

# 福岡都市圏における海風侵入シミュレーション

## A SIMULATION OF SEA BREEZE OVER FUKUOKA METROPOLITAN AREA

久田由紀子<sup>1</sup>・小田義裕<sup>2</sup>・松永信博<sup>3</sup>  
Yukiko HISADA, Yoshihiro ODA and Nobuhiro MATSUNAGA

<sup>1</sup>正会員 博(工) 九州大学応用力学研究所 日本学術振興会特別研究員RPD  
(〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

<sup>2</sup>学生員 九州大学大学院 総合理工学府 修士課程 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 九州大学大学院教授 総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

A numerical simulation was carried out to investigate the characteristics of sea breeze intrusion on the Fukuoka Metropolitan area by using ARPS and the results were compared with the field data of sea breeze obtained in August 2, 2003. The sea breeze front runs parallel to the coastal line at the beginning of the sea breeze intrusion, but as it goes into the inland, the two-dimensional front becomes wavy and breaks. The sea breeze consists of the tail of about 600 m thickness and the head 1000 m and above high. The head is accompanied with a pair of upward and downward currents that reach to about 2000 m height.

**Key Words :** sea breeze , numerical simulation , ARPS

### 1. はじめに

晴天日の日中に沿岸域で出現する海風は、昔からなじみの深い局地風である。その先端部には、海風前線と呼ばれる強い上昇流を伴った局地的な前線が形成されており、積雲対流が発達することが知られている。また近年、多くの都市でヒートアイランド現象が顕在化しているが、その対策として海風の冷却効果が注目されており、各地でその研究が行われている<sup>1),2)</sup>。本研究の対象地域である福岡平野は、北を玄界灘、南西を背振山系、南東を三郡山系にそれぞれ囲まれており、年間を通じて高い頻度で海風が侵入することが知られている<sup>3)</sup>。海風の侵入特性を解明することは、福岡都市圏の大気熱環境保全の観点からも非常に重要である。

著者らは、これまで福岡都市圏における海風の高温化現象の緩和効果について評価を行ってきた<sup>4)</sup>。その結果、海風の侵入によって都心部の気温は低下し、福岡平野奥部においてもその効果が発揮されることを見出した。また福田ら<sup>3)</sup>は、福岡平野においてドップラーソーダを用いた集中観測を行い、海風前線の侵入前後における気温変化や、風速の鉛直プロファイルなどを明らかにした。しかしながら、風向や風速、高層気象の観測点は少なく、観測結果から福岡都市圏全域に及ぶ海風の侵入特性を詳細に検討することは困難である。

そこで、本研究では非静力学大気モデルARPS (Advanced Regional Prediction System)を用いた数値解析手法によって、福岡都市圏に侵入する海風の特性を再現し、侵入特性について調べるとともに、気温の広域同時観測結果との比較を行う。

### 2. 計算条件

海風発生日の一例として、2003年8月2日を対象とした計算を行った。計算に使用したモデルARPSは、オクラホマ大学のCAPSで開発された、風速3成分、気圧、温位、水物質(雲水、雨水、雲氷、雪、霰)を予報変数とする方程式系から成る非静力学大気モデルである。ARPSはメソスケールの大気現象を対象とするモデルであり、局地気象の解析に適している。図-1に計算領域を示す。領域1は九州北部を対象とした100km×100kmの領域であり、水平格子間隔は2kmとした。領域2は福岡都市圏を対象とした30km×30kmの領域であり、水平格子間隔は500mとした。鉛直方向には領域1、2ともに大気層16kmを40層に分割した。格子間隔は最下層の20mから、上空に向かうにつれて粗くなるように設定しており、最上層の厚さは674mである。等高線は領域1が標高200mから200m間隔、領域2が標高200mから100m間隔である。領域2中の実線X-X'は、解析で用いる断面ラインであり、海風の

