

火山災害評価のための火山噴火のモデル化に関する アジア国際シンポジウム

井口正人*・森田裕一**

Asian International Symposium on Modeling of Volcanic Eruption for Volcanic Hazard Assessment

Masato IGUCHI* and Yuichi MORITA**

1. はじめに

火山学研究の発展は、観測データ、噴出物サンプル、噴火事象の観察の蓄積に拠るところが大きいが、それは火山噴火の頻度に大きく依存する。20世紀以降の日本は、前世紀、前々世紀に比べて火山噴火の頻度が極めて少なかった。国民生活にとっては大変幸運なことであったが、火山学研究の発展と言う視点に立てば、困難な状況にある。日本に比べ活動度の高い火山を多数有するインドネシアは火山研究の好適なフィールドといえるが、火山活動の活発さは火山災害の深刻さを反映する。そのような事情をふまえ、京都大学防災研究所は1993年7月にインドネシアの鉱山エネルギー省地質鉱物資源総局と「インドネシア・ジャワ島における火山噴火機構とテクトニクスに関する国際共同研究」の協定を締結し、15年にわたって共同研究を実施してきた。現在の協定は2006年6月に防災研究所と地質鉱物資源総局から改編された地質学院 (Geological Agency) の間で締結されたものである。具体的な研究計画については、防災研究所側の火山活動研究センターと、インドネシアの地質学院側の火山地質災害軽減センター (Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation: CVGHM, 旧インドネシア火山調査所: Volcanological Survey of Indonesia) が担当し、インドネシアの Guntur 火山, Merapi 火山, Semeru 火山における観測網の設置や留学生、研修生の受け入れを通して研究成果を積み上げてきた。これまで1998年と2003年に5年毎の研究成果を総括するための国際シンポジ

ウムを地質学院のあるバンドン市において開催してきた。5年の節目に当たる2008年12月に3回目の国際シンポジウムを開催したので、それについて報告する。

2. 会議の概要

国際シンポジウムは「火山災害評価のための火山噴火のモデル化に関するアジア国際シンポジウム (Asian International Symposium on Modeling of Volcanic Eruption for Volcanic Hazard Assessment)」と題して、12月1日から2日までバンドン市内の地質学院講堂において研究発表が、12月3日から4日まで東ジャワの Kelud 火山において野外巡検が行われた。今回のシンポジウムはこれまで日本-インドネシアの国際共同研究の実施母体であった京都大学防災研究所と CVGHM に、日本学術振興会と東京大学地震研究所が加わり、4者の共催という形で行われた。また、防災研究協会からは後援をいただいた。日本やインドネシアは世界でも有数の火山地域であるが、それ以外にもフィリピンやバブアニューギニアには多数の活火山が存在し、アジア地域の火山は環太平洋火山帯 (Ring of fire) の西縁を形成している。火山活動の活発さは火山災害に直結し、過去に多くの火山災害がこれらの地域にもたらされた。1990年のフィリピンの Pinatubo 火山の大噴火はまだ記憶に新しいところである。本シンポジウムの目的は環太平洋アジア諸国の共通の課題である火山災害の軽減のために、最新の火山学研究の成果とその火山噴火予知への応用について意見交換し、火山災

* 〒891-1419 鹿児島市桜島横山町 1722-19
京都大学防災研究所
Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 1722-19 Sakurajima-Yokoyama, Kagoshima 891-1419, Japan.

** 〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1

東京大学地震研究所
Earthquake Research Institute, University of Tokyo,
1-1-1 Yoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0032, Japan

Corresponding author: Masato Iguchi
e-mail: iguchi@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

害評価のための方策を議論することであり、特に、噴火観測データと噴火モデルに関する検討を行うことと、日本とアジア諸国の若手研究者の交流も含めた共同研究の推進をはかり、火山災害軽減のための火山学研究及び火山噴火予知研究に関する研究ネットワークの形成を目指すことである。日本からは若手研究者を中心として21名、インドネシアからは約80名の研究者が参加し、フィリピンから2名、シンガポールから1名、パプアニューギニアから1名が招へいされた。また、インドネシアのCVGHMと国際共同研究を実施している米国、フランス、イタリア、ベルギー、オーストラリア、ニュージーランドなどの研究者も出席した。なお、組織委員会には日本側から井口と森田が加わった。

