

— 論文 —

黄海・東シナ海のエチゼンクラゲを模した トレーサーの挙動に関する数値実験*

冷泉 伸泰[†]・磯辺 篤彦[‡]

要 旨

エチゼンクラゲが日本海へ大量来遊した 2002 年と 2003 年における黄海・東シナ海の流況経年変化を明らかにするために、同海域における海洋循環数値モデルの結果を利用し、仮想粒子(トレーサー)の追跡実験を行なった。エチゼンクラゲ発生期の適水温に近いと考えられる 5 月 1 日と 6 月 1 日に、黄海・東シナ海の水深 200 m 以浅にトレーサーを配置し、その後の挙動を 2000 年から 2004 年の各年で比較した。この際、海洋循環モデルを駆動する風データには、各年における QuikSCAT データセットを利用した。その研究結果、9 月に対馬海峡を通過する全トレーサーのうち、揚子江前面海域に配置したトレーサーの割合が、大量来遊年の 2002 年と 2003 年でのみ高くなった。これはトレーサーが対馬海峡に到達する直前の、黄海・東シナ海での 2002 年 8 月の東風成分と 2003 年 9 月の北風成分が、すなわちこれらの時期の北向きおよび西向きのエクマン流が、平年に比べて弱かったことに起因している。すなわち両年は、海表面近くの多くのトレーサーが、春季から秋季の間に揚子江河口から対馬海峡へと移動しやすかったと結論付けられる。

キーワード：エチゼンクラゲ，黄海，東シナ海，トレーサー追跡実験，QuikSCAT，COADS

1. はじめに

これまでの日本海における過去のエチゼンクラゲの大量来遊年は 1920 年～1922 年，1958 年，そして 1995 年であり，大量来遊は約 40 年間隔で起こると言われてきた(下村，1959；安田，2004)。しかし 2002 年や 2003 年のように，近年は大量来遊が頻発することで漁業被害が拡大している。これを受けて，最近では活発なエチゼンクラゲの調査・研究が行われ(例えば，Kawahara *et al.*，2006；上野ら，2006)，現地調査や目撃情報の蓄積によって生物学的見地から発生場所を推定するなど

の成果が挙がりつつある。しかし，流体運動からクラゲの移送過程を推察する海洋物理学的なアプローチは，まだ端緒についたばかりであり，十分な成果を挙げているとは言い難い。

本研究では，黄海・東シナ海の流れを高い精度で再現する数値モデル(Chang and Isobe, 2003)を利用し，このモデルの中に周囲の流れのみに依存して移動する仮想粒子(以降，トレーサー)を配置することで，これらの同海域における移動経路を研究した。そして，モデルの結果を解析することで，エチゼンクラゲが日本海へ大量に来遊した 2002 年と 2003 年における，同海域の流況の経年変化を調べた。

Chang and Isobe (2003) が揚子江希釈水(塩分 < 32；Su and Weng, 1994)の挙動解析を通して論じているように，黄海・東シナ海の表層海洋循環は風に大きく左

* 2006 年 1 月 31 日 受領；2006 年 4 月 30 日 受理

著作権：日本海洋学会，2006

[†]九州大学大学院 総合理工学府 〒816-8580 春日市春日公園 6-1
主著者 e-mail address : reisen@esst.kyushu-u.ac.jp

[‡]九州大学大学院 総合理工学研究院
〒816-8580 春日市春日公園 6-1

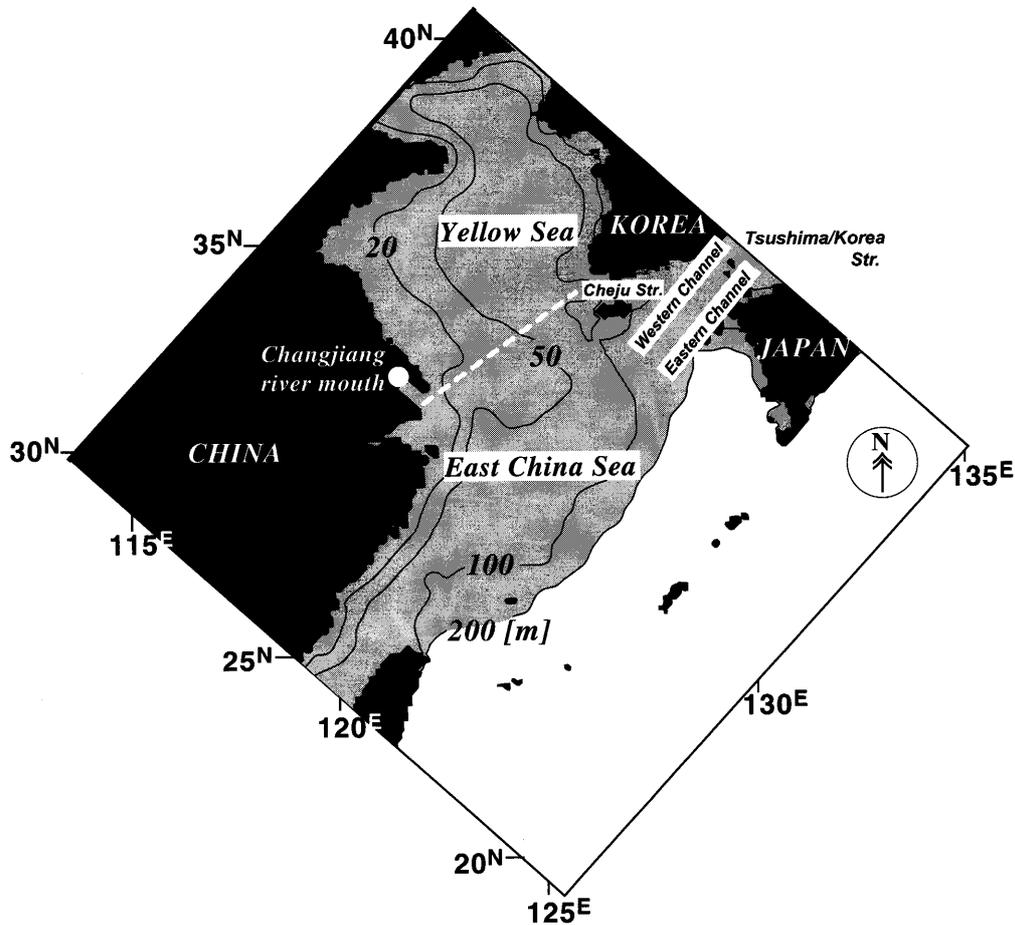


Fig. 1. Model domain and bottom topography [m] indicated by solid lines. The tracers were released in the gray region, that is, the shelf shallower than 200 m depth. The broken line represents the boundary between the Yellow and East China Seas.

