

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26292076

研究課題名(和文) 百mメッシュの空間解像度を目標とした、北方林の広域炭素収支評価手法の確立

研究課題名(英文) Large scale evaluation of decadal forest biomass changes using repeated airborne LiDAR observations in northern Japan

研究代表者

高木 健太郎 (TAKAGI, Kentaro)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号：20322844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：北海道北部の冷温帯林において、2004年と2014年の2回の航空機レーザー観測結果を利用して、10年間の森林炭素貯留量の変化を広域(225 km²)・高分解能(1 ha)で推定した。10年間の正味の森林炭素貯留変化量の平均値は 4.18 ± 6.64 (SD) MgC/haであり、フラックス観測研究より得られた森林の正味CO₂交換量と同等の範囲にあった。高標高、急傾斜、北向き斜面、大きな樹高のばらつき、針葉樹林の場合に有意に正味の炭素貯留変化量が少なくなり、南向き斜面、広葉樹林、二次林で有意に多くなった。森林の成長量と2つの植生指標(NDVI, GR)との間には線形の関係が見られた。

研究成果の概要(英文)：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, with 1 ha spatial resolution.

The average of the decadal net biomass change was $4.18 (\pm 6.64 \text{ SD})$ MgC/ha having large spatial variation. Estimated values were comparable with the results obtained from ground surveys or tower flux observations. Decadal net biomass change was significantly lower at high elevation, north facing slope, steep 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 NDVI and Green ratio, which implies the application of satellite vegetation indices to further large scale estimation of forest biomass changes

研究分野：農林気象学

キーワード：航空機レーザー測量 森林炭素貯留量変化 森林生態系炭素収支 広域評価 MODIS 植生指標

1. 研究開始当初の背景

微気象学的方法の一つである、渦相関法を用いた森林の炭素収支観測(フラックス観測)が始まってほぼ 20 年が経過し、世界の多様な森林生態系における二酸化炭素収支の長期変動データが蓄積されている。蓄積されたデータセットは、地域・大陸・全球スケールの森林の炭素収支の統合研究(e.g. Jung et al., 2011) に利用されるとともに、衛星リモートセンシングや広域モデリングによる全球規模の炭素動態の評価の際の現地検証データとして用いられ、評価手法の開発に寄与してきた(e.g. Williams et al., 2009)。

しかし、地上フラックス観測で得られる観測値の空間代表性は数 10 ~ 数 100 m 程度しかなく、この観測値を 500 m ~ 10 km メッシュの解像度の衛星観測データや広域モデルシミュレーションと比較するためには、大気観測や狭域シミュレーションによって、その空間的なギャップを埋める必要が指摘されてきた(地球観測推進委員会, 2010)。

2. 研究の目的

本研究では、地上観測と衛星観測とのギャップを埋める観測として、航空機レーザ観測を行い、森林の炭素収支の評価手法を開発することを目的とする。航空機レーザ観測は位置情報の記録が可能な航空機よりレーザを照射し、地表面の高度情報を得る技術である(高木, 2009)。レーザ観測を森林に適用した場合、森林の一番高い標高(樹冠高度: DSM)と地面標高(DTM)の双方を 1 m メッシュ程度の解像度で得ることが可能である。樹冠高度から地面高度を差し引いた値(樹冠高: DCHM)が、樹高の指標となり、樹冠高を面的に積分したものの(樹冠体積)が、森林の蓄積量・炭素貯留量の指標となる。北海道大学天塩研究林では、2004 年のレーザ観測によって得られた樹冠体積と現地観測によって得られた森林炭素貯留量から、全 220 km² の森林炭素貯留量分布を 1ha メッシュで整備している。

本研究では、この観測から 10 年後にあたる 2014 年に再観測を行うことによって、(1)天塩研究林全域の 10 年間の森林炭素貯留量変化を 1ha の空間解像度で明らかにすること、(2)炭素貯留量変化の空間分布を支配する環境要因を明らかにすること、(3)推定された炭素変化量と衛星植生指標との関係を明らかにすることにより、推定対象の時空間スケールの拡大可能性について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究サイト

