

地球観測衛星データとネットワークを利用した 平成 28 年熊本地震による阿蘇地域における 斜面崩壊箇所の抽出と減災情報伝達

新村 太郎（熊本学園大学 経済学部准教授）

Information Transfer for Disaster Mitigation and Extraction of Slope Failures in Aso Area Induced by the 2016 Kumamoto Earthquake, Using Earth Observation Satellite Data and Network Taro SHINMURA

1. はじめに

2016 年 4 月 16 日未明に発生した大きな揺れをともなう地震では、熊本県益城町を含めた複数の市町村で最大震度 6 強～7 を観測した。大きな揺れは平野部のみならず震源地の東方に位置する阿蘇地方の山々をも大きく揺るがして、あちこちに大規模な斜面崩壊をもたらした。斜面崩壊は住宅、道路を含む交通インフラを破壊して、直接的な被害をおよぼすのみならず復旧、復興を遅らせる大きな原因となった。災害状況に関する情報をいち早く把握することは、犠牲を減らしかつ復旧を早めることにつながる。行政のみならず、被災した住民にとっても重要な情報である。熊本地震は被害域が限定的な内陸型地震であったが、今後予想される大規模なプレート境界型地震が発生した際には被害は広域に及ぶこととなり、上記の情報を自動的に取得、配信するシステムが必要となる。本論では、熊本地震によって引き起こされた阿蘇地域における斜面崩壊を例にとり、リモートセンシング技術とネットワークを含む IT および GIS を活用した、斜面崩壊箇所の抽出について検証を行い、今後予想される大規模地震に備えるために、斜面崩壊箇所をリアルタイムで抽出して危険箇所や道路寸断箇所を自動的に知らせるシステムについて考察した。

2. 平成 28 年（2016 年）熊本地震と阿蘇地域の斜面崩壊

2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分に熊本県熊本地方（気象庁による地域細分）の深さ約 10km でマグニチュード（M）6.5 の地震が発生し、数々の余震の後、28 時間後の 16 日 1 時 25 分には同地方（気象庁による地域細分）の深さ約 10km で M 7.3 の地震が発生した。14 日の地震では最大震度 7 の揺れが熊本県益城町で観測されたほか、同町を中心に震度 4 から 6 弱の揺れは熊本県のほぼ全域にわたる地域と周辺の一部で観測された。また、16 日の地震では熊本県益城町、西原村で最大震度 7、同県菊池市、南阿蘇村、宇土市、嘉島町、合志市、大津町、宇城市、熊本市で最大震度 6 強が観測されたほか、震度 4 から 6 弱の揺れはほぼ九

州の全県に渡る地域で観測された。その後も最大で震度6強を含む多くの余震が発生し、同年5月11日13時30分までにM3.5以上の地震は234回観測されている。この2つの大きな地震とその後に引き続く余震を含めた熊本県を中心とした一連の地震活動は「平成28年(2016年)熊本地震」といわれている(気象庁ホームページ「平成28年(2016年)熊本地震の関連情報」)。この地震活動は熊本県をほぼ南西から北東に横切る日奈久断層帯および布田川断層帯に属する断層の活動によって引き起こされたと考えられ、震源地のみならず断層によって地下で大きな変位が生じた箇所の直上の広い範囲で大きな揺れが発生した。

2016年12月14日18時時点で、地震に関連して人的被害は死者161名(うち50名が地震による直接、ほかは間接的な原因による)、重傷者1087名、軽傷者1605名、建物被害では全壊8369棟、半壊32478棟、一部破壊146382棟と報告されている(内閣府ホームページ「平成28年(2016年)熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について」)。日本における近年の内陸部で発生した大規模地震の代表的なものとして1995年1月17日に発生した「阪神・淡路大震災」があげられるが、本震はM7.2、震源の深さは16km、人口集中域で最大震度7を観測した(気象庁ホームページ「『阪神・淡路大震災から20年』特設サイト」)。地震の規模や揺れの大きさは熊本地震に近いが、人口密集度が熊本地域に比較して圧倒的に高いことや、火災が発生しやすい環境(住宅の密集度、時間帯、季節、気象状況)であったことも原因となって、全壊104906棟、全焼6148棟、死者・行方不明者6435名であり、被害は熊本地震を大きく上回っている。また、これに引き続く2011年3月11日発生した「東日本大震災」(気象庁ホームページ「東日本大震災～東北地方太平洋沖地震～関連ポータルサイト」)では、震源は三陸沖の深さ24km、M9.0、最大震度は7を観測した。プレート境界型の地震であったため、前述の2つの内陸型地震に比較すると震源は深く、地震の規模は圧倒的に大きく、北海道や中部地方の一部と東日本全体を含む20の都道府県で震度4以上の揺れを観測した(気象庁ホームページ「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震～The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake～」)。地震の揺れによる被害は上記の内陸型地震に比較して小さかったものの、海底を震源地としていることと震源域が広いために、東北地方沿岸に未曾有の津波災害をもたらした(死者・行方不明者は死者1万8850名(平成24年5月30日警察庁発表)、(内閣府「防災情報のページ 平成24年版 防災白書」))。

以上を比較すると、熊本地震は範囲が限定的であり、耐震性や耐火性のある建材を使った建物が多くなったこと、大都市ほど人口が密集していないこと、さらに発災の季節的な時期や時間帯が幸いして火災がほとんどなかったことから、数字の上では近年の大地震に比較して被害は小さかった。一方で、阿蘇地方では大規模な斜面崩壊が相次ぎ、特に南阿蘇村立野地区では阿蘇外輪山の斜面が最大幅約200m、高さ(崩壊長)約700mにわたって崩落して(国土交通省九州地方整備局のホームページ「平成28年熊本地震に対する九州地方整備局の取り組み」)、国道57号線、豊肥本線、そして国道325号線の一部として南阿蘇村へ通じる阿蘇大橋(全長約206mの上路式トラスト逆アンガー桁橋(戸塚、1999))が破壊された。さらに、南阿蘇村と西原村を結ぶ熊本県道28号熊本高森線俵山バイパスではトンネルの一部崩落や斜面崩壊、路面の破壊などが原因となって寸断された。南阿蘇村と大津町を結ぶ長陽大橋も、それに通じる路面が崩落して寸断された。外輪山を越える一部の迂回路が発

