

B-4 シベリア凍土地帯における温暖化フィードバックの評価に関する研究

(2) シベリアの森林における温室効果ガス発生量へのフィードバック

② 森林火災が二酸化炭素収支に与える影響の評価

研究代表者 森林総合研究所北海道支所育林部長 金澤 洋一

森林総合研究所	北海道支所	造林研究室	大沢 晃
		土壌研究室	松浦 陽次郎
		樹木生理研究室	森 茂太
	東北支所	多雪研究室	梶本 卓也
	本所	遠隔探査研究室	鷹尾 元

平成6-8年度合計予算額 25,510千円

(平成8年度予算額 9,433千円)

[要旨]

火災がシベリアの森林生態系に与える影響を調査した。対照林分では地表から30-50cmであった永久凍土層の融解深度は隣接した火災林分では40-80cmであった。火災により下層植生やカラマツが損傷を受けたため、土壌からの二酸化炭素放出速度は融解深度の深まりにもかかわらず、火災林分の二酸化炭素放出速度は対照林分の約半分であった。対照カラマツ林分の土壌二酸化炭素放出速度は呼吸活性の低い地衣類の植被率と深い関係があり、地衣類植被率が高いと土壌二酸化炭素放出速度は低く、両者は反比例していた。対照林分のカラマツ根の呼吸速度の非破壊的測定と土壌二酸化炭素放出速度から、土壌二酸化炭素放出速度の多くの部分をカラマツの根の二酸化炭素放出速度が占めることが明らかとなった。

渓流水分析から森林火災が土壌に与える影響を調べた。渓流水にはミネラルや無機態窒素は含まれず付近に分布する玄武岩質岩石を母材とする土壌の性質を反映したものであった。しかし、火災を受けた斜面下部の渓流水で溶存有機炭素が多いと考えられた。

火災後、十分に回復したカラマツ林生態系全体の炭素収支を対照にして、火災からの回復過程を推定するためこの林分で数本の個体を切り倒し、これらの幹、根、枝の年輪解析から純生産速度を推定した。この対照林分でカラマツ地下部と地上部の日中呼吸を非破壊的に推定する方法を試み、立木個体全体の呼吸速度を測定した。また、現地で通年測定した地温、気温をパラメーターにカラマツ対照林分の炭素収支を推定した。対照林分の炭素収支の推定結果などを用いて、カラマツの年輪解析や様々な林齢の一斉回復林の実測データから、過去の強度火災により実生から一斉更新する過程を推定するモデルを作成した。この結果、現存量は徐々に頭打ちになって行くものの、地上部の呼吸速度は回復初期の数年度程高いがその後は一定の値で比較的安定するというモデル計算結果が得られた。

[キーワード] 地球温暖化、森林火災、永久凍土、炭素収支、カラマツ個体呼吸

1. 目的

シベリアタイガでは火災が頻発しており、この火災の影響で多くの森林が焼失して大量の二酸化炭素を放出している。特にシベリアの森林は永久凍土地帯の上に成立しており火災のために森林生態系の熱収支が変化し、それが永久凍土の融解につながる可能性があると考えられている。その上寒冷なシベリアの森林土壌では枯死した植物体の微生物による分解が遅いため土壌には多くの有機炭素が蓄積されていると考えられている。この蓄積が永久凍土の融解による土壌からの二酸化炭素放出速度加速の大きなファクターとなることが予測される。

一方で、シベリア森林は古くから自然発生の火災によりダメージを受けた後、一斉に更新しており、北米の一部のカラマツでは火事に適応した生態的特性が報告されているなど、必ずしも森林火災はネガティブな影響ばかりを持つわけではない。カナダなどの北方林では森林火災には病虫害の自然の防除、森林の更新促進のポジティブな機能もあると考えられている。

しかし、自然の火災以上に人為の森林火災もシベリアでは多く、カナダ、アラスカの森林と種組成が異なる上、永久凍土の上に成立している点でこれらの森林とは大きな違いがある。また、北半球の陸上生態系では最大のバイオマス、面積を有しており、それ故、シベリアにおける森林火災に対して生態学的な評価を与えることは地球上の炭素循環を考える上で極めて重要である。

現地のロシアの森林研究所はソビエト崩壊以後財政的に厳しく、研究が困難な状況に置かれている。シベリア森林の火災発生の長期モニタリングをすでに行っているシベリアのスカチェフ森林研究所、森林の炭素蓄積、収支の推定方法の技術では実績のある日本の森林総合研究所が共同研究を行うことで森林火災が森林生態系に与える影響を効率的に予測することが可能である。

2. 研究目的

シベリアの雨量と年平均気温からこの地域には本来森林が成立し得ない。しかし、カラマツ森林生態系が成立しており、これは永久凍土の影響であると考えられている。シベリアでは火災が頻発しており地下部の氷がとけて斜面では栄養塩類が流失すると推測され、さらに凍結層の低下が森林生態系に影響を与えられられる。

そこで本課題では森林火災が森林生態系に与える影響を様々な視点から評価することを試みた。火災前後の森林土壌の炭素放出量、土壌の融解深度の変化を明らかにし、火災後の森林の炭素収支の回復の様子を過去に火災の損傷から回復してきた（対照）森林の年輪や実測値から推定することを試みた。この目的のために、火災後十分に回復した森林生態系において、個体の呼吸速度を非破壊的に測定する方法を独自に開発して、地上部と地下部の年間の炭素収支を推定した。これらの測定、推定からシベリア永久凍土地帯における火災の評価を試みることを本研究の目的である。

