

アラスカ黒トウヒ林の地表面燃焼面積率のリモートセンシング

Remote sensing of burn fraction of ground surface in Alaskan black spruce forests

○串田 圭司*

Keiji Kushida*

1. はじめに

北極域の原野・森林火災は、今後の地球温暖化を予測する上で、考慮しなければならない。原野・森林火災の頻度が増すと、森林が十分生長しないときに火災が起きるようになる。若い森林が増えることになり、森林の炭素貯留量が減ることになる。北アメリカの北方森林では近年、火災の頻度¹⁾と強度²⁾が増加している。地球温暖化に伴い、極端な乾燥が起りやすくなり、平均気温も高くなる。これらが北アメリカの原野・森林火災の増加をもたらしていると考えられている。北極域永久凍土地帯はその土壤中に大量の有機炭素を蓄えている。その量は 1700Gt とされており、世界の地中の有機炭素量の約 50%である³⁾。平均気温の上昇や原野森林火災の増加が、土壤中の有機炭素の分解速度をどのように変化させるか研究されている。

リモートセンシングによれば、広域の原野・森林火災の発生を見積もることができる。燃焼面積の他にも、現地の植生が火災により燃えた度合いを示す複合燃焼指数(Composite Burn Index; CBI)もリモートセンシングにより見積もられてきた。CBI は当初、米国本土の森林火災のために開発された⁴⁾ものであるが、アラスカなどの北方森林のための算出方法も開発された⁵⁾。CBI は森林の様々な構成要素ごとに燃焼度合いを点数化し総合的な燃焼指数を与えるものである。北方森林の CBI は、リモートセンシングデータだけではなかなか説明がつかない。地理情報をリモートセンシングデータに加えることによって、CBI の地理的分布図が作られてきた⁶⁾。

一方で、リモートセンシングデータと関係が深いと考えられるのは、燃焼した林床の面積の割合である。アラスカの黒トウヒ林の火災の燃焼時の炭素放出の約 80%は、ミズゴケなど黒トウヒ林の林床の燃焼によると言われている⁷⁾。また、林床の燃えた所と燃え残ったところでは、植生更新が異なる⁸⁾。本研究では、林床の燃焼割合をリモートセンシングにより見積もる方式を提示し、その検証を行い、林床の燃焼割合の地理的分布図を作成した。

2. 対象と方法

米国アラスカ州の 2004 年 7 月に Boundary fire と名付けられた森林火災で燃焼した、黒トウヒ林を対象地域とした。林床のほとんどがミズゴケに覆われていたが、火災時にミズゴケの一部が燃焼し、火災後、林床は、燃焼した部分、損傷したミズゴケ、燃え残ったミズゴケがパッチ状に広がった。燃え残ったミズゴケの上には維管束植物があり、また火災後、燃えた林床には新たに更新した植物も見られた。こうした林床で 156 の分光測定を行った。分光測定は、2005 年 7 月に、GER-2600 スペクトロメータ(GER 社製、米国)を用いて、350nm から 2500nm の波長で行った。分光測定方法は先行研究⁹⁾に従った。分光測定データから、各種の分光指数およびアルベド(太陽光波長域における反射率)を算出し、燃焼した部分、損傷したミズゴケ、燃え残ったミズゴケ、更新した植生による分光指数の違いを解析した。2004 年 8 月 6 日取得の Landsat 5 号衛星画像により、分光指数およびアルベドから林床の燃焼割合を算出した。その算出は、2006 年 7 月に朝日新聞社有機「あすか」による空撮画像を基にして、検証した。

*日本大学生物資源科学部 College of Bioresource Sciences, Nihon University キーワード: リモートセンシング

分光指標としては、以下の正規化植生指数(Normalized Difference Vegetation Index; *NDVI*)、正規化燃焼率指数(Normalized Burn Ratio; *NBR*)、ほかの分光指標(*SI*)を考える。

$$NDVI = (B_4 - B_3)/(B_4 + B_3), \quad (1)$$

$$NBR = (B_4 - B_7)/(B_4 + B_7). \quad (2)$$

ここで、 B_3, B_4, B_7 は、Landsat 5 のバンド 3 (0.63–0.69 μm)、バンド 4 (0.78–0.90 μm)、バンド 7 (2.09–2.35 μm) をそれぞれ示す。これらと、下記で表される分光指標を考える。

$$SI = (B_x - B_y)/(B_x + B_y) \quad (3)$$

ただし、 B_x と B_y は Landsat 5 のバンド x ($x = 1, 2, 3, 4, 5, \text{ and } 7$) とバンド y ($y = 1, 2, 3, 4, 5, \text{ and } 7; y \neq x$)。

