

# 地震時の地盤災害の リアルタイムの予想

地理地殻活動研究センター  
地理情報解析研究室主任研究官  
神谷 泉

平成25年6月7日  
第42回国土地理院報告会

## 問題点

地震直後は、被災状況がわからない場合がある

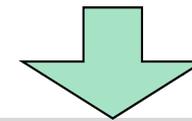
中越地震では、山古志村の被害がわかったのは、翌朝

阪神淡路大震災では、深刻な被害が認識されたのは、テレビで空撮映像が放映されてから

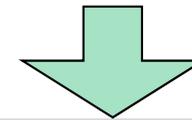
現在は、危機管理体制が進んでいるが・・・

## 本研究が提案する解決策

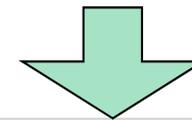
震度と既存情報で、  
現地の状況を予想できないか



地盤災害(斜面崩壊、地すべり、  
液状化)を予想し、結果を配信

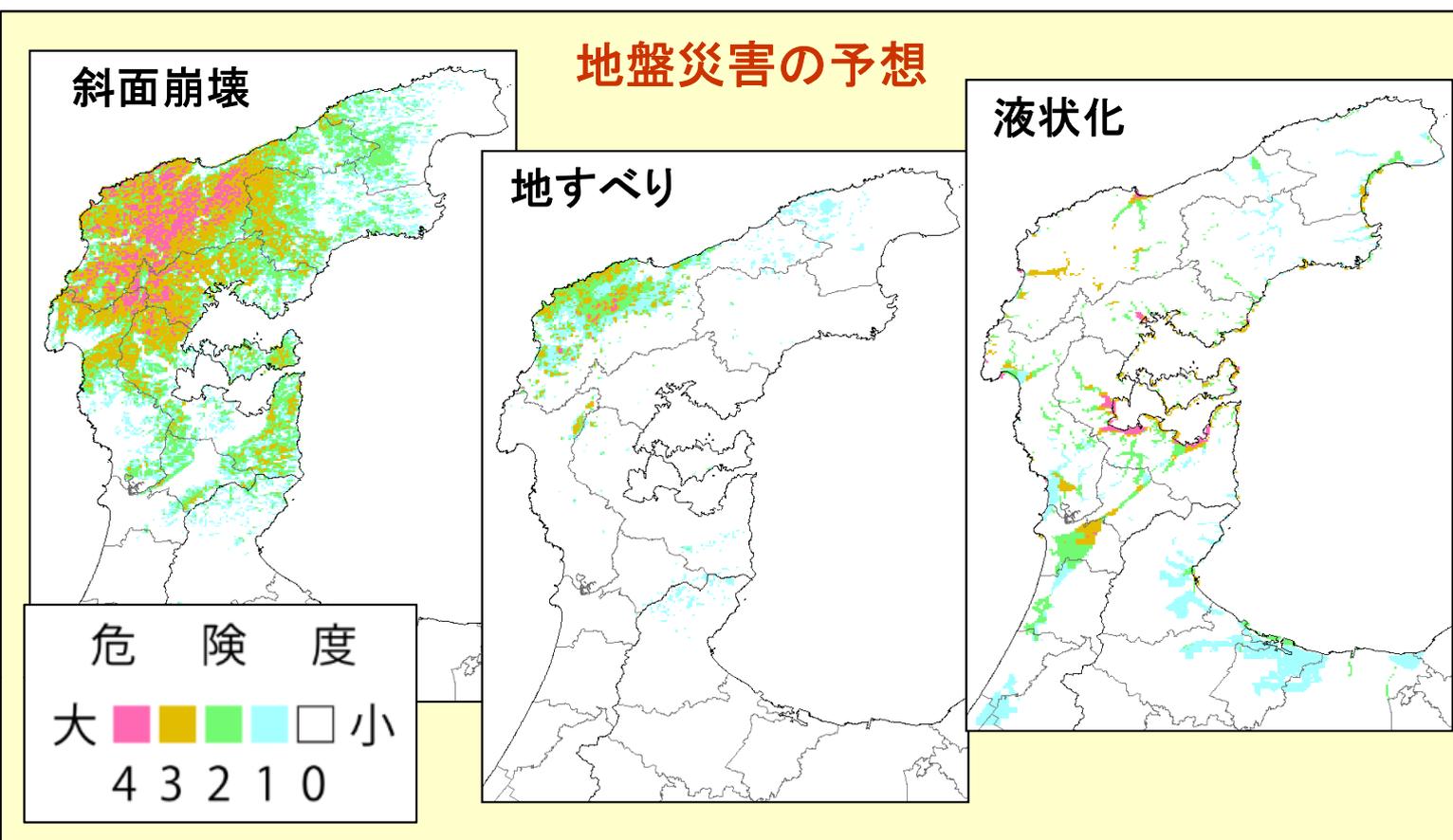
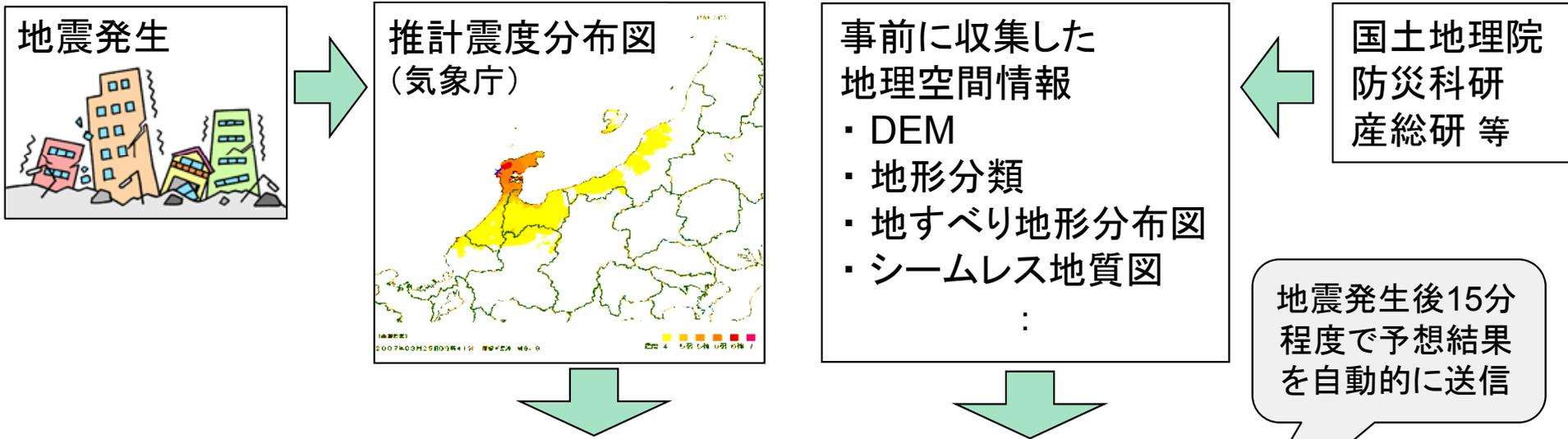


行政的に役立てる

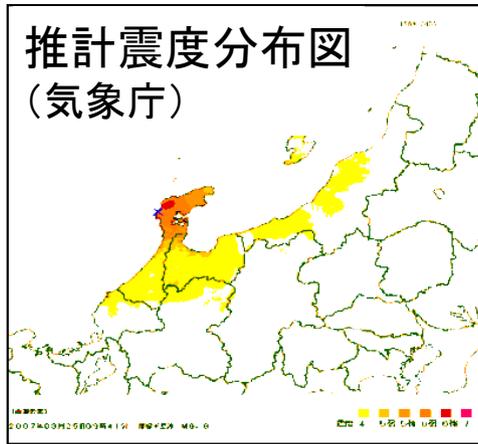


国民の安全・安心

# 研究の概要と成果の活用方針

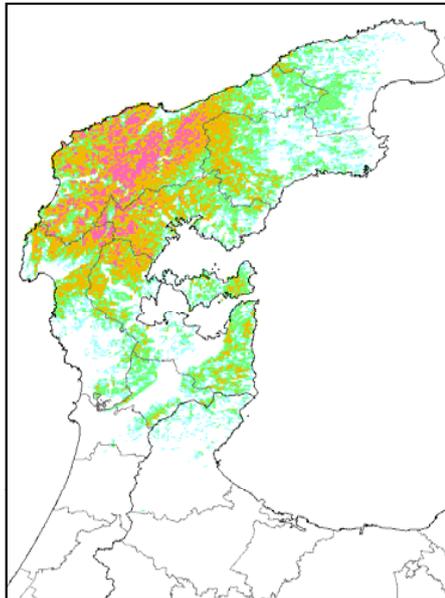


# 地盤災害の予想アルゴリズム



計測震度の補正

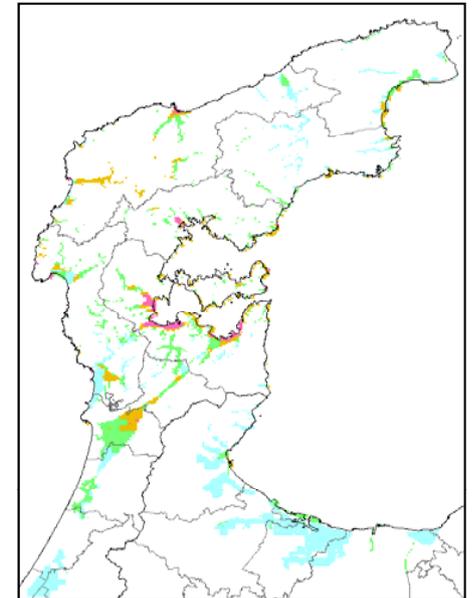
斜面崩壊の予想



地すべりの予想



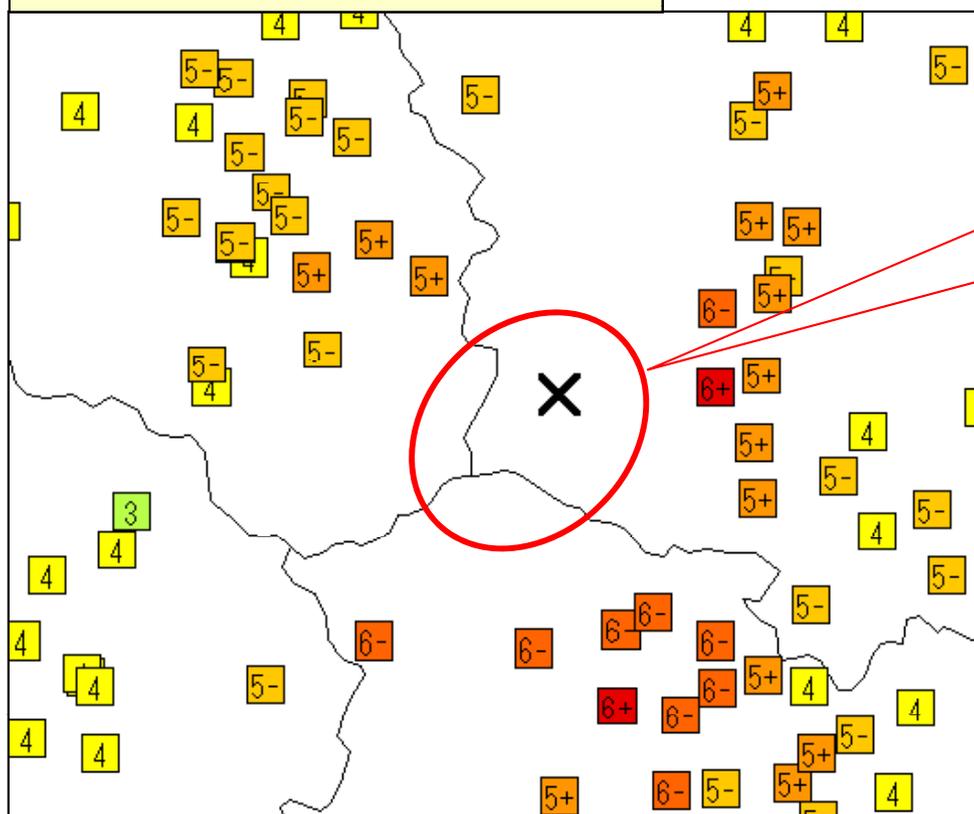
液状化の予想



# 距離減衰式を用いた計測震度の補正 (1)

- 推計震度分布図** 震度計が計測した計測震度を、地盤条件を考慮して内挿。
- 問題点** 震度計が震央付近に存在しないと、震央付近の震度が過小に評価される。
- 対処方針** 計測震度の距離減衰式を使用して計測震度を補正。

