

流域管理における NOAA データの高度利用法

AN INTEGRATED METHOD FOR NOAA DATA APPLICATION TO WATERSHED MANAGEMENT

中川和男¹, 小池俊雄², 石橋晃睦³, 広瀬典昭⁴

Kazuo NAKAGAWA, Toshio KOIKE, Akichika ISHIBASHI and Noriaki HIROSE

¹ 正会員 工学 日本工営株式会社 (〒300-1259 茨城県稲敷郡茎崎町稲荷原 2304)

² 正会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

³ 正会員 工学 日本工営株式会社 (〒300-1259 茨城県稲敷郡茎崎町稲荷原 2304)

⁴ 正会員 工修 日本工営株式会社 (〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4)

Satellite information on spatial and temporal distribution of land cover has been highly requested for watershed management. Data availability of the high spatial resolution sensors is usually limited due to weather conditions, especially in tropics, while the multi-temporal sensors with moderate spatial resolution can not detail information which is required for watershed management. This study is to develop a methodology of watershed management using a mexel (mixed pixel) model which uses Landsat TM and NOAA AVHRR. The area ratio of land cover within a NOAA AVHRR 1.1km pixel can be estimated with reasonable accuracy by applying this model to the Brantus river watershed in Indonesia.

Key Words : watershed management, land cover, remote sensing, mixel model, NOAA data

1. はじめに

衛星リモートセンシングデータから得られる広域の土地被覆, 植生, 荒廃地分布, 冠水域分布等の情報は, 流域管理において流出土砂管理, 森林管理, 水収支管理, 河川環境管理等の管理業務に有効活用できるものと考えられる。特に, 流域管理における植生情報の利用ニーズは高く, 流域管理上必要とされる空間分解能・分類精度および観測頻度に応じて, 広域植生情報を把握することは, 重要な課題である。

詳細な地表面被覆情報の抽出には, ランドサット TM (以下, TM) などのような高分解能センサが用いられるが, 観測頻度が低いために, 特に, 熱帯地域のように雲に覆われる割合が高い場所では, 定常的な情報収集は困難である。一方, 広域被覆情報の収集には, 観測頻度の高い NOAA AVHRR データ (以下, AVHRR) がよく使われるが, 中分解能 (空間分解能: 1.1km) であるため, 複雑な土地利用形態の地域では利用に限界がある。

一般に, 広範囲を観測する中分解能リモートセンシング画像には, 地上の複数被覆が混在しているピクセルが多く含まれる。この混在ピクセルをミクセル(ミ

ックスピクセル) と呼ぶ。広範囲を詳細に被覆分類する際には, ミクセル問題を解決することが必須となる。既に, 稲村 (1987) や松本ほか (1991), 須崎・柴崎 (1999) ¹⁾⁻³⁾ をはじめ, ミクセルを含む中分解能画像を用いた画素内の被覆構成要素の推定手法は多数提案されているが, これらの手法をアプリケーションへ適用した例は極めて少ない ⁴⁾。

そこで, 本研究では流域管理のための実用的な植生情報の把握を目的とし, ミクセルデータに線形モデルを仮定しカテゴリー分解 ⁵⁾ する杉田・安岡 (1995) のスケーリング手法 ⁶⁾ に基づき, TM と AVHRR を用いたミクセル分解法による植生域抽出精度向上の可能性を検討した。

2. 流域管理におけるリモートセンシング情報の活用

一般に, 流域管理において, 管理項目毎にリモートセンシングから得られる情報の活用方法および管理に必要な各情報項目の空間・時間スケールを整理すると, 表-1 のようになる。

