

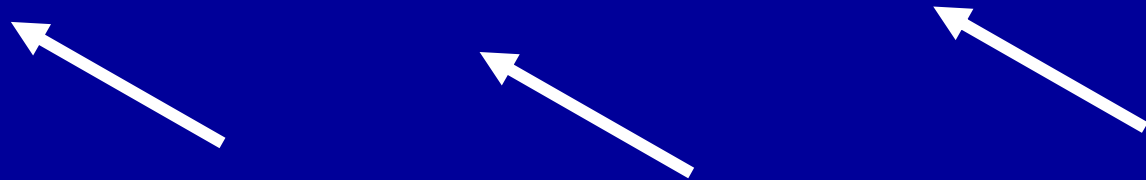
北海道・千島列島での火山観測に おけるInSAR活用の可能性

InSAR application for volcano monitoring in
Kuril Islands: A future plan

北海道大学大学院理学研究院
附属地震火山研究観測センター
高橋浩晃

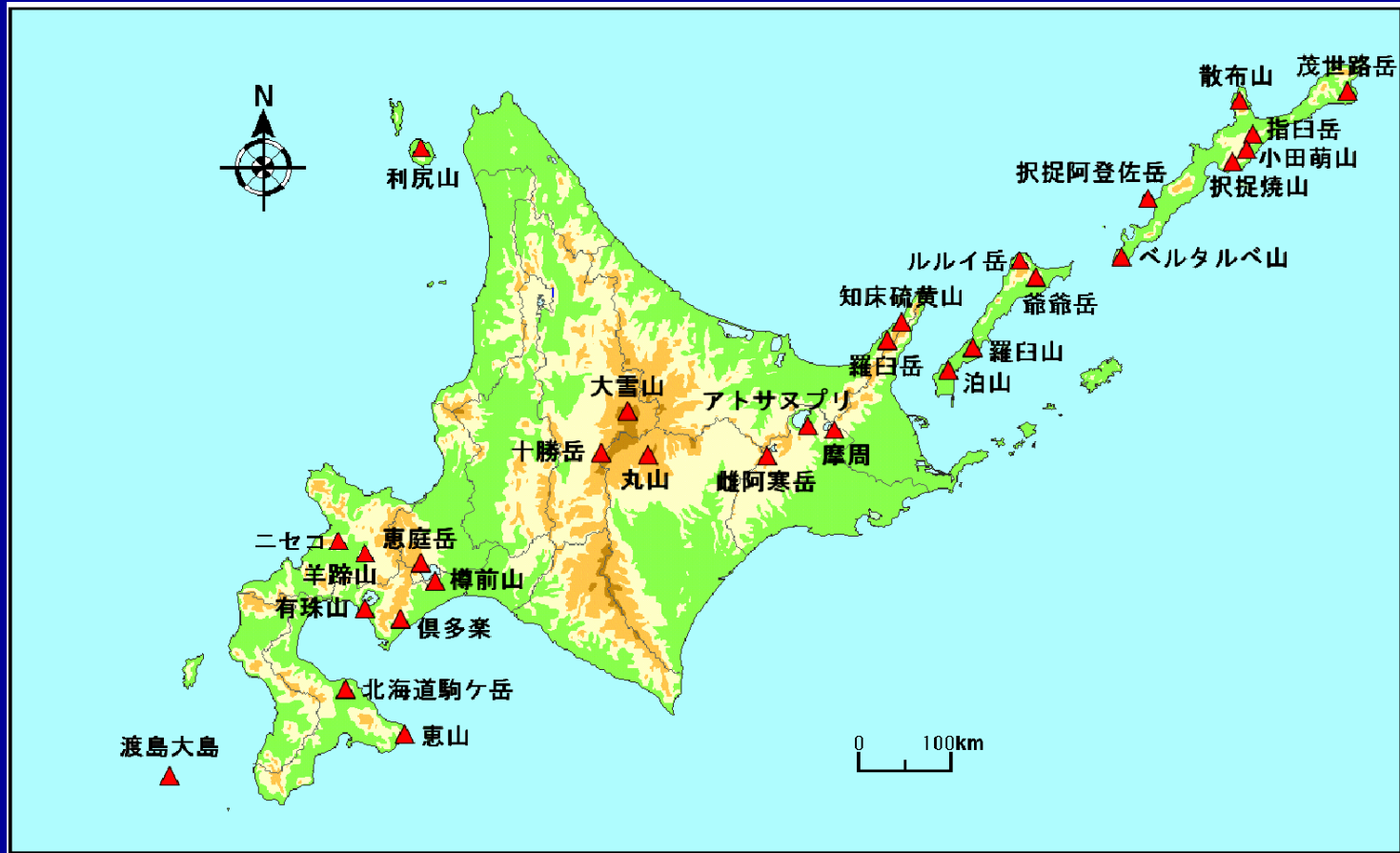
Hiroaki Takahashi
Inst. Seismology & Volcanology
Hokkaido University
hiroaki@mail.sci.hokudai.ac.jp

千島列島



延長1500kmにわたる火山列島. 太平洋プレートが8cm/yrの高速で沈み込む世界的に見ても地震・火山活動が極めて活発な地域.

