

リモートセンシングデータを用いた森林管理 のためのデータベースの作製とその応用*

妹尾俊夫**

まえがき

データベースは一連の素データから、有効な情報を引き出せる可能性を持った情報整備システムである。その有効性は格納される情報の内容に大きく依存する。とくに、森林管理を目的とするデータベースを構築する場合、リモートセンシング情報をシステムに盛り込むことによって、単に過去の森林に関わる情報の貯蔵、検索だけの機能で終わるのではなく、対象地域の広域から狭域に至るまでの森林の実態を踏まえた環境のモニタリングシステムとしての機能を持たせることが出来る。このデータベースの特徴と具体的に期待できる機能には次のようなことを挙げる事が出来よう。

- 1) リモートセンシングデータの1画素(標本点)にデータベースの1レコードを割り当てれば、そのフィールドにはその位置に該当する地上の各種属性情報を並列的に格納することが出来る。したがって、位置合わせを正確に行えば、地域メッシュデータとして保管出来るため、経時的比較が容易となる。その結果、森林を取り巻く環境や状況の変化を客観的に認識できるため、的確な予測や適切な施業計画を選択出来る。
- 2) 収集された情報は、上記のような基準で位置情報と共に電算機に格納されているので、大量の情報の管理、検索、更新、出力が可能であり、地図化も容易となる。
- 3) 作製されたデータベースにより、自然環境や社会環境の情報あるいは各種調査資料との有機的な組合せにより、いろいろな視点からの有益な情報が得られる。

この報告は、このような特徴を持つリモートセンシングデータのデータベースへの取入れ方法とそれを用いた関係方面への適用性について検討したものである。

I. 情報収集項目

収集する情報内容は、データベースの利用目的によってかなり異なったものになる。ここで、ひろく森林に関する情報として要求される項目は、次のようなものと考えられる。

1) 自然環境条件

- ・気候(気温、降水量、積雪量等)、地形(標高、方位、傾斜、局所地形、谷密度、起伏量等)、

* Construction of the data-base for controlling forest-land with remotely sensed data and its application

** Toshio SENOO, Faculty of Agr., Kyoto Pref. Univ., Sakyo-ku, Kyoto 606

京都府立大学農学部

地質および土壌、流域、河川、水系等

2) 森林条件

- ・樹種、樹高、疎密度、混交状態、林相別蓄積、林相別地理別生長量
- ・林道までの距離
- ・治山施設、崩壊状況、崩壊歴等、その他

3) 社会環境条件

- ・人口、産業、交通、経済状況、法的制限等

上記の各条件別項目はいずれも林産物の生産、山地災害防止、自然環境保全等の観点から森林地帯の利用、経営、管理を計画するうえで基本となる情報である。これらのなかで、森林の経営と管理に必要な情報は、長期的な土地利用の計画や、森林保続計画である。そこで、作業を始めるに当たっては2)に記載した森林条件に関する情報を重点的に収集することになる。

II. 森林施業計画に必要な情報の収集と入力

森林調査簿に記載する林況には、林種区分、樹種、林齢、下層植生、疎密度、胸高直径、樹高、材積、生長量、立木の利用区分、立木の構成等が必要である。これらの情報には短期間では更新の必要性のないものや計算で推定の可能なものが含まれている。一方、リモートセンシングにより直接得られる情報は^{5)~8)} スギ、ヒノキ、マツ、広葉樹等の一部の樹種区分と皆伐地或は病虫害、火災、斜面崩壊、土石流の被災地や除地のような視覚的に顕著な特徴に限られる。けれども、衛星データを利用すれば同一地域の経時的情報が得られるため、情報更新が容易で、これまでの情報に加えて森林の施業経過や緊急時の状況把握に対応できることは、この手法の大きな利点である。そこで、このような可能性を実証するため、森林管理のためのデータベースを例として、これに必要な属性情報の収集とその入力方法、その手順を以下に考える。

まず、画像データや各種情報を計算機の中で表現する方法として二次元配列の表現形式を基本として考える。データを収集する領域の座標系について、UTM座標系、17座標系、経緯度法あるいは比較的狭い地域であれば適当な区画等で座標原点を決めて、その原点を基準とする直交座標を考える。これらのうち、メッシュに不連続な境目が生じるものや等形、等積メッシュは同緯度帯内でしか出来ないものなど、各座標表示法ともに使用に際して注意を要する問題点があるため、各座標表示の特色を比較検討の上適切な手法を選択する。次に、画像データの空間分解能ならびに利用目的に応じてメッシュサイズ(衛星データの場合では10~50 m)を決め、そのサイズ幅の縦横の線で機械的に等分割した小区画を単位とするグリッドを作成し、この正方格子点(標本点：ラベルポイント)を基本としてこの位置に該当する属性情報を挿入することになる。ここで格納する属性情報としては、リモートセンシングデータをはじめ地形情報やこれまでに計測された各種既存情報などがある。画像データの入力に際しては、地図に合わせる形で幾何補正をしておく必要がある。

また、リモートセンシングデータでは判読不可能な各小班単位における地位、林齢、成育状態、植栽年次別面積、混交歩合、下刈、蔓切り、除間伐等の実施状況などその他の情報をディジタイザを使って該当するラベルポイントを見出し、格納する。その際、属性データをファイルに格納するときの地図図形情報とのリンケージをとっておく必要がある。これは地図上のラベルポイントから属性情報の検索を行うとき、その手がかりとなるもので、図形情報と文字情報との連絡を取るキーワードが必要となるためである。この地図図形情報のキーワードと属性情報のキーワードとを1レコードごとに一対一に対応付けするリンケージファイルを設定しておけば、双方から、必要な情報を検索することが出来る。このように双方からの対応・統一を可能とした属性情報を格納後データファイルとして保管し、基礎情報の多様な検索に対応しうるシステムとする。なお、画像データはメモリ容量を多く必要とするため、パーソナルレベルのコンピューターシステムではリモートセンシングデータの保管に外部メモリとしてフロッピーディスクを用いることになる(フロッピー1枚に512 * 400 * 4画素が最大限)。したがって、フロッピーディスクは地域ごとに分けて、管理しなければならない。この場合は、画像の入れ替えや検索には人手による操作は避けられない。また、新しい森林情報の入力には順次地図図形情報ファイルとの整合を行い、書換えや追加を施してファイルを更新する。さらに、メッシュサイズより小さなエリアの情報も同様に地図図形情報ファイルのラベルポイントを仲介とするランダムファイルとし、階層管理するサブファイルとする。なお、リレーショナル・データベース・ソフトや地理情報システムの利用ならびにハードディスクおよびラムディスクの使用によってこうしたデータベース化や情報管理、検索ならびに応用プログラムの作成が容易になる。データベースを構築する場合の設計作業の概要を図-1に、データベースの格納状況を図-2に示す。

