

「資源循環・エネルギーミニマム型システム技術」

平成 10 年度採択研究代表者

福田 正己

(北海道大学低温科学研究所 教授)

「温暖化効果ガスにかかわる永久凍土攪乱の制御技術開発」

1. 研究実施の概要

地球温暖化に大きな影響を与える温暖化効果ガスの放出源として、永久凍土地域のタイガ攪乱による二酸化炭素の収支変動と天然ガスパイプからのメタンガス放出が重要である。これらの温暖化効果ガスの発生を抑制するために、発生源の特定と発生メカニズムの解明 → 将来予測 → 抑制技術の開発という一貫した流れでの調査・研究を行った。まず永久凍土地域での森林火災や攪乱による二酸化炭素収支変動プログラムでは、平成13年度には定点観測サイト(東シベリアヤクーツク周辺のネレゲルサイト)でのタワー観測による二酸化炭素と熱-水収支の連続観測を実施した。特に前年度に森林で発生した病虫害駆除のため、観測サイト近傍で森林の伐採がロシア森林局によって実施された場所で、伐採前後でのタワー観測による二酸化炭素収支の変動を集中観測した。これに併せて、森林機能班、森林土壌班、リモートセンシング班、火災制御班が同時集中観測を実施した。これらの観測結果から、森林による二酸化炭素吸収能力を定量化することにはじめて成功した。

永久凍土班はボーリング調査から凍土に貯留されるメタンガスの濃度分布を明らかにし、攪乱によって誘因される凍土融解で付加されるメタンガスフラックスを推定した。大気化学班は森林周辺部での湿原の野火による二酸化炭素フラックスを実測し、その総量が従来よりも大きいことを明らかにした。予測班は森林火災による二酸化炭素収支の地球全体に与える影響の予測を行い、併せて火災時に放出されるエアロゾルの拡散過程をシュミレーションで明確化した。

パイプランからの漏洩防止に関連し、アラスカフェアバンクスで実規模野外実験では、地下埋設したパイプのせり上がりに特異な挙動が発生することを確認し、地盤とパイプの相互作用によることを定式化する試みを行った。

これらの成果について国内外の学会等で発表を行い、併せてシンポジウムを筑波において2002年3月に実施した。

2. 研究実施内容

永久凍土観測班

(1) 凍土観測

ヤクーツク周辺での永久凍土融解に伴う凍土からのメタンガス発生量を予測するため、凍土中

からのサンプリングを行った。今回の調査から、表層1mの凍土中の CH₄ を約 2000ppm とすると、永久凍土が1m融解することで、付加される CH₄ は 2000ml/m² となる。この値については2002年度のフラックス測定で確定する予定である。凍土中のメタンガス濃度の分布を図1に示す。

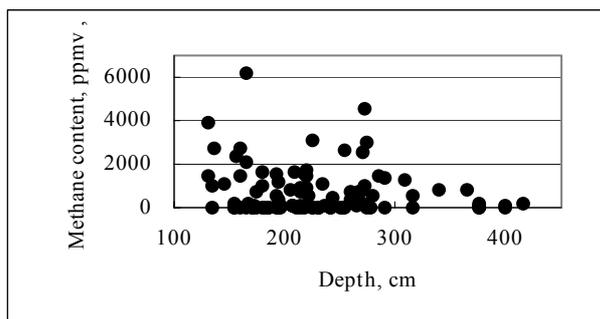


図1 凍土中の気泡に含まれる CH₄ 濃度分布

また後氷期以降の温暖化により、ヤクーツク周辺でのアラスの形成過程を復元する

ため、各地で凍土サンプリングを行い、花粉分析を実施した。永久凍土中の高濃度のメタンガス貯留の機構を検討するため、アルダン河及びレナ河右岸地域で地下氷のサンプリングを行ってそれらを札幌に持ち帰った。特に過去のメタン生成菌の抽出作業を実施中である。

