

北方林を再認識する

—永久凍土の上にも森林がある—

松浦 陽次郎

1. 教科書は間違っていた!?

北方林、あるいは亜寒帯林について一般的に持たれているイメージは、高校地理で使う地図帳や資料集に描かれた、北半球の高緯度地域でツンドラ地帯の南側をベルト状にぐるりと取り巻くドーナツリング、というイメージだろう。また北方林はしばしばタイガと表記されたり、タイガ=常緑針葉樹林は鬱蒼としたジメジメの森林と考えられたりしている。これらの記述は、間違っていないが正しいとも言えない。さらに、針葉樹林下に発達する土壌はポドゾル、と灰色系の色に塗られているのも、同種の誤謬だ。いずれも古い情報が修正されることなく流布し、常識とされてしまっている。困った事に、高校までに使用する地図帳や資料集に掲載されている図には、土壌学の最新分類情報も植生区分の修正情報も、盛り込まれていることはまず無い。教科書の出版社に事情を尋ねたところ、もし最新の知識を教科書に載せて受験生がそのように解答すれば、入試問題の答としては不正解にされてしまうので変更できないという。入試問題を作成する大学側の、知的レベルが更新・修正されていない怠慢のなせる悲喜劇である。

さて、永久凍土地帯はツンドラ植生である、という植物生態学の教科書によく見られる記述が正しいとすれば、東西 3,000 km 南北 1,000 km あまりの広がりを持つ北東ユーラシアのカラマツ林地帯は、「広大な例外地域」になってしまう。むしろ「永久

凍土地帯はツンドラ植生」という対応のさせ方に問題がある、と考えた方が良さそうである。永久凍土の分布域とツンドラ植生分布域が一致する地域、言い換えると「永久凍土の連続分布南限と森林分布の北限が一致する地域」は、北米とヨーロッパ北部であり、北東ユーラシアの広域（中央シベリアから東シベリア）では、そのような一致はどこにも見られず、永久凍土の連続分布域に森林が成立しているのだ。

2. 永久凍土の成因は？

地球上の代表的な景観を形作る植生の分布、熱帯林、乾燥灌木林、落葉広葉樹林、常緑針葉樹林などのように独特の景観で区分できる植生の分布は、緯度と現在の気候条件（年間降水量と年平均気温）でその分布をほぼ説明できる。しかし、永久凍土の分布は緯度や現在の気候条件では説明できない。永久凍土の成因は過去の気候条件、過去の氷河期の大陸氷床分布が鍵となっている。

北米大陸とヨーロッパでは、かつて大規模な大陸氷床が拡大した氷河期に、その地域が氷床下にあつたため、陸地はいわば氷床という断熱材で覆われたので極寒の大気にはさらされなかった。そして北米大陸とヨーロッパの大陸氷床が縮小・消滅した後、これらの地域には、約一万年前から現在に至る気候条件下で北方林とツンドラ植生の帯状分布が形成され、最近 1 万年間の寒冷気候でできた永久凍土の連続分布域南限と、森林北限がおおよそ一致するベル

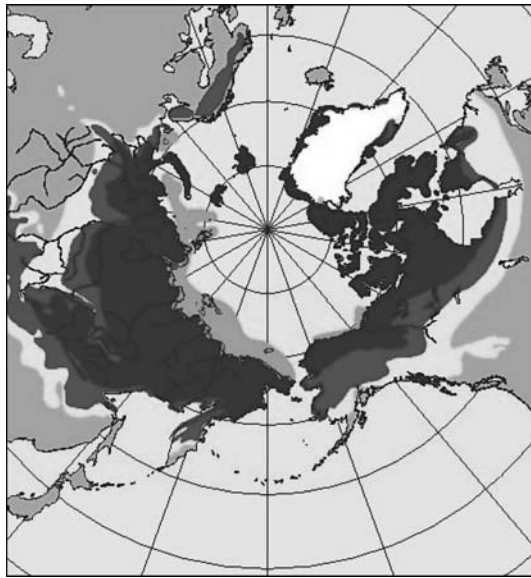


図 1 周極域の永久凍土の分布

暗色の地域は永久凍土の連続分布域。その南側のやや濃い色で塗られた地域は不連続分布域。さらに南側の白い地域は点状分布域。北極海の沿岸部の薄く塗られた地域は海底の沿岸凍土を示す。

