

## 数値モデリングにおける東シナ海 - JCOPE を例として -

Numerical modeling of the East China Sea by the JCOPE ocean forecast system

○宮澤泰正<sup>\*1</sup>・鍵本崇<sup>\*1</sup>・小松幸生<sup>\*2</sup>・瀬藤聡<sup>\*2</sup>・Joon-Soo Lee<sup>\*2</sup>・郭新宇<sup>\*1,3</sup>

\*1: 海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター, \*2: 水産総合研究センター・中央水産研究所,

\*3: 愛媛大学・沿岸環境科学研究センター

(みやざわやすまさ, かぎもとたかし, こまつこうせい, せとうたかし, Joon-Soo Lee, Xinyu Guo)

### 要旨

海洋大循環モデルをもちいて東シナ海の海況変動の力学を説明するという立場から数値モデリング研究の最近の進展について紹介するとともに、その成果を日本近海の数値海況予測システム JCOPE に導入した結果について示す。

### はじめに

東シナ海 (図 1) は、主として水深 200m より浅い陸棚域で構成され、東側では太平洋、南側では南シナ海、北東側では日本海、北西側では黄海と接する縁辺海であり、外洋と縁辺海ないしは縁辺海どうしの相互作用が生じている極めて変化に富んだ海域である (Ichikawa and Beardsley, 2002)。東シナ海では、海域どうしの相互作用 (水塊交換) や巨大河川である長江の淡水流入等により種々の水塊が存在することを反映して複雑な海洋生態系が形成され、その結果として豊かな水産資源に恵まれている。海況変動を駆動する物理的な外力としては、隣接する海域との間での海流変動に加え (図 1)、潮汐残差流や水塊混合の効果等 (冷泉と磯辺, 2006; Lee and Matsuno, 2007) も無視できない。東シナ海は、顕著な季節風変動や台風など海表面での熱や運動量のやりとりも活発で、顕著な大気海洋相互作用の現場でもある (Xie et al., 2002)。

最近では計算機や数値モデルの発達により、以上で述べた物理要素をすべて含むような精緻な海洋大循環モデルによる海況変動の研究が進展している。本稿ではまず海洋大循環モデルをもちいた数値モデリングを中心に最近の研究の進展について紹介する。具体的な素材として、筆者が開発を進めてきた数値海況予測システム JCOPE を用いた研究について紹介するとともに、最近の数値モデリングの成果の一部を JCOPE に導入し、その結果についても紹介する。最後に、まとめとして東シナ海における観測の最新動向とも連動した東シナ海海況変動の予測可能性について触れたい。

### 東シナ海の数値モデリング研究

東シナ海の黒潮は台湾の東側から東シナ海に入ると大陸棚斜面に捕捉され基本的には安定な流路をとり、トカラ海峡から東に抜けていく流れとなっている。黒潮の駆動力である北太平洋の風系は季節的に大きく変動するにもかかわらず、不思議なことに東シナ海を通過する黒潮の流量は年間を通じて安定してい

る。この問題を調べるため、Kagimoto and Yamagata (1997) は北太平洋の海洋大循環モデルを構築し、現実的な地形と外力を導入することで観測結果とほぼ同様な黒潮流量の変動を数値モデルで初めて表現することに成功した。このことは海洋の密度構造と地形の相互作用 (JEBAR) を精緻に表現するという意味で現実的な海洋大循環モデルによる黒潮変動の予測可能性を強く示唆するものであり、地球フロンティア研究システム (宇宙開発事業団と海洋科学技術センターの共同研究プロジェクト、現在は海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター) において日本近海の詳細な海洋変動予測を目指した研究計画「日本沿海予測可能性実験 (JCOPE)」が開始される契機となった。

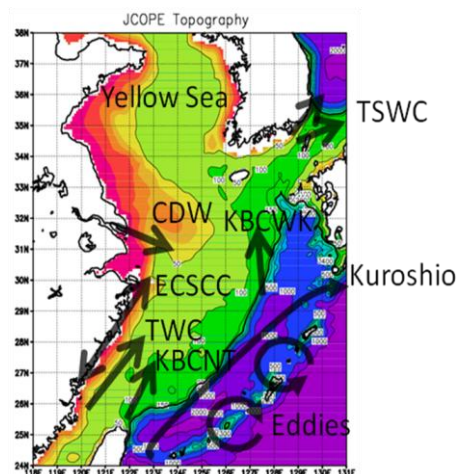


図1: JCOPE モデルにおける東シナ海の地形と海流系の概念図。(TWC: 台湾暖流、ECSCC: 東シナ海沿岸流、TSWC: 対馬暖流、KBCNT: 台湾北側沖黒潮分枝流、KBCWK: 九州西側沖黒潮分枝流、CDW: 長江希釈水)

JCOPE では細かな地形や、黒潮周辺の中規模渦や黒潮前線渦等を可能な限り解像しつつ、北太平洋全体の変動を効率的に導入するために入れ子手法を採用し、東シナ海については当初から水平 1/18 度の高解像度でモデル化することが可能になった。Guo et al. (2003) は、この高解像度モデルを用いて黒潮が陸棚斜面を離れトカラ海峡に抜けていく過程について調べ、黒潮の流速の鉛直勾配 (すなわち温度風平衡を通じた密度の水平勾配) の表現が現実的であることが、陸棚斜面の束縛を離れトカラ海峡に向かう現実的な流路の再現にとって重要であることを示し

