

第4回 AsiaFlux ワークショップ2005報告*1

山本 哲*2・高木 健太郎*3・安田 幸生*4・三枝 信子*5

1. はじめに

第4回 AsiaFlux ワークショップ2005 (Fourth AsiaFlux Workshop 2005 ; International Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation) が2005年8月24日から26日にかけて富士山麓の山梨県富士吉田市ホテル・ハイランドリゾートにおいて、主催：AsiaFlux 運営委員会、共催：森林総合研究所、国立環境研究所、協賛：文部科学省、アジア太平洋地球変動研究ネットワーク (APN)、後援：富士吉田市により開催された。

近年、地球温暖化という環境問題を背景として、あるいは地球環境研究という自然科学的な観点から、多様な陸域生態系における二酸化炭素 (CO₂)・水蒸気・熱フラックスを長期的な観測により把握することが要請されている。これらの観測は基本的にタワーを用いた渦相関法により行われるが、全球的物質収支の推定のために、プロットスケールでのフラックス観測 (すなわち地点での直接測定) の成果を全球規模にスケールアップする必要がある。このためには、世界の各種条件下でのフラックス観測の成果を集積し、ネット

ワーク化を図ることが重要と考えられるようになり、1990年代に欧米では EUROFLUX, AmeriFlux, MedeFlu 等のプロジェクトが開始された。日本においても、こうしたネットワーク構築の機運が高まり、関係者の努力により1999年に AsiaFlux が立ち上がるに至った。運営の主体は AsiaFlux 運営委員会 (歴代委員長：福嶋義宏・総合地球環境学研究所、山本 晋・岡山大学 (2002年～)、大谷義一・森林総合研究所 (2005年～)) であり、事務局は国立環境研究所地球環境研究センターに置かれた。以後、日本を含むアジアのフラックス観測研究の情報交換ネットワークとしての役割を果たすため、ウェブサイト (www.asiaflux.net) を通じた研究情報の交換、観測手法の比較と統一化の検討 (AsiaFlux 運営委員会, 2003)、データベースの構築、研究予算の獲得・資源の共同利用の促進などに取り組んできている。

AsiaFlux の重要な活動のひとつが、陸上生態系の炭素・水・熱循環プロセスの理解を深め、研究者の情報交換と共同作業の促進を図るための国際ワークショップの開催である。これまで3回 (札幌, 2000年 ; 濟州島, 2002年 ; 北京, 2003年) 開催され (檜山ほか, 2001 ; 高木ほか, 2001 ; 鳥山, 2002 ; 于, 2004), 4回目となる今回のワークショップには、アジア内外の12カ国 (アメリカ・オーストラリア・バングラディッシュ・カナダ・中国・ハンガリー・インド・日本・韓国・マレーシア・フィリピン・タイ) から130名を超える研究者が参加し (第1図), 口頭発表43題, ポスター発表52題の研究発表とそれに基づく議論が活発に行われた。以下、各セッションでの主な講演内容について報告する。なお、第5回ワークショップは2006年11月29日から12月1日にかけてタイ・チェンマイにおいて開催される。

*1 Report of Fourth AsiaFlux Workshop 2005 ; International Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation, 24-26 August 2005, Fujiyoshida, Japan.

*2 YAMAMOTO Akira, 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター。

*3 TAKAGI Kentaro, 国立大学法人北海道大学北方生物圏フィールド科学センター。

*4 YASUDA Yukio, 独立行政法人森林総合研究所気象環境研究領域 (現所属：同東北支所)。

*5 SAIGUSA Nobuko, 独立行政法人産業技術総合研究所環境管理技術研究部門。



第1図 ワークショップ参加者による集合写真（溝口康子氏（独立行政法人森林総合研究所）提供）。

2. 講演内容

2.1 AsiaFlux 参加国からの報告と今後の計画

AsiaFlux 運営委員長の菅谷は、AsiaFlux の活動状況と、研究支援に基づいた今後（2005～2007年度）の展開方針について述べ、安定的な運営資金として、科学技術振興調整費「次世代のアジアフラックスへの先導」（2005～2007年度）および APN プロジェクト “Standardization and Systematization of Carbon-Budget Observation in Asian Terrestrial Ecosystems Based on AsiaFlux Framework”（2005～2006年）を確保したこと、今後の展開方針として、① アジア各国の研究者へのフラックス観測と解析方法に関するトレーニングコースの提供、② 観測サイト間のフラックスデータ比較のための標準観測システム・解析方法構築、③ AsiaFlux グループ内外へのデータの共有・公開に関する枠組み策定、の3つを挙げた（なお、1回目のトレーニングコースは2006年8月に日本で開催されることになった。）。

