

### 3. 2. 5 津波波源モデル・震源断層モデルの構築

#### 3. 2. 5. 1 断層モデルの構築

## 目 次

### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
  - 1) 平成 25 年度
  - 2) 平成 26 年度
  - 3) 平成 27 年度
  - 4) 平成 28 年度
  - 5) 平成 29 年度
  - 6) 平成 30 年度
  - 7) 平成 31 年度
  - 8) 令和 2 年度（令和元年度）
- (e) 平成 31 年度（令和元年度）業務目的

### (2) 平成 31 年度（令和元年度）の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

### (3) 令和 2 年度業務計画案

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目:

#### 2.5.1 断層モデルの構築

### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志
	准教授	石山 達也
	特任助教	橋間 昭徳
	特任研究員	加藤 直子
	特任研究員	Anne Van Horne
	特任研究員	Johan Steven Claringbould
国立研究開発法人海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センタープレート構造研究グループ	技術研究員	野 徹雄
横浜国立大学大学院環境情報研究院	教授	石川 正弘
国立研究開発法人防災科学技術研究所地震津波防災研究部門	主任研究員	松原 誠
岩手大学工学部	教授	越谷 信
新潟大学理学部	教授	豊島 剛志
	講師	小林 健太
弘前大学大学院理工学研究科	教授	小菅 正裕

### (c) 業務の目的

サブテーマ 2 で得られる成果と日本海とその沿岸における既存の資料を総合させて、津波及び強震動の予測に必要な断層の形状モデルを構築する。初年度に初期モデルを構築し、調査の進展に従い逐次更新する。サブテーマ 3 の津波予測・強震動予測の結果と、サブサブテーマ 2.1 の歴史地震・古津波調査の結果を総合に検討し、妥当な震源断層モデルを構築する。

### (d) 8 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

#### 1) 平成 25 年度:

「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」プロジェクトで収集したデータを含め、石油公団・産総研の反射法地震探査資料・海底地形データを含めて、海域の津波波源・震源断

層の主要断層線と傾斜を推定し、日本海とその沿岸域の断層の初期モデルを構築した。

2) 平成 26 年度:

平成 25 年度に実施した沿岸および海陸統合構造調査の成果を、日本海と沿岸域の断層の初期モデルに反映させた。地震活動の情報(サブサブテーマ 2.5.2)、構成岩石モデル(サブサブテーマ 2.5.3)の成果とともに、断層モデルを更新した。佐渡海峡～富山トラフ、能登半島西方海域において、収集した沿岸反射法地震探査結果、飛騨山脈北縁から能登半島北方海域の海陸統合構造調査に基づいて、波源断層および震源断層モデルを構築した。

3) 平成 27 年度:

平成 26 年度に実施した沿岸および海陸統合構造調査の成果を、日本海と沿岸域の断層の初期モデルに反映させた。地震活動の情報(サブサブテーマ 2.5.2)、構成岩石モデル(サブサブテーマ 2.5.3)の成果とともに、断層モデルを更新した。

4) 平成 28 年度:

山口県～九州北部沖から対馬に至る海域において、断層モデルを更新した。

5) 平成 29 年度:

島根県沿岸から対馬海盆南部、大和海盆において、構造調査データに基づいて断層モデルを修正した。北陸沖から西南日本全域にかけての断層モデルをとりまとめた。

6) 平成 30 年度:

北海道西部日本海海域と沿岸において、断層モデルを更新した。

7) 平成 31 年度(令和元年度):

東北日本沖と東北日本の沿岸域の断層モデルを修正し、日本海および沿岸域の波源・震源断層モデルを作成した。

8) 令和 2 年度:

他項目の検討結果を反映させ、日本海および沿岸域の波源・震源断層モデルを完成させる。

(e) 平成 31 年度(令和元年度) 業務目的

東北日本沖と東北日本の沿岸域の構造調査データに基づいて断層モデルを修正する。

**(2) 平成 31 年度(令和元年度) の成果**

(a) 業務の要約

海洋研究開発機構が「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」プロジェクトで取得した海上反射法地震探査の資料(一部再解析資料)と、本プロジェクトでの海陸統合地殻構造探査の結果や既存の資料をもとに東北日本沖と東北日本の沿岸域の震源・波源断層モデル

を作成した。

## (b) 業務の成果

日本海には多数の活断層が存在し、津波の波源となっている。また、海陸境界部には活断層が分布することが多く、震源断層のモデル化は重要な課題である。平成 25 年度には、国土交通省・内閣府・文部科学省が事務局を務める「日本海における大規模地震に関する調査検討会」（以下「日本海検討会」と呼ぶ。）と共同して、産業技術総合研究所および地質調査所、石油公団、海洋研究開発機構のデータなどを基に、日本海全域についての矩形モデルを作成した<sup>1)</sup>。この報告では、特に、地震発生層の深さは、地震波トモグラフィや地質構造に基づく構成岩石の推定と、それらのレオロジー特性を基に推定した。また、地震観測から推定されている応力状態をもとに<sup>2)</sup>、断層面のすべり角を求めた。本プロジェクトでは、調査の進展に併せて断層モデルを更新していくものとし、令和元年度には、海洋研究開発機構が取得した北海道南西沖から新潟沖に至る東北日本沖および沿岸域の反射法地震探査データを用いて断層モデルを構築した。

### 1) 北海道南西沖～新潟沖海域における波源・震源断層モデルの作成

北海道南西沖から東北日本沖では、産業技術総合研究所により浅層の音波探査が実施され、それらの成果は海洋地質図として出版されている<sup>3, 4, 5, 6, 7)</sup>。また、この海域については、石油公団などにより資源探査を目的として反射法地震探査などがある<sup>8)</sup>。より深部を対象としたマルチチャンネル反射法地震探査は、平成 29～30 年度にかけて海洋研究開発機構によって実施された<sup>9, 10)</sup>。大容量エアガンと長大ストリーマケーブルを曳航することにより得られた反射法地震探査断面は、地震発生層中の断層面の形状を推定する上で最も有効な資料である。ここでは、主として海洋研究開発機構が文部科学省の「ひずみ集中帯の重点的調査研究プロジェクト」において取得した反射法地震探査断面を基に、震源断層の矩形モデルを作成した。震源断層の下限深さについては、本プロジェクトのサブサブテーマ 2.5.2 での再決定震源分布により求められた D90、サブサブテーマ 2.5.3 でのレオロジー特性の研究成果を参照した。佐藤ほか (2014)<sup>11)</sup> では、大陸地殻内では 15 km、リフト内などの苦鉄質岩石が卓越する領域については、17 km とした。新たな D90 については、海洋性地殻の影響を受けた領域では、20 km に及ぶ。震源断層の地下形状が深部まで得られている反射断面では、地下 13 km 前後で低角度化している（図 1）。こうした低角度化は、垂直地殻変動量を低下させるため、地震発生層の下限の影響は低角度化しない場合に比べて小さくなる。こうした要素を考慮して、地震発生層については日本海検討会 (2014)<sup>1)</sup> に従った。地域的には、サブサブテーマ 2.5.2 および 2.5.3 の研究により、日本海の D90 などの平面分布が明らかになっており、その結果を反映させて断層モデルを作成した。ここでは、D90 が 15 km を上回る領域については下限を 17 km とした。

地質構造の記載にあたり、必要となる海底地形名については図 4、5 に示した。使用した海底地形名は、海上保安庁海洋情報部の「海底の名称に関する検討会」<sup>12)</sup> によった。断層のすべり角については、日本海検討会 (2014)<sup>1)</sup> と同様、Terakawa and Matsu'ura (2010)<sup>2)</sup> による応力配置をもとに求めた。得られた断層パラメータは表 1 に示した。

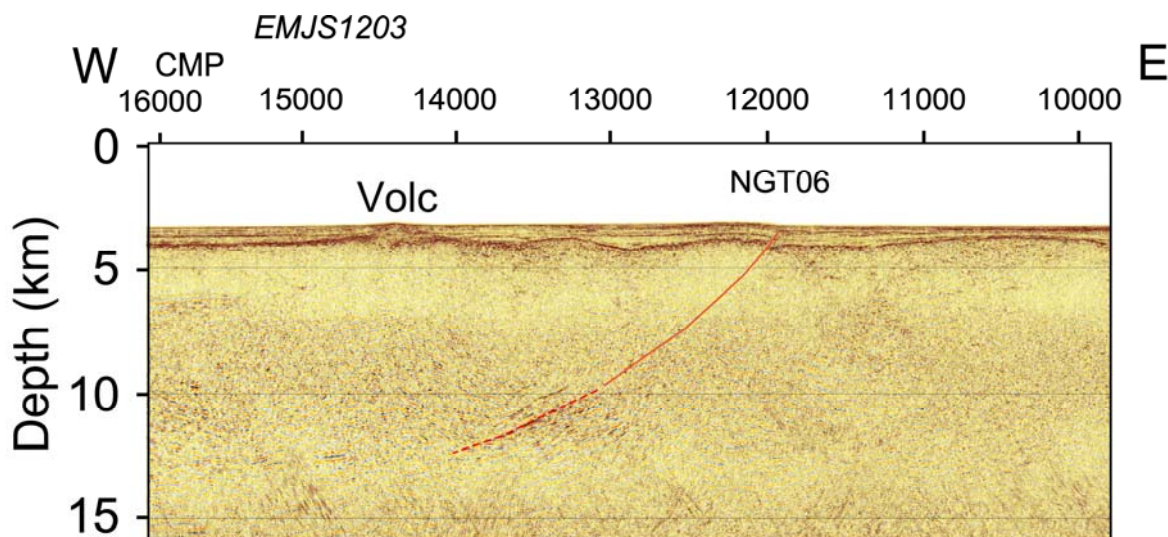


図1 断層の深部で低角度化する例。EMJS1203: 測線番号 (図に表示)。

活断層としての判定に当たっては、海底地形との対応、断層システム全体としての活動性を重視した。西南日本では後期中新統の褶曲・断層帯が、ほぼ水平な鮮新統に覆われるという地域が多いが、東北日本沖においては短縮変形が現在まで引き続いており、断層運動が海底地形に反映されている場合が多い。また、日本海抜大期以降の厚い堆積物が存在し、浅部での短縮変形は、海底まで到達する断層として現れるよりは、断層関連褶曲となっている。そのため、背斜構造の翼部での層厚の変化（成長層の有無）に留意した。正断層の逆断層としての反転は基本的な変形様式ではあるが、正断層として活動した主断層がそのまま地表近傍まで反転するケースだけでなく、断層深部の活動に伴って逆断層運動が分岐断層など、より小規模な断層に現れている場合が多い（図2）。こうした場合には、主断層が活動して、その動きが小規模な断層に現れていると判断して、断層モデルを構築した。

最も、困難であったのが、互いに傾斜が交錯する場合、どちら側の断層を主断層と認定するかという点である。基本的には垂直変位量大きい側の断層を主断層と見なしたが、変位のマーカーとなる反射面が、十分に存在しない場合もあり、主断層の認識が異なる場合がある（図3）。

