

3. 永久凍土攪乱による温暖化効果ガス放出の影響とその抑制技術開発

研究代表者 北海道大学 福田正己

はじめに

本研究グループでは、永久凍土地域が人為的に乱された場合に、温暖化効果ガスがどれだけ放出され、またそれをどのように抑制するかを技術開発を目指している。ここで温暖化効果ガスとしては、森林攪乱によるCO₂と天然ガスパイプラインからの漏洩によるCH₄をその抑制対象としている。CO₂の放出の研究課題では、東シベリアの典型的なタイガ地域を観測地域とし、CH₄の漏洩抑制では、アラスカ・フェアバンクス郊外での実規模の野外実験を実施している。ここではCO₂の発生と抑制にかかわる課題の成果を報告する。

1. 森林と森林火災跡地における地表面および凍土活動層の熱・水・CO₂収支観測

ユーラシア大陸北部に広がる北方林・タイガは、世界最大の森林である。タイガは土壌有機物の蓄積が多く、地球規模の炭素循環に重要な生態系のひとつである。シベリアのタイガにおける森林攪乱の最大の原因は、森林火災である。森林火災は直接的なバイオマス損失だけでなく、植生と凍土層の不可逆的改変にともなう生態系炭素収支の変化をもたらすと考えられる。本研究は、地表面および凍土層の熱・水・CO₂収支の長期観測に基づき、森林火災が凍土層の安定性と炭素収支に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

方法: 1999年と2000年の夏季、ロシア連邦ヤクーツク近郊(62°19'N, 129°31'E)のカラマツ林(サイトF)および森林火災跡地(サイトB)において、熱・水・CO₂収支およびその他気象環境要素の長期観測をおこなった。カラマツ林は平均樹高10m、密度1640 ha⁻¹であり、火災跡地は火災後約10年の草地であった。熱・水・CO₂フラックス測定には、超音波風速計とガス分析計によるクローズドパスシステムを使用した渦相関法を採用した。気象環境要素として、気温・湿度・CO₂濃度の鉛直分布、風速、樹冠上下の放射収支、雨量、気圧、地温・土壌水分の鉛直分布、地中熱流量を測定した。カラマツ林と火災跡地における熱・水収支、生態系CO₂収支、凍土活動層の熱収支について、比較をおこなった。1999年は測定期間が限られたため、以下、2000年の結果を報告する。

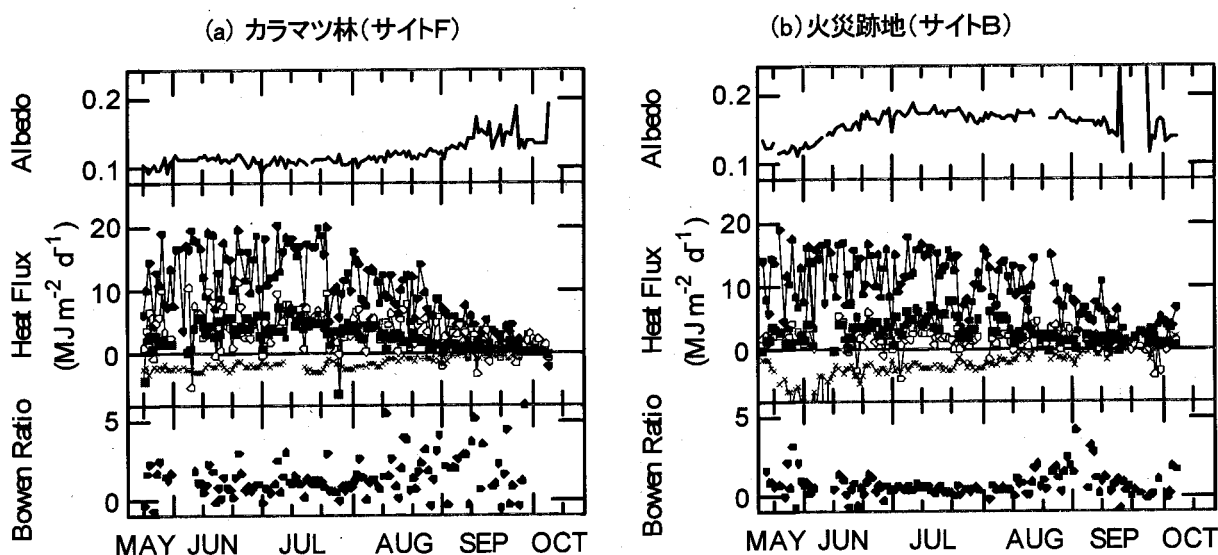


図1 カラマツ林および火災跡地におけるアルベド、熱収支項(正味放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックス、地中熱流量)、ボーエン比の季節変化

