12-17 津波地震について Tsunami earthquake

谷岡勇市郎(北海道大学地震火山研究観測センター) Yuichiro Tanioka (Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University)

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震は海溝近傍のプレート境界が大きくすべったことが明らかになってきた. そこで第 191 回地震予知連絡会では海溝近傍でのゆっくりしたすべりが特徴的な「津波地震」についてレビューした.本稿はその概要である.

2. 日本で発生した津波地震

阿部(2003)は1498年から2002年までに日本周辺で発生した特に顕著な津波地震を表1にまと めている.この中で,三陸から房総にかけてのプレート境界で発生した津波地震は1611年慶長三 陸津波地震,1677年延宝房総津波地震,1896年明治三陸津波地震がある.1611年慶長三陸津波地 震は都司(2003)によると,津波は仙台平野を4km程度も遡上し大災害となったことが古文書よ り明らかにした.さらに津波による大災害は北海道東部から福島県北部にまで及んでいたことを明 らかにした.1896年明治三陸津波の被害よりも広範囲に及んでおり,2011年東北地方太平洋沖地 震による津波被害に匹敵していたようだ.1677年延宝房総津波地震については石橋(2003)や羽 鳥(2003)が詳しく調べており,千葉県沿岸は津波による大災害に見舞われており,さらに八丈島 でも10mを超える津波が大災害を引き起こしたことが明らかになった.2011年東北地方太平洋沖 地震は津波地震ではなかったが海溝近傍で大きなすべりが推定されており,1896年明治三陸津波 地震と1677年延宝房総津波地震の震源域の間の海溝よりのプレート境界を破壊した可能性が高い.

南海トラフ沿いでは1605年慶長東南海南海地震が津波地震であったと言われている(表1).千 島海溝沿いでも1965年ウルップ島沖地震の最大余震が津波地震や1975年択捉島沖地震が津波地震 であったと言われている.つまり,海溝近傍のプレート境界が破壊するプレート境界型巨大地震は 千島海溝・日本海溝・南海トラフ沿いのどこでも発生する可能性があると思われる.

3. 世界で発生した津波地震

1946年アリューシャン津波地震は世界で最も異常な津波地震であったと言われている.表面波 マグニチュードは Ms7.2 であったにもかかわらず津波マグニチュードは Mt9,3 であった. 1964年 アラスカ巨大地震(Mw9,2)や1958年アリューシャン巨大地震(Mw8.8)で発生した津波がホノ ルルで観測された津波波形と1946年アリューシャン津波地震による津波のホノルルでの波形を比 較するとその振幅はほとんど変わらない(図1, Johnson and Satake, 1997)).また Okal et al. (2003) は震源近傍の局在化して非常に高くなった津波は地震により誘発された海底地滑りによると考えた (図2).この1946年アリューシャン津波地震のようにプレート境界型地震と海底地滑りが両方発 生することで大きな津波が発生した最近の例は1998年パプアニューギニア津波地震がある(Satake and Tanioka, 2003)(図3). Okal and Synolakis (2004)は海底地滑りを伴う津波地震とそうでな い津波地震を区別するために津波遡上高が高い沿岸の広がりを表わす指標を示した.まず,観測さ れた津波遡上高(ζ)の分布を基準点からの距離(x)でプロットし,それらが式(1)で表わさ れるとして未知数 a, b, cを推定する.

$$\zeta = \frac{b}{\left(\frac{x-c}{a}\right)^2 + 1} \tag{1}$$

ここで c は最大遡上高の位置, b が最大遡上高, b /a が分布の広がりを表わす. この b /a は普通のプレート境界型地震による津波は 10-5 の値を示すが, 海底地滑りによる津波が大きい場合には 10⁻⁴ の値になることを示し, この指標を使って海底地滑りによる津波を区別できるとした. さらに 1896 年明治三陸津波地震や 1946 年アリューシャン津波地震では海溝ごく近傍の柔らかい付加体の変形の効果で津波が大きくなった可能性がある (図 4) (Tanioka and Seno, 2001a, Tanioka and Seno, 2001b).

インドネシアのスマトラ島・ジャワ島沖沈み込み帯でも多くの津波地震が発生してきている(図 5). 2004年スマトラ巨大地震(Mw9,2)は津波地震ではないが、少なくともスマトラ北部沖の 海溝近傍のプレート境界では20mを超える大きなすべりが発生したことは確かだ(谷岡・岩崎, 2006). 1994年East Java 津波地震,2006年West Java 津波地震,2010年 Mentawai Is. 津波地震 と海溝近傍のプレート境界で大きなすべりが発生してきた. Kanamori et al. (2010)によると1907 年スマトラ地震も津波地震であったと指摘されている. つまりスマトラ - ジャワ沈み込み帯を見 ても海溝近傍のプレート境界で大きなすべりを発生する大地震は常に発生してきたと考えられる.

4. まとめ

津波地震のように海溝近傍のプレート境界で大きなすべりが発生し巨大な津波が励起される地震 は千島海溝・日本海溝沿い・南海トラフ沿いの沈み込み帯のプレート境界で例外なく発生してきた. スマトラ島・ジャワ島沖の沈み込み帯でも同様に海溝近傍のプレート境界で大きなすべりを発生さ せる大地震が多く発生してきている.

津波地震は海溝近傍のプレート境界で発生するため、海底地滑り等をともない大きな津波になる ことがある. さらには海溝近傍のやわらかい付加体の変形の効果で津波が大きくなる可能性もある.

