

学 位 論 文 題 名

Thermokarst formation and vegetation history inferred
from pollen and charcoal records in central Yakutia,
eastern Siberia

(東シベリア・中央ヤクーチアにおける花粉と炭化片記録から推察される
サーモカルスト形成と植生変遷)

学位論文内容の要旨

今後予想される気候変動による永久凍土地帯の環境変化を理解するためには、過去の気候と凍土や植生の関係を理解することが重要である。東シベリアの中央ヤクーチアには、アラスと呼ばれる、草原の広がった凹地が多数存在する。これらの地形は、過去の永久凍土表面の熱攪乱によって地下氷の融解を伴う地盤沈下（サーモカルスト現象）によって引き起こされたと考えられており、一旦形成されると、凍土中に閉じこめられた塩類の集積をもたらすため、森林の回復が困難である。本研究では、アラス堆積物および湖底堆積物中に含まれる、大型植物遺体の年代測定や花粉・炭化片のなどの分析を行い、それらの結果からサーモカルストの発生からアラスの形成に至るまでの変遷史および植生・森林火災史を明らかにした。

サーモカルスト現象による地盤沈下後に堆積したと考えられる木片の年代は、サーモカルスト湖中心部および湖岸部いずれも完新世初期の値（11500-8500 cal BP）を示した。また、地域的に離れた複数のアラスでも完新世初期の値を示し、中央ヤクーチアにおけるサーモカルストの発生は、これまで考えられていた完新世中期の温暖期ではなく、完新世初期に同時に形成されはじめたことが示唆された。

アラス堆積物の花粉分析の結果、完新世初期のサーモカルスト現象発生当初の周辺植生は草本を伴うカラマツ (*Larix cajanderi*) の優占する森林であった。その後、およそ 6000 cal BP までにかけて、徐々に森林内の草本要素が減少していった。完新世中期の 6000 年前頃、中央ヤクーチアにヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) が急激に拡大した。完新世後期の 2000 cal BP 以降、サーモカルスト凹地内の草本の花粉が増加し、サーモカルスト湖の縮小により草原部分が拡大したことが示唆された。草本花粉の増加は、調査したすべてのアラスで確認でき、中央ヤクーチアのサーモカルスト凹地は 2000 cal BP 頃から乾燥し、現在の草原の広がる景観に至ったと考えられる。

サーモカルスト湖堆積物の炭化片分析の結果、堆積物下層部に炭化片のピークが連続して見られ、サーモカルスト凹地側方への侵食拡大による周辺からの流入が示唆された。約 9000 cal BP 以降、花粉・炭化片の堆積量は低い値で安定し、サーモカルスト凹地の側方拡大が起こらなかった事を示した。また、サーモカルスト起源ではない湖底堆積物の分析の結果、炭化片の含有量は比較的低い値で現在まで堆積が続き、現在と同様の地表火中心の森林火災が、完新世の間継続してきたと考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 福 田 正 己

副 査 教 授 平 川 一 臣

副 査 助 教 授 渡 辺 悌 二

副 査 教 授 高 橋 邦 秀 (北海道大学大学院農学
研究科)

学 位 論 文 題 名

Thermokarst formation and vegetation history inferred from pollen and charcoal records in central Yakutia, eastern Siberia

(東シベリア・中央ヤクーチアにおける花粉と炭化片記録から推察される
サーモカルスト形成と植生変遷)

今後予想される気候変動による永久凍土地帯の環境変化を理解するためには、過去の気候と凍土や植生の関係を理解することが重要である。東シベリアの中央ヤクーチアには、アラスと呼ばれる、草原の広がった凹地が多数存在する。これらの地形は、過去の永久凍土表面の熱攪乱によって地下氷の融解を伴う地盤沈下（サーモカルスト現象）によって引き起こされたと考えられており、一旦形成されると、凍土中に閉じこめられた塩類の集積をもたらすため、森林の回復が困難である。本研究では、アラス堆積物およびサーモカルスト起源ではない湖底堆積物中に含まれる、大型植物遺体の年代測定や花粉・炭化片などの分析を行い、それらの結果からサーモカルストの発生からアラスの形成に至るまでの変遷史および中央ヤクーチアの植生・森林火災史を明らかにした。

