12-9 アラスカ・アリューシャン・カムチャッカ沈む込み帯の巨大地震について Summary of great earthquakes occurred along the Alaska-Aleutian Kamchatka subduction zone

北海道大学大学院理学研究院 谷岡勇市郎 Graduate School of Sciences, Hokkaido University

1. アラスカ・アリューシャン沈み込み帯の巨大地震

アラスカ・アリューシャン沈み込み帯では20世紀に複数のM9クラスの巨大地震が発生した(図1). その中でも最大の地震が1964年アラスカ巨大地震(Mw9.2)で最大すべり量は22mに達した(Johnson et al., 1996).古くからこの地震による地殻変動は解析されており(例えばPlafker, 1969),最近では Holdahal and Sauber (1994)やSantini et al. (2003)がそれら地殻変動データのインバージョンによりすべ り量分布を推定し, Prince William SoundとKodiakに2つの大きなすべり域があるとした.さらに遠 地実体波解析からも同じくPrince William SoundとKodiakの2つの大きなすべり域があるとされた (Christensen and Beck, 1994). Johnson et al.(1996)は地殻変動データに検潮所で記録された津波波形

データを加えてインバージョンを実施し, すべり量分布を推定し, Prince William Sound側の10m以上 のすべり域は海溝軸近傍のプレート境界まで達していることを示した.

1957年アリューシャン巨大地震(Mw 8.6) はその余震分布の広がりから1200kmにもわたるプレー ト境界が破壊した巨大地震であったとされていた(図1). Johnson et al.(1994)は太平洋沿岸で観測 された津波波形のインバージョンを実施し、大きくすべった領域は余震域の西半分で東半分には局 所的に3m程度すべった場所があるだけであるとした. さらに遠地表面波の解析からも大きなモーメ ントの解放域は震源域の西半分である事も明らかにした.最大すべり量は7m程度であった.さらに、 1957年アリューシャン巨大地震の大きなすべり域内では1986年(Ms7.7)の巨大地震も発生している.

1938年アリューシャン巨大地震 (Mw8.2) は1964年アラスカ巨大地震の西隣りで発生した (図1). 津波波形インバージョンからすべり量分布を推定した結果,余震域の東側で大きなすべり (3m) が 発生していたことが分かった (Johnson and Satake, 1994). 1938年アリューシャン巨大地震の破壊域 と1946年アリューシャン地震の間には空白域の存在が指摘されている (図1). さらにこの後説明 する1946年アリューシャン地震が典型的な津波地震であったことから,この空白域は1957年アリュ ーシャン巨大地震の破壊域の東側まで伸びる可能性もある.

1946年アリューシャン地震(Ms7.4, Mw8.2)は典型的な津波地震であったと言われている (Kanamori, 1972). Tanioka and Seno (2001)は津波が異常に大きくなる原因のひとつは海溝近傍の付 加体の変形であるとした. さらに付加体による変形を加えれば,海溝近傍の幅40km程度のプレート 境界で26-29mのすべりにより遠地の津波波形を説明できるとした. 津波地震の特徴である大きな すべりが海溝近傍で発生していたこととなる. さらにLopez and Okal(2006)はPasadenaで記録された遠 地表面波を解析し,すべりはゆっくりで, Mwは8.5に達すると推定した. 津波地震の特徴であるゆ っくりすべりも確認され, Ms=7.4からの違いも説明できるとされた. しかし,震源近傍の津波遡上 高は最大40mと非常に高く,しかも津波遡上高の高い地域は沿岸の幅40km程度の狭い地域に集中し ていることが分かっている(Okal et al., 2003). この様な局所的に高くなる津波は海底地すべり等に よる津波である可能性が高いとされている(Okal et al., 2003). さらにFryer and Watts (2001)は津波が局 所的に非常に大きくなった沿岸の沖合の海底に地すべりの痕跡を見つけた.しかし, Okal and Hebert (2007)は津波数値計算を実施し、遠地津波は地震による断層モデルにより説明できるが、地すべりで は説明できないとした. つまり、これら全ての研究成果を説明する津波発生原因は、地震により海 底地すべりが発生し、地すべり発生域近傍の沿岸に局所的に大きな津波を発生させた. しかし、地 すべりによる津波は波長が短いため局所的で遠地には影響を及ぼさない、遠地で記録された大きな 津波は地震の断層運動による海底地殻変動が原因であった. その断層運動がゆっくりでかつ海溝軸 近傍であったため、津波地震となったとなる.

