

論 文

地理情報システムの作成と地すべり危険箇所判定に関する研究

サマラコーン ラル*・戎 信宏*・小川 滋*・大田原幸亘**

Estimation of landslides hazard zones using a GIS.

Lal SAMARAKOON, Nobuhiro EBISU, Shigeru OGAWA and
Yukinobu OHTABARA

Summary : This paper presents the result of estimating land slide areas in a part of the yoshino-river basin using Geographical Information System (GIS).

A system of programs was developed for handling multi-source data and accomplishing image analysis and statistical analysis. For the present research, two Landsat TM scenes; September 1986 and November 1986 were used. They were interpolated, georeferenced and overlaid with other geographical data that are available in "Kokudo Suchi Data" system in establishing a GIS of Yoshino-river basin.

It was assumed that the high moisture index in two seasons; after a long spell of rain and after a considerable dry period, could be related to the excess ground water in the area as far as the land cover remains the same.

The research was carried out in two steps. First, the unchanged forest stand in both of the dates, or the evergreen forest cover was separated from the rest of the area using difference of NDVI scenes of two dates. Then random sampling was done over the unchanged forest stands and data for bands 3, 4, and 5 were extracted. Factor analysis was done using band ratios' 4/3 and 4/5 of both dates to separate samples with relatively higher moisture index. Finally, samples which were estimated as representatives of high moisture areas were used as training samples to classify the study area using Maximum Likelihood technique. The classified map was compared with the landslides susceptibility map of the area, and found that the estimated high moisture areas were highly correlated with landslide proven areas.

* 生態系制御工学研究室 Laboratory of Geoecosystem Control Engineering

** 建設省四国地方建設局吉野川砂防工事事務所 Yoshinogawa Sabo Construction Office,
Shikoku Regional Construction Bureau, Ministry of Construction

要旨 吉野川上流域の地すべり危険度判定を行うため、地理情報システムによりランド・サットデータ、国土数値情報などの情報の重ね合わせの解析ができるシステムを開発した。まず、NDVI分類により常緑樹と落葉樹の検出を行った。次に検出された常緑樹について、湿润期と乾燥期の地表の水分条件に着目した分類をもとに、いずれの時期も湿润で、かつ植生の活力も旺盛なインデックスを1986年9月、11月のTMデータの4バンド／3バンド、4バンド／5バンドを使用して因子分析によって求めた。その結果から、3バンド、4バンド、5バンドのデータをもとに最尤法を用いて対象区域の地すべり危険箇所の判定を行った。

I. はじめに

本研究は、吉野川上流域における地すべりの危険度の判定を地理情報システム(GIS)によって行おうとするものである。

地すべりの原因は、地質、地形などの構造的な素因と降雨の浸透による地下水、地震振動、あるいは人為的な地盤不安定化行為（土工や地下水位上昇など）の誘因が相互に複雑に関係している。これら地すべりに関する要因は、地域的場所的に大きく異なっており、また時間的に変化する特性を持っている。つまり、地すべりの要因には、時空間変動の特性がある。

四国における地すべり危険箇所は、日本全国の15%強を占め、变成岩地すべりの多発地帯として有名であるが、これらの地すべりもまた多くの個別的な特徴を持っている。特に、吉野川上流域は、地質的構造特性から地すべりの多発地帯であり、多くの危険箇所がある。

これらの危険箇所に対して、地すべりの原因となる要因についての情報源を調査し、データ化し、場所的（地区的）な要因特性、およびその時系列的な変化をGISとしてシステム的に重ね合わせる手法を開発し、主として統計的手法により地すべりの危険度の判定を行うのが、本研究の目的である。

II. 研究対象地の概要

吉野川流域の地すべり多発地帯を中心とした地域を対象範囲とする。しかし、統計的解析に必要な資料については、周辺の地域も対象範囲とした。

研究対象地の吉野川上流域は図-1に示すところである。吉野川は、その源を石鎚山の東、瓶ヶ森に発し、地蔵寺川、汗見川、穴内川、南小川、祖谷川、銅山川などの支川を合せて四国を横断する幹川流路延長194km、流域面積3,750km²の河川である。また、四国の地質はほぼ東西に横断する中央構造線、御荷鉾構造線、仏像構

