

平成21年 5月20日現在

研究種目：基盤 (C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19580070
 研究課題名 (和文) 北方タイガ生態系における長期炭素固定に貢献する有機物の形態
 研究課題名 (英文) Soil organic matter contributing to carbon sequestration in boreal ecosystems
 研究代表者
 川東 正幸 (KAWAHIGASHI MASAYUKI)
 日本大学・生物資源科学部・講師
 研究者番号：60297794

研究成果の概要：地球規模でのカーボンシンクとして注目されているシベリアのタイガ林下の O 層を永久凍土分布および森林火災の影響に基づいて試料採取し、各種 O 層の理化学的特徴と溶存成分の溶出について検討した。シベリアの永久凍土の分布は東西で変化しており、西から東にかけて永久凍土の厚さが増加し、不連続永久凍土から連続永久凍土が広がっている。O 層の厚さは 10-20cm で同程度であったが、O 層を被覆する地衣・蘚苔類の種類が西の不連続永久凍土地帯では多種多様であったのに対し、東では貧相であった。C/N 比や灰分含量は東西で明瞭な違いは認められなかったが、地衣類被覆の O 層は著しく高い C/N 比を示した。しかし、O 層の分解程度が進行すると C/N 比も一様な値に収束する傾向が認められた。コケ類被覆の O 層では溶存有機物および溶存イオンの生成量が東の連続永久凍土上の O 層で多い傾向が認められ、且つ鉍質土壌への収着能が高い疎水性画分の割合が高かった。連続永久凍土分布域では O 層から比較的難分解性の有機物が鉍質土壌へ供給されているものと考えられ、鉍質土壌の炭素蓄積に貢献していると考えられた。

一方、森林火災を受けた O 層は C/N 比が低く、O 層上部の C/N 比が高い有機物が優占して焼失したと考えられた。溶存有機態炭素の生成量は火災を受けた O 層で少なかったが、O 層の質の変化よりも O 層の炭素量に依存した溶出を示した。また、溶存炭素が多い O 層は塩基の溶出も多かった。植物養分としての塩基類の溶出は灰分含量などの無機成分に依存せず、全炭素および水溶性炭素に依存していたため、有機物の分解過程で生成・溶出するものと考えられた。すなわち、O 層は炭素だけでなく植物生育への養分供給も果たしていると考えられた。また、火災後の O 層の回復にはおよそ 50 年以上が必要であることが時間経過に伴う O 層の理化学性の変化から推測された。この O 層の回復は永久凍土分布域特有の表層地形であるハンモック地形の形成にも関与していることが予測された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学・植物栄養学・土壌学

キーワード：永久凍土、炭素貯留、配位子交換反応、活動層、シベリア、腐植、カラマツ林、森林火災

1. 研究開始当初の背景

北方のツンドラタイガ生態系は巨大な炭素リザーバーとしての存在意義が非常に大きい。同地域における炭素の分布は植生、土壌特性によって異なるものの、一般に、土壌に偏在している。また、土壌に固定された炭素の年代は数千年に及ぶことを考慮すると、同生態系で頻発する火災によって焼失する植物バイオマスに比べて、土壌は安定且つ莫大な炭素貯蔵庫といえる。これら土壌炭素の最も重要な給源は、低地温を反映して厚く堆積した0層であり、0層から供給される種々の形態の有機態炭素が土壌と相互作用をすることによって土壌への長期炭素固定を可能にしていると考えられる。0層は植生、地形、土壌水分などの影響を受けて、その量及び質の異なることが推測される。さらにそれらの0層生成に関わる因子として同生態系で広い面積を占める永久凍土の水平・垂直分布が挙げられる。従って、永久凍土の分布が0層の特性に影響すると同時に土壌炭素の分布・動態を支配していると考えられる。

一方、現在シベリアで頻発する森林火災も永久凍土の融解を引き起こしたり、0層を焼失させたりするために土壌の炭素蓄積に大きく影響すると考えられる。従って、永久凍土の水平・垂直分布およびその変化に応じた0層の炭素蓄積および鉱質土壌への供給を検討することは重要である。

