

# 沿岸都市域の夏季の気温に及ぼす 海面水温の影響

## EFFECTS OF SEA-SURFACE TEMPERATURE ON AIR TEMPERATURE OF URBANIZED BAY AREA IN SUMMER SEASON

玉井昌宏<sup>1</sup>・花立和之<sup>2</sup>・有光剛<sup>3</sup>

Masahiro TAMAI, Kazuyuki HANATATE and Tsuyoshi ARIMITSU

<sup>1</sup>正会員 工博 大阪大学准教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

<sup>2</sup>学生会員 大阪大学大学院工学研究科博士前期課程 (〒160-0004 東京都新宿区四谷六丁目13-5)

<sup>3</sup>正会員 工博 関西電力株式会社 電力技術総合研究所 (〒661-0974 尼崎市若王寺3-11-20)

The purpose of this study is to clarify relations between sea-surface temperature and air temperature of an urbanized bay area in summer seasons by observational data analysis and numerical simulation. The observational data analysis using the AMeDAS and the Meteorological Objective Data showed that the sea-surface temperature has great influences on the air temperature of the bay area and sea breeze in night time contributes to raise the air temperature. The numerical simulation with the HOTMAC represents that a control of sea-surface temperature may be an effective method of lowering the air temperature of the bay area in summer night time

**Key Words :** Urban heat island, sea-surface temperature, data analysis, numerical simulation

### 1. 目的

都市ヒートアイランドの緩和を目的として、廃熱の削減、緑化、打ち水、海風の利用等々、多種多様な対策が提案されている。それら効果に関する定量的な検討も盛んに行なわれているが<sup>1)2)</sup>、対策が大規模であるにもかかわらず、期待するほどの効果が得られないのではないかと危惧がある。それは、沿岸都市域の気温がどのような要因によって成立しているのかについて十分な議論がなされないままに、ヒートアイランド関連の研究者が、地表面付近の大気の熱収支ばかりに目を奪われていることに原因しているのではないかと考える。

一例を示そう。2006年8月15日に大阪府枚方市では、38.2℃の最高気温を記録し、全国第2位の高温となった。新聞各紙<sup>3)</sup>は、この郊外地域の高温の原因が、大阪市域のヒートアイランドと海風による熱輸送であると推測した。図-1は、同日の枚方と大阪のアメダスポイントの気温と風向の時系列<sup>4)</sup>である。ここで、風向は北を0とする16風向で示している。大阪、枚方ともに日最高気温に至るまでの地上風向は概ね北東であり、この地域の海風とは逆向きになっている。従って、新聞各紙の論調に反し、この記録的な高温は、ヒートアイランド現象と海風によって説明することはできなかったことになる。この

例は、決して特異なものではない。大阪の年最高気温あるいはそれに準じる日最高気温を記録した日の気象データを調べてみれば、図-1と同じような状況となっていることが多いことがわかるだろう。

沿岸都市域の気温は様々な要因によって決定されている。筆者らは、とくに沿岸都市域を高温化と沿岸海域や河川域の水面水温との相互作用に注目しているが、このことについては、一般的には海風が冷風となって日中の気温の低下に役立つといった極めて大ざっぱな議論がなされているに過ぎない<sup>5)6)</sup>。

本研究では、大阪湾沿岸都市域を対象として、海面水温が都市域の気温に及ぼす影響について、アメダスデータ等の実測データの分析と3次元メソスケール大気流動モデルを用いた数値解析によって検討する。

