

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24241008

研究課題名(和文) 温室効果ガス観測衛星「いぶき」による発生源解析のための局所CO<sub>2</sub>輸送モデルの開発研究課題名(英文) Development of a local transport model for CO<sub>2</sub> toward the source emission monitoring using GOSAT

研究代表者

近藤 裕昭(Hiroaki, Kondo)

独立行政法人産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・副研究部門長

研究者番号：60357051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,400,000円

研究成果の概要(和文)：温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)などによる宇宙からの二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の監視の究極的な目標は各発生源からの発生量を正確に求めることである。これを逆問題解法により推定するには衛星モニタリングに加えて空間分解能の高い局所CO<sub>2</sub>輸送モデルの開発が不可欠である。このためのモデル開発とそのために必要なCO<sub>2</sub>フラックス観測を山間部(岐阜県高山市)と都市(東京)において行った。これらの結果をふまえて改良した局所CO<sub>2</sub>輸送モデルを用いて観測との比較を行った結果、濃度の日変化の振幅はおおむね一致した。

研究成果の概要(英文)：Objective of monitoring of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) from a satellite such as the Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT) is to estimate its source emission exactly as possible. It is necessary to develop a CO<sub>2</sub> transport model with high spatial resolution in addition to satellite monitoring itself. We have developed a high resolution CO<sub>2</sub> transport model particularly focusing on the following points; 1) importance of sub-grid scale information, 2) developing simple model to estimate carbon budget in terrestrial ecosystem, 3) utilization of the oxidative ratio to estimate the fuel converted to CO<sub>2</sub>, and 4) direct measurement of CO<sub>2</sub> flux in Tokyo for validation data. We have obtained the following results. 1) Averaged values for a grid is enough for the present model purpose. 2) The origin of fuels for CO<sub>2</sub> was separately determined for oil and natural gas. The amplitude of daily variation of CO<sub>2</sub> concentration obtained from modified CO<sub>2</sub> transport model well agreed with that of observation.

研究分野：大気拡散、気象学

キーワード：物質循環 都市フラックス 局所CO<sub>2</sub>輸送モデル GOSAT 複雑地形

### 1. 研究開始当初の背景

温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT「いぶき」の観測値から二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の発生・吸収源について逆問題解析手法を用いて推定するためには、高分解能の局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルとその発生・吸収源データ(またはモデル)が先験情報として必要である。このような高分解能の局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルとして研究開始時には産総研の AIST-MM のほかには開発されていなかった。しかし、AIST-MM における生態系起源の CO<sub>2</sub> フラックスは文献値による簡易モデルであり、環境変動や季節変動にも対応できる高精度発生・吸収源を組み込んだ高時空間分解能の局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルの開発を行う必要があった。CO<sub>2</sub> は生態系および化石燃料消費から主として吸収・放出されるが、このような CO<sub>2</sub> フラックスモデルの開発・検証に必要な CO<sub>2</sub> フラックスタワー観測は、研究開始時には陸域生態系における地点として岐阜県高山市をはじめ国内に何カ所か存在したが、大都市において長期間観測を実施しているフラックスタワーは存在しなかった。また、(Oxidative Ratio (OR):  $-(\Delta O_2)/(\Delta CO_2)^{-1} \text{ mol mol}^{-1}$ )の先行研究から人為起源 CO<sub>2</sub> の燃料種別がわかる可能性があった。

### 2. 研究の目的

GOSAT による逆問題解析手法に必要な局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルの開発と検証のため、陸域生態系による CO<sub>2</sub> 発生・吸収量モデルを改良し、実測を基にした CO<sub>2</sub> の発生・吸収量の解析とそれに付随するデータの解像度依存性、CO<sub>2</sub> 発生・吸収モデルの各パーツの検証のための安定同位体分析、都市域における CO<sub>2</sub> の燃料種同定、および都市域における CO<sub>2</sub> フラックスの直接観測を計画した。これらを総合的に評価することにより、高分解能でかつ計算時間が早い適度な精度の局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルの開発をめざした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 陸域生態系における CO<sub>2</sub> の発生・吸収量モデルの開発

