平成24年3月13日（東京会場）
「国総研・土研　東日本大震災　報告会
～ 震災から一年を経て、見えてきたこと ～」

地震による地すべり発生箇所予測と衛星による広域崩壊地調査

○武士　俊也
（土木研究所　土砂管理研究グループ　上席研究員（地すべり））

○水野　正樹
（国土技術政策総合研究所　危機管理技術研究センター
砂防研究室　主任研究官）

発表項目

1. 震災による土砂災害の概要
　と国総研、土研の対応

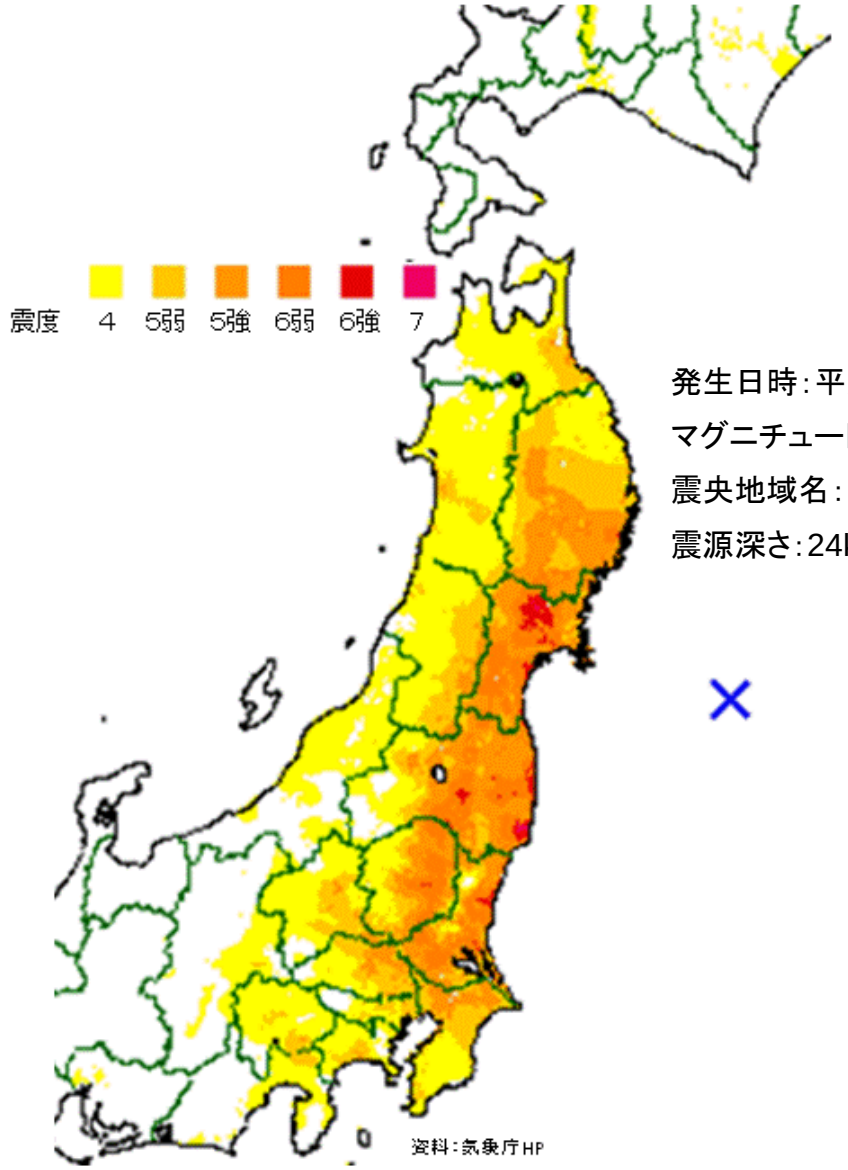
2. 衛星光学画像による広域崩壊地調査
　及び、自動抽出の試行

3. 白河の地すべりの発生状況

4. 発生した地すべりの特徴

5. 地震による地すべり発生箇所予測

土砂災害の調査対象地域



東日本大震災の震度分布

発生日時：平成23年3月11日 14時46分

マグニチュード：９．０

震央地域名：三陸沖

震源深さ：24km

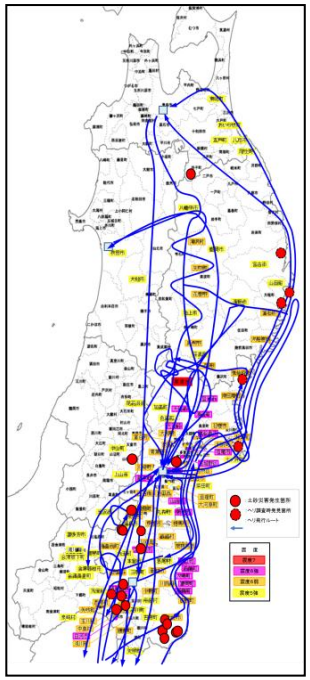
土砂災害発生のおそれのある震度5強以上の地域は、おおむね
・東西約100km
・南北約400km
の範囲に広域分布