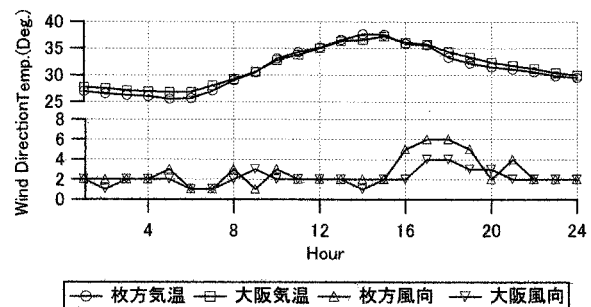


図-1 2006年8月15日の気温と風向の時系列

## 2. 日最低気温と海面水温の関係

夏季の沿岸都市の気温に及ぼす海面水温の影響について、アメダスデータ、客観解析データ、海面水温データ<sup>7)</sup>を用いて検討した。図-2は、アメダス大阪ポイントの気温 $T_A$ 、神戸港で観測された海面水温 $T_S$ 、975~850hPaの高度範囲の温位分布から推定される地表面気温 $T_G$ 、さらにアメダスで観測された地上風と高層風の風向の時系列を示している。(a)、(b)はそれぞれ2003年8月と2004年8月の観測結果である。アメダス大阪ポイントは、大阪湾の最奥部の淀川河口付近から10km程度東方の大阪城内において観測点がある。 $T_G$ は客観解析データの各日午前0時のデータを用いて、大阪上空の温位の975hPa(概ね高度250m)~850hPa(概ね高度1500m)レベルまでの温位鉛直分布の回帰直線を求め、地表面まで外挿することによって求めたものである。地表付近を除いて850hPaレベルまでの間の大

気の平均的な温位分布を用いることによって、より大きな空間スケールの気流場の影響を考察しようとしている。通常、この高度の温位分布は、和歌山県潮岬において観測された高層観測データの観測結果とも良く一致している。従って、この分布は、都市域の地表面熱収支の影響をあまり受けていないものと推測される。神戸港の海面水温 $T_S$ についても各日0時のデータを示している。また、ここでは客観解析データの850hPaレベルの気流を高層風と呼んでいる。図-1と同様に、風向は北を0とする16方位で表示している。

図-2(a)では、アメダス大阪の各日の最低気温 $T_L$ は、海面水温 $T_S$ をよくトレースしている。日最低気温が海面水温を離れて低下するのは、 $T=168-216$ ,  $268-384$ ,  $600-720$ hrの時間帯であり、いずれも北あるいは北東の地上風が長時間継続する場合である。夜間に南西から西の海域からの風が卓越あるいは連吹する場合には、日最低気温と海面水温はよく一致

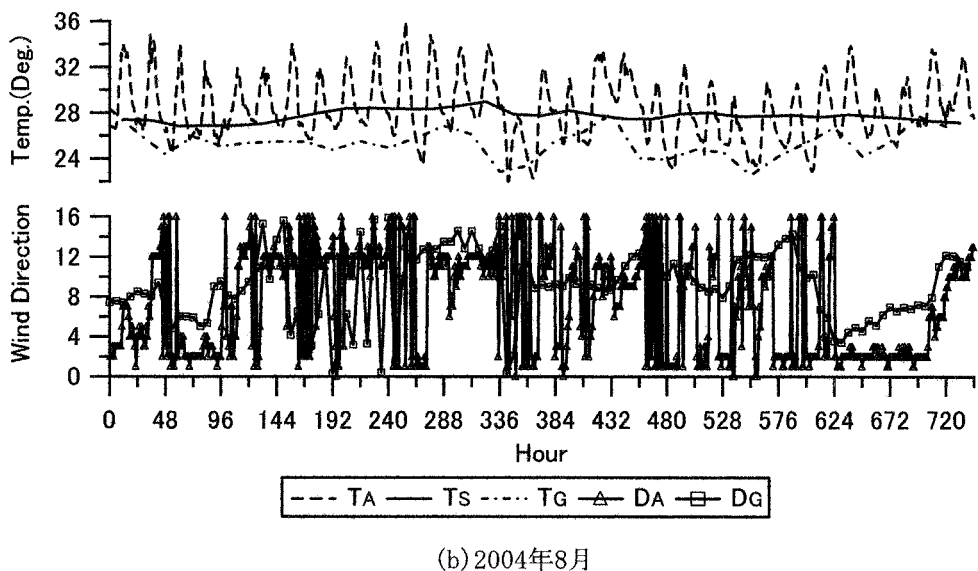
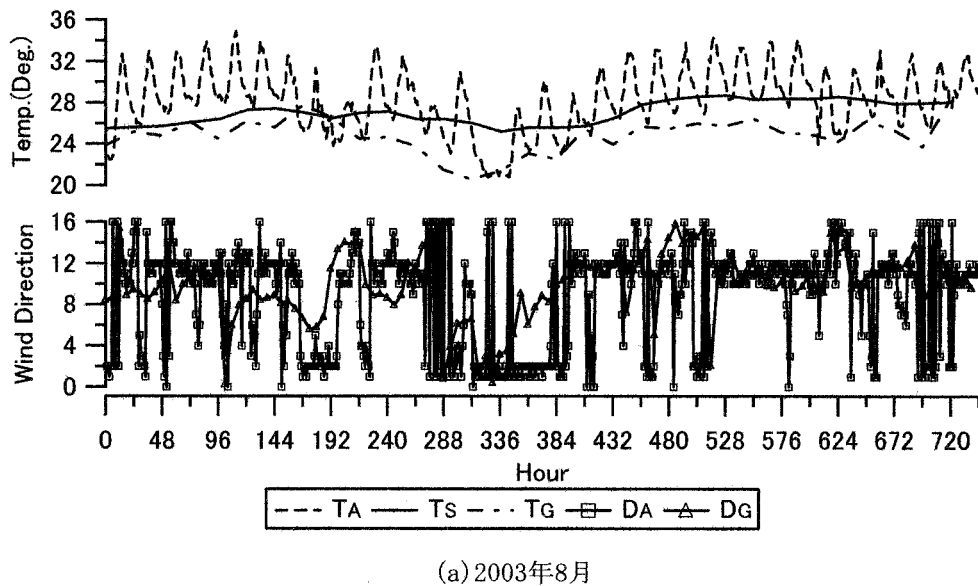


