

東南アジアの火山研究

—京大の海外貢献、インドネシア—



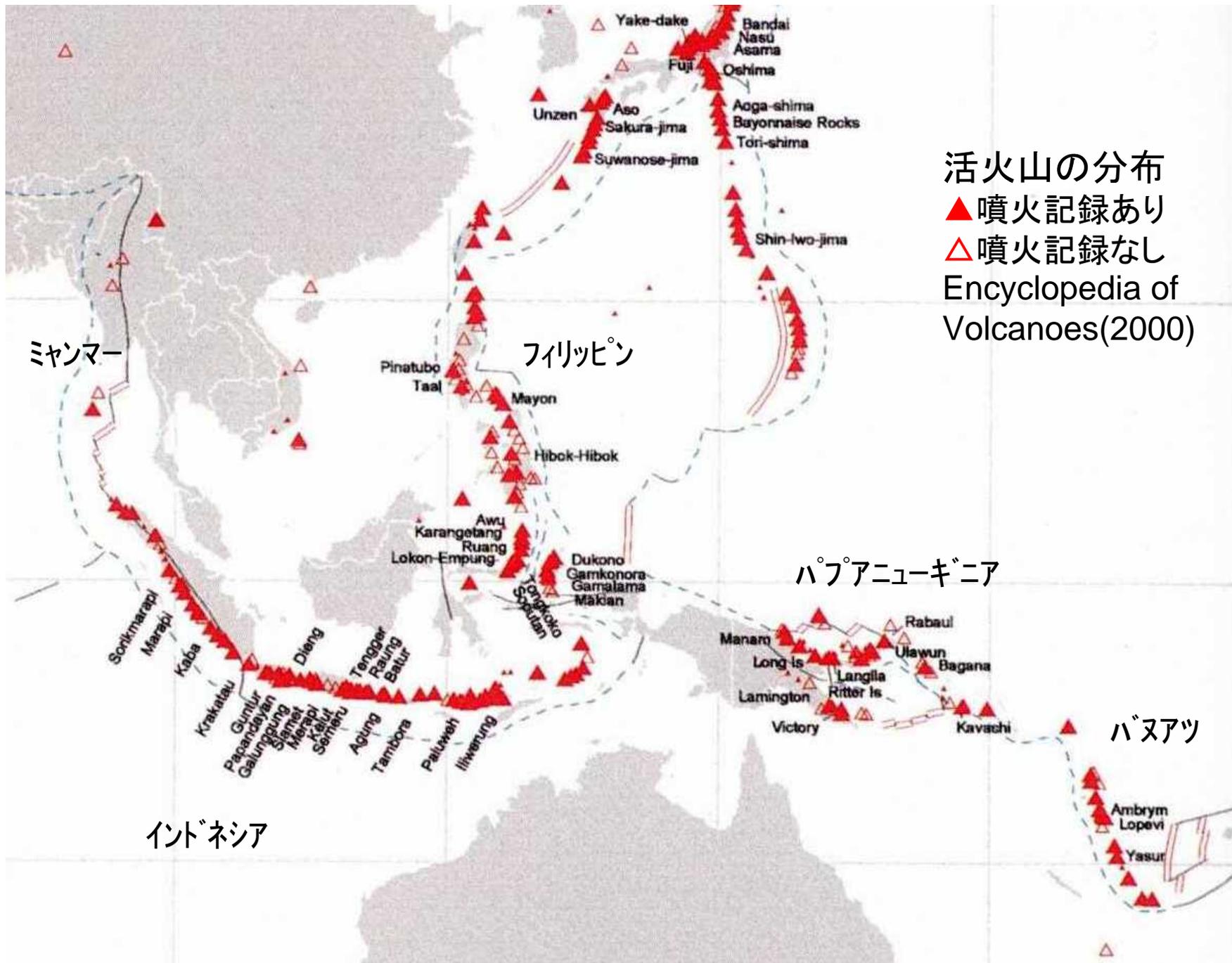
1950年代Merapi山
(2968m)

溶岩ドーム崩落火砕流
流下距離: 10km前後

石原 和弘

2009年4月3日桜
島爆発に伴う火砕
流
流下距離: ~2km





東南アジアの火山観測研究

	フィリピン	インドネシア	パプアニューギニア
火山観測研究組織	フィリピン火山地震研究所 (PHIVOLCS): 総員約200名、1951年発足、6火山観測所	インドネシア火山調査所 (VSI): 400名余、本拠バンドン。1920年発足、約60火山観測所	ラバウル火山観測所 (RVO): 約30名、1937年ラバウル噴火後に設置、6火山観測所
活火山	約38	約130、1600年以降噴火80火山	約15
主な活火山	ピナツボ(1991)、 タール 、 マヨン	クラカタウ (1883)、 ガランゲン (1981)、 メラピ 、 スメル 、タンボラ(1915)、ケルート	ラバウルカルデラ(1995)、ランギラ
関係国	アメリカ、日本・・・	オランダ、日本、フランス、アメリカ・・・	オーストラリア、日本、米国

火山研究に関する日本と東南アジアの関係

1940年代

- ◆木沢 綏: ラバウルカルデラの地震観測、日本軍占領中にウィーヘルト地震計を設置、火山観測を行う(1960年京大で学位取得)

1960年～1980年代

- ◆建築研究所: 国際地震工学研修コース実施
 - 火山関係の人材も育成(インドネシアでは修士相当の待遇)
- ◆東大下鶴大輔他: メラピ火山の火山性地震の分類(VSI)
- ◆北大横山泉他: クラカタウ等の研究(VSI)
- ◆京大西村進他: テクトニクス研究
 - (LIPI地質工学開発研究センター・人材育成: 博士2名—メラピ山の構造)
- ◆京大安藤雅孝他: フィリピン・タール火山研究(PHIVOLCS: 博士1名-ピナツボ火山の地震)

1990年代

- ◆JICA: 火山学・火山砂防工学研修コース開始(1989年度)
- ◆京大防災研: インドネシア火山調査所(VSI)と共同研究
- ◆北大: フィリピン火山・地震研究所(PHILVOLCS)と共同研究

防災研究所とインドネシアとの共同研究の経緯

1988年7月：鹿児島国際火山会議「JICA火山学研修コース創設」
1989年：IDNDR準備会議：VSI所長Sudradjat、PHIVOLCS所長
Punongbayan、加茂教授打合せ「VSIと桜島火山観測所、PHILVOLCSは
防災研地震グループ」

1991（～1993年）：「東アジアにおける自然災害の予測と制御に関する研究」

1991年：インドネシア（VSI）等訪問（石原）

1992年：VSIから研修生・国費留学生受入/11月加茂教授インドネシア訪問

1993年：3月S. Modjo火山局長/7月：W. Tjetjep火山解析部長来訪

7～8月：京大・東大・東工大、火山調査

1994年（～1998）：「中国及びインドネシアにおける自然災害の予測と防御に関する国際共同研究（文部省特別事業）」

7月：鉱山エネルギー省地質鉱物資源局長と田中寅夫防災研究所長の間で
「インドネシアの火山物理とテクトニクス研究」に関する協定締結

10月インドネシア大蔵省令改正（関税免除の国際機関に京大を追加）

－これ以前は観測機器の通関に四苦八苦/UNESCO橋爪博士らの世話になる

・5年ごとのレビューのためのシンポジウム・開催（1998、2003、2008）

・2008年：アメリカ、フランス、ベルギー、ニュージーランド、フィリピン、シンガポール等参加



1998年シンポジウム



2008年ワークショップ

1991年9月インドネシア訪問

目的: 共同研究相手先選定・協定締結の下工作、共同研究の対象火山の選定、
大学・研究調査機関の組織・スタッフ等及び、国外との共同研究等の調査

案内・紹介: 西村進先生、Suparto S.博士(東海大博士)

訪問先: 地質鉱物資源総局、LIPI、東南ア研事務所、日本大使館、JICA事務所、
LIPI地質工学開発研究センター、VSI、バンドン工大、
ガジャマダ大学、ジャワ島・バリ島の火山観測所15か所

講演等: VSI(桜島・雲仙岳)、地質工学開発研究センターシンポジウム

○共同研究の相手: VSI(大学等は野外観測困難)

○共同研究対象火山候補:

①Guntur山(バンドンから近い、地震活動レベルが高い、噴火の影響大、観測員の資質高い……)、

②Merapi山(活動が活発・火砕流頻発)

米、仏等との共同観測と異なる手法で: 傾斜計、低周波マイクロホン



地質鉱物資源総局長Dr.Adjat Sudradjat
火山調査所Dr.Suparto Siswidjojo【左】



地質工学開発研究センターSuparka所長



VSIメラピ火山観測所Olas所長



火山調査所長Soebroto Modjo

インドネシア火山調査所(職員約400人、1920年創立)

○観測体制:

- ・メラピ山では、VSIが米国地質調査所(USGS)・ペンシルバニア州立大学、フランスの援助・協力で地震観測・地磁気観測、光波測量等を実施(Sudradjat総局長:メラピ火山観測所は世界一と豪語)
- ・ケルート火山では、火口湖の温度・電気伝導度等の観測(フランス)
- ・その他の約70火山は上下動地震計1台(勝島製作所等)

