

1-13

活動中の活火山で変動が観測されないことについて

青木陽介(東京大学地震研究所; yaoki@eri.u-tokyo.ac.jp)

Yosuke Aoki (ERI, Univ. of Tokyo)

活火山においては、数分から数年という幅広い時間スケールで膨張と収縮を繰り返していることがひずみ計・傾斜計・GPS・InSAR といった地殻変動観測により明らかにされている。この観測された変動から地下のマグマの移動を明らかにすることができる。活火山は地上での観測が困難な場所が多いため、InSAR による地殻変動観測は非常に有効な手段である。実際に、活動中の活火山における地殻変動から地下のマグマの挙動を推定する研究が数多く行われてきている。また、系統的な調査を通して、これまで非活動的と思われてきた火山に地殻変動が観測された例が報告されている。反対に表面活動が活発であるにもかかわらず InSAR では地殻変動が検知されない例もある。日本では桜島・諏訪之瀬島がその例であり、海外でもアラスカ・中米などでそのような火山の存在が報告されている。地殻変動が検知されなかったという例はその逆と比べると報告例が少ないが、その理由を考えるのは重要なことである。

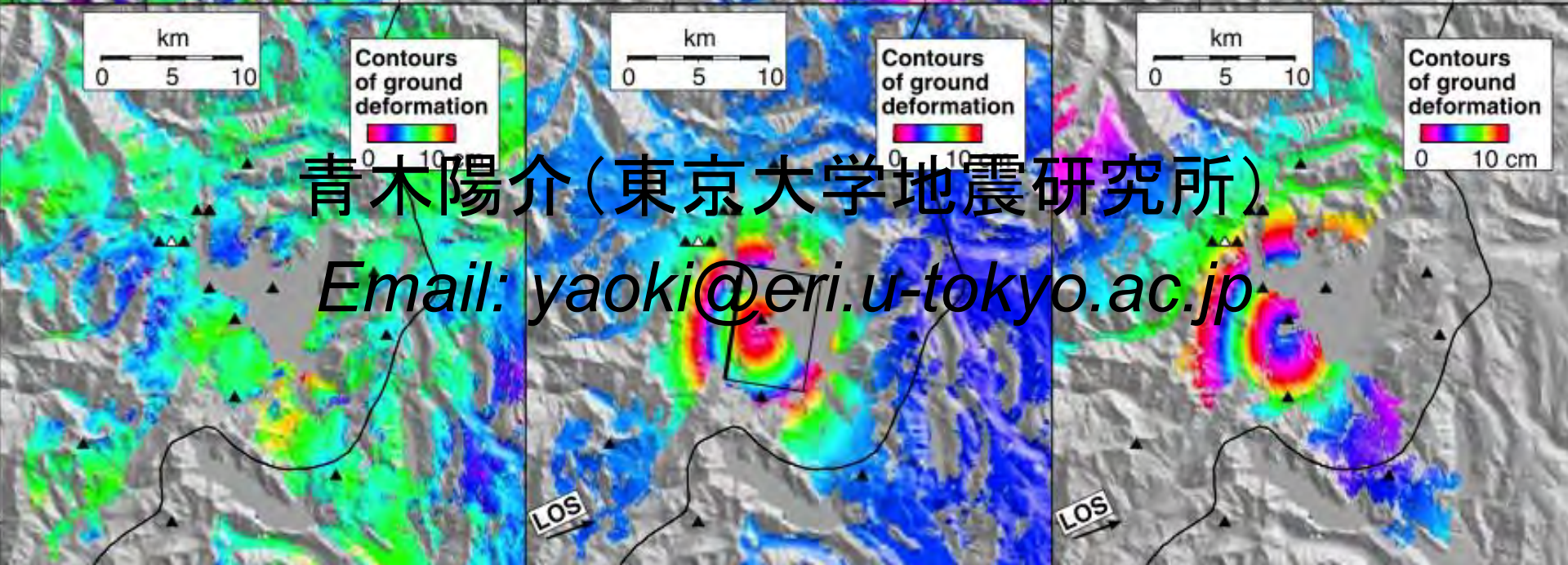
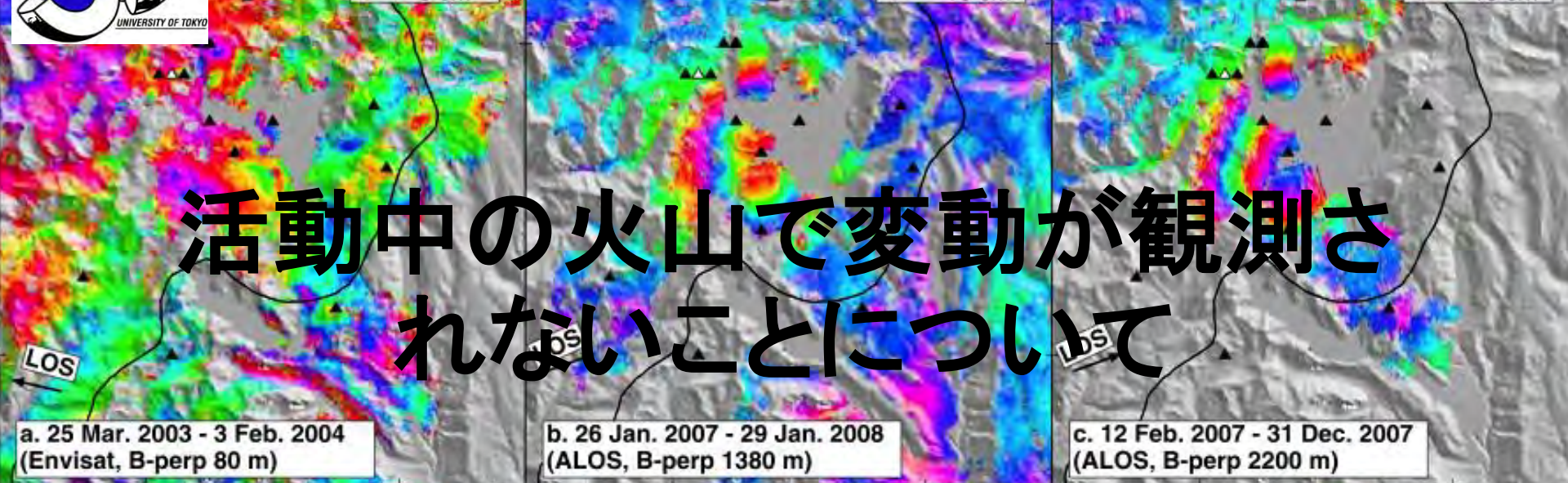
一つの可能性は、実際の地殻変動が観測精度以下の大きさしかないということである。InSAR 観測の誤差要員の 1 つとして、急峻な地形による shadow や layover によるものがある。安山岩やデイサイトなど高粘性を持つマグマは地形が急峻なことが多いために、この効果は大きくなる。さらに、活火山においては大気遅延効果が標高と相関することが多いが、山頂直下に変動源がある場合には地殻変動も標高と相関するために両者を分離することが困難になる。このような背景から、地下におけるマグマ蓄積量やその場所について拘束を与えるためには、観測された InSAR データの誤差構造を詳細に評価することが重要となる。さらに、時系列解析を通して地殻変動観測の誤差を減らすことも、見えていなかった地殻変動を見るという点で重要であろう。