た。この知見をふまえ、現在の JCOPE モデルは水平 1/4 度の北太平洋モデルに水平 1/12 度のモデルが入れ子となった構成となっている。

東シナ海は日本海の対馬暖流の起源であり、対馬暖流の形成機構については対馬海峡と津軽海峡の水位差によるものとして論じられており (Minato and Kimura (1980), Ohshima (1994))、水塊としての起源は、台湾暖流水、黒潮系水、長江希釈水、黄海の沿岸水などの混合が指摘されている (Isobe, 1999a)。対馬暖流の水塊起源のうちもっとも重要なものは台湾暖流であるとされ、「台湾・対馬暖流系」(Fang et al., 1991) が東シナ海の海流系の大きな特徴とされている。Isobe (1999b) は、既存の観測データを用いて作成した東シナ海の診断モデルを用い、年間を通じて基本的には台湾・対馬暖流系が存在するものの、秋には九州西側沖からの黒潮分枝流が対馬暖流の水塊形成に相当程度寄与することを示唆した。Guo et al. (2006) は前述した水平 1/18 度の高解像度 JCOPE モデルを用いて対馬暖流の起源について調べ、九州西側沖からだけではなく台湾の北側沖からの黒潮分枝流も対馬暖流の水塊形成に相当程度寄与することを示した。さらに東シナ海の陸棚斜面全体を通じた黒潮系水の進入流量の変動については、季節風の変動を反映したエクマン流の変動によるものと、黒潮それ自体の密度変動が陸棚斜面に影響されて生ずるものの双方があることを示した。興味深いことに、対馬暖流の基本的な駆動力とされる対馬海峡・津軽海峡水位差の位相はモデルの対馬海流の流量変動の位相と必ずしも一致せず、Guo et al. (2006) は黒潮分枝流の進入がこのようなずれをひきおこしていると指摘している。

Guo et al. (2006) は、黒潮の密度構造の変動がひきおこす黒潮系水の具体的な進入機構については論じなかったが、Isobe and Beardsley (2006) は、陸棚斜面の黒潮前線に沿って生ずる渦 (黒潮前線渦) が砕波して陸棚域に放出されていく様子を高解像度入れ子モデルで表現し、渦の砕波や放出に伴う黒潮と陸棚域との海水交換量を 0.85Sv と見積もった。この値は対馬暖流の流量 (2-3Sv) および Guo et al. (2006) が見積もった全体の輸送量 (1.46Sv) にとって大きな比率であり興味深い。なお、黒潮前線渦による変動は Guo et al. (2006) の JCOPE モデルにおいてもある程度表現されている。

Guo et al. (2006) の 1/18 度 JCOPE モデルでは対馬暖流の流量が 3.03Sv でありやや多めに見える。台湾暖流の流量が 1.71Sv と現実的であることから、黒潮の進入量 1.46Sv が多めに評価されている可能性がある。現状の 1/12 度 JCOPE モデルでは、台湾暖流および黒潮の東シナ海への進入量が過大になっている (Lee 他, 2007)。Lee and Matsuno (2007) は東シナ海の領域モデルに M2 潮汐混合を表現するパラメタリゼーションを導入し、潮汐混合がない場合は 0.2Sv 程度黒潮の東シナ海陸棚域への進入を過大評価していることを示しており、JCOPE モデル改良の参考になる。

東シナ海の水塊形成には、長江から放出される淡水 (年平均

約 0.06Sv) との混合によって形成される長江希釈水の存在も重要である。Chang and Isobe (2003; 2005) は東シナ海の領域モデルに長江の淡水流出を導入しその挙動を調べた。長江希釈水の分布は基本的に台湾・対馬暖流系の挙動に支配されるため、夏は対馬海峡周辺まで東に広がった分布となり、冬は中国沿岸にはりついた分布となることがわかった。ただし、風によるエクマン流の影響も無視はできず、特に夏の北東方向への分布の広がりや冬の中国沿岸に沿った長江希釈水の南下には風系変化の影響があることを示唆している。

#### 数値海況予測システム JCOPE1・FRA-JCOPE・JCOPE2

JCOPE モデルは海面高度や水温塩分観測値のデータ同化機能を加えて JCOPE 数値海況予測システム (JCOPE1) として 2001 年 12 月から海洋研究開発機構の海洋変動予測実験として運用されるようになった (宮澤と山形, 2003; 宮澤他, 2005; Kagimoto et al., 2008; Miyazawa et al., 2007)。予測結果は様々なデータにより検証され、また様々な応用研究にも活用されてきた (宮澤と早稲田, 2005; 宮澤, 2006; 2007a)。JCOPE1 では長江の淡水流出は未導入であり、M2 潮汐混合も考慮されていないが、東シナ海でも一定の再現精度がありその流動場が大型クラゲの移動分布の予測、解析に用いられた。たとえば Shiraki et al. (2008) は九州西側沖に形成される黒潮分枝流の形状の違いにより、2003 年と 2005 年の大型クラゲ分布の違いが生じたことを示した。JCOPE1 に地方自治体の水産試験機関等による現場水温塩分観測データを導入し予測精度の向上をはかり漁海況予測および水産資源の管理に応用しようとする水産総合研究センターと海洋研究開発機構の共同研究 (「太平洋およびわが国周辺の海況予測モデルの高度化と魚類生態モデルとの結合理化に関する研究」、2004-2006 年度) において JCOPE1 を用いた 2006 年の東シナ海における大型クラゲの分布予測実験が行われ、クラゲ分布の予測に成功した (宮澤, 2007a)。2007 年度から、新たに JCOPE1 は水産総合研究センターに移植され FRA-JCOPE システムとしても運用されるようになり、漁海況予測や大型クラゲの分布予測などに用いられている (小松他, 2007)。

