

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号： 13701
 研究種目： 基盤研究（B）
 研究期間： 2009 年度 ～ 2012 年度
 課題番号： 21310009
 研究課題名（和文） 森林生態系のミッシング・シンク - 林床ササ群落の役割の定量的評価-
 研究課題名（英文） A missing sink in forest ecosystems, the effect of dwarf bamboo understory on soil carbon sequestration
 研究代表者
 大塚 俊之（Toshiyuki Ohtsuka）
 岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
 研究者番号： 90272351

研究成果の概要（和文）：

林床ササ群落の有無が、森林生態系の土壌圏炭素（SOC）への蓄積に与える役割を定量的に評価するために、地上部から土壌圏へ供給される炭素量を定量した。ササが有る森林では、溶存有機炭素フラックスは、ササが無い森林より 20% 程度高い値となった。また Roth C モデルを利用して SOC の年々変動をシミュレーションした結果、ササを含む地下部リターを考慮した場合には SOC 蓄積速度は約 $0.7 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であった。これらの結果から、SOC の増加に対してササリター、特に地下部のリターの影響が大きいことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

To evaluate the effect of dwarf bamboo (*Sasa senanensis*) understory on soil carbon sequestration in forest ecosystems, we compared the soil carbon content and the dissolved organic carbon (DOC) flux for a surface mineral horizon between two adjacent deciduous broad-leaved forest sites. The DOC flux of the organic horizon at the *Sasa* site was 20% higher than that at the non-*Sasa* site because of a presence of *Sasa* litterfall. We also estimated the carbon sequestration of organic matter in forested soil with understory *Sasa* by applying the Rothamsted carbon (Roth C) model. A 15-year simulation was run three scenarios: A (aboveground tree litter production), B (aboveground tree and *Sasa* litter production), C (above- and belowground litter production of trees and *Sasa*). The annual SOC accumulation in case C (ca. $0.7 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) was higher than that of case A and B. These results suggest that *Sasa* exerts a positive priming effect on soil carbon sequestration by increasing the amount of DOC sorption, and that litter production (especially for belowground) of *Sasa* are important to SOC sequestration in deciduous broad-leaved forest ecosystems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2010 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2012 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：森林生態系、林床ササ、非生物的プール、生態系純生産量、土壌圏炭素

1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素吸収源としての森林の役割の定量的評価という社会的要請のもとで、タワー観測を利用した微気象学的な生態系純交換量(NEE)の測定は爆発的な発展を見せた。日本では、世界に先駆けて1994年から岐阜大学・高山試験地の冷温帯落葉広葉樹林でタワー観測が開始された。この森林の観測はすでに十年を超え、炭素シーケストレーションは $2.37 \pm 0.92 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (1994-2002) で、年変動が大きいことが明らかとなった。我々は、タワー観測と並行して1998年から高山サイトにおいて生態学的(Biometric)調査を行ってきた。生産者の実質的な有機物生産(純一次生産量:NPP)による大気からのCO₂吸収と、従属栄養生物(森林では主に土壌中の分解者)の有機物分解呼吸による大気へのCO₂の放出の二つのフラックスを実測し、その差として生態系の炭素収支を決定する。

一般的に、森林生態系では、森林の成長に伴い、樹木バイオマスとして炭素が蓄積されると考えられてきた。しかし、研究代表者らが高山サイトで行った結果では、バイオマスプールへの蓄積量は平均で炭素吸収量の約14%に過ぎず、生態系内に、いまだに定量化されていない炭素のミッシング・シンクがあることを意味している。本申請では、東アジアの多雪地域に特徴的な林床ササ群落が、ミッシング・シンクとしての非生物的プールへの炭素蓄積に寄与する役割について注目した。

2. 研究の目的

ササ群落からのリター生産や溶存態有機炭素(DOC)による土壌への有機物供給量などの生態学的調査と、土壌炭素動態モデルを用いた炭素蓄積量のシミュレーションから、高山サイトの落葉広葉樹林において、非生物的炭素プールの蓄積量に対する樹木とササの寄与を分離し、ササの影響を定量的に評価する。

3. 研究の方法

岐阜大学・流域圏科学研究センター・高山試験地において、林床ササ型と林床にササが無い、二カ所の落葉広葉樹二次林に実験区を設置した(ササ区:TSY、ササな

し区:TSN、両方とも20m×20m)。TSYとTSNは隣接しており、森林利用の履歴や林齢はほぼ同じである。優占種はTSYではダケカンバ・ホオノキ・コシアブラであり、TSNではミズナラ・シラカンバ・ダケカンバであった。

