

SDP風資料を用いた内湾・内海における 45年間の海上風分布データセットの作成

Construction of a Data Set of 45-Year Sea Wind Distribution on the Inner Bay and Inland Sea of Japan Using SDP Winds Measurement Data

山口正隆¹・大福 学²・野中浩一³・畑田佳男⁴・日野幹雄⁵

Masataka YAMAGUCHI, Manabu OHFUKU, Hirokazu NONAKA, Yoshio HATADA and Mikio HINO

Using the SDP(Surface Data Point) wind data measured at on-land branches of the Japanese Meteorological Agency which are located around the Kanto Sea area, Ise Bay and the Seto Inland Sea, a data set of hourly sea wind distribution on the concerned sea areas is made over a period of 45 years from 1961 to 2005. For that, the wind data interpolated from the SDP data at each of the coastal and sea measurement stations on the concerned areas is transformed into an equivalent of the wind data measured at each station by utilizing close correlation between two kinds of wind data at the same location. Then sea wind distribution is estimated through a spatial interpolation of the equivalent wind data. One finding is that a whole-year averaged wind distribution yields a reasonable approximation of climatic behavior.

1. 緒言

山口ら(2009)は東京湾を含む関東沿岸海域、伊勢湾、および大阪湾を含む瀬戸内海の沿岸部と海上部の多数の観測地点における風観測資料の空間補間に基づいて1時間ごとの海上風分布のデータセットを作成し、長期波浪推算の入力条件としてきた。しかし、その資料期間は最長のもので26年であり、それ以前では適切な風観測資料が多数地点で得られないので、この方法を適用できない。一方、当該海域を囲む各地の気象庁気象官署で取得された1961年以降の時日別値風観測資料(Surface Data Point: SDP風資料)が電子データとして公表されていることから、この資料の適切な利用によって、より長い期間で良質の海上風分布資料の作成が可能になると考えられる。

本研究では、SDP風資料から相関解析を通じて上述した各海域の沿岸部と海上部の風観測点における風特性を推定したのち、山口ら(2009)が用いた2段階の空間補間の方法に従って45年間(1961~2005年)の各海域における海上風分布のデータセットを作成し、その特性を調べる。

2. 海上風分布資料の作成方法

(1) 対象海域と風資料地点

図-1は格子間隔 $\Delta x=2$ kmで表した対象3海域における

気象庁SDP風観測地点(図中の×印、瀬戸内海西部の豊後水道に位置する佐田岬灯台と土佐沖ノ島灯台の2地点を追加)、沿岸部(○印)と海上部(●印)の風観測地点および仮想地点(△印)と表面風再解析資料入力地点(□印)の位置を示す。SDP風資料の地点数は関東沿岸海域で12、伊勢湾で5、瀬戸内海で23である。SDP風資料は1990年以前で3時間間隔、1991年以降で1時間間隔の平均風速・風向と日最大の風速・風向からなり、その起時は与えられていない。そこで3時間間隔資料については、線形補間によって1時間ごとの資料としたのち、これから得た特別日最大風速と日最大風速の比較に基づいて日最大風速・風向を特別日最大風速時点あるいはその前後の時点に組込み、さらに線形補間により日最大風速時点と3時間ごとの定時の中間時点における風速と風向を再計算する。1時間間隔資料については、特別の日最大風速・風向資料を日最大風資料に置き換えることにより、日最大風資料の取り込みを行う。これはSDP風資料の風速が小さい特性を補うためである。

沿岸部と海上部における風観測資料は山口ら(2009)が取扱った資料であり、地点数はとくに瀬戸内海で最大57に及ぶ。風観測資料の期間は4~26年、時間間隔は1時間あるいは2時間である。また、ここで用いる表面風再解析資料(NCEP風資料)は、NCEP/NCAR(National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)より提供を受けた時間間隔6時間、空間解像度約 1.9° の10 m高度風資料に対する1時間間隔の線形補間値を北西太平洋上に設けた格子間隔80 kmの格子網上に双1次補間したのち、楕円型気圧分布を仮定する台風モデル風の1時間間隔値をこれに組込んで作成している。

1 正会員	工博	愛媛大学教授大学院理工学研究科
2		愛媛大学技術専門職員工学部
3 正会員	博(工)	愛媛大学契約職員工学部
4 正会員	博(工)	愛媛大学講師大学院理工学研究科
5 正会員	工修	テクノシステム(株)

