

特集記事

自然災害防止・軽減のためのリモートセンシング技術の可能性

編集委員会

企画・総括 竹田 厚[†]・宝 馨^{††}・立川康人^{††}

編集担当 石川裕彦^{††}・浦野慎一^{†††}

田中和夫^{††††}・目黒公郎^{†††††}

はじめに

宝 馨^{††}

リモートセンシングは、広域で発生する自然災害状況を迅速に把握し、その災害発生メカニズムを理解するために有用な基本的観測手段である。ここでは、水・土砂・地震・地盤・気象・火山・農林等の災害の各分野で利用可能な衛星及びセンサーの現状とその災害関連の応用研究をレビューし、さらに、データベース、また災害監視を主目的とする高分解能陸域観測衛星 ALOS（平成 15 年打ち上げ予定）の災害状況把握ミッションについて紹介したい。表 1 は災害事例へのリモートセンシングの応用例を取りまとめたものであり、今回の特集ともあわせれば、リモートセンシング技術の防災への応用に関して概要を掴むことができると思う。なお、今回の特集記事を取りまとめるにあたっては、リモートセンシング技術の防災利用を議論している地球科学技術フォーラム・地球観測委員会・防災環境サイエンスチーム、および京都大学防災研究所特定共同研究（12 P-2）のメンバーに記事を依頼した。

1. 火山監視への衛星データの活用の現状と将来

福井 敬一*・斎藤 祥司**
桜田 正美**・長谷川嘉彦***

1.1 火山活動の監視・研究への衛星データ利用の現状

火山活動の監視のために、地震観測、地殻変動観測、熱的観測、電磁気学的観測、地球化学的観測、噴煙などの表面現象の観測が行われている。これらの観測項目のうち地震観測以外では衛星情報を活用することが可能である。観測精度、観測頻度の制限やデータ処理の複雑さ、観測からデータが利用可能になるまでに時間がかかるなどの弱点はあるものの、広域観測、定期的、定量的な観測が可能、アクセスが困難な火山のデータが容易に得られるという大きな利点がある。衛星情報を火山活動監視や火山研究に利用した例には以下のようなものがある。

(1) 静止気象衛星（口絵 1）や NOAA/AVHRR, LANDSAT/MSS などによる火山噴煙の拡

* 気象研究所地震火山研究部

** 東京航空地方気象台航空路火山灰情報センター

*** 東京航空地方気象台航空路火山灰情報センター
（現所属気象庁火山課）

[†] 東北文化学園大学

^{††} 京都大学防災研究所

^{†††} 北海道大学農学部

^{††††} 弘前大学理工学部

^{†††††} 東京大学生産技術研究所

表1 災害事例へのリモートセンシングの応用例。地球環境観測委員会（現在の地球観測委員会）、宇宙開発事業団、(財)リモート・センシング技術センターによる「地球観測データによる災害事例集」(平成7年8月)、およびCEOS (Committee on Earth Observation Satellites, 地球観測衛星委員会)のプロジェクトとしてCNES (Centre National d'Etude Spatiales, フランス国立宇宙研究センター)によって発行されたCD-ROM (CNESのWebサイトからも参照可能)などからピックアップした事例を取りまとめている。

災害の種類	衛星/センサー (解像度)	画像取得時期	アルゴリズム、処理方法など	解析内容 (対象地域)
地震	JERS-1/SAR (18m)	前・後	インターフェロメトリ (干渉処理)	地震変動の検出 (兵庫県南部)
	SPOT/HRV (20m), 航空機MSS (数m以下)	前・後	差相画像法、土地被覆分類	液状化・崩壊崩壊地域の検出 (兵庫県南部)
地震予知	NOAA/AVHRR (1.1km), FY-1 (中国気象衛星)	多画像	熱赤外バンドによる異常高温域検出	地震発生の時期・場所・強さを予測 (中国)
地震時火災	SPOT/HRV (10, 20m), JERS-1/SAR (18m), 航空機SAR/写真 (5m以下)	前・後	差相画像法	火災痕跡検出の検出 (兵庫県南部)
	NOAA/AVHRR (1.1km)	中	目視判読	高層煙・煙の検出 (兵庫県南部)
森林火災	Landsat/TM (30m)	後	土地被覆分類	森林火災燃焼履歴の分類 (愛媛・香川県)
	Landsat/TM (30m)	前・後	主成分分析	流失面積の推定 (ニュージーランド)
	NOAA/AVHRR (1.1km)	多時期	Band 3が高波長に敏感という特性を利用。植生指標	火災面積、CO2フラックスの算定、燃焼評価 (オーストラリア)
	NOAA/AVHRR (1.1km)	6時間隔画像	地表温度とアルベド算定、Band 3	日常的な森林火災の監視・検知 (中国全土)
	NOAA/AVHRR (1.1km) ほか	多時期	衛星画像、目視判読	火災発生場所検出、大気汚染 (インドネシア)
森林火災の回復	NOAA/AVHRR (1.1km)	後・後	植生指標、地表温度、土地被覆分類	被災地の植生回復の把握 (中国、ロシア)
火山噴火	Landsat/MSS (80m), Landsat/TM (30m)	多時期	目視判読	噴煙の拡散 (都島)
	GMS-4 (数km), NOAA/AVHRR (1.1km)	前・後	目視判読、LAWTRANS	火山噴火・噴煙の成層圏拡散 (フィリピン)
	MOS-1/MESSR (50m)	前・後	植生指標	植生変化の検出 (フィリピン)
火山噴火・火砕流	航空機MSS (数m以下)	後の多時期	衛星画像、合成画像の分割	火山の崩壊部 (ニュージーランド)
	SPOT/HRV (20m), 航空機SLAR (28~111m)	前	DEM、航空写真の併用	火砕流モニター・ジュ画像 (ニュージーランド)
火山噴火・火砕流	気象衛星各種 GEOS/IAS, Meteosat/AVHRR, GMS/VISSR, NOAA/AVHRRなど	多時期	目視判読 (昼間)、熱赤外データ (夜間)	噴火の検出、火砕流の監視・予測、飛行機への警戒 (フィリピン、ニュージーランド、ロシア)
	NOAA/AVHRR (1.1km)	後	DEM、航空写真の併用	マイクログラフィの検証 (ニュージーランド)
	NOAA/AVHRR (1.1km)	任意1時期・中	レイラールカラーを用いた観測画像	SLAR 感度の解析 (日本沖)、汚濁・土壌汚染の検出 (大島)
	JERS-1/SAR (30m), ADEOS/AVHRR (8, 16m)	後	目視判読	ナホトカ号噴出 (北朝鮮)
台風・高潮	SPOT/HRV (20m)	前・後	差相画像判読、逆放射率変化の解析、植生指標	海面変化、海底変化、海岸線の抽出 (クック諸島)
台風・高潮	Meteosat-3 (10km)	中	画像処理	ハリケーンの変動、雲頂高度、海面温度 (フィリピン)
	NOAA/AVHRR (1.1km)	多時期	海面温度と潮流・潮流の解析	潮流と潮流との関係 (ニュージーランド)
水質汚染・赤潮	NOAA/AVHRR (1.1km)	任意1時期・中	レイラールカラーを用いた観測画像	SLAR 感度の解析 (日本沖)、汚濁・土壌汚染の検出 (大島)
	ERS-1/SAR (30m)	任意1時期	レイラールカラーを用いた観測画像	ERS-1/SARによる可能性検証 (南緯40度、南緯50度、北緯40度)
	JERS-1/SAR (30m), ADEOS/AVHRR (8, 16m)	後	目視判読	ナホトカ号噴出 (北朝鮮)
衛星 (衛星) の早期発見・監視	NOAA/AVHRR (1.1km)	毎日の観測を1週間に集約	植生指標、海面温度、10Kmグリッド全球の1週間の解析	異常な解析・異常把握による植生と期間の推定、植生・環境への影響評価 (全球)

散状状況の把握、噴火規模の推定、噴煙中の火山灰量の見積り^{1),2)}

(2) TOMS による火山性 SO₂ 雲の検出と SO₂ 放出量の推定、火山灰雲 (エアロゾル) の検出^{3),4)}

(3) ADEOS/OCTS の 8.5 μm バンドを利用した火山性 SO₂ のマッピング⁵⁾

(4) SAGE などによる火山性エアロゾルの観測⁶⁾

(5) 有人衛星から撮影した写真による噴煙の上昇過程の解析⁷⁾

(6) マイクロ波センサー SSM/I による火山灰雲の観測⁸⁾

(7) LANDSAT/MSS, LANDSAT/TM,

SPOT などによる火山噴出物の分類や分布域の把握、量の推定、火山地形の判読、活火山かどうかの判定、火山噴火後の植生変化の把握^{9),10)}

(8) LANDSAT/MSS などによる変色水域の把握¹¹⁾

(9) LANDSAT/TM などによる溶岩温度の推定や溶岩流の抽出、溶岩ドームの温度推移の把握、噴火前における溶岩湖あるいは火山ガスの燃焼によると思われる高温域の検出¹²⁾

(10) NOAA/AVHRR や静止気象衛星による温度異常の抽出¹³⁾

(11) 干渉 SAR による火山地域における地殻変動の検出

これらのうち火山監視業務に実用されている

ものは静止気象衛星や NOAA/AVHRR による火山噴煙の検出であり、航空路火山灰情報センターにおいて噴煙の分布域を逐次すみやかに火山灰情報として発表し、航空機の安全確保に活用する態勢が整っている。また、TOMS (現在 Earth Probe/TOMS が運用中。本年 8 月には Quik TOMS が打ち上げ予定) についても準リアルタイムに情報を発表できる態勢になりつつある。他のデータについては火山噴火予知、防災への利用価値は十分あるものの、即時的な活用において難点があった。

1.2 航空路火山灰情報センターにおける火山活動の監視

1997 年、東京航空地方気象台 (羽田) に航空路火山灰情報センター (以下東京 VAAC) が設置された。VAAC は世界に 9 箇所あり、東京 VAAC の責任空域はおおむね北緯 10~60 度、東経 100~180 度の範囲であり、気象官署や航空機などからの目撃情報の収集、GMS-5、NOAA/AVHRR による火山噴煙の監視を行い、観測情報とともに火山灰の拡散予測情報を航空会社等関係機関に発表している¹⁴⁾。

水滴などは赤外 1 チャンネル (IR 1:10.2~11.7 μm) よりも赤外 2 チャンネル (IR 2:10.7~13.4 μm) のほうが吸収が大きく、IR 1-IR 2 はプラスになるが、石英ではこの逆にマイナスになる。このことを利用して赤外差分画像を用いて火山灰雲の識別を行っている (口絵 1)¹⁵⁾。しかしながら、火山灰に水蒸気が多量に含まれる場合や、火山灰の粒径が大きくなると、IR 1-IR 2 はマイナスにならない場合もある。航空機に対する情報や拡散予測のための初期値として火山灰雲の高さが重要であることから、火山灰雲の表面温度と高層観測の温度データを比較することや、火山灰雲の移動速度と風データを比較することにより火山灰雲の高さが求められている。

GMS-5 の後継衛星、運輸多目的衛星 MTSAT では当面これらの赤外バンドが搭載されることになっているが、今年打ち上げ予定のアメリカの静止気象衛星 GOES-M (GOES-11) では 12 μm バ

ンドがなくなり、代わりに 13.3 μm 、空間分解能 8 km のセンサーが搭載されることになっており、火山灰雲の監視に大きな問題をもたらすと想像される。

1.3 衛星データを活用した火山監視の将来 (今後十年程度まで)

MTSAT 2 号、MTSAT 3 号には 3.9 μm のバンドが搭載され、温度異常域の検出への活用も期待されている。今後の計画では、SO₂ 検出に利用できる 8 μm 帯センサーの搭載、時間分解能の向上が要望されている。更に、静止軌道に赤外線センサーや紫外センサーなどを配置し、火山活動に伴う温度異常や火山灰雲、SO₂ をリアルタイムに検出し監視に役立てる火山監視専用衛星も提案されている。

1999 年 12 月に打ち上げられたアメリカの衛星 TERRA に搭載された ASTER は可視~熱赤外域に多バンドを有するセンサーであり、熱赤外バンドにおける空間分解能は 90 m と、現用の地球観測衛星としては最も空間分解能が高く、観測可能な温度域も広がるなど、火山地域における温度異常の抽出にすぐれたセンサーである。更に、噴煙中の SO₂ の抽出にも利用可能であることやポインティング機能を利用して緊急観測要求を受けて赤道域で 4 日以内、中緯度以上では 2 日以内にデータを取得できるなど、火山観測に適したセンサーである。この衛星では全球の火山を対象としてその活動レベルに応じて観測頻度を変え、定期的にデータ取得されることになっており、火山噴火予知業務への活用が期待される。また、同じく TERRA に搭載された MODIS の 3.9, 8.5, 11, 12 μm バンドの活用も期待されている。

2003 年打ち上げ予定の ALOS はポインティング機能を有しステレオ視できる高分解能光学センサーと Lバンド SAR を搭載することにより、火山噴出物の把握の精度と観測頻度が向上すること、干渉 SAR の手法により噴火前からの地殻変動をとらえられることが期待される。火山防災に活用するためには、噴火確認後、データ取得要求の受付から観測、処理、配布にいたる流れを速やかに

実行できる態勢が必要である。また、火山噴火に伴う被災状況の把握のみならば、噴火後に取得された画像のみからも有用な情報を得ることができるが、より高度な情報を得、定量的な解析に使用する場合、噴火前の画像を有していることが必要である。特に干渉 SAR の手法を適用する場合、同一地域について得られた任意の画像から干渉画像が得られるわけではない。このため、あらかじめ多くの画像を集積して置く必要がある。最近 2000 年間に噴火活動が記載されている火山は約 1000 存在する。このうち約 300 が今世紀に入って複数年噴火し、この 10 年間に複数年活動があった特に活動的な火山は約 100 存在する。これら噴火危険度の高い特定の地域については優先度を高めてあらかじめデータを取得しておくことが重要である。

2005 年打ち上げ予定の GCOM-A1 に搭載される ODUS (Ozone Dynamics Ultraviolet Spectrometer) は TOMS の後継センサーとも呼べるもので 306-420 nm を 0.5 nm 毎に連続的にスペクトルを得るセンサーである。空間分解能は 20 km (ADEOS/TOMS は 40 km) で太陽が照射しない極地域を除く全球のデータを毎日取得することができる。火山性 SO₂ 雲やエアロゾルの検出に活躍が期待される。

