12-8 カスケード沈み込み帯における巨大地震の発生履歴の研究史 Review of paleoseismological studies along the Cascadia subduction zone

東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

アメリカの北西部およびカナダ南西部の太平洋岸では、ファンデフカ・プレートが北米大陸の下 に沈み込んでおり、カスケード沈み込み帯と呼ばれている(第1図).歴史記録(1850年以降に限 られる)に大地震の発生が記録されていないことや水準データの解釈から、ここではプレートが非 地震的に沈み込んでいると考えられた時期もあった¹⁾. 1980年代に入って、世界の沈み込み帯の比 較から、カスケード沈み込み帯はその地学的条件が南海トラフやチリ南部と似ていることが指摘さ れ、これらの沈み込み帯と同様にプレート間巨大地震が発生する可能性が指摘された²⁾³⁾.

1980年代の後半から,地質学的な古地震調査がはじめられた結果,過去に巨大地震が発生したことを示す痕跡が発見された⁴⁾⁵⁾.海岸付近の地層中には,過去の地震によって海岸が沈降したことを示す地層(海水中で堆積した泥層に覆われる土壌層),津波が押し寄せたことを示す津波堆積物(土 壌層中の砂層),さらには地震動による液状化を示す砂脈などが多数見つかった(第1,2図)⁶⁷⁾⁸⁾.

一方,米国北西部沖の深海底で掘削されたコアからは,海底の地震動で発生したと考えられる乱泥流(turbidity current)の堆積物(タービダイト)が発見されており,過去約 7000 年間に 13 回の地 震が発生したとされている(第3図)⁵⁾.

沿岸の地層中の珪藻分析から大地震に伴う沈降量が推定された⁷. 珪藻は,淡水・汽水・海水に よって種が異なり,それらの分布から平均海水面付近の地殻変動を復元することができる.また, 土壌中の試料の放射性炭素年代測定から,最新の地震は約 300 年に発生したことが明らかにされた⁹. さらに,立ち枯れた木の年輪を使った研究から,最新の地震の発生時期は西暦 1699 年の秋から 1700 年の春の間に特定された¹⁰.

北米の西海岸で巨大地震が起きると、太平洋上に津波が発生し、日本にも到達する.日本の古文 書の調査から、元禄十二年十二月八日から翌日(西暦 1700 年 1 月)にかけて、日本各地で波源が不 明の津波が記録されていた¹¹⁾¹²⁾. これらの津波記録から、カスケードの巨大地震は 1700 年 1 月 26 日の午後 9 時ごろ(現地時刻)に発生したことがわかった.さらに、この地震は、長さ 1100 km に もおよぶ断層面が平均 14 m ずれたものであること、Mw は 9.0 であることもわかった¹³⁾.

最近の古地震データからは、過去にカスケード沈み込み帯で発生した地震はすべてが同じ規模で はなく、さまざまな大きさの地震が発生していることが明らかになりつつある¹⁴⁾¹⁵⁾. 最新のタービ ダイトと沿岸地質データの対比(第4図)によると、過去約1万年間に発生した41回の地震の平均 間隔は約240年だが、このうち1700年地震のようにカスケード沈み込み帯全域を破壊した M9 クラ スの地震の数は約半分とされている¹⁵⁾.

以上のように、カスケード沈み込み帯では、歴史記録には巨大地震の発生は記録されていなかったが、 この25年間に行われた古地震研究により、M9クラスの地震が発生した事実、発生時期、繰り返し間隔 などが明らかにされた.また、繰り返して発生する地震の規模には多様性があることが明らかになって きており、大地震の履歴解明や長期予測において古地震学が強力な手段であることが実証された.

(佐竹健治)

