

S-1

テーマI ボトムアップ（微気象・生態学的）アプローチによる

陸域生態系の炭素収支解析に関する研究

（3）土壌圏における炭素収支の定量的評価に関する研究

1）土壌炭素フラックスの時空間変動の定量的評価

岐阜大学 流域圏科学研究センター

都留文科大学 文学部

茨城大学 理学部

小泉博

別宮有紀子

大塚俊之

平成14～18年度合計予算額 62,124千円

（うち、平成18年度予算額 8,019千円）

※上記予算額には、間接経費14,361千円を含む

〔要旨〕本研究では、1）生態系の時間変化（遷移）を草本期から木本期への遷移、木本期における遷移に伴う土壌炭素収支の経年変化の解析から自然遷移の時間変動をパラメータ化するとともに、2）森林伐採が土壌炭素フラックスの時空間変動に与えるインパクトの解明により人為活動が時空間変動に及ぼす影響の定量的評価を行うことを目的とした。生態系の遷移段階を対象にした調査では、遷移時間やバイオマスなどをさらに定量化することによって、各遷移段階における土壌炭素収支の特徴を定量的に評価することが可能であることが明らかになった。特に、草原-森林移行期における土壌炭素動態に着目すると、草本から木本のステージへの移行期において土壌炭素が減少することが明らかとなった。また、伐採直後にはSOCプールが大幅に減少することが示された。

〔キーワード〕土壌炭素、二酸化炭素、土壌炭素貯留量、土壌呼吸測定法、森林生態系

1. はじめに

陸域生態系において、植生による炭素貯留量のうち約80%が森林植生に由来し、また全土壌炭素貯留量の40%が森林下の土壌に存在する。森林生態系の炭素固定および炭素収支は気候の違いや植生や遷移段階、土壌動物、攪乱（皆伐、森林火災、攪乱後の経過年数など）の違いに影響される1）。森林の炭素貯留量に変化をきたす土地利用や気候の変化は、明らかに正味の炭素収支に影響する2）。特に、森林伐採や森林の再生および植林による炭素貯留量の変化は地球規模の炭素循環に重要な役割を果たしている3）。近年、世界中の森林で森林生態系の炭素収支や炭素循環が解明され、報告されている4）、5）。そのなかで、森林伐採直後の炭素循環に関しては、土壌炭素の動態についての報告6）や純一次生産量（NPP）を含めた地上部植生に関する報告7）などがあるが、伐採直後の地上部・地下部を含めた森林生態系全体の炭素動態や大気と生態系間の収支に関する知見はシミュレーションモデルを用いたごくわずかの報告しかなく、十分なものとは言えない。これらの状況を踏まえて、本研究では生態系遷移に伴う炭素収支の経年変化、人為活動が時空間変動に及ぼす影響の定量的評

価を行う。

2. 研究目的

陸域生態系において、植生による炭素貯留量のうち約80%が森林植生に由来し、また全土壌炭素貯留量の40%が森林下の土壌に存在する。森林生態系の炭素固定および炭素収支は気候の違いや植生や遷移段階、土壌動物、攪乱（皆伐、森林火災、攪乱後の経過年数など）の違いに影響される¹⁾。森林の炭素貯留量に変化をきたす土地利用や気候の変化は、明らかに正味の炭素収支に影響する²⁾。特に、森林伐採や森林の再生および植林による炭素貯留量の変化は地球規模の炭素循環に重要な役割を果たしている³⁾。近年、世界中の森林で森林生態系の炭素収支や炭素循環が解明され、報告されている⁴⁾、⁵⁾。そのなかで、森林伐採直後の炭素循環に関しては、土壌炭素の動態についての報告⁶⁾や純一次生産量（NPP）を含めた地上部植生に関する報告⁷⁾などがあるが、伐採直後の地上部・地下部を含めた森林生態系全体の炭素動態や大気と生態系間の収支に関する知見はシミュレーションモデルを用いたごくわずかの報告しかなく、十分なものとは言えない。

本研究では、1) 生態系の時間変化（遷移）を草本期から木本期への遷移、木本期における遷移に伴う土壌炭素収支の経年変化の解析から自然遷移の時間変動をパラメータ化するとともに、2) 森林伐採が土壌炭素フラックスの時空間変動に与えるインパクトの解明により人為活動が時空間変動に及ぼす影響の定量的評価を行うことを目的とする。

3. 研究方法

（1）生態系の時間変化（遷移）に伴う土壌炭素収支の経年変化の解析

1) 冷温帯二次遷移サイト

二次遷移に伴う土壌圏の動態を明らかにするために、本研究では岐阜県と長野県の冷温帯に分布する遷移段階の異なる生態系を対象とした。具体的には①ミズナラの優占していた冷温帯落葉広葉樹林を伐採した直後の生態系（高山）、②草本期の代表的な植生であるススキ草原（菅平）、③草本期の後に出現する40年生のアカマツ林（菅平）、その後に出現する④ミズナラを中心とし60年生の落葉広葉樹林（高山）、そして⑤ミズナラを中心とした110年生の落葉広葉樹林（荘川村）である。

