
学会賞受賞記念講演要旨

生物と気象 (*Clim. Bios.*) 10:F-10, 2010

<http://www.soc.nii.ac.jp/agrmet/sk/2010/F-3.pdf>

2010年8月26日掲載

<http://www.agrmet.jp/sk/2010/F-3.pdf>

長期フラックス観測に基づく森林生態系の 炭素収支に関する研究

平野高司

北海道大学大学院農学研究院

Studies on the carbon balance of forest ecosystems by long-term CO₂ flux monitoring

Takashi HIRANO

Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

1. はじめに

本研究は、微気象学を基礎としたフラックス観測による長期連続データを利用して、森林生態系における二酸化炭素 (CO₂) の収支を定量化するとともに、CO₂ フラックスの環境依存性や季節変化、環境攪乱の影響などを評価したものです。乱流フラックスなどの接地気象は、日本農業気象学会が先導してきた研究分野であり¹⁾、現在においても主要な研究テーマのひとつであると位置付けられています。私の研究が、この分野で伝統と実績のある日本農業気象学会において評価され、名誉ある学術賞の対象となったことは光栄の極みであります。今回の受賞に慢心することなく、後進の励みとなるよう研究を進めるとともに、教育、指導にも一層力を注ぎたいと存じます。なお、本研究を行う上で、観測サイトの整備、管理、運営にご尽力いただいた国立環境研究所、北海道大学およびパランカラヤ大学の皆さまに深く感謝いたします。また、暖かい激励をいただいた東京農工大学の青木正敏先生、ならびにご推薦いただいた生研センターの清野野さんに心よりお礼申し上げます。

2. フラックス観測に至るまで

フラックス観測に関連した研究の始まりは、北海道大学農業物理学研究室の学生の頃にさかのぼります。堀口郁夫先生のもとで農耕地や小湖沼の熱収支 (蒸発散) に関する研究を行いました。研究室の先輩である松岡延浩さん (現千葉大学) に教えていただきながら傾度法やトラバース法を用いて現地観測を行い、何とか修士論文としてまとめることができました。その後、民間企業を経て大阪府立大学環境調節工学研究室の助手に就任しました。この研究室は、当時学長であった矢吹萬壽先生が創設されたもので、植物のガス交換に関する研究が活発に行われていました。私は、2代目の教授である相賀一郎先生のもとで、主に大気汚染物質の植物への影響に関する研究を行い、自作した同化箱 (チャンバー) を用いて個葉・個体スケールでの光合成速度を測定していました。このころからから群落スケールでの CO₂ 収支を評価したいと考えていました。幸いなことに、同大学農業気象環境学研究室と共同でタイのマングローブ林の CO₂ 収支に関する研究

を行うことになり、文字信貴先生、鱧谷憲さんと CO₂ フラックス観測を行う機会を得ました²⁾。私の担当は、携帯型チャンバーシステムを利用した個葉の光合成や樹液流の観測³⁾などでしたが、共同研究を行うことでフラックス観測に関する多くの知識を得ることができ、また貴重な経験を積むことができました。この観測研究で、鱧谷さん自作の超音波風速計や観測システムが大活躍しました。

3. 森林におけるフラックス観測

私自身が主体的に森林のフラックス観測を行うようになったのは、1998年に北海道大学農学部に異動した後です。当初は予算も設備も無かったので、まず北海道大学苫小牧研究林において土壌呼吸に関する研究を始めました。土壌中での CO₂ 濃度の時空間変動や CO₂ 発生速度の鉛直分布を連続的に評価することを目指しました。しかし、従来の方法では、CO₂ 濃度を測定するために土壌空気を吸引採取する必要がありました。負圧が生じて空気の移流が発生するため、この方法では連続測定は不可能です。そのため、比較的安価な小型赤外線 CO₂ 分析計を複数深度に埋設し、CO₂ 濃度を直接測定することを試みました。1週間でもデータが得られれば成功だと考えていたのですが、複数年にわたって土壌 CO₂ 濃度を連続観測することができ、CO₂ 濃度の降雨後の挙動、CO₂ 発生量の鉛直分布、積雪下での CO₂ 発生速度のダイナミックな時間変化などが明らかとなり、北方林土壌における CO₂ 動態を評価することができました^{4, 5)}。これらは、土壌中 CO₂ 濃度を長期連続測定することに世界で初めて成功した研究だと自負しています。

