

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2010～2014

課題番号：22106002

研究課題名(和文) 縁辺海の海洋構造に励起される大気海洋相互作用と海洋生態系への影響

研究課題名(英文) Air-sea interactions with complex oceanographic structure over the marginal seas and their influence on marine ecosystem

研究代表者

磯辺 篤彦 (ISOBE, Atsuhiko)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：00281189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 64,810,000円

研究成果の概要(和文)：日本南岸における黒潮流路変動が、南岸低気圧の経路に揺らぎを与えることを発見した。冬季東シナ海における浅海部の海面冷却は、これに連動した海面気圧と風系の変化を通して、負のフィードバック機構を持つことを示した。瀬戸内海での海面水温分布によって海陸風が変調すること、大潮・小潮周期の海面水温変化に応じて、海上風も変動することを発見した。以上、縁辺海や沿岸規模の海洋過程は大気過程に影響を与え、場合によって相互作用が成立することを示した。また、植物プランクトンの春季ブルームが海面水温を変化させ、これが低気圧の発達に影響を及ぼすといった、大気-海洋-生態系の結合過程を提案した。

研究成果の概要(英文)：It is found that the Kuroshio meander south of the Japan Islands gives fluctuations of extratropical-cyclone paths south of the islands. It is found that winter cooling over the shallow coastal areas in the East China Sea shows a negative feedback process via sea surface pressure (hence, wind) changes caused by low SST. It is found that surface winds over the Seto Inland Sea oscillate in accordance with SST changes due to the tidal mixing at spring and neap tides, and that SST changes also influence on sea and land breeze over the coastal areas. It is therefore concluded that oceanic processes on regional and coastal scales can indeed alter atmospheric processes, and that two-way processes are likely to be accomplished under appropriate conditions. In addition, the accomplishment of coupling between atmosphere, ocean, and biosphere is likely to occur; we found that SST and extratropical cyclone activities are altered by spring phytoplankton boom over the Sea of Japan.

研究分野：海洋物理学

キーワード：大気海洋相互作用 縁辺海 沿岸海洋 海洋生態系

1. 研究開始当初の背景

本領域研究は、中緯度海洋が大気擾乱に与える影響や、それに端を発する大気-海洋相互作用環を、さまざまな時空間スケールで多階層的・統合的に探究するものである。この中で、当計画研究は、小規模でありながらも、高い生物生産性のため全球の海洋生態系に重要な縁辺海や沿岸域の、主として海洋過程を担当する。このスケールまでを網羅することによって、領域研究は、生物生産性あるいは地域的气象に対する影響評価にまで踏み込むことが可能となる。

すでに1970年代に国際共同研究である気団変質実験 AMTEX (Air Mass Transformation Experiment)が行われたように、古くから東シナ海をはじめとする東アジア縁辺海での大気海洋相互作用は注目を集めてきた。最近では、1990年代末から2000年代前半に東シナ海・九州梅雨特別観測および冬季日本海メソ対流系観測も行われ、特に前者では海洋性の気団が水蒸気供給を通じて降水分布に重要な影響を与えることが見いだされている (Moteki et al. 2004a,b JMSJ)。しかし、黒潮や対馬暖流系など東アジア縁辺海で重要な海洋構造が大気に与える影響については、わずかな先駆的研究例を数えるのみである。実際、本計画研究が対象とする東アジア縁辺海をみると、海面水温分布や海氷分布が、雪雲分布や温帯低気圧の発達、あるいは梅雨前線の活動に及ぼす影響など、未解明の課題が多い。ようやく最近になって、黒潮の数%の流量でしかない対馬暖流による日本海沿岸の降雪量制御や、冬季東シナ海の海面水温の経年変化に起因する低気圧の消長と、日本海での寒気の吹き出しや海面水温が示す経年変化との連動性が指摘されている。これらは、いずれも中緯度の縁辺海における相互作用環の成立を強く示唆するものである。

2. 研究の目的

本計画研究の対象領域は、東シナ海からオホーツク海に及ぶ東アジア縁辺海である。そこで、台湾低気圧の発達に黒潮流軸変動が果たす役割、日本海への水平熱輸送量と日本海沿岸気象との連関、A03-9 班が明らかにしたオホーツク海での大気-海氷-海洋相互作用に伴う海洋変動、沿岸海洋前線がメソ気象に及ぼす影響などの事例研究を行う。加えて、上記の諸事例を統合した、縁辺海上における気象擾乱の発達・変質過程の研究や、海色衛星データに基づく上記諸過程と基礎生産性との関連性検出に取り組む。