今後は、火山監視に必要な精度、空間分解能を有するセンサーの開発のみならず、必要な時間分解能を確保する衛星システムや観測からデータ利用までにかかる時間短縮のための地上システムの開発、防災業務機関と衛星情報発信機関との連携の強化が課題であろう。

参 考 文 献

- 1) Sawada, Y.: Study on analyses of volcanic eruptions based on eruption cloud image data obtained by the Geostationary Meteorological Satellite (GMS), Tech. Rep. Meteorol. Res. Inst., No. 22, 335 p., 1987.
- 2) Wen, S. and W. I. Rose: Retrieval of sizes and total masses of particles in volcanic clouds using AVHRR bands 4 and 5, J. Geophys. Res., Vol. 99, pp. 5421-5431, 1994.
- 3) Krueger, A. J.: Sighting of El Chichon sulfur dioxide clouds with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer, Science, Vol. 220, pp. 1377-1379, 1983.
- 4) Bluth, G. J. S., C. C. Schnetzler, A.J. Krueger, and L. S. Walter: The contribution of explosive volcanism to global atmospheric sulphur dioxide concentrations, Nature, Vol. 366, pp. 327-329, 1993.
- 5) Watson, I. M. and C. M. M. Oppenheimer: Remote sensing of the optical properties of tropospheric volcanic aerosol plumes, J. Aerosol Soc., Vol. 30, pp. S561-S562, 1999.
- 6) McCormick, M. P. and R. E. Veiga, SAGE measurements of early Pinatubo aerosols, Geophys. Res. Lett., Vol. 19, pp. 155-158, 1992.
- 7) Friedman, J. D., G. Heiken, D. Randerson, and D. S. McKay: Observations of eruption clouds from Sakura-zima volcano, Kyushu, Japan from SKYLAB 4, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 1, 305-329, 1976.
- 8) Delene, D. J., W. I. Rose, and N. C. Grody: Remote sensing of volcanic ash clouds using special sensor microwave imager data, J. Geophys. Res., Vol. 101, pp. 11579-11588, 1996.
- 9) Tsuchiya, K., S. Uehara, Y. Tanaka, H. Ohnuki, and H. Ochiai: Detection of volcanic ash coverage from LANDSAT MSS data, Adv. Space. Res., Vol. 1, pp. 121-128, 1981.
- 10) De Silva, S. L. and P. W. Francis: Volcanoes of the central Andes, Springer-Verlag, 216 p., 1991.
- 11) 大倉 博・幾志新吉・熊谷貞治・阿久津亮夫・綾部広一：ランドサット TM データから見た南硫黄島付近海底火山の噴火状況，日本リモートセンシング学会誌，Vol. 6, pp. 65-71, 1986.
- 12) 浦井稔・磯部一洋：夜間ランドサットデータによる雲仙火山の表面温度の推移，日本リモートセンシング学会誌，Vol. 15, pp. 3-15, 1995.
- 13) Bonneville, A. and P. Gouze: Thermal survey of Mount Enta volcano from space, Geophys. Res. Lett., Vol. 19, pp. 725-728, 1992.
- 14) 東京航空地方気象台，航空路火山灰情報業務，測候時報，Vol. 66, pp. 101-118, 1999.
- 15) Tokuno, M: Satellite observation of volcanic ash clouds, Meteorol. Satellite Center Tech. Note, No. 33, pp. 29-48, 1997.

2. ASTERの初期運用で観測された火山活動

浦井 稔*

2.1 はじめに

リモートセンシングによる火山観測は、その観測対象が大気中および火山表面に制限されるが、広域的・周期的・定量的な観測を実施することが容易であるため、今後の火山観測に大きな役割を果たすと期待されている¹⁾。リモートセンシングによる火山観測では、地形・地質判読、温度測定、火山噴出物の化学組成測定、火山ガスや火山灰の化学組成や噴出量の測定、地形変化の検出等が可能とされている。

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) は、EOS 計画の一部として Terra 衛星に搭載されて 1999 年に打ち上げられた光学センサーである²⁾。ASTER は、火山を観測対象の一つとして設計されたため、各種の火山観測に有効であると考えられてきた^{3),4)}。2000 年中に取得された初期の ASTER データはこれらの予想を上回るのもであった。本報告では ASTER で観測された様々な火山活動について述べる。

2.2 ASTER センサーの特徴

ASTER は VNIR, SWIR および TIR の 3 つの独立したセンサー (サブシステム) から構成されている。ASTER センサーの特徴については Yamaguchi *et al.*²⁾ や Fujisada *et al.*⁵⁾ に詳しく解説されている。ここでは、表 2-1 に ASTER の基本仕様を示すにとどめる。

2.3 ASTER を用いた火山観測の実例

(1) 火山地形と地質構造

ASTER は直下視の望遠鏡と後方視の望遠鏡を用いてステレオ観測を実施できる。立体視鏡を使えば、このステレオペア画像を立体視することができる。航空写真と異なり、60 km×60 km の広

表 2-1 ASTERの基本仕様

Subsystem	Band No.	Central Wavelength (μm)	Band Width (μm)	Spatial Resolution (m)
VNIR	1	0.56	0.08	15
	2	0.66	0.06	
	3	0.81	0.10	
SWIR	4	1.650	0.10	30
	5	2.165	0.04	
	6	2.205	0.04	
	7	2.260	0.05	
	8	2.330	0.07	
	9	2.395	0.07	
TIR	10	8.30	0.35	90
	11	8.65	0.35	
	12	9.10	0.35	
	13	10.60	0.70	
	14	11.30	0.70	

Stereo Base-to-Height ratio	0.6
Swath width	60km
Total Coverage in Cross-Track Direction by Pointing	232km
Distance between adjacent orbit	172km
Repeat cycle	16days

い範囲を一度に立体視できるため、火山全体の地形や地質構造を把握するのに有効である。また、このステレオペア画像を用いて数値標高モデルを作成することもできる。

(2) 火山噴出物(降灰, 火砕流, 溶岩など)の分布範囲

2000 年 3 月 31 日に始まった有珠山の噴火では雪の上に堆積した火山灰が黒い帯として ASTER 画像に捉えられた(口絵 3)。現場では認識されなかった降灰が ASTER 画像によって認識され、現地調査によって確認されることもあった。雪面の反射率の低下から堆積した火山灰の量を推定する試みも実施された⁶⁾。

(3) 噴煙の高度・分布, 噴煙中の火山灰や SO₂ 量

ステレオペア画像は地形を計測するため使用されるのが一般的であるが、噴煙の流れる方向を仮定すれば、直下視と後方視の撮像時間間隔が約 55

* 産業技術総合研究所地質調査所

秒であることを利用して、噴煙の高度と流速も計測することができる。ASTER と類似のステレオ機能を持つ JERS-1 でも噴煙の高度と流速を計測できた⁷⁾。また、SO₂ が特定の波長の赤外線を吸収することを利用して、火山から放出された SO₂ の分布を観測する試みも開始された。

(4) 変色海域・火山湖の色・温度

鹿児島市の南約 90 km に位置する火山島、薩摩硫黄島では島の周辺から湧き出す温泉水によって日常的に変色海域が見られる。これは海色の変化として ASTER から捉えられている。

(5) 標高

ASTER データから作成される数値標高モデルは ASTER 地上データ処理設備によって作成され、ユーザの要望に応じて配布される。30 m 間隔で得られる ASTER の数値標高モデルの標高精度は 30 m、位置精度は 50 m となっている。将来的にはその精度はそれぞれ 5 m、30 m に改善される予定である。標高データはハザードマップや防災計画を策定する上で重要であるが、整備が遅れている地域も多い。東アジアについては ASTER を用いて数値標高モデルを整備する計画がある⁸⁾。

(6) 火山の地表面温度

ASTER は熱赤外域を 5 バンドに分割して観測できるため、地表の放射率を推定するとともに正確な地表温度を観測することができる。また、溶けた溶岩や高温噴気は SWIR サブシステムによって観測可能である。

2.4 まとめ

ASTER によって 2000 年中に観測されたいくつかの火山現象について考察した。その結果、ASTER は既存のセンサーと同等またはそれ以上に火山現象を観測できることがわかった。特に表面温度の観測レンジが広いことや火山ガス中の SO₂ の濃度を観測できることは ASTER の特長といえる。

なお、すべての ASTER データは経済産業省から提供されました。ASTER データの所有権は経済産業省に帰属します。経済産業省に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 澤田可洋 (1983) 人工衛星による火山活動監視の試み. 火山第 2 集, 28, 357-373.
- 2) Yamaguchi, Y., Kahle, A. B., Tsu, H., Kawakami, T. and Pniel, M. (1998) Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 1062-1071.
- 3) Pieri, D. C., Crisp, J. and Kahle, A. B. (1995) Observing Volcanism and Other Transient Phenomena with ASTER. Journal of The Remote Sensing Society of Japan, 15, 148-153.
- 4) 浦井 稔・福井 敬一・山口 靖・David C. Pieri (1999) ASTER による火山観測の可能性とグローバル火山観測計画. 火山第 2 集, 44, 131-141.
- 5) Fujisada, H., Sakuma, F., Ono, A. and Kudoh, M. (1998) Design and Preflight Performance of ASTER Instrument Protoflight Model. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 1152-1160.
- 6) 浦井 稔・川辺 禎久・伊藤 順一・高田 亮・加藤 雅胤 (2001) ASTER による有珠火山 2000 年噴火に伴う降灰域の観測. 地質調査所月報, 印刷中.
- 7) 浦井 稔 (1998) 衛星ステレオ画像による火山噴煙の高度と流速の観測. 日本リモートセンシング学会第 25 回学術講演会論文集, 293-294.
- 8) 宮崎芳徳・賀来 学・渡辺 宏 (1995) ASTER ステレオデータによるデジタル地形モデルの作成. 日本リモートセンシング学会誌, 15, 182-189.

3. RADARSAT DInSAR による三宅島の地殻変動のモニタリング

大倉 博*・島田 政信**

3.1 はじめに

三宅島は、過去 500 年に 21 年から 51 年の間隔で噴火を繰り返し、1940 年、1962 年および 1983 年に噴火している。2000 年 6 月末に活発化した火山活動は、7 月 8 日に雄山の噴火に至った。その後の激しい噴火活動のため、2000 年 9 月 4

* 防災科学技術研究所先端解析技術研究部

** 宇宙開発事業団地球観測システム本部

日に全島民が三宅島から避難した。

噴火活動前に設置された地震計、傾斜計、GPS等の火山観測機器のほとんどは、停電等のため機能を停止した。このような状況で、火山活動のモニタリングの一手段として、RADARSAT SAR画像による差分干渉 SAR (DInSAR) を用いて地殻変動を検出した。なお、RADARSAT とはカナダが 1995 年 11 月に打ち上げた地球観測衛星であり、災害・環境監視をはじめとした様々な分野において利用がなされている。

3.2 RADARSAT 画像

解析に用いた三宅島の RADARSAT 画像は、2000 年 8 月 6 日から 2000 年 12 月 11 日までの 15 シーンをである。位相干渉は同一軌道かつ同一ビームモードの画像間のみで可能である。RADARSAT の軌道が、DInSAR を用いて南極の氷河と氷山の移動を観測するモードであったために、2000 年 9 月 3 日から 11 月 7 日まで高い精度で制御されており、この期間の三宅島の画像は好条件の解析が期待された。

3.3 位相強調フィルタ

三宅島は、市街地や集落および最近の噴火による溶岩の被覆地をのぞき、大部分が植生被覆域である。このため、C バンド SAR の RADARSAT データを用いた DInSAR では高いコヒーレンスが期待できない。そこで、位相強調フィルタを開発し、低コヒーレンス部分の位相干渉縞を強調した。このフィルタは Goldstein and Werner のフィルタ¹⁾ を改良したものである。窓の寸法の大きいフィルタから小さいフィルタを段階的に順番に作用させ、位相特性の改善された部分を前段までに得られた結果に重ね合わせている。このフィルタを用いることにより、解析に用いた画像から 8 枚の明瞭な位相干渉図が得られた。

3.4 GPS データを用いた軌道縞の除去

SAR を搭載した既存の衛星は、計画段階や設計段階で DInSAR の有用性が知られていなかったため、軌道精度が DInSAR の解析に不十分で

ある。このため、地殻変動等が生じていない地域で干渉縞が生じないように、干渉させる 2 つの画像のベースラインを推定し調節しなければならない。三宅島を含む RADARSAT のシーンには、地殻変動が生じていないと断定できる陸域は存在しない。そこで、噴火後に新規設置または測定を再開した気象庁の GPS のデータを用いて、ベースラインを推定した。GPS 観測点と計測開始 (再開) 時期を図 3-1 に示す。図 3-2 に坪田観測点と阿子観測点間の距離の時間変動の一部を回帰直線とともに示す。縦軸は地心座表系の Y 方向成分である。図中の a1 と a2 は、それぞれ、2000 年 9 月 16 日から 10 月 11 日までと、2000 年 10 月 12 日から 12 月 13 日までの回帰直線の傾き、すなわち変動速度ベクトルの Y 方向成分である。

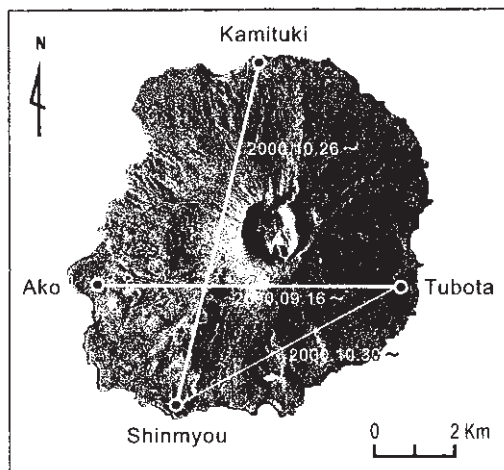


図 3-1 GPS 観測点と計測開始 (再開) 時期

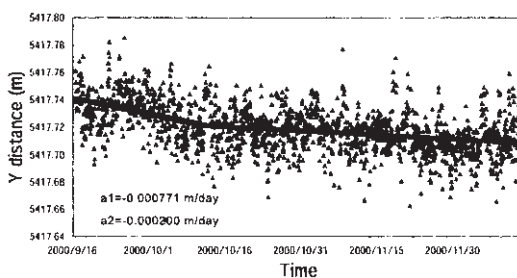


図 3-2 坪田観測点と阿子観測点間の距離の時間変動

位相干渉図における GPS 観測点間の位相差が、変動速度ベクトルから算出された相対変位に対応する位相差に一致するようにして、ベースラインを推定した。この結果、得られた位相干渉図を口絵 2 に示す。口絵 2 の A 点からの B 点の位相差は +1.2 サイクルである。これは 2000 年 11 月 10 日から 12 月 4 日までの 24 日間に、B 点が視線方向に約 3.4 cm 遠ざかったことを意味する。変位の水平方向成分を無視すると、B 点が 4.7 cm 沈降したことになる。

3.5 結論

- 1) RADARSAT SAR を用いた差分干渉 SAR 技術により三宅島の火山噴火活動による地殻変動を検出した。
- 2) 新開発の位相強調フィルタを初期位相干渉データに適用したところ、位相干渉縞が明瞭になり、大きな効果が得られた。
- 3) GPS データを用いて衛星の軌道の推定と修正を行った。
- 4) 三宅島雄山の噴火口最上部は、水平方向の変位を無視すると 2000 年 11 月 10 日から 2000 年 12 月 4 日までに 4.7 cm 沈降した。

参 考 文 献

- 1) Goldstein, R., C. Werner, Radar interferogram filtering for geophysical application. Geoph. Res. Letters, vol. 25, no.21, 1998, pp. 4035-4038.

