

緑を活用した都市の熱環境改善に関する研究(その3) —臨海部における温熱環境実態調査結果—

横山 仁 成田 健一* 菅原 広史** 三坂 育正***

山口 力**** 林 陽生**** 安藤 晴夫 高橋 一之

(*日本工業大学 **防衛大学校 ***竹中工務店 ****筑波大学)

要　旨

今後、「海の森」等の大規模公園や街路樹整備等のヒートアイランド対策が重点的に進められる予定の臨海部において、対策実施前の温熱環境を把握するために、地表面温度、気温、熱環境の実態を調べた。その結果、現状では、日中に地表面温度や顕熱が高いといった熱環境の実態が明らかとなった。これは、コンクリートやアスファルト等人工被覆面や裸地が多いといった現状の土地被覆状態を反映したものと考えられた。また、日中の気温は海風の影響により市街地に比べ低かったものの、その範囲は臨海部にとどまつた。これらのことから、同地区の熱環境だけではなく風下となる都心部のヒートアイランド現象の悪化に影響を及ぼしているものと推察された。したがって、今後の臨海部における緑化推進等の対策実施が、同地区だけでなく、都心部におけるヒートアイランド対策としても重要であると考えられた。

キーワード：ヒートアイランド対策、臨海部、表面温度、気温、熱環境

Study on improvement of urban heat environment by greening - The realities of thermal environment in Water front area-

YOKOYAMA Hitoshi, NARITA Ken-ichi*, SUGAWARA Hirofumi**, MISAKA Ikusei***,

YAMAGUCHI Chikara****, HAYASHI Yosei****, ANDO Haruo and TAKAHASHI Kazuyuki

*Nippon Institute of Technology, **National Defense Academy, ***Takenaka R&D institute,

****University of Tsukuba

Summary

In order to grasp actual condition of the thermal environment in water front area where planned chiefly measures for urban heat island such as a large-scale park as the Umi-no-mori(Sea forest) others, We measured ground surface temperature, air temperature, heat environment before the measures enforcement. As a result, it became clear that the actual condition of the heat environment reflected land covered with much concrete, asphalt and bare ground, such as higher ground surface temperature and sensible heat flux. And air temperature was lower than that in urban, but the range where air temperature was lower was limited in water front area. Because it is suggested that those had an influence on the heat environment not only in the water front area but also in the inner city, it is thought that measures enforcement such as greening the in the water front area in the future would be effective for improvement of the heat environment in not only the district but also the inner city.

Key words: Countermeasure of heat island, Water front area, Surface temperature, Air temperature, Thermal environment

1はじめに

ヒートアイランド現象は、水辺や緑地空間の減少、人工地表面や建築物の増加、さらには、都市の過密化に伴う風の流れの阻害や人工排熱の増加など、自然との共存や調和の視点を欠いた経済優先の都市開発の結果として生じてきたものと考えられており、これまでのまちづくりのあり方に警鐘を鳴らすものである。特に、東京における今日のヒートアイランド現象は、戦後数十年の都市化の結果として生じてきたものであり、その緩和や解消という課題を達成するためには、長期的で継続的な取り組みが必要である。すなわち、都市内での排熱の抑制や局地的な気候に配慮した市街地の整備、屋上緑化や既存緑地の保全等都市緑化による地表面からの蒸散機能の向上など、熱環境対策の視点を都市づくりに内在させていくことが求められている。こうしたなか、東京都は、平成18年末に「10年後の東京」¹⁾を策定し、『水と緑の回廊で包まれた、美しいまち東京を復活させる』ことを第一の柱として掲げた。さらに、「『10年後の東京』への実行プログラム2009_²⁾」の中で、海からの風を呼び込む臨海部から都心部にかけての緑化を、特に「グリーンロード・ネットワーク」と呼び、今後の東京における熱環境改善に向けた重点事業のひとつとした。

本研究は、「10年後の東京」への実行プログラム2009において、海からの風を呼び込む玄関口とされる「臨海・環状2号線・晴海」地区の対策実施前の熱環境の実態を把握し、問題点を明らかにすることによって、今後の同地区ならびに都心部における熱環境の改善に資することを目的に行った。

2 研究内容および結果

「臨海・環状2号線・晴海」地区（図1、以下、臨海部）におけるヒートアイランド対策実施前の温熱環境を把握するために、地表面温度、気温、熱環境の実態調査を行った。それぞれの調査内容と調査結果を以下に示す。

2.1 地表面温度分布

快晴となった2009年8月20日12:54～13:24に、上空約1,500mからヘリコプターに搭載したサーモカメラ（サーモトレーサーTS7302、株NEC三栄、地上解像度5m）を用いて臨海部における地表面温度を測定した。地表面温度の測定と同時に、ヘリに搭載したHDカメラ（HXR-MC1、株SONY）により、可視画像を撮影した。図2に臨海部における測定エリア全体の表面温度分布を示す。



図1 調査エリア（図中の赤枠内）出典：Google Earth

図2の熱画像を見ると、全体的に赤色系の部分が目立ち、臨海部内の多くの地域で地表面温度が40°C以上の高温となっていることがわかる。特に、青海・有明・晴海地区の高温化が目立つ。一方、エリア全体に対する面積は小さいものの、浜離宮や海の森予定地等の既存の公園緑地の表面温度は低い。以下で、地区別に検討する。

