

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2016

課題番号：25300014

研究課題名(和文) インドネシア火山災害地の復興型資源利用にみる自然と社会の復元力に関する研究

研究課題名(英文) Resilience of natural and social systems after the eruption of Mt. Merapi

## 研究代表者

二宮 生夫 (Ninomiya, Ikuo)

愛媛大学・農学研究科・教授

研究者番号：80172732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：2010年に大規模噴火を引き起こしたムラピ山における景観の復興過程を追跡した。その結果、多くの無被害地は樹園地で、多様な植物が植栽されていた。被災した私有地ではマメ科の早生樹であるセンゴンが植えられていた。特に、集約的な管理を行う世帯は、一年生・多年生作物などと組み合わせ長期的な収入をえるための土地管理を行っていた。農業外収入が多い世帯では、センゴンの単一植栽などの粗放的な土地管理を行われていた。また、被災したことにより堆積した土砂の販売や、災害観光なども新たな生業の手段となっていた。外来種や被災によって生じた新たな状況などが復興において重要な役割を果たしていたことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The objective of the present study is to reconsider the resource management and rehabilitation of landscape by monitoring recovering process of Mt. Merapi area, which erupted in October 2010. On damaged area which affected by pyroclastic flow, expanding hot gas and debris flows, local people have planted sengon (*Paraserianthes falcataria*). People intensively manages home garden have planted various crops as well, to ensure long term yields. People who has non-agricultural income showed less intensive management and planting sengon only. Trees of *Acacia decurrens* was the dominant species of naturally regenerating area. These results indicate that the fast growing alien and fabaceous species such as sengon and acacia trees play an important role. Also sand mining and tourism industry, subsequently generated by the disaster, becomes important occupation. The result indicates alien species and trace of disaster which has negative image have important role for the recovery process.

研究分野：森林生理生態学

キーワード：レジリエンス 火山災害地 インドネシア 復興 天然更新 資源利用

### 1. 研究開始当初の背景

「持続的資源利用」という言葉が、環境問題を克服するキーワードとして注目を集めているが、熱帯域においては達成されているとは言い難い。一般に熱帯の生態系は、栄養塩類を土壌に貯めず、早く循環させその生産性を維持しており、一度壊滅的な攪乱を受けるとその回復は貯蓄がないために困難とされている。さらに、熱帯域では、これまで安定的に営まれてきた資源利用方法が、増加する人口密度をはじめとする環境の変化に対応しきれなくなっている。そこで熱帯域での「持続的資源利用」を達成するには、不安定な環境、特に災害などに対して柔軟に対応し、迅速な環境の回復を促すための「レジリエンス」が確保されたシステムから学ぶ必要がある。

「レジリエンス」があるシステムでは、攪乱に際して被害を最小化し、速やかに復興が行われる。元来、自然環境にはこの「レジリエンス」が備わっている。しかしながら植生遷移に代表される自然のレジリエンスは、無生物状態から森林が再生するために数百年を要する。一方で、災害などの危機に頻繁に直面する社会では、被害の最小化・迅速な回復をはたす社会のレジリエンスが発達する。このような地域では、繰り返される環境変化に適応しながら生活するコミュニティが多く認められ、自然の持つレジリエンスを上手く利用し、社会と自然環境の復興を数年単位で行っている。

インドネシア・ジャワ島にあるムラピ山は4.5年おきに噴火を繰り返す活動的な火山である。ムラピ山周辺の住民は、繰り返す噴火災害から幾度も復興を果たし、高い人口密度を支えて来た。ここでは、自然災害は日常生活の一部ととらえられ、生業や資源利用の方法は変化する環境に合わせて改変されてきた。このような、ムラピ山周辺でみられる、回復力と柔軟性を備えた「復興型」とでもいふべき驚異の資源利用方法は、今後の熱帯域における持続的な環境の利用法として、技術的にも、社会システムとしても重要な示唆を含んでいる。

本研究では、災害下による崩壊と復興の繰り返しによって住民が確立してきた、生業や資源利用の体系を、「復興型資源利用システム」とし、自然と社会のレジリエンスがどのように調和し、このシステムが成立しているのかを解明する。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、4~5年おきに噴火を繰り返し、遂には2010年に大規模噴火を起こしたインドネシア・ムラピ山周辺の景観を対象として、住民の復興に向けた生業が景観の回復にどのように寄与しているのかを解明することである。繰り返される災害から、何度も生活基盤を立て直してきた住民は、自然資源への深い理解をもとに、環境変化に対して