各実験区において炭素プールを定量するために、表層土壌を5cm深ごとに20cmまで採取し、重量ベースの炭素量を測定した。また、土壌炭素(SOC)蓄積に深く関与する溶存有機炭素(DOC)動態を比較するために、地上部から土壌圏(リター層および鉱質土壌)へ供給される炭素量をリター(リタートラップ法)、林内雨(ボトル採取法)、鉱質土壌への浸出水(フリーションライシメーター法)から定量した。また、表層土壌(0-5cm)のDOC吸着能の違いを室内吸着実験から比較した。

さらに黒ボク土用に改良したRoth Cモデルを用いて、TSYにおけるSOC動態をシミュレーションし、蓄積速度とササの寄与の評価を行った。

4. 研究成果

土壌圏炭素量はTSYで9.7~18.7%、TSNで9.7~15.1%であり、特に0-5cmにおいてTSYで有意に約20%高い値を示した(図1)。

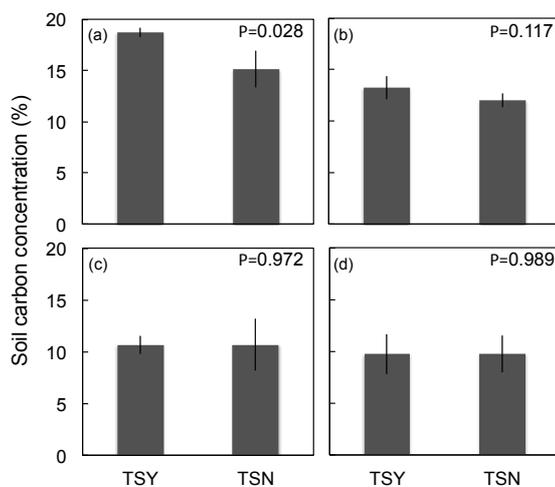


図1. ササあり区(TSY)とササなし区(TSN)の表層土壌の炭素含量(重量ベース%) (a) 0-5cm, (b) 5-10cm, (c) 10-15cm, (d) 15-20cm。

地上部リターによる炭素供給量は、全体としては TSN の方が約 $0.7 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 高い結果を示したが、リター種別で見ると特に樹木の葉以外で両者に大きな差があることがわかった。樹木およびササの葉のみで比較すると両者の差は比較的小さくなり、TSN では約 $0.3 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 多い結果となった。ただし、TSY では欠測月もあったため過小評価であり、実際には両者でそれほど大きな違いは無いと考えられる。

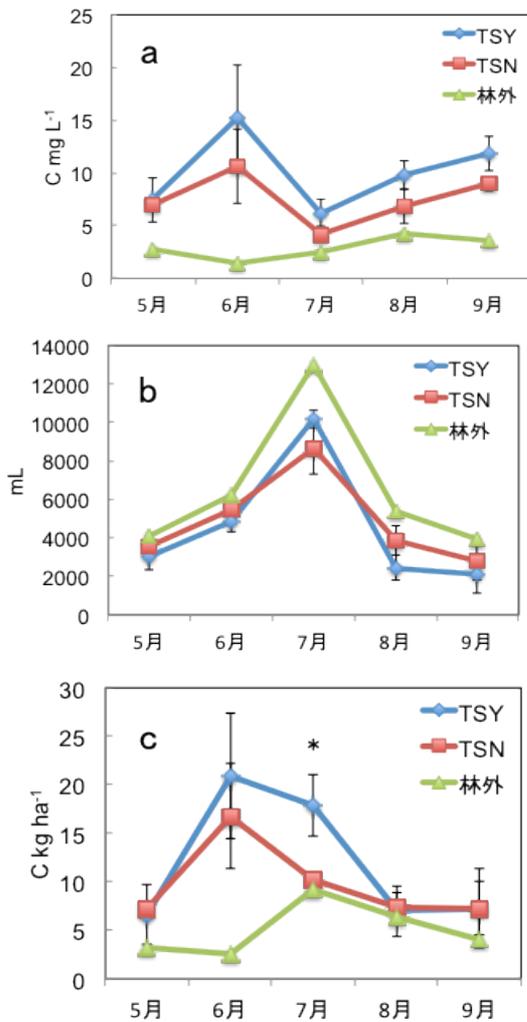


図 2. ササあり区 (TSY) とササなし区 (TSN) の林内雨炭素濃度 (a)、林内雨量 (b)、林内雨による炭素沈着量 (c)。*は有意差 (0.01% 以下) を示す。

