



国際津波防災学会・津波シミュレーション分科会第2回会合

# クラカタウ火山の噴火と山体崩壊、津波

鹿児島大学 地域防災教育研究センター 特任准教授

石峯康浩

[ishimine@gm.kagoshima-u.ac.jp](mailto:ishimine@gm.kagoshima-u.ac.jp)

平成31年1月30日 @日本大学工学部駿河台キャンパス

# 本日の内容

1. インドネシアの火山
2. クラカタウ火山とは？
3. 2018年の火山活動
4. 12月22日の状況

# インドネシアの火山

# 火山大国 インドネシア

## 活火山数の国別ランキング（上位5カ国）

順位	国名	活火山数
1	アメリカ合衆国	178
2	ロシア	150
<b>3</b>	<b>インドネシア</b>	<b>148</b>
4	日本	129
5	チリ	104

（出典：スミソニアン博物館の活火山カタログ\*に基づく日本火山学会のまとめ，2015年）

\* 同カタログでは完新世（最近1万1700年間）に噴火したとみなされるものを活火山と定義している。

# インドネシアの活火山分布

## Major Volcanoes of Indonesia (with eruptions since 1900 A. D.)



# 30km圏内の人口が多い活火山トップテン

順位	火山名	国名	人口	最新噴火
1	ラグナカルデラ	フィリピン	7,073,814人	不明
2	大屯火山群	台湾	6,735,396人	648年
3	ミチョアカン-グアナフアト	メキシコ	5,783,287人	1952年
4	タンクバンプラフ	インドネシア	5,729,309人	2013年
5	ペナンガンガン	インドネシア	4,605,710人	不明
6	ウンガラン	インドネシア	4,595,534人	不明
7	ムラピ	インドネシア	4,348,473人	2018年
8	アルジュナウェルリャン	インドネシア	4,143,137人	1952年
9	チチナウツィン	メキシコ	4,061,942人	400年
10	ベスビオ	イタリア	3,907,941人	1944年

(スミソニアン博物館ホームページのデータを基に作成)

# インドネシアの主な火山災害

発生年	火山名	主な災害要因	犠牲者数
1963年	アグン	火砕流・泥流	2000人
1930年	ムラピ <sup>o</sup>	火砕流	1300人
1919年	ケルート	泥流	5000人
1892年	アウ	火砕流	1500人
1883年	クラカタウ	火山性津波	3万6000人
1856年	アウ	泥流	2800人
1822年	ガルングン	泥流	4000人以上
1815年	タンボラ	火砕流・餓死	9万2000人
1772年	パパンダヤン	火砕流	2960人
1760年	マキアン	泥流	2000人
1711年	アウ	泥流	3200人

死者数が1000人以上のものに限る

# インドネシアの最近の火山災害



2007年ケルート火山  
1万5000人避難・死者なし



2010年ムラピ火山  
100万人避難・死者367人



2010年シナブン火山  
3万人避難・死者なし



2011年ロコン火山  
6000人避難・死者なし



2014年ケルート火山  
7万6000人避難・死者4人



2017年アゲン火山  
14万人避難・死者なし

(京都大学中道治久准教授の資料を基に作成)

クラカタウ火山とは？

# クラカタウ火山

インドネシアの南西側に位置するスマトラ島とジャワ島の間のスンダ海峡のほぼ中央にある火山島。1883年に過去200年で最大の噴火を発生させ、誘発された津波によって3万6000人の犠牲者を出したことで有名。



# クラカタウ火山の位置

インドネシアの首都・ジャカルタから見ると西方約150km。



ジャワ島西岸はジャカルタから約100km。首都圏からアクセスの良い観光地で、国立公園にもなっている。

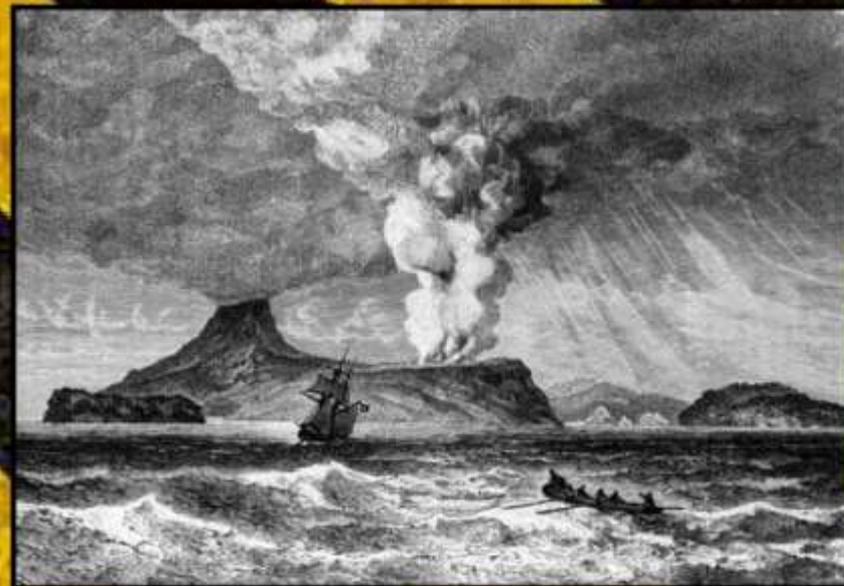


インドネシアカルチャー&ツーリズム  
インフォメーションセンターHPより引用

# クラカタウ火山の1883年噴火

## クラカタウ

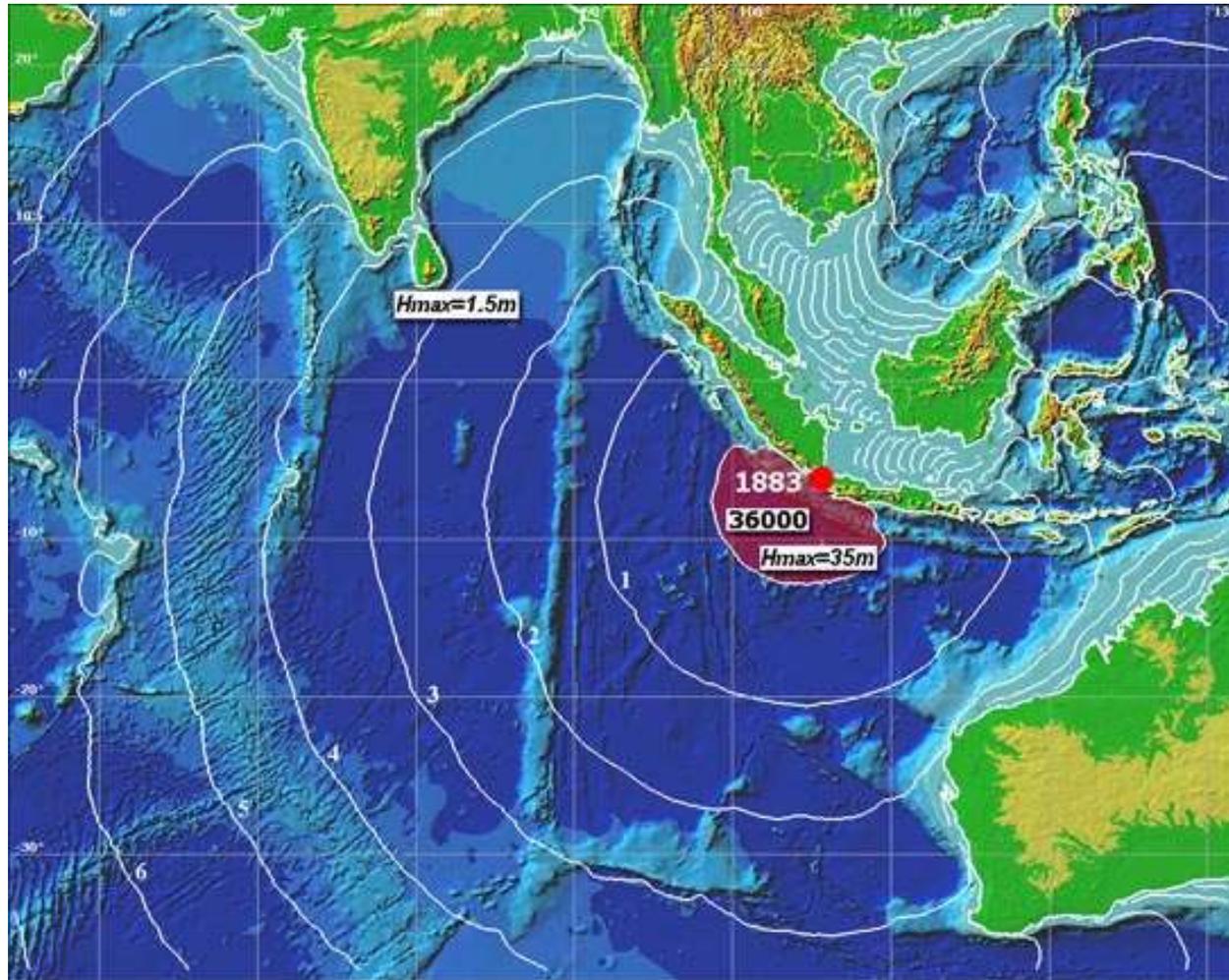
インドネシアの小島であるクラカタウは世界で最も有名な火山の一つである。1883年の噴火は広く語り継がれ、多くの絵画や書籍、映画が作成された。



クラカタウの1883年噴火は約4カ月間も続き、あまりにも巨大な噴火とともに終末を迎えた。噴火で発生した衝撃波が地球を7周も伝播したと言われるほどである。



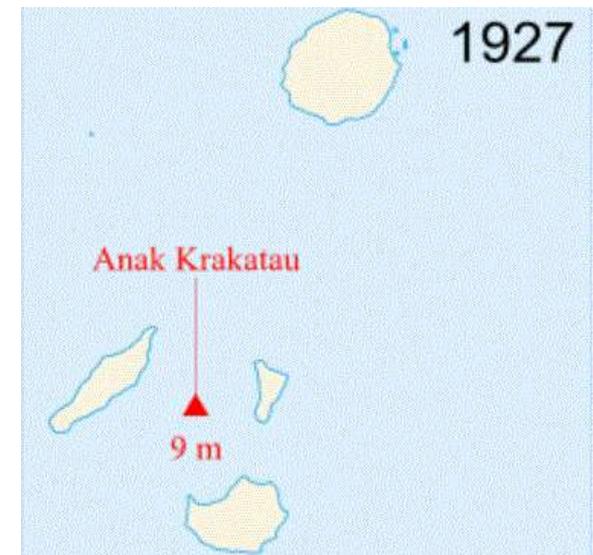
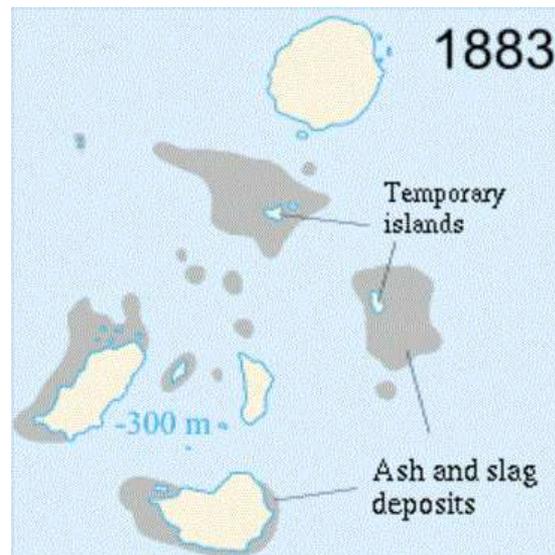
# 記録に残る史上最大の火山性津波