災後間もなく使用できるようになったため、空港や高速道路のある熊本方面からの、支援のための人員（自衛隊、警察、インフラ復旧関係者、ボランティア、その他）や支援物資の運搬は辛うじて可能であった。その他、数多くの斜面崩壊が原因となって生じた道路の寸断や建物、インフラ設備の破壊は、人的被害を拡大し、さらに復旧を遅らせる原因となった。また、地震によって緩んだ斜面では、その後の梅雨時期の大雨によって崩壊範囲をさらにを拡大、もしくは斜面崩壊を新規に引き起こすこととなった。

3. 斜面崩壊に関する情報伝達

日本では人口の多くは平野部に集中しているが、国土の約 75% は山地であり、内陸型の地震によって斜面崩壊が生じて様々な被害が出ることは、阿蘇地域の例を見ても明らかである。斜面崩壊は大雨によっても引き起こされる。熊本地震の 3 年前に発生した「平成 24 年 7 月九州北部豪雨」（気象庁のホームページ「平成 24 年度災害時自然現象報告書」）では特に阿蘇地方では斜面崩壊を含む土砂災害が多数発生した。

公助として救援や復旧活動を行う側が、被害状況を早期に把握することは、復旧を早めるのみならず、被害を縮小させることにもつながる。共助や自助が必要な被災した住民にとっても同様である。さらに、何がだめになって何がだめになっていないかを知ることは、被災した状況の中で少しでも早く安全で健康な生活をするために重要な事項である。

斜面崩壊を含めた土砂災害に関するいくつかの情報は、発災後にホームページを通じて公開されている。関連の研究機関や組織では、4 月 14 日の M6.5 の地震後に現地調査やその他の調査準備が行われていたため、4 月 16 日の M 7.3 の地震については迅速に観測、調査が行われた例が多い。例えば、アジア航測株式会社は同日の 4 月 16 日に、早くも航空機（固定翼）による南阿蘇村および西原村の斜面崩壊箇所の航空写真をホームページ上で公開した（株式会社パスコホームページ「2016 年 4 月 平成 28 年熊本地震災害」）。2 日後の 18 日には大規模な斜面崩壊があった阿蘇大橋周辺の被災判読結果を同ホームページ上で公開した。また、国土地理院では「だいち 2 号干渉 SAR」による大地の変動の検出結果について 4 月 18 日に発表し、布田川断層および日奈久断層に沿った顕著な地殻変動があったことを示した（国土地理院ホームページ「平成 28 年熊本地震に関する情報」）。4 月 20 日には被害の大きかった南阿蘇村河陽・黒川地区の断層に関する詳細な情報を航空写真とともに発表した（国土地理院ホームページ「航空写真・UAV 動画の判読による平成 28 年熊本地震に伴い出現した南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について」）。これらをはじめとした災害状況の調査、解析結果は、行政および関係機関が支援や復旧対策を行う上で非常に重要な情報を与えた。さらにインターネット上で情報が公開されているために、被災した地域住民が直接閲覧、もしくは報道を通じてそれらを知ることが可能であったため、自分たちが置かれている状況を客観的に判断して今後の避難生活や生活再建を考える上で大きな助けとなった。さらに被災地域外の国内外の人々が、当地震による被害状況を知ることによって、ボランティアや義援金などの支援を行うためのきっかけともなった。

上記の発災後の斜面崩壊に関する迅速な調査と情報発信について、熊本地震と同様に範囲が比較的限定的な内陸型地震と広域的な被害をもたらす大規模なプレート境界型地震について検証を行う。先ず他地域で内陸型地震が起きた場合についてである。ほとんどの大きな斜

面崩壊は4月16日のM7.3の地震によって引き起こされたが、それに先行して4月14日にM6.5の地震が同じ熊本地域で発生しているため、4月16日の発災以前に調査やその準備が始まっている。最大震度7を観測する地震の前に同じく最大震度7の地震がほぼ同一の地域で観測されることは極めて稀なケースといえる。そのため多くの場合は、今回の熊本地震よりも対応が遅れる可能性が高い。発災時には南阿蘇地域では送電設備が破壊されて、その結果停電が3日間続いたが、NTT DOCOMOなどの通信回線はつながっており、阿蘇地域と外部との通信は一部可能であった。そのため、住民個人や消防団などの地域組織による被害箇所の通報が可能であった。それらによる情報に加え、おおよそ既知の活断層に沿って大きな揺れが発生したため、斜面崩壊が発生する箇所をあらかじめある程度推定することが可能であった。さらに、天候に恵まれていたこと、被災地のすぐ近くに機能している空港（阿蘇くまもと空港）があったことは、航空機を使用した現地調査を行うことにとって有利な条件だったといえる。仮にこれらの条件が揃わなければ、調査開始のタイミングが遅れた可能性が高い。一方で地球観測衛星やドローンなどのUAVを活用した場合は、天候の影響は受けるものの、空港設備の状況とは無関係である。一般的なUAVの場合は現地に機材を持ち込んで飛行させることになるため、現地へのアクセスが可能であることが条件であり、斜面崩壊が発生している地域においては必ずしも確実な調査手段とは言えない。次に、大規模なプレート境界型の地震が起きた場合についてである。特に東海地震や南海地震およびそれらの連動型の地震の場合は、陸域で大きな揺れが広域的に発生する可能性がある。停電や情報網の寸断が広い範囲で発生する上に、被害箇所が広範囲に及んでいるために、外部からどこを調査すべきかの判断が難しくなる。さらに、航空写真の撮影については、航空機が発着することができる飛行場があるかどうかの問題、さらに被災した範囲が広域にわたる場合には航空機の航続距離の問題も関係する。以上のように、内陸型地震に比較して調査開始までの時間が熊本地震のケースよりもさらに長くなることに加えて、航空機による調査の能率は低下し、場合によっては不可能な場合もある。そのため、地球観測衛星による早期の状況把握が非常に重要になる。

