

パーソナルコンピュータをベースとした斜面崩壊予測システムの開発

東京理科大学 正会員 大林成行、藤田圭一

(株) 間 組 正会員 笠 博義、黒台昌弘

○東京理科大学 学生員 藤井松幸

1. はじめに

著者らは従来から社会的な問題として注目され、早急な技術的対応が叫ばれている「斜面崩壊の予知・予測技術の開発」を研究課題として設定し^{1)・2)}、過去数カ年にわたって積極的に研究を展開してきた。その成果として、大型汎用コンピュータをベースとした「斜面崩壊予測モデル」を構築し、多くの適用事例を通じて本予測モデルの有効性を検証するに至った^{3)・6)}。特にこの予測モデルは、広域性、同時性、周期性といった特徴をもつ衛星マルチスペクトルデータ（以下、衛星データ）を斜面崩壊現象を説明付ける素因の一つとして組み込む点に大きな特徴がある。しかし、研究を進めるにつれてダムや山岳道路等の建設現場で、誰もが容易に利用できるコンパクトなシステムができないものかとの声が上がってきた。

そこで、本研究では「パーソナルコンピュータ上で稼働する会話型斜面崩壊予測システムの構築」を目指し、新たな研究開発に着手した。本研究開発は斜面崩壊予測に関わる過去の研究の成果をベースとして、システムの概略設計から詳細設計に至るまで綿密な検討を重ねて進められた。機能面ではおのずと限界のあるパーソナルコンピュータに対して、データファイルの構造、システムの操作性やレスポンスの問題等、種々の課題をクリアして本システムを完成することができた。本文ではこの「斜面崩壊予測システム」の全容と特徴等について述べる。

第2章では、システムに要求される基本的な要件を整理した。第3章では、ハードウェア、ソフトウェアを含めたシステムの全体構成と本システムの利用環境について述べる。第4章では実際の斜面崩壊予測の流れと本システムのメニューとの対応について工夫した点を述べ、さらに個別機能の内容について画面表示例を交えて説明する。第5章では本研究開発の成果と現場への展開等を含めた今後の課題についてまとめる。

2. システム開発の基本要件

本研究で開発した斜面崩壊予測システムは、図-1

に示すように衛星データをはじめとし、地形、地質、土壤といった種々の地理情報（素因情報）を用いて数量化Ⅱ類、ミニマックス2群判別手法を通じて斜面崩壊の危険箇所を抽出するモデルとなっている³⁾。手法の詳細については紙面の都合上割愛するが、現地への種々の適用事例を通じて本モデルの妥当性は確認している。本研究開発に着手するにあたって、まずシステムが具備すべき基本的な要件を以下の3点に整理した。

①ハードウェアは市販のパーソナルコンピュータとし、コンピュータに関する専門的な知識がなくとも容易に操作ができること。

②衛星データの処理／解析技術や斜面崩壊予測に関わる特別な知識を必要とせず、システム導入時のわずらわしい学習等を一切必要としないこと。

③対話型で繰り返し試行検討が行えること。

これらの点を考慮し、いままでに開発してきた斜面崩壊予測モデルの処理上の問題点と本研究で新たに開発するパソコン斜面崩壊予測システムに要求される基本的な要件を表-1に整理した。

3. システムの全体構成

(1) ハードウェア構成

前述したシステムに要求される要件にしたがって、本研究で開発した斜面崩壊予測システムは、安価で容易にシステム環境を整理できるパーソナルコンピュータ上で開発を進めた。図-2のようにハードディスク装置、数値演算プロセッサ、フレームメモリ、プリン

