

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540428

研究課題名（和文）東シナ海における黒潮の冬・春期の不安定化とその経年変動のメカニズムの解明

研究課題名（英文）Mechanisms governing the winter Kuroshio path destabilization Phenomenon in the East China Sea and its interannual amplitude modulation

研究代表者

中村 啓彦 (NAKAMURA HIROHIKO)

鹿児島大学・水産学部・准教授

研究成果の概要（和文）：

北部沖縄トラフの黒潮流路が冬・春期に不安定化する現象は、東シナ海上の冬季季節風に対する黒潮の局所的応答で説明できることを、理論と数値計算から示した。その応答とは、冬季季節風によって黒潮流軸の沿岸側でエクマン湧昇が起こり、黒潮が陸棚斜面から剥がされるため傾圧不安定が起りやすくなるというものである。さらに、黒潮を横切る海面地衡流速分布の長期時系列データセット（1992～2010年）を作成し、この現象の経年的な変調を調べた。その結果、主要な経年的変調の原因は、冬季季節風の強さの経年変動であることが示された。

研究成果の概要（英文）：

The present study investigated the mechanism responsible for the winter Kuroshio path destabilization phenomenon in the northern Okinawa Trough. Theoretical consideration and a numerical model revealed the following mechanism: The winter northerly wind over the Okinawa Trough blows against the Kuroshio, generating upwelling within the inshore side of the Kuroshio. This winter upwelling makes the mean Kuroshio path separate from the continental slope in the northern Okinawa Trough so that baroclinic instability destabilizes the Kuroshio path. Furthermore, a new time series of satellite-derived geostrophic velocity distribution was developed in a section across the Kuroshio in the period 1992–2010. This dataset indicated that the interannual amplitude modulation of the seasonality is mainly caused by interannual variation in the winter northerly wind over the northern Okinawa Trough.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度			
2007年度			
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：黒潮流路，沖縄トラフ，不安定現象，冬季季節風，人工衛星海面高度計，海洋大循環モデル，黒潮小蛇行

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

東シナ海の恵まれた漁業資源を支えている鍵は、大陸棚斜面に沿って流れる黒潮の物質輸送にあると考えられている。しかし、その輸送過程の解明はこれからの課題である。たとえば、東シナ海の大陸棚上の高い基礎生産を支える栄養塩の起源は、その半分が黒潮亜表層の高栄養塩水であるといわれている。しかし、その輸送過程は現在まで不明のままである。このような物質輸送過程には、黒潮の時間平均的な流動場ではなく、黒潮の蛇行やそれから派生する渦・フィラメントによるカオスの輸送が重要であると考えられる。つまり、東シナ海での生物資源の維持・変動に関わる物質輸送過程を理解するためには、黒潮の安定・不安定性の時間空間的な特徴を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

近年の我々の研究により、北部沖縄トラフの黒潮流路は夏・秋期に安定化し、冬・春期に1~3ヶ月周期の黒潮流路変動を伴い不安定化することが示された。さらに、顕著な不安定化現象が起こるかどうかは経年的に変動することが示された (Nakamura et al., 2006; Nakamura et al., 2008)。

本研究の目的は、これらの研究成果を以下の2点で発展させることである：(1) 季節的な黒潮流路の安定・不安定化現象の形成メカニズムの解明、(2) 多角的な観測的証拠の収集。

北部沖縄トラフで起こる黒潮流路の不安定化現象とは別に、従来から、九州南東沖の黒潮小蛇行は冬・春期に形成されやすいことが指摘されてきた (例えば、Sekine and Toba, 1981)。本研究課題の2年目に、この現象の季節性を検証すること、および季節性を生み出すメカニズムを提案することを本研究課題の目的に加えた。これを目的(3)とする。

3. 研究の方法

目的(1)では、解析的モデルを用いて理論的なフレームワークの構築を行った。そして、考案された理論を、海洋研究開発機構が地球シミュレータ上で動かしている OFES

(Ocean General Circulation Model for the Earth Simulator) のデータを用いて検証した。

目的(2)では、黒潮流路の安定・不安定の指標となる長期時系列を、人工衛星 (TOPEX/Poseidon, Jason-1/2) の軌道上 (Track 214, 奄美大島-済州島間) での海面高度偏差の時系列データを用いて作成した。また、作成された時系列を2009年6月~2010年6月までの1年間の係留観測により得られた流速データを用いて検証した。

目的(3)では、既存の黒潮流軸データセット (海洋情報研究センター作成) と沿岸潮位データを用いて九州東方の黒潮小蛇行に季節性があるかどうかを検証した。そして、季節性形成の理論の構築を行った。