国交省国総研(NILIM)，土研(PWRI)の震災対応

①強震度地域でのヘリ調査

国総研、土研、本省、地方整備局により、震度5強以上の地域を中心にヘリ調査を実施

福島県白河市葉ノ木平　死者13名



ヘリ調査範囲
（東北地方）

②現地調査の実施

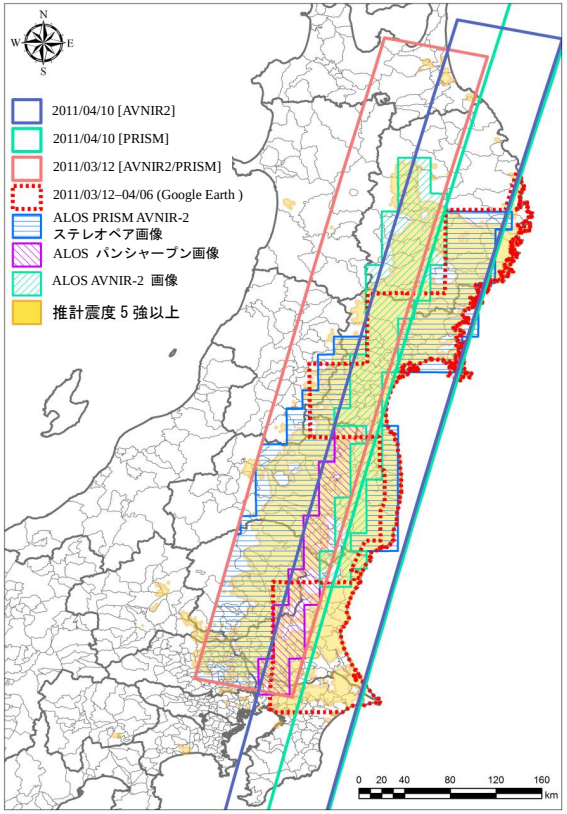
＜現地調査の実施事例＞
4/8　宮城県女川町川尻地区急傾斜地崩壊対策施設

③強震度地域での衛星写真判読による崩壊地抽出。NDVI-GSI解析の試行。

震度5強以上の地域を中心に、陸域観測衛星だいち等の衛星光学画像の判読を行い崩壊地抽出を実施

宮城県内陸部を中心に約200箇所の崩壊地を抽出

崩壊地抽出事例
（仙台市太白区
名取川上流）



衛星画像判読範囲

東日本大震災の主な土砂災害

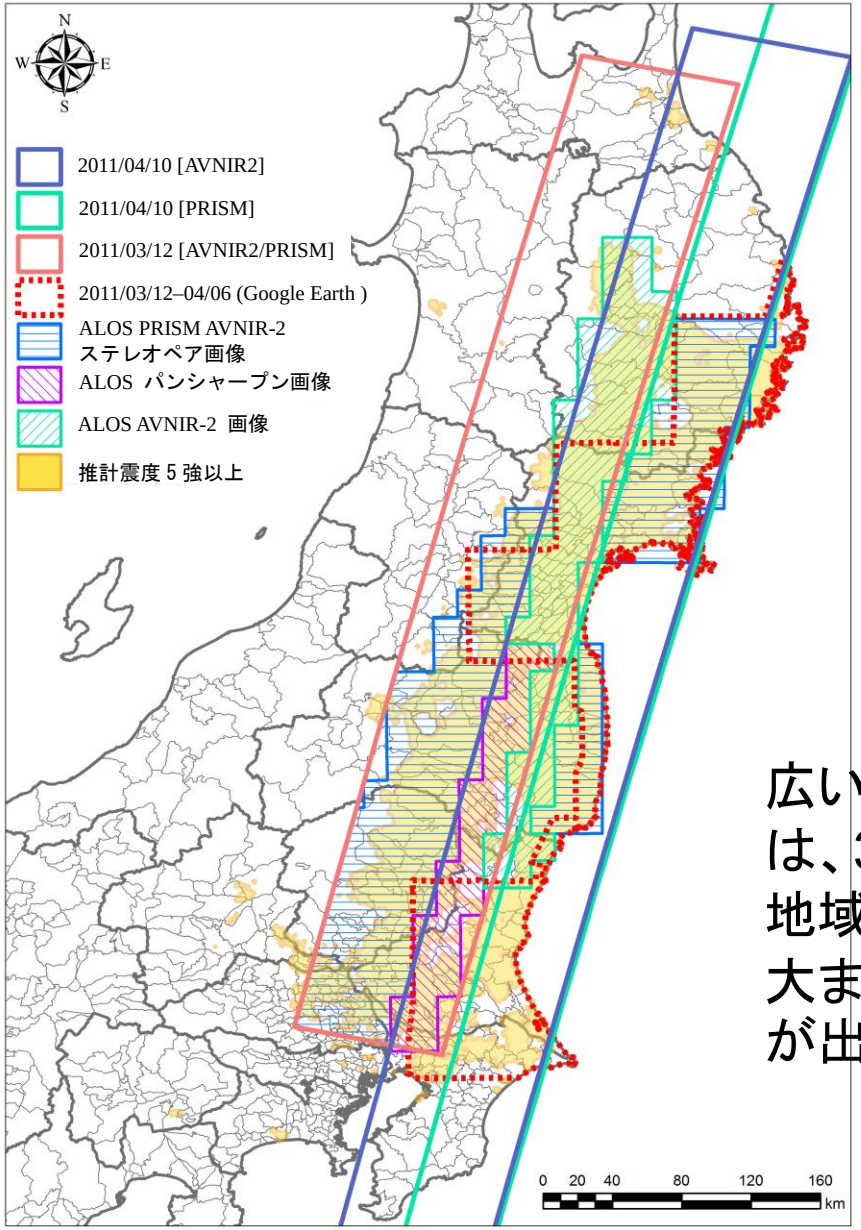
福島県白河市葉ノ木平
・人家全壊10戸
・死者13名

なすからすやま
栃木県那須烏山市川西
・人家全壊1戸、半壊2戸
・死者2名

＜土砂災害発生状況＞

- 福島県白河市、栃木県那須烏山市で被害の大きい土砂災害が発生。
- 特に白河周辺の白河丘陵の斜面に集中して発生。

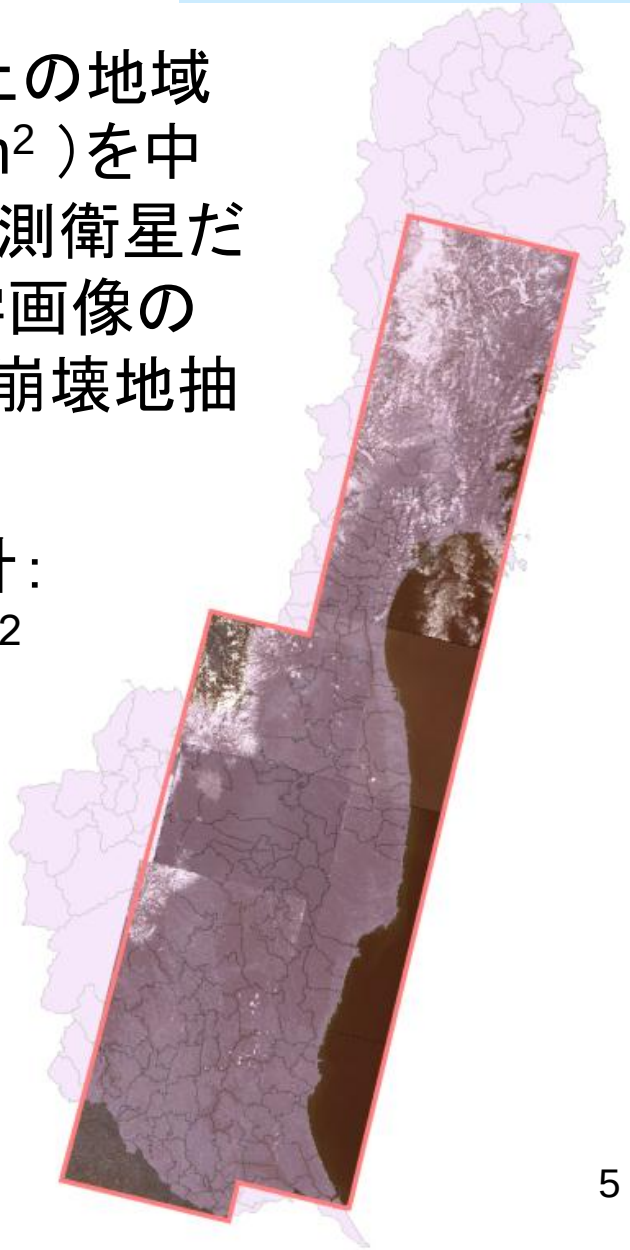
東日本大震災の衛星光学画像による広域崩壊地調査



- 震度5強以上の地域（約35,000km^2 ）を中心に、陸域観測衛星だいち等の光学画像の判読を行い、崩壊地抽出を実施。

判読面積合計：
約40,000 km^2

広い観測幅のALOSは、3月14日には強震地域全域を撮影し、大まかな状況が確認が出来た。



東日本大震災の崩壊地判読に使用した衛星光学画像

画像名	AVNIR-2画像	ALOSパンシャープン画像	ALOSステレオセット画像	Google Earth画像
センサ名称	・ALOS AVNIR-2	・ALOS AVNIR-2 ・ALOS PRISM 直下視	・ALOS AVNIR-2 ・ALOS PRISM 直下視 ・ALOS PRISM 前方視（又は後方視）	・GeoEye-1　等
地上分解能	10m	2.5m	2.5m	概ね1m以下

◎ALOS画像

地域エリア	観測パス	フレーム	撮影日
岩手南部	67	2810	震災後：2011/4/10
宮城北部	67	2820	震災後：2011/4/10
宮城南部	67	2830	震災後：2011/4/10
福島北部	67(東側) 68(西側)	2840 2840	震災後：2011/4/10 震災後：2011/3/12
福島南部	67(東側) 68(西側)	2850 2850	震災後：2011/4/10 震災後：2011/3/12
茨城・栃木北部	67(東側) 68(西側)	2860 2860	震災後：2011/4/10 震災後：2011/3/12
茨城・栃木南部	67(東側) 68(西側)	2870 2870	震災後：2011/4/10 震災後：2011/3/12

光学画像で見る崩壊地の分解能による違い

分解能による崩壊地画像の違い(名取川)

上:Google Earth画像2011.4.6

下:ALOS AVNIR-2画像2011.3.12

分解能による崩壊地画像の違い(気仙沼市内)

