

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19404010  
 研究課題名（和文）ジャワ島・メラピ火山地域における噴火・地震による大規模土砂災害に関する調査研究

研究課題名（英文）Study on huge sediment disasters triggered by volcanic eruption and earthquake in the Merapi volcano area of the central Java

研究代表者

藤田 正治（FUJITA MASAHARU）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：60181369

研究成果の概要（和文）：メラピ火山流域を対象として、噴火や地震による大規模土砂災害とそれと関連する土砂資源問題に関して調査を行い、噴火後の土砂流出過程、地震による崩壊機構、流域の地被条件の変化、砂利採取の実態などを明らかにした。また、河床変動解析モデルを応用して、砂防事業、河川事業、砂利採取規制と連携した土砂管理の例を示し、防災、土砂資源、河川環境の観点、または社会経済的な視点からそれらの評価を行い、今後の土砂管理に対する考え方を示した。

研究成果の概要（英文）：We have investigated the actual situation of huge sediment disasters triggered by volcanic eruption and earthquake in the Merapi volcano area of the central Java and discussed the issues of sediment resources related to sediment disaster events. The data on sediment movement after the eruption in 2006, landslides by the earthquake in 2006, land cover condition change and sand mining activity have been collected. Employing a bed variation model, we have shown some ideas for sediment management based on sabo works, channel works and sand mining regulation evaluating the effects on sediment disaster reduction, sediment utilization and river environment conservation from a socio-economic point of view.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	10,100,000	3,030,000	13,130,000

研究分野：砂防工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：土砂災害、土砂管理、土砂流出、砂利採取、河床変動、土砂資源、メラピ火山

#### 1. 研究開始当初の背景

2004年のスラウェシ島での山体崩壊、2006年のジャワ島メラピ火山からの火砕流、ジャワ島中部地震による地すべりなど、イン

ドネシアでは毎年のように噴火、豪雨、地震による土砂災害が発生している。これに対する土砂災害防止軽減システムの構築が必要であるが、一方、噴火や豪雨によって生産さ

れた土砂は農耕地や建設材料などの土砂資源として使われ、頻発する噴火が土砂資源利用を加速化させ、流域の荒廃を招くという側面もある。このように、大規模な土砂移動現象は災害というマイナスの面と恩恵というプラスの両面を合わせもち、プラスの面の中には無計画な土砂資源の利用による新たな土砂災害を発生させるという問題も内在している。したがって、大規模土砂移動現象が引き起こす土砂災害の防止軽減策を実行するとき、流域の土砂資源管理も同時に実施しなければならない。そこで、頻繁に噴火する火山があり、2006年には大地震が発生したメラピ火山地域を対象にして、土砂災害の調査だけでなく、それと関連した土砂資源の問題について検討し、社会経済的観点、または防災、土砂利用活用、河川環境保全の観点からの流域管理につなげることができるよう土砂災害と土砂資源の研究が必要である。このような背景で本研究が実施された。

## 2. 研究の目的

本研究では、メラピ火山地域を対象とした土砂災害防止軽減システムおよび土砂管理システムの構築を目標にして、下記の様な研究目的を設定している。

まず、上記システム構築のための基礎データを収集するために、噴火や砂利採取など流域に大きな影響を与えている土砂環境に関する項目の実態調査、メラピ火山地域の地被状態や土砂と関係する社会経済的項目についての調査、噴火や砂利採取などのインパクトのある場での土砂動態や河床変動特性の調査、地震による斜面崩壊機構の現地調査を行う。つぎに、上記システムのためのツール開発として、砂利採取のインパクトを考慮した河床変動モデルや土動態モデルを開発するとともにメラピ火山地域のプロゴ川およびオパ川流域に適用を試みる。最後に、このツールの土砂管理への応用として、いくつかの噴火条件、砂利採取条件に対して土砂管理のシナリオを作成し、土砂災害防止、土砂資源利用、河川環境保全から見たそれぞれの土砂管理の評価を行い、研究の総括を行う。

## 3. 研究の方法

研究目的に対して、下記のような方法で研究を遂行する。

### (1) システム構築のための基礎データの収集

流域調査、衛星データ、文献調査などにより、下記のデータを収集する。

- ① 土砂に関わる社会経済的背景
- ② 土砂災害の実態
- ③ 砂利採取の実態
- ④ 地被条件の変化
- ⑤ 支川の洪水および土砂流出の実態
- ⑥ 地震による斜面崩壊機構