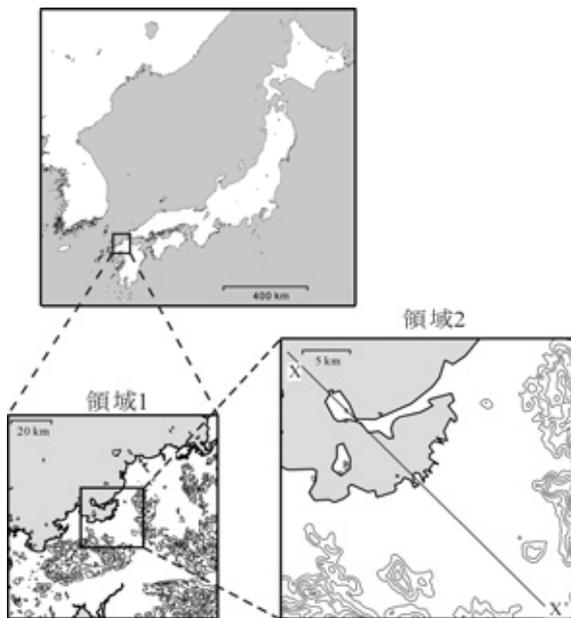


図-1 計算領域

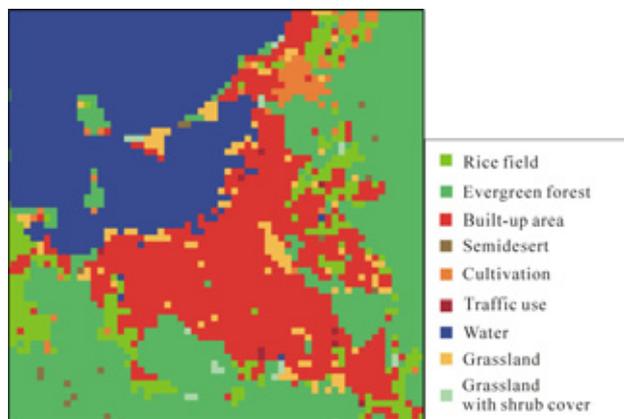


図-2 福岡平野の植生分布

侵入方向に設定されている。地形データの作成には、米国地質調査所(USGS)EROS Data Center(EDC)が公開しているGTOPO30を用いた。また植生の分類には、国土数値情報の土地利用メッシュ(1997)1/10細分区分土地利用を用いた。図-2に福岡平野の植生分布図を示す。各植生には粗度、植生被覆率が与えられている。福岡平野の中央部は沿岸域から奥部まで人工構造物に覆われており、西部、東部には田や畑が存在している。解像度の問題上、河川や都市圏に点在する緑地などはほとんど表されていない。本計算の積分時間は0300JSTから2100JSTまでの18時間である。初期値と境界値には気象庁発行のメソ客観解析値を内挿して使用した。

### 3. 解析結果

#### (1) 計算結果の信頼性

図-3に、2003年8月2日0900JSTの領域2での計算結果と、福岡管区気象台における高層気象観測データとの比較を

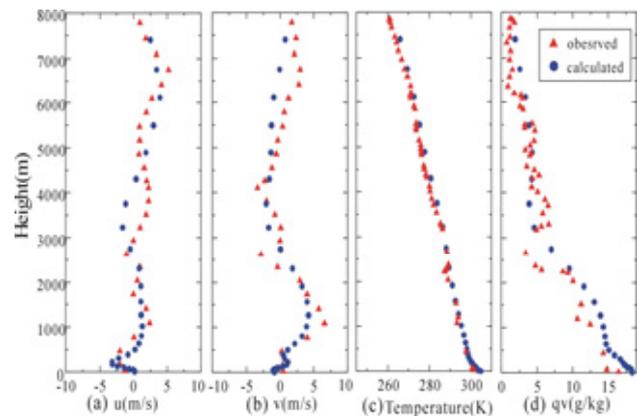


図-3 福岡局の高層気象データと領域2における計算結果の比較(2003年8月2日0900JST)  
(a), (b) : 水平風速, (c) : 気温, (d) : 混合比