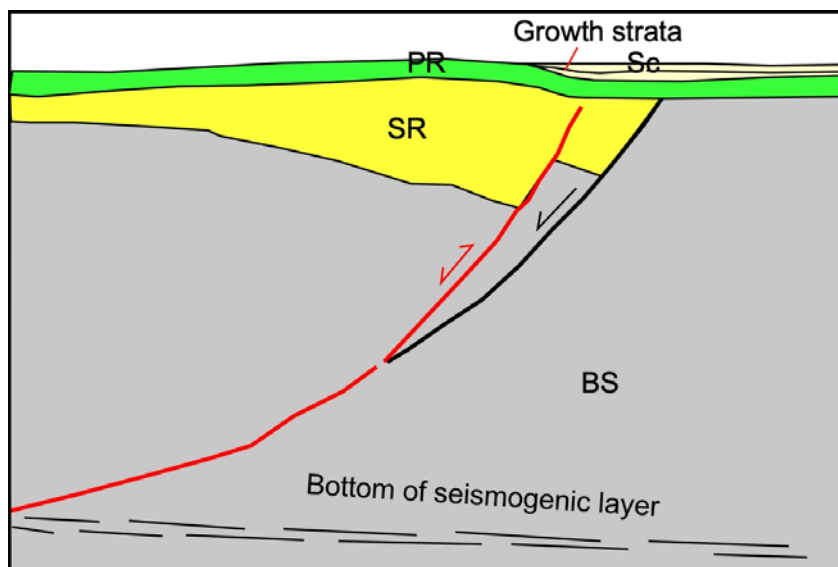


図2 日本海の震源断層の概念図

BS: 基盤、SR: リフト期堆積物、PR: リフト期以降の堆積物、Sc: 短縮変形期の堆積物、赤線: 活断層、黒: リフト期の正断層。

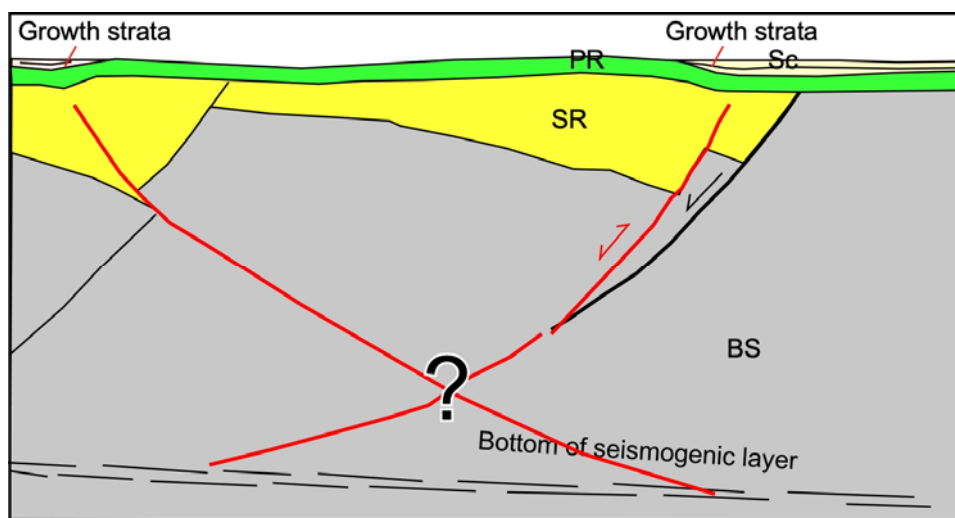


図3 複雑なシステムの震源断層の概念図

BS: 基盤、SR: リフト期堆積物、PR: リフト期以降の堆積物、Sc: 短縮変形期の堆積物、赤線: 活断層、黒: リフト期の正断層。

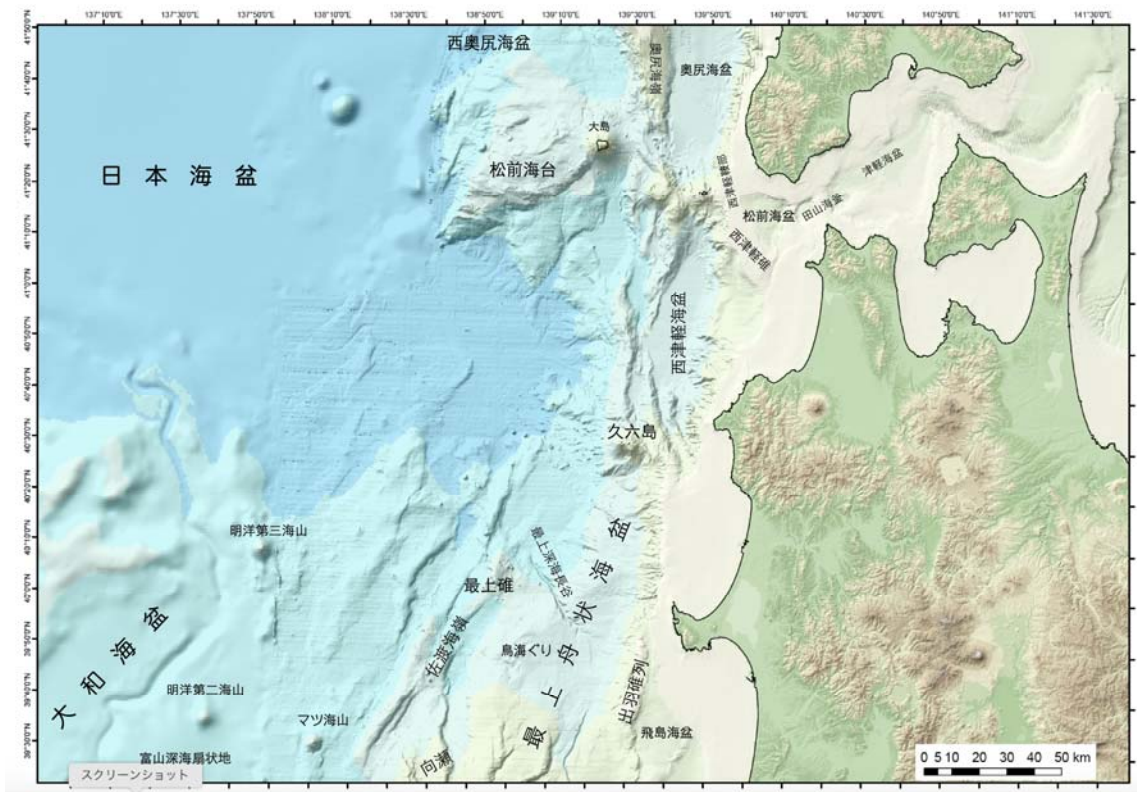


図4 北海道南西から東北地方北部沖海域の海底地形名。  
海上保安庁海洋情報部の「海底の名称に関する検討会」<sup>12)</sup>による。

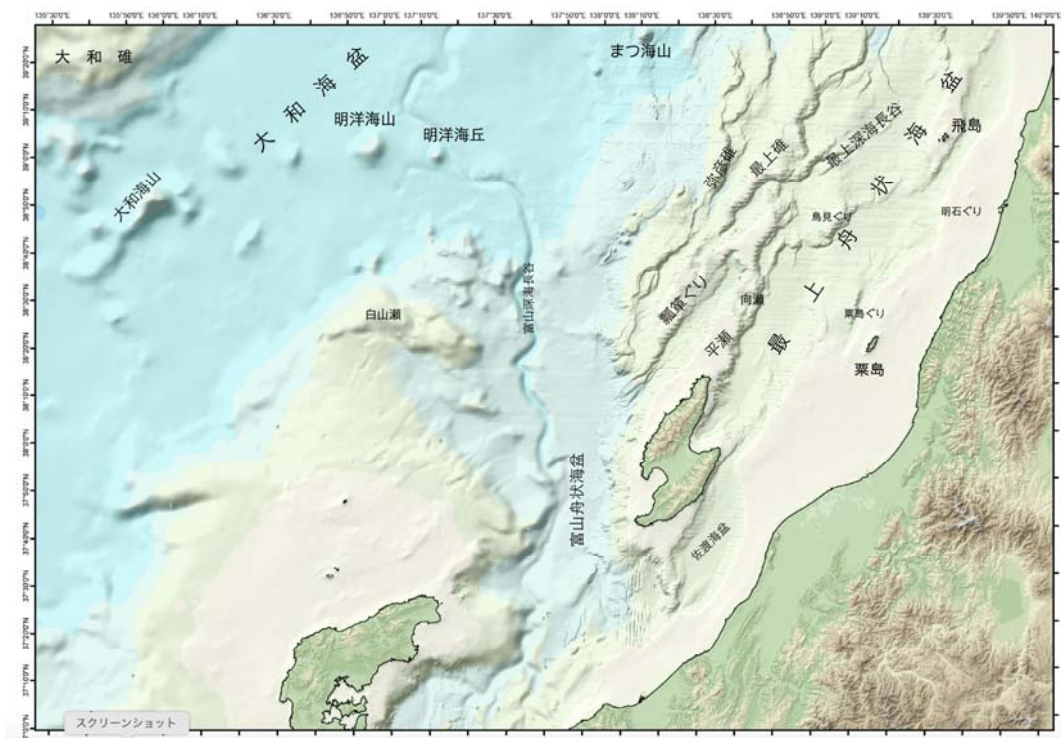


図5 東北地方南部沖～新潟沖海域の海底地形名。  
海上保安庁海洋情報部の「海底の名称に関する検討会」<sup>12)</sup>による。

## 2) 北海道南西沖から青森沖地域の断層モデル

渡島半島南部沖には松前海内の他、奥尻海嶺から南方に延びる幅の狭いリッジが分布し、その東側には厚い堆積物が分布する西津軽海盆が分布する。断層は、このリッジに沿って分布する他、松前海台の西縁から南西南方向に日本海盆の周辺部に分布する。この地域において海洋研究開発機構によって取得された反射法地震探査測線と得られた矩形断層モデルを図 6 に示す。

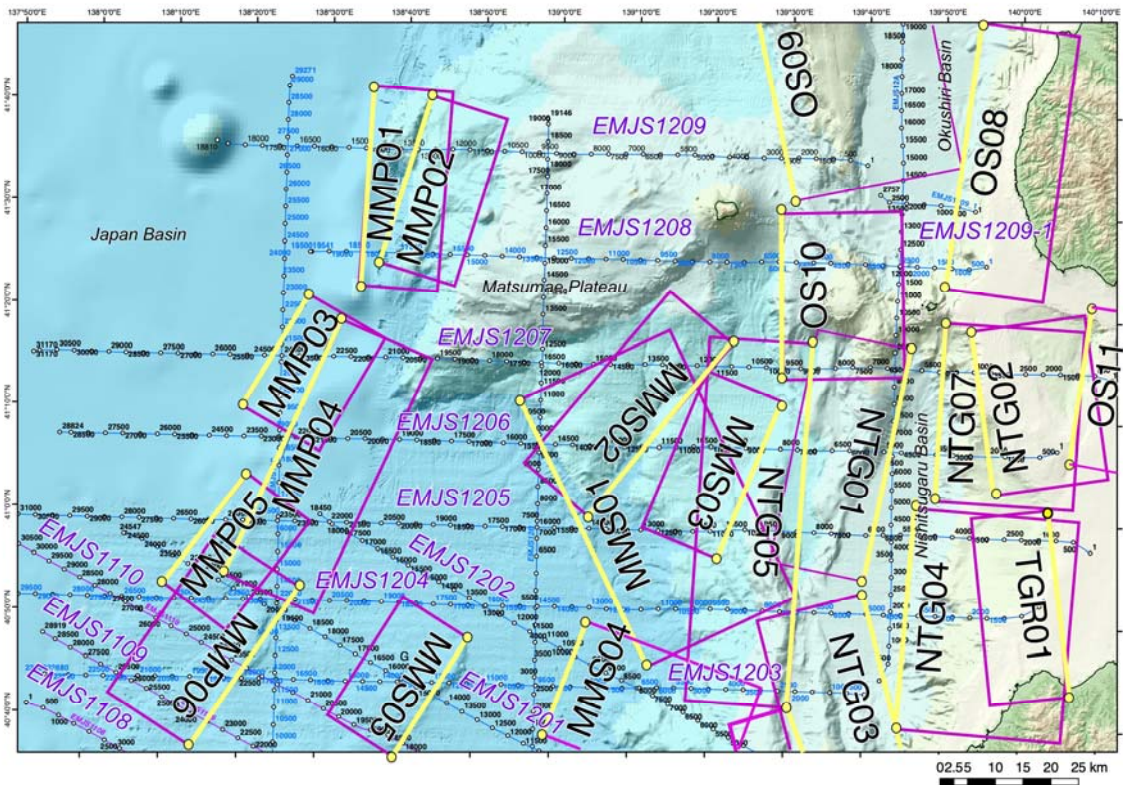


図 6 北海道南西から東北地方北部沖海域の海洋研究開発機構による反射法地震探査測線と矩形断層モデル。紫色字: 測線番号、黒ないし青色数字: CDP 番号。赤紫色実線矩形: 矩形断層モデル、黄色実線: 矩形断層モデルの上端、矩形断層中の黒字記号と数字: 断層番号。

北海道南西沖から津軽半島沖の海域 (図 6) は、西側の通常の海洋地殻から構成される日本海盆、松前海台の南方に広がる水深 2,500~3,500 m の平坦な海底地形を示す厚い海洋地殻から構成される海域<sup>9)</sup>、その海域の東側に取り巻くように伸張変形を受けた大陸地殻が分布する。日本海盆と松前海台と南方海域の境界部に分布する NNE-SSW 走向で東傾斜の逆断層群が分布する (図 6)。松前海台南方の海域と伸張された大陸地殻の境界には、ほぼ南北方向の低角度逆断層が分布する。この断層を震源断層として、1983 年の日本海中部地震が発生した<sup>13, 14, 15, 16)</sup>。この断層側の大陸性地殻には日本海形成期の正断層が再活動した島弧方向に走向を有する逆断層が分布する。沿岸部の津軽半島沖には、日本海形成期中絶リフトが分布し西津軽海盆などには厚い新第三系から第四系堆積物が分布する。このリフトの西側では、概ね西傾斜の断層が、その東側には東傾斜の断層が卓越する傾向



がある。

図 6 の北西端、松前海台と日本海盆の境界部の断層 MMP01 と 02 は、いずれも東傾斜の逆断層である (図 7)。断層 MMP01 は日本海盆の海洋性地殻と松前海台の大陸性地殻の境界の断層であるのに対して、MMP02 は伸張変形を受けた大陸性地殻内の断層である。境界部の断層の浅部での断層表現は不明瞭であるが、異なる性質の境界であることを重視して断層として推定した。

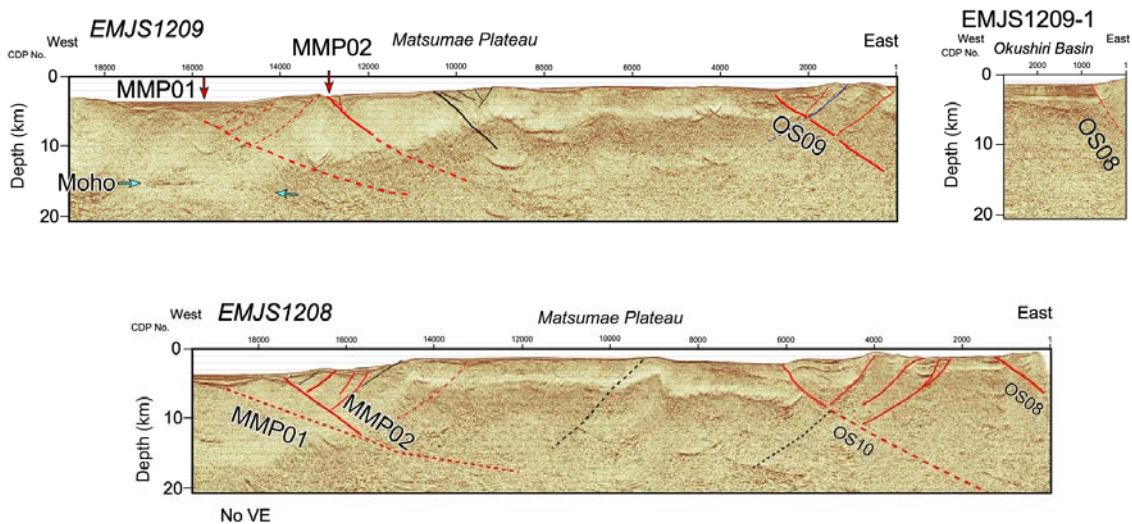


図 7 反射法地震探査断面と地質学的解釈

断面図左上の数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、断層番号は図 6 と共通。水色矢印はモホ面に相当する反射面。

松嶺海台南方の海域は起伏の少ない海底地形を示し、大和海盆に相当する厚い海洋性地殻から構成される<sup>9)</sup>。この厚い海洋性地殻と通常海洋性地殻からなる日本海盆との境界部には、NNE-SSW 走向の東傾斜の低角逆断層群が形成されている。図 6 の断層 MMP03 ~MMP06 である (図 6)。これらの断層は、断层面反射が明瞭で、測線 EMJS1207 断面 (図 8B、C) では、モホ面に低角度化して収斂する形状を示している。MMP03 から 05 の三条の断層は、いずれも東傾斜の類似した形状を示しており (図 9B、C)、連動して活動する可能性がある。MMP06 は西傾斜の低角度の逆断層であるが (図 10)、大局的には同一走向の断層帯に位置しており、MMP03 から 06 までの四条の断層が同時に活動する可能性がある。また、松前海台と日本海盆の境界断層 MMP01 が同時に活動する可能性についても、同一走向の断層帯に位置していることから可能性は否定できない。しかし、MMP01 については、断層活動の浅部への現れに乏しく、その活動性は南南西延長方向に位置する MMP03 から 06 までの四条の断層に比べ小さいものと推定される。これらの断層が低角度であることは、古い時期の海洋性地殻と新たに形成された海洋性地殻が、プルトン型の貫入体の上面の初生的な物質境界が形成されたことに由来する。また、海洋性地殻内の逆断層が 30 度程度の角度を有することは、正断層の再活動ではなく、逆断層型の圧縮応力場の下に最初の断層として形成されたことを示している。