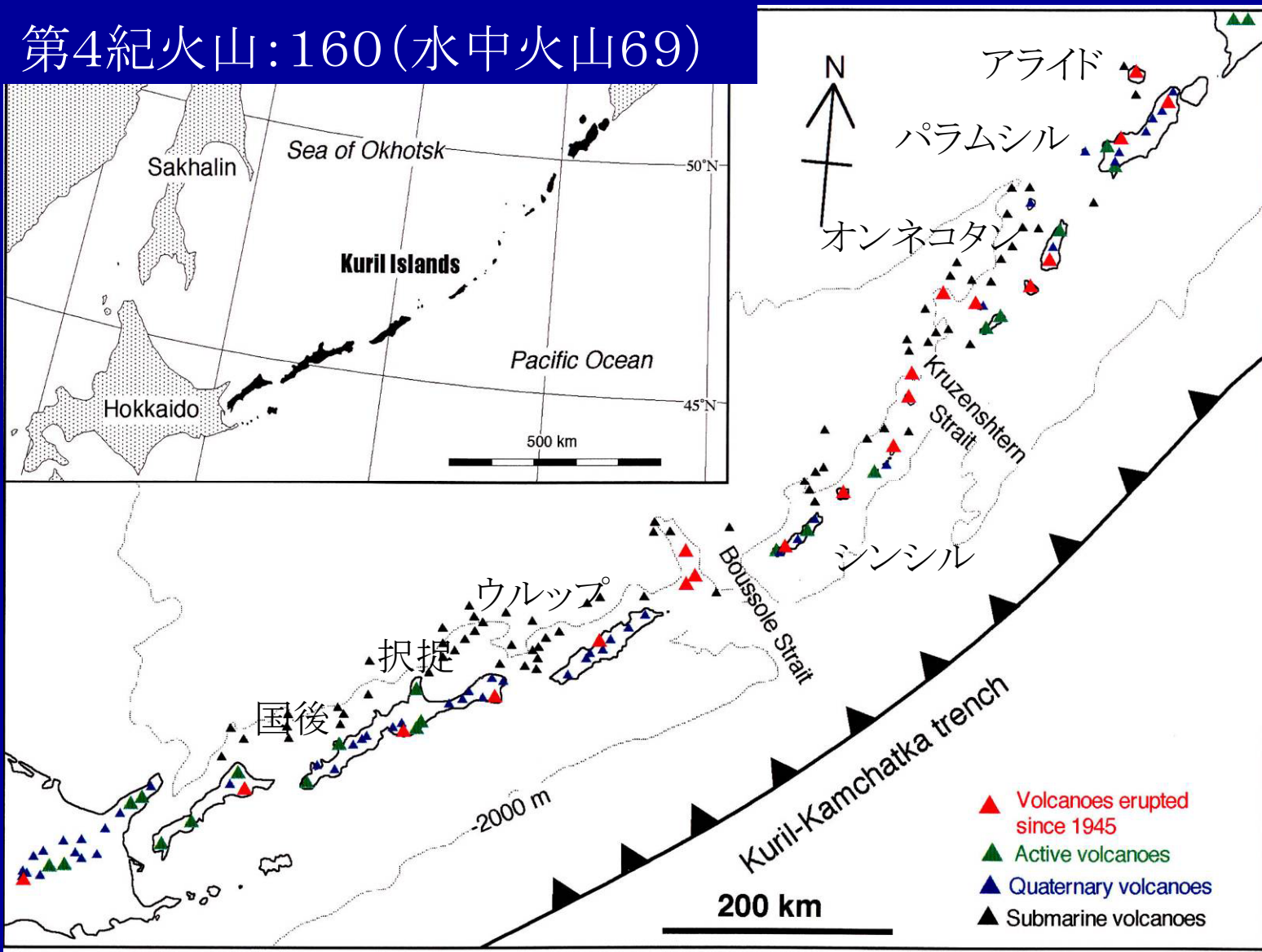
北海道の火山分布



活火山：北海道 18；国後・択捉：11
第4紀火山：北海道 58；国後・択捉：18

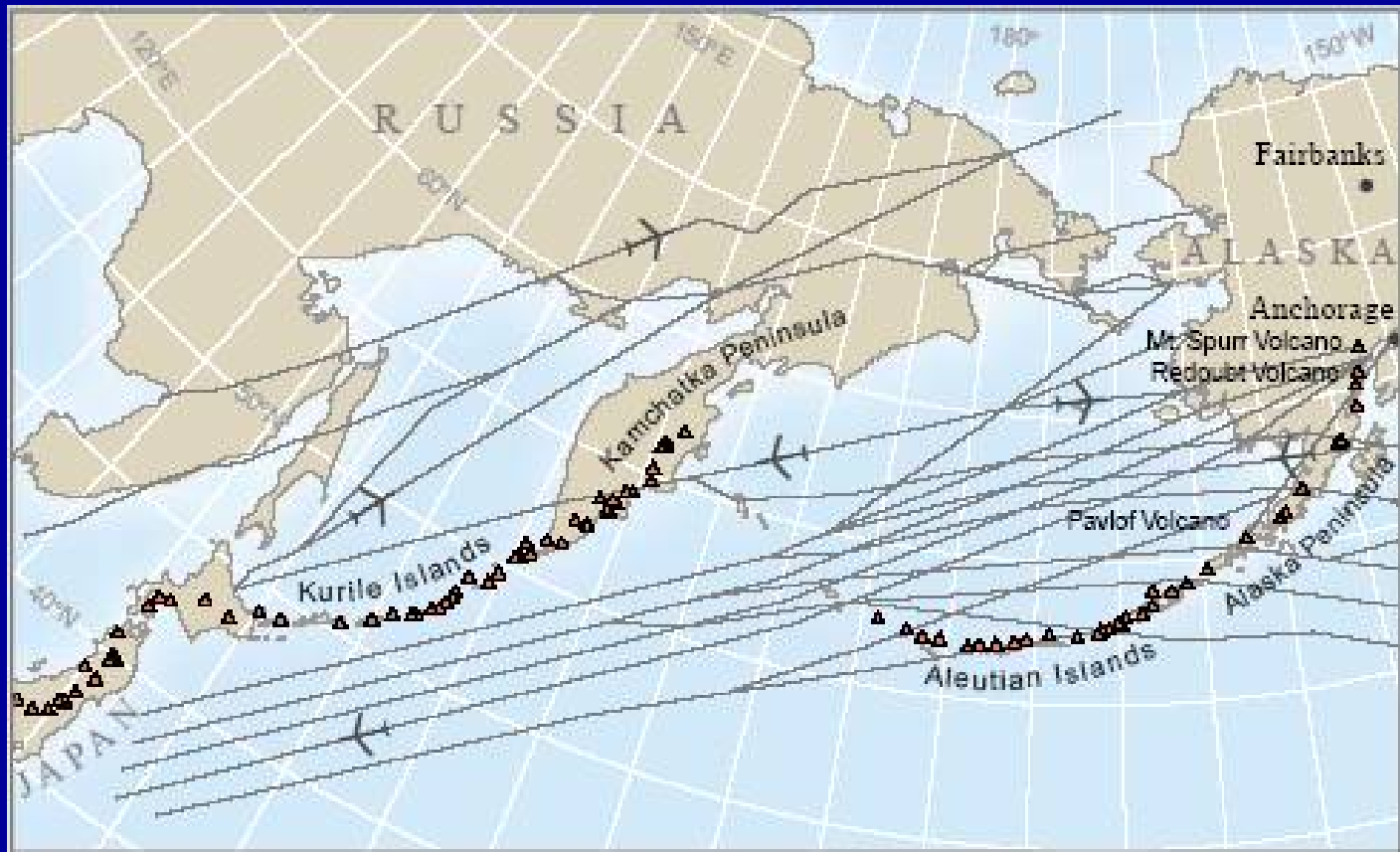
千島列島の火山分布

第4紀火山:160(水中火山69)



