

全球衛星観測雨量データの海外における土砂災害への活用技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 25

担当チーム：水災害研究グループ、土砂管理研究グループ（火山土石流）

研究担当者：清水孝一、岡積敏雄、石塚忠範、バドリ・シュレスサ

【要旨】

本研究は、レーダ雨量計や気象観測点が密に整備されていない途上国において、多数の地上観測を必要としない、衛星観測雨量データを用い国全域あるいは地域レベルを対象とした土砂災害の危険度を推定する技術を開発することを目的としている。

キーワード：土砂災害危険度推定、衛星雨量、GSMaP、モラコット、途上国

1. はじめに

近年、台風モラコットによる台湾での大規模深層崩壊(2009)、レイテ島での大規模地すべり(2004)など、集落がまるごと失われるような大規模土砂災害が発生している。

途上国においては、気象観測点が十分に整備されておらず、国および地方政府が管内の災害危険度を判断する情報が不十分である。図-1に土砂災害警戒情報に関するイメージを示す

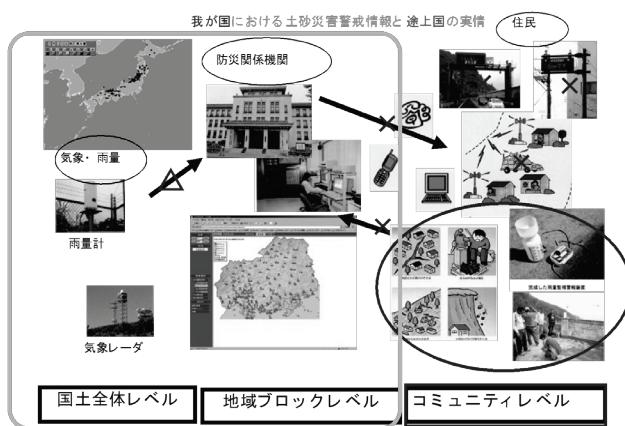


図-1 我が国と途上国の土砂災害警戒情報に関するイメージ

一方、地域コミュニティレベルの警戒避難体制においては、現地で入手可能な材料を用いた簡易かつ安価な雨量計および警報装置が開発され、その普及が進められているところである。

大規模土砂災害の危機管理対応のため、多数の地上観

測を必要としない、国全域あるいは地域レベルを対象とした土砂災害の危険性を推定する技術が求められている。

本研究は、レーダ雨量計や気象観測点が密に整備されていない途上国において、多数の地上観測を必要としない、衛星観測雨量データを用い国全域あるいは地域レベルを対象とした土砂災害の危険度を推定する技術を開発することを目的としている。

2. 研究の内容

2.1 研究概要

本研究の概要は以下の通りである。

- ① 大規模な土砂災害の事例と、その原因となった降雨データ(衛星・計器等)を収集整理する。
- ② IFAS が有する補正された全球衛星観測雨量データを山岳地域に用いるための検証を行う。
- ③ 2009年(平成21年)9月に台湾で発生したモラコット台風災害、山口県防府市における土砂災害などを対象に、全球衛星観測雨量データを用いた各種土砂災害の危険度解析を行いその結果を検証する。
- ④ 検証結果を評価し全球衛星観測雨量データを用いた土砂災害の危険度解析手法を提案する。

2.2 衛星観測雨量

表-1に現在準リアルタイムに無償提供されている衛星観測雨量のプロダクトを示す。それぞれ、利用しているセンサの組み合わせと異なるアルゴリズムにより、空間解像度および時間解像度が異なる。

表-1 リアルタイム人工衛星観測雨量の諸元

プロダクト名	3B42RT	CMORPH	QMORPH	GSMaP
提供元	NASA/GSFC	NOAA/CPC	NOAA/CPC	JAXA/EORC
対象範囲	50N~50S	60N~60S	60N~60S	60N~60S
空間解像度	0.25°	0.25°	0.25°	0.1°
時間解像度	3時間	3時間	30分	1時間
配信遅れ時間	10時間	15時間	2.5時間	4h時間
座標系	WGS			
データ期間	Dec. 1997~	Dec. 2002~	Recent 2days	Dec.2007~
利用しているセンサ	TRMM/TMI Aqua/AMSR-E AMSU-B DMSP/SSM/I IR	Aqua/AMSR-E AMSU-B DMSP/SSM/I TRMM/TMI IR		TRMM/TMI Aqua/AMSR-E ADEOS-II/ AMSR SSM/I IR AMSU-B

本研究では空間解像度および時間解像度の高いJAXAが提供するGSMaP(1時間ごとに観測4時間遅れの提供)の使用を基本とするが、プロダクトの違いによる解析雨量の違いを検証するとともに、過去に遡って長期間の解析を行うことを想定してNASAが提供する3B42RT(3時間ごとの観測10時間遅れの提供)についても使用することとした。