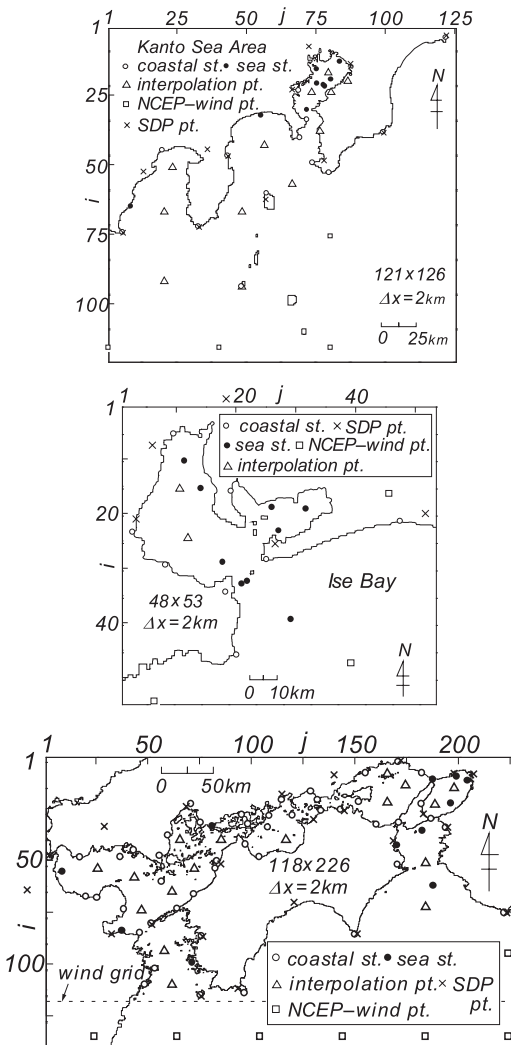


図-1 海域別のSDP風観測地点、沿岸部と海上部の風観測地点およびNCEP風入力地点

(2) 風観測地点における風資料の作成

SDP風資料とNCEP風資料を用いて、沿岸部や海上部の風観測地点における風資料を次の手順で求める。

①資料期間が45年に及ぶSDP風資料には風速計の設置高度や機種の変更などに伴う不連続的な変化がみられる地点も見出されることから、風速資料に対する高度などの補正を行い、不自然な挙動をできるだけ除外する。

②1/7乗則の適用によって地点別SDP風資料を10 m高度風資料としたのち、これらと境界上代表地点におけるNCEP風資料に加重1次補間法（塩野ら，1985）を適用して、沿岸部と海上部の風観測地点における風速と風速2成分（風向）を1時間ごとに求める。

③後述するように、風観測地点における補間風向と観測風向の相関はかなり高いので、補間風向をそのまま風

観測地点における風向とする。

④計算風速と観測風速の相関を2段階で利用して、計算風速を観測相当風速に変換する。すなわち、第1段階では2 m/sごとに区間分けしたSDP風速資料の平均値 $\bar{U}_{10SDP}$ を横軸、この区間に入る同時刻の観測風速資料の平均値 $\bar{U}_{zobs}$ とSDP風速資料の平均値 $\bar{U}_{10SDP}$ の比 y を縦軸としたべき乗型回帰式 $y=a(\bar{U}_{10SDP})^b+c$ を作成する。係数の決定は非線形最小2乗法による。ついで、この回帰式が特別の風速資料についても成立すると仮定して、風観測地点における10 m高度SDP風速 U_{10SDP} の特別値から風速計高度(z m)の観測風相当SDP風速 U_{zmSDP} の特別値を得る。図-2の上側の図は東京湾の最奥部に位置する東京灯標について、上記の回帰式を示す。

⑤第2段階では、回帰式を用いて推定した計算風速（観測風相当SDP風速） U_{zmSDP} と観測風速 U_{zobs} の各資料について別々に上位1/20, 1/10, 1/3, 1/2, 全体および下位1/3の資料の平均値を得たのち、計算風速の各平均統計量 $\bar{U}_{zmSDP}$ を横軸、観測風速の各平均統計量 $\bar{U}_{zobs}$ と計算風速の各平均統計量 $\bar{U}_{zmSDP}$ の比 y を縦軸として再びべき乗型回帰式をあてはめたのち、これが特別値に対しても成立すると仮定して計算風速の特別値に適用し、計算風速（観測相当風速）の最終的な特別推定値 U_{zSDP} とする。図-2の下側の図は東京灯標についてこの場合の回帰式を表す。

