

有珠火山の山体崩壊による洞爺湖の津波シミュレーション

佐竹 健治¹

Kenji SATAKE (2001) Numerical simulation of tsunami in Lake Toya potentially generated by collapse of Mt. Usu. Bull. Geol. Surv. Japan, vol.52 (4/5), p. 241 - 244, 4 figs.

Abstract : Numerical simulations of tsunami in Lake Toya are carried out for hypothetical collapse of Mt. Usu. The results indicate that the tsunami would reach the opposite side of the lake within 5 min. In the case of Kompira-yama collapse with a volume of 0.025 km³ and a duration of 2 min, the maximum tsunami height of 15 m appears at Tsukiura, more than 10 m on the northwestern and southeastern coasts, and about 5 m on the northern and eastern coasts. When the duration is 5 min, the tsunami heights become smaller, 5 m at Tsukiura and about 2 m on the other coasts. For the Yosomi-yama collapse with a volume of 0.013 km³ and a duration of 2 min, the tsunami heights are nearly 10 m at Tsukiura and Sobetsu, and 2 - 3 m on the other coasts. When the duration is 5 min, the maximum height is 5 m at Tsukiura, but 1-2 m on the other coasts. If the collapse volume is much larger, such as the northern edifice of Mt. Usu, the permanent rise of water level may be significant and may cause damage on the lakeshore.

要 旨

有珠火山の山体崩壊によって洞爺湖で発生する津波のシミュレーションを行った。崩壊した山体の流入開始後5分以内で津波第1波は対岸に達する。金比羅山(体積0.025 km³)が崩壊し、その全体積が2分間で洞爺湖に流入したとき、津波の高さは月浦付近で最大15 m、北西岸や南東岸の壮瞥付近で10 m以上、北岸の洞爺町や東岸の仲洞爺で5 m程度となる。継続時間が5分間だと月浦で5 m、他の湖岸で2 m程度と小さくなる。四十三山(体積0.013 km³)の崩壊の場合、継続時間が2分間だと、月浦・壮瞥温泉・壮瞥滝付近で10 m近く、洞爺町や仲洞爺では2 - 3 mとなる。継続時間が5分間の場合は、月浦では5 m程度だが、他の湖岸では1 - 2 m程度と小さくなる。北外輪山の崩壊など、さらに大きな体積が洞爺湖に流入すると、湖面水位が恒久的に上昇し、それによる被害が大きくなるであろう。

1. はじめに

火山噴火によって生じる様々な被害のうち、津波は最大の犠牲者をもたらすものの1つである(宇井,1997)。1883年クラカトア噴火に伴う津波は34,000人にもものぼる犠牲者を出した。わが国でも1792年に雲仙火山の眉山が崩壊し(島原大変)、有明海に流入した岩屑なだれが引き起こした津波によって1万5000人も犠牲者を出した。1640年北海道駒ヶ岳の噴火の際には、内浦湾に流入した岩屑な

だれによって津波が発生し、700人余の犠牲者が出た。

地震によって発生する津波については、数値シミュレーションを用いて、その発生源となった震源の研究がなされている(例えば、佐竹,1991)。一方、火山噴火に伴う津波については、その発生過程は多種多様であり、モデル化が完全に確立しているわけではない。Nomanbhoy and Satake (1995)は、クラカトア噴火に伴う津波について幾つかの発生モデルからの数値シミュレーションを行い、海底噴火によるものが観測記録を最も良く説明するとした。岩屑なだれの流入による津波については、Nishimura and Satake (1993)が北海道駒ヶ岳の、相田(1975)が島原眉山の津波数値シミュレーションを試みている。

有珠火山2000年噴火の際、山体崩壊による岩屑なだれが洞爺湖に流入し、津波が発生する危険性が指摘された。前述のように、火山体崩壊による津波は大きな災害をもたらすことがある。この噴火直後に、山体崩壊による洞爺湖における津波の数値シミュレーションを試みた。本稿ではその結果を報告する。

2. 洞爺湖における津波のシミュレーション

洞爺湖は、有珠火山の北側に位置する直径約10 kmのほぼ円形の湖であり、その中央に直径3 km弱の中島がある。湖面面積は約70 km²、水深は最大約190 m、平均約120 mである。津波の数値シミュレーションに使用するため、洞爺湖の水深データを50 m間隔のグリッドとして作成した(第1図)。国土地理院の2.5万分の1地図(画像デー

¹ 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ)

Keywords : Mt. Usu, Lake Toya, tsunami, numerical simulation, volcanic hazard

タ)を数値化し,さらに同1万分の1湖沼図で補った.格子点数は,陸上も含めて東西方向が220,南北方向が202である.