2. 研究の目的

シベリアの森林生態系は東から西に向かって増加する降水量の分布を反映してカラマツを主体とするライトタイガからトウヒを主体とするブラックタイガへと変遷する。また、植生種数も西に向かって増加傾向にある。これに応じて、下層植生は東から西へコケモモ主体から地衣類、コケ類へと変化する傾向にある。さらにコケ類の多様性も西において増加傾向にある。これらの植生分布を反映した0層の相違は現地において目視確認することができた。また、これまでに、永久凍土深（活動層層厚）が異なる土壌の0層から供給される溶存有機物（Dissolved Organic Matter : DOM）の量・質が異なることがわかっており、それらの炭素蓄積への貢献度が高いことも既往の研究で明らかにした。

0層から得られる有機物の形態とその組成を永久凍土分布に応じて明らかにすることと森林火災の有機物供給に及ぼす影響を検討することは同地域の土壌における炭素貯留を把握するために極めて有意義であると考えられる。そこで、本研究では異なる永久

凍土分布およびそれに応じて変化する植生分布がみられるシベリアにおいて、東西のトランセクトに沿って0層を採取し、それらの特性について炭素固定の側面から検討することを主目的とした。また、森林火災の影響を受けた地域において火災後の0層についても分析し、火災が0層の炭素蓄積量およびその質に及ぼす影響についても評価する。

3. 研究の方法

様々な永久凍土の分布条件の下での試料採取を計画し、植生および地形に応じて0層試料を採取した。イガルカはエニセイ河東岸に位置し、シベリアの西部に含まれる地域であり、不連続永久凍土上の森林である。中央シベリアに位置するトゥラは連続永久凍土上のカラマツ林地帯に位置する。さらに東方のヤクーツクも連続永久凍土上に位置し、カ

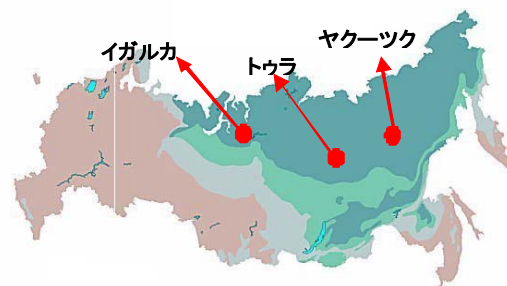


図1 試料採取地点

ラマツ林地である（図1参照）。シベリアでは永久凍土の分布だけでなく、気温と降水量も東西で異なっており、イガルカからヤクーツクに向かって降水量が550mmから250mmへと減少し、トゥラはその間の350mmである。植生はイガルカがトウヒを主体としたタイガ林であるのに対し、トゥラとヤクーツクはカラマツ林である。また、0層を被覆する植生も異なっており、イガルカでは斜面の傾斜・方位に応じて異なるコケ類が分布しており、面積的に主要なもの6試料を採取した。コケ類の相違は活動層の厚さに依存する傾向が認められた。トゥラは活動層が薄く、ミズゴケの被覆面積が大きい。同地で活動層の凍結と融解の繰り返しによって形成されるハンモック地形の凸地形面の一部には地衣類の被覆も認められた。また、凸部のミズゴケおよび地衣類0層はカラマツリターを含んでいたが、凹部はミズゴケのみが厚い0層を形成していた。ヤクーツクのカラマツ林下では地衣類の被覆は稀であった。コケモモの被覆が認められる0層とカラマツリターを主体とする0層が一般的であり、この両者を試料

として採取した。

また、トゥラでは火災発生年度の異なる森林があり、森林再生に応じた0層の変遷を追跡するために5地点で0層を採取した。それらは主に再生途中のカラマツリターで構成されていた。火災発生後の経過年数が0.4、11、15、25、55年の地点から試料採取し、いずれの地点でも火災を100年以上受けていない地点を対照地点として試料採取した。

以上の0層試料について全炭素・窒素、灰分含量、水抽出有機態炭素 (WEOC)、吸着クロマトグラフィーによる親水性・疎水性画分の割合、主要陽・陰イオン量、pHの測定を実施した。

