

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24年5月11日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380085

研究課題名（和文） 根系評価もふくめた北方森林流域における炭素および窒素動態と森林変化の影響

研究課題名（英文） Influences of forest managements on Carbon and Nitrogen flow in cool temperate forested watershed, including evaluation for rootstock

研究代表者

笹 賀一郎 (SASA KAICHIRO)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・特任教授

研究者番号：70125318

研究成果の概要（和文）：北海道北部の森林流域を対象に、地中部調査や野外操作実験により、森林変化による流域の炭素や窒素などの物質フローにたいする影響を根系の評価もふくめて明らかにしようとした。植物根系は地表下70cmの範囲に存在し、根系の体積は1.43%程度、炭素貯留量も29.6t/haほどと、比較的小さな値となっている。ただし、森林の伐採や表土除去などの施業において、土壌中での吸収・固定や供給などとして、炭素や窒素の流出に対して大きな緩衝作用を発揮していることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：To understand the influences on Carbon and Nitrogen flow by forest managements, we conducted the experimental managements (clear-cutting, removal of surface soil and back-fill) and investigated the root stock in mixed forest in northern Hokkaido. Rootstock were limited to a narrow range (70cm depth under forest-floor) and the volume of rootstock was 1.43% and carbon storage was 29.6t・ha⁻¹. But rootstock has functions to stock the carbon and moderate the material flow when clear-cutting or removal of soil surface and back-fill has conducted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	12,600,000	3,780,000	16,380,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：北方林・野外操作実験・森林変化・物質循環・炭素・窒素・CO₂フラックス・根系評価

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球温暖化などの環境変化への対応や土地利用と流域の保全対策などにおいて、森林のもつ緩衝機能や森林利用による対策に大きな期待が寄せられている。しかし、森林の多様な環境保全機能（生態系サービス）の解明や適正な評価がまだ不十分な段階にあ

り、効果的な森林利用方法や森林管理方法の確立・体系化も未熟な状況にある。

(2) 森林の生態系サービスの解明や森林利用方法や森林管理方法の確立を目標に流域レベルでのフィールド研究をすすめてきたが、地下部調査の困難さなどから、地上部を中心とした研究にならざるを得なかった。森

林の環境保全機能の解明には地下部の正確な把握が必要であることや、実際的なスケールでの解析が必要と考えられたことから、本研究計画を作成した。

(3) なお、樹木根系は、森林バイオマス内の大きな割合を占めており、根系の生産は土壤中養分のシンクとなるとともに、高い養分吸収や呼吸活性によりCO₂の放出源ともなっている。しかし、地下部調査や観察の困難さから、地下部バイオマスや物質導体への影響に関する研究は極めて不十分な状態にあった。とくに、北海道北部森林に関する調査は少なく、日本の多雪地帯の林床を特徴づけているササ類をふくめた研究は極めて少ない状態にあった。

(4) 実際の施業スケールにおける操作実験を中心とした研究計画を作成したが、森林の皆伐・植栽に天然更新の補助を目的とした地表処理（林床植生と表土の除去および表土戻し）をふくめた実験はほとんど実施されておらず、本研究は貴重な実験事例になると考えられた。

2. 研究の目的

本研究においては、これまでほとんど把握されてこなかった樹木やササの根系も含めた森林のバイオマスや炭素・窒素などの物質フローへの影響の把握を加えることで、北方森林流域における炭素貯留や物質フローと森林変化の影響をより正確に把握することを目的とした。とくに、地中部における炭素貯留量が地上部より圧倒的に多いとされている北方林において、北海道北部森林における地中部バイオマスの把握と根系の物質フローにたいする役割を明らかにしようとした。

本研究により、流域スケールにおける物質フローと森林影響についての学術的進展を図るとともに、森林生態系サービスの一環である物質循環の緩衝機能のメカニズムや制御方法の進展を図ろうとした。また、本研究の成果をもとに、環境保全の目的も含めた森林造成や維持・管理方法の進展・体系化や、森林伐採と農地・宅地などへの転換のあり方・森林利用による流域保全やエコシステムマネジメントのあり方・地球環境保全の技術開発などへの基礎的情報の提供を図ろうとした。

3. 研究の方法

本研究は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの雨竜研究林と天塩研究林における既設および新設予定の操作実験流域を中心に実行することにした。主な操作実験や調査・観測の計画は以下のである。

