

地震時地盤災害推計システム (SGDAS) の妥当性の検証 Validity Verification of the Seismic Ground Disaster Assessment System (SGDAS)

地理地殻活動研究センター 中埜貴元・大野裕幸
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Takayuki NAKANO and Hiroyuki OHNO

要 旨

国土地理院では、地震発生後概ね 15 分以内に、斜面崩壊、地すべり、液状化といった地盤災害が発生した可能性を、震度と地形等の地理的特性との関係から自動的に予測・推計するシステム (SGDAS) を開発し (神谷ほか, 2014)、国土地理院内で運用している。この推計結果は、地震直後においてほとんど現地の被害情報が得られていない段階で、どこでどの程度の地盤災害が発生した可能性があるのかを把握する手がかりとなり、国土交通省の災害対策本部に提供されるとともに、国土地理院における空中写真撮影計画の立案等にも利用されている。

SGDAS による推計結果は、過去の地震事例において一定水準の妥当性が確認されているが (神谷, 2013)、2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃に発生した熊本地方を震源とする地震の実被害例を用いてその妥当性を再検証した。その結果、斜面災害予測は実際の土砂崩壊発生箇所を概ねカバーできていたが、土砂崩壊が実際にはほとんど発生しなかった地域を過剰に予測したケースがあり、実際の災害対応での利用を想定すると予測アルゴリズムまたは脆弱な地質の評価への寄与方法を改良する必要があることが分かった。また、液状化予測においては見逃しが多発したが、予測アルゴリズム自体は実際の発生傾向と調和的であり、予測に使用する地形分類情報の高分解能化・細分化が必要であることが分かった。今後の SGDAS の利活用の方角性も含めて、改良の必要性等の議論が必要と考える。

1. はじめに

2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃に発生した熊本地方を震源とする地震 (Mj7.3, 最大震度 7) (以下「2016 年熊本地震」という。)に伴い、熊本平野とその周辺の山間部及び阿蘇山周辺において、斜面崩壊や地すべり、液状化等の地盤災害が多数発生した (国土交通省水管理・国土保全局砂防部, 2016; 国土地理院, 2016; 防災科学技術研究所, 2016; 地盤工学会, 2016; 青山・宇根, 2016; 若松ほか, 2017 など)。2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃に発生したいわゆる前震 (Mj6.5) においても、最大震度 7 を記録したが、この地震では道路法面の崩壊や崖崩れが数箇所で開催したのみで、大きな土砂災害は確認されなかった (内

閣府非常災害対策本部, 2016)。ただし、液状化は熊本市、嘉島町、益城町など熊本平野を中心に数百箇所発生したと報告されている (若松ほか, 2017)。

このような大規模地震、特に夜間に発生した地震の発生直後においては早期に被害の全容を知ることが難しいが、災害対応の初動段階では被害の予測情報が被害集中域を推測する有用な手がかりとなる。特に、斜面崩壊や地すべり、液状化といった地盤災害は、震度や地形・地質といった地理的特性が大きな発生要因となるため、比較的その発生可能性 (危険度) を予測しやすい。そこで国土地理院では、現地の被害情報がまだ入手できない地震発生後概ね 15 分以内に、地盤災害 (斜面崩壊、地すべり、液状化) の発生可能性情報を災害対策本部等へ提供する「地震時地盤災害推計システム (Seismic Ground Disaster Assessment System: SGDAS ; 以下「SGDAS」という。)を開発し、2013 年から運用している (神谷, 2013 ; 神谷ほか, 2014)。なお、神谷 (2013)、神谷ほか (2014) では、同システムを「地震時地盤被害予想システム」と呼称しているが、その後、本稿で用いている「地震時地盤災害推計システム」が正式名称となっている。

SGDAS は、地震時の気象庁による推計震度情報と、標高データ (DEM) から計算される地形量、地形分類情報、地すべり分布図等の既存情報を組み合わせて地盤災害の発生可能性を自動的に予測し、国土地理院内の防災担当部局に配信する。地盤災害の分布情報が得られている平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震、平成 17 年 (2005 年) 福岡県西方沖の地震、平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震、平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震、平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震などで妥当性が検証されており、実際の災害状況を大きな問題なく予測・推計できていることが確認されていた (神谷, 2013) が、地盤災害が多発した 2016 年熊本地震でも妥当性を検証することとした。

2. SGDAS の概要

SGDAS の詳細な内容については神谷ほか (2014) を参照されたいが、ここでは本稿に関連する基本的な内容を述べておく。

SGDAS で発生可能性を予測する地盤災害は、先述

した斜面崩壊、地すべり、液状化の3種類である。

斜面崩壊の発生可能性は、兵庫県南部地震の六甲山地における斜面崩壊の実例をもとに作成された「地震による斜面崩壊危険度判別式」である「六甲式」(内田ほか, 2004)を改良した「修正六甲式」(神谷ほか, 2012)に基づいて予測されている。この方法では、斜面の傾斜度と曲率及び地震の加速度(地表最大加速度:PGA[Gal])を用いて、斜面の崩壊か非崩壊かを判定し(修正六甲式の計算値が正であれば崩壊,負であれば非崩壊),予測セル内の平均値(負の値は0として計算)を等比的に0~4の5段階で分級して表現する。傾斜度と曲率の計算には基盤地図情報10mメッシュ標高データを使用し,PGAは気象庁から配信される推計震度分布情報(250mグリッドサイズ)と気象庁マグニチュードから変換式を用いて計算されている。ただし,推計震度情報は震源からの距離減衰式により補正されている(神谷ほか, 2014)。また,超苦鉄質岩や火砕流堆積物,グリーンタフといった一般的に斜面崩壊しやすいと考えられる脆弱な地質も考慮されている。

地すべりの発生可能性は,防災科学技術研究所(2017)の地すべり地形分布データ(ただし,使用しているデータはシステム構築時のデータであり,防災科学技術研究所(2017)のデータとは必ずしも一致しない可能性がある)から求めた地すべり地形の面積率と周辺地質との関係から,過去の地震での地すべり発生状況を最も説明できる回帰式を用いて予測されている。予測結果は斜面崩壊と同様,0~4の5段階で表現される。

液状化の発生可能性は,地形分類と震度との関係から経験的に評価する手法(小荒井ほか, 2013:表-1)を用いている。地形分類情報は若松・松岡(2009)の地形・地盤分類250mメッシュマップを使用し,一部の地形区分については基盤地図情報10mメッ

シュ標高データから計算される勾配や比高によって細分されている。こちらも地形区分と震度ごとに0~4の5段階で表現されている。

斜面崩壊と地すべりは一般的には同様の土砂移動現象であるため,予測結果の出力段階では両者を「斜面災害」としてまとめた結果も出力している(両者を重畳し,発生可能性が高い方の結果が採用される)。

3. 検証方法の概要

3.1 検証に使用したデータ

今回の検証では,2016年4月16日1時25分頃に発生した本震のみを対象とした。検証に使用する実被害分布情報として,斜面崩壊と地すべりの斜面災害分布は国土地理院(2016)の土砂崩壊地分布図(2016年4月16日,19日,20日撮影の空中写真の判読による745地点)を,液状化発生分布は2016年4月16,19,20日に国土地理院が撮影した空中写真を独自に判読した結果を用いた。それぞれの分布の判読範囲を図-1に示す。これらの地盤災害情報には,2016年4月16日以降の規模の大きな余震で二次的に発生したものも含まれている可能性があるが,その数は少なく,影響は小さいと考えた。

国土地理院(2016)の土砂崩壊地分布図では,急傾斜地の崩壊,地すべり,土石流を1つの項目にまとめて表現しているため,検証においては先述の「斜面災害」の予測結果を用いた。液状化発生地点分布は,空中写真(オルソ画像)の判読のみで作成しており,現地確認等は実施していないため,特に山間地での過剰抽出等の誤判読箇所が含まれている可能性があるが,地盤工学会(2016)や青山・宇根(2016),若松ほか(2017)による液状化発生分布図と目視で比較した限りでは大きな誤りはないと判断した。なお,地盤災害情報の判読に用いられている空中写真はSGDASの評価範囲全域をカバーしていないため,

表-1 SGDASの液状化発生可能性予測に使用している小荒井ほか(2013)の震度と地形分類による判定テーブル(一部改変)。表中の数値がSGDASにおける液状化発生可能性を示す。

	・山地 ・丘陵 ・火山地 ・火山性丘陵 ・礫・岩礁 ・水域	・山麓地 ・火山山麓地 ・岩石台地 ・ローム台地	・扇状地 (勾配1/100以上) ・砂礫質台地	・扇状地 (勾配1/100未満) ・砂丘	・自然堤防 (比高5m以上) ・砂州・砂礫州 ・後背湿地 ・谷底低地 (勾配1/100以上)	・干拓地 ・三角州・海岸低地 ・自然堤防 (比高5m未満) ・谷底低地 (勾配1/100未満)	・低地隣接 砂丘縁 ・砂州・砂丘 間低地 ・埋立地 ・旧河道 ・河原
7	0	1	2	3	4	4	4
6強	0	0	1	2	3	4	4
6弱	0	0	0	1	2	3	4
5強	0	0	0	0	1	2	3
5弱	0	0	0	0	0	1	2