1883年のインドネシア・クラカタウ火山の噴火では、高さ30m以上の津波が発生して約36000人が犠牲になった。

# クラカタウ周辺の地形変化

1883年以前は、南北約10km、東西約5kmの島があったが、大規模な噴火で約20km<sup>3</sup>の火砕物が放出され、火口付近には直径6km程度のカルデラ地形ができて陸地は消滅した。その後、1927年に火山活動が再開して、小さな島が作られた。2018年12月の噴火直前には直径が約2km、最高地点の標高が約300mの火山島となっていた。この島がアナク・クラカタウと呼ばれている（アナクはインドネシア語で「子供」の意味）。



(図は <https://fr.sott.net/> よりダウンロード)

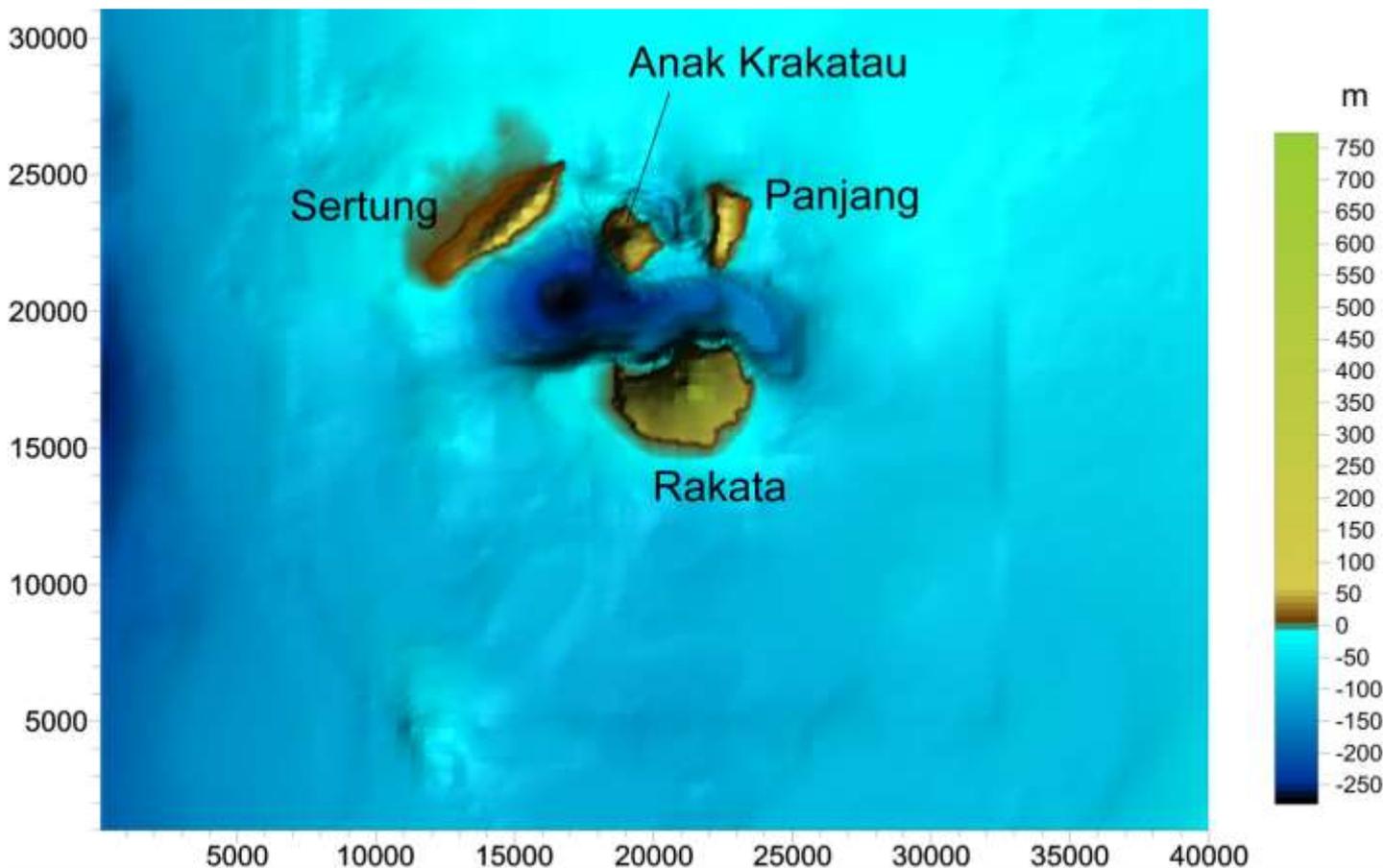
# 津波災害前のアナク・クラカタウ島 (2018年8月)



(<http://www.oysteinlundandersen.com/> より引用)

# クラカタウ周辺の海底地形①

## 2018年12月噴火直前の海底地形



アナククラカタウ島南西部には1883年噴火でできたと思われる水深200m以上の顕著な陥没地形が確認されていた。  
(東京大学地震研究所火山噴火予知研究センターHPより引用)

# クラカタウ周辺の海底地形②

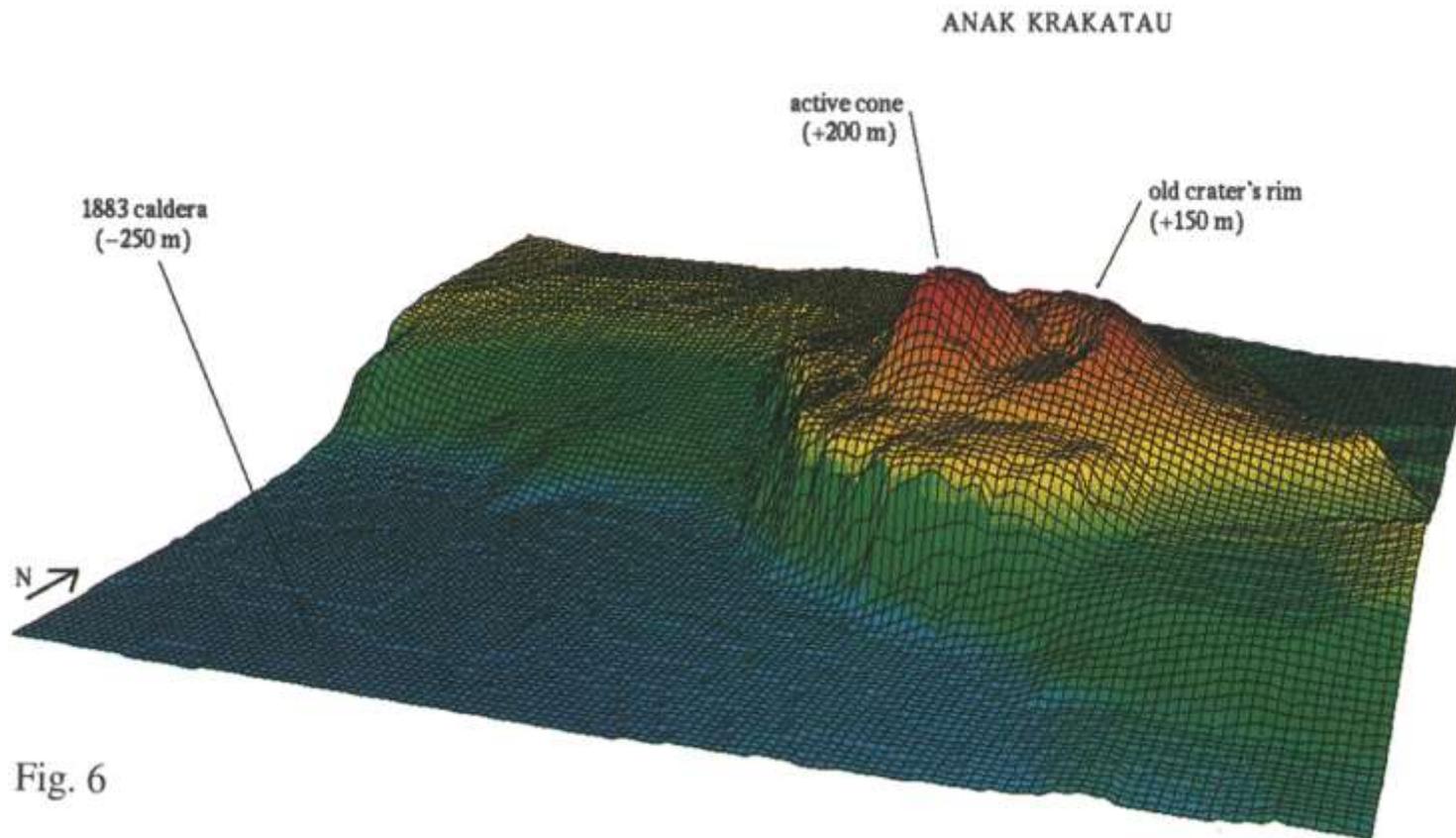


Fig. 6

Fig. 6. Three-dimensional Numeric Model of Altitude (NMA) of Anak Krakatau (see legend of Fig. 5 for NMA construction). This view is from the South East. The logarithmic color scale represents the bathymetric and topographic variations between  $-250$  m (bottom of 1883 caldera, in blue) and  $+200$  m (summit of the active cone, in red).

アナク・クラカタウ島の南西部で成長を続けていた火砕丘は、その一部がカルデラの縁に近づきつつあり、不安定な状態にあることが20年以上前に指摘されていた。(Deplus et al., JVGR 1995)

# 2018年の火山活動

# 2018年8月の噴火状況



アナク・クラカタウ島における火山活動は2018年6月以降、活発化。ごく小規模な噴火を繰り返していた。

(<http://www.oysteinlundandersen.com/> より引用)

# 2018年8月の噴火状況



(<http://www.oysteinlundandersen.com/> より引用)

# 12月22日の状況

# インドネシアの防災関連機関

**BNPB : 国家防災庁**

( = Badan Nasional Penanggulangan Bencana )

( = National Disaster Management Agency )

**BPBD : 地方防災局**

( = Badan Penanggulangan Bencana Daerah )

( = Regional Disaster Management Agency )

**BMKG : 気象・気候・地球物理庁**

( = Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika )

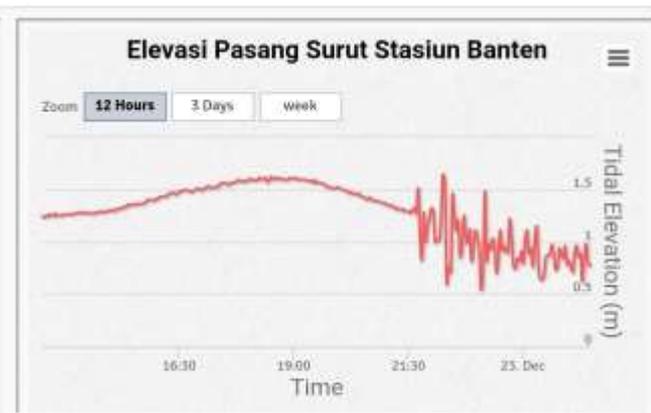
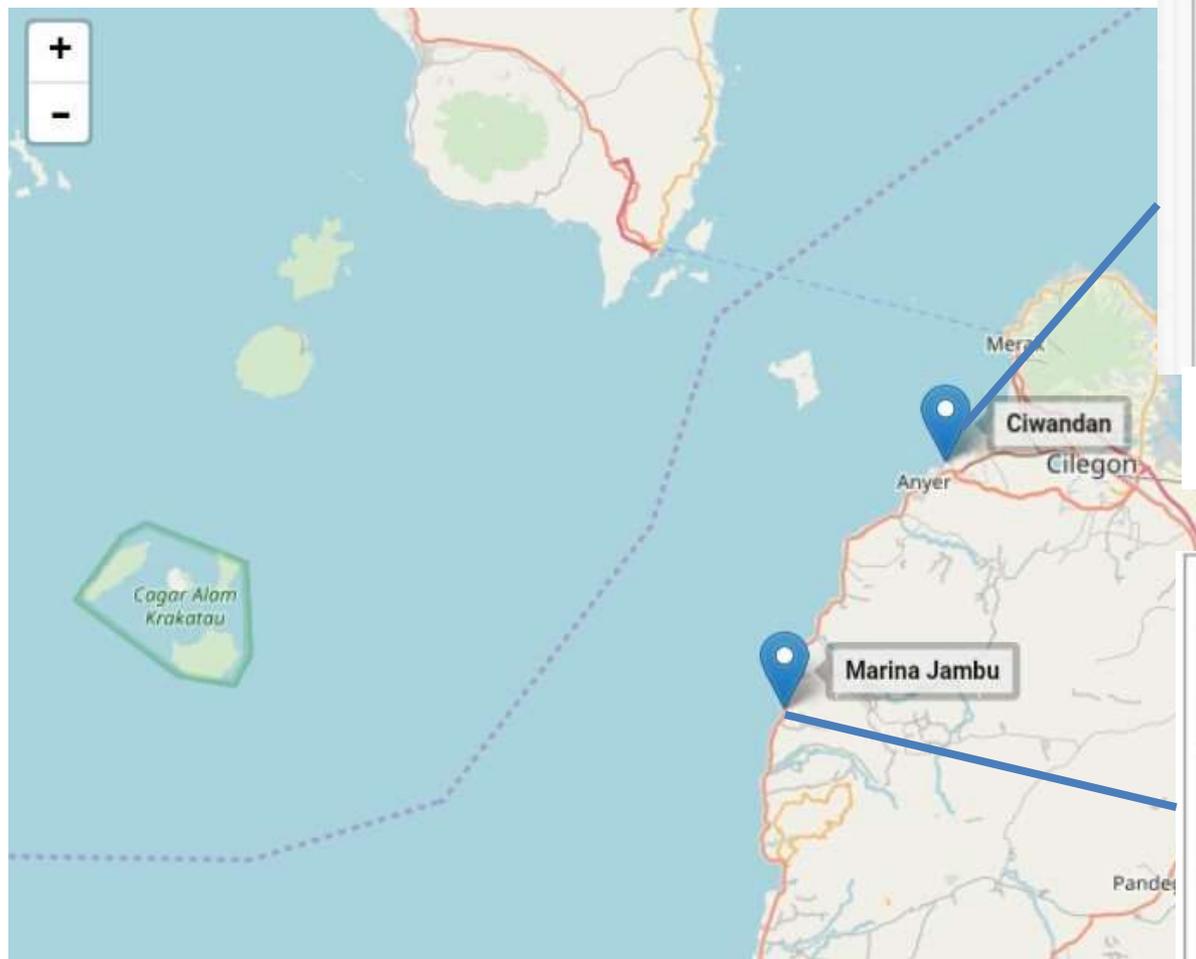
( = Meteorological, Climatological and Geophysical Agency )

**PVMBG-CVGHM : 火山地質災害軽減センター**

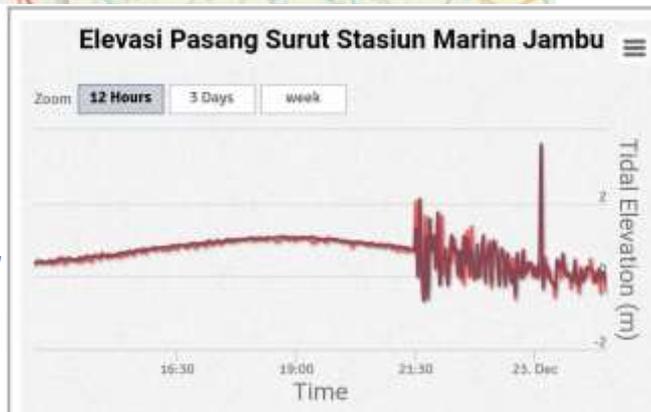
( = Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi )

( = Center for Volcanology and Geologic Hazard Mitigation )

# 津波の到達 (ジャワ島側)



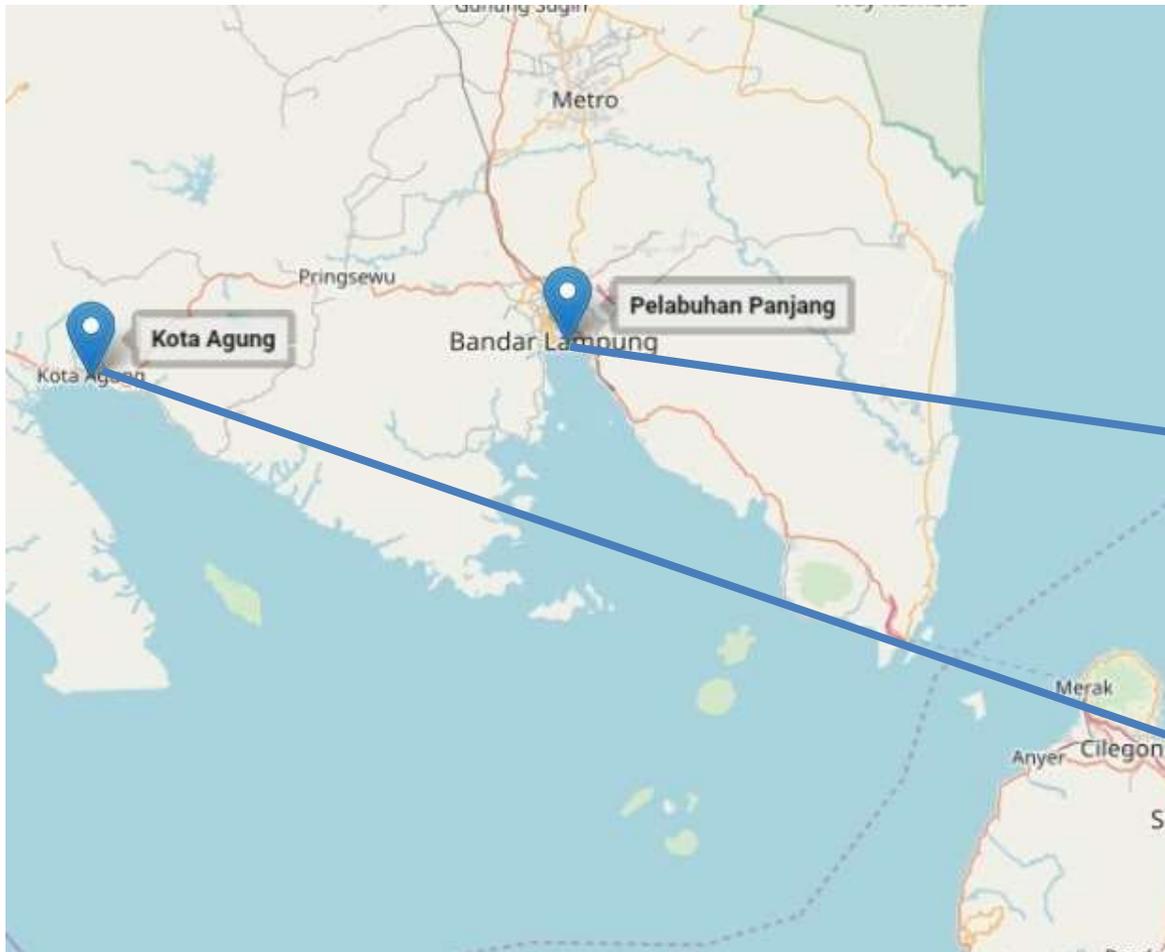
津波到達時刻: 21時33分  
最高波高0.35m



津波到達時刻: 21時27分  
最高波高0.91m

European Commission Joint Research Center  
Emergency Reportを基に作成; 潮位データの出典は:  
<http://tides.big.go.id:8888/dash/prov/Banten.html>

# 津波の到達(スマトラ島側)



津波到達時刻: 21時53分  
最高波高0.28m

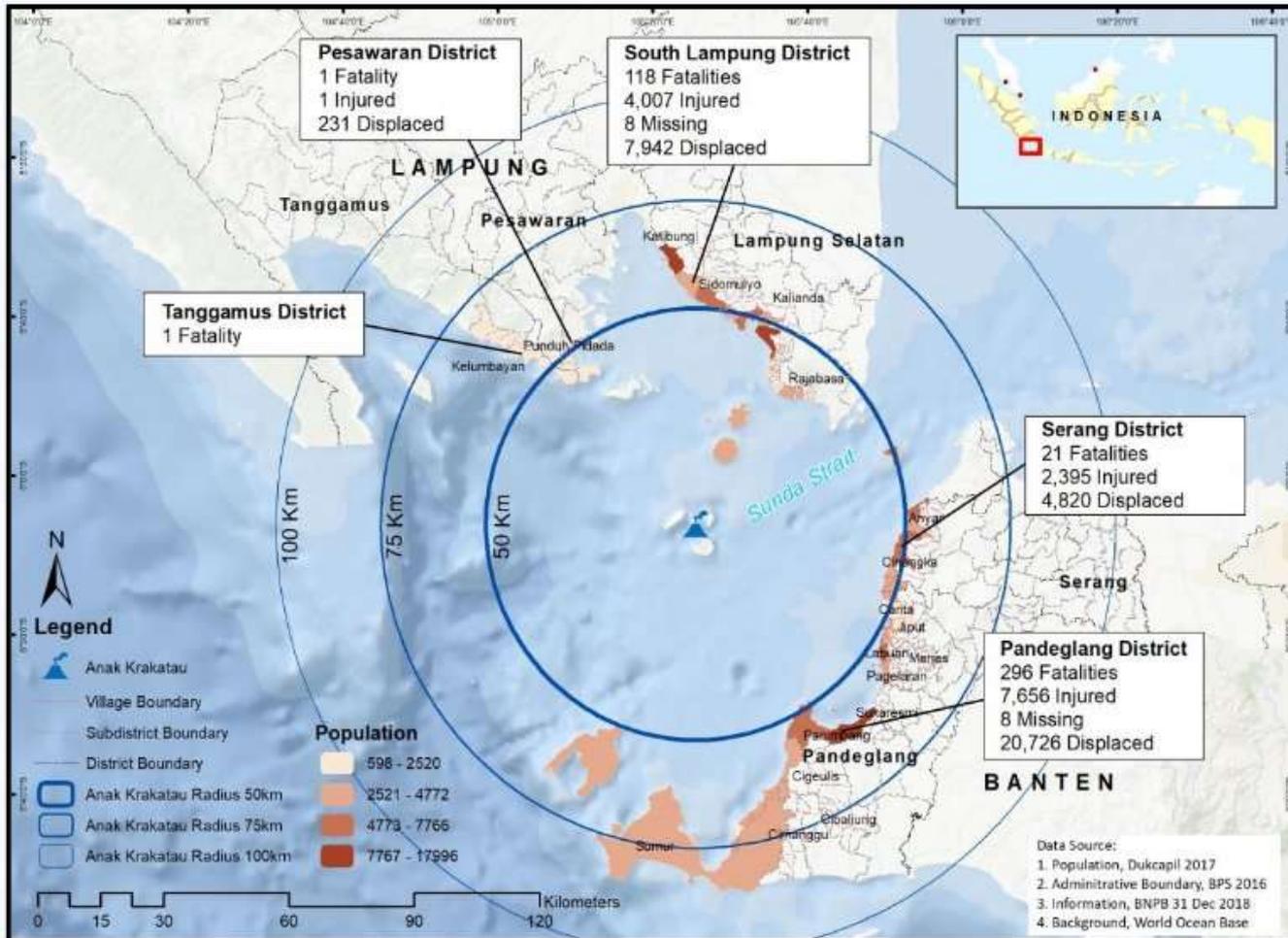


津波到達時刻: 21時35分  
最高波高0.36m

European Commission Joint Research Center  
Emergency Reportを基に作成; 潮位データの出典は:  
<http://tides.big.go.id:8888/dash/prov/Lampung.html>