上:Google Earth画像2011.4.6

下:ALOS パンシャープン画像2011.4.10

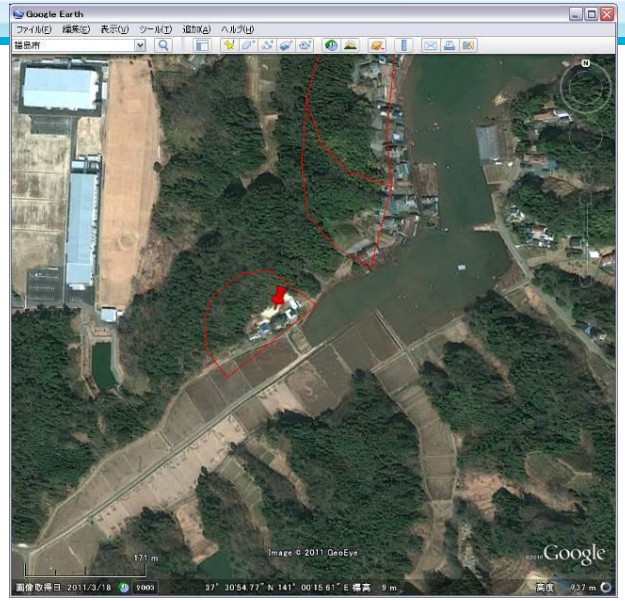
光学画像で見る崩壊地の日照の有無による違い

日照の有無による崩壊地画像の違い

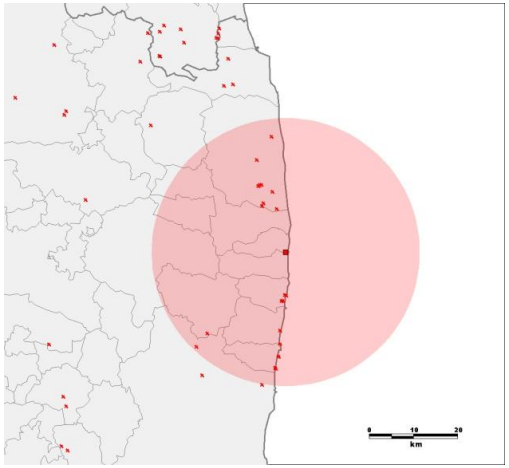
（Google Earth画像2011.4.6　福島市内 摺上川）

立ち入り規制地域内における土砂災害危険箇所の衛星確認・崩壊地抽出

衛星による崩壊地調査

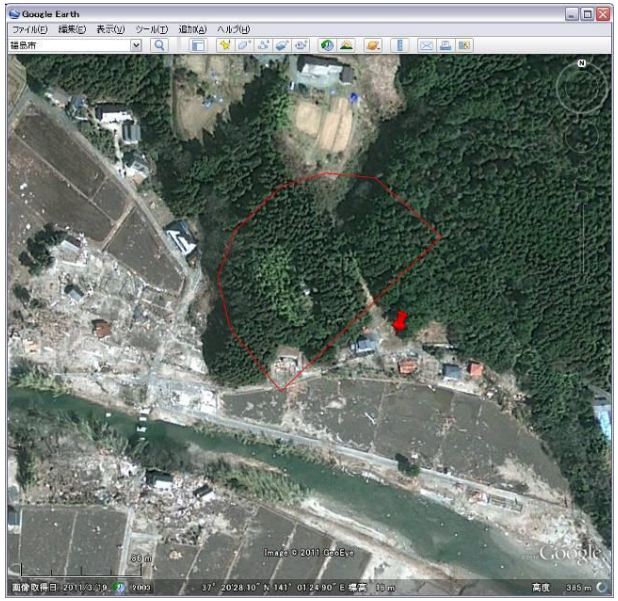


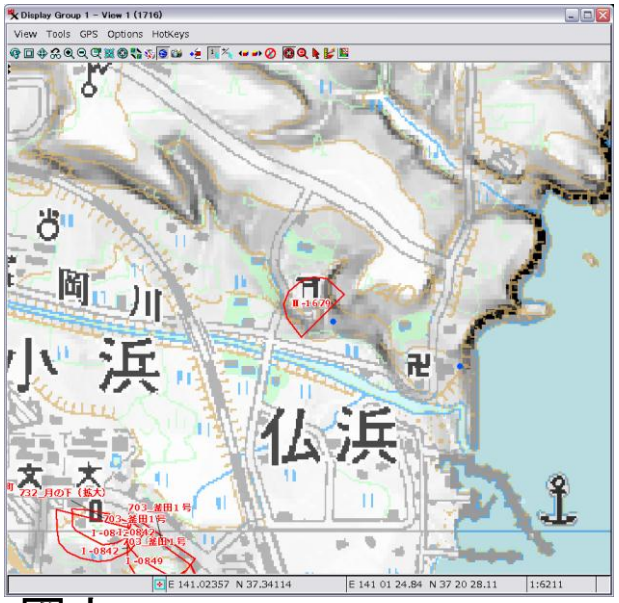
30km圏内



福島第一原発30km圏内の範囲

＜当時は衛星のみ調査可能＞





30km圏内

◎3月15日（当時）発出された航空安全情報

・航空法第80条に従って、以下の通り飛行禁止区域を設定する。

・期間：2011年3月15日11時59分（日本時間）から無制限

・範囲：北緯37度25分29秒 東経141度1分58秒を中心とした半径**30**kmの円

・高度：無制限

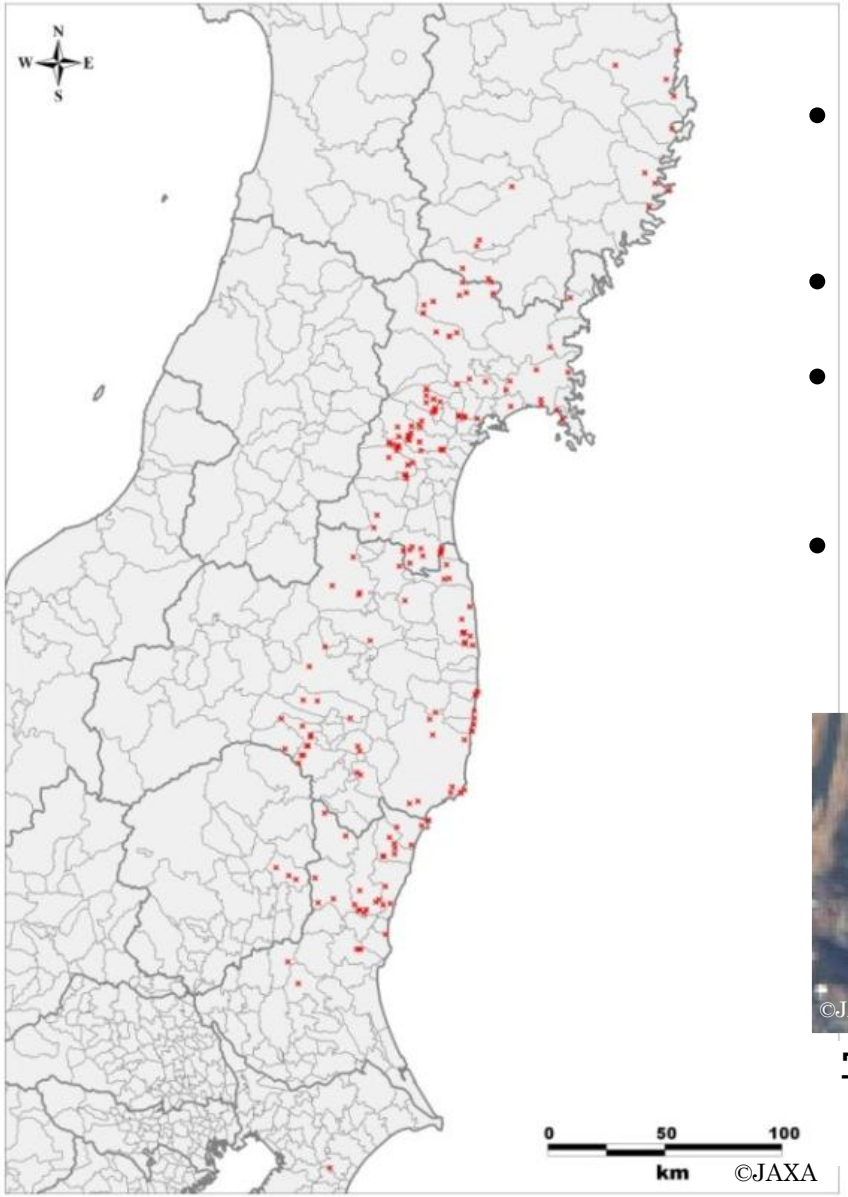
◎2011年3月15日の時点で、

・半径20km以内が避難対象地域（3.12）

・半径30km以内が屋内避難対象地域（3.15）

に指定。

東日本大震災の衛星崩壊地判読の結果



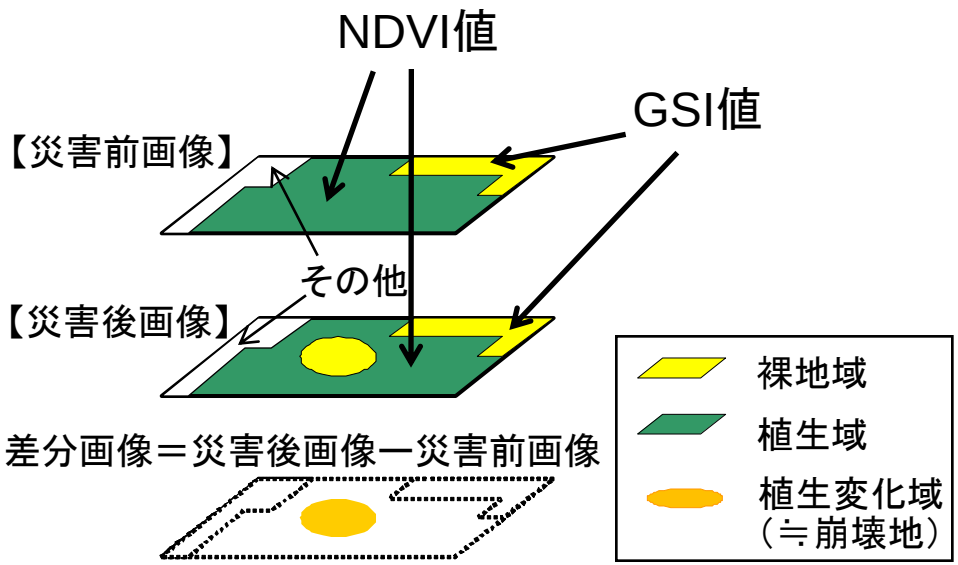
崩壊地判読結果

- 画像判読により約200箇所の土砂移動の可能性のある箇所を抽出。
- 崩壊地面積の合計は約30万m²。
- 天然ダムを生じさせるような大規模な崩壊は無い事を確認。
- 地震の規模を考えると箇所数が比較的少ない。

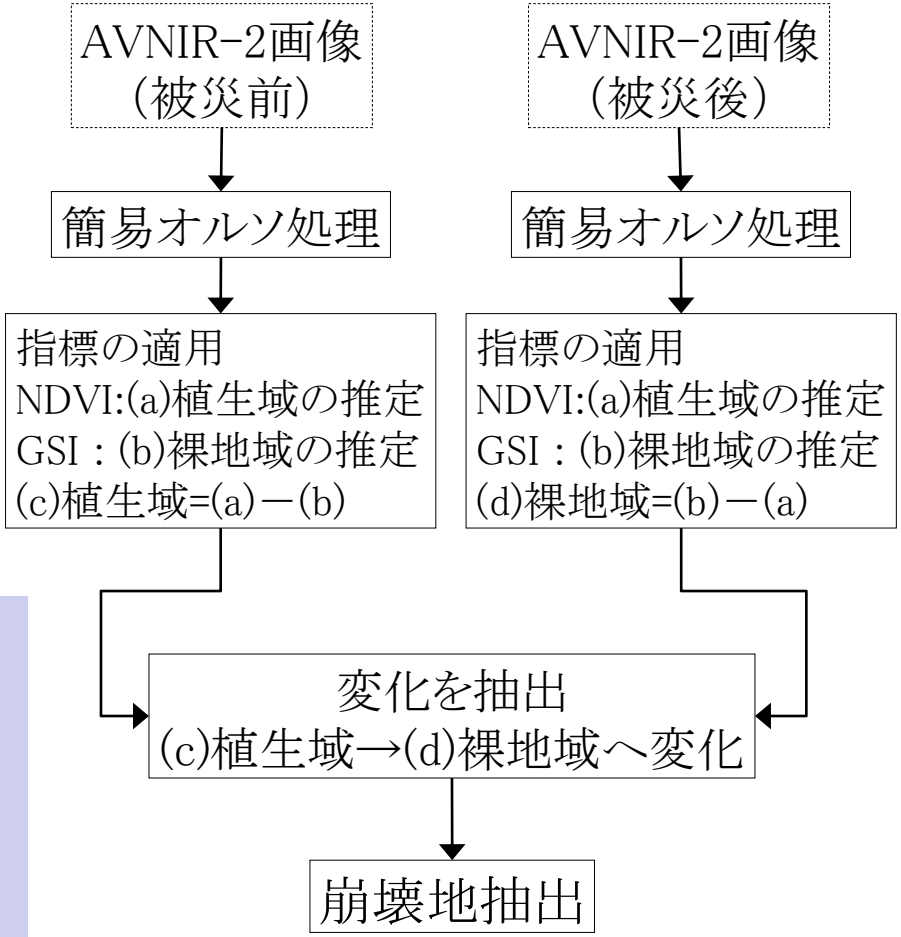
写真　福島県白河市葉ノ木平地区 地すべりの画像例
・ALOS光学画像を印画して崩壊地判読を実施。

ALOS画像のNDVI-GSI解析による自動的な崩壊地抽出を試行

崩壊地抽出イメージ



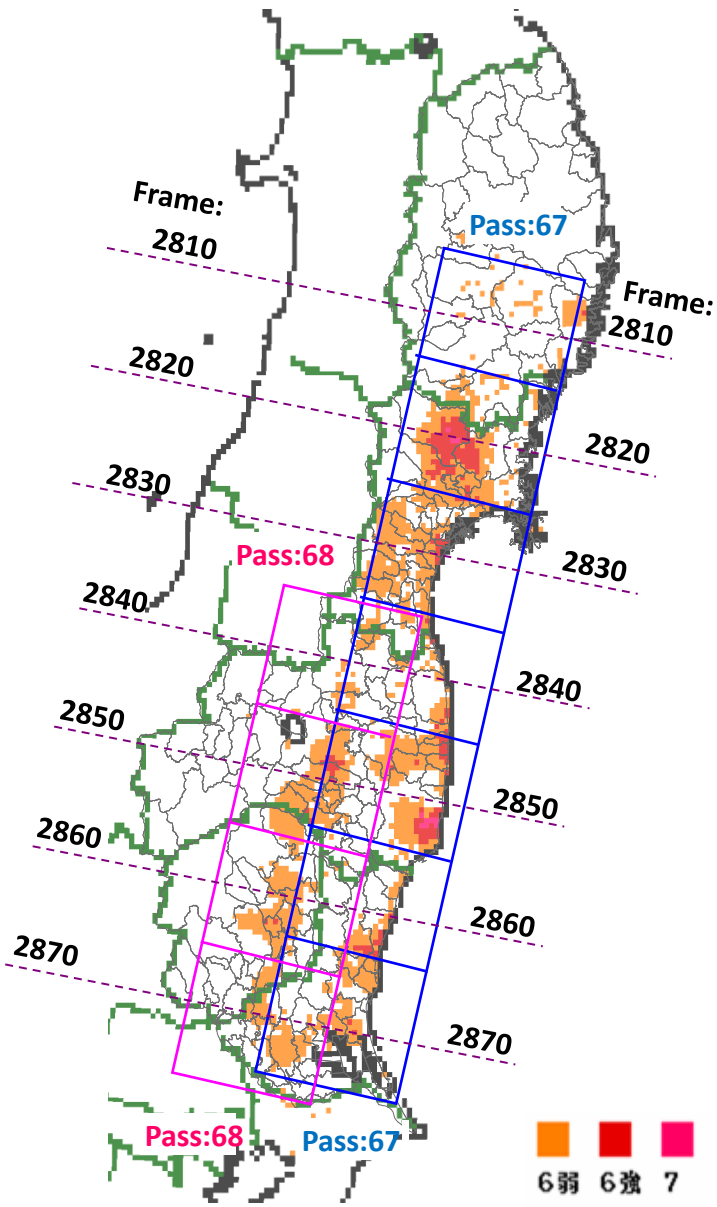
崩壊地抽出フロー



植生域の指標
NDVI値（正規化植生指数）
NDVI = (Band4-Band3)/(Band4+Band3)

裸地域の指標
GSI値（粒度指数）
GSI = (Band3-Band1)/(Band3+Band2+Band1)

ALOS画像のNDVI-GSI解析による自動的な崩壊地抽出を試行



ALOS光学画像の解析範囲

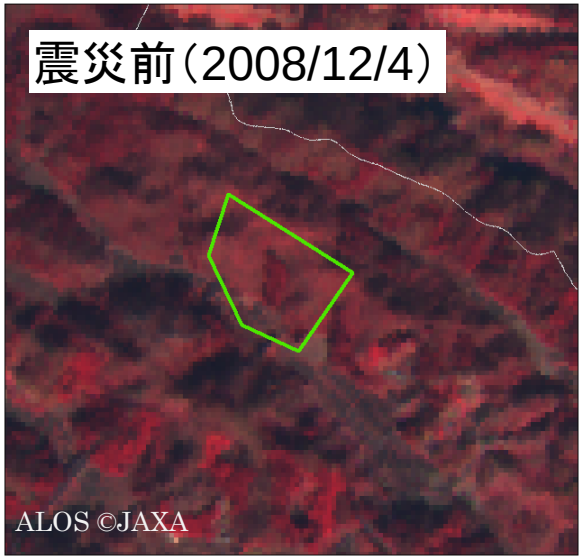
◎使用したALOS光学画像

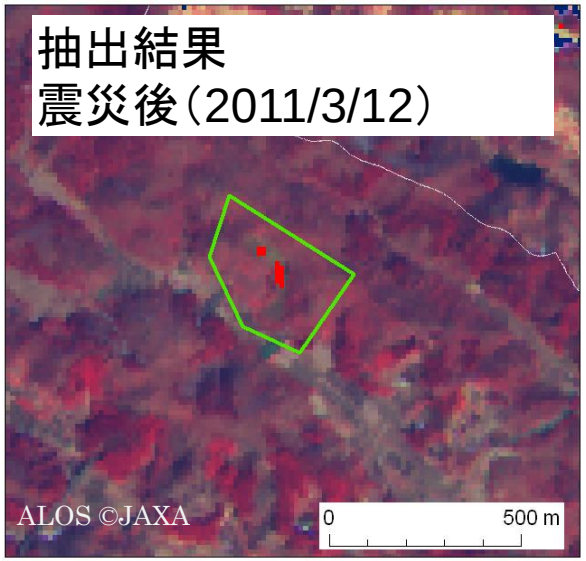
解析エリア	観測パス	フレーム	撮影日
岩手南部	67	2810	震災前:2011/2/23 震災後:2011/4/10
宮城北部	67	2820	震災前:2011/2/23 震災後:2011/4/10
宮城南部	67	2830	震災前:2011/2/23 震災後:2011/4/10
福島北部	67(東側) 68(西側)	2840 2840	震災前:2011/2/23 震災後:2011/4/10 震災前:2007/3/1 震災後:2011/3/12
福島南部	67(東側) 68(西側)	2850 2850	震災前:2011/2/23 震災後:2011/4/10 震災前:2008/12/4 震災後:2011/3/12
茨城・栃木北部	67(東側) 68(西側)	2860 2860	震災前:2011/2/23 震災後:2011/4/10 震災前:2008/12/4 震災後:2011/3/12
茨城・栃木南部	67(東側) 68(西側)	2870 2870	震災前:2011/2/23 震災後:2011/4/10 震災前:2010/12/10 震災後:2011/3/12

