

大阪湾臨海地域における海陸風構造の数値計算

NUMERICAL SIMULATION OF STRUCTURES OF SEA AND LAND BREEZE OVER THE OSAKA BAY AREA

玉井昌宏¹・有光 剛²
Masahiro TAMAI and Tsuyoshi ARIMITSU

¹正会員 工博 大阪大学助教授 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)

²正会員 工修 関西電力株式会社 電力技術研究所 (〒661-0974 尼崎市若王寺3-11-20)

Structures of sea and land breeze over the Osaka Bay area are complex because of westerly general wind flow and complex topographical conditions. The purpose of this study is to simulate three dimensional structures of realized sea and land breeze over the area by introducing the objective analysis data. Vertical profiles of wind velocity were measured by a Doppler sodar anemometer at the Osaka Nanko area in the 2003 summer. Numerical model simulations were carried out to produce weather conditions which occurred during the measurement. Simulated vertical profiles of horizontal wind velocity vectors agreed quite well with the observed one. However vertical velocity couldn't be simulated accurately. Some modification will be needed for the numerical model to calculate behavior of atmospheric pollutants emitted in the bay area.

Key Words : Sea and land breeze, Three dimensional numerical simulation, the Osaka Bay

1. はじめに

大気汚染物質を排出する事業所を建設する場合には, P R T R制度により排出物質の届け出を行なうだけでなく, 当該物質の周辺大気環境に及ぼすリスクについて総合的な検討をおこなわなければならない. 我が国においては, 各種工場や廃棄物処理場など大気汚染物質排出源は臨海地域に集中しており, 精度高いリスク評価システムを開発するためには, この地域における大気流動構造の詳細を把握することが極めて重要である.

多数の既往の研究によって, 大阪湾岸地域の海陸風に関する数値解析は実施されているものの, 海陸風の発生しやすい仮想的な気象条件を想定したものが大半である¹⁾. 実現象の再現を試みた研究も, その精度検証はアメダスデータとの比較に留まっており²⁾, 排出直後の汚染物質の初期挙動に支配的な影響を及ぼす, 臨海地域上空の複雑な三次元の流動構造にまで立ち入って検討した計算例³⁾は極めて少ないのが現状である.

本研究では, GPVデータを一般風データとして用いることにより, 大阪平野の夏季に実際に出現した海陸風構造を再現する数値計算を実施する. 大阪市住之江区の関西電力南港発電所において2003年8月

22日~9月10日の約3週間実施した音波レーダによる風速風向鉛直分布および地上観測データを用いて数値計算の精度検証を行なった.

2. 数値計算の概要

(1) 一般風の導入

Mizuma⁴⁾は, 大阪湾周辺地域の海陸風構造は一般風と日射量により規定されることを示している. この地域の海陸風は, 西向き一般風の影響が強く, 生駒山地など大阪平野周辺の地形条件により, 海風に比較して陸風が弱いという特徴がある. こうした地域において, 適切なリスク評価を行なうためには, 地形や日射条件のみならず, 一般風の導入が欠かせない. ここでは, 6時間毎の解析データ(メソ数値予報モデルGPV-MSMの初期値)を, 単純に時間内挿することにより1時間毎の高層風を作成し, 逆転層高度以上のメッシュにナッジングにより導入した. GPV-MSMデータは, メソスケールモデルによる計算値であり, 一般風や海陸風の影響も含まれる. このデータを今回の計算領域全域に, さらに計算期間全体にわたって導入してしまうと, 空間と時間内挿のためだけに数値計算をおこなうことになってしまう. また, 仮想的状況下でヒートアイランド緩和効果を

検討する場合なども、現況の計算値であるGPVデータによって仮想状況の計算値を誘導すると、計算値に現況の影響がどの程度入っているのかわからなくなるという問題が生じる。本研究では、GPV-MSMデータを上空の一般風としてのみ利用して、それになるべく依存しないように計算を行なった。

