

D21-03

宮城県中部と常磐海岸に見られる巨大津波の地質学的痕跡
澤井祐紀 (産総研活断層)・穴倉正展 (産総研活断層)

Geological evidence of unusually large tsunamis along central-south Miyagi and Joban coasts.
Yuki Sawai (AFERC, AIST), Masanobu Shishikura (AFERC, AIST)

1. はじめに

独立行政法人産業技術総合研究所では、文部科学省「宮城県沖地震における重点的調査観測 (以下、宮城沖重点)」の一環として、過去の巨大津波の浸水履歴と地殻変動の復元を目的とし、仙台および石巻平野や福島県南相馬市等で地質調査を行ってきた。本発表では、宮城沖重点の成果に、茨城県日立市での調査結果を加え、日本海溝中～南部を波源とする巨大津波の発生履歴について考察する。

2. 西暦869年貞観津波の浸水痕跡

巨大津波の痕跡は、低地の堆積物中に津波堆積物として残されている。この津波堆積物を、ハンドコアラーやジオスライサーを用いて採取し、その平面的な分布を明らかにした。この調査により、仙台・石巻平野全域における貞観津波 (西暦869年) の襲来当時の海岸線の位置とそこからの遡上距離を復元することができた。その結果、仙台・石巻平野における貞観の津波は当時の海岸線から少なくとも2~3 kmは遡上していることが分かった。福島県の南相馬市でも同様の調査を行ったところ、津波襲来当時の海岸線の位置が現在とほぼ同じであると仮定した場合、貞観津波の遡上距離は少なくとも1.5 kmと考えられた。貞観津波の地質学的痕跡については Minoura and Nakaya (1991) や Minoura et al. (2001) などが報告していたが、本研究によってより詳細な浸水範囲が明らかになり、津波波源のモデル化に貢献することができた。

3. 貞観津波を含んだ過去の巨大津波の再来履歴

貞観津波を含んだ過去の巨大津波の再来間隔を精度良く知るために、宮城県仙台市若林区、亶理郡山元町、南相馬市において大型ジオスライサー試料の採取を行った。得られた試料から津波堆積物を認定し、その津波堆積物の上下の層準から得られた大型植物化石と炭素の放射性炭素年代測定を行った。この結果を基に、石巻平野から南相馬市小高区にかけて見られる津波堆積物の広域対比を行うと、西暦1500年頃 (石巻の結果をもとに算出)、貞観津波 (西暦869年)、西暦430年頃 (南相馬市の結果をもとに算出)、紀元前390年頃 (山元町の結果をもとに算出) に共通して津波イベントが見られることが分かった。

4. 茨城県において見られた津波 (?) 堆積物

茨城県日立市の小規模な低地では、泥炭層中に挟まれた砂層が発見された。この砂層の堆積年代を放射性炭素年代測定により検討したところ、宮城県から福島

県にかけて広域に見られる西暦1500年頃の津波堆積物と近い値を示すことが分かった。このことは、「西暦1500年頃の津波」が茨城県北部にまで到達するような巨大なものであったことを示しているのかもしれない。

5. 地震に伴った地殻変動の復元

津波堆積物の調査に加えて、堆積物中の化石群集を用いて、地震性地殻変動の復元も試みた。南相馬市において採取された試料について、津波堆積物の上下の地層に含まれる珪藻化石を調べたところ、貞観津波とそのひとつ前の巨大津波に伴って調査地点周辺における海水の影響が変化していることが分かった。これは、津波に伴って海水準が相対的に上昇した、つまり海岸が沈水したと推定された。この海岸の沈水は、津波を引き起こした断層面が調査地の沖に位置していたと考えると理解しやすい。すなわち、津波を引き起こした断層が南相馬市周辺を沈降させ、調査地周辺に海水が浸入して沈水したのである。この推定は、貞観津波とその前の津波が遠隔地からもたらされたものではないことを意味している。

6. まとめ

石巻平野から南相馬市小高区にかけて見られる津波堆積物の広域対比を行うと、西暦1500年頃のイベント、貞観津波 (西暦869年)、西暦430年頃のイベント、紀元前390年頃のイベントが共通する巨大津波である。また、茨城県日立市では、西暦1500年頃に対比される砂層も見つかっている。こうした過去の津波のうち、特に貞観津波とそのひとつ前の津波は、南相馬市において地震と同時性の高い沈水現象が見られることから遠地津波である可能性は極めて低い。

