

平成30年6月6日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26241005

研究課題名(和文) 森林生態系の炭素代謝プロセス動態の時空間的変動機構の統合的解明と温暖化影響予測

研究課題名(英文) Multidisciplinary study on the spatio-temporal dynamics of carbon cycle processes and prediction of their global warming responses in forest ecosystems

研究代表者

村岡 裕由 (MURAOKA, Hiroyuki)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授

研究者番号：20397318

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,500,000円

研究成果の概要(和文)：森林生態系の炭素循環や炭素固定機能を決める生態系呼吸の動態メカニズムと林冠光合成の関係を、生態系生理学的手法と大気化学的手法、モデル解析によって解明し、森林生態系機能の変動予測研究を進めることを目的とした。冷温帯地域の落葉広葉樹林や常緑針葉樹林では、温暖化が光合成量と生態系呼吸量の季節性や収支に顕著な影響を及ぼすことが、個葉光合成能の現地観測、樹木と土壌の温暖化実験、複数のモデルシミュレーションによって解明された。

研究成果の概要(英文)：We aimed to investigate the carbon cycle processes in cool-temperate deciduous forest ecosystems in changing environments. Responses of leaf photosynthesis and its phenology, and soil respiration to rising temperature due to climate change were examined by open-field warming experiments in the studied forest. Development of optical remote sensing technique for canopy observations, and advancement of process-based simulation model were also conducted for spatio-temporal scaling analyses of photosynthesis and respiration in current and future environments. Multi-year observations of CO<sub>2</sub> flux by eddy-covariance technique revealed that warmer spring induced earlier leaf expansion and hence higher photosynthesis at forest level, which were also supported experimentally by the canopy warming experiment and model predictions. The higher air temperature in autumn was suggested to lead higher ecosystem respiration, which was also supported by the soil warming experiment and a model analysis.

研究分野：環境科学，環境動態解析，森林科学，植物生理生態学，生態学

キーワード：森林生態系 炭素循環 生態系呼吸 光合成 フェノロジー 野外温暖化実験 リモートセンシング 温暖化影響予測

## 1. 研究開始当初の背景

森林の炭素固定量(生態系純生産量 NEP)は総光合成(GPP)と生態系呼吸( $R_e$ )のバランスにより表される。GPPの生理生態学的機構やフェノロジー(季節性)については個葉から生態系に至るスケール横断的な研究・観測技術が進んでいるものの、葉・枝・幹・土壌など多くの要素からなる $R_e$ の環境応答やフェノロジーについては研究が不足しているため、生態系レベルの光合成と呼吸の関係性の解明、および気候変動影響予測のためには森林生態系の炭素フローと炭素プールの変動を司る各過程の環境応答、および素過程間の相互作用を微気象学的観測による生態系レベルの現象と併せて統合的に解明する研究が必要とされる。また、気候変動下での森林生態系機能の変化の検出や予測のためには、リモートセンシングによる林冠プロセスの観測と生理生態学・大気・生物地球化学による機構解明を直接的に繋ぐ研究に取り組むことが重要である。

## 2. 研究の目的

本研究では冷温帯落葉広葉樹林(岐阜大学TKYサイト、北海道大学苫小牧サイト)や常緑針葉樹林(岐阜大学TKCサイト)において、森林炭素循環プロセスの観測(光合成、呼吸、炭素・酸素安定同位体、渦相関法)とモデル解析、光合成や土壌呼吸に関する野外温暖化実験、プロセスベース生態系モデルの改良と適用、林冠光合成能のリモートセンシングデータ解析手法の検証を行い、森林生態系機能の時空間変動機構の解明と気候変動影響予測の発展に寄与することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は4つのサブテーマ、すなわち(1)生態系呼吸の各要素の時間的・量的動態の観測による解明とモデル化、(2)林冠・林内植生の光合成生産プロセスの環境応答とフェノロジーの解明とモデル化、(3)森林生態系の炭素吸収・分配・放出フラックス動態の統合的解析、(4)プロットスケールでの知見と炭素動態モデルによる多地点・長期的予測研究への展開、により構成して推進した。

