

GPS班・static観測

王宇晨・金子りさ・植村堪介
(担当：加藤照之・青木陽介)

Introduction 浅間山

- 複雑な形成史をもつ火山。約1万年前からは前掛火山が活動を開始し、1108年（天仁噴火）と1783年（天明噴火）には溶岩流が発生した。山頂部の釜山は現在も活動中。



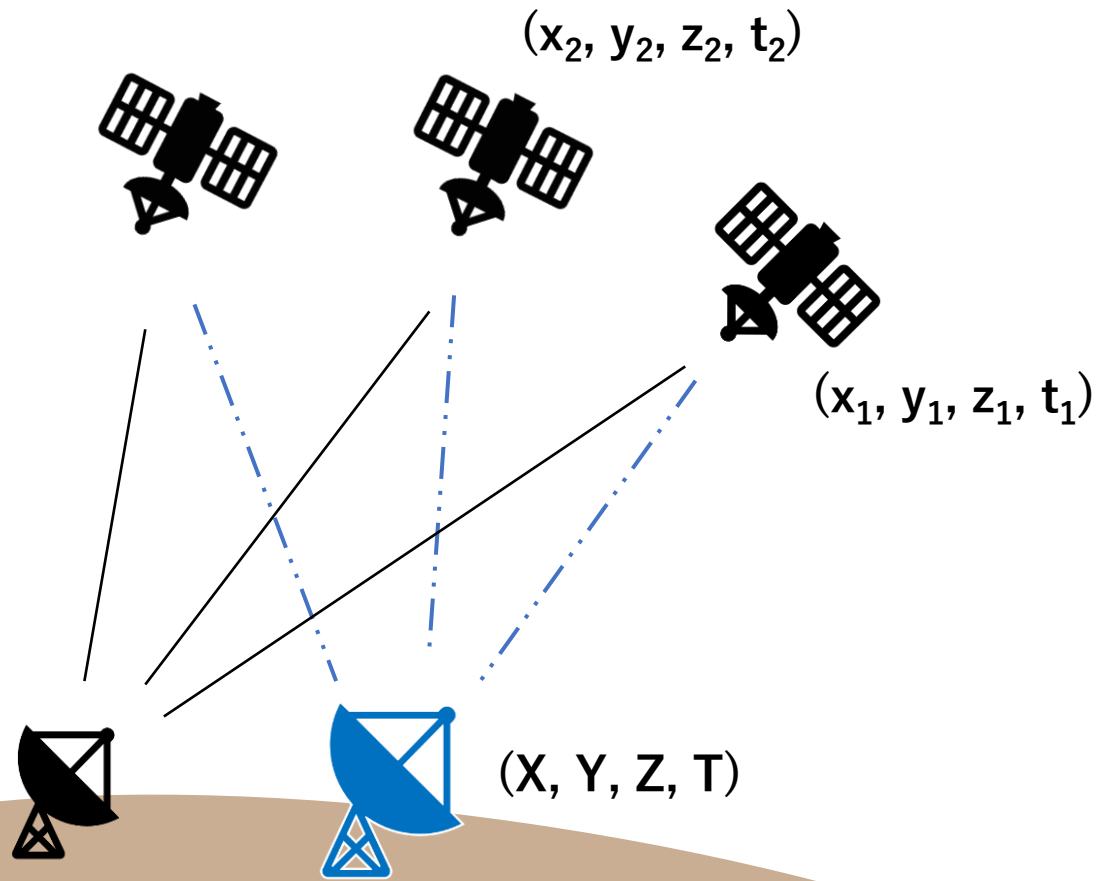
図1 浅間山遠景



図2 天明噴火の痕跡

（金子りさ 撮影）

Method 1 - GPSの仕組み



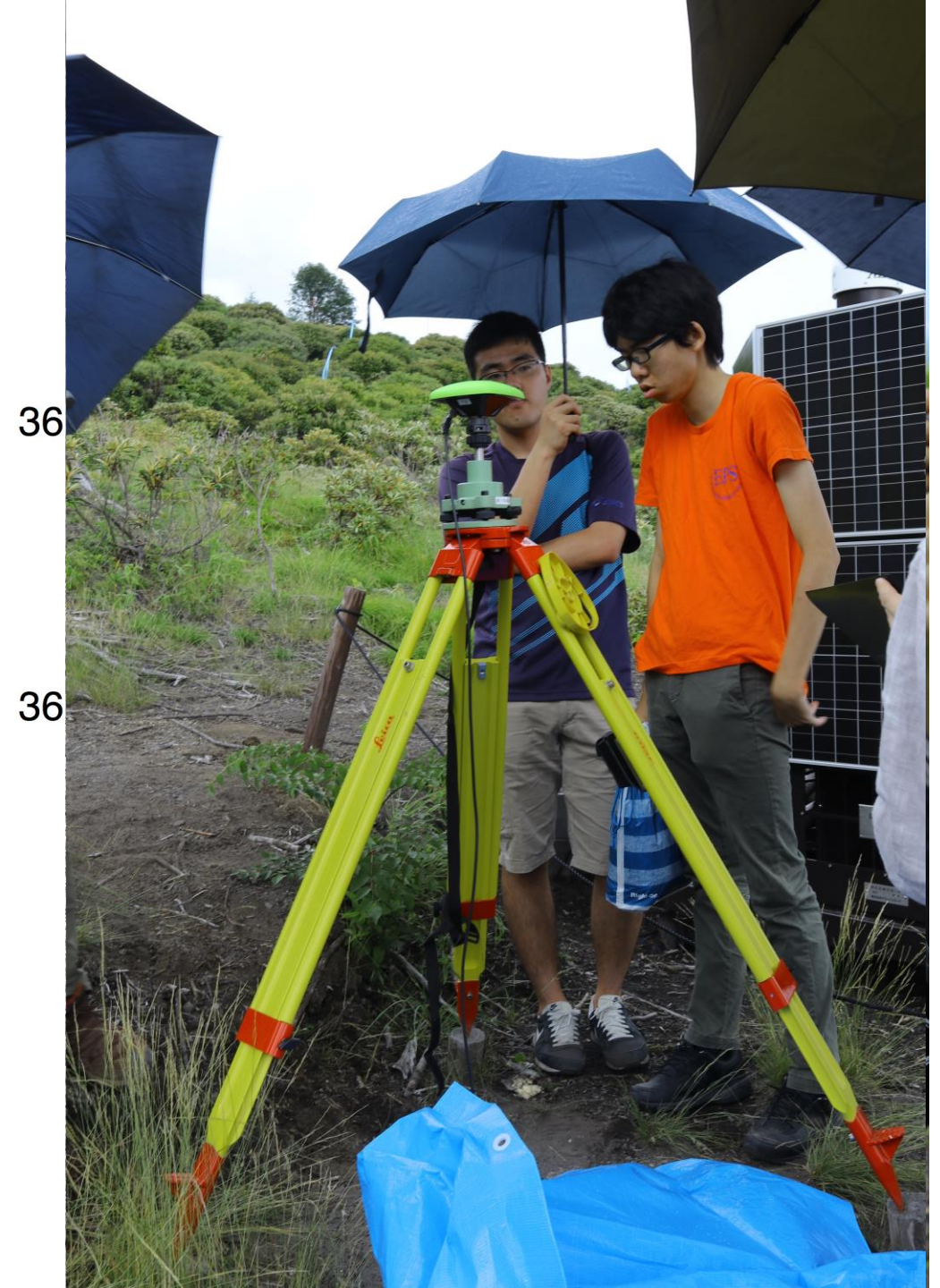
連立方程式:

$$|X - X_i| = c(t - t_i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots)$$

系統誤差に関して、伝播経路の擾乱、機器の時計のずれなどを補正・抑制する方法が確立されており、静止測量では1cm程度の精度を持った観測が可能。

Method 2 – 観測機器

- 観測期間
 - 3観測点
 - 0001：シャクナゲ園（浅間蒲原）
 - 0005：火山博物館
 - avoe：浅間火山観測所
 - 1点は自動車イベントのため使用不可
 - 7月22日－7月23日 20時間程度
 - 0001のみ3時間ほど
- 小型GPSを使用
 - JAV_GRANT-G3T
 - 観測用の台座に設置/三脚で固定
 - 年次比較を行う場合、毎年高さの基準を揃える必要あり