図1に、カラマツ林および火災跡地におけるアルベド、熱収支項(正味放射量, 顕熱フラックス, 潜熱フラックス, 地中熱流量), ボーエン比の季節変化を示す。植物の生長最盛期である6, 7月の測定値を比較すると, カラマツ林のアルベドは平均0.11で, 火災跡地の0.16より非常に小さかった。このアルベドの差を反映し, 正味放射量はカラマツ林が17%大きかった。しかし樹冠による被蔭によって, カラマツ林の地中熱流量は火災跡地の54%であった。この期間の平均潜熱フラックスは両サイトともに $4.1\text{MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ で, 差はみられなかった。一方この期間の平均顕熱フラックスはカラマツ林が $4.7\text{MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$, 火災跡地が $1.9\text{MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ であり, 平均ボーエン比はカラマツ林が1.3, 火災跡地が0.44であった。正味放射量の差は主として顕熱フラックスに転換され, 蒸発散量の差はなかった。次に, 長期水収支を, 次式で検討する。

$$S=P-E-R$$

ここで, Sは氷を含む土壌水分変化量, Pは雨量, Eは蒸発散量, Rは流出量である。2000年5月16日~9月2日の期間の活動層(深さ130cmまで)の水収支を考えると, カラマツ林では測定値から $S=-105\text{mm}$, $P=84\text{mm}$, $E=142\text{mm}$ で, 残差として $R=47\text{mm}$ であった。これより, カラマツ林の蒸発散の約40%以上は, 落葉期および冬季の降水を利用していることがわかる。また期間開始時の土層には400mm以上の凍結水分があり, これが大きなバッファになって夏季の蒸発散を支えている。Rは隣接するアラスへの流出と考えられるが, 弱風時に, 渦相関法による顕熱・潜熱フラックスが過小評価されることが確認されているため, 風速を考慮した潜熱フラックスの補正によってRの値が下方修正される可能性が大きい。一方, 火災跡地の水収支は, 測定値から $S=-76\text{mm}$, $P=84\text{mm}$, $E=148\text{mm}$ で, 残差として $R=12\text{mm}$ であった。

森林および火災跡地のCO₂収支

渦相関法によって測定された生態系CO₂交換量(F_c)を, 以下の式で生態系光合成量(F_p)と生態系呼吸量(F_r)に分離する。以下, 負数は生態系へのCO₂吸収を表す。

$$F_c = F_p + F_r$$

生態系呼吸を推定するため, 夜間の測定値と環境要素を比較したところ, カラマツ林では気温の線形関数, 火災跡地では地温の指数関数で呼吸量を推定できた。この推定式を用いた生態系CO₂収支の季節変化を, 図2に示す。夏季の生態系呼吸量はカラマツ林で約 $-30\text{ gCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$, 火災跡地で約 $-20\text{ gCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ であった。夏季の生態系光合成量はカラマツ林で約 $-40\text{ gCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$, 火災跡地で約 $-25\text{ gCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ であった。生態系CO₂収支を月ごとに集計し, 表1に示す。CO₂収支が明らかに吸収となった期間は, カラマツ林が6~8月, 火災跡地が7月のみであった。5~9月の合計としてカラマツ林では約 $1100\text{ gCO}_2\text{ m}^{-2}$, 火災跡地では約 $130\text{ gCO}_2\text{ m}^{-2}$ の吸収であり, 森林火災によってCO₂吸収能が著しく低下したことがわかる。

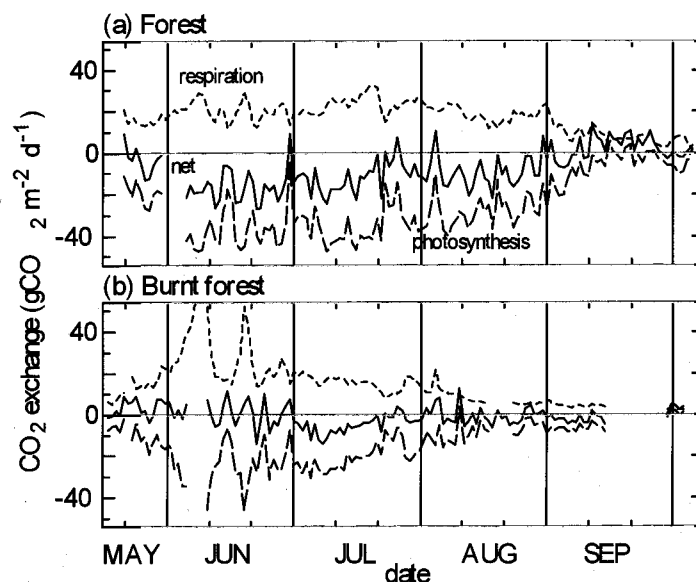


図2 カラマツ林(a)および火災跡地(b)における生態系CO₂収支(光合成, 呼吸, 収支)の季節変化

表1 月別生態系CO₂収支

月	カラマツ林 ($\text{gCO}_2\text{ m}^{-2}$)	火災跡地 ($\text{gCO}_2\text{ m}^{-2}$)
5	-52	+50
6	-485	+29
7	-361	-154
8	-287	-11
9	+85	-46
合計	-1101	-131
年間*	-474	+323

* Sawamoto et al. (2000)による生態学的推計値

なお Sawamoto *et al.* (2000) が観測点近隣の森林において測定した生態学的手法による年間 CO₂ 収支は、カラマツ林が約 470 gCO₂ m⁻² の吸収、火災跡地が約 320 gCO₂ m⁻² の放出であり、今回の収支推定値はこれらと比較して、どちらのサイトでも吸収が過大であった。しかし、カラマツ林と火災跡地の CO₂ 収支の差については、両方の結果は近い。この原因として、①冬期間(10~4月)のCO₂放出、②土壌融解期(5月)のバースト的CO₂放出、③渦相関法による夜間のフラックスの過小評価が考えられ、これらの解明が今後の課題である。