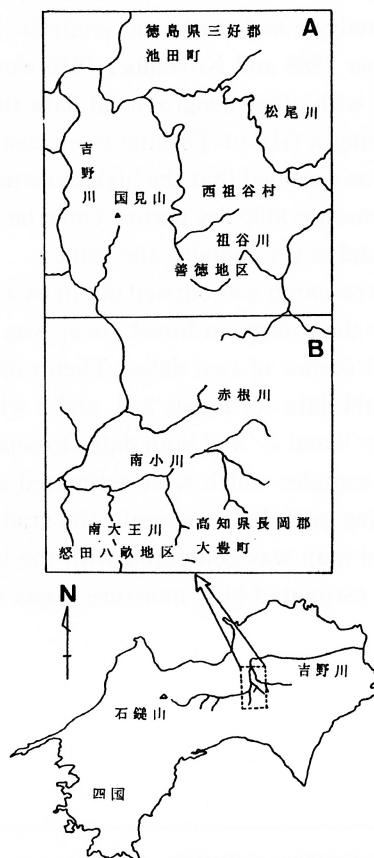


図-1 研究対象位置図

造線で帶状に区分され、中央構造線の北側から中生層（和泉層群）、三波川変成岩（三波川帯）、古生層（秩父帯）、中生層（四万十帯）が分布する。研究対象地区の祖谷川および周辺地域は、中央構造線の南側に位置し三波川変成岩が広く分布するほか、地域南部の剣山一南小川を東西に走る御荷鉢構造線の南側に御荷鉢緑色岩類、古生層が分布する。三波川帯は圧碎された黒色片岩、緑色片岩からなる。御荷鉢緑色岩類は御荷鉢構造線の南側に幅2～4kmの帶状に分布してある。古生層は、砂岩、粘板岩、石灰岩、珪岩、輝緑凝灰岩からなる。これらの地域は、構造線の影響を受けて脆弱であることが多く、地すべりの発生原因となっている。

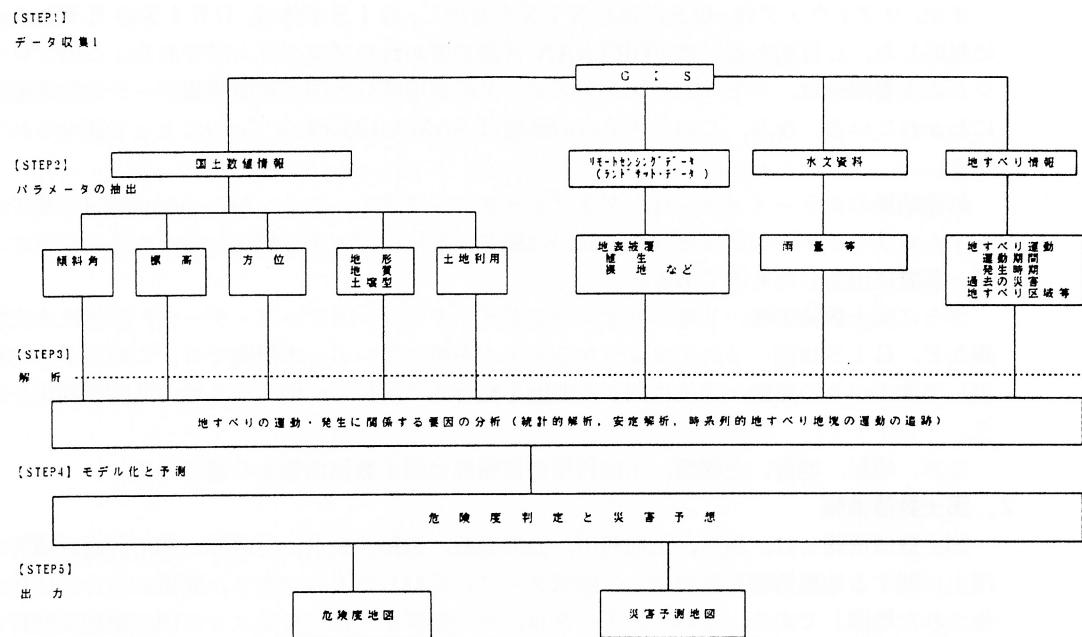


図-2 G I S を用いた地すべり危険度判定のフローチャート

III. 地理情報システム (G I S) と数値情報

1. G I Sの概要

G I Sは、愛媛大学農学部連合大学院多目的画像システムの一部分を活用したものである。このシステムの中心となるハードウェアは、グラフィックワークステーション(TITAN)である。このグラフィックワークステーションのハードウェアの概要は、2 CPU(R3000, 33MHz)で主記憶32MB, 16~64MFLOPSのベクトル演算能力を持ち、カラーモニターは、1,280×1,024画素で、1,670万色が表示可能である。

また、ソフトウェアは、OSにはUNIXを使用し、G I S本体は、UNIXのX-Windowに対応した、C言語あるいはFORTRAN言語で書かれたプログラム群である。このプログラムの主要部分は、リモートセンシングデータの処理部分と国土数値情報データの処理部分にわかれており、なお、このシステムの詳細はSAMARAKOONら(2)によって述べられている。