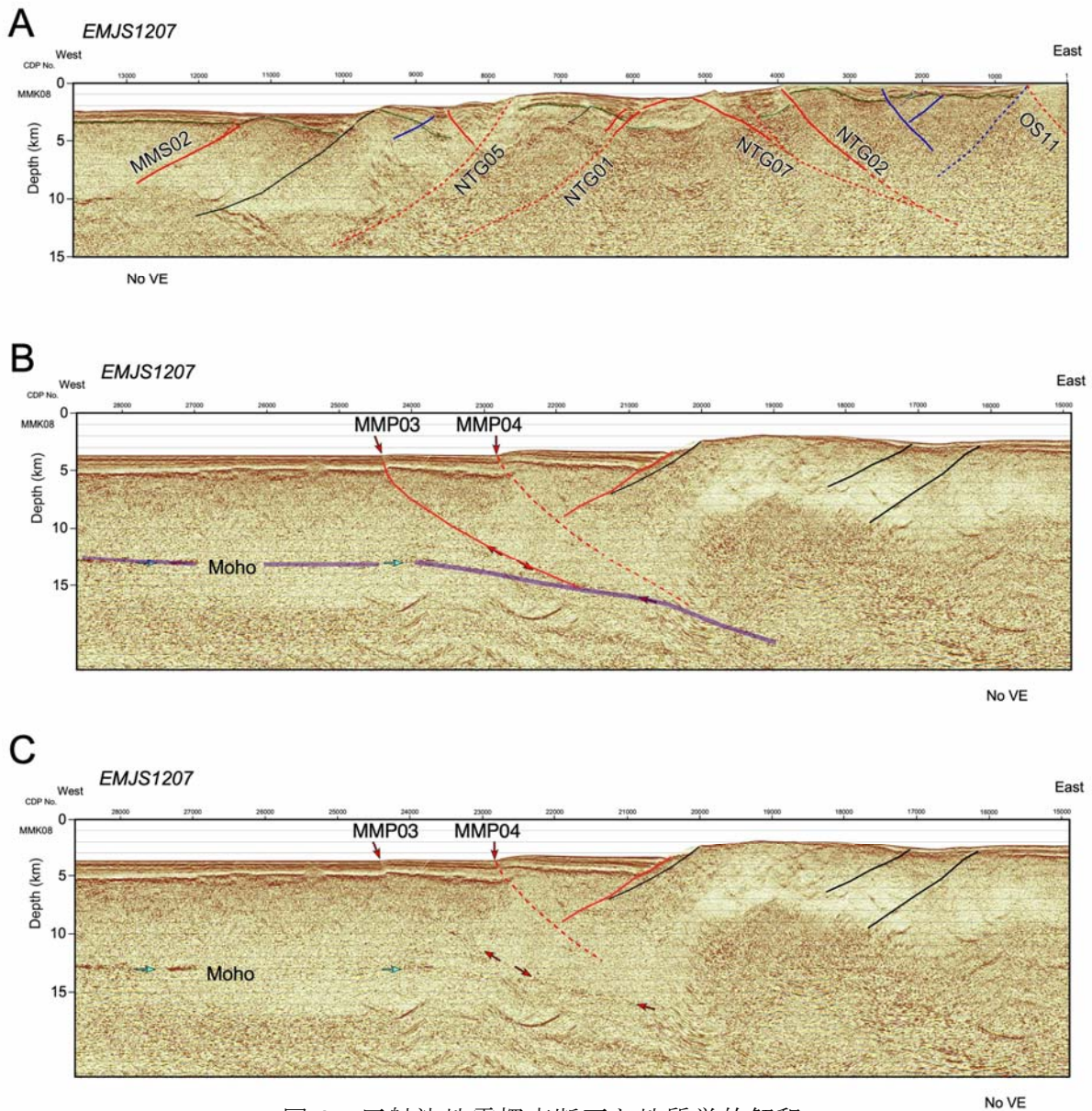


図 8 反射法地震探査断面と地質学的解釈

断面図左上の数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、断層番号は図 6 と共通。水色矢印はモホ面に相当する反射面。C は断面 B と同様の断面であるが、断層 MMP や Moho 面の解釈線を除外したもの。相当する反射面群を赤および水色の矢印で示している。

厚い海洋性地殻と大陸地殻の境界部には、断層 MMS01・MMS04・MGM01 が分布する (図 6)。これらの断層は、1983 年日本海中部地震の震源断層<sup>15,16,17)</sup> とほぼ一致する。東に傾斜した低角度の逆断層であり、上盤に西傾斜の正断層が反転した中角度の逆断層を伴う (図 9、10、11)。小菅ほか (1986)<sup>13)</sup> によれば、震源分布・津波などから推定した断層面傾斜は、25 度である。断層 MMS01 については、浅部の活構造が明瞭であるが、MMS04 及び MGM01 については、先端部の活構造は明瞭なものではない。構造上、大局的には副断層と解釈される西傾斜の西傾斜の逆断層に、活構造として特徴が明瞭であるため間接的

に、伏在する東傾斜の低角逆断層も活構造と推定した。

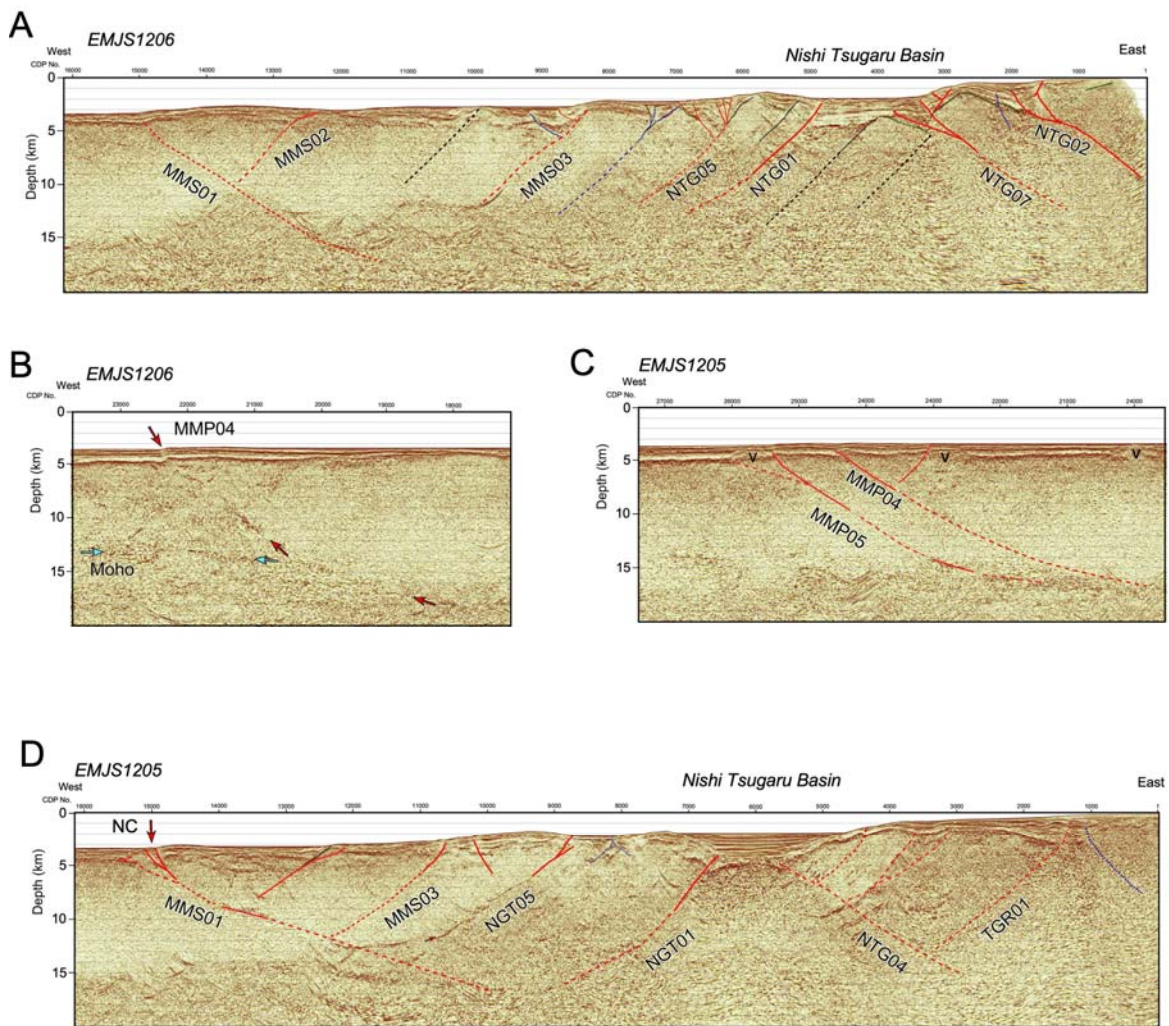
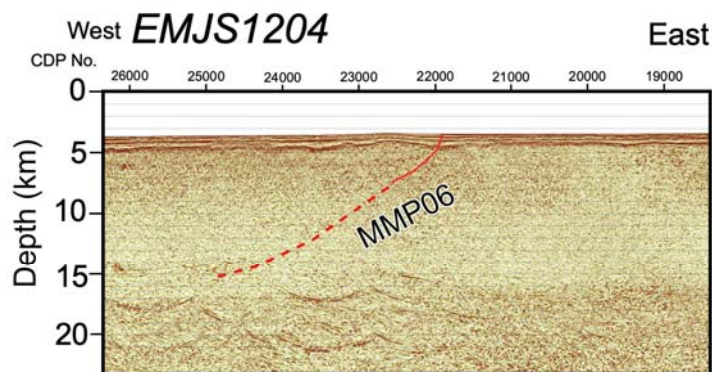
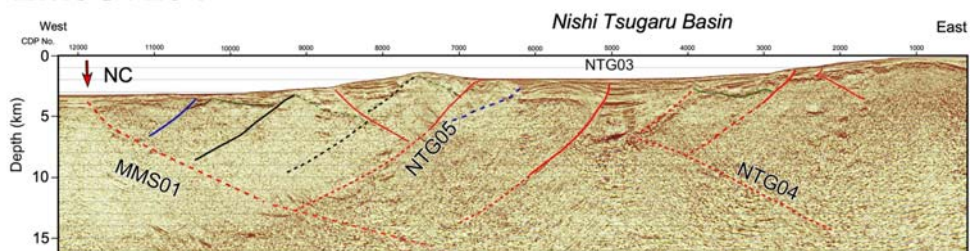


図 9 反射法地震探査断面と地質学的解釈

左肩の数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、v：火山体、断層番号は図 6 と共通。断面 B ではモホ面に収斂する断層面反射が明瞭である。NC: 1983 年日本海中部地震の震源断層に相当する断層。

図 9 の断面では日本海中部地震の震源断層の上盤側に発達する西傾斜の中角度の逆断層の分布が顕著である。リフト期堆積物の層厚変化を基に、正断層とその活動を推定し、それらの断層が逆断層として活動したものと解釈した。西津軽海盆下には厚い堆積層が分布している (図 9、8)。同様の厚い日本海形成後の堆積物をもつ海盆は、秋田・山形堆積盆や新潟堆積盆地など、堆積物の基底に厚い玄武岩の噴出を伴い、背弧リフト軸と推定されている<sup>18)</sup>。一般にはリフト軸の外側に傾斜する正断層が形成され、それらは短縮変形を受けて反転している。例えば、図 9D の断面で西津軽海盆の堆積層の基底は、水面下 5 km に及び、日本海盆を含めて最も深い。この堆積盆地を西傾斜の正断層運動で形成し、その後の短縮変形でも沈降させるためには、東傾斜の逆断層が必要である。図 9D の断層 NTG04 はこうした解釈から推定されたものである。

## EMJS1204



## EMJS1203

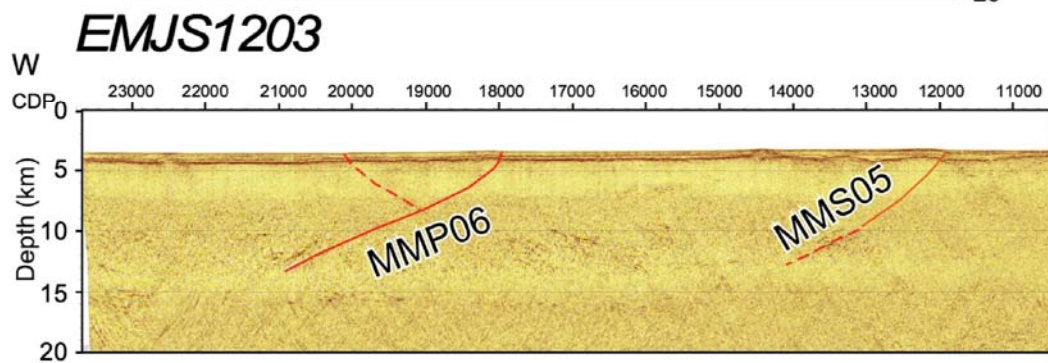
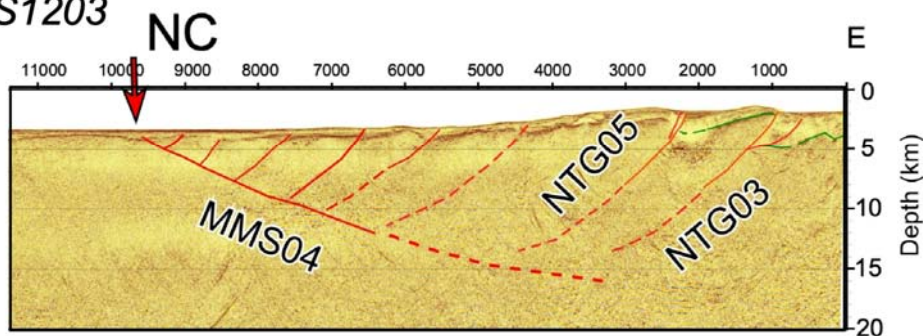


図 10 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS 数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、断層番号は図 6 と共通、緑実線：音響基盤。NC: 1983 年日本海中部地震の震源断層に相当する断層。

