

フィンランドとエストニアの北方林 —永久凍土が無い場所の話—

松 浦 陽次郎

1. はじめに

筆者は1993年からおよそ20年間、永久凍土が連続して分布する中央シベリアと東シベリアで、落葉針葉樹であるカラマツが優占する森林生態系の調査研究に関わってきた。1999年からは北米のアラスカ内陸部やカナダ北西準州の、永久凍土が不連続分布または点状にしか分布しない地域で、トウヒやマツの常緑針葉樹林にポプラとカンバが混成する生態系の調査研究を続ける機会にも恵まれた。これらの現地調査で実感したことは、永久凍土地帯はツンドラ植生のはずなのに、永久凍土の上に森林は厳然として存在すること、タイガと呼ばれる亜寒帯林（北方林）は暗くてジメジメし、その土壌はポドゾルという教科書に必ず登場する記述は、いったいどここの森林の話だという素朴な疑問だった。そのため、前報¹⁾ではそのような永久凍土上の北方林について記した。

しかし目を一転して北欧や北米の東岸地域に向けると、年降水量は600ミリを越え、北緯60度を越える高緯度地域でも、森林分布域の年平均気温はプラスなのである。このような地域の森林分布図、土壌図、凍土の分布図を重ねて眺めると、確かに常緑針葉樹林地帯はポドゾルの分布域で、永久凍土の上に森林は分布していない。高校までの地理の知識と、多くの植物生態学の教科書に書かれていることと矛盾しないのだ。残念ながら、これらの地域の森林を訪れる機会にはこれまで恵まれなかった。

2. 氷床に削られた岩盤の町、ヘルシンキ

2012年になって、文科省の「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」事業の北極気候変動研究に関わることになり、北欧の森林を訪れる機会がやってきた。フィンランド森林研究所（METLA）とヘルシンキ大学、またエストニアの首都タリンのタリン大学・生態学研究所の研究者と共同研究の相談と現地調査をすることになった。

フィンランド共和国の首都、ヘルシンキ・ヴァンタ空港に航空機が着陸する直前に見える眼下の風景は、どこかで見たことのある風景だった。それは、カナダ北西準州のグレート・スレーブ湖の北岸に位置するイエローナイフに着陸するときに見た風景だった。北米西部と北欧で場所は違うが、どちらの地域も過去に大陸氷床が発達し、その氷床の削剥作用を受けて先カンブリアの岩盤がむき出しになっている点が共通している。過去に厚い氷床による削剥で穿たれた岩盤と無数の池沼が点在し（写真1）、岩盤の亀裂の窪みに有機質土壌が形成され、森林が成立している。ヴァンタ空港からフィンランド森林研究所（METLA）がある隣町のティクリラまで車で移動する際に、岩盤を穿って建設したハイウェイであることが見て取れた。

3. 林業国の美しい森林

大雑把にとらえると、フィンランドの南半分は氷食された岩盤と泥炭湿地の池沼群に森林のモザイク



写真 1 ヨエンスー付近の氷河に削られた岩盤と湖沼を取り巻く森林の様子 (Koli 国立公園)

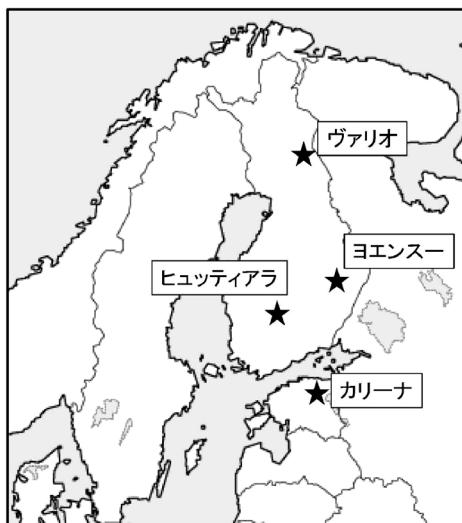


図 1 調査地の位置

が広がっている。中北部のラップランドと呼ばれる地域は標高が高くなり、氷河堆積物や削剥後に残った岩帯が見られ、森林と泥炭湿地がモザイク状を呈している。最北部には森林は成立せず、ツンドラ植生が広がる。

