

川崎市臨海部における観測による 海陸風の都市熱環境への影響の考察

竹内 淳¹・濱野 裕之²・藤田 壮²・中山 忠暢²

¹正会員 川崎市公害研究所 都市環境研究担当 (〒210-0085 神奈川県川崎市川崎区田島町20-2)
E-mail:takeuchi-j@city.kawasaki.jp

²正会員 (独) 国立環境研究所 環境技術評価システム研究室 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

工業地域の排熱が海陸風により都市熱環境に与える影響を調べるために、川崎市臨海部を対象とした都市気象観測調査を行った。2008年8月から9月の間で、気象観測機器が常設されていない工業地域を含む南北直線上の5地点において、気温、風向、風速などを観測した。南風及び北風が卓越したときのデータを抽出し、解析した結果、日中(午前6時から午後6時)及び夜間(午後7時から午前5時)ともに、工業地域の風下地点の気温は、風上地点よりも平均で約0.5℃高いことが分かった。また、日中の南風卓越時のデータを日射量と風速で分類した結果、日射量が多く、風速が大きい時間ほど、工業地域の風下地点の気温が風上地点よりも高くなる傾向がみられた。これらの結果から、工業地域の産業活動に伴う排熱の移流、人工地表及び構造物による放射が、工業地域の風下地点の気温上昇に寄与していることが示唆された。

Key Words : urban heat environment, meteorological observation, industrial exhaust heat, sea and land breeze, Kawasaki city

1. はじめに

地球温暖化問題に対応するために、自治体においても省エネルギーの推進、環境技術の導入などを行い、低炭素都市を形成することが急務となっている。環境省は、地球全体の平均気温が約0.6℃上昇しているのに対し、日本の大都市として代表的な東京、名古屋などの6都市においては、平均気温が2から3℃上昇しており、地球の温暖化の傾向に比べて、ヒートアイランド現象の進行傾向は顕著であると報告している¹⁾。都市域ではこのようなヒートアイランド現象が深刻化しており、都市熱環境の実態把握は低炭素都市を形成する上でも不可欠である。都市の熱環境は、アスファルトや植生などの地表の被覆状況、工場などの人工排熱、都市の土地利用形態などにより決まることが知られている¹⁾。その中でも工業地域を有する都市においては、その産業活動に伴う排熱による都市の気温上昇への影響を軽視できないという報告がなされている²⁾³⁾。川崎市は臨海部に工業地域を有しており、日中における東京湾からの海風の影響により、工場排熱の内陸部への移流の影響が想定される。しかしながら、川崎市の臨海部では気象観測機器が常設されておらず、その熱環境の実態を十分に把握できていない。一方、国立環境研究所では都市域での温暖化に対する様々な施策、および施設立地の都市熱環境への影響を同定す

ることを目的に、三次元グリッド型水・熱・物質収支モデル(NICEモデル^{4)・5)})を開発している。臨海部における計算結果の再現性を向上するために、海風の温度などに関するデータベースを構築している。

本研究では、工業地域の排熱が海陸風により都市化した地域の熱環境にどのような影響をもたらすかを明らかにするために、工場が密集する川崎市臨海部及び市街地の複数地点の気象観測を行った。

2. 方法

(1) 観測地点

本研究にて観測を行った地点を図-1に示す。川崎市臨海部の東京湾に面した東扇島の地点Aから、工業地域である水江町(地点B及びC)及び夜光(地点D)を経由し、北側の住宅地域である大師(地点E)にわたる南北方向約5kmの範囲内の5地点にて定点観測を実施した。

地点Aは、東扇島の南西に位置する東扇島西公園(約45,000m²)の中であり、南風(海風)が吹いたときに東京湾から冷涼な大気が流れてくる地点である。観測高さは気温1.5m(風向・風速3m)で、周囲に建造物はなく、公園内は緑地が広がる。地点Bは、水江町の南端に位置する水江町公園(約7,000m²)の中である。観測高さは

