三宅島2000年噴火のカルデラ形成期に観測された50秒パルスの力源の再検討
－キネマティックGPS解析から分かったこと －

宗包　浩志　　(国土地理院)
及川　純　　(地震研究所)
小林　知勝　　(国土地理院)

本発表の概要

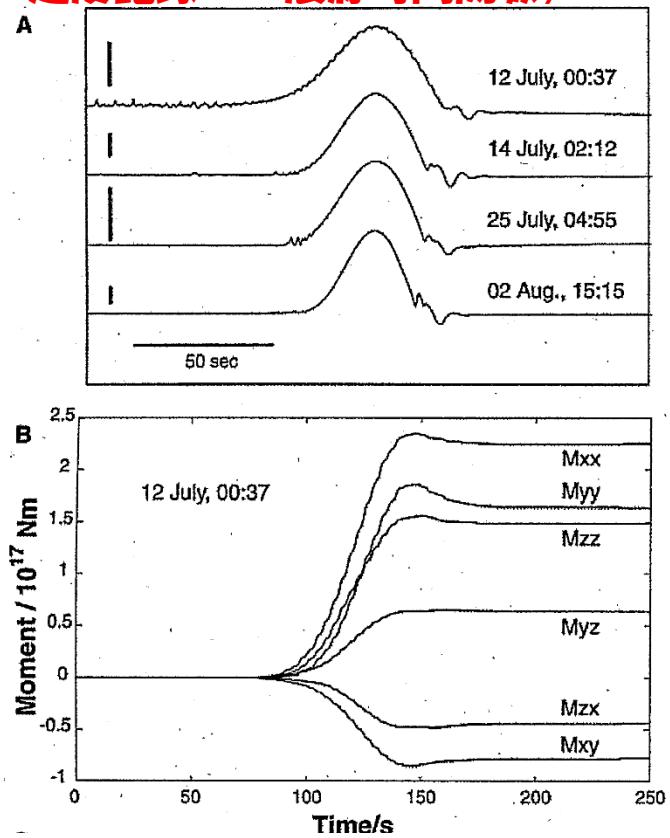
1. 導入
   - 三宅島噴火時の50秒パルスについて
     －広帯域地震計および傾斜計により分かっていること－
2. 三宅島GPS観測データのキネマティック解析
   - データおよび解析手法について
3. 結果
   - キネマティックGPS時系列の３つの特徴
     I. 50秒パルスに同期する地殻変動
     II. 50秒パルスに続くexp緩和過程
     III. 山体の定常的な収縮
   - モデリング
4. 議論
   - 50秒パルスに同期する地殻変動の統一的な解釈
   - パルスに伴うマグマだまり収支：カルデラ陥没量との関係
5. まとめ

1. 三宅島噴火時の50秒パルスについて

特徴

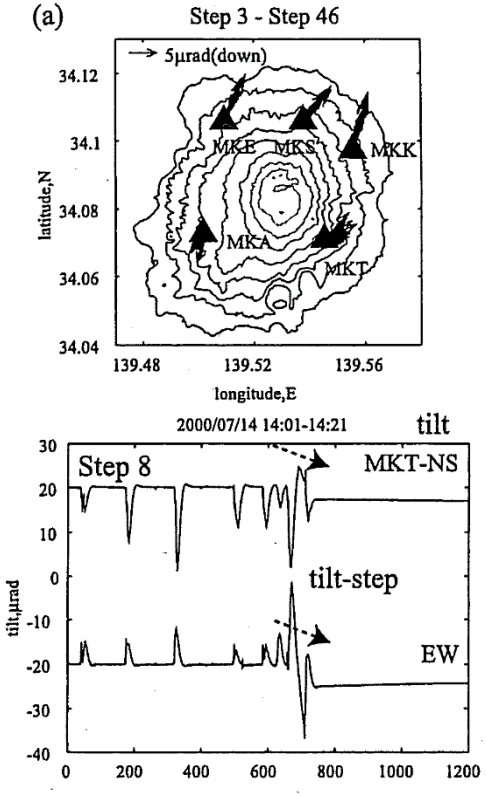
1. カルデラ形成期(7/8--8/18)にのみ観測される
2. 50秒幅のパルス(広帯域地震計)：傾斜ステップ(傾斜計)
3. 相似的な現象が、ほぼ1日間隔で繰り返す（計40回程度）

広帯域地震計記録
(A:速度記録：B:震源時間関数)



Kumagai et al.(2001)

