

45

日本に於ける
林業資源調査
報告書

1919年 3月

林業調査報告書

LIBRARY

林業調査報告書

JICA LIBRARY



1079917(9)

20574

コロンビア共和国

林業資源調査

リモートセンシング解析結果報告書

1989年8月

国際協力事業団

国際協力事業団

20574

リモートセンシング用語一覧

用 語	説 明
リモートセンシング	直接手を触れないで、離れた所から対象物や現象に関する情報を収集し、対象物や現象の識別や解釈を行う技術。
LANDSAT	人工衛星 LANDSAT は、1972年7月に ERTS という名称で打ち上げられ、現在までに1~5号が打ち上げられている地球観測衛星である。
MSS	人工衛星 LANDSAT には、MSS(Multi Spectral Scanner)と呼ばれるセンサーが搭載されている。MSS は、180km×180kmを1シーンとして、可視光(緑色光と赤色光)と近赤外光を4つの波長帯に分けて記録する。最小分解能は80mである。
輝度補正	2時期の LANDSAT データを用いて、画像を比較して検討を加える場合、互いの画像の階調を補正することをいう。
幾何補正	LANDSAT オリジナル・データには、さまざまな歪が生じている。幾何補正は、オリジナル・データに対して、地形図と位置関係が同じようにするために座標変換するものである。
フォールスカラー画像	LANDSAT MSSデータは、4つのバンドに分かれており、これらにフィルターをかけてカラー合成することによって、フォールスカラー画像を作成する。フォールスカラー画像では、植生が赤く発色し、植生調査や土地利用調査に用いられる。
土地被覆分類	地表の対象物は、それぞれ異なるスペクトル特性を有する。この特徴を生かして、市街地、畑、水、森林、草地などを統計処理により分類することをさす。
前 処 理	リモートセンシング・データについて解析する前に、前もって行う画像処理で、輝度補正や幾何補正などをさす。
地上基準点	幾何補正の際に、地形図上および画像上で明確に対応付けが行われる地点である。
アフィン変換	幾何補正に用いられる座標変換式の1種で、線形変換式である。

用語	説明
再配列	座標変換式にもとづいて、画像データを変換し、画素を配列し直すことをいう。
ニアレスト・ネイバー法	データ再配列の方法の一つで、最近隣法ともいう。
最小2乗法	推定値と実測値の残差の2乗和を、最小にするように推定値を求める手法である。
直交座標系	地図座標系の一種であり、UTM(ユニバーサル横メルカトル図法)により、画像データのメッシュと整合性を図る。
変換係数	アフィン変換式の係数をさし、 $a_1 \sim a_4$ は回転・倍率を、 $a_5 \sim a_6$ は移動量を表現している。
トレーニングエリア (教師)	分類する土地被覆項目があらかじめ明らかな画像部分をいい、この統計値を用いて分類を行う。
近赤外データの特性	近赤外線は植物の活性度が高いほど反射率が高い。フォールスカラー画像上では、近赤外データを赤色に発色させているので、植物の活性度が高いほど明るい赤色を示す。
グランドトランス	現地調査などにより、トレーニングエリアについての各種の条件について調査することをいう。
最尤法	統計手法の1種であり、データが正規分布するものと仮定し、自動分類する手法である。
画像判別	グランドトランス結果をもとに、トレーニングエリアを入力し、コンピュータの自動判別により、土地被覆を分類するものである。
画像判読	LANDSATのフォールスカラー画像により、解析者の目と頭(知識)により判読・判断するものである。

目 次

要約	1
1. 調査の概要	17
1.1. 調査の背景	17
1.2. 調査の目的	17
1.3. 調査対象地域	17
1.4. 調査の工程	17
1.5. 使用したLANDSATデータ	19
1.6. 使用した地形図	20
1.7. 収集資料	21
1.8. デジタル画像解析システム	21
2. 調査地域の概要	23
3. 国内準備作業	29
3.1. 概要	29
3.2. LANDSATデータの前処理	29
3.3. フォールスカラー画像の作成	32
3.4. 第1次土地被覆分類	35
4. 現地調査	37
4.1. 画像判別基準作成調査	37
4.2. 土地被覆分類調査	42
4.3. 画像判別上の検討事項	43
5. 国内解析作業	44
5.1. 概要	44
5.2. 第2次土地被覆分類	44
5.3. 画像判読	46
5.4. LANDSAT解析図の作成	47

6. 調査結果	50
6.1. 概要	50
6.2. 土地利用状況	50
6.3. 植生分布状況	67
6.4. 土地利用・植生経年変化状況	79
7. 調査結果の分析	88
7.1. 概要	88
7.2. 雲量による調査精度への影響	88
7.3. 土地利用・植生の状況	94

結び

巻末資料

要 約

要 約

1. 調査の概要

1. 本調査は、アンデス地方中央保存林地区における森林の分布、土地利用の現況およびそれらの変化について、LANDSATデータを用い科学的に把握することと、そのための技術手法を確立し、コロンビア国側に技術移転することを目的に実施したものである。

スタディ・エリアは、中央保存林地帯160万haであるが、本調査では、スタディエリア周辺を含む広い範囲（解析面積は1,918,300ha）を調査対象地域とした。

2. 本調査は、実施第1年次と実施第2年次にわたって行った。

(1) 実施第1年次では、国内準備作業と現地調査を実施した。国内準備作業では、現地調査の基礎資料となるフォールスカラー画像の作成(本文3.3. 参照)および第1次土地被覆分類(本文3.4. 参照)を実施した。現地調査は、1989年2月14日～3月25日まで実施した。現地調査では、画像判別基準作成調査(本文4.1. 参照)および土地被覆分類調査(本文4.2. 参照)を行った。さらにこれらの調査結果に基づき、画像判別上の検討を行った。

(2) 実施第2年次は、現地調査結果のとりまとめと解析、第2次土地被覆分類、LANDSAT解析図の作成、報告書の作成などの国内解析作業を実施した(本文5. 国内解析作業を参照)。調査では、調査対象地域における土地利用状況、植生状況およびそれらの経年変化について分析した(本文6. 調査結果および7. 調査結果の分析を参照)。

3. 本調査で使用したLANDSAT

表-1. 使用した LANDSAT データ

データは、表-1に示す4シーンである。使用したLANDSATデータはすべてコンピュータ処理可能な磁気テープであり、最適な観測時期のものを選定した。LANDSATデータは土地利用および植生の状況と経年変化状況を把握することを目的とし、1970

時期	センサー	LANDSAT No.	PATH-ROW	観測年月日	雲量
旧	MSS	L-2	9-56	1977. 9.17	50%
	"	L-1	9-57	1976. 2. 1	20%
	"	L-1	9-58	1976. 2. 1	30%
	"	L-1	9-59	1976. 2. 1	30%
新	"	L-4	9-56	1987.12.24	30%
	"	L-4	9-57	1987.12.24	20%
	"	L-4	9-58	1987.12.24	20%
	"	L-4	9-59	1987.12.24	50%

年代，1980年代2時期分を入手した。なお，LANDSATデータの詳細については，巻末資料2.リモートセンシングを参照のこと（リモートセンシング技術用語は，目次の前に示す）。

4. 使用した地形図は，米国National Ocean Survey発行のナビゲーションマップ(縮尺1/100万「L-26」)と州別の地形図である。ナビゲーションマップは，(1)LANDSATデータの幾何補正の地図座標系の設定，(2)幾何補正の地上基準点の選定，(3)使用したLANDSATのシーン毎のモザイクに使用した。一方，州別の地形図は，(1)土地利用および植生の分類項目別，州別の面積集計，(2)州別の地勢状況の把握などに使用した。これ以外にも，現地調査時に可能な限り資料を収集した(本文1.7.参照)。
5. LANDSATデータを用いた解析には，本文1.8.に示す専用型のデジタル画像解析システムを使用した。このシステムでは，通常のリモートセンシングに関する画像処理機能に加えて，画像同士のオーバーレイ処理ができ，異なる時期に観測されたLANDSATデータの重ね合わせ(経年変化を抽出するため)が容易にできる。

II. 調査地域の概要

1. LANDSATデータによる解析の対象地である調査対象地域は次のとおりである。

表-2.に示すように，調査対象地域は10州より構成されている。

表-2.のように，調査対象地域の北側の州と南側の州では，かなり様相が異なる。北側のアンティオキア，カルダス，リサラルダ，キンディオ，トリマ，バジェ・デル・カウカなどの州では，南側に比べて人口密度が高く，第1次産業従事者率は30~50%となっている。一方，南側のウィラ，ナリーニョ，プトゥマヨなどの州では人口密度は低く(おおむね30人/㎢)，そのほとんどが第1次産業従事者である。

表-2. 州別比較表

項目	州	アンティオキア	カルダス	リサラルダ	キンディオ	トリマ	バジェデルカウカ	カウカ	ウィラ	ナリーニョ	プトゥマヨ
州都		メデジン	マニサレス	ベレイラ	アルメニア	イバゲ	カリ	ボバアン	ネイバ	バスト	モカ
面積(㎢)		63,612	7,888	4,140	1,845	23,562	22,140	29,308	19,890	33,268	24,885
人口(人)		4,503,466	896,063	651,677	458,851	1,234,770	3,573,611	882,743	613,587	1,165,792	131,461
人口密度(人/㎢)		72.2	113.6	157.3	256.0	52.4	161.4	30.1	31	35	5
気候帯	熱帯	35,622	2,246	366	20	9,771	10,337	9,906	5,528	18,661	記
	暖帯	16,408	2,770	2,157	1,100	5,848	7,606	10,023	7,713	5,731	述
	温帯	10,899	1,902	1,314	404	4,905	3,089	6,184	5,290	6,026	な
	寒帯	683	970	303	321	3,038	1,108	3,195	1,359	2,850	し
産業者別割合	第1次	33.5	44.6	35.3	45.8	52.3	23.5	56.2	51.7	50.3	55.9
	第2次	18.3	7.8	14.8	6.6	6.6	19.4	7.6	6.1	13.4	6.0
	第3次	41.6	36.5	39.4	36.7	34.8	48.3	25.6	34.5	25.2	33.3
	従合	6.6	9.1	10.5	10.9	6.3	8.8	10.6	7.7	11.1	4.8

Ⅲ. 国内準備作業

1. 国内準備作業は、現地調査およびその後の国内解析作業などに先立って行うものであり、LANDSATデータの整備と、あらかじめ現地の概況を把握することを目的とした(本文3.国内準備作業を参照)。

国内準備作業の主な項目は、次のとおりである。

(1)LANDSATデータの前処理(輝度補正、幾何補正)

(2)LANDSATデータのカラー画像作成(フォールスカラー画像の作成)

(3)第1次土地被覆分類

2. LANDSATデータの前処理

(1) 使用するLANDSAT画像間の輝度補正(LANDSATデータを接合する場合、各画像は観測の条件により画像の色調が微妙に異なる。これを同じ基準に補正するのが輝度補正である)を行った。

LANDSATデータの輝度補正は、1970年代と80年代の2時期4シーン分の画像データに対し、時期や観測時の条件による互いの輝度の違いを補正した(本文3.2.1.を参照)。

(2) 使用するLANDSAT画像と地形図との位置的な整合を図るための幾何補正を実施した。幾何補正は、LANDSAT画像と地形図の両方で明確に認識できる地上基準点(Ground Control Point:GCP)を選定し、画像座標と地図座標の関係式(本調査ではアフィン変換式)を用いて座標変換し、両者の整合を図った。GCPはLANDSAT1シーンに対し10点程度を選定した。アフィン変換式による精度は原画像上で2~3画素以内を限度とした(本文3.2.2.を参照)。

3. LANDSATデータに対し、輝度補正および幾何補正を施した後、フォールスカラー画像を作成した(本調査で作成したフォールスカラー画像を巻末資料4.に示す)。フォールスカラー画像は、人間の目で見える可視光線のうち、緑色域と赤色域を青色と緑色で、目でみることのできない近赤外域を赤色で表示した画像である。フォールスカラー画像上の色調と土地被覆項目との関係は表-3.に示すとおりである。

表-3. フォールスカラー画像上の色調と土地被覆項目の関係

フォールスカラー画像上の色調	分類項目	特 徴
赤色 (明赤色～暗赤色)	森 林	植物葉の活性度の度合により濃い赤色を示す(近赤外データの特性による)。
桃色～紫色	草 地	活性度は森林より低いため淡赤色を示す。
緑色～深緑色	耕 地	作物の種類や生育度により緑色のさまざまな色を示す。
青色～暗青色	水 域	水の濁り具合により青色のさまざまな色を示す。
白色～淡青色	雲	一般に白色だが、地表がやや見える薄雲の部分は淡青色を示す。
黒色	雲 の 影	ほとんど黒色を示す。

4. 第1次土地被覆分類は、現地調査前に実施するものであり、これまでの知見にもとづき、表-3.に示すようなフォールスカラー画像上の色調をもとに、分類項目毎に、代表的な画像判別基準地点(これをトレーニング・エリアと呼ぶ)を選定入力し、コンピュータにより自動判別するものである。自動判別手法には、最も一般的な最尤法(Maximum Likelihood Method)を採用した。

第1次土地被覆分類は、(1)森林、(2)草地、(3)農耕地、(4)水域、(5)雲、(6)雲の影の6項目に区分した。この分類結果は現地調査時に、確認と検証を行い、その知見にもとづき国内解析作業を実施した。

IV. 現地調査

1. 現地調査は、(1)画像判別基準作成調査、(2)土地被覆分類調査に分けられる。現地調査では、国内準備作業で作成したフォールスカラー画像および第1次土地被覆分類画像を携行し、判別結果を確認・照合・補正した。現地調査は1989年2月14日～3月25日まで実施した。

2. 画像判別基準作成調査は、国内解析作業で行う第2次土地被覆分類に用いる画像判別基準地点（トレーニング・エリアと呼ぶ）を設定し、その地点の土地利用・植生・土地条件などを調査記録した。トレーニング・エリアは、観測点の周辺において代表的な判別項目の被覆面積が5ha以上の広がりのあるものを設定した。トレーニング・エリアの設定項目は、高原草地、天然林、人工林、牧場・草地、農用林^{※1}・農耕地の6項目とした（設定したトレーニング・エリアの内容は、本文4.1.の表-4.1.を参照のこと）。ここで、トレーニング・エリアは60個設定した。

3. 土地被覆分類調査は、フォールスカラー画像、第1次土地被覆分類画像を現地に携行し、各トレーニング・エリアにおいて画像上の色調差や分類結果の妥当性などを確認した。その結果、調査地域内における土地被覆と標高との関連性が明らかにされた（図-1. 参照）。

土地利用は、標高別に次のような傾向が認められた。

- (1) 1,200～2,000mの山麓傾斜地には、農用林が分布している。
- (2) 1,500～2,800mには造成された人工林がみられる。
- (3) 天然林はおおむね2,500m以上の高地に分布し、一部2,500m以下の谷沿いなどにもみられる。
- (4) 3,000m以上は自然草原が多い。
- (5) 牧草地は1,000～3,600mの範囲に広く分布している。

*1 農用林：主として被陰樹であり、竹・バナナなどを上木とし、この下にコーヒーやサトウキビを栽培している。

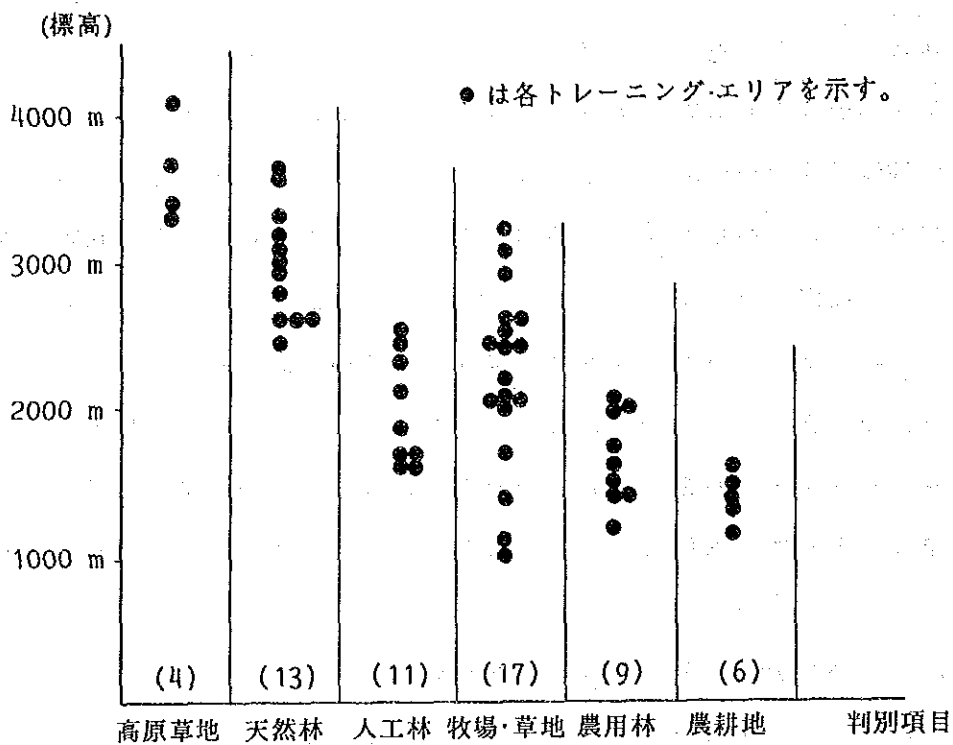


図-1. 判別項目と標高との関係図
()内は判別個所数

4. フォールスカラー画像上の色調と現地における実際の地目との対応は、次のようにまとめられる。
- (1) 天然林と人工林は、フォールスカラー画像上では濃赤色で示され、牧草地との判別は比較的容易であった。
 - (2) 低木が混生する二次林（あるいは二次林的性格を帯びる森林）と農用林は、きわめて色調が類似するため、両者の判別はカラー画像上では困難であった。ただし、調査対象地域には低木が混生する二次林の占める面積は少なく、両者を区別する必要性はほとんどないと判断された。
 - (3) 山腹崩壊はおおむね3 ha以上の規模のものが判別可能と思われる。ただし、色調が都市・集落と類似しているので、十分注意する必要がある。
 - (4) 低地の耕作地帯では、火入の畑作が行われており区画が方形で比較的判別しやすい。
- 以上の点を考慮しながら、第2次土地被覆分類の判別項目を検討した。

V. 国内解析作業

1. 国内解析作業は、(1)第2次土地被覆分類、(2)LANDSAT解析図の作成とに分けられる。

第2次土地被覆分類は、前記の国内準備作業で実施した第1次土地被覆分類結果と、現地調査にもとづく確認・検証結果より、第2次土地被覆分類のための判別基準を明確にし、第1次土地被覆分類より精度の高い自動判別を実施した。

LANDSAT解析図の作成は、第2次土地被覆分類結果をふまえ、次に示す各画像を出力した。

(1) 土地利用分類画像（縮尺 1/25万）

(2) 植生分類画像（縮尺 1/25万）

(3) 土地利用・植生経年変化画像（縮尺 1/25万）

2. 第2次土地被覆分類では、表-4(P.8)に示す判別項目にもとづき、最尤法を用いて自動判別を行った。巻末資料に、その分類画像を示す（巻末資料5.参照）。

3. LANDSAT解析図に明記している土地利用分類画像および植生分類画像を作成するには、上記の第2次土地被覆分類結果では不十分である。すなわち、現地調査4.でふれたように、フォールスカラー画像上で、天然林と人工林は濃赤色で示され、天然林と人工林を自動判別するには無理がある。牧草と草地（高原草地を含む）はフォールスカラー画像上での色調差は明瞭ではない。山腹崩壊のような裸地もおおむね3ha以上のものは、画像上の目視判読で識別できても、自動判別では都市、市街地と誤判別を生じてしまう。そこで、第2次土地被覆分類結果にもとづき、フォールスカラー画像判読を併用し、分類画像を作成した。

表-4. 第2次土地被覆分類判別項目

判別項目	画像上の特徴
草原	桃色あるいは紫色を呈しており、牧場との判別は難しい。
天然林	濃い赤色を呈している。
人工林	明るい赤色あるいは朱色を呈している。農用林との判別は難しい。
牧場	桃色あるいは紫色を呈しており、草原との判別は難しい。
農用林	明るい赤色あるいは朱色を呈しており、人工林との判別は難しい。
農耕地	緑色あるいは深緑色を呈している。
雲	白色あるいは淡い青色を呈している。
雲の陰部分	黒色を呈している。

4. 土地利用分類画像(1/25万)の作成にあたっては、前記の第2次土地被覆分類結果を用い、さらに画像判読による補足を加え、(1)森林、(2)高原草地、(3)牧場・草地、(4)農用林、(5)農耕地、(6)都市・市街地、(7)裸地・荒地、(8)雪氷原の8項目に分類した。なお、土地利用分類画像は1970年代と80年代の2時期分を作成した。その結果は成果図に示すとおりである。
5. 植生分類画像(1/25万)は、土地利用分類画像に対し、植生に関する項目についてのみ抽出し、森林を人工林と天然林に細分した。分類結果は成果図に示すとおりであり、1970年代と80年代の2時期分を作成した。判別項目は、(1)森林(天然林)、(2)森林(人工林)、(3)高原草地、(4)牧場・草地、(5)その他の5項目に区分した。
6. 土地利用・植生経年変化画像(1/25万)は、2時期(1970年代、80年代)のLANDSATデータによる第2次土地被覆分類と画像判読により作成した。この間約10年にわたる調査対象地域内の土地利用および植生の経年変化状況を把握した。

VI. 調査結果

1. 国内解析作業によって作成した土地利用分類画像(1/25万), 植生分類画像(1/25万), 土地利用・植生経年変化画像(1/25万)についてそれぞれの面積集計を行い, その結果から調査地域全体にわたる土地利用状況・植生状況およびその経年変化状況を分析した。

2. 土地利用分類項目は, (1)森林, (2)高原草地, (3)牧場・草地, (4)農用林, (5)農耕地, (6)都市・市街地, (7)裸地・荒地, (8)雪氷原の8項目である(本文6.2土地利用状況参照)。全体的な土地利用の状況は次のとおりである。