サイトI 伐採地：（伐採前の植生は、ミズナラ、ダケカバ、ブナ）

サイトII ススキ草原：ススキ、ワラビ、ワレモコウ、オオアブラススキ、ヨモギ

サイトIII 40年生アカマツ林：アカマツ

サイトIV 60年生落葉樹林：ミズナラ、ダケカバ、シラカバ、

サイトV 110年生落葉樹林：ミズナラ、イタヤカエデ、クリ

土壌中の炭素収支は地上部植生から土壌へと供給される有機物である枯死・脱落量（リター量）と土壌有機物の分解速度とのバランスによって決定される。それぞれの生態系において植物の現存量（炭素蓄積量）と成長量（炭素固定量）を測定した。それぞれの量は、ススキ草原においては刈り取り法で、森林生態系については胸高直径（DBH）の測定に基づいたアロメトリー法で推定した。地上部の枯死・脱落量は、各調査サイトにリタートラップを複数設置して毎月1回収し、各器官に仕分けした後に乾燥重量を測定した。さらに、土壌からの炭素の放出量（土壌呼吸量）を推定するために、携帯型土壌呼吸測定装置（LI-6400、LI-COR）を用いたダイナミック密閉チャ

ンバー法あるいは密閉チャンバー法を用いて、約1ヶ月に毎に測定を行った。

2) 富士山麓の一次遷移サイト

富士北麓地域は年代の異なる様々な噴火堆積物の上に成り立っており⁸⁾、また同一地質年代の立地でも人間による森林利用の歴史的な違いなどによって⁹⁾、遷移段階の異なる様々な植生タイプが存在する。このような中から富士北麓地域の標高約1000mの下部山地帯地域において以下の4ヶ所の生態系を調査地として抽出した。

サイト1 本栖湖畔若齢アカマツ林

サイト2 剣丸尾溶岩流上成熟アカマツ林

サイト3 青木ヶ原溶岩流上ヒノキ・ツガ林

サイト4 大室山麓落葉広葉樹林

サイト1はサイト3と同じ青木ヶ原溶岩流上の植生であるが、本栖湖の水位変動による定期的な攪乱のために遷移初期段階の若齢アカマツ林が維持されている。アカマツの樹齢は約14年であった。サイト2は西暦937年に流出した剣丸尾溶岩流上に成立したアカマツ林である。このサイトは入会地として人間に利用されていた場所に天然更新したアカマツ二次林で、その樹齢は約95年である。この林分はアカマツ一種が優占しており、亜高木層にはソヨゴが密生している。サイト3は西暦864-66年に流出した青木ヶ原溶岩流上に成立した常緑針葉樹林で、いわゆる青木ヶ原樹海である。このサイトではヒノキとツガの二種の針葉樹が優占しているが、ミズメやミズナラなどの落葉樹も出現した。サイト4は大室山麓にあり、青木ヶ原樹海の中に取り残されたように出現する落葉樹林である。このサイトは地形的な要因などにより青木ヶ原溶岩の被害を免れており、地質的には2000年以上前の大室山噴火による火山流出物上に成立している。このサイトに出現した種は落葉広葉樹がほとんどで、ミズナラ・イヌシデ・イタヤカエデ・ブナなどが優占している。

地上部の枯死・脱落量はリタートラップ法により測定した。土壌有機物の分解速度を測定するために、サイト1と2においては土壌呼吸速度（土壌表面からのCO₂放出速度）をCC(the closed chamber)法を用いて測定した。サイト1では内径11cmのチャンバーを、サイト2では内径21cmのチャンバーをそれぞれ群落内に複数設置し、蓋を被せた後に真空バイアル瓶でチャンバー内の空気をサンプリングしてガスクロマトグラフによりCO₂濃度の増加量を測定した。サイト3と4での土壌呼吸速度の測定にはDC (the dynamic closed chamber)法を用いた。開放型携帯用光合成蒸散測定装置 (LI-6400, LI-COR社)に土壌呼吸チャンバー (LI-6400-09, LI-COR)を取りつけたものを使用した。各サイトでは、2003年において月に一度程度、日中の最も気温の高い時間帯を選んで土壌呼吸速度を測定し、同時にチャンバー周辺の深さ5cmの地温を測定した。

(2) 森林伐採が土壌炭素フラックスの時空間変動に与えるインパクトの解明

本研究の調査地を含む林分は岐阜県高山市と丹生川村の境、乗鞍岳南西斜面に位置し (36° 10' N, 137° 25' E)、岐阜大学流域圏科学研究センター高山試験地から北に約2 kmにある冷温帯落葉広葉樹林である。伐採と材の持ち出しは1999年の冬から2000年の夏にかけて行なわれ、その面積はおよそ70 ha、標高約1170 m である。伐採が行なわれる前の植生の概況はブナ (*Fagus crenata*) 林の伐採跡地に成立したダケカンバ (*Betula ermanii*)とミズナラ (*Quercus mongolica*)を主体とする樹齢50年の落葉広葉樹林の二次林であった。植生などが代表的と思われ、より斜面のなだらかな地点に一辺20 mのコドラートを設置し、調査区とした。コドラートの斜面上部と下部の2ヶ所

で気温（高さ120 cm）・地表面温（リターの直下）・地温（リターを除いた地表面からの深さ5 cm）を温度センサー（StowAway TidbiT Temp Logger）で1時間毎に計測した。

土壌呼吸速度（土壌表面からのCO₂放出速度）の測定にはDC（the dynamic closed chamber）法を用いた。開放型携帯用光合成蒸散測定装置（LI-6400, LI-COR社）に土壌呼吸チャンバー（LI-6400-09, LI-COR）を取りつけたものを使用した。また土壌呼吸速度の測定と同時にリター直下の土壌温度、リターを除いた地表面から深さ5 cmの土壌温度、深さ10 cmの土壌水分をそれぞれ測定した。植物体（萌芽）による炭素固定量および呼吸消費量は生態学的定法を用いて測定した。

