

学 位 論 文 題 名

Influences of forest disturbance on the ecosystem energy
and water balance in continuous permafrost region,
Eastern Siberia.

（東シベリア・連続的永久凍土帯において
森林攪乱が生態系のエネルギー・水収支に与える影響）

学位論文内容の要旨

北方針葉樹林は、熱帯雨林に続いて大きな世界の森林資源である。この北方針葉樹林が分布する高緯度帯においては年間降水量が著しく少なく、砂漠やステップ地帯と同様の値である。きわめて少ない降水量にもかかわらず広大な面積にわたり森林が存在する理由のひとつは、地下に存在する永久凍土が土壌水の下方浸透を防ぎ、植物の生長にとって不可欠な水分を効率よく消費することができるためであると考えられる。東シベリア・ヤクーツク周辺の永久凍土上層部は、氷河期に形成されたアイスウェッジの存在によって非常に含水率が高い層である。この地域でよく見られるアラスとよばれる周囲より沈下した草原は、何らかの原因で生態系のエネルギー・水バランスが変化し、地下水が融解することによって地面が陥没するサーモカルスト現象が起こった結果形成されたと考えられている。このような永久凍土帯における劇的な森林損失および地形変化は数千年オーダーの長期にわたり、地球規模の環境変化に影響を及ぼすと予測されている。一方、森林攪乱後の変化としては植生の回復が一般的であり、サーモカルスト現象が開始されるためには何らかの条件が満たされる必要があると考えられる。この地域では、これまでサーモカルスト現象の進行過程についての研究はなされてきたが、その始まりの条件についてはよく知られていない。また、生態系エネルギー・水バランスについての観測例も限られている。本研究では、第一に現在の森林および攪乱地においてどのようなエネルギー・水バランスが保たれているのか、第二に、森林攪乱を受けた後の場所で、長期的にはそのバランスはどのように変化するのか、第三に、生態系のエネルギーおよび水のバランス変化の観測結果からサーモカルスト現象へ移行する原因は何か、の三点を明らかにすることを目的に行った。

第一の目的のために、観測サイトを成熟カラマツ林、実験的伐採地（1年目・2年目）、攪乱地（11年目）とし、2000～2002年の融解期3シーズンの長期同時観測を行い、それぞれのサイトで地表面および活動層のエネルギー・水バランスを決定する正味放射量（ R_n ）・顕熱交換量（ H ）・蒸発散量（ IE ）・地中熱流量（ G ）を測定し森林と攪乱地の比較を行った。観測の結果から攪乱直後のサイトにおいては R_n ・ H ・ IE がすべてFサイトよりも減少することがわかった。特に、植生を失ったことによる顕著な蒸発散量の減少が見られ、Fサイトに比べて大きな土壌水

分維持能力が実験的に示された。融解深は攪乱後 1 年目の比較で森林と攪乱地に 14cm の差が見られたが、翌年の融解深の差に顕著な増加は見られなかった。この融解深増加に対する抑制は、伐採後 1 シーズンを経過した活動層内における土壌水分の差が氷の融解潜熱の差として働き、融解深進行に対する熱的慣性効果によるものと説明できた。また、攪乱後 11 年目の比較結果からは、攪乱地における表面植生の回復が蒸発散能力の回復をもたらし、 G への配分量を攪乱直後に比べて減少させていることがわかった。

第二の目的のため、F サイトの他、森林攪乱後 1～19 年のサイトを選び、ある攪乱サイトの長期的なエネルギー・水バランス要素の変化のアナロジーとして観測を行った。その結果、融解深を決定する G の量は攪乱直後から表面に草本類が回復するまでのごく短期間においてのみ増加することがわかった。

