

AsiaFlux2019 —20th Anniversary Workshop— 参加報告

岡村幹太*・Chang Tingwei**・高野倫未*・山貫緋称***・鈴木拓海****・Luo Ji*

岡本瑞輝****・田岡 作****・暁 麻衣子****・Liu Zhiyan***・田口琢斗****・平田竜一*****

* 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
 ** 京都大学大学院農学研究科
 *** 千葉大学環境リモートセンシング研究センター
 **** 信州大学大学院総合理工学研究科
 ***** 国立環境研究所地球環境研究センター

Report of AsiaFlux2019 —20th Anniversary Workshop—

Mikita OKAMURA*, Tingwei CHANG**, Tsugumi TAKANO*, Hina YAMANUKI***, Takumi SUZUKI****, Ji LUO*, Mizuki OKAMOTO****, Tsukuru TAOKA****, Maiko AKATSUKI****, Zhiyan LIU***, Takuto TAGUCHI**** and Ryuichi HIRATA*****

*Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University
 **Graduate School of Agriculture, Kyoto University
 ***Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University
 ****Graduate School of Science and Technology, Shinshu University
 *****Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

1. はじめに

2019年9月29日から10月5日にかけて AsiaFlux Workshop 2019 が岐阜県高山市で開催された。高山はアジアで最も長いフラックス観測記録を持つサイトがあることで知られている。本ワークショップは AsiaFlux の設立20周年に当たる記念の大会であった。10月2日から10月4日の3日間、本会議が開かれ、口頭発表44件およびポスター発表93件が行われた。口頭発表は20周年記念セッションを含む、計8つのセッションで構成された。日本、中国、韓国などのアジア諸国やアメリカ、オーストラリアなど計12か国から合計178名の研究者、学生が本ワークショップに参加し（写真1）、活発な議論が行われた。本会議のほか9月29日から10月1日には、トレーニングコースとして LI-COR 社によるフラックスの観測システムに関する勉強会が行われた。本コースでは、Dennis Baldocchi 教授による特別講義が行われた。最終日の10月5日には、エクスカージョンとして2つのフラックス観測サイト（TKY, TKC）の見学が行われた。

以下に20周年式典、口頭発表の各セッション、Young Scientist Meeting、エクスカージョンの内容を報告する。なお、文中の敬称は省略した。

2. 20th Anniversary Ceremony

功労者として過去の AsiaFlux の会長である福嶋義宏（名古屋大学・総合地球環境学研究所・鳥取環境大学教授を歴任）、山本 晋（産業技術総合研究所、岡山大学教授を歴任）、大谷義一（元森林総合研究所室長）、Joon Kim（Seoul National University 教授、韓国）、宮田 明（農研機構農業環境変動研究センター領域長）の5名、観測機器の開発・

販売や Workshop の継続的なスポンサー、近年トレーニングコースを請け負ってきた LI-COR 社および Campbell 社、AsiaFlux 設立当初に多大なる尽力をされた井上 元（元国立環境研究所地球環境研究センター長、名古屋大学教授を歴任）、原蘭芳信（元農業技術環境研究所室長、アラスカ大学等を歴任）および事務局を担ってきた国立環境研究所が表彰を受けた。現地では福嶋、井上、宮田、Brent Brian Claassen（LI-COR 社）、Xinhua Zhou（Campbell 社）、伊藤（国立環境研究所）が于・現 AsiaFlux 会長（Chinese Academy of Sciences, 中国）から表彰を受けた（写真2）。予は千葉大学園芸学部で助教授として教鞭を執られたことがあり、農業気象学会にも馴染みが深い方である。山本、大谷からはメッセージが届き、Kim からはビデオレターによる挨拶が届いた。井上は挨拶において「京都議定書において森林の管理・施業による吸収源の増大が削減目標に組み込まれたが、森林生態系の炭素収支における役割は解明されていないことが多かった。そこで環境省の意向もあり、福嶋博士、山本博士、原蘭博士、大谷博士らと協力し、AsiaFlux 設立に動いた。また、数年後、衛星から全球の二酸化炭素（CO₂）濃度を測定する巨額な予算プロジェクト案があり、精度など心配な点も多かったがそれも即引き受けた。それが今回のワークショップでもいくつか発表のあった GOSAT である。」と当時の思い出を語った。井上が AsiaFlux Newsletter 第一号で寄せた下記の言葉「研究のネットワークはそれに参加することにより利益を得ると感じたとき、初めて生きてくるとことを強調したい。成功の鍵は、技術的な情報・データそのもの・データの解析方法などを、平等・互惠の精神でギブアンドテイクすることである」は AsiaFlux の20年の理念そのものであり、それは研究活動のみならず、国際会議、データベース、トレーニングコース、Newsletter の発行等を通して実行されてきた。

（平田竜一）



写真1. ワークショップ参加者の集合写真.