(2) タワー観測グループ

平成 13 年 4 月から 10 月の期間、ヤクーツク北西 25km の Nereger において現地調査観測をおこなった。今年度はカラマツ林と伐採跡地における、①水・熱収支および樹液流速の観測、②生態系 CO₂ 収支および土壌呼吸量観測、③融解深および活動層水収支調査をおこなった。

2-1 カラマツ林と伐採跡地の蒸発散と水収支

土壌表層の含水率と降雨イベントにより変動した。生長初期の土壌含水率の差によると考えられる。カラマツ生長期の蒸散は主として活動層融解水に依存し、降水の寄与は小さい。HPV は 9 月上旬に最低値に達し、この時点で蒸散が終了したことがわかった。

2-2 カラマツ林、火災跡地、伐採跡地の CO₂ 収支

2000 年及び 2001 年に観測されたカラマツ林、火災跡地、伐採跡地における生態系 CO₂ 収支を比較した(表 1)。カラマツ林において、CO₂ 収支の年々変動が見られた。光合成量に差はなかったが、乾燥年である 2001 年は湿潤年である 2000 年より生態系呼吸量が小さく、結果として高い生態系 CO₂ 吸収を示した。火災、伐採などの森林攪乱によって光合成の低下と土壌呼吸の促進が生じ、結果として生態系 CO₂ 収支は放出へ変化することがわかった。また降雨による土壌水分上昇は、生態系 CO₂ 収支の重要な変動要因である。

表 1 攪乱による森林の CO₂ 収支変動 (単位:gCm⁻²)

Month	Larch forest		Burnt forest	Cut Forest
	2000	2001	2000	2001
MAY	(-11)*	-36	(+37)*	+21
JUN	-91	-113	+38	+38
JUL	-69	-84	-25	+62
AUG	-52	-60	+4	+46
SEP	+27	-6	+35	+37
JUN-SEP	-184	-263	+52	+184

* 月の一部からの推計

2-3 カラマツ林と伐採跡地の融解深および活動層水動態

最大融解深はカラマツ林が約 100cm、伐採跡地が約 120cm で、約 20cm の差があった。この差は樹冠による被覆が失われた結果、放射による土壌表面の加熱が増加したためで、伐採跡地の夏季の地中熱流量はカラマツ林の約 3.5 倍に達した。

夏季のカラマツ林では活発な根からの吸水によって深層でも土壤水分減少がみられた。一方伐採跡地では深層の土壤水分変化は小さく、カラマツ林と比較すると湿潤な状態を保った。再凍結時の土壤含水率は全層にわたり、カラマツ林が伐採跡地より 10～15%小さかった。

森林機能班報告

炭素収支モデル班へのパラメータの提示を主目的として①バイオマス補足調査と分析②樹冠部の光合成速度③前生樹の光合成速度④伐根年輪による火災頻度調査、について現地調査と試料分析を行った。

伐採跡地と林内に生育するカラマツ稚樹の光合成速度は朝7～8時に最高を示し、その後は日中低下を起して光合成はほとんど行わなかった。その原因は、土壤の乾燥、大気飽差の増大、葉温の上層、CO₂濃度の低下であった。光合成速度の日変化の測定結果を光強度と光合成速度の関係に整理したものを図5に示す。伐採跡地に生育するカラマツの光合成速度の日中低下は、林内のカラマツに比べて小さかった。また、かん水処理前後の光合成速度を調べ、光合成速度の回復の程度から土壤水分ストレスを評価したところ、伐採跡地に生育するカラマツの土壤水分ストレスは林内のカラマツに比べて小さかった。

