

衛星リモートセンシングによる宮島山溪の安全性評価に関する研究

島 重章*・白間 宏紀**

(平成22年10月29日受付)

Study on Safety Evaluation of MIYAJIMA by Satellite Remote Sensing

Shigenori SHIMA and Hiroki HAKUMA

(Received Oct. 29, 2010)

Abstract

In our country, the typhoon cause many damages of human and materials in various places every year. Therefore it is necessary to analyze widely position and scale of decomposed granite soil as grand information for preventing the damage. The author investigated the disaster by MIYAJIMA Island where occurred in 2005 by the satellite remote sensing technology. It is difficult to investigate a subsurface in this island where were appointed in the protection area and there were many restriction. Therefore this study tried to develop grand information by the satellite remote sensing technology and predict to disaster by evaluation of the security of the slope.

Key Words: satellite remote sensing, decomposed granite soil, geographical information

1. はじめに

2005年9月6日の台風14号によって、宮島では多くの人的・物的被害を含む土砂災害が発生した。この災害は、9月3日から8日にかけての総雨量が九州、中国、四国地方で月間平均雨量の2倍を超え、宮島では連続雨量234mm・最大24時間雨量200mm/24h・最大時間雨量33mm/hと多くの雨が集中的に降ったことで起こったものである。気象庁では1時間雨量が30mm以上50mm未満の場合、山崩れ・崖崩れが起きやすいと定めている。そのため宮島では地盤が緩くなってしまった山腹斜面で崩壊は発生し、土石流となって下流の民家を襲い、大災害となった。

宮島は特別保護地域であるため災害に対する対策が困難である。その一方で予測と対策が困難な土砂災害として、大規模崩壊および土石流による災害がクローズアップされてきた。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ので、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、災害に対する対策の一環に寄与できると考えた。

本研究では2007年11月23日観測の人工衛星ALOSデータをを用いて、宮島を対象に風化花崗岩土であるまさ土が大量に堆積している位置を調査し、各河川溪流の危険度評価を行った。

2. 宮島の地域特性

1) 地形

地形的な最大の特徴は、北東～南西方向に延長する中国山地と平行に形成された階段状地形であり、「高位面」として、道後山・恐羅漢山・冠山などの山頂脊梁部(高度1000～1300m)、「中位面」として、世羅台地を含む小起伏、緩傾斜の吉備高原面(高度400～600m)、「低位面」として、山麓平坦部の瀬戸内面(高度200m以下)の3つに大

* 広島工業大学工学部都市デザイン工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

別され、いずれも隆起準平原の様相を呈している。

各面の境界付近は勾配が急変し、断層の発達と浸食作用などの影響により溪谷や滝を含む断層谷の発達が著しい。

階段状地形が瀬戸内海沿岸部にまで近接するため、平野部は河川流域と河口付近のみに限定される。

2) 地質

地質的な特徴としては、花崗岩類と花崗岩風化産物であるまさ(真砂)の分布が上げられる。宮島の地質は、広島型花崗岩から構成され、表層地盤はまさ土によって覆われている。

前記した階段状地形や断層谷の形成には、風化・浸食の影響を受けやすい花崗岩の性質が深く関わっており、特に吉備高原の小起伏地から瀬戸内面の平坦地では、花崗岩の深層風化(まさ化)の産物として、まさが表土の下、最大で数十mもの層厚で、基盤岩を覆っていることが分かっている¹⁾。

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

リモートセンシングとは、現象や対象に直接触れないで情報を取り出すプロセスを言う。人工衛星や航空機に搭載されたセンサで得られる電磁波により、地表面あるいは大気中を観測し、その性質を解析する技術のことを指す。

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。リモートセンシングの特性を Fig3.1 に示す²⁾。

リモートセンシングには3つの特徴がある。1つ目の特徴は、「観測の広域性と瞬時性」が上げられる。宇宙を飛行している衛星から地球を観測するため、広い範囲を瞬時に観測することができる。2つ目の特徴は、「反復性」が上げられる。地球観測衛星は一定の周期で地球を周回しているため、繰り返し同じ場所で観測することができる。3つ目の特徴は、直接現地に行かなくても現地の情報を知ることができる「非接触性」が上げられる。山岳地帯やジャ