本研究では、必ずしも生態系側のモデルを高精度に精緻に作る必要はなく「適度な精度」で高速に計算できるモデルが必要である。日本では、国土の約 20% をスギ・ヒノキ林が優占する常緑針葉樹林に覆われているため、これらの CO<sub>2</sub> 収支のモデル化を行うことが特に重要になる。本研究では、局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルに使用する発生・吸収源の生態系側のモデルとして利用可能な、衛星指標を利用した簡易モデルと プロセスベースの生態系モデルを用いて「総光合成 (GPP; Gross primary production)」を推定し、タワーフラックス観測値を利用してそれらの推定精度の評価を行うことで、両モデルの有効性について検討した。

GPP 推定モデルとして、ではプロセスベ

ースの陸面過程モデル (NCAR-LSM) を利用した。では GRVI (Green red vegetation index) を利用して、光-光合成曲線のパラメータである最大光合成量と初期勾配を推定することによって、は、光合成サブモデル (Farquhar et al. 2008) とコンダクタンスサブモデル (Collatz et al. 1991) によって、GPP を推定するモデルである。検証には、スギ・ヒノキ林が優占する AsiaFlux TKC サイト (北緯 36 度 08 分、東経 137 度 22 分、標高 800 m) でタワーフラックス観測によって得られた GPP を利用した。対象期間として、2007 年 4 月から 2008 年 12 月をチューニング期間、2009 年 1 月から 2009 年 12 月を検証期間と定め、チューニング期間の観測値を利用して両モデルの最適化を行い、検証期間を対象にモデルの精度検証を行った。

陸域生態系では地上植生と土壌は一体化しているわけではないので、従来困難であった生態系の地上部および地下部からの CO<sub>2</sub> 放出・吸収について落葉広葉樹林が卓越する AsiaFlux TKY サイト (北緯 36 度 09 分、東経 137 度 25 分、標高 1420 m) において安定同位体比の測定による検証を行った。

TKY において、渦相関法による CO<sub>2</sub>・H<sub>2</sub>O・熱フラックス、CO<sub>2</sub> 濃度、各種気象要素、土壌環境要素等の連続観測、森林内外の大気、深度別の土壌空気、地表面上に設置されたチャンパー内空気の CO<sub>2</sub> 濃度および酸素安定同位体比 ( $\delta^{18}O$ ) および土壌水、水蒸気降水試料の  $\delta^{18}O$  の分析を行った。夜間の生態系呼吸および土壌呼吸について、渦相関法によるフラックス観測および土壌チャンパー観測結果、および気象要因・土壌水分とこれまでに関連づけられている複数の関係式を用いて推定した。また、 $\delta^{18}O$  の観測データから、Bowling et al. (2003) の手法を用いて、土壌呼吸、葉呼吸、生態系呼吸で放出される CO<sub>2</sub> の  $\delta^{18}O$  を計算し、CO<sub>2</sub> と  $^{18}O$  の収支式より、生態系呼吸に対する土壌呼吸の寄与を見積もった。以上を基にして、着葉期における生態系呼吸に対する土壌呼吸の寄与の季節的变化を複数の手法で推定し相互検証を行った。

また、逆問題解析において使われる予定の解像度 1km 程度の数値気象モデルにおいて、計算解像度以下のスケール (サブグリッドスケール) の地表面情報が結果に及ぼす影響を、岐阜県高山市にある高山試験地周辺で整備された地表面データ、気象データを用いた数値実験により検討した。岐阜県高山市東部の大八賀川流域では、岐阜大学による 100m 解像度での植生分布や葉面積指数 (LAI) などの地表面状態を人工衛星画像による解析により解析したデータ、および、岐阜大学局地予報のデータを基に内挿を行った地上気象データがある。これらに加え、陸面モデル NCAR-LSM をベースに、TKY、TKC での炭素収支他の観測データを用いて調整された Sateco-LSM (Saitoh et al. 2012) を大八賀川流域で 2006 年を対象に年間の計算を行うとと