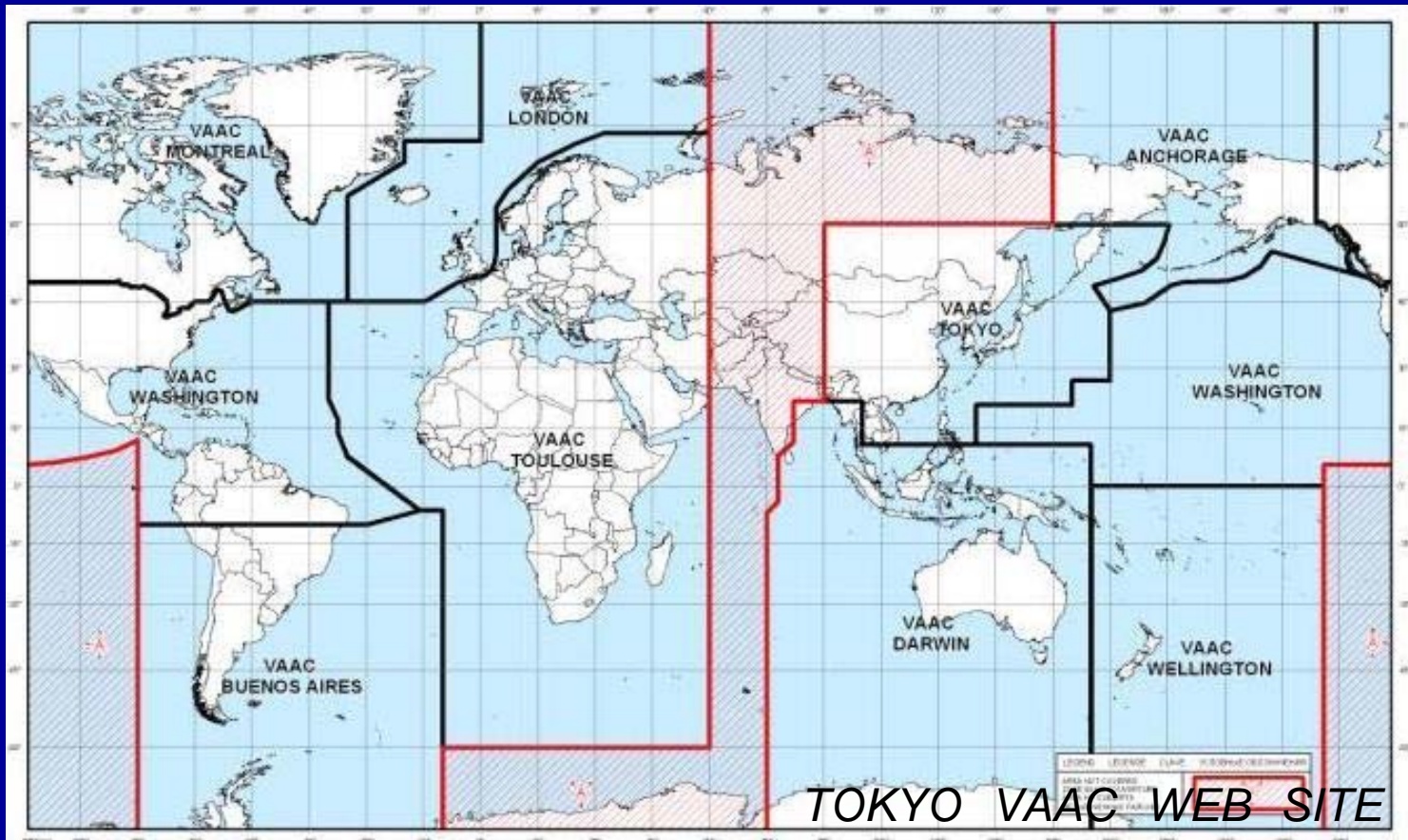
千島列島の火山活動モニタリング の社会的要請

- 千島列島上空は、世界でも有数の航空路となっている←火山灰監視が必要



火山灰のモニタリング

- VOLCANIC ASH ADVISORY CENTER (VAAC) で実施. 千島は気象庁の東京VAACが担当.



千島列島のモニタリングの現状

Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team



USGS/AVO/NSF
GI/UAF
JPL

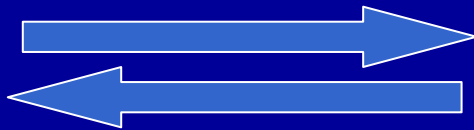
活動資金・衛星データ



KVERT
IMGG at Sakhalin



活動状況・現地データ
(可視・赤外・赤外放射)



SVERT
IMGG at Sakhalin



Alaska Volcano Observatory

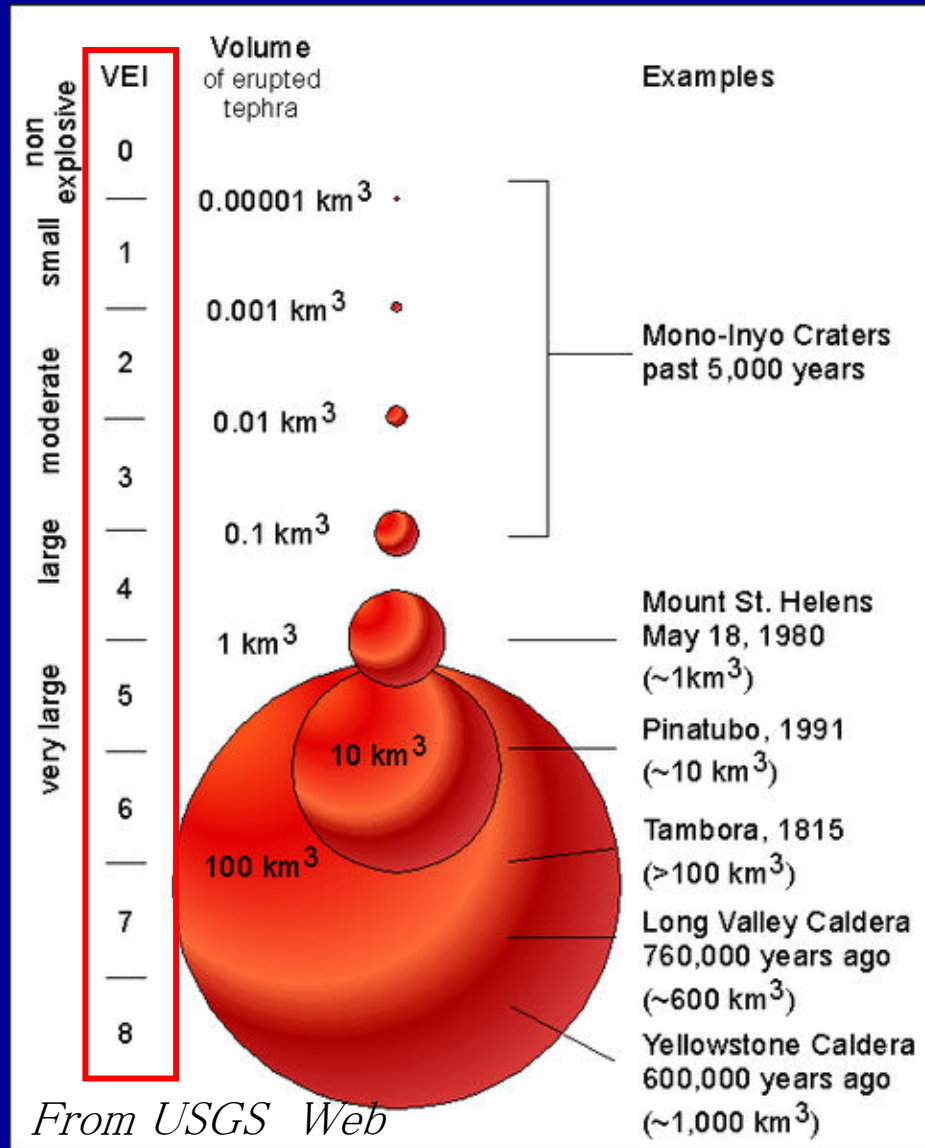
Sakhalin Volcanic Eruption Response Team



JPL SAR team

アメリカの資金・データ援助が大きい。
日本はVAAC以外何もしていない。

火山噴火規模の指数：VEI



噴出物の量による分類

- 2000年三宅島：3
- 2000年有珠山：2
- 1929年北海道駒ヶ岳：4
- 1914年桜島：4
- 1888諏訪瀬島：4
- 1888年磐梯山：4
- 20世紀に北海道で4以上は2回。

北海道・千島列島の火山活動状況

- 20世紀中, 世界でVEI4以上の大噴火は69回.
- そのうち, 北海道・千島列島では7回.
- カムチャッカを入れると14回.
- 北西太平洋地域の火山活動はかなり活発である.



The 1981 eruption of Alaid,
Photo by Anatoli Khrenov

火山モニタリングの手法

- 力学的状態変化：
 - GPS・InSAR・水準等.
- 物性的状態変化：
 - MT・全磁力など電磁気学的手法. 火山ガスなど地球化学的手法. 熱学的手法.
- 物質の同定：
 - 地殻変動+重力. 火山ガス.

地震：火山の地震は付帯的な現象

火山のモニタリングには複数の連続的な観測が必要.

火山地殻変動研究の戦略

噴火準備過程の研究

- どこにマグマ溜りがあるのか？
- どのくらい溜まっているのか？
- 現在もマグマが注入されているのか？
→噴火ポテンシャルを明らかにする.