トができあがった。一方、山岳地域の一部だけに氷河が形成されただけで、大規模な大陸氷床が発達しなかった北東ユーラシアやアラスカ内陸部では、極寒の大気さらされたむき出しの地表面から地中深くまで凍結が及び、氷期に間に永久凍土が形成された。間氷期には河川の堆積作用があり、再び氷期には地面が冷やされて地下水が発達し、というサイクルをくり返して地中深くまで及ぶ永久凍土（場所によっては地下700mまでが0度の堆積物質）ができあがった。氷河が有った場所に凍土は形成されず、氷河が無かった場所に凍土が形成されたのである（図1）。

このように、北東ユーラシアと北米・ヨーロッパでは、全く違う数万年間の地史の違いがあり、永久凍土の発達と分布に大きな違いが生じた。北東ユーラシアでは過去1万年間に、寒冷気候下では適地に逃げ込んでいた樹種が分布域を拡大し、現在のような植生分布となったため、永久凍土の連続分布南限と森林北限が一致するような現象は見られず、永久

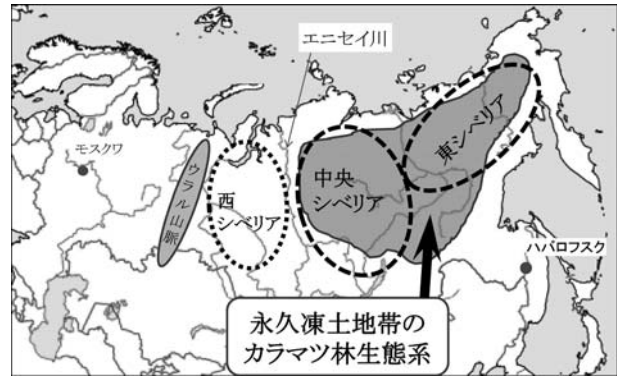


図 2 永久凍土連続分布域のカラマツ林生態系

凍土の連続分布域にカラマツの広大な森林が広がっている。

3. 永久凍土の上に成立するカラマツ林生態系

落葉針葉樹であるカラマツが優占種になっている理由は、極度の大陸性気候（酷暑・極寒・寡雨）という立地条件には落葉という生活型が有利であるためと考えられる。北東ユーラシアに注目すると、エニセイ川を境にして、西には常緑針葉樹（主にマツとトウヒ）と落葉広葉樹（主にカンバとポプラ）の優占する森林が分布し、エニセイ川東岸からロシア東端のチュコト半島に至る地域には落葉針葉樹のカラマツが優占する森林である（図2、写真1）。ロシアの研究者によると、中央シベリアと東シベリアの永久凍土地帯に分布するカラマツは2種類に分類されている。東経125度付近が交雑域と見られるが、中央シベリアに分布する *Larix gmelinii*、そしてレナ川流域から東シベリアに分布する *Larix cajanderi* の2種類である。どちらの地域も北緯58度付近から北に、連続分布の永久凍土地帯が広がっている。ロシア科学アカデミー・スカチェフ森林研究所（クラスノヤルスク市）の故アバイモフ博士（1948～2006）の長年にわたるカラマツの球果とその変異・分布の研究によると、両種の球果に見られる差異は森林火災後の球果の開き方にあるようだ。いずれにせよ、これら2種のカラマツは、森林火災

に適応した種子散布の特性を持つ。

北方林では一般に、数十年から百数十年のサイクルで、大規模森林火災が発生して林分の一斉更新が起こっている。火災後の林地では林床の堆積有機物層の燃え方の違いで、稚樹の更新に微妙な違いが生じるという。また、森林火災後に現地調査をするとまず目を惹くのは、あたり一面がヤナギラン（アカバナ科）の花のピンク色で染まった光景だろう。火災後にすみやかにヤナギランが優占するのは、アラスカ、カナダ、ヨーロッパ、シベリア、周極域で共通の植生遷移である。林床をよく見るとゼニゴケがびっしりはえていることが多い。これも周極域に共通する火災後の林床植生メンバーだ。