## 岩手・宮城内陸地震の例



このあたりの計測震度が最も大きいと考えられるが、震度計がないので、周りの計測震度から推定している

### 計測震度と震度の例

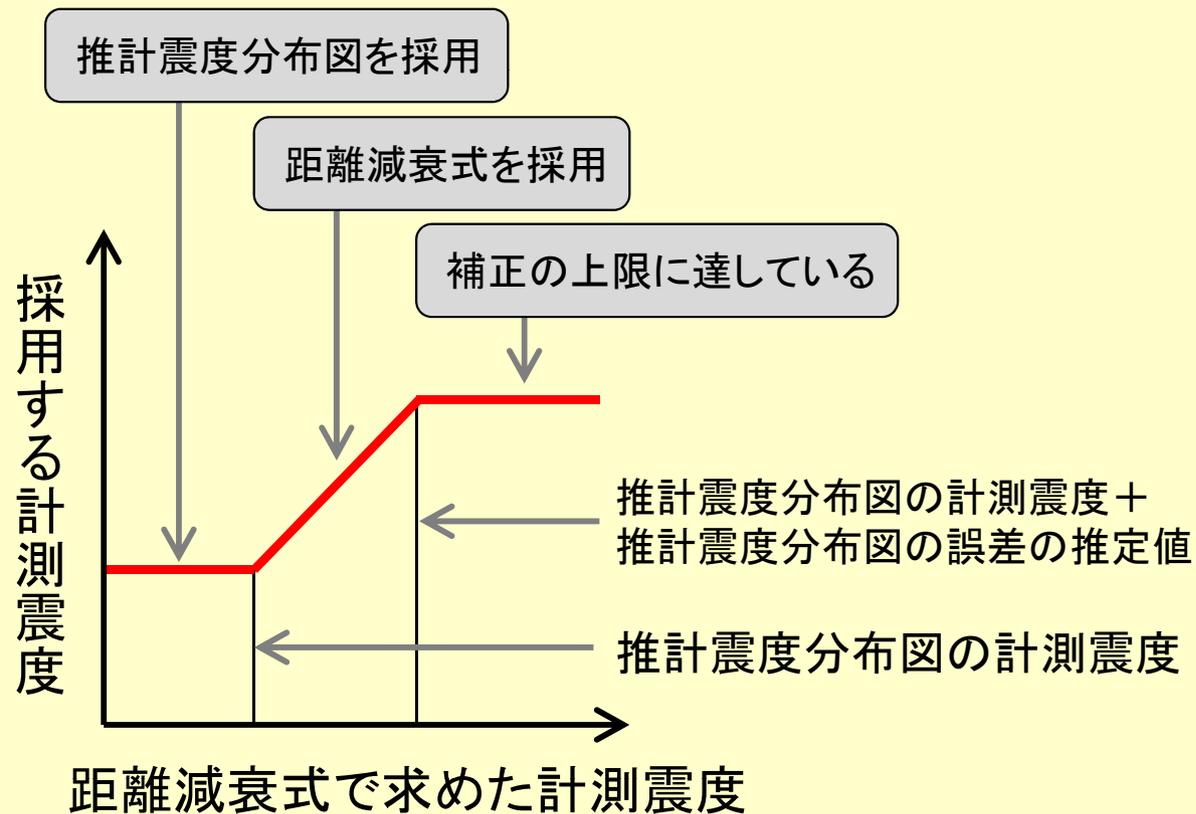
計測震度 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9  
→ 震度 5弱

計測震度 5.0, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4  
→ 震度 5強

# 距離減衰式を用いた計測震度の補正 (2)

## アルゴリズム

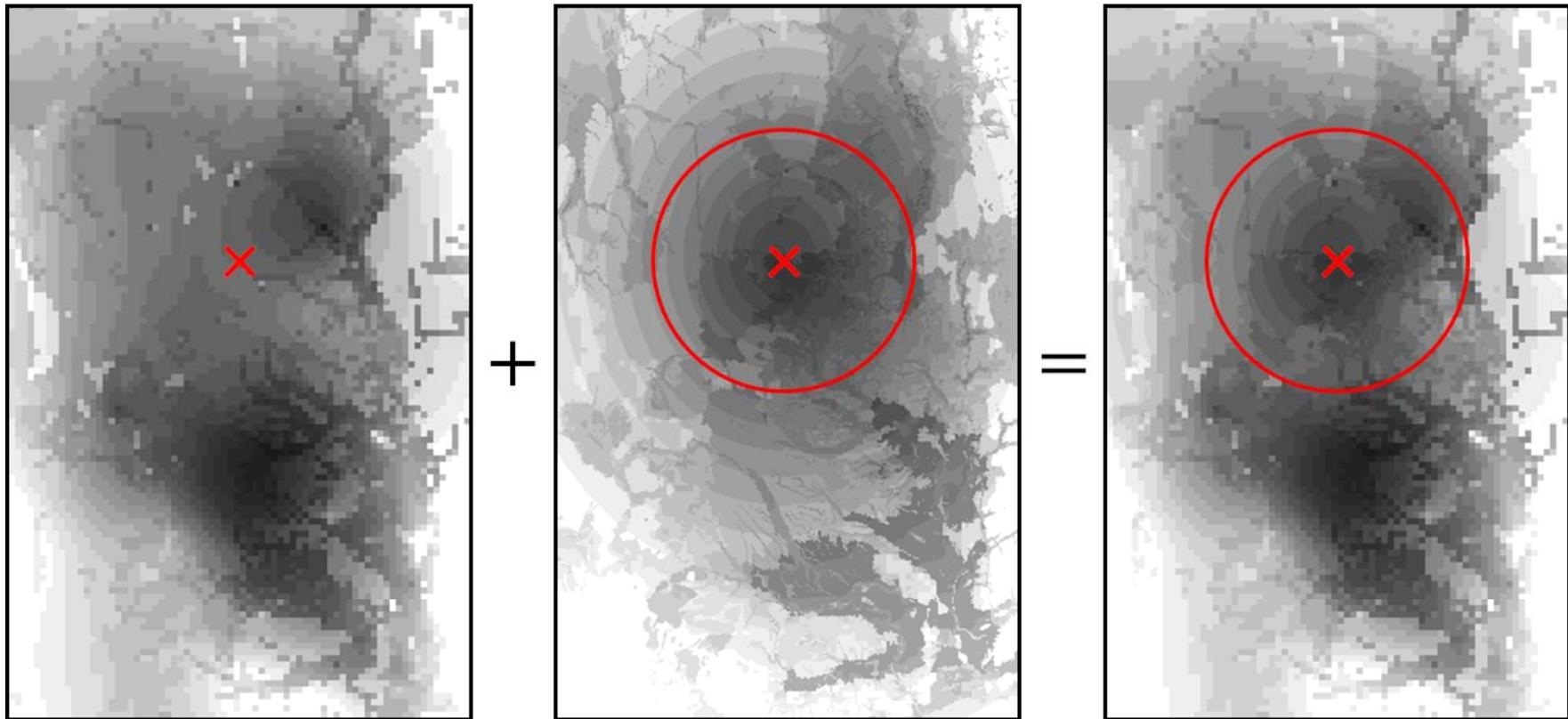
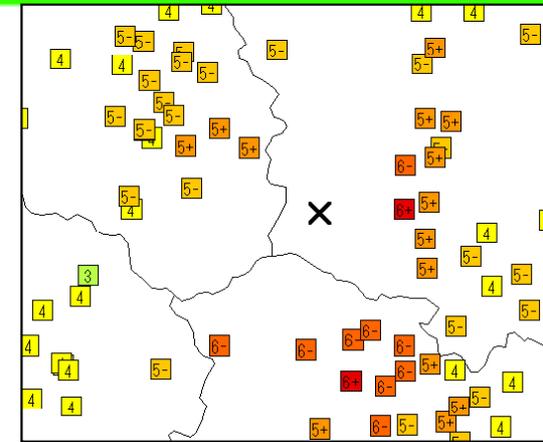
推計震度分布図添付の震源の位置を用いた点震源のモデルを仮定。  
 距離減衰式には、地盤の条件(揺れやすさ)を示す **AVS30** を考慮。  
 距離減衰式のパラメーターを、推計震度分布図の震度観測点の位置の計測震度で決定。  
 震度計の不足に起因する推計震度分布図の誤差を推定。



# 距離減衰式を用いた計測震度の補正 (結果)

岩手・宮城内陸地震の例

推計震度分布図	5強
震源付近の震度	6強 (防災科研「一関西」)
補正結果	6弱



推計震度分布図 + 距離減衰式 = 計測震度の補正結果  
 震源付近(赤丸)の震度のみが補正されていることがわかる

# 斜面崩壊の予想方法

多くの地震で検証されている**六甲式**(国総研作成、兵庫県南部地震における経験式)を採用。

六甲式作成時のトウルスデータの範囲等を考慮しながら、「震度6強以上では常に崩壊」、「傾斜43度以上では常に崩壊」という欠点をなくす(修正六甲式)。

六甲式

$$F = 0.075s - 8.92c + 0.006a - 0.3228$$

修正六甲式

$$G = 3.93 \log a + \frac{4.38 \log(s - 119c) - 15.27}{}$$

静的な部分(地震前に計算可能)

$s$  地表面の傾斜(度)

値が大きいほど危険

$c$  地表面の平均曲率( $m^{-1}$ )