右される。そこで本研究では、2000年から2004年の5年間の QuikSCAT Level-3 dataset (Jet Propulsion Laboratory, 2001, 2003, 以降, QuikSCAT データ) の風速データを用い、各年の風に駆動される海洋循環の経年変化に注目した。

2. モデルについて

2.1. 海洋循環モデル

本研究では、クラゲを模したトレーサーの移動を支配する流動場を再現するため、Princeton Ocean Model (POM; Mellor, 2003) による Chang and Isobe (2003) の黄海・東シナ海の海洋循環モデルを使用した。計算領域を Fig. 1 に示す。このモデルは水平格子 $1/12^\circ$ で鉛

直方向 12 層の解像度を持ち、年周期で流量変化する黒潮、対馬暖流、そして台湾暖流で駆動されている。それぞれの流量や流速の鉛直断面分布は、例えば対馬海峡で実施した ADCP 観測 (Isobe *et al.*, 2002) など、実海域での観測結果を基に決定した。また、やはり年周期で変化する海面を通しての熱、淡水フラックス、そして風応力を与えている。更には、当海域に流入する河川流量の 90% を占める揚子江からの河川流入量も、年周期変動を考慮した現実的な値を負荷している。Chang and Isobe (2003) の Fig. 6 と Fig. 7 と比較すると、このモデルは黄海・東シナ海の表層を春季から秋季にかけて東進する揚子江希釈水をよく再現している。すなわち、後述するトレーサーが移動する表層の流動場の再現性は十分に高い。このモデルの主たるパラメータ

Table 1. Model conditions and parameters used in the numerical model. Numerals within the parentheses indicate annual ranges of each condition.

Parameters or conditions	Values	References
Coefficient for Smagorinsky diffusivity*1	0.08	
Grid spacing (degree)	1/12	
(Layer thickness/depth) from the top layer	0.01563, 0.01563, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125,0.125, 0.125	
Volume transport (annual range) in Sv (= 10 ⁶ m ³ s ⁻¹)		
Kuroshio (east of Taiwan, south of Kyushu)	23 (14)	Ichikawa and Chaen (2000)
Tsushima Current (Western Channel)	2.4 (0.8) × 2/3	Isobe <i>et al.</i> (2002)
Tsushima Current (Eastern Channel)	2.4 (0.8) × 1/3	Isobe <i>et al.</i> (2002)
Taiwan Warm Current	1.6 (1.0)	Zhao and Fang (1991)
Changjiang	0.0284 (0.04)	Shen <i>et al.</i> (1998)
Precipitation-Evaporation	0.0 (0.044)	Chen <i>et al.</i> (1994)

*1 referred to 'HORCON' in the original code of Mellor (2003)

や境界条件の設定については Table 1 を、また詳細については Chang and Isobe (2003) を参照されたい。以下では、Chang and Isobe (2003) のモデルを本研究で用いる場合の、二つの変更点について以下に記述することにした。

その第一は、Chang and Isobe (2003) のような Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set (以降、COADS データ) の風応力気候値ではなく、2000 年から 2004 年の 5 年間の QuikSCAT データ (風応力) を用いて、各年の流況を計算した点である。1 日 2 回の衛星観測が取得した解像度 0.25° の風データから得た応力分布を、スプライン補間によりモデルの全格子に与え、さらに線形補間によりタイム ステップごとに更新した。この数値モデルでは風応力のみが経年変化しており、その他の条件に各年の違いはない。

次に、Chang and Isobe (2003) が考慮していない潮汐残差流をモデルに与えることで、特に岸近くでの流況の再現精度を高めた。これは浮遊期移行前にポリプとして岩礁に付着しているクラゲが、浮遊段階初期には岸近くを移動する状況を勘案してのことである。まず、順圧流である潮流が形成する潮汐残差流は鉛直一

様と仮定した。そして Chang and Isobe (2003) と同じ地形条件の水平二次元モデルを用い、当海域の潮流を別途計算した。当海域では M₂ 分潮が卓越しているので、水平二次元モデルの開境界では、Matsumoto *et al.* (2000) が与えている M₂ 分潮の調和定数を線形補間して、周期変動する水位を時々刻々与えた。モデルが十分な定常状態に達した後に、各グリッドで 1 時間ごとに記録した運動方程式中の移流項の 1 潮汐周期平均を潮汐応力とし、これを本研究の海洋循環モデルに加えて潮汐残差流を駆動した。

本研究の計算手順は以下の通りである。Chang and Isobe (2003) に潮汐残差流を加えた海洋循環モデルを、計算開始から年周期変動する諸条件で駆動した。そして 8 年目の流動場を十分な平衡状態とみなし、8 年目の 1 月 1 日から 9 月 30 日まで、2000 年から 2004 年の異なる QuikSCAT データを与えた 5 ケースの計算を行った。

2.2. トレーサー追跡実験

本研究では、モデルが再現した 8 年目の流況を用いてトレーサーの追跡実験を行ない、各年 (計 5 ケース)

のトレーサーの挙動を比較した。特にエチゼンクラゲが日本海へ大量来遊した2002年や2003年と他の年の違いに注目し、クラゲの移送に関与した流況の経年変化を検討した。さらに本研究では、エチゼンクラゲの遊泳速度が海流流速に比べて十分に小さいと仮定し、海流にのみ依存するトレーサーの挙動で数か月に及ぶクラゲの移送過程を評価している。ただし、エチゼンクラゲの移送の詳細については、現在のところ十分な知見があるとはいえない(上野, 2006)。しかし、距離にして1,000 km程度の日本海の日本沿岸を、1~2か月かけて北上する様子(総合水産研究センター, 2004; Kawahara *et al.*, 2006)が、最大流速で30~50 cm s⁻¹の対馬暖流沿岸分枝(Hase *et al.*, 1999)によって概ね説明できる事実を考えると、上述の仮定に大きな矛盾は無いだろう。このモデルではトレーサーの移動を

$$\begin{aligned} \mathbf{X}^{n+1} = & \mathbf{X}^n + \mathbf{U} \Delta t + \frac{1}{2} \left(\mathbf{U} \nabla_H \mathbf{U} + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} \right) \Delta t^2 \\ & + R \sqrt{2K_h \Delta t} (i, j) \end{aligned} \quad (1)$$

