

新潟市竹野町地域の角田・弥彦断層の活動度評価

Activity of the Kakuda-Yahiko fault in the Echigo Plain, Takenomachi area, Niigata, central Japan

ト部厚志¹・宮地良典²・稲崎富士²・楳原京子³

Atsushi Urabe¹, Yoshinori Miyachi², Tomio Inazaki² and Kyoko Kagohara²

¹ 新潟大学災害復興科学センター (Niigata University, Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery)

² 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

³ 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center)

Abstract: The western margin fault zone of the Nagaoka Plain is distributed from Ojiya City to the offshore of Niigata City. The fault of western margin in Echigo Plain is a fault zone which constitutes the margin in sedimentary basin. Activities such as displacement form and the latest active time in the Holocene of the western margin division of the Echigo Plain are not clarified. We obtained and analyzed sedimentary facies analysis of two core samples, tremor array measurement and shallow-layer reflection survey for the purpose of clarifying distribution and displacement of the fault in the Takenomachi area of Niigata city. Deformation and flexure zone in the alluvium were confirmed from the shallow-layer reflection survey. By the sedimentary facies analysis of the two cores, the displacement of the alluvium base level can be estimated to be about 70 m. The mean vertical-slip rate of the fault of this region is estimated 1.8 to 2.0 mm/yr based on the vertical-offsets of the 7.2 cal kyr BP upper surface of the estuary environment and facies correlation.

Keywords: active fault, sedimentary facies, seismic reflection survey, Holocene, Echigo Plain

要 旨

長岡平野西縁断層帯は、新潟県の小千谷市から新潟市の沖合にいたる約 83 km の断層帯である。この北部セグメントに相当する角田・弥彦断層は、第四紀の堆積盆地の縁辺を構成する断層帯であるとされている。しかし、完新世における断層運動の実態や最新の活動時期などの活動履歴は明らかになっていない。

このため、新潟市竹野町地域における断層の活動履歴の解明を目的として、伏在断層が予測される地域において微動アレイ探査や S 波浅層反射法弾性波探査を行い、探査測線上の 2 か所でオールコアボーリングを行った。この結果、反射法弾性波探査から沖積層の変形・撓曲帯が確認でき、変形・撓曲帯をはさんで掘削した 2 つのコア試料の沖積層の堆積相、地質年代等の解析から、沖積層の基底の差異が 70 m 程度であることが推定できた。また、約 7200 年前の最大海進期の汽水環境の上面高度を比較や同時間・同堆積環境での堆積面の推定変位量から、角田・弥彦断層の竹野町地域での平均上下変位速度は少なくとも 1.8~2.0 mm/yr 程度であることが明らかとなった。

1. はじめに

「沿岸域の地質・活断層調査」では、平成 20 年度から 2 年間で越後平野の地下層序と地質構造を明らかにすることとして、平成 20 年度は既存ボーリング資料の収集と平野西縁に位置する断層近傍の浅層地質の検討のためボーリング調査を実施した。平成 21 年度は、この結果を受けてより詳細に断層近傍の浅層地質を検討するため、新潟市西部の海岸部、信濃川河口部、西縁部と南西部の竹野町地域においてボーリング調査を、また、これらのボーリングに関連して複数の測線を設定し、浅層反射法弾性波探査を実施した。ここでは、新潟市竹野町・前田地域で実施した調査について概要をまとめたものである。

2. 既存研究

越後平野は、新潟県の中央部に位置する沖積平野である。地震調査研究推進本部 (2004) は、小千谷市から新潟市の沖合にいたる平野西縁部に分布する総延長 83 km の断層を一つの起震断層として、これを長岡平野西縁断層帯と呼んでいる。この断層帯の北部は、角田・弥彦断層 (仲川, 1985)、越後平野西縁断層帯 (小林, 1996)、角田山東縁断層 (池田ほか, 2002) あるいは長岡平野西縁断層帯の弥彦活動セグ

メント（吉岡，2005）と呼ばれている。

越後平野西縁は、地質構造の発達過程から見た場合、新第三紀から第四紀の堆積盆地の西縁を構成する断層帯であり（小林，1996；新潟県地質図改定委員会，2000 など），確実に本断層帯が活動したことを示す歴史地震は知られていないが，完新世においても地震活動が繰り返されてきたものと考えられる。また，地震調査研究推進本部（2004）による長岡平野西縁断層帯の活動評価では，南部の鳥越断層（渡辺ほか，2000，2001）を除いて活動履歴に関する資料が得られていない。長岡平野西縁断層帯全体の活動性やセグメンテーションを理解する上でも，越後平野西縁は，完新世における構造運動の実態や沖積層に伏在する断層の性質などを明らかにする必要性が高い地域である。

越後平野西縁について，加野ほか（1999）は P 波反射法弾性波探査（発振点間隔：5 m（標準），受振点間隔：10 m）を行い，沖積層の基盤に約 50 m の落差があることを指摘した。また，稲崎・加野（1999）は，新潟市松野尾地域（第 1 図）において発振点間隔を 0.5 m，受振点間隔を 1 m としたランドストリーマーによる S 波反射法弾性波探査を行い，沖積層浅部の撓曲構造を確認した。卜部ほか（2007）は，稲崎・加野（1999）が見出した撓曲構造の北東方向の延長部において，発振・受振点間隔を 2 m とした P 波による反射法弾性波探査を行い，沖積層における断層変位の分布や形態などを明らかにした。楳原ほか（2010）や稲崎ほか（2010）は，松野尾地域や赤塚地域において，P 波反射法弾性波探査や S 波反射法弾性波探査を行い，沖積層の撓曲構造や変位構造をみいだした。また，宮地ほか（2009）は，断層を横断する赤塚－金巻新田地域のボーリングコアの解析から断層帯の平均上下変位速度を 3.5～4.0 mm/yr であると見積もっている。

これらの地域の南部に位置する新潟市竹野町地域では，下川ほか（1997，2000）は巻地区（巻 GS コア）と竹野町地区（竹野町 GS コア）での沖積層浅層部のボーリング調査に基づいて，また，石山ほか（2009）は，この結果に加えて新潟市前田地区などの沖積層のボーリングコアによる解析から，断層の変位を指摘している。しかし，これらの検討では竹野町 GS コア（第 1 図）を断層帯の上盤に近い位置としているが，新潟市竹野町・前田地域の地形や丘陵部の地質構造からみると，竹野町 GS コアより西側が断層帯の上盤側であるものと考えられる（第 1 図）。このため，竹野町 GS コアより西側地域での検討やより深い深度までの検討，活動履歴の詳細の把握などの検討が必要である。

3. 方法

本調査では，既存の竹野町 GS コアの西側で断層

帯（断層変形帯）の上盤側に位置する地点と下盤側の地点の沖積層の詳細な対比を行うことを目的として，まず，浅層部を対象とした微動アレイ探査によって沖積層の基底の深度分布の概要を把握して，ボーリング地点と反射法弾性波探査測線の設定を行った。

微動アレイ探査は，深度 100 m 程度までの地盤構造を明らかにする目的で，林（2004）や林ほか（2006）などによる L 字型に受振器を配置する方法で実施した。測定に用いた受振器は固有周波数 2 Hz の上下動地震計で，12 m 間隔で L 字型に 12 個（チャンネル）配置し，1 地点あたりサンプリング間隔 2 msec，サンプル数 16,384 のデータを 30 回測定した。