### (2) システムのためのツール開発

この研究グループの開発した河床変動および土砂動態モデルを基礎として、対象地域に対応したモデルの構築を図る。すなわち、土砂供給条件としての噴火、土砂資源管理対象としての砂利採取、土砂災害管理ツールとしての床止め工、砂防ダム配置などを考慮したモデルを作成する。また、プロゴ川およびオパ川に適用を試みる。

### (3) 土砂管理のケーススタディー

噴火による土砂供給条件がこれまでと同様に続くものと仮定して、いくつかの土砂管理シナリオを作成し、土砂災害防止、土砂資源利用、河川環境保全の観点、または社会経済的観点からそれらを具体的に評価する。

### (4) 総括

本研究で得られた研究成果、今後の課題についてまとめるとともに、本研究目標に対して、今後行うべき研究について整理する。

## 4. 研究成果

### (1) システム構築のための基礎データの収集

メラピ火山地域の土砂災害は、主として、頻発する火山噴火に伴う火砕流および豪雨による火砕流堆積物の土砂移動現象によって発生する。最近でも、2006年、2001年、1998年、1997年、1996年、1994年に火砕流が発生し、1994年には66人、2006年には2人が犠牲になっている。ほとんどの火砕流は西～南の方向に流出し、火山堆積物の再移動による災害も主にメラピ火山の南西斜面に集中している。

地震による土砂災害は稀ではあるが、2006年5月27日のジャワ島中部地震発生時に起こっている。本研究協力者の調査によると、この地震の際の地すべりの分布は図1のようである。研究協力者は、衛星写真、現地調査、経験則から斜面崩壊の支配要因と発生機構を明らかにし、斜面崩壊の減災方法等の提案を行っている。

土砂災害を引き起こす噴火は質の良い豊

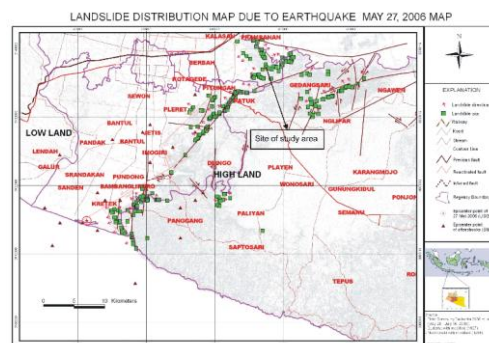


図1 2006年の地震による地すべり分布 (Karnawati and Fathani, 2006)



図2 ゲンドル川での砂利採取および洪水の様子

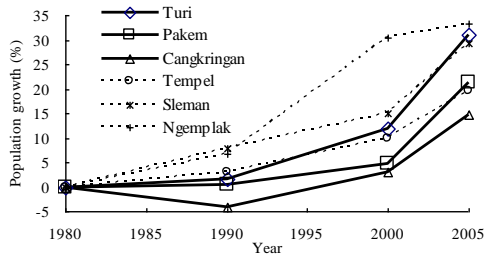


図3 平地および山地人口の増減

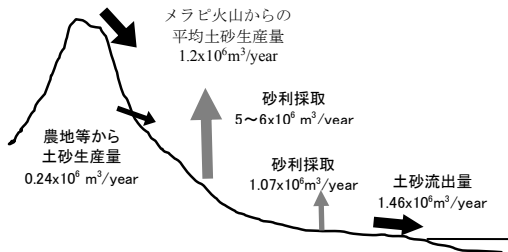


図4 メラピ火山流域の土砂収支

表1 裸地と植生地の割合

Year	2001	2003	2006	2007	2009
Bear area (Class 1)	4.88%	13.44%	12.41%	14.59%	12.53%
Vegetated area (Class 2-4)	95.12%	86.56%	87.59%	85.41%	87.47%

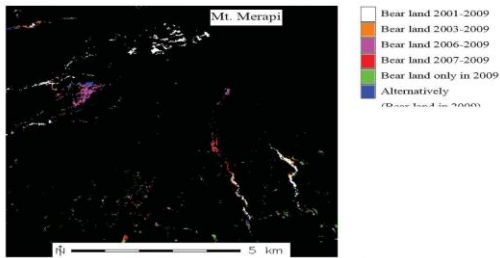


図5 裸地の分布の期間変化

豊富な土砂を生産する。メラピ火山地域では、この土砂を建設材料とするため、砂利採取が活発に行われている。しかし、発生頻度の高い火山噴火は砂利採取を加速化し、過剰な量の土砂採取が行われている。これにより、土砂生産が大きい地域であるにもかかわらず、噴火後、流域の河川では急激に河床低下し、橋脚の不安定化などの重大な問題が顕在

