

# 陸域海洋圏生態研究部



## 研究テーマ・キーワード

- 環北極域における大気-陸域水循環の変動と地球温暖化
- 気候変動や人間活動が陸域生態系・水循環に及ぼす影響
- 南極大陸における温暖化・人間活動影響の検出・評価
- アジヤモンsoon域の雲・降水変動とその変動機構
- 縁辺海や沿岸域における植物プランクトンの動態
- 気候変化に伴う外洋生態系および物質循環過程の変化
- 海洋の波動現象と気候変動との相互作用
- 海洋表層から中深層への生物起源物質の輸送過程
- 現地観測、データ解析および数値モデルによる総合的解析

地球表層に存在する陸域海洋圏は、太陽からのエネルギーを吸収し、エネルギーおよび水や二酸化炭素などの物質循環を通して、地球の気候システムの形成と維持に重要な役割を果たしている。本研究部では、地域から全球規模までの陸域海洋圏の生態系におけるエネルギー・水輸送と物質循環を、多地点での現地観測を行いつつ、全球を網羅する人工衛星データや大気再解析データ、数値モデル等を駆使して総合的に研究を行っている。

陸域については、熱帯域から極域に至る世界各地を研究対象とし、地球温暖化や人間活動が水循環・物質循環に及ぼす影響を評価するとともに、そのメカニズムを解明する研究に取り組んでいる。フィールド観測、ラボ実験、データ解析、そして数値シミュレーションなどの研究手法を組み合わせ、北極域における温暖化の実態把握、大気-陸面間で起こる水循環過程の解明、アジア域における雲・降水活動の変動機構の解明、気候変化に伴う植生変化の予測、南極大陸における温暖化影響の検出など多彩な研究に取り組んでいる。

海洋については、最新の人工衛星による観測や数値シミュレーションによる研究を、海洋の現場観測も行いながら進めている。海洋の熱収支や流れ・波浪が大気環境とどのように相互作用し、気候や台風などの気象現象とどのように関連しあっているのか、これによって起こる海洋の流れや混合過程が海洋の一次生産者である植物プランクトンを基盤とした海洋生態系にどのように影響を与えているのか、逆に生態系が物理現象や気候へ影響する可能性などについて、互に関連し合う海洋の物理・生物・化学過程さらに気候や気象現象を含め、総合的に研究している。

## 2018 年度の主な活動

### 環北極の大河流域における陸域水循環変動と永久凍土状態との関係

地球温暖化が顕著に進行している北極域では、地上気温の上昇に加え、陸域水循環（水文循環）の変動が大きい。水文気候学研究室では、国内外の共同研究者とともに、レナ川を含む環北極の大河流域における陸水貯留量 terrestrial water storage (TWS) の近年の変動を調べ、各流域の永久凍土状態との関係について考察した。プロットスケールの地上観測ではごく限られた場所での水文情報しか得られないため、重力観測衛星 Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) の観測データと再解析データ Global Land Data Assimilation System (GLDAS) を用いて、陸水貯留量の変動を推定した。その結果、2002 年から 2016 年にかけて、北極ツンドラ域において夏季温暖化が進行し、蒸発散量の増加によって乾燥化が生じていることが明らかになった。環北極の三大河流域（レナ川・ユーコン川・マッケンジー川）を対象とした解析からは、流域の 8 割以上が連続永久凍土帯であるレナ川の場合、9 月から翌年 5 月までの河川流出量と陸水貯留量には有意な正の相関がある一方、流域の 2 割程度が連続永久凍土帯のマッケンジー川については両者に有意な相関が見られなかった。連続的に永久凍土が存在する場合には陸水貯留と河川流出に季節スケールのメモリー効果が生じる一方、不連続的にしか永久凍土が存在しない場合には土壌水

分が速やかに蒸発散によって大気に戻るか、速やかに河川に流出することが考えられる。ユーコン川流域については、夏季の蒸発散量が増加したことに加え、ほぼ全域が不連続永久凍土帯であるために、地下水流出の寄与により、陸水貯留量と河川流出量との間に明瞭な相関が見られなかった。

(Reference: Suzuki, K., K. Matsuo, D. Yamazaki, K. Ichii, Y. Iijima, F. Papa, Y. Yanagi and T. Hiyama, 2018, Hydrological variability and changes in the Arctic circumpolar tundra and the three largest pan-Arctic river basins from 2002 to 2016. *Remote Sensing*, **10**, 402, doi:10.3390/rs10030402.)