凍土活動層の熱収支

カラマツ林と火災跡地における活動層の温度分布の季節変化を、図 3 に示す。0℃の等温線は、融解前線を示す。季節的な凍結融解の過程は両サイトではほぼ同様であり、8月下旬に最大融解深に達し、9月下旬には永久凍土面からの再凍結が開始した。最大融解深はカラマツ林が火災跡地より深かったが、その差はわずか 10cm であった。次に融解深の進行と地温変化から、活動層内の熱収支項(融解層の貯熱、凍土層への伝導、凍結融解潜熱)を計算した(図 4)。3 項の和は、地表面における伝導熱量(地中熱流量)に相当する。地中熱流量の最大値は 5 月 24 日から 6 月 23 日の期間に観測されたが、この期間は正味放射量も最大であった。9 月以降、地中熱流量は負の値をとり、大気への放熱に変わった。測定期間を通して、貯熱(Qa)および伝導(Qf)にはサイトによる大きな違いはなかった。両サイトの地中熱流量の差は、主として凍結融解潜熱(Qm)の差であった。活動層内の含水率と含水率は火災跡地のほうが高く、同じ厚さの土層の凍結融解により多くの潜熱が必要である。その結果、火災跡地ではカラマツ林よりも多くの地中熱流量を獲得しながら、最大融解深がほぼ同じとなった。

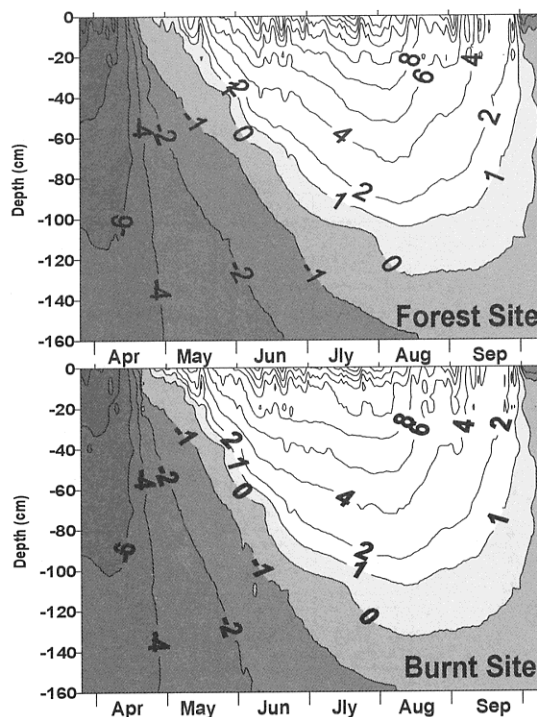


図 3 活動層温度分布の季節変化, 上:カラマツ林, 下:火災跡地

結論

カラマツ林と火災跡地における長期間の観測によって、それぞれの地表面熱・水収支、生態系 CO₂ 収支、凍土活動層の熱収支の特徴を明らかにした。これらの結果は、シベリアタイガにおける森林火災が凍土の安定と炭素収支に与える影響を予測するための基礎的資料として有用である。

2. シベリアタイガ森林生態系における炭素循環に及ぼす森林火災の影響

シベリア凍土地帯における森林に及ぼす火災の影響を明らかにするため、凍土地帯に広く分布するカラマツ林

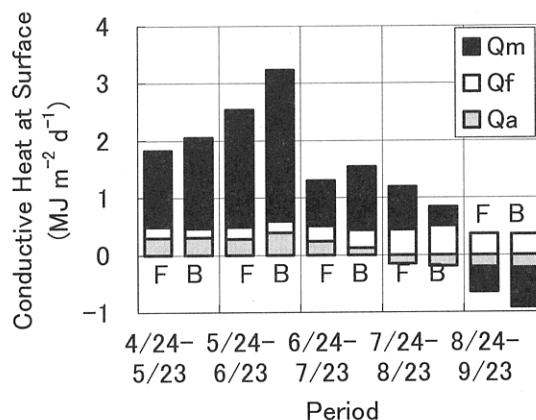


図 4 カラマツ林(F)および火災跡地(B)における平均地表面伝熱量と活動層熱収支項(Qa:融解層貯熱, Qf:凍土層伝熱, Qm:凍結融解潜熱)への配分

(*Larix gmelini*)の森林火災後の回復過程を、植生およびバイオマスの動態から把握し、土壌グループとの共同調査により森林生態系での二酸化炭素収支の解明を目的としている。

- 1). 時間経過にともなう森林の地上部バイオマスを求めるため、森林火災による攪乱後に更新したと考えられる林齢の異なる6林分 10 プロットについて毎木調査を行い、サンプル木 22 個体について器官量配分を測定し相対成長式を求めた。
- 2). サンプル木および林床植生、リター・有機物層については炭素と窒素の含有量の分析を行い、バイオマスからそれぞれの蓄積量を推定した。
- 3). 攪乱にともなう林床植生の特徴を把握するため、成熟林および成熟林内からアラス草地までのベルトトランセクトによる植生調査を実施した。