4. 結果・考察

（1）遷移に伴う土壌炭素収支の経年変化の解析

図1に長野県及び岐阜県の冷温帯地域で行った二次遷移の各遷移段階の植生で実測されたSOCと炭素フラックスの変動を時系列的に並べた。二次遷移では、土壌炭素の動態は遷移に伴う、はっきりとした傾向は見られなかった。強調すべき点として、特に草原-森林移行期における土壌炭素動態に着目すると、草本から木本のステージへの移行期において土壌炭素が減少することが明らかとなった（図1）。これは草本植物と木本植物の生活形の違いが原因と考えられた。つまり、草本植物は地上部を毎年作り替えるが、木本植物は毎年地上部を増大させるので、木本のステージでは土壌への炭素供給量が減少する。一方で、ススキの時に増加した土壌炭素はアカマツに遷移した直後はやや減少するが、やがて再び増加した。このことより、遷移時間やバイオマスなどをさらに定量化することによって、各遷移段階における土壌炭素収支の特徴を定量的に評価することが可能であることが分かった。

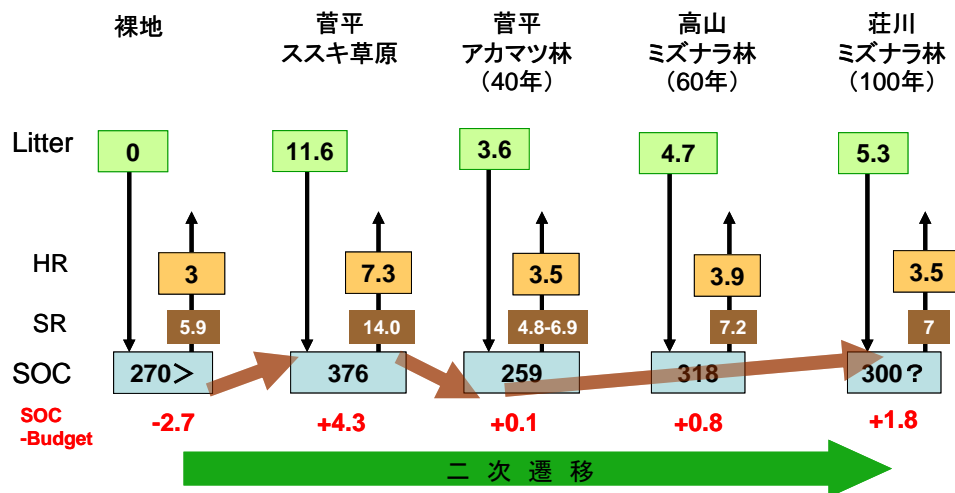


図1 冷温帯地域の二次遷移に伴う土壌への炭素フラックスとSOCプールの変化

富士山北麓において、溶岩年代の異なる場所に成立した4種の森林生態系における土壌炭素動態を調査した結果を図2に示す。若齢アカマツ林からヒノキ・ツガ林まではCWD（地上部+地下部の粗大枯死有機炭素）に大きな変化はなかったが、リターは漸次増加した。しかし、さらに遷移の進んだ落葉広葉樹林では、CWDが増加したもののリターは若干減少した。有機物の分解フラックス（HRまたはSR）は若齢アカマツ林で最も高い値を示し、次いでヒノキ・ツガ林と落葉広葉樹林となった。若齢アカマツ林で高いフラックスが見られたのは、十分に発達していない森林であるため浅

い林床土壤に直射光が入り、土壤温度が高くなったため分解が進んだためと考えられる。一方、成熟アカマツ林は最も低いフラックスを示したが、まだ遷移初期にあるため土壤が未発達であることが原因と考えられる。二次遷移パターンとは異なり、SOC（土壤有機炭素）は遷移の進行に伴って増加した。この結果はSOCの蓄積には溶岩の風化に伴う土壤層形成の進行が重要な要因であることを示している。