Kim (Yonsei 大学) は、韓国内で2001年から活動しているフラックス観測ネットワーク KoFlux (www.koflux.org) について報告した。第1期(2001～2004年)でデータや情報の共有化を進めるとともに、CEOP (Coordinated Enhanced Observing Period) のリファレンスサイトとしての登録などを行い国際的な枠組みへのデータ提供に努めてきた。第2期(2004～2007年)では、第1期で展開した8つの観測サイトを4サイト(森林流域サイト、農地サイト2、チベットサイト)に集中化し、生態水文・物質循環モデルや衛星データとタワー観測データを結びつけ、より広域の炭素・水循環を明らかにすることを目的とした研究プロジェクト (Carbo/HydroKorea) を展開している。

中国においては、複数のフラックス観測ネットワークが展開されつつあることが、于 (CAS) により報告された。CAS (中国科学院) が運営する ChinaFLUX (www.chinaflux.org) は2002年に発足し、現在10サイトにおいて観測が行われており、更に6サイトの整備が予定されている。ChinaFLUX の観測サイトのほとんどは生態系研究ネットワーク Chinese Ecosystem Research Network (CERN, www.cern.ac.cn) の観測サイトと重複して設定されている。インターネットを通じたデータの共有化が実現しており、フラックスデータの品質管理が共通のルールのもとになされ、データベース化も進んでいる。また、フラックス観測と生態水文モデル・衛星データによる解析の統合が図られており、複数のフラックスサイトを基点とした中国を縦横断するトランセクトを数本設定し、大規模スケール (大陸スケール) のエネルギー・物質循環の解明を目指して大陸レベルの広域比較研究を既に実行している。中国気象局 (CMA) は既存の測候所を利用したフラックス観測プログラム (CMA flux network) を開始しており、2005年末までに農地・森林・都市・湿地・砂漠等多岐に渡る9つのフラックスサイトを整備する計画である。また、国家林業局科技司 (Department of Science and Technology State Forestry Administration) も森林生態系研究ネットワーク Chinese Forest Ecosystem Research Network (CFERN: www.cern.ac.cn) を利用した独自のフラックス観測プロジェクトを予定している。

AsiaFlux では、これら日・中・韓の各フラックスネットワークと今後どのように連携していくかが現在検討されている。

AsiaFlux へ参加を表明しているマレーシア、タイ、

バングラディッシュ、インドから各国の炭素循環研究に関する報告があり、AsiaFlux との連携について議論が行われた。Phillip (マレーシア・森林研究所) は森林の炭素蓄積量インベントリや、日本の研究者も参画している森林保護区 (Pasoh, Lambir) の熱帯林における炭素循環研究結果を基に、マレーシア内の泥炭湿地、マングローブ、植林地、内地森林等の数種の生態系における炭素吸収能力について報告した。Senthong (タイ・チェンマイ大学) はタイ国内の6つのフラックス観測サイトと近年の微気象研究についての報告を行った。Baten (バングラディッシュ農業大学) は農業環境技術研究所の支援の基に観測が始まった、水田における炭素・水フラックス観測研究計画を紹介した。Hooda (インド・環境・森林省) は森林・土壌の炭素量データと衛星画像を用いた土地利用変遷データに基づいた、インド国内の森林炭素貯留量と炭素フラックスの調査、土地利用形態の変化が炭素動態に及ぼす影響について報告した。生態系モデル BIOME-3 を利用した、気候変化に対応した森林生産量予測結果も示した。

2.2 複雑地形上でのフラックス観測に関する研究

今回のワークショップでは、“Complex Topography” と題する特別セッションが開かれた。夜間のフラックスは、特に起伏が激しい複雑地形上では、渦相関法での測定が困難な移流など、乱流以外の輸送機構が卓越する場合が多く、長期的な森林炭素収支を評価する場合の誤差要因となる可能性があり、未だ多くの検討の余地が残されている。