もに、その計算結果を 1km 格子で平均した。同時に、地表データや気象データを 1km 格子で平均したもので Sateco-LSM を駆動したデータも作成し、両者を比較した。これによって、現実に近い条件で 1km 格子以下のスケールの気象条件あるいは地表面被覆条件の分布が、格子スケールでの炭素収支に及ぼす影響を検討した。

## (2)都市域における CO<sub>2</sub> フラックスに関する研究

化石燃料の燃焼に伴い O<sub>2</sub> が消費され CO<sub>2</sub> が生成されるが、燃焼反応における OR は、消費される化石燃料の種類によって異なる (e.g. Steinbach et al. 2011)。また陸上生物活動による OR も、化石燃料消費の場合とは異なる値を示す (e.g. Ishidoya et al. 2015)。そのため、大気中 O<sub>2</sub> 濃度と CO<sub>2</sub> 濃度を高精度で同時に観測することにより、CO<sub>2</sub> 発生源についての情報が得られると期待される (e.g. Minejima et al. 2012)。つくば市産総研構内において質量分析計を用いた大気中 O<sub>2</sub> 濃度と CO<sub>2</sub> 濃度の同時連続観測 (Ishidoya and Murayama 2014) を行い、観測結果から得られた OR の変動に基づいて、化石燃料の燃料種の分離を試み、合わせて人為起源の発生源データについてもその精度検討を行った。観測は、つくば市産総研西事業所構内において 2012 年 2 月から開始し、約 1 分間の時間分解能で O<sub>2</sub> 濃度と CO<sub>2</sub> 濃度をそれぞれ ±0.6 および ±0.3 ppm の精度で観測し、結果を局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルの結果と比較した。

市街地における CO<sub>2</sub> の人為的な放出は、大気中の温室効果気体の増加に対してかなりの影響を持つと考えられる。しかしながら市街地での実際の排出量は、複雑な土地被覆や多様な人間活動などにより、未だ十分に解明されているとはいえない。このため、地表面での排出・吸収量の分布を面的に推定する逆問題解析法への期待が高まっているが、その検証はまだ十分には行われておらず、そもそも検証に使うことのできる地表面排出・吸収量の観測データも整備されていない。本研究では、世界有数の都市である東京において CO<sub>2</sub> フラックスの測定を行い、市街地における CO<sub>2</sub> 排出・吸収量の実態把握とその季節・日変化の要因の解明、CO<sub>2</sub> の輸送に関する乱流パラメタリゼーションの検証を行った。

東京都渋谷区において、CO<sub>2</sub> フラックスの測定を行った。東海大学代々木キャンパスの既存タワー (地上高 52 m) に測定機器を設置し、2012 年 10 月から連続測定を行った。CO<sub>2</sub> フラックスの測定にはオープンパス CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 変動計による渦相関法を用いた。合わせて温湿度と短・長波放射量の測定も行った。観測エリアは中層建築物を含む住宅地であり、平均建物高さは 9 m である。タワー南側には東大駒場キャンパスと駒場公園の緑地があるが、北側には植生はほとんどない。タワー北

側 300 m には井の頭通り、東側 300 m には首都高環状線が走っている。

測定された CO<sub>2</sub> フラックスの季節・日変化の要因を解明するため、インベントリ解析を実施した。測定エリアの主な CO<sub>2</sub> 排出源は住宅でのガス消費および道路交通と考えられるため、年単位の統計値である渋谷区での家庭用ガス販売量と 2 3 区内の交通量をもとにして、季節変化・日変化を考慮した形で排出量の推定を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 陸域生態系における CO<sub>2</sub> の発生・吸収量モデルの開発

衛星指標を利用した簡易モデルであっても、プロセスベースのモデルと同程度の精度で GPP の季節変化を再現可能であった。結果として、ここで設定した検証期間については簡易モデルも局所 CO<sub>2</sub> 輸送モデルの吸収源として有効であると考えられた。その主な理由として、対象地域では、日射量が GPP を決定する主要な気象要素であること (Setoyama and Sasai 2013)。融雪、梅雨、秋雨などによって年間を通して土壌への水分供給があり、土壌乾燥ストレスがほとんどなく、簡易モデルでは再現が難しい乾燥による極端な GPP の低下が起きにくいことが挙げられる。今後は、さらに長期の観測データを利用して、GPP の経年変動の再現性についても検討することが望まれる。

