ノア画像を用いた大興安嶺地区山火事の回復に関する研究

A Study on Recovery of Forest Fire in Da Xing An Ling Using NOAA Imagery

劉 会傑*, 本多 嘉明*

村井 俊治*, 小井土今朝己**

*Liu Hui JIE**, *Yoshiaki HONDA***Shunji MURAI**, *Kesaaki KOIDO***

Abstract: In May 1987, the china-USSR border area along the Amur River, so called Da Xing An Ling District, Hei Long Jiang Province was damaged by a very big forest fire which covered about 10,000 square kilometers.

Chinese LANDSAT Receiving Station has succeeded to take three TM images just after the fire in May and June 1987.

NOAA Receiving Station at the Institute of Industrial Science, University of Tokyo has also succeeded to take two cloud free scenes in July 1987 just after the fire and in September 1988 a year after the fire.

The objective of this study is to evaluate the recovery of the forest fire using NOAA imagery.

Normalized Vegetation Index (NVI) was utilized to classify the forest damage and its recovery after a year.

The result of the study showed that 95 per cent of total damage area of 9,778 square kilometers in Da Xing An Ling District was recovered in vegetation without trees but grasses after a year.

概要: 1987年4月に中国とソ連の国境となっている黒龍江(アムール河)をはさんで、大規模な山林火災が起きた。中国の人民日報によると中国側だけで1987年5月から約一ヵ月間燃えつづけ、東西幅約220km、南北約90kmの範囲が燃えた。面積で言えば関東平野より広大な面積が燃えたことになる。

火災直後にはLANDSAT TMが大興安嶺の一部を捉え、中国科学院遙感衛星地面站は25万分の1縮尺の画像図「大興安嶺林火地区衛星影像平面图」を出版した。

東京大学生産技術研究所のNOAAの受信局は、山火事が鎮火した1987年7月6日に中国側被災地を比較的少ない雲量の画像として取得した。また、ほぼ一年後の1988年9月25日のNOAAの画像も山火事地域を捉えている。

山火事の生じた大興安嶺地区は中国において唯一の原生林地帯であり、その森林資源の保護はきわめて重要な意味を有する。

このような背景から、本論文は、NOAA画像のグローバルな監視能力に着目し、大興安嶺地区を調査区域として、山火事の被害状況、一年後の植生回復状況等を定量的に把握することを目的とする。

1. 調査区域

図1は、中国の地図出版社が発行している中華人民共和国地図集から取ったもので黒龍江省大興安嶺地区を示している。大興安嶺地区は中ソ国境となっている黒龍江の南側に位置し、北緯50°から54°まで、東経121°

* 東京大学 生産技術研究所

** 建設省 国土地理院

* Institute of Industrial Science, University of Tokyo

** Geographic Survey Institute, Ministry of Construction

「写真測量とリモートセンシング」Vol. 28, No. 4, 1989

図1 調査区域 黒龍江省大興安嶺地区

から128°までの地域で約60,000km²の面積である。同地域の標高は600m～1,500mの比較的平坦な林野と、なだらかな丘陵で構成され、ダフリアカラマツ、コウアンシラカンパ、シベリアアカマツ、チョウセンヤマナラシ等の原生林で覆われている。Köppenの気候区分によれば、同地区は亜寒帯気候と大陸性混合林気候の境界にあり、寒冷時には大気が乾燥し山林火災の頻度の高い地区でもある。米軍が発行している100万分の1の航空図(ONC)によって、この地域は河川および山岳以外は殆ど緑一色で塗られ森林で覆われていることがわかる。

2. 利用できる NOAA 画像

大興安嶺地区は毎年10月から5月近くまで雪氷に覆われるため、植生分布を見るには7月から9月末までのNOAA画像が適している。

山林火災の生じた面積が広大なため上記の期間で雲

量の少ないNOAA画像はきわめて少なく、雲量の少ない画像の探索に膨大な作業を要した。

結局、次の2シーンを良好なNOAA画像として選定した。

- (1) 1987年7月6日 午前6時42分
- (2) 1988年9月25日 午前8時43分

図2は中国のLANDSAT受信局が取得した1987年5月23・30日および6月6日のTMモザイク画像であり、大興安嶺地区の一部である。このLANDSAT TM画像は25万分の1縮尺で作られており、山火事により森林が完全に焼けたかどうか被災状況のグランド・トゥールースの代替として用いられた。