表2 調査林分の林況

プロット	林齢 (年)	密度 (本・ha ⁻¹)	胸高直径* (cm)	樹高* (m)	胸高断面積合計 (m ² /ha)	林冠閉鎖率 (%)
I ¹⁾	22	10000	3	4.7	8.91	
			0.5-7.0	1.8-7.4		
II ¹⁾	23	10200	3.3	4.9	11.09	63
			0.3-7.5	1.8-7.6		
III	50	76667	-	3.2	-	
				1.3-5.4		
IV ²⁾	120	5972	7.4	9.6	28.62	71
			3.7-13.4	4.8-14.3		
V ²⁾	121	5903	7.4	9.7	29.05	
			3.7-13.5	4.8-14.6		
VI	>230	2235	9.3	9	24.90	
			0.1-34.5	1.3-17.5		
VII	>230	1833	12.8	11.9	27.40	68
			0.9-25.5	2.3-21.8		
VIII	>171	1816	10.3	9.3	26.64	
			0.3-38.7	1.4-20.7		
IX ³⁾	>177	2104	8.7	8.2	20.72	
			0.1-41.8	1.3-19.5		
X ³⁾	>177	2116	8.7	8.6	21.29	
			0.1-42	1.3-20.5		
1), 2), 3) 同一プロット						
* 上段は平均値、下段はは範囲を示す。						

A. 林分構成

林齢は22～230年以上であり、全プロットとも一斉林型のためカラマツの胸高断面積比はほぼ100%である。林分密度はプロットIIIの約77000本/haが最大で、成熟林(プロットVI～X)は2000本/ha前後であった。林冠の閉鎖率は林齢に関係なく60～70%で完全には閉鎖しない。このような不完全な林冠閉鎖は高緯度地帯の森林の特徴と考えられる。プロットII、V、Xは純一次生産量を推定するため、同一プロットにおける測定値である。なお、調査地の位置はプロットIX、Xがネレゲルアラス(62° 13'N・129° 11'E)、他はケンケメ(62° 18'N・129° 30'E)である。

B. 地上部バイオマス

地上部バイオマスを推定するための各器官の相対成長式は次のようになった。ここで D: 胸高直径、H: 樹高、Hb: 生枝下直径である。

$$\text{幹重量 } W_s = 0.0502(D^2H)^{0.8824} \quad (n=22, r^2=0.978)$$

$$\text{枝重量 } W_b = 0.00407D^{0.513}H^{2.022}(H-Hb)^{0.042} \quad (n=16, r^2=0.928)$$

葉重量 $Wl=0.00538D^{0.548} H^{1.560} (H-Hb)^{-0.015}$ (n=16, $r^2=0.976$)

東シベリアのカラマツ林の林齢と地上部バイオマス(図-1, 2)から、この地域の成熟林の平均的なバイオマスはおよそ 120t/ha である。バイオマスの林齢にともなう増加経過はロジスティック曲線 $Y=120.9/(1+10.29e^{-0.043X})$, $r^2=0.994$ で示され、120~130年で飽和に達し、以降100年以上の長期間にわたり飽和値を維持している。調査林分の曲線は $Y=106.1/(1+19.51e^{-0.043X})$, $r^2=0.987$ 、飽和値は105t/haで平均的な値よりやや小さく、林分葉量は1.50~3.54t/haであった。日本のカラマツ林の平均葉量は3t/haであるが、東シベリアでは1~2t/haのものが多い。

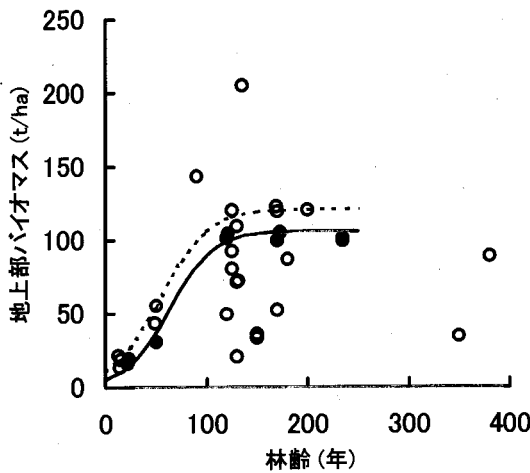


図5 東シベリアの地上部バイオマス

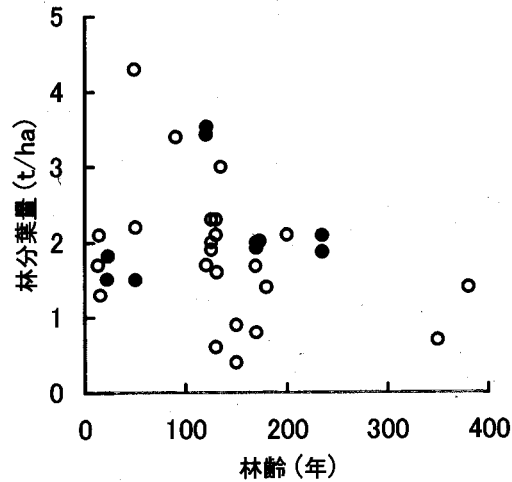


図6 林齢と林分葉量

(図5, 6とも黒丸は調査林分データ、白丸は文献データ)

