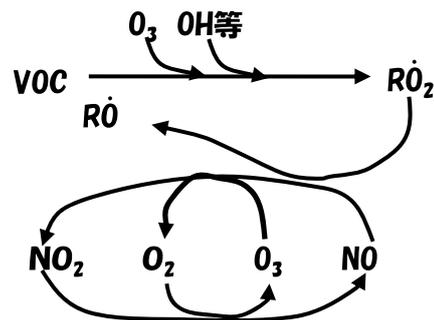


図2 オキシダント濃度に及ぼすVOCの影響



3 VOCの発生源

図3及び図4に、全国と東京都におけるVOCの排出源の内訳を示した。VOCは日本国内においては、年間185万トン程度排出されており、東京都内においては、同じく年間14万3000トン程度排出されている。日本全体ではVOCの排出源は、ほとんどが工場などの固定発生源であり、自動車占める割合は10%程度であるが、東京ではその割合が30%程度に上昇している。

これらの図から、VOCの排出源としては、塗装、印刷などに使われる溶剤が非常に高い寄与をもっていることが伺える。この他、VOCの排出源としては、クリーニング、金属表面処理関係などの洗浄工程を持つ事業所があげられる。

図3 国におけるVOC排出量内訳

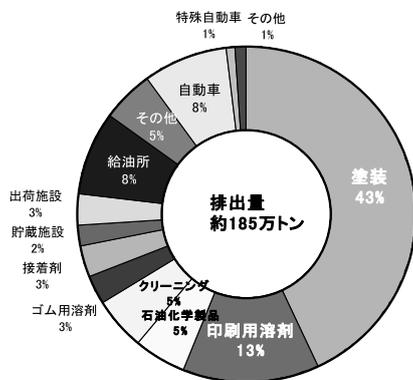
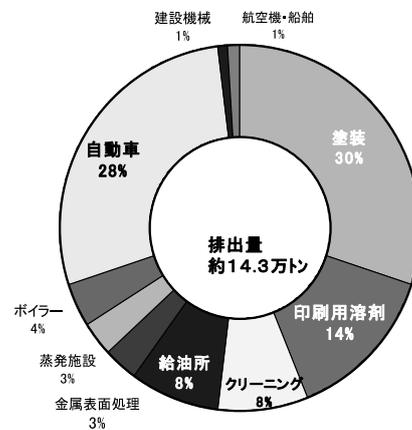


図4 都におけるVOC排出量内訳



4 VOCの削減対策

東京都においては、固定発生源からのVOCの排出量を削減するため、法に加え、条例により、トルエン、キシレンなど一部のVOCについて規制を行ってきた。これらのVOCを使用し、規制の対象となる事業所では、基準値を満たすために何らかの対策をとってきている。しかし、条例の対象となっていない事業所、特に中小の事業所では、ほとんど対策は取られていない。

国においては、平成16年に大気汚染防止法を改正し、VOC規制を追加し、現在対象事業所の規模、VOCの測定方法など細目を検討している段階である。

また、現在P R T R法や条例により、一定規模以上の事業所における化学物質の使用量、排出量の把握が行われ、その削減が図られている。

以下に、VOC削減対策の一例として、塗装関係を例にして主な具体例を示した。

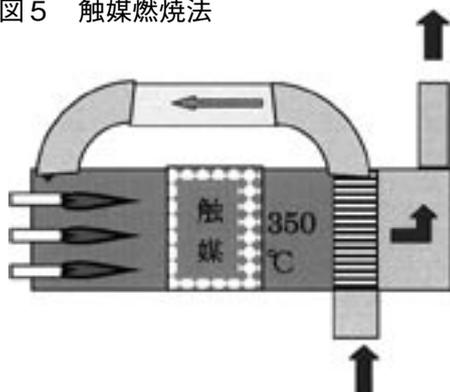
① VOCの蒸発低減対策

保管容器からの漏洩を防ぐこと。開口部を必要以上に大きくしないこと。

② VOCのより少ない原材料への転換

各種塗料の水性化が有効である。また、溶剤分が少ないソリッドタイプ等、さらに粉体塗料もVOC削減には効果がある。

図5 触媒燃焼法



③ 塗装における噴霧時塗料の無駄を少なくする塗着効率の高い塗装方法の採用。

④ VOC除去装置を用いる方法

VOC除去装置としては、現在、燃焼分解装置、触媒分解装置、活性炭吸着装置など各種の装置が開発されている。図5に触媒分解装置の概略図を示した。

5 VOC対策の課題及び今後の展開

今後VOC対策を進め、一般環境におけるVOC濃度の削減を図っていかなくてはならないが、その過程で以下に示す課題及び展開が予想される。

① 中小事業所対策の必要性

現在VOCの処理装置として、先にも示したように燃焼分解装置など各種の処理装置が開発されているが、これらの装置の価格は平均数千万円にも及ぶのが現状である。このような価格では、大企業所はともかく中小企業所においては導入は難しい。そのことが最大の課題である。また、処理装置を用いなくて、VOCの発生自体を削減するために、溶剤を水性化したり、低溶剤化する対策も必要である。これらは最も基本的な対策であるが、水性化の場合アルコール系の溶剤の使用量が増大する問題もある。

② 酸化触媒による自動車からの排出量の低減

次に東京都においては、VOCに占める自動車の寄与が高く30%程度もあり、特にディーゼル車からのVOCの排出量が多い。東京都では、8都県市共同で平成15年10月からディーゼル車排出ガス規制を行っており、新車や車令7年を経過した車ではVOC除去に効果的な酸化触媒を設置するものが増えている。自動車からの寄与が高いために、規制の効果により環境中のVOC濃度の低減も十分期待できる。

さらに、軽油中の硫黄分の含有量が首都圏では既に10ppm以下に低減された。硫黄分は自動車の触媒にとっては触媒毒になるが、それが低減されることにより、より優れた触媒が開発され、自動車からの寄与がさらに低減される可能性がある。

③ ガソリンスタンドにおける対策の必要性

VOCの排出に関し、排出量の算出が難しい施設がガソリンスタンドである。地下タンクへの給油時、東京都では条例でタンクに溜まっているVOCガスはローリーに戻す方式が用いられ、大気中には放出されない方式が採用されている。

