

機関番号：82626

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540450

研究課題名（和文） 地中レーダーを用いた巨大津波痕跡のイメージング技術の開発

研究課題名（英文） The development of megatsunami-trace imaging technique for ground penetrating radar systems

研究代表者

七山 太 (NANAYAMA HUTOSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：20357685

研究成果の概要（和文）：1998 年以来行われてきた北海道東部太平洋沿岸の巨大津波痕跡研究において、未だ不明確であった根室地域において、2008 年 6 月、根室市西尾建設（株）の協力を得て、根室市南部沼中央の沿岸低地でメガトレンチを掘削し、過去 5500 年間に堆積した泥炭層中に 16 層の巨大津波堆積物の層序が確認された。翌 2009 年 11 月、第一産業（株）の協力を得て、南部沼西部、桂木採石場において、幅 100m にも達するメガトレンチ断面における巨大津波堆積物の側方層相変化を観察することが出来た。2010 年 11 月、我々はこれら 2 つのメガトレンチの側壁上面に地中レーダー探査測線を設定し、巨大津波堆積物の側方層相変化をイメージングすることを試み、その実用性を検討した。今回の GPR 探査には Sensors & Software 社の pulseEKK0100 (200 MHz アンテナ) と Noggin 250MHz を併用して行った。この際、観測点間隔は pulseEKK0100 が 0.25m, Noggin 250MHz が 0.05m とした。探査深度は湿原環境の場合約 6～8m 以浅と限定されたが、記録の解像度は 15-20cm と高く層相のイメージは可能となった。

研究成果の概要（英文）：Ground penetrating radar (GPR) is a geophysical profiling method based on propagation and reflection of electromagnetic waves. This method is recently used for geomorphological and geological survey under the marsh, because it is effective for the imaging of the shallow underground less than 10 m depth. In June 2008, the mega-trench excavated in the central part of Nanbuto marsh with the cooperation of Nishio (Construction Ltd.) in Nemuro, then we identified huge erosional surfaces with peat clasts and 16 layers of giant tsunami deposits in the peat bed was deposited on the past since 5500 years BP and tsunami stratigraphy was confirmed here. In November 2009, we observed lateral facies variation of giant tsunami deposits on the mega-trench wall (100m width) of Katsuragi quarry in the southwestern part of Nanbuto lowland with the cooperation of Daiichisangyo (Construction Ltd.). In November 2010, we set the ground penetrating radar survey lines on the top of mega-trench walls and tried to image the lateral sedimentary facies change of giant tsunami deposits. In this exploration, we used two GPR systems, pulseEKK0100 (200 MHz) and Noggin 250MHz produced by Sensors & Software Inc. The interval of observation of pulseEKK0100 was 0.25 m and its Noggin 250MHz was 0.05m, and the exploration depth was shallower than about 6 to 8 m but we got high-resolution images (15-20cm). In our presentation, we show experimental imaging of sedimentary facies under the Nanbuto marsh in Nemuro lowland using our GPR method, and also we show GPR imaging is a good method to identify giant tsunami traces under the marsh.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：地質学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学（4404）

キーワード：地中レーダー、巨大津波、津波痕跡、イメージング技術、湿原、千島海溝

1. 研究開始当初の背景

2004年12月26日に起こったインド洋大津波による被災後、研究者によって、インド洋沿岸で生じた大規模な沿岸浸食や低地への土砂移動の状況が詳細に報告されている。一方、2005年8月のハリケーンカトリーナによる暴浪災害により、メキシコ湾岸のバリア島では、この際、大規模な沿岸浸食や越流扇状地堆積物が生じたことが報告されている。更に、沿岸堆積物中に保存されている大規模波動の痕跡（浸食面やイベント堆積物）から、津波や大規模なハリケーンの発生間隔について評価した研究が、世界各地において知られている。

