

HOTMAC を用いた広島湾周辺における風系の再現計算

石 井 義 裕*・木 野 村 達 哉**

(平成19年10月31日受理)

Numerical Calculation for Reproduction Wind Profile around Hiroshima Bay Area Using HOTMAC

Yoshihiro ISHII and Tatsuya KINOMURA

(Received Oct.31,2007)

Abstract

The land and sea breezes are observed in Hiroshima-city on a clear day. It affects atmosphere environment. The authors reproduced the temperature field with a wind system of Hiroshima-city at a certain on a fine day in summer time in HOTMAC. The calculation result almost reproduced temperature and the daily change of the land and sea breezes in Hiroshima-city. The index of agreement is used to check this model. The agreement in index is not found at noon, but closest at night. The wind velocity has good precision. The mean index of the direction of the wind is 0.82, but there are the some differences between the calculation result and observation. The calculation condition has to be examined continuously. The daily change of the land and sea breezes are made visible around Hiroshima bay.

Key Words: land and sea breezes, HOTMAC, index of agreement

1. はじめに

瀬戸内海気候に属する広島湾周辺都市では、年降水量が少なく晴天の日が多いため、海面温度と陸上温度との気温差が大きくなり、海陸風が発生しやすい。このため、広島湾周辺都市で発生している海陸風が、熱や大気汚染物質の移流・拡散に影響を与えていると考えられる。

向井¹⁾は広島湾周辺都市における海陸風特性と広域風系に関する基礎的研究、清田²⁾は、広島市広域圏における夏季の海陸風が都市気候に及ぼす影響に関する研究、田村³⁾は広島湾周辺都市における海陸風特性とSPM挙動に関する研究を行っている。これらをうけ、本研究では数値シミュレーションによって夏季晴天時における広島について風系と温度場の理解と再現を目的とする。特に広島市中心部に

注目し、アメダスデータと数値計算の両方から考察する。

2. 海陸風の概要

海陸風とは沿岸域で日中は海から夜は陸からの風が一日周期で吹く現象のことであり、海と陸地との温度差が原因となって吹いている。

海陸風は特定することが困難であるので海陸風が吹いた日を判定するための条件を以下に示す。

- ①当日の4, 5, 6時に陸寄りの風向または、風速が0.5 m/s以下
- ②当日の14, 15, 16時に海寄りの風向および、風速が1.0 m/s以上
- ③翌日の1, 2, 3時に陸寄りの風向または、風速が0.5 m/s以下

* 広島工業大学工学部都市建設工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

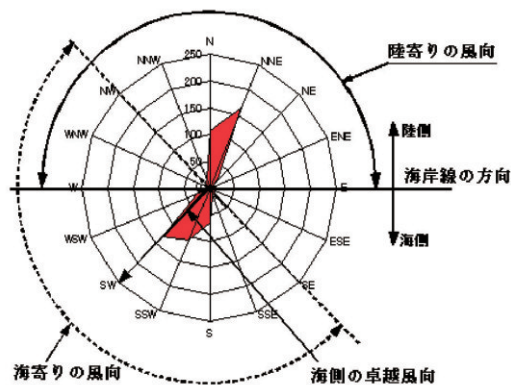


図1 海寄りの風向および陸寄りの風向

宮田によると、これらの3条件をすべて満たす日を海陸風日と定義している⁴⁾。また図1に示すように海寄りの風向および陸寄りの風向については海岸線の方から陸側に180°とった風向を「陸寄りの風向」、海側の方向に卓越風向をとり、その卓越風向から垂直に90°ずつとったものを「海寄りの風向」と定義している。

3. シミュレーションの概要

(1) 大気流動モデル HOTMAC

本研究では三次元大気シミュレーションモデル HOTMAC⁵⁾ (High Order Turbulent Model for Atmospheric Circulation)を用いる。大気成層中の乱流輸送は、Mellor・Yamadaの乱流完結モデル⁶⁾で記述されており、様々な地形や森林キャノピー、海陸境界の影響などを考慮できるモデルである。従来の大気モデルに比べて計算に要するデータ量は格段に少ない。なお計算時間間隔は各時間ステップにおいて CFL 条件を満足するように変更されている。