3. 開会式

開会式ではCVGHMの所長で組織委員長長のSurono氏が開会を宣言し、ついで地質学院長のSukhyar氏が式辞を述べ、あわせてインドネシア・エネルギー・鉱物資源大臣の祝辞を代読した。日本側からは石原和弘防災研究所長が挨拶し、日本-インドネシア両国間の国際共同研究と最近のインドネシアの火山活動について評価した。日本学術振興会前澤綾子地域交流課長の挨拶は、石原所長の代読によってなされた。また、中田節也教授が東京大学地震研究所と国際火山学および地球内部化学協会(IAVCEI)を代表してスピーチを行った。開会式の様子をFig. 1に示す。インドネシア・日本双方の式辞の間には2007年11月に溶岩ドームを火口湖の中に形成したKelud火山の火山活動とCVGHMの危機管理対応についてビデオが上映された。また、開会式の最後には長年インドネシアの火山ガス調査と留学生などの教育に携わってきた平林順一東京工業大学名誉教授に対してインドネシア側から表彰がなされた(Fig. 2)。開会式後、九州大学清水洋教授とシンガポール・Nanyang工科大学のNewhall教授が基調講演を行った。清水教授は「Development of the Project for Prediction of Volcanic Eruptions in Japan」と題した講演を行い、我が国の火山噴火予知計画におけるこれまでの成果と2009年以降の計画について述べた。また、Newhall教授は「Degassing efficiency and its implication for eruption precursors and explosive potential」においてマグマの含有ガス量と脱ガス効率の見積もりが火山爆発とそれによる災害の予測の上で重要であることを指摘した。

4. 研究発表

1日午後から2日にかけて一般講演が行われた。第1部のテーマは最近の火山噴火に見る危機管理と住民との



Fig. 1. Opening ceremony. Dr. Sukhyar, Head of Geological Agency, Ministry of Energy and Mineral Resources (left), Prof. Nakada, President of IAVCEI (center) and Prof. Ishihara, Director of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University (right).



Fig. 2. Award from Indonesian side to Hirabayashi, Prof. Emeritus, Tokyo Institute of Technology.

対話である。2007年インドネシア・Kelud火山、2005年及び2008年のパプアニューギニア・Garbuna火山、1991年～1995年の我が国の雲仙普賢岳、1999-2001および2006年のフィリピン・Mayon火山の事例が紹介された。また、ラハールなど火山災害の評価についての研究発表がなされた。第2部は火山噴火予知の高度化のための火山噴火機構のモデル化に関するセッションである。地震学、測地学、地球電磁気学、地球化学、地質学、岩石学など様々な手法を用いた火山噴火のモデル化とそれらと理論的な背景からの統合について研究発表がなされ、議論が深められた。口頭発表は31件、12月1日の夕方に行われたポスターセッションには21件の研究発表があった(Fig. 3)。

特に印象に残ったのは、CVGHMの研究者とベルギーの研究者が共同で実施したKelud火山噴火前後のCO₂噴出量や湖面温度などの測定である。2007年のKelud



Fig. 3. Poster session.

火山の溶岩ドームの形成の経過については次節に詳しく記述するが、溶岩ドーム形成時のCO₂噴出率や湖面温度などの時間変化の記録は、これまでこの火山が繰り返して発生してきた爆発的噴火の場合と比較できれば、爆発的噴火と溶岩ドームの形成の噴火様式の分岐を解明する重要な手掛かりになると期待できる。その他、インドネシアの活発な噴火活動を反映して、CVGHMの研究者からEgon火山の噴火前の地盤変動、Soputan火山の最近の2回の噴火前の観測結果の解析、Guntar火山の噴出物調査、Merapi火山での火山ガス観測などの成果が報告された。