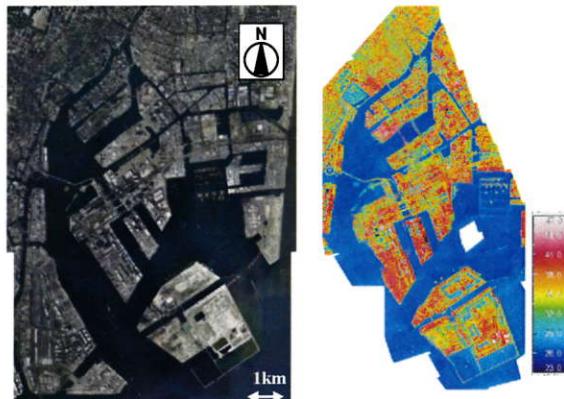


図2 測定エリア全体の表面温度分布

（左：可視画像、右：熱画像、2009年8月20日13時ごろ。熱画像内中央部の白色部分は未観測エリア）

(1) 海の森予定地地区

図3に、海の森予定地における表面温度分布を示す。中央付近にある、まだ緑化されていない裸地部分の表面

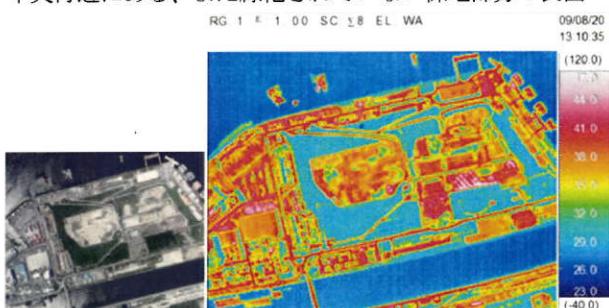


図3 海の森予定地における表面温度分布

（左：可視画像、右：熱画像、2009年8月20日13時ごろ）

温度は平均約40°Cになっているのに対して、植物で覆われている部分の表面温度は平均約29~30°Cと、裸地よりも約10~11°Cほど低い。緑化されていない部分のなかで、アスファルト舗装された場所の表面温度は特に高く、約45°Cとなっている。

(2) 中央防波堤外側埋立処分場地区

図4に、中央防波堤外側埋立処分場（以下、埋立地と記す）における表面温度分布を示す。海の森予定地と同様に、画面右よりにある裸地の表面温度は平均約40°Cに達している。一方、植物で覆われている部分の表面温度は平均約30~31°Cとなっており、裸地部分に比べ約10°C低い。埋立地の緑地は、海の森予定地の緑地に比べ表面温度が若干高いが、これは、海の森予定地の緑地のほとんどが樹林地であるのに対して、埋立地の緑地は多くが草地で構成されていることによるものと推察される。

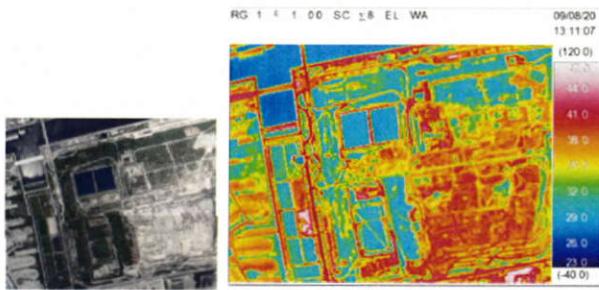


図4 埋立地における表面温度分布
(左: 可視画像、右: 热画像、2009年8月20日13時ごろ)

(3) 臨海副都心地区

図5に、臨海副都心（青海・台場）における表面温度分布を示す。同地区は、今後の再開発に伴いさまざまな商業・文化施設の建設が予定されている場所であるが、開発に伴い敷地面積の4割を緑化することが義務付けられている。しかし、現状では、ほとんどが未開発の状態のため、アスファルト舗装された地表面が多い。同地区内において、アスファルト舗装された場所の表面温度は、約45°Cとなっているほか、裸地の部分も約40°Cを示して

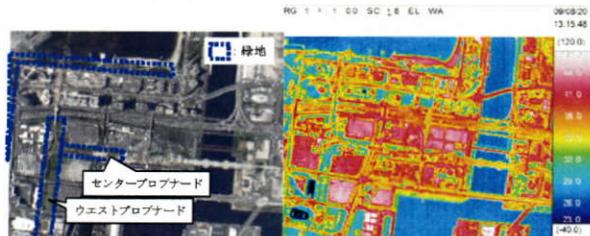


図5 臨海副都心地区における表面温度分布
(左: 可視画像、右: 热画像、2009年8月20日13時ごろ)
*熱画像内の濃青色部分は、金属屋根等による高反射とみられるエラー値であり、実温度ではない。

いる。一方、ウェストプロムナードやセンタープロムナード等すでに緑化されている部分の表面温度は約30°Cで、アスファルト舗装や裸地に比べ10~15°C程度低い。また、樹林となっている部分は、海の森予定地と同様に、約29°Cと表面温度が同地区内で最も低くなっている。