NDVI-GSI解析による崩壊地の抽出事例1（福島県白河市葉ノ木平）

解析抽出例（福島県白河市葉ノ木平地すべり）

NDVI-GSI解析による崩壊地の抽出事例2（福島県白河市北ノ入）



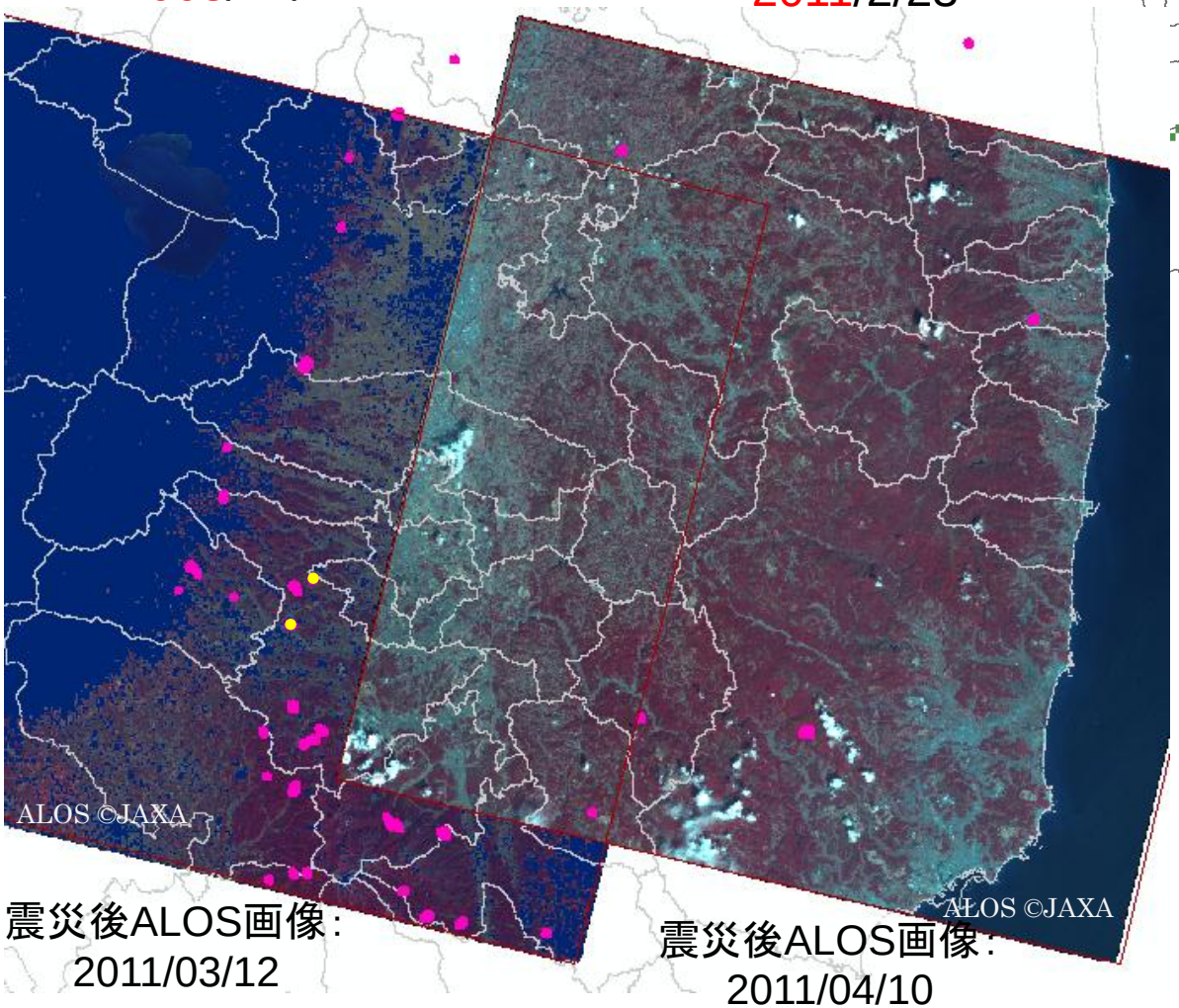


解析抽出例（福島県白河市北ノ入地すべり）

（例）福島南部のNDVI－GSI解析による自動抽出の試行結果

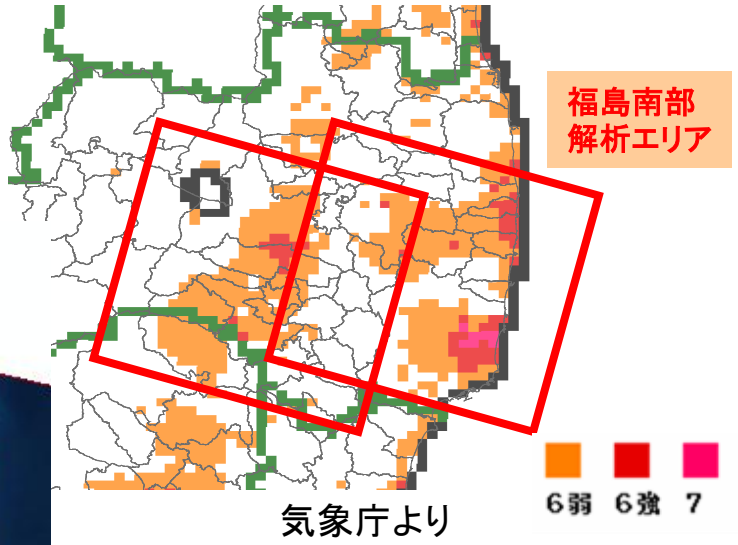
震災前ALOS画像：
2008/12/4

震災前ALOS画像：
2011/2/23

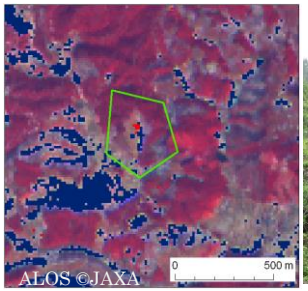


震災後ALOS画像：
2011/03/12

震災後ALOS画像：
2011/04/10



気象庁より



不正解抽出事例

郡山市大穴
（伐採跡地）

ベースマップ（震災前）が古いと、伐採跡地等の土地被覆変化箇所が多くなる（誤抽出箇所の原因）。

光学衛星による崩壊地調査のまとめ1

①衛星画像による土砂災害監視は有効

- 天然ダムが発生するような大規模な崩壊は発生していないことが確認出来た。
- 広域な場合、ヘリ調査等では飛行ルートが限られ、調査の空白地域や見落としが生じる可能性も否定できないため、画像として隙間無く全域を見渡せる光学衛星画像は非常に有用であった。
- 立体視は崩壊地の判別に有効であった。

②衛星の運用について

- 自動解析による崩壊地抽出は、発災前と発災後の比較が、抽出の基本となるため、ベースマップの更新頻度が上がれば、伐採跡地等土地被覆変化箇所の誤抽出箇所は、少なくなると予想される。そこで、発災前画像となる全球ベースマップアーカイブの「迅速な撮影・蓄積」と「高頻度の更新撮影」が重要である。
- 発注から撮影、画像入手までが短い時間となる撮影運用体制が必要。

光学衛星による崩壊地調査のまとめ2

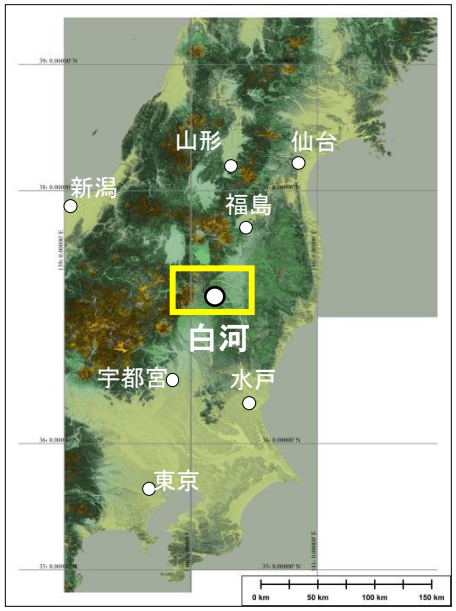
③衛星の観測幅

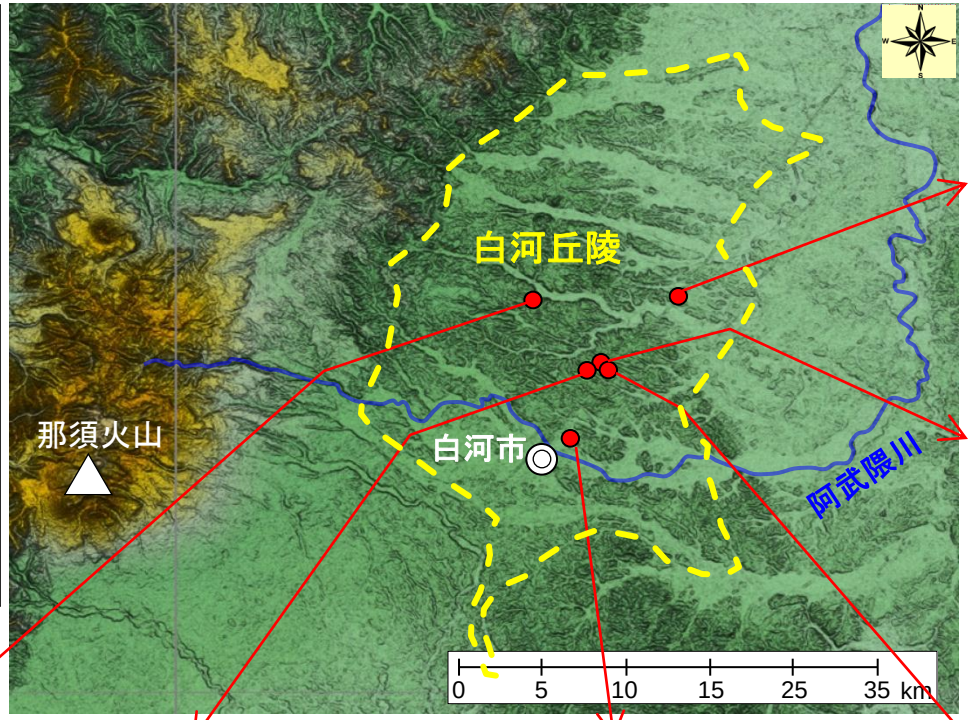
- 大地震等の広域な災害の崩壊地調査には、数少ない少雲量の機会を捉えて迅速に画像を撮影するため、50km程度以上の広い観測幅が望ましい。

