

Understory CO₂, sensible heat, and latent heat fluxes in a black spruce forest in interior Alaska

Understory CO₂, sensible heat, and latent heat fluxes in a black spruce forest in interior Alaska

*Ikawa Hiroki^{1,2}、中井 太郎^{3,2}、Busey Robert²、Yongwon Kim²、小林 秀樹⁴、永井 信⁴、植山 雅仁⁵、斉藤 和之⁶、Nagano Hirohiko^{7,2}、Hinzman Larry²、鈴木 力英⁴

*Hiroki Ikawa^{1,2}, Taro Nakai^{3,2}, Busey Robert², Kim Yongwon², Hideki Kobayashi⁴, Shin Nagai⁴, Masahito Ueyama⁵, Kazuyuki Saito⁶, Hirohiko Nagano^{7,2}, Larry Hinzman², Rikie Suzuki⁴

1.National Institute for Agro-Environmental Sciences、2.International Arctic Research Center、3.Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University、4.Department of Environmental Geochemical Cycle Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology、5.Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University、6.Department of Integrated Climate Change Projection Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology、7.Faculty of Horticulture Chiba University

1.National Institute for Agro-Environmental Sciences, 2.International Arctic Research Center, 3.Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University, 4.Department of Environmental Geochemical Cycle Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 5.Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University, 6.Department of Integrated Climate Change Projection Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 7.Faculty of Horticulture Chiba University

In this presentation, we would like to introduce our recent publication, Ikawa et al., 2015, Agricultural and Forest Meteorology:

<http://audioslides.elsevier.com//ViewerSmall.aspx?source=1&doi=10.1016/j.agrformet.2015.08.247>

An open black spruce forest, the most common ecosystem in interior Alaska, is characterized by patchy canopy gaps where the forest understory is exposed. This study measured CO₂, sensible heat, and latent heat fluxes with eddy covariance (EC) in one of those large canopy gaps, and estimated understory fluxes in a black spruce forest in 2011 -2014. Then understory fluxes and ecosystem fluxes were compared. The understory fluxes during the snow-free seasons were determined by two approaches. The first approach determined understory fluxes as the fluxes from the canopy gap, assuming that fluxes under the canopy crown also had the same magnitude as the canopy gap fluxes. The second approach determined the understory fluxes by scaling canopy gap fluxes with a canopy gap fraction, assuming that only canopy gaps, which mostly constitutes the forest floor, contribute to fluxes. The true understory fluxes would be in between these two estimates. Overall, the understory accounted for 53 (39 -66) %, 61 (45 -77) %, 63 (45 -80) %, 73 (56 -90) %, and 79 (59 -98) % of the total net ecosystem productivity (NEP), gross primary productivity (GPP), ecosystem respiration (RE), sensible heat flux (H), and latent heat flux (LE), respectively. The ratio of understory NEP (NEP_U) to the ecosystem NEP (NEP_E) and similarly calculated LE_U/LE_E during the daytime increased with vapor pressure deficit (VPD) at low VPD conditions (~ 2000 Pa) at half-hourly temporal scale. At high VPD conditions, however, NEP_U/NEP_E decreased with VPD, whereas LE_U/LE_E was maintained at the high level even at high VPD conditions. Despite large ranges of the estimates for the understory contributions, we conclude that the understory plays an important role in the carbon and energy balances of the black spruce ecosystem, and their contribution highly depends on the level of VPD.

キーワード : carbon cycle、 boreal forest、 understory

Keywords: carbon cycle, boreal forest, understory

土壤呼吸チャンバーネットワークを用いたアジア陸域生態系におけるCH₄フラックス測定の展開
CH₄ Flux of Asian Terrestrial Ecosystems Based on a Soil Respiration Chamber Network

*梁 乃申¹、寺本 宗正¹、曾 継業¹、賀 金生²、Fletcher C.D.³

*Naishen Liang¹, Munemasa Teramoto¹, Jiye Zeng¹, Jin-sheng He², C.D. Fletcher³

1.国立環境研究所地球環境研究センター、2.北京大学、3.マレーシア森林研究所

1.Center for Global Environmental Research (CGER), National Institute for Environmental Studies (NIES), 2.Peking University, 3.Forest Research Institute Malaysia

Methane (CH₄) is the second important greenhouse gas (GHG) after carbon dioxide (CO₂), because CH₄ has a relative global warming potential 28-36 times of CO₂ at a 100-yr time horizon. Moreover, atmospheric CH₄ concentration has doubled since 1800 and contributes about 20% to the global radiative forcing. Recently, a process-based coupled biogeochemical model estimated that CH₄ emission from global terrestrial ecosystems was 144.39±12.90 Tg C/yr with an increasing rate of 0.43±0.06 Tg C/yr between 1981 and 2010 (Tian et al. 2015). The dominant sources of CH₄ are nature wetlands and rice fields.

Asian wetlands occupy vast areas from tropical peat swamp forests in Southeast Asia to boreal marsh in Northeast Asia, and as well as alpine meadow on the Tibet Plateau. Furthermore, Monsoon Asia is the largest rice-producing area. The countries of this region together produce 90% of the global output of rice. Thus, Asia plays an important role in the regional exchange of CH₄ between terrestrial ecosystems and the atmosphere. However, currently Monsoon Asia is under various pressures such as land-use and climate changes. Quantifying CH₄ balance is helpful for understanding their response and feedback to the changing world, and simultaneously is critical for setting targets for GHGs (e.g. CO₂, CH₄, N₂O) emission reductions and to identify and promote mitigation strategies. This talk will present CO₂/CH₄ fluxes and their controls of a meadow peatland on Tibet Plateau, a larch forest in central Japan, and a tropical rainforest in the Peninsular Malaysia by using multichannel automated chamber systems.

キーワード：チャンバーネットワーク、メタンフラックス、カラマツ林、チベット高山湿地、熱帯雨林
Keywords: Chamber network, CH₄ flux, Larch forest, Tibet Plateau wetland, Tropical rainforest

¹³Cパルスラベリング実験を用いたモンゴル森林域におけるシベリアカラマツの樹体内炭素転流と配分量の推定

Estimation of carbon translocation and allocation in Siberian larch saplings at Mongolian forest using ¹³C pulse-labeling experiment

*北山 あさみ¹、杉本 敦子²、ミジズーレン ビアンバズーレン³、プレブスレン バットデルガー³

*Asami Kitayama¹, Atsuko Sugimoto², Byambasuren Mijidsuren³, Batdelger Purevsuren³

1.北海道大学大学院環境科学院、2.北海道大学地球環境科学研究所、3.モンゴル生命科学大学

1.Graduate School of Env. Science, Hokkaido Univ., 2.Faculty of Earth Env. Science, Hokkaido Univ.,

3.Mongolian University of Life Science

タイガ林南限域であるモンゴル北部森林域では、近年の急激な環境変動を背景に樹木年輪幅時系列データを用いて樹木成長量の解析が行われてきた。これまでに、近年の厳しい乾燥イベントがこの地域に生育するシベリアカラマツ（以下、カラマツ）の成長量低下を引き起こしている可能性が指摘されている。しかしながら、この地域に生育するカラマツの乾燥ストレスへの生理学的応答に関する知見は未だ不足している。また、カラマツがどのように炭素を樹体内で各部位に配分し、夏期降水量200~300mm程度の乾燥環境下で生育しているのかについては未だ明らかになっていない。そこで本研究では、近年のカラマツの樹体内炭素アロケーションを明らかにし、より詳細なカラマツの生理学的応答の情報を得るために、¹³Cパルスラベリング実験をモンゴル北東部のウランバートルから南東55.8 kmに位置するKTサイト（47.7N, 107.6E）で実施した。

¹³Cパルスラベリング実験は合計29個体のカラマツの若木を対象に2014年6月中旬及び8月上旬の計2回実施した。各実験において最長約1年の追跡期間を設け、2014年夏期から2015年夏期後半までの樹体内炭素アロケーションを調べた。

2014年6月実験由来¹³Cのほとんどは、落葉直前まで葉に存在し、他部位への炭素配分量は小さかった。8月実験由来¹³Cは葉内に取り込まれた後、素早く各部位へ転流し、6月実験と比較して多くの¹³Cが根部へと配分されていた。これは翌年の成長に向けた炭素貯蓄であると考えられる。実際に、翌年（2015年）の展葉には、8月実験由来¹³Cがより多く使用されている可能性が示唆された。

キーワード：モンゴル、カラマツ、¹³Cパルスラベリング実験、炭素配分

Keywords: Mongolia, Larch tree, ¹³C pulse-labeling, Carbon allocation

異なる窒素施肥条件におけるイネの収量・バイオマスおよび炭素・窒素含量の高CO₂応答：つくばみらいFACE実験の洞察

Effects of elevated CO₂ levels and N fertilization on biomass and C and N contents of rice: Insights from Tsukuba FACE

*林 健太郎¹、常田 岳志¹、荒井 見和¹、酒井 英光¹、臼井 靖浩²、中村 浩史³、長谷川 利拡¹

*Kentarō Hayashi¹, Takeshi Tokida¹, Miwa Arai¹, Hidemitsu Sakai¹, Yasuhiro Usui², Hirofumi Nakamura³, Toshihiro Hasegawa¹