表-1 流域管理におけるリモートセンシング情報の活用法と情報項目毎の空間・時間スケール

管理項目	リモートセンシング情報の活用		空間スケール	時間スケール
	リモートセンシング情報	活用法		
雨量推定・予測	大気情報	地上雨量計、テレメータシステムとの組合わせ	1 km	月単位
低水流出予測	土壌水分、植生情報	流出モデルの入力データ、水位計、テレメータシステムとの組合わせ	100 m	月単位
高水流出予測	土壌水分、植生情報	流出モデルの入力データ、水位計、テレメータシステムとの組合わせ	100 m	月単位
植生変化	植生被覆のモニタリング	時系列解析、農業情報（作付け）との組合わせ	1～100 m	週～月単位
土地利用	土地被覆情報	GIS（地形図・地上情報）との組合わせ	10～100 m	月～年単位
土壌浸食	土地被覆情報	GIS（地形図・地上情報）、雨量情報等からのモデルによる推定	1～100 m	月～年単位
土砂災害	土地被覆情報	GIS（地形図・地上情報）との組合わせ、時系列解析	1～100 m	日～年単位
森林災害・保全	植生被覆、可視画像	広域災害情報	1～100 m	月単位
洪水氾濫	冠水情報	過水解析	10～100 m	時間～日単位
水質モニタリング	濁水分布状況	貯水池、河道内の濁水の変化把握	10～100 m	週～月単位
河口沿岸域	水域・濁水状況、土地被覆情報	GIS（地形図・地上情報）との組合わせ	10～100 m	月単位

表-1 に示すように、流域管理のための観測情報は、一般に 10m から 100m の高い空間効能が要求される。TM のような高分解能センサの観測頻度は数週間に 1 回であるが、雲による影響を受ける熱帯地域では、利用可能なデータは数年に 1 回程度と少ない。そのため、年単位よりも短い時間スケールでの高分解能センサのみによるモニタリングは困難である。一方、空間分解能は低いが週から月単位の高い時間スケールで利用可能な中分解能センサは、要求される空間スケールを満足することはできない。

したがって、流域管理のための高分解能かつ高頻度なモニタリングを実施するには、高分解能・低頻度データと中分解能・高頻度データを組合わせたミクセル分解法の開発が、不可欠となる。

以上のリモートセンシング情報の活用法を踏まえ、本研究では、流域管理のためのリモートセンシングによる植生情報モニタリングについて、その抽出精度向上を検討する。

3. 植生域抽出手法の検討

(1) ミクセル分解法

本研究では、ミクセル分解法を、TM のような高分解能・低頻度データと、AVHRR のような中分解能・高頻度データを効果的に組合わせ、中分解能 1 ピクセルに含まれる被覆要素（代表例：植生域、非植生域、水域の構成面積比率）を、線形モデルによりカテゴリー分解する手法と定義する。（図-1）

(2) 研究対象地域

水資源の利用度が高く、熱帯性気候に属し周囲の広域水文特性と密接な関係にあるブランタス河下流域を研究対象地域とした。（図-2）

ブランタス河は、ジャワ島東部に位置し、流域面積 11,800km²、流路延長約 320km のジャワ島第 2 の河川である。ブランタス河における流域管理については、現在、管理業務の一元化を目指し、体制づくりも含めた流域管理計画の検討が進められているところである。