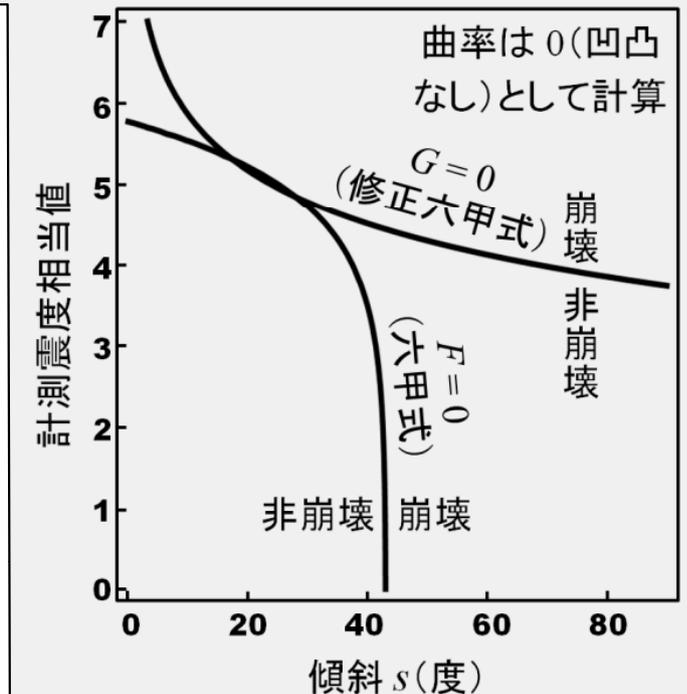
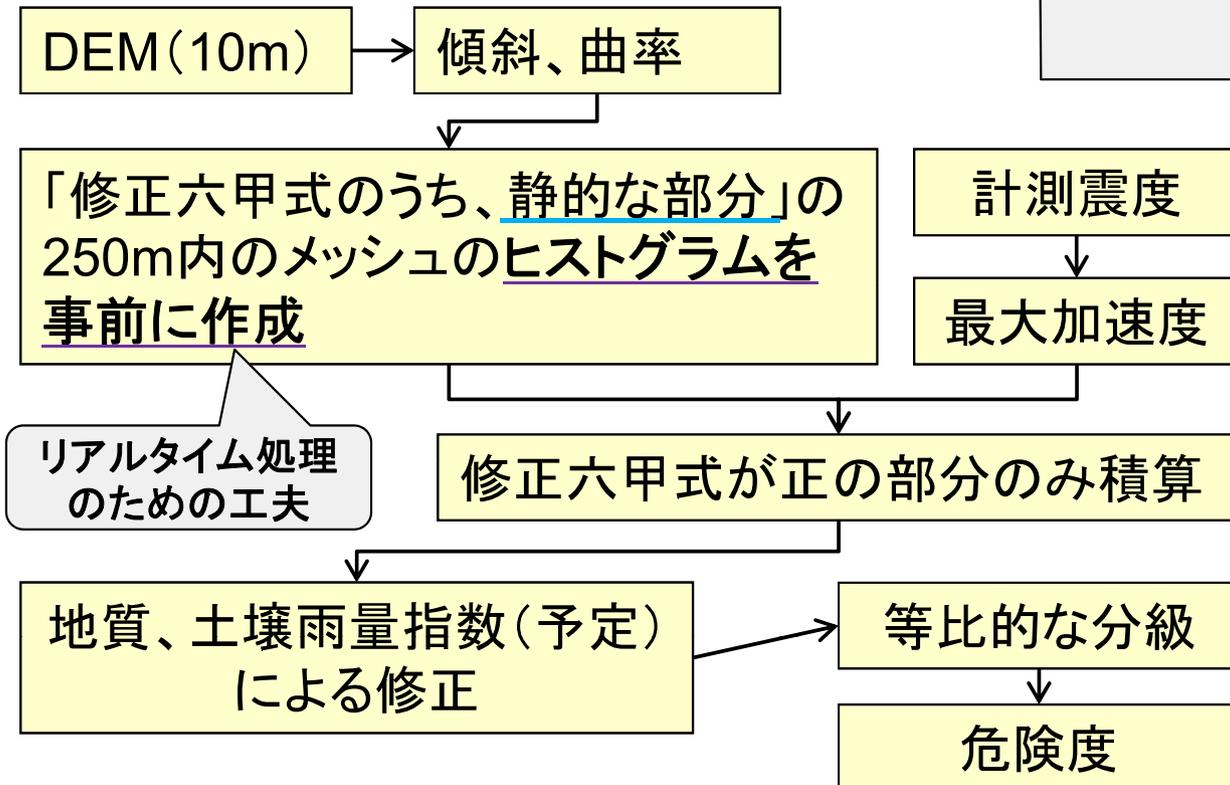
崩壊と非崩壊に2分

$a$  最大加速度(gal)

する場合は、

正: 崩壊

負: 非崩壊



# 過去の地震による検証

以下では、3種の地盤災害の予想方法の説明に続き、過去の地震へ適用した結果のうち、うまくいった代表事例と、問題のあった代表事例を示します。適用した地震は、以下のとおりです。

なお、これ以前の地震では、推計震度分布図が作成されていません。

2003年 十勝沖地震

2004年 中越地震

2005年 福岡県西方沖の地震

2005年 宮城県沖の地震

2007年 能登半島地震

2007年 中越沖地震

2008年 岩手・宮城内陸地震

2008年 岩手県北部の地震

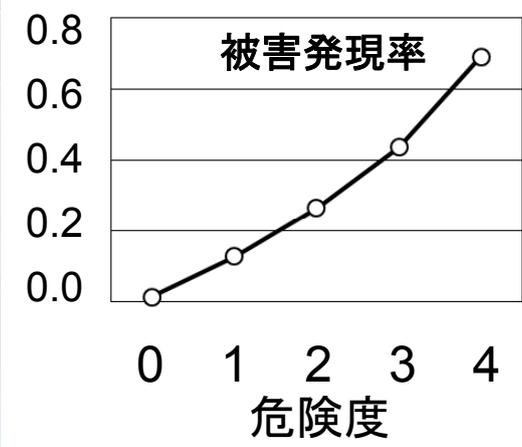
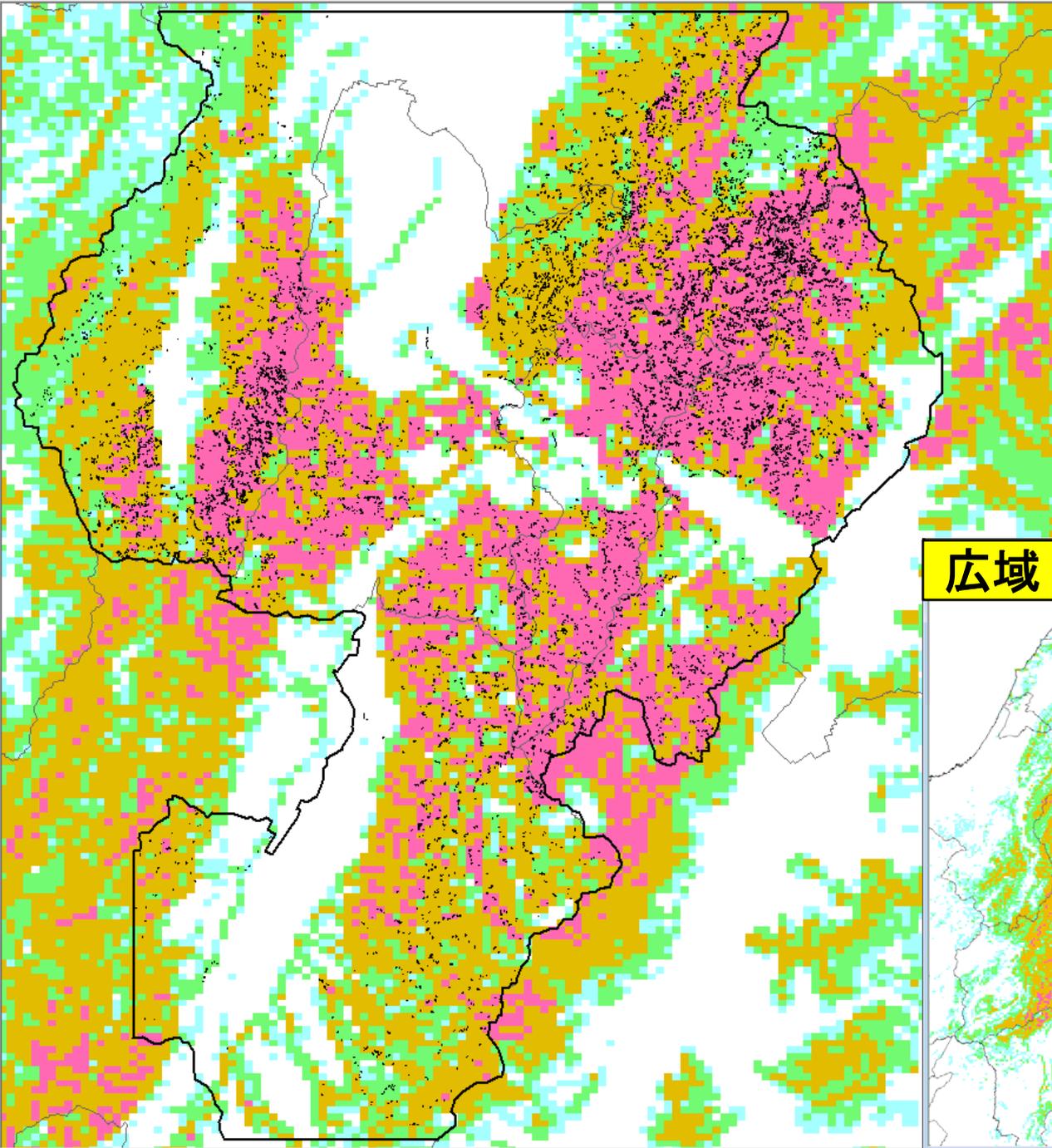
2011年 東北地方太平洋沖地震

2011年 長野・新潟県境の地震

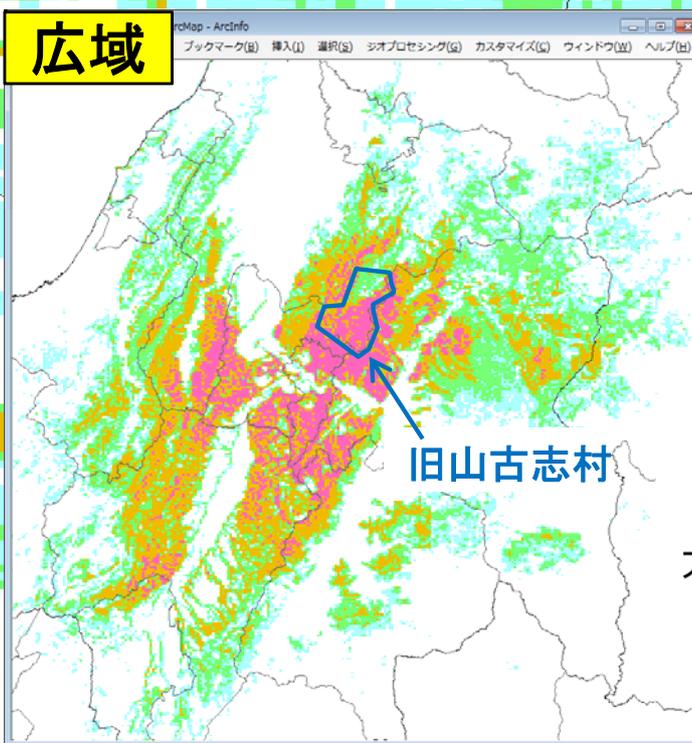
2011年 浜通りの地震

# 過去の地震による検証(斜面崩壊、中越地震)

重ね合わせ20130105a.mxd - ArcMap - ArcInfo  
 ファイル(F) 編集(E) 表示(V) ブックマーク(B) 挿入(I) 選択(S) ジオプロセッシング(G) カスタマイズ(C) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)