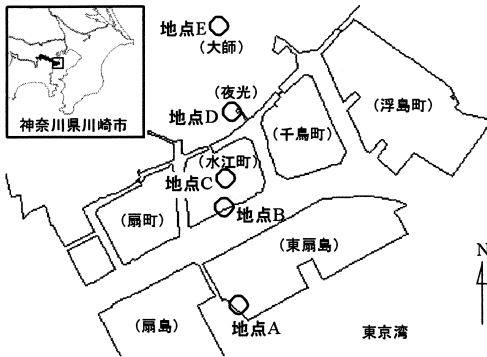


図-1 川崎市臨海部における観測地点。

気温1.5m（風向・風速3m）であり、公園内に建造物はなく緑地であるが、公園の外は工業地域である。地点Cは、水江町の中央に位置する企業の事務所敷地内であり、観測高さは15mで周囲は工業地域である。地点Dは、夜光地域に位置する川崎市のリサイクル資源の分別施設の敷地内であり、観測高さは気温1.5m（風向・風速3m）で周囲は工業地域である。地点Eは、大師地区に位置する大師一般環境大気測定局（環境省報告名称：（旧）大師健康ブランチ）⁹⁾であり、観測高さは15mで周囲は低層の住宅地域である。なお、この測定局は大気汚染防止法に基づき川崎市が設置したものであり、大気汚染物質濃度を測定している。

(2) 観測方法

表-1に本調査で使用した観測機器を示した。観測調査期間は、2008年8月21日から9月25日までである。

気温の観測器差については、地点A、C及びEで使用した機器に対して4日間の器差試験を行い、測定分解能

表-1 調査で使用した観測機器（（）内は製造メーカー）。

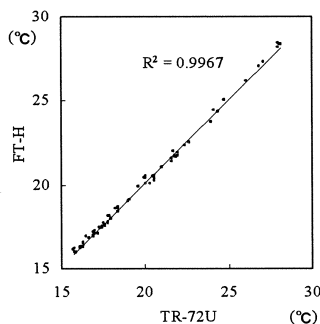
地点	気温	風向・風速	日射量
A	TR-72U (T&D)	Weather WizardⅢ (DAVIS INSTRUMENTS)	MR50 (英弘精機)
B	TR-72U (T&D)	Weather WizardⅢ (DAVIS INSTRUMENTS)	—
C	HL3631 (AS ONE)	—	—
D	TR-72U (T&D)	Weather WizardⅢ (DAVIS INSTRUMENTS)	—
E	FT-H (光進電気工業)	MVS-300 (光進電気工業)	—

0.1℃において、器差がみられた84%のデータの平均器差が0.24℃（最大器差0.5℃）である。この結果における各機種間の関係を図-2に示した。機種間による正及び負に偏るような系統的な差はみられなかったため（図-2），気温に関する器差補正は行っていない。

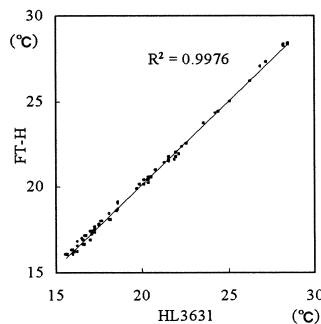
風向及び風速に関しては、地点A、B及びDで使用した機器について4日間の器差試験を行い、器差がみられた17%のデータの平均器差は0.44m/sであった。風向では器差がみられた39%のデータの平均器差は26.4°であり、これらの結果は本調査で使用した機器の測定分解能（風速0.4m/s及び16方位の風向で22.5°）と同程度であるため、風向及び風速に関する器差補正は行っていない。

