

東北アジア地域における森林火災の一考察

A Study of Forest Fire Analysis for Northeast Asian Resion

工 藤 純 一 (東北大学大型計算機センター)

外 館 睦 也 (日本電信電話株式会社)

徳 田 昌 則 (東北大学学際科学研究センター)

Abstract

For the study of forest fire of Northeastt Asian region, the analysis of nornalized difference vegetation index (NDVI) form NOAA AVHRR data has mainly produced. The satellite image have undergone a process of temporal compositing to reduce the effects of cloud cover. When the NDVI is plotted against the area with time, different cover types are shown to have characteristic profiles corresponding closely with vegetable ecology. The resultant pattern of NDVI maps displayed on the images is analysed in terms of the images calculation method. It is concluded that fire monitoring using NDVI images needs to be associated with database of past fired information.

キーワード：森林火災、NDVI、東北アジア、NOAA、画像解析

1. は じ め に

東北アジア地域には広大な森林資源が存在し極東地域だけでも2億8000万ヘクタール以上を有する⁽¹⁾。その開発は将来の地球環境にも大きな影響を及ぼすと考えられ、従来より森林の適正な保全管理のための種々の方法が提案されてきたが⁽²⁾、シベリアを中心とする大きな領域を対象とする場合、個々の点的な情報の収集では全体を把握することが困難である。

特に、東北アジア地域の各地では毎年乾燥した時期に森林火災が頻繁に発生しており、その消失した面積は北海道に相当する大規模な火災に及んでいる⁽³⁾。東北アジアの大部分を占めるロシアでは通信事情が極端に悪いために、いつ、どこで、どの程度の火災が発生しているかの系統的な情報収集が困難な状態にある。さらに、近年の経済破壊とインフレのために森林火災の調査を行っていた研究機関が資金不足のために十分な現地調査や衛星データの購入が困難な状況にある。そのため、ロシア国内でも最近の大規模森林火災の実態やその後の回復状況等を十分把握していない。また消火活動も資金難のために行われることが少なくなり、一度火災が発生すると大規模火災につながるケースが多い。

森林火災は森林資源の消失に直接結び付くものであり、東北アジア地域は北半球全体にも大きな影響を及ぼす重要な意味を持っている。このような状況の中で、本研究では近年東北アジア地域に発生した大規模森林火災に着目し、気象衛星データを用いて火災前後の植生の変化を解析した。特に多年におよぶ解析のために画像間演算⁽⁴⁾の手法を植生解析に応用し、火災による植生成長の影響を明確に示した。

2. 解析対象地域

本研究での解析対象は1987年5月にロシアと中国の国境付近（北緯53度、東経125度）で発生した大規模な森林火災である。この火災は5月6日に発生してから約1カ月間続き、消失した面積は四国の半分以上に相当する約100万ヘクタール以上であり、火災による炭酸ガスやメタンガスの発生量の推定も研究されている⁽⁵⁾。また、この地域の5月の地表は大部分が凍結状態のため、地表面の葉や枝は焼けても、その地下の有機物層は残り植物の再生により火災後の植生が回復していることも分かっているが、広範囲に及ぶ火災地域の植生変化の解析結果を多年に渡って可視化するまでには到っていない。