生態系呼吸とその各要素については、渦相関法による森林レベルでの生態系呼吸の観測、チャンバー法による土壌呼吸および幹呼吸速度の観測、大気・土壌空気中の $CO_2$ や水蒸気および土壌水の酸素安定同位体分析によって調査した。また樹木個葉光合成能とそのフェノロジーを複数年にわたる長期観測と野外温暖化実験によって調査した。土壌呼吸の季節性と温暖化応答については長期観測および野外温暖化実験によって調べた。樹木個葉や林冠の分光特性の検証は各観測サイトの長期観測データおよび放射伝達モデルによって実施した。樹木光合成のフェノロジーや土壌呼吸、森林レベルでの炭素収支に対する温暖化影響予測には、現地観測データを導入できる2種類のプロセスベースモデルを用いた。

## 4. 研究成果

本研究課題による成果のうち、紙面の許す限り特記すべきものを以下に報告する。

## (1) 落葉広葉樹林の生態系呼吸プロセスの解明および温暖化影響予測

## ①酸素安定同位体比を用いた生態系呼吸に対する土壌呼吸、葉呼吸分離評価

本テーマでは、渦相関法により観測された大気-陸域生態系間の正味 $CO_2$ 収支( $NEE \equiv -NEP$ )をGPPと $R_e$ に、さらに $R_e$ を土壌呼吸と地上部呼吸に高精度に分離し、それぞれについて環境要因との関係を解明した。また、現状では各分離手法の誤差は大きいと、複数の手法による分離評価結果を相互に比較した。酸素安定同位体( $\delta^{18}O$ )の同位体分別が土壌呼吸と葉呼吸で異なることを利用して、TKYサイトにおいて、落葉樹の着葉期間の夜間の生態系呼吸を土壌呼吸と地上部呼吸に分離し、生態系呼吸に対する土壌呼吸の割合の季節的変化の推定を行った。このために、森林上におけるフラックス観測、森林内外の $CO_2$ 濃度、気象要素の連続観測を実施した。また複雑な系の $^{18}O$ の収支を捉えるために、現地訪問時に大気、土壌空気、土壌水、水蒸気試料を採取し、大気・土壌空気中の $CO_2$ および土壌水、水蒸気等の $\delta^{18}O$ の観測を行った。 $CO_2$ の $\delta^{18}O$ については、質量分析計により分析を行い、レーザー分光装置を用いて水の同位体分析を行った。

本研究では、土壌呼吸( $R_s$ )、葉呼吸( $R_l$ )、 $R_e$ の $CO_2$ の $\delta^{18}O$ (それぞれ、 $\delta_s$ 、 $\delta_l$ 、 $\delta_e$ )の違いを利用して、 $CO_2$ と $CO_2$ の $\delta^{18}O$ ( $\delta^{18}O-CO_2$ )の収支を解き、Bowling et al. (2003)に従い、

$$R_s/R_e = (\delta_l - \delta_e)/(\delta_l - \delta_s), \quad (1)$$

から、 $R_s/R_e$ の季節的変動を推定した。但し、ここでは、 $R_s$ 、 $R_l$ 以外の呼吸が $R_e$ に占める割合は、十分小さいものと仮定した。 $\delta_s$ については、観測された地中10cmの空気中の $\delta^{18}O-CO_2$ に、拡散による分別の影響を付加して求めた。なお、地中各深度の $CO_2$ は、同深度の水と同位体平衡になっていることが観測で確かめられた。 $\delta_l$ については、葉内水と平衡になった $CO_2$ が気孔-大気間の拡散による分別の影響を受けるものとして求めた。葉内水の $\delta^{18}O$ は、Craig-Gordonモデルを用いて推定した。気孔-大気間の拡散による分別については、Bowling et al. (前出)による気孔から大気への一方向の拡散分別のみ考慮した手法により見積もった。 $\delta_e$ については、夜間の大気中の $CO_2$ 濃度および $\delta^{18}O-CO_2$ の変動は $R_e$ のみにより決定されていると仮定し、大気中 $CO_2$ 濃度および $\delta^{18}O-CO_2$ の観測データを用いてKeeling Plot (Keeling, 1958)により推定した。