3. 研究方法

北緯64度、東経100度のエニセイ川流域の連続永久凍土地帯に成立するカラマツ森林に固定プロットを設け以下の測定を行った。固定プロットは火災直後のカラマツ林、および隣接した火災の無い（＝十分に回復して火災の影響が現在見られない＝対照森林とした）森林に設定した。

(1) 対照カラマツ林分から6本のカラマツ個体を伐倒して、地上部分、地下部分、枝の年輪を解析した。これから森林の純生産を計算した。

- (2) 土壌調査による炭素貯留量推定、渓流水の分析を行った。また、対照林分と火災林分（火災1年後）で融解層の厚さを測定した。それぞれの森林の土壌からの二酸化炭素放出速度を測定した。
- (3) 対照林分において地上部分を独自に開発した約5 m³の大型チャンバーで覆い日中の暗呼吸を測定した。内部の温度は永久凍土内に設置した冷水タンク内の水を循環させ、チャンバー内に設置した熱交換機で温度が上がりすぎないようにコントロールした。また、年間の炭素収支を推定するため現地の気温、地温（地下5、20 cm）を通年測定した。幹、根の異なった直径部分に小型チャンバーを多数取り付け呼吸を測定した。
- (4) 複数個体の年輪解析、一斉更新している複数の同齢林の構造解析によりの過去の森林構造の復元を行った。さらに、幾つかの仮定を置いて過去の森林の機能量の復元モデルの作成を試みた。
- (5) ヘリコプターフライトで火災林分、対照林分を赤外線ビデオカメラで撮影した。

4. 実験結果

(1) 調査林概要

北緯64度、東経100度のエニセイ川流域で調査を行った。火災後十分に回復した森林を対照林分として調査し、そこに隣接した火災を受けた林分と比較検討した。以下に対照林分のカラマツ林概要を示す。カラマツ (*L. gmelinii*) 林の本数密度は1910本/ha、平均胸高直径は6.8 cm、平均樹高約は6 mであった。現存量 (ton (d.wt)/ha) は幹 18.1、枝 3.2、葉 1.0、地上部計 22.3であった。これは、典型的な中央シベリアのカラマツ林であった。特に葉の量が少なく日本のカラマツの閉鎖森林の葉量の約1/3であった。

(2) 渓流水の分析

1994年焼失林分と対照林分が隣接する同一斜面で採取した、資料水の分析結果を表-1に示す。1994年の森林火災によって林床の堆積腐食が焼失したため、林床環境が養分の無機化を促進し、渓流水に多くのミネラルと無機体窒素が含まれると予測したが、分析結果ではアンモニア態、硝酸態のいずれの無機態窒素も検出されなかった。Ca、Mgなどは付近に広く分布する玄武岩質岩石を母材とする土壌の性質を反映したと考えられる。

表-1. 渓流水の分析結果

	永久凍土融解水	渓流水	河川水 (コチエチヨム川)
pH	7.5	7.4	7.4
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	147	82	163
Cation: (mg/L)			
Na	3.72	3.20	8.60
Ca	22.1	17.5	19.5
Mg	4.10	3.52	2.16
Anion: (mg/L)			
Cl	0.17	0.10	13.7
SO ₄ -S	2.90	0.67	0.41
HCO ₃ -C	14.9	7.5	4.7
DOC (溶存有機態炭素: mg/L)			
	13.4	19.2	9.0

(3) 山火事前後の土壤未凍結層の厚さの変化

対照林分 (図-1) の融解深度の厚さは、火災林分の融解深度の厚さ (図-2) より薄い。これは、永久凍土層が火災の熱で融解し、下層植生が失われたため熱収支が変化したためと考えられる。火災により植生が失われ、融解深度が増加したにもかかわらず土壤からの二酸化炭素放出速度は火災により低下した (図-3)。このことから土壤から放出される二酸化炭素の大半は植生の根に由来するものと考えられた。

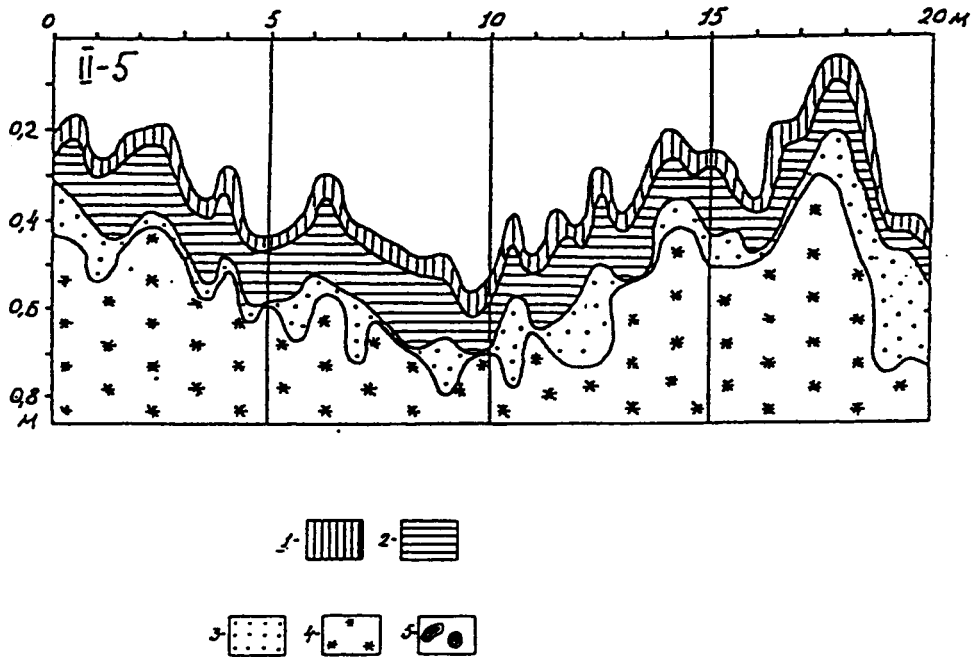


図-1 対照林分の土壤断面 (1:litter, 2:organic matter, 3:melted mineral soil, 4:frozen soil, 5:large root)