④光学衛星に必要な分解能

- 今回のALOSパンシャープン程度の分解能（分解能2.5m）でも、大規模崩壊地(概ね幅>50m)はほぼ判読することができた。しかしながら、小規模崩壊地(概ね幅<50m)の判読のためには、超高分解能画像(分解能≦1m)必要である。
- 分解能の20～30倍程度より大規模な崩壊地は、より確実に判読抽出できる。それより小さな崩壊地は、判読出来ず見落としが生じやすい。
- より正確に崩壊地判読を行うためには、斜面崩壊で発生した粒状の岩塊が判別可能で、伐採跡地や採石場等と明確に区別出来るように、1m以上の超高分解能画像が必要である。

福島県白河市の地すべり発生状況





研究目的

- 地震によって白河丘陵で多くの地すべりが集中して発生した。
- 地すべりによって丘陵に隣接する住宅地に大きな被害が生じた。（葉ノ木平地区の災害は、平成7年兵庫県南部地震で生じた地すべりに次ぐ災害規模）
- 本研究では、これらの地すべりの発生箇所の発生場の条件を明らかするために、地形、地質、土質に関して調査を行った。

➡ 地震による地すべり発生箇所予測手法へ

調査方法

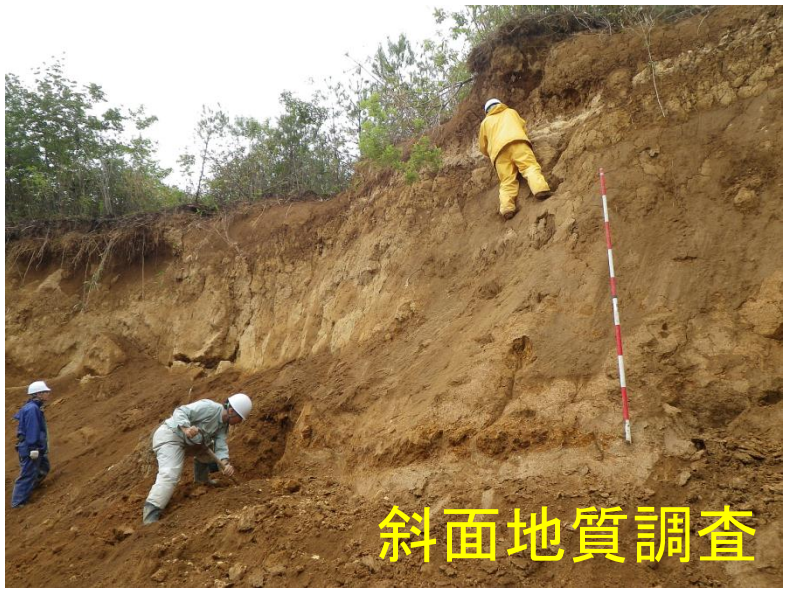
調査対象：葉ノ木平ほか（6地区）

地形条件：レーザープロファイラ（LP）による
細密な地形データの分析

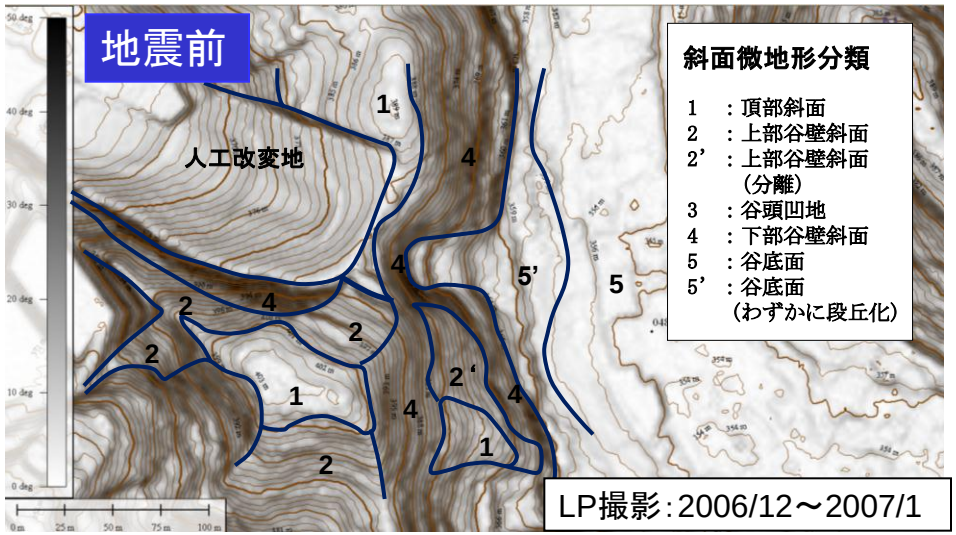
地質条件：発生斜面の地質調査・解析

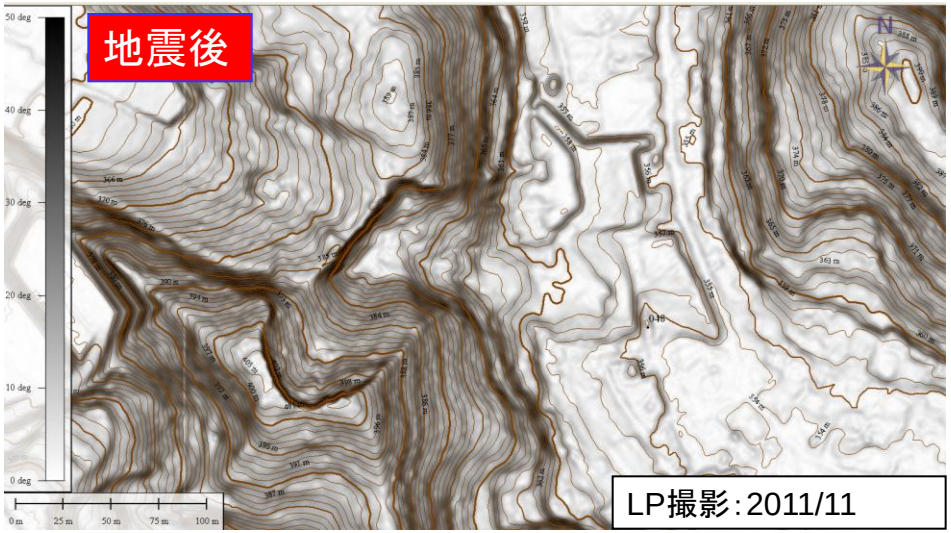
土質条件：すべり面付近の土層の硬度測定（山中式
土壌硬度計）、土質試料の室内試験

