

日本地質学会関東支部講演会
2024年4月20日
北とぴあ・オンライン

デジタル詳細地形データを用いた地表面変位計測で見る 地震災害

国際航業株式会社 事業統括本部国土保全部 向山 栄

はじめに

- ・2009年以來、地形を画像化し、地表面の変位を自動抽出することに興味をもって技術開発・研究を続けてきました。
- ・地形を見ただけで地下地質を推定することは困難な場合でも、動く地表面を、定量的に測ることによって、地盤性状を知ることができるのではないかと、思います。
- ・地表面の、面的・定量的な変位計測は、稠密な点群計測によるデジタル地形データによって実現しました。
- ・これまで取り組んだ地震災害調査の興味深い事例を紹介して、ご意見ご批判をいただきたいと、思います。

目次

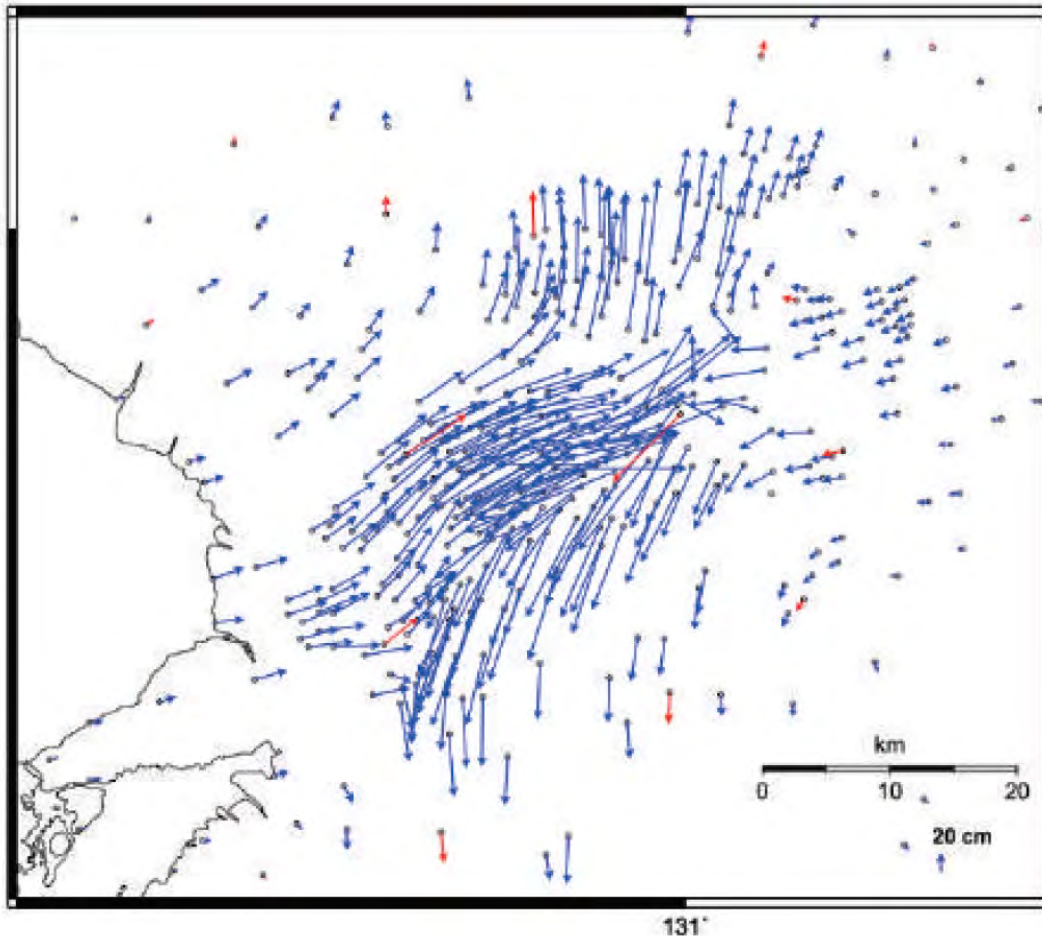
1. 地表面変位を面的に計測する方法
2. 数値地形データを用いた地表面変位計測手法
3. 数値地形画像マッチング解析による変位計測
4. 数値地形画像とは
5. 大地震発生時の地表面変位計測の事例
6. まとめと今後の課題

1. 地表面変位を面的に計測する方法

- 地上基準点測量(多数点)
- 固定基準点連続観測(多数点)
- 空中写真測量(画像特徴点追跡)
- :
- :
- 数値地形データの差分解析
- 画像の差分解析に位置情報を付加 (Cosi-Corr法*など)
- 衛星SAR干渉画像計測

■地上基準点の繰り返し測量の事例

熊本地震の地殻変動による変位を、地籍図根点や公共基準点などから再測量の対象点(被災地域境界基本三角点)を選点し、測量作業で算出。



基準点	距離
1等三角点	約 25 km
2等三角点	8~10 km
3等三角点	3~4 km
4等三角点	約 2 km
2級基準点 (地籍図根点)	約 500 m

新旧成果の差による水平変動ベクトル。青色、赤色はそれぞれ三角点、電子基準点の水平変動量。周囲に比べて特異な変動を示している点は除外。

大瀧ほか(2016):熊本地震に伴う基準点成果の改定

<https://www.gsi.go.jp/REPORT/JIHO/vol128-main.html#H28kumamoto>

2. 数値地形データを用いた地表面変位計測手法

—時系列差分解析による変化抽出—

— 位置情報を持つ「地形」は任意の場所の基準点になる —

2. 1 点群計測地形データの特徴

2. 2 稠密点群地形データを作る手法

2. 3 多時期の数値地形データの差分解析

①点群地形データ解析

②グリッド地形データ解析

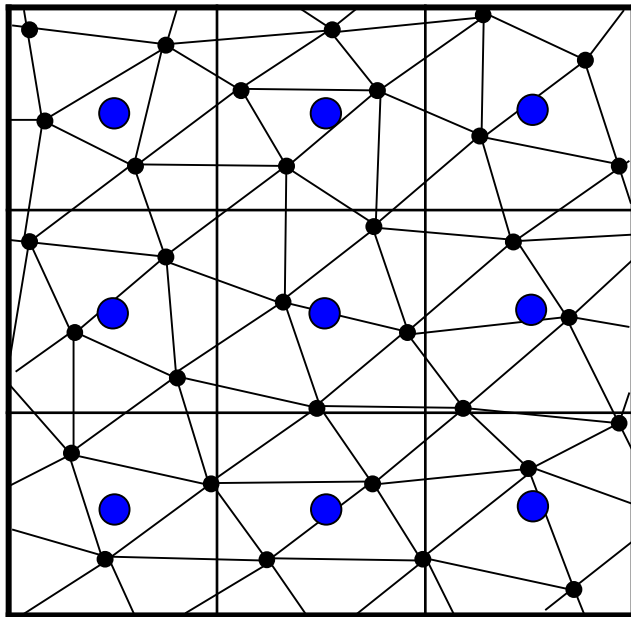
a. グリッド化データの重ね合わせ鉛直差分解析

b. グリッド化データの3D差分解析

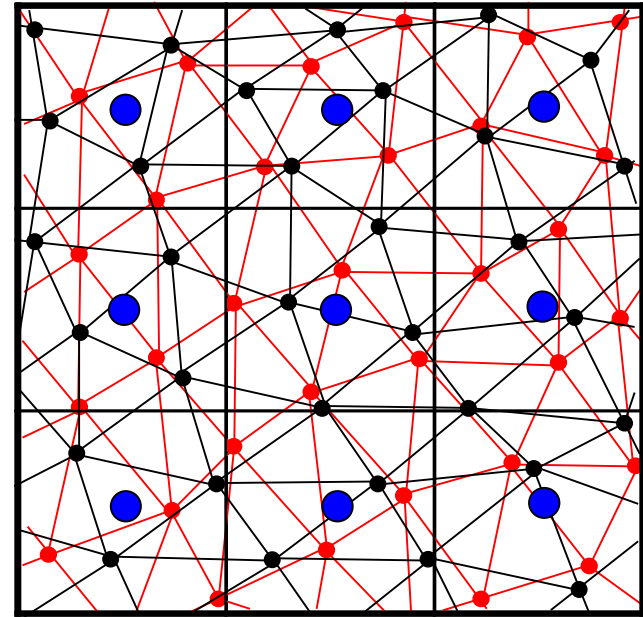
2.1 点群計測地形データの特徴

点群 → TIN → 格子データによるDEM(Digital Elevation Model)

1回目の計測による点群から作成したTIN



1回目と2回目の計測による点群から作成したTIN



- 1回目の計測点
- 2回目の計測点
- DEMの格子点の位置

同じ点は計測できない
→ 単点での比較はできない
→ 点群として扱う

2. 2 稠密点群地形データを作る手法

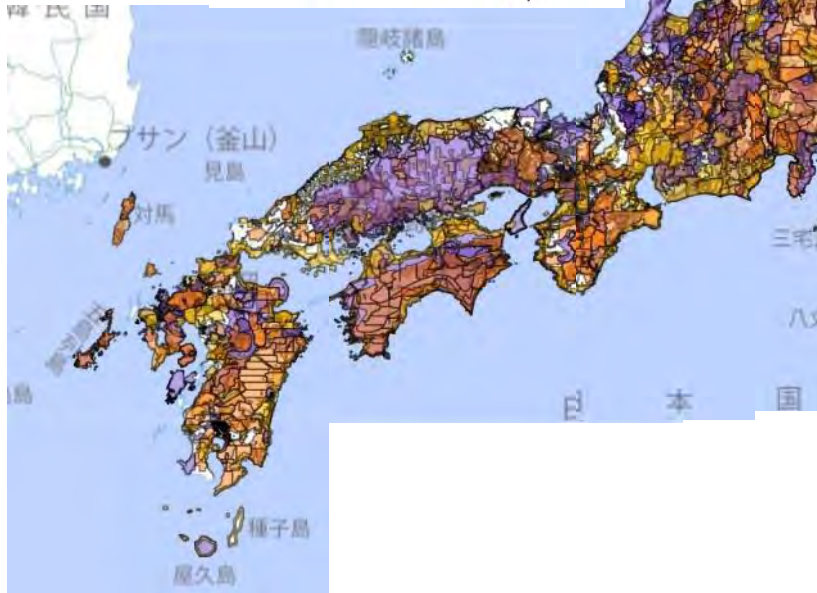
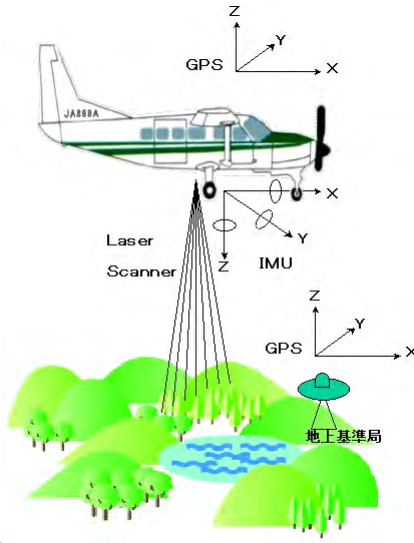
航空レーザ計測は、

- レーザビーム照射によって
航空機と地上の距離と方向を計測(1秒間に数十万パルス以上)
- GNSS(衛星測位)とIMUによって
航空機の位置を計測
- IMU(ジャイロ)によって
航空機の傾きを計測

計測されたすべての計測点の位置と高さを求める。

計測点密度は、 1m^2 に 数点~10点以上。

日本における航空レーザーデータの整備状況



**国土の約75 % を
2022年までに
取得済み
場所により多時期あり**

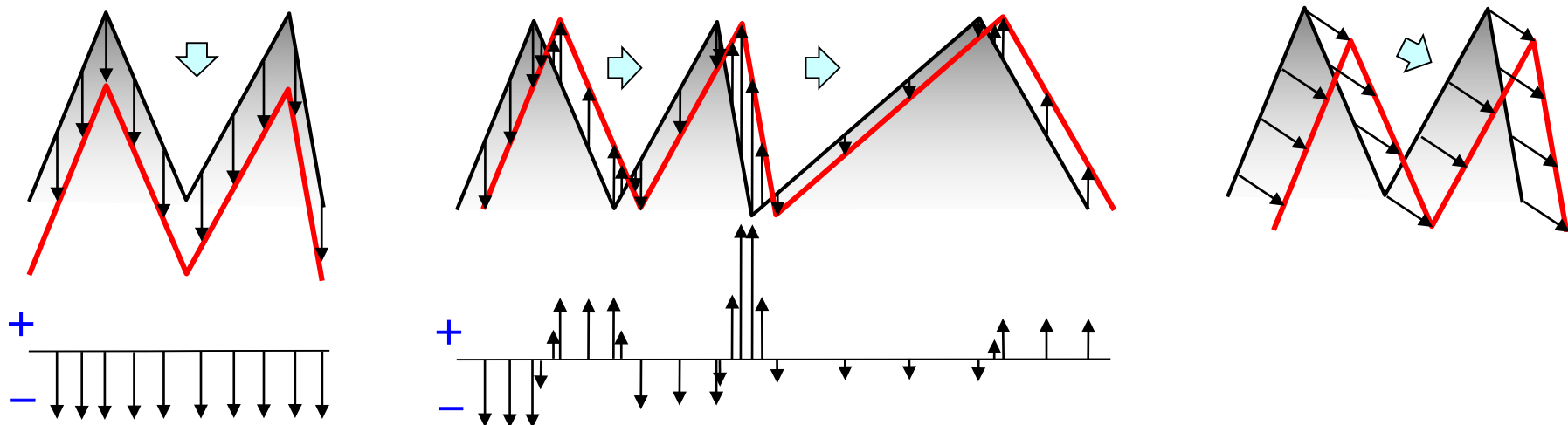
(公共事業による取得データのみを表示)

測量調査技術協会ポータルサイトを参照して作成

<https://www.sokugikyo.or.jp/laser/> 8

2.3 多時期の数値地形データの差分解析

— Before
— After



これまで

水平移動の考慮が必要

現在

標高差分値計測

標高値の鉛直方向の
変化量のみ計測

+

3次元地表面変位計測

形状追跡が可能な領域の
3次元変位量を計測

数値地形画像解析: 3D-GIV

点群マッチング解析: ICP, *etc.* 9

多時期の数値地形データから 地表面変位を3次元計測する2つのアプローチ

① 点群同士のマッチング解析(ランダム点または格子点)

◆ Iterative Closest Point 法 : 直接3次元計測

② 画像化した地表面モデルのマッチング解析

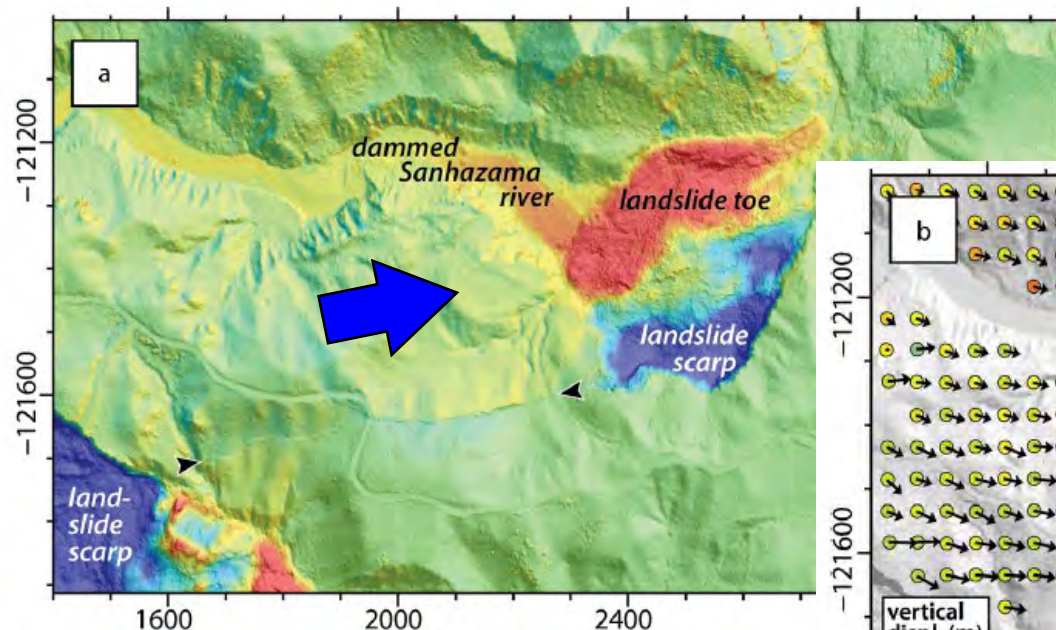
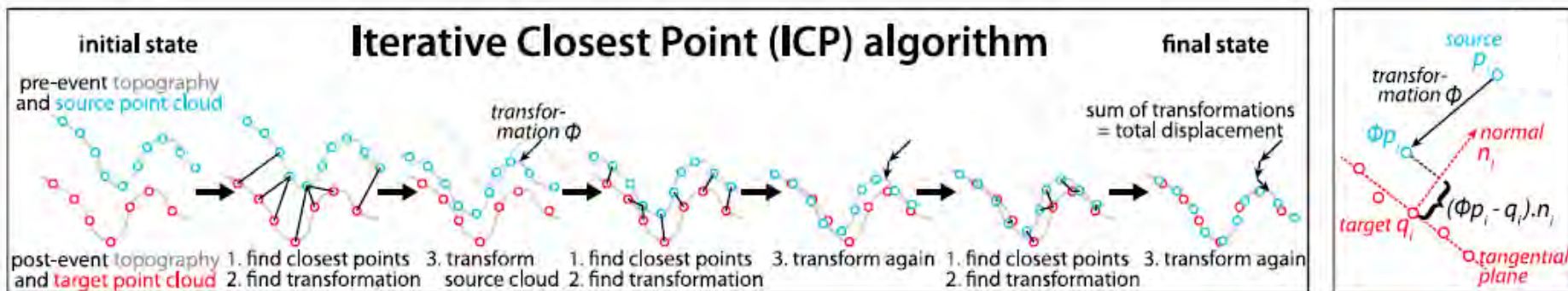
◆ 画像相関法(面積、位相)で2次元変位量の算出

◆ ΔZ はDEM 点群から算出

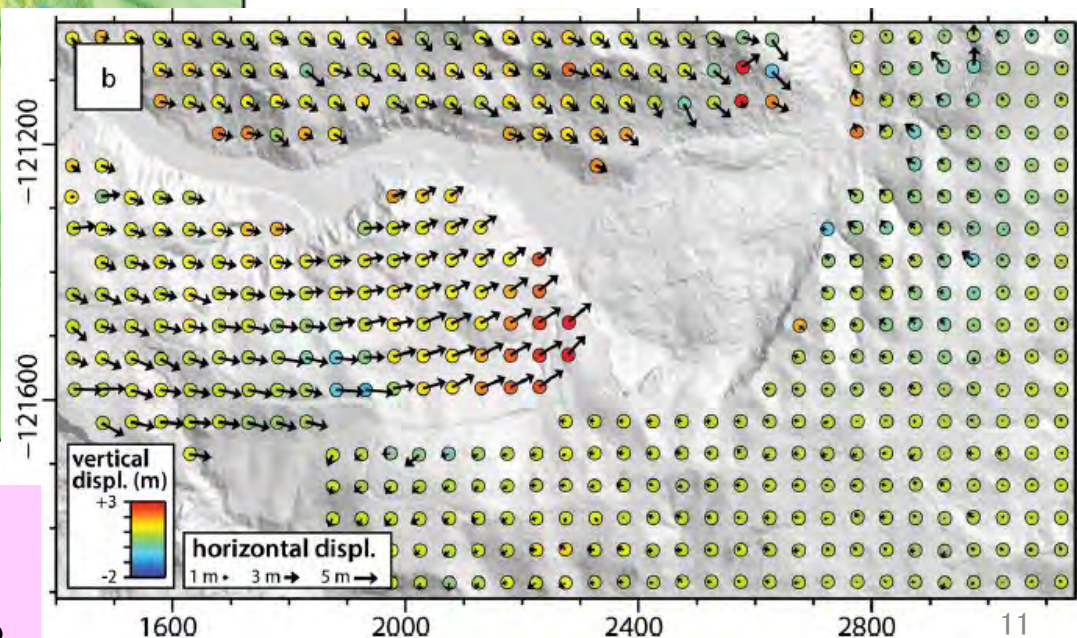
一定の領域の変化量が最小となる位置を求めて、検索領域の変位量を算出するという点では類似したアプローチ

①点群同士のマッチング解析(ランダム点または格子点)

Iterative Closest Point 法の試み



岩手・宮城内陸地震での事例
 (Nissen et al, 2014)



欠点: 計算量が膨大。
 データ精度への依存度が大。

② 画像化した点群地表面モデルのマッチング解析

数値地形画像の画像マッチングによる地表変位の三次元計測

2008年に開発 特許 第4545219号(2010)

Differential LiDAR Image Velocimetry

または より一般的名称として.

Digital Geomorphic Image Velocimetry

Velocimetry → 2時期間の変位量なので、次元は「平均変位速度」

変位を求める際に、計測の間隔と、変位発生時間との関係は重要

あだ名は、3D-Geomorphic Image Velocimetry

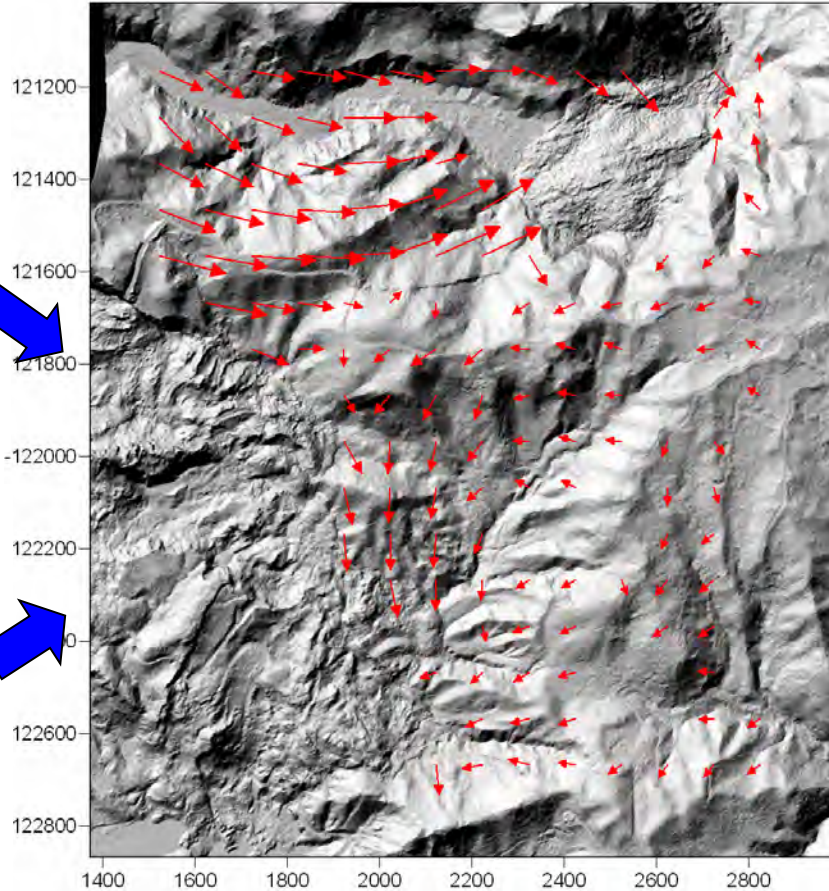
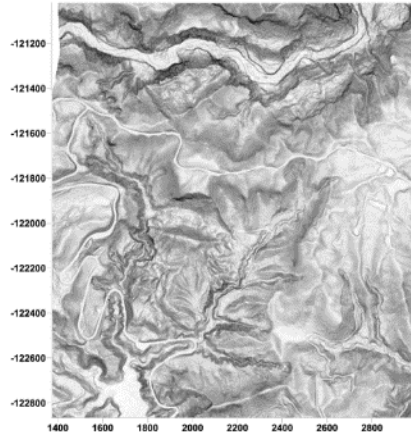
3. 数値地形画像マッチング解析による変位計測

多時期のレーザ計測DEM
から数値地形画像を作成

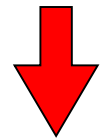
Image Matching Analysis

PIV(Particle Image Velocimetry)法を適用

Before

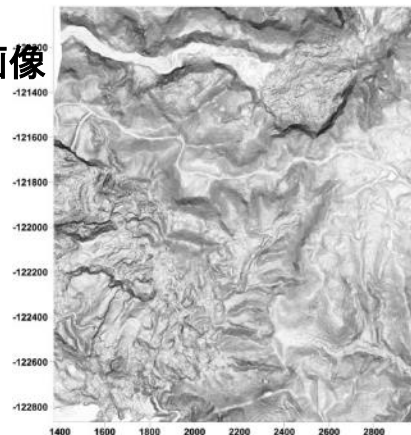


$\Delta X, \Delta Y$
Vector
サブピクセル補間
処理を行う



傾斜量画像、開度
画像などの
地計量演算画像

After



ΔZ を、水平ベクトル基終点周囲のDEMの点群
から補間計算により算出。3D-Vector作成。

数値地形画像解析における変位量計測の原理

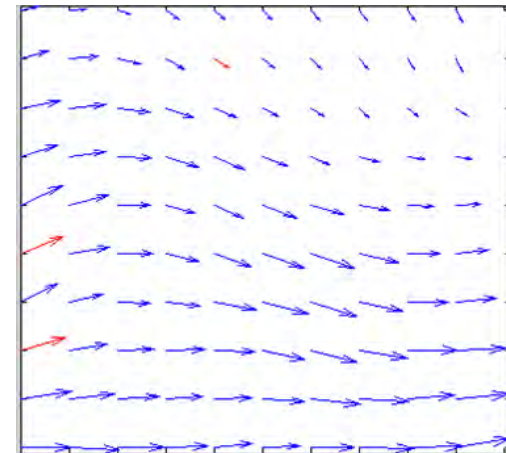
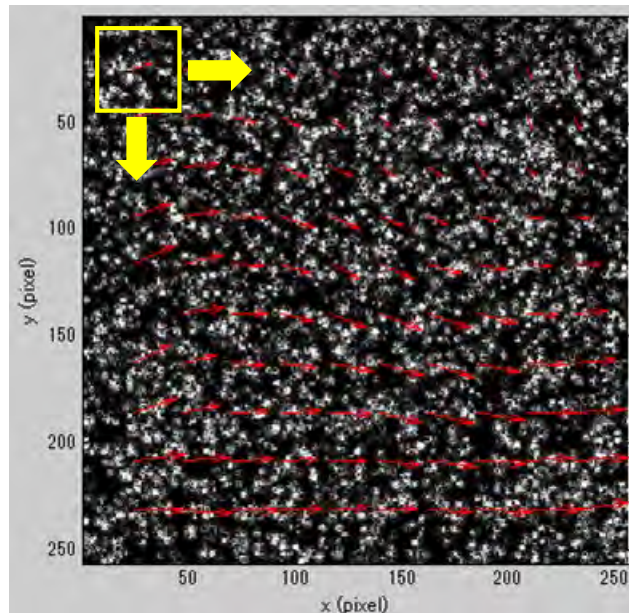
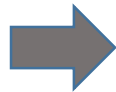
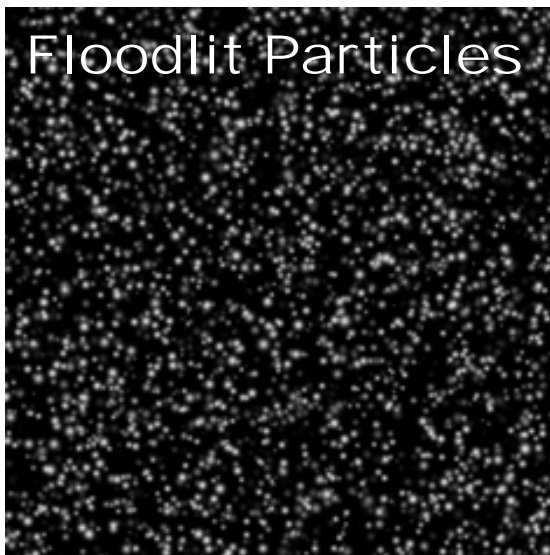
流体計測画像解析技術(PIV)の応用 (Particle Image Velocimetry)