○研究員:国際地震工学研修コース修了した40歳以上が中核を占め、30歳代はフランス、オーストラリア、ニュージーランドに留学中・学位取得、世代交代時期—1993年にはフランスで学位を取得したWimpy Tjetjepが40歳で所長に就任。

○火山監視調査機関としてのレベル:

- ・観測員:全国約60か所に観測所配置(職員2~3名)。地震観測解析技術経験は相当なもの、使命感高く、地域の小中学生の教育にもあたる
- ・地質図・ハザードマップ作製済み、噴火予知・防災・情報発表に関する実績と能力は日本に比べてはるかに高い(予警報実施)

火山地質災害軽減局 (インドネシア火山調査所2001年改組)の構成

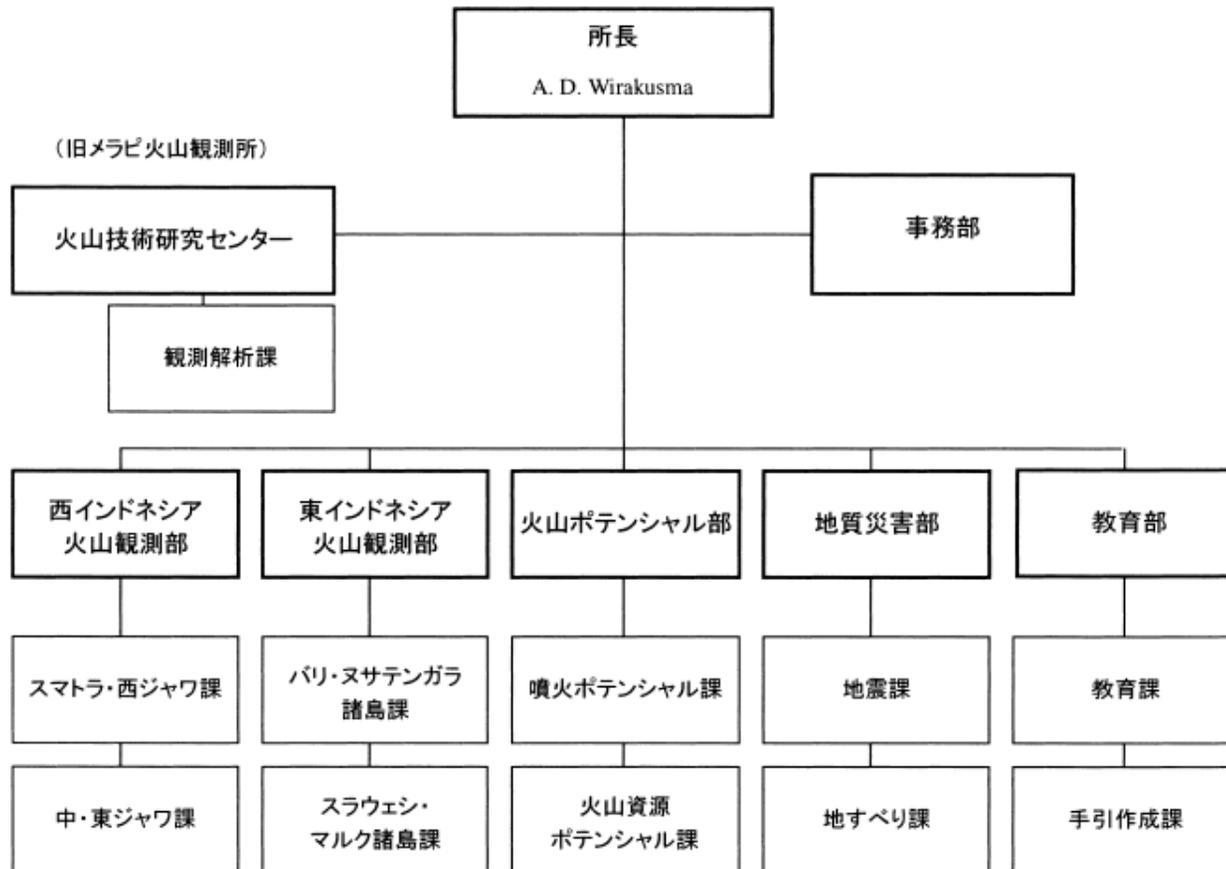


Fig. 3. Organization of Directorate of Volcanology and Geological Hazard Mitigation.

地質災害部(地すべり課、地震課)追加等

井口正人(火山、
2003)

火山活動のレベルに関する規定

1996年Wimpy Tjetjep所長裁定

レベル	現地観測所員の対応	本庁の対応	現地への派遣
Level I Aktif Normal	毎日地震回数等を2回 本庁へ通報	無線技士が担当 課長へ報告	課長級職員、あ るいは研究者が 定期巡視
Level II Waspada(注意) “位置について”	観測所員全員が24時 間待機、時間外にも通 報	担当課長が評価、 結果を火山災害軽 減委員会へ通知	研究者(機動班) を派遣、関係機 関へ通知
Level III Siap(警戒) “用意”	観測所員全員が24時 間待機、24時間体制で 本庁との連絡を維持	部長が評価、関係 機関へ通知	課長級職員を派 遣、関係機関へ 通知
Level IV Awat(避難) “ドン!”	観測所員全員が24時 間待機観、24時間体制 で本庁との連絡を維持	所長が総括評価、 関係機関へ通知	部長級職員、あ るいは所長が現 地駐在

* 観測所と本庁(バンドン)無線、本庁には無線技士が24時間待機

* 1982年ガルングン噴火を契機に、観測の連絡は短波所員には課長級の特別手当支給

* 緊急時には観測所員でもレベル変更ができる

気象庁:2007年12月から噴火予警報を業務として開始

Data Dasar Gunungapi Indonesia

インドネシア火山総覧を1979年刊行



Merapi山のハザードマップ
(図幅:東西約60km)

○対象:1600年以降噴火した
67火山。820頁

○内容:概要、噴火史、災害、
溶岩組成、研究論文リスト、写
真・地形図、ハザードマップ、3
つの危険地域(居住禁止、第1
危険区域、大2危険区域)ご
との面積・人口等

*以後、火山ごとに詳細なパン
フレット、大縮尺の火山地質図、
ハザードマップ等を逐次出版

1991年国土庁がハザードマップ作成
指針公表、1992年から順次作成開始

VSIメラピ火山観測所—本所:ジョクジャカルタ市内、山麓に4観測所、総員約50

人



解析室/Subandoryo 研究員 (地殻変動)



ババダン観測室 (職員3名)



COSPEC:北側のJaraka
観測室に常置、毎日二酸化
硫黄放出率測定



Suharna 技術員と
Ratsudomopurbo 研究員
(地震)



化学分析室と Sri Sumarti 研究員

- 地震観測
- 地殻変動観測 (光波測量)
- 火山ガスの観測と分析
- 溶岩の分析
- 目視観測、山頂現地観測
- 地磁気、地電位等
- 泥流の監視、調査、予測

Merapi山の地震観測網・光波測量基線と震源分布

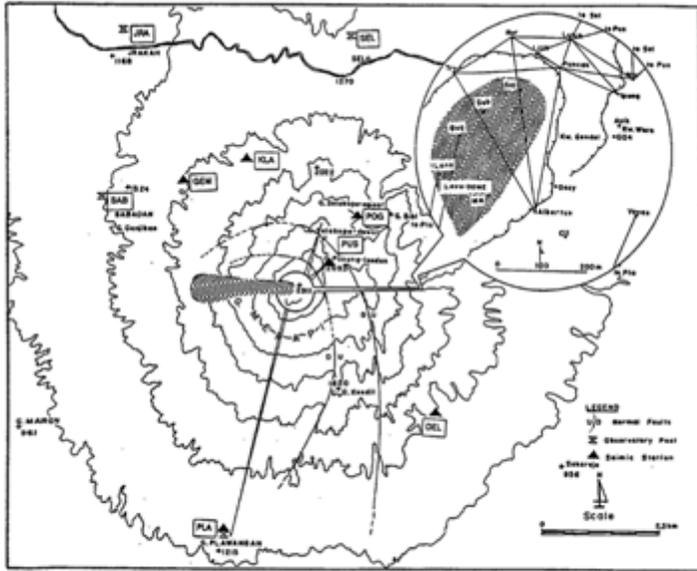


Fig. 1 Locations of observation posts, seismic stations and EDM network at Merapi Volcano operated by Volcanological Survey of Indonesia.