アルベドは以下のように計算を行った。Landsat の可視から中間赤外の 6 つの波長帯の観測放射輝度に大気補正を加味して、各波長帯の地上での反射光強度を求め、それを各波長帯の大気補正を加味した地上での太陽放射強度で割り、各波長帯の地上の反射率を求めた。波長帯ごとの地上太陽光強度で重み付けした反射率の平均値を、アルベドとした。

3. 結果と考察

地上分光測定データの解析から、火災後の、燃焼した部分、損傷したミズゴケ、燃え残ったミズゴケ、更新した植生の 4 つの部分の区分には、*NDVI*, *NBR*, アルベドの 3 つが有効であることが分かった。これら 4 つの部分が、平面である地表面上に混在しているというモデルを仮定した。4 つの部分それぞれの分光反射率は地上分光測定の平均値を用いた。モデル計算値と観測された *NDVI*, *NBR*, アルベドの残差の平方和が最小となるように、解析対象地域のそれぞれの画素の 4 つの部分それぞれの面積率を算出した。この結果は空撮写真判読による林床の燃焼割合と合致していた。林床の燃焼割合は、火災時の炭素放出量、火災後の森林の更新の仕方、さらには火災後の土壌有機物の蓄積・分解と大きく関わる。

本講演は、Kushida K. et al.: Remote sensing of burn fraction of ground surface in Alaskan black spruce forests の一部として論文投稿の予定である。環境省環境研究総合推進費(2-1304)および宇宙航空研究開発機構(JAXA)の IJIS および衛星データ他を利用する IARC/JAXA 北極圏研究の支援により、実施された。

引用文献

- 1) Kasischke, E.S.; Turetsky, M.R. (2006) Recent changes in the fire regime across the North American boreal region - Spatial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L09703, doi: 09710.01029/02006gl025677.
- 2) Turetsky, M.R.; Kane, E.S.; Harden, J.W.; Ottmar, R.D.; Manies, K.L.; Hoy, E.; Kasischke, E.S. (2011) Recent acceleration of biomass burning and carbon losses in Alaskan forests and peatlands. *Nature Geosci.*, 4, 27-31
- 3) Tarnocai, C.; Canadell, J.G.; Schuur, E.A.G.; Kuhry, P.; Mazhitova, G.; Zimov, (2009) S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Glob. Biogeochem. Cycle*, 23, GB2023, doi: 2010.1029/2008gb003327.
- 4) van Wagtenonk, J.W.; Root, R.R.; Key, C.H. (2004) Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity. *Remote Sens. Environ.*, 92, 397-408.
- 5) Epting, J.; Verbyla, D.; Sorbel, B. (2005) Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sens. Environ.*, 96, 328-339.
- 6) Barrett, K.; Kasischke, E.S.; McGuire, A.D.; Turetsky, M.R.; Kane, E.S. (2010) Modeling fire severity in black spruce stands in the Alaskan boreal forest using spectral and non-spectral geospatial data. *Remote Sens. Environ.*, 114, 1494-1503.
- 7) Kasischke, E.S.; Hoy, E.E. (2012) Controls on carbon consumption during Alaskan wildland fires. *Glob. Chang. Biol.*, 18, 685-699.
- 8) Tsuyuzaki, S.; Narita, K.; Sawada, Y.; Kushida, K. (2014) The establishment patterns of tree seedlings are determined immediately after wildfire in a black spruce (*Picea mariana*) forest. *Plant Ecol.*, 215, 327-337.
- 9) Kushida, K.; Kim, Y.; Tanaka, N.; Fukuda, M. (2004) Remote sensing of net ecosystem productivity based on component spectrum and soil respiration observation in a boreal forest, interior Alaska, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 109(D6), doi: 10.1029/2003jd003858.