

局地気象モデルを用いた瀬戸内圏の風況解析と吹送流の応答特性

陸田 秀実*・市位 嘉崇**・秋山 佳明***・土井 康明****

本研究は、複雑地形を有する瀬戸内圏を対象とした大気海洋モデルを開発し、16 方位の風向によって形成される局地風の風況特性、さらには、これに伴う瀬戸内海の吹送流の応答特性を明らかにすることを目的としている。瀬戸内圏を対象とした大気海洋モデルは、局地気象モデル ARPS と海洋モデル POM に基づきモデル構築がなされている。その結果、瀬戸内海では、個々の海域周辺の 3 次元的地形効果によって吹送流の応答特性が大きく異なることが明らかとなった。つまり、瀬戸内海のように四方陸地に囲まれた閉鎖性海域の気象・海象特性を把握するには、3 次元局地風や瀬戸内海特有の海岸・海底地形を無視することは出来ないことが明らかとなった。

1. はじめに

瀬戸内圏は、四国南部に接近・来襲する台風や山陰地方の降雪を除くと全般に穏やかな気象である。しかしながら、東西に帯状に連なる中四国山地と中央に位置する瀬戸内海から成る複雑な海陸分布は、「やまじ風」や「広島風」といった日本三大局地風を形成し、局地的な気象災害をもたらすことがしばしばある。瀬戸内海のように四方陸地に囲まれた閉鎖性海域の気象・海象特性を把握するためには、瀬戸内圏の複雑な風況及びこれに伴う瀬戸内海の吹送流を包括的かつ高解像に取り扱う必要がある。本研究では、瀬戸内圏を対象とした大気海洋モデルを開発し、16 方位の風向によって形成される局地風の特徴、さらには、これに伴う瀬戸内海の吹送流の応答特性を明らかにすることを目的とする。

2. 数値計算手法

(1) 瀬戸内圏の大気海洋モデルの概要

複雑地形を有する瀬戸内圏の風況シミュレーションには、オクラホマ大学ストーム解析センターが開発した局地気象モデル ARPS (Xue ら, 1995) を用いた。この大気モデルは非静水圧大気予報モデルであり、鉛直方向には地形に沿った境界適合座標を用いている。一方、複数の灘と瀬戸を有する瀬戸内海の吹送流の数値シミュレーションには、著者ら (2002) が昨年度開発した POM (Mellor, 1998) に基づく海洋モデルを用いることとした。この海洋モデルは密度一定の準 3 次元 Barotropic モデルとして扱い、複雑な海底地形を有する瀬戸内海に適用した。また、海面境界の風応力は、気象モデルより得られた最下層の非定常な風況分布を毎時刻与え、大気と海洋の運動量輸送の結合を行った。

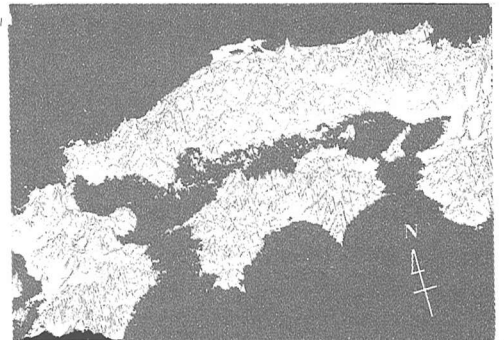


図-1 大気モデル ARPS の計算領域

(2) 計算領域と計算条件

図-1 に示すように、大気モデルによる局地風の計算領域は大阪から九州までの西日本全域とした。また、瀬戸内圏の複雑な地形変化を考慮するため、格子解像度は水平方向約 4 km メッシュ、鉛直 14 層(最小間隔 100 m)とした。初期風速は鉛直方向に対数則を仮定し、地表面において 10 m/s となる一様風を風向 16 方位(全 16 ケース)より与えた。時間刻みは 6 s とし、計算時間は風向・風速がほぼ定常状態となる約 6 時間とした。