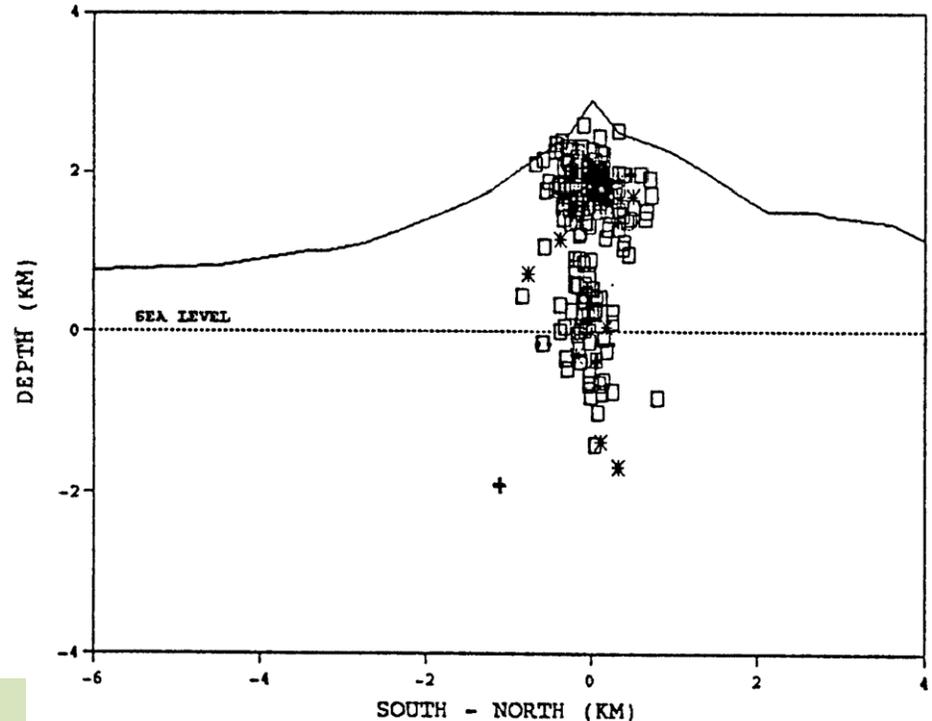
地震・震動を分類、火山ガス、地殻変動、目視観測等と併せて評価、余警報を行う(常設4点+臨時5点)

VTA(深さ2~5km)

VTB(深さ~1.5km)

MP(溶岩噴出に伴う微動)

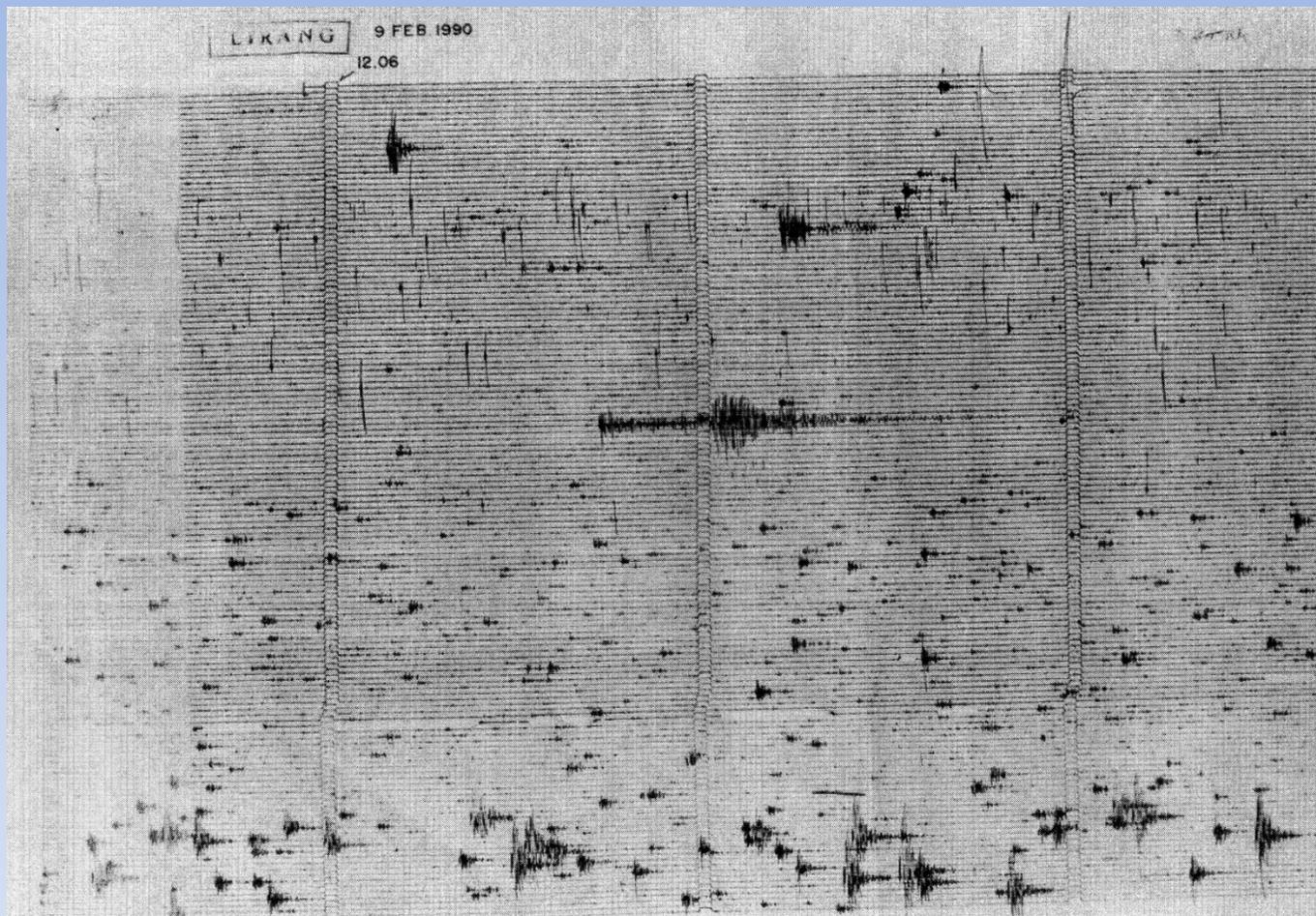
Guguran(溶岩ドーム崩落による震動)



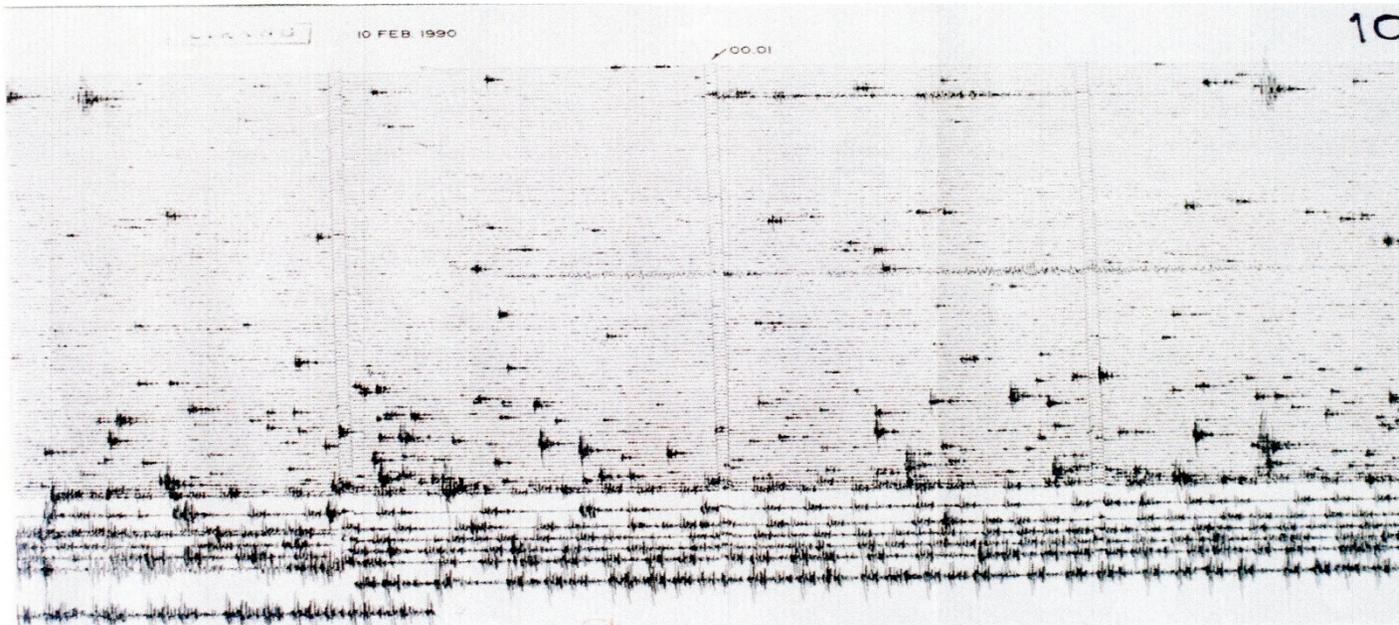
□ 1991 * 1992 + 1993

山頂直下2km(海拔1000m)付近に空白域(桜島の場合は山頂直下2.5~3km付近)

1991年2月9日Kelud地震記録



Adajat Sudradja総局長、Wimpy Tjetjep解析部長、Suparto博士らが現地視察、噴火の切迫性について意見が分かれ、Suratman研究員を残してBandung、Jakartaへ戻る

