

メタン(CH₄)と一酸化二窒素(N₂O)に関する FLUXNET ワークショップの報告

宮田 明*・岩田拓記**・坂部綾香**

〔 * (独) 農業環境技術研究所
** 京都大学大学院 農学研究科 〕

Report on the FLUXNET Workshop “The importance of land-atmosphere fluxes of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) for the global greenhouse-gas balance

—The need for a FLUXNET-GHG—”

*Akira MIYATA, **Hiroki IWATA, and **Ayaka SAKABE

〔 *National Institute for Agro-Environmental Sciences
**Graduate School of Agriculture, Kyoto University 〕

1. はじめに

2012年9月5日から7日まで、メタン(CH₄)と一酸化二窒素(N₂O)に関するFLUXNETワークショップがフィンランドで開催された。アジア地域では、1999年9月に発足したAsiaFluxが、陸域生態系と大気との間の二酸化炭素(CO₂)、水蒸気およびエネルギーの交換を測定するタワー観測点の国際的なネットワークとしての活動を行っており、定期的に研究集会を開催している(高木ら, 2001; 斎藤ら, 2012)。FLUXNETは、AsiaFluxのような地域ネットワークを包含する世界ネットワーク(Network of regional networks)である。FLUXNET主催のオープンミーティングも不定期に開催されており(Hirano and Saigusa, 2002; Yamamoto *et al.*, 2004; Takagi *et al.*, 2007)、最近では2011年6月にSpecNet (Spectral Network)との合同ワークショップ“FLUXNET and SpecNet Open-Workshop: Towards Upscaling Flux Information from Towers to the Globe”が開催された。

さて、FLUXNETのこれまでの活動はおもにCO₂と水蒸気を対象としてきたが、今回はCH₄とN₂Oをテーマに据えたミーティングが開催された(研究集会

の名称にある“FLUXNET-GHG”の“GHG”はGreenhouse gas (温室効果ガス)の意味)。その背景について、本ワークショップの開催趣旨には以下のように書かれている。「昨年、GHG-Europe, FLUXNET, MethaneNet, European Science Foundationのワークショップなどで、陸面と大気との間のCH₄のフラックスに関する情報の統合に向けた取り組みが始まり、FLUXNET-CH₄を立ち上げようという提案もなされた。しかし、これらの取り組みは、程度の差はあるにせよ、ヨーロッパに偏ったものであったり、参加者数が少なかったりしたので、今回、国際的な、誰でも参加できるワークショップを開催することにした。われわれとしては、このCH₄のデータ統合に向けた取り組みを将来はN₂Oにも拡大することを、最初の段階から議論しておきたい。FLUXNET-GHGを立ち上げる機は熟したように思われる。この研究集会では、CH₄とN₂Oのフラックスデータの利用可能性、CH₄フラックスデータのFLUXNETデータベースへの統合、ガス分析計の相互比較やデータ処理法の標準化などを議論したい…」(本ワークショップの講演要旨集から和訳して転載)。

野外でのCH₄およびN₂Oのフラックスの測定手法は、1980年代まではチャンパー法にほぼ限られていたが、1990年代に入るとCH₄は湿地や水田で、またN₂Oは草地で、微気象学的手法を用いたフラックスの観測が始まり、渦相関法を適用する先駆的な研究も現れた。このように、CO₂とならんで陸域生態系

<http://www.agrmet/sk/2012/D-3.pdf>

2012年11月20日 掲載

Copyright 2012, The Society of Agricultural Meteorology of Japan

が深く関与する温室効果ガスである CH_4 と N_2O のフラックス観測は、その重要性が早くから認識されていたにもかかわらず、これまで FLUXNET の主流に組み込まれることはなかった。その一因としては、 CO_2 がすべての生態系での観測対象となりうるのに対し、 CH_4 は湿地、 N_2O は農地というように観測対象となる生態系が限定されることが考えられる。くわえて、 CH_4 と N_2O については微気象学的手法、なかでも CO_2 で普及した渦相関法を適用するために必要となる性能(濃度分解能、応答性、長期安定性、耐候性、可搬性など)をもつガス分析計がなかったことがあげられる。一般に、1990 年代に渦相関法による CH_4 や N_2O のフラックス測定に使用されたガス分析計は保守が難しく、 CO_2 のように多くの観測点に普及することはなかった。ただし、そのような状況でも、少数の観測点では微気象学的手法を用いた CH_4 や N_2O のフラックスの長期観測研究が、粘り強く継続されてきた。