(1) 森林は, 調査地域の南部ほど多く, アンデス中央山脈の東側斜面にも比較的多くみられる。北部ではキンディオ州の東部にとくに多い。

(2) 高原草地は, 中央山脈の尾根周辺にみられ, ネバド・デル・ルイス火山をはじめ, 標高3,500mを越える地帯に分布している。

(3) 牧場・草地は, 北部では中央山脈の山麓から山頂付近にまでみられ, かなり広い面積を占めている。南部では山麓付近に比較的多く分布している。

(4) 農用林は, 中央山脈の西側斜面に多く分布しており, リサルダ州, キンディオ州でとくに多くみられる。

(5) 農耕地は, 調査地域北端のアンティオキア州の河川低地にわずかにみられる。調査地域のほとんどは標高1,500m以上の高地であるため, 農耕地はごくわずかである。

(6) 都市・集落は, 人口の集中している北部の州に多く, マニサレス, ペレイラ, アルメニアなどがこれに相当する。

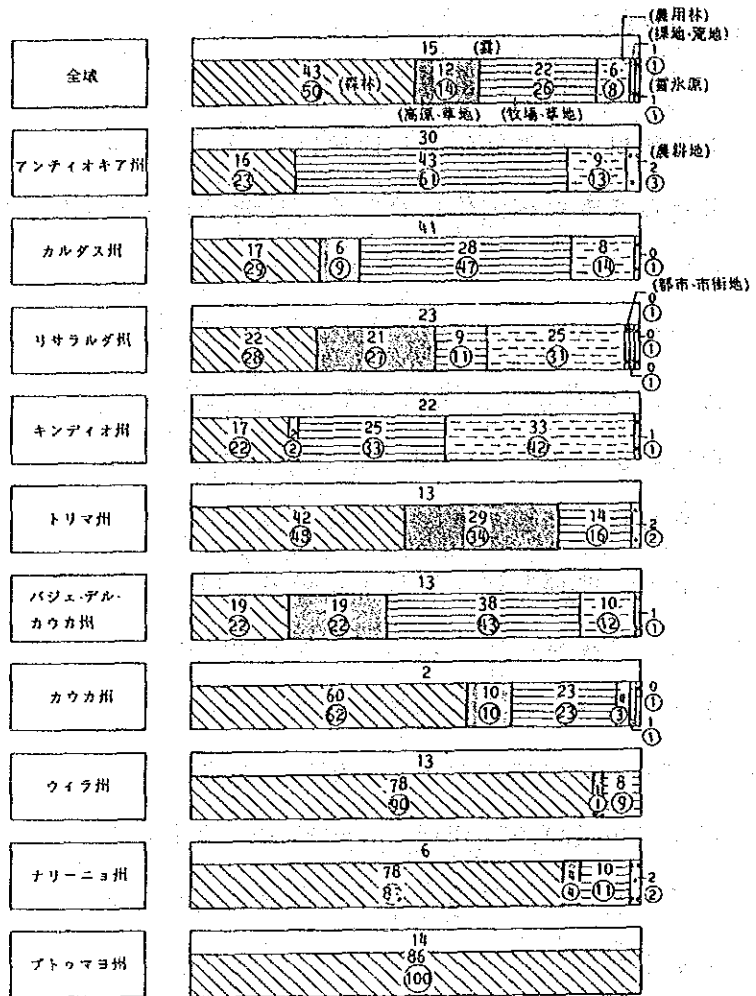
(7) 裸地・荒地はリサルダ州, バジェ・デル・カウカ州, カウカ州, ナリーニョ州のごく一部にみられる程度である。

(8) 雪氷原は, カルダス州, トリマ州の高山地域にごくわずかみられる。

3. 州別の土地利用状況は, 図-2. に示すとおりである(1970年代のもので比較する)。

(1) 10州の全般的な状況をまとめると(雲に覆われた地域15%を除く), 森林は解析対象範囲(調査対象地域から雲の被覆面積を除く)の50%を占め, 次に牧草・草地が26%, 高原草地14%, 農用林8%, 裸地・荒地および雪氷原2%である。

(2) 調査対象地域の北側の州と南側の州では土地利用形態が大きく異なる。すなわち、南側に位置するカウカ、ウイラ、ナリーニョ、プトゥマヨの各州では、解析対象範囲のおおむね60~100%が森林地域である。一方北側の州では、アンティオキア州やカルダス州のように、森林面積に比べ牧場・草地などの農用的土地利用の面積が大きい。



(3) 調査対象地域の北側の州のうちでも、リサラルダ州とキンディオ州では

図-2. 州別土地利用面積率比較図 (1970年代)

農用林の占める面積が大きい。一方南側の州では、カウカ州と、ウイラ、ナリーニョ、プトゥマヨの各州とで土地利用形態が若干異なる。カウカ州では森林(解析対象範囲の62%)だけでなく高原草地(同10%)、牧場・草地(同23%)、農用林(同3%)があるが、他の3州は森林面積が解析対象範囲の約80%以上におよんでいる。

4. 植生分類は前記のように、(1)森林(天然林)、(2)森林(人工林)、(3)高原草地、(4)牧場・草地、(5)その他の5項目に区分した。全般的な状況は次のとおりである(ここでは、調査対象地域から雲の被覆地域を除く解析対象範囲を100%とした比率を述べる)。

(1) 森林のうち天然林は、中央山脈の尾根部および東側斜面を中心に広く分布している。調査対象地域全体としては南部に多くみられる。カルダス州、アンティオキア州などの北部では天然林が比較的少ないが、中央山脈の尾根部や谷筋に比較的まとまってみ

られる。

(2) 森林のうち人工林は、カルダス州、リサラルダ州、キンディオ州などの山脈の西側斜面上にわずかに分布している。カウカ州の北部には、やや広い範囲にわたり分布している。全般的にみると、解析対象範囲では、人工林は3%を占め、面積は約44,000 haである。

(3) 高原草地は、標高3,500m以上の高山に分布しており、ネバド・デル・ルイス火山周辺地帯や山脈の中央部に広くみられる。

(4) 牧場・草地は、全域にわたりまばらに分布しているものの、全体的に北部に多い。アンティオキア州、カルダス州などの北部の牧場・草地は山頂付近まで広がっており、かなり広範囲な地域を占めている。一方南部では、カウカ州などの中央山脈の西側斜面に広く分布しているところがみられる。

5. 州別の植生分布状況の傾向を図-3. に示す(土地利用状況と同様1970年代のもの
で比較する)。

(1) 解析対象範囲全体では(調査対象地域から雲に覆われた地域15%を除く)、天然林が49%に対し人工林はわずかに3%にすぎない。

(2) 州別にみると(1)と同様の傾向を示しており、天然林にたいして人工林はごくわずかである。とくに、調査対象地域の南部に位置するカウカ、ウイラ、ナリーニョ、プトゥマヨの各州では、ほとんどすべてが天然林である。

6. 土地利用・植生経年変化状況を全般的にみると、次のとおりである(本文6.4参照)。

(1) 本調査の経年変化の解析範囲は、2時期の間に雲のない範囲であり、その面積

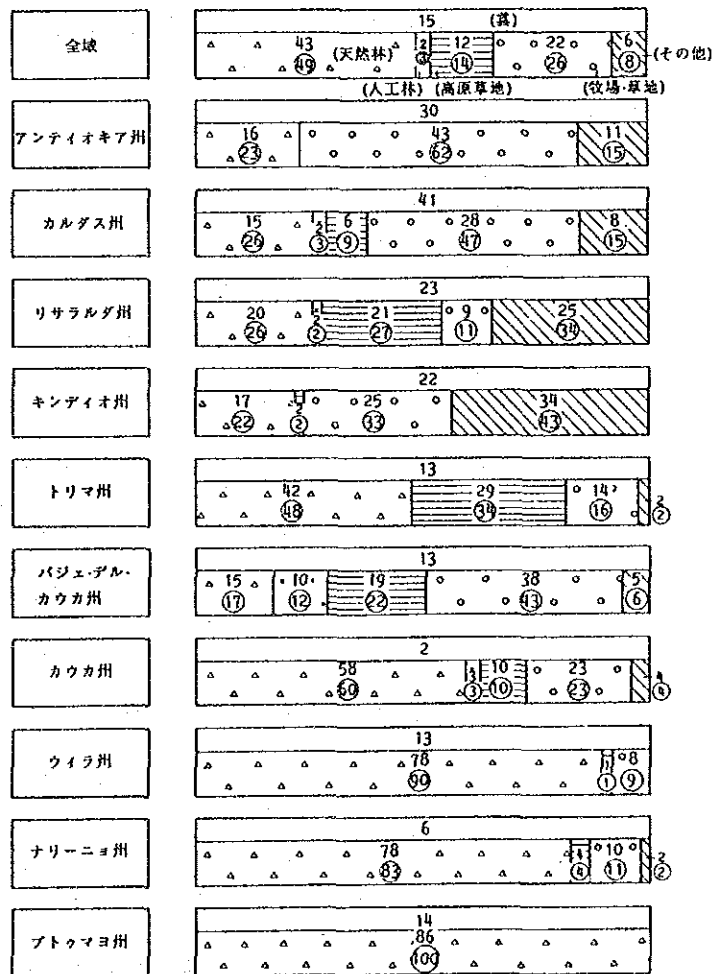


図-3. 州別植生面積率比較図(1970年代)

は、調査対象地域1,918,300haに対し、54%に相当する1,040,000haである。

(2) この経年変化解析範囲のうち、3%に相当する32,700haの地域に経年変化がみられた。

(3) 経年変化のあった32,700haの中で、その主なものは森林であり、24,400ha（経年変化面積の75%）であった。内訳は、森林のうち天然林が牧場・草地に変化したのが20,400ha、農用林に変化したのが4,000ha、人工林が牧場・草地に変化したのが400haであった。

(4) その他では、農用林が牧場・草地、農耕地、都市・市街地に変化したものが5,000haあり、経年変化地域の15%に相当している。

7. 州単位でみた経年変化状況は次のとおりである(本文6.4土地利用・植生経年変化状況を参照)。

(1) アンティオキア州では、山脈の西側斜面における天然林の農用林や牧場・草地への変化が著しく、州の経年変化解析面積4,200haのうち、67%にあたる2,800haが減少した。

(2) カルダス州では、北部の山岳地域で天然林が牧場・草地へ、西部では農用林が牧場・草地へ変化している。

(3) リサルダダ州では、西部のペレイラで農用林から都市・市街地に変化している。

(4) キンディオ州では、山脈の西側斜面において、森林から農用林(2,500ha)あるいは牧場・草地(500ha)への変化が大である。

(5) トリマ州では、わずかな経年変化が認められたにすぎない。

(6) バジェ・デル・カウカ州では森林1,900haが牧場・草地に変化している。このうち天然林が1,500ha、人工林が400haである。

(7) カウカ州では南部地域以外で経年変化が多く認められる。天然林は全体で11,900haが牧場・草地に変化し、人工林1,500haが牧場・草地に変化している。

(8) ウィラ、ナリーニョ、プトゥマヨの各州は、ほとんど経年変化はみられなかった。

VII. 調査結果の分析

1. 前記までの調査結果にもとづき分析を行い、地域特性についてとりまとめた。ここでは、(1)雲量による調査地域への影響、(2)植生・土地利用の状況、(3)地域特性に

ついてまとめた。

2. 雲量による調査精度への影響について検討してみると、1970年代のデータはその面積の15%に相当する278,300haが雲の被覆面積であり、同様に80年代のデータは34%に相当する649,100haであった。なお、経年変化解析面積は、調査対象地域の54%、1,040,000haであった。

今回の調査で、1972年以降、1988年までの間に観測された調査対象地域に関するLANDSATデータの雲量リストを調べると、雲量40%以下(1シーンに対する雲の分布)のものは、スタディエリア内において14シーンで、全観測シーン(165シーン)の8.5%に相当した。今回の調査では、雲量40%以下、すなわち解析可能面積率が60%以上のデータの中から、調査に耐えうる最良のデータを選定し、解析を進めた。その結果として、トリマ州(74%)、カルダス州(68%)、バジェ・デル・カウカ州(60%)についてはこの数値以上であり、さらにアンティオキア州、リサルダ州、キンディオ州、カウカ州はこれ以下の数値であるが、森林域の経年変化を調べるうえで影響が少ないところに雲が存在し、解析可能と考えた。さらに、ウイラ州、ナリーニョ州、プトウマヨ州は、解析面積率50%以下であるが、調査対象地域に占める州面積も少なく、加えて森林の保全がなされていることから、経年変化はほとんどない地域と考えられる。

3. 調査対象地域内の土地利用・植生と標高の関係を分析するために(本文7.3土地利用・植生の状況を参照のこと)、6測線の横断線を設定した。この結果、調査対象地域における土地利用状況が標高別に次のようにまとめられる。

- (1)標高1,500m以下は、主として農用林が分布する。
- (2)標高1,000~2,000mには、牧草・草地が広く分布する。
- (3)標高2,000~3,000mには、天然林を主体とする森林が分布する。
- (4)標高3,000~4,000mには、森林限界を越え、高原草地が広く分布する。
- (5)標高4,000m以上の高地には、雪氷原が分布する。

このうち、とくに森林についてみると、森林限界が3,000m近くにあり、一方、2,500mあるいは3,000m付近まで牧草・草地が展開している。したがって、森林分布範囲はきわめて狭い範囲に限って分布していることがわかる。この傾向は、調査対象地域の北部で顕著である。

4. 既往の土地利用図(本文1.7.に示す)を参考に用い、調査対象地域およびこれを包含する周辺地域(山麓地域まで)での土地利用分布の傾向を把握した。図-4.には調査対象地域を含む山麓地域までの森林の転換模式図を示す。

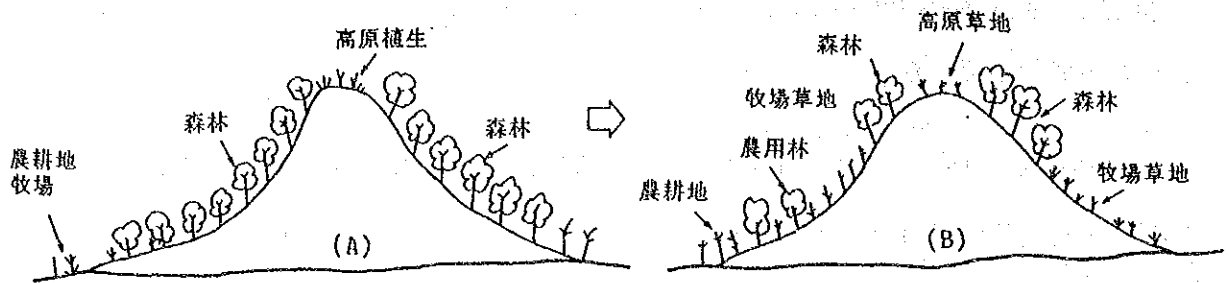


図-4. 調査対象地域を含む山麓地域までの森林の転換模式図

以前は比較的山麓の平坦な地形上でなされていた農耕や放牧が、人口増加や都市化に伴い、山麓から山頂、さらには山腹の急斜面まで利用するようになってきた(図-4.の(A))。その結果として、森林が減少し牧場・草地化されていると考えられる(図-4.(B))。

この地域の森林は3.(1)~(5)で記述したように、山頂部の標高3,000m以上は森林限界であり、一方、山麓から山腹上部まで牧草化が進み、天然林の立地可能な範囲が急激に狭められている。

5. 調査対象地域における土地利用の進行状況を検討してみると、図-5.のようにまとめることができる。

(1) 調査対象地域において、山脈の東西で土地利用の形態がかなり異なっ

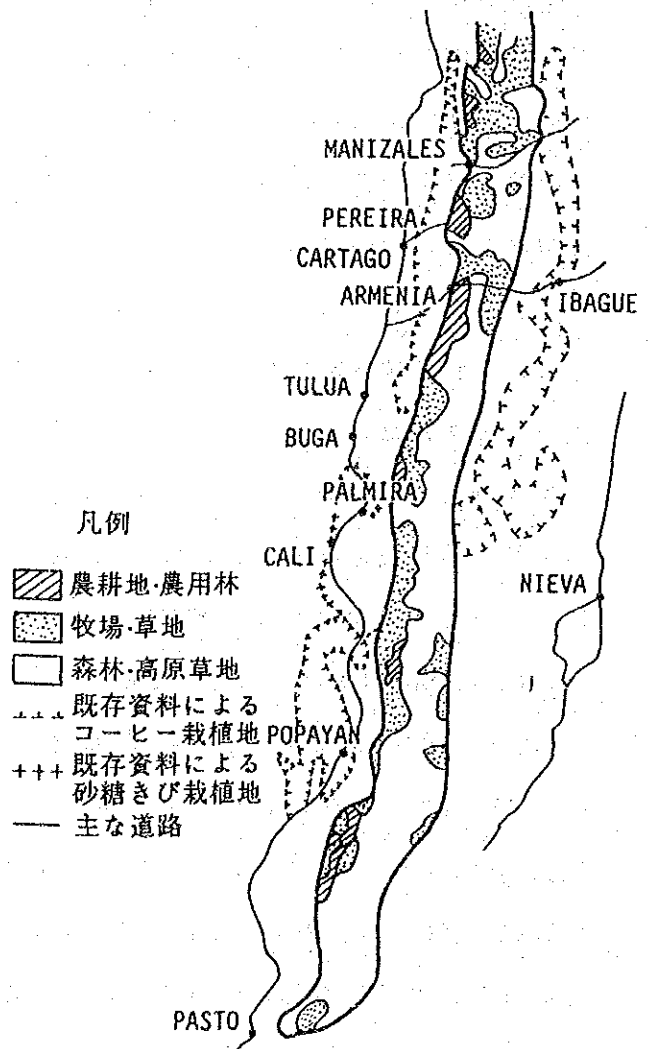


図-5. 調査対象地域における土地利用の進行状況

ている。東側は大部分の地域で、森林、高原草地など自然的な土地利用形態を残し、北側で牧場・草地、農耕地、農用林などがみられ、比較的土地利用の進行している様子を知ることができる。

(2) 調査対象地域の西側では、コーヒー栽培地やサトウキビ栽培地など、東側に比べてより高度な土地利用が行われている。

6. 土地利用・植生の経年変化は、天然林が牧場・草地、農用林に変化していくパターンが多い。アンティオキア、カルダス、キンディオ、カウカの各州ではその状況が顕著である。図-6.には、経年変化模式図を示す。

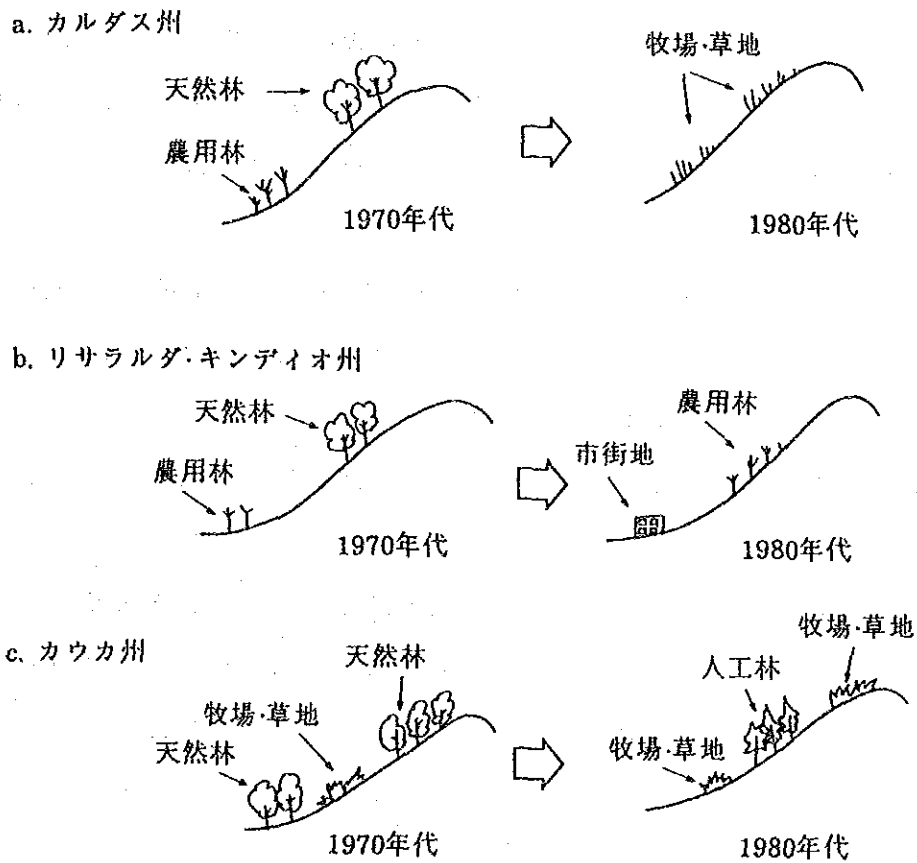


図-6. 経年変化模式図

a. はカルダス州の天然林と農用林が牧場・草地に変化した例である。山麓部分の農用林と山頂付近の天然林が牧場・草地に変化している。この地域では、尾根近くの急傾斜地でさえ牧場・草地化されており、この傾向の典型的な例である。

b. は調査地域の中央部の例で、農用林が市街地に、天然林が農用林に変化している例である。市街地の拡大に伴って農用林が変化し、比較的高い位置にあった天然林が農用林に変わっている。

c. は南部のカウカ州の例で、山麓と山頂部近くの天然林が牧場・草地に、中腹の牧場・草地が人工林に変化している。この地域は全体的に牧場・草地の拡大が進みつつあり、天然林から牧場・草地への転換がきわめて多い地域である。

7. 以上の調査結果の分析をふまえ、地域特性をまとめると、次のとおりである。

(1) カルダス州を中心とする調査対象地域の北部では、山麓付近まで牧場・草地が広がっており、古くから開発された地域で、しかも現在なお森林の減少が進行していることがうかがえる。

