

人工衛星による流域の土砂環境把握と危険度評価手法に関する研究

(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)

(独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム)

1. はじめに

本研究は、高分解能化やマルチスペクトル化等技術進歩が著しい人工衛星リモートセンシング技術を応用し、土砂流出に関連する山地環境の変化を広域かつ迅速に把握する手法の開発を行うものである。

1972年に米国のERTS-1が打ち上げられて以来、リモートセンシング技術の進歩は目覚しく、それとともに、幅広くその適用性が検討されてきた。本研究が対象とする土砂災害の予測・把握手法としての適用性に関しても、すでに検討している研究事例があり、衛星リモートセンシング技術が一定の適用性を有していることが示されている。

しかし、その適用性が確認されているにも関わらず、衛星リモートセンシング技術は土砂災害の予測・把握手法として実用されてこなかった。このことの一つの理由は、我が国では、多くの場合、機に応じて直ちに航空写真が撮影され、調査資料として供されるため、衛星リモートセンシングの利用が必ずしも必要でなかったためであると考えられる。

そこで本研究では、平成11年度から13年度の3カ年に渡り、衛星リモートセンシングが航空写真等に対して優位性を有すると考えられる場合(噴火中の火山の調査、土砂災害が極めて広域で発生した場合の調査、海外で発生した土砂災害の調査)についてその適用性の検討を行ってきた。また、一方で、IKONOSの高分解能画像や干渉SAR技術などの新技術についても、土砂災害監視への適用性を検討してきた(新技術を用いた調査)。以下、これら～の個別テーマについてその検討結果を記す。

2. 検討結果

2.1 噴火中の火山の調査

2000年3月に噴火した有珠山では、噴火後しばらくの間、噴火口から半径5km圏内に飛行制限措置がとられ、一時的に航空写真の撮影などが全く行えない状況になった。この有珠山噴火の場合に限らず、噴火活動中の火山においては、航空機による情報収集には一般的に一定の制限が加わるものと考えられる。これに対し、宇宙空間から観測する人工衛星であれば、噴火活動に全く影響されずに観測を行うことができる。ここでは、2000年有珠山噴火災害を事例として、土砂災害防止の立場から火山噴火時に必要となる情報の収集手段としての衛星リモートセンシング技術の適用性を検討した。

2.1.1 検討方法

2000年有珠山噴火災害時に得られたSPOT、IKONOS、RADARSAT、Pi-SARの衛星等画像データを用いて画像解析・目視判読を行い、土砂災害を防止する上で重要であると考えられる情報の抽出が可能かどうかの検討を行った。使用した衛星等画像の諸元を表-1に示す。また、その検討結果を表-2に示す。

表-1 使用した衛星等画像の諸元

衛星名	画像の仕様	空間分解能	観測帯域	観測幅
SPOT1	HRV-XS カラーコンポジット画像	20m	可視・近赤外	60km
IKONOS	パンシャープ画像 Fine Resolution	1m	可視・近赤外	11km
RADARSAT1	Mode画像	9m	マイクロ波(Cバンド)	45km
Pi-SAR	ホリメトリック画像	1.5m	マイクロ波(Xバンド, Lバンド, 偏波)	8km

表-2 火山噴火時に調査を行う必要のある対象物の衛星等画像による判読可能性検討結果

対象物	対象物の規模			衛星等画像による対象物の判読可能性			
	1m	10m	100m	SPOT/HRV- XS画像	IKONOSパ ンシャープン 画像	RADARSAT/ SAR画像	Pi-SARポ ラリメ トリック 画像
噴火口		—●—		×		×	
降灰範囲						×	
土砂流出・堆積範囲		—●—				×	
湛水域		—●—		×			
積雪範囲						×	×
浸水・流水跡		—●—		×	×	×	×
亀裂・地割れなど				×			

○:判読可能, ◐:一部判読可能, ×:判読不能 —●— 有珠山における実際の対象物の規模の幅(黒点は平均値を示す)

