

平成 21 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2006～2008

課題番号：18255014

研究課題名（和文） 森林火災によって変化する東シベリアタイガの水環境と炭素循環

研究課題名（英文） Forest fire impacts on hydrological processes and carbon cycle in East-Siberian taiga

研究代表者

長谷川 周一 (HASEGAWA SHUICHI)

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：10333634

研究成果の概要：東シベリアカラマツ成熟林に対する地表火の影響は年降水量により異なり、平年並みでは地表面からの蒸発速度と土壌の貯水量が地表火の影響を受けず、林床植生の焼失で余剰になった土壌水分がカラマツ成熟木に利用されて林冠の炭素固定能力が向上した。しかし、多雨年が続くと地表火跡地の土壌含水率は飽和へ近づき、林冠木の衰退・枯損を誘発して炭素固定機能は低下した。森林衰退の跡地は湿地化が進み、生態系の遷移が沼地化へと不可逆的に移行して温暖化効果の多大なCH₄放出源を作り出すことが懸念された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	12,300,000	3,690,000	15,990,000
2007年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2008年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
年度			
年度			
総計	24,700,000	7,410,000	32,110,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：東シベリアタイガ，森林火災，地球温暖化，炭素固定機能，土壌水分，土壌呼吸，温暖化効果ガス，個葉の分光放射特性

1. 研究開始当初の背景

広大で未開発の森林が広がるシベリアタイガは世界で最後に残された針葉樹バイオマス資源の宝庫で、炭素固定機能に期待が寄せられている。近年、このシベリアタイガでは年平均150万 μm^2 を超える森林火災が発生しており、森林火災が主要な攪乱要因になっている。現在、シベリア地域において陸域生態系炭素循環の構築を目指すプロジェクトが進行しているが、その精度向上のためには、森林火災が森林生態系の二酸化炭素吸収に与える影響の定量的評価が不可欠である。さらに、メタン(CH₄)や亜酸化窒素(N₂O)など温暖化効果ガス放出を含めた評価や、地点観測の成果を広域にスケールアップする手法

の確立が求められている。

東シベリアタイガにおける森林火災の90%以上は地表火、すなわち落葉・落枝など地表面の有機物を燃やす火災である。シベリアタイガでは貯留炭素の多くが地表の有機物層に存在するため、地表火は森林生態系の炭素貯留に大きな影響を与える。さらに樹木の根系は土壌の表層に集中するため、地表火が根系に損傷を与え、樹冠層に水ストレスを生じさせ、炭素固定能力(光合成)を低下させることが予想される。

火災跡地の土壌水分は湿潤化することが知られている。当地は年間降水量が230mmほどの寡雨気候のため、光合成と土壌呼吸は土壌の乾燥により日常的に制限を受ける。この

ため、地表火の影響は、根系の損傷による光合成低下に反して、土壌の湿潤化による光合成低下の緩和をもたらす可能性がある。一方、土壌の湿潤化は有機物分解を促進して二酸化炭素の放出増大をもたらす可能性がある。

火災後に森林衰退と永久凍土の融解による土壌の湿潤化が起きると、森林はアラスと呼ばれる湿地へ変わる(10²~10³年スケール)。アラスでは塩類集積のため樹木の更新が困難で、森林が蘇ることはなく、メタンや亜酸化窒素など温暖化効果ガスの放出源になる。

以上の通り、東シベリアタイガの生態系炭素循環は、短期的・長期的に土壌の水分環境に強く支配され、火災強度による根系攪乱ならびに土壌水分環境の変化と、土壌水分の変化が炭素循環の素過程に与える影響を評価することが重要課題になっている。グローバル・スケールの炭素循環モデルを実用可能な精度へ高めるために、これら「地表火」-「根系攪乱と土壌水分」-「炭素循環」の関連性について解明する必要がある。