4. 研究成果

(1) 目的1

北部沖縄トラフで冬・春期に起る黒潮不安定化現象は、東シナ海上の季節風に対する黒潮の局所的応答として説明できることが示された。この仮説は、Nakamura et al. (2010) として Journal of Physical Oceanography で印刷公表された。メカニズムの詳細を以下に示す。

まず、解析的モデルを用いて、北部沖縄トラフの黒潮に沿って逆向きに吹く冬期の季節風が、エクマン輸送と黒潮の相互作用により、黒潮流軸より沿岸側で水平流を発散させるため湧昇流を励起することを示した。ここでいうエクマン輸送と黒潮の相互作用とは、Niiller (1969) が提唱した Effective Coriolis Parameter の効果 (水平流速シアが惑星渦度と同じ役割を担い、見かけ上コリオリパラメータを空間的に変化させるため、エクマン輸送の収束・発散が起こる) である。水平流が発散する理由は、夏・秋期の黒潮の表層流速が流軸の両側で exponential 分布をしていることによる。しかし、黒潮を横切る鉛直2次元循環 (エクマン循環) は、流軸の沿岸側でしか維持できないため、実際には湧昇流は沿岸側でしか起らない。流軸の沖側では、エクマン輸送が一様化し鉛直循環は形成されない。

次に、Nakamura (2005) の数値実験の結果に基づいて、湧昇流は黒潮を陸棚斜面から剥がす効果があるため、北部沖縄トラフでの黒潮は、冬・春期に傾圧不安定化しやすくなるという仮説を形成した。

この2つの力学過程を、OFES データを用いて検証したところ、湧昇流を励起するメカニズムは妥当であることが証明された。一方、湧昇流が黒潮を陸棚斜面から剥がす効果については、その傾向は示されたものの、それが不安定現象の原因なのか結果なのかを明確に識別することができなかった。不安定化に繋がる他のメカニズムをして、湧昇流が黒潮水と沿岸水の間の前線を強化するために傾圧性が増し不安定化しやすくなる仮説も立てられる。この点を明確にすることが、今後の課題とされた。

(2) 目的2

北部沖縄トラフで黒潮流路変動が最大である奄美大島と済州島を結ぶライン上で、黒潮を横切る海面地衡流分布の時系列 (期間: 1992

年～2010年)が作成された。このデータセットの空間解像度は約6km, 時間解像度は約10日である。このデータセットに基づいて, 黒潮不安定化現象の季節性の統計的性質と季節性の経年的変調について詳しく解析した。その結果, 以下の①～④の主要な結論を得た。この結果は, Nakamura et al. (2011)として, *Journal of Oceanography*へ2011年5月27日に投稿した。

①作成されたデータセットは, 2000～2010年の期間でのみ利用可能であった。その理由は, 1990年代と2000年代で背景場が大きく異なっていたこと, かつ, 平均流速場を求めるために利用した船底ADCPデータが2000年代に偏っていたことにより, 作成された平均流速場の流軸が北側に寄るというバイアスを持ったためと推測された。

②これまでの研究で利用されてきたトカラ海峡での黒潮流軸位置指標から求められた黒潮流路の不安定化指標(30-90日周期変動の分散)の時系列と本研究で求められたそれを比較したところ, 本研究の方が明瞭な季節性を示した。つまり, 北部沖縄トラフ内でも海域により, 不安定化の特性が異なることが示された。

③黒潮流軸より沿岸側の流速分布は, 比較的良好にexponential分布を保ちながら, 夏から冬に向けて流速シアを強めることが示された。この事実は, 目的(1)で得られた黒潮流路の不安定化のメカニズムを裏付けるものである。

④このデータセットに基づいて作成した黒潮流路の不安定化指標の時系列(流軸位置の20-90日周期変動)を解析した結果, 全15ケースの不安定化現象の2/3の事例は, Nakamura et al. (2010)で提案された冬季季節風仮説で説明できたが, 残り1/3は別の原因によると考えられた。

今後, 冬季季節風仮説以外で不安定化するメカニズムを明らかにすることが課題である。そのためには, さらに船底ADCP観測を行い平均流速場の推定精度を向上させて, 1992年から2000年までの全期間のデータを利用可能にする努力が必要である。

(3) 目的3

まず, この研究の背景を説明する。Sekine and Toba (1981)は, 九州南東沖の黒潮小蛇行は, 毎年, 冬から春に形成されるが, その他の季節に形成されることは稀であることを, 1965～1979年のデータより示した。この他にも, 小蛇行の発生は冬・春期に偏るとする論文が, 1970年代にはいくつか発表されている。しかし, 日本南岸の黒潮が定常大蛇行

期にあった1980年代の小蛇行発生状況は, それ以前と異なり冬・春期に偏らなかったことや, 小蛇行の発生原因として, 外洋を西方伝播する中規模渦が重要な役割を果たすことが示されたことにより(例えば, Ebuchi and Hanawa, 2003), 近年はこの季節性に対する注目度が低い。

