

AsiaFlux Workshop 2011 “Bridging Ecosystem Science to Services and Stewardship” の報告

斎藤 琢*・坂部綾香**・吉澤景介***
 ・鎌倉真依****・安立美奈子*****・平田竜一*****

*岐阜大学 流域圏科学研究センター
 **京都大学大学院 農学研究科
 ***岡山大学大学院 環境学研究科
 ****奈良女子大学 共生科学研究センター
 *****国立環境研究所 地球環境研究センター

Report of AsiaFlux Workshop 2011 “Bridging Ecosystem Science to Services and Stewardship”

*Taku M. SAITOH, **Ayaka SAKABE, ***Keisuke YOSHIZAWA,
 ****Mai KAMAKURA, *****Minaco ADACHI, and *****Ryuichi HIRATA

*Rever Basin Research Center, Gifu University
 **Graduate School of Agriculture, Kyoto University
 ***Graduate School of Environmental Science, Okayama University
 ****KYOUSEI Science Center for Life and Nature, Nara Women's University
 *****Center for Global Environmental Research, Institute for Environmental Studies

1. はじめに

AsiaFlux Workshop 2011 が 2011 年 11 月 9 日～13 日の日程でマレーシア第 2 の都市 Johor Bahru の Universiti Teknologi Malaysia で行われた。AsiaFlux は、生態系における物質循環についての観測・モニタリング、データシェアリング、研究発展を推進しており、これらを用いた研究成果発表、情報交換、議論の場として、またネットワークの結束を強める場として 1～2 年毎にワークショップを開催している。記念すべき 10 回目を迎えた本ワークショップでは、1～3 日目に主に口頭、ポスターによる研究発表が行われ(写真 1)、4 日目以降にエクスカージョンが開催された。開催セレモニーでは、AsiaFlux 代表の Joon Kim 氏 (Seoul National University, 韓国) らの挨拶の後、記念品贈呈が行われワークショップの開催が宣言された。Plenary Session では Tropical ecosystem in Asia (Lulie Melling 氏, Walter Oechel 氏), Regional carbon

flux (Ab Latif Ibrahim 氏, Prabir K. Patra 氏), Tropical forest ecosystem in Asia (Khalid Harun 氏, 小杉緑子氏), Networking (Dario Papale 氏, 平野高司氏) の 4 テーマについて計 8 題の発表が行われた。また、8 つの口頭セッションでは計 44 題の発表があり、ポスターセッションは 2 日目の夕方に行われ、計 63 題の発表があった。2 日目のポスターセッション後に行われた Regional Report では、東南アジア (マレーシア, フィリピン, シンガポール, タイ, 台湾) の各代表者による各国・地域の現状報告が行われた。本稿では、個々が興味を持った研究発表について紹介するとともに、若手の会、エクスカージョンの概要について報告する。

2. サイト間比較研究

ここでは、主にフィールド観測データに基づいたサイト間比較研究について、数件報告する。三枝信子氏 (国環研) は、韓国・中国・日本の連携プログラムの推進によって作成された CarboEastAsia データセットの紹介を行い、統合解析の結果を報告した。まず、このデータセットは東アジア地域の北方林から熱帯林までの様々な生態系の 28 サイトのタワーフラックスデータを包括していることを紹介した。統

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/agrmet/sk/2012/D-2.pdf>

2012 年 4 月 3 日 掲載

Copyright 2012, The Society of Agricultural Meteorology of Japan



写真1 会場の様子(撮影：斎藤)