図1に、 $\delta_s$ 、 $\delta_l$ 、 $\delta_e$ の推定結果から式(1)を用いて求めた $R_s/R_e$ の季節的変化を示す。図中には、渦相関法と土壌チャンバー法により求められた $R_s/R_e$ も示した。 $\delta^{18}O$ の観測に基づく $R_s/R_e$ の推定値はばらつきが大きく、1を超え

る場合も見られるが、全般的には両手法で春から秋にかけて  $R_s/R_e$  が増加していく傾向が見られた。5~6月に値が低いのは、この時期が展葉期にあたり、葉の構成呼吸が活発であるため、相対的に  $R_s/R_e$  が低くなっているためと推察される。その後の  $R_s/R_e$  の増加は地温が上昇して土壌呼吸が活発化したことを反映していると考えられる。 $\delta^{18}O$  の観測に基づく  $R_s/R_e$  の推定値で1を超えているものは、式(1)から明らかのように  $\delta_e < \delta_s$  の場合である。 $\delta_e$  の変動が大きい原因として、 $\delta_e$  を求める際に用いた大気中  $CO_2$  の  $\delta^{18}O$  の変動が、上空大気との混合等の生態系呼吸以外の影響を受けていた、あるいは、 $\delta_e$  自身が短時間で変化したことによる可能性もある。

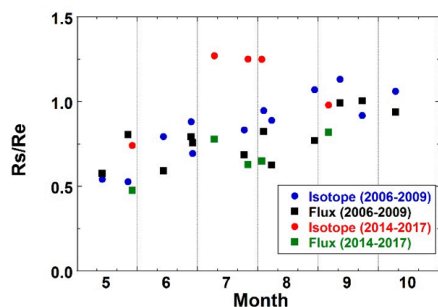


図1 (村山ら, 未発表)

本研究によって  $\delta^{18}O$  のデータを用いて  $R_s/R_e$  の季節的変動の概要を推定することができた。高精度に評価するためには  $\delta_e$  を精度良く求めることが必要であり、そのためには、レーザ分光法等を用いた  $CO_2$  の  $\delta^{18}O$  の連続観測が有効であることが示された。また、 $\delta_i$  を精度良く評価するには気孔コンダクタンスの変動をシミュレーションできるモデルの導入も必要と考えられた。

#### ②森林炭素収支と各プロセスの季節・年変動

気候変動に伴う森林生態系における炭素収支の変動推定に資する基礎データとして、本研究期間中に渦相関法によるフラックス観測を継続して行い、観測から推定される NEE および、鉛直混合が活発に起こっていると考えられる夜間の NEE データと気温との関係から得られる経験式から求めた  $R_e$  と GPP の年々変動とその変動要因について考察を行った。

図2に2014-2017年の NEE, GPP,  $R_e$  の月平均値の変動をそれぞれ示す。この4年間では、2015年、2016年は春先の気温が高く、展葉時期が早まり光合成活動が早期に活発化し、月平均 NEE が負に転じる(正味  $CO_2$  吸収に転じる)時期が早かった。また、2017年は他の年と比べて6月の日射量が多かったが、気温は低めであったため、NEE の負値が増大した。一方、2016年は秋の気温が他の年と比べて高く、日射量は少なかったため、 $R_e$  が大きく NEE の負値は小さかった。このように、当森林生態系の炭素収支は様々な環境因子が関係しており複雑であるが、長期の観測データを蓄積して、年々変動と気象条件との関係を詳細に

