

第1章 北東ユーラシア地域の地球環境へのインパクト

1. 調査研究の背景とねらい

本章では北東ユーラシアの地域概念は、その行政区画や国境で規定しない。自然環境などの類似性から、極東ロシアを中心に西は東シベリア全域、東はカムチャツカ半島、サハリンまでである。南は北海道、北日本と朝鮮半島、中国東北部、そしてモンゴルまでを含む広域である。そこは北方森林地域（Boreal Forest Region）とも定義づけられる。こうした自然環境上の特徴に加えて、北東ユーラシアの重要な特徴は、そこに存在する豊かな資源である。森林資源、天然ガスや石油などのエネルギー資源、金、コバルト、ニッケルといった金属資源など、様々な資源に恵まれている。

一方、過酷な自然環境は、資源開発にとって障壁となってきた。特に大規模な開発のためには、様々な犠牲が強いられてきた。その一例がスターリン時代の強制収容所（ラーゲリ）の存在である。1935年以降、スターリンは緊迫するドイツとの関係から、開戦に備えてシベリアの豊富な資源開発を急いだ。しかし、過酷な自然環境のもとで、十分な労働力の確保は困難であった。そこでロシア各地で政治犯を駆り立て、強制的にシベリアに送り込み資源開発にあたらせた。極北シベリアのコリマ川沿いには有望な金鉱山が多数分布していた。しかしそこで過酷な労働にあたったのは、政治犯として捕らえられ強制的に奥地に送りこられた人々であった。正確な数字はいまだ不明だが、こうしたラーゲリに送り込まれた人々は数百万人にのぼるという。こうした忌まわしい歴史が示すように、北東シベリアでは豊かな資源開発の重要な地域であった。

しかし、ソビエト時代の開発は、完全に自然収奪型の開発であった。2002年のヨハネスブルクサミットの重要課題であった、持続可能な開発と環境保全とは対極にあるような、環境破壊が開発の名のもとで行われた。その酷い環境破壊の事例をシベリア各地に見ることができる。開発か環境保全かという二者択一的な議論の末、結局は際限ない環境破壊が進行し、資源収奪が行われた。ロシアに移行しても、現状が改善された訳ではない。むしろソビエト時代の負債にあいでいるのが北東ユーラシアの広域をしめるシベリアの現状である。この章では、最近顕在化しつつある森林攪乱とくに森林火災が、地球環境へ与える影響について取り上げる。地球温暖化を加速するという点で、シベリアで多発する森林火災は、日本あるいは北海道にとっても座視できない事象である。この森林火災と温暖化について以下に詳しく述べる。

2. シベリア永久凍土と北方森林

北東ユーラシアの大半を占める陸域は北方森林タイガで覆われている。その面積は世界の森林の約30%を占める。北東ユーラシアを東シベリアと極東に限定すると森林面積は4億9千万haである。北海道の全面積が800万haであり、それは北海道の約61倍もの広大な面積である。その森林蓄積量は460億立方mにも達する。広大な森林は地球環境へ

の役割で、重要な二酸化炭素の吸収源と見なされ、「地球の肺」の機能を有している。大森林タイガで特徴づけられる北東ユーラシアの自然環境は、北海道と比較してもはるかに厳しい。こうしたタイガの形成・成立には過去の気候変動に応答する大規模な環境変動が関わっている。つまり現在の気候環境だけでは、シベリアタイガの形成を説明することはできない。

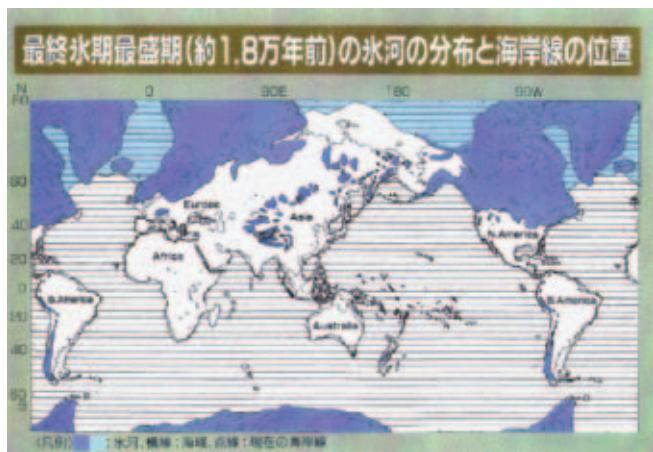


図 1.2.1. 最終氷期の自然環境復元

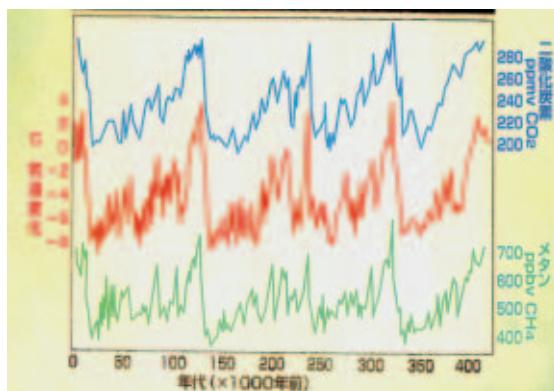


図 1.2.2. 南極ボストークで採取された氷から復元された気温、二酸化炭素、メタンガス濃度の変動

冷な氷期が約1万3千年前に終了し、後氷期と呼ばれる温暖化の影響が伝播するのには時間を要するため、現在でも北東ユーラシアの広い面積は最終氷期の寒冷環境で形成された永久凍土が広く分布している。

図 1.2.3. は北極周辺の永久凍土の分布を示す。連続的永久凍土とは水平的にも垂直的にも地中に途切ることなく永久凍土が分布している状態をいう。不連続的永久凍土は場所によって凍土が途切れる状態である。中国内陸部に永久凍土が分布するが、ここはチベット高原にあたり平均高度が 5000m を超えるために寒冷となり永久凍土が分布する。これを山岳永久凍土と呼び、北海道でも大雪山の 1800m より高い地域に存在することが確認

図 1.2.1 は約 1.8 万年前(最終氷期)の地球環境復元図である。この時期は世界規模の年平均気温は約 10°C 低下していた。北米大陸には巨大な氷床(ローレンタイド氷床)が形成され、厚さは 3000m を超え、その規模は現在の南極氷床よりも大きかった。

西シベリアから北ヨーロッパにかけてはフェノシカンジナビア氷床が覆っていた。この北半球の 2 つの氷床が拡大していたため、地球上の水は氷として陸上に蓄積され、そのため海面が約 130m 低下した。図に示されているように、北海道はサハリンとともにユーラシア大陸と陸続きとなっていた。またシベリアはアラスカと連結し、そこにはベーリングジャと呼ばれる大陸が出現していた。この時期には現在のカナダや西シベリア地域のタイガは存在せず、また東シベリアでも冷涼なツンドラ化していた。世界の北方森林は縮小したために、大気中の二酸化炭素の吸収量も減少した。

このため図 1.2.2 に示されているように南極の氷に記録されていた当時の大気中の二酸化炭素濃度は 200 ppm まで減少していた。こうした寒

されている。また東シベリア及びアラスカの北極海沿岸では、海底下に永久凍土が存在するが、これは最終氷期に海面低下して陸地化した場所が、後氷期に海面上昇で海面下に沈んで残存した。海水温が低いために融解せずに残っているためである。

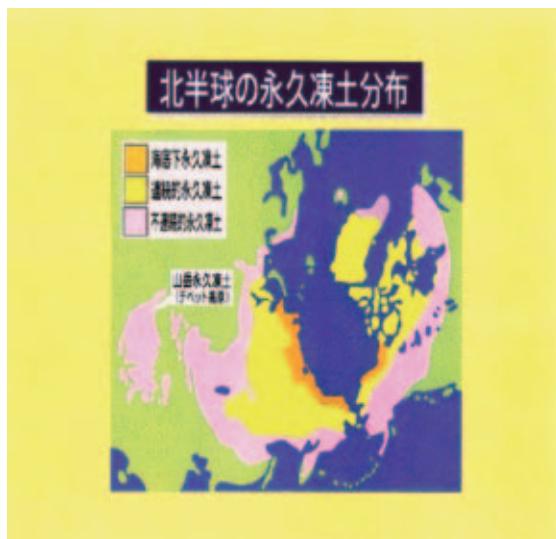


図 1.2.3. 北半球の永久凍土の分布

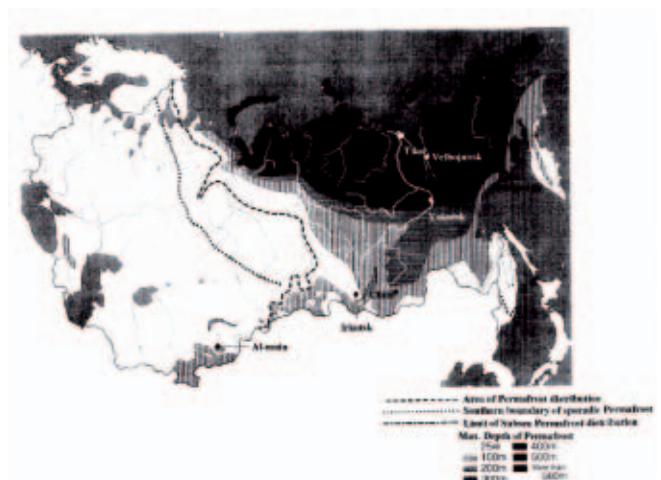


図 1.2.4. シベリアの永久凍土

図 1.2.4.はシベリア永久凍土の分布図である。永久凍土の南限は、年平均気温が -2°C に一致する。シベリアの東西方向で永久凍土の分布には偏りがある。西シベリアではその