①ラベルポイント、②ライン方向の座標位置、③カラム方向の座標位置、④標本位置のグリッドセル内の平均標高値、⑤最高標高値、⑥最低標高値、⑦斜面方位、⑧傾斜角、⑨日射係数、⑩地質、⑪土地被覆分類(⑪~⑮はリモートセンシングデータによる年次別判読結果)、⑯崩壊歴等の順序で、1標本点ごとに1レコードとして納められる(フィールドの追加可能)。

図-2において、日射係数はある時点での太陽の位置と標本点の斜面方位および傾斜角から求めた値を用いているが、理想を言えば四季別あるいは1年を通じての平均値または日射量の積算値の方がより適切であると思われる。また、森林条件のデータや水系図データは、ラベルポイントを仲介として階層構造的に検索できる別ファイルのシステムとなっている。これらのファイルにはリモートセンシングデータが含まれていないのでここでは省略するが、これらのデータファイルを用いて、森林管理に必要な情報は簡単に抽出できるようになっている。地域ごとのリモートセンシングデータの画像は時期別にフロッピーで保管されている。リモートセンシングデータは、その分類結果から得たカテゴリ番号のみ、図-2に見るように、更新情報としてデータベースに記載される。

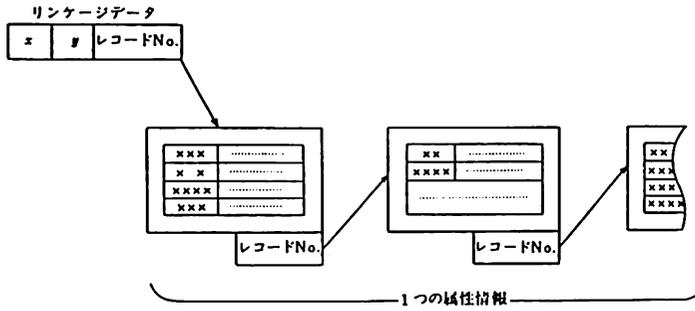
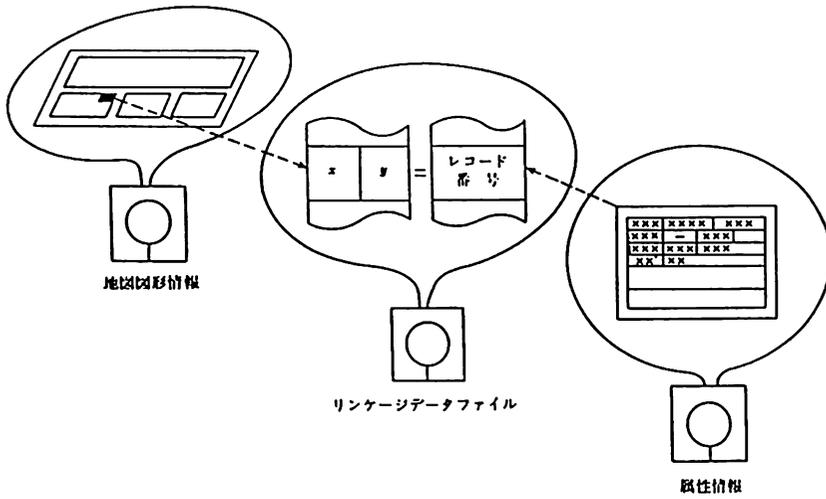


図-1 地図図形情報と属性情報の関係および属性情報の管理

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯
1	1	1	420	437	407	147	6	.689	4	2	2	2	2	2	0
2	1	2	409	429	392	223	23	.885	3	2	2	2	2	2	0
3	1	3	392	410	367	261	26	.787	3	2	2	2	2	2	0
4	1	4	376	401	367	132	16	.730	3	2	2	2	2	2	0
5	1	5	368	401	365	190	27	.758	3	1	2	2	2	2	0
6	1	6	365	405	362	75	9	.556	4	1	1	1	1	1	0
7	1	7	405	425	372	24	33	.680	4	2	2	2	2	2	0
8	1	8	425	447	385	31	36	.709	3	2	2	2	2	2	0
9	1	9	447	456	410	64	17	.671	4	3	3	3	3	3	0
10	1	10	435	456	424	201	22	.847	4	2	2	2	2	2	0
11	1	11	424	449	410	225	24	.971	4	2	2	2	2	2	0
12	1	12	410	424	406	206	6	.752	4	2	2	2	15	15	1
13	1	13	415	436	410	68	16	.594	4	2	2	2	15	15	1
...
...

図-2 データベースの格納状況

III. データベースの利用システム

つぎに、蓄積された一連の素データに基づいて目的を達成するための利用システムの設計を行う。これは実際に業務で使用するシステムであるから、データの追加、削除、修正、検索が効率よくでき、かつ、無駄のない情報蓄積がカギとなる。画像入力、図形入出力装置がなくても、パーソナルコンピュータをホストとするシステムの開発から先ず進めるべきである。必要となるプログラムとしては、少なくとも、検索、解析、評価、および出力に関する以下のような内容のものが考えられる。

1) 情報の検索システム

データバンクに蓄積されている各種情報を効率的に取り出せる対話形式の検索システム。

2) 解析システム

データバンクに蓄積された基礎情報を用いて要因相互間の解析を行い、各種森林機能、環境容量等の加工情報からシミュレーションモデル等を作成する。

3) 評価システム

解析システムの結果から森林生産力評価、植伐計画、自然災害危険度評価、立地級評価、生長予測資料を作成し、森林施業および各種事業計画の立案に資する。

4) 出力システム

現況や解析と評価の結果を理解しやすいように、図表、画像のかたちに変換し、表示するシステム。

画像をデジタル表現する場合、正方格子の各格子点(標本点)上の濃淡値を用いるのが自然である。座標軸の取り方は適当でよいが、各標本点の座標を (i, j) 、その濃淡値を f と書くことにすれば、画像全体は $F = f_{ij} (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N)$ と表せる。このとき M, N 、および f_{ij} のレベル数(量子化レベル)を大きくとればとるほど、原画像に近い表現にすることが出来る。パソコンの標準量子化レベル数は256(8ビット)であるが、複数の画像フレームメモリを増設してフルカラー表示にすればほとんど自然色に近い表現が出来る。

実際にプログラムを作成するに当たっては、データベースに対する利用プログラムのサンプルを見ることで、どのようなシステムを考えればよいかを具体的に知ることが出来ると思われる。

IV. データベースの適用例

ここでは、パーソナルコンピュータをホストとするリモートセンシングデータ処理システムを用いて作成されたデータベースから、情報の検索、解析、評価、および出力に重点を置いた各適用例を紹介する。

