

## 泥火山噴出物の流入がインドネシア・ポロン川に与えた影響評価\*

東北大学災害科学国際研究所 呉 修一・武田百合子・有働恵子

東北大学大学院工学研究科 梅田 信

東北大学災害科学国際研究所 真野 明

東北大学大学院工学研究科 田中 仁

### 1. はじめに

2006年5月、インドネシア・シドアルジョで発生した泥火山、LUSI (Lumpur Sidoarjo [Lumpur とはインドネシア語で汚泥を意味する])は現在も噴出を続けている。噴出当初、その堆積域を堤防で囲む対策が取られたが、その後も泥の噴出は収まらず、2011年6月の時点で  $6.5 \text{ km}^2$  が泥水で覆われ、高速道路や鉄道に影響を与え、3万人以上の近隣住民の生活に影響が及んだ。噴出量は最大で約  $180,000 \text{ m}^3/\text{day}$  に達するとされている (USGS, 2008; Davies ら, 2011)。

堆積・貯蔵限界を超えた汚泥は、隣接するポロン川へ導水路を通じ排出されている。噴出した泥には硫黄などの有毒成分が含まれるため、ポロン川河口部に位置する海老の養殖場が被害を受け、さらに海洋汚染などの懸念が高まっている。しかしながら現段階においても将来の解決のための目処はまったく立っていない。

本研究は、ポロン川への汚泥の流入が河道・河口部の河床形状・水質に与えた影響を現地調査・数値計算などを通じて明らかにすることを目的とする。これにより、汚泥の流入がポロン川の洪水疎通能力へ与えた影響の把握、河川・河口域の水質環境の現状の把握とその改善手法の提案、同様な泥火山噴出への対応策の提案などを行う。また、効率的な汚泥の浚渫方法や優先浚渫箇所の選定、河川環境への負荷の少ない汚泥の排出方法・対策工についての検討も行う。本報告では、LUSI 泥火山噴出およびポロン川の概要を示すとともに、2012年11月に行った現地観察の結果を紹介する。

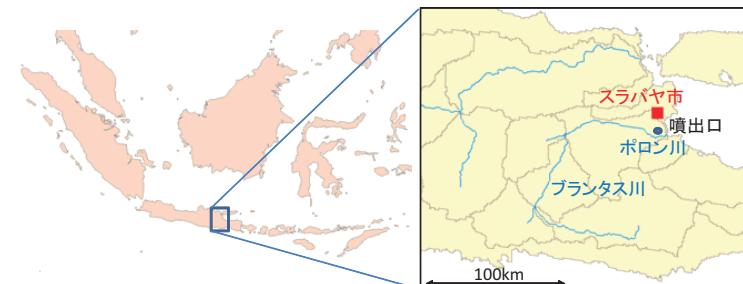


図-1 ポロン川および汚泥噴出口の位置

### 2. ポロン川の概要

ポロン川は、インドネシア・ジャワ島の東部に位置するインドネシア第2の都市スラバヤから南に約  $30\text{km}$  に位置する (図-1)。ポロン川はブランタス川の下流部に位置し、ブランタス川は全長約  $320\text{ km}$ 、流域面積約  $12,000 \text{ km}^2$  のジャワ島第2の河川である。

\* Effects of Mudflow from the LUSI Mud Volcano on Porong River, Indonesia, by Shuichi Kure, Yuriko Takeda, Keiko Udo, Makoto Umeda, Akira Mano and Hitoshi Tanaka