解析することにより、気候変動に対する生態系の応答予測の精緻化が期待される。

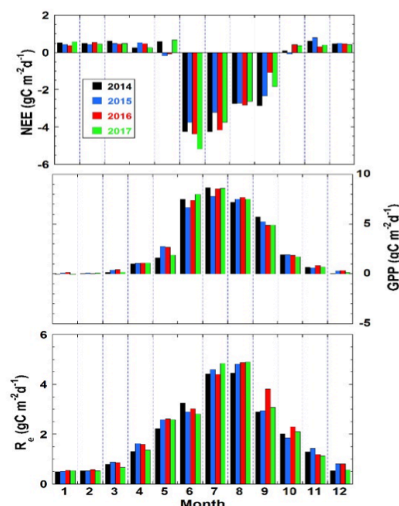


図2 (村山ら, 未発表)

#### ③樹木幹呼吸速度の環境応答とフェノロジー

生態系呼吸の要素の一つである植物地上部のうち樹木の幹の呼吸速度の季節性や環境応答パターンに関する知見を蓄積し、モデル改良に資するために、携帯型  $CO_2$  分析計を用いて TKY サイトにて幹呼吸速度を測定した。

図3に本課題期間中に測定したダケカンバとミズナラの成木の幹呼吸速度の季節変化と幹表面温度との関係を示す。幹呼吸速度は明瞭な季節変化を示し、気温が高く、樹冠での光合成生産量が高い時期にピークを示した。幹表面積あたりの呼吸速度はダケカンバの方がミズナラよりも高い傾向が認められた。このデータと別途計測した幹表面温度データから2016年の無雪期幹呼吸量を推算したところ、開葉前の4月にはダケカンバとミズナラでそれぞれ  $0.7 \text{ mol}CO_2 \text{ m}^{-2}$  (幹表面積あたり) と  $0.74$ 、展葉完了期の6月には  $1.8$  と  $1.7$ 、最も光合成生産量が多い8月には  $3.5$  と  $2.8$ 、落葉期の10月には  $1.2$  と  $1.3$  だった。今後これらのデータを元に炭素収支モデルの検証を進める計画である。

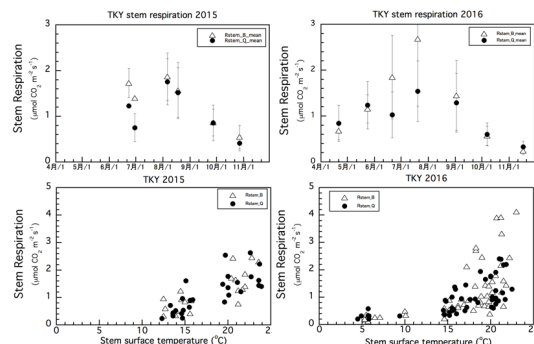


図3 (村岡ら, 未発表)

#### ④土壌呼吸速度の環境応答とフェノロジーに対する温暖化影響の実験的検証

温暖化が土壌炭素動態に及ぼす影響を実験的に検証して生態系モデルの予測精度の向上に寄与することを目的として、苫小牧サイト

と TKY サイトにおいて野外土壌温暖化実験を実施した。地温は電熱線により操作した。

地温の上昇は土壌微生物および植物根の呼吸速度の増加を通じて土壌呼吸速度を顕著に増加させることが複数年の観測によって明らかになった (図4)。また、呼吸速度の温度依存性は季節変化すること、および温暖化処理区では呼吸速度の温度依存性がやや弱まることも示された (図5)。本研究において森林土壌呼吸の温度反応特性が温暖化によって変化することが示され、これは生態系モデルにおける土壌呼吸速度推定手法の改善の重要性を示唆する重要な知見である。