本研究によって明らかになった津波の再来間隔は、およそ450年~800年程度の幅を持っている。仙台平野における巨大津波の地質学的証拠を議論した Minoura and Nakaya (1991) によれば、津波堆積物を残すような津波の再来間隔はおよそ800年であるが、本研究のデータはそれより若干短い再来間隔を示している。

謝辞

本研究プロジェクトは、活断層・地震研究センターの岡村行信センター長の下で遂行された。野外調査の際には、独立行政法人産業技術総合研究所・活断層・地震研究センター海溝型地震履歴研究チームの現旧メンバーや、同研究所地質調査研究部門の松本弾博士に協力していただいた。

引用文献

Minoura, K., Nakaya, S. (1991) *J. Geology* 99, 265-287.
Minoura, K., Imanura, F., Sugawara, D., Kono, Y. and Iwashita, T. (2001) *J. Natural Disaster Sci.*, 23, 83-88.

D21-04

3次元バランス法で求めた1993年北海道南西沖地震震源域北部・中部の断層の地下形状

木村治夫・岡村行信 (産総研技術総合研究所 活断層・地震研究センター)

Subsurface fault geometry in the northern and central parts of source area of the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake revealed by 3-dimensional balancing techniques

H. Kimura, Y. Okamura (Geological Survey of Japan, AIST)

1993年北海道南西沖地震 ($M_j=7.8$) は北海道奥尻島の北方、北緯42.8°、東経139.2°付近を震央として発生し、地震動だけでなく、津波によっても奥尻島及び北海道西部の日本海沿岸域に甚大な被害を与えた。震源域は日本海東縁の地質学的歪み集中帯 (岡村, 2002, 大竹・他 編, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 111-121) 中の奥尻海嶺に位置する。同歪み集中帯では20世紀以降、本地震の他にも多くの大地震が発生しており、その活動を解明することは地震防災上重要である。震源域北部・中部にはほぼ南北方向に伸びる背斜列が発達し、それらの東縁に逆断層が見られる (岡村・他, 1998, 地調月報, 49, 1-18)。これらは第四紀以降の東西圧縮応力下で形成された地質構造と考えられる (Tamaki et al., 1990, ODP Init. Repts., 127)。また、海底地形の変状から、1993年北海道南西沖地震の際にはこれらの逆断層も活動したと推定されている (竹内・他, 1996, JAMSTEC 深海研究, 12, 65-81)。このような地質構造と1993年の震源断層との関係を解明することは、他地域でも震源断層の位置・形状を推定する手法の確立に貢献でき、地震防災上の意義は大きい。そこで本研究では、断層関連曲線の考え方 (例えば, Suppe, 1983, *Am. J. Sci.*, 283, 684-721 など) を用い、震源域北部・中部の地下浅部の3次元地質構造に基づいて地下深部の断層形状を求め、震源断層と比較・検討した。

本研究で対象とした範囲は震源域北部・中部とその周辺。具体的には奥尻島北方のおおよそ北緯42.3°~43.4°、東経138.7°~139.8°である。3次元的な褶曲構造モデルを、旧地質調査所が1994年と1995年に白旗丸で取得したシングルチャンネル音波探査データの地質学的解釈を行うことによって作成した。海底地質層序や地震波速度構造は、調査地域の背斜のほぼ中央部で行われた深海掘削 ODP-Site 796を含む、ODP-Leg 127の結果 (Tamaki et al., 1990) を使用した。地形データには、

海陸統合250mメッシュデータ (岸本, 1999, 地調研究資料集, 353) を使用した。

また、3次元バランス法解析ソフトウェアには、Midland Valley社のMoveを用いた。震源断層との比較には、海底地震計から求めた余震分布 (日野・他, 1994, 月刊海洋, 号外7, 35-42)、sP波の観測結果から得られた余震分布 (Umino and Hasegawa, 1994, *J. Phys. Earth*, 42, 321-329)、各種の地球物理学的震源断層モデル (橋本・他, 1994, 月刊海洋, 号外7, 55-61; 加藤・都司, 1994, 震研集報, 69, 39-66; Tanioka et al., 1995, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 9-12; Satake and Tanioka, 1995, *PAGEOPH*, 145, 803-821) を用いた。