いて、年積算値による統合解析結果によれば、純生態系交換量(NEE)は寒帯と比較して、温帯、熱帯でバラツキが大きいこと、冷温帯地域に属する植林、混交林で高い炭素固定を示すことを報告した。Xianjin Zhu氏(Chinese Academy of Sciences, 中国)は、中国における年水利用効率(WUE; 総光合成生産量/蒸発散量)の空間分布と環境因子との関係を示した。WUEの平均値は $1.87 \text{ gC kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}^{-1}$ であり、ヨーロッパの平均値と比較すると低く、アメリカと同程度であることを明らかにした。また、草地よりも森林でWUEが高いこと、WUEは気温とLAIとよい相関があることを明らかにした。高木健太郎氏(北海道大学)は、CarboEastAsiaのデータセットを用いて、光合成パラメータと呼吸パラメータのサイト間比較を行った。光-光合成曲線の非線形最適化によって得られた、最大光合成速度、初期勾配、生態系呼吸量に着目し、これらの年最大値と環境因子との関係を調査した。その結果、これらはどれも気温と良い相関を示すことを明らかにした。

昨年度のAsiaFlux2010の報告では、近藤雅征氏(福島大学)による「殆どの発表が自国での観測解析に特化する傾向にありAsiaFluxから公開されているアジア域観測データが有効に利用されていないと感じた。」という所見が述べられている(奥村ら, 2011)。今年度の発表では、前述のような東アジア生態系を対象とした包括的なサイト間比較研究の報告が多数あり、この一年で確実に一歩前進したことが伺える。今回報告されたサイト間比較研究の多くは、CarboEastAsiaによって同一のデータ補完を施されたデータセットを用いた解析結果であり、CarboEastAsiaメンバーの尽力に感謝したい。CarboEastAsiaのデータは、現在のところ、そのメンバーとデータ提供者への限定公開であるが、今後これらのデータが幅広いコミュニティに広く公開され、さらにサイト間比較研究が促進されることが期待さ

れる。

(斎藤 琢)

3. モデルおよびリモートセンシング

本ワークショップは、フラックス観測者だけでなく、観測データの利用者であるモデル、リモートセンシングを専門とする研究者も複数参加していた。マレーシアで開催されたため、低緯度域の植生を対象としたモデル解析の研究発表が多い印象を受けた。3日目に開かれた「アジア域の炭素収支量に関するモデル相互比較」に関連するセッションでは、複数の炭素収支モデルから得られたアジア域の炭素収支量を他のアプローチによって得られた結果と比較する内容が発表された(市井和仁氏, 福島大学)。本報告では、ポイントスケールでのCarboEastAsiaデータによるフラックス観測値との比較、地域スケールでの大気輸送モデルとの比較によりモデル推定結果の妥当性を評価した。また、今後の展開として、モデル数、対象観測サイト数を増やすことで、より高精度で炭素収支量推定を目指すとして報告された。本セッションでは、その他にもモデルに関する複数の研究発表があった。モデル感度解析として葉面積指数(LAI)の季節変化が総一次生産量(GPP)に与える影響を評価した研究、フラックス観測データを使った植物生理学的パラメータの最適化などの研究内容も発表された。ポスターセッションでは、モデルに関する研究として、都市の人為活動による窒素、水、炭素循環と自然生態系の物質循環モデルを統合したモデルの開発、土地利用変化によって植林されたオイルパームでの炭素収支量を再現するモデル解析、放射伝達モデルと物質循環モデルを統合した衛星データ複合利用型モデルの提案などの発表があった。近年、AsiaFluxのウェブサイトでの各サイトのフラックス観測データ公開やCarboEastAsiaによるデータ公開が進み、モデル開発者・利用者にとって観測データの利用は以前と比べて格段に容易となった。その結果、今回のワークショップで発表された多くの研究が複数サイトを対象としてモデル検証・校正する作業を行っていた。一方で、土地利用変化データ、バイオマス量、植物生理パラメータといった生態データ、都市域データなどを利用した研究については、限られた情報による研究が主体であり、未だ統一的なデータ整備が不十分であるという印象を受けた。アジア地域におけるモデル研究が今後も大きく前進するためには、タワーフラックスデータだけでなく前述した包括的なデータについて、アジア地域全体で整備、公開を促進することが重要であると感じた。

