

## エネルギー収支の比較観測に基づく都市化に伴う地域的昇温量の定量化 Quantifying warming effect due to urbanization based on comparative measurements of the surface energy budget

安藤 智也<sup>1\*</sup>; 植山 雅仁<sup>1</sup>; 小杉 緑子<sup>2</sup>  
ANDO, Tomoya<sup>1\*</sup>; UEYAMA, Masahito<sup>1</sup>; KOSUGI, Yoshiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 大阪府立大学大学院生命科学研究所, <sup>2</sup> 京都大学大学院農学研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University, <sup>2</sup>Graduate School of Agriculture, Kyoto University

自然生態系が都市などの人工被覆に変化することは、地域的昇温をもたらす。都市域ではヒートアイランド現象が重要な環境問題となっているが、その詳細なメカニズムは十分に明らかになっていない。本研究では、都市と森林におけるエネルギー収支の比較解析から、都市の表面温度が森林と比べて上昇する要因とその寄与を定量化し、自然生態系を都市に改変した場合の地域的気候への影響を評価した。

都市サイトでの観測は堺市を対象とし、堺市役所高層館屋上で、顕熱フラックス、潜熱フラックス、微気象を測定した。堺市の地中熱流量を、都市の土地被覆率を考慮して Objective Hysteresis Model により推定した。森林サイトの微気象データは、滋賀県の桐生水文試験地におけるヒノキ植林地のデータを用いた。森林が都市化された場合の地表面のアルベド、空気力学的抵抗、ポーエン比、地中熱流量の変化が寄与する表面温度の変化量を、放射収支式と熱収支式を連立させて算出した。

日中では、夏季(6~8月)と冬季(1, 2, 12月)で都市の表面温度は森林より 5.5 K、3.8 K 高かった。それに対して空気力学的抵抗の変化に起因した昇温は夏季で 4.4 K、冬季で 3.7 K と、4つの要素の中で最も大きかった。都市は建物が密集することで地表面の粗度が低下し、熱が上空に輸送されにくく、森林と比べて地上付近に熱が溜まりやすいと考えられる。そのことが日中の都市表面温度が森林と比べて上昇する最も大きな要因であることが明らかとなった。夜間では、夏季と冬季でそれぞれ都市の表面温度は森林より 1.9 K、2.5 K 高かった。この夜間の昇温に対して地中熱流量の変化に起因した昇温は夏季で 4.2 K、冬季で 5.2 K と、4つの要素の中で最も大きかった。都市は建物や舗装された道路などの存在により、日中受け取った熱を貯めこむ性質がある。日中に貯熱された熱が夜間に放熱されることは、夜間の昇温に最も大きく寄与することが明らかとなった。正味の昇温量は日中、夜間ともにバルクモデルにより推定された昇温量よりも小さかった。これは、各放射量やフラックスのもつ不確実性や、都市域の人工排熱の影響を考慮していないことなどが原因と考えられる。

## 大気汚染物の硫酸によるナラの衰退と木炭による再生 A decline of a Japanese oak by sulfuric acid of an air pollutant, and reproduction by charcoal

大森 禎子<sup>1\*</sup>  
OMORI, Teiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 元東邦大学  
<sup>1</sup> FOMER TOHO UNIVERSITY

化石燃料の燃焼により排出される硫酸は風で移動し、樹木に付着して蓄積し、雨で根元に落とされて土壌が酸性化する。土壌が酸性化すると金属成分は溶解性の金属硫酸化合物になる。水に溶解した金属イオンは水と樹木に吸収される。金属イオンは木の中のリン酸と化合して不溶性の金属リン酸化合物になり（リン酸アルミニウムの溶解度  $10^{-9}$ 、リン酸鉄溶解度  $10^{-10}$ ）リン酸不足と同じ現象になり衰退する<sup>1) 2) 3)</sup>。その結果、光合成により二酸化炭素を糖に変えるエネルギー源になるアデノシン三リン酸の生成量や松脂の浸出量が減少する。ナラ等に含まれるタンニンとタンパク質と化合して、人間では渋みとなり、防虫効果があるが、金属イオンと化合するとタンパク質と化合できなくなり、防虫効果を失う。その結果、虫は樹木に進出し易くなり大発生して立ち枯れの原因になる。

木炭は樹木の生長のための必須元素のカリウムやその他のアルカリ金属を含み、雨水をアルカリ溶液にする。アルカリ溶液は土壌から溶出した金属イオンと化合して金属水酸化物になる。樹木は金属水酸化物を吸収できないため、リン酸は保護され衰退を免れる。木炭に含まれるその他の元素は生長に必要で吸収した、理想的な割合で含まれる栄養源になる。石灰でも酸性土壌は中和できるが、カルシウム以外の、樹木が必要な元素を含まない。

佐渡島の梢枯れをしたナラの木は\*、命をつなぐために根元近くの幹から胴吹き芽を何本も出していた。1m<sup>2</sup> 当たり約 1kg の炭を2年続けて撒布した結果、3年目に種子を落とし、幸い佐渡島にはドングリを主食とする動物が少ないために4年目には発芽して、根元の土壌を緑の葉が覆っていた。胴吹き芽は、梢の回復に従って皆枯れた。樹木の衰退や立ち枯れの原因は土壌の酸性化であることが確認できた。

\* 佐渡市小佐渡浜河内・紅葉公園、佐渡市金井町新保乙・ゆずろ公園

謝辞

本研究は元関東森林管理局宮下正次氏のご協力と、佐渡市西津福浦の後藤茂氏から毎年木炭の提供をうけました。心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 大森禎子 (2010) 硫黄化合物と樹木の立ち枯れの関係、河川文化を語る会講演集(その30)p.85-163 日本河川協会発行.
- 2) 大森禎子・岩崎真理 (2010) 大気汚染による樹木の立ち枯れのメカニズム—炭による立ち枯れ予防とCO<sub>2</sub>削減、木質炭化学会誌 7,p.3-11
- 3) 大森禎子 (2013) 大気汚染物の硫酸と樹木の立ち枯れの関係—木炭による立ち枯れ防止—日本奥山学会誌,1,p.3-18.

キーワード: 大気汚染, 酸性土壌, ナラ枯れ, タンニン, 金属リン酸塩

Keywords: air pollutant, acidifies soil, acidifies soil, tannin, metallic phosphate

## 九州暖温帯常緑広葉樹林における土壌呼吸に対する長期的な温暖化効果 Long-term warming effect on soil respiration in warm-temperate evergreen broad-leaved forest in Kyusyu

寺本 宗正<sup>1\*</sup>; 梁 乃申<sup>1</sup>; 高木 正博<sup>2</sup>; 曾 継業<sup>1</sup>  
TERAMOTO, Munemasa<sup>1\*</sup>; LIANG, Naishen<sup>1</sup>; TAKAGI, Masahiro<sup>2</sup>; ZENG, Jiye<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所地球環境研究センター, <sup>2</sup> 宮崎大学 農学部

<sup>1</sup>Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, University of Miyazaki

Soil respiration is composed of heterotrophic respiration and plant root respiration, and is the second largest carbon flux in the terrestrial ecosystem. As the heterotrophic respiration increases exponentially with soil temperature, its positive feedback to the global warming has become a concern.

In the middle of December 2008, a multi-channel automated chamber measurement system was installed at the Tano forest science station of Miyazaki University, which is a warm-temperate broad-leaved forest site in Kyusyu. We prepared 10 trenched plots with 5 of them artificially warmed by +2.5 °C by infrared heaters 1.6 m above the surface for long-term measurement of warming effect on soil respiration.

The average value of soil respiration in control and warmed plots were, respectively, 3.45  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and 3.53  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in 2009, 3.81  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and 4.07  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in 2010, 3.31  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and 3.81  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in 2011, 3.02  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and 3.79  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in 2012, 3.08  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and 3.33  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in 2013. The annual warming effect increased soil respiration by 5.4% in 2009, 9.9% in 2010, 18.4% in 2011, 29.5% in 2012, and 11.5% in 2013. The warming effect showed an increasing trend until 2012, but decreased in 2013 due to fewer amount of rainfall in summertime, which caused a much lower moisture in soil.

キーワード: 土壌呼吸, 温暖化, チャンバー, 森林土壌

Keywords: soil respiration, global warming, chamber, forest soil

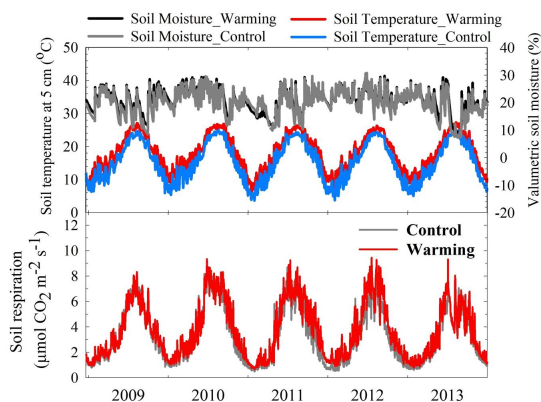


Fig 1. Seasonal variation of soil temperature, soil moisture and CO<sub>2</sub> efflux of each treatment.