2.1.2 検討結果

i)光学系センサ画像

光学系センサで得られる画像は、従来の航空写真とほぼ同様の画像であり、視覚的に最も人間にとって分かり易い情報であると言える。そこで、空間分解能が20mのSPOT/HRV-XS画像と1mのIKONOSパンシャープン画像の適用性を検討した。

分解能の低いSPOT画像では、今回の場合、降灰状況、積雪範囲、土砂流出範囲のみが判読可能であった。その他の対象物は、SPOTの分解能に比して規模が十分に大きくなかったため判読できなかった。一方、分解能が高いIKONOS画像の場合、ほとんどの地物を判読することが可能であり、噴火災害時に必要な情報をほぼ得ることができた。ただし、観測幅が11kmと狭いため、降灰範囲の全容を把握するためには、複数の画像を合成する必要がある。

ii)SAR画像

RADARSAT画像をはじめとするSAR画像では、雲、噴煙などを透過して地上を観察することが可能である。そこで、一般的に用いられることの多いRADARSAT/SAR画像(空間分解能9m)と、それよりも分解能が高く、送信電波の偏波と受信電波の偏波の組み合わせを変えて観測することによって、地表面の偏波反射特性を反映した画像(ポラリメトリック画像)を得ることができる独立行政法人通信総合研究所所有の航空機SAR(Pi-SAR)によるSAR画像の適用性を検討した。

RADARSAT/SAR画像では、一部の亀裂・地割れと湛水域はある程度確認できたものの、その他の対象物については判読不可能であった。対象物の規模が空間分解能に比して小さく、モノクロ画像であるため情報量が少ないということが、判読を困難にした理由と考えられる。一方、Pi-SAR画像では、RADARSAT画像で確認できた亀裂・地割れと湛水域の他に、降灰範囲、土砂流出範囲、噴火口、土砂流流下痕跡などが判読可能であった。降灰範囲、土砂流出範囲などは、植生が失われることによる偏波反射特性の変化の結果、ポラリメトリック画像として違いが現れたものと考えられる¹⁾。また、噴火口や土砂流流下痕跡が判読可能であったのは、分解能が高いためであると考えられる。

2.1.3 今後の課題

2000年有珠山噴火の場合には、IKONOS画像が迅速に入手できれば、土砂災害防止の立場から火山噴火時に必要となる情報はほとんど入手することができたと考えられる。問題は、IKONOS画像がすぐに入手できるかどうかである。日本の置かれた気候条件下では、SPOT, IKONOS等の光学系センサ画像が、雲に邪魔されずに撮像される可能性は低い。

一方、合成開口レーダーはいかなる気候条件下であってもデータが得られるため、機に応じて必要な情報を得ることが可能であるが、2000年有珠山噴火の場合には、現在の衛星搭載SARでは十分な情報が得られなかった。Pi-SARのように分解能が高く、ポラリメトリック画像を得ることが可能なSARであれば、より多くの情報を得られるものと考えられる。ただし、ポラリメトリック画像の利用はまだ始まったばかりであり、今後さらにその適用性の検討を行う必要がある。

2.2 土砂災害が極めて広域にわたって発生した場合の調査

1999年9月21日に台湾中部で発生した地震によって、台湾中部山岳地帯では広範囲にわたって夥しい数の斜面崩壊が発生した。崩壊地の分布は、南北100km東西30kmに及んだ。このように、広域にわたり同時多発的に土砂災害が発生する場合には、その後の二次災害の防止体制を作るために、なるべく早い時点で、災害全体の概要を把握する必要がある。もし、航空機によって航空写真を撮影し、その写真を判読することによって土砂災害の概況を把握しようとするならば、多大な労力と時間を費やさざるを得ない。そこで、このような場合の調査手法として、広域を一度に観測可能な衛星画像を利用した調査の適用性を検討した。

