

気象モデルWRFを用いた東京湾岸の水面積変化が都市内の気象に与える影響の検討

STUDY ON INFLUENCE OF WATER AREA REDUCTION IN TOKYO BAY
ON URBAN CLIMATE BY METEOROLOGICAL MODEL WRF

神足洋輔¹・村上和男²・伊藤一正³

Yosuke KOTARI, Kazuo MURAKAMI and Kazumasa ITO

¹学生会員 武蔵工業大学大学院工学研究科都市基盤工学専攻 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤一丁目28-1)

²フェロー 工博 武蔵工業大学教授 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤一丁目28-1)

³フェロー 工博 株式会社建設技術研究所国土文化研究所 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町三丁目21-1)

The meteorological model WRF developed by NCAR in U.S was used for the study on the influence of coastal development of urban climate. At first, the model was calibrated for air temperature in Tokyo Area on August 5 to 8 in 2006. The computed results of air temperature show good agreement in daytime but disagreement in night time. This is because of the model doesn't consider the artificial heat discharge from the urban.

Next we investigated the influence of the reduction of area of Tokyo Bay due to reclamation works on urban climate by the model. From the results the air temperature in daytime in urban area rises up due to reclamation of the area of Tokyo Bay, but the rise-up rate is not linear to the area of reclamation land.

And the air temperature in night time in urban area drops due to heat radiation from the reclamation lands.

Key Words : Urban climate, Tokyo bay, reclamation, WRF, mesoscale meteorological model, numerical simulation

1. 序論

(1) 研究背景と目的

大都市東京では、図-1に示すように気温が100年あたりで約3℃上昇しており、日本全国を平均した長期的な気候変動の3倍を超えるスピードで高温化が進行している。都市部に顕著に現れるこうした現象は、ヒートアイランド現象という都市における問題として各方面で研究が進められている。

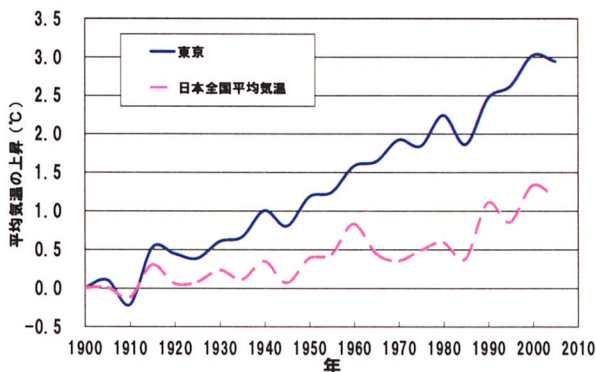


図-1 100年間で東京と日本全国の平均気温の推移

こうした原因としては、人工排熱の増加や地表

面がアスファルトやコンクリートなどの不透水面化、潜熱源となる水面や緑地などの減少が言われている。

しかし、既往研究に関しては河川や緑地帯の影響に着目した研究を中心に進められており、沿岸域の埋立などが気象に及ぼす影響に関する研究は散見される程度である。そこで、本研究では東京湾岸の沿岸開発によって東京湾の水面積が減少した場合に都市内部の気象にどのような影響を及ぼすかについて気象モデルを用いて明らかにすることを目的とする。

(2) 研究の意義と特徴

大規模な内湾を抱える東京でありながら、東京湾の沿岸開発による海水面の減少が都市内部に与える影響に関する研究は散見される程度である。

しかし、現実には、東京湾では特に戦後の高度経済成長期以降に京浜工業地帯などで工場や港湾施設の建設などで戦後急速に埋立面積が拡大した。さらに、1980年以降になると臨海部においてウォーターフロント開発が各地で進められた。図-2に見られるように、拡大する都市と共に、埋立面積も増加した。こうしたことから、大規模な内湾