3. 口頭発表の紹介

3.1 20th Anniversary Session: Review and Future Perspective

20周年記念セッションとして、AsiaFluxでこれまで行われてきた研究のレビュー、および今後の展望についての7件の発表が行われた。

平田（国立環境研究所）は、アジアでのタワー観測の歴史を振り返った。1994年に最初の長期的なフラックス観測が高山で始まり、その後2000年代初頭から主に日本、韓国、中国で、2000年代後半から2010年代初頭にかけてフィリピン、タイ、マレーシア、インドネシア、インドなどで観測が開始された。2019年現在では108のサイトがAsiaFluxに登録されているなど、多くの長期観測データが蓄積されており、これによりアジアにおける陸域生態系の炭素収支の時空間変動、特異的な気象現象や攪乱に対する炭素収支の変化、近年発展の著しい生態系規模でのメタン（CH₄）フラックスなどの研究が進んできたことが紹介された。

谷（静岡県立大学）は、陸域生態系—大気間のVOCの交換に関する研究について発表した。VOCはオゾン（O₃）のような光化学オキシダントの生成に寄与し、大気質を低下させることが知られている。樹木は気孔を介して一部のVOCを吸収しており、O₃生成の減少をもたらすことが示された。一方でVOCの一種であるテルペノイドについては、SOAの生成を通して、地球温暖化を抑制する効果があるとされている。植物はこのテルペノイドの放出にも寄与していることが知られており、放出量について調査した研究が紹介された。

Chang（National Dong Hwa University, 台湾）は、森林における個葉の光合成と生態系のGPP間のスケリングについて発表した。生態系スケールのGPPは、フラクスタワーで観測されたNEEをもとに間接的に求められ、生態系モデルの検証等に用いられている。一方で個葉スケールの光合成速度は、直接測定によって求められ、モデルのパラメータの決定に用いられている。現状、この両者の値を比較しているフラックスサイトはほとんど存在していないことが示された。今後、生態系スケールのGPPと個葉スケールの光合成間のスケリングを行う必要性が提言された。

小林（海洋研究開発機構）はリモートセンシングの研究分野のレビューを行った。リモートセンシングの研究



写真2. 20th Anniversary Ceremonyで表彰された方々。左から、宮田、于、福畠、井上、Zhou、Claassen、伊藤。

は、衛星による地球観測、航空機観測、地上観測、モデリングから成り立つ。PEN、リモートセンシングデータを入力データとして広域の生態系の光合成量や蒸発散量を推定するモデル、東南アジアやシベリアで多発する火災による攪乱に関する研究、SIFを用いた生態系の光合成量推定に関する研究を紹介した。また、光学センサー以外にもLiDARやSARセンサーが有用であること、アメリカでは航空機観測が盛んではあるがアジアでは一般的ではなく今後推進していくべきであること、地上検証データをオープンにすることで研究がより発展していくことを強調した。

伊藤（国立環境研究所）らは、フラックスデータを用いたモデル研究について発表した。データとモデルを組み合わせた研究の推進が、フラックスコミュニティにとって重要であることが提言され、AsiaFluxのデータを用いて発展してきたモデルと、そのモデルを用いた研究が紹介された。経験的なモデルやプロセスベースのモデルに加え、近年は人工知能など新たな技術を用いたモデル研究も発展していることが示された。

他にも、Kang（National Center for Agro Meteorology, 韓国）は、アジアにおける観測ネットワークの拡大による水およびエネルギーフラックス研究の進歩について、Sha（Chinese Academy of Sciences, 中国）らは、過去20年のアジアにおける土壌呼吸に関する研究について紹介した。（高野倫未）

3.2 Soil Ecology and Biochemistry

Soil Ecology and Biochemistryセッションでは口頭発表が5件、ポスター発表が6件行われた。はじめにBond-Lamberty（Joint Global Change Research Institute, アメリカ）らは、全球の炭素循環において重要な役割を持つ土壌呼吸の総一次生産との関連と、気候変動への影響を説明した。寺本（国立環境研究所）らは、植生区分やバイオマスが豊富で気候変動において重要なアジアモンスーン地域でSOM分解の長期土壌温暖化実験の結果を紹介した。チャンバー測定によって季節、経年変化を通して土壌呼吸が温暖化によって受ける影響や制御要因を報告した。Yan（Peking University, 中国）らは、中国のカラマツ林において土壌呼吸の温度感受性（ Q_{10} ）について報告した。 Q_{10} の日変動、季節変動、経年変動を調べるため土

壤呼吸測定を行った結果、季節によって Q_{10} に違いが見られ、温度と土壌含水量が最も Q_{10} の変動を説明できたと報告した。土壌呼吸の変動要因に関する内容は、その要因が炭素循環にどれほど影響を与えるのか、興味深く感じた。Balasubramanian (Chinese Academy of Science, 中国) らは窒素添加した場合の SOM の安定性と亜酸化窒素 (N_2O)、 CO_2 フラックスをゴムノキ人工林と熱帯雨林で測定した研究を紹介した。土壌窒素が豊富になると CO_2 や N_2O フラックスが変化し、ふたつのサイト間では窒素添加によって異なる反応を示したことが報告された。Guo (University of Chinese Academy of Sciences, 中国) らは、混交林での融雪時の土壌 CO_2 、 CH_4 、 N_2O の継続測定について報告した。生物要因、非生物要因に対するこれらの GHGs の反応に着目した発表が行われた。

ポスター発表においては、土壌水分量の分析や測定方法、土壌呼吸測定の結果が報告された。研究サイトには日本、韓国、中国、マレーシアが揃い、さらに窒素添加が行われていたり、乾燥ストレスを受けていたり、異なる環境下で行われた研究を聞くことができた。どの場所でどんな要因が重なり合って土壌の状態に影響するのかさらに知りたいと思った。