⑥瀬戸内海における風観測地点では、推定値の精度向上を目的として⑤の操作を再度行う。

なお瀬戸内海の対象地点では、別途作成した夏季（6～9月）における回帰式も適用して計算風を得たのち、2種類の計算風から観測風との相関が高い方を地点別に採用する。この場合、6～9月以外の月では全期間の資料を用いて作成した回帰式を適用する。

(3) 計算風資料の精度の検討

上述の手順で推定した各地点の計算風（観測相当風）

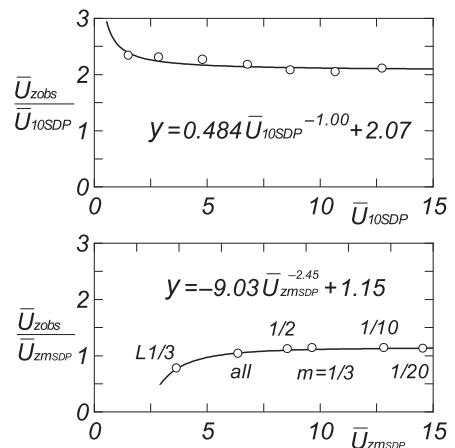


図-2 SDP風速と観測風速の回帰式

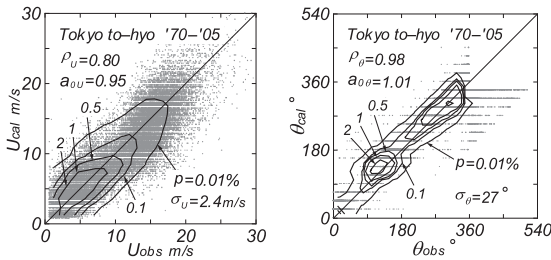


図-3 風速・風向の散布図

の精度を観測風との比較により検討する。

図-3は東京灯標における36年間（1970～2005年）の特別計算風と観測風の関係を風速と風向について示しており、両者の対応はそれぞれかなり良好である。因みに、誤差指標のうち相関係数は風速で $\rho_U=0.80$ 、風向で $\rho_\theta=0.98$ 、原点を通る相関直線の勾配値は $a_{0U}=0.95$ 、 $a_{0\theta}=1.01$ 、観測値を真値とする2乗平均平方根誤差は $\sigma_U=2.4$ m/s、 $\sigma_\theta=27^\circ$ をとることから、計算風と観測風の良好な対応が示唆される。図-4は全観測資料期間の風速および風向に対する誤差指標を3海域で代表地点別に示す。風向に関して、いずれの海域でも相関係数 ρ_θ は全地点で0.9以上、2/3の地点で0.95以上をとり、勾配値 $a_{0\theta}$ も1に近く、 σ_θ もほぼ 40° 以下であるから、計算風向と観測風向は全体としてよく符合すると言える。

風速に関して、関東沿岸海域にある全12地点のうち東京湾内の7地点で相関係数は $\rho_U>0.80$ 、東京湾外の5地点で0.70前後をとり、勾配値 a_{0U} も0.92～0.96と1にかなり近く、2乗平均平方根誤差 σ_U もほぼ3 m/s以下に収まる。これは、関東沿岸海域の各風観測地点では風向のみならず風速に対する計算風の観測風に対する再現性が高いことを表す。伊勢湾でも、全14地点で ρ_U は0.70～0.85、そのうち4地点で0.80～0.85、 a_{0U} は0.92～1.0、そのうち4

地点で0.95～1.0、 σ_U は1.8～3.1 m/s、そのうち6地点で1.8～2.0 m/sであるから、関東沿岸海域と同様に全体的に高い精度を与える。

瀬戸内海では、41地点のうち36地点で $\sigma_U<3.0$ m/sの範囲に収まるものの、 $\rho_U>0.75$ の地点数が4と少なく、 $\rho_U=0.70\sim0.75$ の地点数が8、 $\rho_U=0.60\sim0.70$ と0.55～0.60の地点数がそれぞれ14および9と多い。勾配値も9地点で $a_{0U}=0.95\sim1.05$ 、15地点で0.90～0.95、13地点で0.85～0.90を与えることから、関東沿岸海域や伊勢湾に比べて計算風速の精度はやや低い可能性が示唆される。こうした傾向を小海域別にみると、大阪湾や播磨灘では相対的に精度が高く、紀伊水道南部、瀬戸内海の中中部海域（燧灘や備後灘など）や西部海域（安芸灘、伊予灘、周防灘、豊後水道）で相対的に低い。周辺地形が複雑かつ多様な瀬戸内海のうちでも、中部海域や西部海域では海上風観測地点がほとんど存在しないことと相まって、計算風速の精度は必ずしも十分に高いとは言えない。