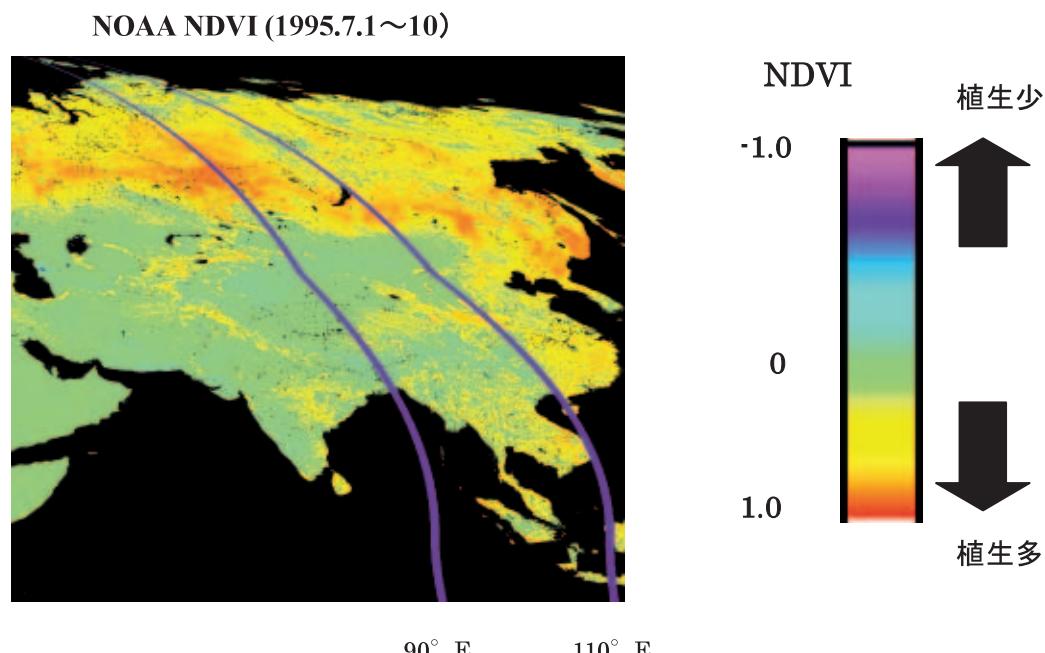


図 1.2.5. ユーラシアの夏季の植生指数の分布(NOAA AVHRR)

分布は北に偏っている。他方東シベリアははるか南にまで分布する。これは図 1.2.1.に示した最終氷期の氷床の分布に影響されているからである。地表面を氷床が厚く覆うと、その下の地盤は凍結しない。現在の南極氷床でも基盤は凍結していない。東シベリアでは氷床が地表を覆わなかつたため、最終氷期には永久凍土が地中深くまで形成されていた。後氷期に西シベリアでは氷床が消えて地面が寒冷な大気に曝され、ようやく永久凍土の形成が始まった。一方東シベリアでは、後氷期の温暖化の影響をあまり受けず、凍土の厚みは変動せずに残された。その原因は急速な植生の回復でタイガが覆ったからである。これが先に述べた現在の永久凍土が、現在の気候環境だけで決まらない理由である。

北東ユーラシア地域を覆うタイガの分布は、NOAA 衛星 NVHRR を用いた植生指数の分布状態で示すことができる。図 1.2.5 に 1995 年 7 月の東ユーラシアの植生指数分布を示す。シベリア地域がもっとも植生指数の値が大きく、緑の濃いことが示唆されている。

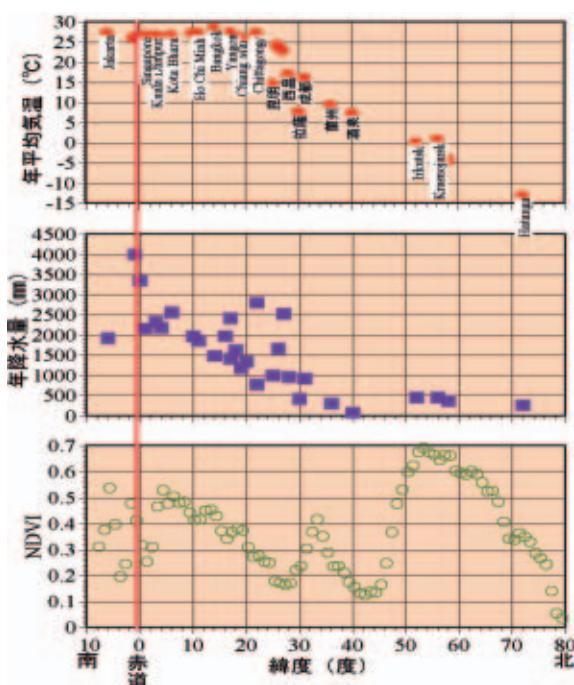


図 1.2.6.
植生指数と気候要素の南北変動

次に図中の 2 本の線（東経 90 度 – 110 度）で囲まれた範囲での各地点の植生指数と年平均気温と年降水量の南北分布を図 1.2.6 に示す。南から北に向かって気温も降水量の減少し、また植生指数も減少する。北緯 43 度付近はゴビ砂漠の東端に一致するため、植生指数は極小値となる。北緯 47 度を過ぎてから、植生指数は急増しており、北緯 52 度で極大値となる。しかし、気温は北に向かうにつれて低下しており、降水量も増加しない。森林の成立にとって温度と降水量が小さくなるにもかかわらず、植生指数が増加した理由は、その下にある永久凍土の存在にある。

図 1.2.7. は東シベリアのヤクーツクと中国蘭州付近の様子を示す。蘭州では灌漑沿いにわずかに灌木が生育するが、年降水量の少ないヤクーツクではタイガが生育する。図の右に示すようにタイガの下には厚さ数百 m の永久凍土が存在している。永久凍土は水を浸透させないために、夏の 1 m ほどの融解層（活動層）に水が蓄えられ、これを涵養源としてタイガが生育している。また永久凍土から見ると、夏季の強い日射をタイガが遮り、融解を防止している。このような一方の存在を他方が助ける関係を生態学では共生関係と呼ぶ。つまりタイガと永久凍土は共生関係にある。これが砂漠なみの乾燥したシベリアにタイガが生育する理由であった。

札幌とヤクーツクの気象条件を比較して図 1.2.8. に示す。ヤクーツク（札幌）の最寒月平均気温は -42.7°C (-4.9°C) であり最暖月気温は 19.5°C (21.3°C) である。つまり夏の暑さは札幌と同程度である。しかし年降水量は札幌の 1/6 に過ぎない。

