

## 解説

カムチャツカにおける環境ストレスと北方林の更新様式、  
そして環境問題

北海道大学・低温科学研究所

原 登志彦

## (1) オホーツク海周辺の気候とカムチャツカの北方林

日本の真北に位置するオホーツク海そしてカムチャツカを含むロシア極東は日本の気候や生物生産にも密接に関係していると考えられる。何よりも、世界自然遺産に登録されている多様で美しい自然がカムチャツカにはある。また、この地域の生態系は、地球温暖化による影響を最も受けやすいと考えられている。しかしながら、長年にわたる旧ソビエト連邦の軍事上の政策によりロシアと東欧の研究者以外にとってはこの地域の研究はほぼ不可能であった。1991年の旧ソビエト連邦の崩壊とそれに伴う1992年からのカムチャツカの対外開放によりようやくこの地域の生態系の研究も進展することになる。北海道大学低温科学研究所では、カムチャツカの氷河と水文気象の研究を1995年より開始したが、1997年からは我々の寒冷生物圏変動研究グループが中心となってカムチャツカの北方林の生態学的研究も開始した。

さて、カムチャツカにも存在する北方林とは、一般的に北緯45度から70度の地域に存在する森林のことで、約1280万平方kmの面積を有する。これは地球上の全森林面積3870万平方kmの約1/3に相当し、熱帯林(約1820万平方km)に次ぐ広大な面積である。また、北海道は北方林の南限に位置すると言え、そこには日本の全森林面積25万平方kmの1/4弱の森林が存在している(5.5万平方km)。このように広大な面積を有する北方林であるが、熱帯林の研究に比べるとまだまだその研究は少ない。本稿では、近年の環境変化と森林の変動について我々が行っているカムチャツカ北方林の研究を紹介したい。カムチャツカと北海道の間に位置するオホーツク海は、最も低緯度の季節海水域として知られている。簡単に言えば、赤道・熱帯に最も近い凍る海である。そのオホーツク海水(流氷)は過去100年で約40%減少している(青田昌秋・北海道

大学名誉教授(低温科学研究所)、現道立流氷科学センター長の研究より)。そして、オホーツク海に面する網走市の年間平均気温は過去100年で約0.6度上昇している。また、低温科学研究所の氷河グループ(白岩孝行助教授ら:現総合地球環境学研究所・助教授)の調査によれば、カムチャツカのカレイタ氷河は1960年から2000年の40年間で約450m縮小したことが判明している<sup>1)</sup>。その主な原因としては冬の降水量の減少が考えられている。

このように、オホーツク海やカムチャツカの環境は近年大きく変化しているように見える。これらすべてが地球温暖化の影響であると言うのは早計に過ぎるが、この地域の自然植生がどのように変動しているのか、またどのような影響が現れてきているのかを研究することは重要であろう。このような観点から、我々はカムチャツカ北方林の動態と環境との関係を解明すべく1997年から調査を開始した。ロシアのカムチャツカ州は面積47万2300平方km、人口38万3000人(2000年1月1日の時点)で、そのうち約半数(19万4000人)が住むのが州都ペトロパブロフスク・カムチャツキーである。我々の調査地の1つであるコズイレフスクの月平均気温は最も寒い1月が-18度、最も暑い7月で15度、そして年平均降水量は450mmである。このようなカムチャツカで我々は、氷河の縮小と植生の侵入パターン、樹木年輪と氷河コアの解析による古環境復元、北方林の更新様式の解明(森林の更新とは、森林を構成する樹木個体がそれぞれ生長、種子繁殖、枯死と世代交代を繰り返しながら森林が維持されてゆく過程のこと)、リモートセンシングを用いて近年頻発している森林火災の攪乱様式の解明、森林火災が北方林の森林更新に与える影響の解明、北方林の二酸化炭素収支の解明と温暖化影響予測モデルの開発などを行っている。