さらに、地域~全球スケールで炭素循環を議論するためには、地点研究の成果を広域にスケールアップする必要がある。その際に衛星リモートセンシングの活用は不可欠で、炭素循環の素過程を樹木の葉の分光放射特性を通じて評価するための基準化が求められている。

2. 研究の目的

東シベリアのカラマツ成熟林を対象に、火災強度と土壌水分収支の関係解明、火災による土壌水分の変化と炭素循環の関係解明、とくに林木の炭素固定能および土壌からの温室効果ガス(CO₂, CH₄, N₂O)放出量、分光放射特性による光合成能力ならびに水環境の推定法の検討、以上が本課題の目的である。

3. 研究の方法

調査は、ロシア・サハ共和国、ヤクーツク近郊のスパスカヤパッド実験林(62°15' N, 129°37' E)およびネレゲル実験林(62°19' N, 129°30' E)とその周辺の天然生カラマツ成熟林、火災攪乱跡地、伐採跡地、アラス(沼地)で行った。

(1) カラマツ成熟林の水収支

①現地モニタリング

立地条件と攪乱履歴の異なるカラマツ林に8つのプロットを設置した。土壌水分の長期的な傾向は林床植生タイプに基づき評価した。一部のプロットでは、不攪乱土壌試料を採取して、体積含水率と飽和度を測定した。

②地表火実験(その1)

2004年に開始した地表火試験地の土壌水分収支を調べた。生育期間の土壌水分貯留量は、深さ10~50cmの砂質土壌と地表面から約10cm深に相当する有機物土壌を区別して体積含水率を測定して求めた。地表面からの

蒸発散速度は小型ライシメータで測定した。

③地表火実験(その2)

弱度と強度の地表火処理を施した林床を対象に、小型ライシメータ法で地表面からの蒸発速度を2生育期間調べた。

(2) カラマツ成熟林の成長生理・炭素固定能

①現地モニタリング(その1)

過去約50年間にわたって火災攪乱がない林齢約220年および100年のカラマツ林に設置された成長モニタリング・プロットにて、観測50年目の林分構造を調べ、既知の火災攪乱林分データとの比較から地上部現存量の経年変化に対する火災の影響を検討した。

②現地モニタリング(その2)

(1)-②の現地観察にあわせ、林木の健全性を目視により診断した。

③地表火実験

2004年開始の地表火実験において樹冠に着生するシュートの光合成特性の経年変化を調べた。葉の光合成速度は、携帯型光合成蒸散速度測定装置で測定した。

(3) 土壌からの温暖化効果ガスフラックス

CO₂, CH₄, N₂Oフラックスはチャンバー法で経時的に測定した。CO₂濃度は赤外線CO₂分析計を用いて測定した。CH₄濃度はFID付きガスクロマトグラフを、N₂O濃度はECD付きガスクロマトグラフを用いて測定した。草地では植生間の境界を目視で確認して歩きながらハンディGPSで位置情報を記録した。この位置情報をArc GIS 9.0(ESRI)上でマップ化し、それぞれの植生の面積を算出した。沼地面積の季節変化を把握するため、沼地水際(非湛水湿潤草地と湛水湿潤草地の境界)を経時的に測定し、湿潤草地内の湛水日数マップを作成しそれぞれの面積を算出した。

(4) 葉の分光放射特性

葉の分光放射特性は、カラマツ成熟林の樹冠に着生するシュートで、健全木ならびに衰退木のを比較測定した。測定には携帯型分光放射測定装置を用いて325~1075nmで測定した。検討した分光放射特性と光合成特性の関係は、NDVIと最大光合成速度並びにWI(Water index)と葉の含水率であった。

4. 研究成果

(1) カラマツ成熟林の水収支

①現地モニタリング

2002年に発生した地表火跡地では湿性タイプの林床植生が卓越しており、地表火により土壌水分環境が湿潤化したことがわかった。多雨年が続いた2007年夏期には土壌が湛水状態であり、一部の林分では土壌水分が飽和度0.90m³m⁻³を超していた。

②地表火実験 (その1)