以上から、伐採は土壤水分環境を湿潤に変化させ、前生カラマツ稚樹の光合成における水ストレスを緩和することが示唆された。

森林火災頻度については、平均火災頻度はネレゲルが 13 年、ケンケメが 15 年であった。

土壤班

土壤生態系においては土壤と植物の相互作用により物質循環が土壤生態系の質を決定している。これは大気からの流入、土壤からの流出をつかさどる地球化学過程に土壤を要とする生物過程が関与して成立している。タイガ永久凍土生態系における森林破壊は、生態系の炭素固定能を低下させるだけでなく、夏季の融解水が余り湿地化し、CH₄やN₂Oの温暖化ガスが発生しやすくなるとともに、凍土上に集積した塩類が自由水とともに上昇して土壤の塩類化、アルカリ化が生じると考えられる。本チームは森林攪乱の影響をさまざまに受けた土壤生態系における温暖化ガス放出および土壤の質を主として調査し、そのインベントリーを作成することを目的として研究を行っている。

リモートセンシング班

(1) シベリアタイガ林構成要素の分光特性観測と林分反射のモデル化

東シベリアタイガ帯の森林火災の影響を含む森林の衛星データの解釈のため実測データを元にして、それぞれの調査区について林床分光反射モデルを線形混合モデルとして構築した。2000年度までに得られている林冠モデルと合わせると衛星データ解釈のためのモデルとなる。このモデルは林床の調査、毎木調査と衛星データによって検証される予定である。

(2) LANDSAT 画像によるカラマツ林更新段階区分

衛星画像による植生観測は通常夏季に行われるが、積雪による下層植生の影響の除去という冬季画像の特徴を利用し、北方林であるシベリアタイガの林相区分と、そのうち大半の森林で優占するカラマツ林について森林火災後の更新状況の推定を行った。

(3) NOAA 画像による 2001 年夏季ヤクーツク周辺の森林火災検出

特に、7月下旬から8月上旬にかけて火災が多く発生したことが分かった。

メタンフラックス

観測の概要と目的:

平成 13 年度は、西シベリア南部に位置するプロトニコボ近郊の森林火災跡(1998 年夏に火災、N56°52', E83°17')、及び西シベリア北部に位置するナヤブルスク近郊(N63°16', E75°29')の2地点における観測を行った。プロトニコボ近郊の森林火災跡では、1999 年、2000 年に CH₄/CO₂ フラックスの観測をすでに行っており、今回は火災時に焼失した森林バイオマス及び土壌有機炭素量を推定することを目的として調査を行った。また、ナヤブルスクは不連続永久凍土地帯に位置し、アカマツ林やパルサを持つ湿地が町周囲に分布している。今後の調査の可能性を探るため、予備的な観測を行った。フラックス観測の結果を表2に示す。

モデル班

(1) 炭素循環と結合した格子モデルを用いた東シベリア地域カラマツ林における森林火災と炭素収支に関する数値シミュレーション

東シベリア地域を中心とした北方林を対象に陸上生態系炭素循環モデルを適用して数値実験を行う。炭素蓄積量と炭素交換量に関して遷移+成長過程の進行に伴う時間変化を再現した後、火災および環境変動を入力して応答を推定する。

- ・生態系モデルによる成長過程および攪乱に伴う炭素動態の時間変化を、実測データと比較してほぼ良好な結果を得た。
- ・火災モデルによる火災発生の季節性に関する結果は統計データ(Korovin, 1996)とよく一致し、平均的な火災の間隔は約 75 年となっていた。
- ・火災過程を導入することで計算対象地域内には相当の空間的不均質さが発生しており、結果的に平均バイオマスは減少し、土壌炭素貯留量は木炭の分増加していた。

(2) 東部シベリア森林が草地化した場合の気候変化

森林火災や伐採によって北方林が強い擾乱を受けた場合、もとに戻らずアラスのように草地化する可能性が高いといわれている。そこでもし仮にシベリアの森林がすべて草地となった極端な場合に気候がどのように変化するかを明らかにするために大気大循環モデルを用いて調べた。平成 13 年度は予備的な結果が得られた。