流体中にトレーサーとなる粒子を混入して光を照射し、粒子が反射する輝度分布を動画で撮影する。各コマの内部でテンプレートマッチングを行い、流体の変位速度を算出する。

→ 風洞・水槽実験、エンジンの燃焼ガス、排ガス、管路内流体等の流速を計測

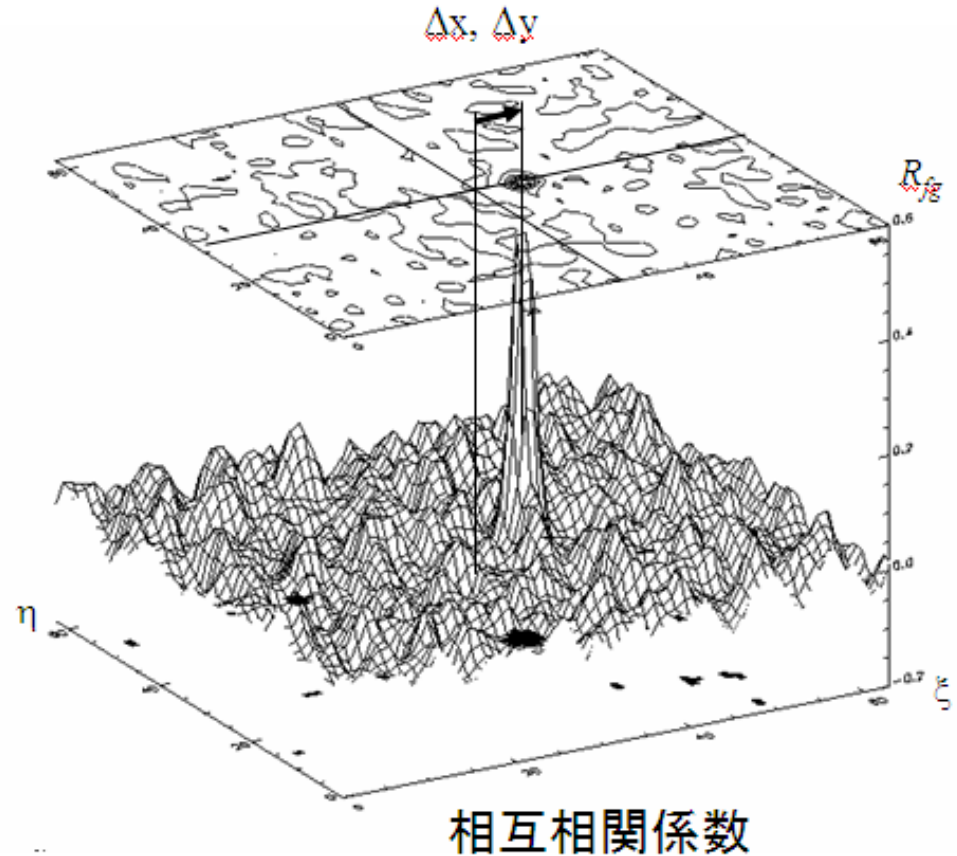
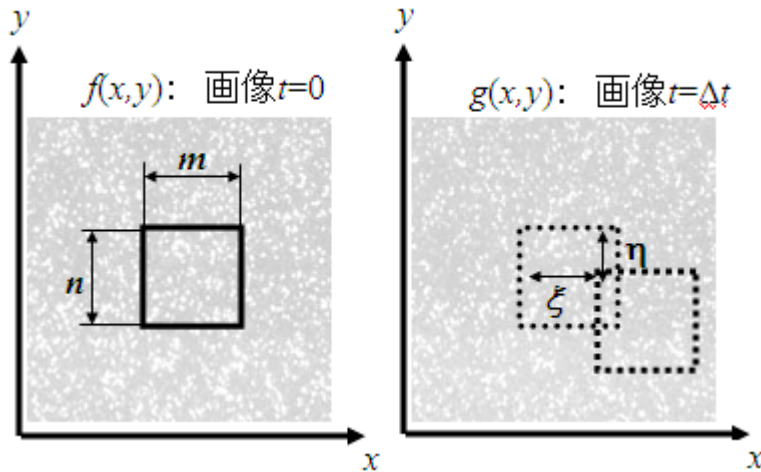
濃淡画像のペアから・・・

テンプレートマッチングで2次元ベクトルを算出



Before ↔ After

相互相関係数最大地点の探索

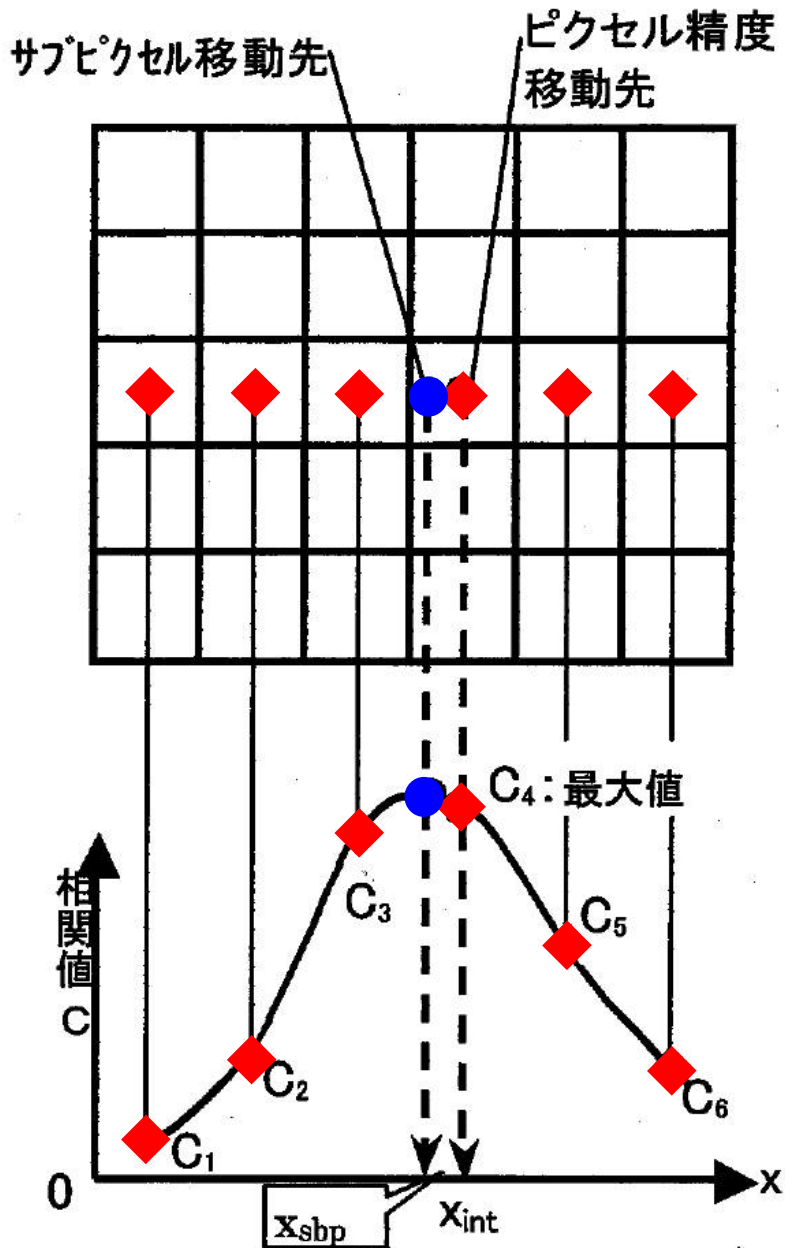


相互相関係数のピークの位置が原点からの粒子の移動方向と大きさを示す。

http://www.isc.meiji.ac.jp/~sakakiba/piv_crosscorr.html

ピクセルサイズ以下の移動量の算出

サブピクセル補間



- ① X, Y方向に対して、ピクセル精度で画像相関値が最大になる位置を特定
- ② 曲線近似により内挿補間し、相関係数が最大になる位置を推定

1/10 ピクセルサイズの変位まで推定可能

きっかけは、2008年岩手・宮城内陸地震で生じた地表変状

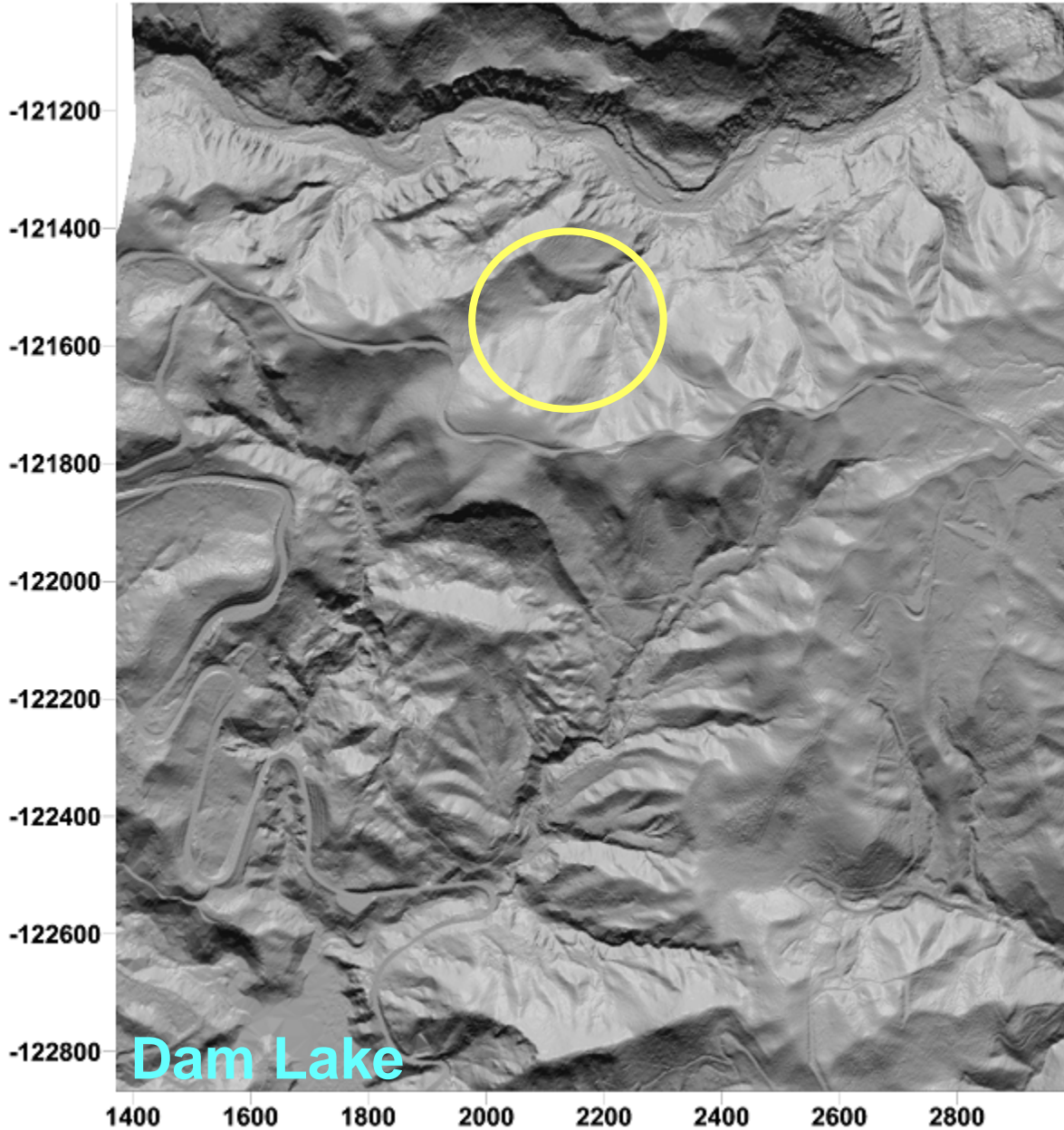
調査対象範囲



産総研による地表変状箇所の調査報告



Northing (m)



**Before
(2006)**

2m DEM

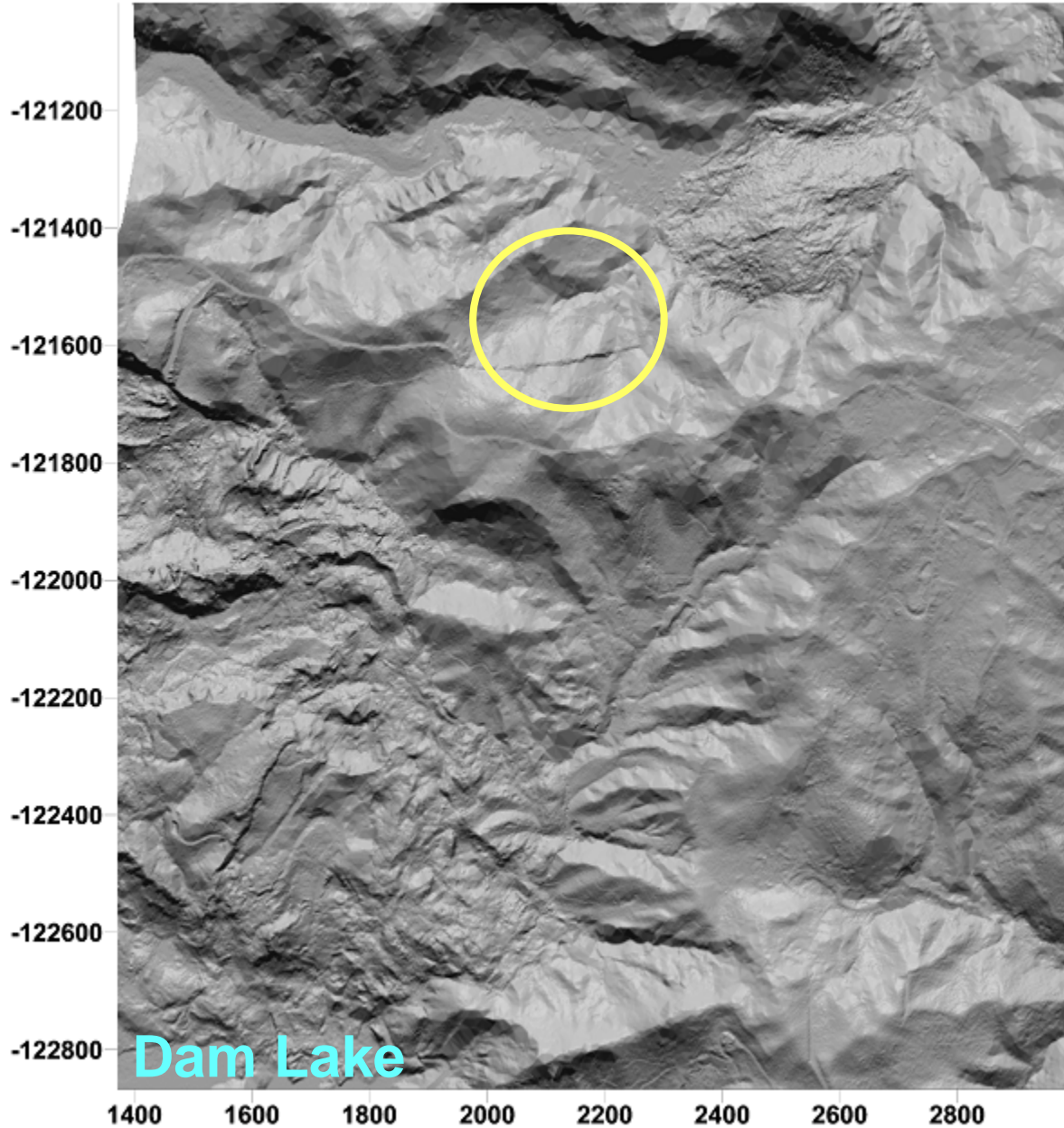
**Shaded Relief Map
from 2m DEM**

Easting (m)

JGD2000-XY, Zone X



Northing (m)

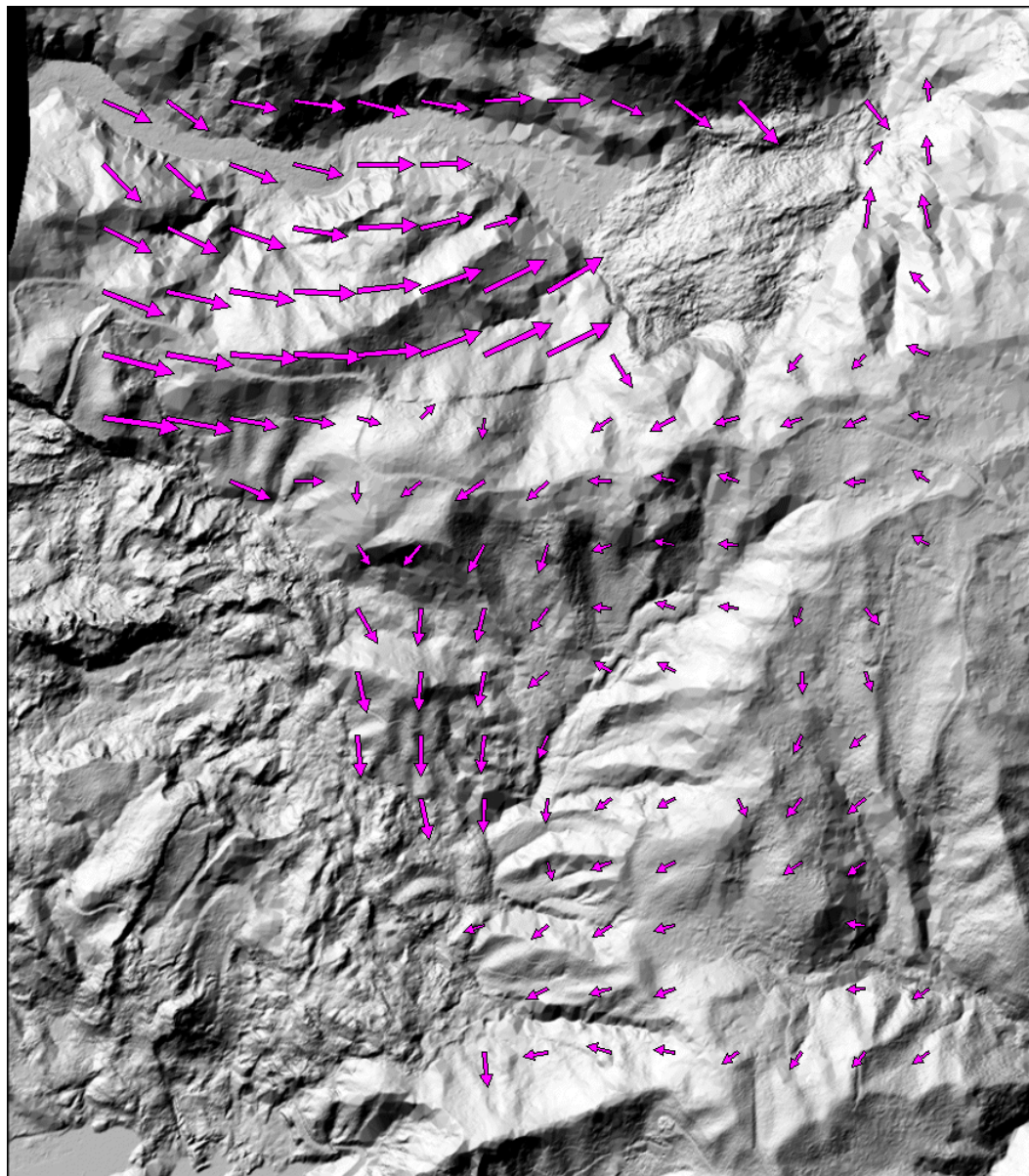


**After
(2008)
2m DEM**

**Shaded Relief Map
from 2m DEM**

Easting (m)

画像解析による地表面移動ベクトル(水平成分)の分布

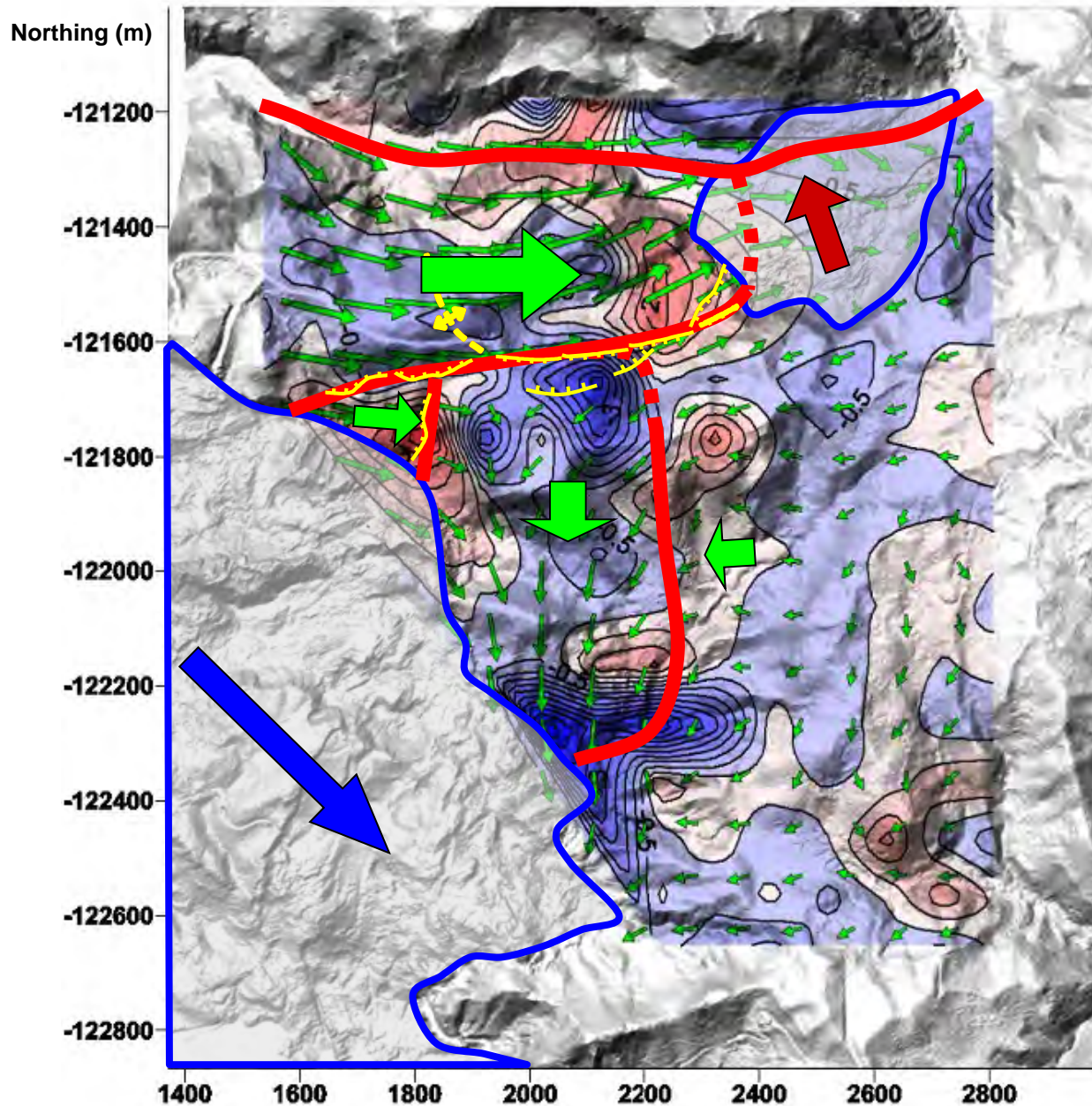


← 移動ベクトル
0.2~6.0m

Shaded Relief Map
(2008)

0 500 1000 m

地表面移動ベクトルの鉛直成分の分布

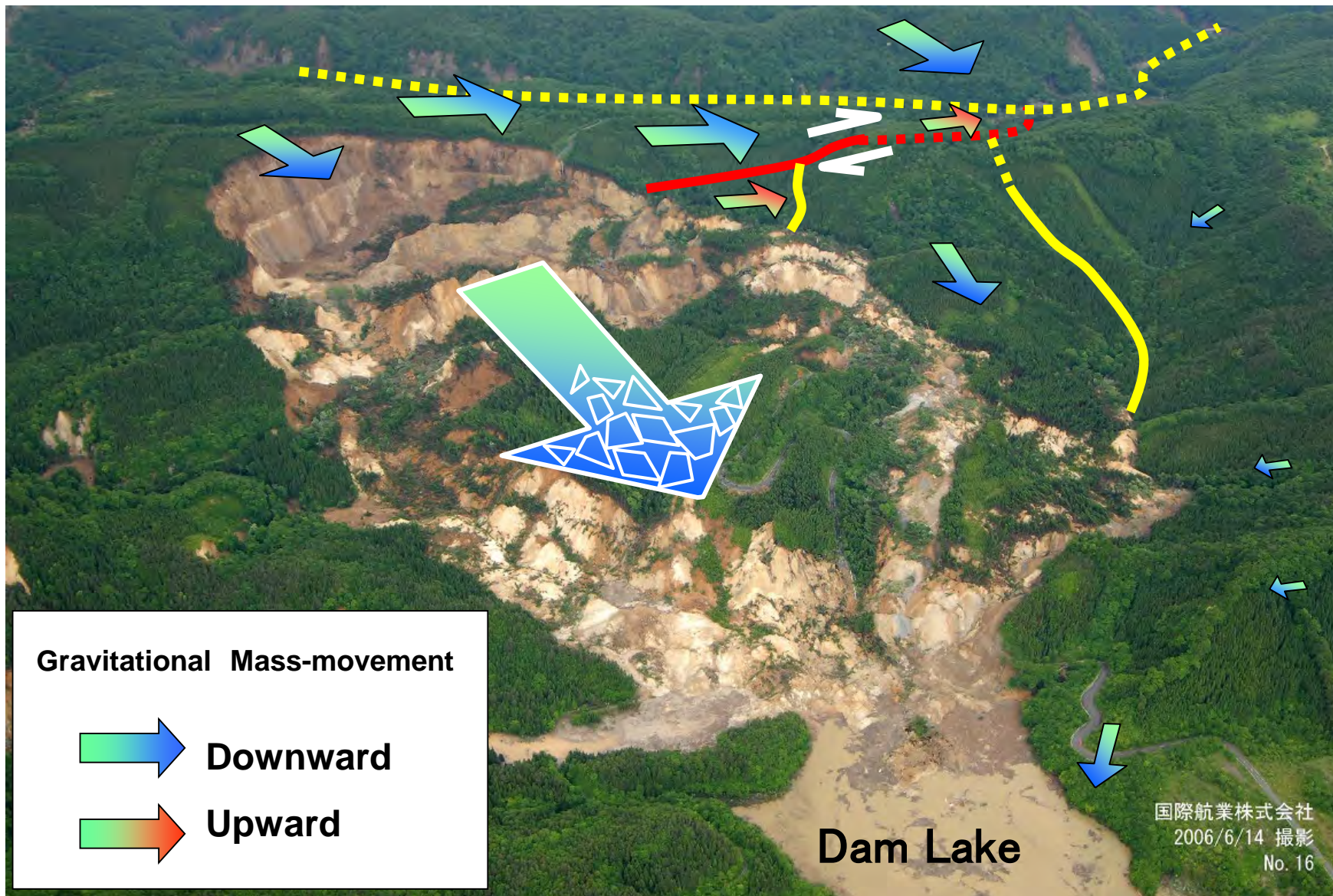


大部分の移動ベクトルは下向き成分を持つ。上向き成分は、ブロックの衝突境界や脚部に認められる

- ➡ Surface movement
- ➡ Large slope collapse
- ➡ Large land slide

Contour line shows the vertical component of the tail of vector
(■+ ■- int.= 0.5m)

荒砥沢大規模地すべり周辺部における地表面の移動



4. 数値地形画像とは

新しい技術により、新しい概念、新しい用語が次々に出現

— 既出の関連用語の例 —

- 数値標高データ
- 数値地形図 ≡ デジタル地形図
- 数値地図(地図画像)
- 地図画像
- 地形画像
- 数値地形モデル
- DEM: 数値標高モデル、DSM: 数値表層モデル など
- DTM

4. 1 DEM(Digital Elevation Model)と画像

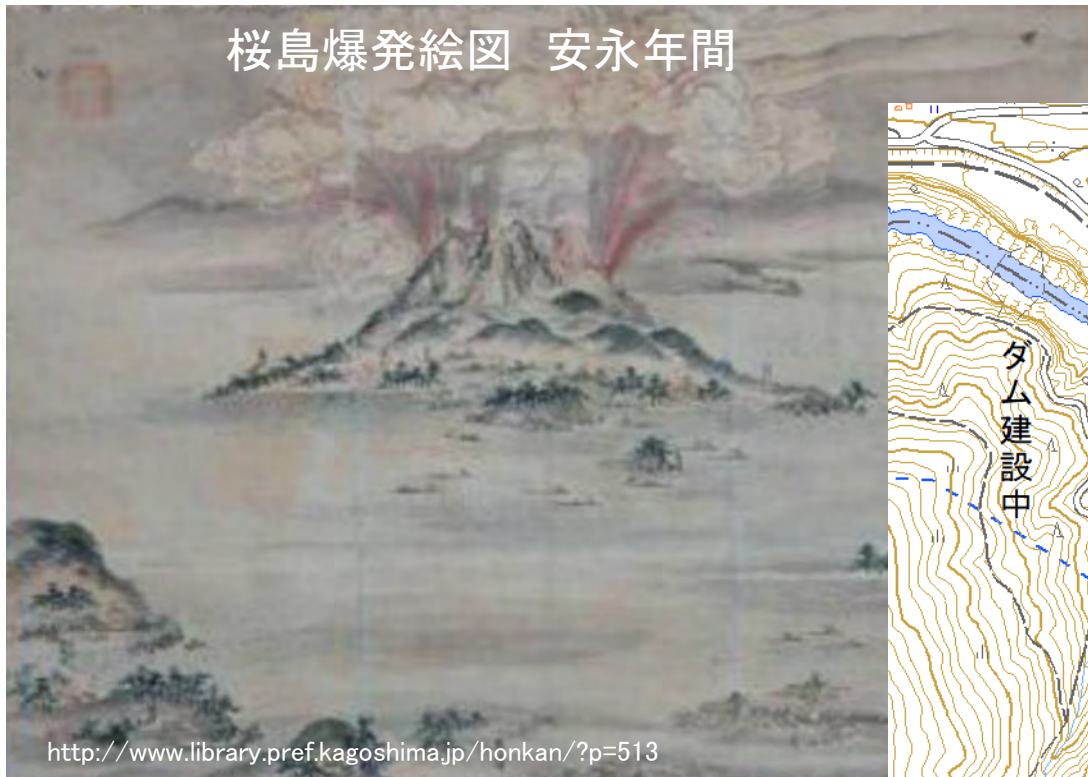
- ① DEMは数値標高データからなる数値の塊だが・・・
- ② DEMは基本的に2次元の構造をもつがゆえに・・・
x,y座標値を持つ格子に、属性としてz値が載る。
- ③ グリッドデータは画像(画素 pixel)として可視化でき・・・
- ④ 画素を用いて画像内の任意の領域の計測ができる。