もう一つの可能性は、実際の地殻変動が SAR 衛星の再来周期 (ALOS の場合は 46 日) よりも短い時間スケールを持つということである。たとえば、SAR 衛星が回帰する前に膨張して同量の収縮をした場合、InSAR では地殻変動を検知できない。

最後に、地殻変動と表面活動の関係について考えてみたい。多くの火山では地下に存在するマグマ量と比べて火山ガス放出量が過大であることが知られている。これを説明するために火道内でマグマが対流することによって連続的に火山ガスを放出することができる。もし火道内を滞留するマグマが低粘性で周囲の岩石とカップリングしていないのであれば、地殻変動を生じることなく火山ガスを放出することができるだろう。



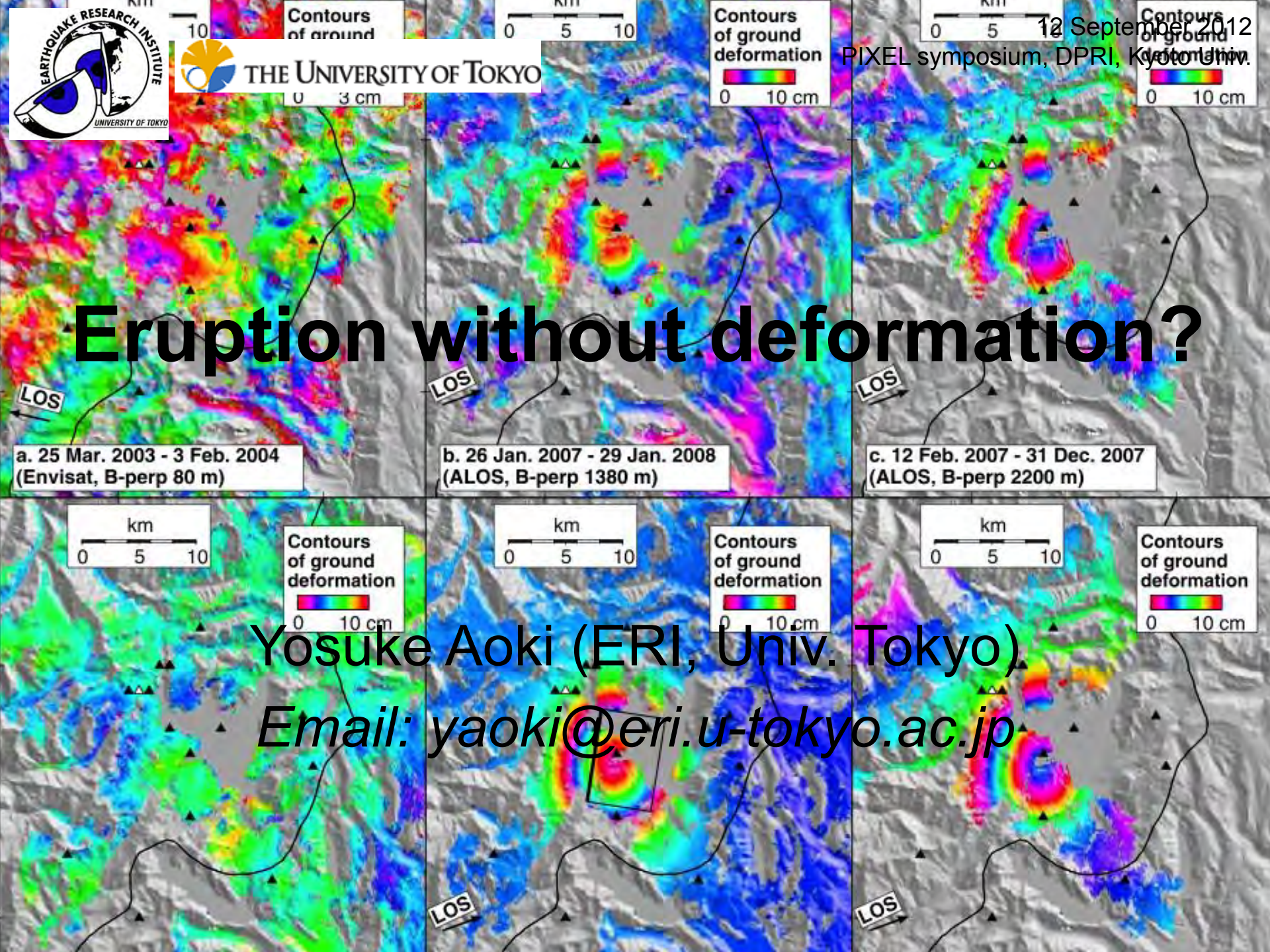
活動中の火山で変動が観測されないことについて



青木陽介(東京大学地震研究所)