傾斜計記録
(a:傾斜ベクトル：B:傾斜記録)



Fujita et al.(2004)

1. 三宅島噴火時の50秒パルスについて

力源の描像は広帯域地震計・傾斜計それぞれに異なっている

広帯域地震計

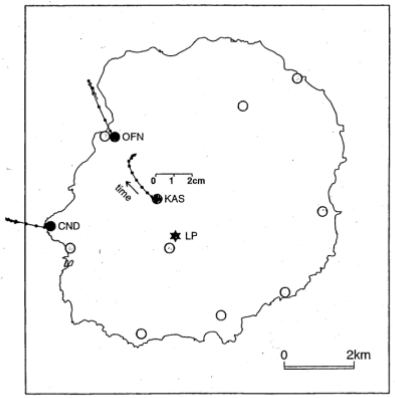
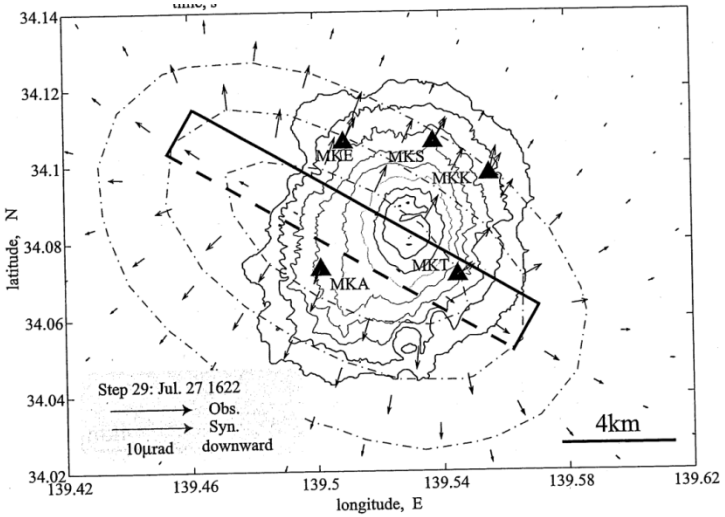


図 6. 7月14日のイベントにおける各観測点の地動の軌跡。
雄山山頂の[illegible]（見印）[illegible]を示す。

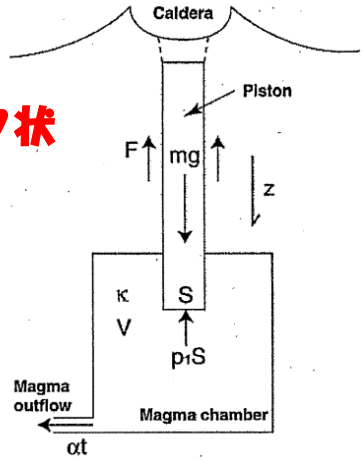
菊地・他（2001）

傾斜計



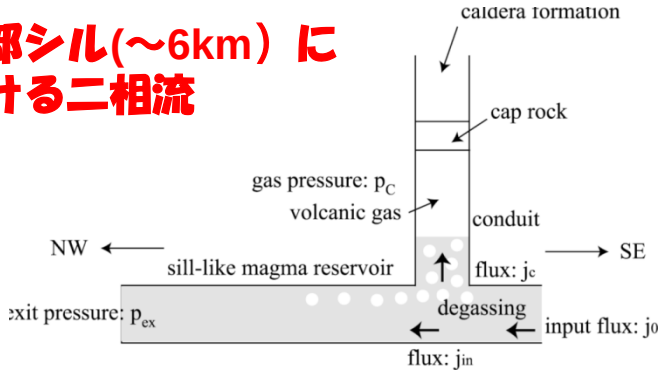
Fujita et al. (2004)

火道ピストンがダイク状の浅部マグマだまり(～3km)へ貫入



Kumagai et al. (2001)

深部シル(～6km）における二相流



Fujita et al. (2004)