林内雨の炭素濃度は月変動が認められ、TSY および TSN は同様の傾向を示し、5月を除いて TSY で常に高い傾向が示されたが、有意差はなかった (図 2a)。TSY サイトで炭素濃度が常に高い原因は明確ではないが、TSY サイトはササ群落の存在により林冠構造が TSN サイトに比べ明瞭に 2 段構造となっていることから、そこを林内雨が通過することで植物と接触し炭素が濃縮さ

れた可能性も考えられた。林内雨量は 5 月から 7 月まで増大し、その後減少するパターンを示した (図 2b)。7 月を除き TSN が常に高い傾向を示したが、有意差はなかった。TSY のほうで林内雨量が少ない傾向は、林床ササ群落の存在によりリター層に落ちてくる雨量が減少していることが示唆された。林内雨の炭素濃度および量から実際にリター層へ沈着してくる炭素量を算出した結果、雨量が多い 6 月および 7 月で TSY がより高い傾向を示し、特に 7 月では有意な差 (0.01% 以下) が認められた (図 2c)。以上の結果は林床ササ群落の存在がリター層への実際の炭素沈着量を継続的に増大させる可能性を示唆した。

両サイトでのリター層から鉍質土壌へ供給される浸出水中の溶存有機態炭素濃度は 9 月を除き TSY サイトで高い傾向を示したが有意な差は認められなかった (図 3)。一方で、鉍質土壌 (0-5 cm) の溶存有機態炭素吸着能は両サイトでほとんど変わらないことが確認された (図 4)。よって、鉍質土壌へ供給された溶存態炭素量によって表層土壌へ蓄積する炭素量が左右される可能性が高いことがわかった。

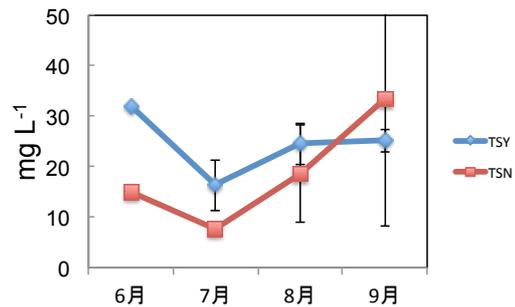


図 3. ササあり区 (TSY) とササなし区 (TSN) における鉍質土壌への浸出液の有機態炭素濃度

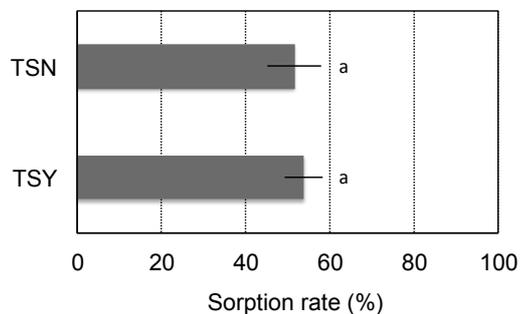


図 4. ササあり区 (TSY) とササなし区 (TSN) における単位重量あたりの溶存有機態炭素吸着割合

以上より、地上部から供給される炭素量は全体的に見るとササあり区で比較的多い傾向が示された。また、表層土壌での炭素吸着能はほとんど変わらないことから、ササあり区の表層土壌で炭素がより多い要因の一つとして地上部から供給される炭素量の重要性が示唆された。

また改良型 Roth C モデルを用いて、TSY における土壌圏炭素動態をシミュレーションした。平均 A 層厚を 38.5 cm として (Jia et al. 2002)、土壌特性として Clay = 39.2%, Alp = 1.28% の実測値を用いた。C 投入量として 1993-2008 の平均値 (Ohtsuka et al. 2009) を用いて、SOC = 0 から平衡に達するまでの計算を行なった。計算は a) 樹木の葉と枝のリター (2.6 tC ha⁻¹ yr⁻¹) による炭素投入、b) a + ササリター (2.9 tC ha⁻¹ yr⁻¹) による炭素投入、c) b + 地下部リター (4.4 tC ha⁻¹ yr⁻¹) による炭素投入の三つのケースで行った。

