

内陸アラスカのタイガ林における森林火災が 表層土壌の窒素動態に及ぼす影響： ポーカーフラット実験場の Black Spruce (*Picea mariana*) 林における調査結果

廣部 宗*1・保原 達*2・徳地直子*3・松浦陽次郎*4

1. はじめに

亜寒帯地域に存在する北方林生態系は、氷に覆われていない地表の 10% を占め熱帯林に次いで広大な陸上生態系である⁸⁾。加えて、西北アメリカや北ユーラシアに存在する多くの北方林生態系は、20 世紀後半において地球上のどの地域よりも急速に温暖化が進行した地域でもある⁹⁾。北方林生態系には 287Gt もの有機態炭素が主に土壌有機物として蓄積されており⁹⁾、地球温暖化をはじめとする地球環境変動にともなう北方林生態系の土壌有機物動態および植物による一次生産の変動は、大気化学組成や地球規模の気候条件にフィードバックとして何らかの影響をおよぼすであろう。そのため、これらの生態系を理解することは人類を含む生物の生存環境としての地球環境を考える上で非常に重要である。

これまでの調査研究により、内陸アラスカ地域のタイガ林動態において森林火災 (Stand replacing fire) は重要な要素として共通に見られ、数十年から 100 年以上の間隔で生じる森林火災によって森林再生・遷移が繰り返されたことがわかっている¹¹⁾。しかしながら、近年北米やロシアにおいて年間の森林焼失面積が増加傾向にある⁴⁾。アラスカでは 1961

年から 2000 年までの期間において顕著な火災増加傾向は見られていないものの、焼失面積の大部分は大規模火災年に生じたものである⁴⁾。また、周極域の地球環境が急速に変化しつつあるため、現在の森林火災にともなう内陸アラスカのタイガ林動態を把握する必要がある。

内陸アラスカ地域の生態圏 (Ecoregion) には気候条件と地形の違いにより、Interior Forested Lowlands and Uplands, Interior Bottomlands, Interior Highlands, Yukon Flats の主な 4 タイプがある³⁾。本稿では、このうち Interior Forested Lowlands and Uplands に分類され、台地から緩傾斜の北向き斜面に分布する Black Spruce (*Picea mariana*) 林における調査・研究結果を報告する。Black Spruce は北斜面および排水性の悪い低地で優占する樹種であり¹⁾、内陸アラスカ地域の約 44% を占めている¹⁴⁾。これらの立地ではほとんどの場合土壌中に永久凍土層がみられ、永久凍土層がみられない氾濫源や南斜面の土壌に比較して地温は低く、土壌における有機物分解速度が遅く、土壌肥沃度も低い。このような Black Spruce 林において、1) 火災被害林と火災未被害林の土壌窒素動態の違い、および 2) 火災被害林内における火災影響の空間的な不均質

Muneto Hirobe, Satoru Hobara, Naoko Tokuchi and Yojiro Matsuura : The Effects of a Stand Replacing Fire on Soil Nitrogen Availability in the Boreal Forest in Interior Alaska : A Preliminary Survey in the Black Spruce (*Picea mariana*) Forest in the Poker Flat Research Range

*1 岡山大学大学院環境学研究所, *2 酪農学園大学環境システム学部, *3 京都大学フィールド科学教育研究センター,

*4 (独)森林総合研究所

性, について調査した。

本稿は, 地球科学技術総合推進機構 (AESTO) 受託研究 (アラスカ大学フェアバンクス校国際北極圏研究センター (IARC)/宇宙航空研究開発機構 (JAXA)) の「2004 年アラスカ大森林火災が陸域環境に与える影響のモニタリング (北海道大学低温科学研究所福田正己教授代表)」の一部として行われた調査結果に基づいている。