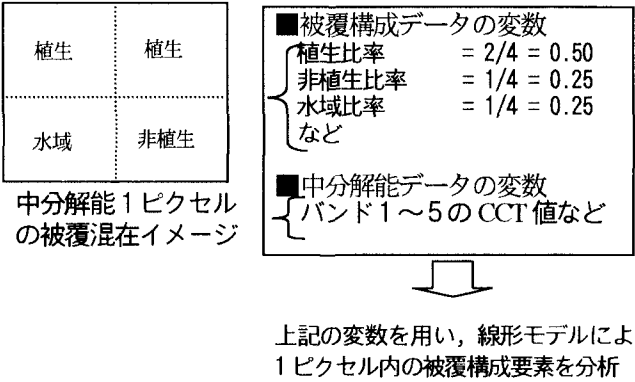


図-1 ミクセル分解法の概念

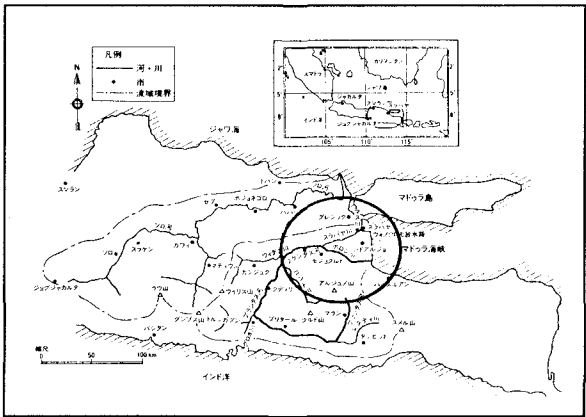


図-2 対象地域

(3) 解析使用データ

衛星画像解析では、画像内の雲域やノイズ、撮影時期といった撮影時の各種条件を検索し、解析目的に応じて使用データを選定しなければならない。

対象地域を含むフルシーンの TM 画像検索結果を表-2 に、AVHRR 10 日コンポジットの画像検索結果を表-3 に示す。

AVHRR10 日コボジットとは、広域を対象に日単位の観測データの 10 日単位のコボジット処理により、雲域を可能な限り除去したデータである。しかし、本データにはコボジット処理を行うことにより、同一画像内に気象条件の異なるデータやノイズが含まれるといった問題がある。

TM については、表-2 に示すとおり、対象地域における雲量 50%以下の画像は、過去 10 年間で僅か 3 シーンであり、解析可能な画像は極めて少ない。

一方、AVHRR については、1992 年 7 月から 1993 年 5 月までの全画像の雲域とノイズの有無を判読した結果、約 1 年間で 6 シーンが使用可能であり、コボジット画像であっても季節の異なる複数シーンの利用が可能である。

以上の画像検索結果より、表-4 に示すデータを選定し、本解析に使用した。

(4) 検討手順

検討手順を、図-3 に示す。

表-2 ランドサット TM の検索結果

観測月 観測年	雨 期								乾 期												雨 期			
	1月		2月		3月		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月	
	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬
1989年							28	13																
1990年							20%	30%																
1991年																								
1992年																								
1993年																								
1994年													8											
1995年													0%											
1996年																								
1997年																								
1998年																								
1999年																								

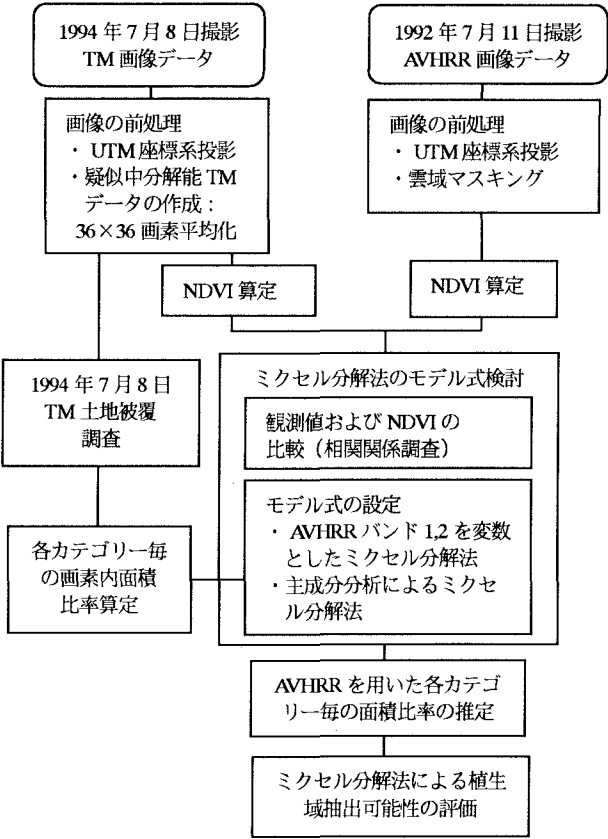
上段：観測日
下段：雲量(%)

上段：観測日
下段：雲量(%)

表-3 NOAA AVHRR 10 日コボジットの検索結果

		雨 期												乾 期												雨 期											
観測月日 観測年		1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬			
1992年																				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
1993年		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							◎	◎	◎	◎	×	×	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
		×	×	×	◎	×	×	×	×	×	×	×	×																								

上旬：1～10日
中旬：11～20日
下旬：21～30(31)日
上段：データ入手の有無（有りは○，無しは空欄）
下段：本調査での利用可能性の判読結果（可能は◎，不可能は×）



注) 36×36 画素平均化の 36 の根拠は、1100m/30m÷36 である

図-3 ミクセル分解法による植生域抽出精度向上の検討フロー

表-4 解析使用データ

項目	データ内容
ランドサット TM	乾期 1994 年 7 月 8 日観測
	(雨期 1989 年 3 月 28 日観測)
NOAA AVHRR 10 日コボジット	乾期 1992 年 7 月 11 日観測
	(乾期 1992 年 7 月 21 日観測)
	(乾期 1992 年 8 月 1 日観測)
	(乾期 1992 年 8 月 21 日観測)
	(乾期 1992 年 9 月 11 日観測)
	(雨期 1993 年 2 月 1 日観測)
地形図	1:500,000, 1:50,000
土地利用図	1990 年