空中写真の判読結果とよく整合  
 斜面崩壊は、危険度3及び4の範囲に集中して発生している。  
 また、危険度3と4の範囲を比較すると、危険度4で、より密に発生している。

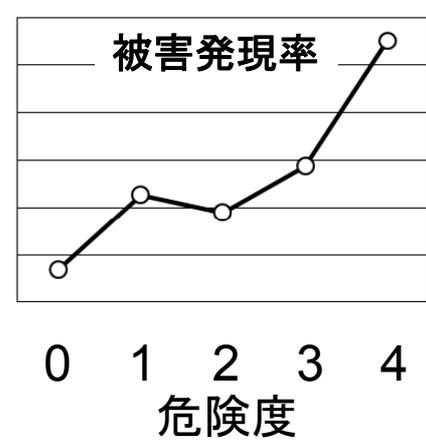
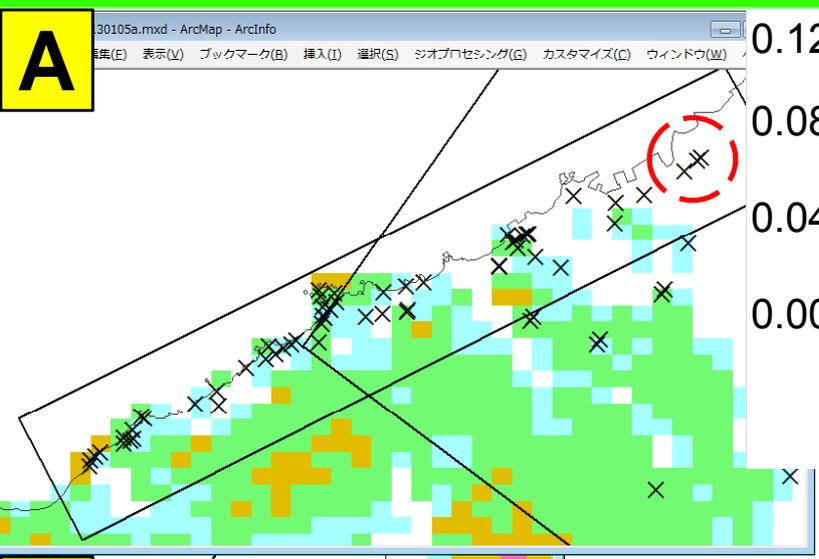


黒枠は調査範囲(以下同様)

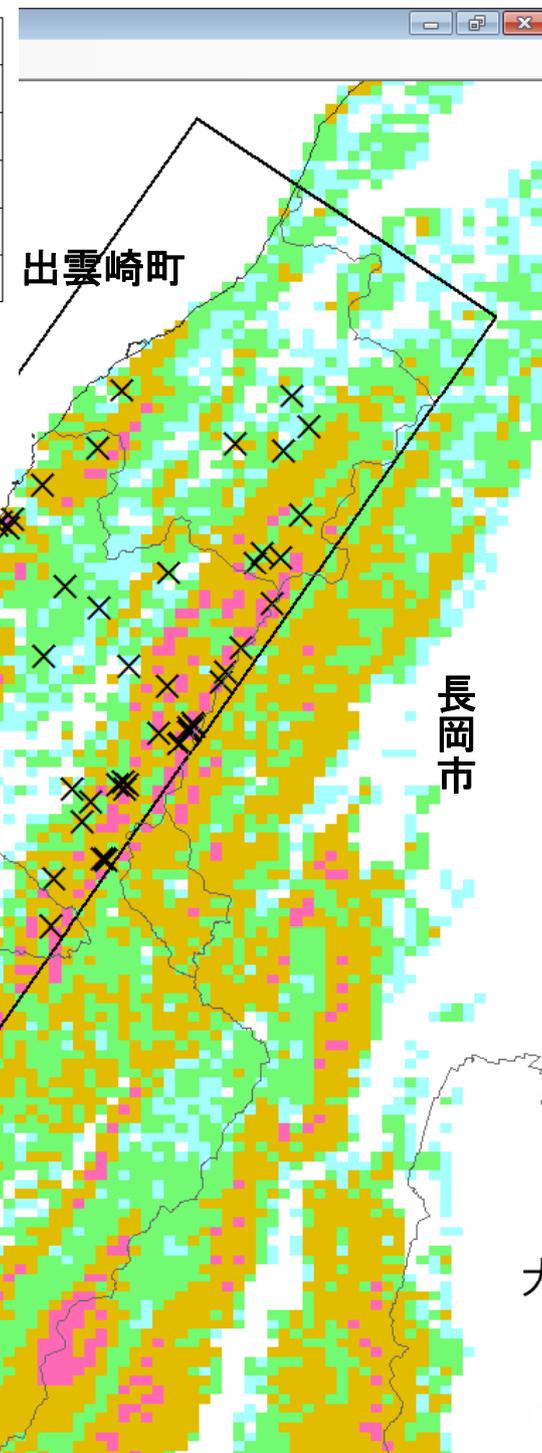
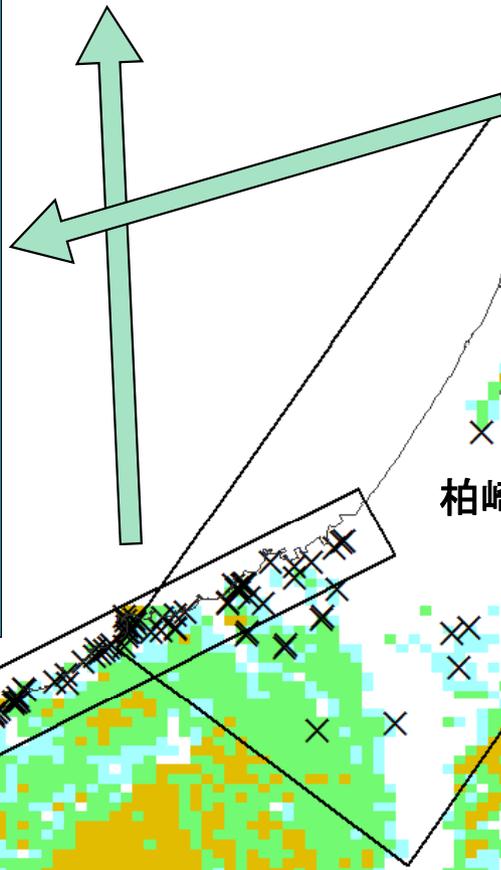
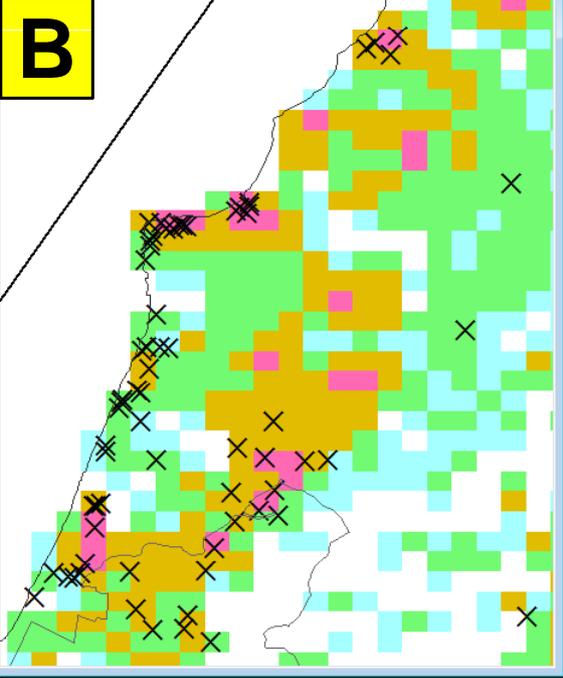


# 過去の地震による検証(斜面崩壊、中越沖地震)

**A**



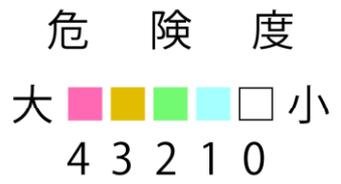
**B**



空中写真の判読結果と概ね整合するが、一部問題あり

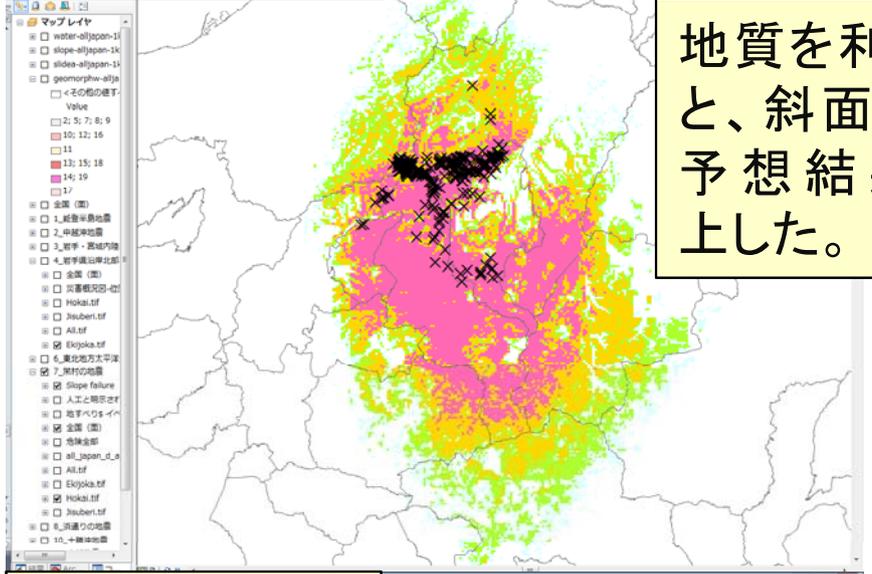
Aの範囲内では山地より海岸沿いで斜面崩壊が多発しているが、予想結果は山地の方をより危険と評価している。