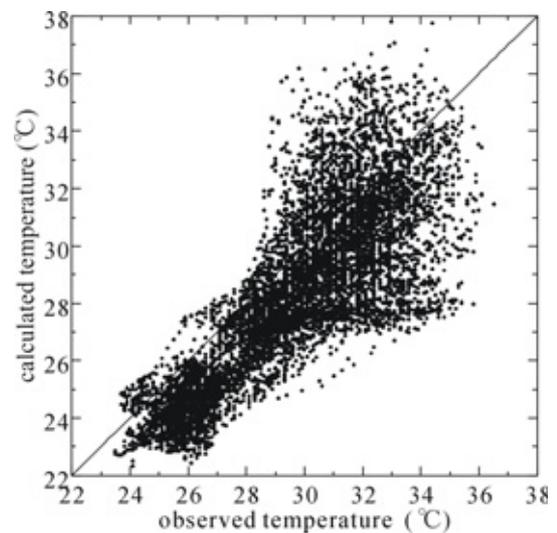


図-4 福岡都市圏全域の気温の観測値と領域2における計算結果の比較(2003年8月2日)

示す。▲は観測値、●は計算値を示し、(a), (b)はそれぞれ風速の東西成分 $u$ (m/s)、南北成分 $v$ (m/s)、(c)は気温 $T$ (K)、(d)は水蒸気の混合比 $qv$ (g/kg)を表す。比較に用いた計算格子は、福岡管区気象台の緯度経度に最も近い座標のものを使用した。水平風速および水蒸気の混合比に関しては観測値との間に若干の不一致が見られるが、再現の信頼性を失うほどではない。気温に関しては計算値と観測値はほぼ一致している。また、図は省略するが、2100JSTにおいても同程度の精度で一致していた。これらから、各データの鉛直分布はよく再現されているものと判断される。

地表面付近の気温の観測値と計算値とを比較する。著者らは、2003年7月から2005年3月まで福岡都市圏の小学校71校の百葉箱に温度計を設置することで、気温の広域多点同時観測を行った。図-4に、福岡都市圏全域の気温の観測値と、領域2における計算結果との比較を示す。縦軸は計算値、横軸は観測値を表している。計算値には各観測地点の緯度経度に最も近い格子の気温を用い、両者を10分間隔で比較した。計算による水平メッシュス