## 東南アジア熱帯生態系における土壌炭素動態のコントロール要因 Control of Soil Carbon Dynamic of Southeast Asian Ecosystems

梁乃申<sup>2\*</sup>; 寺本宗正<sup>2</sup>; 譚正洪<sup>3</sup>; Fletcher Christine D.<sup>4</sup>

LIANG, Naishen<sup>2\*</sup>; TERAMOTO, Munemasa<sup>2</sup>; TANG, Zhenghong<sup>3</sup>; FLETCHER, Christine D.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国環研, <sup>2</sup> 国環研, <sup>3</sup> 中国科学院シーサンパンナ熱帯植物園, <sup>4</sup> マレーシア森林研究所

<sup>1</sup>NIES, <sup>2</sup>NIES, <sup>3</sup>XTBG, <sup>4</sup>FRIM

本研究は、熱帯林における森林経営や伐採過程に伴う地上部、地下部の炭素ストックの変動や施業後の残渣の分解過程を明らかにし、さらに伐採過程及び土地利用変化に伴う熱帯林の劣化メカニズムを解明することを目的とする。そのために、マレーシア半島中央部のネグリセンビラン州にあるパソ低地熱帯雨林、および北部のペラ州の山岳地帯にあるテメンゴール施業区に設置されている調査プロットにおいて、土壌呼吸の連続または集中測定を行った。パソの低地天然林において根切り（トレンチ）処理を行い、大型マルチ自動開閉チャンバーシステムを用いて測定した結果、総土壌呼吸量は約  $38 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  であった。そのうち、土壌有機炭素分解（微生物呼吸）の寄与は約 62.6%と推定された。また、土壌呼吸、特に根呼吸と土壌含水率との間には正の相関が認められ、低地天然林でも一次総生産（光合成）は土壌水分によって制限を受けていることが示唆された。携帯型自動開閉チャンバーシステムを用いたテメンゴール施業区においての測定結果では、伐採直後、根呼吸の停止によって土壌呼吸速度は減少していた。しかし、その後に土壌呼吸速度が顕著に上昇したことから、枯死根の分解が活発に進行していたものと考えられる。また、低地熱帯雨林と山岳地帯熱帯雨林において、択伐施業に伴う林床部炭素放出量を測定したところ、天然林 ( $6.93 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) に比べて伐採後約 7 年経過した低インパクト伐採跡地における土壌呼吸速度は  $6.88 \mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  であった。対して通常の持続可能な経営システム法（Sustainable Management System: SMS）の伐採跡地での土壌呼吸速度は約 19%低下していた事が明らかになった。伐採残渣は伐採後 7 年の間にほとんど分解され、SMS 伐採跡地における  $\text{CO}_2$  放出速度の減少は、伐採による生態系レベルの根呼吸（総土壌呼吸の約 37.4%を示す）が 50~65%減少したことを示した。また、同様の調査を二次林やゴム、オイルパームプランテーションにおいて実施した結果、土地利用変化がバイオマス及び土壌有機炭素を減少させ、熱帯生態系を劣化させていることが示唆された。さらに、施業前後の土壌有機炭素動態（土壌呼吸速度の変化）や残渣の分解過程およびバイオマスの変動から、通常の SMS 伐採法と比べ、低インパクト択伐方式（伐採率 30%）による施業では、択伐後の初年度に約  $804\text{-}4,368 \text{ US\$ ha}^{-1}$  の REDD クレジットが得られるものと試算された。

キーワード: 自動開閉チャンバー, 土地利用変化, 土壌水分, 土壌炭素, 熱帯生態系

Keywords: Automated chamber, LULUC, moisture, soil carbon, tropical ecosystem

## モンゴル北部森林—草原境界域におけるカラマツと土壌の窒素同位体比の空間変動 Spatial variations in larch and soil nitrogen isotope ratio along forest-grassland gradient in northern Mongolia

藤吉 麗<sup>1\*</sup>; 辻村 真貴<sup>2</sup>; ロペス ラリー<sup>3</sup>; 杉本 敦子<sup>4</sup>

FUJIYOSHI, Rei<sup>1\*</sup>; TSUJIMURA, Maki<sup>2</sup>; LOPEZ, Larry c.m.<sup>3</sup>; SUGIMOTO, Atsuko<sup>4</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院環境科学院, <sup>2</sup>筑波大学生命環境系, <sup>3</sup>山形大学農学部, <sup>4</sup>北海道大学大学院地球環境科学研究院

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>3</sup>Faculty of Agriculture, Yamagata University, <sup>4</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

植物と土壌の窒素同位体比は生態系の窒素動態の指標としてその有用性が広く知られており、窒素同位体比の変動が窒素動態の変化を意味する。全球的な空間スケールにおいて窒素同位体比は気候に沿った変動傾向を示すことが明らかになってきたが、その変動が示す具体的な窒素動態の変化についての解釈が進んでいない。

本研究は、モンゴル北部の森林—草原境界エコトーンに注目し、微気候の勾配に沿って優占植物であるシベリアカラマツと土壌の窒素同位体比の変動とその変動の示す窒素動態についての調査研究を行った。

2004年から2012年の間、5月から8月の期間において、7つの調査域でカラマツの葉と土壌(表層~50cm深)を採取した。

その結果、カラマツ葉、土壌の窒素同位体比とその差( $\Delta\delta^{15}\text{N}$ )は森林—草原の勾配に沿った変動を示し、有機層の堆積様式(mor/mull)の変化と対応していた。 $\Delta\delta^{15}\text{N}$ は葉の炭素同位体比、土壌のC/N比と有意な相関を示したことから、水分・光環境と土壌の窒素利用性が窒素同位体比の空間変動と関係していることが示唆された。観測された同位体比を説明する窒素プロセスについて、土壌に存在する生物利用可能な窒素についての同位体質量収支からの説明を試みた。

キーワード: エコトーン, モンゴル, 窒素同位体比, 植物と土壌

Keywords: ecotone, Mongolia, nitrogen isotope ratio, plant and soil



酸素同位体観測により推定された飛騨高山冷温帯落葉広葉樹林サイトにおける夜間の生態系呼吸に対する土壌呼吸の割合の季節変動  
Seasonal variation in ratio of soil respiration to ecosystem respiration at Takayama estimated from  $\delta^{18}\text{O}$  measurement

村山 昌平<sup>1\*</sup>; 沢田-高村 近子<sup>2</sup>; 三枝 信子<sup>3</sup>; 石戸谷 重之<sup>1</sup>; 渡辺 力<sup>4</sup>; 伊藤 昭彦<sup>3</sup>; 森本 真司<sup>5</sup>;  
近藤 裕昭<sup>1</sup>; 前田 高尚<sup>1</sup>; 村岡 裕由<sup>6</sup>; 宇佐美 哲之<sup>1</sup>; 青木 周司<sup>5</sup>; 中澤 高清<sup>5</sup>  
MURAYAMA, Shohei<sup>1\*</sup>; SAWADA-TAKAMURA, Chikako<sup>2</sup>; SAIGUSA, Nobuko<sup>3</sup>; ISHIDOYA, Shigeyuki<sup>1</sup>;  
WATANABE, Tsutomu<sup>4</sup>; ITO, Akihiko<sup>3</sup>; MORIMOTO, Shinji<sup>5</sup>; KONDO, Hiroaki<sup>1</sup>; MAEDA, Takahisa<sup>1</sup>;  
MURAOKA, Hiroyuki<sup>6</sup>; USAMI, Tetsuyuki<sup>1</sup>; AOKI, Shuji<sup>5</sup>; NAKAZAWA, Takakiyo<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup> 国立環境研究所, <sup>4</sup> 北海道大学低温科学研究所, <sup>5</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>6</sup> 岐阜大学流域圏科学研究センター

<sup>1</sup>AIST, <sup>2</sup>AORI, The University of Tokyo, <sup>3</sup>NIES, <sup>4</sup>ILTS, Hokkaido University, <sup>5</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>6</sup>River Basin Research Center, Gifu University