MSMのデータは、北緯47.6度・東経120度～北緯22.4度・東経150度の領域内において、等緯度、等経度格子点(0.2×0.25度間隔)上、等圧力面の高度(地上面、975、950、925、900、850、800、700、500、400、300、250、200、150、100hPa)の等圧力面の高度におけるデータが提供される。HOTMACの平面直交、地形に沿うZ*座標系の格子点上の値に変換した上で、逆転層高度(本計算では1500m)以上の高さのメッシュに対して、ナッジングにより高層風を誘導した。

(2) 計算条件

音波レーダ風速計による高層風観測を、2003年8月21日17:00より9月10日13:00までの約20日間にわたって実施した。風速計設置位置は、大阪市住之江区の大阪南港の埋立地内の関西電力南港発電所敷地内である。高層風の観測の他に、地上において風向風速、短波放射量等についても観測した。高層および地上観測データを再現するために、既述のGPVを用いた一般風と短波放射量観測値を用いた。

図-1は、GPV-MSMデータより得られた大阪湾上空の高度1500m地点の風速と風向の時間変化を示している。風向は16方位により示されている。計算対象区間の風向は概ね西向きであるが、北から南の範囲で変動している。1日の中での風速と風向の平均値と標準偏差を、図-2、図-3に示す。仮に、一日中高層風速が4m/s以下であれば、海陸風が発生すると考えれば、観測1日目(0-24h)、11日目(241-264h)、12日目(265-288h)、18日目(408-432h)あたりが海陸風発生日として有望である。第1日目は風速変動は小さいが、相対的に風向変動は大きく、北西よりの風となっている。その他の日については、南西から西向きの間で、風向変動も相対的に小さくなっている。

図-4は、大阪南港において測定した短波放射量の時間変化である。日射量の日変動は小さく、観測期間中気流構造は一般風によって左右されることがわかる。図-4の観測値を計算領域全体に与えて計算を行なった。

(3) 計算領域

計算領域を図-5に示す。大阪湾周辺の複雑な地形を精度高く表現するとともに、近畿地方全域の気流場を再現するために、大きな計算領域(第1メッシュ)の中に格子間隔をより細かくした小さな計算領域(第2メッシュ)を組み込むネスティング手法を用いている。第1メッシュは、北緯34.71度、東経135.56度を中心とする、東西約240km、南北320kmの長方形領域である。第2メッシュは、北緯34.68度、