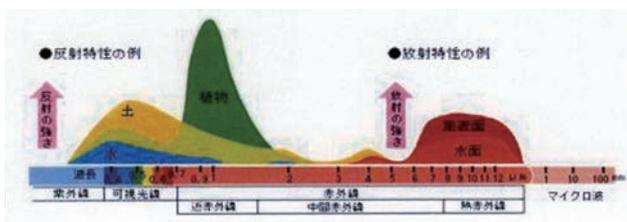


Fig3.1 地上の反射・放射特性

ングルの奥地、砂漠、紛争地域等が対象地域の場合、対象地域に近づくことは非常に困難だが、衛星データを活用することで対象地域の調査をある程度まで行うことが可能となる³⁾。

3.2 使用した衛星データ

ここでは、2006年1月にJAXAが打ち上げた国産人工衛星「だいち」のALOSデータを使用して研究を行う。



Fig3.2 陸域観測技術衛星 ALOS

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った地球資源衛星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。

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⁴⁾。

3.3 衛星データから地盤情報の解明

衛星データから地盤情報を解明するためには、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。

Fig3.3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、目的変数と説明変数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。

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。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、得られた偏回帰係数より最良回帰式を作成する。まず重回帰分析の数学モデルとして最良回帰式が得られる⁵⁾。

Table.3.1 ALOS 搭載センサの緒元

データ	観測日	
ALOS データ	AVNIR- II	2007/11/23
	PALSAR	2007/11/23

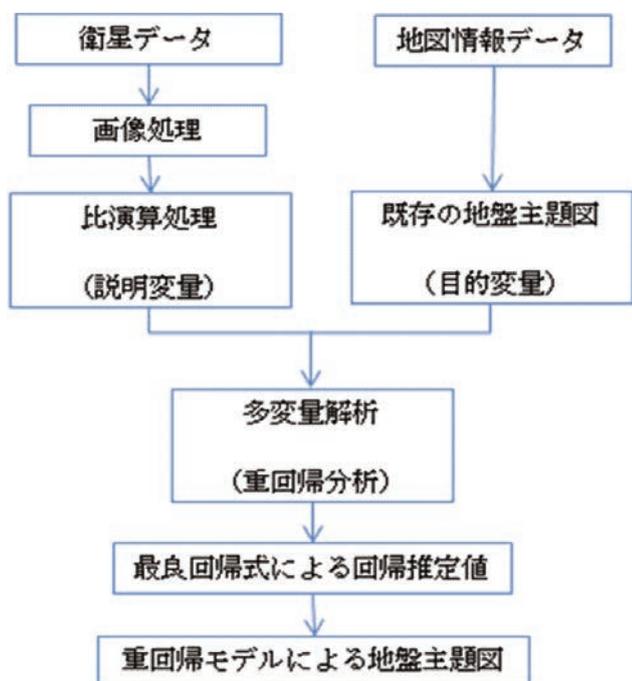


Fig.3.3 重回帰モデル作成の流れ

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）との相関を検討した。以下に各区分の重回帰処理画像を考察する。

1) 傾斜区分

本研究では、傾斜区分図をもとに水域・8度未満・8度～20度・20～30度・30度～40度・40度以上の6つに

指標を定め、重回帰分析を行った。

重回帰分析の結果、重相関係数・寄与率ともに0.8以上、有意確率が0.05以下であるため、分析精度が非常に良いといえる。

傾斜区分図から駒ヶ林・弥山の山頂で傾斜が30度以上の急傾斜になっていることがわかる。各溪流（白糸川・紅葉谷川など）は上流になるにつれて20度以上の急勾配になっており、上流付近に傾斜角40度以上の箇所が存在しており危険度が非常に高いと考えられる。

2) 風化区分

本研究では、既存データをもとに水域・風化度 α （風化層約3m以下）・風化度 β （風化層約10以下）・風化度 γ （10以上）の4つに指標を定め、重回帰分析を行った。風化層とは、まさ土の厚さのことをいう。

重回帰分析の結果、重相関係数・寄与率ともに0.8以上、有意確率が0.05以下であるため、分析精度が非常に良いといえる。

風化区分図より、全体的に風化度 β が広く分布している。次に広く分布しているのが風化度 α である。風化度 α は山間部の谷沿いおよび溪流沿いに露出岩をまじえて多く分布しており、風化度 γ は河川沿いおよび山頂部に存在していることがわかる。