(斎藤 琢)

4. 熱帯研究

本ワークショップでは熱帯におけるフラックス研究について、非常に多くの発表を聴くことができた。会場となったマレーシアの *Johor Bahru* は東南アジアの中でもアブラヤシプランテーションの面積割合の高い地域であるといわれている。このアブラヤシプランテーションの温室効果ガスのフラックスについての発表をいくつか聴くことができた。Lulie Melling 氏 (Tropical Peat Research Unit, マレーシア) はマレーシア・サラワク州の湿地に作られたアブラヤシプランテーションのフラックス観測についての紹介と森林との比較結果を報告し、CO₂ では大きな差は認められず、CH₄ 発生量は森林で大きく、N₂O 発生量はアブラヤシプランテーションで大きいことを示した。アブラヤシプランテーションでのフラックス観測は非常に珍しく、今後はそれぞれの生態系において発生メカニズムの解明が行われることを期待したい。また、Khalid Haron 氏 (Malaysian Palm Oil Board, マレーシア) は、25 年生のアブラヤシの炭素吸収量は平均で年間 2.09 tC ha⁻¹ であり、これは森林よりも高いと報告していた。これに対し、聴衆からは森林伐採時の炭素損失も考慮しなければならないなどの意見が多数あった。また、小杉緑子氏 (京都大学) らが行ったマレーシア・パソ保護林における長年のフラックス観測の結果から、強い乾燥が起きた場合には GPP と生態系呼吸量が共に減少することが報告された。平野氏からはボルネオ島の熱帯泥炭林におけるタワーフラックス観測の紹介があり、泥炭地の排水処理の影響や火災についての報告があった。Walter Oechel 氏 (San Diego State University, アメリカ) によるボルネオ島の川からの炭素フラックス測定では流域の土地利用変化によって DOC や O₃ フラックスが増加したという報告や、Robert Grant 氏 (University of Alberta, カナダ) による熱帯泥炭林のモデルシミュレーションでは水位の予測が重要だという報告があった。その他、フィリピンの水田やオーストラリアのサバンナなどの報告もあった。これらの報告から、熱帯域では土地利用変化が急激に進んでおり、その影響について物質循環の点から評価・理解していくことも非常に重要であると感じた。(安立美奈子)

5. 植物制御

植生の H₂O/CO₂ ガス交換過程を理解する上では、微気象学的手法によって得られるキャノピーのガス交換量を測定すると同時に、その主たる決定要因

となる葉の光合成や蒸発散、生態系呼吸等の特徴を周囲の環境と共に理解することが重要である。本ワークショップにおいても、植生の H₂O/CO₂ フラックスに影響を与える葉の光合成活性や気孔制御、生態系呼吸に関する発表が数件あった。具体的には、小杉緑子氏 (京都大学) により、半島マレーシア熱帯林では、この数年間非常に安定した蒸発散および CO₂ ガス交換を示しているが、それは静的なものではなく、気象条件の変動に対する気孔コンダクタンス・光合成速度・生態系呼吸の敏感な応答の上に動的平衡を保っていることが報告された。関連して、この森林の生態学的な特徴として、高梨聡氏 (森林総研) により、上層の樹木ほど厚い葉を持ち、高い光合成能力と呼吸量を有することが報告され、また、上層の樹木の気孔制御が、キャノピーコンダクタンスや CO₂ フラックスに大きな影響を与えていることを著者 (鎌倉) が報告した。一方、別サイトにおいて、例えば中国の山地林では、霧の影響で有効放射量が低いために NEE も低い値を示すが、樹木の葉の気孔は霧粒によってブロックされるわけではなく、低い放射量の中で光合成をある程度維持していることが示唆されている (Chang Shih-Chieh 氏, National Dong Hwa University, 台湾)。また、西日本の常緑落葉混交林においては、常緑樹と落葉樹の間で樹液流のパターンに違いが見られ、その違いが暑く乾燥した夏季の降雨後数日間の水利用特性に影響を与えており、気象条件に対する樹種特異的な生理応答がフラックスや個体・群落の維持生長に重要な役割を担っていることが吉村謙一氏 (森林総研) により報告された。

