

平成30年6月4日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26287116

研究課題名(和文) 黒潮本流域と黒潮内側域における栄養塩の水平及び鉛直輸送量の解明

研究課題名(英文) Horizontal and vertical transports of nutrients between the Kuroshio main stream and its inshore side

研究代表者

郭 新宇 (Guo, Xinyu)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授

研究者番号：10322273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：低次生態系モデルの出力を用いて、黒潮本流域を挟む両側面における栄養塩の水平輸送量および有光層の底面における栄養塩の鉛直輸送量の年平均値を求めた。計算結果から、1)日本南岸の黒潮内側域から黒潮本流域への栄養塩の水平輸送量が比較的大きいこと、2)混合水域から黒潮続流域に、さらに黒潮続流域から亜熱帯域に水平方向の硝酸塩輸送量を有すること、3)ルソン海峡付近と黒潮続流域では大きな鉛直方向の栄養塩輸送量があることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Using results of a low-trophic biogeochemical model, we calculated annually averaged horizontal nutrients transport between the Kuroshio main stream and its two lateral sides and annually averaged vertical nutrients transport through the bottom of eutrophic layer within the Kuroshio main stream. Our calculation shows 1) a large horizontal nutrients transport from inshore area south of Japan to the Kuroshio main stream; 2) a horizontal nutrients transport from mixed area to the Kuroshio Extension and a further southward nutrients transport from the Kuroshio Extension to subtropical area; 3) a large vertical nutrients transport around the Luzon Strait and Kuroshio Extension.

研究分野：Physical Oceanography

キーワード：栄養塩輸送 黒潮 黒潮続流

1. 研究開始当初の背景

海洋の温暖化シグナルは、黒潮を含む西岸境界流域で一番強いと報告されている(Wu et al., 2012)。このような背景において、黒潮における水温上昇の高次生態系に及ぼす影響や水位上昇の臨海域への影響が懸念されるが、海の一次生産力とそれを支える栄養塩の動態も関心と呼ぶ。この場合、温暖化に伴って鉛直成層が強くなり、貧栄養である黒潮表層水がさらに貧栄養になると考えられやすい(Sarmiento et al., 2004; Behrenfeld, et al., 2006)が、この考え方には問題がある。なぜなら、黒潮本流域における上流から下流への栄養塩の水平輸送(Guo et al., 2012; 2013)、及び黒潮内側域(Zhao and Guo, 2011)と黒潮外側域(Guo et al., 2013)から黒潮本流域への栄養塩の水平輸送を考慮していないからである。

黒潮が北西太平洋の低緯度から中緯度に大量の熱を運び、日本及び東アジアに温暖な気候をもたらしていることは周知の事実である。熱と同様に、溶存物質である栄養塩も黒潮によって低緯度から中緯度に運ばれている。たとえば、東シナ海のPN断面(気象庁の定期観測線)における過去の20年余りの観測データから求めた平均的硝酸塩フラックス(=流速と硝酸塩濃度の積)は、水深400m付近に最大値を示し、その断面積分から東シナ海の黒潮が平均で 170 kmol s^{-1} の硝酸塩を下流域に輸送していることが分かった(Guo et al., 2012)。また、この硝酸塩輸送量は、琉球海流と黒潮再循環が加わることにより日本南岸黒潮本流域で 1000 kmol s^{-1} にも達することがわかってきた(Guo et al., 2013)。

黒潮流軸方向での栄養塩の水平輸送以外に、黒潮本流域と黒潮内側域間や、黒潮本流域と黒潮外側域間の海水交換に伴う栄養塩の水平輸送も存在する。我々も含め、研究者の多くは黒潮流域から黒潮内側域への栄養塩供給を重視し、その定量化に努めてきた。たとえば、東シナ海では黒潮流域から大陸棚への栄養塩供給量は河川からのものより10倍も多いことがわかってきた(Chen and Wang, 1999; Zhang et al., 2007; Zhao and Guo, 2011)。また、閉鎖性の強い瀬戸内海でも約5割の栄養塩が黒潮中層水起源であるといわれている(武岡ら, 2006)。

ところで、黒潮内側域には、黒潮起源の栄養塩に加えて、河川起源や大気起源や海底堆積物起源の栄養塩も存在する。栄養塩収支を考えると、栄養塩の供給だけでなく、栄養塩の消費も議論しなければならない。黒潮内側域での基礎生産だけでそこに供給される栄養塩を全部消費することは非現実的である。さらに、黒潮本流域より黒潮内側域の栄養塩濃度が高いという事実からも、黒潮本流域と黒潮内側域間に水平拡散や海水交換がある限り、栄養塩が黒潮内側域から黒潮本流域へ流出することが想定できる。しかしながら、この栄養塩の水平輸送は、どこでどのような