津波数値シミュレーションの方法は,相田(1975)や Nishimura and Satake (1993)と同じである.津波伝播の支配方程式である線形長波(浅水波)の運動方程式と連続の式を,実際的水深を与えて差分法で解いた.後述するように,津波の初期条件となる岩屑なだれの水平スケールは1km以上であり,洞爺湖,特に湖岸付近の水深と比べて大きいので,長波近似は有効である.簡単のため,底面での摩擦や移流項などの非線形効果は無視した.これらの非線形効果は津波を小さくする方向に働くので,本稿での計算結果は多少過大評価となるかも知れない.しかし,津波の高さが数m以下であれば非線形効果は小さく,線形と非線形計算の結果は大きく変わらない.

初期条件としては,洞爺湖の南岸で山体の体積に相当する流量を与えた.この詳細については次節で述べる.

計算時間間隔は,差分法の安定条件を満たすように0.5秒とし,岩屑なだれ流入開始から1時間の津波発生・伝播を計算した.湖岸に沿った83ヶ所(約4km毎)の出力点において津波波形を求め,その最大値を津波の高さとした.

3. 山体崩壊のシナリオ

津波を起こす可能性のある山体崩壊としては,以下の2つのシナリオを用いた.

(a) 金比羅山の崩壊

金比羅山を基底半径約400 m,比高150 mの三角錐で近似すると,その総体積は0.025 km³となる.これが洞爺湖温泉の幅1.3 kmの湖岸から湖に流入すると仮定した.

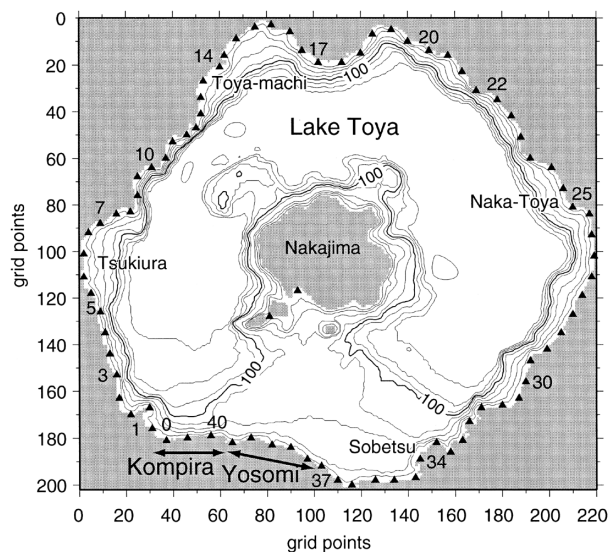
(b) 四十三山の崩壊

四十三山を基底半径約500 m,比高100 mの三角錐の片側半分として近似すると,その総体積は0.013 km³となる.これが,洞爺湖温泉町から壮瞥温泉にかけての幅1.2 kmの湖岸から湖に流入すると仮定した.

これらの体積がどの程度の継続時間で湖に流入するかによって,津波の高さは大きく変化する.厳密には山体崩壊や岩屑なだれのダイナミクスを考慮してシミュレーションを行うべきであるが,本稿では単純に,継続時間が1分間,2分間,5分間の3ケースについて計算した.

洞爺湖はほぼ閉じた湖盆であるから,このような巨大な体積が流入すると,それが準静的であったとしても,湖面が恒久的に上昇する.上記の金比羅山及び四十三山の崩壊の場合,湖面の水位上昇量はそれぞれ,0.4 m及び0.2 mとなる.

