

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400473

研究課題名(和文) 黒潮続流域の混合層内不安定が励起するサブメソスケールの時空間変動

研究課題名(英文) Temporal and spatial variations of oceanic submesoscales induced by mixed layer instabilities in the Kuroshio Extension region

研究代表者

佐々木 英治 (SASAKI, Hideharu)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・主任研究員

研究者番号：50359220

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：水平解像度が約3kmの北太平洋高解像度シミュレーションの出力を用いて、数kmから数10kmの微小な海洋サブメソスケール現象に注目して解析を行った。サブメソスケール現象は、冬季に北西太平洋の深い混合層内で生じる不安定現象によって励起され、冬季に活発となる季節変動が見られた。その時空間変動は、高解像度の海面高度観測データを用いて診断的に観測できる可能性があることを示した。また、冬季に活発なサブメソスケール現象から大きなスケールへの多大なエネルギーの逆遷移がみられた。この結果は、スケール間相互作用によって、サブメソスケール現象が海洋循環場の時空間変動に多大な影響を及ぼすことを示唆している。

研究成果の概要(英文)：The outputs from the North Pacific high-resolution ocean simulation at horizontal resolution of 3km were used to investigate oceanic submesoscale structures with the scale from several km to several ten km. The simulation demonstrated seasonality of submesoscales, active in winter, in the Northwestern Pacific. The rich winter submesoscales are induced by the mixed layer instabilities. The temporal-spatial variations should be diagnostically observed by the high-resolution sea surface height based on the geostrophic theory. In addition, large inverse kinetic energy cascade from small scales to large scales were observed in winter, but not in summer. This result suggests large impact of submesoscales on temporal and spatial variations of larger scale oceanic fields.

研究分野：海洋物理

キーワード：海洋循環場 サブメソスケール スケール間相互作用 時空間変動

1. 研究開始当初の背景

(1) 衛星観測による海色画像や海面水温によって、小さな渦や細い筋状構造等の活発なサブメソスケール現象が観測されているが、海洋循環場に及ぼす影響は小さいと考えられていた。しかし、理想化されたシミュレーション研究によると、冬季の深い混合層内の傾圧不安定で励起されるサブメソスケール現象から海洋循環場や生態系、二酸化炭素吸収に及ぼす影響は無視できないと示唆されていた。

(2) 観測データで広範囲に分布するサブメソスケール現象を解析出来るデータセットは存在していなかった。衛星観測の海面高度データはその粗い解像度のためサブメソスケールを含む流動場の解析は不可能で、2020年以降の新たなミッションが待たれる。また、グライダー等による高密度観測でサブメソスケール現象の痕跡を捉えることは可能であるが、3次元構造を明らかにする高解像度観測は困難である。したがって、海洋循環や生態系に大きな影響を及ぼすことが予測されるサブメソスケール現象の構造や影響を現実海洋で解析した研究はほとんどなかった。

2. 研究の目的

(1) 現実的な設定の高解像度北太平洋高解像度シミュレーションデータを用い、サブメソスケールの空間分布と季節変動を、混合層深度や鉛直密度構造の季節変動と比較して、その時空間分布を明らかにする。

(2) 現実的な設定の高解像度北太平洋シミュレーションデータを用い、海域、季節ごとに空間スケールに対するエネルギー分布を調べ、スケール間相互作用の時空間分布を明らかにする。また、サブメソスケール現象が励起する鉛直流の鉛直分布、サブメソスケール現象による海洋表層の再成層化の空間分布を明らかにする。

(3) 簡易生態系モデルを組み込んだ北太平洋高解像度海洋シミュレーションのデータを解析して、サブメソスケール現象が生態系に影響を及ぼすメカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 海洋大循環モデル OFES を用いた現実的な設定の水平解像度 1/30 度の北太平洋高解像度シミュレーションは、サブメソスケールをある程度解像していることが期待できる。その 2001 年から 2003 年まで 3 年間の日平均出力を用いた。なお、簡易生態系モデルは 2002 年から 2003 年の 2 年間に組み込まれている。

