

衛星画像によるブラントス川流域の地表面状態の解析 —降雨・土砂流出予測に向けて—

宝 馨・上坂龍平*・江頭進治**

*京都大学大学院工学研究科

**立命館大学理工学部

要 旨

地球観測衛星 MOS-1 の MESSR センサーによるリモートセンシング画像を用いて、ブラントス川流域の土地被覆分類を行った。教師なし分類手法と航空写真及び土地利用図と組み合わせて分類した結果と、現地踏査に基づく最尤法による土地被覆分類結果を検討した。後者の方法により、解像度 50m ではあるが比較的正確な土地被覆分類図が作成できた。

キーワード：リモートセンシング, GIS, 土地被覆分類, 土砂流出

1. 序論

わが国が提唱し、1987年に国連ユネスコにおいて採択された国際防災の十年 (IDNDR, International Decade of Natural Disaster Reduction) に関する活動の一つとして、京都大学防災研究所では、1991年以後、インドネシア公共事業省とともに国際共同研究を実施してきた (DPRI, 1994; Ministry of Public Works, 1996)。本報で取り扱うブラントス (Brantas) 川流域 (Fig. 1) は、この共同研究で対象とする地域の一つでジャワ島東部に位置する。

ブラントス川流域では、火山活動の活発なクルード火山 (Mt. Kelud) の噴火や豪雨によって生産された土砂が、バダック (Badak) 川やプティー (Putih) 川などの支流を伝って大量に流れ込んでいる。このため、ダムへの堆砂、激しい河床変動、洪水氾濫の危険、海岸環境の悪化といった問題が生じている。本研究では、こういった問題をふまえて、ブラントス川流域の降雨・土砂流出解析手法の確立を目標としている。研究の流れは、Fig. 2に示すとおりである。

降雨流出、土砂流出解析を取り扱うには、まず、本流域の土地被覆状態を把握することが必要である。

そのために、ここでは、人工衛星リモートセンシングデータを用いることを考える。本流域では、頻繁にクルード火山が噴火するため、土地被覆状況が変化しやすい。また、土砂流出解析に有用な土地利用図が作成されていない。さらに、約 12,000km² と広大な流域面積を有する。こういったことから、リモートセンシング画像と GIS が有効であると思われる。

本報では、特に 1990 年 2 月のクルード火山噴火前後に着目して、本流域の土砂流出形態を衛星画像と GIS を用いてマクロスケールで解析することを目的としている。ここでは、衛星画像を用いた土地被覆分類を中心に述べる。

2. MOS-1 画像について

MOS-1 (Marine Observation Satellite-1) は地球資源の有効利用、環境の保全等に資するため、人工衛星による地球観測システム開発の一環として、地球観測衛星の共通的技術の確立及び海洋現象の観測を主目的としたわが国初の地球観測衛星で、1987年2月19日に打ち上げられた。MOS-1 に搭載されたセンサーは、可視近赤外放射計