AsiaFlux Workshop の参加者に微気象学の研究者が多いのは当然のことであり、その中で生理・生態学的な観点からのフラックス研究を多くの人に理解し、興味をもってもらふことは、現時点ではなかなか難しいと感じる面もあった。しかし、今後様々な気候帯や植生環境においてフラックス研究が進んでいく中で、タワーフラックス観測データと生態系観測データとの長期的なクロスチェックを行いながら、大気-植生間の物質交換系を明らかにしていくことは益々重要になると思われ、微気象学者と生態学者とのより密接なネットワークの構築が必要になっていくのではないかと感じた。

(鎌倉真依)

6. 土壌炭素に関する研究

土壌中には大気中の約 2 倍、地上植物体中の約 3 倍の炭素量が存在すると見積もられており (伊藤, 2002), その動態を解明することも AsiaFlux の課題の 1 つである。土壌炭素動態の評価には、微気象学

的手法と生態学的手法の両方のアプローチが重要であり、本ワークショップの中でも、渦相関法やチャンパー法、リター調査などから調査に取り組んだ成果が発表され、著者(吉澤)は大変刺激を受けた。

Van Leeah B. Alibo 氏 (Caraga State University, フィリピン)らはフィリピンの泥炭林において地上部と地下部の炭素貯蔵量を緻密に調査した。彼らの調査地では、地下部に $4659.06 \text{ tC ha}^{-1}$ 、地上部に 52.53 tC ha^{-1} の炭素が現存しており、泥炭土壌が炭素貯蔵庫として重要な役割を持っていること、およびそれらの保護と保全が必要であることを訴えた。

Chiao-Ping Wang 氏 (Taiwan Forest Research Institute, 台湾)らは、東台湾の砂壤土上に発達した亜熱帯林において、リター量、土壌温度、土壌水分量と土壌呼吸量の関係について調査を行った。得られたデータの範囲では、土壌温度においては関連性が見られたが、リター量や土壌水分量については土壌呼吸量に及ぼす影響が明瞭ではなかったと報告し、今後の課題として、根呼吸の寄与をより詳しく調査する必要があると指摘した。

Peili Shi 氏 (Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, 中国)らは、チベット高原の湿原において渦相関法による NEP (純生態系生産量) と生態学的手法による NPP (純一次生産量)、クロードチャンパーによる土壌呼吸量を測定し、炭素収支のクロスチェックを行った。その結果、年間の NEP は 224.8 gC m^{-2} 、NPP から土壌呼吸量を引いた値は 221.2 gC m^{-2} となり、異なる手法で測定したフラックスはほぼ一致した。この結果に基づいて、チベット高原の湿原は大きなカーボンシンクであると報告した。

本ワークショップでは、熱帯雨林気候に属するマレーシアでの開催ということもあり、熱帯泥炭林における研究成果も多く発表された。泥炭土壌は、高い地下水位が植物残渣の分解を遅らせるため大量の炭素が貯留されているが、森林伐採等に伴う排水が泥炭の分解を促進することが懸念されている。本ワークショップでも、観測とモデルの両面からこれらの特徴が改めて明らかとなった。今後はこのような研究成果を世界に向けて積極的にアピールすることで、AsiaFlux が熱帯泥炭土壌の保全に直接・間接的に貢献することを期待したい。

(吉澤景介)

7. 微量気体

メタン、BVOC (Biogenic Volatile Organic Compounds) について行われた発表について数件報告する。メタンについては、4 件の口頭発表、5 件のポスター