Forest ecosystems are one of the important reservoirs in the global carbon cycles. However, environmental factors governing variation in carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) flux between the atmosphere and the forest ecosystems have not been fully understood, which leads to very large uncertainty in future predictions of response of forest ecosystems to climate change. For more precise prediction of the future global carbon budgets, better understandings of each process in the carbon cycle in the ecosystem are necessary. A stable oxygen isotopic ratio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) in  $\text{CO}_2$  is a unique tracer reflecting not only the carbon cycle but also the hydrological cycle. Using difference of isotopic fractionation in  $^{18}\text{O}$  between photosynthetic and respiratory processes and between soil and leaf respiratory processes, gross  $\text{CO}_2$  fluxes in each of the processes have been estimated in some previous studies at relatively short time scales from diurnal to a few months. In this study, isotopic measurements of not only  $\text{CO}_2$  in the atmosphere and soil air but also soil water and atmospheric water vapor were made at a cool-temperate deciduous forest, Takayama (TKY; 36°08'N, 137°25'E, 1420 m a.s.l.) in the growing seasons during 2006-2009. From the obtained data,  $\delta^{18}\text{O}$  values in  $\text{CO}_2$  emitted due to soil ( $R_s$ ) and leaf respirations and total ecosystem respiration ( $R_{ec}$ ) during the nighttime were calculated. Then, seasonal variation in relative contribution of  $R_s$  to  $R_{ec}$  was estimated from mass balance equations. The obtained result was compared with variation in the ratio of  $R_s$  to  $R_{ec}$  estimated from soil chamber and eddy covariance flux measurements. The result from the  $\delta^{18}\text{O}$  measurements showed that the ratio of  $R_s$  to  $R_{ec}$  increased from about 0.5 in late spring to almost 1 in early autumn though the estimated ratios were very scattered. Such a seasonal pattern was similar to that estimated from the flux measurements. In our presentation, factors governing the seasonal variation will also be discussed by comparison with the results simulated for TKY using a process-based ecosystem model (VISIT) and a multi-layer canopy model (MINCER).

キーワード: 酸素同位体, 森林生態系, 生態系呼吸, 土壌呼吸

Keywords: oxygen isotope, forest ecosystem, ecosystem respiration, soil respiration

## 富士北麓カラマツ林における CO<sub>2</sub> 収支の長期観測 Long-term observation of CO<sub>2</sub> flux over a larch forest in northern foot of Mt. Fuji

高橋 善幸<sup>1\*</sup>; 三枝 信子<sup>1</sup>; 井手 玲子<sup>1</sup>; 平田 竜一<sup>1</sup>  
TAKAHASHI, Yoshiyuki<sup>1\*</sup>; SAIGUSA, Nobuko<sup>1</sup>; IDE, Reiko<sup>1</sup>; HIRATA, Ryuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所地球環境研究センター

<sup>1</sup>Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

落葉針葉樹林であるカラマツ林は気候変動による脆弱性が高いと予想されるユーラシア大陸北東部を代表する植生である。カラマツ林の展葉期および落葉期は温度変動の影響を強く受けるため、気候変動による炭素収支へのフィードバックを検証することは重要である。カラマツ林の炭素収支の長期的及び短期的な環境因子の変動への応答特性を定量的に評価するため国立環境研究所は 2006 年に富士北麓のカラマツ人工林に富士北麓フラックス観測サイトを整備し、長期的な観測を開始した。CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O フラックスと炭素収支に関連する気象・微気象要素に関してこれまでに 9 年間の長期観測データを集積し、今後 10 年以上の観測の継続を予定している。本発表では、これまでの観測結果により得られた、年による炭素交換量と季節変化パターンの違いと年毎の環境因子との関連性についての解析結果を示す予定である。

キーワード: 二酸化炭素, フラックス, 森林生態系, 気候変動, 長期観測, 微気象

Keywords: carbon dioxide, flux, forest ecosystem, climate change, long-term monitoring, micrometeorology

## 湛水下におけるカラマツの光合成時の炭素同位体分別 Effects of waterlogging on carbon isotope discrimination of *Larix gmelinii* during photosynthesis

李芳<sup>1\*</sup>; 杉本 敦子<sup>1</sup>

LI, Fang<sup>1\*</sup>; SUGIMOTO, Atsuko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院 地球環境科学研究所

<sup>1</sup>Graduate school of environmental science, Hokkaido university

The carbon isotope discrimination during photosynthesis reflects various environmental factors, such as VPD, solar radiation, soil moisture, salinity, air pollution and so on. It has been used to estimate environmental condition, or calculation of carbon isotope mass balance equation to know a flow of carbon. It is well known that soil moisture is one of the major factors controlling carbon isotope discrimination: discrimination decreased under drought condition due to a decrease of stomatal conductance. On the other hand, there is almost no research on carbon isotope discrimination under extremely wet condition. *Larix gmelinii* is one of the major species of larch trees, which constitute eastern Siberian Taiga. In 2007, extreme wet event has been reported near Yakutsk. In this research, pot experiment with *Larix gmelinii* saplings was conducted to obtain carbon isotope discrimination during photosynthesis under waterlogging condition which may happen more frequently in the future. Under waterlogging condition, both photosynthesis rate and stomatal conductance of all three larch saplings used for experiment decreased, while only one sapling among three showed clear decrease in carbon isotope discrimination. Although the decrease in carbon isotope discrimination was not so clear, needles on current year stem, which seemed to be formed with C fixed during the experiment, showed slightly higher  $\delta^{13}\text{C}$  in waterlogging treatment than that in control. This result suggests that waterlogging condition makes stomatal conductance decreased.

キーワード: 炭素同位体分別, 光合成, 気孔伝導度, 湛水, カラマツ, 実験

Keywords: carbon isotope discrimination, photosynthesis, stomatal conductance, waterlogging, larch, experiment



## ミズゴケ湿原へのササの侵入が炭素収支に与える影響 Effects of the expansion of vascular plants in *Sphagnum*-dominated bog on carbon balance

平野 高司<sup>1\*</sup>; 山田 浩之<sup>1</sup>; 高田 雅之<sup>2</sup>; 藤村 善安<sup>3</sup>; 富士田 裕子<sup>4</sup>; 高橋 英紀<sup>5</sup>

HIRANO, Takashi<sup>1\*</sup>; YAMADA, Hiroyuki<sup>1</sup>; TAKADA, Masayuki<sup>2</sup>; FUJIMURA, Yoshiyasu<sup>3</sup>; FUJITA, Hiroko<sup>4</sup>; TAKAHASHI, Hidenori<sup>5</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院農学研究院, <sup>2</sup>法政大学人間環境学部, <sup>3</sup>日本工営(株), <sup>4</sup>北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, <sup>5</sup>北海道水文気候研究所

<sup>1</sup>Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, <sup>2</sup>Faculty of Humanity and Environment, Hosei University, <sup>3</sup>Nippon Koei, <sup>4</sup>Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, <sup>5</sup>Hokkaido Institute of Hydro-Climate

Peatland ecosystems have accumulated a huge amount of soil organic carbon for millennia. However, it is reported that the soil carbon has become vulnerable because of global warming and land-use change. Such disturbances potentially enhance oxidative peat decomposition, and consequently a large amount of CO<sub>2</sub> is emitted into the atmosphere. In Sarobetsu Mire in northern Hokkaido, which has the largest *Sphagnum*-dominated bog in Japan, vascular plants, *Sasa*, have invaded into *Sphagnum* bog because of the change of the hydrological environment, which was due to drainage for agriculture. To understand the effects of the expansion of *Sasa*-dominated area in *Sphagnum* bog on carbon balance, we measured CO<sub>2</sub> flux using the eddy covariance technique at a *Sphagnum*-dominated area (B site) and a *Sasa*-dominated area (T site) and compared CO<sub>2</sub> balance between the two sites.

Flux measurement was conducted during the four snow-free seasons from mid-April through early November in 2007 to 2010. Eddy sensors of CO<sub>2</sub> (LI7500, Licor) and wind speed (CSAT3, Campbell) were installed at the heights of 2.0 and 2.3 m, respectively, at B and T sites. The outputs from the sensors were recorded with a datalogger (CR1000, Campbell) at 10 Hz. Net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange (NEE) was calculated on a half-hourly basis as a sum of eddy CO<sub>2</sub> flux and CO<sub>2</sub> storage change calculated from CO<sub>2</sub> concentration measured by LI7500. NEE was partitioned into gross primary production (GPP) and ecosystem respiration (RE) using an empirical conventional method.