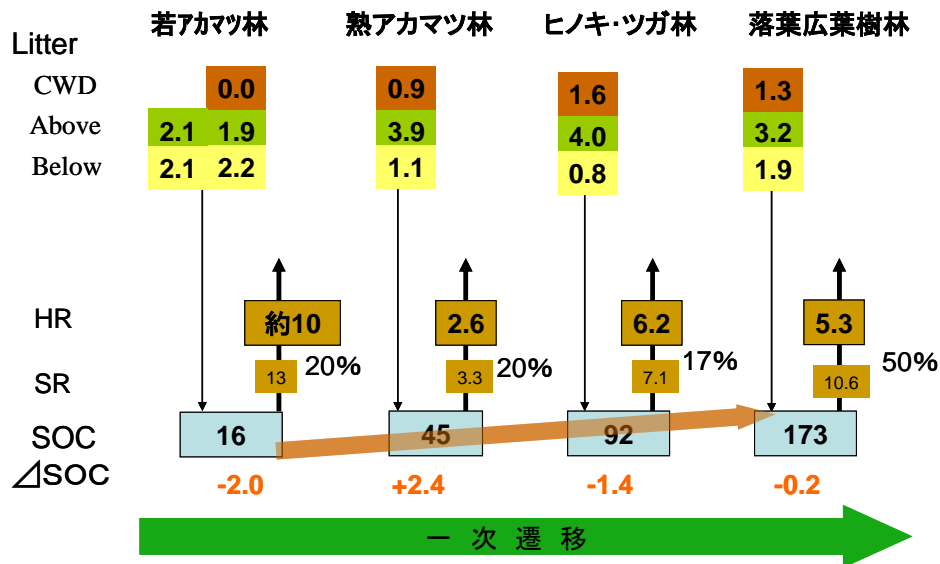


図2 冷温帯地域の一次遷移に伴う土壤への炭素フラックスとSOCプールの変化

一般的に植林地のような純林では、林齢に伴って生態系呼吸量は増加するが総生産量は平衡状態に達するために、ある林齢以降ではNEP≒0になる。一方でSOCプールが一時的に0になり、植生構造そのものが時間的に変化するような一次遷移ではこの理論が当てはまるかどうかは確かめられていない。本研究の現段階では遷移に伴うNEPの変化までは議論できない。しかし若いアカマツ林を除くとバイオマスプールはそれほど増加しないにもかかわらず、SOCプールは落葉樹林では他のサイトの3倍以上であった。このことから両プールへの炭素蓄積は全く異なった時間スケールで起こることが予測される。ANPPそのものはあまり変化しないので、SOCプールへの蓄積は一次遷移に伴う土壤呼吸量の変化に依存していると考えられる。今後地下部の純生産量と、根の呼吸量の割合について詳細な検討が必要である。

(2) 森林伐採が土壤炭素動態に与える影響

伐採跡地での、土壤呼吸速度は雪解け後徐々に増加し、7月から8月にかけて極大値に達した。8月に $560.9 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ （深さ5 cmでの土壤温度、 22.0°C ）に達した。その後減少に転じ、11月に $183.5 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ （深さ5 cmでの土壤温度、 8.6°C ）にまで減少した。これらの値は同じ伐採跡地で土壤呼吸速度を測定したNakane et al.¹⁰⁾の $130\sim 550 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ という報告にとほぼ一致していた。土壤呼吸速度と土壤温度（リター直下、深さ5 cm）、さらに土壤水分（深さ10 cm）の関係を見ると、土壤呼吸速度は土壤温度に対して指数関数的に増大した。土壤呼吸速度は環境要因の中でも温度との相関が高いことは、これまで多くの研究で指摘されており^{12,13)}本研究においても土壤呼吸速度は深さ5 cmの土壤温度およびリター直下の土壤温度との相関が高く、土壤水分

との相関は低い結果となった。さらに、温度変動の大きいリター直下の土壌温度より深さ5 cmの土壌温度のほうが、相関はわずかに高くなっていた。これは地表面近くより、地下5 cm付近でより多く土壌呼吸が行なわれていることを示唆している。

上述の結果を用いて、本調査地における森林生態系の炭素固定・吸収能を表わす生態系純生産量(NEP)を推定した(図3)。本調査地において、萌芽による純生産量(NPP)は $1.0 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、土壌呼吸量は $5.9 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ および根の呼吸消費量は $3.2 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ となった。50年生落葉広葉樹林における、地上部/地下部純生産と同じ割合を用いて、地下部純生産を $0.6 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と仮定すると、NEPは $-1.1 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と推定され、二酸化炭素のソースとして作用していることがわかった。特に土壌中の有機炭素が大きく減少していることが分かった。Ohtsuka et al.¹⁴⁾は高山試験地の50年生の落葉広葉樹林において、NEPと生態系内における炭素蓄積量を詳細に調査した。彼らの推定では、50年生落葉広葉樹林のNEPは $2.1 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であり、この森林生態系は二酸化炭素のシンクとして作用していることが明らかになった。一方で、生態系内の各炭素プールの変化を調べると、この森林では、枯死する樹木が多くほとんどバイオマスは増加しなかった($\Delta B = 0.3 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)。蓄積した炭素のほとんどは粗大有機物やSOMといったネクロマスプールに蓄積するのが特徴である。伐採跡地では、NPPは50年生落葉樹林より小さいものの、1年間で枯死する個体はほとんど無いので、バイオマス増分はむしろ大きい値となった。NEPが約 $-1.1 \text{ tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であることを考えると、伐採直後にはSOCプールが大幅に減少することが特徴であると言える。