まだ予備的な結果ではあるが、シベリアの森林破壊がその地域だけでなく広く北半球規模の気候に影響を与えるらしいことが示唆された。

森林火災班

(1) 発生原因

シベリアでのタイガ火災の特徴を明確にし、今後の森林火災制御などを考える上での重要な基本的な情報とするため、以下の三つの方向で研究を進め重要な知見を得た。

1-1 地球規模での種々のバイオマス火災について考察し、シベリアのタイガ火災の特徴を明確化し、今後の生じうる危険性を指摘した。

- 1-2 アラスカのタイガ火災の特徴を、森林火災・雷・気象のデータを用いて、より正しく把握した。つまり、具体的な火災シーズン、代表的なタイガ火災の焼損面積、火災頻度分布などである。また、降雨量と森林火災・雷との関連も明確にした。
- 1-3 雷による森林の着火機構を実験、フィールド調査、文献調査により進めた。この結果、ある程度着火機構が明らかになりつつある。

(2) 制御

昨年度に森林火災の影響評価モデルの基本となる地目別面積変化モデルと炭酸ガス収支モデルを作成したので、今年度は火災の延焼・鎮火モデルを加え、消火活動や植林の効果について解析を行った。また、火災制御に重点をおき、解析に必要となる主要な基礎データの収集を行った。さらに、ヤクーツクの現地調査を行い、モデルと実際の比較観察をおこなった。

本年度は火災の延焼・鎮火モデルを新たに加え、100年間で人為的の火災が倍増するシナリオについて炭素収支の解析を行った。その結果、以下のような結論が得られた：

- 2-1 炭素収支は大きな吸収と放出のバランスの上で現状が成立しており、人為的の火災が増えることによってこのバランスが簡単に崩れ、本解析では現状の約60%まで吸収量が低下する結果となった。さらに、沼地への移行と森林への回復は非常にゆっくりと進行し、人為的の火災量が一定となった後も数百年にわたってその変化が進行することが予測された。
- 2-2 人為的の火災に対して迅速に消火活動を行う効果は非常に大きいことが示された。また、植林や種子散布の効果も確認されたが、迅速な消火活動には及ばなかった。消火には短時間の対応が要求されるのに対して、植林には時間的猶予が与えられることから、経済性から見て最適な両者の配分があるものと考えられる。
- 2-3 老齢林を伐採し跡地に植林する手法は、森林を若く保ち炭酸ガス吸収を高く維持しながら火災の延焼確率を低く保つ上で有効と思われるが、本解析ではその効果はそれほど大きくはなかった。今後、伐採林のバイオマス燃料利用等を含めて、さらに解析を行う必要がある。

インフラ保全技術開発グループ

一昨年度初冬に設置した実大チルドガスパイプラインの稼働を継続し、計測を継続した。パイプラインは当所の予定どおり永久凍土と季節凍土の境界を貫いて敷設されており、平成12年度夏までは計画通りの鉛直曲げひずみを境界付近でパイプラインに発生させることに成功した。平成12年度8月および平成13年度6月の2回に渡り永久凍土側のパイプが急激に上昇するという予期せぬ現象が発生した。この現象は夏期の活動層の融解によるものと予想され、毎夏発生することが予想される。結果として、パイプラインの地表への露出が予想され、腐食等が促進されることから、当所予想されたパイプラインの曲げによる破断以上に決定的な損傷をパイプラインに生ずることが予想される。

今年度はこの点に注目して各計測機器により継続的な計測を実施するとともに、今後の解析に必須の土の諸物性を室内実験により得た。その1例としてパルス型 NMR による現地土試料に含まれる不凍水分量の温度依存性を図2に示す。

表2 各測定地点におけるCH₄/CO₂フラックスの平均値

地点名	CH ₄ flux (mg CH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	CO ₂ flux (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
パルサ湿原、パルサ上	0.0	221.3
パルサ湿原、湿地	5.25	-
パルサ湿原、開水面	1.08	25.2
アカマツ林	0.0	213.8
アカマツ林火災跡	-0.204	79.9