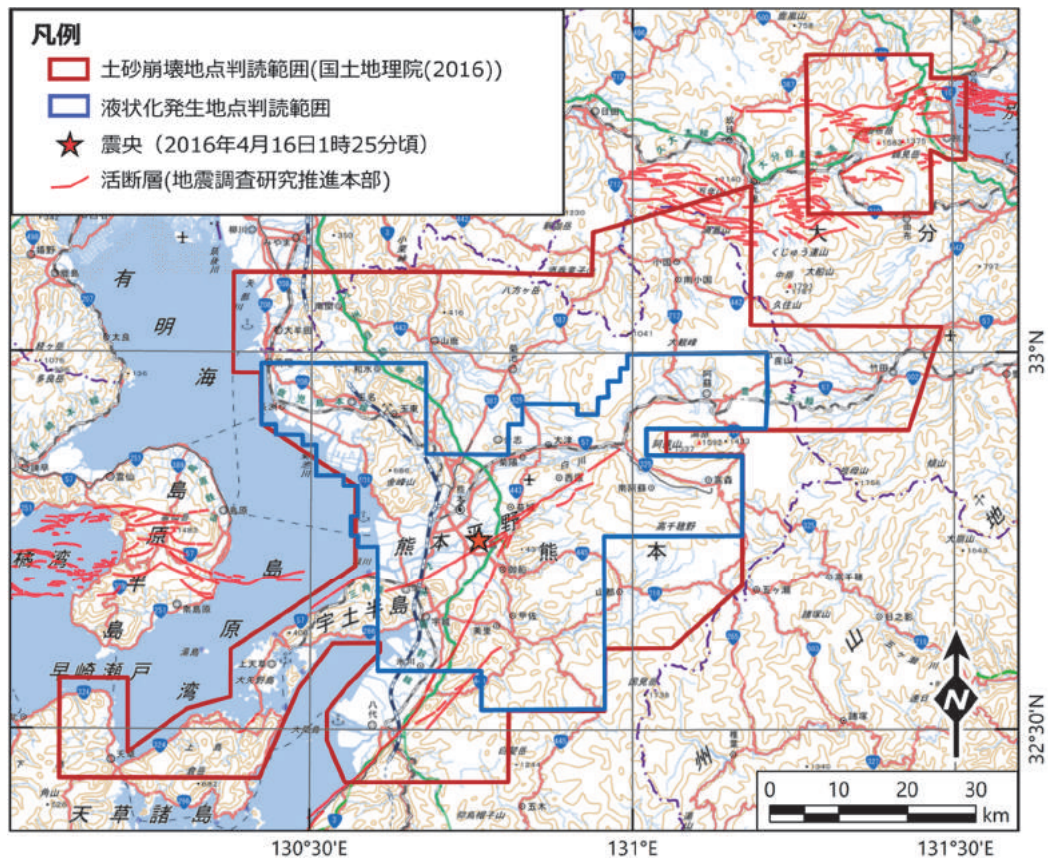


図-1 検証範囲（背景図は地理院地図を使用）

ここでの検証は空中写真の撮影（判読）範囲内のみで実施した。

3.2 検証に際しての前提条件

SGDAS における地盤災害の発生可能性予測は、対象地域の広さに応じて 250m～4km のグリッドサイズで行われ、ラスタデータとして出力される。今回の 2016 年熊本地震の場合は 500m グリッドサイズで出力された。先述のように、地形量の計算には基盤地図情報 10m メッシュ標高データが使用されているが、気象庁から配信される推計震度分布情報が 250m グリッドサイズであるため、予測の最小単位は 250m グリッドサイズとなっている。また、発生可能性は 0～4 の 5 段階で表現されるが、いずれの災害種においても発生可能性の相対的な大きさをセルごとに示しているに過ぎない。つまり、250m 等の予測セルよりも小さな空間スケールにおける個々の地盤災害の絶対的な位置や規模を予測しているわけではないため、その妥当性検証においても個々の災害発生位置や規模と比較することは意味がなく、相対的な評価が必要となる。

3.3 検証方法

神谷（2013）では、検証用の地盤災害情報の判読範囲内において、発生可能性 0～4 の各総セル数の

うち、地盤災害発生地点が含まれるセルの割合（発現率）を求め、その大小から定性的に妥当性を判断している。この検証方法では、発生可能性が大きくなるにつれて発現率が大きくなるほど妥当性は高いと言える。表-2 に示したように、発生可能性が 0 での発現率は予測セル単位でみた場合の「見逃し率」に相当する。厳密な見逃し率は全予測セル数に対する発生可能性 0 での災害発生セル数の割合であるが、ここでは発生可能性 0 の予測セル数が圧倒的に多いため、発生可能性 0 での発現率を見逃し率相当とみなした。発生可能性が 1～4 全体での発現率は、「一致率」に相当し、発現率の数値そのものが大きいほど「空振り率」は低いと言える。

予測の妥当性という観点では、上記の一致率が高く、見逃し率と空振り率が低いことが理想であるが、安全側にみれば空振り率の重要性は相対的に高くない。一方で、実際の災害対応での利用（例えば、災害が高密度に発生していそうな場所の空中写真撮影計画を立てる場合）を想定すると、より発生可能性が大きい場所、すなわち発生可能性 3～4 の場所がある程度の広がりをもって集中して分布している箇所が重要となり、発生可能性 3～4 での一致率が高く、見逃し率及び空振り率が低いことが望ましい。また、発生可能性の大きい場所の集中領域と実際の災害発生箇所の集中度合いの一致性を確認するため

表-2 検証指数の定義と求め方（気象庁ホームページ
（<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/kensho/explanation.html>）を参考に作成）

一致率		予測が「発生可能性あり」だった場合だけを取り出して、そのうち実際に「発生あり」となった割合		
見逃し率		予測が「発生可能性なし」だったのに実際に「発生あり」となった場合（見逃し回数）の全予測数に対する割合		
空振り率		予測が「発生可能性あり」だったのに実際に「発生なし」となった場合（空振り回数）の全予測数に対する割合		
n: 全予測数		予測		
		発生可能性あり	発生可能性なし	計
実 際	発生あり	a	b	$n_1=(a+b)$
	発生なし	c	d	$n_2=(c+d)$
	計	$m_1=(a+c)$	$m_2=(b+d)$	$n=(a+b+c+d)$
● 一致率(%) = $a \div m_1 \times 100$ (=発生可能性 1~4 全体の発現率) ● 見逃し率 (%) = $b \div n \times 100$ (=発生可能性 0 の発現率 = $b \div m_2 \times 100$) ● 空振り率 (%) = $c \div n \times 100$ (=100-発生可能性 1~4 全体の発現率 = $c \div m_1 \times 100$)				

に、①発生可能性ごとの災害発生地点数と災害発生密度（単位面積あたりの災害発生地点数）の算出、②発生可能性が大きい場所が集中していると目視で判断できる領域と実際の災害発生地点のカーネル密度分布の比較を実施することとした。ここでは、実際の災害発生地点情報を使用したため、1セル内に複数の発生地点があった場合はそのままその発生地点数がカウントされる。上記①では、検証範囲内の各発生可能性において、どれくらい実際の災害発生地点が集まっているかを定量的に比較することができ、発生可能性が大きい場所ほど災害発生密度が大きいほど妥当性が高いと言える。上記②は、地盤災害発生可能性が大きい場所の集中領域と、実際の災害発生地点の高密度分布域の空間分布を定性的に比較するものであり、両者が重なり合うほど妥当性が高いと言える。なお、災害発生地点のカーネル密度分布は250mグリッドのセルごとに半径1kmの範囲で計算した。

以上、本検証方法をまとめると、以下の3つとなる。

（検証1）発生可能性の段階ごとに災害発生地点の発現率を求め、予測セル単位でみた場合の一致率・見逃し率・空振り率を定性的に評価

（検証2）発生可能性の段階ごとの災害発生地点数と災害発生密度を求め（上記①）、発生可能性の大きい場所と実際の災害発生箇所の集中度合

いを定性的に評価

（検証3）発生可能性が大きい場所の集中領域と実際の災害発生地点のカーネル密度分布を比較し（上記②）、両者の重なり度合いを定性的に評価

4. 検証結果

4.1 斜面災害での検証結果

SGDASによる斜面災害（斜面崩壊＋地すべり）の発生可能性分布図と、国土地理院（2016）による土砂崩壊地分布図を重ね合わせたものを図-2に示す。この図を見ると、実際の土砂崩壊発生地点は阿蘇山（中央火口丘群）の西部地域や阿蘇外輪山の急傾斜地、起震断層となった布田川断層沿いに集中していることが分かる。一方、SGDASにより斜面災害の発生可能性がある予測された地域は、より広範囲にわたって分布しており、特に発生可能性の大きい地域は、実際の土砂崩壊の集中地域でもある阿蘇中央火口丘一帯やその西部地域、阿蘇外輪山の急傾斜地のほか、阿蘇外輪山北西部の山地部や阿蘇山の南南西方の山地部（益城山地や九州山地南部北縁；これらの山地名は町田ほか（2001）による）にも広がっている。

4.1.1 検証1における斜面災害予測の評価結果

斜面災害の発生可能性ごとのセル数と土砂崩壊発生地点の発現率を図-3に示す。この図を見ると、発生可能性が大きくなるほど発現率も大きくなっており、相対的には妥当な予測ができていていると考えられる。一方で、予測セル単位でみた場合の一致率（発生可能性1~4全体の発現率）を計算すると6.7%で、発生可能性3~4に限っても19.2%となり、空振り率が大きいことが分かる。発生可能性0での発現率は0.4%であり、見逃し率は小さい。

4.1.2 検証2における斜面災害予測の評価結果

発生可能性ごとの土砂崩壊発生地点数と土砂崩壊発生密度を図-4に示す。これを見ると、土砂崩壊発生地点数自体は発生可能性3で300地点と最も多く（全発生地点数745地点の40.3%）、次いで発生可能性2が230地点となっている（同30.9%）が、土砂崩壊発生密度は発生可能性が大きくなるほど大きくなっており、発生可能性4で突出している（約3.4個/km²）。これは、SGDASが斜面災害の発生可能性が大きいと予測した範囲（特に発生可能性4の範囲）において実際の土砂崩壊が集中して発生したことを示しており、土砂崩壊発生密度が大きい場所については、SGDASは概ね適切に予測できていると言える。