航空機レーザ観測は、北緯 45°に位置する北海道大学天塩研究林 225 km² の全域を対象とした。標高は約 0 ~ 570 m である。林床にはササが優占しており、研究林の約 90%が一部施業履歴のある天然性林であり、針広混交

林や落葉樹林、針葉樹林、二次林などが分布している。残り 10%は人工造林地である。

森林生態系の光合成量と呼吸量の観測は、天塩研究林の皆伐実験サイトと苫小牧国有林の風倒攪乱サイトにおいて行った。

(2) 観測方法

航空機レーザ観測

2014 年 6 ~ 9 月の雲のない日に、天塩研究林全域の航空機レーザ観測を行った。レーザパルス密度は 1.5 m²、1 パルスあたりの照射範囲は 0.37 m であった。

長期観察林と伐採地における毎木調査

天塩研究林内に設置されている、10 箇所の長期観察林(総面積 4.5 ha)において、2004 年と 2014 年に各調査区内のすべての木(総数 3981 本)の胸高直径と樹高の測定を行った。2004 年から 2014 年の間に伐採が行われた 11 地点、総面積 63 ha、総数 10287 本の伐採木の胸高直径を測定した。

光合成量と呼吸量の観測

天塩研究林の皆伐実験サイトと苫小牧国有林の風倒攪乱サイトにおいて渦相関方法による群落光合成量と呼吸量の連続観測を全期間通年で行った。両サイトにおいて、多点連続チャンバシステムを用いて土壌呼吸量と微生物呼吸量の連続観測を無雪期のみ行った。渦相関法による評価は 30 分毎に行い、チャンバシステムによる評価は 30 分(天塩)および 1 時間(苫小牧)間隔で行った。

(3) 解析方法

樹冠高および樹冠高変化の解析

2004 と 2014 年のレーザ観測データについて、樹冠標高、および地面標高の点群を分離し、それぞれを平面化することで、天塩研究林全域の樹冠標高(DSM)と地面標高(DTM)のマップを作成した。両年における樹冠高(DCHM)は、DSM 値から DTM 値を差し引くことにより作成した。また、2014 年と 2004 年の DSM の差より、10 年間の樹冠高変化(Δ DSM)マップを作成した。DSM、DTM、DCHM、 Δ DSM の算出、および環境要因や植生指標との関係の解析は ArcGIS (Geographic Information System) (ESRI 社)を用いて行った。

現地観測による炭素貯留量と貯留量変化の評価

10 地点の長期観察林、および 11 地点の伐採地において胸高直径を測定したすべての木について、現地観測で得られた胸高直径(D : cm)と Takagi et al. (2010) のアロメトリ式(式 1)を用いて、幹や根、枝葉を含めた個々の樹木の乾燥重量(Y : kg)を推定した。長期観察林の樹木については、2004 年の計測と 2014 年の計測の 2 回それぞれについて、乾燥重量を推定した。

$$\ln Y = 2.389 \times \ln D - 1.928 \quad (\text{式 1})$$

乾燥重量の 1/2 を炭素貯留量とした。各長期観察林プロット内の全ての木の炭素貯留量の総和として、各長期観察林の両年の森林炭素貯留量(Mg C ha⁻¹)と両年間の差を推定した。11 地点の各伐採区域において、伐採木の炭素貯留量の総和を求め、各伐採区域の森林の炭素消失量(Mg C ha⁻¹)を推定した。