を抱える東京における東京湾の沿岸開発による海水面の減少が都市内部に与える影響は大きいと考えられる。

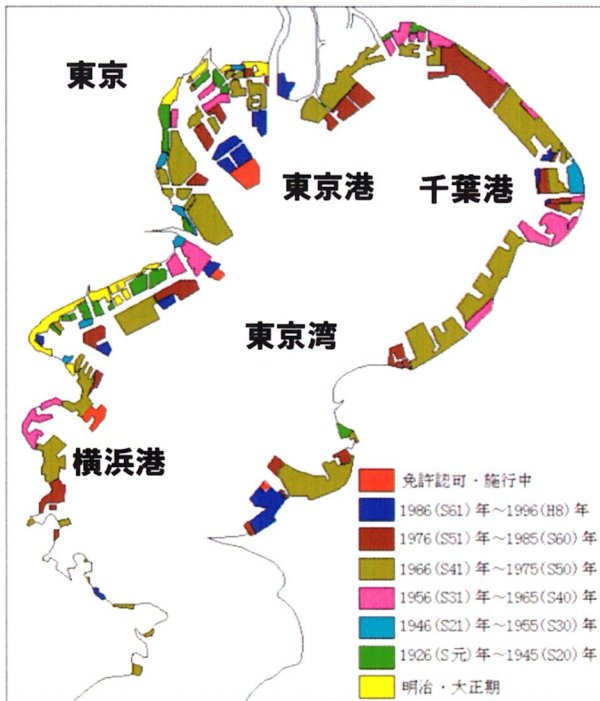


図-2 東京湾における埋立の変遷³⁾

その中でも、Kimura,F. and S.Takahash(1991)¹⁾は、東京湾の埋立が行われることで都市内部の気候に大きな影響を与えることを示している。

こうした東京湾の沿岸開発によって都市内部にどのような影響を与えるかについて、今回は次世代の気象モデル WRF を用いて現象全体を明らかにしていくことで、都市面積の増加による影響を把握し、海水面の確保が都市内部の環境を維持することが重要性についての検討を行った。

2. 気象モデル WRF と入力データ

(1) 気象モデルWRFについて

本研究では、米国でNCAR（米国大気環境センター）、NCEP（米国国立環境予測センター）、NOAA/FSL（米国海洋大気庁予報システム研究所）、AFWA（米国空軍気象局）などの研究機関が共同で2001年ごろ開発された次世代の気象モデルWRF(The Weather Research and Forecast)を用いる。

WRFの性能としては、気象庁が開発した非静力学モデルMSMと同じ程度であると考えられ、およそ1km程度までのメッシュには耐用できるとされている。また、既存のMM5に比べてメソスケールの気象現象に関する解像度に優れているといわれており、WRFは、ヒートアイランド現象などメソスケールの気象現象を再現するのに最適だといわれている⁴⁾。

(2) 地空間データ

本研究では、初期条件および境界条件として、NCEP（米国国立環境予測センター）が公開しているFNL客観解析データを用いることにした。これは、表-1に示すようにデータの時間間隔が6時間毎、格子間隔が約1度毎である。

表-1 時空間データの概要

気象データ	
名称	FNL客観解析データ
発行元	NCEP（米国国立環境予測センター）
データ間隔	1度毎（約100km）
時間間隔	0:00,6:00,12:00,18:00 (GMT)
データ内容	気温・気圧・海水温・土中水分量等 全25項目
地形データ	
名称	GTOPO30
発行元	USGS（米国地質調査所）
データ間隔	30秒毎（約0.9km）

また、地形・標高・土地利用データとして、USGS(米国地質調査所)提供の緯度・経度30秒毎（約0.9km）の解像度を有するGTOPO30データを用いた。しかし、日本領域で高解像度なデータは、30秒間隔の土地利用データと標高データのみである。