Data – 観測結果

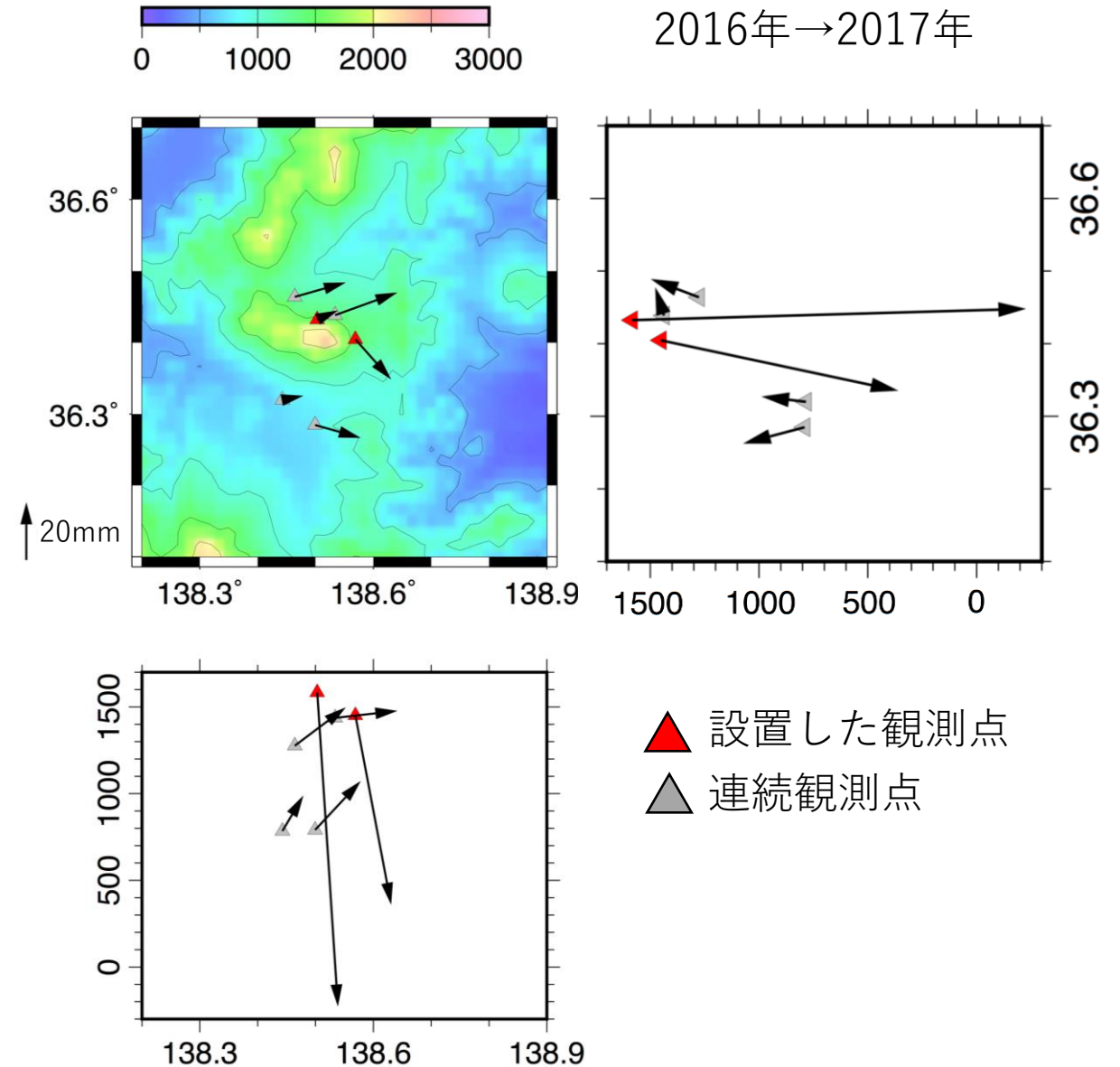
- GPS測量結果

	long	lat	height
avoe	138.56883	36.40468351	1451.2353
0001	138.5029129	36.43235769	1583.9882
TASH	138.4642306	36.46394576	1276.4529
KVCO	138.4426983	36.31993386	784.306
0610	138.4992873	36.28471382	791.0728
AMOV	138.5341142	36.43860305	1437.2562