と表現している。ここで、 \mathbf{X} はトレーサーの位置を、 \mathbf{U} はトレーサーの位置に応じて線形補間した水平方向の速度を表している。 Δt はモデルのタイムステップである。 R は平均0で標準偏差1.0の正規乱数を示す。 K_h は水平拡散係数であり、流動モデルに用いたSmagorinsky diffusivityをそのまま使っている。 i と j はそれぞれ水平方向の単位ベクトルである。異なる水深(後述)に配置されるトレーサーの移動は水平方向のみで、鉛直移動はしない。

モデルの初期条件としてトレーサーを散布する場所と時期は、エチゼンクラゲに関する次の情報を基に決定した。Kawahara *et al.* (2006)は、水温を13°Cから23°Cに設定した水槽実験によって、受精卵からクラゲに至る初期生活史を明らかにしている。Fig. 2に示すWorld Ocean Atlas 1994 (Boyer and Levitus, 1994)から求めた海面水温の月平均値を比較すると、5月から6月にかけての黄海・東シナ海が、この水温帯に一致する。また、クラゲの発生場所として、揚子江河口域の中国沿岸や朝鮮半島西南部などの黄海・東シナ海が有力視されている(水産総合研究センター, 2004)。そこで、各年の5月1日と6月1日に、モデルの水深200 m

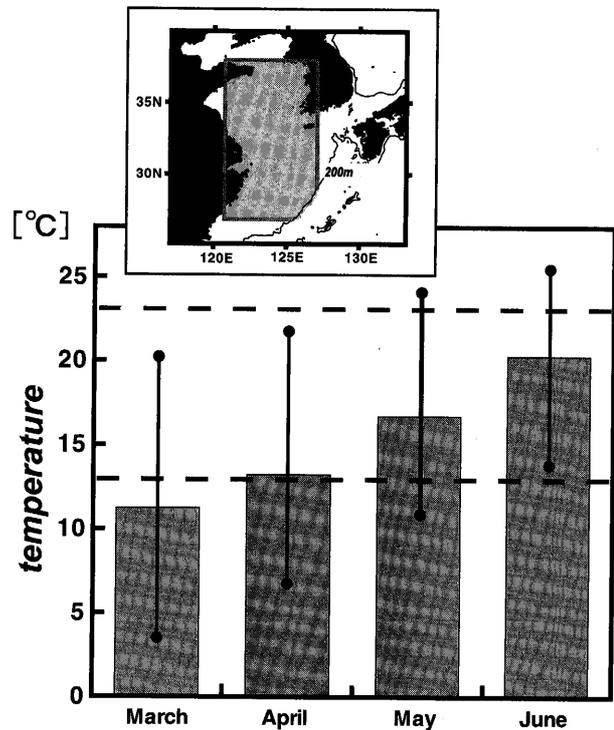


Fig. 2. Monthly averaged sea surface temperatures from March to June. The temperature data archived in the World Ocean Atlas 1994 dataset were averaged spatially within the gray square in the inset map. Bar ends show the maximal and minimal temperatures in each month, respectively. The two broken lines denote the temperature range suitable for *Nemopilema* growth.

以浅の全領域 (Fig. 1の灰色の領域)に、各グリッドに1個ずつのトレーサーを配置し、その後の挙動を調べた。なお、トレーサーを配置する水深(個数)は、水深3.5 m (12,171), 10 m (12,171), 20 m (10,226), 30 m (9,433)である。各水深での流速は σ 層の流速を線形補間して求めた。

水産総合研究センター(2004)によれば、2003年にエチゼンクラゲが大量来遊した際には、8月下旬から9月にかけて対馬周辺で個体が確認された。よって本研究では、9月に対馬海峡を通過するトレーサーに注目して解析を行なった。

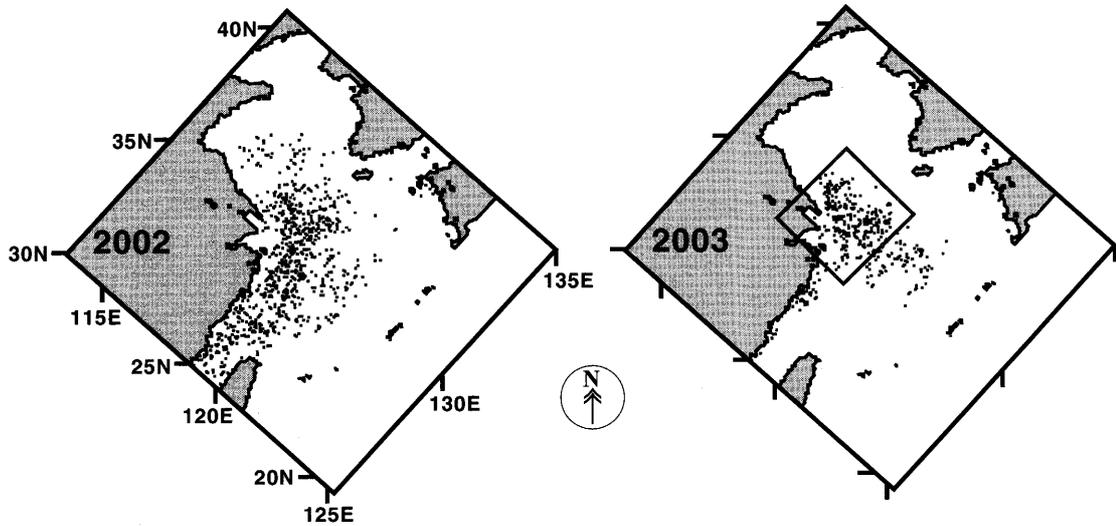


Fig. 3. Release points of the tracers passing through the Tsushima Strait in September 2002 and 2003 when the massive blooms of the giant jellyfish occurred. These tracers were released on 1st June at 3.5 m depth. The square in the right panel is called the waters in front of the Changjiang River mouth in the following analyses.