1) システム構成

(1) ハードウェア

①CPU：NEC PC-9801 VM2

メモリ 640 KB, 1MBタイプフロッピーディスク2ドライブ
20MBタイプハードディスク, 2MBタイプラムディスク, 数値演算
プロセッサ：インテル社 80287

②フレームメモリー：サピエンス社 スーパーフレーム

③マウス：バスマウス

④ディスプレイ：アナログRGBの専用高解像カラーディスプレイ

⑤ディジタイザー：グラフィカ社 マイタブレット(A3サイズ)

⑥プリンター：NEC-PR 201 および シャープ I/O-725

そのほか、空中写真からの画像入力や衛星データの解析領域をMTからフロッピーへ取り込むために阿部設計KKのドラムスキャナ装置モデル2605およびMT装置を使用している。

(2) ソフトウェア

①OS：MS-DOS Ver.2以上

②マウスドライバー：MS-DOS附属のもの

③ディジタイザー

(3) 使用言語

画像処理システムのほとんどは、マイクロソフト社のC言語で記述されている。画像データディスク(Restec BIL, BSQ Format)とのI/O部分にはアセンブラを、データベースの利用システムにはマイクロソフト社のMS-FORTRAN およびMS-DOS版N 88-日本語BASICを使用している。

2) 使用データ

使用したリモートセンシングデータは空中写真, 航空機MSSデータ, ランドサットMSSデータ, ランドサットTMデータおよびSPOT/HRVデータである。地形図は1:5,000の森林基本図を, また森林調査簿, 地質図および土壌図ならびに気象データのほか地上観測データも併せて用いた。

3) 適用例

(1) 森林情報の検索(京都府立大学 大野演習林)

情報の検索例として、データベースから2～3齢級の全林分を取り出し、森林国営保険の保険料を計算した出力例を示す。このデータベースは施業図上設けられている20メートルメッシュの座標(ラベルポイント)を仲介とするサブファイルに格納されている。まず、基準とする年度および保険を掛ける齢級の範囲を指定すると、図-3に示すような該当する森林情報から下記のような要領で保険料が計算される。

No.	座標	林班	樹種	林齢	齢級	面積(ha)	林種	本数	保険金額	保険料
70	69, 55	5イ	スギ	13	3	0.0300	1	70	45600	155
71	76, 61	5イ	ヒノキ	13	3	2.4700	1	7500	3754400	12764
82	68, 79	6イ	ヒノキ	12	3	0.4800	1	1490	720000	2448
100	103, 85	8ロ	スギ	11	3	0.2800	1	750	417200	1418
101	102, 82	8ロ	ヒノキ	11	3	1.6100	1	5110	2398900	8156
102	105, 69	8ロ	スギ	9	2	0.5000	1	1410	710000	2414
103	106, 64	8ロ	ヒノキ	9	2	0.6000	1	1990	852000	2896
104	106, 68	8ロ	スギ	8	2	0.1500	1	430	195000	663
105	107, 63	8ロ	ヒノキ	8	2	0.9000	1	3060	1170000	3978
110	112, 67	9イ	スギ	11	3	0.2100	1	560	312900	1063
111	113, 65	9イ	ヒノキ	11	3	0.8500	1	2700	1266500	4306
...
...
350	60, 77	20ロ	ヒノキ	8	2	1.2000	1	4090	1560000	5304
351	58, 76	20ロ	スギ	6	2	0.2000	1	610	234000	795
352	56, 78	20ロ	ヒノキ	6	2	0.9000	1	2760	1053000	3580
386	27, 72	24イ	スギ	14	3	0.0900	1	300	139500	534
387	25, 81	24イ	ヒノキ	14	3	0.3800	1	1260	589000	2002
391	23, 71	24ロ	ヒノキ	14	3	0.5000	1	1650	775000	2635
392	19, 80	24ロ	スギ	12	3	0.4000	1	1320	600000	2040
393	20, 77	24ロ	スギ	8	2	0.4800	1	1550	624000	2121
394	19, 79	24ロ	ヒノキ	8	2	0.9200	1	3030	1196000	4066

図-3 森林国営保険を掛けようとする林分の抽出と保険料の計算例

なお、保険料の算定方法は $G = A \cdot H \cdot R / 1000$ ただし、G：保険料(1円未満切捨て)、A：被保険森林の面積(ha)、H：ha 当り保険金額(森林国営保険法施行令 別表第二による)、R：保険料率(保険金額 1000 円に付き、1～20年 3.40 円、21 年以上 1.60 円とする)

指定条件 基準とする年度：1988

齢級の範囲 : 2～3

林種(1：人工林 2：天然林)：1

また、これらのデータファイルを用いて、演習林の森林簿の作成、立木評価、林齢別面積や材積、林齢別または保育作業林分の抽出等も可能である。

(2) SPOT/HRV データと地形データによる林相区分(京都 比叡山西側斜面)

データベースを用いた解析例として、地形解析による衛星観測時の各メッシュ内の日射係数から、データの電磁的レベルを補正する方法を紹介する。広大な森林の樹種判読を迅速かつ正確に行えるようにすることは容易ではないが、より正確な森林情報とするためには、これらの条件を考慮にいたした判別処理技術を備えておく必要がある。判読を困難にしている最大の原因は、山岳地域における地形による電磁的歪や幾何学的歪のリモートセンシングデータへの影響が考えら

れる^{1~5,11~15)}。1986年2月にフランスが打ち上げた SPOT 画像は、地上解像度がマルチバンドで 20 m, モノクロバンドで 10 m に向上し、これを利用すれば山岳地域における分類精度の改善に期待が持てる。このように衛星画像もサイズの的に林木の大きさに近づいたことにより、SPOT/HRV データとデジタル地形モデルの統合システムとする地形の影響の補正法を検討した。まず、20 m メッシュの地形データを基本とするデータベースを作製し、これに基づいて地形の影響に関するモデル的考察を行った。その結果、観測時の太陽位置と斜面の方位及び傾斜角によって決定される斜面上の相対日射係数を求め、この係数值と観測データの CCT を(2)式に当てはめて補正する方法を提案した^{4,5)}。