つぎに、図-5は月別の上位1/3の風速資料の平均値である月別1/3最大平均風速 $U_{1/3}$ に対する誤差指標、 $\rho(U_{1/3})$ 、 $a_0(U_{1/3})$ を3海域の代表地点について示す。対象とした全地点でみると、相関係数 $\rho(U_{1/3})$ は関東沿岸海域で0.66～0.89、伊勢湾で0.68～0.96、瀬戸内海で0.50～0.94と比較的広い変動範囲を与え、海域ごとに変動範囲をある程度異にする。勾配値 $a_0(U_{1/3})$ は順に0.95～1.03、0.98～1.04、0.94～1.08の範囲にあり、海域によらず計算風と観測風による月別1/3最大平均風速の対応がよいことを表す。同様の特性は他の月別平均統計量に対する誤差指標についてもみられる。したがって、地点によって計算風と観測風の符合の度合がある程度変化するけれども、大略的には両者は比較的良好に符合する特徴が示唆される。

(4) 海上風分布資料の作成

海上風分布の作成は山口ら（2009）が用いた方法による。すなわち、まず図-1に示す沿岸部の風観測地点にお

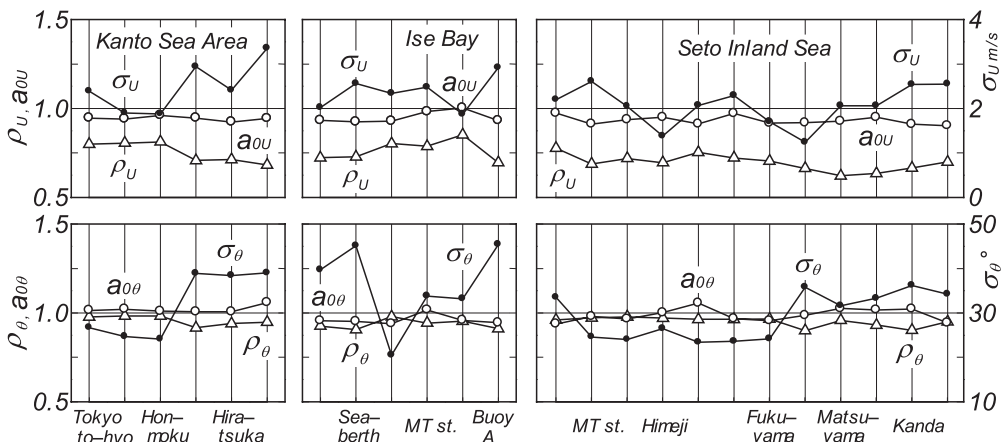


図-4 海域別の累年風速・風向誤差指標

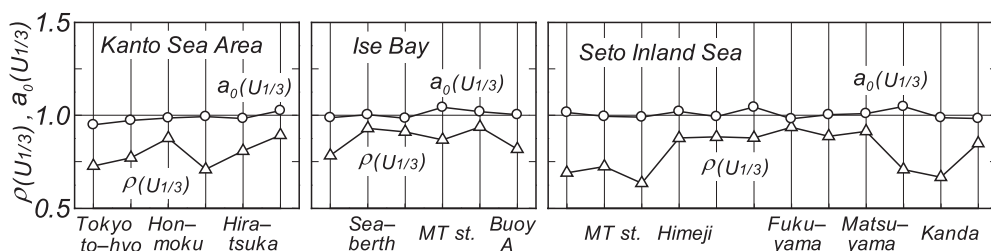


図-5 海域別の月別1/3最大平均風速誤差指標

ける計算風速を1/7乗則の適用により10 m高度風速に変換したのち、観測地点ごとに地形条件などを考慮して経験的に決めた係数(1.0~1.3)を乗じて10 m高度海上風速 U_{10} とする。1/7乗則の適用は海上部の風観測地点における計算風速に対しても行う。風向に対する高度補正や海上風補正は行わない。ついで、各海域の沿岸部と海上部の風観測地点における計算(海上)風と外洋境界上代表地点におけるNCEP風に加重1次補間法(塩野ら, 1985)を適用して、海上部に設けた仮想地点(図-1の各海域に与える△印)における風を推定し、これに経験的に決めた増幅係数(1.05~1.20)を乗じて海上風としたのち、全地点の計算風に対して再び加重1次補間法を適用して格子間隔2 kmで海上風分布を算出する。増幅係数の乗算は海上部で風速が増強される特性を概略的な近似で考慮するためである。期間は1961~2005年の45年、時間間隔は1時間である。