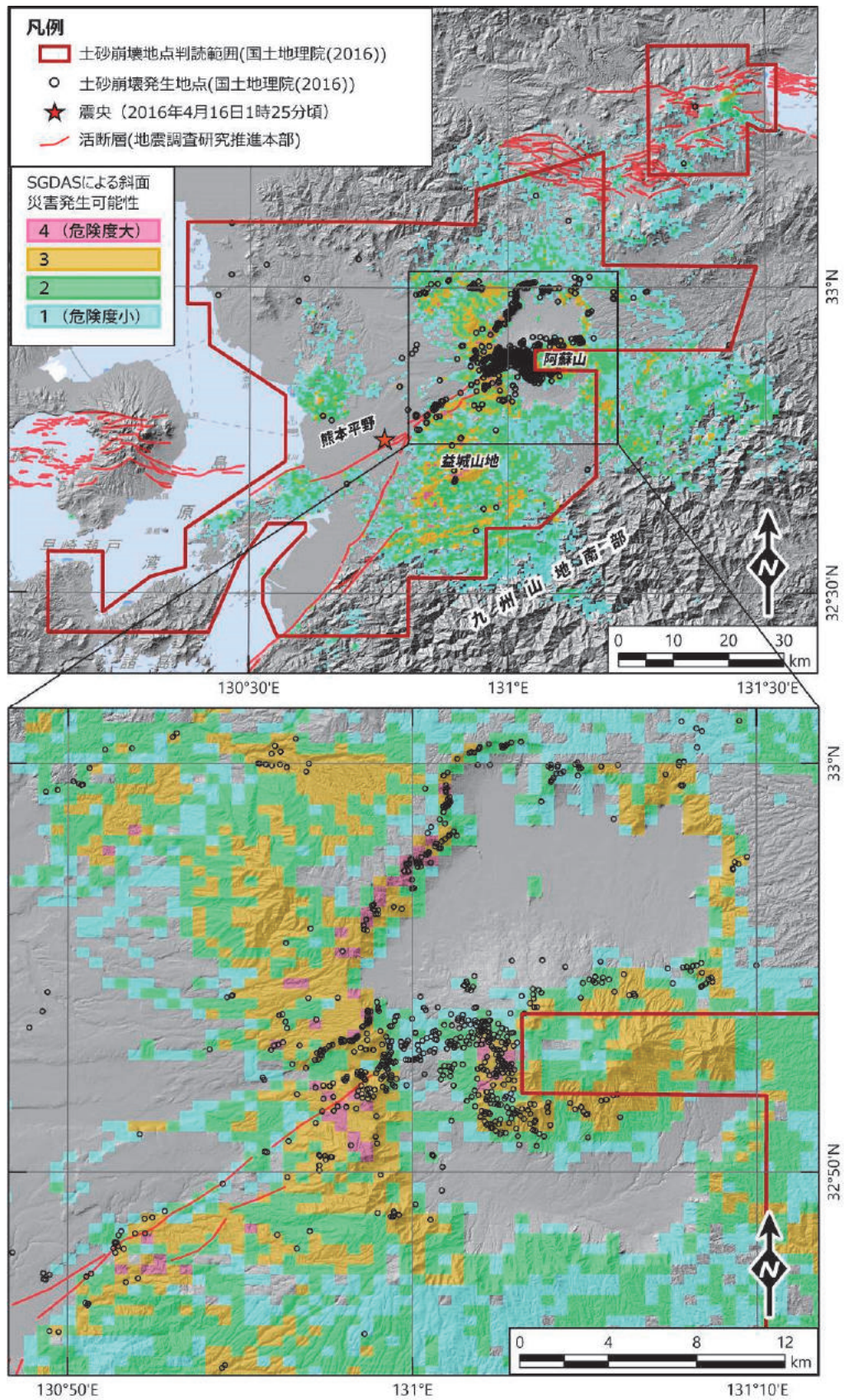


図-2 SGDAS による斜面災害（斜面崩壊＋地すべり）の発生可能性分布図と土砂崩壊発生地点の重ね合わせ。上図：判読範囲全域，下図：阿蘇山周辺の拡大図。背景の陰影図は基盤地図情報 10m メッシュ標高を基に作成。

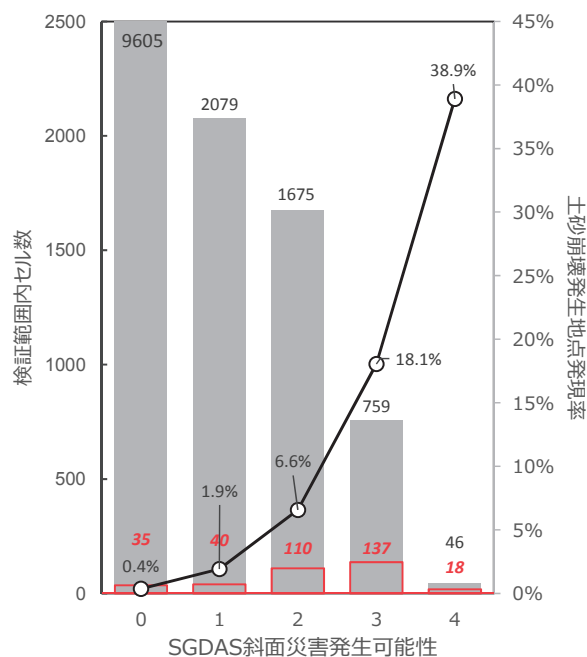


図-3 斜面災害の発生可能性ごとのセル数（灰色棒グラフ）と土砂崩壊発生セル数（赤棒グラフ）及び土砂崩壊発生地点の発現率（折れ線グラフ）。発生可能性 0 のセル数は極端に大きいいため、棒グラフの一部を省略。

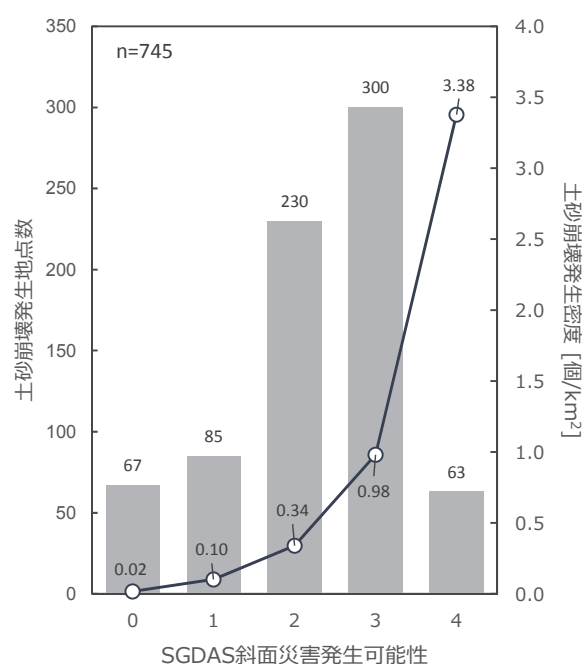


図-4 斜面災害の発生可能性ごとの土砂崩壊発生地点数（棒グラフ）と土砂崩壊発生密度（折れ線グラフ）

4.1.3 検証 3 における斜面災害予測の評価結果

図-2 における発生可能性が大きい場所の集中領域と、実際の土砂崩壊発生地点のカーネル密度分布を重ねたものを図-5 に示す。ここでは熊本県域の主な土砂崩壊発生地点をカバーする範囲を表示している。これによると、SGDAS による斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域は、阿蘇山の西側の一部を除いて土砂崩壊地点のカーネル分布密度が大きい（半径 1km の円内の発生数が 10 個以上）場所を概ねカバーできているが、益城山地やその南方の九州山地南部北縁付近では過剰に予測しており、SGDAS による予測の妥当性は高くないと判断される。

4.2 液状化での検証結果

SGDAS による液状化の発生可能性分布図と、空中写真から独自に判読した液状化発生地点分布図を重ね合わせたものを図-6 に示す。この図を見ると、実際の液状化は熊本平野一帯と阿蘇谷、南郷谷において高密度に、また、八代平野や白川中流部、益城山地の谷底部において離散的に発生しているのに対し、SGDAS により液状化発生可能性があると予測された地域は、熊本平野一帯、八代平野一帯、菊池平野一帯、白川中流部、阿蘇谷であり、特に発生可能性が高いと予測されたのは熊本平野と八代平野、白川

中流部であることが分かる。

4.2.1 検証 1 における液状化予測の評価結果

液状化の発生可能性ごとのセル数と液状化発生地点の発現率を図-7 に示す。この図を見ると、発生可能性が大きくなるほど発現率も大きくなっており、相対的には妥当な予測ができていると考えられる。一方で、予測セル単位でみた場合の一致率は、発生可能性 3~4 に限ってみても 39.1%であり、斜面災害のケースと同様に空振り率が高い。発生可能性 0 での発現率は 6.0%であり、見逃し率の数値自体はそれほど大きくないが、図-6 を見る限りは見逃し地点は多い印象がある。これは、見逃された液状化発生地点を含むセル数に対して発生可能性 0 の予測セル数が極端に大きいためであり、実際には見逃し地点数は多い（後述の検証 2）。

4.2.2 検証 2 における液状化予測の評価結果

発生可能性ごとの液状化発生地点数と液状化発生密度を図-8 に示す。これを見ると、発生可能性 0、すなわち液状化が発生する可能性が無いと予測された範囲での液状化発生地点数は全発生地点数（10,568 箇所）の約 36%にのぼり、見逃された液状化発生地点の割合が高い。また、液状化発生密度

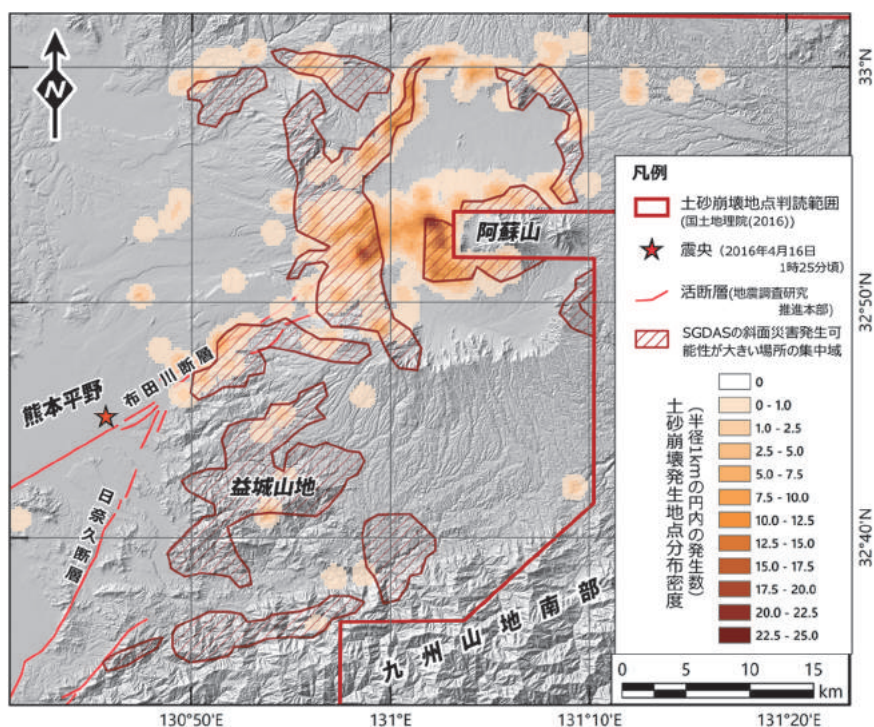


図-5 SGDAS による斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域と土砂崩壊発生日点のカーネル密度分布の重ね合わせ。背景の陰影図は基盤地図情報 10m メッシュ標高を基に作成。

は発生可能性 1 で最も大きくなっており、発生可能性が大きいほど発生密度も大きくなる傾向は見られない。これらの結果は、SGDAS が液状化の発生可能性が無いまたは低いと予測した範囲でも実際の液状化が多発したことを示しており、本検証方法からは SGDAS の液状化予測の妥当性は低いと判断される。

4.2.3 検証 3 における液状化予測の評価結果

図-6 における発生可能性が大きい場所の集中領域と、実際の液状化発生日点のカーネル密度分布を重ねたものを図-9 に示す。これによると、SGDAS による液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域は、熊本平野の液状化発生日点の高密度分布域をカバーできているものの、阿蘇谷や南郷谷の高密度分布域はカバーできていない。一方で、実際には液状化が発生しなかった菊池平野において過剰に予測していることが分かる。ただし、若松ほか（2017）によると菊池平野の沿岸部では液状化が発生しており、独自の液状化発生日点の判読に漏れがある可能性がある。

5. 検証結果の要因分析と考察

5.1 斜面災害のケース

斜面災害の場合、見逃し率が低く（図-3）、土砂崩壊発生密度が発生可能性 4 で突出して大きい（図-4）点からは概ね妥当な結果と言えたが、全体としては低一致率・高空振り率であり（図-3）、発生可能性が