相対日射係数を求めるモデルを図-4に示す。

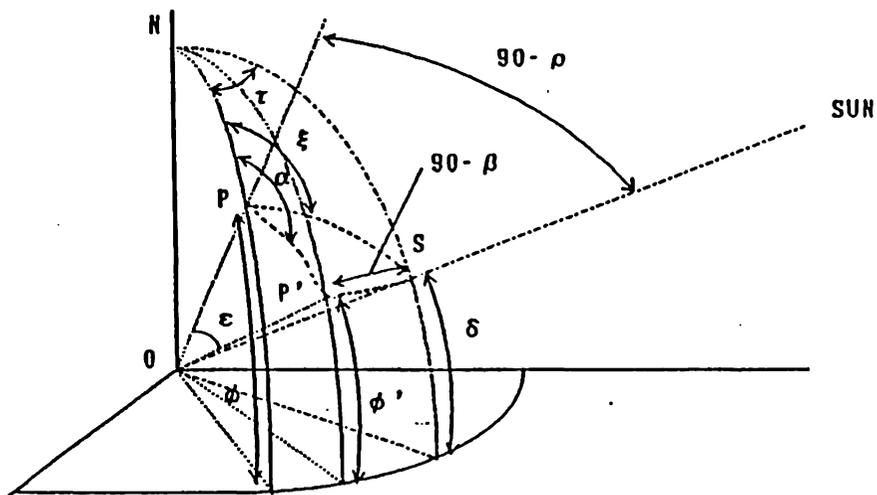


図-4 日射係数を求めるための概念図

$$F = \cos(\pi/2 - \beta) = \sin\beta$$

$$= (\cos\epsilon \sin\phi - \sin\epsilon \cos\alpha \cos\phi) \sin\delta + (\cos\epsilon \cos\phi + \sin\epsilon \cos\alpha \sin\phi) \cos\tau \cos\delta + \sin\epsilon \sin\alpha \sin\tau \cos\delta \quad \dots\dots\dots (1)$$

F: 相対日射係数 ε: 傾斜角 φ: 対象地点の緯度 α: 傾斜方位 β: 太陽の輻射係数
 δ: スキャニング時の太陽光の傾斜角 τ: 太陽光の天頂角

$$S = (S' - L\rho) / F \quad \dots\dots\dots (2)$$

S: 補正後の CCT データ S': 補正前の CCT データ

Lρ: 大気中のパ斯拉ディアンスの推定値

適用した森林は京都市の北東部に位置する比叡山(848 m)の西側斜面である。この比叡山にはおよそ 5,000 ha におよぶ森林があり、スギ、ヒノキ、アカマツ、落葉広葉樹林および混交林など

の植生タイプに分かれる。これらの林相区分には SPOT データを以下に述べる 3 種類の処理別データについて最尤法によって分類し、補正の効果をみた¹¹⁾。

その一つめは前処理をしていない原画像、二つめは比演算処理をした画像、三つめは前述の(1)および(2)式によって補正した画像である。対象地域の SPOT 画像、鳥かん図および 3 種類の処理別データの分類結果はそれぞれ図-5、図-6、図-7 に示す。また、前処理別画像データの分類性能は表-1、表-2 および表-3 に示す。これらの 3 表から処理効果の比較をすると、表-1 ではスギの判別率が 31% で、その大半が落葉広葉樹林に誤判読されているが、表-2 におけるスギの判読率は 77% まで改善され、それに応じてヒノキや落葉広葉樹林への誤判読は減り、比演算処理がある程度の効果を発揮したものと考えられる。さらに表-3 では誤判読の場所を見いだせないほどに高い判別率となっている。この様な結果は、画像の分解能に合わせた 20 m メッシュの地形データと衛星の観測条件から得られた、メッシュごとの日射係数による電磁的レベル補正の効果と判断される。とくに、見逃せないのは、森林植生の生育状況や地形変化のサイズのな特徴と地形データや SPOT データの地上分解能と合致していたことが、精度の向上に効果をもたらしたものとみられる。また、これを処理効率から見ても、地形情報および画像情報が一体化された形でデータベースに保存されていることが、複雑な大量データの高速処理を容易にしたと言えよう。



図-5 SPOT/HRV マルチバンド画像

表-1 無処理データによるパフォーマンス

Class	:	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[!]	Total Area
[1] J. Cedar	:	31	15	0	54	0	0	0	0	0	180
[2] J. Cypress	:	8	87	0	5	0	0	0	0	0	208
[3] J. Red pine	:	0	0	95	5	0	0	0	0	0	144
[4] D. Hardwood	:	0	3	16	81	0	0	0	0	0	152
[5] Bush	:	0	0	0	4	96	0	0	0	0	104
[6] Grassland	:	0	0	0	0	0	100	0	0	0	24
[7] Farmland	:	0	0	0	0	0	0	100	0	0	24
[8] Town	:	0	0	0	0	0	0	0	88	0	32

Weighted mean of discriminant accuracy is 84.7%.

* [!]:Unclassified

表-2 比演算処理データによるパフォーマンス

Class	:	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[!]	Total Area
[1] J. Cedar	:	77	10	0	13	0	0	0	0	0	180
[2] J. Cypress	:	10	85	0	5	0	0	0	0	0	208
[3] J. Red pine	:	2	6	77	13	2	0	0	0	0	144
[4] D. Hardwood	:	5	3	8	84	0	0	0	0	0	152
[5] Bush	:	0	0	0	0	96	4	0	0	0	104
[6] Grassland	:	0	0	0	0	0	100	0	0	0	24
[7] Farmland	:	0	0	0	0	0	0	100	0	0	24
[8] Town	:	0	0	0	0	0	12	0	88	0	32

Weighted mean of discriminant accuracy is 86.1%.

* [!]:Unclassified

表-3 地形効果の補正データによるパフォーマンス

Class	:	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[!]	Total Area
[1] J. Cedar	:	100	0	0	0	0	0	0	0	0	180
[2] J. Cypress	:	0	100	0	0	0	0	0	0	0	208
[3] J. Red pine	:	0	0	100	0	0	0	0	0	0	144
[4] D. Hardwood	:	0	0	3	97	0	0	0	0	0	152
[5] Bush	:	0	0	0	0	100	0	0	0	0	104
[6] Grassland	:	0	0	0	0	17	83	0	0	0	24
[7] Farmland	:	0	0	0	0	0	0	100	0	0	24
[8] Town	:	0	0	0	0	0	12	0	88	0	32

Weighted mean of discriminant accuracy is 98.2%.