樹冠高変化と森林炭素貯留量変化の関係

10 地点の長期観察林と 11 地点の伐採地、それぞれの区域において、10 年間の樹冠高変化の区域平均値(ΔMCH: m 10 年⁻¹)を算出し、長期観察林と伐採地の森林炭素貯留量変化(ΔFCS: Mg C ha⁻¹ 10 年⁻¹)との関係を明らかにした(式 2, 図 1)。

$$\Delta FCS = 8.42 \times \Delta MCH, \quad r^2 = 0.89 \quad (\text{式 2})$$

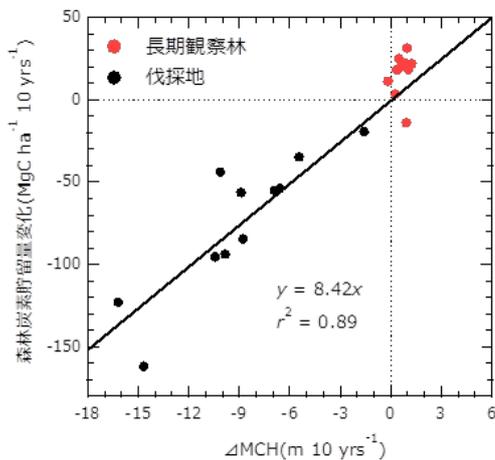


図 1 樹冠高変化(ΔMCH)と森林炭素貯留量変化(ΔFCS)の関係

研究林全域の炭素貯留量変化の評価

研究林全域の森林炭素貯留量変化(ΔFCS)を式(2)を利用して、1haメッシュ毎(全 23,502 セル)に推定した。1haメッシュ毎のΔMCHの算出の際には、樹冠高が増加した計測点も減少した計測点も併せて平均化したΔMCH(ΔMCHt)に加えて、ΔDSMが増加した計測点のみを平均化したΔMCH(ΔMCHi) ΔDSMが減少した計測点のみを平均化したΔMCH(ΔMCHd)を算出し、3種類のΔMCHを用いて、炭素貯留量変化を推定した。

ΔMCHiを用いて推定する、炭素貯留量変化(ΔFCSi)は倒木の影響を除去して、光合成による樹木の成長の影響のみを抽出していると考えられる。一方、ΔMCHdを用いて推定する炭素貯留量変化(ΔFCSd)は樹木から土壌への炭素供給量(リター量)と考えることができる。3種類の炭素貯留量変化を区別するために、ΔFCS_t、ΔFCS_i、ΔFCS_dはそれぞれ、森林炭素正味変化量、森林炭素増加量、

森林炭素減少量と定義した。

森林炭素正味変化量の空間分布を説明する環境要因の解析

ΔFCS_tの空間分布を説明するために、以下の環境要因を1haメッシュで整備した。地形要因として、標高、傾斜角、斜面方位、植生要因として、森林炭素貯留量、樹高のばらつき度、森林タイプとした。森林タイプは広葉樹林・針広混交林・針葉樹林・二次林・その他の5つに分類した。

ΔFCS_tの空間分布と環境要因との関係は、6種類の環境要因データを全て持つ11,909個のセルを対象として解析した。標高・傾斜角・森林炭素貯留量・樹高のばらつき度の4つの数値要因を説明変数とする線形モデルを作成し、ΔFCS_tの空間分布に及ぼす影響を調べた。カテゴリ要因である斜面方位と森林タイプについては、Kruskal-Wallis検定により独立多群の差を比較し、その後Steel-Dwassの多重比較を行って、ΔFCS_tへの影響を明らかにした。

植生指標の評価

人工衛星 terra に搭載された MODIS によって計測された、2004~2014年における天塩研究林全域の地表反射波データ(MOD09)を使用して、正規化植生指標(NDVI)、Green Ratio(GR)、Enhanced Vegetation Index(EVI)を研究林全域に渡って、500m×500mの空間解像度で算出した。年間46シーン合計506シーンの植生指標の平均値を、同解像度で平均化した、ΔFCS_t、ΔFCS_i、ΔFCS_dと比較した。