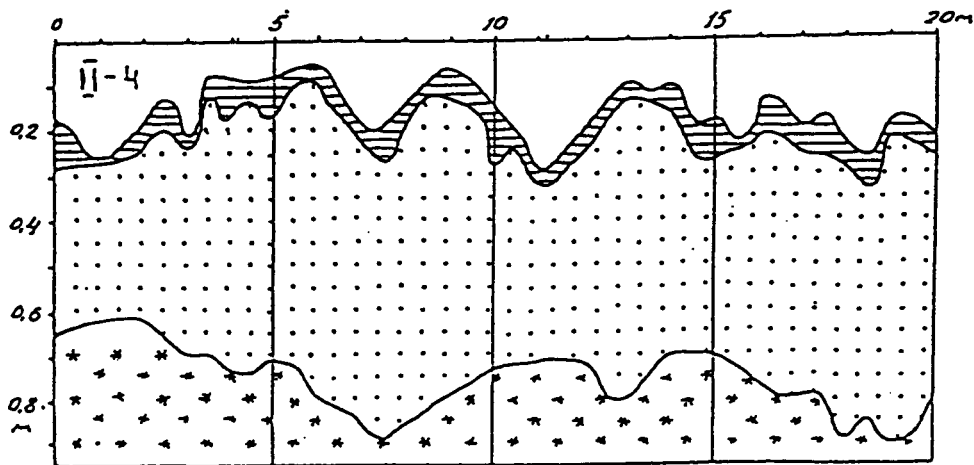
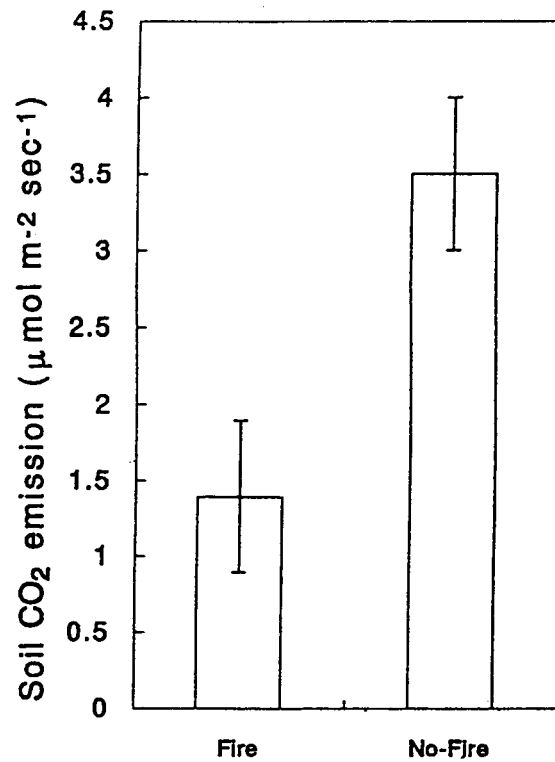


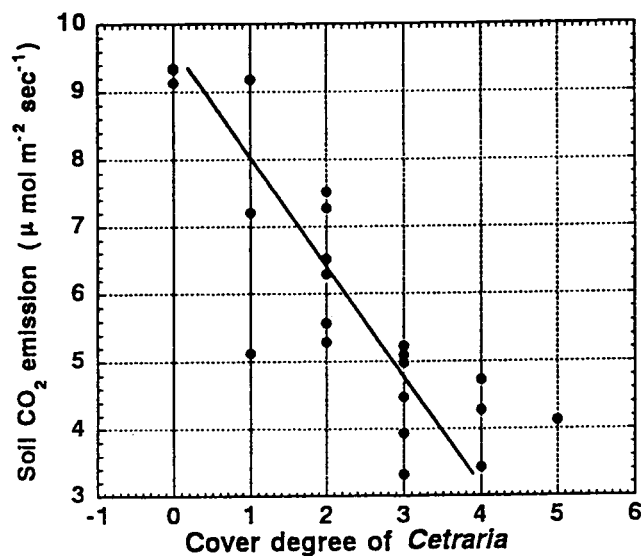
図-2 火災林分の土壤断面



図一3 隣接した対照林分(N0-Fire)と火災林分(Fire)の二酸化炭素放出速度

(4) 土壌二酸化炭素放出速度と植生の関係

図一4に見られるように、土壌からの二酸化炭素放出速度と地衣類の間には高い負の相関が見られた。他の植物との間にはこれほど高い関係は見られなかった。すなわち、この地衣類が土壌二酸化炭素放出速度のパラメーターとして使用が可能であり、生態系レベルの土壌二酸化炭素放出速度推定の重要な情報となるであろう。



図一4. 土壌からの二酸化炭素放出速度と地衣類植被率の関係

(5) カラマツ根、幹の呼吸速度

カラマツ木部の呼吸を多点で迅速に測定する方法を開発し、木部呼吸速度と木部直径の関係を調べた。その結果図-5a,bに示したように、両者には密接な関係が見られた。これらの関係と幹形の実測値、根形モデルを用いて個体の呼吸速度を推定することが可能である。