3. 研究内容と成果

3.1 既往大規模な土砂災害における適用性検証

3.1.1 台風モラコットの概要

台風モラコットは、2009年(平成21年)8月3日に発生、8月7日夜半東海岸に上陸し8月8日午後西海岸に抜け台湾南部を横断した。この間、8月7日から9日の3日間雨量は世界記録に匹敵する総降雨量を記録し、中南部に多大な洪水・土砂災害被害をもたらした。

なかでも、高雄県少林村において一集落丸ごと被災するような大規模な土砂災害が発生し、“深層崩壊”という事象を広く世界に認識させるに至った。

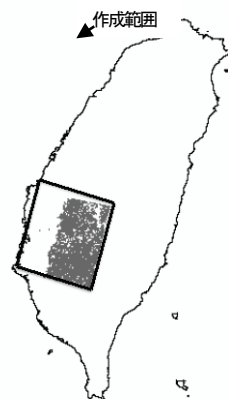
3.1.2 台風モラコットによる土砂災害分布図の作成

台風モラコットによる土砂災害は、少林村における深層崩壊ばかりでなく、多数のがけ崩れや土石流が集中して発生している事例が見られることから、

ALOS(AVNIR-2)のモラコット台風災害前後の画像を比較し土砂災害分布図を作成した。使用した画像は表-2のとおりである。台湾は2008年シンラコウ、2009年モラコットと重ねて台風災害に見舞われており、解析に用いた画像の観測期間にこれら台風が来襲しているが、シンラコウでは台湾北・中部地域を中心に被害が記録されており、対象地はモラコットによる災害がシンラコウによる災害をはるかに上回っていることからモラコットによる災害分布が得られるものとし画像を選定した。

表-2 解析画像の諸元

観測日	シーンID	軌道	フレーム	備考
2008/1/21	ALAV2A106053130	98	3130	台風前
2009/12/11	ALAV2A206703130	98	3130	台風後



解析画像範囲を図-2に示す。解析方法は、小山内ら(2009)によるものとした。(図-3)。図-2の囲み範囲が表-2に示した画像の範囲である。この範囲を基本フローにより解析を行い、その結果に対し傾斜3°以下、標高50m以下を傾斜・標高フィルタとしマスクし、得られた抽出範囲が囲み右側の描画範囲である。

図-2 土砂災害分布図作成範囲

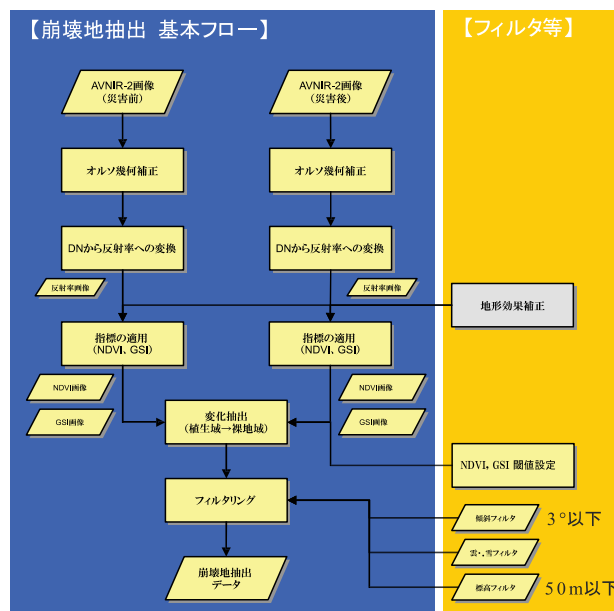


図-3 画像解析フロー

3.1.3 衛星雨量データの作成

衛星雨量データを作成した範囲を図-4に示す。衛星雨量データは、IFASのデータインポート機能を用い、インポートしたデータの欠損値の穴埋め、補正を実施した。IFASにはGSMaPデータを補正する機能を備えており、補正GSMaPデータを含む、4種類の雨量データを、衛星雨量GSMaPの空間解像度である10kmの大きさに出力した。図-4は2009年8月8日14時(GMT)のGSMaPデータを用いその作成範囲を示したものである。

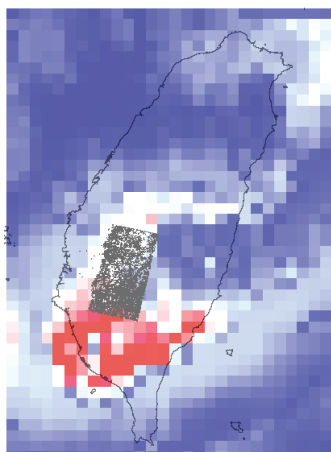


図-4 衛星雨量データ作成範囲

雨量データには、3B42、GSMaP 未補正、GSMaP 補正に加え、これらの衛星雨量と比較検証するために台湾気象局より提供された地上観測雨量を用いた。なお、データ解析に用いた期間は、平成21年8月7日から8月10日までである。