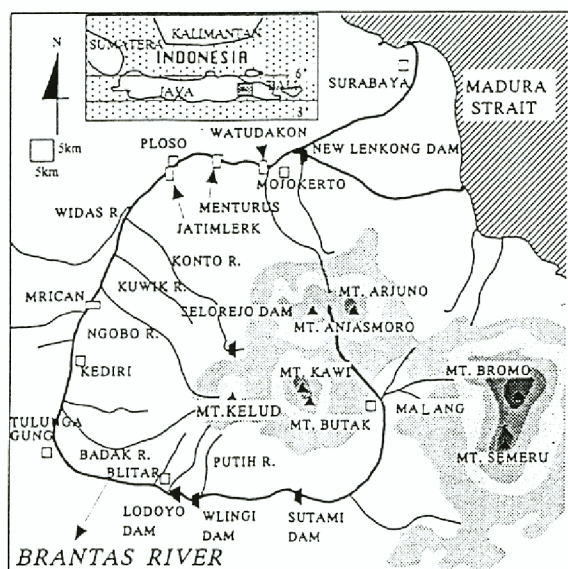


Fig. 1 Brantas river basin

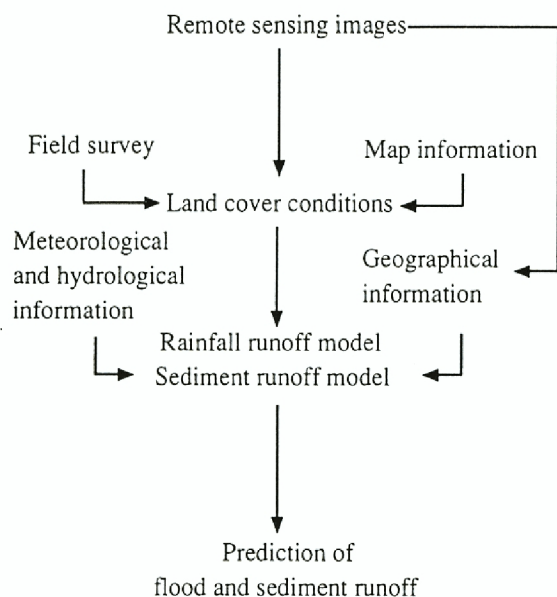


Fig. 2 Procedure of the study

(MESSR), 可視熱赤放射計 (VTIR)、マイクロ波放射計 (MSR) の3種類である。MESSRセンサーは、可視近赤外線域で4バンドを持ち、各バンドの波長域は、Band 1 (0.51 μm ~0.59 μm)、Band 2 (0.61 μm ~0.69 μm)、Band 3 (0.73 μm ~0.80 μm)、Band 4 (0.80 μm ~1.10 μm)である。また、空間分解

能は50mである。1990年2月7日には、MOS-1と同等の性能を有するMOS-1bが後継機として打ち上げられた。なお、MOS-1は1995年11月29日に、MOS-1bは1996年4月17日に運用が停止された。MOS-1によるインドネシア観測可能範囲は、Fig. 3に示すようである (Takara et al., 1996)。

3. 教師無し土地被覆分類

MOS-1画像 (31-131E, 1988年9月28日撮影) は、クルド火山を中心とするブランタス川流域をカバーしている。この画像からブランタス川の代表的な支流であるバダック川、プティー川流域を含む部分を切り取り、土地被覆分類を行うことにした。リモートセンシング画像の解析には、画像処理ソフトDIMP (Digital Image Processing System) を用いる。DIMPは、オーストラリア製で、Apple社のMacintoshコンピュータ上で稼働する。DIMPにおいては、教師無し分類法 (unsupervised classification) として、AutomaticとK-meansの2種類の分類法が用意されている (Process Software Solutions Pty Ltd, 1995)。本研究では、Automatic分類法を用いることにした。

3.1 Automatic分類法による結果

マルチスペクトルバンドとして、Band 4, Band 2, Band 1の3バンドを用いて、バダック川、プティー川流域を含む画像のAutomatic分類を行った。分類クラスの数10とした。また、各ピクセルの輝度のベクトル値が最も近いクラスと30 (この値をcut-offと呼ぶことにする) 以上距離が離れていれば、そのピクセルを分類不可能とした。こうして得られた結果をFig. 4(a)に示す。

このような教師無し分類の場合、これに何か別の情報を用いて、事後的に各分類クラスの土地被覆を推定したり、分類クラスの統合を行う必要がある。

3.2 クラスクロスプロット図などの適用

Fig. 4(a)の教師無し分類に基づいて、土地利用図、航空写真 (白黒)、クラスクロスプロット図を適用することで土地被覆の状況を推測し、再度分類を行うことにした。本報では、Band 1とBand 2のクラスクロスプロット図 (Fig. 4(b)) を挙げることにする。クラスクロスプロット図では、各バンドの輝度値の最大値、最小値そして平均値が、各分類クラスごとに表されている。ボックスの重なる部分の大きいクラスは互いに似た土地利用と見なすことができると考えられる。