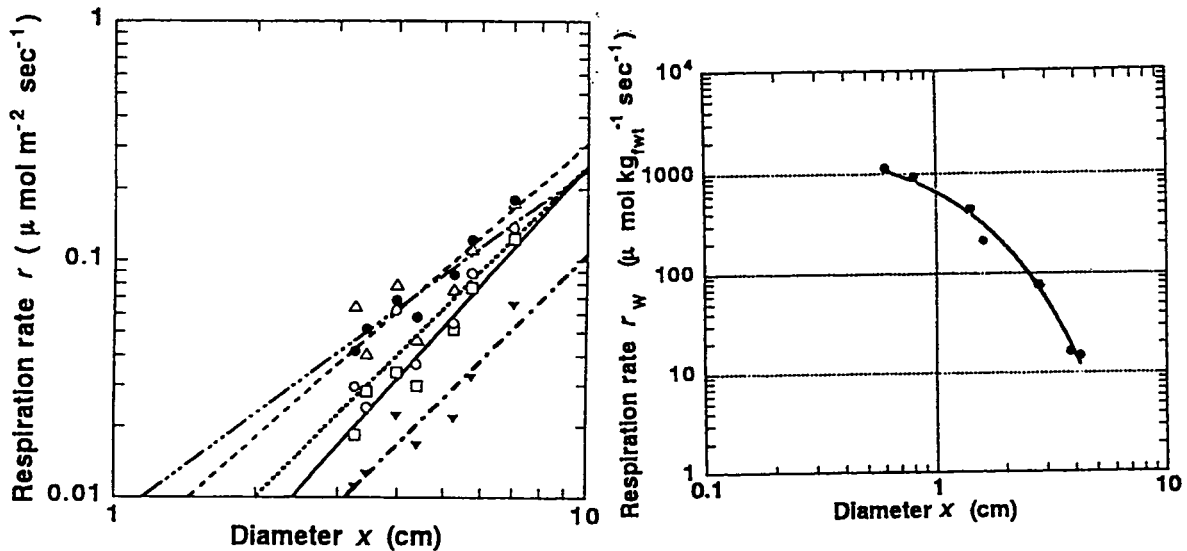


図-5a,b カラマツ幹（左）と根（右）における呼吸速度と直径の関係

(6) 個体地上部全体の日中呼吸速度の非破壊測定

対照林分で個体地上部の日中の暗呼吸速度を5m3の大型チャンバーで測定した。閉鎖式のチャンバーであるため図-6の様に内部の二酸化炭素濃度は直線的に上昇した。これにチャンバーの容量、気温、気圧などから個体地上部からの二酸化炭素放出速度を算出した。選択した個体は機能量の平均個体と仮定した。また、図-7に林分で測定した気温の年変化を示した。図で示したように林分気温は極めて低く大半が零度以下であった。このためこの気温変化から推定した地上部の林分呼吸（図-8）は大半がゼロであった。また、仮定として $Q_{10} = 2$ とした。

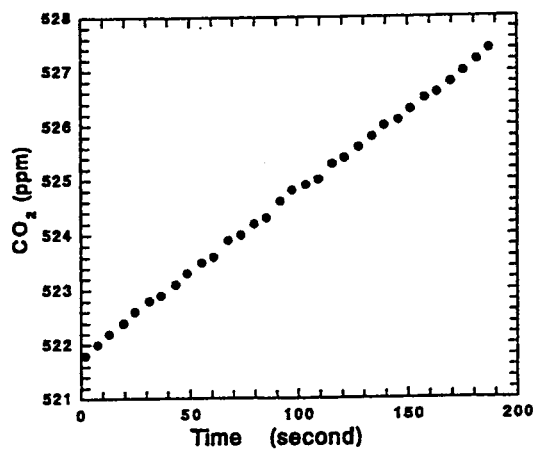


図-6. 大型チャンバー内の二酸化炭素濃度の上昇例

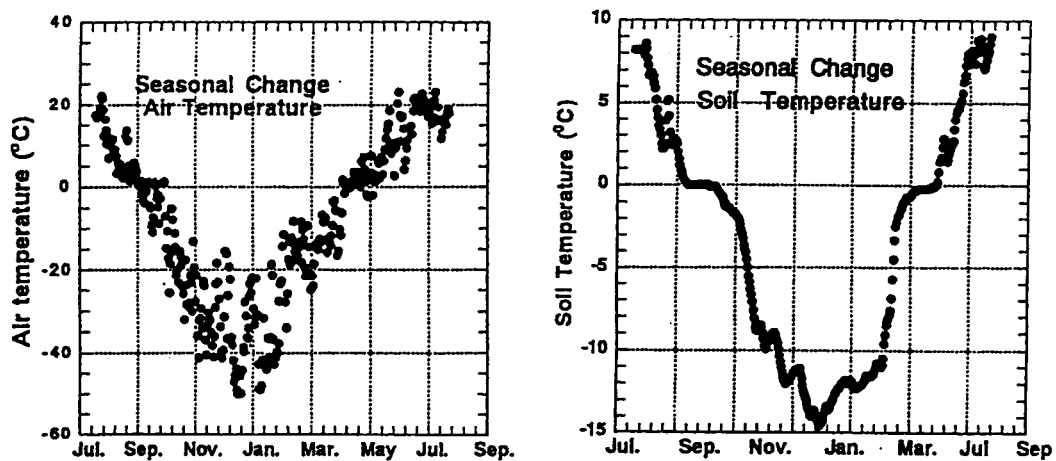


図-7. 試験地の気温、地温の年変化.