噴火時の研究

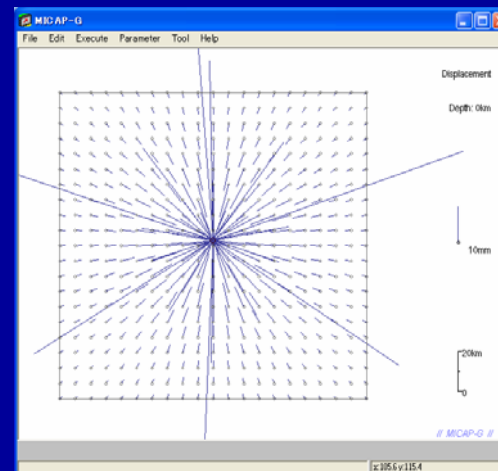
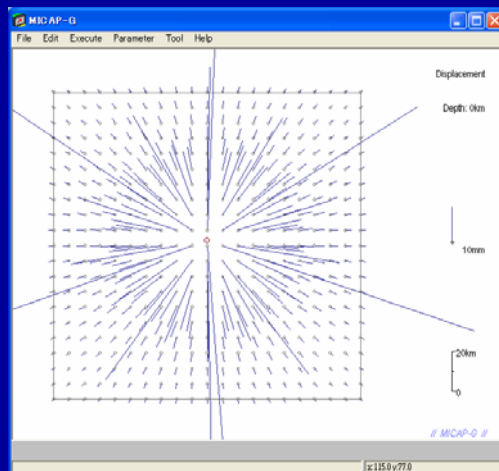
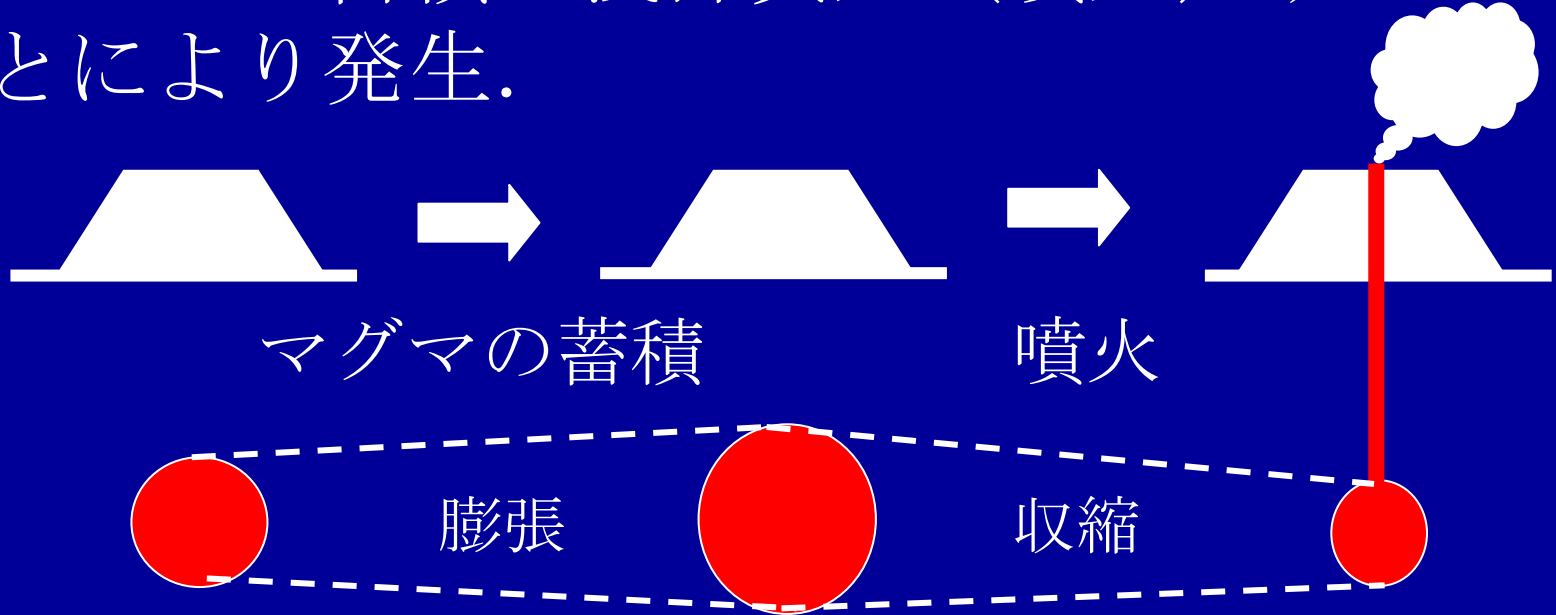
- どのようにマグマは貫入したのか？
- どのくらいマグマを噴出したのか？
– InSAR研究で多くの実績あり.

InSARの特徴

- 地殻変動観測. 精度1cm前後.
- 地上設備必要なし.
- 広域一括観測.
→リモートエリアの観測に最適（北海道・千島）.
- 時間離散（衛星軌道）.
- 干渉条件（地形・積雪・凍上・流動・植生）.
- 寿命5年.
→ターゲットを絞った研究が必要.

火山の地殻変動

- マグマが蓄積・浅部貫入（噴火）することにより発生.



InSAR火山地殻変動の成果

Piton de la Fournaise
約1ヶ月半の間の変動
ダイク貫入モデル

Mt. Etna
約2年間の変動
球状圧力源モデル

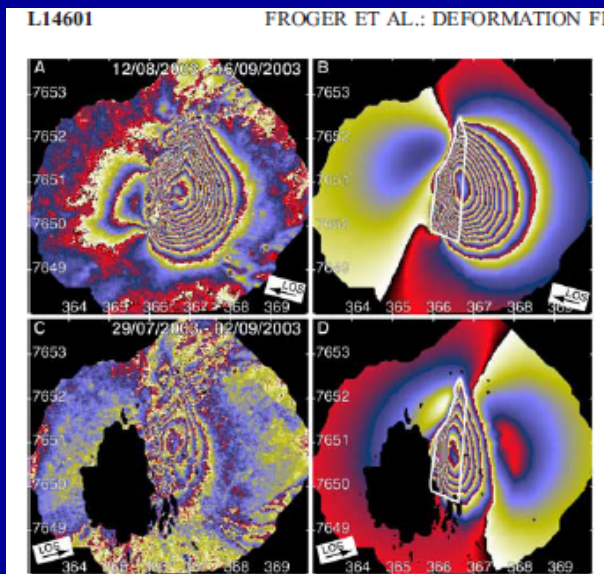


Figure 3. a) Descending interferogram spanning 35 days from 12 August to 16 September 2003; b) modeled interferogram obtained by projecting the best fit model (inversion 2) deformation map in the geometry of interferogram displayed in A; White contour indicates the surface projection of the modeled dyke; c) Ascending interferogram spanning 35 days from 29 July to 2 September 2003; D) modeled interferogram obtained by projecting the best fit model (inversion 2) deformation map in the geometry of interferogram displayed in C; Coordinates in kilometers UTM (40 zone South).

Froger et al., 2004, GRL.

