

# 内海・内湾における風候と確率風速の評価

ESTIMATION OF WIND CLIMATES AND RETURN WIND SPEEDS IN THE  
INLAND SEA AND INNER BAY AREAS OF JAPAN

山口正隆<sup>1</sup>・大福 学<sup>2</sup>・日野幹雄<sup>3</sup>・野中浩一<sup>4</sup>・畑田佳男<sup>5</sup>  
Masataka YAMAGUCHI, Manabu OHFUKU, Mikio HINO,  
Hirokazu NONAKA and Yoshio HATADA

<sup>1</sup>正会員 工博 愛媛大学大学院理工学研究科教授 生産環境工学専攻 (〒790-8577 松山市文京町3)

<sup>2</sup>愛媛大学工学部 技術専門職員 環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3)

<sup>3</sup>正会員 工修 株式会社テクノシステム (〒693-0034 島根県出雲市神門町735-3)

<sup>4</sup>正会員 博(工学) 愛媛大学契約職員 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3)

<sup>5</sup>正会員 博(工学) 愛媛大学大学院理工学研究科講師 生産環境工学専攻 (〒790-8577 松山市文京町3)

Wind climates and return wind speeds on the Seto Inland Sea, Ise Bay and the Kanto Sea Area including Tokyo Bay are estimated by making use of a data set of sea winds, which were made on the basis of spatial interpolation of the long-year measurement data at many coastal and sea stations on the areas augmented by the ECMWF analysis/reanalysis wind data at some selected points near the open sea boundaries. The analysis reveals dominant northwesterly wind climates in winter and southerly wind climates in summer on the areas, and a strong dependence of wind climates on the topographical conditions surrounding the concerned areas. In addition, estimate of the 50-year return wind speed is shown to be location-dependent which ranges from 25 m/s to 35 m/s associated with local enhancement of 40 m/s, although underestimations are seen on the open sea areas.

**Key Words :** Seto Inland Sea, Ise Bay, Tokyo Bay, wind climates, return values, measurement data

## 1. 緒言

風場が地形の影響を強く受ける内海・内湾における海上風分布の推定法として、台風モデル法や天気図解析法などで得た傾度風の空間分布をマスコンモデルにより修正する方法<sup>1)</sup>が開発され、実用に供されてきた。また最近になって、高地形解像度条件でのメソ気象モデルの適用もはかられている。しかし、この方法は膨大な計算時間を要するために、年単位以上の期間に対する適用の事例<sup>2),3),4)</sup>は限られる。

一方、山口ら<sup>5),6),7)</sup>は内海や内湾の沿岸部や海上部で約10年以上にわたり得られた多数地点の1時間間隔風観測資料を主体とした風資料の空間補間によって、長期の海上風分布資料を作成し、これを入力条件として得た波浪推算資料と観測資料との比較に基づいて波浪の推算精度を検証している。しかし、当該研究事例は長期波浪推算システムの適用性の解明を主な目的とすることから、必ずしも海上風分布の特性を包括的に検討していない。

そこで本研究では、図-1の地図に枠組みで範囲を示す瀬戸内海(1983~2005年の23年間)、伊勢湾(1994~2003年の9年間)、東京湾から駿河湾に至る関東沿岸海域(1979~2004年の26年間)で山口ら<sup>5),6),7)</sup>が作成した長期の海上風分布資料を利用して、各海域における異常気象擾乱時の海上風分布の特性や風の気候学的特性(風候)および風速の極値(確率風速)の特性を調べる。