流域の年平均雨量は 1500～2000 mm 程度であり、明瞭な雨期（10月～4月）と乾期（5月～9月）に区別される。プランタス川流域はスラバヤ市、マラン市等を抱える人口緻密地帯であり、また、ジャワ島有数の穀倉地帯でもある。このため、「プランタス川流域総合開発計画」に基づき、主として我が国の協力により古くから開発が進められており、円借款により多くの事業が実施されてきた（JICA 2001, 2002）。プランタス川ではダム貯水池を含む多くの水工構造物などが治水・灌漑・発電などを目的として建設してきた。このような水工制御施設の建設や継続的な河川改修に伴い、プランタス川・ポロン川における洪水被害は著しく減少してきた。しかしながら、今回の泥火山噴出に伴い、発生した大量の汚泥をポロン川に流入させることで、河床への汚泥堆積に伴い洪水疎通能力の低下が懸念されている。このような洪水疎通能力の低下は、今までの地道な河川改修事業の意義を低下させるものであり、早期の影響評価と対応策の実施が求められている。本研究の実施は、プランタス川流域で行われたこれまでの事業の効果発現を担保するものとも位置づけられる。

### 3. 泥火山噴出の概要

2006 年 5 月 29 日、シドアルジョ市近郊の天然ガス田の試削現場より高温の汚泥（約 100°C）および有害ガスが噴出を始めた。インドネシアのジャワ島では泥火山の噴出は多くの箇所で起こっており、珍しいことではない。しかしながら、今回、LUSI 泥火山の汚泥噴出は今までのものと規模が異なった。汚泥の噴出量は最大で 180,000m<sup>3</sup>/day と膨大であり、現在も噴出が続いている（Davies ら, 2011）。2007 年の秋の時点で噴出量は累計で 3,000 万 m<sup>3</sup>以上にのぼり（USGS, 2008）、周辺地域への堤防の建設にも関わらず 6.5km<sup>2</sup> 以上が既に汚泥で完全に埋め尽くされている（写真-1）。

図-2 に、泥火山噴出後の周辺地域の衛星画像 ((a)2006 年 7 月および(b)2010 年 7 月, Google Earth より) を示す。図に示されるよう、汚泥の氾濫・堆積が広範囲に拡大してきたことがわかる。この汚泥の周辺居住地、工場地域、農場地域、高速道路への堆積に伴い 30,000 人以上の住民に影響を与えるとともに甚大な経済被害をこの地域に与えている。

Davies ら(2011)によると、汚泥の噴出量は、2010 年の時点では 10,000～20,000 m<sup>3</sup>/day まで減少しているが、



写真-1 汚泥の氾濫・堆積状況および仮設堤防  
(2010年10月撮影)



図-2 泥火山噴出後の周辺地域の汚泥堆積状況

今後 20 年以上も噴出が継続する可能性があることが指摘されている。USGS(2008)の調査によると噴出汚泥の粒径は、殆どが 0.1mm 以下であり、非常に小さい粒径分布を有している。

#### 4. 現地視察の概要

汚泥流入がポロン川に与えた影響を調査するため、2012 年 11 月に現地視察を行った。現地視察では、現地のスラバヤ工科大学の研究協力者およびインドネシア政府のシドアルジョ泥火山噴出災害の担当部局である BPLS(Badan Penanggulangan Bencana Sidoarjo – Sidoarjo Disaster Recovery

Agency) を訪問し、LUSI 泥火山に関する情報共有、意見交換、今後の研究協力体制に関して討議を行った。スラバヤ工科大学とは、今後の研究を共同で実施していくことで合意しており、現地の情報・データ収集を主に担当してもらう事となった。BPLS には、現在までの泥火山噴出の概要を紹介してもらうとともに、基本情報・データの提供をしてもらう事で合意した。

スラバヤ工科大学の案内のものと、2012 年 11 月 14 日に実際にポロン川の現状を視察した。視察日は雨期の直前であり、河川流量は少ない状況であった。また、当日は汚泥の噴出は確認されたがポロン川への排出は行われていなかった。図-3 の視察箇所に示される、汚泥の貯留施設(①)、ポロン川への流入部(②)、河道部(③、④) および河口部(⑤)を中心視察を行った。



図-3 ポロン川現地視察箇所



写真-2 汚泥の貯留施設（左、①）および導水路（右）



写真-3 ポロン川への汚泥の流入部（②、河口から約 21km 地点）  
(右岸側より左岸を撮影)