処理結果のカラーイメージは、グラフィックワークステーションからnexus6800(リアルタイムカラーイメージプロセッサ: 512×480ドット)にデータを転送して、カラービデオコンピューター装置に出力したものである。

さらに国土数値情報、リモートセンシングデータ(ランドサット・データ)以外に水文情報など、G I Sは図-2に示すようなシステムを持っている。本研究では、このG I Sを利用して地すべりの運動・発生に関する要因を総合的に解析し、地すべり地の危険度判定を行う。

なお、地形、地質、土壤型、土地利用の情報源は国土数値情報より得ている。

2. 国土数値情報

国土数値情報とは、地形、土地利用、公共施設、道路、鉄道、行政界、都市計画区域等の国土に関する地理情報を数値化し、磁気テープに記録したものであり、簡単に言えば「数値化された地図」である。これらのデータは、その精度が一様になるよう国土地理院発行の2万5千分の1の地形図を用いて位置の計測や同定が行われている。データの位置については、国土数値情報では、第3次メッシュと呼ばれるほぼ南北に1km×東西1kmの区画に区切ってその位置を表わし、全国を39万個の第3次メッシュで覆っている(1)。

この国土数値情報のデータの内、地すべり情報に関する標高データ、地形分類データ、地質データ、土壤型データ、土地利用データをこの研究では用いることにする。

標高データは、任意の2万5千分の1の地形図の大きさの部分を抽出し、3次メッシュ型データをラスター型データ(2万5千分の1の地形図のメッシュデータ)に変換し、2万5千分の1の地形図の大きさを100セルの単位(1セルは約1,000m×約1,150mの大きさで、これが国土数値情報の3次メッシュに相当する)に分け、標高データはさらにこの1セルを縦横4等分し、16個のデータとなる。

同様な方法で、国土数値情報の土地利用データは、1セルに100個のデータで、地形分類、地質、土壤データは、1セルに1個のデータとなる。

それぞれのラスター型データは、必要に応じて重ね合わせを行い、目的とする解析に用いる。例えばラスター型の標高データから、メッシュ単位の斜面の方位と傾斜角を求めることも容易である。

本研究では、ランドサットデータのTMデータの地上分解能が30mであることから、その単位を30m×30mのメッシュ単位とした。そのため、国土数値情報の各情報のデータをこの

単位にあわせ、データの補間を行い各データの重ね合わせもできるようにした。

3. 水分情報

これは、気象庁で行われているアメダスから、雨量などの気象データを用いることにした。アメダスデータは、磁気テープに集録されているため、解析に必要な場所のデータを磁気テープから取り出して解析に使用する。本研究では、1984年～1987年の研究対象区域を含む徳島県内のアメダスデータを使用した。

4. ランドサット・データ

ランドサットはアメリカのNASAによって打ち上げられた地球観測衛星であり、搭載されているセンサにはMSS (Multispectral Scanner) とTM (Thematic Mapper) がある。MSSは8日に1度同一地点のデータを得ることができるが、TMの場合は、同一地点のデータを得ることができるのは16日に1度である。MSSは地上分解能80mの可視光・近赤外光4バンド、TMは地上分解能30mの可視光・近赤外光4バンド、短波長赤外光2バンドおよび地上分解能120mの熱赤外光1バンドの7バンドを有するセンサである。

ランドサットは送られてくる電磁波の反射の強さを、MSSでは128段階、TMでは256段階に分けて表わしたデジタルデータとして記録している。各バンドは各々の特徴を持っているが、単一バンドでは土地被覆分類を把握するのは困難である。そこで、本研究では2種類以上のバンドの情報を使用し、そのランドサット・データは、CCT (Computer Compatible Tape) から必要な場所のシーンを切り出して解析した。

なお本研究では、解像度の高いTMによるデータを用いた。

IV. 解析方法

1. ランドサットTMデータ

前項で述べたように、ランドサットTMデータは、16日に一度の割合で同一地域をカバーしている。研究対象地域をカバーしているランドサットTMデータは、シーン番号111-036と111-037である。しかし、実際は上空に雲があると地表面の反射電磁波が遮られ、データ解析に用いることができない。これらのシーンでは、1984年から1991年2月までの雲量30%以下のデータは、15個しかなく、また、地すべり特性を解析するために、地表水分特性が変化している時期のデータが必要である。そのため、怒田・八畠地すべり地周辺の雨量観測地、南大王での雨量データから地表の乾湿の時期を検討し、さらにランドサットの雲量表から解析のためのランドサットデータを選定した。