JCOPE1 から FRA-JCOPE への移植過程において、観測密度が稠密な水産試験研究機関の現場水温塩分データと衛星データとの融合方法や、数値モデル本体の性能が課題となった。水産総合研究センターと海洋研究開発機構はこうした課題に対処し、数値海況予測システムを用いた水産資源変動の解明と予測を推進するための第二期の新たな共同研究 (「漁海況予測及び水産資源変動予測のための海況予測システムの高精度化と魚類等輸送予測モデルの高度化に関する研究」、2007-2010 年度) を開始した。新しい共同研究では海洋研究開発機構は数値海況予測システムの精度をさらに向上させ、水産総合研究センターはその成果を水産資源変動の解明と予測に直ちに活用していくという役割分担になっている。このような役割分担のもと、海洋研究開発機構では JCOPE1 に三次元変分法 (Fujii and Kamachi, 2003; Usui

et al., 2006) を導入し、さらにモデルの移流・水平粘性拡散スキームを変更するなど、新たな数値海況予測システム JCOPE2 を開発している (宮澤, 2007b; 宮澤他, 2007c)。

### JCOPE2 における東シナ海の海況表現

第二期共同研究では、東シナ海の大規模クラゲの分布予測精度向上にも力点が置かれている。このため、JCOPE2 では東シナ海の時況再現精度向上への試みとして、長江の淡水流出を導入し、合わせて M2 潮汐混合のパラメタリゼーション (Lee and Matsuno, 2007) を導入した。2003 年 2 月～2005 年 2 月までの 2 年間を対象として、QuikSCAT 海上風及び NCEP/NCAR 再解析データの海上気象要素から算出した海表面外力でモデルを駆動しつつデータ同化を行って 2 日平均値を作成し解析の対象とした。図 2 に、M2 潮汐混合効果を入れた場合と入れない場合の海底直上の流れを示す。台湾暖流および台湾北側沖黒潮分枝流の東シナ海陸棚域への進入が M2 潮汐混合効果の導入によって抑えられている様子がわかる。

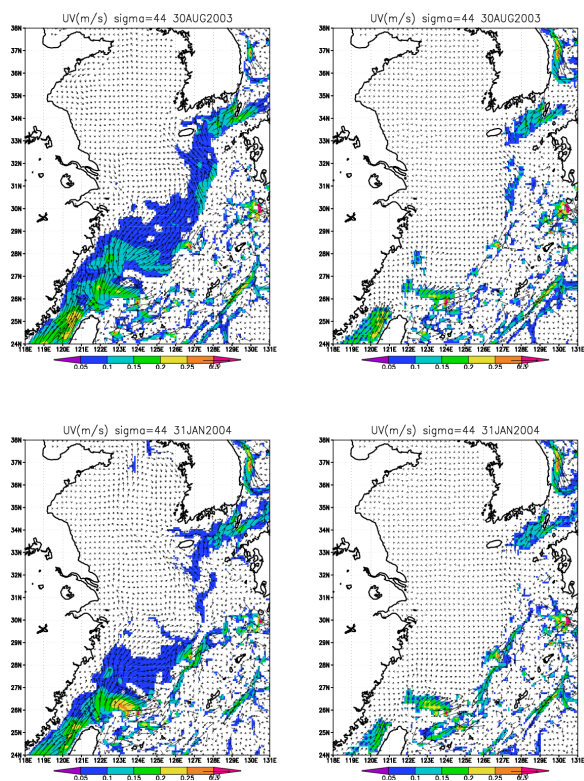


図 2: JCOPE2 における海底直上の流れ (上: 2003/08/30、下: 2004/01/31)。左側: M2 潮汐混合なし、右側: M2 潮汐混合あり。色は流れの強さを表す。

図 3 には、M2 潮汐混合効果及び長江からの淡水流出を導入した場合の表面の塩分分布を示す。海面では月平均気候値 (WOA01) に緩和する塩分フラックスを与え、Kourafalou et al. (1996) の方法により長江河口内部で淡水流出量の月平均気候値