風化度 γ が流路沿いに存在する白糸川と紅葉谷川では、花崗岩が風化し流れ出たことに原因があると考えられる。風化層が厚くなればなるほど、降雨などの影響により土砂災害が発生しやすくなる。このようなことから、白糸川と紅葉谷川の上流部では土砂災害が発生しやすい箇所だと推測できる。

また傾斜区分図の急傾斜箇所と、風化区分図の風化層の厚い箇所とが重なっている場所では、非常に土砂災害が発生しやすいと考えられる。2007年11月23日に観測した衛星を使用し、同じ解析方法により宮島を対象に研究したところ白糸川上流部に危険度大が多く存在しており、災害がいつ起きてもおかしくない状態であった。事実、その箇所で2005年9月6日に台風14号の影響により土砂災害が発生している。本研究で使用している衛星データは、災害後に観測されたデータであるが、急傾斜箇所と風化層の厚い箇所が重なっている箇所が所々存在していることがわかる。

3) 雨量区分

本研究では、目的変量にFig.3.4に示す雨量データを用いている。区分においてデータでは5区分されている。今回はその中の重要であると思われる雨量の大きいほうから3区分抽出している。そのため、データでは宮島は2区分であるが重回帰処理画像では水域を含めた4区分となっている⁶⁾。

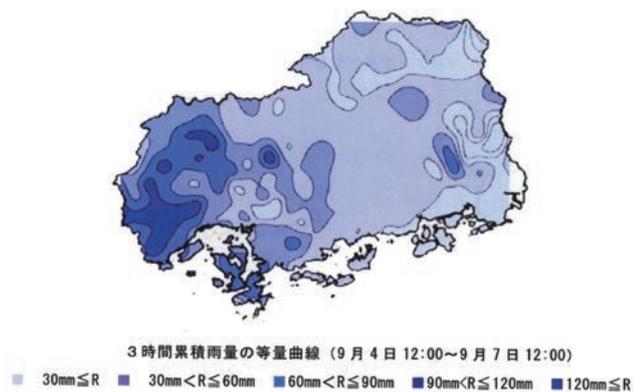
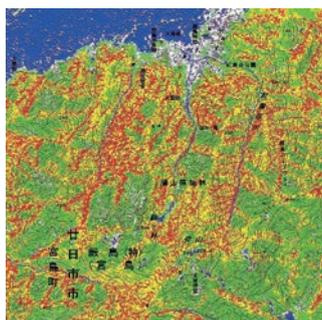


Fig3.4 使用雨量データ



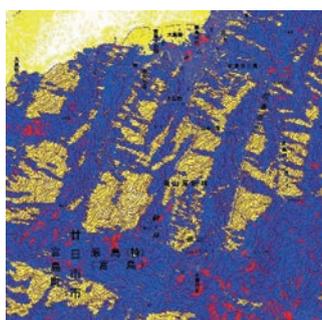
傾斜区分	DN 値	色
水域	0~95	■
8度未満	96~160	■
8~20度	161~210	■
20度~30度	211~240	■
30度~40度	241~250	■
40度以上	251~255	■

Fig3.5 傾斜区分画像



風化区分	DN 値	色
水域	0~45	■
α 浅い	46~150	■
β 中程度	151~245	■
γ 深い	246~255	■

Fig3.6 風化区分画像



雨量区分	DN値	色
水域	0~95	■
60~90mm	96~160	■
90~120mm	161~250	■
120mm以上	251~255	■

Fig3.7 雨量区分画像

Fig3.5・3.6・3.7に傾斜区分・風化区分・雨量区分の重回帰分析結果を画像として示す。

4. 危険度評価

4.1 数量化Ⅱ類

本研究は、重回帰処理により作成した重回帰モデルによる地盤情報データを用いて、多変量解析を行った。その多

変量解析の中でも特に判別分類を目的として行うことができる数量化Ⅱ類を用いることで、宮島山溪の安全性評価を行った。数量化Ⅱ類を用いた理由としては、「傾斜」という1つのカテゴリーだけで判断するのではなく、「風化」や「土地利用」など様々な要因と一緒に判断することで、より良い精度の危険度評価ができると考えたからである。