(1) 北海道北部を代表する針広混交林と主要樹種（ダケカンバ・ミズナラ・トドマツ・

アカエゾマツ）およびササ類の根系掘りとりをふくめたバイオマス調査を実施し、地中部も含めた炭素貯留量の把握と樹木の炭素貯留に関するアロメトリー関係式を充実させる。また、ミニライゾトロン観察もふくめた細根の推移観測を実施し、細根の生産・枯死プロセスを把握する。

(2) 天然性針広混交林の皆伐およびカラマツ林への転換による観測流域において、CO₂フラックスや水文現象および炭素・窒素等の物質フローなどへの影響の観測を継続し、森林変化による影響や回復過程を把握するとともに、植物根系の役割に関する解析を行う。

(3) 森林の伐採と天然更新の補助を目的とした地表処理（表土除去および表土戻し）などに関する流域単位での操作実験を実施し、森林変化による炭素・窒素などの物質フローに対する影響と回復過程に関する観測を実施するとともに、植物根系の役割に関する解析を行う。

(4) これらの調査・観測により得られる成果をもとに、森林の地上部・地下部における総体的な炭素貯留量の把握や、物質フローにたいする森林の影響についてとりまとめる。

4. 研究成果

本研究においては、操作実験流域を主なフィールドとして、森林や林地の変化による物質フローへの影響を、地下部・根系との関係もふくめて明らかにしようとした。主な成果は以下のである。

(1) 4 樹種（ダケカンバ・ミズナラ・トドマツ・アカエゾマツ）25本の単木ごとの掘りとり調査を実施するとともに、15m×15m×深さ70cmで天然性針広混交林の掘りとり調査をおこない、これらのデータを総合しながら針広混交の天然林における炭素貯留量のとりまとめを行った。植物根系の存在する地表下70cm内における根系の体積は樹木1.23%・ササ0.2%であり、樹木とササ根系の総体積は1.43%であった。炭素の貯留量は、樹木根系27.2t/ha・ササ根系2.4t/ha・土壤中124.0t/haとなり、地中部の総炭素貯留量は153.6t/haであった。また、地上部の炭素貯留は、樹幹部68.0t/ha・枝葉38.1t/ha・ササ地上部2.6t/haであり、総炭素貯留量は108.7t/haとなった。地中部の総炭素貯留量は153.6t/haと、地上部総炭素貯留量108.7t/haの約1.5倍ほどとなり、温帯北部から亜寒帯への移行帯にあたる北海道北部森林の特徴の一つと考えられた。

また、ミニライゾトロンによる細根の動態観察から、細根のバイオマスは891g・m⁻²程度であり、生成が287g・m⁻²・yr⁻¹から12887g・m⁻²・yr⁻¹で、枯死が180g・m⁻²・yr⁻¹から490g・m⁻²・yr⁻¹となり、生態系純生産量の36%を占めるとともに、大きな炭

素供給源となっている状況が把握された。

これらの研究成果により、北海道北部森林（温帯北部から亜寒帯への移行帯）における炭素貯留の特徴について、地中部の貯留量をふくめた、より正確なデータによって明らかにすることができた。また、森林内炭素分布に関するアロメトリー式の一層の充実を図ることができた。これらのデータは、地中部もふくめた北方森林の炭素貯留量の把握に大きく貢献するものであり、衛星や航空機などによる森林炭素貯留量の広域把握にたいしても、貴重な情報を提供するものとなっている。

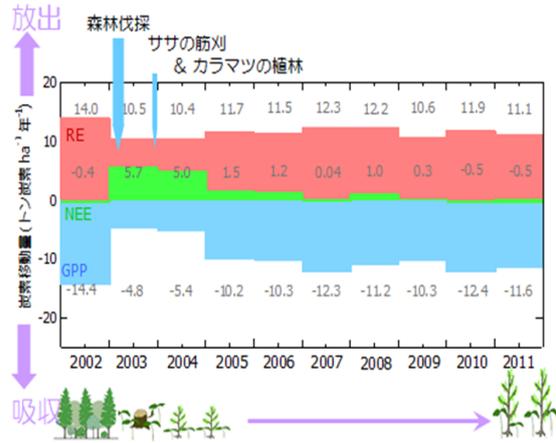


(2) 天然林の伐採とカラマツ植栽に関するCO₂フラックス観測の継続により、伐採によりCO₂の放出に転じた林地は、森林伐採後8年目（カラマツの植栽7年目）以降において、0.5t・ha⁻¹・yr⁻¹と再び炭素の吸収に転じていることが確かめられた。伐採前における炭素のフラックスは0.4t・ha⁻¹・yr⁻¹であったことから、ほぼ伐採前の状態に回復したと判断される。すなわち、原生林状態においては少量の炭素吸収状態にあり、伐採後の2年間は大きな放出に転じ、3年目以降は徐々に放出量を減じながら、8年目にして再び吸収源として回復されたことになる。

