

CCOP・GSJ/AIST共催, 第3回火山災害軽減のための ワークショップ及び巡検参加報告

下司 信夫¹⁾・鬼澤 真也¹⁾・高田 亮^{1*)}・浦井 稔¹⁾・土志田 潔²⁾

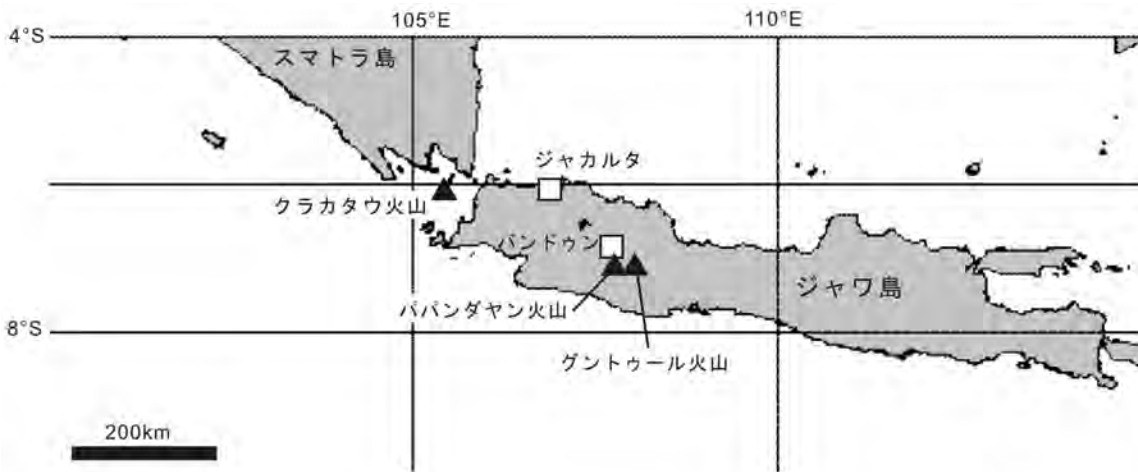
1. はじめに

東・東南アジア地球科学計画調整委員会(CCOP)第3回火山災害軽減のためのワークショップ(The Third Field Workshop for Volcanic Hazard Mitigation)は, 2006年8月29日から9月3日までインドネシア・バンドゥン(第1図)にて開催された。本会議は, アジア太平洋諸国で互いに噴火経験を共有化するために2004年から行われ, 今回はその第3回にあたる。インドネシア火山地質災害防災センター(CVGHM)が現地組織者となり, インドネシアから約30名, フィリピンから2名, 日本から5名, CCOP事務局から1名の合計約40名が参加した(第2図)。

2. ワークショップ

会議はCVGHMに隣接するホールにて行なわれ

た, 火山災害の軽減に向けた取り組みに関する基調講演に続いて, それぞれの国の火山活動に関する研究報告が行われた。研究報告の内訳はインドネシアから9件, フィリピンから2件, 日本から5件であった。インドネシアからの報告では, 本年6月から7月にかけて溶岩ドームを形成し火砕流を発生させたムラピ(Merapi)火山の活動推移や防災への取り組みが関心を集めた。ムラピ火山で発生する溶岩流崩落型の火砕流について“pyroclastic flow”と区別して“pyroclastic avalanche”という用語を多用していたのが印象的であった。またインドネシア国内でももっとも活発な火山のひとつであるカラングタン(Karandetang)火山の概要や噴火活動, 災害対策などについても詳しい紹介がなされた。フィリピンからは国内全体の火山防災活動に関する報告とともに, 現在噴火中のマヨン(Mayon)火山の活動が報告され, 活動推移と防災への取り組みについて活発な議論が行われた。今回イ