(3) 人工排熱及び建物データ

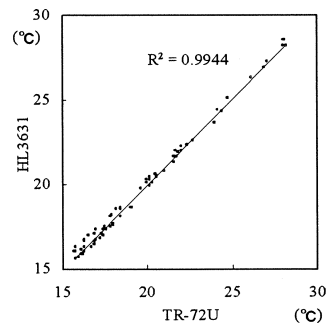
対象地域における人工排熱の算出は、国土交通省・環境省の平成15年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書⁹⁾に従った。建物空調排熱については、建物の面積に排熱量原単位を乗じて算出し、



(a) FT-HとTR-72Uの関係



(b) FT-HとHL3631の関係



(c) HL3631とTR-72Uの関係

図-2 気温に関する4日間の器差試験結果（TR-72U、HL3631及びFT-Hは、それぞれ地点A、C及びEで気温測定に使用した機器）。

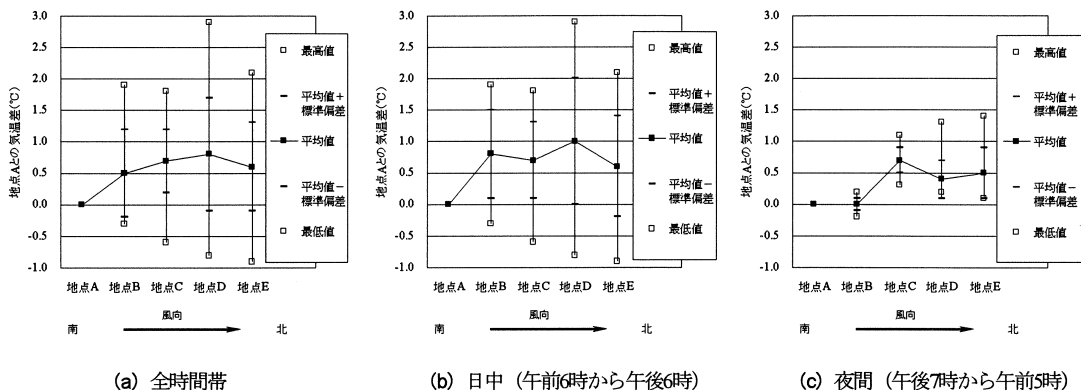


図-3 南風卓越時における風上地点Aとの気温差（℃）。□は各地点の地点Aからの差の最大値と最小値、—は平均値±標準偏差、■は平均値を意味する。また、図は左側が南端（地点A）、右側が北端（地点E）としている。

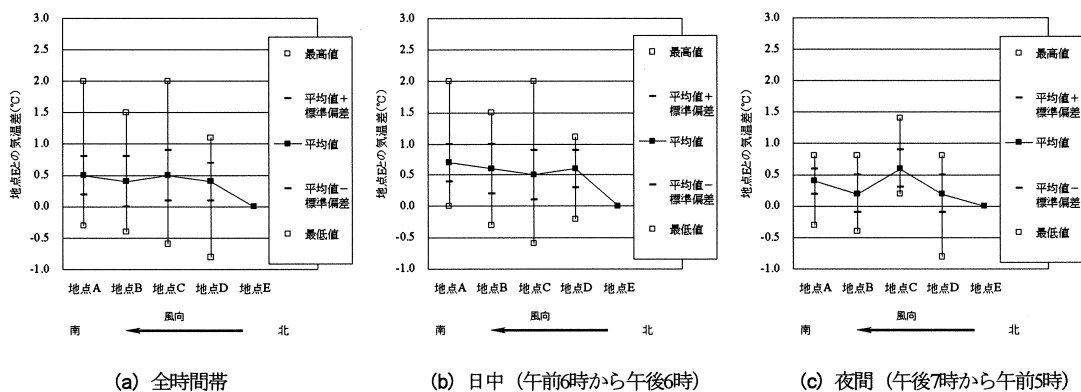


図-4 北風卓越時における風上地点Eとの気温差。図-3に同じ。ただし、北風時の結果。

工場排熱については、事業所の燃料使用量に燃料種別発熱量を乗じて算出した。燃料使用量は川崎市環境局が大気保全行政の円滑な推進を図ることを目的に事業所から収集したデータであり、事業所が特定できない範囲で利用して排熱を算出した。平均建物占有率及び平均建物高さは、川崎市まちづくり局の建物データから算出した。