地表の乾湿状態は、先行する雨量によって推定できると考え、先行1ヶ月雨量248mmで、6日前の日雨量161.5mm/dayをもつ1986年の9月3日を湿潤期とし、先行1ヶ月雨量50mm、無降雨日数25日の同年の11月6日を乾燥期（ただし、3日前に7mmの降雨がある）とし、解析は、1986年の9月と11月をもとに行った。

このランドサットデータは、9月と11月であるため、植生の変化として、落葉樹と常緑樹の分類が明確であることも利点である。

2. NDVI分類

ランドサットTMの画像データによって森林植生の検出を行う場合、ランドサットデータは絶対値ではなくて相対値であるという問題点がある。これは地表面の状況が変わらなくても時系列的に判断するときデータの値が変わってしまうことである。つまり、センサに入力される観測対象物の反射・放射情報は、大気による透過・反射・吸収・散乱と、太陽と観測面との角度によって変化してしまうことである。そこで、この問題を解決して分類するために

次の解析を行う。波長 k のとき、センサに入力される電磁エネルギー E_{ik} は、次式で表わされる。

$$E_{ik} = K (E_k \rho_k \tau_{uk} + \pi L_{uk}) \tau_{ok} \quad (1)$$

ここで、 E_{ik} : センサに入力される分光放射輝度

E_k : 対象物からの分光放射率

K : センサの透過率

ρ_k : 対象物からの分光反射率

τ_{uk} : 反射光の大気中における透過率

L_{uk} : センサと対象物の間の大気からの放射及び散乱

τ_{ok} : センサの応答特性

上式においてカッコの第1項は対象物からの放射成分であり、第2項は大気からの放射成分である。

ここで、もし2つのバンドで測定するとき、

$E_1 \tau_1 \approx E_2 \tau_2$, $L_{u1} \approx L_{u2}$, $\tau_{o1} \approx \tau_{o2}$ とすれば、バンド比 R は次のように計算される。

$$R = \frac{E_{11} - E_{12}}{E_{11} + E_{12}} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \quad (2)$$

この(2)式により、センサに入力される観測対象物の反射・放射情報の、大気による透過・反射・吸収・散乱と、太陽と観測物との角度は、除去される。よってバンド比 R は概算を行う限り、観測対象物の反射特性だけによるものとなる。 $E_1 \tau_1 \approx E_2 \tau_2$, $L_{u1} \approx L_{u2}$, $\tau_{o1} \approx \tau_{o2}$ と仮定するためには、2つのバンドによってそれぞれ測定される波長帯域ができる限り近づいていなければならない。また2つのバンドによってそれぞれ測定される植生の反射の強さの差が大きい方が、バンド比 R の特徴を明瞭に示すことができる(3)。以上のことから計算に使用する2つのバンドは、可視光域(TMバンド3)と近赤外線光域(TMバンド4)を使用する。このバンド比 R を計算したものがNDVI (Normalized Difference Vegetation Index) と言われている。それゆえ、NDVI 分類を行えば、ランドサットデータが絶対値ではなく相対値であるという問題を解決して、森林植生とその変化の検出を行うことが可能であると考えられる。

VI. 結果および考察

1. 森林植生の検出

本研究区域のNDVI値を、1986年9月、11月のランドサットTMデータより計算した。この面像解析結果を図-3 (A, B : A, Bの位置は図-1に対応する) と図-4 (A, B) に示す。

NDVI値の高い順に、緑、赤、青色で区別してある。一般にNDVI値の高い地点(緑色)は、森林区域であると考えられる。9月と11月を比較すると、赤色の区域が増加していることがわかる。これは、11月になって森林区域の落葉樹の落葉によりNDVI値が低下したためと考えられる。このことから、9月の画像解析結果でNDVI値の高い区域について、9月と11月のNDVI値の差をとることによって、森林区域の常緑樹と落葉樹の検出を行っ

