TECHNICAL REPORT ON SITE SELECTION SYSTEM FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT

農業開発適地選定のための技術体系検討業務報告書

THE REMOTE SENSING ENGINEERING PROJECT
FOR THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL
INFRASTRUCTURE IN THE REPUBLIC OF INDONESIA

インドネシア農業開発リモートセンシング計画

MARCH, 1983

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

国　際　協　力　事　業　団

TECHNICAL REPORT ON SITE SELECTION SYSTEM FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT

農業開発適地選定のための技術体系検討業務報告書

THE REMOTE SENSING ENGINEERING PROJECT
FOR THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL
INFRASTRUCTURE IN THE REPUBLIC OF INDONESIA

インドネシア農業開発リモートセンシング計画

MARCH, 1983

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
国　際　協　力　事　業　団

ま え が き

国際協力事業団による技術協力計画に基ずくインドネシア農業開発リモートセンシング計画は，昭和56年度開始され，各年度毎に順調に進展を見ており57年度に於いて供与機材として日本から購送された。画像処理装置の設置が完了しインドネシアカウンターパートに対する技術移転もほぼ修了した現在インドネシア現地に於いては，各種の主題図をランドサット画像から作成できる状態にある。

いうまでもなくリモートセンシング技術は学際的要素を多く含んでいる。また，多くの実用の可能性を持っている。諸外国に於いては，国家的な立場からその利用の拡大を図っている。とくにこの技術は開発途上国に於ける資源管理にその有効性が認められており，これら諸外国からは，この技術に対する協力要望も多いといわれている。

一方，我が国に於いてはこの技術は早くから研究が進められ，その研究レベルは世界に於いても有数なものである。しかし資源管理，土地開発という立場からするとリモートセンシング技術以外の技術によって充分その要求が達成されているので，リモートセンシングの実用化という実際問題について未だしとの感がある。本計画のようにリモートセンシングによる農業開発適地の選定という現実的な問題は未経験な問題であるといえよう。しかし，リモートセンシング実用化という立場からすれば，この問題は重要であり，どうしても実行してゆかねばならない問題であろう。また我が国のように開発の進んだ国に於いてはリモートセンシング技術を用いなくても充分にその目的が達成できるが人跡未踏の地の多い開発途上国の開発にあたっては，この技術を用いることなく開発が不可能であり，リモートセンシング技術の海外からの要望は大きい。

今回，日本写真測量学会は国際協力事業団より農業開発適地選定のための技術体系の検討に関する技術調査の業務委託をうけた。この問題はリモートセンシングに強い関心をもつ当学会にとって，またリモートセンシングに関する研究者及び技術者の多く所属する学会として極めて重要なことであるので心よく受託した。また，このことが我々のこれまでの研究成果及び努力を示す最もよい機会であると考えられる。そこで，本学会内に研究者及び学識者をもって委員会を構成し現在考えうる最良の技術体系を作るべく数回にわたる委員会を開催し研究を行ったものである。

インドネシア農業開発リモートセンシング計画

目　次

第1章 概　　要

本報告書は社団法人日本写真測量学会が国際協力事業団の委託をうけて，インドネシア農業開発リモートセンシング計画に係る農業開発適地選定のための技術体系を検討した報告書である。

1.1 業務の目的

本業務の目的はインドネシア農業開発リモートセンシング計画において実施している農業開発適地選定を目的とするリモートセンシング技術確立の業務を効果的に推進させるため，自然的立地条件等からみた総合評価の方法とその手順を確立することである。

そのため以下の項目について検討を行う。

(1) アナログおよびデジタル画像解析によるマルチステージ調査手法の考え方とその適用法

(2) 土地利用の現況および自然的立地条件を把握するための主題図作成とその手順

(3) 土地の安定性（山地崩壊，侵食，洪水等による危険度）を評価するための主題図作成とその手順

(4) 土地の生産性（地形傾斜，土性，水系等）および労働性（開墾作業，機械導入の難易性等）を評価するための主題図作成とその手順

1.2 組　　織

次に示すメンバーによる委員会が設立され，本業務を行った。

委員長	江　森　康　文	千葉大学教授
委　員	秋　山　　侃	農林水産省草地試験場
	斎　藤　元　也	農林水産省草地試験場
	建　石　隆太郎	千葉大学講師
	松　岡　龍　治	東京大学生産技術研究所助手
	深　山　一　弥	北海道農業試験場
	宮　本　和　明	東京大学工学部講師
	村　井　俊　治	東京大学生産技術研究所助教授
	安　田　嘉　純	千葉大学助教授
事務局	日本写真測量学会	

第2章　マルチステージ調査手法の考え方とその適用方法

2.1　概　　説

リモートセンシングは新しい情報源である。その特長は広域のデータ収集能力であり，またデータ収集ステージを低くし，地表のサンプリングの程度を細かくすることにより，特定の地域を集中調査することも可能となっている。

一方，最近のコンピュータの進歩は情報の加工の能力を高めただけでなく，強力な情報システムの機能を与えている。したがってコンピュータによる情報システムを利用して，リモートセンシングによる土地利用，水系，植生などの最近の詳しい情報と地形（標高，傾斜など），土壌，地質，気象（日照，雨量など）など農業開発に必要な既存の情報とを有機的にインテグレイトすることにより，農業開発のための広域的でしかも詳細な土地資源の解析と評価が可能となる。したがって，リモートセンシング技術とコンピュータによる情報システムとをいかに有機的に組合せ，また農業開発に利用するかが，本プロジェクトの重要な課題である。

ここでは，はじめに，農業開発のための情報システムに必要なインテグレーテッド・テクノロジーの考え方とそれに基づく評価システムについて述べ，スクリーニング方式による農業適地選択の具体的な1方法を示す。

2.2　農業開発のための情報システム

農業開発は自然立地条件の評価および農業経済的立地条件の評価にもとずいて計画，実行される。このプロジェクトは北スマトラ地域の自然立地条件の評価を主な目的としている。農業立地的条件についても考えておく必要がある。

自然立地条件の評価に必要な基礎的調査項目として，地形，地質，水質，土地利用，水文，水利，植生，気象などがあげられる。これら基礎調査に必要なデータの収集と評価は次の3つのステップによって実行される，

Step－1　既存データの情報データベース作製

地形（標高，傾斜）地質そして日照，降雨，気温などの気象また自然災害などに関する既存のデータをComputer Based Information System としてまとめる。この場合後述するスクリーニングによる適地選定方法を実現するためには，Map levelのデータをグリッドセル変換によりグリッドセルデータファイル化することが必要となる。

Step－2　リモートセンシングによる情報収集とデータベース

リモートセンシングによって土地利用，自然植生，水系などに関する最新の詳しいデータを得るとともにそれらをStep 1 と同じくComputer Based Information Systemとして，最終的にグリットセルデータファイルとしてまとめる。

Step－3　評価システムの作製

Step 1 および Step 2 で得られたデータをインテグレイトし農業開発に必要な自然立地条件，社会経済的立地条件の解析と評価を行なう。

2.3　農業開発評価システム

自然土地条件および農業経済的立地条件の評価には，リソースベース，プロダクションベースそしてマネージメントベースの３つのインベントリアイテムが必要となる。

図 2.1 に示すようにリソースベースのアイテムとしては，地形，地質，土壌，気象，自然植生などがあげられる。また，プロダクションベースのアイテムとしては，土地利用，収量などが含まれる。マネージメントベースのアイテムとしては農業生産技術，開発費用，生産コストなどのほか，消費地との距離，貯蔵，運搬方法などがあげられる。

自然土地条件の評価に必要な情報システムの（グリッドセル）データファイルは，リソースベースおよびプロダクションベースのインベントリアイテムから構成される。また農業経済条件の評価システムに必要なデータファイルはプロダクションベースおよびマネージメントベースのアイテムから構成され，評価に利用される。

これら情報システムのデータファイルを用いてプロダクションポテンシャル，農業適地指数，生産性指数またリモートセンシングデータから，植生指数またはバイオマス指数などが求められ，また，評価される。これらの評価にもとずいて，現在未利用の土地をプロダクションポテンシャルエリアまたは農業開発計画単位，農業土地利用区分などの分類を行なう。

農業土地利用区分に必要な評価項目については，第４章に詳しく述べられており，(1)土地の傾斜　(2)土層の厚さ　(3)土性そして(4)レキ含量などが基本的なものとしてあげられる。また，調査対象地域について，土壌環境，気象環境，大気環境，栄養塩類などに関する詳しい情報が得られない場合，4.1.3 および 4.1.5 に詳しく述べられているように，リモートセンシングにより，自然植生を詳しく調べそれにもとずいて農業開発適地を判定するような方式を導入する必要がある。

一般に，インドネシア国のような発展途上国では，必要なデータを完全に入手することは，データの未整備などにより不可能である。したがって，入手し利用できるデータおよびリモートセンシングによって得られる。例えば，水色，植生指数などのデータを有効に利用するような評価システムを開発する必要がある。またここに発展途上国の農業開発にリモートセンシングを応用する重要性の一つがあろう。

2.4　スクリーニング方式による農業開発適地選定

2.4.1　スクリーニングプロセス

農業開発適地を選定するにあたってランドサットとその他のデータをインテグレイトして新しい評価システムを作る必要があることは前述した通りである。実際に開発途上国に於いてはその

国土が充分に調査されているとはいいがたい。したがって，その実行にあたっては，まず大地域すなわち州単位で農業に適地であるか否かを判定し，適当であると判定された地域について小地域たとえば郡単位についてやや詳しく評価判定を行い順次最小地域に実行して最終的に農業候補地を決定するマルチステージスクリーンプロセスが望ましい。

図2.2はこのようなスクリーンプロセスの流れを示したもので，評価を必要と思われる空間情報要因と必要とされるデータ図主題図を示してある。

この図からわかるように各段階で必要とする評価要因は多少異なっている。たとえば衛星高度である。

第1段階あるいは第2段階では農業経済的評価要因はあまり必要とされないから，第3，第4段階では非常に重要となって来ることに注意されたい。

2.4.2 マルチステージスクリーンプロセスに必要なデータの特性

マルチステージスクリーン方法の各段階で考えられる地図縮尺の1例を示すと図2.3のようになる。例としては本プロジェクトの対象地域である北スマトラに用いてある。州単位での評価では縮尺1：1,000,000から1つの目安となっておりデータはランドサット，およびノアから得られる。第2段階のリジョナル地域の評価は面積として100×100kmで地図縮尺は1：250,000が妥当であると考えられる。データはノア，ランドサットのデータを拡大して用いられる。局地的評価は20km×20程度で縮尺は1：50,000程度が適当であると考えられる。データは航空機により収集されるか，あるいはランドサットデータ拡大によって得られる農業開発候補地は小面積（4km×4km）を対象とし精密に調査評価データは航空機あるいは地上調査でえられる。

2.4.3 グリッドセルデータファイルと評価

特定の評価要因で分類した主題図は図2.4のようにグリッドセルによってコード化され数値化されてファイルされる。そして必要とあれば最終目標に対して重要度の大きい要因に重みづけ，そして再び尺度化して重みづけデータファイルとする。グリッドシステムを用いるとき注意すべき点はセル寸法と解像力とは関係である最小グリッド寸法を10mにするときには，その地理的誤差は最小となるがデータ量は膨大となる。目的に応じてセル寸法を定める必要がある。リジョナルな評価地域に対しては500mが適当である。図2.2および図2.3についてリジョナルのグリッドセルファイルはスマトラ全域をカバーする必要がなく山岳地帯を除いて主として計画されている開発地域についてグリッドコード化するだけで初期の目的が達成される。

ローカルエリアを評価するためのグリッドセルファイルのグリッド寸法は20～30ミリ程度であろう。

2.4.4 農業開発適地選定の分類と総合評価

農業開発適地選定に対して土壌条件，地形，土地被覆など評価要因を総合的に判断して決定する必要がある。

いいかえると空間情報を積分し解析する必要がある。図2.5に示すように各要因に対する主題図を重ね合すことにより総合的評価判定が得られるが数値的な評価は得られない。このため2.4.3で示したグリッドセルシステムを用い各評価グリットセルファイルの対応するグリットセルの評価値を加え合せることにより総合評価指数が得られる。

この数値的総合評価法には表2.1に示すように各種の方式が考えられるが，農業開発分野については第4章に詳しく述べられた方法を使用することが望ましい。

Table 2.1 Mathematic for Total Evaluation

- Statical pattern classification
- Multi-variate analysis
- AND/OR/NOT Logic
- Weighting
- Filtering
- Screening
- Thresholding
- . . . . etc

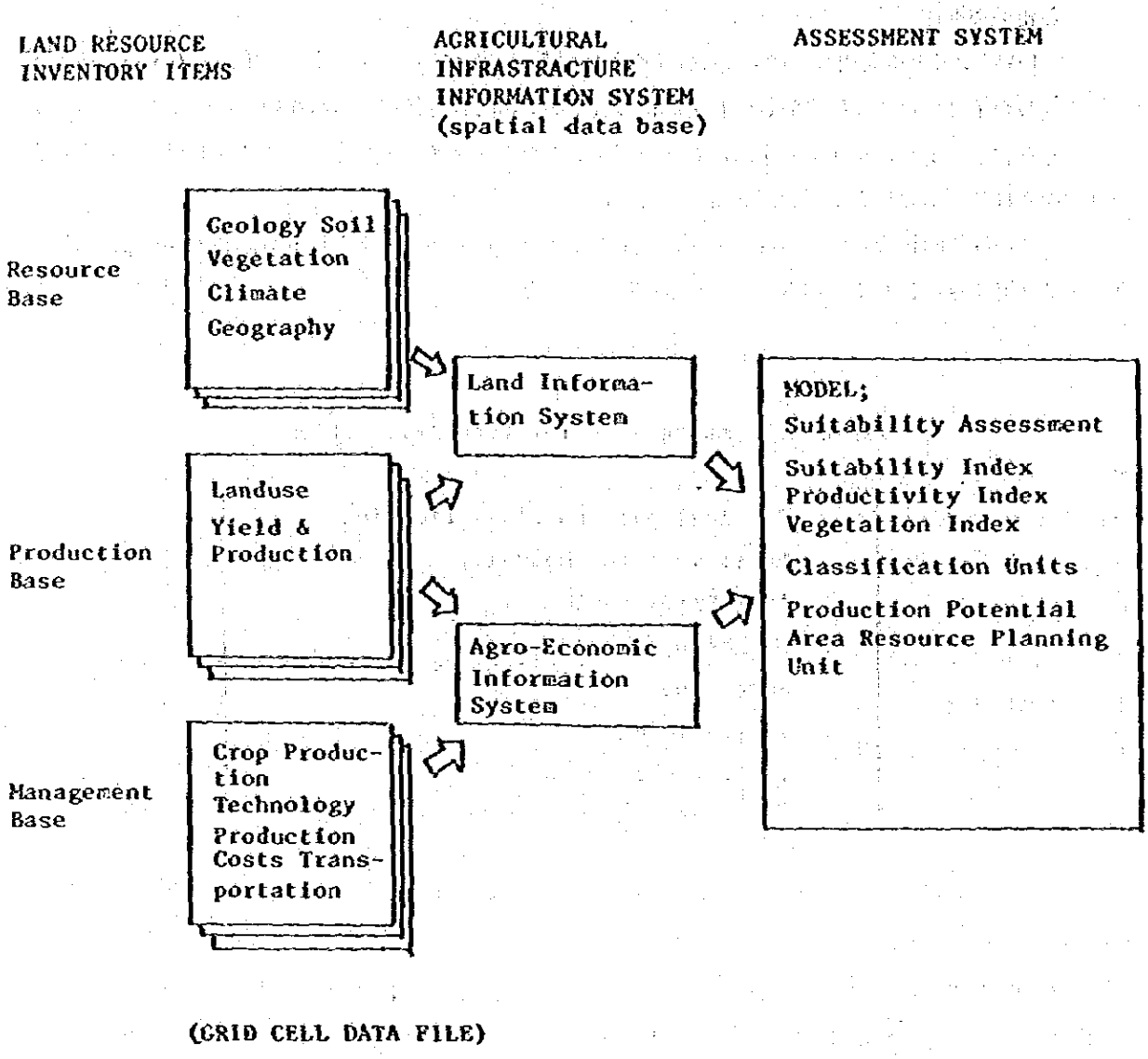
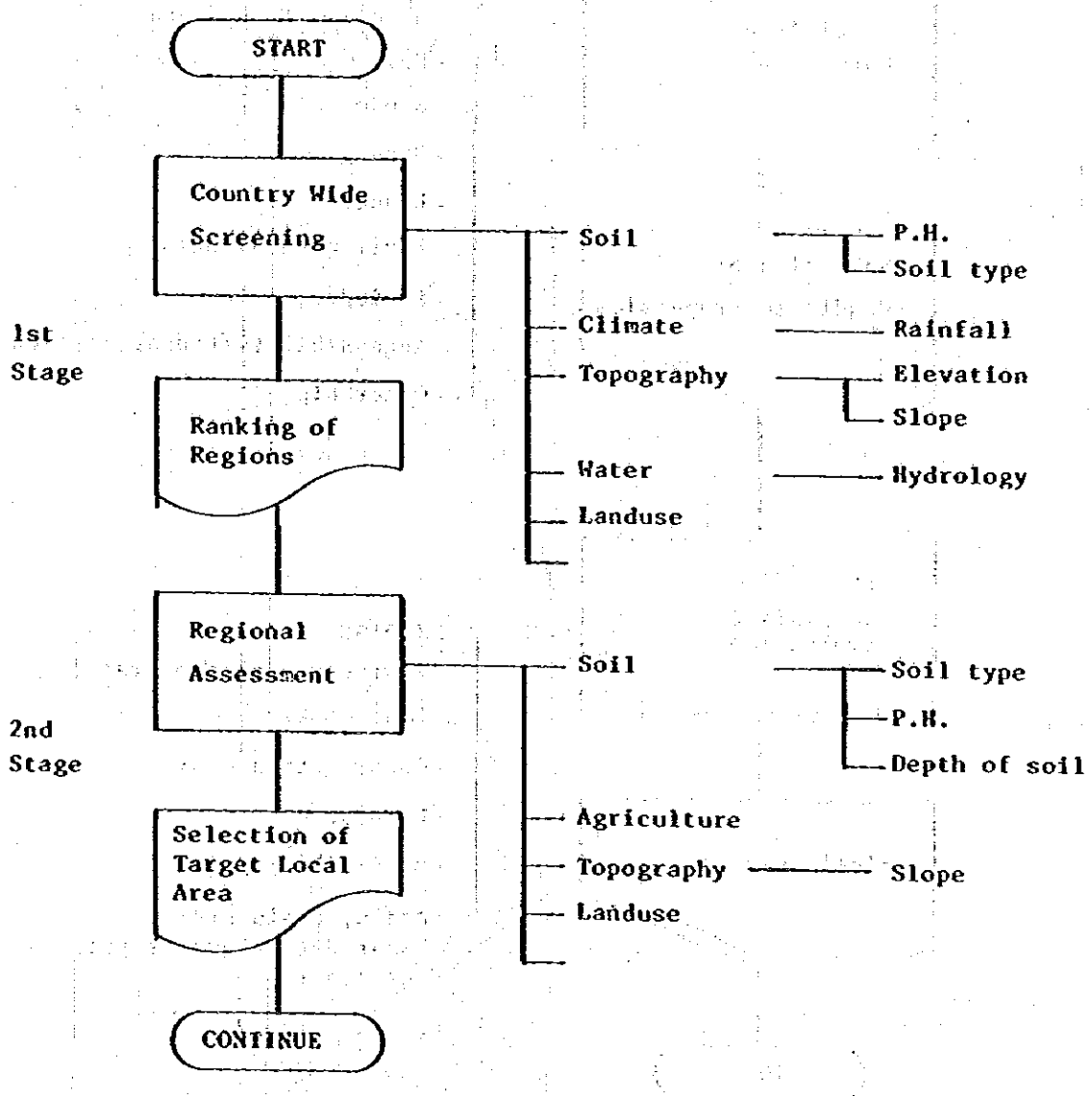