着葉期間 (5 月下旬 ~ 10 月上旬) の夜間の生態系呼吸に占める土壌呼吸の割合の季節的变化を複数の手法で見積もった。その結果、いずれの手法でも、展葉期には、土壌呼吸の占める割合が期間中最低 (50 ~ 70%) になり、その後、土壌呼吸の割合が増加し、夏 ~ 秋は土壌呼吸が生態系呼吸の大部分 (80% 以上) を占める季節的变化傾向が各年で見られた。この結果は、展葉期には、葉の生長に伴う葉における構成呼吸が増大すること、地温は初秋まで上昇しそれに伴い土壌呼吸は初秋まで活発であることと整合的であった。一方、 $\delta^{18}\text{O}$  を用いた推定では、生態系呼吸に対する土壌呼吸の比が 1 を超えることがある等、異常な値が計算されることがあり、これらの問題を改善するためには、短時間スケールの  $\delta^{18}\text{O}$  の変動を捉えられる高時間分解能の観測や、数値モデルによる  $^{18}\text{O}$  の収支のシミュレーションが必要であることが示唆された。また、生態系呼吸と土壌呼吸に関する複数の関係式を比較すると、式の組み合わせによっては、土壌呼吸が生態系呼吸を上回るケースが見られ、夜間の静穏時の渦相関法による生態系呼吸の過小評価や土壌呼吸の空間的不均一性に関して、さらに検討を行って呼吸量推定の改良が必要であることが明らかになった。

年平均炭素収支に対するサブグリッドスケールの不均一性の影響を検討したところ、気象場に対して、サブグリッドスケールの分布を与えるか、与えずに格子平均値を与える

かでは、1km スケールの結果に大きな影響はなかった。影響がみられたのは、LAI のサブグリッドスケール分布である(図1)。格子ス

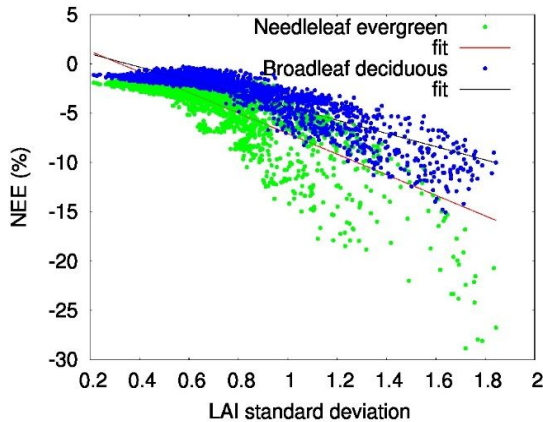


図1：炭素排出量の年平均相対誤差と LAI のサブグリッドスケールのバラツキの関係

ケールである 1km<sup>2</sup> 内の LAI 分布の標準偏差が大きくなるほど、炭素放出量が増加する、すなわち吸収量が低下する傾向が見られ、その傾向は、落葉する期間のない常緑針葉樹林の方が大きかった。その大きさは平均では、常緑針葉樹林で 5.0%、落葉広葉樹林で 2.6% 程度であるが、最大では 30% に達する場所もある。ただし、LAI の標準偏差の大きい領域は、LAI の値の小さい盆地周縁部に見られ、炭素収支の変化としてはそれほど大きなものではない。

(2)都市域における CO<sub>2</sub> フラックスに関する研究

つくばにおいて観測された大気中 O<sub>2</sub> 濃度と CO<sub>2</sub> 濃度の変動(図2)から、その 24 時間分の逐次データを用いて求めた OR(図3)は、夏に値が低く冬から春にかけて高くなる明瞭な季節変動を示した。夏期の OR は陸上生物活動から予測される値 (OR=1.1) に近く、冬期の OR は化石燃料消費のうち石油消費

