

衛星リモートセンシングによる庄原災害調査と検証

島 重章*・白間 宏紀**

(平成23年10月31日受付)

Investigation and Inspection of Downpour Disaster in Shobara by Satellite Remote Sensing

Shigenori SHIMA and Hiroki HAKUMA

(Received Oct. 31, 2011)

Abstract

In our country, the typhoon cause many damages of human and materials in various places every year. For example, the case of downpour disaster in Kii peninsula that was caused by typhoon Talas in 2011 was beyond the scope of supposition. Also, the debris was caused by the heavy rain various places in Shobara on July 16, 2010. The author investigated the disaster in Shobara by satellite remote sensing technology. It is effective for investigation of the disaster because this system can widely analysis and observation. Finally, this study shows evaluation and inspection for mudslide in Shobara.

Key Words: multiple regression analysis, heavy rain, satellite remote sensing

1. はじめに

広島県庄原市では2010年7月16日に集中豪雨（ゲリラ豪雨）により大規模な土石流が発生し、土砂災害により多くの人的・物的被害を被った。庄原市で、死者数1名、重傷者1名、全壊14戸、半壊3戸、床上浸水1戸、一部損壊10戸、床下浸水36戸、道路19箇所、河川39箇所、農作物の被害面積55.9 ha、林業の被害面積94.6 haとなっている。

降雨状況では、大戸（治山雨量）観測所で、17時20分から30分の10分間に44 mmもの雨量を観測した。図1.1に観測データを示す¹⁾。同時刻に周辺の観測所では0～10 mmの値であった。この地域では、11日の朝より14日までの断続的に時間雨量25～50 mmの先行雨量があり、16日の降雨で容易に飽和に達し、河川の水位は急激に上昇した。避難勧告が出たころには、車が流されるほど溢れており、更に各地で土石流が発生した。土石流は特に県道中迫川北線（県道445号線）沿いに流れ、庄原市の南側を流れる西城川まで行き着いた。災害発生直後の航空写真を図1.2に示す²⁾。

本研究では、2009年6月26日観測の陸域観測技術衛星

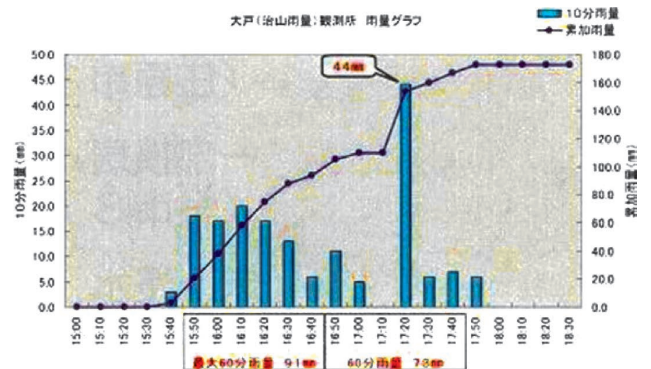


図1.1 10分間雨量データ（大戸観測所）

(ALOS)の衛星画像を使用し、県道中迫川北線を中心に画像解析を行う。そのなかから図1.3に使用した画像を示す。北緯34°59′6.75″～34°49′48.32″、東経132°58′23.20″～133°10′7.73″の約17.5 km四方の範囲とした。大規模な崩壊の発生は突発的に生じるため、予知・予測が困難である。近年、多方面に利用されているリモートセンシング技術は地域の広域情報を解明するのに使用されている。そこで、人工衛星によるリモートセンシングを用いて地盤情報