Email: yaoki@eri.u-tokyo.ac.jp

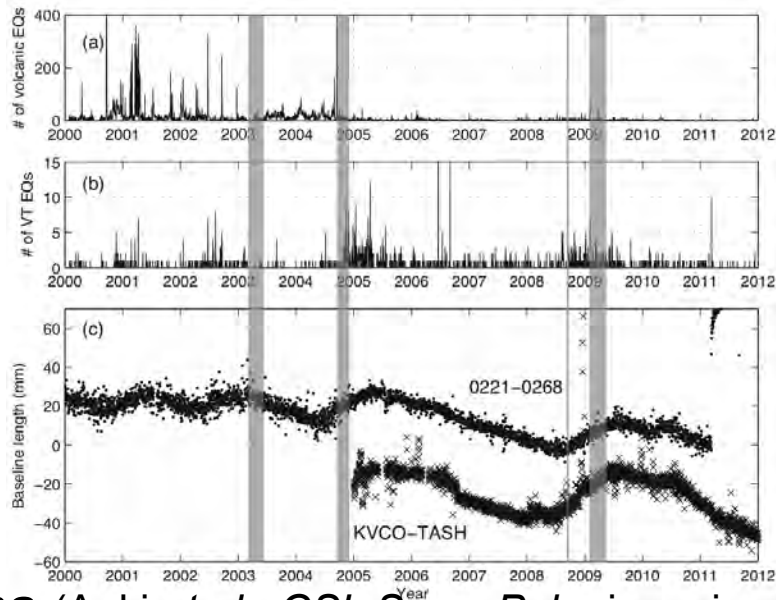
Eruption without deformation?



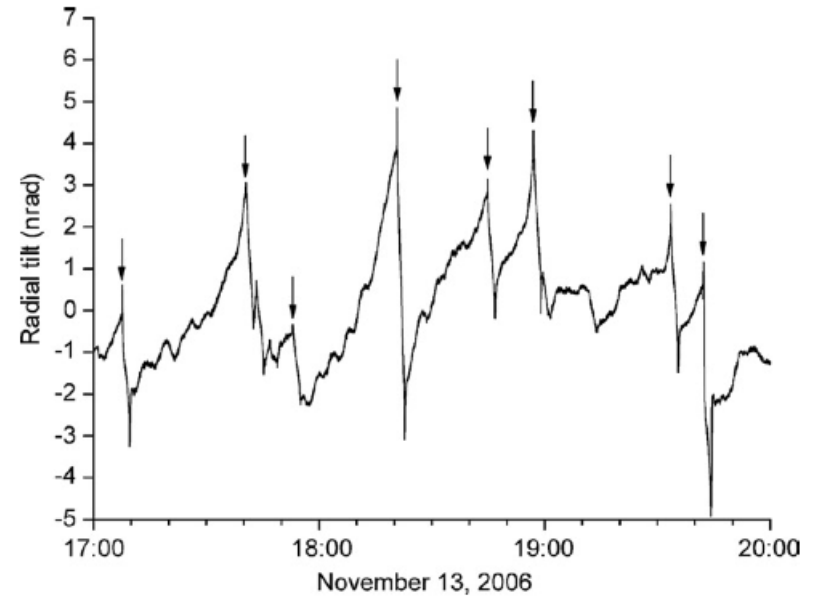
Yosuke Aoki (ERI, Univ. Tokyo)

Email: yaoki@eri.u-tokyo.ac.jp

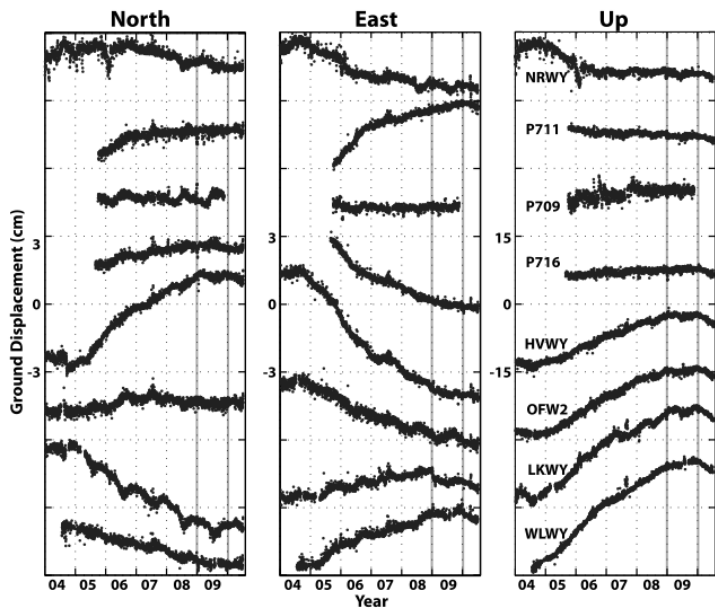
Inflation and deflation of a volcano



Asama (Aoki *et al.*, *GSL Spec. Pub.*, in review)



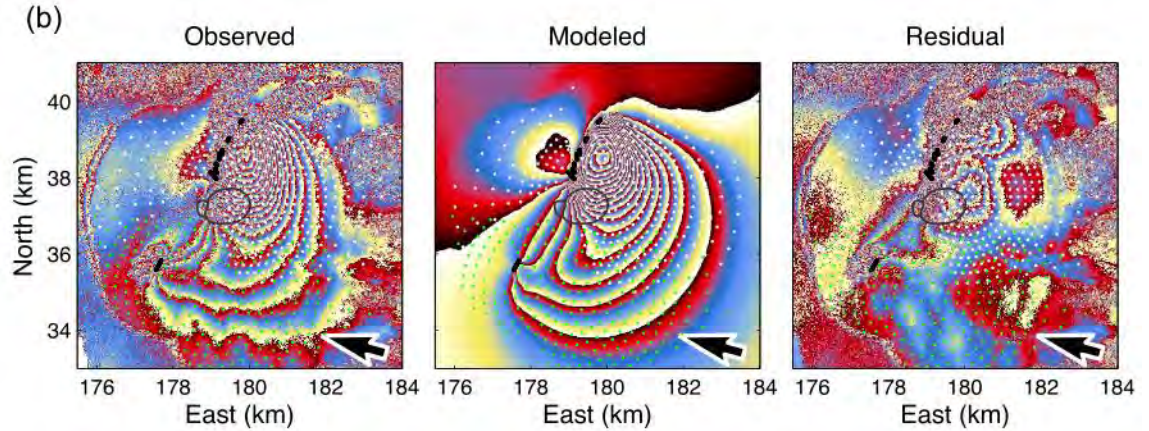
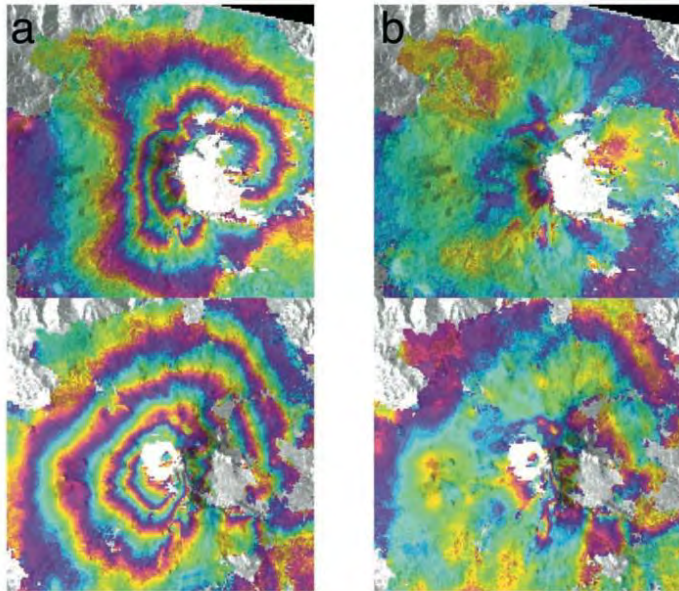
Semeru, Indonesia
Iguchi *et al.* (*JVGR*, 2008)