また、少数であるが、赤破線内の砂丘のへりの崩壊を見逃している。これらは、いずれも狭長な急傾斜地である。



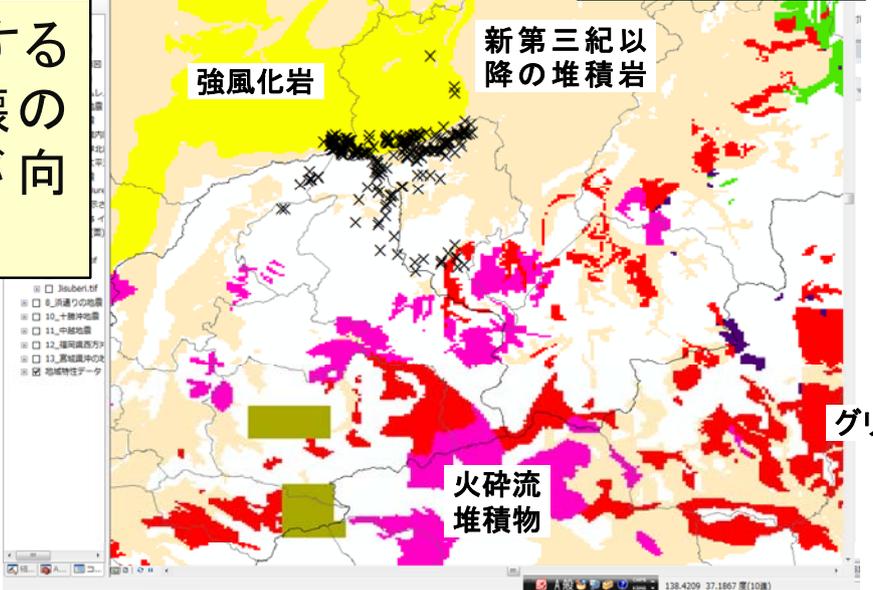
## 長野・新潟県境の地震

**地質データなし**

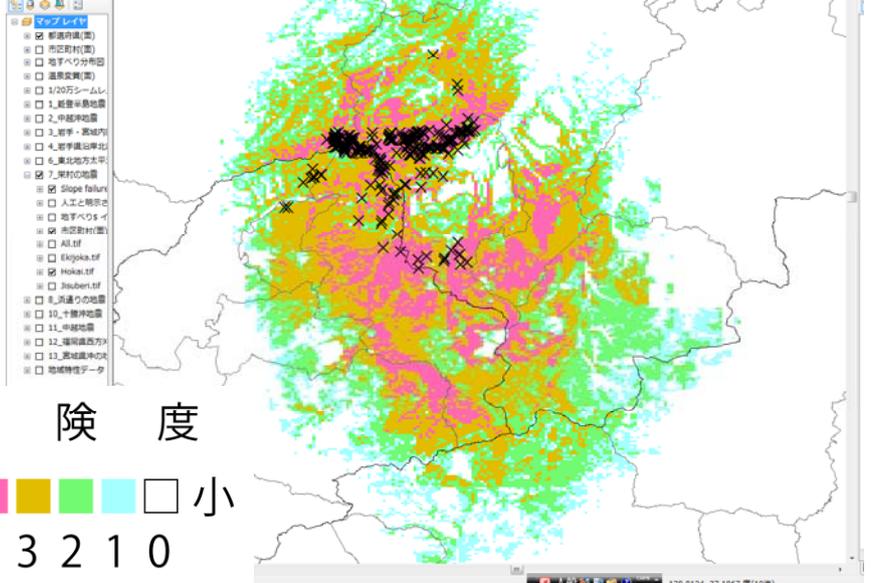


地質を利用すると、斜面崩壊の予想結果が向上した。

**地質データ**



**地質データあり**



危険度  
大 4 3 2 1 0 小

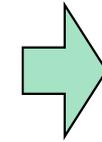
脆弱な地質(下記)の場合、危険度を1段階上げる(実際には、脆弱な地質の分布域の方が広いので、それ以外の地質の場合、危険度を1段階下げている)

- 超苦鉄質岩(≒蛇紋岩)
- 火砕流堆積物
- 新第三紀以降の堆積岩類
- メランジュ
- 断層破碎帯
- 高圧型変成岩
- 強風化岩
- グリーンタフ等
- 温泉変質帯

# 地すべりの予想方法

## 既存の知見

1. 地震時の地すべりは、既存地すべりの再活動と新規地すべりがあるが、1km程度のスケールで見ると、新規地すべりも、既存地すべりの近くで発生。
2. 地震による地すべりは震度5強以上、大半は震度6弱以上で発生。
3. 地すべり分布図は、作成年代により、取得単位のスケール(大まかに取得するか、詳細にするか)が異なる(面積率以外は、直接比較できない)。
4. 地すべりは、降雨、融雪の影響を強く受ける。しかし、土壌雨量指数は、融雪の効果を含まない。



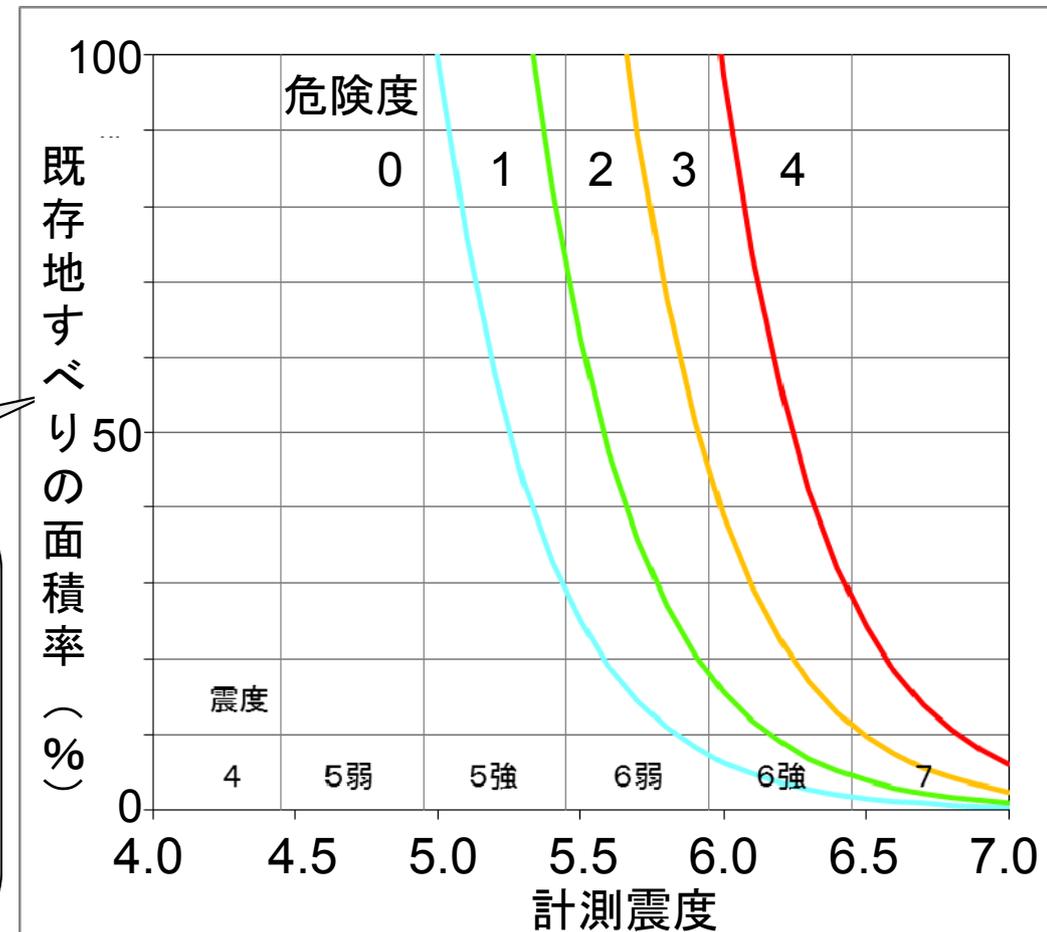
## アルゴリズムの概要

1. 地質を考慮して地すべりの面積率を平均
2. 面積率と震度で、評価(下図)
3. 土壌雨量指数、大まかな積雪地と融雪時期地すべりを考慮(予定)

$$\frac{\log(\text{面積率})}{\log(2.5)} + \frac{(\text{震度} - 5.0)}{0.33} + 1$$

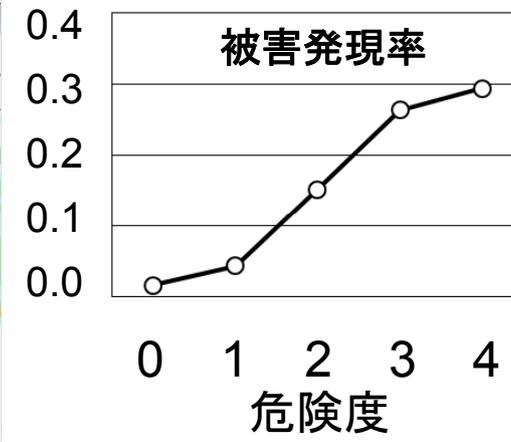
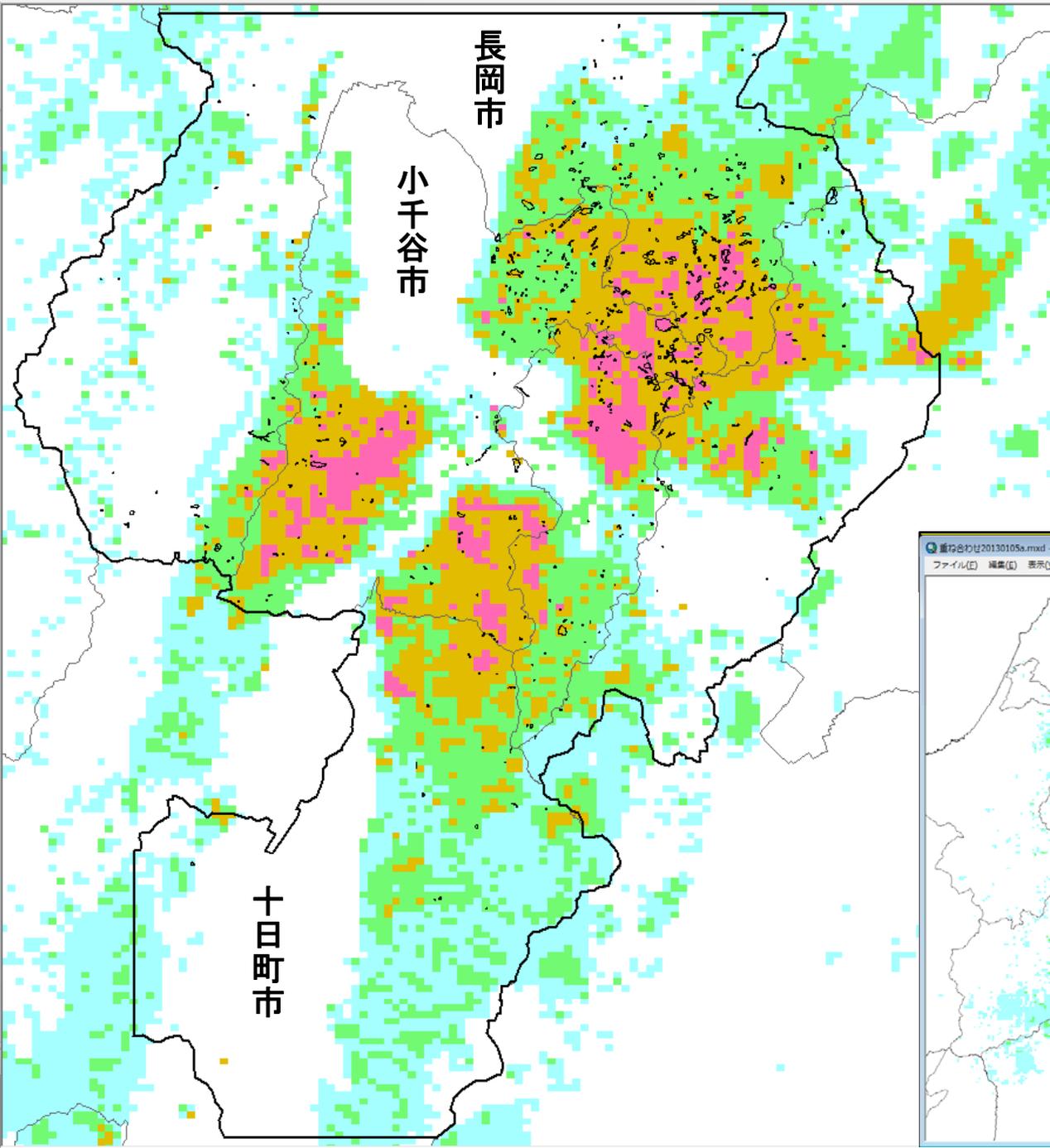
左式の整数部分をとって0~4に分級