4. 研究成果

0層の全炭素および全窒素量は被覆植生による顕著な違いは認められなかったが、地衣類が主体の0層では窒素含量が極端に低く、高いC/N比を示した(図2)。しかし、分解が進行したOa層では構成植生および地点間の相違は明瞭ではなかった。一方、0層から水浸出で得られる水抽出有機態炭素は地点間で異なり、連続永久凍土を有するカラマツ林下の0層で高く、その割合において疎水性の構成炭素種が多かった(図3)。このことは、活動層が薄い連続永久凍土上の0層から供給される溶存有機物量が多く、且つ鈹質土壌に蓄積しやすい可能性を示唆しており、実際の鈹質土壌中の炭素量の分布に一致するものと考えられた。

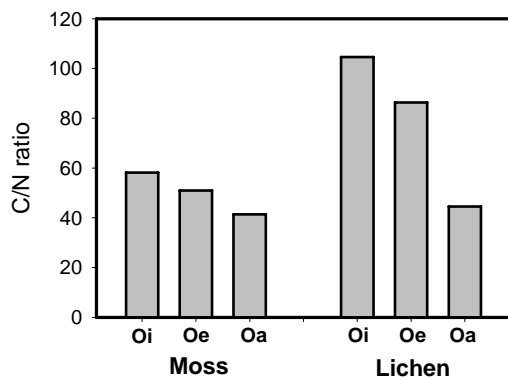


図2 地衣類とコケ類の分解程度別0層のC/N比 (イガルカ地点の結果を示したが、他の地点でも同様の傾向が認められた。)

水抽出の陽・陰イオンにおいて、ナトリウム含量が西のイガルカ試料で高い傾向が認められた。それ以外の塩基ではカルシウム、マグネシウムが主たる陽イオンであり、両元素は連続永久凍土分布域の0層で高い傾向が認められた(図4)。一方、0層の腐植組成では、抽出腐植炭素量はTuraで最も低く、Yakutskで高かった。同時に腐植酸割合がTuraで高く、Yakutskで低かった。これは0

層の乾燥に伴う、分解程度を反映したものと考えられた(図5)。

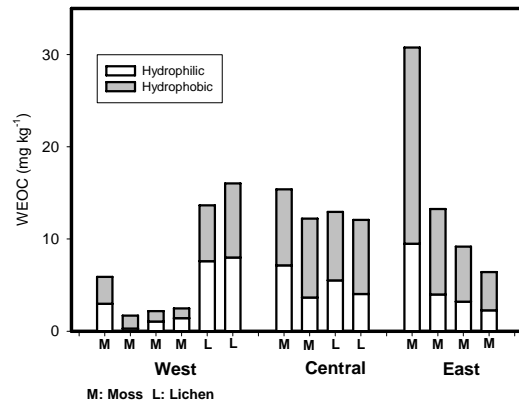


図3 異なる永久凍土上の0層から得た抽出有機態炭素 (WEOC) の量と組成

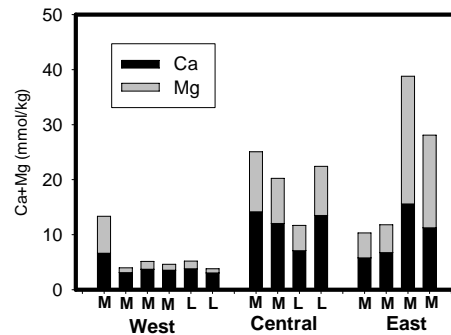


図4 各地点の0層の水抽出CaとMg含量

以上、0層が有する腐植や水溶性有機物および陽・陰イオンは異なる永久凍土分布を反映していると考えられた。

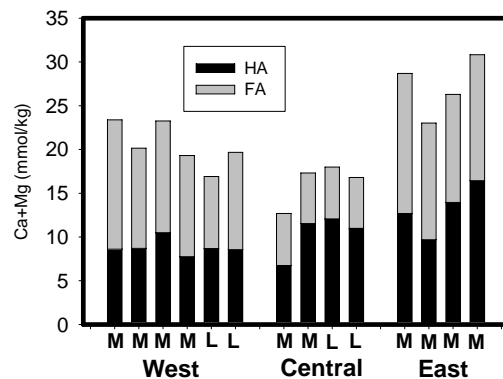


図5 各0層の抽出腐植量と腐植組成

火災を受けた0層は炭素含量が低く、C/N比が低かった。これは火災によって、0層上部の高いC/N比の有機物が焼失したためであると考えられた。火災後、50年まで全炭素