**写真-2** に、汚泥の貯留施設(①)の写真を示す。写真左に示される大量に貯留された汚泥を、貯留水と合わせることで導水路(写真右)および排泥管を通じてポロン川に排出している。この汚泥の貯留施設へは安全・健康面の観点から一般人の立ち入りが禁止されているが、今回は研究目的ということで特別に一時的な許可を得て視察が行われた。**写真-3** に、ポロン川への汚泥の流入部(②、河口から約 21km 地点)の写真を示す。写真から見てとれるよう、複数の排泥管が設置されており、ここから汚泥の排出が行われている。また、排泥管の下には他の河床材料とは異なるものが堆積しているように見える。これらの粒径分布などの特性を調べその起源をしっかりと判別することが今後必要となる。**写真-4** に、ポロン川河道部(③、河口から約 19km 地点)の写真を示す。写真から見てとれるよう、河道右岸側に汚泥のような堆積物が目視で確認することができる。これら堆積物の色は他の河床材料物とは異なり、泥火山噴出物である可能性が高いと思われる。今後現地調査より河床材料を詳細に調べることでこれら堆積物の起源および特性を明らかにする予定である。**写真-5** に、ポロン川河道部(④、河口から約 11km 地点)の写真を示す。③の地点と同様に河道の護岸付近に汚泥のような堆積物を確認することができる。これらの堆積物が從来から存在するものなのか、泥火山によって発生した汚泥なのかをしっかりと調査する必要がある。**写真-6** に、ポロン川河口部(⑤)に造成されたマングローブ林の写真を示す。LUSI 泥火山で発生した汚泥の粒径は非常に小さいため、ポロン川へ流入した汚泥は出水などに伴い河口部へと簡単に輸送される。しかしながら流速の小さい河口部ではこれら汚泥の堆積が顕著に発生しているものと考えられる。インドネシア政府はこの堆積汚泥を用いることで、河口砂嘴部に人工のマングローブ



**写真-4** ポロン川河道部 (③、河口から約 19km 地点)  
(右岸側)



**写真-5** ポロン川河道部 (④、河口から約 11km 地点)  
(右岸側)



**写真-6** ポロン川河口部に造成されたマングローブ林 (⑤)  
(下流側より撮影)

林を建設し、この人工島で海老の養殖実験や植物の繁茂実験を行う予定である。この様な感潮域における植生域形成の促進は、沿岸部における海岸浸食の防止、さらには優れた沿岸生物環境の創出にも効果的である。今後の対策工の検討に当たっては、河口部におけるこのような人工的な浚渫工も含めた検討を行う必要がある。

## 5. 汚泥流入がポロン川に与えた影響

本研究の主目的は、汚泥流入がポロン川の河川環境に与えた影響を定量的に評価することである。汚泥流入がポロン川や河口部の漁業、海老の養殖に悪影響を与え、漁獲量の経年的な減少、漁獲サイズの顕著な減少が生じていると現地漁民は訴えている（現地漁民へのインタビュー調査より）。また、ポロン川は既に毒の川だという現地住民の訴えがYoutubeなどの動画投稿サイトに投稿されている。しかしながら、これら被害をしっかりと科学・統計的に評価・調査した報告は著者らの知る限りでは存在しない。

BPLSへのインタビュー調査では、LUSI泥火山の発生、汚泥のポロン川への放流以前と以後では、河床横断・縦断形状に大きな違いは生じていないという。これは汚泥の粒径が非常に小さいため、堆積した汚泥が出水時に全てフラッシュされ河口部へ輸送されるためである。また、BPLSが行った現地水質調査では汚泥流入を実施した前後で顕著な水質の変化は確認されていないという。