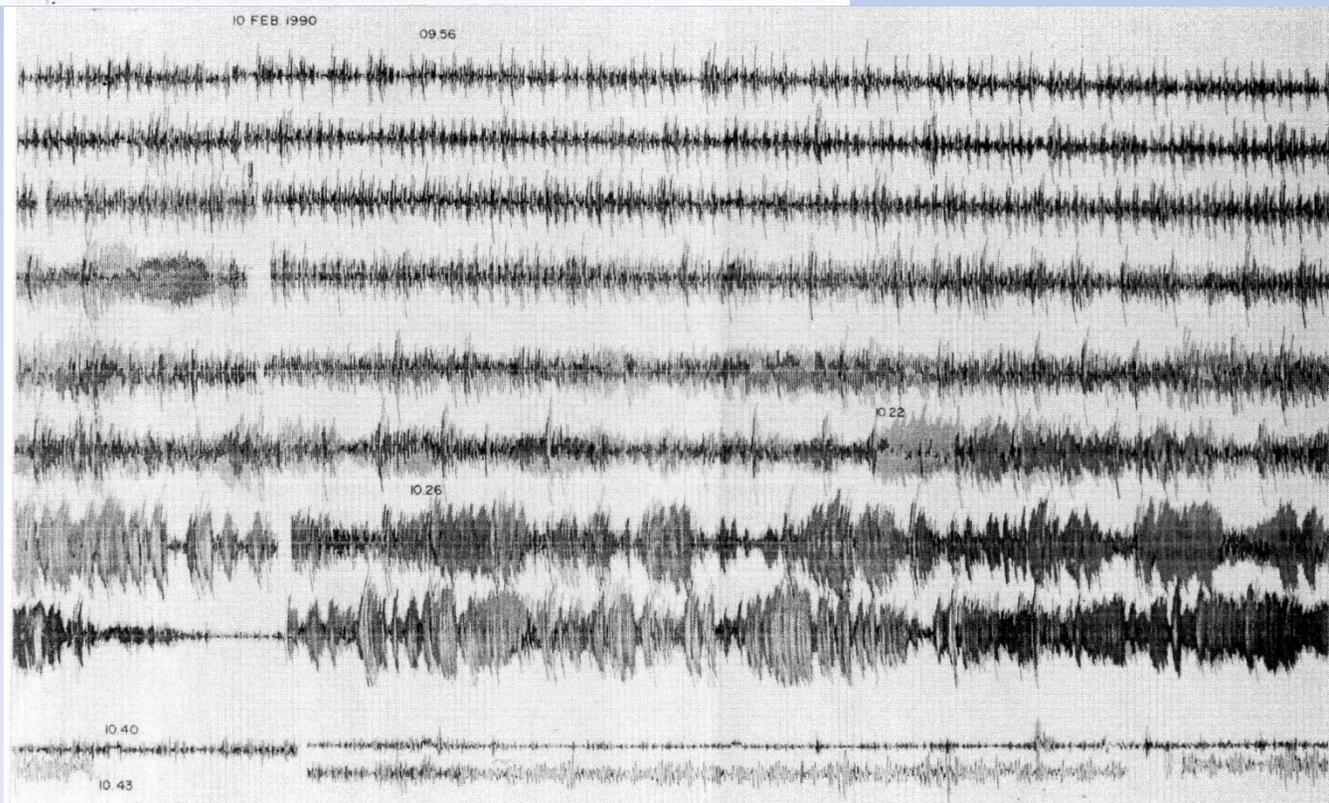


1990年2月10
日
12時前に噴火

10時～11時

0時から9時

未明から山頂部の地震計で微小地震記録、9時過ぎから連続微動、10時頃Suratman 研究員が噴火切迫と判断、災害軽減委員会へ避難勧告



VSIに提案した共同研究・協力の内容(1991年)

・・・大きな経費がなくてもできそうなこと

○人材育成

- ・JICAの火山学・火山砂防研修コース
- ・文部省国費留学生の受け入れ
- ・日本からの派遣・日本への研究者招へい

→約20名の研修生と7名(男3、女4)の国費留学生受け入れ(別途東工大1、鹿児島大1)、約20名の招へい:日本からも毎年派遣

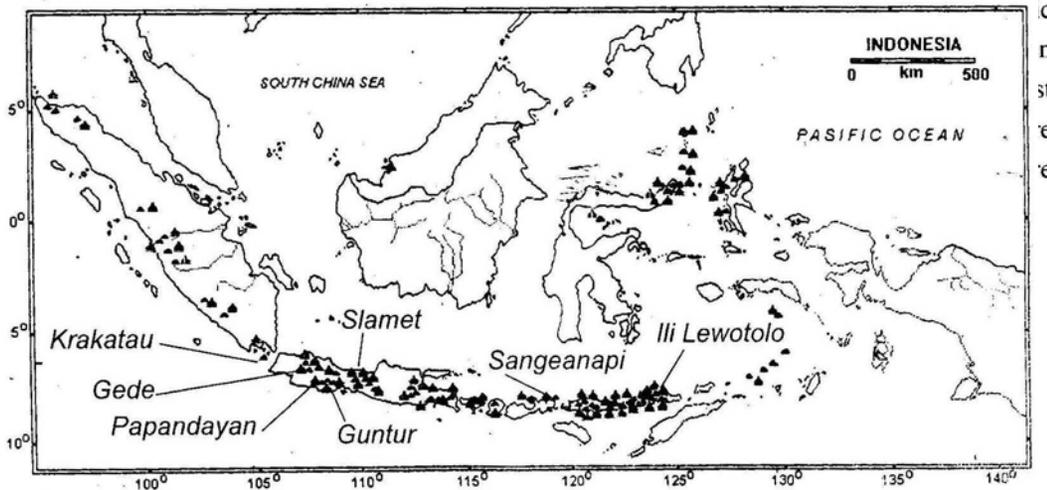
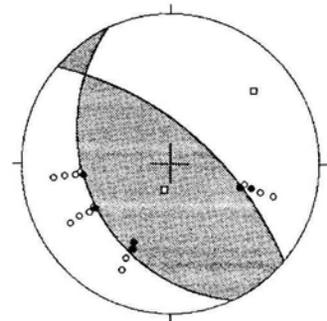
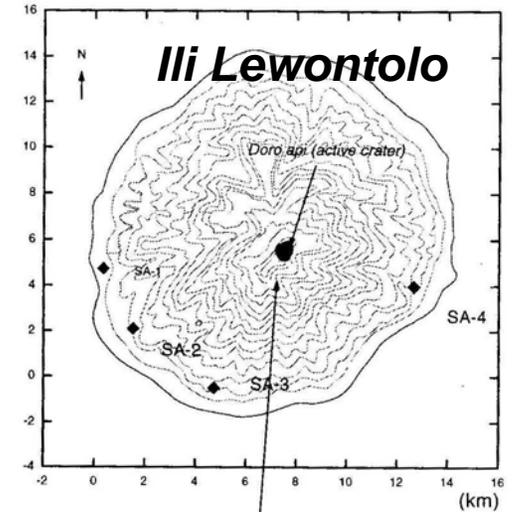
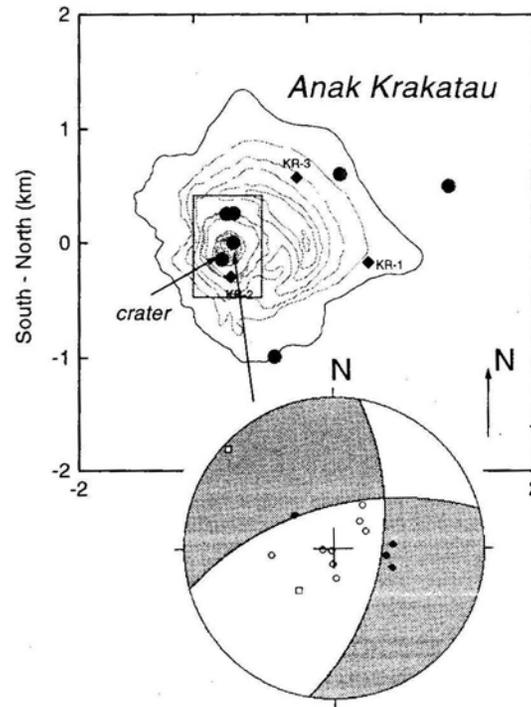
○観測・解析技術の移転

- ・Guntur山等での地震、地殻変動観測
- ・データロガーによる多点地震観測の実施、震源決定、発震機構等の解析手法
- ・水準測量、光波測量、火山ガス等の測定の精密化