量・窒素量ともに増加の傾向にあり、対照区の0層の値に近くなった。水溶性有機物含量 (WEOC) も同様の傾向を示し、全炭素量と WEOC の間には有意な正の相関関係が認められた (図 6)。

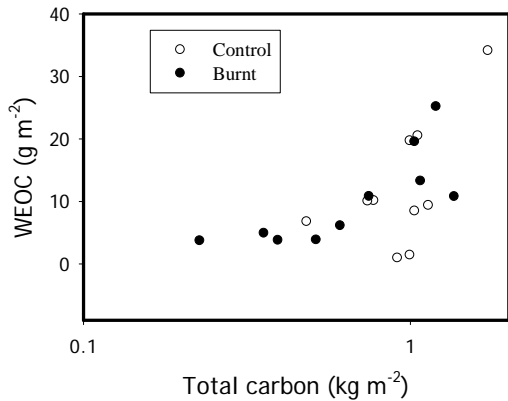


図 6 0 層の全炭素量 (面積相当) に対する水抽出有機態炭素量 (WEOC)

これらことから、調査地 0 層の溶存有機物および腐植の含量は燃焼による 0 層の質の変化よりも炭素量に強く依存することがわかった。同時に WEOC と pH の間には負の相関関係が認められ、0 層の回復に応じて酸性化が進行すると考えられた (図 7)。

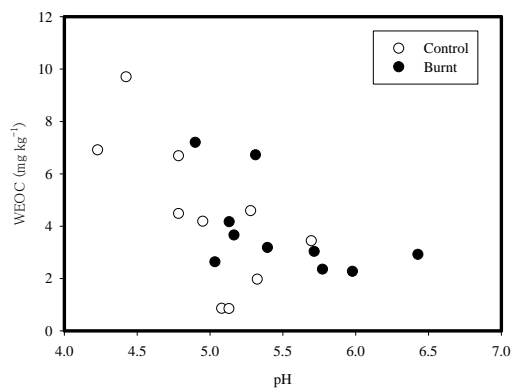


図 7 水抽出有機態炭素と pH の関係

また、水抽出される陽・陰イオンは、火災に関わりなく、0 層の面積当たりの全炭素量と高い相関関係を示した (図 8)。このことから、主たる陽イオンが 0 層の分解に伴って供給されるものと考えられた。

一方、永久凍土分布域では凍結融解の繰り返しによる凸凹したハンモック地形が発達するが、その凹地の 0 層は火災の影響を受けにくいことを反映し、面積当たりの全炭素量が高く、腐植含量および水溶性有機物量が凸地よりも高かった (図 9)。このことは 0 層か

らの溶存有機物が鈹質土壌への土壌断面内での炭素量分布に影響していると考えられた。土壌断面内での A 層の不連続な水平分布は凹地に蓄積した 0 層からクライオターペー