(Beardsley et al., 1985) を付加した。淡水流出が最大となる 7 月には長江希釈水が東に広がった分布となり、淡水流出が少なく最少となる 1 月には中国沿岸に張り付き南側に少し伸びた分布となっている。こうした分布形状は台湾・対馬暖流系及び風系の季節変化によるものであり Chang and Isobe (2003) の結果と同様である。しかし、2003 年 7 月の分布をみると、Chang and Isobe (2003) の結果にみられた長江前面における低塩分水の北偏バイアスが改善されている傾向がある。このような M2 潮汐混合が塩分分布に及ぼす効果は将来の興味深い研究課題となろう。表面の流れ場 (図 4) から、7 月には台湾・対馬暖流系の勢力が強まり、北東向きの東シナ海沿岸流が生じており、同時に長江前面で北東向きの流れがみられる。このような流れ場の特徴が長江希釈水の東側への広がりを促進している。季節風系の変化に伴い、1 月には台湾・対馬暖流系の勢力は弱まり、中国沿岸では南西向きの東シナ海沿岸流が生じている。図 3 右の塩分分布はやはりこうした流れ場の状態に依存しているとみられる。図 4 は表面の流れ場であり風によるエクマン流が含まれているため、ややわかりにくいのが、黒潮、台湾暖流、東シナ海沿岸流、対馬暖流、九州西側沖黒潮分枝流、台湾北側沖黒潮分枝流、太平洋側の中規模渦など図 1 で示した東シナ海的主要な流れ場が表現されていることがわかる。

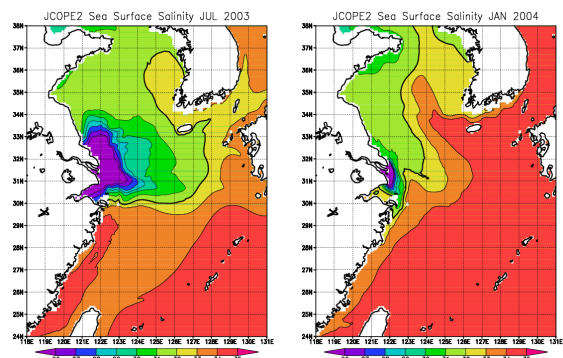


図 3: JCOPE2 における海面の月平均塩分分布 (左: 2003/07、右: 2004/01)。太線は長江希釈水の広がりの指標としての 32psu 等値線である。

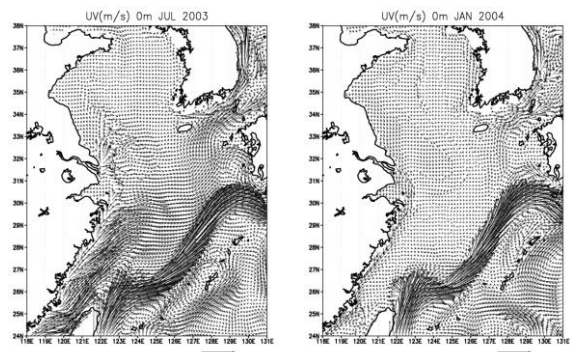


図 4: JCOPE2 における月平均海面流れ場 (左: 2003/07、右: 2004/01)。



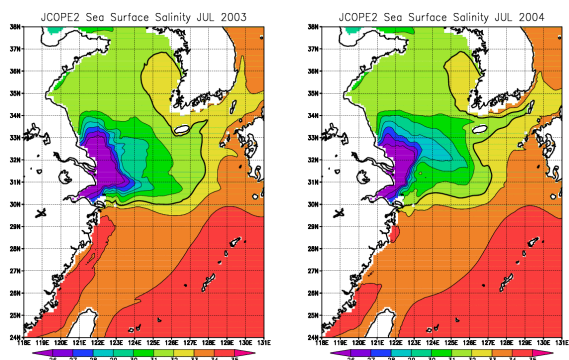


図5: 図3と同じ (左: 2003/07、右: 2004/07)

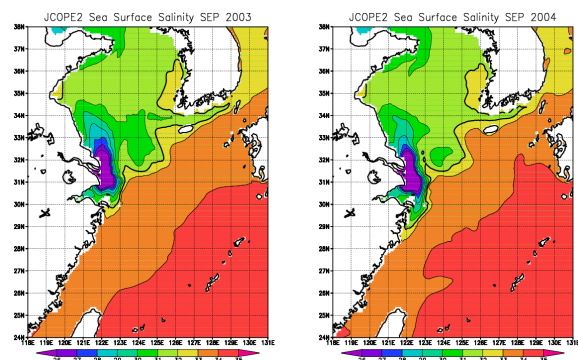


図7: 図3と同じ (左: 2003/09、右: 2004/09)