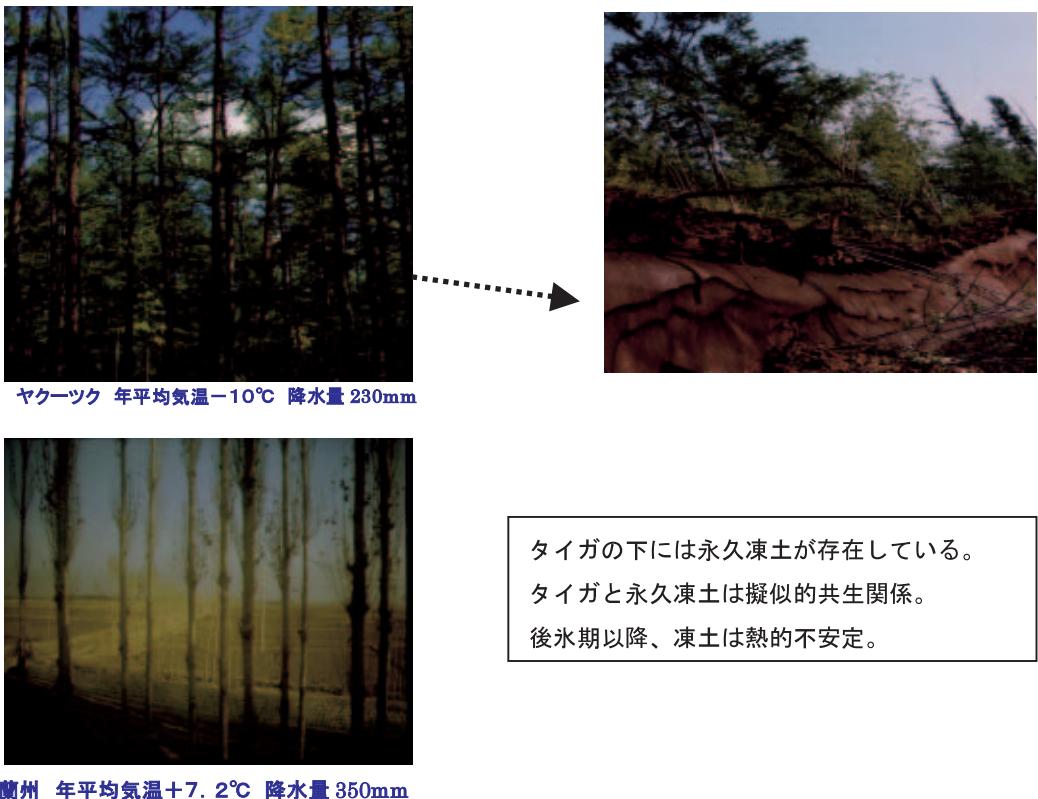


図 1.2.7. シベリアヤクーツク与中国蘭州の植生比較と永久凍土の存在

シベリアタイガを成立させているのは、その下に存在する永久凍土であった。ヤクーツクではその厚さは400–200mにも達する。もう一度図1.2.6.を見ると北緯67度を超えた地点から植生指数の値が低下している。このあたりがタイガの北限であり、その北側ではツンドラ植生となる。最暖月の月平均気温が+10°C以下の位置にほぼ一致している。このようなタイガとツンドラの植生分布は後氷期の約1万1千年前に成立した。東シベリアのタイガは落葉針葉樹のカラマツ属から成り立っている。一方エニセイ河の西側の西シベリアではタイガは常緑針葉樹のトウヒ属（北海道のエゾマツの仲間）から成り立つ。

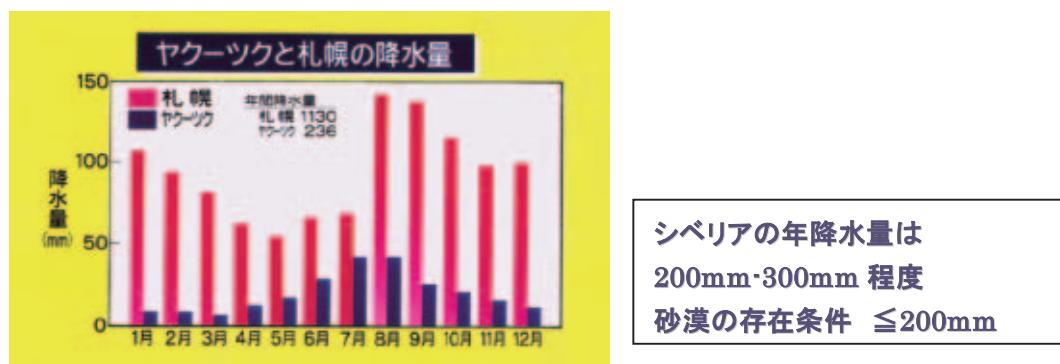
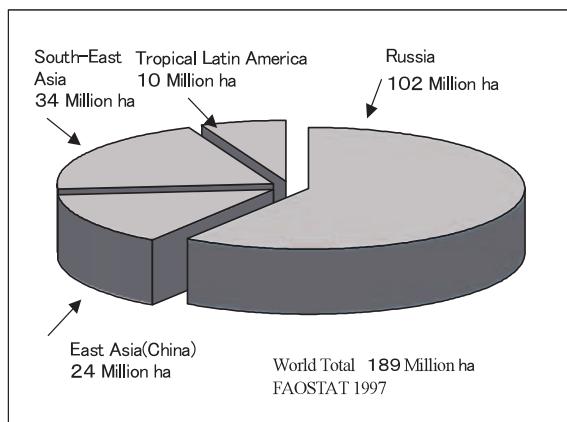


図 1.2.8. ヤクーツクと札幌の降水量

3. 多発する森林火災

シベリアタイガでは大規模な森林火災や伐採により森林面積が減少している。図 1.3.1. は 1997 年に FAO が公表した 1964 年－1994 年の累積森林面積消失地域区分である。この期間で全世界では約 1 億 9 千万 ha の森林が消失したが、これは日本の面積の約 5 倍である。内訳ではシベリアを含むロシアが 1 億 ha を超えており、アマゾンの約 10 倍である。これは 30 年間の累積統計であり、森林の生長の早い熱帯では、消失地での森林回復が含まれているからである。シベリアタイガ消失の原因別では火災による焼失がもっとも多くを占めている。伐採や病虫害などがそれに続く。シベリアでの森林火災の発生状況はその広大な面積から正確に掌握するのは困難であった。しかし最近は衛星画像を用いて迅速にそして的確に算出推定が可能となった。



出所) F A O 1997

図 1.3.1. 累積森林面積消失地区分

図 1.3.2. は 2000 年の火災発生分布を示している。推定で 200 万 ha が焼失したと推定されている。1947 年から 1992 年までのシベリアでの火災発生件数と焼失面積の変動経緯を図 1.3.3. に示す。発生件数は増加の傾向にあるが、焼失面積は年々変動が大きい。

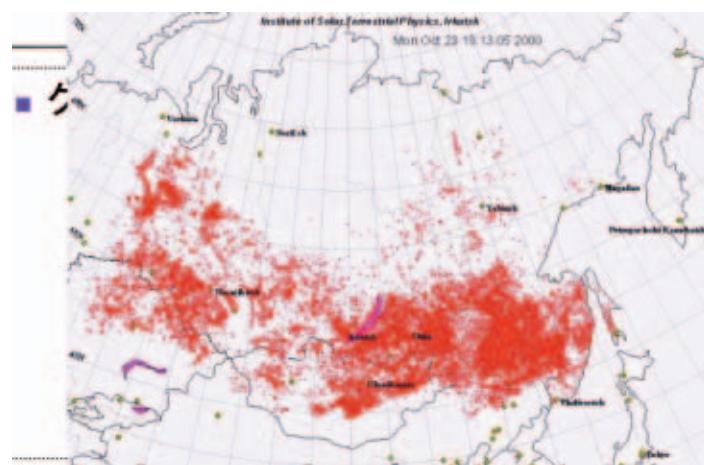


図 1.3.2. 2000 年夏季にシベリアで発生した森林火災の分布

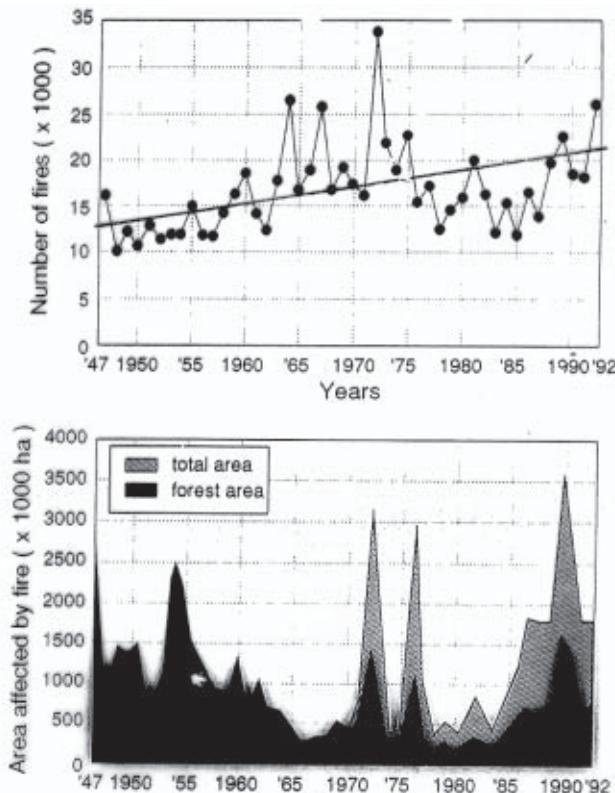


図 1.3.3. ロシアで発生した森林火災の発生頻度の変動

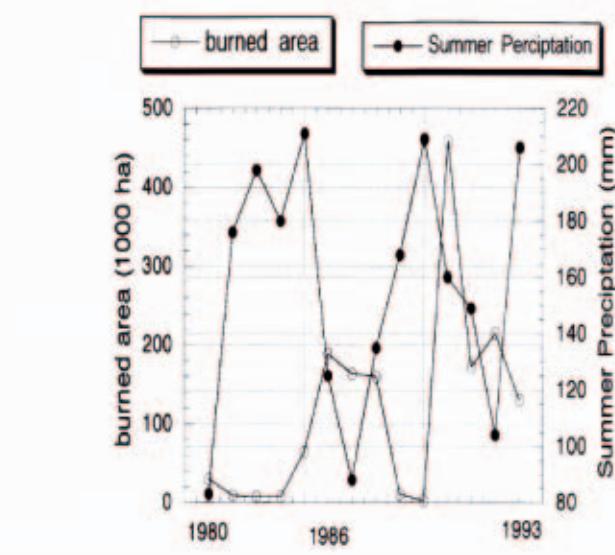


図 1.3.4. ヤクーチアで発生した森林火災と夏季降水量の変動比較

発生件数の増加は自然現象に起因するのではなく、人的な原因の増加である。それだけ人々が森林に入り、伐採などの活動を活発化させているからである。つまり火種が増加しているからである。一方、焼失面積に大きな年変動が起こるのは、火災が拡大するかどうかはその時の気象条件に支配されるからである。その例をヤクーツク周辺での発生頻度と夏季降水量との関係で示す(図 1.3.4.)。夏季降水量は4—7月までの降水量の総和である。図で明らかなように降水の多い年には火災発生件数が少なくなる。焼失面積は、夏季降水量と反比例の関係にある。