* [!]:Unclassified

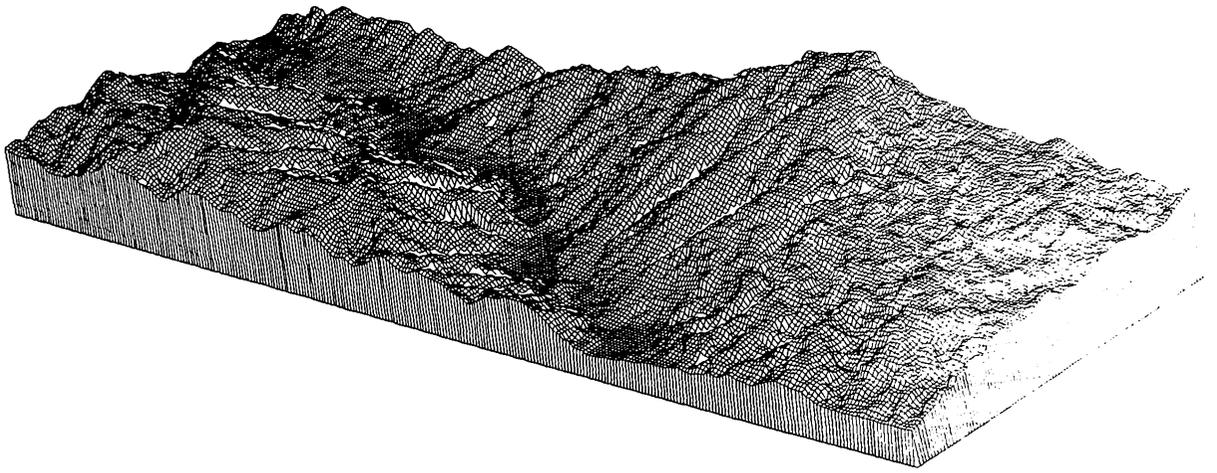


図-6 解析領域の鳥かん図 (20 m DTM)

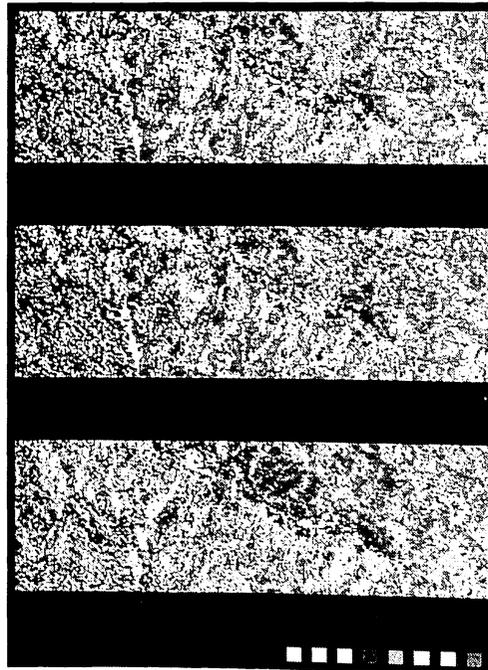


図-7 未補正および補正画像の分類結果

(3) 植生回復状況の評価システム (滋賀県大津市田上山地)

この適用例では⁹⁾、ランドサット MSS データおよび TM データの年次別植生情報を他の森林情報とともに格納してデータベースを作成し、山腹植栽工施工林の植生回復状況の評価システムとした。対象地は、植栽工が明治以来繰り返し行われてきたが、容易に回復の兆しが見えなかった。しかし、1970年頃から植栽方法の改善により林地の被覆状況も急速に良くなってきた林分である。その回復状況をリモートセンシングデータによって辿って見ることにした。入力されているデータは、1972年のランドサット1号のMSSデータ、1978年の3号MSSデータ、1982年の4号MSSデータおよび1986年5号TMデータである。これらはいずれもメッシュサイズの異なるデータであるため、幾何補正とサイズの統一(50m)を図って同じ座標系で比較した。他方、植生回復の進展度を具体的に地上においてみる計量的手がかりとして、対象領域内の溪流集水地点に設けられた、量水堰堤での流出土砂量(建設省瀬田川砂防工事事務所年次調査報告書)の経時変化から、植生の被覆状況の傾向を測る間接的な検証データとした。図-8に処理のフローを、図-9にデータベースからの鳥かん図と同領域の裸地面積の変化を、表-4にリモートセンシングデータによって得られた分類結果の統計量を示す。また、表-5に量水試験地の流出土砂量の経時変化を表示した。表-5の結果から、植生の回復傾向はここ数十年間持続していることが判る。その回復状況の過程においても地上検証データと符合する結果が得られ、データが揃えばこの手法の実用性も高いと判断された。

この適用例は、リモートセンシングデータのデータバンクへの経時的な蓄積と位置合わせや幾何学的な歪み補正などの画像処理技術が伴えば、広い領域の森林を管理する上でも有効な方法と考えられる。

(4) 森林の活性度診断 (京都府立大学 大枝演習林)

情報の出力例として、リモートセンシングデータによる森林のアセスメントへの適用結果を示す。対象林分には、その中央を国道が縦断しており、交通量の多い道路沿いの林木への大気汚染の影響が心配されるところである。ストレスによる林木の生理的变化はリモートセンシングデータの標準パターンからの偏異に現れることから、樹木の被害度の推定は大気中の汚染物質と被害度別樹葉の近赤外線反射レベルの相関性に基づいた^{5,12,14)}。樹葉の分光測定は航空機MSSにより地上高1000mから、また同時に汚染物質の定量分析は地上観測点において行い、その測定結果をデータベースに格納した。最初にMSSデータに対して電磁補正ならびにデータベースに格納されている25mメッシュの地形データを用いた三次元的な位置補正を施し、次に林相をリモートセンシングデータのパターン認識により、樹木ストレス診断を被害度に対応する近赤外線の反射レベルによってそれぞれ判別した^{10,12)}。なお、座標系の選択は、領域が約2km×1.2kmと狭いため、直交座標系を用い、その原点は領域の左上に当たる北西角に置いた。また、メッシュサイ

表-4 衛星データによる分類結果の年次別集計

分類区分/年次	ピクセル数(%)			
	1972年	1978年	1982年	1985年
老齡林分(優良林)	182(1.13)	253(1.58)	762(4.77)	977(6.12)
壯齡林分(優良林)	2800(17.52)	3170(19.85)	3620(22.66)	3761(23.54)
低木疎林(不良林)	4193(26.24)	4166(26.08)	4163(26.06)	4172(26.12)
半裸地(不良林)	3153(19.74)	3275(20.50)	4329(27.10)	3838(24.06)
草地	365(2.28)	108(0.68)	650(4.07)	674(4.22)
裸地	2804(17.54)	2480(15.53)	50(0.31)	42(0.26)
農地	215(1.35)	214(1.34)	149(0.95)	146(0.91)
露岩地や構造物	2270(14.20)	2306(14.44)	2249(14.08)	2362(14.79)
平均分類精度(%)	86.26	85.55	100.00	96.92

表-5 流出土砂量の経時変化(川向量水試験地)

年次	流出量		年次	流出量		年次	流出量	
	lit. m ³ /km ²			lit. m ³ /km ²			lit. m ³ /km ²	
1962	723.91	27.2	1970	335.91	12.6	1977	97.34	3.7
1963	171.22	6.4	1971	160.99	6.1	1978	52.85	2.0
1964	23.20	0.9	1972	510.60	19.2	1979	45.43	1.7
1965	1123.76	42.3	1973	78.14	2.9	1980	45.20	1.7
1966	423.71	15.9	1974	83.70	3.2	1981	47.67	1.8
1967	534.05	20.1	1975	166.28	6.3	1982	66.19	2.5
1968	277.52	10.4	1976	234.59	8.8	1983	18.13	0.7
1969	83.18	3.1						
平均	420.07	15.8	平均	224.32	8.4	平均	53.29	2.0