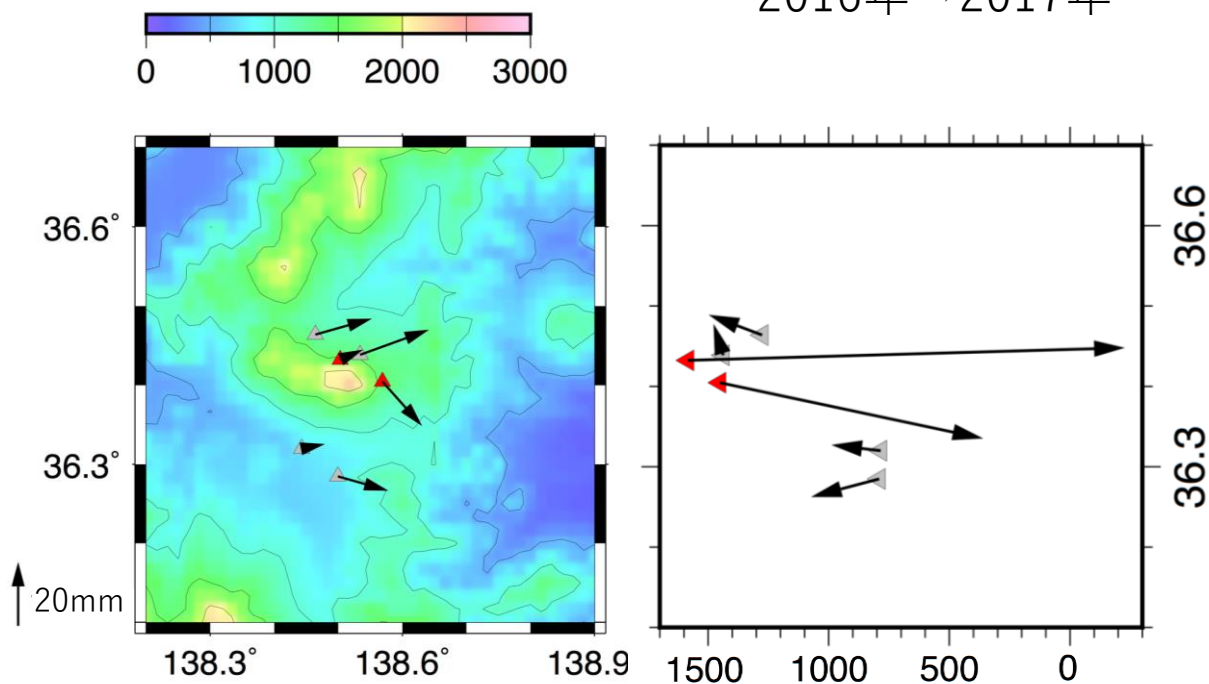
- 2016年からの変位を計算

- avoe,0001
 - 0005は2016年に観測なし
- 他の研究期間のデータ4つも記載

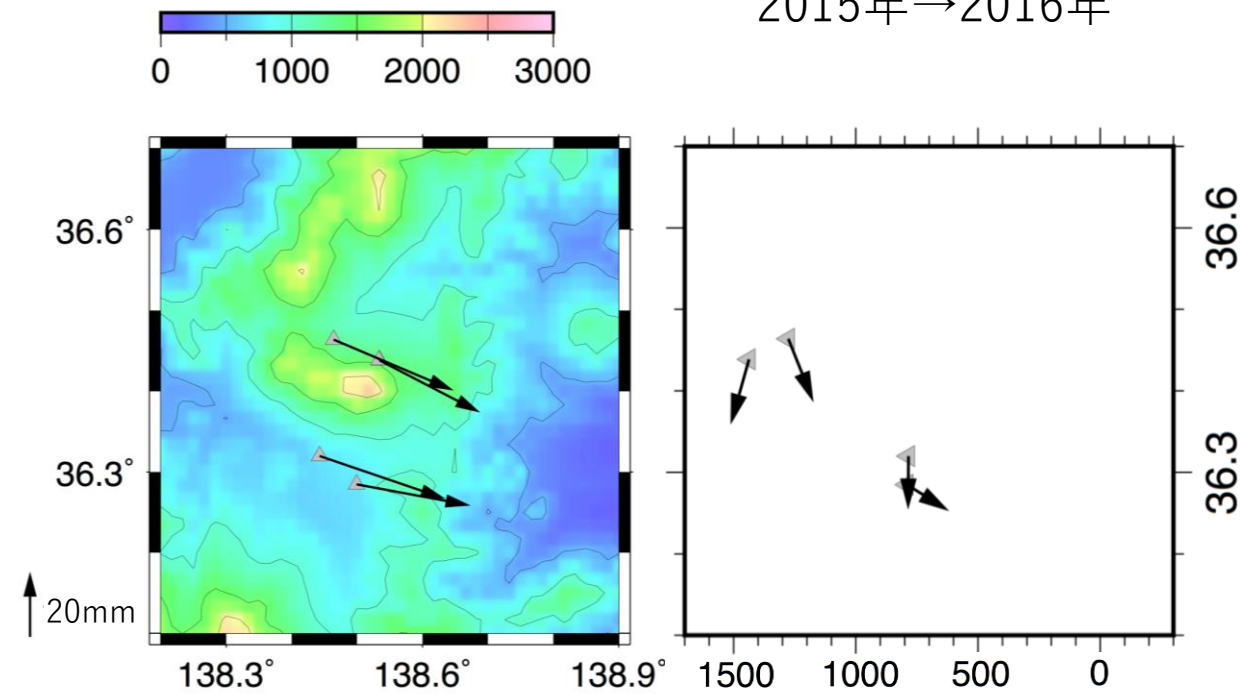
- 設置した観測点で大きい変位
=>誤差？
- 西側にマグマだまり？
=>鉛直方向に収縮・東西方向に伸張？
- 東成分…東日本大震災の余効変動



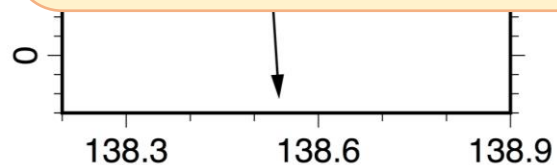
2016年→2017年



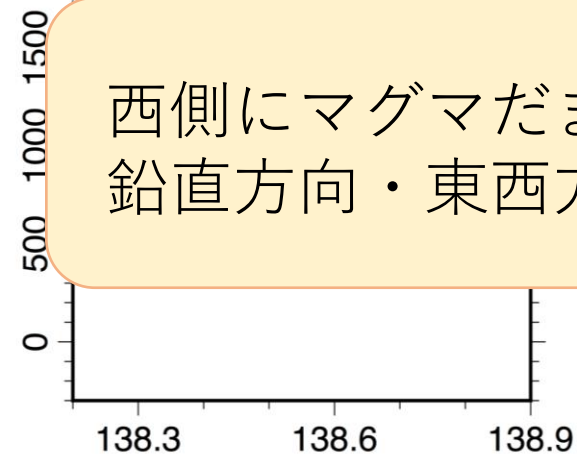
2015年→2016年



西側にマグマだまり？
鉛直方向に収縮・東西方向に伸張？



西側にマグマだまり？
鉛直方向・東西方向に伸張？