図-2 地上気温、海面水温と風向の関係

している。図-2(b)の2004年8月では、各日の $T_L$ は $T_S$ よりも、 $T_G$ を良くトレースしている。この期間の日最低気温は、より大きな空間スケールの気象状況に強く影響されているものと推測される。地上気温の変動と地上風向との関係を観察すると、 $T=130-240\text{hr}$ ,  $312\text{hr}$ ,  $432\text{hr}$ 付近では、 $T_L$ が $T_G$ より $T_S$ をトレースするように増加しているが、この期間では卓越風向は概ね西になっている。

図-3は、2004年と2005年8月のアメダス大阪の日最低気温 $T_L$ が、 $T_G$ と $T_S$ のどちらに強く影響されているかを、地上風の風向別に調べたものである。横軸は16方位で表した地上風向である。ここで、地上風向とは、午前0時～午前6時までの卓越風向のことである。縦軸 $r$ は海面水温の影響度であり、次式で計算される。

$$r = \frac{T_L - T_G}{T_S - T_G} \quad (1)$$

但し、 $r < 0$ の時のデータは除外している。また、 $T_S$ と $T_G$ の値が非常に近い場合には、どちらの影響を受けているのか判別しにくいために、 $T_S - T_G < 0.5^\circ\text{C}$ のデータも除いている。図-3において、例えば、 $r = 0.5$ を閾値と考えれば、風向が南～西風の場合には、海面水温の影響の大きいことがわかる。

次に、図-4は2004年と2005年の8月の大阪アメダスの日最低気温 $T_L$ と同日午前0時の $T_G$ 、 $T_S$ の相関関係を調べたものである。午前0時～6時までの卓越風向が風向8～14の海風であるものを黒塗りシンボルで示している。図-4(a)より、海からの風が吹いている場合には、 $T_S$ が同じであっても、相対的に $T_L$ が高くなっている。また、 $T_L > 26^\circ\text{C}$ では、 $T_S$ と $T_L$ が同程度の値となっていることがわかる。日最低気温が $26^\circ\text{C}$ を上回る日の約70%が、また、 $27^\circ\text{C}$ 以上の日の約90%が、夜間海風となっている。一方、図-4(b)より、 $T_G$ が一定であれば、夜間に海風が吹く場合に、相対的に $T_L$ が高くなっていることがわかる。この図の白抜き記号で示した海風日以外のデータについて、原点を通過する回帰直線を算出すると、勾配0.99、相関係数0.59となり、 $T_L$ と $T_G$ との間に強い相関関係が確認された。

### 3. 海面温度の影響評価

3次元メソスケール大気流動モデルHOTMAC<sup>8)</sup> (Higher Order Turbulence Model for Atmospheric Circulation) を用いて、海面水温変化の周辺地域の気温に及ぼす影響を検討した。