ヘルシンキから北西に向かって、木材加工などの中心都市タンペレを目指した。タンペレの北、オリベシという町からさらに進んで、ヘルシンキ大学の立派な演習林があるヒュッティアラ（およそ北緯 62 度-東経 25 度）に到着した。沿道に見られたヨーロッパアカマツ、トウヒ、カンバの森林は、見るからに本数管理がキチンとされた、美しい人工林だった。



写真 2 ヒュッティアラのヨーロッパアカマツ林にそびえる 120m タワー

ヒュッティアラは、ヘルシンキ大学の演習林としてだけでなく、ヨーロッパのフラックス研究、炭素研究の中核的な拠点になっている。我々を案内してくれたヘルシンキ大学の Timo Vesala 教授は、ユーロフラックス、ユーロカーボンのリーダーを務める超多忙な研究者である。ここでは、地表にむき出しになった岩盤上に 120 メートルの観測タワーが建てられ（写真 2）、ヨーロッパアカマツの林内には、VOC（揮発性有機化合物）などの微量ガス分析装置を備えた木造の観測棟が幾つも立てられている。ちなみに、木造の家をフィンランド語では「プー・タロ」と言う。

ヒュッティアラではヘルシンキ大学と METLA が共同研究を進めていて、材積成長と施業履歴などが 1920 年代から詳細に記録されたヨーロッパアカマツの高齢林分がある。除伐・間伐という人為影響を無視することはできないが、このような高齢人工林の測定記録を用いて、周極域で 1930 年代から 1960 年代にかけて起こった急激な温暖化と寒冷化が、北欧ではどのように森林構造の変化に影響したかが検出できるのではないかと考えている。日本側

では、この研究は京都大学の大澤教授が中心になって進めている。

4. ラップランドの入り口、ヴァリオ特別自然保護区

2013 年と 2014 年には、フィンランドの北東部、ロシア国境近くのヴァリオ特別自然保護区（およそ北緯 68 度、東経 29 度）の森林を調査する機会を得た。ここは、森林の北限に近いラップランド東部に位置する山地である。ヘルシンキ大学の森林学部ホームページ（下記の URL）の中に、この保護区に関する情報を見ることができる。＜<http://www.helsinki.fi/forestsciences/varrio/>>。

特別自然保護区のため、車の乗り入れはできない。かなり立派な演習林の宿泊棟が建てられているが、車の乗り入れ可能な終点から、およそ 8km のトレイルを歩かなければならない。もちろん、大きなザックなどの荷物は、荷車を牽引した ATV バギーで技官の人が運搬してくれるので、我々はデイパックを各自背負って歩くだけですむ。ヨーロッパアカマツやトウヒのそびえる林の中を、時には湿地帯の木道をたどること約 2 時間、木造のしっかりした造りの宿泊棟が現れる（写真 3）。宿泊棟の眼下には小さな池があり、そばにはサウナ専用の小屋が立てられていて、いかにもフィンランドらしい。

特別自然保護区内の調査地に行くには、徒歩しか手段はない。所々に岩塊の急斜面がみられ、氷河堆積物の巨礫の上にわずかな土壌が乗っただけであるのが見てとれる。どこを掘っても大小の礫がシャベルにあたり、30 センチ掘るだけでもたいへんな労力がかかる。30 センチほど掘って断面を観察すると、灰白色の溶脱層と赤みの強い褐色をした鉄の集積層をあわせもつ典型的なポドゾル土壌だった（写真 4）。ヘルシンキ大学の Jukka Pumpanen 教授は、このヴァリオを拠点にして二酸化炭素のフラックス収支観測、土壌呼吸、有機物分解などの多岐にわたる研究を展開しているが、大学院生を引き連れてのヘルシンキとの往復だけでもたいへんな様子だった。宿泊棟から片道 3 キロ離れたプロットま