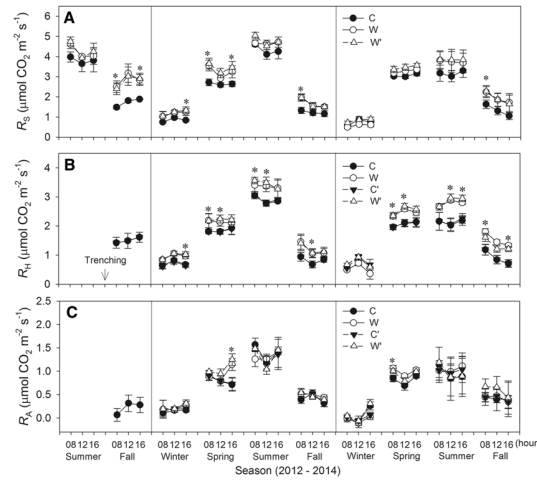


図4 (Noh et al. 2016より)

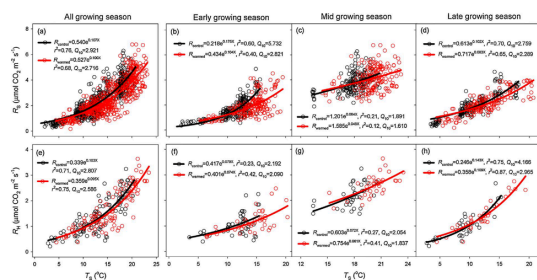


図5 (Noh et al. 2017より)

## (2) 林冠・林内植生の光合成生産プロセスの環境応答とフェノロジーの解明とモデル化

### ①林冠木および林内低木の個葉の光合成能とフェノロジーの環境応答 (長期観測と野外温暖化実験による解明)

植生を構成する植物の個葉の光合成特性は森林のGPPを決定する大きな要因である。個葉の光合成特性は、葉の窒素量やクロロフィル量、形態的特性によって決まるが、これらの要素ごと・要素間の関係に関するフェノロジーと環境応答については十分に理解されていない。TKY サイトの林冠木 (ダケカンバ, ミズナラ) と林内低木 (ノリウツギ, オオカメノキ) の個葉光合成特性などのフェノロジーを複数年にわたる長期観測によって明らかにするとともに、野外温暖化実験により将来の変化を実験的に検証した。

ダケカンバとミズナラの光合成特性、暗呼吸速度、クロロフィル量、LMA、窒素量およ

び光合成特性は、葉の成長および老化により顕著な季節変化を示し、またその変動パターンには年々変動が認められた (図6)。さらに、これまでに蓄積した7年分のデータを用いることにより、葉の展葉と老化はそれぞれ  $0^{\circ}\text{C}$  を基準とした温量指数 ( $\text{GDD}_0$ ) または  $18^{\circ}\text{C}$  を基準とした冷量指数 ( $\text{CDD}_{18}$ ) に対するシグモイド関数としてモデル化できた。

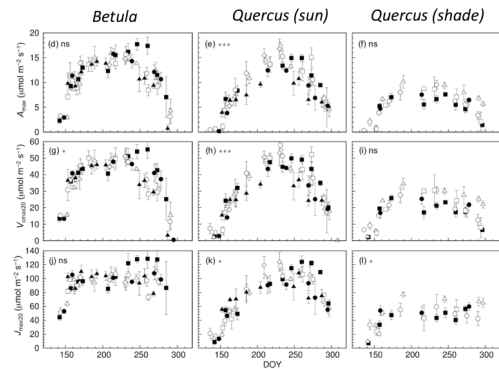


図6 (Noda et al. 2015より)

TKY サイトの林冠観測タワー上にてミズナラとダケカンバの枝 (長さ約2m) に開放型温室を設置して日中の気温が約  $1.5^{\circ}\text{C}$  上昇する処理を複数年にわたり施したところ、開葉は2~4日程度早まり、黄葉は3~7日程度遅れた。結果的に着葉期間は4~9日間延びた。またミズナラでは葉のクロロフィル含量、窒素含量、光合成能が約10%増加した (図7)。光合成特性と光合成有効放射データから簡易的に推定したところ、ミズナラでは葉面積あたりの光合成量が約18%増加すると予測された。