地表面からの蒸発散量は、 $0.4\sim 0.8\text{ mm day}^{-1}$ で、2006~2008年ともに地表火処理の影響は認められず、火災区の低いアルベドに起因する高い蒸発量と対照区の下層植生による蒸散量がバランスしたためと考えられた。地表面から深さ50cmの土壤水分貯留量は、2004年と2005年では両区に顕著な差は見られなかったが、降水量が平年以上であった2006~2008年ではいずれの年においても、対照区より火災区において土壤水分貯留量は多かった。地表面から50cm深の土壤水分貯留量の減少量は、カラマツ林冠木の根の吸水量と下層植生を含めた地表面からの蒸発散量の和に等しいと仮定すると、根の吸水速度は2006年で 0.8 mm day^{-1} 、2007年では 0.9 mm day^{-1} と算出され、両区に差は見られなかった。このように、両区のカラマツの蒸散能と地表面からの蒸発散量が同等であることから、両区の土壤水分貯留量の差は成長期間の水収支過程によるものではなく、本調査地における水収支の中で大きな割合を占める融雪水の浸入量の違いに起因したと考えられた。火災区は地表火処理により有機物層が焼失したことで、地形が窪地状であるため、対照区に比べて集水量が多いと考えられた。この集水量の差が、両区における融雪水の浸入量の差となり、火災区で対照区より高い土壤水分状態が生じたと判断した。2008年においては火災区のカラマツが枯死したため、土壤水分貯留量の減少速度に差が生じ、火災区で 0.7 mm day^{-1} 、対照区では 1.2 mm day^{-1} であった。集水量の差に加えて、土壤水分のカラマツ林冠木による消費量が火災区でなくなったために、今後、火災区はさらに湿地化するものと予想された。

③地表火実験 (その2)

弱度の地表火は林床からの地表面蒸発速度に影響を与えないが、強度の地表火は当年のみ地表面蒸発速度を無攪乱の林床に比べて大きくしたが、次年は影響が認められなかった。よって、地表火が林床からの蒸発速度に与える影響は、強度の地表火が発生した当年のみであることがわかった。

(2) カラマツ成熟林の成長生理・炭素固定能

①現地モニタリング (その1)

林齢約220年および100年のカラマツ林では、地上部現存量の成長速度が 0.62 および $1.95\text{ ton ha}^{-1}\text{ year}^{-1}$ であった。当地カラマツ林のこれまでの知見では、地上部現存量は100年を超すあたりから飽和して増加しないことが知られてきたが、今回は220年生でも地上部現存量は増加した。これらの違いは火災攪乱の有無によるものと考えられた。100年生以上での地上部現存量の飽和は、樹木の成長と森林火災による枯損がバランスした

ため、火災攪乱がなければ220年生林分でも地上部現存量は潜在的に増加し、炭素固定機能を発揮できると考えられた。

②現地モニタリング (その2)

土壤水分の飽和度が $0.9\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ を超したカラマツ林ではカラマツ成熟木の衰退と枯死が確認できた。これらの現象は、カラマツ林の中でも特に湿性立地条件に成立したカラマツ林、斜面途中の窪地状の地形部分、近年に地表火攪乱を受けたカラマツ林で顕著に見られた。東シベリアにおけるカラマツ林のうち湿性立地タイプのカラマツ林の面積は約30%を占め、さらに乾性タイプでも窪地地形や火災攪乱の履歴があるカラマツ林の面積を含めると、約半分のカラマツ林は土壤の過湿による森林衰退の危険に瀕していると思積もられた。今後の気候変動環境下において、降水量増加がカラマツ林に与える影響について注視する必要があると考えられた。