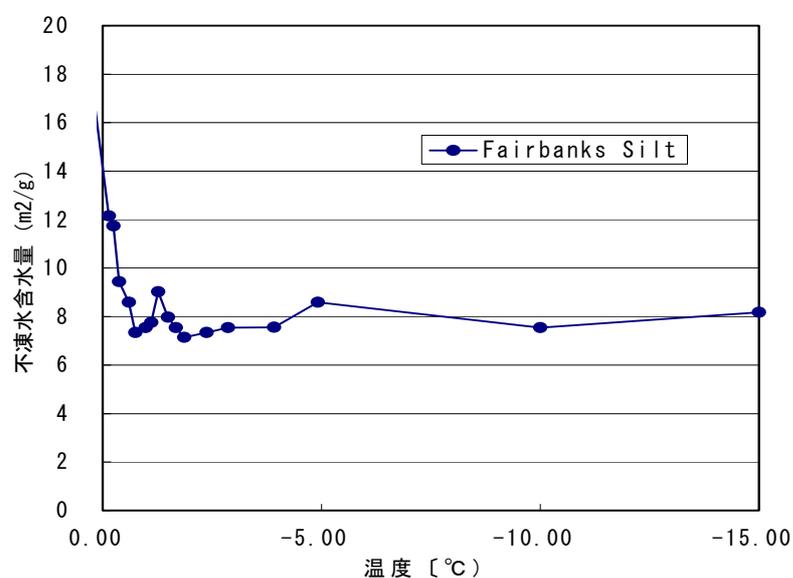


図2 フェアバンクスシルトの不凍水分量温度依存性

3. 研究実施体制

永久凍土攪乱影響観測グループ

- ①-1 永久凍土班 福田 正己 北海道大学低温科学研究所 教授
- ①-2 森林動態班 高橋 邦秀 北海道大学農学研究科 教授
- ①-3 大気化学班 井上 元 環境庁国立環境研究所 総括研究官

② 研究項目

- ・ 永久凍土の動的な変化についての現地観測
- ・ 森林火災による森林の炭素吸収機能の変化観測
- ・ 森林火災及びその他の攪乱による温暖化ガスの放出観測
- ・ 永久凍土(地中過程)－森林植生(地表面過程)－大気組成(大気過程)の相互作用の解明

予測技術グループ

①-(1)リモートセンシング班 鷹尾 元 農林省森林総合研究所 主任研究官

①-(2)予測モデル班 山崎 孝治 北海道大学地球環境科学研究科 教授

② 研究項目

- ・ リモートセンシング手法による現象の空間的・時間的なスケールアップ作業
- ・ 現地での相互作用と陸面過程の掌握
- ・ 将来予測のための大気動力学のモデルの開発
- ・ 将来予測のための炭素循環収支モデルの開発
- ・ 上記モデルの結合による将来への影響予測と抑制技術適用効果の事前評価