図1には解析対象領域の周辺を、図2には実際に行った解析対象領域を示す。解析対象地域には

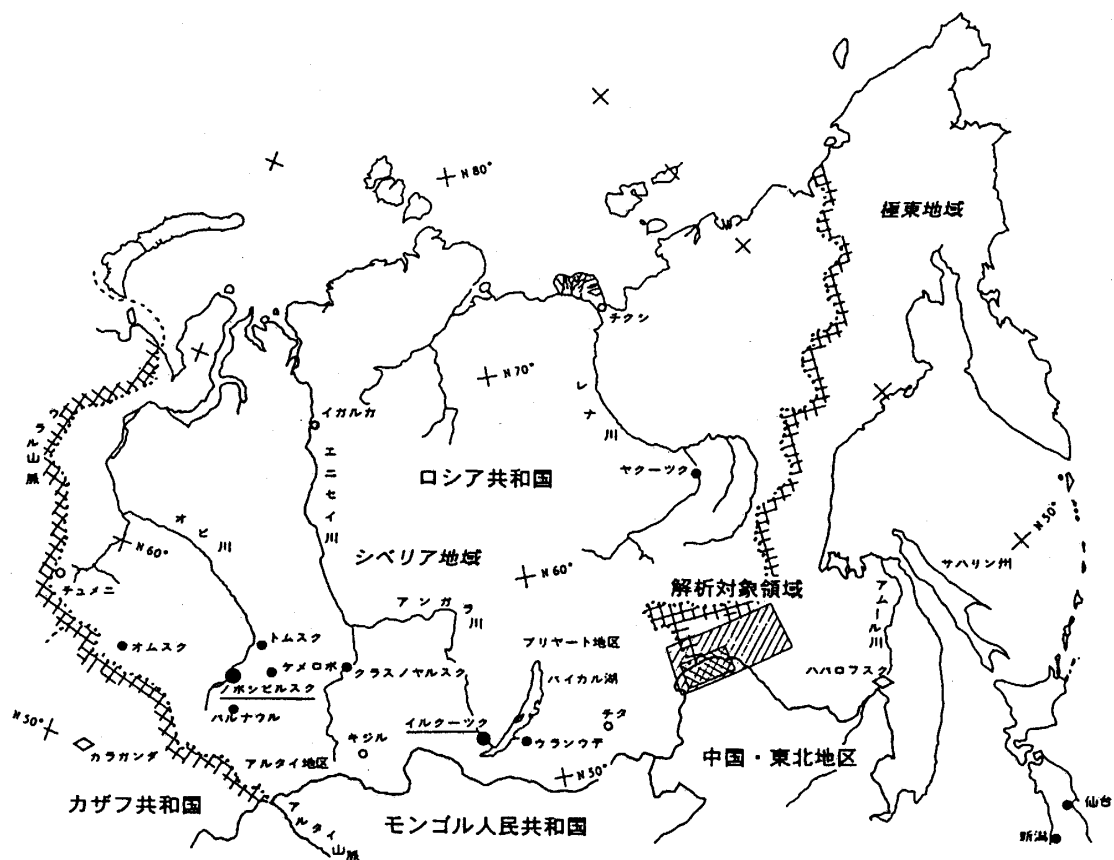


図1 解析対象領域周辺図

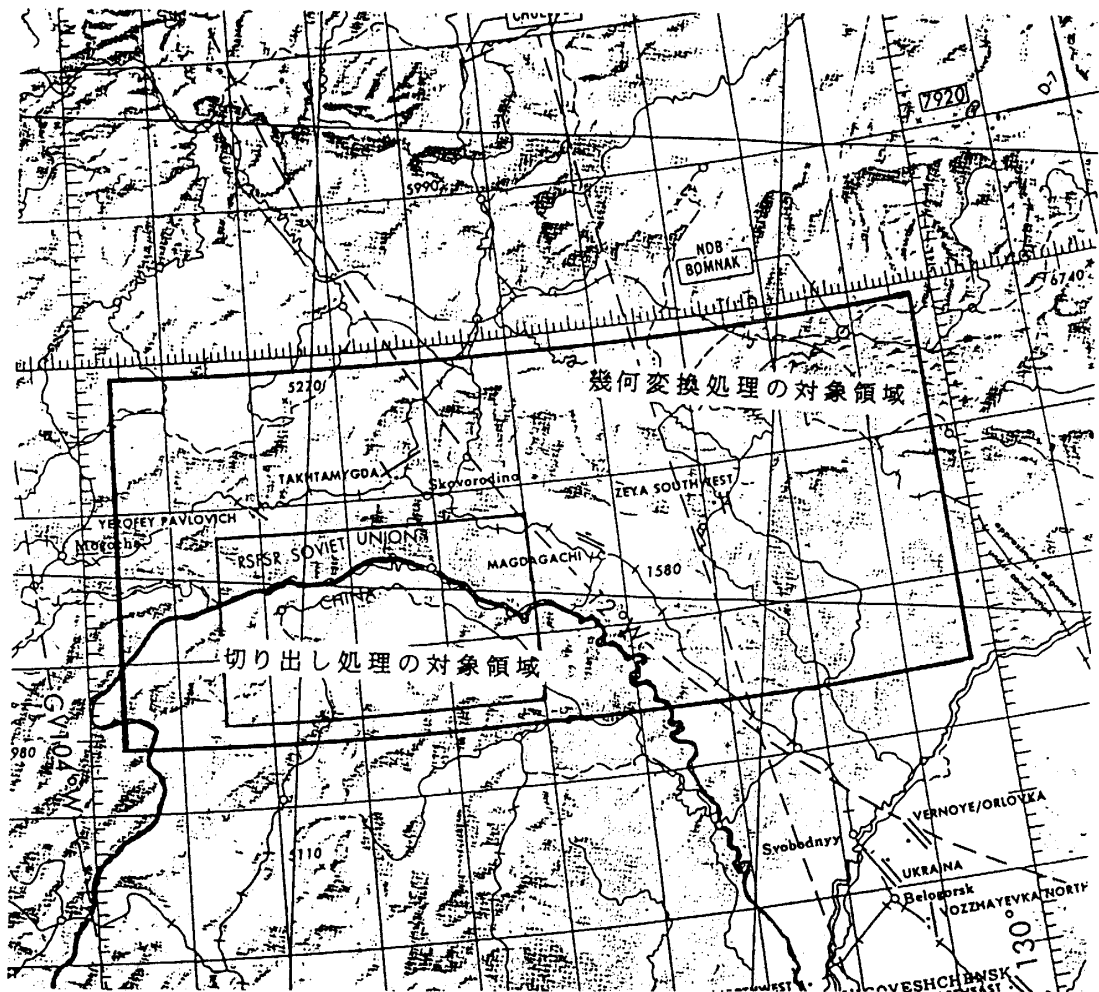


図2 解析対象領域

地上での観測施設がないため、同地域の気候を推測する上で参考になる都市（北緯、東経）の月平均相対湿度、月平均降水量、月平均気温を図3に示す。本研究では解析対象地域に近い主要3都市としてCITA (52,113), BLAGOVESCHENSK (50,128), Khabarovsk (49,135)を選んだ。図3よりこの3都市の気候は比較的類似しているから、解析対象地域も同様の気候と考えられる。

3. NOAA AVHRR データ

3.1 解析対象データ

解析には東北大学理学部で受信した NOAA AVHRR データを用いた。NOAA は米国海洋大気庁 (National Oceanic Atmospheric Administration) によって運用されている気象衛星である。AVHRR は NOAA 衛星に搭載されているセンサーの一つで改良型超高分解能放射計 (Advanced Very High Resolution Radiometer) の略であり、表1のような仕様になっている。

表1 AVHRR の仕様

チャンネル	観測波長帯 (μm)	観測項目	直下点分解能 (km)	観測幅 (km)
1	0.58-0.68 (可視)	雲、氷、雪の領域	1.1	2800
2	0.725-1.10 (近赤外)	陸水領域、陸域植生		
3	3.55-3.93 (中間赤外)	表面温度、雲の領域		
4	10.3-11.3 (熱赤外)	表面温度、雲の領域		
5	11.5-12.5 (熱赤外)	表面温度、雲の領域		

本研究で使用したデータは、火災の前後を観察するために1987年5月以前と以後の春と夏を中心に取得したものから選択した。春に観察されたデータは植生が活発になる前として常緑樹とそれ以外を区別する目的で図3の気候状況から当初4月を対象とする方針であったが、4月のデータには雲域が多く解析には不適當なことが分かった。また、同地域の3月のデータは雪で覆われている領域が多く解析には不適當であった。このような理由により、春のデータとしては5月のデータを採

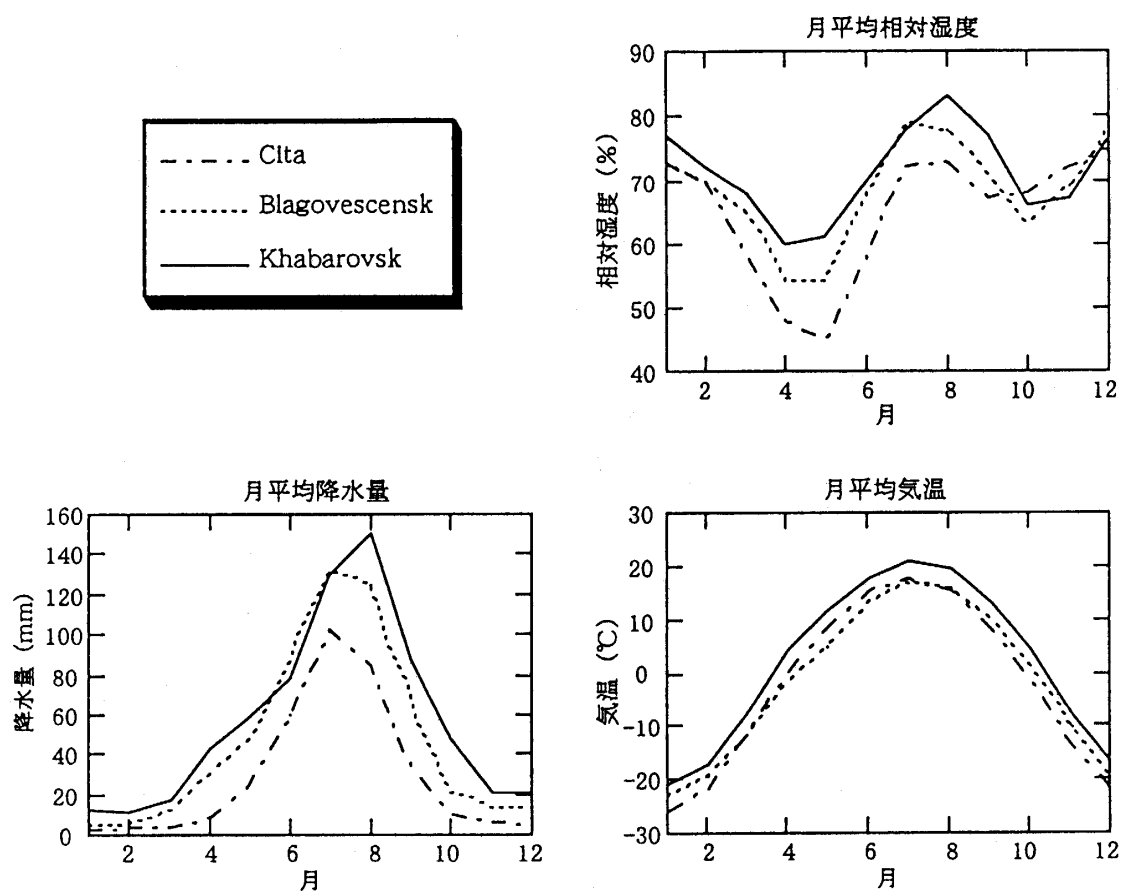


図3 解析対象地域付近の月平均相対湿度、月平均降水量、月平均気温

用した。夏に観測されたデータは、対象地域に存在する植生が最大限繁茂した状態を観測する目的で7月を選択した。この中から本研究では主に火災前後の比較に重点を置いて1985年と1990年のデータを中心に解析を行った。

表2には同地域の研究のために処理したデータの一覧を示す。表2において便宜上、各データは取得日を括弧内の3文字で区別することにした。この3文字は1番目の数字が年の下1桁、2番目の文字が月の頭文字、3番目の文字が月の中の旬（A：上旬、B：中旬、C：下旬）を表わす。

表2 使用したNOAA AVHRRデータの取得日（年、月、時刻（UT））と衛星番号

	NOAA-9号			NOAA-11号			
時期	85年	86年	87年	89年	90年	91年	93年
5月	5.12.05 (5MB)		[5.22.05] (7MC)	5.31.04 (9MC)	5.15.05 (0MB)		
					5.25.04 (0MC)		
7月		7.7.05 7.8.05 (6JA)		7.31.04 (9JC)	7.19.04 (0JB)	7.6.04 (1JA)	
8月			8.20.06 (7AB)				8.26.06 8.28.06 (3AC)

3.2 データ前処理

NOAA から取得したデータは生データと呼ばれるもので、これ自体を直接利用することはできず、各種の補正および変換処理を施さなければならない。本研究では NOAA AVHRR データ処理ソフト PaNDA (Package for NOAA Data Analysis)⁽⁶⁾を用いた。