(4) 晴海・勝どき・豊海地区

図6に、晴海・勝どき・豊海地区における表面温度分布を示す。臨海副都心地区と同様に、アスファルト舗装された地表面の温度は約45°Cを示しているのに対し、晴海ふ頭公園の樹林地の表面温度は約29°Cとなっている。また、アスファルト舗装面に隣接する野球場の表面温度は、土の部分が約43°Cであるが、芝生の部分は約33°Cを示しており、校庭で行った観測結果¹³⁾とほぼ同様の結果である。一方、物流倉庫群の屋根面温度は非常に高く48~50°Cを示している。また、ゴムチップ舗装されている小学校の校庭の表面温度も高く約47°Cとなっている。

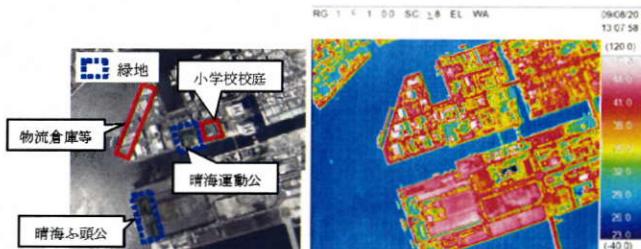


図6 晴海・勝どき・豊海地区における表面温度分布
(左: 可視画像、右: 热画像、2009年8月20日13時ごろ)
*熱画像内の濃青色部分は、金属屋根等による高反射とみられるエラー値であり、実温度ではない。

2.2 気温分布

臨海部に位置する32ヶ所において、気温を測定した。気温測定点を図7に示す。測定には、自記温度計(RTR-52、T&D)を用い、1分間隔で測定した。また、比較として、大手町の気象庁アメダスと船の科学館における気温を解析に用いた。測定期間は2009年7月27日から10月1日までで、解析には、各温度計の器差補正後のデータを用いた。

(1) 南東風時における日中の気温分布

図8は、南東風時における各地点と大手町アメダスとの気温差の分布である。湾に隣接した①および③のエリア内は、大手町よりも0.1~1.4°C低い傾向が認められる。一部の測定点で大手町と同等の気温となっている箇所もみられるが、沿道環境や自動車交通排熱等による局所的な影響によるものと考えられる。②のエリアでは、湾岸に近い有明・豊洲・東雲付近で0.3~2.4°C低いものの、

湾岸から離れた築地付近エリアでは 0.2~0.5°C高い傾向が認められる。これは、海風の効果が、築地付近まで及んでいないことと、市街地のコンクリート・アスファルト化や建築物の高密度化さらには自動車や