Both GPP (gross ecosystem photosynthesis) and RE were larger at T site than B site. In 2008 with dry summer, cumulative NEE for 6.5 months of the snow-free season was -129 and -179 gC m<sup>-2</sup>, respectively, at T site and B site. The negative NEE values indicate that the two peatland ecosystems functioned as CO<sub>2</sub> sinks in the season. In addition, sink strength was higher at T site. In 2010 with hot, wet summer, however, cumulative NEE was -238 and -159 gC m<sup>-2</sup>, respectively, at T site and B site. Although NEE increased largely at B site, it decreased at T site. *Sphagnum* moss grew more under the hot and moist environment, which increased GPP more than RE. In contrast, although growth and resultant GPP also increased at T site, RE increased more than GPP because of high temperature. This result suggests that net CO<sub>2</sub> uptake will decrease by the invasion of *Sasa* plants under the warming environment in the near future.

キーワード: 泥炭, CO<sub>2</sub> フラックス, 渦相関法, 温暖化

Keywords: Peatland, CO<sub>2</sub> flux, Eddy covariance technique, Global warming

## デジタルカメラの定点撮影画像による日本各地の植生フェノロジーの把握 Detection of vegetation phenology across Japan by using digital time-lapse cameras

井手 玲子<sup>1\*</sup>; 小熊 宏之<sup>1</sup>; 中路 達郎<sup>2</sup>; 奈佐原 顕郎<sup>3</sup>; 市井 和仁<sup>4</sup>; 永井 信<sup>4</sup>; 石田 昭人<sup>5</sup>;  
中村 和彦<sup>6</sup>; 藤原 章雄<sup>6</sup>; 渡辺 隆一<sup>7</sup>  
IDE, Reiko<sup>1\*</sup>; OGUMA, Hiroyuki<sup>1</sup>; NAKAJI, Tatsuro<sup>2</sup>; NASAHARA, Kenlo<sup>3</sup>; ICHII, Kazuhito<sup>4</sup>;  
NAGAI, Shin<sup>4</sup>; ISHIDA, Akito<sup>5</sup>; NAKAMURA, Kazuhiko<sup>6</sup>; FUJIWARA, Akio<sup>6</sup>; WATANABE, Ryuichi<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人 国立環境研究所, <sup>2</sup> 北海道大学, <sup>3</sup> 筑波大学, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 京都府立大学, <sup>6</sup> 東京大学, <sup>7</sup> 信州大学  
<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>Hokkaido University, <sup>3</sup>University of Tsukuba, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth  
Science and Technology, <sup>5</sup>Kyoto Prefectural University, <sup>6</sup>University of Tokyo, <sup>7</sup>Shinsyu University

近年の気候変動に伴って植物の展葉や開花時期の早期化や紅葉、落葉時期の晩期化などの変化が世界各地で報告されている。植生の季節変動（フェノロジー）は、気候変動の指標であるとともに、炭素収支量を推定する陸上生態系モデルの重要なパラメータである。このような植生の長期的な変化を広域的に把握するために、リモートセンシングへの期待が高まっている。しかしながら、人工衛星による観測ではその空間解像度と観測頻度の制約により、植物種ごとに異なる環境応答を把握することは難しい。本研究では、国内の主要な植物種のフェノロジーの変化と温暖化の影響との関連を明らかにすることを目的として、高解像度かつ高頻度でデータ取得が可能なデジタルカメラの定点撮影画像を用いて国内各地の多様な植生のフェノロジーを群落や種レベルで把握し、気温の変動との関係について解析を行った。

国環研カメラのほか、フェノロジー観測ネットワーク“Phenological Eyes Network (PEN)”、“インターネット自然研究所”（環境省生物多様性センター）、“比叡山ライブカメラ”（京都府立大学）、“サイバーフォレスト”（東京大学）などの画像アーカイブから、落葉広葉樹林や落葉針葉樹林など全国各地 20 カ所（図 1）の 2002 年から 2014 年までの約 120 サイト・年の画像データを収集した。各画像に撮影されている群落あるいは単本の画素を解析対象として選択し、対象範囲内の画素毎の赤緑青（RGB）デジタルカウント値を用いて、葉の緑色を反映する指標値（Green Ratio;  $GR = G / (R + G + B)$ ）を 1 日毎に算出した。GR の時系列変化が展葉、紅葉に伴って最大変化率を示すことから、対象植生の緑葉開始日および終了日を推定した。各植生タイプ・植物種ごとの緑葉開始・終了日の年々変動と、各サイトの気象観測値あるいはアメダスデータの空間内挿により得られた気温との関係を調べた。

推定された緑葉開始・終了日は 2002-2014 年の期間中では早/晩期化のトレンドは明らかでなかったが、年や地域によって大きな変動が認められた。全国的に緑葉開始は 2002、2004、2009 年が早く、緑葉終了は 2005、2010、2012 年が遅かった。緑葉開始の早かった年には緑葉終了が早く、緑葉開始の遅かった年には緑葉終了も遅い傾向が見られた。緑葉開始の早さは、同一年でも地域によって傾向の異なることが多かった。各群落・植物種の緑葉開始は 3 月末-4 月の、緑葉終了は 9 月の平均気温との間に高い相関が認められ、各植物種や地域ごとのフェノロジーの温度応答性から気候変動の影響について考察した。

気候変動のフェノロジーへの影響を検出するためにはさらに多地点で長期にわたる観測の継続が必要である。今後、カメラの増設やインターネット上にある画像の利用などにより解析対象地点を増やすと同時に、既存の観測地点におけるカメラ機材の更新や観測網の維持管理も重要な課題である。

キーワード: 定点カメラ, フェノロジー, RGB, 温度応答性  
Keywords: Time-lapse camera, Phenology, RGB, temperature sensitivity

# Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



ACG30-10

会場:301B

時間:5月25日 11:45-12:00

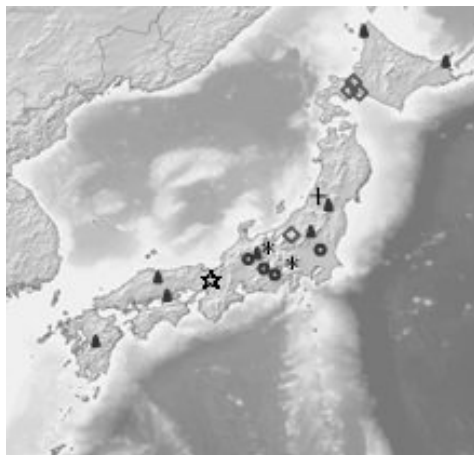


図1 画像解析対象サイト。PENサイト(O)、インターネット自然研究所サイト(▲)、国環研カメラ(◇)、比叡山ライブカメラ(☆)、サイバーフォレスト(\*)、鳥海山定点カメラ(+)

## 衛星データを用いた日本の地上森林バイオマス推定手法の開発 Development of Above Ground Biomass estimation method using satellite data in Japan

平春<sup>1\*</sup>; 林真智<sup>1</sup>; 三枝信子<sup>1</sup>; 山形与志樹<sup>1</sup>  
BORJIGIN, Habura<sup>1\*</sup>; HAYASHI, Masato<sup>1</sup>; SAIGUSA, Nobuko<sup>1</sup>; YAMAGATA, Yoshiki<sup>1</sup>

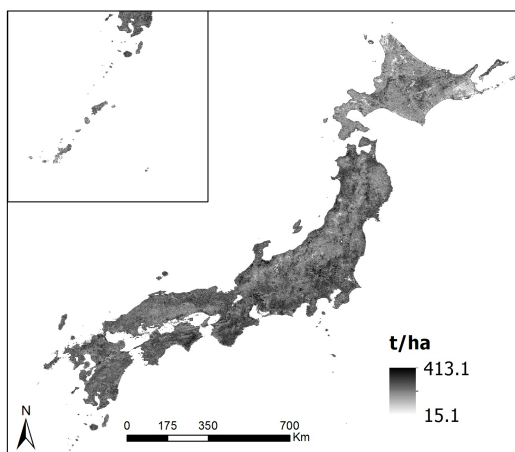
<sup>1</sup> 国立環境研究所  
<sup>1</sup> National Institute for Environmental Studies

森林地上バイオマスの計測手法として、現地調査で森林の基本情報である樹木の樹種、高さ、胸高直径などを計測することにより材積量をもとめ、拡大係数と容積密度で掛け算し求める方法が広く使用されている。この方法は正確な森林地上バイオマスを把握することができるが、広域のモニタリングに適してないため、wall-to-wallマップを作成することが困難である。リモートセンシング手法を用い、衛星データを利用することで広域分布を推定することは有効な手段である。本研究では、森林バイオマスの現地調査データをグラウンドトゥールースとし、衛星データを用いて日本の陸域での森林地上炭素蓄積量を把握することを目的とした。衛星データとして主に2000~2009年のMODISの反射率データ、地表面温度、植生指数、LAIなど指数を用いランダムフォレスト手法によりバイオマスの推定を行った。

