

最終氷期以後の気候変動に対するシベリア永久凍土帯の応答

Response of Siberian Permafrost to Climate Change after Last Glacial Maximum

末吉 哲雄[1], 浜野 洋三[2]

Tetsuo Sueyoshi[1], Yozo Hamano[2]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 東大・理・地球惑星物理

[1] DEPP, Univ. of Tokyo, [2] Dept. Earth & Planetary Physics, Univ. of Tokyo

シベリア地域は深く、広範囲に永久凍土層が分布している。

これは最終氷期に氷床によって覆われなかったため強く地表面冷却を受けたことに原因を求めるのが一般的である。現在の分布は年平均気温0℃線よりも南に張り出しており、凍土の融解が今も継続しており、熱的に不安定な状態にあると解釈される。

計算によると、熱の伝導が地下400m程度に達するのに1万年ほどで十分であり、この解釈にはやや疑問が残るが、いまだ定量的な議論を欠いている。

本研究は、このような凍土の安定性に関して、より定量的な議論を行うべく、現実に行われているデータを考慮に入れて、最終氷期以降の気候変動による、凍土環境の変動を推測するものである。

高緯度地域においては、冬季の冷却を長く強く受け、夏季の融解期が相対的に短いことによって、夏季においても融けきらない永久凍土層が形成される。

凍土帯は夏季には表層が融解し(「活動層」)、湿潤な地表面環境を形成する一方、冬季には凍結によって蒸発散可能な土壌水分はほぼゼロになる。このように土壌水分を介して大気の状態に対して大きな影響を与えらるるなど、最近の研究により、古気候のモデリングの立場からも永久凍土は境界条件として重要な意味を持つことが認識されつつある。

永久凍土の分布は、単純には地表面の温度と地下からの熱流量、土壌の熱物性によって決まるといえる。ただし、地表面の温度変動は伝導によって地中の温度分布に影響を与えるため、そのプロセスの応答時間は長く、現在の分布は、過去の気候変動の履歴を反映して決定されることになる。

具体的には、現在シベリア地域は地球上で最も深く、広範囲に永久凍土層が分布しているが、これは最終氷期からの気候変動を反映した、遺存的な永久凍土であると考えられている。

すなわち、シベリアが最終氷期に氷床によって覆われなかったことにより、氷床の被覆がなかったために強く地表面冷却を受け、例外的に地下数百mの深さまで永久凍土が発達したことに原因を求めるのが一般的である。

また、シベリア永久凍土の分布においては、その南限が現在の年平均気温0℃線よりもはるかに南に張り出した分布を示している点が特徴的である。

すなわちこれは、最終氷期以後に温暖化した気候条件により、凍土の融解が今も継続しており、現在の凍土層は今も熱的に不安定な状態にあると解釈されることになる。

本研究は、現在のシベリア永久凍土分布の熱的な安定性を評価し、過去の履歴をどの程度反映しているのかを一次元の土壌モデルを用いて明らかにしようとするものである。

土壌は連続した媒体であり、地表面の土壌水分・温度などの物理量は地下の状態に左右される。一般に土壌の透水係数は、凍結によって大きく低下することが知られており、地下に凍結層があるか否かが地表付近での土壌水分の挙動に影響してくることが予想される。さらに、土壌内では凍結の際に水分移動を生じることが知られている。従って、水分の浸透・拡散と合わせて土壌の凍結・融解をも再現するモデルの構築が必要となる。

地表面温度、土壌水分といった境界条件に対する応答を調べるために、まずは一次元モデルによって考察を行う。凍土の安定性を議論する上では、一次元モデルは十分に有用であると考えられる。

境界条件として、アイスコア解析などから得られた最終氷期以後の古気温変動を与え、土壌凍結の進行と、その後の融解過程を計算した。凍結・融解の進行と実現される温度分布は、土壌の熱物性値・土壌水分量・地下の熱流量といった条件によって変化するが、本研究では、現実にシベリアのフィールド観測から得られた、妥当と思われるパラメータを与えて計算を実行した。

このモデルを用いた解析からは、地表面での温度上昇が起きた場合の影響が地下 400m の温度分布に影響を与えるためには高々 1 万年ほどで十分であり、氷期から間氷期への遷移に伴う昇温の効果は地中に十分に伝達されているという結果が得られた。

このことから、南に張り出した現在の凍土分布を最終氷期の名残のみから説明するのは困難があると思われる。

そこで発表では、地表面の境界条件となる地温のデータと、凍土下面の境界条件となる熱流量データの解析した結果も合わせて紹介し、シベリア南部地域の凍土分布の解釈を行う。