東アジア縁辺海全域を対象に、海域毎の事例研究を統合すれば、黒潮前線や日本海の亜寒帯前線、中規模渦、そして海氷によって、総観規模以下の気象擾乱が発達・変質する過程がトレースできるだろう。そして、それぞれの海域固有の海洋構造に応じて変質を遂げる様子を、いわば気象擾乱のライフ・ヒストリーとして捉え、縁辺海に普遍的な大気-海洋-生態系システムを提案することが本

計画研究の目的の一つである(図1)。

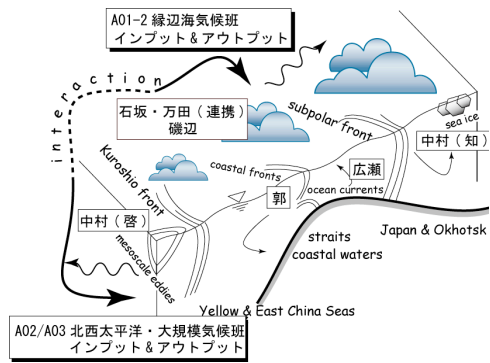


図1 研究課題の概要

3. 研究の方法

縁辺海や沿岸域が対象となる本計画研究では、各海域に特化した領域モデルの整備と出力データの解析が効率的である。本研究では主として領域モデルを利用する。一つは、すでに構築済みの「日本海・データ同化モデル」(DREAMSとして東シナ海にも拡張)である。当年度は大気側の同化モデル(JRA-25など)と併せて、現在、超音波流速計でモニタリング中である対馬暖流流量変動が励起する、日本海の海面水温や熱フラックス、あるいは降水分布などの変動解析に着手する。あるいは、「瀬戸内海・領域大気-海洋モデル」であり、現在構築済みの瀬戸内海の海洋循環モデルに加えて領域大気モデルの構築に着手し、微細な沿岸の海洋前線構造が、海陸風などメソスケールの気象に与える影響を中心に精査する。

本研究では、東シナ海においても海洋同化モデルを利用した大気海洋結合相互作用研究を展開していく。しかし、潮汐などに起因する誤差で海面高度計データの信頼性が落ちる陸棚域では、同化モデルの威力が十分に発揮できない懸念もある。そこで、東シナ海においては既存観測データの解析を中心とした研究体制も構築する。ここでは、Japan Re-analysis 25 years (JRA-25)など大気の再解析データに加えて、長崎海洋気象台がPN観測定線でも長期間に渡って取得した船舶海面水温データや海上気象データ、あるいは潮位データより推算される黒潮流軸指標を利用する。これらを用いて、黒潮流軸の冬・春季における季節内変動が、大気に与える影響、特に台湾低気圧の発達過程に与える影響の研究に着手する。

本計画研究の目的の一つは、高・低気圧程度の時空間スケールを持つ大気運動が、縁辺海上で変質を遂げる様子を、いわば気象擾乱のライフ・ヒストリーとして捉えることにある。このため、本課題では、上述の諸テーマを遂行していく中で、気象擾乱が縁辺海を横

断しつつ変質を遂げる過程や、さらに、生態系への波及効果、あるいは生態系からの波及について結果を取りまとめる。

4. 研究成果

当計画班では、まず、衛星風データと領域大気モデルを用いて、冬季の黄海・東シナ海の SST 分布が、東アジアにおける温帯低気圧の発達過程に及ぼす効果を研究した。冬季日本海の SST は、下層大気の高気圧性を高めることで、海上を移動する温帯低気圧を急速に発達させる。本研究では、黄海や東シナ海の陸棚上においても、日本海と時期を合わせて下層大気の高気圧性を高める環境が整えば、温帯低気圧の発達が日本周辺で加速することを明らかにした(Isobe & Kako, 2012)。また、黒潮流路と日本南岸を移動する低気圧との関連を調べた研究では、1969年から2006年における11-3月の南岸低気圧の移動経路を、黒潮の蛇行流路と非蛇行流路に応じて分類し、流路に応じた頻度分布を調べることで、低気圧の移動経路と発達率に見られる有意な差を発見した(図2; Nakamura et al., 2012)。あるいは、衛星風データ(QSCAT, ASCAT)と領域大気モデルを用いた Shi & Guo (2015)の研究は、南シナ海における海面水温分布(海洋前線構造)と海上風に見られる有意な相関関係を指摘した。

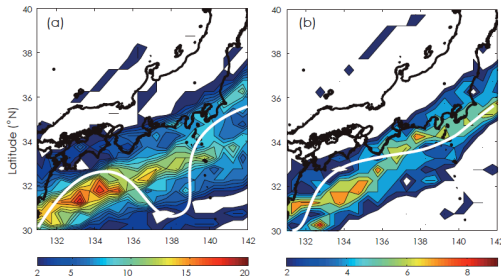


図2 黒潮流路(白線)と、蛇行期(a)と非蛇行期(b)で分けた南岸低気圧の頻度分布(1/4度格子の個数)

