

インドネシアスダ海峡で発生した火山性津波について

今村 文彦*・Abdul Muhari**・有川 太郎***

1. 概要

昨年は、インドネシアで非地震性の津波が発生していた。2018年9月28日スラウェシ島パル湾で発生した津波の原因としては地震起因の地滑りであると指摘されている(Muhari et al., 2018)。さらに、同年12月22日には、インドネシアのジャワ島とスマトラ島の間のスダ海峡に位置する小さな火山島(アナック・クラカタウ島)で、大規模な噴火活動によって山体が崩落し大量の岩石等が海域に流入して大津波が発生し、ジャワ島とスマトラ島沿岸に大きな被害を生じた。インドネシアの国家防災庁が12月31日に発表した情報によると、426名以上死者、負傷者約1万4千人もの人的被害を出した半年の間に2つの大災害を経験したことになる。両方とも火山噴火や地滑りなど非地震性による津波の発生になり、一般にはその頻度は低いですが、一旦発生すると被害は多く、現在も監視や予測が難しい事例となる。本報告では、アナック・クラカタウ島噴火に伴う津波に関連して得た情報や現地調査の結果を報告する。

2. 火山活動の概要

この海域では元々火山島が存在し1883年、歴史上最大規模の巨大噴火によって海中に陥没(カルデラ形成)、その後発生した津波で3万人以上が犠牲になった記録が残っている。その後、20世紀に入って同じ海域のカルデラ内に新たに海底火山が噴火し、成長してきた火山島がアナック・クラカタウ島になる。

東西2.1 km, 南北2.3 km程の大きさで、標高300 mを超える中央火砕丘と山麓にかけて広がる溶岩流からなる島です。2018年6月頃から火山活動が再び活発化し、同年10月には大きな噴火で溶岩流が海まで流れたと報告されている。その後、一時的に静穏に推移したが、12月中旬から再び活発な状態となり、22日に火山体の崩落が発生した。我々が実施した緊急調査時の当時の住民からのヒアリングによると、22日夕方当たりから噴火(音響)の回数が多く、21時頃(現地時間)の規模が最も大きかったと証言されている。

3. 当日の観測や警報等について

火山地質災害センター(PVMBG)は2018年6月当たりから監視体制は強めていたが、22日21時頃の噴火についての緊急情報や津波に関する情報は出ていなかった。津波情報に関しては、インドネシアの気象気候地球物理学庁(BMKG)および国家防災庁(BNPB)が一元監視管理しており、当時、高波に関する情報は出していたようだが、火山による津波情報(あるいは警報)は発表していない。当時、火山による津波に対する警報システムがなかったと報告されている(Gaurdian, 2018)。インドネシアで昨年末に発生した津波は、警報が出ないまま沿岸に到達し、住民だけでなく年末休暇で訪れていた観光客の多くに犠牲者を出したことになる。

4. 観測された津波挙動

BMKGはスダ海峡の何か所か検潮所を保有しており。当時の津波の高さや到達時間などの波形記録も保存されている。このような記録は、当時の発生メカニズムや来襲の状

*東北大学災害科学国際研究所

**インドネシア海洋水産省

***中央大学理工学部



図1 スンダ海峡でのAnak Krakatau火山島とジャワ島西部の調査一点および測定津波高さ（潮位補正前）

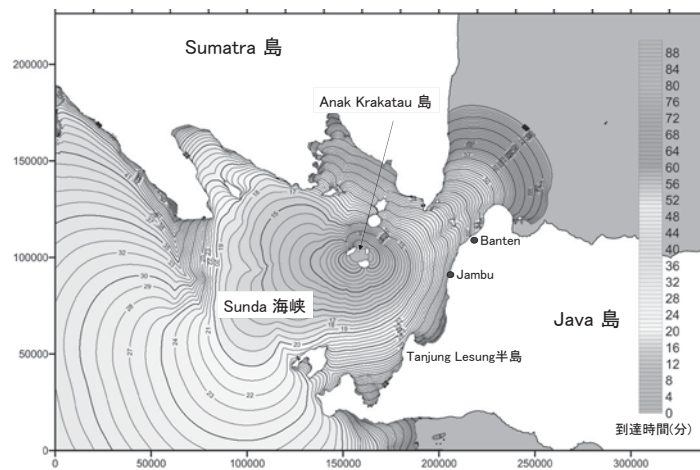


図2 推定される津波伝播（前野、2019），同心円状に伝播している様子が分かる

況を知るだけでなく、リアルタイムで共有すれば警報発表のための重要な情報になる。ジャワ島西岸ではBulakan (Caritaの12 km北)のJambuでは21時半頃には津波の押し波到達が確認され、最大波高は2 mに及び、代表的な周期は5-10分と読み取れる。2時間あまりは大きくその後には減衰している。また、Anjurの北東8 km CiwandanにあるBantenでは、21時40分頃小さな押し波の後に強い引