4. 研究成果

(1) 炭素貯留量変化の空間分布

研究林全域の10年間の、森林炭素正味変化量(ΔFCS_t)の空間分布を図2に示す。森林の成長は一樣ではなく、研究林全域の炭素動態は空間的にかなりのばらつきがあり、炭素貯留量が減少している箇所も多く存在することが明らかになった。ΔFCS_tが30MgC ha⁻¹以上減少していた箇所は、この間に伐採された箇所とほぼ一致していた。その他、研究林南東部と西部の外側の境界で顕著な減少が認められた。一方、研究林の内側の境界では、ΔFCS_tが25MgC ha⁻¹以上増加している森林が分布していた。伐採区を除いた研究林全域の10年間のΔFCS_tの平均値は4.18 ± 6.64(SD) Mg C ha⁻¹であり、-52.5~36.3 Mg C ha⁻¹の範囲であった。天塩研究林はこの10年間弱い炭素の吸収源であったことが明らかになった。

光合成による樹木の成長の影響のみを抽出した10年間の森林炭素増加量(ΔFCS_i)の平均値は、12.0 ± 4.94 Mg C ha⁻¹であり、範囲は0~37.5 Mg C ha⁻¹であった。一方、樹木から土壌に移動した炭素量と考えられる、森林炭素減少量(ΔFCS_d)の平均値は、伐採区を除いて-8.98 ± 4.20 Mg C ha⁻¹、範囲は-62.8~

-0.22 Mg C ha⁻¹であった。

研究林全域の森林 - 大気間の年間正味二酸化炭素交換量は、倒木の影響を考慮した ΔFCSt と光合成量による樹木の成長を最大限考慮した ΔFCSi の範囲内(0.418~1.20 Mg C ha⁻¹年⁻¹)にあると考えられる。この値は天塩研究林や苫小牧国定公園で、フラックス観測によって得られた森林の正味二酸化炭素交換量(0.44~2.1 Mg C ha⁻¹年⁻¹)と同等であり、 ΔFCSi の範囲0~3.8 MgC ha⁻¹年⁻¹もフラックス観測で得られた範囲と同等であった。

一方、樹木から土壌への炭素の移動量は0.90±0.42 Mg C ha⁻¹年⁻¹であり、北方林の枯死量の観測例(0.35~1.2 Mg C ha⁻¹年⁻¹)と同等であった。苫小牧や天塩での観測から、森林土壌の分解による炭素放出量は~6 Mg C ha⁻¹年⁻¹であり、樹木から土壌への炭素移動量の~7倍の炭素が大気に放出されていることが明らかになった。従って、土壌炭素がこの期間平衡となるためには、地上部・地下部から土壌に供給されるリター量が~5 Mg C ha⁻¹年⁻¹必要であると考えられる。

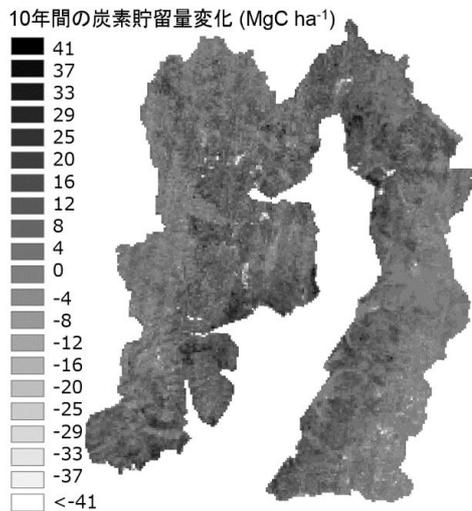


図2 天塩研究林全域の2004~2014年の森林炭素正味変化量

(2) 炭素貯留量変化の空間分布を説明する環境要因

数量データである4つの環境要因(標高、傾斜角、森林炭素貯留量、樹高のばらつき度)を用いて、 ΔFCSt の空間分布を説明する最適な線形モデルを選択した結果、標高、傾斜角と樹高のばらつき度の3つの環境要因が選択された($p<0.001$)。高標高、急傾斜で、樹高のばらつきが大きいほど、 ΔFCSt は有意に少なくなることが明らかになった。標高の上昇に伴う温度の減少や強風によって、植生の成長抑制や枯死の促進が起こっていると考えられる。急傾斜は、日照環境を低下させることにより、成長を抑制している可能性が考えられた。様々な樹種が混在する森林よりも、ササ原に疎に大木が分布している森林の方