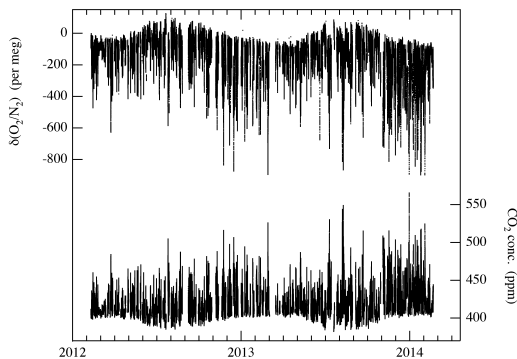


図2：つくば市産総研構内において観測された大気中 O<sub>2</sub> 濃度 (δ(O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>)) と CO<sub>2</sub> 濃度の変動。

(OR=1.44) に近い値を示した。厳冬期には 1.44 より高い値も現れており、石油消費に加えた天然ガス消費 (OR=1.95) の寄与も示唆される。

観測された CO<sub>2</sub> 濃度と陸域生態系モデルの改良を施した AIST-MM による CO<sub>2</sub> 濃度を、2012 年 2~4 月の期間において比較した結果、両者は平均的な日内および日々の変動の大きさにおいてほぼ整合的であり、日中に極小値を、夜間に極大値を示す傾向も整合的であった。しかしながら、各日毎の変動においては観測とモデルは必ずしも一致しておらず、モデルの改良の余地がまだ残されていることが明らかになった。図4に計算された 2012 年 2月2日 8:00 の地上の CO<sub>2</sub> 濃度分布を示す。今後は、モデルのさらなる精緻化に加えて、代々木観測タワー等でも観測を展開し、得られた OR から推定される CO<sub>2</sub> 発生源情報を用いて、モデルに与える発生源データを検証することが課題となる。

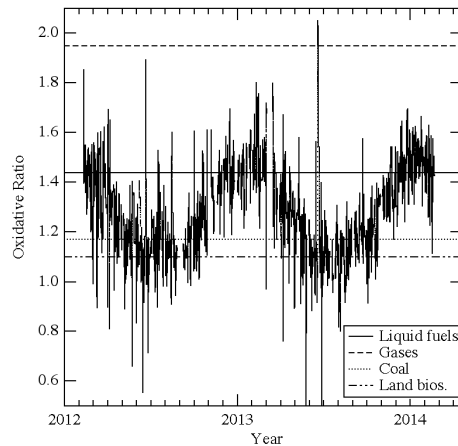


図3：図2の観測値の、24時間分の逐次データから計算された Oxidative Ratio (OR、本文参照)の変動。石油等液体燃料、天然ガスおよび石炭の消費、および陸上生物活動から予測される OR を併せて示す。

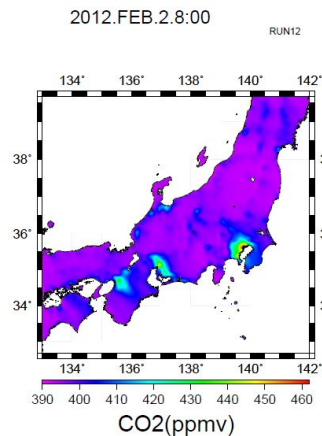


図4：改良された AIST-MM で計算した CO<sub>2</sub> 地上濃度の結果の例(2012 年 2 月 2 日, 8 時)。

東京都内におけるCO<sub>2</sub>フラックスタワー観測からは以下の2点が明らかとなった。

市街地におけるCO<sub>2</sub>排出・吸収量観測された年間排出量は4300 gCm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>であった。これは先行研究であるMoriwaki and Kanda (2004)による東京都大田区の住宅地における例よりも30%大きい値である。この先行研究および本研究で対象としたエリアはいずれも住宅地であり人口密度もほとんど同じである。本研究の方が排出量が大きかった理由には、本研究のエリアに含まれる幹線道路の影響が考えられる。図4は冬季(12、1、2月)におけるCO<sub>2</sub>フラックス(測定値)とガス・道路起源の排出量(インベントリ解析による推定値)である。CO<sub>2</sub>フラックスは朝と夜にピークをもつ日変化を示している。朝のピークを含む時間帯(6~10時)のフラックスは休日より平日の方が大きくその差は危険率5%以下で統計的に有意であった。夏春秋には朝のピークは明瞭ではなく、植物による吸収の影響が示唆される。夜のピークは夏から冬にかけて大きくなり、かつピーク時刻も遅い時間帯へと変化していた。このようなフラックスの日変化・季節変化には人為的な排出量の時間変化が影響していると考えられる。そこで、インベントリ解析による排出量推定値との比較を行った(図5)。日積算では、排出量推定値はフラックス観測値よりも20%小さかった。これはインベントリ解析に含めていない要素(例えば灯油の消費)などが原因と考えられる。日変化でみると観測された2つのピークに対応して排出量にもピークが見られる。観測された朝のピークはガス消費と交通の両方が増大しているためと考えられる。一方、夜のピークの時刻には交通起源の排出はむしろ減少しており、ガス消費が夜のピークの原因と推察される。