2.2.1 検討方法

地震前後の光学系衛星画像（前：LANDSAT/TM（1999/9/1）、後：SPOT/HRV-XS（1999/9/27））から、画像処理によって植生地から非植生地に变化した範囲を斜面崩壊地として自動抽出した。また、雲を透過して地上を観測可能な合成開口レーダー画像についても、地震前後のRADARSATのSAR強度画像（前：1999/4/9、後：1999/10/18）を入手し、地震前後の強度値の変化を見ることによって土砂災害発生状況の把握を試みた。なお、ここでは、広域同時多発土砂災害発生時の緊急的な概況把握手法としての適用性を見るという観点から、複雑な画像処理やその他GIS情報との統合処理は行わず、得られた画像をほぼ自動的に処理することによって得られる解析結果によってその適用性を見ることとした。そして、最後に、衛星画像（IKONOS、SPOT、LANDSAT）、航空写真（1/25,000）について、調査範囲が0.01km²～10000km²の広さをとる場合のコスト計算を行い、比較した。

2.2.2 検討結果

i) 広域同時多発土砂災害発生時の概況把握手法としての適用性の検討

地震前後の光学系センサ画像を比較することによって、崩壊地を自動抽出した結果は、たとえば図-1に示す通りである。図-1(a)が地震後の衛星画像であり、図-1(b)が自動抽出した結果の図である。斜面崩壊地として抽出された範囲は赤色で示されている。図-1(b)によれば、比較的規模の大きな崩壊については、実際の崩壊地をほぼよく抽出できている。ただし、画像中に雲があると、その縁辺部で誤抽出をしてしまう傾向にある。また、別の地域で試みた検討結果によると、SPOTよりも空間分解能で劣るLANDSATの方がむしろ抽出成績が良いことが示されている。これは、可視光・近赤外線のみだけでなく、中間赤外線や熱赤外線のあるLANDSATデータの方が、より正確に植生地・非植生地の区別が可能と

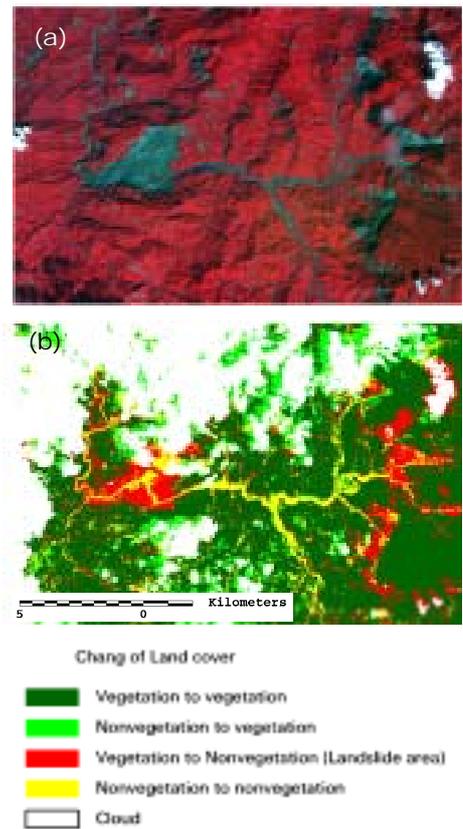


図-1 斜面崩壊地の自動抽出結果
(a) SPOT 画像(99/9/27)
(b) 土地被覆変化図

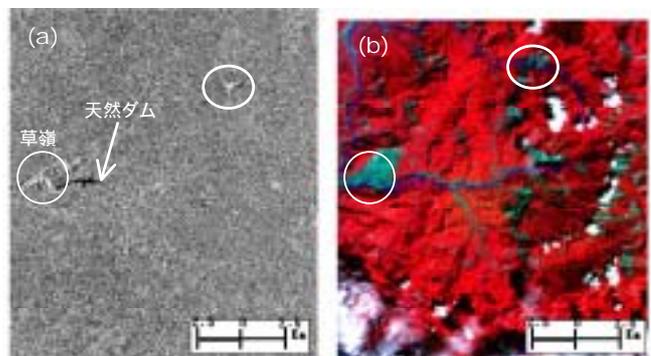


図-2 SARによる斜面崩壊抽出結果
(a) SAR強度差画像
(b) SPOT画像(99/9/27)