③地表火実験

2004年の地表火処理直後には葉の水ストレスは緩和され、翌年の2005年には光合成能力に地表火処理の影響は観察されていなかったが、地表火処理3年目の2006年、葉の窒素含有率は増加して光合成能力が高くなった。しかし、多雨年が続いた2007年には開葉時期からのシュート成長阻害や夏期における葉の黄化と早期落葉が観察された。土壤水分が顕著に増加していたことから、シュートの成長阻害は土壤の過湿による根の酸欠と生理阻害であると考えられた。2008年には、シュートの成長が認められず、枝は内部まで乾燥して枯死していた。以上の通り、地表火が成熟木に与える影響は、年降水量による土壤水分の変動に左右され、平年並みの降水量であれば水不足の緩和によって成長が促進される効果になるが、平年以上の年降水量では土壤水分の増加によって樹木の成長は抑制させ、過度の場合には枯死の誘因になることを実験的に証明した。

(3) 土壤からの温暖化効果ガスフラックス

土壤からの積算 CO_2 放出量(5~8月、平均値 $\pm\text{SD}$)はカラマツ林、火災跡地、伐採跡地で有意差が認められなかった($P > 0.05$)。本研究地では攪乱跡地の温度上昇により有機物分解による CO_2 放出が14~15%増加していたと思積もられ、その増加分が根呼吸の低下分を補ったためと考えられた。積算 CH_4 吸収量(5~9月)はカラマツ林(負の値：大気からの吸収、 $-0.083 \pm 0.047\text{ kg C ha}^{-1}\text{ 4 month}^{-1}$)に比べて火災跡地($-0.15 \pm 0.041\text{ kg C ha}^{-1}\text{ 4 month}^{-1}$)で有意に大きく、伐採跡地($0.0027 \pm 0.043\text{ kg C ha}^{-1}\text{ 4 month}^{-1}$)では有意ではないものの小さく、わずかな放出を示した。積算 N_2O 放出量(5~9月)は各地点間に有意差はみられなかったものの、カラマツ林($0.043 \pm$

0.035 kg N ha⁻¹ 4 month⁻¹) に比べ伐採跡地 (0.068 ± 0.053 kg N ha⁻¹ 4 month⁻¹) で大きく、火災跡地 (0.013 ± 0.012 kg N ha⁻¹ 4 month⁻¹) で小さかった。CH₄吸収、N₂O放出への影響は攪乱の種類によって異なった。火災はCH₄吸収を促進し、N₂O放出を抑制していた。一方、伐採はCH₄吸収を抑制し、N₂O放出を促進していた。

沼地から遠く森林に近い乾燥した草地は、積算でCH₄吸収を示した (-0.038 ~ -0.049 kg C ha⁻¹)。沼地に近い湿潤草地はCH₄放出を示したが、湛水期間によりその程度が大きく異なり、湛水が早く消滅すると17~176 kg C ha⁻¹に比べ、長く湛水すると513~864 kg C ha⁻¹の大きな放出が観察された。湛水しない乾燥草地と湿潤草地の中間の草地では、乾燥が進んだ場合にはCH₄吸収 (-0.099 kg C ha⁻¹)、湿潤に保たれた場合にはCH₄の放出源 (5.2 kg C ha⁻¹) となった。沼地水面はCH₄の大きな放出源 (210 ~ 237 kg C ha⁻¹) であった。本アラス生態系の沼地付近はCH₄の重要なソースであると考えられた。本研究地の生育期間中のCH₄放出量の推定式は次の通りであった。

CH₄放出量(kg C ha⁻¹ period⁻¹) = 4.57 × 湛水期間(日) + 6.28 ($r = 0.945$, $P < 0.05$)

この式と湛水期間の分布で算出した湿潤草地全体 (7.93 ha) からの総CH₄放出量は1007 kg C growing season⁻¹で、アラス全体 (28.9 ha) からの総放出量の88%を占めた。本アラス生態系から放出されるCH₄を吸収するにはその374倍の面積の森林が必要と計算された。