解析：マグマ溜まり Mogiモデル

- 活火山で観測される地殻変動は、多くの場合マグマ溜まりの体積変化に起因するものである。
- マグマ溜まりを球状と仮定する。動径方向の変位 Δr と鉛直方向の変位 Δz は、マグマ溜まりの体積変化 ΔV を用いると

$$\Delta r = \frac{(1-\nu)\Delta V}{\pi} \frac{d}{(r^2+d^2)^{3/2}} \quad (1)$$

$$\Delta z = \frac{(1-\nu)\Delta V}{\pi} \frac{r}{(r^2+d^2)^{3/2}} \quad (2)$$

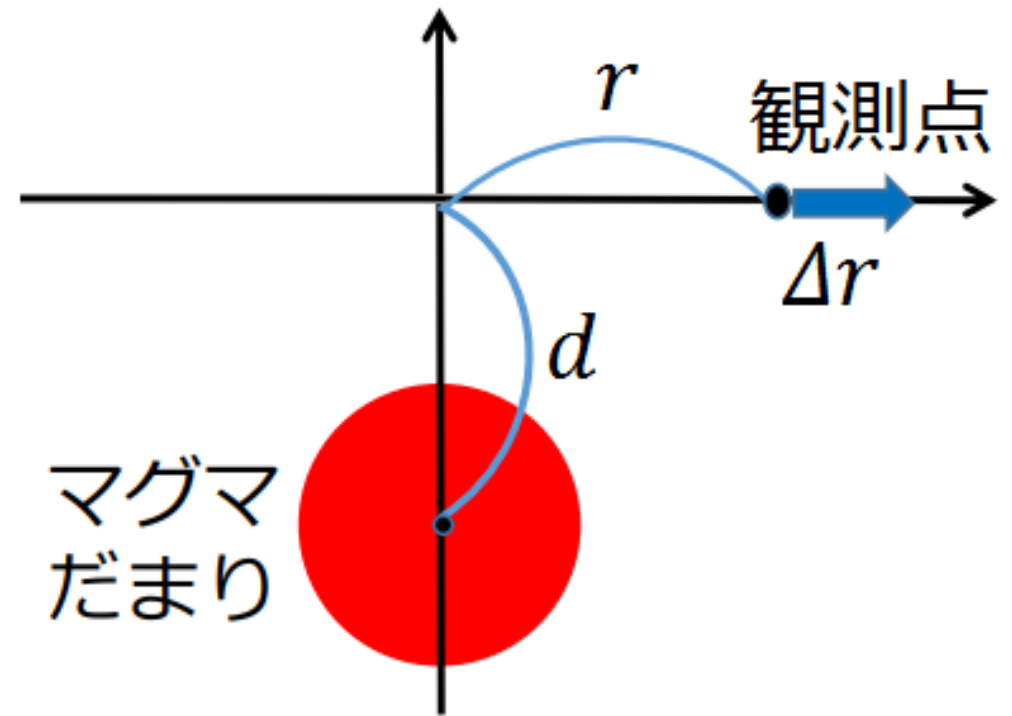
書ける。 d はマグマ溜まりの中心の深さ、 r は中心から観測点の水平距離、 ν は媒質のポアソン比である。