さらに大規模な山体崩壊として,北外輪山の上部(体積1.2 km³)や北外輪山全体(体積5.5 km³)が崩壊するというシナリオも検討した.これらのケースについての湖面水位の上昇量はそれぞれ17 m,79 mとなり,たとえ津波が発



第1図 津波計算に利用した洞爺湖の水深格子データ. 格子間隔は50 m. 水深のコンターは20 m間隔. 湖岸の三角形は津波波形の出力点を示す(番号は第3図,第4図に対応). 金比羅山と四十三山の山体崩壊による洞爺湖への流入範囲を矢印で示す.

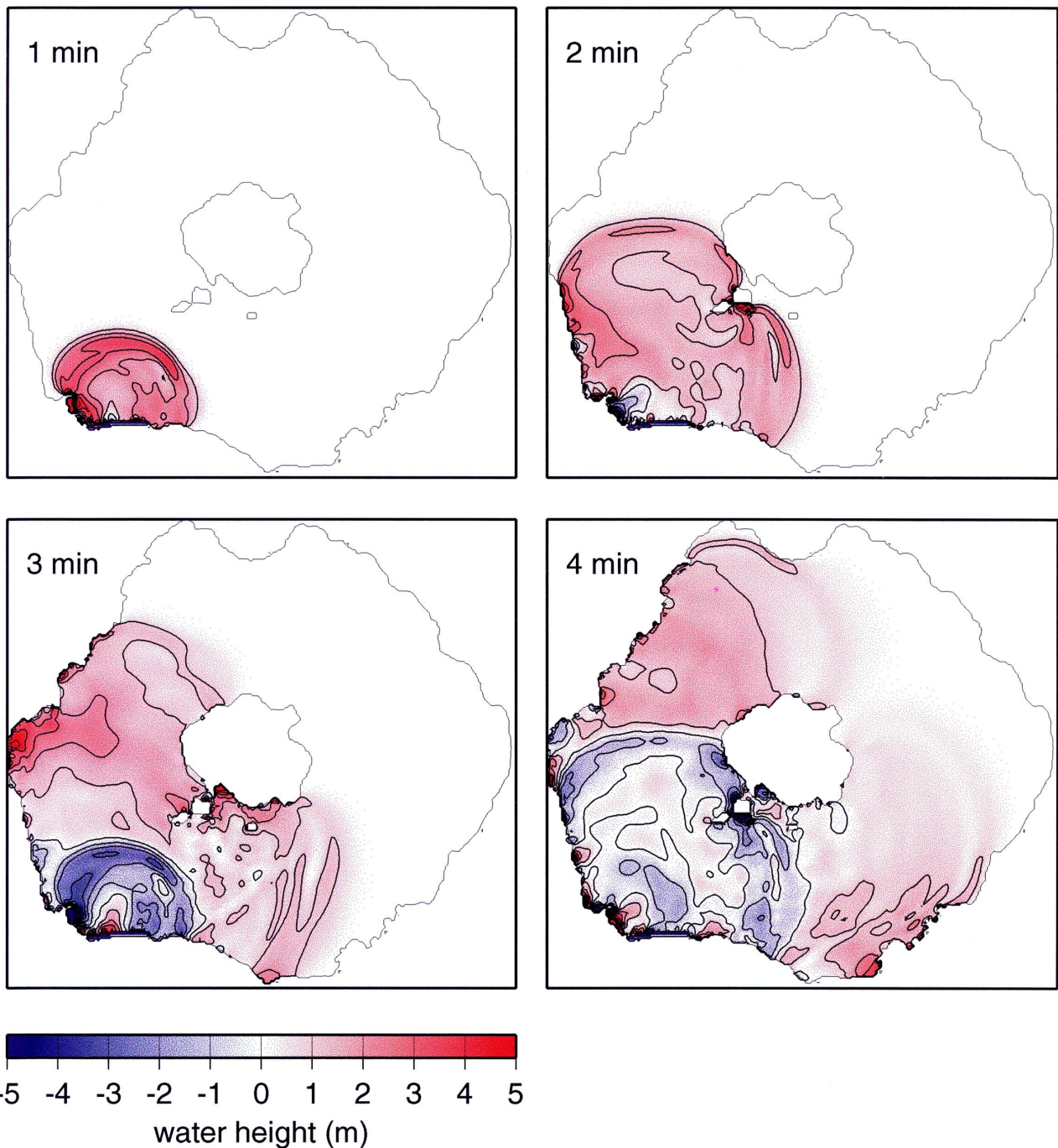
Figure 1. Bathymetry grid used for the tsunami numerical computations. The grid interval is 50 m. The depth contour is 20 m. The solid triangles along the lakeshore are output points of tsunami waveforms (the numbers corresponds to those in Figures 3 and 4). The arrows indicate the width of debris flow into the lake.