4. 衛星による都市災害の被害状況把握の可能性－阪神淡路大震災の被害状況の場合－

竹田 厚*

4.1 はじめに

商業衛星 IKONOS の 1 m 地上分解能の画像から、都市災害の代表的な被害要素である道路、鉄道、建造物等の被災状況や火災、交通の混乱、被

災者の避難等の状況等もかなり明瞭に判読できることが分かり、都市災害発生時に広い視野での詳細な情報収集・分析に強力な道が拓かれた。今後このクラスの衛星画像が容易にかつ迅速に入手できるようになれば、例えば、日本からの航空機による空撮が難しい外国の都市災害についても早期の情報収集が可能になり、災害の詳細な状況を現地に行く前に把握できるので我が国の国際緊急援助活動が効果をあげるのにも役立つであろう。

4.2 背景と狙い

大災害が人口稠密で重要施設が集まる都市域を襲うと甚大な人的物的被害が発生するばかりでなく社会の中核機能を麻痺させて広域かつ長期にわたって計り知れない大きな損失を招く危険がある。都市災害では被害者の迅速な救出・救援に加えて、被害の拡大阻止、災害の早期終息のために的確な災害管理が特に重要な意味を持つ。発災時の都市の災害管理では整備された防災マニュアルとともに被害状況の全貌が把握できる正確な情報が不可欠である。この場合に迅速に対応できる情報源として最も信頼性があり有効と考えられているのが飛行機・ヘリコプターによる写真やビデオの撮影である。

確かに日本国内の災害では、視界さえ確保されていれば、余程の荒天時か火山噴火の危険がある場合でない限りこの方法による情報収集は可能である。しかし近隣諸国を含め外国で発生した都市災害の場合、我々の意志でこの方法を用いることはほとんど不可能であろう。

一方、近年災害時に防災先進国日本に対して緊急援助を期待する動きは高まっており、これに応えることは我が国の外交政策としても重要である。そして財政的な援助に加えて医療やレスキュー活動のための技術専門家の派遣や機材・物資の供与による「顔の見える援助」に重要なってきた。効果的な緊急援助活動は迅速な災害状況の把握に基づく的確な判断があって初めて可能となる。しかし、国外の、まして混乱状態にある地域の詳細な客観的情報を短時間内に収集することは上述のとおり至難の業であった。

* 東北文化学園大学科学技術学部

最適の情報収集手段である航空機による撮影が領空権等の問題から難しいとなるとあとは衛星観測に望みを託すことになるが、従来、都市災害の場合、衛星画像で判読できるのは大規模な火災の煙の広がりくらいで、地上分解能の限界から災害の重要痕跡である建造物の倒壊、道路、橋梁、鉄道の損壊等、ポイント的な被害の識別は無理とされてきた。さらに観測の適時性に難点があることも加わって都市災害の情報収集手段として衛星観測は余り利用されなかった。1999年実現した民間の商業衛星 IKONOS は地上分解能 1 m という航空写真に近い画像を、地球上の陸地の全ての地点を毎日乃至は 3 日に一回の頻度で観測することが出来る。この画像を利用すれば都市災害が発生した場合、被害の典型的な痕跡を上空から識別することが可能ではないか。それを確かめるために、1995年の阪神淡路大震災の直後に撮影された被災個所の航空写真と、最近観測された同じ個所の IKONOS 画像との目視による比較を試みた。

4.3 IKONOS 衛星の画像

冷戦時代に偵察衛星用に培ってきた最先端技術の一部を、米国政府は、1994年民間に開放した。これによって超高分解能画像センサーを搭載した衛星を用いて地球の表面を詳細に観測しようというビジネスが次々と現れた。その実現第 1 号がスペース・イメージング社の IKONOS 衛星で 1999年 9 月 25 日に打ち上げに成功した。この衛星は高度約 680 km の太陽同期円軌道を回周期約 11 日で周回する。IKONOS 衛星の画像センサーは CCD のリニアアレイで波長帯域はパングロで 0.45~0.9 μm 、マルチバンドとしてはこの帯域を青、緑、赤、近赤外の 4 バンドに分けている。問題の地上分解能は、パングロのオルソで 0.82 m、オフナディア 26° で 1.0 m という超高分解能で、マルチの場合でも、オルソで 3.3 m、26° で 4.0 m となっている。観測幅は直下を観測する場合 11 km と狭いが、観測頻度は分解能を 1 m に保っても 2~3 日に 1 回、2 m まで許容すれば 1 日 1 回と、衛星による準リアルタイムでの情報取得も夢ではなくなった。国内の観測時刻は 10 時 30 分

前後、1 フルシーンは 11 km×11 km、電子化ビットはピクセル当たり 11 ビットである。2001 年をはじめから国内（神奈川県藤沢市）での直接受信が行なわれるようになり、それまでの中継衛星—米国内地上局経由のデータ取得に比べ大きなスピードアップが期待できる。商品化されている画像の中で「パンシャープン画像」はパングロ画像の 1 m 分解能を維持しつつこれにマルチ画像の色をかぶせて地上の対象物の識別をしやすくしたもので色のにじみがやや気になるがパングロ画像に比べると便利である。

4.4 阪神淡路大震災被災地の航空写真との比較

都市災害では建造物や道路、鉄道等の損壊のような空間的には小規模の事象が大きな災害要素となり広い区域を混乱に陥れる。阪神淡路大震災の神戸市内とその周辺地域の被災状況は 1995 年 1 月 17 日の発災直後から航測会社等によって多くの航空写真に収められている。ここでは IKONOS 画像がこのような事象の識別、判読に有効であることを確認するための第一段階として、アジア航測から提供された約 200 枚の 4000 分の 1 のオルソ写真の中から代表的な災害要素の痕跡や後遺障害を識別・判読し、2000 年 2 月に同じ場所を撮った同縮尺の IKONOS のパンシャープン画像と目視で比較して、もしその観測時に同じ事象が存在したら画像上に識別可能な像を写し出せるかを診断してみた。

今回、診断の対象として選択したのは次の 4 例である。

- (1) 立体交差の陸橋の落下：国道 2 号線と 43 号線が合流する灘区の岩屋の立体交差のランプ部分の陸橋 2 箇所が折れて落下している（1995 年 1 月 17 日）。
- (2) 火災の現場：同じく灘区の阪神大石駅東方の線路際の延焼中の火災（1 月 17 日）。
- (3) 鉄道車両の脱線・転覆：東灘区の阪神石屋川車庫で路盤が崩れ入庫中の電車が多数、脱線転覆している（1 月 17 日）。
- (4) 高架道路の大渋滞：西宮市の甲子園付近の

国道43号線西行き(下り)の大渋滞(1月17日)。

以下、左側に上記(2)(3)の状況を示す航空写真を、それぞれの右隣に最近の同じ場所のIKONOSのパンシャープ画像を並べて示した(写真4-1, 4-2)。この他にも、傾いて道路上にせり出した建物、学校の校庭の避難者のテント群、埋立地の液化化などの痕跡をIKONOS画像から識別することは多少、経験を積みれば不可能ではない。

4.5 結論

1mの地上分解能があれば都市災害の被害要

素となるような多種類の被災の痕跡を衛星画像から識別・判読できる可能性が極めて高いことが分かった。この種の商業衛星は今後さらに分解能等の性能を向上させるであろうし、また、数も増えることは間違いない。防災分野でのリモートセンシングの実利用を効果的なものにするためにIKONOSのような最新の衛星画像の判読から多くの情報を抽出する技術を早急に確立すると同時に、実利用を促進するためのユーザ向けの枠組みの構築が不可欠である。現在、そのひとつとして主にアジア地域の防災関係者を対象に、最新の防災情報を共有するためのインターネットGISの研究開発が、(財)都市防災研究所アジア防災セ

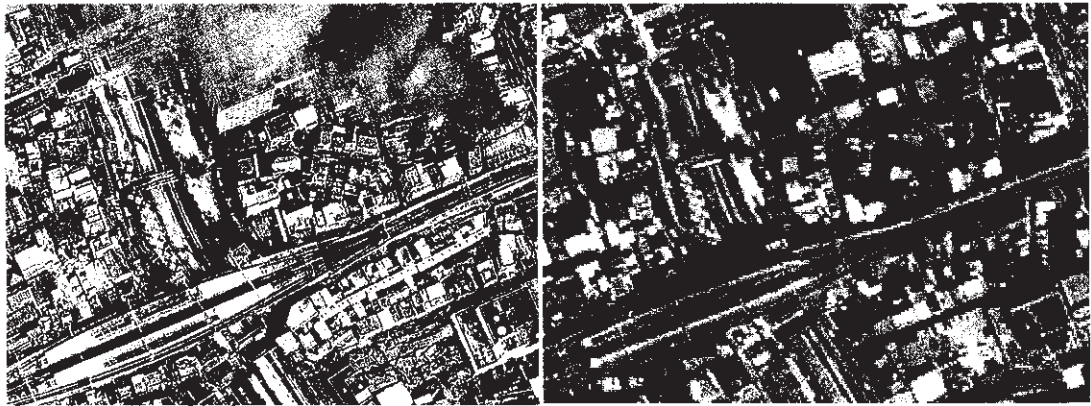


写真4-1 火災現場；煙の形から火災であるという判断ができるが、左の航空写真上に見える火災の煙のイメージは当然、右側の画像上でも火災と判読できる程度には明瞭に現われるであろう。

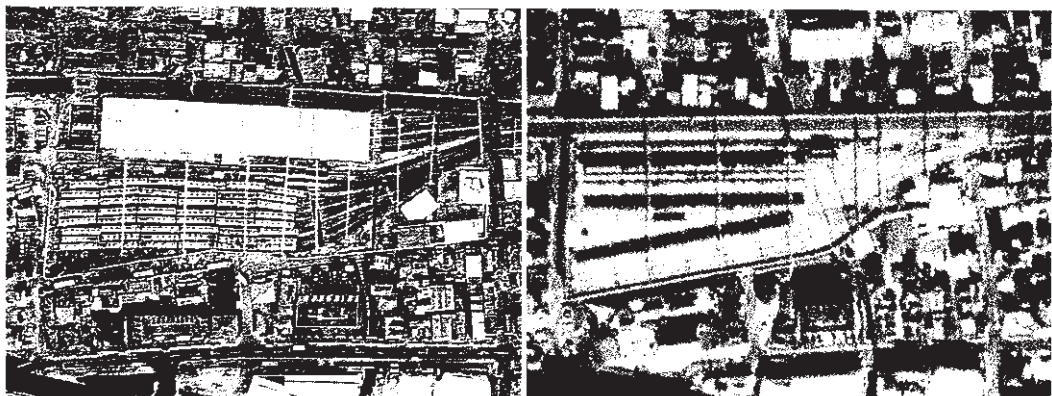


写真4-2 鉄道車両の脱線、転覆；車庫内に整然と並んでいるべき列車がジグザグ折れており屋根以外に側面も見せているのが窺える。この異常状態がIKONOS画像上でどの程度克明に判読できるかはやや疑問である。しかし注意深く凝視すれば整然さに欠けていることが識別できるであろう。

ンター（在神戸）を中心に進められており、システムの本体はほぼ完成し「VENTEN」という名で既に一部稼働している。本研究はその GIS に供せられるデータベースの重要な部分の構築を目指して、リアルタイム災害情報収集伝達に関する分担研究として実施されていて、IKONOS 以外の既存の衛星画像からの情報抽出については一応検討済みである。

謝辞

この研究は科学技術振興事業団の「計算科学技術活用型特定研究開発事業」による「アジア地域防災情報ネットワークシステムの研究開発」の一部として実施されている。ここで使用した航空写真はアジア航測の、また IKONOS 衛星画像は日本スペース・イメージングの提供によるものである。

5. 地震による斜面崩壊ハザードマップ

石黒 悦爾*・地頭蘭 隆*・寺本 行芳*

5.1 目的

斜面崩壊は、地下水位の変動、地質・地形的な要因ならびに瞬時的に多量な降雨により生じ、とりわけ、肩部を有する斜面では斜面崩壊を生じ易いとも報告されている。本研究は、地下の変動が地表面に何等かの変化をもたらす、すなわち、地下に生じた地下水位等の変動が地上に生育する樹木の葉の水分量に影響を及ぼすとの仮定を立て、衛星データを用いて地下変動箇所を特定するためのアルゴリズムを開発し、これらの手法を 1997 年 3 月に発生した鹿児島県北西部地震を事例に適用するとともに、Digital Elevation Map (DEM)、地質図等を要因とした GIS 解析をも併用して斜面崩壊ハザードマップを作成しようとするものである。

5.2 供試材料ならびに解析方法

地震を生じた地域に生育する樹木は、根圏の環境が一時的に変化し、水ストレスを受けた状態になると考えられる。高隅演習林に生育していた 45 年生の杉 (*Cryptomeria japonica*) を上端から 2 m に切断し、供試材料とした。この杉を常温下に放置し、水ストレスを受けた杉のモデルとして分光反射特性を測定した。400~1050 nm の波長領域の分光反射率を携帯用分光反射率計（阿部設計、Model: 2706）を用いて測定した。