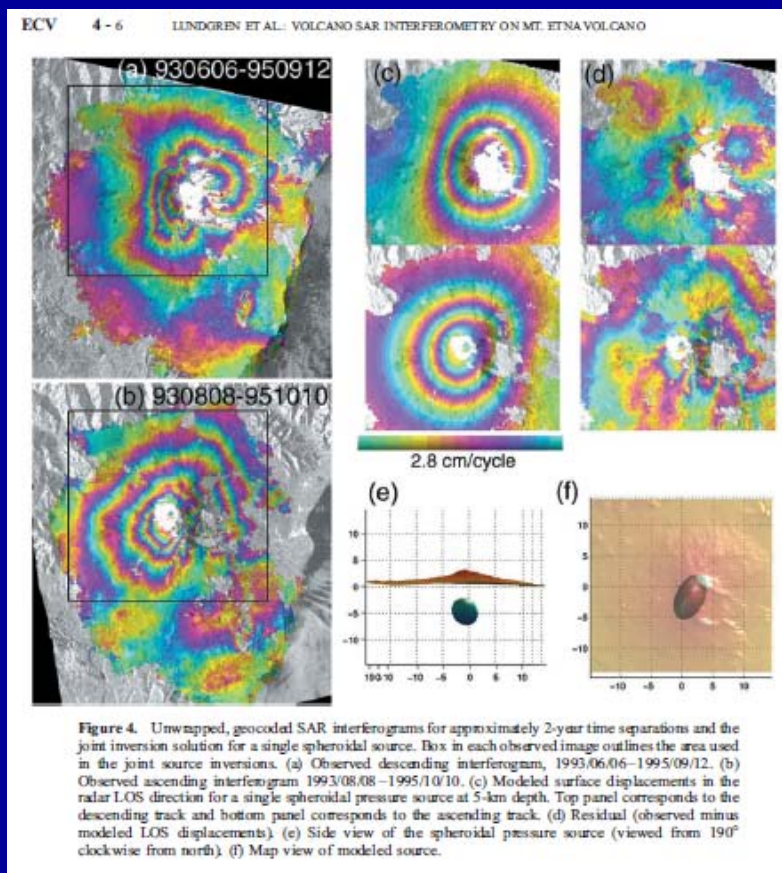


Figure 4. Unwrapped, geocoded SAR interferograms for approximately 2-year time separations and the joint inversion solution for a single spheroidal source. Box in each observed image outlines the area used in the joint source inversions. (a) Observed descending interferogram, 1993/06/06–1995/09/12. (b) Observed ascending interferogram 1993/08/08–1995/10/10. (c) Modeled surface displacements in the radar LOS direction for a single spheroidal pressure source at 5-km depth. Top panel corresponds to the descending track and bottom panel corresponds to the ascending track. (d) Residual (observed minus modeled LOS displacements). (e) Side view of the spheroidal pressure source (viewed from 190° clockwise from north). (f) Map view of modeled source.

Lundgren, 2003, JGR.

噴火準備過程の解明

- GPSから明らかにされた準備過程の紹介。
北海道駒ヶ岳：日本有数の活動度の火山。

1 6 4 0 : VEI5 : 大噴火・山体崩壊

1 6 9 4 : VEI4 : 大噴火

1 8 5 6 : VEI4 : 大噴火, 火砕流.

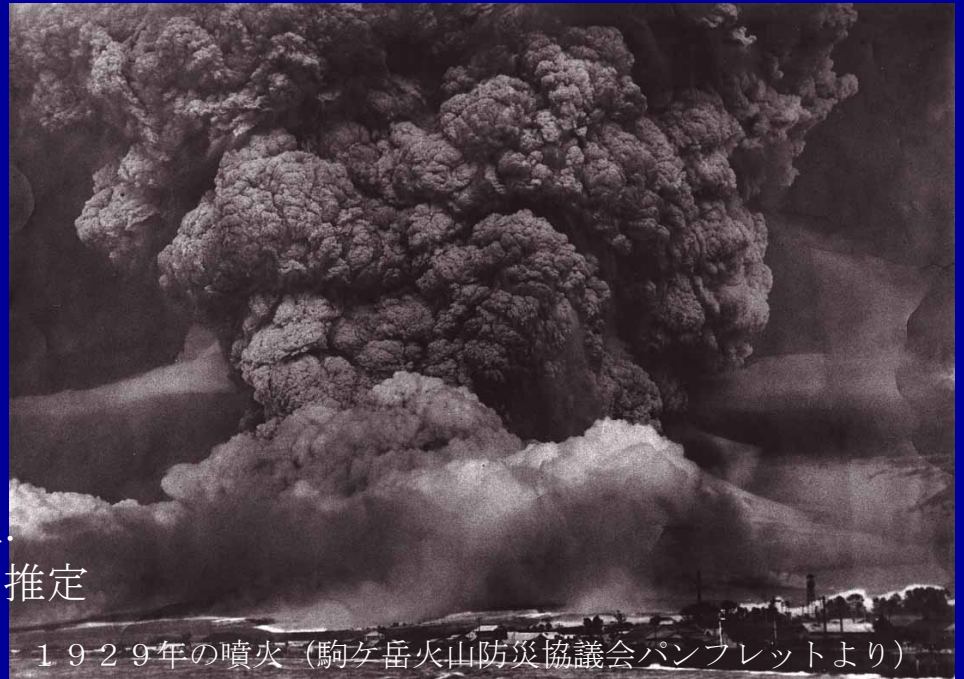
1 9 2 9 : VEI4 : 大噴火, 火砕流.

1 9 4 2 : VEI3 : 噴火, 火砕サージ.

1 9 9 6 : 小噴火.

1 9 9 8 : 小噴火.

2 0 0 0 : 小噴火.



1929年の噴火（駒ヶ岳火山防災協議会パンフレットより）

安山岩質で火砕流・火砕サージを発生。
比較的浅い部分にマグマ溜りがあると推定

大規模な噴火を繰り返している。

前回の噴火からすでに60年以上が経過。

InSAR試験観測に最適

- ならかな地形→影になる部分が少ない.
- うすい植生.
- 積雪期が比較的短い.
- 日本で最も活動的な火山のひとつ
→早いマグマ蓄積レートが予想される.
- GPSによる結果が出ている.

GPS観測によるマグマ溜りの位置と蓄積レート の推定

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 32, L20304, doi:10.1029/2005GL023438, 2005

Volcanic inflation of Mount Hokkaido-Komagatake, Japan, determined from a dense GPS array

Satoshi Iwashita,¹ Hiroaki Takahashi,¹ Noritoshi Okazaki,² Jun'ichi Miyamura,³ Minoru Kasahara,¹ Masayoshi Ichiyangi,¹ Ryo Takahashi,^{2,4} and Mitsuhiro Nakagawa⁴

Received 9 May 2005; revised 14 July 2005; accepted 2 September 2005; published 19 October 2005.

[1] We installed and have been operating a dense GPS array with low power consumption single frequency GPS receivers around Mount Hokkaido-Komagatake volcano, southwestern Hokkaido, Japan, since 2000. Data were collected continuously and analyzed together with the Geographical Survey Institute of Japan's nationwide continuous GPS network data. The analysis of daily baseline length changes for two years indicate a steady inflation of the volcanic body with 10^{-7} /yr extensional strain. A pressure source was estimated at 2.4 km depth beneath the summit area with a volumetric increase rate of $4.86 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$. The depth of the pressure source is in good agreement with the one expected from petrological study. Integrated magma volume has reached up to $2.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ if the inflation rate is possibly extrapolated back to the last magmatic eruption. Our results strongly suggest a steady magma accumulation at the reservoir beneath this volcano and an increasing potential to the next eruption near future. **Citation:** Iwashita, S., H. Takahashi, N. Okazaki, J. Miyamura, M. Kasahara, M. Ichiyangi, R. Takahashi, and M. Nakagawa (2005), Volcanic inflation of Mount Hokkaido-Komagatake, Japan, determined from a dense GPS array, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L20304, doi:10.1029/2005GL023438.

included 6 small phreatic events between September and November. Though there were no magmatic materials in the eruption products associated with 1996–2000 eruptions [Uti *et al.*, 1997; Nakagawa *et al.*, 2001], these recent activities strongly implied increasing the effect of magma activity beneath the volcano.