3.1.4 衛星雨量データの解析

3.1.3で作成した雨量データを用い、我が国で運用されている土砂災害警戒避難基準雨量の連携案により解析を行い、その結果を比較分析した。

比較分析するのは、大規模な被害を発生させた少林村の深層崩壊が位置するピクセル(Xaolin)、小規模な斜面崩壊、土石流が集中して発生しているピクセル(Meishan)、2008年のシンラコウにより土砂災害が多発した台中の九分二山を含むピクセル(Changxing-Qiao)の3つを対象とした。九分二山では、2004年九九地震により大規模な地すべりが発生し、天然ダムが形成された

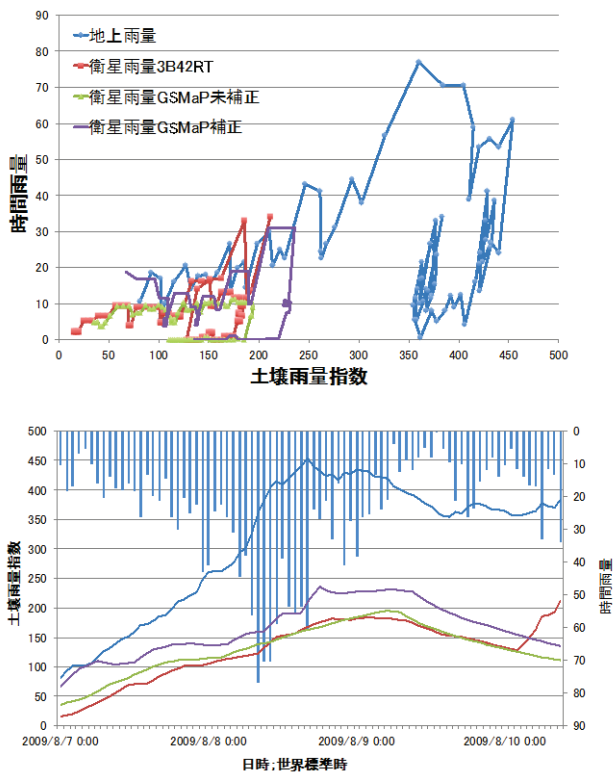


図-5 Xaolinにおける雨量解析結果

ほか、表層崩壊が多数発生するなどの災害が発生している。しかしながら、モラコット台風では大きな被害は発生していない。

3.1.5 モラコット台風の解析結果の分析

前項の解析結果より、地上雨量に比較して衛星雨量が

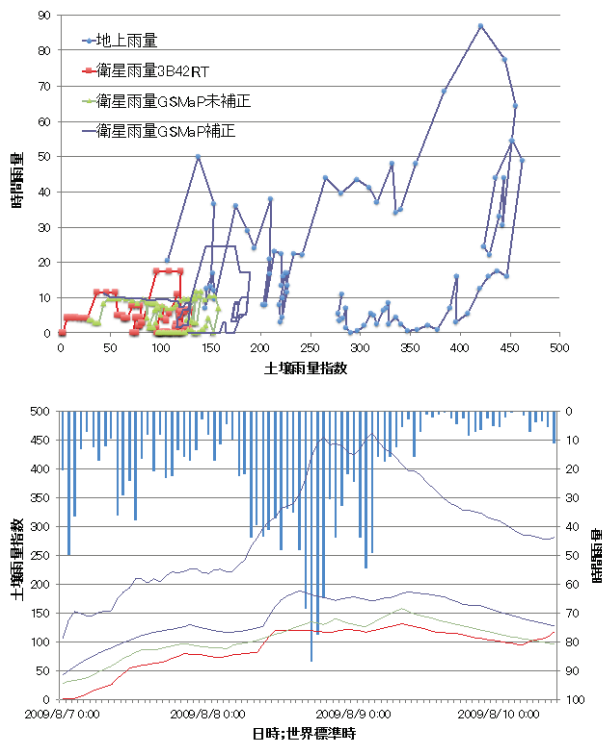


図-6 Meishanにおける雨量解析結果

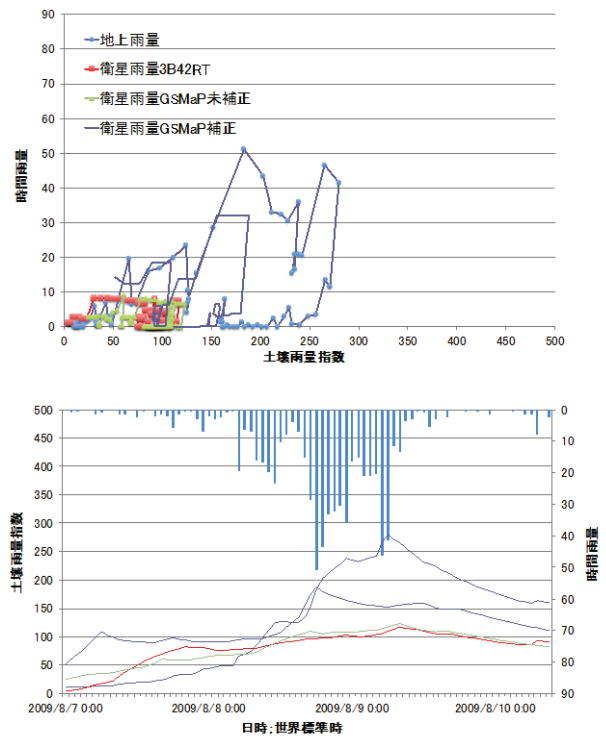


図-7 Changxing-Qiaoにおける雨量解析結果

いずれも過少に算出されていることが分かる。この傾向は、これまでも衛星雨量に関する研究結果と調和的である。

この原因として考えられるのは、表-2に示したように衛星雨量データは複数の地球観測衛星データより算出されていることによるものと考えられる。衛星雨量データの算出には、「可視赤外センサ」、「マイクロ波放射計」、「降水レーダ」の3種類の衛星観測データが用いられている。このうち、可視赤外センサの主なもの気象衛星「ひまわり」のように静止衛星が挙げられる。静止衛星からは雲頂温度（すなわち、雲の高さ）と地表での降雨強度には統計的に一定の関係があるという仮定をもとに降雨量が算出される。軌道距離が約36,000kmあり、常時データを取得できる一方で、地上空間分解能が大きく、観測する雲の分布がすなわち降雨の分布とならない場合があることから、雨量算出時に大きな誤差を生ずることに繋がっている。

マイクロ波放射計は、地表面や大気、雨粒から自然に放射される微弱なマイクロ波を捉えることにより降雨や大気の状態などを観測する。可視赤外センサの弱点を補うものとして開発された。しかし、雲の分布と降雨の分布は必ずしも一致する訳ではなく、また雲頂温度と降雨強度の関係も必ずしも全球で一定ではないという課題がある。