4. 災害時の地球観測衛星利用

地形の変形を把握するために有用な地球観測衛星搭載のセンサのうち、一般的に活用されているものは、高解像度の可視画像を作成することができる可視域を含めた放射計と、レーダーの位相差によって地形の微小な変位を抽出可能な合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar; SAR) である。国土地理院ホームページ「平成28年熊本地震に関する情報」では、地球観測衛星「だいち2号」の干渉SARを用いて観測した熊本地震以前と本震後のデータの比較から、SAR干渉画像を作成し、変動の解析結果と、断層を境にした変動の方向の違いや震源断層の長さの推定を含めた情報を4月18日に公表した。また、株式会社パスコ「2016年4月 平成28年熊本地震災害」では、震災前後の4月15日と20日におけるSPOT7による可視画像 (トゥルーカラー) が掲載されている (掲載日不明)。ここではさらに、4月14日の被災状況を確認するための4月15日のSPOT7およびPleiadesによる可視画像 (トゥルーカラー) が同日に掲載されている。SPOT7およびPleiadesは、フランス国立宇宙研究センター (CNES) の外郭団体 Spot Image によって運営されている地球観

測衛星で、前者は取得したデータから 1.5m、後者では 0.5m の解像度で可視画像を作成することができる。それぞれの同一地点への回帰周期は 26 日であるが、それぞれ 2 機 (SPOT6, SPOT7, Pleiades1-A, Pleiades1-B) の合計 4 機で連携した運用をしているため、全体としての回帰周期は 1 日である。一度に前者では 60km、後者では 20km 幅を観測できるために、災害監視に利用した場合には非常に有用である (Airbus 社ホームページ「Defense and Space」)。しかしながら、4 月 16 日の本震後にはこれらを活用した画像は公開されていない。16 日の熊本および阿蘇地方の天気は晴れであり、地球観測衛星のデータ取得において天候による問題はない。考えられる理由として、前述の通り、地震による被害の範囲が限定的であることが分かっているため航空機や UAV での対応が容易であること、14 日の地震後にはそれらによる観測がすでに開始されていること、さらに SPOT7 および Pleiades のデータは有償であり、データの公開にはライセンス上の制約があることなどがあげられる。その他、高解像度のセンサをもつ地球観測衛星によって観測、処理された画像は高分解能衛星リモートセンシング研究会 (2016) にいくつか紹介されているが、いずれのデータにおいても同様の制約がある。

ライセンス上の制約がない (もしくは小さい) 地球観測衛星データで、斜面崩壊箇所の確認のために利用できるものとして、地球観測衛星 Landsat8 号 OLI (Operational Land Imager) および Terra ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) があげられる。これらのリアルタイムのデータが産業総合技術研究所のホームページ「LandBrowser」上で検索、ダウンロードが可能である。前者は 2013 年 11 月から、後者は 2016 年 4 月からサービスが開始された。ここでは熊本県西原村にある東海大学宇宙情報センターで受信された Landsat8 号および Terra のデータが、ネットワークを介して茨城県つくば市にある産業総合研究所のサーバに送られた後、データ処理された上で公開される。観測後 2 時間程度でデータが公開されるため、ほぼリアルタイムの観測データが受信できることになっている (岩田 (2016), 産業総合技術研究所 研究成果記事「ランドサット 8 号の日本上空からのデータを即時公開」)。

Landsat8 号はアメリカ航空宇宙局 (NASA; National Aeronautics and Space Administration)、アメリカ海洋大気庁 (NOAA; National Oceanic and Atmospheric Administration) および米国地質調査所 (USGS; US Geological Survey) などが打ち上げおよび管理を行ってきた人工衛星 Landsat シリーズの 8 番目で、2013 年 2 月に打ち上げられた。イメージングマルチスペクトル放射計 (OLI) およびイメージングマルチスペクトル放射計 (TIRS; Thermal Infrared Sensor) の 2 つのセンサを搭載し、観測幅は 185km で地球上の同一の場所に回帰する周期は 16 日である。OLI は 9 スペクトラムチャンネルを有する高性能光学センサで、解像度は可視域で 30m、パンクロマチックセンサで 15m である (NASA のホームページ「Landsat Science」)。Terra は NASA によって開発された地球観測衛星で 1999 年 12 月に打ち上げられた。ASTER を含む 5 つのセンサを積載しており、地球上の同一の場所に回帰する周期は 16 日である。ASTER は可視から熱赤外までの 14 スペクトラムチャンネルを有する高性能光学センサで、VNIR (可視近赤外放射計)、SWIR (短波長赤外放射計)、TIR (熱赤外放射計) からなる。VNIR の解像度は最大で 15m である (NASA のホームページ「ASTER」)。これらを活用して被災状況をホームページ上で発災直後に公開した例は