1.国立研究開発法人農業環境技術研究所、2.国立研究開発法人農研機構北海道農業研究センター、3.太陽計器
1.National Institute for Agro-Environmental Sciences, 2.NARO Hokkaido Agricultural Research Center, 3.Taiyo Keiki

イネはその生産量がトウモロコシに次いで世界2位の穀物であり、特にモンスーンアジアの基幹作物である。コメ生産の場となる水田は、水を張ること（湛水）により嫌気化し、強力な温室効果ガスであるメタンの発生源になる。IPCCの第5次評価書では人為起源メタンの約11%が水田由来とされる。上昇を続ける大気CO₂濃度（高CO₂）が現状および近い将来のコメ生産や水田のメタン発生に及ぼす影響は大きな関心事である。また、水田の炭素と窒素の循環は互いに密接に関わり合い、水田には多くの場合に窒素肥料が施肥される。高CO₂と窒素条件の相違が水田生態系の炭素・窒素循環に及ぼす影響の数々、それらがイネの植物生産、収量、および窒素利用効率、ならびに水田のメタン発生に波及するメカニズムは、食料生産および水田生態系物質循環の将来予測の精度向上に欠かせない知見である。

他の環境条件に手を加えずにCO₂濃度のみを操作する開放系大気CO₂増加実験（FACE: free-air CO₂ enrichment）は、実規模の生態系の高CO₂応答を知る有効な手段である。農業環境技術研究所は2009年に水田を対象としたFACE施設（つくばみらいFACE）を茨城県つくばみらい市に設置し、2010年より運用を開始し、イネおよび水田生態系の高CO₂応答に関する研究を精力的に進めてきた。つくばみらいFACEではイネの単作が行われる。すなわち、4月下旬に水田を湛水、5月中旬に窒素施肥および湛水、5月下旬に幼苗を定植、以降は湛水を続けて8月下旬に落水、そして9月中旬～下旬にかけて収穫する。稲わらは水田に戻し、刈り株と併せて耕起する。水田は収穫以降、翌年4月下旬の湛水まで裸地となる。4枚の水田それぞれに高CO₂区（FACE区）および対照区（Amb区）を設ける。FACE区には差し渡し17 mのリングを設置し、中心のCO₂濃度がAmb区に対して平均的に200 ppm高くなるように純CO₂を自動制御で放出する。CO₂条件の他には、窒素施肥条件（0N：施肥なし、標肥：8 g N m⁻²、多肥：12 g N m⁻²）、温度条件（処理なし、田面2℃加温）、および品種条件（コシヒカリほか多数）を設ける。つくばみらいFACEは日本唯一の大型水田FACE施設として、作物、土壌、微気象、物質循環、および微生物生態などの多分野に渡る研究群の貴重なプラットフォームとなっている。

本講演では、基幹品種であるコシヒカリを対象とした研究成果を紹介する。2010～2014年の5作のデータによると、高CO₂により地上部バイオマス（乾物重量）はいずれの施肥条件でも増加した一方で（0N：8%増、標肥：10%増、多肥：11%増）、精玄米（籾殻を外した後に屑米を篩い落とした玄米）収量は0Nで増加しなかった（0N：有意な変化なし、標肥：12%増、多肥：11%増）。つまり、標肥・多肥条件の収穫指数（地上部バイオマスに対する精玄米収量の比）は高CO₂で変化せず、0Nの収穫指数は高CO₂で5%減少した。この結果は、窒素可給性が低い条件では、高CO₂の光合成促進効果は地上部全体を増やしながらかも収穫物には及ばないことを意味する。また、高CO₂により標肥のメタン発生量は5%増となった。本講演では、CO₂および施肥条件がイネの炭素・窒素含量および地上部と地下部（根）のバイオマスの分配に及ぼす影響についても紹介する。これらの知見は陸域生態系物質循環の高CO₂応答研究に示唆を与えると期待する。

つくばみらいFACE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」により維持管理されている。研究成果の一部は、科研費「植物生態学・分子生理学コンソーシアムによる陸上植物の高CO₂応答の包括的解明」、科研費「大気二酸化炭素増加と水稻品種が大気-水田間の窒素循環に及ぼす影響の解明と予測」、および科研費「気候変動下の水田生態系の炭素循環を左右する窒素：メタン削減に繋ぐ機作の解明」により得られた。

キーワード：FACE、イネ、コメ収量、バイオマス、炭素循環、窒素循環

Keywords: FACE, Rice, Rice yield, Biomass, Carbon cycle, Nitrogen cycle

東南アジア島嶼部における森林伐採の年々変動の地図化

Mapping of year-to-year deforestation area in insular Southeast Asia

*永井 信¹、鈴木 力英¹

*Shin Nagai¹, Rikie Suzuki¹

1. 海洋研究開発機構地球表層物質循環研究分野

1. Department of Environmental Geochemical Cycle Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Accurate mapping of year-to-year variability of the spatial distribution of deforestation is important to evaluate the biodiversity, ecosystem functions and services in tropical ecosystems under rapid human activities. In Malaysia and Indonesia, deforestation and vegetation plantation establishment by planting oil palm or acacia have continued. Here, we examined the ratio of the number of days of Terra and Aqua MODIS satellite-observed daily green-red vegetation index (GRVI) < 0 to number of days of all GRVI with high quality (mainly without cloud contamination) for each year from 2001 to 2014 in insular Southeast Asia. We found that the area of deforestation and vegetation recovery were detected each year in southern part of Malay Peninsula, lowland area in Sumatra, and Sarawak and Central Kalimantan in Borneo. Our finding suggests that the biodiversity, ecosystem functions and services may be deteriorating in large areas in Malaysia and Indonesia.

キーワード：衛星観測、森林伐採、年々変動、東南アジア島嶼部

Keywords: satellite observation, deforestation, year-to-year variability, insular Southeast Asia

航空機反復LiDAR測量による10年間の森林炭素変化量の評価

Large scale evaluation of decadal forest biomass changes using repeated airborne LiDAR observations in northern Japan.

平山 宏次郎¹、*高木 健太郎¹、三枝 信子²、岡田 啓嗣¹、鮫島 良次¹、小熊 宏之²

Kojiro Hirayama¹, *Kentarō Takagi¹, Nobuko Saigusa², Keiji Okada¹, Ryoji Sameshima¹, Hiroyuki Oguma²

1.北海道大学、2.国立環境研究所

1.Hokkaido University, 2.National Institute for Environmental Studies

Valid estimation of terrestrial carbon cycle depends strongly on the accurate estimation of changes of global forest carbon stock. To estimate forest biomass changes, its vertical structure is critical information, and airborne light detection and ranging (LiDAR) is expected to be an effective method to measure. We examined the feasibility of estimating forest biomass changes using two airborne LiDAR measurements of forest height acquired 10 yr apart (2004 and 2014) over the Teshio Experimental Forest (225 km²) of Hokkaido University in northern Japan. Whole the area of the experimental forest was divided into 23,502 cells having 1 ha cell size, and the decadal change of the mean canopy height (Δ MCH) was obtained for each cell using the two digital surface models observed in 2004 and 2014, then the Δ MCH was converted into the biomass changes using a linear relationship obtained from the relationship between MCH and the biomass for the experimental forest (Takagi et al., 2015). Estimated decadal biomass change was validated using the ground observation obtained from long-term forest biomass observation plots and artificially logged-plots during the period.

Decadal net biomass change had large spatial variation ranging from +35 to - 50 MgC ha⁻¹, even after excluding the artificially logged plots during the period. The average was 4.06±6.44 (SD) MgC ha⁻¹, where the photosynthetic biomass increase was 11.7±4.79 MgC ha⁻¹ and the tree carbon decrease, caused by coarse woody litter or tree falling, was 8.71±4.08 MgC ha⁻¹. These values were comparable with the results obtained from ground surveys or tower flux observations operated in Hokkaido, northern Japan. The decadal net biomass change was significantly lower at high elevation, north facing slope, large tree height variance, and coniferous forest, and significantly higher at south facing slope, deciduous forest, and secondary forest. The photosynthetic biomass increase was linearly correlated with the decadal average of the MODIS Vegetation Indices, with $r^2=0.64$ for NDVI and 0.52 for Green ratio, which implies the application of MODIS Vegetation Indices to further large scale estimation of forest biomass change using satellite observation.