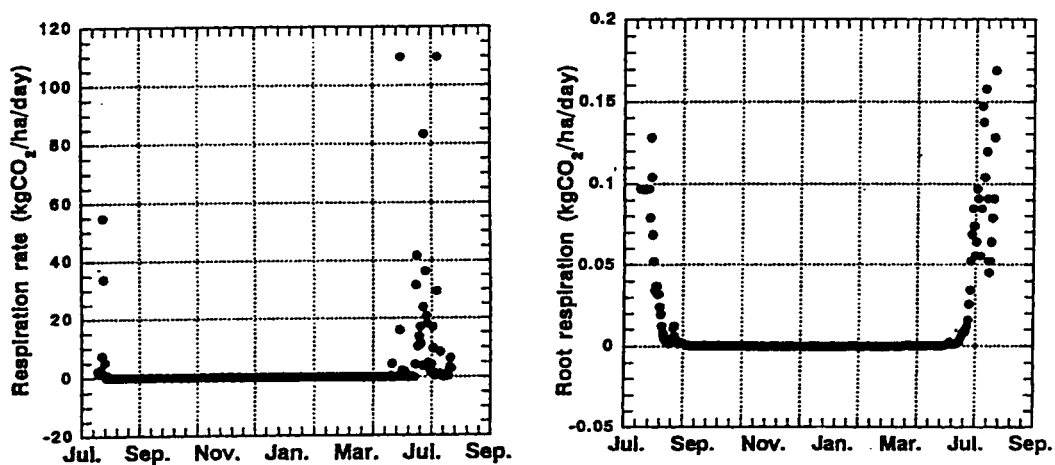


図-8. 地上部（左）、地下部（右）の呼吸の年変化.

(7) 林分の過去の構造、機能量の復元

MNY法という日本で開発された森林個体のサイズの頻度分布を復元する方法を利用し、火災後、森林を構成する個体サイズの頻度分布の変化を復元した(図-9)。さらに、これら個体サイズの頻度分布の変化に伴い森林の個体密度、幹の材積量、幹の生長量、地上部分の林分呼吸量がどのように変化するかモデル計算した結果を図-10に示した。

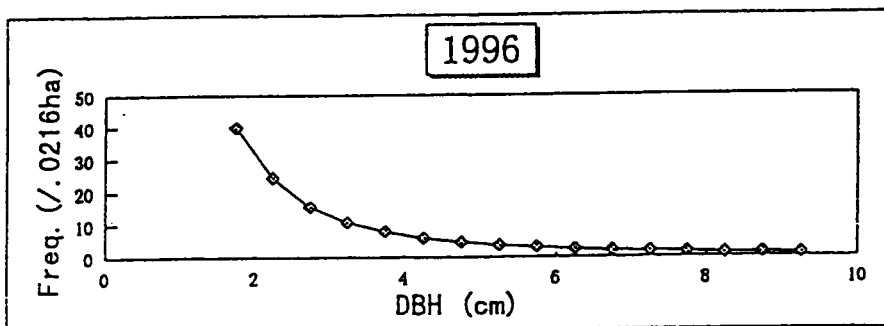
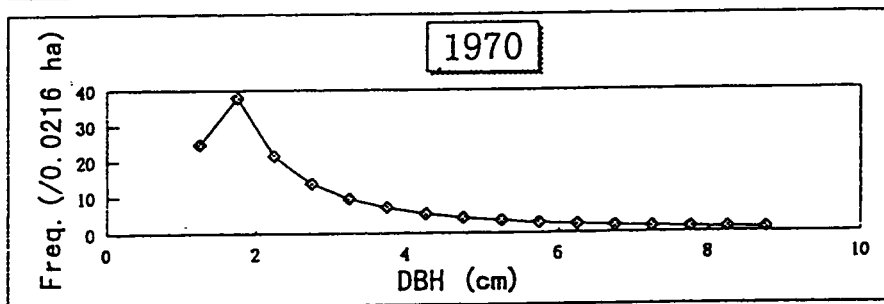
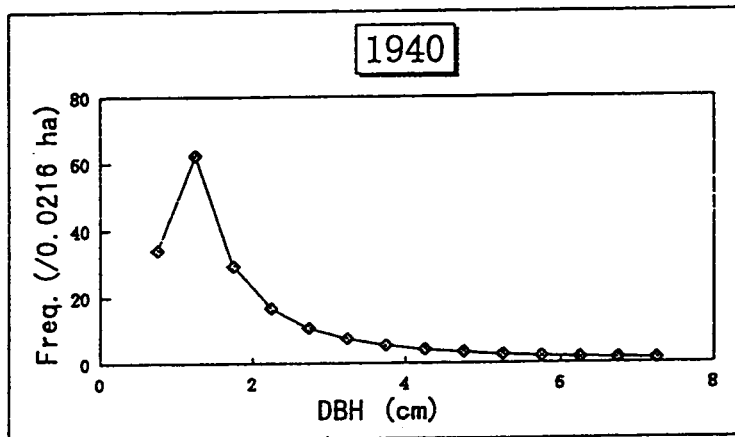
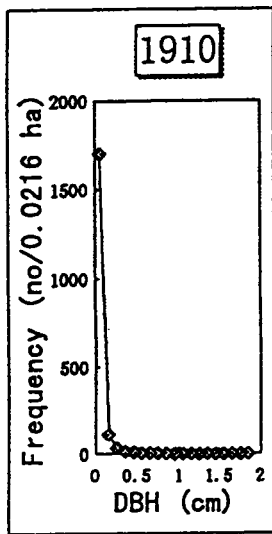