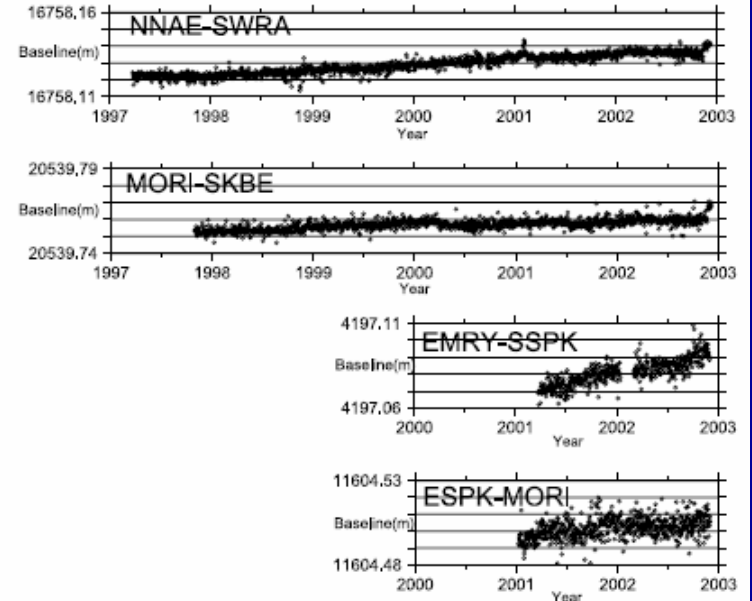
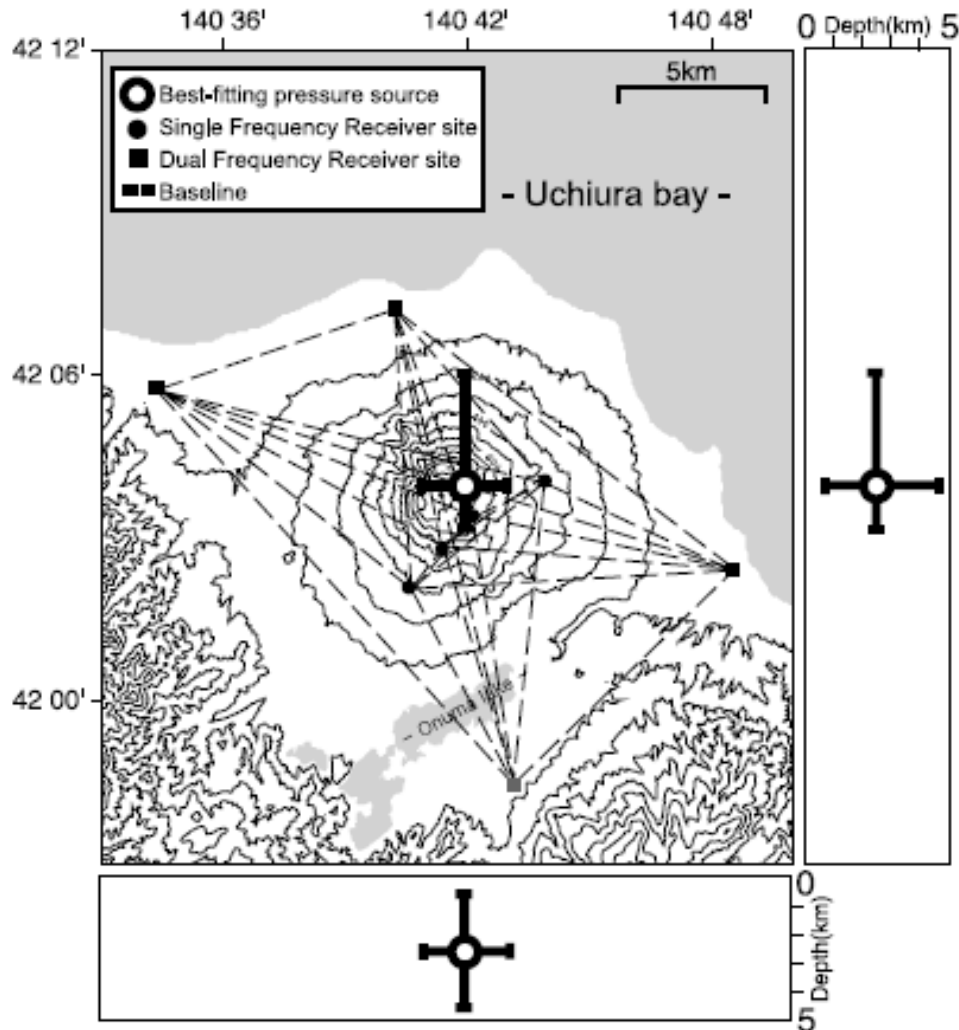
[3] Surface deformation associated with volcanic activity can be used to investigate the magmatic and/or geothermal system beneath the volcanic mountain. Inversion analysis of time series deformation data can give a good estimate of the location and volumetric change of the deformation source. Currently, GPS-derived continuous geodetic survey provides a powerful method to investigate the volcano systems. Several recent studies with GPS have succeeded in revealing the process of magma transportation associated with eruptive events [e.g., Nishi *et al.*, 1999; Nishimura *et al.*, 2001; Takahashi *et al.*, 2002; Okazaki *et al.*, 2002; Irwan *et al.*, 2003]. These experiences clearly showed the usefulness of continuous GPS observation for unrest volcano monitoring.

[4] Hokkaido University, Geological Survey of Hokkaido (GSH) and Sapporo District Meteorological Observatory (SMO) started a cooperative continuous GPS observation in November 2000. To maximize the benefit of the observation of