(2) 調査対象地域の山脈の東側斜面と西側斜面を比較すると、全般的に西側斜面の方が比較的高度な土地利用がなされている。とくに、調査対象地域中央部のカウカ盆地では農耕地が多く、自然林の後退が顕著である。

(3) 調査対象地域の南部では、比較的森林が多く、未開発地域が広大に残存している。

(4) 調査対象地域の中で、カルダス州の森林は州都マニサレス市を控え、その地勢条件などから勘案して水源涵養・土壌侵食防止・洪水防止などの重要な諸機能と役割を果たしているものと考えられる。したがってこの地域は、人工林造成などの適切な森林管理計画策定のうえで、その効果と緊急性の高い地域の一つといえよう。

本 文

1. 調査の概要

1.1. 調査の背景

コロンビア国の森林面積(5,318万ha)は、国土面積(11,390万ha)の47%を占めている。しかし、アンデス地方の森林率は26%でありアマゾン地方と比べてかなり低位なものとなっている。こうしたことからコロンビア国政府はわが国に対し、適切な森林管理を行うモデル地としてアンデス地方中央保存林地域をとりあげ、

- (1) 人工衛星(LANDSAT)のリモートセンシングにより、森林の分布・土地利用の現状およびそれらの経年変化を科学的に把握し、そのための技術手法を確立すること、
 - (2) 空中写真とそれによる地形図から森林資源の現状を把握し、森林管理に必要な基礎資料を得ること、
 - (3) 森林管理のための計画ガイドラインを作成すること、ならびに作成された計画ガイドラインをモデル地に適用し森林管理計画のモデル計画を作成すること、
- これらをコロンビア国側に技術移転することに関しての協力を要請してきた。これを受けて本調査の実施となった。

本報告は、このうちリモートセンシング解析結果について取りまとめたものである。なお、調査の背景について詳しくはプログレス・レポートIを参照されたい。

1.2. 調査の目的

本調査は、コロンビア国中央保存林地域における LANDSAT データの解析を行い、土地利用・植生の現況とその変化を把握することを目的とする。

1.3. 調査対象地域

調査対象地域はプログレス・レポートIに示す中央保存林のスタディ・エリア160万haである。その周辺地域を含めた解析面積は1,918,300haとなる。本報告書では、この190万haを調査対象地域とする。

1.4. 調査の工程

調査全体にわたる工程を図-1.1.に示す。調査は実施第1年次と実施第2年次に分け

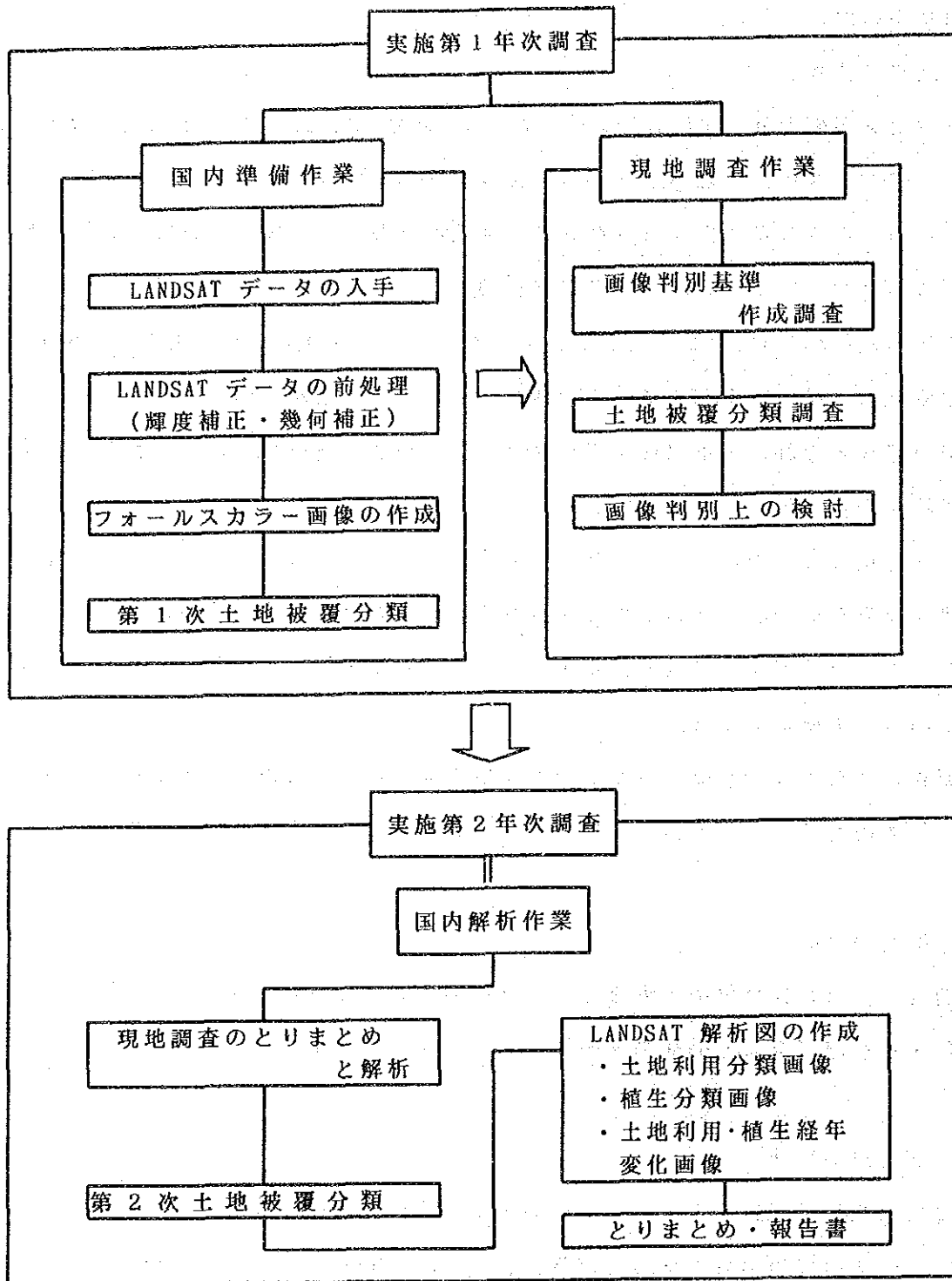


図-1.1. 調査の工程

て行った。

実施第1年次で、国内準備作業と現地調査を行った。実施第2年次で、現地調査結果にもとづき国内解析を行った。

1.5. 使用した LANDSAT データ

使用した LANDSAT データは、図-1.2.および表-1.1.に示す4シーンである。使用データは、すべてコンピュータ処理可能な磁気テープを用い、最適な観測時期のものを選定した。LANDSAT データでは、土地利用および植生の現況と経年変化を把握することを目的とし、新旧2時期分のデータを入手した。

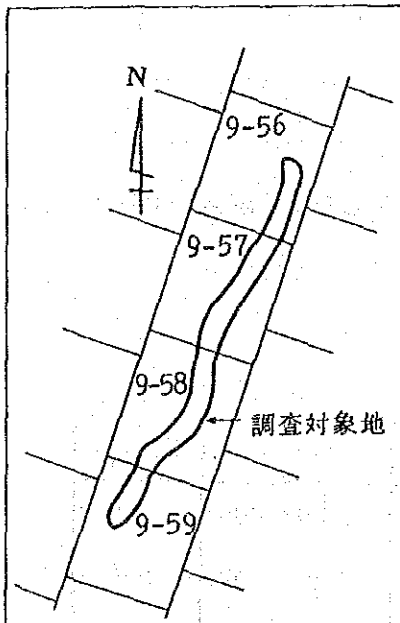


表-1.1. 使用したLANDSAT データ

時期	センサー	LANDSAT No.	PATH-ROW	観測年月日	雲量
旧	MSS	L-2	9-56	1977. 9. 17	50%
	"	L-1	9-57	1976. 2. 1	20%
	"	L-1	9-58	1976. 2. 1	30%
	"	L-1	9-59	1976. 2. 1	30%
新	"	L-4	9-56	1987. 12. 24	30%
	"	L-4	9-57	1987. 12. 24	20%
	"	L-4	9-58	1987. 12. 24	20%
	"	L-4	9-59	1987. 12. 24	50%

図-1.2. LANDSAT
カバーレッジマップ

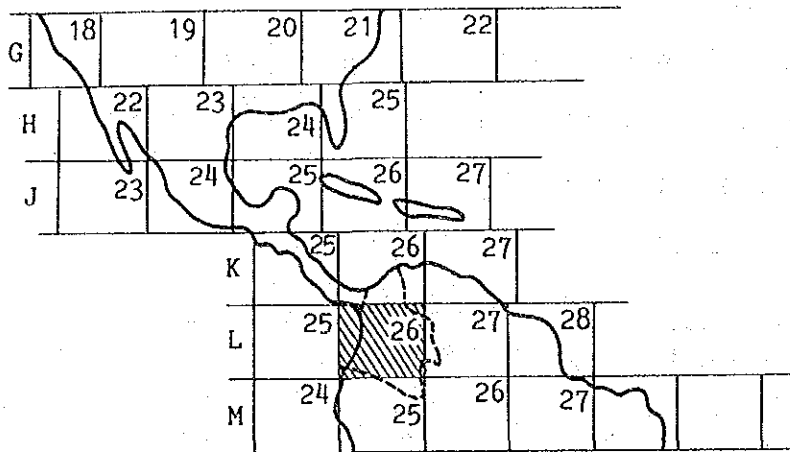
1.6. 使用した地形図

使用した地形図は次のとおりである。

(1) 米国National Ocean Survey発行のナビゲーションマップ(図-1.3, 参照)

縮尺1/100万「L-26」

(2) コロンビア国の地理機関AGUSTIN CODAZZI発行の州単位の地形図(表-1.2, 参照)



■ 使用したナビゲーションマップ

図-1.3. 使用したナビゲーションマップ

表-1.2. 使用した州単位地形図の一覧表

州名	縮尺	作成年	州名	縮尺	作成年
ANTIOQUIA	1 : 200,000	1988	VALLE DEL CAUCA	1 : 300,000	1986
CALDAS	1 : 250,000	1985	CAUCA	1 : 400,000	1986
RISARALDA	1 : 200,000	1988	HUILA	1 : 400,000	1985
QUINDIO	1 : 100,000	1982	NARIÑO	(入手せず)	—
TOLIMA	1 : 400,000	1986	PUTUMAYO	(入手せず)	—

ナビゲーションマップは、後述(3.2.LANDSATデータの前処理)するLANDSATデータの幾何補正のための地図座標の設定、幾何補正の地上基準点の選定、使用したLANDSATのシーン毎のモザイクを行うために使用した。一方、州別地形図は、土地利用および植生分類項目別の州単位での集計、州別の地勢を含めた自然条件の概況を把握す

るために使用した。

1.7. 収集資料

調査に用いるべく収集した資料は次に示すとおりである。

- (1) Carta General(国土基本図) 1/500,000
- (2) Mapa de Uso Actual de la Tierra(現況土地利用図) 1/500,000
- (3) 教材用地理テキスト
 - ・ Atlas de Colombia
 - ・ Geografia de Colombia
 - ・ Geografia(Fisica, General y de Colombia)
 - ・ Geografía General y de Colombia
 - ・ Geografia(Economica de Colombia)
- (4) Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso, 1986
(土地利用可能性に関する分類)
- (5) Atlas Regional Andino, 1982
- (6) Atlas de Caldas, 1987
- (7) Analisis Geograficos
- (8) Cartografía Integrada del Medio Natural(Chinchina-Manizales), 1987
- (9) Los Suelos de las Cordilleras Andinas y su Aptitud de Uso, 1982
(アンデス山系における土壌とその利用に関する適性)
- (10) Diagnostico Geografico de la Cuenca Alto Magdalena, PROCAM-INDERENA
(マグダレナ流域山系に係る地理学的分析), 1984
- (11) Manual de Percepcion Remota en Geografia Fisica, 1984
(リモートセンシングマニュアル 全2巻)

1.8. デジタル画像解析システム

本調査で使用したデジタル画像解析システムは、(1)通常のリモートセンシングに関する画像処理機能に加えて、(2)画素を単位とする画像相互のオーバーレイ処理機能

が整備されている。画素を単位とする画像相互のオーバーレイ処理は、ある一定の基準で画像化された複数のデータを目的に応じて重ね合わせることである。具体的には、異なる時期のLANDSATデータ(LANDSATデータによる分類結果を含めて)同士を重ね合わせて処理することにより、土地利用や植生の経年変化状況を把握することが可能となる。このようなオーバーレイ処理機能を用いて、本調査では、土地利用・植生経年変化画像を作成した。

本調査で実際に使用したデジタル画像解析システムは図-1.4.に示すとおりである。このシステムのうち、主なものは、ホストコンピュータとイメージプロセッサである。入力用装置には、磁気テープ装置、ドラムスキャナー、ビデオディジタイザー、ディジタイザー、出力用装置には、カラーディスプレイ、フォトプリンター、グラフィック・カメラ、ハードコピー装置を用いている。

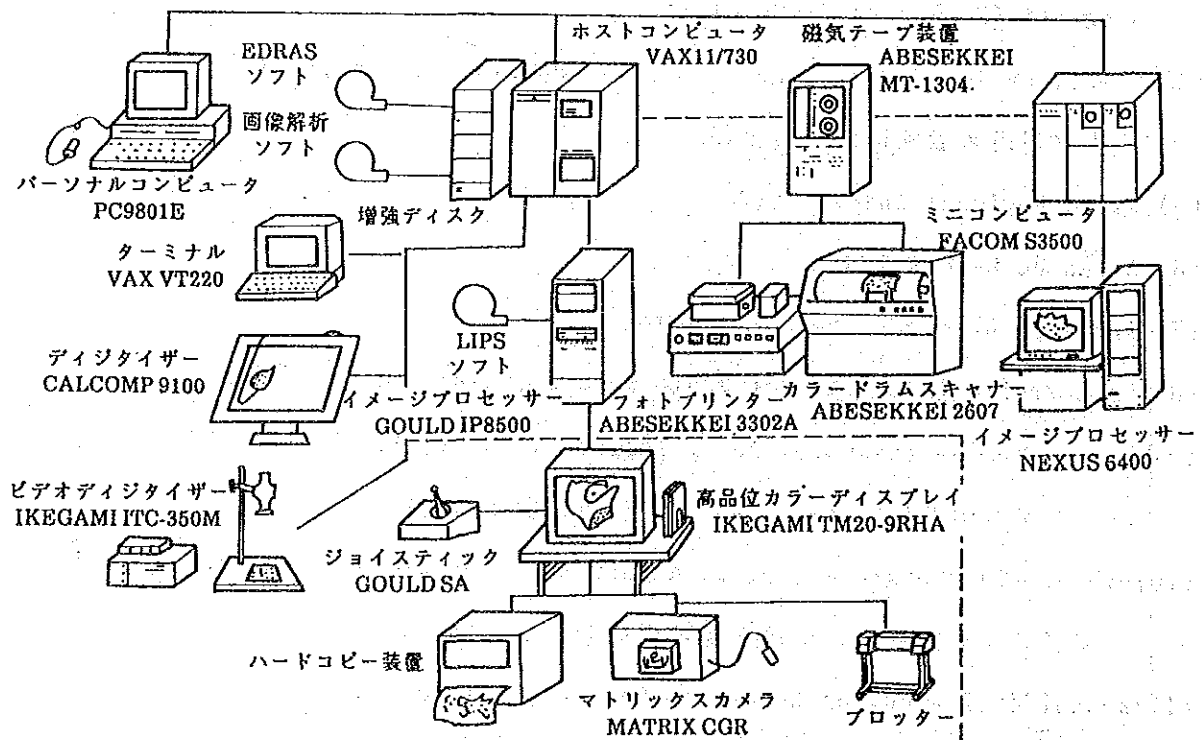


図-1.4. 使用したデジタル画像解析システム

2. 調査地域の概要

LANDSATデータによる解析の調査対象地域は図-2.1.に示すような10州より構成される。北側から、アンティオキア、カルダス、リサルダ、キンディオ、トリマ、バジェ・デル・カウカ、カウカ、ウイラ、ナリーニョ、プトゥマヨの各州からなる。

以下に、調査対象地域の概要を州別にまとめた。

(1) アンティオキア州

アンティオキア州は調査対象地域の最北端である。州の大部分はアンデス中央山脈に属し、一部低温地帯を形成している。全体的に起伏と変化に富んだ地形から構成される州である。表-2.1のように他州に比べてコーヒーやバナナなどの農作物生産がさかんであるのが大きな特徴である。

調査対象地域は州の南端の山岳地の一部を占める。標高3,000m程度の尾根を境に、その西側はなだらかな高原状の斜面、東側は開析の進んだ急峻斜面からなる。森林は尾根沿いの高地を中心に天然林が分布し、東西の低地部へ移行するにしたがって森林から農耕地へ移り変っている。

(2) カルダス州

州の中央部を南北にアンデス中央山脈が走り、それを境として東西方向に斜面が広がり、主要河川が流下している。州の境として東側にはマグダレナ川、西側にはカウカ川が、いずれも北流している。調査対象地域は州の中央部の山岳地域に位置する。尾根部の標高は一部で4,000mを越え、低地側では約750mである。開析はかなり進行しており、一部の尾根を除いて急峻な斜面が地形を構成している。土地利用をみると尾根部には高原草地が広く分布し、標高が下がるにつれ森林さらには牧場・草地、農耕地といった地域へと移行している。森林は尾根部の高原草地と低地部の牧場・草地、農耕地にはさまれるようにして、標高2,500~3,000mの斜面を中心に広く分布している。

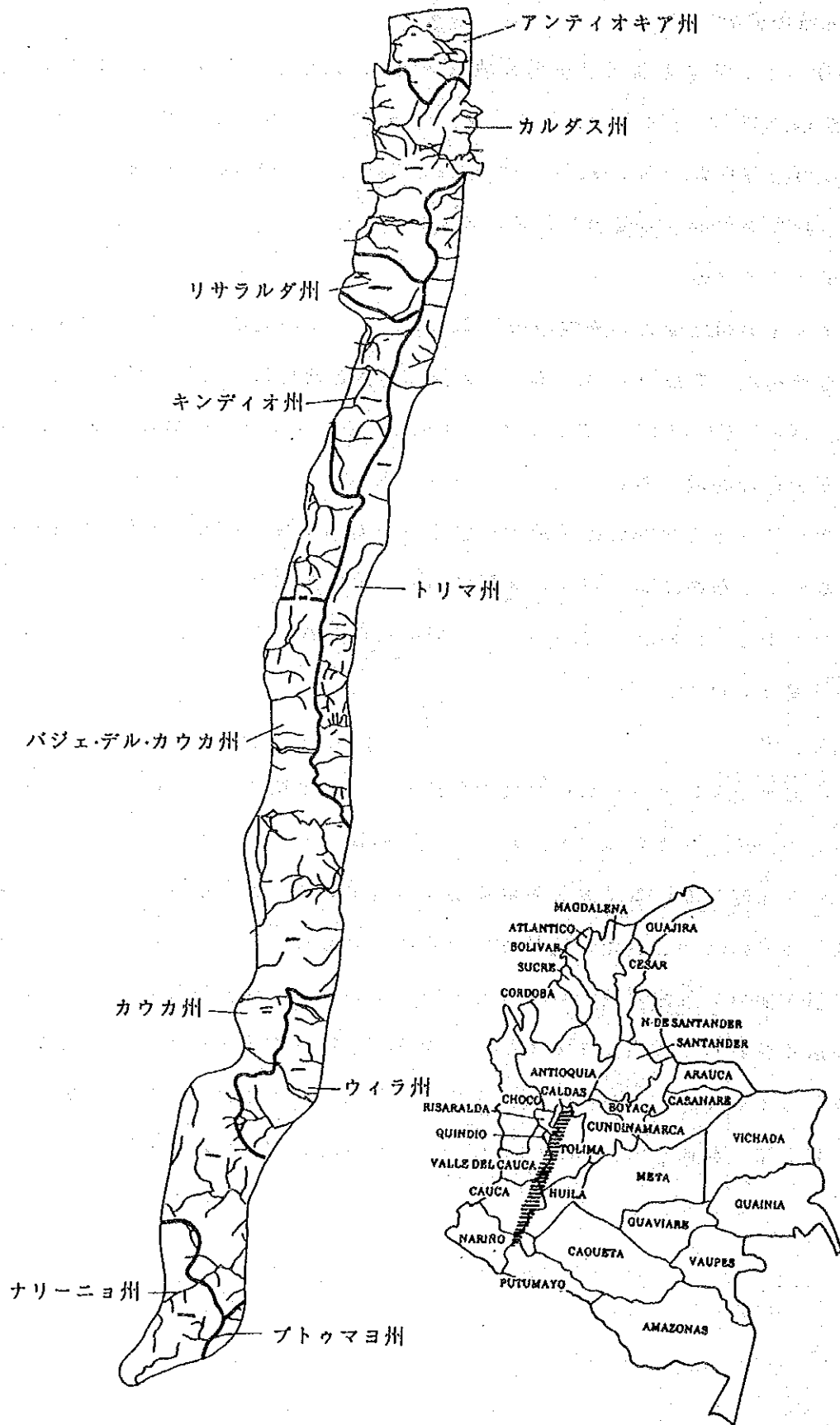


図-2.1. 調査対象地域位置図

表-2.1. 州別比較表

項目	州	アンティオキア	カルダス	リサラダ	キンディオ	トリマ	バジェデルカウカ	カウカ	ウイラ	ナリーニョ	プトゥマヨ	備考
州	都	メデジン	マニサレス	ペレイラ	アルメニア	イバゲ	カリ	ポパアン	ネイバ	パスト	モカ	
面積 (km ²)		63,512	7,888	4,140	1,845	23,562	22,140	29,308	19,890	33,268	24,885	
人口 (人)		4,503,466	896,063	651,677	458,851	1,234,770	3,573,611	882,743	613,587	1,165,792	134,461	1985年現在
人口密度 (人/km ²)		72.2	113.6	157.3	256.0	52.4	161.4	30.1	31	35	5	
気候	熱帯	35,622	2,246	366	20	9,771	10,337	9,906	5,528	18,661	記	
緯度	帯	16,408	2,770	2,157	1,100	5,848	7,606	10,023	7,713	5,731	述	
帯	温帯	10,899	1,902	1,314	404	4,905	3,089	6,184	5,290	6,026	な	
別	寒帯	683	970	303	321	3,038	1,108	3,195	1,359	2,850	し	
産	第1次	33.5	44.6	35.3	45.8	52.3	23.5	56.2	51.7	50.3	55.9	
業	第2次	18.3	7.8	14.8	6.6	6.6	19.4	7.6	6.1	13.4	6.0	
別	第3次	41.6	36.5	39.4	36.7	34.8	46.3	25.6	34.5	25.2	33.3	
産	その他	5.6	9.1	10.5	10.9	6.3	8.8	10.6	7.7	11.1	4.8	
総合	コーヒー	1,627,156		675,869	798,308	1,071,763	896,683	347,490	450,638	119,045	↑	
農	バナナ	844,200									↓	
産	サトウキビ	238,140	42,000	599,200	3,240	4,200	8,585,900	2,550,900	49,000	74,800	報	
物	プラタノ	202,100		82,000	250,000			28,190	50,000	45,900	告	料理用バナナ
1980	馬いしよ	180,250		70,000	70,000	90,300				358,900	な	
?	米	16,750	3,370			491,300	39,400	14,700	191,200		し	
1981	大豆		351	7,503		500	143,629	1,749				
(t)	コカ	126,000	3,570	7,700	32,000	96,000		105,400	165,000	2,800		
	モロコシ			3,750	89,500	130,200		23,350			↓	
	綿				52,880	39,092		3,630			↓	