近年、 CH_4 および N_2O を取り巻く状況は大きく変わりつつある。日本農業気象学会 2012 年度全国大会(2012 年 3 月、大阪府立大学)のオーガナイズドセッション「フラックス観測のためのガス分析計の最新事情」でも研究発表があったように、オープンパス型 CH_4 分析計の実用化や、さまざまなレーザー分光法を用いたクローズドパス型の CH_4 や N_2O 分析計の性能の向上を背景として、渦相関法をはじめとする各種の微気象学的手法による CH_4 や N_2O のフラックスの長期観測を開始する観測点が増加している。2012 年 5 月のアメリカ気象学会 (American Meteorological Society) 主催の研究集会 (30th Conference on Agricultural and Forest Meteorology/First Conference on Atmospheric Biogeosciences) でも、 CH_4 および N_2O のセッションがそれぞれ独立して設けられていた。このように、ガス分析計の性能の向上によって、FLUXNET のなかでも CH_4 および N_2O のフラックス観測を開始する観測点が増えつつある。とくに、 CH_4 については FLUXNET のニュースレターで特集が組まれ、FLUXNET が収集した観測点の情報が公開されている (Baldocchi and Koteen, 2012)。

一方、FLUXNET のデータベースを利用した CO_2 の統合研究は順調に進んでいるが、FLUXNET の観測点数の増加は 2000 年代後半から鈍ってきていること、渦相関法の教科書 (Aubinet *et al.*, 2012) や観測マニュアル (Editorial Board of “Practical Handbook of Tower Flux Observation”, 2012) が刊行され、観測手法に関する研究が一段落したことなどは、FLUXNET が成熟期を迎えつつある兆候とみられる。このような状況で開催された今回の CH_4 と N_2O に関するワー

クショップは、FLUXNET が新たな研究の展開を指向する動きのひとつと考えられる。

2. ワークショップの概要

ワークショップが開催された Hyytiälä Forestry Field Station は、ヘルシンキの北方 210 km に位置し、ヘルシンキからは車で約 3 時間の距離にある。同ステーションはヘルシンキ大学 (University of Helsinki) の演習林として学生の実習等に利用されるとともに、敷地内の森林(ヨーロッパアカマツの人工林)は、周辺の湖沼や湿地も含めて、陸域生態系と大気との相互作用に関する総合的な観測点となっている。同観測点は、フィンランドが国内に整備した SMEAR (Station for Measuring Ecosystem Atmosphere Relations) ネットワークの中心的な観測点であり、ヨーロッパを代表する研究拠点として、さまざまな研究プロジェクトで利用されている。その詳細は、Nikinmaa *et al.* (2011) を参照されたい。なお、本ワークショップを主催したヘルシンキ大学の研究グループは、IGBP (地球圏—生物圏国際協同研究計画) のコアプログラムの一つである iLEAPS (統合陸域生態—大気プロセス研究計画) の国際プロジェクトオフィスを運営する、iLEAPS の主たるスポンサーでもある。

本ワークショップは、 N_2O 、森林、草地、湿地、水面・埋め立て地、極域という研究対象別の 6 つのセッション、ポスターセッション、および FLUXNET テクニカルセッションという CH_4 および N_2O のデータ統合に向けた議論を行うセッションで構成された。総発表件数は 35 件であった。微気象学的手法を用いた CH_4 および N_2O のフラックス観測が増加しつつあるとはいえ、現実には既存のデータの大半はチャンバー法によるものである。このため、今回のワークショップではチャンバー法による CH_4 および N_2O の観測に関する報告も多く、FLUXNET テクニカルセッションでもチャンバー法に関する話題を積極的に取り上げていた点が特徴的であった。参加者はヨーロッパを中心に約 100 名で、日本からの参加者は本報告の筆者ら 3 名であり、アジアからは中国科学院大気物理研究所 (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences) の大学院生 1 名と台湾からの 1 名も参加した。このうち、大気物理研究所の大学院生は N_2O フラックスに関するヘルシンキ大学との共同研究に参画しており、同大学に留学した経験があるということであった。