(2) 対象地域

計算対象領域を図2に示す。地形情報は国土地理院の数値地図250mメッシュデータより与えられる。最初に東西192km×南北144kmの大領域を対象とする第1メッシュに対して計算を行い、これを元に広島市周辺を中心とする東西68km×南北68kmの中領域を細分化した第2メッシュの

表1 計算メッシュ

メッシュ番号	格子間隔		格子数		鉛直
	水平	鉛直	水平		
			東西	南北	
1	8km×8km	不等間隔	24	18	31
2	4km×4km	不等間隔	17	17	31
3	2km×2km	不等間隔	21	21	31

表2 地表面パラメータ

	粗度(m)	アルベド	土壌水分率
田	0.010	0.2000	0.9
畑	0.010	0.1000	0.7
果樹園	1.000	0.2000	0.5
桑・茶畑	0.500	0.2000	0.4
森林	0.050	0.1500	0.5
荒地	0.010	0.2000	0.3
建物用地 (A)	1.000	0.1500	0.0
建物用地 (B)	0.500	0.1500	0.0
幹線交通用地	0.010	0.1000	0.0
その他の用地	0.010	0.2000	0.0
湖沼	0.001	0.0328	1.0
河川地 (A)	0.010	0.2000	0.4
河川地 (B)	0.050	0.1500	0.2
海浜	0.005	0.3000	0.4
海浜域	0.001	0.0328	1.0

計算を行い、これをもとに広島市中心部を細分化した東西42km×南北42kmの小領域となる第3メッシュの計算を行うネスティング法を採用する。計算メッシュについて表1に示す。

(3) 地表面パラメータ

各種土地利用形態と地表面パラメータを表2に示す。地表面パラメータとしては、アルベド、粗度、土壌水分量に加えて人工廃熱や比熱等の土壌パラメータも重要である。しかし、エネルギー利用に関する適当なデータを入手することができなかったことから本研究ではこれを省略している。土地利用状況については国土地理院の1/10細区分土地利用情報(KS202-1)に基づいて土地利用区分を与える。図3に示すのは第3メッシュにおけるこれらのデータを用いて計算対象領域に土地利用データを与えたものである。