注) () の衛星画像は、TM 土地被覆分類の参考データとして使用

(5) TMを用いた土地被覆調査

ミクセル分解による植生域抽出のベースとなる詳細な土地被覆状況の把握を目的とし、既存土地利用図、地形図、現地写真、複数時期の AVHRR を参考に、TM を用いた最尤分類法による土地被覆分類を実施した。

さらに、得られた土地被覆分類結果を用いて AVHRR1.1km メッシュ内での各土地被覆カテゴリ毎の構成面積比率を算定した。

(6) ミクセル分解法のモデル式検討

ここでは、同季節に観測された 1994 年 7 月 TM と 1992 年 7 月 AVHRR を用いて、

- ①植物活力度および植生域の分布域の把握に有効とされる AVHRR バンド 1,2 を変数としたモデル式
- ②AVHRR 全バンドの主成分分析によるモデル式の 2 つのモデル式について検討した。

a) TM と AVHRR の線形相関関係

対象地域における代表的な被覆カテゴリ地域をサンプリングして、疑似中分解能 TM と AVHRR データの CCT 値および 0-200 の値にスケーリングした NDVI について線形相関関係を調査した。ここで、疑似中分解能 TM とは、TM36×36 画素を平均化したものである。その結果、全ての CCT 値および NDVI にて相関係数は 0.71 以上と高い値が得られ、両データは比較検討可能であると判断できる。

b) AVHRR バンド 1,2 を変数としたミクセル分解法

TM 土地被覆分類結果を参考に、最も基本的なカテゴリである植生域（森林／草地／水田を含む）、裸地／市街地、水域の 3 カテゴリをミクセル分解のカテゴリとし、ミクセル分解法のモデル式を検討した。TM 土地被覆分類結果から算出した植生域、裸地／市街地、水域の 3 カテゴリの面積比率データと対応するピクセルの AVHRR バンド 1,2 の間には、ミクセルの線形モデルを仮定した場合、次の関係式が成り立つ。

AVHRR バンド 1,2 を変数としたミクセル分解法のモデル式：
AVHRR Band1 = a・vege + b・nvege + c・water
AVHRR Band2 = d・vege + e・nvege + f・water
vege + nvege + water = 1

ここで、vege は植生域面積比率、nvege は裸地／市街地面積比率、water は水域面積比率、a～f は係数である。

AVHRR シーンの東側半分の地域（191 画素）をサンプリング対象とし、AVHRR バンド 1,2 と植生域、裸地／市街地、水域の面積比率の関連性を調査し、モデル式の係数を同定した。（表－5）

表－5 に示すように、重相関係数は 0.76 以上と高い関連性が認められた。

表－5 AVHRR と植生域、裸地／市街地、水域の線形関係と係数

	係数a,d	係数b,e	係数c,f	R ²
AVHRR-Band1	69.16	106.51	90.72	0.76
AVHRR-Band2	222.35	135.22	118.67	0.78

c) 主成分分析によるミクセル分解法

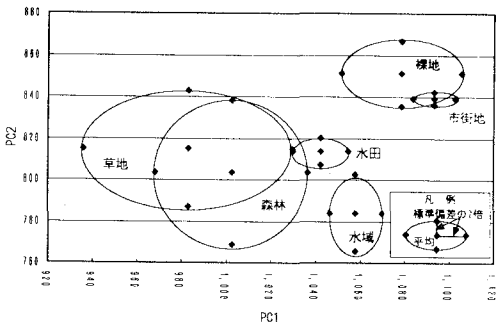
主成分分析を行い、ミクセル分解のカテゴリを検討し、ミクセル分解法のモデル式を設定した。

TM 土地被覆分類結果を参考に、AVHRR を用いて対象地域における代表的な被覆項目である市街地、裸地、水域、森林、草地、水田の 6 カテゴリを設定し、各カテゴリのサンプリングエリアを抽出した。