数量化分析Ⅱ類では、危険度評価をする際に基準（外的基準）となるものが必要になる。危険度を評価するにあたり、評価要因として「傾斜区分」・「風化区分」・「土地利用区分」などが考えられる。調査地域の宮島では、そのほとんどが傾斜のある山間部であるという点と風化した表層地質であるという点から、本研究では外的基準に傾斜区分と風化区分を用いて解析を行うことで危険度評価が得られると考え、解析を実施した⁷⁾。

また土砂災害の大きな要因として雨量がある。ここでは雨量を重回帰処理・数量化Ⅱ類分析を行い、比較することにより、位置情報に加え時間を予測することができる考えた。

Fig4.1に数量化Ⅱ類分析の概略図を示す。

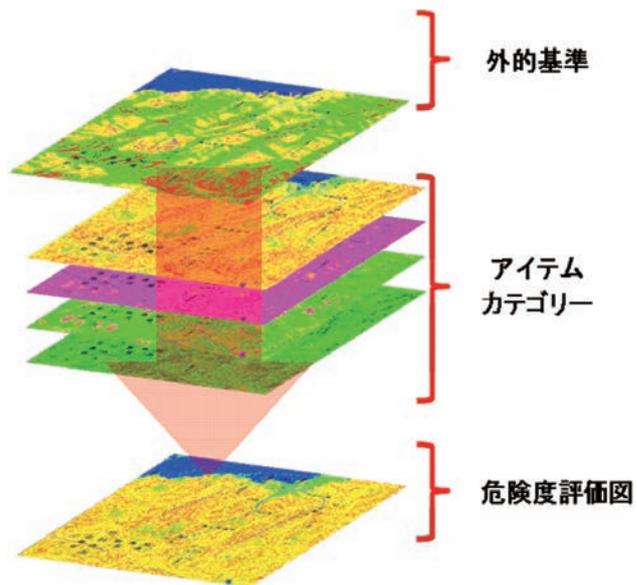


Fig4.1 数量化Ⅱ類概略図

4.2 数量化Ⅱ類作成図

数量化Ⅱ類の結果として、スコア分布表が得られる。そのスコア分布表からスコア分布図を作成し、危険度評価図の作成を行った。

外的基準に傾斜を用いた評価図について考察する。スコア範囲が0.43~0.55を危険度大とし、スコア範囲が-0.21~0.43を危険度中とした、これを画像で見ると、山間部のほとんどが危険度中、各溪流を中心に危険度大の傾向があるといえる。

スコア範囲が-0.21~-2.05の危険度小の範囲は山頂付近に少し存在するのと、厳島神社などの市街地付近に存在

している。このことから傾斜の緩い地域では危険度が少ないといえる。スコア範囲が $-3.60 \sim -2.05$ の箇所は水域を含むため、危険度の評価には加えない。Fig4.2に外的基準を傾斜とする画像を示す。

外的基準に風化を用いた評価図について考察する。スコア範囲が $-3.96 \sim -1.81$ を危険度小とした。危険度小は主に水域と風化度 α が関係しているため、海に多く存在している。順にスコア範囲 $-1.81 \sim 0.38$ の危険度中は風化度 β と風化度 γ で構成されているため、島全体が危険度中を示している。スコア範囲が $0.38 \sim 0.99$ の危険度大は、各溪流に沿うようにして表れている。このことから風化度 β と風化度 γ で島全体が覆われているため、特に溪流付近では非常に危険度が高いといえる。

従って、宮島山溪の安全性は、山地溪流に沿った流路周辺の山間部に危険性が高いと思われる要因を確認することができたことから、特にこの地域の現地点検が今後の対策として重要であると考えられる。Fig4.3に風化の画像を示す。

外的基準に雨量を用いた評価図を見てみると、山頂付近や傾斜が急な箇所に危険度大が存在している。偏相関係数とアイテムとの関係を見てみると傾斜の値が際立って低いいため、数値が低いほうが分析画像に影響を与えていると考える。Fig4.4に雨量の画像を示す。