一方、海洋モデルによる吹送流の計算領域は瀬戸内海全域とし、格子は水平方向約 2 km メッシュ、鉛直方向 10 層とした。時間刻みは、外部モード 5 s、内部モード 60 s とし、計算時間は大気モデルと同様に約 6 時間とした。なお、本計算では局地風が吹送流に与える影響を明らかにすることを目的としているため、外洋潮汐は無視した。

3. 数値計算結果

(1) 局地風と吹送流の空間分布

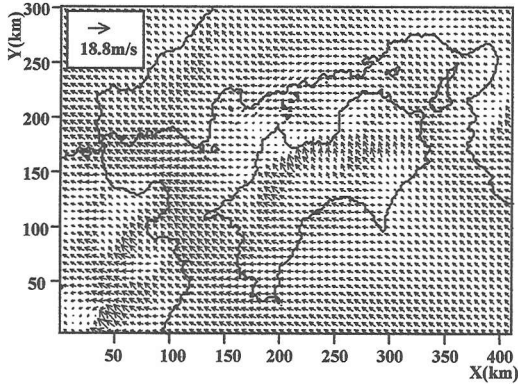
図-2 は、夏季に比較的多い南東の風向を与えた場合の 6 時間後の風況、表層の吹送流および潮位分布を示したものである。図より、南東の局地風の通り道である豊後水道から周防灘に向かう海域では、北西の吹送流が強化されていることが分かる。また、風上側の四国山地の

* 正会員 博(工) 広島大学助教授大学院工学研究科社会環境システム専攻
** 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻
*** 修(工) 気象庁
**** 正会員 工 博 広島大学教授大学院工学研究科社会環境システム専攻

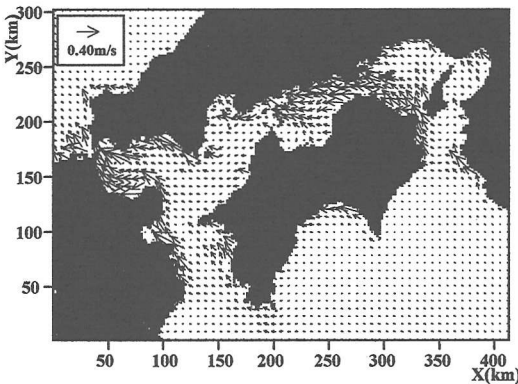
影響によって風下側の広島湾、燧灘、備讃瀬戸において局地風が弱められているにも関わらず、鳴門海峡から備讃瀬戸を通して燧灘に向かう吹送流が卓越していることが分かる。これらの流況に伴って、周防灘奥部や燧灘において高潮位となっている。

図-3 は、冬季に比較的多い北北西の風向を与えた場

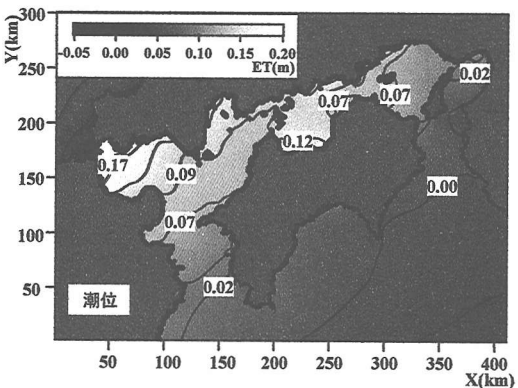
合の6時間後の風況、表層の吹送流および潮位分布を示したものである。図より、北北西の局地風の通り道である紀伊水道及び豊後水道において風速が強化され、これに対応して南向きの吹送流が卓越し、海水が外洋に流出していることが分かる。また、紀伊水道の南下流を補償する流れが播磨灘の四国沖で卓越し、鳴門海峡において