クラスクロスプロット図より、クラス1と6、クラ

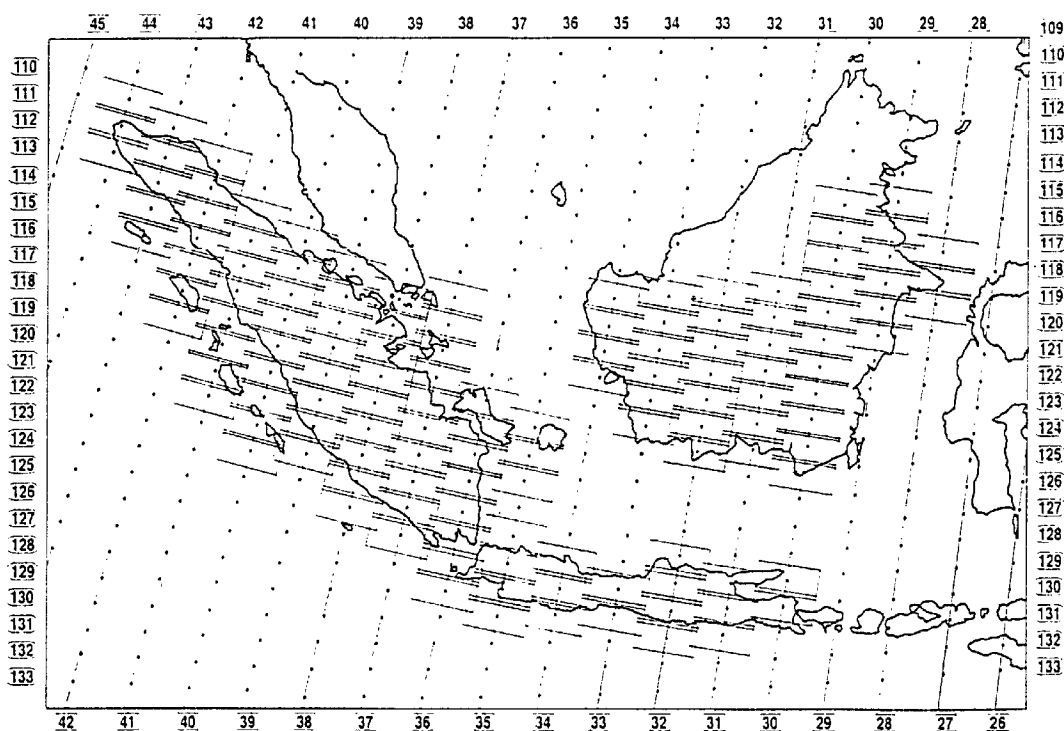


Fig. 3 MOS-1 Bangkok Station's coverage map for Indonesia [after NASDA]

ス2と8, クラス3と4が似た土地利用であると推測できる。さらに, 土地利用図や航空写真をもとに, クラス1と6がさとうきび, クラス2と8が水田, クラス3と4が森林と分類することができた。

こうして得られた結果がFig. 5である。分類クラスとしては, 土地利用図や航空写真をもとに, 森林, 居住域, 水域, 土砂堆積域, 雲, そして本流域の主要な植生であるさとうきび, 水田を挙げた。

Fig. 5より, 明らかに非現実的な分類と見せる箇所も確認できた。具体的には, クルード火山の山頂付近に見られる居住域, さらに, 水域と判別されている雲の影などである。

4. 現地踏査に基づく教師付き分類

4.1 最尤法による分類

3.2で述べた教師無し分類では, 不確かな分類がいくつか見られ, 土地被覆分類として直接適用するには不十分と考えられる。そこで, 実際にいくつかの場所を現地踏査(1997年2月26~27日)することにより, 正確な土地利用状況を把握することにした。

現地踏査は, バダック川, プティー川のチェックダム周辺を中心に行った。プランタス川流域は, 非常に細かい粒子を持つ火山灰土に覆われている。また, ケッパンの気候区分では熱帯雨林気候に属する。植生としては, 森林, プランテーション農業によるさ

とうきび, コーヒー, ゴム, そして, 稲(灌漑された水田)が卓越することが確認できた。

この現地踏査をもとにトレーニングエリアを抽出し, 教師付き分類を行った。分類クラスとして, 森林, 居住域, 水域, 土砂堆積域, 雲, 雲の影, さとうきびと水田を挙げた。この分類では, 最尤法(Bayesian Maximum Likelihood, BML)を用いることにした(Process Software Solutions Pty Ltd, 1995)。こうして得られた結果がFig. 6である。