ボーリング調査は，上盤側に相当する新潟市竹野町（WGS84:N37°46'15"，E138°52'10"，標高 +7.14 m，掘進長 30 m：GS-NTN-1（以下 NTN コア））と下盤側に相当する新潟市前田（WGS84:N37°46'7"，E138°52'37"，標高 +4.0 m，掘進長 70 m：GS-NMD-1（以下 NMD コア））の 2 地点で行い，物理検層を実施した（第 1 図）。両コアは，宮地ほか（2009）と同様な手法で堆積相解析（記載，軟 X 線写真，はぎとり作成など），湿潤かさ密度測定（第 5 図），放射性炭素年代測定（第 1 表）を実施した。

反射法弾性波探査は，地形解析から断層帯の推定される分布と NTN コアと NMD コアの掘削地点を考慮して 2 つの測線を設定し，ランドストリーマーを用いた高分解能浅層反射法探査を適用することで，断層の浅部変形構造の詳細イメージングを目的として実施した（第 2 表）。

4. 微動探査アレイによる基盤深度分布

新潟市竹野町地域と前田地域において，伏在断層が推定される丘陵部から平野部の 15 地点において探査を行った（第 2，3 図）。取得したデータは，林ほか（2006）に示されている標準的な解析方法によって，地点ごとに地下 100 m 程度までの S 波速度構造モデルを明らかにした。また，一般に沖積層の S 波速度は 300～400 m/s であるとされているが，L 字型の小規模微動アレイ探査では深度 50 m より深部の S 波速度の決定精度がやや低いため，深部の S 波速度は低めとなる可能性が指摘されている（林ほか，2006）。このため，S 波速度が 250～300 m/s を示す深度を沖積層の基底と仮定して，全体の速度構造の変化から沖積層の基底深度を推定した。

地点①と地点②は，上盤側の支谷部分に位置する。地点①と地点②では，S 波速度が 150 m/s 付近と 250 m/s 付近で変化する。次に述べる地点③と地点④の速度構造を参考とするとこの地点付近の沖積層表層部の S 波速度は非常に遅いことが想定できるため，150 m/s の速度構造の変換点を参考として沖積層の基底深度と推定し，地点①は約 30 m，地点②は約 30 m を沖積層の基底深度と推定した。地点③と地点④は，

基盤から構成される丘陵部の縁辺部に位置し、比較的浅層部分でS波速度が増加している。よって、地点③は約10m、地点④は約8mを沖積層の基底深度と推定した。地点⑤と地点⑥は、丘陵と低地部の境界付近に位置する。S波速度構造から、地点⑤は速度構造（勾配）の変換点である深度約40mを沖積層の基底とした。地点⑥は丘陵部の縁辺に近い深度約20mを沖積層の規定とした。地点⑦と地点⑧は低地部に位置しており、浅層部分での速度構造の変換点を参考とし、地点⑦と地点⑧は深度約35mを沖積層の基底とした。地点⑨は集落東側の低地で、速度構造からは明瞭な変換点が見えないが、S波速度250m/sを基準として、沖積層の基底を約30mと推定した。地点⑩は、S波速度250m/sで速度構造が大きく異なるため、深度約40mを沖積層の基底とした。地点⑪は深度約25～35mでS波速度が増加するが、約35m以深でS波速度が低下するため、全体の速度構造から約55mを沖積層の基底深度と推定した。地点⑫は、速度構造（勾配）の変換点である深度約50～60mを沖積層の基底とした。地点⑬は明瞭な速度構造の変換点が見えないが、深度約70mの変換点を沖積層の基底と推定した。地点⑭と地点⑮は平野部に位置し、全体の速度構造からそれぞれ約80m、85mを沖積層の基底深度と推定した。

地点①～地点⑮までのS波速度構造から推定される沖積層の基底深度は、丘陵と低地部の境界よりも西側（推定される断層の上盤側）で約20～30m、境界よりも東側約300～400mまでの低地で約50m、低地で約80m以深と推定できる（第4図）。これらの基底深度の推定結果と物理探査の測線の設定条件を加味して、2箇所のボーリング調査地点を設定した。なお、後述のように、微動アレイ探査による基底深度の推定とボーリング掘削結果による基底深度は調和的な結果となっており、S波速度構造から沖積層の基底深度の推定が可能であることが明らかとなった。

5. 堆積相と年代値

上盤側のNTNコアと下盤側のNMDコアの堆積相と年代値についてまとめて記載する（第5図）。上盤側のNTNコアは、丘陵部に位置する東西方向の支谷の中央部で掘削を行い（第1図）、沖積層の基底は深度26.08mであった。なお、両コアの半割時の写真と軟X線写真を付図1、2に示した。

更新統の地層：NTNコアの深度30.0～26.08m

深度26.08mの不整合を介して下位は細粒砂岩の薄層を挟在する泥岩である。これらは、掘削地点付近の丘陵部に露出する竹野町層（白井ほか、1976）であると考えられる。

エスチュアリー堆積物：NTNコアの深度26.08～9.24m；NMDコアの深度70.00～24.00m

NTNコアでは、全体に生物擾乱の発達した砂質シルト層やシルト層を主体として、細粒砂層を挟在する層相からなる。このうち深度26.08～23.36mは砂質シルトを基質として不淘汰な角礫状のシルト礫を非常に多く含む粗粒な層相を示している。これらはほとんどがシルト礫からなり角礫に近い状態であることから、基盤の崩壊を起源とする堆積物であると考えられる。

また、深度21.31～19.05mと深度16.66～15.81mも砂質シルトを基質として不淘汰な角礫状のシルト礫を非常に多く含む粗粒な層相を示しており、崩壊を起源とする堆積物であると考えられる。これらの粗粒堆積物は、生物擾乱の発達した砂質シルト層やシルト層に挟在していることから、エスチュアリーに流入した堆積物であり、約700m離れたNMDコアでは確認できないことから流下距離は短いものと判断できる。

NMDコアでは、下部の深度70.0～53.0mは、トラフ型斜交層理の発達した細～中粒砂層を主体とする。挟在されるやや泥質な部分では生物擾乱が認められることがある。深度53.00～31.11mは、生物擾乱の発達した砂質シルトや極細粒砂層を主体とする。また、層厚60～100cm程度で、生物擾乱がほとんどなく細かい平行葉理の発達したシルト層や極細粒砂層の薄層との互層をなす層相も含まれる。深度31.11～24.00mは、トラフ型斜交層理のみられる中粒砂層や生物擾乱がみられ平行葉理やリップル葉理を伴う細～極細粒砂層からなる。これらの層準は、基本的には生物擾乱が発達することからエスチュアリーの堆積環境を示し、下部や上部のトラフ型斜交層理の発達した細～中粒砂層は湾奥の河口部に発達した湾頭デルタの堆積物であると推定できる。また、植物片が多い層準や生物擾乱が少ない泥質な層準も認められることから、一様な海成の環境ではなく、汽水や淡水に近い堆積環境を含んでいるものと考えられる。これらの層準に含まれる植物片等は、約10～7cal kyr BPの年代値を示す。

氾濫原堆積物：NTNコアの深度9.24～1.36m；NMDコアの深度24.00～1.17m

NTNコアでは、軟弱な砂質シルト層を主体として、非常に軟弱な粘土質シルト層・腐植物層や極細粒砂層の薄層を含む。植物片を多く含み、根痕も認められることからやや閉塞的な氾濫原の層相を示している。現在の地形からみても谷が短く主要な流路は認められないことと調和的な層相である。NMDコアでは、全体に砂質シルトや泥質な極細粒砂層を主体として、下部では腐植物や腐植質な粘土層を挟在している。また、深度10m前後では斜交層理を伴う細～極細粒砂層や細～中粒砂層の互層部が挟在する。これらは、泥質部では植物片を多く含み、根痕も認められることから氾濫原の堆積環境を示しており、NTNコアの同じ層位よりは全体に砂質である。また、深度16.01