(4) 全天日射量

全天日射量に関しては広島地方気象台の毎時観測値を計

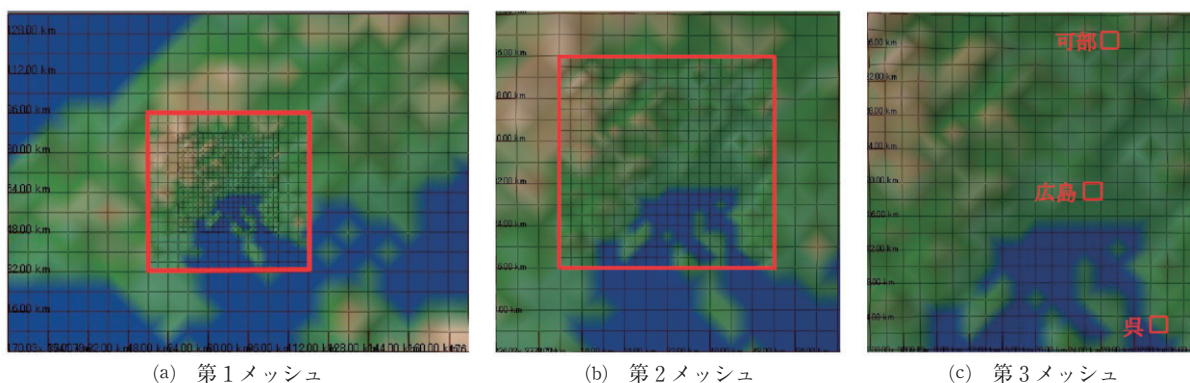


図2 計算対象領域

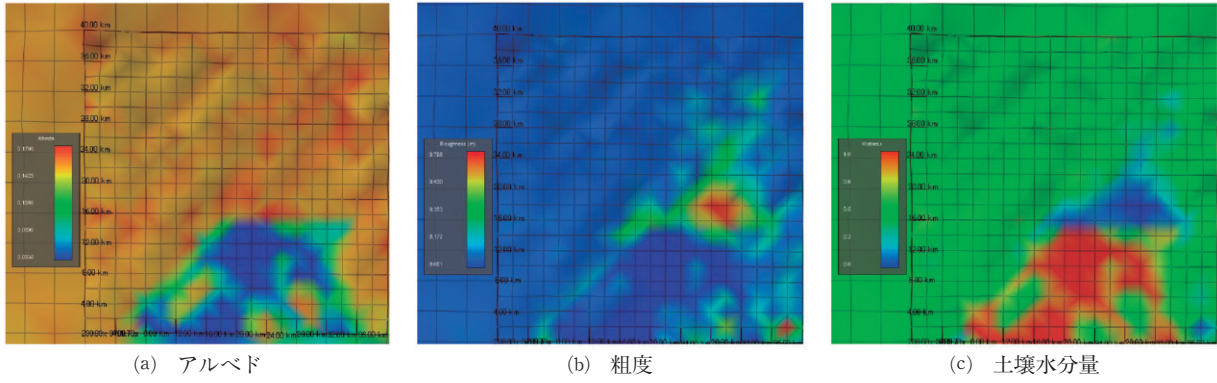


図3 地表面パラメータ

算領域に与える。

(5) 高層気象

計算領域周辺には潮岬、輪島、米子、福岡の4地点で1日4回(3, 9, 15, 21時)高層気象観測が行われている。米子での観測値に特に重みをつけて風向、風速データを逆転層以上の計算格子点に初期条件として取り込む。

(6) 初期条件

海拔0mにおける温位、風向、風速についてはアメダス観測所における日本標準時(JST)0時の観測値から概算して与える。海拔0mの気圧は広島地方気象台のJST0時における値を用いる。海面温位の初期値は第六管区海上保安本部海洋情報部の月平均値のデータより概算する。

4. モデルの検証

(1) 計算対象日時

本研究の目的より、地表面条件の変化が大気熱環境に大きく反映される日を選定してシミュレーションを実施する。日本列島が高気圧に覆われる夏場の晴天日として、1999年8月10, 11, 12日を計算対象日時とした。表3のように初期条件を設定し、地表面条件としてアルベド、粗度、土壌水分量を図3のように設定した。

(2) 計算結果

第3メッシュの広島地点における気温、風速、風向についてアメダス観測値と計算結果の比較を図4に示す。計算

表3 初期条件

対象日時	1999年8月10日~12日	
海面温位	299K	
海拔0m気圧	1008hPa	
計算時間	72hr	
初期風	風速	6m/s
	風向	270°(西)
初期温位勾配	高度1000m未満	0.001K/m
	高度1000m以上	0.003K/m