4.2 結果と考察

分類を行った結果, バダック川(Photo 1), プティー川上流の土砂堆積域が, 周囲の森林と区別されていることが確認できた。また, Fig. 5と比較して居住域が正確に判別できた。具体的には, Fig. 5で, 明らかに不自然な分類であったクルード火山山頂付近の居住域が, Fig. 6では森林と分類されている。また, Fig. 5では判別されていなかったブリター(Blitar)市が, Fig. 6ではよく表現されている。さらに, Fig. 5では雲の影と水域が同じ分類となっていたが, Fig. 6では区別することができている。主要な植生である稲とさとうきびとは, 境界線が不明瞭であったため, 同一の分類クラスとした。

この地域では, 土地利用が細かく分割されていないため, 50mと粗い解像度であるにもかかわらず, 比較的正確な土地被覆分類ができたと考えられる。し



Photo 1 Badak river

かし、誤った分類となっていると思われる箇所も残っている。その原因としては、50mという解像度の粗さ、教師付き分類を行う際のトレーニングエリアの抽出方法、分類手法などが考えられる。

5. 今後の課題

本報では、降雨流出、土砂流出の解析・予測のために必要な流域地表面の状態を人工衛星リモートセンシング画像から把握することを試みた。ここで用いた衛星はMOS-1で、画像の空間分解能は50mであって、土砂流出予測には若干粗いかもしれない。今後この画像の適用可能性について検討していく予定である。

本研究ではさらに、地球資源衛星JERS-1(ふよう1号)の画像の利用を考えている。JERS-1は、1992年2月11日に打ち上げられた衛星で、合成開口レーダ(SAR)、光学センサー(OPS)の2種類のセンサーを搭載している。それぞれ、18m、24mという高い空間分解能を有する。より精度の高い分類を行うために、これら複数のセンサーの多時期の画像を活用することになっている。

一方、土砂流出モデルについては、現在のところYang(1996)のUnit stream power theoryを適用する予定である。この理論は、計算が比較的容易であるため、マクロスケールの土砂流出を扱うには適していると考えられる。計算に必要な諸量は、流量 Q 、斜面勾配 s 、マニングの粗度係数 n 、土粒子の沈降速度 w である。これらを求めるための基礎資料と

して、降水量データ、地形データ、土粒子の平均粒径 d_{50} 、そしてダム の堆砂量データなどが必要である。1997年2月の現地調査時に、インドネシア公共事業省の協力を得て、バダック川、プティー川流域を中心にこれらのデータの収集を行った。

今後は、GISを用いて、このモデルと多種のリモートセンシング画像による土砂供給源の土地被覆状況とを統合し、マクロスケールの土砂流出解析手法ならびに降雨流出解析手法を構築していく予定である。

謝 辞

本研究は、文部省特別事業国際共同研究「中国及びインドネシアにおける自然災害の予測とその防御に関する研究(IDNDR)」の研究経費、平成9年度文部省科学研究費補助金・国際学術研究(共同研究)「洪水、土砂流出および海岸侵食による災害とその防御に関する研究」(No. 09044188, 研究代表者: 江頭進治立命館大学教授)の成果の一部である。また、インドネシア公共事業省には、現地調査、資料収集などにおいて多大な協力を得ている。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- Disaster Prevention Research Institute (1994): Japan-Indonesia Joint Research on Natural Hazard Prediction and Mitigation, Kyoto University, 292 pp.
- Ministry of Public Works (1996): Proceedings of Workshop on Disasters Caused by Floods and

- Geomorphological Changes and Their Mitigations (WDFGM-1996) , Yogyakarta, Indonesia, August 21-23, 1996, 253 pp.
- Process Software Solutions Pty Ltd (1995) : DIMPLE, Digital Image Processing System, User Manual, Ver. 2.2.4, Chap. 7, pp. 169-210.
- Takara, K., T. Yamashita, S. Egashira, Dyah R. P., Irwan S., A.R. Syamsudin and Anton (1996) : Application of remote sensing and GIS to research on disasters caused by floods and sedimentation, Proceedings of Workshop on Disasters Caused by Floods and Geomorphological Changes and Their Mitigations (WDFGM-1996) , Yogyakarta, Indonesia, August 21-23, 1996, pp. 62-77.
- Yang, C.T. (1996) : Sediment Transport Theory and Practice, McGraw-Hill, pp. 274-284.