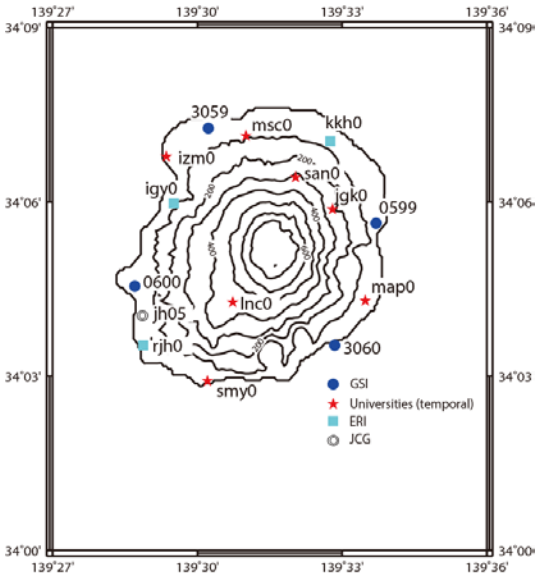
2. 三宅島GPS観測データのキネマティック解析

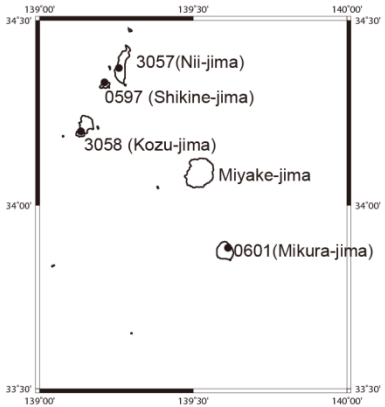
解析戦略について

- キネマティックGPS解析：
  - 相対測位：RTKLIB ver 2.4.2 (Takasu,2013)
    - 島外の４観測点を基準とする
      相対干渉測位 (3057, 0597, 3058, 0601)
    - X島外の基準点もこの時期大きく動いている
  - PPP 解析：GIPSY OASIS 6.3
    - ４基準点でのPPP キネマティック解析
      →基準点の絶対変動を抑える

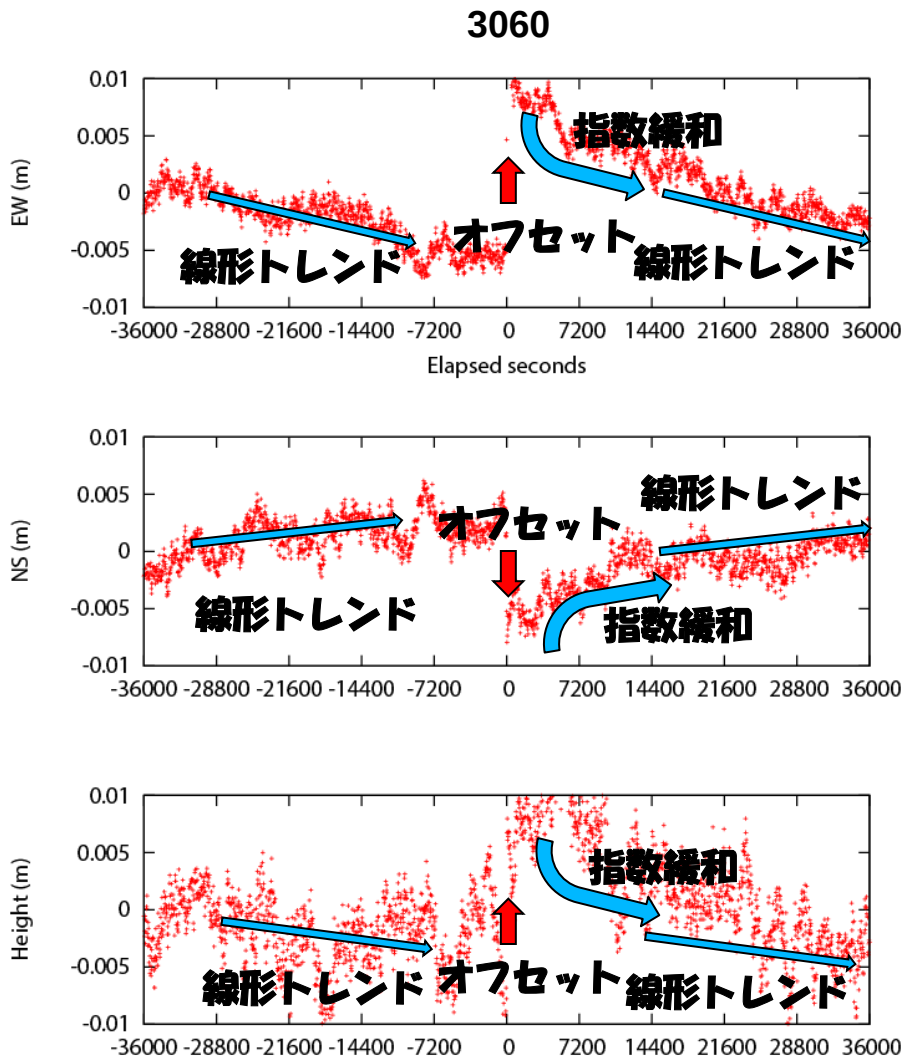
- 時系列スタッキング：
  相似な現象が繰り返し起こる→スタッキングして平均的な変位場を得る
    - Events: 39 events (菊地・他　2001)
    - タイムウィンドー: 20 時間
      (10h イベント前/後)