既知の知見をもとに、かつ、中越地震、能登半島地震、岩手宮城内陸地震、東日本太平洋沖地震の実態とあうように、定数の値を設定した。

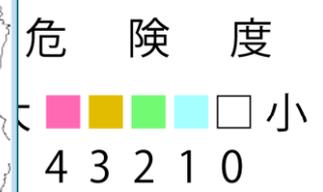
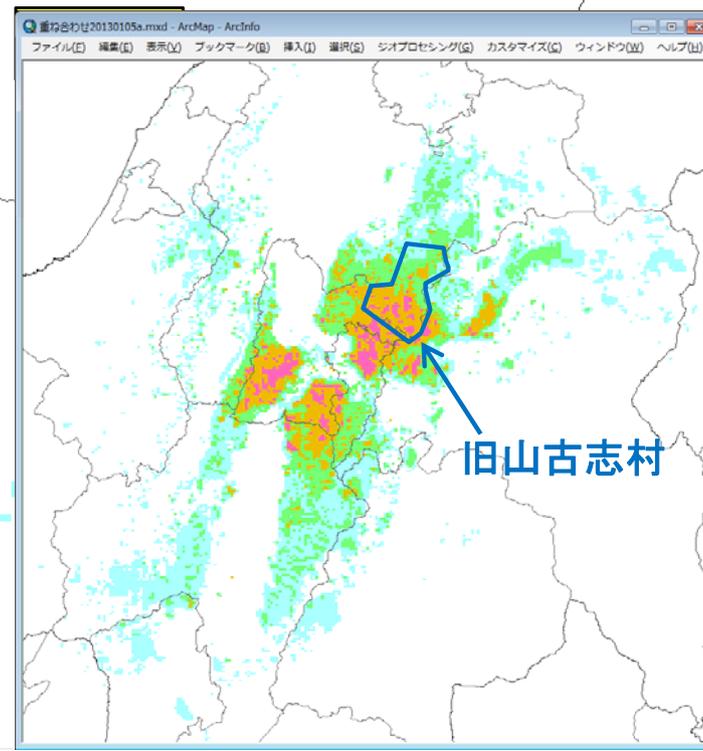


# 過去の地震による検証(地すべり、中越地震)

重ね合わせ20130105a.mxd - ArcMap - ArcInfo  
 ファイル(F) 編集(E) 表示(V) ブックマーク(B) 挿入(I) 選択(S) ジオプロセッシング(G) カスタマイズ(C) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

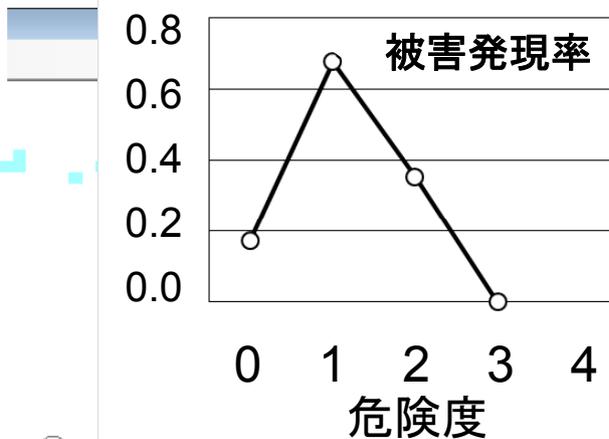


空中写真の判読結果とよく整合  
 地すべりは、概ね危険度2以上でのみ発生し、危険度3及び4の範囲で集中して発生している。



# 過去の地震による検証

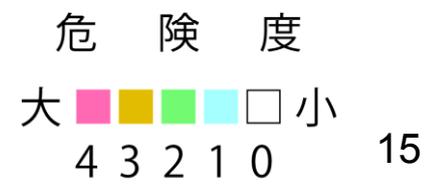
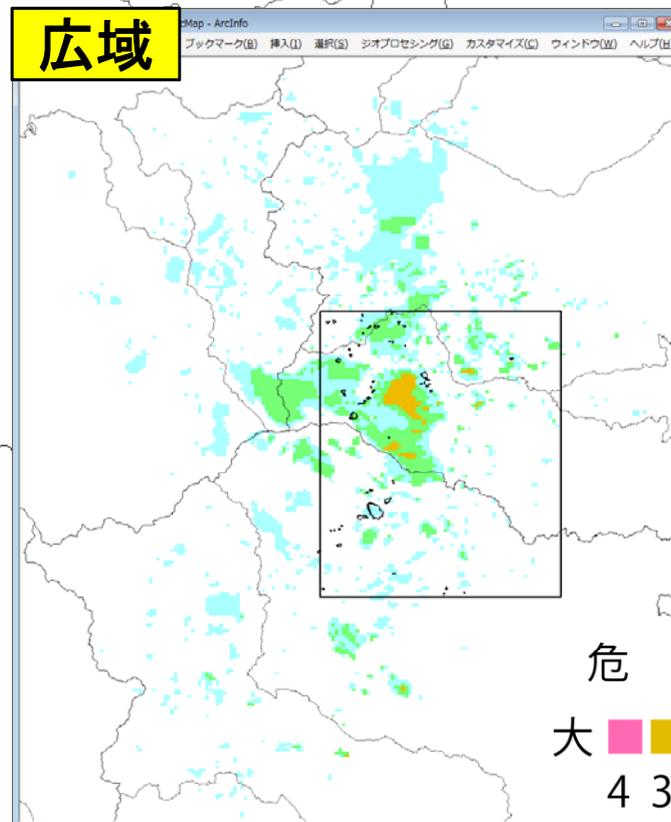
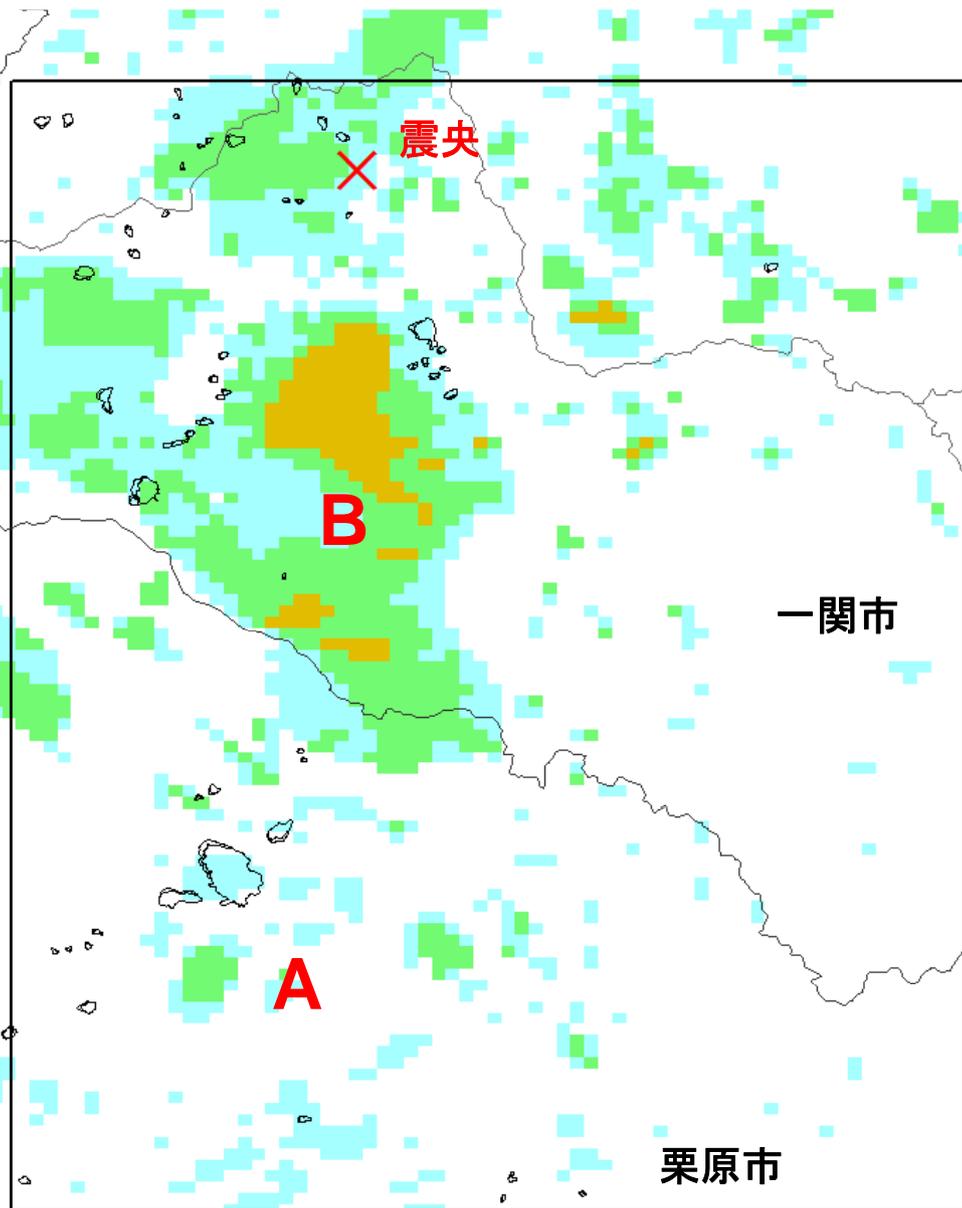
## (地すべり、岩手・宮城内陸地震)



空中写真の判読結果とある程度類似しているが、一部問題あり

Aの範囲内が過小評価となっている。これは、点震源を仮定した距離減衰式では震度が十分補正されなかったことに原因があると考えられる。

Bの範囲が相対的に過大に評価されている。ここで地すべりが発生していない理由は、この周辺の断層面上のすべりが小さいためと考えられる。



# 予想方法(液状化)

## 液状化の予想方法

1. PL法(半物理的な方法)
2. 地形分類を用いた経験的な方法

1のPL法は、標準貫入試験のN値、地下水位が必要。⇒ 2を採用。

国土地理院内の知見+松岡・若松等の知見を用いて、**震度**と**地形分類**(若松による250mメッシュ)から、下表に基づき危険度を計算。

一部で10m DEMを併用(下の\*2、\*3)。

震度 \ 地形分類	山地丘陵 火山地 火山性丘陵 礫・岩礁 水域 *1	山麓地 火山山麓地 岩石台地 ローム台地	扇状地 砂礫質台地	扇状地 *2 砂丘	自然堤防 *3 砂州・砂礫洲 後背湿地 谷底低地	干拓地 三角州・海岸低地 自然堤防 谷底低地 *2	砂丘 *4 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