2002年はシベリア各地で森林火災が多発する異常年であった。その様子を NOAA 衛星画像処理で図 1.3.5.に示す。2002 年 7 月 31 日のヤクーツク周辺での火災発生分布が示されている。この時期に航空機で上空から火災の様子を撮影したのが図 1.3.6.である。多数の箇所で同時多発に火の手が上がっている。こうした NOAA による毎日の森林火災発生の経緯を図 1.3.7.に示す。2002 年夏季の $1000\text{km} \times 1000\text{km}$ の範囲での焼失面積は約 1 万 4 千平方 km であった(全体の 1.4%)。NASA は MODIS 衛星による推定で焼失面積は 8.5% と推定している(図 1.3.8.)。

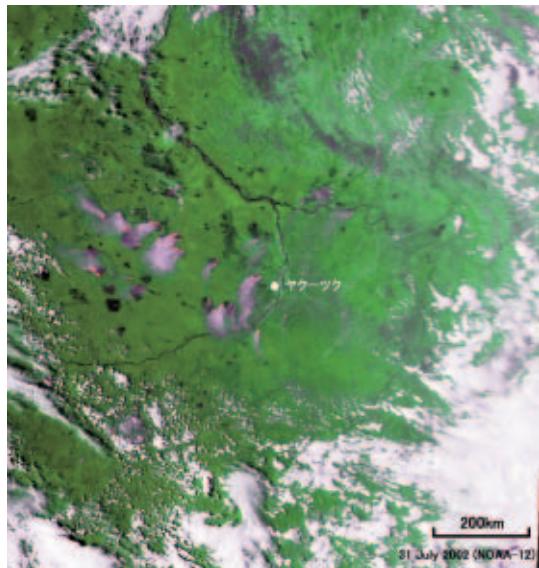


図 1.3.5. 2002年ヤクーツク付近で発生した森林火災の分布
(2002年7月31日 NOAA AVHRR)



図 1.3.6. 2002年7月末にヤクーツク周辺に発生した森林火災の様子
(撮影:早坂洋史)

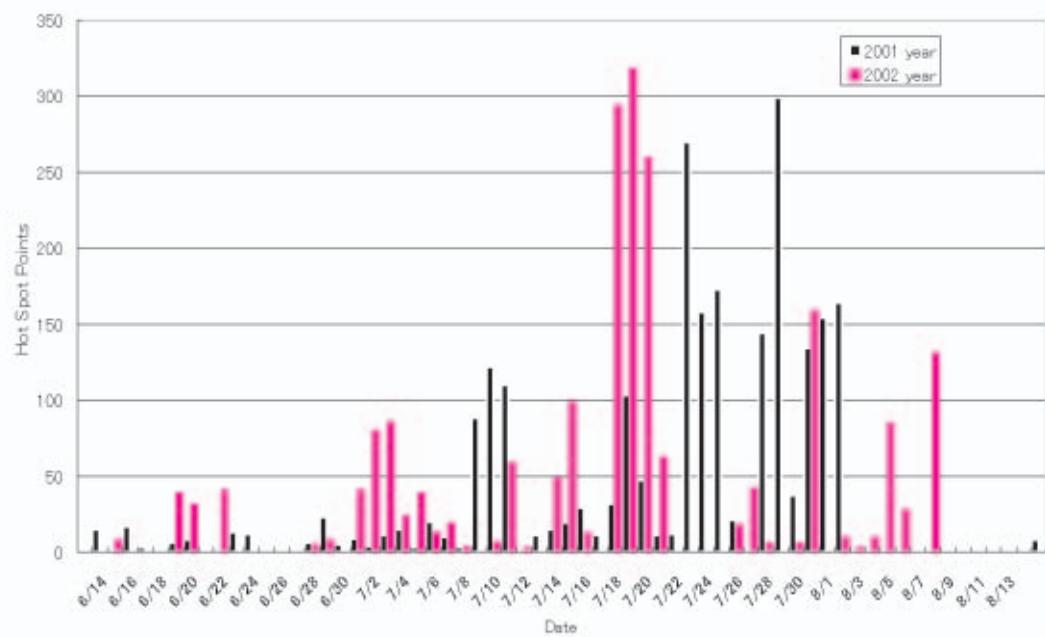


Fig. Hot Spot Points Detected by NOAA Images in Yakutsk Area, 2001 and 2002.

図 1.3.7. 衛星画像による森林火災の季節変動
(2001年、2002年の比較)

**焼失面積は全面積の8.5%と推定
MODIS衛星による NASA**

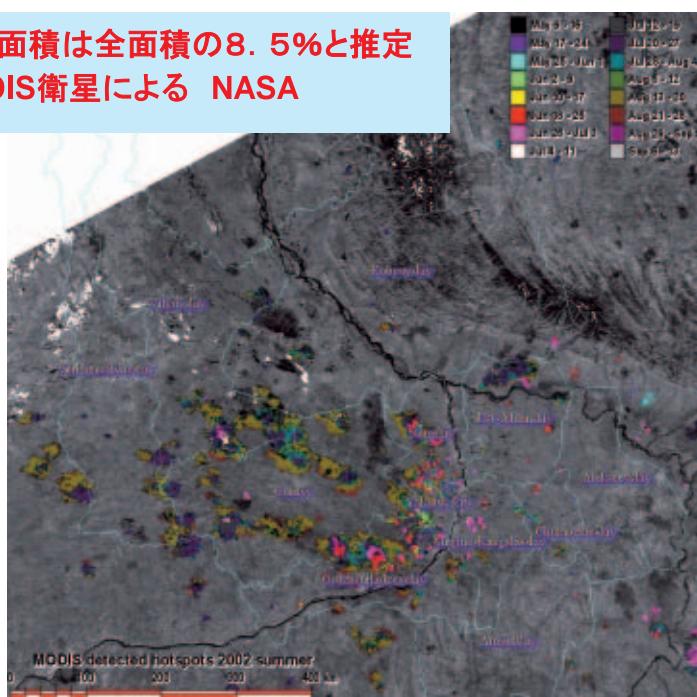


図 1.3.8. 2002 年夏季の東シベリアでの森林火災による焼失面積の推定
(MODIS NASA)

4. 森林火災が放出する二酸化炭素

森林火災によって、大気中の温暖化効果ガスの収支に大きな影響を与える。まず第一に燃焼による直接的な二酸化炭素の放出がある。そこで森林火災による放出量を以下のようにして推定した。図 1.4.1. は強度の森林火災の跡地である。この地点で立木と地上に蓄積していた炭素（リッターや枯枝などの量）を測定し、どれだけ二酸化炭素として大気に放出されたかを見積もる。火災強度の異なる場所での二酸化炭素放出量を表 1.4.1. に示す。



図 1.4.1. 重度の森林火災跡地
(1996年夏季 マヤ)

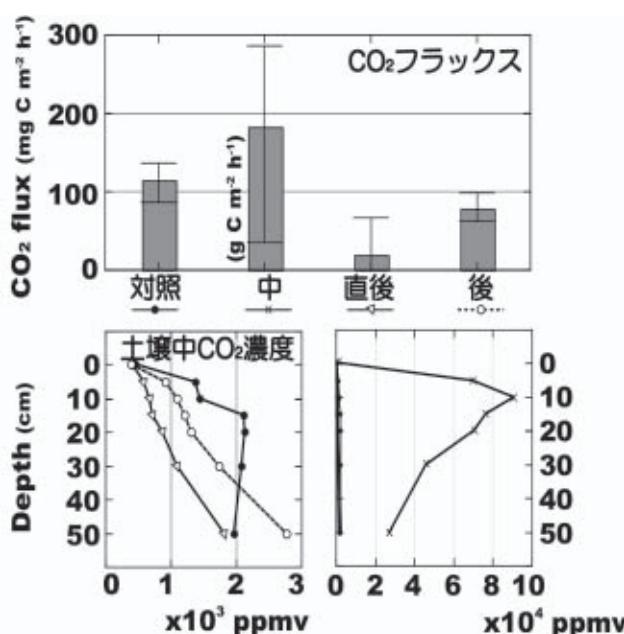
焼失面積が 1 万 4 千平方 km と推定されているので、この範囲（ヤクーツクを含む 1000 km 四方）での火災による二酸化炭素放出量は約 7140 万 t に達する。一方森林で焼けなかった場所で年間の二酸化炭素吸収量は、森林率を 70% とすると、1 haあたりの吸収量が 1-0.5 t なので 7000-3500 万 t となる。すなわち火災による放出量が吸収量を上回ることになる。