キーワード：航空機LiDAR測量、森林、炭素貯留量変化

Keywords: Airborne LiDAR, Forest, Biomass change

冷温帯林における光合成機能の鉛直分布とその季節変化

Vertical profile of photosynthetic functions and its seasonal variation in a cool temperate forest

*辻本 克斗¹、川島 在悟¹、加藤 知道²、村岡 裕由³、斎藤 琢³、秋津 朋子⁴、奈佐原 顕郎⁴

*Katsuto Tsujimoto¹, Argo Kawashima¹, Tomomichi Kato², Hiroyuki Muraoka³, Taku M Saitoh³, Tomoko Akitsu⁴, Kenlo N Nasahara⁴

1.北海道大学大学院農学院、2.北海道大学農学研究院、3.岐阜大学流域圏科学研究センター、4.筑波大学大学院生命環境科学研究科

1.Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, 2.Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, 3.River Basin Research Center, Gifu University, 4.Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

植生は環境からストレスを受けており、それによって光合成機能の日・季節サイクルは大きく影響を受ける。近年、陸域生態系の光合成機能を衛星・地上リモートセンシングから推定する試みが行われているが、その中でもクロロフィル蛍光を利用した光合成ストレスの検出は大変重要であると考えられている。しかし、それらは植生を上方のみからモニタリングするため、特に生態系の中層・下層に多くのバイオマスを抱えている森林生態系について大きな観測誤差が生じる可能性が高い。したがって、より正確に光合成機能を推定するには、植生の環境ストレスの鉛直分布を調べなければならない。

そこで本研究では、森林生態系の各層における光合成のストレス状態と環境要因（光・温度）との関係について調べた。観測は、岐阜県高山市の常緑針葉林と落葉広葉林で行った。サイトにはそれぞれ観測塔および観測櫓が建っており、個葉にアクセスできる。測定は2015年6月、8月、10月に、それぞれのサイトでおこなった。2台の蛍光測定器（FluorPen FP100, 及びFluorPen FP100-MAX, Photon Systems Instruments, Brno, Czech Republic）を用いてクロロフィル蛍光パラメータと光合成有効放射を、放射温度計（放射温度計B, シンワ測定）で葉温を測定した。これらを1日5回、日の出直後から日の入りまでおこなった。

6月のスギにおいて、上層の葉群が中・下層に比べて量子収率が日中により低下し、ストレスを受けていることがわかった。それに比べミズナラについては層ごとに違いは見られなかった。これは、弱い光でも量子収率が低下するほどミズナラの林床葉群のクロロフィル含量ならびに光合成能力が低いためであると考えられる。

キーワード：クロロフィル蛍光、環境ストレス

Keywords: Chlorophyll fluorescence, Environmental stress

冷温帯落葉広葉樹林における個葉の分光特性と群落反射特性の季節変動

Phenological changes in leaf optical properties of canopy trees and canopy surface reflectance in a cool-temperature deciduous broadleaf forest

*野田 響¹、奈佐原 顕郎²、村岡 裕由³

*Hibiki M Noda¹, Kenlo Nishida Nasahara², Hiroyuki Muraoka³

1.国立環境研究所、2.筑波大学、3.岐阜大学

1.NIES, 2.Univ. Tsukuba, 3.Gifu Univ.

The radiation reflectance from the canopy surface is used in the remote sensing of vegetation structure and biochemical properties, including photosynthetic capacity, water use and photoinhibition. The canopy reflectance is strongly affected by leaf area index (LAI) as well as leaf reflectance and transmittance of radiation in the canopy. Deciduous forest is characterized by the remarkable change in canopy structure such as leaf expansion in spring and leaf fall in autumn. In addition, leaf optical properties (spectral reflectance, absorption and transmittance of radiation) of the deciduous trees also changes according to the leaf growth and senescence because the leaf optical properties characterize leaf biochemical components, such as chlorophylls, carotenes, anthocyanins, nitrogen, cellulose, lignin and water, and anatomical structures. The forest at Takayama site is a cool-temperate deciduous broadleaf forest on the northwestern slope of Mt. Norikura, in central Japan. The forest canopy is dominated by *Quercus crispula* Blume and *Betula ermanii* Cham. In this forest, we measured the leaf optical properties of these dominant trees during the growing season, from budburst in mid-May to senescence at beginning of November. The measurements were conducted in 2004, 2005, 2006 and 2010. The leaf reflectance in the red (620-670 nm), blue (459-479 nm) and green band (545-565 nm) dropped in the beginning of growing period and increased in senescing period. Near-infrared reflectance (841-876 nm) increased in the growing period. Then these leaf-level phenology was examined with the seasonal change of air temperature, and also up-scaled to canopy-level by a radiative transfer model SAIL to examine the canopy-level spectral reflectance observed at the same site from the leaf and canopy ecophysiological point of view.

キーワード：落葉林、フェノロジー、リモートセンシング

Keywords: deciduous forest, phenology, remote sensing

ハイパースペクトルデータを用いたキサントフィルサイクルのエポキシ化率の評価

Tracing the de-epoxidation reaction of the xanthophyll cycle in natural beech leaves using hyperspectral reflectance

*菌部 礼¹、王 権¹*Rei Sonobe¹, Quan Wang¹

1. 静岡大学

1. Shizuoka University

キサントフィルサイクルのエポキシ化率(EPS)は光合成の光利用効率に関する短期的な変化を評価する上で有効な指標である(Gamon et al. 1990)。一般的に、EPSを算出するためには高速液体クロマトグラフィー (HPLC, Thayer and Bjorkman 1990) によって計測されたキサントフィルサイクルに関わるデオラキサンチン、アンテラキサンチン、ゼアキサンチンの3種の色素の濃度を使用する必要がある。だが、本手法はリーフスケールに限られ、アップスケーリングを図ることは困難である。

一方、ハイパースペクトルリモートセンシングはこれに代わる方法として期待されており、多くの研究で、光利用効率を推定する上で分光反射率に基づく指標であるPhotochemical Reflectance Index (PRI)が有効であることが示されてきた(Filella et al. 2009; Gamon et al. 1992; Gamon et al. 1997; Sha et al. 2014; Stagakis et al. 2014)。しかし、これらの研究は草本もしくは針葉樹を対象としたものがほとんどであり、広葉樹へは適用できないことが報告されている(Nichol et al. 2000)。

本研究では、光ストレスのみを与えた場合と、キサントフィルサイクルに影響を与えるとされている薬品(dithiothreitol (DTT), 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea (DCMU), dibromothymoquinone (DBMIB) 及び(HgCl₂))を吸わせた後に光ストレスを与えたブナの陽葉及び陰葉を用いて、PRIの再評価を行った。また、データスクリーニングにより陽葉及び陰葉どちらのEPSを評価においても有効な指標の開発を行った。

PRIはブナ、特に陽葉のEPSとの相関が低かった一方、本研究で開発した指標はどちらの葉に対しても高い相関係数を有していた。また、薬品によって人為的に作り出した条件下及びブナ以外の広葉樹(オオバクロモジ、リョウブ、オオカメノキ、コシアブラ、ミズナラ、ハウチワカエデ)に対しても高い相関を有していた。

キーワード：EPS、ハイパースペクトル、キサントフィルサイクル

Keywords: EPS, hyperspectral reflectance, xanthophyll cycle

太陽光励起クロロフィル蛍光のシミュレーションと衛星SIFデータとの比較解析

Comparison of the simulated global the canopy scale sun-induced chlorophyll fluorescence and satellite-based SIF measurements

*小林 秀樹¹、Yang Wei²、市井 和仁¹

*Hideki Kobayashi¹, Wei Yang², Kazuhito Ichii¹

1.国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2.千葉大学環境リモートセンシング研究センター

1.Japan Agency for Marine-Earch Science and Technology, 2.Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

近年、衛星観測によりグローバルな陸域植生の太陽光励起クロロフィル蛍光観測値がプロダクト化され、その利用可能性が検討され始めている。本研究では衛星で観測される樹冠レベルのSIFの角度依存性、個葉（日向・日陰）の寄与を個葉と樹冠の蛍光モデルでシミュレーションを通じて明らかにすることを目的とした。その結果、衛星で観測されるSIFの日向・日陰の葉の寄与は観測角度に依存し、太陽光入射各近傍で日向葉の寄与が最大となること、また 近赤外のSIF観測値ではクロロフィル蛍光の樹冠内での散乱成分の寄与が無視できないことなどが明らかとなった。

キーワード：リモートセンシング、SIF、植生放射伝達

Keywords: remote sensing, SIF, plant canopy radiative transfer

衛星データフュージョンとVI-Ts法によるナミビア季節湿地における高時空間分解能の蒸発散量推定
Estimating evapotranspiration from seasonal wetlands in north-central Namibia based on
satellite data fusion and VI-Ts method

*水落 裕樹¹、檜山 哲哉²、奈佐原 顕郎³

*Hiroki Mizuochi¹, Tetsuya Hiyama², Kenlo Nishida Nasahara³

1.筑波大学生命環境科学研究科、2.名古屋大学宇宙地球環境研究所、3.筑波大学生命環境系

1.Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2.Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, 3.Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

