

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540431

研究課題名(和文) 力学系アプローチによる海洋大循環強流域の変動解明研究

研究課題名(英文) Dynamic systems approach on variations of intensive currents in ocean double gyre

研究代表者

松浦 知徳 (MATSUURA TOMONORI)

富山大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10414400

研究成果の概要(和文)：黒潮続流域のような海洋大循環の強流続流域に対する安定的なパターンと不安定なパターンを伴う長期変動が海洋独自に発生しえるのかについて非線形力学の観点から調べた。メカニズムを解明するための方法として単純な力学モデル、準地衡流渦位方程式のパラメータ依存性の数値実験と海洋大循環同化データの結果を使って行われた。その結果、特に季節変化する風応力の振幅の大きさによって、強流域の渦の発生を伴う引きこみ現象や間欠的な現象が発生し、十年～数十年変動が海洋独自に生み出されることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：From the viewpoint of nonlinear dynamics, it is investigated how the eastward strong currents induce the self-organized long-time variations that are associated with the stable and unstable modes. To identify these long-time variations, we used dynamic system models, a quasi-geostrophic model, and ocean data assimilation data. As a result, it was found that entrainment and intermittency appear in the eastward strong currents depending on strengths of seasonal varying wind stress. Moreover, decadal/interdecadal variations are generated in the double gyre based on self-organized dynamic modes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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・黒潮続流域、ダブルジャイヤー海洋大循環、非線形力学、準地衡流渦位方程式、十年～数十年変動、カオス

1. 研究開始当初の背景

北太平洋の亜熱帯循環系の西岸境界流である黒潮は日本列島の房総半島近傍から離岸し、亜寒帯循環の一部である親潮と合流し

ながら黒潮続流域へと繋がっていく。1980年代に非線形方程式の多重解の研究の発展と相まって黒潮流路の二様性(大蛇行と非蛇行)の研究が進展した(Charny and Flierl

(1981) ; Masuda (1982))。黒潮流路の時間変動は 20 年と 7 年にパワースペクトルのピークが現れる (川辺,2003)。また、黒潮続流域での蛇行現象や中規模渦の発生が主流と擾乱との相互作用の観点から研究されてきた (Mizuno and White, 1983)。最近、黒潮続流域での流れのパターンの数年から数十年変動の研究が気候変動(Qiu and Chen, 2006)や水産資源の経年変動(寛ら,2007)との関連、また北太平洋亜熱帯モード水の長期変動や南北物質輸送の観点 (岡,2007; 安田ら,2007) から注目されている。黒潮及びその続流域の変動は海洋大循環の西岸境界の部分に現れるため、大循環系の局所的なものとしてしばしば取り扱われてきた。しかし、黒潮流路の二様性や黒潮続流域の変動の問題は気候変動としての経年変動や数十年変動との関連から亜熱帯循環系と亜寒帯循環系をあわせたダブルジャイヤーのグローバルな現象としてみる必要のあることが指摘され始めた (Qiu, 2002; Matsuura and Fujita, 2006)。以上の背景を踏まえ、黒潮や黒潮続流域の変動特性を北太平洋全域の変動として解明することを目指す。

特に、黒潮及び黒潮続流域の変動として数年から数十年の変動が観測されているが、われわれはそれらの変動が海洋大循環の独自の非線形現象として、自律系及び非自律系の非線形相互作用から発生するという観点から研究を推進する。ダブルジャイヤーの長周期振動の発生の可能性として、定常解の高次安定マニフォールドに沿った時間移動 (Cessi and Ierley, 1995; Primeau, 2001) とホモクリニックとヘテロクリニック軌道の出現 (Berloff and McWilliams, 1999; Meacham, 2000) の考え方が提示されている。Matsuura and Fujita (2006)はダブルジャイヤーの数十年変動の発生はブルースカイカ

タストロフィーの発生からも生じることを示した。また、黒潮続流域に対応するダブルジャイヤーのジェットの長周期変動について、定在ロスビー波によって不安定化されるジェットの分岐から発生することが示されている(Primeau, 2002; Simonnet, 2005)。

2. 研究の目的

研究の背景で示した過去の研究は、ダブルジャイヤー海洋に与える風応力は時間的に一定にされており、また無次元パラメータの範囲が広範囲でない。さらに、現実の風応力は季節変動や強いランダムな擾乱が含まれているため、今までの研究だけでは不十分である。したがって、我々はパラメータの範囲を広範囲にして調べるとともに、風応力を時間変化させたものへと発展させる必要がある。