→研修生・留学生に観測指導、研修生がインドネシアのデータ持参

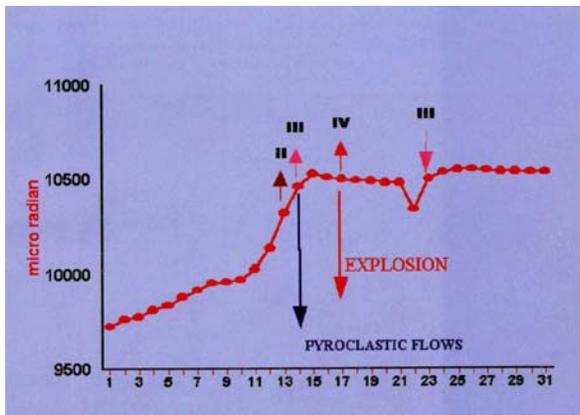
成果1: データロガーを使った7火山の地震調査

1994年研修生
Gede Suantikaが
観測員指導、1995
年に持ち込んだ
データロガーで7火
山の震源、発震機
構を決定。

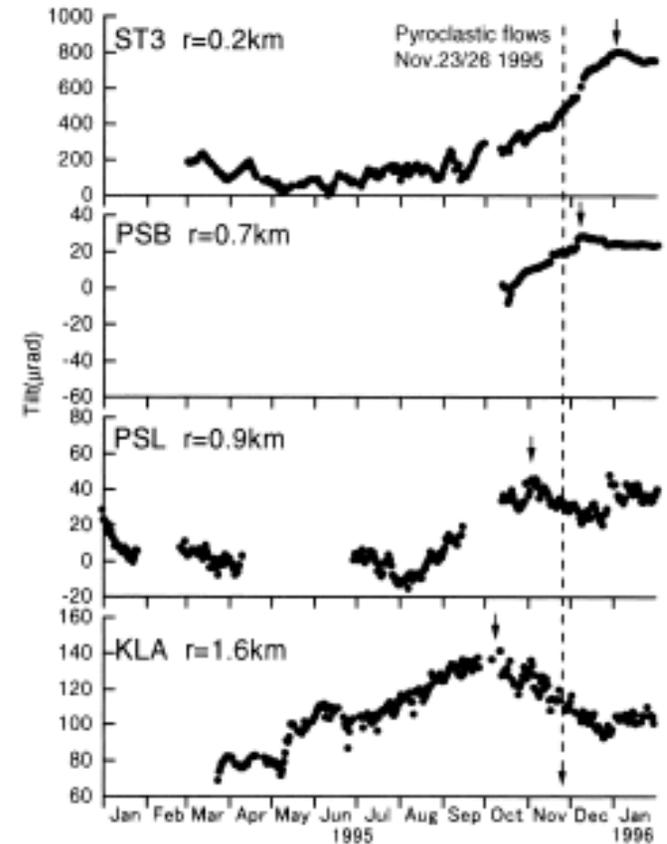


Gede Suantika他(1998)

成果2: 傾斜計によるメラピ山の噴火前兆捕捉

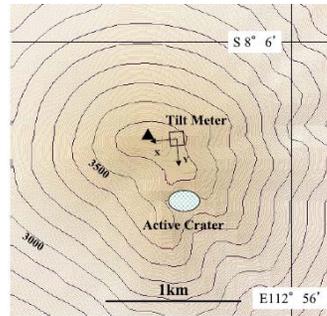
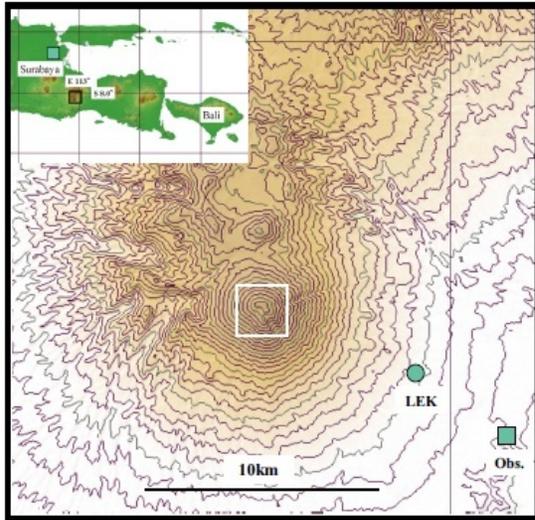


1997年1月の傾斜変化と火砕流

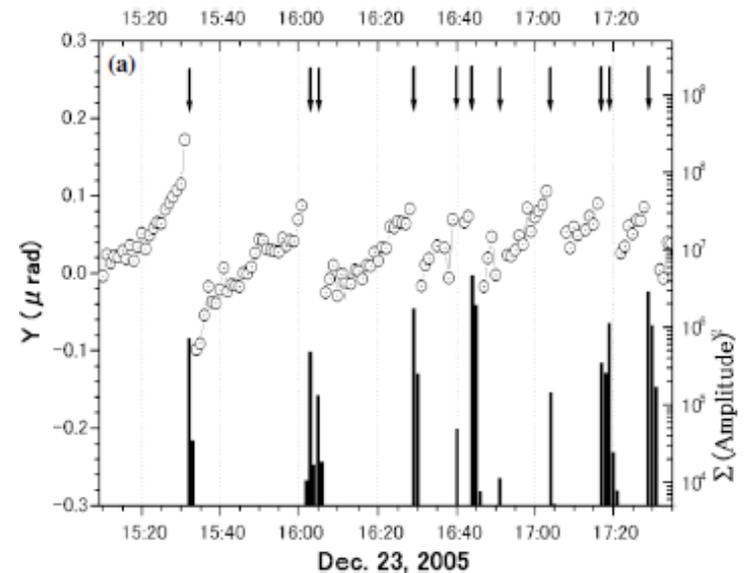
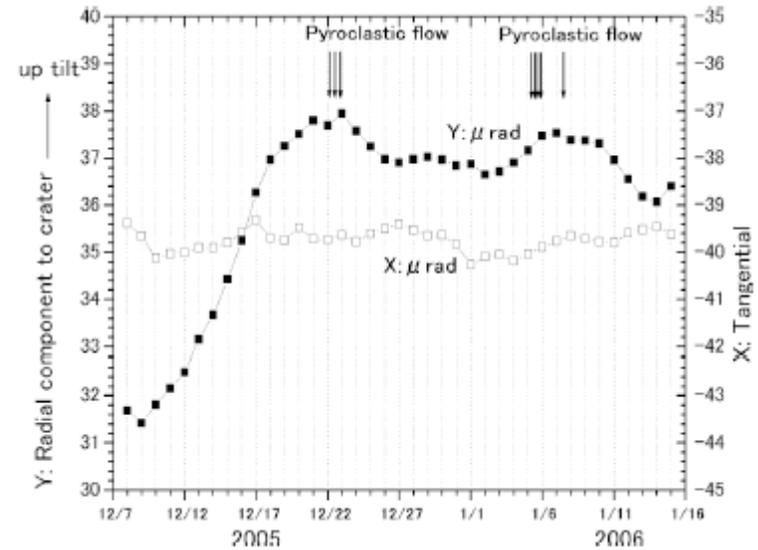


1995年の傾斜変化と11月22日の火砕流発生(井口、2003)。火口から0.2～1.6kmに4か所傾斜計を設置、マグマが漸次上昇する過程を補足

成果3: 傾斜計によるSemeru火山の噴火機構



K. NISHI *et al.*
(EPS, 2007)



井口 (2005)

インドネシア東ジャワのケルート火山2007年の活動

(標高約1700m、山頂に火口湖)

Sri Hidayati博士の11月18日付レポートから抜粋

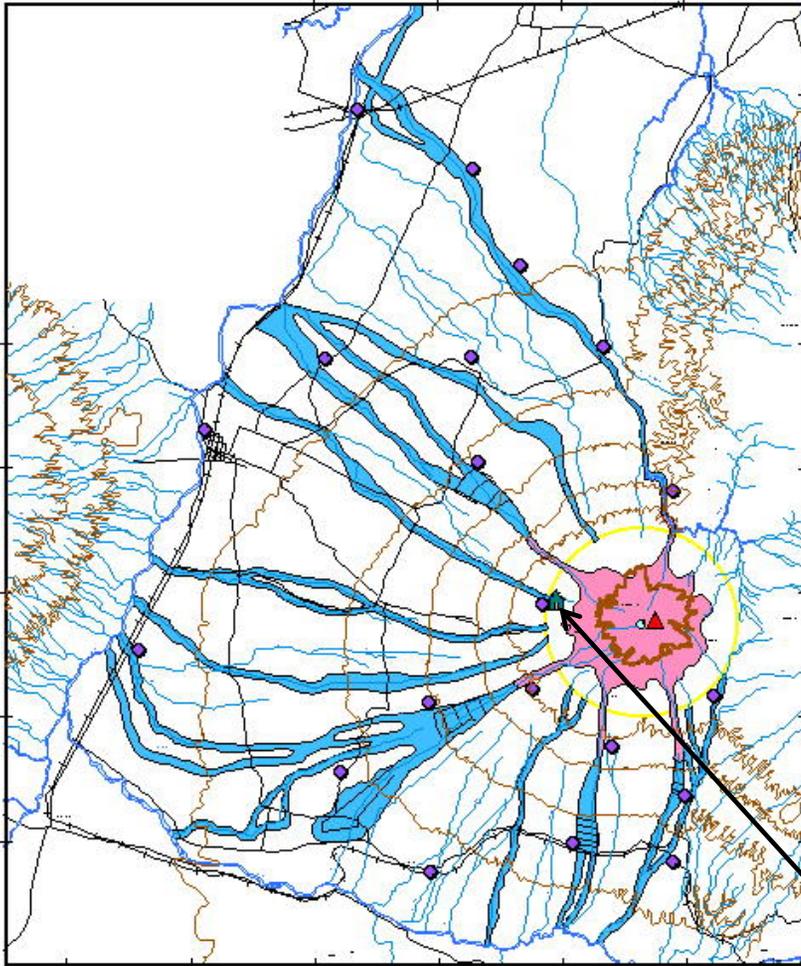


○20世紀の噴火(犠牲者)