降水レーダは、自ら発射した電波が雨粒や雪粒子に当たり、反射して戻ってきた電波（降水エコー）の強度から雨や雪の強さを推定する装置である。これまで観測がほとんどなかった海上での台風の3次元構造を捉えることによりさらなる精度向上が図られているものである。

マイクロ波放射計および降水レーダは、地球周回衛星に搭載され約600kmと静止衛星に比べ低い高度より観測することから、空間分解能が小さい観測データが得られるばかりでなく、用いているセンサの特質から可視赤外センサに比較して降雨量算出時の誤差が小さい。

衛星雨量は、これらのデータを用い算出されているが、常時観測される静止衛星の可視赤外センサ観測データをベースにして、間欠的に観測される周回衛星観測データにより、周回衛星が観測していない時間帯のデータを補正して算出されている。

台風モラコットがもたらした降雨は、約3日間降り続き、世界記録に匹敵する総雨量を記録した。このように長期間強い雨が降り続く場合、周回衛星の観測頻度を高める。あるいは降雨量算出アルゴリズムの改良などの対応策が必要とされる。

モラコットにより長期間降り続く大きな総降雨量を記録し、深層崩壊あるいは土砂災害が集中したXaolin(図-5)、Meishan(図-6)に比較して、今回災害の少なかったChangxing-Qiao(図-7)では、地上雨量観測と衛星雨量の差が小さくなっていることが確認される。

Changxing-Qiaoでは他の2箇所に比べ小さいもののスネークカーブの軌跡、土壌雨量指数、時間雨量の差は地上観測雨量、衛星雨量のそれを比較して小さくなっていることが確認できる。

3.1.6 山口県防府市土砂災害の概要

図-8に多数の死者・負傷者が発生した、山口県防府市真尾地先にある国土交通省の水文観測所における時間雨量および土壌雨量指数について、災害発生日時をはさむ平成21年6月初頭から8月末までのグラフを示す。

平成21年7月の1ヶ月の雨量は688mmに達し、7月の平年値294.9mm/d(1981~2110年(防府AMeDAS))を上回る雨量を記録している。また、土砂災害が多発した平成21年7月21日以前においても30mm/hを超える時間雨量、7月1日から災害が発生した20日までの総雨量として213mmを記録していた。