(2) サブメソスケールの時空間分布を明らかにするために、サブメソスケールの特性を

示す変数の時間変動を調べる。さらに、波数スペクトル解析や波数に対するエネルギー遷移フラックス分布から、サブメソスケール現象を含む幅広い空間スケールの特徴とスケール間相互作用が海洋循環場に与える影響を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 従来の研究では、冬季に混合層が深くなると、サブメソスケール現象が活発となることが示されている (Mensa et al. 2013 など)。この季節変動が、OFES による高解像度北太平洋シミュレーションでも再現された (図 1)。サブメソスケールの季節変動の指標として、北西太平洋域の海面流速の渦度を見ると、晩冬に混合層が深くなると渦度は大きくなり、春季に混合層が短時間に浅くなるが、渦度は緩やかに減衰する (図 2)。また、海面高度から算出した地衡流の渦度の時間変動は、海面流速の変動とよく一致しており、サブメソスケールの季節変動は、将来計画されている衛星観測 (NASA、CNES による SWOT ミッションなど) による高解像度の海面高度データから観測できる可能性を示唆した。

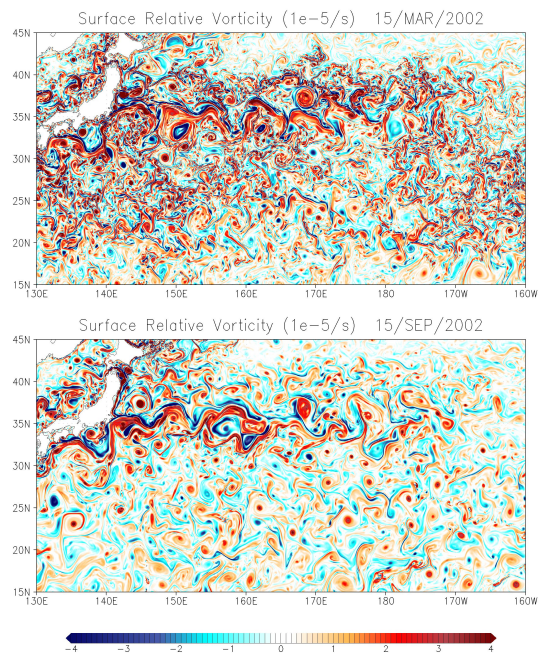


図 1 : (上図) 2002 年 3 月 15 日と (下図) 9 月 15 日の海面渦度分布 ($10^{-5}/s$)

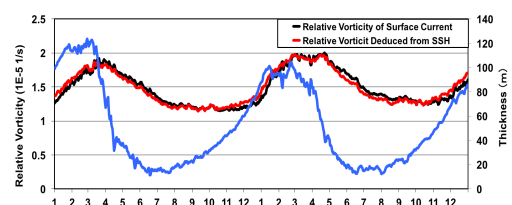


図 2 : 北西太平洋域 (140°E-165°W, 20-43°N) の海面の渦度 (黒)、地衡流の渦度 (赤)、混合層深度 (青) の時間変化

(2) サブメソスケール現象の生成メカニズムを明らかにするために、混合層内における位置エネルギーから運動エネルギーへの変換エネルギーの波数分布を調べた(図3)。その結果、冬季には約30kmのサブメソスケールに対応する大きさに最大値が有り、そのスケールにおけるエネルギー変換で、サブメソスケールが活発になっていた。このスケールは、混合層不安定が生じるスケールとほぼ一致していた。一方、夏季はエネルギー変換の最大値のスケールは大きく100km以上で、サブメソスケールを励起する混合層不安定は生じていなかった。