が、樹高のばらつき度が高くなる傾向にあり、このような森林の成長は芳しくないと考えられた。一方、斜面方位と植生タイプについて解析を行った結果、 ΔFCSt が増加する要因として、南向き斜面、二次林、広葉樹林が挙げられた($p<0.001$)。 ΔFCSt が減少する要因として、北向き斜面と針葉樹林が挙げられた($p<0.001$)。南向き斜面では、日射量が多くなるため ΔFCSt が増加し、北向き斜面では減少すると考えられる。針葉樹林の ΔFCSt が少ないことから、特に高標高の蛇紋岩地帯に優占する老齢なアカエゾマツ林などの針葉樹林は、広葉樹林や二次林に比べて成長が遅く、枯死量も多いことが考えられる。 ΔFCSt と標高の関係を植生タイプ毎に見てみると(図3)、針葉樹、広葉樹、混交林では標高が上昇すると共に ΔFCSt が減少するが、二次林は高標高においても大きく減少しなかった。標高300~400mの針葉樹林には、かなり大きな ΔFCSt の減少が確認された。これは研究林南東部の蛇紋岩地帯に分布する、アカエゾマツの倒木が原因と考えられる。

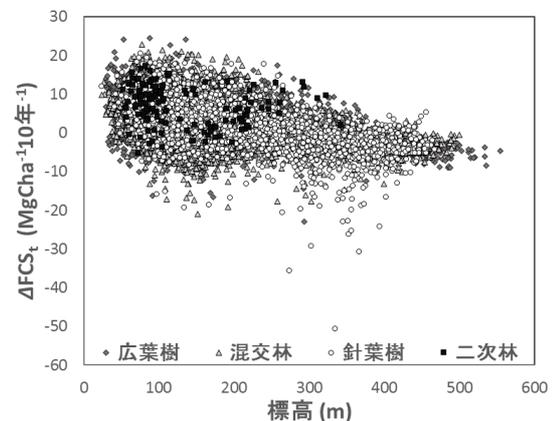


図3 植生タイプ別の標高と森林炭素正味変化量(FCSt)の関係

(3) 植生指標と炭素貯留量変化の関係

MODIS 植生指標(NDVI, GR, EVI)の11年間の平均値と ΔFCSt 、 ΔFCSi 、 ΔFCSt の関係をみると、 ΔFCSt ・ ΔFCSi とNDVI・GRには線形の相関がみられ、特に ΔFCSi とNDVIの相関が高かった(図4)。 ΔFCSt と植生指標との間には、有意な相関が認められなかった。EVIは、算出式の特徴から外れ値が発生し、全てのケースで有意な相関が認められなかった。植生指標は植生の光合成活性を指標化したものであるため、森林の光合成による炭素貯留量変化を表している ΔFCSi との相関が高くなったと考えられる。MODISの植生指標を用いて、森林の ΔFCSi を推定できることが明らかになり、衛星観測による植生指標を用いて、より広域の炭素貯留量変化の推定が可能であることが明らかになった。

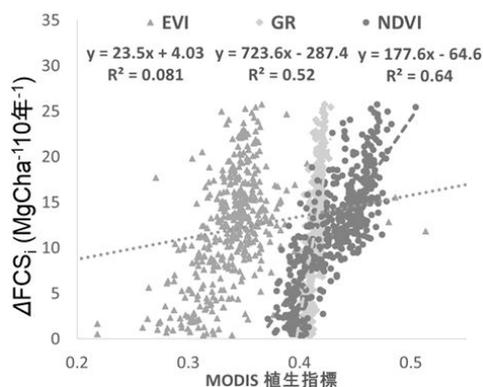


図4 正規化植生指標(NDVI)、Green Ratio (GR)、Enhanced Vegetation Index (EVI)と森林炭素増加量(FCSi)の関係