次節以下では、セッションごとにその内容を網羅的に報告する形式をとらずに、ワークショップ全体を通して筆者らのそれぞれが印象に残った内容について報告する形式をとった。このため、報告内容の

一部に重複がある点はご了承願いたい。

3. CH₄およびN₂Oのフラックス観測の現状

本ワークショップ全体の発表、議論を聴くかぎり、CH₄については渦相関法が急速に広がりつつあるのに対し、N₂Oについては農地を対象とする研究グループや研究プロジェクトが、それぞれの拠点となる観測点に渦相関法システムを導入したり、導入を計画中の段階にあり、CH₄に比べると渦相関法の普及は遅れている。CH₄とN₂Oとの違いはガス分析計の性能、とくにLICOR社(米国)のオープンパス型CH₄分析計が市販されたことが大きい。同社の分析計は、上側のミラーの汚れ、気温測定用の熱電対の破損、密度変動補正の大きさなどの実用上の問題はあるが、オープンパス型なので低電力で稼働でき、遠隔地の観測点にも容易に設置できるというメーカー側の開発方針が、利用者に受け入れられている状況にある。ただし、このガス分析計を使って長期の観測データが蓄積されるのはこれからであり、現時点で利用可能なCH₄フラックスの長期観測データとしては、湿地や極域で各社のクロードパス型分析計を利用して観測したものが大半を占めている(Baldocchi and Koteen, 2012)。一方、農地における微気象学的手法によるN₂Oフラックスの観測には濃度勾配からフラックスを求める各種の方法が適用された例が多いが、近年は渦相関法による研究も増えつつある(Skinner and Wagner-Riddle, 2012)。

筆者自身の発表のなかで、AsiaFlux観測点でのCO₂以外のガスフラックスの観測状況の調査結果を報告し、水田(真瀬サイト)での傾度法を用いたCH₄フラックスの観測や、植山(大阪府立大学)らによる森林(富士北麓サイト)でのREA法によるCH₄フラックスの観測の事例を紹介した。しかし、今回のワークショップでは、このような渦相関法以外の微気象学的手法によるCH₄とN₂Oのフラックス観測の発表はきわめて少なかった。これは、第1節で触れたアメリカ気象学会主催の研究集会で、さまざまな微気象学的手法による研究成果(CH₄とN₂O以外の微量気体も含む)が発表されていたこととは対照的であった。

(宮田 明)

4. 森林におけるCH₄交換

近年、森林に対しても渦相関法を用いてCH₄交換を測定する試みが行われてきている。今回のワークショップでは、筆者らによるアラスカ北方林での測定やGrace(University of Edinburgh, UK)らによるペルーの熱帯雨林での測定が紹介された。森林上での

渦相関法による測定の問題点としては、フラックス自体が小さいため、測定されるデータの解釈が困難であることがあげられる。Graceらは測定されたCH₄フラックスが日変化を有し、昼間に下向き輸送、夜間に上向き輸送となっていることを示した。しかし、この日変化は土壤微生物によるメタン生成・酸化を直接的に表しているのではなく、メソスケールの大気循環を反映しているのではないかと述べていた。筆者らはアラスカのクロトウヒ林が日中夜間ともに弱いメタンソースであることを示し、オープンパス型とクロードパス型の分析計で測定したCH₄フラックスが日中に相違を示すことを発表した。

Baldocchi(University of California Berkeley, USA)は、渦相関法によって測定されるCH₄フラックスの精度を確認するために、アスファルト上でクロードパス型(Los Gatos Research社のFMA)とオープンパス型(LICOR社のLI7700)の分析計を用いたゼロフラックス測定の例を紹介した。その結果によると、両分析計で測定されるフラックスは平均的にはゼロであったが、データのばらつきはLI7700によるものの方が大きかった。また、LI7700が検出できるCH₄フラックスの下限は3-5 nmol m⁻² s⁻¹程度であると報告されたが、これは森林で測定されるCH₄フラックスとほぼ同じレベルである(たとえば、Querino *et al.*, 2011)。このことから、現状では森林でCH₄フラックスを測定する場合には、比較的精度の高いクロードパス型分析計を適用することが望ましいと言える。