3.3 NDVI を用いた植生解析

地表被覆物の分光反射特性はその種類や状態に応じて異なる。植生の場合、可視波長領域（400nm～700nm）において吸収が顕著であり、反対に近赤外域（700nm～1300nm）では高い反射を示す⁽⁷⁾。図4には AVHRR のチャンネル1と2の波長領域における典型的な地表被覆物の分光反射特性を示す⁽⁸⁾。図4によると、植生だけが大きな変化を示していることが分かる。このような分光反射に基づいて (EQ1) に示されるように AVHRR のチャンネル1と2を用いた正規化植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index) が定義されている⁽⁹⁾。

$$NDVI = (CH2 - CH1) / (CH2 + CH1) \quad (EQ1)$$

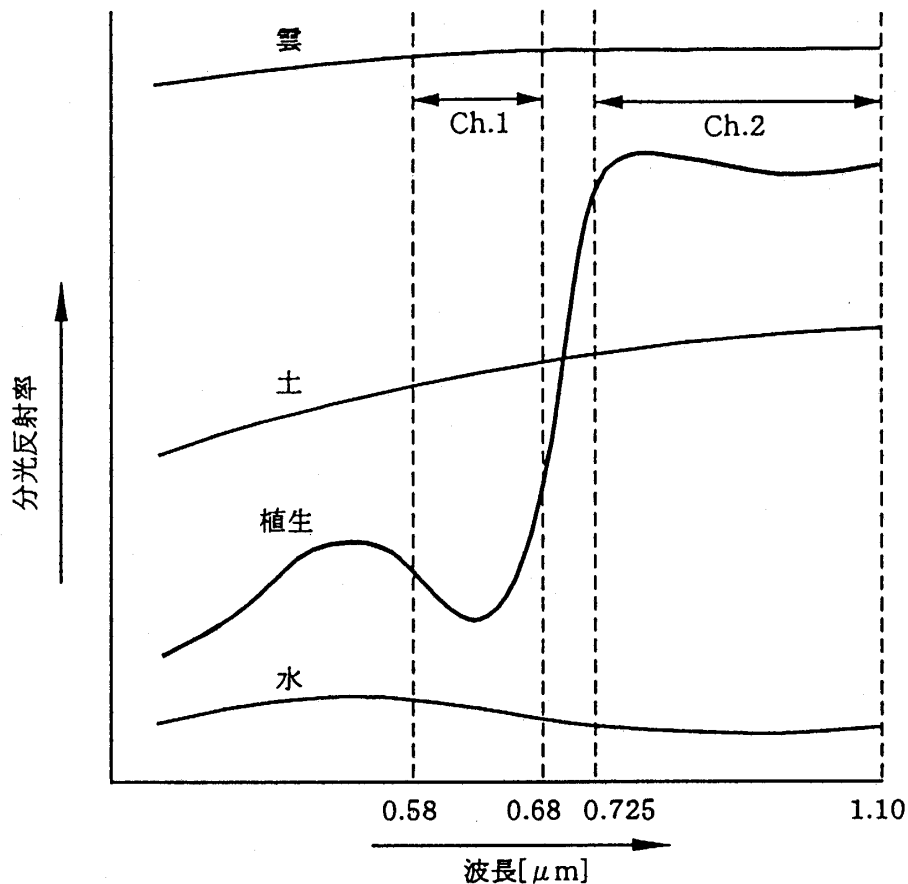


図4 AVHRR チャンネル 1 および 2 の波長帯域における極型的な地表被覆物の分光反射特性

NDVI は地表被覆物の状況に応じて理論上、 -1.0 から $+1.0$ の間の値を取る。これは、植生が高い程大きな値を示し、裸地では正の低い値、雲域では零付近、水域では負の値を示す特徴がある。また、NDVI は正規化されているために、太陽高度の変化等による太陽放射度の変化の影響を受けない。このように AVHRR データを用いた NDVI は植生と関連づけるための定量的な指標として一般に用いられているので、本研究でも解析の中心手段に用いた。

4. 解 析

4.1 解析方法

まず、取得した生データを幾何変換処理するために画像上の位置と緯経度の対応が理解しやすい方法として、等緯経度座標系を用いた。地図化の分解能は原画像の情報量を損なわない意味で 1.1km とし、幾何変換処理の対象領域は火災が発生した場所として北緯 53.4 度、東経 125.0 度を中心に緯線方向に 768 ピクセル、経線方向に 256 ラインとした。次に、解析領域はこの中から図 2 のように 256 ピクセル \times 128 ラインを切り出して NDVI 解析の対象とした。

4.2 火災画像表示

火災が発生している様子を観察するために1987年5月の画像に対して、コンピュータディスプレイのR (Red), G (Green), B (Blue) に AVHRR のチャンネル4、2、1をそれぞれ対応させた表示を図5 (本誌142頁参照)*に示す。この方法では温度が高い部分が赤く、植生が高い部分が緑色に表示される。

4.3 NDVI 解析結果

まず、火災前後の比較として1985年と1990年を選び、季節的に植生が活発になる5月中旬のデータを解析した。植生の様子を可視化する方法として、コンピュータディスプレイのR (Red), G (Green), B (Blue) に AVHRR のチャンネル1、2、1をそれぞれ対応させた表示とNDVIの値を色分けした画像結果を図6(a)、(b) (本誌143頁参照) および図7(a)、(b) (本誌144頁参照) に示す。R:G:B=CH1:CH2:CH1の表示では植生が大きい部分が緑色に着色される特徴がある。

図6(a)からは火災前の対象地域は比較的均一な植生に覆われていたことが分かる。また、図6(b)のNDVI分布図からは画面の下方から上方にかけて緑色から黄緑色の分布になっており、植生の進行が南側から北側へ向かっている様子が分かる。さらに、同地域の植状況には極端な不均一性は見られない。一方、火災後の図7(a)からは明確な植生の不均一は分らないが、図7(b)のNDVI分布図からは極端な植生の欠落が判断できる。特に、図7(b)の下方の緑色と黄色の境界線は図5で示した火災による温度が高い部分に相当しており、画面の中心部分は黄色から赤色に着色されて植生の値が小さいことから、火災による大きな影響が読み取れる。

さらに、このことを詳しく解析するために、横軸にNDVI値、縦軸に相当する面積率を取ったグラフを図8および図9に示す。図8は1985年と1990年の5月中旬における比較である。火災前の状態の特徴はNDVI値0.3付近に鋭いピークを有するカーブ(実線)を描いており、このカーブが同地域の均一的な植生分布に対応していると考えられる。一方、火災後の状態の特徴はやはりNDVI値0.3付近にピークがあるものの、上に凸の緩やかなカーブになっている。これは火災後同地域の植生が不均一になったことに対応しており、特に、NDVI値0.3付近の面積率が火災前に比べて小さいことから、森林が十分に回復していないことが分かる。

図9は、火災後の同地域の季節による植生の変化を比較したものである。5月中旬(OMB)と5月下旬(OMC)では観測された間隔が10日程しかないが、グラフからはNDVIの値が全体的に大きく上昇し、植生の増加が進んだことが分かる。さらに、7月中旬(OJB)にはさらにNDVI値は増加し、火災前に見られたような鋭いピークを有するカーブに変化した。これは、同地域の植生が均一的に繁茂しているためと考えられる。このことは、同時期のR:G:B=CH1:CH2:CH1の表示を行った図10 (本誌145頁参照)を見ると、火災が存在した様子は判断できなくなっている。