3. 計算概要

本研究では、図-3 に示す東京湾を中心とした領域を対象とし、計算期間は典型的な夏期の晴天日とした。今回はその中でも、2006 年 8 月 5 日午前 3 時 (JST) から 72 時間の積分時間において気象モデル WRF を用いて数値計算を実施した。また、計算概要を表-2 に示す。計算における格子間隔は1km で、都市内部の気象を大まかに捉えることのできるスケールであるといえる。

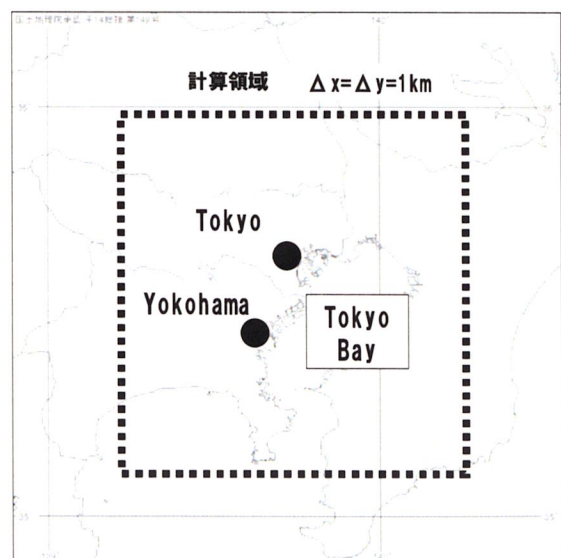


図-3 本論文の計算対象領域

表-2 計算の概要

設定項目	設定内容
計算時間	2006年8月5日午前3時～8月8日（72時間） 典型的な夏の晴天日を選んだ
初期条件	大気（気圧・気温・風向風速・湿度等） NOAA/NCEP/FNL 客観解析データ 土壌（土壌温度・土壌水分量） NOAA/NCEP/FNL 格子点値を設定 海水温度 NOAA/NCEP/FNL 格子点値を設定
初期条件	GTOPO30 (USGS作成の30秒間隔地形データ)
格子分割	横100×縦100 幅1kmの等間隔格子
time-step	6秒

4. WRF による計算結果の検討

(1) 気温による検討

まず、WRFの計算値と気象庁AMeDAS⁵⁾の比較によるWRFの再現性について検討する。2006年8月5日午前3時から72時間の東京・大手町・横浜における計算結果とAMeDASによる観測結果の比較について、図-4 (1)と(2)に示す。

