

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21244073

研究課題名（和文） 急潮予報システムの構築と生態影響評価への戦略的運用

研究課題名（英文） Establishment of a kyucho forecast system and its application for detecting ecological influences

研究代表者

国立大学法人愛媛大学・沿岸環境科学研究センター

教授・磯辺 篤彦（ISOBE ATSUHIKO）

研究者番号：00281189

研究成果の概要（和文）：

JCOPE2などの海洋同化プロダクトを外洋側の境界条件とし、また、ASCAT衛星風データを強制力とすることで急潮の再現がある程度可能なこと、また、同化プロダクトを初期条件にした予報モデルの結果を境界に与え、また予報風を強制力とすることで、急潮予報が可能であることを示した。予報を参照して実施した豊後水道における集中観測によって、急潮に伴う沿岸生態系の急激な変遷や流況変動を検出した。

研究成果の概要（英文）：We successfully hindcasted kyucho events using an numerical model with an ocean reanalysis product as the open boundary condition, and with ASCAT satellite wind data as the forcing condition at the sea surface. Thereafter, these hindcasting computations are used as the initial condition for the kyucho forecast model along with the forecasted winds as the forcing condition. According to the forecast model, the kyucho observations were conducted in the Bungo Channel, and finding is that the rapid transition of both coastal ecosystem and ocean currents occurred after the kyucho events.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	13,700,000	4,110,000	17,810,000
2010年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2011年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2012年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
総計	35,000,000	10,500,000	45,500,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学/気象・海洋物理・陸水学

キーワード：急潮、数値予報、豊後水道

1. 研究開始当初の背景

黒潮前線から伸びた暖水舌が日本南岸の沿岸域に侵入する「急潮」現象に関しては、相模湾や瀬戸内海の豊後水道など、これまで多くの事例が報告されてきた。時に1日で5℃近くに達する水温上昇や急潮に伴う強流は、養殖魚のへ

い死や漁網の損傷など、「海の台風」とも呼ぶべき大きな漁業被害を招く。かくして、急潮予報は沿岸海洋学に携わる研究者に寄せられた大きな社会的要請でありつづけたが、実用的な予報技術は未だ確立されていなかった。

急潮は漁業被害をもたらす一方で、沿岸域に

おける生物生産性を高めるとの報告もある(小泉,1994,沿岸海洋研究ノート)。すなわち、急潮終息時に黒潮系水が沿岸域から沖合へと退行し、それを補償するべく栄養塩豊富な下層水が有光層内へと湧昇することで、基礎生産が活性化する過程である。このような急潮の沿岸生態系に与える影響の解明は、海洋研究者に向けられた大きな学術的要請でもあった。ところが、栄養塩やプランクトン量の定点監視では、急潮前後の空間的変動を知るには情報が限定され、かといって何時来るとも知れない急潮が対象では、多数の測点を展開しての、急潮前後の集中観測も立案しにくい。したがって、急潮の影響が、栄養塩の動態や、低次から高次の生態系へと波及していく過程を包括的にとらえた研究は存在していなかった。

2. 研究の目的

急潮発生を想定して、JCOPE モデルとFVCOM を組み合わせた予報システムを構築する。数日間にわたる四国西岸での急潮北上传播を予報する予報システムの構築を目指す。特に中・長期予報システムを戦略的に利用しつつ、栄養塩、動植物プランクトン、さらには魚類の動態変化をそれぞれの研究者が監視することで、急潮が沿岸生態系に与える影響についての合理的・包括的なシナリオを作成する。

3. 研究の方法

急潮発生と関連深い四国沖における黒潮前線の変動(位置や尖鋭度)に注目し、定置水温観測網最南端のデータを参照しつつ、JCOPE データの精度検証を行う。すなわち、JCOPE データが急潮予報に有意か否か、黒潮前線の変動振幅や周期を、中規模渦と関連づけて精査する。同時に、JCOPE データを初期・境界条件とした数値モデル(FVCOM)を用いて、数か月程度先を想定した急潮の中・長期予報モデルを構築し、まずは、ハインドキャスト実験を行う。すなわち、