発表が行われた。Liukang Xu 氏 (LI-COR, アメリカ) は、オープンパス型のメタン分析計 (LI-7700, LI-COR) を用いて渦相関法により、埋立地において観測したメタンフラックスについて発表を行った。メタンフラックスが大気圧の変化に依存すると報告した。大気圧が上昇するときメタンフラックス放出が抑制され、大気圧が低下するときメタンフラックス放出が促進されるというものであった。植山雅仁氏 (大阪府立大学) は、可変ダイオードレーザー方式メタン分析計 (Fast Methane Analyzer, Los Gatos Research) を用いて簡易渦集積法 (REA 法) により、富士北麓に位置するカラマツ林において観測したメタンフラックスについて発表を行った。高精度での対象ガス濃度の測定を行うことが可能な REA 法の有用性を述べた。カラマツ林は、群落スケールでメタンの吸収源であると報告した。原蘭芳信氏 (アラスカ大学, 大阪府立大学) は、チャンパー法によって微量ガスフラックスを測定する際の、希釈の補正の重要性について述べた。

BVOC については、2 件の口頭発表、2 件のポスター発表が行われた。望月智貴氏 (静岡県立大学) は、REA 法により富士北麓に位置するカラマツ林において観測した BVOC フラックスについて発表を行った。モノテルペンフラックスは、温度上昇と共に増加し、強い雨の後、フラックスは増加し、温度依存も強まると報告した。Jianui Bai 氏 (Chinese Academy of Sciences, 中国) は、REA 法により中国の温帯林において観測した BVOC フラックスについて発表を行った。PAR (photosynthetically active radiation) のピークの 3 時間後にモノテルペン放出のピークが観測されたことから、PAR のエネルギー保存に基づいて計算された経験モデルと観測値が一致したと報告した。

微量ガスフラックスの研究は、分析計の技術革新に大きく依存するところがあり、分析計の技術革新は年々進んでいる。今後、分析計の特性、問題点、観測方法の改良点について、開発者、使用者を含め活発に情報交換をすることが重要であると感じた。微気象学的方法によるメタンフラックスの測定は、まだ観測例が少ないため、今後、様々な生態系で観測が行われ、新たな研究報告が行われることが期待される。そこから、モデルや衛星データを地上観測データと融合させることで、より広域での放出源、吸収源の推定へとつなげ、正確な地球規模での収支の把握が課題であると感じた。

(坂部綾香)

8. データシェアリング

今回の AsiaFlux では、グローバルな枠組みでの

データシェアリングを推進している Dario Papale 氏 (University of Tuscia, イタリア) が参加していたこともあり、データシェアリングについて多くの議論が交わされた。Plenary session において Papale 氏は、Fluxnet (グローバルネットワーク) の現状と展望について述べた。まず、グローバルスケールの炭素や蒸散量のアップスケーリング研究を紹介し (Beer *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2010)、欧州、米国、アジアなどの個々の地域コミュニティによる観測ネットワーク化だけではなく、1つの大きなコミュニティ (Fluxnet) によるグローバルスケールでの観測ネットワーク化の重要性を指摘した。さらに、現在推進中の「Fluxnet New Dataset」の作成について紹介し、データ提供と個々の研究へのデータの利用を促した。また、今後は、メタンや N₂O のような微量気体のデータシェアリングに繋がりたいとの展望を述べた。データシェアリングについては、2日目の Discussion Session の中でも重点的に議論が交わされた。平田竜一氏 (北海道大学; 現・国環研) は、「Papale 氏の方向性には大筋同意できるが、成熟されたヨーロッパやアメリカの状況と比較して、AsiaFlux コミュニティの中にはマレーシアのサイトのように新規に立ち上げられたサイトもあり、これらの若いサイトをケアするように、全体のバランスを考慮しながら、アジア地域のデータシェアリングを推進していくことが重要である」旨の発言を行った。個人的には、Papale 氏が提示したグローバルネットワーク化や統一データセットの作成は、生態系生態学、水文学、気象学などを包括する分野横断的な学問の発展という視点に立てば非常に重要であり、今後も推進していくことが重要であると考えている。一方で、平田氏の発言もまた現在の AsiaFlux の状況をよく反映したものであり無視できないものであると感じた。先に記述した「Fluxnet New Dataset」のアジア地域のデータ投稿期限は 2011 年 12 月であり、本原稿執筆時点で締め切られている。「Fluxnet New Dataset」は AsiaFlux データベースとはデータポリシーが異なるため、提供されたアジア地域のデータはおそらく限定されているであろう。しかし、次回のデータセット作成の際には、Fluxnet への貢献と、AsiaFlux 内部での状況や個々のサイト PI のプライオリティを考慮しつつ、「バランス」をうまくとりながら、多くのアジア地域のデータが提供されるような状況に少しずつ移行していくことが重要であると感じた。

