

## 新潟海岸南西部の反射法地震探査

### Seismic reflection profiles around the south-west Niigata coastal area

楮原京子<sup>1</sup>・加野直巳<sup>2</sup>・山口和雄<sup>2</sup>・横田俊之<sup>3</sup>・住田達哉<sup>2</sup>・大滝壽樹<sup>2</sup>・伊藤 忍<sup>2</sup>

横倉隆伸<sup>2</sup>・稲崎富士<sup>2</sup>・宮地良典<sup>2</sup>・卜部厚志<sup>4</sup>

Kyoko Kagohara<sup>1</sup>, Naomi Kano<sup>2</sup>, Kazuo Yamaguchi<sup>2</sup>, Toshiyuki Yokota<sup>3</sup>, Tatsuya Sumita<sup>2</sup>, Toshiki Ohtaki<sup>2</sup>, Shinobu Ito<sup>2</sup>, Takanobu Yokokura<sup>2</sup>, Tomio Inazaki<sup>2</sup>, Yoshinori Miyachi<sup>2</sup> and Atsushi Urabe<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center)

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

<sup>3</sup> 地圏資源環境研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute for Geo-Resources and Environment)

<sup>4</sup> 新潟大学災害復興科学センター (Niigata University, Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery)

**Abstract:** To understand geological structure of the Niigata coastal area, we conducted three high-resolution seismic reflection surveys including an offshore-onshore integrated seismic reflection profile, and we also reprocessed two seismic reflection survey lines conducted by JNOC (Japan National Oil Corporation; presently Japan Oil, Gas and Metals National Corporation). These data were processed by conventional common mid-point (CMP) stack methods. These profiles indicate that the Kakuda-Yahiko Fault, inland active fault along eastern foot of Yahiko massif, continues to sea obviously, and that the Kakuda-Yahiko Fault deformed sedimentary strata as east-facing broad monocline.

**Keywords:** littoral zone, coastal area, seismic reflection profile, re-processing, active fault, subsurface structure, Nagaoka Plain, Niigata coast

#### 要 旨

新潟海岸南西部において、陸から海へと連続する活断層と推定されていた長岡平野西縁断層帯の角田・弥彦断層の位置・形状を明らかにすることを目的に、断層推定位置を横断する3測線での新規反射法地震探査と石油公団（現・石油金属資源機構）基礎物理探査「新潟～富山浅海域」の再解析を行った。データの処理は共通反射点（CMP）重合法を用いた。その結果、陸域断面、海陸接合断面、海域断面のいずれにおいても、堆積層が東へ大きく撓む構造が認められた。その撓曲変形は幅1～2 kmに及び、走向が海岸線付近でわずかに湾曲することが推定された。

#### 1. はじめに

新潟海岸は日本海東縁の歪集中帯に位置し、1964年新潟地震や2007年中越沖地震を引き起こした震源断層が分布している。日本海東縁は、地震発生ポテンシャルが高いと予想される領域であるものの、これまで調査アプローチの難しさからその沿岸部の地質情報はほとんど得られていない。

産業技術総合研究所では、このような新潟海岸の地質情報の整備の一環として、平成20年度～21年度にわたって、本地域の主要地質構造の一つである長岡平野西縁断層帯（地震調査研究推進本部、2004）

の角田・弥彦断層を対象とした3測線の反射法地震探査を実施した。また、石油公団（現・独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が1990年に実施した海上基礎物理探査2測線の再解析を行い、新潟海岸南西部の反射断面図として整備した。

#### 2. 地形・地質概説

越後平野は西端を西山丘陵、弥彦山地、東端を東山丘陵、新津丘陵、笹神丘陵、楯形山脈などの山塊に囲まれた紡錘形の平野である。山地・丘陵と平野との境界には新第三系を大きく変位させる活断層が分布する（第1図；仲川、1985；小林、1996；池田ほか、2002など）。長岡平野西縁断層帯は東頸城丘陵に代表されるような褶曲山地の東翼をなし、北から角田・弥彦断層、鳥越断層、関原断層、片貝断層、逆谷断層で構成される。なお、角田・弥彦断層は「角田山東縁断層」（池田ほか、2002；地震調査推進本部、2004）とも呼ばれている。本断層帯は石油資源調査や活断層調査か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とされ、場所によって幅1 kmに及ぶ撓曲を伴う。また、この断層帯の北部を構成する角田・弥彦断層は、その平均上下変位速度が3 mm/yrと日本の内陸活断層の中でも高いグループに属する（地震調査研究推進本部、2004）。その分布

は、弥彦山地の東縁から新潟海岸の沖合海域へと連続するとされる（石油公団，1991）。角田山から北東へ延びる砂丘列の一部（新砂丘 I および新砂丘 II の東部）は、沖積面下に埋没しており、砂丘形成後も沈降運動が引き続けていることを示す（ト部ほか，2006）。しかし、最も海岸寄りの新砂丘 III では、起伏に富む大小の風成砂丘が形成されており、断層変位を示唆する地形異常を認定することができない。

### 3. 探査測線の概要とデータ処理

第 1 図に測線位置図，第 1 表にデータ取得仕様を示し，以下に，各測線の概要を記述する。なお，データ処理の詳細については，山口ほか（2009），加野ほか（2010），楮原ほか（2010a, b）を参考にされたい。

#### 3.1 再解析測線 SN90-9 と SN90-A

今回再解析を行ったのは，石油公団が新潟沿岸域で実施した平成 2 年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「新潟～富山浅海域」（石油公団，1991）の反射法地震探査データのうち SN90-9 測線の全部および SN90-A 測線の一部である（第 1 図；加野ほか，2010）。

SN90-9 測線は陸域と浅海域をつなぐ測線で，新潟市西区四ツ郷屋沖から同区木山を経て同区藤野木に至る測線長約 8.6 km の測線である。また，後述の新潟 2009 測線と同様，陸域の大半は砂丘上に位置する。SN90-9 測線では，陸域の受振器に 18 個組みのジオフォン，海域の受振器にジンバルフォン（水深 8 m 以浅）とハイドロフォン（水深 8 m 以深）が用いられた。また，陸域の震源にはダイナマイト，海域の震源にはエアガンが用いられた。

SN90-A 測線は新潟市西蒲区越前浜沖から村上市三面川沖まで連続する測線であるが，再解析を行ったのは，このうち新潟市西蒲区越前浜沖から同市西区五十嵐沖に至る約 12.7 km の範囲である。この測線は水深 20 m 前後の浅海域を海岸線に沿って延び，CMP5430 付近（SN90-9 測線の CMP240 付近）で SN90-9 測線と交差する。SN90-A 測線では，受振器にハイドロフォン，震源にエアガンがそれぞれ用いられた。両測線の発震点・受振点間隔は共に 25 m，データは 80 ch で収録された（第 1 表；石油公団，1991）。

#### 3.2 新潟 1 測線

新潟 1 測線は，海岸線から 200～300 m 内陸に位置し，新潟市西蒲区越前浜から新川河口を経て同市西区五十嵐に至る測線長約 10 km の測線である（第 1 表；第 1 図；山口ほか，2009）。新潟 1 測線は，角田・弥彦断層の推定位置（石油公団，1991；新潟県地質図改訂委員会，2000）と CMP4500 付近で交差する。測線の大半は最も若い砂丘列（新砂丘 III；新潟古砂

丘グループ，1974）の上に位置し，標高は 4～14 m の間で変化する。

探査データは DAS-1（OYO Geospace 社製）を用いて 144 ch で収録した。発震・受振展開は，固定した 144 受振点の西端から発震を開始し 48 受振点目までの発震終了後に受振点を 48 点分東へずらす方式とした。受振点間隔は 10 m，受振器には固有周波数 10 Hz のジオフォン（6 個組）を使用した。震源には小型油圧バイブレータ Minivib（IVI 社製）を用い，発震は受振点と受振点間を 4 等分した 2.5 m の稠密発震とした。1 つの発震点における垂直重合数は 1 ないし 2 回とした。