形で行われるかが現在まったく未知である。

黒潮本流域での栄養塩の鉛直輸送については、断面観測解析から黒潮前線渦に伴う湧昇(Isobe and Beardsley, 2006)や黒潮前線渦と海上風との結合作用(Nagai et al., 2012)や鉛直シアーによる乱流混合(Kaneko et al., 2012)などの素過程が提案されているが、どの素過程がどこ・いつ・どの程度の栄養塩を黒潮本流域の表層に運んでいるのかについてまだ答えがない。

四国南岸の黒潮本流域では、表層海水の栄養塩濃度が黒潮流軸方向で増加している(Guo et al., 2013)。この事実はまだ黒潮全流路で確認されていない。また、その理由もまだ説明できていない。黒潮本流域における栄養塩収支を正確に見積もるためには、黒潮本流域と内側域間の水平輸送量と黒潮本流域での鉛直輸送量に加えて、黒潮本流域と外側域間の水平輸送量、及び黒潮本流域での生物活動の貢献を知る必要がある。黒潮外側域には、黒潮再循環と中規模渦が存在し、黒潮流量に大きなインパクトを与え(Yang et al., 1999; Ichikawa, 2001)、時々黒潮大蛇行につながることもある(Usui, 2013; Miyazawa et al., 2004)。黒潮本流域と外側域間の栄養塩水平輸送量は、主に黒潮再循環と中規模渦による黒潮本流域への海水加入に伴うものである。

黒潮源流域から黒潮下流域まで2500キロを超える長い流路においては、黒潮本流域と両側との栄養塩の水平輸送量、及び黒潮本流域での栄養塩の鉛直輸送量は、場所によって異なると思われる。したがって、ある断面観測から提案された栄養塩供給メカニズムについて、その普遍性を黒潮流路上で検証する必要がある。

2. 研究の目的

黒潮本流域における栄養塩濃度の流軸方向での変化特性と支配メカニズムを解明するため、高解像度流動・低次生態系モデルと既存観測データを用いて、黒潮本流域における生物化学過程を含んだ栄養塩収支及びその季節変化を定量的に明らかにする。フィリピン東岸から日本南岸黒潮流域までの黒潮域を(1)ルソン海峡、(2)東シナ海陸棚斜面、(3)日本南岸黒潮安定流路海域、(4)日本南岸黒潮大蛇行海域に分割し、各海域において黒潮本流域と黒潮内側域間の海水と栄養塩の水平輸送量、黒潮本流域における栄養塩の鉛直輸送量、黒潮外側域における黒潮再循環と中規模渦による黒潮本流域への海水と栄養塩の水平輸送量を算出する。さらに、4つの海域における栄養塩水平・鉛直輸送に係る素過程の類似点と相違点を比較し、その普遍性を定量的に評価する。

3. 研究の方法

(1)低次生態系モデル

本研究で黒潮に関わる各種の栄養塩輸送量の計算に使われる流速と栄養塩濃度は

OFES(Masumoto et al., 2004)をベースにしたNPDZタイプの低次生態系モデル(Sasai et al., 2006)の結果を使用した。モデルの解像度は水平方向では0.1度であり、鉛直方向では54層である。モデルの出力変数は硝酸塩、植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタス、水平および鉛直方向の流速である。本研究では1995年から2012年までのそれぞれの変数の月平均値から栄養塩の輸送量を計算して、年平均の値を求めた。

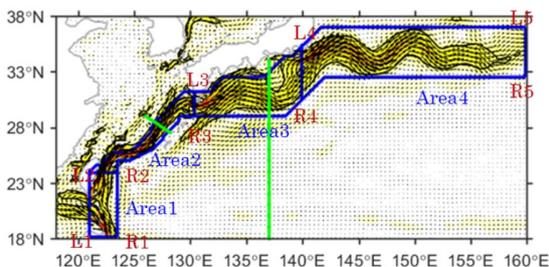


図1 黒潮本流域の有光層における栄養塩輸送量を計算する断面分布。

図1はOFESの表面から400m深までの鉛直平均流速を用いて定義した黒潮流域(0.2 ms⁻¹より速い場所)である。黒潮流軸に沿って、黒潮流域を黒潮源流(Area 1)、東シナ海黒潮(Area 2)、日本南岸黒潮(Area 3)、黒潮続流(Area 4)といった4つのサブ領域に分け、それぞれのサブ領域について、OFESの低次生態系モデルの計算結果から、側面と底面を通過する流量と栄養塩輸送量を求めた。