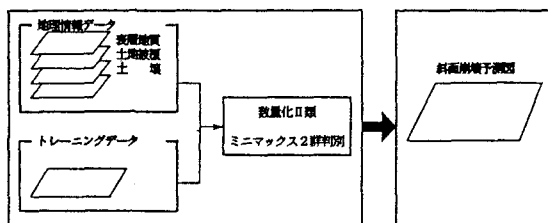


図-1 斜面崩壊予測システム全体概念

表-1 パソコン斜面崩壊予測システムの基本要件

いままでに開発した斜面崩壊予測モデルの処理上の問題点	パソコン斜面崩壊予測システムに要求される基本的な要件
崩壊地トレーニングデータを作成するためには、メッシュを引いた地形図上で位置を確認し、数値化したデータファイルとして整備する必要がある。かなり手間を要する。	ユーザが対話形式で簡単にトレーニングデータを拾取・選択できる機能を開発する。
斜面崩壊予測にはトレーニングデータや地理情報等の多くのデータが必要となる。システム運営上のファイル管理が問題となる。	予測対象地域別に予測に使用するデータを一組の「データセット」としてユーザに配布する。ユーザはパソコンを操作する上でファイル管理の問題について全く意識する必要のないようにする。
数値化Ⅱ類、ミニマックス2群判別等の演算の処理速度や主記憶容量については大型汎用コンピュータを用いる限り問題はないが、パソコンではおのずと限界がある。	パソコンで処理できる予測対象領域、処理速度等について検討し、実用に供するシステムとする。
コンピュータの操作や数値化理論等に関する専門的な知識を必要とする。	コンピュータや統計理論に関する知識がなくとも、対話形式でだしもが容易に斜面崩壊予測図を作成できるようにする。
斜面崩壊予測図の表示や統計処理結果を相互に参照するためには、多くのコンピュータ操作が必要。	斜面崩壊予測図を画面上に表示した状態で、各種統計結果を簡単なキー操作一つで繰り返し参照できるようにする。

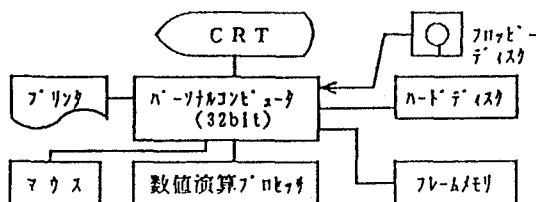


図-2 斜面崩壊予測システムのハードウェア構成

タ、マウスといった広く一般に使用されている周辺機器を取り付けるだけで特殊な周辺機器を必要としない。現場利用を考える上でこのようなシステム構成は重要な要件となることは言うまでもない。

なお、本システムで使用したフレームメモリは、「赤、青、緑」の各256段階の同時発色（1,677万色）を可能とするものである。また、従来から110画素×50画素（約3.3km×1.5km四方）の領域に対して、最もCPUに負荷のかかる「数値化Ⅱ類とミニマックス2群判別」の処理に約30分も必要であ

ったのが、数値演算プロセッサを搭載することによって約5分程度にまで短縮することができた。

(2) ソフトウェア構成

OS環境はMS-DOSであり、C言語を用いて開発を進めた。すでに完成した斜面崩壊予測モデルのアルゴリズムをベースにできることから、各種の機能別にボトムアップ的な開発体制をとった。これにより極めて効率の高いソフトウェア開発のライフサイクルを実現し、開発を進めることができた。

(3) システムの利用環境

本研究で開発した斜面崩壊予測システムにおいては、図-3に示すように「データ作成環境」と「斜面崩壊予測システム稼働環境」といった2つの環境がシステム運営上最適であると考えた。

①データ作成環境

本システムでは、斜面崩壊予測に関係すると考えられる素因としての地理情報（植生、土壌、表層地質、斜面方位、傾斜区分、土地被覆、植生指標、斜面形状）を予測対象地域別に「一組のデータセット」としてあらかじめ大型汎用コンピュータで作成し、ユーザに配布する体制をとる。これは、予測に使用する地理情報の精度をデータ配布側で一定にすることによって、予測結果の信頼性と客観性を保証するだけでなく、データの管理を確実なものとするためである。将来的にはパソコンですべてデータを作成できるようにし、予測地域別に「データセット」のデータベース化を推進する。なお、9つの地理情報のうち「土地被覆」と「植生指標」が衛星データから作成される情報である。これら9種類の地理情報は、本予測モデルにおいて斜面崩壊予測に関わる素因データとして選定されたもので

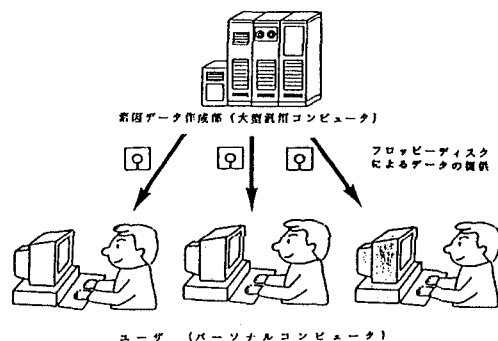


図-3 斜面崩壊予測システムの利用環境

あるが、今後はこれ以外にも斜面崩壊現象に関連深い情報を分析し、本システムに追加する予定である。

②斜面崩壊予測システム利用環境

データの配布・提供を受けた後、斜面崩壊予測図を作成する環境であり、パソコン上での操作となる。この部分が本研究開発の中核である。以下のこの部分の機能について説明する。