生しなくても大きな被害が発生する.これらは崩壊した山体のすべてが体積変化を伴わずに湖に流入した場合であるが,仮にその数分の1であったとしても湖面上昇は相当な量となる.

4. 津波シミュレーション結果

金比羅山の崩壊(継続時間が2分間の場合)によって生じる津波の伝播の様子を第2図に示す.山体の流入開始から2分で津波第1波(上げ波)は湖岸の月浦・壮瞥温泉及び中島に到達する.3分後には洞爺湖の南西半分に到達すると共に下げ波が伝播を開始する.4分後には第1波は北西岸の洞爺町や東湖畔に到達し,5分以内に湖の対岸まで達する.津波の第1波の伝播時間は,岩屑なだれ流入地点が同じであれば,体積・継続時間には依存しない.金比羅山と四十三山は隣接しているため,津波伝播の様子はほぼ同じである.

金比羅山の崩壊による洞爺湖沿岸での津波の高さを第3図に,四十三山の崩壊による津波の高さを第4図に示す.これらは岩屑なだれの流入開始後1時間以内の最大高さである.それぞれについて,岩屑なだれの継続時間を



第2図 金比羅山の崩壊(継続時間2分間の場合)による津波伝播の様子. 山体の流入開始後, 1分毎の高さ布を示す. 赤は上げ波, 青は下げ波を示し, コンター間隔は1 m毎.

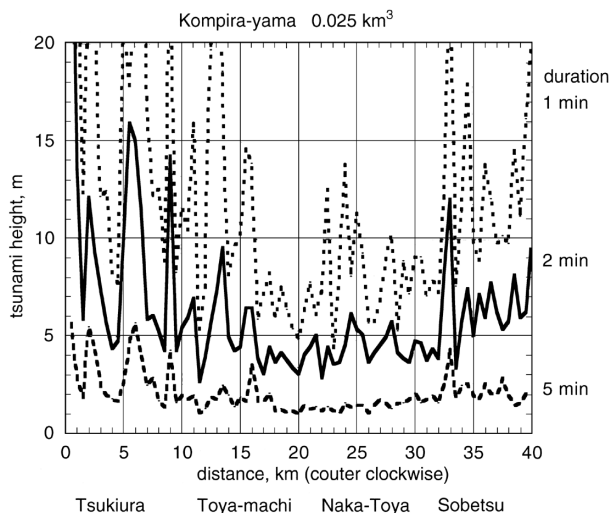
Fig. 2 Snapshots of tsunami propagation at 1 min interval from the collapse of Kompira-yama (the volume is 0.025 km^3 and the duration is 2 min). Red color indicates positive and blue color is negative water levels. The contour interval is 1 m.

変えた結果を示した. いずれの場合も, 継続時間が短いと津波は大きくなる.

金比羅山の崩壊の場合, 岩屑なだれが流入する洞爺湖温泉付近で津波の高さも最大となるが, 洞爺湖西岸の月浦付近でも局所的に大きくなる. 継続時間が2分間の場合に月浦では15 mを超えるほか, 北西岸の旭浦付近や南東

岸の壮瞥滝付近で10 m以上, 北岸の洞爺町や東岸の仲洞爺で5 m程度となる. 継続時間が5分間の場合は, 月浦で5 m程度, それ以外の湖岸で2 m程度の高さとなる.