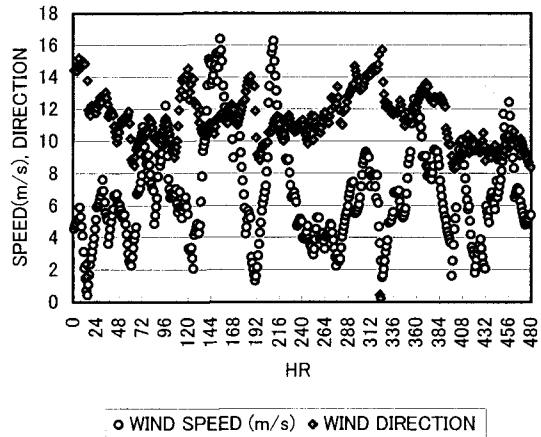


図-1 高層風速と風向

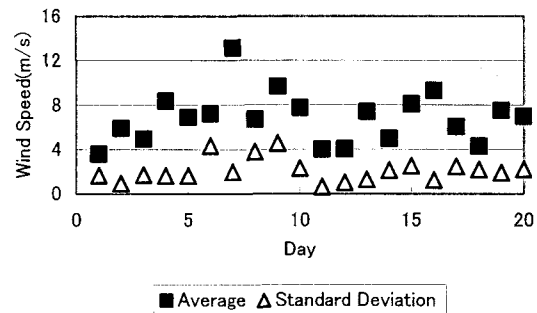


図-2 高層風風速の24時間平均値と標準偏差

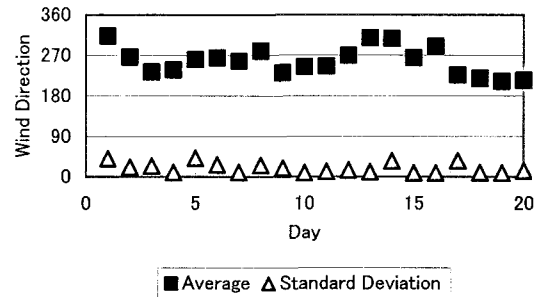


図-3 高層風風向の24時間平均値と標準偏差

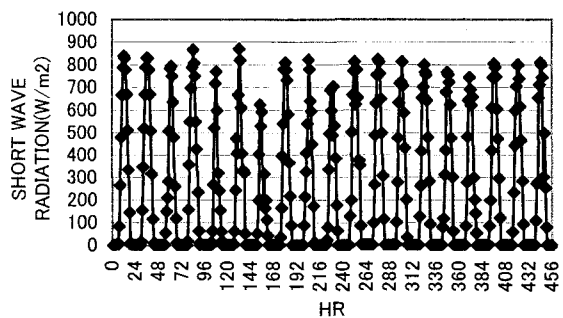
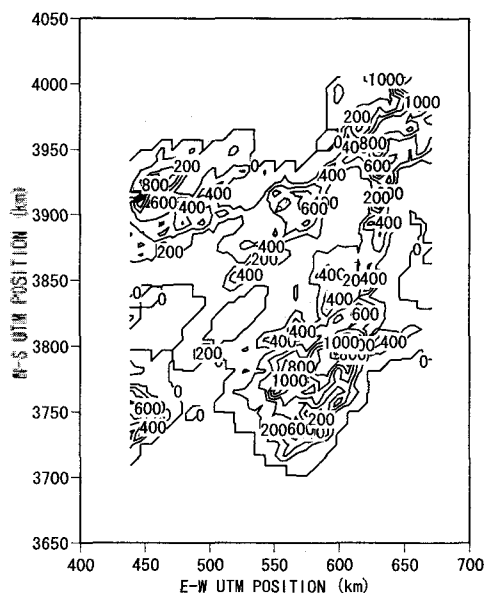
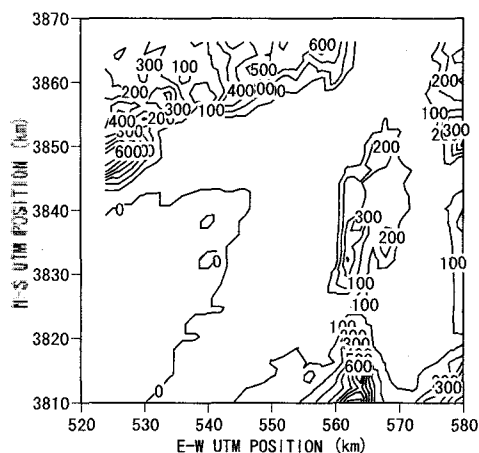


図-4 短波放射量



(a) 第1メッシュ



(b) 第2メッシュ

図-5 計算領域

東経135.56度を中心とする約58km×58kmの領域である。第1メッシュ、第2メッシュの格子サイズは、それぞれ8kmと2kmである。計算領域の鉛直高さは、いずれのメッシュについても5000mであり、地表付近の最小メッシュ高さ4mから、鉛直方向に段階的に増加するような不等間隔の21の格子に分割されている。

地表の標高には国土地理院の数値地図250mメッシュ、土地利用に関しては国土地理院の土地利用情報1/10細区分画利用データKS-202-1を用いている。さらに、Pielkeの報告⁵⁾を参考に、アルベド、粗度、土壤水分、人工廃熱の各パラメータを設定した。

(4) 初期条件とその他の条件

初期条件とその他の計算条件を表-1に示す。温度分布については、地表面の温度と逆転層高度上下の

領域の温位勾配を与える。逆転層高度以上の温位勾配については、0.003に固定し、逆転層高度を1200、1500、1800mの3段階に、また逆転層高度より低い領域の温位勾配を種々変化させて、観測地上風および近隣のアメダスデータと計算値が一致する値を探した。20日間の連続計算では、後半10日間の計算精度が著しく低下することから、前後半10日間の2期間に分割して計算を行なった。