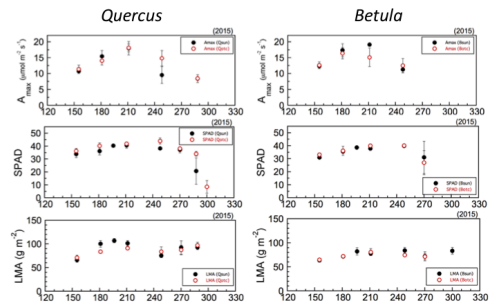


図7 (村岡ら, 未発表)

### ②落葉広葉樹林の林冠の分光特性に関する生理生態学的検証

TKY サイトで過去に測定されたダケカンバおよびミズナラ個葉の分光特性データについて生理生態学的検証を行った。解析では特に光合成色素が関与する可視域の波長帯と、葉の形態的・解剖学的構造が関与する近赤外域に注目した。さらに放射伝達モデル PROSPECT-5 (Feret et al. 2008) を用いて分光特性データを逆解析することにより、葉の解剖学的構造を示すパラメータの推定を行った。

葉の季節的成長の変化パターンは可視域と近赤外域では異なっていた (図8)。これらの分光特性の季節変化をモデルで解析した結果、成長期間には色素量の変化に加えて葉肉組織内の細胞間隙が増えることによりこれらのパ

ターンの変化が生じることが明らかになった。老化期間にはこれらの値はほとんど変化しなかった。これらの光学的な解析の結果は、葉の成長・老化についての先行研究の結果とも一致することが初めて確認され、分光観測による林冠光合成プロセスの技術開発に寄与する。

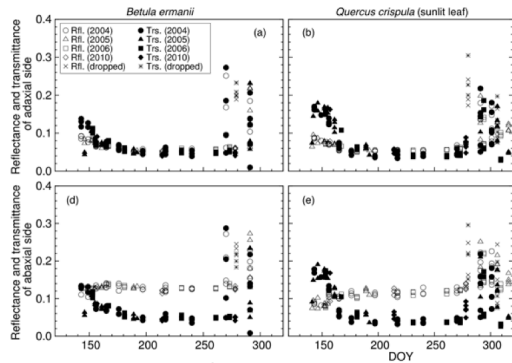


図8 (野田ら, 未発表)

苫小牧サイトにおいて個葉の分光データをもとに展葉から落葉直前までの形質の季節変動を推定するモデルを作成し、葉の窒素、炭素、LMA、フェノール類の推定が可能であることを示した。2014年と2015年には植食性昆虫が大発生し、多くの樹木の林冠葉が欠損した。分光反射率の解析結果によって、群落スケールの緑葉量の減少とそれに伴う光合成量の変化が分光植生指標であるCCIとよく対応することが確認された(図9)。これらの炭素循環に関係する土壌・個葉・葉群間の温暖化応答と分光反射情報との関係に関する結果からは、温暖化に対する応答メカニズムの素過程ごとの相違、リモートセンシングによる葉形質変化の理解を介した森林モニタリングの可能性を示すことができた。

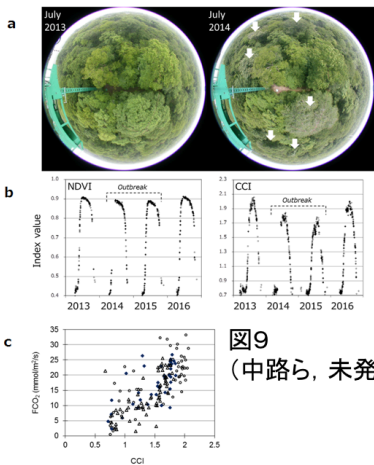


図9 (中略ら, 未発表)