C. 地上部バイオマス中の炭素・窒素量

樹体内の炭素濃度は、乾燥重量あたりで針葉が 0.47~0.48gC/g、枝が 0.52~0.55gC/g、樹皮付きの幹が 0.50gC/g であり、地上個体としてはほぼ 0.50gC/g となる。窒素濃度は針葉が 0.016~0.020gN/g、枝が 0.004~0.006gN/g、幹が 0.001~0.002gN/g であり、針葉で大きい。調査林分の地上部バイオマス中の炭素量は、林齢120年以降おおよそ 50tC/ha で飽和状態となる(表3, 図7)。この炭素量は約 180tCO₂/ha の二酸化炭素量に相当する。窒素の飽和量は 0.25tN/ha となった。

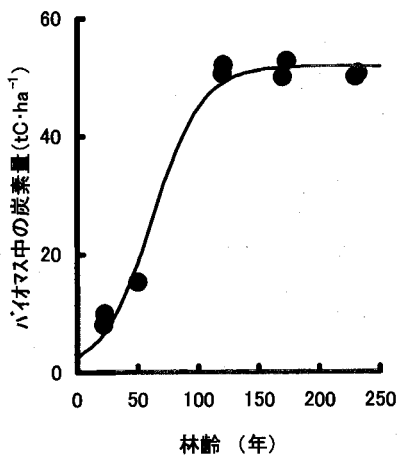


図7 地上部バイオマス中の炭素量

回帰式 $Y=51.9/(1+e^{-0.049X})$ $r^2=0.987$

表3 地上部 バイオマス

プロット	林齢 (年)	地上部バイオマス (t/ha)	炭素量 (tC/ha)	窒素量 (tN/ha)	NPP (t/ha・年)
I	22	16.18	8.15	0.054	
II	23	19.77	9.96	0.066	5.10
III	50	30.71	15.37	0.077	
IV	120	101.45	50.60	0.213	
V	121	104.49	52.12	0.220	6.47
VI	230年以上	99.89	50.11	0.245	
VII	230年以上	101.37	50.66	0.233	
VIII	171年以上	103.13	51.52	0.227	
IX	177年以上	99.82	50.08	0.246	
X	177年以上	105.10	52.72	0.259	3.74

注) I II、IV V、IX Xは同一プロット

プロットⅡ、Ⅴ、Ⅹについて地表の A₀ 層中の炭素・窒素量を測定した結果、それぞれ 12.66tC/ha・0.33tN/ha、41.35tC/ha・1.17tN/ha、38.11tC/ha・1.03tN/haとなり、Ⅱの集積量が少なく、Ⅴ、Ⅹでは地上部バイオマスと同様に飽和状態に達していると考えられる。

D. 純一次生産量(NPP)と二酸化炭素固定量

プロットⅡ、Ⅴ、Ⅹについて NPP(t/ha・年)を積み上げ法により推定した。表-2に示すように、それぞれ 5.10、6.47、3.74となり、葉量の多いⅤで最大となった。二酸化炭素の年間固定量はおおよそ 6.73~11.65tCO₂/haとなる。今後調査プロットを加える必要があるが、NPP は若齢期から壮齢期にかけて増加し、成熟期には林分葉量に類似の値となることが予想される。

E. 植生調査

林床植生は、若齢高密度林分では蘚苔類以外に優占度の高い植物種は存在しない。成熟林の植生についてはプロットⅥ、Ⅸで Braun-Blanquet のコードラート法により調査した。前者では木本 11 種、草本 13 種、蘚苔類 8 種、後者ではそれぞれ 10 種、25 種、15 種であった。火災後数年間の優占種はヤナギランであるが、成熟林の林床ではコケモモおよびツツジ科低木類が優占していた。草本類、蘚苔類の出現種数は多いが、いずれも散生して被度は小さい。

また、異なる立地環境による種組成の特徴を把握するため、ネレゲルアラスで林内から草地までのベルトランセクトにより調査した結果は以下の通り。

- 1) カラマツ林内、林縁、草地に設定した調査地での出現植物種は林内 20 種(調査面積 5m×40m)、林縁 39 種(2m×26m)、草地 34 種(1m×40m)であった。
- 2) Simpson の cover degree index はそれぞれ 0.7134、0.1108、0.2860 となり、林内では特定種に偏った分布であり、林縁で最も種の多様性が高く、草地が林縁に次いで多様性が高くなっていることを意味している。
- 3) 草地の土壤水分は、中央の池に向かって調査ベルトのほぼ中間から高くなり、地表植生の分布にも影響している。湿生タイプとして *Calamagrostis langsdorffii*, *Potentilla anserina*, *Carex vesicaria*, *Inula Britannica*, *Armoracia sysimbrioides*、乾生タイプとして *Galium verum*, *Achillea millefolium*, *Potentilla stipularis*, *Silene repens*, *Anemone silvestris*, *Poa pratensis*, *Lychnis sibirica*, *Myosotis suaveolens*, *Saussurea amara* があげられる。
- 4) 土壌の pH は草地の深さ 19cm~31.5cm で 9.0 と塩基性を示し、塩生植物が出現可能となっている。*Potentilla anserina* はもともと海辺の植物であり、塩基性土壌への適応力が高いと思われる。