4. 個別機能の開発

4.1 斜面崩壊予測処理の流れとメニュー構成

斜面崩壊予測処理の流れは、種々の手順を踏むことが必要となる。本研究で開発したシステムでは、この手順を一切意識することなく、メニュー番号にしたがってパソコンと対話しながら、一連の処理を行なうことができる。特に対話型のシステムとしたことによって、崩壊地トレーニングデータの設定を自由に変え、予測結果に対して多角的な視点から検討が加えられる点に大きな特徴がある。

実際の斜面崩壊予測処理の流れと本システムでのメニューの対応を図-4に整理した。メニュー番号「1～3」を順に選択し、画面の指示に従って処理を進め

れば目的とする斜面崩壊予測図を画面に表示することができる。メニュー番号「4」および「5」はシステム環境を整備する等の支援的な機能である。

これら5つの機能の下には図-5のような下位の処理プロセスを整理した。本研究開発において最も入念にシステム設計を行なった箇所である。それぞれの手順は個別にプログラム開発を進め、モジュール化して組込んである。システムの機能拡充・修正といった点において柔軟性・発展性を持たせられるよう配慮した。システムを稼働させると図-6のようなメインメニュー画面が現れる。以下順を追って各機能について説明する。

4.2 地理情報（素因データ）の表示機能

斜面崩壊予測に使用する地理情報（素因データ）を画面上に表示し、地理情報が面的にどのような分布状態なのかを視覚的に確認する機能である。メインメニュー番号「1」を選ぶと、図-7のような画面となり、矢印キー（↑・↓）で反転カーソルを移動し、表示したい地理情報を選定できるようになっている。