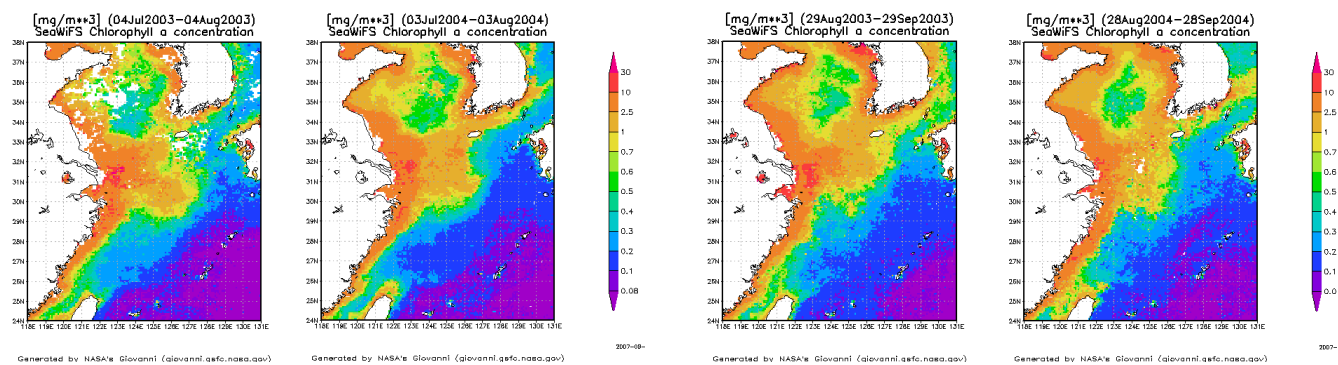


図 6: 人工衛星海色センサーSeaWiFS で観測された海色の月平均分布 (左: 2003/07、右: 2004/07)。  
The Ocean Color Time-Series Project ウェブサイト  
<http://reason.gsfc.nasa.gov/Giovanni/>

図8: 図6と同じ (左: 2003/09、右: 2004/09)

7月の長江希積水分布の2003年と2004年の違いを比べてみると(図5)、2003年7月の長江希積水は南東寄りの分布になっているのに対し、2004年7月は北東寄りの分布になり長江希積水の先端部は対馬海峡に達している。長江からの淡水流出量は変わらないので、流れ場の変化による違いであると思われる。観測でも同様の違いがあるか見るために、人工衛星海色データ(SeaWiFS)の月平均値の分布を比較した(図6)。海色データ(クロロフィル)の分布が必ずしも長江希積水の分布と一致するかどうかわからないが、この場合は分布傾向の経年変化が一致するようであり、JCOPE2は長江希積水の分布の変化を適切に表現していると思われる。

冷泉と磯辺(2006)は、大型クラゲの日本沿岸への大量来遊年であった2003年とそうではなかった2004年の分布を比較して、2003年は例年9月に吹く北風が弱く大型クラゲが中国沿岸に沿って南西方向に輸送されにくくなり、したがって長江前面海域の大型クラゲが対馬海峡へと移動しやすい状態であったことが大量来遊の原因であると指摘している。長江希積水についても同様な分布の違いがあったかどうか確かめるため、図7および図8にそれぞれJCOPE2の9月の長江希積水の分布及び海色データの分布を示す。海色データを見ると、2003年は2004年に比べ中国沿岸に沿った南西寄りの分布傾向が弱めになっていることが確認でき、JCOPE2の長江希積水も同様な分布の違いをみせていることがわかる。33N, 124Eにみられる低塩分パッチの違いは同じ場所の海色データの濃淡の違いによく対応しているようである。

2003年と2004年は水産総合研究センター・西海区水産研究所によって長江周辺海域の現場観測が行われている(岡村と清本, 2004)ので、水温と塩分の鉛直断面の比較検証が可能である。長江前面(31.45N)の東西断面(図9)の比較から、JCOPE2が10-30mの強い水温塩分躍層をある程度表現していることがわかる。JCOPE2は黒潮系の低温・高塩分水の浅海部への入り込みも表現できている。ただし、観測の測点13にみられるような黄海底層冷水起源(岡村と清本, 2004)の14℃以下の水塊は表現できていない。また、長江前面よりやや南寄りの30.5Nの東西断面(図10)の観測結果からは、2003、2004年の夏にはともに20-30m深において顕著な水温塩分躍層が存在していること、及び2004年夏は2003年夏に比べ32psu以下の長江希積水の広がり弱いことなどがわかる。JCOPE2は弱いながら20-30m深の水温塩分躍層を表現している。ただし観測結果にみられるような2003年と2004年の違いは大きくない。2003年夏は2004年夏に比べ長江からの淡水流出量が多かった(冷泉と磯辺, 2006)、今後は長江からの淡水流出量の正確な値をモデルに投入し、その影響を評価する必要がある。

## おわりに

東シナ海の時況変動を数値モデルによってできるだけ現実的に表現するという立場から最近の研究の進展について述べ、長江希積水の表現という観点から、M2潮汐混合パラメタリゼーシ

ョンと長江淡水流出をJCOPE2数値時況予測システムに導入した場合の時況表現について簡単に紹介した。JCOPE2は長江希積水水平分布の季節変動や経年変動をある程度現実的に表現できている。また、少なくとも夏の東シナ海では、海色データは長江希積水の分布とある程度一致することがわかり、今後、数値モデルをもちいて東シナ海の時系変動を解明していくうえで長江希積水の表現が重要であることも確認できた。以上の結果それ自体は既示されていることである(Chang and Isobe, 2003; 2005、岡村と清本, 2004)が、今後は長江の淡水流出量の過去の実況値を入力してJCOPE2の再解析データを作成し、過去に何度も生じた長江大洪水が東シナ海の時況変動にどのような影響を与えたか具体的に調べていきたい。