3次元バランス法による断層モデルの構築は、それぞれの背斜は西傾斜の逆断層上盤の断層関連曲線として形成されたものであるという前提で行った。褶曲前の形状は、ほぼ平坦な水平面であると仮定した。断層下端深度は、調査地域付近のコンラッド面深度 (Zhao et al., 1992, *Tectonophysics*, 212, 289-301)、調査地域南方でのエアガンと海底地震計による深部地殻構造探査 (塩原・島村, 1994, 月刊海洋, 号外7, 43-48; 日野・他, 1995, 地球惑星合同大会予稿集, 640) の結果、本地震のsP波の観測結果から得られた余震の震源分布 (Umino and Hasegawa, 1994) の下限などを総合して、15 kmと推定した。断層上盤の変形様式には inclined simple shear model (例えば, Gibbs, 1983, *J. Struct. Geol.*, 5, 153-160; White, 1992, *J. Geophys. Res.*, 97, 1715-1733 など) を用いた。その結果得られた断層面は、南北約100 kmに達し、水平幅は約20~25 km、断面形状は下に凸のリストリックな形状を示し、平均的な傾斜としてはおおよそ30°前後である。

この結果を、1993年北海道南西沖地震の余震分布や地球物理学的震源断層モデルと比較した。余震の平面分布は、地質構造から推定した断層モデルと位置・範囲共に概ね一致した。東西鉛直断面上の余震分布は、ばらつき・誤差の範囲が大きく明瞭な断層面を示さないため、詳細な比較はできないものの、大きな矛盾点は見られなかった。地球物理学的震源断層モデルに対しては、本研究結果は全体的に深度が浅いことと、北部・南部での断層の2列分岐という違いが見られた。しかし、両者のおおよそ大きさや平均的な傾斜角についてほぼ一致した。深度差の一因として、上記地球物理学的モデルで用いられた余震分布は陸上観測網によるものであることが考えられる。分岐した2列の断層面がともに震源断層に対応しているかについては、今後の検討の必要性がある。

P2-61

西暦 869 年貞観地震の波源モデル：福島県沖も含めた検討
行谷佑一 (産総研活断層)・佐竹健治 (東大地震研)・山本 滋 (シーマス)

Tsunami source of the AD 869 Jogan earthquake:
Examination of models including off Fukushima prefecture
Yuichi Namegaya (AFERC, AIST), Kenji Satake (ERI, U. Tokyo), and Shigeru Yamaki (Seamus)

1. はじめに

西暦 869 年 7 月 9 日 (ニリウス層) の貞観地震による津波について、これまで宮城県石巻・仙台平野で津波堆積物の調査が行われてきたが、最近、さらに南の福島県沿岸においても貞観津波の堆積物が発見されている。本発表では、これまで検討を行ってきた宮城県沖から福島県沖にかけて位置する波源モデルに加えて、福島県沖に位置する波源モデルを想定して津波浸水シミュレーションを行い、計算浸水域と津波堆積物の位置を比較する。

2. 西暦 869 年貞観地震津波の浸水域

貞観地震は、仙台市周辺で建物の倒壊や地割れなどにより人間や牛馬などに多くの被害を生じた。この地震により津波が発生し、溺死者が千人生じた (『日本三代実録』)。この津波の堆積物が沿岸内陸部で発見されている。石巻平野では当時の海岸線は現在の海岸線に比べ 1~1.5 km 内陸に位置すると推定され、そこから 3 km 以上も内陸にまで貞観津波の堆積物が分布している (穴倉・他, 2008, 活断層・古地震研究報告)。仙台平野では、当時の海岸線は現在よりも約 1 km 内陸に位置し、そこから 3 km 以上も内陸まで貞観津波の堆積物が分布している (澤井・他, 2007; 2008, 活断層・古地震研究報告)。

最近、福島県南相馬市小高地区で貞観津波の堆積物が発見された (本学会における澤井・穴倉の発表を参照)。その南に位置する同県浪江町戸地区でも貞観津波の堆積物が発見された (今泉・他, 2009, 文科省報告書「宮城県沖地震における重点調査観測」)。これらの地点では、当時の海岸線の位置は不明であるが、現在の海岸線から 1.5 km 程度内陸まで貞観津波の堆積物が分布している。貞観津波はこれらの堆積物の位置よりさらに内陸にまで浸水した可能性がある。