地震前 (96/05/13) と地震後 (97/04/24) の Landsat/TM データ（以後、L-5/TM と略記）(Path-Row: 112-38) を用いて以下の手順で潜在崩壊地域を抽出した。(1) 幾何・大気補正：地震前後の衛星データの重ね合わせを可能にするために、1/25,000 の地形図を用いて変換行列を作成し、3 次たみ込み内挿法を用いるとともに RMS Error が 0.2 ピクセル以内となるように精度を設定して幾何補正を行った。また、L-5/TM 各バンドのヒストグラムでペDESTAL を引く補正法で大気補正を行った。(2) 土地被覆分類：国土地理院の 1/25,000 地形図と現地調査結果を基に、最尤法で、市街地・水田と山林の分類を行った。(3) 画像演算：分光反射特性の結果より導出した最適な解析指標を衛星データに適用した。また、地震前後における樹木の活性度の変化を表す指標として Vigor ratio (VR) を以下のように定義した。 $VR = 100 \times (NDVIB - NDVIA) / NDVIB$ 、ここで、NDVIB と NDVIA はそれぞれ地震前と後の L-5/TM データより算出した NDVI 値である。VR 画像のヒストグラムより決定したしきい値を画像に適用し、崩壊危険区域を抽出した。この結果を現地調査結果と 97/04/25~05/09 および 97/05/27 撮影の空中写真より作成した崩壊地の位置座標データと比較し、抽出精度を検討した。また、国土地理院刊行の数値地図 25,000 [地図画像、行政区・海岸線および 50 m メッシュ (標高)] ならびに鹿児島大学自然災害研究会発行の 1997 年鹿児島県北西部地震震災地質図を使用した。

* 鹿児島大学農学部

5.3 結果ならびに考察

供試材料の杉に水ストレスを与えた場合の分光反射特性の時間変化を携帯用分光反射率計で測定したところ、観測期間が2週間と短かったため可視域における分光反射特性はほとんど変化しなかったが、750 nm以上の近赤外域の分光反射特性は大きく変化した。これにより、衛星データを用いて水ストレスを受けた樹木の検出の可能性が示された。また、L-5/TMのBand-1とBand-2に対応した平均分光反射率は経過日数による差異はほとんど認められなかったが、同じ可視域のBand-3は経過日数が増加するに伴い僅かながら増加する傾向を示した。可視域の中でBand-3のみが僅かながら増加の傾向を示したのは、経過日数が進むに伴い葉の先端が褐変化したことによるものと考えられる。また、Band-4は他のバンドとは異なり減少傾向を示した。これは、葉の水分含量の変化がBand-4に大きく影響するとの報告とも一致している。

Band-3とBand-4が水ストレスと相関が比較的高いことが示されたので、この2つのバンドを用いて以下の指標と経時変化を検討した。

$$\text{NDVI} = (\text{Band-4} - \text{Band-3}) / (\text{Band-4} + \text{Band-3})$$

$$\text{RVI} = \text{Band-4} / \text{Band-3}$$

$$\text{DVI} = \text{Band-4} - \text{Band-3}$$

$$\text{DVIw} = 2.40 \times \text{Band-4} - \text{Band-3}$$

その結果、図5-1に示すように、これらの指標の中で、NDVIが最も高い相関を示し、しかも偏差も少ないことから、NDVIが最も水ストレスを反映、すなわち樹木活性度の低下の識別に有効な指標であると結論した。

解析対象地域の森林のピクセル数に占める崩壊地のピクセル数の割合とVR値との関係を調査したところ、VR値が25%を頂点とする二次曲線で近似できることがわかった。VR値が大きい区域は崩壊の可能性が高いと考えらため、VR値25-50%を危険度(中)、50%以上を危険度(大)と定義し、地震崩壊危険区域の抽出を行った。図5-2に抽出結果を示す。

さらに、標高および斜面傾斜角に関する、析対

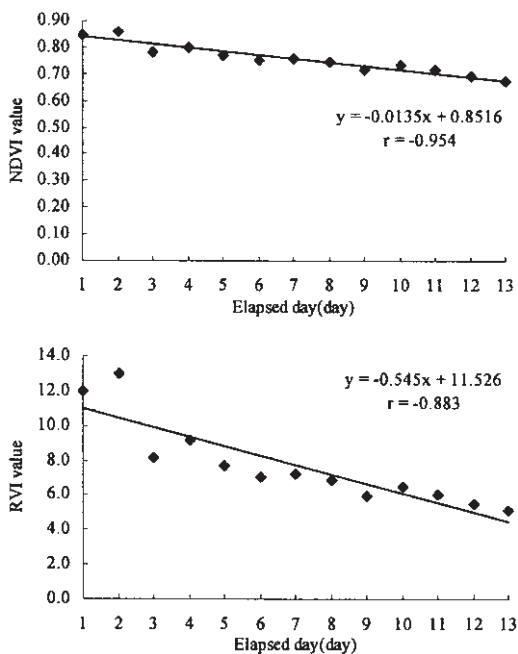


図5-1 解析指標の経時変化

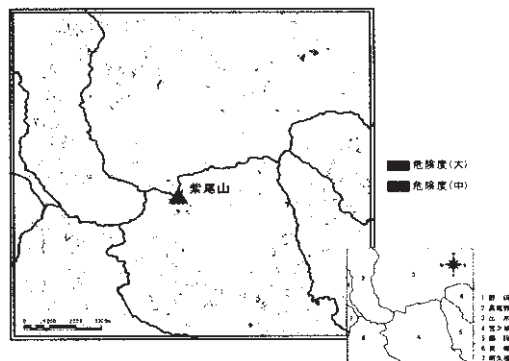


図5-2 崩壊危険区域の抽出

象地域全体のピクセル数に占める崩壊地のピクセル数の割合を算出した結果、標高には明確な傾向を示さなかったが、斜面傾斜角については傾斜角が大きいほど崩壊しやすいことが確かめられた。各地質における単位面積当たりの崩壊地数を求めた結果、新規花崗岩類における崩壊地数が、他の地質と比較し多くなっていることが確かめられた。

5.4 結言

地震前後の樹木の活性度を検討することにより、衛星データを用いて地震崩壊危険区域の抽出が可能となった。今後、地質・傾斜角、さらにそれ以外の要因をも検討してそれらの要因の相互関係の検討を行い、より実用に供し得るハザードマップの作成が必要であると考えられる。

6. 活断層の衛星温度観測による地震発生予知の可能性

後藤恵之輔*

6.1 従来の地震予知法について

新世紀を迎えた2001年、大きな地震が国内外で相次いで発生している。1月12日に兵庫県北部でマグニチュード(M)5.4、1月13日に南米エルサルバドルでM7.6、1月26日にはインドのグジャラート州でM7.6(インド西部地震)の地震が起きている。また最近では、3月24日に中国、四国地方の広い範囲に被害をもたらした芸予地震(M6.4)、4月3日には静岡県中部でM5.1の地震が起きており、地震予知の重要性は極めて高くなっている。

我が国の地震予知への取り組みは1965年から始まり、阪神大震災までに約2千億円がつき込まれてきた。その方法とは前震、地殻変動の異常、地下水の変化などと言った、地殻変動・地震活動等の観測から前兆現象の検出を行うものである。しかし、これら現在の技術では、M8クラスの巨大地震でさえ予知できないと言われているのが現状であり、実質上、予知は実用化に至らなかったと言わざるを得ず、新たな予知法の開発が急務となっている。

6.2 活断層の衛星温度観測による地震発生予知の可能性

著者は阪神大震災後の活断層における温度異常をLANDSATの熱画像から発見し、この温度上

昇は地震による活断層のずれで生じた摩擦熱によるものであるとの仮説を立てた。このことと時期を同じくして、野島断層において草の根が炭化しているのが発見(機械技術研究所・榎本祐嗣)されており、このことから、室内実験によって岩石の破壊実験を行い、実際に岩石に圧力を加えた結果、岩石の破壊時において、岩石の温度が上昇することを確認した。この結果を基に、経時性、周期性、広域性に優れている人工衛星データの熱画像を用いた新たな地震予知について可能性を探ってみた。

6.3 阪神・淡路大震災での画像解析

1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災(M7.2)での震災前後のLANDSAT/TM夜間データの熱赤外データ(バンド6)を解析し、地表面の温度変化を調べた¹⁾。震災後のデータとして地震発生から約3週間後の1995年2月7日のものを用い、これに対する震災前のデータとして1990年2月9日および1994年12月13日のものを用いた。

図6-1に衛星データから解析した、大阪市、神戸市、ポートアイランド、野島断層、須磨断層の各5箇所での平均温度の変化²⁾を示す。この結果、活断層域における温度に異常な変化が起きていることが分かる。活断層域の温度は震災前では都市域よりも当然低いが、震災直後においては都市域とあまり変わらない温度を示しており、特に野島断層においては震災前の平均気温より約3.0℃ほど上昇し、大阪市とほぼ同じ気温になっている。これは、地震時に起きる活断層の摩擦熱が原因と考えられる。

6.4 岩石破壊実験による温度変化測定

前節で述べたように、衛星データに現れた温度変化が活断層のずれによる摩擦熱が原因であるかを検討するため、岩石の一軸圧縮試験を行い、岩石の破壊に伴う温度変化をサーマルカメラによって測定した^{3),4)}。試験を行った岩石は花崗岩、珪岩、砂岩、玄武岩、黒岩片岩の5種類である。

図6-2は花崗岩の温度変化を示したもので、試

* 長崎大学大学院生産科学研究科

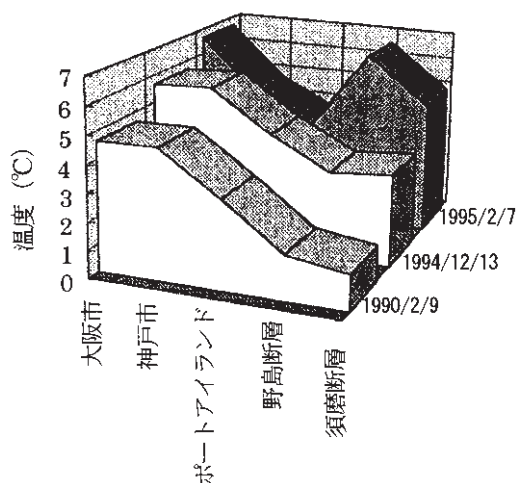


図 6-1 LANDSAT/TM 夜間熱赤外データによって観測された市街地と断層域の温度変化

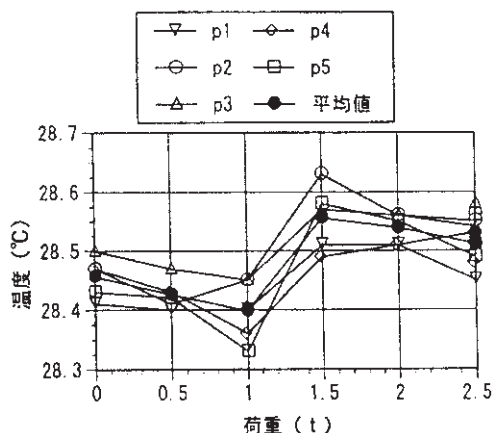


図 6-2 岩石破壊時の温度変化

験片表面の上方からポイント 1 (p1), ポイント 2 (p2) としていき, ポイント 5 (p5) までの 5 箇所, また, これら 5 箇所の平均の温度変化を, 折れ線グラフで表している。この図を見てみれば, 全体的に破壊に伴って温度が上昇しているのが分かる。他の岩石においても温度の上昇率に多少の違いはあるものの, 全体的に温度上昇が見受けられた。これらの結果から, 岩石の破壊に伴い摩擦熱が発生することが判明し, 地震時において岩石の破壊が起こる活断層地域では, 温度が上昇することが

確認できた。このことは活断層の温度観測によって地震の発生予知が可能であることを示している。

6.5 越後平野およびトルコ大地震における活断層の衛星温度観測

口絵 5 は, 歴史地震活動もあり, 現在の微小地震活動レベルの高い越後平野の LANDSAT/TM 夜間データの熱赤外データ画像である。(a) は 1994 年 8 月 10 日, (b) は 1995 年 8 月 29 日のものである。なお, これらの図は他の地域に比べ温度の高い地域の有無を分かりやすく表示しているため, 同色で示された地域は, 必ずしも同温度ではない。

この図を見ると, 市街地である新潟市や上越市付近においては当然温度が高いが, この他に (a) において, 新潟市の右下に温度が高い地域が直線状にあることが分かる。この温度が高い直線状の地域は, (b) においては消えている。この地域は, 新発田一小出構造線もしくはこれに付随する月岡断層の位置と一致しており, この地域での地震活動は, (a) のデータの約 2 ヶ月後の 1994 年 10 月から群発地震が起り始め, 翌年の 1995 年 4 月 1 日には M 5.5 の地震が起きている。また, この地震において地下水の温度調査も行われた⁵⁾が, 特に震央付近での温度上昇が観測されている。以上のことから, 内陸型地震における活断層と地表面温度には, 密接な関係があると考えられる⁶⁾。

さらに, 1999 年 8 月 17 日に起こったトルコ大地震 (M 7.4) を対象とし, 人工衛星 NOAA の AVHRR/2 夜間データから衛星温度観測を行った。解析には 1997 年から 1999 年の地震発生後までの同じ 8 月のデータを用いた。その結果, ここでも, 断層域で地震前に CCT 値が上昇, すなわち温度が上昇し, 地震後に徐々に下降するという変化が認められ, 断層域以外では経年的な変化が認められないという結果を得た。特にイズミット南部の湖では 1999 年 8 月 13 日のデータに突然現れた温度の高い地域が線状に認められ, 地震前後で最大で約 4.7°C の差が認められた。湖南部の北アナトリア断層地域では最大の温度差は約

3.5℃であった。

6.6 今後の展望

ここでは、地震時の活断層のずれによる温度変化に着目し、広域かつ定量的な解析が可能である衛星リモートセンシングによる地震発生子知技術について、その開発を試みた。この技術を用いれば、経年的な変化を広域に捉えることができ、容易に温度観測することが可能となる。

最近では、阪神・淡路大震災、トルコ大地震、台湾大地震と、都市域での大地震が世界中で発生しており、その被害は犠牲者の数からも甚大なものである。現在種々の地震予知法が開発され、用いられているが、確実な予知には至っておらず、またその方法を実施するには膨大な資金が必要となっている。しかし、本研究で提言している方法を用いれば、特定の地域の過去から現在までのデータを解析することによって、今後の地震災害を最小限に食い止めることができると考えられる。言うなれば本研究の手法は、宇宙からの地震予知と言っても過言ではない。

衛星データには解像度や周期性の問題があるが、最近の高分解能衛星の出現により、これらの問題も解決され、より詳細なデータで地震予知が可能となる。また既存の方法と組み合わせれば、より確実な予知が期待でき、今後の地震予知の開発に大きく貢献できるものと考えている。さらにはGPS（汎地球測位システム）を用いた地殻変動調査による方法と本研究の手法とを組み合わせれば、地震予知のためのネットワークづくりができ、リアルタイムに避難勧告が出せるなど、災害後の2次被害も大幅に食い止めることができると期待される。

参考文献

- 1) 後藤恵之輔：宇宙からの地震予知，土と基礎，地盤工学会，Vol.44，No.456，pp.25～28，1996.
- 2) 後藤恵之輔・全 炳徳・増喜彰久：阪神大震災被害に関する宇宙と超低空からの熱赤外線リモートセンシング調査，自然災害西部地区部会報・論文集，No.21，pp.59～67，1997.
- 3) 後藤恵之輔・全 炳徳・西川 麗・金 應南：サーマルカメラによる岩石の破壊に伴う温度測定～宇

宙からの地表面温度観測による地震予知に向けて～，自然災害西部地区部会報・論文集，No.20，p.p.133～141，1996.