2000年になり、国立環境研究所の研究プロジェクト「北方林における温室効果ガスフラックスモニタリング」が始まりました。このプロジェクトは、地球規模での炭素循環における北方林(カラマツ林)の役割を定量評価することを目的としたもので、CO₂ フラックスの長期連続観測や森林生態系の生理生態学的機能の調査などからなる総合観測研究でした。苫小牧研究林に隣接した国有林内のカラマツ林まで電気が敷設され、観測タワーが2基建設されました。国環研の藤沼康実さんからのお誘いを受けて研究に参加し、やっと渦相関法によるフラックス観測研究を始めることができました。平坦な地形のほぼ均質な植生(植林地)という理想的な条件を満たしているとともに、設備や保守・管理の体制が整っており、他に類を見ないすばらしい観測サイトであったといえます。農業環境技術研究所の原菌芳信さんのアドバイスを受けながら解析を行い、2003年にフラックス観測の結果を報告することができました⁶⁾。また、国環研の梁乃申さんとの共同研究により、土壌呼吸のデータを発表しました⁷⁾。この時期、私は本学会のフラックス観測・評価研究部会(代表:文字先生)の幹事を務めており、部会の報告書⁸⁾の執筆・編集を行いました。なお、学部生および大学院生の教育研究などに本サイトを随分利用させていただきました⁹⁻¹⁴⁾。博士課程の学生であった平田竜一さん(現北海道大学)は、渦相関法に用いられる赤外線 CO₂ 分析計のタイプにより CO₂ フラックスの値が系統的にずれることを明らかにし、フラックス観測の問題点を指摘しました^{15, 16)}。しかし、残念ながら、本サイトは2004年9月の台風18号により甚大な風倒被害を受け、プロジェクトの中止を余儀無くされました。台風被害の連絡を受け、全国大会が開催されていた福岡から直接現地に向かったのですが、倒木を乗り越えた先に無残にN字型に折れ曲がった観測タワーの姿がありました。なお、2005年以降、大規模自然撓乱が北方林の炭素交換量および蓄積量に与える影響の評価という新たなテーマを掲げ、観測研究を継続しています。

苫小牧のカラマツ林と合わせて、インドネシアの熱帯泥炭林においてもフラックス観測研究を始めました。日本学術振興会の拠点大学間交流事業の一環として、2001年から中部カリマンタン州の熱帯泥炭林においてタワー観測を継続しています。2004年には科学研究費補助金によりサイトを増設し、現在は 1) 未排水の泥炭林、2) 排水された泥炭林、3) 排水された火災跡地、の 3

サイトにおいて観測を行っています。その結果、膨大な炭素を泥炭土壌に貯留する熱帯泥炭林の炭素収支の季節変化、年次変動、地下水位との関係などを明らかにするとともに、エルニーニョ現象にともなう乾燥化、および森林伐採や排水などの環境攪乱が炭素収支に与える影響を評価することができました¹⁷⁻¹⁹⁾。また本年度より、これらインドネシアの3サイトも含めて、日本の研究者が運営している東南アジアの11の森林サイトをネットワーク化し、大気と森林生態系の間の相互作用を総合的に解析する研究を開始しました²⁰⁾。さらに、北海道大学の浦野慎一先生らと、アラスカの湿原においてミズゴケ群落のCO₂交換特性に関する研究を行いました²¹⁾。現在は、北海道のサラベツ湿原に場所を移し、ミズゴケ湿原のエネルギーおよびCO₂の収支に関する研究を行っています。

4. おわりに

苫小牧でフラックス観測研究が始まった頃には、観測機器やシステムが飛躍的に発展して、10年くらい経つとフラックス観測は通常の気象観測のようにルーティン化するだろうと思っていました。しかし、フラックス計算における補正や欠測補間にはサイト依存性があり、データ処理には専門的な知識が必要です。また、新たな補正の必要性が明らかになることもあり、その場合には再計算しなければなりません。さらに、機器やシステムは故障します。そのため、観測サイトを管理・運営し、研究に使えるフラックスデータを得るには、かなりの手間がかかるとともに、それなりの予算も必要になります。観測サイトのネットワーク化が急速に進んでおり、データベースを整備し、統合解析（サイト間比較など）やリモセン、陸域生態系モデルの研究グループへのデータ提供を促進するために、標準的なデータ処理プロトコルや計算プログラムの開発が行われています。これらのプログラムなどを利用することで、将来的にはフラックス観測がルーティン化されることを期待していますが、まだ少し時間がかかるかもしれません。現在、私は、小規模なものも含めて6基のフラックスタワーの管理・運営を行っており、未処理のバイナリーデータが溜まりつつあります。環境攪乱をターゲットにしたサイト設計をしており、興味深いデータが得られているはずなので、効率的にデータ処理を行い、すばやく情報発信していきたいと思えます。また、フラックスデータの共有化・データベース化にも貢献していきたいと考えております。

最後に、日本国内のフラックス観測研究ネットワークである JapanFlux (<http://www.japanflux.org/index.html>) の活動について少しご紹介させていただきます。JapanFluxは、若手研究者の育成などを目的に、2007年より中国 (ChinaFlux)、韓国 (KoFlux) との国際共同研究 (日本学術振興会、日中韓フォーサイト事業) (<http://www.carboeastasia.org/index.html>) を実施しています。本事業の研究成果を学術誌 (Biogeosciences) の特集号として出版しています。論文が順次アップロードされますので、興味のある方は特集号のウェブサイト (http://www.biogeosciences.net/special_issue63.html) をご覧ください。

文献

- 1) 原蘭芳信・平野高司・三枝信子・大谷義一・宮田明・大滝英治・文字信貴, 2003: 地球環境研究におけるフラックス長期観測の役割と最近の動向, 農業気象, **59**, 69-80.
- 2) Monji, N., Hamotani, K., Hirano, T., Yabuki, K. and Jintana, V., 1996: Characteristics of CO₂ flux over a mangrove forest of southern Thailand in rainy season. *J. Agric. Meteorol.*, **52**, 149-154.
- 3) Hirano, T., Monji, N., Hamotani, K., Jintana, V. and Yabuki, K., 1996: Transpirational characteristics of mangrove species in southern Thailand. *Environ. Control Biol.*, **34**, 285-293.