ない。これは先の SPOT7 および Pleiades が連携した場合の回帰日数は1日であるの対して、Landsat および Terra は16日であるため、発災直後に被災地上空に飛来する確率は低いからである。これらによって発災後最も早く観測が行われたのは4月20日11時頃であり、Terra ASTER によるものである。Landsat8 については、4月21日の11時頃であるが、被災地の一部が雲で覆われており、被災地の全体の様子がはっきり分かるのは、さらに後の5月14日の11時頃の観測データによってである。そのため、発災後間もない4月22日の「ランドサットをたのしもう!倶楽部」による SNS (fb) への投稿と小畑ほか (2016) (2016年12月に公開) では、発災後の4月20日と発災前の3月12日 (前者による) もしくは3月3日 (後者による) の ASTER のデータから疑似天然色画像を作成して、規模の大きい斜面崩壊があった南阿蘇村長陽地区の国道57号線付近のデータを示した。いずれも目視 (色の違いの確認) によって崩壊箇所を確認するものであるが、密生した常緑針葉樹林の一部の斜面が崩壊して土や岩盤がむき出しになっている様子から崩壊箇所を容易に判別できる。

以上から、発災後に上空から斜面崩壊の状況を確認する手段は UAV と航空機を含めて、4つに大きく分けることができる。それぞれ様々な特徴があり、それらを表1にまとめた。UAV は小型のマルチコプター (最近ではドローンという呼称が一般化) を想定している。最近の3~4年間で、低価格化および操縦の容易さによって所有者、操縦者が増えている。例えば南阿蘇村にはドローンによる空撮を事業の1つとした Agrid (Agrid のホームページ) という企業があり、復興のための空撮を行っている。前述の通り特に広域的な災害に対しては、一度に広い範囲を観測できるという点で、地球観測衛星データの役割は大きい。その中

表1 上空から斜面崩壊箇所を観察・抽出する手段とそれぞれの条件
(*UAV は元々被災地内部に機材ありかつ操縦者もいた場合)

	観測周期	観測幅	解像度	被災の影響	天候の影響	費用
UAV (ドローン)	随時	数十~数百 m	数 cm ~ 数 m	○*	△	○
航空機	随時	数百 m ~ 数 km	数十 cm ~ 数十 m	△	○	×
高解像度地球観測衛星 SPOT6,7 / Pleiades1-A,1-B	各 26 日 4 機体制で 1 日	60km / 20km	1.5m / 0.5m	◎	×	×
中解像度地球観測衛星 Landsat8 OLI / Terra ASTER	各 16 日	185km / 60km	15m / 30m	◎	×	◎

でも、広域性をあまり損なわずに航空機並みの解像度で画像を取得することができる SPOT および Pleiades シリーズの連携体制は回帰日数が短いこともあわせて、災害時に最も有用であるといえる。しかしながら現在ではこれらのデータは有償のみであり、例えば SPOT6 および7は500km²で34~102万円かかることになる (株式会社サテライトイメージマーケティングのホームページ)。災害という非常時に必要なデータとなれば、市町村単位であっても検討することができる価格であると思われるが、後述する日常的な運用においては難しいであろう。しかしながら、現在無償で提供されている Landsat/OLI および Terra/ASTER も

かつては有償であり、SPOT や Pleiades と同様であった。また、今後さらに解像度が高く、かつ複数の連携運用によって観測周期がさらに短い地球観測衛星群の軌道投入が各国で検討されており、今後地球観測衛星画像の減災利用はますます進むと予想される。現在無償で入手できる上記 Landsat/OLI および Terra/ASTER のデータは、回帰日数が長いという点で減災のためのリアルタイム情報としては不十分であるが、これらが SPOT や Pleiades のように連携（例えばすでに軌道上にある Landsat9 も含めて）することによって、格段に回帰日数を短くすることは可能である。また、将来的に SPOT や Pleiades を含めた高解像度かつ短回帰日数のデータが無償化、もしくは安価になる可能性もある。それらを踏まえて、このような地球観測衛星データを、特に発災後の斜面崩壊に対する減災情報として活用されるためのシステムについて考察した。

5. 地球観測衛星による斜面崩壊箇所の抽出

前述の地球観測衛星データの災害時の活用例では、観測された可視域および近赤外線 (Near Infrared; NIR) の各チャンネルのデータを輝度に変換したものを RGB 合成することによって可視化（画像化）して、斜面崩壊箇所の特定を行っている。画像を人間の目で見て、傾斜のある山林の中に舌状もしくは帯状の裸地が広がる部分をそれと判断する。阿蘇地域には「平成 24 年 7 月九州北部豪雨」で発生した斜面崩壊が残っている箇所や、地熱による岩盤の風化によって頻繁に斜面崩壊を起こしている箇所もある。さらに、緩斜面に大規模な太陽光発電プラントの工事を行っている箇所、その他人工的な裸地もある。目視によった場合、これらと今回の災害による斜面崩壊とを区別をできないこともある。そのため、上記の例においては、発災前の同一箇所のデータから処理した画像と比較して、あらたに裸地が露出した箇所が今回の崩壊箇所と判断している。もし被害が広域的であった場合、このように判断の作業を人間が行った場合には、相当な手間と時間がかかることが予想される。実際に 4 月 16 日の発災後間もない時期に地球観測衛星データで斜面崩壊箇所を示した事例では、大規模な崩壊箇所数カ所に単に矢印をつけて示すのみで、面としてその領域を抽出して地理情報を与えるなど GIS データにするまでには至っていない。すなわち、それらを防災や復興のために利用するためには、質的、形式的ともに不十分な状態である。さらに、紹介された範囲は、崩壊箇所が分布する地域全体のごく一部であるため、全体の状況の把握という点においても不十分である。発災から数日もしくは数ヶ月後にはじめて公開されたという点においても、防災や復興のために使用するには時間的な問題（リアルタイム性がない）もある。