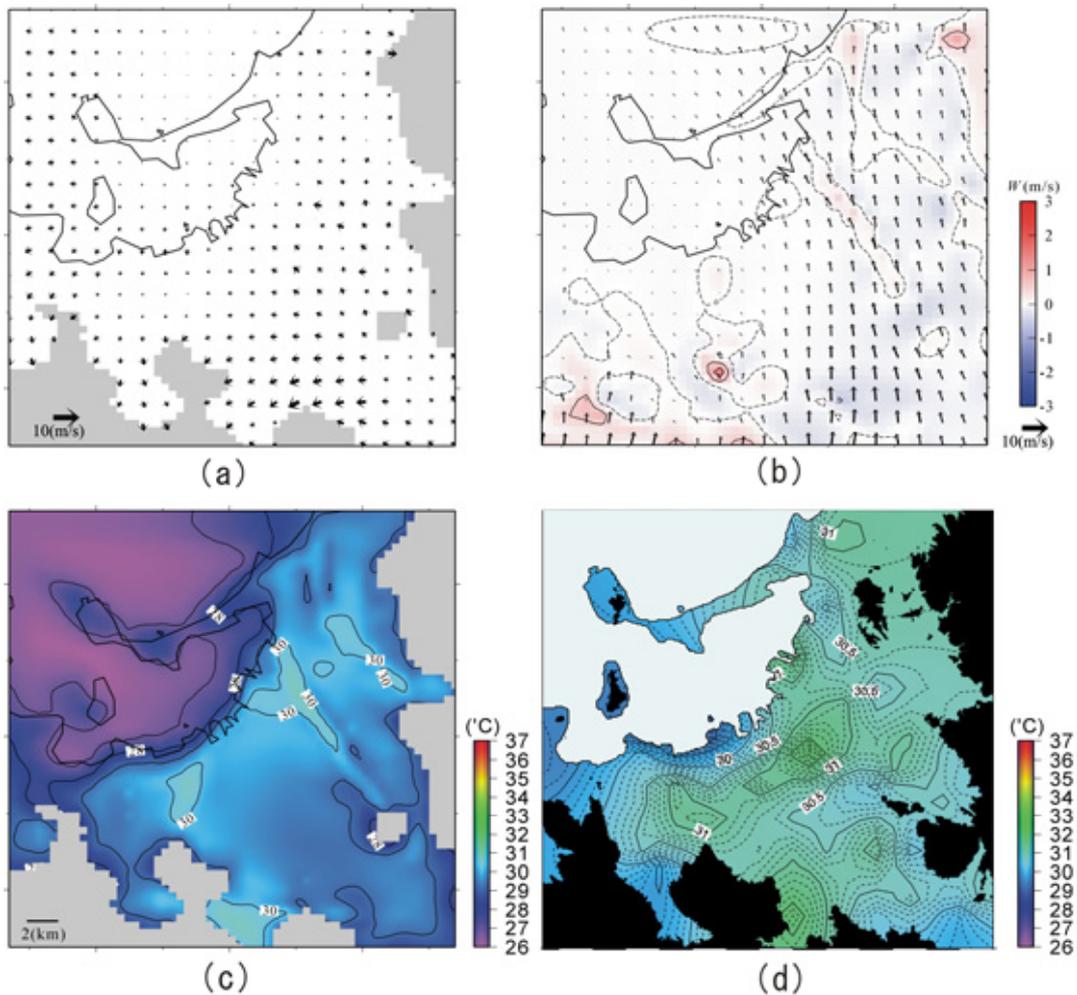


図-5 領域2における0900JSTの計算結果

(a) : 地上10mの水平風ベクトル, (b) : 地上300mの鉛直風速および水平風ベクトル  
(c) : 気温分布 (計算値), (d) : 気温分布 (観測値)

ケールと計測による測器設置スケールとの違いにより、両者の間には高音域でかなりののぼらつきが見られるものの、両者の相関は比較的良好で、各時間帯において計算結果は水平気温分布を比較的良好に再現していると思われる。

以上より、各気象要素の時空間的な再現性は良好であるとみなし、福岡都市圏における海風の侵入特性について領域2の計算結果に基づいて議論する。

## (2) 領域2における風向・風速、気温変化

図-5に0900JSTにおける計算結果を示す。(a)は地上10mの水平風ベクトルを示している。風ベクトルは3格子間隔で表示している。(b)は地上300mでの鉛直風速および水平風速ベクトルを示している。鉛直風速は0.5m間隔の等値線で示しており、実線が上昇流を表している。(c)は計算による気温分布を示している。気温の等値線の間隔は1°Cである。(a)、(c)とも灰色に塗られた領域は、標高200m以上の領域である。また(d)は気温分布の観測値であり、気温の等値線の間隔は0.1°Cである。0900JST時点では気温は28°Cから30°Cであり、都市圏全域でほぼ一様である。観測値に比べ計算値は若干低い値

となっているが、両者とも福岡市西部、南部に高温域が存在しており、その特徴はよく再現されている。西部では内陸に向かって風が吹いているが、その地上風、地上300mの水平風ともに風速は小さい。東部から中央部では陸風が卓越しており、海風の侵入は見られない。地上300mの水平風の主風向は北向きであり、福岡平野奥部では沿岸域に比べ風速が大きい。南西部の山裾では0.5m/sから1.0m/s程度の上昇流が発生しているが、雲粒の形成などは確認されておらず、静穏な状態であると言える。

図-6に1100JSTにおける計算結果を示す。各図が示すものは図-5と同様であり、(a)の等値線は雲水混合比を0.1(g/kg)の間隔で表している。福岡平野の東部から中央部にかけて約3m/sの海風が海岸から1km地点まで侵入しており、上昇流を伴う海風前線が明瞭に現れている。沿岸部では、計算値、観測値ともに海岸線に平行な等温線が形成されており、計算値は観測値とほぼ同じ30°C前後である。しかし、計算では海風前線の先端で等温線が密になっており、気温が高く見積もられている。この時点では、地上300mにおける風は全体的に海に向かって吹

