

AsiaFlux Workshop 2009 -Integrating Cross-scale Ecosystem Knowledge: Bridge and Barriers- の報告

大久保晋治郎¹・安立美奈子²・小野圭介³・本岡毅⁴・西村渉⁵

¹(独)農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター

²国立環境研究所 地球環境研究センター

³農業環境技術研究所 大気環境研究領域

⁴筑波大学大学院 生命環境科学研究科

⁵大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科

Report of AsiaFlux Workshop 2009 –Integrating Cross-scale Ecosystem Knowledge: Bridge and Barriers-

¹Shinjiro OHKUBO, ²Minako ADACHI, ³Keisuke ONO, ⁴Takeshi MOTOHKA, ⁵Wataru NISHIMURA

¹ National Agricultural Research Center for Hokkaido Region

² Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

³ National Institute for Agro-Environmental Sciences

⁴ Graduate School of Life and Environmental Sciences, Tsukuba University

⁵ Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University

1. はじめに

AsiaFlux Workshop 2009 が 2009 年 10 月 27 日から 29 日にかけて北海道大学において開催された。AsiaFlux Workshop は、フラックス観測に基づく研究成果を発表、観測手法等を情報交換する場として設けられたもので、8 回目を迎える今大会では–Integrating Cross-scale Ecosystem Knowledge: Bridge and Barriers–をテーマとして掲げられた。日本で開催されていることもあり、およそ 200 名の参加者の約半数が日本人研究者であったが、36 件の口頭発表の多くは日本人以外の研究者によるものであった。ポスター発表は例年の発表件数を大きく上回る 102 件に上り、ポスターセッション時間外においても活発な議論が交わされ、一時口頭発表への参加を促す場面も見られた。以下いくつかのセッションについて報告する。

2. Opening Session

Opening Session では本大会運営委員長である平野高司氏（北海道大学）、現在の Chair である J. Kim 氏（Yonsei University, 韓国）のあいさつに引き続き、JapanFlux をはじめとする各国の Flux コミュニティから近況報告がなされた。Kasemsap 氏(Kasetsart University, タイ)はタイにおける観測サイトの紹介を行った。落葉林・常緑林などの森林サイトに加えて、水田、チーク林やゴム園

などの農耕地におけるサイトが特徴的であった。タイでは近年観測サイトが増え、フラックス研究が進み始めており、2010年にはローカルではあるがワークショップの開催も予定されている。Hsia氏(National Donghwa University, 台湾)からは台湾における近況報告がなされた。台湾におけるタワーフラックス観測も2005年に始まったばかりである。現在5つの観測サイトがあり、そのほとんどがいくつかの日本の森林にも見られるような急傾斜地に位置している。大気が安定な夜間に起こりやすい乱流輸送によらない移流がこれらのサイトにも見られ、どのようにフラックス評価をするかさらなる研究が必要とされている。また湿潤な気候であり霧が発生しやすく、光合成活動に及ぼす影響に関する研究も進められている。Leuning氏(CSIRO, オーストラリア)からはOzFluxからの報告がなされた。オーストラリアでは干ばつ、森林火災、虫の大量発生による枯死が特に北部の地域でしばしば見られ、これらの大きな災害による生態系および炭素収支への影響が紹介された。このような攪乱が起こった後に炭素蓄積量が大幅に減少し、その後NEPの増加と共に炭素蓄積量が増加しNPPの減少と共にNEPが頭打ちになり炭素蓄積量も安定するといった時系列変化が示された。Yu氏(Chinese Academy of Science, 中国)らからはChinaFluxに関する発表が行われた。2002年に設立されたChinaFluxでは、ここ数年でフラックス研究が急速に進んでおり、現在森林、草地など9つのサイトを所有している。主な森林やチベットにおける草地では炭素のシンクとなっている一方で、モンゴル内地の保護区とされている草地では炭素のソースとなっていると報告した。局所域における気温や降水量が主な気象要因となり炭素収支を決定していると説明した。その他インド、日本、韓国から近況報告がなされた。

3. Bridges between Ecosystem Observation and Remote Sensing

本セッションでは、主に、地上観測と衛星観測を効果的・効率的に統合利用していくための取り組みやアイデアについての議論が行われ、口頭6件、ポスター20件の研究発表が行われた。その内容は多岐に渡っており、例えば、衛星リモートセンシングを用いた各種生物物理量の推定、リモートセンシングデータを入力やパラメータとした数値モデル計算、地上での近接センシング、航空機リモートセンシング、リモートセンシングデータ比較検証のための地上継続観測などに関する内容が発表された。