出典：アトラス BASICO DE COLOMBIA

(3) リサルダ州

リサルダ州は前記のアンティオキア州、カルダス州と比べて州面積の割に人口密度が高い（リサルダ州で157人/㎢，アンティオキア州72人/㎢，カルダス州113人/㎢，表-2.1.参照）のが特徴である。地形をみると，州の中央部をリサルダ川が南北に流下し，それを境に東側が急峻なアンデス山脈の西斜面，西側がなだらかな高原状の山地となっている。標高3,500~4,500mの高原地帯とそれを囲むやや開析の進んだ斜面が標高1,500~3,500mにかけて分布している。森林は標高3,000~4,000mの地域を中心に分布するが，オトゥン川に沿って標高2,000m程度の低地部まで分布しているところもみられる。この州とトリマ州との境にネバド・デル・ルイス山(5,400m)があり，雪氷原や高原地帯を形成している。

(4) キンディオ州

キンディオ州は10州のうち最も面積の小さい州（1,845㎢）であり，最大のアンティオキア州の面積（63,612㎢）に比べ，その約3%にすぎない。ただし，アルメニアなどの大きな都市をかかえ，人口密度は256人/㎢で10州の中で最も高い。他州に比べ温暖な気候帯に属しており，豊富な農業労働力を背景にしてコーヒーの生産量もかなり高い（例えば，アンティオキア州のコーヒー生産量の約50%に相当している）。調査対象地域は州を南北に縦断する主要道（ペレイラとアルメニアを結ぶ）の東側の山岳部にあたる。州東端の標高約3,500mの尾根部より標高約1,500mの主要道まで西向きに斜面が続く。開析はあまり進んでおらず，なだらかな地形を示している。標高3,000m以上の高地には高原草地在り分布し，そこから標高2,000m付近にかけては牧場・草地在り，主要道沿いには農耕地が広がっている。

(5) トリマ州

トリマ州は，中央部の低地をマグダレナ川が南北に縦断しており，西端にはアンデス中央山脈の尾根が連なり，州中央部の低地へ向かって東向きのやや急な斜面が分布している。マグダレナ川をはさんで東側には丘陵性の標高の低い山地が分布している。中央部の低地には農耕地と牧場・草地在り混在しており，西部の山岳地帯と東部の山地に森林が分布する。トリマ州は，バジェ・デル・カウカ州の面積にほぼ匹敵するが，その人口密度は1/3以下である。

調査対象地域は州西部の山岳地域の高地部にあたる。西端の稜線上には標高 5,000 m を越えるものもある。尾根から標高2,000 m 付近までのやや開析の進んだ急斜面がほぼ全域を占め、東西方向に伸びる谷が深く刻まれている。尾根沿いの標高3,000 m 以上の高地には高原地帯が分布し、それを囲むように森林が分布している。調査対象地域内には農耕地・草地はほとんどみられない。

(6) バジェ・デル・カウカ州

バジェ・デル・カウカ州は、調査対象地域のほぼ中央部に位置し、州全体では22,140 ㎢の面積をもつ。人口密度は161人/㎢で前記のリサルダ州にほぼ相当している。バジェ・デル・カウカ州では第3次生産事業者比率(48.3%)が第1次生産事業者比率(23.5%)を越えているのが特徴であり、他の9州ではみられない傾向である。地勢は、東側をアンデス山脈に境され、中央部にはカウカ川が南北に流下し、カウカ川以西は平坦な地形面が形成されている。調査対象地域内の土地利用は、南部のバルミラ付近に農耕地がみられる以外は森林で構成されている。

(7) カウカ州

カウカ州はウイラ、ナリーニョ、プトウマヨの各州と同様、州面積に対する人口密度は約30人/㎢である。農産物はサトウキビが主体で、これ以外にもコーヒーなどの栽培も行われている。州東部にアンデス山脈の稜線が連なり、州中央を南北に連なるやや標高の低い山地とともに山岳地形を形成している。州の西端は海岸となり、中央の山地の麓まで平坦地が分布している。西部の平地から中央の山地の尾根付近にかけては熱帯雨林が一面を覆っており、他の土地利用はみられない。中央の低地の主要道沿いには森林と農耕地、牧場・草地が混在し、東端の稜線にかけてはかなり広い面積にわたって森林が分布する。

調査対象地域は、州の東部を北東～南西に横切るアンデス中央山脈の主稜線部にあたる。北部～中央部にかけての稜線は開析がかなり進み、複雑な地形を示している。標高は2,000～3,500 m の範囲であるが、5,000 m 程度の標高をもつ火山もいくつか存在している。標高3,500 m 以上の高地は大部分が高原草地となっており、それを囲むように森林が低地に向かって分布する。中央部では農耕地がかなり高所まで進出しており、森林と混在している。南部はやや標高が低く(1,500～3,000m)、未開析のなだらかな山地となっており、一面が森林で覆われている。

(8) ウィラ州

ウィラ州は前記のカウカ州と同様に人口密度は約30人/㎢である。主要農産物は米、ユカ(イモの一種)などである。またカウカ州とは異なり、サトウキビよりコーヒー栽培の方が多い。ウィラ州は北東～南西に細長く伸びた州で、西側をアンデス山脈にはさまれた山岳地形を示している。西側はアンデス中央山脈の主脈が連なり、東側にはやや標高が低くなだらかな支脈が連なっている。両山脈の間をマグダレナ川が流れ、谷底の低地を形成している。土地利用は、森林が全体の約50%の面積を占めており、森林の豊富な州として位置づけることができる。谷底の低地には農耕地や牧場・草地が混在している。

調査対象地域は州の南西端にあたり面積は狭い。標高2,500m以上の地域が大部分を占め、4,000mを越えるものなどいくつかの火山のピークを連ねた山岳地形を示している。土地利用はほぼ全域が森林であり、4,000m以上の高地のみに高原草地が分布している。

(9) ナリーニョ州

ナリーニョ州は、州の中央を北東～南西に連なるアンデス中央山脈の支脈を境にして、北西部と南東部では異なる状況を示している。北西部は支脈から海岸にかけて平地が広がっており、大部分が熱帯雨林に覆われている。農耕地や牧場・草地は河川沿いにわずかに認められる程度であり、森林は全く存在しない。南東部はアンデス中央山脈の主脈からなる山岳高地となっており、4,000mを越える高峰が連なっている。森林が面積の6割程度を占めるが、農耕地もかなりの高所に至るまで森林内に分布している。

調査対象地域は州の東端部にわずかにかかる程度で面積も狭い。4,000mを越える高峰を含む山岳地であり、ほぼ全域が森林に覆われている。

(10) プトゥマヨ州

プトゥマヨ州はコロンビア国の南側の国境に接しており、国境に沿って東西に細長く分布している。面積は24,885㎢でありトリマ州に匹敵する(トリマ州の面積23,562㎢)が、人口密度は大きく異なる。すなわち、トリマ州では52人/㎢であるのに対し、プトゥマヨ州では5人/㎢と差が大きい。地形的にみると、州全体では大部分が低平地からなるが、調査対象地域は北西端の山岳地域に位置する。プトゥマヨ州は、調査対象地域のごく一部を占めるにすぎない。

3. 国内準備作業

3.1. 概要

国内準備作業は、現地調査およびその後の国内解析などの本格調査実施に先立って行うものであり、国内において LANDSAT データの整備と事前に現地の概況を把握することを目的とした。そのために、事前調査段階で収集した資料や国内で入手可能な資料にもとづき、現地の自然的条件に関する情報を整理した。図-3.1. にフローチャートを示す。

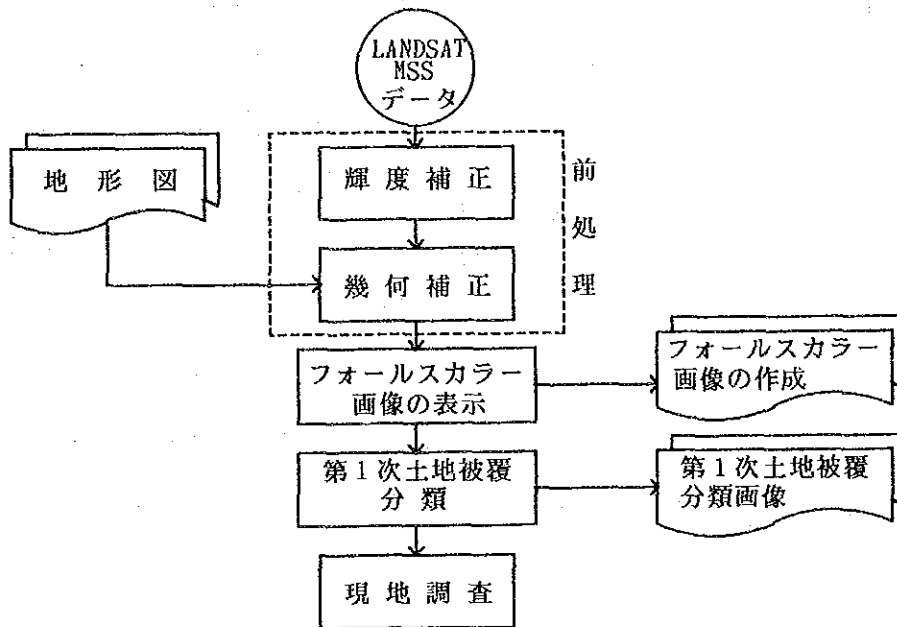


図-3.1. 国内準備作業のフローチャート

また、国内準備作業の主な調査項目は次のとおりである。

- (1) LANDSAT データの前処理（輝度補正，幾何補正）
- (2) フォールスカラー画像の作成
- (3) 第1次土地被覆分類

3.2. LANDSAT データの前処理

LANDSAT データの前処理として、(1)使用する LANDSAT 画像間の輝度補正（今回の場合は、LANDSAT データを南北方向に4シーンを接合させる必要があり、しかも各画像は観測時の条件によって微妙に画像上の色が異なる。これを補正するのが輝度補正である）と、(2)使用する LANDSAT 画像と地形図との位置的な整合を図るために幾何補正を実施した。

3.2.1. 輝度補正

LANDSAT の画像は、オリジナルのデータのままでディスプレイに表示したり画像化すると、色調が全体に明るい、あるいは暗いといった場合がある。とくに、2 時期以上の画像を比較して検討を加える場合などは、きわめて不都合である。そこで判読しやすい画像となるように、輝度補正の処理を行う。

ここでは、1970年代と1980年代の2 時期4 シーンの観測時期は、季節、天候などがさまざまだが、互いの輝度を補正することによって、時期的な差異をある程度まで縮めることができる。図-3.2.には、輝度補正の概念図を示す。

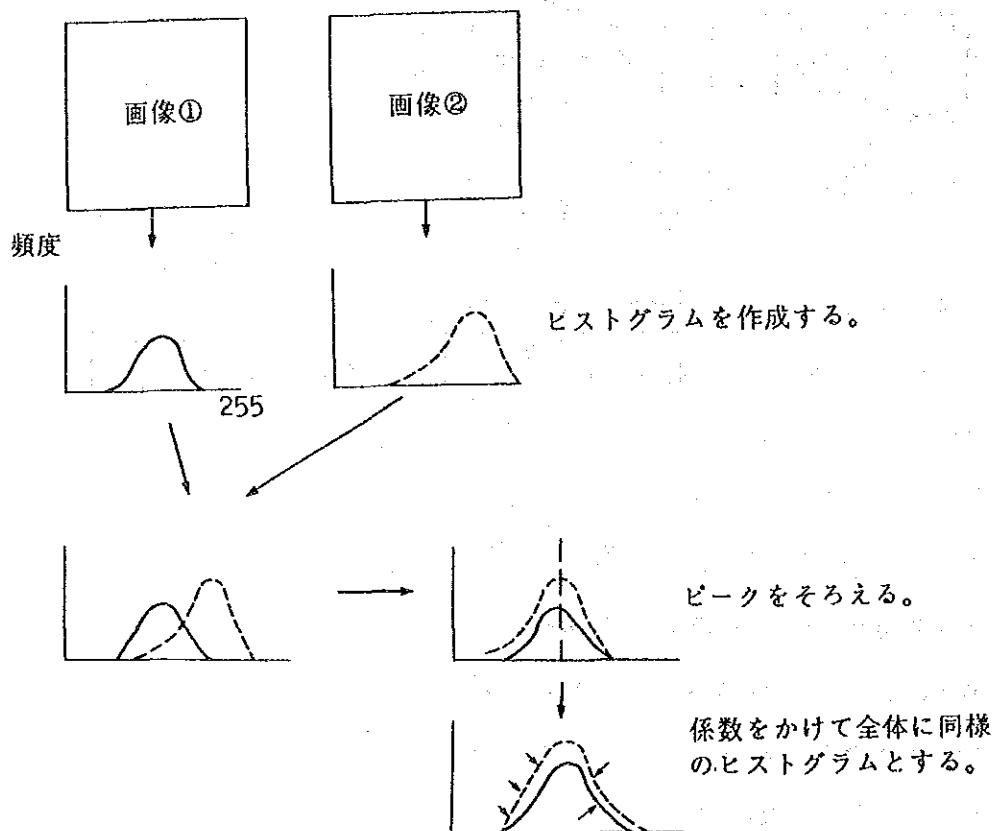


図-3.2. 輝度補正の概念図

輝度補正の手順は、次のとおりである。

- (1) 2 時期の同一範囲の画像に対するヒストグラムを作成する。
- (2) 一方のヒストグラムを基準として、まずヒストグラムのピークをそろえる。
- (3) 係数をかけて、全体に同様のヒストグラムとする。

3.2.2. 幾何補正

LANDSAT データは、観測時の衛星の状態により地理的な歪をもち、地形図に整合していない。本調査では2時期間の比較を行う必要があり、地形図と画像の位置関係が整合するよう、幾何補正を行った。

幾何補正は、次の手順にしたがって実施した。

(1) 地図座標系の設定

補正の基準となる座標系を地形図上に設定する。本調査では1/25万地形図を使用し、調査地域を包含するよう座標系を設定した。

(2) 地上基準点 (GCP : Ground Control Point) の選定

地上基準点は画像上および地形図上において、両者で明確に対応づけられる点として、それぞれ画像座標 (u, v) と地図座標 (x, y) を測定する。本調査では、河川・湖沼・谷線などの特徴のある個所を基準点に用いた。基準点は、調査範囲およびその周辺に偏りなく選定し、1シーンあたり10点程度となった。

(3) 画像の標定

画像座標を地図座標に変換するため、座標変換式の係数を求めた。本調査では、座標変換式にアフィン変換(Affine Transformation)を用いた。アフィン変換式は、

$$x = a_1 u + a_2 v + a_3$$

$$y = a_4 u + a_5 v + a_6$$

で与えられる。ここで、6個の変換係数 $a_1 \sim a_6$ を、4組以上の地上基準点の座標値を用いて、最小2乗法により算出した。最小2乗誤差は、原画像上2.3~2.5画素(実寸230~250m)以内とした。

(4) 再配列 (Re-sampling)

求めたアフィン変換式の係数を用い、画像データの再配列を実施した。再配列にはいくつかの手法があるが、本調査では、ニアレスト・ネイバー法を用いた。画像データの再配列の際、画素のサイズは100mとした。幾何補正の概念図は、図-3.3.に示すとおりである。

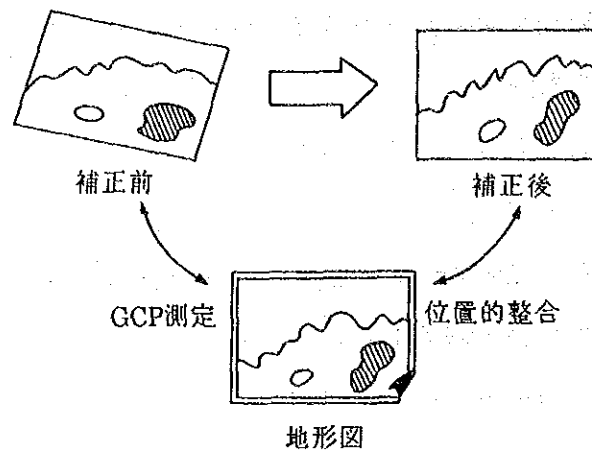


図-3.3. 幾何補正の概念図

3.3. フォールスカラー画像の作成

前項までの補正済みのデータを用い、フォールスカラー画像を作成した。

LANDSAT MSS データの各バンドの波長帯とフォールスカラー画像上の表示色を表-3.

1.に示す。

表-3.1. LANDSAT MSS データの各バンドの仕様

波長帯名	波長帯 (μm)	光 帯	フォールスカラー 表示色
BAND 4	0.5~0.6	可視緑色	青
BAND 5	0.6~0.7	可視赤色	緑
BAND 6	0.7~0.8	近 赤 外	(使用せず)
BAND 7	0.8~1.1	近 赤 外	赤

フォールスカラー画像は、LANDSAT MSSデータ4バンドのうちバンド4に青色、バンド5に緑色、バンド7に赤色のフィルターをかけて合成して作成する。フォールスカラー画像は、とくに、バンド7の近赤外の波長帯を表現するのに適している。例えば植生の活力が活発な場合、きわめて赤く表示されるため、森林などの植生の状況を把握する

のに適している。なお、フォールスカラー画像上では、水域は黒っぽく、市街地は水色などに表現され、判別しやすい。

シーン別のフォールスカラー画像を巻末資料に示す。なお、フォールスカラー画像上の色調と土地被覆分類項目（現地調査実施前のため土地被覆を確定できないものもある）の特徴を表-3.2.に示す。

表-3.2. フォールスカラー画像上の色調と土地被覆分類項目の特徴

フォールスカラー 画像上の色調	分類項目	特 徴
赤色（明赤色～暗赤色）	森 林	植物葉の活性度の度合により濃い赤色系を示す（近赤外データの特性による）。
桃色～紫色	草 地	活性度は森林より低いため赤色系は淡い。
緑色～深緑色	農耕地	作物の種類・生育度により地表反射の緑色を示す。
青色～暗青色	水 域	水の濁り具合により青色系の種々の色を示す。
白色～（所により）淡青色	雲	一般に白色だが雲を通して地表が見えているところは淡青色を示す。
黒色	雲の影	太陽光がとどかず、ほとんど黒色を示す。

以下に、シーン別のフォールスカラー画像上の状況を示す。

(1) PATH 9-ROW 56 1977.9.17

- ① このシーンは中央部をカウカ川が南北に貫き、周辺に湖沼が散在している。
- ② 河川沿いは平野を形成しており、農耕地として利用されている。
- ③ 河川に近い地域は農耕地が多いが、山地に向かうにつれ牧場・草地在り分布している。
- ④ 山地はほとんどが森林である。
- ⑤ フォールスカラー画像上では、森林地域であっても色調の違いがみられるが、樹種の違う森林であると判断される。
- ⑥ 調査対象地域は、マニサレスとその北方の山地を含んでおり、主として森林に覆

われ農耕地が点在している。

(2) PATH 9-R0W 57 1976.2.1

- ① このシーンは、中央部をカウカ川が流れ、河川沿いに広い平野を形成している。
- ② シーン南部に大きな湖があるほか、大小の湖が平野内に点在している。
- ③ 平野部に、大規模な耕作地帯がみられる。
- ④ 山麓部は緩い斜面を形成しており、農耕地から草地になっている。
- ⑤ 山地部はほとんど森林で、尾根に向かうにつれ密度の高い森林となっている。
- ⑥ 調査対象地域は、アルメニアを中心とする山地であり、森林がほとんどを占めている。山麓には農耕地、牧場・草地在り分布している。

(3) PATH 9-R0W 58 1976.2.1

- ① このシーンは北部でカウカ川が蛇行しており、河川沿いに広い平野を形成している。
- ② 平野部は広く農耕地に利用されており、山麓部に向かって牧場・草地在り広がっている。
- ③ 山地は、森林が大部分を占めている。
- ④ 調査地域は、カリからポバヤンにかけての山地であり、森林とともに山麓部を中心に牧場・草地在り広く分布している。

(4) PATH 9-R0W 59 1976.2.1

- ① このシーンは、西側にパティア川が流れており、平野を形成している。
- ② シーン南部にアマゾン川の支流があり、その南側は広大な平野になっている。
- ③ パティア川沿いの平野には、広く農耕地が分布し、南方の平野には牧場・草地在りみられる。
- ④ 山地は密度の高い森林に覆われている。
- ⑤ 調査対象地域の南端にはバストがあるが、ほとんど山地であり、山麓の一部を除いて森林が密生している。

