

数値計算に基づく1771年明和津波の波源推定

東北大学大学院 学生会員 ○宮澤 啓太郎
千葉工業大学 後藤 和久
東北大学大学院 正会員 今村 文彦

1. 序論

1771年4月24日、巨大津波（以下、1771年明和津波）が琉球列島南西部の宮古-八重山諸島を襲った（図-1）。この津波の石垣島における最大遡上高は30mと推定されており、津波による犠牲者は約12,000名にも及んだ（牧野, 1986; Nakata and Kawana, 1995）。気象庁は、地震のマグニチュードを $M_w=7.4$ と推定したが、山本ら(2008)によると石垣島での地震動はさらに大きかった可能性がある。明和津波に関して、これまでにいくつかの有力な津波波源モデルが提案されている。今村ら(2001)は、琉球海溝の内陸斜面にある最も陸側に近い小舟状海盆北縁付近の断層と、黒島沖付近での海底地すべりの同時発生（図-1）を、Nakamura (2009)は、琉球海溝での津波地震（図-1）を仮定している。しかし両モデルではここ数年で進んだ歴史的、地質学的研究(Goto et al., 2010)を考慮していない。また、波源モデル評価の際には、同地域で特徴的な裾礁を含む高精度な地形データを用いる必要がある(宮澤ら, 2010)。本研究では、更新された信頼性の高い推定遡上高と高精度地形データを考慮した既往の波源モデルの数値計算、さらにはそれらのモデルを基にしたパラメータスタディを行ない、より妥当な波源モデルを提案することを目的としている。

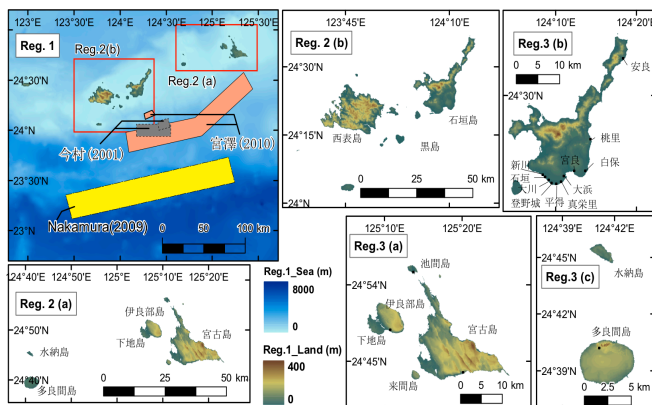


図-1 計算領域。Reg.2(a): 宮古諸島, Reg.2(b): 八重山諸島, Reg.3(a): 宮古島, Reg.3(b): 石垣島, Reg.3(c): 多良間島

2. 数値計算

(1) 数値計算における支配方程式と計算条件

広領域(Reg.1)から狭領域(Reg. 2, 3)の3領域(図-1)を接続して数値計算を行なった。Reg.1では球面上での浅水波を記述する線形長波方程式を、コリオリ力を考慮して用いた。Reg.2, 3では、直交座標系での浅水波を記述する非線形長波方程式を、底面摩擦を考慮して用いた。連続の式と運動の式をStaggered Leap-Frog法(Goto et al., 1997)によって差分化した。また、それぞれの領域の空間格子間隔は300 m, 100 m, 50 mである。時間格子間隔は0.3秒、計算時間は津波の発生から6時間後までとした。これ以降は、それぞれのモデルを今村(2001)モデル、Nakamura (2009)モデル、宮澤(2010)モデルと呼ぶ。各波源モデルのパラメータを表-1に示す。

(2) Aida (1978)による幾何平均 K と幾何標準偏差 κ

計算遡上高と推定遡上高との比較を行なう際に、両者の空間的な再現性を評価するための指標である、Aida (1978)の幾何平均 K と幾何標準偏差 κ を用いる。広域の痕跡高を用いて津波波源の妥当性を評価する場合には、 $0.95 < K < 1.05$ かつ、 $\kappa < 1.45$ であることが目安とされている（土木学会, 2002）。

(3) 計算結果

推定遡上高と計算遡上高の比較を図-2に示す。今村(2001)モデルは全域で遡上高の傾向をほぼ再現しているが、石垣島南東～東海岸の3カ所において、過大評価である。Nakamura (2009)モデルは、石垣島南西海岸での遡上高が小さく、池間島では遡上を確認することができなかった。本研究のモデルは、石垣島での遡上高分布を精度よく再現しているが、宮古島や池間島では推定遡上高の半分ほどの遡上高しか得られなかった。また、Aida (1978)の数式を用いて、各モデルの幾何平均 K と幾何標準偏差 κ を求めた（表-2）。その結果、最も妥当な値を示したのは、今村(2001)モデルであった。その他2つのモデルは、幾何標準偏差 κ の範囲は満たしているもの