4. 2 地形画像と数値地形画像

絵図や地図画像は、「地形情報」を載せた「画像」、ではあるが……
連続的に精密に計測するのは困難。

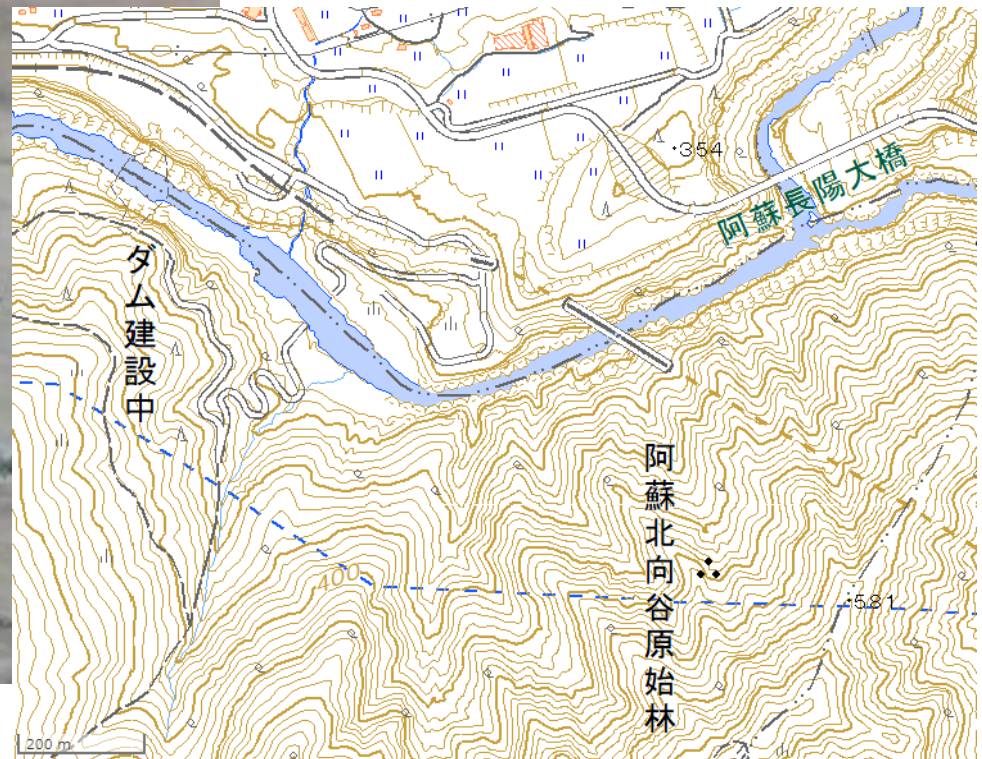
位置情報が欠落

桜島爆発絵図 安永年間



<http://www.library.pref.kagoshima.jp/honkan/?p=513>

等高線の間情報が欠落



地理院地図を使用

数値地形画像の定義

◆数値標高データから演算した地形量(標高値×1も含む)を、2次元平面上に規格化して画素表示したもの。

すべての画素は、地形量の値とともに、平面位置座標値を属性として持つ。→ 計測可能な画像

開発した手法を説明するために、造語し、定義したものです。

画像解析における、数値地形画像の利点

■光学画像(写真)に含まれるノイズ成分がない

- ①雲や植生などの地被による遮蔽がない
- ②大気要因誤差が小さい
- ③日照による影がない
- ④レンズによる画像の歪みがない

■最初から正射影画像(オルソ画像:画像内で縮尺・距離が一定)である

- ①中心投影画像等からのオルソ画像作成に伴う歪みが無い
- ②画像の傾きがない
- ③直交格子座標系への座標変換が容易

■簡単な構造を持つエリアデータである

- ①規則的な格子状配列をもつ
- ②正確な位置情報をもつ
- ③属性情報は階調で表示できる(たとえば、8bit 256階調)

数値地形画像解析による変化抽出の適用分野

イベント前後の計測調査

- 断層による変位
- 地すべり, クリープ
- 液状化による側方流動変位
- 地殻変動
- 巨大海溝地震後の海底面変動

イベント前のモニタリング

- 土層流動 (Earth flow)
- 地すべり, クリープ
- 氷河の流動
- 大規模な法面等の変形



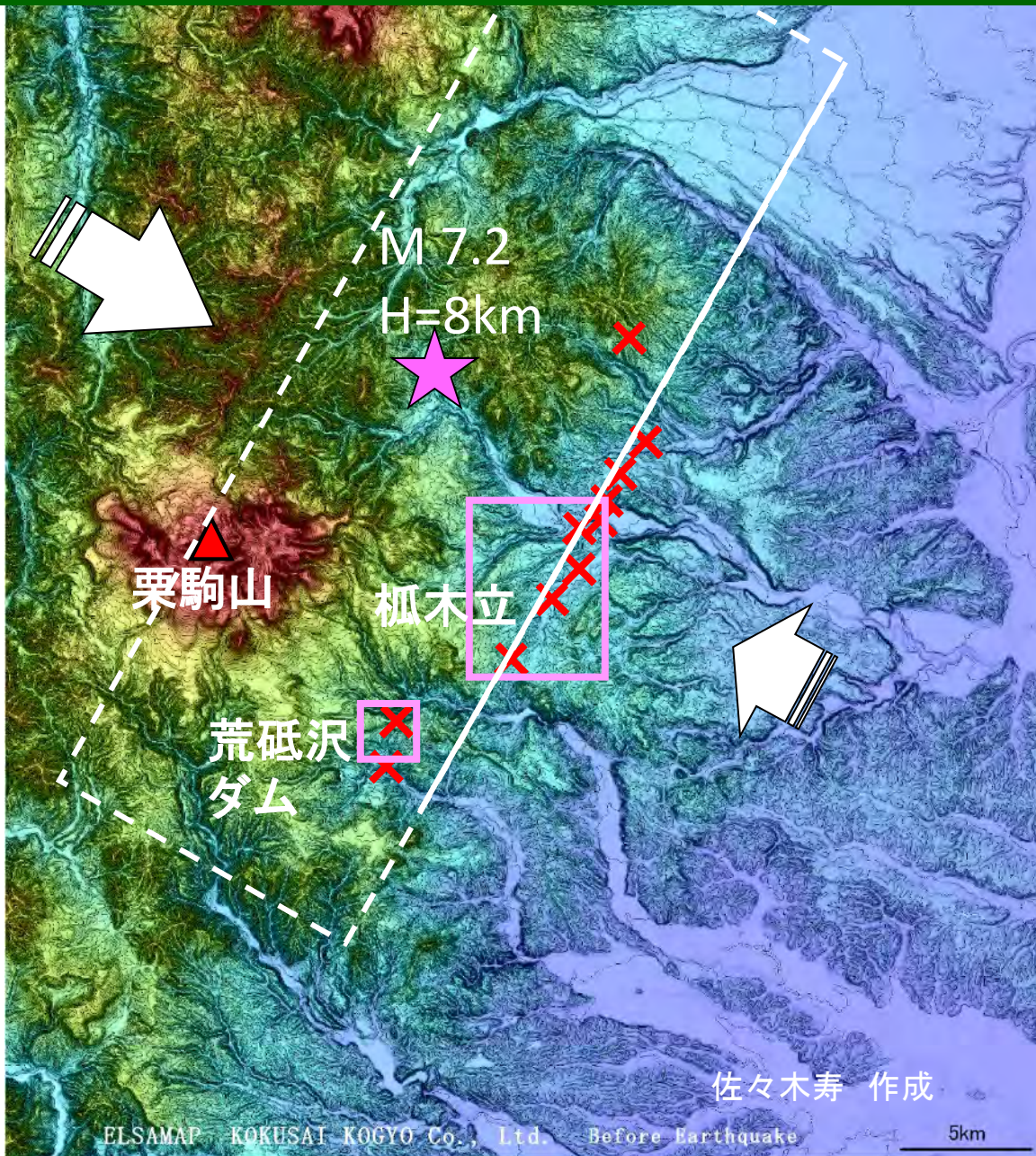
Figure 2. Slumgullion earth flow. Lake San Cristobal is at lower right. The inactive landslide extends from the lake uphill to the active toe. Active toe is prominent light-colored bulge uphill from where Colorado State Highway 149 crosses the earth flow. Active flow extends from active toe to prominent main scarp at top of photograph.

- ◆ 計測精度は、画像上で0.2 pixel (DEM の size) 程度
- ◆ 追跡不能まで変形した表面や、規則的繰り返しパターンの計測には不向き

5. 大地震発生時の地表面変位計測の事例

- ① 2008年岩手宮城内陸地震による活断層の変位
- ② 2011年東北地方太平洋沖地震による埋立地地盤変動
- ③ 活断層変位、マスマーブメントの変位
 - ③-1 2011年福島県浜通りの地震
 - ③-2 2016年熊本地震
- ④ 2024年能登半島沖地震によるマスマーブメントの変位
- ⑤ その他(2011年東北地方太平洋沖地震による海底の変位など)

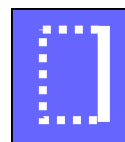
事例：① 2008年岩手・宮城内陸地震による活断層の変位



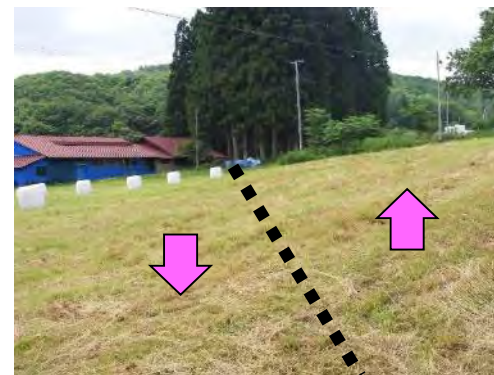
調査範囲



地表踏査によって確認された
地表地震断層



地震断層モデル

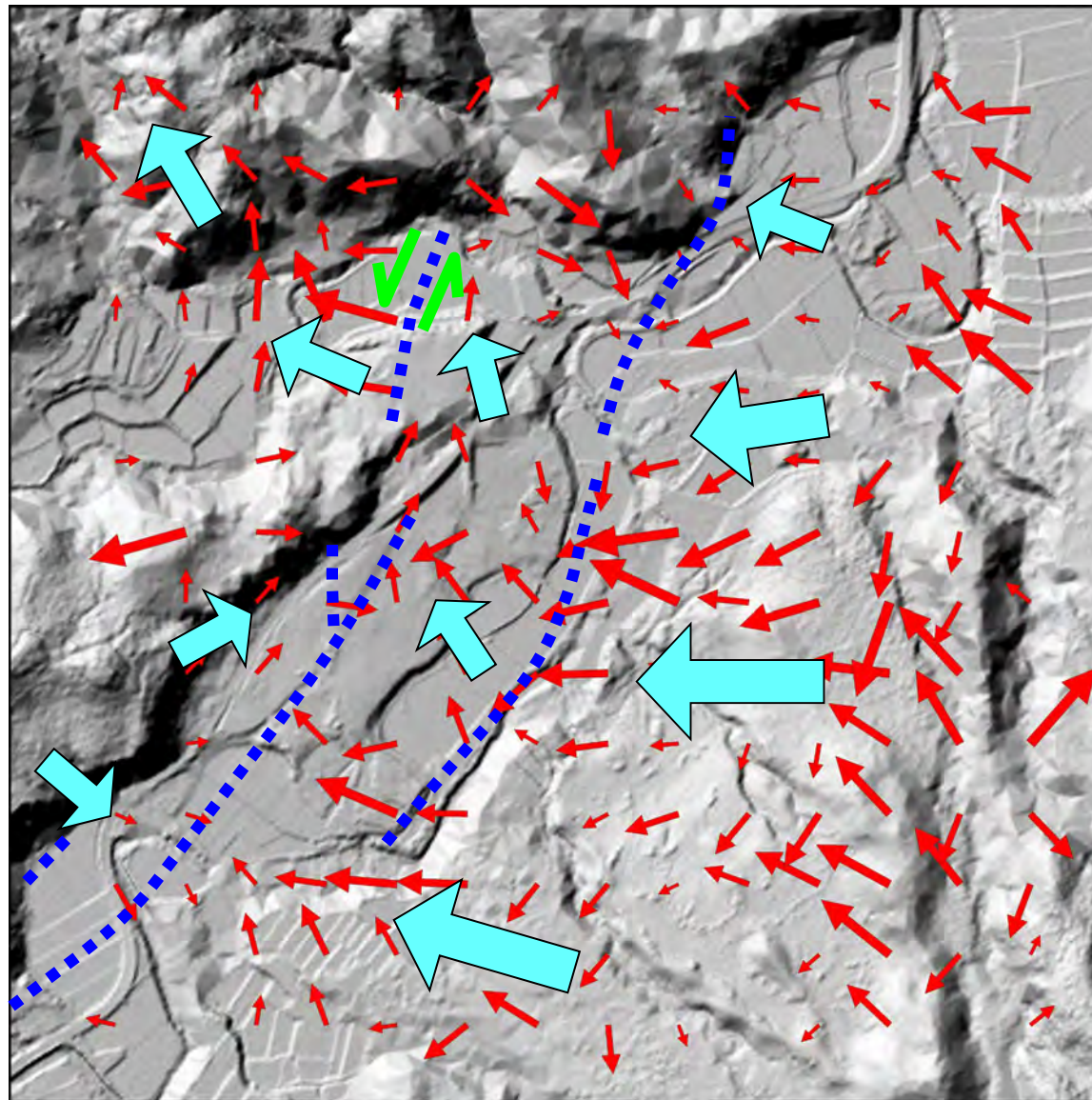


地震後に認められた爪木立付近の地表変状



(1:25,000詳細活断層図, 国土地理院,2009)

爪木立付近の地表面変位の全体的な傾向



地震前:2007.4.30

地震後:2008.7.2

..... 地表変状

← 移動ベクトル

0.1~0.6m

基準点「皆瀬」の
移動を考慮した
補正後のベクトル

全体としては
右横ずれ成分

局所的に低次の
左横ずれ断層が
形成された。

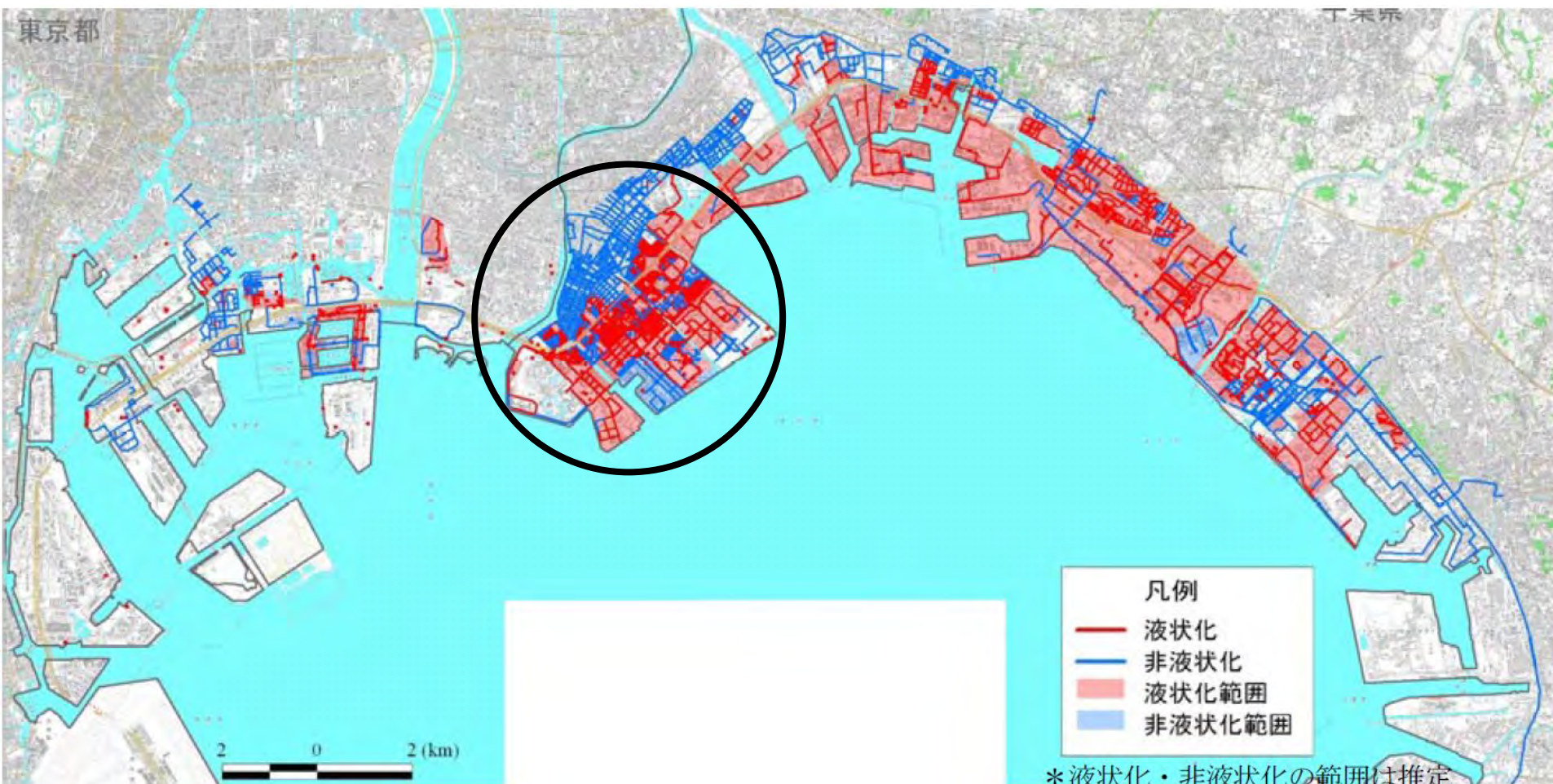
0 200 400 m

事例：② 東北地方太平洋沖地震による地盤変動の計測

■ 調査対象地：浦安市の埋立地

■ 仕様データ：地震前（2006/12/19, 2006/12/24, 計測仕様2m, 2mDEM）

：地震後（2011/04/12, 計測仕様1m, 2mDEM）

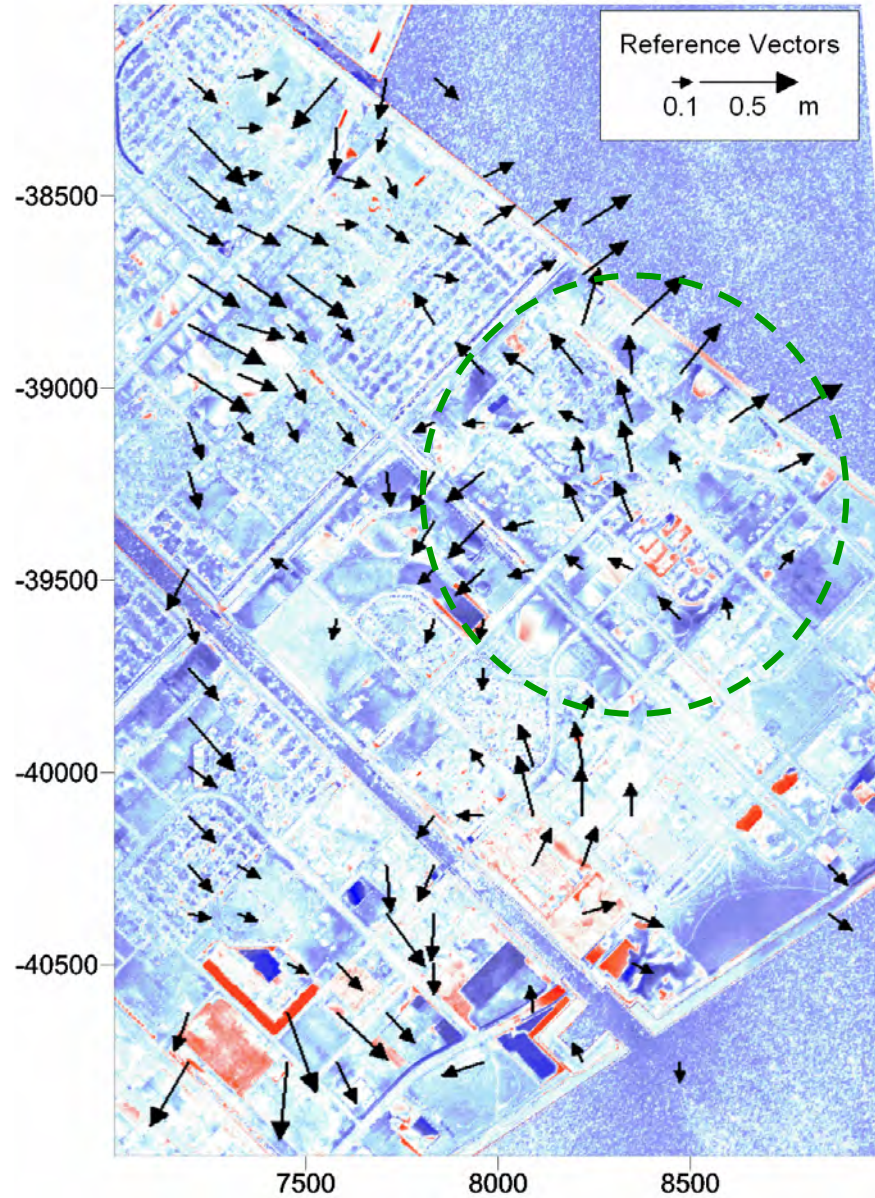


2011年6月4日撮影

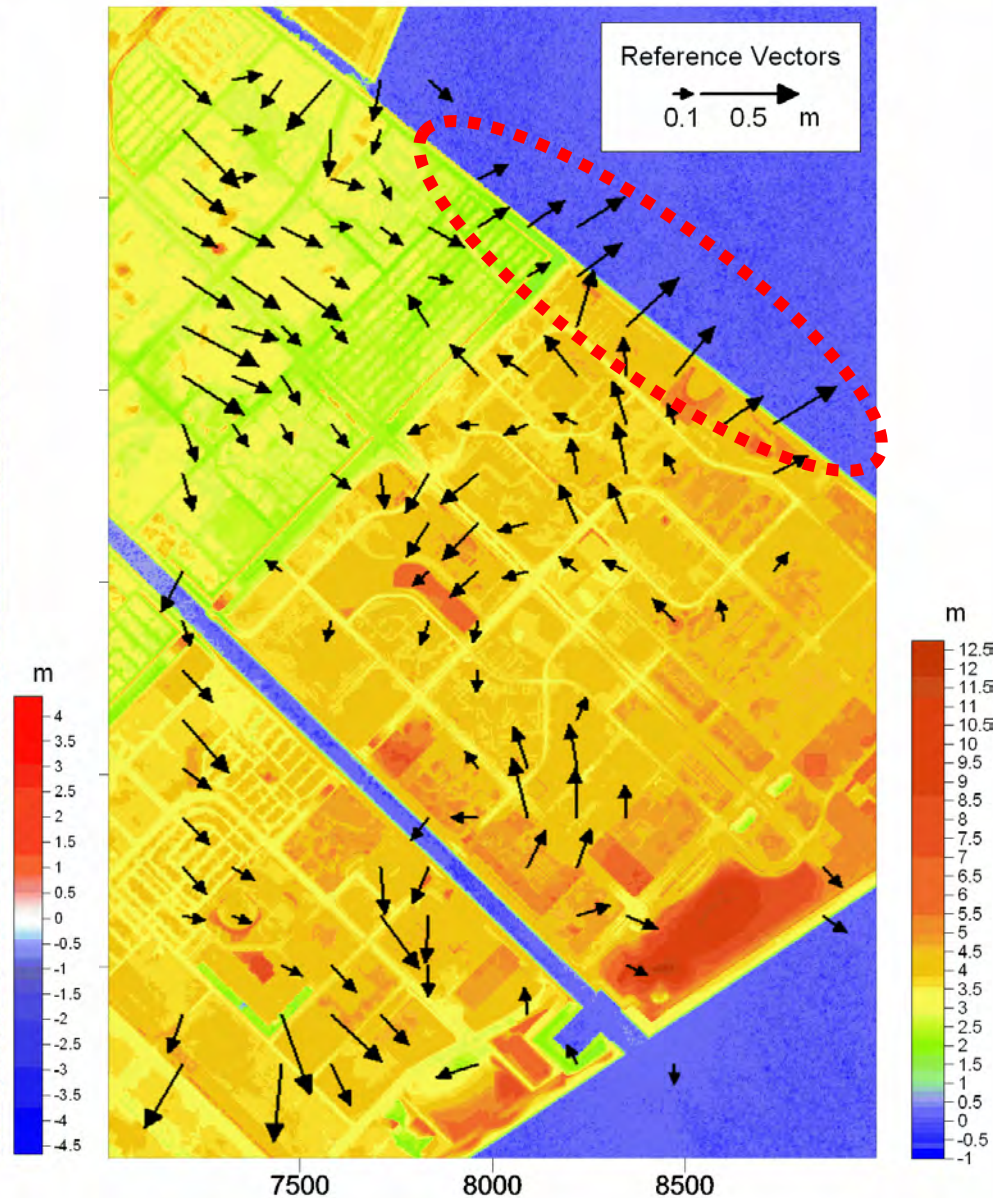




入船・明海・日の出地区の地表面の水平変位(2006→2011)

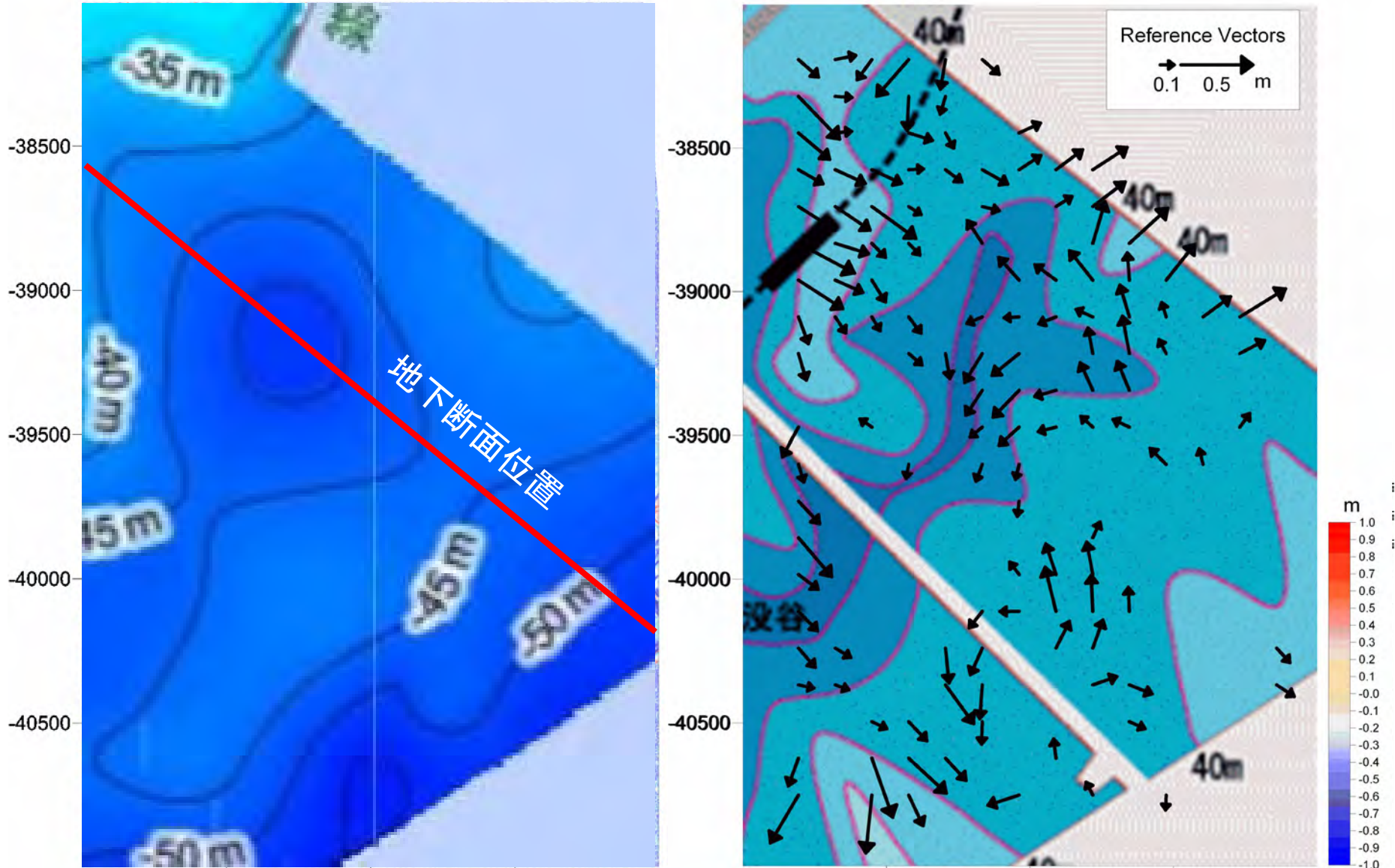


背景図は地震前後の鉛直差分量図



背景図は地震前のDEM標高図

軟弱砂泥層の厚さと地表面の移動(2006→2011)