次に森林火災で土壤中の炭素の燃焼による分を加算する。図 1.4.2. は火

表 1.4.1. 森林火災による二酸化炭素放出量

強度火災地 A での二酸化炭素放出量	
森林分	林床分
18.88t/ha	43.78t/ha
強度火災地 B での二酸化炭素放出量	
森林分	林床分
30.32t/ha	10.12t/ha
上記平均値	51.55t/ha(地上部のみ)

災前中後の土壤からの二酸化炭素フラックスである。燃焼中は大気濃度の数万倍の高濃度での放出が起こる。火災から 2 ヶ月経過しても二酸化炭素フラックスのレベルは高いが、これは根の残存部分の分解による。したがって火災による二酸化炭素の放出は、燃焼中のみならず土壤中の炭素分の分解が促されて数ヶ月継続することになる。



自然および被火災タイガ土壤からのCO₂フラックス
対照:火災を受けていない地点、中:燃焼中、
直後:火災から数日経過 後:火災から2ヶ月経過

図 1.4.2. 森林火災過程での二酸化炭素フラックス

森林火災の前後で森林の二酸化炭素吸収能力がどのように変動するかの観測が、ヤクーツク周辺のタイガで行われた。図 1.4.3.にその観測サイトの様子を示す。タイガの中に二酸化炭素フラックス観測タワーを設置して、手つかずの状態での森林の二酸化炭素吸収機能を測定する。次に図左にあるように 150m × 80m の長方形にタイガの樹木をすべて伐採した。その跡地にタワーを設置して攪乱後の二酸化炭素吸収を計測する。同じ時期に森林内にもタワーを設置し、同時に森林内での吸収量を測定した。

その結果を表 1.4.2.に示す。伐採前では森林は二酸化炭素を吸収していたが、伐採の後には放出に転じている。同じ期間に森林内では吸収していることから、伐採跡地では土壤中の残存根やリッターの分解が進行し、全体としては二酸化炭素の放出源になっている。

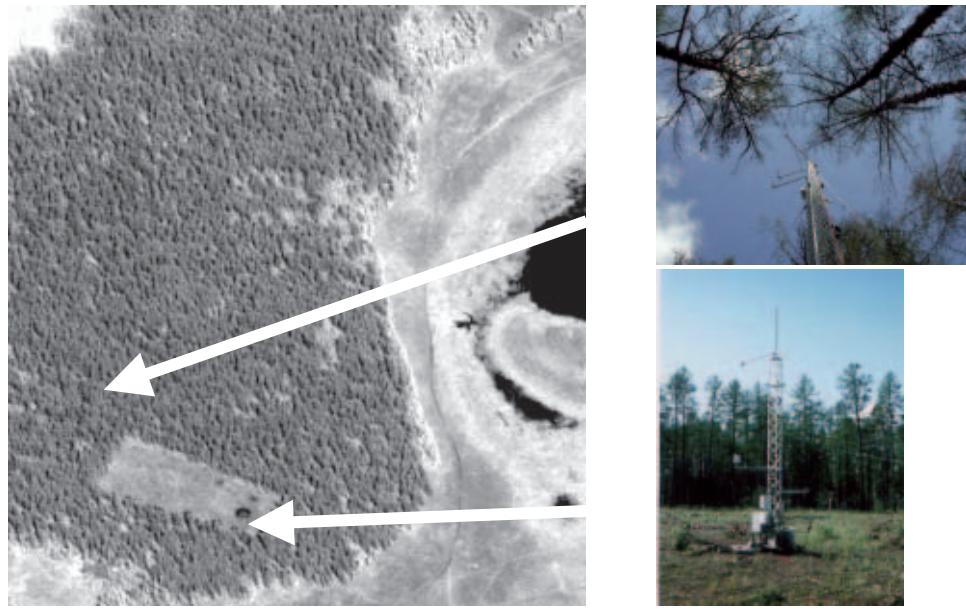


図 1.4.3. 森林の攪乱の影響調査サイト
(ヤクーツク付近 ネレゲル)

表 1.4.2. 月別 CO₂ 吸收・放出量

月	(A)	(B)	(C)
	伐採前 2000年	伐採後 2001年	森林内 2001年
5	(-11)*	+21	-36
6	-91	+38	-113
7	-69	+62	-84
8	-52	+46	-60
9	+27	+37	-6
6-9合計	-184	+184	-263

* 月後半のみ CO₂を吸収 CO₂を放出 CO₂を吸収

5. 永久凍土中のメタンガス

永久凍土には高濃度のメタンガスが含まれていることが知られている。図 1.5.1.は森林攪乱実験を行ったタイガ内の永久凍土に含まれるメタンガスと二酸化炭素の濃度分布を示す。場所によっては大気中濃度の数千倍の高濃度のメタンガスが永久凍土に含有されている。凍土の融解によってこうしたメタンガスが大気へ放出される。また東シベリアの永久

凍土中には多数の地下氷が含まれている。したがって火災などでタイガが失われると、地表面熱収支バランスが乱れ、表層の永久凍土が融解し始める。

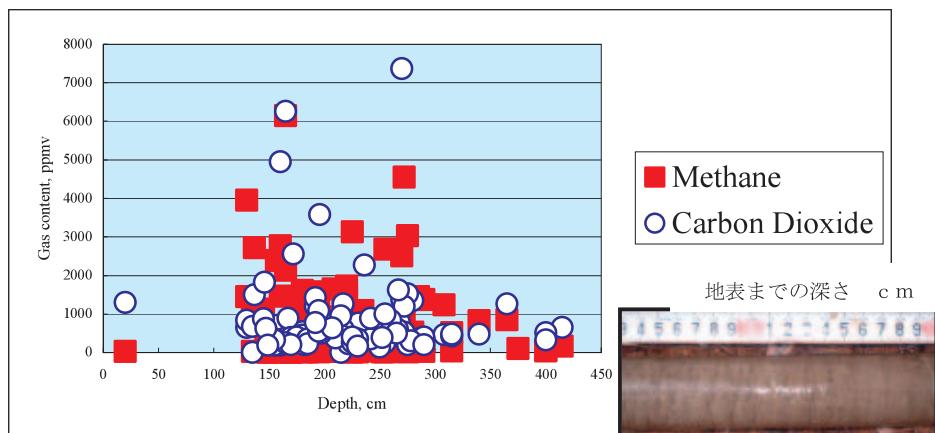


図 1.5.1. 永久凍土上層部に含まれる温暖化効果ガス

図 1.5.2.は最近道路を拡幅するためにタイガを伐採した数年後の様子である。凍土特に氷の融解で地面が陥没している。これが継続すると数mから 10mも陥没した凹地が形成される。これをアラスと呼ぶ。そこでは融解水が貯まり、湿原化していく。この環境では、有機層のメタン生成菌による分解が促進され、高濃度のメタンガスが大気へ放出される。



図 1.5.2. 永久凍土攪乱による永久凍土融解と地盤沈下
(道路拡幅の跡 マヤ ヤクーチア)



森林火災→永久凍土の融解→メタンガスの放出

図 1.5.3. 永久凍土融解とアラスの形成

図 1.5.3.の示すように融解する永久凍土と新たに形成された湿原の双方からメタンガスが大気へ放出されてくる。総量としての凍土融解によるメタンガスのフラックスはまだ算定されていないが、最近の温暖化の影響で、加速的にその量が増加しているものと推定されている。

森林火災による温暖化への影響については、図 1.5.4.に示すように 3 つのルートで加速させる懸念がある。すなわち火災過程で直接的に大気へ放出される二酸化炭素、火災跡地

からの土壤有機層分解による二酸化炭素放出と焼け跡での光合成機能の低下、そして永久凍土融解によるメタンガスの放出である。いずれも温暖化効果ガスを増加させるため、永久凍土はさらに不安定化することになる。こうした状態は正のフィードバック効果が効いた状態にあるといえる。