1901(多数)、
1919(5,110)、1951(7)、
1966(210)、1990(火砕
流を伴うPlinian噴火、降
灰で家屋倒壊犠牲者がで
る)

○2007年11月:火口湖
に溶岩ドーム出現

—噴火に伴い火口湖水が
噴出、泥流による被害が
多発、1919年の災害を契
機に、湖水レベルを下げる
ためのトンネル掘削が繰り
返されてきた。



(地図のスケール: 東西60km)

- ・居住禁止: 火口から5km以内および川沿いに10km以内
- ・第一危険区域: 火口から半径7km
- ・第二危険区域: 川沿いの地域

Kelud火山の地形とハザードマップ



山頂火口直径約1.5km、中央部に火口湖

山頂火口から6.5km付近に観測所、7km付近から下に集落

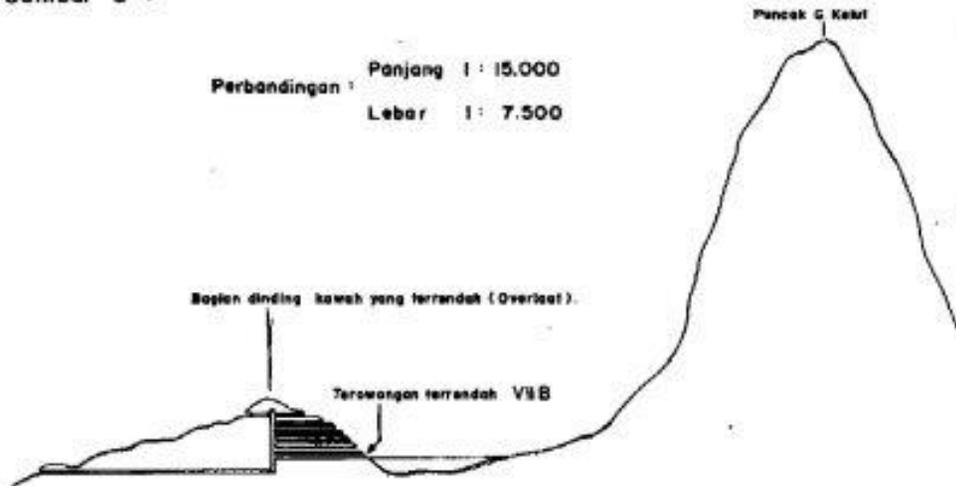


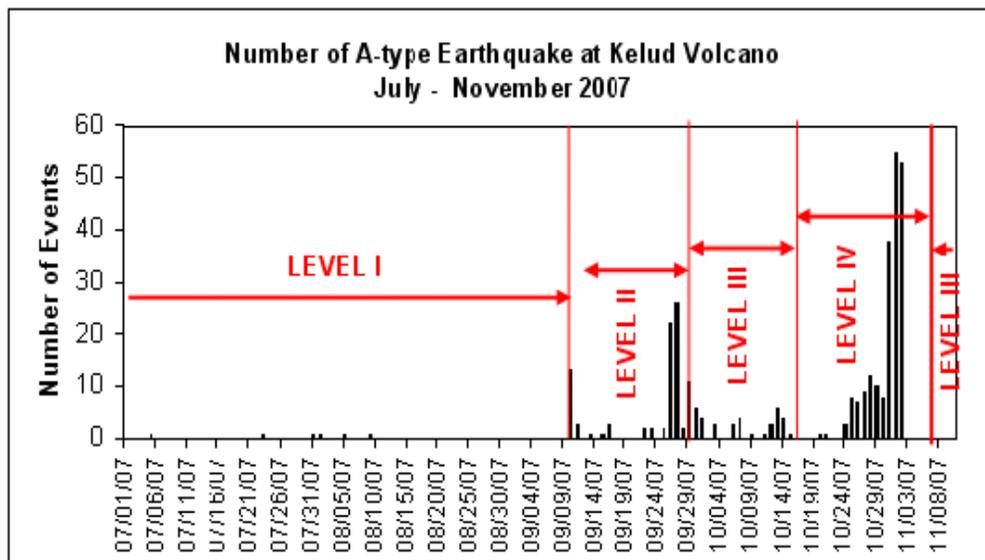
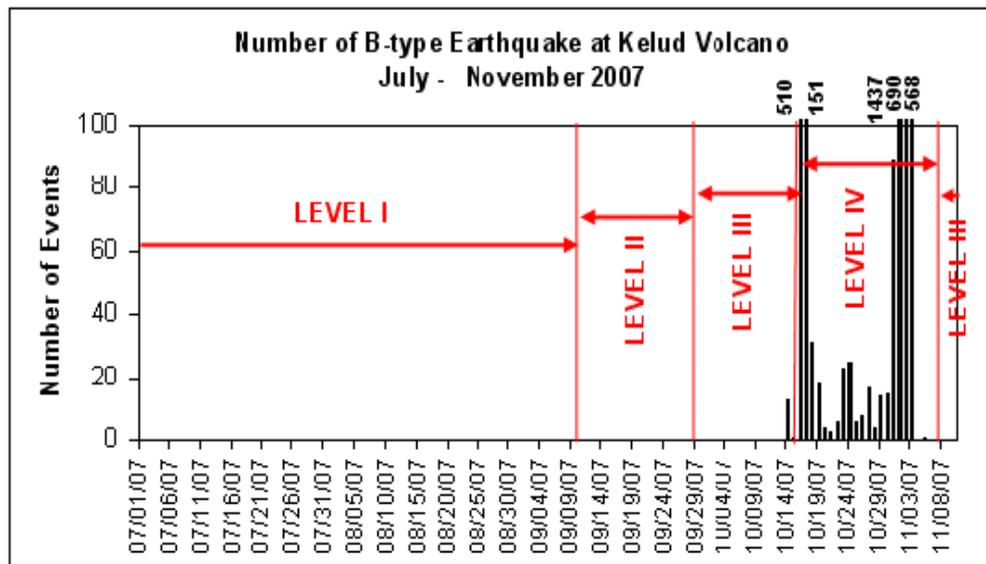
Foto Kawah G. Kelut Nopember 1985
(J. Matahelumual)



Gambar 8 : KEADAAN DANAU KAWAH KELUT (1928-1951)

Perbandingan : Panjang 1 : 15.000
Lebar 1 : 7.500





2007年8月: 火口湖の水の色が緑から黄色に変化、湖水の温度上昇、CO₂フラックス増加。

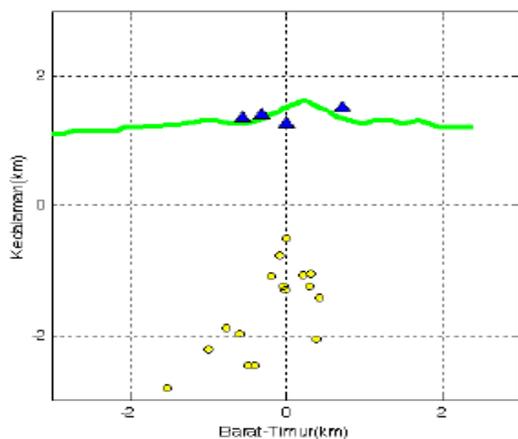
2007年9月10日: 山頂直下2~4kmを震源とするA型地震が5時間で15個発生、警戒レベルII【注意】を宣言。

2007年9月下旬: 26日と29日にA型地震多発、湖水の色が青白色に変化、微動が発生、29日17時にレベルIII【警戒】に上げる。

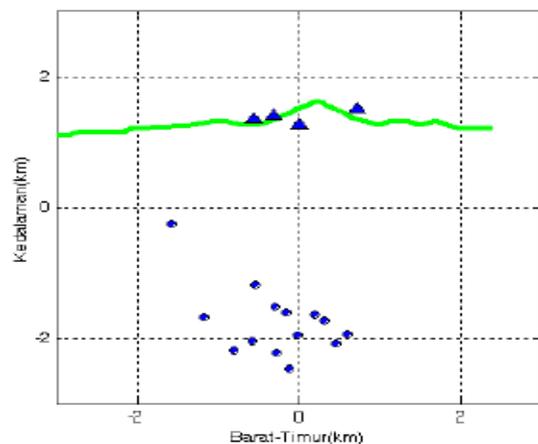
2007年10月16日: 7時間に306回のB型地震と微動も発生(1990年噴火直前より振幅、数をはるかに顕著)、最高レベルIV【避難準備・避難】を宣言。A型地震の震源が山頂直下約1kmに集中。

2007年11月8日: 11月4日に溶岩ドームが出現し始め、成長を続けている。A型地震は発生していないし、傾斜変化も停止。レベルIII【警戒】に下げる。「避難者は帰宅して平常の生活に戻ってよい。ただし、活動が高まれば、再度避難することになる」