3. 貞観地震津波の波源モデル

佐竹・他 (2008, 活断層・古地震) によれば、プレート間地震で断層の長さ 100

km, 幅 100 km, すべり量 10 m, 上端深さ 31 km のモデル 8 (Mw8.3) と、断層の長さ 200 km, 幅 100 km, すべり量 7 m, 上端深さ 15 km のモデル 10 (Mw8.4) について、石巻平野と仙台平野における津波堆積物の位置まで津波が浸水することが報告されている (福島県沿岸の津波堆積物は考慮していない)。いずれのモデルも、断層の走向は日本海溝におよそ平行に 20° とし、傾斜角は現在の地震分布を参考にして 18° としている。そこで、このモデル 8 およびモデル 10 を基にして、モデル 10 を傾斜角方向に深部 (上端深さ 31 km) に移動させたもの (モデル 11)、モデル 8 を走向方向に 50 km 南側に移動させたもの (モデル 12)、モデル 8 を傾斜角方向に浅部 (上端深さ 15 km) に移動させたもの (モデル 13)、およびモデル 13 を走向方向に 50 km 南側に移動させたもの (モデル 14) を検討した (行谷・他, 2010, 連合大会)。さらに、福島県沿岸でも津波堆積物が発見されたことを考慮して、福島県沖に波源を想定したモデルも検討した。具体的には、1938 年に塩屋塔沖で発生した群発地震活動の領域を参考に、福島県沖から茨城県沖にかけて長さ 160 km, 幅 60 km の断層 (走向: 202°, 傾斜角: 18°, すべり角: 90°) を仮定した。断層のすべり量は、群発地震活動の中で規模の大きかった 3 回の地震の地震モーメントの総和 (1.3 x 10^21 Nm, Mw=8.0 に相当) を参考に、これと同程度の規模を持つ 3 m (モデル 15, Mw8.0) とそれよりかなり大きい 10 m (モデル 16, Mw8.3) の 2 種類を検討した。これらのモデルから津波浸水域を計算し、石巻・仙台平野、および浪江町における津波堆積物の位置と比較を行った。

4. 結果

津波堆積物の位置に対する計算浸水域の一致度を表現するために、計算された浸水域と海岸線から最奥の津波堆積物までの距離との比の平均 μ (1.0 に近いほど一致度が高いモデル) とその標準偏差 σ を求めた。その結果、もっとも一致度が高かったモデルは、モデル 11 (μ=0.99, σ=0.02) であった。福島県沖に想定したモデル 15 および 16 はそれぞれ μ=0.04 (σ=0.09) および μ=0.65 (σ=0.25) で全 8 モデルの中ではそれぞれ 8 番目および 7 番目であった。

なお、津波堆積物の調査は現在も進行中である。今後の調査結果によって検討を行う地点が増えるなどすれば、上記の値や順位は変わる可能性があり、現段階ではどのモデルが最適モデルかは結論できない。今後も最新の地質調査の結果を用いて貞観地震の波源モデルを検討していく予定である。

謝辞: 本研究の一部は、文部科学省「宮城県沖地震重点調査観測」の一環として実施された。国土院から「海岸における 3D 電子地図」を、福島県から「福島県沿岸部地形データ」を提供して頂いた。

P2-62

1895 年及び 1921 年茨城県南部の地震の震源・発震機構
石辺岳男・佐竹健治・島崎邦彦・西山昭仁 (東大地震研)
Focal depth and mechanism of the 1895 and 1921 Ibaraki-Ken-Nambu Earthquakes
Takeo Ishibe*, Kenji Satake*, Kunihiko Shimazaki*, and Akihito Nishiyama*
1) Earthquake Research Institute, University of Tokyo

首都機能が集中する南関東では、太平洋プレート (以下 PAC と略記) 及びフィリピン海プレート (以下 PHS と略記) が陸のプレートの下に沈みこんでおり、(1) 活断層で起こる浅い地震 (1931 年西端玉地震など)、(2) 陸のプレートと PHS とのプレート境界の地震 (1923 年大正関東地震など)、(3) PHS 内部で発生する地震 (1987 年千葉県東方沖地震など)、(4) PHS と PAC とのスラブ境界の地震 (2005 年千葉県北西部の地震など)、(5) PAC 内部で発生する地震、と様々な地震が発生している。その中で、最大規模となるのは相模トラフ沿いのプレート境界 (上記の (2) に該当する) で発生する関東地震である。現在、関東地震の平均再来間隔は 200-400 年程度と見積もられており (地震調査委員会, 2004)、1923 年大正関東地震からの経過時間 (87 年) を考慮するとその切迫性は低いと考えられる。その一方で南関東を中心とした深さ 30~80 km で発生する M7 級地震の 30 年発生確率は 70% 程度と推定されており、切迫性が高い (地震調査委員会, 2004)。この確率は 1885 年以降に発生した 5 つの被害地震 (1894 年明治東京地震、1895 年および 1921 年茨城県南部の地震、1922 年清賀水道付近の地震及び 1987 年千葉県東方沖地震) から計算された発生頻度に基づいたものであるが、これらの中には震源やその発生機構について統一的理解が得られていない地震が多い。今後、長期確率評価を高度化するためには、上記の 5 地震の素性を明らかにし、上記 (1)~(5) に分類してその繰り返しの有無等を議論する必要がある。その手始めとして、これら 5 地震を対象として、既往研究を総括するとともにデータの整理を行った (石辺・他, 2009a, 2009b) 本稿では、これらの 5 つの被害地震のうち、1895 年及び 1921 年茨城県南部の地震に関する震源や発震機構に関する予察結果を中心に報告する。

