

泥火山の噴火がインドネシア・ポロン川および周辺環境に与えた影響*

東北大学災害科学国際研究所 吳 修一
 東北大学大学院工学研究科 梅田 信・田中 仁
 東北大学災害科学国際研究所 有働恵子・真野 明
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Suntoyo

1. はじめに

2006年5月、インドネシア・シドアルジョ市で発生した泥火山、LUSI(Lumpur Sidoarjo [Lumpur とはインドネシア語で汚泥を意味する])は、周辺地域さらにはポロン川の河川環境に大きく影響を与えている(吳ら, 2013a, 2013b, 森ら, 2014, Kure ら, 2014)。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、2014年12月1日現在も噴出が継続している。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る。著者らは、2012年からの継続的な解析、現地調査等を通じて、泥火山からの噴出汚泥の流入がポロン川の河川環境に与えた影響を評価している。本論文は、これまでに明らかとなったポロン川の河川環境状況を報告するとともに、著者らが2014年12月1日に実施した現地観察より明らかとなったポロン川周辺環境の現状を報告する。

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 kmに位置する(図-1)。ポロン川の上流はブランタス川であり、ブランタス川の下流でスラバヤ川とポロン川に分流する。ブランタス川は全長約320 km、流域面積約12,000 km²のジャワ島第2位の河川である。ブランタス川流域の年平均雨量は1500~2000 mm程度であり(図-2)、明瞭な雨期(10月~4月)と乾期(5月~9月)に区別される。ポロン川への泥火山噴出物の流入により、1)河道への土砂の堆積に伴う洪水疎通能力の低下(洪水リスクの増大)と、2)河川水質の悪化と生態系への影響の2つの問題が懸念されている。

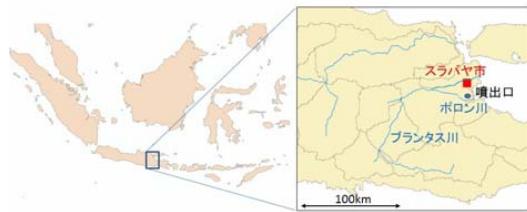


図-1 ポロン川および汚泥噴出口の位置(吳ら, 2013b)

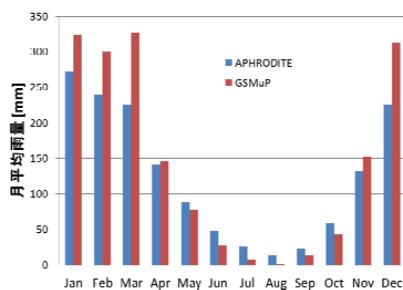


図-2 ブランタス川流域における月平均雨量
 (APHRODITEおよびGSMPデータより)(吳ら, 2013b)

* Effects of Mud Volcano Eruption on Porong River Environment, Indonesia by Shuichi Kure, Makoto Umeda, Hitoshi Tanaka, Keiko Udo, Akira Mano, and Suntoyo

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。汚泥の噴出量は最大で180,000 m³/dayと膨大であり(Daviesら, 2011), 現在も噴出が続いている。2007年の秋の時点では噴出量は累計で3000万m³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6.5 km²以上が汚泥で完全に埋め尽くされている。

図-3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。

4. 現在(2014年12月)のポロン川の状況

著者らは、2014年12月1日にシドアルジョ市およびポロン川を対象とした現地視察を実施し、現在のLUSI泥火山の噴出状況およびポロン川周辺状況を確認した。上述したように汚泥噴出区域周辺には、汚泥の氾濫を防ぐため堤防が建設されている(写真-1)。この堤防には階段が敷設されており、堤防内の噴出汚泥の堆積状況を見ることが可能である。写真-2に示すよう、家屋が汚泥に埋没した状況が現在も残っており、汚泥噴出規模・被害の大きさを見ることが出来る。また堤防内の堆積汚泥上には、写真-3に示すようなオブジェが建造されている。このオブジェは、ポロン川への汚泥の流入に対する金銭的補償をインドネシア政府に求める漁民たちの姿を表現したものであり、汚泥の噴出が生じた2006年から8年以上が経過した現在でも、金銭補償の要求が続いていることがわかる。また、写真-4に示すようLUSI泥火山の噴出口からは2014年12月1日現在も噴煙が上がっており、汚泥が噴出している状況が確認できる。

図-4に、2012年11月、2013年11月、2014年12月におけるポロン川への汚泥放流用パイプの状況を示す。2013年11月までは汚泥がポロン川へ放流されている状況が確認されたが、2014年12月1日には汚泥の放流は確認されなかった。現地漁民によると、インドネシア政府が金銭補償を行わない対抗処置として、ポロン川