(2)黒潮続流の観測データと解析方法

黒潮本流より輸送された栄養塩が下流の黒潮・親潮移行領域に与える影響を解明するため、1998年5月12日~6月10日に実施した調査船蒼鷹丸(国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所)による航海のデータ(Yasuda et al. 2001, Hiroe et al. 2002, Komatsu et al. 2004)を使用し、等密度面上の硝酸塩輸送の収支解析を行った。航海では、房総半島南東沖合から北海道南東沖合に至る黒潮・親潮移行域を囲む測点で、海面から1500 dbまでのCTD観測、垂下式超音波流速計(LADCP)による水平流速の鉛直プロファイル観測、Bottle採水(10層)を実施した。各測線を横断する水平流速は、CTD観測値から計算した各測点間の1500 db基準の地衡流速値をLADCP値(Hiroe et al. 2002)で補正し、これを流量計算に使用した。また、各測点の水塊に占める黒潮系水と親潮系水の寄与率は、房総半島沖の黒潮直下と北海道沖の親潮直下で観測された塩分プロファイルをそれぞれ純粋な黒潮系水、親潮系水の端成分として、各測点の塩分値から計算した黒潮・親潮混合比(Hiroe et al. 2002)から推定した。所定の密度帯について、各測点間を通過する体積輸送量を補正地衡流速値に断面積(密度帯の厚み×測点間の距離)を掛けて計算

し、これに黒潮・親潮混合比を掛けて体積輸送量に占める黒潮系水と親潮系水の割合を見積もった。また、これらに硝酸塩濃度を掛けることで、黒潮と親潮による等密度面上の硝酸塩輸送量を見積もった。

4. 研究成果

(1)黒潮流域における水平方向の栄養塩輸送量

黒潮はルソン島の東方から出発し、東シナ海の陸棚縁を経て日本南岸を流れてから黒潮続流として北西太平洋に流入する(図1)。長い流軸に沿って、いくつかの断面における栄養塩輸送量を計算した研究例(Chen et al. 1994; 1995, Guo et al., 2012; 2013)があるが、有光層への栄養塩輸送量の見積もりがなかった。

黒潮本流域を挟む両側面における硝酸塩輸送量の年平均値(表1)を見ると、日本南岸の黒潮内側域から黒潮本流域への輸送量(14.31 kmol s⁻¹)が比較的大きいことが分かる。また、黒潮続流域ではL4-L5断面において混合水域から黒潮続流域に、R4-R5断面において黒潮続流域から亜熱帯域に硝酸塩を供給することが分かる。ここでは詳細を示さないが、日本南岸の黒潮内側域から黒潮本流域への硝酸塩輸送は主に沿岸域の湧昇により、黒潮続流域の北側における北から南への栄養塩輸送は主に渦により、黒潮続流域の南側における北から南への栄養塩輸送は主に平均流により支えられている。

表1. 図1に定義した断面を通過した硝酸塩の輸送量。Right sideはR1-R5に、Left sideはL1-L5に対応する断面である。UpstreamとDownstreamはそれぞれのサブ領域における黒潮の上流と下流にあたる黒潮を横切る断面である。Bottomはそれぞれのサブ領域の底面(水深102m)である。数字の符号はそれぞれの領域に入るものを正とする。

	Nitrate transport (kmol s ⁻¹)			
	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Right side	0.67	-0.38	0.14	-5.69
Left side	0.07	1.11	14.31	3.97
Upstream	2.81	7.93	8.85	21.54
Downstream	-7.93	-8.85	-21.54	-19.62
Bottom (102 m)	3.75	0.30	-0.85	5.16
Total	-0.64	0.11	0.92	5.35

(2)黒潮流域における鉛直方向の栄養塩輸送量

4つのサブ領域の底面(102m)における鉛

直方向の栄養塩輸送量(表1)を見ると、サブ領域1とサブ領域4に大きな供給量があることが分かる。その実態を知るために、鉛直方向の栄養塩フラックスの分布を図2に示す。