立地条件に対応した優占種及び標徴種を表 4 にまとめた。

表 4 林内、林縁、草地の優占種、標徴種

Site	Dominant species・Characteristic species
林内 (20)	<i>Vaccinium vitis-idea</i> (コケモモ), <i>Vaccinium uliginosum</i> (クロマツノキ), <i>Pyrola incarnata</i> (ヘコバナイチヤクソウ)
林縁 (39)	<i>Limnnaea sterellii</i> (リムナス属), <i>Spiraea media</i> (エゾシモツクの基本種), <i>Festuca</i> sp.(ウシノコグサ属), <i>Artemisia rupestris</i> (ヨモギ属), <i>Calamagrostis lapponica</i> (カリヤス属), <i>Poa pratense</i> (ナガハグサ), <i>Vicia amoena</i> (ツルアジハカマ), <i>Geranium pratense</i> (ワウロウ属), <i>Sanguisorba officinalis</i> (ワレモコウ), <i>Trifolium lupinaster</i> (シヤジクソウ)
草地 (34)	<i>Elytrigia repens</i> (シバムキ), <i>Calamagrostis langsdorffii</i> (イワカリヤス), <i>Galium verum</i> (エゾカリヤマツバの基本種), <i>Potentilla anserina</i> (キジムシロ属), <i>Thalictrum simplex</i> (カラマツソウ属), <i>Potentilla stipularis</i> (キジムシロ属), <i>Achillea millefolium</i> (セイヨウノキギリソウ), <i>Inula britannica</i> (オグルマの基本種), <i>Artemisia integrifolia</i> (ヒロハヤマヨモギ), <i>Crepis tectrum</i> (フタマタタンポポ属), <i>Taraxacum ceratophorum</i> (タンポポ属), <i>Silene repens</i> (カラフトマンテマ), <i>Anemone silvestris</i> (イチリンソウ属), <i>Lychnis sibirica</i> (セノウ属), <i>Myosotis suaveolens</i> (ワスレナグサ属), <i>Saussurea amara</i> (トウヒレン属)
共通 (4)	<i>Vicia cracca</i> (クサヅ), <i>Artemisia tanacetifolia</i> (ヨモギ属)

注) ()内の数値は出現種数、二重下線は林内・林縁に出現、単線は林縁・草地に出現

3. 森林火災の発生原因別頻度予測

研究手順

(1) 森林火災の原因別頻度の調査

森林火災の原因から実際に火災となる確率の評価

これまでの研究内容

北方林、通称タイガで多発する森林火災で焼失する面積は、毎年、北海道の面積のほぼ半分に匹敵する 4 万 km² 強にも及んでいる(文献値からのロシアと北米のタイガでの著者による推定値)。タイガでは針葉樹林が密生しており、燃焼負荷率は低負荷ボイラー程度である。最も激しく燃える樹冠火の状態では、消火活動は困難となることが多い。また、森林火災に伴って発生する二酸化炭素、メタン、一酸化窒素などは、地球温暖化に影響を及ぼすし、すす粒子や煙の諸成分などの粒状物質は大気や地表面(雪氷面)の放射場を変化させるし、雲凝結核にもなり、気候変動の要因となる可能性があり、種々の観点からの実態把握が必要である。このため森林火災の実態把握を目的に、ロシア・カナダ・米国などで大規模の森林火災実験が実施されており、1999 年 7 月に行われた米国アラスカ州での FROSTFIRE 実験を調査した。この調査を含めこれまで本研究班では、森林火災の主たる着火源である雷の諸特性を中心に調査を行ってきた。

(2). アラスカの森林火災と雷

(2.1) 発生件数と焼失面積 1956 年から 1999 年までのアラスカで発生した落雷が原因の森林火災の発生件数と焼失面積を図 8 に示す。データは、AFS(Alaska Fire Service)より入手した。アラスカでは森林火災による焼失面積の 90%以上が雷によるもので、雷対策が重要な課題となっている。過去 44 年間の火災総数は 7,949 件、総焼失面積は 101,348km²、年平均火災発生件数は 181 件、年平均焼失面積は 2,303km²であった。図 8 より、1957 年に、過去 44 年間で最大の 2 万 km²弱を焼失したこと、8-12 年周期で 1 万 km²前後燃えることなどがわかる。

(3). FROSTFIRE 実験場付近での雷と着火確率

(3.1) アラスカ全体での着火確率 1999 年の総落雷数は 41,549 回で、また図から落雷による森林火災発生件数は 151 件であるので、年間平均着火確率は、 $151/(41549*0.9)*100=0.40\%$ と計算される。ここで、0.9 は正と負の放電の一般的な比率であり、アラスカでの比率もほぼ同じであることを確認し使っている。次に、特定日、ここでは観測日の 7 月 4 日のアラスカ全体での日平均着火確率を計算した。この日は、859 回の落雷と 9 件の森林火災が発生していたので、 $9/(859*0.9)*100=1.16\%$ となった。