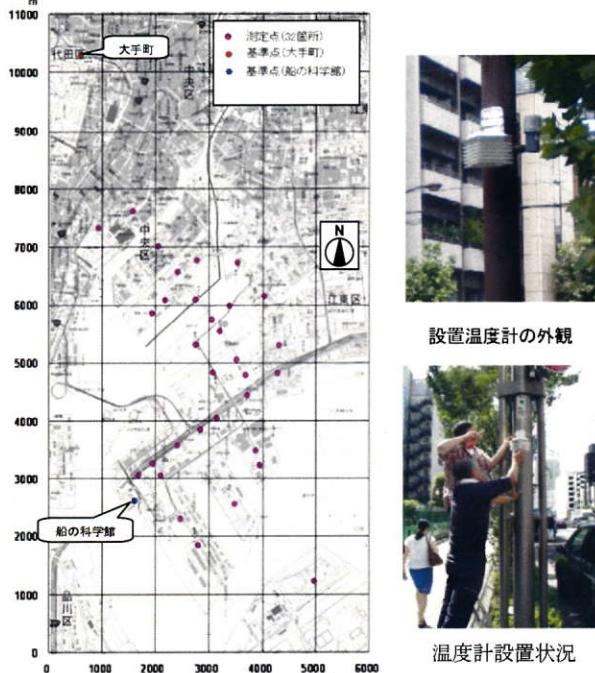


図 7 温度計の配置図(出典:Google Map)ならびに温度計の外観

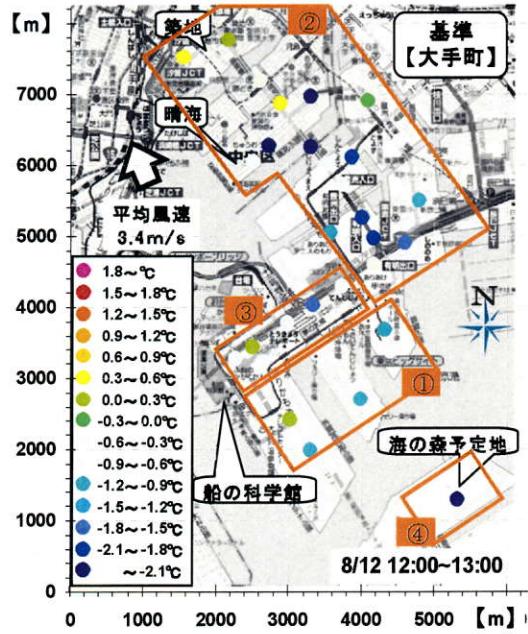


図 8 南東風時の日中の気温分布（大手町との気温差、出典：Google Map）

ビル等による人工排熱^{3), 4)}の影響により気温が高くなっているものと考えられる。海の森予定地となっている④

の気温は、大手町に比べ 2.2°C低い。これは海風の影響のほか、すでに緑化されている部分による気候緩和効果によるものと推察される。

(2) 北東風時の日中の気温分布

図 9 に、北東風時の各測定地点の大手町との気温差の分布を示す。南東風時とは異なり、ほぼ全地点で大手町よりも気温が高くなっている。南東風時においては大手町よりも低温であった①および④の区域は、大手町に比べ 0.3~1.5°C 気温が高い。これは、風上にある市街地の高温空気の移流により気温が高くなったものと思われる。また、湾から離れた市街地寄りの②の区域でも、①と同じく 0.5~2.0°Cほど大手町よりも高くなっているが、上記の区域と同様の影響によるものと推察される。

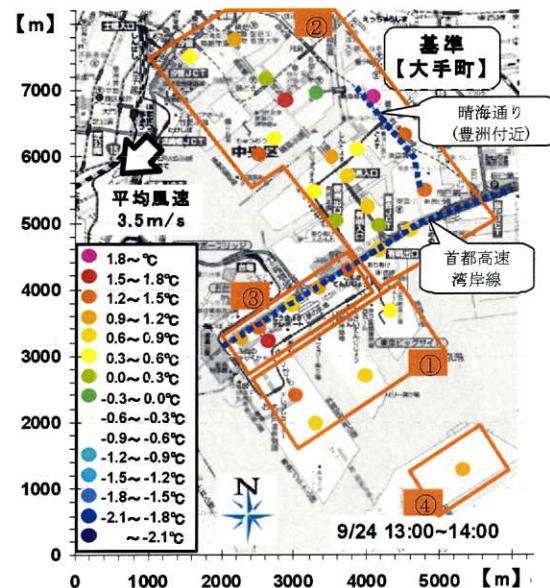


図 9 北東風時の日中の気温分布（大手町との気温差、出典：Google Map）

一方、晴海大橋など運河の風が通るとみられる地点は、大手町よりも低い傾向が認められる。晴海大橋の観測地点は大手町よりも 0.6°Cほど低い。また、図中の緑色系で示される地点は、いずれも大手町と同等もしくは 0.3°Cほど低い。これらの区域は、街路樹がすでに整備されている街路の測定点であることから、街路樹による緑陰効果を中心とした気候緩和効果^{5), 6)}により、他地点よりもスポット的に低温となっていたものと考えられる。公園整備予定地③では、晴海通り、豊洲付近②と並んで全区域内でもっとも高温となっており、大手町に比べ 1.7°C高い地点もある。これらのエリアはいずれもほとん

ど街路樹が存在しないエリアである。このエリアは、首都高湾岸線や晴海通りといった交通量が多い沿道でもあることから、街路樹の有無だけでなく自動車からの人工排熱の影響^{7),8)}も無視できない。

(c) 日没後の気温分布

図10は、日没後の気温分布で、弱い東南東の風が吹いている。日没後のエリア内の気温差は日中に比べ小さいことから、ここではエリア内に所在する船の科学館における気温と比較した。海の森予定地④は、全地点の中で日没時における気温が最も低く、船の科学館よりも約

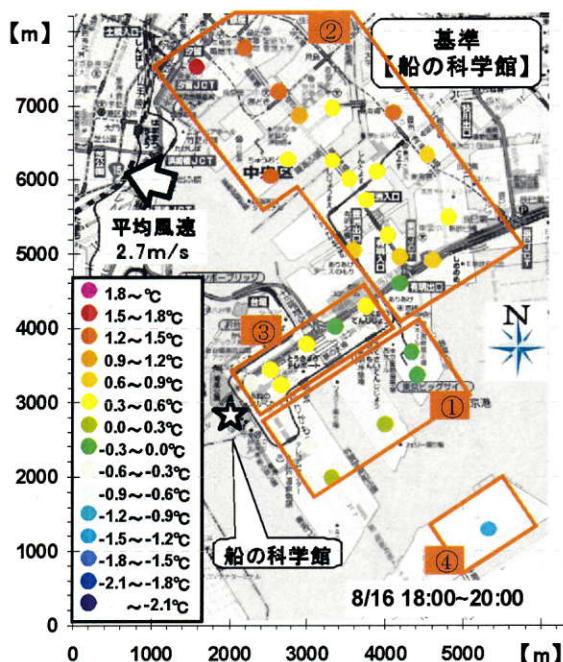


図10 日没後の気温分布（船の科学館との気温差、出典：Google Map）

1°C低くかった。海の森予定地は周囲を海に囲まれているため、比熱の大きい海の影響で、本来、気温が下がりにくいエリアと考えられる。実際、8月16日の18:00～20:00における海面水温（船の科学館付近での計測値）は平均で 28.2°Cで、④の気温(26.9°C) よりも高い。したがって、④のエリアでは、周辺の海の影響よりも埋立地の地表面の被覆状態や排熱の有無、すなわち、地表面が裸地や緑地に覆われていることや、人工排熱源がほとんどないことなどにより、気温が低くなっていたものと考えられる。一方、④以外のエリアは緑地が少なく、コンクリートやアスファルト等の人工被覆面が多いため、日中蓄えられた熱により気温が下がらないものと考えられる。