1965年ラッツアイランド巨大地震(Mw8.7)は1957年アリューシャン巨大地震の震源域の西側で 発生した(図1).アリューシャン沈み込み帯はラッツ島付近になると斜め沈み込みになってくる. Geist et al.(1988)は震源域付近の海底地形から,斜め沈み込みが上盤側に影響することで海峡谷を境 にブロック運動をしているとした. Beck and Christensen (1991)は遠地実体波解析から1965年ラッツ アイランド巨大地震の大きくすべった場所は,三か所に分かれ,各々上記ブロックに対応すること を示した. Johnson and Satake (1996)は遠地津波波形インバージョンを実施し,やはり大きくすべっ た場所はそれぞれのブロックに対応することを明らかにした.また,海溝近傍のプレート境界のす べりは少ないことも明らかにした.

2. カムチャッカ沖沈み込み帯の巨大地震

カムチャッカ沖で最近発生した巨大地震の震源域を図2に示す(Fedotov et al., 1982). その中 で最大の地震が1952年カムチャッカ巨大地震(Mw9.0)でその余震分布の広がりは600kmに達し 南端は北千島列島に達している. Johnson and Satake (1999)は遠地津波波形インバージョンにより 1952年カムチャッカ巨大地震のすべり量分布を推定した.大きくすべった場所は余震域の南西側 でそのすべり量は12mに達すると推定した. MacInnes et al.(2010)はカムチャッカ太平洋側から北 千島列島パラムシル島にわたる沿岸でこれまでに調査された津波堆積物分布を説明することがで きる断層モデルを津波遡上数値計算を実施する事で推定した.やはり余震域の南西側で大きなす べりが必要であることを明らかにした.さらにMwは9.0に達するとした.

カムチャッカから千島列島にかけては最近多くの地点で津波堆積物調査が実施されている(Iliev et al., 2005, Razzhigaeva et al., 2008, Pinegina and Bourgeois, 2001, Pinegina et al., 2003, Bourgeois at al., 2006). それらの結果を総合しさらに未投稿の調査結果も合わせると, 調査地点で大きなばらつき があるものの, 100 年から 400 年に1回は 5m を超える津波に襲われていることが明らかになった.

参考文献

- Beck, S. L. and D. H. Christensen, Rupture process of the February 4, 1965, Rat Islands earthquake, J. *Geophys. Res.* 96, 2205-2221, 1991.
- Bourgeois, J., T. Pinegina, V. Ponomareva, and N. Zaretskaia, Holocene tsunamis in the southwestern Bering Sea, Russian Far East, and their tectonic implications, Bull. Geol. Soc. Am. 118, 449–463, 2006.
- Christensen, D.H. and S. L. Beck, The 1964 Prince William Sound earthquake: rupture process and plate segmentation. Pure Appl. Geophys. 142, 29–53, 1994.
- Fedotov, S. A., S. D. Chernyshev, and G. V. Chernysheva. The improved determination of the source boundaries for earthquakes of M >7:75, of the properties of the seismic cycle, and of long-term seismic prediction for the Kurile–Kamchatka arc, Earthq. Predic. Res. 1, 153–171, 1982.

Fryer, G., and P. Watts, Motion of the Ugamak slide, probable source of the tsunami of 1 April 1946, ITS

2001 proceedings, Session 6, 683-694, 2001.