(3.2) FROSTFIRE 実験域付近での着火確率

図 9 に北緯 64-66 度、東経 146-149 度の範囲で、7 月 4 日の落雷と森林火災の位置を示した。落雷位置は丸印で示してあり、円の大きさは雷の相対強度を示している。大きな×印は森林火災の発生位置を、小さな x 印は山の位置を示している。この図 9 の範囲に落ちた負の落雷数は、89 回だったので、 $9/89*100=10.1\%$ と着火確率が計算できた。従来定説の 10 倍以上の値であった。

(4) まとめ

米国アラスカのタイガ地帯での森林火災実験に参加し、種々の調査や情報収集の結果、本報では雷による森林の着火確率を検討した。この結果、雷による森林の着火確率は、従来より言われていた、1%よりはかなり高く、10%前後かそれ以上となることを明らかにした。人目に付かない森林火災を考慮に入れると、着火確率はさらに高いものと考えられる。今後は雷による着火のメカニズムを検討していく予定でいる。

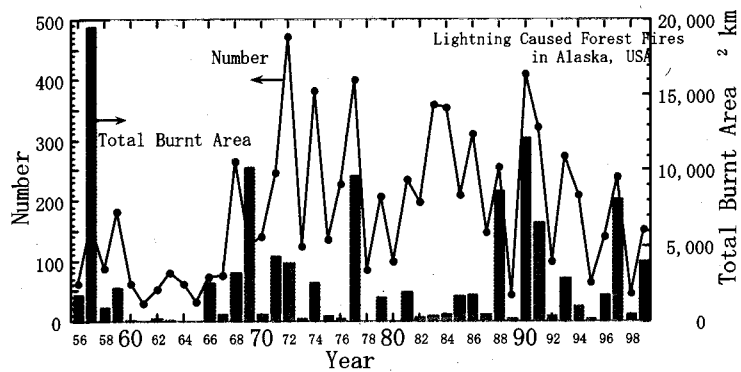


図8 アラスカでの雷が原因の森林火災の件数と焼失面積

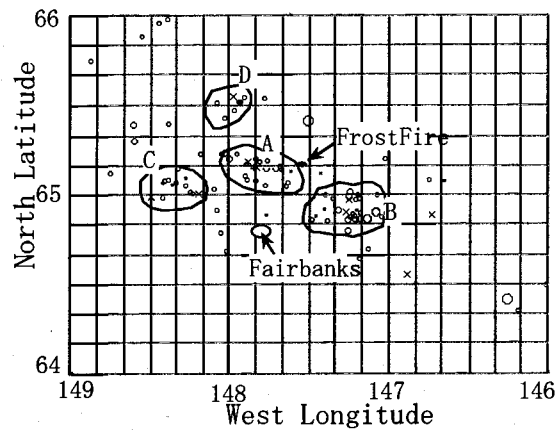


図9 FROSTFIRE 実験域の落雷と森林火災発生場所

4 社会評価システム

目的：森林火災の制御抑制による永久凍土の攪乱抑制に関し、その環境改善効果ならびに経済性を総合評価する。

研究手順

- (1)自然のメカニズム、人為的要因、および温室効果ガス排出の関連解析を行う。
- (2)各種抑制制御技術の効果ならびに費用について調査を行う。
- (3)シベリア地区の天然資源(天然ガス、森林)開発と永久凍土攪乱の現状をシミュレートできるよう、パラメータのキャリブレーションを行う。
- (4)以上を総合し、将来のシベリア永久凍土の変化と攪乱抑制技術の効果を、経済因子とも関連させ、評価する。

これまでの研究概要

(1)成果の概要

- ・森林火災による地目別面積の変化モデルならびに炭素収支モデルを作成し、数千年にわたる森林面積変化や炭素収支バランス変化を予測するためのシミュレーションプログラムを作成した。
- ・上記シミュレーションに必要な統計データを、多数の文献調査から収集した。

(2) 研究概要

図10は本モデルにおけるカテゴリごとの面積移動経路を表したものであり、それぞれ所定の年間確率で変化が生じるものとした。各カテゴリ間の移動は、事例発件数が十分多いと考えられるので、確率に比例してカテゴリの面積を振り分けた。各確率は気温、降水量、林床植生厚さ、土壌含水率等の関数となるが、今回は現状に最も適合する結果を与える値を探索することから始めた。

一方、シベリア全土における炭酸ガス放出量を求めるため、地目別カテゴリの単位面積(ha)あたりの炭素バランスモデルを作成した。森林では光合成と呼吸により大気中と炭素交換を行なっているほか、葉や枝あるいは枯死した樹木が堆積したリターと呼ばれる地表層やその下の土壌層では、微生物によって有機物が分解され、呼吸として大気中に炭酸ガスが放出される。

これらの収支により森林部の大気炭素バランスを記述した。

次に現状をシミュレートするためのパラメータ調整を行った。現状の地目別面積は数百年以上に及ぶ長い期間のバランスの結果と考えられるので、図10に示した確率を調整し、現在の値に収束する確率セットを求めた。図11はシベリアでの各面積の統計値と、特定の確率セットを与えた場合のモデル収束値との比較結果であり、この確率セットにより、現状と一致した地目面積が得られることがわかる。各確率のうち統計から特定できるもの(下線を付した値で、=は確度の高いデータ、-はやや確度の低いデータ)は優先的にその数値を与え、不確定なものは結果が現状とバランスする様に適当な数値を与えた。