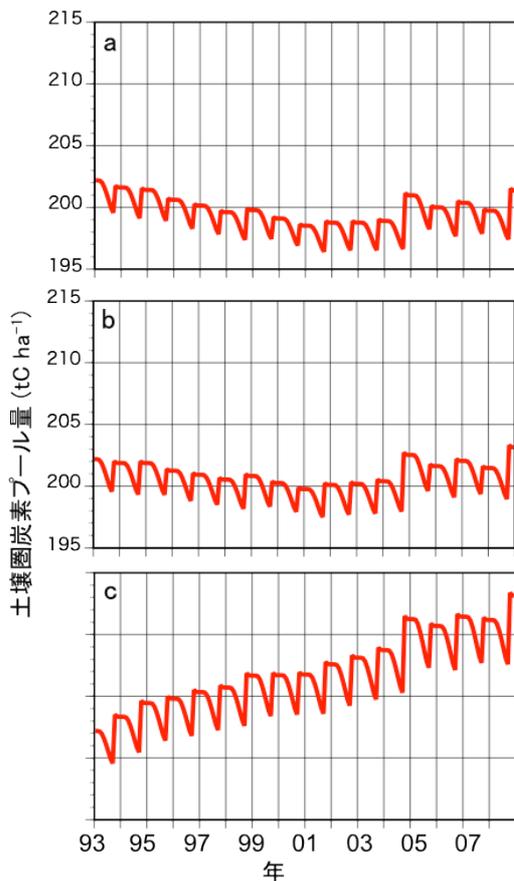


図 5. Roth C モデルを用いた、ササ有区の土壌圏炭素 (SOC) 動態。93 年以降のリター量の実測値を用いて、15 年間の動態をシミュレーションした。a) は樹木の葉・枝のリターを投入量とし、b) は a + 地上部ササリター、c) は b + (ササを含む) 地下部リターのデータを用いた。

その結果、平衡状態の SOC プール量は、

ケース a の場合 178.3 tC ha⁻¹、ケース b の場合 196.3 tC ha⁻¹、ケース c の場合 300.3 tC ha⁻¹ となり、ササリター (特に地下部のリター) による土壌圏炭素蓄積への影響が示唆された。

また、SOC プール量を平衡まで計算した後に、各年の C 投入量 (リター量) の実測値と、気象データから SOC の年々変動をシミュレーションした。樹木の地上部リターのみを投入量としたケース a では、SOC は減少傾向にあった (図 5 a)。ササ地上部リターを入れたケース b では SOC は若干増加したが、ケース a と大きな違いは見られなかった (図 5 b)。一方で、地下部リターを考慮したケース c の場合では、シミュレーションした 1993-2008 年の 15 年間で SOC プール量が約 10 tC ha⁻¹ 増加した (図 5 c)。これは、毎年平均で約 0.7 tC ha⁻¹ yr⁻¹ の増加量で有り、生態学的手法により推定された SOC 増加量とほぼ同じであった (Ohtsuka et al. 2007)。これらの結果から、SOC の増加に対してササリター、特に地下部のリターの影響が大きいことが明らかとなった。

モデルに利用した、地下部のリター量は単年度の結果で有り、地下部リターのモニタリングが必要であると共に、土壌への DOC フラックスの推定では、細根枯死などによる地下部リターからの浸出を定量していない。今後はこのような地下部リターに関する定量的評価が大きな課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 15 件)
記入した論文以外は、すべて査読有り

1. 大塚俊之 (in press) 山岳地域における森林生態系の炭素フラックスの時間変動とその要因. 地学雑誌
2. Imura Y, Hirota M, Ida H, Ohtsuka T (in press) Comparison of quantity and quality of soil organic carbon between matured and gap areas in an old-growth beech forest. *Journal of Geography*
3. Li W, Numata T, Kobayashi S, Yamada T, Li F, Ohtsuka T, Imura Y (2013) Investigation of the composition and origin of particulate organic matter in a forested river. *Journal of Water and Environment Technology* 11, 131-142
4. 大塚俊之 (2012) 森林生態系の炭素循環: Takayama Forest での 10 年間で分かったことと、分からなかったこと. 日生態誌