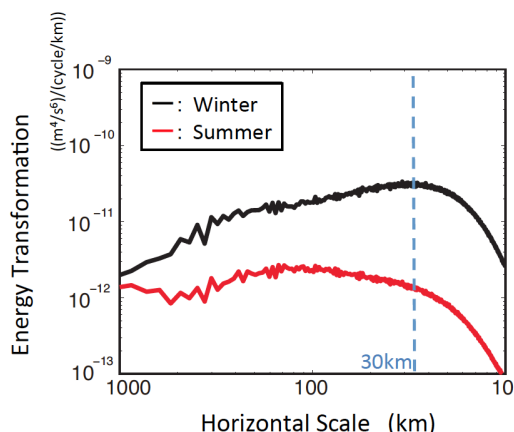


図3：北西太平洋域の冬季(黒)と夏季(赤)の位置エネルギーから運動エネルギーへのエネルギー変換の波数スペクトル

(3) 様々なスケールの現象が存在する海洋でのスケール間相互作用を明らかにするために、スケール間の運動エネルギーの遷移の波数に対する分布を調べた(図4)。冬季は100km以下のサブメソスケール現象に対応するスケールを含む幅の広い範囲で負の値で、運動エネルギーが小さなスケールから大きなスケールに遷移する逆遷移が起きていた。また、25km以下の小さなスケールでは、小さなスケールへのエネルギー遷移が起きていた。一方、夏季には、エネルギーの逆遷移はメソスケール以上の大きさで起き、その大きさも小さかった。以上の結果より、冬季に活発になるサブメソスケールは、エネルギーの逆遷移によって大きなスケールの海洋循環場の時空間変動に大きな影響を及ぼすことを示唆した。

(4) 本研究で得られたシミュレーションによるサブメソスケールの時空間変動とスケール間相互作用による海洋循環に及ぼす影響は、衛星観測や高密度の現場観測で検証する必要がある。また、本研究のシミュレーションに組み込んだ生態系モデルの結果では、サブメソスケールを解像すると春季の植物プランクトンの大発生の時期が早くなる。その現象を詳細に解析し、サブメソスケール現象が海洋生態系や二酸化炭素循環等に及ぼ

す影響を明らかにすることも、今後の課題である。

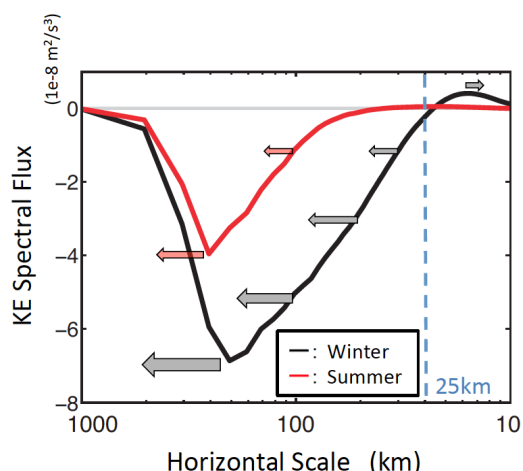


図4：北西太平洋域の冬季(黒)と夏季(赤)の運動エネルギーのスケール間フラックス。正の値は大きなスケールから小さなスケール、負の値は小さなスケールから大きなスケールへのエネルギーフラックス。

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)

Qiu, B., S. Chen, P. Klein, C. Ubelmann, L.-L. Fu, and H. Sasaki, Reconstructability of 3-dimensional upper ocean circulation from SWOT sea surface height measurements. *J. Phys. Oceanogr.*, 査読有, 2016, 46 (3), pp. 947-963.
DOI: 10.1175/JPO-D-15-0188.1

Qiu, B., S. Chen, P. Klein, H. Sasaki, and Y. Sasai, Seasonal mesoscale and submesoscale eddy variability along the North Pacific Subtropical Countercurrent, *J. Phys. Oceanogr.*, 査読有, 2014, 44 (12), pp. 3079-3098.
DOI: 10.1175/JPO-D-14-0071.1

Sasaki, H., P. Klein, B. Qiu, and Y. Sasai, Impact of oceanic scale-interactions on the seasonal modulation of ocean dynamics by the atmosphere, *Nature Communications*, 査読有, 2014, 5, 5636.
DOI: 10.1038/ncomms6636

[学会発表](計14件)

Sasaki, H., P. Klein, and Y. Sasai: Seasonal variations of meso/submesoscale dynamics in high-resolution simulation of the North Pacific Ocean, CLIVAR/JAMSTEC

Workshop on the Kuroshio Current and Extension System: Theory, Observations, and Ocean Climate Modelling, JAMSTEC(Yokohama・Japan), Jan. 12. 2016.

