

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18340143
 研究課題名（和文） 基礎生産に寄与する東中国海大陸棚域の隆起源水と黒潮の相互作用
 研究課題名（英文） Contribution of the river discharge and the Kuroshio to the primary production in the shelf region of the East China Sea
 研究代表者
 松野 健（MATSUNO TAKESHI）
 九州大学・応用力学研究所・教授
 研究者番号：10209588

研究成果の概要：東中国海陸棚域における基礎生産に対する黒潮起源水と陸起源水の寄与について調べるため、流速・水温・塩分・クロロフィル・栄養塩・乱流微細構造の観測を行い、栄養塩の豊富な下層水の表層への輸送には低気圧の通過が大きな役割を果たしていることを示した。同時に数値モデルにより、長江起源栄養塩の長距離輸送過程を提案した。また、化学トレーサーによる分析により、陸棚水での黒潮中層水の混合比が 30%程度あることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2007年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：海洋物理学・沿岸海洋学

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：東シナ海、陸棚水、基礎生産、黒潮中層水、陸起源水、鉛直輸送、鉛直混合、

1. 研究開始当初の背景

東中国海(東シナ海)の陸棚域は、生物生産が盛んな海域として知られているが、その基礎となる栄養塩の供給は中国大陸から流入する河川からばかりでなく、むしろその多くが黒潮の亜表層あるいは中層から供給されているという指摘がある。しかし一方で、衛星から捉えられた高クロロフィル域の分布は、河川水の希釈水域を示す低塩分水の分布と概ね一致する傾向にある。この低塩分水域の生物生産の高さが必ずしも陸起源の栄養塩によるものではないとすると、河川水希釈域の広がりや黒潮亜表層/中層水との間に密接な相互作用があることが想定される。様々

なモデルや物質収支の計算から黒潮起源の栄養塩が陸棚域に供給されていることは確からしいが、その栄養塩がどのように基礎生産に使われているかについては、明らかになっていない。黒潮に代表される外洋水が、どのように陸棚域の基礎生産に寄与しているかを明らかにすることは、東シナ海陸棚域の海洋環境、特に生物環境を理解する上で大変重要である。

2. 研究の目的

本研究では、黒潮亜表層・中層水に含まれる栄養塩が、東シナ海陸棚域表層の生物生産に結びつく物理過程を、以下の仮説に従って

検証することを目的とした。

- (1) 陸棚底層に分布する栄養塩を、基礎生産が可能な表層に輸送するプロセスとして、表層水の発散 (divergence) から生じる鉛直流が大きな役割を果たしている。
- (2) 陸棚底層に分布する栄養塩の相当な部分は黒潮の亜表層・中層に起源を持つ。

3. 研究の方法

(1)の発散を評価するために、長江希釈水の広がり域に多数の衛星追跡ドリフターを投入し、その動きから表層水の発散を計算する。ドリフターによって計測された表層塩分の変化から、下層水の供給過程を評価した。また、微細構造の観測により、鉛直拡散係数を見積もることによって、拡散による下層からの栄養塩の供給を評価した。さらに表層付近の鉛直混合の評価に関連して、風に駆動される表層流の発達過程を調べるため、ADCPを用いて表層付近の流速の詳細な分布測定を行った。一方、長江起源水に含まれる栄養塩が、河口域から遠くまで運ばれる過程について、数値モデルによる実験を行った。(2)の仮説については、高濃度の栄養塩を含む黒潮の亜表層・中層水が、どの程度の割合で陸棚底層に供給されているかを明らかにするために、水温・塩分に加えて栄養塩および希土類などの化学トレーサーを用いた海水起源の評価を行った。