## (2) カムチャツカ北方林の更新様式と環境ストレス

カムチャツカにおける植物への環境ストレスと北方林の更新様式を明らかにするために、1997年より0.5haから1ha規模の固定調査地を合計7箇所設定し、毎年継続調査を行っている。主な調査地はカムチャツカ中央低地帯のエツとコズイレフスク近辺の森林である(図1)。エツには、共同研究のカウンターパートであるロシア科学アカデミー・カムチャツカ生態学研究所のフィールドステーションがある。まず、カムチャツカ生態学研究所の本部がある州都ペトロパブロフスク・カムチャツキーから車で約10時間かけてエツのフィールドステーションに到着する。ここでフィールド調査の準備を行い、トラックをチャーターし調査地へと向かう。ここからコズイレフスクまでは約5時間、さらに森の中を走ること約1時間で我々のコズイレフスク調査地へと到着する。ここで調査を行うときは約2週間のテント生活である(図2)。ヒグマ対策にライフル銃をもった森林管理官に同行してもらうこともある。ここでの主要な樹種は日本のカラマツの仲間である落葉針葉樹のグイマツ(*Larix gmelinii*)と北海道にも自生している常緑針葉樹のエゾマツ(*Picea jezoensis*)である。さらに、日本でもおなじみのシラカバ(*Betula platyphylla*)とポプラの仲間北海道にも自生するチョウセンヤマナラシ(又はエゾヤマナラシ)(*Populus tremula*)が混じる森が形成されている。ここに、例えば1haの調査区であれば縦100m横100mの正方形の枠をロープで張り、その中に生育しているすべての樹木に番号の付いたラベルを打ち付ける。それら各個体の樹種名を特定し、位置(調査区の1つの隅を原点としたx-y座標)を測量し、そして地面から1.3mの高さで(それよりも小さい個体では地面での)幹の周囲長とさらに樹高を測定する。このような測定を7箇所の調査地すべてにおいて、2、3年ごとに一度ずつ行っている。夏の調査で最大の敵はカとブヨの大群である。カムチャツカの夏でも晴れた日中は30度を越えることもしばしばある。その炎天下で、顔をネットですっぽりと覆い厚手の上着を着込み手袋をはめ、さらに蚊取り線香を腰につるし虫除けスプレーを全身にスプレーし、襲ってくるカとブヨの大群と戦いながら調査を続けるのである。このように苦労して取った長期にわたるデータを解析することにより、どの樹種のどの位置にあるどの大きさの個体がどの程度の速さで生長しているのか、あるいはいつ枯れてしまったのか、などといった

森林の動態を把握することが可能となる。さらに、気象観測装置を調査地に設置しているため、それらの記録から得られる気象条件の変動と合わせて解析すると、環境変動と森林動態の相互関係が明らかとなるのである。

図3の写真は、コズイレフスク調査地の1つで林齢約200年のグイマツ林である。ご覧になってお分かりのように、非常にスカスカな疎林である。ここでの幹の断面積の合計は1haあたり約25平方mである。暖温帯林や熱帯林では幹の断面積合計が60~70平方m/ha程度あるのに比べても、いかにスカスカの疎林であるかがわかる。

カムチャツカ北方林の森林更新を紹介する前に、熱帯や温帯の森林更新について説明する。図4の写真は御嶽山のトウヒ(*Picea jezoensis* var. *hondoensis*、カムチャツカや北海道のエゾマツと同じ種でその変種)、シラビソ(*Abies veitchii*)、オオシラビソ(*Abies mariesii*)からなる森林の更新様式を示している。これらの幼木は明るいギャップ(森林で大きな成木が生えておらず、上から覆いかぶさる葉が無い空所)に定着し生育しているが、暗い林冠(森林で成木が多く生え、葉が茂っている所)の下では生育できずに枯死してしまう。これは、熱帯や温帯の森林でよく見られる森林更新の様式で、「ギャップ更新」と呼ばれている。一方、カムチャツカ北方林のギャップ内および林冠下の幼木の様子を示したのが図5の写真である。このように、カムチャツカ北方林では、明るいギャップ内でエゾマツの幼木は枯死し、暗い林冠下で青々とした葉をつけ生育しているのがわかる。この傾向は、カムチャツカ北方林のもう1つの主要樹種であるグイマツでも同じである。森林の光環境と幼木の空間分布の詳しい統計解析を行い、エゾマツとグイマツの幼木はギャップでは枯死し、林冠下で生育していることが我々の研究の結果判明したのである<sup>2)</sup>。

このカムチャツカ北方林の森林更新は、熱帯や温帯でよく知られているギャップ更新とはまったく逆のパターンであり、「林冠更新」と名づける。なぜ、カムチャツカ北方林でこのような森林更新が起こるのであろうか?2004年のカムチャツカ調査ではこの謎を解くためにPAM2000と十分に充電したバッテリー1ダースを現地の調査地に持ち込みクロロフィル蛍光に関する様々な測定を行った。その結果、カムチャツカ北方林のギャップ内のエゾマツとグイマツの幼木は大きな光

傷害を受けていること（例えば早朝、昼、夕方すべて Fv/Fm が 0.5-0.6 程度）、林冠下のこれら幼木は光傷害を受けておらず（同じく、0.8）健全な光合成の活性を示していることがわかった。つまり、北方林が存在する寒冷圏特有の低温と乾燥といった気候条件のもとでは明るいギャップ内の幼木は光傷害を受け、枯死しやす

いということである。この結果、カムチャツカ北方林では林冠更新という独特な森林更新が起きていると考えられる。さて、カムチャツカ北方林の林冠下で生育する幼木であるが、その林冠を構成する大きな成木がいつまでもそこに居座っていたのでは、その下の幼木はやがては枯れてしまうこと、その幼木がさらに生