具体的に、準地衡流ダブルジャイヤーモデル、浅水波近似ダブルジャイヤーモデル及び非線形常微分方程式にモデル化したエネルギーバランスモデルによって海洋の強流域の長期変動を解明すると共に、その予測可能性を調べる。同時に、モデル結果との比較検討の基に、現実的な海洋大循環モデルデータ同化結果や海洋観測データを使い、非線形予測理論を応用して黒潮や黒潮続流に対する流路予測モデルを構築することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では黒潮と黒潮続流域の変動に対して、今までの局所的な日本列島沖だけの問題として捉えるのではなく、亜熱帯循環系と亜寒帯循環系のエネルギーの積分量を中心物理指標とする。その考え方に基づいて、準地衡流ダブルジャイヤーモデルと2層浅水波近似ダブルジャイヤーモデルを使った数値実験を行うと共に、エネルギー収支バラン

モデルを導出して研究を進めていく。特に、変化する無次元パラメータ（レイノルズ数とフルード数）や非定常な外力の下でのダブルジャイヤーにおけるジェットの応答特性に対して、非線形力学の解の分岐理論等を駆使し、流れのパターン、運動エネルギーと有効位置エネルギーの位相空間内で描く軌跡から分類を行う。以上の研究結果を基礎として、既に気象研究所が実施している現実的な海洋大循環データ同化データから非線形予測理論を応用して統計的流路予測モデルを作成する。

(1) ダブルジャイヤーの無次元パラメータ依存性の数値実験とその解析

ダブルジャイヤーの数値実験では代表的な無次元パラメータとしてレイノルズ数 (Re)、フルード数 (Fr) が重要となる。Fr を一定にした Re 依存性に対する準地衡流ダブルジャイヤーモデルと2層浅水波近似ダブルジャイヤーモデルのシミュレーションの結果（下川・松浦、2007；Matsuura and Fujita, 2006）を統一的に取りまとめる。

(2) ダブルジャイヤーの時間変化風応力数値実験とその解析

現実の海洋において、運動量インプットとして働いている風応力は、平均的な偏西風、貿易風に季節変動等の周期的な変化や数日から数週間のホワイトノイズ的な擾乱が混合して作用している。したがって、風応力の外力として時間平均場、周期的変動場、擾乱場の3つの要素のジェットのパターンに与える影響、またその十年～数十年変動に与える影響をまず、準地衡流ダブルジャイヤーモデルと2層浅水波近似ダブルジャイヤーモデルを使った数値実験から調べる。特に、非線形力学では確率共鳴現象が興味をもたれており、海洋大循環の強流域でもそのような現象が

起こりえるのか確かめる。

(3) エネルギー収支バランスモデルの導出と解析

準地衡流ダブルジャイヤーに対して運動エネルギーと有効位置エネルギーの2つの物理量を従属変数とした、ブリゴジンらが提案した仮想的な化学反応に対するブラッセレーターモデルに対応する2変数非線形連立常微分方程式で数値実験をモデル化する。また、二層ダブルジャイヤーに対して、上下層の運動エネルギーと有効位置エネルギーを領域内で積分した3つの物理量を従属変数とした、カオス理論で有名な対流に対するローレンツモデルに対応する3変数非線形連立常微分方程式で数値実験をモデル化する。これらの方程式の解の挙動を分岐理論やカオスの発生の観点から解析し、ダブルジャイヤーの数値実験の結果の解釈や黒潮や黒潮続流域の変動に対する理解のために役立つ。

4. 研究成果

慣性サブジャイヤーが周期的に切離するダブルジャイヤー海洋に対して、非線形相互作用の観点から季節変化風応力を外力振動として作用させた1.5層Q-Gモデルとエネルギー収支モデルを使って調べた。その結果、固有振動周期2.6年と季節変化外力振動周期の2倍の2年間で引き込み現象を起こし、ダブルジャイヤーがカオスに発展していくことがわかった。さらに、外力の振幅を大きくしていくと慣性サブジャイヤーの切離とモドン状の解との間で間欠不規則変動を起すことがわかった。この変動は、ダブルジャイヤー海洋独自の数年から数十年と対応している可能性がある。

さらに、風応力を季節変動させない状態で、ほぼ2波長の安定な流れを設定(Re=157)し、風応力の季節変動の振幅 α を変化させ、この

パラメータ依存性を詳細に数値実験した。その結果、現実の風応力の振幅に近い $\alpha=0.5-0.6$ の時に、カプスカタストロフィーに基づき急激な強流続流の崩壊が起こり、高・低気圧リングが発生することが示された。この成果により黒潮続流域の変動の特徴の一つのメカニズムが示されたと考えられる。

