

◆ 国土管理特集 ◆

IKONOS 画像の土砂災害調査への適用性の検討

清水孝一* 青山浩志** 山越隆雄*** 仲野公章****

1. はじめに

これまで筆者らは、LANDSAT や SPOT といった、空間分解能が 10m から 20m 程度の衛星搭載光学系センサの画像（以下、中分解能衛星画像という）を、土砂災害時の調査に利用する手法を検討してきた。これまでの検討の結果、中分解能衛星画像では、災害の概要を把握することができるが、詳細情報を得るのには、画像の分解能が不足していることが明らかになりつつある¹⁾。しかし、最近新たに登場した IKONOS 衛星に搭載された光学系センサは 1m の分解能を持つといわれている²⁾。また、同程度の分解能を有する ORBVIEW や QUICK BIRD 等の商用衛星の打上げが近い将来に予定されている。これら高分解能衛星画像を用いれば、中分解能衛星画像では把握できないような、流出土砂の粒径、流木の有無、建造物の破損状況等のより詳細な情報の収集が可能になるものと期待される。そこで、筆者らは、平成 12 年 9 月の東海豪雨災害を対象に、IKONOS 画像の土砂災害の詳細調査への適用性を検討した。

2. IKONOS 画像の概要

IKONOS は平成 11 年 9 月にアメリカで打ち上げに成功した商用の高分解能センサーを搭載した衛星で、軍事偵察衛星の技術を転用した世界初の衛星である（表-1）。

今回の検討に用いた 1m 分解能のパンチャーブン画像は、1m の分解能を有するモノクロのパンクロマチック画像（表-1 に「パンクロ」として示す単一波長域の反射光の画像）に対して、4m の分解能を有するカラーのマルチスペクトル画像（表-1 に「可視青、可視緑、可視赤、近赤外」として示す複数波長域の反射光をカラー合成した画像）を合成することによって着色した画像である。画像としては 1 万分の 1 の空中写真に匹敵する。また、IKONOS

画像の画像形式は通常の TIFF フォーマットに地理情報を付加した Geo TIFF フォーマットである。そのため、GIS による処理等が容易に行うことができる。

一方、空間分解能が高く、最大階調領域が 2048 階調と多いため、単位面積あたりのデータ量は、SPOT や LANDSAT といった衛星画像と比べて

表-1 IKONOS 衛星諸元

衛星	
名称・運用国	IKONOS・米国
運用機関	SPACE IMAGING
回帰日数・サブサイクル	11 日(直下より 10 度以内)1m 解像度の場合 2~3 日に 1 回 2m 解像度の場合毎日
衛星高度	680km
センサー	
波長域	パンクロ 0.45~0.90μm 可視青 0.45~0.52μm 可視緑 0.52~0.60μm 可視赤 0.63~0.69μm 近赤外 0.76~0.90μm
地上分解能	パンクロ直下 0.82m オフナディア 26° 1.0m マルチ直下 3.3m オフナディア 26° 4.0m
走査幅	直下 11.3km 1m 解像度 13.8km
ポインティング	全方向角度は無制限(但し通常 45° まで)
最大階調領域	2048 階調
位置精度(デジタルオルソ画像の場合)	
水平精度	1.0m(RMSE)
垂直精度	1.6m(RMSE)
撮影	
面積	11km×11km 以上
時刻	午前 10 時 30 分前後 (日本スペースイメージング社のパンフレットより抜粋)

表-2 IKONOS データ解析に適した計算機環境

部品	仕様
CPU	PentiumIII 866MHz 以上
メモリ	256MB 以上
HDD 容量	数十 GB 以上
OS	Windows98
その他	MO 等大容量記憶媒体を利用が必須