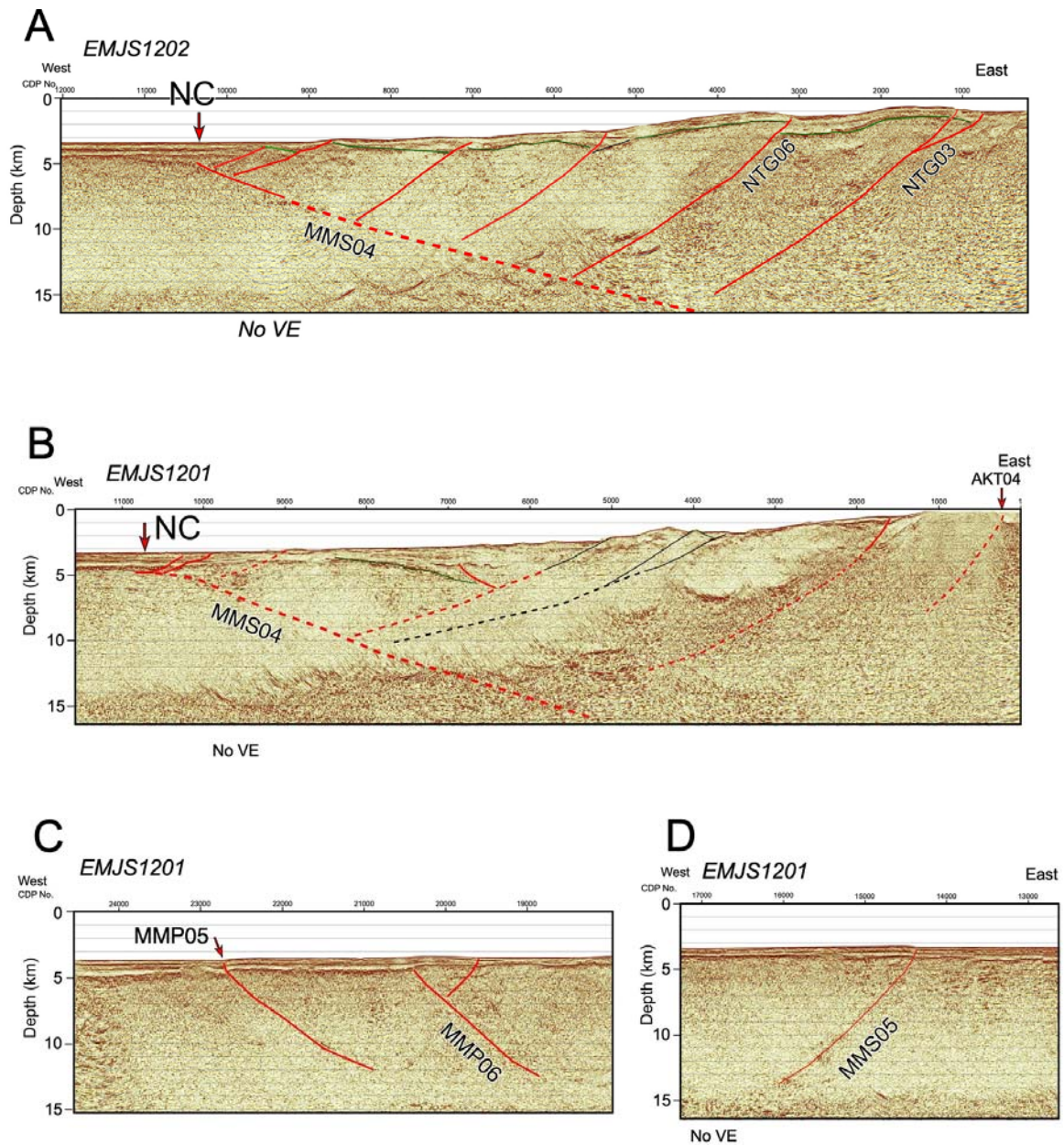


図 11 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS 数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、断層番号は図 6 と共通。NC：1983 年日本海中部地震の震源断層に相当する断層。

津軽半島沖の断層 TGR01 の南端については、陸上の地質構造や重力異常をもとに推定した。2020 年度に構造探査を実施する予定であり、この調査結果に応じて修正する可能性がある。

### 3) 秋田沖の断層モデル

青森沖では伸張変形を受けた大陸地殻の中で、西津軽海盆が最も堆積物が厚い特徴を示していたが、秋田沖では能代沖から庄内沖に至る厚い堆積盆地が分布する。この地域には日本海拡大時に噴出した厚い玄武岩が分布し、背弧リフト帯を形成している<sup>18)</sup>。このリフト帯から西側の大和海盆にいたる地域には、日本海拡大時の正断層に起源を有する西傾斜の逆断層群が卓越する。

断層モデルの基礎となった反射法地震探査測線と断層の矩形モデルは図 12 に、反射法地震探査断面の地質学的解釈については、図 13～17 に示す。

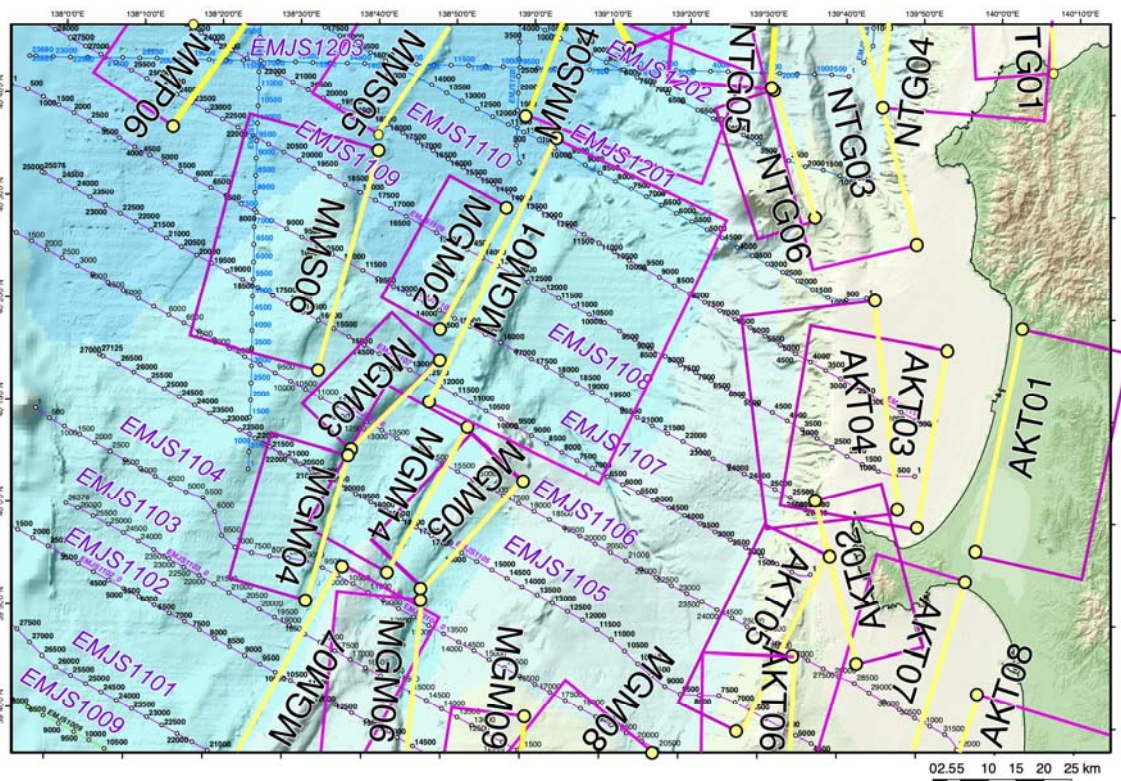


図 12 秋田沖海域の海洋研究開発機構による反射法地震探査測線と矩形断層モデル。紫色文字: 測線番号、黒ないし青色数字: CDP 番号。赤紫色実線矩形: 矩形断層モデル、黄色実線: 矩形断層モデルの上端、矩形断層中の黒字記号と数字: 断層番号。

能代沖の断層 MMS04 (図 11) と MGM01 (図 13) が 1983 年の日本海中部地震の震源域に分布する断層である。断層 MGM01 については、測線 1110 から 1108 にかけて先端部に幅の狭い隆起帯が形成されている。この北北東-南南西方向の隆起帯は両側に新規の逆断層を伴い、地殻上部で交差するためどちらが主断層か判断できない。ここでは、1983 年の日本海中部地震の震源断層が東傾斜であることから、主断層を東傾斜と判断して矩形モデルを構築した。深部の断層形状については、余震分布などから推定された 25 度 (小菅ほか、1986)<sup>15)</sup> とした。

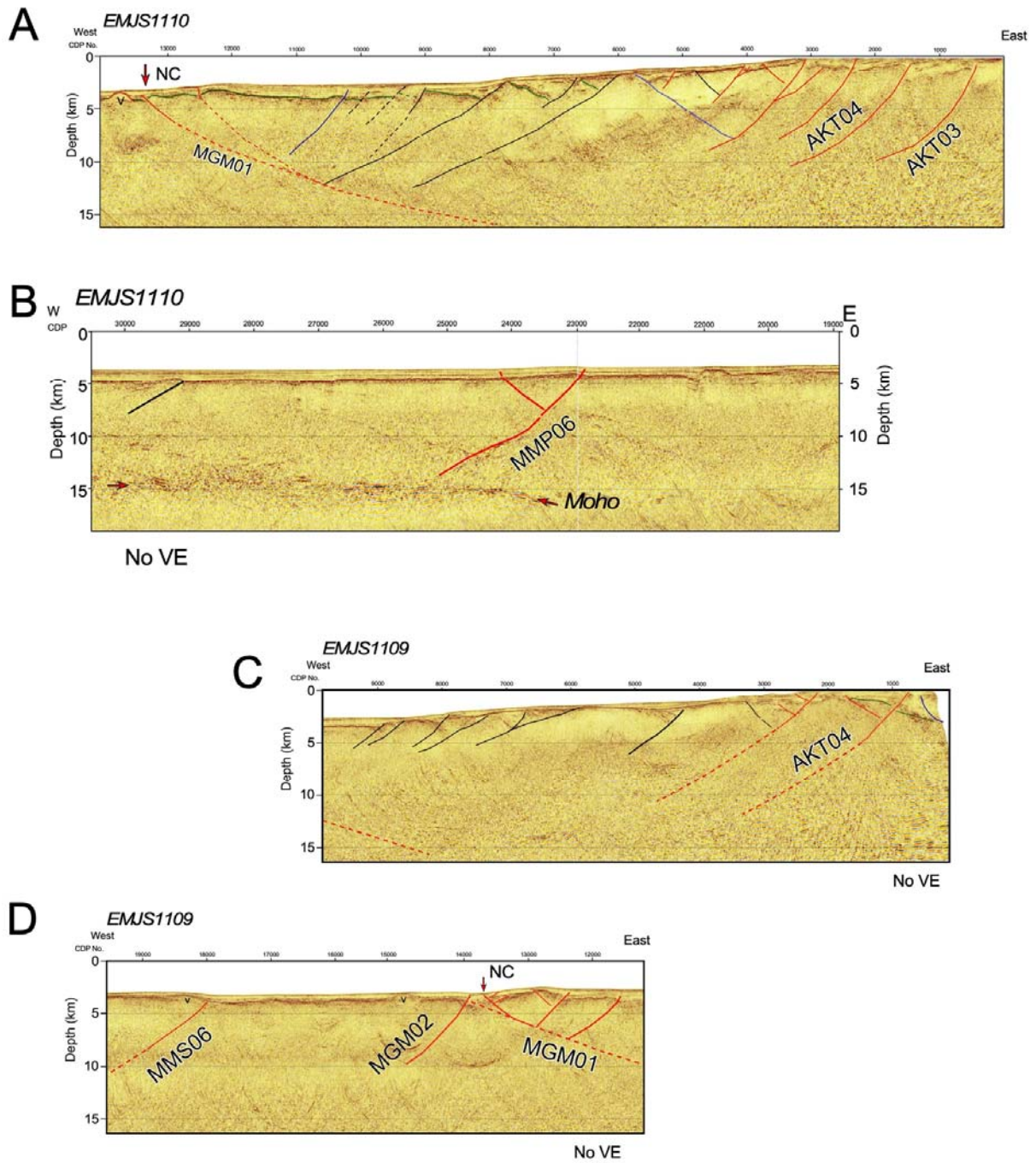


図 13 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS+数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、緑実線：音響基盤上面、v：火山体、断層番号は図 6 と共通。

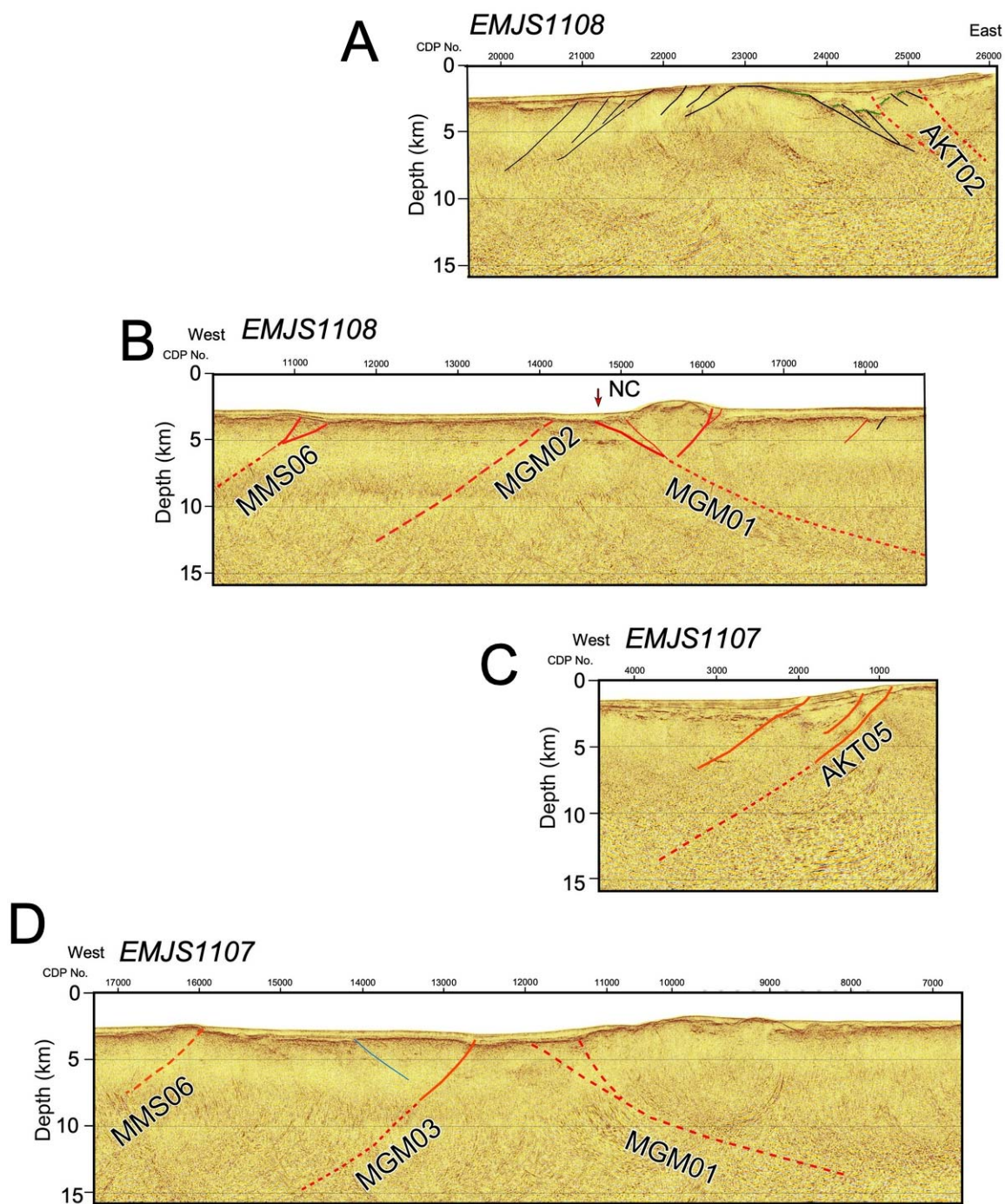


図 14 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS+数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、断層番号は図 6 と共通。