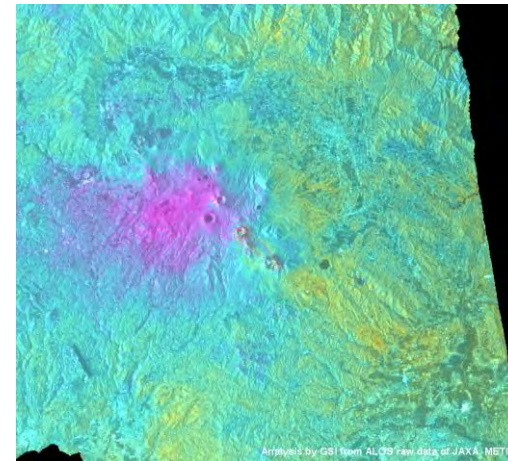
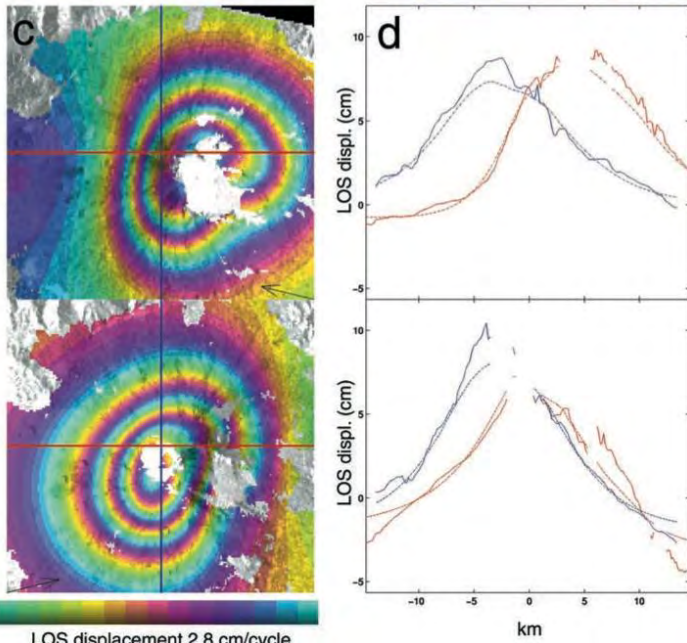
Volcanoes with ground-based instruments are limited.

Yellowstone
(Chang *et al.*, *GRL*, 2010)

Volcano deformation with InSAR



Piton de la Fournaise (Fukushima *et al.*, *JGR*, 2010)