- 4) 後藤恵之輔・西川 麗・柳 浩二・後藤健介：活断層のずれによる温度上昇の実験的検討－岩石の破壊時の温度測定－，土と基礎，地盤工学会，Vol.47，No.2，pp.28～30，1999.
- 5) 大木靖衛・徐 輝竜・河内一男・鈴木幸治・渡部直喜・佐藤 修：新潟県の歴史被害地震と伏在活断層について，(財)産業地質科学研究所，研究年報，No.9，pp.21～39，1998.
- 6) 後藤恵之輔・柳 浩二・佃 為成：越後平野における衛星データからの地盤温度情報について，自然災害西部地区部会報・論文集，No.23，pp.167～170，1999.

7. TRMM/PR による 2000 年モザンビーク洪水の検出

平林由希子*・瀬戸 心太*・沖 大幹*
虫明 功臣*・竹澤 洋**・沖 理子***

7.1 はじめに

熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の降雨レーダ (PR) で観測された後方散乱係数は、地表面の粗度、植生量、水分量等によって影響を受ける。この TRMM-PR の後方散乱係数の変化量は土地被覆ごと、入射角ごとに異なるが、この事を利用してグローバルな土地情報が分析され、瀬戸らによって地表面土壌水分量の推定が行われるなどの研究が進められている¹⁾。ここでは、2000年2月から3月にかけてアフリカのモザンビークで起こった大洪水時の降水分布と、この TRMM/PR データから推定される地表面の湿潤度を比較検討した結果を示す。

7.2 モザンビーク大洪水時の降水分布

2000年2月から3月にかけて、アフリカ南部地方で豪雨による深刻な洪水が生じた。この大雨で国内の主要河川であるリンポポ川等が氾濫した

* 東京大学生産技術研究所

** (財)リモートセンシング技術センター

*** 宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター

モザンビークでは、人口の約1/20にあたる約100万人が家を失った。モザンビークの他には、ボツワナ、南アフリカ等のモザンビークより西の内陸部からアフリカ南部にかけての国々と、マダガスカルで洪水の被害が生じたと報道されている。図7-1は、1998年2月、1999年2月と、洪水の生じた2000年2月のアフリカ南部における積算降水量(mm/month)の観測値を示す。データはGPCCによる雨量計をもとにした1度×1度のプロダクトを使用した。図に示されている矩形は主に洪水による被害が大きかった箇所(30 E-40 E, 15 S-28 S)であり、洪水被害の報告されているモザンビークからボツワナにかけての内陸部(地図上ではマダガスカル島の南端と同緯度の内陸部)である。図の矩形内部に注目すると、2000年2月の降水量は、他の2年の観測値よりも明らかに多いことがわかる。また特に豪雨による深刻な洪水が生じたモザンビークの首都のマプート付近(アフリカ大陸の東海岸沿いでマダガスカル島の南端とほぼ同緯度の湾の中心部)では、2000年2月に非常に多い降水量が観測されていることがわかる。

7.3 TRMM/PR データを用いた土地情報解析とその結果

1998年1年分の解析によって判明したTRMM/PRデータの特徴と、それを用いた土地情報解析結果の概要について述べる。TRMM/PRは周波数13.8GHzの能動型マイクロ波リモートセンサである。このマイクロ波は地表面へ入射角0度から18度の範囲で射出され、

その反射強度として後方散乱係数を計測している。この後方散乱係数は、一般に地表面の植生が多いと減衰を受けて値が低くなり、水分量が多いと地面の誘電率が上がるために値が大きくなる。

図7-2は1998年2月の、土地被覆別に縦軸を後方散乱係数、横軸に入射角をとった図である。後方散乱係数は、森林のような植生量が多い場所では低入射角時に大きく減衰され、その後はほぼ一定となる。砂漠では低入射角時に最も値が大きく、高入射角時に最も値が低くなる。水面ではかなり高い値を示す為、中間の入射角時の値が大きい場所はピクセル内に水面か湿潤した箇所を多く含んでいたと判断できる²⁾。

7.4 モザンビーク大洪水時の降水分布図と後方散乱係数による地表面湿潤度との比較

ここまでで得られた結果のうち、中間入射角(band2)を利用した地表面湿潤度の指標を、モザンビーク洪水が生じたアフリカ南部についてそれ

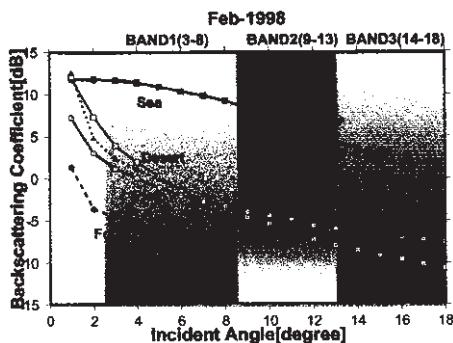


図7-2 土地被覆ごとの後方散乱係数の入射角依存性

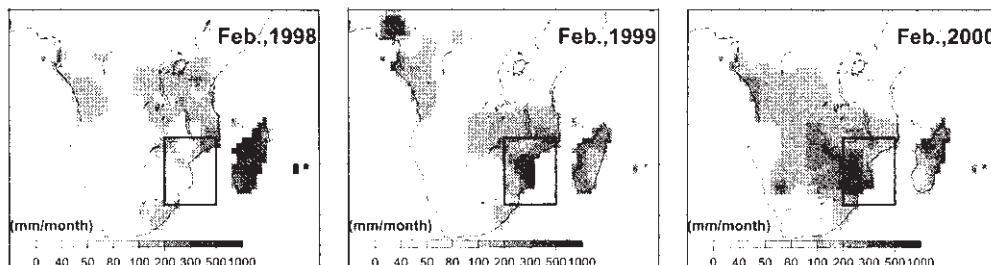


図7-1 2月の積算降水量(左から1998年,1999年,2000年(洪水時))

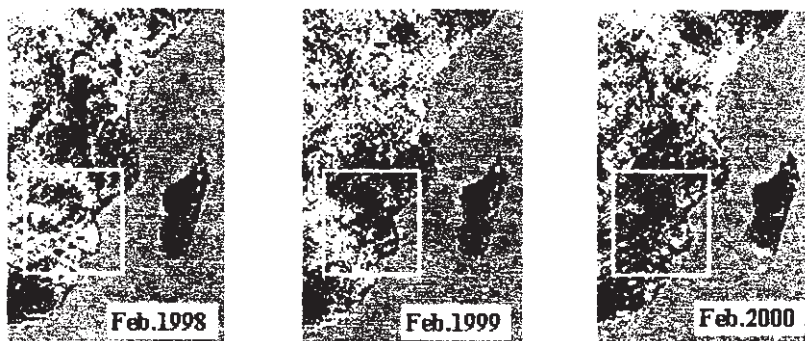


図 7-3 後方散乱係数によるアフリカ南部の 2 月の地表面湿潤度 (左から 1998 年, 1999 年, 2000 年 (洪水時))

ぞれ 1998 年及び 1999 年, 2000 年の 2 月に適用した結果が図 7-3 である。1998 年の年平均値から求めた湿潤度の指標をそのままそれぞれの年の月平均の後方散乱係数にあてはめる事により, 0 から 255 のグレイスケールに変換した。海と湖等はマスク処理によって白く着色されているが, その他の箇所は黒いほど湿潤である事を示す。この図は, 図 7-1 に示されるそれぞれの年の降水量と対応させることができる。降水量の場合と同様に, モザンビークの洪水域を大まかに示す図 7-3 の矩形内部に注目すると, 2000 年 2 月は他の 2 年よりも黒い部分が多く, より湿潤であり, 図 7-1 の特徴と対応している事がわかる。

7.5 まとめ

TRMM/PR の後方散乱係数で推定した 2000 年 2 月のモザンビーク洪水時の湿潤箇所は, 定性的ではあるが, 観測値の降水量分布と比較的良好に対応している事が判明した。また 1998 年, 1999 年と 2000 年それぞれの降水分布の特徴を良く表しており, 後方散乱係数による湿潤箇所の推定は妥当であると言える。またリンボポ川河口付近など, 冠水したと報道されている箇所の湿潤度は非常に高い事が推定できた。従って, 大規模な洪水域を抽出する手段として, 本手法は有効であると考えている。なお, 本研究は NASDA との共同研究に基づいた成果であり, TRMM PR データは共同研究契約に基づき提供頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Shinta SETO, Yukiko HIRABAYASHI, Shinjiro KANAE, Taikan OKI, Katumi MUSIAKE, Seasonal Variation of Land Surface Backscattering Coefficients of TRMM/PR and Its Relationship With Soil Moisture, submitted to IEEE Transactions on Geoscience and Remotesensing.
- 2) 平林由希子, 瀬戸心太, 鼎 信次郎, 沖 大幹, 虫明功臣, TRMM-PR による後方散乱係数を利用したグローバルな土地情報の分析, 土木学会水工学論文集, 2000 年 3 月, 第 44 巻, pp.259-264.

8. 多種衛星画像による 1998 年長江中流域の洪水氾濫状況の時系列モニタリング

幾志 新吉*

洪水氾濫状況検出の適例として, 1998 年夏の長江の大洪水について, 中国水利部によるハイドログラフ (日流量曲線) 等の現地調査資料を参考に, ランドサット TM データを中心に衛星データの解析を行った。

8.1 各種衛星データを用いた氾濫域拡大状況の時系列的判読

1998 年 8 月上旬の氾濫域の拡大状況を日単位で捉えることを目標に, 多種衛星の画像を極力収集した。その中には, NOAA/AVHRR や全天候

* 広島工業大学環境学部

型の ERS-2/SAR や RADARSAT/SAR といった観測衛星によって撮影された画像も含まれる。収集した衛星データの観測期日とこのときの流量ハイドログラフを図 8-1 に示す。このハイドログラフは中国水利部によって作成されたものであり、研究対象領域を挟む上流部（沙市）と下流部（城陵磯）にある二つの主要な観測点における洪水期間中の日流量を示している。

洞庭湖北方の監利下流域を対象として各々の衛星画像から判読された冠水域の拡大状況をマッピングしたものが口絵 6 である。興味深い点は、図中のオレンジ色で示した地域は、8 月 11 日 15 時の NOAA AVHRR 画像では冠水しておらず、8 月 12 日 6 時の RADARSAT で冠水域と認められたことである。これは、冠水域の広がりや衛星情報によって時系列的に捉えることができた数少ない例である。

8.2 ランドサット TM データによる長江中流域の洪水氾濫状況の把握

洪水氾濫域を TM データから広域に把握するため、三峡の出口から武漢に至る長江中流域をカバーする隣接 2 シーンのリモートセンシング画像を、洪水 3 年前の 1995 年夏期と、洪水時の 1998 年 8 月のデータについてそれぞれ作成したところ、近赤外域の画像を重ね合わせるにより、氾濫域が明瞭に抽出された。

次に、洪水氾濫域の土地被覆状況を把握するために、95 年夏期の TM データに 98 年 8 月中旬

と下旬の TM、ならびに同 9 月中旬の JERS-1/SAR データより抽出した冠水域をそれぞれ重ね合わせた画像を作成した。その結果、冠水域のほとんどが水田に代表される植生域であること、長江本流は平時から土粒子を多く含んだ濁水域であることが改めて判った。また、9 月中旬はハイドログラフからも明らかな様に洪水の退潮期で水位が下がり、道路・堤防等陸域の一部が露呈している状況も判別することができた。さらに、洪水氾濫の最盛期に 9 日の間隔で撮影された二時期の TM データを用いて、氾濫水の挙動をその濁度の変動から推定する試みとして、各時期についての最尤法による分類画像と、可視部についての二時期の重ね合わせ画像を作成した。これらの画像により、氾濫域において、8 月中旬には濁度が低かったところが洪水のピークを挟んだ下旬には越流等により濁水域と化していること、逆に旧河道周辺の濁度は下がっていることが示された。

8.3 まとめ

LANDSAT TM データは洪水氾濫域の土地利用状況や氾濫水の濁度の推移の把握に実用的である。一方、氾濫域の拡大状況の監視という課題に対する観測衛星データの実用性を追求したが、多種の衛星による観測機会を総合しても、高々 2～3 日に 1 回の頻度では実用上不十分であった。災害監視への実用化のためには、少なくとも一日一回の観測頻度と迅速なデータ供給を実現するための国際協力が不可欠である。

参考文献

- 1) 幾志・宋・李 (1999) : Flood Detection in Changjiang 1998 From Landsat-TM Data, Proc. of 50th IAF Congress, IAF-99-C.2.05.
- 2) 菅・竹内・幾志 (1999) : Flood Monitoring in China using JERS-1/SAR and LANDSAT/TM Data, Proc. of 50th IAF-99-C.2.06.
- 3) 幾志・諸星・李・原 (1997) : Flood Monitoring in China in International Cooperation, Proc. of 48th IAF Congress, IAF-97-C.3.05.
- 4) 福園・岸井・幾志他 (1996) : 中国における流出

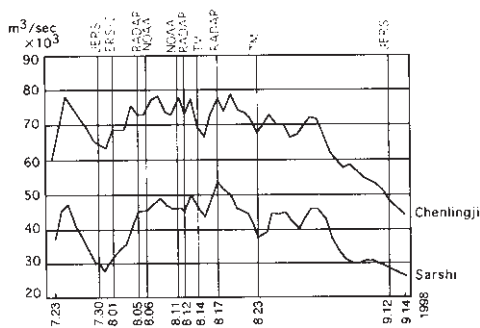


図 8-1 1998 年長江大洪水中の流量ハイドログラフと衛星データ観測期日

量データセットの作成研究, 地球科学技術研究のための基礎的データセット作成研究平成8年度報告書, 宇宙開発事業団.