(暁 麻衣子)

3.3 Remote Sensing

Remote Sensing のセッションでは 6 件の口頭発表と 19 件のポスター発表が行われた。奈佐原 (筑波大学) が分光計や魚眼レンズから構成される PEN を用いた研究、Ryu (Seoul National University, 韓国) らがリモートセンシングデータを入力データとして広域の生態系の光合成量や蒸発散量を推定するモデル BESS を用いた研究、Abbas (The Hong Kong Polytechnic University, 香港) らが熱帯二次林の種の多様性と環境要因との関係に関する研究、Park (東京大学) らがシベリアの火災評価に関する研究、Zhou (Chinese Academy of Meteorological Sciences, 中国) らが現場観測データを利用した LUE モデルの改良に関する研究、清野 (国立環境研究所) らが SIF を用いた生態系の光合成量推定に関する研究を紹介した。

このリモートセンシングセッションを総括すると、フラックス研究に関する領域では地上観測と衛星リモートセンシングの融合が一番に求められていた。今後の研究課題としては、これまでに実施されてきた衛星観測データのモデルへの適用を、今後も引き続き積極的に行っていくこと、これまでの Terra, Aqua 衛星搭載の MODIS や LANDSAT シリーズといった受動的な観測センサーに加えて、LiDAR や PALSAR のような能動的な観測センサーのデータのより有用な活用が挙げられた。衛星データの価値である長期的な観測データの提供という点で、特に能動的な観測センサーにおいていまだに十分なデータ量があるとは言えず、これらの融合は今後課題として対処される必要があるだろう。本ワークショップは私たちにとって初めての生態系と炭素フラックスに関する国際会議の機会であったが、最も興味深かったのは筑波大学の奈佐原の発表であった。彼は PEN と呼ばれる地上観測ネットワークの紹介の中で、タワーの上に設置されているカメラの説明など

を行った。本ワークショップに参加する前はシンプルなカメラを想像していたが、紹介された魚眼カメラシステムは私たちの想像とは全く違ったものであり、光源の影響を除去するためのシステムを内蔵することによってより正確なモニタリングが可能となり、さまざまな研究に応用することができる。さらに 365 日 × 24 時間の自動モニタリングシステムはデータの継続性を強固にしていることや、このシステムはワイヤレスネットワークが使用できるためとても便利であることを知った。他にもタワーに設置されている機器について紹介されたが知らないことばかりでとても勉強になった。

(Liu Zhiyan, 田口琢斗)

3.4 Flux Measurements and Multi-site Synthesis

本セッションでは、渦相関法による GHGs の放出の研究を中心に、6 件の研究発表が行われた。

はじめに、Baldocchi (University of California, アメリカ) らが、カリフォルニアの湿地や水田、灌漑牧草地における CH_4 フラックスの観測について報告した。データを増やすほど CH_4 放出の制御機構が複雑であることが分かってきたという彼の経験から、少ないデータから得られた仮説に固執しすぎず、得られたデータに謙虚に向き合うことの大切さを感じた。

Liu (The Chinese University of Hong Kong, 中国) らは、亜熱帯のマングローブ林において渦相関法により CH_4 フラックスの測定を行った結果を紹介した。 CH_4 フラックスの日変化は正午前後に 2 つのピークを示し、日内スケールでは気温に加えて、蒸発散、NEE、GPP といった植物活性に関係するパラメータが CH_4 フラックスの変化をよく説明したことが示された。また、マングローブ林からの CH_4 放出が従来の推定よりも大きいと考えられることも示された。マングローブ林における CH_4 放出の短い時間スケールでの変動およびその制御要因の解明は、渦相関法以外の従来の手法ではできなかったことである。この発表は、Student Oral Presentation Award に選ばれた。

Zhang (Nanjing University of Information Science and Technology, 中国) らからは、渦相関法とフローティングチャンバー法、ガス輸送効率モデルによる推定を組み合わせた小さな養殖池からの GHGs (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) の放出についての報告があった。どの気体も夏に大きく冬に小さい放出が観測され、水温がこの季節変動を最もよく説明したことが示された。今後、渦相関法と他の手法を組み合わせた同様の観測により、様々な環境条件下にある淡水生態系からの GHGs の放出およびその制御要因が明らかになることが期待される。

他にも、Kiew (Sarawak Tropical Peat Research Institute, マレーシア) らによる熱帯泥炭湿地林からプランテーション農園への転換が CO_2 交換に及ぼす変化の研究や、Xiao (Nanjing University of Information Science and Technology, 中国) らの渦相関法による亜熱帯の湖からの蒸発の経年変動の制御要因を明らかにした研究、Zhang (Chinese Academy of Sciences, 中国) らによる GPP に関する多サイトの統合解析を行った研究の報告があった。

(田岡 作)

3.5 Trace Gases

このセッションでは、微量気体のフラックス測定と、微量気体を定量化するための新しい分析機器の開発に焦点を当て、口頭発表6件とポスター発表4件が行われた。この章では、口頭発表について簡単に紹介する。