3.1.7 衛星観測雨量による土砂災害警戒雨量解析

土砂災害が発生した一連降雨(平成21年7月20日から7月23日)を対象に土砂災害警戒雨量の解析を行った。解析対象には、多数の死者・負傷者が発生した、山口県防府市真尾地先を含むセルの降雨データを採用した。

図-8に地上観測雨量および衛星観測雨量より作成したスネーク曲線(上段)、時間雨量・土壌雨量指数(下段)のグラフを示す。グラフは実線:地上観測雨量、点線:3B42RT雨量、破線(濃):GSMaP補正雨量、破線(淡):GSMaP未補正雨量によるグラフを示している。

GSMaPの補正は、雨域の移動を考慮して前後1時間の雨量を用い平均化を行っている。

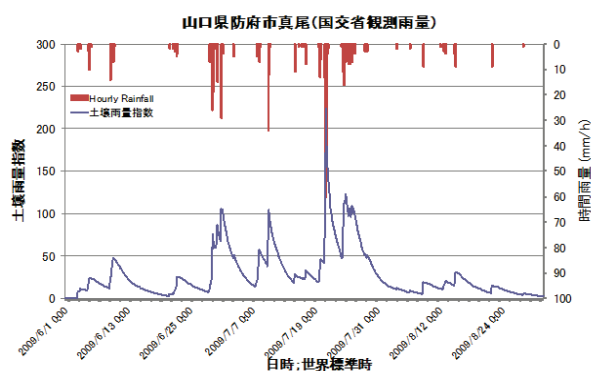


図-8 防府市真尾観測雨量 (Jun 2009~Aug 2009)

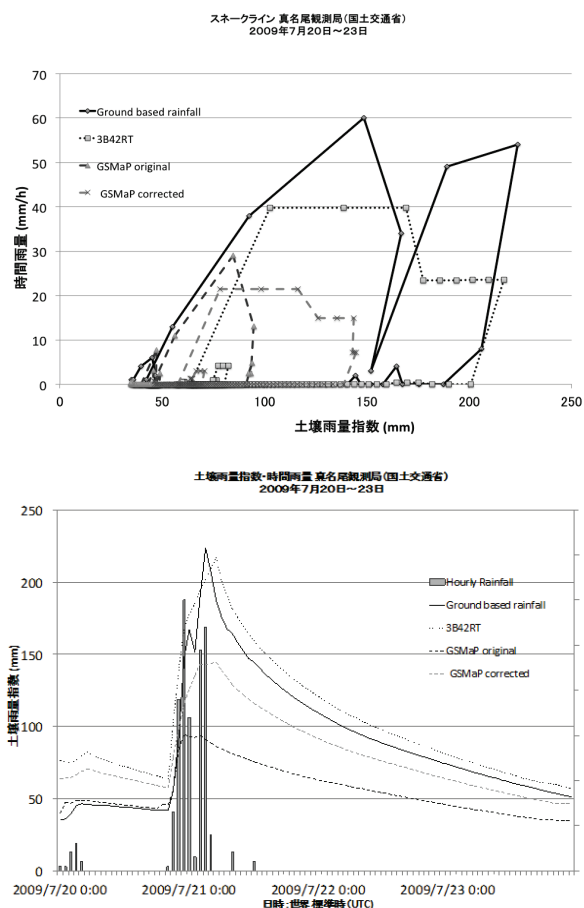


図-9 地上観測雨量と衛星観測雨量の比較

衛星観測降雨量が実測値より過少に算出されていることから、スネーク曲線の形状が実測値のそれに比べ縦方向に縮んだ形状となっている。一方、土壌雨量指数はその地上観測雨量値による時間毎のそれと時系列変化の形状が調和的であると見ることができる。

さらに、衛星雨量と地上観測雨量の関係を詳しく分析するために、横軸に地上観測雨量、縦軸に衛星観測雨量をとり、時間雨量および長期雨量指標（土壌雨量指数）について分散図を作成した。（図-10～図-12）

今回分析した山口県防府市真尾地先における一連降雨（平成21年7月20日から23日）においては、図-10に示したように地上観測雨量に対して衛星雨量は全て小さく算出されている。加えて、衛星雨量3B42と衛星雨量GSMaPのIFASによる補正值に比べ、GSMaPの未補正值は地上雨量との相関がそれらに比べ低く算出されている。