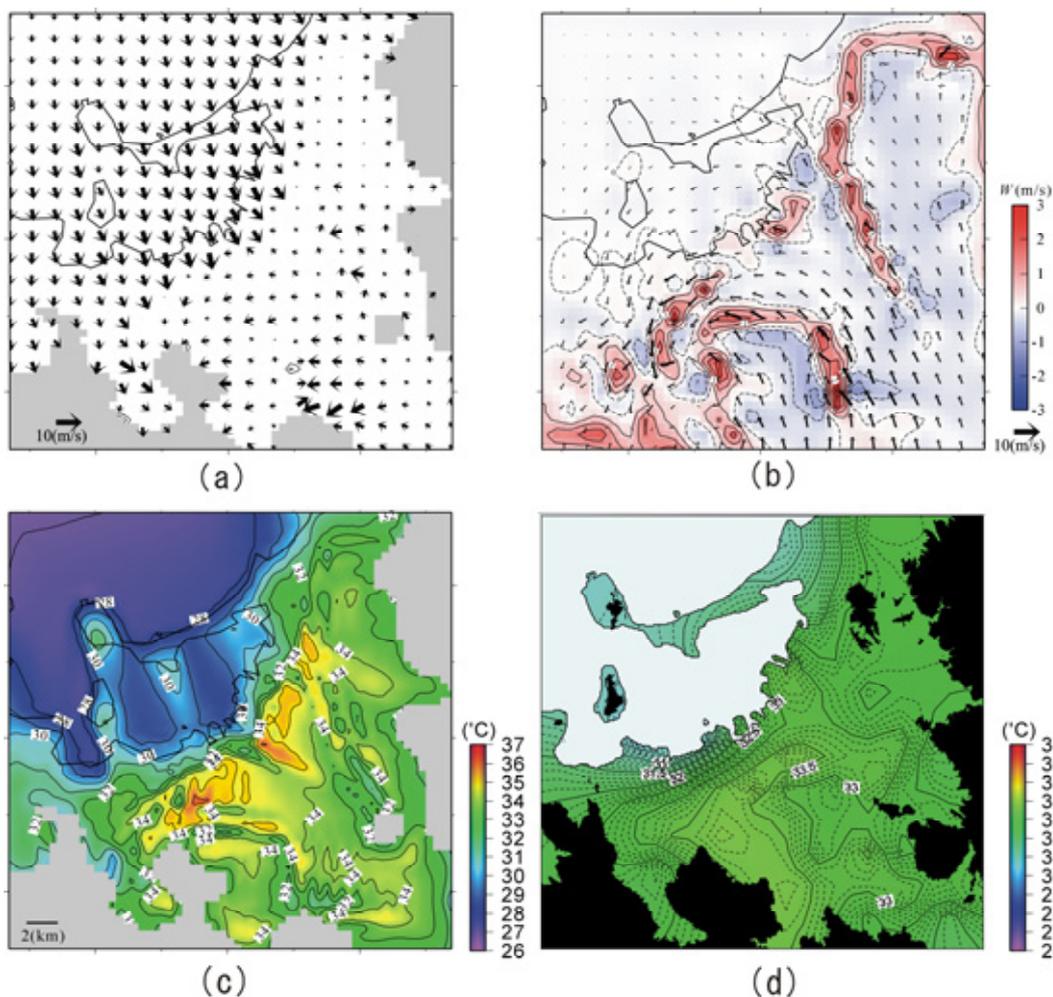


図-6 領域2における1100JSTの計算結果

(a) : 地上10mの水平風ベクトル, (b) : 地上300mの鉛直風速および水平風ベクトル  
 (c) : 気温分布 (計算値), (d) : 気温分布 (観測値)

いていることから、海風は十分に発達しておらず、その厚さが薄いことがわかる。内陸域では1.5m/sから2.0m/s程度の強い上昇流が山麓に沿って発生している。一方で、西部域ではこの時点で既に海風方向の風に覆われている。著者らが行った気温の多点同時観測によって得られた気温分布の変化からも、同様の海風侵入が確認されている。南部に存在する背振山地周辺の風は山地に収束する風となっている。

図-7に1300JSTにおける計算結果を示す。各図が示すものは図-5、図-6と同様である。1300JST時点では、福岡都市圏のほぼ全域が海風に覆われている。海風前線は侵入開始時には直線的形状を保って内陸へと進行していくが、時間とともにその形状は変化していき、図が示すように波打つように崩れていく。1100JST時点と同様、内陸域においても上昇流を伴う海風前線は明確に現れており、その背後では下降流が生じている。内陸域で発生していた上昇流は海風前線が伴う上昇流に巻き込まれ、より強い上昇流を形成する。海風前線はまた海岸線に平行な等温線は不明瞭になり、中央部では内陸まで低温領域が広がっている。この時間になると海風は十分に発達