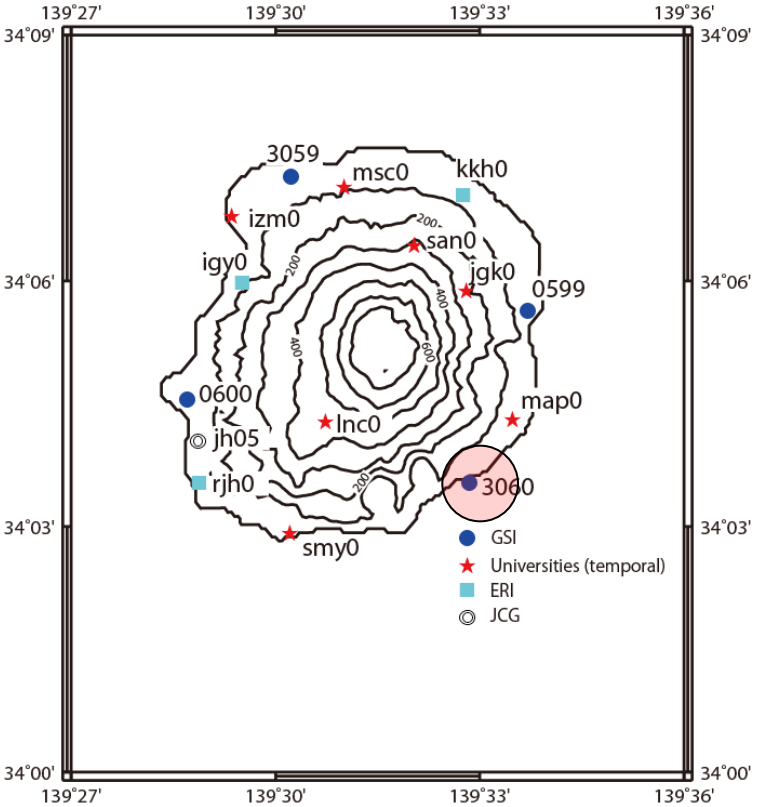
GPS観測点の分布





3. 結果：キネマティックGPS時系列（スタック後）の特徴





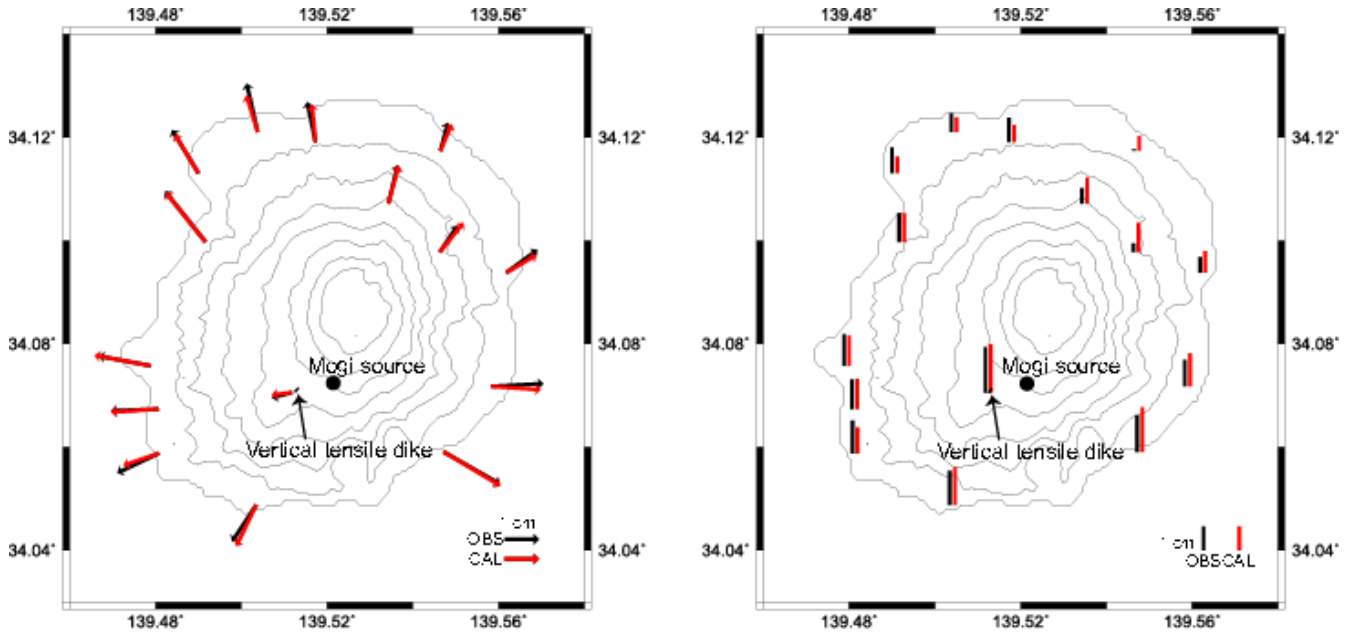
キネマティックGPS時系列は
1)パルスに同期するオフセット
2) 線形トレンド
3)パルスに引き続き生じる指数緩和
の重ね合わせで表現できる