図-5に計算メッシュを示す。外側の第1メッシュは、大阪平野を中心とする東西方向216km、南北方向312kmの領域であり、内側の第2メッシュは、大阪市付近を中心とする東西方向50km×南北方向58kmの領域である。水平方向メッシュ間隔は第1

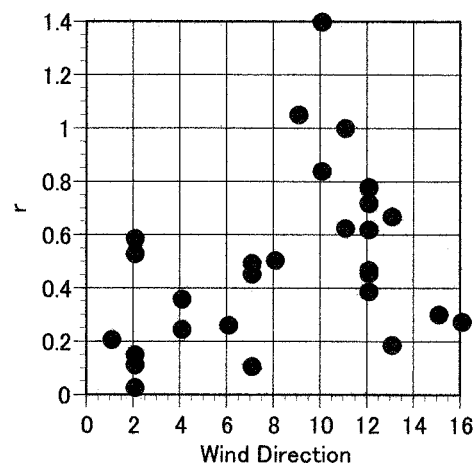
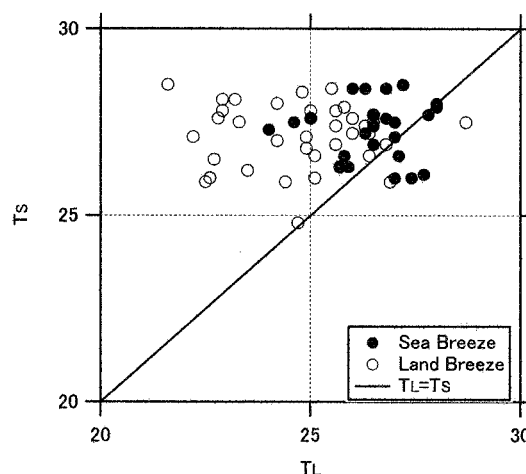
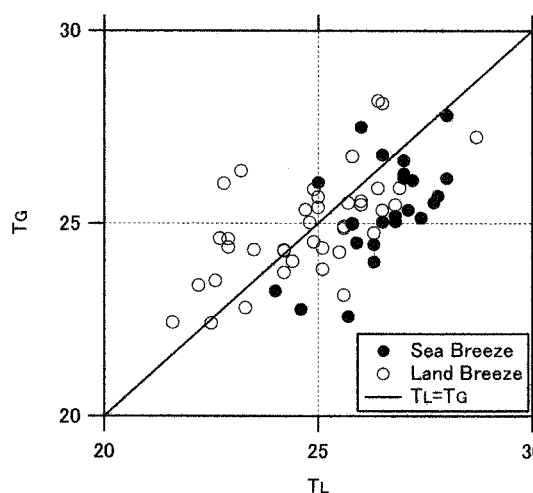