なお、出火時のNOAA画像については科学朝日1987年8月号の燃える中ソ国境(斉藤誠一、清水雅男)を参照した。

3. 山火事調査のための画像処理

3.1 幾何補正

大興安嶺地区は、NOAA画像のほぼ中央に位置しており、画像の巾3,000kmのうち約1/5の中の中に入るため、システム補正は行わず、前述の米軍発行の航空図(ONC)に基準点を求め、2次の多項式による幾何補正を行なった。1987年のシーンは11点、1988年のシーンは8点の基準点を用い、それぞれ幾何補正の精度は±0.91画素、±1.13画素であった。

大興安嶺地区の行政界は、300万分の1の地図(中華人民共和国地図集)からディジタイザーで読み取り、NOAA画像の中に書き入れた。また、前述の「大興安嶺山火地区衛星影像平面図」から中国側の山火事被災地域の輪郭をもディジタイザーで読み取り、NOAA画像の中に描き入れた。

図3および図4は、前述2時期のNOAA画像の幾何補正済画像である。図3の黒い斑状のところが山火事である。図4では山火事跡は殆どわからない。

3.2 スペクトル分類

NOAAのAVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)のバンド構成は表1に示すとおりである。被災地については、図2のLANDSAT TM画像を参考に被災強度大・小のグランド・トゥールース・データを抽出するため、被災強度図(図5参照)を作成した。図6は、2時期における5つのバンドに対す

表1 NOAA AVHRR バンド構成

バンド	波長帯域 (μm)	分解能 (km)	観測対象
1	0.58~0.68	1.1	雪氷分布, 濁水分布
2	0.73~1.10	1.1	水陸境界, 植生分布
3	3.55~3.93	1.1	夜間における温度分布
4	10.5~11.5	1.1	温度分布
5	11.5~12.5	1.1	温度分布

る原生林, 山火事跡, 川, 雲の平均値, $\pm 1 \sigma$ (σ は標準偏差) 値を示したものである。次式で表される正規化植生指標 (Normalized Vegetation Index: NVI) を算出し, その特性を第1バンドおよび第2バンドの分光特性と比較できるように図6の中に並べてある。ただし, 処理した1988年の NOAA 画像には雲が存在しなかった。

$$\text{NVI} = \frac{\text{第2バンド} - \text{第1バンド}}{\text{第2バンド} + \text{第1バンド}}$$

以上に示したスペクトル特性から次の事が言える。

- (1) 山火事跡は, 図6からわかるように山火事直後の NOAA 画像 (1987年) の第2バンドで原生林と明瞭に判別できる。
- (2) 図6からわかるように NVI においても, 山火事直後の NOAA 画像 (1987年) では山火事跡を原生林と明瞭に判別できる。NVI の方が第2バンドより山火事跡を判別するのにより有効であった。
- (3) 山火事跡に着目すると, NVI 値から被災強度が大小の2段階に分類できる。本研究では図6—(3)からわかるように NVI が0.2以下を被災強度大とし, NVI が0.2~0.4を被災強度小とした。
- (4) 雲は, その他の原生林, 山火事跡, 川と第1, 2, 4, 5バンドおよび NVI によって明瞭に区別できる。第4および第5バンドがより確実に雲を判別できた。

図7は, NOAA 画像の NVI から作成した山火事被災図である。なお, 雲の影は, 第4および第5バンドで低い値を示し, これを除去することができる。雲および雲の影は第4バンドを用いて処理を行なった。