2.3 热環境の特徴

臨海部における対策実施前の热環境を調べるために、埋立地において顯熱フラックスを測定した（図11、青丸地点）。なお、比較対象として、千代田区丸の内にあるビ

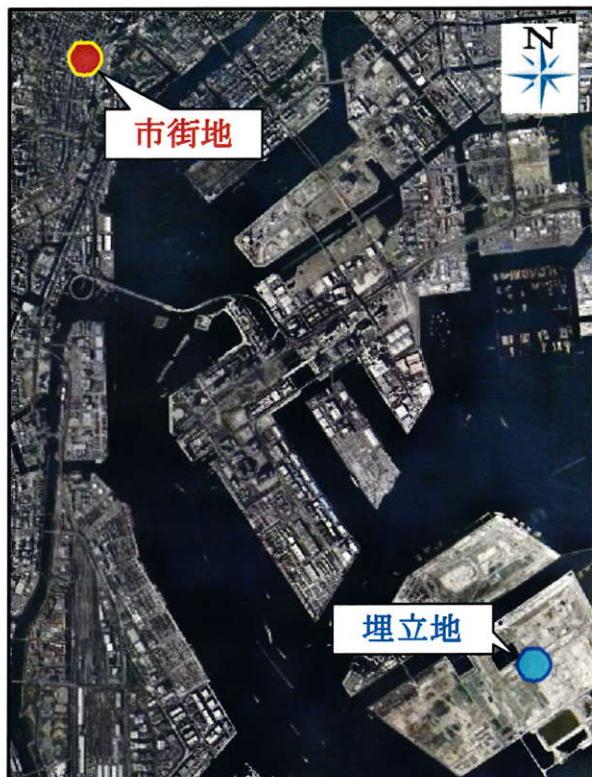


図11 热環境測定地点(出典:Google Map)

ル屋上鉄塔（地上約 100m）においても測定を行った（図中、赤丸地点「市街地」）。測定期間は、2009 年 8 月 11 日～9 月 28 日までである。両地点において、顯熱フラックス以外に、気温・湿度、放射収支、風向・風速、表面温度・熱流量を測定した。埋立地では、敷地内のほぼ中央にある既設の測風塔とその近傍に計測機器を設置し測定を行った。測定機器の設置状況を図12 及び図13に示す。図14～17に、測定期間中において、典型的な夏型の気圧配置となり南風が卓越した8月20、21日の両地点における熱環境（顯熱フラックス、日射量、アルベド、気温・表面温度）の経時変化を示す。両地点の顯熱フラックスを比較すると（図14）、昼夜ともに埋立地よりも市街地のほうが大きい傾向が認められる。市街地では、日中の最大値が約 500Wm⁻²に達していたのに対して、埋立地では最大でも約 350Wm⁻²で、市街地の約 7 割程度である。経時変化をみると、両日ともに午前中は、埋立地も市街地と同様の変化傾向を示すが、午後から翌朝にかけては、