我々の研究グループでは、1998年以来、北海道東部太平洋沿岸を襲った巨大津波痕跡研究を継続して行ってきた。この地は高緯度に位置し、台風の影響は少ない、逆に本邦屈指の地震発生域である千島海溝に面し、過去の津波による沿岸浸食やイベント堆積物の研究を行う上では我が国屈指の地域と言える。政府の中央防災会議においても取り上げられた17世紀の巨大津波痕跡は湿原の泥炭層中に大規模浸食面とこれを被う津波堆積物として保存されている。我々はこれらの津波痕跡をボーリングを用いて採取して堆積学的に詳細に検討し、現在の海岸線から3km以上に渡って泥炭層中に砂層として連続的に分布することを示した。霧多布湿原の泥炭層（最大層厚3.0m）中には、この17世紀のものを含め500周期で発生した過去4000年間9層の巨大津波堆積物（層厚1-67cm）、更に1843年および1952年十勝沖地震津波および1960年チリ地震津波による薄いイベント堆積物（層厚1-10cm）が存在することが判明している。但し、この種の広域かつ大規模掘削調査には、十分な人員と潤沢な研究資金、用地の確保が必要なことが最大の問題点といえる。一方、霧多布湿原を含めた日本の湿原は、ラムサール条約などの自然環境保全の観点から、現在その多くが保護されており大規模改変は認められにくいという現状がある。

この研究計画において我々が巨大津波痕跡イメージングに使用する地中レーダー（以下GPR）は、電波の地層からの反射を利用して地下構造を明らかにする物理探査装置である。電波の反射は堆積物の密度、粒度、重鉱物組成、含水率などを反映した電気的特性（特に誘電率）に依存するため、この探査手法は、1980年代後半以来、欧米では地層の可視化に使用されはじめていた。特にGPR記

録上の反射面は等時間面として捕らえられ、これを用いて過去の地形変化を2次元もしくは3次的に追跡することが可能である。更に、GPR記録と掘削データの併用により堆積環境や年代値と合わせた時系列解析が可能となる。我々はGPRを用いた海浜堆積物可視化実験を産総研・内部競争的予算を用いて千葉県九十九里浜低地で実施し、この探査手法をほぼ確立している。

2. 研究の目的

津波や暴浪による土砂移動研究は、従来は海岸土木工学分野の研究テーマと認識され、地質系研究者にとっては未知の領域であった。しかし2004年インド洋大津波や2005年ハリケーンカトリーナによる大規模な沿岸土砂移動発生以降、堆積学的手法を用いた大規模災害の発生周期と規模の見積りに関する研究報告が国際学会等においても活発に多数行われてきている。但し、従来、この種の研究には多額の工事費用や人件費が掛かり、少人数での研究は実質不可能であった。

従来の津波痕跡調査は、トレンチあるいはボーリング等の掘削手法が主体であり、正確な地質学的情報は得られるものの“点”情報であるため、津波痕跡の空間的広がりに関する情報を正確に得ることが困難であった。本探査手法の開発と従来の掘削手法との融合化により、津波痕跡の空間的分布を2次元あるいは3次的に正確に把握でき、これにより、現地調査の効率化とその精度の向上が期待できる。反射面強度からは粒度等の堆積学的情報が得られる可能性もある。

我々が提案するGPR探査手法が確立されれば、①少人数で、②最小限の掘削工事で、③簡便・短時間に、かつ④広域に、探査が行えるようになるであろう。特に、GPRは構造がシンプルで、安価かつ操作が簡便であり、将来、我々の提案する探査手法を発展途上国に技術移転することが可能と考える。

3. 研究の方法

(1) メガトレンチ掘削と堆積学的解析

GPR探査実験を行うためのトレンチ壁面の掘削は根室市内の建設業者に発注しておこなった。観察と記載は以下の手順で行った。①友知海岸から457m内陸側に位置する西尾メガトレンチ（長さ50m、幅20m、深さ5m）、445m内陸側に位置する桂木メガトレンチ東壁面（長さ100m、深さ8m）の連続観察を行った。