この機能は、斜面崩壊予測図を作成する上で直接関係しないので、必要のないユーザは利用しなくともよい。

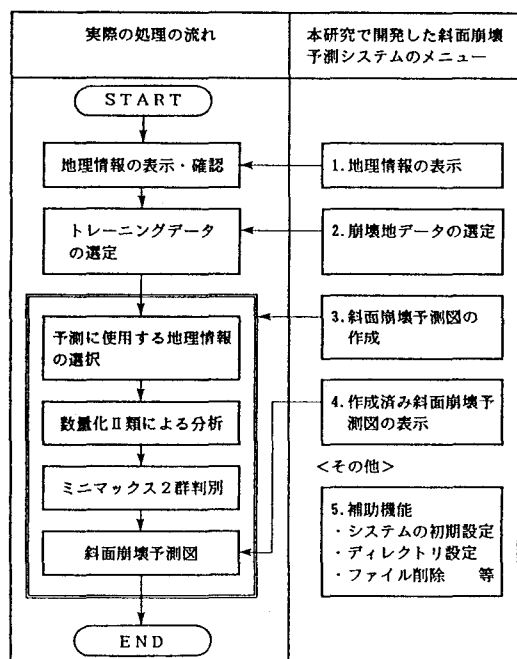


図-4 処理の流れとメインメニューとの対応

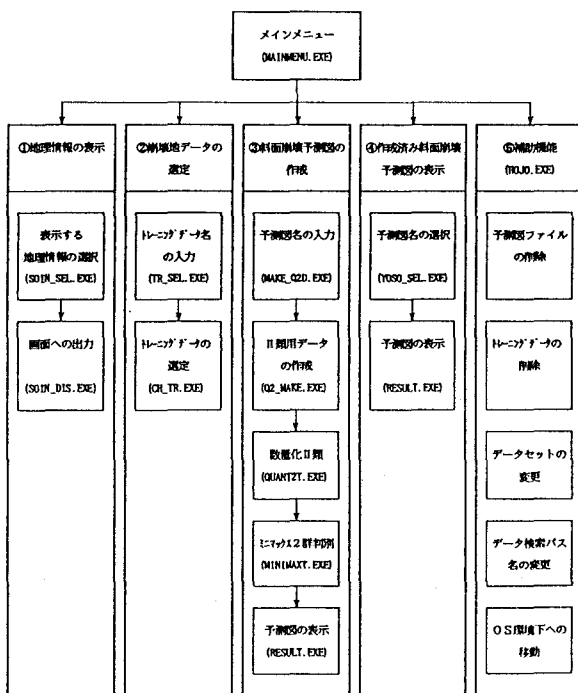


図-5 処理機能とメインメニューとの対応

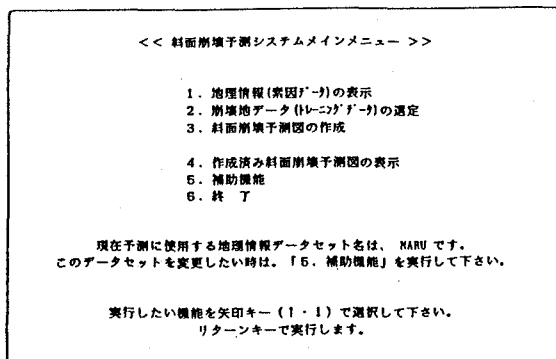


図-6 メインメニュー画面

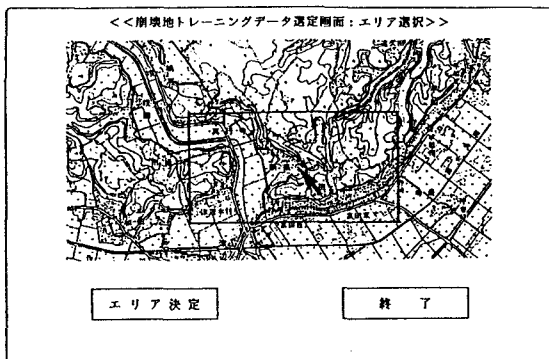


図-8 拡大表示エリア選択画面

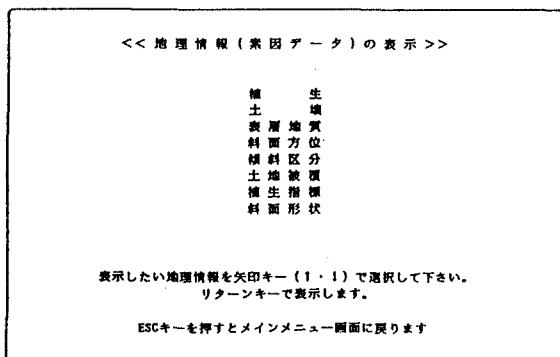


図-7 地理情報表示機能

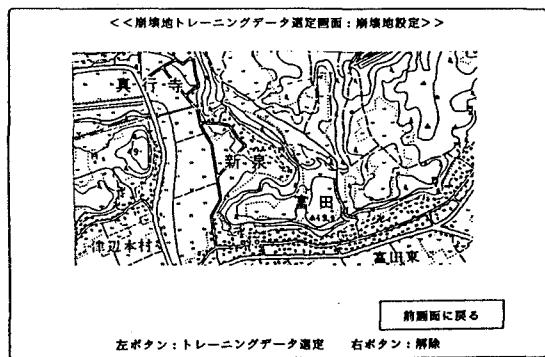


図-9 トレーニングデータ選定画面

しかし、地質や土壌あるいは傾斜区分条件等について専門的な見地からより詳細な分析を加える場合には必要不可欠な機能となる。

4. 3 崩壊地データ(トレーニングデータ)の選定機能

本システムで最も重要かつ特徴ある機能である。実際に斜面崩壊が起こった箇所や専門家の知見等によってあらかじめ崩壊の危険性のある箇所を「崩壊地トレーニングデータ」として選定する。「斜面崩壊型」あるいは「地すべり型」等のように様々な種類のトレーニングデータを設定することができ、得られる斜面崩壊予測図の違いを把握することによって、多角的な視点から斜面崩壊現象を分析することができる。

ユーザが効率的にトレーニングデータを選定できるようにマウスを用いてユーザインターフェースの向上を図るとともに、トレーニングデータの選定領域の拡大表示が行なえるようにする等、ソフトウェア開発において種々の工夫を加えた。選定画面は、図-8のよ

うに予測対象領域全体の地形図と拡大表示可能な矩形領域の枠が表示される。ユーザはマウスの左ボタンを押して矩形の枠を移動する。トレーニングデータを選定したい領域までこの枠を移動させた後にマウスの左ボタンを押して図-9のように矩形領域を拡大表示させる。この状態で等高線や周辺の地形の状況を考慮しつつ、トレーニングデータを選定する。トレーニングデータとして選定できる画素サイズは30m四方であり、マウスの左右のボタンで設定(左ボタン)／解除(右ボタン)が自由に行えるようになっている。