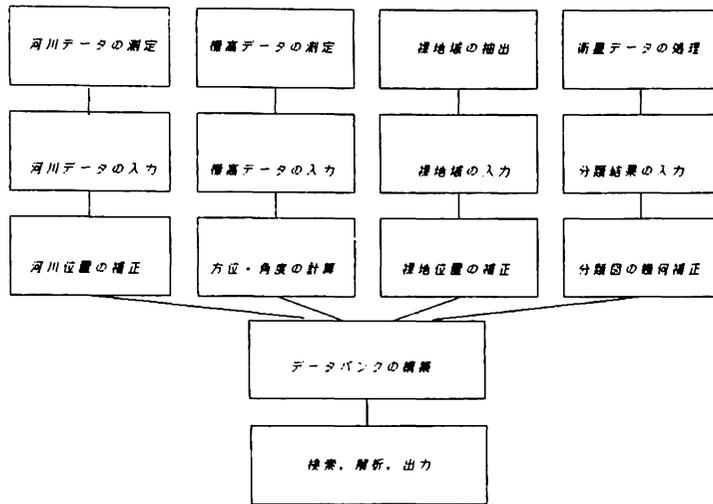


図-8 データ処理の流れ

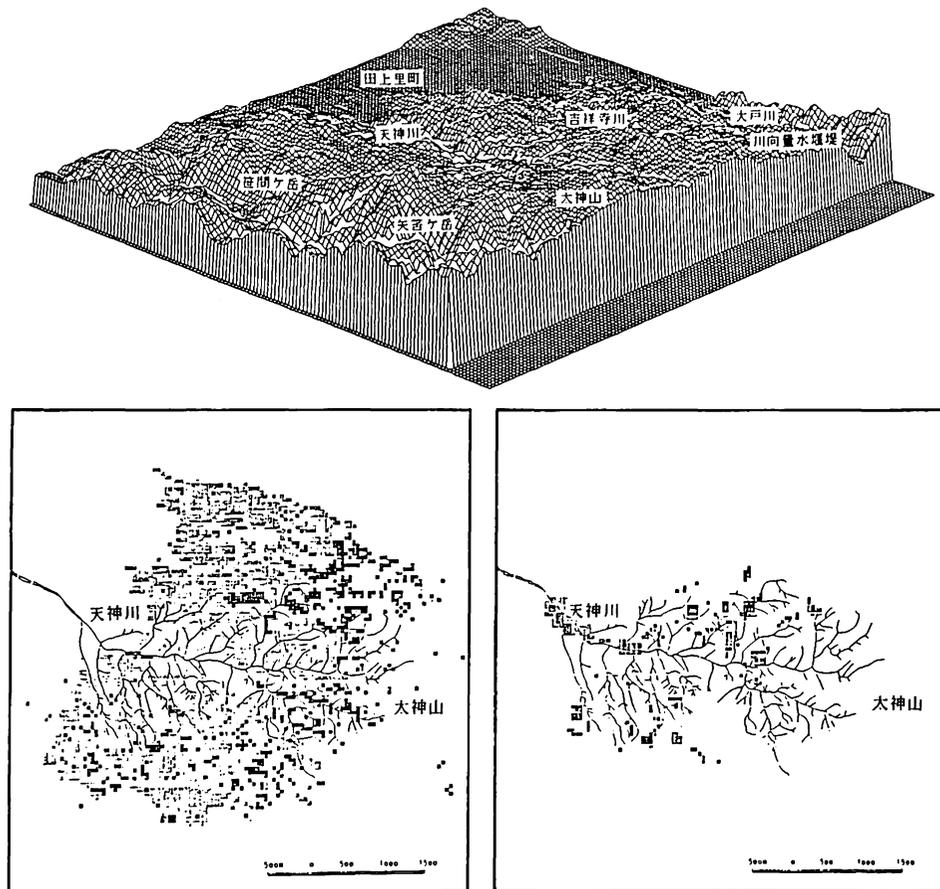


図-9 領域の鳥かん図(上)と1964年ならびに1982年の裸地の分布

ズは、MSS データの地上分解能が 2.5 m であること、地上観測点を同じ座標系の 8 メッシュに相当する x, y 両方向 200 m 交点の 44 箇所を設置されていること、および 1 : 5000 地形図からの読み取り精度を考慮して 25 m とした。このような順序と手法により、分類結果は各樹種別活性度に応じたものになった。判別精度の検証は、データベースの中から定点観測結果および定点位置のリモートセンシングデータをとりだして、大気中の硫黄酸化物、窒素酸化物、樹葉の分光反射率、樹葉の全硫黄含有率、葉面付着物量と分類結果の相関分析によった。MSS データと各測定項目別データ相互間には高い相関関係が認められ、林木のストレス状態とよく符合する結果となった。表-6 に地上観測点におけるリモートセンシングに対応する汚染物質等の各測定結果を示す。また、そのリモートセンシングデータと測定物質相互間の相関行列を表-7 に示す。さらに、樹種別被害度の状況や汚染物質の分布状況を図-10 および図-11 に示した。

V. 考 察

リモートセンシングデータの構造はラスタ型データであるため、1 画素をデータベースファイルの 1 レコードの固定長ファイルとして設定すれば、そのフィールドには 1 画素(標本点)に該当する地上の各種情報を属性情報として連続的に格納することが出来る。空間分解能が高くなればデータ量はその細かさの倍率の 2 乗倍で増え、記憶容量の面に考慮を払わなければならない。

しかし、標本位置が固定しているため、経時的比較が容易であり、地図化も簡単であることから、広大な森林管理にリモートセンシング情報のデータベース化はきわめて有利であることがわかる。ここに試みた 3 例はいずれも他の情報では解決出来ない内容の機能を持っていることを示したと思われる。