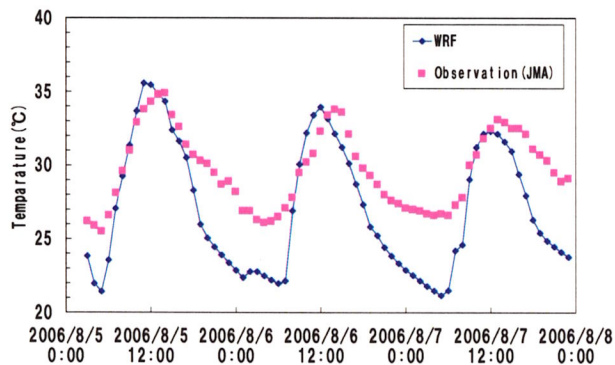


図-4 (1) 東京における計算値と実測値の比較

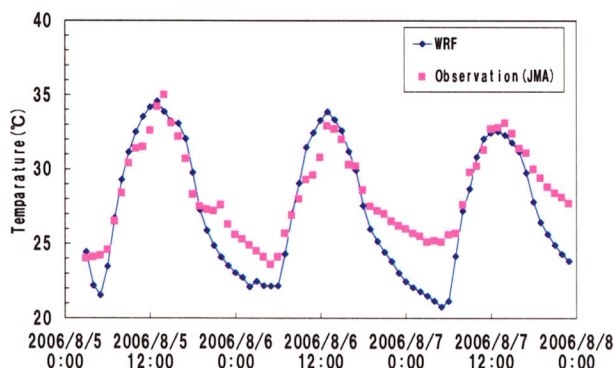


図-4 (2) 横浜における計算値と実測値の比較

図-4 (1)と(2)より、日中における気温の計算結果は再現できているが、夜間の下がり方で両者に

大きな差異が生じていることが分かる。熱収支全体のエネルギー量が大きな日中の日射による気温の変化は再現できるものの、日射がなくなる夜間では、都市に関して、GTOPO30の土地利用データでは凹凸の無い粗度を有した地表面として扱う。そのため、都市部の熱の蓄熱と生産活動による人工排熱の影響が計算結果に再現出来ないことが原因であると思われる。

こうした問題に対しては、人工排熱を考慮した都市モデルの導入など計算条件の設定に今後更なる改良が必要である。

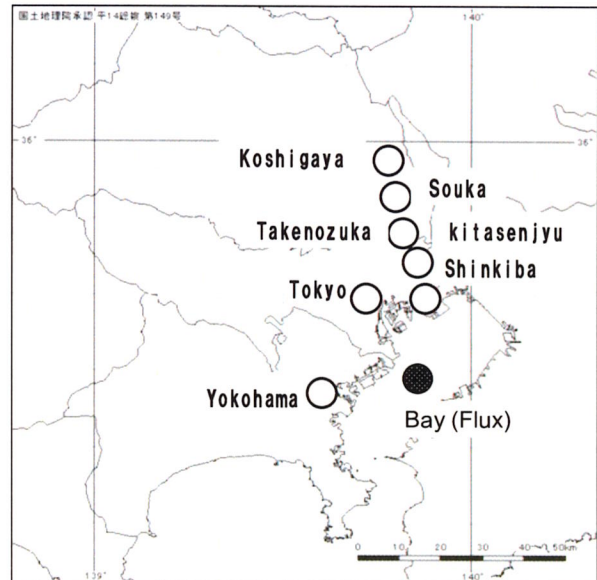


図-5 気温の計算値と実測値の比較箇所

(2) 熱収支による検討

気温を構成する要素として、潜熱フラックスや顕熱フラックスが極めて重要な要素を占めている。そこで、気象モデル WRF で計算した結果を用いて検討する。陸上の都市域として東京の大手町、および東京湾中央の海上（北緯：35 度 30 分，東経：139 度 55 分）における WRF による計算結果を示す。観測箇所は図-5 に示す。