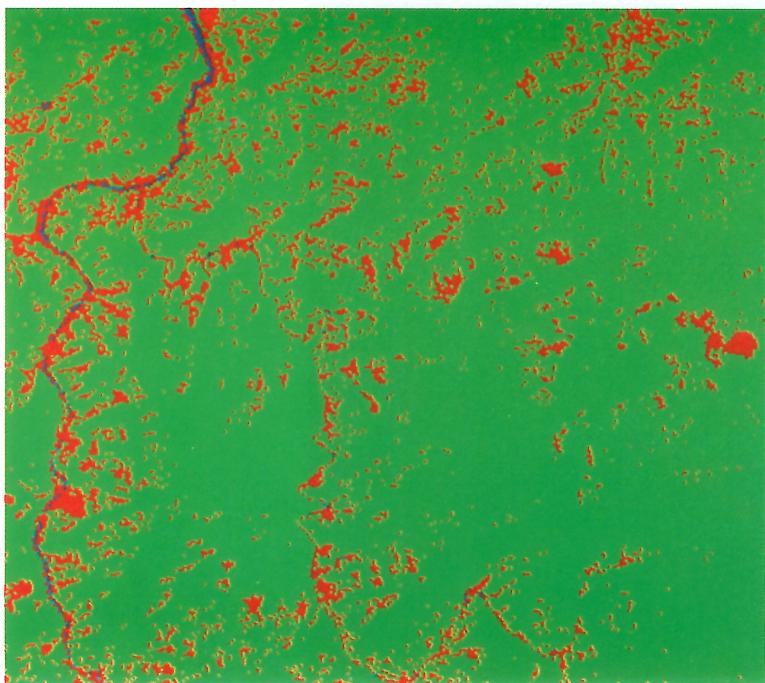


図-3(A) NDVIによる森林植生の検出(1986年9月)

凡例	
画像の色	森林植生
緑色	森林
赤色	その他

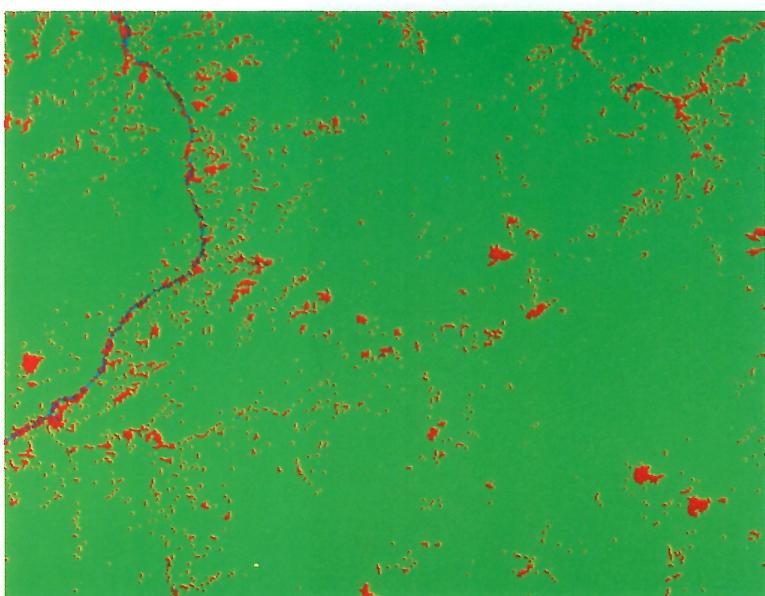
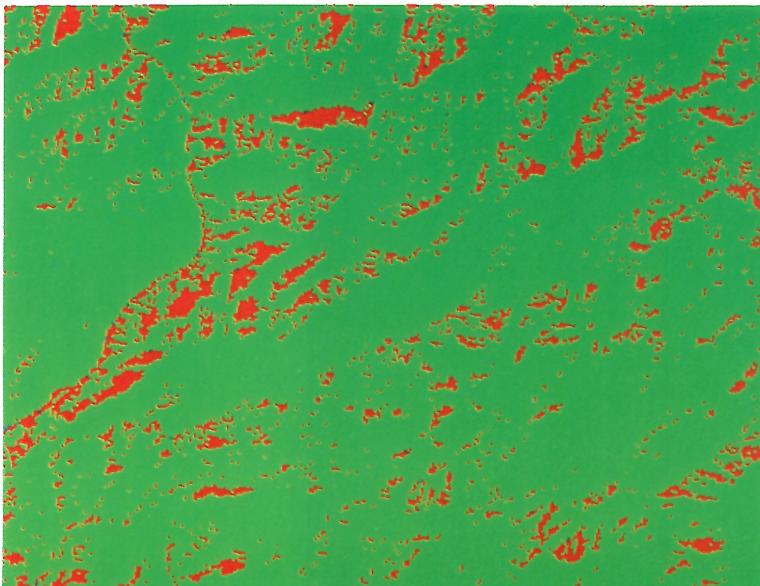


図-3(B) NDVIによる森林植生の検出(1986年9月)



凡 例	
画像の色	森林植生
緑 色	森 林
赤 色	そ の 他

図一4(A) NDVIによる森林植生の検出(1986年11月)



図一4(B) NDVIによる森林植生の検出(1986年11月)