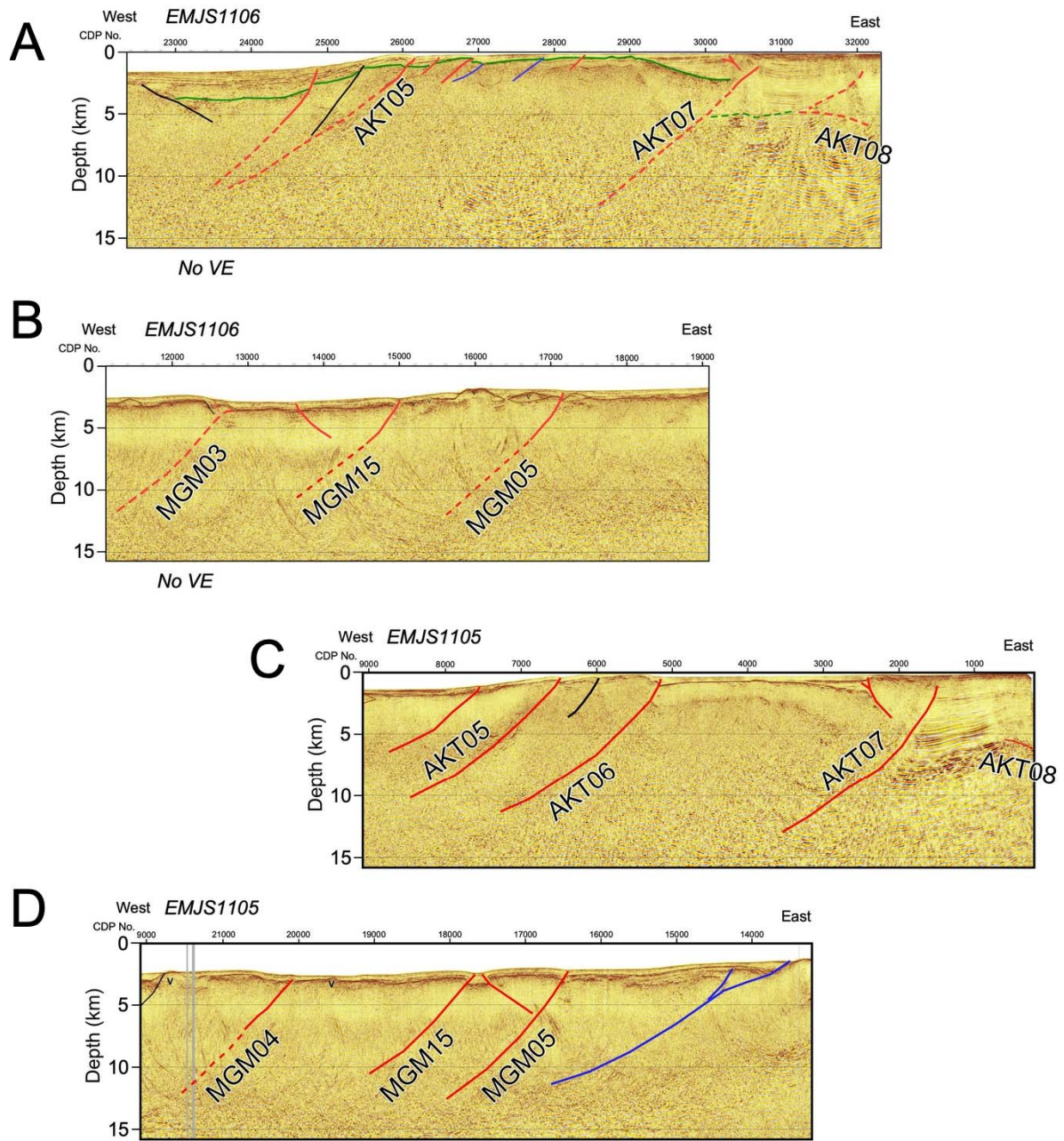


図 15 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS+数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、緑実線：音響基盤上面、v：火山体、断層番号は図 6 と共通。

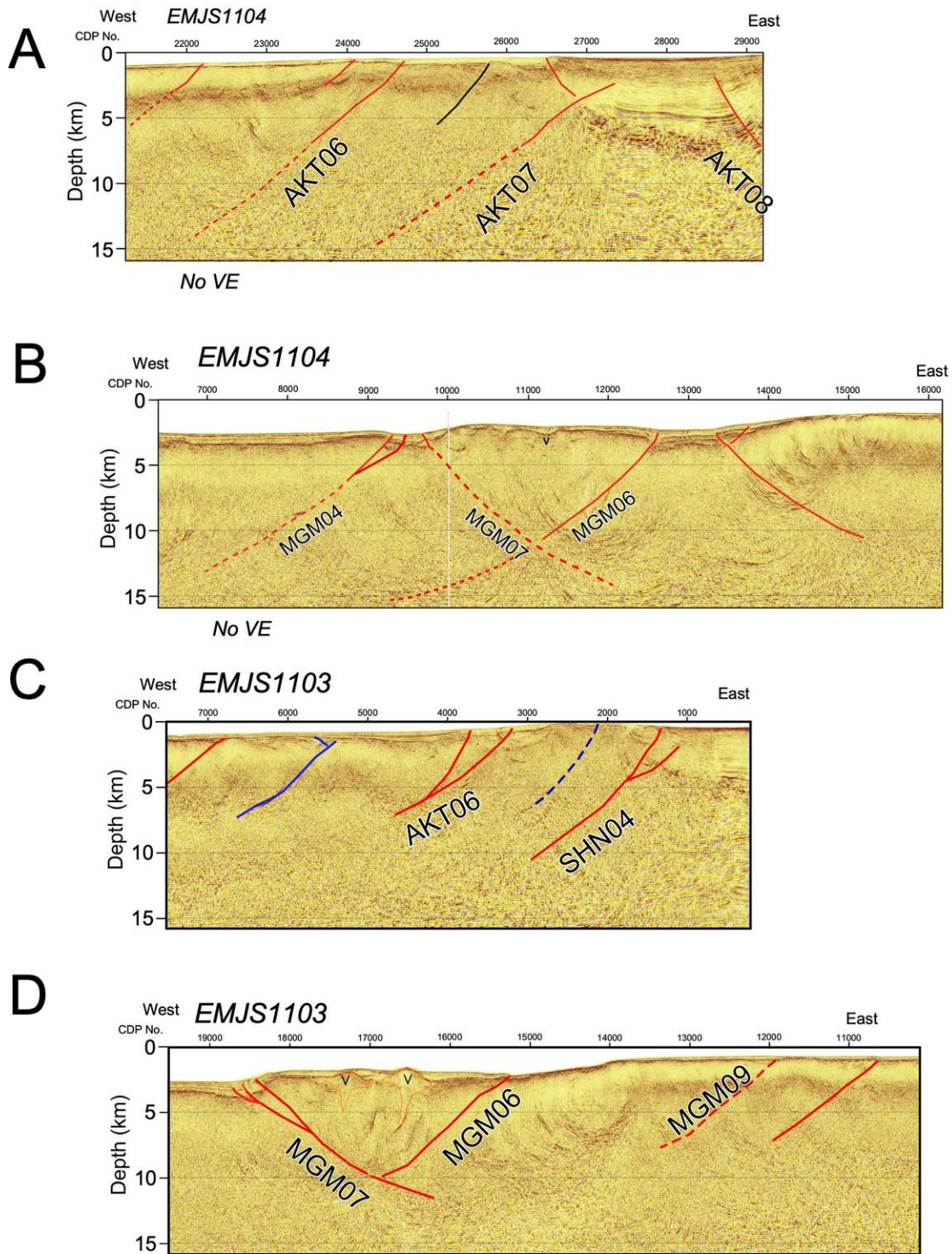


図 16 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS + 数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、v：火山体、断層番号は図 6 と共通。

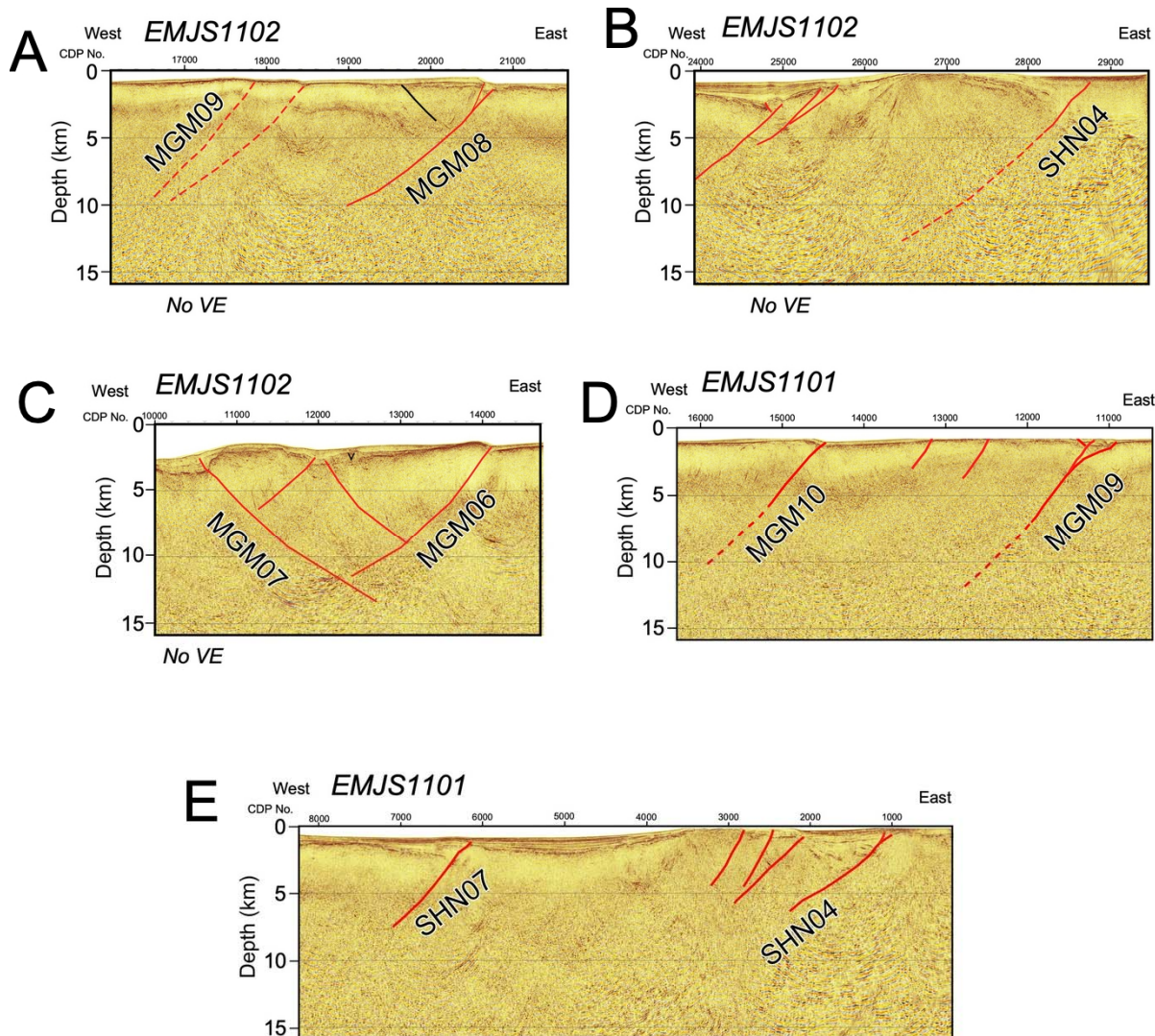


図 17 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS+数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、v：火山体、断層番号は図 6 と共通。

MGM04 および 07 の、低角度逆断層から秋田沖、能代沖の堆積物の厚いリフト軸の西側には、伸張変形を受けた大陸地殻が分布し、反転して逆断層となり概ね西傾斜の震源断層群を構成している（図 13～17）。

男鹿半島下の断層 AKT02 は、1939 年男鹿地震の震源断層モデル<sup>19)</sup>に基づいて作成した。測線 EMJS1108 の東端部の東傾斜の断層のいずれかに相当する可能性がある。断層 AKT01 は能代断層に相当する。傾斜は大沢ほか（1984）<sup>20)</sup>によった。

北由利断層帯の西側に位置する断層 AKT08 は EMJS1106（図 15）の低角度の伏在断層で阿部ほか（2015）<sup>21)</sup>の飛島海盆断層に相当するもので、北由利断層とは異なる。AKT09 は北由利断層帯<sup>22)</sup>であり、傾斜については佐藤ほか（2004）<sup>23)</sup>の断面によった。象潟沖の断層 SHN03 は、象潟図幅に記述されている西傾斜の小滝逆断層<sup>24)</sup>に相当する。東傾斜の断層は、象潟図幅東部の仁賀保衝上断層群までは、記載されていない<sup>24)</sup>。1804 年の象

潟地震では吹浦の海岸部が隆起したが<sup>25)</sup>、この地震の震源断層は地質構造の上からは西傾斜の断層と判断される。

#### 4) 山形・新潟沖の断層

秋田沖の構造と類似した構造形態を示し、日本海沿岸の秋田堆積盆地の南延長は庄内沖まで延長される。この堆積盆地は厚い日本海拡大時以降の堆積物が分布し、堆積盆地底には厚い玄武岩が分布するリフトである。このリフト構造は、直接、新潟堆積盆地には連続せず、粟島隆起帯西方の厚い堆積物を有する堆積盆地を経て、新潟地域に至る。このリフト軸の西側では西傾斜の構造が、東側では東傾斜の断層が卓越する。佐渡島から最上礁に至る領域は、日本海拡大期の正断層が逆断層として活動した西傾斜の逆断層が卓越する。粟島隆起帯の北部ではリフト軸はその西側に位置し、主要な構造が東傾斜の断層が卓越するのに対して、粟島隆起帯の南部ではリフト軸がその東側に分布することになり西傾斜の断層が卓越する。2019年の山形県沖地震は、東傾斜の断層が卓越する領域で発生したもので<sup>26)</sup>、粟島隆起帯南部で発生した1964年の新潟地震は、主断層の傾斜方向については議論があるが、地質構造上は西傾斜、中角度の断層が好ましい。

断層モデルの基礎となった反射法地震探査断面の地質学的解釈については、図18～22に示す。



図18 山形沖海域の海洋研究開発機構による反射法地震探査測線と矩形断層モデル。紫色字：測線番号、黒ないし青色数字：CDP番号。赤紫色実線矩形：矩形断層モデル、黄色実線：矩形断層モデルの上端、矩形断層中の黒字記号と数字：断層番号。