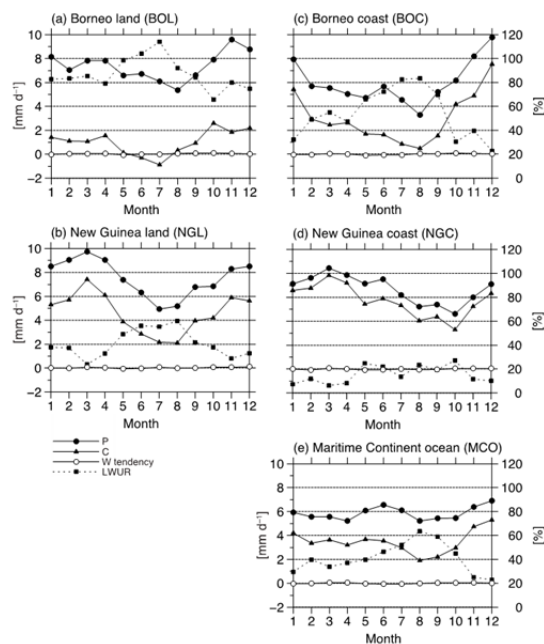
## 海洋大陸の陸上における降水維持機構の解明

赤道域のインドネシア海洋大陸と呼ばれる領域では、一年を通して多量の降水が特に島上で観測されている。本研究ではこの地域で卓越する降水の日周期変動の卓越度から地域区分を行い、島上の多量な降水の維持機構を明らかにした。日周期変動が卓越する陸上およびその周辺海域では、季節変化や季節内変動といった広域および長時間スケールの水蒸気輸送が、現地の水循環に与える影響が小さいことが衛星降水量データと大気再解析データを用いた大気水収支解析より明らかになった。一方、陸上ではその周辺海域とのごく限られた領域内における日周期変動による水循環が卓越する。この領域内では、日中と夜間における海陸の熱的コントラストが駆動する海陸風循環による水蒸気輸送が卓越し、降水量への寄与も大きい。さらに、陸上の多量の降水維持には熱帯雨林からの蒸発散量が大きく寄与することも明らかとなった。また、島の面積が大きいボルネオ島とニューギニア島について比較をしたところ、島の形状や赤道からの距離の違いから、ボルネオ島の方が局地的な水循環が卓越しやすく、熱帯雨林からの再循環過程が降水量に大きく寄与することが分かった。

(Reference: Kanamori, H., T. Kumagai, H. Fujinami, T. Hiyama, and T. Yasunari, 2018, Effect of long- and short-term atmospheric water cycles on the water balance over the Maritime Continent. *Journal of Hydrometeor.*, **19**, 1413-1427, doi: 10.1175/Jhm-D-18-0052.1.)