#### 3.3 新潟 2009 測線

新潟 2009 測線は，新潟市西区内野上新町の約 3 km 沖合から新中浜を経て中権寺に至る測線長約 6 km の測線で，角田・弥彦断層の推定位置（石油公団，1991；新潟県地質図改訂委員会，2000）を，海域で横断する（第 1 図；楮原ほか，2010a）。新潟 2009 測線は，海と陸をまたぐ反射断面を取得するため，1) 陸域発震－陸域受振（LL 測線），2) 陸域発震－海域受振（LM 測線），3) 海域発震－陸域受振（ML 測線），4) 海域発震－海域受振（MM 測線）の合計 4 つの調査形態によるデータ取得を行った（第 2 図）。測線の陸域の 3 分の 2 は砂丘の上に位置し，測線に沿った標高は 0～15 m で変化する。

陸域の受振は，固有周波数 10 Hz のジオフォン（6 個組）を 10 m 間隔で設置し，通常 180 ch で収録した。探査機には DSS-12（サンコーコンサルタント（株）製）を用いた。また，陸上震源には，ENVIRO-VIBE（IVI 社製）を使用した。発震は，LL 測線，LM 測線のいずれも，受振点と受振点間の中点で行い，発震点間隔は 5 m とした。震源のスウィープ周波数は 10～80 Hz，垂直重合数は標準で 4 回とした（第 1 表）。

海域の受振は，120 ch のハイドロフォンを 10 m 間隔に組み込んだベイケーブルを海底に敷設して行い，海域の受振測線約 2.4 km を浜側展開と沖側展開に分けて受振した。探査機には Geode（Geometrics 社製）を用いた。海域の震源には，総容量 80 立方インチのエアガンを使用し，船速を調整しながら 20 m 間隔の発震を，同じ航路で測線方向に位置をずらして 2 往復することにより，最終的には，発震点間隔 5 m のデータを取得した（第 1 表）。

LL 測線は，海岸際から内陸へ 3 km の区間で実施した。受振器の展開は測線の状況等により，切り替えのタイミングが不規則となったが，基本的には固定した 180 ch の受振点の南端から発震を開始し，適当な受振点まで発震したところで受振点を 12 ch 分北へ移動する方法をとった。LM 測線では，海岸線から内陸へ 1 km の区間で行った発震記録を浜側展開と沖側展開のそれぞれ 120 ch で収録した。ML 測線では，海岸線から沖合 3 km の区間で行った発震記録

を海岸線際から設置した 180 ch (約 1.8 km) のジオフォンで収録した。MM 測線では、海岸線から沖合 3 km の区間で行った発震記録を浜側展開と沖側展開のそれぞれで収録した。(第 1 表, 第 2 図)。

### 3.4 GS\_MN\_CDP 測線

GS\_MN\_CDP 測線は、新潟市西蒲区松野尾から同区中島に至る約 1.5 km の測線で、加野ほか (1999) によって捉えられた変形構造を詳細にすることを目的に実施した。測線は水田の広がる沖積低地に位置し、用水路に沿った未舗装道路であった。既存研究では、測線の CMP100 あたり (石油公団, 1991; 新潟県地質図改訂委員会, 2000) や CMP500 付近 (池田ほか, 2002) に角田・弥彦断層が推定されている。(第 1 図; 楮原ほか, 2010b)。測線上では交通の往来もなく、住宅地からも離れていたため、生活ノイズのレベルは非常に低かった。

探査データは DSS-12 (サンコーコンサルタント (株) 製) を用いて 240 ch で収録した。また受振点は、東側 144 ch, 西側 96 ch のスプリット展開を基本形として、固定した 240 ch の受振点の 144 ch 目から測線上方へ 12 ch 分発震し、その後、次の展開 (受振点を 12 ch 分前進) へ移動する方式をとった。受振点間隔は 5 m, 受振器には固有周波数 28 Hz のジオフォン (4 個組) を使用した。震源には油圧インパクト JMI-200 ((株) 地球科学総合研究所製) を用い、受振点と受振点間の midpoint を発震点とする発震間隔 2.5 m の稠密発震とした。また、1 つの発震点における垂直重合数は 8 回とした (第 1 表)。

### 3.5 データ処理

反射法地震探査データは、一般的な共通反射点 (CMP) 重合法 (例えば, Yilmaz, 2001) に基づいて解析した。一般的な処理の流れを第 3 図に示す。処理では、重合前データに対する振幅補償やデコンボリューション処理、重合データに対するフィルタリングやマイグレーション等を実施し、最終的には重合測線沿いの深度断面を得た (第 5 図～第 9 図)。また、陸域の記録に対しては、表層付近の低速度層や標高差による影響を取り除くための表層静補正を施し、新潟 2009 測線データに対しては、1) 各測線の CMP 重合断面の作成、2) 各 CMP 重合断面に対する接合処理 (接合 CMP ギャザーの作成)、3) 接合 CMP ギャザーによる CMP 重合断面・深度断面の作成に分けて処理を行った。

## 4. 反射断面と地質学的解釈

反射法地震探査断面は、データ処理によって求められる速度構造や反射面の特徴を、越後平野の地質断面図・地質柱状図・深部坑井 (新潟市史編纂自然部会編, 1991; 小林, 1996; 新潟県地質図改訂委員会,

2000; 鴨井ほか, 2002), 石油公団 (1991) の反射断面の地質解釈と照らし合わせて解釈を行った。

### 4.1 新潟地域の地質層序

越後平野東側の越後山地には、中・古生界および白亜紀の花崗岩類、弥彦山地には新第三系から中部更新統が広く分布する。一方、越後平野下には、新第三系以降の地層が広く分布し、基礎試錐「新潟平野」によると、その層厚は 6000 m に達する。調査地域の新第三系～第四系は、下位より七谷層、寺泊層、椎谷層、西山層、灰爪層、蒲原層群 (魚沼層) に区分される (第 4 図; 石油公団, 1991; 新潟県地質図改訂委員会, 2000)。

中部中新統の七谷層はデイサイト～流紋岩質火砕岩および玄武岩質火砕岩と泥岩からなる。七谷層を整合に覆う寺泊層は細粒砂岩泥岩互層を主体とし、この時代の火山岩には、弥彦山地を構成する火山岩類が含まれる。椎谷層は砂岩泥岩互層からなり凝灰岩を挟む。鮮新統～下部更新統である西山層は青緑色～灰黒色の塊状からなり砂岩・火山灰の薄層を挟む。灰爪層は細～中粒砂、砂質シルト、砂泥互層からなり、一般に下位層を整合で覆うが、丘陵縁辺の隆起部では傾斜不整合で覆う。中・上部更新統である蒲原層群は漸海成層から陸成層の砂礫層・泥質層からなり、水溶性天然ガスを含む (ガス層は上位より G2～G5 と呼ばれる)。またこの上位に重なる埋没段丘礫層は G1 層と呼ばれる砂礫層で海拔 -150 m 付近に分布する。

また、SN90-9 測線および SN90-A 測線の交点に位置する「角田沖 SK-1」(掘止深度 2014.5 m) では、海底下 117 m に灰爪層・西山層境界、630 m に西山層・椎谷層境界、1021 m に椎谷層・寺泊層境界、1260.8～1270 m が七谷層泥岩部で 1270 以深 (-2014.5 m) が七谷層火山岩となっている。基礎試錐「下五十嵐」(掘止深度 5007 m) では、海底下 826 m に魚沼層・灰爪層境界、1700 m に灰爪層・西山層境界、3670 m に西山層・椎谷層境界となり、3670 m～5006.7 m は椎谷層の堆積岩で、堆積岩の基底となる火山岩等には到達していない。

### 4.2 再解析 SN90-A 測線

SN90-A 測線深度断面図 (第 5 図) の北東端では、基礎試錐「下五十嵐」と対比された反射断面 (石油公団, 1991 の SN90-8 測線) の追跡から、海底下 600 m に魚沼層・灰爪層境界、1700 m に灰爪層・西山層境界、2800 m に西山層・椎谷層境界が位置する。魚沼層は側方に連続する高周波な反射面群に特徴付けられ、CMP5100 以北では、魚沼層・灰爪層・西山層・椎谷層がほぼ水平に堆積する。これらの反射面は CMP5070 付近から CMP5200 付近にかけて引きずられるように上方へ向かう。