(a) 風況分布

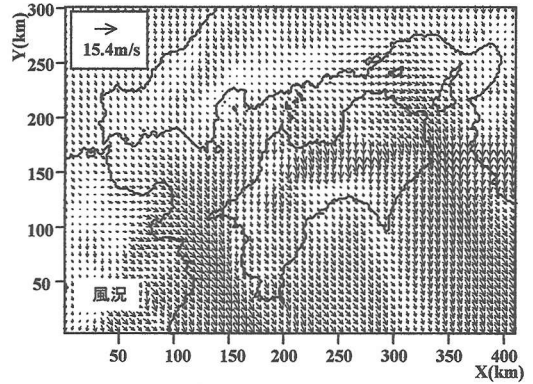


(b) 吹送流

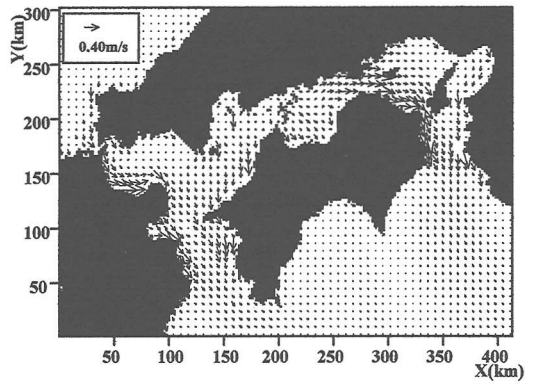


(c) 潮位分布

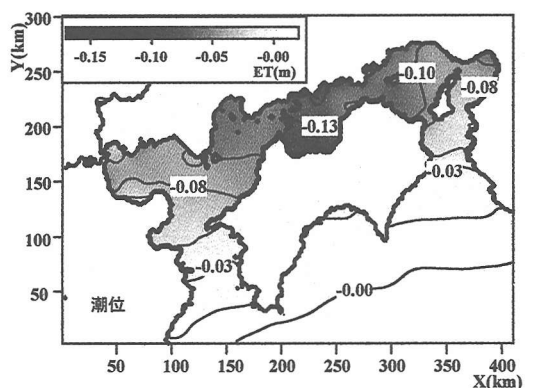
図-2 南東風の場合



(a) 風況分布

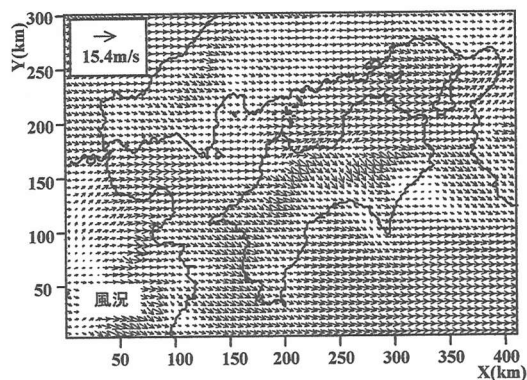


(b) 吹送流

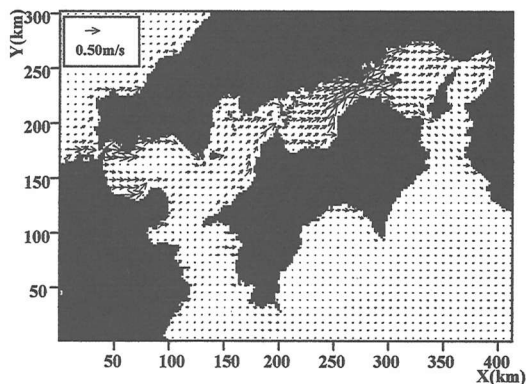


(c) 潮位分布

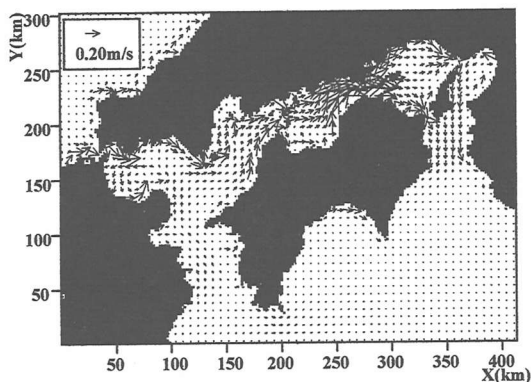
図-3 北北西風の場合



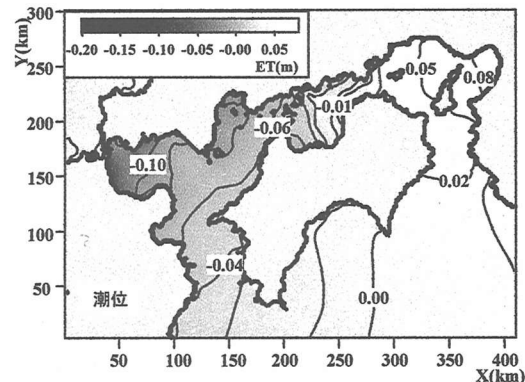
(a) 風況分布



(b) 表層の吹送流



(c) 底層の吹送流



(d) 潮位分布

図4 西風の場合

吹送流が最も強化されていることが分かる。その結果、潮位は外洋で高く、陸地で最も低くなり、外洋との潮位差は最大0.2 mにまで及ぶことが分かる。

図4は、西風の風向を与えた場合の6時間後の風況、表層と底層の吹送流及び潮位分布を示したものである。図より、東西に帯状に開けた瀬戸内海の上空は西風の局地風の通り道である。特に、陸域及び海域ともに狭くなる瀬戸や備讃瀬戸において、表層の吹送流が東向きに強化されていることが分かる。また、この時の潮位分布は、風下側の大阪湾で最も高く、風上側の周防灘で最も低くなっており、瀬戸内海全体で東西に水面勾配が生じていることが分かる。