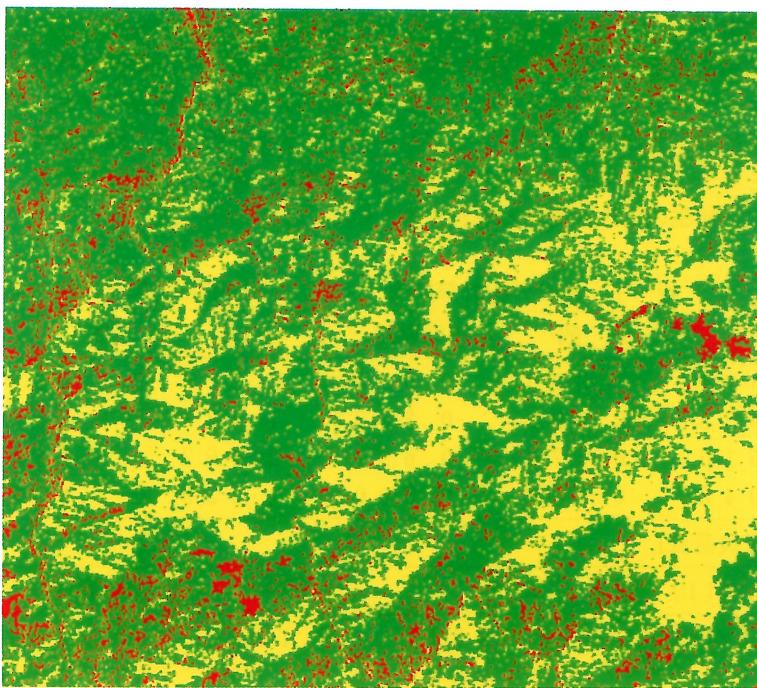


図-5(A) NDVIによる針葉樹, 広葉樹の検出

凡 例	
画像の色	森林植生
緑 色	常 緑 樹
黄 色	落 葉 樹
赤 色	帶 境 ま た は 裸 地

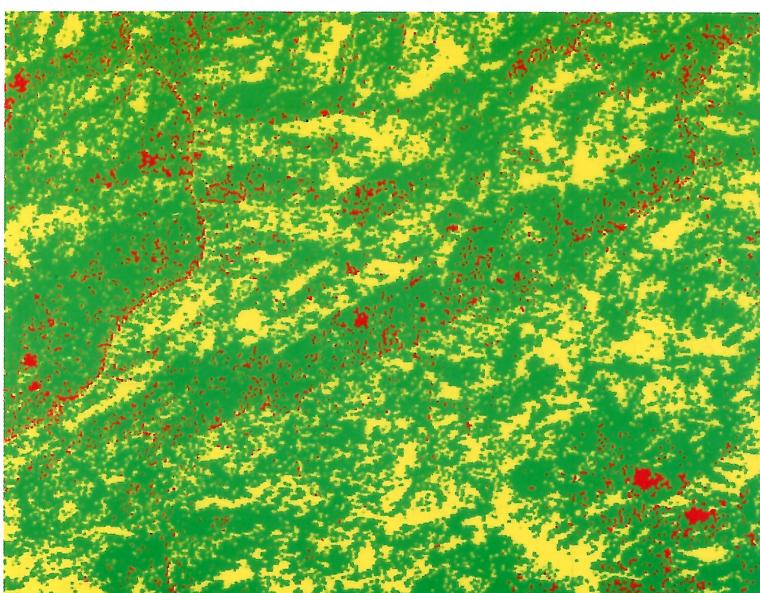


図-5(B) NDVIによる針葉樹, 広葉樹の検出

た。その結果を図-5 (A, B) に示す。この図の緑色の区域は常緑樹で、黄色の区域が落葉樹である。赤色区域はその他である。

2. 地すべり地の特性の抽出

地すべり地の特性を抽出するため、対象区域内から前節で明らかになった、森林区域の常緑樹について69地点をランダムにサンプリングした。このサンプリングした地点の9月、11月の4バンド／5バンドのバンド比と4バンド／3バンドのバンド比を使って、因子分析を行った。この計算結果を表一1に示す。4バンド／3バンドの比は、植生の活性度を示し、この比の値が大きいほど、植生の活性が高いと解釈されている。