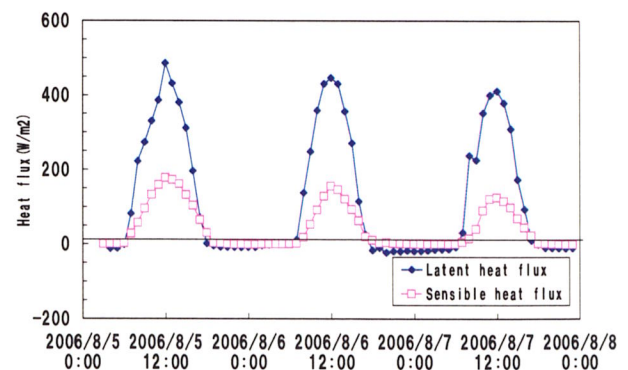


図-6 東京・大手町における顕熱フラックス（・）と潜熱フラックス（□）の計算結果

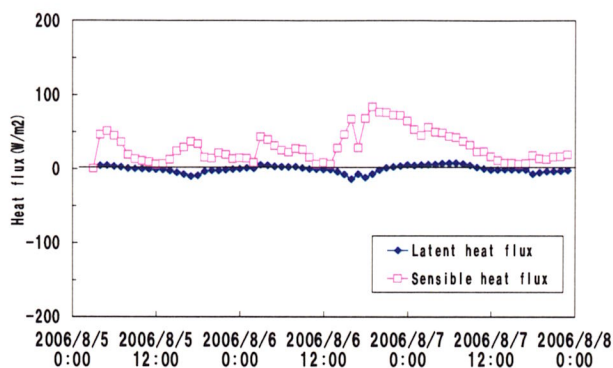


図-7 東京湾・海面における顕熱フラックス（・）と潜熱フラックス（□）の計算結果

これより、図-6 に示す地表面が都市域である東京における計算結果では 1 日を通じて顕熱フラックスが潜熱フラックスを卓越しており、都市部の傾向を顕著に示しており、地表面の熱収支を再現していることが言える。一方で、図-7 の東京湾の海面における計算結果では熱収支が極めて少ない。これは東京湾の水面による蓄熱効果と水面からの潜熱が発生しているためであると考えられる。

(3) 風向・風速による検討

図-8 に東京・大手町における風向と風速の計算値と実測値を示す。これより、都心部のビル等で囲まれた空間で観測された風向と風速に近づくことは難しいものの、日中においては南風が卓越していることなど概ねの傾向を示すことは出来た。ただし、特に夜間において北から吹く微弱な陸風が再現されていない。この原因としては、計算領域が狭く中部山岳の影響が考慮されていないことが考えられる。

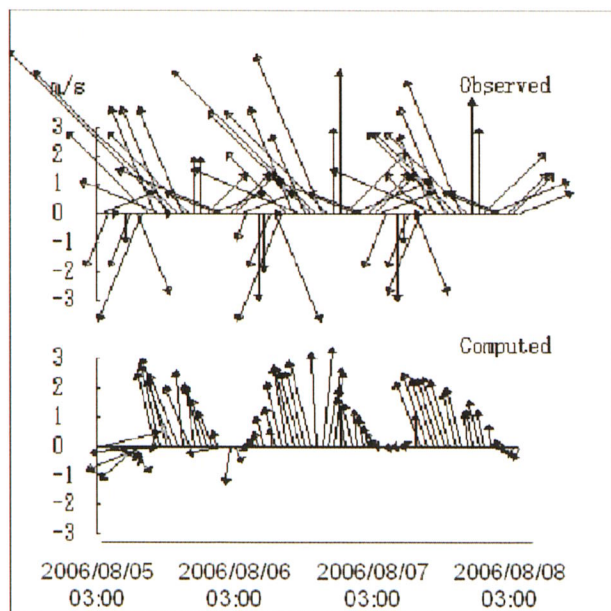


図-8 東京・大手町における風向・風速の AMedAS による実測値（上段）と WRF による計算値（下段）の比較

5. 埋立割合による気象への影響の検討

(1) 地形データの改変による埋立の再現

本研究では、東京湾を埋立するという仮定において、周辺気候がどう影響されるかを比較・検討を行うことを目的としている。具体的には東京湾の湾奥から湾口に向けて、図-9に示すように1割単位で10割まで水面積が減少によって、海面が陸域になるようにデータを改変する。

今回は、GTOPO30のデータのうち、緯度・経度 30秒毎の解像度を有する土地利用データと標高データ、2分の解像度を有している地中の表層に関する成分データと土中に関する成分データを改変した。その区域に関して、埋立後は標高1mの都市域が存在すると仮定し、条件設定を行った。