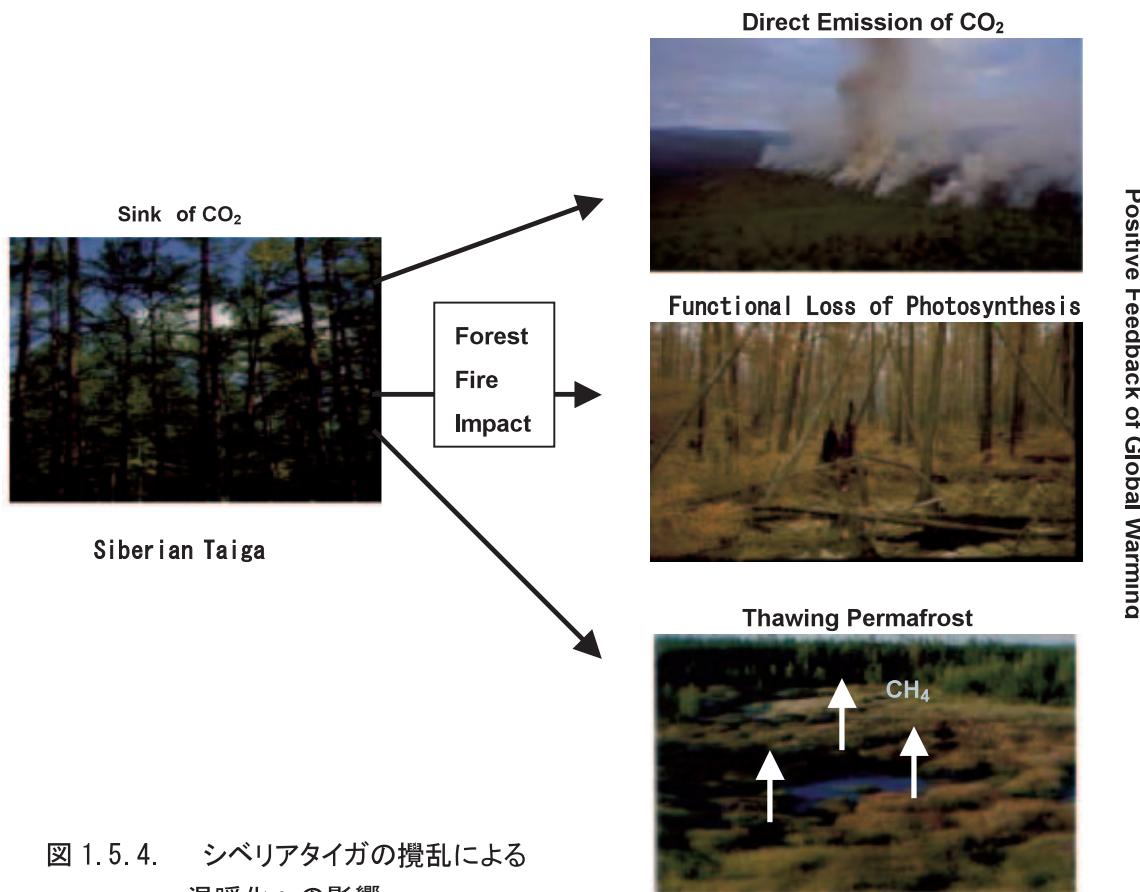


図 1.5.4. シベリアタイガの攪乱による
温暖化への影響

6. 不可逆的な変化 一タイガの消失一

永久凍土の融解で凹地アラスが形成されるが、その場所での森林は回復しにくくなる。まず最近の森林火災の発生頻度の増加が森林を回復しにくくする。図 1.6.1.はヤクーツク付近のタイガで採取された年輪試料である。樹齢は 200 年を超える。年輪には過去の火災の記録が黒く炭化した部分として残されている。その年度を計測すると過去 100 年前までは、数 10 年間隔で火災に見舞われていた。しかし 1940 年以降は数年毎に火災が起こっていることが判明した。火災による直接的なダメージの他に、林床の火災によって根が損傷を受け、そのため倒木となることが多い。

図 1.6.2.はそうした火災の後の倒木の状況を示している。図 1.6.3.は 2002 年の火災による被害を受けた森林調査の結果を示す。胸高直径と樹高の関係で、×で示された部分が倒木である。より若い木ほど火災の影響を受けやすいことが分かる。火災の頻度が増すにつ

れて成長段階の若い樹木ほど倒木になるため、結果として森林の衰退を促すことになる。先にも述べたように、永久凍土には地下氷を多数含んでおり、火災攪乱の影響で凍土が融解すると地盤の沈下と水の貯留で一時的に湖沼が形成される。これをアラスと呼ぶ。しかし、東シベリアでは乾燥気候で水は数十年～数百年で干上がる。この乾燥過程で土壤に含まれる塩類が地表面に集積する。

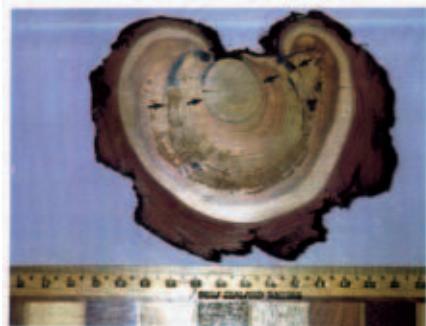


図 1.6.1. 年輪に残された森林
火災の痕



図 1.6.2. 森林火災の跡地と倒木
状況

2002 年森林火災後の木の状況
Nelgel NB1 H-1 site 15 m × 15 m
N62 19 17, E129 30 53

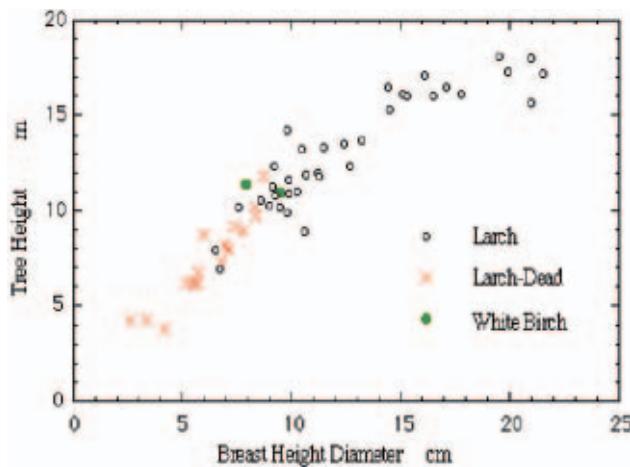


図 1.6.3. 森林火災の攪乱を受けた森林の特性
(樹高と胸高直径)

図 1.6.4.はレナ川高位段丘に形成されたア巴拉ッハ湖の湖底であるが、塩類が集積して塩原となっている。この状態となるといかなる植生も回復することができない。すなわち森林の攪乱の度合いが大きい場合には、森林の攪乱→凍土の融解→地盤沈下→湖沼の形成



図 1.6.4. 干上がったアラス湖に集積した塩類

→ 塩類集積 → 無植生状態となり、再び森林が回復しない非可逆的な変化が生まれる。こうした大規模な凍土融解は、8000 年前から東シベリアでは継続している。このため、タイガ地域はその 30%が無植生地域に転じた。

7. 1998 年ロシア極東南部森林火災の実状

1998 年ハバロフスク管区とサハリン州では、大規模な森林火災が発生した。その状況を NOAA 衛星画像の積算した発生分布として図 1.7.1. に示す。この火災は 1998 年 5 月中旬に発生し、5 カ月間燃え続けた。火災による被害面積は最終的に 300 万 ha を超えたと推定された。被害の最も著しかったハバロフスク地方では、1300 カ所での火災発生が報告され、焼失面積は 220 万 ha に達した。

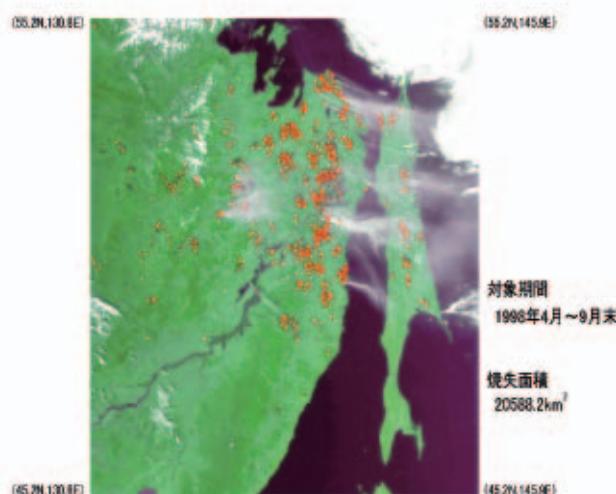


図 1.7.1. 1998 年夏季の消失面積と解析結果

立木被害量は全体では 1 億 5000 万立方 m 以上と見積もられている。ハバロフスク地方では約 1 億 2500 万立方 m の木材が被災し、このうち 8000 万立方 m はアクセスの悪い、あるいは被害程度が大きいために利用不可能とされる。残りの木材は利用可能だが、伐採機材の不足や資金難などのため、復旧・利用が進まず、2000 年までにわずか 1000 万立方 m が搬出されたに過ぎない。被害額は 33 億ルーブル（日本円で 140 億円）に達する。火災による被害を受けた蓄積量は、ハバロフスク地方の年間許容伐採量の 5 年以上にも相当し、許容伐採量の下方修正が必要となった。以上のように 1998 年のロシア極東南部森林火災は地域経済と林業に甚大な打撃を及ぼした。

火災の被害は経済・木材資源の損失だけにとどまらない。焼失森林での土壤浸食、永久

凍土の融解による湿地化・裸地化が促進される。また被災地域は先住民の生活圏に重なるために生活に不可欠な森林資源や野生生物資源にも多大の影響を与えた。火災による煙とエアロゾルで、ハバロフスク市など100万人以上の住民の健康に悪影響をもたらした。火災地域にはラムサール条約湿地とザポヘードニク（自然保護地域）が2カ所も立地しており、極東ロシアの生物多様性にも大きな影響を与えた。生態学的な側面などすべてを含む被害額は、2億400万ドル相当と見積もられている。