# 津波による被害状況

2018年12月31日時点のデータ



 437 fatalities

 16 missing

 14,059 injured

 33,719 displaced

Figures are correct as at 31 December 2018, 13:00 UTC+7

# 到達時刻から想定される波源

Tidegauge Pelabuhan Kota Agung  
Tercatat pukul 21.35 WIB  
Ketinggian gelombang 0.36m

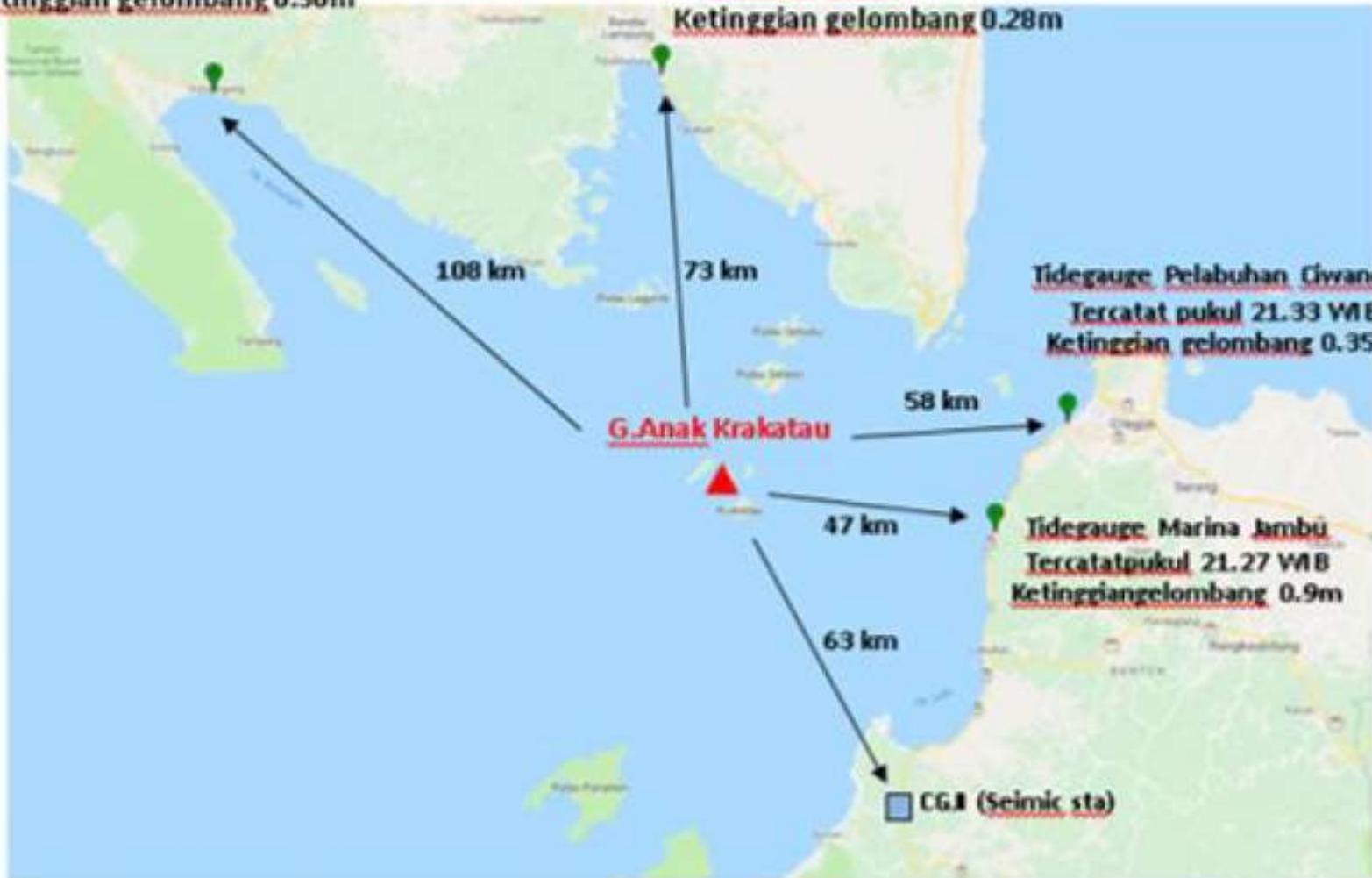
Tidegauge Pelabuhan Panjang  
Tercatat pukul 21.53 WIB  
Ketinggian gelombang 0.28m

Tidegauge Pelabuhan Ciwandan  
Tercatat pukul 21.33 WIB  
Ketinggian gelombang 0.35m

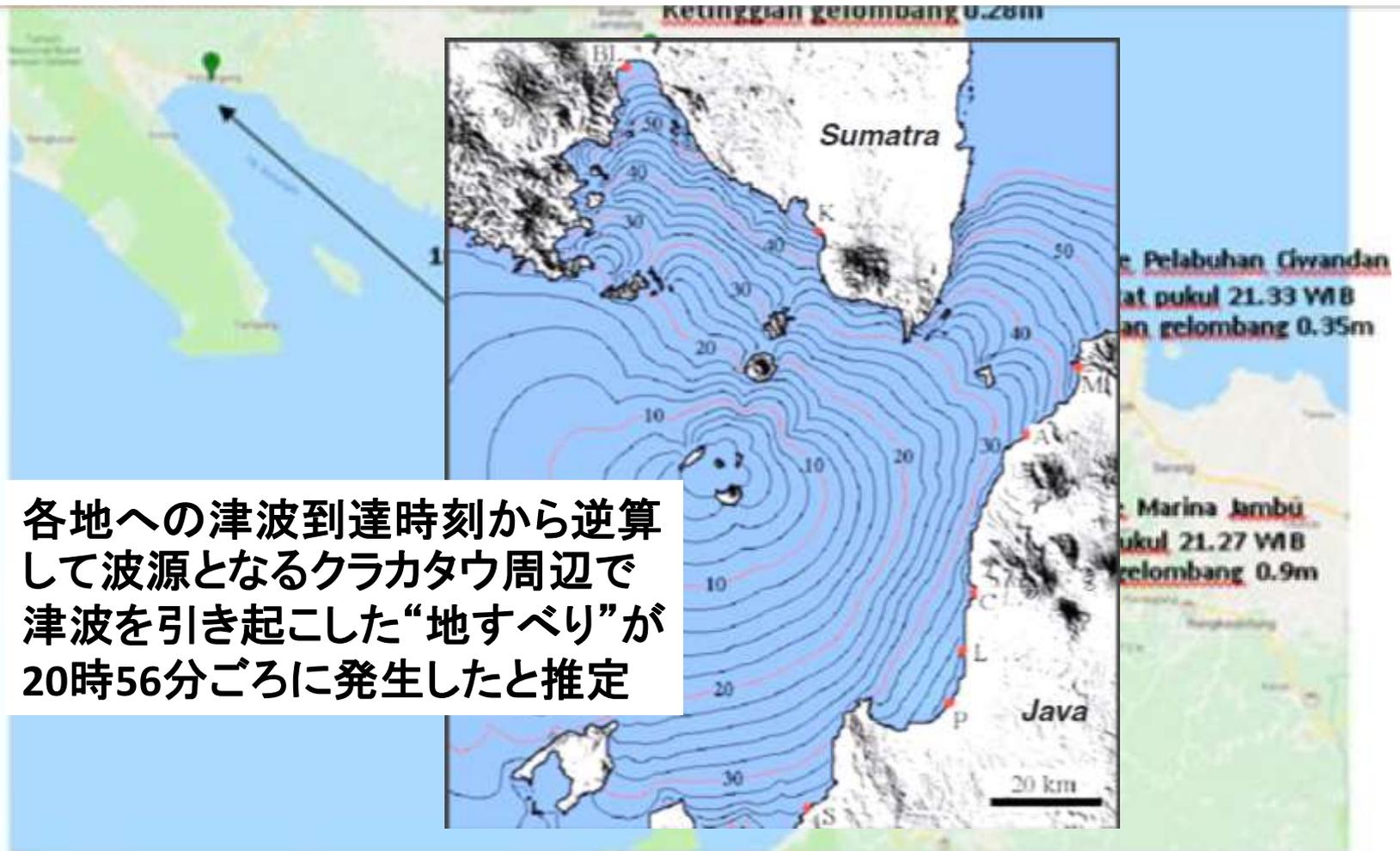
Tidegauge Marina Jambu  
Tercatat pukul 21.27 WIB  
Ketinggian gelombang 0.9m

G. Anak Krakatau

CGI (Seismic sta)

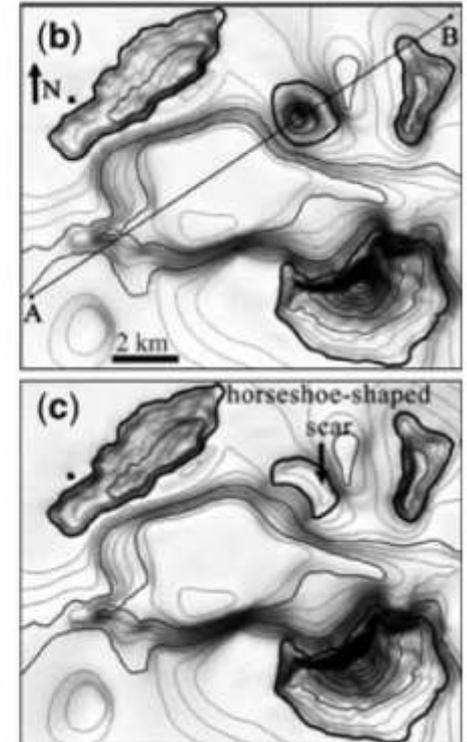
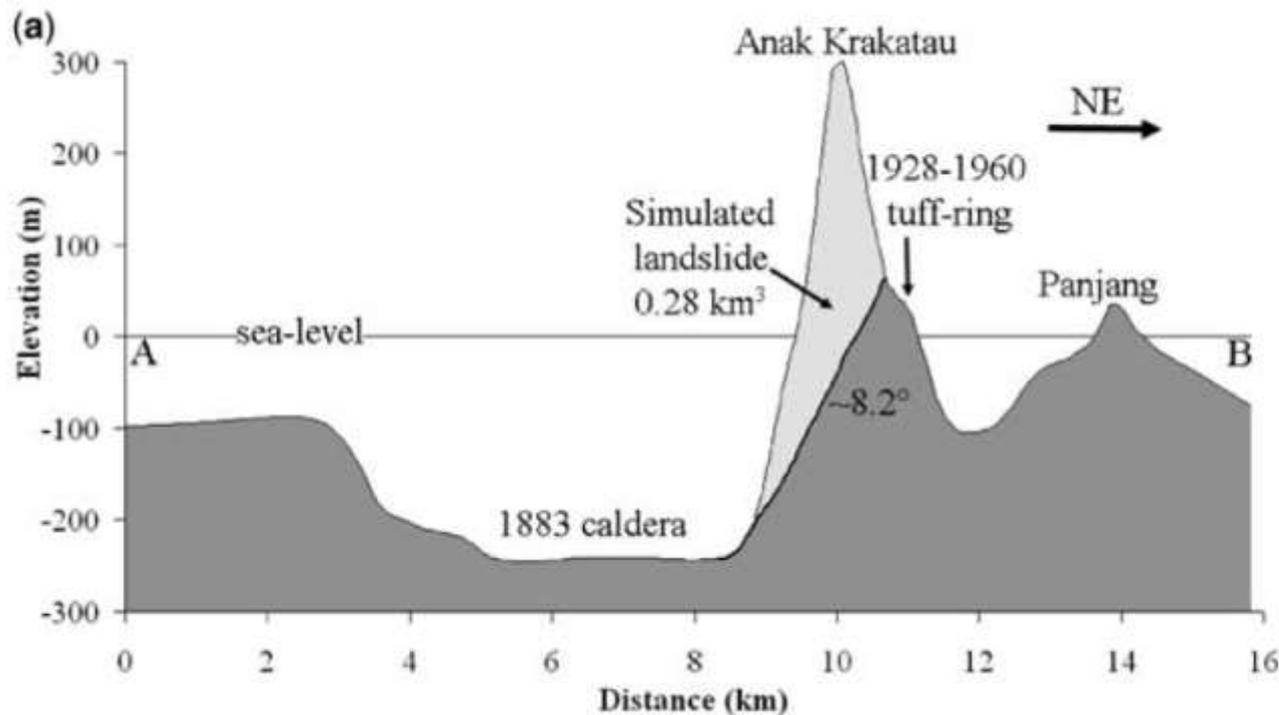