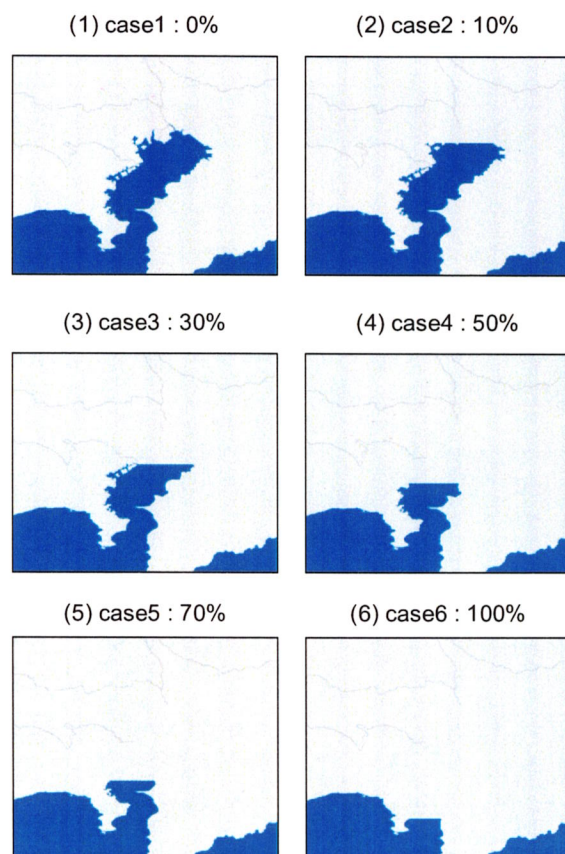


図-9 計算領域における東京湾の埋立割合

その中でも、図-9に示す6つのケース（現状・10%・30%・50%・70%・100%埋立）での気温や風向・風速に関して計算結果より検討を行った。既往研究では埋立が湾奥から行われた場合、最も影響が顕著に現れるのが埋立領域の北側周辺部であるといわれている¹⁾。そこで、湾北部でほぼ等間隔の図-5に示している6地点に関して、気象モデルWRFによる計算結果を気温と、風向風速を次に示す。

(2) 湾奥方向への気温上昇の影響

埋立面積別に湾奥方向における気温の変化について計算した結果を図-10に示す。これより、東京湾の埋立面積が増加すると、現在の東京湾沿岸に近い新木場・東京・北千住の各地点では明瞭な気温の上昇が確認出来るものの、その上昇率は線形関係ではないことがいえる。

これより、埋立による気温への影響は、日中の最高気温時で、現在の沿岸部から約15km程度で昇温が引き起こされることがあると考えられる。

また、夜間では埋立時と現状を比較した場合に気温差があまり見られなかった。さらに、海域の埋立面積が増加する場合に現状の沿岸部にある新木場などでは、夜間に気温が現状よりもむしろ若干減少する傾向が確認できた。

この原因として、陸域面積が増加した場合に地表面の熱的性質が異なる点で地表面から放射により熱が奪われ、水面が存在していた頃に比べ気温が減少した可能性があると考えられる。