しかし、各自動車への給油時は、燃料注入口も開放されているため、当然一部は大気に放出されてしまう。今後、詳細な調査が必要である。

④ 屋外塗装における対策

船舶塗装のように、屋外において大規模に塗装をする場合には、VOC対策は非常に難しく、建築塗装も同様である。このような場合、大気中に放出されたVOCを集め、削減することは困難であり、比較的VOCの少ない塗料の更なる開発が必要である。

用語説明

S P M (浮遊粒子状物質)

Suspended Particulate Matter の略。沈降速度が小さいため、大気中に長時間浮遊している微粒子であって、その粒径が10 μ m以下のものをいう。

酸化触媒

ディーゼル車の排ガス中の炭化水素、一酸化炭素などを酸化する触媒で、現在実用化レベルにある。排ガス中の硫黄成分が触媒毒になり触媒を劣化させるが、近年軽油中の硫黄分の濃度が低減してきているため、VOCのみならずダスト対策としても有効である。

光化学オキシダントの原因物質を探る

－揮発性有機化合物の実態－

分析研究部 星 純也

1 はじめに

大気中には様々な揮発性有機化合物（VOC）が存在している。これらのVOCの中には人の健康に有害な影響を与える物質、浮遊粒子状物質の生成や地球温暖化、オゾン層の破壊を引き起こす物質、さらに、近年増加傾向にある光化学オキシダントの原因物質が存在する。そこで、当研究所ではこれまでVOCの個別成分について環境大気調査や発生源調査などを行ってきた。今回はその中から特に光化学オキシダントの低減対策のために行ってきたVOCの個々の成分の実態と発生源からの排出状況について報告するとともに、今後調査検討すべき課題について述べる。

2 大気中のVOC汚染の実態

(1) 都内のVOC濃度の分布

光化学オキシダントの原因となるVOCとしては炭化水素類やアルデヒド類が知られている。これらのうちの約50物質について成分別に大気中の濃度を測定した。図1に平成15年夏期に都内5地点で行った調査結果を示した。測定したVOCの総濃度で住工混在地域の大田でやや高く、多摩地域の福生で低い傾向が見られるものの大きな差は見られなかった。また、その組成も各地点でほぼ一定であり、飽和炭化水素類と芳香族炭化水素類の割合が高い結果となった。

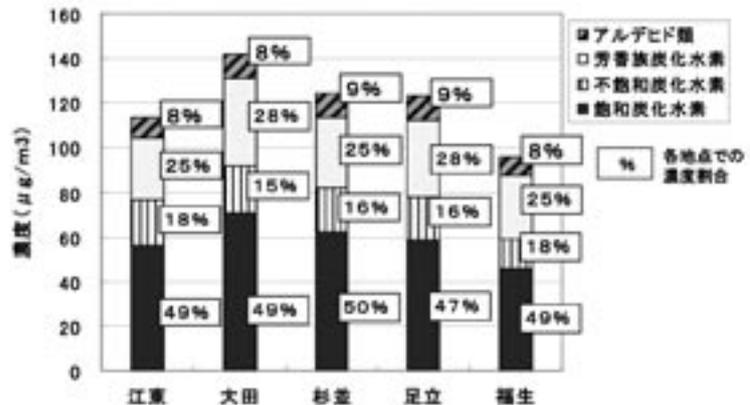


図1 都内五ヶ所のVOC測定結果

(2) オゾン生成能から見たVOC成分

VOCの各成分は光化学オキシダントの主成分であるオゾンの生成に与える影響が異なることが知られている。そこで、大気中各VOC濃度にオゾン生成能の指標（MIR値）を乗じて重み付けを行った。その結果、図2に示すように濃度実態に比べ不飽和炭化水素類の割合が非常に大きくなり、環境濃度の組成と異なっている事が明らかになった。また、オゾン生成能の3割を占める芳香族炭化水素のうち約半分はトルエンであり、いずれの地点でもトルエンの割合が高い傾向が見られている。MIR値で重み付けすることによ

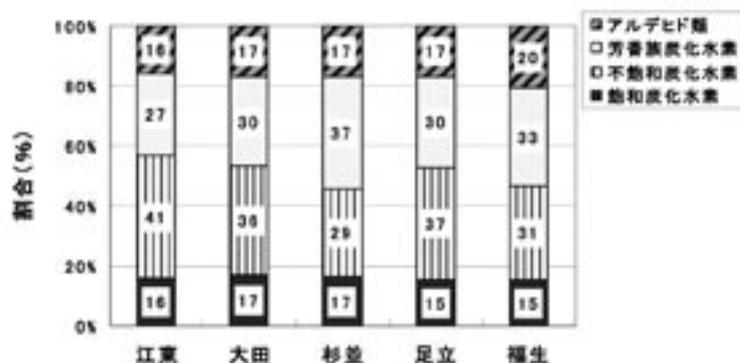


図2 オゾン生成能で見た都内の炭化水素濃度割合

り、光化学オキシダント対策には不飽和炭化水素類やトルエンの削減が重要であることが示された。

3 VOCの発生源

(1) 移動発生源からの排出

当研究所ではシャシダイナモメータを用いた台上試験や自動車専用トンネルを利用して自動車からのVOCの排出実態調査を行ってきた。図4にシャシダイナモメータを用いて測定した排出係数をMIR値で重み付けしたオゾン生成係数を示した。この結果、ディーゼル車から排出されるVOCのオゾン生成係数はガ