サブ領域1の鉛直方向の栄養塩供給は主にルソン海峡の南部と北東部に見られる。この分布は鉛直流の水平分布によく対応するため、湧昇流が栄養塩を有光層に運んでいると考えられる。湧昇流の存在は密度面の傾きと水平流の方向から診断的に理解できる。

サブ領域4における鉛直方向の栄養塩フラックスにプラスとマイナスの領域が交互に見られる。プラスがマイナスを上回っているため、サブ領域を積分すると 5.16 kmols^{-1} 供給となっている。交互に出現する湧昇流と沈降流は黒潮統流の流路変化(蛇行)とポテンシャル渦度の保存則から理解できる。

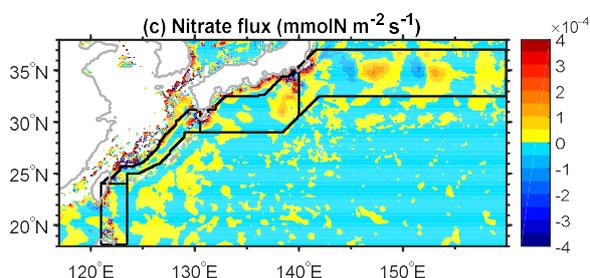


図2. 102 mにおける鉛直方向の硝酸塩輸送フラックス(上向きを正とする)。

(3)黒潮統流域における黒潮起源栄養塩輸送

航海時、 $25.0\sigma_0$ の等密度面は黒潮統流の北側で海面に露出しており、 $26.3\sigma_0$ より重い密度面は観測海域全体で露出していなかった(図3)。そこで、海面 $\sim 25.0\sigma_0$ 、 $25.0\sim 26.5\sigma_0$ 、 $26.5\sim 27.5\sigma_0$ の密度帯で、観測断面ごとの体積輸送量と硝酸塩輸送量を計算し各々について黒潮水と親潮水の寄与を見積もった。

房総半島沖の観測断面において、下流方向(北東方向)の成分のみを積算した体積輸送量と硝酸塩輸送量を黒潮本流域の 137°E 線を東向きに横断する量と比較した(表2)。各密度帯において両者は良く一致しており、黒潮本流が輸送する膨大な栄養塩が黒潮・親潮移行域に輸送されていることが推察された。

次に、各密度帯について、全観測断面に囲まれた領域内の体積輸送量と硝酸塩輸送量の収支を計算した。体積輸送量の収支は、観測誤差と解析誤差を考慮に入れるとほぼゼロとみなすことができ、体積(つまり質量)が保存していることを示したが、硝酸塩輸送量の収支はいずれの密度帯でも有意に正の残差が生じた。残差量は、海面 $\sim 25.0\sigma_0$ で $35\pm 8.1 \text{ kmol s}^{-1}$ 、 $25.0\sim 26.5\sigma_0$ で $31\pm 7.5 \text{ kmol s}^{-1}$ 、 $26.5\sim 27.5\sigma_0$ で $78\pm 9 \text{ kmol s}^{-1}$ であった。なお、黒潮水と親潮水の寄与率は、厳密には、等密度面混合の仮定が成立する $26.5\sim 27.5\sigma_0$ の密度帯においてしか計算することができないが、海面 $\sim 25.0\sigma_0$ の密度帯では、 $25.0\sigma_0$ の密度面が黒潮統流のすぐ北側で露出しているた

め、親潮の寄与は無く、上記の残差量は黒潮水のみの寄与と考えてよい。 $25.0\sim 26.5\sigma_0$ の密度帯については、黒潮水だけでなく親潮水の寄与も含んでいることに注意すべきである。これらの残差量を領域内で各密度面が占める面積で割ると、黒潮による硝酸塩の等密度面輸送により領域内に供給される単位時間、単位面積当たりの硝酸塩フラックスを見積もることができる(表1)。硝酸塩のフラックスは、海面 $\sim 25.0\sigma_0$ で $3.28\times 10^{-5} \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($2.83 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)、 $25.0\sim 26.5\sigma_0$ で $1.87\times 10^{-5} \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($1.61 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)、 $26.5\sim 27.5\sigma_0$ で $4.70\times 10^{-5} \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($4.06 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)であった。いずれの密度帯でもフラックスは $O(10^{-5}) \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($O(1) \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)であった(表2)。