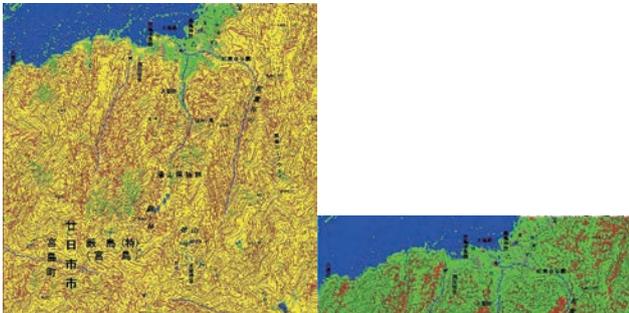


Fig4.2 傾斜画像

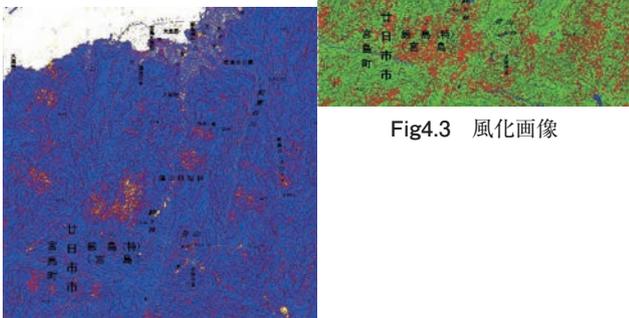


Fig4.3 風化画像

Fig4.4 雨量画像

4.3 危険度評価図

白糸川付近の危険度評価図では、外的基準に傾斜区分・風化区分を用いた2枚の画像とも河川の中流で危険度大が多くみられた。次に外的基準に雨量を用いた図を見てみる

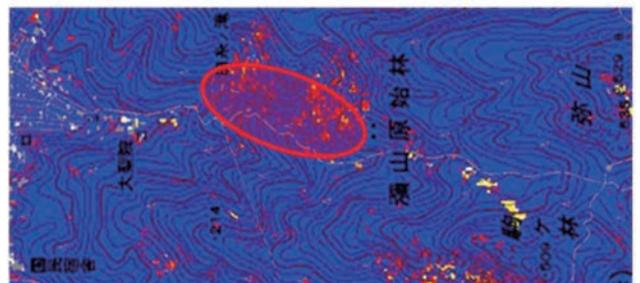
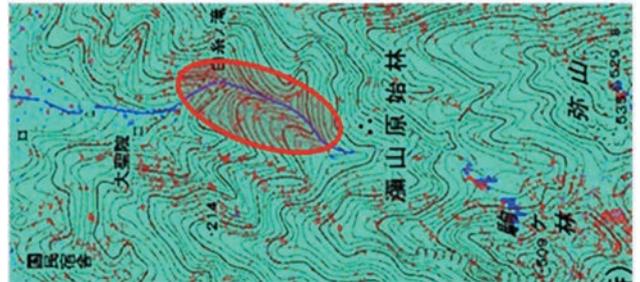
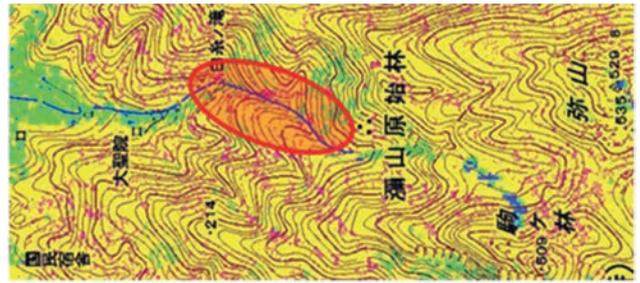