②メガトレンチ東壁上端の地形面において、

GPS とレベルを用いた地形測量を実施した。
③地形変換点毎に cm オーダーの堆積柱状図を作成し、既存のテフラ層序に基づき、詳細に津波痕跡層序とその堆積相を対比した。
④代表的な産状を示す堆積相の部分で大はぎ取りと Lunch Box 法による定方位試料採取を行い、軟 X 線写真観察を行った。

(2) GPR 探査手順

GPR 探査実験には、我々が所有する Sensors & Software 社の pulseEKK0100 (100 MHz, 200 MHz アンテナ; アンシールド型) と民間会社所有の Noggin 250MHz (シールド型) を併用して行った。この際、観測点間隔は pulseEKK0100 が 0.25 m, Noggin 250MHz が 0.05m である。堆積層の電磁波速度は Common mid-point (CMP) 観測結果から計算で求めた。GPR 記録の地形補正を行うための標高値を、VRS-RTK 測量によって得た。

4. 研究成果

(1) 湿原環境における GPR 探査実験

2008 年の 11 月の湿原表面が乾燥した時期を狙って、根室市南部沼と浜中町霧多布湿原において探査実験を試みた。根室市南部沼において 4 測線と浜中町霧多布湿原において 2 測線の探査実験を試みた。測線長は 50~400 m で、その結果、100 MHz, 200 MHz では 6~7m 程度のイメージングが出来、現在の湿原表面を覆う泥炭層 (層厚 1~3m)、を詳細に読み取ることができた。さらに、泥炭層を透過し地表から下位の前浜~上部外浜堆積物の堆積構造のイメージングに成功した。これにより、汀線の後退によって湿原環境が広がっていった過程が明確に読み取れた。

泥炭層相当層の内部には、複数の反射面が認められる。この反射面はしばしばチャネル状の浸食面の形状を示す場合もある。一般に泥炭層は空隙が多く、含水率が高いものの、比較的均質であり、物性的に見て反射面が生じにくいと考えられる。これらの事実から、泥炭層相当層内の反射面は、泥炭と津波堆積物 (もしくは火山灰層?) の物質境界で生じた反射面と考えられ、GPR イメージングでの津波イベント抽出が可能であることを示唆している。この非破壊イメージングによる手法は、従来のような重機を用いた掘削手法よりもコストがかからず、湿原にもダメージを与えないことは重要であろう。

一般に GPR 記録の深度方向の分解能は地層内の伝搬速度によって規定され、湿潤砂では 100MHz で 27-34 cm, 200MHz では 13.5-17 cm が基準値である。泥炭層では、湿潤砂とほぼ同じ数値を示す。これによって、湿原地下の津波堆積物の 10~20cm オーダーでのイメージングが可能であることが確認された。

(2) メガトレンチの掘削

2008 年 6 月、根室市の西尾建設 (株) の協力を得て、根室市南部沼に長さ 50m, 幅 20m, 深さ 5m のメガトレンチを掘削し、泥炭層下位の津波堆積物の産状を露頭オーダーで記載した。これにより、従来のピートサンプラーを用いた断片的な調査ではわかり得ない様々な事実が判明した。

西尾メガトレンチにおいて、最も厚いところで約 2.2m の泥炭層が発達し、泥炭層中に 6 層の火山灰と 12 層の砂層を確認することが出来た。火山灰は主にシルト~細礫サイズであり、肉眼観察と周辺地域の既存火山灰層序研究から、Ta-a (1739 年樽前火山起源), Ko-c2 (1694 年北海道駒ヶ岳火山起源), Ma-b (10 世紀摩周起源), B-Tm (10 世紀白頭山起源), Ta-c2 (ca. 2.5-2.7 ka 樽前火山起源), Ma-d (ca. 3.6-3.8 ka 摩周火山起源) と推定された。砂層 (NS1~12) は主に淘汰の良い細粒砂からなり、一部に径 2~3mm の礫を含む。これらの層厚は数 cm から数 10cm から海側に向かって増大し、最大で 185cm に達し海浜相に遷移する。