この収支解析で得られた残差は、領域内への流入量よりも領域外への流出量が少ないことを意味しており、その要因として、①領域内での硝酸塩の消費、②密度面横断(鉛直)方向の輸送による領域外への硝酸塩の正味の流出、が考えられる。海面 $\sim 25.0\sigma_0$ の密度帯と $25.0\sim 26.5\sigma_0$ の密度帯は混合層を含むので①の植物プランクトンによる硝酸塩の消費が要因説明の有力な候補に挙げられる。上記で見積もったフラックスが新生産に利用されると仮定してRedfield比(Redfield et al., 1963)を用いてその量を計算すると $O(10^2) \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ となる。この量は、黒潮・親潮移行領域の植物プランクトン基礎生産量(Nishibe et al., 2015)に十分寄与する量であり、黒潮本流から輸送された栄養塩が、世界有数の漁場としてその高い生産力で知られる黒潮親潮移行領域の生産に寄与していることが示唆される。一方、 $26.5\sim 27.5\sigma_0$ の密度帯は、領域内では有光層の下に分布しているので①の影響は考えにくい。②の影響に関して検討すると、まず、乱流拡散による鉛直輸送は、鉛直微細構造の直接観測によると黒潮統流フロントの乱流が最も強い海域でも $O(10^{-6}) \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で(Kanek et al., 2013)、上記のフラックスより1オーダー小さいことからその影響は考えにくい。後は、メソスケール及びサブメソスケール過程に伴う鉛直移流の影響が考えられるが、現時点では現場観測の事例がなく、その影響の程度は不明である。密度面横断輸送の実態解明は今後の課題として残るが、この密度帯に黒潮から輸送された栄養塩が上層に輸送され、有光層内で植物に利用されている可能性が示唆される。最後に、重要な点として、この密度帯での等密度面輸送に伴う硝酸塩フラックスを親潮水と黒潮水と比較すると、前述の通り、黒潮水が $4.70\times 10^{-5} \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であったのに対して親潮水は $9.04\times 10^{-5} \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であり、もしこれらの硝酸塩供給が黒潮親潮移行領域の基礎生産に寄与しているとする、黒潮は親潮の半分の影響を持つことが示唆され、当該海域の生産を決める上で重要な役割を果たしていることが推察される。

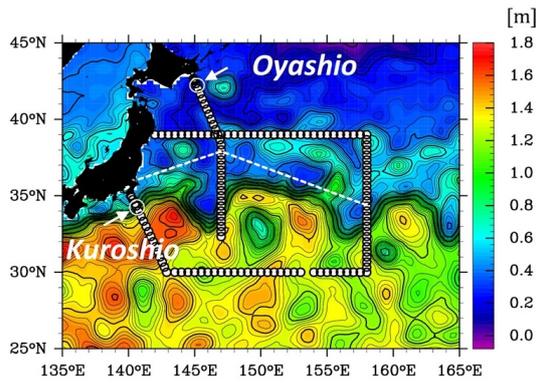


図3.黒潮親潮移行域で実施した航海の測点図。○は測点、矢印は、黒潮親潮混合比の計算に使用した測点位置、背景・等値線は力学海面高度 (AVISO/MADT)、白い破線は 25.0 σ_θ 面が海面露出した推定位置を示す。

表2. 房総沖と 137°E 横断面の黒潮輸送量

Density range		Transport to the downstream		Nitrate flux convergence in KOIZ [$\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$]
		Off Boso P.	137°E ²	
$\sigma_\theta \leq 25.0$	Volume [Sv]	15.0	17.2 ³	2.83
	Nitrate [kmol s^{-1}]	40.5	32.8 ³	
$25.0 \leq \sigma_\theta \leq 26.5$	Volume [Sv]	38.7 ¹	36.5 ¹	1.61 ¹
	Nitrate [kmol s^{-1}]	402 ¹	427 ⁴	
$26.5 \leq \sigma_\theta \leq 27.5$	Volume [Sv]	20.5	18.2	4.06
	Nitrate [kmol s^{-1}]	676	616	

*1: 親潮水を含む見積り

*2: Guo et al. (2013) による見積り

*3: 密度帯 ($\sigma_\theta \leq 24.8$) で見積り

*4: 密度帯 ($24.8 \leq \sigma_\theta \leq 26.5$) で見積り

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 20 件)

(1) Hu, Y., Guo, X., and Zhao, L. (2018): Interannual variation of nutrients along a transect across the Kuroshio and shelf area in the East China Sea over 40 years. *Journal of Oceanology and Limnology*, 36, 62-76, DOI: 10.1007/s00343-017-6234-y. (査読有)