(5) PATH 9-R0W 56 1987.12.24

- ① 河川沿いにはメデジンなどの大都市があり、平野部には農耕地、牧場・草地在り広く分布する。

- ② 山地は標高が高くなるにしたがって密度の高い森林となっている。
- ③ 調査対象地域はほとんどが山地で、山麓から徐々に農耕地が広がっている。

(6) PATH 9-ROW 57 1987.12.24

- ① カウカ川に沿って大規模な耕作地帯が広がっている。
- ② 耕作地の分布は、1976年のシーンと大差はないが、個々の形状は著しく変化している。
- ③ 山地は森林に覆われている。
- ④ 調査対象地域内においては、山麓部を中心に耕作地に利用されている。

(7) PATH 9-ROW 58 1987.12.24

- ① 北部のカウカ川に沿った平野に農耕地、牧場・草地が分布している。
- ② その他の地域は大半が山地であり森林が分布している。
- ③ 1976年と比較しても大きな変化は見られず、山麓部に農耕地がわずかに広がっている程度である。
- ④ 調査対象地域は山地であり、森林がほとんどである。

(8) PATH 9-POW 59 1987.12.24

- ① シーン西側の河川沿いに農耕地、牧場・草地が分布している。
- ② 調査対象地域の山地は、ほとんど森林に覆われている。

3.4. 第1次土地被覆分類

リモートセンシングで用いられる画像判別の代表的な分類方法は、グラウンド・トゥース(画像データに対応する地上の対象物やその周辺環境を調査し、画像データと対象地物の関係を明らかにすること)によるトレーニング・エリア(教師)を用いた分類と、データの物理的性質の区分による分類とに分けられる。前者には最尤法分類(Maximum Likelihood Method)・ツリー型分類などがあり、後者には主成分分析・濃度分割(レベルスライス)などの方法があげられる。グラウンド・トゥースによって、トレーニング・エリアが得られる場合、土地被覆分類に最尤法が用いられることが多い。本調査においても、第1次土地被覆分類(画像判別)に最尤法を用いた。

最尤法を用いた分類の手順は次のとおりである。

- (1) フォールスカラー画像とグラウンド・トゥースによるトレーニング・エリアを用いて、判別基準(分類項目)を設定する。
- (2) 画像上でトレーニング・エリアを抽出し、統計量(平均・分散等)を計算する。
- (3) トレーニング・エリアを抽出した領域を対象として、判別基準(分類項目)ごとの判別効率を算出する。判別効率が妥当でない項目のトレーニング・エリアは再度抽出を行う。
- (4) 妥当な判別効率を得たトレーニング・エリアの統計値のみを用い、画像全体について分類処理を実行する。

第1次土地被覆分類は、前記したように現地調査前に実施するものであり、これまでの知見にもとづき、表-3.2.(前掲)に示すようなフォールスカラー画像上の色調を基準にしながら確実な土地被覆状況を確認しうる地点を選んで、これをトレーニング・エリアに用い、コンピュータにより自動判別した。

第1次土地被覆分類は、(1)森林、(2)草地、(3)農耕地、(4)水域、(5)雲、(6)雲の影の6項目に区分した。

4. 現地調査

第1年次調査で実施した国内準備作業にもとづき、現地調査を行った。現地調査には、国内準備作業で作成したフォールスカラー画像および第1次土地被覆分類画像を携行し、現地にて確認照合した。

現地調査は、画像判別基準作成調査と土地被覆分類調査に分けられる。

画像判別基準作成調査は、第2年次調査で実施する第2次土地被覆分類において用いる画像判別基準地点（トレーニング・エリアという）を設定し、その地点の土地利用、植生、土地条件、環境条件などを調べるものである。

一方、土地被覆分類調査は、準備作業で作成したフォールスカラー画像と第1次土地被覆分類画像を用い、現地にて色調表現や分類結果の妥当性について検討するものである。

4.1. 画像判別基準作成調査

画像判別基準作成調査では、トレーニング・エリアの設定、トレーニング・エリアの調査などを行った。

(1) トレーニング・エリアの設定

- ① 各観測点は、画像および地図上で明確に確認でき、かつ現地において、四圍展望可能な個所を選定した。
- ② トレーニング・エリアは、各観測点周辺において、代表的な地表の被覆面積が、最小5ha以上の広がりのあるものとした。
- ③ トレーニング・エリアの設定項目は、高原草地、天然林、人工林、牧場・草地、農用林および農耕地の6項目とした。
- ④ トレーニング・エリアを設定した観測点は、図-4.1.のように番号を付けて示した。その総計は37個所である。トレーニング・エリアは、表-4.1.に示すように総計60個所に及んだ。

(2) トレーニング・エリアの調査

設定したトレーニング・エリアについて、その位置や標高などの地理的な観測を行ったうえで、周辺の植生、森林、土地利用などを観察記録するとともに、現地写真の撮影

を行った。

(3) その他

第2次土地被覆分類の作業にあたっては、今回設定したトレーニング・エリアの土地被覆分類項目の他に、岩石地、崩壊地などの裸地、都市集落、河川・湖沼などの判別項目についても検討を加えることになる。ただし、これらについては、とくにトレーニング・エリアを設定せず、フォールスカラー画像上あるいは地図上にて、その位置を確認し、あわせて現地写真の撮影を行い、判読作業の資料とした。

トレーニング・エリアは、当初、スタディ・エリア内において4シーン×5項目×3箇所=60箇所を設定する予定であった。しかし、南部のカウカ州およびカリ市東方の山岳地帯などでは、調査が不可能な箇所もあった。さらに、自然環境条件と土地利用条件から、トレーニング・エリアは予定していた5項目より多い6項目の判別基準が必要とされると判断したため、当初予定していた地域区分による選定方針を変更し、判別項目を主体として選定した。

その結果、トレーニング・エリアの選定は森林管理計画作成の対象地域であるインテンシブ・エリアに重点を置き、このエリア内に31点、その他の地域に29点を設定したが、判別処理作業に必要な項目別箇所数は充足された(巻末資料参照)。

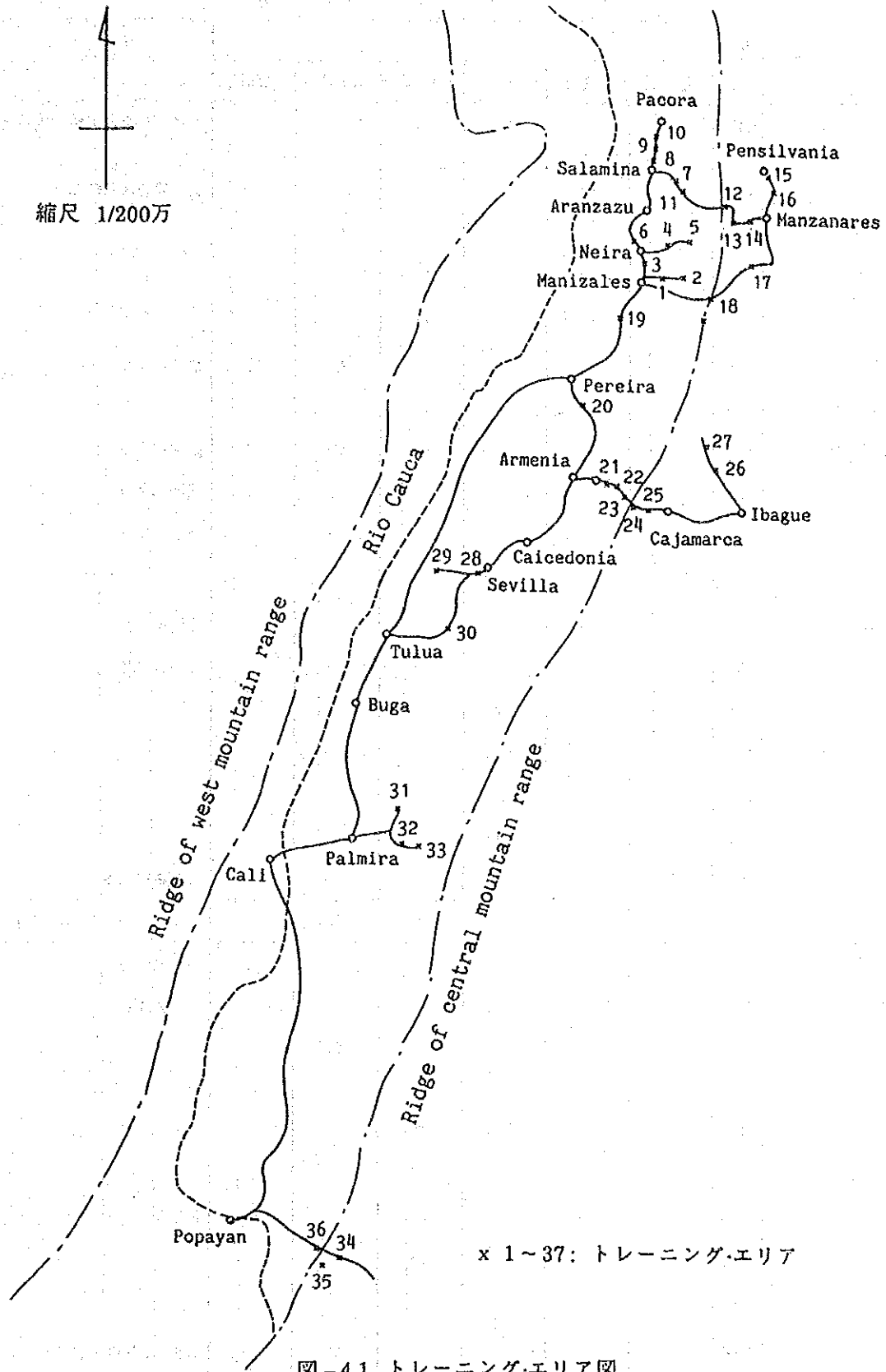


図-4.1. トレーニング・エリア図

表-4.1. トレーニング・エリア一覧表

(その1)

No.	観測位置	標高 m						備考	
			高原草地	天然林	人工林	牧場・草地	農用林		農耕地
1	マニサレス 水源林	2400			○	○			サイプレス人工林, 牧場一部農作 (ポテト)
2	"	2600		○					林道終点より約200m
3	ネイラ	2000				○	○		
4	ネイラ	2400		○		○			
5	探石場 ラ・クリスタリナ	2600		○		○			
6	リオ・タピアス	1570					○	○	農地パネラ
7	サラミナ南方	2280				○			
8	サラミナ北方	1400				○	○	○	農地パネラ
9	"	1230					○	○	農地パネラ
10	"	2180			○	○	○		マツ人工林
11	サラミナ~ サンフェリックス	2400				○			
12	エルパラモ東方	3040		○		○			高地ヤシあり
13	マルランダ	2820		○		○			マツ人工林
14	ベンサナレス	2350			○				
15	ペンシルバニア	1800			○				
16	ラ・リオハ	1560			○				
17	ラ・バルマ	2060			○				
18	レトラス	3640	○	○					天然林に低木
小計			1	6	6	10	5	3	インテンシブのエリア内 計31
19	チンチナ	1420						○	コーヒー畑
20	ベレイラ	1650			○				マツ人工林
21	"	2000					○		
22	アルメニア	2100			○				マツ, ユーカリ
23	"	2500			○	○			
24	ラ・リネア	2700		○					
25	"	3200		○		○			高地ヤシあり
26	フンタス	2100		○		○			
27	PARQUE NACIONAL.	2600		○		○			
28	バルセロナ	1300					○	○	ユカ, サトウキビ
29		1200				○			
30	セイラン	1050				○			
31	ラ・キスキナ						○	○	サトウキビ

表-4.1. トレーニング・エリア一覧表

(その2)

No.	観測位置	標高 m						備考	
			高原草地	天然林	人工林	牧場・草地	農用林		農耕地
32	ラ・キスキナ	1600			○				マツ, サイプレス, ユーカリ
33	"	1450			○	○	○		
34	プラセ	3000		○					
35	PARQUE NACIONAL	3300	○	○					
36	"	3350	○	○					
37	(NEVADO DEL RUIS)	4050	○						
小計			3	7	5	7	4	3	
合計			4	13	11	17	9	6	合計60

4.2. 土地被覆分類調査

土地被覆分類調査は、フォールスカラー画像、第1次土地被覆分類画像を現地に携行し、各観測地点において、色調や分類結果について、その妥当性を検討したものである。現地調査では、とくに各観測点において、土地利用、植生、林況などの実態に重点を置いて調査した。さらに、各観測点間の通過途上においても、周辺の状態を観測、記録し、第2次土地被覆分類を進めるうえでの基本的条件や環境を調査した。

これらの調査の結果、調査対象地域における土地被覆状況、土地利用状況は、とくに標高と著しく関連性を有するものであることが判明した。図-4.2.には、設定した判別項目別トレーニング・エリアと標高との関係図を示す。

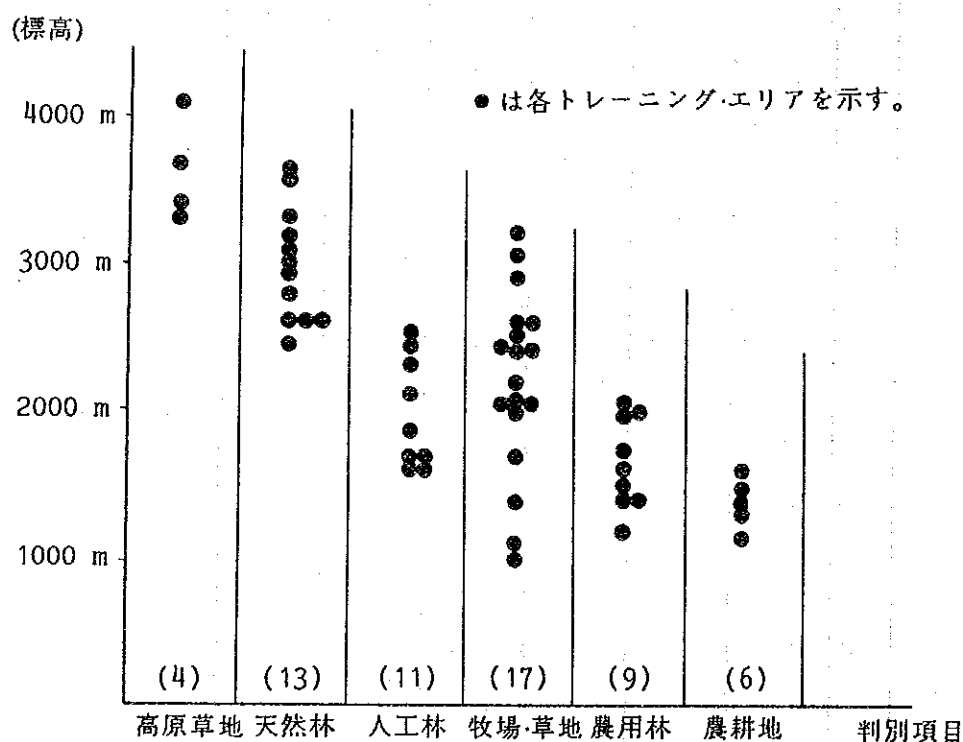


図-4.2. 判別項目と標高との関係図 () 内は判別個所数

この図から、次のような傾向が分かる。

農耕地は、標高1,000~1,200mの平坦地に多く、サトウキビ畑を主体としている。南部では、水田がみられる。

1,200~2,000mの山麓傾斜地は農用林が多く、主として被陰樹、竹、バナナを上木と

し、下にゴーヒーを栽培し、さらにサトウキビ、パネラの栽培もみられる。

森林のうち人工林は、1,500~2,800mに造成されており、一方、天然林は低地では谷沿いや山頂部に残存しているのみで、ほとんどは2,500m以上の高地にみられる。

牧草地は、1,000~3,600mの広い範囲に分布している。

自然高原の草地は、3000m以上の高地にみられる。

これらのことによつて、標高と地形により、その地域に出現する土地利用、植生種、主要作物種などがある程度推定することは可能である。

4.3. 画像判別上の検討事項

フォールスカラー画像上の色調は、天然林と人工林が濃赤色で示されているため、淡紅色または黄色の牧草地との判別は容易である。しかし、農用林と、低木が混生する二次林的森林については、きわめて類似した色調を示しているため、判別は不可能である。ただし、調査対象地域においては、後者の占める割合は少ないため、区別する必要性はほとんどないものと思われる。

山腹崩壊は、おおむね3ha以上のものについては判別可能と思われるが、色調が都市や集落と類似しているため、第2次土地被覆分類にあたっては、反射スペクトルの相異を検討したうえで抽出していく必要がある。

一方、低地の耕作地帯には、多くの火入れ畑(トウモロコシ、大豆など)が混在しているが、ほとんどの区画が方形であり、類似した色調を示す湿地などと混同することはないものと判断される。

なお、第1次土地被覆分類画像においては、天然林、人工林、農用林が森林として一括されている。そして農耕地と牧場との差も明瞭ではなかった。そのうえ、地形や斜面方位による陰影が消去されているため、現地での位置の確認、地物との照合は困難であった。実施第2年次の第2次土地被覆分類や画像判読では、これらの検討事項をふまえて調査を進めた。

5. 国内解析作業

5.1. 概要

国内解析作業は、第2次土地被覆分類、およびLANDSAT解析図の作成に分けられる。主な調査内容を次に示す。

(1) 第2次土地被覆分類

国内解析作業で実施した第1次土地被覆分類結果と現地調査結果の分析結果を用いて第2次土地被覆分類の解析および分析を行った。

(2) LANDSAT解析図の作成

(1)の結果をふまえて、次のLANDSAT解析図を作成した。

- a. 土地利用分類画像
- b. 植生分類画像
- c. 土地利用・植生経年変化画像

作成した画像の縮尺は、それぞれ1/25万である。

5.2. 第2次土地被覆分類

5.2.1. 判別項目

第2次土地被覆分類は現地調査結果をふまえて、表-5.1.に示す8つの判別項目を設定し、第1次土地被覆分類と同様に最尤法を用いて分類した。分類は、調査対象地域を含む広域を対象に実施した。巻末資料5.に、第2次土地被覆分類画像を示す。

5.2.2. 判別効率

画像判別を実施するには、デジタル画像解析システムのディスプレイ上に、フォールスカ

表-5.1. 第2次土地被覆分類判別項目

判別項目	画像上の特徴
草原	桃色あるいは紫色を呈しており、牧場との判別は難しい。
天然林	濃い赤色を呈している。
人工林	明るい赤色あるいは朱色を呈している。農用林との判定は難しい。
牧場	桃色あるいは紫色を呈しており、草原との判別は難しい。
農用林	明るい赤色あるいは朱色を呈しており、人工林との判別は難しい。
農耕地	緑色あるいは深緑色を呈している。
雲	白色あるいは淡い青色を呈している。
雲の陰部分	黒色を呈している。

ラー画像を表示し、上記の判別項目毎にトレーニング・エリアをとる必要がある。ここでは、表-5.1.に示すような画像上の特徴をもつ領域を抽出した。それらの領域のトレーニング・エリアとしての妥当性を検討するため、判別項目別の統計量を計算し判別効率を求めた。その結果を表-5.2.に示す。

表-5.2. トレーニングエリアにおける基準画素数と判別効率

(クロス表は%)

シーン	分類項目	草原	天然林	人工林	牧場	農用林	農耕地	雲	雲の影
ROW 56, 57 (1970年代)	草原	87.1			10.3		2.9		
	天然林		100.0	18.6		16.9			4.0
ROW 56, 57 (1970年代)	人工林			81.4					
	牧場	12.9			89.7				
	農用林					83.1			
	農耕地						97.1		
	雲							100.0	
	雲の影								96.0
	画素数	54	64	62	52	35	58	131	62
ROW 58, 59 (1970年代)	草原	100.0							
	天然林		97.4	5.8		1.4			
	人工林		2.6	94.2					
	牧場				100.0				
	農用林					98.6			
	農耕地						100.0		
	雲							100.0	
雲の影								100.0	
画素数	51	149	114	46	68	60	192	71	
ROW 56, 57 (1980年代)	草原	85.7					15.0		
	天然林		94.7	17.8					
	人工林		5.3	82.2					
	牧場	14.3			100.0		4.7		
	農用林					100.0			
	農耕地						80.3		
	雲							100.0	
雲の影								100.0	
画素数	102	54	28	25	59	53	121	62	
ROW 58, 59 (1980年代)	草原	99.0			3.6				
	天然林		88.1	18.2		5.9			
	人工林		11.9	74.6					
	牧場	1.0			96.4				
	農用林			7.2		94.1			
	農耕地						100.0		
	雲							100.0	
雲の影								100.0	
画素数	195	74	44	54	32	60	117	148	

注) 判別効率は、トレーニング・エリアに含まれる画素のみを対象として計算したものであり、全画素が上表の効率で分類されるものではない。

5.3. 画像判読

土地利用分類画像を作成するには、前記の自動判別による第2次土地被覆分類結果だけでは不十分な面がある。すなわち、「4. 現地調査」の章で記述したように、フォールスカラー画像上で、天然林と人工林は濃赤色で示され、牧場・草地とは明らかに判別できるが、天然林と人工林をスペクトルデータのみによるコンピュータの画像処理で自動判別するには十分でない。牧場と草地（高原草地を含む）は、画像上での差が明瞭でない。

さらに、山腹崩壊のような裸地もおおむね3ha以上のものについては、フォールスカラー画像上で目視判読できても、画像判別では、市街地とスペクトル上で同一項目に誤判別されている可能性がある。

そこで、前記した第2次土地被覆分類結果をもとに画像判読を加え、コンピュータによる自動判別の誤差を取り除き、土地利用分類画像を作成した。画像判読は、フォールスカラー画像上で判読していくばかりでなく、色調が不明瞭な個所については、カラーディスプレイ上で色調を強調することによって、より詳細な判読ができるように努めた。その一例を図-5.1.に示す。