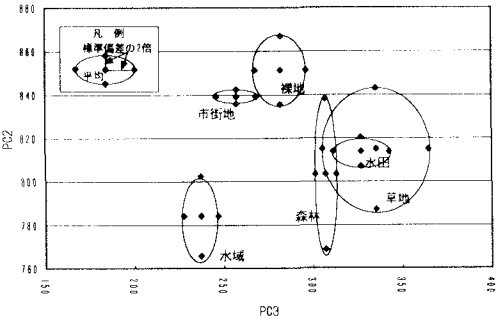
表－6 に AVHRR 全バンドの主成分固有値、固有ベクトル、寄与率を示す。また、6 カテゴリの AVHRR 全バンドの第 1, 2 主成分値および第 2,3 主成分値の平均と標準偏差を、図－4 および図－5 に示す。

表－6 AVHRR 全バンドの主成分固有値、固有ベクトル、寄与率

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
固有値	2.28	1.10	0.86	0.47	0.29
固有ベクトル					
バンド1	-0.41	0.60	-0.44	-0.54	0.03
バンド2	-0.36	0.34	0.87	-0.06	0.01
バンド3	0.40	0.72	-0.07	0.55	-0.14
バンド4	0.52	0.13	0.14	-0.33	0.76
バンド5	0.52	0.02	0.18	-0.55	-0.63
寄与率	0.46	0.22	0.17	0.10	0.06



図－4 AVHRR 全バンドの第 1,2 主成分値の 6 カテゴリの平均と標準偏差



図－5 AVHRR 全バンドの第 2,3 主成分値の 6 カテゴリの平均と標準偏差

各主成分値の平均、標準偏差の分布状況を判読した結果、第1主成分は表面温度情報を、第2主成分はアルベド・水分情報を、第3主成分は植物活力情報を示していると判断できる。

また、図-4、図-5 に示すように、平均と標準偏差の分布が重なるカテゴリーが複数認められるため、分類精度向上を図るにはカテゴリー間の統合化が必要となる。そこで、各カテゴリーの主成分空間上の分布特性を考慮し、ミクセル分解法で分解するカテゴリー数は、森林／草地、水田、裸地／市街地、水域の4カテゴリーとした。

TM 土地被覆分類結果から算出した森林／草地、水田、裸地／市街地、水域の4カテゴリーの面積比率データと対応するピクセルの AVHRR 全バンドの第1,2,3主成分値の間には、ミクセルの線形モデルを仮定した場合、次の関係式が成り立つ。

主成分分析によるミクセル分解法のモデル式：

$$\begin{aligned} \text{AVHRR PC1} &= a \cdot \text{vege} + b \cdot \text{paddy} + c \cdot \text{nvege} + d \cdot \text{water} \\ \text{AVHRR PC2} &= e \cdot \text{vege} + f \cdot \text{paddy} + g \cdot \text{nvege} + h \cdot \text{water} \\ \text{AVHRR PC3} &= i \cdot \text{vege} + j \cdot \text{paddy} + k \cdot \text{nvege} + l \cdot \text{water} \\ \text{vege} + \text{paddy} + \text{nvege} + \text{water} &= 1 \end{aligned}$$

ここで、AVHRR PC1,2,3は第1,2,3主成分値、vege は森林／草地面積比率、paddy は水田面積比率、nvege は裸地／市街地面積比率、water は水域面積比率、a～l は係数である。

前項 b) の AVHRR バンド 1,2 を変数としたモデル式の検討と同一のサンプリング地域にて、AVHRR 第1,2,3 主成分値と森林／草地、水田、裸地／市街地、水域の面積比率の関連性を調査し、モデル式の係数を同定した。(表-7)

表-7 に示すように、重相関係数は全てにおいて 0.57 以上の値を示しており、特に、植物活力情報を示す第3主成分では 0.83 とかなり高い関連性が認められた。

表-7 AVHRR 主成分値と森林／草地、水田、裸地／市街地、水域の線形関係と係数

AVHRR	係数 a,e,i	係数 b,f,j	係数 c,g,k	係数 d,h,l	R ²
PC1	1052.59	1011.69	1084.22	1064.65	0.57
PC2	796.94	815.58	844.03	815.10	0.58
PC3	310.13	372.82	266.23	261.28	0.83