図-3 LUSI泥火山噴出後の周辺地域の汚泥堆積状況(吳ら, 2013b)



写真1 汚泥氾濫を防ぐために建設された仮設堤防

(2014年12月1日著者が撮影)



写真2 汚泥の堆積状況
(2014年12月1日に著者が仮設堤防上より撮影)



写真3 堆積汚泥の上に建造されたオブジェ
(2014年12月1日に著者が仮設堤防上より撮影)

への放流を現在認めておらず、汚泥を放流できない状況だという。しかしながら、上述したように未だに汚泥の噴出は継続しており、堤防内の許容貯留量を越えた場合には汚泥をポロン川に放流する必要が生じるであろう。

ポロン川河口域には堆積した土砂を利用し建設した人工島が存在する(呉ら, 2013a)。人工島の沿岸には、図-5に示すよう、マングローブ林が植樹されている。図より、マングローブ林の経年的な成長を見る事が出来る。この人工島内には、海老の養殖用の池等が敷設されており、汚泥のポロン川への流入の影響を調べるために、水質検査や海老の養殖実験が実施されている。インドネシア政府の報告によると、この人工島で実施された検査等では、水質や海老の養殖に問題は生じていない。



写真4 噴出口から立ち上る噴煙の様子
(2014年12月1日に著者が仮設堤防上より撮影)



図4 ポロン川への汚泥の流入部(河口から26km地点)(左:2012年11月14日, 中:2013年11月13日, 右:2014年12月1日撮影)
(右岸より左岸を撮影)



図-5 ポロン川河口に位置する人工島に植樹されたマングローブ林の経年変化（左：2010年10月、中：2012年11月14日、右：2013年11月13日撮影）（人工島上で著者らが撮影）

5. 汚泥の流入がポロン川の河床形状に与えた影響

先述したように、ポロン川への汚泥の流入は河道への土砂の堆積を促進させ、洪水疎通能力の低下が懸念される。呉ら（2013b）は、BPLS (Badan Penanggulangan Bencana Sidoarjo - Sidoarjo Disaster Recovery Agency) の現地調査データを解析することで、汚泥の流入がポロン川の河床形状に与えた影響を評価している。図-6 にポロン川の平均河床高および月雨量・流量の時系列を示す。図-6 に示されるよう、汚泥流入地点下流部の横断面で降雨の無い乾期に汚泥流入に伴い平均河床高が増加するが、雨期の降雨による流量増加に伴い堆積土砂が流出し、平均河床高が低下していることがわかる。これは、乾期に堆積した汚泥の土砂粒径が小さく河床に層状に堆積しているため、洪水の掃流力に伴い汚泥が侵食され流出するためと考えられる。このように、汚泥の堆積がポロン川の洪水疎通能力に与えた影響は小さく、汚泥の堆積に伴う洪水リスクの増加は生じていない事が明らかとなった。

6. 汚泥の流入がポロン川の河川水質環境に与えた影響

汚泥のポロン川への流入で最も懸念される事は、河川水質や生態系に与える影響である。Sidoarjo Fisheries and Marine Department の調査によると、ポロン地域等での漁獲量は2007年の7339 tから2008年には5467 tに減少したことが報告されている (Fitrianto, 2012)。また、高濃度のフェノールや水銀等の有害物質がポロン川で検出された事も報告されている (McMichaelら, 2009, USGS, 2008)。しかしながら、Pohl (2007) の分析によると汚泥に毒性や危険性はないものと判断されている。

著者らは、汚泥の流入がポロン川の河川水質環境に与えた影響を評価するため、現地水質調査を実施している (梅田ら, 2014)。梅田ら (2014) の調査により、ポロン川河床付近で溶存酸素濃度が極端に低い貧酸素水域が存在することが明らかとなった。これは、塩水の流入による影響や、堆積汚泥による酸素消費の影響等が考えられる。しかしながら、貧酸素の主要因を明らかにするとともに、上記様々な水質状況や問題等を定量的に評価し、汚泥の流入がポロン川の水質や生態系に与えた影響に関して明確な結論を得るために、今後更に多くの調査を実施する必要がある。

7. まとめ

本研究は、インドネシア・ジャワ島東部のシドアルジョ市で生じた、LUSI 泥火山の噴出が周辺環境およびポロン川に与えた影響を定量的に評価する事を目的としている。汚泥のポロン川への流入は、1) 汚泥の河床への堆積に伴うポロン川の洪水疎通能力の低下 (洪水リスクの増加), 2) 河川水質・生態系への影響と、二つ