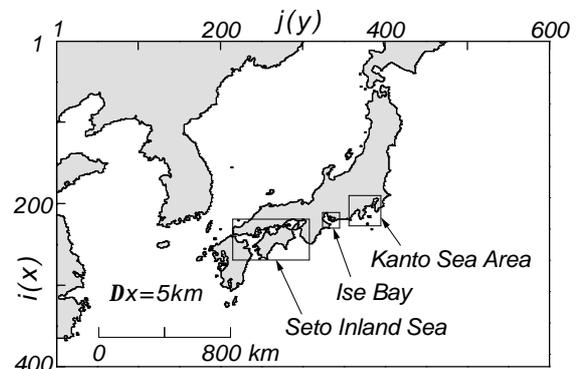


図-1 海上風分布を推定する3領域の範囲

## 2. 海上風分布の推定法

### (1) 風観測資料の海上風資料への変換

風観測資料の時間間隔は1時間と2時間、観測地点は沿岸地点と海上地点よりなる。2時間間隔資料は風速を2時刻の値の平均値により、風向を2時刻の各風速成分の平均値に対する逆正接関数演算により、1時間間隔資料とする。欠損を含む観測資料は3時点までの欠損部に対して、その前後の資料を用いた線形補間による補充、ついで近接地点の風観測資料との相関を考慮した補充、さらにECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) 提供の表面風解析資料<sup>8)</sup> (ECMWF風資料) の補充を通じて、長期間の1時間間隔資料としたのち、1/7乗則の適用によって10 m高度風速に変換し、さらに観測地点ごとに経験的に決めた係数(1.0~1.3)を乗じて10 m高度の海上風速( $U_{10}$ )資料とする。風向に対する高度補正や海上風補正は行わない。

### (2) 海上風分布資料の作成方法<sup>5,6,7)</sup>

沿岸部や海上部の観測地点における1時間ごとの10 m高度海上風資料と対象領域の外洋境界端付近に位置する複数地点の10 m高度ECMWF風資料の1時間間隔補間値<sup>8)</sup>を用いて、海上風分布資料をつぎの順序で作成する。

風観測地点とECMWF風資料入力地点における風速資料および風速成分資料にそれぞれ加重1次補間法<sup>9)</sup>を適用して、領域内海上部に設けた複数の仮想地点における風速・風向資料を観測資料の全期間にわたり作成する。

海上部の仮想地点における風速が周囲の沿岸部より強い特性を再現するために、風観測資料地点と仮想地点における累年平均風速を考慮して仮想地点ごとに経験的に定めた係数(1.05~1.20)を当該仮想地点における風速に乗ずることによって、風速を増強する。

風観測資料地点やECMWF風資料入力地点および仮想地点における1時間ごとの風速と風速成分の各資料に加重1次補間法<sup>9)</sup>を再度適用して、対象領域に設けた格子間隔2 kmの格子網上の風速・風向を求め、そのデータセットを観測資料の全期間について作成する。

図-2は瀬戸内海、伊勢湾、関東沿海岸域の3領域における風観測地点、仮想地点およびECMWF風資料入力地点の位置を示す。各図中の印は沿岸風観測地点、印は海上風観測地点、印は仮想地点、印はECMWF風資料入力地点、の位置を表す。瀬戸内海では風観測地点数は最大57(海上風観測地点数は最大11)、仮想地点数は16、ECMWF風資料入力地点数は7である。伊勢湾では風観測地点数は最大17(海上風観測地点数は最大9)、仮想地点数は2である。ECMWF風資料は入力資料として使用していない。関東沿海岸域では風観測地点数は最大22(海上風観測地点数は最大9)、仮想地点数は12、