→ 発生場の条件を明らかにする



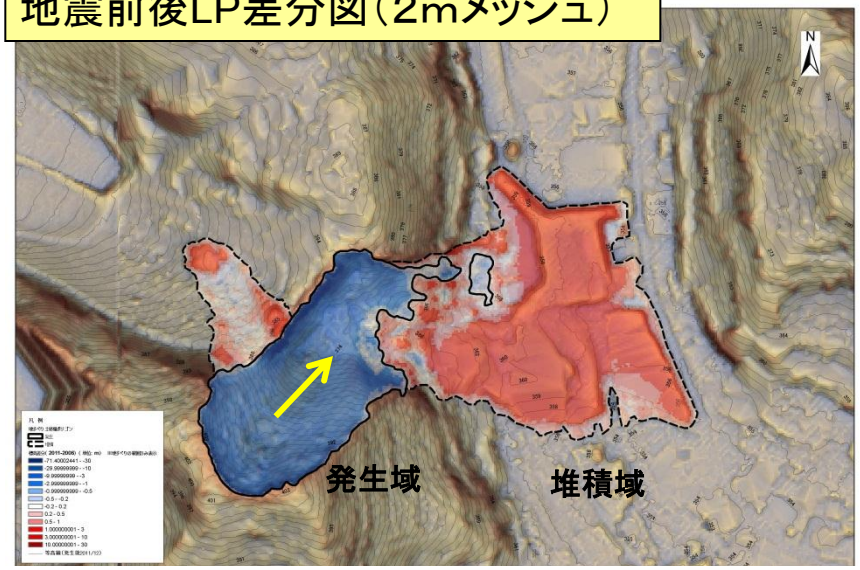
地形調査の例①（葉ノ木平）





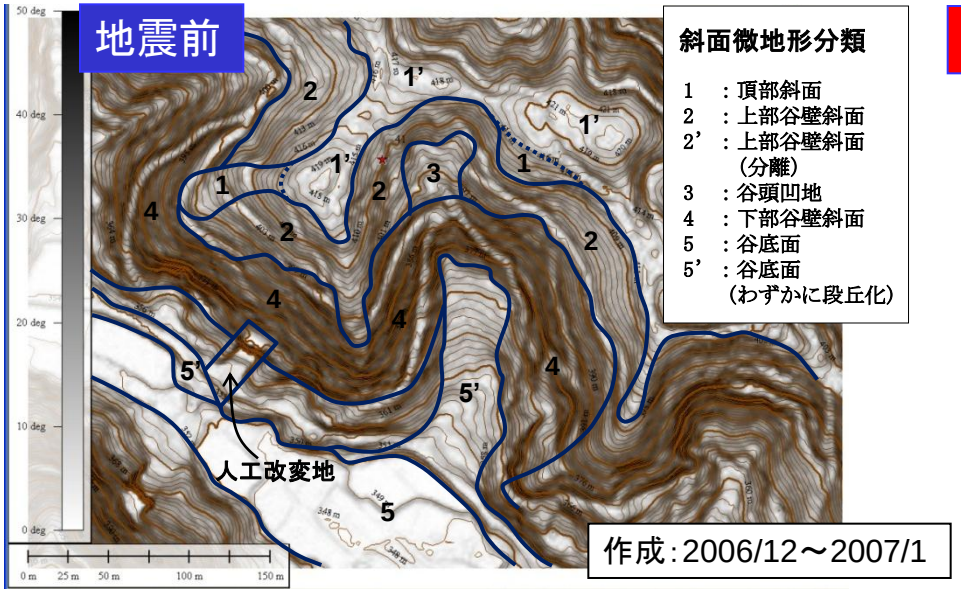
斜め空中写真（2011/3/14撮影）

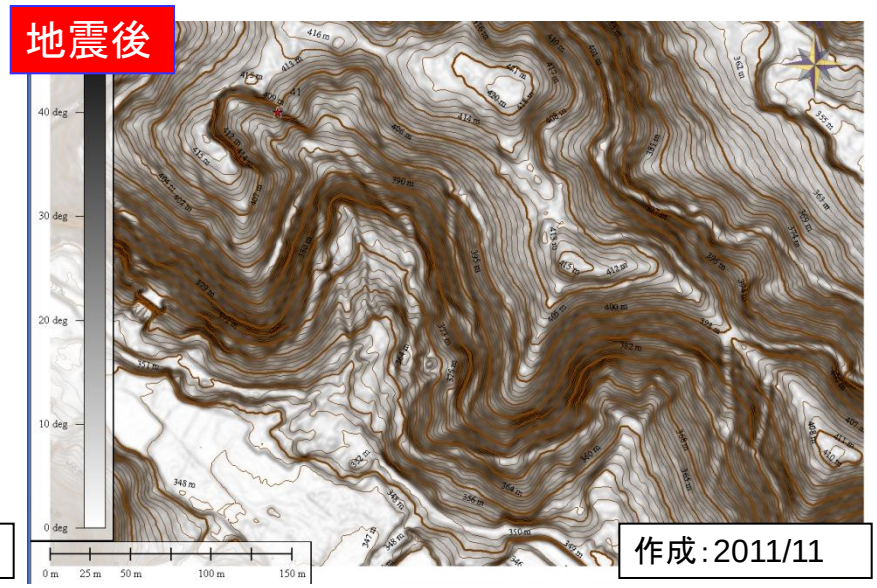
地震前後LP差分図（2mメッシュ）



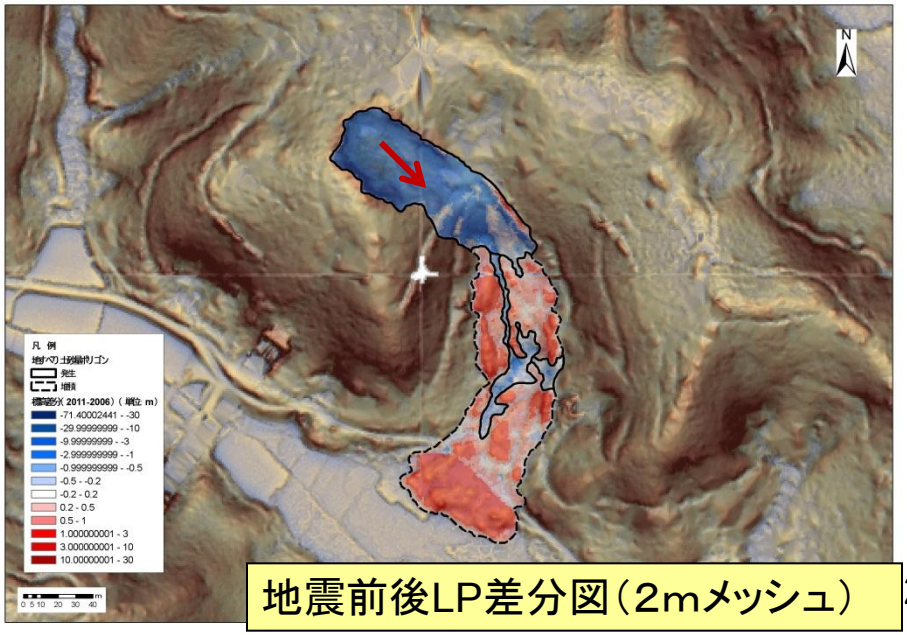
頂部斜面・上部谷壁斜面の緩い斜面で遷急線を挟んで発生

地形調査の例②（北ノ入）


地震前
斜面微地形分類
1 ：頂部斜面
2 ：上部谷壁斜面
2’ ：上部谷壁斜面（分離）
3 ：谷頭凹地
4 ：下部谷壁斜面
5 ：谷底面
5’ ：谷底面（わずかに段丘化）
人工改変地
作成：2006/12～2007/1


地震後
作成：2011/11

斜め空中写真
（2011/3/14撮影）


地震前後LP差分図（2mメッシュ）

地すべり発生箇所の地形的特徴

- 地すべりは、斜面微地形分類における頂部斜面から上部谷壁斜面にかけての比較的傾斜の緩い斜面で発生していた。
- 頂部斜面と上部谷壁斜面は遷急線で分けられる。地すべりは、遷急線を挟んで発生していた。
- 遷急線では斜面縦断形が凸型となるため、地震動が大きくなったことが影響していると考えられる。

葉ノ木平地区の地質とすべり面①

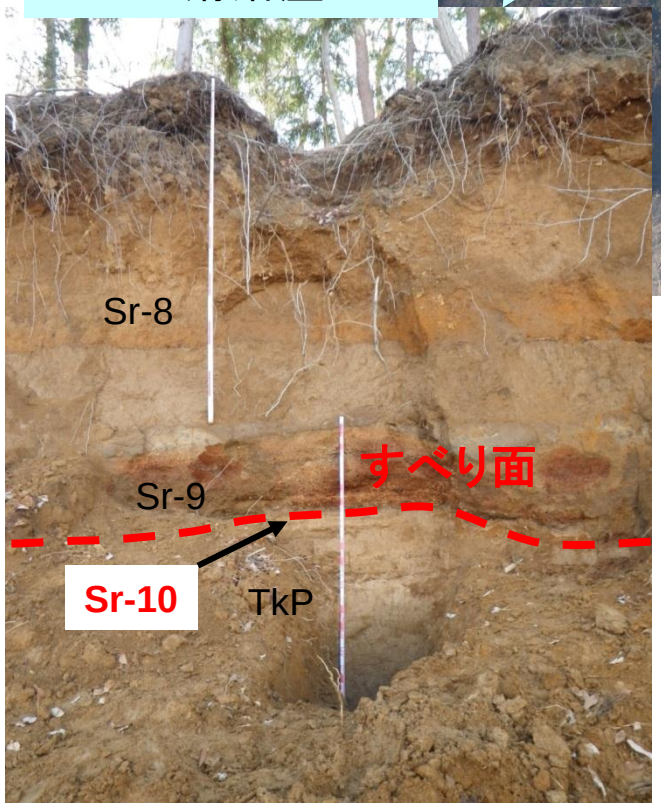
独立行政法人 土木研究所 PWRI Public Works Research Institute
土砂管理研究グループ
地すべりチーム