5. Yashiro Y, Shizu Y, Adachi T, Ohtsuka T, Lee N-Y, Iimura Y, Koizumi H (2012) The effect of dense dwarf bamboo (*Sasa senanensis*) understory on soil respiration before and after clearcutting of cool temperate deciduous broad-leaved forest. *Ecol Res* 27, 577-586

6. 志津庸子・曾出信宏・八代裕一郎・小泉博・大塚俊之 (2012a) 落葉広葉樹林皆伐後の先駆性林分における現存量及び純一次生産量の推定. 日生態誌 62, 19-29

7. 志津庸子・曾出信宏・八代裕一郎・小泉博・大塚俊之 (2012b) 落葉広葉樹林皆伐後の初期遷移における林分構造の変化. 植生学会誌 29, 15-26

8. 飯村康夫・廣田充・井田秀行・大塚俊之 (2012) 志賀高原カヤノ平ブナ成熟林における土壤有機物の特徴. 信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績 49, 1-5 (査読無し)

9. 廣田充・八代裕一郎・飯村康夫・志津庸子・大塚俊之・井田秀行 (2011) 志賀高原カヤの平ブナ林における炭素循環モニタリング I. 時空間的に不均一な土壤呼吸量の測定法の検討. 信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績 48, 9-14 (査読無し)

10. Ohtsuka T, Shizu Y, Nishiwaki A, Yashiro Y, Koizumi H (2010) Carbon cycling and net ecosystem production at an early stage of secondary succession in an abandoned coppice forest. *J Plant Res* 123, 393-401

11. Dhital D, Yashiro Y, Ohtsuka T, Noda H, Shizu Y, Koizumi H. (2010) Carbon dynamics and budget in a *Zoysia japonica* grassland, central Japan. *J Plant Res* 123, 519-530

12. Yashiro Y, Lee N-Y, Ohtsuka T, Shizu Y, Saito TM, Koizumi H. (2010) Biometric based estimation of net ecosystem production (NEP) in a mature Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation beneath a flux tower. *J Plant Res* 123, 463-472

13. Yashiro Y, Shizu Y, Hirota M, Shimono A, Ohtsuka T (2010) The role of shrub (*Potentilla fruticosa*) on ecosystem CO₂ fluxes in an alpine shrub meadow. *J Plant Ecol* 3, 89-97

14. Ohtsuka T, Saigusa, N., Koizumi, H. (2009) On linking multiyear biometric measurements of tree growth with eddy covariance-based net ecosystem production. *Global Change Biology* 15, 1015-1024

15. Hirose D, Shirouzu T, Hirota M, Ohtsuka T, Senga Y, Du M, Shimono A, Zhang X (2009) Species richness and species composition of fungal communities associated with cellulose decomposition at different altitudes on the Tibetan Plateau. *J Plant Ecol* 2, 217-224

[学会発表] (計 20 件)

1. 大塚俊之, Suchewaboripont V, 飯村康夫, 吉竹晋平 (2013) 白山山麓大白川ブナ原生林の純一次生産量の推定. 日本生態学会, 3月7日 (静岡)

2. 飯村康夫・廣田充・井田秀行・大塚俊之 (2012) 極相ブナ林のギャップ構造が土壤圏有機物分解に及ぼす影響. 日本土壤肥料学会, 9月5日 (鳥取)

3. Ohtsuka T, Yashiro T, Iimura Y, Shizu Y, Wang L-J (2012) Carbon dynamics along a chronosequence of Japanese Cedar plantations in central Japan. 日本地球惑星科学連合大会, 5月20日 (幕張)

4. 飯村康夫・廣田充・井田秀行・大塚俊之 (2012) ブナ成熟林における土壤圏有機物分解: ギャップモザイク構造を考慮して. 日本地球惑星科学連合大会, 5月20日 (幕張)

5. 大塚俊之, 八代裕一郎, 飯村康夫, 志津庸子, 加藤正吾, 小見山章 (2012) 大白川ブナ原生林における 16 年間の群落構造の変化. 第 59 回日本生態学会, 3月19日 (大津)

6. Iimura Y, Yashiro Y, Ohtsuka T (2012) Effects of dense dwarf bamboo understory on forest soil carbon dynamics: a case study at Takayama flux site. The 5th EAFES International Congress. 19 March, Ohtsu (Japan).