口頭発表では、まず、奈佐原氏(筑波大・宇宙航空研究開発機構(JAXA))が、日本における陸域生態系研究のコミュニティ間連携(通称「J連携」:JapanFlux×JaLTER×JAMSTEC×JAXA)について紹介した。発表最後の「みんなが仲良く協力して、なおかつ、若手をしっかりと育成すれば、将来は明るい!」という決め台詞が印象的であった。

続いて、JAXA Award for AsiaFlux Workshop 2009の受賞者である、Karyanto氏(Gadjah Mada University, インドネシア)とBhattacharya氏(Indian Space Research Organization, インド)による発表が行われた。JAXA Awardは、JAXAの寄付によって、今年設立された賞である。Karyanto氏は、インドネシアの熱帯泥炭地における炭素収支について各種地上観測を実施し、また、雲を透過して地表面を観測することのできる合成開口レーダ(ALOSPALSAR)を用いて、広域評価を行った。Bhattacharya氏は、Kalpana-1VHRR(インドの静止気象衛星、日本でいうところの衛星ひまわり)、MODIS、ASTERなどの衛星センサを利用し、インドの農業生態系における蒸発散量を推定した。どちらの受賞者も、目的や地域に適した特徴を持つ衛星を活用しているだけでなく、地上観測データを徹底的に収集する体制を構築して、各々の研究を総合的に推進しており、見習うべきところが多かった。

今回、ウェブカメラによるフェノロジー定点連続観測に関する発表が、7件と多かった(口頭2件、ポスター5件)。Wingate氏(University of Edinburgh, イギリス)は、FLUXNETにおけるウェブカメラ観測が世界的に急増していることを報告し、いくつかのサイトでの解析結果を示した。Kang氏(Kangwon National University, 韓国)、Mizunuma氏(University of Edinburgh, イギリス)、井手氏(国

立環境研究所), Choi 氏(Kangwon National University, 韓国), 前田氏(産業技術総合研究所)など, ウェブカメラによる時系列 RGB 画像を利用したフェノロジー観測手法についての発表が多く, 今後, 研究開発がさらに加速していくことを予感させた。(本岡毅)

4. Barriers in Flux Measurements

AsiaFlux の測定標準化ワークグループ(Measurement Standards Workgroup)によって企画された本セッションは, 今回のワークショップの主眼と位置づけられ, 3 題の招待講演(予定されていた一般講演 1 題はキャンセル)のそれぞれで活発な議論が交わされた。オープンパス型渦相関法に関わるトピックとともに, 熱収支インバランスについても話し合われた。

Burba 氏 (LI-COR, アメリカ) は, オープンパス型渦相関法の特徴および現在明らかになっている問題点を概説し, とくに, LI-7500(LI-COR)のセンサ部が大気に対して熱源となる問題について, 彼が提案した補正式とともにいくつか実際的な対策方法を示した。また, メタン分析計を含めた LI-COR 社の新型モデルを例に挙げ, オープンパス型分析計の将来性の高さを改めて強調した。

Leuning 氏 (CSIRO, オーストラリア) は, オープンパス型渦相関法に必須である密度変動補正(WPL 補正)の精度が周波数応答補正に大きく依存することを丁寧に説明し, WPL 補正による不確実性を避けるためオープンパス型ガス分析計(LI-7500)をクロズドパス型に改造して用いた例を紹介した。また, 森林(Tumbarumba サイト)に比べ様と見なせる牧草地(Otway サイト)において熱収支の充足率が 80~85%にとどまっていること, その原因がまだ解明できていないことを報告した。

Massman 氏 (USDA, アメリカ) は, WPL 補正の精度を高めるため, 圧力相関項とオープンパス型分析計赤外線光路内の顕熱フラックスを実測した結果を報告した。ワイオミング州にある彼らの森林サイト(Glacier Lakes Ecosystem Experiments Site ; GLEES)は年間を通じて風速が高く, 冬季は気温が -25°C に達するため, これらの実測データを WPL 補正に反映させると, 年間 NEP が約 $4.4\sim 4.8\text{ tC ha}^{-1}$ 減少した。また, 圧力相関項は 1 秒程度の時系列ラグで符号が逆転するほどの変化を示すことも併せて示された。

いずれの講演も, オープンパス型渦相関法を適用する際の barrier は, 主に WPL 補正各項の見積もりと適用方法にあるという見解であった。この barrier を克服するため, Burba 氏と Leuning 氏は, それぞれ, オープンパス型ガス分析計をクロズドパス型に改良することを試みた。これは, オープンパス型ガス分析計の長所を活かしつつ共分散どうしの演算である WPL 補正を回避する方法としては有用と考えられる。ただし, Leuning 氏が指摘したように, この改良において水蒸気フラックスは従来のクロズドパス型ガス分析計と同程度に高周波減衰が生じる可能性があり, 普及には今後さらなるデータの蓄積が必要と感じた。圧力補正項については, 強風が卓越するサイトでは重要となるが, Massman 氏が今回示したラグ相関に関する結果は従来の LES 等の知見と必ずしも一致しないため, 圧力変動の測定手法を確立することが当面の課題と言える。