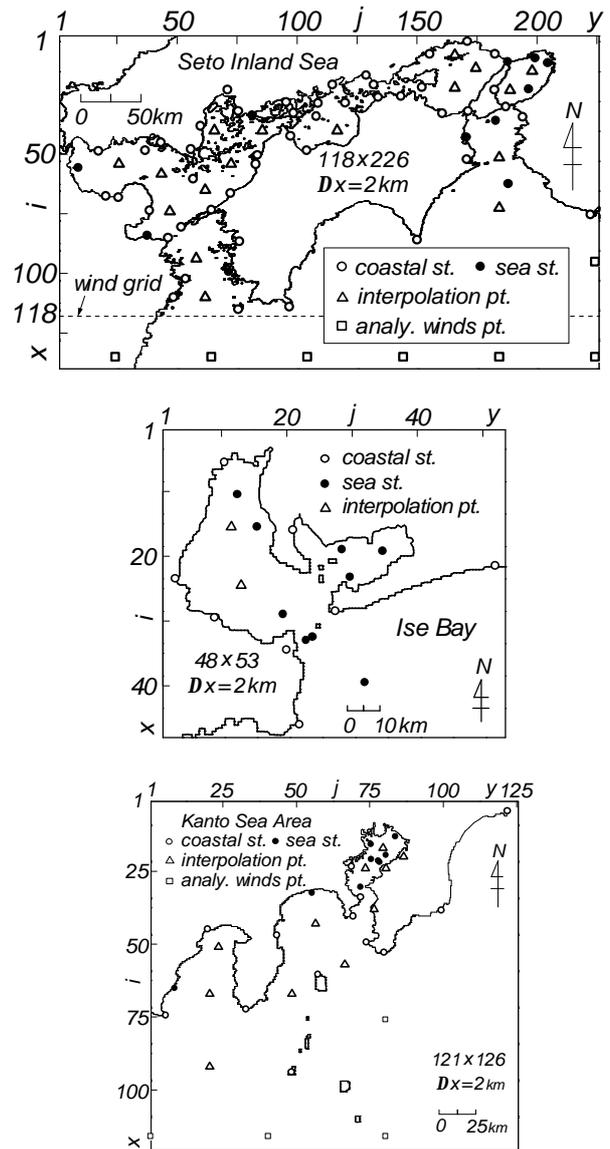


図-2 3領域における風観測地点、仮想地点およびECMWF風資料入力地点の位置

ECMWF風資料入力地点数は4である。

## 3. 海上風分布の特性

### (1) 異常気象擾乱時の海上風分布

図-3は瀬戸内海、伊勢湾、関東沿海岸域の3領域における1995年11月8日2時の海上風分布を示す。11月7日に日本海をNE方向に進みながら急激に発達し北海道の北部で956 hPaの最低気圧を記録した異常低気圧は、11月7~9日にかけて日本全国に強風をもたらした。

瀬戸内海では、全体として風速10~18 m/s、風向WNW寄りの強風場となっている。小海域別には、西部海域では周防灘から豊後水道に沿うように風向を変えるのに対して、伊予灘ではNW方向の風向をとる。燧灘な

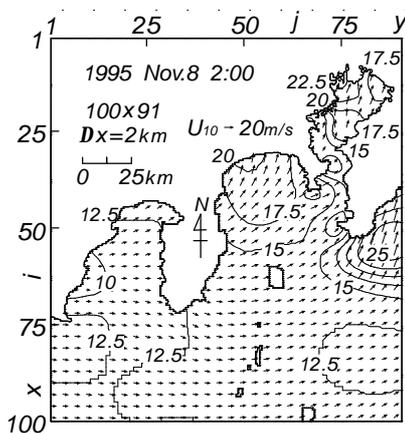
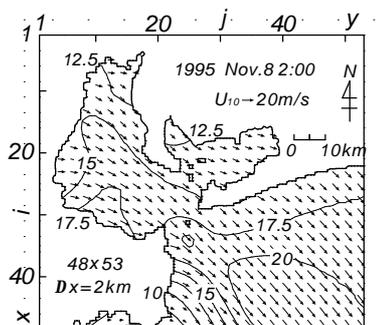
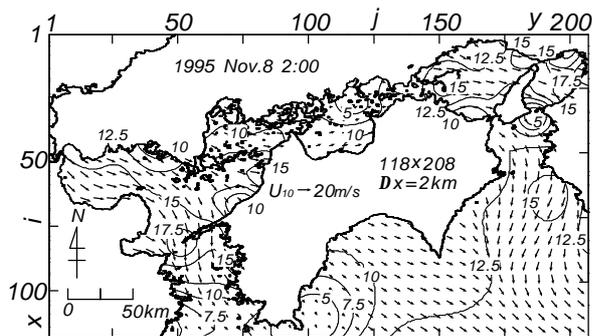


図-3 低気圧時における海上風分布の1例

どの中央部海域では風速は5~10 m/sと他の小海域に比べて小さく、風向はW~WSWをとっている。東部海域では播磨灘から大阪湾にかけて風速は12~18 m/sを与え、風向もWNW寄りであるが、紀伊水道では風向をNNW~NNE方向に変化させる。周辺地形の複雑な瀬戸内海では風速・風向ともに小海域ごとに多様な変化を示す。

伊勢湾では、風向はおおむねNWであり、風速は湾奥の12 m/sから湾外の20 m/sに向けて増大する。また、風速は沿岸部で小さく、海上部で大きい。

関東沿岸域では、風向が駿河湾沖合海域のW方向から相模湾とその沖合および東京湾のSW方向に向けて反時計方向に変化し、風速は駿河湾沖合の12 m/sから相模湾沖合の15 m/sを経て東京湾の20 m/sに増大する。東京湾内では地形の影響が著しいことから、風速の空間変化も

