

Tsunami simulation (without air-sea waves) on the 2022/01/15 Hunga Tonga- Hunga Ha'apai submarine volcanic explosion

2022年1月15日に発生したトンガ海底火山噴火(空振を除く) による噴火性津波解析

K. Pakoksung (学術研究員), A. Suppasri, F. Imamura

東北大学災害科学国際研究所

IRIDeS, Tohoku University

31 January 2022

0. 背景

- 2022年1月15日日本時間13時14分過ぎ（世界時間(UTC)；4時14分）に、南太平洋のトンガ沖で「フンガ・トンガフンガ・ハアパイ」海底火山が大噴火した。
- 海底火山の一連の大規模噴火で、太平洋沿岸の各国に津波が到達した。トンガ周辺では15mを超える津波が来襲し被害を出しているとの断片的な被害報告（ニュージーランド政府；参考情報）はあるが詳細は分かっていない。
- 一方で、トンガ周辺だけでなく太平洋さらには、カリブ海、地中海でも津波が観測された。
- 日本で1.2m、南米ペルーで2mを超え、車がさらわれて女性2人が死亡したとの報告もある。
- 当時、環太平洋津波警報センターにより火山噴火および津波情報は出されたが注意レベルであった。
- 日本の気象庁も、ツバル、キリバス、ミクロネシアなど日本に至る途中の地域での大きな潮位上昇はないとの津波情報により、気象庁は噴火から約6時間後の15日19時ごろ、海面変動を0.2m未満と予想した。実際は、気圧変化が観測された時間帯で、潮位変動（津波）が確認され、その後、注意報・警報に切り替わった。この津波は空振(Lamb波)に関係した可能性が高い。

0. 本報告の狙い

- ここでは、トンガ海底火山（ここでは、噴火、火砕流、山体崩壊、カルデラ崩壊などを想定）による周辺での津波および日本に伝播する状況を再現。ここでは噴火性津波と呼ぶ。
- 空振による津波は、ここでは対象外（これから数値モデルを精査しながら精緻な解析が必要）
- 実測値との比較（差）により、空振津波の実態をより明らかなることが可能となろう。

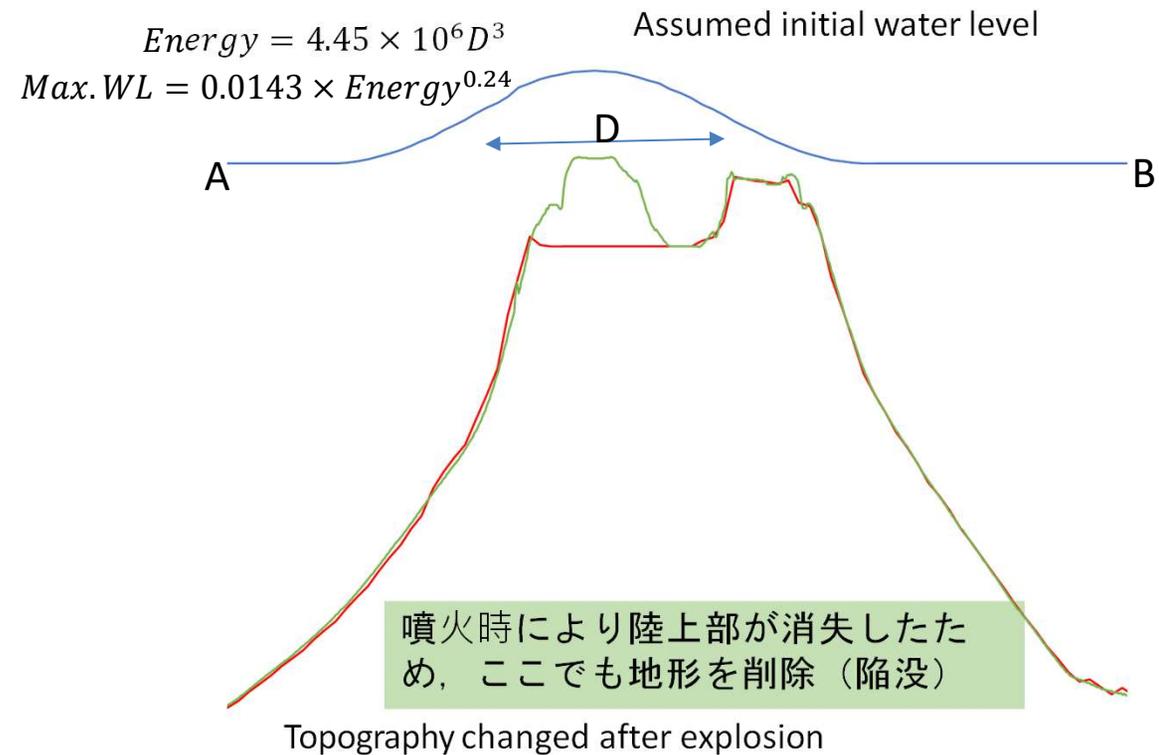
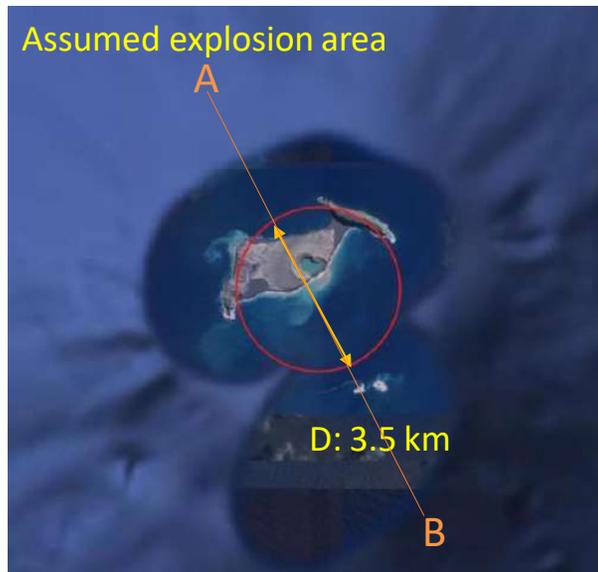
0. Background and purpose

- On January 15, 2022, after 13:14 Japan time (World time (UTC); 4:14), a large eruption of the "Hunga Tonga-Hunga Haapai" submarine volcano off the coast of Tonga in the South Pacific Ocean. A series of large-scale eruptions of submarine volcanoes caused tsunamis to reach countries along the Pacific coast. There is a fragmentary damage report (New Zealand government; reference information) that a tsunami of more than 15 m has hit and caused damage around Tonga, but the details are unknown. On the other hand, tsunamis were observed not only around Tonga but also in the Pacific Ocean, the Caribbean Sea, and the Mediterranean Sea. The maximum of 1.2 m tsunami was observed in Japan and there is also a report that two women died in a car in Peru, South America where the tsunami exceeded 2 m.
- At that time, the volcanic eruption and tsunami information was issued by the Pacific Rim Tsunami Warning Center, but it was at a caution level. The Japan Meteorological Agency also reported that there was no significant tide level rise in areas along the way to Japan such as Tuvalu, Kiribati, and Micronesia. Expected to be less than. Actually, the tide level fluctuation (tsunami) was confirmed during the time when the atmospheric pressure change was observed, and then it was switched to the warning / warning. This tsunami is likely to be related to Lamb waves.
- Here, we reproduce the tsunami around the Tonga submarine volcano (here, eruption, pyroclastic flow, mountain collapse, caldera collapse, etc.) and the situation of propagation to Japan. Here, it is called **an eruptive tsunami**.
- Tsunami caused by air pressure is out of scope here (detailed analysis is required while scrutinizing the numerical model from now on).
- By comparing (difference) with the measured values, it will be possible to clarify the actual condition of **the air coupled tsunami**.