～16.00 m には、淡桃色のシルト粒火山灰層が挟在する。この火山灰層は重鉱物組成（角閃石主体）や火山ガラスの形態の特徴から、福島県沼沢火山の沼沢湖噴火を起源とする火山灰層（Nm-NK：山元，1995，2003）に対比できる。これらの層準に含まれる植物片等は、約 7～1 cal kyr BP の年代値を示す。

表土：NTN コアの深度 1.36～0 m；NMD コアの深度 1.17～0 m

両掘削地点は、旧耕作地（田んぼ）を圃場整備した農道であるため、表層は攪乱されている。

6. 両コアの対比と堆積曲線

両コアの層相変化（第 5 図）と得られた年代（第 1 表）から、両コアの対比と堆積曲線による堆積速度の変化について検討した（第 6 図）。全体に年代測定値が少ないが両コアでの堆積速度の増加層準に着目すると、下位より④約 9100～8900 年前、③約 8100～7900 年前、②約 3200 年前と①約 1500 年前の層準で、それぞれのコアあるいは両コアに共通して堆積速度の増加（変化）が認められる（第 6 図）。このうち、④約 9100～8900 年前の変化は、NMD コアにおいて泥質なエスチュアリー堆積物の層厚約 8～9 m 程度の累重として認められる。③約 8100～7900 年前の変化は、NTN コアでは崩壊堆積物を挟在するエスチュアリー堆積物として、NMD コアでは湾頭デルタ堆積物として認められる。②約 3200 年前の変化は、NMD コアの泥質氾濫原堆積物の層厚約 4 m 程度の累重として認められる。①約 1500 年前の変化は、NMD コアの氾濫原での砂質堆積物（洪水氾濫堆積物）として認められる。これらの堆積速度の増加は、単純に海進期の早い海水準上昇速度や砂質堆積物の堆積速度が速いことを反映している可能性もあるが、泥質堆積物の急速な累重や崩壊起源堆積物と関連した砂質粗粒堆積物の増加は、断層帯の活動による下盤側の沈降を示唆している可能性もあり、越後平野のより海岸部での堆積速度の変動や後述のように反射法弾性波探査による地層の変形イベントと合わせて検証していく必要がある。また、明瞭な堆積速度の増加ではないが、NTN コアにおける約 6500 年前や NMD コアにおける約 5500 年前に堆積速度の転換点が認められる。

両コアの地層の対比と年代値から、断層帯を挟んだ変位量について検討する。NTN コアと NMD コアの掘削位置は東西方向に約 700 m しか離れていなく、それぞれの同時期の地層の堆積面は堆積相からみても、ほぼ水平であると仮定できる。この仮定に基づいて、両コアの約 9000 年前の堆積面を比較すると層位差は約 18 m である。また、越後平野のこの地域での最大海進は約 7200 年前であることから（ト部ほか，2006 など）、両コアのエスチュアリー堆積物の上限深度は最大海進期に相当すると考えられ、両コアで

の層位差は約 13 m である。これらから得られる両コア間における平均上下変位速度は、1.8～2.0 mm/yr 程度であると見積もることができる。

7. 反射法弾性波探査

反射法弾性波探査は、NTN コアと NMD コアの掘削位置および地形境界を加味して、TK1-SLS 測線（約 600 m）と TK2-SLS 測線（約 300 m）の 2 か所で行った。データの処理は、共通反射点重合法による反射法弾性波探査の標準的な手法で行い、深度変換断面図の作成までを行なった。第 7 図に探査結果を示す。

全体に S/N がやや不良であるが、TK1-SLS 測線では連続的にトレースできる反射面が確認でき、520 m 付近に基盤のふくらみがみられる。また、250 m 付近には、基盤から沖積層にいたる断層変位帯がみとめられ、350～480 m 付近まで基盤の変形・撓曲構造が認められる。なお、TK1-SLS 測線の 560 m 付近が NTN コアの掘削位置で、340 m 付近の白抜け部が県道横断部に相当する。TK2-SLS 測線では、250～270 m 付近や 150 m 付近に断層による変形帯がみられ、全体に下位の反射面ほど傾斜が大きくなるような累積変形構造をみることができる。

8. 考察

一般に断層帯の活動履歴や活動度を評価するために、ボーリング調査や反射法弾性波探査が活用されている。越後平野のような完新世において沈降運動が活発な地域では、単に同一堆積環境・時間面の変位による活動度の見積もりだけではなく、沖積層中に同一堆積相の累重や堆積システムの移動（海進・海退）として記録されたイベントを読むことによって、断層の活動時期の特定と変位量の推定などを行うことができる。こうした着眼点は、沖積低地での断層（伏在断層）の活動履歴の解明に有効である。

本調査地域では、ボーリングコアの層相の解析と深度から 2 つのコア採取地点間における平均上下変位速度を 1.8～2.0 mm/年と見積もることができる。活動履歴は前述のように堆積速度の増加（変化）時期から読み取れるがコアの層相のみの検討では不確実である。このため、堆積速度の増加（変化）層位と弾性波探査による反射面との対応を試みた（第 8 図）。この結果、④約 9100～8900 年前、③約 8100～7900 年前、②約 3200 年前と①約 1500 年前の堆積速度の増加層準では、小規模な変形にその上位の地層がオンラップする構造がみられ、コア解析による堆積速度の増加層準と地層の変形がほぼ一致している可能性が高い。また、NTN コアにおける約 6500 年前や NMD コアにおける約 5500 年前に堆積速度の転換点の層準も小規模な変形構造の層準と一致している可能性もある。仮に、④約 9100～8900 年前、③約 8100～7900 年前、②約 3200 年前と①約 1500 年前を