なるため、崩壊地の抽出精度が高くなったためであると考えられる。

次に、地震前後の SAR 強度画像の差画像から、崩壊箇所の抽出を試みた。差画像の一例をほぼ同じ範囲の SPOT 画像とともに図-2 に示す。この差画像から、草嶺の大崩壊地を含むいくつかの崩壊地や、草嶺に形成された天然ダム等が視認できる(図-2(a)中の白い丸印)。しかし、ほとんどの斜面崩壊は、たとえ幅 1km 以上の規模のものであっても差画像中に変化箇所として現れなかった。

ii) コスト比較

図-3 に、調査面積に対する衛星画像および航空写真による調査のコストを示す。なお、ここでのコスト比較は、航空写真および衛星画像の取得に要する費用とその解析・判読に要する人件費の和として示した。なお、人件費は、表-3 に示す人数が必要であるものとして一人当たり¥70,000 で計算した。航空写真と IKONOS 画像については、災害発生後に一回だけ画像を取得し、その画像を判読するものとし、SPOT と LANDSAT 画像については、災害発生前後の画像を購入し、両方とも画像解析にかけるものとしてコストを計算した。

図-3 によると、調査面積によらず、SPOT、LANDSAT 衛星画像の方が、撮影料を含む航空写真よ

りも安価である。また、1,000km² よりも調査面積が広い場合には、撮影済みの航空写真よりも衛星画像(SPOT、LANDSAT 画像)の方が安価である。一方、IKONOS と航空写真(撮影料含む)を用いた場合の「面積 コスト」曲線は、ほぼ同じような曲線を描いている。つまり、价格的に考えれば IKONOS の利用と航空写真の利用は等価であると言える。

2.2.3 今後の課題

SPOT、LANDSAT 等光学系センサ画像については、雲の無い画像が得られさえすれば、一定の適用性があると考えられる。一方、雲の有無に無関係に観測が可能な RADARSAT の SAR 画像を処理した結果では、斜面崩壊地をほとんど抽出することができなかった。現時点の衛星 SAR 画像は、少なくとも広域に同時多発した土砂災害の概況把握手法としては不向きであるといえる。ただし、天然ダムの発見には適用できるものと考えられ、その方面の利用の検討が必要である。また、前述の Pi-SAR のような偏波観測機能を有し、空間分解能の高い SAR があれば、その適用性は高いものとなるものと思われる。この点については今後の重要な検討課題である。

2.3 海外において発生した土砂災害の調査

日本国内で災害が発生した場合には空中写真を用いた調査が行われる。しかし、海外で災害が発生した場合には、空中写真を利用することは通常難しい。国によっては、社会的、経済的な事情から空中写真どころか地図さえ入手できないこともある。このような場合、世界のどこの画像であっても入手が可能な衛星リモートセンシングデータを活用するのが有効であると考えられる。

2001年7月29~31日にかけて台湾を通過した台風0108号(台湾名：桃芝台風、以下、桃芝台風と呼ぶ)により、台湾中部山岳地帯では、土砂災害および水害が数多く発生した。同地域は、前述の通り、この2年前の1999年9月21日に、

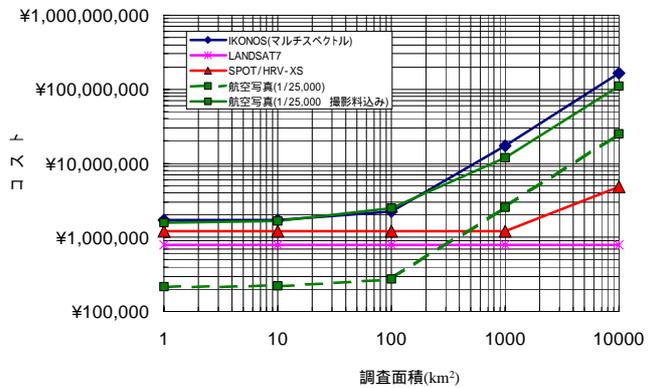


図-3 調査面積とコストの関係

表-3 画像解析・判読に要する人員表

調査面積 (km ²)	IKONOS(マルチスペクトル)	LANDSAT7	SPOT/HRV-XS	航空写真 (1/25,000)	航空写真 (1/25,000 撮影料込み)
0.1	3	4	5	3	3
1	3	4	5	3	3
10	3	4	5	3	3
100	3.5	4	5	3	3
1000	7	4	5	30	30
10000	70	4	20	300	300