9. NOAA, GIS データを用いたバングラデシュの洪水ハザードマップ, 洪水対策順位図の作成

佐渡 公明*・モハマド モニール イスラム**

9.1 序論

バングラデシュは, 3 大河川, ガンジス河, ブラマプトラ河, メグナ河が合流するデルタ地帯に位置している。雨季には低気圧やサイクロンにより毎年のように洪水が発生している。なかでも 1987, 1988, 1998 年の洪水は大規模なものであった。1988 年洪水は氾濫面積では史上最大であり, 1998 年洪水は洪水継続時間では史上最長であった。1988 年以後の各国からの洪水対策に対する莫大な援助にも関わらず, 1998 年の大洪水は, 洪水発生や洪水被害が減少していないことを明らかにしている。1998 年洪水後, 各分野の専門家は, 洪水災害の防止計画や対策のために洪水ハザードマップの必要性を提言している。しかし, 洪水危険度と人口密度の両方が組み込まれている洪水対策順位図は, バングラデシュにはまだない。ここでは, バングラデシュにおける 1988, 1995, 1998 年の各洪水時に観測された, 1988 年 9 月 18 日, 1995 年 10 月 31 日, 1998 年 9 月 18 日以上の NOAA/AVHRR 3 画像, および GIS データとして標高, 地形, 地質, 土地被覆, 水系網, 人口密度, 行政区画に関するラスター・ベクターファイルを用いて, バングラデシュの洪水ハザードマップの作成を試みる。洪水危険度を評価するための洪水頻度や氾濫水深区分は, NOAA データから推定する。最後に洪水ハザードマップに人口密度を考慮して得られる洪水対策順位図の作成について述べる。

9.2 洪水氾濫面積・洪水頻度・氾濫水深の推定

洪水期間中に観測された NOAA/AVHRR データを用いて, その観測日の洪水氾濫図を作成する。まず, 教師無し分類の ISO データクラスタリング法を用いて, NOAA/AVHRR 画像を水域と非水域(地表面における水域以外の部分で, 以下陸域と呼ぶ)に分類した。使用した NOAA 画像は雲量の少ない画像を選定したが, それでも多少雲が存在しているので, 文献 1) に記載の著者らの雲を除去するアルゴリズムを用いて, 雲で覆われた画素を水域か陸域に分類した。次に, 水域・陸域に分類された洪水時の画像に, バングラデシュ全土をカバーする水系網のベクターレイヤーを重ね合わせることにより, 洪水時の画像を陸域, 氾濫水域, 通常水域(河川, 湖沼など)に分類した。1988 年 9 月 18 日, 1995 年 10 月 31 日, 1998 年 9 月 18 日の洪水氾濫面積率はそれぞれ 34.74, 27.71, 36.08 % と推定された。文献 2) では, 1988 年洪水の氾濫面積率が 57 % と記されているが, これはこの洪水期間中に冠水した全面積率と思われる。

次に上記の 3 時期の氾濫水域を用いて, 衛星画像の各ピクセルに代表される地域の洪水頻度を決定する。3 回の洪水中 1 度も冠水していなければ安全な地域であり, 1 回冠水すれば危険度を"小", 2 回冠水すれば危険度を"中", 3 回冠水すれば危険度を"大"と設定する。

氾濫水深は, 最尤法を用いて, 浅い, 中程度, 深いに分類した。この 3 カテゴリーの教師データは, NOAA/AVHRR 画像における色の違いまたは白黒濃淡の違いから選定した。また, NOAA 画像と標高画像を重ね合わせることにより, 氾濫水深の違いを見ることがもできる。結局, 氾濫水深をゼロ, 浅い, 中程度, 深いの 4 段階に分類し, 3 枚の NOAA/AVHRR 画像に対応して 3 枚の氾濫水深図を作成した。

9.3 洪水ハザードマップ

洪水危険度評価に用いる GIS データの組み合わせは種々考えられるが, これまでの著者らの研

* 北見工業大学工学部

** 国立シンガポール大学熱帯海洋科学研究所

究により、土地被覆、地形、地質データの組み合わせが最も良い結果を与えている³⁾。バングラデシュの土地被覆、地形、地質をそれぞれ9, 31, 28カテゴリーに分類し、それぞれの各カテゴリーに対する洪水危険度の面積割合をもとに、各カテゴリーのハザードランク（洪水危険度順位）を算定した（詳しく³⁾参照）。次に、上記で設定した土地被覆、地形、地質ごとのハザードランク（HR）を総合的に階級付けするために、図9-1に示す階級付け行列を用いた。これを用いることにより、ハザードランクは1から27までの10段階が設定される。なお、洪水危険度として、ここでは洪水頻度と氾濫水深を考慮しており、それぞれについて総合的なハザードランクが得られることになる。このハザードランクを地理的に表示すればそれぞれの項目に対するハザードマップが得られることになる。

このようにして、1988年9月18日、1995年10月31日、1998年9月18日の3画像に対応して3種類の氾濫水深に対するハザードマップ、および、洪水頻度に対するハザードマップ、合計4種のマップを得た。これらのマップを最も危険側の値を取るよう合成したものが口絵4である。

バングラデシュの主な都市は非常に人口が多い。洪水対策のための河川工事は、経済効果と地域の重要性を考慮して行われなければならない。人口密度を5つのカテゴリーに分類し、上記のハザ-

ドマップと人口密度分布図を用いて洪水対策順位図を作成することも可能である。その結果、たとえば、メグナ河北東部と南西部の海岸は、ハザードランクは高いが洪水対策順位は低い地域であることなどを分析することが可能となった。これまでは画素単位のハザードランクや洪水対策順位を述べてきたが、行政区画単位でハザードランクや洪水対策順位の平均値を求めて比較することも可能である。

9.4 まとめ

- 1) NOAA/AVHRR データから推定できる洪水頻度や氾濫水深区分を用いて、土地被覆、地形、地質などのGISデータの各カテゴリーに対し、ハザードランクを評価する方法を示した。
- 2) 洪水危険度に対する洪水頻度と氾濫水深の影響および土地被覆、地形、地質の相乗効果を考慮して、バングラデシュにおける画素単位（1.1 km×1.1 km）の洪水ハザードマップを作成した。
- 3) 洪水ハザードランクと人口密度順位を2次元階級付け行列に入力することにより、バングラデシュの画素単位の洪水対策順位図を作成した。

参 考 文 献

- 1) Islam, M.M. and Sado, K.: Flood hazard assessment in Bangladesh using NOAA AVHRR data with geographical information system, *Hydrol. Process*, 14 (3), 605-620, 2000.
- 2) 馬場仁志：バングラデシュ洪水対策—Flood Action Planの経緯と現状—, 41 pp., 1992.
- 3) Islam, M.M. and Sado, K.: Development of flood hazard maps of Bangladesh using NOAA-AVHRR images with GIS, *Hydrological Sciences Journal*, 45(3), 337-355, 2000.

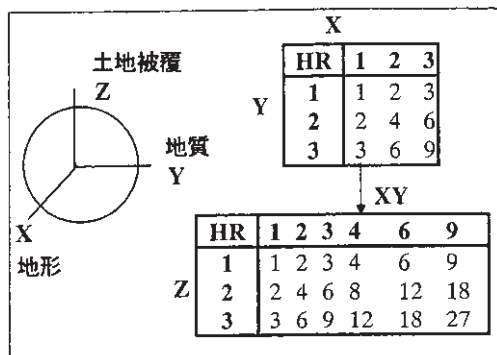


図9-1 階級付け行列の概念図（HR：ハザードランク）

10. 沿岸水域の防災・災害監視へのリモートセンシングデータの利用

坂井 伸一*

10.1 はじめに

我が国では、沿岸域に基幹産業が集中しており、沿岸水域の環境評価や防災・災害監視に対してリモートセンシング技術を活用することへの関心は高い。しかし、衛星リモートセンシングは、ほぼ全球を繰り返し観測できると言う利点はあるものの、可視域や熱赤外域のデータは雲の影響を受けやすく、また高分解能の衛星ほど繰り返し周期が長くなるなど実用性の面で課題がある。陸上からのリモートセンシングである海洋レーダは、海面の流れや波高、風向を観測できる装置で、衛星に比べて観測範囲が限定されるものの、天候に関係なく繰り返し連続観測ができると言った利点がある。

10.2 LANDSAT/TM による温排水モニタリング

空間分解能が高い LANDSAT/TM 画像を用いて、発電所から周辺水域へ放出される温排水をモニタリングすることができる¹⁾。海域特性が違う全国3箇所の発電所前面海域において11月に観測した実測データとTM(CCT値)を比較した結果、地理的な影響は認められず、TMの海面水温の分解能は0.5℃程度であることが確認された。図10-1に、TMと現地観測による温排水拡散範囲を示す。TMの結果は画像処理の影響により、実

測結果に比べて平滑化された分布となっているが、低温域を中心に両者は良い対応を示している。全国57箇所の臨海発電所前面海域において、1987年～1989年の2年間に得られたTM画像から、雲の影響のない有効なデータが取得できるデータ測得率を求めた。その結果、季節的には春季の測得率が最も高く、夏季が最低となり、地域別では西日本の測得率が高くなった。測得率の全国平均値は27%であり、これより統計的には2ヶ月に一回程度、良好なTMデータが取得されると期待できる。

10.3 衛星データによる広域流況推定

沿岸域の流動場は、外洋の広域流動場の影響を受けると考えられる。これら外洋の広域流動場を衛星リモートセンシングのデータを用いて推定することができる。まず、観測頻度の高いNOAA/AVHRRの24時間間隔の熱赤外データを用いることにより、相関解析に基づくテンプレート法(画像マッチング法)から水塊の移動速度を求めた²⁾。その結果、本手法は、非地衡流成分が卓越するような海域において有効であることが確認された。

また、マイクロ波高度計のデータを用いることにより、地衡流の推定が可能となる。ただし、現状ではジオイドデータの精度が悪いために、高度計のデータから直接海面力学高度を求めて地衡流解析を実施することはできない。そこで、黒潮(続流)の流域を対象を絞り、黒潮(続流)の力学特性を考慮した仮定を設けることにより、ジオイドデータを用いずに海面力学高度を推定した³⁾。

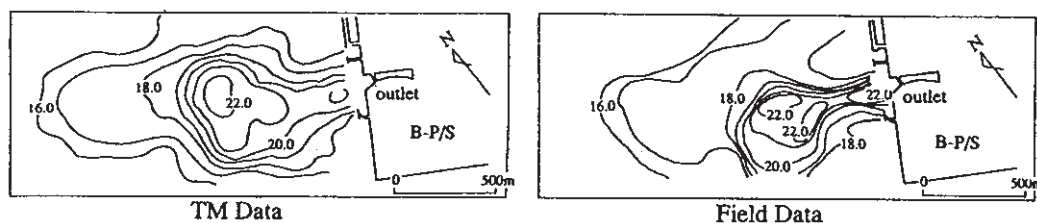


図10-1 LANDSAT/TMによる温排水拡散範囲のモニタリング結果

* (財)電力中央研究所

図 10-2 は、TOPEX/POSEIDON のデータから求めた海面力学高度の分布と、同期間に得られた表層漂流ブイの軌跡を比較した結果の一例である。コンターの間隔は 5 cm で、正を実線、負を点線、0 を太実線で示し、表層漂流ブイの軌跡は移動開始点を大きな黒丸で示してある。これより、黒潮続流の流軸中心では、漂流ブイが海面高度の等値線に沿って流れており、解析領域の地衡流近似が良く成り立っていることと、手法の妥当性が確認できる。ただし、中心域から離れるに従って相関性が悪くなっており、本手法の適用範囲には限界がある。得られた海面力学高度より、衛星軌道と直交する方向の地衡流成分を求め、同じく漂流ブイの軌跡から軌道と直交する方向のブイの移動速度成分を求めて比較した結果、両者には高い相関

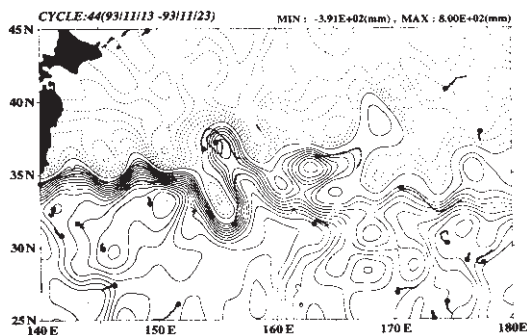


図 10-2 TOPEX/POSEIDON による海面力学高度場と表層漂流ブイの軌跡

が認められ、データ数 138 に対して、相関係数 0.83、標準誤差は約 36 cm/s となった。

10.4 海洋レーダによる沿岸流動観測

海洋レーダは、陸上から海面に電波を照射して、海面から戻ってくる反射波の受信ドップラースペクトルから、レーダ視線方向の表層流速や波高を天候に左右されず連続観測できる陸上リモートセンシング装置である。特に流速観測に関しては、既往の流速計との比較観測から、高い測定精度を有することが確認されている⁴⁾。既往の国内海洋レーダの諸元比較を表 10-1 に示す。