Wang (Chinese Academy of Sciences, 中国) らは、中国中心部に位置する亜熱帯域の窒素施肥された畑で、QCL分光ガス分析計を用いて渦相関法を適用し、一酸化窒素(NO), N₂Oのフラックス測定におけるこの測器の適用性をテストした。クローズドパス型QCL分光ガス分析計は、従来の化学発光分析装置と比較して安定した性能、高い精度、高い応答性を示し、サイトキャリブレーションの必要性を減らす。クローズドパス型QCL分光ガス分析計は、渦相関法によるNO, N₂Oのフラックス測定において有効な手段となる可能性がある。

Wang (HealthyPhoton (Ningbo) Technology Co., Ltd, 中国) らは、大気中のアンモニア(NH₃)測定用のオープンパス型QCLベースのセンサーを設計した。NH₃の濃度と地面からの排出の空間的・時間的変動の測定が急務であるが、従来のクローズドパス型センサーは電源とシェルターの利用できない環境には適していない。リチウムバッテリーで駆動できる新開発のオープンパス型センサーは、高い応答性と感度を実現し、低い電力消費によって電源供給のないフィールドでの利便性を向上させる。

中山(大阪大学)らは、大気中の酸素(O₂), CO₂, CH₄, N₂Oの同時測定のために、MULTUMと自動チャンバーを備えたフラックス測定システムを開発した。このシステムは、短いガス分離カラムとハイブリッド型イオン検出技術により、イオン検出器のダイナミックレンジの制限とイオン抑制効果を克服し、気体の種間で最大6桁異なる濃度の測定を実現する。このシステムによる連続測定によって、土壌微生物生態系とGHGs排出の物理化学的プロセスの連続測定の重要性が示される。

和田(帝京科学大学)らは、日本のカラマツ林において、タワーの異なる高度でO₃, NO, VOC濃度を測定し、EulerianおよびLagrangianの多層インバースモデルによって異なる高度間のそれらの正味の交換量を推定した。測定とモデルから、異なる層の中のシンク、ソースの分布について議論した。気体の交換量の推定値は、群落内における微量気体の鉛直方向の空間的変動を解明するための重要な情報となる可能性がある。

國分(東京都環境科学研究所)らは、異なる季節におけるBVOC測定とLAI推定に基づいたG93アルゴリズムによって、2014～2016年の東京特別区におけるBVOCの総排出量を推定した。その結果、BVOCの年間排出量は人為起源のVOC排出量の4%に相当し、その80%以上が夏に集中していた。これはO₃濃度の増加のタイミングと一致し、BVOCが東京特別区におけるO₃生成の重要な前駆物質であることを意味する。

小池(静岡県立大学)ら(発表は谷)は、実験区(植物の枝)と対照区(空)におけるエンクロージャー法に基づいて、4つの植物種の葉の単環芳香族炭化水素に対する除去能力について試験した。その結果、複数の化合物が植物に吸収されたが、それは日中のみであった。また、吸収速

度と気孔コンダクタンスの間の正の関係を明らかにした。この結果に基づきモデル開発が進んでいる。

NO, N₂O, O₃, BVOCsなどの生物起源の化合物や、芳香族炭化水素などの人為起源の化合物といった、このセッションで議論された微量気体は大気汚染や温室効果に大きな影響を与えることが明らかになっており、その問題についての懸念が高まっている。それらの推定は通常、観測とシミュレーションのクロスワークによって実現される。高頻度の観測を実現するには依然難しい部分もあるが、メンバーの活動により、今後の拡大が期待される。

(Chang Tingwei)

3.6 Modelling

モデリングのセッションでは、主に、タワーフラックス観測やリモートセンシングデータとモデルを統合したプロットから地域、全球スケールでの生態系の炭素、窒素動態に関する研究報告が行われた。

まず、Dechant (Seoul National University, 韓国) らが、GPP推定のための多変量回帰とハイパースペクトルデータの活用について述べた。観測とプロセスベースのシミュレーションからメカニズムを洞察した。この結果は、適切な多変量回帰法を適用することにより、ハイパースペクトルデータによるGPP推定を改善できる可能性を示していた。

Shu (Chinese Academy of Science, 中国) らはForest-DNDC Modelを用いた長白山森林生態系の土壌のGHGs排出量のモデリングについて述べた。Forest-DNDC Modelは、森林生産、土壌炭素隔離、および高地、湿地の森林生態系における微量ガス排出量を予測するためのシミュレーションモデルである。観測データに対して検証されたForest-DNDC Modelによって土壌GHGs排出量を推定し、環境要因(例えば、土壌の温度や水分)に対するGHGs排出量の応答を分析した。

Li (Chinese Academy of Sciences, 中国) らは、亜熱帯に位置する中国中部の茶畑からのN₂O, NOの排出量の測定とモデリングについて述べた。茶畑は、窒素施肥が多く、土壌pHが非常に低いため、N₂O, NOの重要な排出源である。N₂O, NO排出の時間的特性を調査するために、亜熱帯の茶畑で静的閉鎖型チャンバー/ガスクロマトグラフおよび化学発光測定システムを使用して、2年半以上にわたって日々の排出を測定した。さらに、WNMMを新たに開発し、N₂O, NO排出の季節変化を再現することに成功した。

Cho (Seoul National University, 韓国) らは、渦相関法、リモートセンシング、サポートベクトル回帰を使用した韓国における炭素フラックスの推定について述べた。この研究では、2000～2018年の期間において、サポートベクトル回帰を通じて韓国の14地点のフラックスデータをリモートセンシングデータと組み合わせることにより、GPPおよびNEEを推定した。