北海道大学・北海道立地質研究所・札幌管区気象台・国土地理院のGPSデータを統合解析して駒ヶ岳の地殻変動を明らかにした。

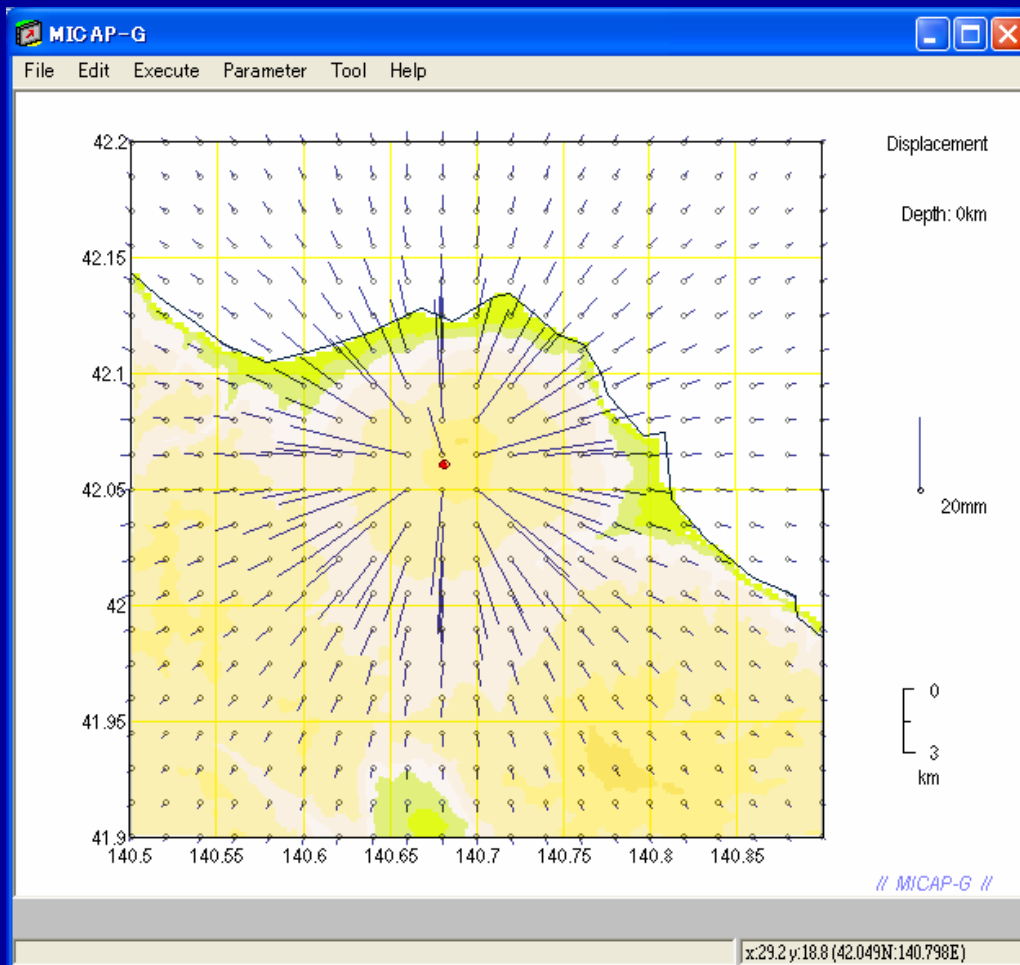
基線距離変化率を観測



- 火口直下の深さ2.4km付近.
(岩石学的に良い深さ)
- $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ の蓄積レート.

InSARに適用した場合

- 運用5年として,
 $1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yr} \times 5 \text{年} = 5 \times 10^6 \text{m}^3$ の体積変化量.



- 5年で2cmを超える変位が予想される.
- InSARで検出可能なシグナル.
- 是非ともGPSの結果を検証してほしい.

十勝岳

- 玄武岩質安山岩→やや深いマグマ溜り.
 - 1926 : VEI3 : 泥流で死者144名.
 - 1962 : VEI3
 - 1988 : VEI2
- 活発な噴気.
 - 400°C超え.



十勝岳のGPS観測

多機関 GPS 連続観測データの統合解析により見出された十勝岳の火山性地殻変動

山田晃子・村上 亮・宗包浩志 (国土地理院)・瀧山弘明 (福岡管区气象台)・

山里 平 (気象研究所)・横田 崇 (気象庁)・岡崎紀俊・田村 慎 (北海道立地質研究所)・

高橋浩晃・笠原 稔 (北海道大学地震火山研究観測センター)

Crustal Deformation of Tokachi Volcano Detected by Joint

A. Yamada, M. Murakami, H. Munekane (GSI), H. Katay

Observatory), H. Yamasato(MRI), T. Yokota(JMA),

H. Takahashi, M. Kasahara, (ISV, F

1. はじめに

GPS 連続観測によって火山性地殻変動をより詳細に把握するためには、山体の近傍から遠方まで満遍なく山体を覆う観測網が必要である。現状では、気象庁などの観測点が、主に火山山体を中心に配置されている一方、国土地理院の電子基準点は、多くの場合火山体を遠方から取り囲む配置となっている。これらの観測データを統一

3. 十勝岳の地

解析結果の傾斜は、2002年4月～2003年4月の間に、この地域では、縮の広域変動場を伴った観測点が認められる。

山田ほか, 2006年日本火山学会

気象庁・国土地理院・北大・道地質研のデータを地理院が解析

5mm/yr程度の変位量を検出

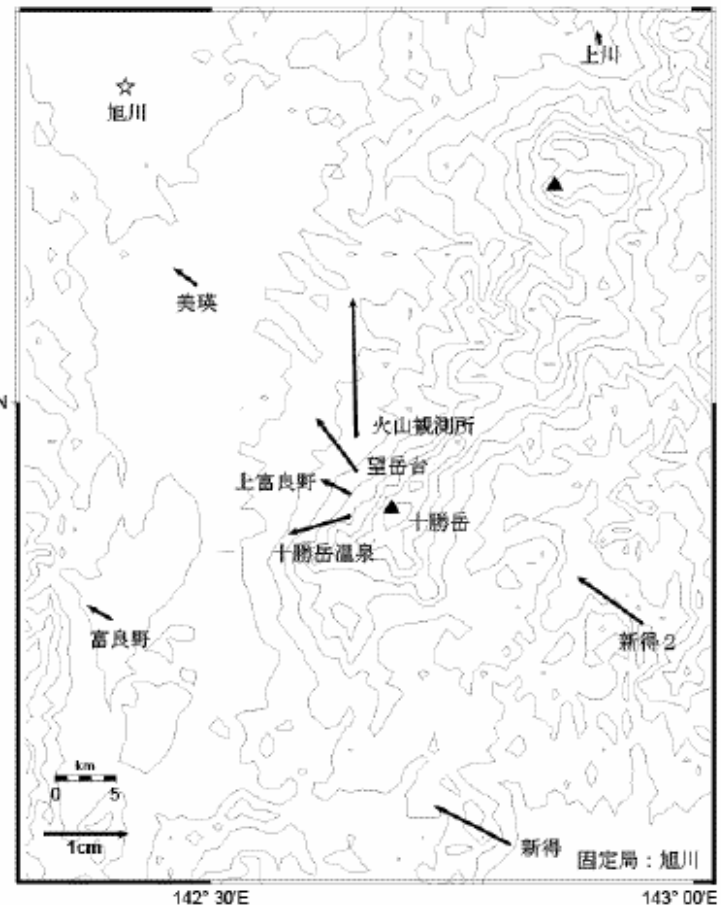


図1 水平変動ベクトル(2002年4月～2003年4月)

北海道での目標

- GPSで得られている結果を検証.
- InSAR結果をもとにしたGPS観測網の最適化デザイン.
- GPS+SARの活用で長期的・空間高密度な火山モニタリングの実施.

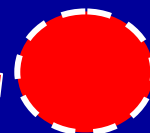
InSARでしか出来ないこと

- 未知の複数マグマ溜りの検出。
 - 従来の測地観測では空間分解能の不足のため、複数のマグマ溜りの検出は困難。

しかし、実際の噴出物は複数のマグマ溜り由来の物質の混合が一般的に起こっていることを示唆。

特に、規模の大きな噴火ほど、特にカルデラ形成のような噴火では、複数マグマ溜りの関与が大きくなる。

1912年Katmai-Novaluptaの噴火 (アラスカ) : VEI6 : 10km^3



10km³の火砕流噴出
溶岩ドーム形成

マグマがNovaruptaに移動
3*4kmのカルデラ形成

複数マグマ溜りの活動

未知のマグマ溜りシステムへの挑戦

- 複数マグマ溜りの岩石学的証拠を測地的に確かめられるか？
- カルデラ噴火を起こすマグマ溜りを検知できるのはInSARだけ？←圧倒的な空間分解能.
- カルデラ噴火の起こる可能性がある北海道・千島・九州南部にターゲット.