2. 調査地

調査地はアラスカ州フェアバンクス市街から約 50 km 北に位置するアラスカ大学フェアバンクス校ポーカーフラット実験場 (65°07'N, 147°28'W) である。内陸アラスカ地域における 1971 年から 2000 年までの平均年降水量は 323.1 mm, 年平均気温は -3.7°C であり, 最暖月 (7 月) の平均気温は 15.3°C, 最寒月 (1 月) の平均気温は -22.4°C である (The Alaska Climate Research Center, <http://climate.gi.alaska.edu/Climate/Normals/interior.html>)。

2004 年夏にフェアバンクス近郊で過去 50 年間で最も大規模な森林火災 (“Boundary fire”) が発生し, 調査地周辺を含めて 600 km² 以上の面積が被害を受けた (Alaska Fire Service, <http://fire.ak.blm.gov>)。調査地内の隣接する Black Spruce 林 (火災被害林・火災未被害林) を対象とし (写真 1), 森林火災が表層土壌に及ぼす影響について 2005 年 8 月

および 2006 年 7 月に調査した。なお, 2005 年 8 月に同時に行われた土壌断面調査により, 火災被害林では土壌深 160 cm においても永久凍土層が見られなかったが, 火災未被害林では土壌深約 30 cm で永久凍土層が見られることがわかっている⁶⁾。

本稿では森林火災が表層土壌に及ぼす影響について, 特に窒素動態に注目した。様々な物質の中でも窒素の循環は, 炭素の循環や有機物の蓄積, 環境変動に対する生態系の応答などさまざまな生態系プロセスと密接に連動しているとともに, それらの主な制御要因となっているため, 生態系を理解する鍵となる。例えば, 森林における一次生産量は, その他の条件に違いがなければ窒素可給性の高い立地で大きくなることが多い。また, 落葉の分解過程では, 同所において窒素含有率の高い落葉の方が低い落葉より速やかに分解され, 同じ落葉であっても窒素可給性の高い立地において低い立地より速やかに分解されることが多い。加えて, これまでの研究により, 特に北方林生態系では窒素可給性が非常に低く, 極めて窒素不足な状態にあるため, 窒素可給性による一次生産の制限や土壌分解過程の制限といった生態系プロセスの制御が強く働いていることが知られている²⁾。



写真 1 火災被害林 (左) と火災未被害林 (右)

3. 火災被害林と火災未被害林における表層 土壌の窒素動態の違い

調査地内の火災被害林および火災未被害林において、林床有機物層からFH層を、鉍物質土壌層から表層の0~5cm層をそれぞれ採取した。採取した土壌サンプルを実験室に持ち帰り、土壌中の無機態窒素濃度および全炭素・全窒素濃度を測定した(表1)。全炭素濃度には大きな変化は見られず、全窒素及び無機態窒素濃度はFH層および鉍物質土壌層表層の両方で火災未被害林に比べて火災被害林で大きくなった。そのため、全炭素/全窒素比は火災未被害林に比べて火災被害林で低くなった。また、FH層と鉍物質土壌層の境界面にイオン交換樹脂を1年間埋設し、埋設期間中にイオン交換樹脂に吸着された無機態窒素量を測定した。その結果、イオン交換樹脂に吸着された無機態窒素量は火災未被害林では $1.75 \pm 0.61 \text{ mg-N g-resin}^{-1}$ 、火災未被害林では $0.09 \pm 0.02 \text{ mg-N g-resin}^{-1}$ であり(平均±標準誤差, $n=5$)、火災未被害林に比べて火災被害林で高いことがわかった。これらから、森林火災後は土壌中の植物が利用可能な可給態窒素が高くなることが示唆された。

Black Spruce林はBlack Spruceおよび蘚苔類が生産する有機物が低分解性のため、厚い林床有機物層が形成されるとともに、内陸アラスカのタイガ林の中で植物に対する養分物質の再可給化が最も遅い森林生態系である¹²⁾。火災被害林では、樹冠が焼失して太陽放射が地表に到達するようになるととも