7. Yashiro Y, Shizu Y, Adachi T, Sode N, Ohtsuka T, Lee N-Y, Iimura Y, Koizumi H (2011) A meta-analysis of soil CO₂ efflux variation at Landscape scale around central Japan. 3rd ASIAHORCs Joint Symposium, Global change in Asia: a perspective of Land Use Change. 26 Oct., Beijing (China).

8. Ohtsuka T, Saigusa N, Mo W, Koizumi H (2011) Where and how the forest storing Carbon at Takayama Forest. 3rd ASIAHORCs Joint Symposium, Global change in Asia: a perspective of Land Use Change. 25 Oct., Beijing (China).

9. Iiumra Y, Ohtsuka T (2011) Potential of soil carbon sequestration at Takayama Flux Site. 3rd ASIAHORCs Joint Symposium, Global change in Asia: a perspective of Land Use Change. 25 Oct., Beijing (China).

10. 大塚俊之 (2011) 森林生態系の炭素循環：高山サイトでの10年間で分かったことと、分からなかったこと。第58回日本生態学会大会 大島賞受賞記念講演, 3月11日 (札幌)

11. 八代裕一郎・王連君・小林元・大塚俊之 (2011) ヒノキ人工林における林齢に伴う土壌呼吸速度の変化。第58回日本生態学会大会, 3月10日 (札幌)

12. 飯村康夫・八代裕一郎・大塚俊之 (2011) 冷温帯落葉広葉樹林での林床ササ群落の有無による生態系純生産量(NEP)や土壌特性の比較。第58回日本生態学会大会, 3月9日 (札幌)

13. 飯村康夫・廣田充・大塚俊之 (2010) 生態遷移の進行が黒ボク土の炭素集積機能に及ぼす影響-炭素・窒素安定同位体比から見た植生変化パターンと炭素集積機能の関係-。日本土壌肥料学会, 9月7日 (札幌)

14. 八代裕一郎・志津庸子・曾出信宏・大塚俊之・小泉博 (2010) スギ幼齢林と壮齢林における生態系純生産量および炭素分配様式の比較。第57回日本生態学会大会, 3月18日 (東京)

15. 志津庸子・八代裕一郎・曾出信宏・上田聡嗣・小泉博・大塚俊之 (2010) 林分発達初期段階の天然更新林とスギ人工林における6年間の土壌呼吸速度の比較。第57回日本生態学会大会, 3月18日 (東京)

16. Ohtsuka T, Shizu Y, Nishiwaki A, Yashiro Y, Koizumi H. (2009) Carbon cycling and net ecosystem production in an early stage of secondary succession in an abandoned coppice forest. A3 Foresight Program Beijing Workshop, 22 Nov., Beijing (China).

17. Shizu Y, Ohtsuka T (2009) Carbon

dynamics in relation to stand structure following clear-cutting of a deciduous forest. A3 Foresight Program. Jinju Workshop, 21Apr., Jinju (Korea).

18. Ohtsuka T, Saigusa N, Kishimoto (Mo) A, Koizumi H (2009) Long-term monitoring of carbon budget at the Takayama, past and future. A3 Foresight Program. Jinju Workshop, 21Apr., Jinju (Korea).

19. Dhital D, Yashiro Y, Ohtsuka T, Koizumi H (2009) Mechanisms of carbon cycle in a cool-temperate grazing grassland. A3 Foresight Program. Jinju Workshop, 21Apr., Jinju (Korea).

20. Yashiro Y, Shizu Y, Hirota M, Shimono A, Ohtsuka T (2009) Net CO₂ exchange of an alpine ecosystem along altitudinal gradient on the Qinghai-Tibetan Plateau. A3 Foresight Program. Jinju Workshop, 21Apr., Jinju (Korea).

〔図書〕 (計 1 件)

1. 大塚俊之 (2011) “森林はどのくらい CO₂ を吸収するのか? -人工林と二次林の比較-“ 小見山章・加藤正吾・荒井聡編「岐阜から生物多様性を考える」岐阜新聞出版社, pp, 108-117

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚 俊之 (Toshiyuki Ohtsuka)

岐阜大学・流域圏科学センター・教授
研究者番号：90272351

(2) 研究分担者

廣田 充 (Mitsuru Hirota)

筑波大学・生命環境科学研究科 (系)・准教授
研究者番号：90391151

白戸 康人 (Yasuhito Sirato)

独立行政法人農業環境技術研究所・農業環境インベントリーセンター・主任研究員
研究者番号：30354062