の問題が懸念されていた。

著者らは、2012年から2014年までの現地調査およびデータの解析から、1) の洪水リスクの問題に関しては、堆積汚泥が雨期の出水に伴い侵食され流出するため、洪水リスクの増加は生じていない事を明らかにした。また、2) の水質問題に関しては、現地調査よりポロン川の河床部に貧酸素域が存在することを明らかにした。この貧酸素水域が汚泥の堆積のものなのか、塩水の遡上等によるものなのかを明らかにするためには、更に多くの調査が必要となる。また、他の水質問題の有無を明らかにするためにも今後多くの水質項目を調査する必要がある。このような科学的な調査を積み重ねる事が、現在も金銭的補償をめぐって漁民とインドネシア政府が対立するような状況を改善するとともに、ポロン川の水質環境の改善に向けた取り組みを開始するため必要不可欠である。

今後は、更なる水質調査を実施するとともに、数値解析モデルを使用することで現地観測より得られた知見を更に定量的に評価していく予定である。このような泥火山の噴出は世界では珍しい現象であるが、インドネシア・ジャワ島では多く生じている現象であり、再度他の場所でLUSI規模の泥火山噴出が生じる可能性が無いとは断言できない。よって、このLUSI泥火山の噴出が周辺地域やポロン川に与えた影響を評価する事は、今後の同様の自然災害への対応に向けて非常に重要である。

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。本研究で使用したデータの収集にあたって、BPLSには非常に多くの情報を提供して頂いた。また、現地調査では、スラバヤ工科大学の学生諸子に多大な協力を得た。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

- 梅田信、森文章、田中仁、吳修一、Suntoyo、泥火山噴出物の流入部下流におけるポロン川の水質環境、東北地域災害科学研究、第50巻、pp.235-240、2014.
- 吳修一、武田百合子、有働恵子、梅田信、真野明、田中仁、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、東北地域災害科学研究、第49巻、pp.115-120、2013a.
- 吳修一、Bambang Winarta、武田百合子、有働恵子、梅田信、真野明、田中仁、インドネシア・ポロン川における泥火山噴出物の流出・堆積状況、土木学会論文集G(環境)、Vo. 69, No.5, pp.I_183-I_189, 2013b.
- 森文章、三戸部佑太、吳修一、Suntoyo、梅田信、田中仁、有働恵子、真野明、泥火山噴出物流入に伴うインドネシア・ポロン川の河床変動、東北地域災害科学研究、第50巻、pp.235-240、2014.
- Davies R.J., Mathias S.A., Swarbrick R.E., and Tingay M.J. (2011): Probabilistic longevity estimate for the LUSI mud

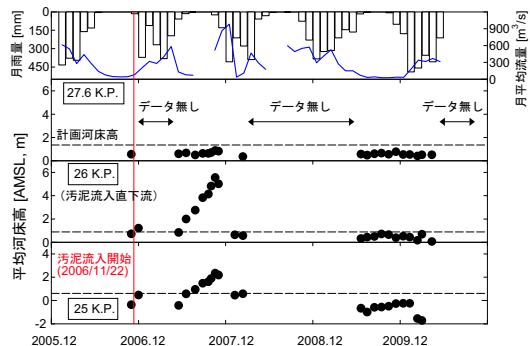


図6 平均河床高、月平均流量および月雨量(GSMaP)の時系列
(下流から、27.6, 26, 25 K.P. 地点) (吳ら、2013b)

- volcano, East Java, *Journal of the Geological Society*, Vol.168, pp.517-523.
- Fitrianto, A. R. (2012): Shrimp Farmers' Innovation in Coping with the Disaster (A Case Study in Sidoarjo Mud Volcano Disaster Toward Shrimp Farmer's Responses), *Procedia Economics and Finance*, Vol. 4, pp.168-176.
- Kure S. et al. (2014): Effects of Mud Flows from the LUSI Mud Volcano on the Porong River estuary, Indonesia, *Journal of Coastal Research*, Special Issue, No. 70, pp. 568-573.
- McMichael, H. (2009): The Lapindo mudflow disaster: environmental, infrastructure and economic impact. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, Vol.45, No.1, pp.73-83.
- Pohl,C. 2007. Lapindo Brantas and the mud volcano sidoarjo, Indonesia. available from:
http://www.foeeurope.org/publications/2007/LB_mud_volcano_IndonesIn.pdf (accessed Nov. 27, 2013)
- 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 (accessed Dec.6, 2012)