また、チャンバーを用いて湿地に生育している樹木からのCH₄放出を測定した例がGauci(Open University, UK)により紹介され、樹木を経由したメタン放出が無視することのできない量であることが示された。樹木がCH₄交換に寄与しているかどうかについては、それを肯定する結果と否定する結果が見られる(Takahashi *et al.*, 2012)が、種によって異なるのか、環境要因により変化するのかなどを明らかにしていく必要があるかもしれない。

(岩田拓記)

5. CH₄, N₂O交換の空間的非一様性

ワークショップを通して、CH₄やN₂O交換は、水蒸気やCO₂交換に比べて空間的な非一様性が大きいということが問題として取り上げられていた。たとえば、CH₄フラックスは土壤の酸化還元電位や利用可能な基質の量などによりその大きさや向きが異なるため、ソース・シンクの空間変動がより大きくなる傾向がある。このような状況下ではチャンバーを用いてエリアを代表するフラックスを測定すること

が困難であり、渦相関法などの微気象学的手法への期待は大きい。今回の発表でも、渦相関法とチャンパー法の両方を適用している研究がほとんどであった。

空間的非一様性はフラックスデータの補間にも影響を与える。通常、渦相関法によって測定されたデータは品質管理が行われ、ある基準を満たさないデータは解析から除外され、フラックスと環境要因の関係によりデータ補間が行われる。しかし、空間的非一様性が大きいとフラックスと環境要因の関係付けが難しくなり、データ補間の信頼性も下がってしまう。とくに N_2O 交換は時空間的な非一様性が大きく、ホットスポット的な放出が起こるため、フラックスデータの補間が非常に困難であるという認識がワークショップ中に示された。

(岩田拓記)

6. チャンパーフラックス

本ワークショップでは、チャンパー法についての議論が主要なトピックスの一つであった。時空間的な不均一性の高い N_2O 、 CH_4 フラックスの詳細を明らかにするために、多くの研究で渦相関法とチャンパー法が併用されていた。

Skiba (Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK) は、農地において渦相関法とチャンパー法により土壌からの N_2O フラックスの測定を行い、両者の比較を行った。チャンパー法による結果から、 N_2O フラックスは数 cm スケールの空間的不均一性を持ち、時間によってホットスポットの位置が変化するということが報告された。渦相関法との比較では、チャンパー法によるフラックスが渦相関法に比べ少し大きいものの、両者のオーダーは同程度であり、季節変化パターンが類似しているという結果が報告された。チャンパー法によるフラックスをアップスケールし、タワースケールのフラックスと比較することは、FLUXNET の今後の課題の一つにあげられているが、現段階は、オーダー、季節変化が概ね同じという結果にとどまるようである。

Levy (Centre for Ecology & Hydrology, Edinburgh, UK) は、LICOR 社の LI7700 と LI7500 というオープンパス型ガス分析計をチャンパーの中に組み込んだシステムを作成して、 CH_4 と CO_2 のフラックスを測定する計画を紹介していた。このチャンパーではポンプによるサンプル空気の循環をする必要がなく、多点での測定を容易にする工夫となっている。

Kutsch (Institute of Agricultural Climate Research, Braunschweig, Germany) は、チャンパー法に基準が必要であると提案した。具体的には、チャンパーのデ

ザイン、チャンパー内のファンの有無、土壌カラーの深さ、データの処理方法、補助的にとるべきデータなどについての基準である。彼らは、2012 年の 11 月から 2013 年にかけて、草原で渦相関法とチャンパー法との比較実験を行う予定である。チャンパー法の基準化をめぐり、上記の各項目についての議論が盛り上がった。たとえば、チャンパー内の空気の混合は必要であるが、ファンを付けるとチャンパー内の環境が変化してしまう。結局、ファンの必要性の有無については結論が出なかった。チャンパー法の基準化を図るにあたって、今後、比較実験を行っていく必要性を感じた。