(2) Wang, Y., Guo, X., and Zhao, L. (2018): Simulating the responses of a low-trophic ecosystem in the East China Sea to decadal changes in nutrient load from the Changjiang (Yangtze River). *Journal of Oceanology and Limnology*, 36, 48-61, DOI: 10.1007/s00343-017-6233-z. (査読有)

(3) Zhang, J., Guo, X., Zhao, L., Miyazawa, Y., Sun, Q. (2017): Water exchange across isobaths over the continental shelf of the East China Sea. *Journal of Physical Oceanography*. 47, 1043-1060, DOI: 10.1175/JPO-D-16-0231.1. (査読有)

(4) Miyazawa, Y., Varlamov, S.M., Miyama, T., Guo, X., Hihara, T., Kiyomatsu, K., Kachi, M., Kurihara, Y., Murakami, H. (2017): Assimilation of high-resolution sea surface temperature data

into an operational nowcast/forecast system around Japan using a multi-scale three-dimensional variational scheme. *Ocean Dynamics*. 67, 713-728. DOI: 10.1007/s10236-017-1056-1 (査読有)

(5) Chang, Y.-L., Y. Miyazawa, L.-Y. Oey, T. Kodaira, and S. Huang (2017): The formation processes of phytoplankton growth and decline in mesoscale eddies in the western North Pacific Ocean, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 122, 4444-4455, doi:10.1002/2017JC012722 (査読有)

(6) Qu, T., Tozuka, T., Kida, S., Guo, X., Miyazawa, Y., and Liu, Q. (2016): Western Pacific and marginal sea processes. in *Indo-Pacific Climate Variability and Predictability*, World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate, Vol. 7, Edited by Behera, S. and Yamagata, T., 151-186. (査読有)

(7) Chang, Y.-L., Miyazawa, Y., and Guo, X. (2015): Effect of mesoscale eddies on the Taiwan Strait Current. *Journal of Physical Oceanography*. 45, 1651-1666, DOI: 10.1175/JPO-D-14-0248.1 (査読有)

(8) Chang, Y.-L., Miyazawa, Y., and Guo, X. (2015): The effect of STCC eddies on Kuroshio based on 20 years JCOPE2 reanalysis results. *Progress in Oceanography*. 135, 64-76, doi:10.1016/j.pocean.2015.04.006 (査読有)

[学会発表] (計 36 件)

(1) 峯俊介, 小松幸生: 黒潮・黒潮続流域における表層への栄養塩輸送量の見積り (I)、日本海洋学会 2017 年度秋季大会、2017

(2) 小松幸生, 廣江豊: 黒潮域における水平拡散係数のスケール依存性、日本海洋学会 2017 年度秋季大会、2017

(3) Komatsu K., Hiroe Y, Yasuda I : Biogeochemical impacts of isopycnal nitrate transport along the Kuroshio, JPGU-AGU Joint Meeting 2017、2017

(4) 小松幸生, 廣江豊, 安田一郎: 黒潮 Nutrient Stream: 源流から続流域の構造・硝酸塩輸送・変動と生物生産へのインパクト、東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「黒潮域における混合と栄養塩供給・生物生産へ与える影響」(招待講演)、2017

(5) Wang, Y., Guo, X., Zhao, L., Zhang, J. Budget of nutrients and biogenic particles for upper and lower layers of the East China Sea, International Workshop on Mixing and Water Mass Modification in the East Asian Marginal Seas, 2017.

(6) Zhang, J., Guo, X., L. Zhao, and Y. Miyazawa: Water exchange across isobaths over the continental shelf of the East China Sea. International Workshop on Mixing and Water Mass Modification in the East Asian Marginal Seas, 2017.

(7) Komatsu, K., Y. Hiroe, I. Yasuda and M. Masujima. Impact of nitrate transport along the Kuroshio on the high productivity in the Kuroshio-Oyashio interfrontal zone. IUGG2016, 2016

(8) Guo, X.: Material exchange between a shelf sea and the Kuroshio and the downstream transport of nutrients along the Kuroshio. International workshop on organic carbon cycle and biogeochemistry in marginal seas. (招待講演) 2015.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 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 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

郭 新宇 (GUO Xinyu)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授
研究者番号：10322273

(2)研究分担者

小松 幸生 (KOMATSU Kosei)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号：30371834

(3)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

(4)研究分担者

宮澤 泰正 (MIYAZAWA Yasumasa)
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・グループリーダー
研究者番号：90399577