堆積学的検討の結果、津波堆積物中に流向と流速を示すベッドフォーム (リップル, デューン, プレーンベッド, アンティデューン等) が観察され、トラクションによる砂粒子の運搬が示唆された。また、これらの砂層の基底は明瞭な浸食面であり、かつ砂層中に泥炭偽礫が伴われる。また、砂層の上位にコンポリューション等の脱水構造が認められることから、含水率が高い状況での急激な砂粒子の堆積が推定された。

2009 年 11 月、第一産業 (株) の協力を得て、南部沼西部、桂木採石場において、再び大規模な湿原断面 (桂木メガトレンチ) を観察する機会を得た。ここでは世界的に見ても他では例を見ない幅 100m のメガトレンチ断面における巨大津波堆積物の側方層相変化を観察することが出来た (図 1)。

巨大トレンチ東壁の基底は標高 -2m であり、基盤の根室層群を貝殻遺骸混じりの海進礫層が覆っている。その上位に外浜~海浜相の砂層が覆い、その上位に約 2.2m の泥炭が発達していた。この泥炭中に 6 層の火山灰と 14 層の津波堆積物 (NS1-14) を確認することが出来た。さらに、その下位に 2 層の泥炭質砂層に挟まれたイベント砂層が確認されたが、これらの分布範囲は当時の浜堤から 20m 以内の為、津波痕跡との認定は現状では難しい。火山灰は、Ta-a (1739 年樽前山起源), Ko-c2 (1694 年駒ヶ岳起源), Ma-b (10 世紀摩周起源), Ta-c (ca. 2.5-2.7 ka), Ma-d (ca. 3.6-3.8 ka) とそれぞれ同定された。

この壁面で観察される津波堆積物は主に淘汰の良い細粒砂からなり、明らかに近傍の友知海岸の海浜からもたらされたものである。このトレンチ壁面においては、海側へ向かって砂層の厚さは明確に変化し、例えば NS13 の層厚は陸から海に向かって 9cm から 90cm の 10 倍に増加することが連続的に観察できた。津波堆積物内に認められるベッドフォームも層厚変化と連動して変化している。一方、NS14 層準では、津波堆積物と土石流堆積物の指交関係を確認することができた。土石流堆積物の存在は地震の揺れを示す直接的な証拠であり、このような情報の蓄積がこの地域に今後に残された重要な研究課題と考えている。

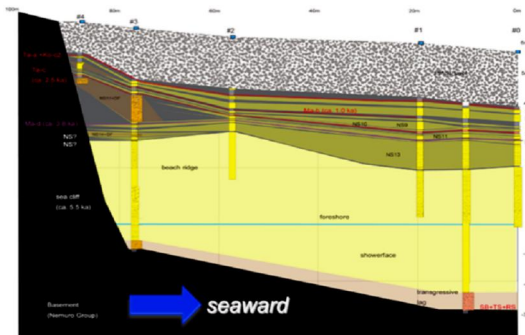


図1. 桂木メガトレンチ東壁層序。

(3) トレンチ壁面を用いた GPR 探査実験

2008年10月、2009年11月、2010年11月に、我々はこれら2つのメガトレンチの側壁上面に地中レーダー探査測線を設定し、巨大津波堆積物の側方層相変化をイメージングすることを試み、その実用性を検証した。この実験には高解像度の記録を得るため、pulseEKK0100 (200MHz)、Noggin 250MHz を併用して実施した。

西尾メガトレンチ東壁断面を利用して、湿原上面からの GPR イメージを試みた。後者の記録の透過深度は Noggin 250MHz で 5m、pulseEKK0100 (200MHz) では 8m であった。これらの記録では NS11 層が明瞭に追跡できた。また、大規模な侵食面およびそれを覆う泥炭クラストのイメージングが出来た。