引用文献

- Ando, M. and Balazs, E.I. (1979) Geodetic evidence for aseismic subduction of the Juan de Fuca plate, J. Geophys. Res., 84, 3023-3028.
- 2) Savage, J.C. et al.(1981) Geodetic strain measurements in Washington, J. Geophys. Res., 86, 4929-4940.
- Heaton, T.H. and H. Kanamori (1984) Seismic potential associated with subduction in the northwestern United States, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74, 933-941.
- Atwater, B.F. (1987) Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington State, *Science*, 236, 942-944.
- 5) Adams, J. (1990) Paleoseismicity of the Cascadia subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, *Tectonics*, **9**, 569-583.
- 6) Atwater, B.F. *et al.* (1995) Summary of coastal geologic evidence for past great earthquakes at the Cascadia subduction zone, *Earthquake Spectra*, **11**, 1-18.
- 7) Atwater, B.F. and Hemphill-Haley, E. (1997) Recurrence intervals for great earthquakes of the past 3,500 years at northeastern Willapa Bay, Washington, *USGS Professional Paper*, **1576**.
- 8) Clague, J.C. (1997) Evidence for large earthquakes at the Cascadia subduction zone, *Rev. Geophys.*, **35**, 439-460.
- 9) Nelson, A.R. *et al.* (1995) Radiocarbon evidence for extensive plate-boundary rupture about 300 years ago at the Cascadia subduction zone, *Nature*, **378**, 371-374.
- 10) Yamaguchi, D.F. et al. (1997) Tree-ring dating the 1700 Cascadia earthquake, Nature, 389, 922-923.
- 11) Satake, K. *et al.* (1996) Time and size of a giant earthquake in Cascadia inferred from Japanese tsunami records of January 1700, *Nature*, **379**, 246-249.
- 12) Atwater, B.F. et al. (2005) The orphan tsunami of 1700, USGS Professional Paper, 1707.
- 13) Satake, K. *et al.* (2003) Fault slip and seismic moment of the 1700 Cascadia earthquake inferred from Japanese tsunami descriptions, *J. Geophys. Res.*, **108**, 2535(10.1029/2003JB002521).
- 14) Nelson, A.L *et al.* (2006) Great earthquakes of variable magnitude at the Cascadia subduction zone, *Quaternary Res.*, **65**, 354-365.
- 15) Goldfinger, C. *et al.* (2012) Turbidite event history methods and implications for Holocene paleoseismicity of the Cascadia subduction zone, *USGS Professional Paper*, **1661-F**.



- 第1図 カスケード沈み込み帯の位置.
 黒丸は海岸の古地震痕跡が発見 された場所を示す. Nelson *et al.* (2006)¹⁴⁾ による.
- Figure 1. Location of the Cascadia Subduction Zone. Solid circles indicate locations where coastal paeloseismological evidence of past earthquakes were found. After Nelson *et al.* (2006)¹⁴⁾.



- 第2図 過去の大地震の発生を示す3種類の地 質学的痕跡.(a) 地震による海岸の沈
 降に伴って立ち枯れた木や,水中で堆
 積した泥層に覆われた土壌層.(b)津
 波によって運ばれた土壌中に堆積した
 砂層(津波堆積物).(c) 強い地震動
 によって液状化を起こした砂層.
 Atwater et al. (1995)⁶による.
- Figure 2. Three kinds of paleoseismological traces indicating past great earthquakes. (a)
 Dead trees or soil buried by tidal mud after coseismic subsidence. (b) Sand sheets in coastal soil layers indicating tsunami deposit. (c) Sand blow or dyke indicating liquefaction due to ground shaking. After Atwater *et al.* (1995)⁶.



- 第3図 地震の痕跡を示すタービダイト層.地 震動によって乱泥流(5)が発生し,深 海底の海底谷にタービダイト層として 堆積する.いくつかの海底谷と,それ らが合流した下流の谷でも同じ数のタ ービダイト層が見つかれば,同じ原因 (地震)によって発生したものと判断 できる.Adams(1990)⁵による.
- Figure 3. Deep-sea turbidites as evidence of large earthquakes. Ground shaking causes turbidity currents, which deposit tubidites in submarine canyons. If the same number of turbidites are found at upstrems and downstreams (after merging a few canyons), they can be interpreted as the same origin (i.e., earthquake). After Adams (1990)⁵⁾.



- 第4図 沿岸と深海で得られた古地震痕跡から推定される大地震の震源域.Aはカスケード沈み込み帯全域が破壊するもので、19回記録されている.Bは4回、Cは10-12回、Dは7-8
 回以上記録されている.Goldfinger *et al.* (2012)¹⁵⁾による.
- Figure 4. Rupture lengths of Cascadia great earthquakes inferred from marine turbidites and coastal geological data. A indicates the full rupture and 19 events were recorded. B includes 4 events, C 10-12 events and D at least 7-8 events. The average recurrence interval of 41 events in the last 10 ky is ~240 years, but only a half of them ruptured the entire Cascadia subduction zone. After Goldfinger *et al.* (2012)¹⁵⁾.