復元力の高い資源利用システムを発達させている。本研究ではこの復興型の資源利用システムを1)住民によって復元された景観の安定性とレジリエンスを評価し、2)それらのレジリエンスの達成に影響を与えている住民の生業を特定することによって、3)この地域における資源利用システムの実態を解明し、4)今後の熱帯域における人と自然のありかたに関する知見を提供することを目的とする。

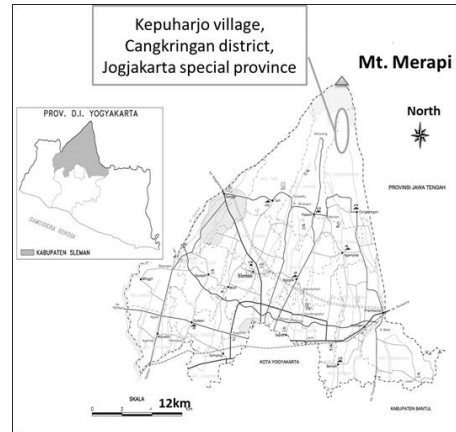


図1. 調査地となる Kupuharjo 村

### 3. 研究の方法

ジョグジャカルタ特別州スレマン県チャンクリンガン郡クプハルジョ村(図1.)でおこなった。同村はムラピ山山頂から約7キロの南斜面に位置し、カリアデム、ジャンプ、コペン、パトゥル、ペトゥン、パガルジュラン、クプ、マンゴンの8つの集落からなる。南北に長く伸びた同村は標高が600~1200m、年平均気温は16~17度である。ここにおいて、植生調査・聞き取り調査などをおこなって被災状況やそれに対する生業の変化などを調査した。

### 4. 研究成果

2010年の噴火に伴う火砕流や土砂の堆積によってクプハルジョ村内にある8つの集落のうち、斜面上部に存在する2つの集落はほぼ全壊した。そのほかの集落でも河川沿いの住居の大部分が壊滅的な被害を受けた。これは噴火時に火砕流が発生し壊滅的な被害を受けたことと、噴火後に地盤が弱まり集中的な降雨に伴う土石流が生じたからである。特に土石流の被害は同村を流れるオパック川・ゲンドル川沿いに生じた。火砕流・土石流に伴う土砂の堆積は最大数十メートルの谷を埋めるものである。また、土砂の堆積がなかった場所においても火山灰が20cmほど堆積していた。

ムラピ山北側斜面に位置する噴火の影響を受けていない二次林において植生調査を行った。その結果、*Pinus merkusii*(マツ科)が最も優占していたことがわかった。それ以外

外には *Erythrina lithosperma* (マメ科)、*Schima wallichii* (ツバキ科)、*Acacia decurens* (マメ科)などが優占していた。優占している樹種のうち *Pinus merkusii*、*Acacia decurens*、*Paraserienthes falcata*、*Dalbergia* sp.、*Acacia mangium* は外来種である(表1)。この外来種のうち *Pinus merkusii* と *Acacia decurens* は、被災した場所において更新しており優占種となっている。特に *A. decurens* などは、土砂が堆積した場所などにおいても更新を開始しており、被災後の重要な先駆種となっている。これら、外来種による更新は被災後の遷移を促進するものである。また、ここにおいて優占する外来種の多くはマメ科植物であり、土壌の窒素固定などを促進し、在来種のみによる更新と比較して、より早い更新を行うものであると考えられる。

Species	Relative Frequency(%)
<i>Pinus merkusii</i>	28.2
<i>Erythrina lithosperma</i> *	18.8
<i>Schima wallichii</i>	15.3
<i>Acacia decurens</i> *	10.6
<i>Podocarpus</i> sp.	7.06
<i>Quercus turbinata</i>	5.88
<i>Lithocarpus teysmannii</i>	3.53
<i>Paraserienthes falcata</i> *	1.18
<i>Chinchona ledgeriana</i>	1.18
<i>Glochidion littorale</i>	1.18
<i>Dalbergia</i> sp. *	1.18
<i>Acacia mangium</i> *	1.18
<i>Alstonia scholaris</i>	1.18
<i>Solanum lycopersicum</i>	1.18
<i>Hibiscus macrophyllus</i>	1.18
<i>Macropanax dispernum</i>	1.18