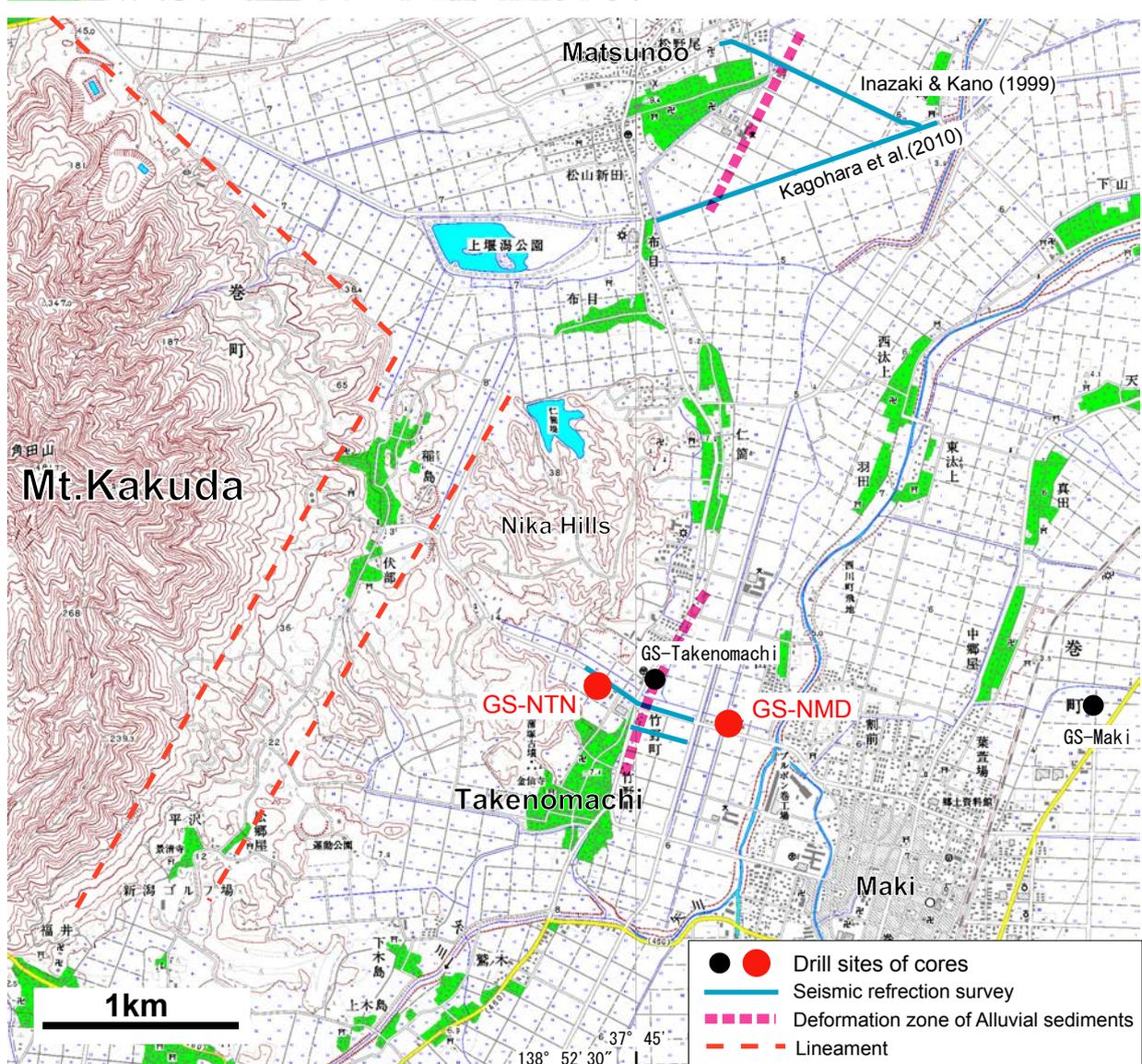
断層の活動イベントとした場合、③と④のイベントの活動間隔は約 1000~1200 年、①と②のイベントの活動間隔は約 1700 年であり、ト部ほか (2006) がバリアーシステムの沈降による後退イベントの間隔 (約 1400~1800 年) から推定している断層帯の活動間隔と調和的な結果を示す。

今後、反射面と地層境界の対比や年代データの追加によって、地層の変形時期の絞り込みを行い、変形時期の広域的な対比も検討していく必要がある。このような着眼点による断層の活動履歴解析は、沖積層において非常に有効であるものと考えられる。