1. Volcano explosion assumption 噴火性津波の初期条件

Pakoksung et al. (2021)の方法を用いて、火山噴火活動（爆発、火砕流、地形変化・陥没）が周辺で津波を発生した全体の規模を想定し、初期水位（右上図）として与えて解析。その際に報告されている海面より上の地形変化も考慮（右下図）

噴火時でのエネルギー全体を津波発生での水位上昇に仮定（周辺での津波観測とオーダーが合っていることを確認）



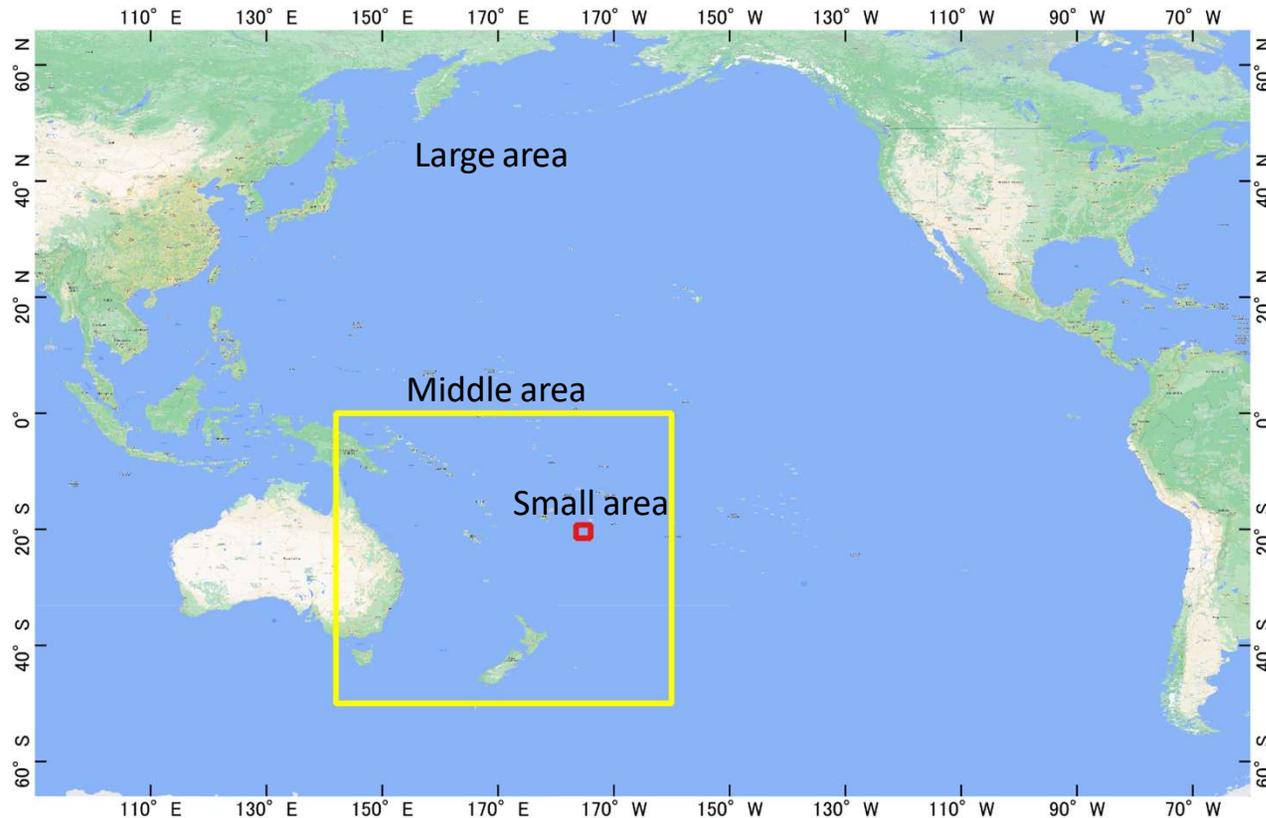
Pakoksung et al.(2021) ,Geosciences,
<https://www.mdpi.com/2076-3263/11/2/92>

2. Tsunami modeling

津波伝播の数値解析

ここでは、海洋での津波伝播を主眼に置き、分散性のモデルを用いて数値解析を実施。今後、浅海域や陸上遡上も入れた解析を実施予定。

噴火および周辺では、以下の3段階（大中小領域）で実施



分散性（短周期波）をいれた線型モデル

Use: Linear Long wave model with Boussinesq-type without nonlinear and friction term