* 広島工業大学工学部都市デザイン工学科

** 広島工業大学工学系研究科建設工学専攻

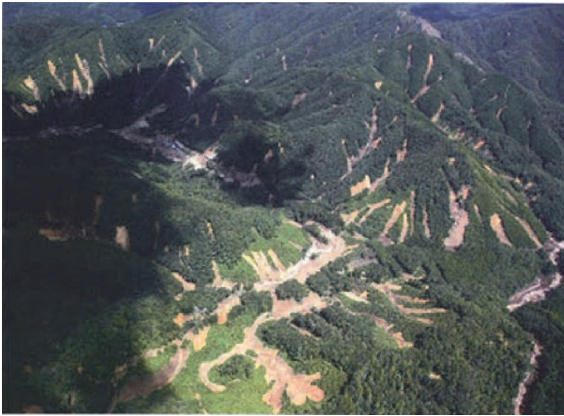


図1.2 災害発生直後の航空写真



図1.3 使用した画像

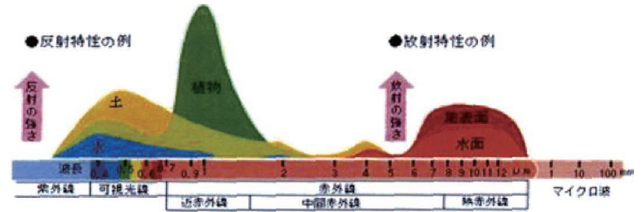


図3.1 地表物質の反射特性

きる（非接触性）ことがあげられる。技術の進歩によって観測精度は年々高まる傾向にある。

衛星データは、光学センサとマイクロ波センサに大別されるが、ここでは地球表面の物質の分光反射率が異なることを利用した光学センサについて説明する。地表面にある物体は太陽光を受けると、物体の種類・特性に応じて異なる電磁波を反射する。その電磁波は可視光線の他にも赤外線や紫外線、マイクロ波等広い波長帯をもっている。搭載されたセンサで波長帯ごとに分けてデータを観測することにより、地表の分類識別や物体の温度、植生指標や海面温度の解析を行うことができる。人工衛星が地球へ送信してくる観測情報は、反射光に対応したデジタルデータを反射波長データとして提供し、地表物質の違いをデータ処理することで画像表示が可能となる。なお、ここに使用した衛星データは、陸域観測技術衛星 ALOS であり、搭載センサ AVNIR-2 および PRISM は光学センサに分類される⁴⁾⁵⁾。

を解明すれば、土砂災害が発生しそうな位置や規模を予測出来ることが可能だと考え³⁾、災害に対する対策の一環に寄与できると考えた。

2. 研究背景・目的

広島県庄原市では2010年7月16日に大規模な土石流が発生し、死者1名・全壊家屋14棟・半壊家屋3棟という被害に襲われた。

本研究では、広域な土石流が発生した庄原市の地盤情報を広域にとらえるため、人工衛星データを用いることが有効であると考えられる。人工衛星によるリモートセンシング技術は、可視域から赤外域までのデータを用いた特徴抽出が可能であり、地表面を構成する物質を分類することを目的とする。

3. 人工衛星データの適用

3.1 衛星リモートセンシングの概要

まず、衛星リモートセンシングの特徴として、広い範囲を瞬時に観測することができる（観測の広域性と瞬時性）こと、繰り返し同じ場所を観測することができる（反復性）こと、直接現地に行かなくても現地の状態を知ることがで

3.2 使用した衛星データ

ALOS は Advanced Land Observing Satellite（陸域観測技術衛星）の略で、世界最大級の地球観測衛星であり、「だいち」と称する。地球資源衛星1号「ふよう」（JERS-1）と地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」（ADEOS）の開発と運用によって蓄積された技術をさらに高性能化したもので、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源調査などへの貢献が目的である。ここでは観測日2009年6月26日のデータを使用した。

観測機器としては、標高など地表の地形データを読みとる「パナクロマチック立体視センサ（PRISM）」、土地の表面の状態や利用状況を知るための「高性能可視近赤外放射計2型（AVNIR-2）」、昼夜・天候によらず陸地の観測が可能な「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を搭載し、詳しく陸地の状態を観測する機能を持っている。地図作成だけでなく、地域観測や災害の状況把握や資源の探査にも役立っている。