画像判読の項目は、第2次土地被覆分類項目を勘案し、(1)農耕地、(2)農用林、(3)森林(人工林)、(4)森林(天然林)、(5)牧場・草地、(6)高原草地、(7)裸地・荒地、(8)都市・市街地、(9)雪氷原の9カテゴリーに区分した。

表-5.3.には、フォールスカラー画像上の色調と特徴を示す。

表-5.3. 画像判読基準と色調

区 分	色 調	特 徴
農 耕 地	淡 赤 色	なめらかな形状で、水田は、水色のモザイク状を示す。
農 用 林	赤 色 ~ 濃 赤 色	緩斜面上のきめ細い模様を示す。
森林(人工林)	赤褐色~明赤色	山地斜面のややきめのあらい模様。
森林(天然林)	赤褐色~暗赤色	山地斜面のきめのあらい模様。
牧 場 ・ 草 地	朱 色	なめらかな形状を示す。
高 原 草 地	緑 ~ 淡 褐 色	山地尾根部にみられる不規則な形状。
裸 地 ・ 荒 地	淡 緑 ~ 淡 黄 色	斜面上の小さな点状あるいは線状模様。
都 市 ・ 市 街 地	水 色	不規則な形状を示す。
雪 氷 原	白 色 ~ 水 色	山頂および尾根部にみられる。



図-5.1. 画像判読例 (マニサレス周辺)

- (1.農耕地, 2.農用林, 3.人工林, 4.天然林,
5.高原草地, 6.牧場・草地, 7.裸地・荒地, 8.市街地)

5.4. LANDSAT解析図の作成

第2次土地被覆分類および画像判読結果を用いて、LANDSAT解析図を作成した。

(1) 土地利用分類画像

土地利用分類画像の判別項目は、森林、高原草地、牧場・草地、農用林、農耕地、都市・市街地、裸地・荒地、雪氷原の8項目である。画像の縮尺は1/25万で、あわせて主要水系、主要道路、主要都市を表示した。なお、1970年代、80年代の2時期分の土地利用分類画像を作成した。

表-5.4. に土地利用分類項目を示す。

表-5.4. 土地利用分類項目

区 分	特 徴
森 林	天然林，人工林をまとめて森林とする。
高 原 草 地	高山の尾根部に分布する草地をさす。
牧 場 ・ 草 地	山地の斜面に一面に分布する牧草地。
農 用 林	被陰樹，竹などの上木とともに，コーヒー，サトウキビなどの下木がある。
農 耕 地	平坦地の農耕地をさす。
都 市 ・ 市 街 地	マニサレスなどの市街域。
裸 地 ・ 荒 地	大規模崩壊地や荒廢地。
雪 氷 原	雪氷に覆われる地域。

(2) 植生分類画像

植生分類画像は，土地利用分類画像に対し，植生に関する項目のみ抽出するとともに，森林を人工林と天然林に区分したものである。植生分類の判別項目は，森林（天然林），森林（人工林），高原草地，牧場・草地，その他の5項目に区分した。

画像作成の方法は，土地利用分類画像と同様である。植生分類画像についても，縮尺1/25万にて，1970年代，80年代の2時期分を作成した。

表-5.5. には，植生分類項目を示す。

表-5.5. 植生分類項目

区 分	特 徴 お よ び 内 容
天 然 林	天然にみられる樹林。
人 工 林	人工植栽による樹林。
高 原 草 地	高山の尾根部に分布する自然草地をさす。
牧 場 ・ 草 地	山地の斜面に一面に分布する牧草地。
そ の 他	上記以外の項目。

(3) 土地利用・植生経年変化画像

2 時期のLANDSATデータをオーバーレイすることによって、土地利用・植生の変化状況が把握できる。ここでは、1970年代と1980年代の約10年間にわたる土地利用および植生の変化を把握し、縮尺1/25万の土地利用・植生経年変化画像を作成した。

6. 調査結果

前項までに作成した土地利用分類画像，植生分類画像，土地利用・植生経年変化画像とそれぞれの面積集計結果をもとに地域特性を把握した。

6.1. 概要

本調査では，中央保存林地域のスタディ・エリア160万haの境界周辺地域を含めたため，約190万haを調査対象地域として分析を進めた。調査対象地域には，10の州が含まれており，さまざまな地域特性を有している。

ここでは，土地利用状況，植生の状況，土地利用・植生経年変化状況を分析した。分析にあたっては，調査地域全体および州別の状況をまとめた。

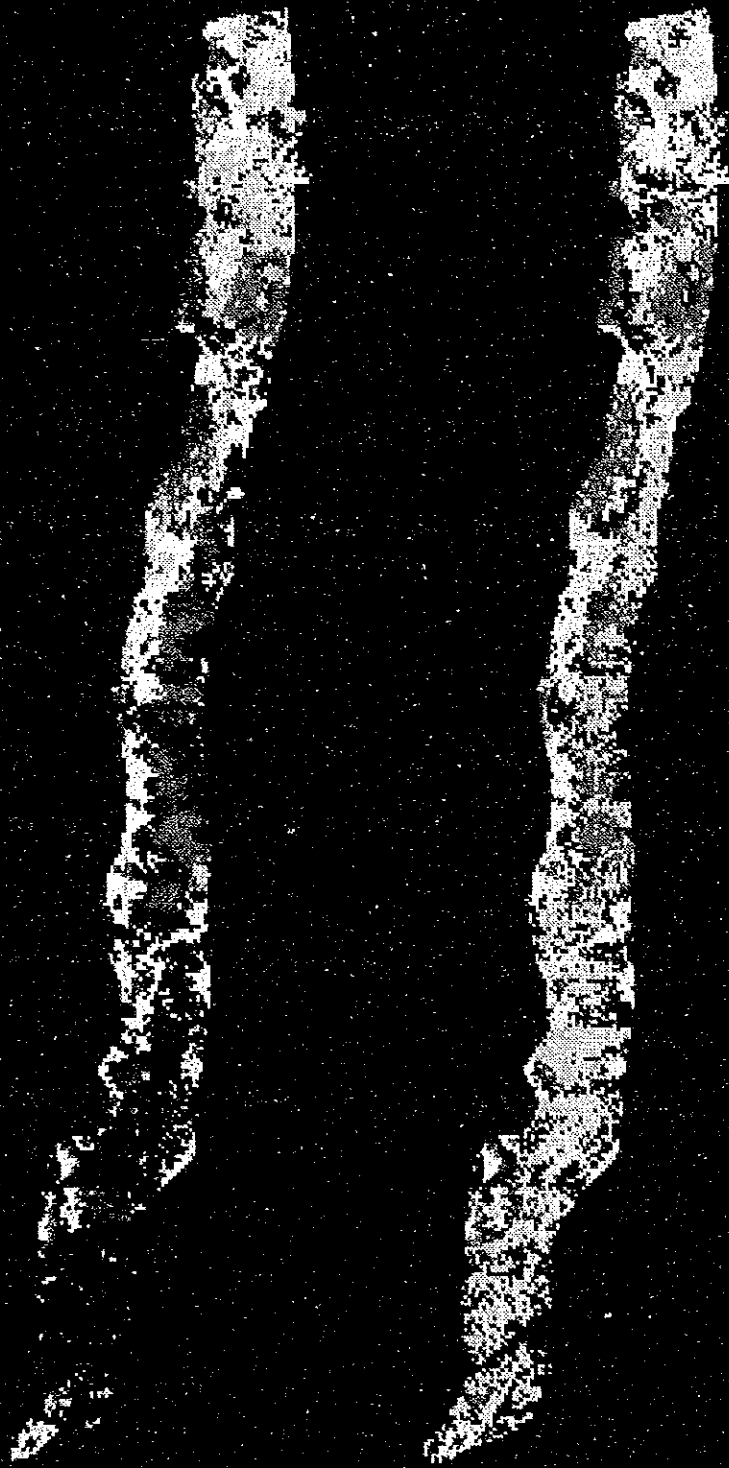
6.2. 土地利用状況

5.で作成した土地利用分類画像にもとづいて，調査対象地域における土地利用状況を把握し，調査地域全体および州別の状況をとりまとめた。

土地利用の分類項目は，5.で述べたように，森林，高原草地，牧場・草地，農用林，農耕地，都市・市街地，裸地・荒地，雪氷原の8項目である。

州別の土地利用状況を把握するため，各項目の面積を集計した。表-6.1. および表-6.2. には，1970年代，1980年代の各時期別の土地利用面積一覧表を示す。また，図-6.1. および図-6.2. には州別の土地利用面積の比較図を示す。さらに，画像-1. に時期別の土地利用画像を示す。

以下に，土地利用の全体的な状況と州別の状況を記す。



- FOREST
- PLATEAU
- GRASSLAND
- GRAZING/GRASS LAND
- AGRICULTURAL FOREST
- FARM LAND
- CITY/TOWN
- BARE/WASTE LAND
- SNOW/ICE FIELD
- CLOUD

(1) 1970's

(2) 1980's

Image 1 Land use classification map

表-6.1. 州別土地利用分類面積一覽表 (1970年代)

上段：面積(ha)

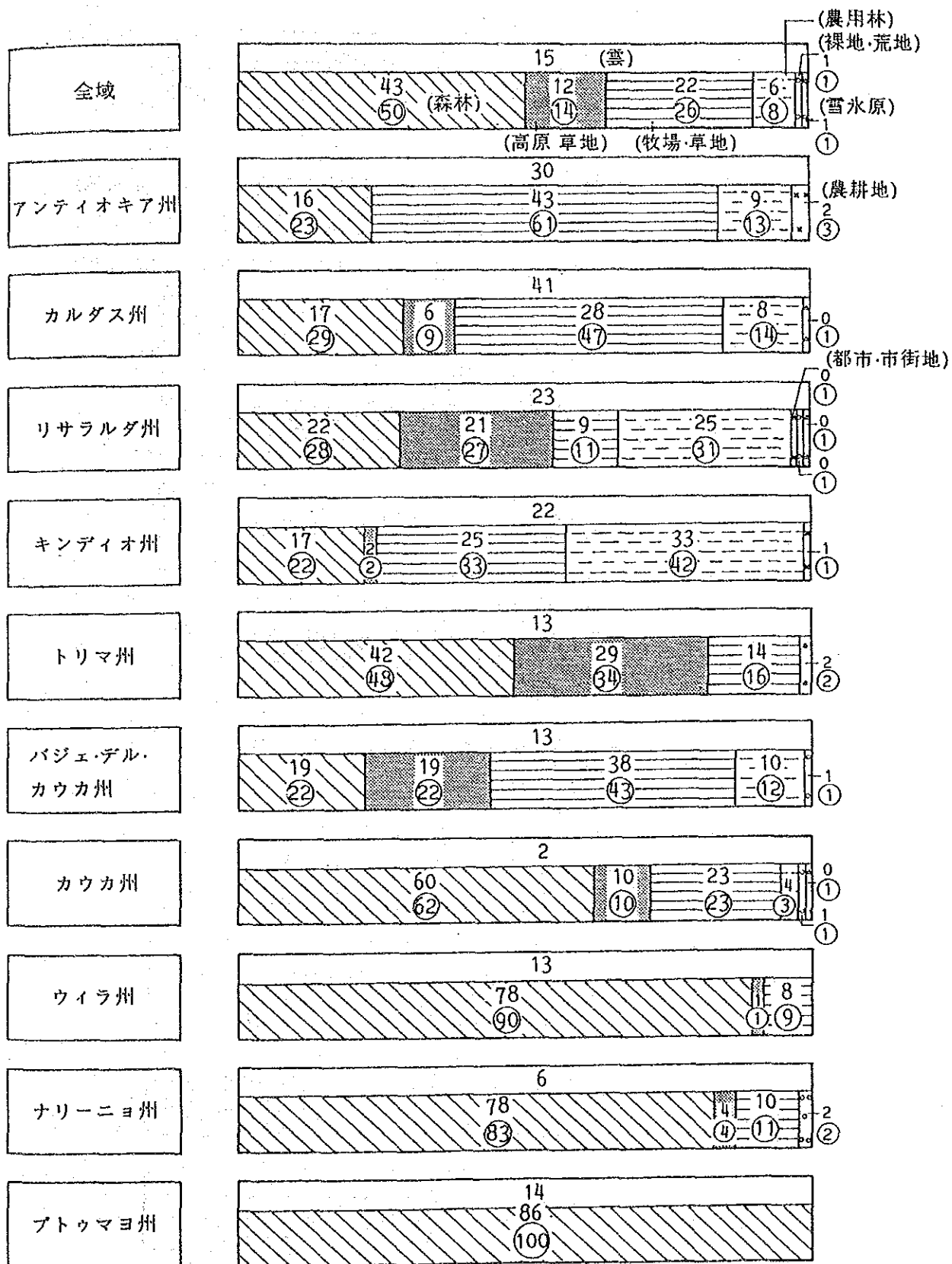
下段：割合(%)

項目	アンティオキア		カルダス		リサラルダ		キンディオ		トリマ		バジェデル カウカ		カウカ		ウイラ		ナリーニヨ		プトウマヨ		合 計		
	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	
森	14,900	16	42,000	17	14,800	22	20,800	17	127,200	42	40,500	19	360,100	62	103,900	78	96,100	83	13,000	86	833,300	43	50
高原草地	0	0	13,900	6	14,200	21	2,000	2	89,000	29	41,000	19	59,500	10	900	1	5,000	4	0	0	225,500	12	14
牧場・草地	38,900	43	68,300	28	5,800	9	30,800	25	42,700	14	81,000	38	137,000	23	10,800	8	13,100	10	0	0	428,400	22	26
農用林	8,100	9	20,200	8	16,700	25	38,400	33	0	0	22,500	10	20,400	4	0	0	0	0	0	0	127,300	6	8
農耕地	1,600	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,600	0	0
都市・市街地	0	0	600	0	400	0	1,100	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,100	0	0
裸地・荒地	0	0	0	0	300	0	200	0	0	0	1,900	1	5,900	1	0	0	2,600	2	0	0	10,900	1	1
雪氷原	0	0	1,400	0	300	0	300	0	5,500	2	0	0	3,400	0	0	0	0	0	0	0	10,900	1	1
雲を除く	63,500	70	146,400	59	52,500	77	94,600	78	264,400	87	186,900	87	586,300	98	115,600	87	116,800	94	13,000	86	1,640,000	85	100
解析対象範囲	28,700	30	102,000	41	14,900	23	26,100	22	38,500	13	29,200	13	13,500	2	17,200	6	7,000	6	2,200	14	278,300	15	15
合 計	91,200	100	248,400	100	67,400	100	120,700	100	302,900	100	216,100	100	599,800	100	132,800	100	123,800	100	15,200	100	1,918,300	100	(100)

表-6.2. 州別土地利用分類面積一覽表 (1980年代)

上段：面積(ha)
下段：割合(%)

項目	州	アンティオキア		カルダス		リサラルダ		キンディオ		トリマ		バジエデル カウカ		カウカ		ウイラ		ナリーニヨ		プトゥマヨ		合計	
		面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合
森林		12,800		56,400		15,200		22,600		72,800		38,300		191,900		48,600		45,700		9,600		514,000	
		14	21	23	28	23	29	19	22	24	44	18	21	32	53	37	83	37	73	63	100	27	40
高原草地		0		15,500		12,700		2,200		61,900		28,600		37,200		200		4,100		0		162,400	
		0	0	6	8	19	24	2	2	20	36	13	15	6	10	0	0	3	6	0	0	8	13
牧場・草地		38,400		97,300		6,900		37,200		27,600		92,000		109,400		9,900		11,300		0		430,000	
		42	63	39	47	10	13	31	37	9	16	43	49	18	30	7	17	9	18	0	0	22	34
農用林		7,700		30,300		15,700		38,500		0		25,300		16,500		0		100		0		134,100	
		8	13	12	15	23	29	32	38	0	0	12	14	3	5	0	0	0	0	0	0	7	11
農耕地		1,600		200		0		0		0		0		0		0		0		0		1,800	
		2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
都市・市街地		0		2,100		1,900		600		0		0		0		0		0		0		4,600	
		0	0	1	1	3	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
裸地・荒地		0		100		400		200		0		2,100		4,000		0		2,200		0		9,000	
		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	2	3	0	0	0	1
雪水原		0		2,000		200		200		7,500		0		3,400		0		0		0		13,300	
		0	0	1	1	0	0	0	0	2	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
雲を除く 解析対象範囲		60,600		203,900		53,000		101,500		169,800		186,300		362,400		58,700		63,400		9,600		1,269,200	
		66	100	82	100	79	100	84	100	55	100	87	100	60	100	44	100	51	100	63	100	65	100
雲		30,600		44,500		14,400		19,200		133,100		29,800		237,400		74,100		60,400		5,600		649,100	
		34		18		21		16		45		13		40		56		49		37		35	
合計		91,200		248,400		67,400		120,700		302,900		216,100		599,800		132,800		123,800		15,200		1,918,300	
		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100	



15 → 雲の面積比を表示
 14 6 3 10 → 雲を除き、土地利用地目を100%を最大とする比率で表示
 20 10 5 15 ○なし数字:調査

図-6.1. 州別土地利用面積比較図(1970年代)

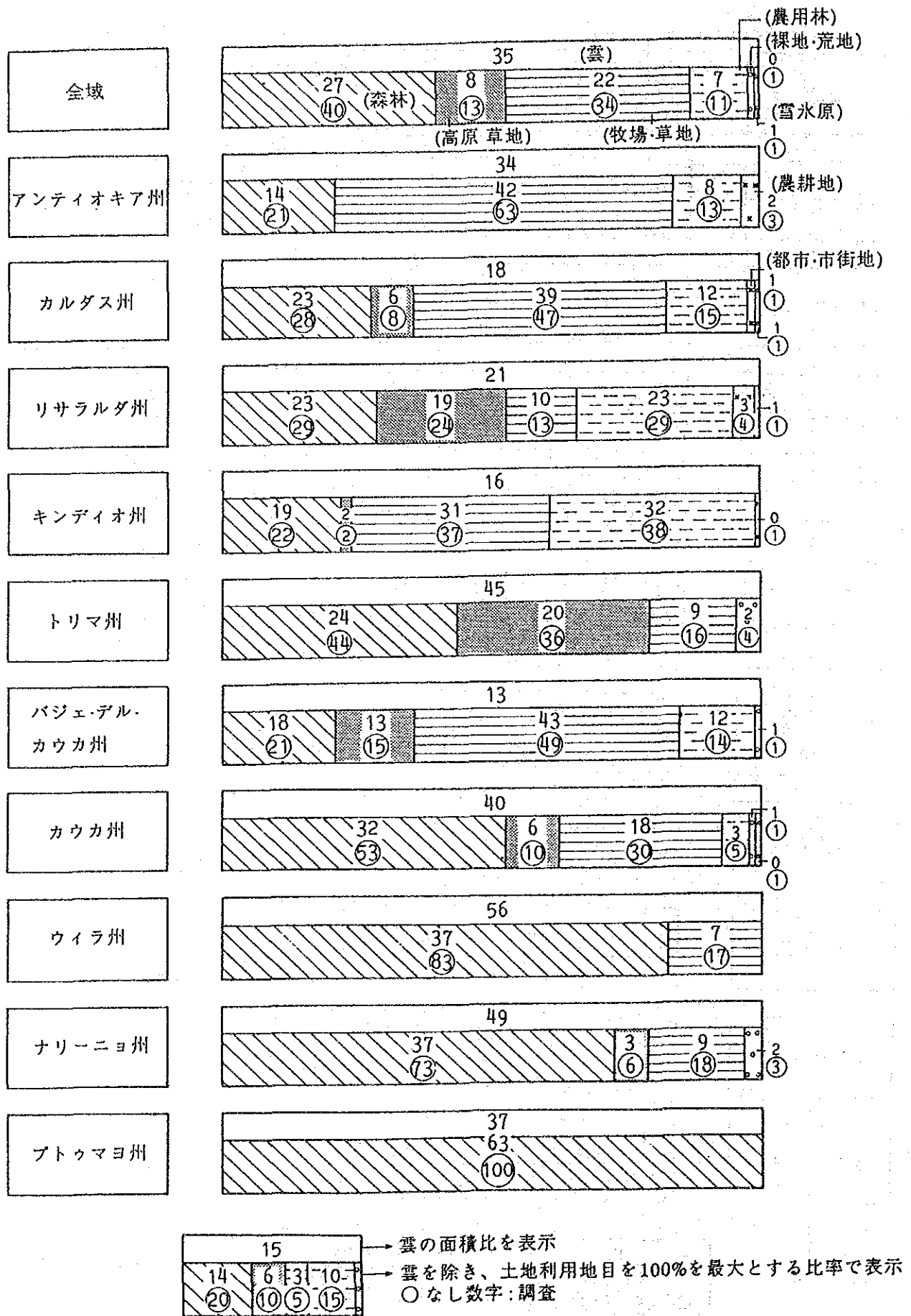


図-6.2. 州別土地利用面積比較図(1980年代)

(1) 全体的な状況

1970年代、1980年代を通じて、土地利用状況を全体的にまとめると、以下のとおりである。

① 調査対象地域1,918,300haのうち、土地利用状況を把握できたのは、1970年代1,640,000ha（調査対象地域から雲の占める面積278,300haを差し引いた値）、1980年代1,269,200ha（同様に649,100haを差し引いた値）である。そこで、これらの範囲を解析対象範囲と呼ぶことにする。

② 森林は、1970年代833,300ha、1980年代514,000haが把握できた。これらは、それぞれ調査対象地域の43%および27%に相当する。さらに、それぞれ解析対象範囲の50%および40%に相当し、森林がやや減少している。

森林は、調査対象地域のうち、北部より南部の方が多い。そして、中央山脈の西側斜面よりも東側斜面に多い。

③ 高原草地は、1970年代225,500ha、1980年代162,400haが把握できた。これらは、それぞれ調査対象地域の12%および8%に相当する。それぞれ解析対象範囲の14%および13%に相当し、2時期ともほぼ同程度であった。