大きいけれども、概略値として南部で15 m/s、北部で20 m/sを与える。また、風速は各小海域の北部で大きい。

以上のように、対象海域を囲む沿岸部と海上部の多数地点で取得された風観測資料を用いて推定した各領域の海上風分布は、風速・風向とも広い範囲であまり顕著な空間変化を伴わないという意味で、低気圧時の風特性をよく再現しており、不自然な空間変化を与えない。

## (2) 風候の特性

図-4は3領域でそれぞれの全資料期間において算出した季節別平均風速・風向の空間分布を、冬季(12~1月)と夏季(6~8月)について示す。各領域における資料期間は瀬戸内海で23年、伊勢湾で9年、関東沿岸海域で26年と異なるが、各領域の資料期間を伊勢湾のそれに合せてもそれぞれの特性に有意な差は生じない。

まず瀬戸内海において、冬季にはNW方向の風が領域全体で卓越する。風速も西部海域や中央部海域の燧灘・備後灘と東部海域のうち播磨灘で4~5 m/sであるのに対して、大阪湾で5.5 m/s、紀伊水道で6~7 m/sに達し、他の海域より大きい。また、夏季には風向はS寄りに変化し、風速も冬季に比べて約1 m/s小さい。小海域別には、風向は西部海域の豊後水道から周防灘にかけてS方向からSE~E方向に、伊予灘にかけてSSE方向に、一方、東部海域の紀伊水道から大阪湾にかけてS方向からSW~W方向に、播磨灘にかけてSE方向に変化する。中央部海域の燧灘ではSE方向の風の間となっている。このように、風向の間は全体として冬季でNW方向、夏季でS寄りの方向に大別される。風速は、東部海域では季節によらず播磨灘や大阪湾から紀伊水道にかけて大きくなり、さらに外洋に向けて増大するのに対して、西部海域では佐田岬付近の局所的な増強を除いて、周防灘や伊予灘などの内海部と外洋に接続する豊後水道における風速の差は小さいのが特徴的である。これは九州の影響によると推測される。中央部海域の燧灘・備後灘では、周囲の地形の影響が最も強いことから、西部海域や東部海域に比べて風速は小さい。

伊勢湾では、冬季にNW方向の風が卓越し、風速は湾奥の4 m/sから湾外・外海の8~10 m/sに向けて2倍以上増大する。夏季には卓越風向は湾外でS方向、湾内でSE方向を示すが、風速は湾奥の4 m/sから湾外の5.5 m/sに向けて増加するという挙動(約40%)は類似する。しかし、風速は湾奥で冬季とあまり差をもたないのに対して、湾外に向けては冬季ほど大きい値をとらない。すなわち、平均風速の季節変化(年較差)は、湾外から湾奥に向かうほど小さい傾向にある。いずれにしろ、伊勢湾のNW-SE方向の湾軸は年間を通じて若狭湾から伊勢湾に至る風の通り道になっている。