蒸発散量の時空間分布を高い分解能で把握することは、植生動態の把握や農業管理などの様々な応用において重要である。とくに、土地被覆・土地利用の変化をはじめとする人間活動が、地域スケールで水環境にどう影響するかを考える場合には、蒸発散量を数十～数百mスケールで微細に表現することが望ましい。しかし、これまでの陸面モデルや衛星リモートセンシングによる蒸発散量の推定は、空間分解能が数十～数百kmに及ぶものが多く、地域スケールの空間不均一性を表現するには必ずしも十分ではなかった。そこで本研究では、アフリカ・ナミビア共和国北中部の季節湿地を対象に、3種類の衛星データ (AMSRシリーズ、MODIS、Landsat ETM+) をベースとした高時空間分解能の蒸発散量推定手法の開発を行った。本手法は、空間的に不均一である当該季節湿地からの蒸発散量を表現するため、蒸発散のソースを、植生を含む表面水と、土壌の2つに分けてそれぞれ評価した。アルゴリズムは大きく2段階で構成した。1) 各衛星データから計算した水指数をデータベースミクセル分解法 (Mizuochi *et al.*, 2014) でデータフュージョンし、30 m分解能、日毎の湛水モニタリングを実現した。2) これにMODISの日射プロダクトと地表面温度プロダクトを用いてVI-Ts法を適用し、30 m分解能で各週ごとの蒸発散量の推定を行った。VI-Ts法はもともと、植生指数 (VI) と地表面温度 (Ts) の散布図から、気温と、土壌の理論上の最高温度を求める手法であるが、本研究ではこれを水指数 (MNDWI) とTsに対して適用することで、表面水と土壌からの蒸発散量をそれぞれサブピクセルスケール (30 m以下) で記述することを可能にした。具体的には、まず土壌からの蒸発をVI-Ts法と放射・熱収支式から求め、次に表面水からの蒸発散量を補完関係式とJarvis型コンダクタンスモデルに基づいて求め、最後にそれらをピクセル中に占める表面水の割合 (WF) で重み付け平均して、各ピクセルにおける蒸発散量とした。ナミビア北中部の3箇所のテストサイト (それぞれ5.3 kmx5.3 kmの範囲) において、本手法によって2003年から2013年までの蒸発散の空間分布と時系列変動を求め、結果を現地フラックス観測値、およびPenman-Monteith式に基づくMODISの蒸発散量プロダクト (MOD16) と比較した。また、有効エネルギーQ (潜熱フラックスと顕熱フラックスの和)、Qに占める潜熱フラックスの割合EF、水域からの潜熱の寄与WC、およびWFを比較することで、季節湿地の蒸発散特性を調べた。推定された蒸発散量は、フラックス観測値におおむね近く、また乾季・雨季の季節変化もよく表現できていた。また、Q、EF、WC、WFの比較により、季節湿地においては、有効エネルギーがほぼ潜熱輸送に使われており、かつ、土壌ではなく表面水からの蒸発が支配的であることが確認できた。MOD16の空間分解能 (1km) と比べ、高い空間分解能 (30 m) での推定が可能になったことで、数十～数百mスケールの季節湿地において高い蒸発散が生じていることが確認できた。ただし、MOD16の時系列推定値と比べ、本手法の推定値は全体的に過大評価であり、更なる検証やアルゴリズムの改良が必要であることがわかった。本手法により、季節湿地に代表される時空間的不均一性の高い地表面からの蒸発散量の推定が可能となった。開発された手法は、世界の他地域においても、地域スケールの詳細な蒸発散量を調べる上で有用と考えられる。今後、VI-Ts法やJarvis型コンダクタンスモデルに与えるパラメータを土地利用シナリオごとに変化させることによって、人為起源の土地利用変化が、蒸発散量にどのような影響を与えるのかについても評価を行っていきたい。

キーワード：データベースミクセル分解法、VI-Ts法、季節湿地

Keywords: database unmixing, VI-Ts method, seasonal wetlands

データ同化による陸上生態系モデルの最適化：粒子フィルタのフレキシビリティ

Optimization of a terrestrial ecosystem model by data assimilation: demonstrating flexibility of the particle filter

*伊勢 武史¹、池田 成貴¹

*Takeshi Ise¹, Shigeki Ikeda¹

1.京都大学

1.Kyoto University

データ同化はシミュレーションモデルを最適化する手法として用いられているが、陸上生態系モデルは、その複雑さゆえに、データ同化の応用が進んでいなかった。そこで本研究では、粒子フィルタというデータ同化手法を用いることで、非連続な挙動を示す陸上生態系をモデル化し、データ同化によって最適化することが可能であることを示す。今回はケーススタディとして、落葉樹の展葉・落葉フェノロジーを取り扱う。展葉・落葉によって、樹木の葉面積は非連続で突発的な挙動を示す。その挙動は従来、積算温度などでモデル化されることが多かったが、これまで統計的な手段で最適化されることはあまりなかった。本研究では、人工衛星で観測された葉面積指数の季節変化を用いてデータ同化を行った。その結果、モデルの複数のパラメタは総合的に最適化された。

キーワード：生態系モデリング、データ同化、陸上生態系

Keywords: ecosystem modeling, data assimilation, terrestrial ecosystem

大気汚染下での葉の濡れが及ぼす森林炭素循環への影響

Impacts of leaf wetness on forest carbon cycle under air pollution

*堅田 元喜¹、星加 康智²*Genki Katata¹, Yasutomo Hoshika²

1.日本原子力研究開発機構、2.イタリア国立研究機関 環境保護研究所

1.Japan Atomic Energy Agency, 2.Institute of Sustainable Plant Protection, National Research Council of Italy

対流圏オゾンは、森林樹木の光合成活動を阻害するとともに、森林微気象の変化に対する気孔応答の鈍化を誘発し、森林の水・炭素循環に影響を与える。この影響は、現在の陸面モデルには考慮されていない。本研究では、オゾンによる気孔応答の鈍化を考慮した多層陸面モデルSOLVEGと全球化学輸送モデルを組み合わせ、北半球の温帯落葉樹林へのオゾンによる影響を調べた。この陸面モデルには、キャノピーの濡れ状態に応じたオゾンの吸収と、それに伴うカルボキシル化速度(v_{cmax})と気孔コンダクタンス(g_s)の変化が考慮されている。シミュレーションの結果、高オゾン濃度地域では、気孔応答の鈍化により森林の光合成活動の低下と蒸散の促進が同時に起こり、水利用効率が大幅に低下することが明らかになった。一方、年間の降水頻度が高い地域では、オゾンによる森林への影響は小さかった。これらの結果は、オゾンによる森林影響は、オゾン濃度だけでなく濡れ期間にも依存することを示唆している。今後、アジアで年間降雨日数が減少するという予測もあり、これによる濡れ期間の短縮によって大気汚染下での気孔応答の鈍化と光合成の低下が進み、森林生態系の水・炭素循環が変化する可能性がある。

キーワード：森林炭素循環、大気汚染、樹冠の濡れ

Keywords: Forest carbon cycle, Air pollution, Canopy wetness

経験的広域化手法による大気—陸域間の熱・物質循環の広域推定手法の現状と応用

Current status of data-driven estimation of terrestrial carbon and energy fluxes using eddy-covariance network and remote sensing data

*市井 和仁^{1,2}、近藤 雅征¹、植山 雅仁³

*Kazuhito Ichii^{1,2}, Masayuki Kondo¹, Masahito Ueyama³

1.海洋研究開発機構 地球表層物質循環研究分野、2.国立環境研究所 地球環境研究センター、3.大阪府立大学
1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.National Institute for Environmental Studies, Japan, 3.Osaka Prefecture University

The terrestrial biosphere plays important roles in regional and global energy and carbon cycles through biogeochemical and biophysical processes, in turn affecting the trajectory of climate change. Despite the importance of this issue, model intercomparison efforts have revealed large and persistent uncertainties in CO₂ fluxes among terrestrial biosphere models. Reducing uncertainties in terrestrial carbon cycle simulation is a challenging task because of insufficient observed CO₂ fluxes, which serve as references for refining terrestrial biosphere models at regional and global scales. Recently, the network of eddy-covariance observation has increased, and more data have become available to public. These datasets allow data-driven modeling (empirical upscaling) of terrestrial CO₂ and H₂O fluxes, and their application has shown significant progresses. Since data-driven models rely on the statistical relationship between observed fluxes and explanatory variables, the estimated flux is independent from terrestrial ecosystem models. Therefore, the results provide a new data constraint to terrestrial carbon and energy cycle communities. In this presentation, we introduce an overview and applications of data-driven modelling to terrestrial biogeochemical studies. We used regional and global networks of eddy-covariance observations (e.g. AsiaFlux and FLUXNET) and remote sensing as the forcing of data-driven model, and conducted various applications using them. First, we will show the methodology and algorithms of data-driven model. Second, we will show the applications of the resulting data: i.e., spatio-temporal variability in terrestrial CO₂ flux (Saigusa et al. 2010; Ueyama et al. 2013) and energy balance (Ueyama et al. 2014). Third, we will present evaluation of data-driven models with an assimilation of atmospheric CO₂ from GOSAT Level 4A product (top-down approach) (e.g. Kondo et al. 2015). Fourth, we will demonstrate that regional/global CO₂ and H₂O fluxes upscaled by data-driven models can be used to refine terrestrial ecosystem models (e.g. Ichii et al. 2009).

Reference

Ichii et al. (2009) *Agr. For. Met.*, 149, 1907-1918.

Kondo et al. (2015) *JGR Biogeosciences*.120, 1226-1245, doi:10.1002/2014JG002866.

Saigusa et al. (2010) *Biogeosciences*, 7, 641-655.

Ueyama et al. (2013) *JGR Biogeosciences*, 118, 1266-1281, doi:10.1002/jgrg.20095.

Ueyama et al. (2014) *JGR Biogeosciences*, 119, 1947-1969, doi:10.1002/2014JG002717.

Acknowledgement

This study was supported by the Environment Research and Technology Development Funds (2-1401) from the Ministry of the Environment of Japan, the JAXA Global Change Observation Mission (GCOM) project (grant No. 115), and the JSPS KAKENHI (grant No. 25281003).