伊勢湾湾奥部で実施した VHF レーダによる観測概要を図 10-3、観測した連続データから求めた 30 日平均残差流の結果を図 10-4 に示す。海洋レーダにより、測定層は表層に限定されるものの、従来の船舶やブイ等による手法では技術面およびコスト面で困難であった広域の流動分布を計画的に観測でき、海域調査の効率化が期待できる。また、緊急時などの海象監視にも迅速に対応できるため、オイル流出事故など非常時の海域監視や、海水浴場などレジャー施設の防災・監視など多方面への活用も可能である。既往のレーダは、図 10-3 に点線で示した視線方向に対して電波の送・受信を繰り返すため、全域の観測には 1～2 時間を要するが、2000 年に開発された CCMR (CRIEPI's Coastal Marine Radar) は、Digital Beam

表 10-1 国内の海洋レーダの諸元比較

	HF Radar	VHF Radar	DBF Radar(CCMR)
Antenna Type	Electronically Steered Phased Array	Mechanically Steered Antenna	Phased Array / Digital Beam Forming
Radar Type	FMICW (Frequency Modulated Continuous Wave Radar)	FMICW (Frequency Modulated Continuous Wave Radar)	FMICW (Frequency Modulated Continuous Wave Radar)
Center Frequency	24.515MHz	41.9MHz	41.9MHz
Sweep Band Width	100kHz	300kHz	300kHz
Transmission Power	100W (peak)	50W (peak)	100W (peak)
Observational Range	50km (mixture)	25km (maximum)	25km (maximum)
Range Resolution	1.5km	0.5km	0.5km
Velocity Resolution	4.78cm/s	2.89cm/s	2.13cm/s
Time Resolution	2hours/scene	1hour/scene	20minutes/scene
Beam Width	15°	20°	13°-17°

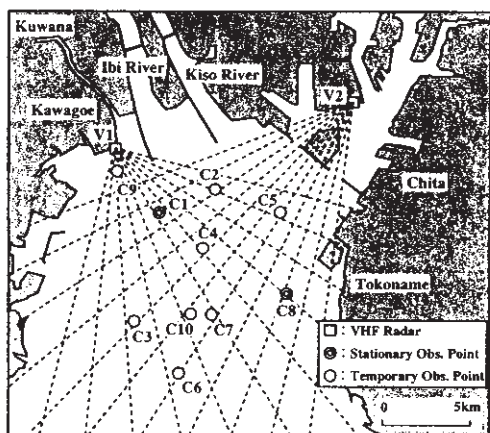


図 10-3 海洋レーダの観測網

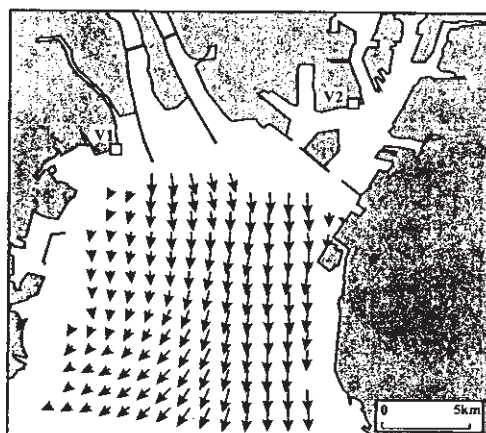


図 10-4 海洋レーダから求めた残差流

Forming 技術により、全方向の受信電波を同時に解析するため、15~20 分間隔の短時間観測が可能であり、潮流変動が激しい沿岸域の流動分布をより正確に把握できる。

10.5 リモートセンシング情報の防災・災害監視への活用に向けて

沿岸域の防災および災害監視という観点においては、海洋レーダの活用が有効と考えられる。ただし、自然現象の実態把握にあたっては、衛星リモートセンシングデータや地上観測データも含めた総合的な観測網が重要である。また、観測データの解析だけでは、得られる結果と考察に限界があるため、データ同化手法などを用いて観測データと数値モデルとを組み合わせた統合的な解析が必要であろう。データ同化手法は、より観測データに近い結果が得られるように、数値モデルの不確定なパラメータを改善するだけでなく、沿岸域の予報モデルなどにおいて重要な初期場を精度良く推定することができるため^{5,6)}、今後の一層の発展が望まれる。

参考文献

1) Sakai, S., M. Mizutori and N. Nakashiki (1993): Satellite infrared monitoring of coastal environments, *Satellite Remote Sensing of the Oceanic Environment*, Jones, I. S. F., Y.

Sugimori and R. W. Stewart, ed., *Seibutsu Kenkyusha*, pp. 457-465.

2) 坂井伸一, 水鳥雅文 (1992): NOAA/AVHRR データによる広域流動推定手法の適用性, *海岸工学論文集*, 39, 925-929.

3) Sakai, S., T. Kuragano and A. Shibata (1998): Geostrophic current estimation in the region of the Kuroshio extension using TOPEX data, *Remote Sensing of the Pacific Ocean by Satellites*, Brown, R. A., ed., *Earth Ocean and Space*, pp. 230-240.

4) 坂井伸一, 水鳥雅文, 服部孝之, 杉山陽一 (1998): VHF レーダによる伊勢湾湾奥の表層流動観測, *海岸工学論文集*, 45, 1,266-1,270.

5) Ghil, M. and P. Malanotte-Rizzoli (1991): Data assimilation in meteorology and oceanography, *Advances in Geophysics*, 33, 141-266.

6) 坂井伸一 (1999): 鉛直 1 次元同化モデルによるパラメータ評価の試み, *水工学論文集*, 43, 839-844.

11. 衛星データによる農業災害監視システム

齋藤 元也*

11.1 農業災害とは

農業災害は、農作物の生育に対して負の影響を

* 農業環境技術研究所

与え生産高減少および品質劣化を与えるものである。農業災害の影響は、該当作物の場合と農業基盤に影響を与えて、数年及び永久的に被害を与えるものがある。農業災害のとして、早魃、熱波、冷害、湿害、風害、塩害、洪水、病害、虫害、重金属等の科学物質汚染、放射能汚染、地滑り、津波、泥流等がある。

11.2 農業災害のリモートセンシングによる把握

農業災害は農耕地に異変が起きて水や土砂で農地が覆われることや農作物の生育不良の状況であり、地表被覆の把握というリモートセンシング技術の得意分野である。このため、農業災害に関するリモートセンシング研究は、実績は非常に多く、現在、なおリモートセンシング利用研究の主要な位置を占めている。

しかしながら、日本での行政等の実利用ということに関してはほとんど見あたらないのが現状であり、やっと利用のための枠組みができてつあるといえる。この理由は、実利用のためには、リモートセンシングデータが遅滞なく入手できることが必要であるためである。リモートセンシングデータ入手の困難性は大きく3つがある。1つ目は気象要因の問題であり、アメリカとヨーロッパ大陸のコムギ地帯のように生育時期が晴天が多く光学センサデータが簡単に取れるところどころではデータ入手の問題は少ない。しかしながら、アジアモンスーン地帯では、農作物生育期間が雨期に当たり雲により光学センサーのデータがほとんど取れない。しかし、SARデータによりこの問題の解決の可能性ができてきた。2つ目は観測データの配布システムの問題であり、観測データが観測後どの程度で必要となる場所に届くかという問題である。一般的に言えば、2、3日以内にデータ入手及び処理が完了し、現地の営農指導機関に渡せるものであれば、利用価値が高い。この点についても、ネットワーク等の整備により近づいてきた。また、農業災害把握のために利用できるコストは、衛星データによる被害把握により軽減できる被害額を通常下回る必要があるという点も大きな課題であ

り、第3番目に挙げられる。

11.3 個々の農業災害とリモートセンシングデータ利用

(1) 早魃

世界農業を見ると、早魃は水資源の不足とも言い換えることができ、一番の大きな問題である。世界的に見ると農地の大部分は、非灌漑であり雨水利用の農地である。このため、リモートセンシングデータから、恒常的に土壌水分を検出する方法の開発が待たれている。現在のところ、植生指数等を用いて植生状況モニタリングを行い、植生の変化を通じて早魃状況を把握することが行われつつある。

(2) 冷湿害

日本の代表的農業災害である。農作物の生長量(バイオマス)を正確にモニターすることにより、実態把握が可能になると考えられる。しかしながら、日本の冷湿害年は、通常晴れの日が少ない場合に起こり、光学センサーでの把握は困難である。SARを利用し、バイオマスに反応する波長帯を選び、他の波長帯で土壌表面の粗度等の攪乱要因を除去する必要がある。SARを利用することにより、定期的にデータ取得ができれば、実利用が可能となる。

(3) 洪水

農地が水により冠水する場合であり、光学センサーで観測データが入手できれば、洪水で水没地域は明白に見ることができる。SARにおいても、水面を観測するので長波長を選べば十分な平面となり、低後方散乱係数の低い値の個所として抽出できる。都市域では水面上に建築物が林立しており、後方散乱が多くなるとの報告があり注意を要する。洪水時は雨天の場合多く、光学センサーでの観測は困難でありSAR観測に期待されている。

(4) 泥流

農地が土砂や火山灰により、埋められることを示す。火山噴火に伴いの新規に火山灰の蓄積した個所や急傾斜地に接する農地が危険対象地域であり、光学センサーで観測ができれば容易に被災地が抽出できる。また、通常、農地を覆う体積物の

面は、周囲に比較して平らな面を構成するため、長波長 SAR においては平面となり、低後方散乱係数の低い値の個所として抽出できる。また、通常、降雨が引き金になるため雨天時が多く、光学センサーでは困難な場合が多い。

(5) 農作物汚染

1999 年は、日本において新たなダイオキシンと放射能による農作物汚染がクローズアップされた。古くから、重金属の土壤汚染の問題は顕在化しており、カドミウム汚染地域等においては対応がなされ、汚染農作物が市場にでることはない。

低濃度のダイオキシンと放射能による汚染は、作物の生育に異常を来す訳ではない。しかしながら、生産した農作物を価値のないゴミにしてしまう恐れがある。リモートセンシングデータだけではこの汚染実体を明らかにすることはできないが、リモートセンシング技術により農作物が栽培されているかの地理的分布実体がわかるので、地理情

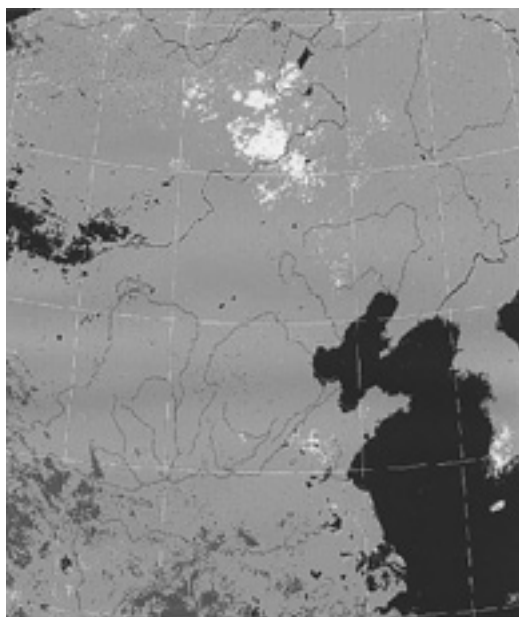


図 11-1 東アジア地域を対象とした NDVI 値の差画像。2000 年 6 月 21 日からの 10 日間最大 NDVI 値と同時期の過去 3 年間平均値との差を示しており、白が -0.1 以下、薄い灰色が -0.1~0.1、濃い灰色が 0.1 以上、黒が海または欠損値である。白く表示されたところは、干ばつ等で成育が不良であると考えられる。

報システムの中で汚染物質発生中の風向き等の気象条件により、汚染危険分布図作成ができる。

11.4 衛星データによる農業災害監視システム

農林水産研究計算センターでは、農林水産業に関する研究と新技術利用の推進を目的に、衛星データデータアーカイブシステム (SIDaB) 運営とアジア太平洋高速ネットワーク (APAN) の推進を行っている。これらのデータとシステムを利用し、計算科学技術活用型特定研究「リアルタイム地球観測衛星データ高速通信・高速演算配信によるアジア太平洋防災ネットワークの開発」を行っており、このなかで筆者らは、衛星データを利用した農業災害警告システムに関する研究を実施している。

塩釜・横浜・石垣島 (以上は、農水省水産関連研究機関) およびタイバンコク (アジア工科大学) で受信された NOAA/AVHRR データがネットワーク回線により、農林水産研究計算センターに遅滞なく送信されてくる。このデータにより、東アジア地域の 10 日毎最大値 NDVI 画像を作成し、次に、1997 年から 1999 年までの平均値画像を作成した。また、2000 年の 10 日毎最大値 NDVI 画像を準リアルタイムで作成し、この画像と 3 年間の平均画像との差画像を作成した (図 11-1)。この図で春先から夏において、この差画像で負の値での絶対値が大きいくところが、干ばつのために作物や牧草の生育が悪いと理解された。現在、どの程度の NDVI の減少が干ばつ等の農作物ダメージかの判定基準を検討中である。

12. 防災リモートセンシングデータベース構築へ向けて

鈴木 広隆*・バンバン ルディアント**

12.1 はじめに

現在、多くの研究機関でリモートセンシングを

* 大阪市立大学大学院工学研究科
** アジア防災センター

用いた災害の把握・予測の研究が行われており、実際に衛星画像の情報を基に分析を行った成果が多数報告されている。しかし、それらが行政の防災担当部局に伝えられ、防災計画や法律等にフィードバックされている例はほとんどない。これは、防災実務者がリモートセンシングに積極的に関わる機会が少なかった等の影響もあるが、リモートセンシング研究自体が限定された予算と期間の中で行われ、研究開発された分析手法のケーススタディ等としてそれぞれの成果が単発的なものに留まっていることも大きな原因と考えられる。過去の災害を教訓とし、これから発生する被害を最小限に食い止めるためには、科学技術的な研究成果を積み重ねていくことはもちろんであるが、得られた知見を社会に反映し、都市計画、法制度などに結実させていくことが非常に重要となる。

このような視点に立ってリモートセンシング技術の防災への実利用を考えると、それぞれの成果を研究機関の枠を超えて有機的に結び、時間軸空間軸に対して連続的に情報を管理する必要があると思われる。このような情報管理を行うために、防災リモートセンシングデータベースの構築を提案するものであり、そのようなデータベースシステムの一例としてアジア防災インターネット GIS の構築例を紹介する。

12.2 アジア防災インターネット GIS の開発の背景

1999年2月16日～18日にかけて行なわれた第1回アジア防災センター国際会議では、「技術の利用」と題したワークショップが開かれ、GIS及びリモートセンシングの防災面への利用に関する議論が行なわれ、以下のような結論を得た。