Fig. 2.1 Agricultural Infrastructure Evaluation System and The Major Factors

Fig. 2.2 Flow of Screening Process (1)



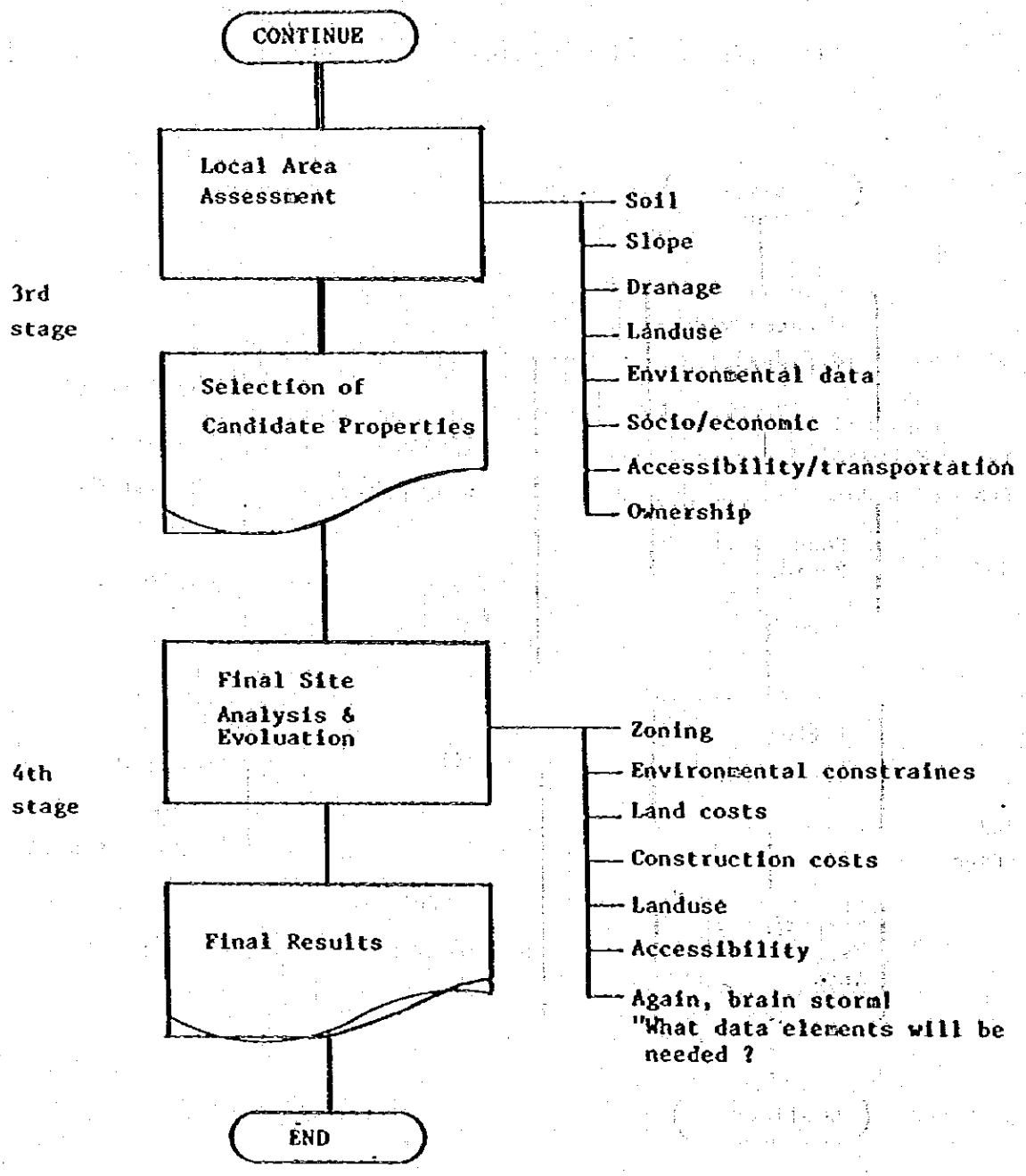
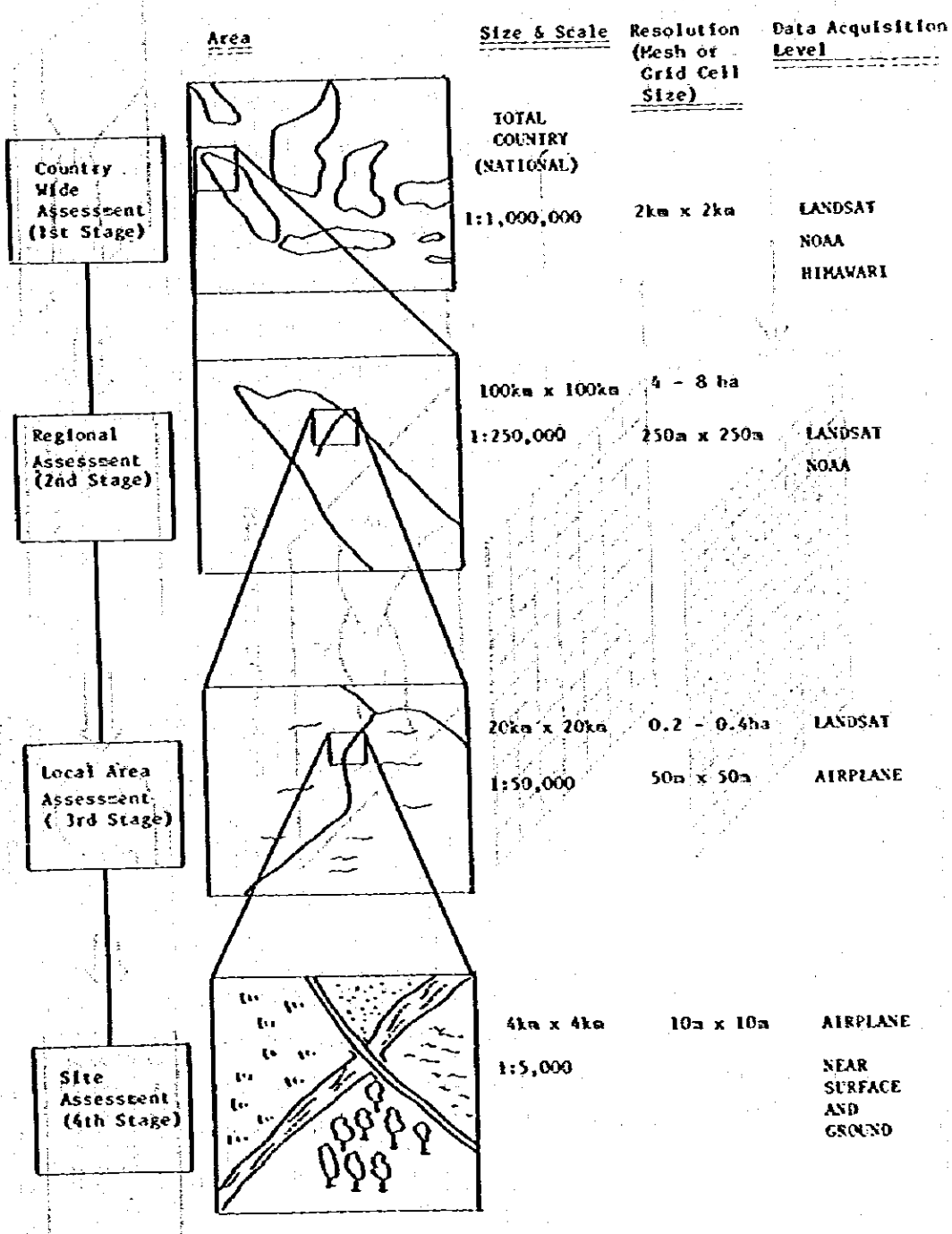


Fig. 2.2 Flow of Screening Process (2)

Fig. 2.3 Data Characteristic for Multi-Stage Evaluation



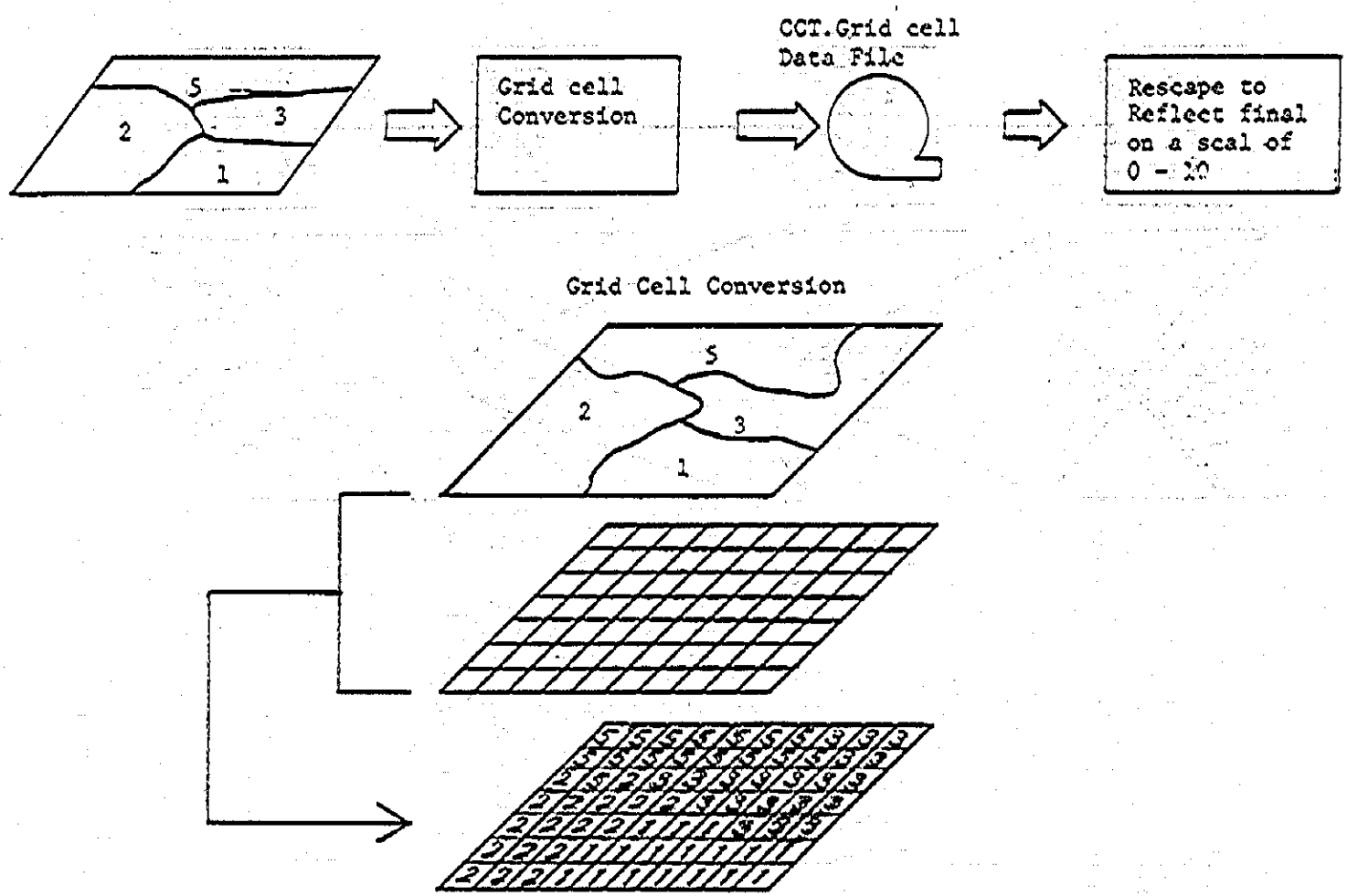


Fig. 2.4 Conversion of X.Y. Coordinate Data into Grid Cell Data File

第3章　農業開発適地選定のための主題図作成とその手順

3.1　概　　説

本報告書では，インドネシアの農業開発適地選定が，第2章で述べられた基本的考えに基づき，第4章で述べられる具体的なモデルを参考にして行なわれることを提案している。第3章では，第4章で考慮される土地に関する情報のうち自然的立地条件を示す①土地利用現況②土地の安定性③土地の生産性④土地の労働性などを把握あるいは評価するための基礎資料となる主題図の作成について述べる。

上記の自然的立地条件を示す4項目の意味は，つぎのとおりである。

①土地利用現況――居住地，農地など土地の社会的利用形態を示す。

②土地の安定性――土地の災害危険度のことで，侵食，山地崩壊，洪水の可能性を示す。

③土地の生産性――農作物の生産の難易度のことで，農地の地力とも言う。土地（土壌）の種類，土地の物理的形状，土地の化学的性質，土地の水に関する性質などから評価される。

④土地の労働性――抜根や除レキなどの開墾作業の難易度や機械導入の可能性を示す。

表3.1　自然的立地条件を評価するためのデータの情報源

自然的立地条件	評価データ（主題図）	主たる情報源		
		リモートセンシング	地形図	既存資料
土地利用現況	土地利用	○		
土地の安定性 生産性 労働性	植生	○		
	水系	○		
	標高		○	
	傾斜角度		○	
	地形（斜面方位，斜面上の位置，起伏量）		○	
	土壌			○
	地質			○
	気象（気温，降水量，日照）			○

土地の安定性，生産性，労働性は，表3.1に示すように，植生，水系，標高，傾斜角度，地形，土壌，地質，気象などのデータから評価される。土地の安定性，生産性，労働性がそれぞれ如何なるデータから如何にして評価されるかなどのさらに詳しいことについては，第4章で述べられる。表3.1は自然的立地条件を示す上記4項目を把握あるいは評価するためのデータが主として如何なる情報源から得られるかを示したものである。

本報告書では，第2章で述べたように，各種情報（評価データ）のメッシュデータ（グリッド・セル・データ）を入力して農業開発適地を選定する方法を提案している。したがって，各種情報は，画像の形をした主題図であると共に，ディジタルなメッシュデータである必要がある。メッシュデータ

から主題図を作ることは，1つ1つのデータに色を割り当て画像出力することにより容易に行なわれる。したがって，主題図作成の手順は，メッシュデータ作成の手順と言い換えることができる。

3.2節では，土地利用現況図をリモートセンシング技術を用いて作成する手順について述べる。

3.3節では，土地の安定性，生産性，労働性を評価するための主題図を対象として，主題図あるいはメッシュデータ作成のための手順を，表3.1に示した3つの主たる情報源，リモートセンシング，地形図，既存資料のそれぞれについて述べる。

3.2 土地利用現況図

3.2.1 土地利用現況図の作成

土地利用現況図は，リモートセンシング技術を適用して作ることのできる主題図の代表的な例である。ただ，注意すべきことは，リモートセンシングデータから直接得られるのは，社会的な土地利用(land use)ではなく，物理的な土地被覆 (land cover) であるという点である。リモートセンシングデータは，地表の物体から反射または放射される電磁波の強弱を示すものであるため，地表の物体の物理的な分類である土地被覆 (land cover) に直接対応している。

土地利用現況図は，土地被覆現況図から他の情報を用いて，あるいは人間の判断により，変換して作成することができる。3.2.2節3.2.3節では，土地被覆現況図のリモートセンシングによる作成の手順について述べる。

植生図の作成手順は，土地被覆現況図の作成手順と基本的には同じである。これは，物理的に，異なる植生は異なる土地被覆と考えることができるからである。したがって，広義の土地被覆図には植生図を含めることができる。

3.2.2 人工衛星データによる土地被覆現況図作成

a．利用できる人工衛星データ

1980年4月1日から始まったインドネシア農業開発リモートセンシング技術協力5ケ年計画の間に利用できるもっとも適したリモートセンシングのための人工衛星データは，LANDSAT MSSデータである。表3.2は，5ケ年計画以降に利用できる可能性のある人工衛星データをも含めて示したものである。

LANDSAT－3，－4のMSSデータは，入手可能である。LANDSAT－4のTMデータについては，アメリカのデータは既に試験的に収集されてはいるが，インドネシアのデータは，未だ収集されていない。インドネシアのLANDSAT MSSデータを直接受信できるのはタイ，バンコックの地上受信局とインドネシア，ジャカルタの地上受信局であるが，いずれもTMデータは現在受信できない。アメリカのホワイト・サンド地上受信局でインドネシアのデータを受信するためには，TDRS (Tracking and Data Relay Satellite) と呼ばれるデータ中継のための静止衛星が必要である。これは，1983年の2月と6月とに2回打ち上げられる。したがって，TDRSが正常に機能

