

# 9-1. 基盤研究部門 | 陸域海洋圏生態研究部



## 陸域海洋圏生態研究部の研究テーマ・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上生態系に及ぼす影響
- 南極大陸における温暖化・人間活動影響の検出・評価
- アジアモンスーン域の雲・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

## 陸域海洋圏生態研究部の紹介

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ます。この研究部では、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ます。

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ます。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-陸面間でお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ます。

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ます。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、互い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ます。

## 2017年度 陸域海洋圏生態研究部の主要な成果

### 1. 東シベリアのカラマツ林におけるメタンフラックス観測

森林におけるメタンの動態は、これまでのチャンバーを用いた観測結果から、林床の土壌においてはメタンの吸収源になっているという結果が多いが、局所的に存在する湿地がメタン放出源になることなどによって、特に北方林の群落スケール（林床から上層木まで含めた森林群落全体）ではメタン放出となり、林床での観測結果（メタン吸収）と食い違う例が報告されている。そのため、森林の群落スケールのメタンフラックスについては未だに不明な点が多い。特に、北方林全体の約70%を占めると言われるユーラシア（主にロシア）のタイガ（針葉樹林帯）における群落スケールのメタンフラックスは観測された例が見られない。そこで我々は、東シベリアのカラマツ林を対象に、高さ32mのタワーの上に設置された測器を用いて群落スケールのメタンフラックスの評価を試みた。この森林の林床では、既往のチャンバーを用いた観測でメタンが吸収されていると報告されているが、群落スケールのフラックスは他の北方林と同様にメタンを放出しているという結果が得られた。ただし、湿地など他の土地利用に比べて森林ではメタンフラックスが一般に極めて小さく、測定機器の検出精度との兼ね合いの問題や、測定機器に特有の補正によってメタンフラックスが吸収から放出に転じるなど、データの扱いが極めて難しいため、信頼性の高い結果を得るためにデータの品質管理や計算方法の検討に引き続き取り組んでいる。

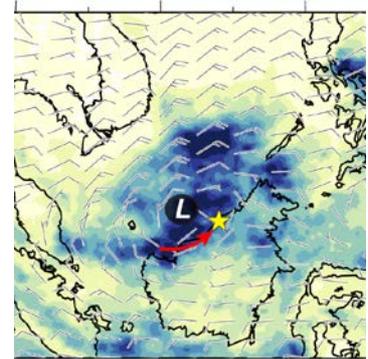
## 2. 東シベリアのカラマツ林の将来予測に向けた陸域生態系動態モデルの適用および改良

高緯度北方林地域は 21 世紀末までに顕著な温暖化や降水量増加が予測されている。このような気候変化が東シベリアのカラマツ林の動態に及ぼす影響を評価するため、陸域生態系動態モデル S-TEDy の適用と必要な改良を行った。土壌の凍結・融解過程が土壌水分の変動に及ぼす影響を考慮する改良を行った結果、計算された液体水の季節変化は観測値を概ね再現し、秋の凍結前の土壌水分が翌年の春まで氷として保存される効果を表現できるようになった。また、地上部バイオマスの計算結果は既往の研究で報告された値を良好に再現した。

## 3. エルニーニョ/ラニーニャ現象がボルネオ島の降水量に影響を及ぼすメカニズムの解明

広大な熱帯雨林が広がるボルネオ島では、エルニーニョ/ラニーニャ現象 (ENSO) が発生すると干ばつや洪水など異常気象が起りやすくなることが知られている。このような降水量の変化は、ボルネオ島でおこる局地循環が大気循環場の変化によって強化・弱化されることが原因であると考えられているが、その実態はまだよくわかっていない。そこで、降水の起源情報を保持するトレーサーである水の酸素同位体比を利用し、降水の起源変化という視点から降水量変化のメカニズム解明に取り組んだ。熱帯地域では降水の酸素同位体比は降水量と密接に結びついており、同位体比の変化を規定している鍵因子は降水量変化を引き起こす因子と同一視できる。