笹井義一, P. Klein, 佐々木 英治: Influence of oceanic mesoscale dynamics on biogeochemical reactions, 2015年度日本海洋学会秋季大会, 愛媛大学(愛媛県松山市), 2015年9月26日.

佐々木 英治, P. Klein, 笹井義一: Seasonal variations of submesoscale dynamics in high-resolution simulation of the North Pacific, 2015年度日本海洋学会秋季大会, 愛媛大学(愛媛県松山市), 2015年9月26日.

Qiu, B., S. Chen, P. Klein, H. Sasaki, and Y. Sasai, Seasonal Mesoscale and Submesoscale Eddy Variability Along the North Pacific Subtropical Countercurrent, AGU Fall Meeting, Moscone Center(San Francisco・USA), Dec 17, 2014.

Sasai, Y., H. Sasaki, P. Klein, and B. Qiu, Response of phytoplankton to submesoscale dynamics in the western North Pacific, AGU Fall Meeting, Moscone Center(San Francisco・USA), Dec 17, 2014.

Sasaki, H., P. Klein, B. Qiu, and Y. Sasai: Impact of oceanic scale-interactions on the seasonal modulation of ocean dynamics by the atmosphere, AGU Fall Meeting, Moscone Center(San Francisco・USA), Dec 17, 2014. (招待講演)

佐々木 英治, 黒潮続流域のサブメソスケールの季節変動とスケール間相互作用, 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会 北太平洋を中心とする循環と水塊過程, 岩手県大槌町, 2014年8月26日(招待講演)

Sasai, Y., K. Sasaoka, H. Sasaki, P. Klein, and B. Qiu, Impacts of submesoscale dynamics on the phytoplankton field in the western North Pacific, Scale Interactions, IFREMER(Brest・France), June 24, 2014. (招待講演)

Sasaki, H., P. Klein, B. Qiu, and Y. Sasai, Impact of oceanic scale-interactions on the seasonal

modulation of ocean dynamics by the atmosphere, Scale Interactions, IFREMER(Brest・France), June 24, 2014. (招待講演)

Sasaki, H., Toward a realistic submesoscale resolving simulation, WGOMD Workshop on High Resolution Ocean Climate Modeling, Steigenberger Conti Hansa Hotel (Kiel・Germany), April 7, 2014.

Sasai, Y., K. Sasaoka, Sasaki, H., P. Klein, and B. Qiu, Impacts of submesoscale dynamics on the phytoplankton field in the Kuroshio Extension, 2014 Ocean Sciences Meeting, Hawaii Convention Center (Honolulu・USA), Feb. 25, 2014.

Sasaki, H., P. Klein, B. Qiu, and Y. Sasai: Seasonality of submesoscales around the Kuroshio Extension in a high-resolution realistic simulation, 2014 Ocean Sciences Meeting, Hawaii Convention Center (Honolulu・USA), Feb. 25, 2014.

笹井義一, 笹岡晃征, 佐々木 英治, 黒潮続流におけるクロロフィル分布に見られるサブメソスケール現象の季節性, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 北海道大学(北海道札幌市), 2013年9月18日.

佐々木 英治, P. Klein, B. Qiu, 笹井義一: Seasonality of submesoscales around the Kuroshio Extension in a high-resolution simulation, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 北海道大学(北海道札幌市), 2013年9月18日.

Sasaki, H., P. Klein, B. Qiu, and Y. Sasai: Seasonality of submesoscales around the Kuroshio Extension in a high-resolution simulation, Development and application of Regional Climate Models-II, Busan・Korea, Sep. 10, 2013.

〔その他〕

プレスリリース「北西太平洋の微小な渦が海洋循環へ与える影響を解明」

http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20141215/

研究成果「微小な海洋渦が中規模渦などの大きな現象に及ぼす影響」

http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/spot/jpn/organization/a02_5_achievement3.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 英治 (SASAKI, Hideharu)
国立研究開発法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・主任研究員
研究者番号：50359220

(2) 研究分担者

笹井 義一 (SASAI, Yoshikazu)
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター・グループリーダー代理
研究者番号：40419130