森林火災が拡大した直接的な原因是、5月から10月にかけて降水が極めて少なかったためである。1998年夏季の降水量は平年値のわずか15~20%であった。このため林内が乾燥しきっており、一旦火災が発生すると直ちに延焼し、自然鎮火しにくい条件が整っていた。こうした自然条件に加えて、防火・消火能力の低下が火災の拡大に拍車をかけた。旧ソビエト時代には比較的整備された森林火災対策機構が機能していたが、ロシアへの移行で経済状況の悪化のため、森林管理能力が低下した。特に1998年には火災対策の予算が年度当初の5月~8月の期間に配分されなかつた。このため、早期発見・消火の体制を整備することが困難となり、消火活動が大きく制約を受けた。最大の影響は予算不足で航空機による早期発見活動の縮小である。さらに消火に必要な装備や機材、ブルドーザーなどの各種大型機械や人員輸送用トラックなどの燃料の購入が難しくなった。こうした機材不足と被害面積の関係を表1.7.1に示す。

表1.7.1. 1988年と1998年の森林火災への対策比較

項目	1988年	1998年
監視用航空機	60機	8機
ブルドーザー	500台	150台
人員数	1600人	420人
被害面積	30万ha	200万ha

1998年火災では発生地点の7割以上は人為的原因によると推定されている。その中で、森林地域での人為的小火の増加が特に重要な要因だとされる。経済状態の悪化に伴つて、基礎的な生活物資の確保にも困難をきたす住民が増加し、こうした住民が薪やキノコ・山菜・キイチゴ類の採取や狩猟などのために森林に入る頻度が増加している。住民の火災に対する意識は低く、彼らの煙草の投げ捨てやたき火の不始末などが森林火災の大きな原因となっている。

8. 北東ユーラシアを取り巻く天然ガスパイプライン構想

東シベリア各地には未だ開発されていない天然ガス田が各地に残されている。エネルギーの安定供給では、原油のように中東に偏しないで分布する天然ガス田の開発とその輸送のためのパイプライン建設は重要である。図1.8.1は現在建設が検討されている北東ユーラシア地域の天然ガスパイプライン網である。大きく2つの供給地と供給先がある。カザフスタンやウズベキスタンなどの中央アジア地域と東西シベリア地域に大別できる。供給

先は中国沿岸とサハリン北部に分かれる。パイプラインは西から東に結ぶ南北2ラインとシベリアから中国・天津に斜行するルートがある。国際政治的な安定性からは、シベリア内を西・東に結ぶシベリアルートが有望視されているが、この地域は永久凍土地域であり、またシベリアタイガ地域でもあるために、建設にあたっては、環境保全への十分な配慮が望まれる。

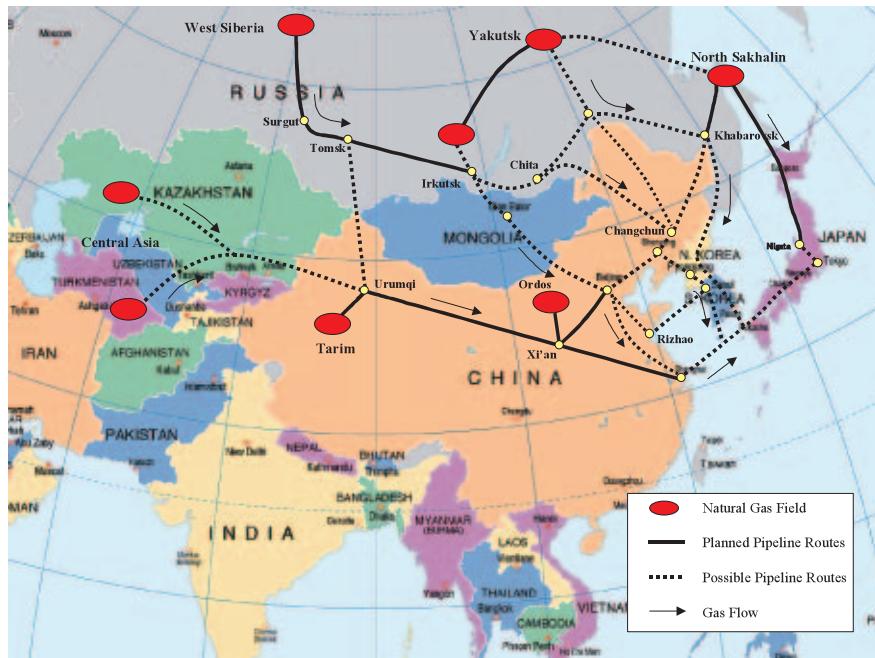


図 1.8.1. 北東ユーラシア地域で建設が計画されている天然ガス
パイプライン網



図 1.8.2. 西シベリアで発生したパ
イプライン爆発事故

既設の西シベリアパイプラインでは様々な原因でのパイプライン事故が多発している。

図 1.8.2.はその一例で、ウレンゴイ付近でのパイプライン破損と爆発事故が発生した。シベリア全体でどれだけのパイプライン事故が発生しているかについては、ロシア側は公式なデータを発表していない。

西シベリアからヨーロッパ側で発生したパイプライン事故統計を図1.8.3.に示す。この地域には西シベリアウレンゴイ天然ガス田からロシア国内を経由して、ヨーロッパにまで到達する「友好のパイプライン」が 1980

年代に建設された。1995 年には数千件の事故が発生した。では事故の直接原因は何か。

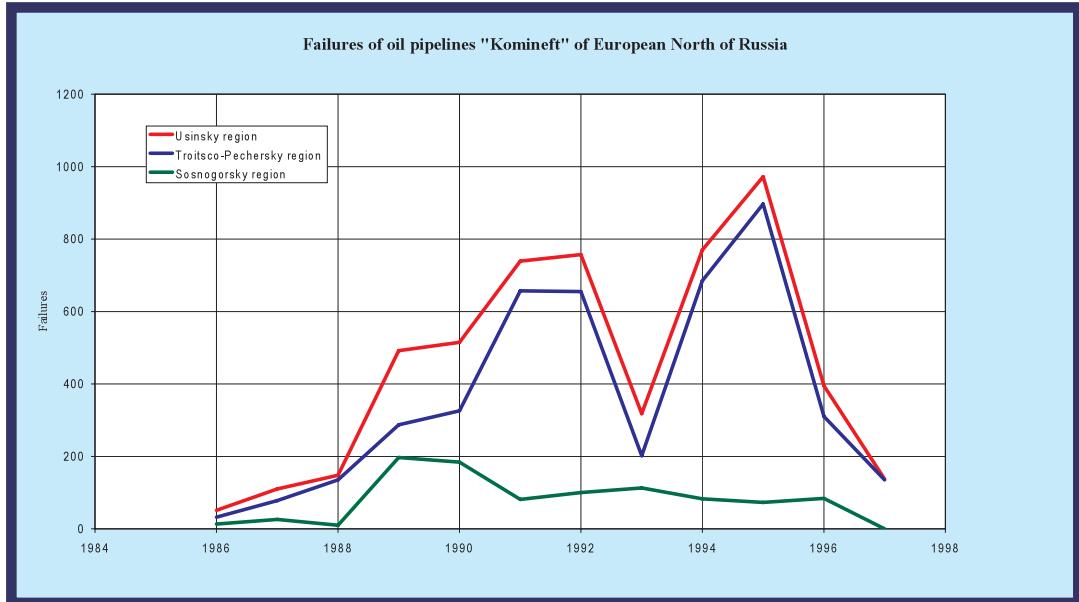


図 1.8.3. 西シベリア・ヨーロッパロシアで発生したパイプライン事故

旧ソビエトによるアフガニスタン侵攻に対して、レーガン政権下のアメリカ合衆国は、ソビエトに経済制裁を課した。特にソビエトの有力輸出商品であった天然ガスの輸送に欠かせないパイプライン機材の輸出を禁じた。日本やヨーロッパもこれに同調した。結果として、この時期にロシア国内に建設・敷設された天然ガスパイプラインは、ソビエト製の劣悪な機材を使用せざるを得なくなった。建設後約 20 年が経過し、敷設パイプの金属腐食が進行して、事故が増加している。さらに永久凍土地域に固有の地盤工学上の問題も増加している。



図 1.8.4. 西シベリア天然ガスパイプラインの凍着凍上被害

その一例が図 1.8.4.にあるような、凍着凍上によるパイプ支持パイルのせり上がりである。パイルが凍土内でしっかりとアンカーされていないために、年々の凍上でパイルが引き上げられ、結果としてパイプに大きな外力が加えられて、破損にいたるケースである。図 1.8.5.は左右の 2 本のパイルが不齊凍上を起こした。左側のパイルがより大きく凍上したため、パイプがパイルから外れてしまった。