Mahrt (米・オレゴン州立大学) は、夜間の冷気流によってフラックス観測高度以下で生じる CO₂ 移流量は無視できない程大きく、このためフラックス観測高度における夜間の CO₂ 放出量が過小評価されていることをオレゴンでの野外実測例をあげて説明し、水平移流量を評価するため、多地点における CO₂ 濃度観測により質量保存式に基づいて移流量を評価する必要があると述べた。さらに夜間のフラックス計算法として、大気安定度やフラックス測定高度によって、平均化時間を変化させる方法 (Vickers and Mahrt, 2003) を提案した。

近藤 (産業技術総合研究所) は、高山サイト (岐阜県) での長期 CO₂ フラックス観測から渦相関法で導出された生態系純生産量 (NEP) は、生態学的調査により得られた樹木の成長量や呼吸量から推定された生産量より過大評価されることを報告し、移流の影響によ

り CO₂ フラックスが過小評価されることにより呼吸による CO₂ 放出量が過小評価され、NEP の過大評価となっている可能性を指摘した。

Wen (CAS) は ChinaFLUX における森林サイトのデータを元に、地形が複雑なサイトほどフラックスデータの質が低下することを示した。夜間 CO₂ 放出量の過小評価の補正方法として、近年一般的に用いられている u_* 補正 (摩擦速度 (u_*) の閾値を設定して、閾値以下のデータを除去した後に温度と CO₂ フラックスの関係式を作成し、除去データを補間する方法) について、生態系呼吸モデルによる出力と比較して最適な閾値について議論した。小南 (森林総合研究所) や大久保 (京都大学) も、渦相関法、チャンバ法・生態学的方法による呼吸量を比較することにより最適な u_* の閾値を決定して生態系 CO₂ 交換量を求める試みを紹介した。

Leclerc (米・ジョージア大学) は、夜間の内部重力波や下層ジェットなどの現象が、フラックス値に影響を与え、タワーでのフラックス測定は上空の大気構造の影響を受けていることを示した。乱流混合が強い期間のデータであっても、興味の対象である地表面における大気-地表面間の交換量を必ずしも代表しているわけではないことを意味する。

Leuning ほか (オーストラリア・CSIRO) は、夜間の CO₂ 収支を明らかにするための新しい方法を紹介した。オーストラリア南東部のユーカリ林に設定した 50 m × 50 m × 6 m の空間に CO₂ 濃度測定のため吸気チューブを張り巡らし、側面及び上面における CO₂ フラックスを測定し、質量保存則を用いて土壌および植生からのフラックスを算出するもので、前述の Mahrt の方法の具体化といえる。この方法で求めた生態系 CO₂ 交換量の10日平均値は、生物学的手法から求めた生態系交換量と良い一致を示した。また、夜間における CO₂ 収支式の各項 (貯留変化量、鉛直乱流フラックス、水平移流量) の大きさは同じオーダーであり、すべての項の測定が重要であることが示された。

小杉 (京都大学) は、桐生水文試験地において、渦相関法と流域水収支による蒸発散量を比較した結果、渦相関法による蒸発散量が過小評価されることを示した。熱収支が閉じるように乱流フラックスを補正することにより、流域水収支から算出される蒸発散量との対応が改善した。

2.3 長期フラックス観測

“Long-term Flux Observation” セッションでは、

アジアの各種陸上生態系で行われている長期のフラックス観測結果などが発表された。さまざまな条件下で複数年に渡る年間正味生態系 CO₂交換量 (NEE) が評価されるようになり、NEE の変化や違いの特性が明らかになってきている。

土壌や植物の水分状態は NEE に及ぼす影響が大きいもののひとつである。中国南部・亜熱帯地域にある人工針葉樹林での観測では、強い乾燥条件に伴う CO₂ 吸収量の減少やキャノピーコンダクタンスの減少が観測された (Song, CAS)。これと同様の現象は、内モンゴルの草原地帯にある観測サイトでも得られた (Wang, CAS)。

三枝 (産業技術総合研究所) は、亜寒帯針葉樹林の観測で、林齢の違いによる NEE の違いを調べた。伐採直後から壮齢林までの様々な林齢におけるカナダジャックパイン林での CO₂フラックス観測を行って算出した NEE を比較し、伐採後の若齢林 (7~9 年生) では CO₂ の放出源となっているのに対して、壮齢林 (81~83 年生) では CO₂ 年収支がほぼ平衡 (わずかに吸収) していることなどを示した。