大きい場所の集中領域と実際の土砂崩壊発生日点の高カーネル密度領域とは必ずしも重ならず（図-5）、過剰予測が見られた。

今回の斜面災害の発生可能性は斜面崩壊と地すべりの発生可能性を統合したものであるが、防災科学技術研究所（2017）の地すべり地形分布によると、今回の検証地域では地すべり地形は局所的かつ疎らに分布しているため、発生可能性はほぼ斜面崩壊の予測結果ということになる。斜面崩壊の発生可能性予測は主に神谷ほか（2012）による修正六甲式に基づいて行われるが、この方法で斜面崩壊判定に使用している指標のうち、傾斜度と PGA の寄与率が大きいため、まず検証地域の傾斜度と PGA の計算元である推計震度分布を確認し、実際の土砂崩壊発生日点及び斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域との関係調べることにした。

斜面の傾斜度と実際の土砂崩壊発生日点及び図-5 で示した斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域を重ね合わせたものを図-10 に、傾斜度帯ごとの土砂崩壊発生日点数のヒストグラムと土砂崩壊発生密度を図-11 に、斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域内の傾斜度ヒストグラムを図-12 に示す。また、推計震度分布図と実際の土砂崩壊発生日点及び斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域を重ね合わせたものを図-13 に、推計震度ごとの土砂崩壊発生日点数と土砂崩壊発生密度を図-14 に、

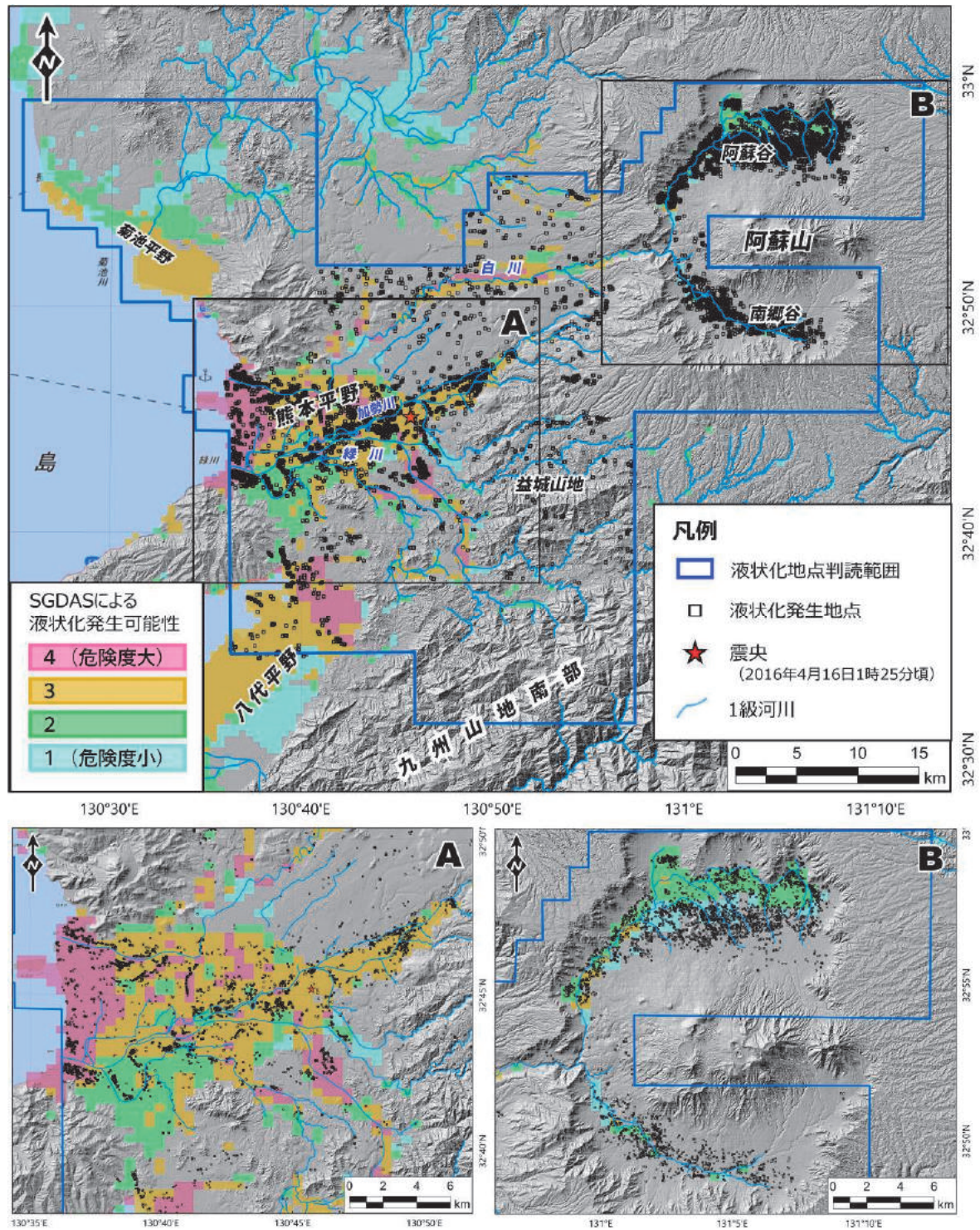


図-6 SGDAS による液状化の発生可能性分布図と液状化発生地点の重ね合わせ。

上図：判読範囲全域，左下図：熊本平野の拡大図，右下図：阿蘇山周辺の拡大図。背景の陰影図は基盤地図情報 10m メッシュ標高を基に作成。1 級河川データは国土数値情報を使用。

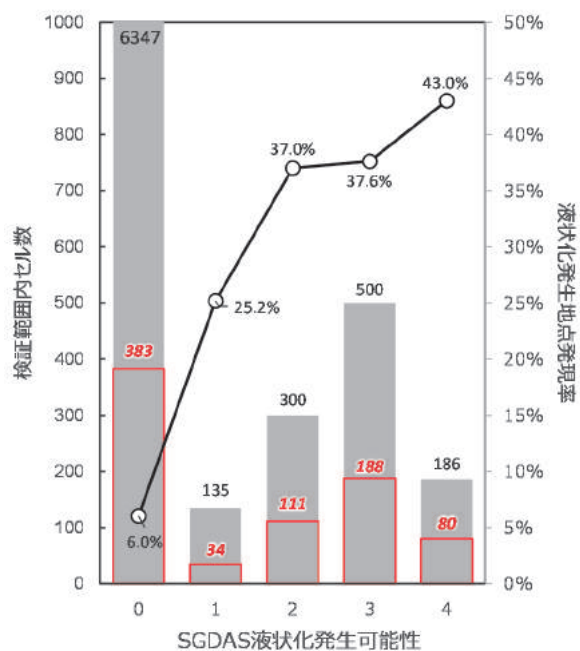


図-7 液状化の発生可能性ごとのセル数（灰色棒グラフ）と液状化発生セル数（赤棒グラフ）及び液状化発生地点の発現率（折れ線グラフ）。発生可能性 0 のセル数は極端に大きいため、棒グラフの一部を省略。

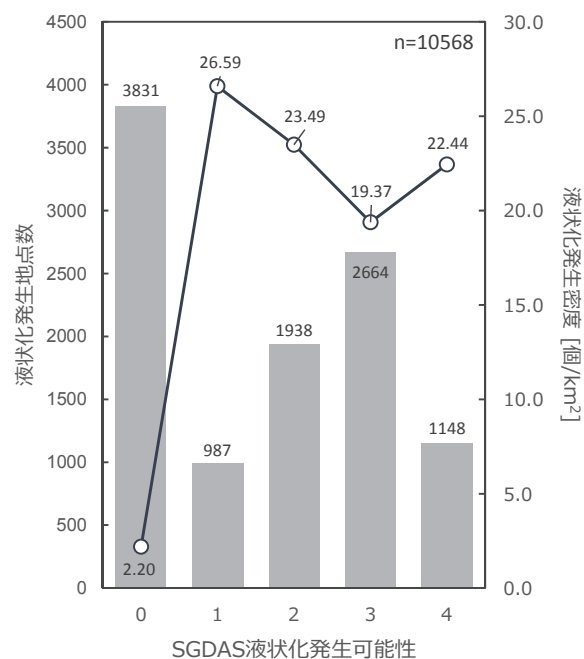


図-8 液状化の発生可能性ごとの液状化発生地点数（棒グラフ）と液状化発生密度（折れ線グラフ）

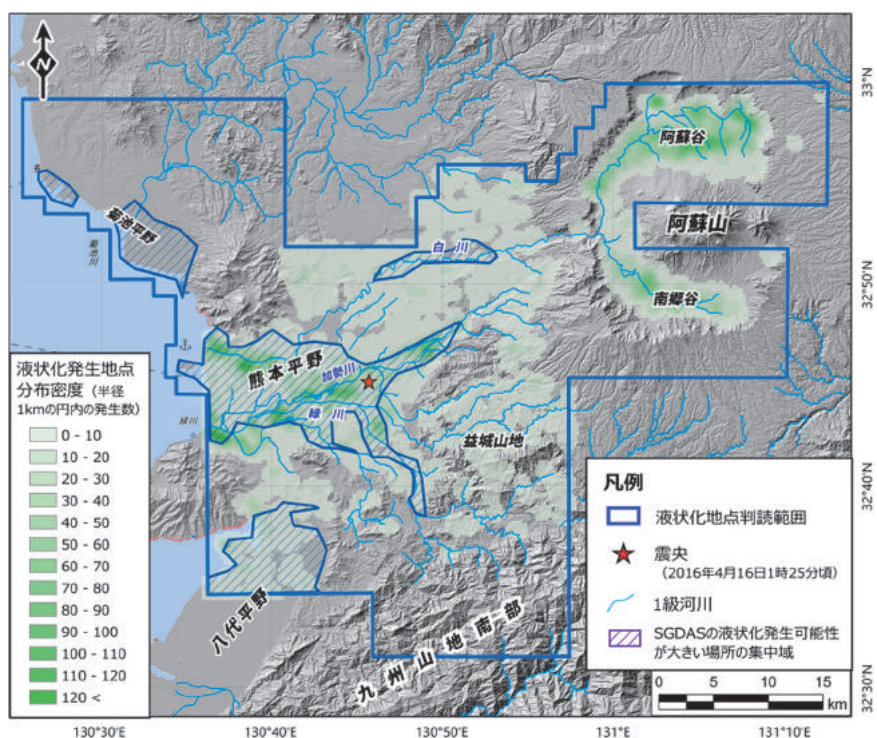


図-9 SGDAS による液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域と液状化発生地点のカーネル密度分布の重ね合わせ。背景の陰影図は基盤地図情報 10m メッシュ標高を基に作成。1 級河川データは国土数値情報を使用。