日射・顯熱フラックス・風向風速 測定状況



正味放射(放熱+成分)・表面温度 測定状況



図 12 埋立地における熱環境測定状況



東京都旧丸の内庁舎



屋上鉄塔（最上部に放射関係測定機器を設置）



シンチロメータ

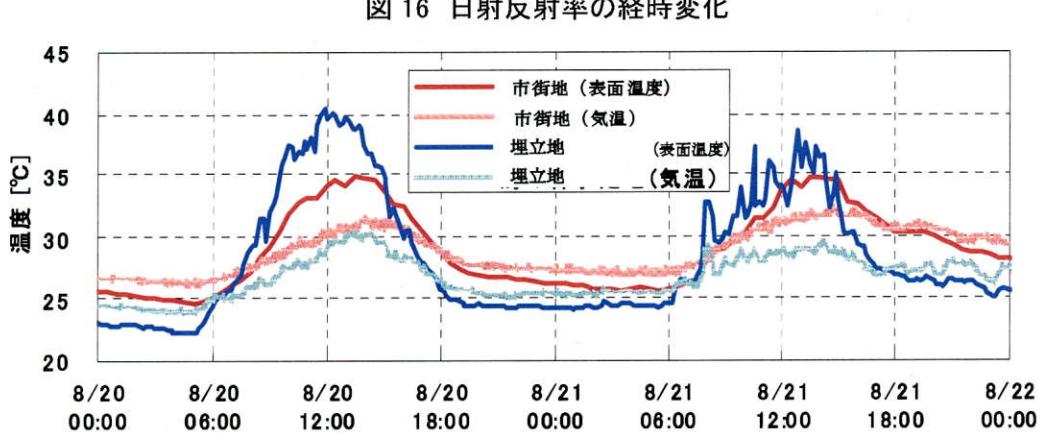
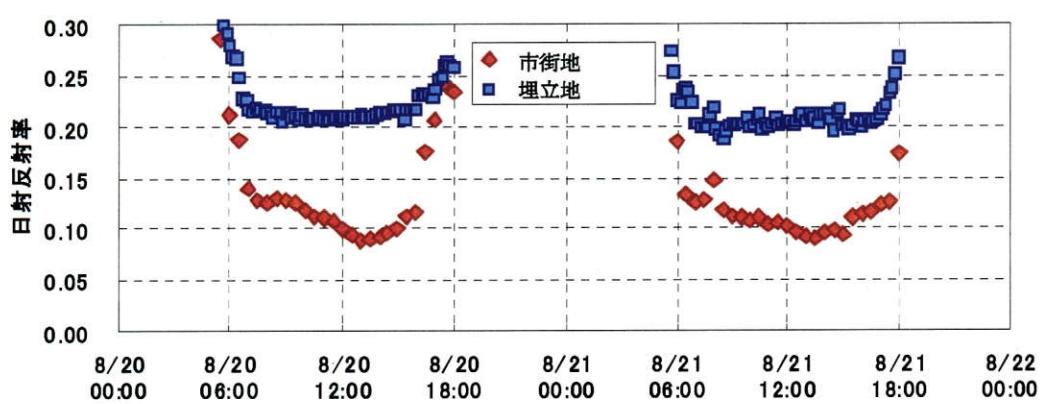
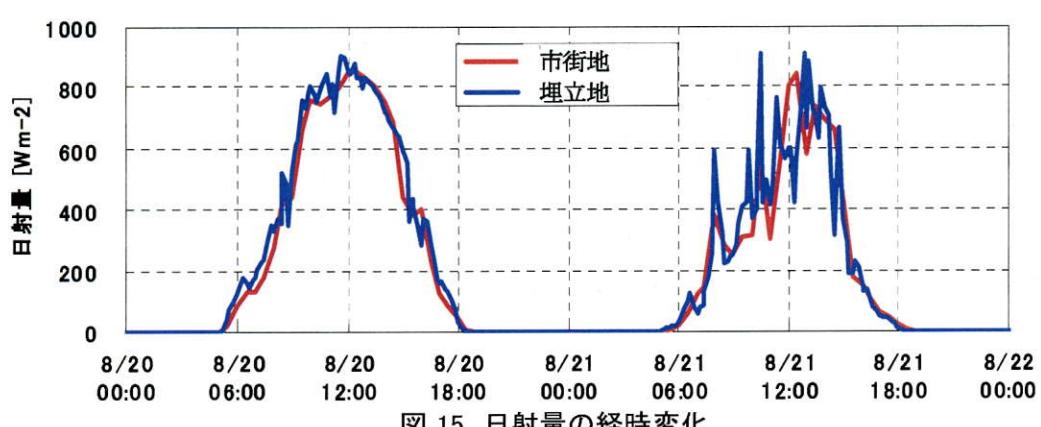
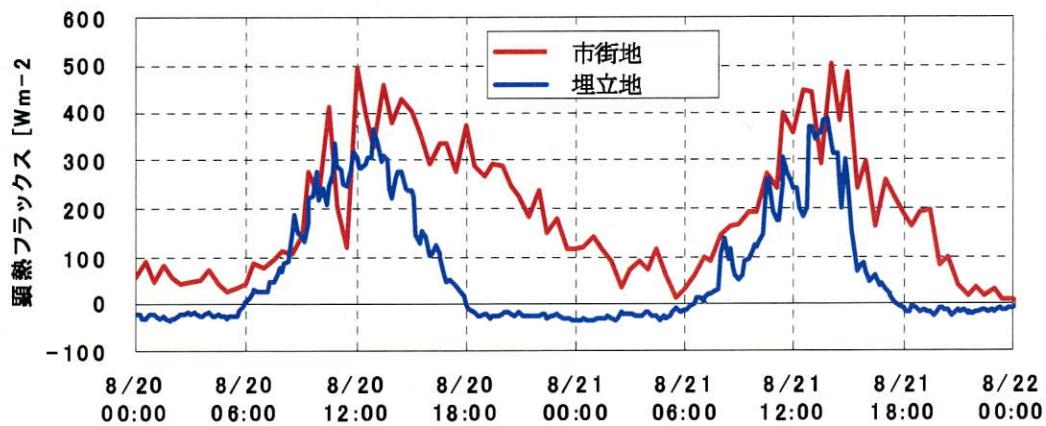


放射収支計および 3 次元超音波風速温度計



鉄塔から見た測定対象エリア（南東方向）

図 13 市街地における熱環境測定状況



埋立地では、日射量の低減とほぼ相まって低下するのに対し、市街地での顕熱フラックスの低下は鈍く、低減の勾配は緩やかである。また、市街地では夜間も引き続きプラス（上向き）の顕熱フラックスが発生しているのに對して、埋立地の顕熱フラックスは夜間マイナス（下向き）となっている。すなわち、市街地では、夜間も大気を加熱し続けているのに対し、埋立地では夜間は、大気を加熱しておらず、むしろ冷却していると考えられる。市街地では、日中蓄熱したアスファルトやコンクリートからの対流顕熱の放出とともに、人工排熱の影響により、顕熱フラックスが大きかったものと考えられる。両地点の日射量を比較すると（図15）、20、21日ともに最大値はほぼ 800Wm^{-2} で、両地点にほとんど差がみられない。このことから、両地点の顕熱フラックスの違いは、主として、地表面状態が異なることや産業活動の違いによる人工排熱の影響によるものと推察される。また、地表面のアルベド（日射反射率）を比較すると、埋立地が0.2であるのに対して、市街地は0.1と小さい。市街地におけるアルベドの測定結果は、アスファルトとほぼ同様の値⁹⁾であるが、市街地を構成する素材は、アスファルト以外にもコンクリートや金属等多岐にわたっているため、それらが混在化した結果であると考えられる。また、中高層ビルの存在も、アルベドに影響を及ぼしたものと推察される^{10), 11)}。