さらに、周防灘、広島湾南部(安芸灘)、大阪湾、紀伊水道において、吹送流の表層と底層の流向が異なっていることが分かる。つまり、西風の局地風の場合、瀬戸内海の3次元的な複雑地形と瀬戸内海の複雑な海岸・海底地形によって、これらの海域では鉛直循環が促進されることを意味している。

以上のことから、瀬戸内海のように四方陸地に囲まれた閉鎖性海域の気象・海象特性を把握するためには、瀬

戸内海の複雑地形によって形成される3次元的な局地風や瀬戸内海特有の海岸・海底地形を無視することは出来ないことが分かる。

(2) 湾・海峡・灘における局地風と吹送流の応答特性

ここでは、瀬戸内海特有の湾、海峡及び灘における吹送流とその近辺の局地風との関連性について、16方位の風向結果を基に考察する。

図5は、広島湾北部海域と広島市における16方位の局地風の風向・風速および吹送流の流向・流速分布を示したものである。なお、●印は東西方向、▲は南北方向を示し、それぞれ東向き及び北向き方向を正としている。

また、太線はゼロを示しており、このラインよりはるほど流れが強いことを表す。図より、この地域では5 m/sを越える南南東～南南西の局地風が形成され、これに伴って、北向きの吹送流が卓越していることが分かる。また、広島市北東部には谷筋が形成されており、風の通り道となっているため、特に北北東の局地風の場合、南西の吹送流が強化されることが分かる。これらの風況

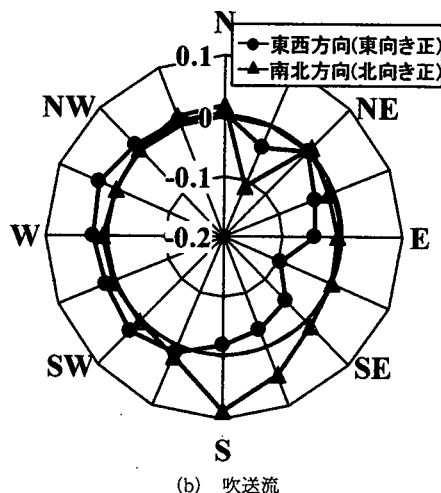
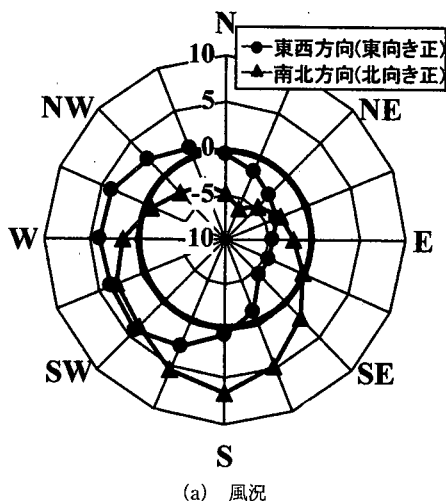