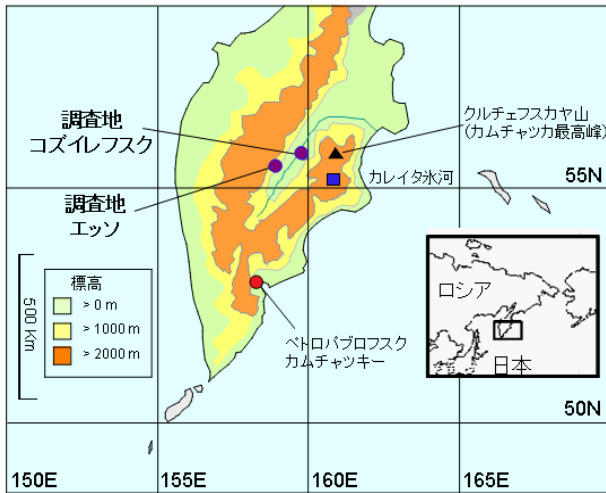


図1 北方林の研究を行っているカムチャツカの主な調査地。0.5~1 ha 規模の固定調査地が計7箇所設置してある。



図2 カムチャツカ・コズイレフスク、森林調査地でのキャンプ生活



図3 カムチャツカ・コズイレフスクの調査地。林齢約200年のグイマツの疎林。

ギャップ(葉がない空所)



ギャップ(葉がない空所)



林冠(葉が茂っている所)



林冠(葉が茂っている所)



図4 熱帯や温帯の森林で一般的なギャップ更新。御嶽山のトウヒ・シラビソ・オオシラビソ林。幼木は明るいギャップで生育し(上)、暗い林冠下では枯死する(下)。

図5 カムチャツカ・コズイレフスク調査地のエゾマツ林。幼木は明るいギャップでは枯死し(上)、暗い林冠下で生育する(下)。

長して次世代の成木へとなるためには、幼木が生きている間にその上を覆っている成木が枯れなければならないことも調査データの詳しい統計解析の結果判明した<sup>3)</sup>。このように、カムチャツカ北方林が順調に更新し森林が維持されてゆくためには、(1)幼木がギャップを避けて成木の周り、つまり林冠下に定着し、(2)その後、周りの成木の枯死のタイミングに合わせて生長する、という2つのハードルを越えなければならないのである。すなわち、カムチャツカ北方林は、熱帯林や温帯林に比べ複雑な更新様式を有し、気象条件や成木の枯死のタイミングなど微妙なバランスのもとに成立している森林であると言えよう。以上のようなカムチャツカ北方林に特有の森林更新の様式が、疎林が形成される要因のひとつであると我々は考えている(図6)。

**(3) カムチャツカ北方林の将来予測と環境問題**

このように、カムチャツカ北方林は気象条件との微妙なバランスのもとに成立している森林である。急激な気候変化が起こり、カムチャツカ北方林の環境が急変するとカムチャツカ北方林はますます疎林化し衰退してゆくのではないかと危惧される。最初に紹介したように、カムチャツカにおける近年の降水量の減少がカレイタ氷河の縮小を引き起こしていると推測されているが、降水量の減少、すなわち乾燥化はカムチャツカ北方林の林冠更新をますます加速し疎林化が進むのではないかと予測されるのである。

このような急激な気候変化のみならず、人為的な森林火災や違法伐採などでカムチャツカを含めたロシア

の北方林は荒廃しつつあるのが現状である。最後に、このような北方林の環境問題について述べたい。一年あたりの森林火災の面積は、ロシア全体で最大 5.3 万平方kmにまで達する<sup>4)</sup>。北海道の森林面積が 5.5 万平方kmであることを考えると、これは非常に大きな火災面積である。また、カムチャツカだけに限っても、森林火災面積は最大 800 平方km/年に達する(カムチャツカ森林管理局から我々が得たデータを基に算出)。ちなみに日本の森林火災面積は最大で 20 平方km/年であるので、カムチャツカだけでもいかに多くの森林が火災で毎年焼失しているかがわかる(カムチャツカの面積は日本よりもやや大きい、人口は約 1/300 である)。我々は、カムチャツカのコズイレフスク近くの森林調査地で、火災後の森林の回復過程の研究も行っている(図7)。ここでは、森林火災後約 50 年が経っているが、多くの幼木が枯死しており、小さな木がまばらに見られるに過ぎない(樹種は主にグイマツ; 後ろは火災を免れた森林で林齢約 200 年)。林齢 50 年となれば立派な森林が日本では成立する。カムチャツカ北方林ではギャップ更新ではなく林冠更新が起こっているので、森林火災後のこのような明るい空所では幼木が生育するのが非常に困難となり、森林の回復に長時間かかると考えられる。このように、カムチャツカ北方林は脆弱な森林であり、森林火災などで一度破壊されると、回復は非常に困難なものとなる。