# Giachetti et al.(2012)による 事前計算の津波伝播時間との比較



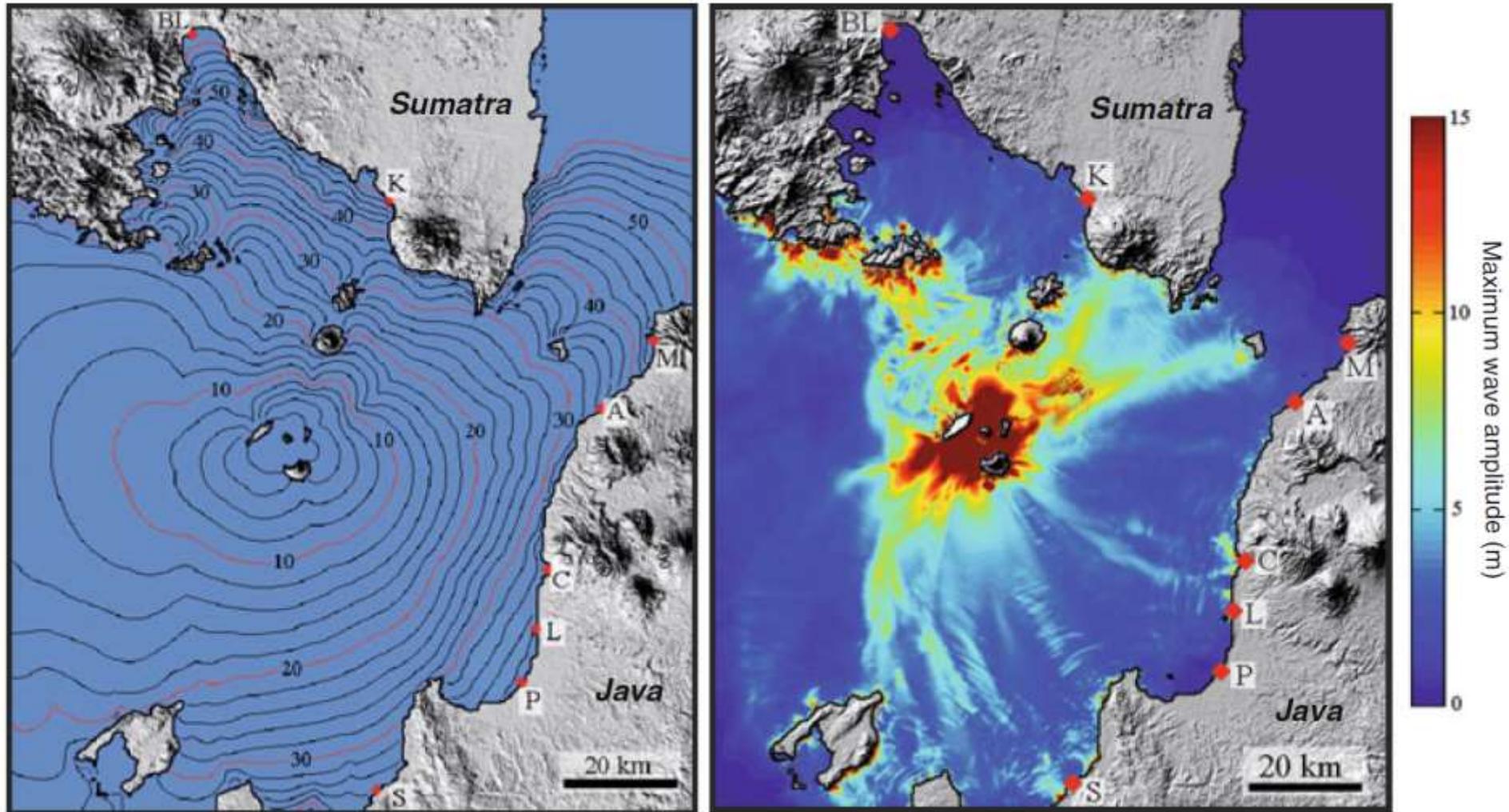
各地への津波到達時刻から逆算して波源となるクラカタウ周辺で津波を引き起こした“地すべり”が20時56分ごろに発生したと推定

# Giachetti et al.(2012)の概要



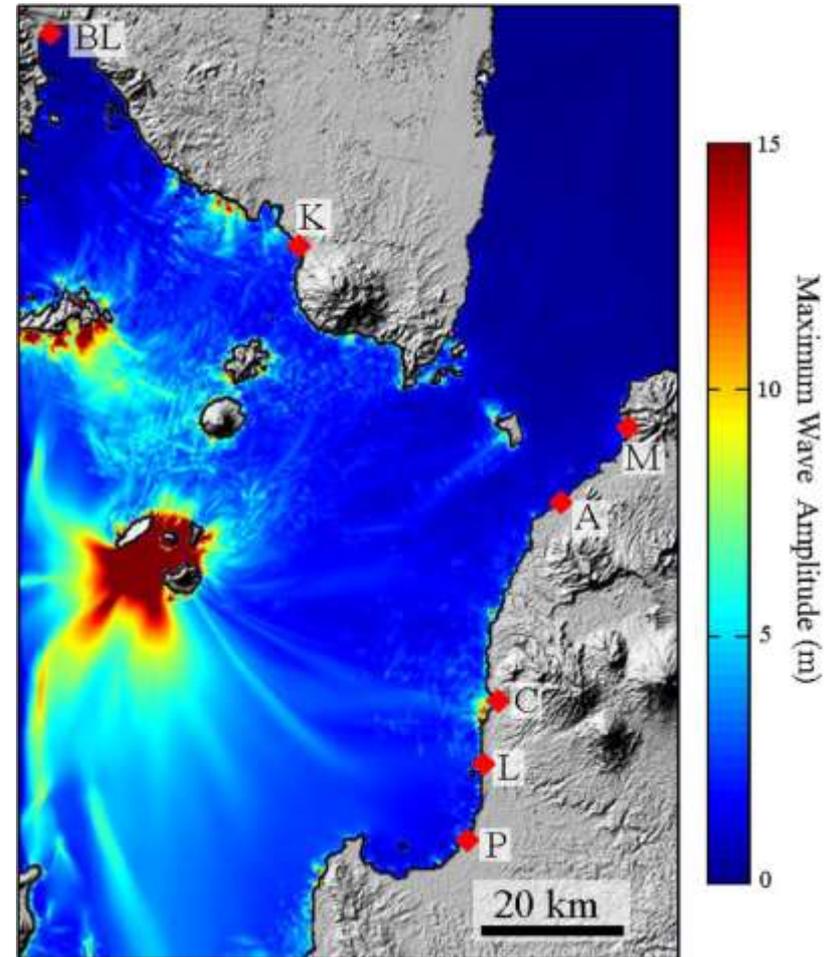
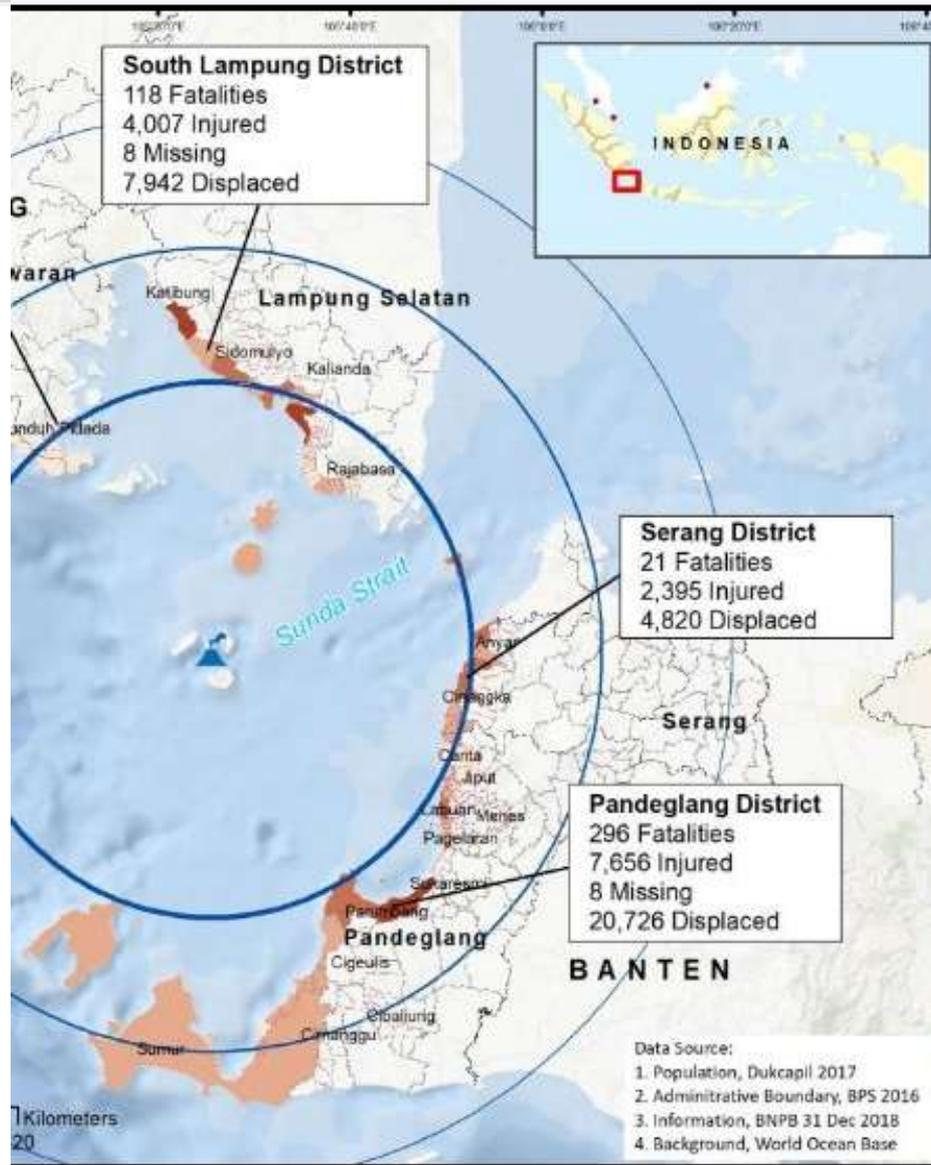
Giachetti et al. 2012(Natural Hazard in Asia-Pacific Region, Recent Advances and Emerging Concepts, Geological Society London, Special Publication, 361)  
において津波の発生源として想定された山体崩壊の条件