一方、「角田沖 SK-1」で対比される地層のうち七

谷層（火山岩類）上面は側方に連続するも起伏に富む強反射面に対比され、断面南西端（CMP5680）の深度 1350 m から CMP5190 の深度 2200 m にかけて北東へ緩やかに下がりながら分布する。七谷層上位の寺泊層・椎谷層もほぼ同傾斜で北東へ撓み下がる。西山層はその下部では椎谷層などとほぼ同傾斜をなすが、CMP5450 の深度 100 m 付近から CMP5200 深度 400 m 付近には、下部より緩傾斜で累重する反射面が認められ、CMP5200 から CMP5120 にかけて大きく撓み下がる。また、灰爪層は北東に向かって徐々に層厚を増し、西山層よりも緩傾斜で累重するが、西山層上部と同様に、CMP5200 から CMP5120 にかけて大きく撓み下がる。

断層は、断面北東側のほぼ水平な堆積層と、断面南西側の傾斜する地層との間に位置し、推定される傾斜（見かけ傾斜）は約 50°~60° と高角である。

#### 4.3 再解析 SN90-9 測線

SN90-9 測線深度断面図（第 6 図）では、SN90-A と反射面の分布・特徴が類似しており、断面南東側にほぼ水平から CMP500 付近上方へ向かって引きずられる堆積層が分布し、断面北西側には起伏に富む七谷層上面とそれとほぼ同傾斜で累重する寺泊層・椎谷層・西山層下部が認められる。また、断層も CMP500 付近にある水平層と傾斜層の境界に推定される。しかし、断層上盤側の地層の傾斜方向が SN90-A 断面とは異なり、CMP400 付近を背斜軸として断層面の傾斜方向（北西）に傾斜している。また、西山層上部は傾斜不整合で下部層を覆い、徐々に北西へ肥厚化していることから、背斜の成長に伴って堆積した成長層（growth strata）であると判断される。CMP30 から CMP270 に分布する灰爪層にも北西への肥厚化が認められる。断層は、断面南東側のほぼ水平な堆積層と、断面北西側の傾斜する地層との間に位置し、推定される傾斜（見かけ傾斜）は約 45°~55° である。

#### 4.4 新潟 1 測線

新潟 1 測線深度断面図（第 7 図）では全体を通して 100 m 以浅はほぼ水平な堆積層で充填される。調査地域周辺の沖積層の基底は海拔 -150~-120 m（新潟県地質図改訂委員会，2000；鴨井ほか，2002）であることから、これらはほぼ沖積層に対比されると考えられる。これより下位を反射面の特徴と越後平野の地質断面図やボーリング資料解釈すると、断面南西端から CMP1400 の深度 600 m から 1100 m で北東へ傾斜する反射面は七谷層上面、断面西端から CMP2000 の深度 300 m から 800 m で北東へ傾斜する反射面は寺泊層上面、CMP400 から CMP2600 の深度 100 m から 700 m で北東へ傾斜する反射面群は椎谷層に対比される（山口ほか，2009）。また、SN90-9 断面との比較から CMP1000 から CMP3500 にかけて

認められる多数の反射面群は西山層下部に、この反射面群と沖積層との間は西山層上部に対比される。一方、断面北東側は、浅層部を除いて有効な反射面が捉えられていないため地質構造は解釈されないが、周辺のボーリング資料に基づく、深度 500 m 付近までは魚沼層、それ以深（3000 m まで）は灰爪層が分布する。

CMP3000 から CMP4200 の深度 400 m から 100 m にかけては、断面南西側からほぼ水平かやや北東へ傾斜していた反射面が、急激に傾斜を増している。また断面北東側の CMP4700 から CMP5800 の深度 200 m 以浅にも北東へ緩く撓む反射面群が捉えられている。これらは上位ほど緩傾斜であることから、累積的な変形を示していると判断され、その変形を与える 2 条の断層が存在する可能性が高い。

#### 4.5 新潟 2009 測線

新潟 2009 測線深度断面図（第 8 図）では、地表から深度 150 m において、連続性の良いほぼ水平な反射面群が、測線全般にわたって認められる。この反射面群は、出現深度や下位の反射面を不整合に覆うような特徴から沖積層に対比される。また、SN90-A 測線（第 6 図）との比較から、断面南西側の深度 320 m に灰爪層・西山層境界、深度 950 m に西山層・椎谷層境界が位置し、ここでは、地質境界近傍の反射面を解釈層準として用いた。

断面の CMP230 から CMP600 の灰爪層および西山層には、CMP280 付近と CMP550 付近を頂部とする波状をなす反射面群が認められ、下位の椎谷層等は南東への傾斜が認められる。しかし、CMP600 を境に南東側では反射面が乏しく、灰爪層・西山層・椎谷層の地質構造を東方へ追跡できないが、周辺のボーリング資料を参考にすると、断面南東側では、およそ深度 500 m 付近までは魚沼層、それ以深は灰爪層となる。また、CMP950 から CMP1050 の深度 500 m から 800 m の反射面の形状から判断して、これらの地層が、平野下においてほぼ水平に堆積していると推定される。以上のことから、灰爪層・西山層に認められた波状の反射イベントや椎谷層の南東傾斜の反射イベントは断層に伴う撓曲変形であり、これらと平野側の水平な反射イベントとの間（断面のほぼ中央付近）には断層が存在すると解釈される。なお、ここでは 2 つの背斜が認められることから、断層は折れ曲がるか、2 条に分岐している可能性がある。

#### 4.6 GS\_MN\_CDP 測線

GS\_MN\_CDP 測線深度断面図（第 9 図）では、地表から深度 100 m 付近に、ほぼ水平か東へ緩く傾斜する連続の良い反射面群がみられる。この反射面群の最下面の深度は、ボーリング資料等（新潟県地質図改訂委員会，2000；鴨井ほか，2002）から知られ

る沖積層の基底深度とほぼ一致することから、沖積層に対比する。

一方、沖積層の下位には、大きく東へ撓み下がる反射面群とその東翼斜面を覆う反射面群が認められる。これらの反射面は魚沼層と推定される。前者は、CMP440 付近を頂部として下位ほど大きく撓曲している。また、東傾斜の反射面群中には、いくつかの傾斜不整合も認められる。後者の反射面群は CMP400 の深度 100 m～CMP70 の深度 360 m の範囲に認められ、東傾斜の反射面が多いように見える。

反射断面には地表に達するような断層を見ることができない。しかし、下位の魚沼層には下位ほど東へ撓曲し、その軸の延長 (CMP280～350) において、沖積層の反射面の勾配がやや急になっている。このことから両層に認められる変形が同じ断層 (褶曲) の活動に伴うものであると推定される。

## 5. 新潟海岸周辺の地質構造

反射断面の地質解釈から角田・弥彦断層は、主として東向きの撓曲変形を伴う伏在断層である。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高角逆断層に特徴的な構造を有する。第 10 図には、灰爪層上面を変位基準とした撓曲変形 (撓曲崖) の分布を示す。また、撓曲崖の基部は赤線で表記した。変形帯は幅 1～2 km におよび、SN90-A 測線と新潟 2009 測線が交差するあたりでは北北西～南南東方向の走向をもつ。また SN90-9 測線と新潟 1 測線が交差する海岸線付近から南では、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変化に富むことが分かる。この走向の違いが、断層面の走向変化によるものか、雁行する複数の断層の存在を表現しているものかは、現段階のデータで判断することはできない。しかし、新潟 1 測線および新潟 2009 測線では、1 km 以浅に 2 条の背斜が認められるように、ここでは、浅部で分岐する断層 (あるいは断層面の折れ曲がり) が形成されるなど地質構造が複雑であることから、海岸線付近において主断層面の形状が変化していることは確かであろう。

## 6. まとめ

新潟海岸南西部において、角田・弥彦断層の位置・形状を明らかにすることを目的に、断層推定位置を横断する 3 測線での新規反射法地震探査と石油公団 (1991) 基礎物理探査「新潟～富山浅海域」の再解析を行った。その結果、陸域断面、海陸接合断面、海域断面のいずれにおいても、堆積層が東へ大きく撓む構造が認められ、各断面の比較から、角田・弥彦断層とその活動に伴う変形構造の分布が明らかとなった。

**謝辞** 新潟 1 測線ならびに新潟 2009 測線、GS\_MN\_CDP 測線の反射法地震探査を実施するにあたり、新潟県ならび新潟市の関係諸機関、地域住民の方々にご協力とご理解を頂いた。観測に際しては、(株) ジオシス、(株) 川崎地質、阪神コンサルタンツ (株)、村尾技研 (株) のご協力を得た。経済産業省資源エネルギー庁、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構には資料の使用および公表の許可を頂いた。以上の方々に、心よりお礼申し上げます。

## 文 献

- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編 (2002) 第四紀逆断層アトラス。東京大学出版会、254p。
- 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](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04oct_nagaoka/index.htm)。
- 加野直巳・山口和雄・粟田泰夫 (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、No. EQ/99/3 (平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書)、47-58。
- 加野直巳・楮原京子・横田俊之・山口和雄 (2010) 新潟沿岸域の反射法地震探査データ再処理。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、69-79。
- 楮原京子・加野直巳・山口和雄・横田俊之・郷 隆之・藤原 明・清水信行 (2010a) 新潟海岸南西部における海陸接合反射法地震探査データ取得と処理。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、41-59。
- 楮原京子・稲崎富士・ト部厚志・宮地良典 (2010b) 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。
- 鴨井幸彦・安井 賢・小林巖雄 (2002) 越後平野中央部における沖積層層序の再検討。地球科学、56、123-138。
- 小林巖雄 (1996) 越後平野地下の第四系。第四紀研究、35、191-205。
- 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。
- 新潟県地質図改訂委員会 (2000) 新潟県地質図 (2000 年版) 1:200,000 及び説明書。新潟県商工労働部商工振興課、200p。
- 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。

新潟市史編纂自然部会編（1991）新潟市史．資料編  
12，自然，新潟市，367p.

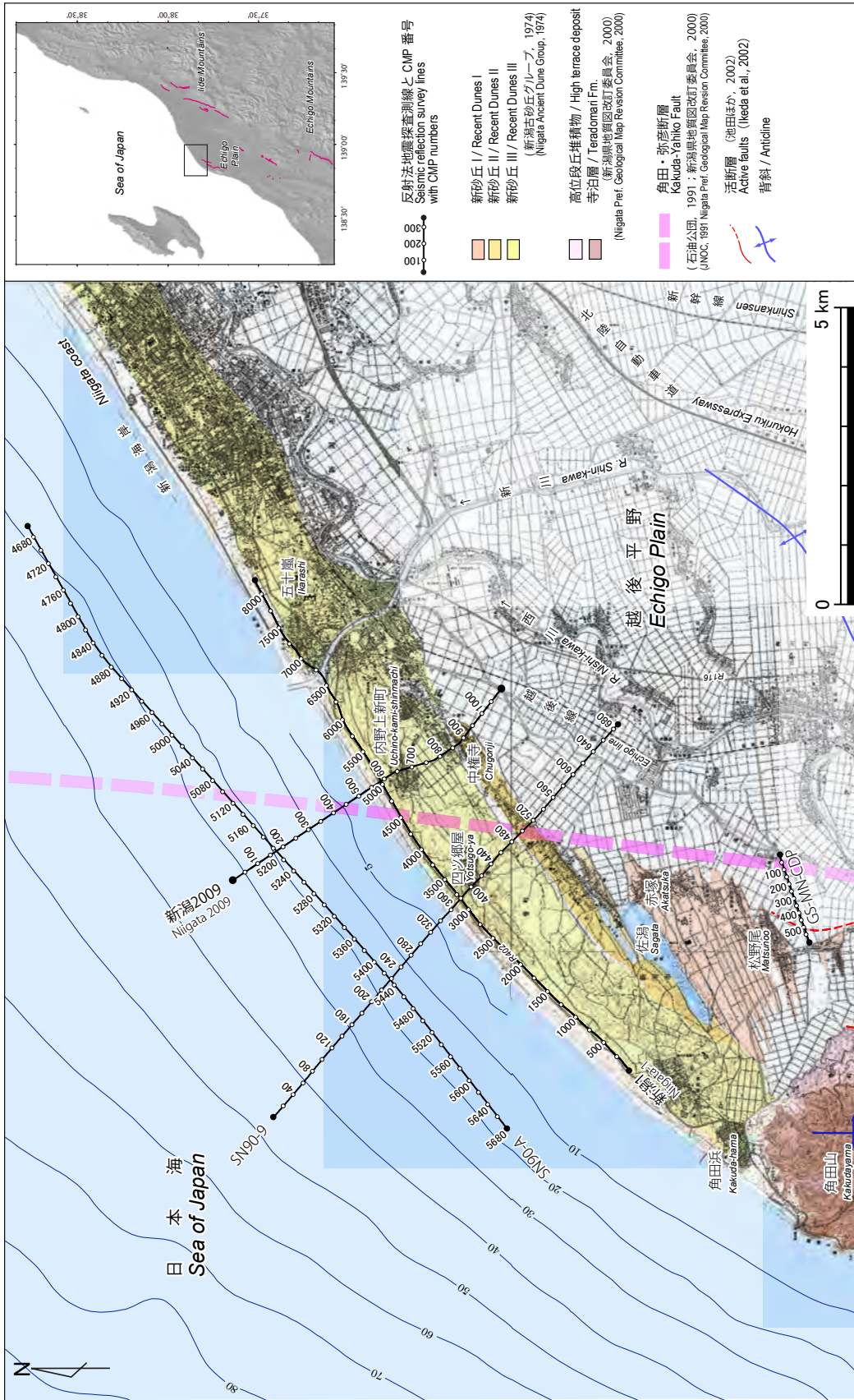
石油公団（1991）平成2年度国内・石油・天然ガス  
基礎調査 海上基礎物理探査「新潟～富山浅海  
域」調査報告書．28p.

卜部厚志・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グーンシステム  
の発達様式．地質学論集，no.59，111-127.

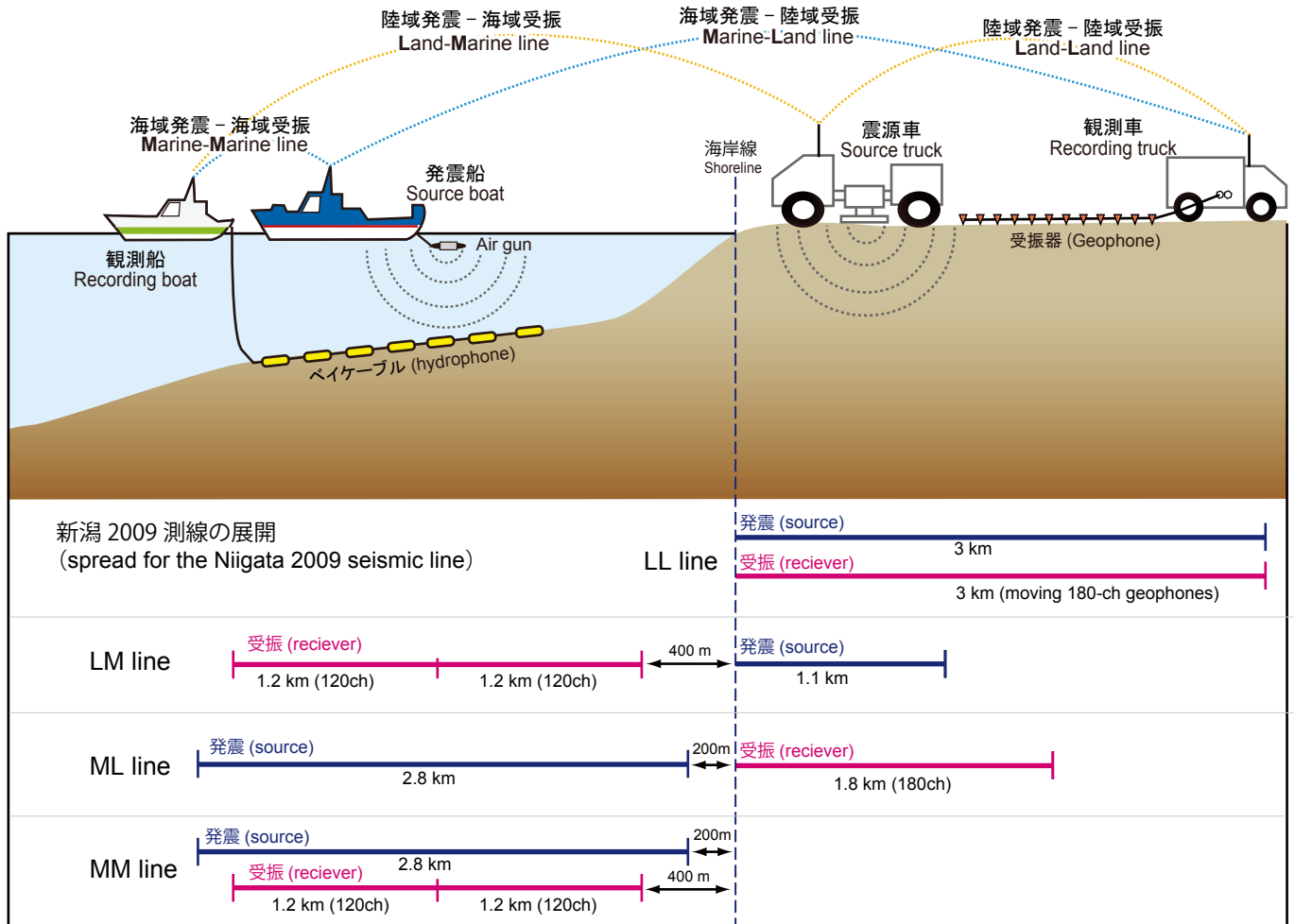
山口和雄・住田達哉・加野直巳・大滝壽樹・伊藤 忍・  
横田俊之・横倉隆伸（2009）角田山東縁断層の  
沿岸陸域における浅部地下構造．活断層・古地  
震研究報告，no.9，159-173.

Yilmaz, O. (2001) Seismic data processing volume I,  
Investigations in Geophysics. Society of Exploration  
Geophysicists, Tulsa, 998p.

(受付：2010年9月7日，受理：2010年12月15日)

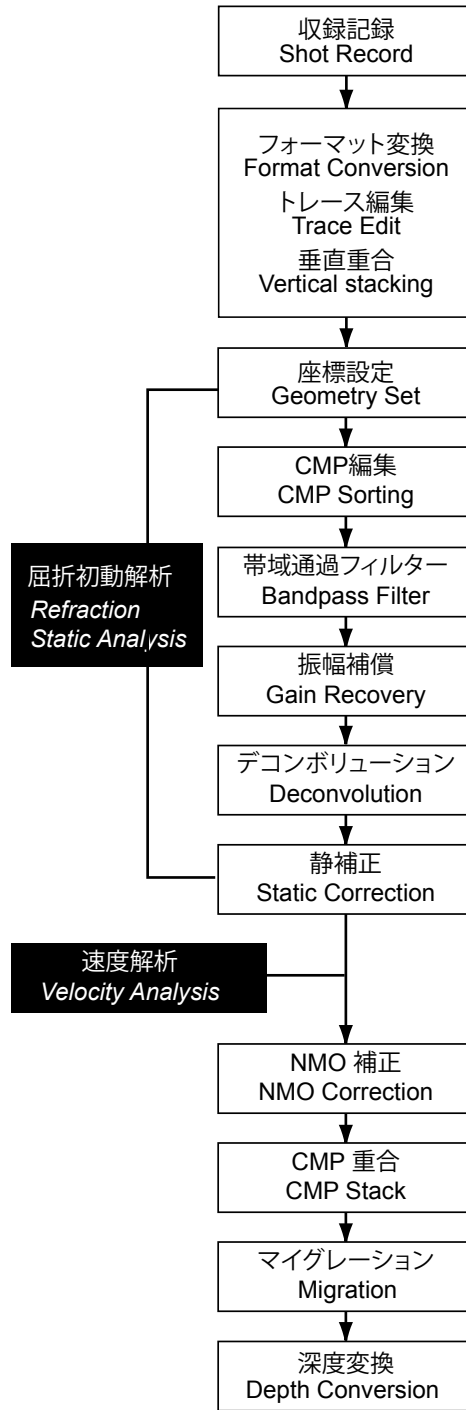


第1図 調査地域の地形・地質と反射法地震探査測線。地質図は新潟県地質図改訂委員会(2000)、活断層線は、池田ほか(2002)による。陰影図は国土地理院発行の数値地図50mメッシュを用いて作成した。国土地理院発行1/25000地形図「巻」「角田山」を使用。  
Fig. 1 Geology and seismic lines of the survey area. Geologic map is after Niigata Prefecture Geological Map Revision Committee (2000). Active fault traces are based on Ikeda *et al.* (2002). Shaded relief map is constructed using a 50-m digital elevation model published by Geographical Survey Institute. Modified from 1/25000-scale map of Geographical Survey Institute of Japan, [Uchino] [Maki] [Kakudayama].



第 2 図 海陸接合反射法地震探査の概念図。  
Fig. 2 Conceptual image of offshore-onshore integrated seismic reflection profiling.



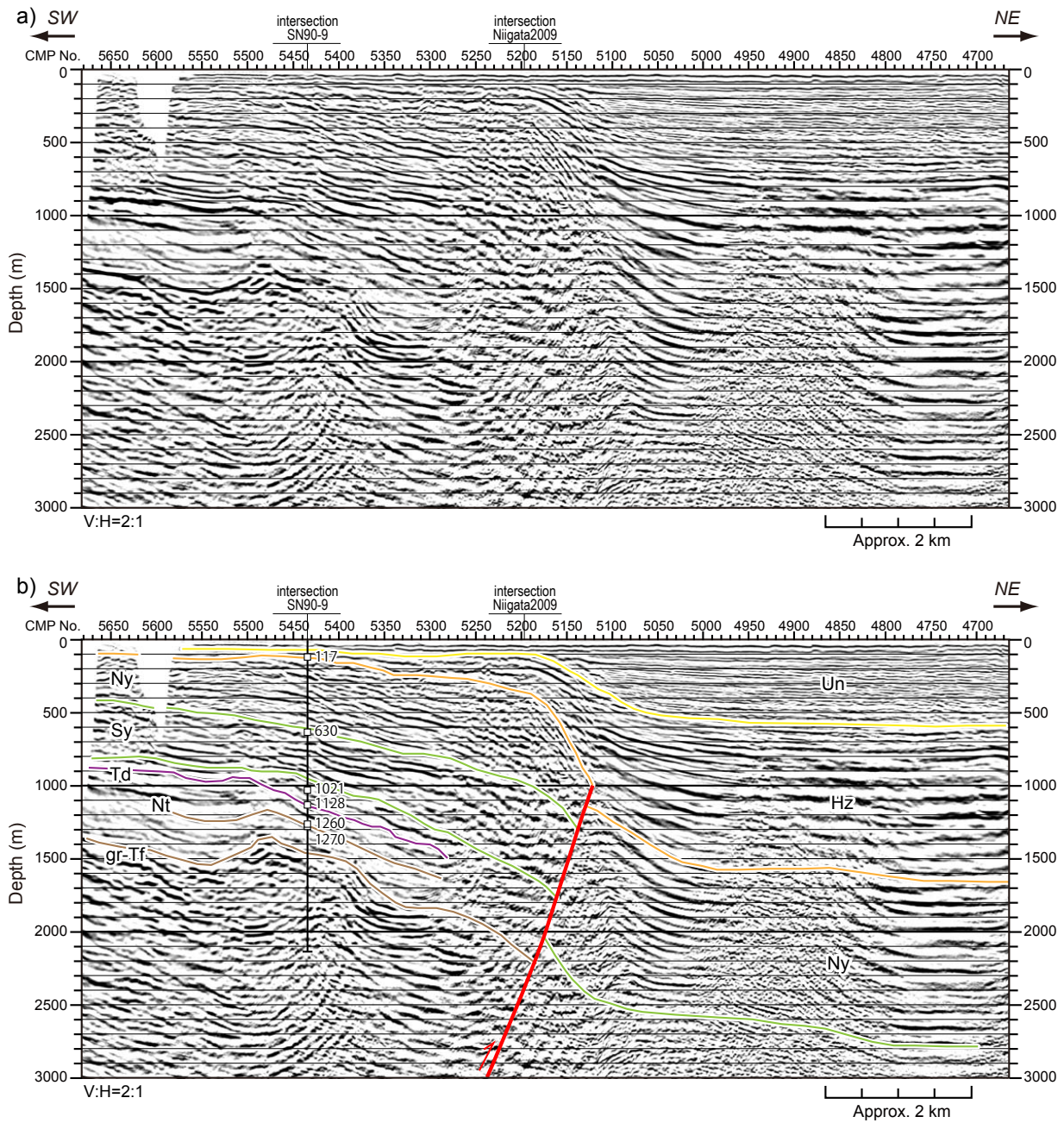


第3図 共通反射点重合法の解析フロー。

Fig. 3 Flowchart of individual data processing by Common mid-point method.