初期風速分布については、全領域1mの西風を与えることにした。

表-1 初期条件

項目	設定値
海水面レベルでの初期温位 (°C)	25
初期逆転層高さ (海拔m)	1500
水温 (°C)	28
逆転層より上方での初期温位勾配 (°C/m)	0.003
逆転層より下方での初期温位勾配 (°C/m)	0.008
初期風向 (degree)	270
初期風速 (m/s)	1.0

(4) 数値モデル

3次元の大気流動計算にはメソスケール気象モデルHOTMAC⁶⁾(Higher Order Turbulence Model for Atmospheric Circulation)を用いた。

3. 計算結果

(1) 地上風向風速データとの比較

図-6, 7は、風向の計算値と南港における地上観測データとの比較を示す。図-6は前半10日間、図-7は後半9日間の比較である。図-8, 9は風速の比較を示している。10日間という長い期間の連続計算であるにも拘わらず、前半の120hr付近、後半の432hr以降を除けば、計算値と観測値とは大きく乖離していない。120-144hr付近では、高層風風向の変動が相対的に大きく、風速も急速に増加している。432hr以降では、高層風は南西方向となっているが、風速風向の平均値や変動に特徴があるわけではなく、大きな差異の生じた原因は不明である。

既述の海陸風発生の可能性の高い日（観測1日目(0-24h)、11日目(241-264h)、12日目(265-288h)、18日目(408-432h)）に注目すると、第12日目を除いて、風向の日周変動が生じていることがわかる。夜間から昼にかけて北～北東、午後には南西～西の風向となっており、海陸風構造の発生がうかがえる。一方、高層風速の強い7日目(145-168hr)や15日目(336-360hr)にも同様の風向の日周変化が現れており、一般風、日照条件以外にも、海陸風の発生要因が存在するようである。

既述のとおり6時間毎のGPV客観解析データを時間内挿することに高層風を作成しているために、それより短い急激な時間変動については再現されない。風向、風速の実測値のスパイク状の変動は平滑化されてしまう。

(2) 音波レーダデータとの比較

ここでは、地上風速の観測データから海陸風の交替が明瞭に現れた日を選択して、水平面の風速ベクトルの鉛直分布について観測値と計算値の比較を行なった。図-10, 11に、第7日目(145-168hr)の午前1時から24時間分の観測値と計算値との比較を示している。第7日目は、図-1より、終日10m/sを超える強い南西～西からの高層風が吹いている。図-10より、午前中に高度200mより低い範囲では、陸上より海域に吹く陸風が生じている。一方、この時間の高度400m以上の領域では、南～南西のからの高層風が吹いており、200～400mの高度を境界として成層構造となっていることがわかる。午前11時頃(155hr)から高層風の影響が急速に地上付近にまで到達している。これは、日射による地表面加熱によって、あるいは海風の進入によって成層構造が破壊されたからであると考えられる。午前11時～午後3時(155-159hr)の間は高層風の影響が顕著である。午後3時あたりから、地上付近では西～北西からの風向となっているが、これは海風の成長によるものと考えられる。観測値と図-11の計算結果を比較すると、計算開始7日後であることや高層風と日射量以外に外部条件を与えていないことを考えると、計算は極めて良好に観測結果を再現できている。とくに、既述の午前中の成層構造が破壊されて、鉛直方向に一樣な風速分布と変化する様子が再現されている。図-12, 13は第18日目(408-432hr)の比較を示している。図-11より、午前中(409-420hr)の風速ベクトルの鉛直構造は極めて複雑である。600mより高い領域では、北西風が卓越しているが、600m以下の領域では、