表3.2　利用できる人工衛星データ

人工衛星	国	センサ	バンド数	地上解像力（m）	観測周期
LANDSAT-3	アメリカ	MSS (Multispectral Scanner)	5	80	18 日
LANDSAT-4	〃	MSS	4	80	16 日
〃	〃	TM (Thematic Mapper)	7	30	16 日
NOAA-6	〃	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	5	1100	12時間
NOAA-7	〃	〃	5	1100	12時間
SPOT	フランス（1984年打上予定）	Linear Array	3	20	26 日

すれば，5ケ年計画の中でTMデータを利用できる可能性もある。TMデータは，可視光から熱赤外に至る7バンドをもっており，地上解像力も30mとすぐれているため，もしTMデータが入手できれば，MSSデータ以上の成果が期待できる。

NOAA－6，－7は，地上解像力が1100mと悪いが，観測周期の短いことが長所である。NOAA－6とNOAA－7とは同じセンサを搭載しているため，両方合せて6時間周期の観測が可能である。アメリカでは，AVHRRのデータで草地の季節変動を調べた例もある。[1)]

SPOTは，まだ打ち上げられてはいないが，その地上解像力の良さから期待される人工衛星である。

b．LANDSAT MSSデータによる土地被覆現況図作成の手順

土地被覆現況図は，図3.1に示す流れに従って作成される。

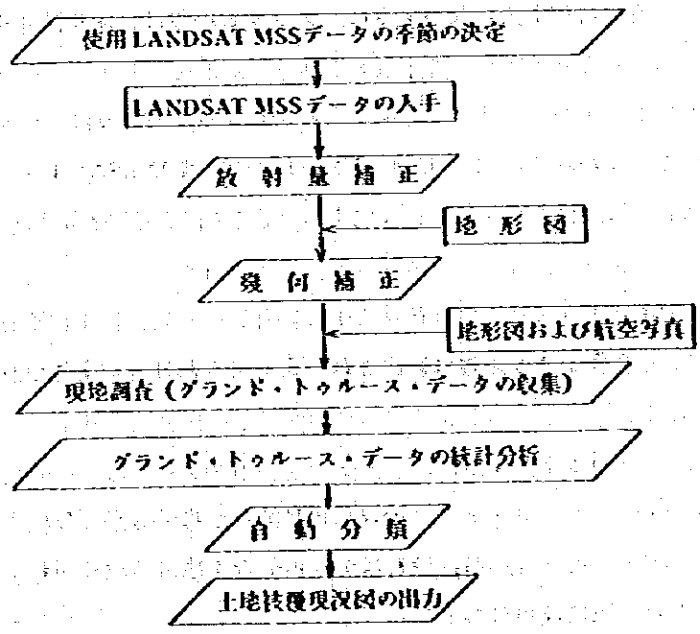


図3.1　LANDSAT MSSデータによる土地被覆現況図作成の流れ

以下に各ステップの内容を説明する。

(1) 使用LANDSAT MSSデータの季節の決定

テスト地域の植生および農地の季節変動を考慮し，異なる植生および農作物がLANDSAT画像上で判別しやすい季節を1つあるいは2つ以上選択する。

(2) LANDSAT MSSデータの入手

(1)で選択した季節で雲のないLANDSAT MSSデータを入手する。

(3) 放射量補正

LANDSAT MSSは，それぞれのバンド毎に6個の検知素子を持ち，1回の地上走査で画像上の6ラインを同時に走査している。この6個の検知素子の特性がわずかに異なるため，画像上で6ライン毎の横縞が現われる。これがスキャン・ライン・ノイズと呼ばれるものである。このスキャン・ライン・ノイズは，自動分類に悪影響を及ぼすため前処理で取り除く必要がある。ここでいう放射量補正とは，このスキャン・ライン・ノイズ除去のことで計算機処理で行なわれる。[2)3)]

(4) 幾何補正

第2章で述べたように，ここで作成される土地被覆あるいは土地利用のメッシュデータは他の情報のメッシュデータと結合して農業開発適地選定のための評価に用いられる。このためには，種々の情報のメッシュデータは，地理的に一致している必要がある。通常，地形図を等分割したメッシュデータを作成することが多い。

したがって，LANDSAT MSSデータも前処理でデータを再配列し，他の情報と重ね合わせられるメッシュデータに変換しておく必要がある。メッシュデータへの変換において，オリジナルデータのもつ情報を失わないように，メッシュ間隔は，オリジナルデータの地上解像力80mに近い値がとられる。

ここでいう幾何補正とは，地形図と重ね合わせられるようにデータを再配列することで，計算機処理で行なわれる。[4)] この幾何補正処理では，1LANDSAT 1シーンに対して，地上座標とLANDSAT画像座標とが共に既知な地上基準点を約10点程必要とするため，地形図が必要となる。

LANDSATデータでは，地上基準点がないと正確な幾何補正は不可能であるが，将来，人工衛星の位置，姿勢がより正確に計測されるようになれば，地上基準点なしでも正確な幾何補正が可能となる。

(5) 現地調査（グランド・トゥルース・データの収集）

グランド・トゥルース・データの収集の目的は，自動分類で分類される土地被覆のサンプルデータを抽出することである。最初は分類可能な土地被覆項目がわからないため，

①分類したい土地被覆項目および

②LANDSATカラー合成画像上で明確に他と区別できる土地被覆項目

についてグランド・トゥルース・データを収集する。

グランド・トゥルース・データの収集において，つぎの資料を携帯して現地調査を行う必要がある。

①1画素毎に読みとることのできる拡大した幾何補正済LANDSATカラー合成画像

②地形図

③LANDSATデータと同時期に撮影された航空写真

現地調査では，上記3つの資料を対応づけ直目で現地を確認することにより，土地被覆項目毎に資料①上に画素単位でマークする。

(6) グランド・トゥルース・データの統計分析

前ステップで収集した各土地被覆項目のグランド・トゥルース・データについて，各バンド毎の平均値，標準偏差，ヒストグラムおよびバンド間の分散共分散行列および各土地被覆項目のグランド・トゥルース・データの重心間の相互マハラノビスの距離などを計算する。統計分析の結果から土地被覆項目を分割あるいは統合して自動分類が可能となるように整理する。また，ミスデータのチェックも行う。

(7) 自動分類

自動分類の手法としては，最尤法，テキスチャー分析，ツリー型分類などが比較的よく用いられる。[5] どの手法を適用するかは，対象地域の画像の特性によって決められる。すなわち，前ステップのグランド・トゥルース・データの統計分析の結果と画像自身を見て判断される。各手法を併用することは，可能である。

分類したい土地被覆項目間のマハラノビスの距離が互いに大であれば，最尤法が適用できる。分類したい土地被覆項目間でデータの値自身は似ているが，画像のパターンが異なる時は，テキスチャ分析が適用できる。ある論理判断で土地被覆項目が識別できる場合は，ツリー型分類が適用できる。如何なる論理判断を用いるかは，グランド・トゥルース・データの特性を見て決定しなければならない。

テキスチャ分析は，一時期の一枚の画像データに対して行なわれるが，最尤法，ツリー型分類は，複数の季節の画像データに対して同時に適用できる。2時間のLANDSAT MSSデータに最尤法を適用するとき，4×2＝8次元のデータをそのまま使うこともできるが，計算量が多くなるため，主成分分析によって例えば3次元程度に次元を減少して適用する方法もある。2時期における植生あるいは農地の季節変動を利用して分類するときは，その2時期のデータの差を論理判断に組み入れたツリー型分類を適用する方法も考えられる。

いずれの自動分類の手法を適用しても，一回の処理で良い結果が出ることはなく，土地被覆項目の修正，自動分類のパラメータを変更して，試行錯誤的に良い結果が得られるまで処理を繰り返す必要がある。

日本におけるLANDSAT MSSデータによる土地被覆分類では，通常10～20項目に分類され

る。

このステップで得られるメッシュデータの大きさは，(4)の幾何補正で作成するメッシュデータの大きさに等しいため，LANDSAT MSS データの場合，約80m前後となる。

(6) 土地被覆現況図の出力

(7)で得られた土地被覆メッシュデータを画像出力する。

3.2.3 航空写真データによる土地被覆現況図作成

a．搭載センサおよび地上解像力

人工衛星データによる比較的荒い土地被覆現況図作成のつぎは，航空機にセンサを搭載してより細かく土地被覆現況が調べられる。

搭載されるセンサは，MSSかカメラが考えられるが，航空機搭載のMSSは，幾何歪が大きく補正しにくいため，カメラが用いられる。使用フィルムは，パンクロ，赤外，ナチュラルカラー，赤外カラーが考えられるが，土地被覆分類に有効である点，大気散乱の影響を受けにくい点から赤外カラーフィルムが適当である。

計算機処理で土地被覆を自動分類するためには，フィルム画像をＡＤ変換して数値化する必要がある。赤外カラーフィルムの解像力は，1：10のコントラストで約30本/mmである。すなわち，幅16μの白線黒線の格子が区別できる。一方，フィルム画像を数値化するＡＤ変換のアパチャーサイズは，現在の技術では，25μ，50μ，100μなどがよく用いられる。したがって，ＡＤ変換した航空写真データの１画素の大きさは，写真縮尺とＡＤ変換のアパチャーサイズで決まる。例えば，縮尺５万分の１の写真を100μ×100μでＡＤ変換したとすると，１画素は，地上で５ｍ×５ｍとなる。

b．航空写真データによる土地被覆現況図作成の手順

土地被覆現況図は，図3.2に示す流れにしたがって作成される。

図3.2に示した流れは，図3.1に示したLANDSAT MSSデータの場合とほとんど同じである。以下に処理内容の異なるステップについてのみ説明する。

(1) ＡＤ変換

赤外カラーフィルムを赤，緑，青の３色でＡＤ変換を行い数値化する。

(2) 放射量補正

撮影フィルムには，シェーディングと呼ばれる画像中の位置により濃淡が変化する放射量の歪が含まれている。例えば，レンズ系による周辺光量の低下もその１つであり，通常$\cos^n\theta$補正が行なわれる。自動分類を正しく実行するためには，前処理として放射量補正を行う必要がある。

(3) 幾何補正

LANDSAT MSSデータの場合と同様に，他の情報と重ね合わせられるメッシュデータに航空

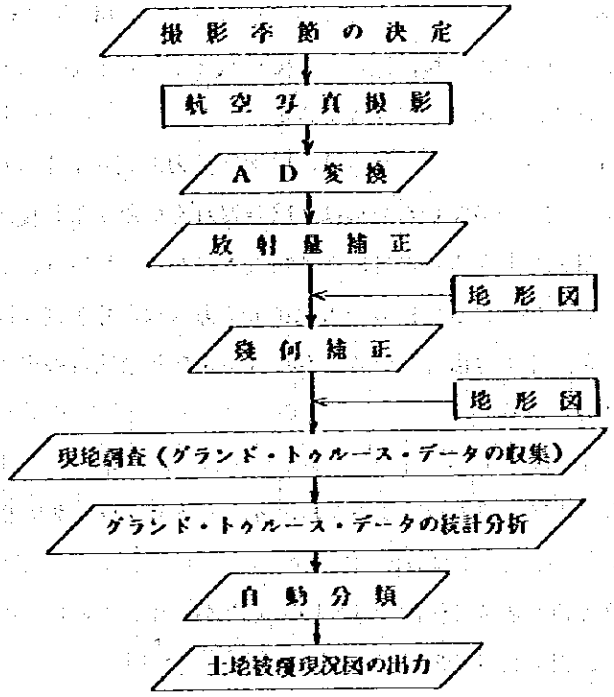


図3.2　航空写真データによる土地被覆現況図作成の流れ

写真データを再配列する必要がある。このためには，地上座標と画像座標との座標変換式を求める必要がある。ここで画像座標とは，AD変換された航空写真データの画像データファイル内での位置（ライン，画素）のことである。この座標変換式は，写真座標を間に入れて，つぎのように2段階で求められる。写真座標とは，フィルムの4角に書かれた指標により決定される座標のことである。

(i)　画像座標と写真座標

フィルムの4隅に書かれた指標の画像座標を用いて，座標変換式を求める。通常，アフィン変換式で十分である。

(ii)　写真座標と地上座標

地上座標と写真座標とが既知な地上基準点を3点以上用いて写真測量の共線条件から座標変換式を求める。地上基準点の写真座標は，画像座標を読みとり，(i)で求めた座標変換式により求める。

3.3　土地の安定性，生産性，労働性を評価するための主題図

3.3.1　リモートセンシングによる主題図作成

土地の安定性，生産性，労働性を評価するための主題図のうち，リモートセンシングにより作成しやすいものは，表3.1に示したように，植生図，水系図である。

a．植　生　図

植生は，原理的には，土地被覆の違いとして分類することができるため，植生図も3.2節で述べた土地被覆現況図と同様の手順で作成できる。

LANDSAT MSSデータを利用する場合は，地上解像力が大きすぎるため，大雑把な分類しかできない欠点がある。細かい分類のためには，航空写真を利用する必要がある。植生分類の方法には，計算機による自動分類と人間の目による判読とがある。計算機による方法は，処理時間は早いが分類精度が悪いという欠点がある。人間による方法は，分類精度は良いが時間がかかるという欠点がある。したがって分類したい植生の項目および対象地域の広さなどから２つの方法を比較して選択する必要がある。

b．水　系　図

水は，近赤外の電磁波をよく吸収するため，リモートセンシングで容易に検出できる。問題点は，つぎの２つである。

(i) 植生に覆われている水域は検出できない。したがって，このような地域は，地形図や他の資料あるいは現地調査で調べる必要がある。

(ii) リモートセンシング画像の画素より小さな水域は，検出できない。縦横とも画素の２倍以上の大きさをもつ水域は，確実に検出できる。

水系メッシュデータは，使用するリモートセンシング画像の画素の大きさによりデータのタイプが異なる。リモートセンシング画像の画素の大きさと作成するメッシュの大きさとが同じであるとき，得られる水系メッシュデータは，水系を含むメッシュと含まないメッシュとの０－１データになる。一方，作成するメッシュの中に複数の画素が含まれるとき，得られる水系メッシュデータはメッシュ内に含まれる水系の面積を示すデータになる。

3.3.2　地形情報の主題図作成

地形情報とは，標高，傾斜角度，斜面方位，起伏量などの地形形状に関する情報をいう。地形情報は，標高メッシュデータから求めることができる。標高メッシュデータは，Digital Elevation Model (DEM)と呼ばれる。ＤＥＭは，つぎの３つのいずれかの方法で収集することができる。

①人工衛星からのステレオ画像

②ステレオ航空写真

③地形図

①の方法は，計画段階であり，まだ実現されていない。②の方法は，地形図を作る手段でもある。地形図のない地域では，②が唯一の方法となる。地形図のある地域では，③による方法がもっとも簡単でよい。

本節では，先ず地形図からＤＥＭを求める方法について，つぎにＤＥＭから他の地形情報を求める方法について述べる。

a．地形図からのＤＥＭ作成

地形図からＤＥＭを作成するには，つぎの３つの方法がある。

①人間が標高値を読む方法

②ディジタイザで座標を測定する方法

③スキャナでＡＤ変換する方法

①の方法は，地形図にメッシュをかぶせて，メッシュ交点の標高値を人間が目で読みとる方法である。時間と労力を要する欠点がある。

②の方法は，地形図上に描かれた等高線上の点の平面座標を測定する方法である。測定点から内挿処理によりメッシュデータを作成する。

③の方法は，等高線の描かれた図を小さなアパチャーでＡＤ変換し，細かい格子状の０－１データを作成する方法である。この０－１データと等高線毎の標高値とを入力し，内挿処理によりメッシュデータを作成する。地形図には，等高線以上の記号や文字が含まれており，ＡＤ変換により等高線のみを抽出することが難しいため，地形図の原図である等高線図を用いるかあるいは地形図から等高線のみを手で抽出した図を用いる必要がある。

作成される標高メッシュデータの大きさが，他の地形情報のメッシュデータの大きさとなるため，標高メッシュデータの大きさは重要である。例えば，５万分の１の地形図から図上５㎜間隔のメッシュデータを作ったとすると，その地上での大きさは 250ｍである。20～30ｍ程度のメッシュデータを作成するためには，より大縮尺の５千分の１程度の地形図が必要となる。

b．ＤＥＭからの主題図作成

前節で述べた標高メッシュデータから，つぎのような簡単な計算で傾斜角度，斜面方位を計算することができる。[6)]

(i) 傾斜角度

点０の傾斜角度を α とすると

$$\alpha=\tan^{-1}\sqrt{\left(\frac{Z_E-Z_W}{2d}\right)^2+\left(\frac{Z_N-Z_S}{2d}\right)^3}$$

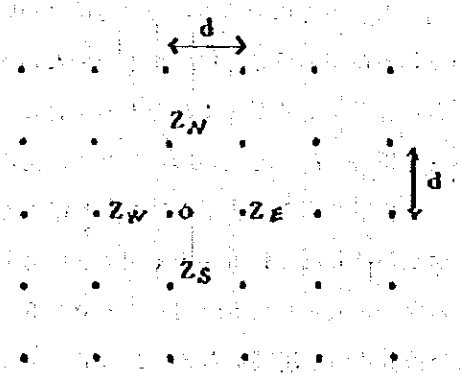


図3.3　標高メッシュデータ

ここで　d：メッシュデータの間隔（m）

Z_E，Z_W，Z_N，Z_S：点0に隣合う4点の標高データ（m）

(ii) 斜面方位

点0の斜面方位をθとすると

（θ：北方向を0とし，時計回りの角度）

$$X = \frac{Z_E - Z_W}{2d}$$

$$Y = \frac{Z_N - Z_S}{2d}$$

とおくとき

$X < 0$のとき	$\theta = 90° - \tan^{-1}(\frac{Y}{X})$
$X = 0$且$Y < 0$のとき	$\theta = 0°$
$X = 0$且$Y = 0$のとき	水平である。
$X = 0$且$Y > 0$のとき	$\theta = 180°$
$X > 0$のとき	$\theta = 270° - \tan^{-1}(\frac{Y}{X})$