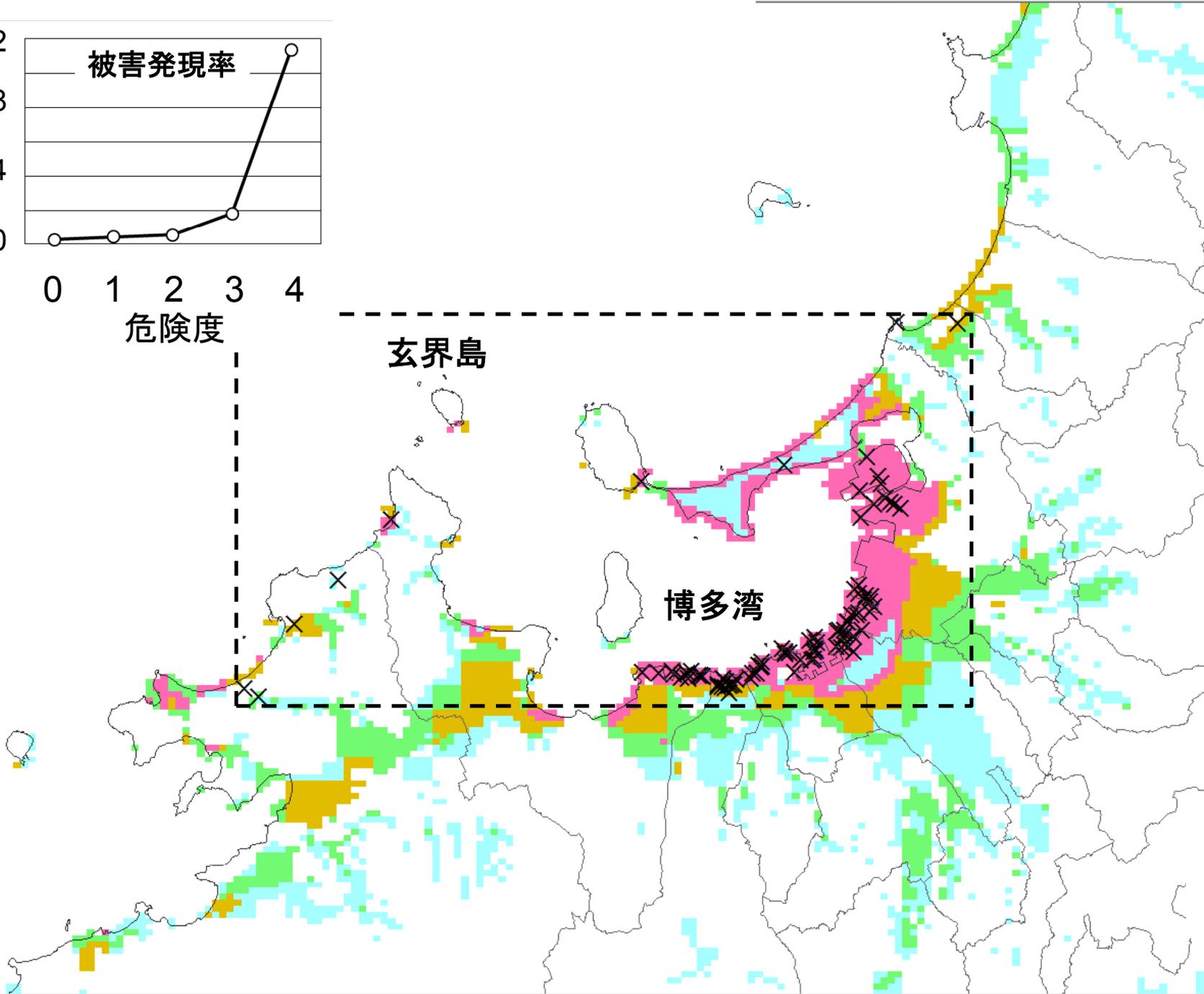
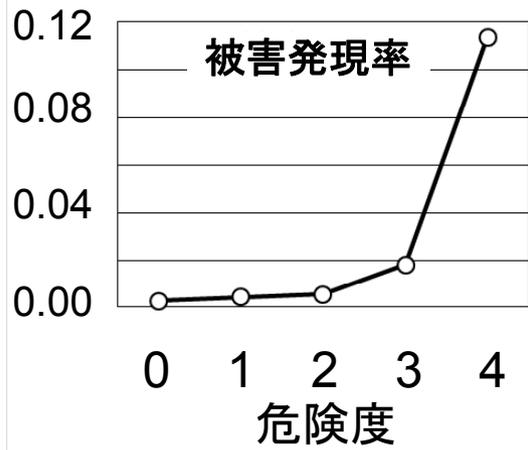
\*1 河道、湖沼、沿岸海域

\*2 傾斜が緩い場合(勾配1/100未満)

\*3 比高が高い場合(5m以上)

\*4 低地に接する砂丘のへりの場合

# 過去の地震による検証 (液状化、福岡県西方沖の地震)



液状化履歴 \*  
マップとよく整合

液状化は、ほぼ危険度4の部分でのみ発生。

\* 日本液状化履歴マップ 745-2008

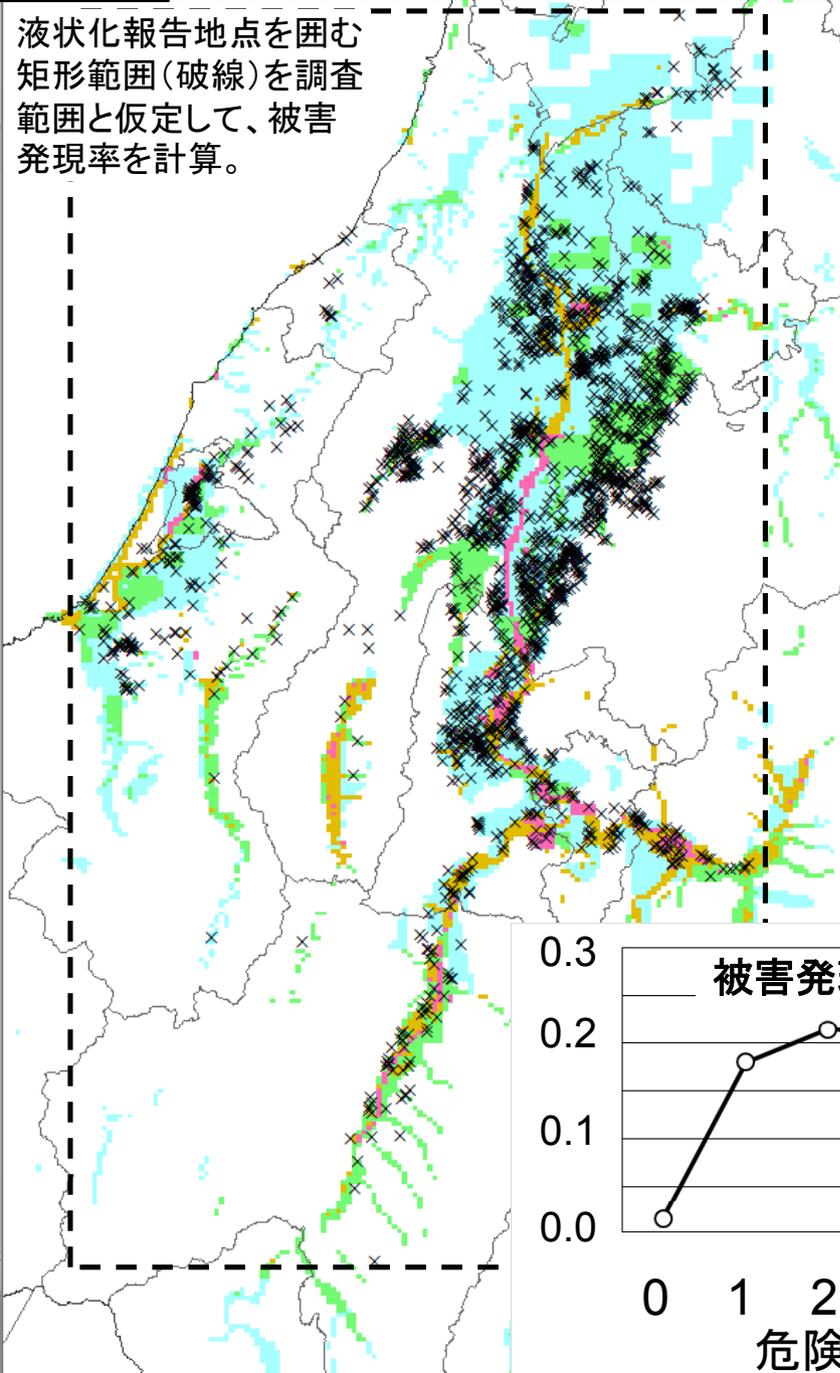
これまで報告された液状化をとりまとめた冊子。悉皆的な調査ではないが、国内で最も網羅的な液状化の調査結果である。

破線は、被害発現率を計算において、仮想的に設定した調査範囲(以下同様)。

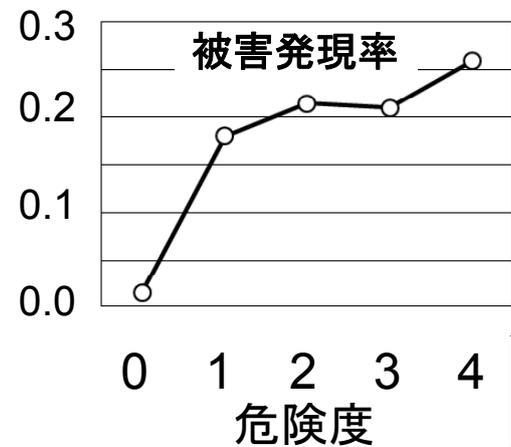
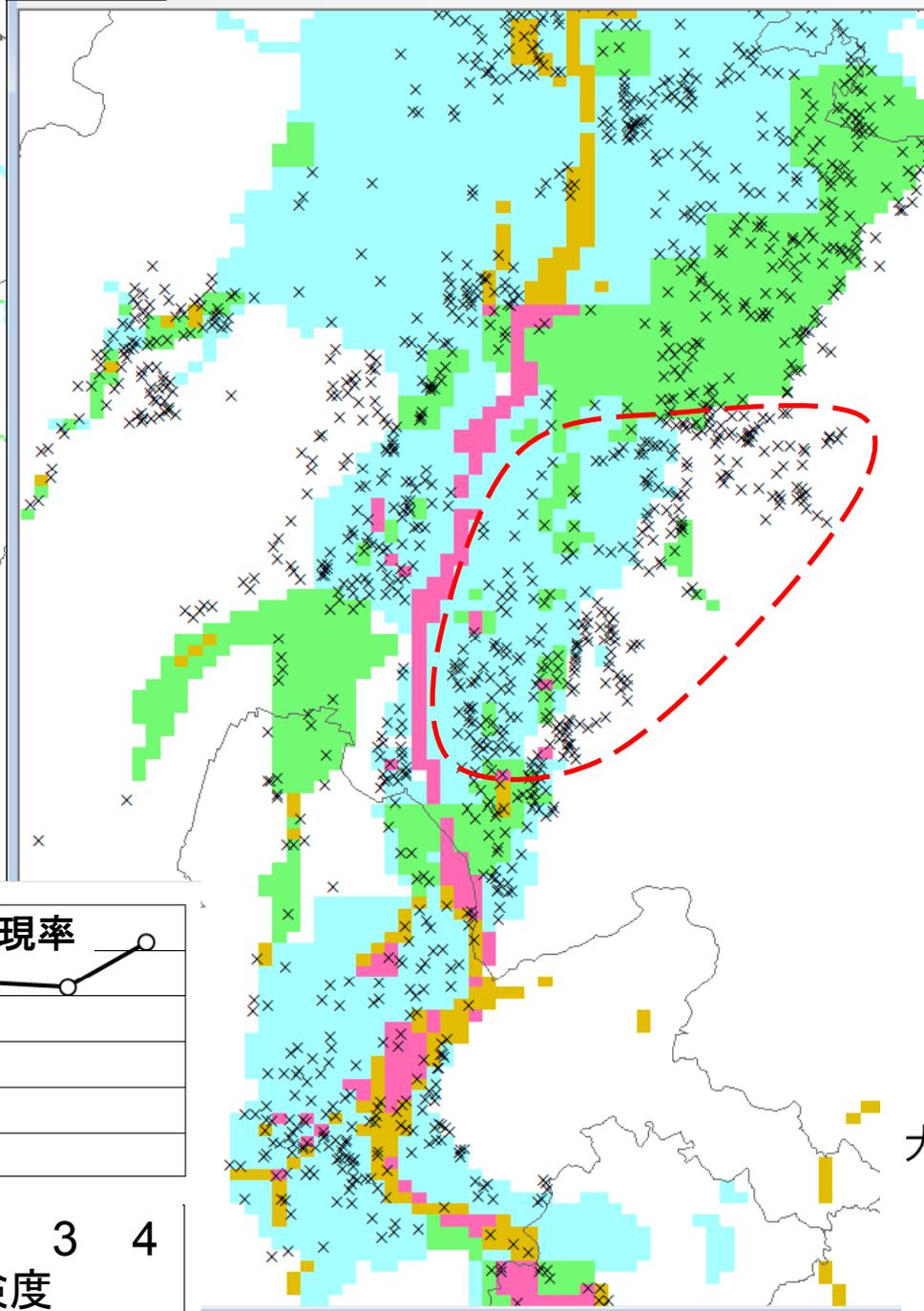
危険度  
大 4 3 2 1 0 小