しており、地上風と高層風の水平風向は等しくなっている。海風と陸風がぶつかる海風前線の先端部では、地形的要因も加わり雲粒の形成が確認できる、また高層風の水平風速は海上、地上ともに等しいが、地上風の水平風速は都心部ではかなり小さくなっている。これは人工構造物等の粗度の影響を受けるためだと考えられるが、解像度の問題上、本研究では点在する緑地や水域は考慮されていないため、粗度の影響についてはより詳細な解析が必要である。

### (3) 海風の断面解析

図-8(a)～(c)は図-1に示したX-X'上の鉛直および水平風速分布を表したものである((a):0900JST, (b):1100JST, (c):1300JST)。各時間帯とも上図が鉛直風速を表しており、実線は上向きの風速を示している。また下図は各時間帯の水平風速を表しており、正の値が海風方向の風速を、負の値が陸風方向の風速を示している。図中に描かれている黒い縦線は海岸線の位置を示している。横軸の1目盛の幅は5kmである。

0900JST時点のX-X'上の水平風はすべて陸風方向の風

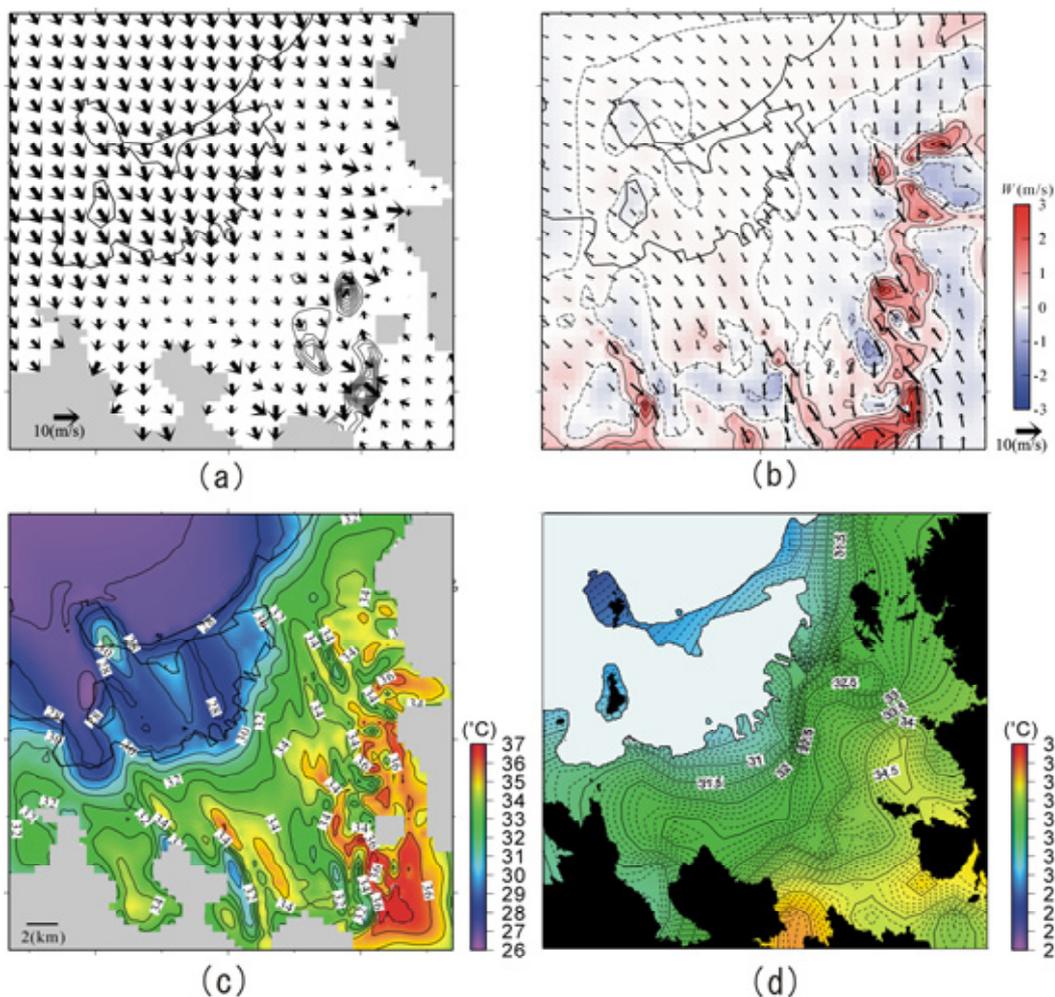


図-7 領域2における1300JSTの計算結果

(a) : 地上10mの水平風ベクトル, (b) : 地上300mの鉛直風速および水平風ベクトル  
(c) : 気温分布 (計算値), (d) : 気温分布 (観測値)

であり、地表面付近の風速は2m/s程度である。海上および沿岸域に比べ内陸域では陸風はやや強く、地上100m付近で4m/sの風が吹いている。鉛直方向の風はほとんど見られない。