また、当計画班は、海洋学・気象学の研究コミュニティに対して、縁辺海の空間スケールに即した解像度でのデータセットの提供を行う。その一つが、日本海や黄海・東シナ海で精度を高めた海洋同化データ(DREAMS)の整備である。本データは、現在、アカデミックフリーとしてネット配信(http://dreams-i.riam.kyushu-u.ac.jp/~dr_m/)を始めており、現在では、SSTの日変動が表現できるまでに高度化が進んでいる。これ以外でも、縁辺海スケールが解像できる、1/4度格子の衛星風データセット(ASCAT)を、アカデミックフリーでネット配信(<http://mep11.riam.kyushu-u.ac.jp/~kako/ASCAT/NetCDF/>)している。

上記の結果は、主として海洋が大気へ与える影響に眼目が置かれていた。しかし、縁辺海が大気に影響を与えるのであれば、そもそも浅い陸棚域や沿岸域は大気強制を受けやすいため、ここには相互作用が成立する可能性が高い。そ

こで当計画班では、縁辺海での相互作用について、機構解明と定量評価に資する、領域規模の大気海洋結合モデルを構築することとした。その結果、Iwasaki et al. (2014)は、領域大気モデルと海洋モデルを結合させ、黄海沿岸における冬季海面冷却による水温低下が、海面気圧の海陸勾配を局所的に変化させ、これが海岸周辺の風速を弱めることによって海面冷却が弱化するといった、負のフィードバック機構を発見するに至った(図3)。

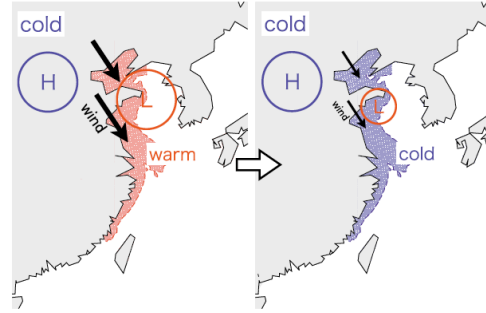


図3 Iwasaki et al. (2014)の提案した海面冷却に関する負のフィードバック機構

日本海や東シナ海のような領域規模の大気・海洋過程から、本計画研究班は、瀬戸内海といった沿岸規模の大気海洋過程にも取り組みをすすめた。SSTが瀬戸内海に与える影響を明らかにした Shi et al., (2011)が、これに関するテーマでの最初の成果であった。また、この成果を受けて Iwasaki et al. (2015)は、夏季の瀬戸内海上の気温や風速分布データを、衛星・現場観測や領域大気モデリングを用いて解析し、海面水温が高い小潮期には海上気温も高くなり、これによって大気下層が不安定となって鉛直対流が発達し、上空の強風との混合が進んで海上風が加速されること、逆に大潮期の海上気温は低く、結果として海上風が減速されることを明らかにした(図4)。さらに、Shi et al. (2011)と関連づけて、瀬戸内海における大潮・小潮周期の海面水温変化に起因するシグナルが、海陸風の強弱に明瞭に発現することを見いだしている(岩崎・磯辺, 2015年気象学会春季大会で口頭発表)。

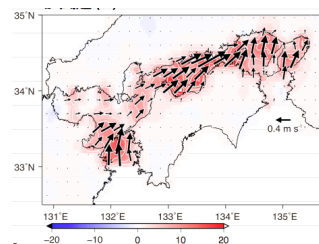


図4 領域大気モデルで得た夏季の小潮期-大潮期の海上風の差(ベクトルとカラー[m/s])

Isobe et al. (2014, *J. Climate*)は、衛星データを利用した混合層モデルと、領域大気モデル

を組み合わせることで、春季日本海における植物プランクトンの増殖(春季ブルーム)に伴って変化した海色が、表層海洋の熱吸収率を変えること、この吸収率の変化が海面水温に最大で0.8℃に及ぶ上昇をもたらすこと、そして、このような海面水温変化が、日本南岸における低気圧の発達過程に対して、統計的な有意性が担保できる程度に影響を及ぼすことを確認した。図5は極端な事例であるが、日本海の海面水温を、植物プランクトンの有無に応じて変化した領域大気モデルの海面気圧分布である。植物プランクトンがない場合、本来は発生していなかったはずの台風が、日本南岸にあることがわかる。計画研究班の当初の目的の一つであった、大気-海洋-生態系の結合過程を証明する結果として、本報告書の最後に示すものである。