膨大なものとなる。仮に $11\text{km} \times 11\text{km}$ の範囲について、4バンドのパンシャープン画像を作成すると、約 1GB のデータ量となる。これほど大きなデータとなると通常のパソコン(例えば、本検討では、CPU: Pentium II 366MHz、RAM: 128MB のパソコンを使用した)のスペックでは処理が極めて困難である。画像処理ソフトを扱う商社に、IKONOS データを解析するまでの快適な計算機の環境について確認したところ、表-2 の内容で回答があった。このことより、最新のハイエンドスペックのパソコンであれば、快適に画像を扱うことができると考えられる。

3. 検討方法

3.1 検討対象

平成 12 年 9 月 11 日から 12 日にかけての豪雨によって、長野県、愛知県、岐阜県県境付近を含む広範囲の山間部では、山腹の表層崩壊に起因した土石流、かけ崩れが多発し、家屋や道路に被害が生じた。

本報における検討範囲は、土石流による被害が集中した矢作川上流部の恵那郡上矢作町周辺とすることとした(図-1)。筆者らは、この範囲内に含まれる土石流発生渓流、社沢支川、社沢、紺屋井沢、犬間沢、河上瀬川において、災害発生直後に詳細な現地調査を行っているので³⁾、IKONOS 画像を地上検証するのに好都合である。ここでは、これら 5 游流における土石流災害発生状況を検討対象とする。

3.2 IKONOS 画像の入手経緯

災害発生後、9 月 18 日に、IKONOS データの日本総代理店である日本スペースイメージング社に撮像要求を行った。撮像範囲は、検討範囲とした岐阜県上矢作町を中心とした 11km 四方の範囲とした(図-2)。その後、9 月 27 日に撮像に成功し、10 月 4 日に米国から同画像が手元に届いた。届いた画像を用いて、前述検討範囲における土砂災害関連情報の判読を行った。

4. 画像判読結果

ここでは、土石流の被害が集中した矢作川上流部における土砂災害発生状況が、IKONOS 画像の判読によってどこまで明らかになったのかについて検証する。以下、現地調査を行った 5 游流(①社



図-1 土砂災害発生状況³⁾
建設省中部地方建設局多治見工事事務所パンフレット
「中部地方の土砂災害」より抜粋
(破線は、IKONOS 画像取得範囲を示す)



図-2 IKONOS 画像取得範囲(東経 $137^{\circ}20'43.6''$ ～ $34'32.9''$ 北緯 $35^{\circ}14'42.1''$ ～ $20'43.6''$)と画像判読対象渓流の位置

沢支川、社沢、紺屋井沢、②犬間沢、③河上瀬川)について、IKONOS 画像の判読結果を示す。

- ① 社沢支川、社沢、紺屋井沢(岐阜県上矢作町)
社沢支川等を含む、東経 $137^{\circ}30'22''$ 北緯 $35^{\circ}18'53''$ を中心とした IKONOS 画像を図-3 に示す。

社沢支川、社沢、紺屋井沢は、互いに隣接しており、それぞれにおいて土石流が発生した。砂防堰堤のある沢(社沢、紺屋井沢)では、砂防堰堤によって土石流が捕捉されていたが(写真-1)、無



図-3 社沢支川、社沢及び紺屋井沢の IKONOS 画像



写真-1 紺屋井沢の砂防堰堤（平成 12 年 9 月 19 日撮影）



写真-3 社沢支川源頭部の崩壊地（平成 12 年 9 月 19 日撮影）

この範囲について、IKONOS 画像の判読より明らかになった点は以下の通りである。

- ・表層崩壊が発生した箇所（写真-3）は、源頭部からはっきりと確認することができる。但し、崩壊斜面の向きが東向きであるため、その南側の樹林の影を受け、崩土の堆積部分はほとんど見えない。
- ・土石流により損壊した道路に面した家屋は判読できなかった。
- ・社沢の崩壊は源頭部から砂防堰堤まで、南向き斜面で発生しているため、よく判読することができる。しかし、堰堤の堤体は判読できなかった。

写真-2 損壊した家屋（社沢支川）（平成 12 年 9 月 19 日撮影）
かった沢（社沢支川）では、沢出口に土石流が氾濫、堆積し、家屋に被害が生じている（写真-2）。