地すべりが発生した緩斜面には火山灰（テフラ）層が厚く堆積

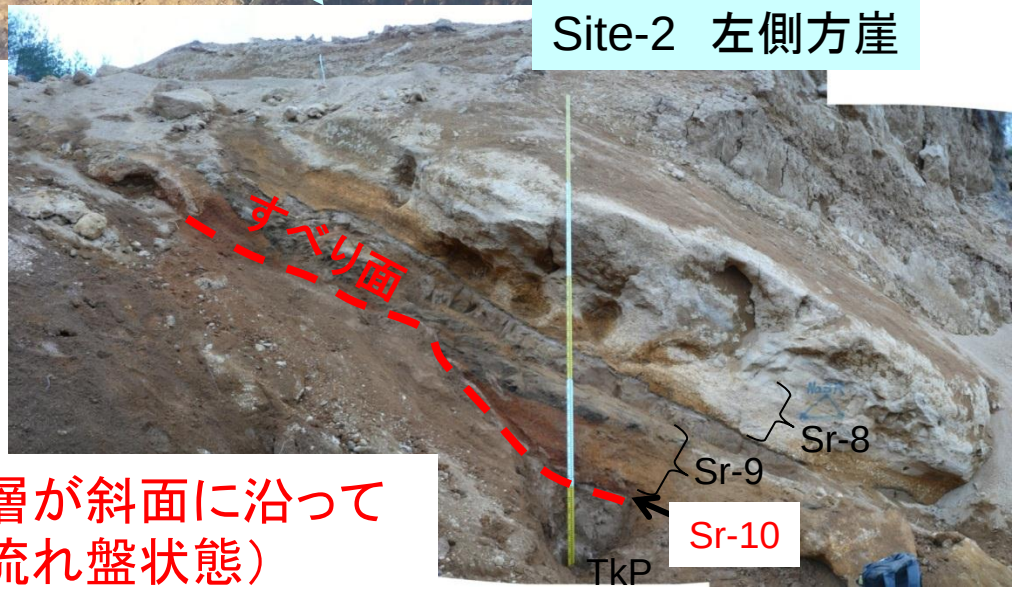
Sr-〇：那須火山起源のスコリア層・軽石層等

TkP：高久軽石層（燧ケ岳起源の軽石層）

Site-1 滑落崖

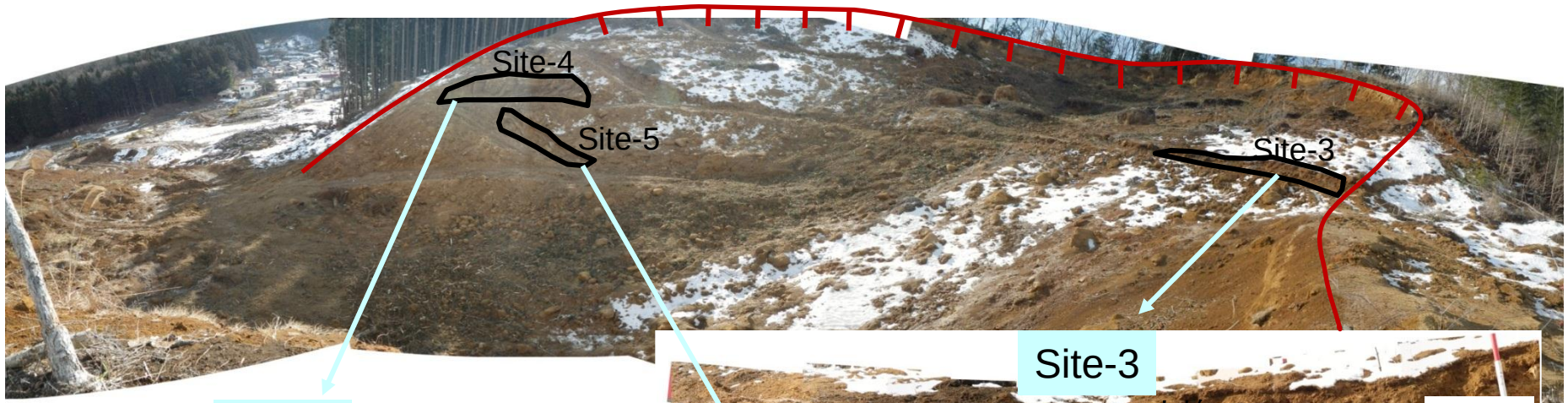


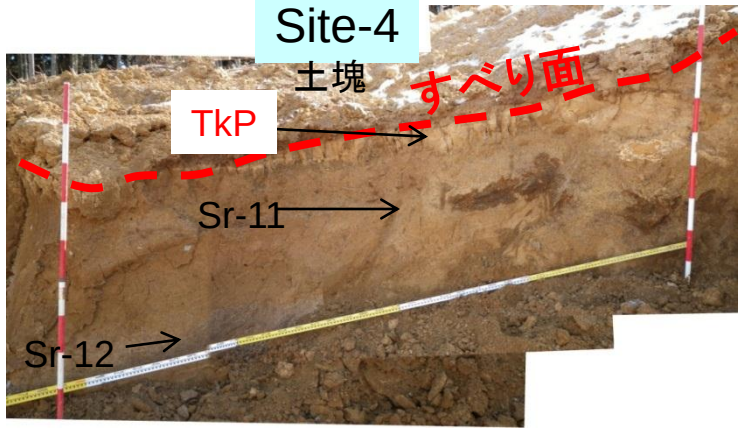
Site-2　左側方崖

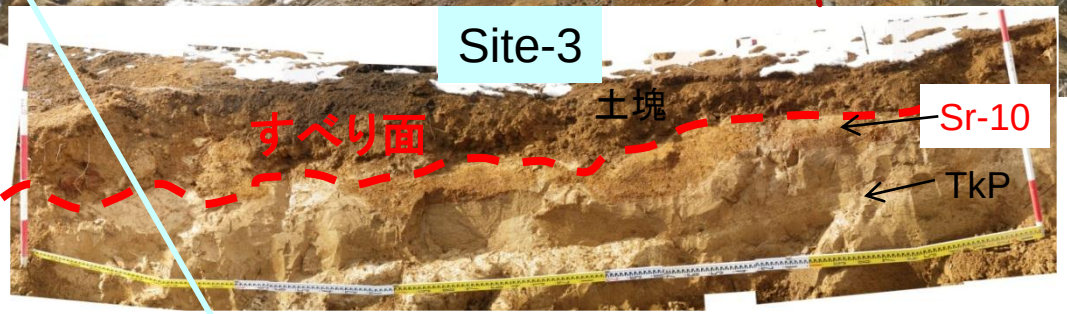


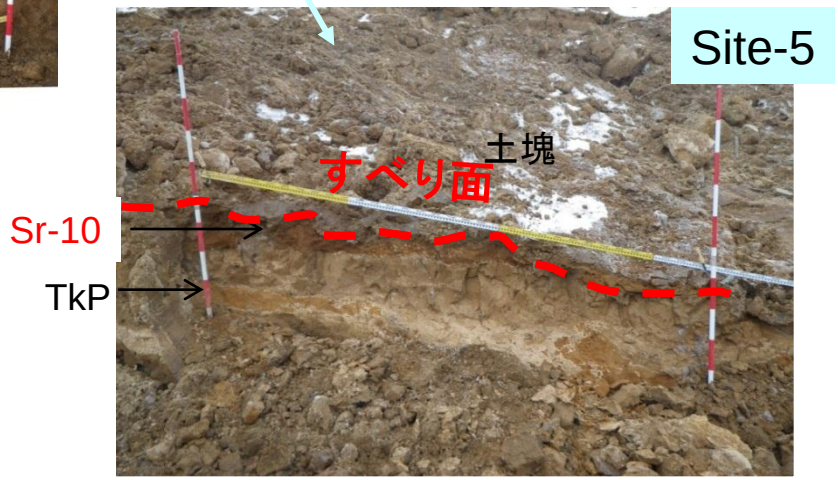
テフラ層が斜面に沿って堆積（流れ盤状態）

葉ノ木平地区の地質とすべり面②



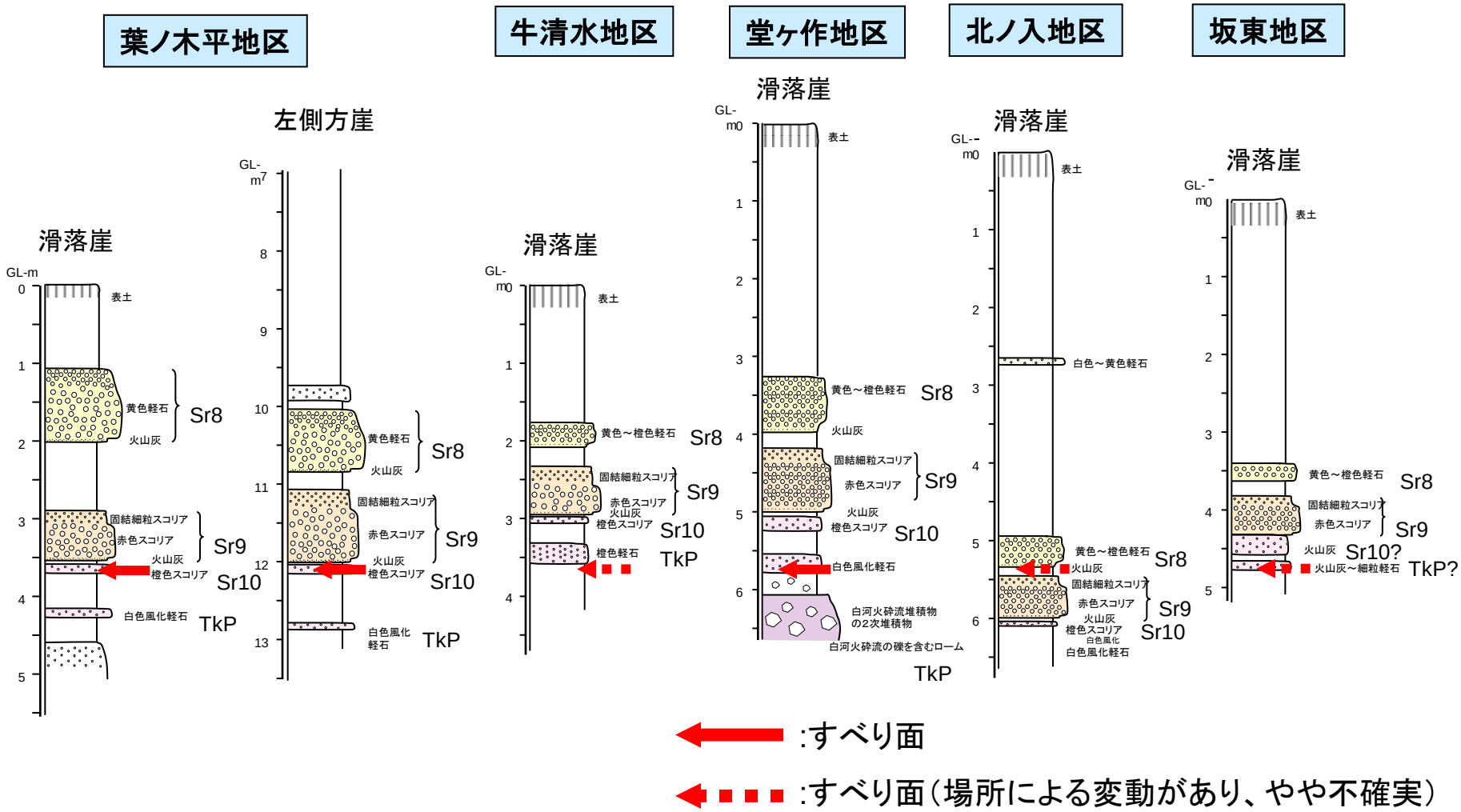






すべり面はSr10からTkPの層準が多い。

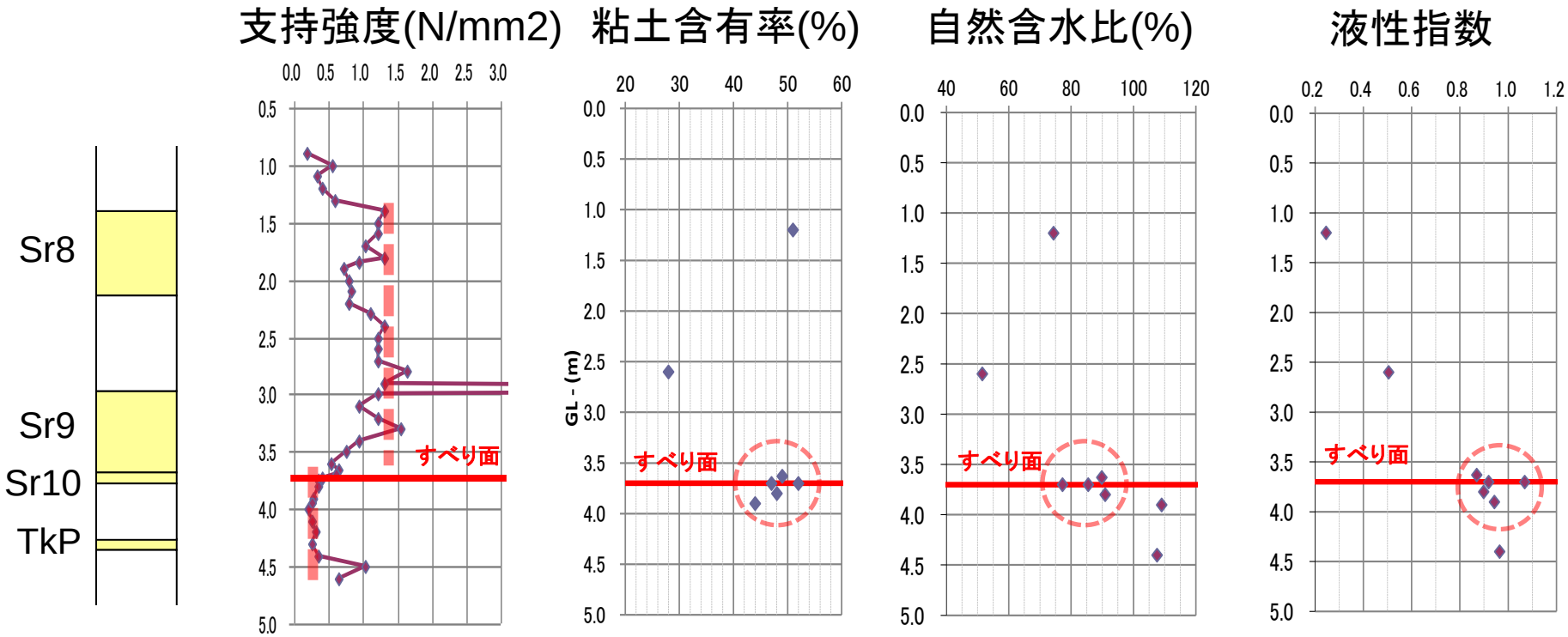
地すべり発生斜面の地質とすべり面



- 地すべりが発生した緩斜面には火山灰層が厚く堆積し、すべり面はSr10からTkPの層準が多い。

すべり面付近の土質強度プロファイル（例）

葉ノ木平　滑落崖

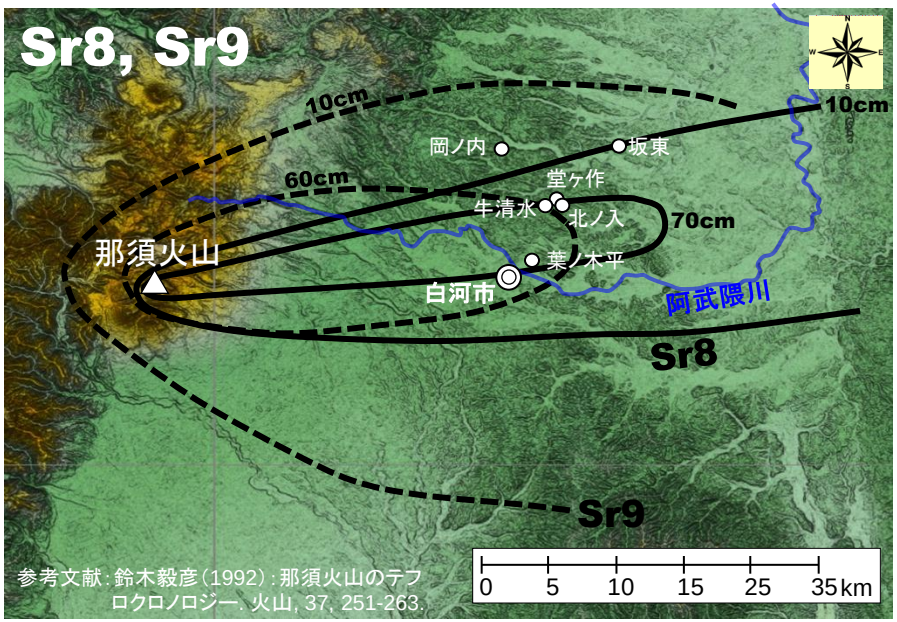


- すべり面の層準は風化によって粘土化していた。強度の低い粘土で、水分を含んで湿潤な状態であった。
- すべり面付近には、強度（硬軟）が急激に変化する境界が存在。地震によって硬軟境界部に応力集中した可能性が考えられる。