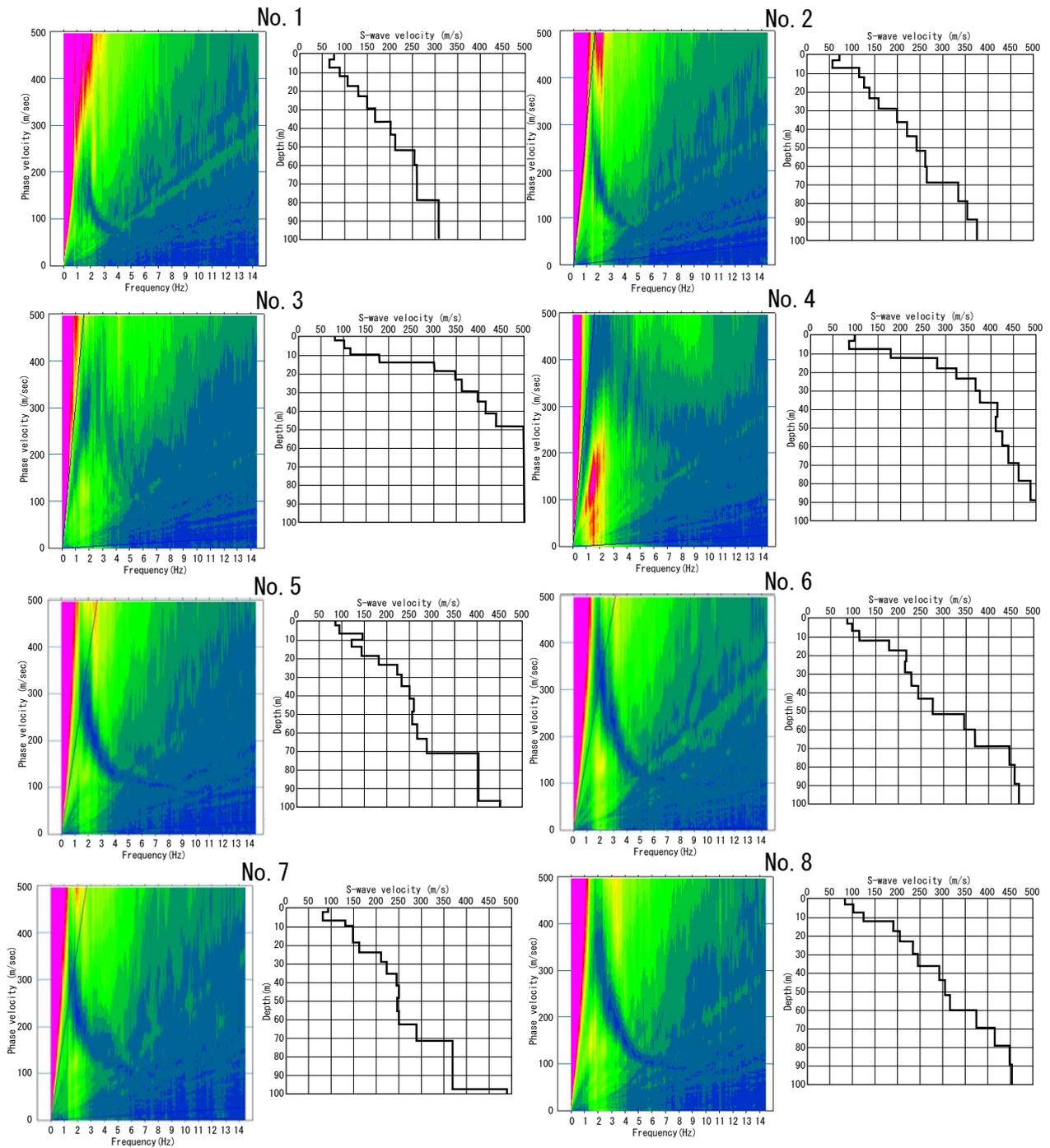
文 献

- 林 宏一 (2004) 表面波を用いた地下浅層部の探査。非破壊検査, **53**, 254-259.
- 林 宏一・稲崎富士・鈴木晴彦 (2006) 埼玉県草加市及び三郷市周辺における小規模微動アレイ探査を用いた埋没谷地形の把握。地質調査研究報告, **57**, 309-325.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志 (2002) 第四紀逆断層アトラス。東京大学出版会, 254p.
- 稲崎富士・加野直巳 (1999) 高分解能 S 波反射法およびサイスミックコーン貫入試験による角田・弥彦断層群の浅部構造調査。地質調査所速報, EQ/99/3, 59-68.
- 稲崎富士・宮地良典・ト部厚志・楮原京子 (2010) 高分解能反射法地震探査による新潟市赤塚地区における越後平野西縁断層の浅部変形構造イメージング。地質調査総合センター速報:平成 21 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, no.54, 153-166.
- 石山達也・佐藤比呂志・今泉俊文・鈴木毅彦・戸田 茂・越後智雄・小池太郎・鎌滝孝信 (2009) 角田山東縁断層における高精度浅層反射法地震探査と群列ボーリング調査。日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, J245-P012.
- 地震調査研究推進本部 (2004) 長岡平野西縁断層帯の評価。地震調査研究推進本部, 23p.
- 楮原京子・稲崎富士・ト部厚志・宮地良典 (2010) 長岡平野西縁断層帯における浅層反射法地震探査—新潟市松野尾地区の地下構造—。地質調査総合センター速報:平成 21 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, no.54, 61-67.
- 加野直巳・山口和雄・栗田泰夫 (1999) 角田・弥彦断層群の P 波反射法地震探査。地質調査所速報, EQ/99/3, 47-58.
- 小林巖雄 (1996) 越後平野地下の第四系。第四紀研究, **35**, 191-205.
- 宮地良典・中西利典・ト部厚志・田辺 晋・稲崎富士・安井 賢・小松原琢・水野清秀 (2009) ボーリングコア解析による角田・弥彦断層の活動度評価。地質調査総合センター速報:平成 20 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, no.49, 101-120.
- 仲川隆夫 (1985) 新潟平野の上部更新統・完新統—とくに沈降現象との関係について—。地質学雑誌, **91**, 619-635.
- 新潟県地質図改定委員会 (2000) 新潟県地質図説明書 (2000 年版)。新潟県商工労働部商工振興課, 200p.
- 下川浩一・栗田康夫・佐竹健治・吉岡敏和・七山 太・荻谷愛彦・小松原琢・羽坂俊一・重野聖之 (1997) 地形・地質調査 1。科学技術振興調整費, 日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究 (第 I 期平成 6~8 年度) 成果報告書, 科学技術庁, 76-84.
- 下川浩一・栗田康夫・佐竹健治・吉岡敏和・七山 太・荻谷愛彦・小松原琢・羽坂俊一・重野聖之 (2000) 地形・地質調査 1。科学技術振興調整費, 日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究 (第 II 期平成 9~10 年度) 成果報告書, 科学技術庁, 65-85.
- 白井健裕・津田禾粒・茅原一也・長谷川美行 (1976) 新潟県弥彦山・角田山周辺の地質。新潟大学理学部地磁研究報告, no.4, 119-126.
- ト部厚志・吉田真見子・高濱信行 (2006) 越後平野の沖積層におけるバリアー—ラゲーンシステムの発達様式。地質学論集, no.59, 111-127.
- 渡辺満久・太田陽子・鈴木郁夫・澤 祥・鈴木康弘 (2000) 越後平野西縁, 鳥越断層群の完新世における活動性と最新活動時期。地震第 2 輯, **53**, 153-164.
- 渡辺満久・太田陽子・栗田泰夫 (2001) 鳥越断層群のボーリング調査。活断層・古地震研究報告, no.1, 87-96.
- 山元孝広 (1995) 沼沢火山における火砕流噴火の多様性:沼沢湖および水沼火砕堆積物の層序。火山, **40**, 67-81.
- 山元孝広 (2003) 東北日本, 沼沢火山の形成史:噴出物層序, 噴出年代及びマグマ噴出量の再検討。地質調査研究報告, **54**, 323-340.
- 吉岡敏和 (2005) 活断層データベース。http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html

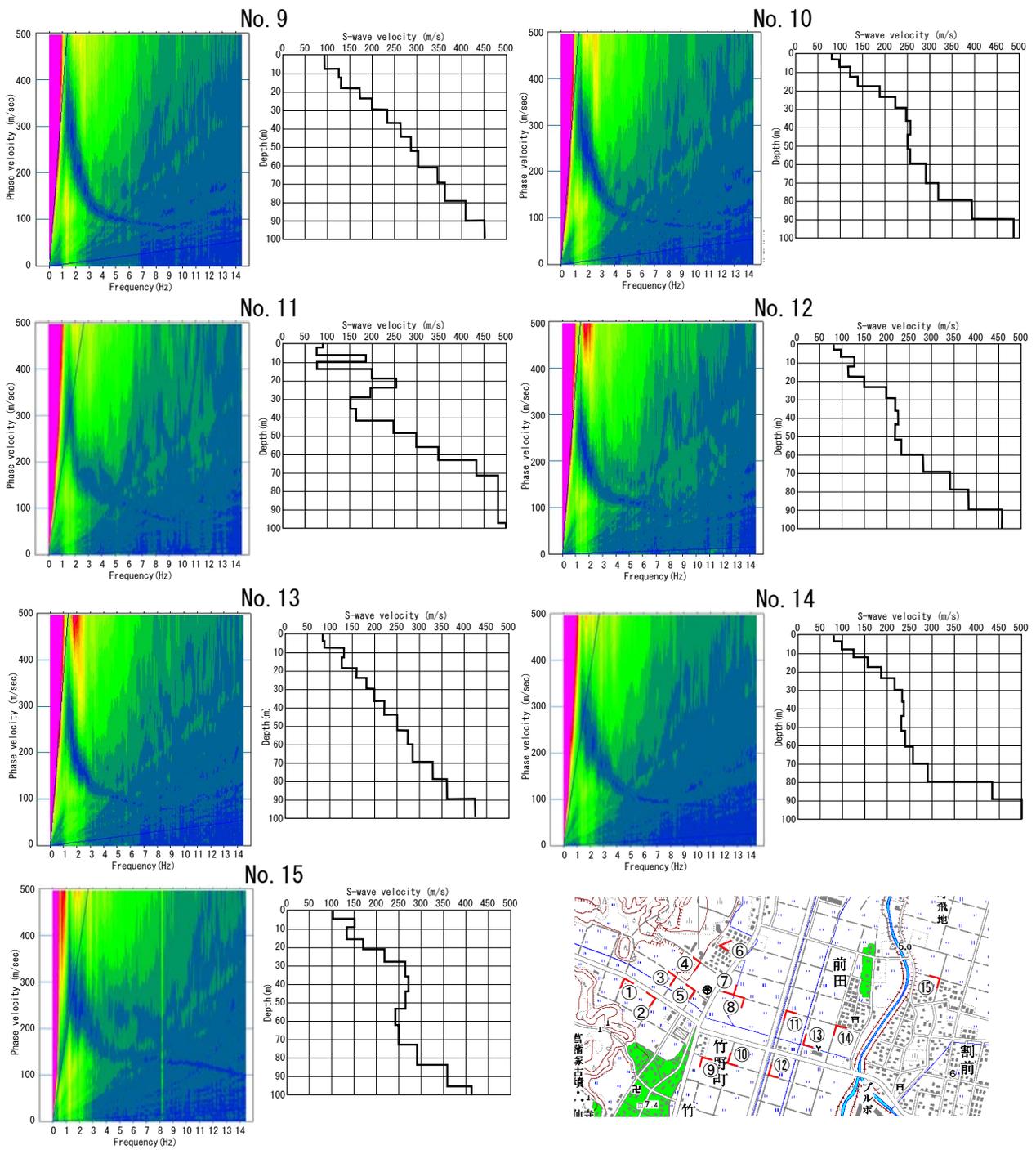
(受付:2010年10月20日, 受理:2010年12月1日)