図-4 大間沢のIKONOS画像



図-5 河上瀬川のIKONOS画像



写真-4 大間沢の治山ダム(平成12年9月19日撮影)

- ・紺屋井沢は崩壊の源頭部の位置と砂防堰堤の堆砂位置が判読できるが、堰堤自体は分からなかった。

② 大間沢 (岐阜県上矢作町)

犬間沢を含む東経 $137^{\circ}33'08''$ 北緯 $35^{\circ}18'19''$ を中心としたIKONOS画像を図-4に示す。

犬間沢では、発生した土石流が治山ダムを乗り越えて、その下流に位置する家屋を半壊させるという被害をもたらした。この範囲について、IKONOS画像の判読より明らかになった点は以下の通りである。

- ・治山ダムより上流側の、崩壊残土が貯まって拡幅した箇所がよく分かる。ここは南向き斜面の崩壊のため、反射輝度が高く、判読が容易である。
- ・源頭部付近はわずかに土砂の反射が見える。源頭部から土砂が流下した箇所は、樹木を失った



写真-5 損壊した治山ダム(平成12年9月19日撮影)

場所として段差が線として描かれている。治山ダムから下流側は谷が深いため、よく分からぬい(写真-4)。

- ・建物の屋根の色情報を捉えているので、被害があった家屋との位置関係が判読できる。
- ・本川下流側に小さい橋があり、そのすぐ下流右岸側の水田は、堤防が切れて冠水している。

③ 河上瀬川 (愛知県稻武町)

河上瀬川を含む東経 $137^{\circ}31'07''$ 北緯 $35^{\circ}16'04''$ を中心としたIKONOS画像を図-5に示す。

河上瀬川では、発生した土石流が治山ダムを部分的に破壊し(写真-5)、下流域の家屋を全壊させ、水田や町道を埋没させた。この範囲について、IKONOS画像の判読より明らかになった点は以下の通りである。

- ・土石流が流下した跡が分かる。北西向き斜面を南東から北西に向けて流れ下っているため、南

側の樹木の影に強く影響を受けている。また、治山ダムがあるはずだが、暗いため、よく様子がわからない。

- ・流れ下った土砂が本川沿いの水田に流入しており、本川では護岸の一部が損壊している。
- ・復旧作業に入っている車両が反射輝度の高い点として現れ、台数も数えることができる。

5. 問題点と将来性

5.1 問題点

今回検討を行った結果、以下の通り、問題点が明らかになった。

- ① データ量が膨大であるため、デジタルデータとしての解析や蓄積を行うには、たとえば、表-2に示したような充分な操作環境が必要である。
- ② 1m 分解能の画像を 3 日間に 1 回の頻度で撮像することが可能である。しかし、今回、災害発生後、良好な画像が得られるまでに 16 日間を要し、実際に入手するまで 23 日間を要した。発災後、撮像されるまでに要した 16 日間は、主に天候に恵まれなかったためであり、今後の技術進歩によって解決され得るものではない。

しかし、撮像後入手までに要した 7 日間は、米国で受信した画像を処理し、日本に送るためにはかかった期間であった。しかし、日本スペースイメージング社の日本受信局が、2000 年 2 月 26 日より運用体制に入ったので、撮像後、実際に画像を入手するまでに要する期間は大幅に短縮されるものと考えられる。

- ③ 今回の検討では、渓流出口の氾濫堆積域の状況ははっきりと分かったものの、土石流の流下部分は、周囲の樹林の影となり、ほとんど判読できなかった。中緯度地方に位置する我が国では、ほとんどの場合、影が生じることは避けられない。IKONOS 画像では、輝度の表示が従来の衛星画像において標準的な 256 階調から 2048 階調に大幅に増大し、日陰部分内の地表面情報を比較的良好に保持しているものと期待していた。

しかし、実際には、日陰の部分から、流木の有無、礫の最大粒径、砂防施設の有無および破損状況等、土砂災害に関する情報を判読することはできなかった。この問題を解決するために