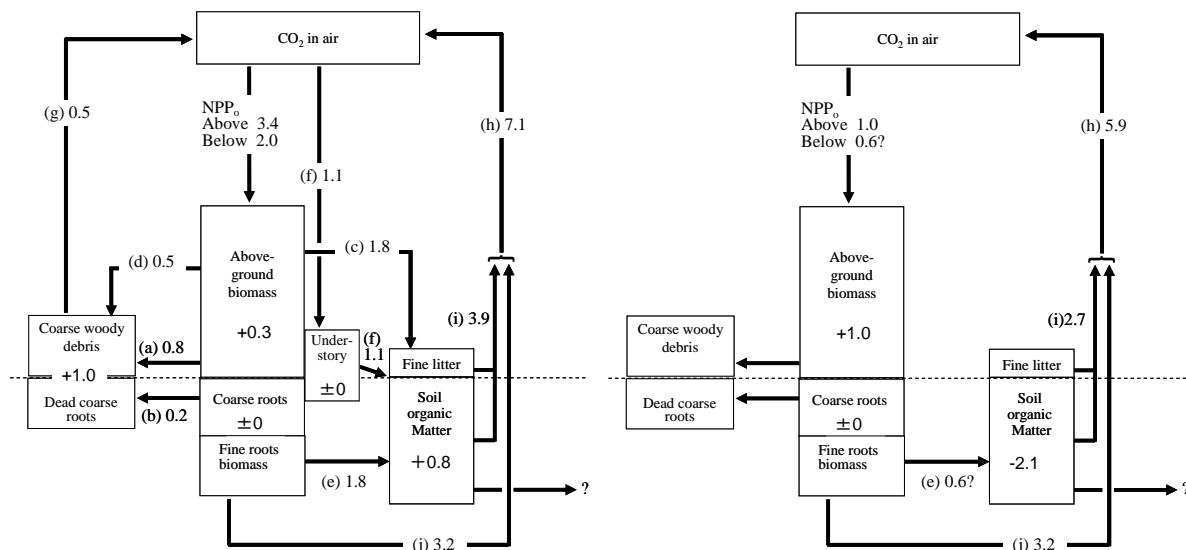


図3 50年生落葉広葉樹林(左図)と落葉広葉樹林の伐採直後(右図)の炭素循環のコンパートメントモデル。

□はプール、→はフラックス($\text{tC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)を□内はプールの変化量を示している。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

遷移時間やバイオマスなどをさらに定量化することによって、各遷移段階における土壌炭素収支の特徴を定量的に評価することが可能であることが分かった。また、一次遷移のSOCプールへの蓄積は、土壌呼吸量の変化に依存していると考えられた。遷移段階と炭素吸収能のさらなる解明

のために、今後地下部の純生産量と、根の呼吸量の割合について詳細な検討が必要であることが明らかとなった。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究では、伐採や土地利用形態など的人為的インパクトと生態系の炭素貯留能について解析を行った。遷移に伴う土壌炭素収支の経年変化の解析において、二次遷移では、遷移に伴う土壌炭素の動態の傾向は見られなかったが、草原-森林移行期における土壌炭素動態に着目すると、草本から木本のステージへの移行期において土壌炭素が減少することが明らかとなった。これは草本植物と木本植物の生活形の違いが原因と考えられた。伐採跡地では、NPPは50年生落葉樹林より小さいものの、1年間で枯死する個体はほとんど無いので、バイオマス増分はむしろ大きい値となり、伐採直後にはSOCプールが大幅に減少することが示された。

6. 引用文献

- 1) Law, B. E., P. E. Thornton, J. Irvine, P. M. Anthoni and S. Vantuyt. (2001) Carbon storage and fluxes in ponderosa pine forests at different development stages. *Global Change Biology* 7 : 755-777.
- 2) Mann, L. K. (1986) Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* 142 : 279-288.
- 3) Thuille, A., N. Buchmann and E. Schulze. (2000) Carbon stocks and soil respiration rates during deforestation, grassland use and subsequent Norway spruce afforestation in the Southern Alps, Italy. *Tree Physiology* 20 : 849-857.
- 4) Raich, J. W. (1998) Aboveground productivity and soil respiration in three Hawaiian rain forests. *Forest Ecology and Management* 107 : 309-318.
- 5) Malhi, Y. and J. Grace. (2000) Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *TREE* 15 : 332-337.
- 6) Castellanos, J., V. J. Jaramillo, R. L. Sanford Jr and J. Kauffman. (2001) Slash-and-burn effects on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in Mexico. *Forest Ecology and Management* 148 : 41-50.
- 7) Kawaguchi, H. and K. Yoda. (1989) Carbon-cycling changes during regeneration of a deciduous broadleaf forest after clear-cutting. II. Aboveground net production. *Ecological Research* 4 : 271-286.
- 8) 小山真人 (1998) 歴史時代の富士山噴火史の再検討. *火山* 43(5) : 323-347.
- 9) 大塚俊之、後藤巖寛、杉田幹夫、中島崇文、池口仁 (2003) 富士北麓剣丸尾溶岩流上のアカマツ林の起源, *植生学会誌* 20 : 43-54.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術雑誌 (査読あり) >

- 1) Lee Mi-sun, K. Nakane, T. Nakatsubo and H. Koizumi: *Ecological Research*, 17, 401-409 (2002)
 “Effect of rainfall events on soil CO₂ flux in a cool temperate deciduous broad-leaved forest”
- 2) Nakadai, T., M. Yokozawa, H. Ikeda and H. Koizumi: *Applied Soil Ecology*, 19, 161-171 (2002)
 ” Diurnal change of carbon dioxide flux from bare soil in agricultural field in Japan. ”
- 3) Bekku Y. S., Nakatsubo T., Kume A., Adachi M. and Koizumi H.: *Applied Soil Ecology*, 22, 205-210 (2003)
 “Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils.”
- 4) Lee M., Nakane K., Nakatsubo T. and Koizumi H.: *Plant and Soil*, 255, 311-318 (2003)
 “Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest.”
- 5) Muraoka H., Koizumi H. and Pearcy R.W.: *Oecologia*, 135500-509 (2003)
 ” Leaf display and photosynthesis of tree seedlings in a cool-temperate deciduous broadleaf forest understory.”
- 6) 大塚俊之、後藤巖寛、杉田幹夫、中島崇文、池口仁：植生学会誌，20，43-54 (2003)
 「富士北麓剣丸尾溶岩流上のアカマツ林の起源」
- 7) Bekku Y., Kume A., Masuzawa T. and Koizumi H.: *Polar Bioscience*, 17, 36-46 (2004)
 “Soil respiration rate on a glacier foreland in Ny-Alesund, Svalbard.”
- 8) Bekku Y., Nakatsubo T. and Koizumi H. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36 (4), 395-399 (2004)
 “Soil microbial biomass, respiration rate, and temperature dependence on a glacier foreland in Ny-Alesund, Svalbard.”
- 9) Koizumi H., Kibe T., Nakadai T., Yazaki Y., Adachi M., Inatomi M., Kondo M. and Otsuka T.: In *Global Environmental Change in the Ocean and on Land*, eds. by Shiyomi M. et al., TERRAPUB, Tokyo, 473-485 (2004)
 “Effect of free-air CO₂ enrichment on structures of weed communities and CO₂ exchange at the flood-water surface in a rice paddy field.”
- 10) 大塚俊之、鞠子茂、小泉博：地球環境，9，181-190 (2004)
 「陸上生態系における炭素循環－森林生態系の炭素収支の生態学的な定量化手法に焦点を当てて」
- 11) Yazaki Y., Mariko S. and Koizumi H.: *Ecological Research*, 19, 511-520 (2004)
 “Carbon dynamics and budgets in a *Miscanthus sinensis* grassland in Japan.”
- 12) Adachi M., Bekku Y., Okuda T. and Koizumi H.: *Forest Ecology and Management*, 210, 455-459