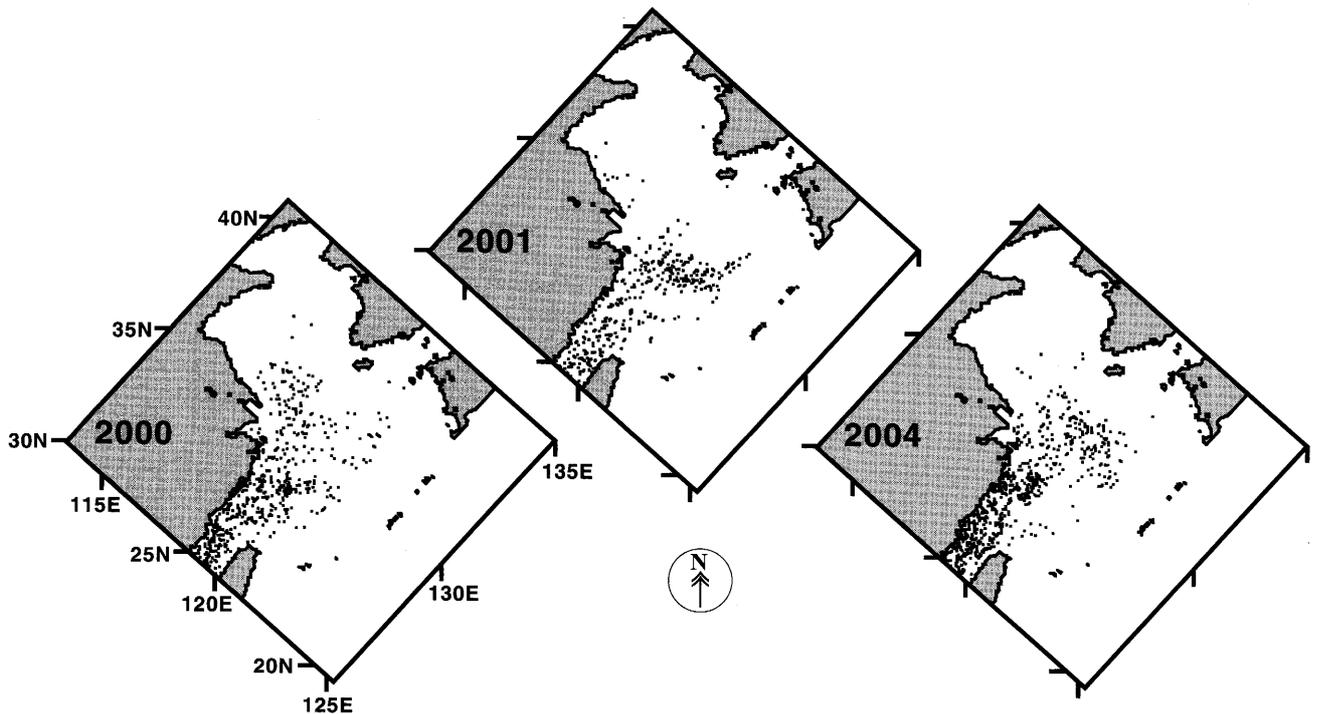


Fig. 4. The same as Fig. 3 but for 2000, 2001 and 2004 in the absence of the massive blooms of the giant jellyfish.

3. 結果

9月1日から9月30日の間に対馬海峡を通過したトレーサーを選び、その起源(初期位置)を調べた。そし

て、大量来遊年である2002年と2003年の計算結果と、大量来遊年でない(以降, 平年)2000年, 2001年, そして2004年の結果を比較した。なお, 水深10 m以深の計算結果からは, 平年と大量来遊年との間に明確な違

いは認められなかったために、以降は違いの顕著な水深 3.5 m 層の結果のみを示している。

まず、6月1日に配置したトレーサーの挙動について記述した。Fig. 3とFig. 4はそれぞれ、大量来遊年と平年の9月に対馬海峡を通過したトレーサーの初期位置である。特に大量来遊年の2002年と2003年において対馬海峡を通過するトレーサーは、揚子江前面(Fig. 3右の四角枠内)に起源を持つことが多かった。これに比して、平年では、そのような揚子江前面海域への起源の集中は見られなかった。5月1日にトレーサーを散布した計算結果からも、9月に対馬海峡を通過する揚子江前面海域起源のトレーサーが、大量来遊年で増加する傾向が顕著であった。

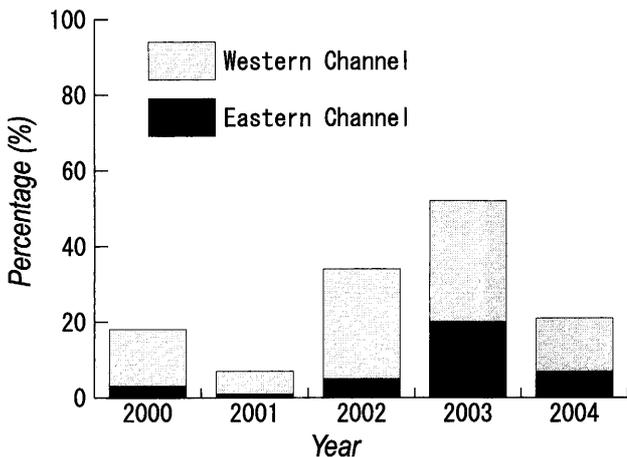


Fig. 5. Ratios of the tracers originating in the waters in front of the Changjiang River mouth to all of the tracers passing through the Tsushima Strait during September. The ratios for the Western and Eastern Channels are shown separately.

これを定量的に示すため、9月に対馬海峡を通過する全トレーサーのうち、Fig. 3右の四角内の海域を起源とするトレーサーの割合を各年で比較した。Chang and Isobe (2003)のFig. 6に示されているように、この海域はほぼ5月から6月における揚子江希釈水の分布域と重なっている。結果を対馬海峡の東西水道に分けて示したFig. 5を見ると、9月に対馬海峡を通過する揚子江前面海域起源のトレーサーの割合が大量来遊年で突出している。さらに、2002年では対馬海峡西水道の割合のみが増加し、2003年では東西水道の割合が

共に増加している。すなわち、エチゼンクラゲの大量来遊が起きた年には、表層(3.5 m層)のトレーサーが5, 6月から9月にかけて、揚子江前面海域から対馬海峡へ移動しやすかったことが分かる。

4. 考察

4.1. 2002年の風分布によるトレーサーの挙動

本研究で使用した数値モデルに現れる経年変化は風応力のみ起因する。よって、モデルで大量来遊年に違いが見られた要因も、風応力の経年変化にある。そこで、気候値からの風速偏差の水平分布を各年で比較することで、この要因について考察した。