森林保全技術開発グループ

① 工藤 一彦 北海道大学工学研究科 教授

② 研究項目

- ・ 森林火災の影響とその発生抑制のための早期警戒システム開発
- ・ ライフサイクルに基づく抑制効果の事前評価方法の開発

インフラ保全技術開発グループ

① 大橋 一彦 新日鐵エネルギーエンジニアリング事業部 営業担当部長

② 研究項目

- ・ 合理的で安定したパイプライン敷設技術開発
- ・ 廃タイヤを応用した地下パイプラインの安定処理技術開発

4. 研究成果の発表

(1) 論文発表

- Shibuya, M., Tsuno, Y., Saito, H., Takahashi, K., Sawamoto, T., Hatano, R., Isaev, A. P. and Maximov, T. C. (2001) Chronosequential analysis of aboveground biomass and the carbon and nitrogen contents in natural *Larix* stands in eastern Siberia. Bulletin of Research Center for North Eurasian and North Pacific Regions, Hokkaido University 1: 57-66
- Shibuya, M., Sugiura, T., Takahashi, K., Sawamoto, T., Hatano, R., Cha, J. Y., Fukuyama, K., Isaev, A. P., Maximov, T. C. (2001) Comparison of needle mass density in the tree crowns of *Larix gmelinii* and *Larix kaempferi* trees. Eurasian J. For. Res. 2, 39-44.
- Sawamoto, T., Hatano, R., Shibuya, M., Takahashi, K., Isaev, A. P. and Desyatkin, R. M. (2001) CO₂, N₂O, CH₄ fluxes from soil in Siberian-taiga larch forests with different histories of forest fire. Tohoku Geophysical Journal 36: 77-89
- 渋谷正人・津野雄一・斎藤秀之・矢島 崇・高橋邦秀・澤本卓治・波多野隆介・車 柱栄・Isaev, A. P.・Maximov, T. C. (2001) 東シベリアのカラマツ林の地上部現存量と炭素貯留量 (1)林況と地上部現存量. 北方林業 53:193-196
- 渋谷正人・津野雄一・斎藤秀之・矢島 崇・高橋邦秀・澤本卓治・波多野隆介・車 柱栄・Isaev,

- A. P. Maximov, T. C. (2001) 東シベリアのカラマツ林の地上部現存量と炭素貯留量 (2)地上部現存量中および A0 層の炭素・窒素貯留量. 北方林業 53:232-234
- 中野智子・亀井千絵 2001. 人工造成地における土壌からの CO₂フラックスの日変化. 農業気象 57: 155-159.
 - Tsuyuzaki, S., Nakano, T., Kuniyoshi, S., and Fukuda, M. 2001. Methane flux in grassy marshlands near Kolyma River, north-eastern Siberia. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1419-1423.
 - 近久 武美(北大)、菱沼 孝夫、長岡 宏和、「シベリアの炭酸ガス収支に及ぼす森林火災の影響評価モデルと基礎データ」、エネルギー資源学会誌(研究論文)、(2002) in printing
 - S. Akagawa, S.Huang, T.Tanaka, T. Ono, M. Nasu, K. O'Hashi, and M. Fukuda, Stress Developed in a Real Scale Child Gas Pipeline Buried across the Boundary of Permost, 2nd Russian Conference on Geocryology, pp269-276, 2001, 6.
 - T.Nakano, C.Asahi, G.Inoue, and M.Fukuda(2001); Measurements of Methane and Carbon Dioxide Fluxes in a Birch Forest in West Siberia after Burning, Proceedings of The Ninth Symposium on The Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, 145-149
 - Kobayashi, Y., Machimura, T., Iwahana, G., Fukuda, M. and Fedorov, A. N.(2001); Fire Effect on Fluxes and Active Layer Dynamics in Taiga Forest Over East Siberian Permafrost Region, 1. Energy and Water Budgets in Burnt and Unburned Larch Forests, Proceedings of The Ninth Symposium on The Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, 156-161
 - G. Iwahana, T. Machimura, Y. Kobayashi, M. Fukuda and A. N. Fedorov(2001); Fire Effect on Fluxes and Active Layer Dynamics in Taiga Forest Over East Siberian Permafrost Region, 2. Thermal characteristics changes of active layers induced by forest fire, Proceedings of The Ninth Symposium on The Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, 162-169
 - Kazushige Wada, Koichiro Harada and Masami Fukuda(2001); Deep Resistivity Structure of Permafrost Area in Siberia, Proceedings of The Ninth Symposium on The Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, 191-198
 - Alexander Fedorov and Masami Fukuda(2001); Some Observation Results of Surface Dynamics in Permafrost Landscapes, Yakutsk Area, Proceedings of The Ninth Symposium on The Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, 199-203
 - P. Y. Konstantinov, V. G. Rusakov, M. Fukuda(2001); Thermal Regime of the Upper Permafrost Layers in Taiga Landscapes, Yakutsk Area, 1996-2000, Proceedings of The Ninth Symposium on The Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, 204-209