解析：マグマ溜まり Mogiモデル

Method-1：既知の d と r を用いて、観測点の動径方向の変位 Δr から、マグマ溜まりの体積変化 ΔV を推定する。

$$\Delta V = \frac{\pi}{(1 - \nu)\Delta r} \frac{(r^2 + d^2)^{3/2}}{d}$$

Method-2：焼きなまし法を用いて、観測したデータから、 d 、 r 、 Δr 及び ΔV を全て推定する。



Data – 地理院のデータも使いました

年度	2015（平成27）	2016（平成28）	2017（平成29）
観測実習のデータ	0001	0001, AVOE	0001, AVOE
国土地理院 防災科研、 地震研 のデータ	0610, AMOV, KVCO, TASH	0610, AMOV, KVCO, TASH	0610, AMOV, KVCO, TASH

Result 1 – 既知のマグマ溜まりの位置を利用

- 中心経緯度：北緯36°24'23'' 東経138°28'40''
 - 深さ：-2100m
- (資料：第138回火山噴火予知連絡会)

観測点	Δr 2015-2016 (mm)	ΔV 2015-2016 ($10^6 m^3$)	Δr 2016-2017 (mm)	ΔV 2016-2017 ($10^6 m^3$)
0001	0.11	0.02	-7.64	-1.39
0610	6.20	5.48	-2.12	-0.81
AMOV	-2.90	-0.78	2.24	1.98
KVCO	-1.56	-0.83	7.02	1.88
TASH	2.17	0.62	7.68	4.10
AVOE	N/A	N/A	-2.32	-0.67

計算より、2015-2016と2016-2017のマグマだまりの体積変化 ΔV は $+9.02 \times 10^5 \pm 26.28 \times 10^5 m^3$ および $+8.50 \times 10^5 \pm 21.44 \times 10^5 m^3$ 。

Method 2 – 焼きなまし法

最適化問題

$$\begin{matrix} \mathbf{d} \\ \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{pmatrix} \end{matrix} \stackrel{?}{=} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{matrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \Delta V \end{pmatrix} \\ \mathbf{d}_m \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{pmatrix} \Delta x'_1 \\ \Delta x'_2 \\ \vdots \\ \Delta x'_n \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Data:
各観測点
の水平変位

関連マトリックス
 $\mathbf{A} = \mathbf{A}(x_v, d, \Delta V)$
(x_v はだまり中心の位置)

Parameter:
マグマだまりの位
置、体積膨張量

データ($\mathbf{d}$)をもっともよく説明する**パラメーター**を決定する。

👉 残差ノルム $||\mathbf{d}_m - \mathbf{d}||$ を最小化

Method 2 – 焼きなまし法

最適化問題：残渣ノルム $L = ||\mathbf{d} - \mathbf{d}_m(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \Delta\mathbf{V})||^2$ を最小化するパラメーターを求める。

説明： パラメーターをランダムに更新する。

$$P = \exp\left[-\frac{L - L_{\text{smallest}}}{kT}\right] \text{ if } L > L_{\text{smallest}}, \quad 1 \text{ if } L \leq L_{\text{smallest}}$$

👉 「より悪い解」を確率的に選ぶプロセスが存在することで、局所解に陥りづらくなっている。

用いた理由：

グリッドサーチより計算コストが低く、
再急降下法より大域的な最適解を探しやすい。

Method 2 – 最適化の詳細

サーチ範囲：

北緯 $36^{\circ}30'$, 東経 $138^{\circ}30'$ を中心に、
東西南北に $\pm 40\text{km}$ 程度の範囲を調べた。

トレンドの除去：

周辺の観測点の変位の平均を、トレンドとしてデータから除去している。

データの成分：

観測点の上下動成分は最適化に用いていない。

(外側・斜め下方向に向かって変位があるため、
マグマだまりの位置が中空に収束してしまう)

Result 2 – 焼きなまし法

	2015-16年	2016-17年	気象庁
北緯	36°19'07''	36°18'44''	36°24'23''
東経	138°30'09''	138°28'41''	138°28'40''
海面下	0.38km	-1.7km	2.1km
ΔV	収縮	膨張	膨張

Discussion 1 – 体積膨張について(16-17年)