東シナ海の時測可能性に対しては、長江希積水の分布に限って言えば淡水流出量と風応力分布の正確な値を知ることがもつとも重要である。黒潮の影響についてはその力学を今後さらに具体的に調べていくことが必要であるが、その影響においてひとつの重要な要素であろう黒潮前線渦の表現に注目してモデルの結果を調べていきたい。東シナ海の時況予測モデル開発は、現在、日本、中国、韓国等で活発に行われ、モデル結果の応用が各国で試みられている(GODAE Coastal and Shelf Seas Working Group, 2007)。今後は、モデルの相互比較を行うなどモデル開発者および利用者間の交流を進めていきたい。

## 参考文献

- Beardsley, R. C., R. Limeburner, H. You, and G. A. Cannon, 1985: **Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea**, *Cont. Shelf. Res.*, 4, 57-76.
- 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, C93299, doi:10.1029/2002JC001749.
- Chang, P.-H, and A. Isobe, 2005: **Interannual variation of Freshwater in the Yellow and east China Seas: Roles of the Changjiang Discharge and wind forcing**, *J. Oceanogr.*, 61, 817-834.
- Fang, G., B. Zhao, and Y. Zhu, 1991: **Water volume transport through the Taiwan Strait and the continental Shelf of the East China Sea measured with current meters**, 345-358, In *Oceanography of Asian marginal seas*, ed. By K. Takano, Elsevier, Amsterdam.
- Fujii, Y., and M. Kamachi, 2003: **A reconstruction of observed profiles in the sea east of Japan using vertical coupled temperature-salinity EOF modes**, *J. Oceanogr.*, 59, 173-186.
- GODAE Coastal and Shelf Seas Working Group, 2007: **Towards the assessment and demonstration of the value of GODAE results for coastal and shelf seas models and forecasting systems**, GODAE White Paper, Second Edition, P. De Mey, ed., 74pp. <http://www.godae.org/CSSWG.html>
- Guo, X., H. Hukuda, Y. Miyazawa, and T. Yamagata, 2003: **A triply nested ocean model for simulating the Kuroshio- roles of horizontal resolution on JEBAR**, *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 146-169.
- Guo, X., Y. Miyazawa, and T. Yamagata, 2006: **The Kuroshio onshore intrusion along the shelf break of the East China Sea: the origin of the Tsushima Warm Current**, *J. Phys. Oceanogr.*, 36, 2205-2231.
- Isobe, A., 1999a: **The Taiwan-Tsushima warm current system: its path and the transformation of the water mass in the East China Sea**, *J. Oceanogr.*, 55, 185-195.
- Isobe, A., 1999b: **On the origin of the Tsushima warm current and its seasonality**, *Cont., Shelf Res.*, 19, 117-133.
- Isobe, A., and R. C. Beardsley, 2006: **An estimate of the cross-frontal transport at the shelf break of the East China Sea with Finite Volume Coastal Ocean Model**, *J. Geophys. Res.*, 111, C03012, doi:10.1029.2005JC003290.
- Ichikawa, H. and R. C. Beardsley, 2002: **The current system in the Yellow and East China Seas**, *J. Oceanogr.*, 58, 77-92.
- Kagimoto, T., and T. Yamagata, 1997: **Seasonal transport variations of the Kuroshio: an OGCM simulation**, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 403-418.
- Kagimoto, T., Y. Miyazawa, X. Guo, and H. Kawajiri, 2008: **High resolution Kuroshio forecast system -Description and its applications-**, in *High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean*, W. Ohfuchi and K. Hamilton (eds), Springer, New York, 209-234.
- Kourafalou, V. H., L-Y. Oey, J. D. Wang, and T. N. Lee, 1996: **The fate of river discharge on the continental shelf. 1. Modeling the river plume and the innershelf coastal current**, *Journal of Geophysical Research*, 101, 3415-3434.
- 小松幸生, 瀬藤聡, 吉成浩志, 清水学, 宮澤泰正, FRA-JCOPE グループ, 2007: **海況予測システム FRA-JCOPE での利用による Argo データの水産資源変動研究への効果**, *月刊海洋*, 39, 7, 304-326.
- Lee, J.-S., and T. Matsuno, 2007: **Intrusion of Kuroshio water onto the continental shelf of the East China Sea**, *J. Oceanogr.*, 63, 309-325.
- J.-S. Lee, 小松幸生, 宮澤泰正, 瀬藤 聡, 奥野章, 2007: **東シナ海・黄海における FRA-JCOPE の流量変動特性と再現性**, 2007 年度日本海洋学会秋季大会要旨集.
- Minato S., and R. Kimura, 1980: **Volume transport of the western boundary current penetrating into a marginal sea**, *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, 36, 185-195.
- 宮澤泰正, 山形俊男, 2003: **JCOPE 海洋変動予測システム**, *月刊海洋*, 33, 881-886.
- 宮澤泰正, 鍵本崇, 郭新宇, 川尻秀之, 佐久間弘文, 山形俊男, 2005: **JCOPE 海洋変動予測システムとその展開**, *月刊海洋*, 37, 263-269.
- 宮澤泰正, 早稲田卓爾, 2005: **JCOPE 海洋変動予測システム -工学的利用に向けて-**, *月刊海洋*, 37, 644-655.
- 宮澤泰正, 2006: **海流予測情報とその利用**, *Captain*, 375, 52-58. 日本船長協会.
- 宮澤泰正, 2007a: **海洋変動予測実験とその成果-海中の数値天気予報-**, *検査技術*, 12, 45-51. 日本工業出版.
- 宮澤泰正, 2007b: **数値海流予測技術の展開-黒潮・親潮・インド洋-**, *水路*, 142, 22-34, 日本水路協会.
- 宮澤泰正, 鍵本崇, 小松幸生, 瀬藤聡, 章若潮, 2007c: **数値海況予測システム JCOPE2 における海況再現**, 日本海洋学会 2007 年度秋季大会要旨集.
- Miyazawa, Y., T. Kagimoto, X. Guo, and H. Sakuma, 2007: **The Kuroshio large meander formation in 2004 analyzed by an eddy-resolving ocean forecast system**, *J. Geophys. Res.*, in revision.
- Ohshima, K.-I., 1994: **The flow system in the Japan Sea caused by a sea level difference through shallow straits**, *J. Geophys. Res.*, 99, 9925-9940.
- 岡村和磨, 清本容子, 2004: **「陸域由来の環境負荷変動に対する東シナ海の物質循環応答に関する研究 (1) 長江河口・東シ**