＊他の観測点でも同じように分解可能
＊緩和時定数は共通

3.　結果:モデリング（オフセット）

国土地理院

球状圧力源および鉛直な開口割れ目の組み合わせでモデル化



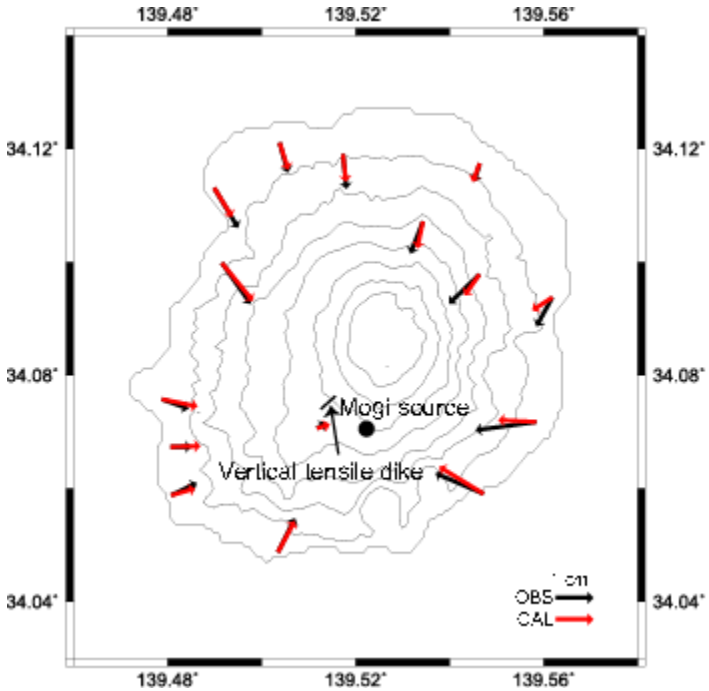
	Lat (deg)	Lon (deg)	Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Opening (m)	dV ($10^6 m^3$)
MOGI	34.073	139.521	3.66						1.83
DIKE	34.071	139.512	0.49	0.13	2.91	47	90	1.15	0.44

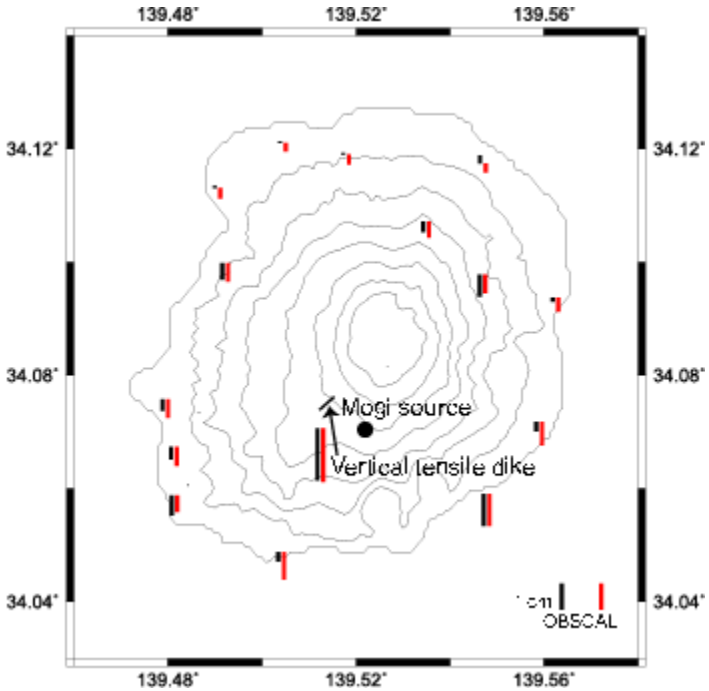
- 力源の場所、深さは広帯域地震計によるモデルと整合的
- ただし形状は不一致→浅部ダイクの寄与により点震源の仮定がくずれるせい？