積算N₂O放出吸収量は常時湛水地点で吸収を示した (-0.034 ~ -0.017 kg N ha⁻¹)。乾燥草地からのN₂O放出はカラマツ林より大きく、乾燥した年 (0.036 kg N ha⁻¹) よりも湿潤年 (0.13 kg N ha⁻¹) の方が有意 ($P < 0.05$) に大きかった。湛水が途中消滅し乾燥過程で大きなN₂O放出のピークが見られた湿潤草地の放出量は0.16~1.7 kg N ha⁻¹の範囲であった。本研究地ではN₂Oの放出はCH₄放出に比べ小さかった。GWPベース(=CO₂ × 1 + CH₄ × 23 + N₂O × 296)で比較すると、CH₄が放出の主体 (87~100%)であった。

以上から、森林攪乱後に永久凍土が融解し沼地化する場合にCH₄放出が重大な問題となると考えられた。

(4) 葉の分光放射特性

シュートスケールの光合成能力は分光放射パラメータNDVIと正の相関が見られ、NDVIは樹冠の光合成能力の推定に有望な手段であると考えられた。カラマツ林冠から採取した葉の含水率と分光放射パラメータWIに相関が見られた。しかし、カラマツ成熟林の樹冠において、実際に発生した土壌の乾燥条件による葉の光合成低下は葉の水ポテンシャル低下をとまなわなかった。よって、葉のWI

は乾燥による光合成低下をモニタリングする分光放射パラメータとしては実用的でないと考えられた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- ① Saito H., Hasegawa S. (12名中1,11番) (2009) Inter-annual variations in surface fire impacts on leaf photosynthesis are dependent on changing soil water regimes in a mature larch forest in Central Yakutia. In: Proceedings of 4th International Workshop on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (eds, Maximov TC. *et al.*) 95-98. (査読無)
- ② Sofronova V.E., Saito H. (4名中2番) (2009) Study of parameter of chlorophyll fluorescence in *Ephedra monosperma* during cold hardening. In: 4th International Workshop on C/H₂O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia (eds, Maximov TC. *et al.*) 53-56. (査読無)
- ③ 城田徹央・齋藤秀之 (5名中2番) (2009) 東シベリアにおけるカラマツ林のサイズ構造と地上部現存量の推移, 日本森林学会北海道支部論文集 57, 65-67 (査読有)
- ④ Takakai F., Hatano R. (6名中6番) (2008) CH₄ and N₂O emissions from a forest-alas ecosystem in the permafrost taiga forest region, eastern Siberia, Russia. *J. Geophys. Res.* 113, G02002, doi: 10.1029/2007JG000521 (査読有)
- ⑤ Takakai F., Hatano R. (6名中6番) (2008) Influence of forest disturbance on CO₂, CH₄ and N₂O fluxes from larch forest soil in the permafrost taiga region of eastern Siberia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54: 938-949 (査読有)
- ⑥ Sofronova V.E., Saito H., Perk A. (2008) Fluorescence parameters of chlorophyll in three conifer species during cold hardening. In: Proceedings of the International Conference of Physicochemical bases of structural-functional organization in plants. Russian Society of plant physiologists, held in Ekaterinburg, Russia, 6-10 Octobe. (査読無)
- ⑦ Lopez L., Saito H. (7名中2番) (2007) Interannual environmental-soil thawing rate variation and its control on transpiration from *Larix cajanderi*,