千島列島での火山活動評価

VEI 4 以上（噴出量 1km^3 以上の大噴火）

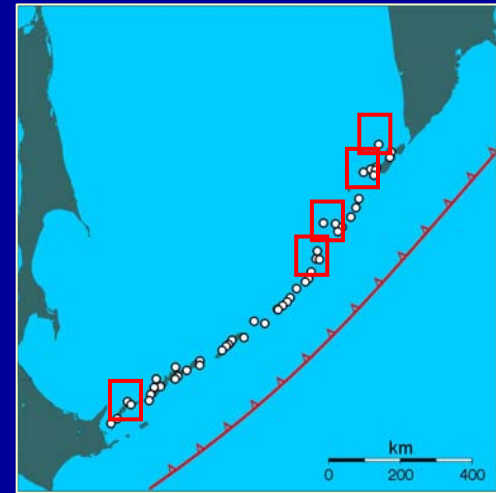
RAIKOKE(1778:4, 1924:4)

KHARIMKOTAN(1933:5)

ALOID(1790:4, 1981:4)

CHIKURACHIKI(1690:4, 1986:4)

TIATIA(1973:4)



地表に噴出する体積は，地下で動いた体積の1割以下
→VEI4では 10km^3 以上のものが地下では動いている。

噴火間隔300年としても年間 10^6m^3 以上の蓄積量



地表変位は 1cm/yr を超え，InSARで補足可能。

実際の予備的InSAR結果

- 千島列島では顕著な変動は観測されず。
 - JPL team (Lundgren, 2006).
 - 積雪？島効果？水蒸気の影響は大きいらしい。
- ここ最近は顕著な火山活動はないため？
- 噴火準備期の観測は難しい？

ターゲットに考えている火山

基盤A・B(海外)-1

平成17年度 基盤研究(A・B)(海外学術調査)研究計画調書(新規)

注1.別添平成17年度基盤研究(A・B)(海外学術調査)研究計画調書作成記入要領(紫色)を参照してください。
注2.※印の欄は研究機関において記入してください。

| | | | | | | | |
|--|---|----------|-------------|---|-------|-------|--------|
| 基盤研究 | A・B | 審査区分 | 海外 | ※機関番号 | 10101 | | |
| 審査希望分野 | 関連する細目 | | 細目番号(4桁) | ※整理番号 | | | |
| 数物系科学 | 固体地球惑星物理学 | | 4401 | | | | |
| 研究代表者氏名 | 中川 光弘 | 印 | 所属研究機関・部局・職 | 北海道大学・大学院理学研究科・教授 | | | |
| 研究課題 | 千島弧の火山活動・地震活動・地殻変動に関する日露米3ヶ国共同研究 | | | | | | |
| 研究経費 <small>(千円未満の増数は切り捨てる)</small> | 年度 | 研究経費(千円) | 使用内訳(千円) | | | | |
| | | | 設備品費 | 消耗品費 | 旅費 | 謝金等 | その他 |
| | 平成17年度 | 5,000 | 0 | 600 | 2,700 | 1,000 | 700 |
| | 平成18年度 | 24,500 | 0 | 1,600 | 5,400 | 1,700 | 15,800 |
| | 平成19年度 | 9,600 | 0 | 1,300 | 5,400 | | |
| 平成20年度 | 10,700 | 0 | 1,100 | 6,200 | | | |
| 総計 | 49,800 | 0 | 4,600 | 20,200 | | | |
| 研究組織 | <small>(研究代表者及び研究分担者)(研究分担者も研究代表者としての資格を有する者であり、本研究計画に對し)</small> | | | | | | |
| 氏名(年齢) | 所属研究機関・部局・職 | 現在の専門 | 学位 | 役割分担 <small>(本年度の研究実施計画に対する分担事項)</small> | | | |
| 中川光弘(48) | 北海道大学・大学院理学研究科・教授 | 火山岩石学 | 理学博士 | 研究総括・火山地質調査・マグマプロセス解析 | | | |
| 菅原 稔(59) | 北海道大学・大学院理学研究科・教授 | 地質学・測地学 | 理学博士 | 千島弧の地殻活動解析・GPS観測 | | | |
| 高橋浩晃(34) | 北海道大学・大学院理学研究科・助手 | 測地学 | 理学博士 | 千島弧の地殻変動解析・GPS観測 | | | |
| 橋本武志(37) | 北海道大学・大学院理学研究科・助教授 | 火山物理 | 理学修士 | 千島弧の火山活動解析・地殻観測 | | | |
| 西村裕一(45) | 北海道大学・大学院理学研究科・助手 | 火山物理・津波 | 理学博士 | 地殻観測・千島弧の津波事例の解析・津波地質調査 | | | |
| 金子隆之(43) | 東京大学・地質研究所・助教 | 衛星画像解析 | 理学博士 | 衛星画像を用いた千島弧の地質構造の解析 | | | |
| 古本光宏(34) | 東京大学・地質研究所・助 | 火山地質学 | 理学博士 | 火山地質調査・マグマプロセス解析 | | | |
| 大場 武(43) | 東京工業大学・火山固体研究センター・助教授 | 地球化学 | 理学博士 | 火山ガス・温泉水の地球化学的研究 | | | |
| 石川剛志(40) | 静岡大学・理学部・助教授 | 地球化学 | 理学博士 | 火山岩の地球化学的研究 | | | |
| 石塚吉浩(35) | 産総研・地質情報センター・研究員 | 火山地質学 | 理学博士 | 火山地質調査・マグマプロセス解析 | | | |
| 海外共同研究員 | | | | | | | |
| Boris Levin(67) | ロシア科学アカデミー・地質学研究所 | 地質学・火山学 | 博士 | サハリンにおけるロシア側開口・サハリン側研究者の統括・地殻観測 | | | |
| Evgenii Gordeev(58) | ロシア科学アカデミー・火山地質学研究所 | 地質学 | 博士 | カムチャッカにおけるロシア側開口・カムチャッカ側研究者の統括・地殻変動 | | | |
| Jeff Freymueller(45) | アラスカ大学・アラスカ火山観測所・教授 | 地殻変動 | 博士 | アメリカ側研究者の統括・地殻変動 | | | |
| 合計 10名 | | | | 研究経費合計 | | | |
| 基盤研究(A・B) | 研究機関名 | 北海道大学 | | 研究代表者氏名 | | | |

- 実際に調査を行った火山。および
- 活動度が高い火山。

- 国後島 (1999年, 2005年現地調査)
- 択捉島 (2006年度調査予定)
- アライド島 (2007年度調査予定)

傭船が問題：
商用船だと250万円/日。
北大・水産学部の練習船を利用？

GPS観測は交渉中だかかなり厳しい！
→衛星利用しか測地観測の道はなし。

茂世路岳火山 (もよろ)

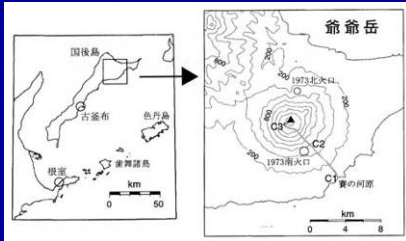
- 国後島東端. 溶岩流. 噴気温度900度超え.



Photos by A. Rybin, IMGG

爺爺岳(チャチャ)

- 国後島東端. 爆発的噴火. 溶岩流.



Блоки-диаграммы вулкана
Тятя 14 июля 1973 г. и в разрезе

Извержение вулкана Тятя 16
июля 1973 г. Абдурахманов А.И.,
1974

国後島爺爺岳1973年の噴火：VEI4：根室でも降灰あり.

アライド火山 (Alaid)

- 1790年, 1981年にVEI4の大噴火.
- カムチャツカ半島からのアクセスが比較的容易.



✓Eruptive episodes: 1970, 1854,
1860, 1894, 1933, 1972, 1981, 1982,
1986, 1996

The 1981 eruption of Alaid,
Photo by Anatoli Khrenov

まとめ