4. 研究成果

(1) ドリフターによる表層水の発散の評価と表層での鉛直過程に関わる観測
 ①2008年8月8日から18日にかけて実施された東シナ海陸棚域の韓国経済水域における淡青丸航海において、6台の衛星追跡漂流ブイ(うち3台は水温・塩分センサー付き)を追跡しながら、CTD等によって、水温・塩分・クロロフィル・栄養塩・乱流微細構造などの鉛直分布を繰り返し計測した。観測期間中は天候が平穏で、顕著な塩分の上昇は見られなかった。一方、平穏な気象条件が続いた中で、混合層直下にはクロロフィル極大層が継続して観測された(図1)。乱流微細構造の計測から混合層下での鉛直拡散係数を見積り(図2)、栄養塩の鉛直分布を用いて、鉛直拡散による下層からの栄養塩供給の大きさを評価した。鉛直拡散係数は混合層の下で $10^{-5}m^2s^{-1}$ 程度であり、あまり大きくはなかったが、栄養塩の鉛直勾配を考慮して、栄養塩の下層からの供給を見積もると、窒素の場合、 $1\mu M/day$ 程度となって、この程度の鉛直拡散でも、混合層下のクロロフィル極大を維持するには十分な栄養塩を下層から供給しようと見積もられた。
 ②2007年9月にも同様の観測を計画したが、観測期間中に2つの台風が通過し、予定した

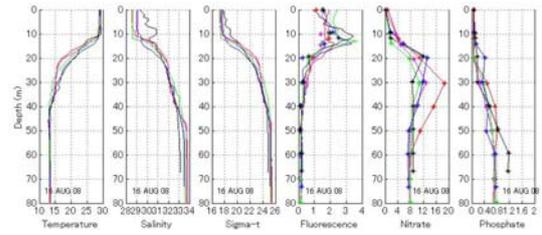


図1 2008年8月16日に濟州島南西海域で観測された左から水温、塩分、密度、クロロフィル a、硝酸態窒素、リン酸態リンの鉛直分布

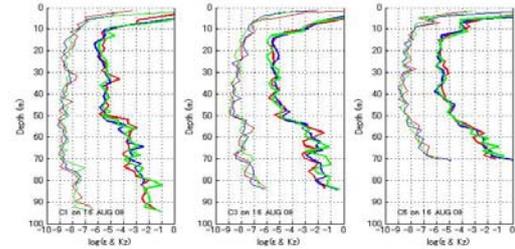


図2 2008年8月16日に濟州島南西海域で観測された(細線)乱流エネルギー散逸率および(太線)鉛直拡散係数の鉛直分布(log スケール)