- Central Yakutia, Eastern Siberia. Journal of Hydrology, 338, 251-260. (査読有)
- ⑧ Desyatkin AR., Hatano R. (5名中5番) (2007) Effect of human activity on carbon balance in meadows in a thermokarst depression in Siberia. Eurasian Journal of Forest Research, 10, 89-96 (査読有)
- ⑨ Maksimov A., Saito H. (8名中8番) (2006) A/Ci curve analysis of *Larix cajanderi* growing in Central Yakutia, Siberia. In: International Workshop on H₂O and CO₂ exchange in Siberia (eds, Dolman H. et al.) 57-60. (査読無)
- [学会発表] (計 21 件)
- ① 城田徹央・斎藤秀之 (4名中2番) 東シベリアにおけるカラマツ林のサイズ構造の林分間変動, 日本森林学会北海道支部大会, 2008年11月10日, 札幌市コンベンションセンター, 札幌市
- ② 岩崎秀威・斎藤秀之・TC Maximov・長谷川周一: 東シベリアカラマツ林の地表火の攪乱による土壌水分収支の変化, 日本土壌肥料学会愛知大会, 2008年9月9日, 愛知教育大学, 名古屋市
- ③ Desyatkin A. R., Hatano R. (6名中6番): CH₄ emission from different stages of thermokarst depressions in Central Yakutia, Russia. 日本土壌肥料学会愛知大会, 2008年9月9日, 愛知教育大学, 名古屋市
- ④ Iwasaki H., Saito H., Hasegawa S. (6名中2,4番) Soil water balance scenario after an artificial ground-fire in a mature larch forest in eastern Siberia. The IVth Annual International Workshop on "C/H₂O/energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Siberia, 14-16th July 2008, Academy of Sciences of the Republic of Sakha, Russia.
- ⑤ Saito H., Hasegawa S. (7名中1,6番): Overview of artificial ground-fire experiment on water and carbon cycle processes in a mature larch forest of spasskaya pad forest, Yakutia. The IVth Annual International Workshop on "C/H₂O/energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Siberia, 14-16th July 2008, Academy of Sciences of the Republic of Sakha, Russia.
- ⑥ Sofronova V.E., Saito H., Maximov T.C.: Study of parameters of chlorophyll fluorescence in *Pinus sylvestris* L. needles growing under the conditions of cryolithic zone. The IVth Annual International Workshop on "C/H₂O/energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Siberia, 14-16th July 2008, Academy of Sciences of the Republic of Sakha, Russia.
- ⑦ Saito H., Hasegawa S. (7名中1,7番): Larch taiga on permafrost is facing the risk of catastrophic degradation by immoderate increasing precipitation regimes. International Symposium Sentinel Earth, Detection of Environmental Change, 5-7th July, Hokkaido Univ., Sapporo, 2008.
- ⑧ 城田徹央, 斎藤秀之 (4名中2番) *Larix cajanderi*林冠におけるシュート数動態 第119回日本森林学会, 2008年3月27日, 東京農工大学, 東京
- ⑨ Desyatkin AR., Hatano R. (6名中6番) GHG emission from different stages of thermokarst in Central Yakutia, Russia. 日本土壌肥料学会北海道支部秋季大会, 2007年12月5日, 北海道大学, 札幌市
- ⑩ 城田徹央・斎藤秀之 (4名中2番) *Larix cajanderi*成木における心材、辺材および樹皮の垂直分布, 日本森林学会北海道支部大会, 2007年11月5日, 札幌市コンベンションセンター, 札幌市
- ⑪ 岩崎秀威・斎藤秀之・長谷川周一 (5名中3,5番) 永久凍土地帯における土壌の高水分状態による森林衰退の可能性, 第49回土壌物理学会シンポジウム, 2007年10月13日, 九州大学, 福岡市
- ⑫ Desyatkin A. R., Hatano R. (6名中6番) Comparison of greenhouse gas emissions and carbon budget from grasslands in Southern Hokkaido and Central Yakutia, East and Southeast Asian Federation of Soil Science, 2007年10月22-23日, つくば国際会議場, つくば市
- ⑬ Desyatkin A. R., Hatano R. (6名中6番) Comparison of grassland NEP and NBP of Hokkaido and Central Yakutia, Russia. 日本土壌肥料学会東京大会, 2007年8月23日, 東京農業大学, 東京
- ⑭ 高階史章・波多野隆介 (7名中7番) ロシア・東シベリアのタイガカラマツ林におけるCH₄, N₂Oフラックスの季節・年次変動. 日本土壌肥料学会東京大会, 2007年8月23日, 東京農業大学, 東京
- ⑮ Saito, H., Hasegawa, S. (8名中1,5番): Ground-fire is not a significant event reducing shoot photosynthesis and

stomatal conductance in the canopy of mature larch stand in eastern Siberia: A field manipulation experiment. Fourth international wildfire conference, Seville, Spain, 14-17th May, 2007.