3. 海上風分布資料の特性

図-6は3海域における45年間の累年平均風速・風向の空間分布を示す。日本の周辺海域では夏季を除いてNW寄りの風が卓越することから、3海域における累年平均風の空間分布にこの特徴が現われている。これを海域別にみると、関東沿岸海域では風向は外海部でNW寄り、駿河湾でW寄り、相模湾でNW寄り、東京湾でNNW寄りを取り、小海域ごとにやや異なる。また、伊豆大島周辺海域ではS寄りの風向場となっており、その範囲が房総半島に及ぶ。この小海域の風向場は伊豆大島および野島崎における風観測地点の計算風の特性を反映したものであり、観測風資料に対する空間補間の結果(山口ら, 2009)においても同様の特性がうかがえる。風速は駿河湾内で湾奥の4 m/sから湾口部の5.5 m/s、相模湾で5~5.5 m/s、東京湾で4.5~6 m/sを取り、外海部に向けて6 m/s以上に増加する。

伊勢湾では日本海側の若狭湾から伊勢湾に至る地峡が風の通り道になっている特性を反映して、風向は海域全体でNW方向(夏季のSE方向を除く)を取り、風速は湾奥部の5 m/sから湾口の7 m/s、湾外の8 m/sに増大する。

瀬戸内海では風は海峡部に集中して吹送するなど、地

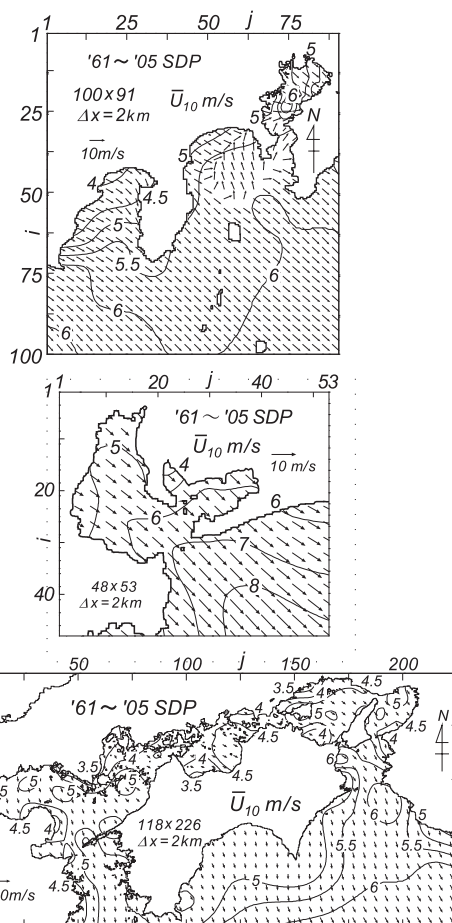


図-6 海域別の累年平均風速・風向の空間分布

形の影響が強くなることから、風向は豊後水道や紀伊水道でNNW寄りを取り、西部海域の伊予灘や中部海域の燧灘、東部海域の播磨灘・大阪湾のNW寄りの場から時計方向に1方位程度傾く。風速は西部海域で4.5~5 m/s、安芸灘で3.5~4.5 m/s、中部海域で4~4.5 m/s、東部海域の播磨灘で4~5 m/s、大阪湾で4.5~5 m/s、紀伊水道で5.5~6 m/sを与える。また、南側境界付近の外海部では、風速は九州の影響によって西側の4.5~5 m/sから東側(潮岬沖合)の6 m/sに向けて増加する。このように、周

