

三陸海岸～仙台湾地域の古津波履歴に関する地質学的調査 の現状と課題

菅原 大助・石澤 堯史

はじめに

大規模な津波は、浅海底や浜堤・砂丘に分布する礫・砂・泥などの堆積物を大量に運搬し、堆積させる。このような津波堆積物は、低頻度で発生する巨大な地震・津波の履歴を明らかにする上で必要不可欠な地質記録として、国内外で調査研究が進められてきた。この発表では、三陸海岸～仙台湾地域において知られている歴史・先史津波堆積物の分布と年代を概観し、津波イベントの対比と波源推定における課題を検討する。

調査研究の現状

仙台湾地域は世界的に最も早くから津波堆積物の研究が進められてきた地域の一つである。1980年代末に仙台市若林区の荒浜において調査が行われ、歴史記録に伝わる1611年の慶長奥州地震と869年の貞観地震に加え、先史時代の津波堆積物も湿地の地層中に存在することが報告された(阿部ほか, 1990; Minoura and Nakaya, 1991)。貞観地震の津波堆積物は連続性が良く各所で確認されたが、慶長奥州地震の津波堆積物は部分的にしか確認できず、江戸期の新田開発による削剥の影響を受けていることが指摘された。その後2000年代に入ってから調査研究では、特に貞観津波堆積物に関する知見の蓄積に大きな進展があった。石巻・仙台平野(澤井ほか, 2007; 宍倉ほか, 2007)、相馬(Minoura et al., 2001)、請戸(今泉ほか, 2008)などで堆積物の報告が相次いだ。貞観地震の震・波源像は、津波伝搬・氾濫の数値計算と仙台湾地域の堆積物分布データとの比較に基づき、Mw8.4級のプレート間地震と推定されていたが(佐竹ほか, 2008; 菅原ほか, 2011)、三陸海岸など他地域での情報が不足していることから、全体像の解明には至っていないと認識されていた。

2011年の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)の後、各地で調査研究が活発化し、特に岩手県沿岸では復興事業に伴う大きな進展が見られた(たとえば高田ほか, 2016; Ishimura, 2017)。三陸海岸は急勾配の地形と狭小な低地により、津波堆積物の形成・保存には適していないと考えられるが、震災後の調査では仙台平野よりも古い時代まで遡る地層が各所で確認され、最大で過去約7000年前まで遡る津波堆積物の存在が判明している。ただし、放射性炭素(^{14}C)年代の誤差が大きい場合が多く、津波イベントの広域対比を難しくしている。仙台湾地域では、約2000年前の弥生時代の津波について詳細が明らかにされた。この津波は、堆積物の分布状況や考古遺跡の動態に関する検討から、東北地方太平洋沖地震や貞観地震に匹敵するか、より規模が大きい津波であったと推定されている(斎野, 2013; 松本ほか, 2013)。また、1454年の享徳地震やそれよりも古く貞観地震よりも新しい時代

の津波堆積物の報告もあるが (Sawai et al., 2012, 2015; 渡邊ほか, 2014), 広域的に対比できるデータとなっておらず, 実態を明らかにできているとは言い難い。

今後の課題

東日本大震災後, 多くの研究者が取り組んできた課題のひとつに, 慶長奥州地震の実態解明がある。この地震は, 従来は 1933 年の昭和三陸地震と同様のアウトターライズ地震であったと考えられていたが, 史料や津波堆積物データの見直しにより, 日本海溝のプレート境界型地震あるいは津波地震であると考えられるようになった (例えば今井ほか, 2015)。しかし, 歴史記録・地質記録とも質・量に不足があり, 震・波源の実態解明にはほど遠いのが現状である。この時代は 14C 年代較正曲線の形状により暦年較正值の誤差が大きくなるため, 広域対比や享徳地震との判別でも問題を抱えている (Tetsuka et al., 2020)。最近, 下北半島や北海道胆振地方でも慶長奥州地震の津波堆積物が報告されており (Ishimura et al., 2022; 西村ほか, 2022), 2011 年や 869 年とは違ったタイプの地震であった可能性が考えられる。実態解明には, 史料, 津波堆積物, 遺跡・遺物などいくつかの異なる情報の統合が求められるだろう。