(2005)

“Required sample size for estimating soil respiration rates in large area of two tropical forests and of two types of plantation in Malaysia.”

- 13) Kondo M., Muraoka H., Uchida M., Yazaki H. and Koizumi H. *Agricultural and Forest Meteorology*, 134, 110-121 (2005)
 “Refixation of respired CO₂ by understory vegetation in a cool-temperate deciduous forest in Japan”
- 14) Lee M.-S., Nakane K., Nakatsubo T. and Koizumi H. *Agricultural and Forest Meteorology*, 134, 95-101 (2005)
 “The importance of root respiration in annual soil carbon fluxes in a cool temperate deciduous forest”
- 15) 鞠子 茂、小泉 博：日本生態学会, 50, 113-116 (2005)
 「生態系炭素フラックスの研究と調査法 —現状と将来—」
- 16) Mo W., Inatomi M. and Koizumi H.: *Phyton*, 45, 99-107 (2005)
 “Interannual variation in CO₂ effluxes from soil and snow surfaces in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest”
- 17) Mo W., Lee M.-S., Uchida M., Inatomi M. and Koizumi H.: *Agricultural and Forest Meteorology*, 134, 81-94 (2005)
 “Seasonal and annual variation in soil respiration in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in Japan”
- 18) Muraoka H. and Koizumi H.: *Agricultural and Forest Meteorology*, 134, 39-59 (2005)
 “Photosynthetic and structural characteristics of canopy and shrub trees in a cool-temperate deciduous broadleaved forest: implication to the ecosystem carbon gain”
- 19) 大塚俊之：日本生態学会誌, 55, 117-124 (2005)
 「生態学的手法による植物の生産と枯死の定量」
- 20) Ohtsuka T., Akiyama T. and Koizumi H.: *Agricultural and Forest Meteorology*, 134, 27-38 (2005)
 “Biometric based estimates of net primary production (NPP) in a cool-temperate deciduous forest stand beneath a flux tower.”
- 21) Saigusa, N., S. Yamamoto, T. Ohtsuka, S. Murayama, H. Kondo, and H. Koizumi: *Phyton*, 45 (4), 81-88 (2005)
 “Inter-annual variability of carbon budget components in a cool-temperate deciduous forest in Japan (Takayama, AsiaFlux)”
- 22) Ohtsuka T., Mo W., Satomura T., Inatomi M. and Koizumi H. s: DOI: Ecosystem 10.1007/s10021-007-9017-z (2007)
 “Biometric based carbon flux measurements and net ecosystem production (NEP) in a temperate deciduous broad-leaved forest beneath a flux tower.”
- 23) Adachi M., Konuma H. and Koizumi H.: *Applied Soil Ecology*, 34, 258-265 (2006)

- “Differences in soil respiration between different tropical ecosystems”
- 24) Adachi M., Ohtsuka T., Nakatsubo T. and Koizumi H. : Polar Bioscience, 20, 131-139 (2006)
“Methane flux from high arctic glacier foreland in Ny-Alesund, Svalbard”
- 25) Itoh A., Muraoka H., Koizumi H. and Yamamoto S. : Japan. Ecological Research, 21, 137-149 (2006)
“Seasonal variation in leaf properties and ecosystem carbon budget in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest: simulation analysis at Takayama site”
- 26) Lee M.-S., Mo W., and Koizumi H. : Ecological Research, 21, 828-839 (2006)
“Soil respiration of forest ecosystems in Japan and global implications”
- 27) Muraoka h. and Koizumi H. : Elsevier Oceanography Series, 73, 417-443 (2006)
“Leaf and shoot ecophysiological properties and their role in photosynthetic carbon gain of cool-temperate deciduous forest trees”
- 28) Ohtsuka T., Mo W., Uchida M., Sako H. and Koizumi H. : Elsevier Oceanography Series, 73, 405-426 (2006)
“Slash-and-burn agriculture in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation: effect of fire on nutrients and soil emissions of carbon dioxide”
- 29) Ohtsuka, T., Adachi, M., Uchida M., and Nakatsubo, T. : Polar Bioscience, 19, 63-72 (2006)
“Relationships between vegetation types and soil properties along a topographical gradient in the northern coast of Brogger Peninsula, Svalbard”
- 30) Satomura T., Hashimoto Y. and Koizumi H. : Ecological Research, 21, 741-753 (2006)
“Effect of evergreen understory bamboo on the seasonal pattern of fine root demography in a cool-temperate deciduous forest in central Japan”
- 31) Uchida M., Nakatsubo T., Muraoka H. and Koizumi H. : Polar Research, 25, 39-49 (2006)
“Estimation of the annual primary production of the lichen *Cetrariella delisei* in a glacier foreland in the high Arctic, Ny-Alesund, Svalbard”
- 32) Yashiro Y., Mariko S. and Koizumi H. : Ecological Research, 21, 776-781 (2006)
“Emission of nitrous oxide through a snowpack in ten types of temperate ecosystem in Japan”