定置水温観測網が捉えた過去の急潮に対する再現性の検証実験である。十分に再現性が確認された後、春季(4-5 月頃)の JCOPE データを初期条件とし、FVCOM を用いた三か月程度の計算を行うことで、急潮の発生時期を予報する。JCOPE データの更新は二週間ごとに行い、更新に併せてFVCOMによる三か月予報も更新する。予報精度の検証には、定置水温観測網やTRBM/ADCP のデータを用いる。

予報システムで急潮の頻発が予想される時期の前後に、沿岸センター所有の調査船「いさな(14トン)」を使用した数日毎の 9-10 回程度の船舶巡回観測を実施する。その際に、観測時期は、なるべく県水試の定線観測期間を外して行う。時空間的に密な解析を行うべく、相互補完的にデータを取得するためである。巡回観測では、採水および動植物プランクトンや稚仔魚の採取を行い、急潮前後における栄養塩分布や、動植物プランクトンの現存量および種組成の変化について、急潮と関連付けて考察していく。また、プランクトンと稚仔魚の窒素・炭素同位体比等をみることで食物連鎖の解析を行い、たとえば急潮前後のカイアシ類の脂質レベルなどに発現する餌料生物の状態変化が、高次生態系に波及していく過程を考察する。巡回観測の結果は、予報システムの精度の検証や向上にも還元させる。

4. 研究成果

(1) 急潮数値予報

2010 年の 1 月から 9 月までに計 6 回の 3 か月予報を実施した。予報の精度評価のために、日振島測点と下波測点で平均した水温観測記録(両測点を区別できるほどの解像度ではない)と、同時期における両測点の中間点で得た予報時系列(アンサンブル平均)を比較した。

2010 年の観測水温記録(Fig.2 に後述)をみると、2 月と 8 月頃に顕著な水温上昇がみられる。2010 年 1 月 20 日時点で予報した海面水温の水

平分布をFig.1に示す。10ケースあるアンサンブルの1ケースを、2月15日と25日で描いたものである。両日にかけて、豊後水道南部に入り込んだ黒潮前線の一部分が、水道中央部を北上していく様子がわかる。

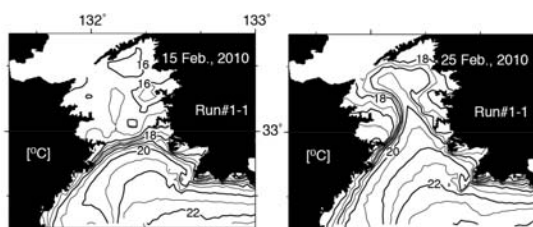


Fig.1 急潮予報モデルの海面水温分布

3か月予報期間の水温記録を観測とモデルで比較すると(Fig.2), 2月10日前後の急潮については、その発生時期と水温上昇量の予報に概ね成功している。ただし、全期間を通して、これほどの精度が安定して保障されるわけではない。

Fig.2には、6回の予報計算で得た前述測点における水温記録を、観測データと比較している。図には示していないが、予報開始時点(図の番号付の黒丸)の前には、それぞれ2か月間の再現期間がある。また、図には10個のアンサンブルの平均のみを示している。1番目と2番目の予報精度は悪くないようであるが、3番目から4番目にかけては観測時系列との差が著しい。その後、5番目と6番目ではa, b, dで示した実際の急潮を予報できたが、6番目では、実際には発生しなかったcを誤報している。このうち、3番目と4番目の予報期間前は、日本南岸を通過するArgoフロートの数が少なく、境界条件に与えたJCOPE2データの品質が他の期間に比べて落ちていた可能性がある。また、cの誤報は、九州南岸に発達した黒潮小蛇行をFVCOMで表現できなかったことに起因している。