関東沿岸海域では、冬季には風向NW、風速5~7 m/sで沿岸から沖合に向けて増加する風の間、夏季には風向

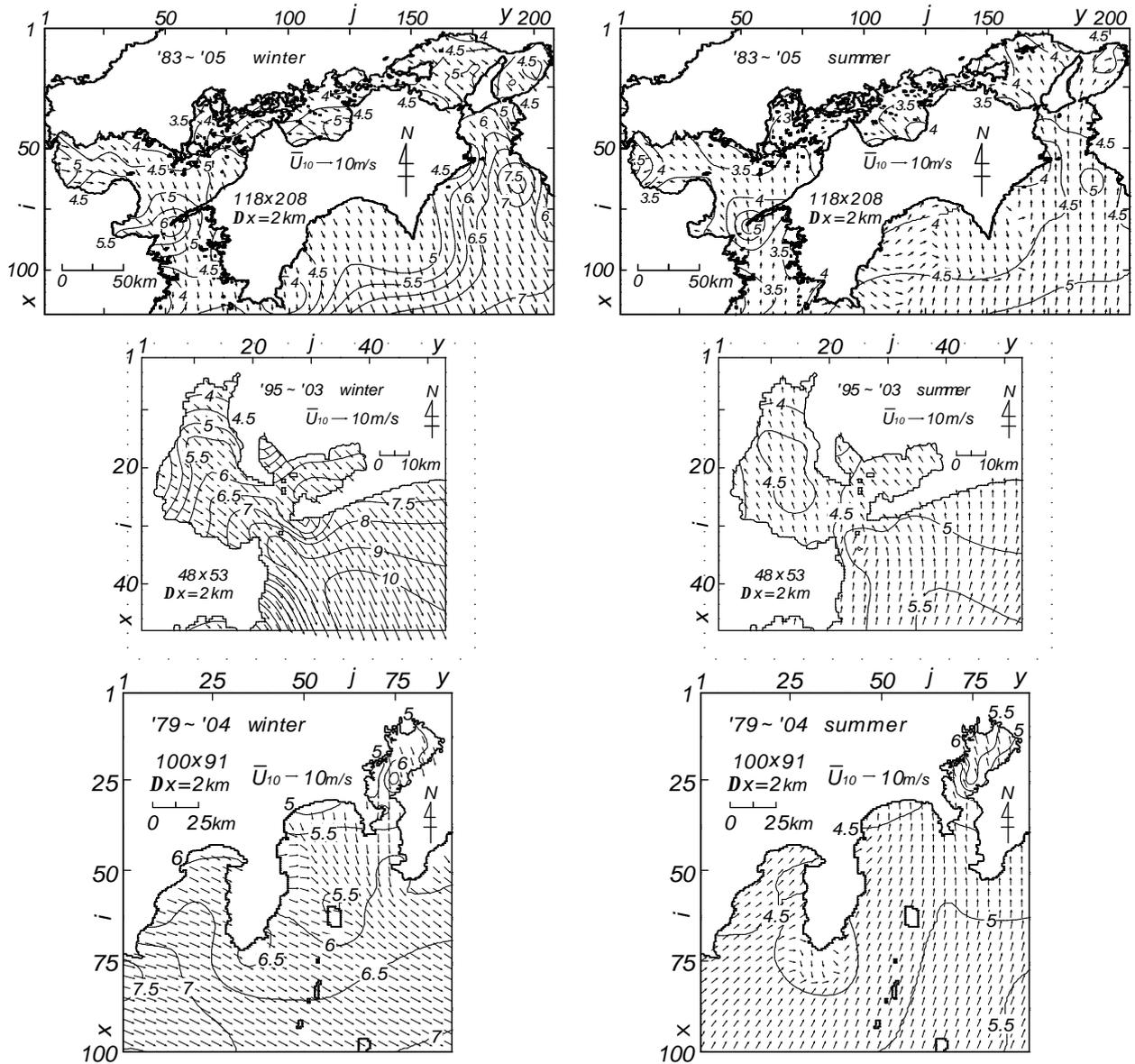


図-4 冬季および夏季における累年平均の海上風分布

SW～SSE，風速4～5.5 m/sの風の間となっている．風向の間は季節ごとに大きく変化するが，風速の間はあまり差を生じない．要するに，冬季にNWの風の間，夏季にS寄りの風の間が形成される．

3領域における平均風の間を沿岸方向にみれば，冬季における風速は伊勢湾沖で10 m/sを越えて最も強く，紀伊水道や伊豆半島沖で7 m/sと小さくなる．また，紀伊水道から豊後水道に向けても風速が減少する．この場合の風向は豊後水道から房総半島沖にかけておおむねNW方向をとる．一方，夏季では風速は高知沖や紀伊水道で5 m/s，伊勢湾沖から房総半島沖にかけて5～5.5 m/sをとり，沿岸方向にあまり差を生じない．風向はおおむねS寄り（SSW～SSE方向）である．

つぎに，図-5は累年平均風速で除した年別平均風速の

累年較差（年別平均風速の最大値と最小値の差） $D\tilde{U}_{10}$ の%値を3領域について示す．年別値を対象とするのは平均時間を長くにとって年別変動の幅を抑制するためと紙数の制約を考慮したためである．累年較差の1/2が累年平均風速からの最大変動範囲におおよそ相当する．