- K. Kushida, G. Takao, M. Fukuda, T.C. Maximov and A. V. Kononov(2001); Modeling of forest floor spectral reflectance characteristics in east Siberian taiga for satellite data interpretation, Proceedings of The Ninth Symposium on The Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, 254-259
- M. Fukuda, T. Machimura, Y. Kobayashi and G. Iwahana,(2001); Cite abstracts as: Eos. Trans. AGU,82(47). Fall Meet. Suppl., Abstract B12F-11,2001.
- Tsuno, Y., Shibuya, M., Saito, H., Takahashi, K., Sawamoto, T., Hatano, R., Isaev, A. P. and Maximov, T. C. (2001) Aboveground biomass, nitrogen and carbon contents in Larix stands in eastern Siberia. In "Proceedings of the Ninth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000". 68-74
- Saito, H., Takahashi, K., Shibuya, M., Tsuno, Y., Isaev, A. P. and Maximov, T. C. (2001) Distribution of current larch seedlings affected by forest floor vegetation in a larch stand in Neleger, Yakutsk. In "Proceedings of the Ninth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000". 75-82
- Hatano, R., Sawamoto, T., Shibuya, M., Saito, H., Tsuno, Y., Takahashi, K., Kobayashi, Y., Iwahana, G., Desyatkin, R. V. and Isaev, A. P. (2001) Characteristics of nitrogen cycling in Permafrost regional ecosystems in Yakutsk, Russia. In "Proceedings of the Ninth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000". 99-103
- Sawamoto, T., Hatano, R., Shibuya, M., Tsuno, Y., Takahashi, K., Isaev, A. P., Desyatkin, R. V. and Maximov, T. C. (2001) Effect of forest fire on NEP in Taiga soil ecosystems, near Yakutsk, Russia. In "Proceedings of the Ninth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000". 120-127
- Hatano R., Nakahara O., Sawamoto T., Morishita T. and Kamide K: Effect of forest fire on nutrient cycling in Taiga soil ecosystems in Yakutsk, Russia., Fukuda et al. (eds) "Proceedings of the ninth symposium on the joint siberian permafrost studies between Japan and Russian , 99-103 (2001)
- T. Sawamoto, R. Hatano, M. Shibuya, H. Saito, Y. Tuno, K. Takahashi, A.P. Isaev, R.V. Desyatkin, and T.C. Maximov: Effect of forest fire on NEP in Taiga soil ecosystems, near Yakutsk, Russia, , Fukuda et al. (eds) "Proceedings of the ninth symposium on the joint siberian permafrost studies between Japan and Russian , 120-127 (2001)
- T. Morishita, R. Hatano, T. Sawamoto, O. Nakahara, K. Takahashi, A.P. Isaev, R.V. Desyatkin, T.C. Maximov: Methane fluxes in forest, grassland, and wetland soils, near Yakutsk, Russia, Fukuda et al. (eds) "Proceedings of the ninth symposium on the joint siberian permafrost studies between Japan and Russian , 150-155 (2001)
- K. Kamide , R Hatano, O Nakahara, T Sawamoto, K Takahashi, R.V. Desyatkin : Effect of forest fire on physico-chemical properties of Taiga soils in Yakutsk, Russia, Fukuda et al.

(eds) "Proceedings of the ninth symposium on the joint siberian permafrost studies between Japan and Russan , 104-111 (2001)