3.3 山火事跡の植生回復調査のためのスペクトル処理

1987年7月と1988年9月の画像では, それぞれ取得された月および時刻が異なるので, 単純に NVI の値を比較することが出来ない。これを考慮した上で, 2時期の山火事跡の NVI を原生林の NVI の平均値で割って基準化した値を用いた。すなわち, 縦軸は1988年の NVI の値をその年の原生林の NVI の平均値で割った値, 横軸は1987年の NVI の値をその年の原生林の NVI の平均値で割った値として NVI 比の散布図を作成し, 図8に示した。この図において傾き1の直線よりも上にあるものは植生が回復したと考えられる。これに基づき山火事跡の植生回復の状況を示したものが図9である。

以上の図から次のことが指摘できる。

- (1) 散布図および山火事跡植生回復状況図から見て植生回復が認められるところと, 回復が一年後においても進んでいないところが認められる。
- (2) 先に作成した山火事被災図 (図7参照) と比較すると, 被災強度の大小に関わらず, 植生回復の状況は全般的に進んでいることがわかる。NOAA 画像から得られた被災強度別の面積および植生回復部の面積を表2に示す。

4. GLOBAL VEGETATION INDEX による植生回復の判定について

4.1 大興安嶺地区山火事跡における植生の時系列変化

NOAA の AVHRR による1987年7月と1988年9月の2時期の画像からだけでは, 山火事の被害がどのように回復したのか時系列的な変化がわからない。そこで, グローバルな監視力と時系列データとして扱える GLOBAL VEGETATION INDEX データに着目し, 時系列変化として大興安嶺地区山火事跡における植生回復の観測をする。

4.2 GLOBAL VEGETATION INDEX について

NOAA/NESDIS は, 1982年4月以降, NOAA 衛星の AVHRR の第1バンドと第2バンドを用いて正規化植生指標を計算し, 毎日の正規化植生指標画像 (AVHRR-GAC データ, 解像度4 km) を合成している。本研究で用いた GLOBAL VEGETATION

(1) 第1バンドの特性

(2) 第2バンドの特性

(3) 正規化植生指標(NVI)の特性

図6 厚生林, 山火事跡, 黒龍江, 雲のスペクトル特性

(4) 第3バンドの特性

(5) 第4バンドの特性

(6) 第5バンドの特性

図6 厚生林, 山火事跡, 黒竜江, 雲のスペクトル特性(つづき)

表2 山火事被災および回復状況

地 域			大興安嶺地区		画 面 全 体	
山 火 事	被災強度	NVI	被災面積(1987)	被災面積(1988)	被災面積(1987)	被災面積(1988)
	大	0.2未満	5,221	5,065	6,157	5,841
	小	0.2—0.4	4,557	4,178	8,158	6,881
	合 計		9,778	9,243	14,315	12,722

単位：km²

INDEX データ(以下、GVI データと呼ぶ。)は上のデータから一週間ごとに NVI の最大値を求めポーラ・ステレオの形で作られた正規化植生指標画像(解像度 15~30km)のことである。ここで用いたデータは次のとおり 3 つの連続したデータである。

調査データ

- (1) 山火事の被害を受けていない年
1986年 5 月上旬～9 月下旬
- (2) 山火事が発生した年
1987年 5 月上旬～9 月下旬
- (3) 山火事があった翌年
1988年 5 月上旬～9 月下旬

4.3 山火事後の植生回復調査

4.3.1 山火事跡の特定

山火事の被害が最も強かった部分を通る緯線(北緯 52°56'22")上の NVI の変化を調べれば、山火事の被害および回復の状況を観測できる。1986年, 1987年, 1988年のそれぞれに対して, 5 月上旬, 6 月中旬, 9 月下旬の 3 時期について NVI を縦軸にとり前述の緯線上の NVI の断面を示したものが図10である。これらのグラフより次のことがわかる。なお, 7 月および 8 月については, 雲などの天候の影響を受けているため NVI の値が不安定になりグラフ化し比較するには不適當である。