従来のオープンパス型分析計で取得されたフラックスデータの取り扱いについては, 時間の制約もあり十分に議論されなかった。Massman 氏は, GLEES サイトの結果から, Burba 氏が提案した補正式が低温で過小評価することを指摘した。Burba 氏は補正式による補正の他, クロズドパス型との比較観測からサイト固有の経験式を構築することを提案している。AsiaFlux では, とくに森林以外の生態系において, オープンパス型渦相関法を採用しているサイトが多数ある。既得データの取り扱いと今後の利用方法について, 本セッションの内容も踏まえた早急な指針の作成が望まれる。(小野圭介)

5. Global Biogeochemical Cycles

生態系の物質は互いに関連し合いながら, 植物・土壌・大気を介して巡っている。このセッシ

ョンでは、5題の口頭発表と5題のポスター発表が行われ、生態系の物質循環の理解には、一種類の元素のみ、または一つの手法だけで追っていても不十分であると改めて考えさせられた。基調講演で Grace 氏 (The University of Edinburgh, イギリス)らは、生態系における炭素と窒素の関係について、これまでの文献を総括して報告した。近年の多くの文献から窒素の沈着が森林の炭素循環に影響を与えていることを示し、例えば Magnani *et al.*(2007)は、温帯と北方林のデータから窒素の湿性沈着量と森林の純一次生産量(NEP)には強い相関関係があると示した。その窒素の供給源は、農業生態系に使用された肥料である。手を加えていない森林であっても、間接的に人間活動の影響を受けていることが示唆された報告であった。また、林氏(農業環境技術研究所)らの講演では、実際に水田生態系における渦相関法による炭素フラックス測定と、アンモニア交換量測定を行った例が紹介された。Ren 氏 (Chinese Academy of Science, 中国)らは、中国北部の温帯林の葉の窒素とリンの量について報告した。Ogée 氏 (INRA-EPHYSE, フランス)らは、木の年輪のセルロースに含まれる炭素と酸素の安定同位対比から、炭素安定同位体比は季節変化や年変動があり、モデルである程度予測可能であることを報告した。また、Kim 氏 (NASA, アメリカ)らは、アメリカのフラックスネットのサイトデータと生態系モデルの比較について報告した。ポスター発表では、北京の降雨や水蒸気に含まれる水素と酸素の安定同位体比とモンスーンの影響について、また中国の森林生態系における窒素沈着量の季節変化と降雨との関係についての報告があった。また、ベトナムの乾期における6つの生態系から放出される土壌呼吸量についての報告があった。あとの2題については、冷温帯と熱帯におけるモデル予測と実測値との比較であった。戸田氏(北海道大学)らは、気候変動に脆弱な高緯度生態系における大気—植生—栄養塩循環モデルを構築する試みを紹介しており、気候変動に対する生態系の応答を予測する上で重要性を強調していた。また、著者(安立)は熱帯林の土地利用変化が炭素動態に及ぼす影響について、生態系モデルで予測した結果について報告させていただき、多くの人から有益な質問やコメントをいただくことができた。ポスター会場では真剣に議論する人々の姿が多く見られ、関心の高さを窺うことができた。これらの発表から、炭素と窒素、実測値とモデル予測値など、より理解を深めるための多方面からのアプローチの重要性が示された。(安立美奈子)

6. Interface Between Carbon Science and Society

このセッションでは科学研究の枠を超え、科学研究の社会的な役割および社会との相互関係について意識した3件の口頭発表が行われた。初めに Kim 氏(Yonsei University, 韓国)からアジアフラックスの今後の展望を含めた、研究の方向性についての発表が行われた。持続可能な社会および生態系を構築するためには“Resilience thinking”が必要であり、炭素循環を含めた気候変動に関する研究はこのような思考を持って社会と情報を共有し、お互いを理解しながら共存するべきであり、AsiaFlux は今後模範となるべく取り組むべきであると提言した。続いて浜中氏(慶應義塾大学)の発表があり、現在直面している気候変動に対する低炭素社会を構築するためには、持続可能な社会に移行する必要があると述べた。これを実現させるためには政府、社会、そして科学者がお互いのことをよく知ることが非常に重要で、また科学者は量的評価を提示することによって役割を担うことができると発表した。最後に Hom 氏(USFS Northern Research Station, アメリカ)らは都市部と都市から離れたサイトでのフラックス観測の結果を示し、土地利用や人為あるいは自然撹乱の影響がどのように出るのかを報告した。観測された Baltimore(都市部)サイトでは、化石燃料の使用の増加や落葉時期による影響を受けて冬に CO₂ 放出量および大気中 CO₂ 濃度が最大となる季節変動が観測され、年間 500~1000 gC m⁻² の放出が見積もられた。また、都市から離れたサイトでは虫食いによる落葉、野火あるいは森林火災の被害の影響が CO₂ フラックスの減少(CO₂ 固定量の減少)として表れているとも発表した。今後環境問題に関心がますます高まる中で、研究者の社会的な位置づけについて、より一層意識する必要がある、森林や畑地に加えて都市域での環境