図-9. モデル計算により推定された火災後一斉更新する森林の個体サイズの頻度分布の変化

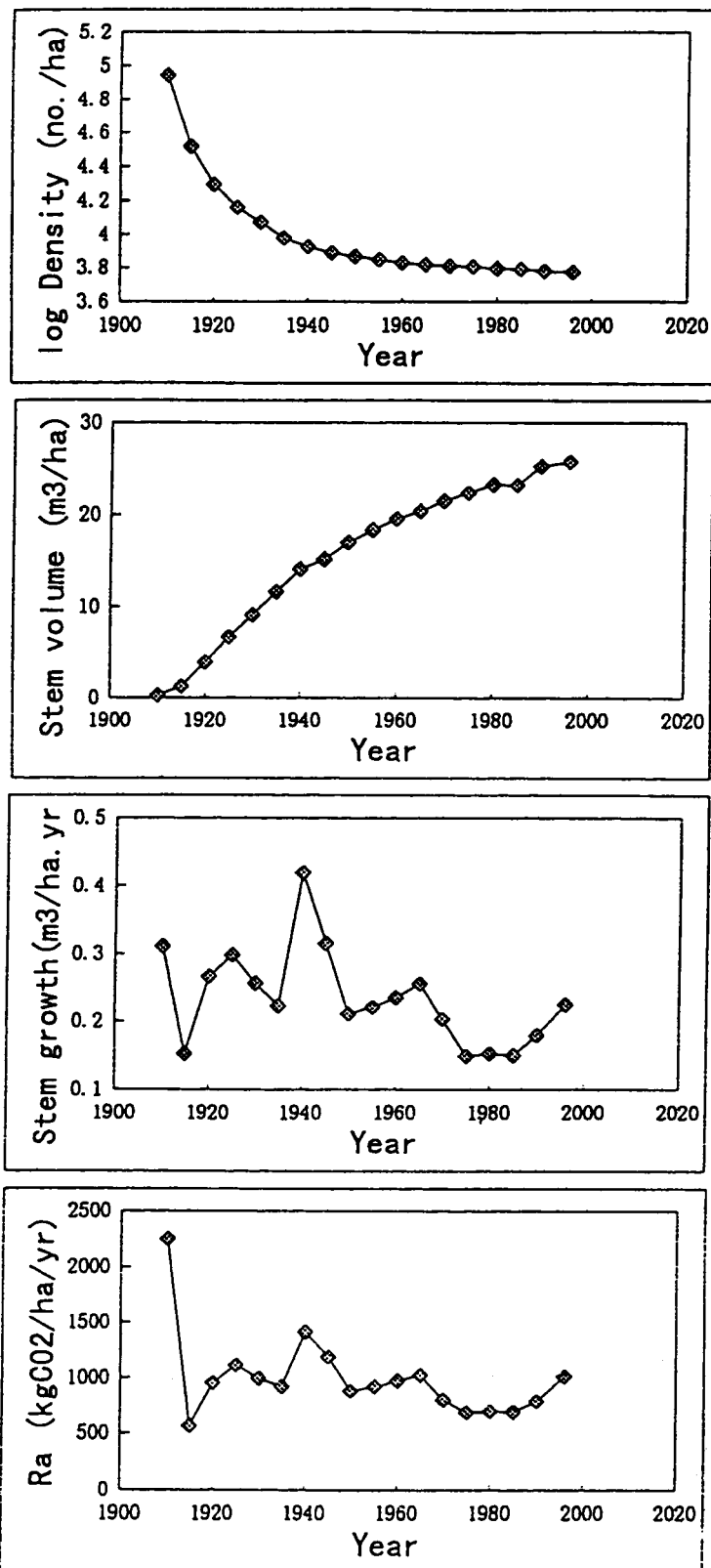


図-10. 立木密度、幹材積、幹生長量、地上部分呼吸の変化

(8) 図-11はヘリコプター概査による調査地域の簡易航空写真モザイクおよびこれから作成した森林タイプ地図である。約300m離れて設定された2つの永久プロットが小さな正方形で示されている。森林火災を受けた部分と免れた部分に調査地がとられている。



図一 11. ヘリコプター概査による調査地域の簡易航空写真モザイク（左）およびこれから作成した森林タイプ地図（右）

〔国際共同研究等の状況〕

スカチェフ森林研究所がすでに現地に設定した調査地で研究を行った。そのため、すでにロシア側研究者が行った測定結果（木の直径、高さの測定等）を利用する事が出来た。また、日本側の研究目的がロシア側と合致しており、日本側不在期間の測定はロシア側に依頼することが出来た。

5. 考察

火災により永久凍土面の低下が観察された、これは火災の後マイナス60度の冬を経過した1年後であった。冬を経過したあとも凍土面の低下が継続する理由は断熱性が優れた下層植生が焼失し、表面が黒く焦げ、下層植生からの蒸散による冷却などがなくなるため地表部の熱収支が変化するためと考えられる。7月の測定時にすでに火災林分では対照林分の約2倍の融解深度の厚さがあった。しかし、土壌からの二酸化炭素放出速度は対照林分が火災林分の2倍以上であった。これは火災により呼吸活性の高い下層植生及びカラマツの根が傷害を受けたため、これらの呼吸速度が低下したため火災林分の土壌二酸化炭素放出速度は対照林分の約半分になったと考えられる。植物の根が土壌からの二酸化炭素放出速度の多くの部分を占めることは土壌からの二酸化炭素放出速度と、地衣類の植被率の間に高い負の相関があることから推察される。すなわち、地衣類は様々な2次代謝化学物質を作りこれが根の成長やカラマツ種子の発芽を阻害する可能性がある。すなわち地衣類があれば高等植物の呼吸活性の高い根が少ないことになり、上記のような負の相関関係が見られることになると考えられる。