Luo (大阪府立大学) らは、衛星データ駆動型モデル(TCF Model)に基づいた高緯度生態系のCH₄フラックスの推定と渦相関法データを用いたモデルの検証について述べた。高緯度生態系で取得された観測データでモデルの校正と検証が行われたことで、季節変動の再現性が大幅に改

善された。この研究の最終目標は、渦相関法データで校正された TCF Model に基づいて、北極圏/北方生態系全体の CO₂ および CH₄ フラックスの空間分布と時間変動を推定することである。

Wang (Chinese Academy of Sciences, 中国) らは 2011 ~ 2017 年の全球 LAI の季節変動と長期トレンドを決定するメカニズムについて報告した。彼らは、全球 LAI の季節変動の要因が緯度と季節によって異なることを発見した。この研究では、CO₂ 施肥が LAI に及ぼす影響を推定するために、Farquhar の生化学モデルが使用できることが示された。

(Luo Ji)

3.7 Ecosystem Processes

生態系プロセスのセッションでは主に森林生態系を対象とした 5 つの発表が行われた。

柴田 (北海道大学) は日本において LTER が行われている森林生態系の窒素の動態について発表した。日本の北方森林生態系における冬季の気候変化が土壌窒素動態に影響を与えるという近年の研究を説明した。例として積雪の減少が土壌の凍結融解サイクルを促進させ、土壌微生物による窒素変換が減少するといった研究を説明した。また、進行中および計画中の FLUXNET とのさらなる協力を含め、地域および世界的な LTER ネットワークでの窒素生化学研究のいくつかの重要な課題と機会について説明した。

石原 (京都大学) は森林生態系機能の理解と予測において、樹木の多様性を考慮する重要性をいくつかの例を用いて説明した。

中路 (北海道大学) らは、北海道の冷帯林において広葉樹であるミズナラ (*Quercus crispula* Blume) の成木での加温操作実験について紹介した。地上部では 1 年目にどんぐりの生産が増加し、葉の窒素の減少と葉のフェノール含有量の増加を伴う葉の食害の減少が見られた。地下部では春に土壌無機窒素の含有量が減少した。独立栄養呼吸と従属栄養呼吸は地温の上昇に従って増加した。温暖化環境への順応は、地上と地下の両方で起こることが示された。

Fu (Chinese Academy of Sciences, 中国) と Niu (University of Chinese Academy of Science, 中国) は陸域生態系の年間 NEE の経年変動の要因をフェノロジー及び生理学的要素に分けて調査した結果について発表を行った。最大炭素吸収量の変動を把握することが、陸域生態系 NEE の経年変動をモデル化する為に重要である事を示した。

村岡 (岐阜大学) は、高山サイトの森林生態系における長期的な研究とネットワークの開発について発表した。森林生態系機能および炭素動態の理解は、生態学、水文学、微気象学、シミュレーションモデル、リモートセンシングなどのさまざまな科学分野によって行われており、これらの研究は、生態学的プロセスの一般的な要素の 1 つである炭素に特に焦点を当てて行われている。森林生態系の構造と機能をより深く理解するためには、これらの構造と機能を時間と空間にわたって観測し、炭素循環の生態学的なプロセスを詳細に研究し、気候との相互作用を統合的に解析することが必要ということを示した。

(岡本瑞輝)

3.8 20th Anniversary Session: Linking Scientific Communities & Linking Science and Society

本セッションは AsiaFlux と他の研究コミュニティや社会との連携に関係する発表者を迎え、将来のアジアのフラックス研究や AsiaFlux の在り方について考えるセッションである。Papale (Tuscia University, イタリア) は世界のフラックス研究コミュニティである FLUXNET の最新の事情、立入 (海洋研究開発機構) らは将来予測など地球温暖化研究の立場から陸域生態系のフラックス研究に期待すること、江守 (国立環境研究所) は研究者と社会との関わり方について発表した。

Papale は FLUXNET におけるデータ解析の標準化とデータシェアリングについて発表を行った。摩擦速度の補正や欠測値の補完、GPP・RE の算出を自動で行うソフトウェアである ONEFlux の紹介、各フラックスモニタリングコミュニティのデータを繋ぐ FLUXNET shuttle 構想などを語った。Papale は Young Scientist Meeting でもデータシェアリングの重要性を度々議論していた。筆者 (山貫) が行ったポスター発表においても、AsiaFlux データのオープンデータ化について議論し、データ登録段階でのフォーマット統一や、汎用性向上のためのデータ変換過程の自動化に関して課題を挙げた。

立入らは ESM を用いた地球温暖化研究を紹介し、陸域の炭素収支の不確実性が大きいことを示した。また、FLUXCOM などでのフラックス研究との共同研究例も紹介した。永久凍土融解に伴う CH₄ 放出、N₂O、リン、発塵、火災などの研究は直接的に ESM と共同研究が可能であると指摘した。ESM とフラックス研究は扱う事象の時空間スケールが大きく違うが、ホットスポットの検出、リモートセンシングやモデルを介した比較などにより共同研究が期待できると述べた。また、フラックス研究者に期待することとして、全球の炭素・窒素循環の中での自分の研究の立ち位置を意識し、データの時空間代表性を考えること、フラックス変化のメカニズムを考えること、ESM の不確実性を減らす要因を考えること、現在の ESM が考慮出来ていないプロセスを考えることなどを提案し、フラックスのメカニズムの解明が ESM の改善に繋がっていくと締めくくった。