森林火災が永久凍土地帯で発生すると、非凍土地域では起こらない様々な現象が、森林更新の遷移過程で見られる。永久凍土の性質を左右する要素には、これまで述べたような分布のしかた（連続分布する、不連続に分布する、点状に分布する）の他に、凍土中に含まれる氷の割合、すなわち含水率という重要な要素がある。林床の堆積有機物は、地表面の熱を遮断する断熱材の役目を持っているので、その有機物層が火災で焼失した後、地表数十 cm から数 m に位置する凍土面に伝わる熱量が増加し、永久凍土の融解が加速していく。含水率の高い永久凍土が融解すると、氷が融けた泥水状態となり、フラ

イパン状の凹地に水が溜まった状態（サーモカルスト）が形成される。これは東シベリアのヤクーツク地方等に典型的な地形として見られるものだ（写真2）。ヤクーツクのような大陸性気候が極端に厳しい地域では、サーモカルストの池沼面が蒸発する際に、表層土壤に塩類集積を引き起こすため、干上がった所は強いアルカリ性に土壤 pH が傾いている。そのような土壤ではもともと生育していたカラマツの実生が育つことはまず無い。含水率が低い場合にはこのような地形変化には至らないが、斜面上で火災が起こると、融解した凍土面が泥水状になり、さらに下層の凍結面の上をすべり落ちる崩壊現象が起きることもある（写真3）。養分が蓄積する表層土壤の崩壊は、ギリギリの養分条件で生育しているカラマツ林の物質循環的な側面からも見のがすことのできない現象だ。

4. 凍土面の上下移動

私たちが永久凍土地帯のカラマツ林で、地上部の現存量、地下部の現存量、土壤の炭素蓄積量などを推定するための現地調査している時、いつも不思議に感じたことがある。それは、鉦質土層の数十 cm から 1 m で出現する凍土面、その凍土面より下に根系が埋もれている様子だ。活動層とよばれている、夏季に融解する凍土面までの土層は、その年の気温



写真 1 森林火災から約 100 年を経た中央シベリアのカラマツ林生態系（北緯 64 度東経 100 度）



写真 2 ヤクーツク周辺のサーモカルスト

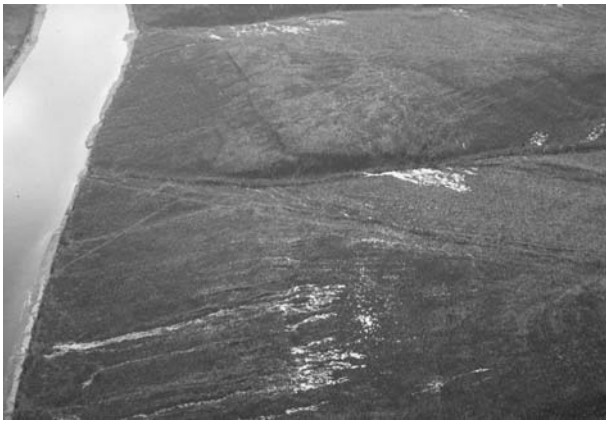


写真 3 森林火災後の斜面で発生した凍土融解による表土の移動

や降水量の影響で多少は変動するときいていたが、かなり太い根系の部分が凍土の中に凍結パックされているのだ。多くの根系は水平方向にタコ足状に伸びている。堆積有機物層と鈹質土層の境目や鈹質土層の最表層から 30 cm あたりの深さまでにほとんどの根系が分布しているが、主根が凍土の中にパックされてしまっている様子は実に奇妙に感じた（写真 4）。地上部と地下部の比率が 1:1 に近いこと、側根伸長のパターンについては、精力的に地下部現存量の調査に関わってこられた梶本さん（森林総研・植物生態研究領域）が詳細な研究をまとめられていて、2012 年春の日本森林学会賞を受賞されている。