以上のモデル条件を整えた上で、一例として火災確率の増加や気温の上昇が地目面積や炭素収支に対して及ぼす影響について解析を行った。現在から100年後に火災確率が次第に増大しはじめ、200年後までの100年間で現状の2倍に火災確率が直線的に上昇し、以後一定となった場合のシナリオについて解析を行った結果では、100年後から200年後にかけて急速に森林が減少する一方、火災跡地が増大していることが示された。しかし、その影響は沼地や草地にすぐには現れず、1000年以上にわたって徐々に沼地や草地が増大し、森林が減少することがわかる。したがって火災増加の影響が収束するには、数千年の年月がかかる特徴あると言える。

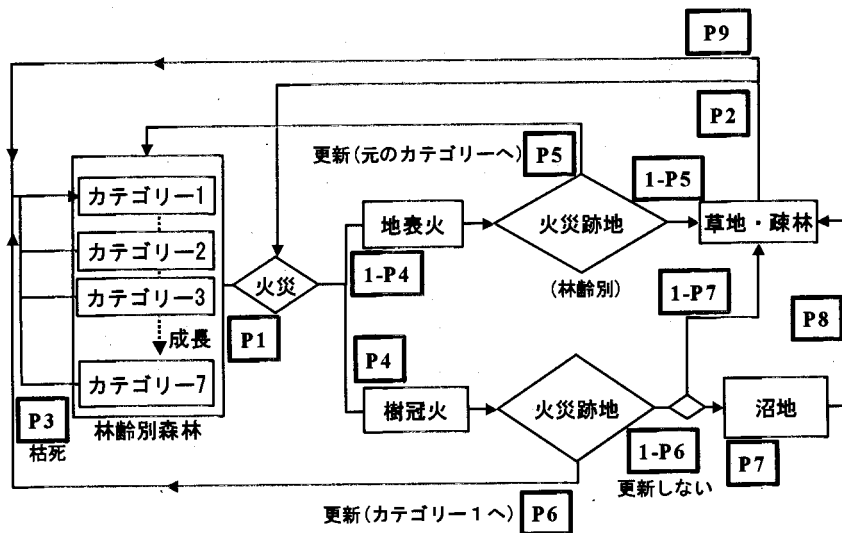


図10 予測と評価の流れ

(3) まとめ

以上、本研究においてシベリアにおける森林火災や永久凍土の変化が炭素バランスに及ぼす影響を評価

するための基本モデルを作成した。また、解析に必要な基礎データを紹介したほか、火災確率や気温上昇の影響を解析した一例を示した。本モデルは局所的なモデリングをする代わりに、林齢を基本とした統計的な解析を行い、火災後の草地や沼地への面積変化を確率的に取り扱う点に特徴がある。計算負荷は極めて軽く、さらに種々の相互影響を含んだ関連解析が可能である。

今回行った解析では、火災確率が現状の0.75%から2倍の1.5%に増加すると炭酸ガス吸収量は約半分となり、またその影響が千年以上にわたり沼地の増加という形で現れることが示された。正確な予測を行うためにはさらに詳細なデータとモデリングが必要であるが、人為的な森林火災が自然のバランスを大きく崩す可能性があることを示したものと言える。

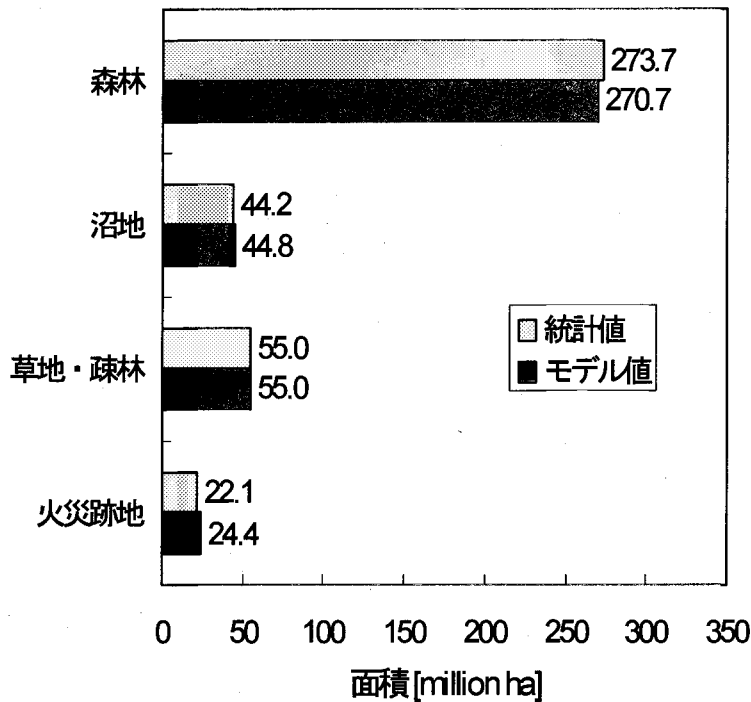


図11 シベリアでの各面積の統計値と、特定の確率セットを与えた場合のモデル収束値との比較結果