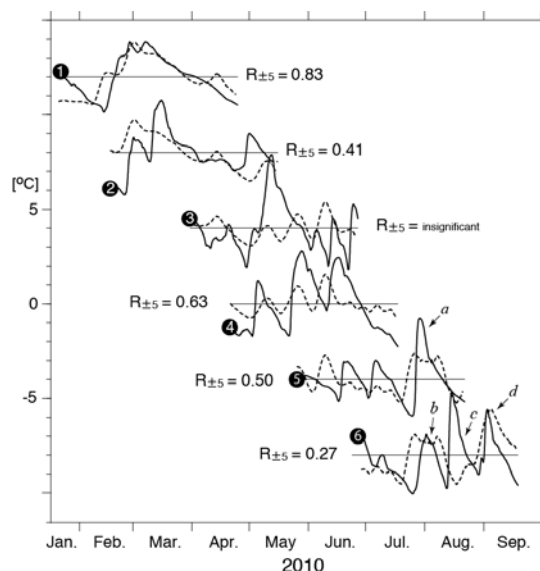


Fig.2 日振島測点と下波測点で平均した水温観測記録(破線)と、急潮予報モデルの表層水温時系列比較(実線)。6回の予報計算で、アンサンブル平均した結果のみを示す。

以上のように、コンピュータのパフォーマンスが向上したなかで、FVCOMのような高解像度の数値モデルが整備され、そして外洋境界に再解析データが利用できる現在では、まだ現業的とは言えないまでも、急潮予報が実現しつつある。我々の研究グループでは、潮汐や日々風の導入による精度の向上を目指した、“第二世代”の急潮予報システムの開発に取り組んでいる。

(2) 急潮巡回観測

急潮予報システムを利用した急潮発生前後の巡回観測のうち2010年6月17日から7月10日にかけて実施した9回の結果を述べる。Fig.3は巡回観測の観測点図である。

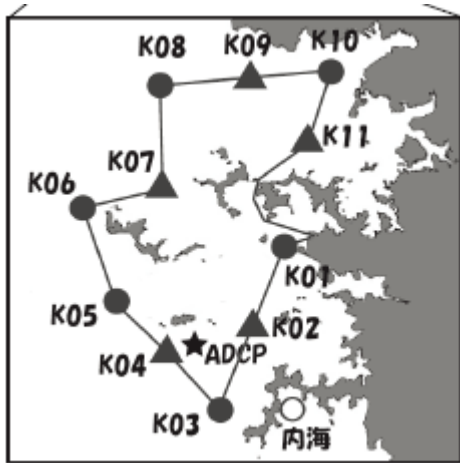


Fig.3 2010年の巡回観測位置。●は物理・生物観測で、▲は物理観測のみ。

観測期間中、計3回の小・中規模の「急潮」と、急潮から数日遅れて顕著な「底入り潮」が観測された。単純に考えると、表層に亜熱帯の水塊が侵入する急潮の影響により、高温・貧栄養で優占するピコ植物プランクトンなど小型生物群集を主体とした生態系へと生態系構造が変化することが予想されていた。しかし、実際にはその逆のことが生じ、ケイ藻を主体とした大型生物群集が優占する生態系へと生態系構造が変化していった。これは、Fig.4に示すように、底入り潮により底層に供給された高濃度の栄養塩が小島や半島周辺の強い潮汐混合により表層付近まで供給され、富栄養環境において高い増殖能力を持つケイ藻がそれに応答して増殖し、それまで優占していたピコ・ナノ植物プランクトン主体の生態系をマイクロ植物プランクトン主体の生態系へと変化させたためと考えられた。