変化についても注目すべきであると感じた。

7. 若手の会

ワークショップ 2 日目の総括・討論終了後、北海道大学農学部の講義室にて Young Scientist Meeting が開かれ、アジア地域のポストドク前後の若手研究者や学生など約 60 名が参加した。この会は AsiaFlux に設置された“*Youth AsiaFlux*”の公式活動として 2008 年度より開催されており、最先端の研究を行っている研究者をゲストとして迎え、食事をともにしながら、普段の学会発表では聞くことのできない研究哲学や研究観を聞くことを目的にしている。また、アジア地域の若手研究者間の親交を深めることも重要な目的の一つである。

今回はゲスト研究者として Leuning 氏, Massman 氏, Reichstein 氏, 浜中氏, Burba 氏, 奈佐原氏, Wingate 氏, Hom 氏が招かれ、各テーブルにゲスト研究者と 6 名前後の若手研究者が着席し、はじめはテーブル毎に食事をしながら自己紹介などの交わりの時間を持った。会の後半には、ゲスト研究者がそれぞれの立場から若手研究者に向けてスピーチを行い、企業や大学の研究者としてどのような人生を歩んできたかが語られた。研究に関する経験だけでなく、研究を通して与えられた友人関係の話なども語られ、若手研究者にとって有益な助言と励ましに満ちた有意義な時間となった。(西村渉)

8. エクスカーション

エクスカーションはワークショップ 3 日目の 10 月 29 日に開催され、日帰りで森林総合研究所の観測サイト(SAP)および北海道大学の苫小牧研究林(TOE)を見学するツアーと、一泊二日で天塩研究林(TSE)を見学するツアーの 2 つが用意された。日帰りツアーでは、まず札幌市内の SAP サイトを見学した後、苫小牧市内にある TOE サイトへ移動した。両サイトともに 2004 年の台風によって、大規模な樹木の風倒や観測タワーの倒壊など大きな被害を受けたが、現在は台風による自然撓乱後の森林回復過程についての研究が積極的に行われている。また TOE サイトでは国内唯一の大型クレーンを利用した研究が行われており、希望者は試乗することが許された。クレーンからは、2,715 ha にもおよぶ壮大な演習林の全体を見渡すことができた。(西村渉)

9. おわりに

昨今、地球温暖化問題にますます関心が高まってきており、温暖化が進んだ際の土壌の炭素シンク/ソース強度を評価した Liang 氏(国立環境研究所)の発表に代表されるように、温暖化を意識した研究が増えてきたように思う。地球温暖化問題をはじめとする環境問題は、局所スケールから全球スケール、また科学の分野を超えた複数の分野間にまたがる問題であり、これを克服するためには時間的にも空間的にも様々なスケールの視野を持って取り組む必要がある。本ワークショップで最後に設けられたセッションで議論されたように社会的な位置づけも意識しなければならない。著者(大久保)自身 3 年ぶりの参加であったが、以前と比べて日本以外の発表が増加してきた印象を受けた。実際、サイト数についても中国や韓国では近年増加してきている。日本人研究者も 25 の国内サイトに加えて 15 の海外サイトにおいて研究を進めており、今後アジア広域でのフラックス観測に基づく研究成果が期待できる。アジアは南北の幅広い緯度に位置し複数の気候区分にまたがり、陸域も畑、水田、森林と多様である。都市域や水面上のフラックス観測もこの先重要視されるであろう。今後、このような多様な環境条件下におけるアジア域でのフラックス研究が、地球規模で起こっている気候変動に関する研究分野において大きな貢献ができるであろう。

うし、その重要性を今回再認識した。

謝辞

本論文をまとめるにあたり平野高司氏から有益なコメントを頂きました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

Magnani, F., Mencuccini, M., Borghetti, M., Berbigier, P., Berninger, F., Delzon, S., Grelle, A., Hari, P., Jarvis, P.G., Kolari, P., Kowalski, A.S., Lankreijer, H., Law, B.E., Lindroth, A., Loustau, D., Manca, G., Moncrieff, J.B., Rayment, M., Tedeschi, V., Valentini, R. and Grace, J., 2007 : The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature*, **447**, 848–850.