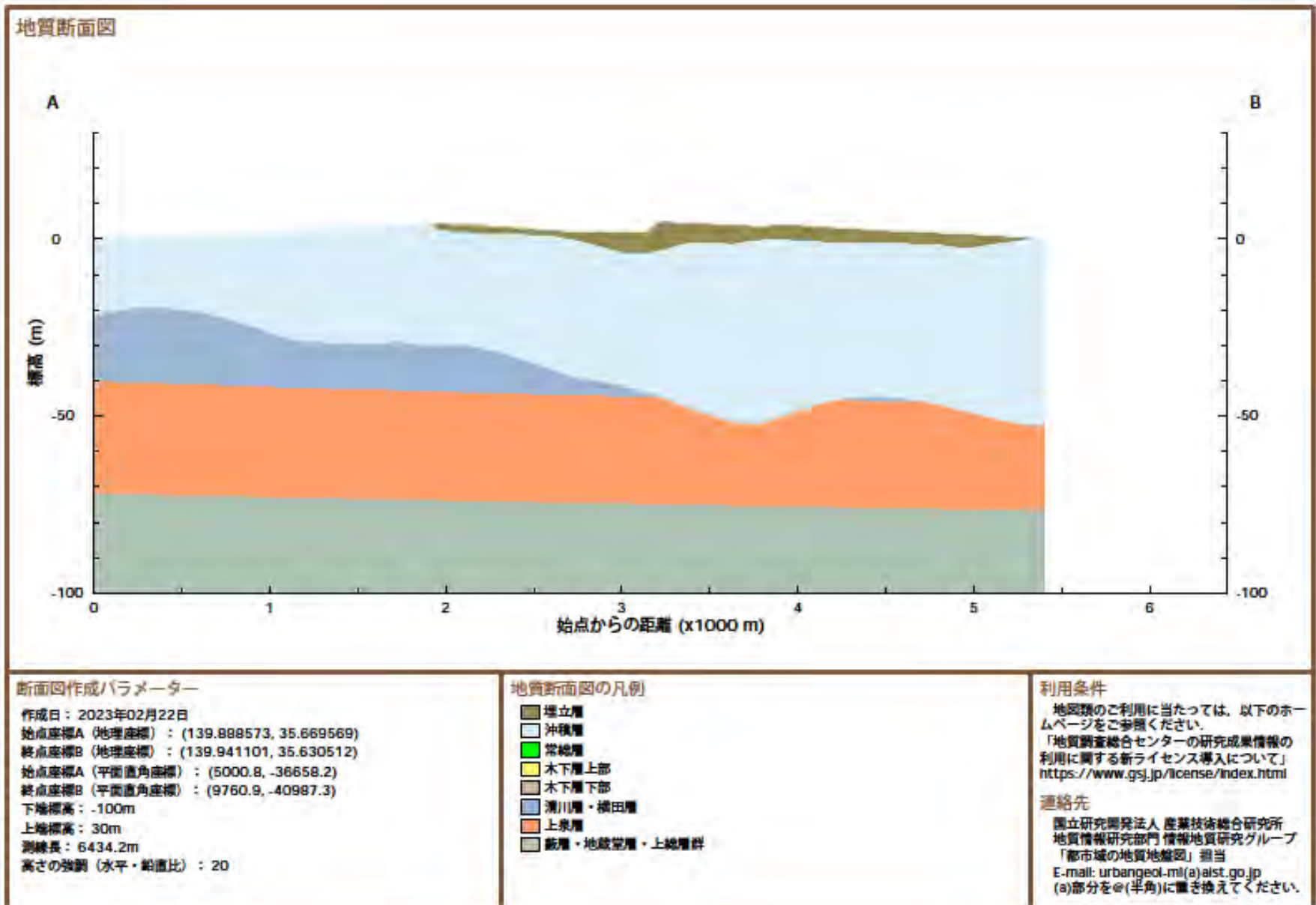
(左)沖積層の基底定面 都市域の地質地盤図「千葉県北部」 (右)軟弱砂泥層深度分布*と水平変位量

*浦安市地震防災調査報告書(1996)

浦安埋立地の地盤 平面図

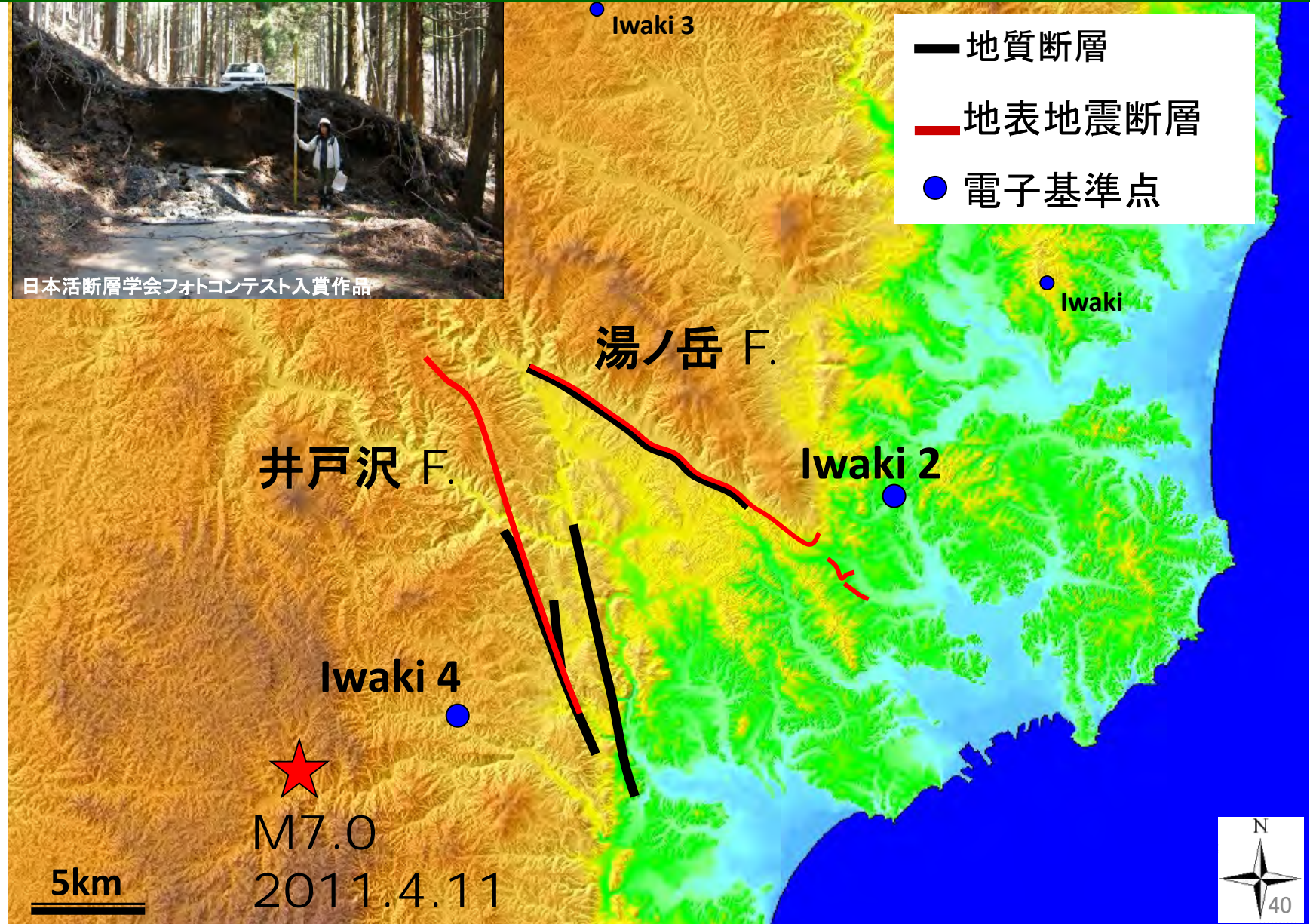


浦安埋立地の地盤 断面図

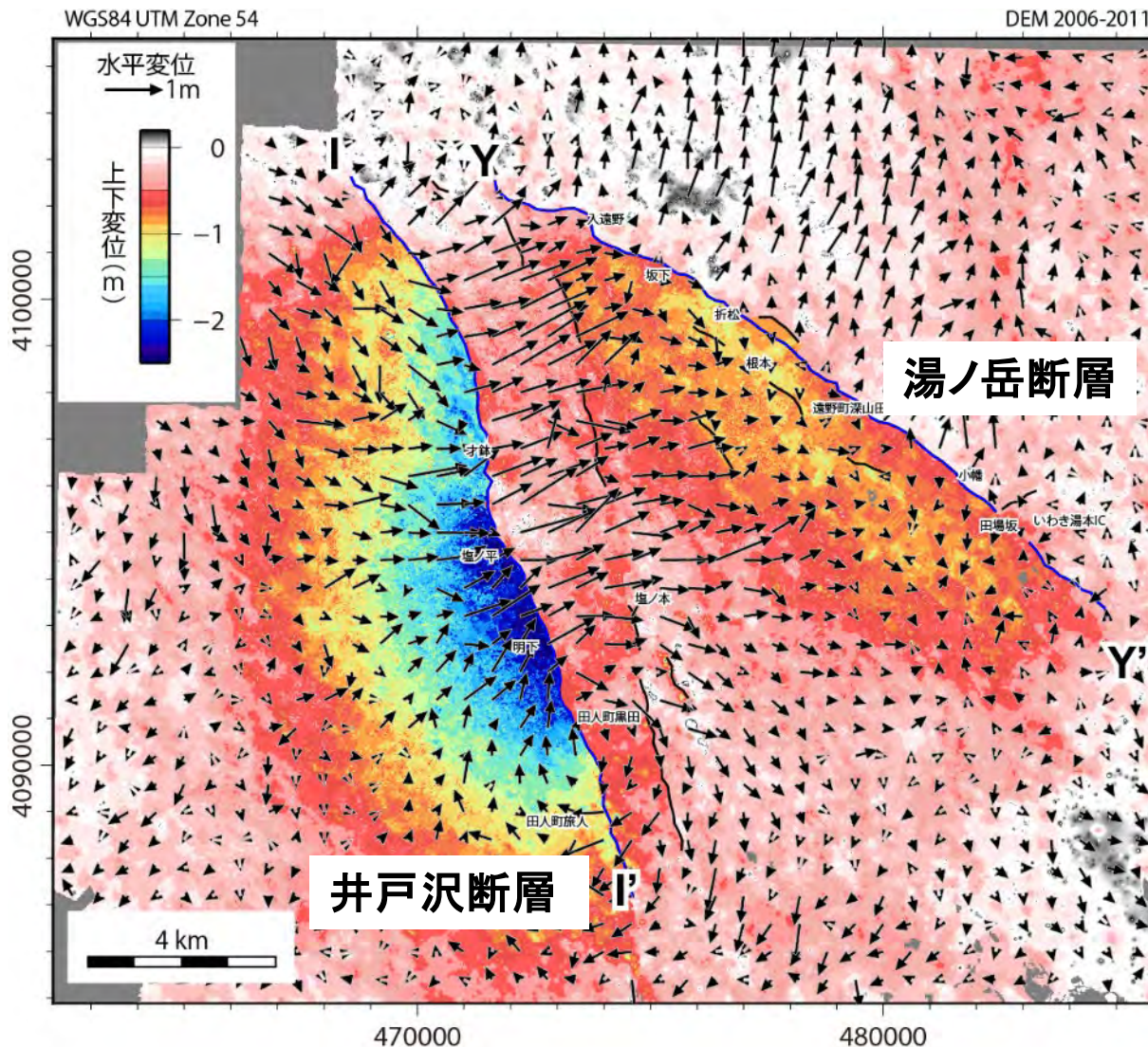


事例：③-1 活断層変位、地震に伴うマスマーブメントの計測

2011.4.1福島県浜通りの地震 M7.0



2011年4月11日福島県浜通りの地震前後の 3次元的な地殻変動分布(2006~7→2011.5)



◆上下変動

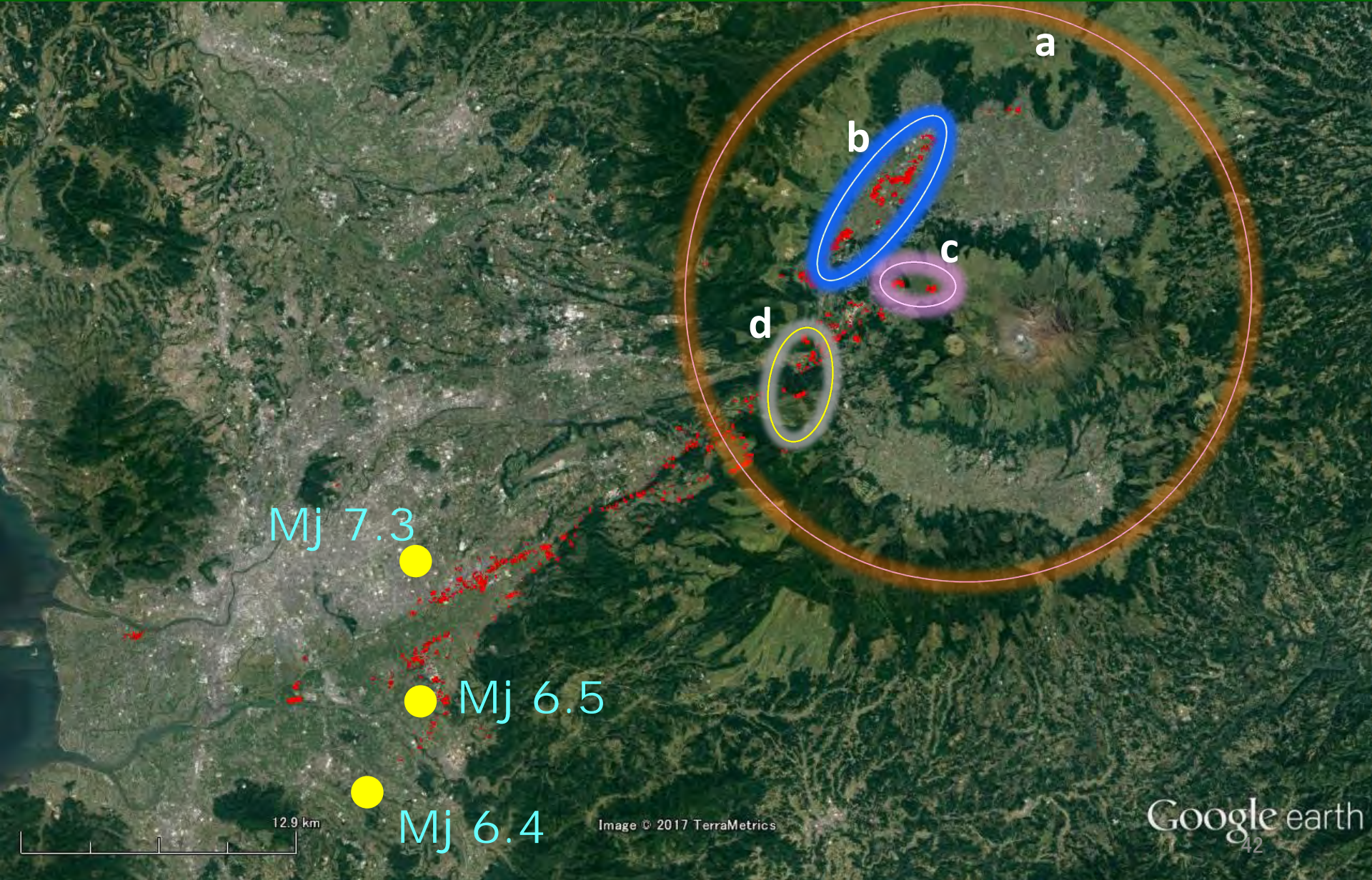
- ・北部を除き全体的に沈降。
- ・井戸沢断層西側は、最大2.4mの沈降。

◆水平変動

- ・井戸沢断層の並走する2本のトレースの間で特に東向きの変動が大きい(>1m)。
- ・井戸沢断層の西側は最大沈降域に収斂する向きの変動。
→ 断層帯北部では左横ずれ、南部では右横ずれに。
- ・湯ノ岳断層の北側は北向きに變動しているが、南東部は水平變動量が小さい。

事例：③-2 活断層変位、地震に伴うマスマーブメントの計測

2016.4.14~4.16 熊本地震 M7.3



紹介事例

- a. 阿蘇カルデラ全域の地表面変位の傾向
- b. 阿蘇谷低地における大面積領域の地表面変位
- c. 米塚スコリア丘に生じた地表面変位
- d. 立野火口瀬付近の断層変位

使用した航空レーザー計測地形データ

◆地震前

国土地理院が管理する2010年計測データ

◆地震後

国際航業株式会社の自主計測によるデータ

(2016年4月19日～23日、4月29日、5月18日)

◆数値地形画像は1mDEMから作成

◆計測値には2010年～地震前までの経年変動、余効変動を含む。

◆計測成果は、日本応用地質学会災害調査団の調査成果を引用

国土地理院の GEONET変位量 との比較 (水平成分)

➡ GEONET変位量

➡ 数値地形画像
計測変位量

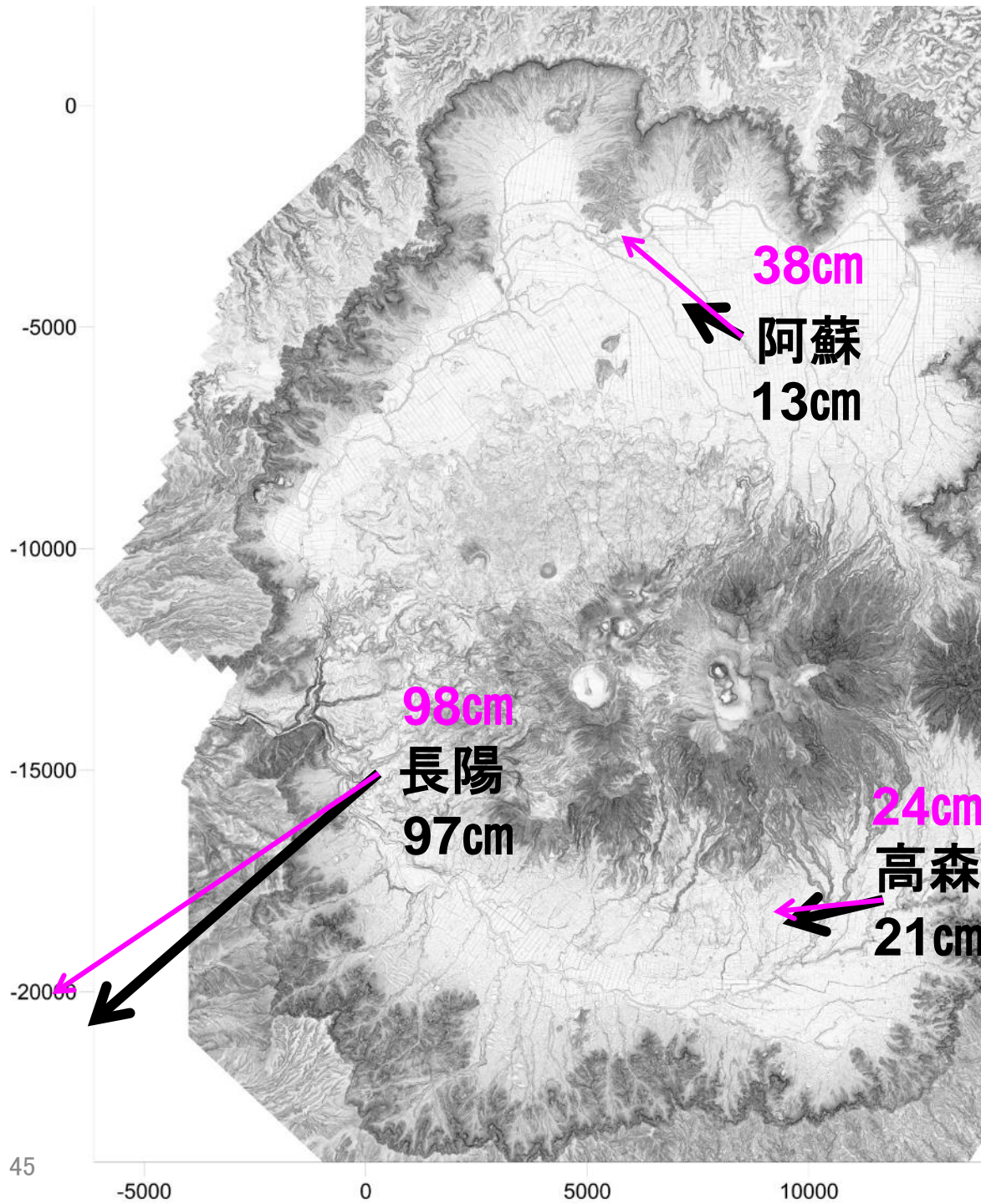
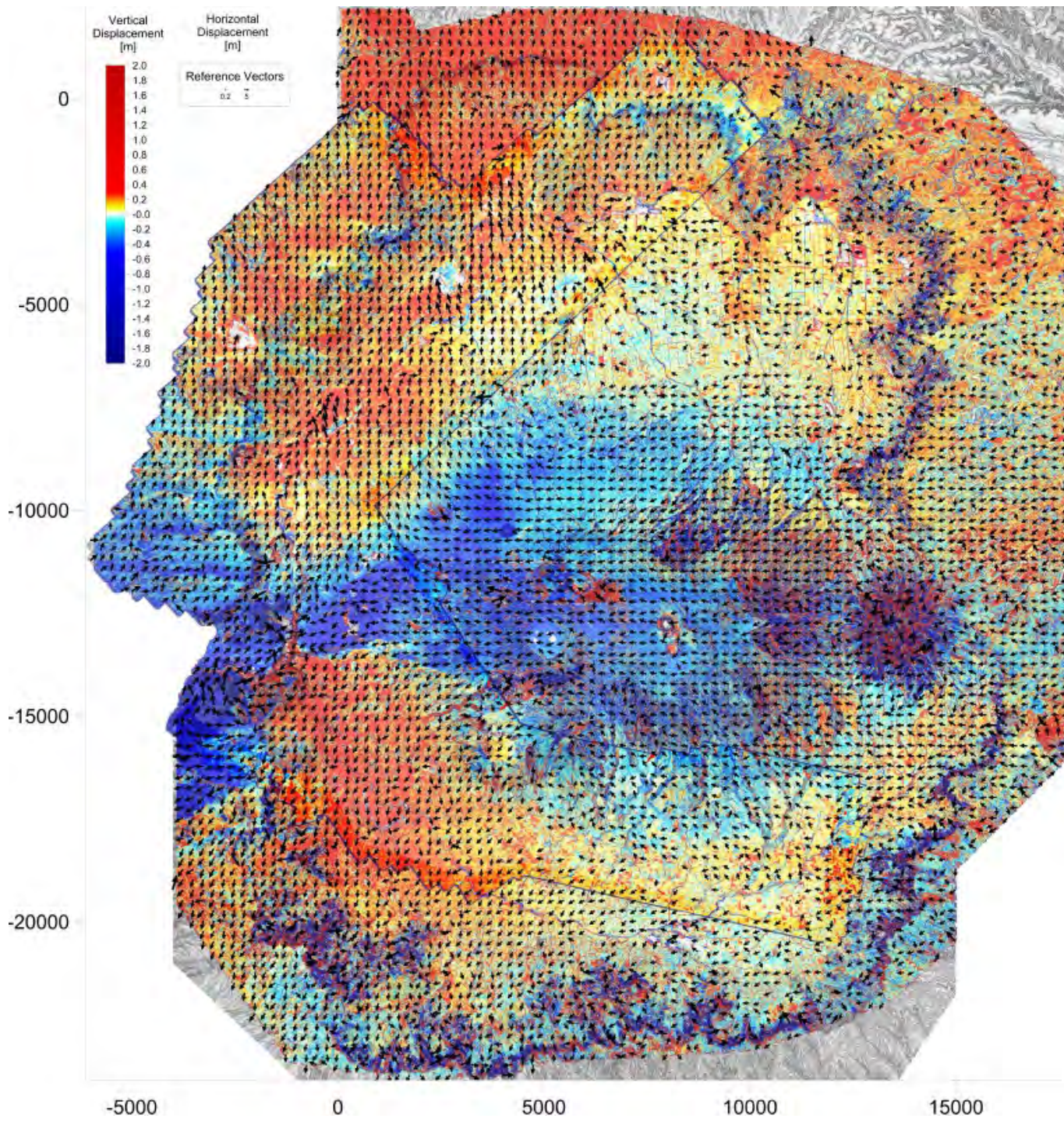


表-1 数値地形画像計測変位量とGEONET観測変位量との比較

観測点	長陽	阿蘇	高森
GEONET 観測変位 Apr.15~16	97cm	13cm	21cm
数値地形画像 計測変位 (電子基準点直 近地点)	98cm	38cm	24cm
地震前変動 (2010~2016) 補正前変位	94cm	24cm	15cm
近傍平均変位 (近傍9地点)	91cm	25cm	21cm
近傍最大変位 (近傍9地点)	106cm	32cm	33cm
近傍最小変位 (近傍9地点)	80cm	18cm	11cm
地震前の地形 データ取得日	2010 Apr.	2010 Apr.	2010 Apr.
地震後の地形 データ取得日	2016 Apr.22	2016 May 18	2016 Apr.19

a. 阿蘇カルデラ全域の地表面変位の傾向



水平変位量
0.2~5.0mを表示
計測間隔 10m
表示間隔 250m

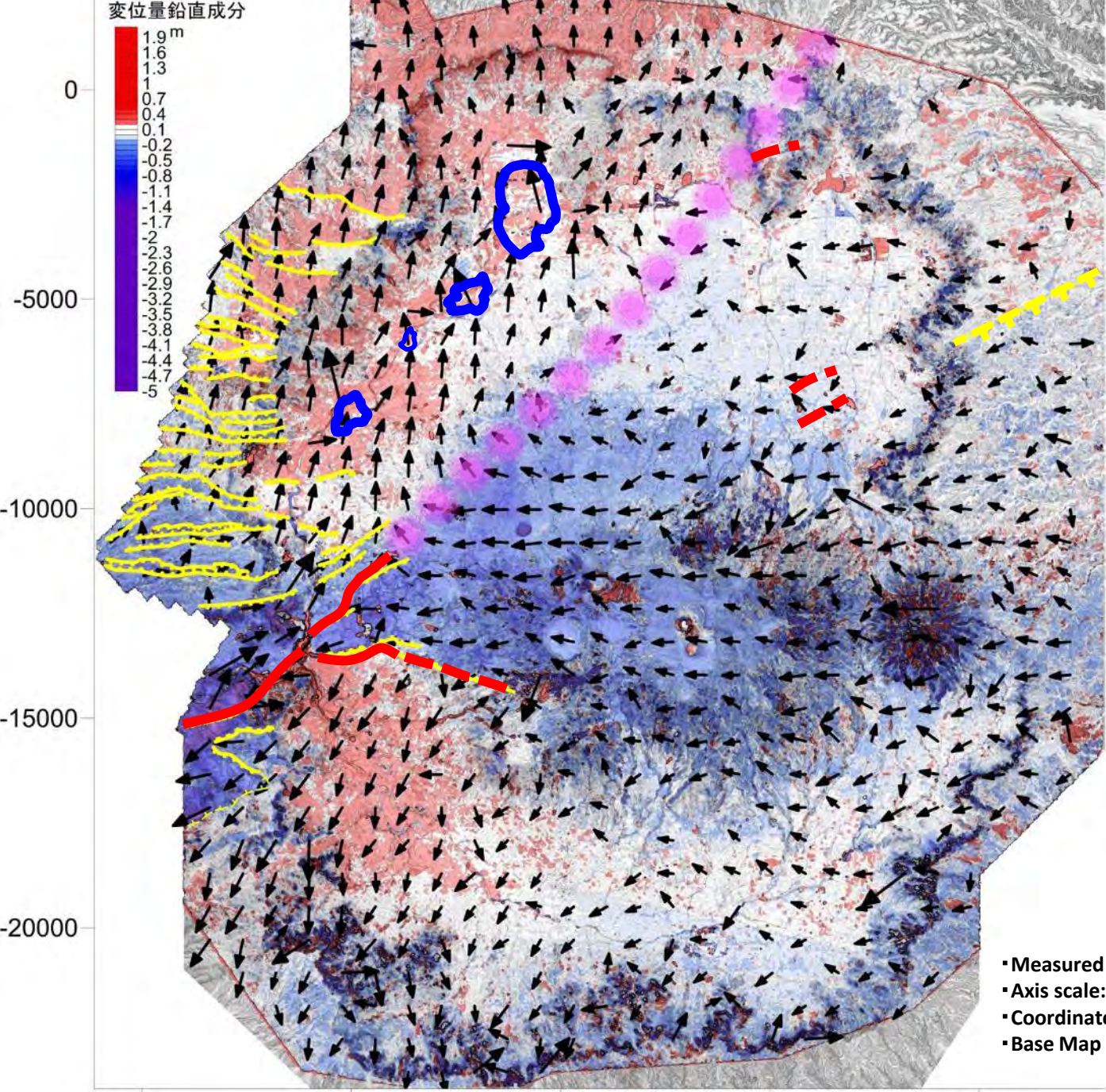
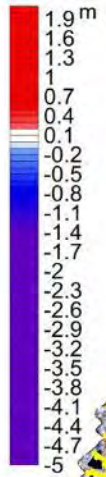
鉛直変位量
-2.0~2.0mを表示
計測・表示間隔 10m

← 地表面の変位
(計測点は矢印基点,
長さは変位量に比例)