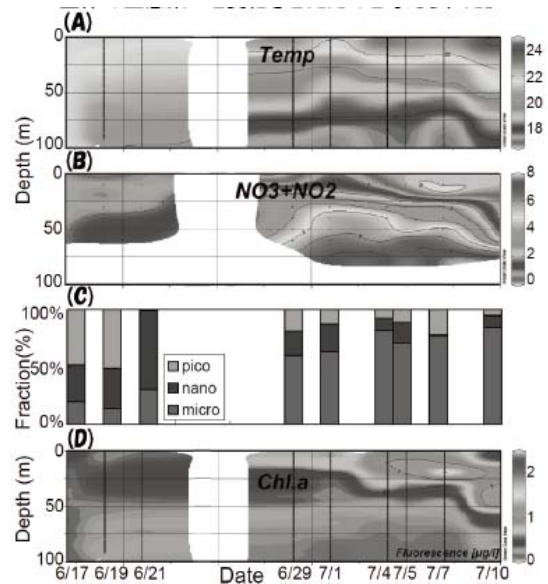


Fig.4 外洋水侵入の影響が顕著な Sta. K03 における(A)水温、(B) 栄養塩濃度、(C)植物プランクトン群集構造、(D)Chl.a 濃度の時間変化

(3) その他の成果

上記の研究以外にも、2010年から2012年にかけて実施した豊後水道における海底設置型 ADCP 観測の結果を取りまとめ、急潮と底入り潮、及び中層の南西流が、相互に関連しながら、豊後水道の水温変動に影響を与えていることを明らかにした。急潮など沿岸海域における比較的小規模の現象を解像できるバルーンを用いた観測技術の開発にも取り組んだ。また、豊後水道での水温計係留システムの維持に務め、蓄積した水温データを利用して、急潮強度の経年変動を解析した。さらには、昨年夏季の九州・四国地方における歴史的な豪雨が、西部瀬戸内海の海洋低次生態系に及ぼす影響について、現場観測により調べた。その結果、豪雨に伴う大量の河川水流入は、海洋表層では急潮を阻害し、逆に底層では底入り潮を強化することが示唆された。また、日本沿岸域におけるマイワシ・カタクチイワシの長期動態に関して、別府湾海底コアの解析を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- (1) Kuwae, M. "Stratigraphy and wiggle-matching- based age-depth model of late Holocene marine sediments in Beppu Bay, southwest Japan" *Journal of Asian Earth Sciences*, 69, 133-148, 2013
- (2) 磯辺篤彦 "沿岸水と黒潮水を繋ぐ黒潮前線波動" *沿岸海洋研究*, 50, 149-155, 2013
- (3) Isobe, A., S. Kako, X. Guo, and H. Takeoka "Ensemble numerical forecasts of the sporadic Kuroshio-water intrusion (kyucho) into shelf and coastal waters" *Ocean Dynamics*, 62, 633-644, 2012
- (4) Sugimatsu, K., A. Isobe "Favorable conditions for cold water intrusion from the Kuroshio intermediate layer into Osaka Bay" *Journal of Oceanography*, 67, 149-158, 2011
- (5) Isobe, A., X. Guo, and H. Takeoka "Hindcast and predictability of sporadic Kuroshio-water intrusion (kyucho in the Bungo Channel) into the shelf and coastal waters" *Journal of Geophysical Research*, 115, 2010, doi:10.1029/2009JC005818
- (6) Sugimatsu, K., and A. Isobe "Intrusion of Kuroshio-derived bottom cold water into Osaka Bay and its possible cause" *Journal of Oceanography*, 66, 191-200, 2010

[学会発表] (計39件)

- (1) 吉江直樹・坂本航平・中川美和・新田徹・高部由季・堤英輔 "2012年夏季の歴史的豪雨に対する豊後水道低次生態系の応答" 2013年度日本海洋学会春季大会, 2013年3月22日, 東京
- (2) 二村彰・磯辺篤彦・郭新宇・武岡英隆・橋田大輔・他9名 "豊後水道における急潮と底入り潮の海底設置型 ADCP での観測Ⅲ" 2012年度日本海洋学会秋季大会, 2012年9月14日, 静岡市

- (3) 加 三千宣 "日本沿岸域における過去3000年間の高解像度古海洋記録" 日本地球惑星科学連合2012年大会, 2012年5月23日, 千葉
- (4) 小森田智大・吉江直樹・藤井直紀・郭新宇・横川太一・濱岡秀樹・磯辺篤彦 "豊後水道の急潮が親生物元素の変動に与える影響" 2012年度日本海洋学会春季大会, 2012年3月26-30日, つくば市
- (5) 二村彰・磯辺篤彦・郭新宇・武岡英隆・永本和寿・豊田利彦・松永直也・村上英正・青木康真・村上英二・中根教道・小林由太郎 "豊後水道における急潮と底入り潮の海底設置型 ADCP での観測" 2011年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月26-30日, 春日市
- (6) 吉江直樹・藤井直紀・郭新宇・小森田智大・磯辺篤彦 "豊後水道における外洋水侵入に対する低次生態系の応答" 2011年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月26-30日, 春日市
- (7) Isobe, A. "Ensemble numerical forecast of Kuroshio water intrusion into the shelf and coastal waters south of Japan" *The 3rd International Workshop on Modeling the Ocean (IWMO-2011) -invited-*, 2011年6月9日, Qingdao, P.R.China
- (8) 二村彰・磯辺篤彦・郭新宇・武岡英隆 "2010年豊後水道 ADCP 観測について" 2011年度日本海洋学会春季大会, 2011年3月 (震災で要旨発表のみ)
- (9) 吉江直樹・藤井直紀・郭新宇・小森田智大・磯辺篤彦 "夏季の豊後水道における暖水進入に対する植物プランクトンの応答" 2011年度日本海洋学会春季大会, 2011年3月 (震災で要旨発表のみ)
- (10) 磯辺篤彦・郭新宇・吉江直樹・藤井直紀・Chang, K.H.・Todd Miller・大西秀次郎・小森田智大・二村彰 "急潮のアンサンブル予報と生態影響評価への運用実験" 2010年度日本海洋