*本論文の付図のうちカラー図版のものは、印刷の都合上、142頁～146頁に掲載してある。

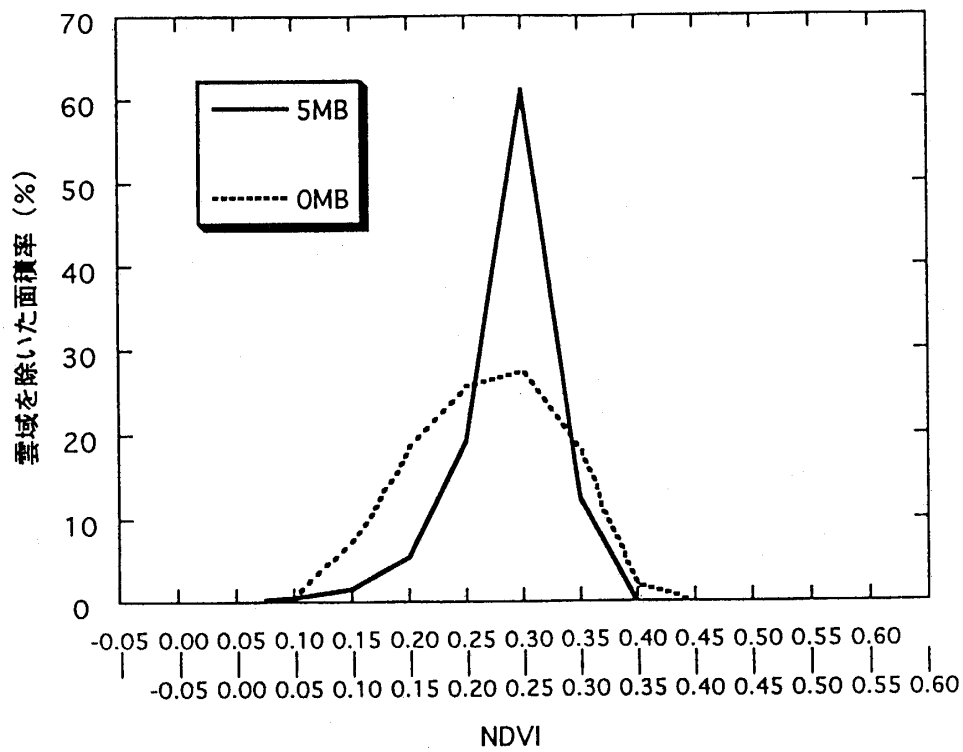


図8 火災前後の NDVI 値と対応する面積率

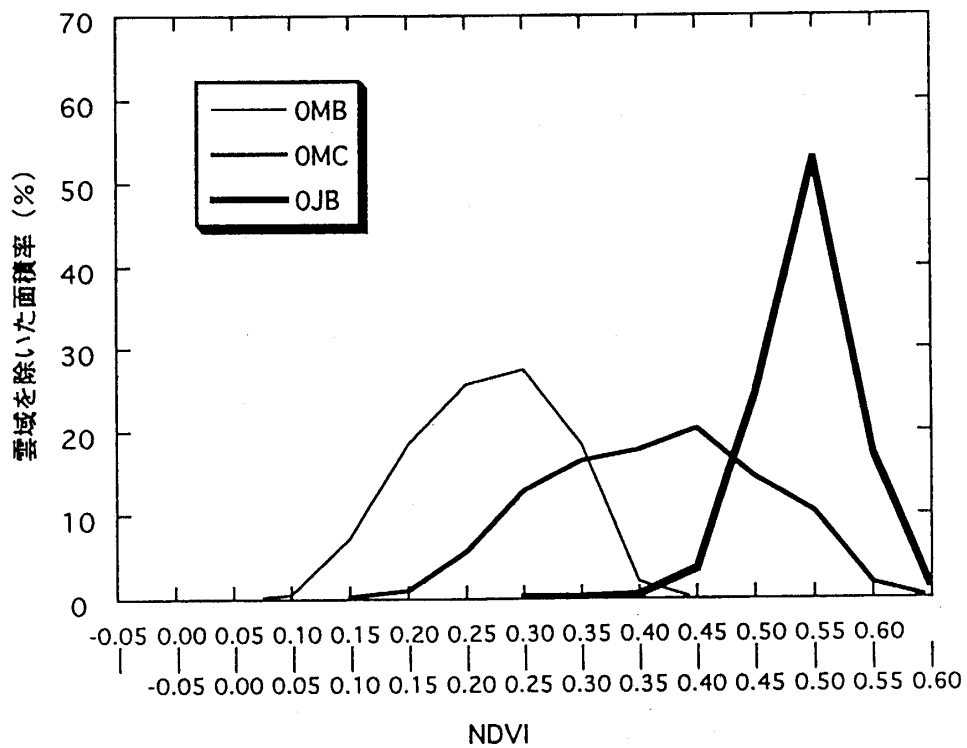


図9 火災後の1990年春から夏の NDVI 値と対応する面積率

5. 異なる時期の NDVI 画像演算解析

第4節で述べたように、大規模森林火災の解析方法として植生に着目した NDVI 解析は非常に有効な手段であるが、季節により成長する植生の変化によっては火災後の様子が適正に判断できない状態もある。そこで、本研究では NDVI の長所を活かしたまま、異なる2シーンの画像間演算処理に応用して、火災後の植生の回復状況を考察した。

5.1 火災前後の NDVI の差分画像 (5MB-OMB)

この方法は差分により NDVI の値を比較するので、プラスの値が大きい部分は後者の植生が少ないことを意味し、マイナスの場合はその逆を意味する。

図11 (本誌145頁参照) は火災前の1985年5月中旬と火災後の1990年5月中旬の NDVI 画像の差分を取った画像である。画面中央の火災の付近に着目すると、その周囲と明確に異なり黄色に着色されていることから、火災後の同部分の植生は遅れていることが分かる。

5.2 火災後の NDVI の差分画像 (OMC-OMB)

火災後の植生の回復状況を解析するために、1990年5月下旬から同年5月中旬の NDVI の差分を図12 (本誌146頁参照) に示す。この期間については図9から急速に植生が進んだ時期にあたる。しかし、図12からは火災に遭っていない部分 (画像の下方) が赤く着色されているので、この部分は植生の成長速度が速い。一方、火災の部分 (画像の中央付近) は緑から黄色が点在するので、植生の成長速度が遅いことが分かる。したがって、両者の植生のタイプは異なると考えられる。

5.3 火災後の NDVI の差分画像 (OJB-OMC)

さらに、季節が進んだ場合として、1990年7月中旬から同年5月下旬の NDVI の差分を図13に示す。図13 (本誌146頁参照) は火災に遭っていない部分 (画像の下方) が青く着色されているので、この部分の植生の成長はほとんど無いと考えられる。一方、火災の部分 (画像の中央付近) は赤く着色されているので、植生の成長速度が著しいと考えられる。

以上のことから、火災に遭わない部分の植生の大部分が森林であるならば、火災後の部分は森林が十分回復しておらず、下草のように夏に著しく繁茂する植生が存在していると考えられる。

6. お わ り に

本研究では、衛星画像を用いた森林火災解析の一考察として東北アジア地域で発生した火災の時系列的な解析を行った。その結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 火災により森林の均一的な植生は失われ、火災後3年経った1990年でも回復していない。
- (2) 植生解析の手段としての NDVI は火災の解析にも十分活用できる。
- (3) NDVI 法の長所を活かして季節の異なる画像シーンの演算を行うことにより、火災部分と非火災部分の植生の成長速度の違いが分かった。
- (4) 本研究で対象とした地域では、火災後に本来の森林は十分に回復しておらず、下草が存在す

ると推測できる。

今後の課題として、広大な東北アジア地域の森林環境解析には衛星データを用いることが有効である。特に、環境解析にとって過去のデータは現在と比較するために不可欠なため、活用できるデータベースの整備が必要である。

参 考 文 献

- (1) 望月喜市、永山貞則、ロシア極東経済総覧、東洋経済新聞社 (1994)。
- (2) シベリア学術懇話会編、持続可能な発展におけるシベリアの意義と課題、(1993)。
- (3) J.G. Goldammer, V.V. Furyaev (Ed.), Fire in ecosystems of boreal eurasia, Kluwer Academic Publishers (1996)。
- (4) 高木幹雄、下田陽久、画像解析ハンドブック、東京大学出版会 (1991)。
- (5) D.R. Cahoon Jr, B.J. Stocks, J.S. Levine, Satellite analysis of the severe 1987 forest fires in northern China and southeast Siberia, J. Geophys. Res., Vol.99, (D9), 18627-18638 (1994)。
- (6) PaNDA 委員会編、PaNDA Document Ver.1.0a, PaNDA 委員会 (1992)。
- (7) 会田 勝、大気と放射過程、東京堂出版 (1982)。
- (8) 笹野泰弘編、地球を観測する、オーム社 (1993)。
- (9) C.J. Tucker, O.C. Justice, S.D. Prince, Monitoring the grasslands of the sahel 1984-1985, INT J. Remote Sensing, Vol.7, 1571-1581 (1986)。

Figures attached to the lecture by Valentin A. Koptuyug (pp. 5–11)