表-1 各波源モデルの断層及び地すべりのパラメータ

今村(2001)モデル $M_w = 7.8$									
	緯度(°)	経度(°)	断層長さ(km)	幅(km)	走向(°)	傾斜角(°)	滑り角(°)	滑り量(m)	断層深さ(km)
断層	23.9870	124.5450	40	20	270	70	90	20	5
地すべり	24.0780	124.5450	15	10	260	70	90	90	-
Nakamura(2009)モデル $M_w = 8.0$									
	緯度(°)	経度(°)	断層長さ(km)	幅(km)	走向(°)	傾斜角(°)	滑り角(°)	滑り量(m)	断層深さ(km)
断層	23.155	125.356	150	30	255	12	90	16	5
宮澤(2010)モデル $M_w = 8.2$									
	緯度(°)	経度(°)	断層長さ(km)	幅(km)	走向(°)	傾斜角(°)	滑り角(°)	滑り量(m)	断層深さ(km)
断層1	24.2805	125.3722	70	35	240	70	90	12	5
断層2	23.9100	124.8000	72	36	259	70	90	12	5
地すべり	24.1348	124.2640	12	5	76	70	90	80	-

表-2 Aida(1978)による幾何平均 K と幾何標準偏差 κ

波源モデル	$K(0.95 < K < 1.05)$	$\kappa(\kappa < 1.45)$
今村(2001)	0.97	1.04
Nakamura (2009)	0.75	1.21
宮澤(2010)	0.92	1.04

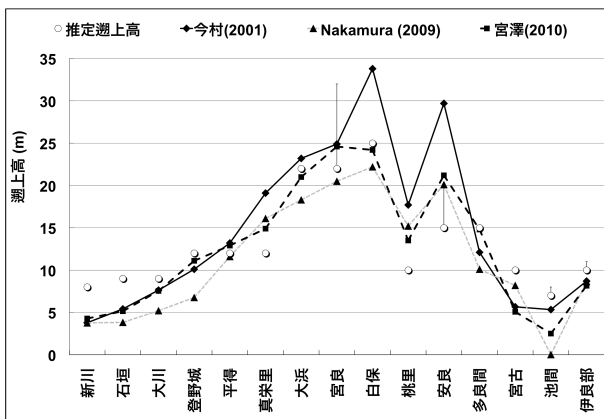


図-2 痕跡値と有力モデルの遡上高比較。宮良，安良，池間，伊良部のエラーバーは，各地点での推定遡上高が不確定で幅を持つことを示している。

の，幾何平均 K を満たすことができなかった。

3. 議論

(1) 推定遡上高との比較

Aida (1978)の式を用いて各モデルの定量的な分析を行なうと， K と κ の両方について妥当な範囲を示したのは今村(2001)モデルのみであった(表-2)。しかし，このモデルでは石垣島の4点で推定遡上高よりも最大で15 mほど過大であり，さらには，断層のすべり量が20 mと非常に大きく，現時点で最良の波源モデルとは断定できない。他の2つのモデルは $\kappa < 1.45$ のみを満たしていた。Nakamura (2009)モデルに関しては， K の値が妥当な範囲から大きく外れていたことから，広域での遡上高の分布傾向の再現性が，今村(2001)モデル及び宮澤(2010)モデルよりも悪いといえる。また，宮澤(2010)モデルでは，石垣島での再現性は良好なものの，宮古諸島での遡上高が比較的小さく，痕跡値を説明できていない。

4. 結論

1771年明和津波の有力な津波波源モデルの数値計算による再評価に加え，新たな波源モデルの検討を行った。その結果，現時点ではどのモデルについても妥当であるとは判断できない。特に，断層運動とそれに引き続いて発生する海底地すべりに関して，その地すべりの位置や発生の可能性に関しては，まだ不明な部分が多い。したがって，地すべりが想定される地域での詳細な海底地形調査が必要だといえる。

参考文献

- 今村文彦, 吉田功, アンドリュウ・ムーア (2001): 沖縄県石垣島における 1771 年明和津波と津波石移動の数値解析, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 346-350.
- 土木学会(原子力土木委員会津波評価部会)(2002): 原子力発電所の津波評価技術, 321p., 土木学会.
- 牧野清(1986): 改訂増補 八重山の明和津波, 城野印刷.
- 宮澤啓太郎, 後藤和久, 今村文彦(2010): 1771年明和津波の波源推定におけるサンゴ礁地形の効果, 土木学会平成22年度東北支部技術研究発表会講演概要集.
- 山本正昭(2008): 八重山諸島・石垣島で見られた地震と津波の痕跡遺跡から自然災害の痕跡を考える, 月刊考古学ジャーナル, 577, pp.9-14.
- Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N. and Imamura, F. (1997): IUGG/IOC Time Project, Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-Frog Scheme. IOC Manuals and Guides 35, pp. 130, UNESCO.
- Goto, K., Kawana, T., Imamura, F. (2010f): Historical and geological evidences of boulders deposited by tsunamis, southern Ryukyu Islands, Japan. Earth-Science Reviews, Vol. 102, 77-99.
- Nakamura, M. (2009): Fault model of the 1771 Yaeyama earthquake along the Ryukyu Trench estimated from the devastating tsunami. Geophys. Res. Lett., 36
- Nakata, T., and Kawana, T.(1995): Historical and prehistorical large tsunamis in the southern Ryukyus, Japan. In Y. Tsuchiya and N. Shuto (eds.), Tsunami: Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning, pp. 211-222.