

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03962

研究課題名（和文）海洋循環論構築の一環としての西岸境界流続流ジェットの理論的・数値的研究

研究課題名（英文）Theoretical and numerical study on a western boundary current extension jet as part of constructing ocean circulation theory

研究代表者

久保川 厚（KUBOKAWA, Atsushi）

北海道大学・地球環境科学研究所・名誉教授

研究者番号：00178039

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：黒潮は日本列島を離れた後、長く東に延びる黒潮続流ジェットを形成する。このような西岸境界流続流ジェットが存在する領域での海流の南北構造と続流ジェットの緯度及びジェットがどこまで伸びるのかという問題をシンプルなモデルを用いて理論的・数値的に調べた。その結果、大規模場の南向きの流れが影響しない場合には、大規模な循環場とジェットの強さが分かれば、続流ジェットの緯度と南北構造は概ね決定すること、また、大規模な南向きの流れは、ジェットの長さに大きく影響することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

西岸境界流続流ジェットの緯度や長さの大規模な海洋循環との関係を明らかにすることは、海盆スケールの海洋循環を理解するために必要である。また、西岸境界流続流域は海洋から大気への熱放出の大きなところであり、その大規模な風の場への応答を理解することは、気候変化の予測と理解にも重要であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：After the Kuroshio leaves the Japanese coast, it forms the Kuroshio Extension jet, which extends eastward for a long distance. This study theoretically and numerically investigated the meridional structure of the oceanic currents in areas where such western boundary current extension jet exists, the latitude of the extension jet, and how far the jet extends, using simple models. As a result, it has been found that if the large-scale southward flow has no influence, the latitude and meridional structure of the jet can be roughly determined by the large-scale circulation field and the jet strength, and the jet length is strongly affected by the background large-scale southward flow.

研究分野：海洋物理学、地球流体力学

キーワード：海洋循環 東向きジェット 西岸境界流続流 再循環

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 西岸近くを除く Sverdrup 内部領域と呼ばれる領域の海洋大循環の構造は、通気水温躍層と渦位一様化理論によって定性的には説明できる。残された問題として、西岸境界流の続流の形成とそれがどのように Sverdrup 内部領域に繋がっていくかが重要となるが、明確にはなっていない。

(2) 西岸境界流の続流ジェットの形成はシンプルなモデルでも再現できる。続流ジェットは循環境界にできるものと、循環境界に達する前に離岸する早期離岸の二つが存在する。現実の黒潮に対応すると考えられる早期離岸解のジェットの緯度は風の場合以外にはあまり依存しないことが示されている(Sue and Kubokawa 2015)が、その緯度と Sverdrup 内部領域の循環との関係は明らかではなかった。

(3) 続流ジェットは南北に再循環を伴うが、その再循環の形成と東での消滅に関しては東西流の不安定から自励的に構造が生じるとい理論(Waterman and Jayne 2011)があるが、シンプルなモデルでの続流ジェットの形成機構はそれとは異なるように見える。これに関する十分な検討はなされていなかった。

2. 研究の目的

(1) 続流ジェットが存在する西部領域の流れの南北プロファイルがどのように決まるか、また、続流ジェットの緯度がどのように決まるかを明らかにする。

(2) 続流ジェット・再循環の形成とその東の端がどのようになっているか、また、風による大規模な流れの場合、ジェット・再循環にどのように影響するかを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 準地衡流 2 層方程式系に基づいて、続流ジェットが存在する領域での海流の南北プロファイルを表現できる理論モデルを構築する。そして、その構造がどのように決まるかを調べる。なお、ここでは、早期離岸解のみを考える。

(2) 準地衡流 2 層モデルを用いた海洋風成循環の実験を、強制場の南北プロファイルを変えてシステムチックに変えながら多数行い、(1)の理論モデルとの比較により、ジェットの緯度と強制場の関係を明らかにする。なお、このモデル実験では、続流ジェットへの直接的な強制の影響を抑えるため、領域の東側だけに強制を与えた。

(3) 準地衡流 2 層モデルで、流れ場を大規模な外力場と釣り合う成分と西岸に起源をもつ成分に分けた定式化を行い、西岸に起源をもつ続流の力学とそれに対する大規模場の影響、それぞれを調べる。