地下埋設された天然ガスパイプでも多くの問題が発生している。パイプの底部が凍上で次第に押し上げられ、融解期にパイプ周辺部が掘り出され、パイプが地上に剥きだしにされてしまう。図 1.8.6.はその一例である。この状態では安定したパイプ

ラインの稼働は保障されない。対策として図の下にあるように、振り下げのように錘を架しているが、一旦地上に露出したパイプは元には戻らない。こうした様々なパイプ挙動上の問題は、永久凍土での地盤工学的な対策が不十分なために発生している。1978年に完成したアリエスカ原油パイプラインでは、図1.8.7.に示すような新たな対策が講じられている。



図 1.8.5. 凍着凍上によるパイプの不
齊凍上被害



図 1.8.6. 地下埋設パイプの洗堀
による露出と対策



図 1.8.7. アリエスカパイプラインに適用し
たヒートパイプ式パイル（アラス
カ フェアバンクス郊外 フォックス）

アラスカ中央部フェアバンクス付近では、永久凍土中に多くの地下水が存在している。もし原油パイプを地下埋設すると、凍土が融解しそのため地盤沈下が起こる。そこでパイプからの熱による永久凍土融解を防止するために、ヒートパイプを利用したパイルを適用した。これによって永久凍土の融解を防止することが可能となった。

東シベリアを横断する長大な天然ガスパイプライン建設は、日本にとってもエネルギーの安定供給で極めて重要である。しかし全長約

2800kmにも達するパイプライン建設予定地は、未開発の永久凍土地域であり、環境保全に十分配慮しつつ地盤工学上の対策を講じて長期安定運用を可能とする必要がある。

9. 調査研究の今後の展望

シベリアタイガで多発する森林火災が、地球温暖化を促進することを具体例を挙げて紹介した。またパイプライン事故によるメタンガスの放出も、今後の温暖化促進の懸念材料でもある。ではどのようにして、こうした問題の解決にあたることが可能か。北海道大学北ユーラシア・北太平洋地域研究センターでは、シベリア森林火災の抑制に関する共同研究を展開している。それは 2003 年にロシアが批准し、世界的にその効力が発効する京都議定書に基づく、温暖化効果ガス放出削減にも関連している。もしシベリアタイガの森林火災が純然とした自然現象であるなら、その抑制はきわめて困難である。しかし、実際の森林火災の原因の 70%以上は人為である。人々が森に入り不用意や不注意で引き起こす野火が主な原因である。

すると火災の火種となる人為起源の活動を抑制することで、火災の発生は軽減可能となる。また現在のロシアの社会的な混乱のため、森林管理の能力が低下したため、発生した火災の抑制が困難となっている。特に火災発生の早期発見が困難である。北ユーラシア・北太平洋地域研究センターでは最近 NOAA 衛星画像受信装置を導入し、早期の火災発見のためのシステムを構築しつつある。火災発生の危険性を事前予測し、また早期に発生を検知すること。これが火災抑制の第一段階である。不幸にして火災が発生した場合、通常のやり方（水をかける消火）はシベリアでは困難である。火災発生面積が広大でしかも同時に多発するために、有効な消火が難しい。またシベリアでは水が乏しく消火に使用する水資源が限られている。そこで積極的な消火ではなく、延焼をくい止める消極的な消火活動が主力となる。

そのために北海道大学の研究チームは、延焼モデルを開発し、発生した火災の広がりをくい止める方法を提案している。さらに不幸にして火災で広域の森林が焼け落ちた場合に、航空機からの種まきなどの積極的な造林活動で、森林の更新を促す方法がとりうる。こうした火災発生の危険予知、発生の早期発見、延焼モデルによる防火帯設置、種まきによる森林更新の促進という様々な方法での火災抑制法が提案されつつある。これは先に述べた京都議定書の第 3 条第 4 項に火災などから森林を保護する活動も、二酸化炭素放出削減と見なされており、日本とロシアの共同実施の枠組みで、その削減分は相当量が日本に還元される。こうした森林火災の抑制法の多面的な試みが北海道大学北ユーラシア・北太平洋地域研究センターで開発されつつある。今後の成果を期待したい。

（執筆者：福田正己）

参考文献

- 福田正己・高橋邦秀 (1999) 「シベリアタイガの破壊が何をもたらすか」『科学』69、568-571.
- 福田正己(1999)「シベリアと地球環境問題」『岩波地球環境講座 第8巻』175-205.
- 福田正己(1999)「シベリア永久凍土地域の森林破壊と温暖化ガス」『北海道の林木育種』42, 4-9.
- 福田正己(1999)「タイガの森林火災が地球温暖化へ与える影響の研究」 食文化・科学及び地球環境科学に関する研究助成、研究紀要、12173-178, アサヒビール学術振興財団
- M. Fukuda, V. Rusakov and A. Fedorov(1999): Temperature and Methane profiles in Permafrost in Taiga region near Yakutsk. Proceedings of 7th Joint Siberian Permafrost Study between Japan and Russia, 125-131
- M. Fukuda (1999): Influence of Boreal Forest Fire in Siberian Permafrost Region to Future Global Warming. in Special Reports on the Regional Studies of North-East Eurasia and North Pacific in Hokkaido University, 85-93.
- 柿澤宏昭・山根正編著 (2003)『ロシア森林大国の内実』pp237 (株)日本林業調査会
- 福田正己(1996)『極北シベリア』481, PP194、岩波書店
- 福田正己・香内晃・高橋修平 (1997)『極地の科学』PP179、北海道大学図書刊行会 Tsuno, Y., Shibuya, M., Saito, H., Takahashi, K., Sawamoto, T., Hatano, R., Isaev, A. P., Maximov, T. C. (2001): Aboveground biomass, nitrogen and carbon contents in Larix stands in eastern Siberia. 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., Maximov, T. C. (2001): Distribution of current larch seedlings affected by forest floor vegetation in a larch stand in Neleger, Yakutsk. 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., Isaev, A. P. (2001): Characteristics of nitrogen cycling in permafrost regional ecosystems in Yakutsk, Russia. 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., Saito, H., Tsuno, Y., Takahashi, K., Isaev, A. P., Desyatkin, R. V., Maximov, T. C. (2001): Effect of forest fire on NEP in taiga soil ecosystems, near Yakutsk, Russia. Proceedings of the Ninth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 2000, 120-127.
- Shibuya, M., Sugiura, T., Takahashi, K., Sawamoto, T., Hatano, R., Cha, J. Y., Fukuyama, K., Isaev, A., Maximov, T. C. (2001): Comparison of needle mass density in the tree crowns of *Larix gmelinii* and *Larix kaempferi*. Eurasian J. For. Res. 2: 39-44.
- Ishikawa, N. K., Fukushi, Y., Yamaji, K., Tahara, S., Takahashi, K. (2001): Antimicrobial cuparene-type sesquiterpenes, Enokipodins C and D, from a mycelial culture of *Flammulina velutipes*. J. Natural Products 64:932-934
- 高橋邦秀 (2001)「北方林から地球環境問題を考える—極東ロシアを中心に—」『熱帯林業』 51:2-10
- Ishikawa, N. K., K. Yamaji, S. Tahara, Y. Fukushi, K. Takahashi (2000): Highly oxidized cuparene-type

- sesquiterpenes from a mycelial culture of *Flammulina velutipes*. *Phytochemistry* 54: 777-782
- Sawamoto, T., Hatano, R., Yajima, T., Takahashi, K., and Isaev, A. P. (2000) Soil respiration in Siberian Taiga ecosystems with different histories of forest fire. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46, 31-42
- 高橋邦秀(2000)「森は燃えている、森林火災の「功」と「罪」』『サイアス』9月号, 64-65
- Hasegawa M., Koizumi, T., K. Takahashi, M. Shibuya, R. Hatano, L.G. Kondrashov, A.P. Sapozhnikov(2000): Comparative studies of soil fauna between a felling site and an unfelling site in Khabarovsk suburbs. In G. Inoue and A. Takenaka(eds) *Proceedings of the Eighth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1999*, 104-108
- Takahashi, K., Hatano, R., Shibuya, M., Sawamoto, T., Yamamoto, G., Tsuno, Y., Isaev, A.P., Maximov, T.C. (2000): Characteristics of ground vegetation at Neleger Alas. *Proceedings of the Eighth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1999*, 77-82
- Cha, J.Y., Takahashi, K., Shibuya, M., Hatano, R., Ivanov, B.I., Isaev, A.P., Maximov, T.C., Mikhajlova, L.G. (1999): Heart rot of *Larix cajanderi* in the Siberian taiga forest near Yakutsk, Russia. *Proceedings of the Seventh Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1998*, 106-112
- 高橋邦秀(1997)『極地の科学』(共著) 131-143 北大図書刊行会
- 高橋邦秀(1989)『北海道樹木語録』(共著) 9-111 北方林業会
- 高橋邦秀(1980)『造林地の干害とその対策』(共著) 4-16, 31-57 林業科学技術振興所
- 高橋邦秀(1979)『北海道 森と林』30-72, 北海道新聞社