4. 植生域抽出可能性の評価

設定した2つのミクセル分解法のモデル式を検証する目的で、AVHRR シーンの西側半分の地域(243 画素)について各カテゴリーの推定面積比率と TM から求めた面積比率の比較検討を行い、ミクセル分解法による植生域抽出可能性を評価した。

推定した各カテゴリーの面積比率と TM から求めた面積比率との重相関係数を、表-8 に示す。

表-8 各カテゴリー毎の推定面積比率と TM から求めた面積比率との重相関係数

AVHRR	AVHRRバンド1,2を変数としたミクセル分解法	主成分分析によるミクセル分解法
森林／草地	0.82(水田含)	0.05
水田		0.46
裸地／市街地	0.43	0.29
水域	0.56	0.61

以下に、得られた結果と考察を示す。

- AVHRR バンド 1,2 を変数としたミクセル分解法については、TM と AVHRR の観測年が異なるにもかかわらず、植生域の重相関係数が 0.82 と極めて高い結果が得られた。よって、森林／草地／水田の混合カテゴリーではあるが、本モデル式により AVHRR1.1km メッシュ内の植生面積比率を把握することで、植生域抽出精度向上が図られるものと考えられる。
- 一方、主成分分析によるミクセル分解法については、水域の重相関係数が 0.61 と AVHRR バンド 1,2 を変数とした手法の 0.56 を僅かに上回る相関が得られた。
- また、水田については、TM と AVHRR の観測年が異なるにもかかわらず、重相関係数が 0.46 との結果が得られた。よって、本手法により AVHRR1.1km メッシュ内の水田での稲の作付状況を 4 カテゴリーの面積比率を求めることで、概ね把握可能であると考えられる。対象流域では稲作が盛んに行われており、稲の成育、作付や収穫時期が気象水文条件の影響を強く受けること、稲作による水利用が盛んであるといった実態を勘案すると、本手法による水田での稲の作付状況モニタリングは、流域管理において低水流出評価・予測を行う場合に有効であると考えられる。
- 森林／草地については、重相関係数が 0.05 と他のカテゴリーに比べて極端に低い結果となった。こ

れは、森林／草地と水田の植物活力情報を示す第3主成分値の分布特性が完全に重なり合うことが主要因と考えられる。

図-6 に、TM から作成したカテゴリー分布図と AVHRR 第 1,2,3 主成分値を変数としたミクセル分解法により求めた各カテゴリーの面積比率分布図を示す。TM カテゴリー分布と各カテゴリーの面積比率分布を比較すると、TM カテゴリー分布の状況をよく反映していることが判読できる。