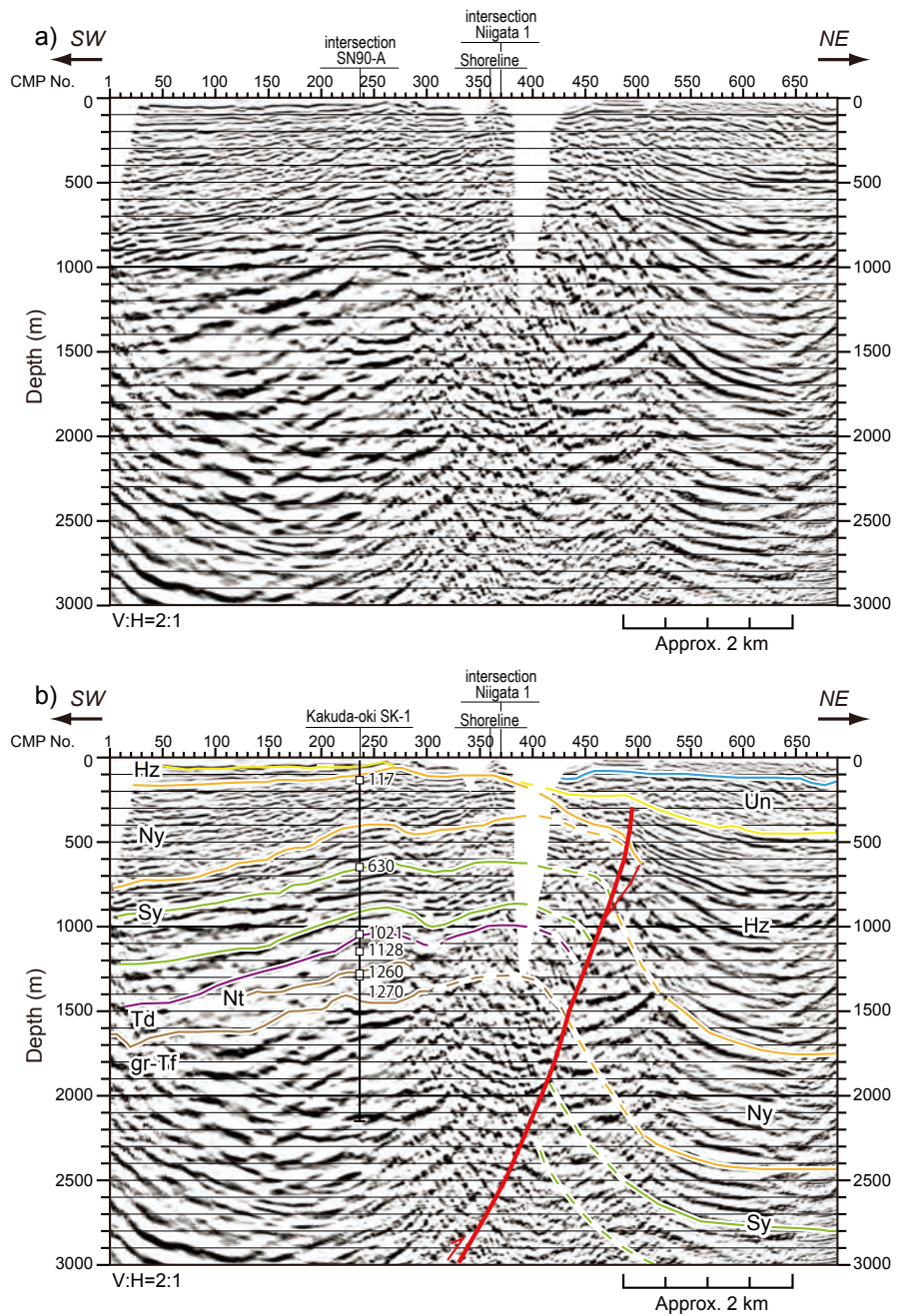
時代 (Epoch)	地層名 (Stratigraphic unit)
完新世 (Holocene)	沖積層 Alluvium 砂丘堆積物 Dune sediments
	段丘堆積物 terrace deposit
更新世 (Pleistocene)	蒲原(魚沼)層群 Kanbara(Uonuma) Group
	灰爪層 Haizume Formation
	西山層 Nishiyama Formation
鮮新世 (Pliocene)	西山層 Nishiyama Formation
	中新世 (Miocene)
	椎谷層 Shiia Formation
中新世 (Miocene)	寺泊層 Teradomari Formation
	七谷層 Nanatani Formation
	七谷層 Nanatani Formation

第4図 新潟地域の地質層序. 石油公団 (1991), 新潟県地質図改訂委員会 (2000) による.  
Fig. 4 Stratigraphy in and around the Niigata area (after JNOC, 1991 and Niigata Prefecture Geological Map Revision Committee, 2000)

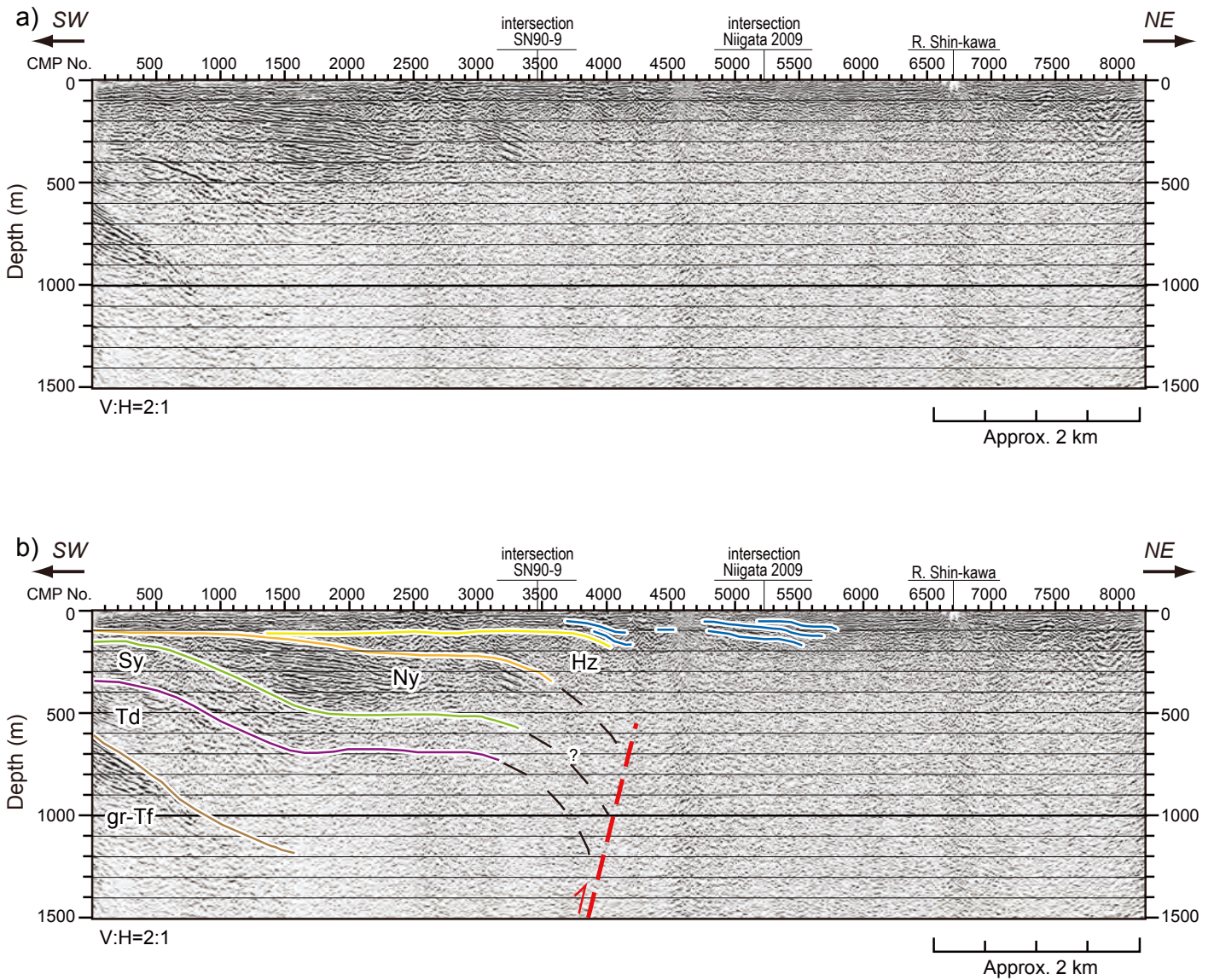


第5図 SN90-A 測線の反射法地震探査断面(a)および地質学的解釈断面(b)。探査測線位置は第1図に示す。  
 Al: 沖積層, Un: 魚沼層, Hz: 灰爪層, Ny: 西山層, Sy: 椎谷層, Td: 寺泊層, Nt: 七谷層(泥岩),  
 gr-Tf: 七谷層(火山岩), 赤線: 断層(矢印はすべり方向)。

Fig. 5 Depth section of the SN90-A (a) and its geological interpretation (b). Location of the seismic section is shown in Fig. 1. Al: Alluvium, Un: Uonuma Formation, Hz: Haizume Formation, Ny: Nishiyama Formation, Sy: Shiiba Formation, Td: Teradomari Formation, Nt: Nanatani Formation (mudstone), gr-Tf: Nanatani Formation (volcanic rocks), red line: fault (arrow indicates slip direction).

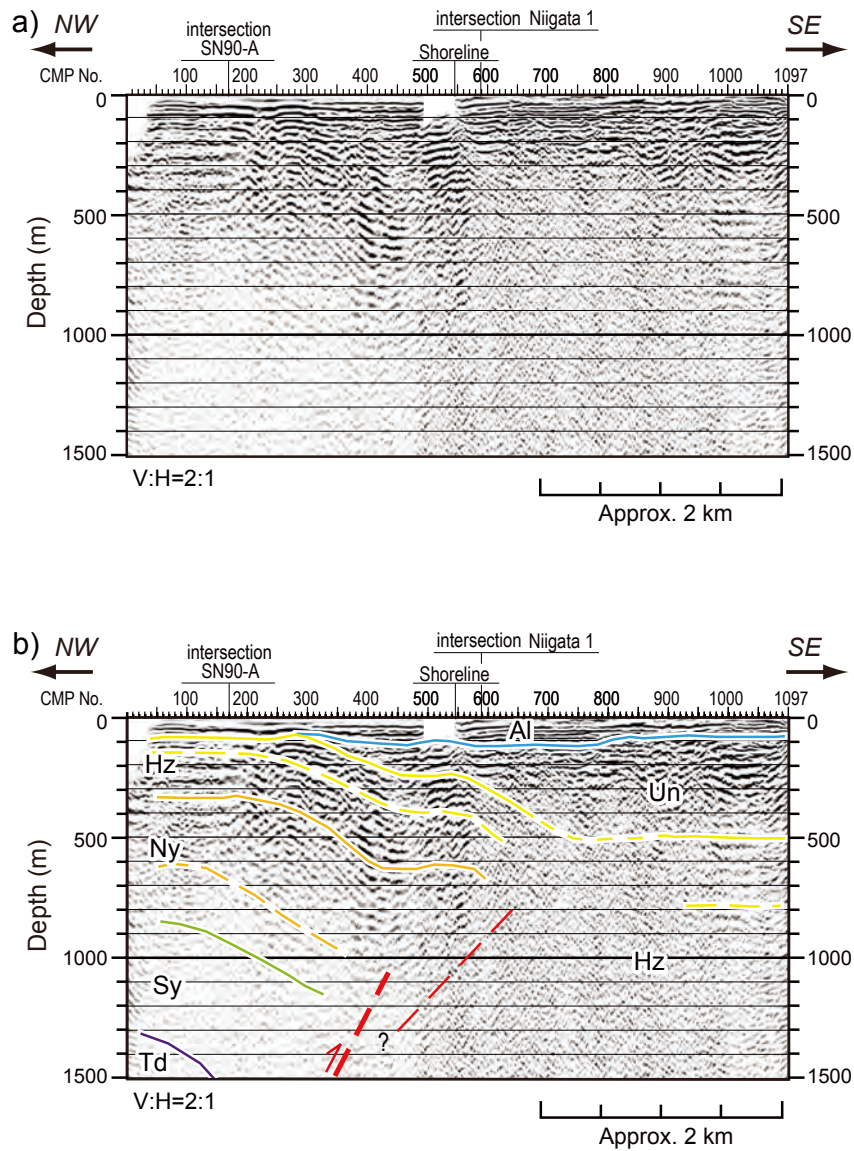


第6図 SN90-9 測線の反射法地震探査断面 (a) および地質学的解釈断面 (b). 探査測線位置は第1図に示す. 図中の略号は第5図参照.  
 Fig. 6 Depth section of the SN90-9 (a) and its geological interpretation (b). Location of the seismic section is shown in Fig. 1. See Fig. 5 for abbreviations.