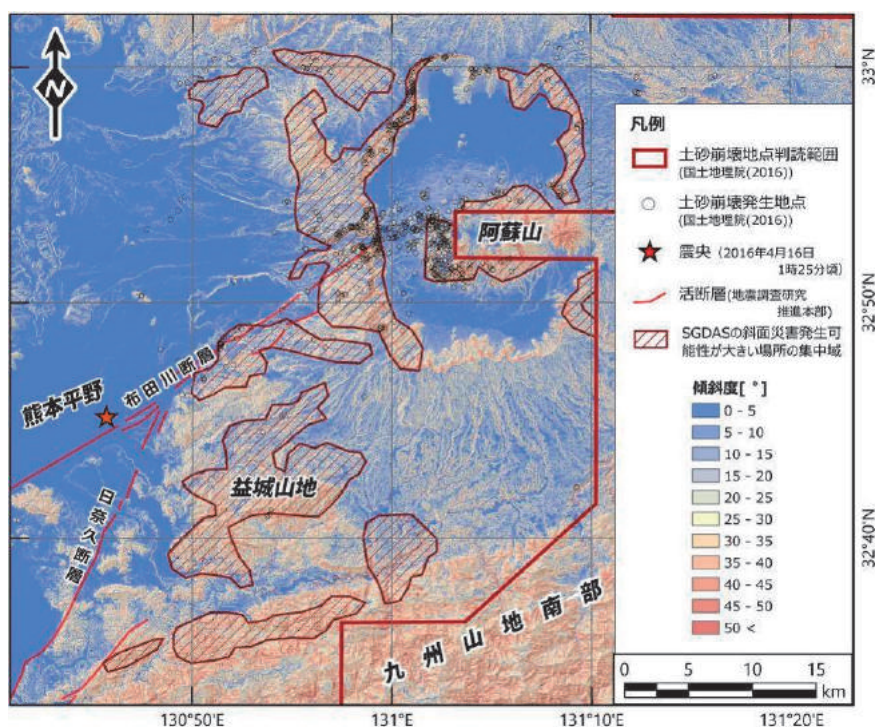


図-10 斜面の傾斜度と土砂崩壊発生地点及び図-5 で示した斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域の重ね合わせ図。斜面の傾斜度は基盤地図情報 10m メッシュ標高を用いて算出。

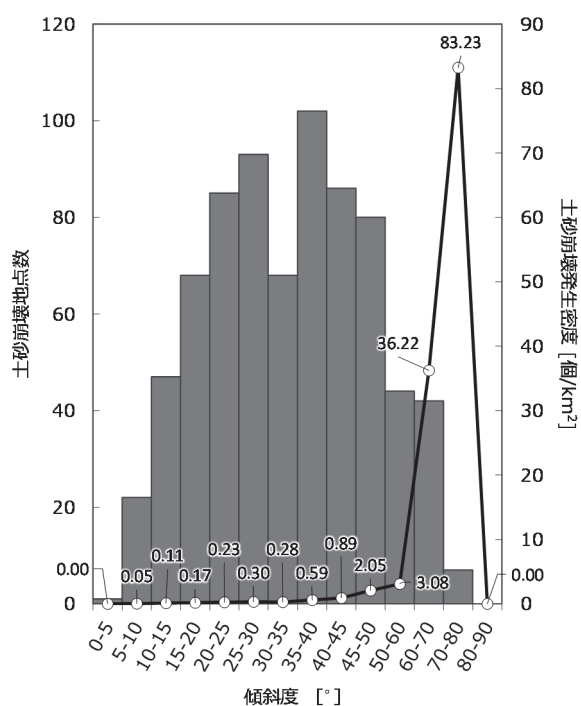


図-11 傾斜度帯ごとの土砂崩壊発生地点数のヒストグラムと土砂崩壊発生密度（折れ線グラフ）。0～50度までは5度ごと、50度以上は10度ごとの区間としている。

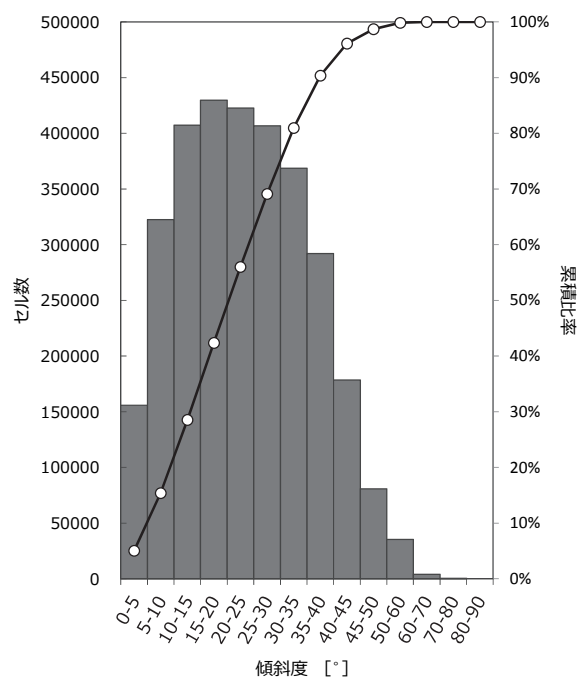


図-12 斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域内の傾斜度ヒストグラムと累積比率。0～50度までは5度ごと、50度以上は10度ごとの区間としている。

斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域内の推計震度別セル数を図-15 に示す。

図-10～12 を見ると、実際の土砂崩壊発生地点は傾斜度 35～40 度をピークとした 15～50 度の範囲に分布しているが、見方によっては 25～30 度と 35～40 度をピークとするバイモーダルな分布とも捉えられる。発生密度は傾斜度 50 度以上で極端に大きい。これに対し、斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域は、主に傾斜度 15～20 度をピークとした 5～40 度の範囲に分布していることが分かる。この数値だけを見ると、斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域の方が緩傾斜地に分布しているように捉えられるが、これは土砂崩壊発生地点が点データであるのに対して、斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域は面データであるため、より緩傾斜の領域も計上していることによると考えられる。実際、図-10 を見ると、斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域は相対的に急傾斜地に分布している。

図-13～15 を見ると、実際の土砂崩壊発生地点のほとんど (93.5%) は震度 6 弱以上に分布しているのに対し、斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域は、震度 6 弱をピークとして震度 5 強以上に分布していることが分かる。つまり、後者の方がより推計震度が小さい領域に分布していると言える。

以上を踏まえながら、斜面災害の発生可能性が過

剰予測された益城山地や九州山地南部北縁を見ると、主に震度 5 強が分布し、全体的に傾斜度が大きくなっていることが分かる。他の震度 5 強の範囲では斜面災害の発生可能性が大きい場所があまり分布しないことから、この過剰予測には当該地域が急傾斜地であることが影響していると考えられる。

次に、SGDAS の斜面災害発生可能性予測においては、先述したように脆弱な地質地域の予測結果はより危険側に評価される仕組みとなっている（神谷ほか、2014）ため、その判断に用いられている 20 万分の 1 日本シームレス地質図（脇田ほか、2009；以下「シームレス地質図」という。）を用いて脆弱な地質の分布を確認し、実際の土砂崩壊発生地点及び斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域との関係を調べることにした。

シームレス地質図と実際の土砂崩壊発生地点及び斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域を重ね合わせたものを図-16 に示す。この図を見ると、実際の土砂崩壊は中期～後期更新世の火砕流堆積物（No.902, 903）や中期～後期更新世の苦鉄質火山岩類（No.1002, 1010）、後期更新世の珪長質火山岩類（No.822）、完新世の苦鉄質火山岩類（No.1001）で集中して発生していることが分かる。実際、現地調査では上記の No.1002, 1010 に相当する阿蘇カルデラ外輪山等を構成する中期～後期更新世の先阿蘇火山岩類（小野・渡辺、1985）や上記の No.902, 903 に

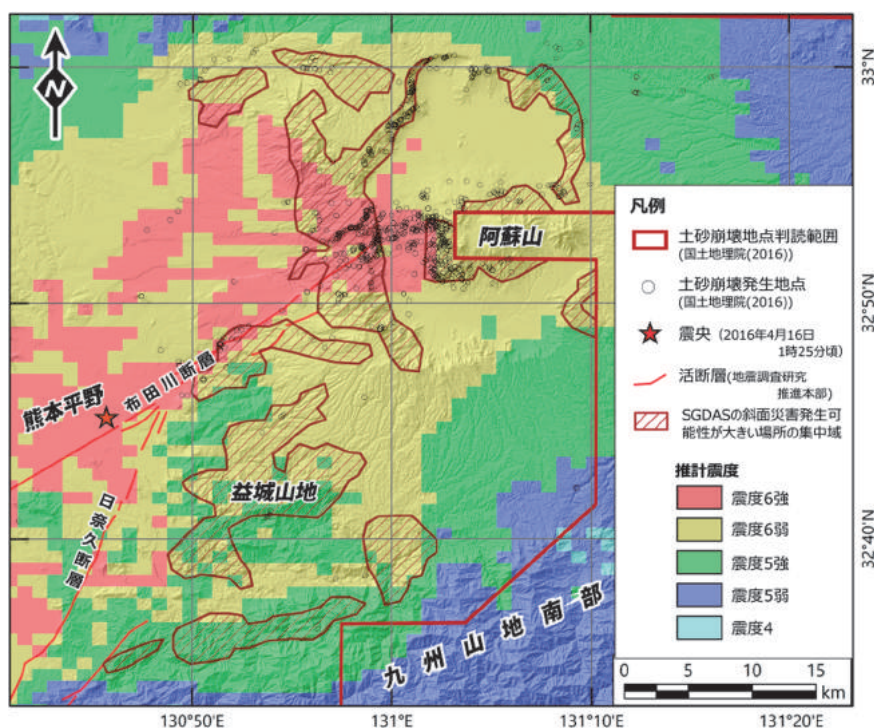


図-13 推計震度と土砂崩壊発生地点及び図-5 で示した斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域の重ね合わせ図。背景の陰影図は基盤地図情報 10m メッシュ標高を基に作成。