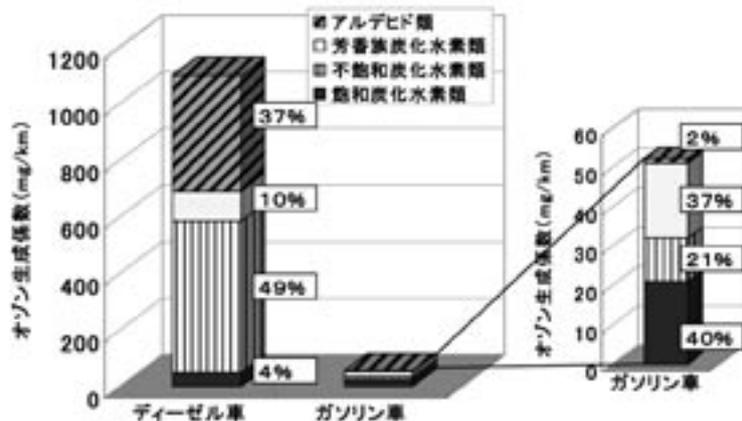


図3 自動車から排出されるVOCのオゾン生成能

ソリン車の約20倍になることが明らかになった。また、その組成もオゾン生成能が大きい不飽和炭化水素類、アルデヒド類が多く、個別の成分ではホルムアルデヒドや1-ブテン、1,3-ブタジエンの排出係数が大きくなっている。このように、移動発生源対策としては特にディーゼル車対策が重要であることが示された。平成15年10月から開始された東京都のディーゼル規制の結果、ディーゼル車の多くには酸化触媒が装着されてきた。当研究所の調査によると酸化触媒は自動車排出ガス中のVOCを効率良く除去できることが明らかになっている。今後、触媒効果を上げる低硫黄軽油も供給されていくことから環境中の自動車由来のVOC成分の濃度低下が期待でき、その効果の把握に努める予定である。

(2) 固定発生源からの排出の推定

固定発生源からのVOC排出量は、発生源や排出形態が多岐にわたり、個々の事業所からの排出実態は十分に把握されていない。そこで、当研究所では平成15年度から一般環境と道路沿道で年間を通じたモニタリングを行い、その結果からVOC各成分の発生源について検討を行った。表1に主な成分のモニタリング結果を示した。いずれの成分も自動車の影響が強いと

表1 道路沿道と一般環境のVOC濃度とベンゼン比

	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ベンゼン比	
	一般環境 (n=12)	道路沿道 (n=12)	一般環境 (n=12)	道路沿道 (n=12)
飽和炭化水素類				
イソブタン	7.1	9.6	<u>2.9</u>	<u>2.0</u>
ブタン	13	18	<u>5.3</u>	<u>3.7</u>
イソペンタン	7.2	14	3.0	2.9
ペンタン	4.6	7.4	1.8	1.5
不飽和炭化水素類				
1-ブテン	2.3	5.1	0.94	1.1
1,3-ブタジエン	0.32	0.86	0.12	0.19
芳香族炭化水素類				
トルエン	21	29	<u>8.5</u>	<u>6.4</u>
エチルベンゼン	4.1	5.7	<u>1.7</u>	<u>1.2</u>
1,3,5-トリメチルベンゼン	0.71	1.5	0.30	0.33

考えられる道路沿道では一般環境より高い濃度を示し、総濃度では道路沿道は一般環境の約1.7倍であった。しかし、大部分が自動車由来であると推計されているベンゼンに対して個々の成分の濃度を比で現すと、道路沿道

と一般環境でほぼ同程度になる成分とその比がかなり異なる成分が見られた。イソペンタンや1-ブテンなどは道路沿道、一般環境のベンゼン比が類似しており、自動車から排出されたものが一般環境濃度に影響を与えていると考えられる。一方、P R T Rデータから固定発生源の排出が多いと推計されているトルエンやエチルベンゼンのベンゼン比は一般環境のほうが道路沿道に比べ高く、一般環境濃度に固定発生源からの排出の影響があることが示唆された。この手法を活用することで、ブタンやイソブタンのようにP R T Rの対象外である成分についても、固定発生源からの排出の影響の程度を推定することができると考えられる。今後はこうした手法を用いて、モニタリング結果を固定発生源に対する効率的指導と施策の評価に活用できないか検討を加えたい。

4 まとめ

当研究所のこれまでの調査から、光化学オキシダント対策には大気中濃度の高い飽和炭化水素類よりも、オゾン生成能の大きい不飽和炭化水素類や芳香族炭化水素類の排出抑制が重要であることが明らかになった。また、ディーゼル車からもこれらの成分が多く排出されており、規制の効果の検証が必要であることが示された。固定発生源については排出の実態は明らかになっていないが、モニタリングデータを活用して環境濃度への寄与を推定できることがわかった。

光化学オキシダントの低減に向けて、今後は固定発生源からの個別のV O Cの排出量把握を進めていくとともに、大気中で未把握のV O C成分が光化学オキシダントに与える影響を調査し、その対策を推進していく必要がある。

用語説明

M I R (Maximum Incremental Reactivity) 値

光化学オキシダントの主成分であるオゾンの生成能力の指標の一つ。米国カリフォルニアE P Aで公表されている値で、各V O Cの単位変化量当たりの最大オゾン変化量を示す。

シャシダイナモメータ

自動車を路上と同じ状態で走行させることができる室内排出ガス試験装置。試験車を室内に設置されたローラに乗せて固定し、運転を行い排出ガスの測定を行う。

P R T R (Pollutant Release and Transfer Register) 制度

平成13年度から始まった化学物質排出移動届出制度。人や生態系に有害影響もしくはオゾン層を破壊する化学物質354種を対象とし、一定規模以上の事業所に使用している化学物質の移動、廃棄、放出量の届出を義務付けている。また、移動発生源と届出対象外の排出については国が推計を行う。

におい測定における欧州式と日本式との比較

応用研究部 上野 広行

1 はじめに

都及び区市町村に届けられる悪臭苦情は典型7公害のうちの2割程度を占めている(図1)。その苦情件数は昭和40年以降順調に減少してきたが、近年やや増加傾向を示している(図2)。

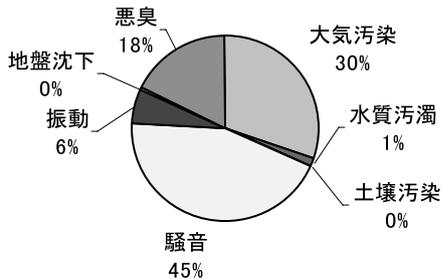


図1 東京都における公害苦情件数の内訳
(典型7公害 平成15年度 公害等調整委員会)

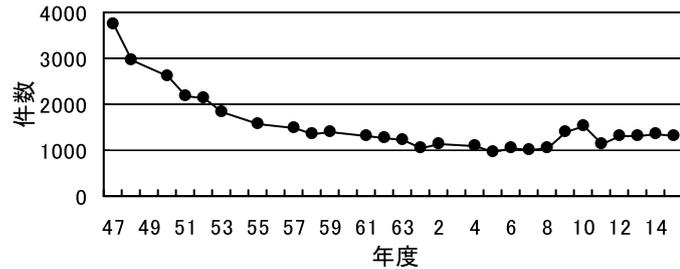


図2 東京都における悪臭苦情件数の推移
(公害等調整委員会)