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

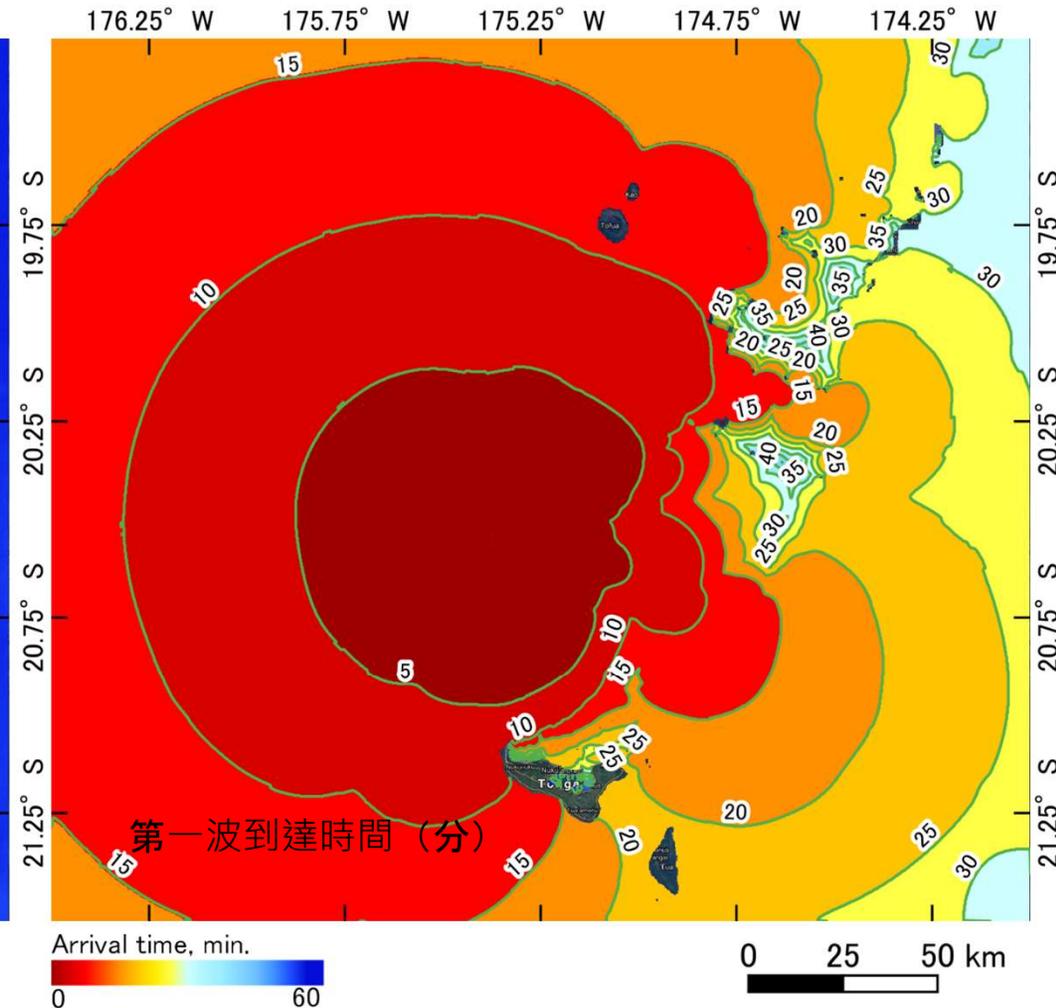
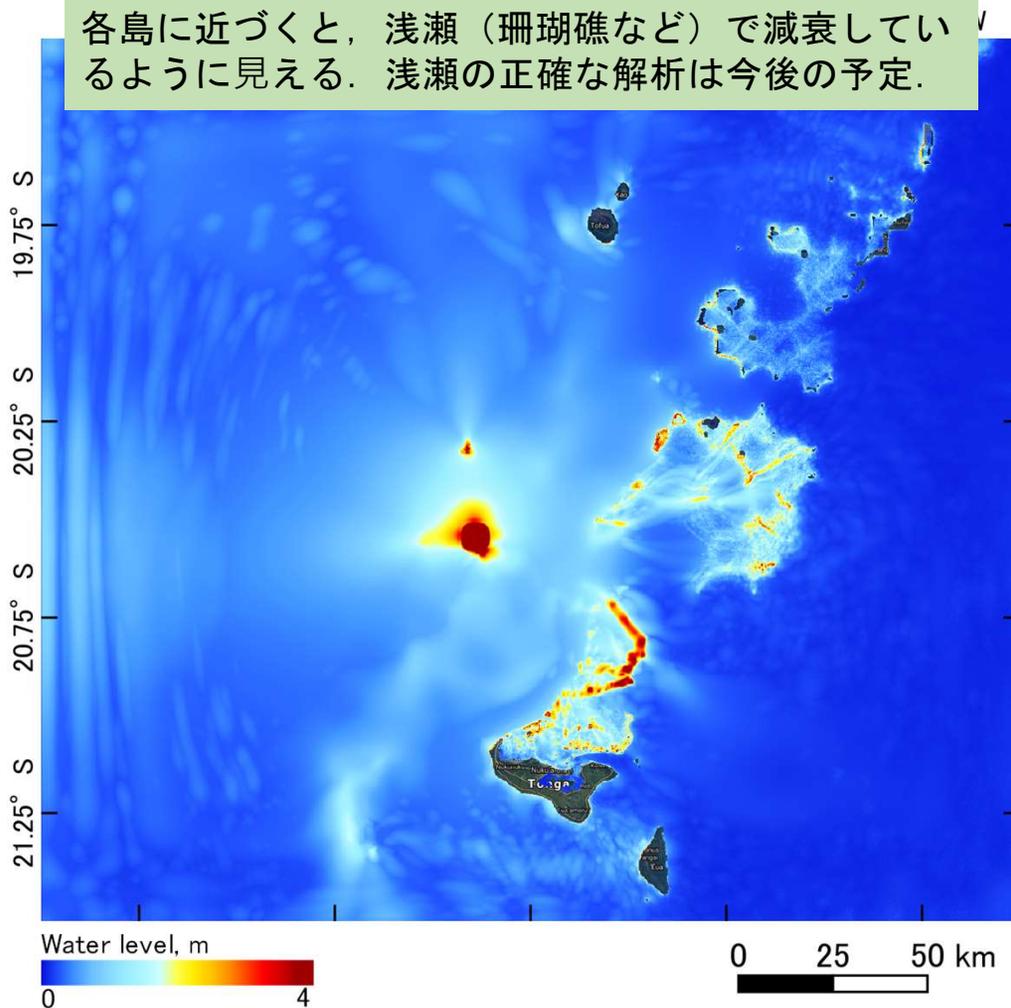
$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^3} M \sqrt{M^2 + N^2} = \frac{h^2}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 N}{\partial y \partial t} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{NM}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^3} N \sqrt{M^2 + N^2} = \frac{h^2}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 N}{\partial y \partial t} \right)$$

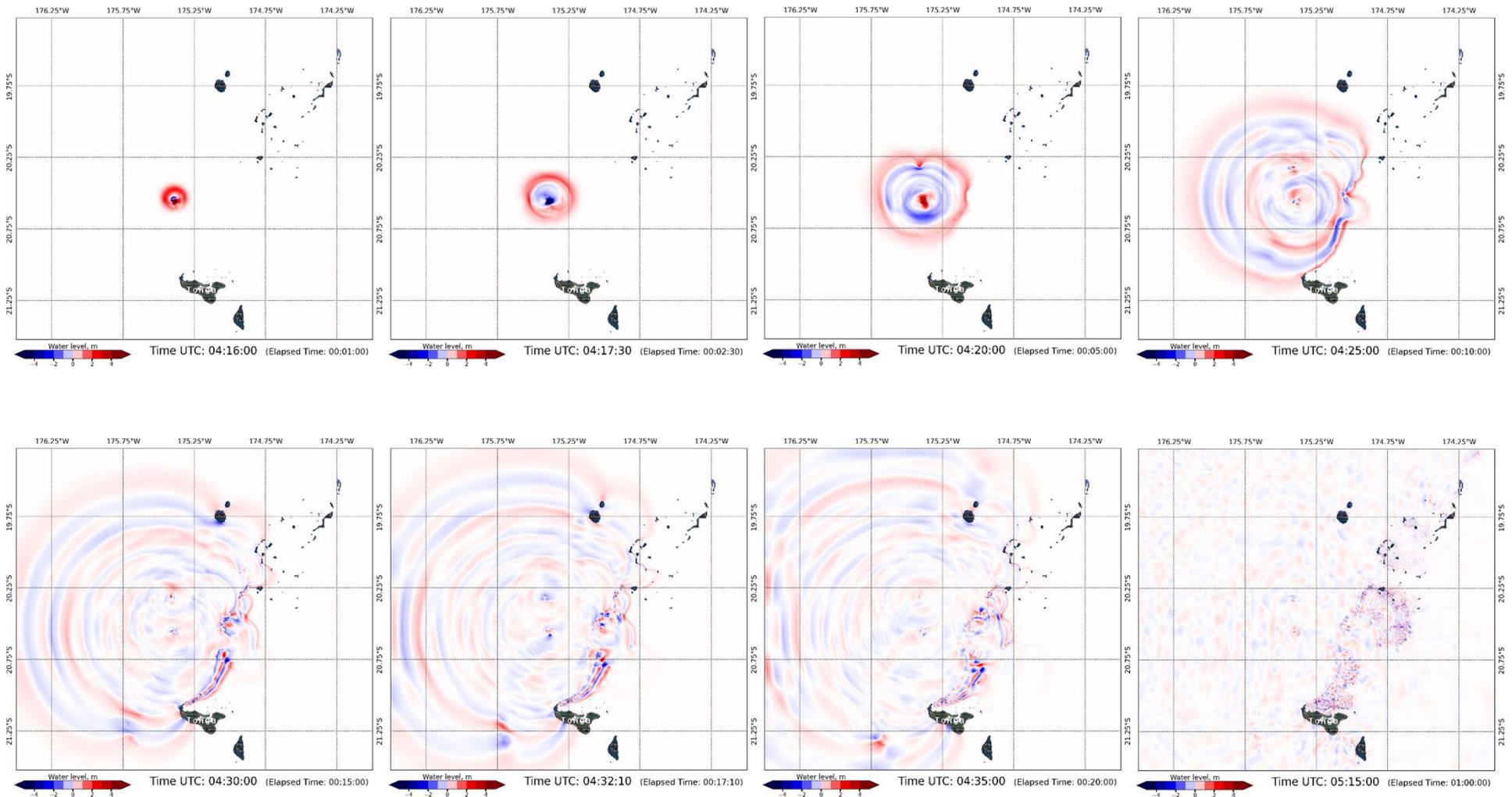
3. Tsunami propagation results (Small area トンガ周辺)