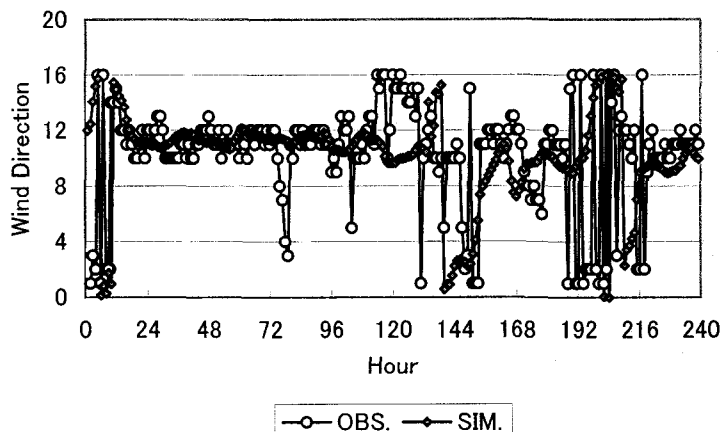


図-6 地上風向の観測値と実測値との比較(前半10日間)

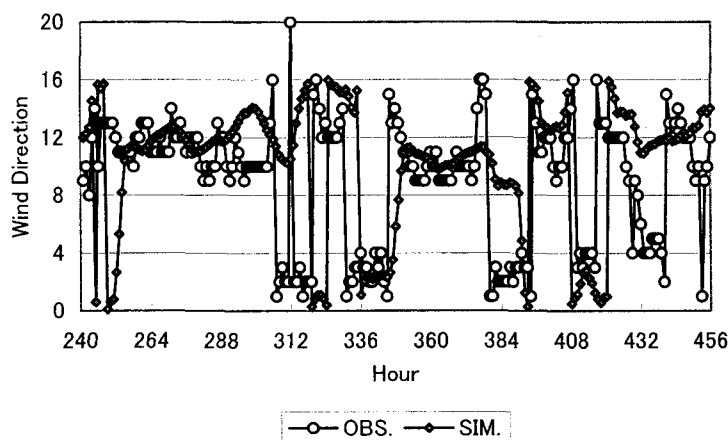


図-7 地上風向の観測値と実測値との比較(後半9日間)

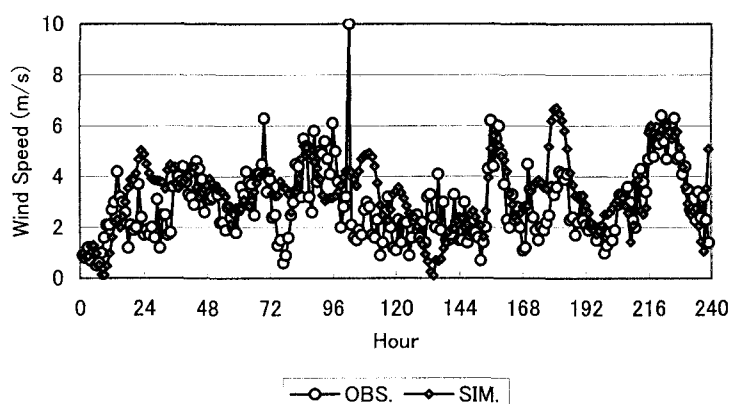


図-8 地上風速の観測値と実測値との比較(前半10日間)

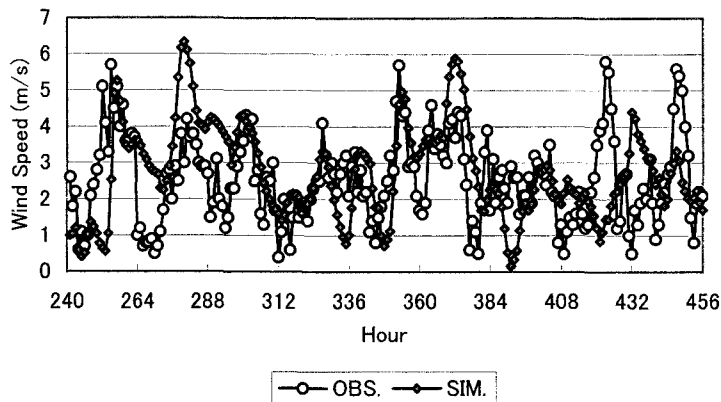


図-9 地上風向の観測値と実測値との比較（後半9日間）

北東風となっている。正午頃から、地上付近では西風となり、夕刻から南西の強風に変化している。午前の計算結果は、200mより低い地上付近を除けば再現性はあまり良くない。午後については西～南西からの海陸風の発達については概ね再現している。