<引用文献>

地球観測推進委員会, 地球温暖化観測における連携の促進を目指して—雲・エアロゾル放射および温暖化影響評価に関する観測—, 地球温暖化観測推進ワーキンググループ報告書第2号, 2010

Jung, M. et al., Global patterns of land-atmosphere fluxes of carbon dioxide, latent heat, and sensible heat derived from eddy covariance, satellite, and meteorological observations, *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 116, 2011, doi:10.1029/2010JG001566

高木健太郎, 航空機リモートセンシングを用いた森林バイオマス量の計測について, *北海道の農業気象*, 61, 2009, pp. 29-36

Takagi, K. et al., Allometric relationship and carbon and nitrogen contents for three major tree species (*Quercus crispula*, *Betula ermanii*, and *Abies sachalinensis*) in Northern Hokkaido, Japan, *Eurasian Journal of Forest Research*, 13, 2010, pp. 1-7

Williams, M. et al., Improving land surface models with FLUXNET data, *Biogeosciences*, 6, 2009, pp. 1341-1359

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

Ichii, K. (他 32 名, Hirano, T. (10 番目), Takagi, K. (17 番目)), New data-driven estimation of terrestrial CO₂ fluxes in Asia using a standardized database of eddy covariance measurements, remote sensing data, and support vector regression, *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 査読有, Vol. 122, 2017, pp. 767-795, DOI: 10.1002/2016JG003640

Sun, L., Teramoto, M., Liang, N., Yazaki, T., and Hirano, T., Comparison of litter-bag and chamber methods for litter decomposition, *Journal of Agricultural Meteorology*, 査読有, Vol.73, No. 2, 2017, pp. 59-67, DOI:

10.2480/agrmet.D-16-00012

Toju, H., Kishida, O., Katayama, N., and Takagi, K., Networks Depicting the Fine-Scale Co-Occurrences of Fungi in Soil Horizons, *PLoS ONE*, 査読有, Vol. 11, No. 11, 2016, e0165987, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165987>

吉川慶, 矢崎友嗣, 井手玲子, 栗原純一, 小熊宏之, 平野高司, ハイパースペクトル画像による植生情報の時空間変動解析, *北海道の農業気象*, 査読有, 68 巻, 2016, pp. 11-20

Yazaki, T., Hirano, T., and Sano, T., Biomass accumulation and net primary production during the early stage of secondary succession after a severe forest disturbance in northern Japan, *Forests*, 査読有, Vol. 7, No. 11, 2016, 287, DOI:10.3390/f7110287

Fukuzawa, K., Shibata, H., Takagi, K. (他 3 名), Roles of dominant understory Sasa bamboo in carbon and nitrogen dynamics following canopy tree removal in a cool-temperate forest in northern Japan, *Plant Species Biology*, 査読有, Vol. 30, No. 2, 2015, pp. 104-115, DOI: 10.1111/1442-1984.12086.

Falster, D.,S. (他 96 名, Takagi, K. (80 番目)), BAAD: a Biomass and allometry database for woody plants, *Ecology*, 査読有, Vol. 96, No. 5, 2015, pp. 1445, *Ecological Archives* E096-128, DOI: 10.1890/14-1889.1

Takagi, K. (他 7 名, Hirano, T. (7 番目)), Spatial and seasonal variations of CO₂ flux and photosynthetic and respiratory parameters of larch forests in East Asia, *Soil Science and Plant Nutrition*, 査読有, Vol. 61, No. 1, 2015, pp. 61-75, DOI: 10.1080/00380768.2014.990349

Takagi, K. (他 14 名, Liang, N. (8 番目)) Forest biomass and volume estimation using airborne LiDAR in a cool-temperate forest of northern, Hokkaido, *Ecological Informatics*, 査読有, Vol. 26, No. 3, 2015, pp. 54-60, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.01.005>