前節では、9月に対馬海峡を通過する全トレーサーのうち、揚子江前面海域を起源とするトレーサーの割合が、大量来遊年でのみ高いことを示した。この要因をトレーサーが海域を移動する5月から9月における、気候値からの風速偏差の水平分布より考察した。風速偏差の水平分布を求めるために使用したデータは、QuikSCATデータ(風速)と気候値分布としてのCOADSデータ(風速)である。各月平均したQuikSCATデータから、1970年から1997年までのCOADSデータを平均した気候値を差し引くことで、月毎の偏差の分布を得た。なおCOADSデータは解像度 1.0° の月ごとの風速を与えているので、QuikSCATデータと同様にスプライン補間でモデル全格子のデータに変換した。

各年の8月における、東西風速(東向きを正)の偏差の水平分布をFig. 6(a)に示す。図より、特に東シナ海において、正偏差が2002年8月で顕著であることが分かる。これは8月の東シナ海上で平年見られる東風成分(西向風成分; Fig. 6(b)参照)が2002年は弱かったことを表し、そしてエクマン輸送の北向き成分の弱化を示している。また、表層流速ベクトルを示したFig. 6(c)にあるように、黄海からチェジュ海峡へは南下流となる海域が多い。よって、北向きエクマン輸送の弱化に伴い、多くのトレーサーが黄海からチェジュ海峡に向けて南下可能となる。Fig. 7の上図には、5月もしくは6月に揚子江前面海域に配置したトレーサーのうち、一か月以内に黄海へ流されるトレーサーの割合を各年で示している。また、下図には一例として、2004年にお

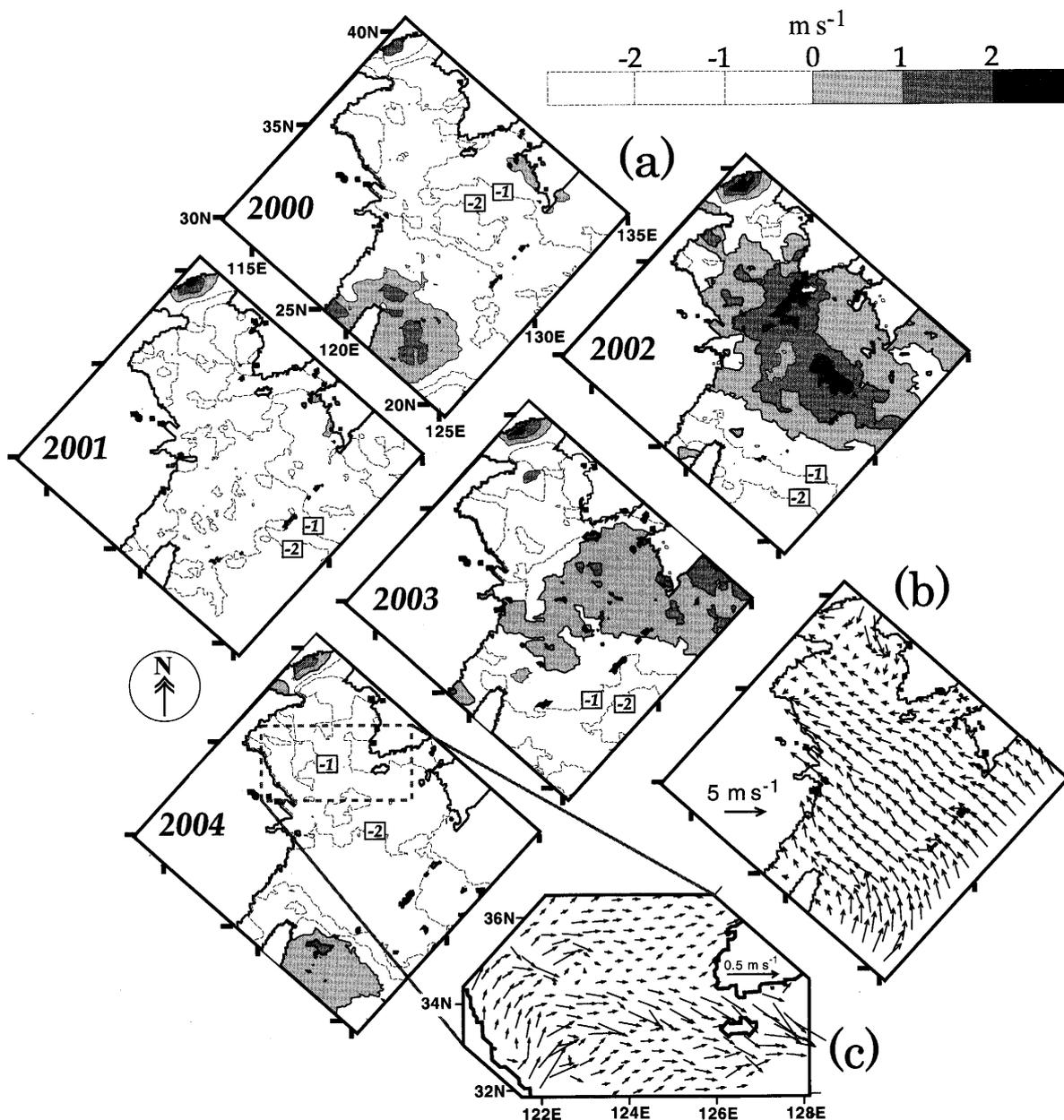


Fig. 6. Zonal component of wind velocity averaged in August from 2000 to 2004 (a). Anomalies from the climatological monthly-averaged value obtained with the COADS dataset are depicted here. Solid and broken lines are used for positive and negative values between -2.0 m s^{-1} and 2.0 m s^{-1} . Contour interval is 1.0 m s^{-1} . The lower-right panels show monthly-averaged wind vectors (b) derived from COADS dataset, and show monthly-averaged surface current vectors (c) in August within the square in the panel of 2004.