工場・事業場からの悪臭を規制している悪臭防止法においては、においの測定方法は当初、機器分析法による臭気物質濃度測定であったが、臭気物質濃度が人間の感覚と必ずしも対応しないことから、平成7年に嗅覚測定法のひとつである当研究所開発の三点比較式臭袋法が導入された。

嗅覚測定法は諸外国でも行なわれており、欧州ではオルファクトメーター法が2003年に欧州規格として採用され、将来国際標準化される可能性もでてきた。このような動きに対抗し、日本式も国際化を図るためには、両手法の適正な比較検討を行う必要がある。ここでは、両手法の特徴や精度の違い等について比較したので、その結果を報告する。

2 両手法の特徴

嗅覚測定法にはいろいろあるが、悪臭の規制に用いられる方法としては、においを無臭空気でおわなくなるまで希釈したときの希釈倍数(これを臭気濃度という)を求めることが一般的である。三点比較式臭袋法もオルファクトメーター法も測定対象のにおいを無臭空気希釈して臭気濃度を求める手法である。しかし、以下の点で異なっている。

○臭気濃度の求め方

三点比較式臭袋法では、においを希釈した空気を入れた袋1個と、無臭空気を入れた袋2個のにおいを嗅ぎ、においのある袋を選択する。このとき、最初は濃度を高くしておき全員正解するようにする。次に、濃度を3倍薄めてこの作業を繰り返し、においのある袋を正しく選択できなくなるまで行ない、不正解になったときの希釈倍数から臭気濃度を求める。

オルファクトメーター法では、においを希釈した空気と無臭の空気を比較してにおいのある方を選択するのは同じであるが、最初に誰もにおいを感知できないほど希釈しておき、2倍ずつ濃度を高くして正しく検知できたときの希釈倍数から臭気濃度を求めるものである。

○希釈方法

三点比較式臭袋法はポリエステル製のバッグ(におい袋)とガラス製注射器を用いて手作業で

希釈するのに対し、オルファクトメーター法はコンプレッサーやフローコントローラー等から構成される希釈装置により連続的に希釈する。

○パネル選定試験

嗅覚測定においてにおいを嗅ぐ検査員の集団をパネルと呼ぶが、嗅覚に問題のある人はパネルメンバーとしては不相当である。両手法とも試験に先立ってパネル選定試験を行なうが、日本式では5種類の基準臭を用いて嗅覚の弱い人を除くのにに対し、欧州式では1種類の基準臭を用いて一定範囲の嗅覚を持つ人を選び出している。

3 比較試験

(1) 希釈精度

臭気物質の中には容器や配管の材料に吸着するものもあり、正確な希釈は意外と難しい。そこで、希釈精度を比較するため、性質の異なる3種類の臭気物質を用いて実験を行った。その結果を、設定した濃度に対する実際の濃度のかたよりを誤差率として図3に示した。

におい袋については、3物質とも誤差率は小さく概ね良好な結果であった。一方、オルファクトメーターについては、硫化水素については希釈倍数が高くなるほど誤差率が大きくなり、1万倍希釈では-46%とかなり悪くなった。このことは、オルファクトメーターでは吸着性の強い物質では配管等への吸着が起こりうることを示している。

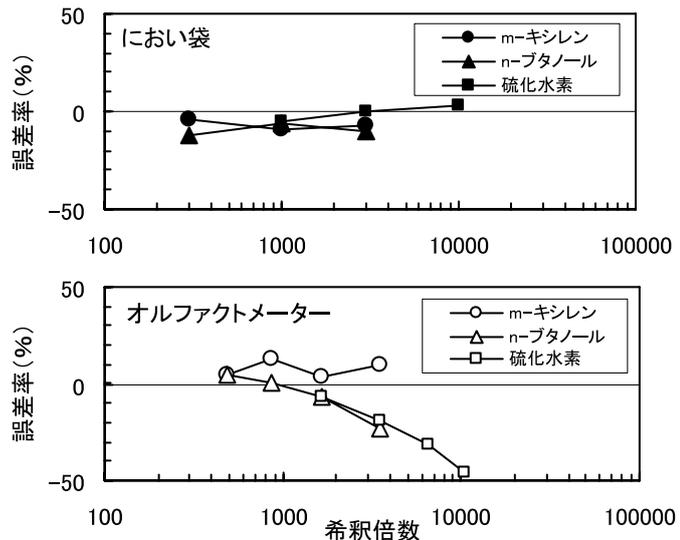


図3 におい袋とオルファクトメーターの希釈誤差

(2) パネル選定試験

両手法のパネル選定試験の違いを比較するため、20人の被験者について両方の試験を行った。それぞれの選定試験の概要は以下の通りである。

日本式：5種類の基準臭（β-フェニルエチルアルコール、メチルシクロペンテノン、イソ吉草酸、γ-ウンデカラクトン、スカトール）について、基準の濃度のおいを感じできれば合格とする。

欧州式：オルファクトメーターにより、n-ブタノールの個人閾値を10回以上測定し、閾値の平均が20ppbから80ppbの範囲にあり、ばらつきが一定以内であれば合格とする。

日本式では、20人中2人が不合格となったが、欧州式では14人が不合格となった。欧州式による選定基準は、日本式よりもかなり厳しいものと言うことができ、嗅覚測定の精度を高めると考えられる。しかし、日本式の試験が一人15分程度でできるのに対し、欧州式は最低3日間かかるため、簡便性と測定精度の兼ね合いが問題である。

(3) 嗅覚測定結果の比較

三点比較式臭袋法とオルファクトメーター法による嗅覚測定の結果がどの程度異なるのか調べるため、さまざまな臭気について両手法により測定した。パネルは、日本式の選定試験に合格した12人のうち、欧州式選定試験にも合格した6人（Aグループ）と欧州規格案の選定試験に合格しなかった6人（Bグループ）とに分けた。