上記の傾斜角度，斜面方位を典型的な例として，地形情報は，標高メッシュデータから容易に作成される。作成されるメッシュの大きさは，標高メッシュと同じである。

3.3.3 既存資料の利用

土壌，地質に関する情報をリモートセンシングのみで完全に収集することは不可能である。その1つの理由は，例えば土壌のリン酸吸収係数のように，土壌，地質に関するある情報は，リモートセンシングでは直接には収集できないことによる。もう一つの理由は，地質のほとんどの部分は，植物に覆われており，地表面を直接リモートセンシングで観測できないことによる。

しかし，この2番目の理由を逆に利用して，土壌，地質に関する情報を収集することができる。すなわち，植生と土壌，地質との関連を調べて，リモートセンシングで植生を調べることにより間接的に土壌，地質に関する情報を得る方法である。この方法については，4.1.3節で述べられる。

しかし，この方法は，得られる情報の種類，精度が十分でないため，対象地域内の土壌，地質に関する既存の情報がない場合は有効であるが，それがある場合は，その既存資料を利用した方がよい場合が多い。ここでいう既存資料とは，地図の形をした主題図のことである。

主題図の主な形として，領域表示の形と線表示の形とをあげることができる。領域表示の主題図とは，項目毎に領域を色で塗りわけられているか線で囲まれた形をしている。線表示の主題図とは河川道路などのような線状の地物を表示した主題図のことである。

本節では，領域表示および線表示の主題図からメッシュデータに変換する方法について述べる。

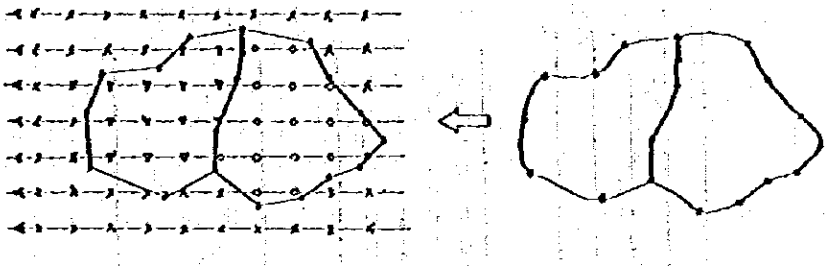


図3.4　ディジタイザによる方法

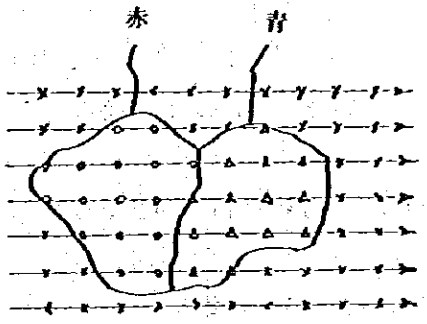


図3.5　スキャナによる方法

a．領域表示の主題図からメッシュデータへの変換

領域表示の主題図からメッシュデータを作成するには，つぎの2つの方法がある。

①ディジタイザで座標を測定する方法（図3.4参照）

②スキャナで色を識別する方法（図3.5参照）

①の方法は，主題図上の各項目の領域を閉多角形で形状近似し，この閉多角形の頂点の座標をディジタイザで測定する方法である。計算機処理により，格子状の座標を発生させ，各点がどの閉多角形に含まれるかを判断することにより，メッシュデータが作成される。

②の方法は，主題図上の各項目の領域を，スキャナで識別しやすい色に項目毎に人間が手で塗

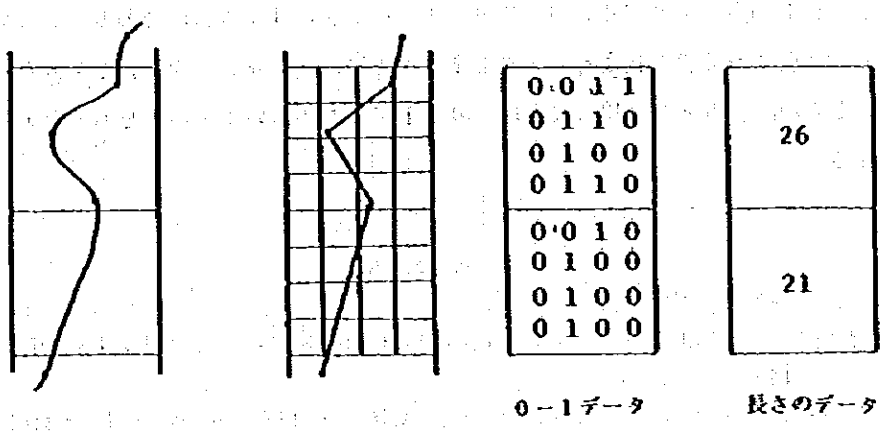
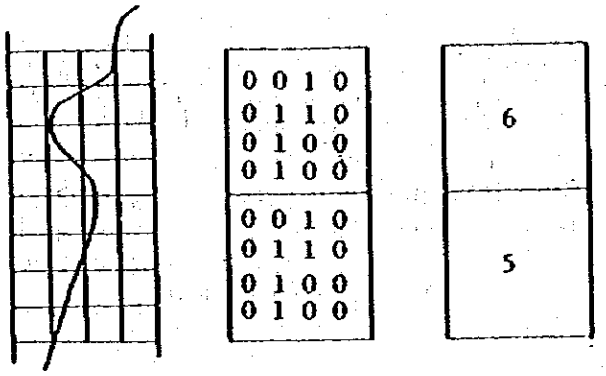


図3.6　ディジタイザによる方法



0－1データ　　長さのデータ

図3.7　スキャナによる方法

った後，スキャナで3色分解し，色を識別する方法である。3色分解する点の間隔のメッシュデータが得られる。

b．線表示の主題図からメッシュデータへの変換

線表示の主題図からメッシュデータを作成する方法は，領域表示の場合と同様に，つぎの2通りがある。

①ディジタイザで座標を測定する方法（図3.6参照）

②スキャナでAD変換する方法（図3.7参照）

①の方法は，主題図上の線を折れ線近似してその頂点の座標をディジタイザで測定する方法である。計算機処理により，格子状の座標を発生させてメッシュデータに変換する。この場合，メッシュ内に線が含まれるか否かの0－1データを作成するときは，細かいメッシュを発生させる。一方，メッシュ内に含まれる線の長さをデータとするときは，大きいメッシュを発生させる。このとき，線の長さは，折れ線の実長となる。

②の方法は，主題図上の線を，スキャナで読み取りやすい線図に書き直して，スキャナでAD変換し，線上の点とそれ以外の点との0－1データを作成する方法である。この方法の場合，メッシュ内に含まれる線の長さをデータとするためには，メッシュを統合して大きなメッシュを作成するとよい。このとき，線の長さは，0－1データにおいて1の値をもったメッシュの数で表現される。

参考文献

1) Landsat Data Users Notes, NOAA, December 1982

2) 前田敏，村井俊治ほか「累積頻度曲線を用いたLANDSAT MSSデータのラジオメトリック補正」写真測量とリモートセンシング　1980 vol. 19 №4

3) 福江潔也，下田陽久ほか「ランダムノイズ付加によるLANDSAT MSS画像の画質向上」写真測量とリモートセンシング　1982 vol. 21 №1

4) 村井俊治，前田昜「地球資源衛星MSSデータの幾何学的補正に関する研究」東京大学生産技術研究所報告 1978 vol. 27 No 5
5) 日本リモートセンシング研究会編「画像の処理と解析」共立出版
6) 村井俊治，建石隆太郎「標高メッシュデータを用いた地形の画像出力」東京大学生産研究 vol. 30 No 7

第4章　農業開発適地選定のためのモデル

4.1　自然的立地条件等からみた総合評価の方法

土地の農地としての適性評価を行う場合，いかなる生産技術水準を前提とするかが重要である。たとえば原始的焼畑農業や，人力労働が主体の段階では，地力の有無，すなわち高い収量が期待できるかどうかが最も重要な評価因子である。しかし畜力や近代的な機械力を利用する農業技術の段階では，地力の有無と同時に，畜力や機械力の適用の難易，すなわち土地の傾斜と広さが決定的な評価因子となるであろう。本章では農業の生産技術水準として，現在世界各国で実施されている高度の技術であり，インドネシアにおいても将来普遍化が期待されるであろう"機械化農業"を前提として話を進める。

4.1.1　農地適性評価に用いられる自然的因子

日本の農用地開発事業においては，開発地区の気象・水文条件，水利条件，水質条件，地質条件，土壌条件などの調査とともに，自然的因子として，土地の傾斜，土層の厚さ，土性，レキの含量の4因子による土地分級すなわち土地の評価を実施し，開発適地選定のための最も重要な基礎資料としている。これらの4因子は，農地の地力，作業性，耐侵食性に影響する重要な自然的因子である。これらの4因子を用いた土地分級基準（土地の評価法）を以下のa，b，c，dで説明するが，この分級基準は温帯モンスーン気候帯に位置する日本での使用を前提としており，他の気候帯や地形・土壌条件等の異なる地域（国）での使用には修正等の検討が必要である。しかし土地評価手法としては適用可能と考えられる。

a．土地の傾斜

畑地では傾斜が急になるにしたがい農業機械の作業能率や作業精度が低下し，ある限界に達すると機械の使用は不可能となる。機械利用の限界傾斜は作業や作物の種類によって異なるが，およそ10～15°である。

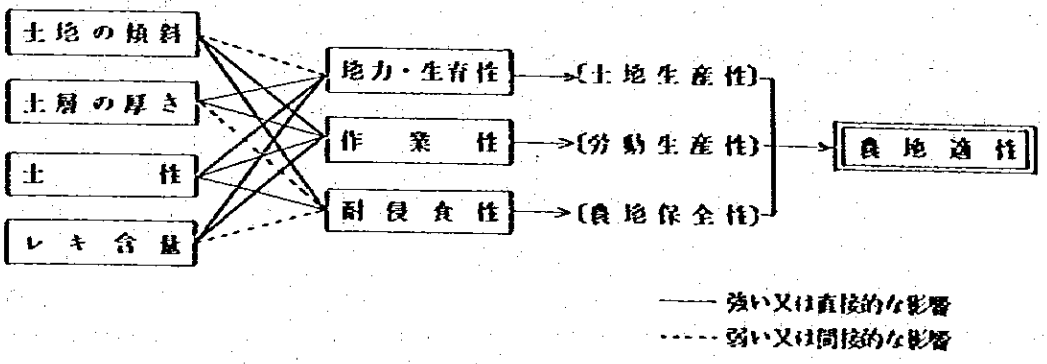


図4.1　日本の農地開発事業における農地適性評価の手順[1),2)]

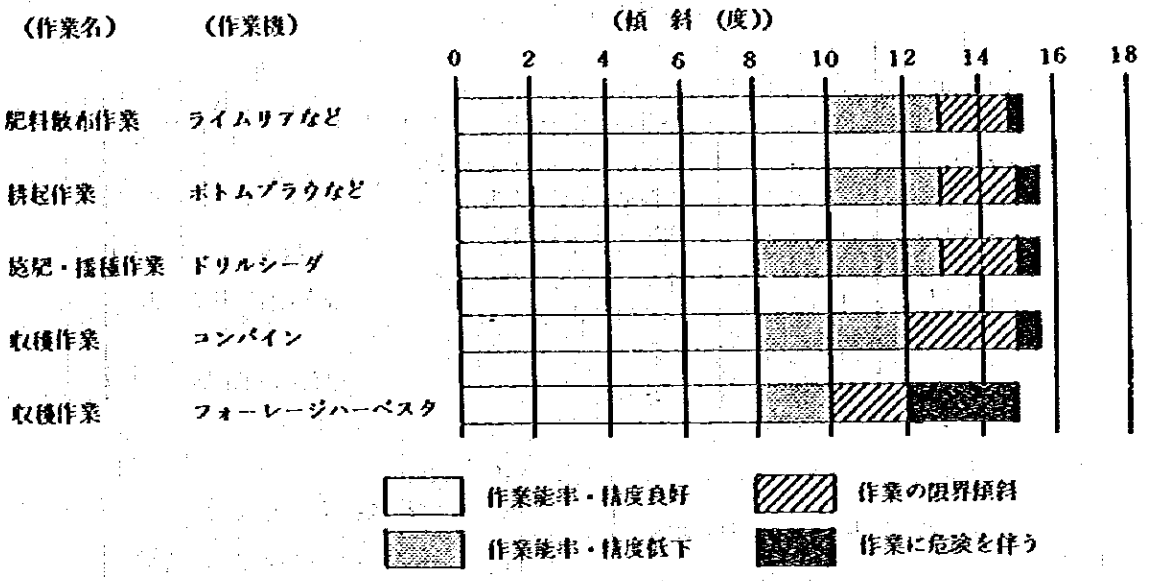


図4.2 傾斜地の作業別機械利用限界（一戸データより作図）[3)]

また，傾斜が急になるにしたがい土壌侵食の危険性が増大する。土壌侵食の程度は土地の傾斜ばかりでなく，降雨，土性，地上被覆状態などによって異なるが，一般に傾斜が15～18°をこえると侵食が急激に強まるといわれている。

以上のように，農業機械の利用や土壌侵食による農地崩壊の危険性を考慮すれば，開畑においては8°以下の傾斜が最も好ましく，30～35°以上の傾斜地は不適である。

機械造工による農地造成（開畑）方式としては，山成畑工，改良山成畑工，斜面畑工，階段畑工がある。どの工法を採用するかは土地の傾斜によって決定されるのが普通である。

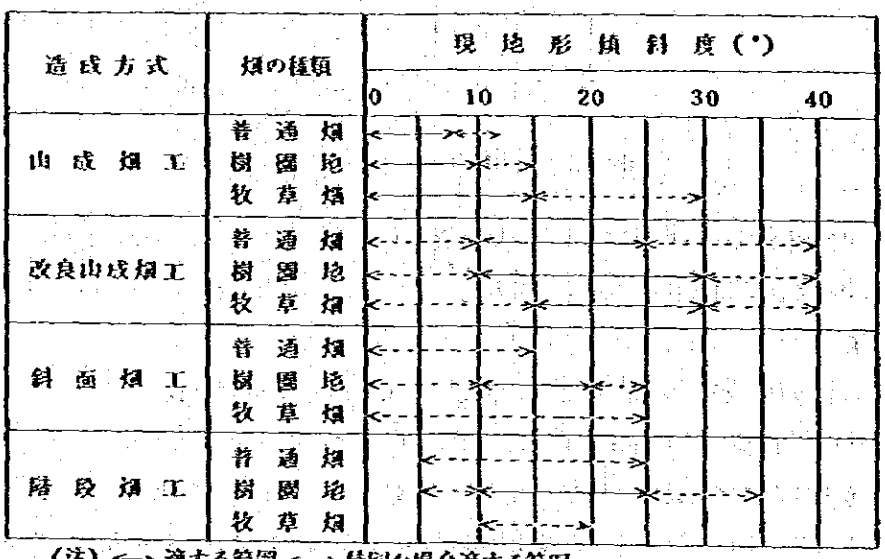
開田においては，土地の傾斜は造成される水田の大きさと田差に影響する。これは，水田は畑

表4.1 傾斜度と土壌侵食（山崎）[3)]

調査地	土壌	傾斜度	流去水量 (㎥)	流亡土量 (kg/10a)	栽培作物と調査期間
盛岡（東北農試）	火山灰質土	10°	1.2	6.6	トウモロコシ－コムギ－カブ（1953～54）
		15	1.6	6.6	
		20	2.1	30.0	
長野（長野農試）	頁岩質土	10	9.6	74.5	ダイズ（1951）
		19	9.2	200.5	
		28	7.7	2,509.5	
		33	14.7	3,747.0	
香川（四国農試）	花コウ岩質土	3	51.6	12.0	サツマイモ（1948～49）
		10	28.0	70.9	
		14	21.9	176.3	
		23	83.4	956.3	

表4.2　開畑地区傾斜分級基準

級　位	傾　　斜	適　　性	
1	3° 未　満	大型機械化支障なし	侵食の危険性なし
2　a	3 ～　8°	大型機械化ほとんど支障なし	侵食の危険性小～中
2　b	8 ～ 12°	大型機械の部分的利用可能	
2　c	12 ～ 15°	大型機械の機種制限	
3	15 ～ 30°	作業効率は悪いが，機械の部分的利用可能	侵食の危険性中～大
4　a	30 ～ 35°	開畑の限界	侵食の危険性大
4　b	35°以　上	開畑不適	



（注）←→適する範囲，<--->特別な場合適する範囲。

山成畑工……土地の起伏をそのまま生かして耕地化する開墾

改良山成畑工……原地形のままでは山成畑工の困難な場所を，機械力によって大量の運土作業を行って地形の起伏・傾斜を修正し，傾斜畑を造成する開墾

斜面畑工……傾斜地でコンター沿いに耕作道を造成し，主として斜面を耕面として造成する開墾

階段畑工……急傾斜地において，原傾斜を階段上に手直しして階段平担部を畑地とする開墾

図4.3　傾斜に応じた畑造成方式適用範囲（農業土木ハンドブック）[1]