第1図 インドネシア・ジャワ島概略図。

1) 産総研 地質情報研究部門

1*) 現:産総研 地質調査情報センター

2) 電力中央研究所 地球工学研究所地圏科学領域

キーワード: CCOP, インドネシア, 火山災害, バババンドヤン火山,
クラカタウ火山



第2図 会議の主要な参加者はインドネシアから9名、フィリピンから2名、日本から4名、CCOP本部(タイ)から1名であった。写真には写っていないが、このほか多数のインドネシア火山関係者が出席した。



第3図 会場。昼食やコーヒープレイクも会場でピクニック形式。インドネシア料理で大変美味である。

インドネシアとフィリピンから報告された3つの火山の噴火活動はどれも山頂火口からのeffusiveな安山岩溶岩の噴出と火砕流の発生(の危険性)という共通点で結ばれていた。これらの観測事例を系統的に比較するだけでも十分に意義深いと感じさせられるものであった。また発表を聞いていて、インドネシアやフィリピンでは火山活動の観測から活動評価・災害軽減に至る過程が系統的に整備され円滑に機能していること、同時にそれぞれの研究機関や研究者が火山災害軽減に対してより実践的な意識を持っていることを強く感じた。

日本からは、有珠2000年噴火および三宅島2000年噴火の推移や噴火メカニズムの報告(鬼澤・下司)、広域的な火山活動の特徴と時間変化について(土志田)、衛星リモートセンシングを用いた火山活動観測(浦井)について紹介した。それぞれの講演に対して、予定されていた質疑応答の時間を越える活発な議論が行なわれた。日本の火山についてはそれぞれのテクニクセッティングや、火山活動と隣接する沈み込み帯での地震活動との関係などについてとくに関心が高く、多くの質問が集中した。

講演会場は赤いビロードのテーブルクロスがかけられたテーブルがコの字型に並べられ、中央では小さな噴水が水音を立てているなど、大変立派なホールであった(第3図)。しかし、講演中の会場に開放したドアから野良猫が侵入してくるような熱帯のおおらかさも持ち合わせていた。ちなみに会議が行われた

建物の棟続き部分にはインドネシア地質博物館が開設されている。会議のため時間がとれず見学できなかったのは残念である。

3. 現地討論会

3.1 パパンダヤン火山

8月31日の午後、バンドゥン市の南東約50kmにあるパパンダヤン(Papandayan)火山の巡検が行われた。パパンダヤン火山は幾つかの安山岩質成層火山の集合体からなる火山体で、1772年には大規模な山体崩壊が発生し、山麓の40の集落を襲い約3,000名の犠牲者を生じた。また2002年11月にはマグマ水蒸気噴火が発生し、1772年の崩壊カルデラ壁の一部が崩壊しカルデラ内に岩屑なだれ堆積物が広がった(小林ほか、2004)。カルデラ内では現在も活発な噴気活動が継続している。

バンドゥンからワゴン車に分乗して約3時間の道のりで、パパンダヤン火山の1772年崩壊カルデラ内にある駐車場に到着した。広い駐車場にはみやげ物や飲食物を売る屋台が数軒並んでいる。駐車場から2002年火口群や活発な噴気地帯までカルデラ底の緩い登り坂の遊歩道が続いている。駐車場から5分ほど歩くと遊歩道は2002年の岩屑なだれ堆積物に覆われる。岩屑なだれ堆積物の高さはおよそ6mほどであり、そこに上るとカルデラ内の噴気地帯や2002年火口を見渡することができる。ここでCVGHMのIgan