- ・変位量の計測は、国際航業株式会社の3D-GIV解析(特許第4545219号)による。
- ・図の軸目盛りは平面直角座標系2系の座標値。





阿蘇カルデラ全域の 地表面変位分布 2010→2016

変位量鉛直成分

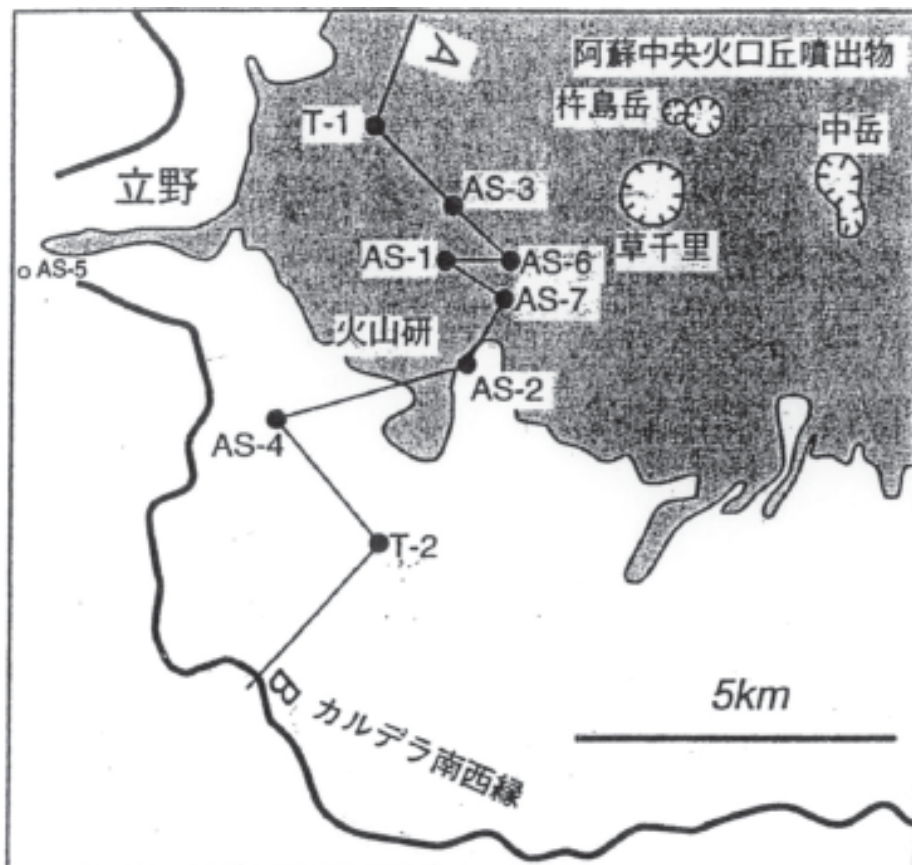
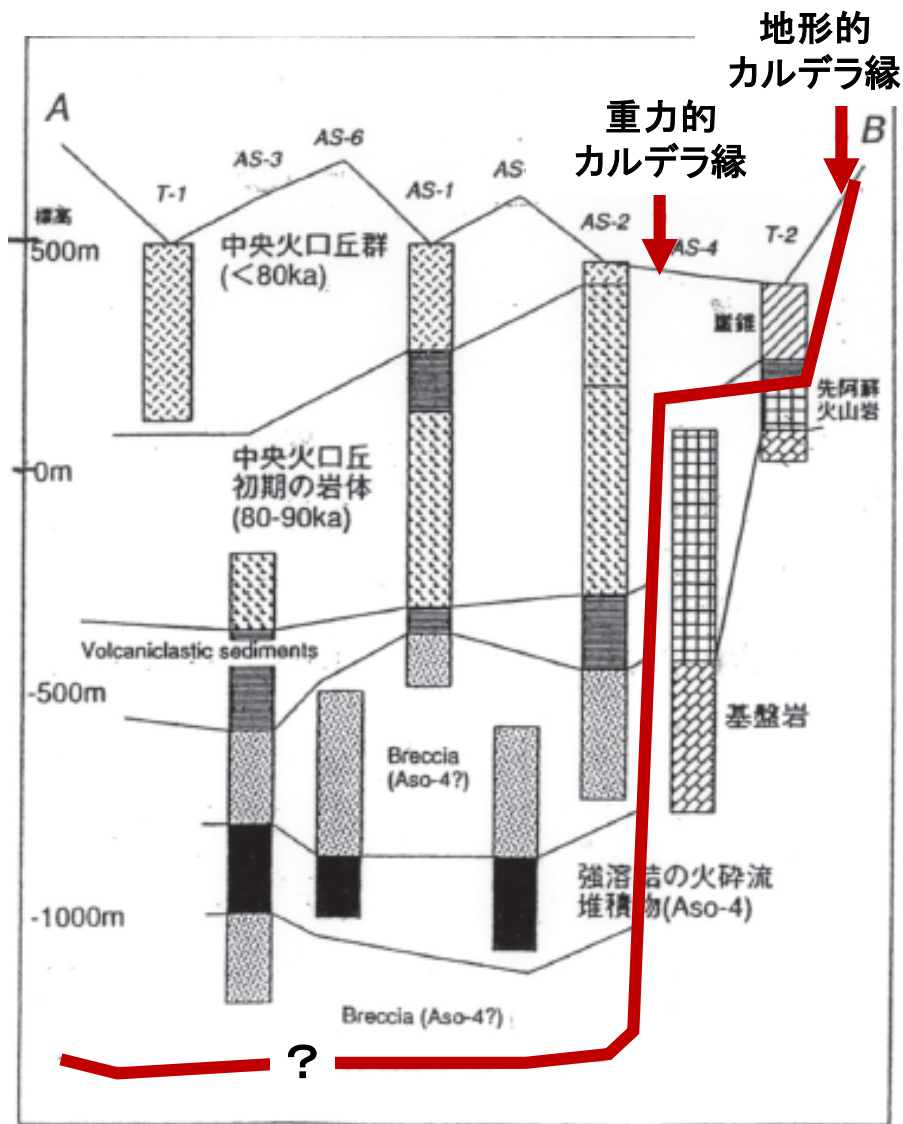


Window Size
128m x 128m

Horizontal component Interval
Measure 10m
Display 800m
0.2 4 m

-  側方移動領域
-  踏査等で確認した地表面の亀裂
-  変位の向き境界
-  鉛直変位量の不連続境界

- Measured by 3D-GIV method (PT. 4545219).
- Axis scale: m
- Coordinate System: JGD2011 Japan Zone2.
- Base Map : Slope Shaded Map from 1mDEM (2016)



阿蘇カルデラ西部のボーリング(星住, 1997による)

横山 泉(2008), カルデラ論の移り変わり, 神奈川博調査研報(自然) 2008, 13, 77-89

わかったこと その1

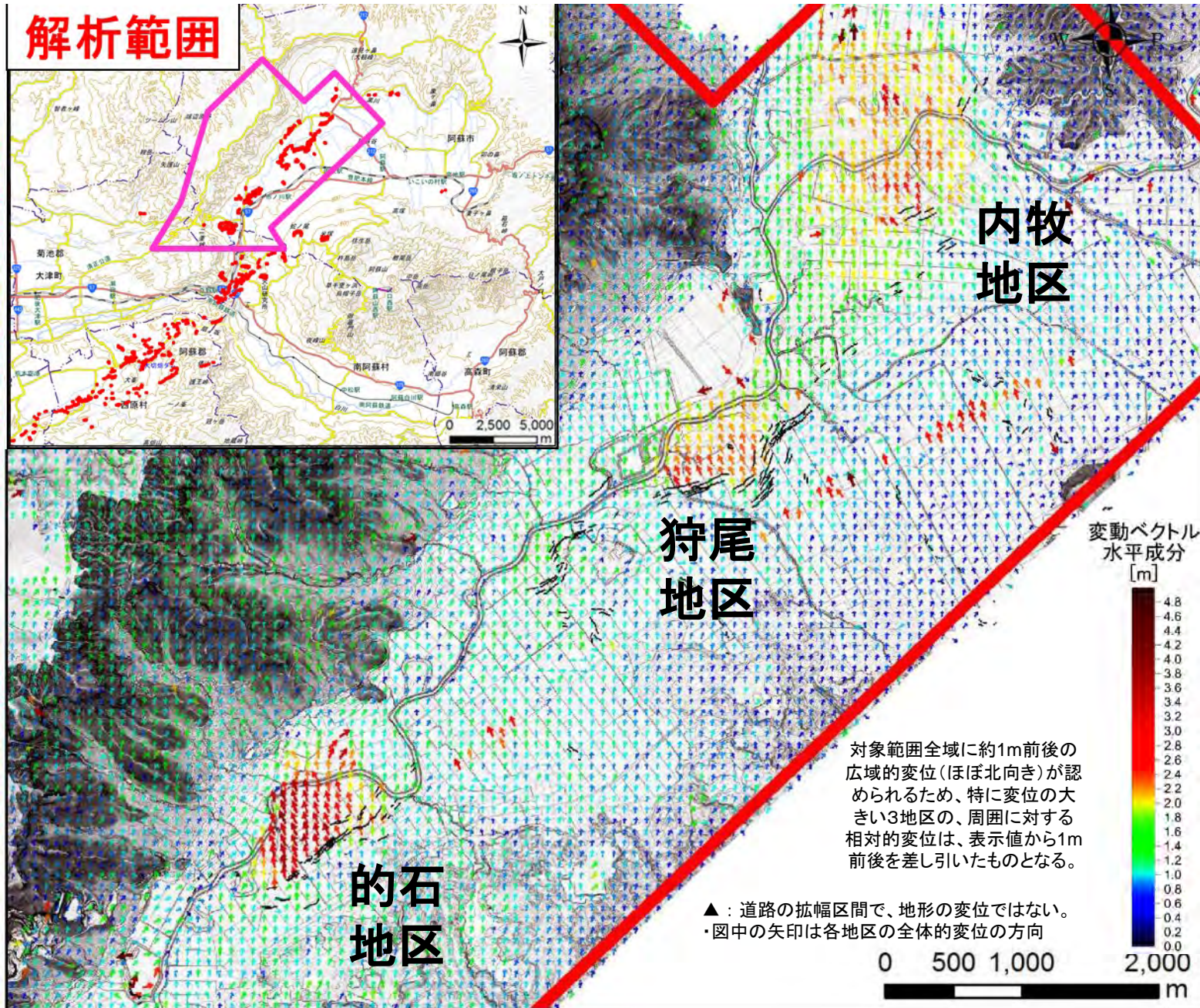
- ◆既知の断層変位地形沿いに大きな変位が出現したが・・・
- ◆カルデラ底に生じた断層変位地形は限定的。
- ◆一方、広域の隆起沈降は、カルデラ周辺の広範囲に及ぶらしい。

b. 阿蘇谷低地における大面積領域の地表面変位

データおよび成果図は、日本応用地質学会 熊本・大分地震災害調査団の成果の一部を引用

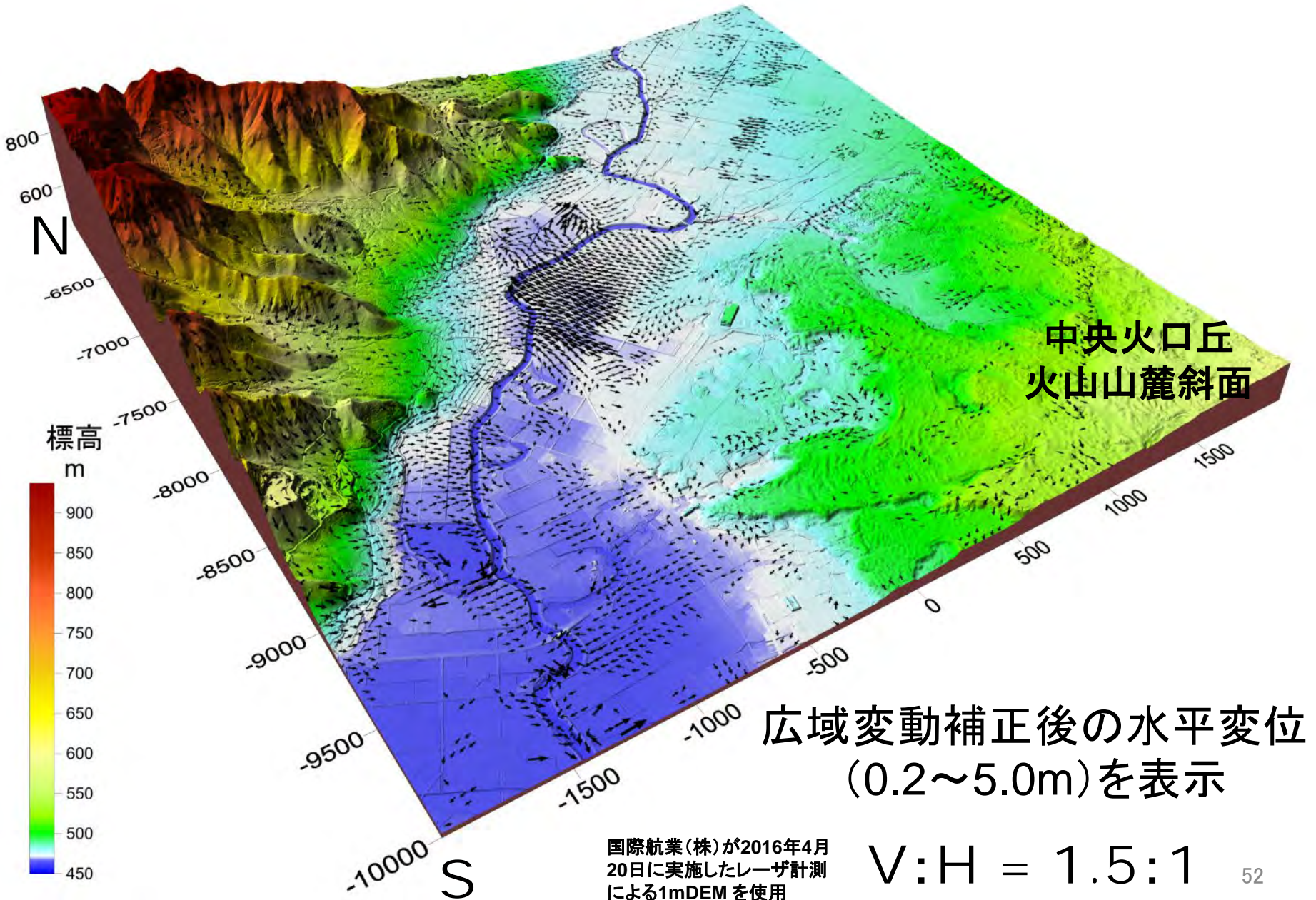


阿蘇カルデラ北西部の地表面変位 (2016年7月公開済み)



日本応用地質学会
熊本・大分地震災害
調査団の成果

的石地区の鳥瞰図と水平変位量の分布





狩尾地区の黒川右岸の沖積錐斜面の押出しによる家屋の傾動

側方移動ブロックの末端に見られる圧縮変形

大正橋 黒川左岸川取り付け部の損傷



地震前

2013年12月Google ストリートビュー



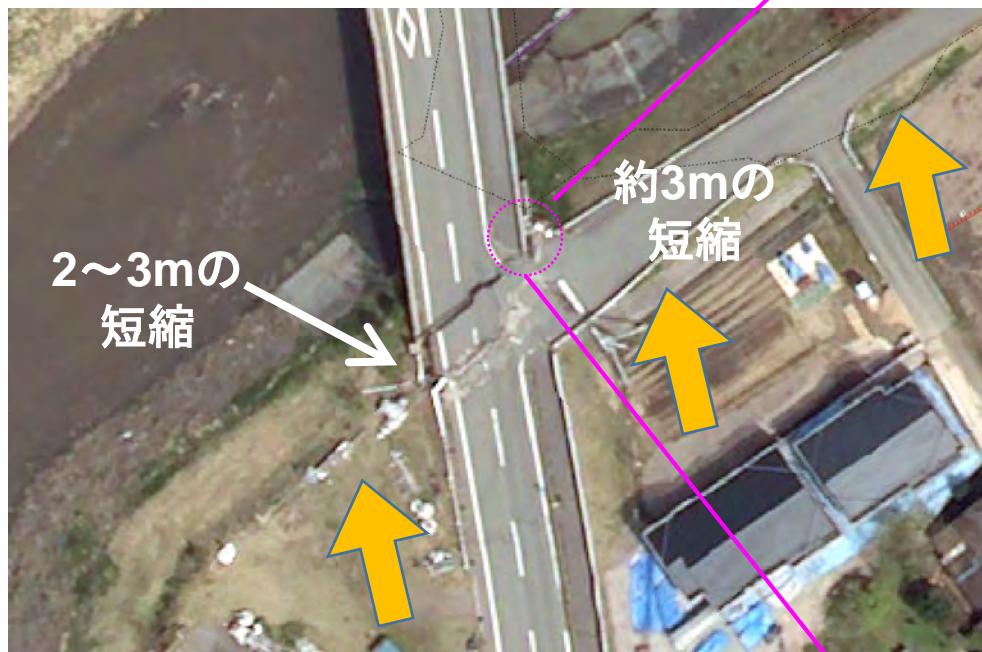
地震後

2016年6月3日撮影

橋が手前に移動したのではなく、
基礎より浅い部分の地盤が奥に移動した。

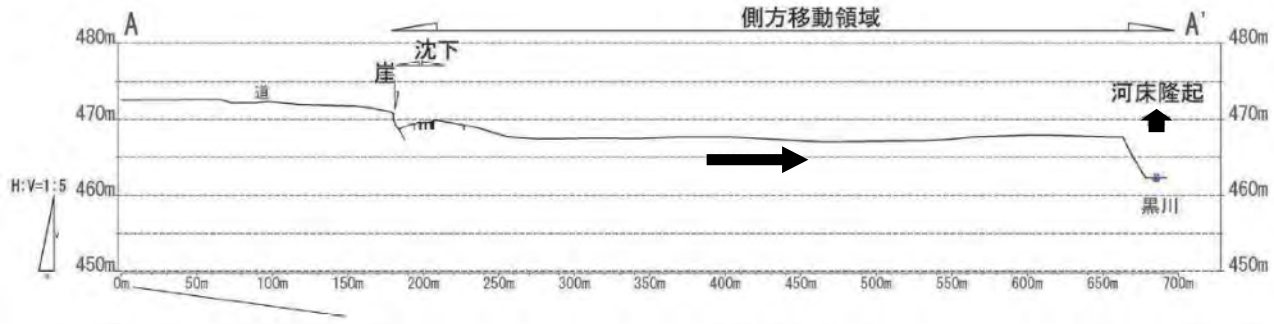
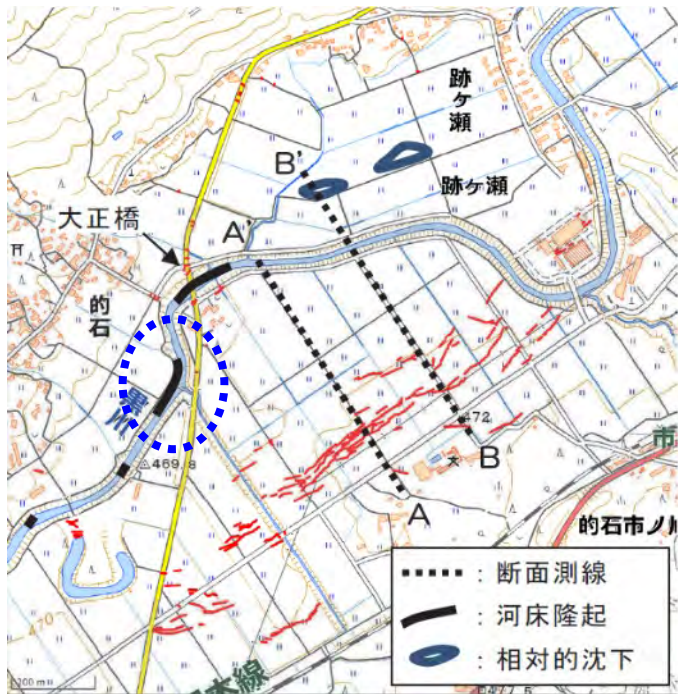
側方移動ブロックの末端に見られる圧縮変形

地震後の大正橋 2016年4月17日撮影

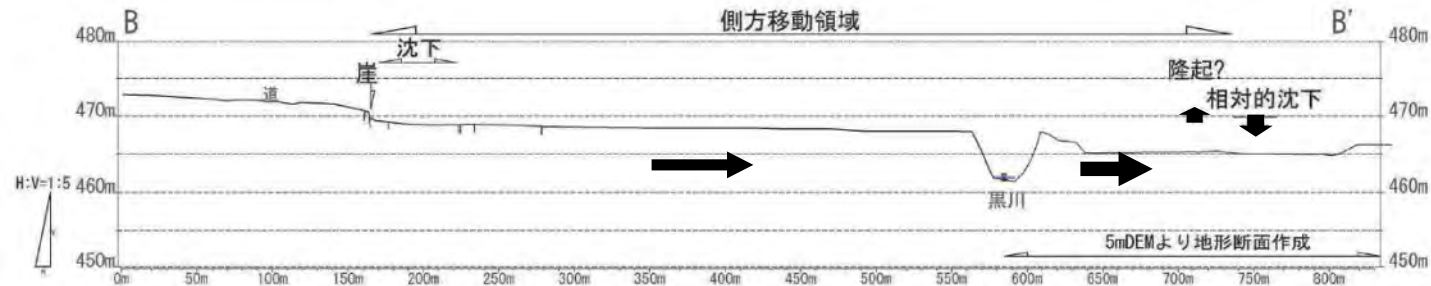


側方移動により地盤が変位したため、
堤防にめり込んだ橋梁取付部



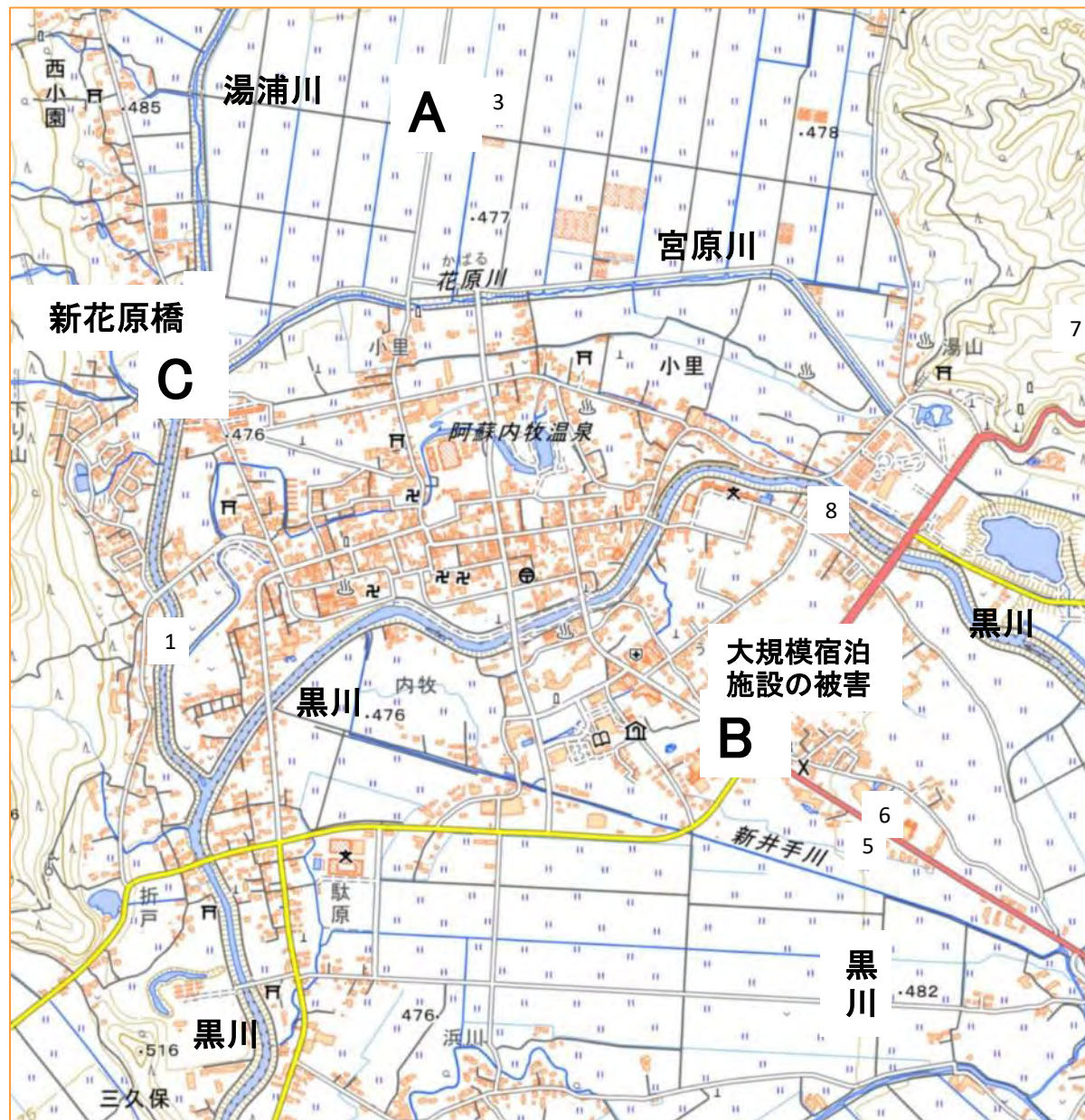


加藤靖郎ほか(2017)の
的石地区側方移動領域
の実測断面図
(横:縦=1:5)