一方、長期雨量指標である土壌雨量指数においては、図-11に示したように地上観測雨量と衛星雨量が近い値を取り、それらの相関はいずれの衛星雨量においても高

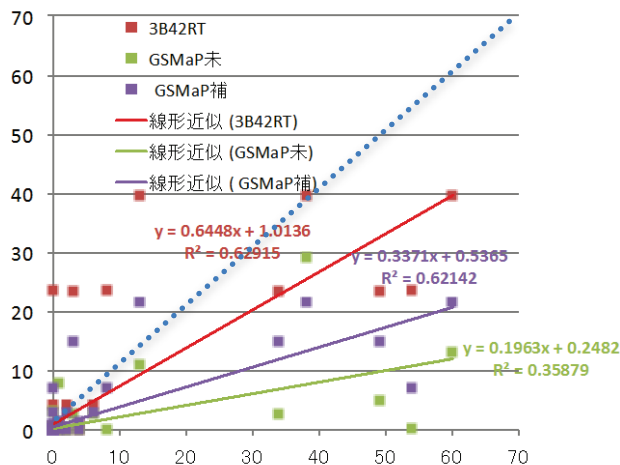


図-10 地上観測雨量と衛星雨量の時間雨量
(2009/7/20～2009/7/23)

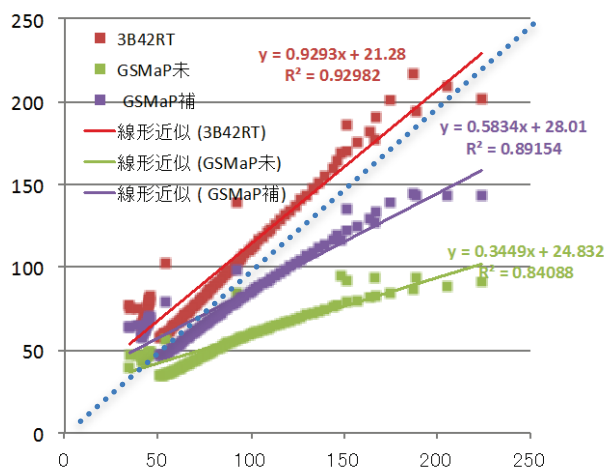


図-11 地上観測雨量と衛星雨量の土壌雨量指数
(2009/7/20～2009/7/23)

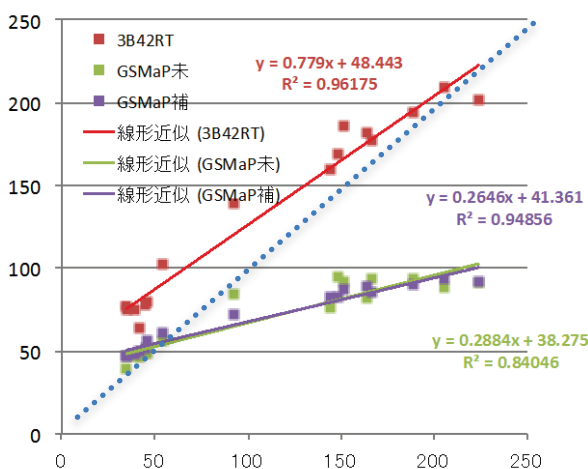


図-12 地上観測雨量と衛星雨量の土壌雨量指数
降雨時 (2009/7/20～2009/7/23)

いことが認められる処理に用いるデータフォーマットは、GISに

しかしながら、図-11 は一連降雨期間の全区間の土壌雨量指数を対象に描画したものであり、無降雨時間においては、雨量の入力が無く、土壌雨量指数のパラメータにより一定に低減することから比較対象とすることは適当ではない。このため、図-12 として降雨時の土壌雨量指数を抽出して同様に散布図を作成した。

その結果、3B42 においてはやや過大気味に算出される一方、GSMaP においては未補正、補正ともに過少に算出されることが分かる。しかしながら、いずれの衛星雨量においても地上観測雨量の土壌雨量指数との高い相関が得られたことから、衛星雨量を土砂災害の危険度評価に利用することが可能であると判断できる。

3.2 解析プログラムの基本設計

図-13 にプログラムの基本構造を示す。

図の背景には IFAS の基本構造を示す。IFAS は、インターネットに公開されている数値地形データ、流出解析のパラメータ設定に必要となる地表被覆、土地利用などのデータと衛星雨量をダウンロードし、河川水系モデルを作成、流出解析を行うパッケージソフトウェアである。

土砂災害の危険度を推定する解析プログラムは、右下に示す土砂災害の危険度推定機能として、IFAS でインポート、補正を行った雨量データを引き継ぎ、「提言案」、「連携案」により降雨解析を行い、設定された CL (土砂災害警戒避難基準) により危険度推定とその結果を表示する基本構造を有するものとした。

図-14 に土砂災害危険度推定機能の基本構成を示す。初期値の設定や対象範囲と対象期間等を設定し、IFAS から雨量データをインポートする初期処理。判定用実行雨量を算出する処理 1、危険度推定を行う主処理と結果処理。処理は以上の 4 段階から構成されるものとし、それぞれ