以上の結果をまとめると、研究対象地域においては、迅速な表面植生の回復により森林攪乱のインパクトによる融解深の増加を抑え、活動層厚を初期状態に維持するメカニズムが働いていることが示された。一方、攪乱後 5 年経過したサイトの観測結果を検討することによって、攪乱後、 R_n が地表面の冠水によって冠水しない場合に比べて劇的に増加することが示された。また、上記の観測より得られた森林および攪乱後様々な状態での生態系エネルギー・水バランス特性の結果から、 G の値を大きく保ち、サーモカルスト現象に導くための重要な条件が地表面の冠水であることを示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 福 田 正 己

副 査 教 授 大 畑 哲 夫

副 査 助教授 石 川 信 敬

副 査 助教授 町 村 尚 (大阪大学工学研究科)

学 位 論 文 題 名

Influences of forest disturbance on the ecosystem energy and water balance in continuous permafrost region, Eastern Siberia.

(東シベリア・連続的永久凍土帯において

森林攪乱が生態系のエネルギー・水収支に与える影響)

東シベリア・ヤクーツク周辺の永久凍土上層部は、氷河期に形成されたアイスウェッジの存在によって非常に含氷率が高い層である。この地域でよく見られるアラスとよばれる周囲より沈下した草原は、何らかの原因で生態系のエネルギー・水バランスが変化し、地下水が融解することによって地面が陥没するサーモカルスト現象が起こった結果形成されたと考えられている。このような永久凍土帯における劇的な森林損失および地形変化は数千年オーダーの長期にわたり、地球規模の環境変化に影響を及ぼすと予測されている。一方、森林攪乱後の変化としては植生の回復が一般的であり、サーモカルスト現象が開始されるためには何らかの条件が満たされる必要があると考えられる。この地域では、これまでサーモカルスト現象の進行過程についての研究はなされてきたが、その始まりの条件については不明である。また、生態系エネルギー・水バランスについての観測例も限られている。

本研究は、連続的永久凍土上の森林および様々な攪乱地の微気象を長期的にかつ同時に観測し、地表面のエネルギー・水バランスの違いを把握することにより、森林損失による永久凍土の熱的状态への影響を明らかにするものである。これまでほとんど行われてこなかった長期にわたる比較観測によって、森林攪乱後においても森林生態系が永久凍土の熱的状态を維持するメカニズムを明らかにした。さらに森林攪乱後、サーモカルスト現象がはじまる重要な必要条件が地表面の冠水であることを提唱した。

本論文は全5章からなり、第1章では、地球環境にとつての永久凍土の位置づけや東シベリア・中央ヤクーチアの地理的記述、これまでの研究および課題を示している。

第2章では、地表層のエネルギー・水バランス各項目について、森林と攪乱地の比較観測の結果を示し、森林損失が正味放射量、顕熱および潜熱フラックスに与える影響を議論している。第3章では、第2章で示した森林攪乱によるエネルギー収支各項目の変化が活動層の状態に及ぼす影響について示し、その動態について議論している。第4章では、森林攪乱後の地表層および活動層のエネルギー・水収支特性の長期変化についての比較観測の結果を述べ、森林攪乱後数年間の短期間のみ永久凍土の融解量を大きくする地中熱流量がみられ、植生の回復とともに元の値に回復する傾向を示した。第5章では、第4章までの観測の結果および議論を総合し、森林攪乱後に対象とした生態系の活動層厚が維持されるメカニズムを明らかにした。また、森林攪乱後、サーモカルスト現象によって森林が回復しない破壊過程へ進む可能性について議論した。

以上、本研究は観測例の少ない東シベリアにおいて様々な地表面状態について長期的なエネルギー・水収支を定量的に把握するとともに表面状態と永久凍土の熱的安定性の関係解明において重要な貢献をなすものである。また、サーモカルスト現象に関して、地表面のエネルギー・水収支変化の観点からその始まり条件を提唱したことは高く評価でき、今後のさらなる現象解明にとって大きな発展が期待される。以上のように、複雑かつタイムスケールの異なる現象について、複数の手法を併用した観測と解析とを申請者自らが計画し、実施下のものであり、研究者としての資質の高さを示すものである。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であること、大学院課程における研鑽や取得単位などもあわせて、申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。