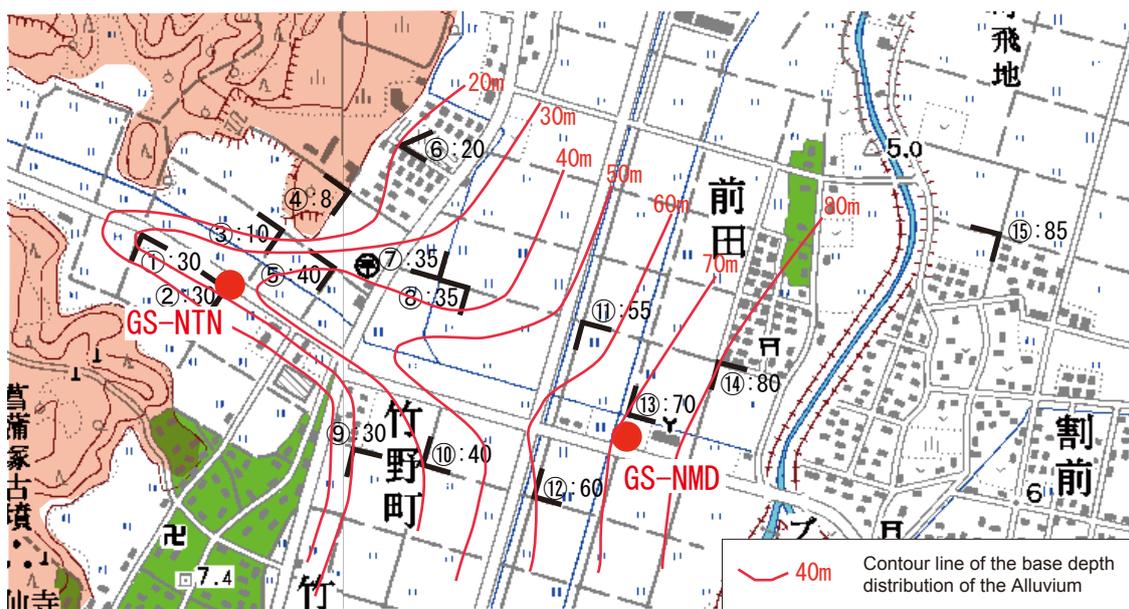
第1図 掘削地点および反射法弾性波探査測線の位置図。国土地理院発行 1/25000 地形図「角田山」と「巻」を使用した。
 Fig. 1 Location map of the drill sites of cores and seismic lines. The base maps are 1/25000 Kakudayama and Maki.



第2図 微動アレイ探査による各地点の空間自己相関関数とベッセル関数の残差分布およびS波速度構造(①~⑧地点).
 Fig. 2 Residual between spatial auto-correlation and Bessel function and S-wave velocity model at ① to ⑧ point.

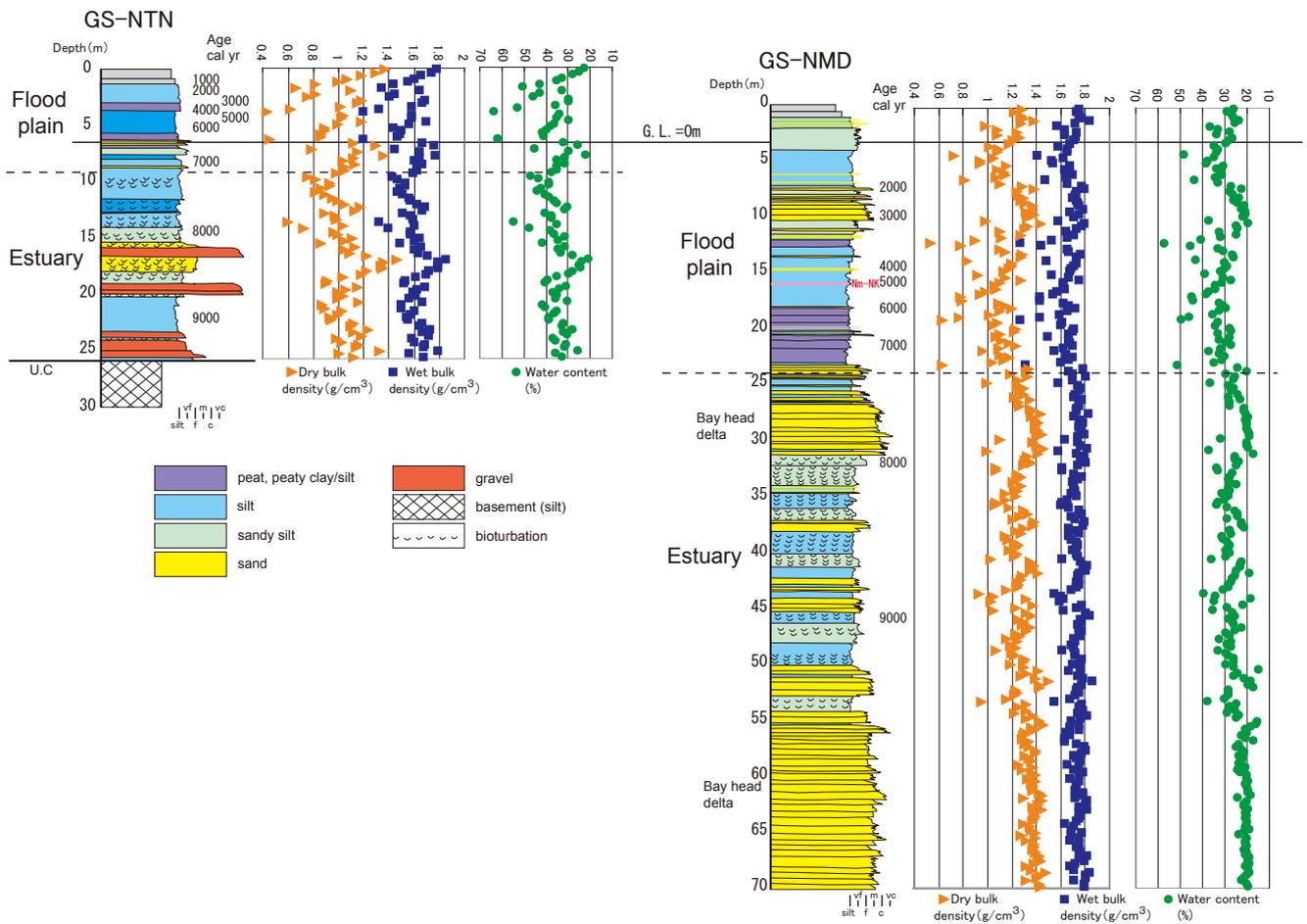


第3図 微動アレイ探査による各地点の空間自己相関関数とベッセル関数の残差分布およびS波速度構造(⑨~⑮地点).
 Fig. 3 Residual between spatial auto-correlation and Bessel function and S-wave velocity model at ⑨ to ⑮ point.