江守は研究者と社会や政策への関わり方について分類・整理し、現在の危機的な気候変動に対処するためには、研究者も社会に対して意見を発信していくことの重要性を説いた。本発表の議論は欧米人によって大変な盛り上がりを見せ、研究者と社会との関わりに関する意見は実に多様であると感じた。

(平田竜一, 山貫緋称)

3.9 General discussion

AsiaFlux Workshop 2019 で用意された 6 つの通常セッション (口頭発表およびポスター発表を含む) のまとめを、セッションチェアの方々がを行い、その後、各セッションから選ばれたパネラーが壇上に上がり、パネルディスカッションが行われた。以下に各セッションのまとめを記す。

Soil Ecology and Biochemistry : 今後は生態系や土壌の種類別の土壌呼吸の特徴を明らかにしていく必要があり、そ

のために今後も各種生態系の長期のデータ、攪乱や温暖化実験によるデータなどを蓄積していく必要がある。また、CO₂のみならず、CH₄やN₂Oフラックスの観測、観測手法の向上などに取り組むべきである。

Remote Sensing：リモートセンシングと地上観測やモデル研究との共同研究はより当たり前のものとなってきた。従来のリモートセンシング研究を別の視点で見直すことで、環境変動をより高精度で検出するための新しいセンサーや指標の開発が行われている。今後は新手法の開発、森林構造の評価、航空機観測、地上データの利用促進などが重要になるだろう。

Flux Measurements and Multi-site Synthesis：CH₄フラックスの研究が増加している。フラックスの環境応答に関する研究を進展させるためにも、エネルギーインバランスや夜間のフラックス過小評価の問題など、フラックス評価の精度向上に関する難しい課題にも取り組む必要がある。

Trace Gases：VOCフラックスの研究は非常に増加しているが、ガス分析計の精度がまだ十分でないため、まだ不確実性が大きい。そのため、観測技術の向上が重要である。

Modelling：この20年でモデルの開発、フラックスデータを用いた検証、モデル比較、機械学習によるアップスケールなどの大きな進歩があった。一方、データ同化や攪乱、微量気体ガスのモデリングも進められてきたがまだまだ改良の余地は大きい。生態系の管理や都市と自然の混在する炭素収支のマッピングは研究事例自体が少ない。このような研究の推進が今後は重要となっていくだろう。また、伊藤（国立環境研究所）は総合討論において以下のように述べた。「自分がモデル研究を開始したおよそ20年前は検証データがなく、IGBPなどで取得されたバイオマスデータを使用するしかなかった。しかし、フラックスデータが利用可能になってからは、季節変化や年次変動などにより高度なモデル検証が可能となり、研究が大幅に進むようになった。高性能なコンピュータの発展により、全球計算も昔に比べて容易になった。しかし、依然としてモデル相互比較に示されるような大きな不確実性が残されており、フラックス観測などプロセスに関する観測と理解深化により、モデル推定の不確実性を低減していくことが今後も必要である。」

Ecosystem Processes：生態系と気候変動の相互作用を明らかにするため、各生態系プロセス（種多様性、根圏、フェノロジーなど）の環境応答を解明する事が重要である。そのためには、様々な手法による観測や解析が重要である。

この20年は主に2つの要因によってフラックス研究が進んできた。一つはハードおよびソフトの新開発である。ハードの新開発は、ガス分析計、自動開閉チャンバー、定点カメラ、各種衛星、質量分析計などの測定機器の新開発などである。スーパーコンピューター、汎用の計算機器やストレージの発展も含まれるだろう。ソフトの新開発例は、ソフトウェアの開発によるフラックス計算及びポストプロセスの標準化、補正方法の提案、モデルの開発、データ同化手法や機械学習手法の発展など解析手法の開発などがある。もう一つはデータの蓄積と各種プロジェクトや

データベースを介するなどしたデータの流通の促進である。データの流通が進むことにより、観測とモデル、リモートセンシングなどの異種分野の共同研究が爆発的に発展してきた。上記のセッションチェアによるまとめは、どの分野においても、今後とも、技術や解析手法の開発とデータの蓄積・流通の促進をより推進していくことが重要であることを述べている。

セッションチェアは、スライド・口頭での伝言などそれぞれの発表方法で、可能な限り多くの研究例を挙げ、スライドの図を引用するなどされていた。普段、研究活動をしていると、他の関連分野の現況の理解を避けてしまいがちである。しかし、セッションチェアは、他領域の学生にも分かり易いよう簡潔に内容を構成されていた。

その後、パネルディスカッションでは、各セッションを代表したパネラーが特に将来の研究で重要となるキーワードを伝えた。キーワードは、真に私たちの研究の方向性を指していた。また、私たちの研究領域と、他領域が密接に関係していることを示していた。それらのキーワードについて、他領域の研究者とともに再確認をすることは、私たちの研究にとって非常に良い機会であったと考えている。そして、生態系に関する理解をより深めることができた。

(Liu Zhiyan, 山貫緋称, 平田竜一)