Gauci (前出) は、チャンパー法により樹木からの CH_4 フラックスを調べた。その結果、樹木からの CH_4 放出は土壌で生成された CH_4 を運ぶ重要な役割を果たしていることが示された。こういった、コンパートメントごとのシンク・ソース強度を評価するには、チャンパー法が欠かせない。

新たな分析装置が開発され、渦相関法による CH_4 フラックスの測定がさまざまな生態系で展開されるようになり、 CH_4 フラックスの大きさや変動の様子がわかってきた。今後、 CH_4 フラックスが何によって規定されているのか、生態系のどの構成要素で、どれほどのフラックスがあるのかをより細かなスケールで調べていくために、チャンパー法による測定は有益な情報をもたらすであろう。また、 CH_4 フラックスの単位が議論された結果、重量を mg で表すと炭素の重量なのか、 CH_4 の重量なのかを瞬時に判断できないという理由で、 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を使用するという結論が出された。

(坂部綾香)

チャンパー法のなかでも、 N_2O および CH_4 については、非定常・閉鎖型の手動チャンパーの使用頻度が高いが、上記の報告にあるように、その規格はさまざまである。さまざまな材質、形状のチャンパーが計測に利用されており、チャンパーの空気を採取する方法や採取の時間間隔、濃度の時間変化からフラックスを決定する方法も統一されていない。チャンパー法によるフラックスデータの標準化のためには、最終的なフラックスの値だけではなく、フラックスを決定するために使われたそれぞれの濃度データも収集すべきであるという提案もあった。日本国内で、実際にこれを実行しているプロジェクトもある。チャンパー法によるフラックスデータの標準化、なかでも非定常型チャンパー法によるフラックスのバイアス (“Chamber effect”) とその補正は古くから議論されてきた課題である。最近の報告 (Venterea *et al.*, 2012) を読んだときには議論は収束の方向に向

かっているとの印象を受けたが、本ワークショップでの議論を聴くと、チャンバー法によるフラックスデータの標準化は道半ばの感がある。

チャンバー法の相互比較に関して注目されるのは、InGOS (Integrated Non-CO₂ Greenhouse gas Observing System) プロジェクトのなかで、ヘルシンキ大学のグループが 2013 年に計画している N₂O チャンバーの比較実験である。本ワークショップに先立って行われた InGOS のミーティングでの発表によれば、この比較実験は野外ではなく、CO₂ チャンバーの比較実験 (Pumpanen *et al.*, 2004) で使用した装置を使って実施する予定とのことであった。一方、上記の報告にあるように、N₂O フラックスに関するチャンバー法と渦相関法との比較観測の結果や計画に関する報告も複数あったが、その狙いがよくわからなかった。N₂O に関するチャンバー法と微気象学的手法による比較観測は、これまでも報告がある (たとえば、Smith *et al.* (1994) ; Jones *et al.* (2011)) が、二つの手法間でフラックスの大きさに差がみられても、その原因がフラックスの空間的な不均一性によるのか、手法間差によるのかを明確にすることは難しい。以前に比べてガス分析計の性能が格段に向上し、フラックスフットプリントの解析技術が進歩したとはいえ、場所による違いが大きい N₂O フラックスについて、微気象学的手法とチャンバー法とで単にフラックスの平均値を比較しても、意味のある結果を得るのは難しいだろう。両者の比較観測を行う場合には、たとえば、手動チャンバー法による高頻度測定 (あるいは自動チャンバー法による連続測定) の結果を渦相関法と比較し、フラックスの日変化パターンを議論するなど、目的を明確にする必要があると感じた。これは、手動のチャンバー法で得られた低頻度のフラックスデータにもとづく N₂O の排出係数 (農地へ肥料として投入された窒素量に対する N₂O の発生量の割合) の不確かさを議論する場合に有益だろう。

(宮田 明)

7. FLUXNET-GHG に向けた議論

FLUXNET テクニカルセッションでは、現在の FLUXNET を牽引する Papale (University of Tuscia, Italy), Baldocchi (前出), Reichstein (Max Planck Institute für Biogeochemistry, Jena, Germany) の 3 氏が進行役を務め、CH₄ および N₂O のフラックスのデータ統合に向けた議論が行われた (図 1)。まず、Papale が CO₂ フラックスの統合解析に関する経験を踏まえて、CH₄ および N₂O の統合解析をどのように進めるべきか、という話題提供を行った。Papale によれば、