サーモカルスト現象による地盤沈下後に堆積したと考えられる木片の年代は、サーモカルスト湖中心部および湖岸部いずれも完新世初期の値 (11,500-8500 cal BP) を示した。また、地域的に離れた複数のアラスでも完新世初期の値を示し、中央ヤクーチアにおけるサーモカルストの発生は、これまで考えられていた完新世中期の温暖期ではなく、完新世初期に同時に形成されはじめたことが示唆された。この時代の気候は、晩氷期後の温暖・湿潤化傾向にあり、気温の上昇や降水量の増加によって、含氷率の高い場所に選択的にサーモカルストが発達したと考えられる。

表層堆積物の花粉組成と周辺植生を調べた結果、周辺には生育しない、マツ属の花粉が多く産出し、ヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) の花粉は遠方由来の影響が強いことが

示された。一方、カラマツ (*Larix cajanderi*) は、周辺の森林の大部分を占めるにも関わらず、カラマツ属花粉の産出率は10%前後以下と低く、周辺の植生を過少に反映することが示唆された。草本花粉は、局所的に産出率が大きく異なり、アラス内部の植生を反映していることが明らかとなった。

アラス堆積物の花粉分析の結果、完新世初期のサーモカルスト現象発生当初は、カバノキ属花粉とともにイネ科やヨモギ属花粉の出現が特徴的であった。サーモカルスト発生初期は、サーモカルスト凹地内は水で満たされていたと考えられることから、草本花粉は周辺の森林からの飛来してきたものと示唆される。少ないながら、カラマツ属花粉が連続して出現することから、この時期の植生は、比較的開けたカラマツ林が優占していたと考えられる。その後、およそ6000 cal BP までにかけて、徐々に森林内の草本要素が減少していった。完新世中期の6000 cal BP 頃、いずれの堆積物でもニヨウマツ花粉の増加が見られ、中央ヤクーチアの砂質土壤上にヨーロッパアカマツが急激に拡大したことが示された。ヨーロッパアカマツの増加は、中央ヤクーチアだけではなく、ユーラシア全体で報告されており、地球規模の気候変化を反映していると考えられる。完新世後期の2000 cal BP 以降、草本花粉の増加が見られた。イネ科やヨモギ属花粉とともに、湿原性のカヤツリグサ科や対塩性のアカザ科花粉の増加も見られ、これらの草本花粉は周辺の森林からではなく、アラス内部の植生を反映している。これらの結果から、サーモカルスト凹地内（アラス）の湖が縮小することによって草原面積が拡大したことが示唆された。草本花粉の増加は、調査したすべてのアラスで確認でき、中央ヤクーチアのサーモカルスト凹地は2000 cal BP 頃から乾燥し、現在の草原の広がる景観に至ったと考えられる。

サーモカルスト湖堆積物の炭化片分析の結果、堆積物下層部に炭化片のピークが連続して見られ、サーモカルスト凹地側方への侵食拡大による周辺からの流入が示唆された。約9000 cal BP 以降、花粉・炭化片の年間堆積量は低い値で安定し、サーモカルスト凹地の側方拡大が起こらなかった事を示した。サーモカルスト起源ではない湖底堆積物の分析の結果、炭化片の含有量は比較的低い値で現在まで堆積が続いた。このことと、カラマツやヨーロッパアカマツの優占する森林は、地表火タイプの火災が起こりやすい森林構造になっていることから、現在と同様の地表火中心の森林火災が、完新世の間継続してきたと考えられる。

以上のとおり、著者は、東シベリアにおけるサーモカルストの発達、従来の説と異なる年代であったことを示した。また、花粉分析により、現在の景観に至った時期を初めて明らかにし、永久凍土地域における完新世の古環境の理解に大きく貢献した。よって、著者は博士(地球環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。