「だいち」のセンサは地形情報を正確に取得することが可能である。地表の基準点などの情報に頼らずに2万5000分の1の地図作成ができる地形データ収集を行えるので、開

表3.1 使用センサの諸元

センサ名	バンド	波長 (μm)	分解能
PRISM	パナクロ	0.52~0.77	2.5 m
AVNIR-II	BAND1	0.42~0.50	10.0 m
	BAND2	0.52~0.60	10.0 m
	BAND3	0.61~0.69	10.0 m
	BAND4	0.76~0.89	10.0 m

発目的の1つである「日本国内やアジア太平洋地域など諸外国の地図の作成・更新」には大きな威力を発揮することが期待されている。また、「地球環境と開発との調和を図るための地域観測」「国内外の大規模災害の状況把握」「国内外の資源探査」など、様々な分野で利用される⁶⁾。使用したセンサの諸元を表3.1に示す。

3.3 解析方法

衛星データから地盤情報の解明を行うための解析方法を図3.2に示す。衛星データから地盤情報を解明するために

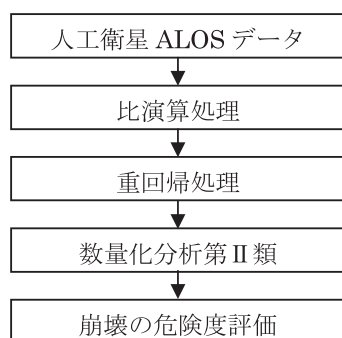


図3.2 解析方法

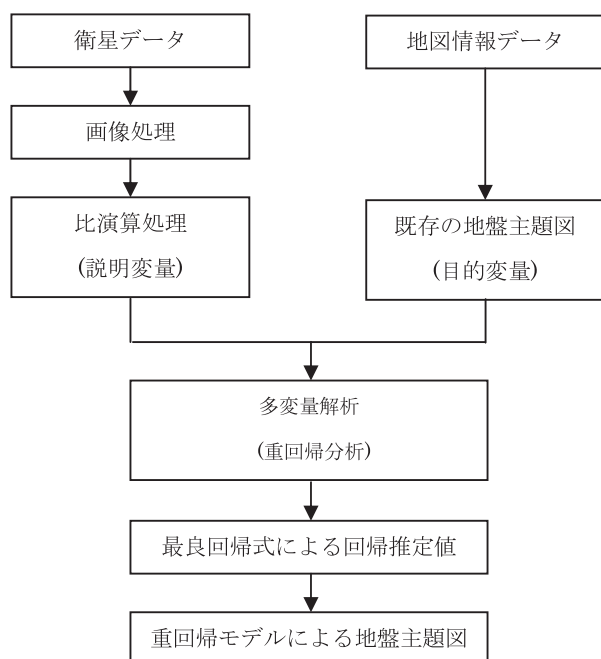


図3.3 重回帰モデル作成の流れ

は、地表面に存在する多数の事象との相関関係を分析することが必要である。ここでは、このような空間情報の解析に土地基本調査図をグランドトゥールースとする重回帰分析を用いた。図3.3に示すように、既存抽出データとしての地盤主題図および特徴抽出データとしての比演算処理画像を用い、目的変量と説明変量との設定による重回帰分析を適用した。段階的手法のもとに得られた最良回帰式から、重回帰モデルによる新たな地盤主題図を作成するものである。ここでは、ENVIによる画像処理を行った。得られた最良回帰式から重回帰モデルの作成を行う。

1) 重回帰分析

衛星データが有する波長別データの利用は、地表面に存在する事象の空間分布を表現するために、多様の事象との相関係数を分布することが必須事項となる。ここでは、このような空間情報の解析に重回帰分析を用い、得られた最良回帰式から重回帰モデルの作成を行う⁷⁾。この際、SPSSを用いて分析を行う。

2) 最良回帰式

重回帰分析の結果からは、R-検定、F-検定、t-検定に基づく処理結果の有意性を確認したのち、得られた最良回帰式を作成する⁸⁾。

3.4 重回帰分析の結果

一般に重回帰分析における有意性の検定は、重相関係数と寄与率が0.8以上で精度が非常に良いとされている。また、分散分析によるF分布およびt分布の有意確率が0.05以下で精度が良いとされている。