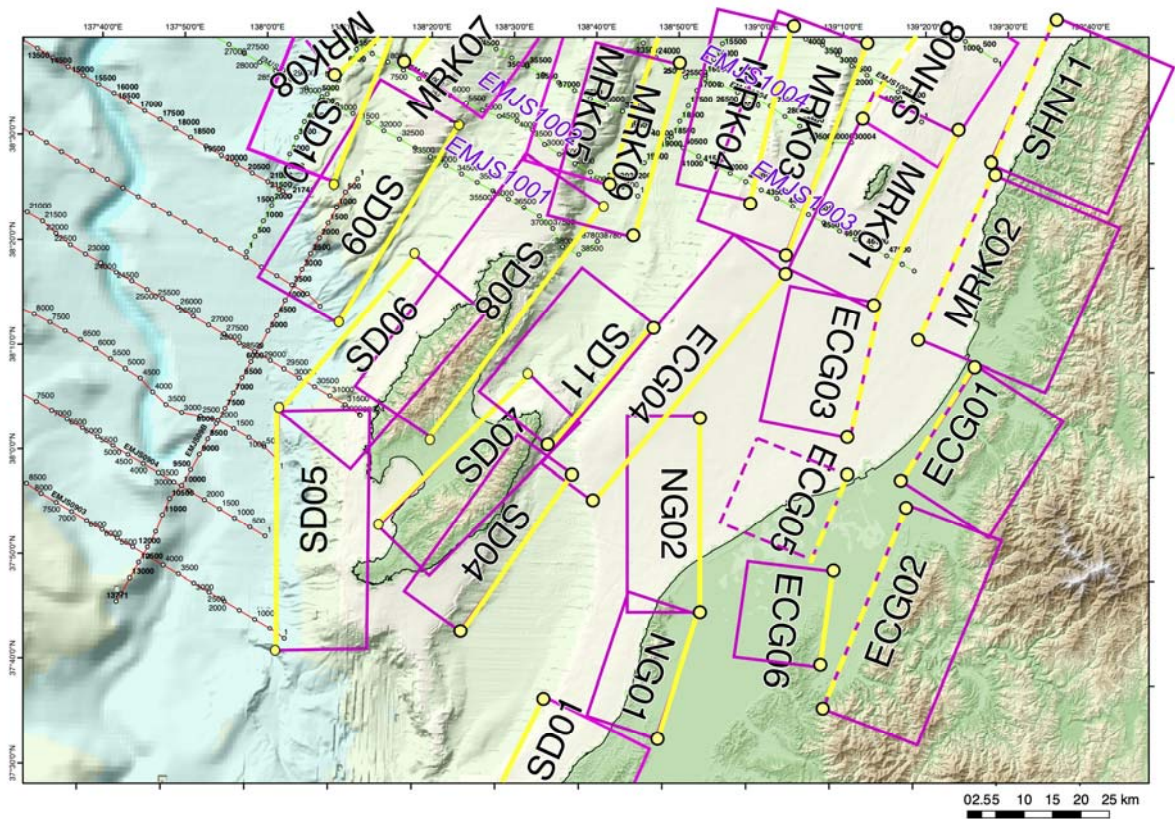


図 19 新潟沖海域の海洋研究開発機構による反射法地震探査測線と矩形断層モデル。紫色字: 測線番号、黒ないし青色数字: CDP 番号。赤紫色実線矩形: 矩形断層モデル、黄色実線: 矩形断層モデルの上端、矩形断層中の黒字記号と数字: 断層番号。

断層 SHN02 は、庄内平野東縁断層帯<sup>26)</sup>に相当する。SHN01 は庄内平野下に伏在する活断層であり、平野南部での位置と形状は、R1 年の構造探査（本報告書 3.2.3）で明らかになったもので、北部については佐藤ほか（2015）<sup>27)</sup>による。庄内平野西縁の断層 SHN10 は、庄内平野横断地殻構造探査（本報告書 3.2.3）から庄内層群に層厚変化を与える西側隆起の構造から推定し、分布は重力異常から推定した。

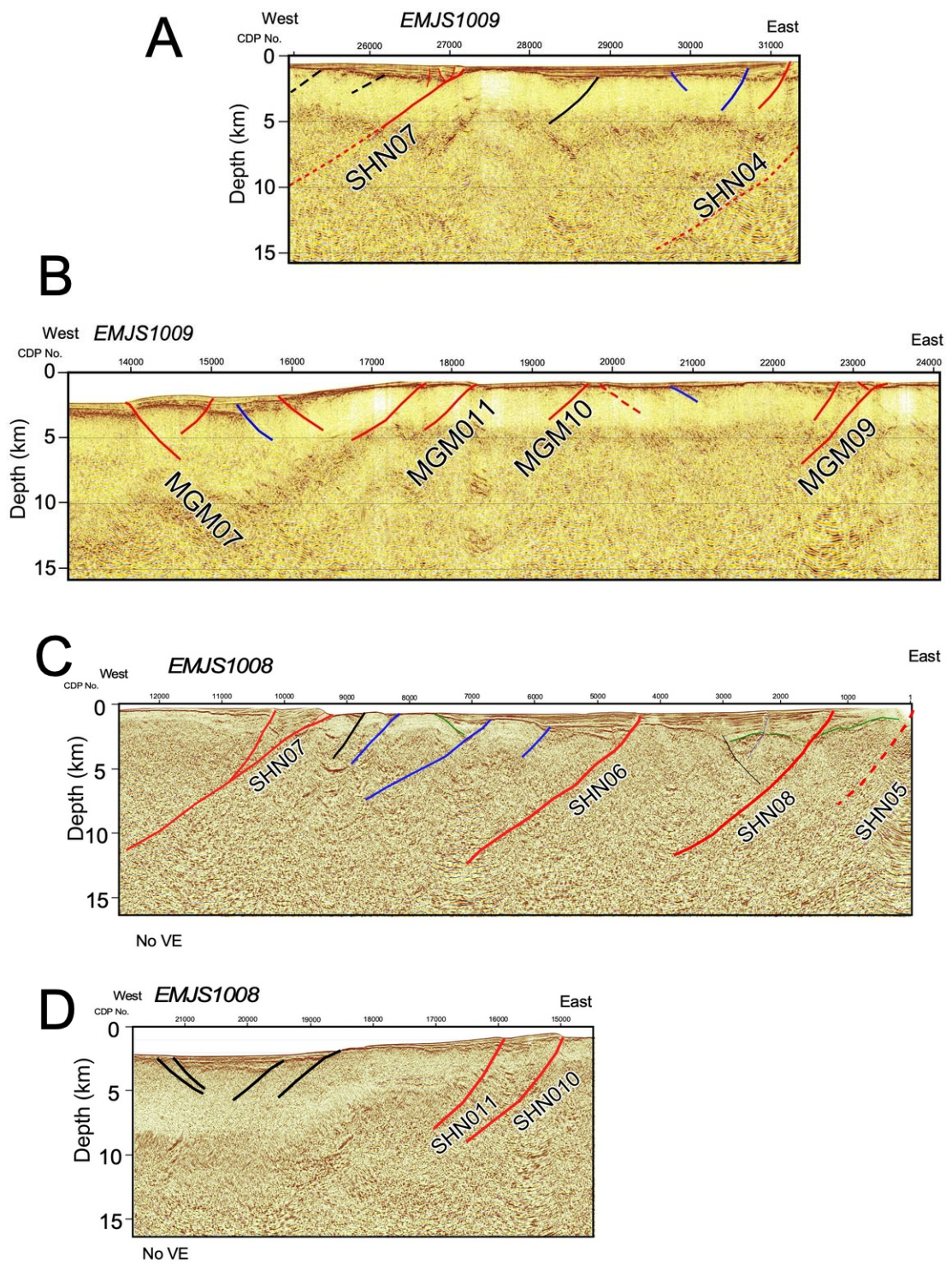


図 20 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS 数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、断層番号は図 6 と共通。

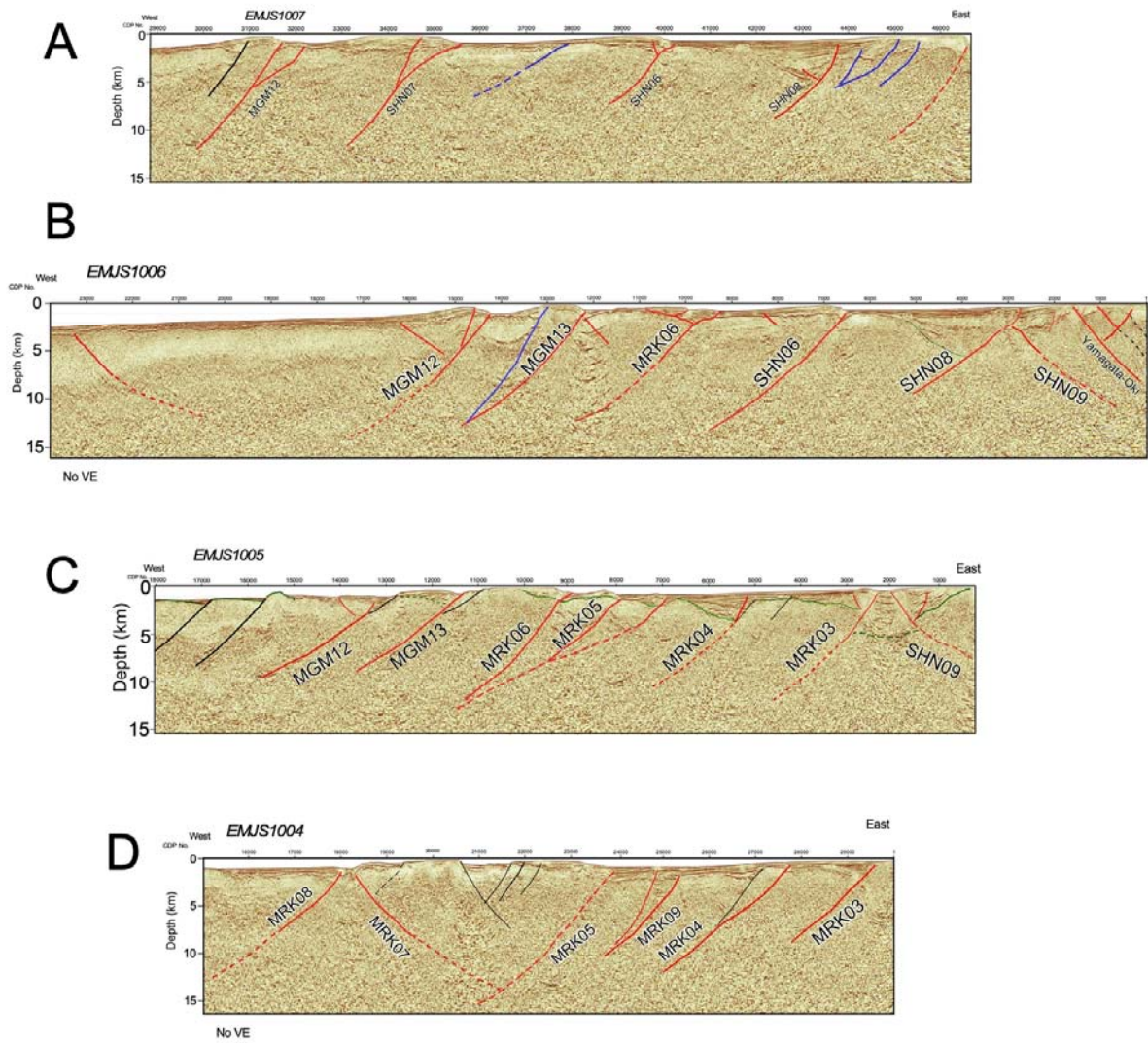


図 21 反射法地震探査断面と地質学的解釈

EMJS+数字は測線番号、位置は図 6 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層、断層番号は図 6 と共通。

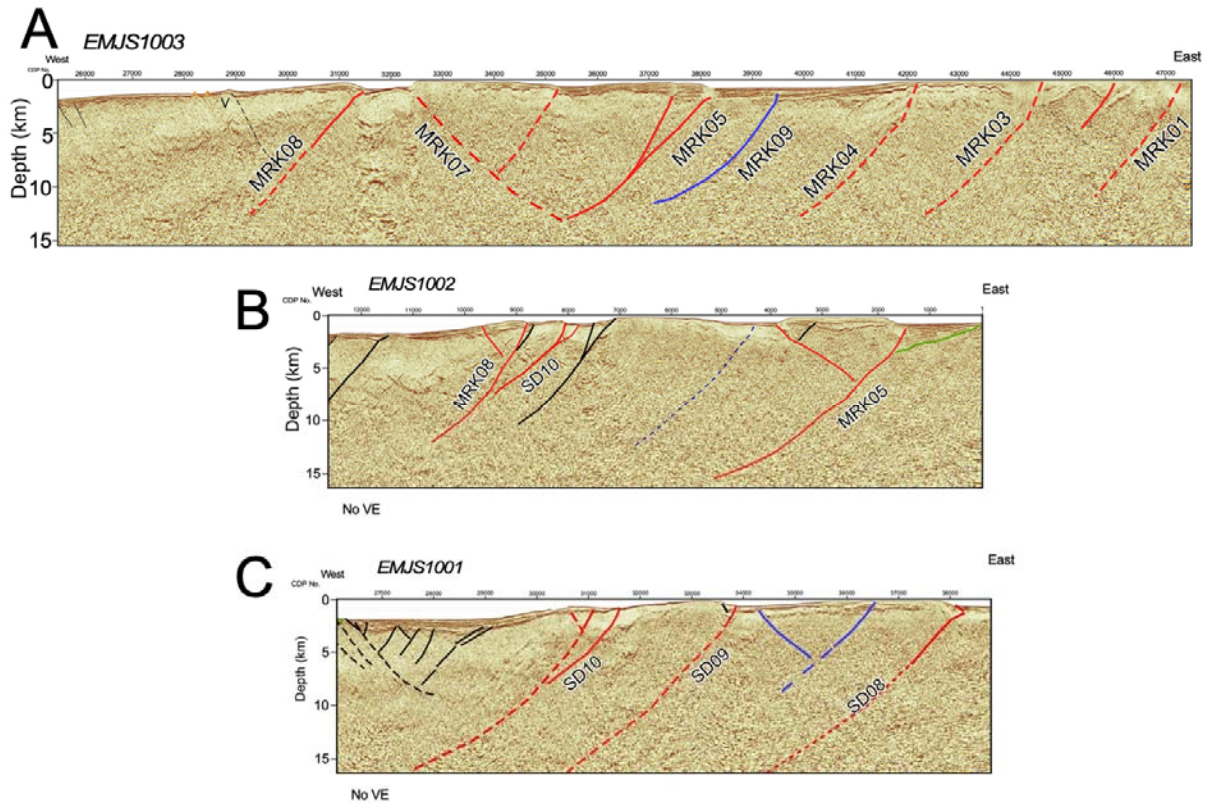


図 22 反射法地震探査断面とその地質学的解釈。

左上は測線番号、位置は図 4 参照。黒：正断層、赤：活断層、青：逆断層。断層番号は図 6 と表 1 と共通。

2019 年山形沖地震の震源域<sup>28)</sup>を通過する断面としては、EMJS1006 がある。海底地震計による自然地震観測によれば中角度で東傾斜の震源分布を示しており<sup>29)</sup>、ほぼ断面上では対応する断層については特定可能である(図 21B)。震源分布から判断して粟島隆起帯の西側に位置する構造上明瞭な断層が活動したとは考えにくい。

温海から村上にかけての朝日山地の日本海沿岸には西側に低下するブーグ異常の海岸に沿った急傾斜帯が分布する<sup>30)</sup>。温海海岸沿いに露出する新第三系の堆積岩は西傾斜の急傾斜帯を形成する。海岸沿いの海成段丘の高度分布から、沿岸に活断層の存在が推定されている<sup>31)</sup>。とくに重力のブーグ異常の特徴から断層を推定した。角度については、粟島隆起帯周辺の東傾斜の断層をもとに推定した。なお断層粟島隆起帯と陸域の間は水深が浅く、反射法地震探査が実施されておらず、断層形状の推定に資するデータはない。

新潟市北方沖には、極めて厚い堆積物が分布し<sup>32, 33)</sup>、生層序の層準である 120 万年前のマーカー A と呼ばれる層準は、深さ 2~3,000 m に分布しており、この層準より上位の地層が参加する褶曲は、活褶曲である可能性が極めて高い。新潟平野からその北方海域では石油・天然ガス探査のために多くの反射法地震探査やボーリングが実施されている<sup>32, 33)</sup>。これらの具体的な成果は公表されていないが、褶曲軸の位置などは地質図に正確に表現されている。これらの軸跡で主要なものを抽出し、断層関連褶曲によって形成されたものと仮定して断層モデルを作成した。この断層については、1964 年新潟地震の震源域(余震分布域)内に位置しており<sup>34, 35, 36)</sup>、新潟地震の震源断層を構成したものと推定される。断層



ECG05 は、新潟平野下の前述の資料に基づいて作成した断層モデルである。東新潟背斜には灰爪層中にも成長層を形成しており<sup>34)</sup>、活断層に関連して形成された構造である。東翼急傾斜の非対称褶曲の形状から西傾斜の断層と推定し、翼部に傾斜角 45 度の矩形断層を推定した。断層 ECG05 については、新津背斜の東翼に分布する断層に相当するもので、構造探査の成果をもとに<sup>37)</sup>、中角度で西傾斜の矩形断層を推定した。

下越地域の活断層としては、楡形山脈断層帯<sup>38)</sup> や月岡断層帯<sup>39)</sup> がある。これらの断層帯は越後平野の境界部に位置し、平野側（西側）に傾斜した中角度の逆断層である。地殻構造探査によれば、速度構造からは山地側が隆起する東傾斜の逆断層である。浅部では楔型の断層となり、地表では西傾斜の断層として現れている<sup>40)</sup>。こうした深部形状に基づいて、東傾斜の震源断層を推定した。

#### 5) 断層の矩形モデルと断層パラメータ

これまで北海道南東沖から新潟沖に至る反射法地震探査断面の地質学的解釈とそれらから得られた矩形断層モデルについて記述した(図 23)。断層パラメータを表 1 に、Terakawa and Matsu'ura (2910)<sup>2)</sup> の応力状態から求めた断層タイプと分布を図 24 に示した。

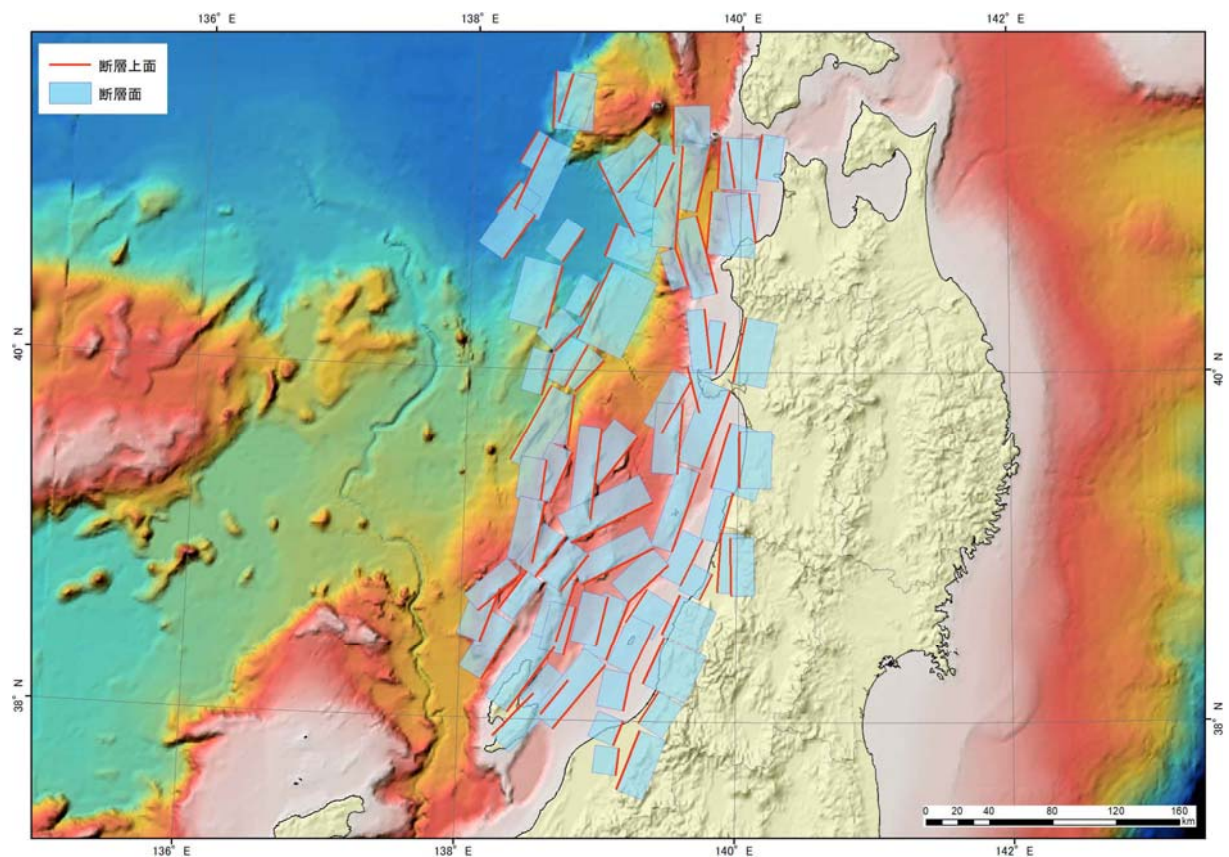


図 23 北海道南西沖から新潟沖の震源断層の矩形モデル。

表 1 北海道南西沖から新潟沖の震源断層の矩形モデルのパラメータ

海底断層 No.	始点座標		終点座標		中点座標		深さ (km, TP→)	走向 (度)	傾斜 (度)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層下限深さ (km)	すべり角 (度)
	緯度	経度	緯度	経度	緯度	経度							
	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)							
MMP01	41.3738	138.5729	41.7015	138.5905	41.5330	138.7321	2.5	4	30	36.4	29.0	17	113
MMP02	41.4119	138.6133	41.6916	138.7190	41.5316	138.7601	3.3	17	40	32.3	21.3	17	111
MMP03	41.1776	138.3306	41.3625	138.4645	41.2348	138.4829	3.3	30	40	23.4	21.3	17	102
MMP04	40.9070	138.2996	41.3239	138.5367	41.0853	138.5103	2.8	25	40	50.4	22.1	17	102
MMP05	40.8880	138.1671	41.0667	138.3401	40.9324	138.3342	3.2	38	35	24.6	20.6	15	98
MMP06	40.8817	138.4598	40.6191	138.2321	40.7982	138.2504	3.5	215	35	34.9	23.5	17	132
OS10	41.2429	139.4882	41.5183	139.4793	41.3831	139.6235	1.5	360	30	30.6	27.0	15	100
OS11	41.1099	140.1104	41.3625	140.1546	41.2276	140.2182	0.5	8	45	28.3	20.5	15	96
MMS01	40.7663	139.2065	41.1933	139.9204	41.0414	139.2242	2.9	334	25	53.2	33.4	17	69
MMS02	41.3014	139.3833	41.0178	139.0772	41.1994	139.1655	3.3	220	40	40.6	18.2	15	130
MMS03	41.1966	139.4891	40.9514	139.3482	41.0968	139.3492	2.3	205	45	29.7	18.0	15	108
MMS04	40.6502	138.9880	40.8352	139.0750	40.6971	139.1987	3.0	21	25	21.8	33.1	17	89
MMS05	40.8023	138.8321	40.6116	138.6689	40.7401	138.6834	3.5	215	45	25.3	19.1	17	129
MMS06	40.5907	138.6744	40.2310	138.5597	40.4368	138.4771	2.9	195	30	41.1	28.2	17	100
NTG01	41.2949	139.7669	40.9145	139.6673	41.1203	139.6126	2.0	192	40	43.1	23.3	17	99
NTG02	41.0536	139.9504	41.3195	139.8924	41.1973	140.0079	0.3	351	45	29.9	20.8	15	88
NTG03	40.8959	139.6669	40.4527	139.8272	40.6558	139.6589	1.5	165	45	51.0	21.9	17	103
NTG04	40.6747	139.7472	41.0386	139.7806	40.8470	139.9427	0.9	5	25	40.5	33.4	15	91
NTG05	41.2905	139.5548	40.7058	139.5134	41.0018	139.4426	1.6	184	45	65.0	21.8	17	96
NTG06	40.7058	139.5134	40.4943	139.6089	40.5844	139.5017	1.8	162	55	24.8	18.6	17	95
NTG07	41.0487	139.8218	41.3447	139.8384	41.1920	139.9756	0.9	3	30	32.9	28.2	15	90
TGR01	41.0273	140.0603	40.7360	140.1148	40.8724	140.0019	0.4	173	45	32.7	20.6	15	91
MGMO1	40.1821	138.7927	40.6186	139.0505	40.3435	139.0857	2.7	26	25	53.2	33.8	17	69
MGMO2	40.5022	138.9499	40.3009	138.8136	40.4259	138.8202	3.0	209	50	25.2	18.3	17	101
MGMO3	40.2509	138.8178	40.1025	138.6328	40.2294	138.6534	2.8	225	40	22.8	22.1	17	140
MGMO4	40.0925	138.6268	39.8528	138.5448	39.9886	138.5070	3.1	196	45	27.5	19.7	17	101
MGMO5	40.0575	138.9998	39.8785	138.7869	40.0053	138.8403	2.4	224	50	26.9	19.1	17	145
MGMO6	39.8598	138.7859	39.5665	138.7441	39.7205	138.6780	2.0	188	45	32.8	21.2	17	91
MGMO7	39.4760	138.3241	39.9096	138.6173	39.6561	138.5613	2.2	29	40	54.3	23.0	17	103
MGMO8	39.6230	139.2621	39.3414	138.9844	39.5350	139.0338	0.8	219	40	39.3	25.2	17	120
MGMO9	39.6744	138.9925	39.1479	138.9263	39.4172	138.8793	0.5	187	50	58.7	21.5	17	83
MGMO10	39.5279	138.7836	39.2384	138.6277	39.4111	138.6192	0.9	204	45	34.8	22.8	17	121
MGMO11	39.4838	138.5924	39.2467	138.5571	39.3735	138.4819	0.9	188	45	26.5	22.8	17	98
MGMO12	39.2451	138.5916	38.8901	138.5057	39.0809	138.4577	1.0	192	45	40.1	22.6	17	99
MGMO13	39.0398	138.7402	38.8115	138.5330	38.9684	138.5593	0.6	217	45	31.1	23.2	17	122
MGMO14	40.1422	138.8760	39.9017	138.7126	40.0579	138.7044	2.5	209	40	30.1	22.6	17	120
AKT01	39.9501	139.9565	40.3152	140.0493	40.1151	140.1195	0.0	12	40	41.3	26.4	17	99
AKT02	39.7696	139.7109	40.0350	139.6181	39.9165	139.7332	0.0	346	51	30.5	19.3	15	63
AKT03	40.2861	139.8916	39.9909	139.8295	40.1455	139.8039	0.1	190	60	33.2	19.5	17	101
AKT04	40.3618	139.7371	40.0206	139.7917	40.1847	139.6955	0.1	174	55	38.2	20.6	17	85
AKT05	39.9560	139.6498	39.6521	139.4352	39.8334	139.4725	0.8	209	50	38.4	21.1	17	105
AKT06	39.8183	139.5870	39.4114	139.5549	39.6194	139.4738	0.3	184	45	45.3	23.6	17	85
AKT07	39.9012	139.9367	39.4461	139.7304	39.6989	139.7402	0.1	200	45	53.5	23.9	17	98
AKT08	39.3380	139.8027	39.7150	139.9405	39.4905	140.0352	0.1	17	30	43.5	33.8	17	90
AKT09	39.3393	140.0103	39.6675	140.0095	39.5035	140.1270	0.1	1	40	36.4	26.3	17	76
SHN01	38.7443	139.8556	39.0845	139.8800	38.9106	139.9541	0.0	4	45	37.8	21.2	15	78
SHN02	38.7255	139.9585	39.0551	139.9464	38.8922	140.0389	0.0	359	45	36.6	21.2	15	74
SHN03	39.3137	139.9656	39.0270	139.8684	39.1845	139.8478	0.3	195	50	32.9	19.2	15	94
SHN04	39.4281	139.7057	38.9854	139.5135	39.2268	139.5329	0.3	200	50	51.9	21.7	17	97
SHN05	39.0431	139.7491	38.7815	139.5886	38.9396	139.5958	0.4	206	50	32.2	21.8	17	103
SHN06	38.9335	139.3964	38.7746	138.8738	38.9495	139.0900	0.6	243	45	51.4	23.2	17	119
SHN07	39.2529	139.3791	39.0114	138.7869	39.2110	139.0297	0.5	244	40	57.8	25.7	17	130
SHN08	38.8955	139.5032	38.6836	139.2177	38.8435	139.2948	0.5	228	45	34.2	23.3	17	112
SHN09	38.5650	139.1967	38.7575	139.3472	38.6144	139.3693	0.3	33	40	25.1	26.0	17	95
SHN10	38.8490	139.8225	38.6979	139.7282	38.8029	139.6982	0.1	207	45	18.7	21.1	15	104
SHN11	38.4986	139.4587	38.7263	139.5853	38.5659	139.6576	0.1	24	30	27.6	29.8	15	96
SD07	37.8999	138.2538	38.1478	138.5451	37.9779	138.4617	0.0	44	45	37.6	21.2	15	98
SD08	38.4166	138.6880	38.0367	138.3515	38.2695	138.4416	0.4	216	45	51.5	23.5	17	97
SD09	38.5391	138.3902	38.2203	138.1614	38.4165	138.1928	0.4	211	45	40.7	23.5	17	113
SD10	38.7448	138.2759	38.4400	138.1310	38.6171	138.1189	1.3	202	45	36.1	22.2	17	106
SD11	38.2287	138.7915	38.0303	138.5930	38.1756	138.6182	0.5	220	45	28.1	23.3	17	101
MRK01	38.5490	139.4038	38.2674	139.2410	38.4393	139.2352	0.3	206	45	34.3	23.6	17	103
MRK02	38.2132	139.3292	38.4802	139.4799	38.2930	139.5573	0.1	25	30	32.4	33.8	17	87
MRK03	38.6836	139.2177	38.3446	139.0599	38.5395	139.0503	0.6	201	45	40.1	23.2	17	97
MRK04	38.7100	139.0654	38.4253	138.9841	38.5838	138.9328	0.6	194	45	32.4	23.2	17	91
MRK05	38.7963	138.8301	38.4461	138.6924	38.6429	138.6711	0.6	199	45	40.7	23.2	17	95
MRK06	38.9478	138.9190	38.7342	138.7170	38.8849	138.7419	0.6	218	45	29.5	23.2	17	111
MRK07	38.6375	138.2669	38.8545	138.4600	38.7166	138.4171	0.7	37	55	29.4	19.9	17	111
MRK08	38.8283	138.4288	38.6134	138.1241	38.7664	138.2239	0.8	230	50	35.7	21.1	17	131
MRK09	38.6478	138.8332	38.3703	138.7503	38.5255	138.7023	1.0	195	45	31.6	22.6	17	92
ECG01	37.9888	139.2995	38.1730	139.4438	38.0385	139.4581	0.0	33	40	24.0	23.3	15	95
ECG02	37.6137	139.1522	37.9480	139.3113	37.7523	139.3265	0.0	22	40	39.7	23.3	15	81
ECG03	38.2674	139.2410	38.0558	139.1894	38.1760	139.1205	0.1	192	45	23.9	23.9	17	93
ECG04	38.3175	139.0591	37.9464	138.6835	38.1788	138.7969	0.4	220	45	52.7	23.5	17	101
ECG05	37.9986	139.1920	37.8573	139.1221	37.9557	139.0675	0.1	203	45	16.8	23.9	17	91
ECG06	37.8437	139.1669	37.6917	139.1443	37.7757	139.0710	0.0	188	45	17.0	21.2	15	82