第4図 パパンダヤン火山の2002年岩屑なだれ堆積物の上で火山活動についての説明を受ける。解説するのはCVGHMのIgan Sutawidjaja氏。



第5図 噴気孔の温度を計測するインドネシア火山研究者。この噴気孔からは200℃を越える火山ガスが噴出している。周囲には二酸化硫黄ガスが立ち込め、息苦しい。

Sutawidjaja氏によるパパンダヤン火山の概要や1772年、2002年の噴火活動についての解説が行われた(第4図)。2002年の噴火では先行した地震活動の後、カルデラ壁が崩壊しその直後に直線状に配列した3ヵ所の火口からマグマ水蒸気噴火が発生したこと、岩屑なだれ堆積物はその後のラハールの発生源になっていることなどが紹介され、参加者は生々しい岩屑なだれ堆積物表面の地形を観察した。さらにカルデラ内を15分ほど進むと活発な噴気地帯に到着する。ここから遊歩道を離れて噴気地帯の観察に向かった。噴気地帯の中央部には高温のために昇華硫黄が析出してない噴気孔が分布し、盛んに高温の火山ガスを噴出していた(第5図)。あたりには二酸化硫黄特有の刺激臭が立ち込め、鼻やのどに刺激が走る。参加者はしきりに咳やくしゃみをしていた。同行したインドネシアの研究者が携行した温度計で噴気温度を測定した結果、200℃を超える温度であった。

その後、岩屑なだれ堆積物を横断して2002年の火口に向かう。赤道直下であるため午後6時になると日没を迎える。夕闇迫るまで2002年火口周辺の地形や噴出物を観察し、噴火の推移やメカニズムについて活発な議論が行われた。遊歩道に戻り駐車場に到着するころにはすっかり暗くなっていた。

暗闇の中パパンダヤン火山を下山し、隣接するグントゥール(Guntur)火山の火山観測所に向かった。グントゥール火山は19世紀中頃まで活発な噴火活動を繰り返した活火山である。1843年を最後に150年



第6図 グントゥール火山観測所で火山性地震の発生状況や監視体制について説明するインドネシア火山研究者。活発な地震活動が記録されている。

以上噴火していないが、現在も活発な地震活動が起こるとともに山頂では年々クラックが拡大しているという活動的な火山である。グントゥール火山観測所は京都大学防災研究所の協力によって地震や地盤変動の観測網が整備されており、インドネシアでは最も近代的な観測システムを有する観測所のひとつである



第7図 グントール火山観測所内部にはハザードマップや地質図、震源分布などの資料が展示されている。

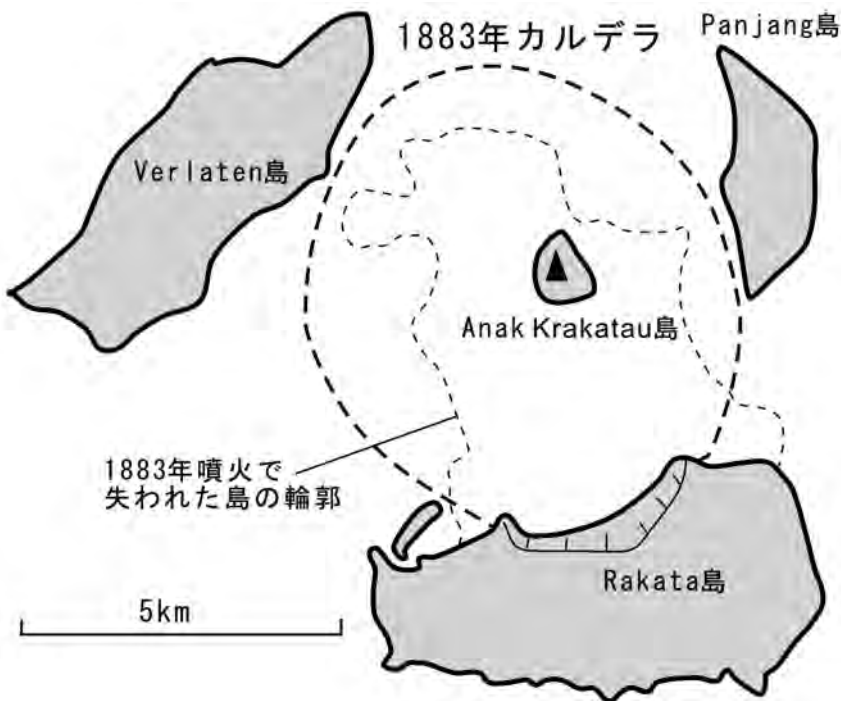
う(第6図)。インドネシアのほとんどの火山で震源決定すらままならない状況の中で、震源分布・マグニチュード・発震機構の解明や、地震活動と同期した地盤変動の検出により、地下の力学的状態が議論されるに至っている(井口ほか, 1996; 1998)。我々が観測所を訪れた際には、まだ予察的ではあるがこれらのデータを用いて走時トモグラフィ解析を進める研究者の発表があった。また観測所内には地質図やハザ-