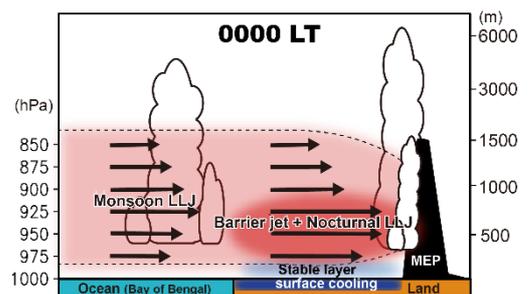
本研究では、ボルネオ島の西側に広がるマレーシアのサラワク州にて採取された酸素同位体観測データを収集し、2004 年から 2011 年まで過去 7 年間にわたる降水同位体比データセットを作成して解析を行った。そして、気象データとの詳細な比較を通じて、南シナ海における降水活動の変化がボルネオ島に異常気象をもたらす主要因であることを突き止めた。ボルネオ島にもたらされる降水の主起源は南シナ海であり、エルニーニョ年には南シナ海が乾燥化するために局地循環が弱化する。反対にラニーニャ年には南シナ海で降水は活発化して湿潤な空気がボルネオ島へ輸送され局地循環が強化されることを明らかにした。



ラニーニャ最盛期における南シナ海の降水分布(陰影域が降水量)。矢羽根は 850 hPa における風速と風向き。星印は同位体観測地点。

## 4. 夏季南アジアの豪雨域における降水量の日変化に影響を及ぼす陸面過程の解明

インド北東部に位置するメガラヤ高原(標高約 1500 m)の南斜面は世界で最も降水量が多い場所として知られている。南斜面の降水量は、高原の風上側であるベンガラデシュ上の下層風が南西風の時(西風期)の夜間に顕著に増加する。本研究は、データ解析よりそのメカニズムを初めて明らかにした。夏季のベンガル湾からの南西風は、高度 1500 m 以下に強風軸を伴い、ベンガラデシュの低地を経由してメガラヤ高原南斜面に到達する。西風期には、ベンガラデシュ東部からメガラヤ高原にかけて南北に連なるアラカン山脈の影響で、山脈に沿ったジェット気流状の南風が形成される。このため、高原南斜面に向かう水蒸気輸送が強化され、地形性降水が増大する環境がもたらされる。日中は、陸上の大気混合層の発達摩擦として下層大気に作用し、ベンガラデシュ上の南西風とアラカン山脈に沿った南風の風速が著しく弱くなる。一方、夜間は大気最下層に安定層が形成され、地表面摩擦の影響がなくなるため、南斜面に向かう下層風が加速し、地形性降水を増大させる。このように、世界最多雨域は周辺の地形と陸面の影響を強く受けて形成されていることが分かった。



西風期夜間のメガラヤ高原(MEP)に向かう下層モンスーン気流と陸上における下層風加速の模式図。矢印は海上と陸上の代表的な風速の鉛直分布を示す。

(Reference: Fujinami, H., T. Sato, H. Kanamori and F. Murata, 2017: Contrasting features of monsoon precipitation around the Meghalaya Plateau under westerly and easterly regimes, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 122, 9591–9610, doi: 10.1002/2016JD026116.)

## 5.新しい ISEE 共同利用機器：海上波しぶき光学粒子計

台風シミュレーション研究において最近では大気・海洋・波浪結合領域モデルが使われるようになった (Aiki et al. 2015)。大気海洋間フラックスのバルク式を従来のような力学的な側面だけでなく物質循環の側面からも包括的に高精度化するために、時代の変化に即した学際連携・分野開拓が必要である。本研究では2年間かけてシースプレー測器（海上波しぶき光学粒子計）とそれを用いた測定システムを開発した。この測器の特徴は、8 粒径レンジ 0.1 秒毎の分解能を持つ光散乱式粒子計と 3 軸加速度センサーで構成されていることである。これによって海面の一つ一つの碎波による空気中の粒子数の変化や水面波との位相関係を調べる事ができるようになり、波浪境界層（水深 10 m から海上 100 m までの領域）における渦・波・物質輸送の動態の解明が期待される。