ところが前述のように Landsat8/OLI および Terra/ASTER は、観測から 2 時間足らずでネット上に公開されて入手することができる。さらにそれらには地理情報が最初から付加されている上に空間的な歪みや誤差が小さいため、そのまま GIS データとして加工して利用できる。インターネットを中心としたネットワーク回線や PC の性能が向上しているため、データ転送やデータ処理にかかる時間は数秒から数分である。すなわち、低コストで GIS ベースの十分に質の高いリアルタイム災害情報として利用できる可能性をもっている。

5-1. リアルタイム処理

Shinmura (2002) および新村 (2006) は、地球観測衛星のデータを高速ネットワークを介してリアルタイム転送し、高性能のコンピュータによる処理によって、豪雨域および森林火災のリスクが高い地域を自動的に抽出したプロダクトを、減災に利用するシステムの開発と運用、検証を行った。このシステムでは、データ受信から減災情報配信までのプロセスをほぼリアルタイムで行い、すべて自動化している。そこでは、災害の情報を扱うためには以下の4つの可能性の排除が必要であることを強調している。①人の手に頼る部分があると人の都合やミスによって一連のプロセスに支障をきたす、②災害が起きた時にだけ動作するようなシステムではデータの検証やシステムの稼働のチェックが日常的にされないことになり、いざという時に使用できないという事態が発生する、③災害が発生した時に情報の受け手が情報を受け取ることを意識していないため、受け取るとを忘れる、もしくは受け取ってもその重要性を意識しない、④ユーザがデータを受け取っても、その情報から何をすべきかを判断できない。そのために、地球観測衛星データ受信から処理、ユーザへの配信に至るすべてのプロセスを自動化することによって人の手に頼る部分を一切排除すること、また、災害が発生していない時にもその旨を伝える情報をユーザに送ることによって、システム稼働の確認とユーザに情報を受け取っているという意識をもってもらうこと、さらに防災情報を定量化して対応のための優先度を判断できるようにすることによって、上記4つの可能性を排除したシステムとした。またシステムが開発された2000年前後では、国内外問わず一般的なネットワーク回線は地球観測衛星データを短時間で転送するには全く不十分であったために、特別に帯域確保を行う必要があったが、現在では一般のインターネット回線を含めて、日本国内外のネットワークにおいては十分な転送速度でデータ転送ができ、データのリアルタイム性を保持することがすでに可能になっている。さらに、地球観測衛星データは少なくとも1つあたり100MB以上、場合によっては数百MBから数GBに達し、その処理に画像処理がともなうため、当時はCPU速度と特にグラフィック処理に優れたワークステーションで処理を行ったが、現在では一般的なPCでも処理速度は十分である(むしろ当時のワークステーションよりも高速に処理ができています)。以上から、地球観測衛星 Landsat8/OLI および Terra/ASTER のデータを利用したリアルタイムかつ完全自動化した、防災および減災のための情報処理および伝送システムの構築と運用が実際に可能であるかどうかを検証した。

5-2. データ転送

前述の通り、Landsat8/OLI および Terra/ASTER は、産業総合技術研究所のホームページ「LandBrowser」上で検索してダウンロードすることが可能である。ここで提供されているデータは、観測してから2時間足らずのリアルタイムに近いものである。ここでは現在GUIを介した操作でデータの検索および取得をするようになっており、手動で行うことを前提としている。Shinmura (2002) および新村 (2006) で示されたシステムのように、データをアーカイブしているサーバに直接アクセスしてデータを取得、もしくはそれに準ずる方法で最新データを取得することは、サーバーのセキュリティなどの設定変更によって可能になる。データの大きさはLandsat/OLIで500～800MB程度、Terra/ASTERで30MB前後(い

ずれも圧縮した状態) であるため、現在のインターネット回線では数分以下で 1 つのファイルを取得することが可能であり、リアルタイム性を損ねることはない。

5-3. 斜面崩壊箇所の抽出手順

三浦・翠川 (2007) は 2004 年 10 月 23 日の新潟県中越地震における山地での斜面崩壊を検出するために、高分解能の光学センサをもつ地球観測衛星データを利用した。IKONOS (運用期間 2000 ~ 2015 年) の高解像度光学センサ (RGB+NIR、1m/pixel) によって観測された地震前 (2002 年 4 月 29 日) および地震後 (2004 年 10 月 24 日) のデータから、地震前後の正規化植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) と数値標高モデル (Digital Elevation Model; DEM) から算出された傾斜のデータを用いて、斜面崩壊箇所の検出を行った。ここでは主に以下の手順で算出した部分を斜面崩壊箇所としている。対象地域 (9.0 × 6.5km) における斜面崩壊箇所のうち、面積にして約 85% を抽出した。

- i. 対象地域内で季節による NDVI の差の補正を行い、差分 [(地震後の補正 NDVI) - (地震前の補正 NDVI)] を算出
- ii. (平均値 + 2 × NDVI) の標準偏差を差分の閾値とする
- iii. 地形によるフィルタリング (10° 以下の平坦地を排除)
- iv. 一定の広がり (20m² のうち 20%) をもつ部分以外は排除

石出・山崎 (2010) は上記の iv を除いた手法にほぼ準じて、2008 年 6 月 14 日の岩手・宮城内陸地震における斜面崩壊箇所の抽出を試みた。彼らは ALOS (Advanced Land Observing Satellite) (通称「だいち」、運用期間 2006 ~ 2011 年) 搭載の高解像度光学センサ (RGB+NIR、10m/pixel) によって観測された地震前 (2007 年 10 月 17 日) および地震後 (2008 年 7 月 2 日) のデータと DEM データを使用した。ここでは主に以下の手順で算出した部分を斜面崩壊箇所としている。対象地域 (20 × 17km) は前述の例よりも広域であり、この領域における斜面崩壊箇所のうち面積にして約 66.5%、500m² 以上の箇所に対しては 90% を抽出し、広域的な地盤災害把握に有効であることを示した。さらに、小畑・岩男 (2016) は熊本地震に起因する斜面崩壊と Terra/ASTER データの NDVI 変化について、上記 2 つの事例に関連づけて報告した。