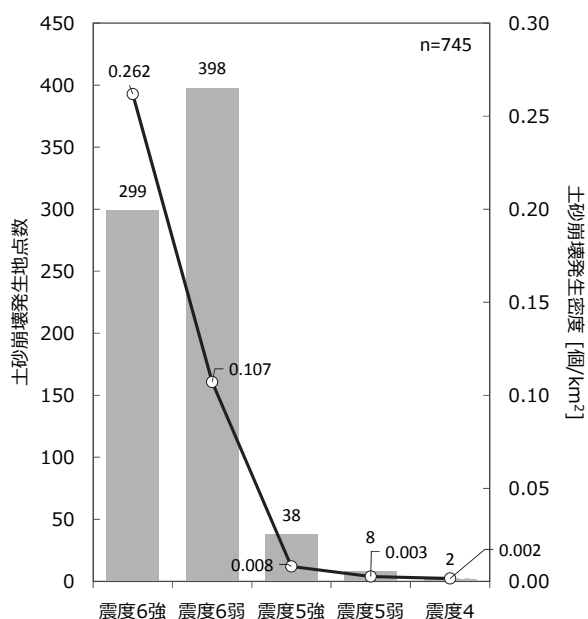


図-14 推計震度ごとの土砂崩壊発生日点数（棒グラフ）と土砂崩壊発生密度（折れ線グラフ）

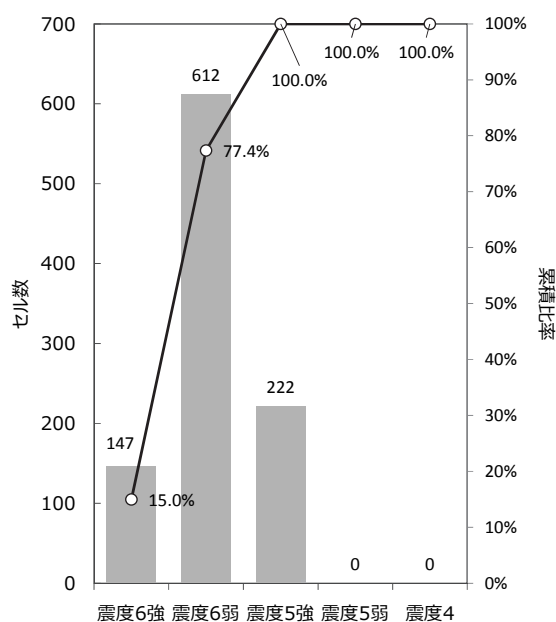


図-15 SGDAS の斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域内の推計震度別セル数（棒グラフ）及び累積比率（折れ線グラフ）

相当する火砕流堆積物，対象地域を広範に覆う，シームレス地質図では表現されないテフラ等の降下火山碎屑物で土砂崩壊が多発したことが報告されている（黒木，2016；中村，2016；宮縁，2016；渡邊ほか，2017 など）。一方で，SGDAS による斜面災害の発生可能性が過剰予測となった益城山地や九州山地南部北縁では，実際の土砂崩壊の集中発生域と共通する地質は中期～後期更新世の火砕流堆積物（No. 902，903）のみであり，その他は一般的に脆弱な地質とされながらも今回の地震では土砂崩壊がほとんど発生しなかった付加体（No. 417，430），広域変成岩類（No. 1661，1663，1680），超苦鉄質岩類（No. 555）が分布している。すなわち，これらの脆弱な地質分布を考慮した評価が過剰予測に影響している可能性がある。

以上から，実際には土砂崩壊がほとんど発生しなかった益城山地や九州山地南部北縁で斜面災害の発生可能性が過剰予測された要因は，脆弱な地質で急傾斜地が発達し，震度が5強以上という，斜面災害の発生可能性をより危険側に評価する条件が揃ったことだと考えられる。つまり，修正六甲式のアルゴリズムまたは脆弱な地質の評価への寄与方法を改良する必要があることを示している。

5.2 液状化のケース

液状化の場合，検証1では低一致率，高空振り率，検証2では見逃し地点の割合が大きいことが示され，

予測の妥当性は低いと判断された。また，発生可能性が大きい場所の集中領域と実際の液状化発生日点の高カーネル密度領域とは必ずしも重ならなかった（図-9）。先述のように，液状化の発生可能性は表-1に基づいて推計震度と地形分類情報との関係から判定されており，まず実際の液状化がどの地形区分でどれくらい発生しているかを調べた。

SGDAS の液状化判定で使用されている250mグリッドサイズの地形分類情報と液状化発生日点を重ね合わせたものを図-17に，地形区分ごとの液状化発生日点数と発生密度を図-18に示す。図-18を見ると発生数は後背湿地が突出しており，次いで扇状地，火山山麓地，干拓地で多くなっている。一方で，発生密度は旧河道や扇状地で大きくなっており，その後に後背湿地や自然堤防，砂礫質台地，干拓地などが続く。これらの傾向は若松ほか（2017）の結果とも調和的であるが，表-1で示しているように，一般的には扇状地や砂礫質台地での液状化発生可能性は低く，火山山麓地ではほとんど発生しない（表-1では震度7でも発生可能性1）と考えられている。今回，扇状地での発生数・発生密度が大きくなったのは，液状化が多発した阿蘇谷の広い範囲が250mグリッドサイズの地形分類情報では扇状地（火山麓扇状地）とされていたためである。また，砂礫質台地の発生密度が比較的大きくなったのは，南郷谷の液状化発生域の多くが砂礫質台地とされていたためである。ここで，阿蘇谷において1:30,000火山土地条

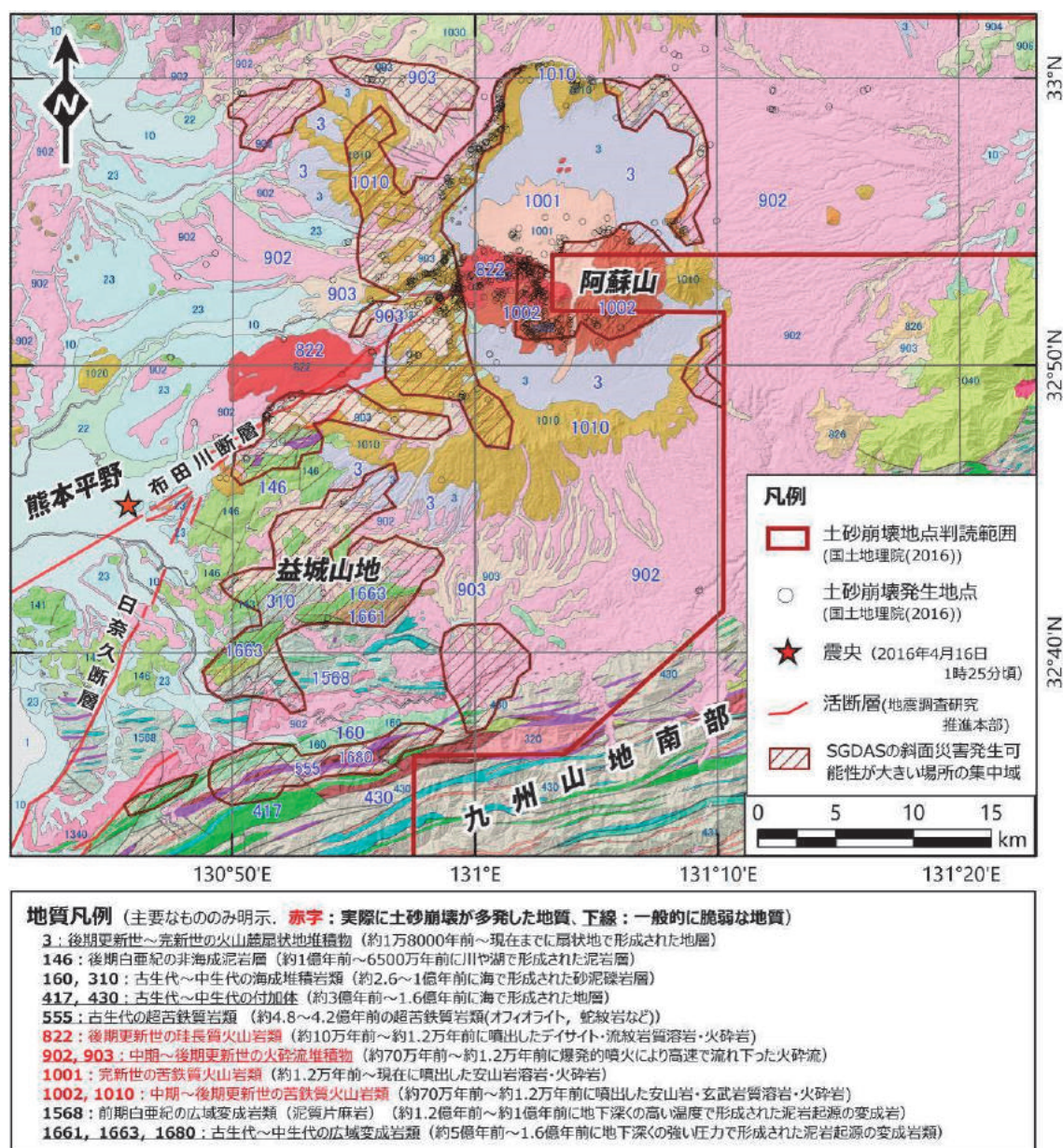


図-16 シームレス地質図と実際の土砂崩壊発生地点及び斜面災害の発生可能性が大きい場所の集中領域を重ね合わせ図。地質凡例は脇田ほか(2009)の凡例を統合・簡略化するとともに、主要なもののみを明示している。背景の陰影図は基盤地図情報 10m メッシュ標高を基に作成。

件図「阿蘇山」(国土地理院, 1994)と比較すると(図-19), 250m グリッドサイズの地形分類情報で扇状地とされている範囲の一部は谷底平野・氾濫原(後背湿地)となっており, 実際の液状化はそれらの地形やそれに隣接する緩傾斜の扇状地で発生していることが分かる。また, 図-17 では白川中流域の北側及び南側に分布する火山山麓地(実際には台地・段丘)上に液状化発生地点が散在しており, 火山山麓地での発生数が比較的多くなったのはこれによるものと考えられるが, 実際にはその台地・段丘を刻む細長い谷底低地や台地・段丘上の浅い谷などで液状化が発生している。

次に, SGDAS による液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域における地形区分の面積及び面積率を求めると(図-20), 後背湿地や干拓地が突出して大きく, とともに3割強を占め, 次いで谷底低地や三角州・海岸低地, 自然堤防の割合が高くなっている。

以上の結果は, 実際に液状化が集中して発生した地形区分と, SGDAS による液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域の地形区分とが必ずしも一致しないことを示しているが, これは 250m グリッドサイズの地形分類情報では実際の細かな地形区分を十分に表現できていない, または, 地形分類手法が異なることによる区分の相違が生じていることによる

と考えられる。また、若松ほか（2017）でも指摘されているように、この地域の地下水位は非常に高く、地形分類情報だけでは表現されない地域固有の特殊要因が働いている可能性もある。白川中流域における見逃しも、同様の理由で生じていると考えられ、青山・宇根（2016）や若松ほか（2017）による詳細な土地条件との関係性の分析でも、250m グリッドサイズの地形分類情報では（場合によっては 1:25,000 土地条件図レベルでも）表現されない旧河道や細い水路沿い、局所的な盛土地や埋戻し地などで液状化が多発したことが示されている。