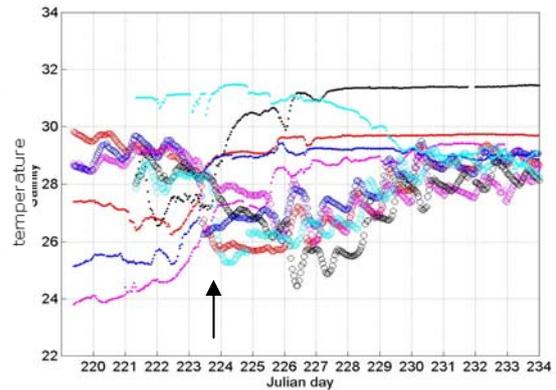


図3 2007年8月に濟州島南西海域に投入されたドリフターによって計測された塩分(・)と水温(○)の時間変化

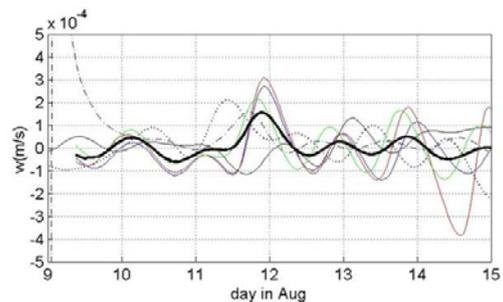


図4 2007年8月に濟州島南西海域に投入されたドリフターの動きから見積もられた鉛直流速(上昇流が+)の時間変化。11-12日付近が熱帯性低気圧の通過に対応。

観測は実施できなかった。これとは別に、韓国水産科学院との共同研究で、同年8月上旬に濟州島の南西海域に投入したドリフターのデータが得られているので、表層水の発散

という視点から解析した結果を示す。

投入された7台のドリフターは概ね北東方向に流され、図3に示す塩分変化が計測された。図中矢印で示すところで急激な塩分の上昇、同時に水温の下降が観測された。各ドリフターの位置から複数の三角形を作り、その面積の変化から表層の発散を見積もった。それぞれの三角形の面積の変化は必ずしも収束発散によるものばかりではないが、平均を取ることで、その面積の変化がある程度表層発散を反映していると仮定する。塩分の急上昇期に対応して発散も大きく、それから見積もられた上昇流も 10^{-4} m s^{-1} と大きな値になった(図4)。塩分の鉛直分布から、鉛直移流を見積もると、観測された塩分上昇とほぼ同程度の塩分上昇が計算され、表層発散による高塩分水の鉛直輸送が、表層塩分の上昇に大きな影響を及ぼしたことが示唆された。このときはちょうど熱帯性低気圧(TD)がこの海域を通過しており、その風応力によるエクマン輸送が表層の発散場を作ったと推定される。このTDの通過を除く期間では顕著な塩分上昇は見られず、また、上述のように平穏だった2008年8月の観測時にも顕著な塩分上昇が見られなかったことから、長江希釈水の塩分上昇(希釈)には風の影響が大きいことを示すものである。強風による塩分上昇は鉛直混合による高塩分水の輸送だけでなく、鉛直混合によるものも含まれている。しかし、強風時における鉛直混合の強さを測定することは困難であるため、現時点ではそれらの寄与率を評価することはできていない。今後、何らかの手法による分別がされる必要がある。

一方、鉛直輸送による下層水の上層への供給は、塩分上昇だけでなく、栄養塩の表層への供給も期待される。実際、2007年の急激な塩分上昇の前後では、衛星によるクロロフィル濃度が観測海域で上昇していることが観測されており、下層水の表層への供給が生物基礎生産に寄与していることが示唆される。これは、過去の例に基づいて台風の通過と衛星クロロフィルの変化を比較した Siswanto et al. (2007) の解析結果にも示されている。

③表層の基礎生産に少なからず関与する表層での流れの分布や風応力に対する応答について、表層付近での流速の詳細な鉛直分布観測を行った。その結果エクマン流を示唆する流れの分布と、鉛直粘性係数が深さによって明瞭な分布を持つことが示され、鉛直混合層内での物質の動きを理解する上で、興味深い結果が得られた。今後、物質の拡散、混合層下の層との間の物質の輸送過程の研究につなげていくことが期待される (Yoshikawa et al., 2007)。

(2)長江起源栄養塩が遠方まで運ばれる可能性に関する数値実験

長江起源の栄養塩が河口近くで消費されず、陸棚上を遠方まで運ばれうる可能性について、生態系モデルを適用した、簡単な数値モデル実験により議論を行った。その結果、比較的高濁度の陸棚域では光の遮蔽効果のため生物生産によって消費されず、比較的遠方で長江起源の栄養塩を使った基礎生産が生じる可能性が示唆された (Isobe and Matsuno, 2008)。長江起源の栄養塩が河口域から遠く離れた海域まで運ばれるプロセスについては、有光層内における再生産が活発に行われている可能性もあるので、今後は表層における有機物の分解と再生産過程も考慮した検討が必要となる。

(3)陸棚上における黒潮起源水の分布

黒潮亜表層および中層水がどの程度の割合で陸棚域に分布するかについて、化学トレーサーを用いた解析を行った。2008年8月および過去(2004年)のサンプリングデータに基づいて、希土類を主体とした水塊分析を行い、陸棚上に分布する海水が様々な起源を持った水塊の混合によって形成されていることが示され、その中で、黒潮中層水の寄与が30%程度あることを示唆する見積りが得られた。この混合比の見積りは、起源となる水塊に関して、比較的大きな変動幅の中での平均値を用いており、今後、サンプリングデータを蓄積していくことによって、信頼性を高めていく必要がある。

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11件)

- (1) Isobe, A., S. Kako, P.-H. Chang and T. Matsuno, Two-way particle tracking model for specifying sources of drifting objects: application to the East China Sea shelf, *J. Atmos Oceanic Technol.*, 2009 in press, 査読有
- (2) Kim, H.-C., H. Yamaguchi, S. Yoo, J. Zhu, K. Okamura, Y. Kiyomoto, K. Tanaka, S.-W. Kim, T. Park, I. S. Oh and J. Ishizaka, Distribution of Changjiang Diluted Water detected by satellite chlorophyll-a and its interannual variation during 1998-2007, *J. Oceanogr.*, 65, 129-135, 2009, 査読有
- (3) Sasaki, H., E. Siswanto, K. Nishiuchi, K. Tanaka, T. Hasegawa and J. Ishizaka, Mapping the low salinity Changjiang Diluted Water using satellite-retrieved colored dissolved organic matter (CDOM) in the East China Sea during high river flow season,