<学術誌（査読なし）>

- 1) 大塚俊之、安部良子：関東の農業気象，第28号，41-46（2002）
「高地アカマツ林における炭素循環過程—生態学的手法による炭素固定量の推定—」
- （2）口頭発表
- 1) Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“The controversial points for evaluation of soil respiration in terrestrial ecosystems”

- 2) Lee M. and Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Factors controlling root respiration at Takayama forest on seasonal time”
- 3) Mo W., Jia S., Lee M., Uchida M. and Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Temporal and spatial variation of soil respiration in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in Takayama, Japan”
- 4) Adachi M., Bekku Y.S., Rashidah W., Okuda T. and Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Soil respiration in tropical forest and oil palm plantation in Malaysia”
- 5) Sakai T., Muraoka H., Koizumi H. and Akiyama T. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Photosynthesis and light-use-efficiency by a deciduous broadleaved forest ecosystem in central Japan”
- 6) Muraoka H. and Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Photosynthetic characteristics of canopy tree species in Takayama experimental forest”
- 7) Yazaki Y., Mariko S. and Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Carbon sequestration in a *Miscanthus sinensis* grassland in Japan”
- 8) Kondo M., Uchida M., Muraoka H., and Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Recycling of respired CO₂ by understory vegetation in a cool-temperate deciduous forest”
- 9) Uchida M., Mo W., Tsuchiya Y., Nakatsubo T. and Koizumi H. : Synthesis Workshop on the carbon budget in Asian Monitoring Network (October 21-22, Takayama) (2003)
“Soil microbial activity under deep snow in a cool-temperate deciduous forest”
- 10) Koizumi H. : The Nordic Association of Agricultural Scientists 22nd Congress “Nordic Agriculture in Global Perspectives” (July 1-4, Turku, Finland) (2003)
“Carbon dynamics and budgets in three soil type agro-ecosystems in southern Finland” .
- 11) 内田雅巳、莫文紅、中坪孝之、小泉博 : 第50回日本生態学会大会 (つくば) (2003)
「多雪地域の冷温帯林生態系における雪面からのCO₂放出源の解明」
- 12) 莫文紅、李美善、内田雅巳、三枝信子、鞠子茂、小泉博 : 第50回日本生態学会大会 (つくば) (2003)
「冷温帯林生態系における土壌呼吸量の年変動とその要因」
- 13) 近藤美由紀、村岡裕由、内田昌男、小泉博 : 第50回日本生態学会大会 (つくば) (2003)
「冷温帯落葉広葉樹林におけるササ群落による土壌呼吸期限CO₂の吸収」
- 14) 安立美奈子、別宮有紀子、Wan Rashidah、奥田敏統、小泉博 : 第50回日本生態学会大会 (つ

- くば) (2003)
「マレーシア・パソ地域の熱帯林とヤシ園における土壌呼吸量の比較」
- 15) 稲富素子、小泉博：第50回日本生態学会大会（つくば）（2003）
「森林への窒素負荷による土壌からの二酸化炭素およびメタンフラックスの影響」
- 16) 村岡裕由、小泉博、R. W. Pearcy：第50回日本生態学会大会（つくば）（2003）
「落葉広葉樹実生における受光と光合成、水利用のバランスに対するleaf displayの効果」
- 17) 横沢正幸、白戸康人、鞠子茂、小泉博：第50回日本生態学会大会（つくば）（2003）
「土壌炭素動態のモデル化－炭素貯留量と微生物呼吸量」
- 18) 矢崎至洋、鞠子茂、三枝信子、中野隆志、小泉博：第50回日本生態学会大会（つくば）（2003）
「渦相関法を用いた菅第らススキ草原における炭素収支の推定」
- 19) 里村多香美、橋本靖、小泉博、中根周歩、堀越孝雄：第50回日本生態学会大会（つくば）（2003）
「冷温帯落葉樹林における細根の現存量と純正産」
- 20) 酒向宏範、大塚俊之、内田雅己、小泉博：第50回日本生態学会大会（つくば）（2003）
「森林伐採跡地における焼畑が生態系純生産量におよぼす影響」
- 21) 関川清広、広田充、加藤知道、莫文紅、小泉博、唐艷鴻：第50回日本生態学会大会（つくば）（2003）
「青海草原の炭素動態に関する研究：通気方と渦相関法による夜間CO₂フラックスの比較」
- 22) Koizumi H. : Workshop on Global Environmental Change in the Ocean and on the Land (January 19-21, Tsukuba). Ohtsuka T., W. Mo. And Koizumi H. (2005) Biometric based estimates of net ecosystem production in a cool-temperate deciduous forest beneath a flux tower. AsiaFlux Workshop 2005, Proceedings of International Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation. p. 67, 24-26 Aug., 2005, Fujiyoshida, JAPAN (2004)
“Carbon dynamics and budgets in two different cropping agro-ecosystems in Japan”
- 23) Uchida M., Mo W., Nakatsubo T., Muraoka H., Kanda H. and Koizumi H. : Third international symposium on the Arctic research and seventh Ny-Alesund scientific seminar, Tokyo, Japan (2005)
“Net ecosystem production over a snow-free season on a glacier foreland in Ny-Alesund, Svalbard”
- 24) 李 美善, 小泉 博 : 日本生態学会第52回大会（大阪）（2005）
「冷温帯落葉広葉樹林における土壌からの年間炭素放出量の推定および年々変動」
- 25) 内田 雅己, 中坪 孝之, 神田 啓史, 小泉 博 : 日本生態学会第52回大会（大阪）（2005）
「高緯度北極における地衣類の一次生産量」
- 26) 曾出 信宏, 車戸 憲二, 小泉 博 : 日本生態学会第52回大会（大阪）（2005）
「伐採後の冷温帯落葉広葉樹林における現存量と土壌呼吸速度について」
- 27) 安立 美奈子, 大塚 俊之, 中坪 孝之, 小泉 博 : 日本生態学会第52回大会（大阪）（2005）
「スバルバル諸島ニーオルスン氷河後退域におけるCO₂・CH₄ 放出量と土壌化学特性」
- 28) 伊藤 昭彦, 村岡 裕由, 小泉 博, 三枝 信子, 村山 昌平, 山本 晋 : 日本生態学会第52回大会（大阪）（2005）
「個葉光合成特性の季節変化を考慮したモデルによる大気-森林CO₂交換のシミュレーション