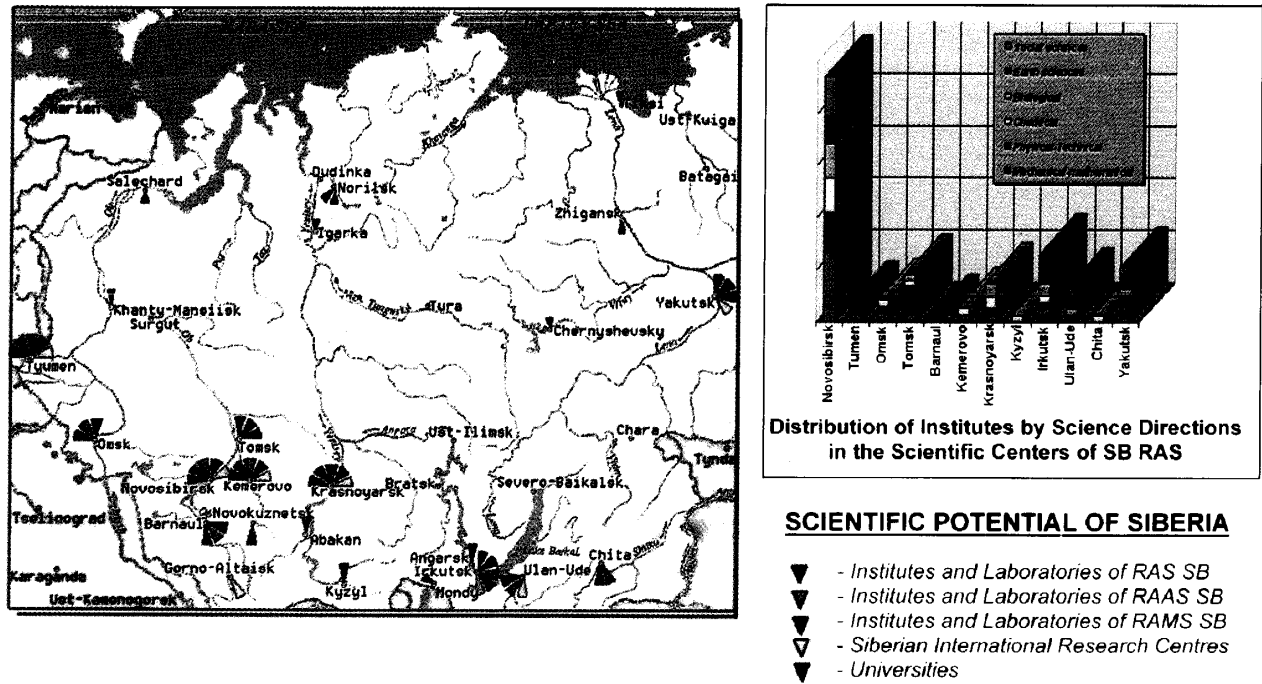


Fig. 1

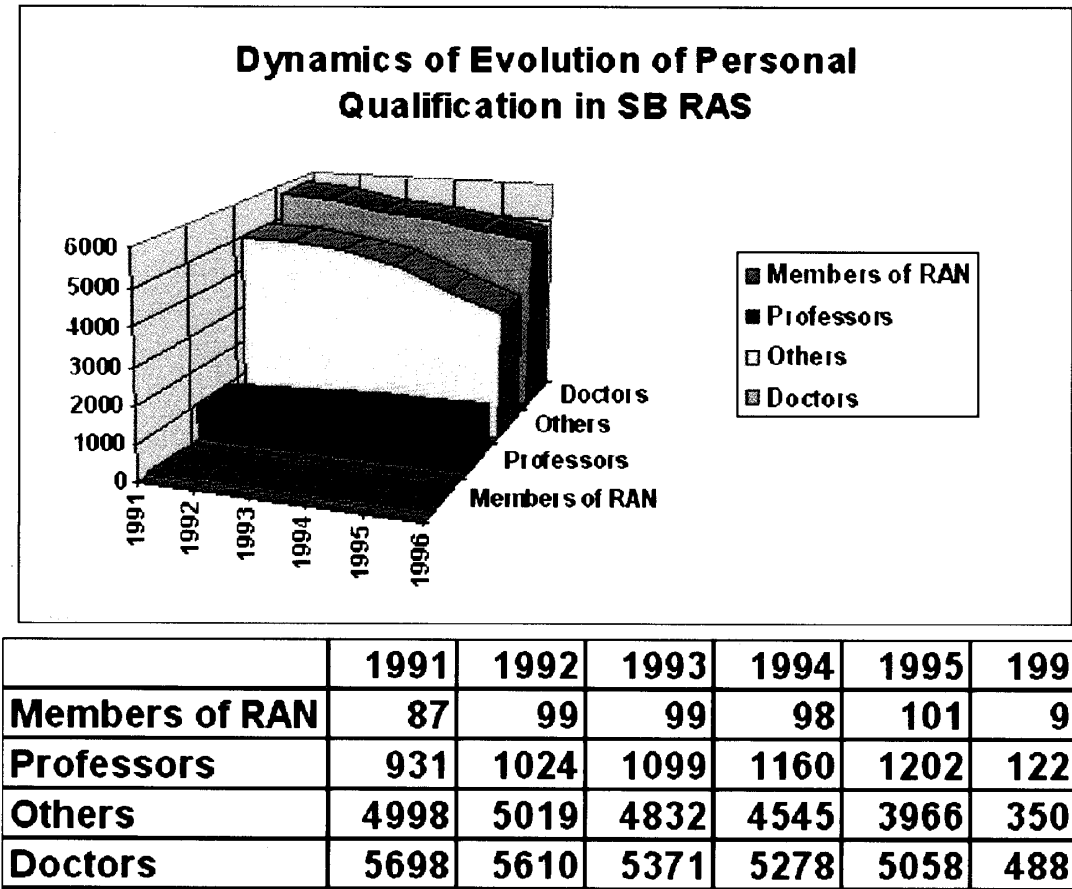
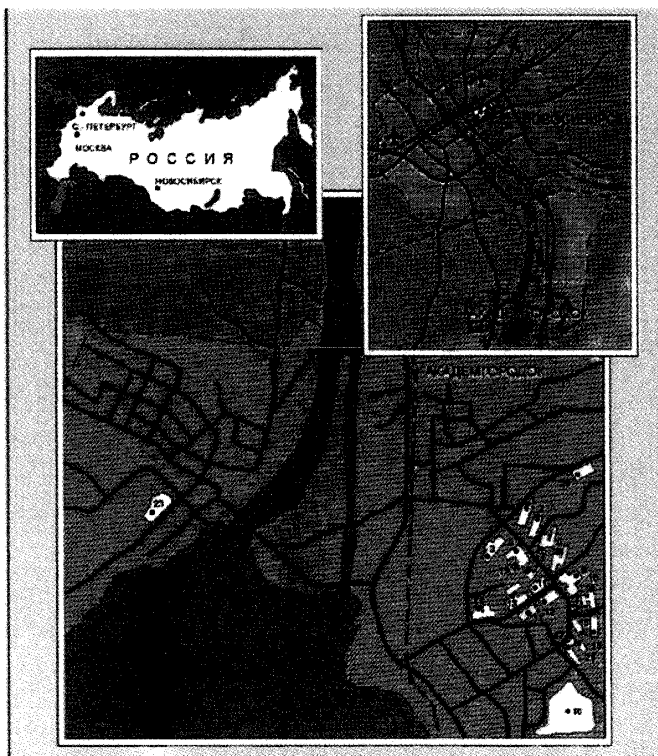


Fig. 2



Novosibirsk Science Center - Main Campus of SB RAS

- | | |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1. Institute of Thermophysics | 16. United Institute of Hydrodynamics |
| 2. Institute of Inorganic Chemistry | 17. Institute of Economics |
| 3. United Institute of Semiconductors | 18. Central Siberian Botanical Garden |
| 4. Institute of Catalysis | 19. Institute of Systems of Informatics |
| 5. Novosibirsk Institute of Organic Chemistry | 20. Institute of Solid State Chemistry |
| 6. United Institute of Computational Mathematics and Informatics | 21. Institute of History, Philology and Philosophy |
| 7. Novosibirsk Institute of Biorganic Chemistry | 22. Novosibirsk State University |
| 8. Institute of Nuclear Physics | 23. Experimental Plant |
| 9. Institute of Laser Physics | 24. Institute of Mining |
| 10. Institute of Theoretical and Applied Mechanics | 25. Institute of Soil and Agricultural Chemistry |
| 11. Institute of Cytology and Genetics | 26. Institute of Systematics and Ecology of Animals |
| 12. United Institute of Automation and Electrometry | 27. State Public Science-Technical Library |
| 13. Institute of Mathematics | |
| 14. United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy | |
| 15. Institute of Kinetics and Combustion | |

Fig. 3

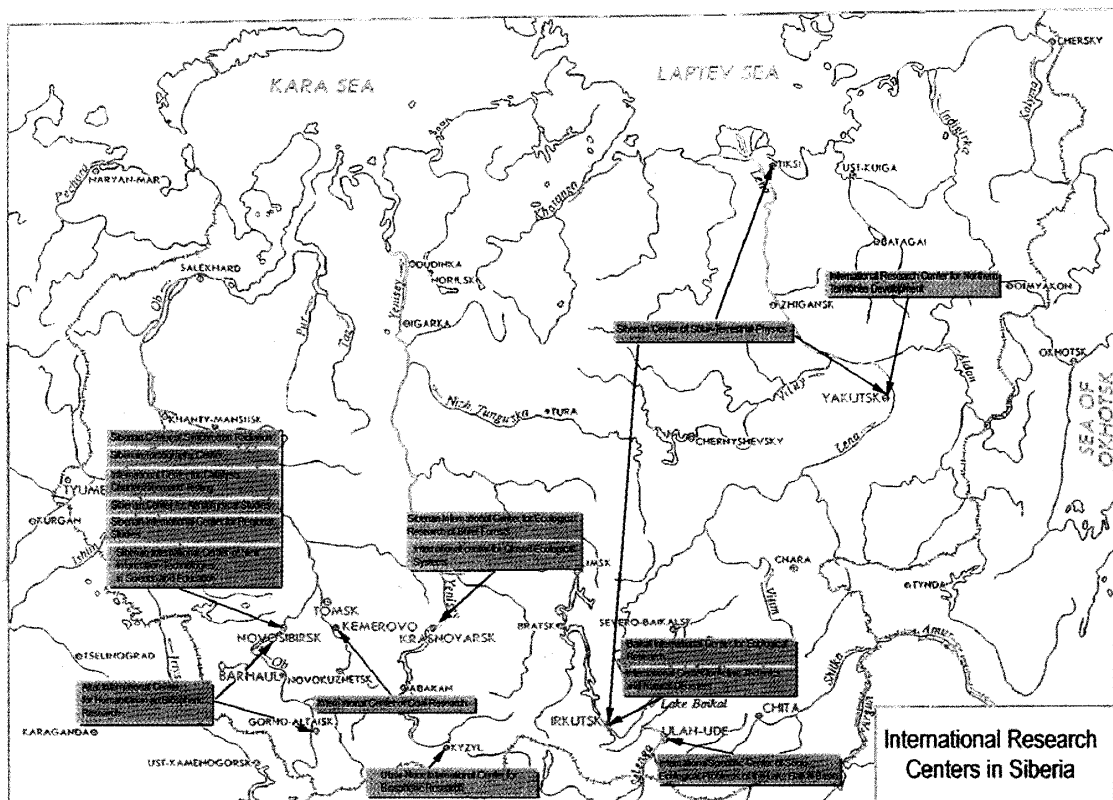


Fig. 4

International Project

"THE BAIKAL DRILLING PROJECT"

