Japan Society for Natural Disaster Science

Higurashi, A., and T. Nakajima (2002): Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data, Geophys. Res. Lett., 29(17), 1836, doi: 10.1029/2002 GL015357.

Hsu, N. C., J. R. Herman, and S. Tsay (2003): Radiative impacts from biomass burning in the presence of clouds during boreal spring in southeast Asia, Geophys. Res. Lett., 30 (5), 1 2 24, doi: 10.1029/2002 GL016485.

IPCC (2001): Climate Change 2001－The Scientific Basis－, J. T. Houghton, Ed., Cambridge Univ. Press.

J. Geophys. Res., 1998: SCAR-B Special Issue, J. Geophys. Res., 103, 31,781.

J. Geophys. Res., 2003: Special Issue, SAFARI 2000-Southern African Regional Science Initiative. J. Geophys. Res., 108 (D13).

Koren, I., Y. J. Kaufman, L. A. Remer, and J. V. Martins (2004): Measurement of the effect of Amazon smoke on inhibition of cloud formation, Science, 303, 1342-1345.

Nakajima, T., A. Higurashi, K. Kawamoto, and J. E. Penner (2001): A possible correlation between satellite-derived cloud and aerosol microphysical parameters. Geophys. Res. Lett., 28, 1171-1174.

Ohara, T., N. Tanimoto, and I. Uno (2003): A three dimensional model analysis of carbonaceous aerosol dynamics in East Asia during spring 2001.Nakajima, T., and APEX Science Team, 2003 Eds. Findings and Current Problems in the Asian Particle Environmental Change Studies: 2003, Center for Climate System Research, 240 pp, ISBN 4-9901912-0-X.

Ramanathan, V., and P.J. Crutzen (2003): New directions: Atmospheric Brown Clouds, Atmos. Environ., 37, 4033-4035.

Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima (2000): Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins, J. Geophys. Res., 105, 17853-17873.

Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne (2002): Single scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. J. Climate, 15, 333-352.

Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, T.Y. Nakajima, and T. Nakajima (2004): Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. J. Geophys. Res., in press.

Tegen, I., and I. Fung (1995): Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification, J. Geophys. Res., 100, 18707-18726.

Tsuruta, H., Leong. C.P., K.N. Ibrahim, I.E.S. Neo, S. Urban, and S. Sudo (2003): The effect of biomass burning on atmospheric aerosols measured at Tanah Rata station in Cameron Highland, Peninsular Malaysia, during Jul.-Dec. 2002, ABC Workshop, RCAST, University of Tokyo, November 17-18, 2003 (in CD-R).

7．大規模森林火災の早期検出と対策

中右　浩二*

7.1　はじめに

北方地域の開発，人間活動の拡大や気候変動などの影響で，近年，北方地域での森林火災が急速に増大している。例として，ロシア・ヤクーチア地方における５年毎の森林火災件数と火災発生件数の推移を図7-1に示す。森林火災の件数は大きく変動していないにもかかわらず，消失面積が大幅に増加している事が分かる。

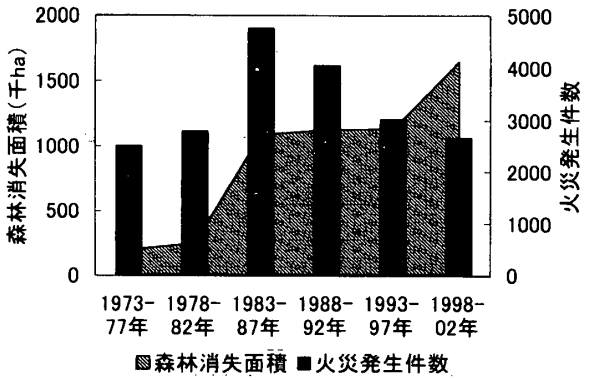

図7-1　ロシア・ヤクーチア地方における森林火災の件数と焼失面積（５年毎の集計）

* 北海道大学北ユーラシア・北太平洋地域研究センター

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Natural Disaster Science

森林火災の抑制には，賛否両論があるものの，人間活動に起因する大規模な火災や，森林の再生サイクルを妨げる過度の火災は抑制するべきと筆者は考える。その一方で，北方森林は広大で人口密度も低く，火災の発生や延焼の状況を把握して効率的に火災を抑制するためには衛星画像が必須である。それゆえ，衛星画像のもたらす情報もとにして，効率的な消防活動へ結びつける事が非常に重要となる。