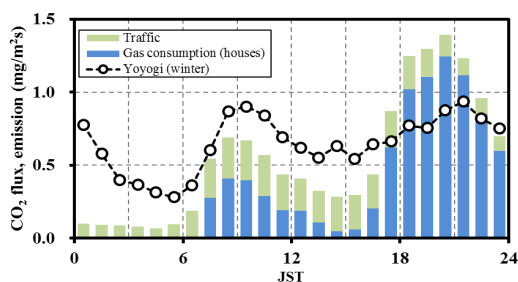


図5: 代々木エリアにおけるCO<sub>2</sub>フラックスと、代々木周辺の家庭・交通からのCO<sub>2</sub>排出量推定値。丸印は代々木における観測結果を示す。棒グラフの交通からの排出量、および家庭におけるガス消費による排出量の推定値。

CO<sub>2</sub>の輸送に関する乱流パラメタリゼーションの検証

ゼロ面変位は建物などの事物が大気の運動に抵抗を与える際、その力点となる位置である。大気からみれば、ゼロ面変位の位置が力学的に見た地表面(高度=0の基準面)と

なるため、ゼロ面変位は物質の乱流輸送に影響するパラメータである。本研究では、タワーで測定された乱流データを用いて温度分散法により観測エリアのゼロ面変位を推定した。ゼロ面変位は24~35 mとなり平均建物高さ(9 m)よりも大きくなった。これは建物高さのバラツキが原因であると考えられる。得られたゼロ面変位を最大建物高さを用いて整理したところ、本研究の結果はLarge-Eddy simulation (LES)を用いた先行研究(Kanda et al. 2013)とおおむね一致した。

## 引用文献

- Bowling et al. (2003) *Global Biogeochemical Cycles*, 17, 1124.  
 Collatz GJ et al. (1991) *Agric For Meteorol* 54, 107.  
 Farquhar GD et al. (1980) *Planta*, 149, 78.  
 Ishidoya, S., et al. (2015) *Ecol. Res.*, 30, 225.  
 Ishidoya, S., and S. Murayama (2014) *Tellus*, 66B, 22574.  
 Kanda, M. et al. (2013) *Bound.-Layer Meteorol.*, 148, 357.  
 Minejima, C. et al (2012) *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 2713.  
 Moriwaki, R., and M. Kanda (2004) *J. Appl. Meteorol.*, 43, 1700.  
 Saitoh T.M. et al. (2012) *Eurasian Journal of Forest Research*, 15, 19-30.  
 Setoyama Y. and Sasai T. (2013) *J Geophys Res Biogeosci.*, 118, 1-15.  
 Steinbach, J. et al. (2011) *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 6855.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計10件、すべて査読付)

Saitoh T.M., S. Nagai, J. Yoshino, H. Kondo, I. Tamagawa, and H. Muraoka, Effects of canopy phenology on deciduous overstory and evergreen understory carbon budgets in a cool-temperate forest ecosystem under ongoing climate change, *Ecol. Res.*, 査読有、30巻、2015、267-277  
 DOI 10.1007/s11284-014-1229-z

Ishidoya, S., S. Murayama, H. Kondo, N. Saigusa, A. W. Kishimoto-Mo and S. Yamamoto, Observation of O<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub> exchange ratio for net turbulent fluxes and its application to forest carbon cycles, *Ecol. Res.*, 査読有、30巻、2015、225-224  
 DOI 10.1007/s11284-014-1241-3

Ishidoya, S. and S. Murayama, Development of high precision continuous measuring system of the atmospheric O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> and Ar/N<sub>2</sub> ratios and its application to the observation in Tsukuba, Japan, *Tellus*, 査読有、66B巻、2014、22574、  
<http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v66.22574>

Saitoh T.M., I. Tamagawa, H. Muraoka, and H.