値(hotmac)とアメダス観測値(amedas)の関係を見てみると日中は計算値が低く評価されており、夜間は高く評価

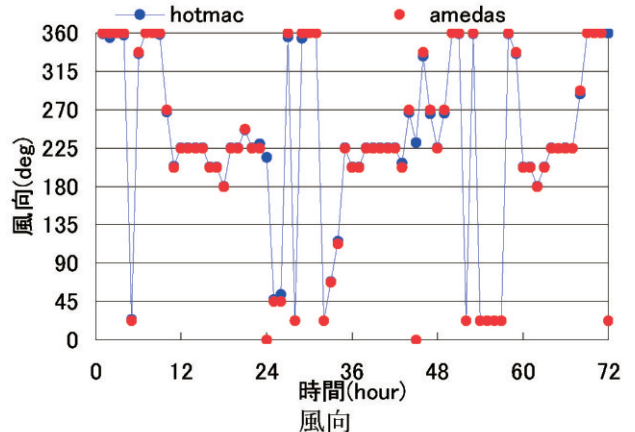
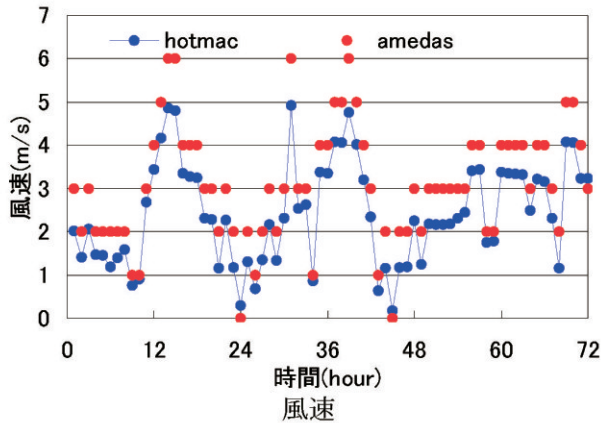
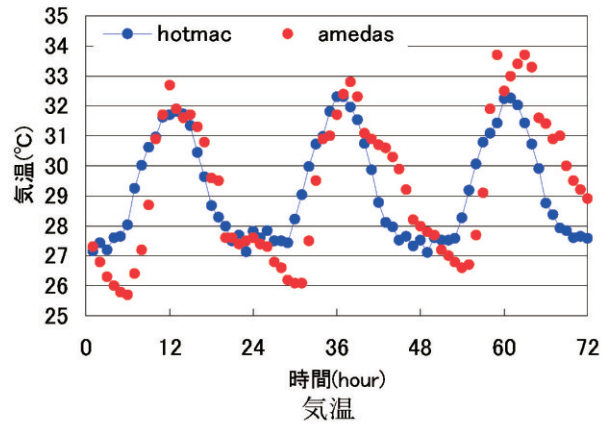


図4 計算結果とアメダスデータの比較

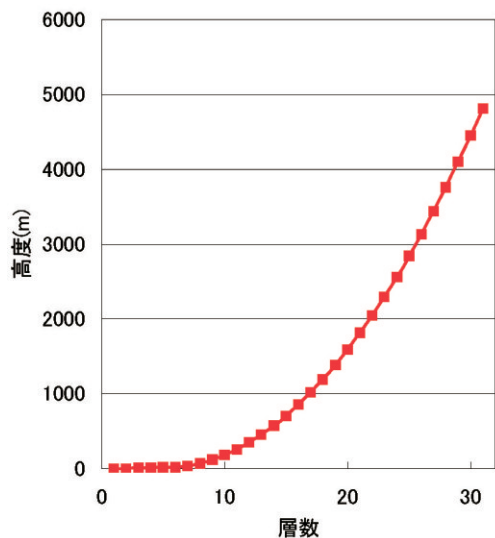


図5 計算格子鉛直分布

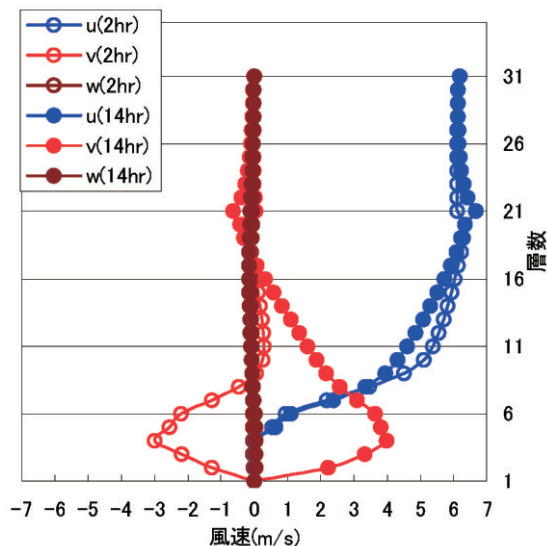


図6 風速鉛直分布(計算値)