3.10 Closing session

閉会式は開会式とはまた異なる落ち着いた雰囲気のみで行われた。同年代の4人が、発表について賞を受賞し、その表彰式が行われた。Poster Presentation Awardには田岡 作（信州大学）、Tingwei Chang（京都大学）、Robert Shortt（University of California Berkeley, アメリカ）、Oral Presentation AwardにはJiangong Liu（The Chinese University of Hong Kong, 中国）が選ばれた（写真3）。そのなかでも、特に田岡は、私たちと同じ修士課程の日本人学生である。彼らの研究は興味深く、本当に素晴らしかった。私たちは、彼らのような発表をするために、今までよりもさらに熱心に研究を行う必要があると感じた。特に、本ワークショップに初めて参加した学部生にとって、同世代の研究者の努力を見ることは、自らの立ち位置を知るきっかけとなったと考えられる。

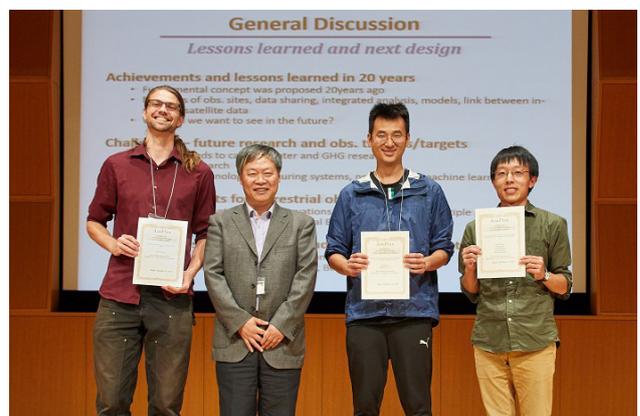


写真3. Student Presentation Awardの表彰。左から、Shortt, 于, Liu, 田岡。

私たちは、AsiaFlux Workshop 2019に参加できたことに感謝したい。この機会を通して、多くの専門的な知識だけでなく、よい研究者の責務について学んだ。次年度以降のAsiaFlux Workshopで、今回よりもさらに進歩した研究結果を報告できるよう、日々努力していききたいと思う。

(Liu Zhiyan, 山貫緋称)

4. Young Scientist Meeting

今回の Young Scientist Meeting では1つの問いが若手研究者たちに投げかけられた。その問いとは「良い科学者とはどのような人であるか」である。本会議の2日目の夜に集まった若手研究者達とゲスト研究者達はまず6人前後のグループに班分けされ、そのグループの中で設定されたテーマに対して議論を行った。そしてグループ内で意見交換をした後、ゲスト研究者達による簡単なプレゼンテーションと全体での意見交換が行われた。

このテーマは一見して簡単なもののように感じられたが、議論を行うほどに難しいテーマであることが実感できた。なぜならば人によって理想とする研究者像は異なる上に、その全ての意見が正しく感じられ、簡潔にまとめることができなかつたためだ。以下にいくつか気になった意見を記述する。「よい科学者とは：1自身の研究テーマが好きである人である、2優れた論文を書く人である、3根気強い人である、4データ・結果・チームメンバーに正直な人である、5チャンスを掴む準備ができてい人である、6自発的な人である、7常識に疑問を持ち見えないものを視覚化する人である」。このようにグループ内での意見交換では様々な考えが出たが、そのどれもが正しいと思えるようなものであった。また以下にゲスト研究者たちの意見も記述する。「良い科学者とは自分の周りの世界に対して好奇心が強い人です。このような人は実験的測定と理論的計算によって世界のあらゆる事象に関する仮説を検証することでその強い好奇心に答えていきます。またこのような人は他の人が分かるように研究に関する論文を書き、査読をするもしくはしてもらうことによってより良い研究者になります (Prof. Dennis Baldocchi)」。「良い科学者とは簡単な答えに満足せず立場や考え方を柔軟に変えられる人です。また他の研究者を競争相手ではなく仲間だと考え、データ

やツールを共有できる人も良い科学者だと言えます (Prof. Dario Papale)。「良い科学者になるためには：1自分の中のバイアスに注すること、ただしそれらを完璧にコントロールすることはできません、2データやコードに寛大になりましょう、3再現可能で分かりやすい科学を実践することです (Dr. Benjamin Bond-Lamberty)」。上述した意見は彼らの意見のほんの一部であるが、これまで多くの研究を行ってきた3人の意見はどれも興味深いもので、若手研究者たちの意見よりも説得力があるように感じた。

今回私は初めてこのAsiaFluxのYoung Scientist Meetingに参加したが、想像よりも多くの議論が参加者たちによってなされており、かなり充実した場であったように感じた。今回の会のように、研究内容ではなく研究に対する姿勢を皆で話し合い、著名な研究者達の意見も聞くことができる機会はあまりなく、これから研究者を目指す方たちはもちろんだが、そうでない方たちにとっても貴重な機会であったと思う。そのためこれからも継続してこのような会が開催されることを期待する。

(鈴木拓海)

5. エクスカーション

AsiaFlux Workshop 2019の最終日である10月5日に、岐阜県高山サイトへのエクスカーションが行われた(写真4)。高山サイトは、AsiaFluxサイトの中で最も長い期間タワーフラックス観測を続けているサイトである。当日の気象条件は良好であった。午前8時に、高山駅に集まった参加者は、大型バス2台に分かれて高山サイトに向かった。バスに乗る際に配布された資料は、両サイトの特徴を解りやすく説明していた。最初のサイトまでの移動時間は、約30分であった。その道中、岐阜大学のスタッフが、バスの車窓から見える町並みについて参加者に伝えた。AsiaFlux Workshop 2019終了後、すぐに帰途につく予定だった私たちは、彼らの観光案内を非常に楽しんだ。

2つのチームは、TKCサイトとTKYサイトを交代で見学した。私たちのチームは、まずTKCサイトに到着した。TKCサイトは、冷温帯常緑針葉樹林の間に建つタワーと、リタートラップ、PAR・フェノロジー画像等の観測機器、土壌呼吸の測定機器の集合体であった。初めてサイトを見



写真4. エクスカーションでの集合写真.