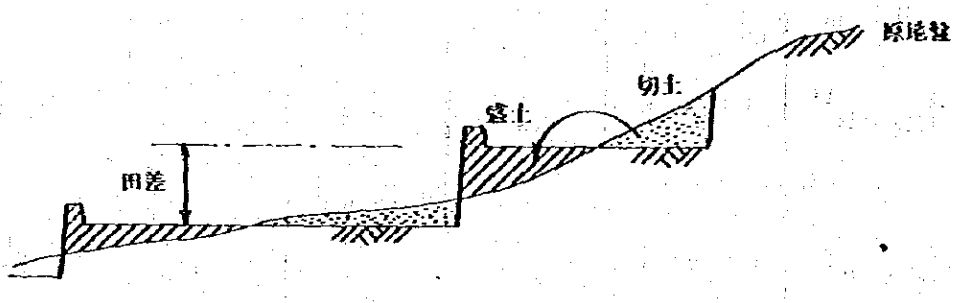


図4.4　傾斜地の水田造成

表4.3　開田地区傾斜分級基準

級　位	傾　　斜	適　　性
1	$\frac{1}{100}$以下（35′以下）	田差1.0m以内で整形30a区画可能。
2 a	$\frac{1}{100}$～$\frac{1}{35}$（35′～1°40′）	田差1.0m以内で整形30a区画可能。
2 b	$\frac{1}{35}$～$\frac{1}{20}$（1°40′～3°）	田差1.0m内外で整形30～20a区画可能。
3 a	$\frac{1}{20}$～$\frac{1}{10}$（3～6°）	田差1.0m以上で不整形30～20a区画可能。
3 b	$\frac{1}{10}$～$\frac{1}{7}$（6～8°）	
4 a	8～10°	開田の限界，局部的開田に限る。
4 b	10°以上	開田不適地。

と異なり圃場面を1筆ごとに水平に造成するためである。開田適地としては3°以下の傾斜が好ましい。3°以上の傾斜地では田差が1m以上（20～30a区画の場合）となり，水田造成費用が増大する。8～10°以上の傾斜地は開田に不適である。

b．土 層 の 厚 さ

土層の厚さは地力や農地の管理作業（耕起や整地作業など）の難易性，また農地の造成工法に影響する。望ましい土層厚さは70cm以上であり，40cm以下の土地は農地として不適である。

c．土　　性

土壌粒子はその大きさによって，レキ，砂，シルト，粘土に区分される。この4成分のうち砂，シルト，粘土の混合割合によって土壌を分類したものが土性であり，水分・養分の保持，通気水性など土壌のほとんどすべての性質に関係する。図4.5に国際法による粒径区分及び土性三角座

表4.4　開畑地区土層厚さ分級基準

級位	土層の厚さ	適　　性	備　考
1	100cm以上	正当な生産を上げ，正当な管理作業可能。	改良山成工で多量の切土の場合（切土深さが大きい場合）は本表の適性欄は適用できないので，注意を要する。
2	100～70cm	階段工は傾斜により工法が制限される。山成開墾に適す。	
3	70～40cm	階段工は傾斜によりかなり工法が制限される。山成開墾にはおおむね適す。	
4	40cm以下	階段工は造成困難。山成開墾は可能だが，正当な生産を上げ，正当な管理作業は困難。	

表4.5　開田地区土層厚さ分級基準

級位	土層の厚さ	適　　性
1	100cm以上	傾斜の大小にかかわらず造成上支障がない。
2	100～70cm	傾斜によっては造成上若干支障となる。
3	70～40cm	傾斜によって造成上かなり制約を受ける。
4 a	40～25cm	傾斜によっては造成困難。
4 b	25cm以下	開田不適。

標を示した。

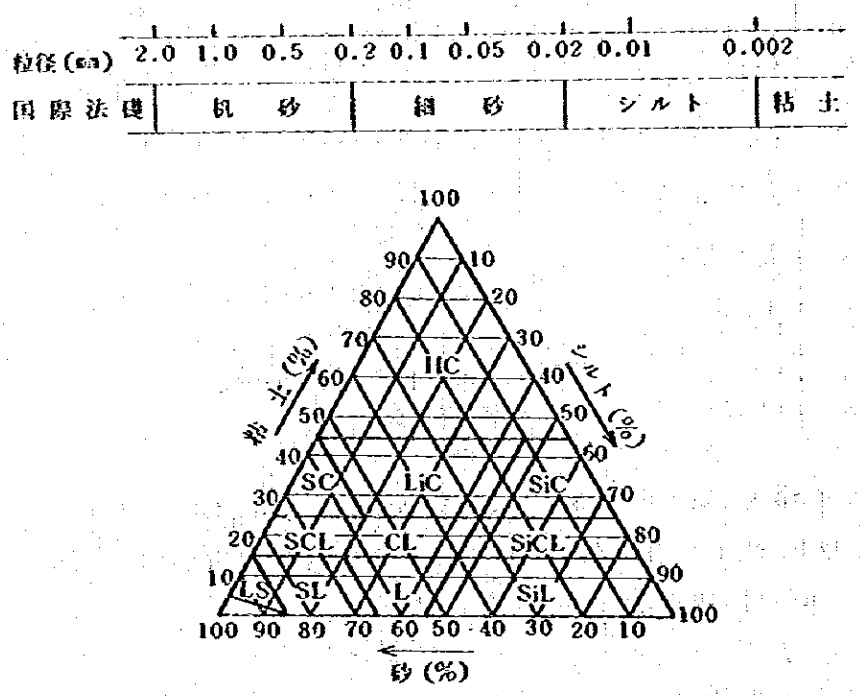


図4.5 土壌の粒径区分と土性三角座標（国際法）[7]

表4.6 土性名と粒径組成[8]

土性区分	土性名		記号	粘土	シルト	砂
砂質土	砂土	sand	S	0～5 %	0～15	85～100
	壌質砂土	loamy sand	LS	0～15	〃	85～95
壌質土	砂壌土	sandy loam	SL	0～15	0～35	65～85
	壌土	loam	L	〃	20～45	40～65
	シルト質壌土	silt loam	SiL	〃	45～100	0～55
粘質土	砂質埴壌土	sandy clay loam	SCL	15～25	0～20	55～85
	埴壌土	clay loam	CL	〃	20～45	30～65
	シルト質埴壌土	silty clay loam	SiCL	〃	45～85	0～40
強粘質土	砂質埴土	sandy clay	SC	25～45	0～20	55～75
	軽埴土	light clay	LiC	〃	0～45	10～55
	シルト質埴土	silty clay	SiC	〃	45～75	0～30
	重粘土	heavy clay	HC	45～100	0～55	0～55

土性は地力，作業性，耐侵食性すべてに影響する重要な因子である。たとえば作物の生育は欠かせない土壌の保水力は，表4.7に示すように，シルトや粘土の割合が多くなるほど大きくなる。また農地の排水やかんがい方法に影響する土壌の浸透能は図4.6に示すように土性によって大きな差がある。

表4.7 土性と保水力（松尾）[3)]

土壌	粒径組成% シルト	粒径組成% 粘土	圃場容水量%	シオレ点 %	保水力（圃場容水量－シオレ点）
洪積層土壌	16	45	24.4	18.2	6.2
	12	35	16.8	12.8	4.0
	9	25	11.7	9.1	2.6
	7	20	10.0	7.1	2.9
	5	15	7.9	5.8	2.1
	4	10	5.6	3.5	2.1
	2	5	3.6	2.1	1.5
	0*	0*	2.1	1.5	0.6
洪積層土壌	25	50	26.3	18.0	8.3
	〃	40	21.3	14.1	7.2
	〃	30	18.5	11.5	7.0
	〃	20	15.4	8.8	6.6
	〃	10	12.5	6.5	6.0
	〃	0	8.6	3.4	5.2
火山灰土壌	25	40	34.7	24.3	10.4
	〃	30	28.6	21.0	7.6
	〃	20	23.8	16.2	7.6
	〃	10	19.6	12.4	7.2
	〃	0	16.2	8.4	7.8

＊砂100%

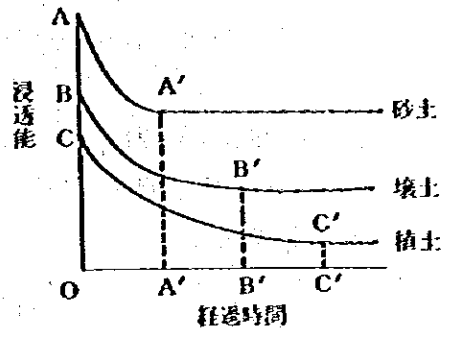


図4.6 土性と浸透能曲線

表4.8 開畑地区土性分級基準

級位	土性	適性
1	壌質土，植壌質土，植質土，砂壌質土，火山灰性壌質土，火山灰性植壌質土	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うのにほとんど制限因子または阻害因子がない。
2	砂質土，火山灰性砂壌土，重粘土，低位または中間泥炭土	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うのにかなりの制限因子または阻害因子があり，土壌によっては適宜土地改良対策を必要とする。
3	レキ土，火山灰砂，火山灰レキ，高位泥炭土	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うのにきわめて大きな制限因子または阻害因子があり，担当の土地改良対策を必要とする。

表4.9 開田地区土性分級基準

級位	土性	適性
1	壌質土，植壌質土，植質土	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うのに制限因子または阻害因子がない。
2	砂壌質土，火山灰性壌質土，火山灰性植壌質土	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うのに土性によっては若干の制限因子または阻害因子がある。造成上特別の配慮を必要とする。
3	砂質土，火山灰性砂壌質土，重粘土，低位または中間泥炭土	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うのに土性によってはかなりの制限因子または阻害因子があり，特別の土地改良対策を必要とする。
4	レキ土，火山灰砂，火山砂レキ，高位泥炭土	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うのに，それぞれ大きな制限因子または阻害因子があり，開田には不適。

農地として好ましい土性は栽培作物などによっても異なるが，一般的に，土壌構造が発達し保水性，通気性，排水性などの良好な砂壌土，壌土，埴壌土などである。

d．レ キ 含 量

土壌中に含まれるレキは作物生育の障害となるばかりでなく農作業の障害ともなり，作業効率の低下，機具の摩耗や破損の原因となる。農地とし好ましい土壌はレキ含量が5％以下（容積比率）である。

表4.10　開畑・開田地区レキ含量分級基準

級位	レキ含量	適　　性
1	5％以下	作目によらず正当な生産を上げ，正当な管理作業が容易である。
2	5～10％	作目によっては正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うには若干支障があるが，除レキの必要はない。
3	10～30％	正当な生産を上げ，正当な管理作業を行うには大きな支障があり，除レキの必要がある。
4 a	30％以上	畑地としての利用は不適，ただし作目によっては除レキによって利用可能，開田は不適。
4 b	露岩転石	開畑，開田不適地。

e．その他の土地評価因子

a～dに述べた，土地の傾斜，土層の厚さ，土性，レキ含量の4因子は土地の農地適性を評価するための最も基本的な評価因子である。なぜなら，これらは変更不可能な土地条件であり，しかも造成される農地の質を大きく左右するからである。農業の形態や対象とする地域の状況いかんにかかわらず，農業適地選定のための自然的条件評価因子としてこれらの4因子は必ず採用すべきものである。これらの4因子の他に次のような評価因子が考えられる。

地形条件……斜面の方位・形・長さ，斜面上の位置起伏量など

土壌条件……土壌の乾湿，表土の連結性，透水性，pH，塩基置換容量，リン酸吸収係数など

水利条件……用排水路の整備状況，河川からの距離など

気象条件……気温，降水量，積雪，風の強さ，気象災害の危険度など

これらの諸因子を採用することにより，土地評価はより具体的かつ高精度なものとなるであろう。そのため，対象地域（圏）の実状を考慮し，必要に応じて適切な因子を採用すべきである。しかし，これらの諸因子はa～dで述べた4因子に比較し，農地適性評価のウェイトは相対的に低いと思われる。なぜならこれらの因子による評価基準が変動的であるためである。たとえば，作物生育に関連あると思われる斜面の方位，斜面上の位置，透水性，pHなどは，近代的な栽培技術や土地改良技術をもってすれば克服又は改良可能な項目であり，評価基準が変動的である。水利条件は農業用水確保の可否を決定する重要な因子であるが，用排水路の整備やダムの建設などにより評価基準が変動する。また，気象条件はその環境に適合した作物の選択や品種改良・栽培技術の改善などにより評価基準が変動するものである。逆に気象条件は変更不可能な絶対条件でも

あり，非常に広範囲の面積を対象とした土地評価には有効な評価因子となり得るが，100km内外の地域では変化も少なくそれほど有効な評価因子とならない場合が多い。

(．マルチステージ調査法における評価因子の選択

自然的立地条件により農業適地選定のための土地評価を行うには，農地の造成・改良技術水準，対象作物，作物の生産技術水準，対象地域の面積，気候的特徴などを総合的に検討し，最も効果的かつ重要な評価因子を選定する必要がある。表4.11は第2章で示されたマルチステージ調査法の各段階において，農業適地選定のために採用すべき自然的評価因子を示したものである。しかしデータの欠如等のため採用不可能な因子が出てくる場合がある。このような場合は，他の代替的因子や類似因子の導入なども有効であろう。また欠落因子はそのままに評価を実施し，そのステージでの土地評価結果の解釈や利用に制限があることに注意して，さらにエリアをしぼり込んだ次のステージにおいて，前ステージでの欠落因子を採用するなどの方法も考えられよう。

表4.11 マルチステージの各段階における自然的評価因子

	Regional assessment	Local assessment	Site assessment
気象条件	気候帯 気温 降雨量 積雪 無霜期間 災害危険度	気温 降雨量 日射量 風向・風速 災害危険度	微気象
水利・水質条件	水系 水量 災害危険度	河川からの距離 用排水路からの距離 水量 水質 災害危険度	水量 水質
地形・地質条件	大地形 表層地質	中・小地形 土地の傾斜 表層地質	土地の傾斜 斜面の方位 斜面の形・長さ 斜面上の位置 起伏量
土壌条件	土壌型	土壌型 土性 土壌の乾湿 pH	土層の厚さ レキ含量 透水性 表土の凝結性 pH 塩基置換容量 リン酸吸収係数
植生条件	自然植生 林相	林相 樹間密度	樹間密度 樹林直径 立木数

4.1.2 自然的因子による農地適性の総合評価

a．等級式評価法（最低級位法）

日本における農地開発事業では，開発適地選定のための土地評価に，土地の傾斜，土層の厚さ，土性，レキ含量の4因子を用いていることは4.1.1で述べたとおりである。これらの4因子を用いた農地適性の総合評価は，農業生産性がほぼ類似する土地を類別する目的で等級式評価法を採用している。すなわち，土地を各因子ごとにあらかじめ等級分けする。そして各因子は独立的に土地の農業生産性を規制するという見地から，その土地の総合級位は4因子の最低級位をもって表現する。たとえば，土層の厚さ，土性，レキ含量の3因子がⅠ級であり，土地の傾斜がⅢ級の場合，この土地の総合級位はⅢ級と判定する。各因子別の級位とその区分をまとめたものが表4.12，表4.13であり，各級位は次の評価を示す。

Ⅰ級……農地として最も適する。

Ⅱ級……農地利用は可能であるが，農作業上の障害及び侵食の危険がいくらかある。

Ⅲ級……農地利用は可能であるが，農作業上の障害及び侵食の危険が大きい。

Ⅳ級……農地としては不適である。

なお，表4.12，表4.13は日本での利用を前提としたものであり，他の地域（国）へて適用には，実状に応じた修正が必要である。等級式評価法を用いた東南アジア地域における土地利用区分の基準としては，樋渡の方法などがある。

樋渡（1977）は東南アジア地域において，土地利用区分調査を行なう場合の，航空写真利用の具体的応用について，次のような方式を提案している。（表4.14）ここでは分類の項目として傾斜，段丘，侵食，土壌深度，土壌のきめ，土壌湿度の6要因が使われている。それぞれの分類基準は次のように設定されているが，インドネシアで使う場合には，この基準について再度検討する必要があろう。

(1) 傾　　斜

1. 平坦地	0～ 3°
2. 軽い波状地	3～10°
3. 強い波状地	10～25°
4. 急傾斜または段丘地	25～35°
5. 非常な急傾斜地または山岳地	35°～

(2) 段　　丘

1. 段丘がない
2. 段丘があるが良い状態
3. 段丘が悪い状態

(3) 侵　　食

1. 侵食地がない，または少しある。

表4.12 開畑地区分級基準

因子＼級位	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
傾　　斜	0 ～ 3°	3 ～ 15°	15 ～ 30°	30°以上
土層の厚さ	100㎝以上	100 ～ 70㎝	70 ～ 40㎝	40㎝以下
土　　性	SL, L, SiL SCL, CL, SiCL SC, LiC, SiC 火山灰性 L 火山灰性 CL	S, LS, HC 火山灰性 SL 泥炭土(低, 中)	レ キ 土 火 山 砂 火山砂レキ 泥炭土 (高)	―
レキ含量	5 %以下	5 ～ 10%	10～30%	30%以上

表4.13 開田地区分級基準

因子＼級位	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
傾　　斜	0 ～ 35′	35′ ～ 3°	3 ～ 8°	8° 以 上
土層の厚さ	100㎝以上	100～70㎝	70～40㎝	40㎝以下
土　　性	L, SiL SCL, CL, SiCL SC, LiC, SiC	SL 火山灰性 L 火山灰性 CL	S, LS 火山灰性 SL HC 泥炭土 (低, 中)	レ キ 土 火 山 砂 火山砂レキ 泥炭土 (高)
レキ含量	5 %以下	5 ～ 10%	10～30%	30%以上

2. 中庸, 表土, 心土があちこちにみられる。または亀裂 (溝) がみられる。

3. 著しい侵食　C層 (母岩) が随所にみられる。また溝がいたるところにみられる。

(4) 土 壌 の 深 度

1. 非常に深い　100㎝ 以 上
2. 深い　75 ～ 100㎝
3. 適度の深さ　50 ～ 75㎝
4. 浅い　25 ～ 50㎝
5. 非常に浅い　25㎝ 以 下

(5) 表 土 の 土 性

1. 柔らかい (粘度) 手指の感触は粘りが強く, ほとんど砂を感じない。
2. 中庸 (砂質粘土) 粘りはあるがそれほど強くない。または粘りは強いが砂を感じる。
3. 粗い (砂を多量に含む) 砂を強く感じ粘りがほとんどないが, あっても弱い。
4. 非常に粗い (砂壌表土)

(6) 土 壌 の 湿 度

1. 乾燥地, 手で握ると湿気を感じないかいくらか感じるもの。

2. 中庸，湿度を感じ，手が濡れる程度

3. 湿地または多湿地　手で握ると水滴が落ちるものまたはそれ以上の湿地

4. 塩水地または沼沢地

5. 塩地

判定要因としてとりあげた上記6項目のうち，土壌の深度，湿度および表土の土性は植生と強く結びついた要因であるから，土壌図が得られない場合には，過去の調査をもとに（例えば，船田1979）植生から判定する方法も考えられる。