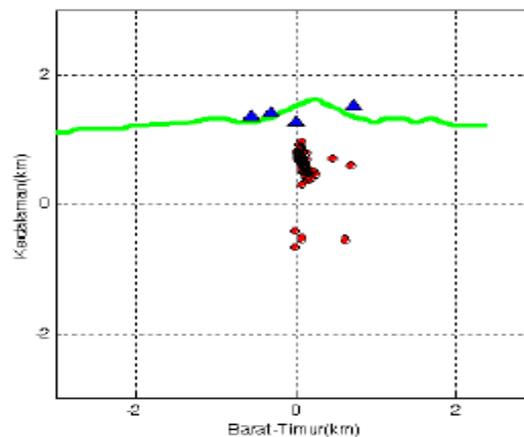
火口湖水の色の変化と地震の震源分布の変化



Sep. 10, 2007 (Level2)



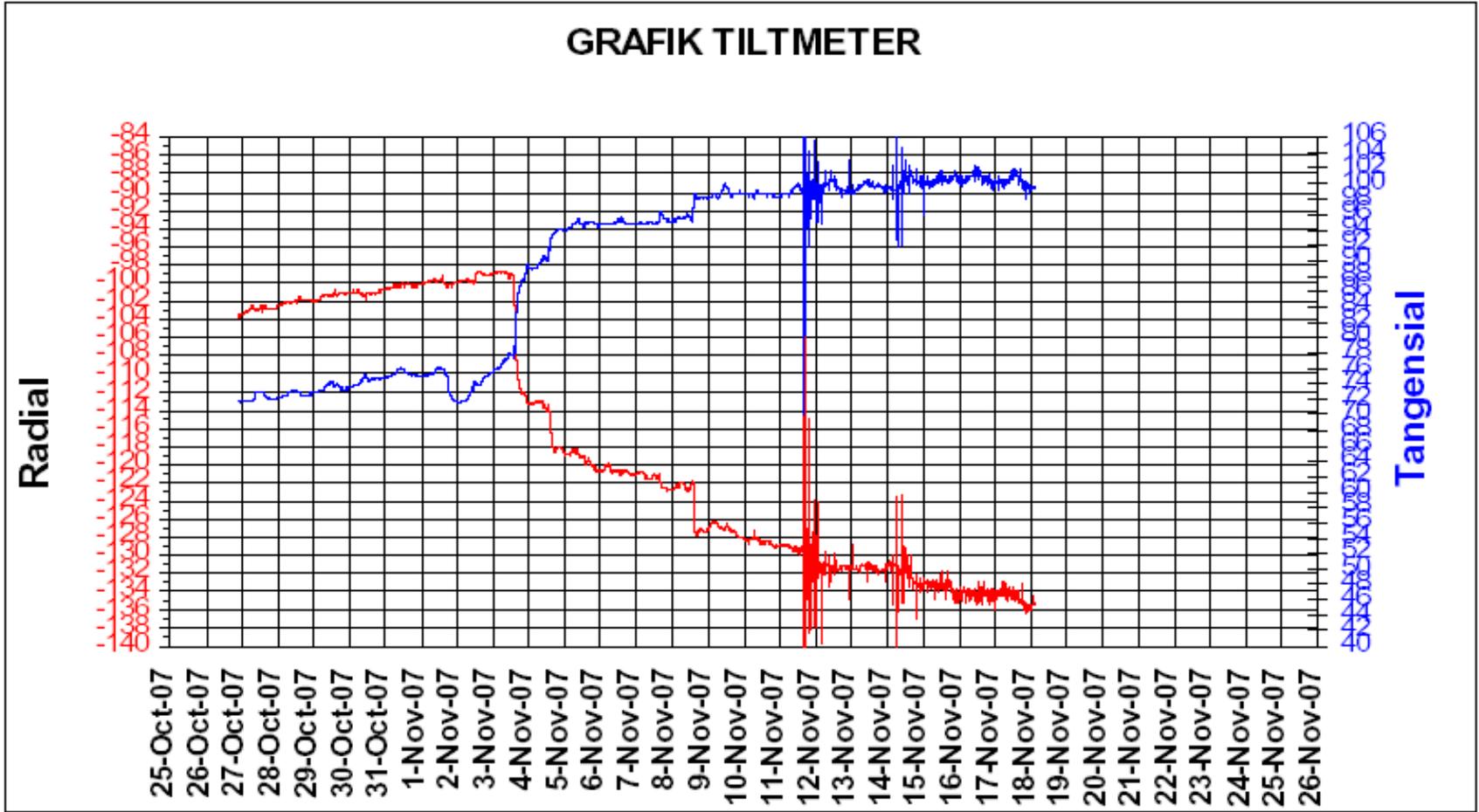
Sep. 26-29,2007 (Level3)



October, 2007 (Level 4)

火口外輪での傾斜変化

(溶岩ドーム出現過程11月4日～9日頃に大きな変化)



ケルート山頂火口湖の水温変化

(2007年10月31日～11月4日:溶岩ドーム出現直前から顕著な上昇)

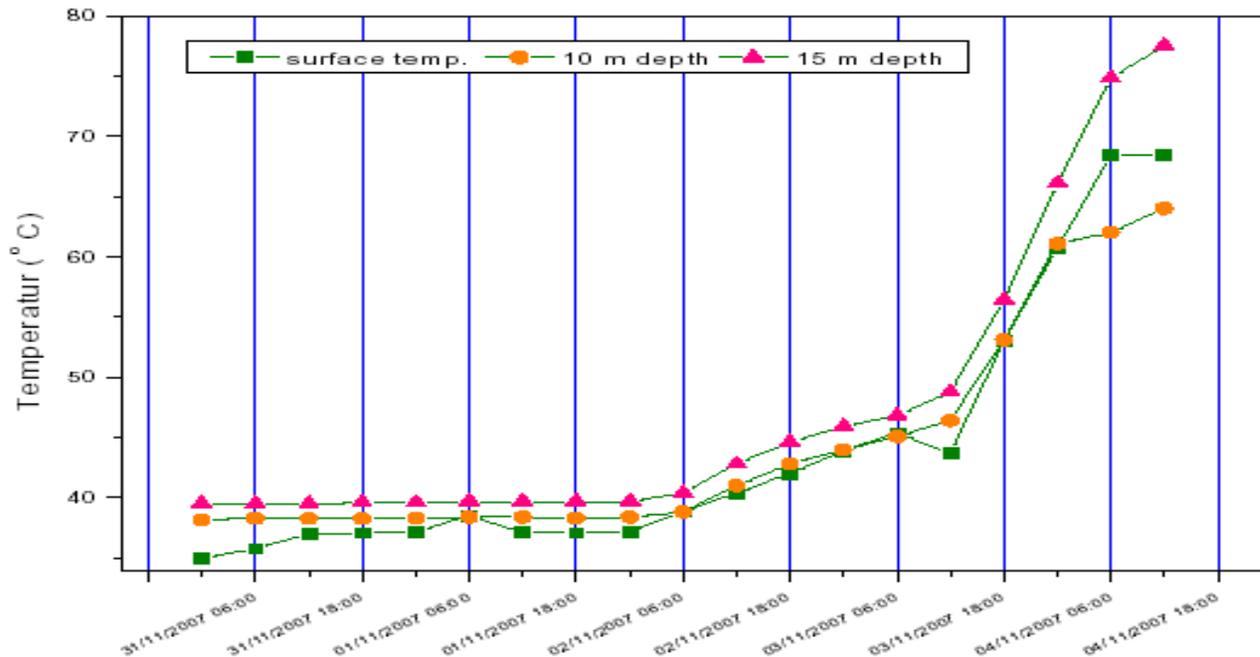


Figure 7. The sharply increasing of lake temperature on November 3rd, 2007, before the lava dome spotted emerging from the crater lake. Green triangle, black square and red circle represent the temperature at crater lake at surface, at 10 m of depth and 15 m of depth, respectively.

溶岩ドームの成長

11月8日にレベルⅣ(避難)からⅢ(警戒)に下げる



Figure 10. Lava dome emerging from the crater lake of Kelud volcano (taken from CCTV camera, courtesy of local government of Kediri).