ナ海陸棚域へ供給される環境負荷物質の海洋生態系を介した循環に関する研究 2 形態変化をともなう環境負荷物質の輸送に関する研究」報告書, 33-44.

冷泉伸泰、磯辺篤彦, 2006: 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. 海の研究, 15, 425-436.

Shiraki, Y., Yanagi, T. and Guo, X. 2008: **Tracer experiments for appearance of the giant jellyfish, *Nemopilema nomurai*, in the southern Japanese coastal area of the Pacific Ocean in summer 2005.** Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, No. 134, 5-11.

Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, M. Kamachi, 2006: **Short-range prediction experiments of the Kuroshio variabilities south of Japan,** Ocean Dyn., DOI 10.1007/s10236-006-0084-z.

Xie, S.-P., J. Hafner, Y. Tanimoto, W.T. Liu, H. Tokinaga, and H. Xu, 2002: **Bathymetric effect on the winter sea surface temperature and climate of the Yellow and East China Seas,** Geophys. Res. Let., 29, 24, 2228, doi:10.1029/2002GL015884.

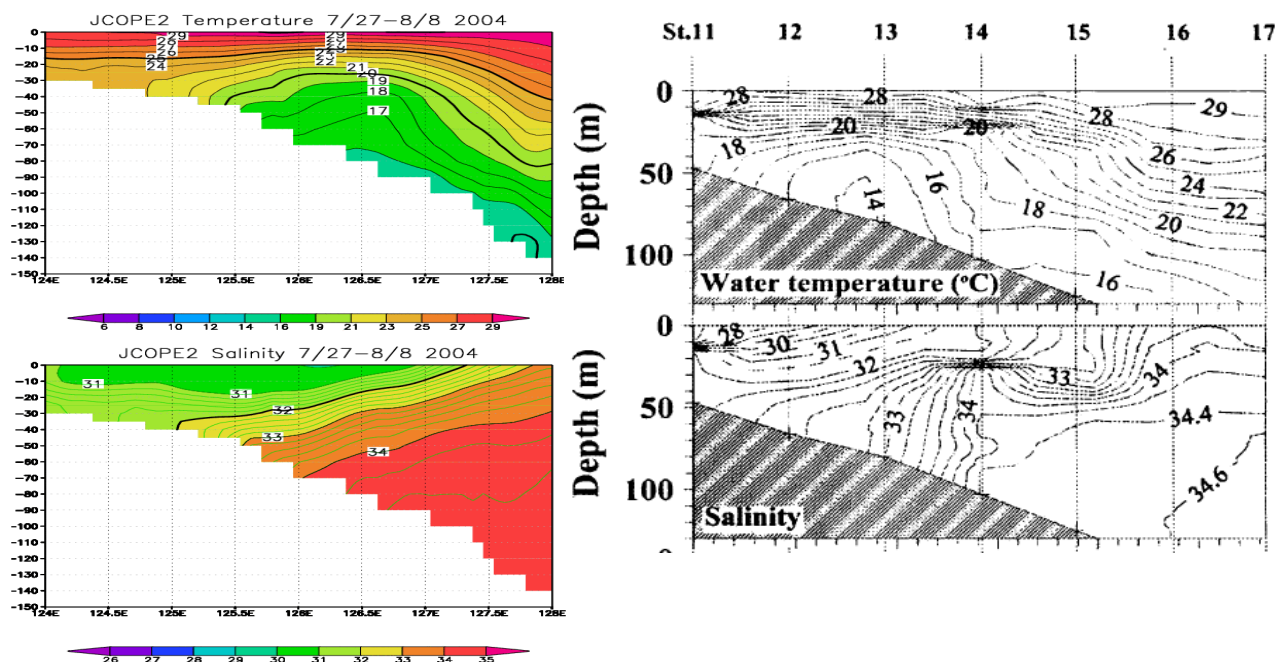


図9: 31.45Nにおける水温・塩分鉛直断面。 2004年7月末～2004年8月初め。左側はJCOPE2、右側は水産総合研究センター・西海区水産研究所観測船「陽光丸」による観測（岡村と清本、2004）。