Table 4.14　土地利用区分の基準[9)]

土地利用区分	土地分類						説明
	傾斜	段丘	侵食	土壌深度	土壌のきめ	土壌湿度	
Ⅰ等級	1	1	1	1,2	2	2,1	土壌を保持する処置が必要ない
Ⅱ等級	1,2	1	1	1,2	2,1	2,1	時々水が氾濫する，排水の改良処置が必要
Ⅲ等級	1,2	1,2	1	2,3	1,2	1,2,3	土壌保持や排水のための施工等強力な処置が必要
Ⅳ等級	1,2	1,2	1,2	3,4	2,4,	2,3	沼沢的な土壌で，時々塩気をおびる
Ⅴ等級	1,2,3	1,3	1,2	3,4	2,3,4	1	農耕，林地としても土壌保全のための溝やその他の処置が必要
Ⅵ等級	1	1	1	1	1,2	4,5	傾斜平坦で塩水または塩気をおびる
	2,4	1,3	1,2	4,5	1,2	1	傾斜が比較的急で土壌深度が浅い
Ⅶ等級	4,5	1,3	3	5	1,4	1	非常に急傾斜地またはひどい侵食地
	1	1	1	1,2	1,2	3,4,5	沼沢地，若い未熟土地帯で劣悪な土地

上記の方法でⅠ等級からⅦ等級に分級された土地は，次のような方針にもとづいて利用するの望ましいとされている。

A．耕作適地

Ⅰ等級　定住農業に非常に適する。土壌を保持する処置を必要としない。

Ⅱ等級　定住農業に適する。土壌の保持処置がすでになされているか，簡単な階段方式などの単純な作業を伴うもの。

Ⅲ等級　定住農業に十分たえられる。土壌を保持するための強力な処置が必要とされる。

B．耕作不適地　自然牧場，エステート農園あるいは林地に適する。

Ⅳ等級　定住農業にあまり適さない。森林の伐採は土地を保持する特別の作業を必要とせず，牧場，農園，林地に非常に適する。

Ⅴ等級　エステート農園，林地に適する。しかし土壌保全のための溝やその他の処置が必要

となる。

Ⅵ等級　強力な土壌保全の処置が必要とされるので農園には適さない非常に悪化しやすい土地。林地では強度に制限された択伐を実施するような土地。

C．耕地，牧場，エステート農園，林地のいずれにも不適。野生生物適地。

Ⅶ等級　洪水，著しい侵食，または極端な湿地等のため人間活動に調和しない地域。一般には野生動植物または魚類の採取地となる。

b．点数式評価法

各評価因子ごとの評価結果や等級分級の結果は点数として表わされ，これらの点数を合計して総合評価をする方法を点数式評価法という。この場合各因子はその影響の程度や重要度を考慮し重みづけされるのが普通である。表4.15に畑の自然条件の評価例を示した。

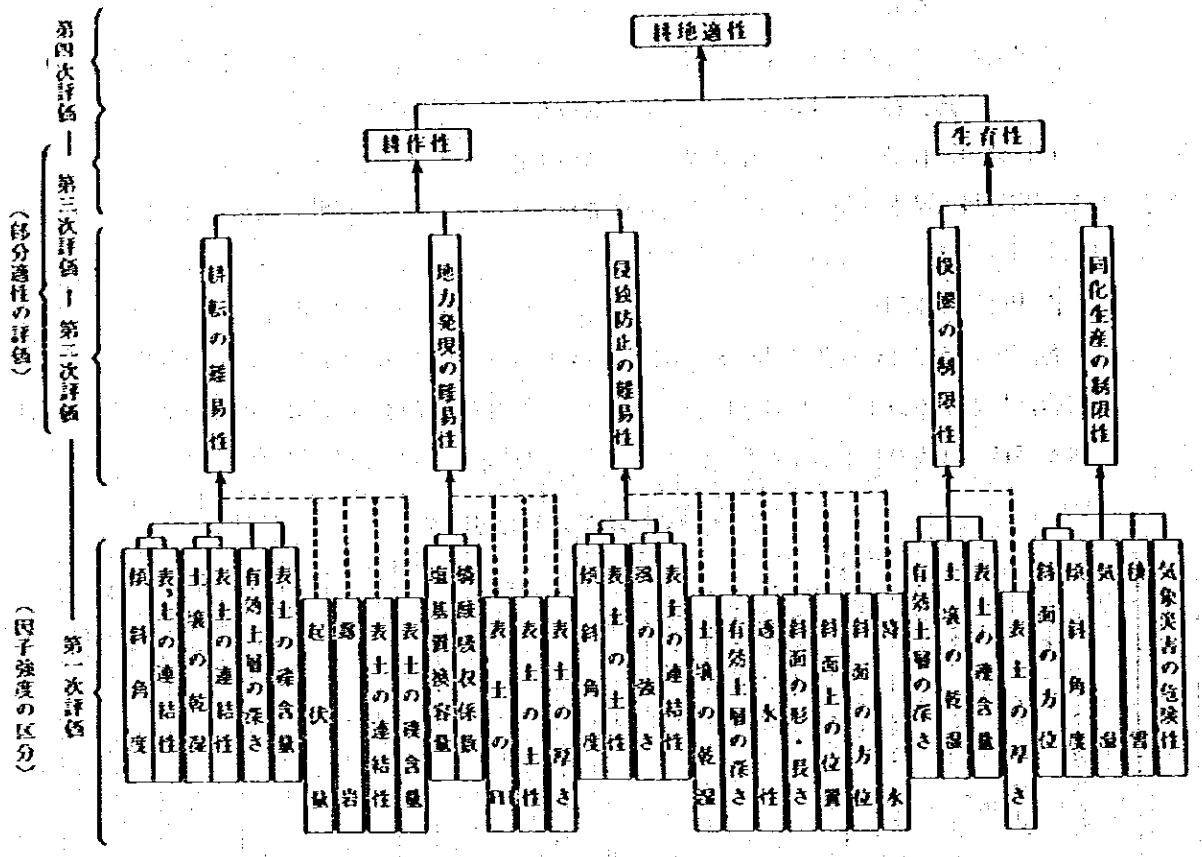
表4.15　畑地の自然条件の評価基準[4)]

評価因子	同左の区分	評点	満点(ウェイト)	補正
無霜期間(霜と雪)	無霜期間は7区分 根雪期間は6区分	0～25	25	根雪期間により最高0.5割引
降水量	年降水量で4区分	0～3	3	
台風回数	最近25年間の回数で3区分	0～3	3	
農地傾斜角	4区分	0～5	5	
傾斜方向	8区分	0～5	5	
自然傾斜	4区分	0～4	4	
陰影率(可照の程度)	陰影率で6区分 濃霧日数で4区分	0～8	8	濃霧日数により最高0.5割引
作土の泥炭	有無の2区分	0～5	5	
作土の土性	8区分	0～6	6	
作土の礫	断面積割合で4区分	0～5	5	
風害	程度で3区分	0～2	2	
排水の良否	5区分	0～8	8	
作土の色	4区分	1～5	5	
基層までの深さ	4区分	0～8	8	
地表下1mまでの不良土層	有無と程度で7区分	1～8	8	
計		2～100	100	

この表は日本における評価基準例であり，特に冬期の栽培条件を左右する無霜期間に大きなウェイトがかけられている。点数式評価法においては，評価の目的やその地域（国）の自然条件に促した効果的な因子の選択と因子の重みづけが重要となる。

c．等級式評価法と点数式評価法の併用法

この方法では，評価因子それぞれの特性を考慮し，等級式評価法と点数式評価法を併用して総合評価を行う。この方法による農地（畑地）としての自然立地的土地分級の手順例を図4.7に示した。図中の第1次～第2次評価では等級式評価法により，また第3次～第4次評価では点数式評価法を採用し，最終的な耕地適性の評価を行っている。たとえば「根圏の制限性」の評価は表



注 1) 単独枠内の因子は独立因子，連結枠内の因子は相対因子を示す。
2) 実線で連結した因子は基準因子，破線で連結した因子は補正因子を示す。

図4.7 耕地としての自然立地的土地分級の手順（開畑）[4]

表4.16 「根張の制限性」分級基準表[4]

適性度	基準因子（独立）		
	有効土層の深さ	土壌の乾湿	表土の礫含量
5	100cm以上	湿	－ %
4	75～100	弱乾 弱湿	5～10
3	50～75	乾または湿	10～20
2	30～50	多湿	20以上
1	15～30	－	－
0	15以下	－	－

補正因子	補正の方法
表土の厚さ	基準因子の数値が境界値付近を示す場合，30cm以上は格上げ，それ以下は格下げする。

表4.17 「生育性」分級基準表[4)]

適性度		根圏の制限性					
		5	4	3	2	1	0
同化生産の制限性	5	10	8	5	3	2	0
	4	9	7	4	2	1	0
	3	7	6	3	1	1	0
	2	5	4	2	1	0	0
	1	3	2	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

表4.18 「耕地適性」分級基準表[4)]

適性度		耕作性										
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
生育性	10	10	10	9	8	8	8	7	6	5	5	0
	9	9	8	8	7	7	6	6	5	4	4	0
	8	8	8	7	7	6	5	4	4	3	3	0
	7	7	6	6	5	5	4	3	3	2	2	0
	6	6	6	5	5	4	3	3	2	2	2	0
	5	5	4	4	3	3	2	2	2	1	1	0
	4	4	4	3	3	2	2	2	1	1	1	0
	3	3	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0
	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.16に示した分級基準表を用いて行い，その適性度は土層の深さ，土壌の乾湿，レキ含量の3因子の最低適性度をもって表わす。そして「生育性」や「耕地適性」の評価は，表4.17，表4.18。を用いた点数式評価法により0～10点の評点を実施し総合評価を行っている。

d．総合評価法の検討

a～cで述べた評価法と評価基準は日本での適用を目的として確立されたものであり，日本の農業技術レベルや地形・土壌の特徴，また温帯モンスーン気候帯などを前提条件としている。このため他の地域（国）に適用する場合は，その地域（国）の実状を十分考慮する必要がある。総合評価までの手順は次のとおりである。

1．農業適地選定のための評価因子の選択

4.1.1で述べたように，次の諸点を考慮し最も効果的かつ重要な評価因子を選定しなければならない。マルチステージの各段階における評価因子の選択には，前述の表4.11が参考となろう。

(1) 対象作物

(2) 農業生産技術の水準

(3) 開発計画や農地造成・土地改良技術の水準

(4) 対象地域の面積

(5) 対象地域の自然的条件（地形，気候，植生，土壌，土地利用など）

ii 分級基準の検討

日本では土地の傾斜区分を0～3°をⅠ級，3～15°をⅡ級としている（表4.12）。これは地形平坦部の開発がほとんど終了し開発適地がかなりの山間傾斜地に進みつつある日本の実状を考慮した分級基準である。北スマトラのようなほとんど人跡未踏の未開発地域で，かつ降雨による侵食の危険性の高い地域を対象とする場合は，分級基準の修正が必要と思われる。また土性区分においても，強い風化・洗脱を受けている熱帯雨林気候帯の土壌へこのまま適用できるかどうか疑問である。このように評価因子の分級基準そのものの検討が必要である。

iii 総合評価法の確立

自然的因子による農地適性の評価にあたっては，それぞれの評価因子が独立的に適性評価に関与すると考えるのが妥当であろう。たとえば，土性は植壌土（CL）に属しレキを含まず1m以上の土層厚さを持つ良好な土壌条件の土地であっても，傾斜が30°もあるような場合は農業適地とはいえない。すなわち最低級位法により適地判定を行うのが最も合理的と考えられる。

しかし，抽出された適地の中をさらに分級し，開発優先順位の決定に使用するような場合は点数式評価法が有効であろう。このように，評価の目的や結果の利用方法なども考慮し，評価の段階（第2章参照）に応じた効果的な総合評価法を採用する必要がある。

参考文献（4.1.1，4.1.2）

1) 農業土木学会：農業土木ハンドブック，丸善（1980）
2) 農水省構造改善局：土地改良事業計画作成便覧，地球社（1978）
3) 山崎不二夫：農地工学，東京大学出版会（1975）
4) 農林水産技術会議：土地利用区分の手順と方法，農林統計協会（1975）
5) K. Kyuma: Numerical Classification of the Climate of South and Southeast Asia, The Southeast Asian Studies, Vol. 9, No. 4, (1972)
6) R. M. Hagan, H. R. Haise, T. W. Edminster: Irrigation of Agricultural Lands, American Society of Agronomy, (1967)
7) 土壌物理研究会：土壌物理用語事典，養賢堂（1974）
8) 三好，円原：土の物理性と土壌診断，日本イリゲーションクラブ，（1977）
9) 橋渡幸男：航空写真を利用した東南アジア地域における土地利用区分調査の一手法，森林航測115（1977）

4.1.3 農業開発適地選定における植物指標利用の概念と有効性

a．植物指標の概念

従来，地球上の環境や立地条件は，物理量（例えば温度，日射量，傾斜方位や角度等）や化学的手法（例えば土壌の酸性度や栄養塩類の量等）によって測られてきた。しかし環境は外界の無機的条件がすべてではなく，したがって理化学的方法のみで観測されうるものでもない。とりわ

け生物生産に基盤を置く農業において，特にその開発適地を判定する過程においては，生物反応を通じて環境を診断する必要性が生じてくる。

理化学的観測がサンプリングの地点と時刻によって観測値のバラツキが大きく，時間・空間的連続性を欠く欠陥があるのに対して，生物現象には，過去から現在に至るまでの引続いた積算結果が具現され，空間的にも広がりをもった面として現れるので，その全体的特徴を選択しやすい利点がある。

生物現象の結果の一つである，ある地域の植生はその立地の気候，土壌，地形など自然環境要因に加え，他の生物間との相互作用も含めた様々な要因の総和が植物体を通して具現されたものとみなすことができる。つまり環境要因は何らかの形で植物に反映されており，植物の反応を通じて立地を診断することができる。

しかし生物現象そのものは，なかには鋭敏な反応も多少あるにしても，大多数の場合，ppmオーダーの精度は期待できない。したがって立地環境は，物理的，化学的手法に加え生物手法を併用することによって，より一層的確に把握することが可能になると考える。

また，生物現象は基本的には地球上どこでも共通の反応を示すにしても，その表現型である種組成や現存量は，その土地，その季節に応じて異なるものである。したがって実用に適した生物指標を定めるためには，その国の目的に沿った独自の基準設定と調査が要求される。

b．植生調査に対するリモートセンシングの有用性

広大な国土面積を保有し，多くの人跡未踏の未開発地をもつインドネシアにおいては，農業開発適地の選定に際して最も重要な土壌調査を十分に実施することは不可能に近い。その上，高温と豊富な雨量に恵まれた地表は一年中植生に被われているため，空から土壌を直接的に探査することも困難と思われる。しかし地表を被う植生を判読し，これによって環境要因の総和を把握することができれば，より有機的，統一的に農業適地を選定することができる。

調査不可能な広大な面積の植生を，同一条件で短時間のうちに判読するために，リモートセンシング技術を適用できるとすれば，効率，費用の面のみならず，結果の評価点でも極めて有効な情報を提供すると思われる。なぜなら，リモートセンシングは単に植生のみならず，地形，水系，土地利用に関する情報も提供してくれるので，気象データ，土壌図等の補助データとの併用により，農地開発についての総合的予見が可能になると思われる。

しかし探査高度に応じて，その判読対象も変化する。すなわちランドサット映像からは広域的な植生の群系型が読みとれよう。この群系型により，気候，土質，土性，土壌水分等を推察することが可能である。このほか，地形，水系および土地利用現況についての情報も得られるはずである。これらによって大まかな土地分級が実施できるだろう。これに対して，特定の地域，例えばトレーニングエリアの調査には，高々度航空機MSSデータ等が役立つ。既存のデータ，グランドトルースデータとのつき合わせを繰返すことにより，植生，土壌等について精度の高い解析が可能になり，具体的な農業開発適地が浮きぼりにされる。更に低高度の航空写真からは樹種判

別が容易となり，狭い地区内の詳細な調査と併せることにより，農地における適作物の選定等のレベルでの判断が可能になる。

c．植生と自然環境要因のレベルについて

植生と自然環境との関係については，生態学の分野で古くから多くの研究がなされてきた。その適用範囲は種全体の地理的分布による気候帯区分のような大地域的なものから，ある個体の出現から判断する表土層の厚さや地下水位の高さ等の微地域的な情報まで，様々なレベルが存在するので，各レベルに応じた生物反応を利用すべきであろう。

例えば南北に長く位置し，標高差も大きい日本においては，種全体の地理的分布は気温の低極値が，局地的分布は風や雨量が，また微地域的な個体の分布は，表土層の厚さや，排水，西日の直射の有無などが有意な要因となっていることが知られている。しかし湿度が生長の律速要因とはなり得ない熱帯地方では，むしろ降水量が地理的分布の第一義的要因となるだろう。

熱帯地方の植生と自然環境要因の関係についての研究はまだ少ないが，後の章で２～３記しておく，今後，より行くのデータを補完して両者の正確な対応ずけを行なう必要がある。

b．植生と立地要因との関係

i 広域的区分指標

熱帯および亜熱帯の森林または低木林は，大きく次の５つの群系型にまとめられ (Schimper & Faber 1935)，各森林群系型と気候の対応関係は以下のようにまとめられている。

〔森林群系型〕	〔気　候　型〕
熱帯降雨林	熱帯雨林気候
モンスーン林	モンスーン気候
サバンナ林	熱帯サバンナ気候
トゲ林	亜熱帯乾燥気候
亜熱帯降雨林	亜熱帯季節風気候

これら森林群系型の特徴を奥富（1977）は次のように類別している。

(1) 熱帯降雨林 (tropical rain forest): 年間を通して高温と多い降水量をもつ地域を被い，多くの階層から成っている常緑広葉樹林，森林を構成する樹木は高く，板根と大きな全緑葉をもつものが多い。フロラに富み，林内にはつる植物と着生植物が非常に多く出現する。