ドマップ、立体模型なども展示されており、多角的な火山観測・防災への取り組みが示されていた(第7図)。

3.2 クラカタウ火山

9月1日~3日にかけてクラカタウ(Krakatau)火山の巡検が行われた。クラカタウ火山はジャワ島とスマトラ島との間のスندا海峡にある火山(第1図)で、1883年には直径約7kmのカルデラを形成する噴火が発生し(Self and Rampino, 1981)、主に津波により36,000人を超える火山災害史上最大の犠牲者を生じたことで知られている。クラカタウ火山はカルデラ壁を構成する3つの主な島と、カルデラの中に成長し続けているアナク・クラカタウ(Anak Krakatau)島からなる(第8図)。1883年噴火に関する詳細はSimkin and Fiske(1983)に詳細にまとめられている。

巡検はバンドゥンを昼に出発し、ジャカルタを經由してクラカタウ島への出港地であるカリタには夜10時ごろ到着した。ジャカルタ市街地の高速道路の渋滞により予定よりも大幅に時間を要したが、時間におおらかなのがインドネシア風である。途中夕食に寄ったレストランではIgan Sutawidjaja氏によるクラカタウ火山の活動に関する発表が行なわれ、後カルデラ火山



第8図
クラカタウ火山概略図。
Self and Rampino (1981)
より一部改変。



第9図 アナク・クラカタウ火山の麓に落下している火山弾。砂地に大きな衝突クレーターを作っている。

であるアナク・クラカタウ火山の成長過程や最近の噴火活動の映像は参加者の興味をそそり、明日の巡検にむけ機運が高まった。レストランにプロジェクターを持ち込み、他の客が食事をしているすぐ横の壁にパワーポイントを投影するなど、これまた日本では考えられない。あいにく(?) 同席してしまった他の客も、クラカタウ火山の迫力ある噴火の映像を興味深そうに覗き込んでいた。

翌9月1日、カリタから2隻のボートに分乗して約40km離れたクラカタウ島を目指した。霞のため出港地からはクラカタウ島の島影はまったく見えず、2台の船外機をつけたボートはコンパスひとつを頼りにスンダ海峡を快走した。クラカタウ島までは2時間弱の行程である。

3.2.1 アナク・クラカタウ火山

アナク・クラカタウ火山は1883年の噴火で形成されたカルデラの中に成長している後カルデラ火山である。1927年12月に最初の海底噴火が確認されて以降噴火を繰り返しながら成長し、現在は標高300mを越えている。現在海面上に露出する山体は1941年までの間に発生したマグマ水蒸気噴火によって形成されたタフコーンと、そのタフコーンの火口の中に1950年