(斎藤 琢)

9. 若手会

ワークショップの 2 日目である 11 月 10 日の夜、

ワークショップと同じ会場で Young Scientist Meeting が開催された。アジア各国の学生、若手研究者が 30 名ほど集まり、互いの交流を深め、フラックス研究の未来の発展について思いを馳せた。まず、夕食を共にしながら、どこから来たのか、どのような研究をしているのか互いに自己紹介をし合った。その後、シンガポール (Amy Chua Fang Lim 氏)、マレーシア (Mohd Azhari Faidi 氏)、韓国 (Bindu Malla Thakuri 氏)、中国 (Hao Yang 氏)、日本 (筆者、坂部) の若手研究者が、「30 年後のフラックス研究と私」というテーマでプレゼンテーションを行った。偶然にも発表者全員が女性であった。このテーマは、30 年後のフラックス研究がどのような発展を遂げているか、30 年後の自分は何をしているか想像するというものであった。筆者 (坂部) も発表の機会を頂いたが、30 年後のフラックス研究を想像するというのは、非常に難しいテーマであった。それぞれの発表者が語ったことは、近年の地球環境の変化に対して危機感を持っており、フラックス研究を通して環境の理解・保全に取り組みたいという熱い思いであった。そういった発表者の熱い思いから、若手会の時間の大半をプレゼンテーションが占めた。フラックス研究の 30 年後を考えることは、何を指し、何のためにフラックス研究をしているのか考える良い機会となったと思う。これから 30 年後、フラックス研究がどのように発展し、どのように役立つのか想像するのは非常に楽しみである。それぞれに高い目標を持ち、研究に挑んでいる若手研究者と、互いに研究に励んでいこうという強い繋がりを感じられた会であった。

(坂部 綾香)

10. エクスカーション

エクスカーションは A: パソ森林保護区 (Pasoh Forest Reserve; 写真 2)、B: タンジュンピアイ国立公園 (Tranjung Piai National Park; 写真 3)、C: フラックス観測のトレーニングコースの 3 つの選択肢から選ぶことができた。パソ森林保護区は 1969 年に IBP (International Biological Programme) というプロジェクトから研究が始まった大変歴史のある研究サイトである。現在は、国立環境研究所、京都大学、森林総合研究所、マレーシア森林研究所 (FRIM) により共同研究が実施されている。低地フタバガキ林が 650 ha に渡って広がる中、52 m のフラックスタワーと 2 本の 30 m タワーが設置されている。その三本のタワーを結ぶように三角形のキャノピーウォークウェイが設置されているのが特徴で、これにより、樹冠に直接アクセスすることができ、個葉レベルの



写真2 パソ森林保護区(撮影:坂部)



写真3 タンジュンピアイ国立公園(撮影:吉澤)