(2) モンスーン林（季節風林，雨緑林，monsoon forest）：乾季をもった熱帯または亜熱帯に出現する多層の森林で，林冠はほとんどすべて，乾季に落葉する高木からできている。

(3) サバンナ林 (savanna woodland, savanna forest): モンスーン林よりも長くて著しい乾季のある夏雨地帯に成立する疎林で，不連続な林冠は小型の常緑広葉樹より成り，林床には熱帯性イネ科植物が優占する。

(4) トゲ林（有刺林）およびトゲ低木林（有刺低木林，thorn forest and scrub）：トゲをもった落葉性の小型高木または低木を主とした林で，林床植生は多肉植物や一年生植物を多く含ん

でいる。熱帯の乾燥地帯に分布する（第５章参照）。

(5) 亜熱帯降雨林 (Subtropical rain forest)：湿潤な亜熱帯に分布する常緑広葉樹林，種類相成や構造の多様性は，熱帯降雨林に比べて小さい。

以上のような森林群系の識別は，LANDSAT データで比較的容易に実施できるため，すでに数ヵ国の開発に利用されている。

例えば南米のパラグァイでは，500万haにおよぶ東北部森林開発を行なうに除し，森林タイプを LANDSAT データにより大別し，次に小縮尺空中写真判読を併用することにより効率のよい開発を可能にしている。その他，ブラジル，コロンビアでも LANDSAT データによる植生判読が開発適地選定に重要な役割を果している。

この他，アフリカの北イェメン，スーダンにおいても LANDSAT データは，広域的な農業開発の実用部分に積極的にとり入れられている。

ii 地域的区分指標

LANDSAT データは，広域的な類別に極めて有効であるとしても，実際に農業開発に適した土地を選定し，農園や水田を配置するのに必要な具体的資料を得るためには，航空写真等を用

表4.19 熱帯東アジア主要森林群系と立地
(van Steenis 1950にもとづいて，Whitmore 1975がまとめたもの)

気候	土壌水分	地域	土壌	海抜高など	森林群系*
年中多湿	乾地	内陸	成帯土壌	低地～1200m	1．熱帯低地常緑降雨林
				山地（750）1200～1500m	2．熱帯低山地降雨林
				（600）1500～3000m（3350m）	3．熱帯上部山地降雨林
				3000（3350m）～樹木限界	4．熱帯亜高山林
			ポドゾル化砂土	主として低地	5．ヒース林
			石灰岩	主として低地	6．石灰岩地林
			超塩基性岩	主として低地	7．超塩基性岩地林
		海岸			8．海岸植生
	高水位地（少なくとも周期的に）	塩水地			9．マングローブ林
		汽水地			10．汽水林
		淡水地	貧養泥炭		11．泥炭湿地林
			富養（有機的，無機的）土壌	ほとんど常に多湿 同期的に多湿	12a．淡水湿地林 12b．季節的湿地林
季節的に乾燥	季節的にやや水分不足				13．熱帯半常緑降雨林
	季節的に著しく水分不足				14．熱帯湿生落葉林 15．乾季の増大に応じたその他の群系

* 1～13：熱帯降雨林，14～15：モンスーン林。

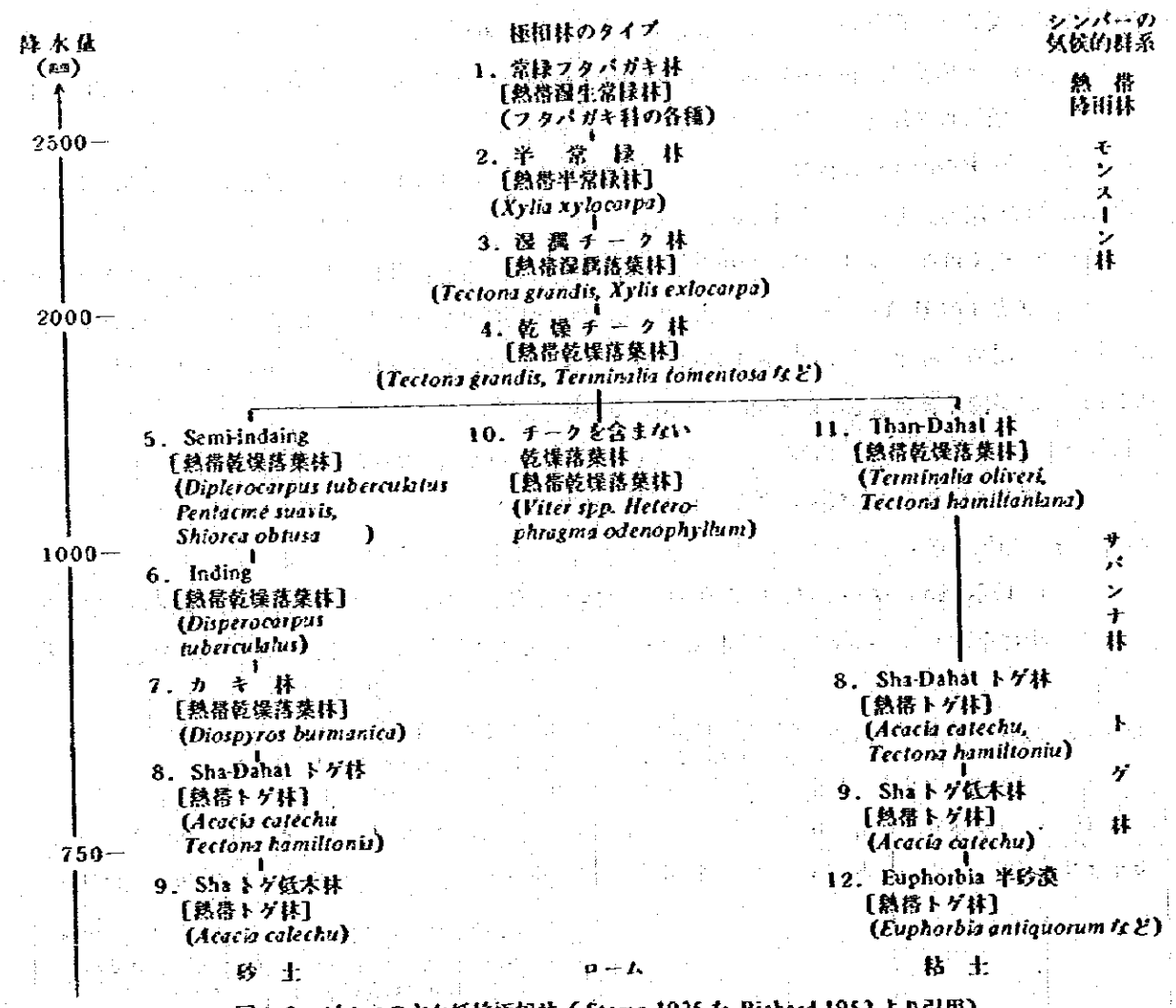


図4.8 ビルマの主な低地極相林（Stamp 1925 を Richard 1952 より引用）
[ ] 内の森林名は Champion-1936 による。( ) 内は優占種を示す。

いたより詳細な情報が要求される。

表4.19は，熱帯東アジアの主要森林群系と立地環境要因の関係を Whitmore (1975) がまとめたものである。インドネシア国土の大半を占める熱帯降雨林とモンスーン林を更に15の群系に細分し，土壌水分，母岩の性質，海抜高などと関連させ対応づけている。このように比較的狭い地域に成立する森林群系の判読は，場合によっては LANDSAT でも可能であるが，航空写真が便利なことが多い。

更に図4.8では，ビルマの主な低地林を，最も湿潤な熱帯降雨林から，モンスーン林，サバンナ林を経て，極めて乾燥したトゲ林に至る12の極相林タイプに分類し，それぞれのタイプを降水量，土質と関係づけて配置し，その代表種名が付せられている。

表4.19，図4.8は，農地開発適地の地域的区分の検討のための指標として利用できると思われる。

iii．微地域的区分指標

農地として開発に適すると判断されたある地域の中で，具体的な道路や施設の配置，適作物の選定，水路や外構の設置等，経済・社会面での検討対象となりうる立地配置を策定するためには，更に詳細な情報が必要になると思われる。植物指標をこれに適用するためには，出現種レベルでの対応づけが要求される。樹種あるいは草種判定には低高度からの空中写真が必要となることが多いし，低高度の写真でも判読しかねる場合もある。しかし表土の厚さ，土の熟成度，酸性度，あるいは傾斜の方向など，直接的に農業生産に結びついた情報が，そこに生育する樹種，草種から判断される可能性は高い。

空中写真による熱帯森林の樹種判読の方法と，その具体例については，樋度（1972，1973）が報告している。あるいはWittgenstoinや Comer の報告書にも記載されている。現時点でインドネシアにおいて土壌条件（乾湿度，pH，熟成度，母岩の性状等）に対応する植物種ごとの適応能または

表4.20　八甲田山系における雑草植物の生態群（様，1968より抜すい）

	pH　価	有機質含量	気　候
シロツメクサ	1	2	2
ナガハグサ	1	2	2
スギナ	1	3	2
ニガナ	2	2	3
オオチドメ	2	2	3
シ　バ	2	2	3
ワラビ	2	2	3
ススキ	2	2	3
アリノトウグサ	2	2	3
ヒメスイバ	2	3	2
エゾノギシギシ	3	3	2
シロザ	3	3	2
ハコベ	3	3	2
タチツボスミレ	3	3	2
ハナタデ	3	3	3
ミゾソバ	3	3	3

指 標 基 準

pH価について

1：pH3.9～7.0という広い幅に成長する植物

2：pH5.4～6.3に成育する植物

3：pH3.9～5.4に成育する植物

有機質含量について

1：含量多～少の広い幅に成育する植物

2：含量中～少に成長する植物

3：含量多のみに成育する植物

気候について

1：山地帯・亜高山帯・高山帯に幅広く成育する植物

2：山地帯と亜高山帯のみに成育する植物

3：山地帯のみに成育する植物

表4.21　中部ヨーロッパにおける草原植物の生態群(指標植物)(Ellenberg, 1952より抜萃)

種　　名	光 (L)	温度 (T)	土壌湿度 (F)	土壌酸性度 (R)	土壌窒素 (N)
コスカグサ	4	0	4^{u}	0	3
オオカニツリ	5	3	3	4	4
ヤマアワ	3	2^{s}	2^{w}	0	2
カモガヤ	4	0	3	4	4
ヒロハコメススキ	3	0	4^{w}	0	2
コメススキ	4	0	2	1	2
ウシノケグサ	4	0	2	0	1
シラゲガヤ	3	3	3^{s}	0	4
イタリアンライグラス	5	4	3	4	4
ペレニアルライグラス	5	3	3	0	4
クサヨシ	4	2	5^{u}	4	5
オオアワガエリ	4	0	3	0	4
ナガハグサ (変)	3	0	3	0	0
スズメノカタビラ	3	0	5^{u}	0	5
イ	4	3	3^{s}	2	3
ヤマスズメノヒエ	3	0	4^{w}	3	2
カセンソウ	4	4	4^{w}	5	2
コウゾリナ	5	3	2^{w}	4	3
キツネアザミ	3	4	2^{s}	4	1
セイヨウタンポポ	0	0	3^{w}	0	4
カワラマツバ (変)	5	2	0	0	2
ヘラオオバコ	4	0	2	0	0
ウメバチソウ	4	0	3^{w}	4	2
ワレモコウ	4	3	4^{w}	0	2
アカツメクサ	4	0	4	0	2
コメツブウマゴヤシ	3	3	0	4	2
ミヤコグサ	4	0	2^{s}	0	2
ミミナグサ	3	0	2^{z}	0	0
カワラナデシコ (変)	4	1	0	5	1
ナガバギシギシ	3	3	0^{w}	0	0
エゾノギシギシ	4	3	4	0	5

(注)　1. 下線はやや不確実であることを示す。
2. wは不定期な強い湿潤状態に耐性をもつ植物，uは洪水と性植物。
3. 種名の後の(変)は，変種レベルで日本産植物と異なることを示す。

耐性を判定した一覧表は作成されていないと思われる。しかし植物指標を農業開発適地選定の一つの鍵として取り入れる場合には，早急にこれまでの調査結果や経験的に知られているものをまとめ，情報源として盛り込む必要があろう，

ここに，土壌条件と種の結びつきを示した日本での報告例（橘，1968）と，中部ヨーロッパでの例 (Ellenberg, 1952) を掲げる。

表4.20 は日本の東北地方の八甲田山系における草原植物の出現によって表現される気候および土壌の条件を示したものである。例えばニガナやオオナドメが多く出現する土地は土壌のpHは弱酸性で有機質含量に乏しく，気候は冷涼であることを表わしている。これに対してハナタデ，ミゾソバの出現は土壌が酸性で有機質含量が高い土地であることを暗示している。

表4.21は，ヨーロッパの草原の指標植物となる生態群を示している。ここに掲げた5要因については，1（陰生，耐寒性，耐乾性，耐酸性，耐貧養性）の最も強いものから，5（陽生，要

暖性，好湿性，好中～好塩基性，好富養性）を要求するものまでに加え，0（それぞれの要因に無関係という6段階の評価点が付けられている。このような指標となる植物種名が各要因についていくつかずつ判明すれば，熱帯土壌の類別に大変役立つと思われる。

c．総合評価としての植生利用

植生を土壌や立地条件の判定に用いて農業開発適地の選定の総合評価に資する手法は，従来から考案されているが実際に実施された例はまだ少ない。特に熱帯の広大な森林地帯を開発する場合，地上での詳細な土壌図は作成困難なうえ，リモートセンシングによる土壌分類も，一年中地表が植生に被覆されているため，特殊な裸地部分だけに限られてしまう。そこでリモートセンシング技術と，植物指標の概念を結びつけて農業開発適地判定の総合評価を利用することは，新しい試みとして大いに期待される分野であるし，その手法が確立されれば，利用価値は大きいことが予想できる。

そこで，植生をとり入れた総合評価法の一つの例として，日本における草地開発適地の選定に際し，高畑ら（1976）が提案した PATTERN 法 (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers Method) を紹介する。この方法（図4.9）は，ある説明因子が最終目標（この場合は草地の適地判定）に対して，どれだけ役立つかを評価する方法である。最終目標を頂点とするピラミッド型の関連表 (Relevance Tree) を作成し，それぞれのレベルにおける要因の，上位の目的に対する重要度 (Relevance Numbers) を決めることにより，メッシュ化した地点ごとの総合評点を与える方法である。各要因の重要度は，気候や立地条件，国や地方，目標によって大きく異なるものであるし，カテゴリーレベルや要因レベルの一つ一つの項目についても，国策や社会状況に応じて新しい項目を加えたり，重要度の全くないと思われる項目を除外する必要も生じるはずである。このような作業に対する基準設定に必要な判断材料は，現時点では不十分であるなら早急に収集する必要があろう。

4.1.4 土地評価におけるリモートセンシングデータの利用

a．ランドサットデータの利用

土地評価のための自然的因子のデータ取得には，現在までは主に地上調査や既存データ（地形図，土壌図など）による方法が主体であった。しかし北スマトラのような人跡未踏の広大な地域を対象とするような場合は，リモートセンシングによるデータ取得が有効であろう。しかし現在のリモートセンシングの技術レベルでは，土地評価に必要なすべてのデータ取得が可能とはいえない。このためリモートセンシングデータの利用には次の3点の検討が必要である。

(1) リモートセンシング手法を用いた，土地評価に有効な情報の抽出・取得技術の確立

(2) (1)で得られたデータに既存データや地上調査データを組み合わせた土地評価法の確立

(3) (3)の土地評価法のコンピュータ処理法の確立

図4.10"Regional assessment"（2章参照）の段階を想定し，ランドサットデータ及び既存の地形図，土壌図，気象データを使用した農業適地選定のための土地評価手順の一案である。北スマト

図4.9 草地適地間連表　（ ）内は相対的なウェイトを示す。

草地の適性（PATTARN）

（ ）は相対的なウェイトを示す。

マップレベル	要因レベル		カテゴリーレベル	
土壌（20）	土壌タイプ	1	1	酸性褐色森林土
		2	2	疑似グライ性褐色森林土
		3	3	〃
		4	4	褐色土性疑似グライ土
		5	9	泥炭質グライ土
		6	1	低位泥炭土
		7	14	〃
		8	16	中間泥炭土
		9	19	暗色沖積土
		10	21	灰色沖積土
植生図（10）	立木数 30	1	30	0～300
		2	25	300～1,000
		3	25	1,000～1,500
		4	14	1,500～2,000
		5	5	2,000～2,500
		0		＊（－）
	林相 30	1	2	針葉樹
		2	20	広葉樹
		3	2	針広混交林
		4	10	ササ地
		5	14	野草地
		6	26	伐採跡萌生地
	疎密度 20	1	40	10％以下
		2	30	10～40
		3	20	40～70
		4	00	70％以上
	樹高 20	1	40	0～10.0
		2	35	10.1～15.0
		3	25	15.1以上
土地分類図（50）	傾斜（50）	1	(25)	0～3.0
		2	(20)	3.1～8.0
		3	(18)	8.1～12.0
		4	(15)	12.1～15.0
		5	(10)	15.1～20.0
		6	(6)	20.1～25.0
		7	(3)	25.1～30.0
		8	(2)	30.1～35.0
		9	(1)	35.1以上
	土層（25）	1	(45)	100cm以上
		2	(35)	100～70
		3	(15)	70～40
		4	(5)	40以下
		0		＊（－）
	土性（25）	1	60	壌質土～火山灰性埴壌質土
		2	30	砂質土～泥炭土（低・中位）
		3	10	埴土～泥炭土（高位）
	礫含量（23）	1	40	5％以下
		2	30	5～10
		3	20	10～30
		4	10	30以上
		0		＊（－）
付加情報マップ（20）	谷密度（20）	1	45	疎
		2	30	中
		3	25	密
	日射量 25	1	25	18～22kcal/cd/5月～9月
		2	30	25～26
		3	45	27～30
	標高 5	1	34	0～30.0m
		2	33	30.1～60.0
		3	33	60.1m以上
	河川 20	1	30	水系あり
		2	70	水系なし
	地形形状 10	1	30	凸型
		2	20	／（斜面）
		3	40	－（平坦地）
		4	10	凹型
	方位 20	1	40	SE. S. SW
		2	25	W
		3	10	NW. N. NE
		4	25	E