3種類の臭気物質についての嗅覚測定の結果を表1に示した。数値は、閾値濃度の対数値で示した。これは、人間の感

覚量は物質濃度の対数に比例するためである。各グループ内での測定結果は、全体的には非常に良く一致していた。グループ間での差も大きくはなかった。

表1 臭気物質の嗅覚測定結果（閾値濃度¹⁾の対数値）n=5~7

		Aグループ		Bグループ	
		三点比較式臭袋法	オルファクトメーター法	三点比較式臭袋法	オルファクトメーター法 ²⁾
m-キシレン	平均値	2.0	2.0	2.2	2.3
	標準偏差	0.37	0.08	0.11	0.04
n-ブタノール	平均値	1.3	1.6	1.4	1.4
	標準偏差	0.17	0.06	0.15	0.10
硫化水素	平均値	2.7	2.8	2.8	2.7
	標準偏差	0.20	0.08	0.19	0.15

1)m-キシレン、n-ブタノール:ppb 硫化水素:ppt 2)規格外の測定である

測定法の繰り返し精度

の指標である標準偏差はオルファクトメーター法の方が小さいものの、臭袋法でも平均値の10%程度であった。

表2には、Aグループによる現場臭気の嗅覚測定結果を示した。結果は、実際のにおいの強さに対応する数値にするため、臭気濃度を以下の式により変換した値、すなわち臭気指数として示した。

$$\text{臭気指数} = 10 \times \log(\text{臭気濃度})$$

表2の結果も両手法の結果は非常によく一致していた。

表2 嗅覚測定結果（臭気指数）n=3

においの種類	Aグループ	
	三点比較式臭袋法	オルファクトメーター法
吹きつけ塗装臭	27	25
焼き付け塗装臭	28	26
オフセット印刷臭	29	29
下水臭	28	30
し尿臭	32	31
獣骨処理臭	29	30

4 おわりに

希釈精度や繰り返し精度にやや差が見られたものの、嗅覚測定結果については使用する機材や方法の違いにもかかわらず、同じパネルであれば同程度の結果が得られた。今後は、パネルの嗅覚と測定精度の関係等を検討するとともに、両手法のコストや必要試料量等の違いも考慮して総合的な評価をしていく予定である。

用語説明

オルファクトメーター

においをフローメーター等により連続的に希釈する装置。

無臭空気

一般に活性炭を通した空気は無臭空気と呼んでいる。

閾値（嗅覚閾値）

人がにおいを感じることができる最小の濃度。

魚のメス化と環境ホルモンの影響

～これまでの研究結果を総括して～

応用研究部 和波 一夫

1 はじめに

内分泌かく乱化学物質（環境ホルモン）によるホルモン作用かく乱は、野生生物等に様々な影響を及ぼすことが懸念されている。なかでも性ホルモン作用のかく乱は、生殖機能に影響する問題であり、この分野の調査研究が進められている。河川水等には天然エストロゲンの様に作用する人工化学物質（エストロゲン様物質）が存在することが知られているが、魚類などの生物に及ぼす影響を把握するためには、人畜から排出され水環境に流入している天然エストロゲンも合わせて調査し、総合的な評価を行う必要がある。

2 環境ホルモン研究の概要

1998年、多摩川のコイに関する生殖異変の調査結果が横浜市立大学等のグループから発表され、「多摩川のコイはメス化している」と大きく報道された。その発表を受けて、当研究所では、①都内水域における魚類の生殖異変の実態、その原因物質とされる内分泌かく乱化学物質の水環境中の挙動と下水処理場からの排出実態、②メダカを用いた室内曝露試験、③環境ホルモン物質の分析法などの検討を行ってきた。ここでは、上記①の研究結果を総括して報告する。

3 調査研究の内容と実施年度

- (1) 魚類調査：都内河川に生息するコイの生殖異変の実態を明らかにする調査研究（1998年度から2001年度）、都内海域に生息するボラ等の生殖異変の実態を明らかにする調査研究（2002年度から2004年度）
- (2) 水質調査：ELISA法、遺伝子組み換え酵母法、LC-MS/MS法を利用した水環境中のエストロゲン測定、エストロゲン流入負荷量の把握（1999年度から2004年度）
- (3) 下水処理場調査：下水処理工程におけるエストロゲンの収支等の調査（2000年度から2001年度）

4 調査結果

(1) 多摩川のコイの性比

多摩川とその支川で1998～2001年度合計962尾のコイを採捕した。雌雄数は、雌466尾、雄496尾であり、性比に著しい偏りは認められなかった。

(2) ビテロゲニン

多摩川等で採捕した雄コイの血中ビテロゲニンと調査地点のエストロゲン作用強度の関係を図1に示す。エストロゲン作用強度が高い地点はビテロゲニンが高く、エストロゲン作用強度が低い地点はビテロゲニンも低かった。エストロゲン作用強度が高い地点は、いずれも下水処理水の影響を大きく受けている地点であった。

(3) コイの生殖腺異常

都内河川のコイの精巣異常出現率は、多摩川では10%、神田川では17%であった。精巣異常の多くは、不明細胞が増殖したものや腫瘍形成したものであった。一方、卵巣異常出現率は多摩川