3. 結果:モデリング（線形トレンド）

国土地理院

球状圧力源および鉛直な開口割れ目の組み合わせでモデル化





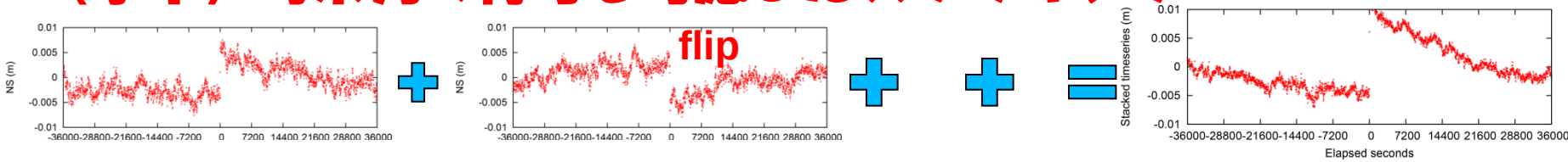
	Lat (deg)	Lon (deg)	Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Opening (m/d)	dV ($10^6 m^3/d$)
MOGI	34.071	139.522	3.41						-1.06
DIKE	34.074	139.512	0.28	0.41	2.91	47	90	-0.26	-0.30

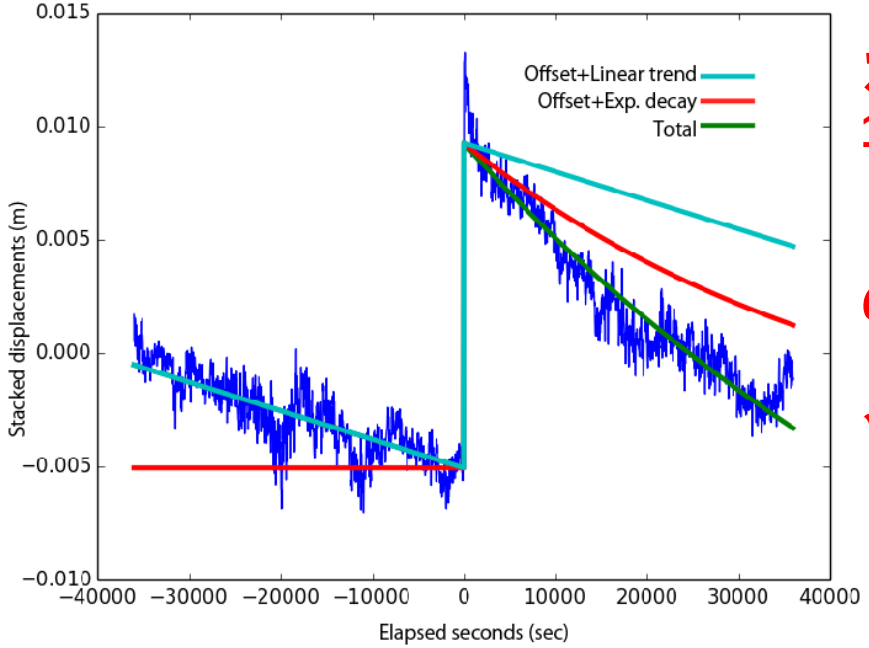
- 推定誤差の範囲で、VLPオフセットの力源と同一形状の力源が定常的に収縮していると考えてよい

3. 結果:モデリング（指数緩和）

国土地理院

指数緩和の時定数の推定
→（水平）時系列の符号を考慮したスタッキング





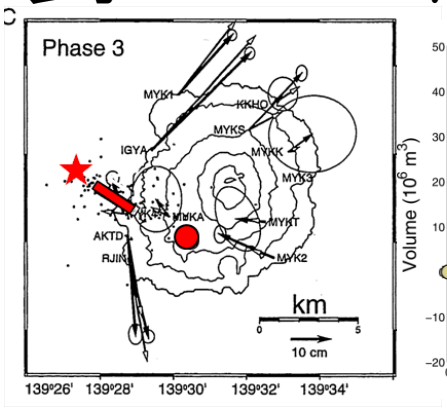
スタックされた時系列も同様に
1)パルスに同期するオフセット
2) 線形トレンド
3)パルスに引き続き生じる指数緩和
の重ね合わせで表現できる