5. Kelud 火山

12月3日と4日には東ジャワのKelud火山において巡検が行われた。参加者は40名に及び、インドネシア国外の会議出席者はほとんどに参加した。Kelud火山では20~30年の間隔で噴火が発生する。山頂には火口湖が形成され、噴火により度々ラハールによる災害が繰り返されてきた。1919年の噴火では5000人以上がラハールにより犠牲となった。そのため火口湖に水抜きのためのトンネルが掘削されラハール防止のための努力が払われている。1990年2月10日に始まった噴火では水蒸気爆発からプリニー式噴火に移行し、周辺に多量の火山灰が堆積したため家屋の倒壊により死者34名という災害が発生している。

1990年から17年が経過した2007年8月ごろからエメラルドグリーンをした火口湖の色が黄色をおびはじめた(口絵写真2)。同時に火口湖の水温も上昇を始め、1日に0.1~0.2°Cの割合で増加した。9月10日からA型地震が時々発生するようになったため、CVGHMは火山活動が異常な状態に入ってきたとしてWaspada(注意; 石原, 1997)の情報を出し、注意を喚起した。9月26日

から27日には1日20~30回程度の地震が発生し、火山性微動も頻繁に観測されるようになった。9月29日時点でCVGHMは活動レベルをSiaga(警戒)に上げ、監視体制を強化した。B型地震は10月9日から観測されるようになり10月16日には510回のB型地震が発生した。また火口方向の隆起を示す傾斜変動も継続し、火口湖の温度も上昇していたことからCVGHMは最高の活動レベルであるAwass(避難準備)の情報(日本の噴火警戒レベル4・5相当)を発表し、火山周辺に居住する11万6千人の住民が避難した。インドネシア・ジャワ島では乾季から雨期に移り変わる時期であり、CVGHMは火口縁に監視カメラを設置していたものの火口内の状況を目視することができなかった。このような状況下で火山性地震の活動が10月31日に一気に活発化し、40回のA型地震と1437回のB型地震が群発した。このような火山性地震活動の活発化は11月2日まで続き、同日には火山性微動の連続的な発生に変わった。CVGHMは当初、1990年噴火のようなプリニー式噴火を予想していたが、2007年の噴火では1990年の噴火とは異なり、溶岩ドームが火口湖の中に出現した。11月3日の早朝の監視カメラの映像では顕著な異常がなかった火口湖に、11月4日早朝の映像では溶岩ドームの先端が映し出されていた(口絵写真3)。11月3日は早朝以外、監視カメラで火口湖の状況を把握することはできなかったが、火山性地震・微動の発生様式の変化と火口側隆起から沈降へ反転した傾斜変動から溶岩ドームの出現は11月3日の13時ごろと判断されている。火口湖の水温は11月3日には56°Cまで上昇していた。火口湖に現れた溶岩ドームは徐々に湖を埋め、11月17日までに約150mの高さ、体積約750万m³に成長した(口絵写真5)。その後、溶岩ドームの成長率は低下したものの2008年2月21日時点では高さ250m、体積1200万m³に達したとされている。我が国の2000年三宅島噴火でも指摘されたことであるが、直近の噴火活動が次の噴火活動の様式を予測する上で必ずしも参考にならないことを物語る例である。

溶岩ドームの出現直前からインドネシア語でhembusanと呼ばれる地震が増加した。このタイプの地震は、4~5 Hzの低周波振動が不規則に繰り返されるものでMerapi火山において溶岩ドームの成長期に頻繁に発生するMP地震(Ratdomoprbo and Poupinet, 2000)に類似している。11月3日以降の地震活動はこのhembusanであり、A型地震もB型地震の発生が見られなくなったことからCVGHMは爆発的噴火の可能性はなくなったとして溶岩ドームが確認されたわずか4日後の11月8日には活動レベルをSiagaに、11月29日にはWaspadaに下げた。レベルを上げるにしても下げるにしても我が国と比べ、



Fig. 4. Sampling of rock from the 2007 lava dome at Kelud volcano.