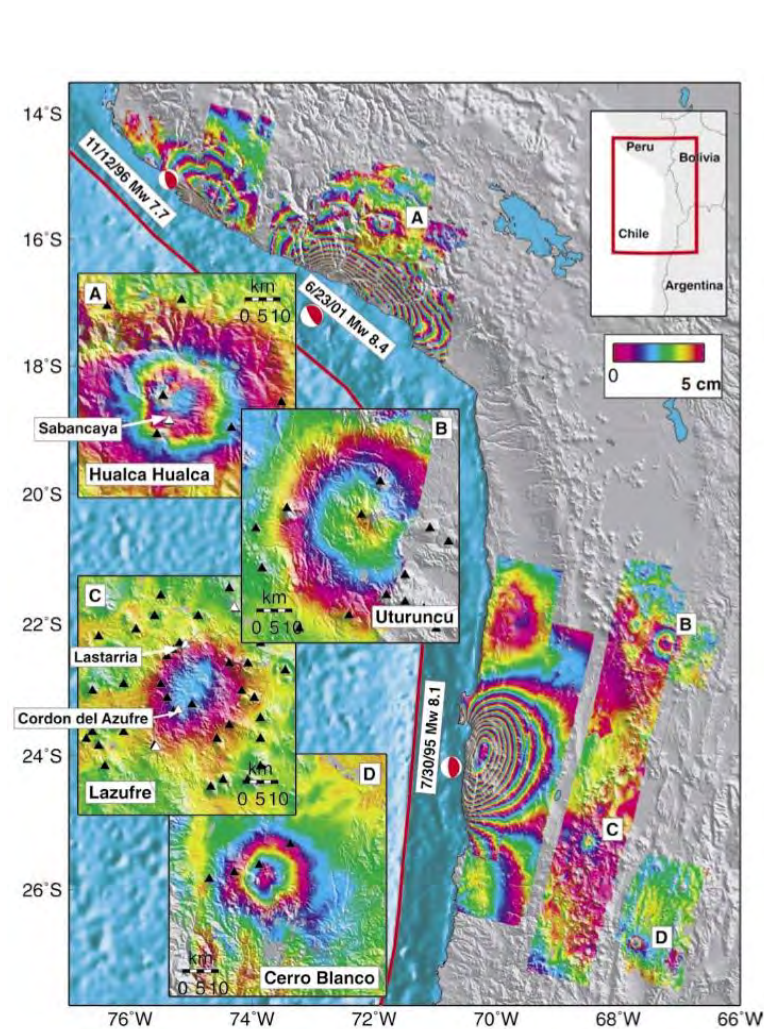


Kirishima 2011

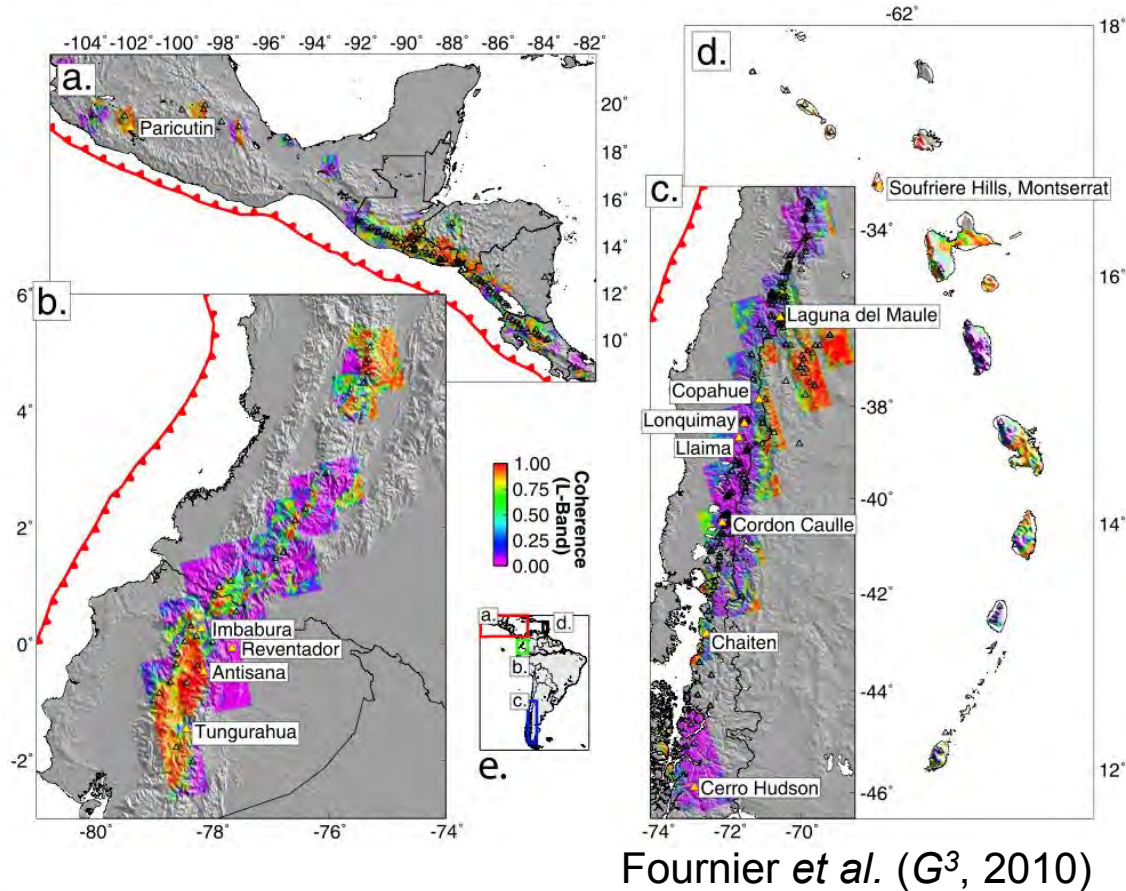
Etna (Lundgren *et al.*, *JGR*, 2003)

LOS displacement 2.8 cm/cycle

“Workhorse” approach to volcano deformation



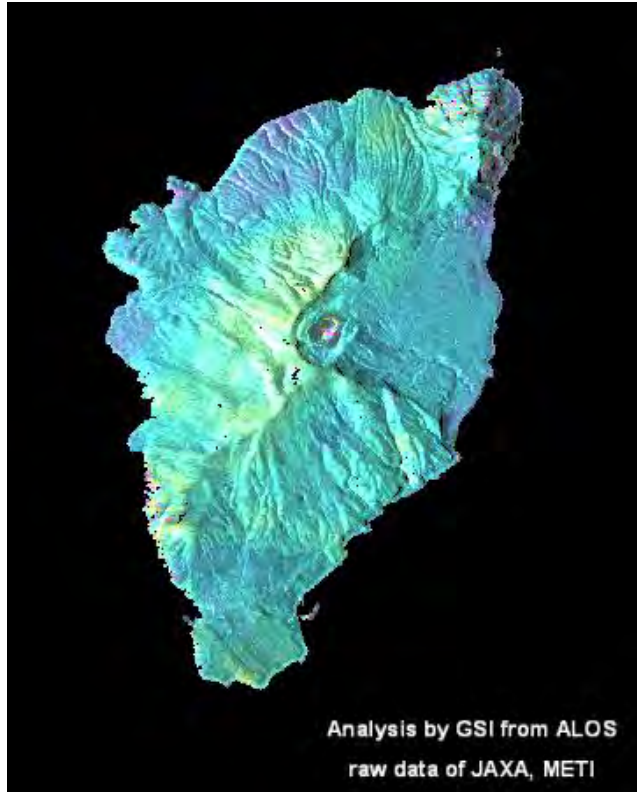
Pritchard & Simons
(*Nature*, 2002; *GSA Today*, 2004)



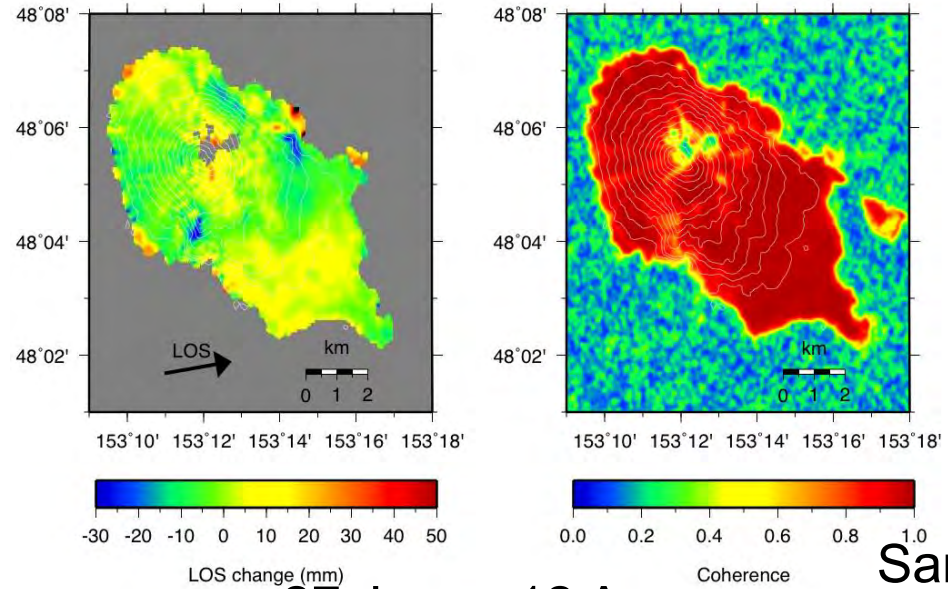
Fournier *et al.* (*G³*, 2010)

- ✓ An effective way to study volcanoes with poor ground-based instruments.
- ✓ Can be used as a pilot study for future ground-based observations.