」

- 29) Muraoka H., Uchida M., Ohtsuka T., Nakatsubo T. and Koizumi H. : Third international symposium on the Arctic research and seventh Ny-Ålesund scientific seminar (Tokyo, Japan) (2005)
 “Leaf photosynthetic characteristics and net primary production of vascular plant species in high-arctic, Ny- Ålesund, Svalbard”
- 30) Muraoka H. and Koizumi H. : 4th AsiaFlux Workshop (Fujiyoshida) (2005)
 “Leaf ecophysiological processes for the photosynthetic production in a cool-temperate deciduous forest ecosystem at Takayama site”
- 31) Muraoka H. and Koizumi H. : 1st International symposium of 21st century COE program “Satellite Ecology”, “Linking ecology, remote sensing and meteorology for regional ecosystem studies” (Gifu) (2005)
 “Seasonal change of leaf photosynthetic properties of canopy and shrub trees in a cool-temperate deciduous broadleaved forest at Takayama AsiaFlux site”
- 32) Koizumi H. and Muraoka H. : 1st International symposium of 21st century COE program “Satellite Ecology”, “Linking ecology, remote sensing and meteorology for regional ecosystem studies” (Gifu) (2005)
 “Perspective of “Satellite Ecology” in the 21st Century COE program at Gifu University”
- 33) Muraoka H., Uchida M., Ohtsuka T., Nakatsubo T. and Koizumi H. : Third international symposium on the Arctic research and seventh Ny-Ålesund scientific seminar (Tokyo, Japan) (2005)
 “Leaf photosynthetic characteristics and net primary production of vascular plant species in high-arctic, Ny- Alison, Svalbard”
- 34) Uchida M., Mo W., Nakatsubo T., Muraoka H., Kanda H. and Koizumi H. : Third international symposium on the Arctic research and seventh Ny-Ålesund scientific seminar (Tokyo, Japan) (2005)
 “Net ecosystem production over a snow-free season on a glacier foreland in Ny-Ålesund, Svalbard”
- 35) Ohtsuka, T., Mo, W. and Koizumi, H. : 2nd EAFES International Congress, March, 2006, Niigata, JAPAN (2006)
 “Process level carbon flux measurements and NEP in a temperate deciduous broad-leaved forest at Takayama, Japan”
- 36) 大塚俊之、内田昌男、近藤美由紀、村山昌平、松田あゆり、安立美奈子、白戸康人、米田穰、柴田康行 : 日本生態学会第54回大会 (松山) (2007)
 「放射性炭素同位体を用いた、土壌圏炭素の平均滞留時間の推定」
- 37) 高橋健太・廣田充・早瀬進、根岸正弥、大塚俊之 : 日本生態学会第54回大会 (松山) (2007)
 「根呼吸の貢献度に着目した遷移段階の異なる森林における土壌呼吸速度の空間的不均一性の解明」

- 38) 根岸正弥、安立美奈子、山口貴広、高橋健太、大塚俊之：日本生態学会第54回大会（松山）（2007）
「富士北麓冷温帯アカマツ林における土壌圏炭素動態」
- 39) 中坪孝之、吉竹晋平、他、小泉 博：日本生態学会第54回大会（松山）（2007）
「北極の隆起海岸堆積物中に存在する有機炭素とその分解の可能性」
- 40) 野田 響、村岡裕由、他、小泉 博：日本生態学会第54回大会（松山）（2007）
「高緯度北極陸上生態系の炭素収支過程における維管束植物の役割」
- 41) 村岡裕由、吉野 純、他、小泉 博：日本生態学会第54回大会（松山）（2007）
「中部山岳地帯における生態系機能評価の試み」
- 42) 八代裕一郎、稲富素子、他、小泉 博：日本生態学会第54回大会（松山）（2007）
「冷温帯落葉広葉樹林におけるN₂Oフラックスの季節変動」
- 43) 志津庸子、曾出信宏、他、小泉 博：日本生態学会第54回大会（松山）（2007）
「二次遷移初期の冷温帯落葉広葉樹林における生態学的手法を用いた炭素動態の解明」
- 44) 安立美奈子、稲富素子、他、小泉 博：日本生態学会第54回大会（松山）（2007）
「日本の4つの異なる生態系における土壌呼吸速度の温度依存性」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし