

越後平野西縁部, 角田・弥彦断層~四ッ郷屋沖背斜による変形構造とその活動度評価

Deformation structure and its activity of the Kakuda-Yahiko Fault to Yotsugoya-oki anticline, western margin of the Echigo Plain, central Japan.

宮地良典¹・卜部厚志²・田辺 晋¹・安井 賢³・中西利典⁴・稲崎富士¹・楮原京子⁵・小松原 琢¹
水野清秀¹・井上卓彦¹・天野敦子¹・岡村行信⁵

Yoshinori Miyachi¹, Atsushi Urabe², Susumu Tanabe¹, Satoshi Yasui³, Toshimichi Nakanishi⁴,
Tomio Inazaki¹, Kyoko Kagohara⁵, Taku Komatsubara¹, Kiyohide Mizuno¹, Takahiko Inoue¹,
Atsuko Amano¹ and Yukinobu Okamura⁵

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

² 新潟大学災害復興センター (Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University)

³ 甲賀地盤調査 (Co., Ltd. Koka)

⁴ 韓国地質資源研究員 (KIGAM), 元地質情報研究部門 (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

⁵ 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 of the Echigo Plain is bounded by the Nagaoka-Heiya-Seien Fault zone which has high vertical slip rate exceeding 1 mm/yr, but its deformation structure and activity have been known little because of thick sedimentary cover of Holocene sediments. To clarify the fault activity, sediment cores at 9 sites were drilled in the Echigo plain and at two sites in the offshore area. In addition high-resolution seismic profiling surveys were conducted in offshore and onland areas. Drilling for sediment sampling were conducted at two sites along the coastal line (GS-NIF and GS-NIK), three near the Akatsuka area (GS-KNM, GS-NAK and GS-SGT), two near Takeno area (GS-NMD and GS-NTN) and two in the offshore area (off Yotsugoya and Agano river), and sedimentary facies analyses, diatom assemblage analyses, and radiocarbon ages measurements of the sediments samples were conducted. High-resolution shallow seismic reflection data were obtained using Land Streamer at the three areas along the fault zone on the Echigo plain and using boomer source and multi-channel system in the offshore area. Based on the drilling core analysis, we estimated that average vertical-slip rate of the fault of this region is 3.0 to 4.0 mm/yr on land and about 1.5-3mm/yr offshore. The recurrence of fault slip was inferred to be ca. 1 kyr. The seismic reflection profile shows that the fault separate into several subfaults in the fault zone, and the vertical-slip rate of the main fault in the seismic reflection line (GS-AK-SLS) is estimated to be 1.0mm/yr, and that of subfault is to be 0.4mm/yr. It shows the vertical-slip should occur on the other concealed faults. In contrast, 500-1000 m wide flexure has developed in the offshore area.

Keywords: active fault, Kakuda-Yahiko Fault, Yotsugoya-oki anticline, seismic reflection profile, sediment core, Echigo plain, Holocene

要 旨

越後平野西縁には千年で1 m 以上の変位速度を持つ長岡平野西縁断層帯が発達するが, 厚い沖積層中に大部分が覆われるため, その変形様式と活動性は十分に解明されていなかった. この断層による変形構造と活動性を評価するため, 陸域では9本のボーリング掘削, 6測線の高精度浅層反射法探査を行い, 海域においては2本のボーリングコア掘削と周辺海域の高密度音波探査を実施した.

ボーリング調査は, 越後平野海岸線に沿って2本 (GS-NIF と GS-NIK), 赤塚地域周辺で3本 (GS-KNM,

GS-NAK と GS-SGT), 竹野地域において2本 (GS-NMD と GS-NTN) 及び四ッ郷屋沖と阿賀野川沖で1本ずつを実施し, 試料の堆積相, 珪藻化石群集解析, C14年代測定を行った. 陸域の高精度浅層反射法探査は, ランドストリーマーを使用して行い, 断層近傍の変形構造を可視化した. 海域はブーマーを音源とするマルチチャンネルシステムを用いた.

ボーリングコア解析からは, 垂直方向の平均変位速度は陸上で3.0~4.0 mm/yr, 海域では1.5~3.0 mm/yr であることがわかった. また, 地震イベントは約千年に一度起こっていると考えられる. 赤塚地区の

高精度浅層反射法探査 (GS-AK-SLS) の結果、断層は数条に分かれ、それぞれの変位速度は 1.0 mm/yr, 0.4 mm/yr であった。一方、海域では、幅 500~1000 m の撓曲構造が発達し、枝分かれした断層は認められなかった。

1. はじめに

産総研ではこれまで陸域と海域それぞれの地質図を発行してきたが、沿岸海域の地質データが欠如していたため、海陸の連続した地質情報の整備は十分でなかった。2007 年能登半島地震や同年中越沖地震は沿岸海域で地震が発生し、大きな被害をもたらしたことから、沿岸海域の地質情報が重要であると考えられるようになった。そこで産総研では、2008 年から沿岸海域の地質情報整備プロジェクトを開始した。まず 2008 年には能登半島北部沿岸海域及びその周辺の地質調査を行い、2010 年に能登半島北部沿岸域で海陸シームレス地質図を作成した。また、2009 年には新潟沿岸域で海陸連続的な地質情報を整備するため調査を実施した。本報告では、その調査域の中で最も活動度の高い活断層である角田・弥彦断層(仲川, 1985) について、詳細な地質調査と解析に基づいた断層運動について報告する。

2. 角田・弥彦断層の概要

角田・弥彦断層(仲川, 1988) は、越後平野~長岡平野西縁に沿って北北東-南南西方向に連続する活断層帯(長岡平野西縁断層帯; 地震調査研究推進本部, 2004) の最北部を構成する活断層である(第 1 図)。また、この活断層は角田山東縁断層(池田ほか, 2002)、もしくは、長岡平野西縁断層帯の弥彦活動セグメント(産業技術総合研究所, 2009) と呼ばれることもある。

石油資源探査を目的とした大深度反射法地震探査およびボーリング調査からは、角田・弥彦断層が撓曲を伴いながら下部更新統を大きく変位させる西上がりの逆断層であることが指摘されていた(新潟市史編さん自然部会, 1991; 小林, 1996)。さらに、加野ほか(1999) は巻町~西川町での P 波反射法地震探査(GS_MN_P) によって測線距離 1.5~2.5 km (第 2 図) において沖積層基底礫層上面が約 50 m 上下に変位している可能性を指摘している。

一方、角田山北東の赤塚地区周辺において佐潟から北東へのびる砂丘列は、古い砂丘列ほど狭小で西に偏って分布し、新砂丘 II (新潟古砂丘グループ, 1974) は断層周辺より東方では平野下に没しているとされる(卜部ほか, 2006)。また、新砂丘 I (8 千年前から 5 千年前に形成、新潟古砂丘グループ, 1974) に至っては、西蒲原地域において標高 -15~-20 m に埋没していることが明らかにされている

(Urabe *et al.*, 2004)。これらの地形は、完新世に角田山北東側の平野において相対的な東側沈降(越後平野の沈下) が生じていることを示しており、石油資源調査や活断層調査から明らかにされた下部更新統の変形構造と調和的である。すなわち、角田・弥彦断層が第四紀を通じて活動してきた逆断層であることが分かる。

この断層の活動度について、下川ほか(1997, 2000) は、新潟市西浦区巻町(巻 GS) と同竹野町(竹野町 GS) でのボーリング調査(掘削位置は第 2 図参照) から、平均上下変位速度は約 3~4 mm/yr であると推定している。この値は日本の内陸活断層の中でも高い値であり、地震防災上、角田・弥彦断層の詳細な分布と活動履歴を明らかにすることは重要であった。また、下川ほか(1997, 2000) による平均上下変位速度の推定は断層の沈降側の過去 6 千年間の堆積速度によってなされているので、仮に当時の堆積面が海面下であったのなら、この変位速度は過大評価している可能性がある。したがって、この活断層の変位速度を見積もる場合には、変位基準となる層準が形成された当時の海水準の標高や堆積環境の違いを考慮することが重要と考える。

3. 角田・弥彦断層の分布と変形構造

1) 越後平野西縁部

越後平野西縁部での調査は、新潟県水産海洋試験所敷地内における 150 m クラスのボーリング調査を含む 9 本のボーリング調査(北より GS-NIF, GS-NIK, YO, GS-KNM, GS-NAK, GS-NAK-2, GS-SGT, GS-NTN, GA-NMD) と、中深度~浅層を対象とした 3 本の反射法地震探査(新潟 2009 測線, 新潟 1 測線, GS_MN_CDP) 及び極浅層を対象とした 6 測線の反射法地震探査(PW/GS_P_LS, GS_AK_SLS1, GS_AK_SLS2, GS_AK_PLS, GS_TK1_SLS, GS_TK2_SLS), 微動アレイ調査を実施した(第 2 図)。それぞれの調査結果は、中西ほか(2010)、宮地ほか(2009, 2011b)、山口ほか(2009)、楳原ほか(2011)、稲崎ほか(2011)、卜部ほか(2011) にまとめられている。中深度の反射断面から、角田・弥彦断層は主として東向き撓曲変形を伴う伏在断層であると解釈される(山口ほか, 2009; 楳原ほか, 2011)。その撓曲変形は、背斜頂部から西翼がほぼ平らか緩傾斜であるのに対し、東翼では急傾斜となる。変形帯は幅 1~2 km におよび、沿岸海域では北北西-南南東方向の走向をもつが、平野域では北東-南西走向となり、これまで推定されていた角田・弥彦断層の分布よりも走向が変化していることが分かった。この走向の違いが、断層面の走向変化によるものかは、現段階のデータで判断することはできない。しかし、海岸線に沿った断面では、1 km 以浅に 2 条の背斜が認められることから、海岸線付近の浅部で分岐す

る断層（あるいは断層面の折れ曲がり）が形成されている可能性がある（楢原ほか，2011）。

また，新潟市四ツ郷屋および赤塚地区では，極浅層反射法地震探査とボーリング調査から地表では浸食・堆積などにより失われてしまった変位地形の地下で，主断層部と撓曲変形帯内の副次断層による変形構造が明瞭に発達する様子が捉えられた（第3図；稲崎ほか，2011）。これにより，断層は1条ではなく，複数に分岐し，それぞれ少しずつ変位していることがわかった。例えば，赤塚周辺の断層変位は主断層と思われる主断層で1.0 mm/yr，副断層で0.4 mm/yrとなる（稲崎ほか，2011）。しかし，後述のようにボーリングコアのGS-SGTとGS-KNMの対比によって推定される本断層の平均上下変位速度は3～4 mm/yrであることから，その差分は，幅広い変形帯に複数の副次断層が生じ，さらに撓曲帯が成長しており，それらの変位が累積していると推定される。新潟市西蒲区竹野町周辺では微動アレイ法探査から，従来，推定された角田・弥彦断層の変形帯がさらに西側に位置することが判明した（卜部ほか，2011）。

2) 海域延長部

海域調査結果は，天野ほか（2011），井上ほか（2011）にまとめられており，四ツ郷屋沖背斜は最終氷期以降も成長している活褶曲であることは，今回得られた反射断面を見ても確実である（第4図）。東西方向の反射断面上では背斜構造の東縁が幅500～1000 mの撓曲帯をなし，四ツ郷屋沖基底面で最大で約30 mの垂直変位量が認められる（宮地ほか，2011a, b）。しかしながら，反射断面の測線は現在の海底地形の等深線に平行でなく，隆起側がより水深の深い沖合に位置することから，実際の変位量は更に大きい可能性が高い。また，四ツ郷屋沖背斜上では四ツ郷屋沖層下部層が欠如していることから，同層基底面の構造差は最終氷期以降の変位量より小さい可能性が高い。背斜軸付近での四ツ郷屋沖層基底層準は約1万年前に堆積しているが，その層準が撓曲帯で20 m程度の垂直高度差を持つことから，その変位速度は約2 mm/yrと推定される。四ツ郷屋沖層の内部反射は撓曲帯で下部ほど変形を増すが，層内に明瞭な不整合や傾斜の急変する層準は認められない。陸域と海域の調査結果から推定される角田・弥彦断層（撓曲帯）の分布は第1図に示した。

4. 角田・弥彦断層の活動履歴

以下では，まず平成20年度に実施したボーリング調査の結果について記述し，その結果と平成21年度の調査結果を踏まえて，角田・弥彦断層の活動履歴について考察する。

4.1 平成20年度のボーリング調査結果

平成20年度は角田・弥彦断層を挟んだ新潟市西区赤塚（佐潟）（GS-SGT；標高16.39 m，WGS84: N37°48'34.5", E138°52'15.9"）と金巻新田（GS-KNM；標高2.74 m，WGS84: N37°49'58.4", E138°55'47.1"）でボーリング調査を実施した（第2図）。これらのボーリングの堆積相と堆積年代の詳細な記載・解釈は中西ほか（2010b）を参考にされたい。

GS-SGTコアでは，沖積層は40 mしかなく，その中で下位から外浜，前浜そして砂丘の砂が累重している。GS-SGTには標高-4 mに軽石火山灰が挟在する。この軽石火山灰は，越後平野で新潟大学等によって取得されたコアの数地点で認められた火山灰に対比される。また，この軽石火山灰は沼沢火山灰層の約50 cm下に挟在することから，その堆積年代は約5.5千年前と考えられる（卜部，私信）。

金巻新田のGS-KNMコアでは，下位から，河川から氾濫原の地層，湿地～塩成湿地堆積物，沖浜，外浜，前浜，後浜と続いて最後に河川や氾濫原の堆積物が累重し，前述の軽石火山灰はGS-KNMでは標高-33 m付近にある。よって軽石火山灰のGS-SGTとGS-KNM間の標高差は約29 mとなる。

軽石火山灰層は，GS-SGTにおいては前浜堆積物と上部外浜堆積物の境界部付近，GS-KNMコアでは上部外浜堆積物中に見られる。このことから軽石火山灰が堆積した当時，すでにコア間には高度差があったと推察される。前浜堆積物と上部外浜堆積物の境界は当時の標高0 mに近いところと考えられる。一方，外浜～沖浜境界は，現在の新潟周辺海域では，外浜～沖浜境界の水深は-8 m，海底砂州の比高は1～2 mで，海岸線方向には概ね一定した値を取る（新潟市史編さん自然部会編，1991）ことから，軽石火山灰堆積時の堆積構造と水深との関係が現在の状況と同じと仮定すると，軽石火山灰はGS-SGTでは標高0 m，GS-KNMでは水深7～6 mで堆積したと推定される。それを踏まえて，コア間の軽石火山灰層の上下変位を解釈すると，総上下変位量（約29 m）から堆積当時の起伏に相当する7～6 mを差し引いた値（22～23 m）が，軽石火山灰層堆積後の上下変位量とみなせる。そしてこの上下変位が断層に伴って累積したものであると考えると，約5.5千年間で22～23 m，すなわち平均すると千年間で西側が相対的に約4 m隆起していることがわかる。

同様に沖浜堆積物上面は低潮位の高さを上限とすることから，沖浜堆積物の堆積当時のGS-SGTとGS-KNM間の高度差はほとんど無いと推定される。この沖浜堆積物はGS-SGTでは標高-25 m，GS-KNMでは標高-70 mである。また，この沖浜堆積物は海水準上昇期の約9千年前に形成された堆積体（船引ほか，2011）に対比される。したがって約9千年で45 mの上下変位が認められ，平均すると千年間で西

側が相対的に約5 m隆起していることになる(第5図, 宮地ほか, 2009, 中西ほか, 2010a). 一方で, 調査地域には厚い沖積層が発達しているため, 上下変位量には, 圧密沈下の影響が加わる. この点に関して, 中西ほか(2010b)はGS-KNM コアの浅部と深部の泥岩のかさ密度と含水率を比較から深部の泥岩の脱水量を見積もり, 最大1.3 mm/yr程度の圧密による沈下が生じていると推定した. 以上の堆積時の水深や標高, 圧密を考慮した結果, 本断層帯の平均上下変位速度は約3~4 mm/yrと推定される.

4.2 角田・弥彦断層の活動履歴

平成21年度にはGS-SGT及びGS-KNMの堆積相解析及び年代測定を行った. 第6図にはGS-KNMの得られた年代値と宮地ほか(2010)の珪藻分析に基づいた海水の流入時期をあわせて示した. これを見ると, 深度70~115 mの淡水~塩水湿地堆積物中に数回の淡水-塩水湿地環境の繰り返しがある. このうち最初の相対的小海進イベント(KNM1)に伴う堆積速度の変化はわかりにくいものの, 他の相対的小海進イベントでKNM2~KNM6では堆積速度が速くなっている. また, 陸生層ではあるものの14.5 kyr BP, 13.2 kyr BP, 淡水~塩水湿地堆積物上位の堆積物にも7.5 kyr BP, 6.8 kyr BP, 6 kyr BPで堆積速度が速くなる傾向が読み取れる.

平成21年度に掘削したGS-NIF及びGS-NIKにおいてもこのような堆積速度と堆積環境の関係が期待されたが, 年代測定結果にばらつきが大きく, ここでは議論しない. しかし, 海岸線に直交して位置するGS-NIK, GS-KNM, GS-NAK及びYAコアで珪藻分析を行った結果(宮地ほか, 2010)をまとめると, この地域において湿地環境に海水が浸入した時期(以下, 相対的小海進イベントと称す)は, 14.8 kyr BP, 14.5 kyr BP, 13.2 kyr BP, 12.5 kyr BP, 11.5 kyr BP, 11.0 kyr BP, 10.5 kyr BP及び9.5 kyr BPの7回が推定される(第7図). これ以降は海水準の上昇時期に当たり, 今回調査した地域全域が海面下になるため, 珪藻化石ではわからなくなる.

完新世に短期間に生じる海水準上昇現象として, Tanabe *et al.* (2009, 2010)は本地域で認められた11,600~11,100 cal BPの急激な海水準上昇が, 融氷パルスMWP 1B (Bard *et al.*, 1996など)に対比されるとした. 融氷パルスは, カリブ海のバルバドスや南太平洋のタヒチで報告されており, その発生時期は14 kyr BP頃と11 kyr BP頃 (Bard *et al.*, 1996など)とされる. この現象が汎世界的に同時期に起きたとは限らないが, 第7図中の14.5 kyr BPおよび11.0 kyr BPの相対的小海進イベントが, 広く報告されている2回の融氷パルスによる海水準上昇に対応するとしても, GS-NIK, GS-KNM, GS-NAK及びYAコアではほぼ共通して認められる相対的小海進イベントは約5千年間(13千年~9.4千年)に5回程度で

なり頻繁に生じていることが分かる. これは相対的小海進イベントが気候変動等に対応されない調査地域特有の局所的な現象の痕跡である可能性が高いことを示す. また, 前述のGS-KNMでみられた相対的小海進イベント前後における堆積速度の変化は, 地震活動に伴う沈降域の形成と後背地における地滑り等によって土砂供給量の増大がおり, その後, 沈降域の埋積と土砂供給の沈静化によって堆積速度が相対的に遅くなった現象として解釈することもできる.

また, 吉田ほか(2006)および卜部ほか(2006)は, 約8,500年前に形成され始めた湾口部でのバリアーラグーンシステムが, 上方に累重させながら前進していくも, 4~5回の一時的な後退を伴って発達してきたことを明らかにしており, この一時的な後退が断層活動に伴う急速な沈降による可能性が高いことを指摘している. このうち約6 kyr BPにおきたバリアーラグーンシステムの後退は, 赤塚地区のボーリングコアAK (=GS-NAK)との照らしあわせから地震イベントとして推定されている(卜部ほか, 2006). したがって, 越後平野西縁においては断層活動による沈降が, 相対的小海進イベントおよびその前後におきた堆積速度の変化の原因ではないかと考えられる(宮地ほか, 2011a). また, これらの地域より内陸の新潟市西蒲区竹野町周辺で掘削されたボーリングでは, 堆積速度の上昇と含まれるイベント堆積物から, 約9 kyr BP, 8 kyr BP (5.5 kyr BP), 3.2 kyr BP及び1.5 kyr BPの4回の地震イベントが推定されている(卜部ほか, 2011).

5. まとめ

これらの調査結果をまとめると, 角田・弥彦断層の活動時期は第8図に示すとおりとなる. すなわち, 今回掘削したボーリングコアの解析から, 15 kyr BP~9 kyr BPまでに約5回の地震イベントが, その後も竹野地域で9 kyr BP, 8 kyr BP, 金巻新田地域で7.5 kyr BP, 6.8 kyr BP, 6 kyr BP, 鎧瀧・竹野町地域で5.5 kyr BP, 4.3 kyr BP, 3.2 kyr BP, 5 kyr BPで地震イベントが認定される. 海進や砂丘の形成によってイベントを読むことができない時期もあるが角田・弥彦断層はおよそ1,000年に1度程度の間隔で活動していると考えられる. さらにその平均上下変位速度は, 金巻新田や竹野町のボーリングコア解析から3~4 mm/yrと考えられる.

新潟平野は最大の厚さが160 mに達する軟弱な沖積層があり, その中に発達する角田・弥彦断層は地表付近では単純な1本の断層として現れない. さらに下盤側が沈降してそこに砂丘や河川堆積物が厚く堆積しており, 断層地形も明瞭とはいえない. このような断層の活動を評価するためには, 基準となるボーリング調査, 既存ボーリングデータの解析やト

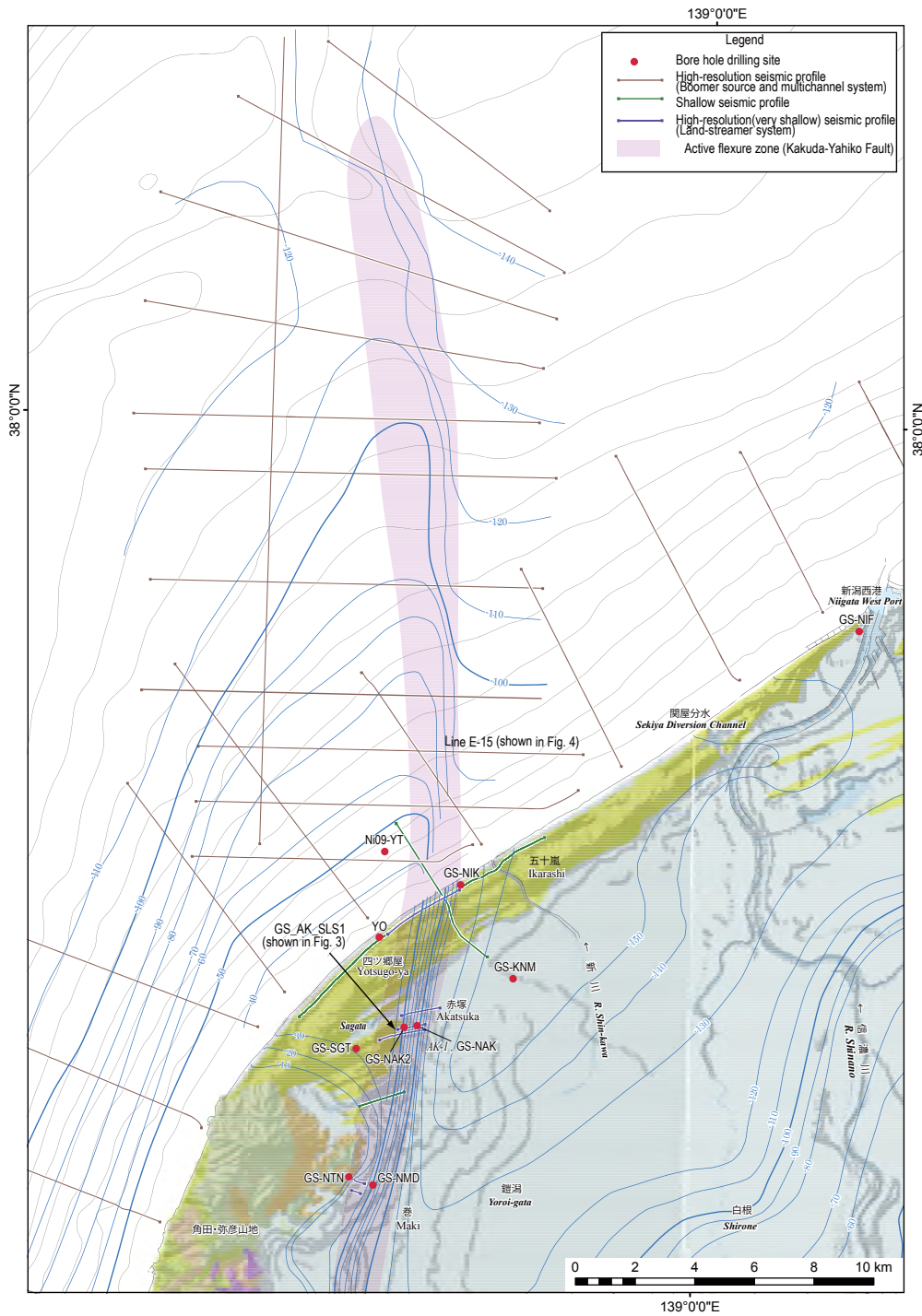
レンチ調査だけではなく，微動アレイ探査・浅層反射法探査なども含め広範囲の地質構造を総合的に解析する必要がある。

文 献

- 天野敦子・井上卓彦・池原 研 (2011) 越後平野沿岸海域の堆積物と音波探査記録からみた更新世—完新世間の堆積環境変遷—。海陸シームレス地質情報集，「新潟沿岸域」，数値地質図 S-2，地質調査総合センター。
- Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L., Cabioch, G., Faure, G., Rougerie, F. (1996) Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge, *Nature*, **382**, 241-244.
- 船引彩子・宮地良典・木村克己 (2011) ボーリングデータベースに基づく新潟平野の沖積層モデル。海陸シームレス地質情報集，「新潟沿岸域」，数値地質図 S-2，地質調査総合センター。
- 池田安隆・宮内崇裕・渡辺満久・佐藤比呂志・今泉俊文・高田圭太 (2002) 新潟平野周辺の断層帯。第四紀逆断層アトラス，東京大学出版会，124-146。
- 稲崎富士・加野直巳 (1999) 高分解能 S 波反射法及びサイスマ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。平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書 (地質調査所速報 no. EQ/99/3)，59-68。
- 稲崎富士・宮地良典・ト部厚志・楳原京子 (2011) ランドストリーマー反射法地震探査による新潟市四ッ郷屋・赤塚地区における角田・弥彦断層の浅部変形構造調査。海陸シームレス地質情報集，「新潟沿岸域」，数値地質図 S-2，地質調査総合センター。
- 井上卓彦・木村治夫・岡村行信 (2011) 新潟県北部沿岸海底地質図及び説明書。海陸シームレス地質情報集，「新潟沿岸域」，数値地質図 S-2，地質調査総合センター。
- 地震調査研究推進本部 (2004) 長岡平野西縁断層帯の長期評価について，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04oct_nagaoka/index.htm。
- 楳原京子・加野直巳・山口和雄・横田俊之・住田達哉・大滝壽樹・伊藤 忍・横倉隆伸・稲崎富士・宮地良典・ト部厚志 (2011) 新潟海岸南西部の反射法地震探査。海陸シームレス地質情報集，「新潟沿岸域」，数値地質図 S-2，地質調査総合センター。
- 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。活断層・古地震研究調査概要報告書，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。
- 宮地良典・船引彩子・楳原京子・井上卓彦・天野敦子・ト部厚志・岡村行信 (2011a) 越後平野沿岸部海域・陸域に分布する沖積層の地層対比。海陸シームレス地質情報集，「新潟沿岸域」，数値地質図 S-2，地質調査総合センター。
- 宮地良典・ト部厚志・田辺 晋・安井 賢・稲崎富士・嶋井幸彦・中西利典 (2011b) 新潟平野海岸部の沖積層の地質構造。海陸シームレス地質情報集，「新潟沿岸域」，数値地質図 S-2，地質調査総合センター。
- 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。
- 中西利典・宮地良典・ト部厚志・田辺 晋・安井 賢 (2010a) ボーリングコア解析による新潟市西部における角田・弥彦断層の活動度評価。活断層研究，no. 32，9-25。
- 中西利典・宮地良典・田辺 晋・安井 賢・中島 礼 (2010b) 沖積層コア (GS-KNM-1) の解析による角田弥彦断層の活動。月刊地球，no. 369，383-389。
- 新潟古砂丘グループ (1974) 新潟砂丘と人類遺跡—新潟砂丘の形成史 I—。第四紀研究，**13**，57-65。
- 新潟市史編さん自然部会 (1991) 新潟市史 資料編；12 自然。新潟市，367p。
- 産業技術総合研究所 (2009) 活断層データベース 2009 年 7 月 23 日版。産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB095，産業技術総合研究所。
- 脇田浩二・井川敏恵・宝田晋治編 (2009) : 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版，数値地質図 G-16。
- 下川浩一・栗田泰夫・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，67-84。
- 下川浩一・栗田泰夫・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。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。

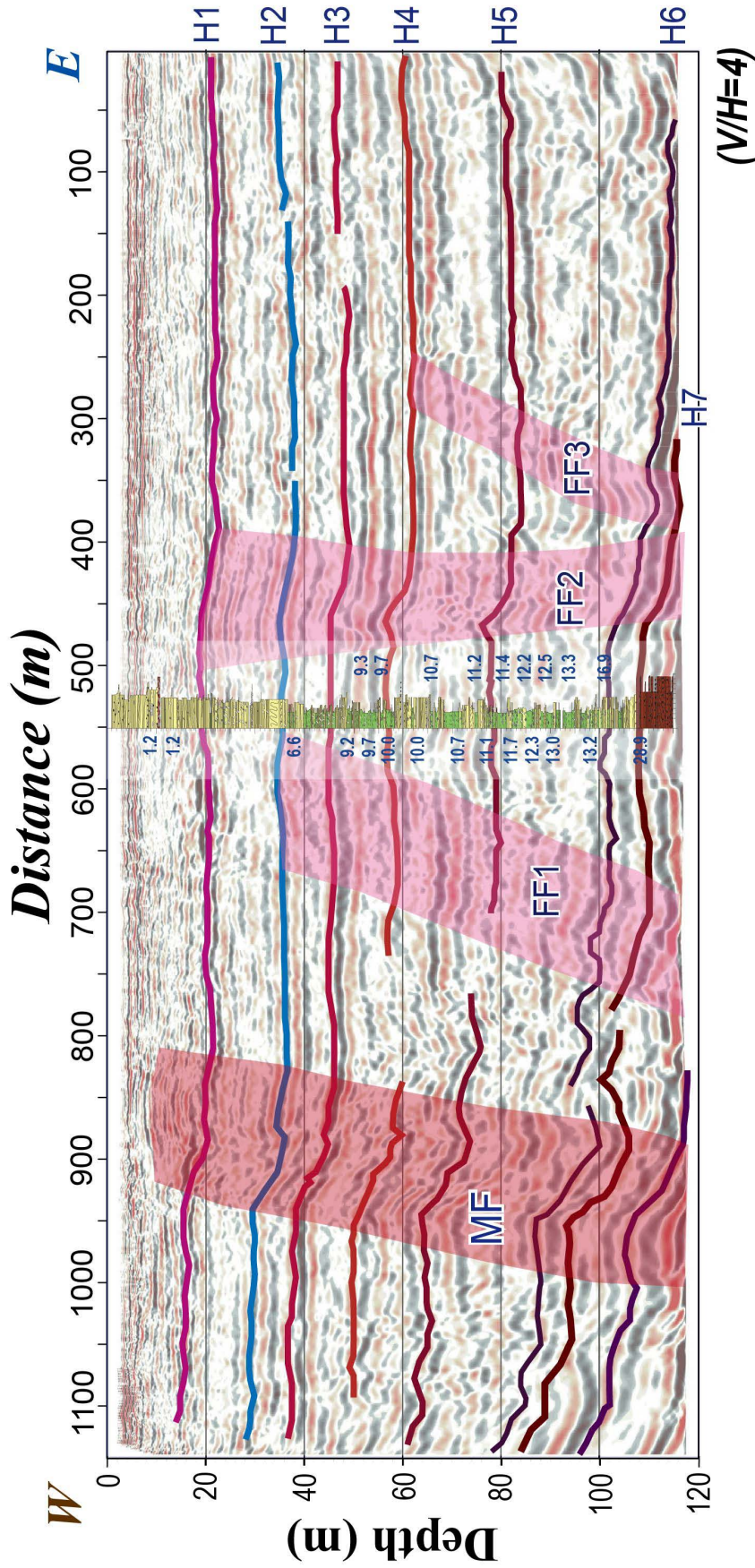
- Tanabe, S., Tateishi, M. and Shibata, Y. (2009) The sea-level record of the last deglacial in the Shinano River incised-valley fill, Echigo Plain, central Japan. *Marine Geology*, 266, 223-231.
- Urabe, A., Takahama, N. and Yabe, H. (2004) Identification and characterization of a subsided barrier island in the Holocene alluvial plain Niigata, central Japan. *Quaternary International*, **115-116**, 93-104.
- 卜部厚志・吉田真美子・高濱信行 (2006) 越後平野の沖積層におけるバリアーラグーンシステムの発達様式. 地質学論集, no.59, 111-127.
- 卜部厚志・渡部 俊・鈴木幸治・村尾治祐・高濱信行・渡部史郎・稲崎富士 (2007) 反射法弾性波探査による越後平野西縁断層帯の浅層構造調査. 第四紀研究, **46**, 427-431.
- 卜部厚志・宮地良典・稲崎富士・楳原京子 (2011) 新潟市竹野町地域の越後平野西縁断層の活動度評価. 海陸シームレス地質情報集, 「新潟沿岸域」, 数値地質図 S-2, 地質調査総合センター.
- 山口和雄・住田達哉・加野直巳・大滝壽樹・伊藤 忍・横田俊之・横倉隆伸 (2009) 越後平野西部の沿岸陸域における浅部地下構造調査. 地質調査総合センター速報: 平成 20 年沿岸域の地質・活断層調査研究報告, no.49, 37-44.
- 吉田真美子・保柳康一・卜部厚志・山崎 梓・山岸美由紀・大村亜希子 ((2006) 堆積層と全有機炭素・窒素・イオウ濃度を用いた堆積環境の復元—新潟平野上部工浸透~完新統の例—. 地質学論集, no.59, 93-109

(受付: 2010 年 10 月 20 日, 受理: 2011 年 1 月 15 日)



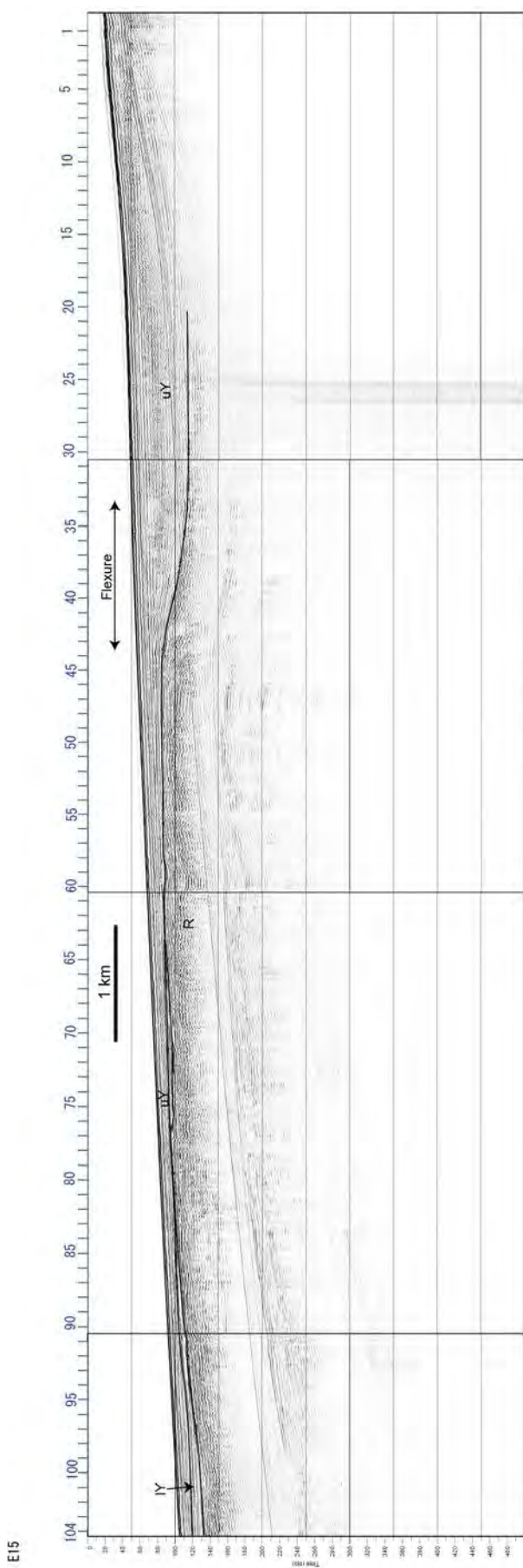
第 1 図 越後平野の地形・地質と調査位置. 地質図は脇田ほか編 (2009) による. 陰影図は国土地理院発行の数値地図 50 m メッシュを用いて作成した. 図中の青線は沖積層基底等深線 (宮地ほか, 2011a, 船引ほか, 2011), 茶線はブーマーを用いた高分解能音波探査測線 (井上ほか, 2011), 緑線は浅層反射法地震探査測線 (山口ほか, 2009; 楢原ほか, 2011), 紫線は極浅層反射法地震探査測線 (宮地ほか, 2011b, 稲崎ほか, 2011; 卜部ほか, 2011), 赤丸は本プロジェクトによるボーリング調査地点を示す. 沖積層の基底は, 越後平野西縁で東へ向かって急に深くなる撓曲構造 (桃色) が存在し, その分布は海域へ連続する.

Fig. 1 Geology and geomorphology in the Echigo Plain. Geologic map from Wakita *et al.* ed. (2009). Shaded relief map is constructed using a 50-m digital elevation model published by Geographical Survey Institute. Blue line: the base of “Chuseki-so” from Miyachi *et al.* (2011a) and Funabiki *et al.* (2011), brown line: high-resolution seismic profile using boomer source and multichannel system (Inoue *et al.*, 2011), green line: shallow seismic reflection profile (Yamaguchi *et al.*, 2009; Kagohara *et al.*, 2011), purple line: very shallow seismic reflection profile using the land streamer system (Miyachi *et al.*, 2011b; Inazaki *et al.*, 2011; Urabe *et al.*, 2011), red circle: borehole of this project. Contour map shows the base of “Chuseki-so” are steeply dipping toward east at west extent of the Echigo Plain, and extending from land to the sea.



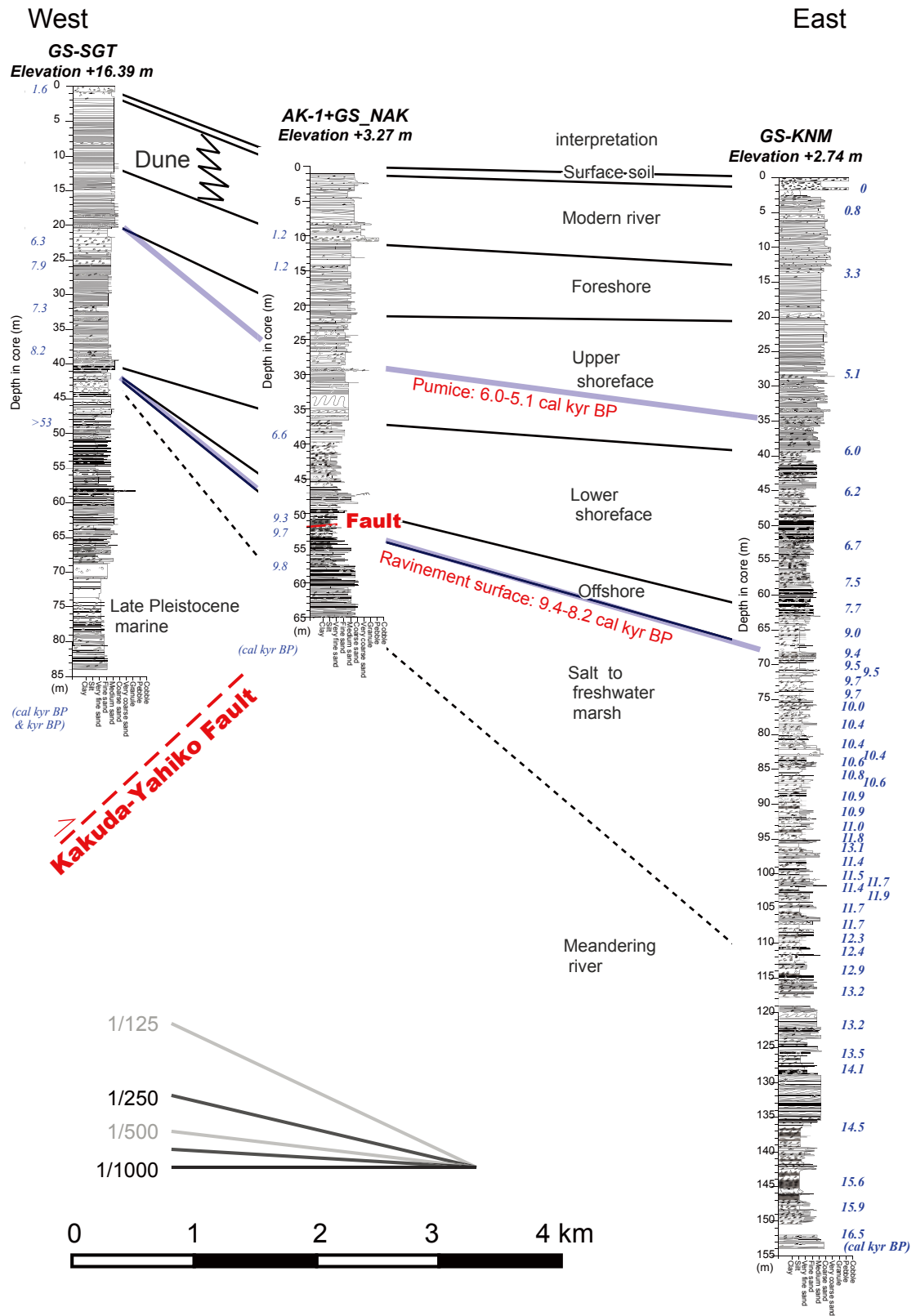
第3図 GS_AK_SLS1 測線の解釈深度断面 (稲崎ほか, 2011)。H1-H7 は明瞭な反射層準で、MF, FF1~FF3 では反射面が屈曲する変形が認められる。柱状図には GS_NAK コアの岩相と得られた C14 年代を示す。測線およびボーリングの位置は第2図参照。

Fig. 3 Interpreted depth section along GS_AK_SLS1 line (Inazaki *et al.*, 2011). Note that the picked major horizons (H1-H7) are traceable throughout the profile and bend in the specific zones marked as MF and FF1 to FF3. Columnar section shows lithofacies and ¹⁴C dating data of the GS_NAK core.



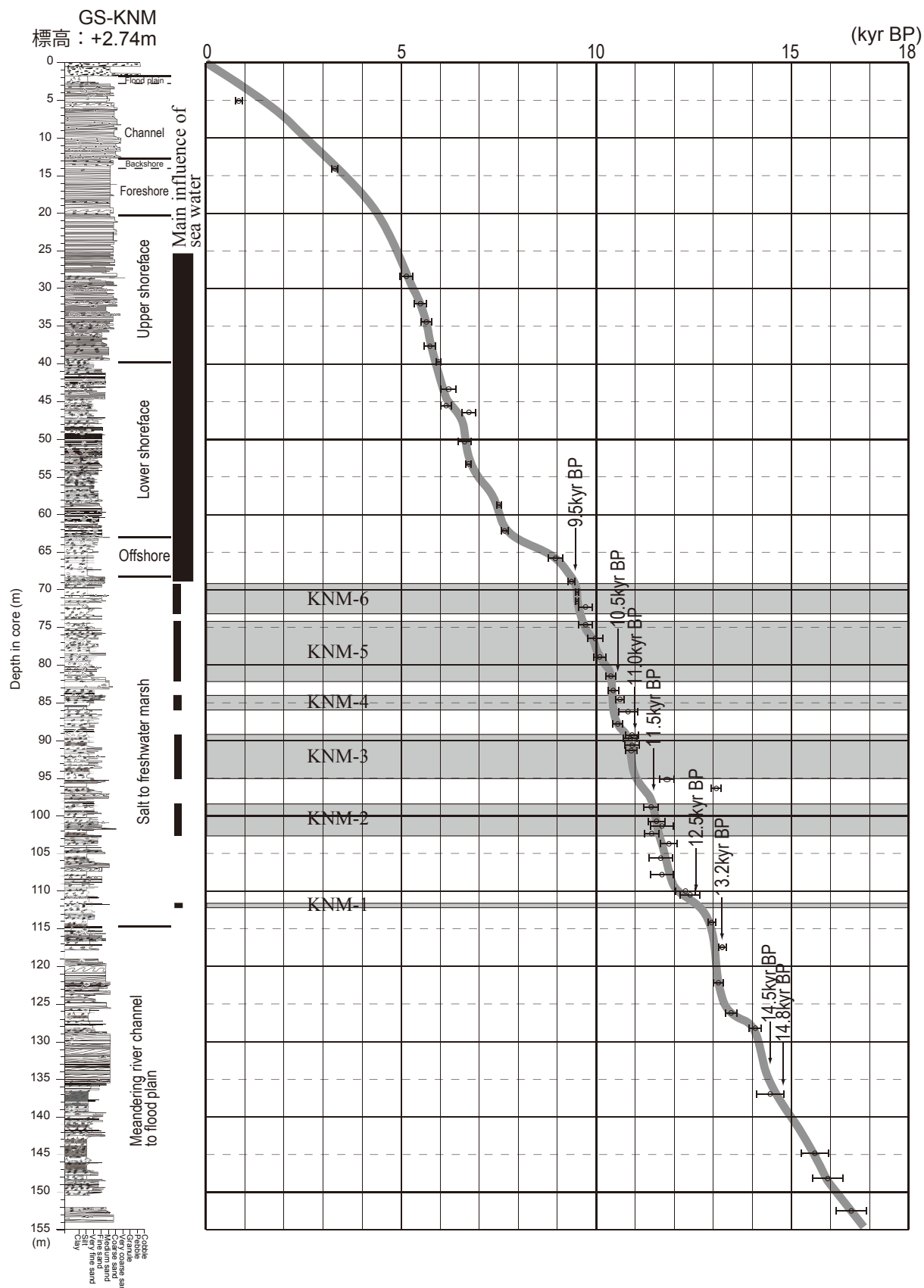
第4図 四ツ郷屋沖背斜を東西に横断する反射断面（井上ほか，2011；E15）。背斜構造の東縁に沿って幅約1kmの撓曲帯が発達し，四ツ郷屋沖層の変形は下部ほど大きくなる。R：両津沖層下部層，uY：四ツ郷屋沖層上部層。測線の位置は第1図参照。

Fig. 4 Seismic profile across the Yotsugoya-oki anticline (Inoue, *et al.*, 2011; E15). The eastern margin of the anticline is the flexure zone about 1 km wide, and the deformation increase downward in the Yotsugoya-oki Formation. R: Ryotsu-oki Group, uY: Lower part of Yotsugoya-oki Formation, uY: Upper part of Yotsugoya-oki Formation. See Fig. 1 for location.



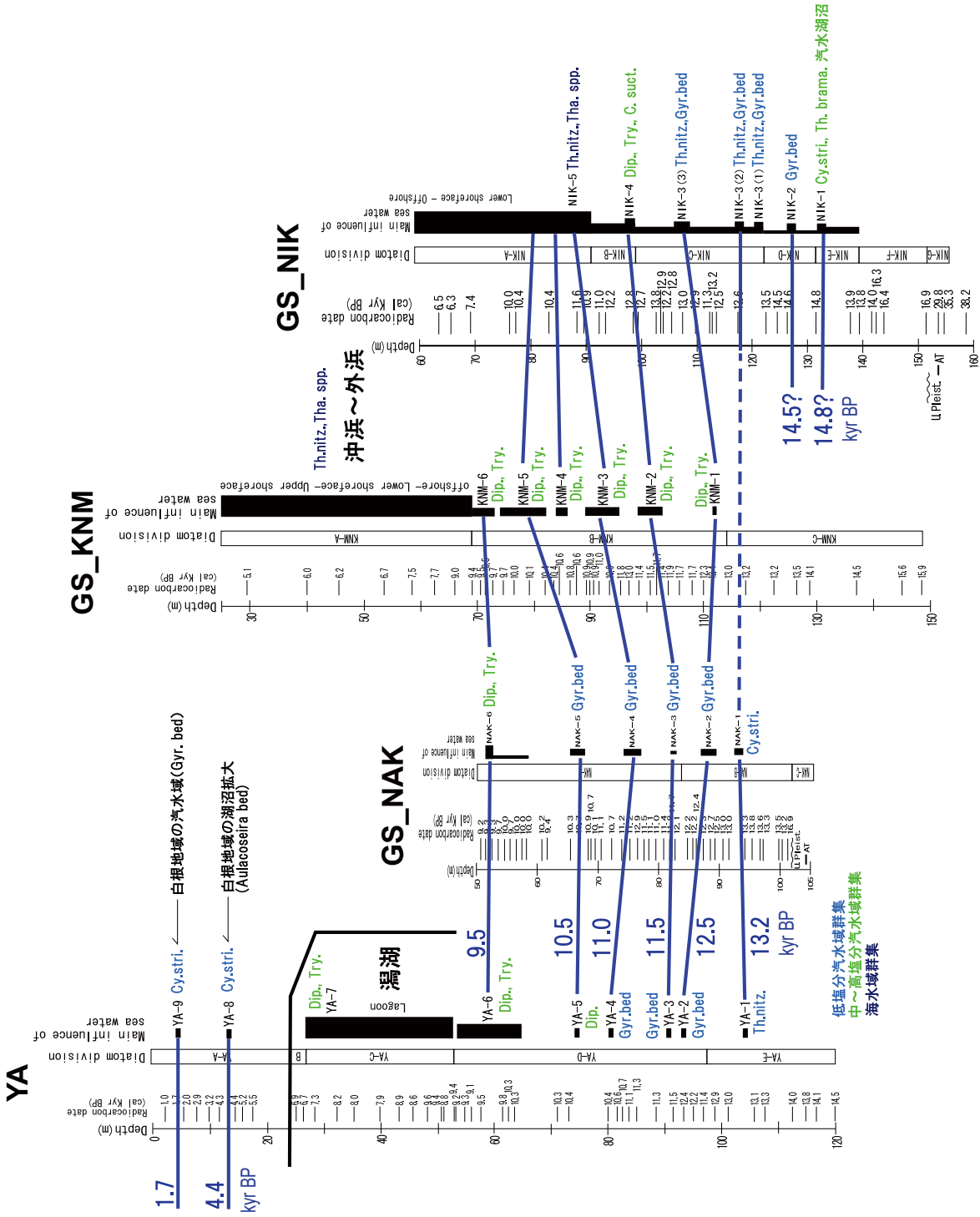
第5図 堆積相と放射性同位体年代に基づく角田・弥彦断層を挟んだコアの対比。宮地ほか（2009）および中西ほか（2010a）に基づく。青字はC14年代，青線は軽石火山灰（6.0～5.1 cal kyr BP）およびラビーンメント面（9.4～8.2 cal kyr BP）を指標とする同時代線を示す。ボーリング調査地点は第2図参照。

Fig. 5 Correlation of cores across the Kakuda-Yahiko fault, based on the sedimentary facies and radiocarbon ages from Miyachi *et al.* (2009), Nakanishi *et al.* (2010a). Blue text showing C14 dating ages. Blue lines imply the synchronous line correlated with pumice layer (6.0-5.1 cal kyr BP) and ravinement surface (9.4-8.2 cal kyr BP).



第 6 図 GS-KNM コアの放射性炭素同位体年代曲線と堆積環境。図中の灰色は湿地～塩性湿地堆積物中の塩性堆積物を示し、GS-KNM 地点では小規模な海進が 13.2～9.5 cal kyr BP に 6 回起きたことがわかる。ボーリング調査地点は第 2 図参照。

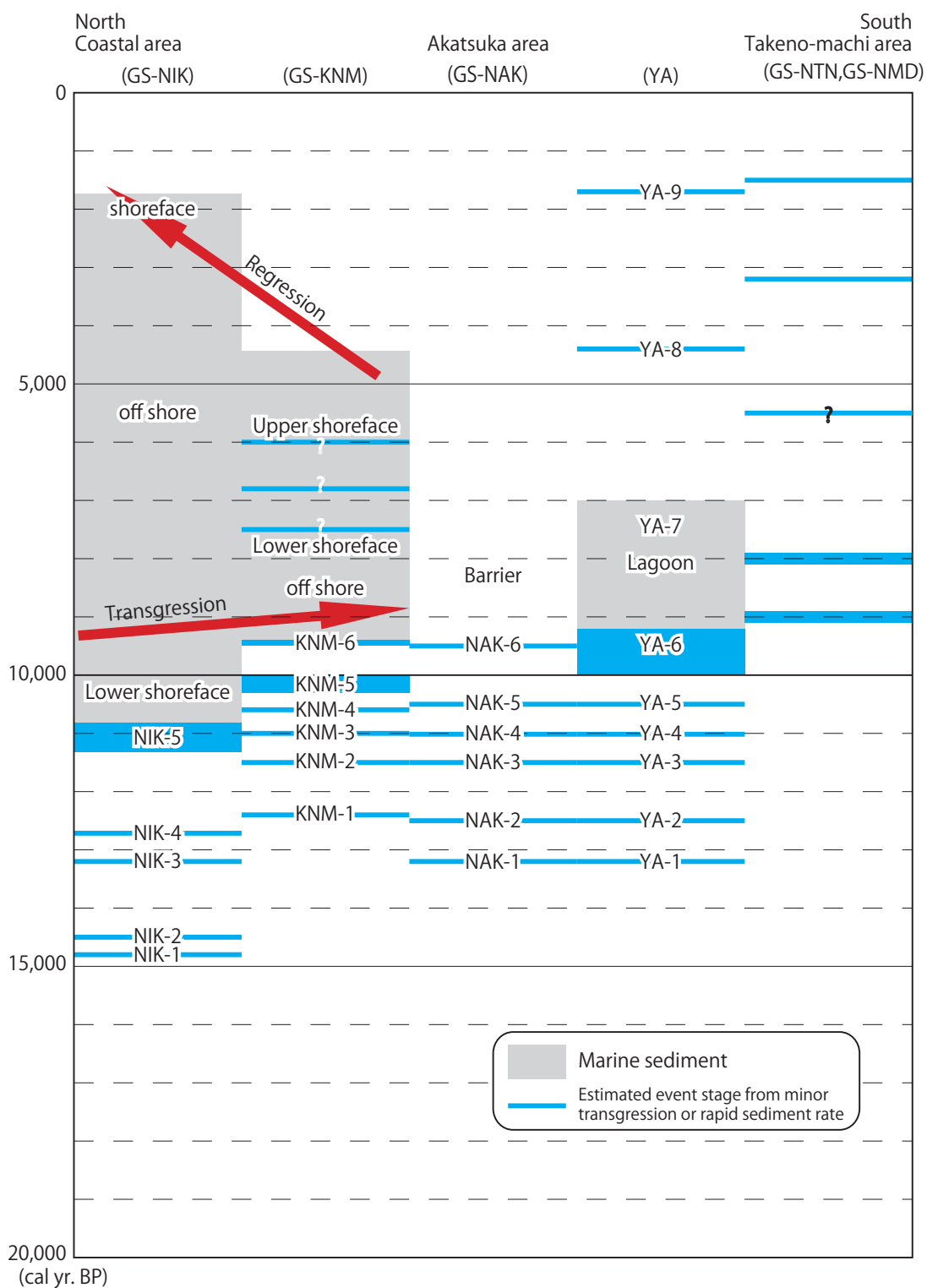
Fig. 6 Radiocarbon age and sedimentary environment of the GS-KNM. Gray zones show salt marsh sediments in between the salt to freshwater marsh sediments. Diagram shows that there are six minor transgression between 13.2-9.5 cal kyr BP.



第7図 各ボーリングコアの珪藻化石群集対比からみる相対的小海進イベント。ボーリング調査地点は第2図参照。

青線は小海進イベントの同時間線を示す。

Fig. 7 Relative minor transgression determined by the correlation of the diatom assemblage. Blue line: the synchronous line of minor transgression. See Fig.2 for drilling site locations.



第 8 図 ボーリングコア解析に基づく越後平野西縁の地震イベント。地震イベントは、相対的
小海進イベントおよび急な堆積速度の増加から推定。ボーリング調査地点は第 2 図参照。

Fig. 8 Diagram shows the earthquake events of each drilling area, according to the minor transgression
and/or rapid sedimentation. See Fig. 2 for drilling site locations.