高原草地は、中央部の尾根周辺にみられ、ネバド・デル・ルイス火山をはじめ、標高3,500mを越える地域に分布している。

④ 牧場・草地は、1970年代428,400ha、1980年代430,000haが把握できた。これらは、それぞれ調査対象地域の22%に相当する。しかし、解析対象範囲に対して、それぞれ26%および34%に相当することから、牧場・草地は増加している。

牧場・草地は、調査対象地域のうち、北部において山麓から山頂近くまでかなり広く分布している。南部では、山麓付近に比較的多く分布している。

⑤ 農用林は、1970年代127,300ha、1980年代134,100haが把握できた。それぞれ調査対象地域の6%および7%に相当し、ほぼ同程度である。解析対象範囲に対する割合は、1970年代8%、1980年代11%で、農用林がやや増加しているといえよう。

農用林は、アンデス中央山脈の西側斜面に多く分布しており、リサルダ州、キンディオ州でとくに多くみられる。

⑥ 農耕地は、1970年代1,600ha、1980年代1,800haが把握できた。調査対象地域およ

び解析対象範囲に対し、その割合は0%できわめて小規模であることが分かる。

なお、農耕地はアンティオキア州にのみ分布している。

⑦ 都市・市街地は、1970年代2,100ha、1980年代4,600haが把握できた。なお、調査対象地域および解析対象範囲に対し、その割合は0%である。しかし、1970年代に対し、1980年代には、わずかながら増加しているといえよう。都市・市街地は、調査対象地域の北部にあり、マニサレス、ペレイラ、アルメニアなどがこれに相当する。

⑧ 裸地・荒地は、1970年代10,900ha、1980年代9,000haであり、ほぼ同程度である。裸地・荒地は、リサルルダ州、バジェ・デル・カウカ州、カウカ州、ナリーニヨ州のごく一部にみられる。これらは、調査対象地域および解析対象範囲の1%に相当している。

⑨ 雪氷原は、1970年代10,900ha、1980年代13,300haが把握できた。ともに、調査対象地域および解析対象範囲の1%に相当している。これらは、カルダス州、トリマ州の高山域の周辺にみられる。

以下に、土地利用状況を州別に示す。

(2) 州の状況

1) アンティオキア州

① 調査対象地域は州の南端部の山岳地であるが、標高が比較的低い（最高3,000m程度）ために牧場・草地が大部分を占め、森林の比率は比較的低い。コーヒー、バナナなどの農作物生産が盛んな州であるが、調査対象地域内では一部にみられる程度である。

② アンティオキア州の雲の部分を除いた解析対象範囲は、1970年代63,500ha、1980年代60,600haであり、それぞれ調査対象面積91,200haの70%および66%である。

③ 森林は、1970年代14,900ha、1980年代12,900haであった。これらは、それぞれ、調査対象地域の16%（解析対象範囲の23%）、14%（同21%）に相当し、わずかながら森林が減少していることを示している。

④ この州の森林は、山脈の西側斜面の尾根部近くにやや広く分布しており、一方東側斜面にも尾根部付近にわずかに分布している。

⑥ 牧場・草地は、1970年代38,900ha、1980年代38,400ha把握することができた。これらは、それぞれ調査対象地域の43%（解析対象範囲の61%）、42%（同63%）に相当し、解析対象範囲に対する割合に注目するとわずかに増加傾向にある。

山脈の東側斜面においては、牧場・草地は卓越しており、西側斜面では、中腹を中心として、森林、農用林と3分している状況である。

⑥ 農用林は、1970年代8,100ha、1980年代7,700haであった。それぞれ調査対象地域に対し、9%（解析対象範囲の13%）、8%（同13%）に相当し、ほとんど変化がみられない。ここでの農用林は、山脈の西側、山麓を中心に分布している。

⑦ その他、農耕地が1970年代、1980年代とも1,600ha把握することができた。これは調査対象地域の2%（解析対象範囲の3%）に相当している。農耕地は、山麓の川沿いにみられる。

2) カルダス州

① 調査対象地域は山脈の主稜を含み、高地から低地までさまざまな気候条件の地域を含んでいることから、土地利用の分布が複雑に入り組んでいる。

② カルダス州の解析対象範囲は、1970年代146,400ha、1980年代203,900haであり、調査対象地域248,400haのそれぞれ59%、82%に相当する。

③ 森林は1970年代42,000ha、1980年代56,400haであった。これは、調査対象範囲の17%、23%にあたる。しかし、解析対象範囲に対する割合では、それぞれ29%、28%に相当し、ごくわずかに減少していることになる。

森林の分布状況を見ると、中央山脈の尾根部を中心に森林がまばらにみられるほかは、北東部のペンシルバニア周辺および北西部のアグアダスからサラミナにかけての地域に広い森林地域がみられる。

④ 高原草地は、1970年代13,900ha（調査対象地域の6%）、1980年代15,500ha（同6%）であった。これは、それぞれ解析対象範囲の9%および8%に相当し、ほとんど変化はみられない。なお、高原草地は、山脈の尾根部に分布している。

⑤ 牧場・草地は、1970年代68,300ha（調査対象地域の28%）、1980年代97,300ha（同39%）であった。これは、いずれも解析対象範囲の47%を占め、ほとんど変化

がなかったことを示している。なお、牧場・草地は、まばらにみられる森林と山麓部の農用林を除いて、尾根付近まで全体的に分布している。

- ⑥ 農用林は、1970年代20,200ha（調査対象地域の8%）、1980年代30,300ha（同12%）であった。これは、それぞれ解析対象範囲の14%、15%に相当し、わずかに増加しているといえよう。農用林は、山脈の西側斜面の山麓部を中心に分布している。

3) リサルダ州

- ① リサルダ州は人口密度が高く、コーヒーやサトウキビなどの生産が盛んである。調査対象地域も州都ペレイラを背後に控え、農用林がかなり広く分布する。そして、標高1,500m～5,000mまでさまざまな条件の地域が均等にみられ、主要な土地利用項目の面積も比較的均等である。

- ② リサルダ州の解析対象範囲は、1970年代52,500ha、1980年代53,000haであり、調査対象面積67,400haに対し、それぞれ77%および79%に相当する。

- ③ 森林は、1970年代14,800ha、1980年代15,200haであった。これは調査対象地域のそれぞれ22%、23%にあたり、解析対象範囲に対し、28%、29%に相当する。したがって、森林はごくわずかに減少したといえよう。なお、森林の分布は、中央山脈の西側斜面の中腹にみられる。

- ④ 高原草地は、1970年代14,200ha、1980年代12,700haであった。これは調査対象地域のそれぞれ21%、19%にあたる。解析対象範囲に対し、それぞれ27%、24%に相当することから、高原草地がわずかに減少している。高原草地は、山頂の周辺に分布している。

- ⑤ 牧場・草地は、1970年代5,800ha、1980年代6,900haであった。これはそれぞれ調査対象地域の9%、10%にあたり、そして解析対象範囲の11%、13%に相当する。したがって、牧場・草地はわずかに増えたことになる。牧場・草地は、中央山脈西部の中腹から山麓にかけて分布している。

- ⑥ 農用林は、1970年代16,700ha、1980年代15,700haであった。これは、それぞれ調査対象地域の25%、23%に相当する。解析対象範囲に対しては、それぞれ31%、29%にあたり、農用林はわずかに減少していることを示している。農用林は、山脈

西側の山麓に分布している。

⑦ その他、都市・市街地、裸地・荒地、雪氷原がわずかにみられる。

4) キンディオ州

① キンディオ州は面積が小さく、人口密度が10州のうち、最大であることから、コーヒーを中心として農産物の生産が盛んである。調査対象地域も州都アルメニアを含んでいることにより、牧場・草地、農用林が大部分を占める。このため、森林の比率は比較的低い。標高がやや低い(1,500~3,500m)ことから、高原草地もほとんど分布していない。

② キンディオ州の解析対象範囲は、1970年代94,600ha、1980年代101,500haであり、調査対象面積120,700haのそれぞれ78%、84%に相当する。

③ 森林は、1970年代20,800ha、1980年代22,600haであり、調査対象地域のそれぞれ17%および19%に相当する。なお、これは解析対象範囲に対し、どちらも22%にあたり、森林に変化がなかったことを示す。森林は、中央山脈の西側斜面の中腹に多く分布している。

④ 高原草地は、1970年代2,000ha(調査対象地域の2%)、1980年代2,200ha(同2%)であった。解析対象範囲に対する割合も同じく2%である。標高3,000m以上の尾根部にわずかに分布する。

⑤ 牧場・草地は、1970年代30,800ha(調査対象地域の25%)、1980年代37,200ha(同31%)であった。解析対象範囲に対する割合は33%、37%で、わずかに増加した傾向がみられる。標高2,000m~3,000mの山地斜面上に広くまとまって分布している。

⑥ 農用林は、1970年代39,400ha(調査対象地域の33%)、1980年代38,500ha(同32%)であった。解析対象範囲に対する割合は、それぞれ42%、38%であり、わずかに減少した傾向がみられる。調査対象地域で最も広い面積を占め、標高2,000m以下の低地部に広がっている。

⑦ 都市・市街地は、州都アルメニアがあり、それが1,100ha(1970年代)を占めているが、調査対象地域に対する割合は1%とわずかのものである。

⑧ 裸地・荒地，雪氷原はごくわずかな面積を占め，北端部の山岳高地に分布している。

5) トリマ州

① 調査対象地域はトリマ州の西端の高山地域にあり，農産物生産の中心である低地部を含んでいないために森林，高原草地在大部分を占めている。

② トリマ州の解析対象範囲は，1970年代264,400ha，1980年代169,800haに相当し，調査対象面積302,900haに対し，それぞれ87%，55%にあたる。

③ 森林は，1970年代127,200ha（調査対象地域の42%），1980年代72,800ha（同24%）であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ，48%，44%で，わずかに減少した傾向がみられる。調査対象地域のうち，最も広い面積を占め，山地の東側斜面の標高3,000m以下に広く分布している。

④ 高原草地在，1970年代89,000ha（調査対象地域の29%），1980年代61,900ha（同20%）であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ34%，36%であり，わずかに増加した傾向がみられる。調査対象範囲の中央部から南部の山岳部および北端のネバド・デル・ルイス山の3,000m以上の高地を一面に覆っている。

⑤ 牧場・草地在は，1970年代42,700ha（調査対象地域の14%），1980年代27,600ha（同9%）であった。解析対象範囲に対する割合は，いずれも16%であり，変化がなかったことを示している。調査対象地域の中中部から北部の低地部にまとまって分布している。

⑥ 雪氷原はネバド・デル・ルイス山の山頂を中心にかんがりの広がりを示し，調査対象地域の2%程度の面積を占めている。

⑦ 農用林，農耕地，都市・市街地，裸地・荒地は調査対象地域内にはみられない。

6) バジェ・デル・カウカ州

① バジェ・デル・カウカ州は人口密度が高く，サトウキビの生産が盛んであるが，調査対象地域が山地部に偏っているため，農耕地の面積は少ない。牧場・草地在，高原草地在などの草地在がかんがりの面積を占め，森林の比率は比較的低い。

- ② バジエ・デル・カウカ州の解析対象範囲は、1970年代186,900ha、1980年代186,300haで、どちらも調査対象地域216,100haの87%に相当する。
- ③ 森林は、1970年代40,500ha（調査対象地域の19%）、1980年代38,300ha（同18%）であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ22%、21%であり、ほとんど変化はみられない。調査対象地域東部の山地斜面にまばらに分布する。一方、南部の平地にまとまって分布している。
- ④ 高原草地は、1970年代41,000ha（調査対象地域の19%）、1980年代28,600ha（同13%）であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ22%、15%で、かなりの比率で減少した傾向が認められる。東部の山岳地帯高地部に集中している。
- ⑤ 牧場・草地は、1970年代81,000ha（調査対象地域の38%）、1980年代92,000ha（同43%）であり、調査対象地域のうち最も広い面積を占める。解析対象範囲に対する割合は、それぞれ43%、49%でかなり増加した傾向がみられる。調査対象地域西部の低地部のほぼ全面を覆って広く分布している。
- ⑥ 農用林は、1970年代22,500ha（調査対象地域の10%）、1980年代25,300ha（同12%）であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ12%、14%で、やや増加した傾向がみられる。調査対象地域の北端の低地部に集中して分布している。
- ⑦ 裸地・荒地は、牧場・草地内に点在するが、面積的にわずか（調査対象地域の1%）であり、とくに変化はみられない。
- ⑧ 農耕地、都市・市街地、雪氷原は調査対象地域内にはみられない。

7) カウカ州

- ① カウカ州は面積が大きく、人口密度が低いため、山地部の森林（とくに南部地域）が保存されている。調査対象範囲はこの山地部を中心としているため、森林、高原草地がかなりの範囲を占める。州都ポバヤンを控えた北部山地では、牧場・草地がほとんどで、調査対象地域内に占める面積も多い。
- ② カウカ州の解析対象範囲は、1970年代586,300ha、1980年代362,400haであり、調査対象地域599,800haに対し、それぞれ98%、60%に相当する。
- ③ 森林は、1970年代360,100ha（調査対象地域の60%）、1980年代191,900ha（同32%

%)で、調査対象地域のうちかなりの面積を占めている。

解析対象範囲に対する割合はそれぞれ62%、53%でかなりの比率で減少した傾向が認められる。調査対象地域の北部では、山脈の尾根沿いの標高3,500m以下の斜面上に他の土地利用と混在しながら分布する。南部では標高の低い(1,500~3,000m)山地を覆って一面に分布している。

- ④ 高原草地は、1970年代59,500ha(調査対象地域の10%)、1980年代37,200ha(同6%)であった。解析対象範囲に対する割合はどちらも10%であり、変化はみられない。調査対象地域北端のネバド・デル・トリマ山の山頂周辺や山脈の尾根沿いなど、標高3,500m以上の高地に散在している。
- ⑤ 牧場・草地は、1970年代137,000ha(調査対象地域の23%)、1980年代109,400ha(同18%)であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ23%、30%であり、かなりの増加傾向にあることが認められる。中央を南北に伸びる山脈の尾根に向かい、低地側から森林内に入り込むようにして分布している。
- ⑥ 農用林は、1970年代20,400ha(調査対象地域の4%)、1980年代16,500ha(同3%)であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ3%、5%であり、わずかに増加した傾向がみられる。調査地域南部の牧場・草地と森林の間を埋めるように分布している。
- ⑦ 裸地・荒地は、森林内に点在しているが、面積的には調査対象範囲の1%とごくわずかである。1970年代と1980年代の間で変化はとくにみられない。
- ⑧ 雪氷原はネバド・デル・トリマ山頂付近にわずかに分布している。
- ⑨ 農耕地、都市・市街地は調査対象地域内にはみられない。

8) ウィラ州

- ① ウィラ州はカウカ州同様、人口密度が低く、農産物の生産高も低い。調査対象地域が州の南西端の山岳高地部であることもあわせて、土地利用は森林と牧場・草地で占められており、大部分が森林である。
- ② ウィラ州の解析対象範囲は、1970年代115,600ha、1980年代58,700haであり、調査対象地域132,800haのうち、それぞれ87%、44%にあたる。

- ③ 森林は、1970年代103,900ha（調査対象地域の78%）、1980年代48,600ha（同37%）であった。解析対象範囲に対する割合は、それぞれ90%、83%で、やや減少した傾向がみられる。調査対象地域の大部分を占め、一部の低地を除いて、全面を覆って分布している。
- ④ 高原草地は、調査対象地域の南端の尾根部に点在するが、面積的にはわずか（調査対象地域の1%）なものである。
- ⑤ 牧場・草地は、1970年代10,800ha（調査対象地域の8%）、1980年代9,900ha（同7%）であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ9%、17%で倍増している。調査対象地域の北端および南西端にまとまって分布している。
- ⑥ 農用林、農耕地、都市・市街地、裸地・荒地、雪氷原は、調査対象地域内にはみられない。

9) ナリーニヨ州

- ① ナリーニヨ州もカウカ州、ウイラ州と同様人口密度が低く、山地部は森林が保存されている。調査対象地域は4,000mを越える高峰を含む山地であり、森林、高原草地、牧場・草地で占められており、大部分が森林である。
- ② ナリーニヨ州の解析対象範囲は、1970年代116,800ha、1980年代63,400haであり、調査対象地域123,800haに対し、それぞれ94%、51%に相当する。
- ③ 森林は、1970年代96,100ha（調査対象地域の78%）、1980年代45,700ha（同37%）であるが、これはそれぞれ解析対象範囲の83%、73%を占め森林が減少していることを示している。森林は、南部の低地の牧場・草地と高原草地、裸地・荒地を除いた地域に分布している。
- ④ 高原草地は、1970年代5,000ha（調査対象地域の4%）、1980年代4,100ha（同3%）であるが、それぞれ解析対象範囲の4%および6%に相当し、ほぼ同程度を示している。なお高原草地は、ドナ・ジュアナ火山の山頂を取り囲むように分布している。
- ⑤ 牧場・草地は、1970年代13,100ha（調査対象地域の10%）、1980年代11,300ha（同9%）であった。解析対象範囲に対する割合はそれぞれ11%、18%であり、かなり増加した傾向を示している。調査対象地域の中央の山地に集中している。

⑥ 裸地・荒地はドナ・ジョアナ火山の山頂のみに分布し、調査対象地域の2%にあたる面積を占めている。

⑦ 農用林，農耕地，都市・市街地，雪氷原は調査対象地域にはみられない。

10) プトゥマヨ州

① プトゥマヨ州は人口密度がきわめて低く，農産物を生産する地域はごく一部に限られている。調査対象地域は，北西端の山地の最も奥地であるため，森林が全域を支配している。

② プトゥマヨ州の解析対象範囲は，1970年代13,000ha，1980年代9,600haであり，調査対象地域15,200haのそれぞれ86%，63%に相当する。

③ この地域は，調査対象地域全体の中できわめて大きな面積を占める程度であり，解析対象範囲の全てが森林である。

6.3. 植生分布状況

植生分類画像は、土地利用分類画像に対し、植生に関する項目のみ抽出するとともに、森林を天然林と人工林に細分したものである。植生分類の判別項目は、森林（天然林）、森林（人工林）、高原草地、牧場・草地、その他の5項目に区分した。

表-6.3. と表-6.4. に、植生分類面積一覧表を示す。表-6.3. および表-6.4. には、天然林と高原草地をあわせて自然植生に、人工林と牧場・草地をあわせて人工植生とし、自然植生と人工植生の状況を示す。

以下に植生分布状況を、全体的な状況と州別の状況に分けて記述する。

(1) 全体的な状況

- ① 調査対象地域1,918,300haに対し、雲を除く解析対象範囲は、1970年代1,640,000ha、1980年代1,269,200haであり、6.2. の土地利用状況と同様である。
- ② 天然林は、1970年代806,300ha、1980年代484,100haである。これは、調査対象地域に対し、それぞれ43%、25%であり、解析対象範囲に対しては、49%、38%に相当する。従って、天然林が減少していることを示している。
- ③ 人工林は、1970年代43,900ha、1980年代46,800haであり、調査対象地域に対し、それぞれ2%、3%である。これは、それぞれ解析対象範囲に対し、3%、4%に相当している。したがって、人工林はわずかに増えているといえよう。
- ④ 高原草地、牧場・草地については、土地利用状況の項（6.2. の項参照）で述べたので、ここでは省略する。
- ⑤ 次に、植生を自然植生と人工植生の比率でみると、1970年代には自然植生69%、人工植生31%であり、1980年代には、自然植生58%、人工植生42%となっている。従って自然植生が減少し、人工植生が増加しているといえよう。

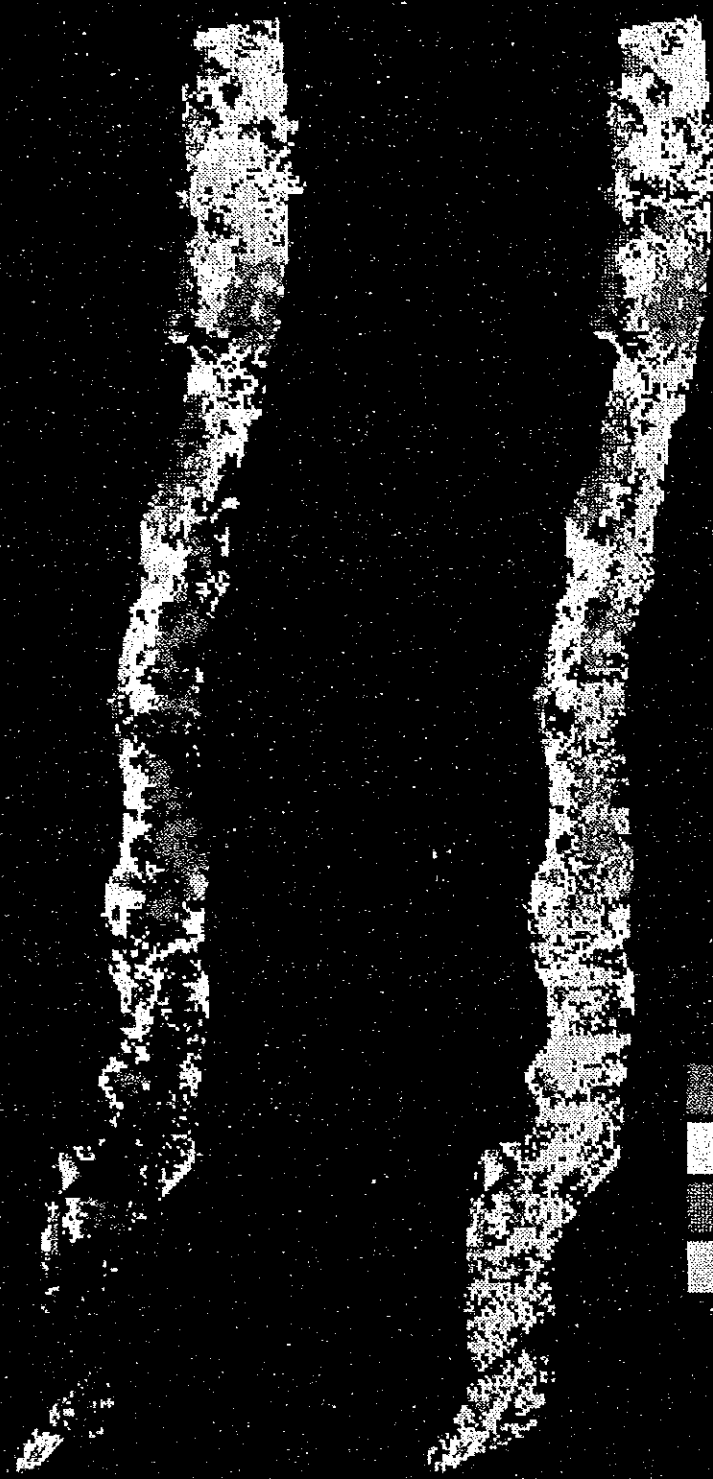
以下に州別の状況を示す。

(2) 州別の状況

州別の植生状況を比較するため、図-6.3. および図-6.4. に州別植生面積率比較図を示す。

1) アンティオキア州

- ① アンティオキア州の解析対象範囲は、1970年代63,500ha、1980年代60,600haであ



- NATURAL FOREST
- MAN-MADE FOREST
- FLATEAU GRASSLAND
- GRAZING/GRASS LAND
- OTHERS
- CLOUD

(1) 1970's

(2) 1980's

Image 2. Vegetation classification map

表-6.3. 州別植生分類面積一覽表 (1970年代)