図 1 FLUXNET テクニカルセッションで進行役を務める、(左端から) Reichstein, Baldocchi, Papale の 3 氏。

2007 年に La Thuile (イタリア) で開催されたワークショップ (Takagi *et al.* (2007) 参照) での呼びかけにより、253 観測点から合計で 960 年分のデータが集まり、2011 年の新たなデータ提供の呼びかけに対しては、360 観測点から合計で 2000 年分のデータが提出された。このことから、各観測点の責任者は FLUXNET としての共同研究とデータ共有の重要性を理解してくれたものと考えており、それがさまざまな技術的な発展や科学的な発見につながったことを高く評価したいということであった。また、CH₄ と N₂O に関しては、基本的にはこれまでの方法を踏襲して統合解析を進めることになるが、まずデータの標準化を進めるうえで、できるだけ多くの観測点のデータが必要であり、現状ではチャンバーによる観測データを含めることが必要であるという話であった。フラックス測定手法の統一が FLUXNET の特長であることから考えると、チャンバー法のデータを統合解析に含めるかどうかという点は FLUXNET の本質に関わる問題であるが、CH₄ および N₂O については使用できるデータの多くがチャンバーによるものであるという現実を踏まえての判断と思われる。議論の結果、データ統合のためのデータベースとしては既存のデータベース (European fluxes database cluster, <http://www.europe-fluxdata.eu/>) を利用し、補助的なデータの提出も、同データベースにすでに準備されている様式を利用することが了承された。

(宮田 明)

FLUXNET テクニカルセッションでは、生態系での CH₄ や N₂O の交換に関して、今後、どのような統合解析を進めるべきかについて話し合われた。まず、草原、水田、湿地のデータの統合解析が取り上げら

れ、それぞれの生態系での温室効果ガスフラックスと気象条件の関係を明らかにすることが目標とされた。とくに、水田はモンスーンアジアの主要な農地であり、日本の研究者の寄与が期待されると思う。

渦相関法やチャンパー法のデータ解析手法に関しても、統合的に解析すべき課題がリストアップされた。渦相関法では、データ補間、 u^* フィルタリング、フラックスフットプリント解析を用いて CH_4 交換の空間的非一様性がフラックス測定に与える影響を評価すること、フラックスの不確定性の評価などがあげられた。チャンパー法では、チャンパーの様式の違いがフラックスに与える影響の評価や、スケールアップ手法の評価などがあげられた。また、サイトレベルでの CH_4 、 N_2O 交換モデルの評価、チャンパーをスケールアップした結果とタワーで測定したフラックスとの比較、オープンパスやクローズドパスの渦相関法、REA 法などの微気象学的手法間の比較なども、今後研究すべき課題としてあげられた。

(岩田拓記)

8. おわりに

本報告の最後に、筆者ら 3 名の感想を述べてまとめとしたい。

ワークショップ中には懇親会として Boreal dinner とよばれる夕食会が催された(図 2)。これは観測ステーション近くの北方林内での夕食で、焚き火を囲んでリラックスした雰囲気、フィンランドの食事や他国の研究者との交流を楽しむことができた。また、観測ステーションの敷地内にはサウナもあり、ワークショップ後にはフィンランドの文化に触れることもできた。

今回のワークショップに参加して、日本やアジアのフラックス観測研究者がどのように FLUXNET に関与していくべきであるかを考えさせられた。FLUXNET は世界的なネットワークであるにもかかわらず、



図 2 Boreal dinner の開始。

ならず、今回のワークショップへのアジアからの参加者は筆者らの 3 人と中国から 1 人、台湾から 1 人だけであり、その他のほとんどがヨーロッパや米国の研究者であった。JapanFlux も FLUXNET の一員として、データ共有、統合解析に参加していくのか、それともアジアはアジアで協力を進めていくのか、今後議論が必要であると思う。

(岩田拓記)