- Geophys. Res. Lett. doi:10.1029/2007GL032637, L04604, 2008, 査読有
- (4) Isobe, A and T. Matsuno, Long-distance nutrient-transport process in the Changjiang river plume on the East China Sea shelf in summer, *J. Geophys. Res.* doi:10.1029/2007JC004248, C04006, 2008, 査読有
- (5) Siswanto, E., H. Nakata, Y. Matsuoka, K. Tanaka, Y. Kiyomoto, K. Okamura and J. Ishizaka, The long-term freshening and nutrient increases in summer surface water in the northern East China Sea, *J. Geophysic. Res.* doi:10.1029/2008JC004812., C10030, 2008, 査読有
- (6) Siswanto, E., J. Ishizaka, A. Morimoto, K. Tanaka, K. Okamura, A. Kristijono and T. Saino, Ocean physical and biogeochemical responses to Typhoon Meari passage in the East China Sea observed from Argo float and multiplatform satellites, *Geophys. Res. Lett.*, L15604, doi: 10.1029/2008GL035040, 35, 2008, 査読有
- (7) Lee, J.-S. and T. Matsuno, Intrusion of Kuroshio water onto the continental shelf of the East China Sea, *J. Oceanogr.*, 63・2, 309-325, 2007, 査読有
- (8) Siswanto, E., J. Ishizaka, K. Yokouchi, K. Tanaka and C.K. Tan, Estimation of interannual and interdecadal variations of typhoon-induced primary production: A case study for the outer shelf of the East China Sea, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L03604, 2007, 査読有
- (9) Siswanto, E., J. Ishizaka and K. Yokouchi, Optimal primary production model and parameterization in the eastern East China Sea, *J. Oceanogr.*, 62・3, 361-372, 2006, 査読有
- (10) 張 弼勳、磯辺篤彦、松野 健、清水 学、東シナ海における漂流ブイの追跡モデルとその応用、沿岸海洋研究、45、125-135、2007、査読有
- (11) Yoshikawa, Y., T. Matsuno, K. Marubayashi and K. Fukudome, A surface velocity spiral observed with ADCP and HF radar in the Tsushima Strait, *J. Geophys. Res.* doi:10.1029/2006 JC003625, C06022, 2007, 査読有
- [学会発表] (計39件)
- (1) Yoshikawa, Y. and Akira Masuda, Speed factors and deflection angles of wind-driven flows at the sea surface, 89th Annual Meeting of American Meteorological Society, 2009年3月, phoenix, AZ, USA
- (2) Ishizaka, J., H.-C. Kim, Y.-B. Son, G. Winarso, H. Yamaguchi and T. Makino, Eutrophication and red tide in the East China Sea observed by remote sensing, Workshop on Marine Environment in the East China Sea and its Sound Future, 2008年12月, 九州大学
- (3) Yamaguchi, H., H.-C. Kim, J. Ishizaka, K. Okamura, Y. Kiyomoto and T. Matsuno, Understanding of flow pass variation of the Changjiang Diluted Water using satellite chlorophyll a in the East China Sea during summer, PORSEC, 2008年12月, Guangzhou
- (4) Ishizaka, J., Long term change of primary production in the Yellow Sea and East China Sea, PICES 17th annual meeting, 2008年10月27日, 中国、大連
- (5) Ishizaka, J., Long term change of primary production in the Yellow Sea and East China Sea, 4th Workshop on Program of the East Asian Cooperative Experiments, 2008年10月17-19日, Vladivostok
- (6) Matsuno, T. and J.-S. Lee, Influence of the Kuroshio on the current fields in the shelf region of the South and East China Seas, SCOR/IAPSO Deep Ocean Exchange with Shelf WG Workshop, 2008年10月, Cape Town, South Africa
- (7) 山口寿史、Hyun-cheol Kim、石坂丞二、清本容子、岡村和麿、松野 健、衛星クロロフィル aを用いた夏季の東シナ海における長江希釈水の流路の変動把握、2008年度日本海洋学会秋季大会、2008年9月、広島国際大学
- (8) 佐々木宏明、Siswanto Eko、西内 耕、長谷川徹、石坂丞二、2002-2007年夏季東シナ海における有色溶存有機物(CDOM)を利用した塩分画像の検証、2008年度日本海洋学会秋季大会、2008年9月、広島国際大学
- (9) Matsuno, T., I.-S. Han, S.-H. Kim, I.-C. Pang and J.-H. Lee, Contribution of subsurface water to the salinity increase and primary production in the Changjiang Diluted Water, 4th Workshop on Program of the East Asian Cooperative Experiments, 2008年9月18日, Vladivostok
- (10) Lee, J.-H., Jang S.-T., Hong C.-S., Pang