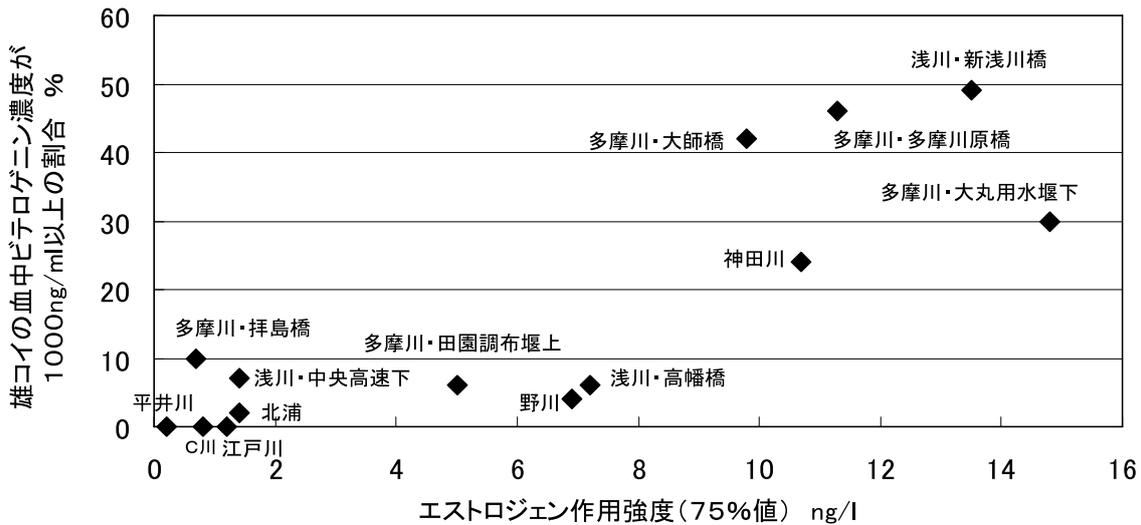


図1 河川水中のエストロゲン作用強度と雄コイのビテロゲニン

では3%、神田川では2%であり、この卵巣異常のほとんどは退行変性卵（卵が成熟する過程で、水温、光周期、溶存酸素量などの環境条件の変動により引き起こされることが知られている）であった。雄と雌の生殖腺異常の出現率の違いはエストロゲンの影響を示唆しているが、現時点では生殖腺異常の原因は不明である。

(4) 河川水のエストロゲン作用強度の測定

下水処理場放流水の流入で多摩川河川水のエストロゲン作用強度は流入直後に上昇するが、その後、流下とともに速やかに低下することがわかった。この消失機構を明らかにするため、多摩川の縦断調査と模擬河川水路実験を行った。その結果、河川におけるエストロゲン作用強度の消失は主に河床の石に付着した微生物の分解によるものと推測された。

(5) 人工化学物質のエストロゲン作用強度

ノニルフェノール等の人工化学物質のエストロゲン作用強度は、同じ濃度であれば、天然エストロゲンの5000分の1以下であり、極めて小さいことがわかった。多摩川の河川水中の人工化学物質は、河川中の天然エストロゲンに比べて濃度が2桁以上高いことがあるが、エストロゲン作用強度としては天然エストロゲンの数十分の一以下であった。

(6) 下水処理場におけるエストロゲンの収支

多摩川流域の3つの処理場を対象に調査したところ、下水処理場のエストロゲン平均除去率は69%であった。エストロゲン除去率に影響する重要な要因は、ばっ気槽の処理時間であり、処理時間が長くなれば、放流水のエストロゲン濃度が低下することが示唆された。

(7) 都内海域の調査

都内海域に生息する魚類の生殖異常の実態を把握するため、都内運河などの沿岸域で調査を行った。ボラ、コノシロ、スズキ、マアナゴなどの魚種に精巣卵（精巣組織中に卵母細胞が存在するもの）が認められた（図2）。

雄ボラの血中ビテロゲニンを測定したところ、下水処理場放流水が流入する運河部で採捕した雄ボラから100,000ng/mlを超えるビテロゲニンが検出された。長崎大学のボラ調査（米山健太ら、第4回環境ホルモン学会研究発表会要旨）では、沖縄200ng/ml、八代海800ng/ml、長崎港2,300~4,100ng/mlであり、これらに比べると著しく高濃度であった。

河川と下水処理場の水質調査から、都内海域へのエストロゲン流入負荷量を試算したところ、エストロゲン流入負荷量の30～46%は河川からであり、54～70%は海域に面した下水処理場から流入しているという結果が得られた。

5 まとめ

都内水域に生息する魚類の生殖異常について調査した結果、コイの性比の偏りは認められなかったが、雄魚のビテロゲニン産生がみられた。このビテロゲニン産生の原因は環境ホルモンではなく天然エストロゲンの影響と推測された。精巣異常については、天然エストロゲンの影響が示唆されたが、現時点では原因が不明であり、この解明は今後の課題である。

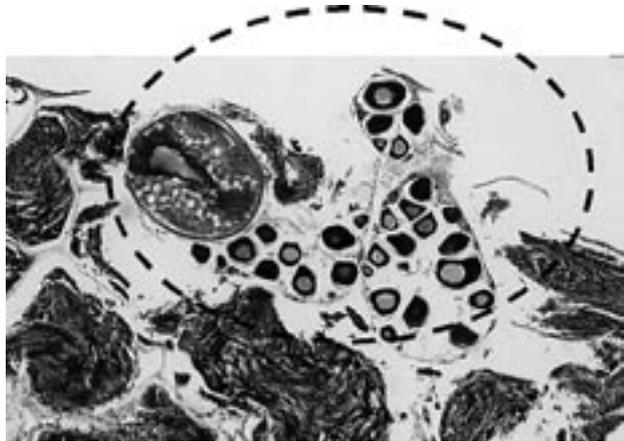


図2 コノシロの精巣卵（点線内）

用語説明

内分泌かく乱化学物質（環境ホルモン）

動物の生体内に取り込まれた場合に、本来、その生体内で営まれている正常なホルモン作用に影響を与える外因性の物質（環境省の環境ホルモン戦略SPEED'98）。

天然エストロゲン（Estrogen）

女性ホルモンの 17β -エストラジオール、エストロン、エストリオールの総称。女性ホルモンは女性の生殖器官の発育を促進する卵胞ホルモン（エストロゲン）と妊娠に関係する黄体ホルモン（プロゲステロン）があるが、一般には、前者を意味することが多い。

エストロゲン作用強度

ノニルフェノールなどの人工化学物質がエストロゲンとして作用するときの強さをいう。また、人畜由来の天然エストロゲンが流入した河川水等が、エストロゲンとして作用するときの強さもエストロゲン作用強度という。エストロゲン作用強度は、天然エストロゲンの中で最も強い作用強度をもつ 17β -エストラジオールの換算濃度で表示する。

ビテロゲニン（Vitellogenin）

産卵性動物（魚類、爬虫類、鳥類など）の卵黄タンパク質前駆体。雌ではごく普通に存在する物質である。通常、雄はビテロゲニンを産生しないが、天然エストロゲンやノニルフェノールを投与するとビテロゲニンを産生することが知られている。