さらに、実際の液状化発生地点及び液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域と推計震度との関係

を調べてみると、両者とも震度 6 弱～6 強の範囲を中心に分布していた（図-21, 22）。若松ほか（2017）によると、熊本地震による液状化のほぼすべてが震度 5 強以上で発生しており、その結果とも調和的である。過剰予測となった菊池平野（干拓地）の内陸部も震度 6 弱であり、経験的な予測手法においては液状化が発生してもおかしくないと言え、阿蘇谷等と同様、地域固有の特殊要因により発生しなかった可能性がある。

以上を考慮すると、SGDAS による液状化発生可能性予測の妥当性の低さは、使用している地形分類情報の空間分解能の不足または地形区分の相違による見逃しや、阿蘇谷や菊池平野の内陸部のような経験

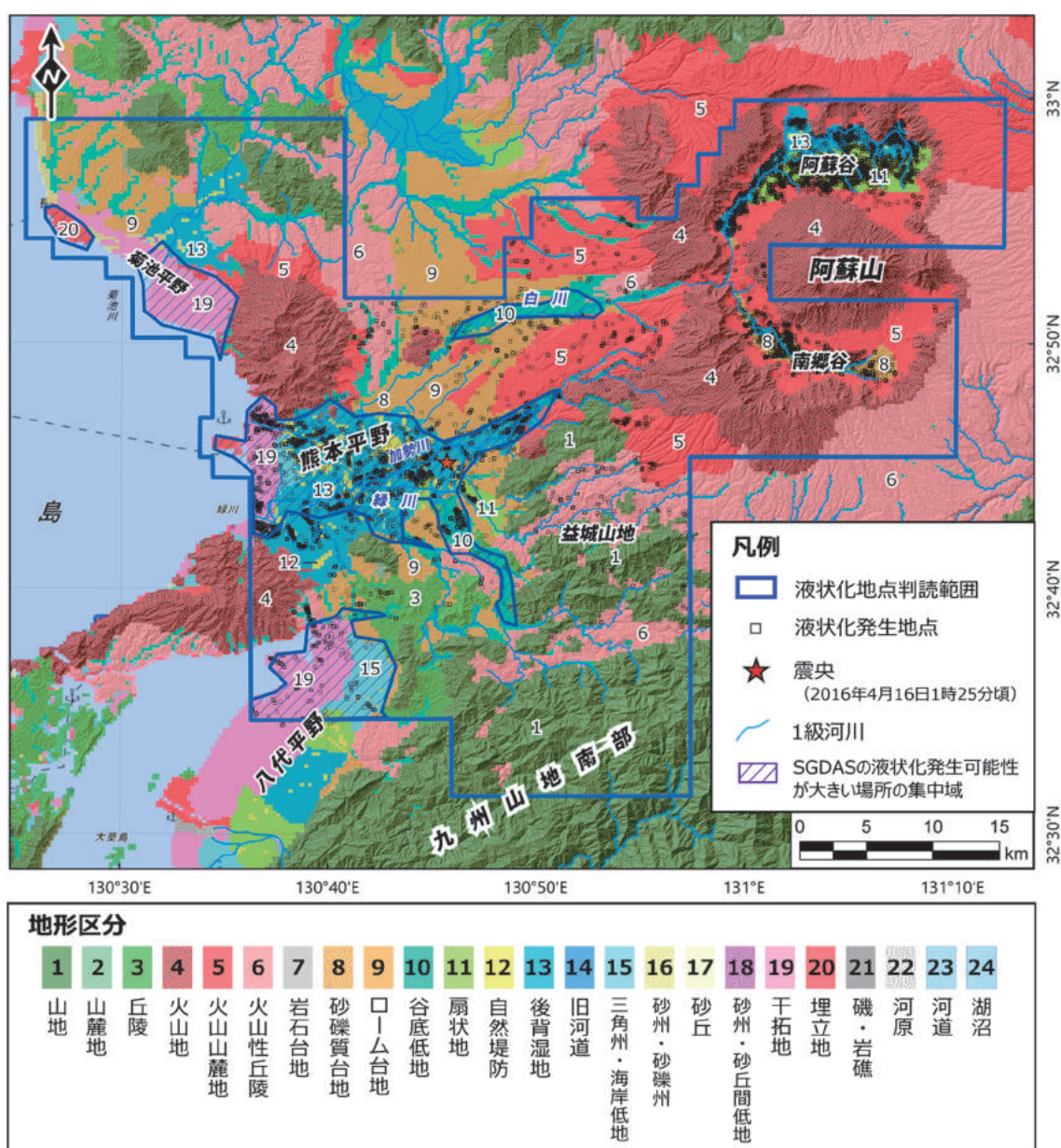


図-17 SGDAS の液状化発生可能性予測で使用している 250m メッシュ地形分類情報（若松・松岡，2009）と液状化発生地点及び液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域の重ね合わせ。背景の陰影図は基盤地図情報 10m メッシュ標高を基に作成。1 級河川データは国土数値情報を使用。

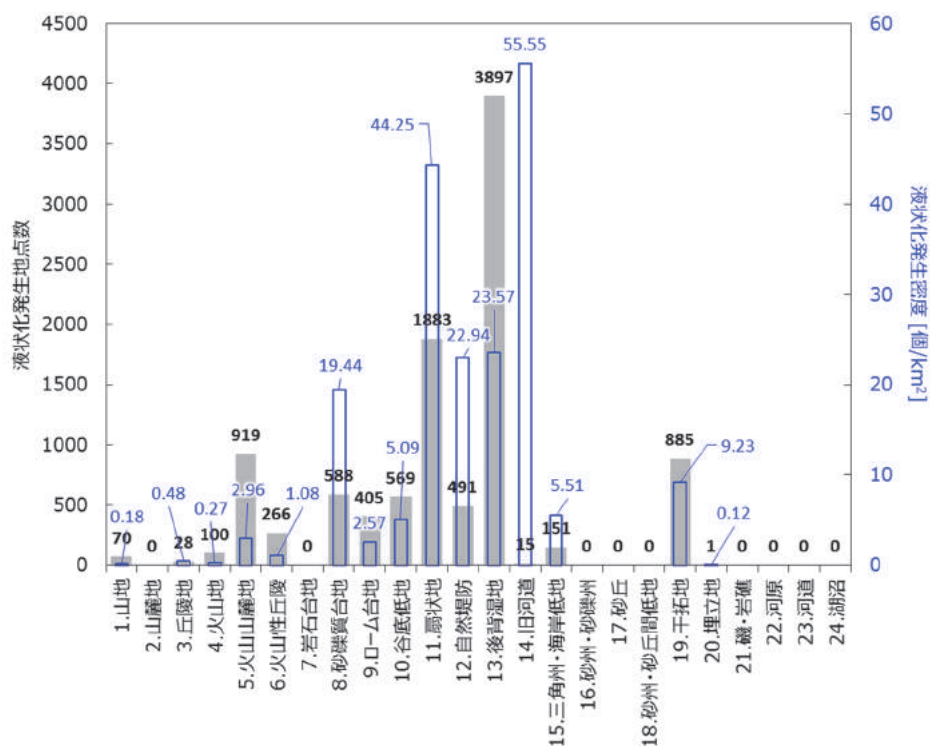


図-18 地形区分ごとの液状化発生地点数（灰色棒グラフ）と液状化発生密度（青棒グラフ）

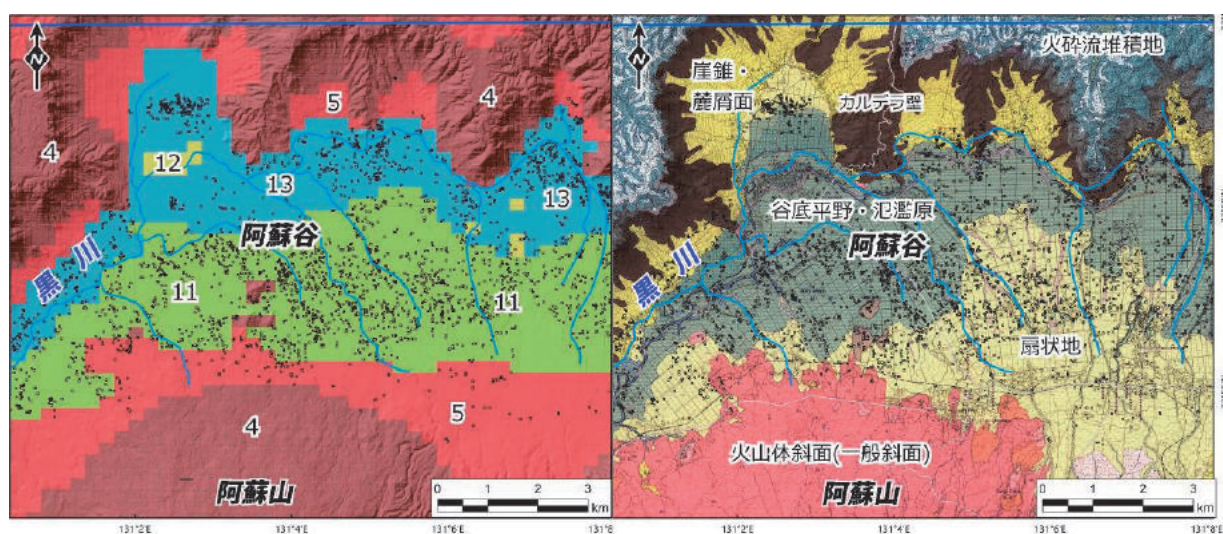


図-19 阿蘇谷における 250m グリッドサイズ地形分類（左）と 1:30,000 火山土地条件図「阿蘇山」（右）及び液状化発生地点（黒点）分布。250m グリッドサイズ地形分類の凡例は図-17 を参照。

則から外れる地域固有の特殊要因によって生じたと考えられる。すなわち、妥当性を向上させるためには、予測に使用する地形分類情報の高解像度化や地形区分の細分化、地域固有の特殊要因をどのように評価手法に組み込むかの検討が必要と考えられる。地形分類情報の高解像度化については、例えば土地条件図等の詳細な地形分類情報が存在する地域はそ

れを用い、存在しない地域は現状の 250m グリッドサイズのデータを用いるといったハイブリッド型にする方法が考えられる。また、石井ほか（2011）や中埜（2016）の方法によって 250m グリッドサイズの地形分類情報を細分化（50m グリッドサイズ化）したデータを作成・使用することも有効と考えられる。