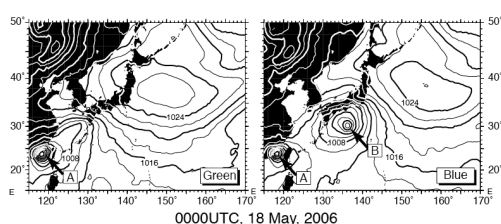


図5 日本海に植物プランクトンがいる場合(左)と、いない場合での海面水温を与えた領域大気モデルの結果(海面気圧のスナップショット)。AとBは台風位置を示している。

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43(査読付のみ)件) 以降抜粋
 Shi, R., X. Guo, and H. Takeoka: The influences of tidal front on the summer winds in an Inland sea, *Boundary-Layer Meteorology*, 138, 299-319, 2011.

Isobe, A and K. Kako: A role of the Yellow and East China Seas in the development of extratropical cyclones in winter, *J. Climate*, 25, 8328-8340, 2012.

Nakamura, H., Nishina, A., S. Minobe: Response of storm tracks to bimodal Kuroshio path states south of Japan, *J. Climate*, 25, 7772-7779, 2012.

Isobe, A, K. Kako, and S. Iwasaki: Synoptic scale atmospheric motions modulated by phytoplankton bloom in the Sea of Japan, *J. Climate*, 27, 7587-7602, 2014.

Iwasaki, S., A. Isobe, and S. Kako: "Atmosphere-ocean coupled process along coastal areas of the Yellow and East China Seas in winter" *J. Climate*, 27, 155-167, 2014.

Iwasaki, S., A. Isobe, and Y. Miyao: Fortnightly atmospheric tides forced by spring and neap tides in coastal waters, *Scientific Reports*, 5, 10167, 2015.

Shi, R., Guo, X., Wang, D., Zeng, L., and Chen, J.: Seasonal variability in coastal fronts and its

influence on sea surface wind in the southern South China Sea, *Deep Sea Res.*, in press.

[学会発表] (計 78 件) 以降抜粋

Guo, X. and L. Zhao: Transport of oceanic nutrients and its influences on primary production over the shelf in the East China Sea, IUGG, July, 2011, Melbourne, Australia *invited*

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), June, 2011, Qingdao (China) *invited*

Ishizaka, J., A. Morimoto, E. Siswanto, K. Yamada, T. Makino: Influence of Typhoon to Primary Production in the Marine Environment, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May, 2012, Makuhari (Japan) *invited*

Nakamura, H.: Response of storm tracks to bimodal Kuroshio path states south of Japan, the AGU 2012 Fall Meeting, Dec., 2012, CA, USA

Kida, S.: The Dynamics of the Water Mass Exchange Between the Pacific and the Okhotsk Sea, Asia Oceania Geosciences Society, Aug., 2012, Singapore.

Guo, X.: Nutrient transport by the Kuroshio and its impact on the East China Sea and Seto Inland Sea, WCRP/CLIVAR Second International Symposium on Boundary Current Dynamics, July, 2013, Lijiang (China) *invited*

岩崎慎介・磯辺篤彦: 夏季・瀬戸内海の海洋潮汐に駆動される陸域の下層大気変動, 日本気象学会春季大会, 2015年5月, 筑波

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

●計画研究ウェブサイト

http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/hotspot/jpn/organization/a01_1.html

●DEARMS データ公開ウェブサイト

http://dreams-i.riam.kyushu-u.ac.jp/~dr_m/

●ASCAT データ公開ウェブサイト

<http://mep11.riam.kyushu-u.ac.jp/~kako/ASCAT/NetCDF/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

磯辺篤彦 (ISOBE, Atsuhiko)
九州大学応用力学研究所 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
教授
研究者番号：10322273

(3)研究分担者

中村啓彦 (NAKAMURA Hirohiko)
鹿児島大学水産学部 准教授
研究者番号：50284914

(4)研究分担者

広瀬直毅 (HIROSE Naoki)
九州大学応用力学研究所 教授
研究者番号：70335983

(5)研究分担者

石坂丞二 (ISHIZAKA Joji)
名古屋大学地球水循環研究センター
教授
研究者番号：40304969

(6)研究分担者

木田新一郎 (KIDA Shinichiro)
海洋研究開発機構アプリケーションラボ
研究員
研究者番号：50543229

(7)研究分担者

加古真一郎 (KAKO Shinichiro)
鹿児島大学工学部 助教
研究者番号：60709624

(8)連携研究者

中村知裕 (NAKAMURA Tomohiro)
北海道大学低温科学研究所 講師
研究者番号：60400008

(9)連携研究者

万田敦昌 (MANDA Atsuyoshi)
長崎大学水産学部 准教授
研究者番号：00343343