ける投入後 30 日間の分布を 10 日ごとに示す。上図の割合を見ても、各年に顕著な違いは認められない。毎年同等数の揚子江前面海域起源のトレーサーが、下図に示すように黄海へ進入する。しかし、エクマン輸送の北向き成分が弱い 2002 年には、これらトレーサー群

が黄海を南下し、対馬海峡の西水道に到達することが容易であった。これらの結果として、Fig. 5 が示すように、2002 年の割合が対馬西水道で増加したと考えられる。すなわち、2002 年に対馬海峡へトレーサーが大量に加入した要因は、8 月の東風成分の弱化であったと

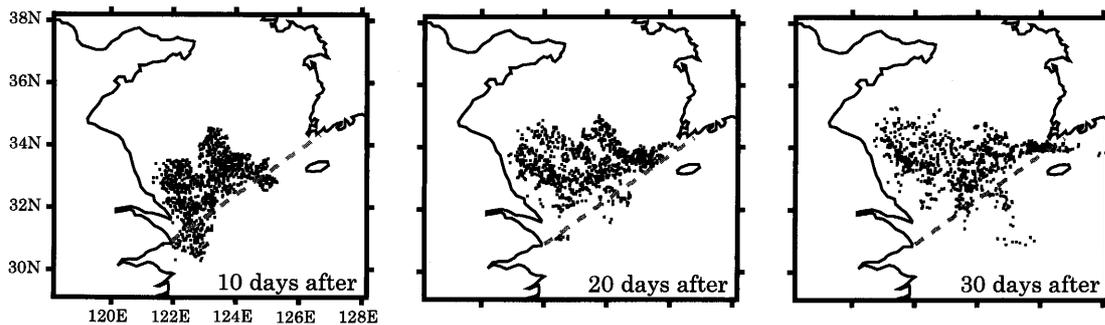
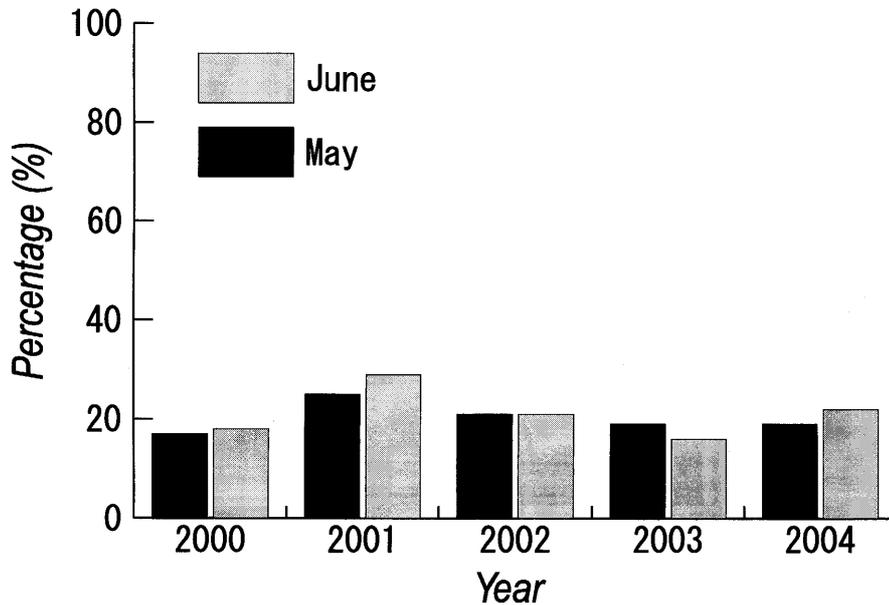


Fig. 7. Ratios of the tracers entering the Yellow Sea within one month after their release to all tracers released into the square of Fig. 3 (upper panel). Black (gray) bars show the ratios of tracers released on May (June) 1st. The tracers crossing the broken line in the lower panel are defined as those entering the Yellow Sea. In the lower panel, these tracers are shown every 10 days after their release. When the tracer crosses the broken line more than twice, the first crossing is used for this estimate.

考えられる。

4.2. 2003年の風分布によるトレーサーの挙動

前節の Fig. 6 をみると、2003年の8月における東西風偏差も東シナ海上で正偏差を示しており、2002年と同様のメカニズムによりトレーサーの大量加入を招いたことをうかがわせる。しかし、正偏差の程度は2002年に比べると弱い。また Fig. 5 に示されるように、対馬海峡を通過するトレーサーの割合は、東西両水道において増加するという違いが2003年には認められる。

このことより、2003年のトレーサーの大量加入には、2002年とは別の要因を考える必要があるだろう。

各年の9月における南北風速(北向きを正)の偏差の水平分布を Fig. 8(a) に示す。なお図には示さないが、8月の南北風速偏差の水平分布に顕著な経年変化は認められない。Fig. 8(a) より、2003年に黄海・東シナ海全域における正偏差の卓越が認められる。これは、9月の黄海・東シナ海上で平年見られる北風成分(南向風成分; Fig. 8(b) 参照)が2003年は弱かったことを示し、同時にエクマン輸送の西向き成分の弱화를示している。例年、揚子江前面海域起源のトレーサーは6月から8