に、林床を覆っている林床有機物層(10~40cm)の厚さも減少して断熱効果が弱くなる。その結果、地中に熱が伝わり易くなり、永久凍土層が融解して地温が上昇する。このような地温上昇により、土壌中の生物活性が火災未被害林に比べ活発となることが窒素の可給化増大の一因と考えられた。また、土壌に堆積している低分解性有機物が、火災により微生物が利用し易い状態に変質した可能性もあるかもしれない。

4. 火災被害林内における空間的な不均質性

北斜面のBlack Spruce林の林床は、通常*Pleurozium schreberi*や*Hylocomium splendens*などのフェザーモスおよび地衣類(*Cladina*属, *Cladonia*属, *Cetraria*属など)に覆われており、林内の特に湿潤な場所はミズゴケ(*Sphagnum*属)に覆われている¹⁾。森林火災後のBlack Spruce林では火災の強度に依存するものの、しばしば島状に残存したミズゴケを観察することができる。火災被害林内における空間的な不均質性として、このような残存した「ミズゴケの島」の内外における土壌特性を調査した。

火災被害林内で焼失せず残存した「ミズゴケの島」の一つを選び、十字方向にトランセクトを設置した(写真2)。トランセクトの30cm毎の地点でFH層とコケ層の厚さ、およびFH層と鉍物質土壌層の境界面の地温を測定した。また、これらの地点から採取したFH層および鉍物質土壌表層(0~5cm)について、いくつかの土壌特性を測定した。

表1 火災被害林及び火災未被害林の土壌窒素及び炭素濃度

	火災被害林		火災未被害林	
	FH層	鉍物質土壌層	FH層	鉍物質土壌層
無機態窒素濃度 (mg-N kg soil^{-1})	1061.3 ± 308.8	65.0 ± 6.69	31.8 ± 15.7	27.5 ± 13.8
全炭素濃度 (g-C kg soil^{-1})	427.2 ± 2.03	262.9 ± 12.3	423.0 ± 6.90	199.3 ± 52.7
全窒素濃度 (g-N kg soil^{-1})	15.6 ± 0.55	13.8 ± 0.56	11.1 ± 0.15	9.80 ± 1.84
全炭素/全窒素比	27.5 ± 1.03	19.0 ± 0.13	38.1 ± 0.19	19.8 ± 1.50

平均±標準誤差, $n=3$

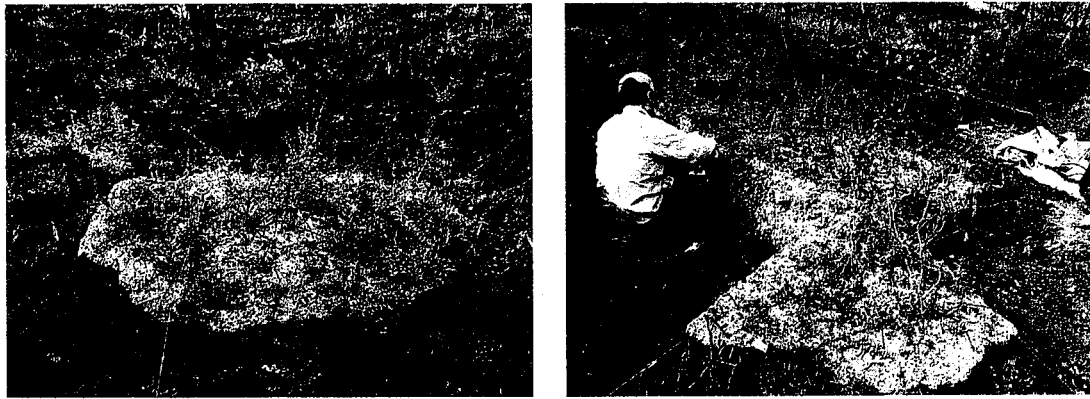


写真 2 火災被害林で残存した「ミズゴケの島」(左)と調査風景(右)