表一1 因子分析計算結果

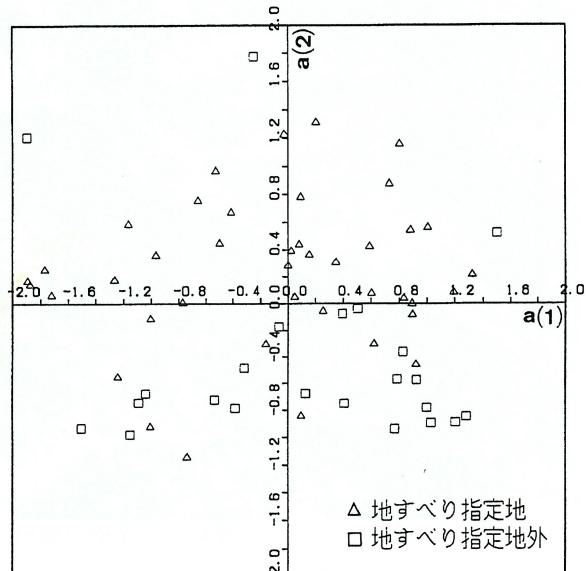
Number of cases = 69

変量	平均	分散	標準偏差	最小	最大
Sep. band4/band5	4.424	0.320	0.566	3.375	5.632
band4/band3	2.033	0.092	0.303	1.333	2.656
Nov. band4/band5	3.610	0.479	0.692	2.462	5.286
band4/band3	2.043	0.152	0.390	1.229	2.667

【バリマックス回転後の因子負荷量】

変量\因子	a(1)	a(2)	a(3)	共通性
Sep. band4 / band5	0.0514	0.5931	-0.1262	0.3704
band4 / band3	0.7163	0.0850	-0.2199	0.5686
Nov. band4 / band5	0.5089	0.4208	-0.7507	0.9996
band4 / band3	0.9243	0.0878	-0.2189	0.9100

また、4バンド／5バンドの比は、植物や土壤の水分含有状態に関連が深く、この比の値が高いと含有水分が多いと解釈されている。バリマックス回転後の推定された因子負荷量では、第一因子（a(1)）は、9月、11月の4バンド／3バンドの比に関わる因子で、第二因子（a(2)）は、9月、11月の4バンド／5バンドの比に関わる因子と解釈される。この第一因子をX軸に、第二因子をY軸にとり、各サンプルデータの因子得点を図一6に示す各象限にプロットした。この各象限にわかれた地点と地すべり地の関係を見ると地すべり指定地の73%が第1象限、第2象限にあることが判明した。この因子分析結果の解釈として、4バンド／5バンドの比の大きい地点は、植物や土壤の含有水分が多い地点であることから、地すべり地であることは十分考えられ、この第二因子によって地すべり地の抽出が可能であると考えられる。



図一6 因子分析得点散布図

a(1)：第一因子， a(2)：第二因子

3. G I Sによる危険地判定

ランドサット TMデータによる地すべり地の特性解析をもとに、因子分析得点散布図の第1象限と第2象限にプロットされたピクセル番号のもつ3バンド、4バンド、5バンドのデータ値から、最尤法を用いてデータを分類した。つまり、第1、第2象限にプロットされたピ