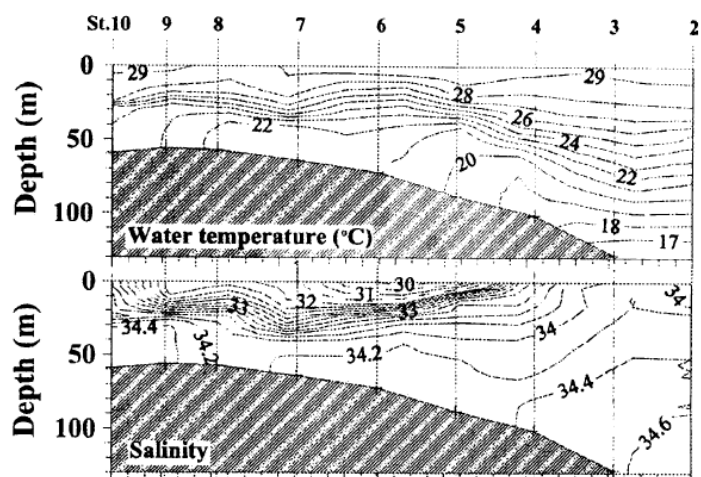
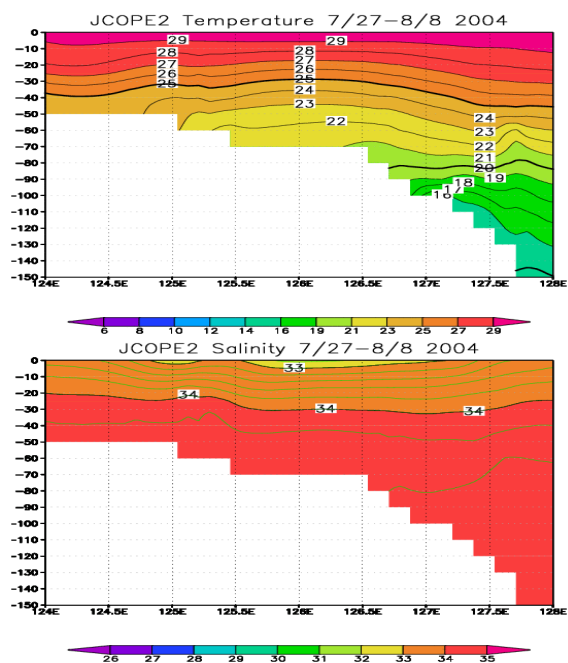
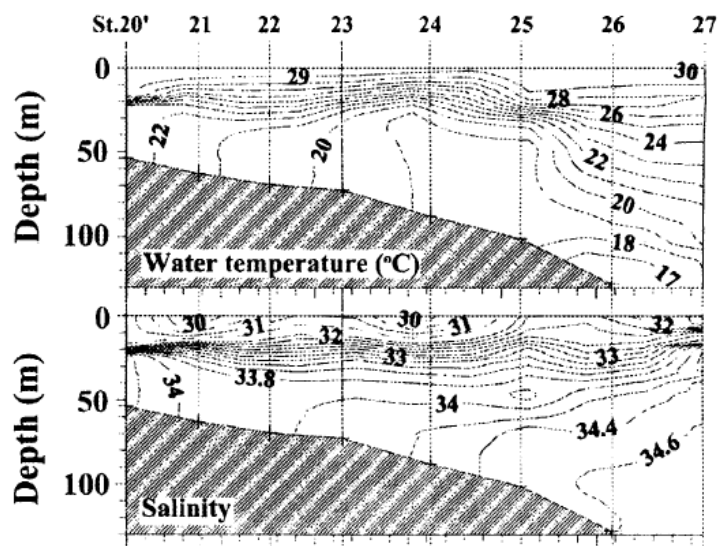
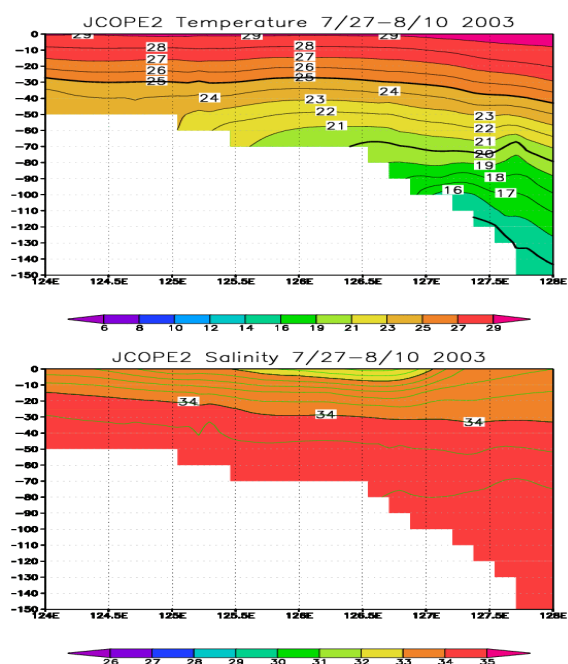


図 10: 30.5N における水温・塩分鉛直断面。上: 2003 年 7 月末～2003 年 8 月初め。下: 2004 年 7 月末～2004 年 8 月初め。左側は JCOPE2、右側は水産総合研究センター・西海区水産研究所観測船「陽光丸」による観測（岡村と清本、2004）。