図-13 解析プログラムの基本構造

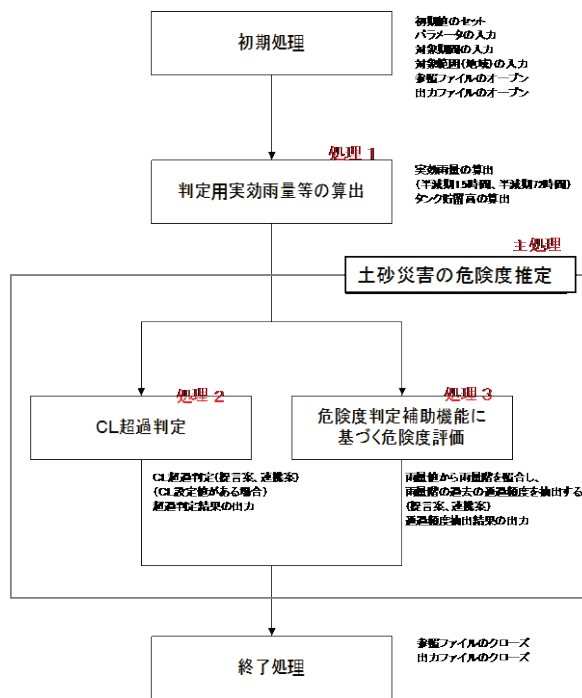


図-14 土砂災害の危険度推定機能の基本構成

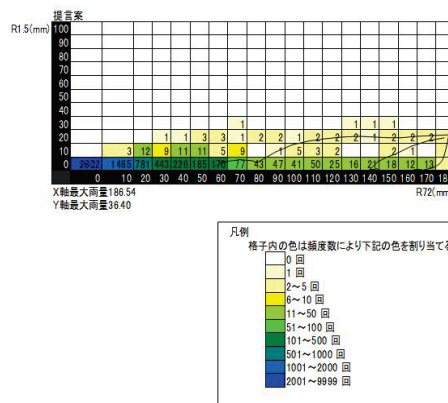


図-15 危険度判定補助機能の出力結果イメージ

より解析ができるよう中間ファイルも含め汎用な ASCII 形式でファイルごとに位置情報をもつものとした。CL の設定には土砂災害の発生情報が不可欠であるが、途上国において、土砂災害発生に関する情報が整備されていないことを考慮して、処理 3 に CL が設定できない場合、現在の事象がこれまでどの程度の頻度で経験した事象であるかを明確にし、それに基づき危険度を推定するための補助機能を設けた。図-15 にその出力イメージを示す。

3.3 解析プログラムの開発



図-16 解析プログラム基本画面

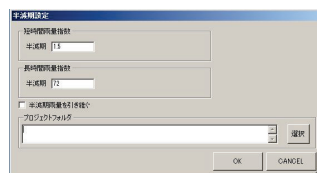
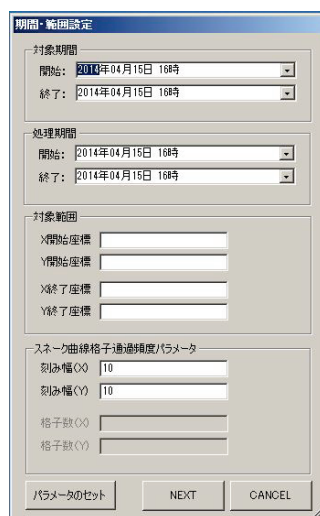


図-17 解析プログラム初期設定画面

3.2 で行った基本設計に基づき、土砂災害の危険度解析プログラムを開発した。

図-16に基本画面を示す。操作手順は、①条件設定→②中間ファイル作成→③判定補助ファイル作成→④判定ファイル作成→終了となり、図-14の基本構成にある「初期処理」→①「処理1」→②、「主処理」→③④に相当する。

図-17に解析プログラム初期設定画面を示す。

図-17 上図は、解析する期間の年月日時とその地図範囲をメッシュ No. で設定するものである。また、スネーク曲線の格子の大きさを最後に入力する。期間と地図範囲は、「パラメータのセット」をクリックすることにより、解析するデータの全範囲をそれぞれの項目に自動入力することもできる。

図-17 中図は、連携案で用いる長期雨量指標である土壌雨量指数を算出するパラメータを設定するものである。初期値として土壌雨量指数のパラメータがセットされる。

図-17 下図は、提言案の雨量指標となる半減期を設定するものである。

長期間または広範囲の解析を行うには、長時間を要することから、計算を中断・再開する機能および一旦計算した後で新たに入手した雨量データを用い、引き続き計算を実施するために、直前の計算結果を引き継ぐ機能を有している。