まず, 季節性の有無について, 1982～2007年の黒潮流軸データと種子島や油津の潮位データを解析した。その結果, 黒潮小蛇行が冬・春期に形成されやすい傾向は, 1980年代には認められなかったが, 1990年代と2000年代には顕著に認められた。つまり, 季節へのフェーズロックの強さは, 10年スケールで変調する傾向があった。さらに, この黒潮流軸データは, 九州南東沖の黒潮流路は接岸流路と小蛇行流路の2重性(平衡解)を持つことを示唆した。この2重性は, 夏(7～9月)には顕著ではないが, 秋(10～11月)には顕著に認められた。

この事実を根拠に, 九州南東沖の黒潮小蛇行は, 黒潮再循環領域を西方伝播する中規模渦や東シナ海から下流伝播する黒潮擾乱によるノイズ変動の下で, それより小さな年周期外力によって形成されるという, 確率共鳴に基づいた概念モデルを提案した。

この結果は, "Formation mechanism of the Kuroshio small meander off the southeastern coast of Kyushu: Stochastic resonance on a seasonal cycle" by Nakamura et al. として2010年4月に *Journal of Geophysical Research-Oceans* に投稿したが, 確率共鳴の前提となる季節的フェーズロックと黒潮流路の2重性の証拠が弱いという理由で掲載を却下された。今後の課題として, 季節性の有無について, 他のデータを用いて検証すること, 流路の2重性をより明確に証明することが必要である。

参考文献:

- Ebuchi and Hanawa (2003) *J. Oceanogra.* 59, 25-36.
Nakamura et al. (2006) *Geophys. Res. Lett.* 33, L21605, doi:10.1029/2006GL027516
Nakamura et al. (2008) *J. Geophys. Res.* 113, C06030, doi:10.1029/2007JC004574
Nakamura et al. (2010) *J. Phys. Oceanogra.* 40, 530-550, doi: 10.1175/2009JP04156.1
Nakamura et al. (2011) submitted to *J. Oceanogra.* on 27 May 2011.
Niiller (1969) *J. Geophys. Res.* 74, 7048-7052
Sekine and Toba (1981) *J. Oceanogra. Soc. Jap.*, 37, 87-93.

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 3 件)

① Nakamura, H., M. Nonaka, and H. Sasaki (2010): Seasonality of the Kuroshio path destabilization phenomenon in the Okinawa Trough: A numerical study of its mechanism, *J. Phys. Oceanogr.*, 40, 530-550, doi: 10.1175/2009JPO4156.1. (査読有り)

② Andres, M., J.-H. Park, M. Wimbush, X.-H. Zhu, H. Nakamura, K. Kim, and K.-I. Chang (2009): Manifestation of the Pacific Decadal Oscillation in the Kuroshio, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2009GL039216. (査読有り)

[学会発表] (計 7 件)

① 中村啓彦, 仁科文子, 山城徹, 田畑光太郎 (2010年9月8日): 北部沖繩トラフの黒潮流路変動 - 係留観測データと衛星海面高度計データの比較 -, 日本海洋学会秋季大会, 東京都 (東京農業大学生物産業学部)

② Nakamura, H., A. Nishina, and T. Yamashiro (2010年2月23日): Formation mechanism of the Kuroshio small meander off the southeastern coast of Kyushu: Stochastic resonance on the seasonal cycle, the 2010 Ocean Sciences Meeting, American Geophysical Union, USA (Oregon Convention Center)

③ 中村啓彦, 仁科文子, 山城徹, 古川洋一郎 (2009年9月27日): 黒潮小蛇行の発生頻度の季節的偏り, 日本海洋学会秋季大会, 京都府 (京都大学)

④ 田畑光太郎, 中村啓彦, 仁科文子 (2009年9月27日): 北部沖繩トラフにおける表層流速分布の季節変動特性, 日本海洋学会秋季大会, 京都府 (京都大学)

⑤ 中村啓彦, 野中正見, 佐々木英治 (2008年8月25日): Seasonality of the Kuroshio path destabilization in the Okinawa Trough, OFES International Workshop, 神奈川県 (海洋開発研究機構/横浜研究所)

[その他]

ホームページ等

<http://www.fish.kagoshima-u.ac.jp/fish/academic/nh/homepage/kenkyu%20katudou.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 啓彦 (NAKAMURA HIROHIKO)

鹿児島大学・水産学部・准教授

研究者番号: 50284914

(2) 研究分担者

仁科 文子 (NISHINA AYAKO)

鹿児島大学・水産学部・助教

研究者番号: 80311885

山城 徹 (YAMASHIERO TORU)

鹿児島大学・理工学研究科・教授

研究者番号: 20158174