桂木メガトレンチ東壁断面を利用して、湿原上面と NS13 上位のテラス面からの GPR イメージを試み両者を比較した。後者の記録の透過深度は Noggin 250MHz で 5m であった。pulseEKK0100 (200MHz) では 8m に達し、目標の海進面まで到達した (図 2. pulseEKK0100 (200MHz)、下は Noggin 250MHz の記録)。特に後者では 10~20cm オーダーで NS13 層下位の前浜相の堆積構造が明瞭に解析できた。この記録には土石流堆積物の存在を示唆する音波散乱も認められる。NS13 層の上下境界も明確に捕えられており、連続的に追跡できている。よって厚層の津波堆積物

の検出はこの種の GPR 探査で十分可能であることを証明できた。湿原上面からとった記録は後者ほど鮮明ではないが、前浜相の堆積構造は解読できた。泥炭層中の多数の反射面は津波堆積物とテフラ層準に対比可能ではあるが、現状のシステムでは、これ以上の解像度は望めない。

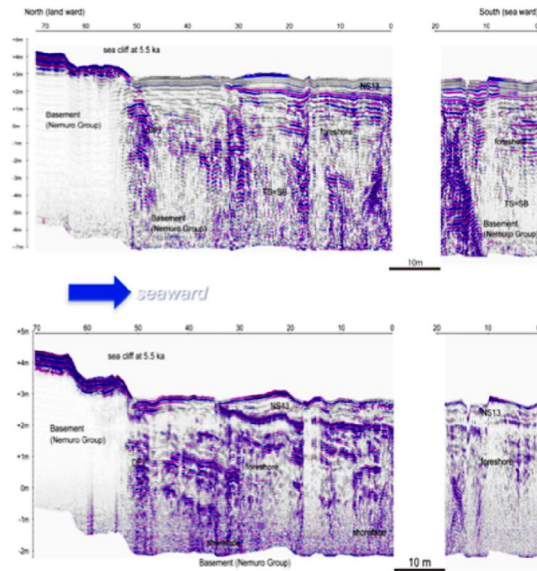


図2. 桂木メガトレンチ東壁のGPRイメージ。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 32 件)

- ① Ishikawa, S., Kashima, K. and Nanayama, F., 2011, Diatom Assemblages Changes and their Relations to Tsunami Events at Lake Harutori, Eastern Hokkaido, Japan. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 32, 226-229. 査読有
- ② Nanayama, F., Shigeno, K., Shitaoka, N. and Furukawa, R., 2011, Geological study of Unusual Tsunami Deposits in the Kuril Subduction Zone for Mitigation of Tsunami Disasters. The Tsunami Threat - Research and Technology, INTECH, 283-298. 査読有
- ③ 七山 太・長友 恒人・下岡 順直・須崎 憲一・古川 竜太・重野 聖之・石井 正之・猪熊 樹人・北沢 俊幸・中川 充, 2009, ルミネッセンス法を用いた津波堆積物の年代測定を試み：北海道東部，根室沿岸低地の試料を例として。地質学雑誌, 115, 249-260. 査読有
- ④ Tamura, T., Murakami, F., Nanayama, F., Watanabe, K. F., and Saito, Y., 2008, Ground-penetrating radar profiles of Holocene raised-beach deposits in the Kujukuri strand plain, Pacific coast of eastern Japan. Marine Geology, 248, 11-27.

査読有

⑤ Nanayama, F., 2008, Sedimentary characteristics and depositional processes of onshore tsunami deposits: An example of sedimentation associated with the July 12, 1993 Hokkaido-Nansei-oki earthquake tsunami. In Shiki, T. ed., Tsunamiites - Features and Implications, Series title: Developments in Sedimentology, Elsevier Science BV, 63-80. 査読有

⑥ Nanayama, F., Inokuma, S., Furukawa, R., Shigeno, K., Kitazawa, T. and Nakagawa, M., 2008, Stratigraphy of large tsunami traces in Nemuro coastal area along the Kuril subduction zone. In Wallendorf, L. et al. ed., Solutions to Coastal Disasters 2008 tsunamis (Proceedings of sessions of the conference), Published by the American Society of Civil Engineers, ISBN 978-0-7844-0978-7, 224-234. 査読有

⑦ Satake, K., Nanayama, F. and Yamaki, S., 2008, Fault models of unusual tsunami in the 17th century along the Kuril trench. Earth Planets and Space, 60, 925-935. 査読有