選定したトレーニングデータは、現状が崩壊地であるものや、現状では崩壊していないものの将来的に崩壊の危険性があると判断されるような規範的な性質を持ったものもある。本システムでは、選定したトレーニングデータを保存できることはいうまでもないが、将来的にこれらの情報を知識ベースとして利用できるよう新たなデータベース化への発展性も期待できる。

4. 4 斜面崩壊予測図の作成

トレーニングデータを選定し、ファイルとして保存した後にメインメニューへ戻り、最終目標である斜面崩壊予測図を作成する処理へ移行する。

斜面崩壊予測図は次の4つの入力ステップを踏む。

STEP1: 斜面崩壊予測図のファイル名の入力

STEP2: 予測に使用するトレーニングデータの選択

STEP3: 予測に使用する地理情報の選択

STEP4: 斜面崩壊予測図の作成

以下、順を追って画面の表示例を示しつつ説明する。

STEP1: 斜面崩壊予測図のファイル名の入力

メインメニュー番号「3」を選ぶと、図-10のような画面となりこれから作成しようとする斜面崩壊予測図のファイル名を入力する。はじめの4文字は図-10を見てもわかるように、あらかじめユーザに配布された予測対象領域別の「データセット」を識別する名前が付けられているので、後ろの4文字をユーザが斜面崩壊予測図名として任意に指定することとなる。このようなファイル名の管理方法を採用したことによって、データセットの種類と斜面崩壊予測図との対応付けがシステム側で自動的に行なわれ、煩わしいファイル管理に気をとられる必要がないように配慮した。

STEP2: 予測に使用するトレーニングデータの選択

斜面崩壊予測図のファイル名を入力した後は、図-11のように、これから予測に使用する崩壊地トレーニングデータのファイル名の入力を促す画面となる。画面には、前述したメニュー番号「2」での処理を通じて作成されたトレーニングデータのファイル名一覧が表示され、反転カーソルで任意に選定できるようになっている。このように工夫したことによって、種々のトレーニングデータを選んで斜面崩壊予測図を作成できる。

STEP3: 予測に使用する地理情報の選択

先述した(1)および(2)のステップにおける入力が完了すると、図-12のように斜面崩壊予測に使用する地理情報を選択する画面となる。現時点では、データセットとして整備している9種類の地理情報が表示される。地理情報を「使用する」あるいは「使用しない」という文字の上の反転カーソルを移動させて任意に選択することができる。この時画面上にはSTEP1とSTEP2で設定した斜面崩壊予測図名と予測に使用する崩壊地トレーニングデータ名が表示され

図-10 斜面崩壊予測図名の入力画面

図-11 トレーニングデータファイル選定画面

地理情報データ	
植生	: 使用する 使用しない
土壌	: 使用する 使用しない
表層地質	: 使用する 使用しない
斜面方位	: 使用する 使用しない
傾斜区分	: 使用する 使用しない
土地被覆	: 使用する 使用しない
植生指標	: 使用する 使用しない
斜面形状	: 使用する 使用しない

矢印キー(↑・↓)で素因を選択、矢印キー(←・→)で使用する、しないを選択。
F・5キーを押すと斜面崩壊予測図を作成します。
ESCキーを押すとメインメニュー画面に戻ります

図-12 斜面崩壊予測に使用する地理情報選択画面

ているので、ユーザは入力ミス等の確認ができる。

以上の処理はマニュアルがなくとも、すべて画面からの指示にしたがってすべて会話形式で操作できるようになっている。

STEP4: 斜面崩壊予測図の作成

地理情報の選定が完了した後、「f・5」キーを押すと数量化Ⅱ類の演算とミニマックス2群判別処理に移行する。ここでパソコンの処理能力と記憶容量が問題となるが、本研究開発では次のような対策をとった。

①計算過程の種々の局面において中間ファイルを用いる。(→主記憶容量不足への対処)

②正準相関分析による数量化Ⅱ類の定式化を行う。

(→処理の高速化)

③数値演算プロセッサの利用。(→処理の高速化)