さて、この手法のこれまでの利用状況はまだまだ試行的段階にとどまっており、実用段階にあると思われる技術的成果も現在のところ広く機能していないようである。その原因のひとつとして挙げられることは、森林調査簿で扱う面積の最小単位と衛星データの地上分解能のサイズにまだ倍以上の開きがあること、ラスタ型データとポリゴン型データのマスキングなどの統合が容易でないこと、これはハード面、ソフト面ともに実用化に向けての開発努力が不十分で、パーソナルレベルには至っていない状況にある。さらにリモートセンシングデータはごく限られた特定領域の解析を進めるには、適切なデータが少ないことや高価であることなどが考えられる。しかし、ここに挙げた問題もおそらく近いうちに解決が図られることと思われる。そこで、このような状況を考慮に入れて、リモートセンシングデータをデータベースに盛り込んだ形で利用する場合、必要と思われることは、①森林機能の特性や環境評価、あるいは各種予測情報の抽出を可能とする情報加工システム ②森林管理、施業計画実施に関する利用システムなどのサブシステムを開発することであろう。その方面の充実・進展によって、このシステムの普及化、実用化に拍車を掛けることが出来ると思われる。

表-6 航空機の観測データと地上ステーションにおける測定結果

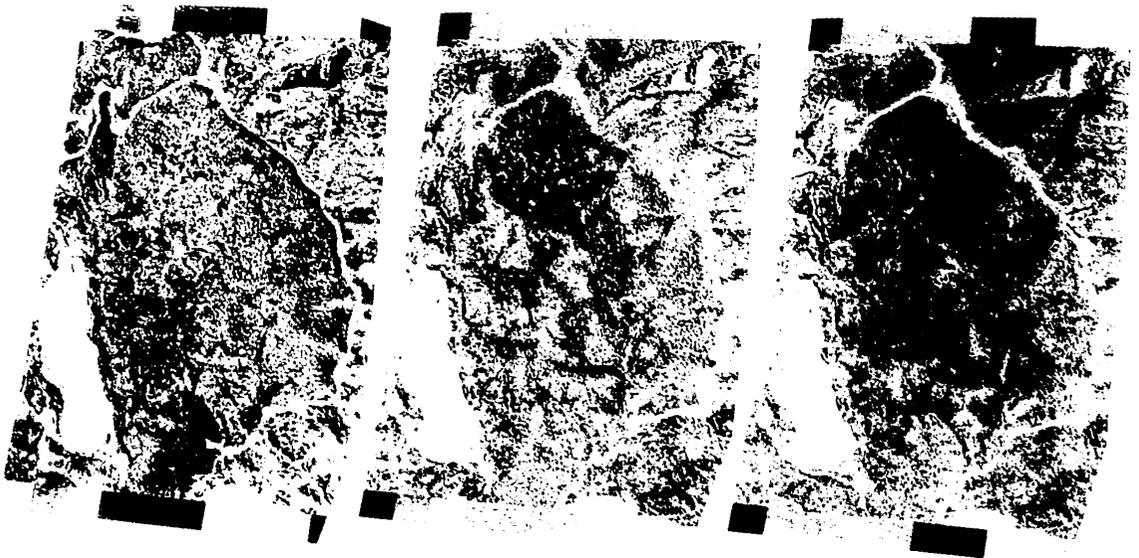
Station	$(\times 10^3 \cdot \text{mg/day}/100 \text{cm}^3)$			$(\text{mg}/4.0 \text{g}) (\text{mg}/100\text{cm}^2)$		(%)
	CCT _s	SO ₃	NO ₂	S	JIN	
1	127	28	1	6.47	11.56	33.30
2	167	3	1	4.25	5.35	58.87
3	138	16	1	5.94	10.55	40.12
4	130	8	2	4.12	6.41	48.07
5	144	17	1	6.50	10.48	36.55
6	143	10	2	5.21	7.93	45.98
7	127	19	5	5.72	11.83	36.07
8	135	11	2	5.72	7.25	45.60
9	139	10	4	6.18	7.29	43.34
10	131	12	3	4.42	8.49	43.46
11	119	18	5	6.51	8.92	36.68
12	167	8	1	5.04	7.10	53.08
13	143	9	2	4.81	8.51	45.36
14	139	13	1	5.88	7.93	42.82
15	146	16	2	6.65	10.86	36.32
16	144	13	1	5.70	9.51	41.24
17	131	16	4	6.90	9.03	35.74
18	147	14	2	5.63	10.39	41.29
19	119	28	8	6.22	11.17	33.32
20	139	15	1	6.44	8.56	42.12
21	143	19	3	6.65	11.14	35.04
22	132	25	1	6.76	11.23	35.01
23	149	10	1	5.56	8.56	45.81
24	138	11	1	5.32	7.73	45.96
25	151	11	1	6.99	8.70	46.48
26	139	13	1	5.76	8.38	44.40
27	131	10	1	4.56	7.07	47.20
28	142	6	1	3.42	7.01	51.10
29	141	8	1	4.71	5.53	47.20
30	155	5	1	4.44	6.30	57.91
31	134	13	5	5.32	7.94	43.13
32	135	25	3	6.71	9.30	35.92
33	126	18	1	5.80	9.85	36.04
A	110	216	19	8.81	16.47	29.17
B	116	42	8	7.01	14.14	32.20
C	105	178	31	7.82	14.43	28.49
D	108	483	60	11.98	28.76	23.96
E	103	204	39	8.11	18.82	26.79
F	131	137	29	10.54	16.61	28.28
G	106	258	26	9.62	20.16	27.00
H	92	665	88	14.52	54.82	16.19
I	138	13	1	5.77	8.65	43.92
J	142	10	1	4.47	7.73	47.84
K	132	30	2	6.79	13.61	31.49

CCT_s : 航空機 MSS データの(バンド9/バンド7)の値

JIN : 葉面付着物量、IR : 近赤外線の影響反射率

表-7 測定要因間の相関行列

Factors	CCT ₅	SO ₃	NO ₂	S	JIN	IR
CCT ₅	1.00000	-0.71305	-0.72593	-0.69600	-0.69405	0.84387
SO ₃	-0.71305	1.00000	0.97758	0.89530	0.95149	-0.70546
NO ₂	-0.72593	0.97758	1.00000	0.88738	0.93876	-0.71347
S	-0.69600	0.89530	0.88738	1.00000	0.89798	-0.85406
JIN	-0.69405	0.95149	0.93876	0.89798	1.00000	-0.75757
IR	0.84387	-0.70546	-0.71347	-0.85406	-0.75757	1.00000