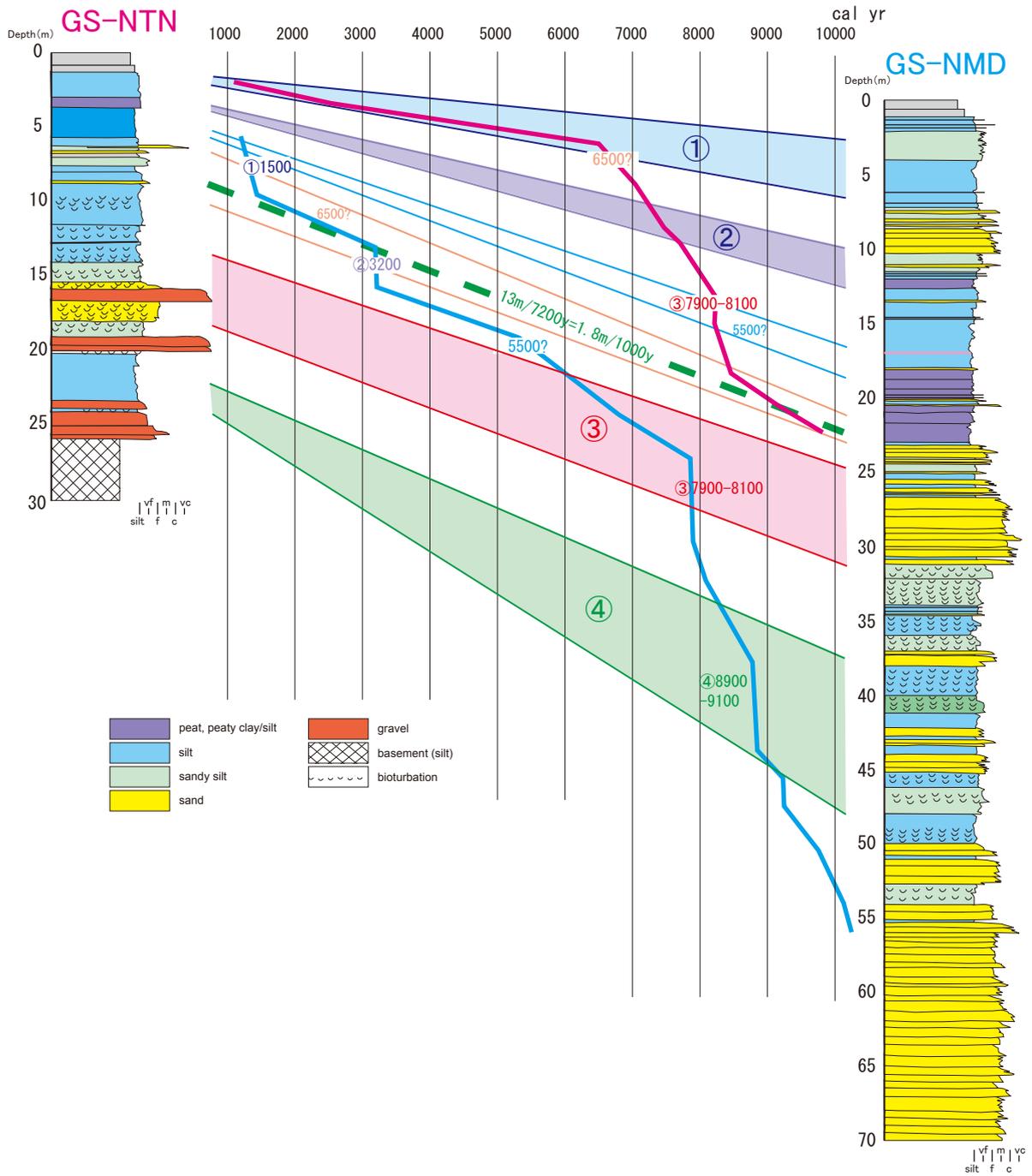


第4図 微動アレイ探査による沖積層の推定基盤深度(m). 国土地理院発行 1/25000 地形図「角田山」と「巻」を使用した。

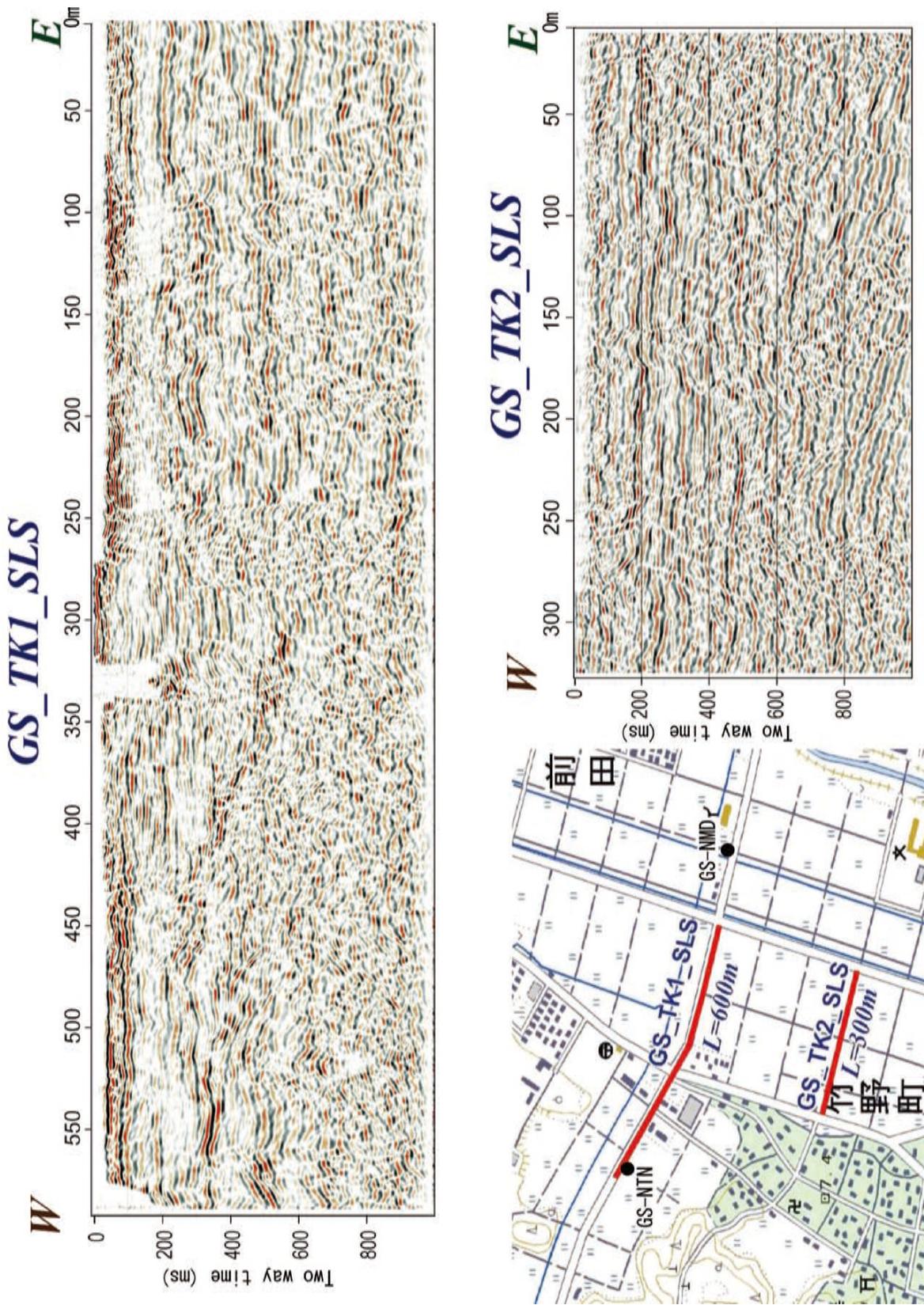
Fig. 4 Depth of the Alluvial basement by the microtremor array measurements. The base maps are 1/25000 Kakudayama and Maki.