台湾南投縣集集を震源として発生した地震(以下、集集地震と呼ぶ)によって斜面崩壊が多発した地域でもある。そこで、桃芝台風に伴う豪雨によって発生した斜面崩壊等土砂移動現象の概況調査を衛星画像のみを使って行い、情報の乏しい海外の災害発生事例調査への衛星画像利用の有効性と問題点を検討した。

2.3.1 検討方法

桃芝台風による土砂移動現象の発生状況を調べるため、日本において入手可能な地球観測衛星の画像を購入し、目視判読によって土砂移動現象の発生状況を調査した。画像は、台風の来襲前後のもの(前:TERRA/ASTER VNIR 画像(2000/10/20撮影)、後:SPOT/HRV-XS 画像(2001/9/14撮影))を1式ずつ購入した。

2.3.2 検討結果

図-4に、桃芝台風来襲前後の衛星画像を比較し、土砂移動現象の把握を試みた事例を示す。台湾中部の大河濁水溪の支川である陳有蘭溪上流部の衛星画像である。この図を見ると、台風後に崩壊地等が大幅に拡大したように見える。しかし、この場合、両方の画像の幾何学的な歪み方が異なっているため単純に比較することができない。

図-4(a-1)、(b-1)を見ると、両画像とも縮尺をあわせているにもかかわらず、阿里山脈の尾根線と陳有蘭溪の間の距離が異なることがわかる(図-4(a-1)、(b-1)中の矢印参照)。これは、ASTER画像では、図示した範囲はほぼ画像の中央部に位置しているが、台風後のSPOT画像では、画像の縁辺部に位置していたためである。一般に、起伏に富むエリアの衛星画像同士はそのままでは単純に重ね合わせることはできない。地形、衛星の観測角、そして対象範囲と観測中心の位置関係(画像の中央部か縁辺部か)などの幾何学的関係に応じて歪むことになる。この歪を除去し、両方の画像を重ね合わせるためには、事前に対象範囲のDEMを準備し、衛星画像をオルソ化しなければならない。しかし、通常海外において調査対象範囲のDEMが入手できることは稀であり、オルソ化することは難しい。したがって、画像同士を重ね合わせて処理することによって画像解析を行おうとするならば、同じ衛星による同じ位置からの同じ観測角での画像ペアを入手するのが良い。その場合、常に直下視でほぼ同じ軌道上から撮影を繰り返すLANDSAT画像などは最も好適である。しかし、いつも被雲率の少ないLANDSAT画像が得られるとは限らない。そこで、このような画像ペアを入手できない場合には、画像同士を重ね合わせることは諦め、専ら目視判読によって情報を抽出することとなる。