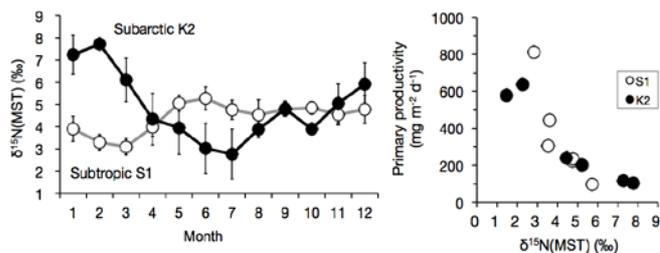
大槌湾の係留ブイでシースプレー測器の試験をしている様子。

シースプレー観測は国内ではあまり行われていないが、海洋性エアロゾルの生成源の理解および、衛星や地上ライダー観測による対流圏のエアロゾル分布とそれを凝結核とした雲物理の研究との相互発展に役立てていくことも視野に入れている。2017 年度のシースプレー観測は、係留ブイ（岩手県大槌湾：東京大学大気海洋研究所による協力）および海上観測塔（和歌山県田辺湾：京都大学防災研究所による協力）に測器を設置して、強風・塩水飛沫にさらされる環境下において測定システムの試験を行った。2017 年 8 月 7 日 15 時 (JST) に台風 5 号が和歌山県の海上観測塔に最接近し、風速 23 m/s、波高 3.8 m の環境下で無事に測定することができた。このシースプレー測器を ISEE 共同利用機器として 3 台登録し、気象学・大気化学・海洋学・土木海岸工学・船舶工学コミュニティを横断した研究を促進する。また学際研究の一環として、ISEE 共同利用制度による波浪研究集会を実施するとともに、大気と海洋における波と平均流相互作用理論の教科書を執筆した (相木 2018)。

(Reference: 相木秀則：海の波と渦と平均流-相互作用理論の背景と展望-, 日本気象学会：気象研究ノート, 235 号, 全 175 頁 (単著), 2018)

## 6.西部北太平洋における沈降粒子 $\delta^{15}\text{N}$ の季節変化

海洋浅層の粒子状有機物の窒素安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) は、一次生産時の栄養塩環境や窒素基質取り込み過程に伴って変化するため、有機物  $\delta^{15}\text{N}$  は生態系を介した物質循環過程を理解する上で有益な情報を持ち、特に海底堆積物から古海洋環境を復元するツールとして利用されてきた。しかしながら、現代海洋における有機物  $\delta^{15}\text{N}$  の変化メカニズムに関していまだ不明な点が存在する。本研究では、西部北太平洋の亜熱帯域 S1 (30°N, 145°E) および亜寒帯域 K2 (47°N, 160°E) の 2 点においてセジメントトラップ実験を行い、時系列で捕集した沈降粒子の  $\delta^{15}\text{N}$  を分析し、その季節変化と変動要因および  $\delta^{15}\text{N}$  の環境指標性について検討した。定点 S1 で約 4 年半 (2010 年 1 月–2014 年 5 月)、K2 で 3 年半 (2010 年 1 月–2013 年 6 月) にわたって捕集した沈降粒子の  $\delta^{15}\text{N}$  は共に明瞭な季節変化を示した (左図)。両海域における航海観測データと合わせて解析することで、i) S1 における  $\delta^{15}\text{N}$  変化は、対流混合に主に支配される下層からの栄養塩供給の大きさを反映する、ii) K2 の変化は、硝化反応の影響を受ける再生栄養塩の  $\delta^{15}\text{N}$  シグナルを反映しており、その結果として混合層内の光環境の季節変化と密接な関係がある、ことが明らかになった。更に、この  $\delta^{15}\text{N}$  値は両海域の生産力データと負の相関が存在した (右図)。この関係は、S1 表層の栄養塩環境および K2 の光環境が、各海域における生産力を規定していることを示唆する。表層環境が大きく異なる両海域で同様の関係性あることは、生産力に対する  $\delta^{15}\text{N}$  プロキシの有用性を支持する一方、生産力の変動メカニズムの海域差がこの関係に反映されないということは、現時点でうまく説明できない。この点を解明することで、より確からしい  $\delta^{15}\text{N}$  プロキシの構築が期待される。

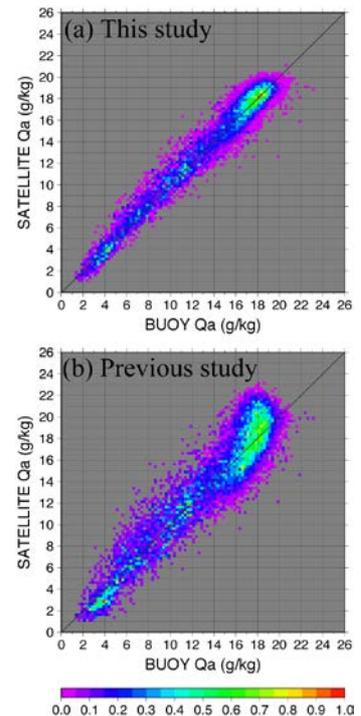


(左) 亜熱帯域 S1 (水深 200 m) と亜寒帯域 K2 (水深 500 m) における沈降粒子  $\delta^{15}\text{N}$  の月別変化。(右) 沈降粒子  $\delta^{15}\text{N}$  と基礎生産力の関係。