Zhao (CAS) は、チベット高原において、3 種類の生態系 (草原、灌木林、湿地) でのフラックス観測を行った。その結果、草原と灌木林は CO₂ の吸収源となっていたが、湿地はわずかに放出源となっていた。湿地における土壌有機物量の多さが、CO₂ 放出量を増加させていると推測を述べた。

平野 (北海道大学) は、熱帯泥炭林 (インドネシア・カリマンタン島) において 3 年間 (2002~2004 年) にわたるフラックス観測を行った結果、この泥炭林が CO₂ の放出源となっていたことを明らかにした。3 年間のうち、エルニーニョ現象が発生した 2002 年の CO₂ 放出量が最も多かった。エルニーニョ現象にともなう乾燥と、大規模森林火災による日射量の低下 (煙による日射の遮蔽) が、樹木による CO₂ 吸収を減少させ、泥炭土壌からの CO₂ 放出を増加させたことによるものとの推測が述べられた。

また、大場 (大阪大学) が長期観測につきものの、電源トラブルや測器の故障、気象条件などによる欠測データの補間手法として遺伝的なアルゴリズムを用いたニューラルネットワークによる補間方法を提案し、従来の方法と比較して真値に近い値を推定できることを示した。

2.4 地球観測, 生物化学循環, リモートセンシング, モデリング等

その他のセッション Earth Observation and AsiaFlux, Biochemical Cycles in Terrestrial Ecosystem, Modeling and Remote sensing of Terrestrial Ecosystem について簡単に紹介する。

“Earth Observation and AsiaFlux” において、井上 (国立環境研究所) は、IGOS (統合地球観測戦略) の 1 テーマとして提案されている統合的地球炭素観測 (IGCO; Integrated Global Carbon Observation Theme) を紹介し、IGBP-WCRP-IHDP が共同で立ち上げた国際研究計画 GCP (Global Carbon Project; www.globalcarbonproject.org) や科学的評価を行う IPCC などの国際プログラムへの AsiaFlux の貢献の可能性について議論した。また、2008 年度打ち上げ予定の温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) について紹介した。これは、環境省、国立環境研究所、宇宙航空研究開発機構の共同プロジェクトで、CO₂ と CH₄ (メタン) の全球濃度分布観測を行うものである。

“Biochemical Cycles in Terrestrial Ecosystem” セッションでは、様々な生態系における土壌や根・幹・葉からの炭素 (CO₂, CH₄, イソプレン等) の放出についての報告があった。長期モニタリングに対応した測定システムが構築されていたことが多数報告された。安定同位体を用いた研究も多く紹介され、樹木の水ストレス評価や、NEE の光合成成分と呼吸成分への分離、あるいは放出された CO₂ や CH₄ の発生源の検出に関する報告があった。森林蓄積量や土壌有機物量の長期データをもとに土地変化が生態系の炭素循環に及ぼす影響について議論している研究も数例が報告された。

“Modeling and Remote Sensing of Terrestrial Ecosystem” セッションでは、MODIS 画像を用いた広域炭素循環評価に関する研究や、陸域生態系炭素循環モデルを用いた研究についての発表があった。各プロセスのモデル化とスケールアップは、現象理解や将来予測のために不可欠ではあるが、以下のような問題点・課題が指摘された。① グローバルスケールのモデルの検証、② グローバルスケールのモデルと小スケールモデル (プロセスモデル) との結合、③ 経験式への過度の依存 (呼吸速度のパラメタリゼーション等)、④ モデルコンセプトの統一化。

(高木健太郎・安田幸生)

3. おわりに

AsiaFlux ワークショップ2005を振り返り、最後に、今後の AsiaFlux (FLUXNET)の課題について、広域化、長期化、高精度化の3つの視点からまとめてみたい。

(1) 広域化

過去10年間における FLUXNET の重要な成果の1つは、一定の標準化を施した観測手法と解析手法に基づく相互比較可能な観測データを、世界各地の陸上生態系で蓄積し始めたことであろう。1つの観測サイトからは「点」のデータしか得ることは出来ないが、多くの点があれば、生態系応答の空間分布に関する情報ある程度抽出することが可能である。アジアでも数多くのサイトで既に数年間の観測データを蓄積している。今後は、地上観測データと生態系モデルやリモートセンシングデータを統合的に利用して広域の熱・水・CO₂収支を精度良く求めるための研究が急速に進展することが予想される。その際に（特に日本では）重要な課題と考えられるのは、それぞれ異なるプロジェクト（異なる予算、異なる機関）で維持しているタワー観測のデータをいかに円滑に長期的に集め、多くの人が自由に利用できるような状況をつくるかであろう。