3. 結果と考察

(1) 南北の風向における気温差

全観測期間のうち、降雨がなく、かつ風向を観測した4地点全てにおいて南風（南南西、南、南南東）または北風（北北西、北、北北東）である時間を抽出した。南風が卓越した時間は、日中で19データ、夜間で9データであり、北風が卓越した時間は、日中で71データ、夜間で55データであった。風上地点と各地点との気温

差を日中及び夜間に分けて図-3及び図-4に示した。

南風卓越時の地点Aと各地点との平均気温差は日中で0.6から1.0℃であり（図-3(b)）、夜間で地点C以北において0.4から0.7℃であった（図-3(c)）。南風卓越時の日中の気温差についてはバラツキが大きいので、次節で詳細に考察する。一方で、北風卓越時の地点Eとの平均気温差は日中で地点D以南において0.5から0.7℃であり（図-4(b)）、夜間で0.2から0.6℃であった（図-4(c)）。図-3及び図-4より、風下地点の気温が風上よりも高くなっており、その差は平均で0.5℃であった。

(2) 南風卓越時の日中における気温差

南風卓越時において、産業活動が活発な日中の気温差を時間値で考察した。南風により東京湾からの冷涼な大気が地点Aに流入し、北上する途中で工業地域の排熱影響を受け、住宅地域である地点Eに流れることを想定した。抽出した南風卓越時の日中の19データを、地点Aで測定した風速及び日射量で分類し、風上地点との

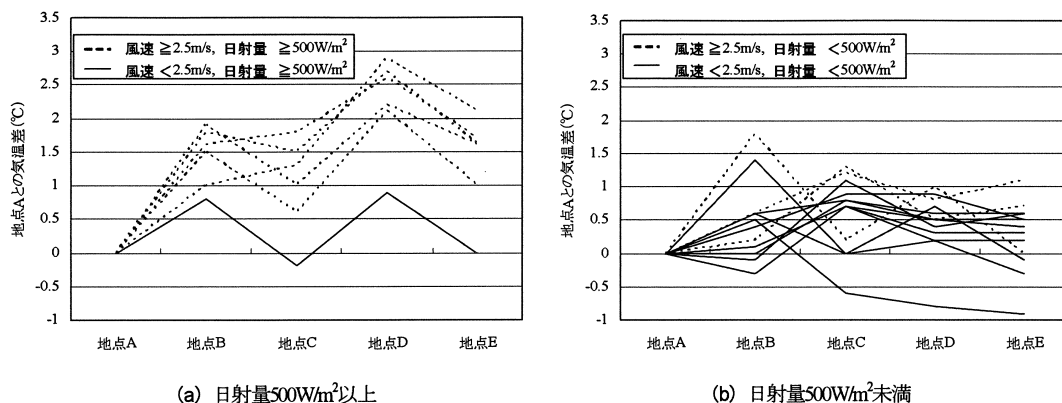


図5 南風卓越時19データの日中における風上地点Aとの気温差（地点Aにおける風速、日射量で分類）．(a)及び(b)において、破線は風速2.5m/s以上、実線は風速2.5m/s未満の結果を意味する。