1100JSTにはX-X'上で海風が発生しており、海岸から内陸約1kmまで侵入している。海風方向の風は玄界灘の沖のほうから吹いていることが見て取れる。海風の厚さは100mから200mと薄く、水平風速は最大で3m/s程度である。海風前線の先端部には非常に弱いながらも上昇流が発生しており、その背後では下降流が生じている。内陸10km地点でも上昇流が確認できるが、これは図-6でも確認されたもので、地形的要因によって生じた対流だと考えられる。図は省略するが、この後に海風前線は内陸域で生じているこの上昇流を巻き込み、急速に内陸域へと進行する。

1300JSTになると海風は内陸18km地点にまで到達している。海風前線部では地表面付近でも8m/s程の強い風が吹いている。海風は十分に発達しており、1100JST時点では明瞭でなかった前線部での上昇流と背後の下降流とが明確に現れている。海風の厚さは前線の後方では

400m程度で、X-X'ライン全域でほぼ一様となっている。先端部では、その厚さは1000mを超えており、上昇流は2000m程度にまで達している。ドップラーソダによる観測は高度400m程度が限界であるため、このような現象は今まで確認されていなかった。Dingら<sup>5)</sup>が香港を対象として行ったシミュレーションでも、強い上昇流を伴う海風前線が地上700m程度まで達しており、本計算と類似した結果が得られている。本計算による前線の進行速度は約8km/hであり、観測結果とほぼ一致している。また都心部では地上から100m付近まで水平風速の等値線は密になっている。

#### 4. おわりに

2003年8月2日を海風発生日の一例として、非静力学大気モデルARPSによる数値解析手法を用い、福岡都市圏における海風侵入の特性を検討した。得られた結果は以下の通りである