研究が可能となっている。今回は FRIM の Christine Dawn Fletcher 氏によるサイト説明の後、京都大学の小杉緑子氏とその研究室のポスドク・学生さん達の案内により、ほとんどの参加者が実際にタワーに登った。当日は大雨が降り、熱帯雨林の気候を肌で感じる事ができたが、タワーに登る頃には雨は止み、様々な観測測器や、熱帯雨林の多様な樹冠の様子を身近で見学した。また、林床では土壌呼吸観測や樹木の呼吸量評価、枯死木の分解実験、土壌断面調査等も見学および説明を受けた。このように、パソ森林保護区では、趣向を凝らしたユニークな研究が幅広く行われており、その研究規模と質に圧倒された。

タンジュンピアイ国立公園(大陸アジア最南端)では、マングローブ林および関連生態系の観察会を行った。植物の他、数種類のサル、オオトカゲ等も現れ、熱帯域の沿岸生態系を身近に感じる事ができた。

トレーニングコースは LI-COR 社の主催により二日間に渡って行われた。フラックス観測に関する理論などの座学のみならず、実際のデータ処理法の講座や観測機器を用いた実践的な体験も行われた。近年、マレーシアでは、マレーシア人自身が運営する

フラックスサイトが急速に増えており、参加者もそれを反映して、マレーシア人が多く参加し、活発な質問や議論などが行われた。

(平田竜一)

11. おわりに

多くの AsiaFlux コミュニティメンバーの尽力によりアジア地域の渦相関法計測データのデータベース化は近年飛躍的な進歩を遂げている。筆者(斎藤)の主観ではあるが、今回のワークショップでは、観測データおよびモデルを用いたサイト間比較研究が多数報告され、データベース化に向けた長年の取り組みにおける一つの大きなフェーズを乗り越えたという印象を受けた。一方で、上記報告にあるように、渦相関法以外の様々な手法を用いた研究報告も数多く見られるようになり、研究ネットワークは確実に拡大している。これらの研究ネットワークの結び付きを強化し分野横断的な研究を推進するために、「タワーフラックス観測を軸にした包括的なデータベース、研究活動に如何に寄与するか」が AsiaFlux コミュニティの今後の重要な課題になるのではないかと感じた。

謝 辞

タンジュンピアイ国立公園およびトレーニングコースのエクスカージョンの情報は小野圭介氏(農環研)および田中佐和子氏(国環研)よりご提供いただいた。

引用文献

- Beer, C., Reichstein, M., Tomelleri, E., Ciais, P., Jung, M., Carvalhais, N., Rodenbeck, C., Arain, M. A., Baldocchi, D., Bonan, G. B., Bondeau, A., Cescatti, A., Lasslop, G., Lindroth, A., Lomas, M., Luysaert, S., Margolis, H., Oleson, K. W., Rouspard, O., Veenendaal, E., Viovy, N., Williams, C., Woodward, F. I., Papale, D., 2010: Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. *Science*, **329**, 834–838.
- 伊藤昭彦, 2002: 陸上生態系機能としての土壌有機炭素貯留とグローバル炭素循環. *日本生態学会誌*, **52**, 189–227.
- Jung, M., Reichstein, M., Ciais, P., Seneviratne, S. I., Sheffield, J., Goulden, M. L., Bonan, G., Cescatti, A., Chen, J. Q., de Jeu, R., Dolman, A. J., Eugster, W., Gerten, D., Gianelle, D., Gobron, N., Heinke, J., Kimball, J., Law, B. E., Montagnani, L., Mu, Q. Z., Mueller, B., Oleson, K., Papale, D., Richardson, A. D., Rouspard, O., Running, S., Tomelleri, E., Viovy, N., Weber, U., Williams, C., Wood, E., Zaehle, S., Zhang, K., 2010: Re-

cent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature*, **467**, 951–954.
奥村智憲・安宅未央子・近藤雅征・望月智貴・吉村謙一・見竹康啓, 2011 : AsiaFlux Workshop 2010

—New challenges of Fluxnet community to resilient carbon/water management—の報告. 生物と気象, **11**, D1–6.