### (3) 落葉広葉樹林の光合成, 生態系呼吸, 炭素収支に対する温暖化影響のモデル予測

冷温帯常緑針葉樹林および冷温帯落葉広葉樹林の温暖化への応答について、生態系モデル(改良版 NCAR/LSM)を利用して解析した。図10に温暖化シミュレーション解析の結果を示す。モデルでは約2°Cの気温上昇を仮定した。常緑針葉樹林では温暖化がGPPを増や

し、その増加量は特に春先(3-4月)に最も大きく、ついで冬季(12-2月)に大きいことが予測された。他方、林床植生を伴う落葉広葉樹林では、5月頃に増加量が最大かすると予測された。これまでに報告者らがタワーを用いたフラックス観測や地上自動カメラシステムを用いた葉群フェノロジー観測による知見から、常緑針葉樹林における春先のGPP増加は主に個葉の光合成能の増加に起因し、冬季のGPPの増加は冠雪日数の減少に伴うものと示唆された。他方、落葉広葉樹林では展葉開始の早期化の影響が顕著であることが示唆された。また、両生態系におけるGPP増加量の季節変化は、NEPの増加量の季節変化を制御していた。本研究により両植生タイプの葉群フェノロジーの相違性が炭素収支の温暖化応答の相違性に顕著に影響することが示された。

また、TKYサイトを対象とした将来の地球環境変動が炭素収支に及ぼす影響をVISITモデルでも解析した結果、CO<sub>2</sub>濃度上昇はGPPに対する施肥効果を有し、気温上昇は着葉期間を延長するが、気温上昇は夏期の生態系呼吸を増大させることが示された。

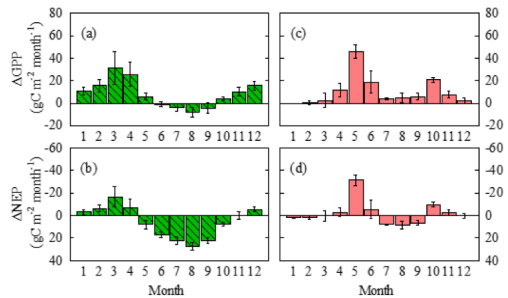


図10 (斎藤ら, 未発表)

### (4) 広域評価に関する検討

近年、既存文献から得られるこれらの観測情報を統合し、陸域生態系の炭素収支・アロケーションの理解を深める試みがなされているが、東アジアにおける情報の統合とその解析は未だ不十分であった。本課題では、東アジア地域の寒帯から熱帯まで幅広い気候帯の森林生態系を対象として文献調査による炭素分配に関するメタデータ統合解析を実施した。その結果、(i) NPPは2.3~30 MgC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>と大きな変動を持ち、(ii) 純一次生産量、生態系呼吸量、植物体呼吸量、微生物呼吸量の空間分布は主にGPPによって制御されていること、(iii) 常緑林と落葉林における炭素アロケーションの相違性があり、常緑林では落葉林と比較して特に地上部呼吸量の割合が高いことなどが明らかとなった。このような知見の集約は、陸域生態系モデルやリモートセンシングを利用した地域スケールの炭素収支を推定する際に、その検証データとして高い利用価値がある。なお集積したデータは「The compilation data set of ecosystem functions in Asia」として限定公開している。

また、本研究課題で得られた知見をもとに

関連研究分野の研究ネットワーク等と協議し、炭素循環に関する必須観測項目と効率的な観測デザインの検討も開始したところである。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 21 件) (下記全て査読有)