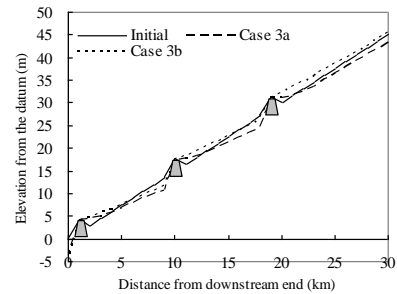
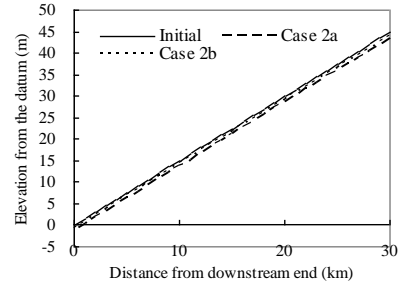
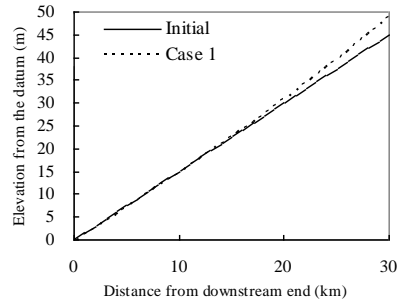


図6 プロゴ川の河床変動

Case 1: 砂利採取なし, Case 2: 砂利採取あり, Case 3: 床止め工設置  
a: 砂利採取量=生産土砂の全て  
b: 砂利採取量=生産土砂の半分

化している。図2は支川の一つのゲンドル川での砂利採取の様子を撮影したものである。地方政府は砂利採取者から税金を徴収しているが、全税金の約10%にのぼる地区もある。また、砂利採取は地方の雇用問題とも密接にかかわっており、山地域では20,000人にも及ぶ労働者が雇われている。図3は山地域の方で人口増加率を表しているが、1990年以降山地域の人口増加率が急激に上昇している。この原因の一つとして、1990年の経済危機により失業者が増え、彼らが砂利採取のために山地域に集まったことも挙げられる。過剰な土砂資源利用は河床低下など流域の荒廃を招き、森林伐採などの土地利用の改変と合わせて、土砂災害が顕在化する重要な背景となっている。図4はメラピ火山流域のおおよその土砂動態を示したものである。平均土砂生産量はメラピ火山から  $120 \text{ 万 m}^3/\text{year}$ 、農地から  $24 \text{ 万 m}^3/\text{year}$  で、河口への流出量

は 146 万  $m^3/year$ 、砂利採取量は約 600 万～700 万  $m^3/year$  と見積もられる。したがって、土砂の生成と消滅の比率は約 1 : 5 であり、圧倒的に土砂不足の状態となっている。なお、火山噴火のない地域では砂利採取があまりないことを考えると、活発な火山活動が砂利採取をより活性化させているとも言える。

2001 年から 2009 年までの衛星データ (ASTER) の解析からメラピ火山地域の地被条件の変化が解析された。表 1 は裸地と植生地の割合の変化を示したものであるが、植生地が減り、裸地が増加していることがわかる。図 5 は裸地であった期間が分かるように裸地の位置を示したものである。メラピ火山頂上より 3km 程度南に下がった箇所 (ゲンドル川方面) が 2006 年以降裸地になっているが、これは 2006 年の火砕流の堆積によるものと思われる。その他、同時期において西南西に下がった箇所 (プティ川方面) も裸地になっている。これは流域の荒廃によるものと思われる。

火砕流堆積物は洪水によって輸送されるが、支川の流量データがほとんどなく、支川の洪水の実態は明らかにされていない。そこで、監視カメラによりその実態を調査した。図 2 (右図) はその結果を示したもので、日頃はほとんど流水がないが、雨期の豪雨時には洪水が生じている。この後、河岸が崩落している様子も撮影されている。

### (2) システムのためのツール開発

本研究グループの開発した河床変動および土砂動態モデルを基礎として、土砂供給条件としての噴火、土砂資源管理対象としての砂利採取、土砂災害管理ツールとしての床止め工、砂防ダムの配置などを考慮したモデルを作成した。このモデルは 2006 年のメラピ火山噴火後のゲンドル川の土砂流出解析に適用され、土砂流出特性が検討された。本年の流域調査により、ゲンドル川の洪水が撮影され、これを参考にしながら、この土砂流出計算の妥当性を評価した。