赤い領域が1 m以上の水位上昇は沖合に見られる。各島に近づくと、浅瀬（珊瑚礁など）で減衰しているように見える。浅瀬の正確な解析は今後の予定。

max water level (left) and arrival time (right)

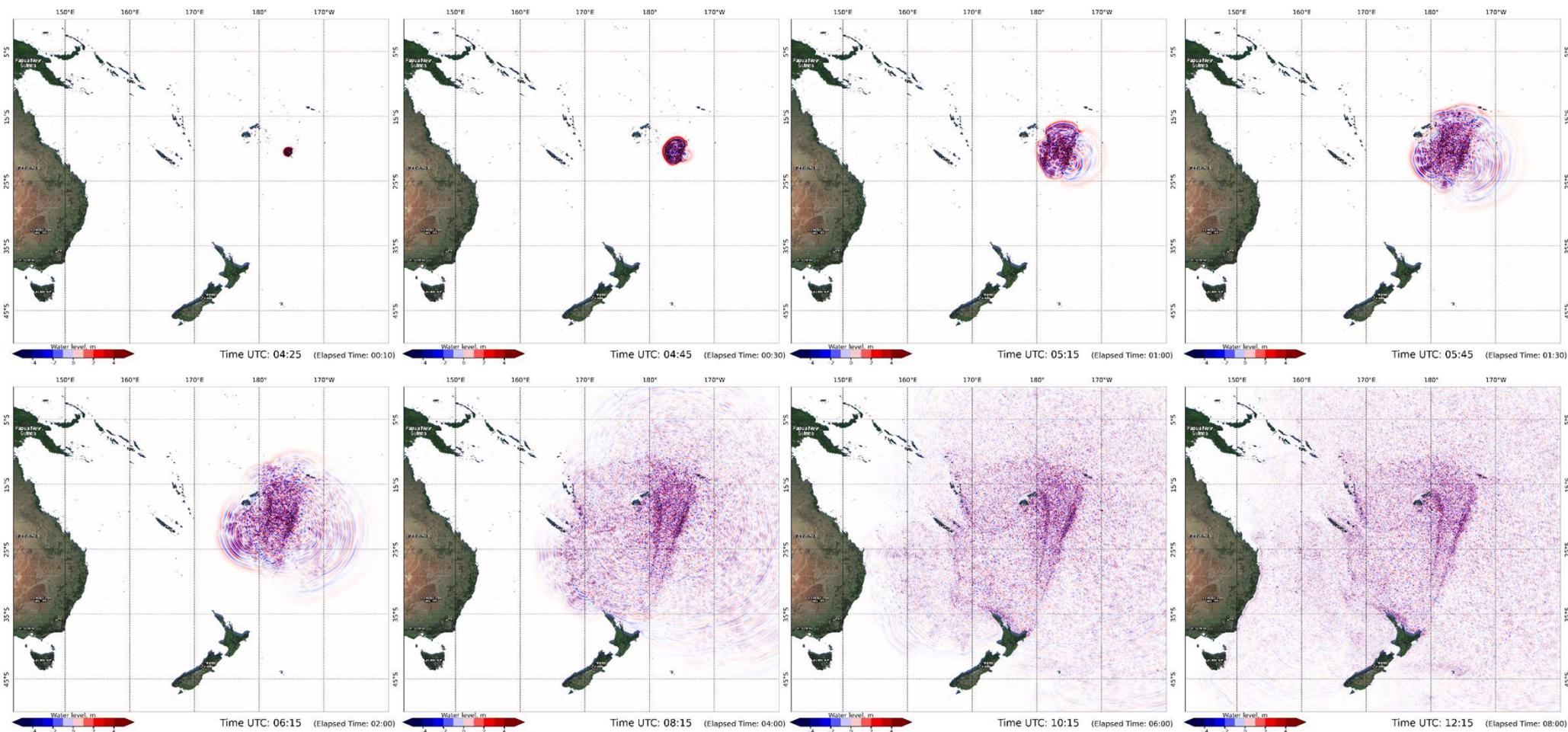


3. Tsunami propagation results (Small area トンガ周辺)



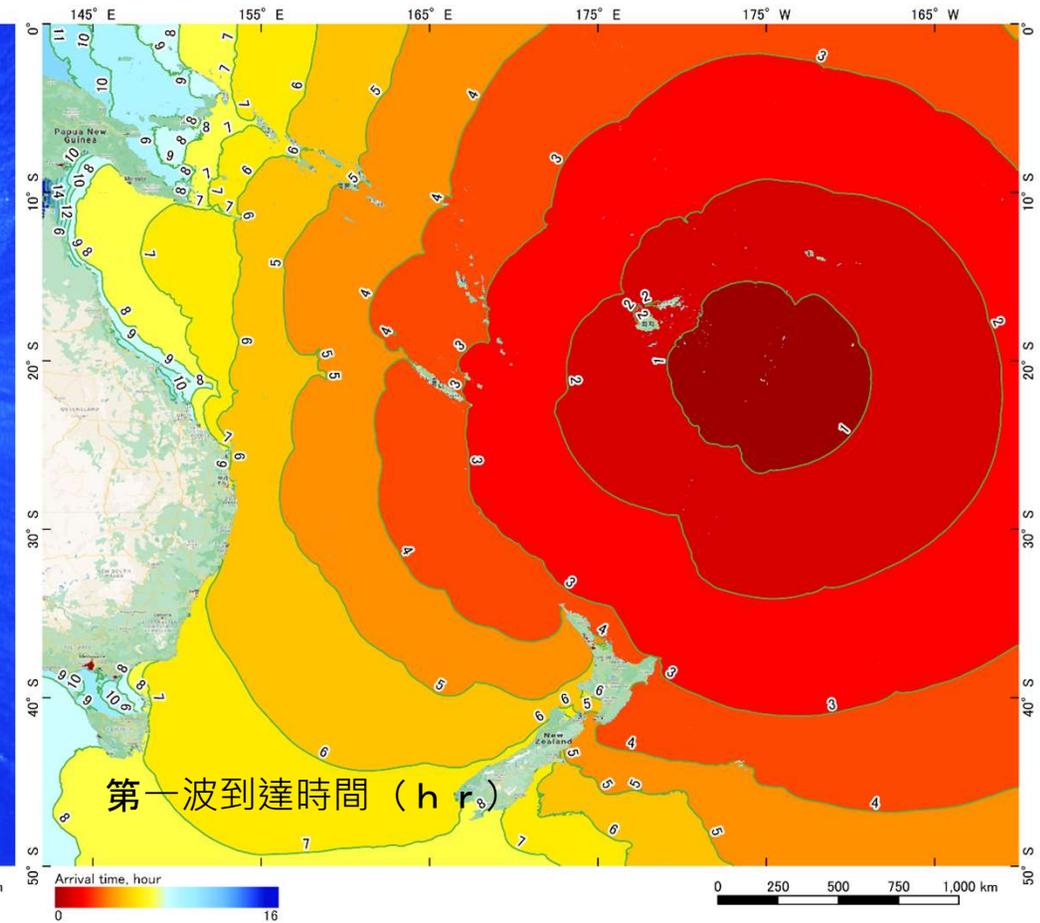
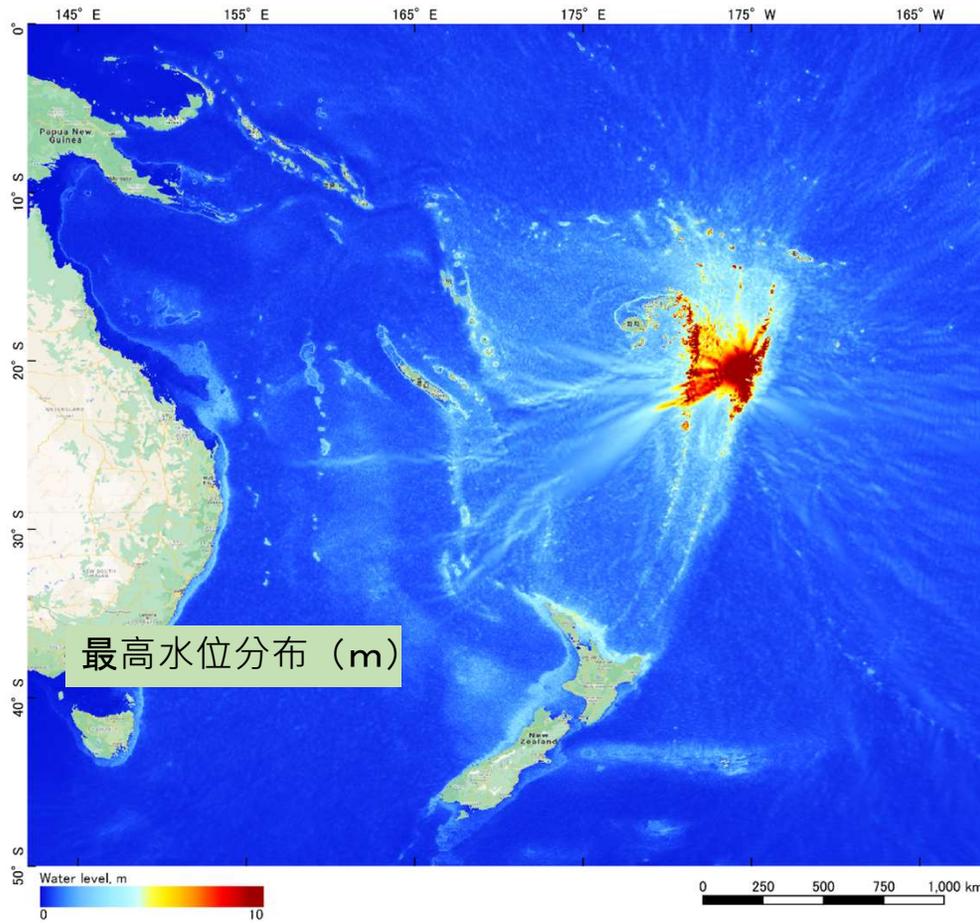
4. Tsunami propagation results (middle area)