- Geist, E. L., J. R. Childs, and D. W. Scholl, The origin of summit basins of the Aleutian Ridge: implications for block rotation of an arc massif, *Tectonics* 7, 327-342, 1988.
- Holdahl, R. and J. Sauber, Coseismic slip in the 1964 Prince William Sound earthquake: a new geodetic inversion. Pure Appl. Geophys. 142, 55–82, 1994.
- Iliev, A.Ya., Kaistrenko, V.M., Gretskaya, E., et al., Holocene Tsunami Traces on Kunashir Island, Kurile Subduction Zone, in Tsunamis: Sources, Monitoring and Coastal Hazards, Kluwer Publ., 171–192, 2005.
- Johnson, J.M., and K. Satake, Rupture extent of the 1938 Alaskan earthquake as inferred from tsunami waveforms, Geophys. Res. Lett., 21, 733-736, 1994.
- Johnson, J.M., and K. Satake, The 1965 Rats Islands earthquake: a critical comparison of seismic and tsunami wave inversion, Bull. Seis. Soc. Am., 86, 1229-1237, 1996.
- Johnson, J. M., and K. Satake, Asperity distribution of the 1952 great Kamchatka earthquake and its relation to future earthquake potential in Kamchatka, Pure Appl. Geophys 154, 541–553, 1999.
- Johnson, J.M., K. Satake, R. Holdahl, and J. Sauber, The 1964 Prince William Sound earthquake: joint inversion of tsunami and geodetic data. J. Geophys. Res. 101, 523–532, 1996.
- Johnson, J. M., Y. Tanioka, L.J. Ruff, K. Satake, H. Kanamori, and L.R. Sykes, The 1957 great Aleutian earthquake, Pure Appl. Geophys., 142, 3-28, 1994.
- Kanamori H, Mechanism of tsunami earthquakes Phys. Earth Planet. Inter., 6, 246-259, 1972.
- Lopez, A. M. and E. A. Okal, A seismological reassessment of the source of the 1946 Aleutian 'tsunami' earthquake, Geophys. J. Int., 165, 835-849, 2006.
- MacInnes, B. T., R. Weiss, J. Bourgeois, and T. Pinegina, Slip distribution of the 1952 Kamchatka great earthquake based on near-field tsunami deposits and historical records, Bull. Seism. Soc. Am., 100, 1695-1709, 2010.
- Okal, E. A., and H. Hebert, Far-field simulation of the 1946 Aleutian tsunami, Geophys. J. Int., 169, 1229-1238, 2007.
- Okal, E.A., G. Plafker, C. E. Synolakis, and J. C. Borrero. Near-field survey of the 1946 Aleutian tsunami on Unimak and Sanak Islands, Bull. Seismol. Soc. Amer., 93, 1226–1234, 2003.
- Plafker, G., Tectonics of March 27, 1964 Alaska earthquake. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 543-I, 1–74, 1969.
- Razzhigaeva, N. G., L. A. Ganzei, T. A. Grebennikova, A. A. Kharlamov, A. Y. Ilyev, V. M. Kaistrenko, The geological record of paleotsunamis striking Shikotan island, in the lesser Kurils, during holocene time, J. Volc. Seis., 2, 262-277, 2008.
- Santini, S, M. Dragoni, and G. Spada, Asperity distribution of the 1964 great Akaska earthquake and its relation to subsequent seismicity in the region, Tectonophysics 367, 219-233, 2003.
- Tanioka, Y. and T. Seno, Detailed analysis of tsunami waveforms generated by the 1946 Aleutian tsunami earthquake, Nat. Haz. Earth Syst. Sci., 1, 171–175, 2001.
- Pinegina, T.K. and J. Bourgeois. Historical and paleo-tsunami deposits on Kamchatka, Russia: long-term chronologies and long-distance correlations. Nat. Haz. Earth Syst. Sci., 1, 177 185, 2001.
- Pinegina, T.K., J. Bourgeois, L. Bazanova, I. Melekestsev, and O. Braitseva, A Millennial –scale record of Holocene tsunamis on the Kronotskiy Bay coast, Kamchatka, Russia, Quaternary Research, 59, 36-47, 2003.



- 図1 アラスカ・アリューシャン沈み込み帯で発生した最近の巨大地震の余震域と大きくすべったプレート境界の分布. Johnson and Satake (1997)の図に追記した.
- Fig.1. Aftershock areas and high slip areas of recent great earthquakes occurred along the Alaska-Aleutian subduction zone. Add after Johnson and Satake(1997)



- 図 2 カムチャッカ沖で発生した最近の巨大地震の震源域(Fedotov et al., 1982).☆は 1952 年カム チャッカ巨大地震の震源を示す. MacInnes et al.(2010)の図に追記した.
- Fig.2. Rupture areas of recent great subduction earthquakes occurred off Kamchatka (locations after Fedotov et al., 1982). The star represents the epicenter of the 1952 earthquake. Add after MacInnes et al.(1997)