## 西部北太平洋における浅層粒子の沈降速度

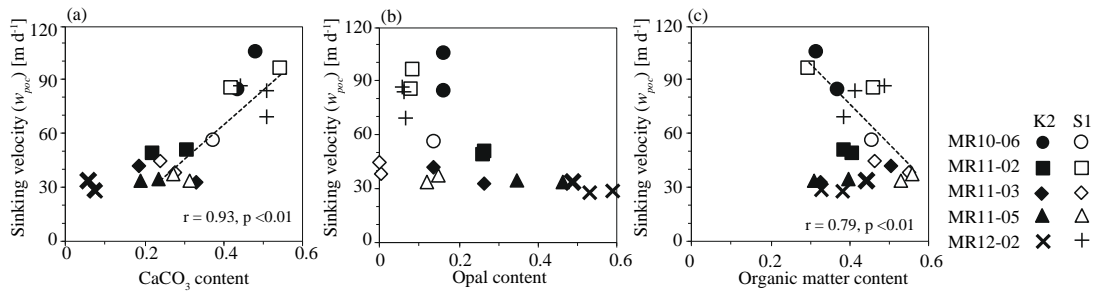
海洋表層で生産された有機炭素が粒子沈降によって深層へ輸送されることで、溶存無機炭素の鉛直勾配が維持され、この結果、大気-海洋間の  $\text{CO}_2$  収支が決定される。一般的に粒子状有機炭素 (POC) の鉛直フラックスは深度とともに減少する一方、この減少率は海域や季節によって大きく異なる。この要因として粒子の沈降速度の違いが挙げられるが、沈降速度の観測データは極めて乏しく、数値モデルに組み込まれている値も十分に検証されていない。本研究では、西部北太平洋の亜熱帯域 S1 および亜寒帯域 K2 の浅層粒子 (100-200 m) の沈降速度を実測した。2010-2012 年の観測航海中に漂流型セジメントトラップを用いて捕集した粒子試料を水簸法によって沈降速度別に分画し、POC の速度分布から平均沈降速度 ( $w_{\text{POC}}$ ) を算出した。 $w_{\text{POC}}$  は S1 で  $63 \pm 26 \text{ m d}^{-1}$ 、K2 で  $31 \pm 16 \text{ m d}^{-1}$  であり、亜熱帯海域の粒子がより速やかに沈降することが明らかになった。S1 粒子の  $w_{\text{POC}}$  は冬季に最大値を示し、 $\text{CaCO}_3$  含有率との間に有意な正の相関が存在した。これは鉛直混合による栄養塩供給が石灰化生物 (円石藻など) による  $\text{CaCO}_3$  殻 (密度の大きい) 生成を増進させ、この結果、トラップ粒子の沈降速度が増大したことを示唆する。一方、珪藻が優占する K2 では、冬季から夏季にかけて  $w_{\text{POC}}$  が徐々に低下した。予想に反して、主要成分であるオパール含有率と明瞭な関係はなかったが、粒子の  $\delta^{15}\text{N}$  値と正相関が存在した。K2 粒子の  $\delta^{15}\text{N}$  値は有光層の



地域区分ごとの降水量(P)、水蒸気収束量(C)、可降水量時間変化(W tendency)、降水量に対する蒸発散量の寄与率(LWUR)の季節変化。

水塊安定度を指標することから、成層化が低密度の有機物粒子（珪藻由来 TEP など）の凝集を促した結果、沈降速度が低下したと考えられた。このように表層の混合・成層化は、粒子の化学組成や凝集体形成を介して、粒子の沈降速度に影響すると考えられる。

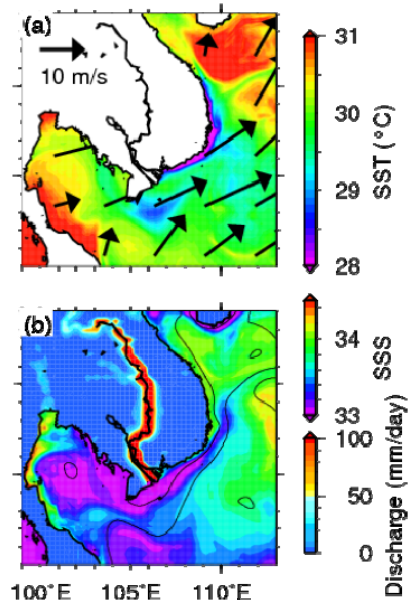
(Reference: Sukigara et al., 2019, Sinking dynamics of particulate matter in the subarctic and subtropical regions of the western North Pacific. *Deep-Sea Res. I*, doi: 10.1016/j.dsr.2018.11.004)