ポリネシア・メラニシア諸島周辺



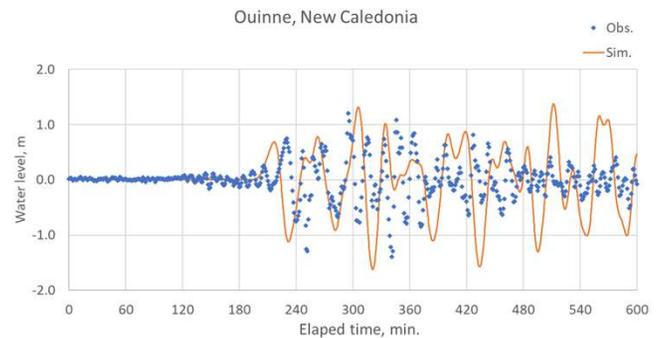
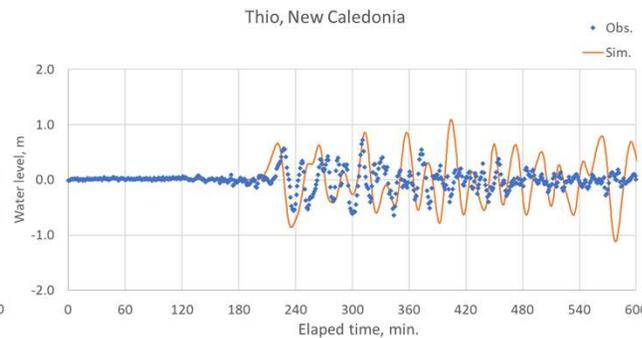
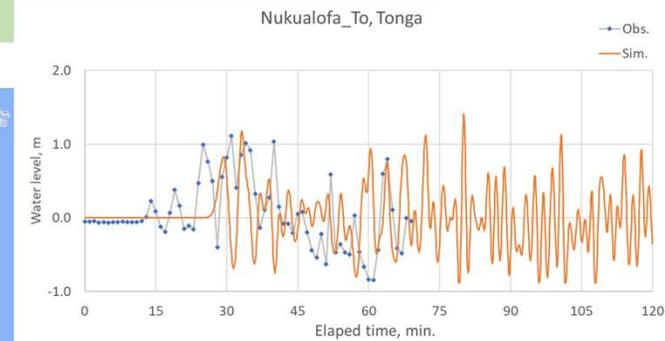
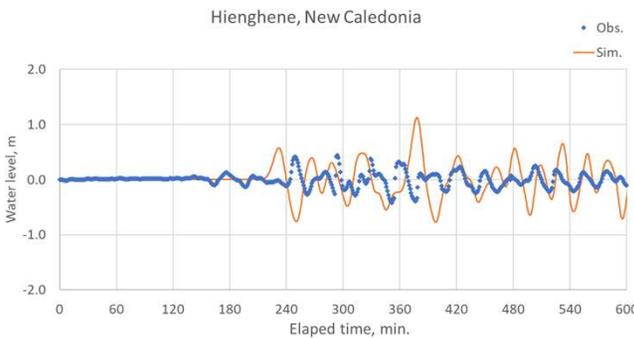
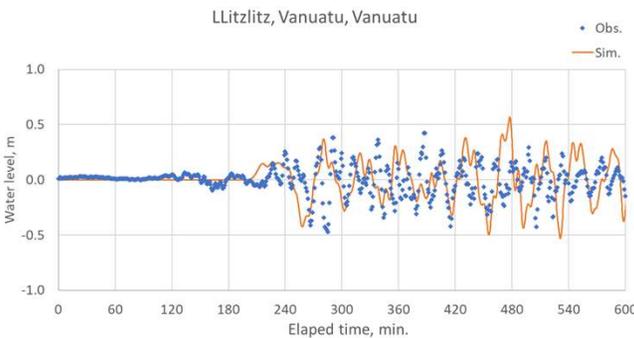
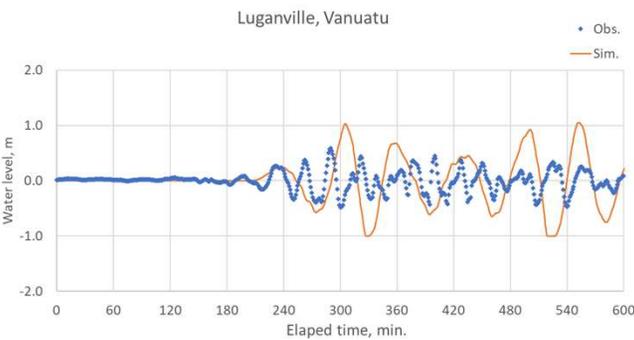
4. Tsunami propagation results (middle area)