## 7.人工衛星による全球海上比湿推定の改善

海上比湿は地球の気候を特徴付ける Essential Climate Variable の一つであり、海面での潜熱輸送・蒸発に関係することから、大気海洋間のエネルギーや水輸送量の把握に必須の物理量である。人工衛星観測に基づく全球域を対象とした推定が期待され、これまでに衛星搭載マイクロ波放射計による観測に基づく推定手法が提案されているが、これまでの手法には推定精度の面で大きな課題があった。本研究は、これまでの手法において考慮されていなかった水蒸気の鉛直構造の情報を考慮し、さらに複数の衛星マイクロ波放射計に適用可能な手法を開発し提案した。これにより衛星による全球域の海上比湿の推定精度を格段に向上させることに成功した(図参照)。新たな手法では、熱帯域や中緯度域で見られた局所的なバイアスの問題や、推定のばらつきを軽減することが可能である。さらに、この手法を大気海洋間の潜熱輸送量の推定に適用することで、日平均値における推定精度を平均で  $10 \text{ W/m}^2$  向上させるインパクトがあることを示した。また推定精度の向上は、潜熱輸送の大きな西岸境界流で特に顕著であることも示された。今後、気候変動に伴う海面熱収支の変動の解析などに応用が期待される。

(Reference: Tomita et al. 2018, Improved satellite estimation of near-surface humidity using vertical water vapor profile information. *Geophys. Res. Lett.*, 45(2), 899–906, doi: 10.1002/2017GL076384)

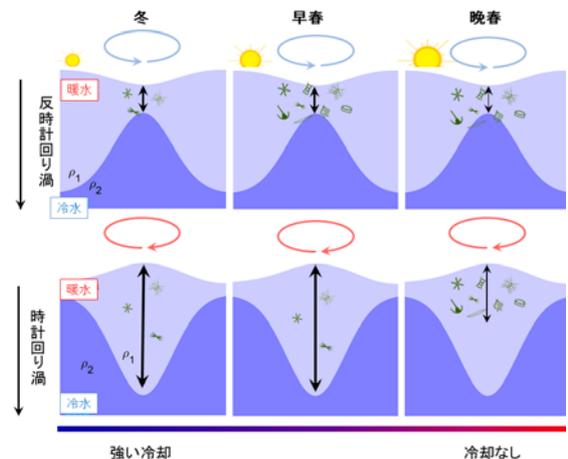


現場観測との比較(a)本研究と(b)過去の研究。色はデータ密度。

## 8.春の海に花咲く植物プランクトン：早咲きの反時計回り渦と遅咲きの時計回り渦

温帯海域では春季に植物プランクトンの量が増加することが知られていた。一方、海洋中には、気象の高気圧・低気圧のような渦構造(北半球ではそれぞれ時計回り・反時計回り)が多く存在している。しかし、これまで海洋の渦構造が植物プランクトンの春の増加現象に与える影響については注目されていなかった。渦活動が盛んな日本海で、2002年から2011年の人工衛星データを用いて、渦の中での植物プランクトンの時間変化を解析した。人工衛星で測定した海面高度データによると、能登半島の周辺で直径100 km程度の時計回りの渦と反時計回りの渦が、頻繁に観測された。人工衛星で測定したクロロフィル a 濃度によると、反時計回りの渦では、まだ水温が冷やされている2月下旬に植物プランクトンの増加が始まるのに対して、時計回りの渦では、水温が暖められる4月上旬になって初めて増加が始まった。反時計回りの渦では、表面近くの海水が混ざる層が浅く、太陽光が少し強くなるだけで植物プランクトンが増加し始めるのに対して、時計回りの渦では、表面の海水の混ざり方が弱くなり、海水に含まれる植物プランクトンにとって、光の条件が良くなることで増殖が始まること示唆された。このように、かなり近い海域であっても海洋の渦構造の状況によって、植物プランクトンの春季の増加現象のメカニズムが異なることが、世界で初めて明らかとなった。

(Reference: Maure et al., 2017, Mesoscale eddies control the timing of spring phytoplankton blooms: A case study in the Japan Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 11,115–11,124., doi:10.1002/2017GL074359)



反時計回り(上)と時計回り(下)の渦での植物プランクトンの増加メカニズムの違い。