また、北方の針広混交林は、炭素の吸収源としては44g・m⁻²・yr⁻¹程度と比較的少ないものの、伐採などによっては569g・m⁻²・yr⁻¹もの強い放出源となることが明らかになった。さらに、樹木の喪失や植栽木の成長初期段階においては、復活するササ群落の養分収集や呼吸活性が急激に大きくなることや、溪畔に残した森林帯が、炭素や窒素などの物質移動や流出を抑制していることも明らかになった。

これらの成果は、北方森林変化による炭素フラックスへの影響や林床にササ群落の持つ北方森林の特徴を明確にしたものであり、炭素の吸収・固定や環境保全対策としての森林利用の在り方に貴重な情報を提供するものとなっている。

炭素収支の経年変化



(3) 森林伐採や表土除去および「表土戻し」などの操作実験流域の継続観測から、森林の皆伐によっても溪流に流出するNO₃などの栄養塩類の濃度上昇はほとんど観測されないこと、表土除去においては施業後4年目からNO₃濃度の上昇が観測されること、表土除去地に表土戻しを行った際には埋戻し直後から森林時の7倍ほどにNO₃濃度が上昇することなどが観測された。また、北方の針広混交林においては積雪下においても窒素の無機化や硝化が行われていることや、無雪期においては旺盛な有機物分解と放出などにより、地表付近に存在するDOCや溪流への流出量も低い値になっていることも確かめられた。

以上の観察結果から、北海道北部森林においては、林床のほとんどを構成しているササ群落が、窒素の動態にも大きな影響を与えていると判断された。すなわち、森林の伐採などにおいては、表土内の有機物分解が増大するものの、復活するササ群落により栄養分のほとんどが吸収されることで、溪流への流出にほとんど変化が現れないと考えられる。表土の除去においては、ササ根系も表土とともに除去されることになるが、窒素の無機化や硝化が行われる表土部分が失われてしまうことから、植生侵入などによる有機物供給が盛んになるまでの数年間は窒素流出の値は低い状態に維持されることになる。表土戻しが行われた際には、根系が枯死した後の土壌で埋め戻されることから、旺盛な窒素生成がなされるものの、根系による吸収源が極減していることにより、多量の窒素が流出することになる。

これらの成果は、窒素動態にたいする北方森林の特徴を明らかにするとともに、物質循環の保全・コントロールも考慮した森林施業のあり方に貴重な情報を提供するものとなっている。

(4) 根系もふくめた北海道北部森林のバイオマスや有機物の供給量は熱帯林や温帯林などと比べて比較的小さな値になっているものの、根系の機能による地中部での物質の

吸収や提供が顕著であることが確かめられた。有機物等の供給が少ないことが、地中部における根系の役割を大きなものにしていとも考えられる。また、根系も含めた森林の炭素の吸収・固定や物質フローの緩和・調節効果とともに、樹木の減少時に日射量の増大によって復活するササ群落が一定期間において炭素や窒素の吸収や供給をおこなうことが北海道北部森林の特徴の一つであることも明らかになった。

以上の事項を中心とした研究成果が得られたことにより、炭素の吸収・固定を中心とした森林利用による地球温暖化対策や、物質フローの緩和・調整を中心とした環境保全をふくめた森林保全の方法の検討に貴重な基礎的情報を提供することができた。

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 28 件)

① M. aguilos, K. Takagi, N. Liang, Y. watanabe, S. Goto, Y. Takahashi, H. Mukai, and K. Sasa, Soil warming in a cool-temperate mixed forest with peat soil enhanced heterotrophic and basal respiration rate but Q10 remained unchanged, *Biogeosciences Discussions*, 6415-6445, 2011 査読有

② Peltoniemi, M., Pulkkinen, M., Kolarik, P., Duursma, R. A., Montagnani, L., Wharton, S., Lagergren, F., Takagi, K., Verbeeck, H., Christensen, T., Vesala, T., Falk, M., Loustau, D. and Mäkelä, A., Does canopy mean nitrogen concentration explain variation in canopy light use efficiency across 14 contrasting forest sites?, *Tree Physiology*, 32, 200-218, 2011, 査読有