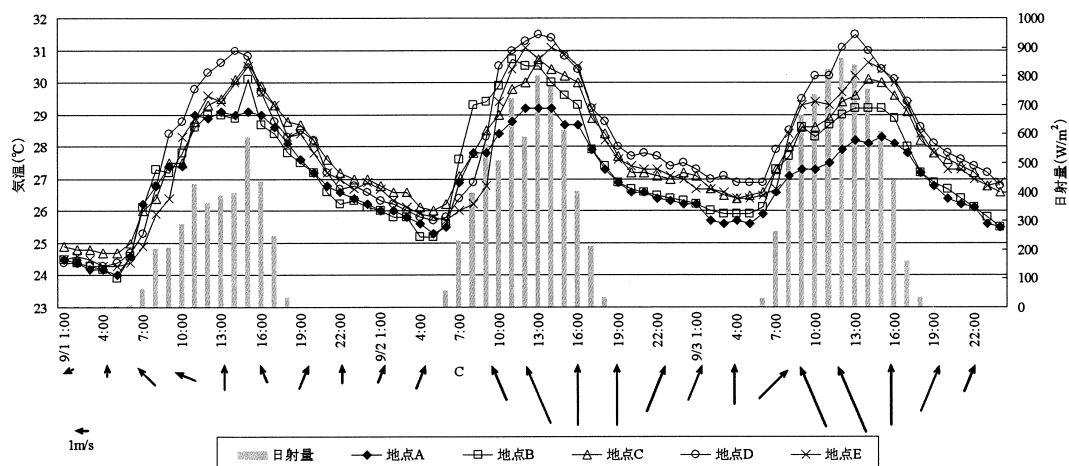


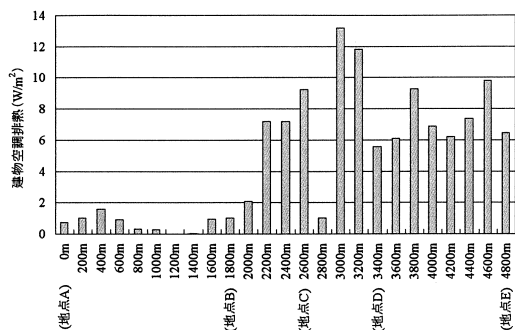
図6 南風卓越時の各観測地点における温度の時間変化。地点Aで観測された日射量（棒状、右軸にスケール）及び風向・風速（図下の矢印、Cは静穏）を表示。

気温差を図-5に示した。ここで日射量 500W/m^2 となる時間帯は、晴天時の午前9時から午後3時頃である。日射量 500W/m^2 以上では、地点Eと地点Aとの気温差は風速 2.5m/s 以上で 1.0 から 2.1°C であるが（図-5(a)），日射量 500W/m^2 未満では、地点Eと地点Aとの気温差は風速 2.5m/s 以上において最大で 1.1°C であった（図-5(b)）。これらの結果は、南風卓越時の日中では、日射量が多く、風速が大きい時間に、地点Aと地点Eの気温差が大きくなることを示す。このことから地点Eでの地点Aに対する高温の原因は、日射により暖められた地表からの加熱効果と工業地域の排熱による影響が考えられる。

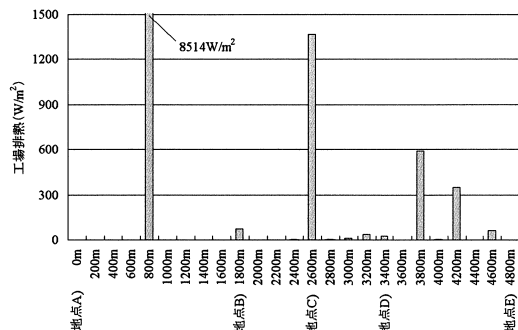
(3) 南風卓越時の観測事例

図-6に南風が顕著に卓越した9月1日から3日までの観

測結果を示す。この3日間で降雨は観測されなかった。9月1日は日射量が少なく風速が小さい。9月2日から3日は日射量が多く風速が大きい。地点Bの気温は夜間においては3日間とも地点Aと同様であるが、9月1日の日中は地点Aと同様な変動を示し、9月2日及び3日の日中は地点Aよりも約 1°C 高い（図-6）。地点Bの気温は夜間において、緑地である地点Aの気温とほぼ同じになるため、地点Bの周囲の地表や建物などからの加熱効果は小さい。地点Bの気温が日中に地点Aよりも高い要因としては、地表の放射影響よりも、排熱の移流影響を受けている可能性が高い。一方、9月2日4時と3日4時をみると、地点C、D及びEの気温上昇は、地点A及びBの気温上昇よりも大きい。これらの3地点では地表や構造物からの放射による影響が考えられる。