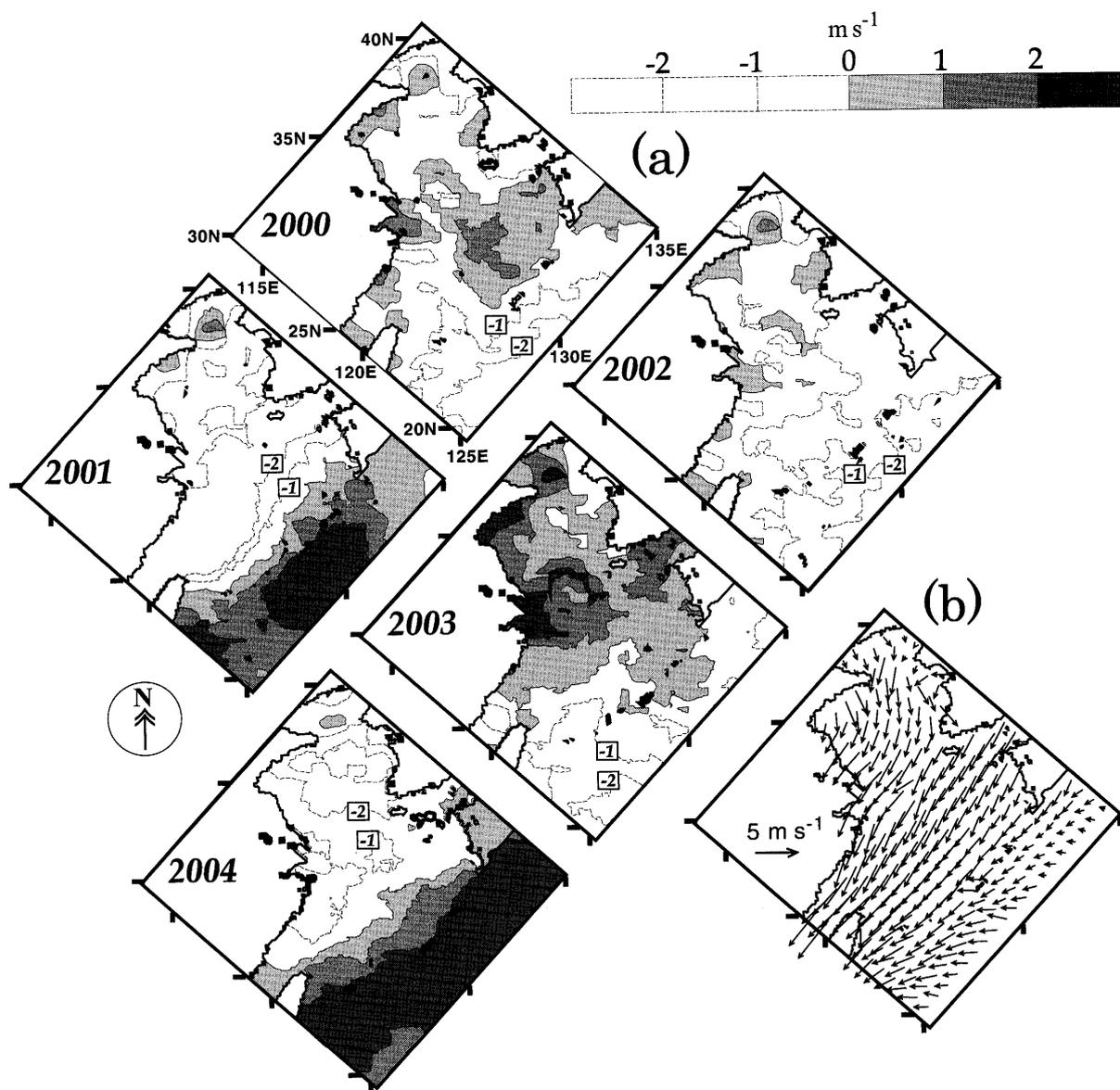


Fig. 8. The same as Fig. 6 but for the meridional component in September (a). The wind vectors (b) are also the same as Fig. 6 but for September.

月にかけて東シナ海を東進する。そして、9月の北東風の吹き始めに伴うエクマン輸送の西向き成分によって、これらトレーサー群は西側へと戻される。このようなトレーサーの挙動は、Chang and Isobe (2003) が示した春季から秋季の揚子江希积水の挙動と照らし合わせても、妥当なものだろう。しかし、エクマン輸送の西向き成分が弱かった2003年では、これらトレーサー群は秋季においても東シナ海東部に残留しやすく、そのまま対馬西水道、あるいは東水道を通過することが出来

た。その結果として、Fig. 5が示すように、2003年の割合が対馬海峡の両水道で増加したと考えられる。以上より、2003年の対馬海峡へのトレーサーの大量加入の要因は、9月の北風成分弱化であったと考えられる。

5. おわりに

黄海・東シナ海の流れを再現する数値モデルを利用し、エチゼンクラゲを想定したトレーサー追跡実験を、2000年から2004年のQuikSCATデータを与えて

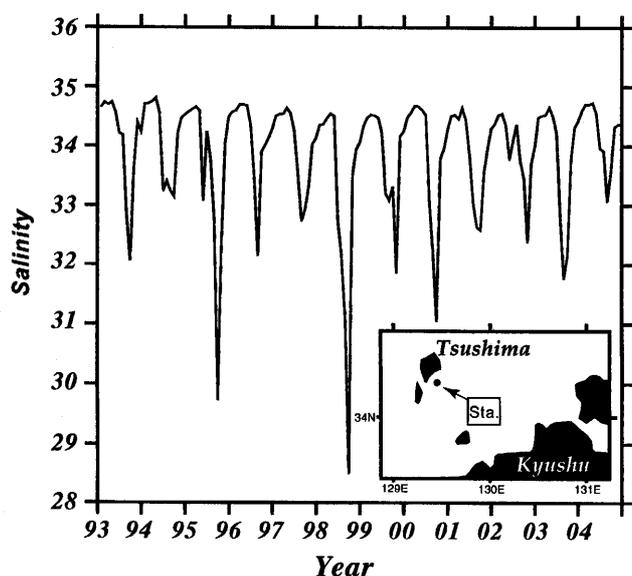


Fig. 9. Interannual variation of sea surface salinity observed by Fukuoka Fisheries and Marine Technology Research Center at the station shown by the solid circle in the inset map.

行なった。その結果、特に9月に対馬海峡を通過するトレーサーのうち、揚子江前面海域を起源とするトレーサーの割合が2002年と2003年の大量来遊年でのみ高くなった。これらは、エチゼンクラゲが日本海に大量来遊した年と一致する。ここにおいて、QuikSCATデータとCOADSデータを用い、5月から9月における風速偏差の水平分布を各年で比較して、2002年8月の東風成分と2003年9月の北風成分の弱화가、大量来遊年におけるトレーサーの揚子江前面海域から日本海への流入を容易にすることを解明した。すなわち、エチゼンクラゲがエクマン層内を漂うと仮定すると、エクマン層内の流況が変化する2002年と2003年の黄海・東シナ海では、揚子江河口から対馬海峡へのエチゼンクラゲの移動が、初秋まで容易であったと推察される。このことは、大量来遊年と平年との間で顕著な違いが見られた揚子江前面海域が、大量来遊に起因する発生場所であることを示唆している。

ここで例えば、揚子江の河川流量増加に伴う栄養塩負荷量の増加がエチゼンクラゲの餌環境を整え、その結果として大量発生を引き起こす可能性を考える。Senjyu *et al.* (2005) は、揚子江の河川流量と対馬海峡の塩分

に高い負の相関関係を見出した。そして、対馬東水道で観測された表層塩分の経年変化 (Fig. 9) では、2002年と2003年に低塩分化は認められず、むしろ高塩分年となっている。よって、これらの年には揚子江河川流量が少なかったことが推察でき、揚子江河川流量の多い年にエチゼンクラゲが大量来遊するとは言えない。その一方で、2002年や2003年と同程度の高塩分年 (例えば、1994年) には、大量来遊が報告されていない。あるいは、例え数年間のラグ相関を取ってみても、2002年や2003年の大量来遊に対応する塩分の経年変化は認められそうにない。このように、毎年の河川流量と大量来遊の相関は認め難いが、それでもなお、エチゼンクラゲの大量来遊の要因に生育環境の変遷を考えることは重要だろう。揚子江前面海域の富栄養化など生物学的要因によって、エチゼンクラゲの成長に有利な環境が整った上で、本研究が取り組んだような何らかの物理要因がエチゼンクラゲの大量来遊のトリガーとなったと考えられる。そして、本研究がトレーサーに課した移動深度や放出時期、あるいは流れに比して小さな遊泳速度といった諸条件を強く否定する生物学的知見が今後現れない限り、黄海・東シナ海上の風系の経年変化が、エチゼンクラゲの大量来遊のトリガーとして有力な候補である。