キーワード：陸域生態系、広域化、物質循環

Keywords: Terrestrial biosphere, Upscaling, Material Cycle

簡略な植生モデルによる植物生産力の年々変動の評価

Evaluation of interannual variations in primary productivity by a simple vegetation model

*渥美 和幸¹、太田 俊二¹

*Kazuyuki ATSUMI¹, Shunji OHTA¹

1.早稲田大学人間科学研究科

1.Grad. Sch. of Hum. Sci., Waseda Univ.

In a terrestrial ecosystem, heterotrophs depend on primary productivity, which is affected by climate change. Various types of process-based models have been developed to estimate primary productivity, resulting in growing understanding about the roles of terrestrial ecosystems in material circulations and energy flows. However, meteorological constraints on phenology that influence seasonal changes in primary productivity are still uncertain. Prognostic leaf growth models are possible to contribute to interpret the mechanisms. We developed a process-based vegetation model driven by simple climate variables to estimate primary productivity. Using this model, we examined the spatiotemporal variability in primary productivity and the timing of leaf onset and fall.

This model consists of four submodules: (1) energy and water balance, (2) water-carbon exchange, (3) allocation of assimilated carbon, and (4) phenology. Photosynthesis and evapotranspiration rates are computed forced by simple meteorological variables (*i.e.* air temperature, solar radiation, precipitation, relative humidity, and wind speed) at a 30-min interval in (1) and (2). The computed primary productivity is then transmitted to (3) and (4) wherein leaf growth is calculated at a one-day interval. Leaf growth is computed based on meteorological resources and allocations of assimilated carbon. The proposed model considers the differences in biophysical and ecophysiological traits among plant functional types.

First, we examined interannual variations in gross primary productivity (GPP) at some flux tower sites. We used meteorological and biochemical data observed at flux towers and those archived in FLUXNET. Second, we evaluated spatiotemporal variability in GPP in Monsoon Asia. Gridded meteorological data from general circulation models (GCMs) were spatially interpolated to the resolution of vegetation distribution data. We examined the influences of the interannual variations in climate on GPP and leaf phenology.

The proposed model captured seasonal changes in the measured GPP per site. The estimates of interannual variations were rather comparable to the measurements. For example, the reduction in GPP due to a cool and wet summer in 2003 at Fujiyoshida was greatly reproduced. Although the model estimated a low GPP at Appi in the same year, the measured value was the greatest in 2000-2006. This discrepancy occurred possibly because the model ignores species-specific traits. However, the model comprehensively reproduced temporal changes in GPP in response to climate variations. The results of the experiment suggest GPP at the peak of leaf growth affects the growth after that and therefore annual GPP.

The total annual GPP in Monsoon Asia varied in response to interannual climate variations. There were some areas, where the interannual variability in GPP was large. This result shows that the GPP in these areas are sensitive to climate variations. In this presentation, we will discuss how climate variability affects the GPP through leaf phenology.

キーワード：年々変動、一般気象要素、フェノロジー

Keywords: interannual variation, simple climate variable, phenology

陸域生態系の温室効果ガス収支に関する統合評価モデル

Integrated modeling of greenhouse gas budget of terrestrial ecosystem

*伊藤 昭彦^{1,2}*Akihiko Ito^{1,2}

1.国立環境研究所、2.海洋研究開発機構

1.National Institute for Environmental Studies, 2.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

陸域生態系における温室効果ガス収支の変化は、気候変動に対する正または負のフィードバック過程として作用する。温暖化研究のための排出シナリオ作成、地球システムモデルによる予測、影響評価、緩和策評価の各段階で陸域生態系の温室効果ガス収支を、なるべく高い信頼度で推定する必要がある。グローバルな陸域生態系モデルは、従来は最も温暖化への寄与度が高いCO₂収支を主に推定してきた。近年ではCH₄やN₂Oの放出・吸収過程を組み込んだモデルが開発されており、国外での例としてはDLEMやTRIPLEX-GHGがある。国内では演者らによるVISITの開発例があり、ここではその内容を主に紹介する。CO₂と比べて、CH₄やN₂Oは放出源の種類が多く、その空間分布に偏りが大きいことが分かっている。従って、場所によってはCO₂ではなくCH₄やN₂Oが温室効果ガス全体の収支を決定している場合がある。また、陸域生態系が長期的にCO₂の吸収源となってきたのに対し、CH₄やN₂Oの放出量は増加傾向にあると考えられており、気候変動に対するフィードバック機能に量的・質的な変化をもたらす恐れがある。グローバルな温室効果ガス収支の統合解析を行っているGlobal Carbon Projectでは、以前よりCO₂収支を取りまとめてきたが、最近ではCH₄とN₂Oについても作業を進めている。このような状況を主にモデル研究の観点から紹介し、最後に今後の課題について議論を行う。

キーワード：温室効果ガス、気候変動、陸域生態系

Keywords: Greenhouse gas, Climate change, Terrestrial ecosystem

複数の手法によるスギの樹液流速の通年計測と問題点

Sap flow measurement for Japanese cedar throughout the year with three techniques and related problem

*飯田 真一¹、竹内 真一²、清水 貴範¹、玉井 幸治¹

*Shin'ichi Iida¹, Shin'ichi Takeuchi², Takanori Shimizu¹, Koji Tamai¹

1.森林総合研究所水土保全研究領域、2.南九州大学

1.Department of Soil and Water Conservation, Forestry and Forest Products Research Institute,

2.Minami Kyushu University

Forests cover about 66% of land area of Japan, and Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) occupies 18% of total forested area. In Kyushu Island, south-western part of Japan, the water balance of Japanese cedar stand has been made clear quantitatively by using eddy-covariance method and sap flow technique (Kumagai et al., 2014; Shimizu et al., 2015). Meanwhile, except these studies, very few measurements of sap flow have been carried out throughout the year, although Japanese cedar is the most representative planted species in the larger part of Japan. Recently, newly developed techniques, that is heat ratio method (HRM, Burgess et al., 2001) and heat field deformation method (HFD, Nadezhdina et al., 2012), have been available in Japan. Considering the background mentioned above, we preliminarily compared these new methods with traditional thermal dissipation method (TDM, Granier, 1985) for a mature Japanese cedar planted at the central part of Japan. (Iida et al., 2015a). In this study, we show the results of measurement with HRM, HFD and TDM throughout the year. And we point out the common problem of three techniques: calculated sap flow becomes smaller when a single sensor is used for relatively long period (i.e., more than 10 months).

We conducted measurements in a mature stand of Japanese cedar, whose age is 63, within Tsukuba Experimental Watershed located in southern part of Mt. Tsukuba, Japan. We picked up a tree of Japanese cedar whose height is 24.9 m and diameter at breast height is 40.4 cm, and installed sensors of TDP, HRM and HFD. We used handmade sensors for TDM (e.g., Iida et al., 2015b) and sensors for HRM and HFD manufactured by ICT international Pty Ltd (type SFM1 and HFD8, respectively). The length of TDM sensor was 20 mm, and the sap flux density was computed as mean value along the sensor length by the calibration equation proposed by Granier (1985). The width of sapwood was 44 mm, and additional TDM sensor was inserted into the sapwood at the depth from 20 to 40 mm. On the other hand, the length of HRM sensor was 35 mm, and the sap flow movement was detected at the depths of 12.5 and 27.5 mm. For HFD, the sensor length was 96 mm, and the depths of sap flow detected were 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 mm.

The values of sap flux density by HFD showed high correlation with vapor pressure deficit (VPD). Generally, conifer canopy has large aerodynamic conductance due to the needle leaf, and therefore has high coupling with the ambient air. Thus, the high correlation with VPD is reasonable. Similar trends were confirmed for TDP and HRM. However, the relationships changed with time, and sap flux densities had become gradually smaller since the sensor installation. The clear deterioration was found at 10-months after the installation, in common to TDP, HRM and HFD. This may be induced by wounding or air embolism, which cause disruption in water flow around the sensors (e.g., Moore et al., 2010). Therefore, to obtain the whole-year dataset of sap flow, attentions must be paid for any deteriorations by checking the relationships between sap flow and VPD.

Cited paper

Burgess, 2001. *Tree Physiol.*, 21:589-598.

Granier, 1985. *Ann. Sci. For.*, 42: 193-200. [English translation, in *Evaporation, Benchmark Papers in Hydrology 2*. Gash JHC, Shuttleworth, WJ (eds). IAHS Press: Oxfordshire; 61-63].

Iida et al., 2015a. Japan Geoscience Union Meeting 2015, ACG30-P05.

Iida et al., 2015b. Ecohydrology, DOI: 10.1002/eco.1650.

Kumagai et al., 2014. J. Hydrol., 508: 66-76.

Moore et al., 2010. Trees, 24:165-174.

Nadezhdina et al., 2012. Trees, 26:1439-1448.

Shimizu et al., 2015. J. Hydrol., 522: 250-264.