Kelud火山の最近



2007年10月



2007年12月



2008年12月



左から
Gede Suantika(研修生、バンドン工大博士:観測課長)
Muhamad Hendorasto(研修生、京大修士:観測部長)
Ony Suganda(京大修士:バンドン工大博士:火山専門家)



JICA研修生送別会(桜島火山観測所)

* 部課長ポストの約3分の1は日本に研修、大学院修了者

○火山観測技術の移転、人材の育成は一応の成果を見た—留学生、研修生が火山の観測・研究で活躍。今後は、日本の大学等の若手研究者や気象庁火山担当職員の研究・教育の場としての活用も図りたい

—ひきつづき人材育成が重要。欧米各国の関心高い。アメリカ、ドイツ、フランス、ベルギー、イタリア、ニュージーランド、オーストラリア等

○インドネシアから学んだ、学ぶべきことも多い。
ハザードマップ・リスクマップ、噴火予警報、火山防災体制等

Guntur山地震データ: 博士学位取得(Nurlia Sadekin、Gede Suantika)、バンドン工大の学生・修士、JICA研修生の研究資料として利用



Siri HidayatiとWimpy Tjetjep夫妻
* 現在は開発・環境調整担当副大臣



Wimpy家で(撮影:竹本修三)

○1993年来日を契機に、親仏派から親日派へ:VSIの体質を変える

①上意下達(観測機器設置・解析は観測員、研究員は手を汚さない等)をやめ、

②車・運転手、観測機器を研究員個人の持ち物→VSI共通の財産

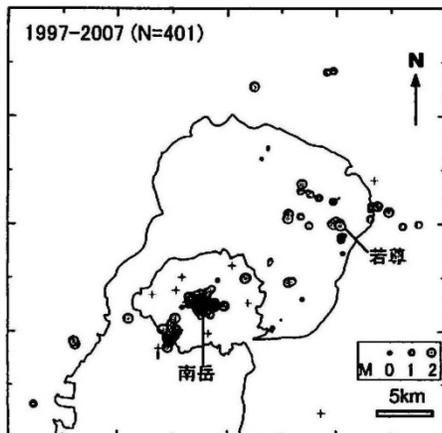
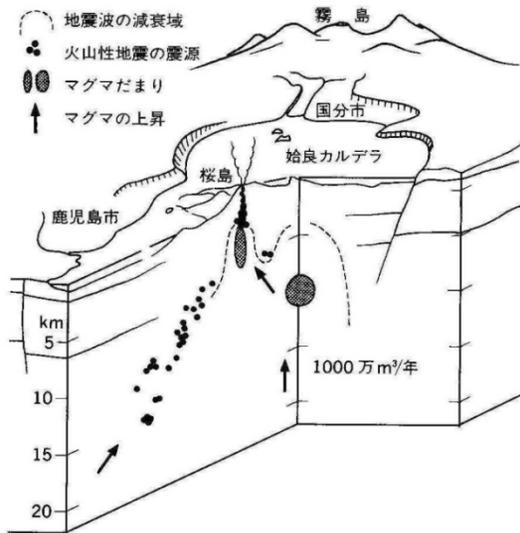
③プロジェクト経費を私物にしない

—“Open mind”, “全職員がHappyに仕事に取り組む”

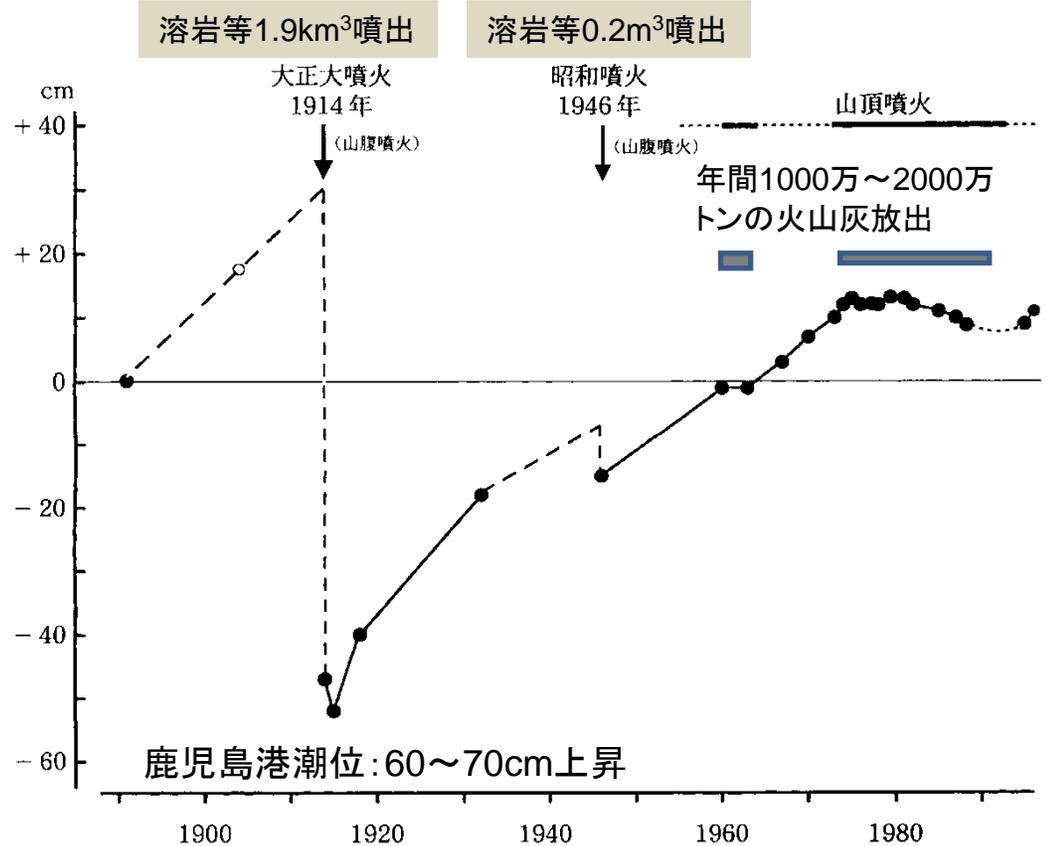
○多忙な中でも、よく遊ぶ(カラオケ・ライブ、会食・会話)、家族を大切にする。

桜島の火山活動の現状(継続的なマグマ供給と蓄積)

—火山防災検討上の基本認識—



2003年以降始良カルデラ内で地震発生



始良カルデラの地盤の昇降

1000万m³/年でマグマ蓄積が続くと、2020~2030年頃には大正大噴火直前のレベル(約1.5km³)に達し、近い将来の噴火活動の激化、あるいは大規模噴火は避けがたい。1955年から数えて2006年から第3波の噴火活動がはじまった。

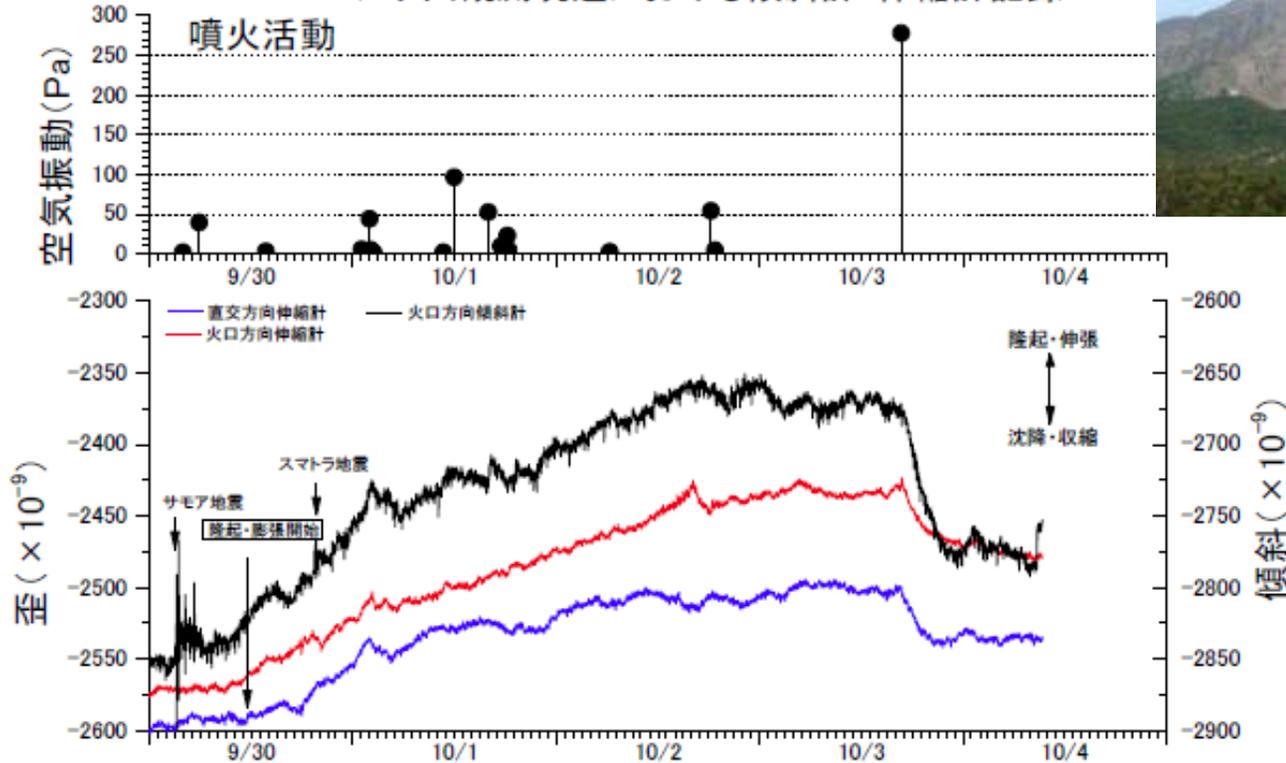
噴火の前兆は、**ナノ**、**10億分の1単位**で、地面の傾斜や歪を、地下深くで計測することで、はじめて捉えられる



観測坑道



ハルタ山観測坑道における傾斜計・伸縮計記録



桜島山頂火口の爆発 (市川信夫撮影)

- 噴火前の地盤の隆起は、0.001~0.1 mm程度
- 地下数kmまでのマグマの動きを検知

爆発前に直交方向伸縮計は伸び、火口方向伸縮計は縮みを示す。
爆発後は直交方向伸縮計は縮み、火口方向伸縮計は伸びを示す。

2009

京都大学防災研究所
大隅河川国道事務所