- ① Noh N.J., Kuribayashi M., Saitoh T.M., Muraoka H. (2017) Different responses of soil, heterotrophic and autotrophic respirations to a 4-year soil warming experiment in a cool-temperate deciduous broadleaved forest in central Japan. *Agr For Met* 247: 560-570, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.002>
- ② Kondo M., Saitoh T.M., Sato H., Ichii K. (2017) Comprehensive synthesis of spatial variability in carbon flux across monsoon Asian forests, *Agr For Met* 232: 623-634, DOI:10.1016/j.agrformet.2016.10.020
- ③ Kuribayashi M., Noh N.J., Wakazuki Y., Saitoh T.M., Muraoka H. (2016) Current and future carbon budget at Takayama site, Japan, evaluated by a regional climate model and a process-based terrestrial ecosystem model. *International Journal of Biometeorology* 61: 989-1001 DOI 10.1007/s00484-016-1278-9
- ④ Noh N.J., Kuribayashi M., Saitoh T.M., Nakaji T., Nakamura T., Hiura T., Muraoka H. (2016) Responses of soil, heterotrophic, and autotrophic respiration to experimental open-field soil warming in a cool-temperate deciduous forest. *Ecosystems* 19:504-520, DOI: 10.1007/210021-015-9948-8
- ⑤ Yamaguchi D.P., Nakaji T., Hiura T., Hikosaka K. (2016) Effects of seasonal change and experimental warming on temperature dependence of photosynthesis in the canopy leaves of *Quercus serrata*. *Tree Physiology* 36: 1283-1295, doi:10/1093/treephyts/tpw021
- ⑥ Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Kondo H., Tamagwa I. and Muraoka H. (2015) Effects of canopy phenology on deciduous overstory and evergreen understory carbon budgets in a cool-temperate forest ecosystem under ongoing climate change. *Ecological Research* 30: 267-277, DOI 10.1007/s11284-014-1229-z
- ⑦ Noda H.M., Muraoka H., Nasahara K.N., Saigusa N., Murayama S., Koizumi H. (2015) Phenology of leaf morphological, photosynthetic, and nitrogen use characteristics of canopy trees in a cool-temperate deciduous broadleaf forest at Takayama, central Japan. *Ecological Research* 30: 247-266, DOI 10.1007/s11284-014-1222-6

[学会発表] (計 76 件)

- ① 村山昌平・石戸谷重之・前田高尚・近藤裕昭・山本晋・三枝信子・村岡裕由  
(2017) 飛騨高山森林観測サイトにおける大気中 CO<sub>2</sub> 濃度及び炭素収支の長期変

動。日本気象学会秋季大会。10-11 月, 札幌。

- ② Muraoka H. (2017) Forest photosynthesis from leaf to region, and from present to future: Long-term and multidisciplinary research in Japan. LTER-France and ILTER Joint Conference., October, 2017 (Nantes, France)
- ③ 斎藤琢・永井信・安江恒・村岡裕由  
(2017) 気候変動が冷温帯常緑針葉樹林の炭素循環に及ぼす影響。第 64 回日本生態学会大会, 3 月, 東京
- ④ 村岡裕由 (2017) 陸上生態系の in-situ 観測ネットワークと衛星観測の研究連携の展望。シンポジウム「温室効果ガス観測衛星の環境科学への貢献と将来の展望」。第 64 回日本生態学会大会, 3 月, 東京

[図書] (計 1 件)

- ① 村岡裕由 (印刷中) 共立出版。温帯林への気候変動の影響。三枝信子・柴田英昭 (編) 森林と地球環境変動 (分担執筆)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

村岡 裕由 (MURAOKA, Hiroyuki)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授  
研究者番号: 20397318

##### (2) 研究分担者

村山 昌平 (MURAYAMA, Shohei)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・総括研究主幹  
研究者番号: 30222433

中路 達郎 (NAKAJI, Tatsuro)

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: 40391130

斎藤 琢 (SAITO, Taku M.)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・助教  
研究者番号: 50420352

野田 響 (NODA, Hibiki M.)

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: 60467214

##### (3) 連携研究者

なし

##### (4) 研究協力者

永井 信 (NAGAI, Shin)

魯 南賑 (NOH, Nam-Jin)

栗林 正俊 (KURIBAYASHI, Masatoshi)

伊藤 昭彦 (ITO, Akihiko)

加藤 知道 (KATO, Tomomichi)