三浦・翠川 (2007) で使用した画像は 1m/pixel の高解像度であるのに対して、石出・山崎 (2010) では 10m/pixel である。前者においては、微少域の小さな変化が直接反映されてしまうことが全体として誤差を大きくし、手順 iv のように一定の広がりをもたない検出部分の排除を行う必要があった。空間的に細かいことが分かることが、逆に正確な検出の妨げになった。石出・山崎 (2010) においては、そのことについて触れてはいないものの、解像度がそれに比較して低いデータを使用し、検出に際して上記の手順を採用していないことは、10m/pixel の解像度が危険な斜面崩壊箇所を検出する上で、適切な解像度であることを暗に意味している。空間解像度の適切さという点においては、それらを受けて小畑・岩男 (2016) が 15m/pixel の空間解像度をもつ Terra/ASTER を使用したといえる。また、三浦・翠川 (2007) および石出・山崎 (2010) では、地震前と後のデータの時間的な開きはそれぞれ 2 年 6 ヶ月と 9 ヶ月である。これらの大きな時間差は、斜面崩壊地以外の NDVI を大きく変化させる要因となり、補正の範囲をこえた誤差を生み出す結果となる。そこには地球観測

衛星の回帰日数やデータの取得手段などに原因があると考えられる。

5-4. Landsat8/OLI および Terra/ASTER リアルタイムデータ処理

上述の通り、Landsat および Terra は回帰日数が16日であるため、地震発生時から長くとも数十日程度のデータの差分をとることが可能である。上記抽出手順のiに相当する季節の変化による補正が小さくなり、結果として検出誤差が小さくなることにつながる。特に、抽出方法がより単純になった方が、自動化するために都合が良い。以上を踏まえて、Landsat/OLI および Terra/ASTER のデータについて、熊本地震の発災日2016年4月16日前後のデータを検索、ダウンロード、斜面崩壊箇所の抽出を行った。Landsat/OLI データは発災前の2016年3月20日、後の2016年5月14日、Terra/ASTER データは発災前の2016年3月12日、後の2016年5月23日のものを使用した。以上のデータを使用して以下の手順で斜面崩壊箇所の解析を試みた。地形によるフィルタリングにおいては、国土地理院の基盤地図情報サイトで提供されている5mメッシュのDEMデータを使用した。対象範囲は熊本地震で大規模な斜面崩壊が発生した南阿蘇村立野地区を中心とした15×15kmの範囲である。データの処理には、フリーソフトであるGRASS GIS 7.2.0 (GRASS GISのホームページ)を使用した。

- i. 輝度への変換 (Landsat8のみ)
- ii. NDVIの算出 [$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$]
- iii. (平均値 + 2 × NDVI) の標準偏差を差分の閾値とする
- iv. 地形によるフィルタリング (10°以下を排除)
- v. トゥルーカラーのパンシャープン画像の作成 (Landsat8)
- vi. フォールスカラーの画像作成 (Terra/ASTER)

上記vおよびviで作成した画像およびGoogleEarth画像による目視による判断、現地調査によって、斜面崩壊箇所を特定し、上記ivで抽出された斜面崩壊箇所の検証を行った。その結果Landsat/OLI データを使用したものおよびTerra/ASTER データを使用したものの両方の結果とも高い確率で斜面崩壊箇所を検出することができた (新村、準備中)。三浦・翠川 (2007) および石出・山崎 (2010) で検証された結果に比べて同等もしくはそれ以上の精度で検出可能であることが分かった。GRASS GISではほぼ同じ操作をGUIとCUIの両方で行うことが可能であり、また複数の処理を一度に行うバッチ処置も可能である。したがって上記i~ivをバッチ処理によって、取得した上記地球観測衛星データから斜面崩壊箇所を、自動処理で抽出および画像出力することができる。データ受信を自動化することができるようになれば、該当地域のLandsat8/OLI および Terra/ASTER の観測後間もないデータから自動的に斜面崩壊箇所を抽出することが可能になる。

5-5. データ出力

斜面崩壊箇所の抽出結果は、通常は画像 (ラスタデータ) で出力されるが、ベクタデータに変換して各ピクセルの中心点の位置情報や1つの崩壊地全体の中心点の位置情報として出力することも可能である。さらに主要道路や主要施設、住宅地などとの重なりを被害地域として、またバッファとの重なりを危険地域として解析して出力可能である。このように出力

結果をさらに他の GIS データと組み合わせることによって、ユーザが必要としている具体的な減災のためのデータに加工して届けることによって、ユーザが被災地において行うべき優先事項についての情報を具体的に与えることができる。これらのデータは被災地のユーザのみならず、関係する公的機関にも通知すれば、救援や支援のための計画や地域住民に対する避難のためのより正確な情報を早く発信することにつながる。

5-6. データ送信・受信

上記の減災のための諸データが出力された後、誰にどのように届けるかが重要な課題になる。例えば熊本県の管理するホームページ「熊本県 統合型防災情報システム」では、河川の水位やそれに関連した防災情報を閲覧することができるが、危険水位に達したらメールを通知するなどの能動的な警報通知機能はない。すなわちユーザ側が自分の身に危険が迫りつつあるという認識を持っている状況でなければ、このような情報にアクセスすることはほとんどなく、場合によっては気が付いたらかなり危険な状況になっていたことを確認できたが、すでに手遅れということもあり得る。そうなる前、すなわちユーザが危険を感じない程度の避難に余裕がある状態の時に、危険を予測した情報、もしくは危険であるという情報を受け取ることができてはじめて減災情報として実際に機能する。