瀬戸内海では，累年較差はおおむね10～30%の範囲にある．小海域別では，豊後水道を含む西部海域，中央部海域および東部海域の大阪湾で20～30%，東部海域の播磨灘や紀伊水道で10～20%を与える．要するに，累年較差は播磨灘や紀伊水道でやや小さい点を除けば，あまり小海域ごとの特徴を示さない．

伊勢湾では，累年較差は5～15%であり，湾中央部で5%と小さく，湾奥部や湾口部で10%をとり，湾外でSE方向に向けて15%以上に増大する．

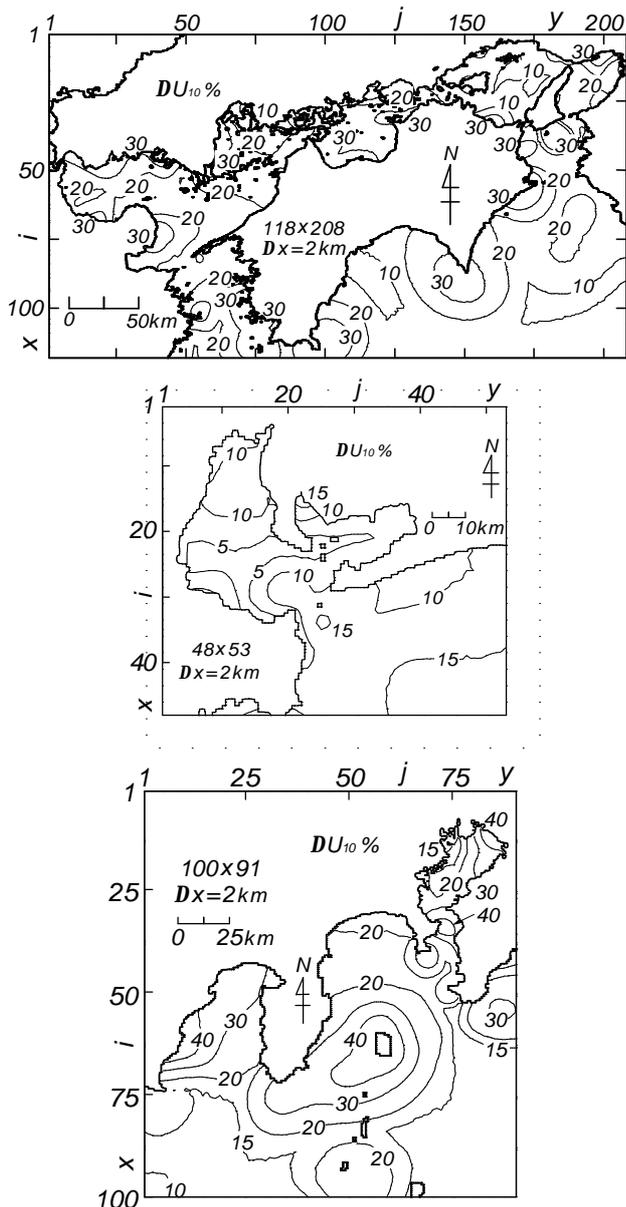


図-5 年別平均風速の累年較差の空間分布

関東沿岸海域では、累年較差は10～40%の範囲にある。小海域別では、伊豆大島周辺を除く外海部で10～20%を示すが、駿河湾中央部から西岸に向けて30～40%、伊豆大島周辺でも30～40%と大きい。東京湾内での累年較差は20～40%であるが、広い海域で30%以下を与える。

以上の結果を概括すると、累年較差は資料期間が9年の伊勢湾で5～15%、資料期間が23年の瀬戸内海や資料期間が26年の関東沿岸海域のうち外海部で10～20%、播磨灘を除く内海部や東京湾内で20～30%と評価される。また、資料期間を伊勢湾と同じ1995～2003年の9年とすると、瀬戸内海と関東沿岸海域における累年較差は10～20%となる。累年平均風速は資料期間が約10年であれば、資料期間によって有意な差をほとんど生じないことを考