グラウンドトゥールースデータを二つのデータセットに分け、一部(90%)を使用してランダムフォレスト学習モデルを構築した。構築した学習モデルから、残りの一部のデータ(10%)から地上バイオマスを予測し、その結果を現地観測データと回帰解析を行った。回帰解析の決定係数とRMSEにより精度評価を行った。その結果、回帰決定係数(R<sup>2</sup>)は0.6、RMSEが26.37(t ha<sup>-1</sup>)である。落葉樹林と常緑樹林での推定精度を検証した結果、回帰決定係数(R<sup>2</sup>)が0.4と0.53、RMSEが24.29(t ha<sup>-1</sup>)と27.34(t ha<sup>-1</sup>)であり、常緑樹林での推定精度が高いことが分かった。また、低バイオマス(100 t ha<sup>-1</sup>以下)、高バイオマス(200 t ha<sup>-1</sup>以上)での推定誤差が大きいことが分かった。日本全域の森林地上バイオマスの推定結果を都道府県別集計し、森林簿のデータと比較した結果、決定係数が0.95、傾きが1.68倍であり、森林総研の検証結果(1.86倍)よりやや低かった。

本研究により、衛星データと現地調査データを用いた機械学習のランダムフォレスト手法は広域の森林地上バイオマスの推定に有効な手法であることを確認できた。今後の課題として、ランダムフォレストを他のモデルと比較し推定精度を高度化する必要がある。また、森林伐採、台風など攪乱による森林バイオマスの変化を抽出し放出された炭素量を把握することも必要である。

キーワード: 衛星データ, MODIS, 森林地上バイオマス, ランダムフォレスト  
Keywords: Satellite data, MODIS, Above Ground Biomass, RandomForest





## 衛星搭載ライダーを活用したボルネオ島の森林資源評価 Forest resources monitoring using spaceborne LiDAR over Borneo

林 真智<sup>1\*</sup>; 平 春<sup>1</sup>; 三枝 信子<sup>1</sup>; 山形 与志樹<sup>1</sup>; 平野 高司<sup>2</sup>

HAYASHI, Masato<sup>1\*</sup>; BORJIGIN, Habura<sup>1</sup>; SAIGUSA, Nobuko<sup>1</sup>; YAMAGATA, Yoshiki<sup>1</sup>; HIRANO, Takashi<sup>2</sup>

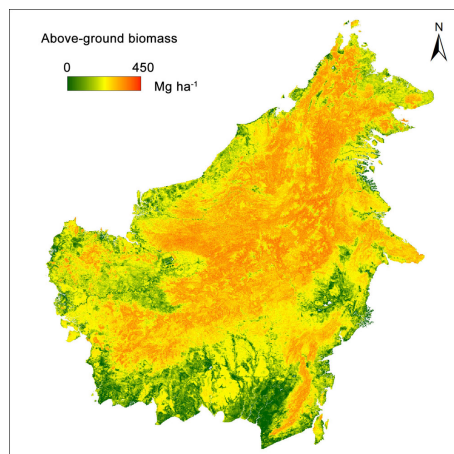
<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup> 北海道大学農学研究院

<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

森林は巨大な炭素の貯蔵庫として機能しているため、全球スケールの炭素循環過程の解明や REDD+ を実現する観点などから、森林資源を正確かつ広域で評価できる技術への期待が、近年、高まりつつある。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、中でも衛星搭載ライダー (LiDAR) が注目を集めている。これは、レーザー光を衛星から地表面へ向けて照射し、反射されたレーザー光強度の時間変化を波形として観測するセンサであり、その波形を解析することで地表面付近の鉛直構造を推定できる。これまで、2003 年から 2009 年にかけて NASA が運用した ICESat 衛星が唯一の衛星搭載ライダーであったが、今後、ICESat-2 衛星の他、国際宇宙ステーションに設置する GEDI や MOLI といったセンサが計画されており、森林観測分野での活用が見込まれている。本研究では、急速に森林減少が進んでいることから REDD+ の対象などとして注目されているボルネオ島を対象とし、既存の衛星搭載ライダー (ICESat/GLAS) を森林バイオマスの評価に利用することで、その能力を明らかにすることを目的とした。まず、GLAS の観測位置と一致する 37 地点においてピッターリッヒ法により地上部バイオマスを計測し、そのデータを教師データとして利用することで、GLAS の波形パラメータから地上部バイオマスを推定する経験式を構築した。交差検証の結果、この推定モデルの精度は  $32.1 \text{ Mg ha}^{-1}$  であった。次に、構築した推定モデルを、ボルネオ島を観測した 127,862 点の GLAS データに適用した。その結果、ボルネオ島における地上部バイオマスの平均値は  $183.1 \text{ Mg ha}^{-1}$  であることや、森林タイプ別に見ると、常緑広葉樹林はマングローブ林や灌木帯の 2 倍近い地上部バイオマスを有すること、全島における総量は 9.81 Gt であることなどが明らかとなった。また、GLAS は離散的な点を観測しているため、MODIS 衛星画像などを併用することで空間的に抜けのない森林バイオマス地図の作製もおこなった (図参照)。このような結果から、衛星搭載ライダーが広域の森林資源評価に適したセンサであることが示された。

キーワード: 森林バイオマス, 衛星搭載ライダー, ICESat/GLAS, ボルネオ島

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





## 生態系タワー観測による太陽光誘発クロロフィル蛍光データベースの構築 Development of Sun-Induced Chlorophyll Fluorescence database based on ecosystem tower measurement

加藤 知道<sup>1\*</sup>; 辻本 克斗<sup>2</sup>; 奈佐原 顕郎<sup>3</sup>; 秋津 朋子<sup>3</sup>; 永井 信<sup>4</sup>; 小野 圭介<sup>5</sup>; 斎藤 琢<sup>6</sup>; 村岡 裕由<sup>6</sup>; 野田 響<sup>7</sup>; 三枝 信子<sup>7</sup>; 井手 玲子<sup>7</sup>; 高橋 善幸<sup>7</sup>  
KATO, Tomomichi<sup>1\*</sup>; TSUJIMOTO, Katsuto<sup>2</sup>; NASHARA, Kenlo<sup>3</sup>; AKITSU, Tomoko<sup>3</sup>; NAGAI, Shin<sup>4</sup>; ONO, Keisuke<sup>5</sup>; SAITOH, Taku M.<sup>6</sup>; MURAOKA, Hiroyuki<sup>6</sup>; NODA, Hibiki<sup>7</sup>; SAIGUSA, Nobuko<sup>7</sup>; IDE, Reiko<sup>7</sup>; TAKAHASHI, Yoshiyuki<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学農学研究院, <sup>2</sup> 北海道大学農学部, <sup>3</sup> 筑波大学生命環境系, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 農業環境技術研究所, <sup>6</sup> 岐阜大学流域圏科学研究センター, <sup>7</sup> 国立環境研究所

<sup>1</sup>Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, <sup>2</sup>School of Agriculture, Hokkaido University, <sup>3</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>National Institute for Agro-Environmental Sciences, <sup>6</sup>River Basin Research Center, Gifu University, <sup>7</sup>National Institute for Environmental Studies

森林や草原などの生態系は光合成により、温室効果ガスである CO<sub>2</sub> を大気から吸収しており、生態系光合成量を正確に把握することは、将来の地球の気候変化を予測する上で非常に重要である。その広域的な量を押さえるためには、衛星データを利用することが一般的であるが、従来の植生指標 (NDVI, EVI など) は葉の緑色を反映するのみであり、常緑林の冬期や、干ばつなどで一時的にストレスを受けている生態系の光合成量を推定することには向いていない。

光合成は太陽光を利用するが、利用されなかった光エネルギーの一部は、クロロフィル (葉緑素) 蛍光として放出される (太陽光誘発クロロフィル蛍光: Sun-Induced Fluorescence, SIF)。これまで、SIF は、個葉などの小さいスケールでのストレス診断に用いられるのみであったが、最近、生態系レベルの大きなスケールで、光合成速度 (総一次生産量) との相関が大変高いことがわかってきており (Zarco-Tejada et al., 2013, AFM など)、SIF を生態系 CO<sub>2</sub> 吸収量の推定に生かすことが非常に期待されている。一方で、地上観測データによる検証は、ほとんど進んでいないため、利用可能性が狭められている。

そこで本研究では、日本の植物季節観測ネットワーク (Phenological Eyes Network: PEN) による分光放射データを利用し、異なる生態系タイプの 5 カ所のサイト (水田: 真瀬、草原: 筑波大アイソトープ研圃場、落葉広葉林: 高山 TKY、常緑針葉林: 高山 TKC、落葉針葉林: 富士北麓) において、760nm 付近の O<sub>2</sub>-A 吸収帯の SIF を Fraunhofer Line Depth (FLD) 法にて算出した。本発表では、2005-2013 年間のこれら SIF と渦相関法によって観測された総一次生産 (GPP) を比較し、SIF の生態系光合成量の推定についての利用可能性について初歩的な結果を示す予定である。