Aguilos, M., Takagi, K., Liang, N. (他 15 名) Dynamics of ecosystem carbon balance recovering from a clear-cutting in a cool-temperate forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 査読有, Vol. 197, 2014, pp. 26-39, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.002>

Hirata, R., Takagi, K., Ito, A., Hirano, T., Saigusa, N., The impact of climate variation and disturbance on the carbon balance of forests in Hokkaido, Japan, *Biogeosciences*, 査読有, Vol. 11, No. 18, 2014, pp. 5139-5154, DOI:10.5194/bg-11-5139-2014

〔学会発表〕(計 20 件)

高木健太郎 (他 5 名), 反復 Lidar 測量による 10 年間の森林炭素変化量の広域評価, 日本農業気象学会 2017 年全国大会, 2017 年 3 月 29 日, 北里大学十和田キャンパス (青森県十和田市)

Yazaki, T., Teramoto, M., Hirano, T., Liang, N., Sun, L., Kamakura, I., Post-disturbance changes in carbon balances of understory vegetation in a deciduous forest, northern Japan, ISAM 2017, 2017年3月28日, 北里大学十和田キャンパス (青森県十和田市)

高木健太郎, 北海道北部の森林におけるCO₂・オゾンフラックスの長期モニタリング, 第57回大気環境学会年会植物分科会, 2016年9月7日, 北海道大学工学部 (北海道札幌市)

Liang, N., Teramoto, M., Zhang, Y., Takagi, K. (他7名), Potentialities of Chamber Network for Estimation of CO₂/CH₄ Sink/Source of Asian Terrestrial Ecosystems, 13th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, 2016年8月2日, Beijing (China)

平山宏次郎, 高木健太郎(他4名), 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, Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016年5月25日, 幕張メッセ (千葉県千葉市)

平野高司, 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, Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016年5月25日, 幕張メッセ (千葉県千葉市)

平山宏次郎, 高木健太郎 (他4名), 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, 日本農業気象学会北海道支部2015年大会, 2015年12月7日, 大雪クリスタルホール (北海道旭川市)

Hirayama, K., Takagi, K. (他4名), Large scale evaluation of decadal forest biomass changes from repeated airborne Lidar measurements in northern Japan. Joint Conference AsiaFlux Workshop 2015 and ISPRD TC WG VIII/3: Weather, Atmosphere and Climate studies, 2015年11月25日, Indian Institute of Tropical Meteorology, Pune (India)

梁乃申・寺本宗正・石田祐宣・高木健太郎・平野高司(他3名), アジア地域におけるチャンパー観測ネットワークの活用による森林土壌CO₂フラックスの定量的評価, 農業環境工学関連5学会2015年合同大会, 2015年9月17日, 岩手大学 (岩手県盛岡市)

高木健太郎, 梁乃申(他2名), 森林伐採やその後の植生の回復が土壌の炭素動態に与える影響, 農業環境工学関連5学会2015年合同大会, 2015年9月17日, 岩手大学 (岩手県盛岡市)

Takagi, K. (他14名, Liang, N. (8番目)), Forest biomass and volume estimation using airborne LiDAR in a cool-temperate forest of northern Hokkaido, Japan, 2nd Joint seminar between Nankai University and Hokkaido University, 2015年2月26日, 北海道大学 (北海道札幌市)

Hirayama, K., Takagi, K. (他4名), Estimation of GPP by using vegetation index in a young larch plantation, northern Japan. 12th AsiaFlux Workshop, 2014年8月20日, IRRI,

Los Baños (Philippines)

6. 研究組織

(1)研究代表者

高木 健太郎 (TAKAGI, Kentaro)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授
研究者番号: 20322844

(2)研究分担者

平野 高司 (HIRANO, Takashi)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 20208838

梁 乃申 (LIANG, Naishen)
国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員
研究者番号: 50391173

(3)研究協力者

井手 玲子 (IDE, Reiko)

平山 宏次郎 (HIRAYAMA, Kojiro)