- (1) 5 月上旬と 9 月下旬の NVI 断面を見ると 3 年とも大きな差異がない。
- (2) 6 月中旬の NVI の断面に着目すると, 大きな差異が生じているところがある。1986年の NVI 断面は比較的平坦であるのに対して, 1987年ではピクセル No. 32から47に対応している NVI の値が低く, そこが山火事であることを示している。
- (3) 1988年の山火事跡では, NVI の値が1987年ほどではないが周囲に対して低い値を示しており, 植

(a) 5 月上旬の NVI 断面

(b) 6 月中旬の NVI 断面

(c) 9 月下旬の NVI 断面

図10 NVI 断面

大兴安岭林区卫星影像平面图

図2 1987年5月6日から6月2日 山火事を捉えたLANDSAT TM画像

(N54° E128°)

(N50° E128°)

図4 1988年幾何補正済NOAA画像

(N54° E128°)

(N50° E128°)

図3 1987年幾何補正済NOAA画像

図5 LANDSAT TM画像から判読した山火事被災図

図7 NOAA画像から作成した山火事被災図

図9 山火事跡植生回復状況図

図8 2 時期のNVI比の散布図

生が回復しているものの完全には回復していないことを示している。

4.3.2 山火事跡および森林の NVI 時系列変化

図10より、典型的な山火事跡および森林のピクセルとしてそれぞれピクセル No. 36および56を選び、5月上旬から9月下旬までの NVI の時系列変化を4週間ごとの最大値で示したものが図11である。図11から次のことが言える。

- (1) 森林では、NVI の時系列変化が1986年、1987年、1988年の3年間の間でほとんど差異がない。
 - (2) 山火事跡では、NVI の時系列変化が1987年が一番低く、1988年が1986年と1987年の間に位置しており、山火事跡での植生の回復がうかがえる。
- 山火事の翌年に植生が回復していることから山火事跡の遷移系列は2次遷移であり、その回復は草本類が中心と考えられる。また、被災一年後である1988年に現地調査に参加した北海道大学農学部の高谷川栄博士によれば、林床の草本類は殆ど回復しているが、枯死

焼木は立ったままであったという。

なお、5月上旬と9月下旬で NVI の値が低いため、植生分布の観測は適当でないと考えられる。これは、草本類および木本類の葉が枯れているためと考えられる。

5. NOAA 画像および GVI データから得られた知見

まず、NOAA 画像から次のことが指摘できる。

- (1) 数100km におよぶ広大な山林火災の被災面積を同日時の NOAA 画像で把握することが出来た。黒龍江省大興安嶺地区で9,778km²の被災面積が確認できた。
- (2) 正規化植生指標により被災の強度を2段階に分類することが出来た。
- (3) 黒龍江省大興安嶺地区における被災面積は、9,778 km²であったが、一年後において植生が回復していると見られる面積が9,243km²あることがわかった。
- (4) 広大な山火事の被災状況および回復状況を監視するのに、NOAA 画像を用いた正規化植生指標の利用が有効であることが明らかとなった。

次に、GVI データから次のことが指摘できる。

- (1) GVI データで大興安嶺地区山火事跡が確認できた。
- (2) 1988年では大興安嶺地区山火事跡の植生回復が確認できた。これはおもに林床の草本類によるものと考えられる。
- (3) 大興安嶺地区の植生分布を観測するには、7月から8月の間で雲などの天候の影響を受けない時期が適している。

参 考 文 献

- 1) 人民日報：1987年5月13・14日
- 2) 地図出版社 中華人民共和国地図集：1979年
- 3) 中国科学院遙感衛星地面站 大興安嶺林火地区衛星影像平面図：1987年11月
- 4) 燃える中ソ国境：斉藤誠一、清水雅男、科学朝日 1987年8月号
- 5) 中国大興安嶺の森林火災の判読：渡会敏明、長谷川栄、リモートセンシング研究セミナー資料、1989年1月27日
- 6) GLOBAL VEGETATION INDEX USERS' GUIDE: Satellite Data Services Division, U.S. Department of Commerce, MAY 1986

図11 NVI 時系列変化