本研究では、重相関係数と寄与率が0.8以上、有意確率のうち危険率が0.05以下に出力されることを目標に、既存の資料（地図情報データなど）との相関を行った。以下に各区分の重回帰処理画像を考察する。

重回帰モデルを作成するにあたり、ここでは土地分類基本調査図と現地調査データをもとに、表層地質区分、土地利用区分、風化区分、地形区分、傾斜区分の重回帰モデル画像を作成した。ここでは、作成したそれぞれの画像の精度を表3.2~3.6に示した。なお、DN値とは、衛星が観測した電磁波エネルギーの強さを相対的に256 (=2⁸) 段階に置き換えたデジタル情報のことである。また、最良回帰式で得られた画像を図3.4~3.8に示した。

1) 表層地質区分

重回帰分析の結果、重相関係数0.889および寄与率0.790を示しているため、分析の結果は良いと考える。本研究では、表層地質図作成にあたり目的変量を6個（水域、未固結堆積物、固結堆積物、高田流紋岩、吉舎安山岩、深成岩）に設定して重回帰分析を行った。土地分類基本調査図によると庄原市は火山性岩石である吉舎安山岩や高田流紋岩が

表3.2 重回帰分析の結果（表層地質）

説明変量 (X)	比演算処理によって得られた DN 値	
目的変量 (Y)	表層地質から得られた表層地質指標	
重相関係数 (R)	寄与率 (R ²)	調整済み寄与率
	0.889	0.790
指 標	水域, 未固結堆積物, 固結堆積物, 多賀だ流紋岩, 吉舎安山岩, 花崗岩	

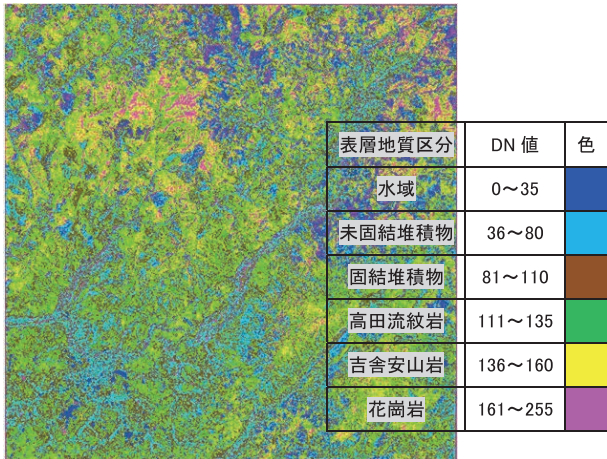


図3.4 表層地質区分

表3.4 重回帰分析の結果（地形区分）

説明変量 (X)	比演算処理によって得られた DN 値	
目的変量 (Y)	地形から得られた地形指標	
重相関係数 (R)	寄与率 (R ²)	調整済み寄与率
	0.872	0.760
指 標	水域, 低地, 台地, 丘陵地, 小起伏山地, 中起伏山地, 大起伏山地	

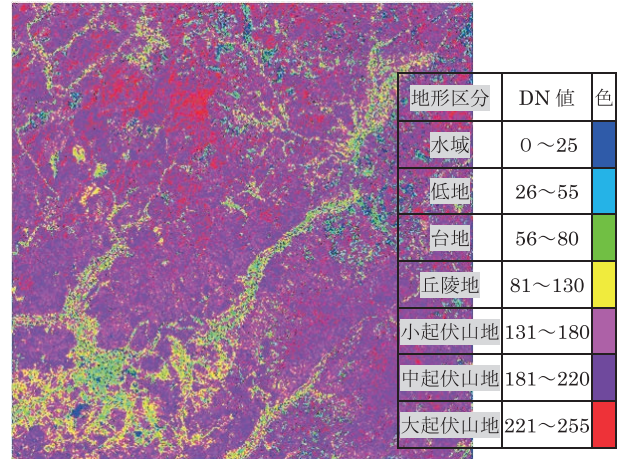


図3.6 地形区分

表3.3 重回帰分析の結果（土地利用区分）

説明変量 (X)	比演算処理によって得られた DN 値	
目的変量 (Y)	土地利用から得られた土地利用指標	
重相関係数 (R)	寄与率 (R ²)	調整済み寄与率
	0.908	0.825
指 標	水域, 市街地, 針葉樹, 広葉樹, 混合林	