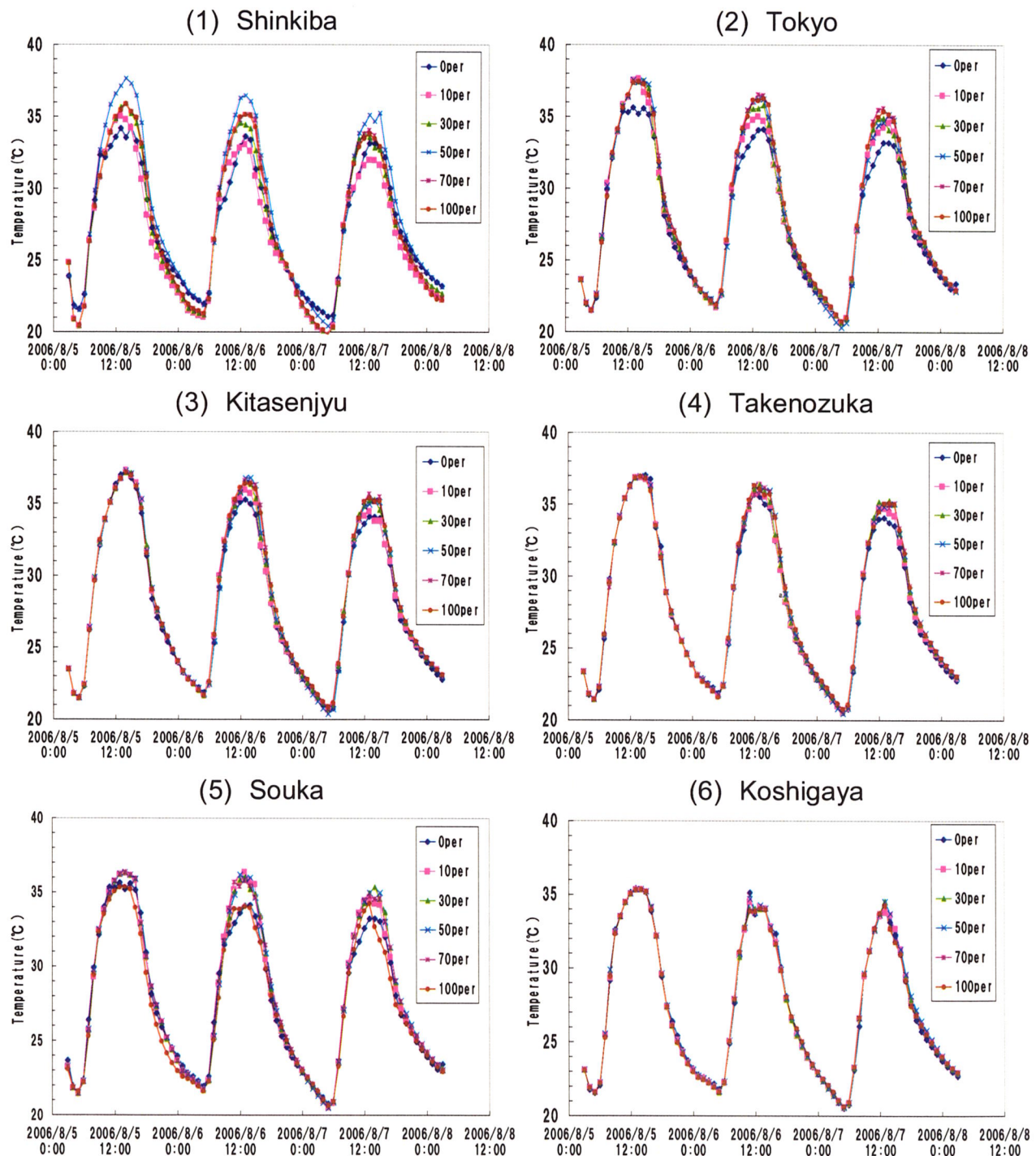


図-10 埋立割合による都市における気温の変化

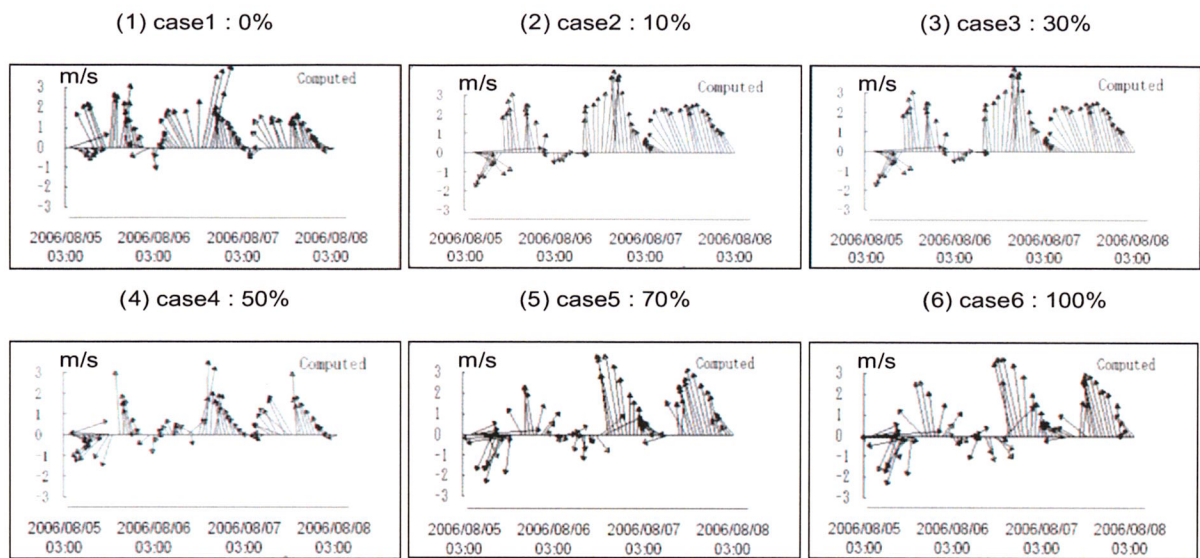


図-11 新木場における埋立割合による風向風速の変化

(3) 埋立による風向風速への影響

埋立によって最も影響を受けるのが、現在の沿岸域である。そこで、沿岸に位置する新木場における埋立頻度による風向風速の差に関して図-11に示す。これより、夏期であるため東京湾から概ね南風が進入している様子が確認できる。

しかし、東京湾全体に占める埋立割合が50%を超えるcase4より埋立割合が多くなった場合には、夜間において、それまで見られなかった北風が明瞭に確認できた。このとき、海域が陸域になることで、地表面の熱的性質が変化する。具体的には、陸域では熱的性質の違いによって、地表面から大気の放射による冷却が発生する。それによって海域の気温が高いため、海域へ向けた北風の陸風が発生することが考えられる。

7. おわりに

今回は、気象モデルWRFを用い、東京湾が埋立が行われた場合を仮定して水面積と気温・風向風速に関する数値シミュレーションの結果について検討を行った。その結果、日中では湾北部の約15km付近までの地点で埋立面積が増加した場合に気温が上昇することが考えられる。そのため、埋立面積と気温上昇や風向風速の気象場の変化は比例しない。気温に関しては、湾全体の1割の埋立であっても気温差として顕著に現れることが判明した。

一方で、風向風速では埋立面積が増加した場合に夜間で北風の陸風が生じ埋立が行われた箇所の地表面を冷却する傾向があることも確認できた。

今後の課題として次の点があげられる。

1) 今回は地点におけるデータより考察を行った

が、今後は計算領域全体に関する面的な視点からの考察が必要である。