図-5 広島湾

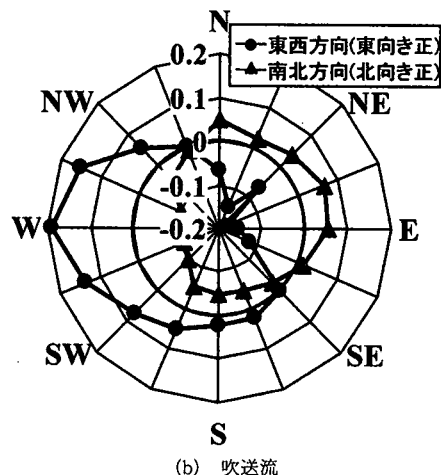
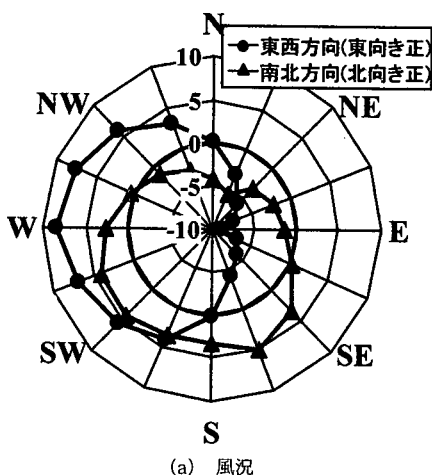


図-6 来島海峡

及び吹送流の特徴は、東西及び北部に山間部が形成され、かつ南向きに湾が開けている広島湾周辺の特有な地形効果によるものである。

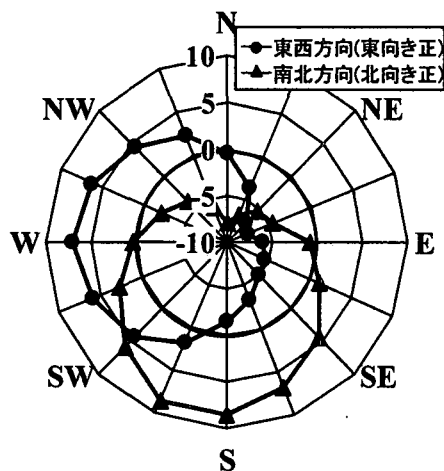
図-6 は、来島海峡とその周辺の今治市における 16 方位の局地風の風向・風速および吹送流の流向・流速分布を同様に示したものである。この海域では、弱いながらも 5 m/s 以下の南北方向の局地風が吹いた場合、それとは直角方向の東西の吹送流が卓越しており、この海峡においては南北方向の吹送流はほとんど発生しないことが分かる。これは、来島海峡が東西方向に開けた狭い海峡であり、南北方向には中国・四国山地が迫っているという地形的特徴によるものである。

図-7 は、伊予灘における 16 方位の局地風の風向・風速および吹送流の流向・流速分布を同様に示したものである。図より東西および南北方向の局地風と吹送流の 16

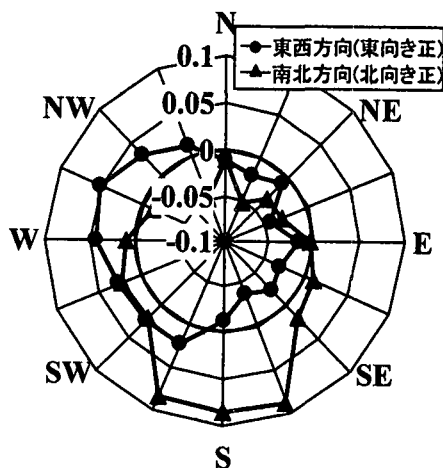
方位の分布は、ほぼ対応しており、この海域では局地風および吹送流に対して地形的影響はほとんどないことが分かる。これは、伊予灘周辺に局地風を遮る複雑地形がなく、東西南北に開けた海域であることが理由と考えられる。