(2) 長期化

現在、世界の複数の観測サイトで10年を超えるフラックス観測データが蓄積されている。また、いくつかの重要な観測サイトでは、今後さらに50年100年といった超長期の観測データを蓄積しようという話し合いも始められている。超長期の観測を行うためには、ある程度の省力化やルーチン化の検討が必要ではあるが、気象観測、熱・水・CO₂フラックス観測、生態調査を組み合わせた長期観測を重要な生態系で展開することにより、10年を超える長時間スケールの気象の変動に対して陸上生態系がどう反応するかを解明するための貴重な実測データを得ることができよう。

(3) 高精度化

FLUXNET では観測手法に対して一定の標準化を行ったとはいえ、現状の観測値には無視できない大きさの不確実性が含まれていることが既にわかっている。今回のワークショップで特別に取り上げられた複雑地形に起因する観測誤差もその1つである。このほかに、夜間安定時の乱流輸送の問題、熱収支不均衡の問題、測定手法や解析手法の違いに起因する年間炭素収支量の差の問題など、未解決の問題は数多くある。

フラックス長期観測の維持にはある程度大きな予算を必要とするため、観測はしばしばプロジェクト型研究の一環として実施されることが多い。ただしそのような研究環境の中にあっても、プロジェクトの出口をめざす研究だけで精力を使い果たすことなく、地味でも科学的に重要な問題をプロジェクト研究の一部に位置付け、先送りせずに問題を1つ1つ解決しながら進む姿勢が重要ではないだろうか。AsiaFlux ワークショップのような集会在、同じような研究上の困難や悩みをもつアジアの研究者の情報交換や連携の場として機能することを今後も期待している。

(三枝信子)

略語一覧

APN : Asia-Pacific Network for Global Change Research アジア太平洋地球変動研究ネットワーク
 CAS : Chinese Academy of Sciences 中国科学院
 CMA : China Meteorological Administration 中国気象局
 CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation オーストラリア国立科学技術研究機構
 GOSAT : Greenhouse gases Observing SATellite 温室効果ガス観測技術衛星
 IGBP : International Geosphere-Biosphere Program 地球圏-生物圏国際協同研究計画
 IGOS : Integrated Global Observing Strategy 統合地球観測戦略
 IHDP : International Human Dimensions Program on Global Environmental Change 地球環境変化の人間・社会的側面に関する国際研究計画
 IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
 MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
 NEE : Net Ecosystem Exchange 生態系純交換量
 NEP : Net Ecosystem Production 生態系純生産量
 RE : Ecosystem Respiration 生態系呼吸量
 WCRP : World Climate Research Programme 世界気候研究計画

参考文献

AsiaFlux 運営委員会ガイドブック編集部会・編, 2003 : 陸域生態系における二酸化炭素等のフラックス観測の実際, 国立環境研究所地球環境研究センター報告 (CGER-REPORT), M015-2003, 116pp.
 檜山哲哉, 三枝信子, 渡辺 力, 2001 : AsiaFlux 国際会

- 議 (International Workshop for Advanced Flux Network and Flux Evaluation)報告, 天気, 48, 89-93.
- 高木健太郎, 溝口康子, 鈴木智恵子, 2001: AsiaFlux ワークショップ2000 (International Workshop for Advanced Flux Network and Flux Evaluation -Kick off Meeting of AsiaFlux Network-) 報告, 生物と気象, 1, 23-28.
- 鳥山 敦, 2002: The 2nd International Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation 報告, 国立環境研究所地球環境研究センターニュース, 12 (12), 10-12.
- Vickers D. and L. Mahrt, 2003. The cospectral gap and turbulent flux calculations, J. Atmos. Ocean. Technol., 20, 660-672.
- 于 貴端, 2004: Report on the International Workshop on Flux Observation and Research in Asia, 国立環境研究所地球環境研究センターニュース, 14 (10), 9-10.
-