No deformation detected by InSAR (1/2)



Suwanose
(9 Apr. 2010 – 25 Aug. 2010)

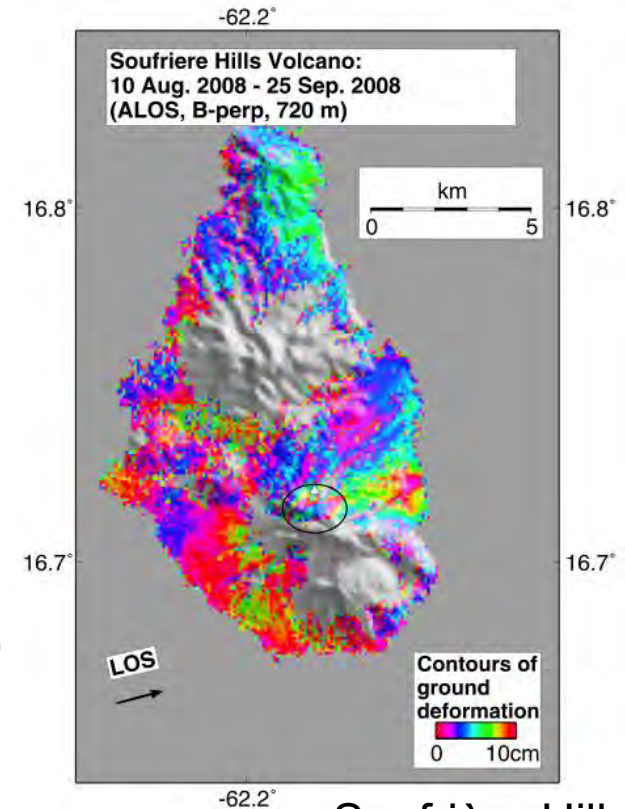
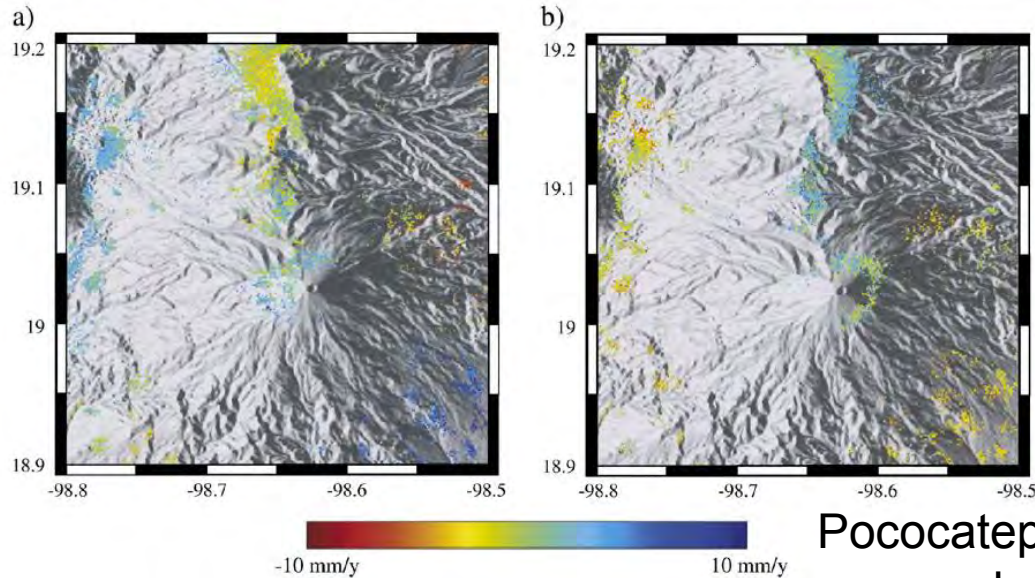


27 Jun. – 12 Aug.
2009

Sarychev



No deformation detected by InSAR (2/2)



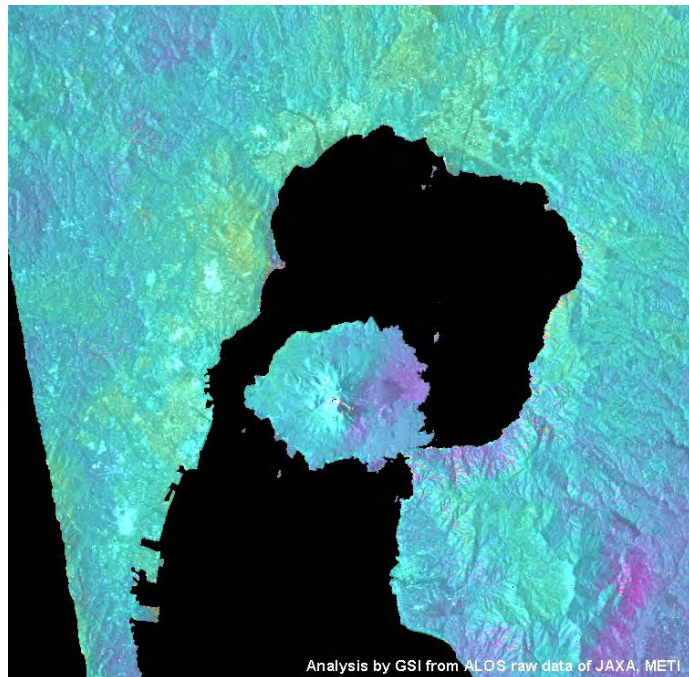
Soufrière Hills
Fournier *et al.* (*G³*, 2010)

Observations in andesitic volcanoes are more challenging than basaltic volcanoes.