キーワード：スギ、飽差、樹液流検出の劣化

Keywords: Japanese cedar, vapor pressure deficit, deterioration of detecting sap flow

北海道のアカエゾマツにおけるモデルを用いた樹木年輪の生長フェノロジー解析

Model-based analysis of tree-ring growth phenology in *Picea glehnii* forests on Hokkaido Island, Japan

*小出 大¹、伊藤 昭彦¹

*Dai Koide¹, Akihiko Ito¹

1. 国立環境研究所

1. National Institute for Environmental Studies

Recent global change is predicted to broaden uncertainty of ecosystems especially in terrestrial area. To reduce such uncertainties, tree-ring data is recently paid attention. Tree-rings have high potential to examine terrestrial carbon fluxes since tree-rings intrinsically correlate with forest carbon gains and stocks. A long observation time-span (decades to centuries) of tree-rings also increases its potential, extending observation period beyond fundamental flux-tower carbon observation (two or three decades). However, annual tree-rings are not simply in proportion to the annual sum of forest production. Annual tree-rings are made in a short time-span (e.g. two to three months) and such growing season's production is important for tree-rings though such growing season is still not clearly determined in ecosystem models for many tree species. This insufficient tree-ring growth phenology scheme has prohibited ecosystem modelers to use tree-ring data for validation though it has high potential to reveal spatiotemporal carbon stocks. Therefore, this research aims at revealing tree-ring growth phenology in conifer-hardwood mixed forests on Hokkaido Island, Japan.

Seven tree-ring site data of Sakhalin spruce (*Picea glehnii*) on Hokkaido Island were obtained from the International Tree-Ring Data Bank. At each site, mean chronology was calculated in BAI (basal area increment). Long-term climate data were obtained from the ERA20C reanalysis data (1900-2010) with downscaling and bias correction using random forest modeling and Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) data on Hokkaido Island. Eight climatic parameters were used to construct the Vegetation Integrated SIMulator for Trace gasses (VISIT) model. Flux data in Teshio flux tower site was used to modify the VISIT model. Net primary production (NPP) in each tree-ring site was predicted using the modified VISIT model and the downscaled ERA20C data. Predicted daily NPP were summed up for various periods (from a month to seven months at two weeks intervals) and in various temporal timings (at two weeks intervals). To analyze the most effective NPP period for BAI explanation, correlations between BAIs and the sum of each NPP period were calculated with random factor of sites and years and the best generalized linear mixed model was selected using the Akaike's information criterion (AIC).

Model selection revealed that a model using the sum of NPP from day of year 43 to 183 was the best model. This period contains tree-ring growing season (June) for *Picea glehnii* and other top models whose AIC differences from the best model were less than two also contained this season, suggesting importance of production in the tree-ring growing season. However, onset of the effective NPP period varied from January to May among these top models.

This research revealed that NPP in the tree-ring growing season is an important factor for tree-ring width variations. Although this analysis aimed at clarifying mean growth phenology among seven sites, differences in growth phenology among sites is expected to be a potential source of wide variance in the timing of onset. Although tree-ring growth phenology is difficult to observe, this research suggests that the growth phenology can be estimated from statistical analysis between tree-ring and NPP, which connects to a next step toward tree-ring-based validation of ecosystem models to reduce terrestrial ecosystem uncertainties.

キーワード：プロセスベース生態系モデル、VISIT、フェノロジー、針広混交林、資源配分

Keywords: Process-based ecosystem model, VISIT, Phenology, Conifer-hardwood mixed forest,
Allocation

森林生態系の水・二酸化炭素交換における下層植生の役割

Role of understory vegetation on net ecosystem exchange of water and CO₂ at larch forest in eastern Siberia

*小谷 亜由美¹、太田 岳史¹

*Ayumi Kotani¹, Takeshi Ohta¹

1.名古屋大学 生命農学研究科

1.Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

This study investigated evapotranspiration (ET) and CO₂ exchange over larch-dominated forests in the middle part of the Lena basin, eastern Siberia. Forest ecosystem in this region is characterized by low precipitation, a short growing season, and extensive permafrost. Seasonal thawing permafrost supplies soil water, which is prevented to infiltrating by an impermeable frozen layer, and supports forest development. Recently, expanding summer thawing depth and unusually wet soil layer maintained for a few years at larch forest observation sites caused decline of larch trees (Iijima et al., 2014) and would have affected the water and carbon flux of ecosystem scale (Ohta et al., 2014). To investigate vulnerability of the larch dominant forest faced to too wet condition, we analyzed water and CO₂ fluxes observed with eddy covariance methods inside and over the forest from 2004 to 2013.

The study site is the Spasskaya Pad station (62° 15'N, 129° 14'E) on alluvial terrace near Yakutsk. The mean annual air temperature and mean annual precipitation (1986-2004) at this site were -9 °C and 256 mm, respectively. In tower site, soil water of active layer is high after unusually high precipitation (compared with the previous 20-year average) in two successive summers, and soil layer close to the ground surface was almost saturated around 2007-2009. The dominant species of the upper canopy is larch (*Larix cajanderi*), while development of birch (*Betula platyphylla*) and willow (*Salix bebbiana*) is remarkable during this decade. The understory was covered with dense cowberry (*Vaccinium vitis-idaea*). Through the wet period, 19 of 212 larch trees on 2500 m² area became dieback, and grasses and shrubs with a high water tolerance have invaded this site.

A decadal observation of hydro-meteorological variables shows inter-annual variability including extreme environmental conditions such as unusually wet active layer, which was maintained for a few years. Some mature larch trees locating poor drainage area suffered wet damage, while young birch and willow trees developed and herbs with water tolerance expanded. Compared to the fluxes of the whole ecosystem, those based on the understory layer changed through the study period due to increase biomass and change of inside canopy environments; plentiful light and soil water, and enhanced turbulent mixing. Evapotranspiration from the understory layer increased and contribution to the whole forest flux reached 60%. Although this layer always acts as CO₂ source in seasonal average through the study period, source strength weaken and changed to temporal sink in the early summer (June). On contrast, contribution of the larch layer, in spite of remaining uncertainty in quantity, decreased in both of evapotranspiration and CO₂ uptake. Interactions between larches and understory vegetation would support this forest ecosystem. Decline of larch contribution is made up by understory growing, resulting in relatively stable whole forest exchange rate at least until this wet event.

Acknowledgment:

Observation data used in this study was provided by Y. Iijima (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology) and T. C. Maximov (Institute for Biological Problems of Cryolithzone).

Reference:

Iijima et al., 2014. Sap flow changes in relation to permafrost degradation under increasing

precipitation in an eastern Siberian larch forest. *Ecohydrology* 7, 177-187.

Ohta et al., 2014. Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in a Siberian larch forest, 1998-2011. *Agric. For. Meteorol.* 188, 64-75.

キーワード：北方林、水・炭素循環、渦相関法

Keywords: boreal forest, water and carbon cycle, eddy covariance methods

全球土壤炭素の分布に影響を与えるファクターの探索

Factors affecting global distribution of soil carbon in observational datasets and Earth system models

*橋本 昌司¹

*Shoji Hashimoto¹

1. 森林総合研究所

1. Forestry and Forest Products Research Institute

Soil is the largest carbon stock in the terrestrial ecosystem. Therefore, understanding soil carbon dynamics is essential to predict future climate change. In the last two decades, several global soil datasets have been developed, and some are under further improvement. These datasets contain the global distributions of soil physiochemical properties, which allow us to calculate the global distribution of the soil organic carbon (SOC) stock, and some datasets provide the SOC stock by default. These datasets are based on globally observed data points, although there are biases in spatial distribution and densities of some data points. Earth system models (ESMs) have been created to understand the current climate and project future climate conditions. These models incorporate the terrestrial carbon cycle including SOC. However, it was reported that ESM results agree moderately at the biome level but that the correlation between the distribution of the SOC stock simulated by the ESMs and that of observational datasets is poor when the two were compared at a fine scale (e.g., 1° scale). In this study, we identified key factors governing global SOC distribution in observational datasets and those simulated by ESMs. We applied a data mining scheme and boosted regression trees to identify influential factors and how these factors are related to the SOC stock (Elith et al., 2008). We revealed similarities and differences between the observational and ESM datasets after comparing their outputs. The results of this study will be useful to understand the nature of observational SOC datasets and ESM outputs to improve the terrestrial carbon dynamics model in ESMs.

キーワード：土壤炭素、データセット、地球システムモデル

Keywords: Soil carbon, Dataset, Earth system model

富士北麓カラマツ林における林床炭素収支の推定と変動要因

Estimation of understory carbon budget and environmental factors influencing on the processes in a larch forest on the northern foot of Mount Fuji

*寺本 宗正¹、梁 乃申¹、曾 継業¹、井手 玲子¹、三枝 信子¹

*Munemasa Teramoto¹, Naishen Liang¹, Jiye Zeng¹, Reiko Ide¹, Nobuko Saigusa¹

1.国立環境研究所

1.National Institute for Environmental Studies

Forest ecosystem is very important component of terrestrial ecosystems, and elucidating the carbon cycle mechanism in forest ecosystem is vital for understanding global carbon cycle and predicting future carbon budget along with global climate change. There are many studies reported carbon budget of specific forest ecosystem using eddy-covariance method, however, this technique cannot provide detailed information about each process of forest carbon cycle. Especially, information about understory carbon budget include understory vegetation is limited.

To understand the impact of forest understory carbon budget and environmental factors influencing on processes of understory carbon cycle, we set multi-channel automated chamber measurement system in larch forest on northern foot of Mt. Fuji in 2006. The control unit of chamber system mainly consisted of a data logger (CR1000, Campbell Scientific), an infrared gas analyzer (LI820, LI-COR) and an air compressor. We set soil chambers (90 cm x90 cm x50 cm) for soil CO₂ flux measurement. Surroundings of the half of those soil chambers were root cut with chainsaw until 25 cm depth for the measurement of heterotrophic respiration (Rh), and the remaining control chambers were used for soil respiration (Rs) measurement. We also set plant chambers (90 cm x90 cm x100 cm) which included understory vegetation to measure understory net CO₂ exchange (NUE), understory respiration (Ru) and understory gross primary production (GPP_u).