⑧ 村上 文敏・田村 亨・七山 太・斎藤 文紀・渡辺 和明, 2008, 地中レーダを用いた海浜平野研究への応用. 地質ニュース, no. 642, 13-18. 査読無

⑨ 重野 聖之・七山 太・村上 文敏・熊崎 農夫博・堤 康夫・桂川 実・古川 竜太・中川 充, 2008, 地中レーダを用いた湖底津波堆積物のイメージング探査実験. 地質ニュース, no. 642, 34-39. 査読無

[学会発表] (計 48 件)

① 七山 太・古川 竜太・重野 聖之・石川 智・渡辺 和明・吉川 秀樹・猪熊 樹人, 2010 年 9 月 19 日, メガトレンチ壁面で観察された巨大津波堆積物の側方層相変化. 日本地質学会第 117 年学術大会富山大会, 富山大学.

② 七山 太・渡辺 和明・吉川 秀樹・石川 智・重野 聖之・佐藤 真太郎・猪熊 樹人, 2010 年 5 月 25 日, 地中レーダーを用いた湿原地下非破壊イメージング実験. 日本地球惑星科学連合 2010 年合同大会, 幕張メッセ国際会議場.

③ 七山 太, 2010 年 5 月 25 日, 北海道東部沿岸地域に認められる完新世バリアシステムの特殊性. 日本地球惑星科学連合 2010 年合同大会, 幕張メッセ国際会議場.

④ 七山 太・村上 文敏・渡辺 和明・吉川 秀樹・石川 智・重野 聖之・猪熊 樹人・佐藤 真太郎・池田保夫, 2009 年 9 月 5 日, GPR を用いた湿原地下非破壊イメージング実験. 日本地質学会第 116 年学術大会岡山大会, 岡

山大学.

⑤ Nanayama, F., 2009 年 9 月 2 日, Sedimentology of unusual tsunami deposits in Nemuro lowland along the Kuril subduction zone: using for disaster mitigation. CCOP 2009 GeoCoast International Workshop, KIGAM.

⑥ Nanayama, F., 2009 年 5 月 20 日, A mega-trench survey of huge tsunami traces in Nemuro lowland, eastern Hokkaido. 2009 JpGU Annual Meeting, 幕張メッセ国際会議場.

⑦ Nanayama, F., Shigeno, K., Ishii, M., Shitaoka, N., Furukawa, R., Nishio, K., Takano, K., Inokuma, S., 2008 年 12 月 19 日, A mega-trench survey of huge tsunami traces in Nemuro lowland along the Kuril subduction zone. 2008 AGU Fall Meeting, San Francisco Moscone Center.

⑧ Nanayama, F., Inokuma, S., Furukawa, R., Shigeno, K., Kitazawa, T., Nakagawa, M., 2008 年 4 月 15 日, Stratigraphy of large tsunami traces in Nemuro coastal area along the Kuril subduction zone. Solutions to coastal disasters conference 2008, ASCE, Turtle Bay Resort.

[図書] (計 2 件)

① 七山 太, 他, 2010, 日本列島ジオサイト地質百選 II, オーム社, 208 頁.

② 七山 太, 他, 2010, 日本地方地質誌 北海道地方, 朝倉書店, 631 頁.

[その他]

(1) アウトリーチ活動

① 重野 聖之・高井 文子・石井 正之・中川 充・七山 太・吉川 秀樹, 2010 年 11 月 7 日, “地質の日” 企画, 浜中誕生のひみつ! 発見ジオツアー〜日本地質百選・霧多布湿原〜.

② 七山 太・中川 充・池田 保夫・高野 建治・猪熊 樹人, 2009 年 7 月 18 日, “地質の日” 企画, 根室市民フォーラム “道東の自然と科学教育を考える”.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

七山 太 (NANAYAMA FUTOSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号: 20357685

(2) 研究分担者

村上 文敏 (MURAKAMI FUMITOSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号: 80358150