火災後の下層植生の回復の程度は早く、約8年後には林床全体を下層植生が覆うようになることがスカチェフ森林研究所の長期モニタリングプロットから観察されている。また、下層植生の

種によっては火災後、地下部が残りこれから萌芽して回復する。さらに凍結層低下による地温の上昇は永久凍土地帯では火災後の植生の回復に貢献すると考えられる。何故なら、永久凍土層に接した土壌は低温におかれ、根の成長が遅いことが現地研究者の深さ別の根の伸長成長と土壌温度の解析から明らかになっている。今後は、以上のような土壌二酸化炭素放出速度の測定を火災後年数の異なった林分で測定をすることにより、火災により炭素循環がどの様に回復変化するか土壌中の炭素蓄積量の変化と合わせて考えて行く必要がある。

対照カラマツ林のバイオマスの測定結果、地下部分の現存量が永久凍土地帯以外の森林に比べ非常に多い事が明らかとなった。しかし、地下20cmの年最高地温は9度以下であり、地下部のファイトマスが多い割には呼吸消費量は極めて少なかった(表-2)。しかし、土壌から放出される二酸化炭素の多くの部分はカラマツの根に由来するものと推定された。

表-2 CO₂ Budget (ton/ha/Yr)

	Biomass	Net Prod.	Resp.	Resp./Biomass
Stem	29.5	0.31		
Branch	5.87	0.0815	0.806	0.022
Leaf	1.63	1.63		
Root	19.7	0.23	0.0054	0.00027
Soil CO₂ Emission			0.0071	

対照のカラマツ林分で炭素収支を非破壊的に測定する方法を開発した。これまで地球上の炭素収支を解明するため多くの推定がされてきた。しかし、これらの推定値の多くは実測値によるものではなく多くの仮定の上に立ち様々な推定値を集積した上での推定値であり、大きな誤差を含んでいる。本研究では北半球で最大のファイトマスを持つシベリアカラマツ林生態系の炭素収支を非破壊的な方法で地下部を含めて確実な直接測定した値から推定した。地下部を含めた個体レベルで非破壊的に炭素収支を推定した世界で初めてのデータである。対照林分の年総生産Pgに対する年呼吸消費の値は26パーセントであった。但し、この数値のPgには地下部のリターは含まれていない。すなわち、このリターの値をこの計算に入れるとさらに実際の数値は小さくなる。この値はこれまで地球上の各地の森林生態系で測定されてきた様々な推定値よりも小さく、陸上の森林生態系の中では最も生産効率が高い森林生態系であると結論づけられる。この理由の一つは生産期間が極めて低温に置かれているため呼吸消費が低いが、緯度が高く日長が長いためである。さらに、地下部分は特に低温におかれており地下部のファイトマスが多い割には呼吸消費は特に低かった。また、立木密度が低く個体全体に光が十分当たることも生産効率が高い一因であろう。一方、低温、低栄養塩類下におかれた生態系は温暖化、大気二酸化炭素濃度の影響をより受けやすいと考えられる。高二酸化炭素濃度下では植物の栄養塩類の要求が高まること

が一般に知られており、栄養塩類の吸収に関係する外生菌根をもつカラマツ森林生態系が地球環境変動に対しどのような反応を示すか出来るだけ自然条件に近い形で研究を進める必要がある。

モデル計算から得られた強度火災による大攪乱からの一斉回復過程には非常に多くの時間がかかることが明らかとなった。これは生産期間が非常に短く、低温条件下におかれているため成長が極めて遅いためである。また、回復の初期数年程度地上部の林分呼吸が高いがその後、低下して一定の値となると計算された。今回の推定値には多くの仮定が含まれる。特に、今後カラマツ個体の呼吸速度と個体の大きさの関係を複数個体で明らかにし、これらの情報を時間軸で検討しなければならないであろう。一方、この地域のカラマツは樹皮が非常に厚く火災に対して抵抗性がかなり高いと考えられる。調査地に選定した火災林分は地下部も火災により非常に大きなダメージを受け、火災発生年の観察ではカラマツ個体のすべては枯れると予測したが、多くのカラマツ個体が翌年芽吹いて回復をはじめており、地表には実生も見られるなど山火事に適応した性質を持っている可能性が高い。しかし、シベリアは地球環境変動により雨量が変化すると予測もあり、人為による火災の頻度が問題となると考えられる。また以上のモデルは強度の火災に一斉更新した場合のモデルであり、山火事の強度は様々ありすべての個体が枯死する場合もあれば、地表付近を走る軽度の損傷しか与えないものもある。このような分類はすでに現地研究所が行っており、今後さらに協力をすすめて様々な火災の程度、頻度に応じた影響評価が必要である。

今後はランドサット等を使用して様々な火災強度の地上調査の各点を面として拡大し、シベリア全体の火災の長期モニタリングを継続することが重要な意味をもつであろう。本研究ではヘリコプターフライトによりGPSを用いて位置確認しながら赤外線ビデオカメラで撮影したがデータの持ち出しが認められず十分な解析が出来ないなど、ロシアにおける調査上の問題点を今後解決していかなければならない。