屋上緑化によるヒートアイランド緩和効果

基盤研究部 横山 仁

1 はじめに

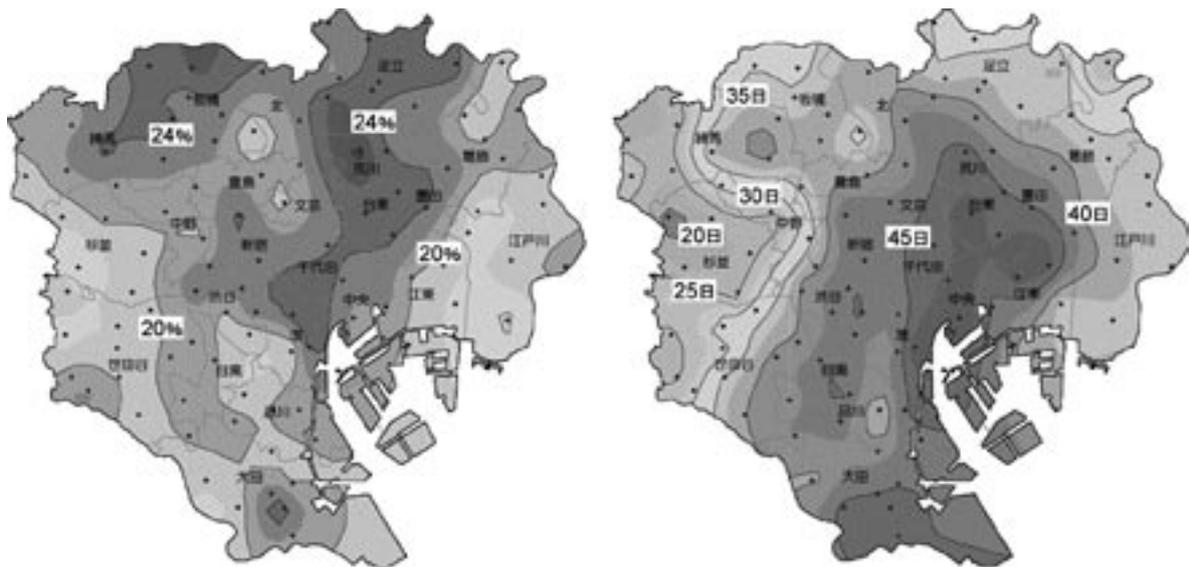
近年、都内では熱帯夜や真夏日日数の増加、熱中症等による救急搬送者数の増加などヒートアイランドが原因と思われる現象が日常化し、都民の生活や健康に影響を及ぼしている。こうしたなか、東京都ではヒートアイランド対策推進会議を設置し、さまざまな対策を講じているが、主要な対策の一つとして緑化の推進が挙げられている。

都市において緑は、大気の浄化や防災、景観の維持やアメニティーの向上等さまざまな機能を有しているが、その一つに水の蒸散作用による昇温抑制効果があり、これがヒートアイランド緩和対策として期待されている。しかし、過密化した東京に新たに緑地を作ることは極めて困難であり、屋上等建物空間への緑化の普及が課題となっている。

ここでは、区部におけるヒートアイランドの実態を述べるとともに、現在、当研究所が行っている屋上緑化のヒートアイランド緩和効果に関する研究についてその結果を報告する。

2 区部における夏季のヒートアイランドの実態

2004年は、東京大手町で史上最高となる39.5℃を観測するなど、記録的な猛暑となった。図1は、当研究所の観測結果に基づく2004年7月1日～9月30日の気温30℃以上の時間割合の分布と、熱帯夜（最低気温が25℃以上）の日数分布を示したものである。日中の高温化の目安となる気温30℃以上の時間割合は、区部中央部から北部にかけて多い傾向が、また、熱帯夜日数は、区部中央部から南部にかけて多い傾向が認められた。それぞれ、地域分布は異なるが、建物や自動車などから排出される「人工排熱」のほか、コンクリート面やアスファルト面の増大、緑地の減少など「地表面被覆の人工化」が、主として影響しているものと考えられる。



<気温30℃以上の時間割合 (%)>

<熱帯夜（最低気温25℃以上）日数>

図1 今夏における区部のヒートアイランドの実態（2004年7月1日～9月30日）

3 屋上緑化のヒートアイランド緩和効果

ヒートアイランドに対しては、地域ごとに適した対策を講じていく必要があり、その一つに建物密集地域における屋上緑化の推進がある。東京都は、自然保護条例により、一定規模を超える敷地を有する建築物の新增改築時における屋上緑化を義務づけている。しかし、屋上緑化のヒートアイランド緩和効果に関しては不明な点も多く、その効果的普及を図るためには緩和効果の検証が不可欠である。

当研究所では、屋上緑化のヒートアイランド緩和効果を定量的に明らかにすることを目的に、既存建物にも適用可能な芝等を用いた軽量薄層型屋上緑化についての研究を実施した。

(1) 温度低減効果

図2は、屋上緑化（芝）の温度低減効果を示したものである。無処理区の表面温度（図中①）が最高約60℃に達するのにに対し、屋上緑化の表面温度（図中②）は約35℃、屋上緑化下の屋上面の温度（図中③）は約30℃となっていた。また、無処理区では、屋上面における1日の温度の較差が約35℃に達したのに対して、屋上緑化下では、5℃未満であった。

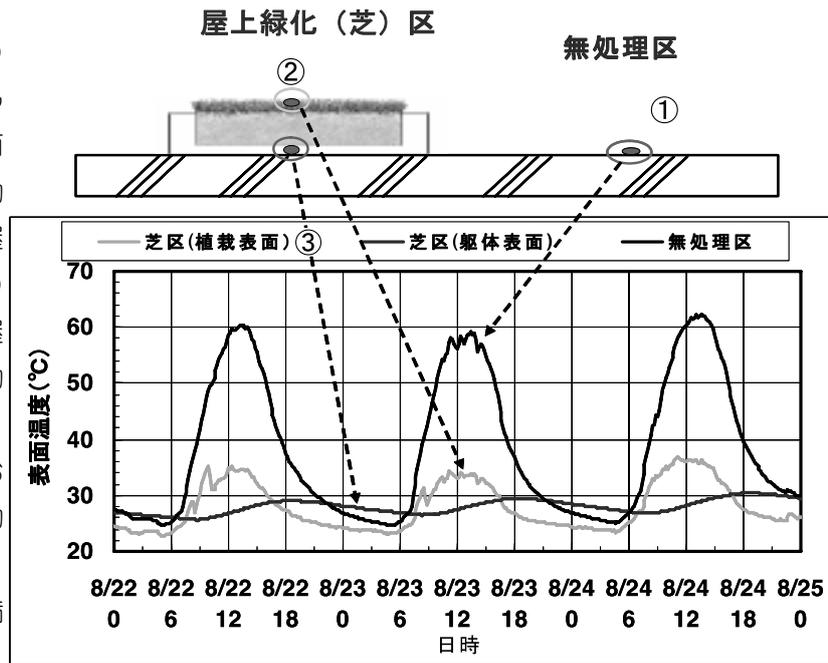


図2 屋上緑化による温度低減効果（2003年8月22～25日）

(2) 屋上緑化面における熱収支

屋上緑化による効果をより定量的に評価するために、屋上緑化に伴う熱収支の違いを調べた。熱収支とは、ある面への入力エネルギー（正味放射量）と出力エネルギー（顕熱・潜熱・伝導熱）とのバランスであり（図3）、一般的には次式で示される。