次に図-14, 15に、第7日目の鉛直方向風速の鉛直分布の時間変化の観測値と計算結果を示す。観測データでは、1時間程度の時間スケールで鉛直風速が激しく変動しており、鉛直上向き風速が繰り返し発生していることがわかる。

図-15より、鉛直上向き風速については再現されていないことがわか

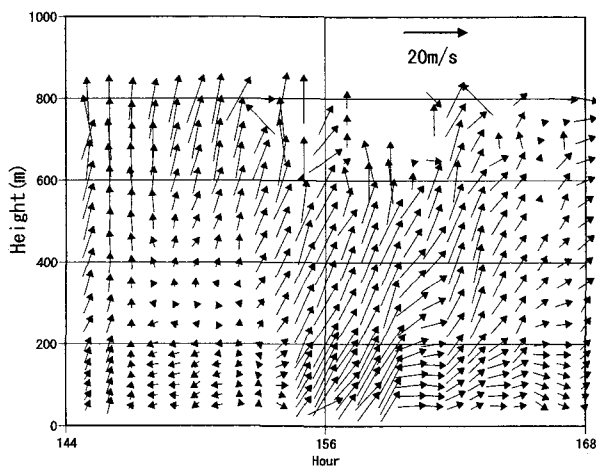


図-10 音波レーダ観測による水平方向風速ベクトルの鉛直分布の時間変化（第7日目）

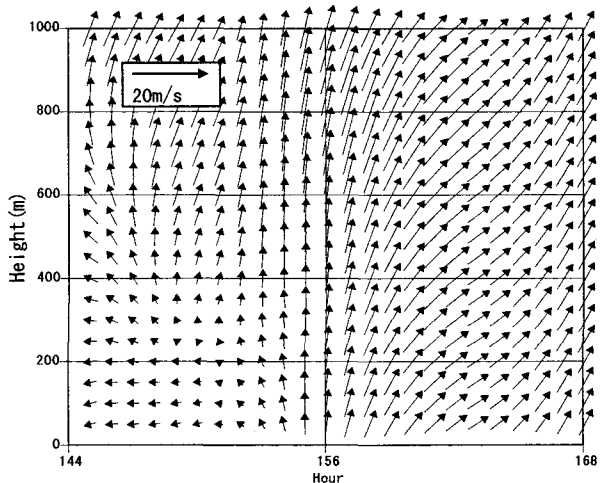


図-11 水平方向風速ベクトル鉛直分布の計算値（第7日目）

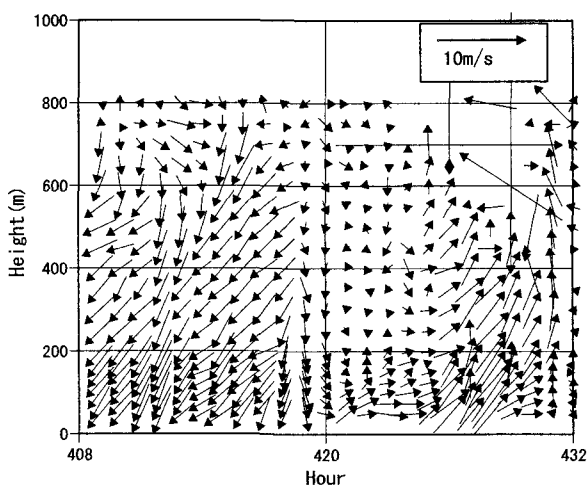


図-12 音波レーダ観測による水平方向風速ベクトルの鉛直分布の時間変化（第18日目）

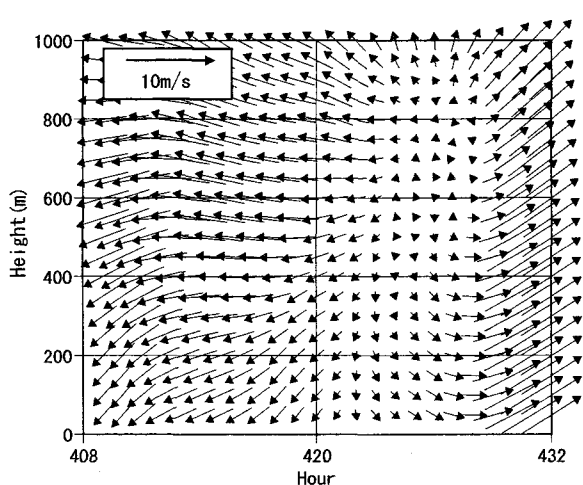


図-13 水平方向風速ベクトル鉛直分布の計算値（第18日目）

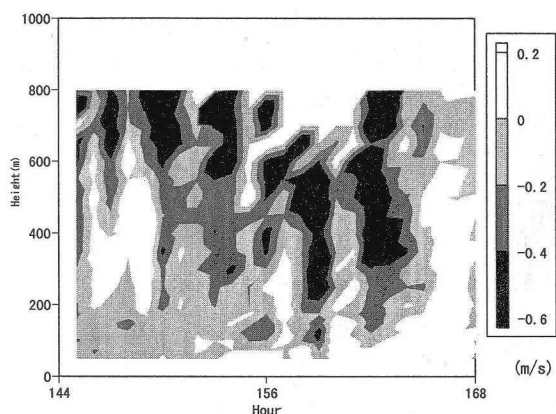


図-14 音波レーダ観測による鉛直方向風速の鉛直分布(第7日目)

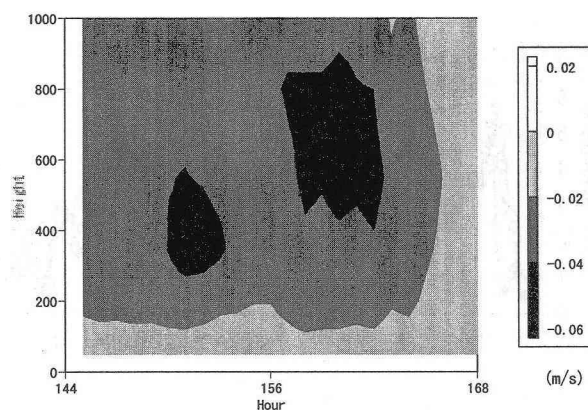


図-15 鉛直方向風速鉛直分布の計算値

る。これは、本モデルが鉛直風速を直接解いていないこと、メッシュ解像度が、2kmと大きいこと、一般風導入の時定数が6時間と大きいこと等に原因していると考えられる。今後の検討課題としたい。

4. まとめ