気象庁の推定したマグマの位置を用いた解析：

体積変化 $\Delta V = +8.50 \times 10^5 \pm 21.44 \times 10^5 m^3$ であった。

焼きなまし法：

マグマの位置の深さは、上下動成分なしには収束しがたい。

☞ ΔV の正確な評価は難しい

気象庁（傾斜変動）：

$1.8 \times 10^6 m^3$ の膨張（2016/12～2017/05, Mogiモデル）

気象庁（二酸化硫黄放出量）：

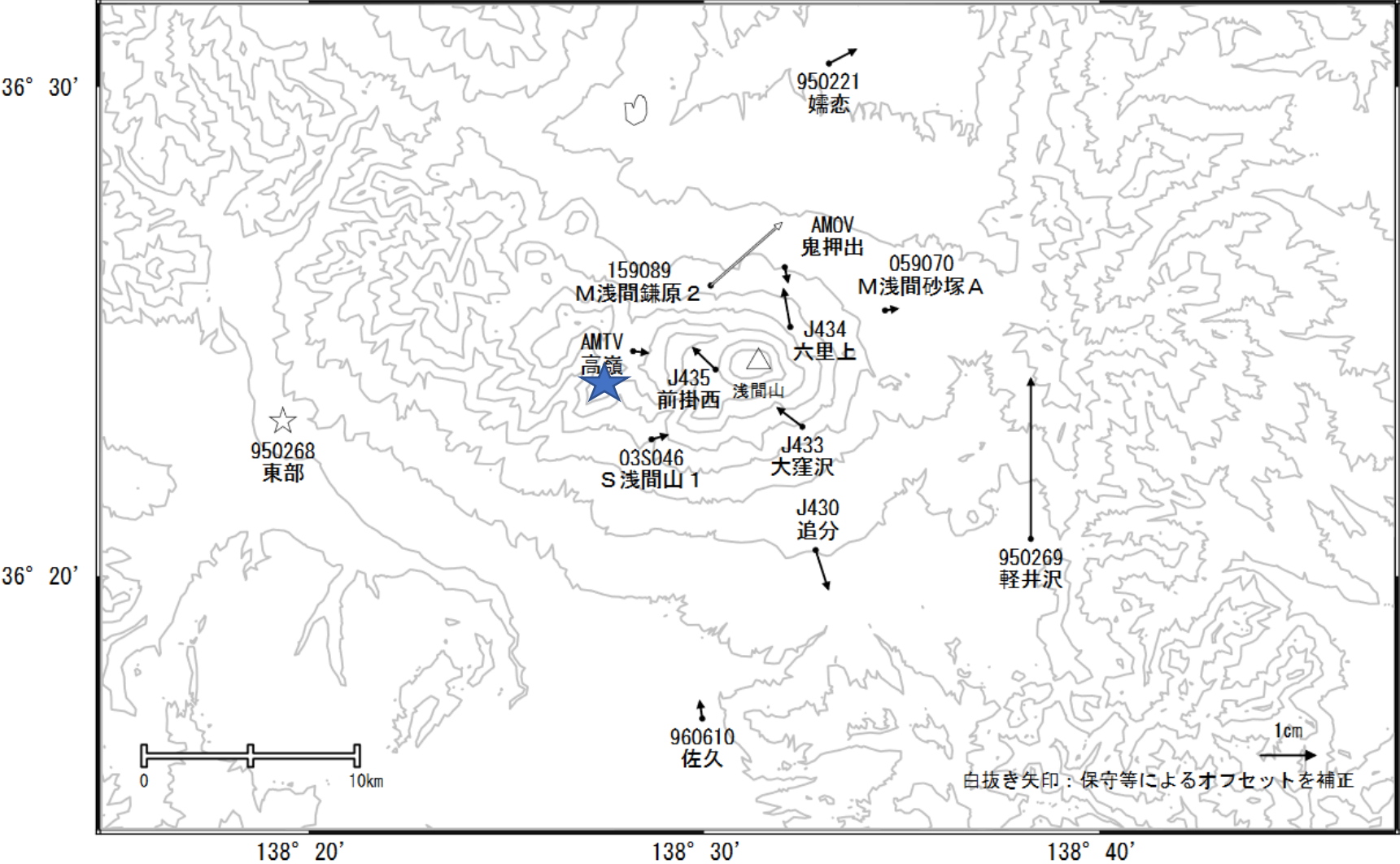
$6.3 \times 10^7 m^3$ の膨張（2016/11～2017/05）

Discussion 2 – 水平位置について

浅間山においては、2015年6月の噴火に先立ち山頂西側の主に南北への膨張が始まった。山頂西側への東西方向のダイク貫入によるものと考えられる。**2016年12月ごろより山頂西側で伸長が観測されて、現在まで継続している。**