並行して森林の現存量と林分密度の関係を調べていたが、大沢さん（当時：森林総研北海道支所、現：京大大学院教授）がやはり奇妙な現象に気づいていた。枯死している個体は必ずしも樹勢の弱っていきそうな小さい個体とは限らず、大きな個体が樹幹の先端部から葉を落とし、枯死に至っているのである。共同研究の相手側スカチュフ森林研究所の副所長であるアバイモフ氏にこれらの現象を話すと、ロシア語の専門用語をゆっくりと英語に置き換えながら話してくれた。その時系列の変化はこうだ。①火災後の数年間で永久凍土面は 1 m 以上も低下してしまう（火災後の凍土面沈下）、②林床には多数のカラマツが更新して密生状態になる（一斉更新の開



写真 4 永久凍土面まで掘り下げた根系の様子

始）、③火災後 20～30 年を経過すると林床の蘚苔地衣類とツツジ科低木などが回復して再び林床の断熱効果が回復する（林床回復で再び断熱効果）、④沈下した凍土面が再び凍結面を上昇させる（凍土面再上昇）、⑤深くまで融解した活動層に伸びていた根系の一部は再上昇した凍土面に凍結パックされてしまう（根系下部の凍結パック）、という時系列変化だ。

大沢さんの解析結果によると、永久凍土地帯のカラマツ林では、植物生態学の基本ともいえる自然間引きの法則の式は、更新から 20 年生あたりまでは成り立つが、林齢が増して 100 年を越すと成り立たなくなるという。イレギュラーな枯死パターンが凍土面再上昇で引き起こされているためだと考えられる。大きな個体ほど大きな根系を伸ばしているため、凍土面再上昇のダメージも大きいわけだ。中央シベリア北緯 64 度の丸太小屋で測定結果をあれこれ議論していた私たちは、大きな個体でさえも枯死してしまい自然間引きの 3/2 乗則が成り立たなくなる現象を、「凍土面の再上昇によるバブル崩壊仮説」と名付けた。永久凍土地帯の森林と非凍土地帯の森林を比較して、時系列の森林構造の解析手法を大沢さんは考案され、現在カナダなどの周極域でも研究を展開されている。

5. 周極域の森林生態系研究の今後

100 年経過しても平均胸高直径が 7～8 cm 程度に

成長するのがやっという周極域の森林生態系で、大規模な林業的な施業管理が成り立つとは考えにくい。林業を展開して持続的な森林生態系の維持と管理が成り立つ地域はごく一部にすぎない。多くの北方林は一旦火災が発生すれば消火はおろかアクセスすらもままならない場所である。森林の役割としてにわかに注目されている炭素の貯留という側面から、森林火災の頻度と規模、森林構造発達の時系列変化と炭素貯留量の関係、陸域生態系と大気との関係などに関する研究が進められている。森林総研の中井さんたちが、中央シベリアの永久凍土地帯の約100年生のカラマツ林で二酸化炭素フラックスの観測をした結果では、わずかながら二酸化炭素の吸収側に機能していることがわかっている。広大な面積を持つカラマツ林、さらに周極域の様々なタイプの森林生態系の炭素収支推定は一筋縄ではいかないが、重要な知見が各地で得られつつある。

2011年度から5カ年にわたり、文科省の事業「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」の中で、「北極気候変動事業」が始まった。この研究プ

ロジェクトでは、北極域の陸域生態系、特に森林生態系がどのように気候変動に影響され、どのように大気に影響を与えるか等の解明が目的のひとつになっている。1930～40年代に北極域では近年に匹敵する急激な温暖化が起こっていたが、そのメカニズムは不明なままでどのモデルでも再現できていないという。年輪という記録を残している北方林生態系は、陸域への影響と大気への影響を解く鍵を持っているかもしれない。フィンランド、エストニア、中央シベリア、アラスカ、カナダに及ぶ周極域の森林生態系研究が展開されようとしている。

〔参考文献〕 Abaimov, A.P. *et al.* (1998) Variability and ecology of Siberian larch species. Swedish University of Agricultural Sciences, Reports, No.43, 123pp. 木下誠一 (1980) 永久凍土 古今書院。吉良竜夫 (1952) 落葉針葉樹林の生態学的位置づけ。最近刊行された「吉良竜夫著作集④植物の地理的分布」に再録されている。Osawa 他 編著 (2010) Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests. Ecological Studies 209, Springer, 502pp.