ポロン川への汚泥の粒径が小さいため河床への堆積は出水時に解消されるということは考えられる。しかしながら、流出した汚泥は流速が遅くなる河口部で堆積していると考えられる。これら河口部での影響を評価することが本研究の大きなターゲットとなる。インドネシア政府も河口部に堆積した汚泥を利用して上述したように人工のマングローブ林の造成を行っている。**写真-7**に、2010年10月と2012年11月の時点における人工島の一部の写真を示す。写真から見られるように人工島の建設は着実に進んでおり、植物の繁茂も進んでいることがわかる。この人工島の一部を利用して、**写真-8**に示すように海老の養殖実験などが行われている。ここで海老の養殖がうまくいく事を示すことで、新たな海老の養殖場の場所として人工島を利用可能であるとともに、汚泥の流入がポロン川の生態系や漁業に与えた影響は少ないことを示すことも可能であろう。



**写真-7** 人工のマングローブ林の一部（左：2010年10月、右：2012年11月撮影）



**写真-8** 人工マングローブ林の海老養殖場

## 6. 今後の解析の流れ

本研究の対象領域は、河川地形・水理・水文・気象データなどが不足した流域である。よって、データの収集は現地調査および衛星データなどの利用を通じて行う。現地データ、例えば、河床縦断・横断標高データや堆積汚泥の粒径分布、水質データなどは現地のスラバヤ工科大学の研究者らの協力のもと収集する。また、全球をカバーする衛星データ、地理情報システム(GIS)や気象のアーカイブデータなどを補完的に利用する。河口部に堆積した汚泥が沿岸部の地形に与えた影響などを詳細な衛星画像を利用して今後解析していく予定である。このようにして収集したデータおよび数値モデルを用いることで、河川・河口部における水理計算、土砂輸送・堆積計算および水質計算を行う。これにより、ポロン川への汚泥の流入が河床形状や河川水質などに与えた影響を定量的に評価する。

## 7. おわりに

本報告では、シドアルジョの LUSI 泥火山噴出およびポロン川の概要を示すとともに、2012 年 11 月に行つた現地視察結果を紹介した。今後、具体的なデータ解析結果や数値計算結果の報告を行う予定である。最後に、本報告で示した汚泥流入がポロン川に与えた影響に関しての記述の大部分は口頭でのインタビューなどを基にしたものである。よって、今後はデータの解析や数値計算を通じてより定性・定量的な評価を行っていく予定である。

### 謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)「泥火山噴出物流入に伴うインドネシア・ポロン川の変化と河川環境の改善に関する研究」(24404014、代表：田中仁) の支援を受けて実施されたものである。ここに記して関係各位に謝意を表する。本報告で紹介した現地調査の実施にあたってはスラバヤ工科大学の Prof. Suntoyo および Dr. Bambang の両氏の多大な協力を得た。また、BPLS には非常に多くの情報を提供して頂いた。ここに記してスラバヤ工科大学および BPLS への協力に謝意を表する。

### 参考文献

- US Geological Survey (2008): Preliminary Analytical Results for a Mud Sample Collected from the LUSI Mud Volcano, Sidoarjo, East Java, Indonesia, available from: [http://pubs.usgs.gov/of/2008/1019/pdf/OF08-1019\\_508.pdf](http://pubs.usgs.gov/of/2008/1019/pdf/OF08-1019_508.pdf) (accessed Dec.6, 2012)
- JICA (2001): ブランタス川中流域改修事業 (II), 以下の URL よりアクセス可 (2013 年 1 月 14 日現在)  
[http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda\\_loan/after/2001/pdf/project\\_27\\_all.pdf](http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda_loan/after/2001/pdf/project_27_all.pdf)
- JICA (2002): ポロン川改修事業, 以下の URL よりアクセス可 (2013 年 1 月 14 日現在)  
[http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda\\_loan/after/2002/pdf/project\\_41\\_allj.pdf](http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda_loan/after/2002/pdf/project_41_allj.pdf)
- Davies R.J., Mathias S.A., Swarbrick R.E., and Tingay M.J. (2011): Probabilistic longevity estimate for the LUSI mud volcano, East Java, *Journal of the Geological Society*, Vol.168, pp.517-523. doi: 10.1144/0016-76492010-129.