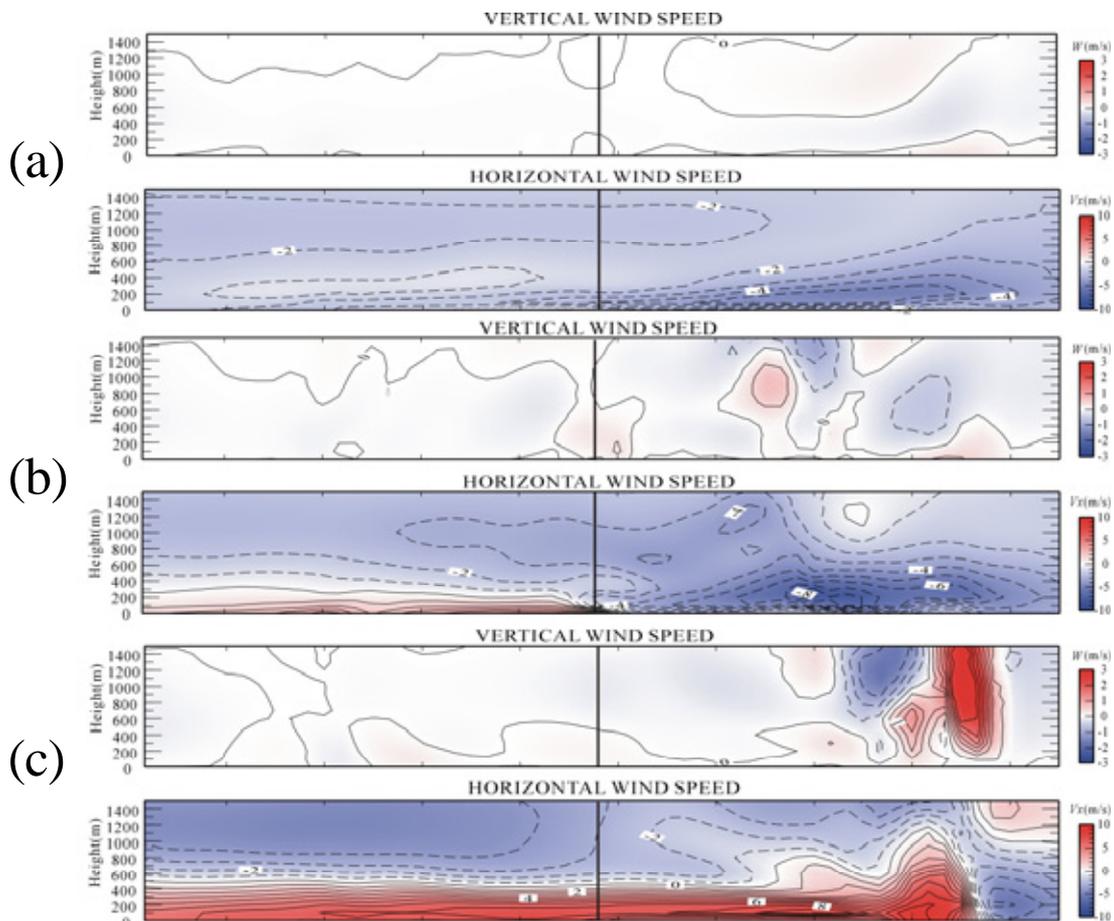


図-8 X-X' 上の鉛直風速および水平風速分布  
( (a) : 0900JST (b) : 1100JST (c) : 1300JST )

- (1) 福岡都市圏においては、東部、中央部に比べ、西部でより早い時間帯に海風方向の風が吹くことが確認された。気温の多点同時観測によっても同様の現象が確認されている。
- (2) 海風前線は侵入開始直後には海岸に平行な直線的形状を保って内陸域へと侵入して行くが、時間経過とともにその形状は変化していき、波打つように崩れていく。同様に海風前線の先端には等温線が形成されるが、内陸域へと侵入するとともにその形状は不明瞭になる。
- (3) 海風の厚さは侵入開始時には100m程度であるが、内陸域に達すると前線の後方は約600m程度の一様な厚さとなる。前線部の厚さは1000mを超え、それに伴う上昇流は2000mを超える高層まで達している海風前線部では一対の上昇流と下降流が形成される様子が確認された。

今後の課題として、計算の精度をより高め、粗度の影響などをより詳細に解明していく必要がある。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり株式会社デンソーの大賀隆史氏に多大なる協力を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 十二村佳樹, 渡辺浩文, 鈴木博司: 海風による年熱環境緩和に関する基礎的研究, 日本風工学会誌, No.95, pp.69-70, 2003
- 2) 岩谷賢, 持田灯, 吉野博, 佐々木澄, 渡辺浩文: 海風が都市の温熱環境に及ぼす影響に関する研究, 日本風工学会誌, No.95, pp.70-71, 2003
- 3) 福田和代, 松永信博, 酒井聡一郎: 福岡市における海風侵入の挙動, 水工学論文集, No.44, pp85-90, 2001
- 4) 久田由紀子, 松永信博, 安藤聡: 海風侵入が福岡都市圏の大気熱環境に及ぼす影響, 水工学論文集, No. 50, pp.487-492, 2006
- 5) Aijun Ding, Tao Wang, Ming Zhao, Tijian Wang and Zongkai Li : Simulation of sea-land breezes and a discussion of their implications on the transport of air pollution during a multi-day ozone episode in the Pearl River Delta of China, Atmospheric Environment, Volume 38, Issue 39, pp.6737-6750, 2004

(2007. 9. 30受付)