**Analysis of land surface conditions in the Brantas River basin
— For prediction of rainfall and sedimentation runoff —**

Kaoru TAKARA and Ryuhei UESAKA* and Shinji EGASHIRA**

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

** Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University

Synopsis

This paper describes results of classification of land cover in the Brantas River basin by using a remote sensing image of MOS-1/MESSR. A supervised classification technique (Bayesian Maximum Likelihood method) based on site visiting information has given better results than an unsupervised technique using information by aerial photographs and a land use map. Since the obtained land cover map has good classification accuracy, it would be effectively used for rainfall and sedimentation runoff analysis, though its spatial resolution (50 m) is not so fine.

Keywords : Remote Sensing, GIS, land cover classification, sedimentation runoff

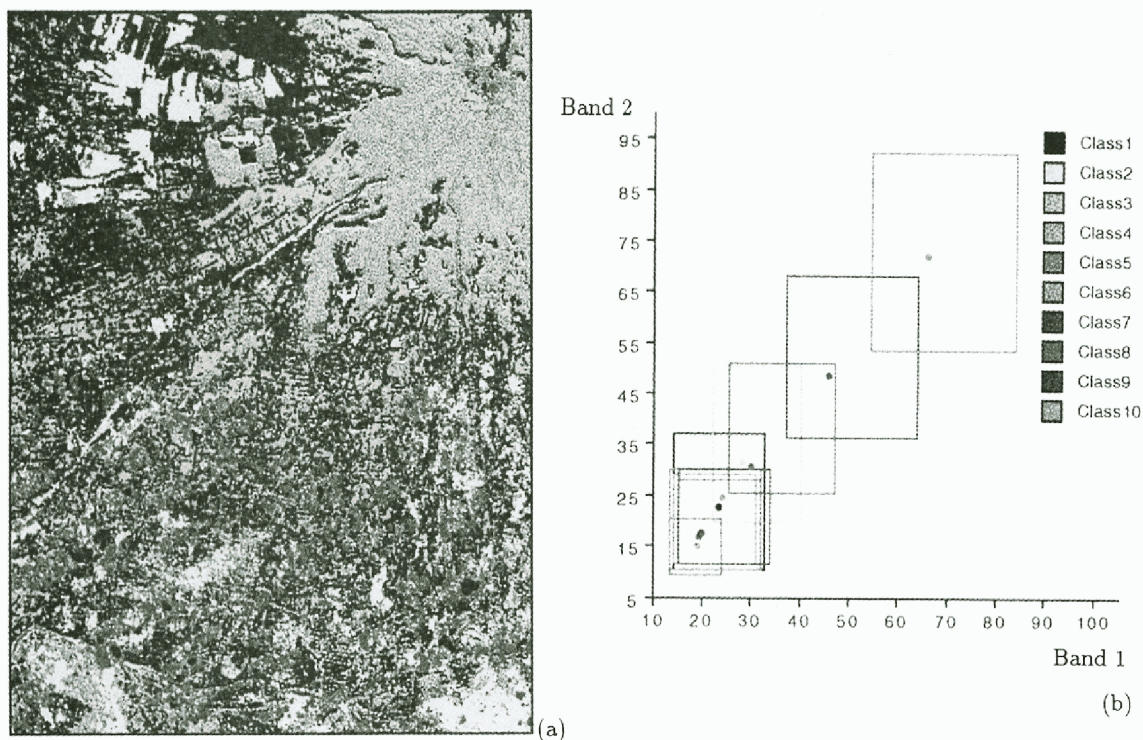


Fig. 4 (a) Automatic classification 1 and (b) class cross plot

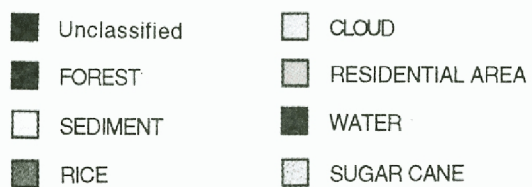


Fig. 5 Automatic classification 2

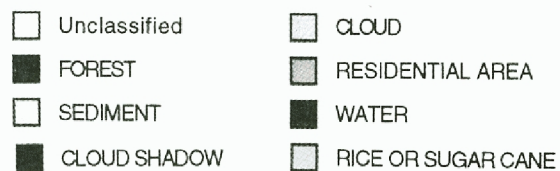


Fig. 6 supervised classification, BML