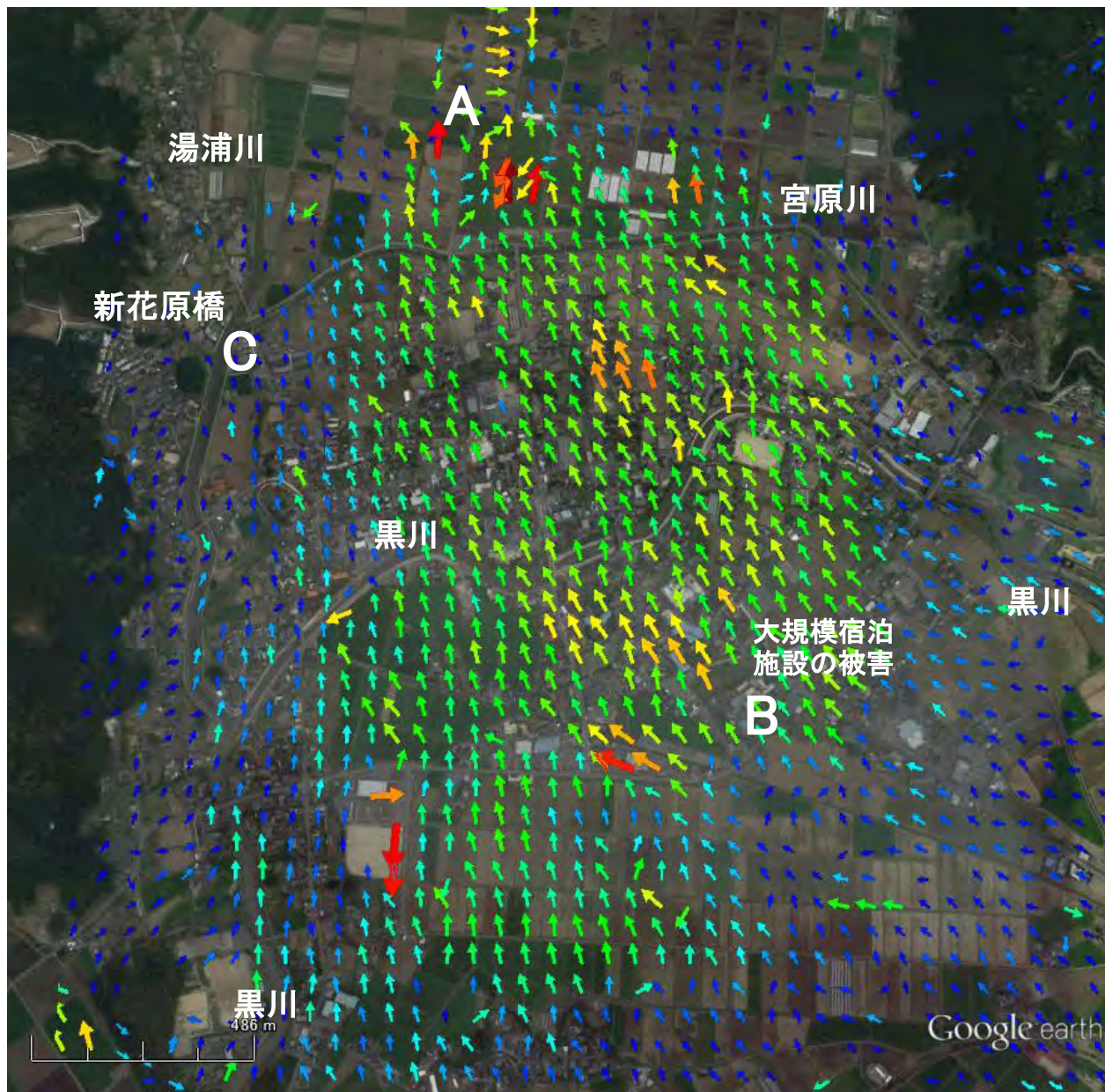


加藤靖郎ほか(2017):平成28年(2016年)熊本地震によるカルデラ低地の側方移動現象

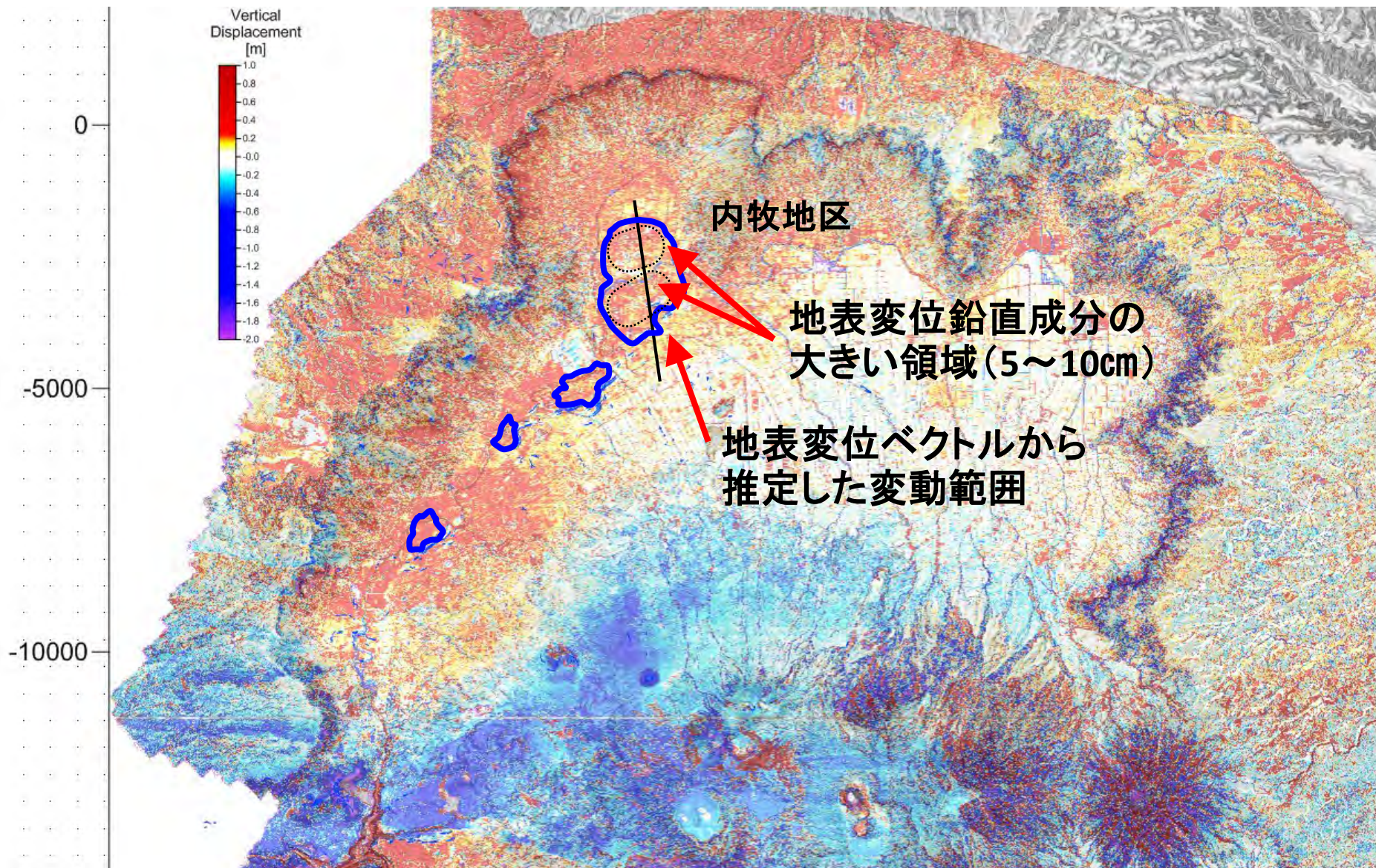
内牧地区の現地調査で観察された事象



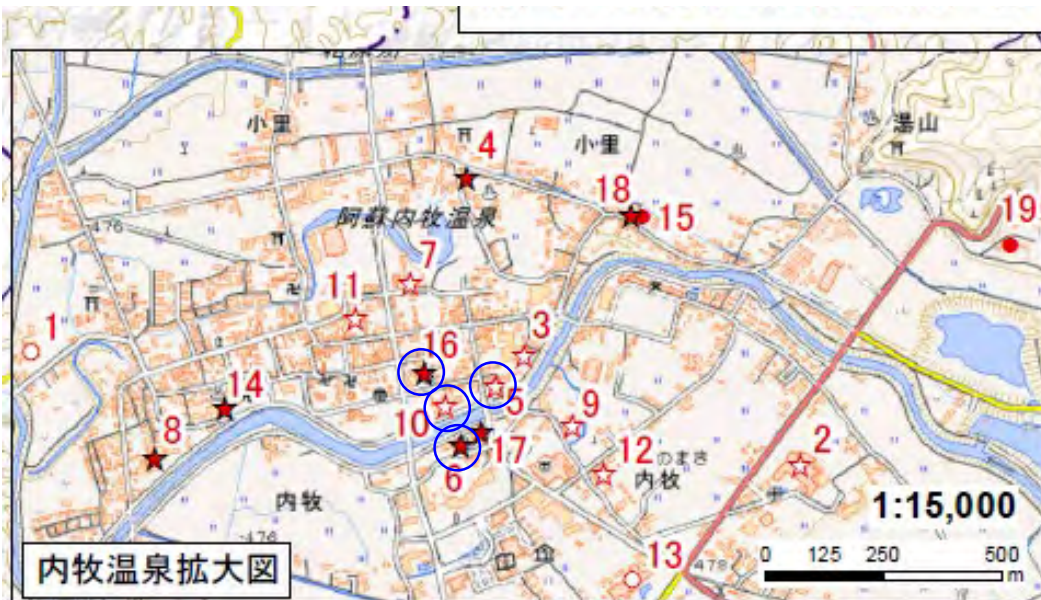
内牧地区の現地調査で観察された事象



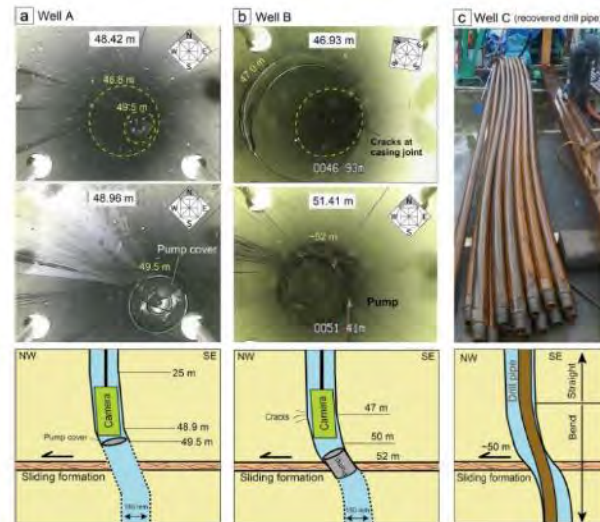
阿蘇カルデラ北部内牧地区の地表変位鉛直成分の分布



内牧地区温泉井の地下50m付近での破損



各250m離れた井戸4本
が地下約50mで破損



Tsuji et.al. (2017)

大変位が生じた部分は、
ほぼ平坦

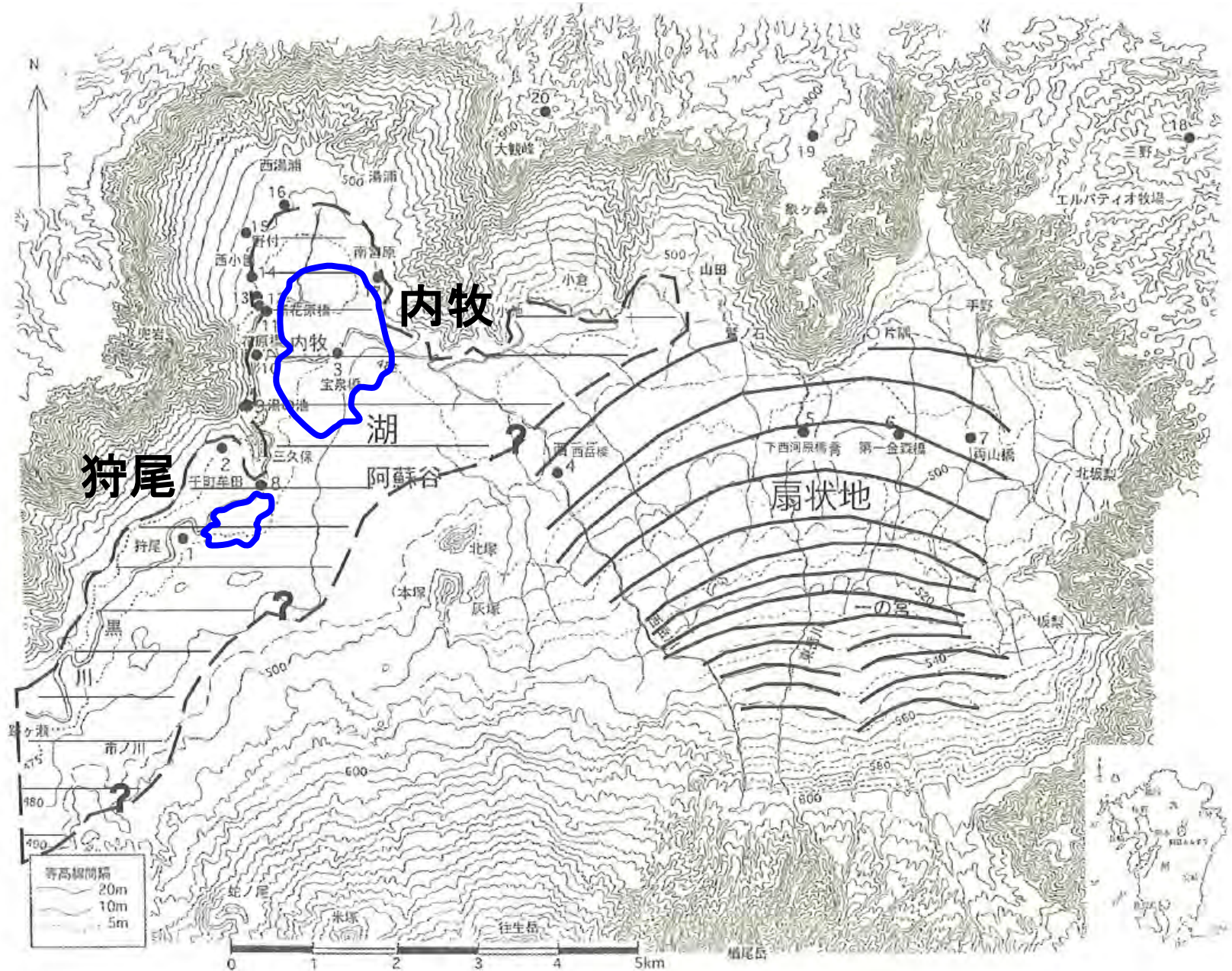


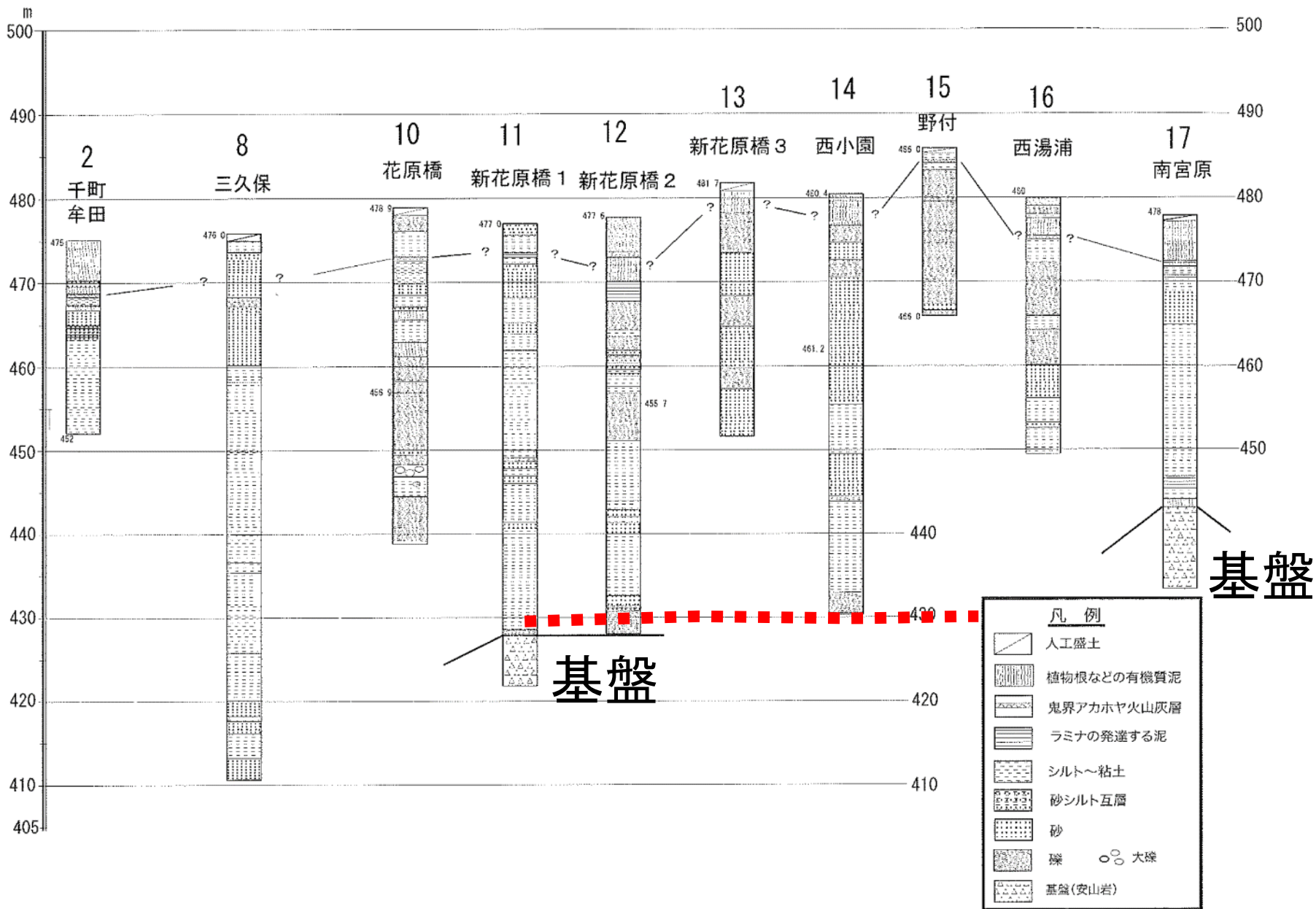
阿蘇谷低地で発生した地表面変位の地下構造

タイプ	軟弱地盤側方移動型
模式図	
主な災害個所	阿蘇谷低地地区
運動形態区分	アーススライド(ラテラルスプレッド)
地形	カルデラ底沖積低地(傾斜5°以下)
地質	湖沼堆積物(軟弱な粘土・シルト、非固結砂層の互層)

高見智之ほか(2017):平成28年(2016年)熊本地震で生じた斜面災害の類型化と特性一覧表より作成

阿蘇谷の約9000年前の湖と扇状地(長谷ほか, 2010)





内牧北方湾入西側外輪山崖下地点番号2, 8~17のボーリング柱状図
 対比線：鬼界アカホヤ火山灰の層準 (長谷ほか, 2010)

長径2km・短径1.5kmの領域を東京都心部で比較すると...

北とぴあ★

池袋

上野

新宿

皇居

両国

東京駅

渋谷

葛西

4.19 km

Image Landsat / Copernicus

Google Earth

わかったこと その2

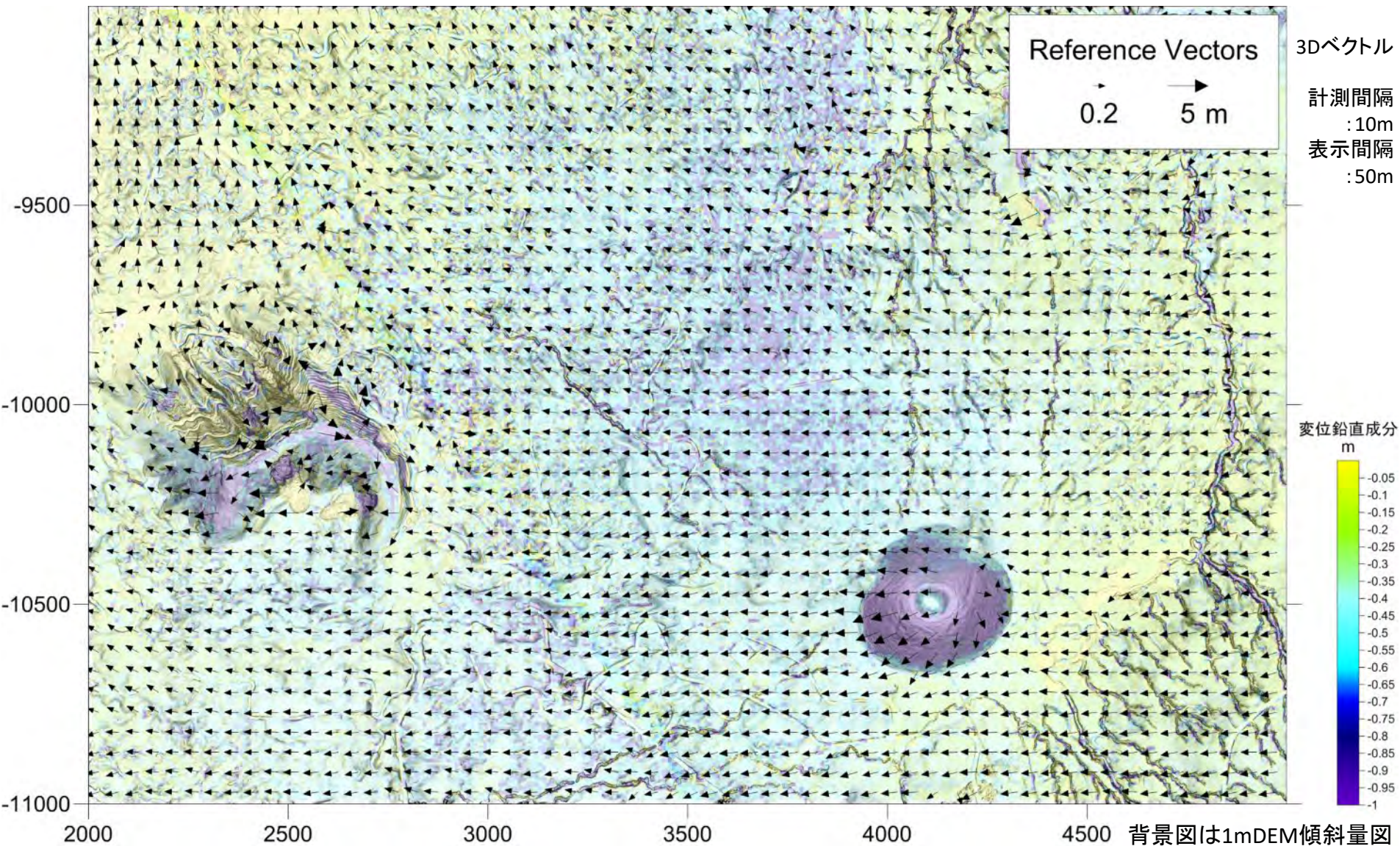
- ◆阿蘇谷の緩傾斜地で、直径1～2kmの複数の領域が側方移動した。
- ◆移動領域は、「古阿蘇谷湖」の堆積物分布範囲内に位置する。
- ◆移動領域内部や縁辺部では、次のような被害が推定される。
 - ・河床縦断形および河道線形の変化と、河道断面の縮小
 - ・用水路の縦断形および流路線形の変化、道路線形の変化
 - ・土地境界および用地面積の変化
 - ・移動領域境界部や大変形部での構造物、地下配管類の損傷

4. 米塚スコリア丘に生じた地表面変位



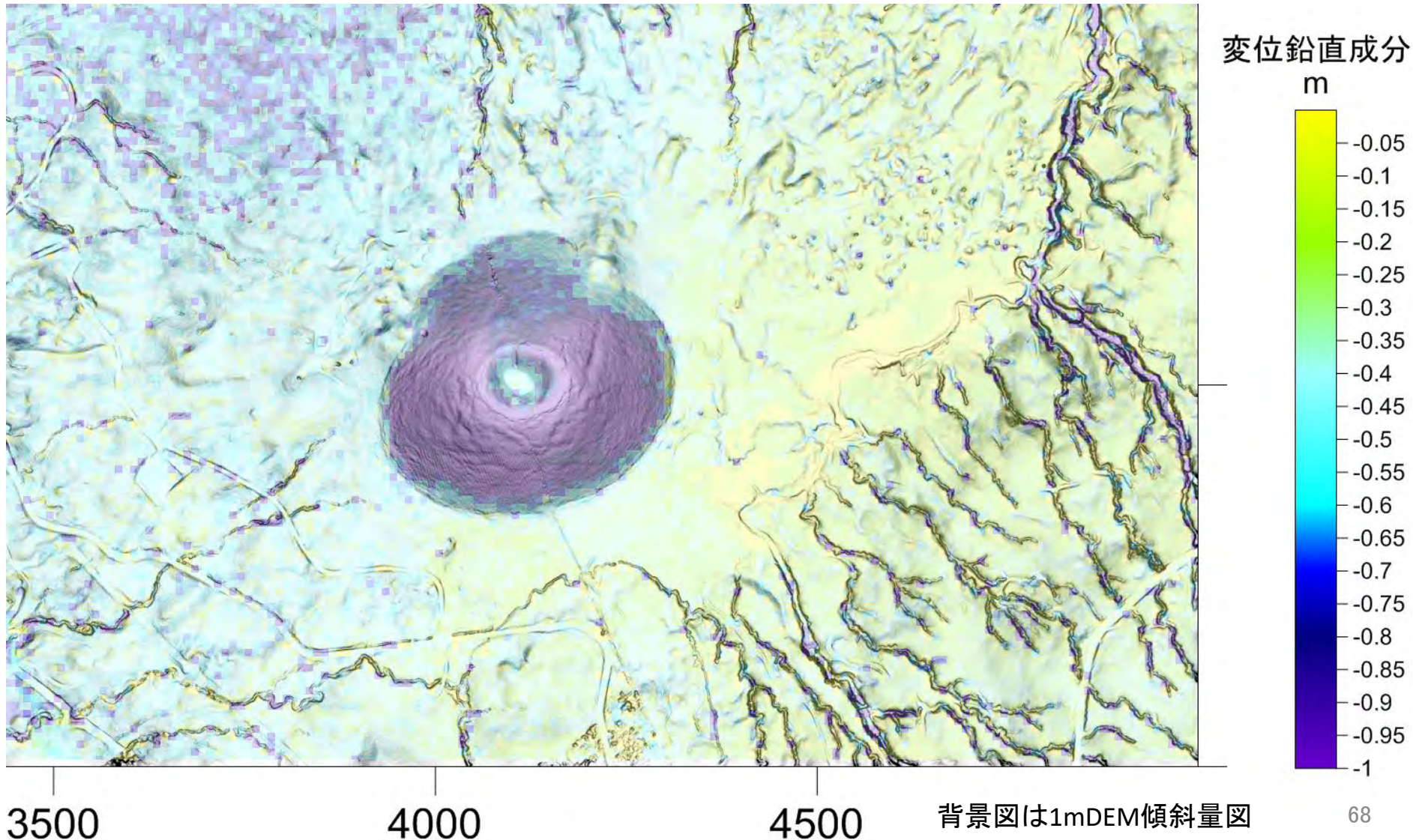
阿蘇カルデラ内 米塚近傍の地表変位(2010→2016)

西向き変位、標高低下。北西部での北向き変位。米塚山体と北麓部の標高低下。
明瞭に連続する変位量の不連続境界は認められない。



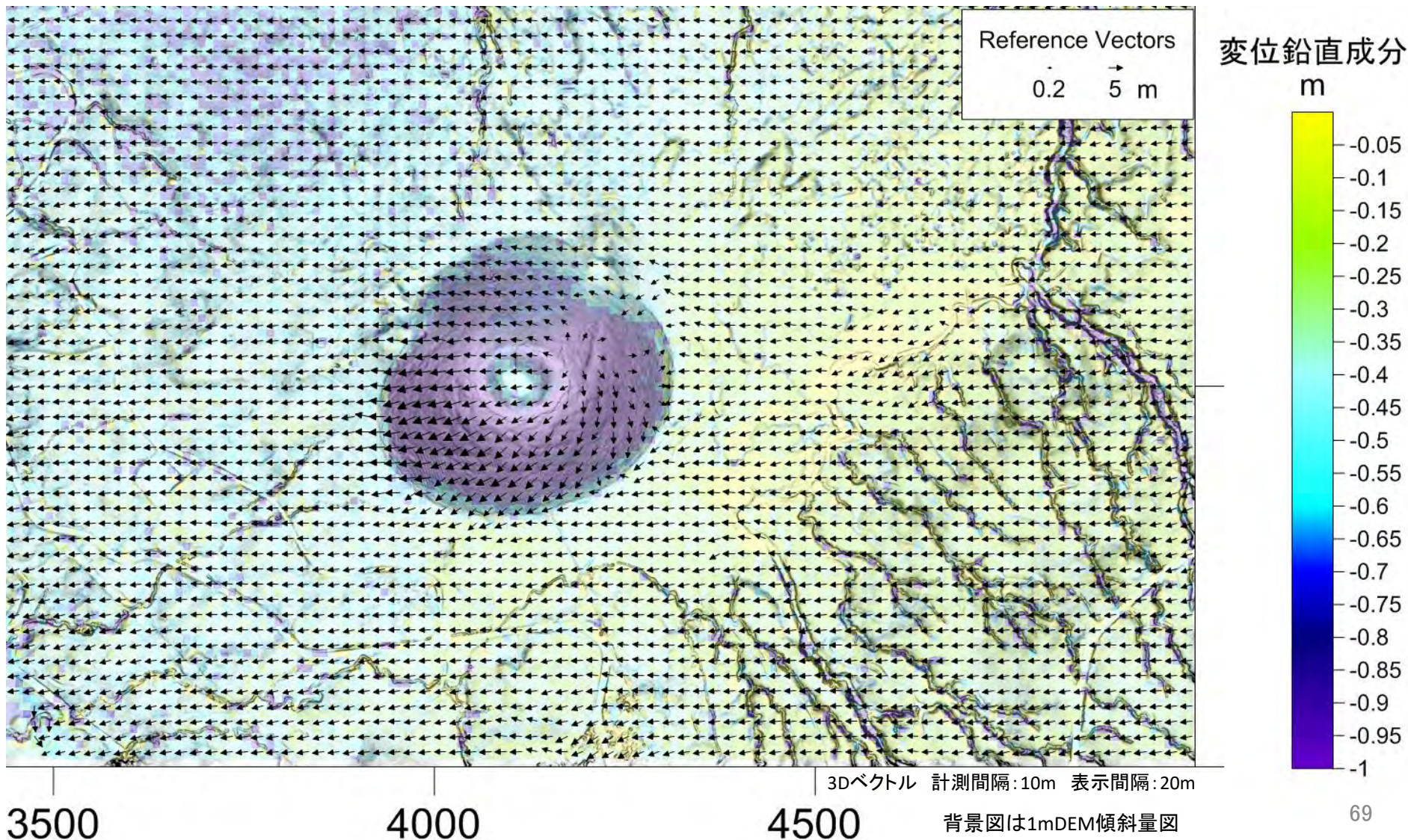
阿蘇カルデラ内 米塚近傍の地表変位(鉛直成分)

- 山頂火口縁部に亀裂発生、山体斜面部は標高低下。
- 山頂火口底と山体斜面末端部の標高低下量は相対的に小さい。



阿蘇カルデラ内 米塚近傍の地表変位(補正前)

- ・周辺部一帯は西向き変位(平均 0.9mW, 0.1mS)
- ・山体斜面では変位の向きが変化

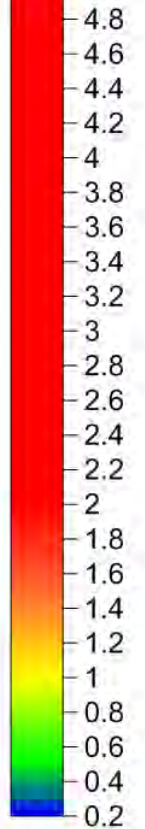


阿蘇カルデラ内 米塚近傍の地表変位(補正後)