We got continuous data for 8 years from 2006 to 2013 with chamber measurement method. Comparison with eddy-covariance data showed that annual Ru accounted for 68.6% of annual ecosystem respiration, and annual GPP_u accounted for 16.3% of annual gross primary production of the larch forest. Primary factor for GPP_u was light intensity of forest understory, and positive correlation between annually estimated GPP_u and annual average of understory PPFD ($R^2 = 0.64$) was confirmed. Remarkable exponential correlations between soil temperature and Rs, Rh and Ru were observed, and total Q_{10} values for Rs, Rh and Ru were 2.49, 2.57 and 2.25, respectively. On the other hand, influence of soil moisture on those soil CO₂ fluxes were minor except summer season when soil moisture was notably decreased due to few rainfall.

キーワード：林床炭素収支、二酸化炭素、チャンバー、土壌呼吸、カラマツ林

Keywords: Understory carbon budget, CO₂, Chamber, Soil respiration, Larch forest

マレーシアサラワク州の3つの熱帯泥炭地における土壌CO₂およびCH₄フラックス観測の初期結果
Initial results of observations of soil CO₂ and CH₄ fluxes in three ecosystem types of
tropical peatland in Sarawak, Malaysia

*平田 竜一¹、沖元 洋介²、平野 高司²、Kiew Frankie^{2,3}、Melling Lulie³

*Ryuichi Hirata¹, Yosuke Okimoto², Takashi Hirano², Frankie Kiew^{2,3}, Lulie Melling³

1.国立環境研究所、2.北海道大学 農学研究院、3.Tropical Peat Research Laboratory Unit

1.National Institute for Environmental Studies, 2.Research Faculty of Agriculture, Hokkaido
University, 3.Tropical Peat Research Laboratory Unit

Tropical peatlands in Southeast Asia store large carbon by accumulating peat and they are
vulnerable to climate change and human disturbances.

Soil carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) fluxes observations were started on September 2015 at
three ecosystem types of tropical peatland in Sarawak, Malaysia. The sites were one tropical swamp
forest with high ground water level and one with low ground water level, and an oil palm plantation
on peat. In each site, we installed an automated multi-chamber system. We will present the initial
results of the observations.

キーワード：自動チャンバーシステム、泥炭林、オイルパーム

Keywords: Automated multi-chamber system, peat swamp forest, oil palm

大規模攪乱後の植生遷移初期におけるCO₂フラックスの変化Change of CO₂ flux during an early secondary succession after severe forest disturbance*平野 高司¹*Takashi Hirano¹

1.北海道大学大学院農学研究院

1. Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

Forest ecosystems are expected as a major sink of atmospheric carbon dioxide (CO₂), whereas their ability to absorb CO₂ is severely perturbed by disturbances, such as deforestation, fires, windthrow etc. Many studies which adopted the chrono-sequence approach reported that such severe disturbances often changed forest to be a CO₂ source. However, there are few studies that directly measure CO₂ flux for a long term (more than 10 years) above a disturbed forest site during an early stage of secondary succession after severe disturbance. A flux site of a larch plantation in Tomakomai, Hokkaido, Japan was struck by a typhoon in September 2004. Because of wind storm, about 90% of trees fell down. The fallen trees were removed by heavy machinery from the site, through which the soil surface and understory species were also disturbed. After the operations of timber transport, secondary succession progressed naturally in the ex-forest site. We recommenced flux measurement in August 2005. CO₂ flux has been measured by the eddy covariance technique with an open-path CO₂ / H₂O analyzer (LI7500, Licor) during a snow-free period from mid-April to mid-November. Cumulative net ecosystem CO₂ exchange (NEE) during the snow-free period was positive every year until 2015, whereas it showed a negative relationship, which indicates that the CO₂ source strength of the ecosystem decreased. This negative relationship was caused by the increase of gross primary production (GPP) or ecosystem photosynthesis, which corresponded to vegetation recovery through secondary succession.

キーワード：風倒害、渦相関法、植生回復

Keywords: Windthrow, Eddy covariance, Vegetation recovery

カラマツ林でのCO₂フラックス長期観測から見る攪乱影響Influence of natural and human disturbances on long-term CO₂ exchange over larch forests*高橋 善幸¹、三枝 信子¹、平田 竜一¹、梁 乃申¹、井手 玲子¹、高木 健太郎²、平野 高司³*Yoshiyuki Takahashi¹, Nobuko Saigusa¹, Ryuichi Hirata¹, Naishen Liang¹, Reiko Ide¹, Kentaro Takagi², Takashi Hirano³

1.国立環境研究所地球環境研究センター、2.北海道大学北方生物圏フィールド科学センター、3.北海道大学大学院農学研究員

1.Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, 2.The Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, 3.Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

カラマツ林は将来的に温暖化の影響を強く受けると予想される北東ユーラシア高緯度域の北方林を代表する植生であり、気候変動に対する陸域生態系の応答予測に関して重要度の高い調査対象である。また国内においては、戦後を中心として本州中北部から北海道にかけて広い範囲でカラマツが植林されてきたが、国産材の需要の低迷により多くのカラマツ人工林は管理が充分に行われていない現状にある。CO₂吸収源として森林を考える場合、カラマツ林の管理が炭素収支に与える影響を評価することは重要である。

こうした背景から国立環境研究所ではカラマツ林の炭素収支に注目し、気候変動に対する応答や管理状況の違いによる影響を評価するために、北海道大学と共同で国内の3つのカラマツ林においてCO₂フラックスの長期観測を行っている。山梨県の富士北麓フラックス観測サイトにおいては樹齢約50年のカラマツ人工林で2006年から観測を実施しており、2014年には30%の強度で間伐を実施した。北海道の苫小牧フラックスリサーチサイトにおいては2000年から樹齢約40年のカラマツ人工林で観測を行っていたが、2004年9月の台風による被災により90%以上のカラマツが倒れ、その後の回復過程を観察している。北海道北部の天塩CC-Lagサイトにおいては、2001年から針広混交林において観測を開始し、2003年に皆伐を行いカラマツを植林した。観測期間中に3つのサイトはそれぞれ異なる攪乱を受けており、微気象学的フラックス観測やバイオマス調査により得られた結果を比較し紹介する予定である。

キーワード：二酸化炭素、フラックス、攪乱、カラマツ、モニタリング

Keywords: CO₂, flux, disturbance, larch, monitoring

衛星ライダーによるシベリアの森林資源変化の把握

Forest resources change observation using spaceborne LiDAR in Siberian

*林 真智¹、市井 和仁^{2,1}、平 春¹、三枝 信子¹、澤田 義人¹、山形 与志樹¹

*Masato Hayashi¹, Kazuhito Ichii^{2,1}, habura borjigin¹, Nobuko Saigusa¹, Yoshito Sawada¹, Yoshiki Yamagata¹

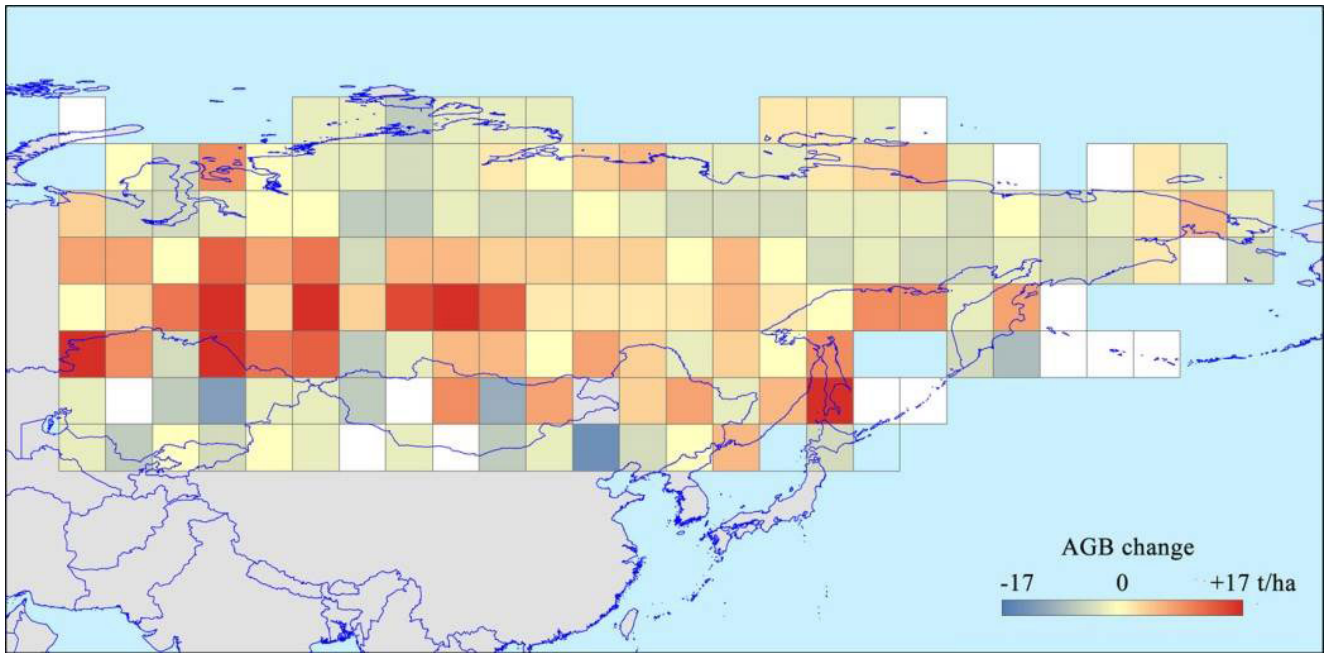
1.国立環境研究所、2.海洋研究開発機構

1.National Institute for Environmental Studies, 2.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