- I.-C. and T. Matsuno, The upper ocean response to the typhoon passage in the East China Sea, 4th Workshop on Program of the East Asian Cooperative Experiments, 2008年9月18日, Vladivostok
- (11) 吉川 裕, 増田 章, 吹送係数(風力係数と偏角)の推定、日本流体力学会年会2008、2008年9月、神戸大学 六甲台キャンパス
- (12) Bai, L.-L. and J. Zhang, Sources of Shelf Water and Nutrient Fluxes in the East China Sea Estimated by Rare Earth Elements, Goldschmidt 2008, 2008年7月, Vancouver, CANADA
- (13) Matsuno, T., I.-S. Han, S.-H. Kim, I.-C. Pang and J.-H. Lee, Lagrangian measurements of salinity in the Changjiang Diluted Water, 5th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society, 2008年6月, Busan, Korea
- (14) Lee, J.-H., S.-T. Jang, C.-S. Hong, I.-C. Pang and T. Matsuno, The upper ocean response to the typhoon passage in the East China Sea, 5th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society, 2008年6月, Busan, Korea
- (15) Bai, L.-L. and J. Zhang, Shelf water mass origins and nutrient flux estimation in the East China Sea using low-volume rare earth element measurement, 5th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society, 2008年6月, Busan, Korea
- (16) 山口寿史, H.-C. Kim, 石坂丞二, 清本容子, 岡村和磨, 東シナ海における衛星クロロフィル a の季節および経年変動、2008年度日本海洋学会春季大会、2008年3月、東京海洋大学
- (17) 松野健, Han In-Seong, Kim Sang-Hyun, 漂流ブイによる長江希釈水の観測(II)、2008年度日本海洋学会春季大会、2008年3月、東京海洋大学
- (18) Yoshikawa, Y. and A. Masuda, A Surface Current Measurement and Interior Current Estimation Using HF radar in the Tsushima Strait, Ocean Sciences Meeting 2008, 2008年3月, Orland, Florida, USA,
- (19) Ishizaka, J., H. Yamaguchi and H.-C. Kim, Change and Variation of Satellite Chlorophyll in the East China Sea and Yellow Sea over 10 Years, First Coastal Environmental Assessment Workshop, 2008年3月, 富山市
- (20) Yamaguchi, H., H.-C. Kim, J. Ishizaka, K. Okamura and Y. Kiyomoto, Seasonal and interannual variation of satellite chlorophyll a in the East China Sea, 5th KJOWC, 2008年1月, 熱海市
- (21) Kim, H.-C., H. Yamaguchi, S. Yoo, J. Zhu, S.-W. Kim and J. Ishizaka, Relationship between the Changjiang Diluted Water and SeaWiFS Chlorophyll-a during Summer, 5th KJOWC, 2008年1月, 熱海市
- (22) Yoshikawa, Y., Y. Tatsuyama, T. Matsuno and T. Endoh, Numerical experiments on development of wind-driven ocean boundary layer, Japan-Korea Joint Seminar on Physical Processes in the Ocean and its Parameterization, 2007年12月, 東京大学
- (23) Yamaguchi, H., J. Ishizaka and H.-C. Kim, Variability of SeaWiFS chlorophyll a from spring to summer in the East China Sea, The 6th International Workshop on the Oceanography and Fisheries Science of the East China Sea, 2007年11月, 長崎大学
- (24) Endoh, T., T. Matsuno, Y. Yoshikawa and Y. Tatsuyama, Observations of wind-driven deepening of the surface mixing layer in the Tsushima Strait, International Workshop on Monitoring and Forecasting of the Rapid Change in Ocean-Atmosphere Environment in the East Asia, 2007年11月, 九州大学
- (25) Yoshikawa, Y., A. Masuda, K. Marubayashi, M. Ishibashi and A. Okuno, Seasonal Variations of Surface Currents and Estimated Interior Currents at HF radar measurement depth in the Tsushima Strait, International Workshop on Monitoring and Forecasting of the Rapid Change in Ocean-Atmosphere Environment in the East Asia, 2007年11月, 九州大学
- (26) Ishizaka, J., Influence of Changjiang River plume to the primary production of the East China Sea, International Workshop on Establishment of Cooperative Sea under common understanding on the Marine environment of the East China Sea, 2007年11月, 九州大学
- (27) Zhang, J., Evaluation of nutrient sources in the East China Sea using chemical properties, International Workshop on Establishment of Cooperative Sea under common understanding on the Marine environment of the East China Sea,