謝辞

研究当初にエチゼンクラゲの生物学的知見をご教示下さった広島大学の上真一教授、解析方法に貴重な助言をいただいた九州大学の松野健教授、モデル構築に際して相談に乗っていただいた愛媛大学沿岸環境科学研究センターの張弼勲博士、ならびにエチゼンクラゲに関する最新の情報を提供いただいたNHK福井放送局の筒井芳典氏、さらには塩分データを提供いただいた福岡県水産海洋技術センターに深く感謝する。

References

- Boyer, T. and S. Levitus (1994): Quality control and processing of historical oceanographic temperature, salinity and oxygen data. *NOAA technical report NESDIS*, 81, 38 pp.

- Chang, P.-H. and A. Isobe (2003): A numerical study on the Changjiang diluted water in the Yellow and East China Seas. *J. Geophys. Res.*, **108**(C9), 3299, doi:10.1029/2002JC001749.
- Chen, C., R. C. Beardsley, R. Limeburner, and K. Kim (1994): Comparison of winter and summer hydrographic observations in the Yellow and East China Sea and adjacent Kuroshio during 1986. *Cont. Shelf Res.*, **14**, 909–929.
- Hase, H., J.-H. Yoon, and W. Koterayama (1999): The current structure of the Tsushima Warm Current along the Japanese coast. *J. Oceanogr.*, **55**, 217–235.
- Ichikawa, H. and M. Chaen (2000): Seasonal variation of heat and freshwater transports by the Kuroshio in the East China Sea. *J. Mar. Sys.*, **24**, 119–129.
- Isobe, A., M. Ando, T. Watanabe, T. Senjyu, S. Sugihara, and A. Manda (2002): Freshwater and temperature transports through the Tsushima-Korea Straits. *J. Geophys. Res.*, **107**(C7), 10.1029/2000JC000702.
- Jet Propulsion Laboratory (2001): SeaWinds on QuikSCAT Level 3 Daily, Gridded Ocean Wind Vectors (JPL SeaWinds Project), Guide Document [<http://podaac.jpl.nasa.gov/>].
- Jet Propulsion Laboratory (2003): SeaWinds on QuikSCAT Level 3-Derived Multialgorithm Surface Wind Stress (JPL), Guide Document [<http://podaac.jpl.nasa.gov/>].
- Kawahara, M., S. Uye, K. Ohtsu, and H. Iizumi (2006): Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in east Asian waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **307**, 161–173.
- Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe (2000): Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around. *J. Oceanogr.*, **56**, 567–581.
- Mellor, G. L. (2003): Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model (June 2003 version). *Prog. in Atmos. and Ocean. Sci.*, Princeton University, 53 pp.
- Senjyu, T., H. Enomoto, and T. Matsuno (2005): Inter-annual salinity variation in the Tsushima Strait in summer and its relation to the Changjiang River discharge. *Proceedings of Indonesia Ocean Forum 2005 and 13th PAMS/JECSS Workshop* (CD-ROM).
- Shen, H., C. Zhang, C. Xiao, and J. Zhu (1998): Change of the discharge and sediment flux to estuary in the Changjiang River, p. 129–148. In *Health of The Yellow Sea*, edited by G. H. Hong, J. Zhang, and B. K. Park, Earth Love Publ. Assoc., Seoul.
- 下村 敏正 (1959): 1958 年秋対馬暖流系水におけるエチゼンクラゲの大発生. 日本海区水産研究所報告, **7**, 85–107.
- Su, Y. -S. and X. -C. Weng (1994): Water masses in China seas. In *Oceanology of China Seas*, vol. 1, edited by Z. Di, Y. B. Liang and C. K. Zeng, p. 3–16, Kluwer Acad., Norwell, Mass.
- 水産総合研究センター (2004): エチゼンクラゲの大量発生に関する緊急実態調査報告書. 54 pp.
- 上野 俊士郎, 中村 武史, 秦 一浩, 鬼塚 剛, 濱野 明 (2006): 2004 年と 2005 年の対馬海峡及びその隣接水域での船上目視によるエチゼンクラゲの分布. 2006 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 235.
- 安田 徹 (2004): 2002 年晩夏から冬にかけて日本海近海に異常出現したエチゼンクラゲ *Nemopilema nomurai* Kishinouye について (短報). 日本プランクトン学会報, **51**, 34–37.
- Zhao, B. -R. and G. -H. Fang (1991): The estimate of transport of the main water route in the East China Sea. *Acta Ocenologia Sinica*, **13**, 169–178.

Numerical Tracer Experiments Representing Behavior
of the Giant Jellyfish, *Nemopilema nomurai*,
in the Yellow and East China Seas

Nobuyasu Reisen[†] and Atsuhiko Isobe[†]

Abstract

Using a numerical model reproducing the ocean circulation in the Yellow and East China Seas, tracer experiments were conducted to investigate the interannual variation of ocean currents in 2002 and 2003 when massive blooms of the giant jellyfish, *Nemopilema nomurai*, occurred in the Japan Sea. The tracers were initially released on the shelf at depths shallower than 200 m at the beginning of May and June, when the water temperature in this area is suitable for the jellyfish growth. Thereafter, tracer behavior was compared among years from 2000 to 2004. The QuikSCAT wind stress dataset was adopted to drive the model in each year. The result showed that the tracers released at the Changjiang River mouth in 2002 and 2003 reached the Tsushima Strait in greater abundance in September compared to tracers in other years. This is because the westward and southward wind components, and hence northward and westward Ekman flows, were weak in August 2002 and September 2003 just before the tracers reached the Tsushima Strait. It is therefore concluded that the numerous tracers in the surface Ekman layer were able to move from the Changjiang River mouth to the Tsushima Strait between spring and autumn in these two years.

Key words: *Nemopilema nomurai*, Yellow Sea, East China Sea, tracer experiment, QuikSCAT, COADS

(Corresponding author's e-mail address: reisen@esst.kyushu-u.ac.jp)

(Received 31 January 2006; accepted 30 April 2006)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2006)

[†] Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, 6-1 Kasuga-Koen, Fukuoka 816-8580, Japan