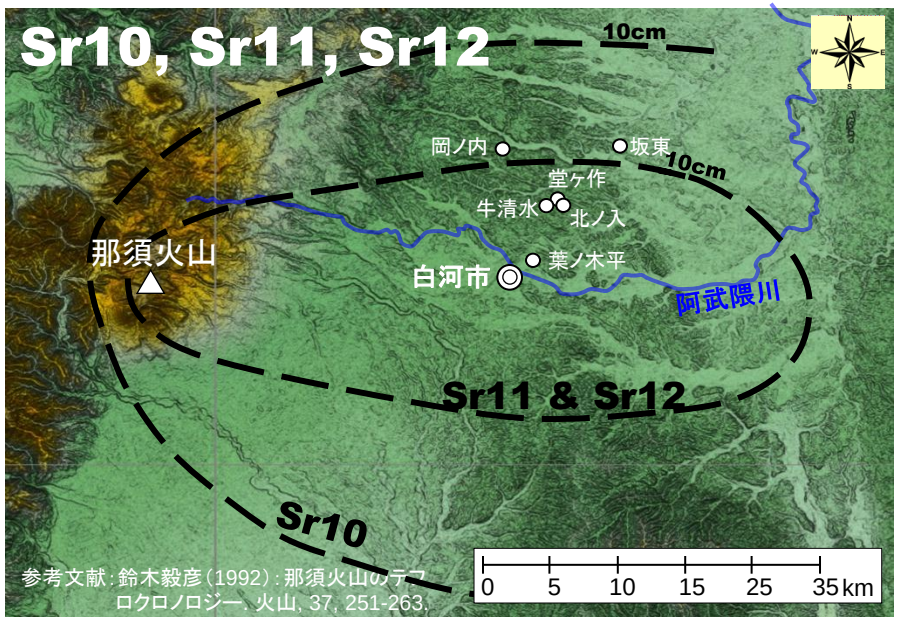
発生箇所の地質・土質的特徴

- 地すべりが発生した緩斜面には火山灰層が厚く堆積し、すべり面はSr10からTkPの層準が多い。
- すべり面の層準は風化によって粘土化していた。強度の低い粘土で、水分を含んで湿潤な状態であった。
- すべり面付近には、強度（硬軟）が急激に変化する境界が存在。
- すべり面となった位置は、軟弱な粘土であったこと加えて、地震によって硬軟境界部に応力集中したことが、すべり面での破壊を生じた要因と考えられる。
- 斜面に沿って堆積したテフラに起因して軟弱粘土と硬軟境界部が形成されていたことで、流れ盤のような状態となって、地すべりを起こしたと考えられる。

地すべり発生箇所とテフラの分布域

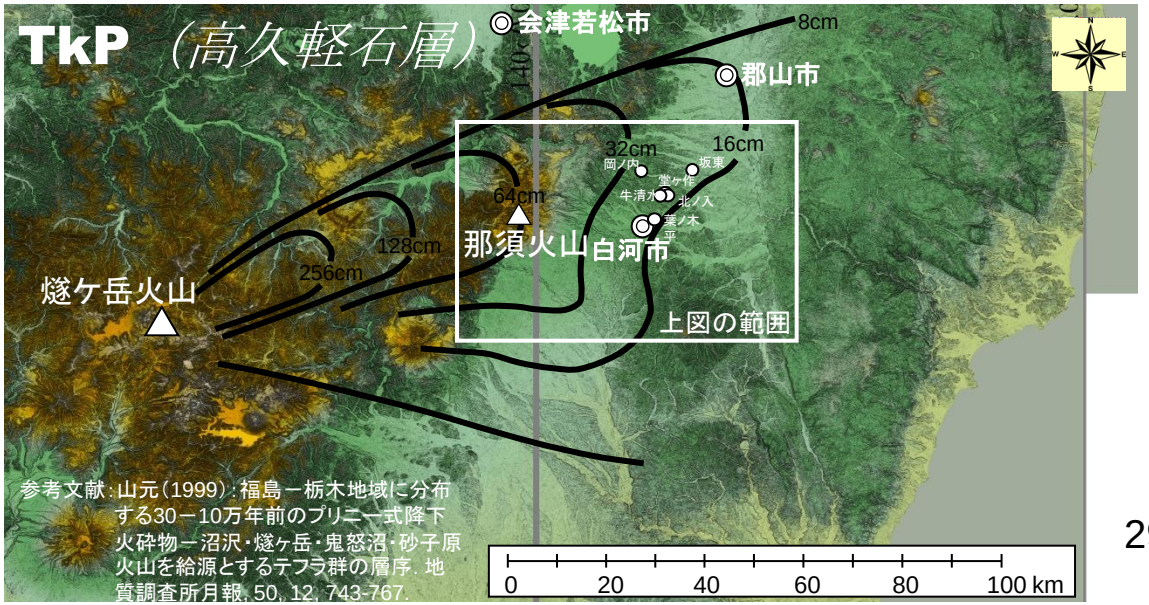


参考文献：鈴木毅彦（1992）：那須火山のテフロクロノロジー. 火山, 37, 251-263.



参考文献：鈴木毅彦（1992）：那須火山のテフロクロノロジー. 火山, 37, 251-263.

白河付近のSr8とSr9が厚く堆積する範囲に集中して地すべりが分布

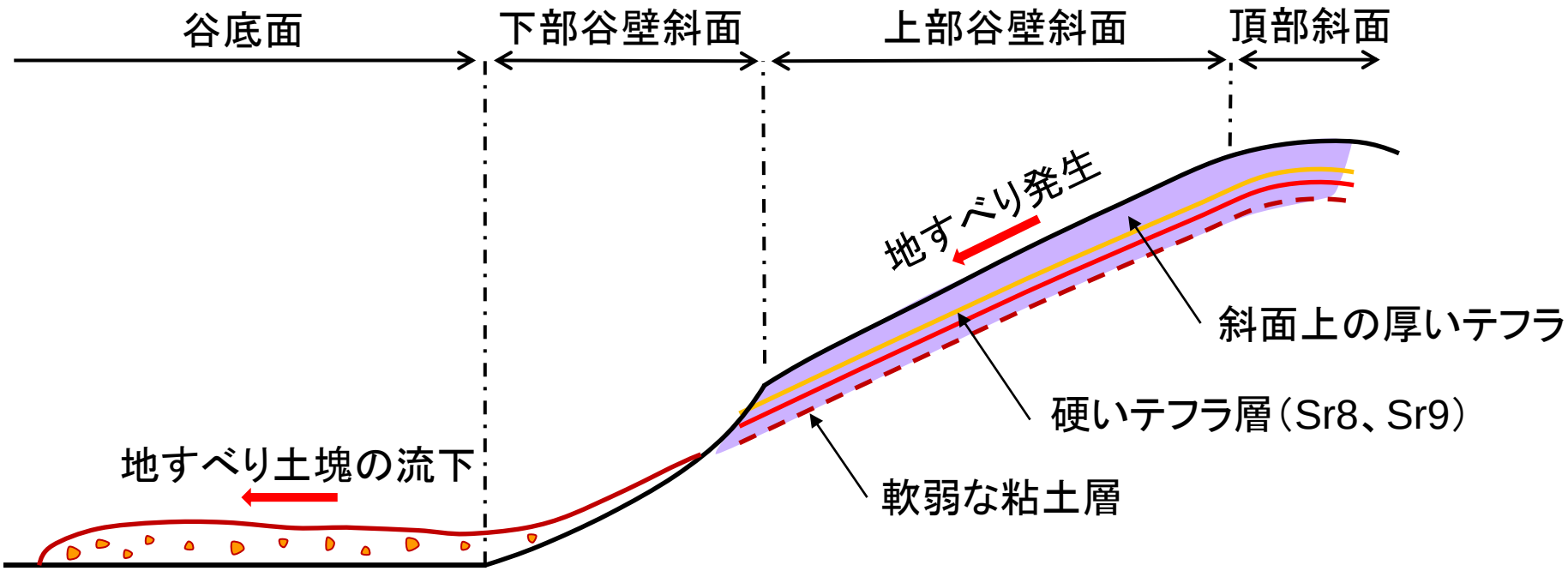


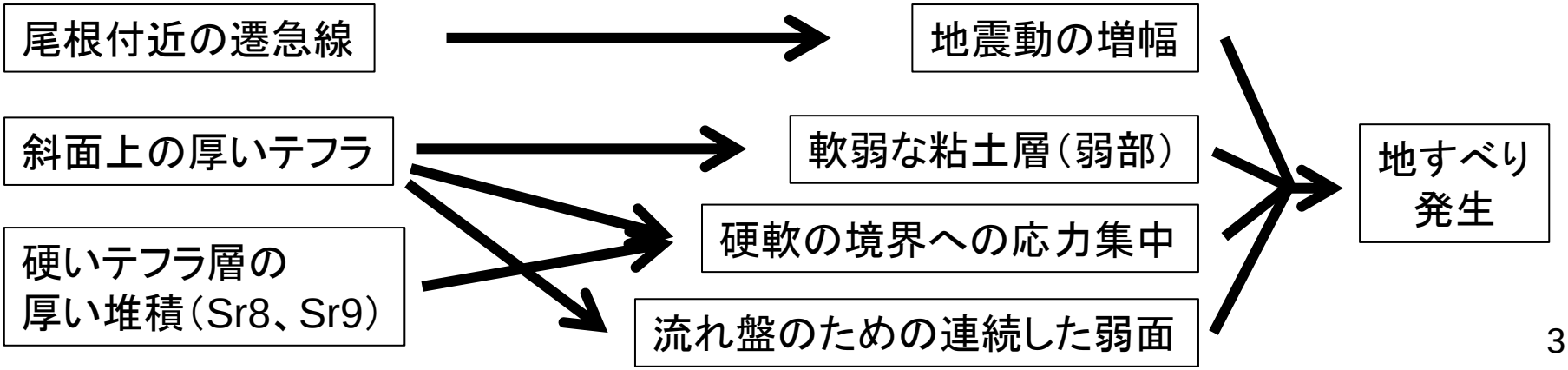
参考文献：山元（1999）：福島ー栃木地域に分布する30ー10万年前のプリニー式降下火砕物ー沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序. 地質調査所月報, 50, 12, 743-767.

発生箇所と火山灰堆積範囲との関係

- 地すべり発生位置は、那須火山等のテフラの堆積範囲の主軸付近に集中。
- 特に、白河付近のSr8とSr9が厚く堆積する範囲に地すべりが分布。Sr10やTkPとの関連性は明瞭ではない。
- Sr8からSr9にかけての層準は、支持強度が大きい（硬い）傾向がある。
- Sr8とSr9がある程度厚く堆積している場合、硬軟境界部が明瞭に形成され、応力集中が生じやすい可能性がある。

地すべり発生要因模式図





地震地すべりの予測に向けて（まとめ）

- 今回調査した、地震によって発生する崩壊性地すべり（白河タイプ）の発生箇所を予測するためには、地形判読によって遷急線の位置把握と緩斜面（特に上部谷壁斜面）の抽出を行い、それらの斜面において、火山灰層の厚さ、面的に連続する軟弱な粘土層の存在、硬軟の土質境界の存在を把握することが重要であると考えられる。

- 白河丘陵以外にも、第四紀に活発に活動した火山付近の丘陵地には、厚くテフラが堆積している斜面があると考えられる。それらの中には、白河丘陵の地すべりと同様に、地震によって崩壊性地すべりを発生させる素因を有するものが存在する可能性がある。

- 今後は、過去の地震によって発生した他地域の地すべりとの比較も行い、（白河タイプ以外のタイプも含め）地震による地すべり発生箇所予測に向けて研究を進めていく予定である。

ご清聴ありがとうございました