顕熱フラックスと同時に計測した両地点の気温を比較すると、昼夜ともに埋立地よりも市街地の方が高温となっている。両地点の気温差は、午前中よりも正午から夜間にかけて大きい傾向が認められる。これは、前述の顕熱フラックスの差に起因するものであろう。一方、表面温度は夜間から早朝にかけては、市街地のほうが高いものの、日中は、埋立地の方が高温となっている。これは市街地ではビル陰等により日陰となる部分が多く、表面温度が高くなりにくいのに対して、埋立地では日射を遮るような建物がほとんどないなど日陰となる部分が少なく、地表面が常に日射に曝される状態であるため、高温となりやすいものと考えられる。本来、表面温度が高ければ、顕熱フラックスも大きいことが予想されるが、実際は、前述の通り、市街地よりも埋立地のほうが顕熱フラックスは小さい結果となった。これにはさまざまな原因が考えられるが、主に市街地の顕熱フラックスに占める人工排熱の割合が大きいことが推察され、このことは、

他の研究においても指摘されている^{3), 4), 7)}。

3. 総合考察

今回の測定エリアは全体的に表面温度が高く、エリア内の多くが 40°C 以上の高温となっていた。特に、臨海部の青海・有明・晴海地区は、顕著な高温域となっており、表面温度が 50°C を超える部分もみられた。同地区は高層の建築物がほとんどないため日陰となる部分が少ないほか、地面の多くが、高温となりやすいコンクリートやアスファルトで覆われているためと考えられる。

日中の気温分布をみると、南よりの風の時には、臨海部付近の測定エリアの気温は全般的に大手町よりも低い傾向が認められた。これは、南から吹く海風の影響によるものと考えられる。こうした臨海部の低温傾向に比較して、築地付近は気温が高い傾向が認められた。これは臨海部に比べ築地付近が市街地であることと、海風による冷却効果がこの付近まで及んでいない可能性等が考えられる。海風の効果がこの付近まで及ばない理由の一つとして、埋立地や青海・有明・晴海等臨海部の表面温度が高いことが推察される。ヘリコプターからの地表面温度測定により臨海部の多くのエリアが高温となっていることが明らかとなったが、本来低温と考えられる海風が、当該地域を通過する際に暖められ、築地付近到達時には低温が維持されていないことが推察される。したがって、当該地域の緑化等対策の実施が、臨海部だけでなく、築地をはじめとした風下にある市街地の高温化の緩和に対し重要であると考えられる。一方、陸からの風の時には、臨海部付近の気温の低下は認められず、むしろ大手町よりもほとんどの地点で高温となっていた。これは北寄りの風の時には、風上にある市街地の高温空気が運ばれるため、これらの地域でも気温が高くなるものと考えられる。日没後の気温分布をみると、都心部に比べ、風上である臨海部付近で早く冷却が進んでいた。これらの違いは地表面被覆や天空率の違い、さらには人工排熱の有無が主な原因であろうと推察された。

埋立地における熱環境を市街地と比較した結果、それぞれに特徴的な実態が明らかとなった。埋立地と市街地における日中の顕熱フラックスを比較すると、埋立地の顕熱フラックスは市街地の7割程度であった。埋立地は、まだ緑化等の対策が実施されていないにもかかわらず市街地よりも顕熱フラックスが小さかったが、これは、市街地のほとんどがコンクリートやアスファルトで覆われ

た状態であるのに対して、埋立地では裸地土壤の状態であること、さらに、市街地では自動車やビルから人工排熱が発生しているのに対して、埋立地では人工排熱の発生源がほとんどないこと等が原因として考えられた。しかし、2007年夏季に行った市街地と皇居との熱環境の比較観測結果では、皇居の顕熱フラックスが市街地の約4割であったこと¹²⁾を考えると、埋立地の顕熱フラックスも決して小さい値とはいえない。今後、風下となる都心部の温熱環境への影響も考えれば、さらなる顕熱フラックスの低減が望まれる。

以上のように、緑化推進等の対策実施前の臨海部における熱環境の実態が明らかとなった。同地域は、「都心に海からの風を送る東京港の玄関口」として、良好な温熱環境が求められている地域であり、今後、緑地が整備される予定となっている。しかし、現状では、緑地面が少なくコンクリートやアスファルト等の人工被覆面や裸地が多いといった理由により、日中の表面温度が高く、顕熱フラックスも決して小さいとはいえない熱環境の実態が明らかとなった。このことが、同地域の熱環境だけではなく、風下となる都心部のヒートアイランド現象の悪化に拍車をかけていることが懸念される。過去における緑地の気候緩和効果に関する調査結果や、今回、局所的ではあるものの、既存緑地の表面温度の低さ等が捉えられたことから、今後の臨海部における緑化を中心とした対策の実施により、同地区の熱環境の改善とともに、都心部におけるヒートアイランド現象の緩和を期待したい。