これにより、通常では演算を開始してから斜面崩壊予測図を画面に表示するまでに約30分も要していたが、約5分程度にまで短縮することができた。十分に実用に供する処理速度である。なお、数量化Ⅱ類の定式化とプログラム上で工夫した点等の詳細については紙面の都合上割愛する。演算が全て終了すると、図-13のように斜面崩壊予測図が表示される。さらに、ここでは最下段に表示されているように演算結果等を表示する7種類の機能を「PFキー」に設定した。機能の内容は表-2の通りである。

紙面の都合上、PF5キーとPF6キーを押した後の画面の表示例を、それぞれ図-14および図-15に示す。画面の表示内容等の詳細については文献[1]等を参考にしていただきたい。図-14では、崩壊・未崩壊グループの個体の分布状態とミニマックス2群判別の状態を視覚的に把握することができる。図-15では、数量化Ⅱ類の分析結果(スコア値、レンジ、偏相関係数等)を各カテゴリ別に表示している。これらの結果はすべてレポートとしてプリンタに出力することができる。斜面崩壊予測結果を多角的な視点から分析する上で必要不可欠な機能であり、本予測システムの特徴の一つである。

4.5 作成済み斜面崩壊予測図の表示

一度作成した斜面崩壊予測図は、簡単な操作でディスクに保存できるようになっている。本機能はこの作

表-2 斜面崩壊予測図表示画面上のPFキーの機能

f・1キー	個体の累積頻度分布図
f・2キー	個体の度数分布図
f・3キー	崩壊グループのみの個体の度数分布図
f・4キー	未崩壊グループのみの個体の度数分布図
f・5キー	累積頻度分布と度数分布の重ね合わせ図
f・6キー	数量化Ⅱ類およびミニマックス2群判別結果
f・8キー	斜面崩壊予測図拡大表示
f・10キー	メインメニュー画面へ戻る

成済みに斜面崩壊予測図を表示するものである。メインメニュー番号「4」を選ぶと、図-16のような画面となり、既に作成した斜面崩壊予測図のファイル名が表示される。表示したいファイル名の上に反転カーソルを移動して任意に選択できる。斜面崩壊予測図が

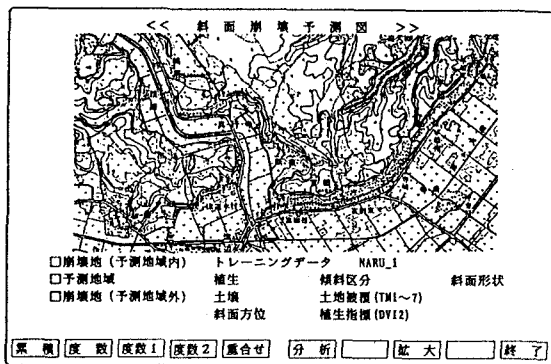


図-13 斜面崩壊予測図表示画面

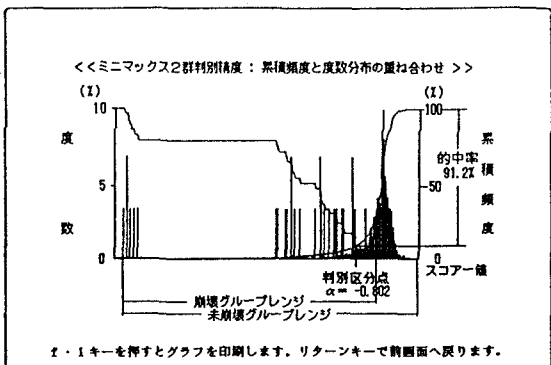


図-14 累積頻度分布と度数分布の重ね合わせ図

斜面崩壊予測 数量化Ⅱ類およびミニマックス2群判別分析結果				
1. 植生				
コナラ群落	68	0.558	1.016	0.04
シイ・カシ混交林	106	-0.057		
ススキ・ササ群落	66	-0.098		
路傍雑草群落	8	0.051		
マツ雑林	11	0.663		
杉・樟・サワラ雑林	1820	-0.237		
竹林	84	0.130		
落葉樹実叢	12	-0.353		
畑地雑草群落	1136	-0.195		
水田雑草群落	1413	0.249		
市街地	445	0.436		
緑の多い住宅地	331	0.203		
2. 土壌				
{ スベ・ハ・ノ / 1:1 行送る 1:1 行戻す ROLL UP:次頁 ROLL DOWN:前頁 ESC:前画面 }				
{ F12/F 戻後 次頁 1 1 前頁 先頭 前画面 }				