平均的変位をキャンセル → 下向きの鉛直成分は、山体斜面の下方への移動。
→ スコリア丘の表層部が下方に滑落し、火口縁部に開口亀裂が生じた。

米塚を横切る地表地震断層は
確認できない

変位水平成分
m



3Dベクトル 計測間隔:10m 表示間隔:20m

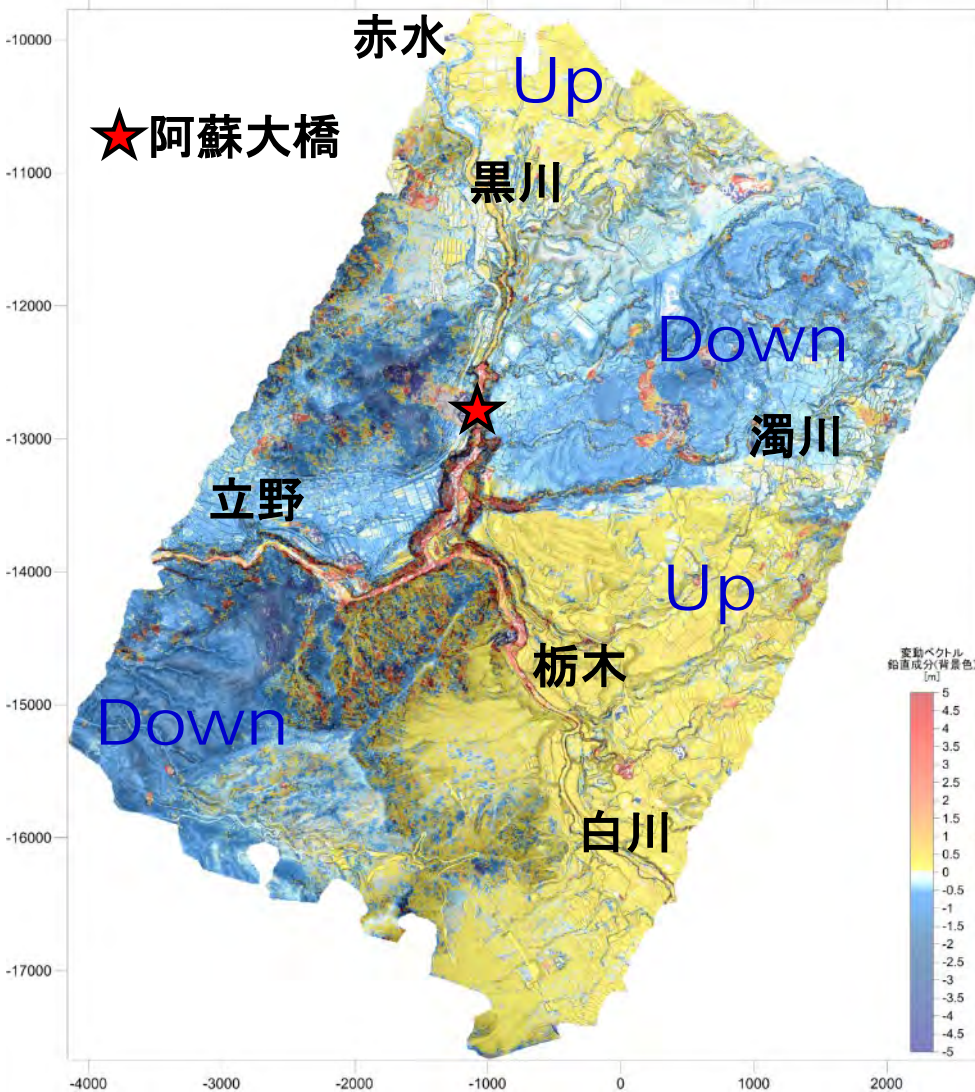
背景図は1mDEM傾斜量図

わかったこと その3

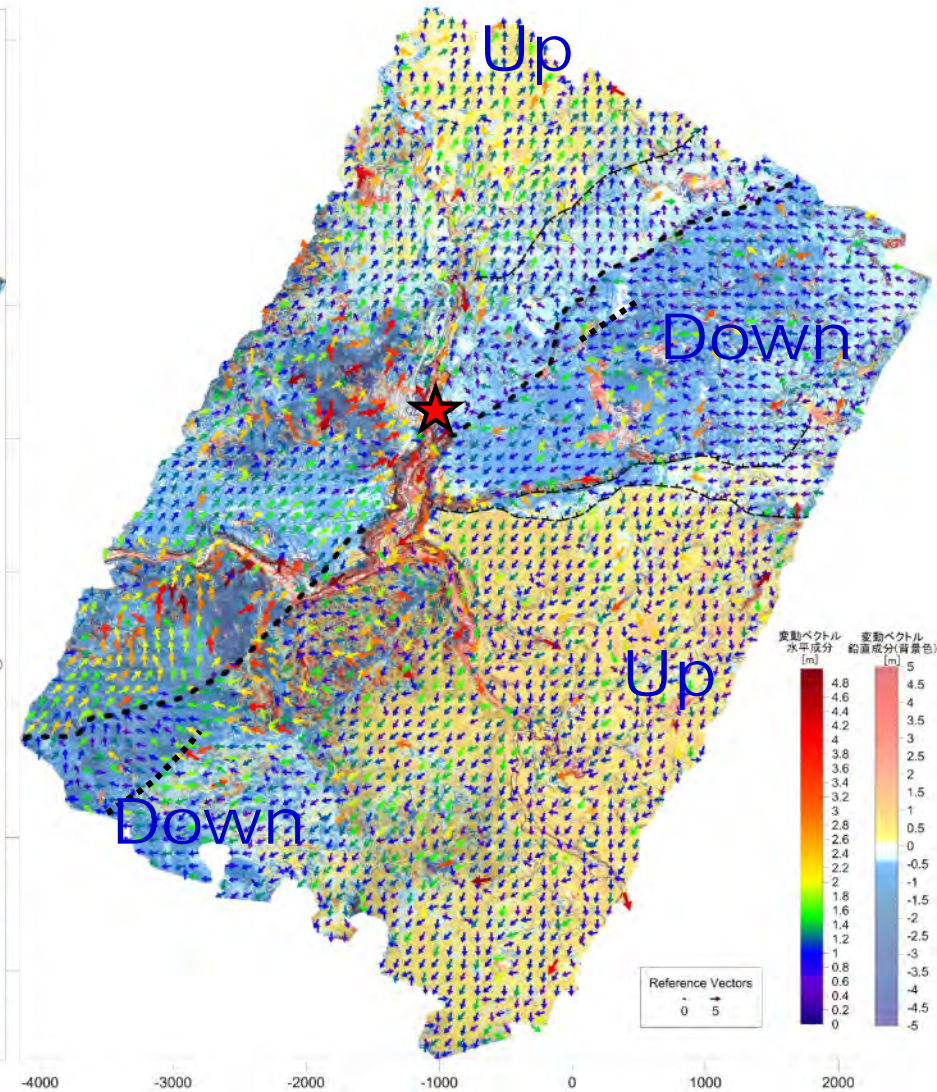
- ◆米塚山頂部の亀裂は、重力性の斜面変動である。
- ◆カルデラを横断するような地表地震断層の延長は、無いらしい。

d. 立野火口瀬付近の断層変位

地表変位鉛直成分

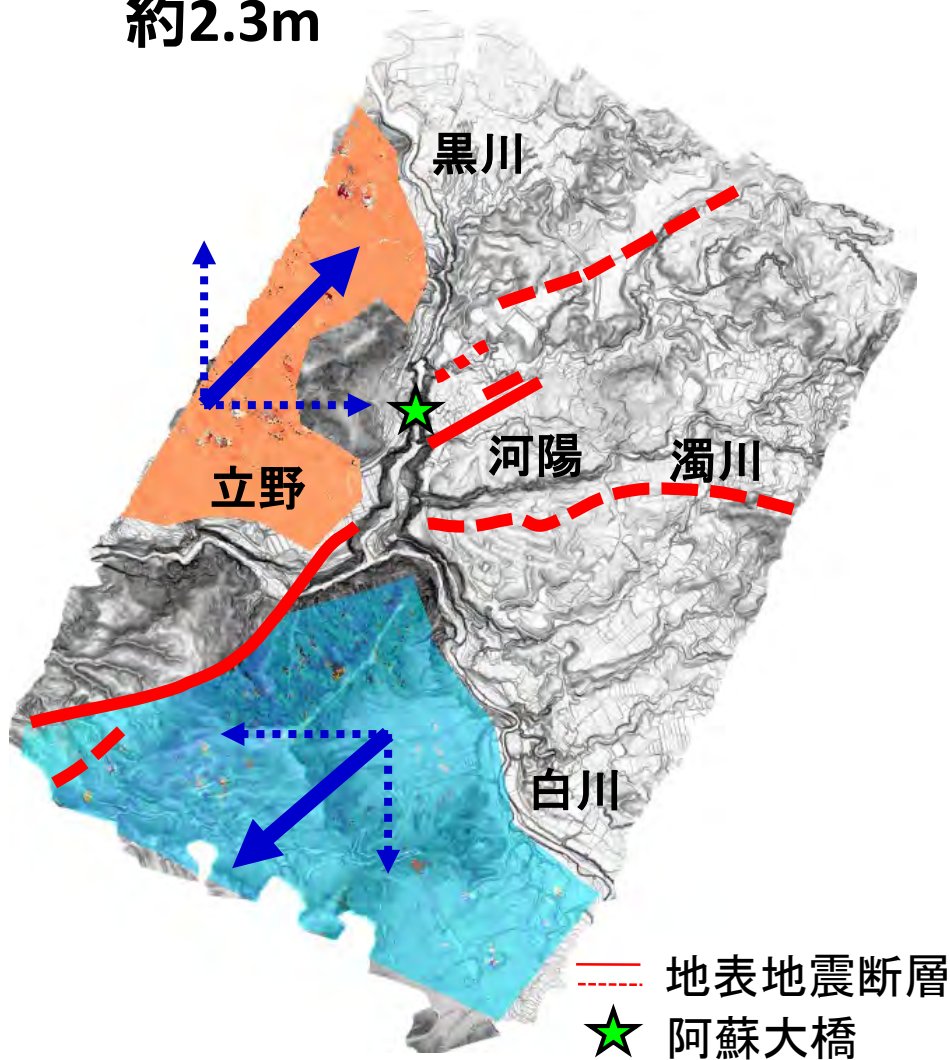


地表変位水平成分(背景:鉛直成分)

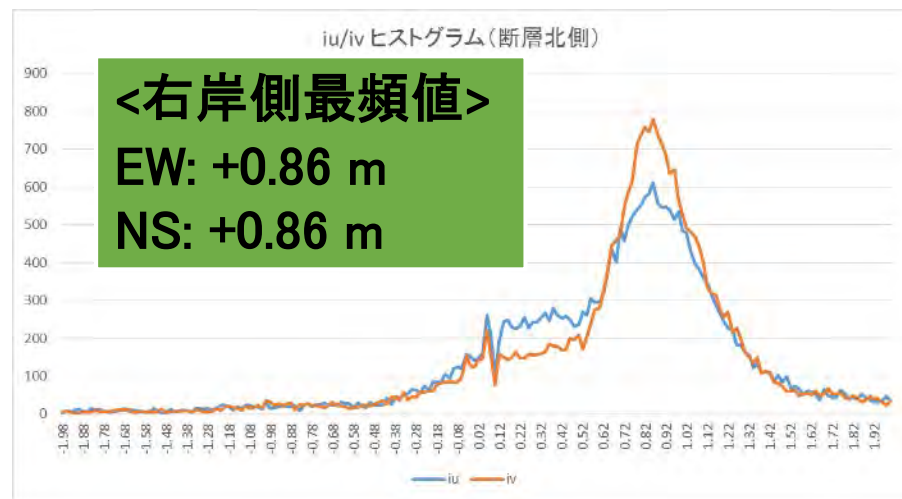


立野火口瀬付近の北向山断層の相対的変位量

カルデラ壁部の右横ずれ
約2.3m



変位ベクトルの水平成分ヒストグラム



立野付近の 布田川断層

-14000

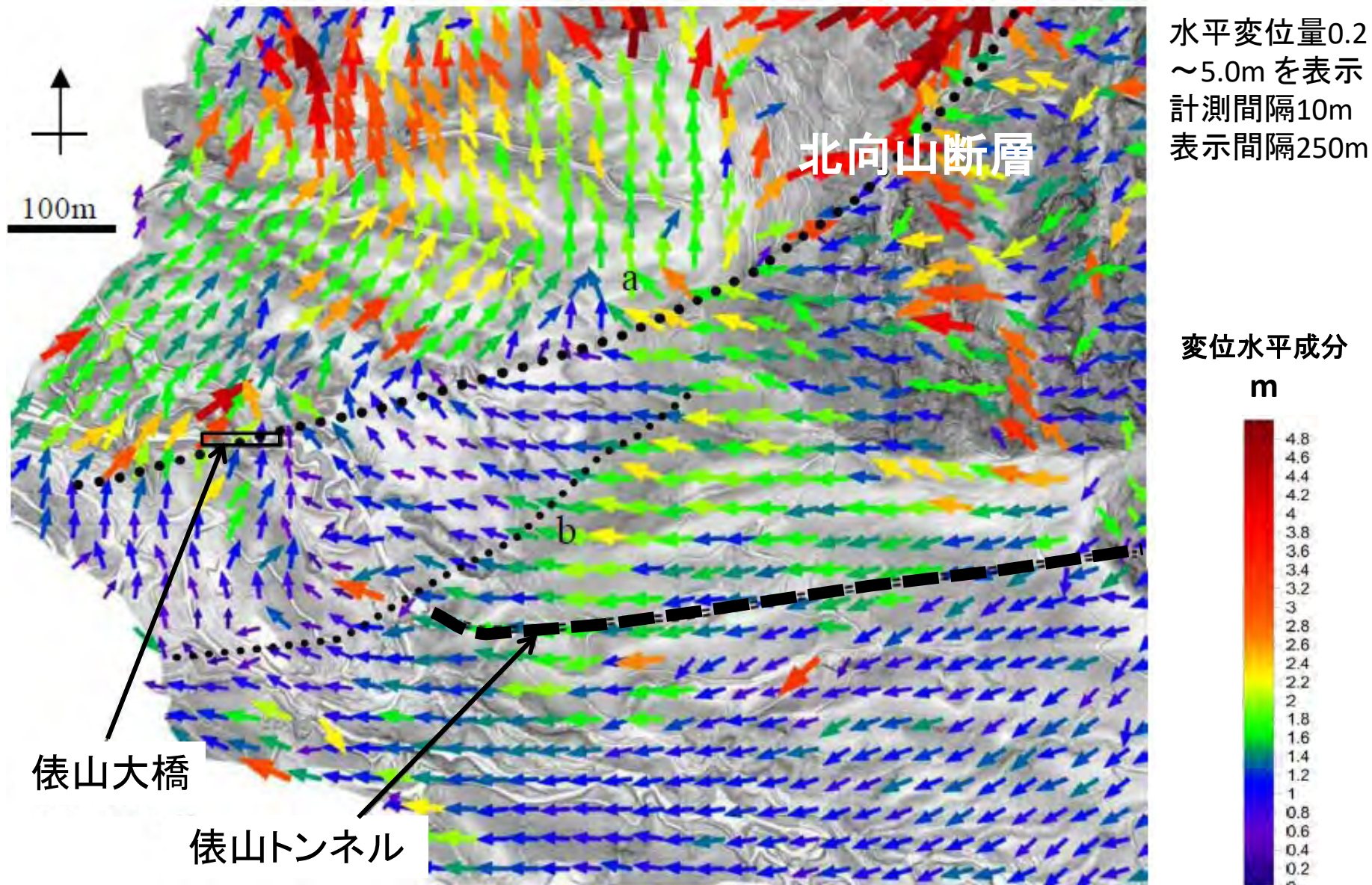
-15000



—— 北向山断層（横ずれが顕著に見られる範囲）

2016年レーザー計測地形データによる傾斜量図
国際航業株式会社提供

俵山大橋・俵山トンネル西坑口付近の地表面変位



高見ほか(2017):2016年熊本地震で生じた俵山大橋の損傷と周辺地域の地表変位

俵山大橋・俵山トンネル西坑口付近の地表面変位

日本応用地質学会 2016年熊本・大分地震災害調査団報告書 pp.189-195

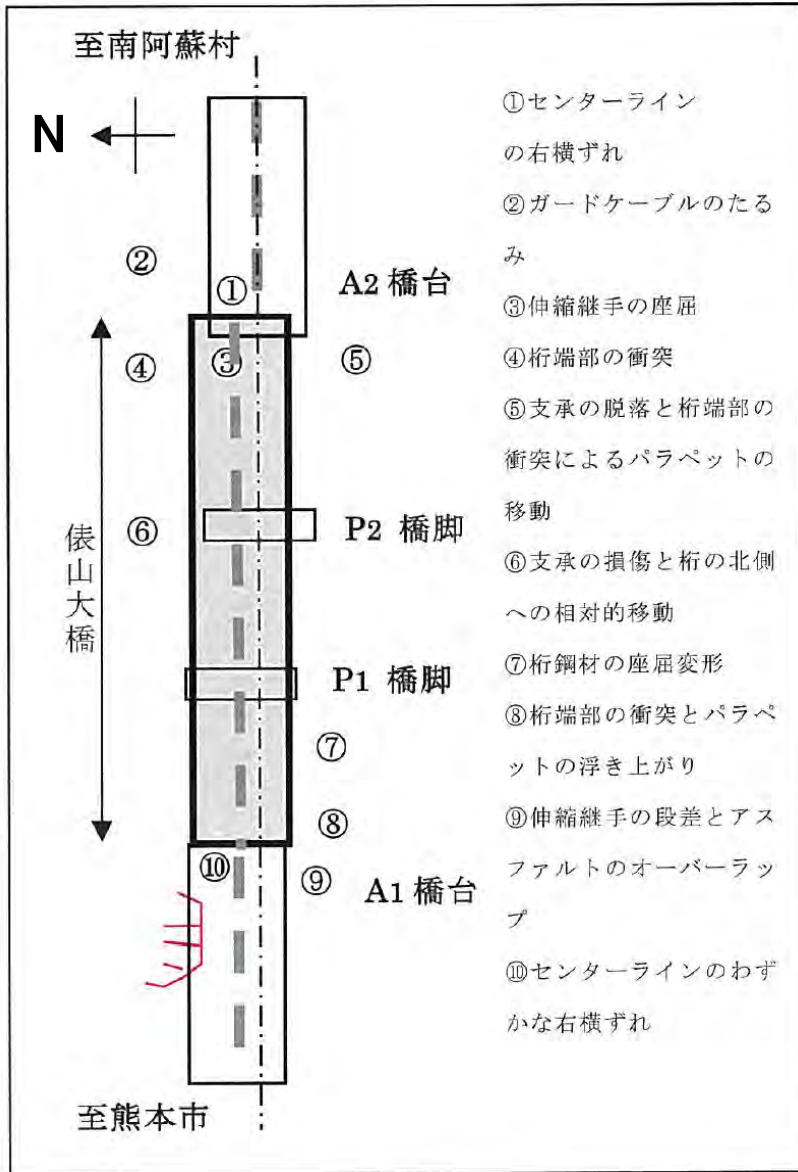


写真-1 俵山大橋全景斜め写真³⁾ (2016年4月)



写真-4 南阿蘇側桁の伸縮継手の乗り上げ



写真-13 熊本側橋台基礎前面の崩壊



写真-8 P1~P2 橋脚間の桁の座屈変形



写真-7 橋桁の北側への相対移動と支承の損傷 (P2 橋脚)

図-3 俵山大橋の損傷箇所と変形模式図

わかったこと その5

- ◆立野付近で北向山断層を境界に平均約2.3mの右横ずれが生じた。
- ◆阿蘇大橋は、地表地震断層を跨がないが、右横ずれ変位が生じた。
- ◆阿蘇長陽大橋を跨いで、右横ずれと東上がりの変位が生じた。
- ◆俵山大橋を跨いで、右横ずれの変位が生じた。
- ◆俵山トンネル西側坑口付近は、路線方向の圧縮変形が推定される。

事例：④ 2024年能登半島沖地震に伴う地表面変位計測

能登半島地震では、顕著な地盤の隆起が発生



令和6年(2024年)能登半島地震では、斜面崩壊、地すべりも発生

空中写真判読で抽出された
斜面崩壊発生箇所の分布



地震前後の航空レーザ測量地形データを用いた変位量抽出



<使用データ>

<https://www.kkc.co.jp/disaster/2024/01/令和6年能登半島御地震/>

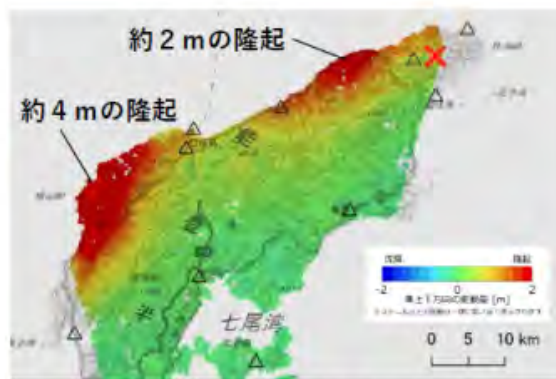
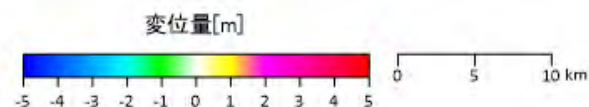
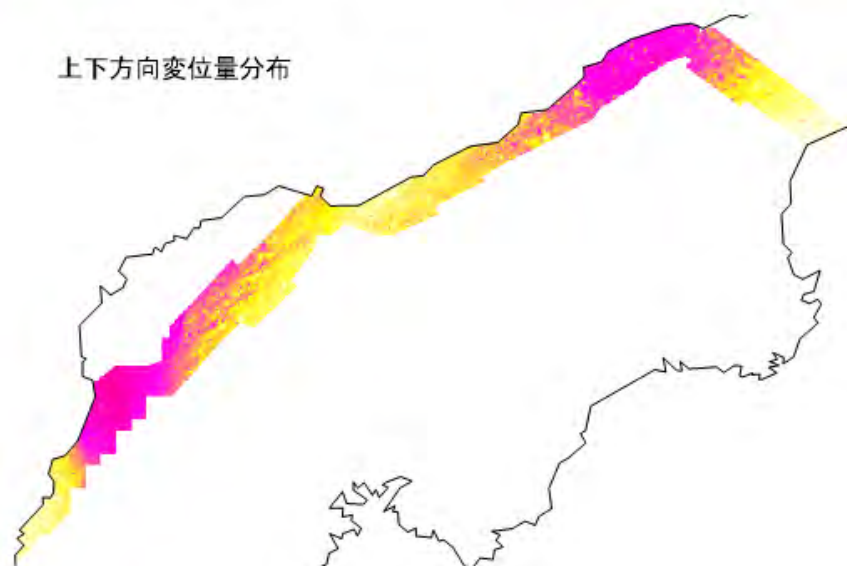
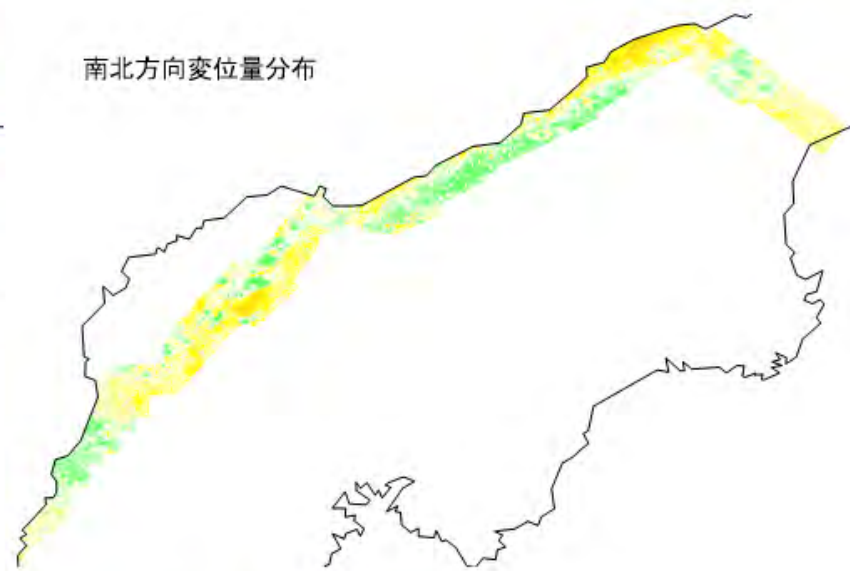
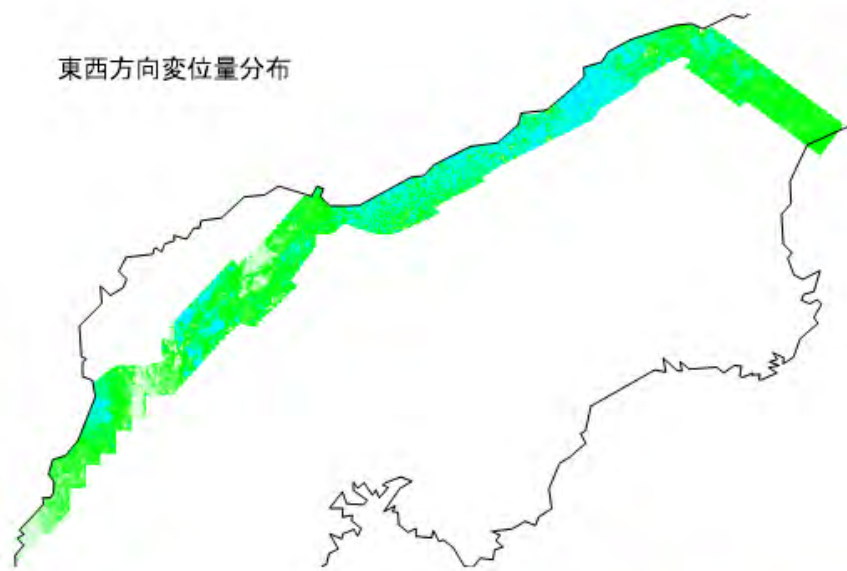
・地震後:2024/1/14,17自社計測

・地震前:2022/8~10 石川県計測「令和4年度 森林情報整備業務」成果,

2020/9~10 石川県計測「令和2年度 森林情報整備業務」成果(共に国土地理院より提供)※

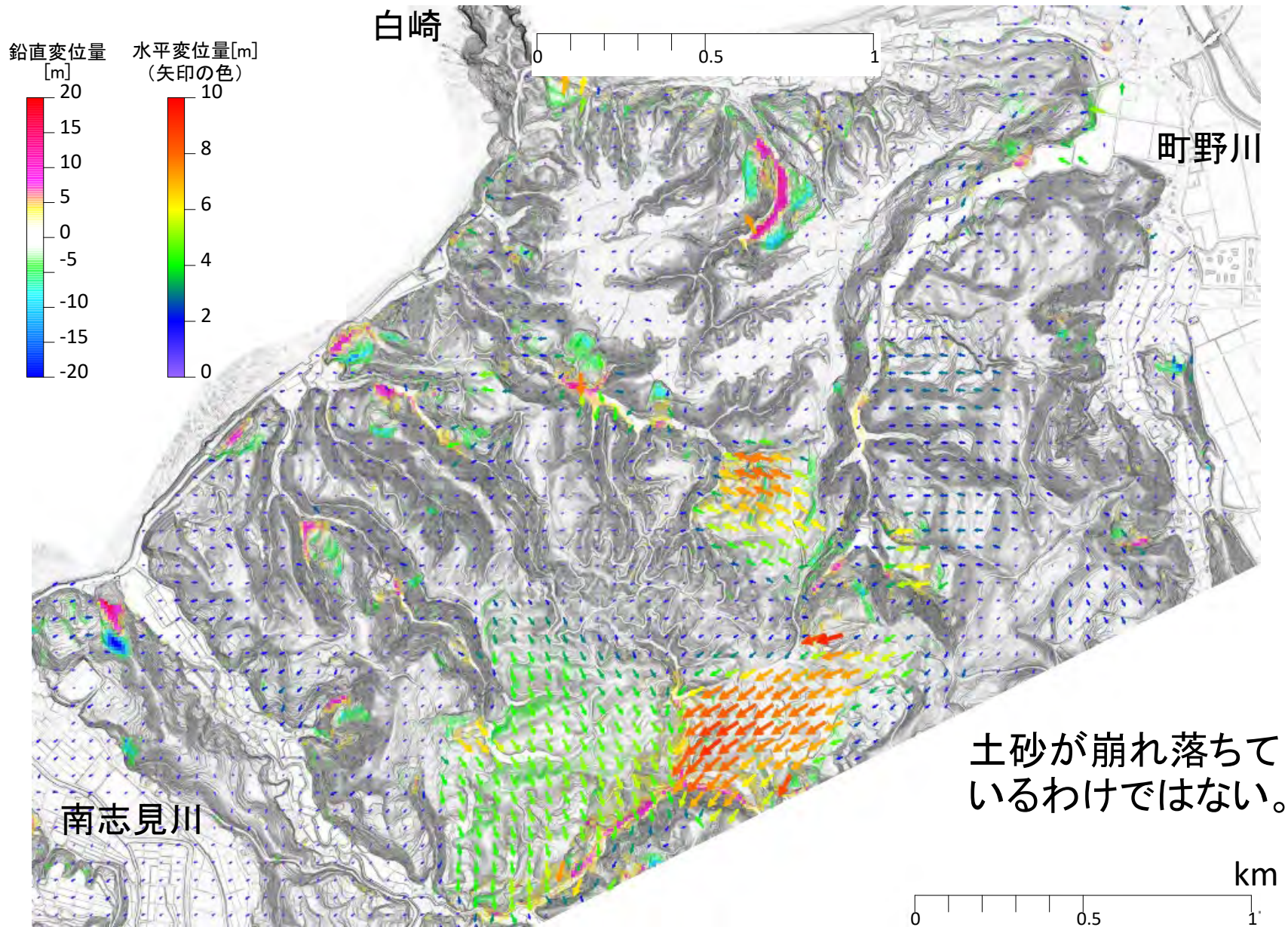
※国土地理院との解析協力により、地震前のデータを提供いただきました。

国道249号沿いの航空レーザ計測成果を用いた数値地形画像解析



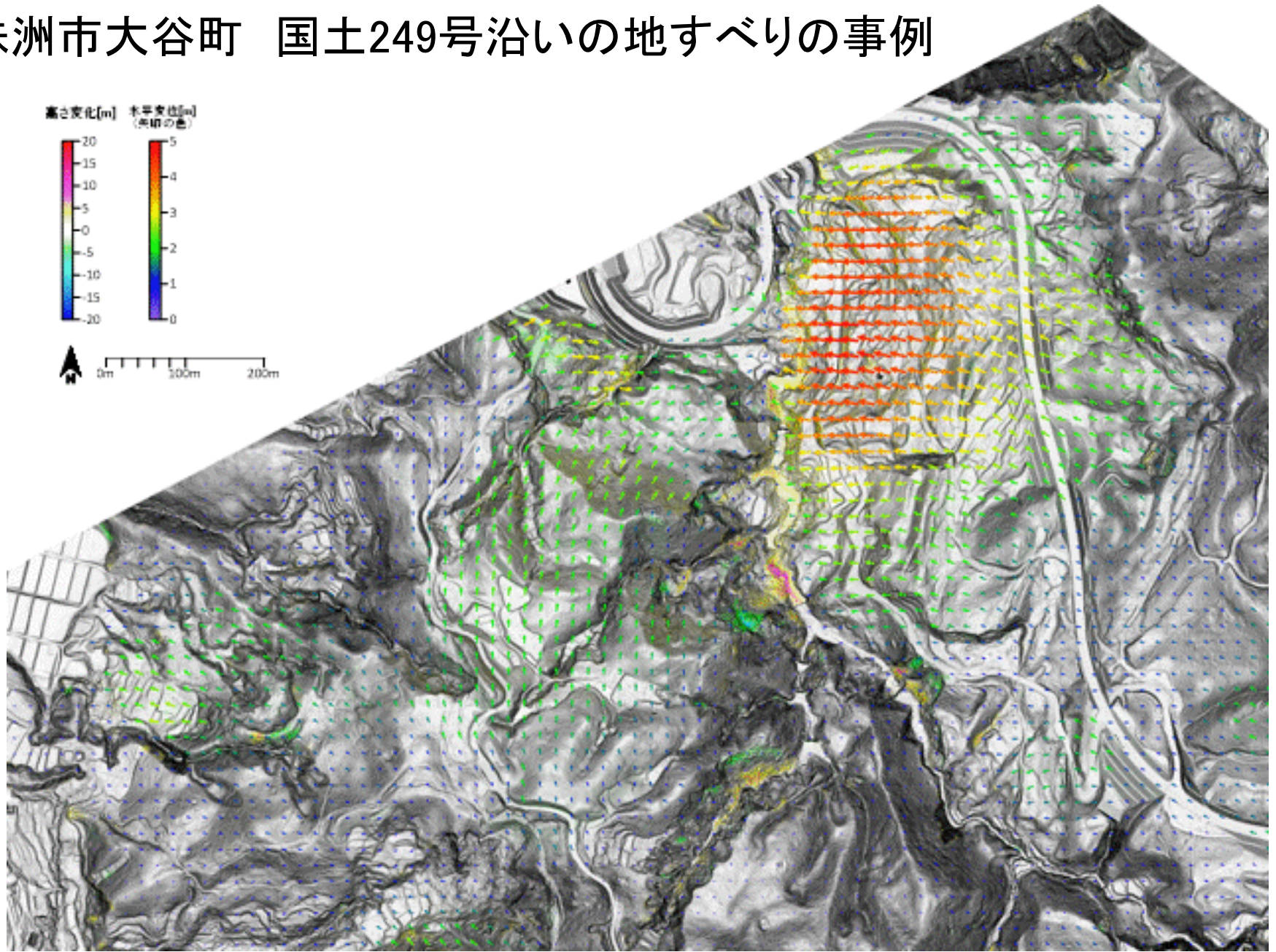
R6年能登半島地震でのSAR解析結果（準上下方向の変動）

顕著なマスマーブメントの変位事例(広域の変位量を除去補正後)