# Giachetti et al.(2012)の示唆



周辺海岸への津波到達時間(左図)と各地で観測されうる津波の最大波高(右図)

# 津波波高予測と被害の比較



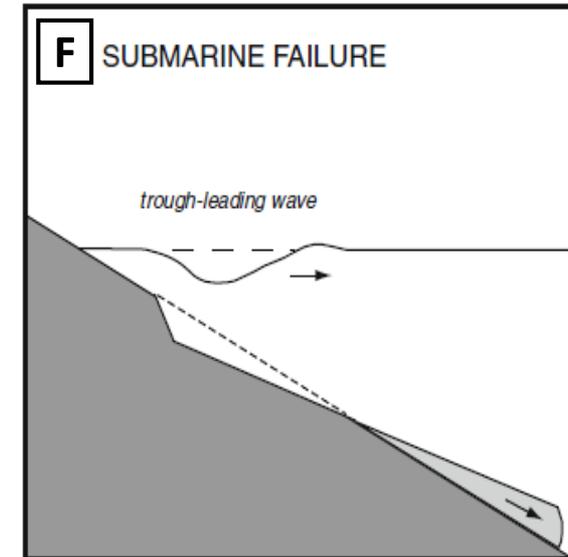
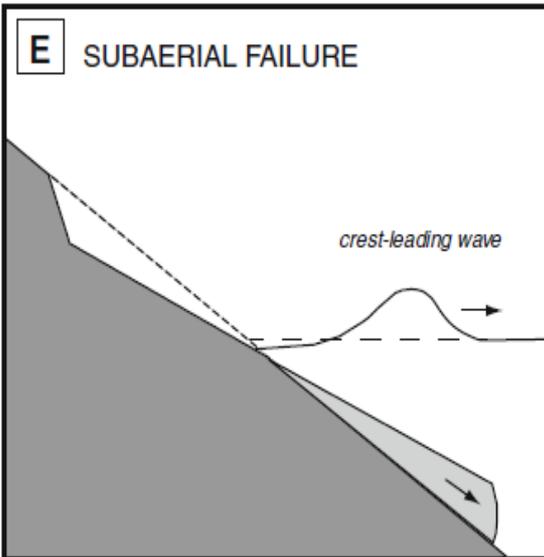
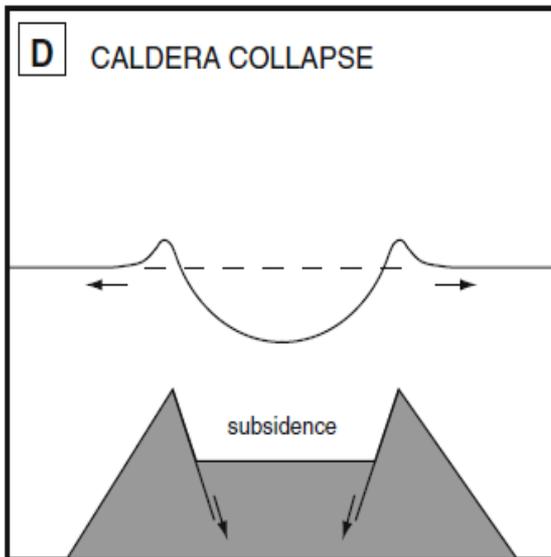
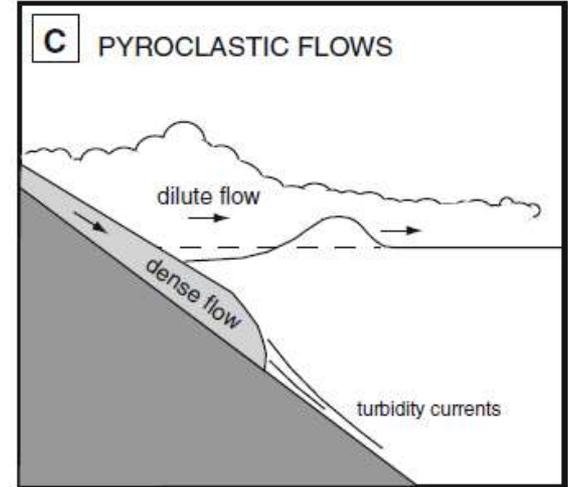
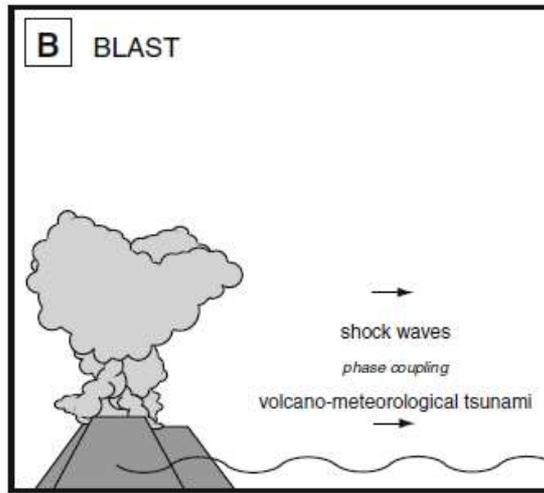
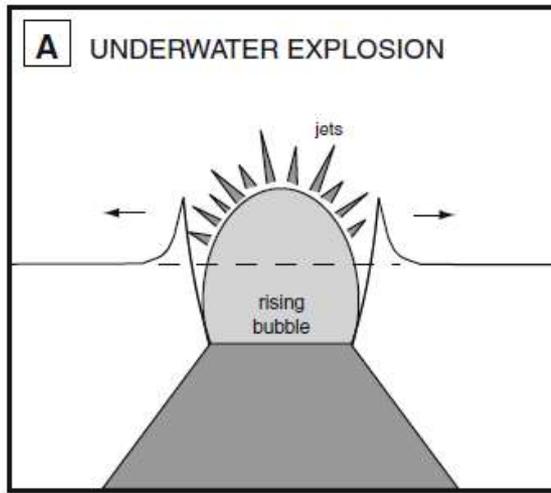
# 何が津波を発生させたか？

**海底地すべり？**

**海底陥没？**

**山体崩壊？**

# 火山が津波を引き起こす多様なプロセス



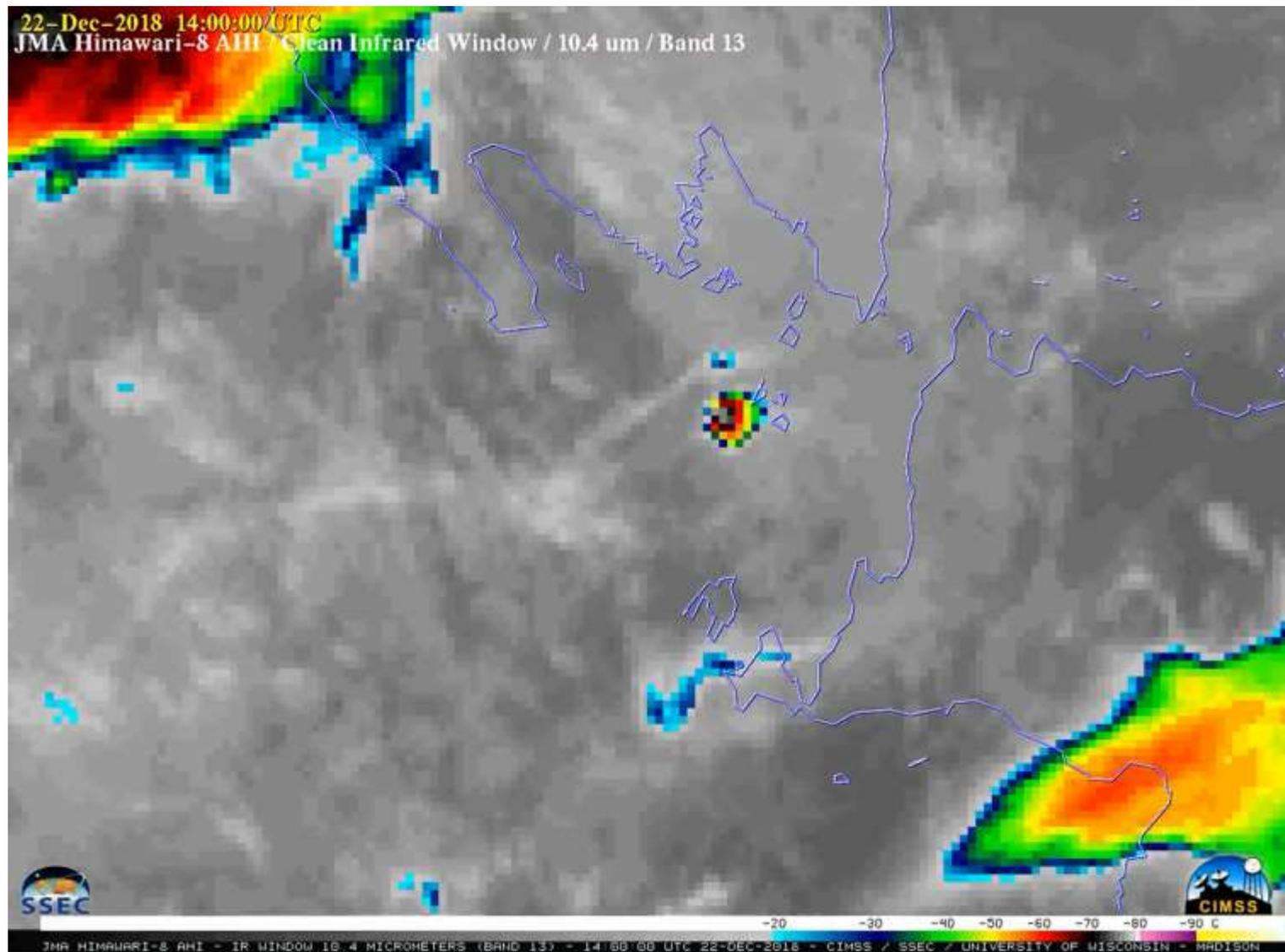
# 現地政府の当初発表は“海底地滑り”

12月24日付じゃかるた新聞:

**国家防災庁**は噴火直後、スンダ海峡沿岸を襲ったのは津波ではなく高潮と発表したが、その後津波と修正した。同庁のストポ・プルウォ・ヌグロホ報道官は「**火山活動の活発化も地震もなく、津波の前兆は予測できなかった**」と説明。**気象庁(BMKG)**は、**火山活動の影響で海底で起きた地滑りと潮位が高くなる満潮が重なり、津波が増大した可能性**があるとみている。

(<https://www.jakartashimbun.com/free/detail/45564.html> より引用)

# 津波発生直後に大規模な噴煙発達



[go.wisc.edu/uv2jv3](http://go.wisc.edu/uv2jv3) [pic.twitter.com/2bEwUU90Ky](https://pic.twitter.com/2bEwUU90Ky)

# 2019年1月4日に撮影された噴火



(<http://www.oysteinlundandersen.com/> より引用)

# 2019年1月4日に撮影された噴火



(<http://www.oysteinlundandersen.com/> より引用)