図-3 卓越風向と $r$ の関係



(a)  $T_L$ と $T_S$ の関係



(b)  $T_L$ と $T_G$ の関係

図-4  $T_L$ ,  $T_G$ ,  $T_S$ の関係

メッシュ8km、第2メッシュ2kmである。鉛直方向の計算領域は地表面あるいは海面から高度4.5kmまでであり、不等間隔のメッシュで30層に分割している。

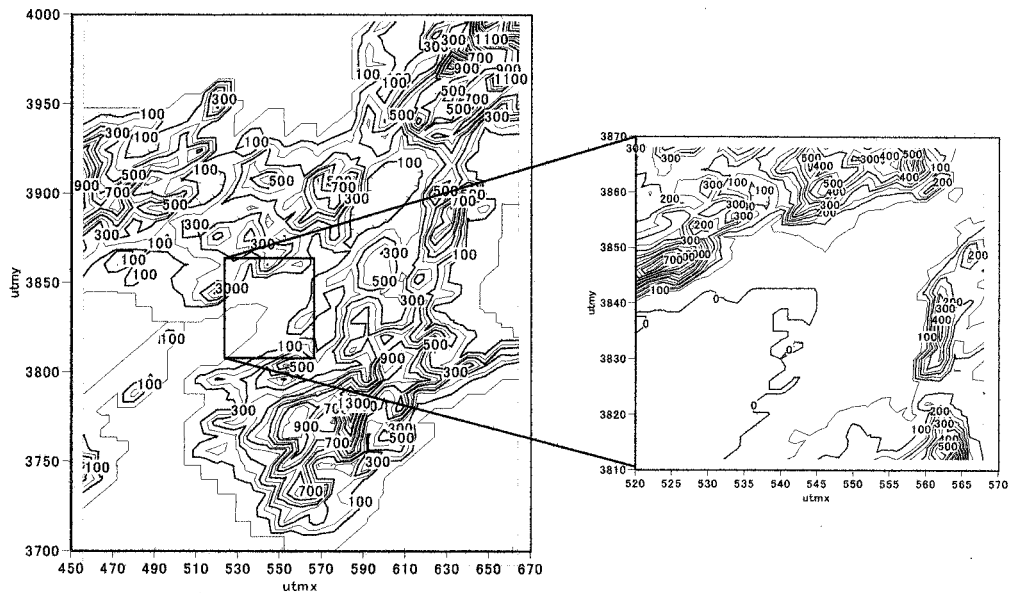


図-5 HOTMACの計算領域 (左図：第1メッシュ、右図：第2メッシュ)

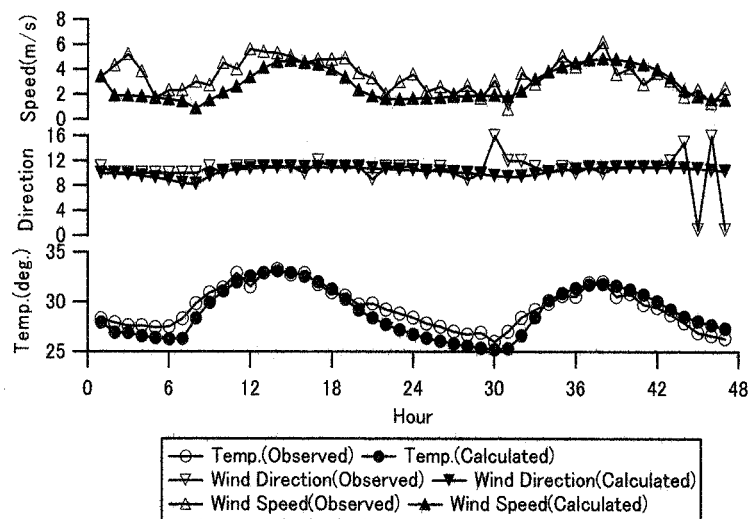


図-5 計算結果とアメダスデータの比較

計算対象日は、海面水温の影響の大きいと考えられる昼夜西風が継続した2005年8月26～27日の2日間とした。初期条件は2005年8月26日0時の大阪ポイントのアメダスデータ、客観解析データ、神戸港海面水温データを参考にして決定した。初期条件は地上気温 $28^{\circ}\text{C}$ 、南西風風速 $3.4\text{m/s}$ 、海面水温 $26.6^{\circ}\text{C}$ とした。温位勾配は鉛直高度 $0\sim 1000\text{m}$ では $0.001404\text{K/m}$ 、鉛直高度 $1000\sim 3000\text{m}$ では $0.005052\text{K/m}$ とした。

海面水温変化の影響を検討するために、大阪湾内の一部海域の海面水温を変化させた計算ケースを設定した。海面水温を低下させる領域は、大阪湾内の東経 $135^{\circ}20'$ 分以東の海域(Case1)、東経 $135^{\circ}10'$ 分以東の海域(Case2)、東経 $135^{\circ}0'$ 分以東の海域(Case3)の3種類を設定した。加えて、海面水温の低下温度幅 $\text{DT}_S$ を1, 2, 3,  $4^{\circ}\text{C}$ の4段階に設定

した。海面水温を変化させないケースと併せて、合計13の計算条件を設定した。

図-5は、海面水温を変化させなかったケースの計算結果とアメダス大阪の風向、風速、気温との比較である。計算期間中、風向は概ね南西～西の範囲を緩やかに変動しており、海域からの風が連吹していることがわかる。風速は概して弱い、日中は日射の影響を受けて、海風が強化される。これらの比較より、計算結果とアメダスデータの良好な一致が確認される。

図-6は、海面水温を低下させた場合の地表面から高さ $6\text{m}$ の日最低気温変化 $\text{DT}_L$ の平面分布(Case2,  $\text{DT}_S=2^{\circ}\text{C}$ )を示している。ここでは、第1メッシュの範囲内の結果のみ示している。