図-15 数量化Ⅱ類およびミニマックス2群判別結果

表示される画面は図-13と同じであるが、この時トレーニングデータのファイル名も同時に表示されることに注意を要する。つまり、斜面崩壊予測図ファイルのヘッダーには、使用したデータセット名だけでなく、トレーニングデータファイル名の情報も付加されており、ファイル管理をシステム側で自動的に行えるように配慮してある。

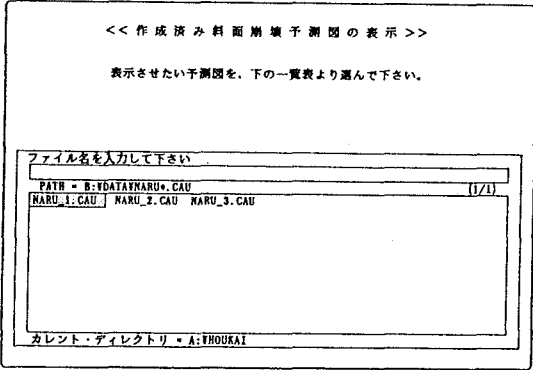


図-16 作成済み斜面崩壊予測図ファイルの選択画面

4. 6 補助機能

メインメニュー番号「5」を選ぶと、図-17に示すような5つの補助機能を利用できる。本システムをより利用しやすくする上で、必要となる支援的な機能である。

①トレーニングデータファイルの削除
作成したトレーニングデータが不要になった場合、本システム稼働環境のもとで削除できる機能である。ユーザがOS環境に一旦戻って削除するといった煩わしい手順を踏まなくても済む。

②斜面崩壊予測図の削除
①の機能と同様に、既に作成した斜面崩壊予測図を本システム環境のもとで削除する機能である。

③データセットの変更
本システムで予測に使用する地理情報は、予測対象地域別に一組の「データセット」として管理される。この機能は、一度設定したデータセット名を変更し、他のデータセットにアクセスできるようにする機能である。システムの利用環境を初期設定する機能である。図-18のような画面上ですでにディスク上にインストールされているデータセット名が表示されるので、アクセスしたいデータセット名を選ぶだけでよい。

④データ検索パス名の変更
本システムでは、データセットの概念によるファイルの管理を行っているが、ディスク上の物理的なファイル数は非常に多くなり、複数のファイルが混在することとなる。そこで、ユーザ各人がディレクトリ単位で自分の使用したデータセットを管理できるようにデータ検索パスの変更ができる機能を追加した。図-19のようにPFキーで対象ドライブを指定し、ディレクトリを変更することができる。

⑤MS-DOS（OS環境下への一時的な移行機能）
本システムを稼働中にもディスクの整理やファイルの内容を確認するためにOS環境へ戻りたい場合がしばしば生じる。そこで、本システムを終了することなく、一時的にOS環境下へ移行できる機能を付加した。

5. まとめ
(1) 研究開発の成果

本研究で開発した斜面崩壊予測システムの特徴は次

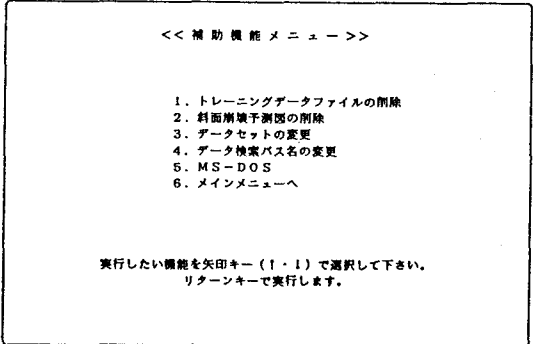


図-17 補助機能メニュー画面

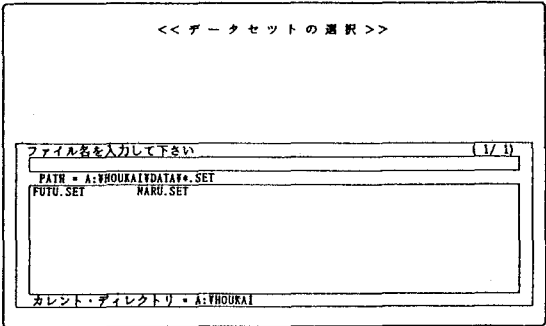


図-18 データセット変更画面