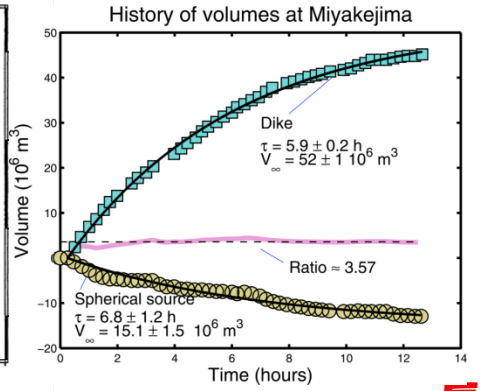
✓ 緩和時間 = 43780 sec

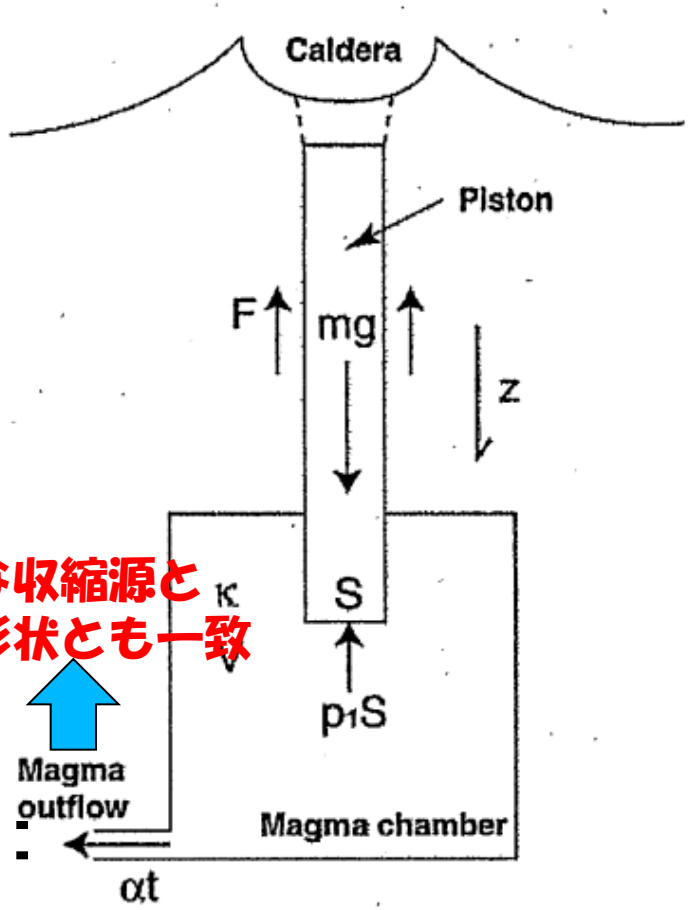
4. 議論：統一的解釈

初期貫入期(6/26～）にも同様のメカニズムによるマグマ移動が見られる

参考：Irwan et al. (2006);Rivalta (2010)

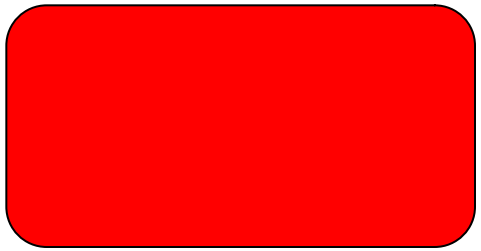






長期的な収縮源と位置・形状とも一致

島外ダイク？



圧力駆動流

Kumagai et al. (2001)

- VLPイベントに伴い、増圧した山体直下の力源が圧力を指数緩和の形で解放している
  →力源が外部とつながっていて、過剰圧に駆動される流れ（例えばポアズイユ流）により力源の増圧が解消されていると考えられる (e.g., Michon et al. (2011))

4. 議論：VLPの体積増加とカルデラ陥没量

国土地理院

● VLPの体積増加とカルデラ陥没量との関係

＊ピストンモデルでは、カルデラ陥没量=VLPに伴う体積変化

○一回あたりの平均体積増加量：球状(1.83)+開口割れ目(0.44)=2.27 ($\times 10^6 m^3$)