Why andesitic?

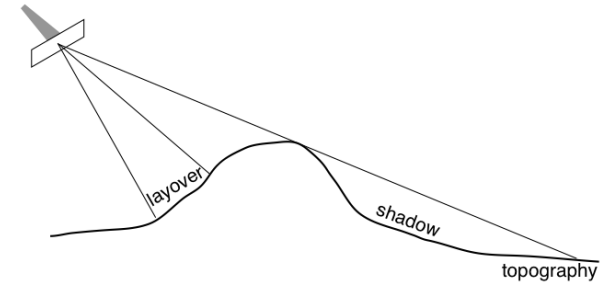
Sakurajima, 17 Feb. – 20 Nov. 2010

896 explosions in 2010



Source of uncertainties

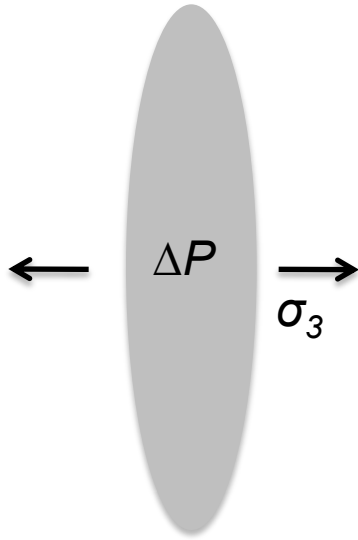
- ✓ Decorrelation by vegetation – L-band SAR (e.g., ALOS) does a very good job.
- ✓ Temporal aliasing – inflation and deflation occur within the recurrence interval.
- ✓ Shadow and layover – higher viscosity magma in andesitic volcanoes results in steep topography, subjected to shadow and layover.
- ✓ Tropospheric delay – often correlated with altitude, especially in stratovolcanoes.
- ✓ Volcano deformation is often correlated with altitude with a pressure source right beneath the summit vent, resulting in a difficulty in separating deformation and tropospheric signals.



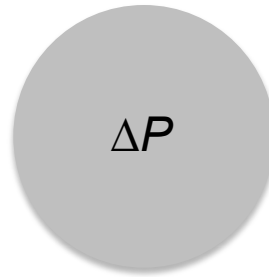
What to do?

- ✓ Time-series analysis (PS-InSAR, SBAS, etc) to reduce tropospheric signals.
- ✓ Estimating tropospheric signals with in-situ meteorological data?
- ✓ Combining ascending, descending, right-looking, and left-looking (ALOS-2) interferograms to measure three-dimensional displacement field.
- ✓ Rigorous assessment of uncertainties enables us to evaluate the minimum depth, minimum volume, etc. of magma supply.

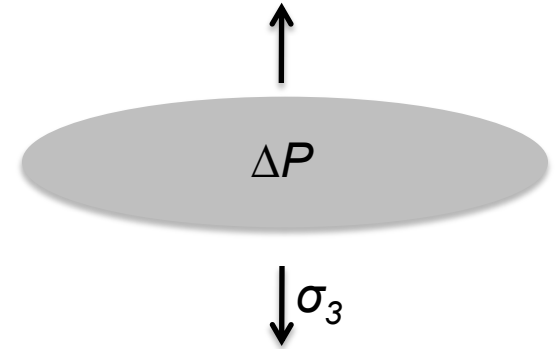
Shape of magma reservoir



Vertically elongated



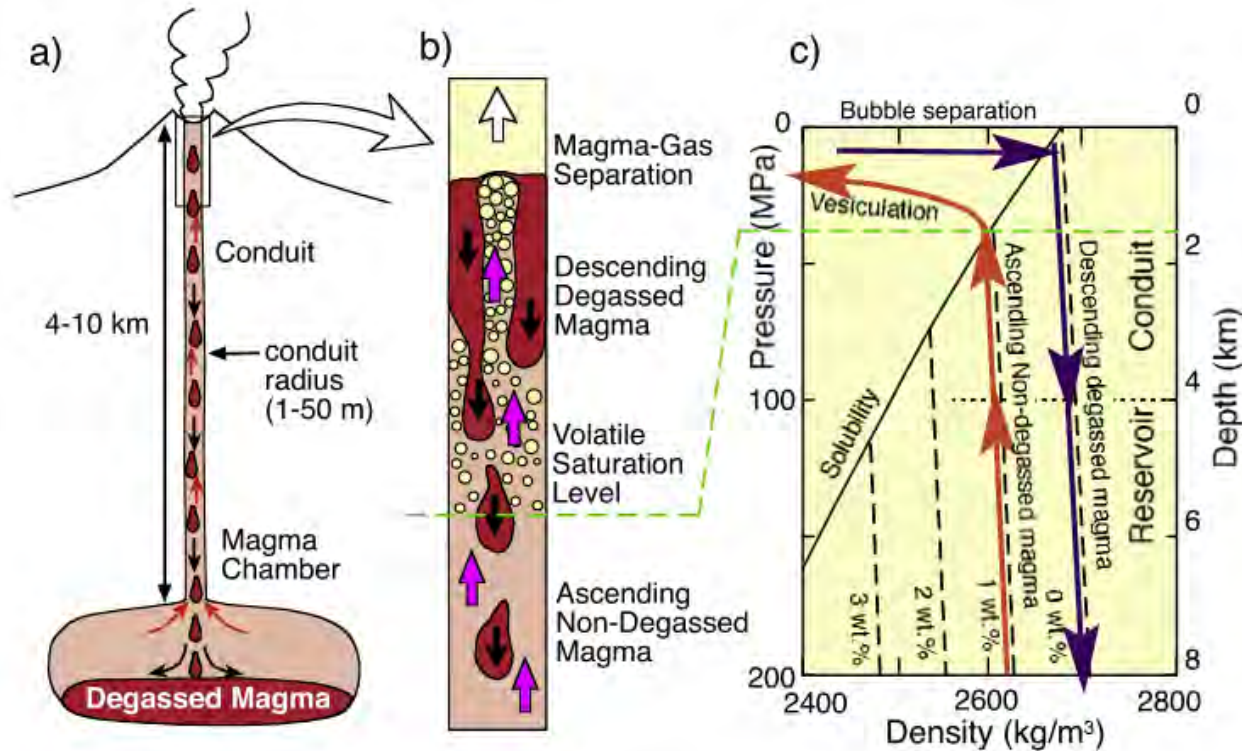
Sphere



Horizontally elongated

- ✓ Pressurization of a vertically elongated spheroid gives smaller surface displacements than that of a sphere or horizontally elongated spheroid.
- ✓ Expect relatively extensional stress field if a vertically elongated spheroid exists as a pressure source.