上記のような都道府県の防災システムなどに、先ず能動的に通知をする機能を付加する必要がある。この場合、ユーザがどこの（場所）、どんな（災害の種類）、どの程度（災害の程度）で通知を受け取るかの登録をできるインターフェースが必要であろう。ユーザが情報を受け取る手段は、メールが最も一般的であるし、システムとしても単純で済む。メール以外の特別な伝達方法を使用した場合、常日頃使用しない情報伝達方法を災害が起きた、もしくは起きた時だけに使うことになると、システムそのものがいざという時に動かない、受け取り方法が分からない、ユーザがそのような情報の存在を忘れるなどして、実質的に機能しない恐れがある。その点でも常日頃使用しているメールシステムに防災、減災情報を組み込むことは非常に有効と思われる。そして、このようなシステムに上記の斜面崩壊箇所とそれに関する付加的な情報を含めた警戒情報を加えて、能動的に通知ができるようにすれば、ユーザは防災、減災に関する情報を一元管理することができるため、これらの情報に、より接触する可能性が増え、システムが有効活用される可能性を広げる。

6. 山間地における発災後の情報伝達

前章までに示した、防災、減災情報の自動処理、通知システムは、単に IT や地球観測衛星など最新鋭の科学技術の活用のみならず、特に山間地における大規模災害時の情報伝達上の問題を緩和する上でも重要である。山間地における情報伝達について、熊本地震発災後の熊本県南阿蘇村（筆者が居住し、今回被災した）の例をあげて説明する。ここでは大規模な斜面崩壊の発生、主要道路、鉄道や橋など交通インフラ、送電設備、水道設備その他様々なインフラ設備の破壊、土砂崩れで住宅が飲み込まれる、振動で倒壊するなど、大きな被害もたらされた。その一方で、建物の被害が一部損壊の地域も多く、全壊と半壊以外よりも件数、エリア面積とも大きい。大きな損害を受けた地域を最優先、集中的に復旧させることは、特に人命救助という点でも重要であるが、被害は小さいが正常な生活ができていない多

くの人々にいち早く情報を伝えて、次の行動について見通しをもって考えることができるようにすることも重要である。それは本人たちのためのみならず、彼らが正常に近い生活をいち早くできるようになれば、被害が大きかった人々の救助や援助に、より早く積極的に向かう、すなわち共助を推進するきっかけともなり、地域全体で見れば大きなメリットとなる。

現地では発災直後は、自らの足であちこちの安全を見て回ることには危険がともなうために、住民はマスコミの取材結果から地域の状況を断片的に受け取ることしかできなかった。肝心の村役場は大混乱で、応援に来た自衛隊、各地の警察、マスコミへの対応で精一杯の様子であり、全体の状況に関する情報をもっていたかどうか不明であるが、仮にもっていたとしても住民に伝える余裕はなかった。役場や避難所の掲示版にもほとんど情報はなく、どの道を使うことができ、できないか、また、被災状況はどうなっているかについては、少なくとも2～3日の間はテレビやラジオの情報、近所のうわさから判断するしかなかった。発災から3日後にはじめて、被害状況や復旧状況について書かれた印刷物が、当時の避難所の1つになっていた社会福祉協議会の建物の窓口などで申し出ると手に入るようになった。掲示されることもなかった。その存在は、口コミで知るのみであった。その2日後にカウンターに置かれ、そのさらに2日後になってようやく掲示版に貼られるようになった。そしてさらに数日後、それらがバックナンバーとともにホームページ上に置かれるようになった(南阿蘇村のホームページ「平成28年熊本地震による対応について」)。発災直後にいち早く知りたかった情報をほとんど知ることができず、時間が経過して重要度が低くなった時にそれらの情報があふれてくるという皮肉な状況であった。一般的に農村部、山間部にある防災無線を利用して役場など発電機がある設備から仮に情報発信できたとしても、受信機がある一般家庭では受信機が壊れていたり、壊れていなくとも発災後数日間の停電期間には役に立たなかった。屋外にある大きなスピーカーも、そのすぐ近くでは聞き取れたとしても、少し離れた所では昼間中ひっきりなしに上空を飛び交うマスコミのヘリコプターのエンジン音によって聞き取ることはできなかった。熊本市内では、ホームページやSNS上に行政を含め様々な情報が流れていた一方で、南阿蘇村では行政によるSNSは元々なく、インターネット上の村のホームページの掲示版も機能していないので、情報を入手する手段は避難所や炊きだしなどで人が集まる場所の口コミによるしかなかった。

都市部と農村部とを比較した場合、若者の人口/高齢者の人口の比率を比較した場合、前者が圧倒的に大きい。そのため、特にスマートフォンなどのモバイル端末上で使用することが多いSNSの人口あたりの利用率は、前者が圧倒的に高いであろう。結果的に、農村部では行政に対してSNS開設の要求も小さいであろうし、開いたとしても需要が小さいことから、平常時には管理するコストばかりが目立つ。しかし、災害時には割合が少ないとはいえ、若年層を中心にSNSから情報を得、また発信することによって、地域にいち早く必要な情報を伝え、外部に救援および支援に重要な情報を発信することになる。日本の国土において、人口集中域は平野に多いものの、面積としては山間地が多く、そこにも多くの人々が生活する。今後再びどこかで起きるであろう大地震災害に備えて、前章で述べた斜面崩壊警戒のためのシステムの開発と導入とともに、草の根での情報伝達方法を地域のSNS(役所のツイッターなどを含め)を整備していくこともあわせて重要である。