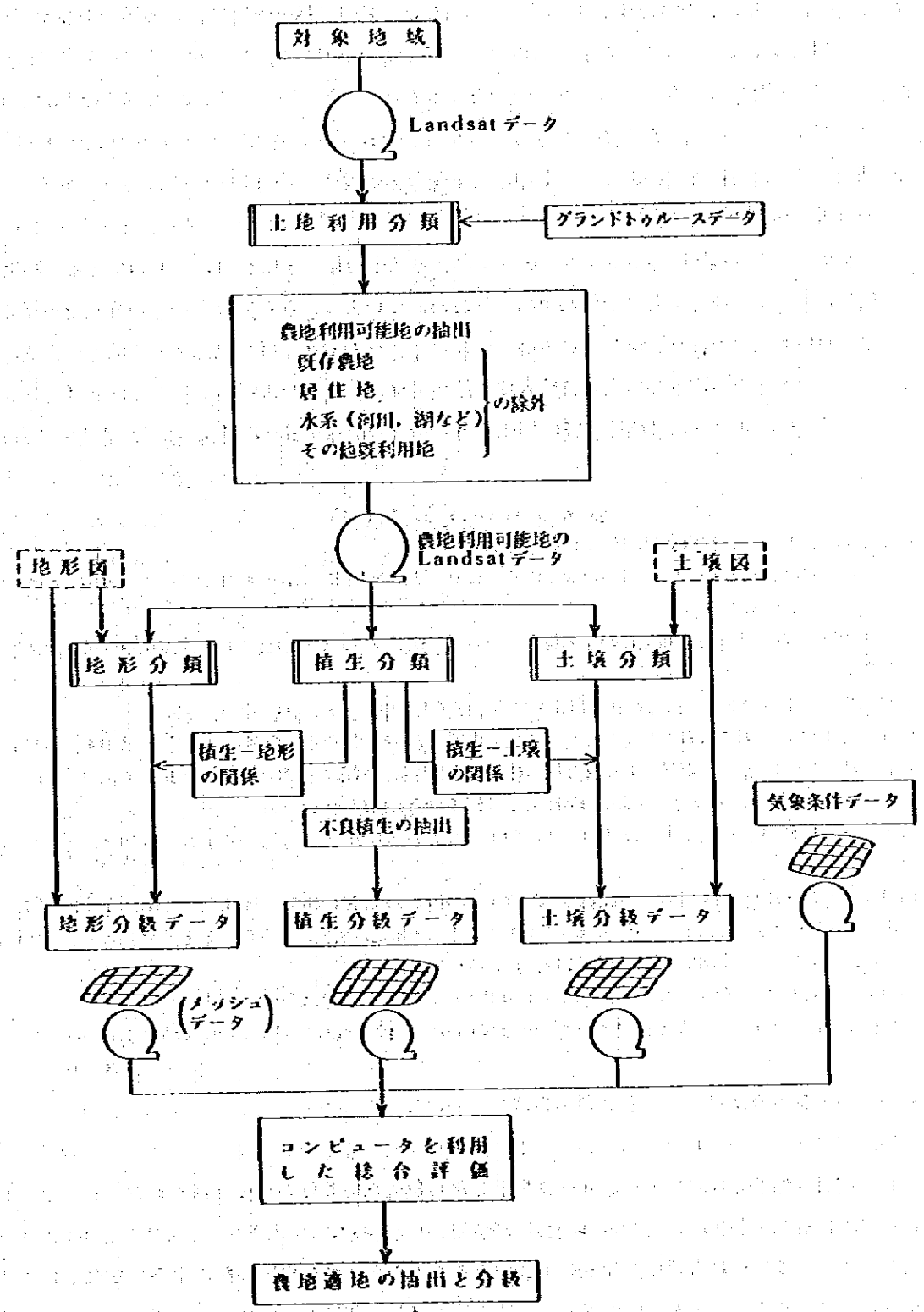


図4.10　主にLandsatデータを利用したRegional Assessmentでの土地評価フロー

ラのような未開地の場合は，地形図，土壌図などのデータは信頼性に欠ける場合が多く，補助的な使用となるであろう。また農業適地の重要な評価因子である土地の傾斜を地形分類で代用している。これは精度の高い地形図がないであろうこと，また "Regional assessment" の目的とする精度などを考慮し採用した因子である。当然のことであるが，"Local area assessment" など，対象地域をよりしぼり込んだ段階では，空中写真測量などの技術を利用し，精度の高い土地傾斜データの導入が必要であろう。

また図4.10の案は，ランドサットデータによる植生分類に主眼をおいたものである。熱帯雨林気候のもとではほとんどの土地が植物でおおわれていよう。さらに，未開地の自然植生はその土地の自然的立地条件を反映している場合が多い（4－1－3参照）。そのため，植生－土壌，植生－地形など，その地域の植生と自然立地条件の関係をあらかじめ明らかにしておけば，ランドサットデータを用いた植生分類結果は，植生以外の種々の情報を我々に提供してくれると考えられる。

参考文献（4.1.3，4.1.4）

1) Corner, E. J. H. (　　) Wayside trees of Malaya.
2) Ellenberg, H. (1952) Wiesen und Weiden und ihre standortliche Bewertung. (Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie, Bd II) pp. 143
3) 船田正明（1979）土壌及び植生に関する報告について，南スラウェシ地域農業開発計画短期専門家総合報告，I，II。JICA。
4) 樋渡幸男（1972，1973）南方森林の調査と空中写真（上，中，下）森林航測94，95，96。
5) 樋渡幸男（1977）航空写真を利用した東南アジア地域における土地利用区分調査の一手法，森林航測115。
6) 奥富　清（1977）熱帯・亜熱帯の森林と低木林。石塚和雄編，群落の分布と環境，朝倉書店 p28－71。
7) Richards, P. W. (1952) Tropical Rain Forest, p. 450 Cambridge Univ. Press
8) Schimper, A. F. W. and ion Faber, F. C. (1935) Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Bd. I, II. p. 1612 Jena.
9) Tachibana, H. (1968) Weed invasion upon the mountain area in Mt. Hakkoda. Ecol. Rev.: 17 95–101.
10) 高畑　滋，早川康夫（1976）リモートセンシングによる草地植生の判読，第5報，草地開発適地選定のためのリモートセンシングデータ処理。北農試研報114，p 155～172。
11) Whitmore, T. C. (1975) Tropical Rain Forest of the Far East, p. 282, Clarendon Press.
12) Wittgenstein L. S. (　　) Recognition of tree species on air photographs by crown characteristics.

4.2　社会経済的要因を加味した総合評価の方法

4.2.1　概　　説

農業開発適地選定においては，4－1で示した自然的立地条件からの評価が必要であるが，それは，単に土地の生産性および開発の容易性の見地に立ってのものに過ぎない。しかし，インドネシアにおいては，農業は最も重要な産業の一つであることから，産業立地の観点から，社会的および経済的な評価を加えることが，重要である。社会的な評価の基準としては，農業従業者の入殖の可能性，および，それに伴う教育あるいは文化水準の確保の可能性等があげられ，経済的な評価においては，農作物市場への近接性や農作物を原材料とする食品工業等の発展可能性等を考慮する必要が

あろう。しかし，インドネシアにおいては，これらの諸要因のすべてを評価するだけのデータの入手が困難である。そのため，このような場合においても，利用可能なデータのみである程度評価が可能な方法を用いる必要がある。本節で提案する評価方法は，自然的立地条件からの評価を所与として，それに，利用可能な社会経済的要因を加味して総合的に評価する方法である。なお，本方法は，日本の沖縄本島の海岸線利用の適地度分析に用いられて，一応の適用可能性が示された方法（参考文献1）をもとにしている。

4.2.2 社会経済的要因の分類

まず，社会経済的視点からの評価の基準として，以下の評価項目を考える。これは，言いかえると，農業立地のための，社会経済的立地因子である。

a．社会的要因

(1) 村落の発展可能性

(2) 教育水準

(3) 文化水準

(4) 生活水準

(5) 医療機会水準

(6) 治安水準

(7) 保健衛生水準

(8) 害獣害虫等被害からの安全性

(9) 景観への影響

(10) 遺跡等への影響

b．経済的要因

(1) 市場への近接性

(2) 関連産業（食品工業）の発展可能性

(3) 所得水準

(4) 労働力水準

これらの評価項目は，マルチステージの評価の各段階で必要な項目のみを考慮すればよい。すなわち，マルチステージにおける各分析単位の間で差が認められる項目についてのみ評価対象とする意味がある。また，例えば市場への近接性という項目のように，地域的な評価においては，基幹道路のみによるネットワークから求められる道路輸送時間を指標とし，局地的な評価においては，その基幹道路までのアクセス距離を指標にとるというように，同じ評価項目でも，各段階において異なる指標にもとづいて評価するものがある。以上の考えから，マルチステージの各段階において評価項目の評価値を求めるための指標（各分析単位における条件の値）として現在考えられるものを示したものが表4.22である。

表4.22　マルチステージの各段階における評価のための指標の例

（ここには現在考えられるもののみを記している。
実際の評価においては，さらに詳細な検討が必要である。）

	評価項目	地域的評価のための指標 (Regional)	局地的評価のための指標 (Local)	地点(site)における評価のための指標
社会	村落の発展可能性	地域人口	平地面積 近隣村落への距離 地域中心都市への距離	
	教育水準		初等教育施設への距離	
	文化水準		文化施設への距離	
	生活水準		上水道の整備 下水道の整備 電気供給	
	医療機会水準		医療施設への距離	
	治安水準		犯罪発生件数 警官配置数	
	保健衛生水準		流行病発生件数 寄生虫病発生件数	
	害獣・害虫被害からの安全性	害獣の数	害虫の密度	
	景観への影響		景観の良否	
	遺跡等への影響			遺跡の重要性
経済	市場への近接性	港湾への距離 飛行場への距離 主要都市への距離	幹線道路への距離	アクセス道路への距離
	関連産業の発展可能性	関連産業の有無	平地面積 用水の可能性 エネルギー供給	
	所得水準	平均所得		
	労働力水準	失業率		

4.2.3　総合評価方法の提案

a．段階的評価方法

先に示した評価項目およびその指標を用いて，図11に示す段階的な評価を行い，総合評価値を求める。なお，図11は局地的評価のための評価ツリーの一部を示しているが，地域的，また地点における各評価においても同様のツリーを，表1をもとに作ることができる。なお□および◯内の数値は説明用のものであり実際に評価に用いるためには本項の後半および次項に示す方法により求める必要がある。

評価は，図11の右の方，すなわちツリーの下位から上位へ評価値を重みづけ平均することによ

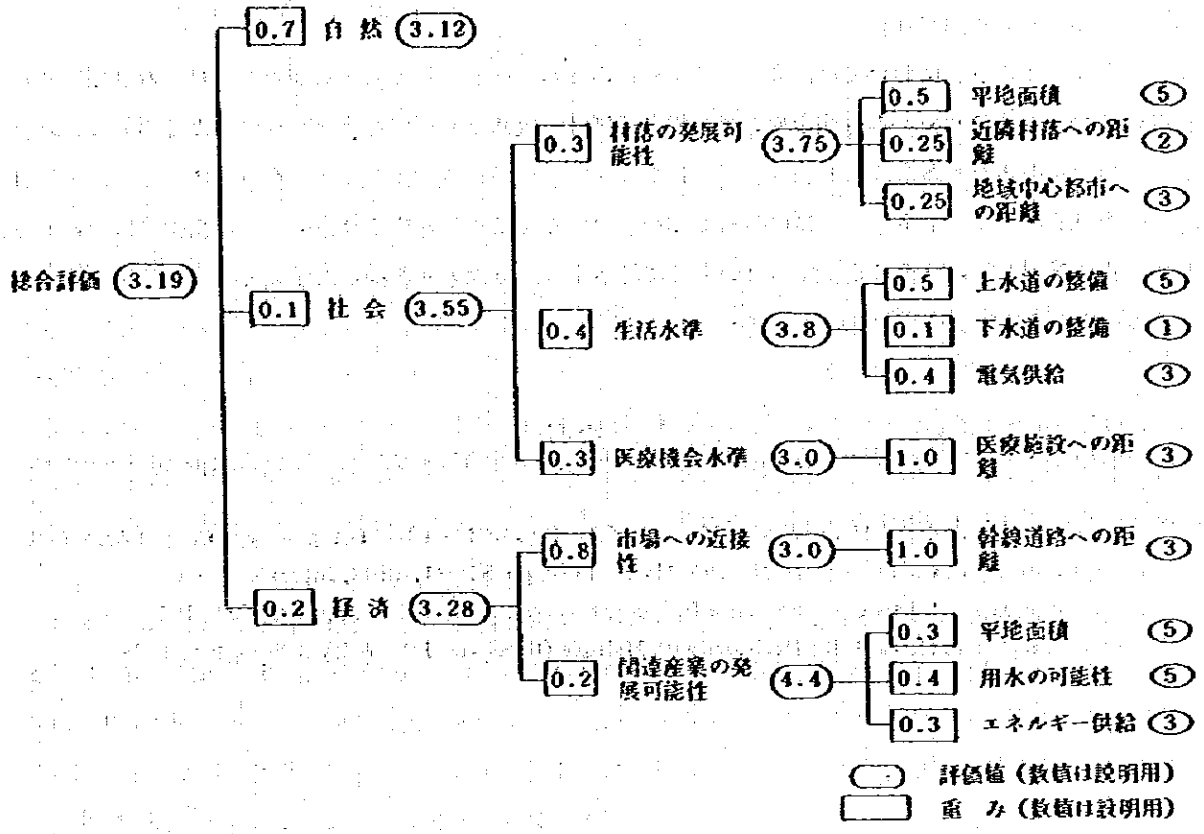


図11　総合評価のための評価ツリー
（説明用のため評価項目の一部のみを示している。）

り行う。まず，各評価項目を評価するための指標の値（または状態）に対して，1～5の範囲で評点を与える。この値え方は，あらかじめ，各指標の値（または状態）に対して，経験者等によるブレーンストーミングにより，評点の基準として，最良の状態を5，最低の状態を1としたものを設定しておく。そして，各評価項目は，この評点の重みづき平均により，その評価値が与えられる。この際，各評価項目においては，それに属する指標に対する重みの総和を1としていることから，評価項目の評価値も1～5の範囲となる。同様に，上位の段階に評価値を求めて行き，最終的には，自然的条件による評価値（これも，最良5，最低1として基準化しておく）と，社会，経済の各々に対する評価値から，最終的な総合評価値を得ることができる。

b．重みづけの方法

評点を求めるための重み（図11における□内の数値）は，評価主体により一般に異なる。すなわち，社会，経済的評価項目に対する重要度の考え方は個人により異なると考えられる。そのため，この重みを求める方法としては，評価主体（この場合は政府の農業開発担当関係者たち）によるブレーンストーミングにより，各重みの値を調整して行く方法が最も現実的と思われる。なお，この他にも，重みを求めるための心理学的な方法として，恒常法の一種であるサーストンの比較判断の法則の応用[2]や，多属性効用関数による方法[3]があげられるが，ここでは省略する。

4.2.4 本方法の適用可能性

インドネシアにおいては，表1に示す指標のうちデータとして入手可能なものはかなり限定されている。そのため，本方法を用いての総合評価は現段階でも利用可能なデータのみを用いて一応は可能であるが，あまり実際的な評価とはならない恐れがある。そのことから，先に示した評価項目をはじめ，インドネシアにおける農業開発において評価すべき社会経済的要因の重要性についてさらに検討を行い，その重要度の高いものに対応する指標のデータから入手して行くことから始めるべきであると言えよう。

参考文献

1) 中林・林・宮本：海岸線利用の適地分析に関する一方法，土木学会論文報告集，第295号，1980年3月，土木学会

Nakamura, Hayashi and Miyamoto: A Method of Analysis of Land Use Potentiality in Coastal Area, Proc. of Japan Society of Civil Engineers, No. 295, March, 1980, pp. 81~91, (in Japanese)

2) Thurstone, L. L.: A Law of Comparative Judgement, Psycol. Rev., Vol. 34, pp. 273~286, 1927

3) Keeney, R. L. and Howard, R.: Decisions with Multiple Objectives, John Wiley & Sons, Inc., 1976

あ と が き

リモートセンシングは若い学問であり，そして将来性の極めて大きい学問である。新しいデータ収集技術ならびにコンピューター技術を駆使した若い学際分野である。そして本委員会はこの若いリモートセンシングに熟達した若い研究者によって構成されたものである。この２つの若さにより，このような報告書が完成されたといっても過言ではない。委員会に提出された資料はこれら若い技術者がこれまで行って来た研究材集に加えて若い柔軟かつ卓越した考案に満ちたものであり，本報告書は農業開発適地選定のための基本指針であるといっても過言ではない。

第１章は，この研究の目的について述べ，第２章は，このプロジェクトですでに基本となっているマルチステージ調査方法の内容を充実するためのリモートセンシング技術と空間情報技術を結合した新しい情報システム（インテグレイト情報システム）を提案すると共にその基本概念を説明し主題図評価のためのグリッドセルデータファイルの採用を述べている。

第３章は，これまで開発された農業開発適地選定のための主題図作成の手順を説明したものである。第４章は，我が国に於ける農業開発適地選定の手法及び自然立地条件の選定法及び評価法について述べると共にこれにリモートセンシング技術をどのように加味できるかということを論議すると共に植物指標による農地選定システム及び評価方法について，詳しく述られており，さらに農業開発が進展した時点に於ける社会経済的要因と，その評価法が述べられている。

ここで述べられたマルチステージスクリーン法は将来，リモートセンシングによる農業開発適地選定に有力なる指針となるものと信ずるものである。最後に本報告書作成するにあたって終始論議に加わった委員各位ならびに外務省，農林水産省，国際協力事業団の関係者各位に対して深い謝意を表わすものである。