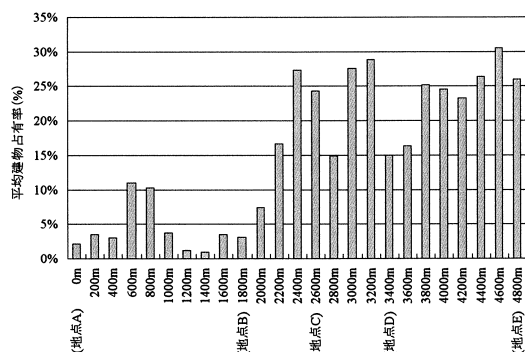


(a) 建物空調排熱

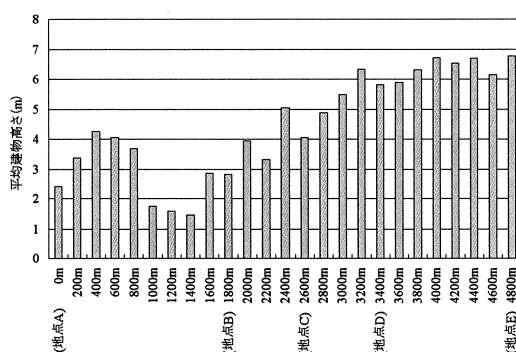


(b) 工場排熱

図-7 地点Aを原点としたときの地点A-E間における200m毎の (a) 建物空調排熱と (b) 工場排熱。200m×2,400mを単位領域として200m毎に算出。(a)及び(b)の縦軸スケールの違いに注意。



(a) 平均建物占有率



(b) 平均建物高さ

図-8 地点Aを原点としたときの地点A-E間における200m毎の (a) 平均建物占有率と (b) 平均建物高さ。200m×2,400mを単位領域として200m毎に算出。

(4) 人工排熱及び建物データ

排熱影響を検討するために、東西方向(2,400m)の幅の単位領域で南北方向200m毎に地点A周辺から地点E周辺までの排熱を図-7に示す。また、地表の被覆状況を検討するために、同様な領域の平均建物占有率及び平均建物高さを図-8に示す。

建物空調排熱は地点C、D及びEにおいて、ほぼ同じ値であったが全体的に排出量としては低かった(図-7(a))。工場排熱は地点A-B間、地点C、地点D-E間で高い結果であった(図-7(b))。工場排熱は燃料の発熱量から算出するために過大評価されており⁸⁾、地点A-B間の排熱が突出して高い理由と考えられる。しかし、工業地域では工場排熱はこのような過大評価を考慮しても、建物空調排熱に比べて大きな値と推測される⁹⁾。前節で地点Bの気温が日中に地点Aよりも高い要因として排熱の影響を指摘したが、図-7(b)では地点A-Bの工場排熱が高く、南風によって排熱が地点Bへ移流する可能性が考えられ

る。地点Cは周囲の工場排熱が高く(図-7(b))、その影響を受けていると推測される。

前節で地点C、D及びEにおける地表や構造物からの放射による気温上昇の影響が考えられた。ここでは構造物に着目し、平均建物占有率及び平均建物高さを図-8に示す。地点Eに近い内陸側ほど建物占有率及び建物高さは高くなるため、地点C、D及びEでは地域の熱容量による気温上昇への影響は、地点A及びBよりも大きいと考えられる。

(5) 計算モデルへの反映

観測結果は実測として重要なデータであるが、現象の要因説明には不十分な点がある。例えば、工業地域では工場排熱は他の排熱に比べて排出量が多い⁹⁾。しかしながら、燃焼ガスは地上から数10mの位置から大気へ放出されるため、地上の気温への影響は観測結果だけでは定量的に評価することはできない。排熱データを考慮した