Fig4.5 白糸川付近の危険度評価図

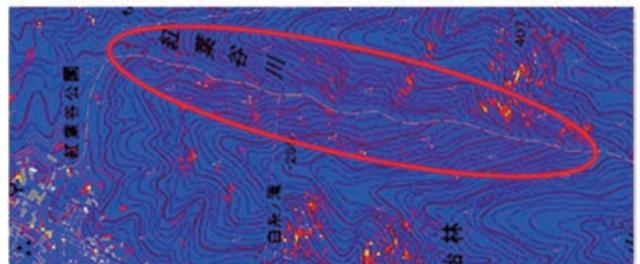
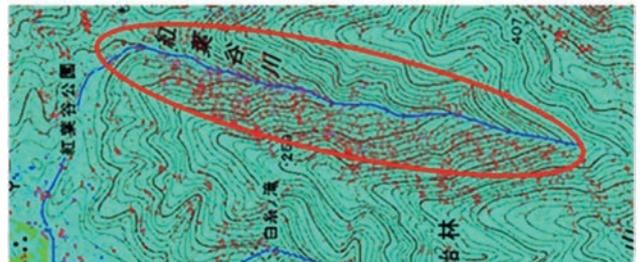
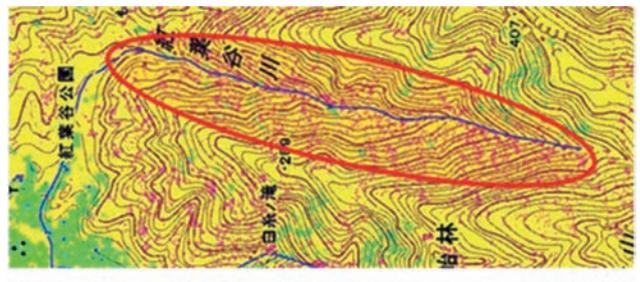


Fig4.6 紅葉谷川付近の危険度評価図

と、こちらの中流域に危険度大が見られた。3枚の画像において、危険度大が重なる個所では、3時間累積雨量が120mmを超える場合、崩壊の可能性が極めて高いといえる。よって、白糸川の中流域では今後ハードな対策が必要であると言える。

紅葉谷川付近の危険度評価図では、外的基準に傾斜区分・風化区分を用いた2枚の画像とも河川に沿って広い範囲で危険度大が一致している。しかし、外的基準に雨量を用いた画像を見てみると、危険度大は少ない。よって紅葉谷川付近の地盤は風化が進んでおり危険な状態であるが、広島県が昭和20年の宮島災害の後に施工した砂防事業が行き届いているため、豪雨による土砂災害の発生は少ないと考ええる。

白糸川の危険度評価図を Fig4.5 に示し、紅葉谷川の危険度評価図を Fig4.6 に示す。

5. まとめ

本研究では、調査地域である宮島のほとんどが傾斜のある山間部という点と、風化しやすい地質であるという2点から、外的基準に傾斜区分と風化区分を用いて解析を行った。

白糸川と紅葉谷川について評価してみると、白糸川・紅葉谷川両方で危険度大が中流域に多く存在することがわかった。しかし、砂防事業が行き届いている紅葉谷川では危険度大が多く存在しても被害が最小限に抑えられることが考えられる。

雨量と危険度評価図との比較では、白糸川中流域で危険度大が重なり、豪雨によって崩壊する可能性が高いと考えられる。紅葉谷では、白糸川よりは雨量によって災害が起き難いと考えられるが、風化が進んでおり傾斜も急である

ため、地震など違う誘因で地盤災害が起きる可能性が高いと考える。

謝 辞

本研究を行うにあたって、ENVIの解析処理にあたり大串 文誉氏（アイティーティー・ヴィアイエス株式会社）並びに、橋口 翔氏（広島工業大学大学院 工学系研究科 建設工学専攻）に協力していただきました。ここに記して感謝致しています。

参考文献

- 1) 広島の地形・地盤
http://www.jiban.co.jp/jibankaisetu/todouhukuken/hirosima/jiban_hirosima.htm
- 2) リモートセンシング RS 入門
<http://www2.ipcku.kansai-u.ac.jp/~moto/GISContents/28.htm>
- 3) 山口 靖（名古屋大学）、八木 令子（千葉県立中央博物館）、小田島 高之（千葉県立中央博物館）：はじめてのリモートセンシング 地球観測衛星 ASTER で見る、ジオテクノス株式会社、pp 4、2004年3月
- 4) JAXA 宇宙航空研究開発機構 http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/sat_menu_j.html
- 5) 河口 至商著：多変量解析入門Ⅰ、森北出版社、pp 3～pp33、1973年
- 6) 平成17年(2005年)台風14号災害緊急調査団報告書、社団法人地盤工学会中国支部
- 7) 河口 至商著：多変量解析入門Ⅱ、森北出版社、pp69～pp98、1978年