参考資料

- (1) 気象庁ホームページ「平成 28 年（2016 年）熊本地震の関連情報」
http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html (2016.12.24 最終アクセス).
- (2) 内閣府ホームページ「平成 28 年（2016 年）熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について」
http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/pdf/h280414jishin_37.pdf (2016.12.24 最終アクセス).
- (3) 内閣府ホームページ「阪神・淡路大震災の概要と被害状況」
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/pdf/101.pdf> (2016.12.24 最終アクセス).
- (4) 気象庁ホームページ「『阪神・淡路大震災から 20 年』特設サイト」
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/1995_01_17_hyogonanbu/kiroku.html (2016.12.24 最終アクセス).
- (5) 気象庁ホームページ「東日本大震災 ～東北地方太平洋沖地震～ 関連ポータルサイト」
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-portal.html> (2016.12.24 最終アクセス).
- (6) 気象庁ホームページ「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震 ～ The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake ～」
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/ (2016.12.24 最終アクセス).
- (7) 内閣府「防災情報のページ 平成 24 年版 防災白書」
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h24/bousai2012/html/honbun/1b_1h_1s_01_01.htm
(2016.12.24 最終アクセス).
- (8) 国土交通省九州地方整備局のホームページ「平成 28 年熊本地震に対する九州地方整備局の取り組み」
http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/tecforce/ (2016.12.24 最終アクセス) 国土地理院ホームページ「航空写真・UAV 動画の判読による平成 28 年熊本地震に伴い出現した南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について」
<http://www.gsi.go.jp/common/000139911.pdf> (2016.12.24 最終アクセス).
- (9) 気象庁のホームページ「平成 24 年度災害時自然現象報告書」
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2012.html (2016.12.24 最終アクセス).
- (10) 気象庁のホームページ「平成 24 年度災害時自然現象報告書」
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2012.html (2016.12.24 最終アクセス).
- (11) 株式会社パスコ「2016 年 4 月 平成 28 年熊本地震災害」
http://www.pasco.co.jp/disaster_info/160415/#n06 (2016.12.24 最終アクセス).
- (12) 国土地理院ホームページ「平成 28 年熊本地震に関する情報」
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#ce> (2016.12.24 最終アクセス).
- (13) 国土地理院ホームページ「航空写真・UAV 動画の判読による平成 28 年熊本地震に伴い出現した南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について」
<http://www.gsi.go.jp/common/000139911.pdf> (2016.12.24 最終アクセス).
- (14) Airbus 社ホームページ「Defence and Space」
<http://www.intelligence-airbusds.com/> (2016.12.24 最終アクセス).
- (15) 高分解能衛星リモートセンシング研究会 (2016) :2016 年熊本県地震災害の高分解能衛星リモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌, 36, 3, 211-213.
- (16) 産業総合技術研究所ホームページ「LandBrowser」
<http://landbrowser.geogrid.org/landbrowser/index.html> (2016.12.24 最終アクセス).
- (17) 岩男弘毅 (2016) :ASTER に関する最近の取り組み, 『GSJ 地質ニュース』, 5, 11, 356-359.

- (18) 産業総合技術研究所 研究成果記事「ランドサット 8 号の日本上空からのデータを即時公開」
http://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2013/nr20131122/nr20131122.html (2016.12.24 最終アクセス).
- (19) NASA のホームページ「Landsat Science」<http://Landsat.gsfc.nasa.gov/> (2016.12.24 最終アクセス).
- (20) NASA のホームページ「ASTER」<http://asterweb.jpl.nasa.gov/> (2016.12.24 最終アクセス).
- (21) facebook「ランドサットをたのしもう! 倶楽部」, 4月 22 日掲載,
<https://www.facebook.com/ランドサットをたのしもう-倶楽部-543052655744875/?fref=ts> (2016.12.24 最終アクセス).
- (22) 小畑建太・岩男弘毅・山本浩万 (2016) :ASTER がとらえた熊本地震に起因する熊本県南阿蘇村付近の斜面崩壊, 日本リモートセンシング学会誌, 36, 3, 223-224.
- (23) Agrid のホームページ, <http://www.agrid.biz/> (2016.12.24 最終アクセス).
- (24) 株式会社サテライトイメージマーケティングのホームページ「SPOT・FORMOSAT-2・DEIMOS-1 製品価格表」, <http://www.satim.co.jp/download/price.pdf>, (2016.12.24 最終アクセス).
- (25) Taro Shinmura (2002) : Real-time Heavy Rain Warning System Using Earth Observation Satellite Data and High Speed Networks, *The Kumamoto Gakuen University journal of liberal arts and sciences*, 11 (1), 51-62.
- (26) 新村太郎 (2006) : NOAA/AVHRR を利用した森林火災早期検知・通報システム -2000 年から 2003 年の東南アジアのホットスポット検出結果-, 熊本学園大学論集『総合科学』, 12 (2), 77-99.
- (27) 三浦弘之・翠川三郎 (2007) : 高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた 2004 年新潟県中越地震での斜面崩壊地の検出, 『日本地震工学会論文集』, 7, 5, 1-14.
- (28) 石出貴大・山崎文雄 (2010) : ALOS/AVNIR-2 画像を用いた 2008 年岩手・宮城内陸地震における斜面崩壊の検出, 『日本地震工学会論文集』, 10, 3, 12-24.
- (29) 小畑建太・岩男弘毅 (2016) : 平成 28 年熊本地震に起因する斜面崩壊と ASTER データにおける NDVI 変化の関係, 『日本リモートセンシング学会誌』, 36, 4, 417-420.
- (30) 国土地理院「基盤地図情報サイト」, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>, (2016.12.24 最終アクセス).
- (31) GRASS GIS のホームページ, <https://grass.osgeo.org/>, (2016.12.28 終アクセス).
- (32) 熊本県「熊本県 統合型防災情報システム」,
<http://www.bousai.pref.kumamoto.jp/>, (2016.12.24 最終アクセス).
- (33) 南阿蘇村のホームページ「平成 28 年熊本地震による対応について」,
<http://www.vill.minamiaso.lg.jp/site/28kumamotozisinn/28zisintaiou.html>, (2016.12.24 最終アクセス).