③ Khatun, R., Ohta, T., Kotani, A., Asanuma, J., Gamo, M., Han, S., Hirano, T., Nakai, Y., Saigusa, N., Takagi, K., Wang, H. and Yoshifuji, N., Spatial variations in evapotranspiration over East Asian forest sites. I. Evapotranspiration and decoupling coefficient. *Hydrological Research Letters*, 5, 83-87, 2011, 査読有

④ Khatun, R., Ohta, T., Kotani, A., Asanuma, J., Gamo, M., Han, S., Hirano, T., Nakai, Y., Saigusa, N., Takagi, K., Wang, H. and Yoshifuji, N. Spatial variations in evapotranspiration over East Asian forest sites. II. Surface conductance and aerodynamic conductance. *Hydrological Research Letters*, 5, 88-92, 2011, 査読有

⑤ Sasai, T., Saigusa, N., Nasahara, N. K., Ito, A., Hashimoto, H., Nemani, R.,

Hirata, R., Ichii, K., Takagi, K., Saitoh, M. T., Ohta, T., Murakami, K., Yamaguchi, Y. and Oikawa, T., Satellite-driven estimation of terrestrial carbon flux over Far East Asia with 1-km grid resolution. *Remote sensing of Environment*, 115, 1758-1771, 2011, 査読有

⑥ Aoyama, K., Yoshida, T., Harada, A., Noguchi, M., Miya, H. and Shibata, H. Changes in carbon stock following soil scarification of non-wooded stands in Hokkaido, northern Japan. *Journal of Forest Research*, 16: 35-45, 2011, 査読有

⑦ Yoshida, T., Noguchi, M., Uemura, S., Yanaba, S., Miya, H. and Hiura, T., Tree mortality in a natural mixed forest affected by stand fragmentation and by a strong typhoon in northern Japan. *Journal of Forest Research*, 16: 215-222, 2011, 査読有

⑧ Shibata, H., Urakawa, R., Toda, H., Inagaki, Y., Tateno, R., Koba, K., Nakanishi, A., Fukuzawa, K., and Yamasaki, A., Changes in nitrogen transformation in forest soil representing the climate gradient of the Japanese archipelago. *Journal of Forest Research*, 16(5), 374-385, 2011, 査読有

⑨ Takagi Kentaro, Kotsuka Vhikara, Fukuzawa Karibu, Kayama Masazuni, Makoto Kobayashi, Watanabe Tsunehiro, Nomura Mutsumi, Fukuzawa Tatsuya, Takahashi Hiroyuki, Hojyo Hajime, Ashiya Daitaro, Naniwa Akihiro, Sugata Sadao, Kamiura Tatsuya, Sugishita Yoshiyuki, Sakai Rei, Ito Kinya, Kobayashi Makoto, Maebayashi Mamoru, Mizuno Masao, Mursyama Takashi, Konoshita Koji, Fujiwara Daisaku, Hashiba Shukichi, Shibata Hideaki, Yoshida Toshiya, Sasa Kaichiro, Saigusa Nobuko, Fujinuma Yasumi and Akibayashi Yukio, 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*, 13-1, 1-7, 2010, 査読有

⑩ Yoko Watanabe, Takami Satomura, RYO Hunada, Sasa Kaichiro & Takayoshi Koike, Differential anatomical responses to elevated CO2 in saplings of four hardwood species, *Plant, Cell and environment*, 33, 1101-1111, 2010, 査読有

⑪ Ichii, K., Suzuki, T., Kato, T., Ito, A., Hajima, T., Ueyama, M., Sasai, T., Hirata, R., Saigusa, N., Ohtani, Y. and Takagi, K., Multi-model analysis of

terrestrial carbon cycles in Japan: reducing uncertainties in model outputs among different terrestrial biosphere models using flux observations. *Biogeosciences*, 7, 2061-2085, 2010, 査読有

⑫ Takagi Kentaro・Fukuzawa Karibu・Liang Naishen・Kayama Masazumi・Nomura Mutsumi・Hojyo Hajime・Sugata Sadao・Shibata Hideaki・Fukazawa Tatsuya・Takahashi Yoshiyuki・Nakaji Tatsuro・Oguma Hiroyuki・Mano Masayoshi・Akibayashi Yukio・Murayama Takeshi・Koike Takayoshi・Sasa Kaichiro・Fujinuma Yasumi, Change in CO₂ balance under a series of forestry activities in a cool-temperate mixed forest with dense undergrowth, *Global Change Biology*, 15, 1275-1288, 2009, 査読有