7.2 森林火災による経済的影響

火災の影響は，現地での影響と広範囲に及ぶ影響に分けられる。現地での影響としては，森林の消失による生態系や土壌への影響はもちろん，家財の消失や休業による損害，強制非難などの住民への影響，消防活動への出費などの財政への影響が挙げられる。また，広範囲に及ぶ影響としては，煙霧の影響と地球全体の気候変動への影響が挙げられる。このうち，消防活動費用と煙霧の影響について取り上げる。

米国アラスカ州での年間の森林火災消防活動費は，1993年から2003年のうち1996年に費用が最大の7,130万ドルに上った（図7-2）。このうち，消防隊員の人件費は高額で，この1996年には1,100万ドルを要した。消防隊は，夏季の森林火災が発生する期間に編成され，その際に臨時の消防隊員が現地の集落から雇用される。2004年夏季は，森林火災の消防隊員は時給11.54～35ドルであった。このような高額な時給が支払われるのは，アラスカ州の僻地かつ危険な作業を伴うためである。2004年度は7月の時点で，既に1993年以降で最大の消失面積となっており，消火活動の費用がさらに大きく増加するとみられる。

次に，広域的な影響として，煙霧の拡散が挙げられる。日本国内では大規模な森林火災は少なく，広範囲に影響を及ぼすことは少ないが，アラスカやシベリアでは，しばしば大規模な火災を引き起こし，広範囲に影響を及ぼしている。例えば2004年10月17日には中国東北部とロシア・シベリアの国境のアムール川流域で発生した火災の煙が，北海道に達した。この際に札幌や稚内など北海道

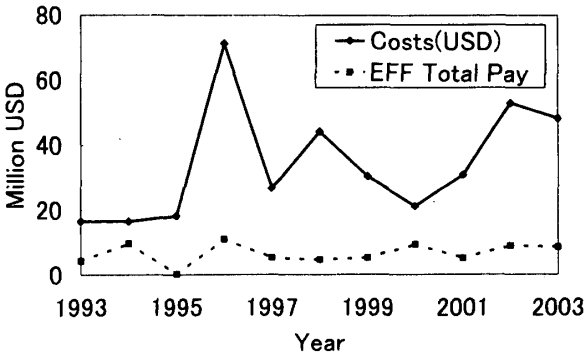

図7-2 アラスカ州における消防活動費総額（EFF Total Payは緊急消防隊の賃金）

図7-3 NOAA 16号AVHRR擬似カラー画像（2004年10月18日・火災検出点を赤色表示）

の広域で数日間煙霧に覆われ，視程が下がった。その様子を図7-3に示す。アムール川流域（図左上）での火災により発生した煙が日本海に到達した様子が見える。森林火災の煙は反射能が雲と異なるため，色と明るさが異なり，雲と判別できる。

また，アラスカ州フェアバンクス市でも，2004年6月29日に100 km程度遠方の火災の煙が到達して視程が800 mまで下がり，町中が煙霧と悪臭に包まれた。そのため，アラスカの重要な産業の一つである観光をしようにも，景色が望めない状況であった。また，現地住民の中にも，子供