写真 3 ヴァリオの特別自然保護区の宿泊棟へのトレイル

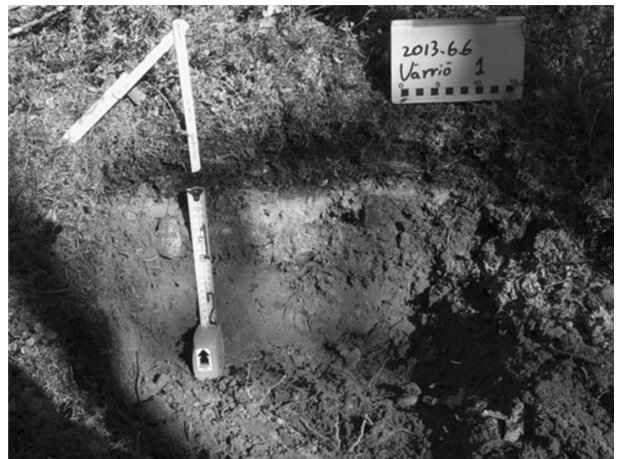


写真 4 典型的なポドゾル土壌の断面

での往復、またフィンランドとロシア国境近くの調査地まで片道 10 キロの往復など、5 日間の滞在中にいろいろと見せてもらったが、およそ 70 キロを歩いたことになる。

およそ北緯 68 度に位置しているヴァリオだが、年降水量は 700 ミリ程度もあり、厳冬期の最低気温もマイナス 30 度程度とのことだ。ヨーロッパアカマツやトウヒの樹齢 100～150 年を経た林分の樹高はけっこう高く、25m 前後に達していた。全体に林分の密度が低い（1ha あたり 400 本程度）のは、地表火が頻発することや土層中に大量の巨礫が存在していることが影響しているかもしれないが、どのような森林発達過程をたどっているのか、興味ある



写真 5 樹齢約 100～150 年のヨーロッパアカマツ林
(北緯 68 度)



写真 6 エストニア東部の泥炭湿地に成立したヨーロッパアカマツ林

ところである (写真 5)。

5. 泥炭の上に成立したヨーロッパアカマツ林

永久凍土の上には森林が存在しない周極域の森林で、実際に調査して印象深かったのは、フィンランド東部のヨエンスー周辺やエストニア東部で見た、泥炭の上に成立したヨーロッパアカマツ林である。それまで調査してきた永久凍土分布域では年降水量が 200～300 ミリ程度の森林地帯で、たとえばアラスカ内陸部の湿地に生えたトウヒの矮性林などは目にしていた。ワタスゲの谷地坊主が形成されている湿地でも 30 センチ掘れば鉍質土壌が出てくる場合がほとんどで、厳密には有機質土壌には分類されない。ところが、エストニア東部の平地には、至る所に泥炭湿地が広がり、樹高が 20 メートルに達するヨーロッパアカマツ林が成立していた (写真 6)。

エストニア東部の泥炭湿地が広がるカリナ (北緯 59 度、東経 27 度) に成立したヨーロッパアカマツ林の林床は、蘚類と、コケモモやブルーベリーなどツツジ科低木で被われ、足もとが多少フカフカしていると感じる程度だが、土壌断面を掘ってみると、深さ 1 メートルを越えても鉍質土壌は現れず、葉の組織が識別できる植物遺体が堆積していた (写真 7a と 7b)。現地には同行してくれた、エストニアの