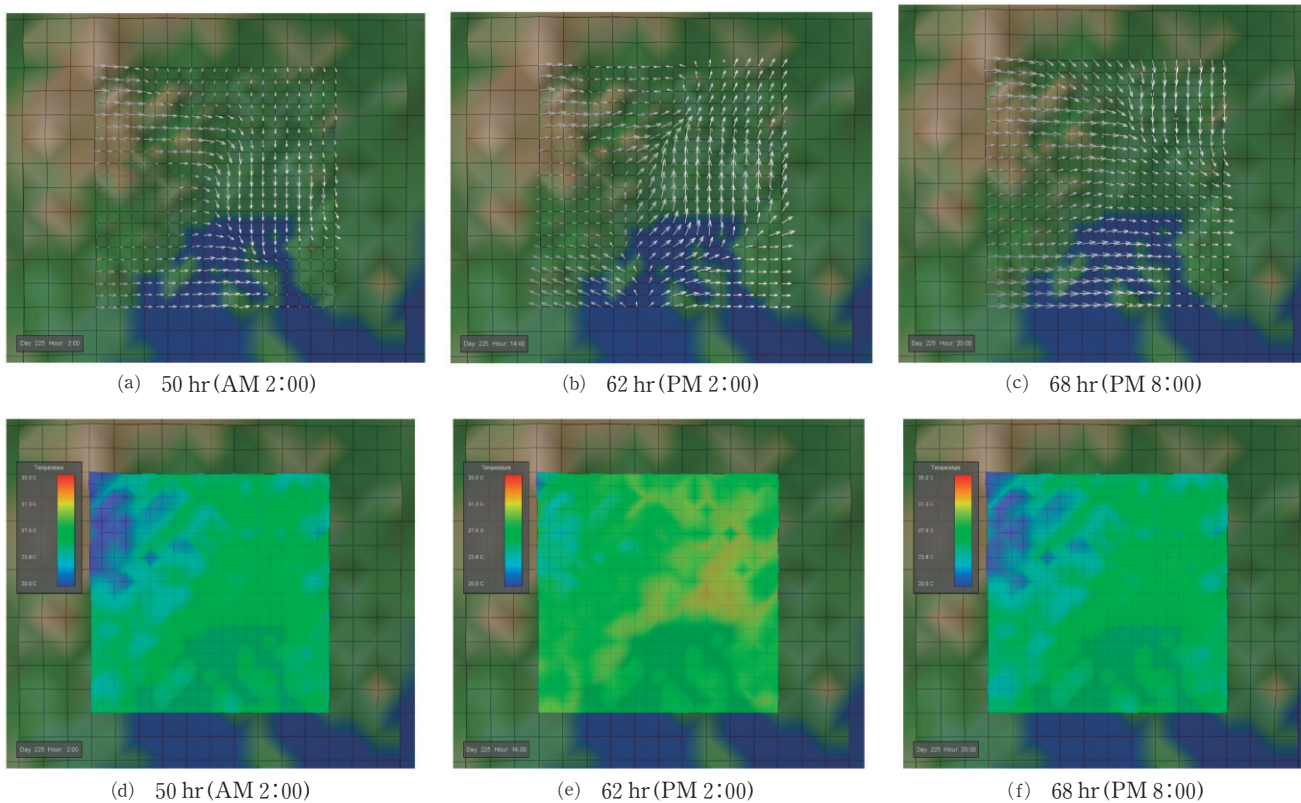


図7 1999年8月12日経時変化

されていることが確認できる。また計算値は一様な日周変化をしているが観測値は最高気温、最低気温ともに上昇傾向であることが確認できる。風速は計算値がアメダス観測値よりも平均0.6m/s小さく評価されており最大で1.2 m/s小さく評価された。風向は計算値とアメダスの観測値の差がほぼ無くなりかなりの精度で再現されているといえる。以上のことより計算結果は気温や海陸風パターンの日周変化を概ね再現していることが分かる。