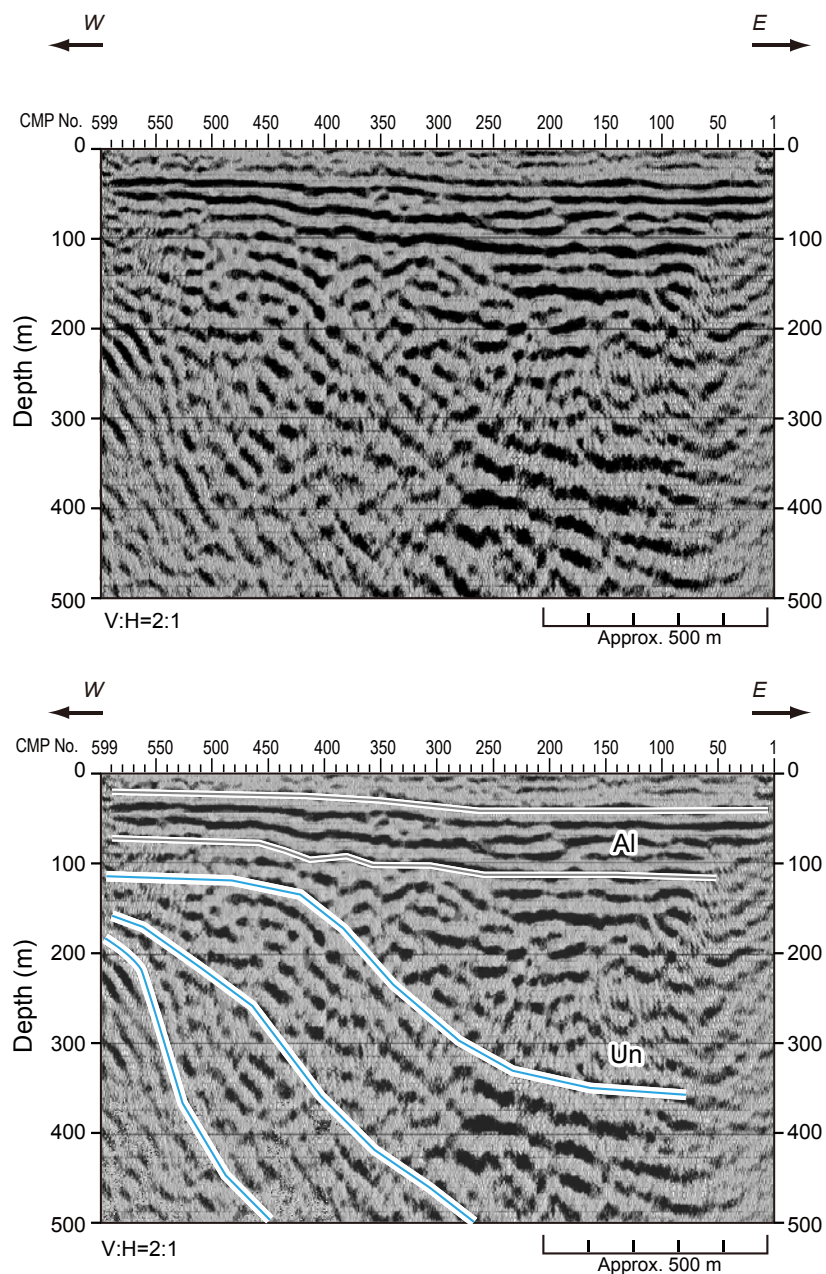


第7図 新潟1測線の反射法地震探査断面 (a) および地質学的解釈断面 (b). 探査測線位置は第1図に示す. 図中の略号は第5図参照.

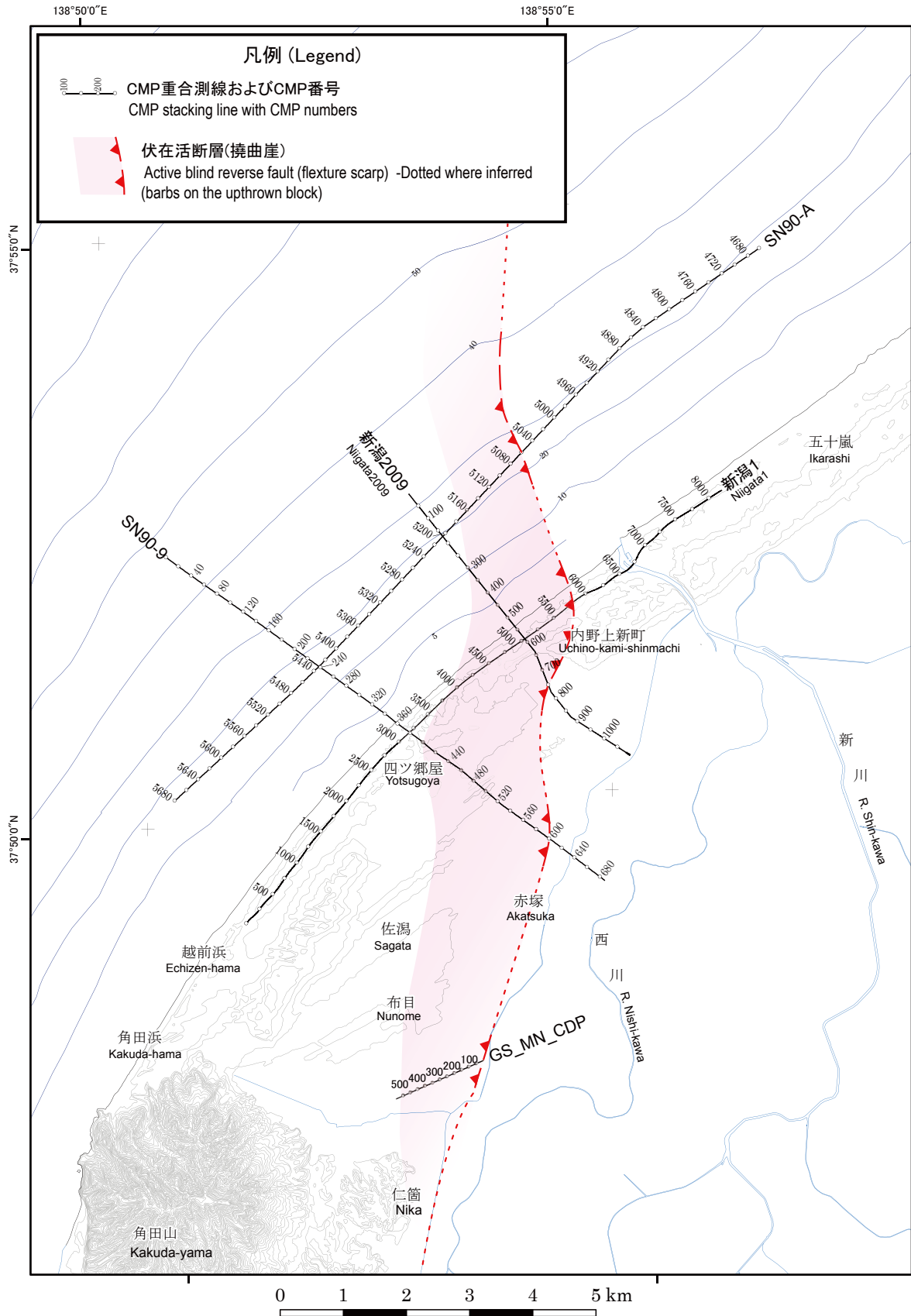
Fig. 7 Depth section of the Niigata1 (a) and its geological interpretation (b). Location of the seismic section is shown in Fig. 1. See Fig. 5 for abbreviations.



第 8 図 新潟 2009 測線の反射法地震探査断面 (a) および地質学的解釈断面 (b).  
 探査測線位置は第 1 図に示す. 図中の略号は第 5 図参照.  
 Fig. 8 Depth section of the Niigata2009 (a) and its geological interpretation (b).  
 Location of the seismic section is shown in Fig. 1. See Fig. 5 for abbreviations.



第9図 GS\_MN\_CDP 測線の反射法地震探査断面 (a) および地質学的解釈断面 (b). 探査測線位置は第1図に示す. 図中の略号は第5図参照.  
 Fig. 9 Depth section of the GS\_MN\_CDP (a) and its geological interpretation (b). Location of the seismic section is shown in Fig. 1. See Fig. 5 for abbreviations.



第 10 図 反射法地震探査からみた新潟海岸周辺の地質構造。  
 Fig. 10 Geological structure in and around the Niigata coast on the basis of the seismic reflection profiles.



第1表 データ取得パラメータ  
Table 1 Data acquisition parameters.

測線名 Seismic line name	SN90-A (石油公園, 1991; 加野ほか, 2010)		新潟2009 (榑原ほか, 2010a)		GS_MN_CDP (榑原ほか, 2010b)
	陸域 (Land)	海域 (Marine)	陸域 (Land)	海域 (Marine)	
測線長 Length of seismic line	12.7 km		10.24 km		1.5 km
震源諸元 Source parameters	Airgun (500 cuin x 2)		Air gun (80 cuin)		JMI-200
震源 Source (type)	-		-		-
スウィープ周波数 Sweep frequency	-		15-120 Hz		-
スウィープ長 Sweep length	-		13 sec		-
垂直重合数 Number of stacks per shot	-		4		8
発震点間隔 Shot interval	25 m		5 m		2.5 m
受振器 Receiver	Hydrophone, f0=10 Hz		Geophone, group of 6, f0=10 Hz		Geophone, group of 4, f0=28 Hz
受振器 Receiver	Hydrophone, f0=10 Hz		Geophone, group of 6, f0=10 Hz		Geophone, group of 4, f0=28 Hz
受振器間隔 Receiver interval	25 m		10 m		5 m
記録諸元 Recording parameters	MYRIASEIS-I		DAS-1		DSS-12
探鉱機 Instruments	MYRIASEIS-I		DAS-1		DSS-12
受振チャンネル数 Number of channels	80 ch		144 ch		240 ch
サンプリング間隔 Sampling rate	4 msec		2 msec		1 msec (LM) 0.5 msec (MM)
記録長 Record length	8 sec		3.384 sec		15.99 sec (LM) and 3 sec (MM)