Magma convection

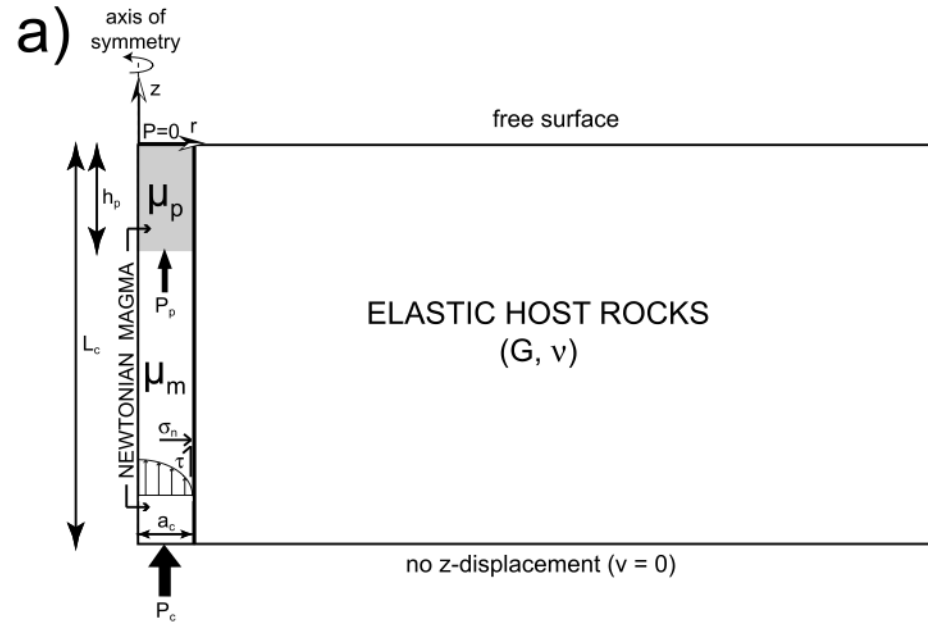


Shinohara (*Rev. Geophys.*, 2008)

✓ Buoyancy-driven convection in the conduit.

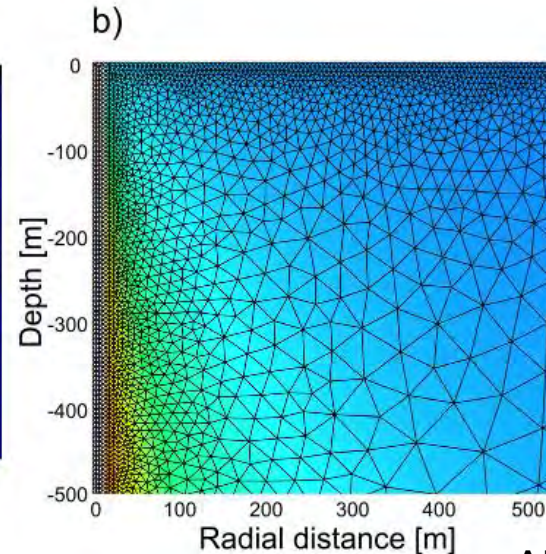
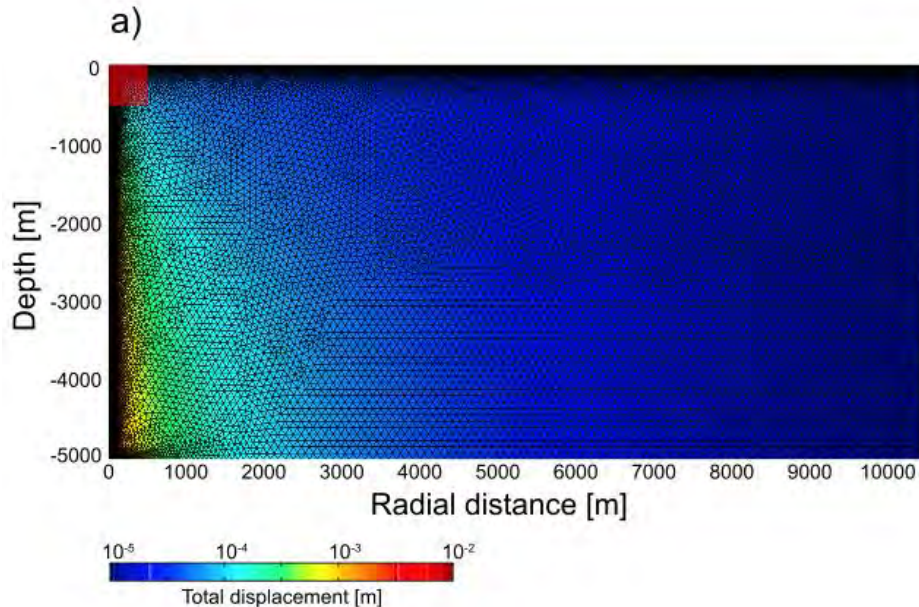
✓ If the magma viscosity is so low that magma is decoupled with the host rock, persistent degassing without significant deformation is possible.

Deformation by conduit flow



✓ Flow-induced displacements are small.

✓ It is probably possible to degas persistently without significant deformation.



Summary



- ✓ Many volcanoes show no observable deformation during their active periods.
- ✓ Rigorous assessment of uncertainties will enable us to give a constraint on the maximum volume (rate) of magma accumulation.
- ✓ Time-series analysis will enable us to observe small deformation that are previous unobserved.
- ✓ It is very important to measure three-dimensional displacement field through combining ascending, descending, right- and left-looking images (ALOS-2 equips with right- and left-looking radars!).
- ✓ Volcanoes with surface activity but no observable deformation tend to be in extensional tectonic settings?
- ✓ Magma convection in the conduit may cause persistent degassing without significant deformation in open-conduit volcanoes.