4.まとめ

本研究では、今後、街路樹整備や公園整備等緑化推進によるヒートアイランド対策が進められる予定の臨海部において、対策実施前の温熱環境を把握するために、温度計等の計測機器を設置し、気温や表面温度、熱環境等を調べた。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 臨海部は全体的に表面温度が高く、エリア内の多くが40°C以上の高温となっていた。特に、臨海部の青海・有明・晴海地区は顕著な高温域となっており、表面温度が50°Cを超える部分もみられた。一方、エリア全体に対する面積は小さいものの、浜離宮や晴海ふ頭公園、ウェストプロムナード、海の森予定地内の樹林地等の既存緑地の表面温度は低く、29~30°C前後となっていた。

(2) 臨海部内の日中の気温分布は、南よりの風の時には、臨海部付近の測定エリアの気温は全般的に大手町よりも

低くなる傾向が認められた。これは、南から吹く海風の影響によるものと考えられた。築地付近は気温が高い傾向が認められたが、これは臨海部に比べ築地付近が市街地であることや、海風による冷却効果がこの付近まで及んでいない可能性等が考えられた。

(3) 埋立地と市街地における日中の顕熱フラックスを比較すると、市街地で最大約500Wm⁻²であるのに対して、埋立地では約350Wm⁻²と、埋立地の顕熱フラックスは市街地の7割程度であった。しかし、皇居の顕熱フラックスが市街地の4割程度であったことを考えると、埋立地の顕熱フラックスは決して小さいとはいえない。

(4) 臨海部の熱環境だけではなく、風下となる都心部のヒートアイランド現象への影響を考慮すると、緑化をはじめとした同地区における熱環境の改善対策は極めて重要であると考えられた。

謝辞

本調査・観測に際し、国土交通省東京国道事務所、東京都建設局道路管理部、東京都第一建設事務所および第五建設事務所、東京都土木技術・人材支援センター、東京都港湾局、東京都港湾管理事務所、中央区役所、住友不動産㈱、㈱船の科学館はじめ多くの関係者の方々に大変お世話になりました。記して厚く御礼申し上げます。また、データの解析にあたっては、千葉工業大学 松島大准教授にご指導・ご助言をいただきました。記して深く感謝申し上げます。

なお、本調査は、平成21年度環境省受託事業「大都市中枢街区における総合的なヒートアイランド対策による熱環境管理に関する調査」結果の一部を取りまとめたものである。

引用文献

- 1) 東京都：10年後の東京～東京が変わる～，
http://www.chijihon.metro.tokyo.jp/10years_after/index.html (2006).
- 2) 東京都：「10年後の東京」への実行プログラム2009，
<http://www.chijihon.metro.tokyo.jp/plan2009/index.files/plan2009index.html>
- 3) Ichinose, T., Shimodzono, K., Hanaki, K.: Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, Atmos.

- Environ. 33, 3897-3909, 1999
- 4) 亀井川幸浩、玄地裕、近藤裕昭：建築における空調熱源と電力供給システムの構成が夏季の都市熱環境に及ぼす影響、環境システム研究論文集 33; 189-197, 2005
- 5) 横山 仁、安藤晴夫、成田健一、菅原広史、赤坂郁美、高橋一之：緑を活用した都市の熱環境改善に関する研究(その2)街路空間における温熱環境の実態と街路樹植栽効果の検討、東京都環境科学研究所年報2009, 141-145, 2009
- 6) GAO, W., SUGIYAMA, H., OJIMA, T. : Field study of effect of street and its trees on thermal environment of sidewalks, Journal of architecture and planning (469), 53-64, 1995
- 7) 野津啓介、齋藤輝幸、尹 奎英、奥宮正哉：都市環境に及ぼす人工排熱の熱的環境負荷に関する研究-交通排熱の影響について-、日本建築学会学術講演梗概集. D-1, 環境工学I, 893-894, 2008
- 8) 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 12, 813-818, 1995
- 9) Aida, M. : Urban albedo as a function of the urban structure - A model experiment, Bound.-Layer Meteorol. 23; 405-413, 1982
- 10) 渡辺 浩文、十二村 佳樹、持田 灯、池澤 紀幸：仙台市中心部の植栽計画のための街路空間の熱・空気環境に関する検討（その1）-街路空間の人工排熱量の算定-日本建築学会学術講演梗概集. D-1, 環境工学I, 737-738, 2004
- 11) 近藤純正：水環境の気象学、朝倉書店、東京, 348pp, 1994
- 12) 横山 仁、安藤晴夫、成田健一、菅原広史、岡田朋和、石井康一郎：緑を活用した都市の熱環境改善に関する研究-皇居、大丸有および日本橋・銀座地区における温熱環境の実態-、東京都環境科学研究所年報 2008, 79-82, 2008
- 13) 横山 仁、久保田哲也、青木正敏、山口隆子、石井康一郎：校庭芝生化のヒートアイランド緩和効果に関する調査結果、東京都環境科学研究所年報 2006, 104-106, 2006