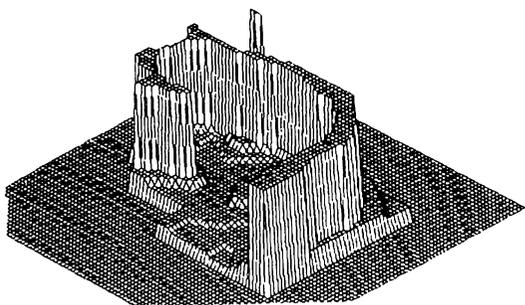


樹種別被害度

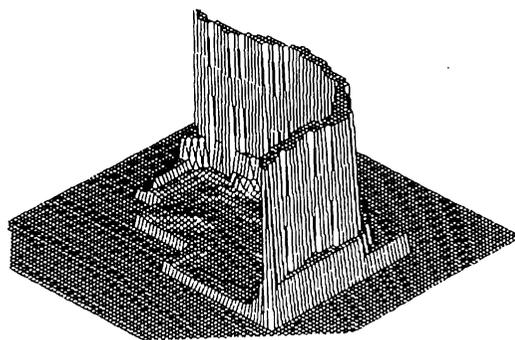
スギの被害状況

被害地域と非被害地域

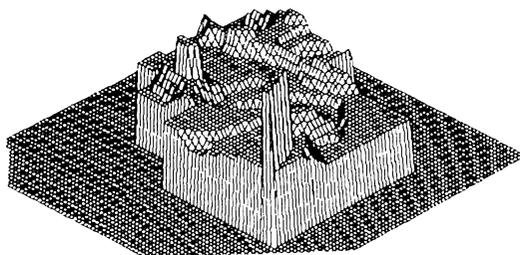
図-10 樹種別被害度



硫黄酸化物の分布状況



窒素酸化物の分布状況



ガス状塩化物の分布状況

図-11 汚染物質の分布状況

引用および参考文献

- 1) DAVID, G. GOODENOUGH : Thematic mapper and SPOT integration with a graphic information system. PE/RS. 52 (2) : 167~176, 1988
- 2) 日下 遼・江川宏一・古本秀司 : 山岳地帯における大気・地形効果の除去. 日本リモートセンシング学会学術講演会論文集 7 : 87~88, 1987
- 3) LEPRIER, C. E. & J. M. DURAND : Influence of topography on forest reflectance using landsat thematic mapper and digital terrain data. PE/RS. 54 : 491~496, 1988
- 4) 大貫仁人 : LANDSAT データの地形条件の差による電磁的歪の補正法とその効果. 日林論 92 : 147~148, 1981
- 5) 妹尾俊夫 : リモートセンシングデータを用いた森林調査法に関する研究. 文部省科研報告書 (研究課題番号 456116), 16, 1981
- 6) 妹尾俊夫・岩浪英二・田中総太郎・杉村俊郎 : 比演算を施した2季節のランドサット MSS データによる広域山地の林相区分. 日本リモートセンシング学会誌 5 (3) : 55~65, 1983
- 7) 妹尾俊夫・本城尚正・小橋澄治・吉川 賢・五味謙隆 : リモートセンシングによる森林の機能と環境のモニタリングに関する研究 (I). 96 日林論 : 147~148, 1985
- 8) 妹尾俊夫・小橋澄治・五味謙隆 : リモートセンシングによる森林の機能と環境のモニタリングに関する研究 (II). 日本リモートセンシング学会学術講演論文集 5 : 29~30, 1985
- 9) SENOO, T., E. IWANAMI, K. HOSHINO, S. TANAKA & T. SUGIMURA : Diagnosis of forest recovery in east region of Kyoto using landsat data. Proceedings of the 18th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Environment Research Institute of Michigan 18 : 1019~1029, 1984
- 10) SENOO, T. & HONJYO, T. : Assessment of tree stress by airborne multispectral scanning data. J. Jpn. For. Soc. 70 : 45~56, 1988
- 11) SENOO, T., T. KUBO, F. KOBAYASHI, S. TANAKA & SUGIMURA, T. : Digital analysis of forest land using landsat TM and SPOT HRV data by personal image processing system. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 16, IV (27) : 616~623, 1988
- 12) SWAIN, P. H. & DAVIS, S. M. : Remote sensing ; The quantitative approach. McGraw-Hill, New York : 75~100, 273~284, 314~320, 1978
- 13) WELCH, R. & E. MANFRED : Merging multi resolution SPOT HRV and landsat TM data. PE/RS. 53 (3) : 301~303, 1987
- 14) WEZERNAK, C. T., R. E. TURNER & D. R. LYZENGA : Spectral reflectance and radiance characteristics of water pollutant. NASA CR-2665, 1976

引用および参考文献

- 1) DAVID, G. GOODENOUGH : Thematic mapper and SPOT integration with a graphic information system. PE/RS. 52 (2) : 167~176, 1988
- 2) 日下 遼・江川宏一・古本秀司 : 山岳地帯における大気・地形効果の除去. 日本リモートセンシング学会学術講演会論文集 7 : 87~88, 1987
- 3) LEPRIER, C. E. & J. M. DURAND : Influence of topography on forest reflectance using landsat thematic mapper and digital terrain data. PE/RS. 54 : 491~496, 1988
- 4) 大貫仁人 : LANDSAT データの地形条件の差による電磁的歪の補正法とその効果. 日林論 92 : 147~148, 1981
- 5) 妹尾俊夫 : リモートセンシングデータを用いた森林調査法に関する研究. 文部省科研報告書(研究課題番号 456116), 16, 1981
- 6) 妹尾俊夫・岩浪英二・田中総太郎・杉村俊郎 : 比演算を施した2季節のランドサット MSS データによる広域山地の林相区分. 日本リモートセンシング学会誌 5 (3) : 55~65, 1983
- 7) 妹尾俊夫・本城尚正・小橋澄治・吉川 賢・五味謙隆 : リモートセンシングによる森林の機能と環境のモニタリングに関する研究 (I). 96 日林論 : 147~148, 1985
- 8) 妹尾俊夫・小橋澄治・五味謙隆 : リモートセンシングによる森林の機能と環境のモニタリングに関する研究 (II). 日本リモートセンシング学会学術講演論文集 5 : 29~30, 1985
- 9) SENOO, T., E. IWANAMI, K. HOSHINO, S. TANAKA & T. SUGIMURA : Diagnosis of forest recovery in east region of Kyoto using landsat data. Proceedings of the 18th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Environment Research Institute of Michigan 18 : 1019~1029, 1984
- 10) SENOO, T. & HONJYO, T. : Assessment of tree stress by airborne multispectral scanning data. J. Jpn. For. Soc. 70 : 45~56, 1988
- 11) SENOO, T., T. KUBO, F. KOBAYASHI, S. TANAKA & SUGIMURA, T. : Digital analysis of forest land using landsat TM and SPOT HRV data by personal image processing system. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 16, IV (27) : 616~623, 1988
- 12) SWAIN, P. H. & DAVIS, S. M. : Remote sensing ; The quantitative approach. McGraw-Hill, New York : 75~100, 273~284, 314~320, 1978
- 13) WELCH, R. & E. MANFRED : Merging multi resolution SPOT HRV and landsat TM data. PE/RS. 53 (3) : 301~303, 1987
- 14) WEZERNAK, C. T., R. E. TURNER & D. R. LYZENGA : Spectral reflectance and radiance characteristics of water pollutant. NASA CR-2665, 1976