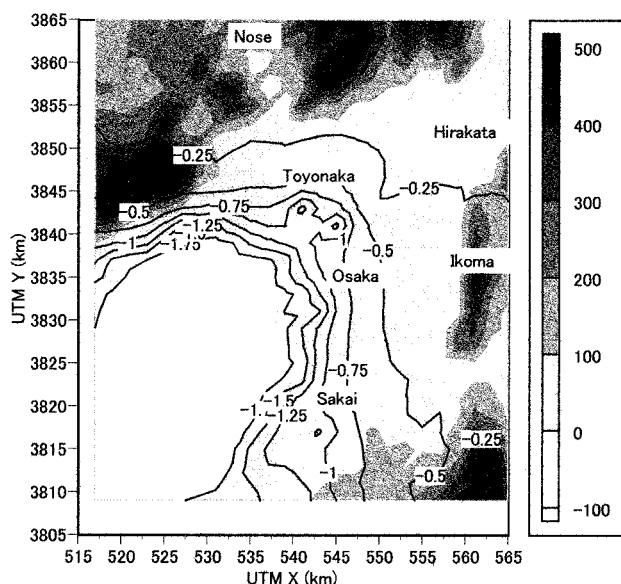
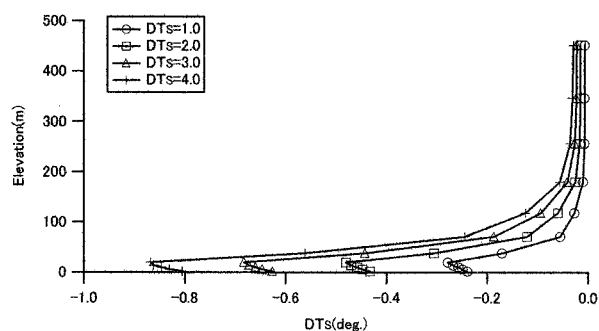
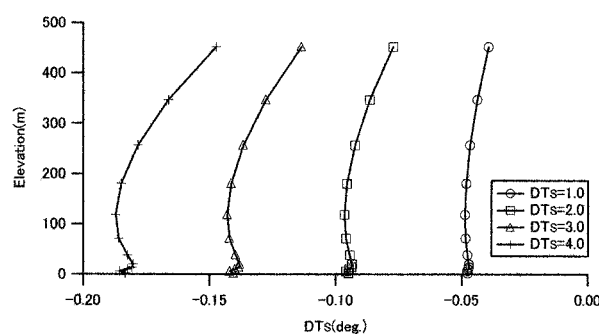


図-6 海面水温を低下させた場合の日最低気温変化の平面分布 (Case2,  $DT_s=2^\circ\text{C}$ )



(a) 日最低気温の変化



(b) 日最高気温の変化

図-7 海面水温を低下させた場合の気温変化の鉛直分布 (Case2)

江線付近で、 $DT_L$ は急激に小さくなるが、アメダス大阪ポイントの付近、堺市付近で $0.75^\circ\text{C}$ 、豊中市付近で $0.5^\circ\text{C}$ と大阪平野内の広い範囲で気温が低下していることが確認される。

図-7は、Case2の大阪アメダスポイントにおける日最低気温、日最高気温の変化分の鉛直分布を示している。海面水温を $1\sim 4^\circ\text{C}$ まで変化させた計算

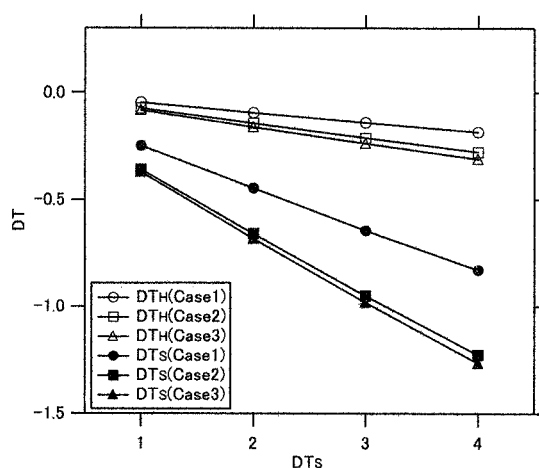


図-8 計算結果のまとめ

結果を併せて示している。いずれの計算においても日最低気温は日の出頃の午前6時に、日最高気温は午後2時頃に生じるので、計算開始30時間後と38時間後の計算結果を用いて、海面水温を低下させないケースと低下させたケースの差異の鉛直分布を描いている。