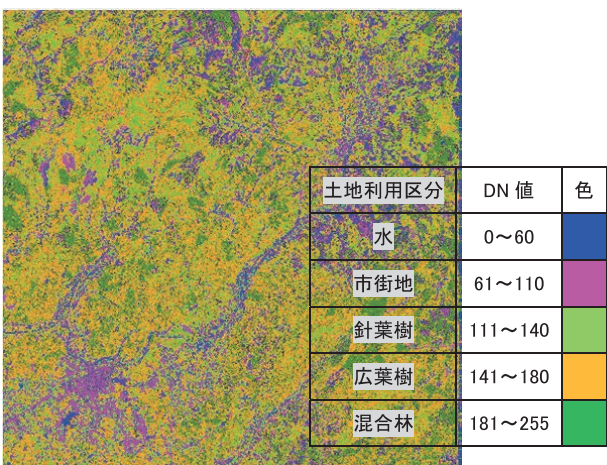


図3.5 土地利用区分

表3.5 重回帰分析の結果（風化区分）

説明変量 (X)	比演算処理によって得られた DN 値	
目的変量 (Y)	風化から得られた風化指標	
重相関係数 (R)	寄与率 (R ²)	調整済み寄与率
	0.933	0.870
指 標	水域, 風化度 α , 風化度 β , 風化度 γ	

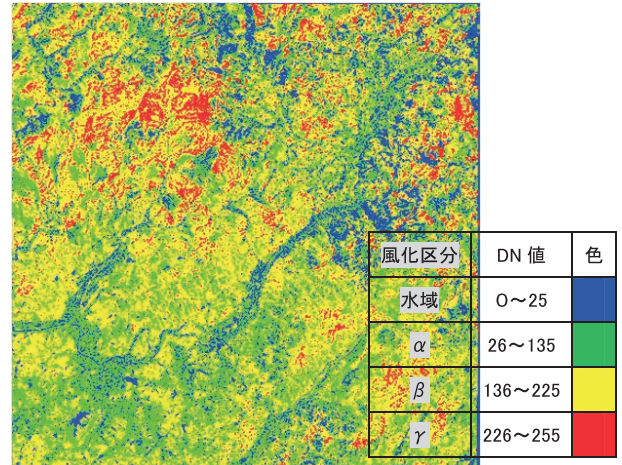


図3.7 風化区分

表3.6 重回帰分析の結果（傾斜区分）

説明変量 (X)	比演算処理によって得られた DN 値	
目的変量 (Y)	傾斜から得られた傾斜指標	
重相関係数 (R)	寄与率 (R ²)	調整済み寄与率
	0.870	0.756
指 標	水域, 8° 未満, 8° ~ 20° 20° ~ 40°, 40° 以上	

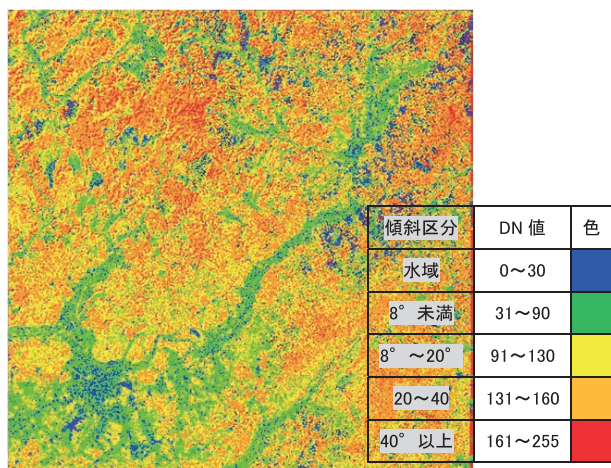


図3.8 傾斜区分

多くを占めており、市北部に斑レイ岩質岩石や蛇紋岩質岩石が広がる。

表層地質区分図は、図3.4に示した。5種類の表層地質を区分して示すことができた。また凡例に示す水域のDN値の範囲は国営備北公園内にある湖を基準として行った。その結果、本来水域でない箇所まで青く表示された。理由として、衛星データの観測日が梅雨期（6月）であることから、地表に多くの水分が残存した状態であることが考えられる⁹⁾。