現在, 貞観地震の津波堆積物は岩手県沿岸北部の洋野町まで分布が確認されており (高田ほか, 2016), 今後, 津波土砂移動数値計算と比較するなどして, 震・波源像を大きく見直すことが可能な状況になりつつある。津波土砂移動計算は, およそ 10 年前からインド洋大津波や東北地方太平洋沖地震津波を対象に, 開発と検証が進んできた比較的新しい解析手法である (例えば Sugawara et al., 2014)。最近では, 2011 年東北地方太平洋沖地震津波のデータを用いた滑り量推定手法の研究があり, 津波堆積物データとの比較について検討が進んでいる (例えば Masuda et al., 2022)。土砂移動計算で歴史・先史津波の震・波源を推定した研究としては, 台湾の基隆周辺 (Sugawara et al., 2019) などの例があり, 東北地方の津波堆積物への適用も現実的となってきている。土砂移動計算を活用した波源推定では, 数地点からのデータではなく, 面的あるいは測線上から取得した多地点のデータを使うことが望ましい。多地点で堆積物データを取得する要求を満たすためには, 調査地点の選定を改善し, 効率的に調査を行う手法の導入が必要である。その目的において, 地中レーダーの活用はその一つの手段となりうる (例えば Takeda et al., 2018)。地中レーダーは媒質中の比誘電率の差によって生じる電波の反射を捉える手法で, 鉱物組成や粒度が変化する地層境界や地層内部構造の形状を把握できる。一方, レーダー画像に何が映っているかは実際に掘削し照合するまで分からないことも多く, 更なる活用のためには, 掘削や露頭観察との比較で検証を進めていく必要がある。

早い時期から調査研究が進められてきた三陸海岸～仙台湾地域であるが, 地質記録に基づく津波履歴は依然として不完全であり, 更なる取り組みが必要であるとの指摘がある (澤井, 2017)。最適な場所で良質の試料を得られれば, 高精度 14C 年代推定 (例えば Ishizawa et al., 2017) によって広域対比を改善できるであろう。特に, 慶長奥州地震と享徳地震の判別には年代推定の高精度化が欠かせない。Ishizawa et al. (2022) では, 岩手県北部の野田村に分布する津波堆積物を対象に高解像度の 14C 年代測定を行い, この地点に慶長奥州地震の津波堆積物が存在し, 享徳地震によるものは存在しないこ

とを明らかにした。津波堆積物の年代は直上・直下で採取した試料で評価することが多いが、直上は津波による泥質物の再堆積、直下は津波による地表の侵食を考慮しなければ、ともに年代が古い方に偏って推定される可能性がある。年代推定の高精度化のためには、再堆積・侵食の影響が小さいか、それらを評価できるような試料の取得が必要となる。その他にも年代値に影響を与えるプロセスは数多く考えられる。地層状況の把握・評価においても、地下レーダーの活用は有益であろう。

おわりに

この 10 年間で顕著になってきた三陸海岸～仙台湾地域における津波堆積物調査の問題として、圃場整備等による地層の擾乱・消失と搬入砂礫による掘削の技術的難度の増大、用地の嵩上げによる地層の埋没が挙げられる。これらの人為的影響により、これまでは津波堆積物の調査が容易で地層が良好に保存されていた地域でも、良質の試料を得ることが困難な状況に次第に変化してきた。例えば仙台市内では、圃場整備に伴い、貞観津波堆積物あるいはその直上の To-a テフラまで削剥を受けた場合があることが確認されている (Sugawara, 2017)。さらに、礫を含む粘土を用いて締固めて耕盤を造成している箇所も多く、ジオスライサー等の簡易的な手段による掘削において、追加の技術的対応が必要となってきた。復興事業により低地が嵩上げされ、商工業用地あるいは住宅地として供された場所では、通常の手段での調査は不可能となる。このような地層の消失と調査難度の増大を考慮すると、津波堆積物、特に海岸低地に分布するものだけに頼った履歴解明には限界があり、津波起源の侵食地形 (例えば Sawai et al., 2023) のような他の地質学的証拠も対象に含めて調査を展開する必要があるだろう。

文献

- 阿部 壽・菅野喜貞・千釜 章, 1990, 仙台平野における貞観 11 年 (869 年) 三陸津波の痕跡高の推定. 地震 第 2 輯 43, 513-525.
- 今泉俊文・石山達也・原口 強・宮内崇裕・後藤秀昭・島崎邦彦, 2008, 東北地方太平洋沿岸域における地質調査. 宮城県沖地震における重点的調査観測 (平成 19 年度) 成果報告書, 文部科学省研究開発局, 107-132.
- 今井健太郎・前田拓人・飯沼卓史・蝦名裕一・菅原大助・今村文彦・平川 新, 2015, 組み合わせ最適化手法を利用した歴史津波の波源推定法－1611 年慶長奥州地震の事例－. 東北地域災害科学研究, 51, 139-144.
- Ishimura, D., 2017, Re-examination of the age of historical and paleo-tsunami deposits at Koyadori on the Sanriku Coast, Northeast Japan. *Geoscience Letters* 4, 11.
- Ishimura, D., Ishizawa, T., Yamada, M., Aoki, K., Sato, K., 2022, Washover deposits related to tsunami and storm surge along the north coast of the Shimokita Peninsula in northern Japan. *Progress in Earth and Planetary Science* 9:69.
- Ishizawa, T., Goto, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Sawada, C., Nishimura, Y., Sugawara, D., 2017, Sequential radiocarbon measurement of bulk peat for high-precision dating of tsunami deposits. *Quaternary Geochronology* 41, 202-210.
- Ishizawa, T., Goto, K., Nishimura, Y., Miyairi, Y., Sawada, C., Yokoyama, Y., 2022, Paleotsunami history along the northern Japan trench based on sequential dating of the continuous geological record potentially inundated only by large tsunamis. *Quaternary Science Reviews*, 279, 107381.
- Masuda, H., Sugawara, D., Abe, T., Goto, K., 2022, To what extent tsunami source information can be extracted from tsunami deposits? Implications from the 2011 Tohoku-oki tsunami deposits and sediment transport simulations. *Progress in Earth and Planetary Science*, 9, 65.
- 松本秀明・熊谷真樹・吉田真幸, 2013, 仙台平野中部にみられる弥生時代の津波堆積物. 人間情報学研究 18, 79-94.