図-4の拡大図には、広域図から切り出した陳有蘭溪の

ある合流点近傍の拡大画像を示す。この図中に示した白い横棒は、人間が目視で画像判読することによって同じ地物であ

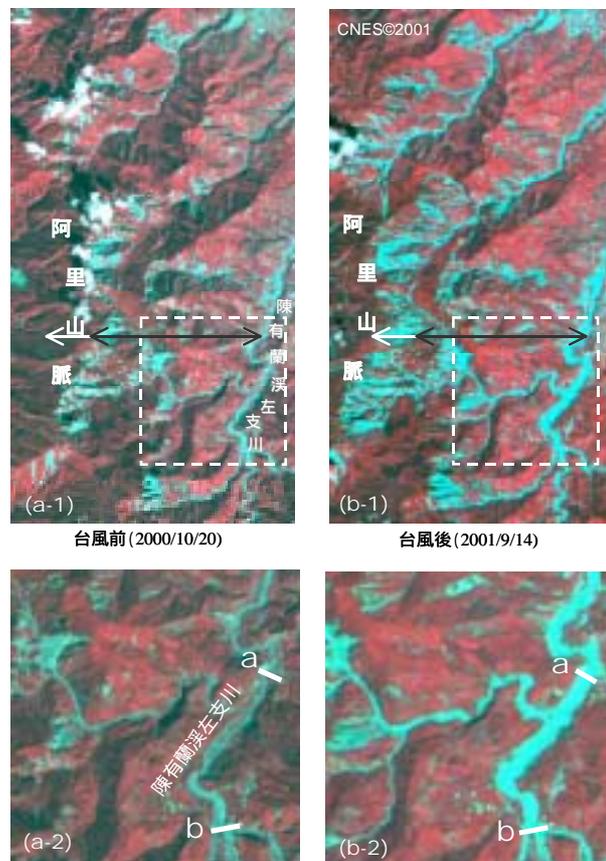


図-4 2001年桃芝台風による陳有蘭溪上流部の土砂移動現象発生状況

(a-1)ASTER 画像(2000/10/20)

(a-2)(a-1)内方形区内拡大図

(b-1)SPOT 画像(2001/9/14)

(b-2)(b-1)内方形区内拡大図

ると認められたもの間を結んで示している。このような手法により、土砂移動現象に関する情報を抽出することが可能となる。この図の場合、台風に伴う土砂移動現象が発生した結果、陳有蘭溪の河床が大きく拡幅したことが明らかになった。

このように、衛星画像の目視判読を通じて検討を行うことによって、たとえ外国で発生した土砂災害であっても、その特徴を定性的に明らかにすることが可能である。こうした知見は、さらに詳細な現地調査を行うか否かの意思決定や、行う場合の基礎資料として重要である。

2.3.3 今後の課題

ここで課題となった画像の歪みは、本来数値標高モデル(DEM)があれば、補正することができるものである。しかし、海外の事例を調査する場合には一般には入手することができない。今後、Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) による全球 DEM が公開されれば世界のどこであっても、さらに多くの解析を行うことができるようになるものと考えられる。

2.4 新技術を用いた調査

2.4.1 干渉 SAR 技術 (InSAR) の滑動中の地すべり抽出への適用性の検討

差分干渉 SAR 技術とは、人工衛星に搭載された SAR による観測データの内、反射レーダー波の位相データを利用して地表面の微小な変位を計測する技術である。兵庫県南部地震の際に生じた広域にわたる数十 cm の地表面の変位が抽出できたこと等から近年注目を集めており、様々な対象に適用されつつある。ここで検討しようとする滑動中の地すべりの抽出への適用性についても、この手法の適用性に関する検討事例がすでにある²⁾。しかし、この事例は、地すべりが1ヶ月で数十 cm も動いた場合であり、たとえこの時点で地すべりが動いていることが分かったとしても保全対象との関係によっては防災上ほとんど役に立たない場合が多い。そこで、ここでは、1年間に数 cm 程度しか移動しないような地すべりに対して同技術の適用性を検討した。

2.4.1.1 検討方法

JERS-1 の L バンド SAR 画像のうち、撮像間隔が少なくとも半年以上の画像ペアに対して差分干渉処理を施して滑動する地すべりの検出および変位量の計測を試みた。また、結果的に、十分に干渉性の高い画像ペアが無かったため、干渉性悪化原因の検討を併せて行った。

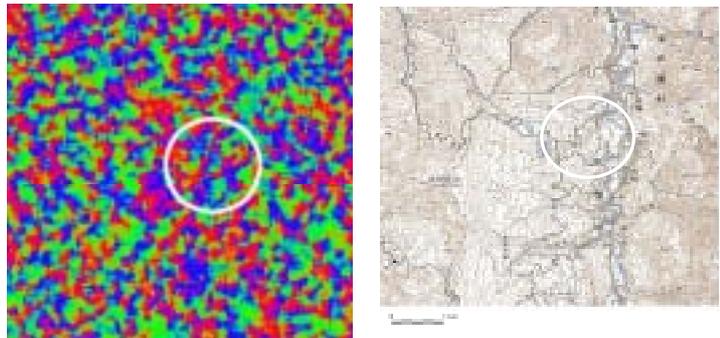


図-5 秋田県谷地地すべり周辺の差分干渉 SAR 画像と地形図

(a) 干渉 SAR 画像, (b) 地形図(国土地理院 1:25,000)