2) 土地利用区分

重回帰分析の結果、寄与率は0.825と分析結果は良いと考える。本研究では、土地利用区分図作成にあたり目的変量を5個（水域、市街地、針葉樹、広葉樹、混合林）に設定して、重回帰分析を行った。

庄原市は、年平均気温13℃、年降水量1500mm~1700mmで、比較的低温多雨な地帯である。地質は火山岩を主体とする有色鉱物が大半を占め、堆積岩は、西城町及び東城町の南部に古生層が、庄原付近に備北層群がそれぞれ分布している。自然条件は地質に難点があるものの、相対的に林業に適した自然条件である。森林構成は人工林14%、天然性アカマツ林34%、広葉樹林46%、その他6%の割合である¹⁰⁾。

3) 地形区分

重回帰分析の結果、寄与率は0.760を得た。本研究では、

地形区分図作成にあたり目的変量を7個（水域、低地、台地、丘陵地、小起伏山地、中起伏山地、大起伏山地）に設定して重回帰分析を行った。

土地分類基本調査によると、この地域には、中国山地中北部に発達する典型的な地形（中国脊梁山地、中国内陸盆地、吉備高原）がみられ、地形学上、広島県内では、最も変化に富んだ地形である¹¹⁾。

作成した図3.6を見てみると山地に囲まれた地形をよくとらえられており、川沿いに発達した石灰岩台地の存在も示している。よって精度のよい結果であるといえる。

4) 風化区分

重回帰分析の結果、寄与率は0.870であるので分析結果は良いと考える。本研究では、風化区分図作成にあたり目的変量を4個（水域、風化度 α 、風化度 β 、風化度 γ ）に設定して、重回帰分析を行った。風化度とは風化層厚を表し、風化度 α （3m以下）・風化度 β （10m以下）・風化度 γ （10m以上）を示す。図3.7の拡大図（県道中迫川北線付近）を図3.9に示す。また、災害地位置図を図3.10に示す。

土砂災害が発生した県道中迫川北線付近では、風化度 β が多くなる結果を得た。付近の山地部では風化度 γ が見えており、災害発生の一つの要因として考える。

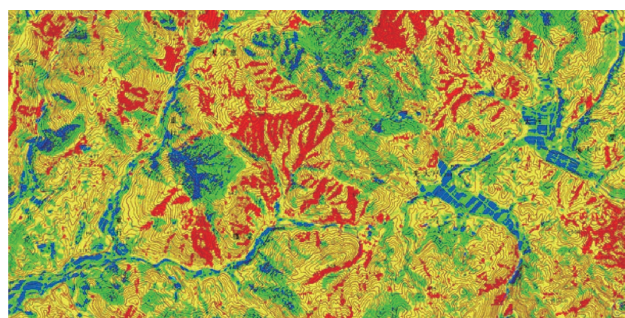
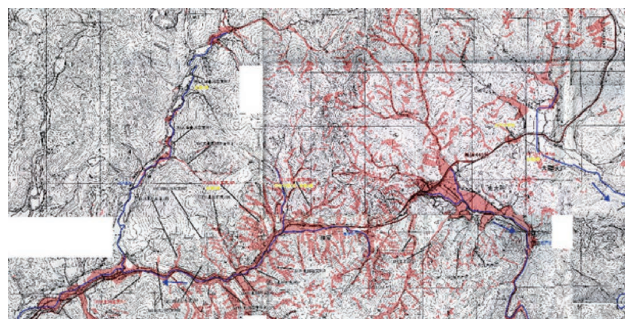