次に鉛直方向の計算層と標高の関係を図5に示す。計算格子は鉛直方向には低層では密に、高層になるに従って間

隔が粗くなっている。これは接地層付近においては摩擦力の影響を受ける風速の変動が大きくなるために密に計算格子を設定するためである。1999年8月12日の2時と14時における広島地点上空の東西、南北、鉛直方向風速 u , v , w の鉛直分布を図6に示す。

広島市においては晴天時には海陸風が観測されており、それにより熱・物質の移流・拡散といった大気環境に影響を与えている。図6を見ると低層部において夜間の陸風 ($v < 0$)、日中の海風 ($v > 0$) が再現されている。それに伴う反流も高層において再現されていることがわかる。

(3) 計算結果の可視化

第3メッシュにおける風、気温の経時変化を図7に示す。図2(c)に広島、可部、呉の計算地点を示している。まず広島について着目してみると、海陸風が再現されていることが確認できる。内陸部となる可部に着目すると広島と似た風系が再現されている。68hrの時点で海風の切り替わりが広島よりも早く陸風の時間が長い。この風系は局地風である山谷風の影響を受けていると考えられる。続いて呉に着目すると風の強さは広島に比べて小さいが広島と同様に海陸風が再現されていると確認できる。可部は先にも述べたように内陸部となるため海風が他の2地点に比べると小さい風である。

場全体を見ると内陸部側は山筋に沿うように風が吹いており、昼間は都市部の風が他の地域に比べ強めに吹いている。また気温の変化は都市部となる広島は夜間でも25℃を越える熱帯夜となっており他の地域に比べると1℃以上高い。日中は約9割の地域で30℃を越えていることが再現され真夏日であったことが確認できる。

(4) 計算結果の精度

向井¹⁾によると地球物理学分野におけるシミュレーションモデルの評価指標として Willmott(1982), Willmott et al(1985)はいくつかの総計量を提案している。

計算結果とアメダス観測値の誤差を表す指標として以下に示すモデル一致性インデックス d (index of agreement) を用いる。

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (1)$$

$$P_i = P_i - \bar{O} \quad (2)$$

$$O_i = O_i - \bar{O} \quad (3)$$

$$\bar{O} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i \quad (4)$$

(1)式より求められるモデル一致性インデックス d は、計算値と観測値が完全に一致した場合は $d=1.0$ 、全くの不一致の場合は $d=0.0$ を示す。ここで P_i は各地の計算値、 O_i は各地の観測値、 n はデータ数である。今回モデル一致性インデックスは1時間ごとに72時間まで評価する。

図8に気温、風速、風向に関するモデル一致性インデックスの経時変化を示す。気温は日中に特に誤差が大きく夜間には誤差が小さくなる傾向にある。平均のモデル一致性インデックスは $d=0.56$ となり今回の計算は気温場に関しては、あまり良い精度とはいえない。風速は大きく誤差が生じたのは夜間であり日中は誤差が小さくほとんどの時間において $d > 0.7$ 、特に3日目は $d > 0.8$ であり今回の計算