2.4.1.2 検討結果

i) 滑動中の地すべりの抽出

検討の結果では、干渉画像から滑動中の地すべりを抽出することはできなかった。図-5 は、秋田県谷地地すべり周辺の差分干渉画像である。図-5 中の白丸は、谷地地すべりの位置を示している。もし、地すべりの滑動が差分干渉画像で捕らえられているならば、滑動方向に直交する縞模様が見えるはずである。しかし、図中の白丸内には、地すべりの滑動を示すような縞模様は見当たらなかった。

地すべりの滑動が分からなかったのは、解析に用いた画像の干渉性が低かったためであると考えられる。今回の干渉処理に好適な基線長の短い(100m 以下)画像ペアのうち、ここでの検討目的に合致する 1 年程度間隔の空いた画像ペアが一

つも存在しなかった。図-5 に示す例では、間隔が 3 年以上空いたペアで干渉処理を行っている。通常、画像取得間隔が開くほど干渉性が低下することが知られており、これが、ここでの検討における干渉性の低下をもたらした原因の一つであると考えられる。

ii) 干渉性悪化原因の検討

SAR 画像の干渉性悪化原因の検討を行ったところ、以下のことが明らかになった。

干渉処理を行う画像ペアの基線長が長くなるほどペアの干渉性は低下し、200m 以上の基線長ではほとんど干渉しなかった。また、撮像間隔が 1 回帰周期増える毎に干渉性は急速に低下し、半年程度間隔が開くとほとんど干渉しなくなることが分かった。そして、JERS-1 の L バンド SAR は、植生の影響を受け難いと考えられているが、実際には、土地被覆状態が森林である場合には干渉性が大きく低下した。

2.4.1.3 今後の課題

SAR の干渉処理によって地すべりの滑動状況を把握するためには、地すべりの分布する山林地において干渉性を高めるようにする必要がある。そのためには、SAR の空間分解能をさらに高めること、ペアをとる画像同士の基線長を少なくとも 200m 以下にするようにすること、そして、干渉させる画像同士の重ね合わせの精度を向上させること等が必要であると考えられる。

2.4.2 IKONOS 画像の土石流災害への適用性の検討

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。その検討の結果、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、詳細情報を得るためには、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。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。このような分解能を有する画像を用いれば、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、平成 12 年 9 月の東海豪雨災害を対象に、IKONOS 画像の土石流災害詳細調査への適用性を検討した。

2.4.2.1 検討方法

東海豪雨時に土石流が多数発生した矢作川上流部の恵那郡上矢作町周辺の IKONOS パンシャープン画像を入手し、土石流の発生域、流下域、堆積氾濫域について詳細に目視判読を行った。

2.4.2.2 検討結果

溪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。航空写真ならば、高曇りの際には影の無い写真をとることも可能であるが、衛星画像の場合には全く不可能である。

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



図-6 平成 12 年東海豪雨災害時の土石流発生溪流(社沢支川)の IKONOS パンシャープン画像

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。

2.4.2.3 今後の課題

本検討で対象とした社沢支川で発生した土石流は、崩壊土量約 2000m³、流路長 680m というもので、土石流としてはとりわけ大規模なものではない。むしろ、我が国で通常多く発生するような規模の土石流であったといえる。ここで、影のために渓床内の様子がわからないという結果であったが、この状況は国内の多くの事例で該当する状況であると考えられ、しかも、これ以上分解能を向上させる等衛星技術としての改善が計られたとしても解決し得る類の問題ではない。このような規模の土石流災害時には、衛星リモートセンシング技術の土砂災害に関わる詳細情報収集手段としての適用は避けるべきではないかと考えられる。

3.まとめ

本研究の結果、各個別テーマについて、衛星リモートセンシング技術がそれぞれある程度の適用性を有することが示された。すなわち、噴火中の火山においては、航空機が近寄れないような場合、IKONOS 画像のような高分解能衛星画像が唯一の調査手段であるといえる。また、その他の中分解能衛星画像も、降灰分布の把握などには有効であることが分かった。また、広域にわたり同時多発的に土砂災害が発生するような場合には、SPOT や LANDSAT といった中分解能衛星の画像によって概略調査を行うメリットがあることが示された。以上をまとめた結果を表-4 に示す。