- Takao, G. Kushida, K. et al., Biomass estimation of taiga forests in Yakutsk with Winter LANDSAT7 ETM+ image (2002): Proc. 9th Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia. pp 247-253
- 鷹尾 元, 串田圭司他 (2001) : 冬季衛星画像によるシベリアタイガの林相区分, 第 112 回日本林学会大会学術講演集 p515
- Kushida, K., G. Takao, Y. W. Kim, M. Shibuya, S. Kojima, S. Tsuda, M. Fukuda, T. C. Maximov, A. V. Kononov (2001): Modeling of componential spectral characteristics of taiga for satellite data interpretation: Comparative study on east Siberia and Alaska. Proceedings of 2001 International Symposium on Environmental Monitoring in East Asia, pp. 67-72
- Kushida, K., G. Takao, M. Fukuda, T. C. Maximov, A. V. Kononov (2001): Modeling of forest floor spectral reflectance characteristics in east Siberian taiga for satellite data interpretation. Proceedings of the eighth symposium on the joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 2000, pp. 254-259
- Nakano, T. and Mikami, T. 2001. Meteorological observations at Tokyo Metropolitan University in 2000. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University* **36**: 11-16.
- Nakano, T., Asahi, C., Inoue, G., and Fukuda, M. 2001. Measurements of methane and carbon dioxide fluxes in a birch forest in West Siberia after burning. *Proceedings of the 9th Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000*: 145-149.
- Ito, A. (2001) A broad-scale simulation of transitional change in the carbon dynamics of boreal and arctic land ecosystems along with environmental gradients. *Bulletine of the Research Center for North Eurasia and North Pacific Regions, Hokkaido University* 1:67-82.
- Ito, A., Imanishi, K. and Oikawa, T. (2001) Modeling of temporal change in CO₂ balance at a larch forest in eastern Siberia: compartment system and phenology. Proceedings of the ninth symposium of the joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 2000. eds. M. Fukuda and Y. Kobayashi 225-230.
- Imanishi, K., Ito, A. and Oikawa, T. (2001) Model analysis of carbon dynamics of each type of vegetation in the eastern Siberia. Proceedings of the ninth symposium of the joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 2000. eds. M. Fukuda and Y. Kobayashi 231-236.
- Hatsushika, H., K. Yamazaki, Y.-W. Kim, 2001: Long-range transport of gaseous and particulate materials by forest fire. *Tohoku Geophys. Journ.*, **36**, 233-237.
- 早坂 洋史 (2001) : 地球規模のバイオマス火災、平成 13 年度日本火災学会研究発表会概要集, p.140-143.

- 早坂 洋史(2001):バイオマス火災と諸現象、第 38 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, p.121-122.
 - 篠原 雅彦、工藤 一彦、早坂 洋史、佐藤 晃由(2001):火災時に発生する旋風に関する考察、第 38 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, p.119-120.
 - 早坂 洋史(2001):地球規模のバイオマス火災と関連現象、日本建築学会北海道支部研究報告集、No.74、p.131-134.
 - Hiroshi Hayasaka and Mary Lynch(2001):Forest Fires and Lightning in Alaska, Proceedings of the Second International Workshop on Global Change : Connection to the Arctic, 2001 (Bulletin of Research Center for North Eurasia and North Pacific Regions, Hokkaido University, Vol. 1, p.39 (Abstract).
 - Hiroshi Hayasaka and Mary Lynch(2001):Forest Fires and Lightning in Alaska, Proceedings of the Ninth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russia in 2000, p.181-187.
 - 早坂 洋史(2001):地球規模のバイオマス火災、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) A-2、p.253-254.
 - 早坂 洋史(2001):地球規模のバイオマス火災の特徴と対策、第 39 回燃焼シンポジウム、p.395-396.
 - Hiroshi Hayasaka(2001):Global Biomass Fires and Global Warming, Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety, Vol. 2, p.116-212.
 - T.Chikahisa (Hokkaido Univ.), H. Nagaoka, Y. Hishinuma, and K. Kudo, "Outline of the Modeling of Forest Fire Effect on CO2 Cycle in Siberia, and an Example of the Computational Result", Proceedings of the Eighth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1999, (2000.1.19-20), Tsukuba
 - T.Chikahisa (Hokkaido Univ.), H. Nagaoka, and Y. Hishinuma, "Modeling of Forest Fire Effect on CO2 Cycle in Siberia and Basic Data for the Analysis", Proceedings of the Ninth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000, (2001. 1.22-23), 173-180, Sapporo
 - T. Chikahisa (Hokkaido Univ.), H. Anzai, Y. Hishinuma, and K. Kudo, "Modeling and Evaluation of Forest Fire Control on CO2 Cycle in Soberoa", Proceedings of the 5th International Symposium on CO2 Fixation and Efficient Utilization of Energy, (2002.3.4-6), 250-255, Tokyo
- (2) 特許出願
該当なし