# 津波発生過程に関するナゾ

**崩壊が先か？**

**噴火が先か？**

# 山体崩壊を伴う火山噴火の例： 米国セントヘレンズ火山の1980年噴火



1980年5月18日に発生した山体崩壊 (写真: G. Rosenquist)

# 山体崩壊を伴う火山噴火の例： 米国セントヘレンズ火山の1980年噴火



米国・セントヘレンズ火山の1980年  
噴火で発生した噴煙柱 (写真: USGS)

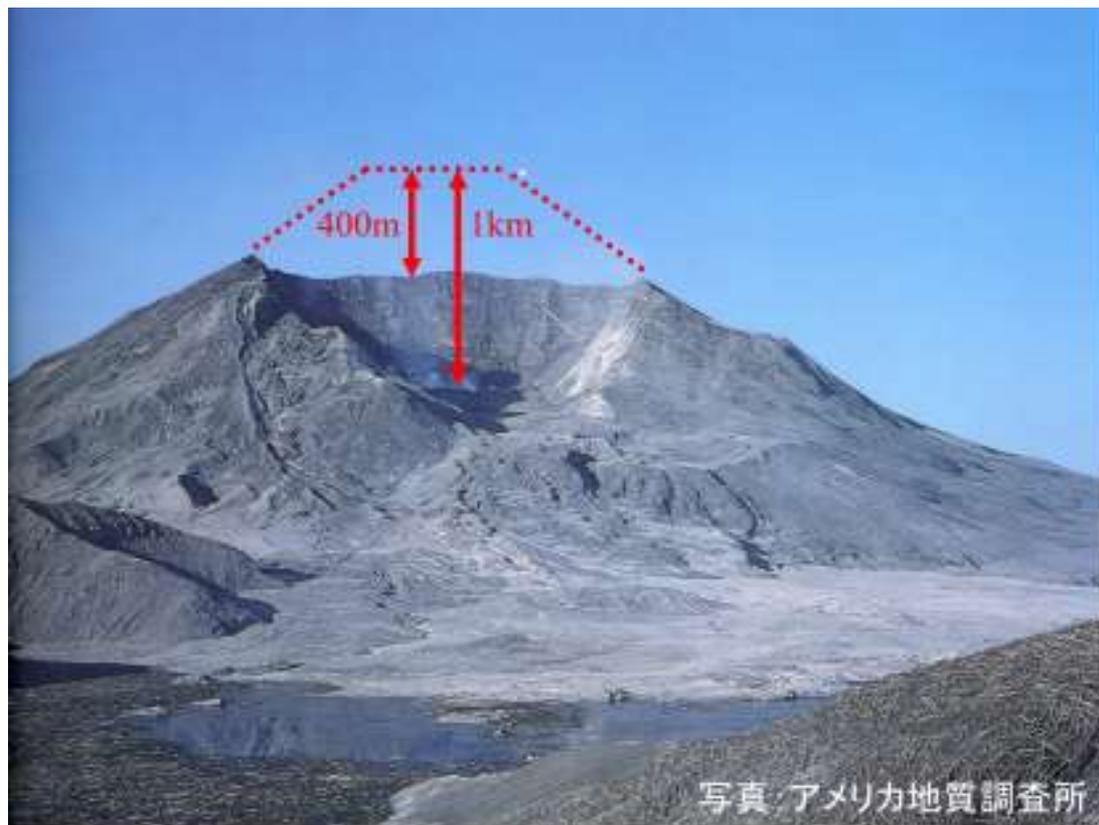


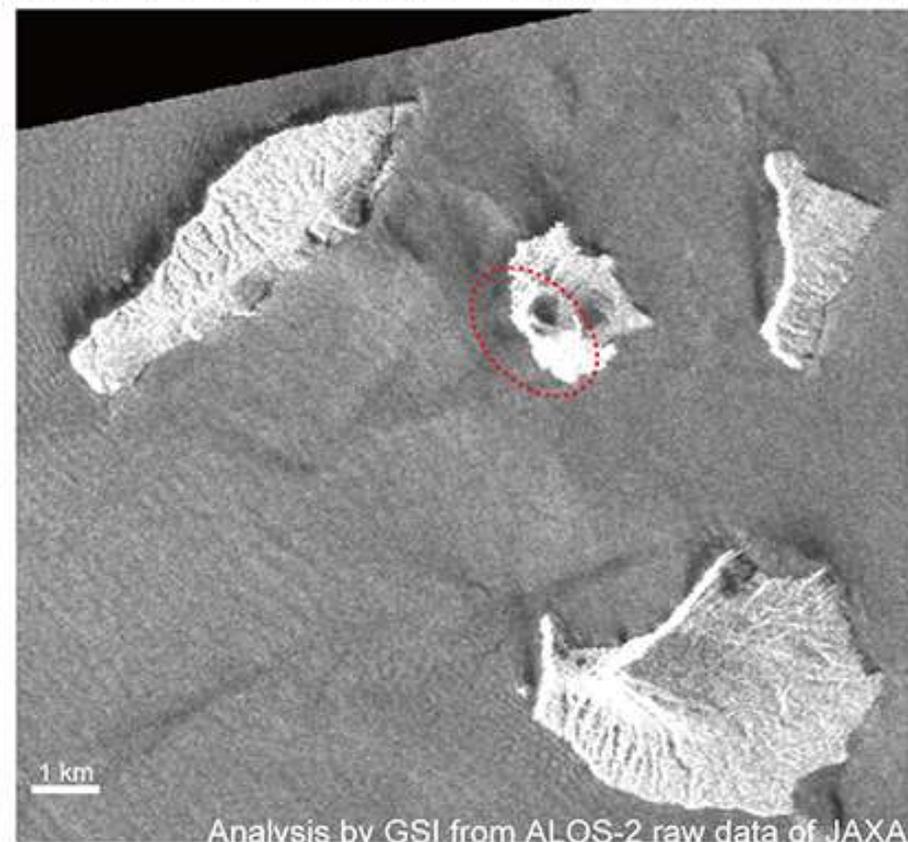
写真: アメリカ地質調査所

# 津波発生前後のクラカタウ周辺地形

日本の地球観測衛星「だいち2号」(ALOS-2)が撮影した映像

噴火前 2018/08/20

(Before Eruption Aug. 20, 2018)



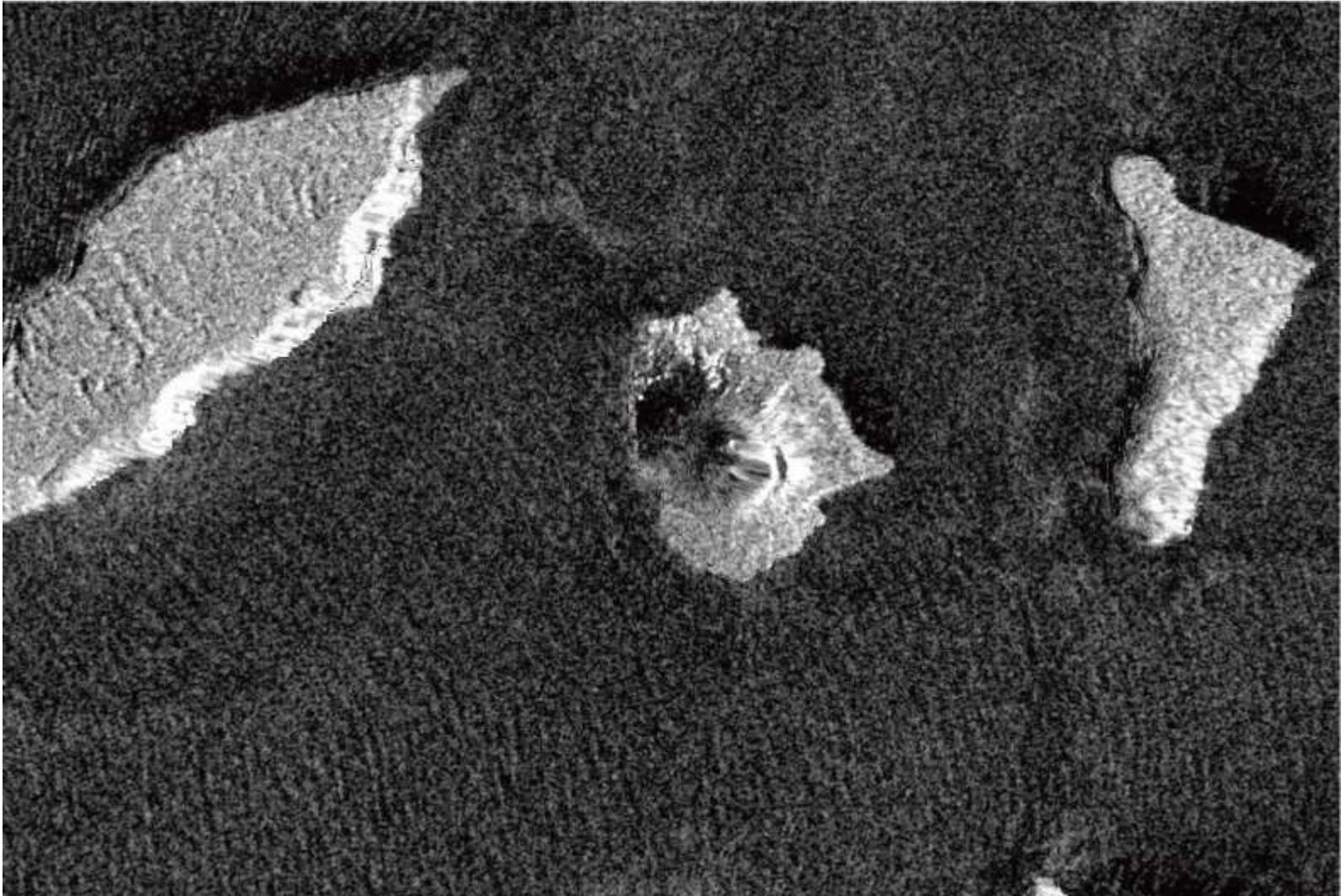
噴火後 2018/12/24

(After Eruption Dec. 24, 2018)