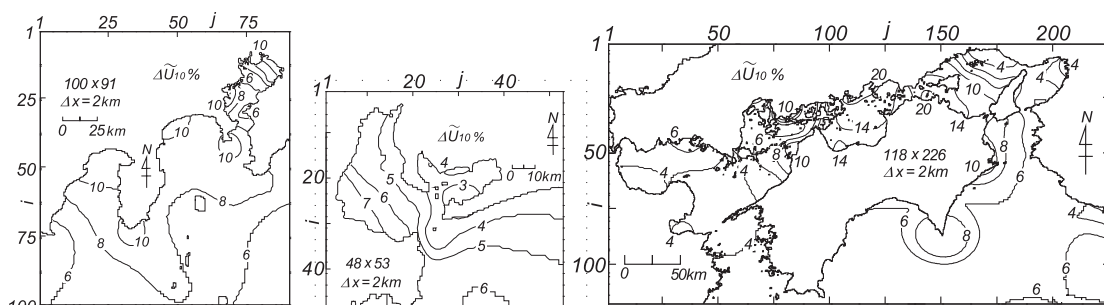


図-7 年別平均風速の累年較差の空間分布

辺地形の複雑な瀬戸内海では小海域別に風特性が異なることが明らかになる。

以上の結果は観測風資料より求めた山口ら (2009) の結果やNEDO (2006) による結果と類似しており、内海・内湾から外海に向けての風速の増大や海峡部における風の局所的な増強の挙動などがうかがえる。

つぎに、年別平均風速の45年間にわたる挙動をみるために、図-7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) $\Delta\tilde{U}_{10}$ を3海域について示す。累年較差の1/2が年別平均風速の累年平均値からの最大変動範囲におおむね相当する。

関東沿岸海域では累年較差は沿岸部で10%をとり、外海部の6%に向けて減少する。つまり、年別平均風速の変動範囲は沿岸部で大きく、外海部で小さい。東京湾内でも湾中央部で小さく、周辺部で大きい。

伊勢湾では累年較差は東岸あるいは東側沿岸部や三河湾の3~4%からSWあるいはS方向に向けて6~8%に増加するが、関東沿岸海域より2~3%小さい。

瀬戸内海では累年較差の小海域別の変化が著しい。すなわち、伊予灘を除く西部海域や豊後水道で累年較差は4~5%、大阪湾で3~5%と小さいのに対して、周辺地形が一層複雑である安芸灘や伊予灘東部で5~8%をとり、播磨灘では兵庫県側の3%から香川県側の15%に向けてSW方向に大きくなる。燧灘や備後灘など中部海域では、累年較差は10~20%と他の海域に比べてかなり大きい値を与える。つまり、周囲をほぼ陸地に囲まれた瀬戸内海の中中部海域やその周辺地域では複雑な地形条件を反映し、同時に年別平均風速が他の海域に比べて小さいことと相まって、年別平均風速の累年較差の無次元値は他の海域に比べてかなり大きい。紀伊水道から外海部では年較差は8~10%から5~6%へと小さくなる。関東沿岸海域と同様に、累年較差の変動範囲は沿岸部から外海部に向けて縮小する。要するに、周辺地形が複雑な

沿岸部では年別平均風速の変動幅が大きいのに対して、周辺地形の影響が小さい外海部では年別の変動が弱いと言えよう。

4. 結語

本研究で得られた成果の概要はつぎのようである。

①内湾・内海を囲む気象官署におけるSDP風資料と当該海域の沿岸部および海上部の風観測地点における風観測資料の相関関係を利用することにより、SDP風資料から対象風観測地点の風特性を有意な精度で推定できる。したがって、観測風を利用する場合 (山口ら, 2009) と同様に、計算風の空間補間を通じて当該海域における45年間1時間ごとの良質な海上風分布資料のデータセットの作成が可能になる。

②作成した海上風分布資料から得た累年平均風の空間分布は観測風資料を用いて推定した結果と同様に、風速が局所的変化を伴いながら内海・内湾から外海に向けて増加する挙動を与え、NEDOによる結果ともおおむね符合する。

③年別平均風速の累年較差は累年平均風速の3~20%に分布し、周辺地形が複雑な瀬戸内海の中中部海域で大きい、ここ以外の大部分の海域では10%以下である。

参 考 文 献

- 塩野清治・弘海原 清・升本真二 (1985) : 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.
- (独法) 新エネルギー (NEDO) ・産業技術総合開発機構 : 局所的風況予測モデル2006年度版 (オンライン), <http://app2.infoc.nedo.go.jp/nedo/top/top.html>, 参照2009-4-16.
- 山口正隆・大福 学・日野幹雄・野中浩一・畑田佳男 (2009) : 内海・内湾における風候と確率風速の評価, 水工学論文集, 第53巻, pp. 1477-1482.