International investigations of the paleolimnological and tectonic
development of the Baikal rift structure
in terms of
the International Program "Global changes of the environment and
climate in Central Asia" based on sedimentological studies of Lake Baikal



*A report prepared for distribution
at the Conference
"Continental Scientific Drilling"
Potsdam, Germany, August 30 - September 1*

RUSSIA

USA

JAPAN

Fig. 5



Fig. 6

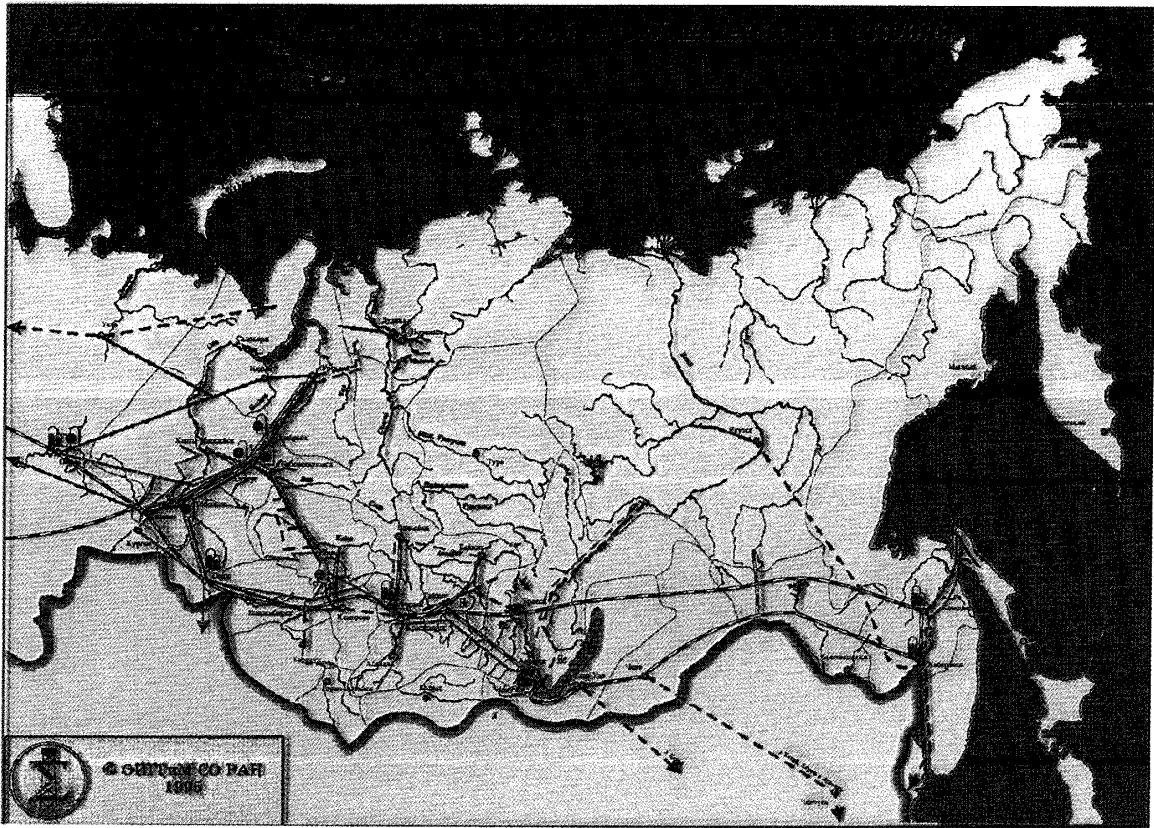


Fig. 9

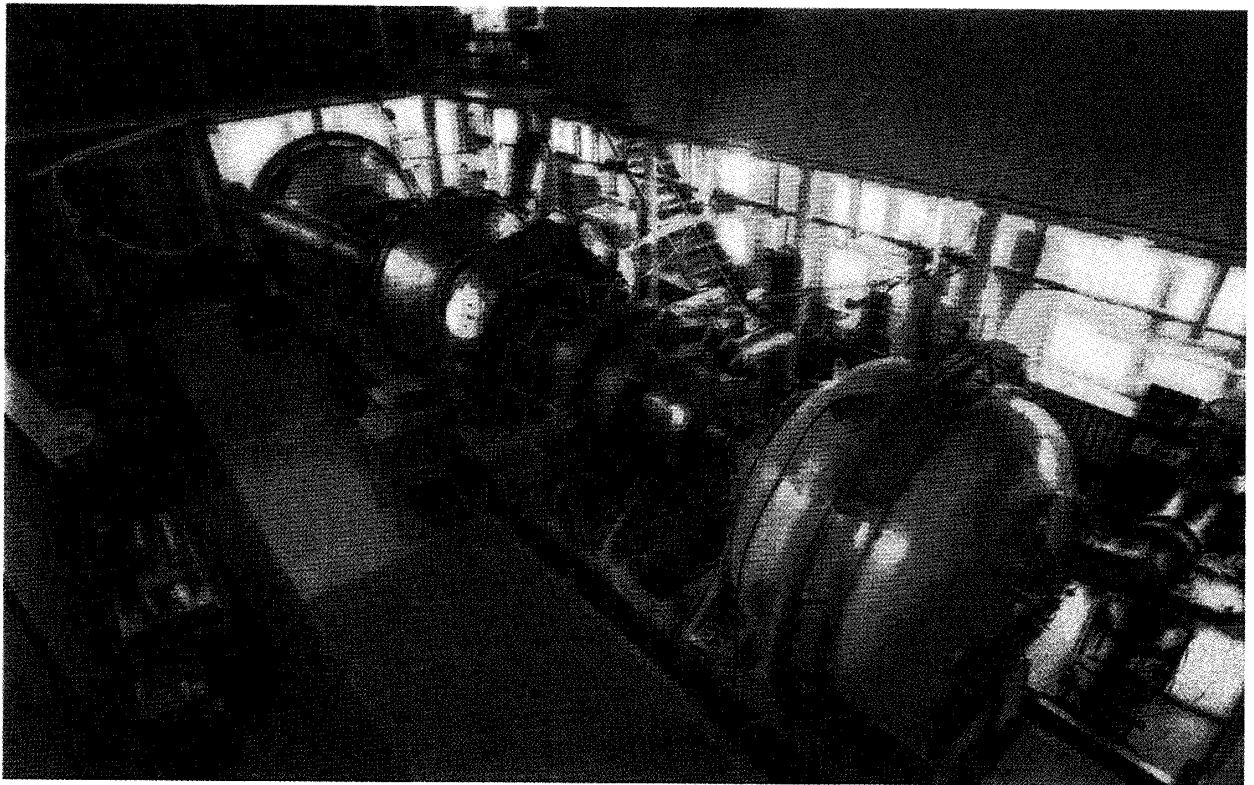


Fig. 10

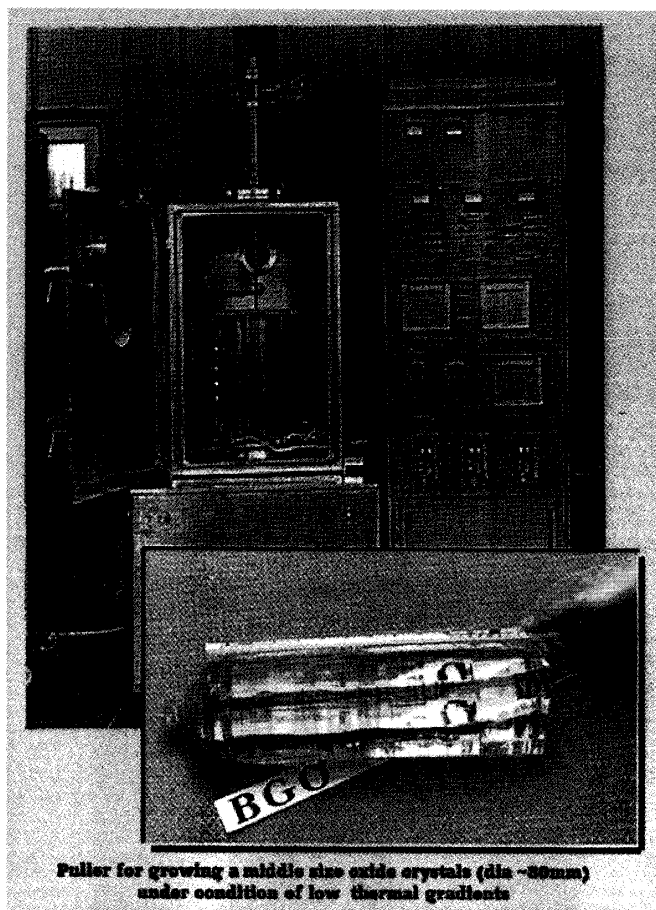


Fig. 11



*Atlas of Tibetan Medicine prepared for publication
 by Institute of Natural Sciences, Ulan-Ude*