- 4) Hirano, T., Kim, H. and Tanaka, Y., 2003 : Long-term half-hourly measurement of soil CO₂ concentration and soil respiration in a temperate deciduous forest. *J. Geophys. Res.*, **108(D20)**, doi:10.1029/2003JD003766.
- 5) Hirano, T., 2005 : Seasonal and diurnal variations in topsoil and subsoil respiration under snowpack in a temperate deciduous forest. *Global Biogeochem. Cycles*, **19**, GB2011, doi: 10.1029/2004GB002259.
- 6) Hirano, T., Hirata, R., Fujinuma, Y., Saigusa, N., Yamamoto, S., Harazono, Y., Takada, M., Inukai, K. and Inoue, G., 2003 : CO₂ and water vapor exchange of a larch forest in northern Japan. *Tellus*, **55B**, 244-257.
- 7) Liang, N., Nakadai, T., Hirano, T., Qu, L., Koike, T., Fujinuma, Y. and Inoue, G., 2004 : In situ comparison of four approaches to estimating soil CO₂ efflux in a northern larch (*Larix kaempferi* Sarg.) forest. *Agric. For. Meteorol.*, **123**, 97-117.
- 8) 日本農業気象学会フラックス観測・評価研究部会, 2002 : フラックス観測の最近の進歩, 日本農業気象学会フラックス観測・評価研究部会編, 52 p.
- 9) 三浦昌孝・平野高司・平田竜一・最上純一・犬飼孔・藤沼康実, 2003 : カラマツ林の熱収支に与える貯熱変化量の影響, 農業気象, **59**, 245-250.
- 10) Hirata, R., Hirano, T., Okada, K., Fujinuma, Y., Inukai, K., Saigusa, N. and Yamamoto, S., 2005 : Effects of wind speed and direction on eddy fluxes over a larch plantation. *J. Agric. Meteorol.*, **60**, 741-744.
- 11) Mogami, J., Hirano, T., Hirata, R., Kitaoka, S., Koike, T. and Fujinuma, Y., 2005 : Variation in photosynthetic photon flux density on a larch forest floor. *J. Agric. Meteorol.*, **60**, 1161-1163.
- 12) Kim, H., Hirano, T. and Urano, S., 2005 : Seasonal variation in CO₂ production of leaf litter from different deciduous forests at the early decomposition stage. *J. Agric. Meteorol.*, **61**, 95-104.
- 13) Kim, H., Hirano, T., Koike, T. and Urano, S., 2005 : Contribution of litter CO₂ production to total soil respiration in two different deciduous forests. *PHYTON*, **45**, 385-388.
- 14) Ooba, M., Hirano, T., Mogami, J., Hirata, R. and Fujinuma, Y., 2006 : Comparisons of gap-filling methods for carbon flux data set: a combination of a genetic algorithm and an artificial neural network. *Ecol. Modeling*, **198**, 473-486.
- 15) Hirata, R., Hirano, T., Mogami, J., Fujinuma, Y., Inukai, K., Saigusa, N. and Yamamoto, S., 2005 : CO₂ flux measured by an open-path system over a larch forest during the snow-covered season. *PHYTON*, **45**, 347-351.
- 16) Hirata, R., Hirano, T., Saigusa, N., Fujinuma, Y., Inukai, K., Kitamori, Y., Takahashi, Y. and Yamamoto, S., 2007 : Seasonal and interannual variations in carbon dioxide exchange of a temperate larch forest. *Agric. For. Meteorol.*, **147**, 110-124.
- 17) Hirano, T., Segah, H., Limin, S., June, T., Tuah, S.J., Kusin, K., Hirata, R. and Osaki, M., 2005 : Energy balance of a tropical peat swamp forest in Central Kalimantan, Indonesia. *PHYTON*, **45**, 67-71.
- 18) Hirano, T., Segah, H., Harada, T., Suwido, L., June, T., Hirata, R. and Osaki, M., 2007 : Carbon dioxide balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia. *Global Change Biol.*, **13**, 412-425.
- 19) Hirano, T., Jauhainen, J., Inoue, T. and Takahashi, H., 2009 : Controls on the carbon balance of tropical peatlands. *Ecosystems*, **12**, 873-887.
- 20) Hirano, T. and Hirata, R., 2009 : SE Asian tropical forest network. *FluxLetter*, **2(3)**, 1-4.
- 21) Hirano, T., Urano, S., Yazaki, T., Yabe, K., Kawachi, K., Okada, K., Hinzman, L. and Ishikawa, N., 2005 : CO₂ exchange of a *Sphagnum fuscum* community in Interior Alaska. *J. Agric. Meteorol.*, **60**, 737-740.