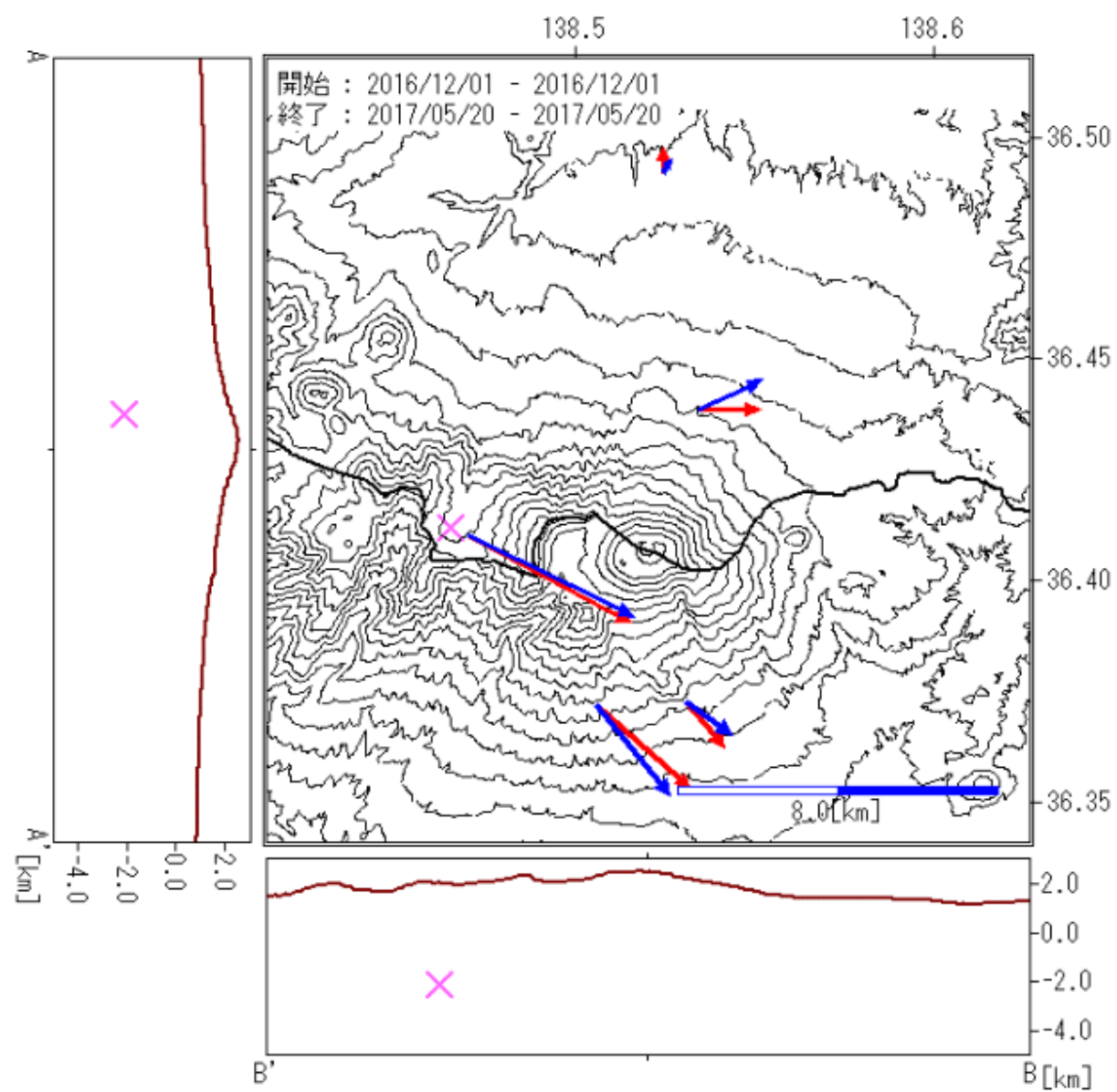
第138回火山噴火予知連絡会資料より抜粋

基準期間:2016/05/06~2016/05/15[F3:最終解]
比較期間:2017/05/06~2017/05/15[R3:速報解]

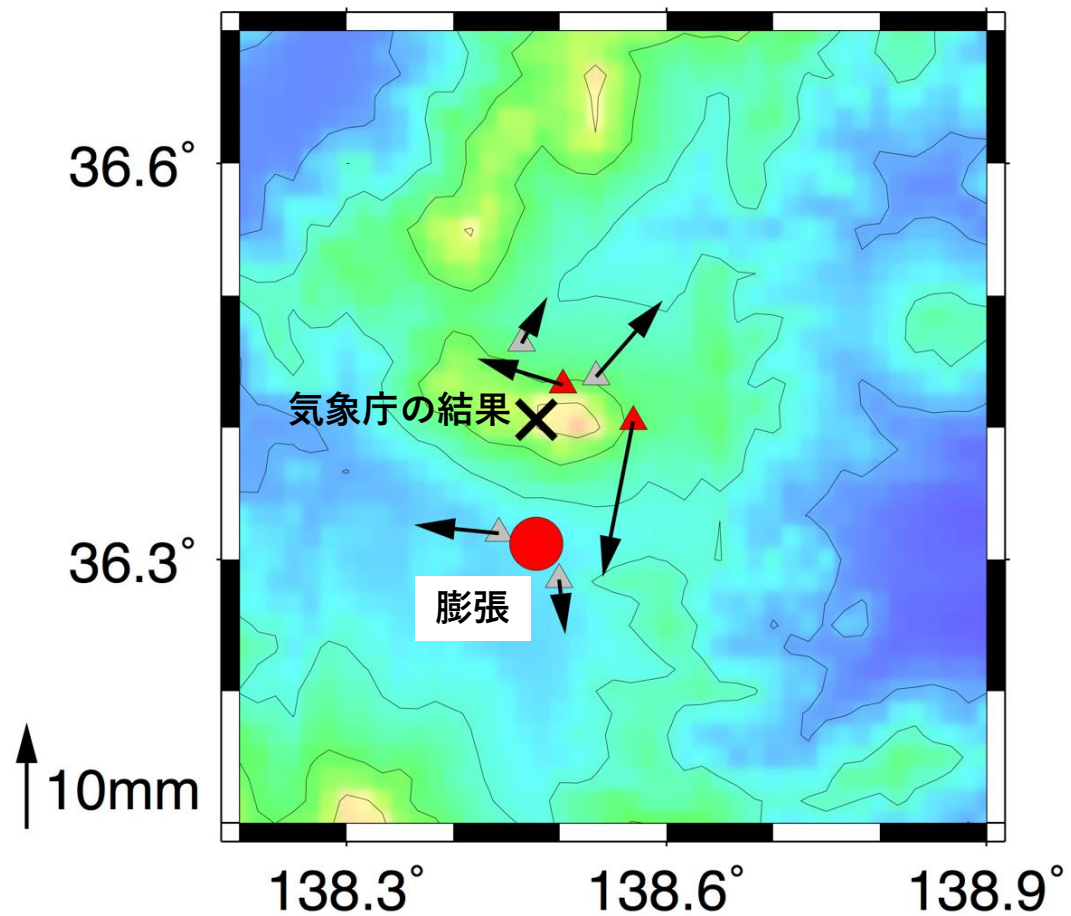
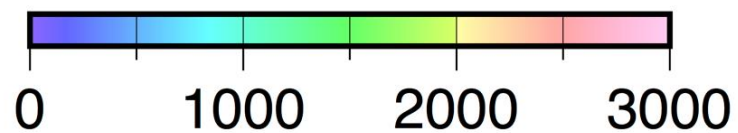