# 過去の地震による検証(液状化、中越地震)

## 広域



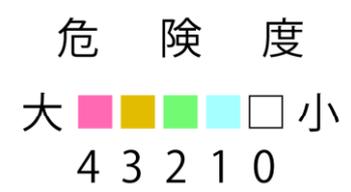
## 拡大



日本液状化履歴マップと概ね整合するが、一部問題あり

危険度が高い部分で、液状化が密に発生しているが、危険度0または1でも、かなり発生している。

中越地震では、扇状地の水田の下の砂利を採取して山砂を埋め戻した場所で液状化が多発しており(例えば、赤破線の範囲)、これが原因と考えられる。



# 過去の地震による検証(まとめ)

地震名	斜面崩壊	地すべり	液状化
2003年 十勝沖地震	—	—	○
2004年 中越地震	○	○	△ 扇状地の水田の下の砂利を採取し山砂で埋め戻した部分で、過小評価。
2005年 福岡県西方沖の地震	○*	—	○
2005年 宮城県沖の地震	—	—	○
2007年 能登半島地震	○	—	○
2007年 中越沖地震	△ 狭長な急傾斜地帯では、予想結果は過小である。	—	○
2008年 岩手・宮城内陸地震	○*	△*	○
2008年 岩手県北部の地震	—	—	—
2011年 東北地方太平洋沖地震	△	○	(データ準備中)
2011年 長野・新潟県境の地震	○	(データ準備中)	—
2011年 浜通りの地震	▲*	—	—
まとめ	概ね妥当。 狭長な急傾斜地帯の過小評価という問題はあるが、被害の予想の概観という目的には、大きな問題とはならない。	概ね妥当。	概ね妥当。 埋戻しでの過小評価の問題はあるが、被害の予想の概観という目的には、大きな問題とはならない。

## トゥルースデータによる検証結果(定性的判断)

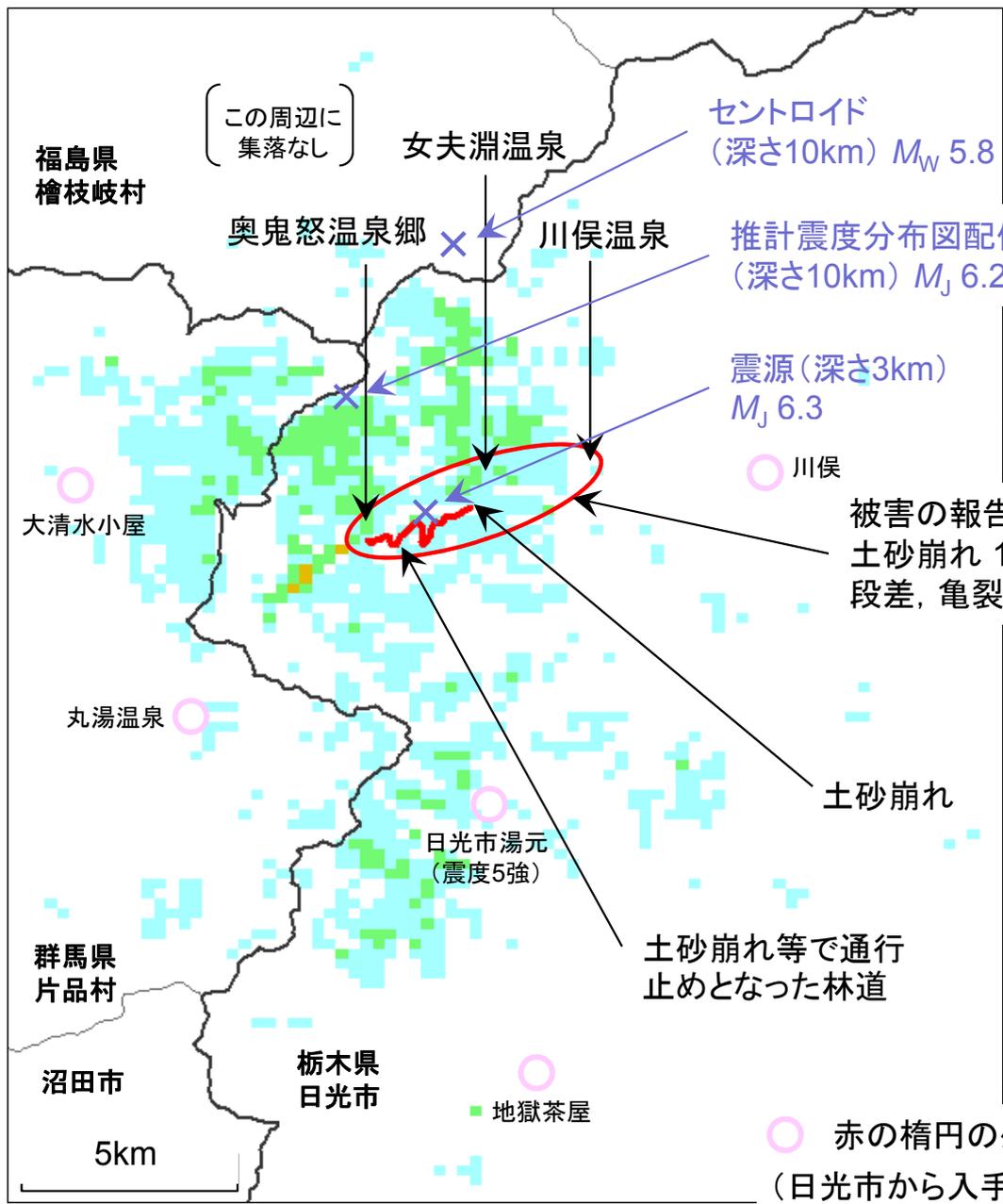
○	よく整合、概ね整合	悉皆的な写真判読等の結果、あるいは、「日本液状化履歴マップ 745-2008」との比較
△	一部に問題あり	
●	よく整合、概ね整合	上記以外の調査結果との比較
▲	一部に問題あり	
—		検証用のデータがないか、ごく少数

## その他

\* 一部に、震度の推定の誤差に起因する考えられる過小評価がある。

赤字は、これまでに紹介した事例。

## 斜面崩壊の予想結果と被害

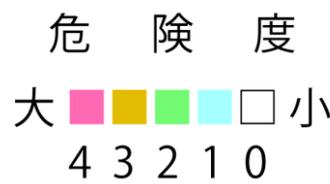


- 予想結果
- ・ 斜面崩壊 左図
  - ・ 地すべり 地すべりの予想なし
  - ・ 液状化 下図

## 液状化の予想結果



- 震度
- 5強 日光市湯元
  - 5弱 (なし)
  - 4 日光市中鉢石  
日光市日蔭  
那須塩原市  
檜枝岐村 ほか



## 斜面崩壊の予想結果



## 液状化の予想結果



(地すべりの予想はなし)

5:33 地震発生

5:39 推計震度分布データが国土地理院に到着

5:40 国土地理院内へ予想結果を自動的に送信

強く揺れた範囲が狭かったので、短時間で計算終了

6:10～ 第1回国土地理院災害対策本部会議（電話会議）

7:08～ 予想システムの担当職員が国土地理院庁舎に参集

7:45～ 第2回国土地理院災害対策本部会議  
会議において、担当職員が予想結果を説明

今後は、運用実績を積み重ね、防災担当部局の信頼を得て、自動的に送付し、災害対策の初動に活用されるようにしたいと考えている。

地震発生後概ね15分で斜面崩壊、地すべり、液状化の危険度を自動的に予想し、その結果を配信する地震時地盤被害予想システムを開発した。

過去の地震に対して適用したところ、概ね良好な結果が得られた。

予想システムは、現在国土地理院内で試験運用中である。今後、外部の防災担当部局にもデータを配信し、災害対策に活用することにより、成果を国民の安心・安全につなげていく予定である。

**(ユーザー\*の立場からのアドバイス)**

内閣官房危機管理室

国土交通省大臣官房官庁営繕部

消防研究センター 細川直史、新井場公德

**(データを提供していただいた部署等)**

気象庁地震火山部

気象庁予報部

防災科学技術研究所

産業技術総合研究所

国土交通省国土政策局

国土交通省水管理・国土保全局砂防部

国土技術政策総合研究所

北海道立総合研究機構地質研究所

関東学院大学 若松加寿江

東京工業大学 松岡昌志

**(専門家の立場からのアドバイス)**

立命館大学 岡田篤正

東京工業大学 松岡昌志

産業技術総合研究所 斎藤眞、西岡芳晴、  
宝田晋治、山本直孝、須藤定久防災科学技術研究所 土志田正二、  
内山庄一郎、井口隆、長坂俊成、藤原広行

北海道立総合研究機構地質研究所 石丸聡

気象業務支援センター 佐々木昭士、  
軍地達雄

国土交通省 関克己

国土技術政策総合研究所 富田陽子、  
小山内信智、林真一郎土木研究所 山越隆雄、横山修、丸山清輝、  
野呂智之

国土地理院 今給黎哲郎

(敬称略、所属は当時)

\* 一般的に、災害時の被害情報のユーザーという意味であり、必ずしも本研究のデータのユーザーという意味ではない。