慮すると、領域別の累年較差の相違は資料期間の長短に伴う自然変動と観測資料の非等質性に起因する変動の両者によると推測される。

### (3) 確率風速の特性

3領域の各格子点における1時間ごとの10 m高度風速資料から、基準風速を年別最大風速の最低値として各ストームごとのピーク風速を取り出し、極大風速(POT)資料を作成した。つぎに、POT資料に対してYamaguchi・Hatada<sup>10)</sup>のモデルを適用して、確率風速とその標準偏差の推定を行った。このモデルは候補分布をGumbel分布、27種類の形状母数( $k=0.5 \sim 10$ )のWeibull分布と20種類の形状母数( $k=2.5 \sim 40$ )のFT-型分布の合計48種類とし、母数推定を最小2乗法、最適分布の選択を相関係数最大基準、再現確率統計量の分散の推定をjackknife法による。

図-6は3領域における50年確率風速 $U_{RS0}$ を与える。瀬戸内海では、50年確率風速は西部海域のうち風が収束する豊予海峡の佐田岬付近で40 m/s、その周辺海域と周防灘西部の苅田沖で35 m/s、豊後水道で25～35 m/s、伊予灘で25 m/s、広島湾で30 m/s、中央部海域の燧灘で30 m/s、東部海域のうち播磨灘では南側の25 m/sから北側の35 m/s、大阪湾で30 m/s、紀伊水道で北側の30 m/sから南に向けて25 m/sとなる。紀伊水道の南側海域では、時空間解像度の低いECMWF風資料の影響が大きいことから、経験的にみても確率風速は明らかに過小評価となっている。確率風速の変動係数は、山口県下松付近や広島湾の8～12%を除けば、4～8%であるから、確率風速の推定値は統計的に有意と言える。

伊勢湾では、50年確率風速は湾口を中心とする湾外と湾内で25 m/s、そこから湾外へ30 m/s、湾奥へ35 m/sから40 m/sに増大する。湾奥の40 m/sという50年確率風速は、湾奥の観測地点で台風9807号時にたまたま得られた10 m高度最大風速33.1 m/s(第2位風速28.4 m/s)という突出した値によるものである。確率風速の変動係数は湾中央部から湾奥部に向けて15%から25%に増大し、推定値の信頼性が低い。それ以外の海域では、確率風速推定値の信頼区間の幅は狭い。しかし、伊勢湾における風資料期間が9年ときわめて短いので、今回の確率風速の推定値は概略値とみなされるべきである。

関東沿岸海域では、50年確率風速は外海で22.5～25 m/s、沿岸部と領域中央部で25～30 m/s、東京湾内で30～35 m/sとなり、湾奥で大きい。確率風速の変動係数は4～7%であり、推定値の信頼性は有意な水準にある。しかし、外海部では観測地点が限られ、しかも時空間解像度の低いECMWF風資料を主体として海上風が推定されているという事情から、外海部の確率風速は過小評価されていると考えられる。