図-8 は、播磨灘における 16 方位の局地風の風向・風速および吹送流の流向・流速分布を同様に示したものである。図より、北東風の場合の東西流および北風の場合の南北流において吹送流が発生しないことが分かる。これは、播磨灘北部に位置する高く険しい中国山地によって、北及び北東の局地風が遮られたことが主な原因である。したがって、この方角の局地風は播磨灘上空では吹きにくく、この方向の吹送流も発生しにくいことが明らかとなった。

以上示したように、瀬戸内海では、個々の海域周辺の

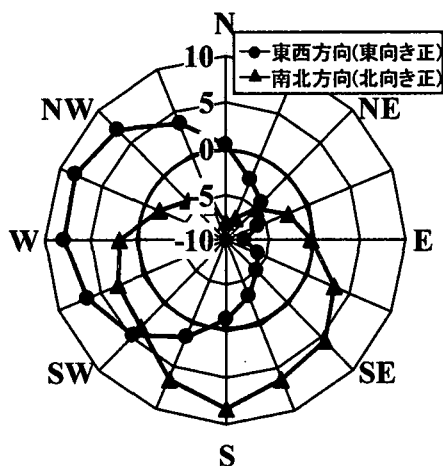


(a) 風況

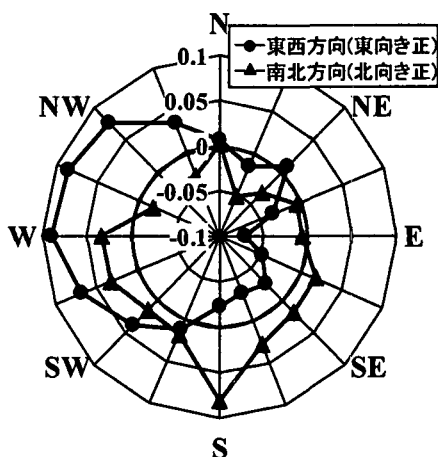


(b) 吹送流

図--7 伊予灘



(a) 風況



(b) 吹送流

図--8 播磨灘

3次元的地形効果によって吹送流の応答特性が大きく異なることが明らかとなった。この他10地点の吹送流についても同様の結論づけが可能であった。

4. おわりに

本研究では、瀬戸内圏を対象とした大気海洋モデルを用いて、瀬戸内圏全域の3次元の複雑地形を考慮した風況解析及びこれに伴う瀬戸内海の吹送流の応答特性を調べた。その結果、瀬戸内海では、個々の海域周辺の3次元的地形効果によって吹送流の応答特性が大きく異なることが明らかとなった。つまり、瀬戸内海のように四方陸地に囲まれた閉鎖性海域の気象・海象特性を把握

するためには、瀬戸内圏の複雑地形によって形成される3次元の局地風や瀬戸内海特有の海岸・海底地形を無視することは出来ないことが明らかとなった。

参考文献

- 陸田秀実・土井康明・市位嘉崇 (2002): 沿岸海洋モデルによる来島海峡の潮位分布と潮流の3次元構造の解明, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 376-370.
- Mellor, G. L. (1998): USERS GUIDE for ATHREE-DIMENSIONAL PRIMITIVE EQUATION NUMERICAL OCERN MODEL, Princeton University.
- Xue, M., K. K. Droegemeier, V. Wong, A. Shapiro and K. Brewster (1995): ARPS Version 4.0 User's Guide, Center for Analysis and Prediction of Storms (CAPS).