筆者は、今回のワークショップにおいて、森林(桐生水文試験地)での REA 法による CH_4 フラックス観測についてポスター発表を行った。森林における CH_4 フラックスは小さく、湿地などの大きなソースに比べ測定が困難なことからタワーフラックスの研究例は少ない。本ワークショップで、同じく森林(ペルーの熱帯雨林)で LI7700 を用いて、渦相関法で CH_4 フラックスを観測している Grace 氏と議論する機会を持てたことは、筆者にとって有意義な情報交換の場となった。議論の焦点は、両者の CH_4 フラックスの日変化の相違についてであった。観測された日変化が現象を捉えているのか、測定方法の問題であるのかを明らかにするために、 CH_4 に関しては一つの手法を是とするのではなく、渦相関法、REA 法、傾度法などの異なる手法や異なる測器を用いて比較観測を行い、検証することもまだ必要であると感じた。また、 CH_4 フラックスの変動要因を解明するために、補助的に何のデータをどのように記録するかは、各研究グループによって異なるため、本ワークショップのような場で情報交換を行うことは、研究を進める上でとても重要であると感じた。

(坂部綾香)

FLUXNET-GHG に向けた議論のなかで、Papale は 2011 年 11 月に Johor Baru (マレーシア)で開催された AsiaFlux Workshop 2011 でのデータ共有に関する議論(斎藤ら(2012)の「8. データシェアリング」を参照)に言及し、データの共有に対しては異なる意見もあるが、ここで CH_4 と N_2O のデータ共有について合意できるかどうか大きな分岐点になる、ということ強調していた。データ共有に関して、FLUXNET 側は「グローバルな解析をするために FLUXNET のデータベースを使うのであり、個々の観測点に関する論文を書くのではない。競合はしないので、FLUXNET のデータベースに AsiaFlux からもっと多くのデータを提供してほしい」と主張している。実際、最近の FLUXNET のデータベースを用いた統合解析では、個々の観測点名は出さずに、生態系タイプごとの観測点数を示すだけの論文も増えてきている。各観測点の責任者が、FLUXNET データベースに提供した観測データを利用したという連

絡を受けても、自分の観測点のデータを判別できない場合も多く、上記の FLUXNET の主張を裏付けている。とはいえ、AsiaFlux Workshop 2011 でも議論があったように、FLUXNET の主張は AsiaFlux の現状を十分に理解しているとは言えない。

今回のワークショップに参加しての率直な感想は、ヨーロッパ(あるいは FLUXNET)とアジア(AsiaFlux)とを比較して、個々の観測点での研究のレベルに大差はないが、ネットワークとしての力量の違いは依然として大きいということである。実際、CH₄ や N₂O のフラックスのデータを FLUXNET にすぐに提供できる AsiaFlux の観測点がいくつあるだろうか考えると、FLUXNET-GHG に向けた議論はアジアのはるか彼方で行われているように感じた。しかし、そのような状況でも、たとえば CH₄ フラックスのデータの標準化のように、個別のテーマでアジアの研究者が貢献できる、あるいは主導できる課題はあるだろう。AsiaFlux としては、FLUXNET-GHG に同調できる観測点やグループが積極的に関与し、そのようなグループがアジアでの CH₄ や N₂O を含めた統合研究を牽引できれば理想的である。

(宮田 明)

謝辞

本ワークショップへの参加に際して、宮田は農林水産省委託プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」、岩田と坂部は日本学術振興会科学研究費の支援を受けました。