$$\text{正味放射量} = \text{顕熱} + \text{潜熱} + \text{伝導熱}$$

上式において、顕熱とは、直接大気を暖める熱でヒートアイランド現象の主要因である。潜熱とは、気化熱など植物や土壌からの蒸発散により消費される熱で、気温上昇を伴わない。また、伝導熱とは、屋上面から建物に伝わる熱で、室温に影響を及ぼすことから、冷房負荷の増大等につながり、間接的にヒートアイランドの要因となる。

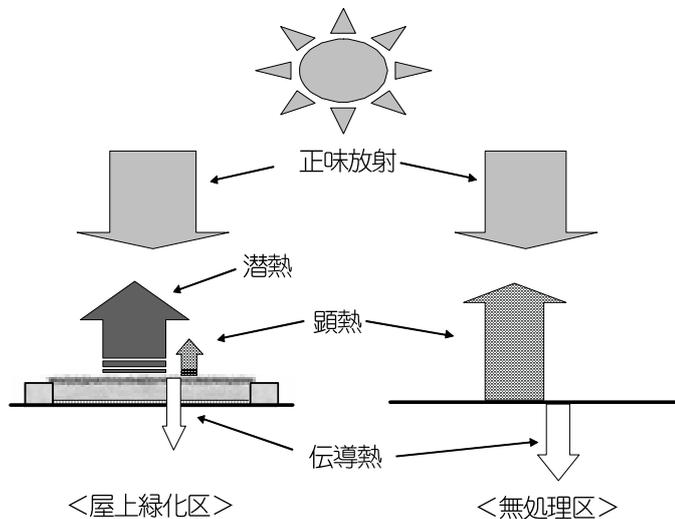


図3 熱収支の概念図

図4は、各試験区のうち、無処理区、芝区（コウライシバ）、セダム区（メキシコマンネングサ）における灌水翌日の日中における熱収支を示したものである。無処理区では、正味放射量の約6割にあたる270W/m²が顕熱となっており、日中の気温上昇に大きく寄与していることを示している。これに対し、約4割にあたる200W/m²が伝導熱に配分されており、階下室温の上昇を引き起こす要因となっている。一方、芝区では、植物や土壌からの蒸発散により正味放射量の約7割にあたる380W/m²が潜熱に配分されているため、伝導熱は約2割（100W/m²）、顕熱は約1割（40W/m²）に抑えられており、顕熱は無処理区の1/7に、伝導熱も1/2に低減していた。一方、セダム区は、潜熱が60W/m²しか発生しておらず、正味放射量の約8割にあたる520W/m²が顕熱に配分されていた。これは、セダムが芝とは異なり、水分が少ない乾燥条件下では、日中、蒸散をほとんど行わない植物であることによるものと考えられる。セダム区は、無処理区に比べ伝導熱がかなり低いものの、顕熱は多くなるという結果を得たが、これは、無処理区に比べ、セダム区の正味放射量が大きかったうえに、表面が植物体の存在により凹凸が大きいため、より熱が上空に伝わりやすいと考えられること、さらには、今回の熱収支式では、植物体への蓄熱は考慮していないが、セダムの植物体自体への蓄熱が無視できない量であった可能性があることなどが推察される。詳細については今後検討を進めていく予定である。

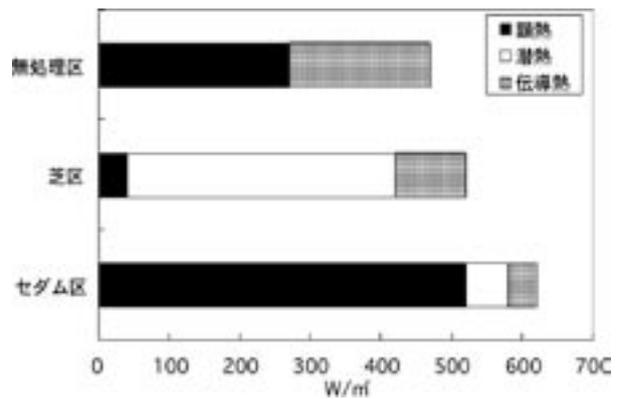


図4 各試験区における熱収支の比較
(2003年9月15日正午付近の平均値)

以上のように、既存建物にも適用可能な軽量薄層な屋上緑化システムにおいても、一定のヒートアイランド緩和効果を有することが明らかとなったが、その効果は植物の種類等により異なることが示された。今回の実験では、芝に比べセダムによる屋上緑化は、顕熱の発生量が多く、ヒートアイランド緩和効果が低いことが明らかとなった。

4 今後の展望

今回の研究により得られた成果は、ヒートアイランドの緩和効果の予測に活用する予定である。また、今後、他機関との共同により、ヒートアイランド緩和対策、特に、灌水に関わるコスト削減について、夏季の渇水や集中豪雨対策も視野に入れ、雨水利用型屋上緑化システムの開発というコンセプトで研究を進めていく。また、壁面や地表面の緑化に関する研究など、より幅広いヒートアイランド対策に関する研究も行っていく予定である。

用語説明

セダム

ベンケイソウ科に属する多肉植物で、砂漠や岩盤のような、乾燥かつ貧栄養状態にあるわずかな土壌でも生育可能な植物。したがって、高温で乾燥しやすいビルの屋上のような環境でも生育する。芝等の一般的な植物とは異なり、乾燥条件下においては、日中、気孔を閉じ蒸散を行わないCAM型光合成を行うとされる。