→イベント全体(39回）では：88.6($\times 10^6 m^3$)

○カルデラ陥没量：4--6 ($10^8 m^3$) (e.g., Geshi et al. 2002)

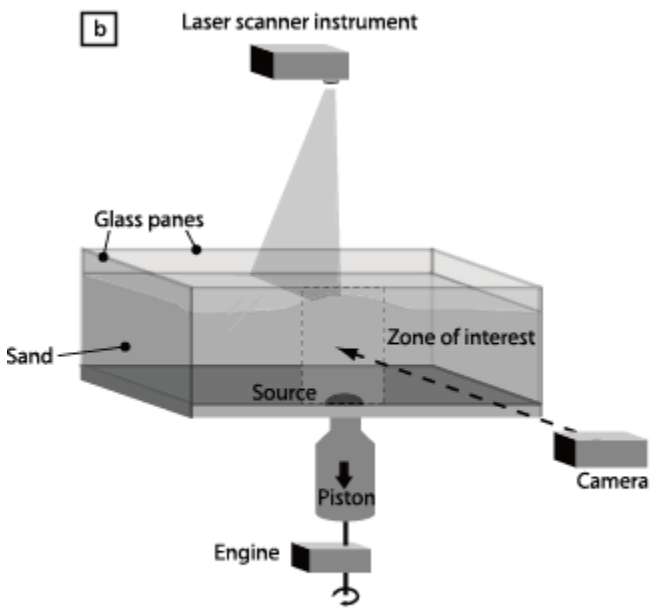
↓

実際には、カルデラ陥没量に対し、VLPに伴う体積増加はわずか←なぜか？

4.　議論：VLPの体積変化とカルデラ陥没量

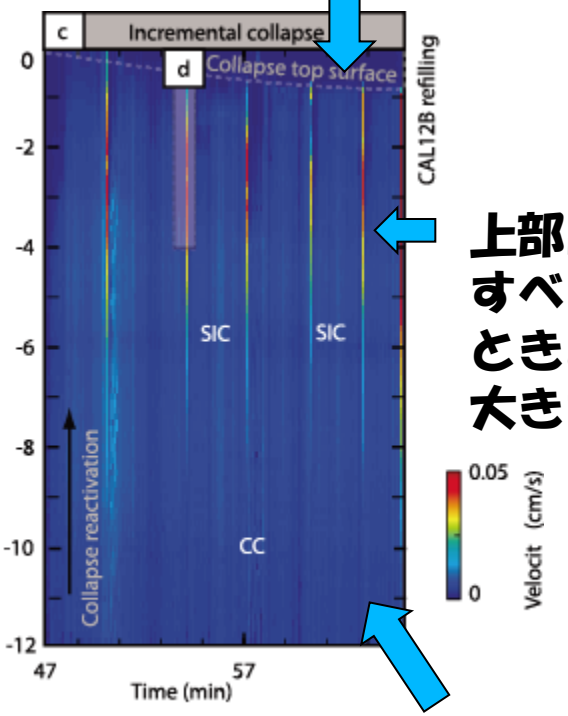
国土地理院

●アナログ実験(Ruch et al. 2012)



砂柱に対し下部からピストンで減圧

上面は連続的に沈降



SIC: Single Incremental Collapse
CC: Continuous Collapse

上部はずるずるすべりつつ、ときおり間欠的に大きな沈降←VLP

下面は吸引速度とほぼ同じ速度で連続的に沈降

火道のマグマだまりへの貫入のほとんどは連続的におきる
→VLPによる体積増　<<カルデラ陥没量

5. まとめ

三宅島2000年噴火時に観測されたVLPシグナルに伴う地殻変動をキネマティックGPSで検知:

- VLPの力源：山体直下の球状力源と開口割れ目からなる浅部マグマだまり
- VLPの力源と、山体の長期的な収縮源とは、位置、形状が一致
  → 「ピストンモデル」と整合的
- VLPに伴う力源の増圧は部分的には外部マグマだまりとの圧力差に駆動される流れで指数的に解消される
- カルデラ陥没量に対し、VLPによる体積増加は明らかに小さい→ピストンは周囲と完全にカップリングしていない

謝辞

- 地震研および海上保安庁から、島内GPS連続観測点のデータの提供をうけました
- 三宅島火山総合観測班（GPS 観測グループ）が観測した島内臨時GPS観測点のデータを使用しています