〔研究発表の状況〕

- 1) ○小池孝良他(1995) : 温暖化研究の手法とその動向。森林立地学会誌37 : 28-34.
- 2) 松浦陽次郎(1995) : 東シベリア、コリマ低地の森林ツンドラ土壌の炭素窒素蓄積量。第43回日本生態学会
- 3) 森茂太、S.プロコシュキン(1995) : シベリア連続永久凍土地帯のカラマツ木部の呼吸。第43回日本生態学会
- 4) 森茂太、S.プロコシュキン(1994) : 中央シベリアにおけるカラマツ地下部の呼吸。日本林学会北海道支部大会
- 5) 大沢晃(1995) : 東シベリアにおけるダフリアカラマツ孤立木の幹材積の成長パターン。第43回日本生態学会
- 6) 梶本卓也、大沢 晃、A.P. イサエフ、D.P. エフレモフ(1996): 東シベリアコリマ川流域の樹木限界付近におけるカラマツ林の現存量と成長。第43回日生態学会。
- 7) Kajimoto T., A.Osawa, A.P.Isaev & D. Yefremov(1996) : Above- and below-ground biomass of a *Larix cajanderi* stand near the northern treelimit, eastern Siberia. In Proc.of the Fourth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1995 (In press).
- 8) Sofronov M.A., A.V.Volokitina & T. Kajimoto(1996): On the investigation of postfire biomass

dynamics in the northern ecosystems of Siberia. In Proc. of the Fourth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1995 (In press).

9) Sofronov M.A., A.V.Volokitina & T. Kajimoto(1996): On the investigation of postfire biomass dynamics in the northern ecosystems of Siberia. In Proc. of the Fourth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1995 (In press)

10) 森茂太、S. プロコシュキン (1995) : 中央シベリアのカラマツ地下部の呼吸. 日本林学会北海道支部会大会

11) 森茂太、S.プロコシュキン、O.ゼラノバ、A. アバイモフ (1995) : カラマツ林における木部器官の呼吸、日本ロシア共同シベリア永久凍土調査国際シンポジウム

12) 森茂太、A. イサエフ、A. コノノフ、D. エフレモフ (1996) : ハイセンターポリゴン地形の土壌CO₂放出と植生の関係.、日本ロシア共同シベリア永久凍土調査国際シンポジウム

13) 森茂太、S. プロコシュキン (1996) : シベリア連続永久凍土地帯のカラマツ木部の呼吸. 個体呼吸速度推定式と積分方程式モデルによる材内部の呼吸速度分布推定、第43回日本生態学会

14) 矢崎健一、船田良 (北大) A. イサエフ (ヤクーツク生物研究所) 森茂太、丸山温 (森林総研) 小池孝良 (東京農工大) (1996) : 高CO₂環境制御下に生育させた樹木組織構造の変化、日本木材学会1996年度講演要旨集.

15) 森茂太、A. イサエフ、A. コノノフ、D. エフレモフ (1996) ハイセンターポリゴン地形の土壌CO₂放出速度と植生の関係. 第4回日露共同シベリア永久凍土研究調査報告シンポジウム.

16) Osawa A., A.P. Abaimov, & D. Yefremov (1997) :Growth patterns of stem volume in open -grown Siberian larch trees: preliminary results. In Proc. of the fourth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1995 (in press).

17) Mori S., Prokosukin , O.A. Zyryanova & A.P. Abaimov (1997) :Stem respiration of Siberian larch tree. In Proc. of the fourth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1995 (in press).

18) Mori S., S. Prokosukin , O.A. Zyryanova & A.P. Abaimov (1997) : Non-destructive measurements of whole plant respiration including under-ground parts in a Siberian larch forest. In Proc. of the fifth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1996 (in press).

19) Koike T., K. Haibara, T. T. Lei, S. Mori, Y. Matsuura, k. Yazaki, R. Funada, K. Takahashi, T. C. Maximov and B. I. Ivanov (1997) : Comparison of the photosynthetic characteristics of eastern Siberian larch, Scots pine and white birch seedlings raised under elevated CO₂. In Proc. of the fifth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1996 (in press).

20) 森茂太、松浦陽次郎、梶本卓也、S. プロコシュキン、O.ゼラノバ、A. アバエモフ、上田龍四郎 (1997) : シベリア永久凍土地帯のカラマツ個体 (地上・地下部) 呼吸の非破壊測定. 第108回日本林学会大会講演要旨集.

21) 矢崎健一、船田良、森茂太・丸山温・小池孝良・S. プロコシュキン、O.,ゼラノバ,A. アバエモフ (1997) : 高CO₂環境下で生育させたカラマツ苗木の年輪構造.日本木材学会

1997年度講演要旨集.

22) O Koike T., T.T. Lei, T.C. Maximov, R. Tabuchi, K. Takahashi, and B.I. Ivanov (1996)
Comparison of the photosynthetic capacity of Siberian and Japanese. *Tree Physiol* 16: 381-385.

23) Mori S., S. Prokoskin, O.A. Zyryanova & A.P. Abaimov (1997) : Non-destructive measurements of whole plant respiration including under-ground parts in a Siberian larch forest. GCTE/PAGES/IGAC/BACH Workshop "Spatial-temporal dimensions of High-Latitude Ecosystem Change (Siberian IGBP Transect)" (in press).

24) Koike T., K. Haibara, T.T. Lei, S. Mori, Y. Matsuura, K. Yazaki, and R. Funada (1997)
Comparison of the photosynthetic characteristics of East Siberian larch, Scot Pine and White birch seedlings raised under elevated CO₂. GCTE/PAGES/IGAC/BACH Workshop "Spatial-temporal dimensions of High-Latitude Ecosystem Change (Siberian IGBP Transect)" (in press).