赤い領域が1 m以上の水位上昇
これはトンガ周辺などに限られる

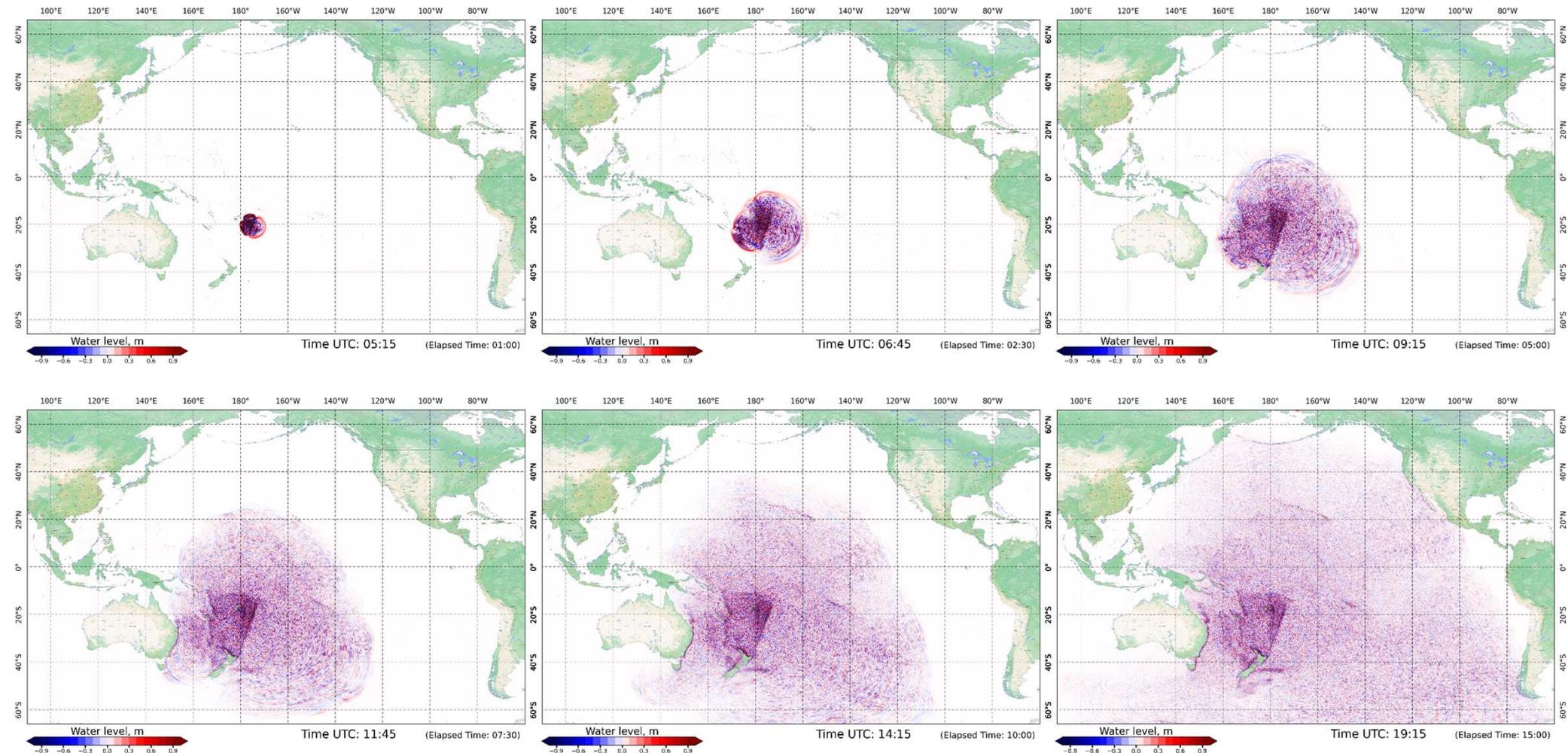


4. Tsunami waveform at tide gauge

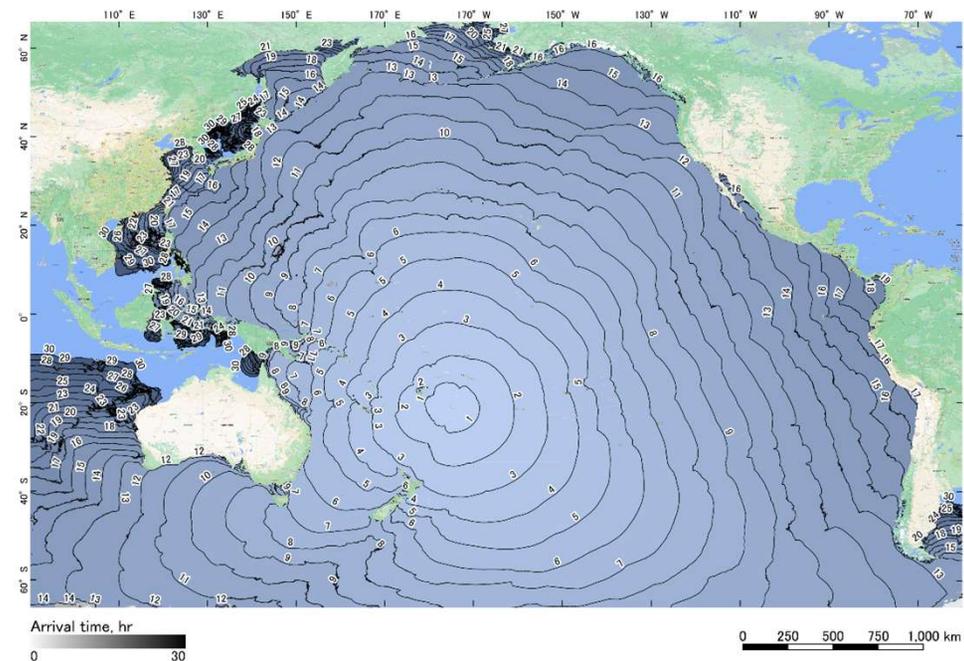
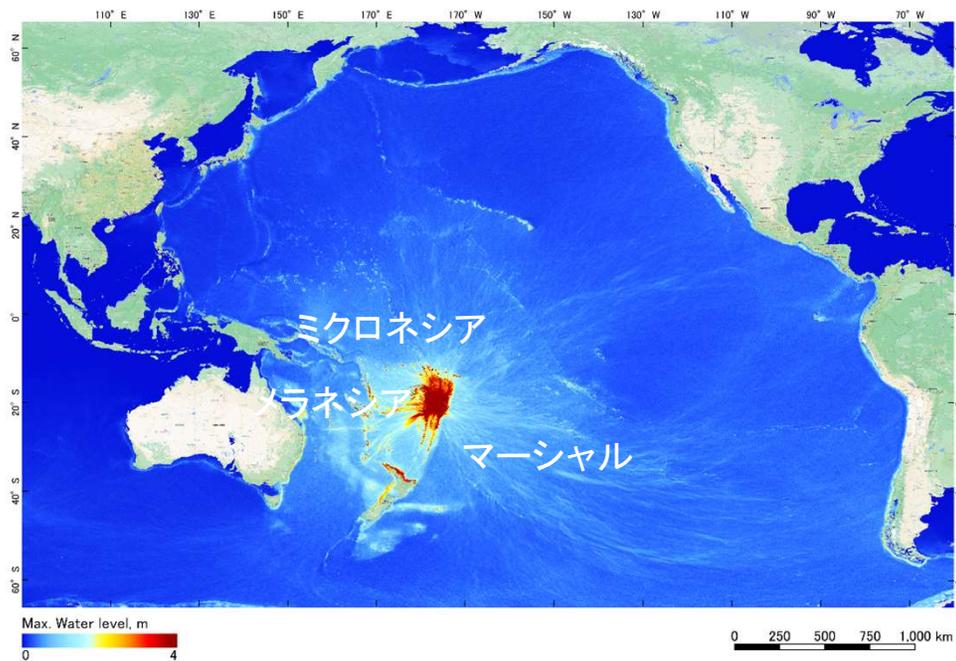
トンガ周辺（ポリネシア・メラネシア諸島周辺）での験潮記録との比較により、振幅などの大きさは再現できている。一方、津波の初動については空振の影響もあり、一致していない。周期についても一部一致していないが、全体的にはよい再現である。