土砂が崩れ落ちて
いるわけではない。

珠洲市大谷町 国土249号沿いの地すべりの事例



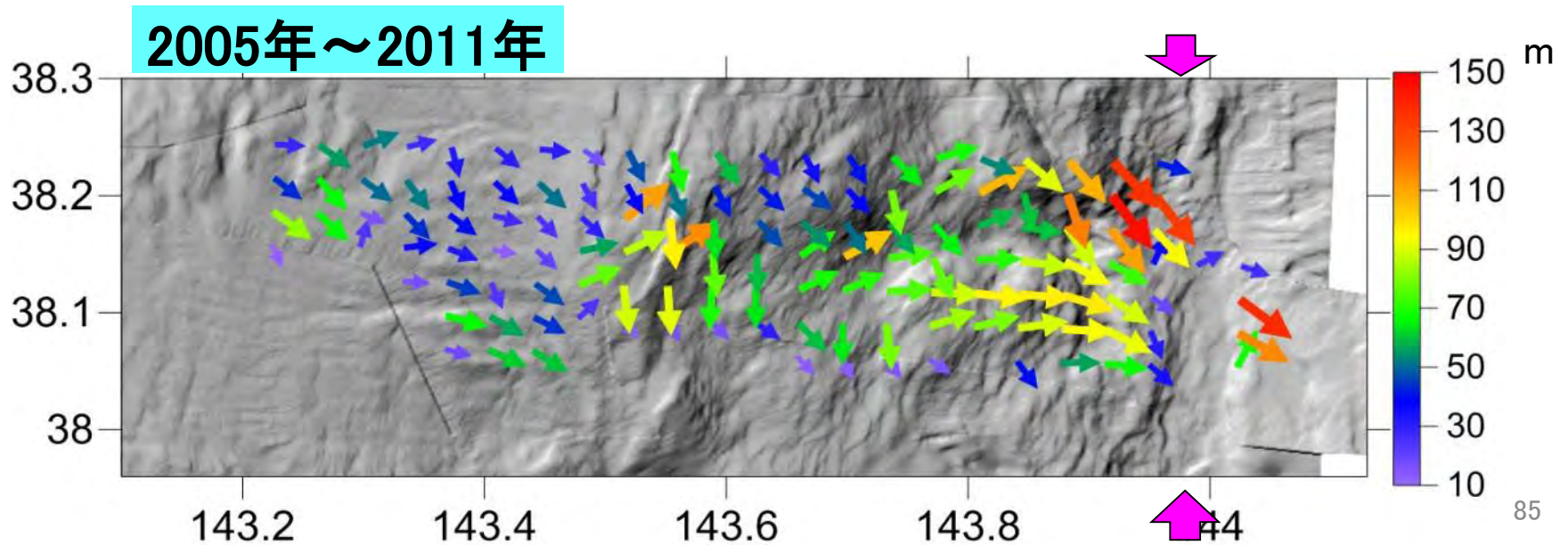
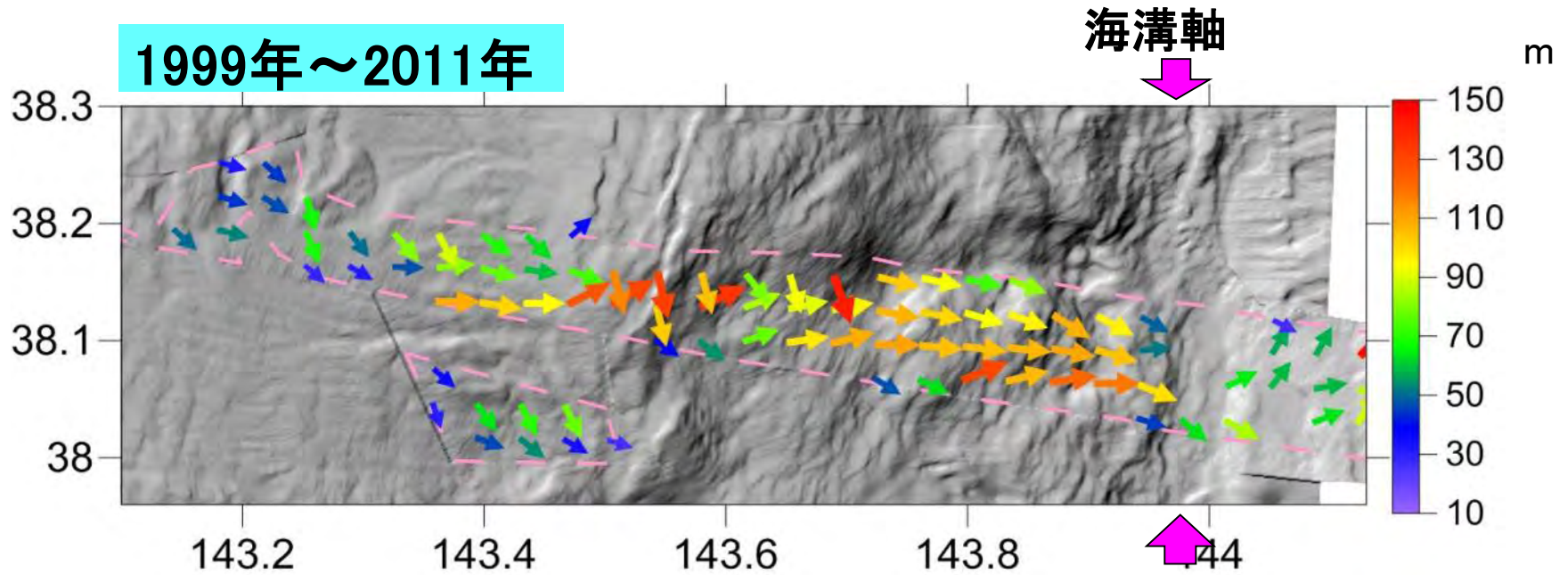
地表で顕著な基準点変位が認められた最近の内陸地震

レーザ地形データの変位計測対象になり得る地震は最近24年間で11回発生

年	内陸地震の名称	地震規模	電子基準点の水平変位量 ()内は三角点・SAR等による
2000	平成12年(2000年)鳥取県西部地震	M7.3	17 cm
2004	平成16年(2004年)新潟県中越地震	M6.8	20 (360) cm
2005	福岡県西方沖を震源とする地震	M7.0	17 cm
2007	平成19年(2007年)能登半島地震	M6.9	21 cm
2007	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震	M6.8	17 (30) cm
2008	平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震	M7.2	154 (199) cm
2011	福島県浜通りの地震	M7.0	29 cm
2014	長野県北部の地震(長野県神城断層地震)	M6.7	29 cm
2016	平成28年(2016年)熊本地震	M7.3	97 (178) cm
2018	平成30年(2018年)北海道胆振東部地震	M6.7	5 cm
2024	令和6年(2024年)能登半島地震	M7.6	202(約300) cm

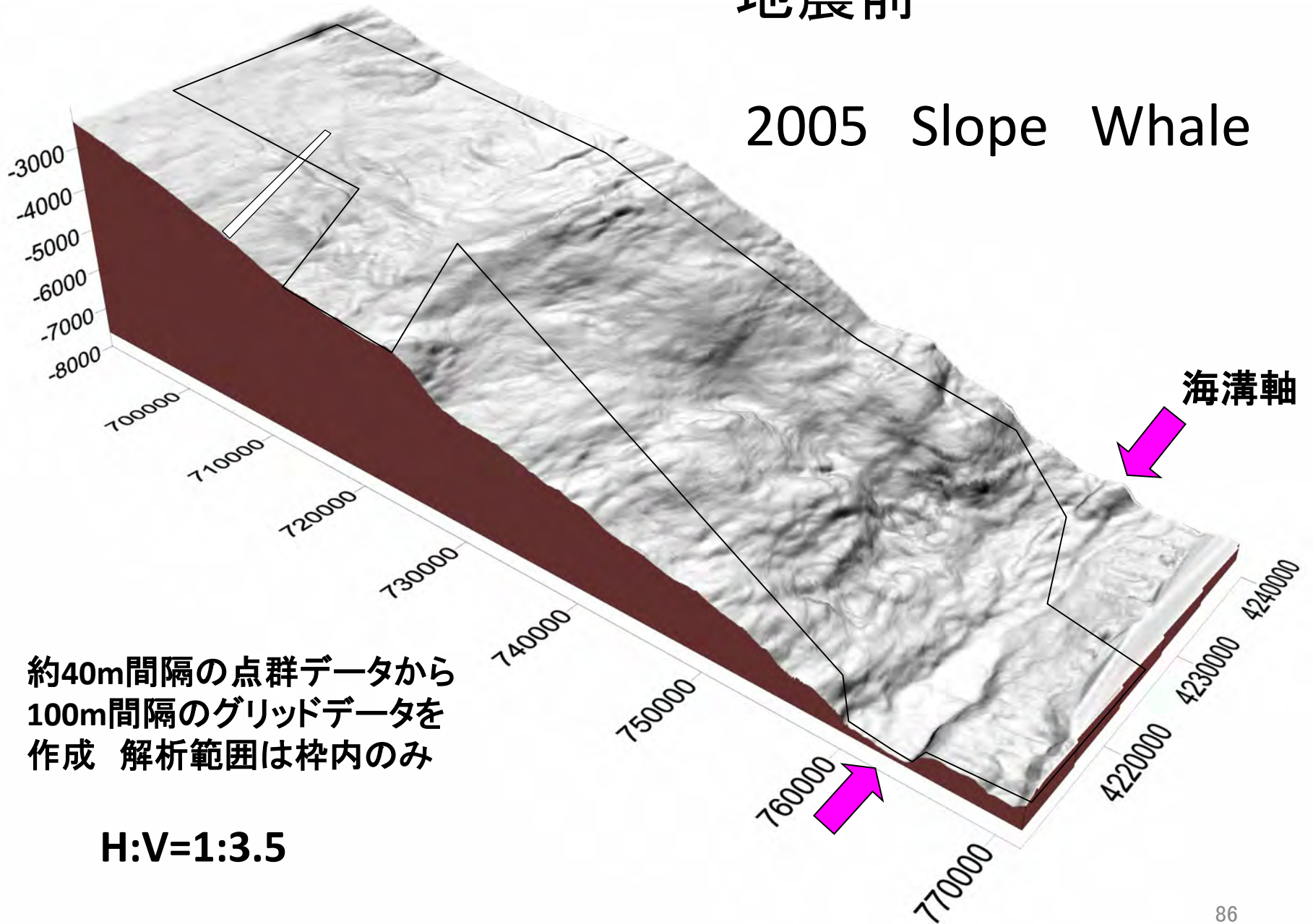
(基準点の移動量が震源近傍の変位量の最大値ではない)

④ その他の事例 : 日本海溝海底の地形変動解析



地震前

2005 Slope Whale

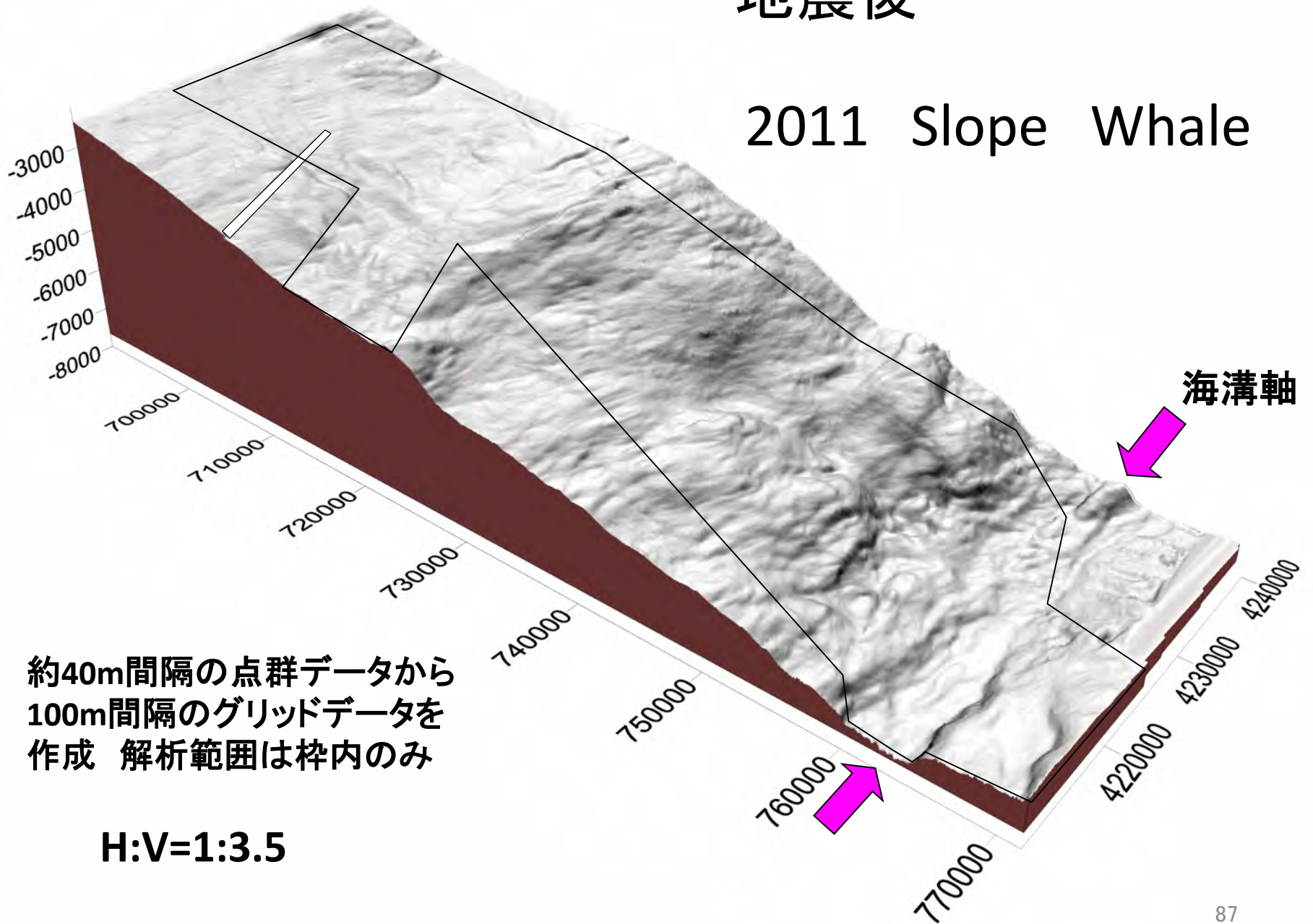


約40m間隔の点群データから
100m間隔のグリッドデータを
作成 解析範囲は枠内のみ

H:V=1:3.5

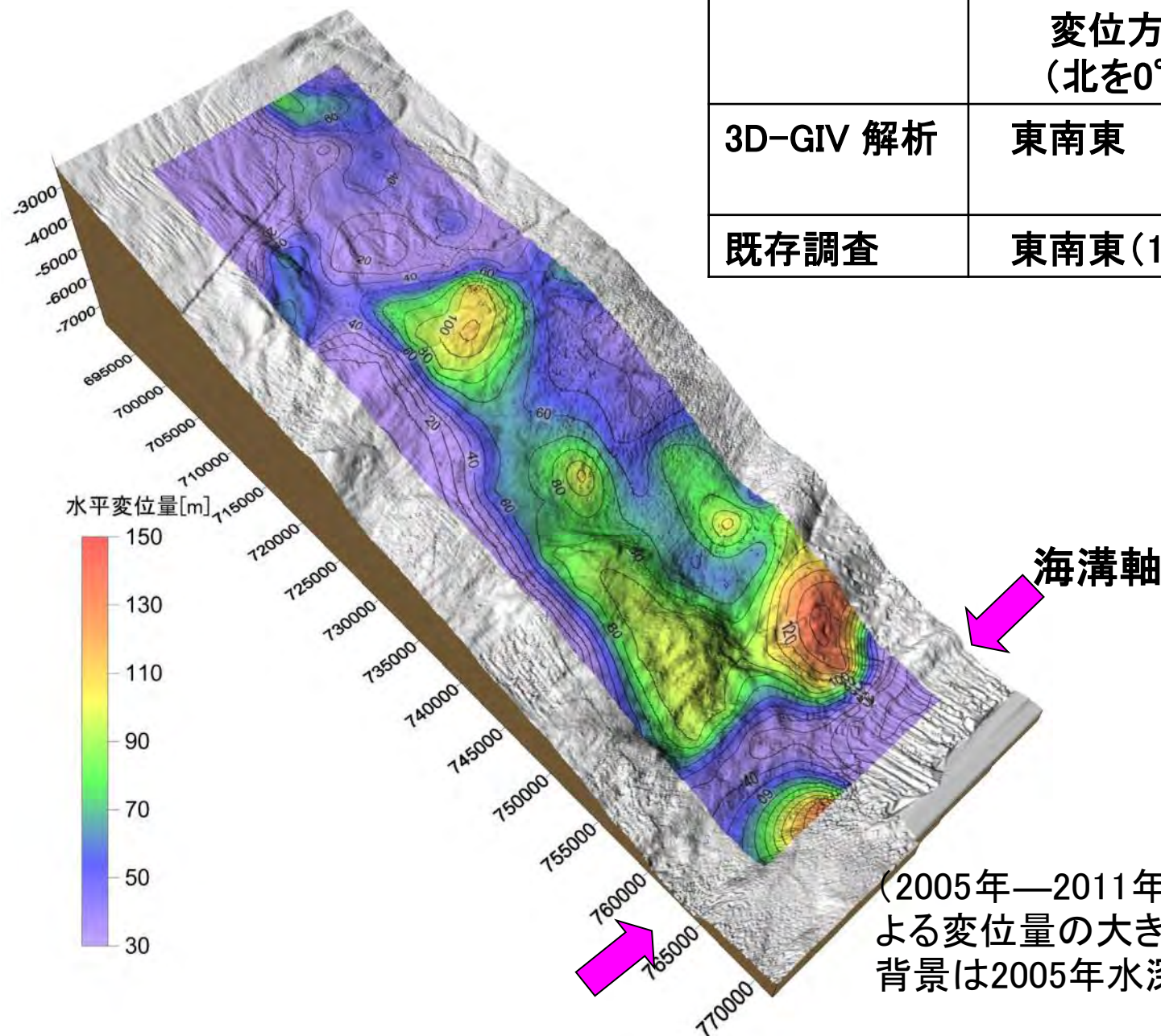
地震後

2011 Slope Whale



日本海溝陸側斜面における東向き水平変位量の分布

	変位方向 (北を0°)	水平変位量
3D-GIV 解析	東南東	20~150m (平均70m)
既存調査	東南東(113°)	56m



(2005年—2011年の3D-GIV解析結果による変位量の大きさを色別表示。背景は2005年水深データによる鯨瞰図)

6. まとめと今後の課題

6. 1 これまでの計測事例によってわかったこと

- ・ 「計れる地形」は、任意の場所で計測基準指標になり得る。
- ・ 他の観測手法とあわせて、地表変位の帯域をほぼカバーできる。
(道路法面・斜面の変動、地すべり、地震断層の変位、海底変動etc)
- ・ 大面積で高速に移動するマスムーブメントも少なからずある。
- ・ 地表で見える変位と地下地質の相関を見出せるかもしれない。
- ・ 地震による断層変位は、地表地震断層の直近傍に限らない。
- ・ 地震断層の近傍で、大地震を発生せずに変位する変動地形もある。

数値地形画像解析が適用できる対象

- 地表面の微小な変動の追跡

地すべり、断層変位など。地質構造解析。

- 道路法面などの構造物の変位・変形の追跡

地上型レーザによる細密データの利用。

都市ならDSMでも可能？ 地震時の建物の傾動などの抽出。

きれいな形は、結構苦手です……。

- 地形でなくても良い

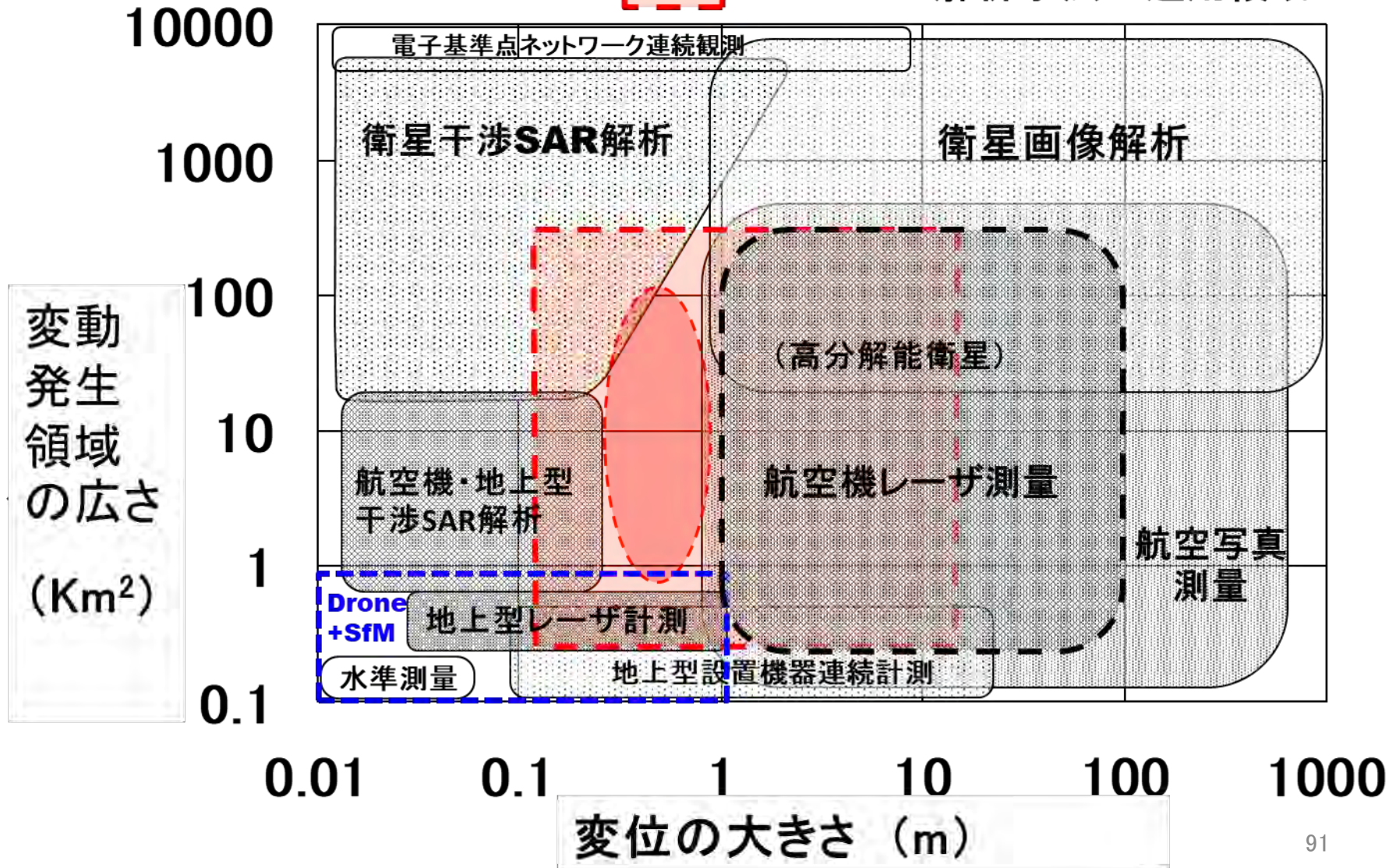
属性値が大小不規則なラスタ型データなら何でもよい。

ムラのない稠密なデータ分布が望ましい。

各種の面的な地形変位計測手法の摘要領域

(ハッチの濃淡は、計測密度の粗密を表す)

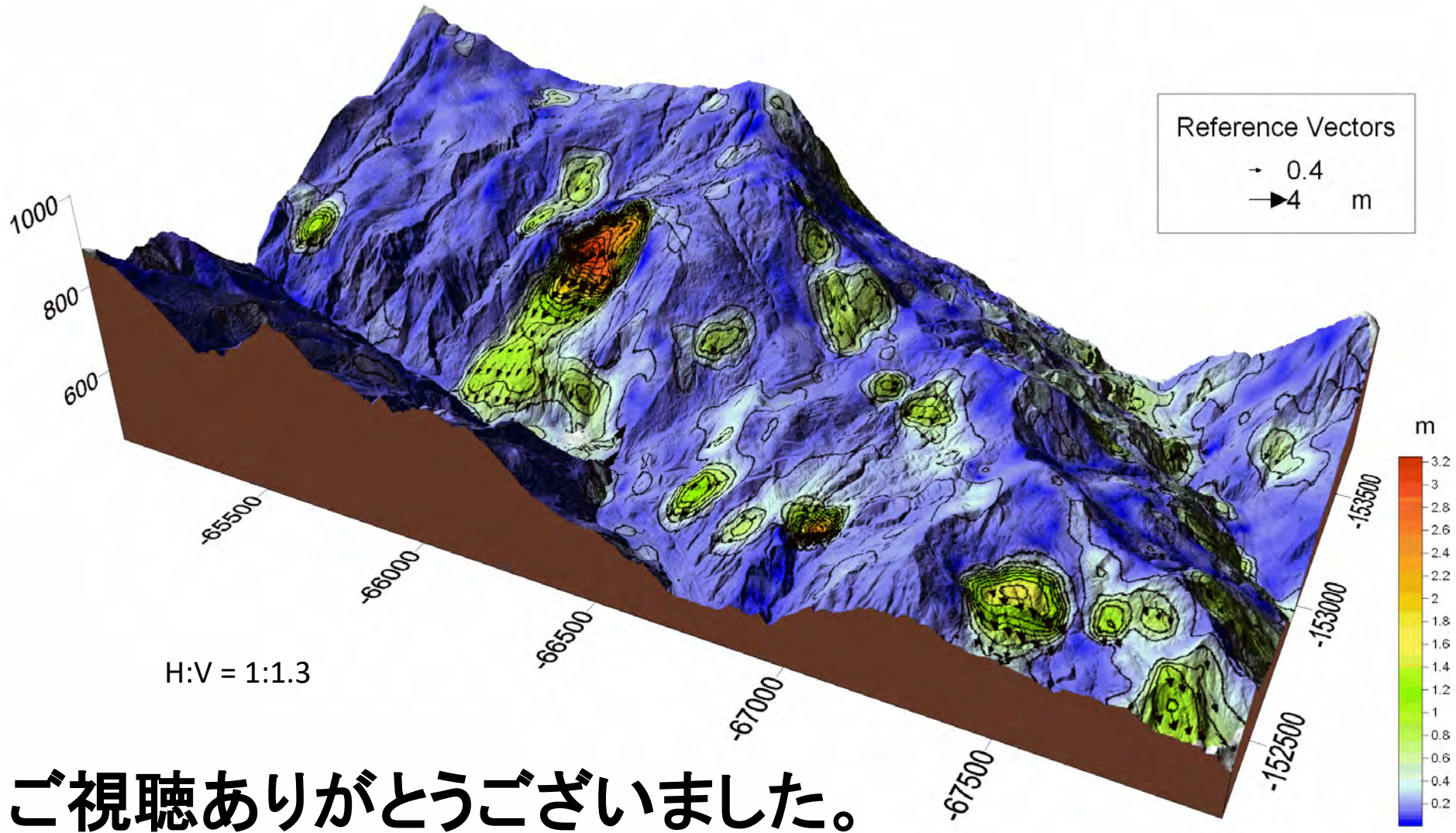
3D-GIV 解析手法の適用領域



6. 2 今後の課題

- ・ 計測精度向上
- ・ 形状追跡能力の向上(エラーの除去)
- ・ 使用する地形データの品質向上
- ・ 適用対象の拡大(人工構造物・法面など)
- ・ 面的変位データを利用した解析の深化
- ・ 競合技術との競争・協働(相補的補間)

GOAL は Dynamic Geomorphology



ご視聴ありがとうございました。

今後も地質学会関東支部の活動にご参加ください。