参考文献

阿部勝征, 津波地震とは何か-総論-, 月刊地球 25, 337-342, 2003

石橋克彦, 史料地震学で探る 1677 年延宝房総沖津波地震, 月刊地球 25, 337-342, 2003

羽鳥徳太郎, 津波地震で発生した津波-1677年房総沖地震-, 月刊地球 25, 389-393, 2003

Johnson, M.J., and K. Satake, Estimation of seismic moment and slip distribution of the 1 April 1946 Aleutian tsunami earthquake, J. Geophys. Res., 102, 11765-11774, 1997.

Kanamori, H., L. Rivera, and W.H.K. Lee, Historical seismograms for unravelling a mysterious earthquake: The 1907 Sumatra Earthquake, Geophys. J. Int., 183 358–374, doi: 310.1111/j.1365-1246X.2010.04731.x, 2010.

Okal, E.A., Plafker, G., Synolakis, C.E. & Borrero, J.C., Near-field survey of the 1946 Aleutian tsunami on Unimak and Sanak Islands, Bull. seism. Soc. Am., 93, 1226–1234, 2003.

Okal, E.A., and Synolakis, C.E., Source discriminants for nearfield tsunamis, Geophysical Journal International, 158, 899-912, 2004.

Satake, K. and Y. Tanioka, The July 1998 Papua New Guinea Earthquake: Mechanism and Quantification of Unusual Tsunami Generation, Pure Applied Geophys., 160, 2087-2118, 2003.

Tanioka, Y., and T. Seno, Sediment effect on tsunami generation of the 1896 Sanriku tsunami earthquake, Geophys. Res. Lett, 28, 3389-3392, 2001a

Tanioka, Y., and T. Seno, Detailed analysis of tsunami waveforms generated by the 1946 Aleutian tsunami earthquake, Natural Hazards and Earth System Sciences, 1, 171-175, 2001b

谷岡勇市郎・岩崎伸一, 津波波形インバージョンによる 2004 年スマトラ地震の震源過程解析, 月刊地球, 号外 56, 19-24, 2006

都司嘉宣,慶長16年(1611)三陸津波の特異性,月刊地球 25,374-381,2003

年.月.日	緯度	経度	地域	M_t	M_{s}
1596.9.4	33.3	131.6	別府湾	8.0	(7.0)
1605.2.3	33.5	138.5	慶長東海南海	8.2	(7.9)
1611.12.2	39.0	144.0	三陸沖	8.4	(8.1)
1677.11.4	35.0	141.5	房総沖	8.0	(8.0)
1741.8.29	41.6	139.4	渡島半島沖	8.4	-
1771.4.24	24.0	124.3	八重山諸島	8.5	(7.4)
1792.5.21	32.8	130.3	島原湾	7.5	(6.4)
1896.6.15	39.5	144.0	岩手県沖	8.6	7.2
1975.6.10	42.8	148.2	色丹島沖	7.9	6.8
1984.6.13	31.4	139.8	鳥島近海	7.3	5.4
1996.9.5	31.4	140.0	鳥島近海	7.5	5.7

表1 日本周辺の特に顕著な津波地震(1498年-2002年)阿部(2003)より抜粋



- 図1.
- ホノルルで観測された津波波形の比較。 左) 1946 年アリューシャン津波地震による 津波波形、中) 1957 年アリューシャン巨大 地震による津波波形、右) 1964 年アラス カ巨大地震による津波波形. Johnson and Satake (1997) より抜粋
- Figure 1. Comparison of observed tsunami waveforms at Honolulu, Hawaii, due to the 1946 Aleutian tsunami earthquake and the 1957 great Aleutian earthquake and the 1964 great Alaska earthquake. After Johnson and Satake (1997)

- 図2. 1946年アリューシャン津波地震の 津波遡上高調査の結果。(a)調査 地点。(b)津波遡上高分布 Okal et al. (2003) より抜粋
- Figure 2. The run-up survey result of the 1946 Aleutian tsunami earthquake. (a) location of the survey points. (b) tsunami run-up height distribution. After Okal et al. (2003)



198' 00'



図3 1998 年パプアニューギニア地震の津波初期変位(左)と津波遡上高分布(右) Satake and Tanioka (2003) より抜粋 Figure 3. (left) tsunami initial deformation due to the 1998 Papua New Guinea Earthquake and (right) tsunami surveyed run-up heights along the Sissano Lagoon. After Satake and Tanioka (2003)



1896年明治三陸津波地震の津波励起メカニズムとして海溝近傍での付加体の変形を考慮した。 Tanioka and Seno (2001a)より抜粋 叉4

Figure 4. Sediment effect near the Japan on tsunami generation of the 1896 Sanriku tsunami earthquake. After Tanioka and Seno (2001a)



- 図5 スマトラ島・ジャワ島沖沈み込み帯に沿って発生した最近の巨大地震の震源域,2004年 Sumatra-Andaman 巨大地震,2005年 Nias 巨大地震,2007年 Bengkulu 巨大地震,2010年 Mentawai 津波地震,2006年 West Java 津波地震,1994年 East Java 津波地震。 Figure 5. Source areas of recent large earthquakes occurred along the Sumatra-Java subduction zone, the 2004 great Sumatra-Andaman earthquake, the 2005 great Nias earthquake, the 2007 great Bengkulu earthquake, the 2010 Mentawai tsunami earthquake, the 2006 West Java tsunami earthquake, and the 1994 East Java tsunami earthquake.