は、バンド間演算を行ったり、DEM を用いて日影のシミュレーションを行ったりする等、デジタルデータとしての特性を活かして必要な情報を抽出する手法を検討して行く必要があると考えられる。

5.2 将来性

IKONOS 画像のような高分解能衛星画像であれば、画像解析による土地被覆分類を行うよりも、適切なスケールの GIS を作成して、それと重ね合わせたり、両方表示してリンクさせることにより、どこで何がおこったのかを把握する目的で使用することが有効と考えられる。例えば、まず全体の状況を把握するため、5 万分の 1 クラスのデジタルマップを作成し、重ね合わせを行う。それによって、場所の特定や、保全対象としている人家や農地、道路や橋などの位置関係を明らかにすることができる、どこから対策を施せば良いか優先順位の目安がつけられるようになる。さらに地先単位を確認することができる 5 千分の 1 クラス(国土基本図クラス)のデジタルマップを作成すれば、災害の詳細把握、砂防施設の効果、二次災害の発生予測などに活用することも可能と考えられる。

これらのデジタルマップに、砂防施設や砂防関連法指定地など砂防分野で必要とされる様々な情報を網羅しておけば、IKONOS 画像からより多くの情報が得られると期待される。また、砂防事業に関わるエリアを撮像して、衛星画像データベースを構築しておく必要があると考えられる。砂防分野での調査・監視には常にイベント前のデータ(履歴)との比較が伴うので、複数の回帰分データが蓄積されれば、迅速かつ効果的な調査・解析が可能になると予想される。

ただし、砂防分野で対象とする現象は、通常の衛星リモートセンシングで対象とする現象に比べてはるかに小規模であるので、今後、過去の衛星画像や他の GIS 情報と重ね合わせて分析を行うためには、画像の位置精度を十分に高めておく必要がある。

6. 終わりに

今回は、災害発生後に撮像要求を行い、画像を入手した IKONOS 画像を、空中写真のように判読に供し、同時期に行われた現地調査の結果と対照することにより、砂防関係の情報がどこまで把

握できるかということを検討した。

検討の結果、IKONOS 画像の分解能は、土砂災害に関する諸情報を得るのに十分な分解能を有していると言えるものの、この用途に利用するためには、いくつかの問題点があることが分った。すなわち、データ量が膨大なためにデータの取り扱いが困難な点、データの入手に長期間を要する点、日陰の部分では情報が得られない点などである。これらの問題点の中には、今後の技術発展によって解決され得るものもあるが、晴天時にしか撮像できないということや日陰の部分では情報が得られないこと等、本質的に解決が困難な問題点もある。したがって、高分解能衛星画像のみによって、何もかも把握することができるわけではなく、その他の調査手法と相補的に用いて行くべきであると考えられる。今後は、デジタルデータとしての特性を活かした利用手法が有望であると期待できるので、検討を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 青山浩志、清水孝一、南哲行：衛星画像を用いた土砂災害調査の事例研究、平成 12 年度砂防学会研究発表会概要集、p.308-309, 2000.
- 2) 鈴木崇、池田暁彦、森田真一：砂防分野への高分解能衛星の活用、砂防学会誌、Vol.53, No.2, p.76-79, 2000.
- 3) 植野利康（国土交通省中部地方整備局）、長野県土木部砂防課、岐阜県建設管理局砂防課、愛知県建設部砂防課、国土交通省土木研究所砂防部：平成 12 年秋雨前線と台風 14 号に伴う大雨による中部地方の土砂災害、砂防と治水、第 136 号、p.32-37, 2000.

清水孝一



国土交通省国土技術政策
総合研究所危機管理技術
研究センター砂防研究室
主任研究官
Yoshikazu SHIMIZU

青山浩志



(前 国土交通省土木研
究所砂防部地すべり研究
室交流研究員)
Horoshi AOYAMA

山越隆雄



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ
(火山・土石流) 研究員
Takao YAMAKOSHI

仲野公章



同 土砂管理研究グル
ープ長
Masaaki NAKANO