黒潮続流域上流は、10年規模で変動していることが指摘され、その原因の解明が最近注目されている。そこで、この原因を明らかにし黒潮続流域の流路予測に役立てるため、1993年から2005年までの気象研究所北西太平洋データ同化システムの海面高度データを使用し、自己組織化マップ(SOM)の手法によって流路のパターン分類を行った。その結果、二つの異なる長期変動が抽出された。一つは流れが強い安定した準定常的な蛇行パターンと南の再循環が減衰し暖冷水塊が切離する流れが弱い不安定なパターンからなる二つのモードが長期間で変動するものである。もう一つは、黒潮続流域の流軸が南北に移動する変動である。前者は準地衡流モデルによって数値的に調べた強流の2波長の準定常的な流れがカタストロフィック的に崩壊し、高低気圧を発生させる現象と対応していることが確かめられた。

また、より現実的な黒潮続流域の挙動を調べることを目的として、海洋データ同化の15年間の結果を補足するため、北太平洋海洋大循環モデル(MOM3)を使い、50年間の数値シミュレーションの実験を行った。その結果、風応力の季節変動が非自律的に黒潮続流域の長期変動(10年変動)を起こしていることを確かめることができた。

これらの結果は、海洋データ同化という海洋の大規模数値モデルで巨大なコンピュータ

を使って行われている海況予測としての強流域の変動予測に対して、高度化や改良するための学術的な有意義な情報を与えると考えられる。

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3件)

- ① 松浦知徳・下川信也 2008: 季節変化風応力強制場における準地衡流ダブルジャイヤー海洋の非線形現象. 地球流体力学シンポジウム報告書. 査読無
- ② Iseri, Y., T. Matsuura, S. Iizuka, K. Nishiyama and K. Jinno (2009): Comparison of Pattern Extraction Capability between Self-Organization Maps and Principal Component Analysis. *Memories of Faculty of Engineering, Kyushu Univ.*, **69**, 37-47, 査読有
- ③ Shimokawa, S., and T. Matsuura. 2010: Chaotic behaviors in the response of a Q-G oceanic double gyre to seasonal external forcing. *J. Phys. Oceanogr.* Vol. 40. Pp1458-1472. 査読有

[学会発表] (計10件)

- ① Matsuura, T., W. Sasaki, and S. Iizuka. 2008: Warm water intrusion into Sagami Bay caused by the Kuroshio following the passage of typhoon 8913. 5th Annual Meeting AOGS 2008. Busan, Korea.
- ② 松浦知徳、下川信也. 2009: 強流続流域の季節変化風応力に伴う非線形現象. 日本海洋学会 2009年度秋季大会. 京都
- ③ 下川信也、松浦知徳. 2009: 海洋ダブルジャイヤーの季節変化外力への応答におけ

るカオスのふるまい. 日本物理学会
2009 年度秋季大会. 熊本

- ④ Shimokawa, S. and T. Matsuura. 2010:
Entrainment and intermittency in the
response of Q-G oceanic double gyre to
seasonal external forcing. 2010 Joint
Meeting for Earth Science and Planetary
Sciences, MIS004-P06. Makuhari, Japan.
- ⑤ Shimokawa, S. and T. Matsuura. 2010:
Nonlinear phenomena appeared in the
Q-G oceanic double gyre under seasonal
external forcing. AOGS 2010 IWG03-A002.
Hyderabad, India.
- ⑥ 橋本紘典、松浦知徳、西山浩司、碓氷典
久. 2010: 黒潮続流上流の長期変動特
性. 2010 日本海洋学会秋季大会. 網走
- ⑦ 橋本紘典、松浦知徳、西山浩司、碓氷典
久. 2010: 黒潮続流の安定・不安定に関
する研究. 第 4 回富山大学環境推進フ
ォーラム環境編. 富山
- ⑧ 下川信也、松浦知徳. 2011: 海洋ダブル
ジャイヤにおける引き込み現象と間欠性
について. 第 60 回理論応用力学会.
東京
- ⑨ 橋本紘典、松浦知徳、西山浩司、碓氷典
久. 2011: 海洋によって誘起される黒
潮続流上流の長周期変動. 日本地球惑
星科学連合 2011 年度連合大会. 幕張
- ⑩ Shimokawa, S. and T. Matsuura. 2011:
Entrainment and Intermittency in the Ocean
General Circulation. AOGS 2011
OS04-A001. Taipei, Taiwan.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :

種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 知徳 (MATSUURA TOMONORI)
富山大学大学院理工学研究部・教授
研究者番号 : 1 0 4 1 4 4 0 0

(2) 研究分担者

下川 信也 (SHIMOKAWA SHINYA)
防災科学技術研究所水土砂研究部・
主任研究員
研究者番号 : 4 0 3 6 0 3 6 7

(3) 連携協力者者

飯塚 聡 (IIZUKA SATOSHI)
防災科学技術研究所水土砂研究部・
主任研究員
研究者番号 : 4 0 4 1 4 4 0 3
(H20)

蒲地 政文 (KAMACHI MASAFUMI)
気象研究所海洋研究部研究部・
部長
研究者番号 : 0 0 3 5 4 5 4 8