第10図 アナク・クラカタウ火山の中腹。火山弾で埋め尽くされている。多くは1990年代から2002年にかけて放出されたものである。

以降成長し現在は島の西部をすっかり覆いつくしているスコリア丘とそこから流れ出した複数の溶岩流からなる(口絵写真1)。

われわれは島の北東部の砂浜にボートを乗り上げて上陸した。海岸は黒色スコリアの砂からなり、きめが細かく美しい砂浜である。砂浜から灌木の林に入り、1996年6月に噴出し海岸まで到達したアア溶岩流の側端崖に沿って登る。はじめは島の下半分を構成するタフコーンの斜面の緩いのぼりで灌木の林の中をゆくが、海岸から200mも歩くと植生がまばらになり、代りに足元は砂礫の斜面になり生々しい火山弾が随所に見られるようになる(第9図)。しだいに傾斜がきつくなり、やがてあたり一面に火山弾が散らばる岩塊斜面を登るようになる(第10図)。大型の火山弾は直径3~4mはあり、衝突クレーターを作るものや、着地の衝撃で粉々に粉碎したもの、着地後も流動して変形したものなどさまざまな火山弾が観察できる。これらは1996年から2002年ごろまでの間に山頂火口で発生したブルカノ式~ストロンボリ式噴火の噴出物とのことである。気をつけてみるとよく発泡した数cmほどのスコリアが地表をうっすらと覆っているが、これは2002年のストロンボリ式噴火のときに放出されたスコリアであろう。

タフコーンの斜面を登りきると、タフコーンの火口の中を埋めつつ成長したスコリア丘の横に出る。スコリア丘の斜面は一面岩塊で覆われ、ずり山のようなのである。周辺には典型的な牛糞状や紡錘状の火山弾が散らばっているが、どれも大きい上に着地の衝撃で砕け

ているものが多い。Igan氏は船の作業員2人をポーターにして、直径60cmはある牛糞状の火山弾を担がせて回収していた。バンドゥンの地質博物館に展示するつもりだという。火山弾のほとんどは黒色の安山岩質スコリアであるが、しばしばその中に白色の軽石を取り込んでいるものが見受けられる。白色の軽石はおそらく1883年に噴出したデイサイト軽石であろう。

タフコーンを登りきるとその火口縁には火山活動監視のためにCVGHMがドイツの研究グループと共同で設置した観測ステーションがあった。これらの観測機器は火山弾によるダメージをおそれて、大きな火山岩塊の蔭に設置されているのがおもしろい。ここから対岸のジャワ島にある観測所までデータを伝送し、火山活動を常に監視している。

ここからのスコリア丘の登りは比高200mほどで、ルーズな砂礫の急斜面をトラバースするようにつけられたトレイルを登る。急斜面かつ足元ががらがら崩れるためにはなはだ登りづらい。しかも赤道直下の強烈な日差しが照りつけ、高い湿気と相まって大層暑苦しい。我慢の登山を15分ほどつづけると山頂火口の縁に出る。息を整えながら覗き込んだ火口は直径200mほどで、急なすり鉢型をしている。2002年まで活発なストロンボリ式噴火を繰り返していた火口は静かで、ただ大きな火山弾が埋め尽くしているのみである(口絵写真2)。火口底からは噴気も見られない。火口の東側リムから北側にかけて噴気・地熱地帯が広がっているが、活動は弱く噴気はほとんど目視できない。噴気温度も最高で82度程度とのことであった。日本人参加者のうちの幾人かは例によって火口を一周するお鉢めぐりを楽しんだ。火口縁から見下ろすと、さまざまな時代に噴出した溶岩流が四方に広がり確実に島の面積を増大させている様子がよくわかる。

山頂を楽しんだ後、一気に海岸まで下山する。タフコーンの斜面の下りは砂地で、砂走りと行きたいところであるが、砂の中には多くの火山弾があるため慎重に下る。海岸付近はすでに密林になっており(口絵写真6)、この島がわずか100年にも満たない歴史しか持たないとは到底信じられない。海岸に出ると林の中に沿岸警備用の小屋が立てられており、数人の兵士が駐在していて盛んに賭けトランプらしきゲームをしていた。主に自然保護の理由から許可のないものは上陸できない旨の掲示板が立てられており、自然公園として一応の保護がなされているらしい。ここで



第11図 ラカタの火山体を貫く岩脈から試料を採取する。この崖は1883年の噴火によって形成されたカルデラ壁で、ラカタ火山のほぼ中央部を切断しているため成層火山の内部構造がよく観察できる。