引用文献

- Aubinet, M., Vesala, T. and Papale, D. (eds.), 2012 : *Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis*. Springer, Heidelberg, 438p.
- Baldocchi, D. and Koteen, L., 2012 : Methane flux measurements, new opportunities for FLUXNET. *FluxLetter*, **4**(3), 1-5. (http://fluxnet.ornl.gov/sites/default/files/FluxLetter_Vol4_No3.pdf, accessed 2012-10-17).
- Editorial Board of "Practical Handbook of Tower Flux Observation" (ed.), 2012 : *Practical Handbook of Tower Flux Observation*. Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Product Research Institute, Sapporo, 195p. (http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/flux/manual_e.html, accessed 2012-10-17).
- Hirano, T. and Saigusa, N., 2002: Report of the FLUXNET meeting held in San Francisco. *AsiaFlux Newsletter*, **1**, 4-5. (http://www.asiaflux.net/newsletter/AsiaFlux_Newsletter_01.pdf, accessed 2012-10-17).
- Jones, S. K., Famulari, D., Di Marco, C. F., Nemitz, E., Skiba, U. M., Rees, R. M. and Sutton, M. A., 2011: Nitrous oxide emissions from managed grassland: a comparison of eddy covariance and static chamber measurements. *Atmos. Meas. Tech.*, **4**, 2179-2194.
- Nikinmaa, E., Kulmala, L., Bäck, J., Juurola, E., Kolari, P., Korhonen, J., Pihlatie, M., Porcar-Castell, A., Pumpanen, J., Rinne, J. and Vesala, T., 2011: Versatile investigations to reveal ecosystem-atmosphere interactions at a boreal flux station SMEAR II in Hyytiälä, Finland. *FluxLetter*, **4**(2), 21-27. (http://bwc.berkeley.edu/FluxLetter/FluxLetter_Vol4_No2.pdf, accessed 2012-10-17).
- Pumpanen, J., Kolari, P., Ilvesniemi, H., Minkinen, K., Vesala, T., Niinistö, S., Lohila, A., Larmola, T., Morero, M., Pihlatie, M., Janssens, I., Yuste, J. C., Grünzweig, J. M., Reth, S., Subke, J. -A., Savage, K., Kutsch, W., Østregren, W. G., Ziegler, W., Anthoni, P., Lindroth, A. and Hari, P., 2004: Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO₂ flux. *Agric. Forest Meteorol.*, **123**, 159-176.
- Querino, C. A. S., Smeets, C. J. P. P., Vigano, I., Holzinger, R., Moura, V., Gatti, L. V., Martinewski, A., Manzi, A. O., de Araújo, A. C. and Röckmann, T., 2011: Methane flux, vertical gradient and mixing ratio measurements in a tropical forest. *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 7943-7953.
- 斎藤 琢・坂部綾香・吉澤景介・鎌倉真依・安立美奈子・平田竜一, 2012: AsiaFlux Workshop 2011 "Bridging Ecosystem Science to Services and Stewardship"の報告, 生物と気象, **12**, D3-9.
- Skinner, R. H. and Wagner-Riddle, C., 2012: Micrometeorological methods for assessing greenhouse gas flux. In: *Managing Agricultural Greenhouse Gases: Coordinated Agricultural Research through GRACenet to Address our Changing Climate* (ed. by Liebig, M. A., Franzluebbers, A. J. and Follett, R. F.), Academic Press, pp. 367-383.
- Smith, K. A., Clayton, H., Arah, J. R. M., Christensen, S., Ambus, P., Fowler, D., Hargreaves, K. J., Skiba, U., Harris, G. W., Wienhold, F. G., Klemmedtsson, L and Galle, B., 1994. Micrometeorological and chamber methods for measurement of nitrous oxide fluxes between soils and the atmosphere: overview and conclusions. *J. Geophys. Res.* **99**(D8), 16, 541-16, 548.
- Takagi, K., Lee, D. and Tamai, K., 2007: Report on the

- FLUXNET Synthesis Workshop 2007. *AsiaFlux Newsletter*, **21**, 1–6. (http://www.asiaflux.net/newsletter/no21_2007.pdf, accessed 2012-10-17).
- 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(1)**, 23–28.
- Takahashi, K., Kosugi, Y., Kanazawa, A. and Sakabe, A., 2012: Automated closed-chamber measurements of methane fluxes from intact leaves and trunk of Japanese cypress. *Atmos. Environ.*, **51**, 329–332.
- Venterea, R. T. and Patkin, T. B., 2012: Quantifying biases in non-steady-state chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange. In: *Managing Agricultural Greenhouse Gases: Coordinated Agricultural Research through GRACEnet to Address our Changing Climate* (ed. by Liebig M. A., Franzluebbers, A. J. and Follett, R. F.), Academic Press, pp. 327–343.
- Yamamoto, S., Ito, A. and Miyata, A., 2004: Report on the FLUXNET 2004 Open Workshop; Celebration 10 years since La Thuile and Planning for the Future. *AsiaFlux Newsletter*, **12**, 10–12. (http://www.asiaflux.net/newsletter/AsiaFlux_Newsletter_12.pdf, accessed 2012-10-17).