TM 土地被覆分類によるカテゴリー分布図

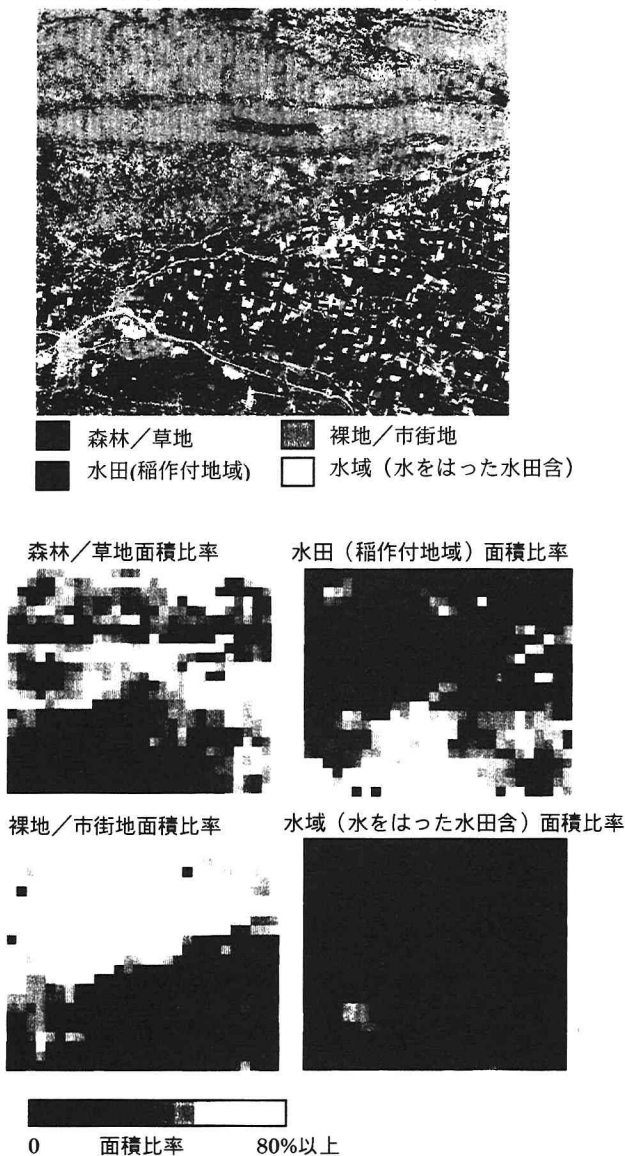


図-6 TM 土地被覆分類によるカテゴリー分布図と同地域の各カテゴリーの面積比率分布図

5. まとめ

本研究では、TM と AVHRR を用いて流域管理における植生域抽出精度向上の可能性について検討した。

その結果、TM のような高分解能・低頻度データと AVHRR のような中分解能・高頻度データを組合わせたミクセル分解法により、AVHRR 1.1km メッシュ内の植生および水田での稲の作付状況を把握することが可能であることを示すことができた。

今後さらに、連続観測 AVHRR 等を用い、本ミクセル分解法による植生域の季節変化や経年変化の評価手法について検討を行う予定である。また、広域モニタリング調査に有効とされる多空間分解能・多チャンネル衛星の TERRA (EOS-AM) MODIS (36 バンド、1999 年 10 月打上予定) や ADEOS-II GLI (36 バンド、2000 年 11 月打上予定) の打上動向を踏まえ、これらの衛星画像についても利用可能性の検討に取り組む予定である。

謝辞：本研究は、社団法人資源協会「人工衛星による地球環境保全及び地球資源調査システムの調査研究」ならびに、文部省科学研究費補助金基盤研究 (B) 「多次元情報を用いた融雪流出管理システムの実用化に関する研究」(代表者：小池俊雄) の研究成果の一部である。記して謝意を表す。

参考文献：

- 1) 稲村実：カテゴリー分解に基づくリモートセンシング画像データの解析，電子情報通信学会論文誌，'87/2Vol.J70-C No.2, pp.241-250, 1987
- 2) 松本雅雄，藤丸浩基，土屋清，新井康平：最尤推定法に基づくカテゴリー分解，写真測量とリモートセンシング，Vol.30 No.2, pp.25-34, 1991
- 3) 須崎淳一，柴崎亮介：確率ミクセルモデルに基づいたスペクトル特性ならびに被覆混合比推定手法，写真測量とリモートセンシング，Vol.38 No.3, pp.44-59, 1999
- 4) Rosenthal W. and Dozier J. : Automated mapping of montane snow cover at subpixel resolution from the Landsat Thematic Mapper, Water Resources Research, Vol.32 No.1, pp.115-130, 1996
- 5) 杉田幹夫，安岡善文：NOAA AVHRR データと LANDSAT TM データのスケールアップ，日本リモートセンシング学会学術講演会論文集，第 19 回，pp.59-60, 1995
- 6) Choi H. S., Haynor D. R. and Kim Y. : Partial Volume Tissue Classification of Multichannel Magnetic Resonance Image - A Mixel Model, IEEE Transaction Medical Imaging, Vol.10 No.3, pp.395-407, 1991
- 7) 日下はるか，川田剛之，鹿田正昭：グローバル植生指標に及ぼす大気エアロゾルと地形の影響評価，衛星計測による大陸規模の水・熱エネルギーフローの解明 1996 年度研究報告集，pp.169-173, 1997
- 8) 杉田幹夫，安岡善文：異空間分解能データにおける VSW 指標の比較，日本リモートセンシング学会学術講演会論文集，第 20 回，pp.35-36, 1996
- 9) 日本工営，コーエイ総合研究所：ブランクス河の開発，山海堂，pp.1-408, 1996
- 10) 社団法人資源協会：平成 10 年度 人工衛星による地球環境保全及び地球資源調査システムの調査研究 成果報告書，pp.25-50, 1999

(1999.9.30 受付)