日最低気温(a)は地表付近では比較的一様な分布を示すが、高度20m付近で気温低下量は最大となり、高度40mあたりでは低下量は最大値の半分程度、高度70m付近では1/4程度となっている。夜間は鉛直方向の乱流混合が小さいために、気温低下の効果は地上付近に集中している。日最高気温(b)が、鉛直方向により一様な分布となっているのは、日中の地表付近の高温化により鉛直混合が促進されるからである。地表付近の気温低下は、日最低気温の20%程度である。

図-8は高さ6mの位置における日最低気温と日最高気温の低下量をまとめたものである。日最高気温、日最低気温ともに低下量は、海面水温の低下量に概ね比例していることがわかる。一方、海面水温を低下させる領域については、東経135度20分以東の海域を低下させる場合と、東経135度30分以東を低下させる場合では、あまり大きな気温変化は観られない。図-4において、夜間海風が卓越する場合には、海水面温度と日最低気温が一致する傾向のあることを示した。しかしながら、海面水温 $1^\circ\text{C}$ の低下に対して、最低気温は高々 $0.3^\circ\text{C}$ 程度しか低下しなかった。これは、気温から海面水温へのフィードバック効果が考慮されていないことに原因していると考えられるが、このことは今後の検討課題としたい。

#### 4. まとめ

本研究では、沿岸域都市の気温と海面水温の関係について、アメダスなど実測データと、3次元大気流動モデルを用いて検討した。

過去2年間8月の実測データを分析したところ、大阪アメダスポイントにおいて、夜間に海風が吹き込む場合には、海面水温の影響を強く受けて気温が上昇することがわかった。特に、日最低気温が26℃を超える場合には、夜間、海風が卓越していることが多く、また、日最低気温と海面水温が一致する傾向にあることを示した。これらのことから、沿岸都市域で熱帯夜削減のためになんらかの陸側の対策が実施される場合、その有効性は、海面水温と夜間の卓越風向に強く影響されることが示唆された。

海面水温の影響に関する数値計算を行なった結果、海風が連吹する場合には、海面水温の影響を強く受けて、気温が低下することが確認された。日最低気温は海面水温の低下量の30%程度、日最高気温は5%程度低下する。一般に地表面の熱収支改善による効果が、地表面付近のごく薄い範囲に限定されるのに対して、夜間でも数10mの高さに及んでいた。

#### 謝辞

本研究の遂行には、大阪大学工学部地球総合工学科卒業生、高見和弘君の助力を受けた。記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 佐藤大樹・村上周三・大岡龍三・吉田伸治・原山和也・近藤裕昭：ヒートアイランド緩和方策が夏季と冬季の都市熱環境へ及ぼす影響の数値解析，日本建築学会環境系論文集 No. 577, pp. 55-62, 2004-3.
- 2) 清田忠志・谷口明・清田誠良・中村安弘：都市域におけるヒートアイランド現象の緩和対策に関する研究，日本建築学会環境系論文集 No. 602, pp. 69-75, 2006.
- 3) 例えば，朝日新聞 2006 年 8 月 16 日(夕刊)，44839 号.
- 4) <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>(気象庁 HP).
- 5) 清田忠志・清田誠良：夏季の広島市広域圏における海陸風が気温に及ぼす影響に関する研究，日本建築学会環境系論文集 No. 587, pp. 45-51, 2005-1.
- 6) 成田健一・植村明子・三坂育正：都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究，日本建築学会計画系論文集 No. 545, pp. 71-78, 2001-7.
- 7) [http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN5/kaisyo/sokuhoi\\_d.htm](http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN5/kaisyo/sokuhoi_d.htm).
- 8) 玉井昌宏，有光剛(2005)：大阪湾臨海地域における海陸風構造の数値計算，海洋開発論文集，Vol. 21. 187-192.