図 6 は平均土砂生産量を土砂供給条件として、プロゴ川の河床変動を計算した結果を示したもので、Case 1 は砂利採取なし、Case 2 は砂利採取あり、Case 3 は床止め工設置した場合で、a は砂利採取量=生産土砂の全て、b は砂利採取量=生産土砂の半分を意味する。砂利採取をしない場合は河床上昇し、流域の安全上問題が生じる。したがって、適切な土砂を採取することは好ましいことで、土砂管理の一つのツールとなりえる。しかし、生産土砂量の 50% 以上を採取した場合は、河床低下が生じ、橋脚等の河川構造物が不安定になる。しかし、Case 3b のように、床止め工と

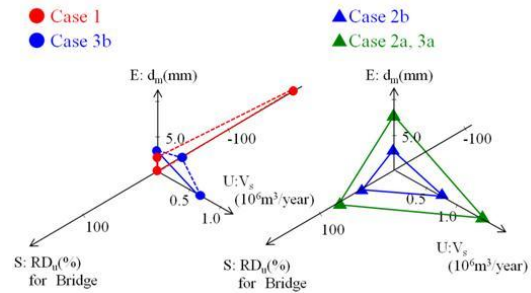


図 7 土砂管理が橋脚の安全、土砂資源利用、河床材料に与える影響

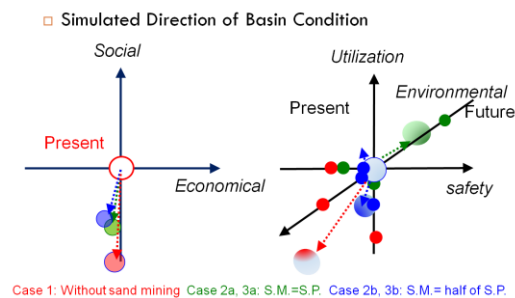


図 8 土砂管理による社会経済状態の変化、流域の安全、利用、環境の状態変化の方向性

組み合わせると砂利採取の量を規制すれば、河川の安全上の問題はほとんどなくなる。

### (3) 土砂管理シナリオに対するツールの応用と評価

図 6 で設定したような砂利採取規制と床止め工を組み合わせた土砂管理について、社会経済的インパクト、安全、利用、環境上の効果について検討した。図 7 は、安全軸として橋脚の危険度 (100%が橋脚倒壊を表す)、利用軸として砂利採取可能量、環境軸として河床材料の平均粒径を用いて、安全、利用、環境の変化の方向性を示したものである。このような整理をすれば、総合的に土砂管理の効果が評価できる。橋脚が安定し、河床材料が粗粒化せず、砂利採取量が多いものが最も適切であるとすると、総合的判断となるが、Case 2b, 3b が最も適切に見える。図 8 は社会経済的インパクトの方向性、安全、利用、環境の変化の方向性を図式化したものである。砂利採取を中止すれば河床上昇による流域の不安定と雇用機会の低減により大きな社会問題が発生する、このような解析を詳細に行うためにはもう少し社会経済的観点からの研究を進めなければならないが、この研究で、一つの手法を提言することができた。

この流域で持続的な生存基盤を構築するためには、土砂災害と土砂資源の両方をもた

らす大小さまざまな異なる規模の火山噴火に対して、適切な土砂災害と土砂資源の管理を行う必要がある。この管理は砂防事業、河川事業、砂利採取の規制を通して行われるが、それらを個別に行うのではなく、これらを連携して行うことが重要であり、三位一体となった土砂管理手法が必要である。

#### (4) 総括

本研究において、メラピ火山地域で土砂災害および土砂資源管理を行う上で必要な土砂環境、社会経済的背景などに関する基礎データを得ることができ、また、土砂管理を評価するためのツールの開発も行った。土砂災害だけでなく、これと関係する土砂資源について対象にし、社会経済的インパクトや安全、利用、環境軸での評価方法の例を示した本研究は、同様の国内外の研究の中で新規性があり、今後の研究の方向性の一つとなりえる。