噴火前後における住民の生業に関する調査によると、噴火前は畑作などの収入が中心となっていたが噴火後はそれ以外の収入が目立っていた。特に畜産などである。また、噴火後の中心的な収入として土砂採集があげられる。土石流などによって堆積した土砂は良質な建材となることが知られている。ここには一日で述べ700台程度のトラックが来て砂を買っていく。トラック1台分(6~8 m<sup>3</sup>)が150,000Rp.ほどで取引される。そのうち20,000Rp.が土地の所有者へとわたることになっている。また、それ以外にはトラックに土砂を積み込むことによる収入などがある。これらの収入は村人の噴火後の重要な収入源となっている。また、同様に村人の収入源として、被災地を対象とした観光なども重要な収入源になりつつある。

現地の景観に関しては、住民達は被災後も被災以前と同様プカランガンと呼ばれる屋敷林を造成していた。これらの樹種について被災前と被災後でどのように異なるのかを調査した。また、被害の程度を3段階に分類した。まず、「土砂の堆積が1m以上の場所」を大規模被害地とし、「土砂の堆積が1m未満の場所」を中規模被害地、そして「土砂の堆積がなく火山灰の堆積のみがみられた場所(ただし、噴煙の影響は受けている)」を小規模火災地とした。その結果、被害を受けた土地はその規模にかかわらずセンゴン

(*Paraserianthes falcata*) とよばれるマメ科の早生樹が植栽されていた。このセンゴンはインドネシア政府などによる緑化プロジェクトによって植栽が推進されている。調査地周辺では1980年代後半から取引され建材として利用されてきた。現在は、ベニヤ板はパルプなどにも利用されるため、大小を問わず取引される。無被害地においては、噴火以前と同様のプカランガンが維持されていると考えられるが、ここではセンゴン・ジャックフルーツ(*Artocarpus heterophyllus*)、グネツム(*Gnetum gnemon*)、チョウジ(*Syzygium aromaticum*)、アボガド(*Persea americana*)、ココヤシ(*Cocos nucifera*)などが植栽されていた。一方で、被災して裸地化したプカランガンにおいてはセンゴンが植栽されていた。センゴン以外にはセンダンの植栽や早生樹である *Anthocephallus cadamba* など木材となる樹種が植栽されていた。被害地において個体数で80%程度植栽されているセンゴンは、政府機関からの援助によって苗木が1世帯あたり100本配布されたり、現地NGOなどの様々な組織から苗が届けられたとのことである。さらには、損害から苗木商人がセンゴン苗を1,000~1,500ルピアで購入していたようである。このような背景もあり、センゴンの苗の植栽が進んでいる(図2)。

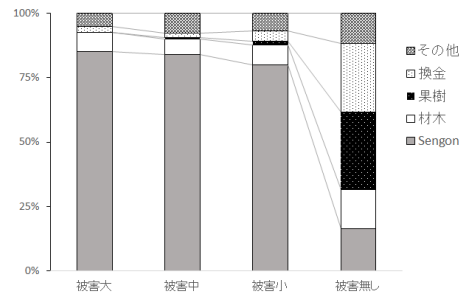


図2. 被害の度合いと植栽されている植物の割合 (個体数%)

このように被災地ではセンゴンの苗が植えられており、見かけ上はセンゴンを中心とした景観の復興が行われているが、復興に向けた生活等の長期計画などは大きく異なっている。T氏は2010年の噴火による被害を受けた。裸地化した樹園地には50cm程度の火山灰が堆積していたが、その対部分は雨に流された。噴火後2ヶ月の時点で、サツマイモ・キャッサバ・トウガラシなどを植栽し、その3ヶ月後にはトウガラシを収穫して収入を得た。サツマイモは植栽から10ヶ月、キャッサバは1年後に収穫し、一部は自家消費し、余剰分は売った。その後もバナナやタロイモなどの植栽を行った。センゴンの植栽は噴火後3ヶ月から開始した。また、センゴン以外にも *A. cadambaya* やセンダンなどを植栽していた。またセンゴンの下にはマンゴ

ー・アボガド・ジャックフルーツ・シルサクなどの果樹と、タロイモ・キャッサバなどの多様な作物を植栽していた。このように多様な植物を植えることで、短期・中期・長期的に持続的な生産を確保していると考えられた。また、センゴンなどの樹木に関しては大径木ほど高額で販売が可能であるために、緊急時の出費にも対応することができるものであると考えられた。