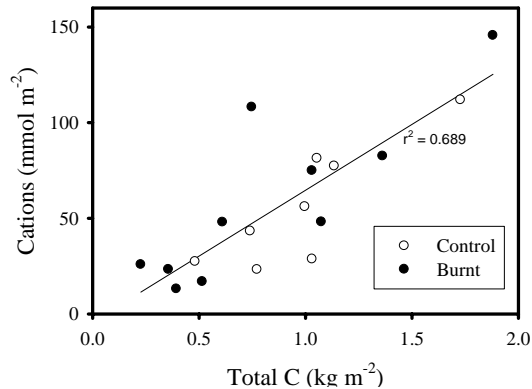


図 8 全炭素量 (面積相当) と水抽出陽イオン量との関係

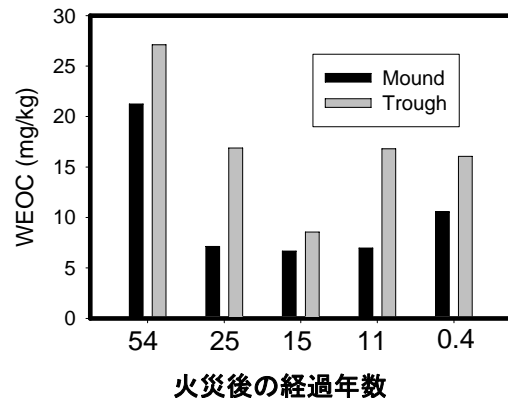


図 9 火災地の凹地と凸地の WEOC 生成量

ションや溶存有機物の鈹質土壌への吸着によって生じていると考えられた。このように、形態の異なる有機物の地形に応じた分布がタイガ林下の土壌生成に深く関与することが予測された。

永久凍土層の分布は生態系の構成に大きな影響を及ぼす因子であるが、有機物および植物養分の給源である 0 層に対してもその機能に対して影響を及ぼしていることが示唆された。また、0 層の上部からの改変である火災も長期にわたって影響することが明らかとなった。従って、現気候下で平衡状態にある 0 層が環境変動に伴って生じる炭素や塩基の溶出供給をより大きな面的スケールで予測し、さらにそれが再び定常状態に戻るために要する時間を算出することが必要であり、そのためには広域なモニタリングを気候帯や植生帯に分けて実施することが有効な手段であると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ①川東正幸 (2009) 永久凍土：温暖化へのパンドラの箱 RRIAP Circular, 76 巻 ページ未定 (査読無)
- ②川東正幸 (2008) 土壤生態系における DOC の動態 — 収着、生分解、流出 — 土肥誌, 72, 1 号 P88-95 (査読有)
- ③川東正幸 (2008) カーボンシンクがカーボンソースに変わるとき~豹変する土壤生態系~化学と生物 46, 405-411 (査読有)
- ④川東正幸 (2008) 腐植物質研究の基礎講座： その 2. 腐植物質の特性を見誤らないために Humic Substances Research 4, 1-8 (査読有)
- ⑤川東正幸 (2008) 土壤環境指標としての土壤有機物の組成と構造特性、土肥誌 78, 443-444 (査読無)

[学会発表] (計 7 件)

- ①川東正幸、徳田絵理、隅田裕明(2008 年 9 月 9 日) シベリア永久凍土分布域における森林火災が林床 O 層に及ぼす影響—理化学性とイオン組成—、日本土壤肥料学会、名古屋
- ②徳田絵理、川東正幸、隅田裕明(2008 年 9 月 9 日) シベリア永久凍土分布域における森林火災が林床 O 層に及ぼす影響—溶存有機物生成量と生分解性—、日本土壤肥料学会、名古屋
- ③川東正幸 (2008 年 9 月 11 日) 土壤生態系における DOC の動態 — 収着、生分解、流出 —、日本土壤肥料学会、名古屋
- ④川東正幸 (2008 年 10 月 18 日) 永久凍土：温暖化へのパンドラの箱、RRIAP シンポジウム、藤沢
- ⑤川東正幸 (2008 年 11 月 5 日) 試料の保存方法が溶存有機物の特性に及ぼす影響、日本腐植物質学会、札幌
- ⑥Kawahigashi M, Prokushkin A, Sumida H (2007 年 9 月 25 日) Properties of water soluble organic matter (WSOM) from burnt organic horizons on permafrost affected soils in Siberia. Soil Organic Matter, Aderade
- ⑦川東正幸 (2007 年 11 月 8 日) 土壤溶液/土壤界面における腐植物質の挙動、日本腐植物質学会、弘前

[図書] (計 2 件)

- ①Prokushkin A., Kawahigashi M, Tokareva, I (2008) Global warming and dissolved organic carbon release in permafrost soils *In* Permafrost soils, Ed. Rosa

Margesi, Springer Verlag, pp 237-250

- ②川東正幸 (2008) 界面活性、粘度 腐植物質分析ハンドブック 標準試料を例にして 渡辺、藤嶽、長尾編 三恵社 pp89-101、

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川東 正幸 (KAWAHIGASHI MASAYUKI)

日本大学・生物資源科学部・講師

研究者番号：60297794

(2) 研究分担者

隅田裕明 (SUMIDA HIROAKI)

日本大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：70147669