学会秋季大会, 2010年9月6-10日, 釧路
(11) Isobe, A., X. Guo, and H. Takeoka “Hindcast and predictability of sporadic Kuroshio-water intrusion (kyucho in the Bungo Channel) into the shelf and coastal waters” Western Pacific Geophysical Meeting, June 2010, Taipei

(12) 張光玟・濱野寛文・藤井直紀・中野伸一・西部裕一郎・土居秀幸・郭新宇・武岡英隆・磯辺篤彦 ”沿岸プランクトン群集に及ぼす急潮の影響” 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 2009年10月16-18日, 函館

(13) 磯辺篤彦・郭新宇・武岡英隆 ”豊後水道における急潮予報の可能性” 2009年度日本海洋学会秋季大会, 2009年9月27日, 京都
〔図書〕(計1件)

Miller, T.W., Jaquinto, G., McGlone, M., Isobe, A., Shibata, J., Hamaoka, H., Omori, K. “Tracing Dynamics of Organic Material Flow in Coastal Marine Ecosystems: Results from Manila Bay (Philippines) and Kyucho Intrusion (Japan)” In: Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry -Marine Environmental Modeling & Analysis, eds. K.Omori, X.Guo, N.Yoshie, N. Fujii, I. Handoh, A.Isobe and S. Tanabe TERRAPUB, 2011, 278pp

〔その他〕

●愛媛新聞(2010年1月4日)で、本プロジェクトの地域漁業への貢献を報道

6. 研究組織

(1)研究代表者

磯辺 篤彦 (ISOBE ATSUHIKO)

愛媛大学沿岸環境科学研究センター教授

研究者番号:00281189

(2)研究分担者

郭 新宇 (KAKU SHINU)

愛媛大学沿岸環境科学研究センター准教授

研究者番号:10322273

(3)研究分担者

吉江 直樹 (YOSHIE NAOKI)

愛媛大学沿岸環境科学研究センター講師

研究者番号:50374640

(4)研究分担者

加 三千宣 (KUWAE MICHINOBU)

愛媛大学沿岸環境科学研究センター准教授

研究者番号:70448380

(5)研究分担者

武岡 英隆 (TAKEOKA HIDETAKA)

愛媛大学沿岸環境科学研究センター教授

研究者番号:90116947

(6)研究分担者

二村 彰 (FUTAMURA AKIRA)

弓削商船高等専門学校商船学科准教授

研究者番号:90332080

(7)研究分担者

斉藤 光代 (SAITO MITSUYO)

愛媛大学沿岸環境科学研究センター研究員

研究者番号:20512718

(8)研究分担者

張 光玄

愛媛大学沿岸環境科学研究センターGCOE 准教授

研究者番号:00403858

(9)研究分担者

木村 詞明 (KIMURA NORIAKI)

東京大学大学院新領域創成科学研究科助教

研究者番号:20374647

(10)研究分担者

Miller William Todd

愛媛大学沿岸環境科学研究センターGCOE 准教授

研究者番号:40533188

(11)研究分担者

守屋 和佳 (MORIYA KAZUYOSHI)

早稲田大学教育総合科学学術院助手

研究者番号:60447662