Fig. 12

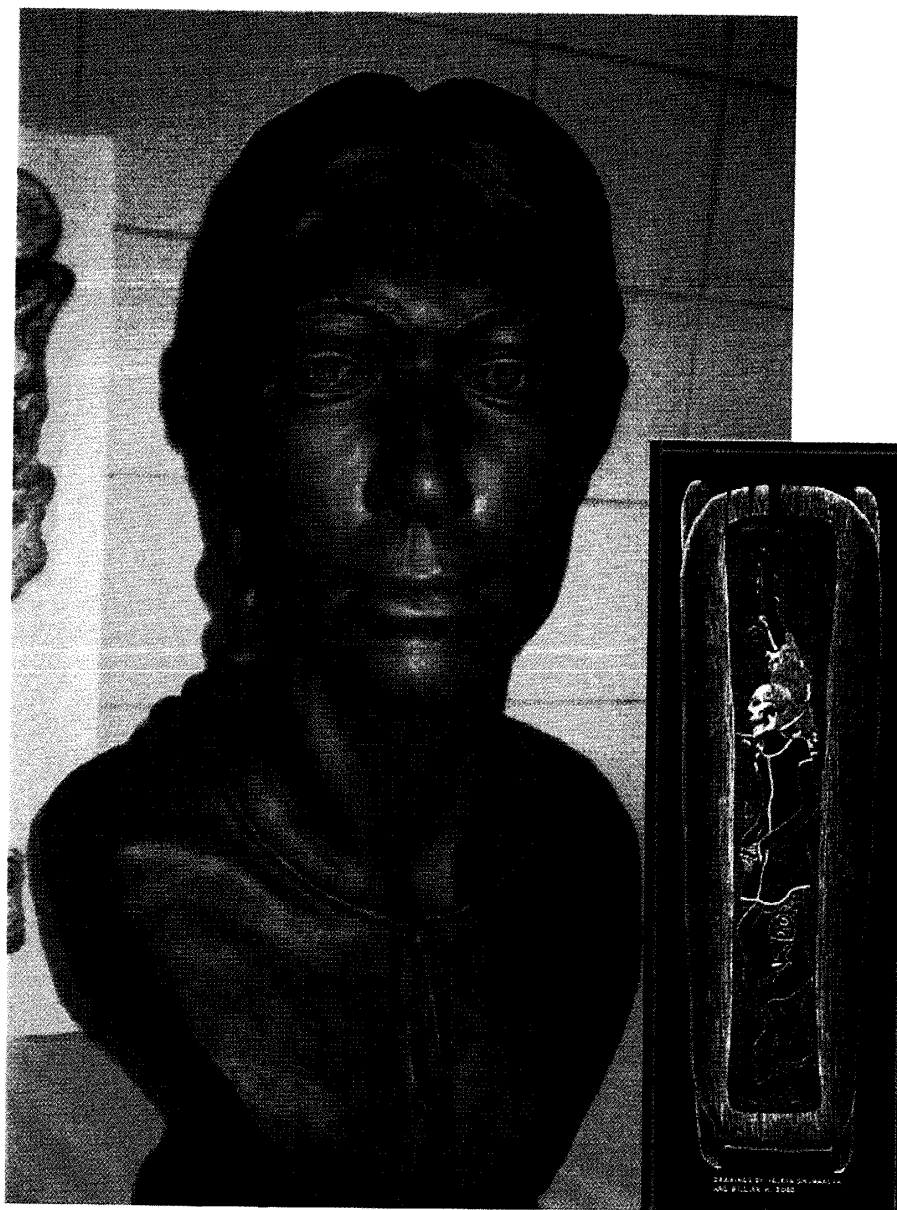


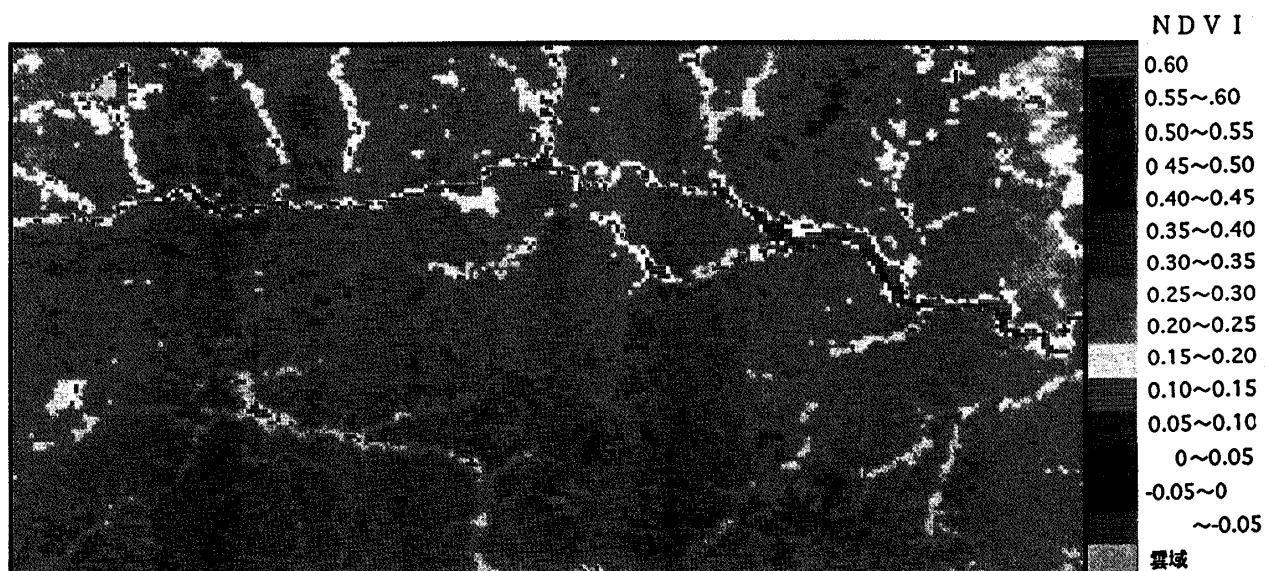
Fig. 13



図5 1987年に発生した火災の合成表示(R:G:B=4:2:1)

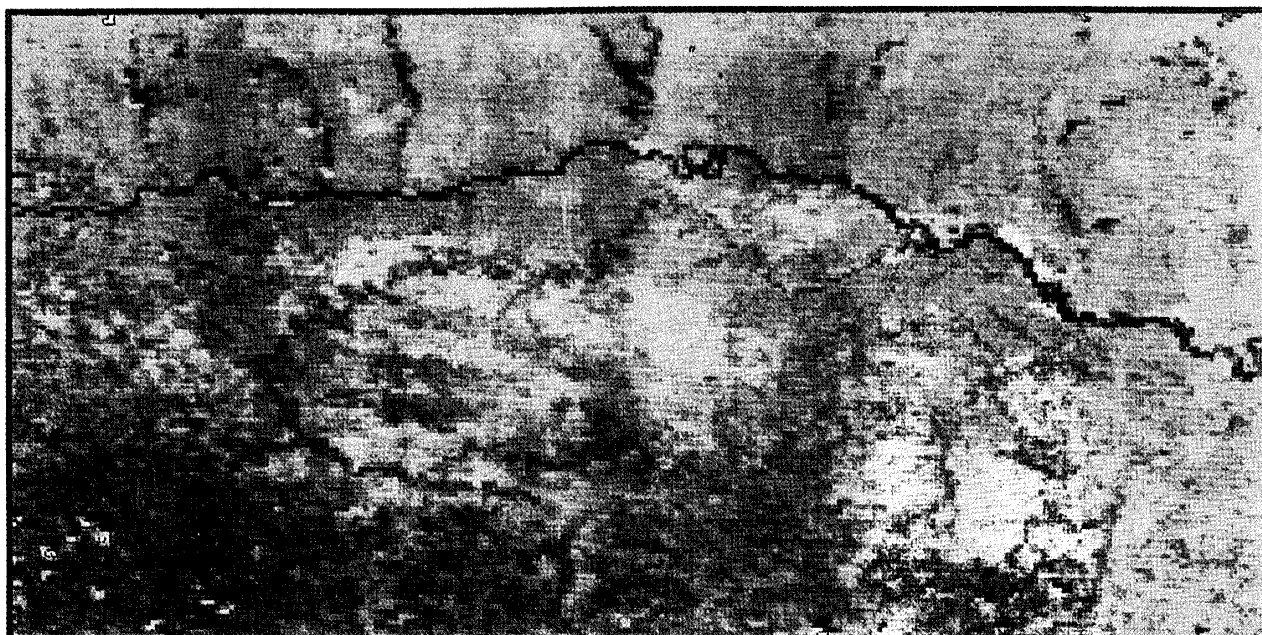


(a)