写真 7a 泥炭土壌の断面。深さ約 40 cm を境にして色調が変化するの、おもな植物遺体が、下部のイネ科草本から上部ではミズゴケ類が多くなるためである。

タリン大学・生態学研究所で花粉分析・古環境復元を研究している杉田さんによると、氷床が融解・消滅後の約 8000 年前から、バルト海に面したエストニアのほとんどの地域で陸面上昇が始まったらしい。緯度が高い割には暖流の影響で降水量が多く、冬の寒さも大陸に比べればマイルドなため²⁾、過去



写真 7b 断面上部の堆積有機物（左）と、断面下部の堆積物（右）の色調の違い。植物組織がはっきりわかる。

（断面の下部）にはイネ科の高茎草本の湿地が形成されたのではなかろうか。

北欧諸国では堆積物の花粉分析研究が盛んで、各地域で堆積物の年代決定をしながら植生分布の変遷モデルの研究が行われている。泥炭湿地の形成過程と、現在の北方林構成樹種の分布域拡大/縮小などに関する知見は、今後の気候変動や周極域の炭素収支変化に役立つだろう。

6. 海洋性気候と大陸性気候

永久凍土が森林地帯には分布しない北欧地域を実際に訪れてみて、まず感じたことは森林の樹高が大きい、ということだった。永久凍土連続分布域である東シベリアや中央シベリアでは、約 100 年を経たカラマツ林の平均胸高直径が 6~7 センチ、平均樹高は 4~5 m というサイズだ。ヤクーツクのカラマツ林のような例外的に大きな現存量を持つカラマツ林も存在するが、ほとんどの永久凍土地帯のカラマツ林の地上部は貧弱である。アラスカ内陸部のトウヒ林、カナダ北西準州最北部のマッケンジー川下流部イヌヴィク周辺のトウヒ林も、森林火災後 100 年を経過して樹高は 10 メートルにも満たない。

それらの地域に比べると、非凍土地帯の森林は、森林火災後 100 年を経過した林分で比較すると、直

径も樹高も格段に大きいといえる。北欧や北米東岸のように、森林の下に凍土が存在しない地域では、根圏は極端な低温にさらされることは無く、なによりも凍った土の中に根系が取り込まれるような現象は起こらない。これは凍土上の森林生態系と大きく異なるポイントだ。

過去の寒冷期の陸面で起こった凍土の形成要因は、巨大な氷床を作り出す水分供給の有無と関わっている。高緯度まで暖流が流れる大西洋では水分供給が多いので多量の降雪がもたらされて氷床拡大につながる。分厚い氷床に被われた地面はそれ以上冷やされることが無いので凍土形成には至らない。一方、大陸内部の乾燥地域では水分供給が少なく、巨大な氷床発達には至らなかった地域では、むき出しの地面が冷やされて凍土形成につながった。こうしてみると、周極域の主要な樹種の分布は現在の気候で決まっているといえるが、永久凍土の分布は過去の気候で決まっていることがわかる。周極域の森林生態系を一様なドーナツリングで考えると、この違いがわからなくなってしまうのだ。

冒頭に記述した、教科書的な北方林のイメージは、大陸性気候よりも海洋性気候の要素のまさる地域に成立した常緑針葉樹林優占の場所のことで、しかも永久凍土が形成されることの無かった大陸氷床下に位置する地域のことだったのだ³⁾。周極域の気候変動と森林生態系への影響を検出するための現地調査を行っているが、調査地が持っている特徴はもちろん、気候条件だけでなく地史的な履歴や他地域との違いについて、正しい情報の整理と理解をすることの重要性に、あらためて気づかされた北欧の森林調査であった。

〔引用文献〕 1) 松浦陽次郎. 2012. 北方林を再認識する—永久凍土の上にも森林がある—。海外の森林と林業 No. 85, 27-31. 2) Tuhkanen, S. 1984. A circumboreal system of climate-phytogeographical regions. *Acta Botanica Fennica*, 127 : 1-50. 3) Ahti, T. *et al.* 1968. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. *Acta Botanica Fennica*, 5 : 169-211.