- ⑫ Saito H. (7名中1番) Changing precipitation regimes and photosynthetic performance of the East-Siberian taiga. European Geosceinces Union 2007, 14-20th April, 2007, Austria Center Vienna, Austria.
- ⑬ 城田徹央・齋藤秀之・T.C.Maximov: 東シベリアのカラマツ成熟林における葉, 枝, 幹の現存量と表面積, 第118回日本森林学会, 2007年4月3日, 九州大学, 福岡
- ⑭ 城田徹央・齋藤秀之 (4名中2番) 東シベリアのカラマツ老齢個体における短枝の長枝化現象. 第54回日本生態学会, B1-09, 2007年3月20日, 愛媛大学, 松山
- ⑮ Desyatkin A.R., Hatano R. (5名中5番) GHG emissions and carbon balance from an alas ecosystem in east Siberia, 日本土壌肥料学会北海道支部秋季大会, 2006年11月29日, 北海道大学, 札幌
- ⑯ 岩崎秀威・長谷川周一・波多野隆介: ペドトランスファーファンクションを用いた土壌水分特性の推定, 第48回土壌物理学会, 北海道大学, 札幌市, 2006年10月14日
- ⑰ Takakai F., Hatano R. (6名中4番) CH₄ emission from a Siberian Alas ecosystem near Yakutsk, Russia. Asian Conference on permafrost, March 7-9, 2006, Lanzhou, China

[図書] (計4件)

- ① Saito H. (6名中1番) (2007) Changing precipitation regimes and LAI in a mature larch forest in eastern Siberia. 209-216, In: Influence of climatic and ecological changes on permafrost ecosystems (Eds, Ivanov B. I. et al.), Proceedings of 3rd international conference, 'The Role of Permafrost Ecosystem in Global Climate Change', Yakutsk, YSC Publishing House SB, RAS, 248p. ISBN 978-5-91138-051-9
- ② Saito H. (3名中1番) (2007) Upscaling of aboveground respiration during summer in a mature larch (*Larix cajanderi*) forest on Siberian permafrost. 217-221, In: Influence of climatic and ecological changes on permafrost ecosystems (Eds, Ivanov B. I. et al.), Proceedings of 3rd

international conference, 'The Role of Permafrost Ecosystem in Global Climate Change', Yakutsk, YSC Publishing House SB, RAS, 248p. ISBN 978-5-91138-051-9

- ③ Shirota T., Saito H. ・Maximov T.C. (2007) A significance of shoot reversion of mature larch trees in Spasskaya Pad:an architectural analysis. 204-209, In: Influence of climatic and ecological changes on permafrost ecosystems (Eds, Ivanov B. I. et al.), Proceedings of 3rd international conference, 'The Role of Permafrost Ecosystem in Global Climate Change', Yakutsk, YSC Publishing House SB, RAS, 248p. ISBN 978-5-91138-051-9
- ④ Iwasaki H., Hasegawa S., Saito H. (7名中2,3番) (2007) The effect of artificial ground-fire on soil water regime in a mature larch forest in eastern Siberia. 221-226, In: Influence of climatic and ecological changes on permafrost ecosystems (Eds, Ivanov B. I. et al.), Proceedings of 3rd international conference, 'The Role of Permafrost Ecosystem in Global Climate Change', Yakutsk, YSC Publishing House SB, RAS, 248pp, ISBN 978-5-91138-051-9

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 周一 (HASEGAWA SHUICHI)
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: 10333634

(2) 研究分担者

波多野隆介 (HATANO RYUSUKE)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 40156344

齋藤秀之 (SAITO HIDEYUKI)
北海道大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号: 70312395