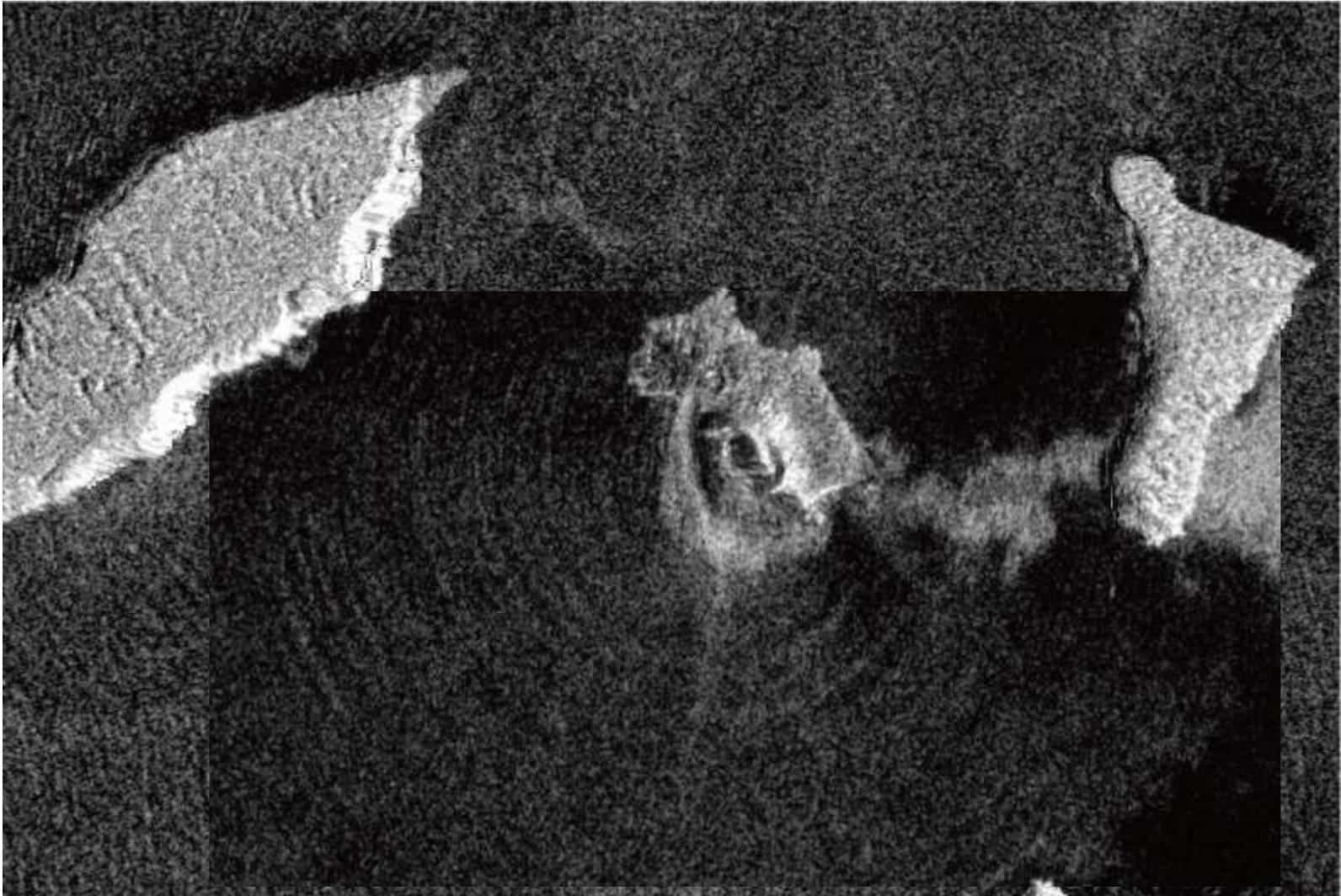
# 津波発生前のクラカタウ周辺地形

EUの地球観測衛星Sentinel-1が2018年12月15日に撮影した映像

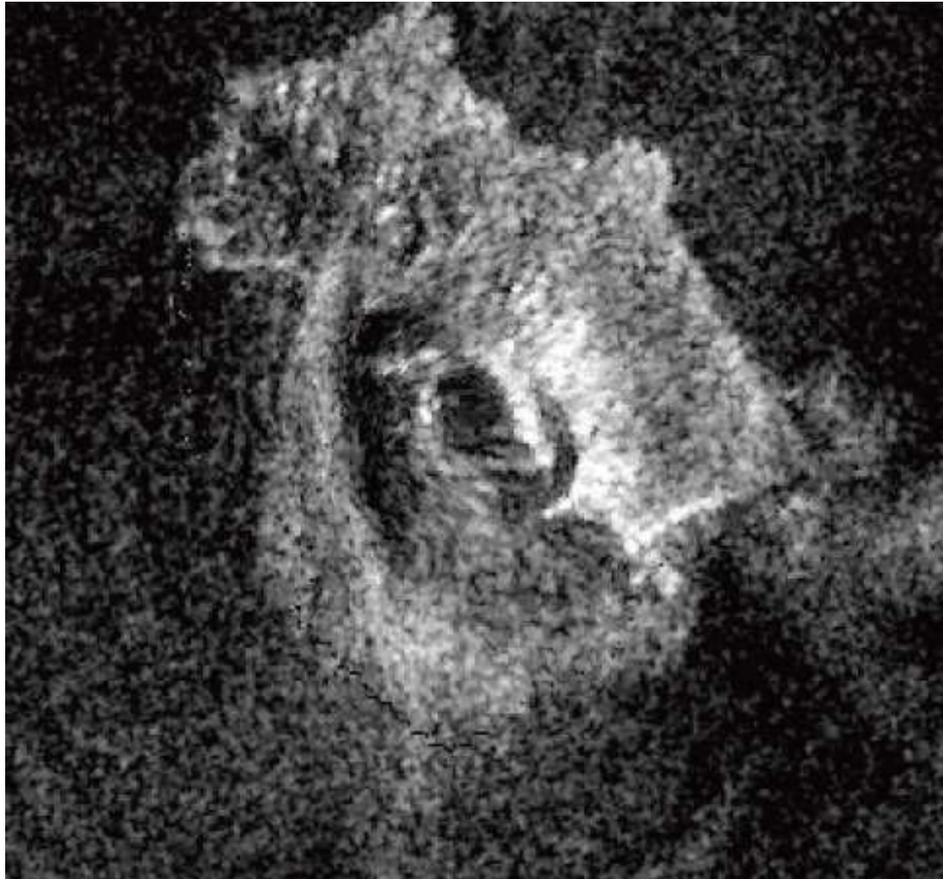


# 津波発生約8時間半後

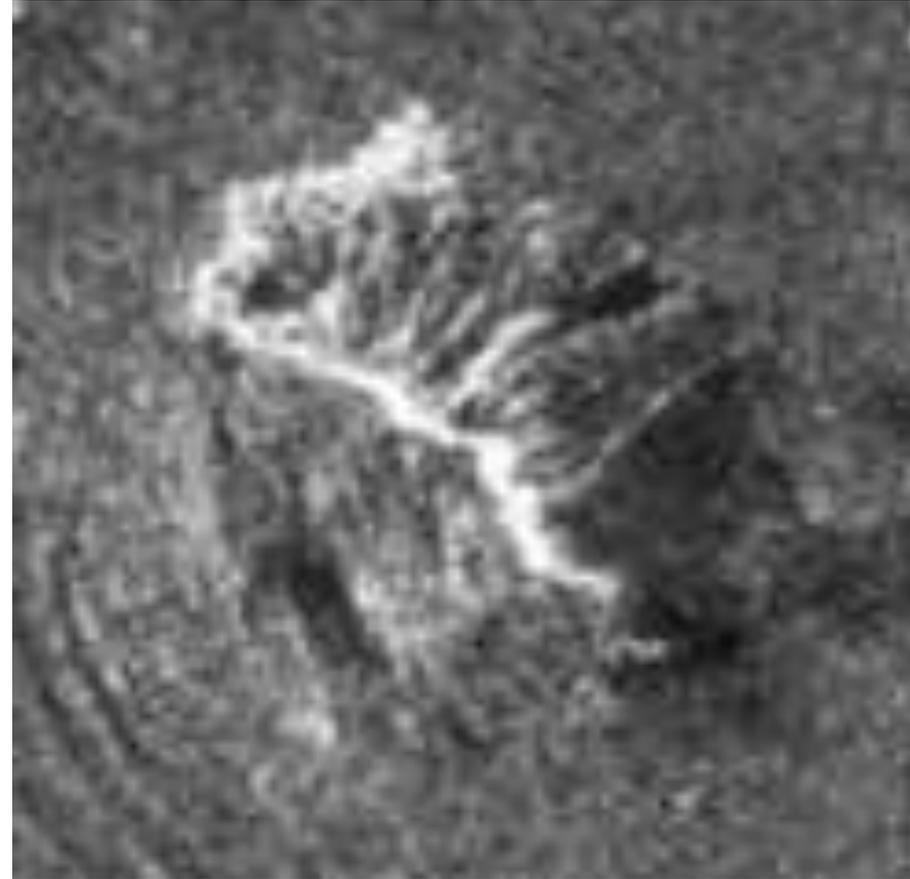
Sentinel-1が現地時刻12月23日05時34分に撮影した映像



# 津波発生後の地形変化①



12月23日05時34分  
Sentinel-1, ESA撮影



12月25日00時13分  
JAXA「だいち2号」(ALOS-2)撮影  
(解析は国土地理院)

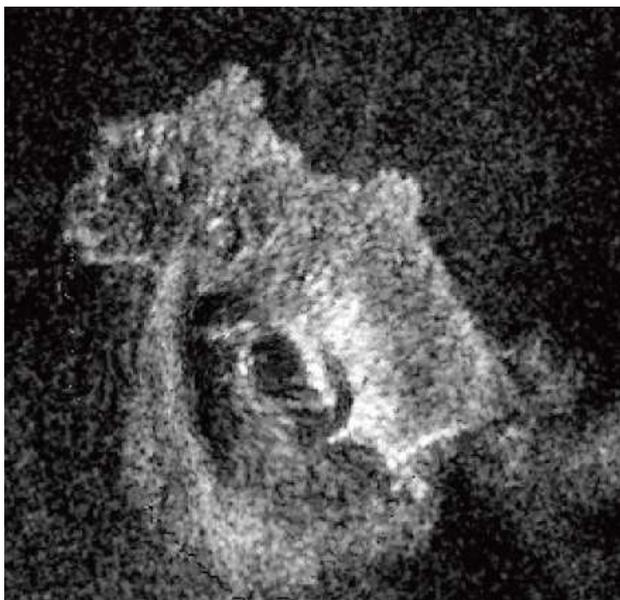
# 津波発生後の地形変化②



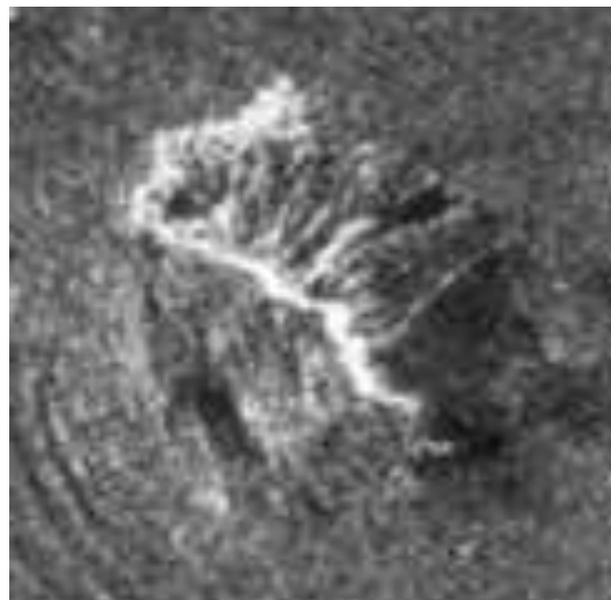
12月29日5時47分撮影

# 津波発生後の地形変化③

アナク・クラカタウ島の地形は、津波を引き起こした最初の噴火（もしくは山体崩壊）以降も、一連の噴火活動によって短期間に著しく変化している。



12月23日05時34分  
(約8時間40分後)



12月25日00時13分  
(約51時間20分後)



12月29日5時47分  
(約152時間後)

# 空撮映像による比較

## Anak-Krakatau

©earthuncuttv

05/08/2018

11/01/2019



# まとめ

- ◆ クラカタウの噴火に伴う津波の発生は、専門家にとっては、その可能性を十分に認識できるものだった(ただし、逼迫度や発生確率の評価は困難である)。
- ◆ 火山性津波に関しても波源から海岸までの到達時間は計算可能であるが、現在の観測体制では津波の発生そのものを把握できない可能性が高いことを示す災害だった。
- ◆ 火山性津波では、津波の発生に引き続いて地形の改変を伴う火山活動が起こる場合が多く、津波発生過程に関しての現地調査が困難であることが再認識された。