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Natural Disaster Science

への健康影響を心配して米国本土へ非難する住民もいた。

7.3 衛星画像を利用した森林火災の把握

現時点でも，アラスカ大学地球物理研究所では所内で受信したTERRA/MODISの衛星画像を利用して火災発生を自動的に解析し，検知した火災の位置情報をAlaska Fire Serviceへ随時提供し，火災検知画像をインターネットにて公開している(http://gina.alaska.edu/)。同様に，ロシアにおいてもMODISやNOAA/AVHRR衛星画像を用いた火災検知情報を航空消防隊で利用している(http://www.nffc.aviales.ru/engl/main.sht)。しかしながら，いずれも衛星画像をもとに火災を検知した情報を利用しているに留まる。衛星画像と火災検知結果はあくまで現時点や過去の火災の状況の指標であり，今後の火災の動向を得られるわけではない。そのため，将来の火災の動向に関しては，消防活動を行う各機関の担当者が推測して消防活動の指揮を取るのが現状である。

また，衛星画像による火災検知には速報性が必要だが，毎日地球全体を監視できる衛星は画像が荒く利用できる波長帯が限られ，その結果，実際には火災が無いにもかかわらず，誤って火災であると認識する場合も多い。それゆえ，衛星画像を用いた火災検知についても，継続して改善する必要がある。

7.4 効率的な火災の管理をめざして

先述のとおり，衛星画像を用いた自動的な火災検知結果は既に消防活動へ利用されている。しかし，火災の現状把握だけではなく，将来の延焼の客観的な予測が，北方林の火災抑制に非常に重要だと考えられる。北方林は水に乏しく，燃え盛る火を消すことは難しい。そのため，延焼を食い止める事が消防活動の基本となっており，防火帯や向かい火を予想される延焼方向や延焼範囲に設置している。現在は火災の位置情報をもとに，延焼範囲を現地消防機関が判断しているが，延焼モデルを用いて予測すれば，延焼範囲を客観的に判断する手助けにできると考えられる。

そこで，本研究グループは衛星画像情報を有効に活用して森林火災による影響を抑制する事を目指したプロジェクト。「森林火災抑制イニシアチブプロジェクト」(BFFCI) を立ち上げ，AESTO (地球科学技術総合推進機構) より委託を受けた。既存の火災検知に加え，検知情報にもとづく延焼のモンテカルロシミュレーションを用いて，将来