また、同村コペン集落に在住していた R 氏は所有していた家屋・樹園地ともに壊滅的な被害をうけたため、政府により準備された移住区で生活を行っている。所持していた土地には 2m を超える土砂が堆積していた。そのため、サンドマイニング業者に依頼して、堆積物を除去し、販売した。そこにセンゴンや *A. cadamba* などの木材を植栽し、その樹冠下でサツマイモ・キャッサバ・トウガラシなどを生産し自家消費して生活をしている。

上述した T 氏・R 氏などは農業を中心とした生業を営んでいるが、バトゥル集落に在住の G 氏は噴火によって生業に大きな変化が見られた。G 氏は 2010 年の噴火以前は所有する 3 つの樹園地からおよそ 800,000Rp/月ほどの収入を得ていた。噴火により所有していた 3 つのうち 2 つの樹園地が裸地化した。以前はこの樹園地では集約的な栽培を行っていたが、現在はセンゴンを植栽して粗放的な管理を行っている。G 氏は農業ではなく、サンドマイニング現場において砂を運搬するトラックの運転手として 1 日 13 時間、週 6 日働き、2,000,000Rp/月の収入を得ている。他にも G 氏のように農家からトラック運転手などサンドマイニングに関わる職業に転向した事例はめずらしくなく、噴火に伴う生業変化の一つの代表的な例となっている。

また、土砂の長期的な価格を考慮に入れた景観復興例もある。J 氏は人工授精師としてたてている。彼は、2m ほど堆積した土砂を除かずにその上にセンゴンを直接植栽した。もちろん、センゴンの成長は悪いことは予想されるが、彼はセンゴンが伐期を迎える 10 年後には土砂の価格も高騰すると予想している。そのため、センゴンがある程度成長するまでは粗放的な管理をし、成長したセンゴンを売却し、土砂を高値で売却しようと計画をしている。人工授精師として生計を立てることができるので、可能となる土地利用形態ではあるが、このような例も存在する。

いずれにせよ、住民は被災後も土地利用に関しては短期的・長期的と様々なスパンで土地利用を考慮している。また、そのようなことが可能になるのも被災したことによって、新たに可能となったサンドマイニングや災害観光などの生業が生まれたことが大きな要因となっている。また、否定的に受け取られることが多い外来種であるマメ科のアカシアやセンゴンなどは、被災直後の景観復興および、植生遷移や土壌の改良の速度を促進している可能性がある。このように、被災住民

は、ネガティブな状況を柔軟に利用することで生活の形態を元の状態に戻そうとする戦略をとったり、生活基盤自体を変化させることで新たな状況に対応させたりすることで災害に対応していた。

#### 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 7 件)

Itoh, M., Shimamura, T., Ohte, N., Takemon, Y. Differences in hydrophyte life forms induce spatial heterogeneity of CH4 production and its carbon isotopic signature in a temperate bog peatland. *Journal of Geophysical Research* 120:1177-1195. (2015) (査読有)

Tanaka Kenzo, Ryo Furutani, Daisuke Hattori, Sota Tanaka, Katsutoshi Sakurai, Ikuo Ninomiya, Joseph, Jawa Kendawang. Aboveground and belowground biomass in logged-over tropical rain forests under different soil conditions in Borneo. *J For Res* 20:197-205. (2015) (査読有)

田中憲蔵・米田令二・二宮生夫. 光環境に伴うモミ(*Abies firma*)稚樹の伸長フェノロジーと樹形. *関東森林研究* 65: 327-330. (2014) (査読有)

Seriba, K. Ninomiya, I., Kobayashi, O. and Shimamura, T.: Rural community perception of fuelwood usage by families living in Wassorola, Mali; Interview with women as main fuelwood collectors, *J. Agr. Crop Res.* 1:76-83.(2013) (査読有)

Kendawang, J. J., Ninomiya, I. and Sakurai, K.: Effects of soil compaction on the growth and mortality of planted dipterocarp seedlings in a logged-over tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. *For. Ecol. Manag.* 310: 770-776.(2013) (査読有)