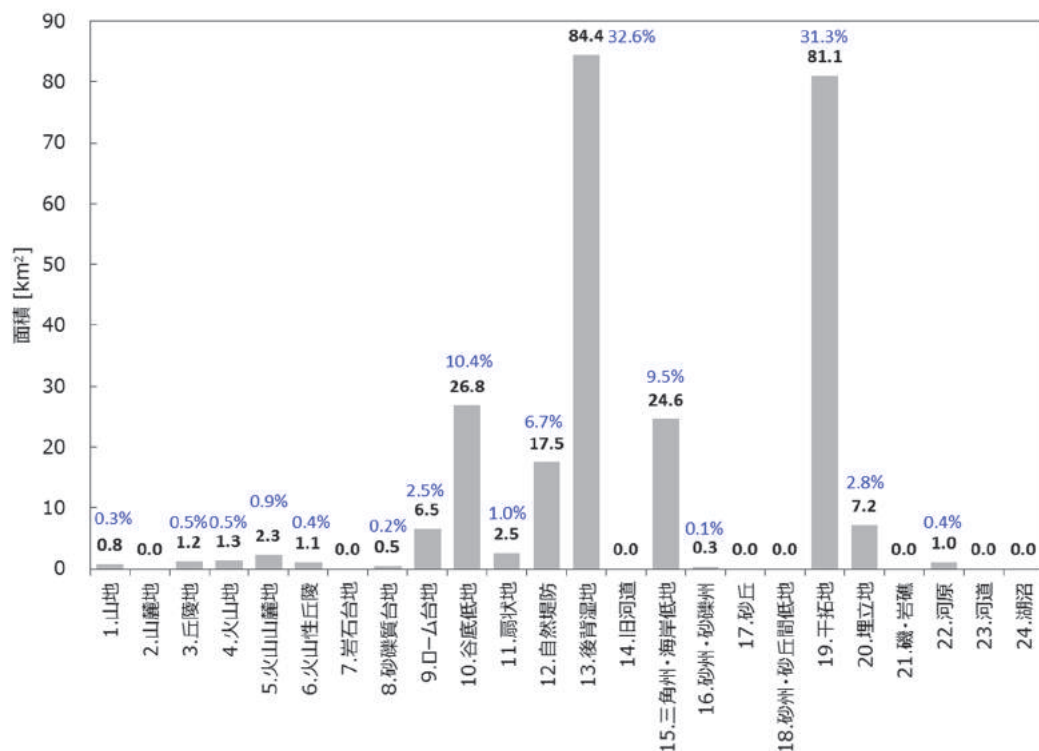


図-20 SGDAS の液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域内の地形区分ごとの面積（黒数字）及び面積率（青字百分率）

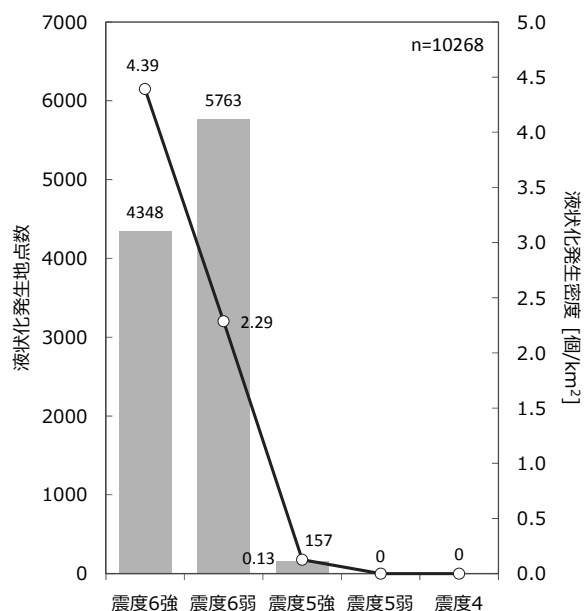


図-21 推計震度ごとの液状化発生地点数（棒グラフ）及び液状化発生密度（折れ線グラフ）

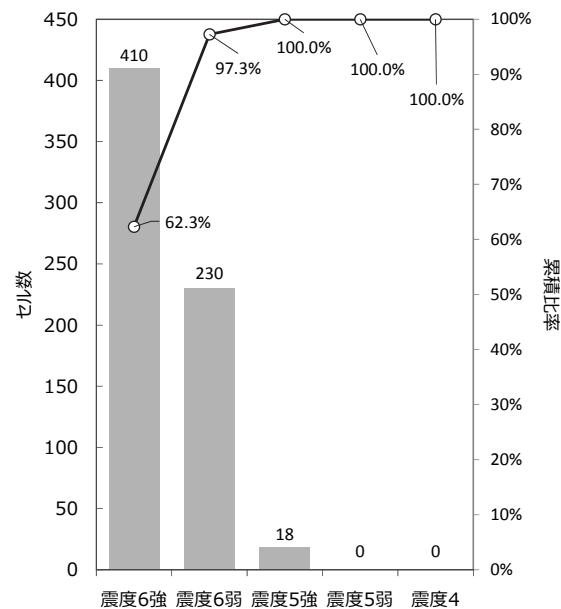


図-22 SGDAS の液状化の発生可能性が大きい場所の集中領域内の推計震度セル数（棒グラフ）及び累積比率（折れ線グラフ）

5. まとめと課題

これまで一定の有用性が確認されていた SGDAS による地震時地盤災害発生可能性予測について、2016 年熊本地震で発生した斜面災害（斜面崩壊、地すべり）と液状化の事例を基に検証した。その結果、斜面災害予測は、実際の土砂崩壊発生箇所を概ねカバーできていたが、土砂崩壊が実際にはほとんど発生しなかった地域を過剰に予測しており、予測に使用している修正六甲式のアロリズム（特に傾斜度の寄与度）または脆弱な地質の評価への寄与方法を改良する必要があることが明らかとなった。

また、液状化予測においては見逃しが多発したが、これは SGDAS で使用している地形分類情報の空間

分解能の不足や従来の経験則から外れる地域固有の特殊要因によると考えられ、予測に使用する地形分類情報の高分解能化・細分化の必要性や、それだけでは表現しきれない地域固有の特殊要因の予測手法への取り込み方法の検討の必要性が明らかとなった。さらに、使用する地形分類情報を高分解能化するとそれだけ計算処理に時間を要するため、実用的な処理時間が担保できるかどうかの検討も必要である。今後の SGDAS の利活用の方向性も含めて、改良の必要性等の議論が必要と考える。

（公開日：平成 30 年 5 月 29 日）

参考文献

- 青山雅史，宇根寛（2016）：平成 28 年熊本地震による液状化分布と土地条件，日本学術会議・防災学術連携体「熊本地震・三ヶ月報告会」，http://janet-dr.com/11_saigaiji/160716kyushu_houkokukai/20160716pdf/22_ajg.pdf (accessed 12 Dec. 2017).
- 防災科学技術研究所（2016）：熊本地震による土砂移動分布図（2016.6.27 更新），<http://www.bosai.go.jp/mizu/dosha.html> (accessed 12 Dec. 2017).
- 防災科学技術研究所（2017）：J-SHIS 地震ハザードステーション「地すべり地形」，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/> (accessed 12 Dec. 2017).
- 石井一徳，翠川三郎，三浦弘之（2011）：高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた広域での地形・地盤分類メッシュマップの細密化，地域安全学会論文集，14，1-10.
- 地盤工学会（2016）：平成 28 年熊本地震 災害調査報告-液状化班（液状化マップ（熊本平野）），<http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/KumamotoLique.html> (accessed 12 Dec. 2017).
- 神谷泉（2013）：地震時の地盤災害のリアルタイムの予想，第 42 回国土地理院報告会講演要旨・発表資料，<http://www.gsi.go.jp/common/000081580.pdf>，<http://www.gsi.go.jp/common/000081660.pdf> (accessed 12 Dec. 2017).
- 神谷泉，小荒井衛，乙井康成，中埜貴元（2014）：地震時地盤被害予想システムの構築，国土地理院時報，126，61-66.
- 神谷泉，乙井康成，中埜貴元，小荒井衛（2012）：地震による斜面崩壊危険度評価判別式「六甲式」の改良と実時間運用，写真測量とリモートセンシング，51(6)，381-386.
- 小荒井衛，中埜貴元，神谷泉，松岡昌志（2013）：地形分類情報を活用した液状化発生危険度の予測，日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿，HSC25-10.
- 国土地理院（1994）：1:30,000 火山土地条件図「阿蘇山」，国土地理院.
- 国土地理院（2016）：平成 28 年熊本地震に関する情報「土砂崩壊地分布図について」，<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#cc> (accessed 12 Dec. 2017).
- 国土交通省水管理・国土保全局砂防部（2016）：平成 28 年熊本地震による土砂災害の概要，http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28dosha/160914_gaiyou_sokuhou.pdf (accessed 12 Dec. 2017).
- 黒木貴一（2016）：熊本地震に対する日本応用地質学会の地震断層・斜面災害・水文地質調査，日本学術会議主催シンポジウム「熊本地震・三ヶ月報告会」講演資料，http://janet-dr.com/11_saigaiji/160716kyushu_houkokukai/20160716pdf/23_jseg.pdf (accessed 12 Dec. 2017).
- 町田洋，太田陽子，河名俊男，森脇広，長岡信治（2001）：日本の地形 7「九州・南西諸島」，東京大学出版会.
- 宮縁育夫（2016）：平成 28 年（2016 年）熊本地震によって南阿蘇村周辺域で発生した斜面災害，地学雑誌，125(3)，421-429.
- 内閣府非常災害対策本部（2016）：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（第 2 報），http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/pdf/h280414jishin_02.pdf (accessed 12 Dec. 2017).

- 中埜貴元 (2016) : 液状化リスク評価のための地形・地盤分類情報の効率的整備手法の開発, 第 45 回国土地理院報告会資料, <http://www.gsi.go.jp/common/000141659.pdf> (accessed 12 Dec. 2017).
- 中村真也 (2016) : 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震における土砂災害について, 日本学術会議主催シンポジウム「熊本地震・三ヶ月報告会」講演資料, http://janet-dr.com/11_saigaiji/160716kyushu_houkokukai/20160716pdf/42_jls.pdf (accessed 12 Dec. 2017).
- 小野晃司, 渡辺一徳 (1985) : 阿蘇火山地質図, 地質調査所.
- 内田太郎, 片岡正次郎, 岩男忠明, 松尾修, 寺田秀樹, 中野泰雄, 杉浦信夫, 小山内信智 (2004) : 地震による斜面崩壊の危険度評価手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 204.
- 若松加寿江, 松岡昌志 (2009) : 全国を網羅した地形・地盤分類 250 m メッシュマップの構築. 第 3 回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」研究成果の中間報告予稿集, 15-20.
- 若松加寿江, 先名重樹, 小澤京子 (2017) : 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震による液状化発生の特性, 日本地震工学会論文集, 17(4), 81-100.
- 脇田浩二, 井川敏恵, 宝田晋治 (2009) : 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版, 数値地質図 G-16, 産業技術総合研究所.
- 渡邊勇, 藤見俊夫, 北園芳人, 鳥井真之, 稲本義人 (2017) : 熊本地震による土砂災害リスク増大に対すミチゲーション政策, 防災科学技術研究所研究資料, 411, 187-192.