四十三山の崩壊の場合は, 金比羅山に比べて流入体積が小さいので, 津波の高さも小さくなる. 岩屑なだれの流入する壮瞥温泉付近のほか, 月浦, 壮瞥滝付近で局所的



第3図 金比羅山の山体崩壊に伴う津波の高さ。継続時間1分間,2分間,5分間の3通りを示す。横軸は洞爺湖温泉町西端を起点に半時計回りに測ったキロ数で,第1図の番号に対応する。

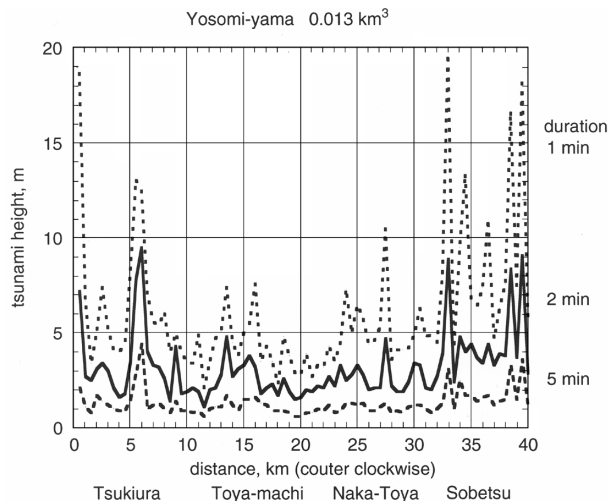
Fig. 3 Tsunami heights from the collapse of Kompira-yama. Three different cases with durations of 1, 2 and 5 min are shown. The horizontal axis is distance measured in km from the western tip of Toyako-Onsen; the numbers correspond to those in Figure 1.

に高くなる。継続時間が2分間の場合,月浦・杜瞥滝・杜瞥温泉付近で10 m近く,洞爺町や仲洞爺では2 - 3 mとなる。継続時間が5分間の場合は,月浦では5 m程度だが,他の湖岸では1 - 2 m程度と小さくなる。

5. おわりに

有珠火山の崩壊による洞爺湖における津波シミュレーションの結果をまとめた。ここで報告した計算結果は,2000年3月31日の噴火開始後短時間のうちに行い,4月1日夜までに関係者に報告したものである。平時における長期的な被害対策(構造物の設計など)のためには,津波伝播における非線形効果や,山体崩壊のダイナミクスを考慮し,さらに正確な数値シミュレーションを行う必要がある。一方,今回のように,短期的な防災のためには,ここで報告したような単純な数値シミュレーションを短時間の内に行うことが有益であろう。

謝辞 本稿で行った津波シミュレーションは,噴火当時に企画室併任であった伊藤順一氏の依頼によって始めたものである。地質情報センター地事情報課の方々(池田国昭課長,斎藤英二氏,渡辺和明氏,宮崎純一氏)には,短時間のうちに洞爺湖の水深データを数値化して頂いた。資源エネルギー部の篠原宏志氏・地質部の山元孝広氏に



第4図 四十三山の山体崩壊に伴う津波の高さ。継続時間1分間,2分間,5分間の3通りを示す。横軸は洞爺湖温泉町西端を起点に半時計回りに測ったキロ数で,第1図の番号に対応する。

Fig. 4 Tsunami heights from the collapse of Yosomi-yama. Three different cases with durations of 1, 2 and 5 min are shown. The horizontal axis is distance measured in km from the western tip of Toyako-Onsen; the numbers correspond to those in Figure 1.

は,山体崩壊のシナリオを頂いた。環境地質部の伊藤順一氏及び宮城磯治氏には,岩屑なだれについていろいろご教示頂いた。これらの方々のご協力・ご指導がなければ,津波シミュレーションを行うことは不可能であった。地殻化学部の宇都浩三氏には,この特集号に報告することを薦めて頂いた。また,北大有珠火山観測所の西村裕一氏には,原稿を読んで頂き,有益なコメントを頂いた。

文 献

相田 勇(1975) 1792年島原眉山崩壊に伴った津波の数値実験. 地震 第2輯, 28, 449 - 460.
 Nishimura, Y. and Satake, K. (1993) Numerical computations of tsunamis from the past and future eruptions of Komagatake volcano, Hokkaido, Japan. Proc. IUGG/IOC International Tsunami Symposium, 573 - 583.
 Nomanbhoy, N. and Satake, K. (1995) Generation mechanism of tsunamis from the 1883 Krakatau eruption. Geophys. Res. Lett., 22, 509 - 512.
 佐竹健治(1991) 津波と震源過程. 科学, 61, 576 - 583.
 宇井忠英(1997) 噴火と災害. 宇井忠英編, 火山噴火と災害, 東京大学出版会, 48 - 78.

(受付:2001年1月10日; 受理:2001年1月10日)