キーワード: 生態系光合成量, リモートセンシング, フラックス観測, 衛星観測

Keywords: Ecosystem Photosynthesis, Remote Sensing, Flux measurement, Satellite measurement

## 衛星観測によるナミビア季節湿地における高時空間分解能の貯水量・蒸発量推定 Estimation of water storage and evaporation at seasonal wetlands in Namibia by satellite remote sensing

水落 裕樹<sup>1\*</sup>; 奈佐原 顕郎<sup>2</sup>

MIZUOCHI, Hiroki<sup>1\*</sup>; NASAHARA, Kenlo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学生命環境科学研究科, <sup>2</sup> 筑波大学生命環境系

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>University of Tsukuba

半乾燥地帯に分類される、アフリカ・ナミビア共和国北部においては、雨季になると広範な季節湿地帯が形成される。なかでも、農家に隣接した窪地に現れる半径数十から 100 m 程度の季節性の小湿地 (*ondombe*) は、重要な水資源として認識されてきた。現在のところ、現地ではトウジンビエの天水栽培が一般的な営農の形式であるが、食料問題緩和のために、当該小湿地に稲作を導入することが近年期待されてきている。

稲作を持続可能に導入するためには、小湿地における水資源・水収支の把握がひとつの重要な課題となっている。しかし、小湿地は広域に分布しており、なおかつ湛水状態が数日スケールで変動するため、モニタリングが困難とされてきた。そこで本研究では、現地の小湿地における水資源・水収支の把握に向けて、衛星リモートセンシングと地上測量を統合利用することで、小湿地の時系列の貯水量と蒸発量の推定を行った。

季節湿地の現れる、ナミビア北部からアンゴラ南部にまたがる地域 (南緯 16° 29' 43" から 19° 05' 20", 東経 14° 24' 59" から 17° 00' 53") を衛星解析の対象地域とした。また、その中でテストサイトとして 5.4 km × 5.4 km の範囲を 3 箇所を設けて、重点的に衛星解析と現地調査を行った。まず 3 つの異なる種類の衛星データ (AMSR-E 及び AMSR2, MODIS, Landsat ETM+) を 2002 年から 2013 年まで用意し、独自開発した「データベースミクセル分解法 (database unmixing; Mizuochi *et al.*, 2014, *Remote Sensing*)」で組み合わせることにより、高時空間分解能でテストサイトにおける時系列の湛水面積を把握した。続いて、現地の代表的な小湿地を 11 地点設定し、レーザー測距器による地形測量を行うことで、小湿地の湛水面積と貯水量の関係を表す回帰モデルを作成した。これを衛星解析の結果と組み合わせ、テストサイトにおける時系列の貯水量推定を行った。更に、衛星データから得られた日射量の情報をもとに、テストサイトにおける小湿地からの蒸発量を推定した。最後に、これらをテストサイトで取得された降水量データとあわせて比較することで、現地の水文学的特性を議論した。

湛水面積の把握においては、データベースミクセル分解法により、AMSR-E 及び AMSR2 の 25 km 分解能から、Landsat ETM+ の 30 m 分解能まで空間分解能が向上した。また、解析対象期間のうち、用いたもとの Landsat ETM+ の欠測・欠損を除く有効データの割合は 1.8% 程度であったが、本手法により 88.5% まで向上し、時間分解能においても大きな改善が見られた。現地の地形測量の結果から、湛水面積と貯水量の関係を表す 110 点のサンプルを得て、これに基づき回帰モデルを作成することができた。衛星解析から得られた湛水面積と回帰モデルを組み合わせ、小湿地の時系列の貯水量の推定値を 2002 年から 2013 年まで得ることができた。貯水量の最大値や積算値は、その年の降水の規模を反映していた。例えば「30 年に 1 度の早魃年」と言われた 2012-2013 年の雨季は、他の年の雨季に比べ貯水量が少なく、逆に周辺河川の水位が過去最高を記録する大洪水が発生した 2008 ? 2009 年の雨季には、テストサイトの最大貯水量・積算貯水量ともに大きくなっている様子が確認できた。また、衛星データから得られた日射量をもとに計算した小湿地からの蒸発量と、テストサイトへの降水量のインプットを年積算値で比較した結果、小湿地からの蒸発量はどのサイトでも、降水としてサイトに流入する水量のうちおおむね数%から 10% 程度であった。このことから、現地の水収支の把握には、地下への水の浸透・及び小湿地以外の土壌からの蒸発を考慮する必要が大きいことがわかった。

本研究は、広域にわたる季節湿地の貯水量や蒸発量を、高時空間分解能で捉えるための一つの水文学的アプローチの提案でもある。今後は、現地における水資源・水収支を詳細に把握するため、用いたアルゴリズムの改良や、結果の検証についての更なる研究が望まれる。

キーワード: 半乾燥地, 季節湿地, database unmixing, レーザー測量

Keywords: semi-arid, seasonal pond, database unmixing, laser measurement

## 記録的な暖冬・少雪下における山岳牧草地動態のプロセスベースモデリング Process-based modeling for mountain pasture dynamics in unusual warm and long snow-free wintertime

堅田 元喜<sup>1\*</sup>; Grote Ruediger<sup>2</sup>; Zeeman Matthias<sup>2</sup>; Mauder Matthias<sup>2</sup>; 太田 雅和<sup>3</sup>; Lu Haiyan<sup>2</sup>; Kiese Ralf<sup>2</sup>

KATATA, Genki<sup>1\*</sup>; GROTE, Ruediger<sup>2</sup>; ZEEMAN, Matthias<sup>2</sup>; MAUDER, Matthias<sup>2</sup>; OTA, Masakazu<sup>3</sup>; LU, Haiyan<sup>2</sup>; KIESE, Ralf<sup>2</sup>

<sup>1</sup> カールスルーエ工科大学/日本原子力研究開発機構, <sup>2</sup> カールスルーエ工科大学, <sup>3</sup> 日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup>Karlsruhe Institute of Technology (KIT-IMK/IFU)/Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup>Karlsruhe Institute of Technology (KIT-IMK/IFU), <sup>3</sup>Japan Atomic Energy Agency

アルプスの生態系は、土壌呼吸が純光合成量を上回る寒冷期には炭素の発生源となることがわかっているが、積雪の役割と気候温暖化に伴う積雪期間の短縮化へのこれらの生態系の応答は明らかではない。本研究では、無積雪期間の草地動態を調べるために、多層大気-土壌-植生モデル (SOLVEG) に詳細な雪物理スキーム、植物生長スキーム、および土壌微生物スキームを結合した。このモデルを、降雪量が極めて少なかった年のドイツの準アルプス草地の観測サイトに適用した。改良したモデルは、地表面熱収支や CO<sub>2</sub> フラックス、土壌温度・含水量、および地上部バイオマスの時間変化を再現した。シミュレーションおよび観測結果では、低標高では草本が冬眠することなく光合成活動を続けていることが示された。同時に、霜害による枯死が進むために、結果的には無積雪期間の光合成による積算炭素同化量は土壌呼吸とほぼ同等であった。しかしながら、温暖化環境では霜害を避けられるために、冬から春にかけて草地が CO<sub>2</sub> の強い吸収源となることがわかった。将来の気候変動によって、世界に分布する山岳草地での冬季の炭素吸収量の重要性が増す可能性がある。

キーワード: 管理草地, 無積雪期間, 陸面モデル, 光合成, 霜害, ヨーロッパアルプス

Keywords: managed grassland dynamics, snow-free period, land surface model, photosynthesis, frost damage, European Alps

## FACE 実験におけるモデルを使った生理パラメータの感度分析 Model-Aided Analysis of FACE Effects on Rice Canopy Photosynthesis, Transpiration, and Water Use Efficiency

Ikawa Hiroki<sup>2\*</sup>; 大上 博基<sup>1</sup>; 吉本 真由美<sup>2</sup>; 小林 和彦<sup>3</sup>; 岡田 益己<sup>4</sup>

IKAWA, Hiroki<sup>2\*</sup>; OUE, Hiroki<sup>1</sup>; YOSHIMOTO, Mayumi<sup>2</sup>; KOBAYASHI, Kazuhiko<sup>3</sup>; OKADA, Masumi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 愛媛大学農学部, <sup>2</sup> 農業環境技術研究所, <sup>3</sup> 東京大学農学部, <sup>4</sup> 東北農業試験場, <sup>5</sup> 岩手大学農学部