驚異的な迅速さである。

巡検では溶岩ドームの岩石のサンプリングが行われ (Fig. 4), 溶岩ドームの成長過程や今後の噴火活動の見通しについて議論がなされた。その後、火口周辺の火砕流堆積物の露頭や Kelud 火山観測所、火山活動で埋没したマジャパヒト時代の遺跡を見て回った。巡検の様子は 12 月 4 日の東ジャワ新聞でも報道された。4 日にはスラバヤ市近郊の Sidoarjo で天然ガス掘削中の事故により出現した泥火山の様子と泥流対策を見学した。

6. おわりに

防災研究所と CVGHM の国際共同研究の枠組みで京都大学はこれまで多くの留学生や研修生の教育を行ってきた。今回のシンポジウムでは帰国した留学生が組織委員の実働部隊として重要な役割を果たした。また、日本で学んだことはインドネシアの火山観測や火山活動の評価において広く取り入れられ、15 年間の共同研究と教育が徐々に実を結びつつあることを実感できた。しかしながら、インドネシアの CVGHM でかつて 1 台の地震計で火山噴火予知をなした世代は職を去りつつあり、代わって 20~30 代の若手研究者が最近 2、3 年急速に採用

されたものの、世代交代にはまだ相当の時間を要し、組織全体としての噴火予知レベルの向上は急務の課題である。さらに、2007 年の Kelud 火山の噴火活動の形態にみられるように、火山噴火の切迫性をとらえていても、実際には想定していた噴火様式と異なる噴火に至ることは我が国の三宅島 2000 年の噴火のように日本を含め世界中で見られることであり、火山噴火予知研究の更なる高度化が求められる。火山噴火予知研究の高度化のためには学術レベルの向上が不可欠であるが、中田 IAVCEI 会長も指摘したように今年 8 月にアイスランドで開催された IAVCEI 総会には、フィリピンからの出席者はわずか 3 名、インドネシアからは出席者なしという状態であった。このアイスランドの IAVCEI 総会では 2013 年の IAVCEI 総会が鹿児島市で開催されることが決議された。活火山桜島のある鹿児島市での火山会議の開催に魅力を感じてのことだと思われるが、活動的火山を多数有するインドネシア、フィリピンなどアジア地域の研究者を火山会議に取り込んでいくことへの期待感の表れとも取れる。特に、極めて活動度の高い火山を多数有するインドネシアについては同国からの積極的な研究成果の発信が望まれる。そのためには我が国も含めた継続的共同研究の人材育成を継続し、アジア地域での研究ネットワークの拠点形成を通して、同地域の学術レベルの向上による火山噴火予知の更なる高精度化のために我が国の果たすべき役割は大きい。12 月 2 日のシンポジウム終了後に、インドネシアと国際共同研究を実施している国々の間意見交換会がもたれたが、我が国は観測データを持ち帰ることができればいいという考え方からは一線を画すべきである。

引用文献

- 石原和弘 (1997) インドネシアの火山活動のレベル化に関する規定. 火山, **42**, 53-57.
- Ratdomopurbo, A. and Poupinet, G. (2000) An overview of the seismicity of Merapi volcano (Java, Indonesia), 1983-1994. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **100**, 193-214.

Figure caption

- Photo 1.** Crater lake of Kelud volcano in March 2007. Photograph taken by Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation.
- Photo 2.** Crater lake of Kelud volcano in August 2007. Photograph taken by Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation.
- Photo 3.** Appearance of a lava dome in the crater lake detected by CCTV camera. Left: November 3, 2007. Right: November 4, 2007.
- Photo 4.** Phreatic eruption on November 14, 2007 at Kelud volcano. Photograph taken by Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation.
- Photo 5.** Lava dome on November 17, 2007. Photograph taken by Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation. Photograph taken by Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation.
- Photo 6.** Lava dome on December 6, 2007. Photograph taken by Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation.
- Photo 7.** Lava dome on December 3, 2008.

1



2



3