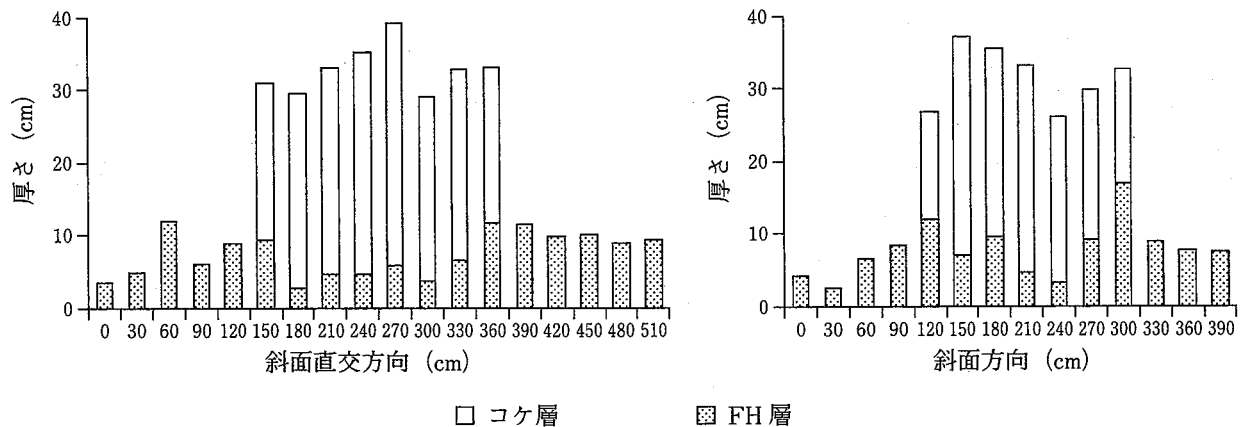


図 1 火災被害林で残存した「ミズゴケの島」のトランセクトに沿ったコケ層 (コケおよびその遺体) と FH 層の厚さ。

観察された通り、ミズゴケおよびその遺体からなる層の厚さは「ミズゴケの島」の内外で大きく異なっていた(図1)。FH層と鉍物質土壌層の境界面における地温は外部に比べ内部で低かった(図2)。これは、厚いコケの層が低い容積重と熱伝導率により断熱効果をもつためと考えられた¹¹⁾。土壌含水比は特にFH層において外部に比べ内部で高かった。これらの結果は、残存した「ミズゴケの島」が土壌の物理環境に対して成熟したBlack Spruce林の林床有機物層と同じような効果を持つことを示している¹¹⁾。

見かけの窒素形態変化速度などの土壌化学的性質には「ミズゴケの島」の内外で明瞭な違いが見られ

なかった(結果省略)。しかしながら、外部に比べ低温で多湿な「ミズゴケの島」の内部の環境は、土壌有機物分解過程への影響を通して、土壌養分動態に影響を及ぼすと考えられる。内陸アラスカタイガ林において、トウヒ林の土壌有機物は最も分解されにくいとされているが¹¹⁾、温度・湿度条件が異なるとその分解速度は大きく変化するとの報告もある^{7,13)}。そのため、「ミズゴケの島」が及ぼす影響については、「ミズゴケの島」の大きさや分布状況とも関連させて考える必要がある。