- Minoura, K., Nakaya, S., 1991, Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan. *Journal of Geology* 99, 265-287.
- Minoura, K., Imamura, F., Sugawara, D., Kono, Y., Iwashita, T., 2001, The 869 Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan. *Journal of Natural Disaster Science* 23 (2), 83-88.
- 西村裕一・高清水康博・岩城昂平・石澤堯史・菅原大助・横山祐典・宮入陽介, 2023, 北海道胆振地方東部の厚真町に分布する 1611 年慶長奥州地震津波の堆積物. 日本地球惑星科学連合講演要旨.
- 斎野裕彦, 2013, 仙台平野の弥生時代・平安時代の津波痕跡. *宮城考古学* 15, 61-80.
- 佐竹健治・行谷佑一・山木 滋, 2008, 石巻・仙台平野における 869 年貞観津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, 8, 71-89.
- 澤井祐紀・穴倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・AUNG Than Tin・小松原純子・藤井雄士郎・藤原 治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝, 2007, ハンディジオスライサーを用いた宮城県仙台平野（仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町）における古津波痕跡調査. 活断層・古地震研究報告 7, 47-80.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K., Shishikura, M., 2012, Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophysical Research Letters* 39, L21309.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Tamura, T., Nakashima, R., Tanigawa, K., 2015, Shorter intervals between great earthquakes near Sendai: scour ponds and a sand layer attributable to A.D. 1454 overwash. *Geophysical Research Letters* 42, 4795-4800.
- 澤井祐紀, 2017, 東北地方太平洋側における古津波堆積物の研究. *地質学雑誌*, 123 (10), 819-830.
- Sawai, Y., Tamura, T., Shimada, Y., Tanigawa, K., 2023, Scour ponds from unusually large tsunamis on a beach-ridge plain in eastern Hokkaido, Japan. *Scientific Reports* 13: 3064.
- 穴倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・AUNG Than Tin・石山達也・藤原 治・藤野滋弘, 2007, 石巻平野における津波堆積物の分布と年代. 活断層・古地震研究報告 7, 31-46.
- 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治, 2011, 地質学的データを用いた西暦 869 年貞観地震津波の復元について. *自然災害科学*, 29, 501-516.
- Sugawara, D., Goto, K., Jaffe, B.E., 2014, Numerical models of tsunami sediment transport – Current understanding and future directions. *Marine Geology*, 352, 295-320.
- Sugawara, D., 2017, The geological record of tsunamis in the Anthropocene, In: Yasuda, Y., Hudson, M.J., eds., *Multidisciplinary Studies of the Environment and Civilization: Japanese Perspectives*, Routledge, New York, 43-56, 2017.
- Sugawara, D., Yu, N.T., Yen, J.Y., 2019, Estimating a tsunami source by sediment transport modeling: A primary attempt on a historical/1867 normal-faulting tsunami in Northern Taiwan. *Journal of Geophysical Research Earth Surface* 124, 1675-1700.
- 高田圭太・穴倉正展・今井健太郎・蝦名裕一・後藤和久・越谷 信・山本英和・五十嵐厚夫・市原季彦・木下博久・池田哲哉・岩手県県土整備部河川課, 2016, 岩手県沿岸における津波堆積物の分布とその年代. 活断層・古地震研究報告 16, 1-52.
- Takeda, H., Goto, K., Goff, J., Matsumoto, H., Sugawara, D., 2018, Could tsunami risk be under-estimated using core-based reconstructions? Lessons from Ground Penetrating Radar: GPR - a key first step for palaeotsunami research. *Earth Surface Processes and Landforms* 43 (4), 808-816.
- Tetsuka, H., Goto, K., Ebina, Y., Sugawara, D., Ishizawa, T., 2020, Historical and geological evidence of the 17th-century tsunami(s) along Kuril and Japan trenches: implications to the source of the AD 1611 Keicho earthquake and tsunami. *Geological Society of London, Special Publication* 501.
- 渡邊隆広・細田憲弘・土谷範芳・中村俊夫・平野伸夫・岡本 敦・奈良郁子・東北大学歴史津波調査グループ, 2014, 仙台平野における歴史津波堆積物の放射性炭素年代測定. *地学雑誌* 123 (6), 904-922.