なぜ、カムチャツカも含めロシア北方林ではこのように森林火災が頻発しているのだろうか? 例えば森にきのこ狩りに行ったとき、タバコやウォッカの空瓶

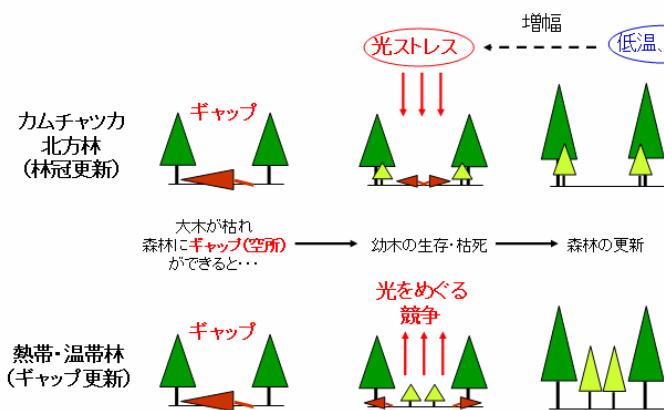


図6 カムチャツカ北方林における林冠更新と熱帯・温帯林のギャップ更新。



図7 カムチャツカ・コズイレフスクの森林火災後約 50 年のグイマツ林。多くの幼木が明るい空所で枯死している (○)。

のポイ捨てなど、人為的なものが森林火災の原因の約 8 割を占めていると言われている。北方林は非常に乾燥しているので（我々のコズイレフスク森林調査地では、年降水量は 450mm 程度である）、タバコのポイ捨てで簡単に火を出してしまう。事実、調査地のキャンプで料理用に火をおこすのは大変簡単である。また、捨てられたウォッカの空瓶の底が虫眼鏡の凸レンズの役割をして、太陽の光で簡単に火を出してしまうという話もカムチャツカの当局者から聞いた。さらに、森林火災への対策費用の大幅削減も森林火災の頻発に拍車をかけている。ハバロフスクの例では、人員が 1600 人（1988 年）から 420 人（1998 年）に、監視用飛行機が 60 機（1988 年）から 8 機（1998 年）に削減されている<sup>4)</sup>。また、森林の違法伐採も北方林の荒廃に拍車をかけており、違法伐採者のキャンプの火の不始末などが森林火災をさらに引き起こしているという話も聞く。ロシア極東からの木材の輸出量は年間約 600 万立方 m であるが、2000 年ごろまではそのうちの約 8 割が日本へ輸出されていた<sup>4)</sup>。最近では、5 割以上が中国へ輸出されている。その中には違法伐採の木材も多いはずである（森林管理局が策定する毎年の伐採許可量よりも関税を通過する木材の量のほうが多い）。また、日本で消費される割り箸の約 9 割は中国からの輸入である。

（2）で述べたように、北方林の動態と気候変化の関係については、植物生態学、植物生理学、気象学などの問題として解明できる。しかしながら、その北方林を取り巻く環境問題は、以上のような自然科学だけでは解決は不可能である。これは、政治、経済、教育、そして人間の価値観、人生観や文化をも含めた非常に複雑な問題なのである。例えば、ロシア極東の森林荒廃を招いている違法伐採の問題には、日本の林業の弱体化も間接的に関係しているのである。北方林のみならず様々な場所での環境問題の解決のためには、以上のような様々な分野からの総合的な取り組みが必要となるであろうが、基本的には環境問題は我々人間一人一人の問題だということを認識しなければならない。カムチャツカ調査のキャンプ地に毎年来るたびに Приехали домой（我が家に帰ってきた！）と心から言えるよう美しい自然がいつまでも残ることを祈りたい。

## 参考文献

1. Yamaguchi, S., Naruse, R., Sugiyama, S., Matsumoto, T., and Muravyev, Y. D. (2003) Initial investigations of dynamics of the maritime Koryto glacier, Kamchatka, Russia. *Journal of Glaciology* **49**, 173-178.
2. Homma, K., Takahashi, K., Hara, T., Vetrova, V. P., and Florenzev, S. (2003) Regeneration processes of a boreal forest in Kamchatka with special reference to the contribution of sprouting to population maintenance. *Plant Ecology* **166**, 25-35.
3. Takahashi, K., Homma, K., Vetrova, V. P., Florenzev, S., and Hara, T. (2001) Stand structure and regeneration in a Kamchatka mixed boreal forest. *Journal of Vegetation Science* **12**, 627-634.
4. 柿澤宏昭、山根正伸（編著）（2003）「ロシア 森林大国の内実」 日本林業調査会