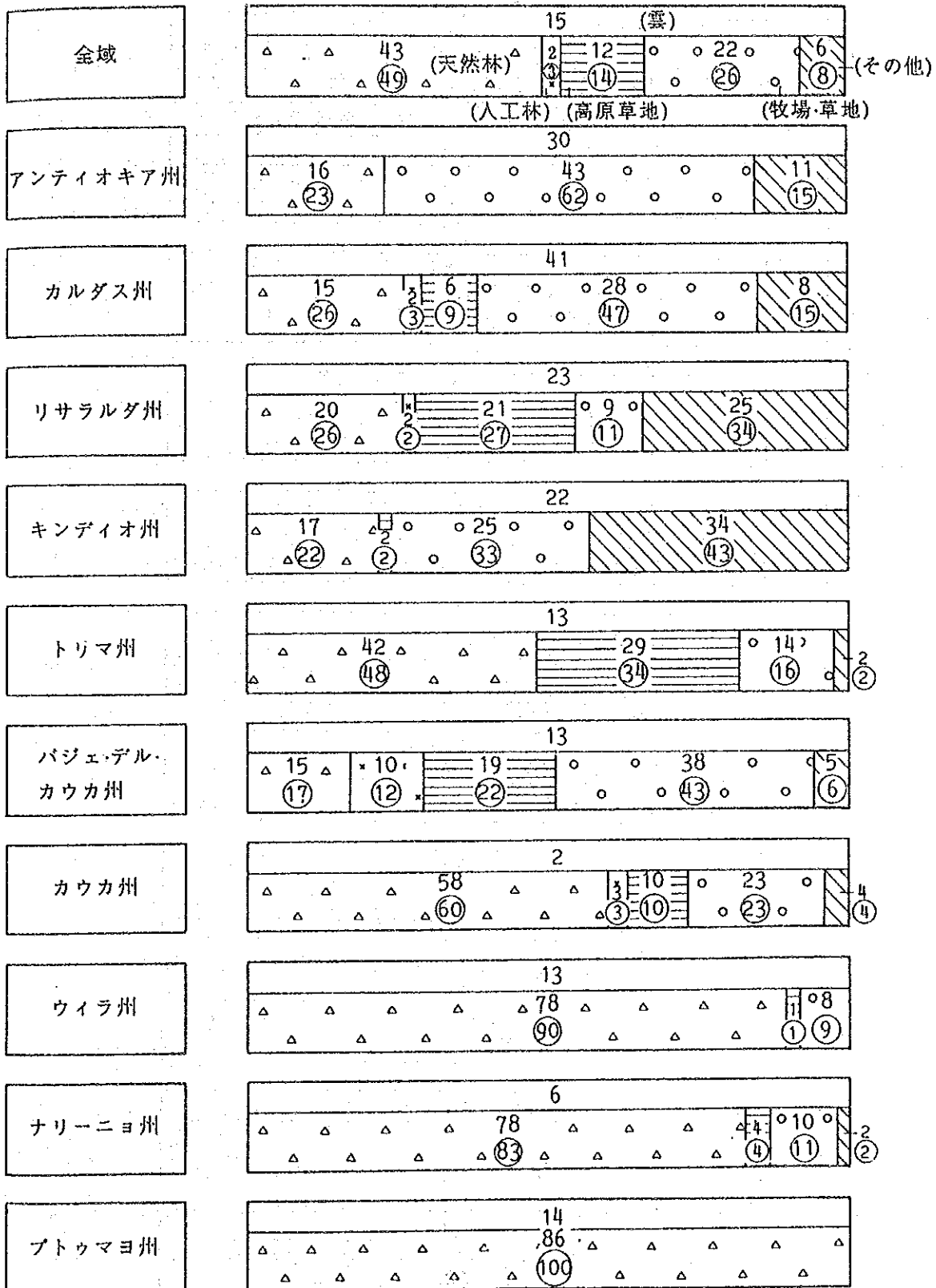
上段：面積 (ha)
下段：割合 (%)

項目	州	アンティオキア		カルダス		リサラルダ		キンディオ		トリマ		ハジェデルカウカ		カウカ		ウイラ		ナリーニヨ		プトゥマヨ		合計	
		面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合
天然林		14,900	16	37,800	15	13,700	20	20,800	17	126,600	42	31,300	15	348,200	58	103,900	78	96,100	78	13,000	86	806,300	43
		0	0	4,200	2	1,100	0	0	0	600	0	22,500	0	15,500	0	0	0	0	0	0	0	0	43,900
人工林		0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	10	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	2
		0	0	13,900	6	14,200	2	2,000	2	89,000	29	41,000	19	59,500	10	900	1	5,000	4	0	0	0	225,000
高原草地		38,900	43	68,300	28	5,800	9	30,800	25	42,700	14	81,000	38	137,000	23	10,800	8	13,100	10	0	0	428,400	22
		0	0	0	0	9	11	25	33	5,500	2	11,100	5	26,100	4	0	0	2,600	2	0	0	0	22
牧場・草地		9,700	11	22,200	8	17,700	25	41,000	34	5,500	2	11,100	5	26,100	4	0	0	2,600	2	0	0	135,900	6
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
その他		63,500	70	146,400	59	52,600	77	94,600	78	264,400	87	186,900	87	586,300	98	115,600	87	116,800	94	13,000	88	1,640,000	85
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
雪を除く 解析対象範囲		27,700	30	102,000	41	14,900	23	26,100	22	38,500	13	29,200	13	13,500	2	17,200	13	7,000	6	2,200	14	278,300	15
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計		91,200	100	248,400	100	67,400	100	120,700	100	302,900	100	216,100	100	599,800	100	132,800	100	123,800	100	15,200	100	1,918,300	100
		14,900	28	51,700	42	27,900	80	22,800	43	215,600	83	72,300	41	407,700	73	104,800	91	101,100	89	13,000	100	1,031,300	69
自然植生		38,900	72	72,500	58	6,900	20	30,800	57	43,300	17	103,500	59	152,500	27	10,800	9	13,100	11	0	0	472,300	31
		53,800	100	124,200	100	34,800	100	53,600	100	258,900	100	175,800	100	560,200	100	115,600	100	114,200	100	13,000	100	1,503,600	100
人工植生		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
植生計		14,900	28	51,700	42	27,900	80	22,800	43	215,600	83	72,300	41	407,700	73	104,800	91	101,100	89	13,000	100	1,031,300	69
		38,900	72	72,500	58	6,900	20	30,800	57	43,300	17	103,500	59	152,500	27	10,800	9	13,100	11	0	0	472,300	31
植生計		53,800	100	124,200	100	34,800	100	53,600	100	258,900	100	175,800	100	560,200	100	115,600	100	114,200	100	13,000	100	1,503,600	100
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-6.4. 州別植生分類面積一覽表 (1980年代)

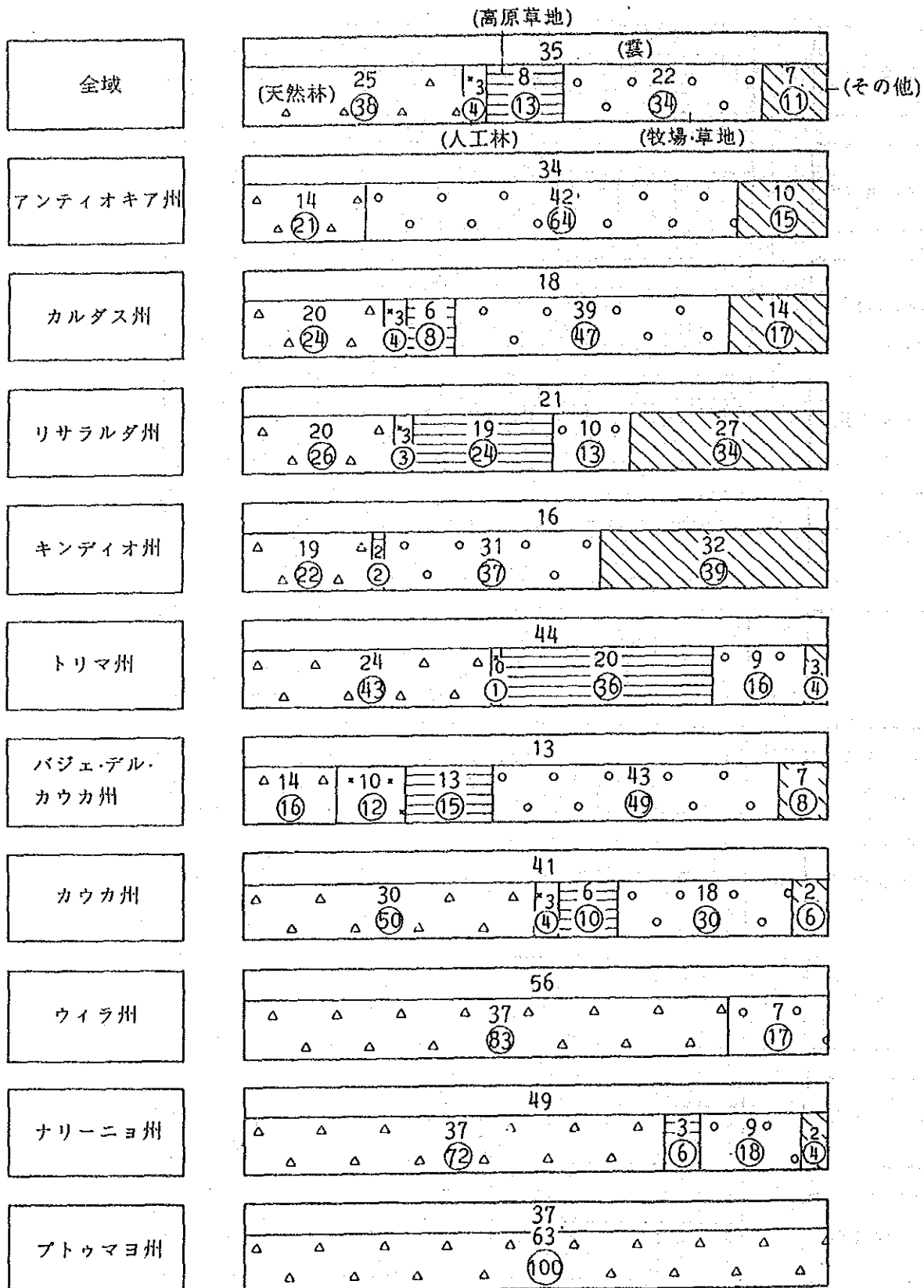
上段: 面積 (ha)
下段: 割合 (%)

項目	アンデイオキア		カルダス		リサラルダ		キンディオ		トリマ		バジエデル カウカ		カウカ		ウィラ		ナリーニヨ		プトウマヨ		合計	
	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合
天然林	12,900		49,000		13,800		22,600		71,500		29,300		181,100		48,600		45,700		9,600		484,100	
	14	21	20	24	20	26	19	22	24	43	14	16	30	50	37	83	37	72	63	100	25	38
人工林	0		7,400		1,400		0		1,300		22,300		14,400		0		0		0		46,800	
	0	0	3	4	3	3	0	0	0	1	10	12	3	4	0	0	0	0	0	0	3	4
高原草地	0		15,500		12,700		2,200		61,900		28,600		37,200		200		4,100		0		162,400	
	0	0	6	8	19	24	2	2	20	36	13	15	6	10	0	0	3	6	0	0	8	13
牧場・草地	34,800		87,300		6,900		37,200		27,800		92,000		108,400		9,900		11,300		0		430,000	
	42	64	39	47	10	13	31	37	9	16	43	49	18	30	7	17	9	18	0	0	22	34
その他	9,300		34,700		18,200		39,500		7,500		14,100		20,300		0		2,300		0		145,300	
	10	15	14	17	27	34	32	39	3	4	7	8	2	6	0	0	2	4	0	0	7	11
雲を除く 解析対象範囲	60,600		203,900		53,000		101,500		169,800		186,300		362,400		58,700		63,400		9,600		1,259,200	
	56	100	83	100	79	100	84	100	55	100	87	100	60	100	44	100	51	100	66	100	65	100
雲	30,600		44,500		14,400		19,200		133,100		29,800		237,400		74,100		60,400		5,600		649,100	
	34		18		21		16		44		13		41		56		49		37		35	
合計	30,600		248,400		67,400		120,700		302,900		216,100		599,800		132,800		123,800		15,200		1,918,300	
	(100)		(100)		(100)		(100)		(100)		(100)		(100)		(100)		(100)		(100)		(100)	
自然植生	12,900		64,500		26,500		24,800		133,400		57,900		218,300		48,800		49,800		9,600		646,500	
	25		38		76		40		82		34		64		83		82		100		58	
人工植生	38,400		104,700		8,300		37,200		28,900		114,300		123,800		9,900		11,300		0		476,800	
	75		62		24		60		18		66		36		17		18		0		42	
植生計	51,300		169,200		34,800		62,000		162,300		172,200		342,100		58,700		61,100		9,600		1,123,300	
	100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100	



15 → 雲の面積比を表示
 △ 17 △ 9 4 11 ○ → 雲を除き、土地利用地目を100%を最大とする比率で表示
 29 10 5 15 ○ なし数字: 調査

図-6.3. 州別面積率比較図(1970年代)



15 → 雲の面積比を表示
 △ 17 △ 9 △ 4 △ 11 △ → 雲を除き、土地利用地目を100%を最大とする比率で表示
 ○ なし数字: 調査

図-6.4. 州別植生面積率比較図(1980年代)

る。

- ② このうち、天然林は、1970年代14,900ha（解析対象範囲の23%）、1980年代12,900ha（同21%）を示しており、ほとんど変化がないといえよう。
- ③ 牧場・草地は、1970年代38,900ha（同62%）、1980年代38,400ha（同64%）で、わずかに増加している。
- ④ 自然植生と人工植生の比率をみると、1970年代では自然植生28%、人工植生72%であり、1980年代には、自然植生25%、人工植生75%となっている。わずかであるが自然植生が減少し、人工植生が増えているといえる。

2) カルダス州

- ① カルダス州の解析対象範囲は、1970年代146,400ha、1980年代203,900haである。
- ② 天然林は、1970年代37,800ha（解析対象範囲の26%）、1980年代49,000ha（同24%）となっており、わずかに減少していることを示している。
- ③ 人工林は、ペンシルバニア、マニサレスなどに分布しており、1970年代4,200ha、1980年代7,400haである。これは解析対象地域に対し、それぞれ3%、4%であり、人工林はわずかに増加している。
- ④ 牧場・草地は、1970年代68,300ha（同47%）、1980年代97,300ha（同47%）と解析対象範囲に対して、変化はほとんどないといえる。
- ⑤ 自然植生と人工植生の比率は、1970年代には、自然植生42%、人工植生58%であり、1980年代には自然植生38%、人工植生62%と自然植生が減少している。

3) リサルダ州

- ① リサルダ州の解析対象範囲は、1970年代で52,500ha、1980年代では53,000haとほぼ同じ面積である。
- ② 天然林は、1970年代13,700ha、1980年代13,800haである。これは解析対象範囲に対していずれも26%であり、ほとんど変化していないといえる。
- ③ 人工林は、ペレイラ周辺の山地斜面などに多くみられる。人工林は、1970年代1,100ha、1980年代1,400haであり、解析対象範囲のそれぞれ2%、3%を占めており、

わずかに増えているといえる。

- ④ 牧場・草地は、1970年代5,800ha（解析対象範囲の11%）、1980年代6,900ha（同13%）と増加が認められる。
- ⑤ 自然植生と人工植生との比率をみると、1970年代で自然林80%、人工植生20%、1980年代では自然植生76%、人工植生24%となっており、あまり変化していない。

4) キンディオ州

- ① キンディオ州の解析範囲は、1970年代94,600ha、1980年代101,500haである。
- ② 森林の全てが天然林であり、その面積は1970年代20,800ha、1980年代22,600haとなっている。これは、いずれも解析対象範囲の22%を占めており、変化はほとんどないといえる。
- ③ 牧場・草地は、1970年代で30,800ha（解析対象範囲の33%）、1980年代で37,200ha（同37%）であり、わずかに増加している。
- ④ 自然植生は、1970年代22,800ha（同43%）、1980年代24,800ha（同40%）、人工植生は1970年代30,800ha（同57%）、1980年代（同60%）である。わずかに、自然植生が減少し、人工植生が増加していることがいえる。

5) トリマ州

- ① 解析対象範囲は、1970年代で264,400ha、1980年代で169,800haである。
- ② 森林は、ほとんどが天然林である。天然林は、解析対象範囲に対して、1970年代126,600ha、1980年代71,500haであり、それぞれ48%、43%を占めている。
- ③ 人工林は、ネバド・デル・ルイス山の北側斜面に分布している。人工林は1970年代には、600haであったが、1980年代には1,300haとなっている。
- ④ 牧場・草地は、1970年代42,700ha、1980年代27,600haとかなり異なるが、解析対象範囲に対する比率をみるといずれも16%であり、これからすると変化はないと判断される。
- ⑤ 植生別にみると自然植生は、1970年代で215,600ha、1980年代で133,400haであるが、解析対象範囲に対してそれぞれ83%、82%とわずかに減少し、人工植生が17%

から18%へとわずかに増加している。

6) バジェ・デル・カウカ州

- ① バジェ・デル・カウカ州の解析対象範囲は1970年代186,900ha, 1980年代186,300haとほぼ同じ面積となっている。
- ② 天然林は、山地の尾根部に多く分布している。この天然林は、1970年代には、31,300ha（解析対象範囲の17%）であり、1980年代には29,300ha（同16%）である。
- ③ 人工林は、1970年代および1980年代でほとんど変化はみられず、それぞれ22,500ha（同12%）、22,300ha（同12%）である。
- ④ 牧場・草地は1970年代81,000ha（同43%）、1980年代92,000ha（同49%）でやや増加している。
- ⑤ 植生の中で自然植生は、1970年代72,300ha（同41%）、1980年代57,900ha（同34%）、人工植生は1970年代103,500ha（同59%）、1980年代114,300ha（同66%）となっている。従って、自然植生が減少し、人工植生が増加している。

7) カウカ州

- ① カウカ州の解析対象範囲は、1970年代586,300ha, 1980年代362,400haである。
- ② 天然林は、1970年代348,200ha, 1980年代181,100haであり、解析対象範囲に対し、それぞれ60%、50%に相当し、天然林がやや減少している。天然林は、主に山地の尾根部や南部に多い。
- ③ 人工林は、ポパヤン東方の山地斜面にまとまって分布している。人工林は、1970年代15,500ha, 1980年代14,400haであり、解析対象範囲に対してそれぞれ3%、4%に相当し、やや増加している。
- ④ 牧場・草地は、1970年代137,000ha, 1980年代109,400haであるが、解析対象範囲に対する比率では、それぞれ23%、30%であり、増加傾向にあることがうかがえる。
- ⑤ 自然植生と人工植生別では、1970年代は自然植生73%、人工植生27%であり、1980年代は自然植生64%、人工植生36%となっている。このことは自然植生が減少していることを示している。

8) ウィラ州

- ① ウィラ州の解析対象範囲は、1970年代115,600ha、1980年代63,400haである。
- ② 森林は、2時期とも全て天然林であり、山地斜面のほとんどのに分布している。天然林は、1970年代103,900ha（解析対象範囲の90%）、1980年代で48,600ha（同83%）であり、解析対象範囲のかなり多くの部分を占めているが、天然林が減少している。
- ③ 牧場・草地は1970年代には10,800ha（解析対象範囲の9%）、1980年代には9,900ha（同17%）であり、牧場・草地が増加していることがうかがえる。
- ④ 自然植生は、1970年代91%から1980年代83%に減少しており、反面、人工植生は1970年代9%から1980年代17%へ増加している。

9) ナリーニヨ州

- ① ナリーニヨ州の解析対象範囲は、1970年代116,800ha、1980年代63,400haである。
- ② 天然林は、1970年代96,100ha、1980年代45,700haであり、解析対象範囲に対して、それぞれ83%、72%を占めており、やや減少している。
- ③ 牧場・草地は、1970年代13,100ha（解析対象範囲の11%）、1980年代11,300ha（同18%）とやや増加している。
- ④ 植生別では自然植生が、1970年代に89%、1980年代82%とやや減少している。人工植生は、1970年代11%、1980年代18%でやや増加している。

10) プトゥマヨ州

- ① プトゥマヨ州の解析対象範囲は、1970年代13,000ha、1980年代9,600haである。
- ② 森林は、全て天然林である。さらに1970年代および1980年代ともに解析対象範囲の全てが天然林であり、植生の変化はみられない。
- ③ したがって、植生の全ては自然植生で、2時期の変化はみられない。