⑬ Nina Y. Ileva・Hideaki Shibata・Fuyuki Satoh・Kaichiro Sasa・Hiroshi Ueda, Relationship between the riverine nitrate-nitrogen concentration and the land use in the Teshio River watershed, North Japan, *Sustain. Sci.*, 4(2), 189-198, 2009, 査読有

⑭ Yasunori Nakagawa, Hideaki Shibata, Fuyuki Satoh and Kaichiro Sasa, Influence of CO₂ partial pressure and other factors on spatial and temporal variation of pH in two streams draining the watersheds having different size of riparian zone. *Environmental Science*, 22(3), 173-186, 2009, 査読有

[学会発表] (計 52 件)

- ① Takagi, K., Inter-site comparison of ecosystem physiological parameters of Asian forests. The 5th EAFES International Congress, March 18 2012, Ryukoku University, Otsu, Japan.
- ② Aguilos, M., Northern Japan's cool-temperate forest reaches its carbon compensation point 7 years after clearcutting, The 5th EAFES International Congress, March 18 2012, Ryukoku University, Otsu, Japan.
- ③ Umegane, H., The estimation of above ground biomass using Lidar remote sensing for forest carbon studies - effects of spatial resolution, topography and vegetation type. 第 59 回日本生態学会大会. 2012 年 3 月 18 日. 龍谷大学, 大津市
- ④ 南雲未智, 天然生針広混交林の炭素貯留量の長期変化-林分タイプの違いに注目して. 第 59 回日本生態学会大会. 2012 年 3 月 21 日. 龍谷大学, 大津市
- ⑤ Aguilos, M., Effect of disturbances to the carbon budget of forests in northern

Japan. 生物地球科学会 10 周年セッション, 2011 年 10 月 22 日, 北海道大学, 札幌市

- ⑥ Maricar Aguilos, An ecosystem compensates for the carbon lost due to logging in a cool temperate forest. 日本農業気象学会, 2011 年 3 月 15-19 日, 鹿児島大学農学部, 鹿児島市
- ⑦ 佐藤 冬樹, 道北の森林流域の流量変化にたいする人工的森林攪乱の影響, 日本森林学会, 2011 年 3 月 26 日, 静岡大学, 静岡市
- ⑧ Aguilos, M., Soil warming in a cool-temperate mixed forest enhances heterotrophic and basal respiration rates, but Q₁₀ remains unchanged. AsiaFlux Workshop 2010, December 1-3, Guangzhou, China
- ⑨ 佐藤 冬樹, 北方針広混交林流域の水文および溶出過程に対する掻き起し処理の影響, 日本森林学会, 2010 年 4 月 3 日, 筑波大学, つくば市
- ⑩ 高木健太郎, 環境要因が若齢カラマツ植栽地における炭素収支の年々変動に及ぼす影響, 農業気象学会, 2010 年 3 月 18 日, 名城大学天白キャンパス, 名古屋市
- ⑪ Marical Aguilos, Warming Effect on the Soil CO₂ Flux in a Cold-Temperate Forest of Northern Japan. 農業気象学会, 2010 年 3 月 18 日, 名城大学天白キャンパス, 名古屋市
- ⑫ Karibu Fukuzawa, Nitrate and DOC losses six year after clear-cutting and understory strip-cutting in a cool-temperate forested watershed in northern Japan, LTER All Scientist Meeting, September 14 2009, Estes Park, Colorado USA

[図書] (計 12 件)

- ① Fukuzawa, K., Dannoura, M., and Shibata, H. Springer, Measuring roots: An updated approach, 2012, 291-302
- ② 笹 賀一郎, 北海道新聞社, 北海道の森林, 2011, 117-121
- ③ 柴田英昭, 北海道新聞社, 北海道の森林, 2011, 281-284
- ④ 吉田俊也, 海青社, 森への働きかけ-森林美学の新体系構築に向けて-, 2010, 317-327
- ⑤ 高木健太郎, 北方林業会, 北の森づくり Q&A, 2009, 24-23
- ⑥ F. Shi, K. Sasa, and T. Koike, Springer, Permafrost Ecosystems -Siberian Larch Forests- (Ecological Studies 209), 2009, 367-383

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹 賀一郎 (SASA KAICHIRO)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号：70125318

(2) 研究分担者

佐藤 冬樹 (SATO FUYUKI)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号：20187230

柴田 英昭 (SHIBATA HIDEAKI)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号：70381798

吉田 俊也 (YOSHIDA TOSHIYA)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号：60312401

野村 睦 (NOMURA MUTSUMI)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教
研究者番号：20271629

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

(3) 連携研究者

なし