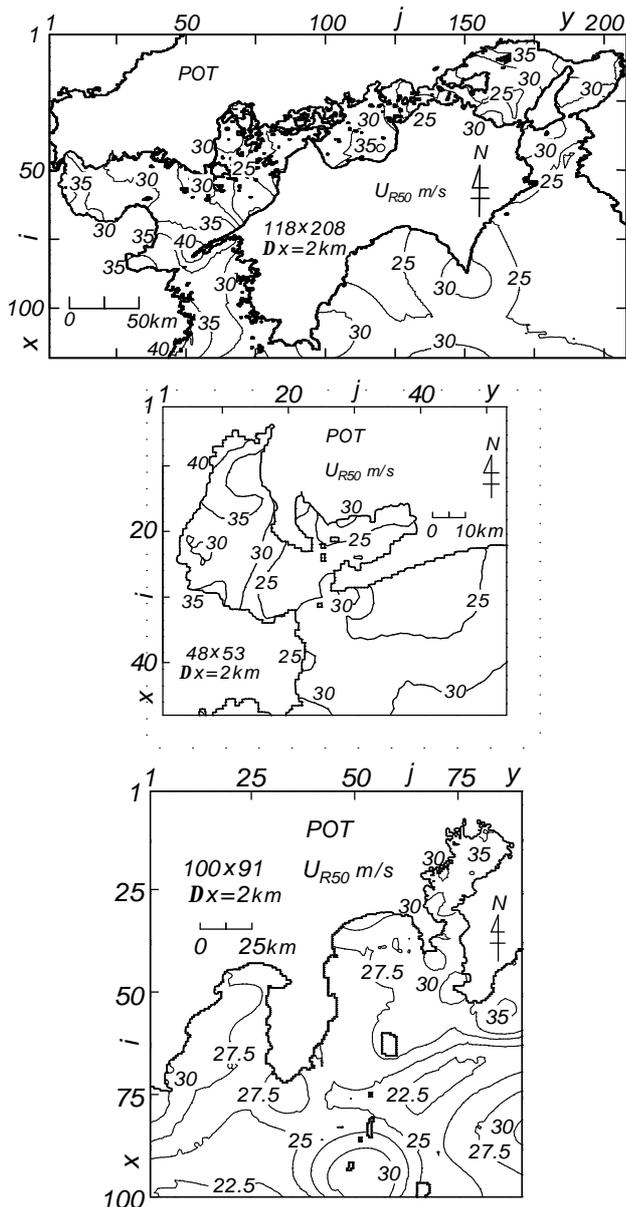


図-6 3領域における50年確率風速の推定結果

#### 4. 結語

本研究で得た知見の概要はつぎのようである。

瀬戸内海、伊勢湾、関東沿岸海域では冬季にNW方向の風向場、夏季にS寄りの風向場を示す。風速は冬季に大きく、夏季にやや小さい。

伊勢湾ではNW-SE方向の湾軸に沿って風が吹送する傾向が強くみられる。他の領域ではその傾向は伊勢湾のものほど明確でない。

伊勢湾、東京湾、大阪湾・紀伊水道では、内湾から外

海に向うにつれて風速が大きくなる。とくに伊勢湾では、冬季に平均風速は2倍以上増大するのに対して、東京湾や大阪湾・紀伊水道では増加率は20~40%にとどまる。

年別平均風速の累年較差に及ぼす資料期間長の影響は、観測資料の非等質性の影響とともに有意である。

3領域における50年確率風速の推定値は、資料期間が相対的に短い伊勢湾での概略値を含めて、おおむね25~35 m/sの範囲にあり、湾奥で大きい。

謝辞：東京から九州に至る非常に多くの観測地点における大量かつ貴重な長期風観測資料を提供戴いた関係各機関に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 岡田弘三, 磯崎一郎: 内湾の波浪推算に関する諸問題, 沿岸海洋研究ノート, 第23巻, pp.138-149, 1992.
- 2) 橋本典明, 杉本 彰, 川口浩二, 宇都宮好博: 局地気象モデルと第三世代波浪推算モデルの内湾波浪推算への適用, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.201-205, 2002.
- 3) 大澤輝夫, 小林智尚, 安田孝志: 伊勢湾における海況特性を考慮した洋上風発電ポテンシャルの検討, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.1266-1270, 2004.
- 4) 橋本典明, 児玉充由, 三谷正人, 友田信明, 松本英雄, 松藤絵里子: 海象情報数値データベースを利用した瀬戸内海の波浪特性解析, 海洋開発論文集, 第22巻, pp.121-126, 2006.
- 5) 山口正隆, 大福 学, 日野幹雄, 畑田佳男, 森 正憲, 野中浩一: 内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築 - 伊勢湾の場合 -, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.116-120, 2006.
- 6) 山口正隆, 日野幹雄, 大福 学, 畑田佳男, 野中浩一: 内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築 - 瀬戸内海の場合 -, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.106-110, 2007.
- 7) 山口正隆, 日野幹雄, 大福 学, 畑田佳男, 野中浩一: 東京湾における風候と波候の推定, 工学ジャーナル, 愛媛大学, 第7巻, pp.122-132, 2008.
- 8) 畑田佳男, 山口正隆, 大福 学, 高橋秀典: 表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.141-145, 2005.
- 9) 塩野清治, 弘海原 清, 升本真二: パソコンで不規則に分布するデータを格子点データに変換してコンターマップを作成する方法(1) - 加重一次補間法, 情報地質(10), pp.65-78, 1985.
- 10) Yamaguchi, M. and Hatada, Y.: An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, *Proc. WAVES97*, Vol.2, pp.932-946, 1997.

(2008.9.30受付)