き波が観測された。第1波高は0.3 m程度、最大波高は1 m程度になる。その他、スマトラ島南部沿岸に位置するStasiun PanjangやKota Agungなどでも津波が観測され、それぞれ21時55分、21時35分の到達と、0.6 mおよび0.8 m程度の最大波高が見られた。ジャワ島西岸と同様に、2時間あまり卓越しその後には減衰している。到達時間や第一波押し波の様子は前野(2019)による解析結果(例えば、

到達時間を図2に示す) とほぼ一致している。アナック・クラカタウ島周辺の島や海底地形に影響され、津波の伝播経路は複雑になっていた。また、周期についても解析では5-8分前後の周期はが卓越しており対応もよいと考える。

観測データで共通して確認出来たことは、各地で21時半から22時位の間で、津波の押し波が到達していること、周期は一般の地震性津波より短く5-10分程度になる。当時、満潮から干潮に変化する引き潮時であり、海面は平均海面より若干低いレベルであったことが確認できる。もし、満潮であれば、当時より1m程度は高くなった可能もあった。

5. 現地調査から見える津波実態

発生直後の12月27日から実施した緊急現地調査は、ジャワ島西海岸、特に、Tanjung Lesung BeachやAnyer Beachなど観光地も含めて被害の大きかった地域を中心に実施した。インドネシア海洋水産庁の合同調査チーム(リーダー; Dr.Abdul Muhari)に参加させていただいた。10月スラウェシ島パル地震・津波の際にも、外国人研究者の現地調査の許可は厳しく、今回は学術的研究よりむしろ政府対応の緊急支援ということで許可を頂いた。図1に示したように、Anyer Beachでは津波



写真1 Tanjung Lesung Beach 半島での津波痕跡、津波浸水浸水深は3mを超える

の高さ(遡上高さ)は2~4m(潮位補正前)の地点が多く、南部のTanjung Lesung Beach 半島寄りでは10mを超える地点があり、最大(主に遡上高さ)は13.2mであった。この半島付近には小さなポケットビーチが存在し、そこでの津波浸水が部分的に確認出来た。この半島の西側では、特に津波遡上高さも大きく、海面から2mを超える津波が浸入し、陸上斜面を駆け上がった痕跡が確認出来た。そこでの浸水深も3mを超える場所もあり、流速が大きく、植生や住居が根刮ぎ流出している様子があった(写真1や2)。植生の倒れた方向や珊瑚片の位置により流速・流向なども推定出来る可能性がある。なお、一部の海岸には巨大な珊瑚岩も打ち上げられていたが、岩の表面状況により移動はかなり古いと考えられ、今回移動したのではなく、以前の1883年の噴火時やそれより前の津波によるものと思われる。

ジャワ島西海岸での犠牲者が多かった要因として、年末で多くの人が海岸近くに出ていることや、事前の津波警報がなかったことなどが考えられる。我々のインタビューによると、多くの住民は噴火の大きな規模(音としての異変)に気づき避難したが、観光客は何が起きているのか判らず(特に、コンサートなどの会場では)、避難が遅れてしまった人が多くいたと報告されている。



写真2 Tanjung Lesung Beach 半島での津波痕跡、沿岸からの強い波力(左向き矢印)により破壊された住宅と周辺に移動した珊瑚岩(下向きと右向き矢印)

6. 発生状況の推定

津波は火山噴火による山体崩壊が原因という見方が強まっているが、夜間に発生したためその詳細は不明である。国土地理院は、地球観測衛星「だいち2号」で観測した2018年8月20日と12月24日のレーダー記録を解析し、山頂火口を含む島の南西部分が崩壊したと12月25日に発表した。また、PVMBGは、衛星画像等の解析から島の面積が約64ha減少し、海中に崩壊した部分の体積が0.15～0.18km³に達し、海面上に残った体積は約3分の1に、山頂の高さは海拔338mから110mに減少したと発表された。