Hattori D, Kenzo T, Kendawang J.J., Ninomiya I., and Sakurai K.: Rehabilitation of Degraded Tropical Rainforest Using Dipterocarp Trees in Sarawak, Malaysia. *International Journal of Forestry Research*, vol. 2013, Article ID 683017, 11 pages, (2013) (査読有) doi:10.1155/2013/683017

Hattori, D., Kenzo, T., Yamauchi, N., Irino, K.O., Kendawang, J.J., Ninomiya, I., and Sakurai, K. :Effects of

environmental factors on growth and mortality of *Parashorea macrophylla* (Dipterocarpaceae) planted on slopes and valleys in a degraded tropical secondary forest in Sarawak, Malaysia. Soil Sci. Plant Nutr. 59:218-228. (2013) (査読有)

〔学会発表〕(計7件)

Shimamura, T., Poesie, E. S., Ninomiya, I., Limin, S. H.: Decomposition of woody materials in tropical peat swamp forest stands in Central Kalimantan. 2017年6月17日, 第27回日本熱帯生態学会年次大会, 奄美文化センター(鹿児島県奄美市)

Shimamura T., Poesie E, Ninomiya I. Tropical peat swamp exploitation changes phenology of tree species and seed predators' activity. 2016年3月24日 日本生態学会第63回全国大会・仙台国際センター(宮城県仙台市)

嶋村鉄也・柳井彰人・二宮生夫・インドネシア・ムラピ山における大規模噴火後の景観復興過程. 2015年9月3日, 平成27年度農業農村工学会大会講演会・岡山大学津島キャンパス(岡山県岡山市)

Shimamura T., Poesie E\*, Ninomiya I. Effect of drainage on fruiting phenology of tree species in tropical peat swamp forests. 2015年6月20日, 第25回日本熱帯生態学会年次大会・京都大学吉田キャンパス(京都府京都市)

T. Shimamura, Poesie, E. S.\*, Ninomiya, I.: Changes in taxonomic and phylogenetic diversity of tropical peat swamp forest communities. 2015年3月21日, 第62回日本生態学会大会, 鹿児島大学都元キャンパス(鹿児島県鹿児島市)

嶋村鉄也・Erna S. Poesie\*・二宮生夫: 東南アジア、熱帯泥炭湿地林植物群集の系統学的多様性解析. 2014年6月15日, 第24回日本熱帯生態学会年次大会, 宇都宮大学峰キャンパス(栃木県宇都宮市)

嶋村鉄也・百瀬邦泰、熱帯泥炭湿地林における材分解の物理・化学的特性. 2013年6月13日, 第23回日本熱帯生態学会年次大会, 九州大学箱崎キャンパス(福岡県福岡市)

〔図書〕(計3件)

Shimamura T. An Overview of Tropical Peat Swamps. In Catastrophe and Regeneration in Indonesia's Peatlands: Ecology, Economy and Society. NUS Press. 123-147. 2016.

Fujita M, Mizuno K, Kawai S, Watanabe K, Samejima H, Masuda K, Suzuki H, Sugihara, K, Kobayashi, S, Kozan O, Shimamura T. Epilogue: Towards the Regeneration of Biomass Societies In Catastrophe and Regeneration in Indonesia's Peatlands: Ecology, Economy and Society. NUS Press. 424-437. 2016.

嶋村鉄也: インドネシア熱帯泥炭湿地林における樹木の開花結実. 愛媛ジャーナル 28巻7号: P.86-89, 岡田印刷. (2014)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

二宮 生夫 (NINOMIYA, Ikuo)

愛媛大学・農学研究科・教授

研究者番号: 80172732

### (2) 研究分担者

市川 昌広 (ICHIKAWA, Masahiro)

高知大学・自然科学系・教授

研究者番号: 80390706

嶋村 鉄也 (SHIMAMURA, Tetsuya)

愛媛大学・農学研究科・准教授

研究者番号: 80447987

### (3) 連携研究者

甲山 治 (OSAMU, Kozan)

京都大学・東南アジア地域研究研究所・准教授

研究者番号: 70402089

内藤 大輔 (NAITO, Daisuke)

京都大学・東南アジア地域研究研究所・研究員

研究者番号: 30616016

### (4) 研究協力者

小林 繁男 (KOBAYASHI, Shigeo)

上谷 浩一 (KAMIYA, Koichi)

Budiadi (Budiadi)

Erna Poesie (Erna Poesie)

柳井 彰人 (YANAI, Akito)