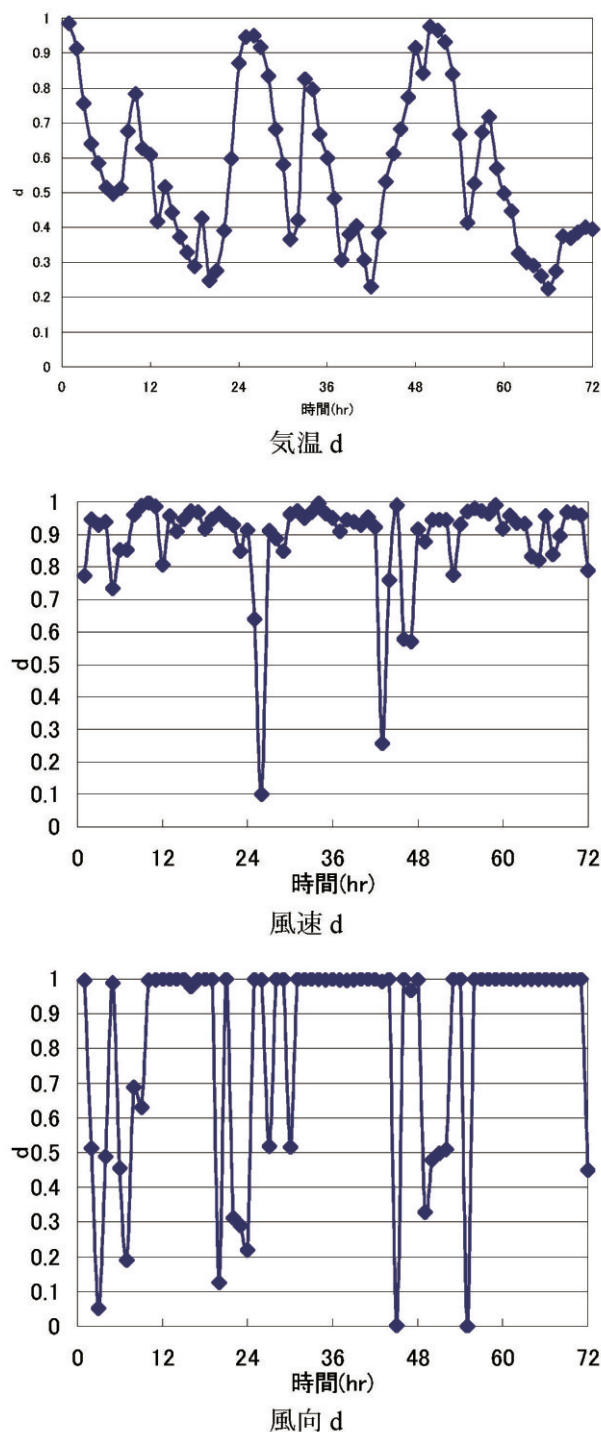


図8 モデル一致性係数 d 経時変化

においてはかなり良い精度である。風向は夜間に大きく誤差が生じ、日中の誤差は小さい。平均値は $d=0.82$ となり、場全体としての再現性は高いと考えられる。気温が観測値とのずれが大きく、改めて計算条件を検討する必要がある。

5. 結論

本研究では広島湾周辺を対象にして数値シミュレーションを行い、風系と温度場の再現を検討した。気温は計算値とアメダス観測値とばらつきが目立ち最大で約3℃のずれ

があった。風速，風向は計算値と観測値にずれが少なく良い精度で再現することが出来た。可視化によって広島湾周辺の海陸風の日周変化が確認できた。

今回の計算において気温の平均のモデル一致性インデックスが $d=0.4$ であり，あまり温度場が再現されなかった。こうした問題点を改善するために，①今回考慮しなかった第2メッシュ以上のアメダス観測点の追加，②高層気象の再検討等が今後の検討課題である。

参 考 文 献

- 1) 向井正志：広島湾周辺都市における海陸風特性と広域風系に関する基礎的研究，p.197，広島工業大学修士論文，2004
- 2) 清田忠志：広島市広域圏における夏季の海陸風が都市気候に及ぼす影響に関する研究，p.73，広島工業大学修士論文，2004
- 3) 田村満：広島湾周辺都市における海陸風特性とSPM挙動に関する研究，p.197，広島工業大学修士論文，2005
- 4) 宮崎賢二：広島県の海陸風，pp.13-pp.27，溪水社，1982
- 5) T.Yamada：A numerical simulation of urbanization on the local climate, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 81, pp.1-19, 1999
- 6) G.L.Mellor and T.Yamada：A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers, J.Atmos. Sci.31, pp.1791-1806, 1974