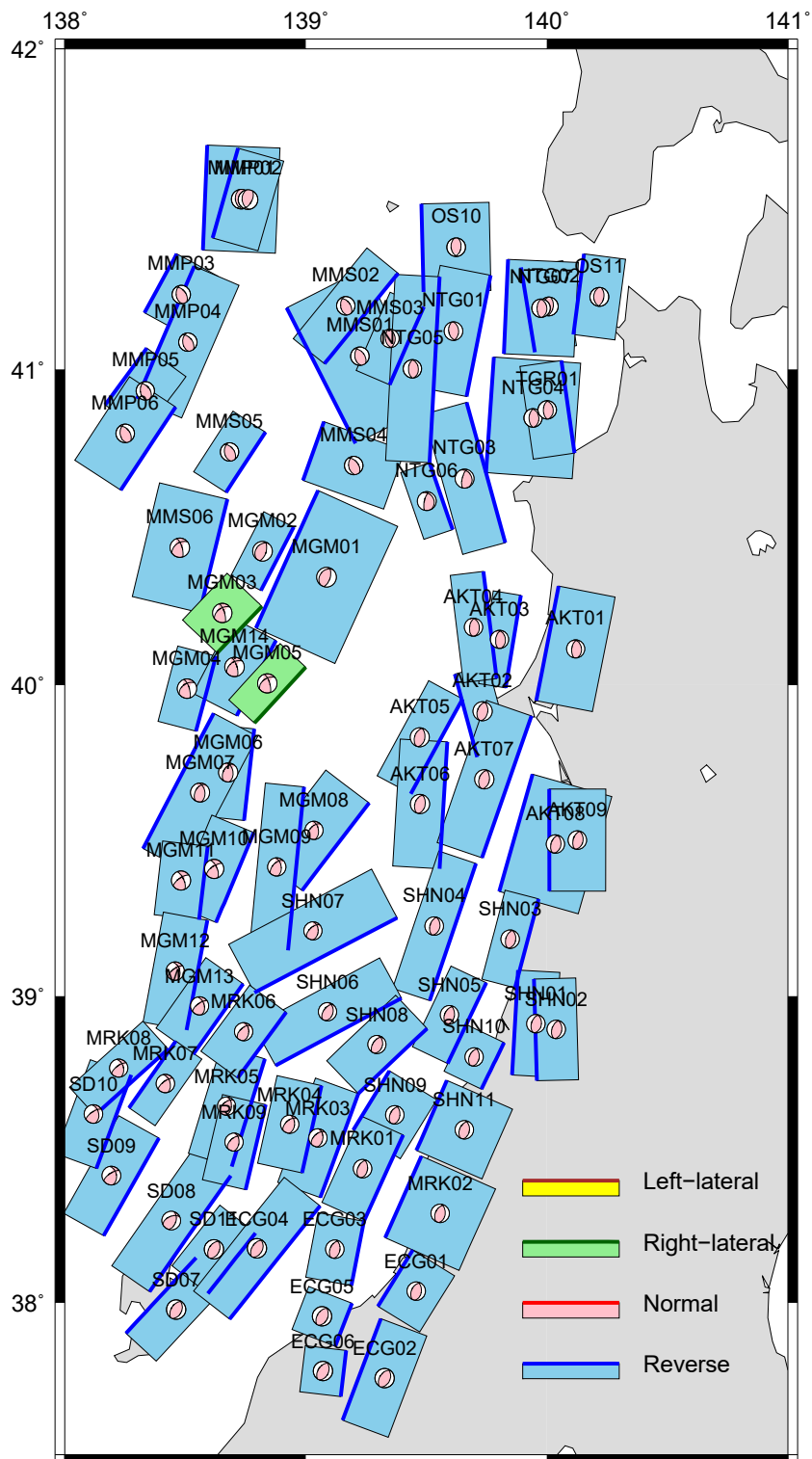


図 24 東北沖の断層矩形モデルと断層タイプ。  
Terakawa and Matsu'ura (2010)<sup>2)</sup> の応力状態をもとに計算。

(c) 結論ならびに今後の課題

ひずみ集中帯の重点的調査・観測プロジェクトで海洋研究開発機構が取得した反射法地震探査データに基づいて、北海道南東沖から新潟沖に至る震源断層の矩形モデルを作成した。日本海盆と大和海盆相当の海洋性地殻の境界部に発達する震源断層、海洋性地殻と大陸性地殻の境界部の断層、日本海形成期の伸張変形を受けた大陸地殻内の正断層の反転による逆断層、大陸地殻内リフト軸周辺の断層など、日本海形成に伴って形成された構造運動によってそれぞれ特徴ある形状の断層群が分布することが明らかになった。それぞれ伸張性の構造変形による断層が、その後の島弧と直交する方向の圧縮変形により、震源断層が活動している。今回、得られた震源断層モデルは地殻深部の構造探査を目的として取得されたデータに基づくもので、日本海域では初めて得られたものである。深部構造について十分な解像度が得られていない部分もあり、今後、データの再解析が必要な区間もある。将来的には制御震源による速度構造解明のための構造探査や、断層の活動性を明らかにするためのボーリング調査などが望まれる。

(d) 引用文献

- 1) 日本海における大規模地震に関する調査検討会：日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, 43p., 2014.
- 2) Terakawa, T. and Matsu'ura, M.: The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events. *Tectonics*, 29, TC6008, doi:10.1029/2009TC002626, 2010.
- 3) 奥田義久, 盛谷智之, 細野武男: 20 万分の 1 西津軽海盆海底地質図および説明書, 海洋地質図 30, 地質調査所, 1987.
- 4) 岡村行信, 森尻理恵, 佐藤幹夫, 山崎俊嗣, 上嶋正人, 木川栄一, 石原丈実, 宮崎純一: 20 万分の 1 秋田西方海底地質図および説明書, 海洋地質図 48, 地質調査所, 1996.
- 5) 岡村行信, 森尻理恵, 土谷信之, 佐藤幹夫, 宮崎純一, 山崎俊嗣, 上嶋正人, 木川栄一, 石原丈実, 1996: 20 万分の 1 海洋地質図 47, 粟島周辺海底地質図および説明書, 地質調査所.
- 6) 岡村行信, 竹内圭史, 上嶋正人, 佐藤幹夫, 1995: 20 万分の 1 海洋地質図 46, 佐渡島北方海底地質図および説明書, 地質調査所.
- 7) 岡村行信, 竹内圭史, 上嶋正人, 佐藤幹夫, 森尻理恵, 駒沢正夫, 広島俊夫, 宮崎純一, 1994: 20 万分の 1 海洋地質図 43, 佐渡島南方海底地質図および説明書, 地質調査所.
- 8) 改訂版「日本の石油・天然ガス資源」編集委員会: 改訂版「日本の石油・天然ガス資源」, 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 520p., 1992.
- 9) No, T., T. Sato, S. Kodaira, Ishiyama, T., H. Sato, N. Takahashi, Y. Kaneda: The source fault of the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake revealed by seismic imaging, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 400, 14–25, 2014.
- 10) 野 徹雄, 佐藤 壮, 小平秀一, 高橋成実, 石山達也, 佐藤比呂志, 金田義行: 日本海東部におけるマルチチャンネル反射法地震探査, *AMSTEC Report of Research and Development*, 19, 29-47, 2014.

- 11) 佐藤比呂志, 石山達也, 加藤直子, 野 徹雄, 石川正弘, 武田哲也, 越谷 信, 豊島剛志, 工藤 健: 断層モデルの構築, 平成 25 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書, 203-216, 2014.
- 12) 海底の名称に関する検討会  
<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOKAI/ZUSHI3/topographic/JCUFN/jcufn.html>
- 13) 海野徳仁, 長谷川昭, 小原一成, 松澤 暢, 清水 洋, 高木章雄, 田中和夫, 小菅正裕: 1983年日本海中部地震の前震と余震分布, 地震第2輯, 38, 399-410, 1985.
- 14) Sato, T.: Rupture characteristics of the 1983 Nihonkai-Chubu (Japan Sea) earthquake as inferred from strong motion accelerograms, *Journal of Physics of the Earth*, 33, 525-557, 1985.
- 15) 小菅正裕, 池田仁美, 鎌塚吉忠, 佐藤 裕, 1986: 余震分布・地殻変動・津波データによる1983年日本海中部地震の静的断層モデル, 測地学会誌, 32, 290-302, 1986.
- 16) Satake, K.: The Mechanism of the 1983 Japan Sea Earthquake as Inferred from Long-Period Surface Waves and Tsunamis, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 37, 249-260, 1985.
- 17) Satake, K., Inversion of tsunami waveforms for the estimation of heterogeneous fault motion of large submarine earthquakes: The 1968 Tokachi - oki and 1983 Japan Sea earthquakes, *Jour. Geophys. Res.*, 94, 5627-5639, 1989.
- 18) Sato, H.: The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan. *J. Geophys. Res.*, 99, 22261-22274, 1994.
- 19) 佐藤 裕: 地殻変動による 1939 年男鹿地震の再検討, 地震 第二輯, 46, 49-52, 1993.
- 20) 大沢 穠, 池辺 穰, 平山次郎, 栗田泰夫, 高安泰助: 能代地域の地質. 地域地 質研究報告(5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 91p., 1984.
- 21) 阿部紫織, 佐藤比呂志, 稲葉 充, 加藤直子, 石山達也, 野 徹夫, 小平秀一: 背弧リフトの短縮変形プロセスの研究: 秋田堆積盆地を例として, 石油技術協会誌, 80, 5, 406-407, 2015.
- 22) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 北由利断層の長期評価について, 18p., 2005.
- 23) 佐藤比呂志, 吉田武義, 岩崎貴哉, 佐藤時幸, 池田安隆, 海野徳仁: 後期新生代における東北日本中部背弧域の地殻構造発達-最近の地殻構造探査を中心として-. 石油技術協会誌, 69, 2, 145-154, 2004.
- 24) 大沢 穠, 池辺 穰, 荒川洋一, 土谷信之, 佐藤博之, 垣見俊弘: 象潟地域の地質. 地域地 質研究報告(5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 73p., 1982.
- 25) 平野信一, 中田 高, 今泉俊文: 象潟地震 (1804 年) に伴う地殻変形, 第四紀研究, 18, 17-30, 1979.
- 26) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 庄内平野東縁断層帯の一部改訂について, 41p., 2009.
- 27) 佐藤比呂志, 稲葉 充, 石山達也, 加藤直子, 竹花康夫: 庄内平野の伏在活断層, 日本地球惑星科学連合 2015 大会, 幕張, 5 月 28 日, SSS28-11, 2015.
- 28) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 2019 年 6 月 18 日山形県沖の地震の評価, [https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2019/20190618\\_yamagata\\_2.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2019/20190618_yamagata_2.pdf)

- 29) 篠原雅尚, 酒井慎一, 悪原 岳, 望月公広, 日野亮太, 山下裕亮, 佐藤比呂志 : 浅海用係留ブイ方式海底地震計による 2019 年山形県沖の地震の余震観測, 日本地震学会講演予稿集秋季大会(CD-ROM), S24-05, 2019.
- 30) 産業技術総合研究所 : 100 万分の 1 重力異常図, 中部日本, 1999.
- 31) 伊倉久美子, 太田陽子 : 朝日山地西縁の完新世海成段丘と地殻変動, 地学雑誌, 112, 394-405, 2003
- 32) 新潟県 : 20 万分の 1 新潟県地質図および同説明書, 200p., 2000.
- 33) 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会 : 改訂版「日本の石油・天然ガス資源」, 520p., 1992.
- 34) 鴨井幸彦, 安井 賢, 卜部厚志 : 新潟及び内の地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 90 p, 2016.
- 35) Kayano, I.: Determination of origin times, epicenters and focal depths of aftershocks of the Niigata earthquake of June 16, 1964 -A preliminary report of cooperative study of aftershocks of the Niigata earthquake-. Bull. Earthq. Res. Inst., 46, 223-169, 1968.
- 36) 茅野一郎 : 近地地震の震源決定に関する二, 三の問題 -新潟地震の余震を例として-, 地震研究所研究速報, 12, 83-98, 1973.
- 37) 佐藤比呂志, 岩崎貴哉, 蔵下英司, 加藤直子 : 会津-佐渡測線地殻構造探査, ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト平成 21 年度成果報告書, 181-227,2010. [https://www.hizumi.bosai.go.jp/pdf/report/H21/H21\\_3.2.1.pdf](https://www.hizumi.bosai.go.jp/pdf/report/H21/H21_3.2.1.pdf)
- 38) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 : 楡形山脈断層帯の長期評価の一部改訂について, 26 p., 2005.
- 39) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 : 月岡断層帯の長期評価, 28 p., 2005.
- 40) 佐藤比呂志, 岩崎貴哉, 蔵下英司, 加藤直子 : 会津-佐渡測線地殻構造探査, ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト平成 21 年度成果報告書, 181-227,2010. [https://www.hizumi.bosai.go.jp/pdf/report/H21/H21\\_3.2.1.pdf](https://www.hizumi.bosai.go.jp/pdf/report/H21/H21_3.2.1.pdf)

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
佐藤比呂志, 石山達也, Claringbould, J.S., 加藤直子	日本海南部の震源断層 (論文発表)	地震予知連絡会誌, 102, 422-426.	令和元年 6 月 20 日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

**(3) 令和2年度業務計画案**

これまでに本プロジェクトで取得した資料を中心に検討し、地震活動の情報（サブサブテーマ 2.5.2）、構成岩石モデル（サブサブテーマ 2.5.3）の成果とともに、日本海海域の断層モデルを更新しプロジェクトにおける最終版を構築する。