前野(2019)は、周辺の4地点の潮位計から得た津波の波高データなどをもとに、崩壊した土砂の体積を検討し、0.21～0.26km³と見積もっている。これは、PVMBの推定値と対応しているので、規模的にはこのオーダーであろうと推定出来る。なお、Giachetti et al. (2012)は、今回の噴火前にアナク・クラカタウ火山の崩壊を想定し、今回と同様のシミュレーションを行っており、彼らは崩壊量を0.28km³と仮定し、Caritaでの波高を約3mと推定している。

7. 今後の課題

アナク・クラカタウ島では現在の噴火活動は低下しているとは言え、活動は続いていますのでその推移が注目される中、今回の山体崩壊における体積量や動的プロセス、沿岸への津波の伝播過程および沿岸への影響、さらにこれらと噴火活動との関係を明らかにすることは重要である。発生する津波を再現・予測するためには、崩壊の量だけでなく、動的プロセスの推定が重要である(Maeno&Imamura,2011)。今後、周辺部での津波痕跡などの情報が得られると、その状況のより正確な推定が可能となると思う。

将来の火山性津波の監視のためには、噴火活動に加えて、周辺部でのリアルタイム津波観測、さらには、崩壊や地滑り等に関係した低周波地震動も有効であると考えられる。今回も前後に低周波の地震波が検出されており、それが持つ情報の有用性が期待される。

現在、科学技術振興機構(JST)、国際緊急共同研究・調査支援プログラム(J-RAP-ID)によるインドネシアスンダ海峡津波関連の調査が始まっている。以下が、その研究課題になる。その成果は、我が国での対策にも活かされると期待される。

1. スンダ海峡津波の被害と住民の対応の調査
2. インドネシア・スンダ海峡津波を誘発し

表1 津波遡上高さ(潮位補正済み)

No	X	Y	Run-up (m)
1	105.85470	-6.15110	3.74
2	105.84969	-6.16902	3.29
3	105.84747	-6.17476	4.54
4	105.83619	-6.20232	5.8
5	105.82577	-6.23888	5.34
6	105.82887	-6.26210	4.57
7	105.82698	-6.27677	3.45
8	105.65939	-6.48078	7.07
9	105.63815	-6.50781	8.51
10	105.63335	-6.51699	13.49
11	105.62888	-6.52415	10.94
12	105.62673	-6.52896	13.2

た火山活動と崩壊メカニズムに関する研究

3. リモートセンシングによる津波被害の把握と脆弱性評価
4. スンダ海峡津波がサンゴ礁海岸域に及ぼした影響についての緊急調査
5. 地震・津波・衛星画像データ解析による2018年スンダ海峡津波発生メカニズムの解明
6. 非地震性津波の発生メカニズムの解明

参考文献；

科学技術振興機構 (2019), インドネシア スンダ海峡津波関連「国際緊急共同研究・調査支援プログラム (J-RAPID)」採択課題概要

<https://www.jst.go.jp/pr/info/info1367/besshi1.html> 2019年5月3日閲覧

前野深 (2019), 2018年インドネシア・クラカタウ火山噴火・津波 updated on 15 January 2019 <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/VRC/krakatau/> 2019年5月3日閲覧

Guardian (2018), Indonesia tsunami caused by collapse of volcano

<https://www.theguardian.com/world/2018/dec/24/sunda-strait-tsunami-volcano-indonesia>

2019年5月3日閲覧

Giachetti et al. (2012), Tsunami hazard related to a flank collapse of Anak Krakatau Volcano, Sunda Strait, Indonesia. Geological Society, London, Special Publications, 361, pp.79-90.

Maeno, F. and Imaumra, F. (2011), Tsunami generation by a rapid entrance of a pyroclastic flow into the sea during the 1883 Krakatau eruption, Indonesia. Journal of Geophysical Research, 116, B09205, doi:10.1029/2011JB008253, 2011

Abdul Muhari, Mohammad Heidarzadeh, Haris D Nugroho, Estu Kriswati, Supartoyo, Antonius B. Wijanarto, Bagus Afriyanto, Fumihiko Imamura, and Taro Arikawa, The December 2018 Anak Krakatau volcano tsunami as inferred from post-tsunami field surveys and spectral analysis, Pure and Applied Geophysics, submitted

Muhari, A., Imamura, F., Arikawa, T., Hakim, A., & Afriyanto, B. (2018). Solving the Puzzle of the September 2018 Palu, Indonesia, Tsunami Mystery: Clues from the Tsunami Waveform and the Initial Field Survey Data. Journal of Disaster Research, 13, sc20181108.

Geological Agency of Indonesia (PVMBG). 2018. Data of Anak Krakatau eruption in 2018, (unpublished report, in Bahasa)