2) 今回は、夜間の北風に関する再現性が低いことから、今回より広範囲の領域を対象とし、中部山岳で作られる夜間の冷気流が関東平野の気候に与える影響を考慮した数値シミュレーションを検討することが必要である。

3) 現在のデータでは、時空間の解像度に限界があることから、今後は気象データの高精度化、ならびに土地利用データの高精度化が必要であると考えられる。

謝辞: 本研究に関して、いであ株式会社国土環境研究所の小池克征氏にはWRFに関する利用法について指導していただき、筑波大学大学院生命環境科学研究科の日下博幸講師にはWRFの計算結果に対する貴重な助言をいただきました。

また、武蔵工業大学情報処理センターのPCクラスタマシンを利用させていただき、同センターの安井浩之講師には計算機の設定などご協力いただきました。ここに感謝の意を記します。

参考文献

- 1) Kimura, F. and S. Takahashi: Climatic effects of land reclamation in Tokyo Bay - Numerical experiment. Energy and Buildings, 15/16, pp.147-150, 1991.
- 2) Kusaka, H., F. Kimura, H. Hirakuchi and M. Mizutori: The effects of land-use alteration on the sea breeze and daytime heat island in the Tokyo metropolitan area, J. Meteor. Soc. Japan, 78, pp.405-402, 2000.
- 3) 運輸省第2港湾建設局編: 新時代の東京湾, 1997.
- 4) 日下 博幸: 次世代の気象モデルWRFとその応用, 第19回数値流体力学シンポジウム, 2005.
- 5) 気象庁: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>