一方、今後これらの用途に衛星画像を利用して行くにあたり、課題として残された点も数多く指摘された。これらの課題を、航空宇宙技術開発・運用者への要求仕様および土砂災害対策担当者としての課題に分けて以下にまとめた。

航空宇宙技術開発・運用者への要求仕様

- 1) 歪みの無い衛星画像を供給するためのデータ処理体制や DEM の整備
- 2) 撮像機会の増加およびデータ配信の迅速化
- 3) SAR 衛星の高精度軌道制御技術の開発

土砂災害対策担当者としての課題

- 1) 画像解析・目視判読数を増やし衛星画像による地物判読技術の向上
- 2) 衛星画像を補足する各種 GIS データの充実および GIS 上での効果的な情報処理手法の検討
- 3) 衛星画像同士の位置合わせ精度の向上

IKONOS のような光学系の高分解能衛星画像であれば、既に航空写真と同等の分解能を有している。したがって、衛星リモートセンシング技術の利活用を図るためには、今後はむしろ画像の迅速な提供などの運用面での充実が重要と考えられる。

表-4 人工衛星リモートセンシング技術による土砂災害情報の把握

検討課題		メリット	検討結果	今後の課題
噴火中の火山における土砂災害の調査		噴火活動中でも安全に情報収集が可能	IKONOS画像を用いれば、噴火時に必要な情報はほとんど得ることができる。 空間分解能の低いSPOT画像であっても、降灰範囲などの検出には有用である。 高空間分解能ポラリメトリックSAR画像を用いれば、降灰範囲、土砂流出範囲なども検出可能である。	光学系センサー画像が有用なのは、雲や噴煙に覆われていない場合に限られる。 ポラリメトリックSAR画像の利用は始まったばかりであり、その適用性は未知数である。
広域土砂災害の調査		広域を迅速かつ安価に概略調査が可能	比較的大きな斜面崩壊であれば、SPOTやLANDSAT等でも概況把握が可能である。 SAR強度画像を用いた解析では天然ダムの検出が可能であると考えられる。 基本的にSPOTやLANDSATで調査を行う方がコストが安い。特に1000km ² を上回る面積を調査する場合には、費用は10分の1以下である。	画像中に雲があると斜面崩壊の誤抽出が多くなる。 SAR強度画像の差画像を作成してもほとんどの斜面崩壊を抽出することができない。ポラリメトリックSAR画像などの適用性の検討が必要である。
海外の土砂災害の調査		地図などの情報が得られない外国においても情報収集が可能	SPOT等の衛星画像のみから土砂災害発生状況の定性的な把握が可能である。	DEMの入手が困難とすると重ね合わせ画像の歪み補正ができない。全球DEMが公開されればより精度の高い解析が可能となる。
新技術を用いた調査	干渉SAR技術の利用	広域にわたる数cmという微小な地盤変動が検出可能	現状では干渉SARによって滑動している地すべりを抽出することは困難である	森林に覆われた山地斜面において干渉性を高める工夫が必要である 干渉SARを行うことが可能な画像ペアが得られるように、SAR衛星の高精度軌道制御技術が必要である
	IKONOS画像の利用	従来の衛星画像に比較して空間分解能が高く、最大階調領域が多い。	土石流の氾濫堆積範囲は把握可能	通常発生するような比較的小規模の土砂災害に対して衛星リモートセンシングを適用して詳細情報を得ようとすることは避けるべきであると思われる。
			土石流流下部は樹林の影となり判別困難	
流木の有無、粒径、施設の破損状況なども判別困難				

参考文献

- 1) 前野ほか(2000)：航空機 SAR (Pi-SAR) 連続観測による有珠山の地表面変動の検出，日本リモートセンシング学会第 29 回学術講演会論文集，p.41-42.
- 2) Kimura et al.(2000): Detection of Landslide Areas Using Satellite Radar Interferometry, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.66, No.3, p.337-344.