昼食の弁当を食べながら長い昼休みをとった。対岸にはカルデラ壁の残骸であるPanjang島が浮かび、こちら側は広い黒砂の砂浜となっていて、のんびりとしていて実によい風景である。

3.2.2 ラカタ島に見られる成層火山断面

アナク・クラカタウ島を後にして、ラカタ(Rakata)島に向かった。ラカタ島は1883年のカルデラ形成によってほぼその中央部から切断された成層火山で、海面から標高813mの山頂までほぼ一直線の断崖にその断面が良好に露出している(口絵写真4)。火山体の中央部には多数の放射状岩脈が露出しており、成層火山の浅部の火道システムがあらわになっている。われわれはクラカタウ火山の火山活動の履歴復元のために、ラカタ火山の基底部の噴出物の採取を試みた(第11図)。2艘のボートのうち片方はラカタ島のカルデラ壁直下にわずかに発達する砂浜に上陸し、カルデラ壁の崖下の海岸を火山中心部に向かって進んだ。途中の海岸はカルデラ壁から崩壊した崖錐堆積物で覆われており、すでに多くの樹木が繁茂してい



第12図 ラカタ火山の断面には多数の岩脈が露出している、写真に写っている部分の崖の高さは200mを超える。

る。ようやく崖錐堆積物が尽きると火山体の基底部の噴出物が露出していたが、今度は断崖が直接海に没しておりこれ以上進むことは出来なくなった。露出していたものはおそらく浅い水底に堆積した降下スコリア層と、それを覆うアア溶岩層、さらにそれらを通る岩脈である。

試料採取を終えて海岸のポートまで戻ると、船員がクーラーボックスから冷たいミネラルウォーターを出してくれた。熱帯の海岸での労働のあとにはたまらない。ポーター付の至れり尽くせりのフィールドワークである。ポートに乗り込み、ラカタ火山の断面をゆっくと観察する。火山体の中央部には数十枚の岩脈を見ることができ、それらは垂直方向に数百m以上追跡できるものもある(第12図)。ジグザグに貫入する岩脈を見ると、火山の内部でのマグマの挙動についてはまだまだわれわれの知らないことがたくさんあることを痛感させられる。再度調査を訪ねねばなるまいと思いつつ、夕陽に染まるラカタ島の断崖を後にした。ラカタ島から再びカルデラの外に出て、スندا海峡を横切りながら帰途に着く。夕方になりやや波風が立ち始めるなかを往路同様に飛ばすので、船の中は飛沫ですっかりびしょぬれになってしまった。1時間半ばかりの我慢の航海を終えてカリタの海岸に戻った

ときにちょうど日没となった。夕日に染まるクラカタウのシルエットが見えるかと思って西方を見渡してみたが、すでに霧が立ち込めているばかりであった。

3.2.3 ジャワ島西岸における津波の痕跡

最終日の9月3日には、ジャワ島西端のスندا海峡沿いの海岸を北上しながらクラカタウ火山の観測所を訪問し、また海岸の津波石を見学した。クラカタウ火山の活動は共に40km以上離れたジャワ島西岸とスマトラ島南岸の2つの観測所によってモニターされている。我々が訪れたジャワ島の観測所は海岸に面した比高15mほどの高台にあり、視界がよい日にはクラカタウ島が遠望できるという。観測所前の水田では水牛が草を食み、観測所の敷地にはバナナやココ椰子が実っており、またさまざまな熱帯の花が咲き誇り、じつにのどかな観測所であった。巡検ガイドによれば、アナク・クラカタウ火山の噴火の前には前兆地震が起こっており、活動の監視は主に観測所に無線で伝送される地震データと目視観測によっている。近年はドイツの協力によって地震データのデジタル化がなされており、観測所では島に設置したウェブカメラの映像も見ることができた。またアナク・クラカタウ山腹の観測点では気象観測用のセンサーやGPSアンテナも認められたので恐らくこれらの観測もはじめているのであろう。ただし観測所オブザーバーの話によれば、現在コンピュータの不調によりデジタルデータは保存されておらず、ドイツから修復にやってくるのを待っているというのが実状らしい。