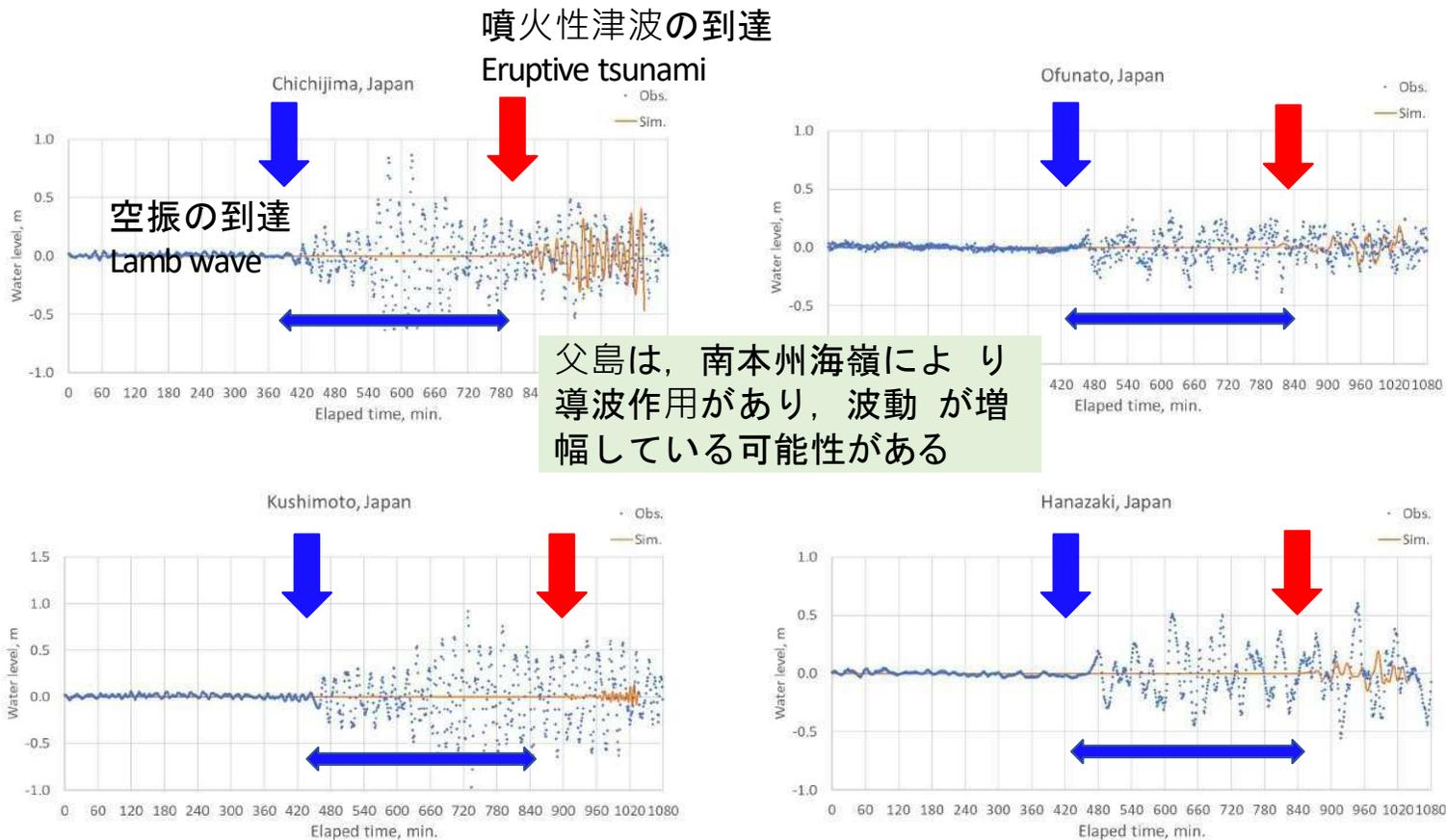
5. Tsunami propagation Large area - 日本沿岸への噴火性津波伝播