(b)

図 6 火災前1985年5月中旬の (a) 合成表示 (R:G:B = 1:2:1), (b) NDVI 解析結果



(a)



(b)

図7 火災前1990年5月中旬の (a) 合成表示 (R:G:B:=1:2:1)、(b) NDVI 解析結果

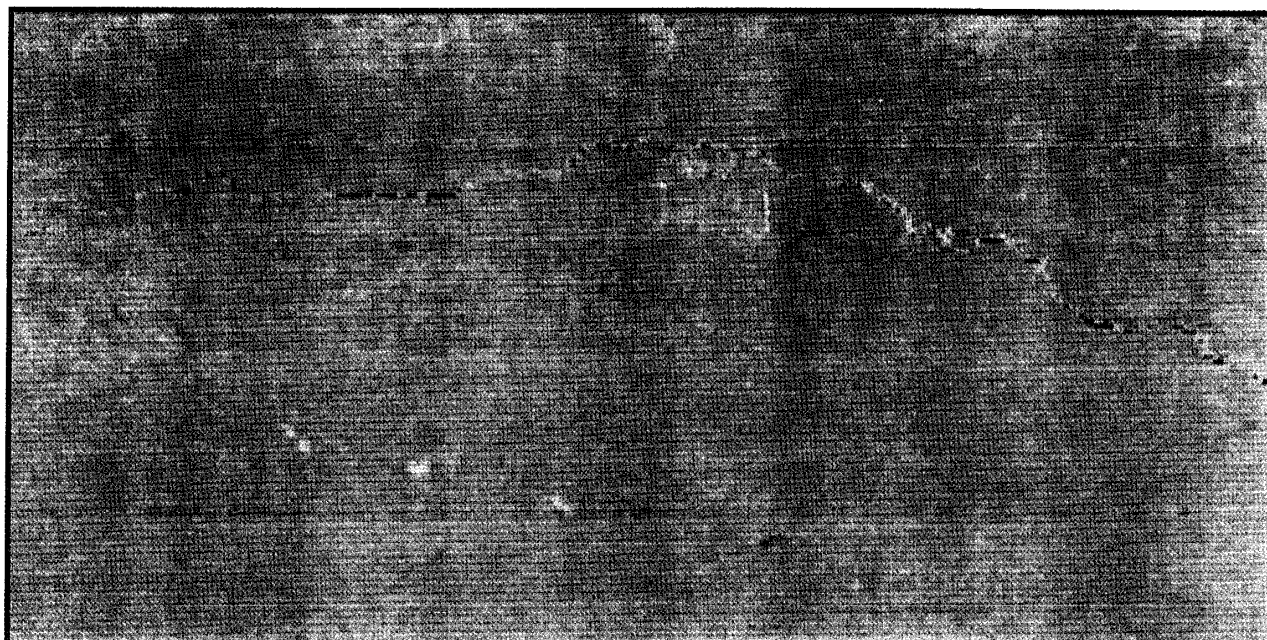


図10 火災後1990年7月中旬の合成表示 (R:G:B = 1:2:1)

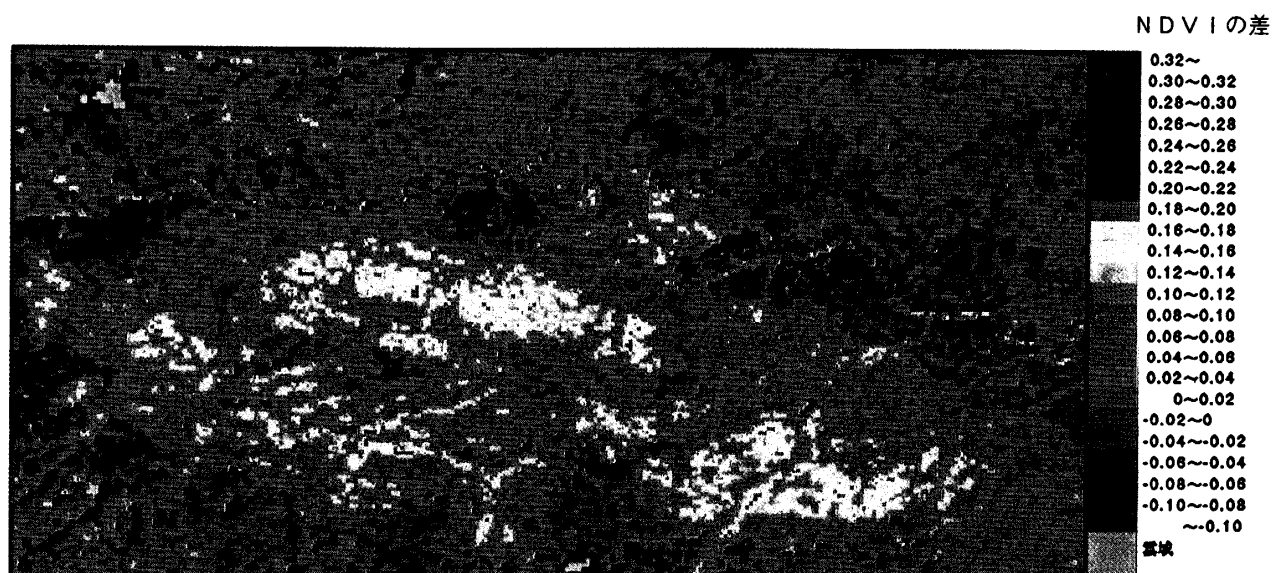


図11 火災前後の NDVI 差分画像 (5MB-0MB)



図12 火災後1990年5月中、下旬のNDVI差分画像(OMC-OMB)

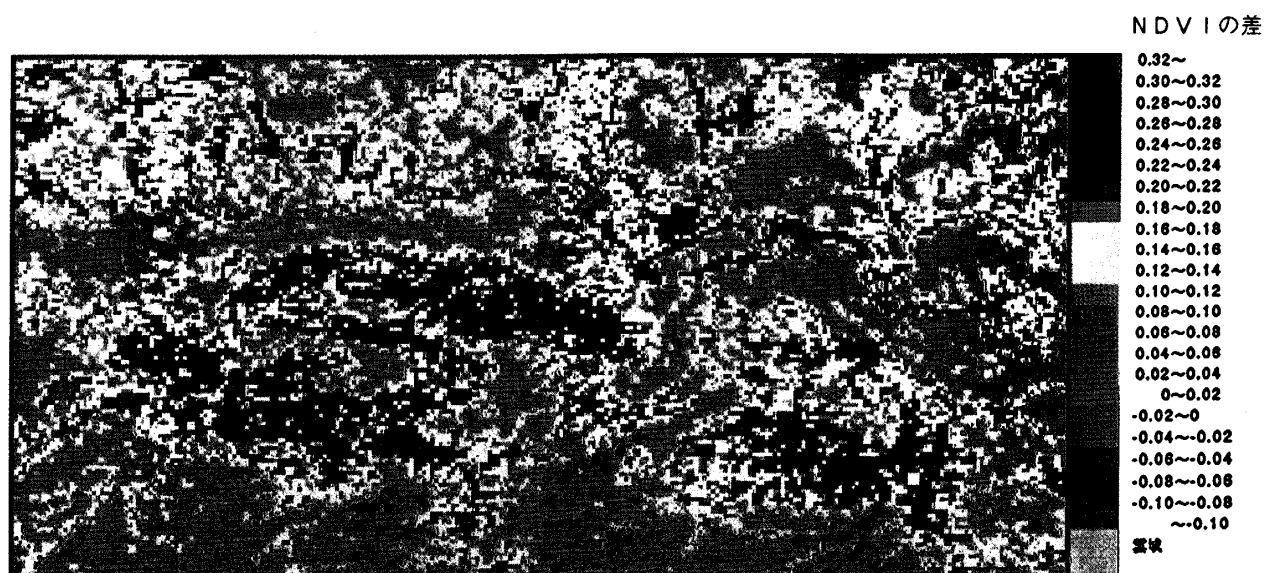


図13 火災後1990年7月中旬、5月下旬のNDVI差分画像(OJB-OMC)