- 全ての国は、GIS及びリモートセンシングの価値と、情報管理を行う際のメリットを認識している。
- リアルタイムの衛星画像の入手、より安価な衛星データの入手、GIS及びリモートセンシングを導入する際の技術的なサポート、防災情報を抽出するための技術の取得が、今後の課題で

ある。

上記のように、各国の防災担当部局でも、GIS及びリモートセンシングに対して非常に高い関心が示されているものの、導入コストや習得すべきスキルの高さが障害となって、利用が進んでいないということがわかった。また、衛星データや地理データを利用する際のコストの高さも指摘されたところである。アジア防災センターでは、このような問題点を解決するために、近年発達が著しいインターネットを利用し、誰でもどこからでも利用可能な防災インターネット地理情報システム VENTEN (Vehicle through Electric Network of disaster Geographical information) の開発を行っている。

VENTEN 開発の目的は、システムを提供すること及びデータを提供することの二つである。システムは、インターネットに接続されたパーソナルコンピューター及び World Wide Web を閲覧することのできるブラウザを用意するだけで、ユーザーが利用可能となるようなものとした。

データに関しては、特に地形や自然条件といった一般的な基本地理情報について、様々な国際機関等が提供を行っているが、これらの情報を閲覧・解析するためには、利用する GIS に合わせてデータのフォーマットを変換する必要がある。そこで VENTEN の開発にあたっては、様々な地理情報を収集し、これを VENTEN のシステム上ですぐに利用できるフォーマットに変換し、システムと一体のものとして供給することとした。

様々な宇宙開発・研究機関や航空写真情報作成機関などの情報供給側の組織は、オリジナルの一次データの供給を行っている。この一次データから、防災に有用な情報を取り出すためには、種々の画像処理と重ね合わせが必要であり、またこれらの情報を防災実務に携わる側へ届けるパイプが必要となる。VENTEN はこうしたパイプの役割を果たす。防災関連の研究者は、VENTEN 上の情報を閲覧・分析し、その結果をさらに VENTEN に加えることもできる。VENTEN は、防災リモートセンシング情報のデータベース機能・

分析機能を有し、かつ防災実務者への情報伝達経路となることで、防災計画の策定や災害現場での救援活動の支援等、実際の被害の低減へ直結する場面で防災リモートセンシング情報を活用することを目的としている。

12.3 VENTEN で提供するデータ

VENTEN では、アジア防災センターのメンバー国 22 ヶ国をデータを収集する範囲としている。その範囲の中で、地形や自然条件といった特に防災向けの用途には限定されない一般的な基本地理情報と、防災に関連する情報が地図に投影された防災地理情報の二つの種類の情報を収集している。現在までに収集された情報は以下の通りである。

1) 基本地理情報

国境(領域)、水系(線、領域)、鉄道(線)、道路(線)、空港(点)、都市位置(点)、都市名(文字列)、人口(数値)、標高を基にした陰影画像(ラスター画像)、標高の等高線図(ラスター画像) [データの出所 DCW(Digital Chart of the World), GRID, GTOPO 30]

2) 防災地理情報

1998 年長江の洪水の際の洪水域、1995 年阪神淡路大震災の際の西宮駅周辺の家屋被害状況、活断層分布図、津波歴史データ

また、データに関して今年度行った改善として、16 km 分解能を持つ植生指数の NOAA 衛星データ(1998 年 7 月・12 月の 2 期分)導入が挙げられる。これにより、災害時の対策に不可欠な土地被覆図を得ることができるというメリットがある。それに加え、今回の導入は今後 LANDSAT、SPOT 等の衛星データを導入するための試金石としての役割も大きい。今年度の試験的導入の結果を分析し、今後の他の衛星データ導入を検討したい。

12.4 VENTEN の操作実験と今後の展望

VENTEN システムの海外における運営にあたっては、相手国政府ならびに相手国研究機関の全面的な協力が必要であるため、開発途上国のうちでも特に研究協力関係が良好であるインドネシアに

おいてケーススタディを行ってきた。インドネシアは地震、津波、火山、山火事、地滑り、洪水など様々な自然災害が発生する国であり、データ共有や情報処理を活用した共同研究の効果が大きく期待される国であるため、実際の災害時の実利用を目的とする VENTEN にとって、インドネシアにおける操作実験は有効である。インドネシアにおける操作(Test Run)の際は、伝送速度や操作性などの課題を主に整理した。今後も情報技術を利用して日本とインドネシア相互のデータ交換を試験的に行っていく予定である。

以上、インターネットを利用した防災地理情報システムの開発について、背景やシステム、提供するデータなどを中心に説明を行った。現在のところ VENTEN はまだ、公開できる最低限の性能を有しているに過ぎない。今後は、データの拡充を図ると共に、防災行政の場で試験的に運用をしながら、その結果を基に、インターフェースの改善や機能の拡張、エンジニアリングソフトの性能向上、インターネット回線の高速化などを図りたいと考えている。また、現段階で VENTEN システムの一日の利用者数は 10 名程度となっている。今後の利用者拡大のために、ユーザーの立場に立ったシステム構築とより一層の広報に努めたい。

なお、VENTEN のサービスは、以下のアドレスで提供されている。<http://venten.adrc.or.jp/>

13. 陸域観測技術衛星 (ALOS) の災害状況把握ミッション

富井 直弥*

13.1 はじめに

1972 年、世界初の地球観測衛星 LANDSAT (米国) が打上げられてから 30 年が経過しようとしている。地球観測衛星から取得された情報(データ)は今では社会活動において必要不可欠となりつつある。現在でも複数の地球観測衛星データを用いた実利用が行われているが、データ利用のよ

* 宇宙開発事業団衛星プログラム推進部

り一層の定着化と拡大を図るため、さらには技術の高度化と質の向上を図った衛星データの新たな分野での利用が望まれている。陸域観測技術衛星 (ALOS) は、地球資源衛星 1 号 (JERS-1) 及び地球観測プラットフォーム技術衛星 (ADEOS) による陸域観測技術を更に高度化し、公共性、公益性そしてニーズの高い地図作成、地域観測、災害状況把握、資源探査への貢献を図ることを目的とし、平成 15 年度の打上げを目標に開発を進めている。

ALOS は、高精度で標高抽出を行うため 3 組の光学系を持つパンクロマチック立体視センサー (PRISM)、及び土地被覆の観測を高精度に行うための高性能可視近赤外放射計 2 型 (AVNIR-2)、並びに昼夜の別なくまた天候によらず観測が可能なフェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ (PALSAR) の 3 つの地球観測センサーを搭載している。

13.2 地球観測衛星による災害観測の有効性

地球観測衛星による災害観測は、地震、海洋汚染、火山噴火、洪水、土砂災害、森林火災など大規模な災害時に有効であるとされている。特に地球観測衛星による災害観測は他の観測手段 (航空機やヘリコプター) に比べ、航空機観測等では災害の全貌を捉えることが出来ない時、天候や災害の影響で航空機が近づけない時、繰り返し災害監視が必要な時に威力を発揮する。一方、これまでの衛星観測の弱点として観測頻度を含むリアルタイム性 (観測実施までの時間や観測後画像が出来ユーザーに利用されるまでの時間)、分解能の悪さが挙げられる。

13.3 ALOS で達成される課題

地球観測衛星による災害観測の有効性をより発揮するため、またこれまでの地球観測衛星の課題を克服するために有識者や現業機関の利用者と検討した結果、ALOS で必要とされる機能・性能が以下のように決定された。

(1) リアルタイム性

これまでの衛星観測は観測計画、コマンド計画

などの作成で実際に衛星に指示されるまで約 1 日以上を要した。しかし、ALOS では災害観測実施判断を下してから 300 分以内に ALOS に対して指示を出す。また、既存の衛星で再び同一地点を観測するまで 3 日程度 (LANDSAT で 16 日回帰) を要するが、ALOS は全世界の任意の地点を 2 日以内に、緯度 55 度以上は 1 日以内に観測が可能となる。たとえ災害域が雲で覆われていても PALSAR により 5 日以内に観測が出来る。

データ取得においては、諸外国の災害観測を実施後、衛星に記録されたデータを地上局に下ろす必要があり、これまでは数時間以上を要したが、ALOS はデータ中継衛星を経由して瞬時に地球観測センター (埼玉県鳩山) に観測データが送られる。これまで宇宙開発事業団 (NASDA) ではデータ受信から画像提供まで 6 時間程度 (ナホトカ号油流出事故時) を要したが、ALOS では 60 分以内にクイックルック画像 (間引き画像)、180 分以内に標準処理画像をユーザーが利用できる状態 (Web 登録) にする。つまり、ALOS では災害発生からデータ提供まで早くて約半日、観測直後はリアルタイムに近い時間でデータ利用が可能となる。

(2) 分解能向上

分解能も平成 8 年 8 月打上げの ADEOS の AVNIR のカラー画像で 16 m、白黒画像で 8 m、LANDSAT のカラー画像で 30 m、に対して ALOS の AVNIR-2 のカラー画像で 10 m、PRISM で 2.5 m、また、JERS-1 の SAR (合成開口レーダ) のレーダ画像で 18 m に対して、ALOS の PALSAR (合成開口レーダ) で 10 m と高分解能化している。観測範囲も光学センサーで 70 km、PALSAR で 70 km から最大 350 km (70 km 以上は分解能 100 m) が可能となる。表 13-1 から表 13-3 に各センサーの主要諸元を示す。

13.4 ALOS の災害状況把握運用ガイドライン

災害は突如発生する場合が多く災害観測を実施する際は、既に計画されている観測を中止、延期して観測を実施することが殆どである。また、地震など一度観測したら終了する場合もあれば、火

表 13-1 PRISM の主要諸元

光学系の数	3
波長帯	0.52-0.77 μm
ステレオ視 B:H 比	1.0(前方視と後方視間)
地上分解能	2.5m
観測幅	35km(3 方向視モード) 70km(直下視モード)
信号対雑音比	70 以上
地上周波数伝達特性	0.2 以上

表 13-2 AVNIR-2 の主要諸元

波長帯	Band1: 0.42-0.50μm Band2: 0.52-0.60μm Band3: 0.61-0.69μm Band4: 0.76-0.89μm
地上分解能	10m
観測幅	70km
ボウイング角	+44deg/-44deg
信号対雑音比	200 以上
地上周波数伝達特性	Band1-3: >0.25 Band4 : >0.20

表 13-3 PALSAR の主要諸元

観測モード	高分解能	Scan SAR
周波数	Lバンド (1.27GHz)	
偏波	HH,VV,HH&HV,VV&VH	HH,VV
地上分解能	10m	100m
ルック数	2	8
観測幅	70km	250-350km
オフナディア角	10-51deg	
雑音等価後方散乱係数	約-23dB	

山噴火や洪水など長期に亘り持続する災害については定期的な監視が必要とされ、その場合も既に計画されている観測を中止、延期して観測実施す

る場合が想定される。そこで、他の観測要求を不要に阻害せず、ALOS の観測リソースを効率的、効果的に使うことがこのガイドラインの目的であり、また、次の内容も含むものとしている。

- 1) NASDA の災害状況把握ミッションにおける実利用実証(運用実証)計画
- 2) 災害関連機関と調整に当たったのベースライン
- 3) ALOS 運用時に協定・共同研究等の契約を締結していない機関から観測要請された場合の観測実施可否判断のベースライン

(1) 運用実証

NASDA は災害観測を実施すると判断してから 300 分以内に ALOS に対しコマンド送信を実施、観測後 60 分以内にクイックルック画像、180 分以内に標準処理画像をユーザーが Web 等で利用できることを目標にする。

(2) 災害観測実施方針

- 予兆現象は要求が無い限り原則的に観測しない
- 対象災害は ALOS で観測可能な災害
- 災害発生後、24 時間以内(要求があるものについてはこの限りではない)に観測できるものを対象
- 災害観測の優先順位として、日本全域、東南アジア全域、その他地域の順

(3) 災害観測実施対象と被害の程度

観測実施対象の災害として、地震による災害、火山噴火、洪水(津波、高潮)、斜面崩壊、森林火災、海洋汚染(油流出、赤潮)、地盤沈下を想定している。被害の程度として、建造物の破壊、崩壊、埋没、及び市街地、都市、農地の冠水、及び崩壊、液状化、地滑りによる地表の変化、汚染による海面異常時で、かつ、広域で甚大な災害を対象とする。

(4) 観測頻度

継続的な監視を必要とする災害は 5 日以内の間隔で観測を実施する。

(5) 災害観測の終了判断

ユーザー要求がない限り災害観測を実施してか

ら4週間後に観測を終了する。なお、このガイドラインは必要があれば適宜、見直すこととしている。

13.5 おわりに

多様化している利用者の要求に応えるためNASDAはALOSが観測するデータについて科学研究、実利用に必要な研究を実施しつつ、利用促進を行う計画である。これら一連の活動を通して地球環境の把握、国際社会及び国民生活の貢献を図りたいと思っている。

間分解能と空間分解能の両者を満たすことができないことが決定的な弱点であったわけであるが、ALOSは、ポインティング機能の搭載によって観測頻度と分解能の両者を満足し、リアルタイム性を有する仕様となっている。災害監視をミッションの一つとするALOSによって防災目的への衛星データの利用がいっそう進み、自然災害の監視そして軽減へと継るような研究開発・実利用が多いに進むことが期待される。

おわりに

立川 康人*

衛星リモートセンシングデータの利用方法は、基本的に次の3種類に分類することができる。

- (1) 空中写真としての利用
- (2) 分光反射特性との関連付けによる特性抽出
- (3) 物理量の直接・間接抽出

衛星搭載センサーの高機能化・多様化とアルゴリズム開発の進展によって様々な物理量や地表面特性が間接的また直接的に衛星データから抽出されるようになってきており、衛星リモートセンシングデータは地球物理の様々な分野で利用されている。一方、衛星搭載センサーの超高分解能化により衛星画像が空中写真程度の空間分解能を実現しつつある。こうした衛星(センサー)開発やアルゴリズム開発の発展を背景として、自然災害の防止・軽減に関連する分野においてもリモートセンシングデータが活発に利用されている。本特集では、こうした利用方法を最新の衛星センサーを用いた研究を含めて紹介した。

最後の章で述べられたALOSは自然災害監視において上記のすべての使い方を可能とするセンサーを搭載している。また、従来、自然災害監視の手段として衛星データの利用を考えると、時

* 京都大学防災研究所