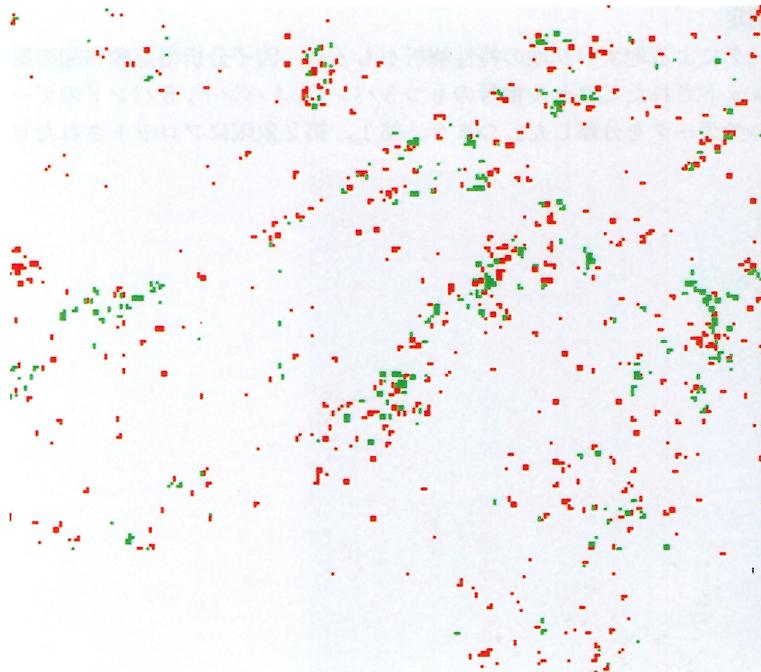


凡 例	
画像の色	地すべり危険地
赤 色	第1象限の ブループ
緑 色	第2象限の ブルーブ

図-7 (A) 地すべり危険地

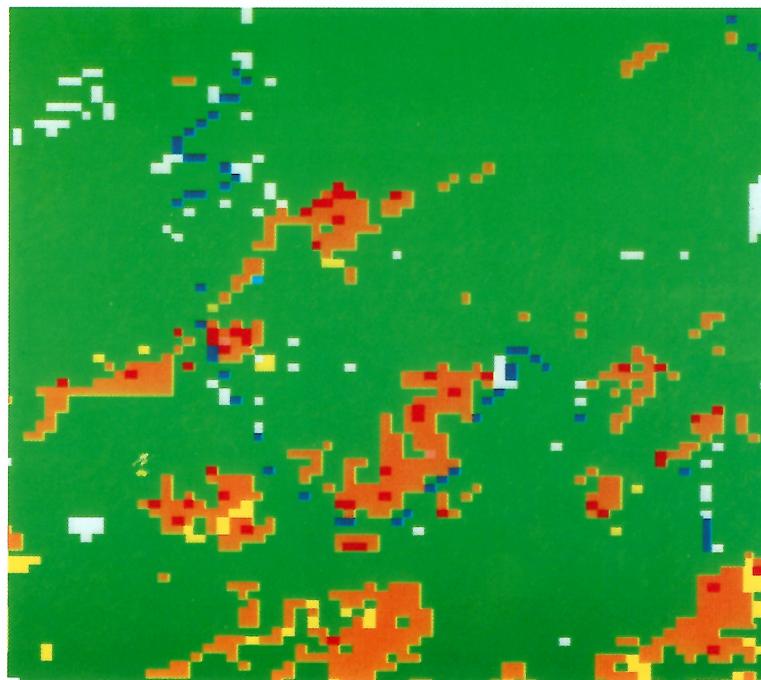


図-7 (B) 地すべり危険地



凡　例	
画像の色	地すべり危険地
赤　色	第1豪雨の スルニ
緑　色	第2豪雨の スルニ

図一8 地すべり危険地（善徳地区を中心に2倍に拡大）



凡　例	
画像の色	土壌区分
黄　色	田
茶　色	畠
淡緑色	果樹園
水　色	その他樹林畠
緑　色	森林
白　色	荒地
ピンク色	建物用地A
赤紫色	建物用地B
淡黄色	その他用地
青　色	河川地A

(注) 区分は国土数値情報による

図一9 土地利用図（善徳地区を中心に2倍に拡大）

クセルは、水分条件、植生条件からみて湿潤が長期にわたっており、また、地すべり指定地に位置するものが多い(73%)。そこで、このピクセル群と同様のグループに分類されるピクセルを地すべり危険地として判定した。ただし、植生の条件から9月、11月の植生変化のない常緑樹地区のみについて判定した。結果は、図一7(A, B : A, Bの位置は図一1に対応する)に示すようである。ただし、赤は第1象限、緑は第2象限のグループである。図一7(A)は、善徳地すべり地区を含む地域であり、図一8に善徳地区を中心に2倍に拡大したものを見るとわかるように、善徳地すべり地区の斜面部に危険地ピクセルの判定がされている。また、怒田・八畠地すべり地は、落葉樹のためこの判定では検出されていない。

今後さらに、この危険地判定解析には、因子分析の結果から因子得点をもとに判別する方法などと最尤法による判定と比較検討し、有効な判定法を確立していかねばならない。

IV. おわりに

本研究は、吉野川上流域の地すべり多発地帯での地すべり危険箇所判定のためG I Sの開発を行い、情報の重ね合わせ解析、情報追跡解析などができるようになった。さらに、ランドサットTMデータによる地すべり地の特性を解析し、そのインデックスを決定して危険地の判定解析を行った。その結果をまとめると次のようになる。

- 1) 解析地域について、常緑樹と落葉樹の植生分類を行い、
- 2) 湿潤期と乾燥期の地表の水分条件に着目した分類をもとに、いずれの時期も湿潤で、かつ植生の活力も旺盛なインデックスを因子分析によって求めて、地すべり危険地を判定した。

この判定は、常緑樹の地域のみについて行ったが、落葉樹地域も同様の手法で行えることは明確であり、対象地域全域の判定を現在進めている。

また、本研究には地すべり活動の活発な時期の雲量の少ないランドサットデータがなかったので、地すべり運動の時系列の解析ができなかった。特に、地すべり挙動の記録のある怒田・八畠地すべり地は広葉樹の地区で現在解析を進行中である。

引用文献

- (1) 国土庁計画・調整局・建設省国土地理院編：国土数値情報. 130pp, 東京, 1987
- (2) SAMARAKOON,L., INOUE,S., EBISU,N. and OGAWA,S. : Technical Documentation of the Remote Sensing and Geographical Information Analysis System. 愛媛大演報29, 投稿中
- (3) SLATER,P.N. : Remote Sensing-Optics and Optical Systems, 575pp, Addison-Wesley, London, 1980.

(1991年7月31日受理)