4. 研究成果

(1) 続流ジェットを含む流れの場を再現する理論モデルは、上層に関してはジェットでの渦位のジャンプ、その南北での渦位一様化領域(再循環領域)、さらにその南北にある下層静止の Sverdrup 領域からなり、下層は、ジェットの下渦位一様化領域、その南北に、上層は渦位一様で順圧場は Sverdrup 解を満足する領域、そして、さらに、その南北の静止領域からなる。これらによる南北 6 領域でプロファイルを再現する。この時、プロファイルを決めるのに必要な未知数は 8 あり、領域間の接続条件から得られる式は 4 つである。これに加え、準地衡流渦度方程式を亜熱帯循環の南端から循環境界まで積分し、さらに西岸から続流が存在する経度まで東西に積分することにより、ジェットを含む流線の南北積分が Sverdrup 流線の南北積分に一致するという式を得る。順圧、傾圧それぞれのこの積分条件を加えて、方程式は 6 つになり、2 つの未知数を決めれば、プロファイルが定まることを示した。

(2) ジェットが強い場合には、ジェットの南北の渦位一様化領域が広がり、北側の渦位一様化領域が循環境界に接する場合がある。この場合には、未知数が一つ減り、未知数を一つ与えれば、解が決定する。まず、北の渦位一様化領域が循環境界に接しない場合について、ジェットを挟んでの渦位の差とジェットの位置を与えて、数値実験の結果と比較し、南北プロファイルが良く一致することを確認した。次に、北側の渦位一様化領域が循環境界に達している場合について、ジェットの強さ(ジェットを挟んでの渦位の差)を与えるだけで、ジェットの緯度を含めた数値実験結果がよく再現された。

(3) 北側の再循環が循環境界から離れているとき、どのようにしてジェットの緯度が決まるの

かを調べるために、亜熱帯循環の中心の緯度と(ジェットの強さに影響する)底摩擦の大きさを
変えた多数の実験を行い、理論モデルと比較した。その結果、強制 (Sverdrup の南下流) が直
接ジェットに影響していない場合には、ジェットの中心流線は Sverdrup 流線の中心流線と概ね
一致するという結果が得られた。また、ジェットの東端が強制域(Sverdrup 南下流領域)にか
かっている場合には、ジェットそのものが南に移流され、ジェット位置は、低緯度側にシフトす
ることも分かった。

(4) 西岸の影響と大規模な風の影響を分離したモデルで、Sue and Kubokawa (2015)の結果を
再現できることを確認した。したがって、このようなシンプルなモデルでの西岸境界流続流ジェ
ットと再循環の形成は西岸での渦対構造が渦の相互移流によって侵入してきたものと結論でき
る。

(5) この西岸起源の続流ジェット・再循環の東の端は、ジェットの不安定に伴う乱流エンストロ
フィーが東に移流され、不安定の解消と共に収束し、北向きの乱流渦位フラックスを形成し、そ
の収束発散によることが示された。

(6) この西岸起源の続流ジェット・再循環に対する大規模な風の場合による背景流の影響を調べ
た。背景流が東向き成分しか持たない場合には、ジェット・再循環は東に延びる。特に背景流が
強い場合には、西岸からの構造が一度弱まった後、その東側に、弱い東向きにジェットが生じ
るという2段構造が得られた。

(7) 背景流に南向き成分がある場合には、ジェット・再循環構造は流れの方向に延びることはな
く、すぐに終端を迎える。この理由としては、南下流成分がある場合には定常解が存在しえない
というのが関係していそうである。東向き成分に対して南下流成分が10分の1程度でも、ジェ
ットは東に延びなくなった。このことは黒潮続流が長く東に延びている領域での風応力カール
が非常に小さいことと符合していると考えられる。

<引用文献>

Sue, Y. and A. Kubokawa (2015): Latitude of eastward jet prematurely separated
from the western boundary in a two-layer quasigeostrophic model, J. Phys. Oceanogr.
45, 737-754.

Waterman, S. and S.R. Jayne (2011): Eddy-mean flow interactions in the along-
stream development of a western boundary current jet: An idealized model study, J.
Phys. Oceanogr., 41, 682-707.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kubokawa Atsushi	4. 巻 53
2. 論文標題 Meridional Location and Profile of a Prematurely Separated WBC Extension Jet in a Two-Layer System	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physical Oceanography	6. 最初と最後の頁 995 ~ 1010
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JPO-D-21-0313.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大西晴夏・久保川厚
2. 発表標題 西岸境界流統流ジェットにおける渦対強制モデルの提案と統流ジェットへの風強制背景流の影響の研究
3. 学会等名 日本海洋学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保川厚
2. 発表標題 西岸境界流統流ジェットの力学について
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター共同利用研究集会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保川厚
2. 発表標題 2層モデルにおける西岸境界流統流ジェットの緯度と南北構造
3. 学会等名 日本海洋学会2023年度秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大西晴夏、久保川厚
2. 発表標題 西岸境界流続流ジェットにおける渦対強制モデルの提案と続流ジェットへの風強制背景流の影響の研究（その2）
3. 学会等名 日本海洋学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関