6. Tsunami ,max water level and arrival time

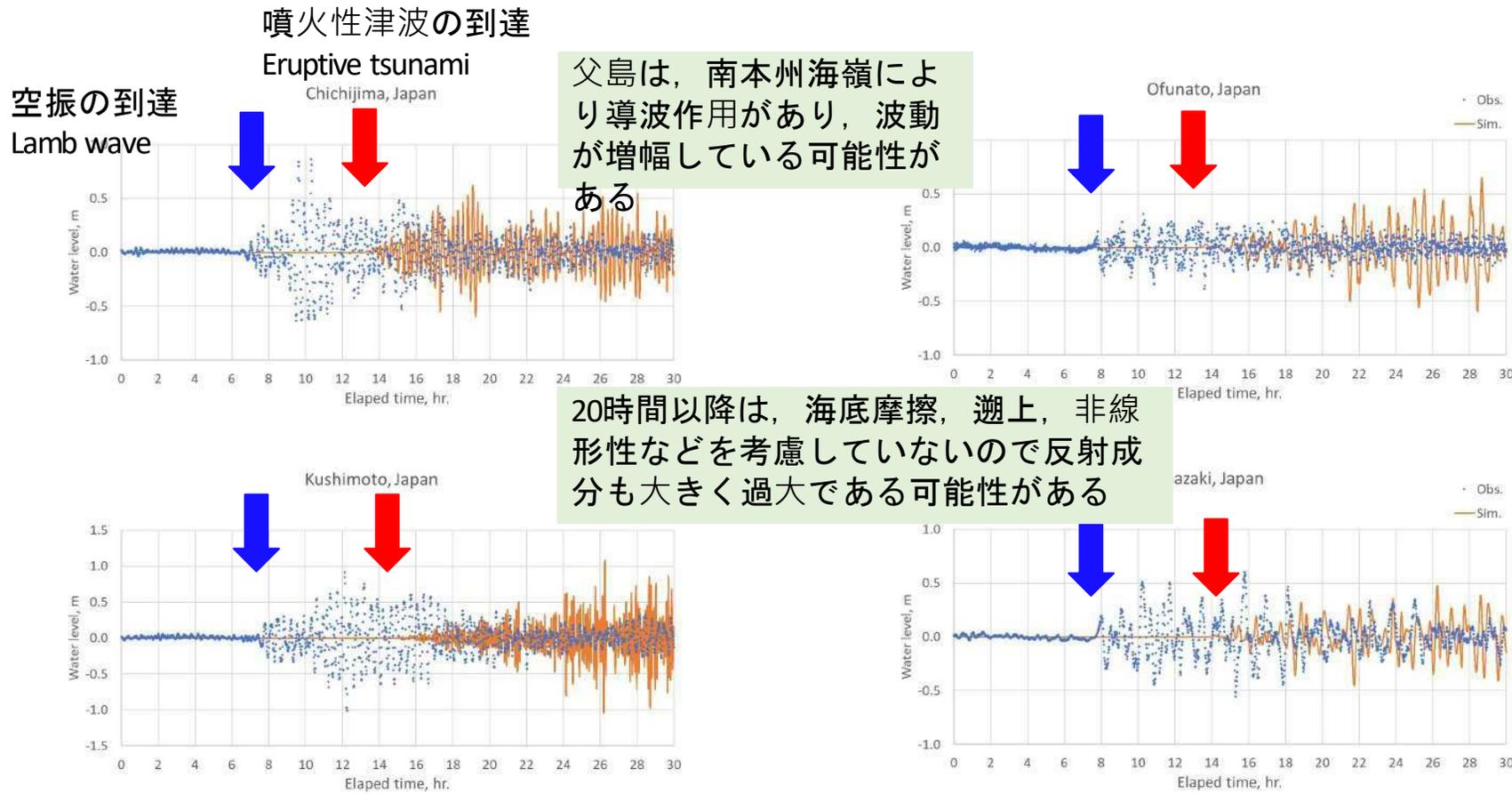


6. Tsunami waveform in Japan—津波波形の比較(18hr再現)



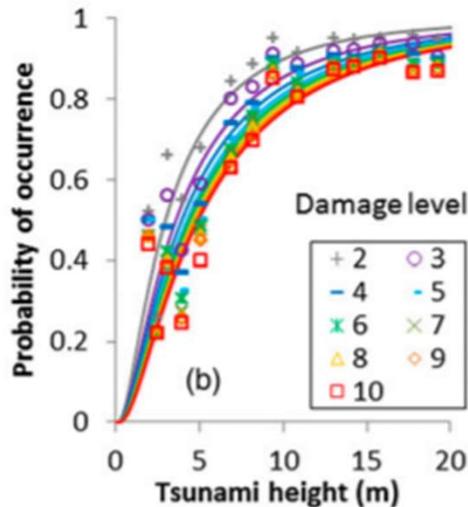
験潮記録 (青) , 数值解析 (赤) , 矢印は第一波の確認できる時間 (到達時間)

6. Tsunami waveform in Japan—津波波形の比較(30hr再現)



験潮記録 (青), 数値解析 (赤), 矢印は第一波の確認できる時間 (到達時間)

7. Damage on fisheries 水産の被害

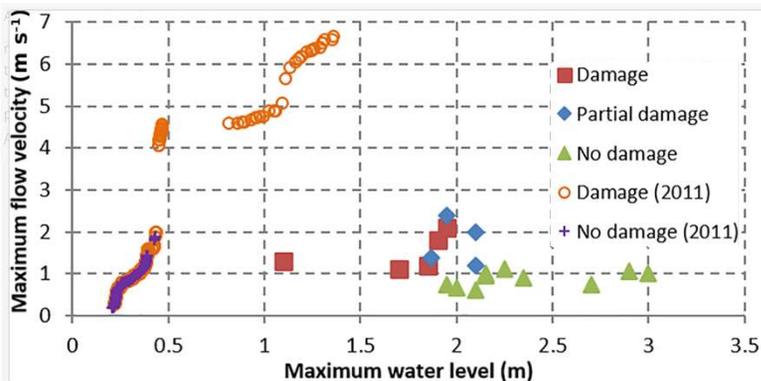


Fishing boat 漁船

高さ1mまたは流速1 m/s 以上になると被害が出始める
 Damage on fishing boats start when > 1m tsunami height and > 1m/s flow velocity.

Suppasri et al. (2014) Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering

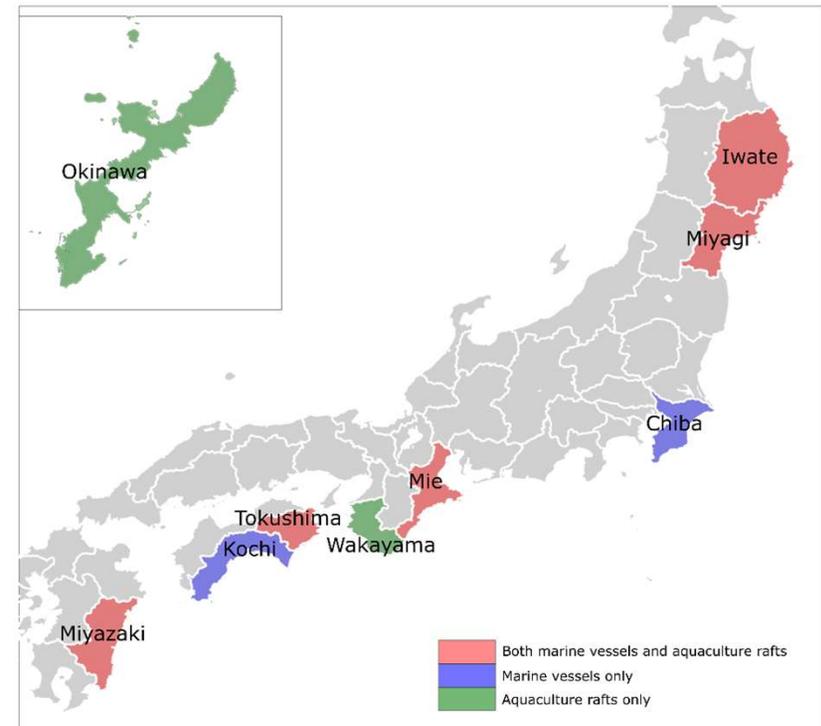
Aquaculture raft 延縄式養殖施設



養殖施設(延縄式)では流速 1 m/s 以上になると、最高水位に関係なく、養殖施設被害が出始める
 Damage on aquaculture rafts start from > 1m/s regardless of tsunami height.

水産庁資料より可視化したもの
 Adapt from Fisheries Agency

Damage reported areas



但し、今回の津波は短周期のため、これまで被害を及ぼす長周期津波とは違ったため、今後は被害メカニズムを調べることは課題となる

However, wave periods of this tsunami are very short compared to previous studies. More detail damage mechanism is remaining as future work.

8. まとめ

- トンガ火山噴火周辺（小領域）および周辺地域（中領域），および日本までの太平洋 域（大領域）での津波解析を行った．ここでは，空振津波は考慮されていないが，それ以外の原因による津波（噴火性津波）の特性を解析することが出来た．
- まず，トンガ周辺では，2 mを超える津波規模が推定される．
- その周辺のポリネシア・メラネシア諸島周辺では，1m前後の規模になる．このあたりで，空振津波の影響が見られるが，今回の噴火性津波では，初期成分については再現出来ていない．験潮記録と数値解析結果（噴火性津波）の差が，空振津波の成分と推定できよう．なお，ここでの空振津波の規模は小さい
- 我が国では，空振津波が顕著であり，この後に噴火性津波が来襲している．この到達 時間は，長波の位相速度より遅く，これは分散性と海嶺での共振現象が関係している 可能性がある．
- 今回の数値解析結果（噴火性津波）と各験潮記録との差が，空振津波である可能性が高く，今後のメカニズム解明や数値モデル開発に役立つものと考えられる．

8. Conclusions

- Tsunami analysis was performed around the eruption of Tonga volcano (small area) and surrounding area (medium area), and in the Pacific region (large area) to Japan. Here, the **air-coupled tsunami was not considered**, but the characteristics of the tsunami (**eruptive tsunami**) caused by other causes could be analyzed.
- First, around Tonga, a tsunami scale of over 2 m is estimated.
- Around the Polynesian and Melanesian archipelago around it, the scale is about 1 m. The influence of the air coupled tsunami can be seen around here, but the initial components could not be reproduced in this eruptive tsunami. The difference between the tide record and the numerical analysis result (eruptive tsunami) can be estimated as the component of the air coupled tsunami. The scale of the air tsunami here is small.
- In Japan, the air coupled tsunami is prominent, followed by the eruptive tsunami. This arrival time is slower than the phase velocity of the long wave, which may be related to the dispersion and the resonance phenomenon at the ridge.
- It is highly possible that the difference between the results of this numerical analysis (eruptive tsunami) and each tide detection record is an air coupled tsunami, which will be useful for future mechanism elucidation and numerical model development.