シベリアを含む北半球高緯度地域では、地球温暖化による気温の上昇が最も急速に進行しており、こうした地域で植生の変化状況をモニタリングする技術を整備することは、極めて重要な課題となっている。継続的に広域を観測するためには衛星リモートセンシングを活用することが現実的だが、中でも、レーザ光を照射して地表付近の鉛直構造を計測できる衛星ライダーが近年注目を集めている。これまでは、2003～2009年にNASAが運用したICESat衛星が唯一のものであったが、数年以内に打ち上げ予定の衛星ライダーが複数機計画されており、森林観測への利用が見込まれている。そこで本研究では、既存の衛星ライダーICESat/GLASをシベリアの森林資源変化の観測に応用し、その能力を明らかにすることを目的とした。北緯40°以北かつ東経60°以東で西経170°までの範囲を観測したGLASデータを収集し、解析に適さないデータのスクリーニングをおこなった。具体的には、(1) 雲や非森林域を観測したデータ、(2) 波形にノイズが多いデータ、(3) 計測誤差が大きくなる傾斜地のデータなどである。その結果、解析に適した約300万点のデータセットを整備した。次に、GLAS波形の形状を解析することで、各観測地点における樹高と地上部バイオマスを推定した。樹高は、波形の開始位置と地盤からの反射ピークとの標高差であるRH100を計算した。地上部バイオマスは、シベリアを対象とした先行研究 (Neigh et al., 2013) により構築された推定モデルにもとづいて計算した。その結果、対象地域全体での樹高と地上部バイオマスの平均は7.4mおよび23.0 Mg ha⁻¹であった。次に、森林資源の空間分布を把握するため、緯度経度ともに5°メッシュごとに樹高と地上部バイオマスのGLAS推定値の平均を計算した。樹高と地上部バイオマスの空間分布は類似しており、おおむね南では高く、北ほど低い値を示した。また、時間変化を把握するため、GLASの観測時期に応じて2つのグループ (2003～2005年観測データ、2005～2007年観測データ) に分割し、それぞれの平均値を計算してその変化傾向を確認した。その結果、樹高は全体にわずかに低下する傾向が見られた一方、地上部バイオマスは多くの地域で変化が見られないものの、西部など一部に増加傾向を示す地域が見られた (図を参照)。今後は、こうした変化傾向を示す原因について検討を進める予定である。このように、衛星ライダーを利用することで、広域の森林資源の変化状況を高精度にモニタリングできることが示された。

キーワード：森林資源、衛星ライダー、ICESat/GLAS、シベリア

Keywords: Forest biomass, Spaceborne LiDAR, ICESat/GLAS, Siberia



富士北麓カラマツ林における最近10年間のフェノロジーの変化と炭素収支量への影響

Phenological changes for 10 years and the influence on ecosystem productivity in a larch forest at the foot of Mt. Fuji

*井手 玲子¹、小熊 宏之¹、廣瀬 保雄¹、高橋 善幸¹、三枝 信子¹

*Reiko Ide¹, Hiroyuki Oguma¹, Yasuo Hirose¹, Yoshiyuki Takahashi¹, Nobuko Saigusa¹

1.国立研究開発法人 国立環境研究所

1.National Institute for Environmental Studies

Phenological changes such as earlier budding or flowering and later leaf coloring and leaf fall have been reported around the world along with recent global warming. Phenology is an important index for climate change, and is also one of valuable factors to regulate the carbon cycle in terrestrial ecosystems. As the phenological responses to environment vary across species, assessment of long-term phenological trend for each species is required. In this study, we investigated the phenology of a Japanese larch forest by near-surface remote sensing, and analyzed the relationship between the phenology and climate change and also the influence of phenology on the forest ecosystem productivity derived from CO₂ flux observation.

Our study was conducted in a larch plantation at Fuji-hokuroku flux observation site (Fujiyoshida city, Yamanashi). About 87 % of the canopy is dominated by 60-year-old Japanese larch (*Larix kaempferi*) and the maximum LAI of the canopy was 3.2 m² m⁻² in 2012. CO₂ flux and micro meteorological factors have been measured by eddy covariance method for ten years since 2006. For phenological observation, reflectance from the canopy has been continuously observed on the observation tower by using two spectral radiometers (upward and downward) and digital cameras. The vegetation index to detect seasonal changes of the canopy greenness was calculated as Green Ratio: GR=G/(R+G+B). The start and end dates of the growing season were determined from the days when the time series of GR indicated the maximum rate of increase and decrease. Then relationships of the yearly variations of phenology, temperature, net ecosystem exchange (NEE) and gross primary production (GPP) were analyzed.

As results, the mean dates of start and end of growing season were Apr. 23 and Nov. 8, with large amplitudes of 12 and 8 days respectively. Significant earlier or later phenological trend was not found across these ten years from 2006 to 2015. The mean annual growing season length was 198.5±4.1 days. The start and end dates were significantly related to the mean temperature respectively during Mar.-Apr. and during Sep.-Oct. The phenological responses to temperature were -4.5 day/°C (R² = 0.88) in spring and 2.3 day/°C (R² = 0.74) in autumn. In addition, the influences of phenology on GPP and NEE during spring (Apr. and May) and autumn (Oct. and Nov) were indicated. Meanwhile, yearly variations in annual GPP and NEE were more influenced by the decrease of summer productivities due to thinning and typhoon than phenological factors.

キーワード：フェノロジー、生育期間、気候変動、炭素循環、GPP

Keywords: Phenology, Growing season, Climate change, Carbon cycle, GPP

真瀬水田における太陽光誘発クロロフィル蛍光を利用した生態系光合成量の代表性

Sun-induced chlorophyll fluorescence reveals strong representativeness of ecosystem-level photosynthesis in rice paddy field in Mase Japan

*加藤 知道¹、辻本 克斗²、奈佐原 顕郎³、秋津 朋子³、小野 圭介⁴、宮田 明⁴

*Tomomichi Kato¹, Katsuto Tsujimoto², Kenlo Nasahara³, Tomoko Akitsu³, Keisuke Ono⁴, Akira Miyata⁴

1.北海道大学農学研究院、2.北海道大学農学院、3.筑波大学生命環境系、4.農業環境技術研究所

1.Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, 2.Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, 3.Faculty of Life and Environmental Sciences, 4.National Institute for Agro-Environmental Sciences

太陽光によって誘発されたクロロフィル蛍光は (Sun-Induced Fluorescence: SIF) 生態系光合成量を代表し、衛星 [Frankenberg et al., 2011; Guanter et al., 2012; Joiner et al., 2013] や地上 [Daumard et al., 2010; Porcar-Castell, 2011] で観測できる指標として有望視されている。しかしながら、実際の陸域生態系での地上観測の例は未だ乏しく、SIFの利用可能性を妨げている。

我々は、アジア全域で育成されている水稻を対象としSIFと渦相関法に寄って観測された生態系光合成量GPPとの関係を検証した。データは、つくば市真瀬の水田(36°03'N, 140°01'E, 11 m a.s.l.)で、2006年から2012年まで30分間隔で取られた。イネ(*Oriza sativa* L.; cultivar Koshihikari)は、5月に移植され9月に収穫された。SIFは、水田に設置された渦相関法のための3mのマストに取り付けられた分光放射計(MS700, 英弘精機製; FWHM=10nm, 測定インターバル=3.3nm)とローテーター(早坂理工製)から構成される半球分光放射計(HSSR)によって測定された太陽と生態系からの放射照度を利用して計算された。SIF (SIF₇₆₀) の計算は、760nm付近のO₂-A吸収帯のスペクトルを利用し、Fraunhofer Line Depth 法[Maier et al., 2003]によって行われた。2006年の生長期において、SIF₇₆₀とAPAR (吸収光合成有効放射) は、GPPと同様の日変化パターンを示したが、GPP-SIF₇₆₀の関係は月間の差がほとんどなかったが、GPP-APARの関係は月間で変化した。また、ほぼ直線的なGPP-SIF₇₆₀の関係は、すべての年において観測された。日SIF₇₆₀ は日GPPと同様の季節変化を示した。一方で従来からの植生指標であるNDVIとEVIは、GPPよりも長い最盛期を示した。このように、SIFとGPPの間の強力な関係は、SIFは水田における生態系レベルの光合成の指標として非常に有効であることを証明している。

キーワード：分光放射測定、リモートセンシング、炭素循環

Keywords: spectroradiometry, remote sensing, carbon cycle