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Ehime University, <sup>2</sup>National Institute for Agro-Environmental Sciences, <sup>3</sup>Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, <sup>4</sup>National Agricultural Research Center for Tohoku Region, <sup>5</sup>Faculty of Agriculture, Iwate University

Sustainable agricultural practice requires promising crop productivity with efficient water use. Given the projected increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration [CO<sub>2</sub>], our understanding on the CO<sub>2</sub> effects on rice productivity (i.e., photosynthesis) and water use (i.e., transpiration) on a leaf scale improved in the last few decades, particularly with Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) experiments that enable a simulation of a future agricultural field with high [CO<sub>2</sub>]. However, very few information is yet available as to how the investigation on a leaf-level response of photosynthesis and transpiration to [CO<sub>2</sub>] is translated to the whole canopy photosynthesis and transpiration (Shimono et al., *Glob. Change Biol.*, 2013; Yoshimoto et al., *Agric. For. Meteorol.*, 2005). This is partly due to the limited size of a FACE ring where it is difficult to apply top-down measurements, such as the eddy covariance technique. In this study, we quantified the effect of [CO<sub>2</sub>] on rice canopy photosynthesis, transpiration and water use efficiency, using a multi-layer model with the model parameters obtained from single-leaf photosynthesis and transpiration measurements. With the model parameters carefully determined, we delineated the effects of [CO<sub>2</sub>] on the canopy photosynthesis and transpiration through the changes in physiological and micrometeorological conditions for a better understanding on future rice productivity and water use.

## 熱帯泥炭林に適用するための陸域生態系モデルにおける土壌サブモデルの改良 Improving the soil sub-model of the process-based terrestrial ecosystem model to apply tropical swamp forests

平田 竜一<sup>1\*</sup>; 伊藤 昭彦<sup>1</sup>; 平野 高司<sup>2</sup>; 三枝 信子<sup>1</sup>  
HIRATA, Ryuichi<sup>1\*</sup>; ITO, Akihiko<sup>1</sup>; HIRANO, Takashi<sup>2</sup>; SAIGUSA, Nobuko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup> 北海道大学大学院農学研究院

<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

We applied conventional model (Vegetation Integrative Simulator for Trace Gases; VISIT) to tropical peat forest data obtained from Palangkaraya (PDF) site in Kalimantan but it cannot simulate carbon balance accurately. Especially, ecosystem respiration (RE) showed opposite seasonal variation with observed RE because of misunderstanding of soil respiration process. Soil respiration process in conventional ecosystem model is controlled by only soil temperature and soil water content. In contrast, CO<sub>2</sub> release from peat is regulated by not only these components but also water table. Soil respiration data obtained from PDF site shows that the response of soil respiration to wetness is also different from that in conventional model. In order to improve the response of soil respiration, we modify soil submodel of the model. Ground water level is simulated by tank model. We modify soil respiration function using the relationship between ground water level and soil respiration.

キーワード: 炭素収支, 地下水位, 中央カリマンタン

Keywords: carbon balance, ground water level, Central Kalimantan



## 経験モデルを用いた土壌N<sub>2</sub>Oガス放出の全球スケールの推定 Global estimation of soil nitrous oxide emission using a semi-empirical model

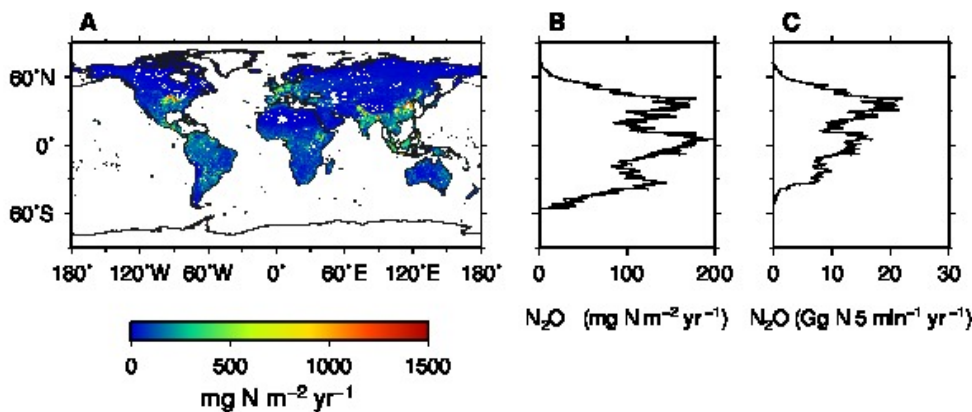
橋本 昌司<sup>1\*</sup>  
HASHIMOTO, Shoji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所  
<sup>1</sup> Forestry and Forest Products Research Institute

Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) flux is one of the major greenhouse gas fluxes from terrestrial ecosystems. N<sub>2</sub>O is generally released from soil surface to the atmosphere. In this study, a semi-empirical model was developed through modifying a model for soil CO<sub>2</sub> flux (Raich et al. 2002), and the global distribution of N<sub>2</sub>O flux from soil was examined. The model consists of the functions of nitrogen, air temperature, and precipitation and the parameters of the functions were determined using a global dataset of N<sub>2</sub>O emission (Stehfest and Bouwman 2006). The model was applied at a spatial resolution of 5-minute and at a monthly time resolution.

The preliminary calculation revealed that the total amount of N<sub>2</sub>O emission was 14 Tg N yr<sup>-1</sup>, and the monthly flux showed a clear seasonality, and was highest in August and lowest in February. The dry natural land is the major source of N<sub>2</sub>O emission while the dry cultivated land was the second major source. Latitudinally, the flux was high around 30 — 40 degreeN and 10 degreeS — 10 degreeN. These results were still based on limited data, especially for wet ecosystems, and will be updated in future.

キーワード: 土壌, 亜酸化窒素, モデル, 窒素  
Keywords: soil, nitrous oxide, model, nitrogen



## ミオンボ林における地上部バイオマスと森林火災の関係 Variability in aboveground woody biomass in miombo woodland under fire disturbances

齊藤 誠<sup>1\*</sup>; Luysaert Sebastiaan<sup>2</sup>; Poulter Benjamin<sup>3</sup>; Williams Mathew<sup>4</sup>; Ciais Philippe<sup>2</sup>; Bellassen Valentin<sup>5</sup>; Ryan Casey<sup>4</sup>; Yue Chao<sup>2</sup>; Cadule Patricia<sup>2</sup>; Peylin Philippe<sup>2</sup>; SAITO, Makoto<sup>1\*</sup>; LUYSSAERT, Sebastiaan<sup>2</sup>; POULTER, Benjamin<sup>3</sup>; WILLIAMS, Mathew<sup>4</sup>; CIAIS, Philippe<sup>2</sup>; BELLASSEN, Valentin<sup>5</sup>; RYAN, Casey<sup>4</sup>; YUE, Chao<sup>2</sup>; CADULE, Patricia<sup>2</sup>; PEYLIN, Philippe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup>LSCE, <sup>3</sup>Montana State University, <sup>4</sup>University of Edinburgh, <sup>5</sup>INRA Dijon  
<sup>1</sup>NIES, <sup>2</sup>LSCE, <sup>3</sup>Montana State University, <sup>4</sup>University of Edinburgh, <sup>5</sup>INRA Dijon

Miombo woodland is a savanna that spreads extensively over Africa, but it subjects to frequent fires (fire return intervals of 1-3 years) that are probably caused by human activities, such as cultivation, deforestation, and fuel wood collection. These activities result in degradation of miombo woodland. The degradation of large areas of miombo woodland involves the risks of rapid change in the current stable state of ecosystems to an alternative state and of increasing fire frequency and intensity. This study combined a process-based ecosystem model ORCHIDEE-FM with a fire regime model SPITFIRE to quantify the relative importance of fire regime and climate change in regulating aboveground woody biomass in miombo woodland under current and near-future climate conditions. The model was developed based on observations of resprouting and tree topkill rates in individual tree size classes for varying fire intensity. The model demonstrated that fire has a large impact on aboveground woody biomass and vegetation structure in miombo woodland. Aboveground woody biomass in miombo woodland significantly varies with fire regime with fire intensity and fire return interval. A shorter fire return interval and higher fire intensity results in a greater reduction of aboveground woody biomass by reducing the mean tree size. Although fire return interval in miombo woodland depends on human activities, fire intensity depends on the amount of grass fuel and on the season. For the current fire regime in miombo woodland, adaptive fire management is necessary to maintain today's aboveground woody biomass by controlling moderate fire intensity and frequency under current climate conditions. Under near-future climate with elevated CO<sub>2</sub> concentration and warmer climate, miombo woodland is perhaps more tolerant of fire disturbances by increase in the resprouting capacity and growth rate of woody plants.