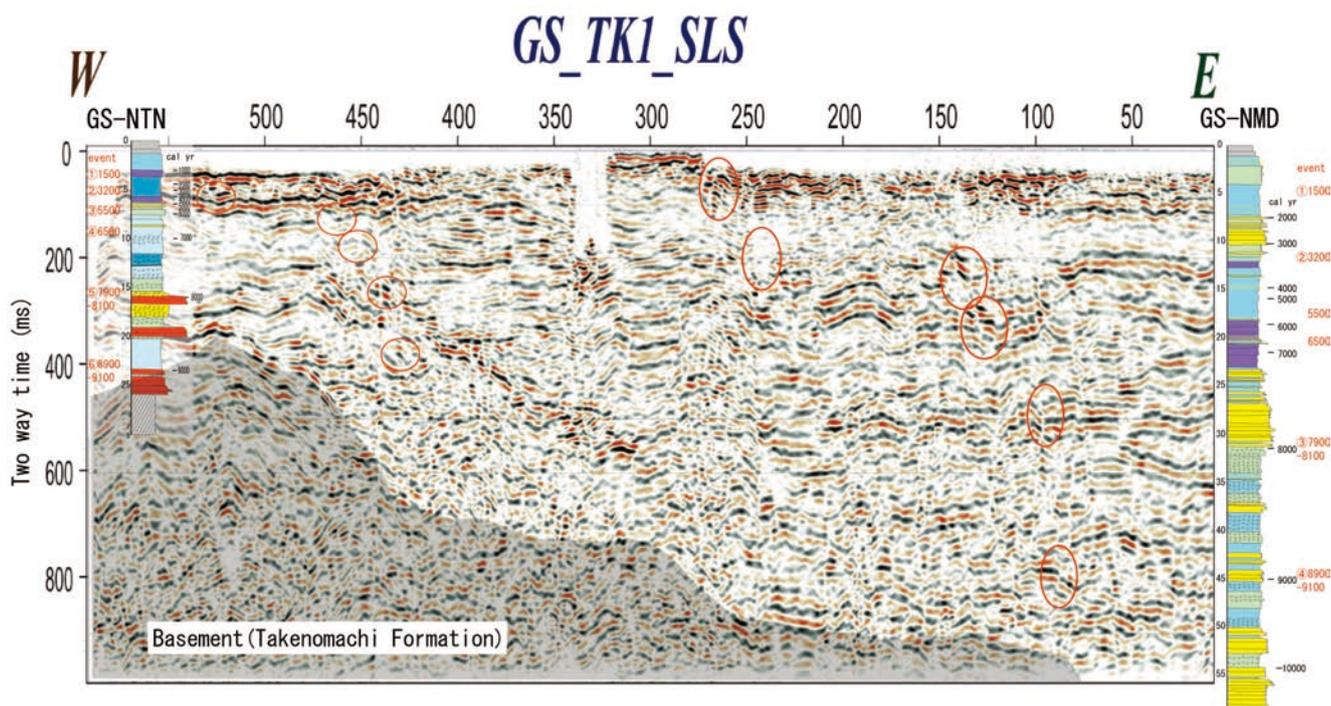
第5図 GS-NTN コアと GS-NMD コアの堆積相・密度・年代.
 Fig. 5 Sedimentary facies, density and radiocarbon ages of GS-NTN and GS-NMD cores.



第6図 GS-NTN コアと GS-NMD コアの対比と堆積曲線. 図中の①～④は堆積速度の増加層準を示す.
 Fig. 6 Correlation of cores and accumulation curves of GS-NTN and GS-NMD cores. ①～④ : Horizons of depositional rate increases.



第7図 TK1-SLS 測線と TK2-SLS 測線の反射断面.
Fig. 7 Seismic sections of TK1-SLS and TK2-SLS lines.



第 8 図 TK1-SLS 測線の地質学的解釈. 図中の赤丸は, 小規模なオンラップ構造を示す.

Fig. 8 Geological interpretation of the TK1-SLS section. Red circles in the figure show the small onlapped structure.

第1表 放射性炭素年代値の概要.
Table 1 Summary of radiocarbon dates.

GS-NMD-1 core		Material	Conventional ¹⁴ C age: 68.2% probability		δ ¹³ C permil	Calibrated ¹⁴ C age: 2σ 95.4% probability		Laboratory code
Depth (m)	G.L. (m)		yr BP	±yr		Youngest	Oldest	
-2.4	1.60	plant material	1,370	40	-26.1	1,260	1,340	Bata-273205
-6.16	-2.16	plant material	1,630	40	-27.5	1,410	1,610	Bata-273206
-9.67	-5.67	plant material	2,900	40	-25.6	3,090 3,140	3,090 3,350	Bata-273207
-11.50	-7.50	wood	2,900	40	-28.3	2,930 3,190	3,170 3,200	Bata-273208
-12.27	-8.27	plant material	3,000	40	-27.5	3,070	3,330	Bata-273209
-15.89	-11.89	plant material	4,640	40	-29.3	5,300	5,470	Bata-273210
-16.73	-12.73	plant material	4,840	40	-27.7	5,480 5,580	5,530 5,640	Bata-273211
-18.66	-14.66	plant material	5,210	40	-27.5	5,910 6,090	6,010 6,100	Bata-273212
-20.90	-16.90	plant material	5,970	40	-26.9	6,720	6,900	Bata-273213
-24.19	-20.19	plant material	7,070	50	-27.7	7,800	7,980	Bata-273214
-29.50	-25.50	plant material	7,060	50	-28.0	7,790	7,970	Bata-273215
-32.22	-28.22	plant material	7,310	50	-28.6	8,010	8,200	Bata-273216
-37.71	-33.71	plant material	7,930	50	-29.8	8,600	8,990	Bata-273217
-43.49	-39.49	wood	8,030	50	-26.9	8,730	9,020	Bata-273218
-45.47	-41.47	plant material	8,130	50	-25.2	8,990 9,170	9,140 9,250	Bata-273219
-47.28	-43.28	wood	8,240	50	-27.6	9,030	9,410	Bata-273220
-50.12	-46.12	plant material	8,730	60	-32.5	9,540	9,910	Bata-273221
-53.66	-49.66	plant material	8,940	50	-27.2	9,910	10,220	Bata-273222
-59.50	-55.50	plant material	8,930	50	-27.9	9,900	10,220	Bata-273223

GS-NTN-1 core		Material	Conventional ¹⁴ C age: 68.2% probability		δ ¹³ C permil	Calibrated ¹⁴ C age: 95.4% probability		Laboratory code
Depth (m)	G.L. (m)		(yr BP)	(±yr)		Youngest	Oldest	
-2.46	4.68	plant material	1,220	40	-25.3	1,060	1,270	Bata-273193
-3.47	3.67	plant material	1,700	40	-25.9	1,530	1,710	Bata-273194
-6.40	0.74	plant material	5,770	40	-27.2	6,470	6,660	Bata-273195
-9.15	-2.01	plant material	6,150	40	-25.9	6,940	7,170	Bata-273196
-12.23	-5.09	plant material	6,620	50	-26.4	7,430	7,580	Bata-273197
-13.21	-6.07	plant material	6,900	50	-26.5	7,660	7,840	Bata-273198
-16.69	-9.55	plant material	7,330	50	-29.4	8,020 8,260	8,210 8,290	Bata-273199
-18.40	-11.26	plant material	7,420	50	-27.2	8,170	8,360	Bata-273200
-21.81	-14.67	plant material	7,690	50	-26.9	8,400	8,580	Bata-273202
-24.10	-16.96	charred material	8,250	50	-25.9	9,030	9,420	Bata-273203
-25.83	-18.69	plant material	8,810	60	-28.0	9,610	10,160	Bata-273204

第2表 探査諸元.

Table 2 Survey parameters of TK1-SLS and TK2-SLS lines.

	TK1-SLS	TK2-SLS
Length of seismic line	600m	300m
<i>Receiver parameters</i>		
Receiver	Geophone, group of 4	
Natural frequency	40 Hz	
Receiver interval	1 m	
No. of receiver points	600	300
<i>Source parameters</i>		
Source	JMS-Mini65	
Shot interval	2 m	
No. of shot points	300	150
No. of stacks	4	
<i>Recording parameters</i>		
Instruments	DAS-1	
No. of channels	144 ch	
Recording length	2 sec	
Sampling rate	1 ms	