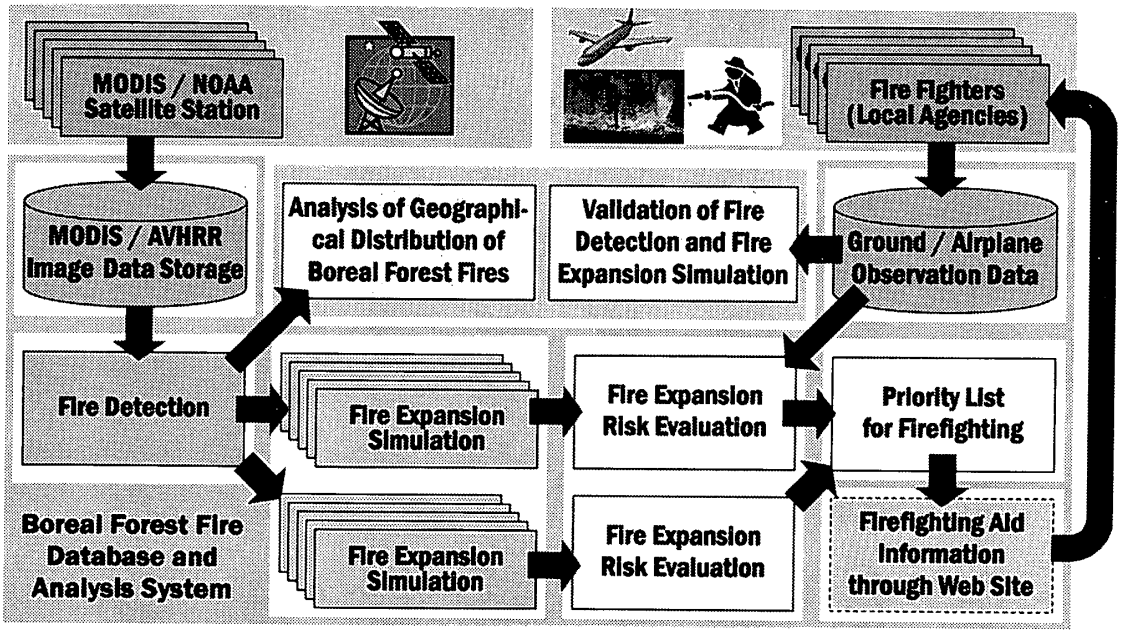

図 7-4 森林火災削減を目指した情報システムの概念図

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Natural Disaster Science

の延焼範囲の確率分布を推定し，延焼そのものや延焼による損害についてリスク評価を行い，消火活動へ客観的な予測・分析情報を提供することを目標としている。この衛星画像を用いた消火活動支援部分の概念図を図7-4に示す。この中で，筆者は衛星画像や地上観測情報などの情報の収集・蓄積システムの構築，ならびに情報をもとにした火災検知システムの構築とリスク評価を担当している。

8．森林火災の延焼シミュレーション

本間　利久*・上田　英典*・渡辺　浩太*・
五十嵐　一*・福田　正己**

8.1　はじめに

地球温暖化の大きな要因の一つとしてシベリア森林火災があげられ，火災によって固定されていた炭素が二酸化炭素となり大気に放出される。このように，森林火災は非常に重要な問題となっている。

本論文では，2，3年前に激しい火災が発生し，ほぼすべての木が枯死してしまった地域に行き，実際に測定したデータを基に，シベリア森林火災延焼モデルを構築し，シミュレーションの結果と実測値との比較を行い，開発したシミュレーションモデルの正当性を検証した。さらに，構築モデルから得られた火災前の立ち木分布から炭素固定量を計算し，今回の火災による炭素固定量の変化を推定した。

8.2　シベリア森林火災の特徴

シベリアにおける森林の地表から約1mの所から下は永久凍土層となっている。そのため，樹木の根は，地面の浅いところを地面と平行に伸びる。また，地面には有機層と呼ばれる下草や枯れ枝が厚く堆積しているので，火災が発生すると有機層が燃え，樹木全体が燃えることはない（地表火）。また，永久凍土層の影響で根が比較的浅い部分にあるため，火災により根が比較的損傷を受けやすく，火災鎮火後は，強風が吹くと損傷を受けた根が樹木を支えきれずに倒れる。その後，倒木が枯れて乾燥し，次の火災では薪となり，大きな火災となる（樹冠火）。

8.3　セルオートマトン法[1)]

セルオートマトンはもともと形態形成や自己増殖機能，また計算理論，数理言語学などに関連して研究されてきたものである。

セルオートマトン法の特徴は簡単なセル間の局所的相互作用から複雑な現象を再現できることにある。現象には非常に簡単な素過程と，それが複合してできた複雑なものがある。そのため，解析を行う際には，解析領域を規則的なセルで分割する必要がある。セルオートマトン法のもうひとつの大きな利点は，全体の各セルの状態を同時に計算することができることにある。

8.4　シミュレーション解析

(1)　測定地域

2，3年前に地表火と樹冠火が発生した地域を現地で測定した。測定地域のおよそ6割が樹冠火によって激しく損傷を受けており，50 m×100 mの範囲を25 m四方の8つのグループに分けて測定した（図8-1）。

測定した内容は，つぎのとおりである。

- 立ち木の本数（本）・倒木の本数（本）
- 立ち木の胸高直径（cm）・倒木の胸高直径（cm）
- 倒木の倒れている方角（°）
- 立ち木の燃焼度（1～4）

今回のモデルは，以前に構築した地表火のモデル[2)]とは異なり，樹冠火が測定地域の外で発生し，測定範囲内で延焼が止まっている（図8-2）。また，樹冠火が発生したと思われる範囲の立ち木だけでなく，すべての範囲の立ち木の燃焼度は4（根まで火が入っている状態）であった。このことから，今回の火災は樹冠火と共に，比較的木への損傷の少ない地表火も発生し，測定範囲すべてに延焼したと考えられる。

* 北海道大学大学院情報科学研究科
** 北海道大学低温科学研究所

NII-Electronic Library Service