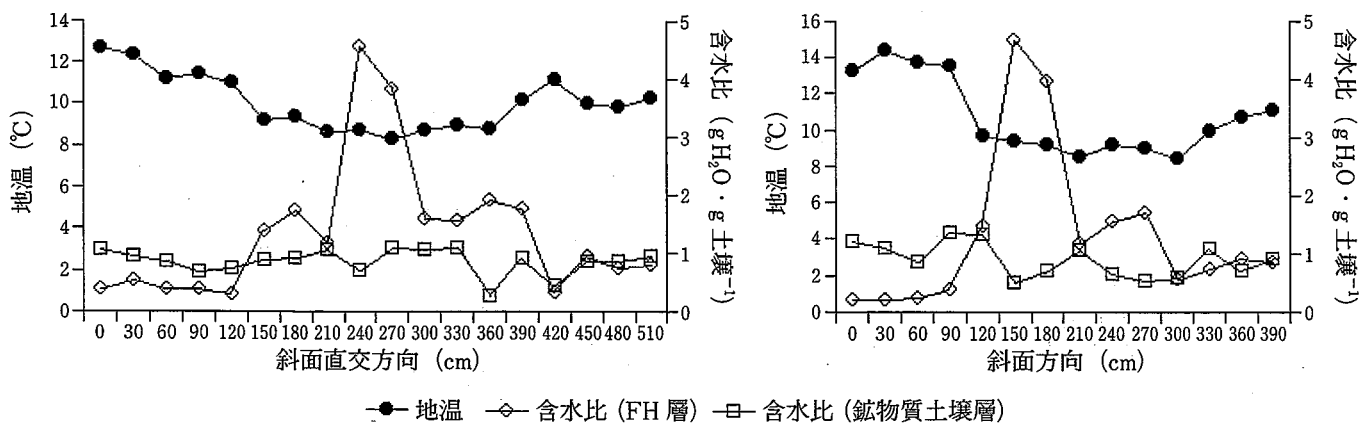


図 2 火災被害林で残存した「ミズゴケの島」のトランセクトに沿った FH 層と鉱物質土壌層の境界面における地温と FH 層および鉱物質土壌層表層の含水比。

(引用文献) 1) Chapin, F.S. *et al.* (2006) Floristic diversity and vegetation distribution in the Alaskan boreal forest. In "Alaska's changing boreal forest" (Chapin, F.S. *et al.* eds.), 81-99, Oxford University Press, New York. 2) Flanagan, P.W. and Van Cleve, K. (1983) Nutrient cycling in relation to decomposition and organic matter quality in taiga ecosystems. *Can. J. For. Res.*, 13, 795-817. 3) Gallant, A.L. *et al.* (1996) Ecoregions of Alaska. U.S. Geological Survey Professional Paper 1567. 4) Kasischke, E.S. *et al.* (2006) Fire trends in the Alaskan boreal forest. In "Alaska's changing boreal forest" (Chapin, F.S. *et al.* eds.), 285-301, Oxford University Press, New York. 5) 小島 覚 (1994) 北方域の生態系と環境変動一序論一. *日本生態学会*, 44, 81-91. 6) Matsuura, Y. (2005) Forest fire effects on soils at Poker Flat Research Range, interior Alaska—a preliminary survey for monitoring study-. *Proc. GCCA6*, 215-216. 7) Neff, J.C. and Hooper, D. U. (2002) Vegetation and climate controls on potential CO₂, DOC and DON production in northern latitude

soils. *Glob. Change Biol.*, 8, 872-884. 8) Saugier, B. *et al.* (2001) Estimations of global terrestrial productivity: Converging toward a single number? In "Terrestrial Global Productivity" (Roy, J. *et al.* eds.), 543-557, Academic Press, San Diego. 9) Serreze, M.C. *et al.* (2000) Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Climatic Change*, 46, 159-207. 10) Smithwick, E.A.H. *et al.* (2005) Postfire soil N cycling in northern conifer forests affected by severe, stand-replacing wildfires. *Ecosystems*, 8, 163-181. 11) Van Cleve, K. (1983) Taiga ecosystems in interior Alaska. *BioScience*, 33, 39-44. 12) Van Cleve, K. *et al.* (1986) Bioassay of forest floor nitrogen supply for plant growth. *Can. J. For. Res.*, 16, 1320-1326. 13) Van Cleve, K. *et al.* (1990) Response of black spruce (*Picea mariana*) ecosystems to soil temperature modifications in interior Alaska. *Can. J. For. Res.*, 20, 1530-1535. 14) Yarie, J. and Billings S. (2002) Carbon balance of taiga forest within Alaska: Present and future. *Can. J. For. Res.*, 23, 1001-1014.