キーワード: サバナ, ミオンボ, 森林火災, 地上部バイオマス  
Keywords: savanna, miombo, fire, aboveground woody biomass

## 北極陸域モデル相互比較とサイト間差異—物理・物質循環過程に着目して— Arctic terrestrial model intercomparison and its site-specific difference - physical process and biogeochemical cycle.

森 淳子<sup>1\*</sup>; 齊藤 和之<sup>2</sup>; 宮崎 真<sup>1</sup>; 山崎 剛<sup>3</sup>; 伊勢 武史<sup>4</sup>; 荒木田 葉月<sup>5</sup>; 羽島 知洋<sup>2</sup>; 飯島 慈裕<sup>2</sup>;

町屋 広和<sup>1</sup>; 末吉 哲雄<sup>1</sup>; 矢吹 裕伯<sup>2</sup>; GTMIP グループ<sup>6</sup>

MORI, Junko<sup>1\*</sup>; SAITO, Kazuyuki<sup>2</sup>; MIYAZAKI, Shin<sup>1</sup>; YAMAZAKI, Takeshi<sup>3</sup>; ISE, Takeshi<sup>4</sup>;

ARAKIDA, Hazuki<sup>5</sup>; HAJIMA, Tomohiro<sup>2</sup>; IJIMA, Yoshihiro<sup>2</sup>; MACHIYA, Hirokazu<sup>1</sup>; SUEYOSHI, Tetsuo<sup>1</sup>;

YABUKI, Hironori<sup>2</sup>; GTMIP, Group<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 情報・システム研究機構 国立極地研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 京都大学フィールド科学教育研究センター, <sup>5</sup> 独立行政法人理化学研究所, <sup>6</sup> GTMIP グループ

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Tohoku University, <sup>4</sup>Kyoto University, <sup>5</sup>RIKEN, <sup>6</sup>GTMIP group

「北極陸域モデル相互比較プロジェクト (GTMIP)」は GRENE-ACCRP(グリーンネットワークオペクセレンス事業 北極気候変動分野)の「環北極陸域システムの変動と気候への影響」研究課題 (GRENE-TEA)のモデリンググループの活動の一つである。北極域全体の気候変動への役割を評価するには、数値モデルを用いた手法が有効であると考えられる。しかし、積雪や凍土といった北極陸域に特徴的な物理過程の反映が不十分であることにより、地温や水分移動、炭素収支などの再現状況は十分とはいえず、また現地観測例も少ないためモデル出力結果の検証も限られている。

GTMIP stage1 では、北極陸域の複数の GRENE-TEA 観測サイトについて、同サイトで得られた現地観測値を入力及び検証データとして用いるサイトシミュレーションを行う。陸面の物理的プロセスと生態プロセスを扱う複数のモデルのモデル間比較を行うことにより、各モデルの特徴と課題を明らかにし、モデルの改良やサイト間の差異を評価することを目的の一つとしている。

現在の参加モデルは、積雪、凍土の一次元モデル (FROST, SMAP, SNOWPACK), 一次元陸面モデル (2LM, SPAC), 地球システムモデルなどの結合が可能な多点対応陸面物理モデル (HAL, MATSIRO, JULES, PB-SDM), 陸面生態系モデル (BEAMS, Biome-BGC, STEM1, VISIT), 陸面植生動態モデル (LPJ, SEIB-DGVM,) 及び水文生態結合モデル (CHANGE) である。比較検証を行う GRENE-TEA サイトは、環北極域に位置する Fairbanks (米国)、Kevo (フィンランド), Tiksi (ロシア), Yakutsk (ロシア) の4カ所である。これら4地点はそれぞれ積雪量や永久凍土状態、大陸度、植生において異なっている。入力データは、観測値が得られる期間が短いため、再解析データを利用して作成した。まず、各観測点について、環北極域の観測値と比較的よく一致する ERA-Interim をベースとし、気温を CRU, 降水量を GPCP、短波放射を経度で補正した30分間隔のデータセット (Level 0.2) を作成した。このデータセットをさらに現地観測値と比較して補正し、サイトの観測値を比較的良く再現する連続的なデータセット (Level 1.0) を作成した。対象とする期間は1980年?2013年の34年間とした。評価項目は、熱収支、積雪 (最大積雪深、積雪期間など)、植物季節、土壌の凍結・融解 (地温プロファイル、活動層/季節凍土層厚など)、炭素収支である。

モデル出力結果と観測値とを比較すると、潜熱フラックスの年平均値は物理モデルと Fairbanks と Yakutsk における観測値とが良く一致した。Kevo では生態系モデル間でばらつきが大きくなっていた。年最大積雪深は、物理モデルのなかでも特に積雪モデルは観測値に近い値を示すものが多い。積雪密度の時間変化を考慮に入れていないモデルの出力値が観測値より小さい値を示すが、これは積雪密度の評価に起因している可能性が考えられる。また、北極海沿岸ツンドラの Tiksi については、すべてのモデルが過大評価をしていた。GPP (総生産量) の年積算値のモデル出力結果は Yakutsk で観測値と近い値であったが、Fairbanks ではモデル出力値の分布幅が大きく、観測値の4倍以上の値を示すモデル出力結果もあった。NEP (生態系純生産量) の年積算値は、Yakutsk ではモデル出力値が観測値より吸収量が少なめであったが、Fairbanks では観測値の方がモデル出力より吸収量が少なめであった。モデル間では、Tiksi で、年々変動の大きいモデルと小さいモデルの二つのグループに大きく分けられた。このように、サイト間、要素間においてモデル出力結果のばらつき具合や再現性が異なっている。本発表ではその原因についてさらに考察を加える。

キーワード: 環北極域, 陸面モデル

Keywords: Circum-Arctic region, Terrestrial process model

## 陸域生態系の炭素循環・窒素循環過程を有した新しい地球システムモデルの開発プラン

### A design for the new Earth System Model with terrestrial carbon/nitrogen cycle processes

羽島 知洋<sup>1\*</sup>; 渡辺 真吾<sup>1</sup>; 河宮 未知生<sup>1</sup>; 渡辺 路生<sup>1</sup>; 野口 真希<sup>1</sup>; 岡島 秀樹<sup>1</sup>; 建部 洋晶<sup>1</sup>;  
伊藤 彰記<sup>1</sup>; 山崎 大<sup>1</sup>; 立入 郁<sup>1</sup>; 加藤 悦史<sup>2</sup>; 杉山 昌広<sup>3</sup>; 伊藤 昭彦<sup>4</sup>; 大垣内 るみ<sup>1</sup>  
HAJIMA, Tomohiro<sup>1\*</sup>; WATANABE, Shingo<sup>1</sup>; KAWAMIYA, Michio<sup>1</sup>; WATANABE, Michio<sup>1</sup>; NOGUCHI, Maki<sup>1</sup>;  
OKAJIMA, Hideki<sup>1</sup>; TATEBE, Hiroaki<sup>1</sup>; ITO, Akinori<sup>1</sup>; YAMAZAKI, Dai<sup>1</sup>; TACHIIRI, Kaoru<sup>1</sup>;  
KATO, Etsushi<sup>2</sup>; SUGIYAMA, Masahiro<sup>3</sup>; ITO, Akihiko<sup>4</sup>; OHGAITO, Rumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> エネルギー総合工学研究所, <sup>3</sup> 東京大学 政策ビジョン研究センター, <sup>4</sup> 国立環境研究所

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>The Institute of Applied Energy, <sup>3</sup>UTokyo Policy Alternatives Research Institute, <sup>4</sup>National Institute for Environmental Studies

Changes in the natural environment that are the result of human activities are becoming evident, and these changes are interrelated and can not be investigated without interdisciplinary collaboration between scientific fields. In order to understand the interrelated mechanism within the Earth's environment and to evaluate/project the anthropogenic impact on it, Earth system models (ESMs) have been developed by incorporating the biogeochemical processes of terrestrial/marine ecosystems into atmosphere-ocean general circulation models. These models have joined the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) and contributed to the assessment report of IPCC. We finished a process of reviewing our modeling and scientific activities up to the IPCC 5th assessment report, and we have started to design a new generation of ESMs. In this presentation, we briefly summarize the scientific/modeling tasks with ESM, and illustrate the design of the new ESM we are now developing.

キーワード: 陸域生態系, 炭素循環, 窒素循環, 地球システムモデル, 温暖化予測, 生物地球化学

Keywords: terrestrial ecosystems, carbon cycle, nitrogen cycle, Earth system models, Climate change projection, Biogeochemistry