- 2007年11月,九州大学
- (28)遠藤 貴洋、松野 健、吉川 裕、達山 康人、対馬海峡において観測された風による海面境界層の発達過程、2007年度日本海洋学会秋季大会、2007年9月、琉球大学
- (29)達山 康人、吉川 裕、松野 健、遠藤 貴洋、尹 宗煥、S.Raasch、風による海面境界層の発達過程に関する数値実験、2007年度日本海洋学会秋季大会、2007年9月、琉球大学
- (30)山口寿史、石坂丞二、H.-C. Kim、東シナ海における春季から夏季の SeaWiFS chl-a 量の変動、2007年度日本海洋学会秋季大会、2007年9月、琉球大学
- (31)石坂丞二、衛星による観測：低塩分水の分布とクロロフィル、2007年度日本海洋学会秋季大会 シンポジウム、2007年9月、琉球大学
- (32)Bai, L.-L. and J. Zhang, Shelf water mass origins and flow in the East China Sea using low-volume rare earth element measured with ARIDUS-ICPMS., 2007年度日本海洋学会秋季大会、2007年9月、琉球大学
- (33)Matsuno, T., J.-S. Lee and S. Yanao, Intrusion of the Kuroshio Intermediate Water onto the continental shelf of the East China Sea, IUGG XXIV General Assembly, 2007年7月, Perugia
- (34)Yoshikawa, Y., A. Masuda, K. Marubayashi and M. Ishibashi, Surface Current Variations and Wind Driven Flow in the Tsushima Strait, Radiowave Oceanography Workshop 2007, 2007年5月, Cancun, Mexico
- (35)Isobe, A. and T. Matsuno, Long-distance nutrient-transport process in the Changjiang river plume on the summer East China Sea shelf, PAMS/JECSS Meeting, 2007年5月, 広島大学
- (36)磯辺篤彦、松野健、長江希积水における栄養塩の長距離輸送過程、2007年度日本海洋学会春季大会、2007年3月、東京海洋大学
- (37)Yoshikawa, Y., T. Matsuno, K. Marubayashi and K. Fukudome, A Surface Velocity Spiral Observed with ADCP and HF Radar in the Tsushima Strait, The 3rd International Symposium of PEACE, 2006年11月, Qingdao
- (38)松野健、鈴木洋平、石坂丞二、八田真理子、東シナ海陸棚域におけるクロロフィル極大層の形成・維持機構について、2006年度日本海洋学会秋季大会、2006年9月、

- 名古屋大学
- (39)Lee, J.-S. and T. Matsuno, Intrusion of the Kuroshio Water to the East China Sea, 2006 Western Pacific Geophysics Meeting, 2006年7月, Beijing

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松野 健 (MATSUNO TAKESHI)
九州大学・応用力学研究所・教授
研究者番号：10209588

(2) 研究分担者

吉川 裕 (YOSHIKAWA YUTAKA)
九州大学・応用力学研究所・准教授
研究者番号：40346854

磯辺 篤彦 (ISOBE ATSUHIKO)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター
・教授
研究者番号：00281189

石坂 丞二 (ISHIZAKA JOJI)
長崎大学・水産学部・教授
研究者番号：40304969

張 勁 (CHOU KEI)
富山大学・理学部・教授
研究者番号：20301822