☆ 固定局:東部 (950268)

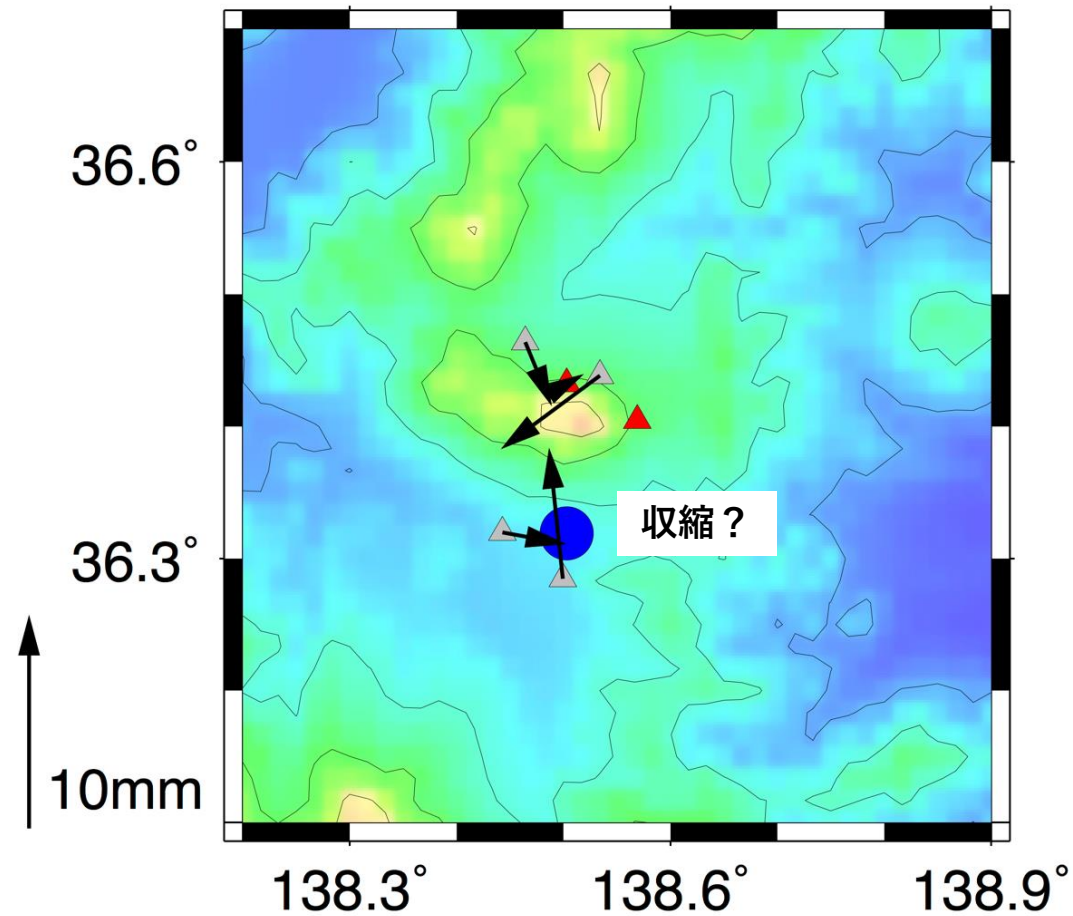
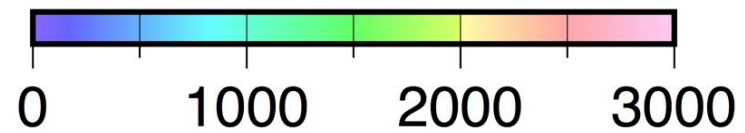
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所



2016年→2017年



2015年→2016年



Conclusion

- 浅間山のマグマ溜まりは、2016年から2017年にかけて膨張した可能性が高いと推定される。これは他の研究機関の解析結果と整合的である。
- 2015年から2016年の間の変動は、解析方法によって結果が異なり、単純なモデルでは変動を表現できないのかもしれない。
- マグマだまりの水平位置の推定には、テクトニックな変形を丁寧にのぞく必要がある。
- マグマだまりは想定されていた山体中央部よりも西側に存在していたため、来年・再来年度以降に西側での観測が行われることに期待する。