1895 年茨城県南部の地震 (M7.2) は、宇佐美 (1973)、石橋 (1975)、勝又 (1975)、宇津 (1979) などによって震央が議論されている。勝又 (1975) において烈震 (震度 5 以上) 域が見られる一方、石橋 (1975) では強震 (震度 4 に相当) に留まるなど、震度分布に相違が見られる。震源深さは、石橋 (1975)、宇津 (1979) とともに浅い地震ではないとした。現在も活発な地震活動が観測されている地震クラスターとの関連を示唆する報告がある一方で、具体的に震源深さを議論した既往研究は見当たらない。大森 (1899) に記載されている東京における初期微動継続時間 (11.3 秒) から宇津 (1979) の震央と気象庁速度構造

(上野・他, 2002) を仮定すると、震源深さは 75~85 km 程度に推定された。これを PAC 上面深さ (Shida, 1992) と対比すると、この地震は浅くとも、PHS と PAC の境界、おそらくは PAC 内で発生した地震であったと考えられる。PAC 内地震は、東北から北海道の太平洋側で震度が大きくなる「異常震域」が見られる一方で、PHS 内地震はほぼ同心円状の震度分布になる。このような震度分布の特徴から分類が可能であると考えられるが、震度分布に既往研究による相違が認められるため、今後震度分布について精査する必要がある。

1921 年茨城県南部の地震 (M7.0)、通称「竜ヶ崎地震」は、中央気象台 (1921)、牛山 (1922)、大森 (1922)、勝又 (1975) や石橋 (1973, 1975) によって震源決定が行われているが、東京における S-P 時間が 6.3 秒 (東京気象台, 1921)、6.2 秒 (牛山 1922)、8.8 秒 (大森, 1922)、8.5 秒 (石橋, 1973) と異なるために大きく異なる。また、発震機構の議論として石橋 (1973, 1975) や勝間田 (2000) がある。勝間田 (2000) による発震機構解は断面の一つが走向 288 度、傾斜角 79 度、すべり角 -34 度の、圧縮北東-南西方向の圧縮軸をもつ地震で、PHS と PAC のスラブ境界で発生する西ないし北西傾斜の低角逆断層型のメカニズム、茨城県南西部地震クラスターの典型的な発震機構とも異なるとした。石橋 (1975) は、本郷、水戸、鉢子及び筑波における S-P 時間から、1921 年茨城県南部の地震の震源を茨城県南西部の深さ 53 km と推定した。そして、S-P 時間の読み取り誤差を考慮しても震源の深さが 40~60 km に収まることから、現在も地震活動が活発な茨城県南部の深さ 10 km の地震クラスターで発生した地震であると結論付けた。上記の S-P 時間と気象庁速度構造を用いて震源決定を行ったが、石橋 (1975) とほぼ同様の深さ 55 km 程度に推定された。1921 年茨城県南部の地震の震度分布からは、PAC 内地震の特徴である「異常震域」は認められない。推定された震源の深さ、当該領域における PAC 上面の深さ、震度分布からは PAC 内地震であるとは考えにくい。震源深さの精度を考慮すると、PAC 上面に沿って発生した地震であった可能性は否定できないが、牛山 (1922) による初期から推定された発震機構は、震源の傾斜を考慮しても横ずれ型であり、PAC の沈み込みに伴う低角逆断層型とは顕著に異なる。これらは、石橋 (1975)、勝間田 (2000) ならびに東北地方における地震観測を加えて震源や発震機構の推定を行った海野・他 (2010) と調和的である。以上の点から、1921 年茨城県南部の地震は沈み込む PHS 内で発生した地震であったと考えられる。

謝辞: 本研究は、H22 年度科学技術振興費「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト①首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」の一環として行った。参考文献: (その他の参考文献については下記を参照) 石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦, 2009a, 地震研究所集報, 84, 149-182. 石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦, 2009b, 地震研究所集報, 84, 183-212.