本研究では、地形や日射条件とともに、一般風を考慮することにより、大阪湾沿岸域において生じた海陸風の再現計算を行なった。10日間程度の比較的長い期間の連続計算を行なっているにも拘わらず、計算値が地上風の実測値から大きく乖離することはなかった。数値計算は、音波レーダ風速計により観測された水平方向風速ベクトルの鉛直分布を再現し、本研究で用いた数値モデルが海陸風の日周交替を再現することを確認した。しかしながら、鉛直方向風速については、再現されなかった。

参考文献

- 1) 伊藤久徳(1995)：近畿地方の広域海風に関する数値実験，天気，42，pp.17-27.
- 2) 石井義裕，玉井昌宏，村岡浩爾：大阪平野におけるヒートアイランドと海陸風の相互作用，ながれ(日本流体力学会誌)，vol.19-2，pp.139-142，2000.
- 3) 例えば，D. Meras et al. (1998)：Flow dynamics in Athens area under moderate large-scale winds, Atmospheric environment, 32, pp.2209-2222.
- 4) Mizuma (1995)：General aspects of land and sea breeze in Osaka Bay and surrounding area, J. Meteor. Soc. Japan, 73, pp.1029-1040.
- 5) R.A. Pielke (1984)：Mesoscale Meteorological Modelling, Academic Press.
- 6) T.Yamada: A numerical simulation of urbanization on the local climate, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 81, pp.1-19, 1999.