亜熱帯域 S1 (30°N, 145°E) と亜寒帯域 K2 (47°N, 160°E) におけるトラップ粒子の平均沈降速度と(左) CaCO<sub>3</sub>、(中) オパール、(右) 有機物含有率の関係。

### 東南アジアと西部太平洋域における 3 次元海洋データ同化システムの構築

近年、衛星によって高解像度の海面水温や海面塩分、海面高度の時空間変動が観測できるようになった。そして、計算機の発達によって海洋モデルの高解像度化も進んだ。これに伴い、観測とモデルの両方で海洋の前線や中規模渦などの細かな空間スケールの現象が捉えられるようになった。しかし、衛星観測は雲域や雨域などで観測できない領域が生じる、海洋モデルは現実場を正確に再現することが難しいという短所がある。データ同化は統計的な手法を用いて観測値とモデルの出力値から最適な場を求める手法であり、これらの短所を補うことができる。本研究では、東南アジア域 (98°–115°E, 0°–22°N) と西部太平洋域 (95°E–165°W, 50°S–50°N) でそれぞれ水平解像度が 1/36°、1/12° の 3 次元海洋データ同化システムを構築した。そして、このデータ同化システムは、降水量や河川流出などの淡水フラックスを海洋モデルに組み込み、衛星海面塩分をデータ同化に用いることで、海洋塩分場の時空間変動についても考慮をしている。東南アジア夏季は南西季節風が卓越し、降水量が多い季節である。本同化システムでは、南西季節風に伴う沿岸湧昇によってベトナム沖に沿って生じる局所的な冷水域 (図上) や、メコン川からの河川流出によって生じた低塩分水が北東方向に移流されている様子 (図下) を 3 次元的に再現することができる。本同化システムを東南アジア沿岸の海洋環境監視や台風研究に応用していく計画である。

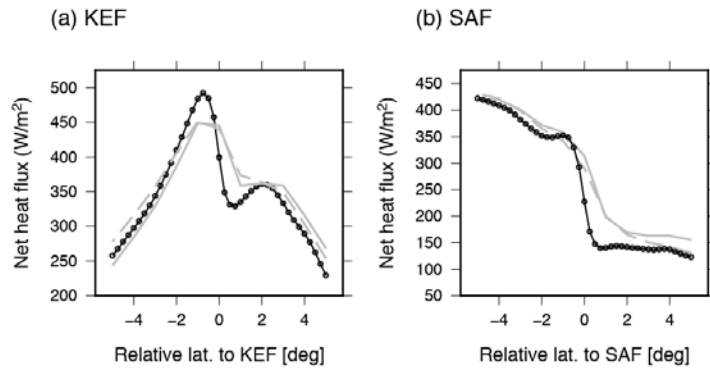


2015 年 8 月の東南アジア領域システムの (上) 海面水温 (色) と海上風 (矢印)、(下) 海面塩分 (海洋の色)、河川流出量 (陸上の色、海面高度 (等値線))。

### 人工衛星観測に基づく全球海面フラックスデータセット: J-OFURO3

星を含む複数の人工衛星による地球観測データの利用と先進的な推定技術の開発などを通して衛星観測に基づく海面フラックスの高精度推定を新たに行った。さらに、得られた推定値をデータセットとして整備し一般に公開を行った (J-OFURO3)。新しいデータセットは、これまでのデータにおいて明瞭に捉えることができなかった海洋の中規模渦や海洋前線に伴う局所的な海面フラックス変動をより正確に捉えることに成功した (図参照)。さらに 1988–2017