Kondo、An analysis of summer evapotranspiration based on multi-year observations including extreme climatic conditions over a cool-temperate evergreen coniferous forest, Takayama, Japan、Hydrological Processes、査読有、27 巻、2013、3341-3349

DOI: 10.1002/hyp.9834

Saitoh T.M., S. Nagai, J. Yoshino, H. Muraoka, N. Saigusa, and I. Tamagawa、Functional consequences of differences in canopy phenology for the carbon budgets of two cool-temperate forest types: simulations using the NCAR/LSM model and validation using tower flux and biometric data、Eurasian Journal of Forest Research、査読有、15 巻、2012、19-30

〔学会発表〕(計 37 件)

玉川一郎、齋藤琢、児島利治、村岡裕由、吉野純、永井信、近藤裕昭、山岳域での炭素収支に関するサブグリッドスケールの影響、日本気象学会 2015 年春季大会、つくば国際会議場(茨城県つくば市)、2015 年 5 月 21 - 24 日

Saitoh T.M., S. Nagai, and H. Muraoka、Impact of canopy phenology on carbon, water and heat cycles in mountainous forests under climate change、AOGS 11th Annual Meeting、Royton Sapporo Hotel, Sapporo, Japan、2014 年 7 月 28 日-8 月 1 日

平野竜貴、菅原広史、清水暁、近藤裕昭、村山昌平、東京都心における二酸化炭素濃度、日本気象学会 2013 年度秋季大会、仙台国際センター(宮城県仙台市)、2013 年 11 月 19 日

Murayama, S., H. Kondo, N. Saigusa, S. Ishidoya, T. Maeda, T. Watanabe, K. Kato, T. Shimosaka, N. Aoki, and M. Ando、Long-term measurements of carbon budget in a cool-temperate deciduous forest ecosystem at Takayama in central Japan and their data analyses, International Conference "Towards a Global Carbon Observing System: Progresses and Challenges"、Geneva (Switzerland)、2013 年 10 月 2 日

Ishidoya, S., S. Murayama, C. Takamura, H. Kondo, N. Saigusa, D. Goto, S. Morimoto, N. Aoki, S. Aoki and T. Nakazawa、Exchange ratios of  $-O_2:CO_2$  observed in a cool temperate deciduous forest ecosystem of central Japan、9th International Carbon Dioxide Conference、北京(中国)、2013 年 6 月 3 日

〔図書〕(計 1 件)

齋藤琢、森北出版、植生のリモートセンシング、第 4 章 植物の群落と機能、HG Jones, RA Vaughan (著)、久米篤・大政謙次(監訳)、2013、84-113 (分担翻訳)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 裕昭 (KONDO, Hiroaki)  
独立行政法人産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・副研究部門長  
研究者番号：6 0 3 5 7 0 5 1

(2) 研究分担者

村山 昌平 (MURAYAMA, Shohei)  
独立行政法人産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・研究グループ長  
研究者番号：3 0 2 2 2 4 3 3

玉川 一郎 (TAMAGAWA, Ichiro)  
岐阜大学・学内共同利用施設等・教授  
研究者番号：4 0 2 7 3 1 9 8

齋藤 琢 (SAITOH, Taku)  
岐阜大学・学内共同利用施設等・助教  
研究者番号：5 0 4 2 0 3 5 2

菅原 広史 (SUGAWARA, Hirofumi)  
防衛大学校・応用科学群・准教授  
研究者番号：6 0 5 3 1 7 8 8

石戸谷 重之 (ISHIDOYA, Shigeyuki)  
独立行政法人産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・主任研究員  
研究者番号：7 0 3 7 4 9 0 7

高根 雄也 (TAKANE Yuya)  
独立行政法人産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・研究員  
研究者番号：8 0 7 1 1 9 5 2