モデルによる計算では、こうした不明な点を解明することができる¹⁰⁾。国立環境研究所は、都市域での地表改編および施設立地の都市熱環境への影響を同定することを目的に、三次元グリッド型水・熱・物質収支モデル(NICEモデル^{4), 9)}を開発している。本研究のデータをモデル計算に使用することで、建物及び工場の排熱量と排熱位置を考慮した熱の移流、地表及び構造物の放射による都市熱環境への影響を解明することが可能となる。

4. まとめ

本研究では、川崎市臨海部において、南北直線状の5地点で気象観測を行い、海陸風、人工排熱による都市熱環境への影響を考察した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 南風及び北風卓越時には、風下地点の気温は風上地点と比べ、平均で約0.5℃高かった。
- (2) 南風卓越時には、日射量が大きく、風速が大きい時間に風下地点の気温が高かった。
- (3) 上記の要因として、海風により移流する工場排熱の影響、地表及び構造物からの放射による影響が示唆された。

謝辞：本研究は、国立環境研究所の平成20年度B型共同研究「川崎市における技術・政策シナリオづくりに向けた総合データベースの設計と構築研究」（研究代表：藤田 壮）の一環として行った。

参考文献

- 1) 環境省：ヒートアイランド対策大綱，2004，

http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/index.html

- 2) 森山正和：ヒートアイランドの対策と技術，pp.142-144，学芸出版社，2004。
- 3) 佐俣満夫，白砂裕一郎，井上友博，下村光一郎：横浜市内の気温観測調査，横浜市環境科学研究所報，第31号，pp.11-15，2007。
- 4) Nakayama, T. and Watanabe M.: Simulation of drying phenomena associated with vegetation change caused by invasion of alder(*Alnus japonica*) in Kushiro Mire, *Water Resources Research*, Vol.40, W08402, doi: 10.1029/2004WR003174, 2004.
- 5) 東アジアの流域圏における生態系機能のモデル化と持続可能な環境管理プロジェクト（中間報告），国立環境研究所特別研究報告，SR-58-2003，2003。
- 6) 環境省：環境省大気汚染物質広域監視システム，<http://soramame.taiki.go.jp/>
- 7) 川崎市公害監視センター：大気環境情報，<http://www.city.kawasaki.jp/30/kansic/home/index.htm>
- 8) 国土交通省・環境省：都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書，2004，<http://www.env.go.jp/air/report/h16-05/index.html>
- 9) 鳴海大典，大谷文人，近藤明，下田吉之，水野稔：都市における人口廃熱が都市熱環境に及ぼす影響，日本建築学会計画系論文集，第562号，pp.97-104，2002。
- 10) 照井奈都，鳴海大典，下田吉之：人工排熱の排出特性が都市熱環境の再現に及ぼす影響，日本ヒートアイランド学会論文集，Vol.4，pp.15-25，2009。

EFFECTS OF SEA AND LAND WIND ON URBAN HEAT ENVIRONMENT AT SEASIDE INDUSTRIAL AREA IN KAWASAKI CITY BY URBAN METEOROLOGICAL OBSERVATION

Jo TAKEUCHI, Hiroyuki HAMANO, Tsuyoshi FUJITA and Tadanobu NAKAYAMA

In order to understand an urban heat environment at the seaside industrial area in Kawasaki city, some meteorological data in the local urban area was observed in 2008. When sea and land breeze stood out, about 0.5℃ higher temperature was observed in leeward sides of industrial area than in windward side. Especially, the difference of temperature between leeward sides and windward sides of industrial area became large, when a large amount of solar radiation and strong wind was observed. Therefore, it was resulted that the industrial exhaust heat transported by winds and the radiant heat of the surface and structures contributed toward raising the temperature of leeward area. These data in this study would be effectively utilized on the calculation model (NICE model) developed by National Institute for Environmental Studies.