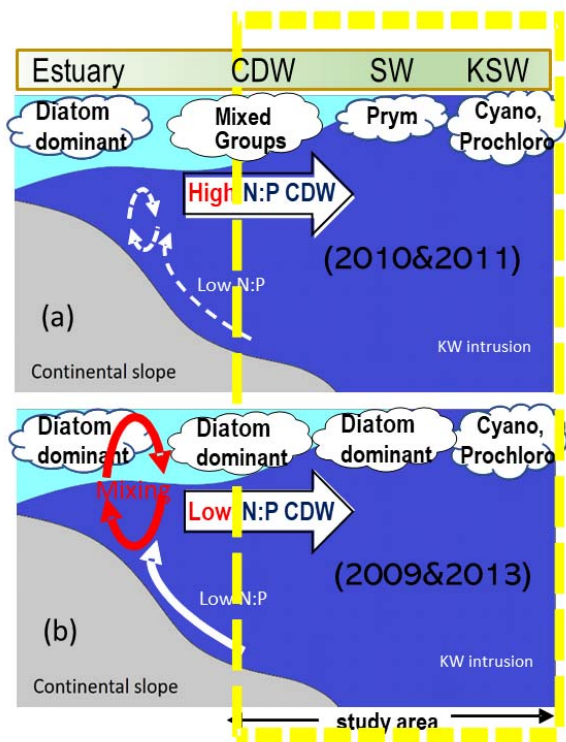
年の 30 年間にわたるデータの整備により、気候変動や地球温暖化に伴う海面フラックスの変動の調査や、衛星クロロフィルデータなどと併せた解析により海洋生態系との関係の考察など様々な研究に利用されることが期待される。  
 (Reference: Tomita, H., Hihara, T., Kako, S. et al., 2019, *J. Oceanogr.*, **75**: 171., doi: 10.1007/s10872-018-0493-x)



北太平洋の主要な海洋前線に伴う海面フラックス変動: 海面水温で規定される海洋前線を中心とした 1 月の気候学的月平均より。黒潮統流前線 (左)、亜寒帯前線 (右)、黒色: 本研究 (J-OFURO3)、灰色: これまでのデータセット (J-OFURO2, OAFux)。

### 人為起源の窒素によってコントロールされている東シナ海の植物プランクトン群集構造

日本の漁業も重要な東シナ海は、大河川長江の水に含まれる栄養塩が供給されることによって、その生態系が変化していることは指摘されていたが、広範囲の植物プランクトン群集構造の変化については明らかでなかった。2009-2011 年と 2013 年の 7 月に長江水の影響のある済州島南の韓国領海から日本側にかけて、長崎大学練習船長崎丸によって、植物プランクトンの群集構造を観測した。その結果、2009 年と 2013 年は大型珪藻類が優占していたのに対して、2010 年と 2012 年は藍藻、緑藻等の小型植物プランクトンが多かった。また、珪藻の多い年ではリン酸塩の量が多く、窒素・リン比が低かった。他の環境要因も含めた統計解析の結果、珪藻類が少ない年には長江からの人為起源の窒素分の多い水が強く影響しているのに対して、珪藻類の多い年には長江からの水以外にリン酸塩の供給があることが明らかとなった。これは中国沿岸域で起こる湧昇・混合によって、長江起源の低塩分水にリン酸塩が供給されたことで、人為起源の過剰な窒素の影響が弱くなり、窒素・リン比が自然に近い低い値になることで、より自然な珪藻類が優占したものと考えられた。また、アマゾン川のブルームでは珪藻類が優占しており、人為起源の窒素供給の影響が少ないことが示唆された。



東シナ海の植物プランクトンの群集構造への長江および湧昇の影響。(上) 人為起源の窒素が多い年、(下) 湧昇の影響が強い年。

(Reference: Xu, Q., et al., 2019, Interannual changes in summer phytoplankton community composition in relation to water mass variability in the East China Sea, *J. Oceanogr.*, **75**(1), 61-79, doi: 10.1007/s10872-018-0484-y;  
 Gomes, H.d.R. et al., 2018, The Influence of Riverine Nutrients in Niche Partitioning of Phytoplankton Communities—A Contrast Between the Amazon River Plume and the Changjiang (Yangtze) River Diluted Water of the East China Sea. *Front. Mar. Sci.*, doi: 10.3389/fmars.2018.00343)