図3.9 県道中迫川北（風化区分図）

図3.10 災害地位置図¹²⁾

5) 傾斜区分

重回帰分析の結果、寄与率は0.756と0.800に近い値を示しているため、分析の結果は良いと考える。

土地分類基本調査によると、この地域は山地が大部分を

占め、丘陵地は部分的に見られるにすぎない。このため、傾斜分布も全体として20～30度未満と30～40度未満の地域が広い。20～30度未満の傾斜は、第三系の丘陵・台地・低地を除いて、全域に分布する。傾斜面状での分布の様式は、一般に30～40度未満の傾斜の下方に分布する場合が花崗岩山地では多く見られる。小起伏山地の庄原山地は20～30度未満の傾斜区以下の緩やかな傾斜が山地の大部分を占める¹²⁾。

5. 考 察

本研究では、災害の約1カ月後の広島県北部建設事務所(庄原支所)のご協力のもと現地調査を行った。図1.2のように各地で表層崩壊が発生しており、河川の護岸は跡かたもなく、道路にも土砂が堆積していた。

崩壊は、人工林、天然性アカマツ林、広葉樹林など様々な箇所で行われており、土地利用区分以外での要因が考えられる。

現地では高田流紋岩、吉舎安山岩、備北層群下部層などの表層地質の違いにも要因を考え調査を行った。しかし、各々の箇所で災害が発生していることを考えれば、表層地質区分も最大要因として考えるには危険性は薄いと考える。

庄原市は山地が大部分を占めているため、丘陵・低地は小盆地に部分的に見られるにすぎない。このため、傾斜分布も全体として20～40度未満の地域が広い面積を占める。県道中迫川北線では、合の峠～篠堂～大戸にかけ、全体的に20°以上の傾斜が多く見られる。しかし、山頂付近では所々に急峻な箇所がある。特に、死者1名を出した篠堂地区では山頂部に40°勾配の部分が固まって見える。篠堂地区の東部には分水嶺があり、水の動きが速く、傾斜はこの地区への影響が大きいと考えられる。地形区分も傾斜区分と同様なことが考える。風化区分では、他に比べ重相関係数・寄与率最も良い結果を得た。災害箇所を拡大し比べた結果、県道中迫川北線では風化度 γ が多く見られた。また、

土石流が発生した源頭部には、風化度 γ 及び風化度 β が見られ、この度の庄原豪雨災害には、風化層が大きな要因の一つであるという結果を得た。

この度の土石流は広範囲で起きており、土石流の源頭部は風化の進行した急傾斜が要因で起きた可能性が考えられるものの、別の要因での検討も必要である。降雨状況は大戸観測所で、17時20分から30分の10分間に44 mmもの雨量を観測した。同時刻、近くの観測所では0～10 mmの値でしかないことを考えれば、雨量での区分が重要だと考える。

今後の計画として、重回帰分析結果を用い数量化分析第Ⅱ類により災害発生危険度予測を行っていく。得られた結果と土質試験結果より、災害発生危険箇所・時間を考察していく。

文 献

- 1) 2) 12) 広島県北部建設事務所：『平成22年7月災害について』広島県土木局，2010
- 3) 島重章，後藤忠之輔：『衛星リモートセンシングを適用した広島豪雨災害の予測と評価』，日本地すべり学会，Vol40, No50, pp. 48-58, 2003
- 4) 日本リモートセンシング研究会：「図解リモートセンシング」，日本測量協会，pp. 2-28, 2001
- 5) 財団法人リモートセンシング技術センター (RESTEC)：「宇宙から地球を守るリモートセンシング」，朝倉書店，pp. 4-5, 1998
- 6) JAXA 宇宙研究開発機構
<http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/>
- 7) 8) 河口 至商著：「多変量解析入門Ⅰ」，森北出版社，pp. 3-33, 1973
- 9) 島重章，胡隆之：『山地斜面の崩壊と安定解析に関する研究』，広島工業大学研究紀要，No42, pp. 91-98, 2008
- 10) 11) 13) 国土調査：『土地基本調査図(庄原)』広島県企画部，1978