学した私は、その光景に心躍らされた。岐阜大学の学生は、彼らの扱っている観測機器と、研究の苦労話をしてくれた。それらを聞き、私は、自らも扱う AsiaFlux データの貴重さを身に染みて感じた。

次に訪れた TKY サイトは、TKC サイトと全く異なる様相だった。細長く建つ TKC サイトに対して、TKY サイトは、大きな落葉広葉樹を中心に囲う檻のような構造であった。周辺は霧に包まれていた。TKY サイトにおいて、私は興味深い瞬間に遭遇した。それは、PEN カメラが逆さまになる時だった。最初に下を向いていたカメラは、数分後、自動的に上へと方向転換した。私は、その瞬間をカメラで写真に収めた。

本エクスカージョンは、今後フラックスデータを扱う学生や研究者のために有意義な機会であった。参加者同士の交流があったほか、現地観測データの必要性を再認識させ、今後のデータ処理に対する姿勢について考える良い場となっていた。

私たちは、長期にわたって登録された AsiaFlux データベースを用いることによって、様々な研究を実施できる。例えば、千葉大学は、AsiaFlux データと衛星リモートセンシングデータを組み合わせている。学部生として AsiaFlux Workshop 2019 に参加し、長期間継続したデータが存在することの重要性を知ったことは、以後の研究生活に大きな影響を与えると考えられる。

(山貫緋称)

6. おわりに

本ワークショップはフラックス観測の歴史がある高山で実施された。TKY サイトや TKC サイトにおける観測データを用いた研究も複数あり、長期的なデータ蓄積の重要性を改めて実感した。また本ワークショップで行われた研究発表では、フラックス観測だけでなく、それらの観測データをリモートセンシングやモデリングと統合した研究が多く発表された。私たちはこれらの発表を聞いて、各分野のさらなる融合によってフラックス研究の発展が期待できると感じた。

20th Anniversary Workshop として設立 20 周年を祝う催しもあり、これまでの AsiaFlux の発展の歴史について少し知ることができた。現在はフラックス観測のネットワーク化が進み、多くのフラックスデータが蓄積され、比較的簡単にデータを利用可能であるが、そこに至るまでに多くの研究者による努力や苦労があったことを実感した。このような催しは、特にフラックス研究に携わる若い研究者や学生にとって、歴史を知り、そして自らの研究について考える良い機会になったと思う。

略語一覧

- BESS : Breathing Earth System Simulator
- BVOC : Biogenic Volatile Organic Compound (生物起源揮発性有機化合物)
- DNDC Model : Denitrification-Decomposition Model
- ESM : Earth System Model (地球システムモデル)
- GHG : Greenhouse Gas (温室効果ガス)
- GOSAT : Greenhouse Gases Observing Satellite (温室効果ガス観測技術衛星)
- GPP : Gross Primary Production (総一次生産量)
- IGBP : International Geosphere-Biosphere Programme (地球圏・生物圏国際協同研究計画)
- LAI : Leaf Area Index (葉面積指数)
- LiDAR : Light Detection and Ranging (光検出と測距)
- ILTER : Long Term Ecological Research (長期生態学研究)
- LUE : Light Use Efficiency (光利用効率)
- MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (中分解能撮像分光放射計)
- MULTUM : Multi-turn Time-of-Flight Mass Spectrometer (マルチターン飛行時間型質量分析計)
- NEE : Net Ecosystem Exchange (純生態系交換量)
- ONEFlux : Open Network-Enabled Flux
- PALSAR : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ)
- PEN : Phenological Eyes Network
- QCL : Quantum Cascade Laser (量子カスケードレーザー)
- RE : Ecosystem Respiration (生態系呼吸量)
- SAR : Synthetic Aperture Radar (合成開口レーダ)
- SIF : Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence (太陽光励起クロロフィル蛍光)
- SOA : Secondary Organic Aerosol (二次生成有機エアロゾル)
- SOM : Soil Organic Matter (土壌有機物)
- TCF Model : Terrestrial Carbon Flux Model
- VOC : Volatile Organic Compounds (揮発性有機化合物)
- WNMM : Water and Nitrogen Management Model

謝 辞

本原稿の写真は成田正司氏(国立環境研究所)撮影による。中田幸美氏(国立環境研究所)には大会情報をご提供いただいた。また、原稿執筆にあたり、市井和仁博士(千葉大学)、岩田拓記博士(信州大学)、植山雅仁博士(大阪府立大学)に多大なるご助言をいただいた。謹んで感謝申し上げます。岡村、Luo は北極域研究推進プロジェクトからワークショップ参加旅費の助成を受けた。高野は JSPS 科研費 18H03362 からワークショップ参加旅費の助成を受けた。