計算結果は、図-16 基本画面にある結果の表示により時

間毎にアニメーション表示を行い確認できる機能を備える。

計算結果は、汎用性を考慮して ASCII-CSV で出力し、詳細な分析や既存の判定プログラムで利用できるものとした。

4. まとめ

本研究では、まず海外における大規模な土砂災害を引き起こした台風モラコットを対象として衛星雨量の検証を実施した。検証に先立ち、土砂災害の発生位置情報を得るために、「ALOS だいち」の AVNIR-2 画像により崩壊地分布図を作成し、該当する範囲を対象として、我が国の土砂災害警戒避難基準雨量算出方法による衛星雨量を用いた危険度評価の適用性について検討した。

その結果、深層崩壊など多大な被害が及んだエリアでは、地上観測雨量との差が大きく見られた。その差が小さかった Changxing-Qiao のデータを精査すると、我が国で土砂災害をもたらす規模の雨が記録されており、モラコットのような極大雨量に適用することは難しいが、発生頻度が高い降雨では適用できる可能性が確認された。

つぎに、降雨データ、災害発生データが整備されている我が国において、衛星降雨データの適用性を検討した。

2009 年山口県防府市に多大な被害をもたらした土砂災害を発生させた一連降雨を対象として検討した結果、連携案で短期雨量指標となる時間雨量について、地上観測雨量に比較して衛星雨量が過少に算出されたばかりではなく、相関が低く土砂災害の警戒避難に用いるには不相当であることが分かった。一方、長期雨量指標（今回は土壌雨量指標指数を用いた）は、3B42 でほぼ同じで GSMaP においては過少であったが、いずれも地上雨量との相関が高かったことから、土砂災害の危険度推定に用いることが可能と考えられる。

衛星雨量には観測から提供されるまで最短で4時間のタイムラグがあることから、警戒避難基準雨量に用いることはできない。

しかしながら、普通雨量観測やレーダ雨量観測等の機器およびネットワークが整備されていない途上国で、衛星雨量による土砂災害の危険度情報は、現地から離れた防災行政機関における危機管理対応に重要な情報になると考えられる。

最後に、ICHARM が有する IFAS(Integrated Flood Analysis System)でインポート、補正された雨量データを使用して 面的な土砂災害危険度情報を作成するプログラムを開発した。これを利用することで、IFAS によ

る洪水予警報情報を作成する範囲において、土砂災害の危険度情報を作成することが可能となり、水文観測機器が十分に整備されていない地域において、降雨に起因する水・土砂災害のソフト対策を進める基盤技術を構築することが可能となった。

参考文献

- 1) 衛星観測雨量；例えば、TRMM JAXA
http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index_j.html
- 2) 2009台風Morakotによる台湾の災害；例えば藤田，2009年台風MORAKOTによる台湾水・土砂災害，京都大学防災研究所年報，第53号 A . p.73- 83, 2010
- 3) 小山内ら，「地球観測衛星 ALOS(だいち)による 広域を対象とした崩壊地の抽出手法について(その 1)」、「同(その 2)」、平成 21年度砂防学会研究発表会概要集,pp.420-423
- 4) 土砂災害の警戒避難基準雨量；例えば瀬尾ら，土砂災害警戒避難基準雨量の課題と改良について，砂防学会誌，Vol.53, No.6, p.37-44, 2001
- 5) 土壌雨量指数；例えば岡田ら，土壌雨量指数，天気，vol. 48, no. 5, pp. 349-356, 2001.
- 6) 2009山口県防府市土砂災害；例えば西ら，平成21年7月中国・九州北部豪雨による山口県防府市の土砂災害，土木技術資料 Vol.51-No.9. p.4- 7, 2009
- 7) IFAS；(独) 土木研究所ICHARM
<http://www.icharm.pwri.go.jp/research/ifas/index.html>
- 8)

A STUDY ON PREDICTION OF SHALLOW-LANDSLIDE AND DEBRIS FLOW BY THE SATELITTE RAINFALL DATA

Budged : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2013

Research Team : Water Related Disaster Research
Group, Sediment Related Disaster Research
Group (Volcano and Debris Flow Research
Team)

Author : SHIMIZU Yoshikazu

OKAZUMI Toshio

ISHIZUKA Tadanori

SHRESTHA Badri

Abstract : In Asia, large-scale sediment-related disasters which can sweep away an entire settlement occur frequently. Leyte Island suffered from a huge landslide in 2004, and Typhoon Molakot in 2009 caused huge landslides in Taiwan. In the event of these sediment-related disasters, immediate responses by central and local governments are crucial in crisis management.

In developing countries, however, only limited rainfall information is available from regular and radar rain gauge networks.

This study confirmed that it is possible to deliver information on the risk level of sediment-related disasters such as shallow-landslides and debris flows by the satellite rainfall data. The prediction method tested in this study is expected to assist sparsely gauged areas in timely emergency responses to rainfall-induced natural disasters.

Key words : prediction, shallow-landslide, debris flow, satellite rainfall