スندا海峡に面したアンイェル付近には、1883年のクラカタウ噴火に伴う津波によって打ち上げられたサンゴ礁の岩塊が保存されている。最大のものは長さ約15m、高さ6.5m、体積300m³に及ぶ岩塊が海岸からおおよそ100mの位置にまで運ばれている(口絵写真8)。周辺にはそれより小ぶりの津波石が多数散在している。アンイェルのフォース・ポイントと呼ばれる岬には津波襲来当時にはレンガ造りの灯台が設置されていたが、この灯台も基礎を残して倒壊した。現在も津波によって破壊されたレンガ造りの灯台の基礎部分が残存しており(表紙)、そのクラカタウと反対側には破壊された灯台の残骸が飛散している(口絵写真7)。灯台の残骸はさらに1km以上も内陸にまで散らばっているらしい。フォース・ポイントはスندا海峡の交通の要衝であり、早くも津波の2年後には高さ60m

の鋼鉄製の灯台がやや内陸側に再建され、その灯台は現在も使われている。灯台周辺は海岸の公園となっており、多くのみやげ物や飲食物の屋台がならんでいてちょっとした観光地になっている。これらの津波石や灯台の残骸を利用してここにクラカタウの噴火や津波に関する掲示板かモニュメントを設置すれば、住民や観光客に対するよい啓蒙の場になるのではないかというような提言が巡検参加者からなされた。

4. おわりに

環太平洋火山帯の西縁にあたるアジア地域には活発な活火山が多数分布している。アジア地域は世界的にも人口密度の高い地域であり、活動的火山といかに共存しつつその災害を軽減するかはきわめて重要かつ逼迫した課題である。CCOPによる火山災害軽減のためのワークショップは第三回を数え、参加各国によるアジア地域における火山災害の軽減のために、各国の火山活動研究の一層の推進と、相互の情報交換・研究交流を通じたより有効な火山防災活動を展開する重要性を認識させた。次回のワークショップは来年フィリピンで開催される予定である。フィリピンもまた多くの活火山を抱え、1991年のピナツボ火山

の噴火や現在継続中のマヨン火山の噴火など、火山災害の脅威に直面しながらもさまざまな防災・減災に向けた取り組みを進めている。本ワークショップなどを通して構築される研究機関・研究者間の人的なネットワークの成果が、これらアジア諸国の火山災害の軽減に寄与してゆくことを期待したい。

引用文献

- 井口正人・石原和弘・高山鐵朗・グテ スアンティカ・ウィンピー チェチエップ・ラデン スクヒャール・イガン スタウィジャジャ・オニー スガンダ (1996) : インドネシア・グントゥール火山における地震活動. 京大防災研年報, 39B-1, 161-171.
- 井口正人・石原和弘・江頭庸夫・山本圭吾・イガン スタウィジャヤ・グデ スアンティカ・オニー スガンダ・ムハマド ヘンドラスト (1998) : インドネシア・グントゥール火山における最近の火山活動の評価. 京大防災研年報, 41B-1, 161-170.
- 小林哲夫・M.Nuguraha Karatadinata・井口正人 (2004) : インドネシア、ババンダヤン火山の2002年噴火. 火山, 41-43.
- Self, S. and Rampino, M.R. (1981) : The 1883 eruption of Krakatau. Nature 294, 699-704.
- Simkin, T. and Fiske, R.S. (1983) : Krakatau 1883. The volcanic eruption and its effects. Smithsonian Institution Press. Washington D.C., P464.

GESHI Nobuo, ONIZAWA Syn'ya, TAKADA Akira, URAI Minoru and TOSHIDA Kiyoshi (2007) : Report of The Third Field workshop for Volcanic Hazard Mitigation, CCOP and GSJ/AIST, in Bandung, Indonesia.

<受付：2006年11月7日>