本研究の目標はメラピ火山地域を対象とした実行可能かつ持続可能な現地適応型の土砂災害防止軽減システムおよび総合的土砂管理システムの構築であるが、本研究で得られた成果はこの目標達成に必要な一部にすぎない。本研究を通して、ガジャマダ大学 Djoko Legono 教授のグループとの協働体制が強固になり、今後、彼らとの共同研究の中で、データベースの充実、複数の土砂移動現象に関わる複合土砂災害のメカニズムとそれを解析するシミュレータの開発、土砂資源管理と連動した土砂災害管理手法など、目標とするシステムを支援するツールの開発を行うことが重要である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Masaharu Fujita, Jazaul Ikhsan and Hiroshi Takebayashi, Impacts of Sediment Management on Socio-economic and Environment in Mt. Merapi Area, Proceedings of International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, 査読有, pp. 87-96, 2010
- ② Daizo Tsutsumi, Masaharu Fujita and Seitaro Ohshio, An Investigation into Multi-phase Slope Failure by Experimental and Modeling Approach, Proceedings of International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, 査読有, pp. 55-66, 2010
- ③ Haruka Matsuyoshi and Kuniaki Miyamoto,

Analysis of Satellite Images for Land Cover and the Changing at South Area of Mt. Merapi, Proceedings of International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, 査読有, pp. 245-254, 2010

- ④ Yoshifumi Satofuka, Miho Tanaka and Mayumi Shiraki, Numerical Simulation on Sediment Runoff Process with Sediment Dredging in the Gendol River Basin, Indonesia, Proceedings of International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, 査読有, pp. 235-244, 2010
  - ⑤ Jazaul Ikhsan, Masaharu Fujita and Hiroshi Takebayashi, Study on Sediment Management in Volcanic Area by Considering Disasters Mitigation and Resources Management, Proceedings of International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, 査読有, pp. 67-76, 2010
  - ⑥ Jazaul Ikhsan, Masaharu Fujita and Hiroshi Takebayashi, Sediment Disasters and Resources Management in Mount Merapi Area, International Journal of Erosion Control Engineering, 査読有, 2010, 掲載決定
  - ⑦ Jazaul Ikhsan, Masaharu Fujita and Hiroshi Takebayashi, Concepts of Sustainable Sand Mining Management in Merapi Volcanic Area, Annual Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 53, 査読有, CD-ROM 26, 2009
  - ⑧ Jazaul Ikhsan, Masaharu Fujita and Hiroshi Takebayashi, A study on Sustainable Sediment Management in Merapi Area, Proceedings, 4<sup>th</sup> International Conference on Scour and Erosion, ICSE-4, 査読有, CD-ROM D-8, 2008
  - ⑨ 藤田正治, 堤大三, Muhammad Sulaiman, Jazaul Ikhsan, 河床材料の空隙率の変化を考慮した河床変動モデルとその適用, 河川技術論文集, 14 巻, 査読有, pp. 13-18, 2008
- [学会発表] (計 5 件)
- ① Masaharu Fujita, Multi-modal Sediment Disasters, International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the

Countermeasures, 2010年3月8日, ガジャマダ大学

- ② Jazaul Ikhsan, Sand mining impacts on socio-economic inhabitant and river bed variation in Merapi Area, 砂防学会研究発表会, 2009年5月27日, 広島アステールプラザ
- ③ 里深好文, 土石流発生域における溪床堆積物中の水分動態に関する研究, 砂防学会研究発表会, 2009年5月27日, 広島アステールプラザ
- ④ 大塩清太郎, 気候変動に伴う降雨特性及び斜面崩壊特性の変化, 砂防学会研究発表会, 2009年5月27日, 広島アステールプラザ
- ⑤ Jazaul Ikhsan, Study on Sustainable Sand Mining Management in Merapi Volcanic Region, 砂防学会研究発表会, 2008年5月14日, 北海道立道民活動センター

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤田 正治 (Fujita Masaharu)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号: 60181369

### (2) 研究分担者

宮本 邦明 (Miyamoto Kuniaki)  
筑波大学・生命環境科学研究科・教授  
研究者番号: 00263492

里深 好文 (Satofuka Yoshifumi)  
立命館大学・理工学部・教授  
研究者番号: 20215875

堤大三 (Tsutsumi Daizo)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号: 40372552

### (3) 協力者

Djoko Legono  
ガジャマダ大学・工学部・教授  
Faisal Fathani  
ガジャマダ大学・工学部・講師  
Muhammad Sulaiman  
ガジャマダ大学・工学部・講師