

日本海地震・津波調査プロジェクト

平成26年度

成果報告書

(抜粋)

平成27年5月

文部科学省研究開発局

国立大学法人東京大学地震研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術基礎調査等委託事業による委託業務として、国立大学法人東京大学地震研究所が実施した平成 26 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」の成果を取りまとめたものです。本報告書の複製・転載・引用等には文部科学省の承認手続きが必要です。

### 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か年の年次実施計画（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) 平成32年度
- (e) 平成26年度業務目的

##### (2) 平成26年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法と成果
- (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) 平成27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
	助教	石山 達也
	特任研究員	加藤 直子
	特任研究員	橋間 昭徳
海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域	技術研究副	野 徹雄
	主任	
横浜国立大学	教授	石川 正弘
防災科学技術研究所	主任研究員	武田 哲也
岩手大学工学部	准教授	越谷 信
新潟大学理学部	教授	豊島 剛志

(c) 業務の目的

サブテーマ 3.2 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。3.3 の津波予測・強震動予測の結果と、3.2.1 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か年の年次実施計画

1) 平成25年度:

ひずみ集中帯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する。

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る。地震活動の情報(3.2.5.2)、構成岩石モデル(3.2.5.3)の成果とともに、断層モデルを更新する。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もとづいて、波源断層および震源断層モデルを構築する。

3) 平成27年度:

若狭湾～鳥取県沖の沿岸海域と能登半島北方の沖合反射法地震探査データをもとに、断層モデルを修正する。

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、断層モデルを修正し、能登半島沖以西の海域および沿岸の断層モデルを完成させる。

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、構造調査データにもとづいて断層モデルを修正する。

6) 平成30年度:

北海道北部日本海域と沿岸において、断層モデルを修正する。

7) 平成31年度:

北海道南部沖日本海域と沿岸において、断層モデルを修正する。

8) 平成32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・震源断層モデルを完成させる。

(e) 平成26年度業務目的

ひずみ集中帯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する。

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

新潟沖から石川沖にいたる海域において、平成25年度に日本海地震・津波調査プロジェクトで取得した反射法地震探査および海陸統合探査の結果、「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反射法地震探査断面、石油公団の反射法地震探査断面、海底地形、産総研の活断層トレースについて、地震研究所が能登半島西方海域で取得した反射法地震探査データについて検討を行い、断層の矩形モデルを作成した。

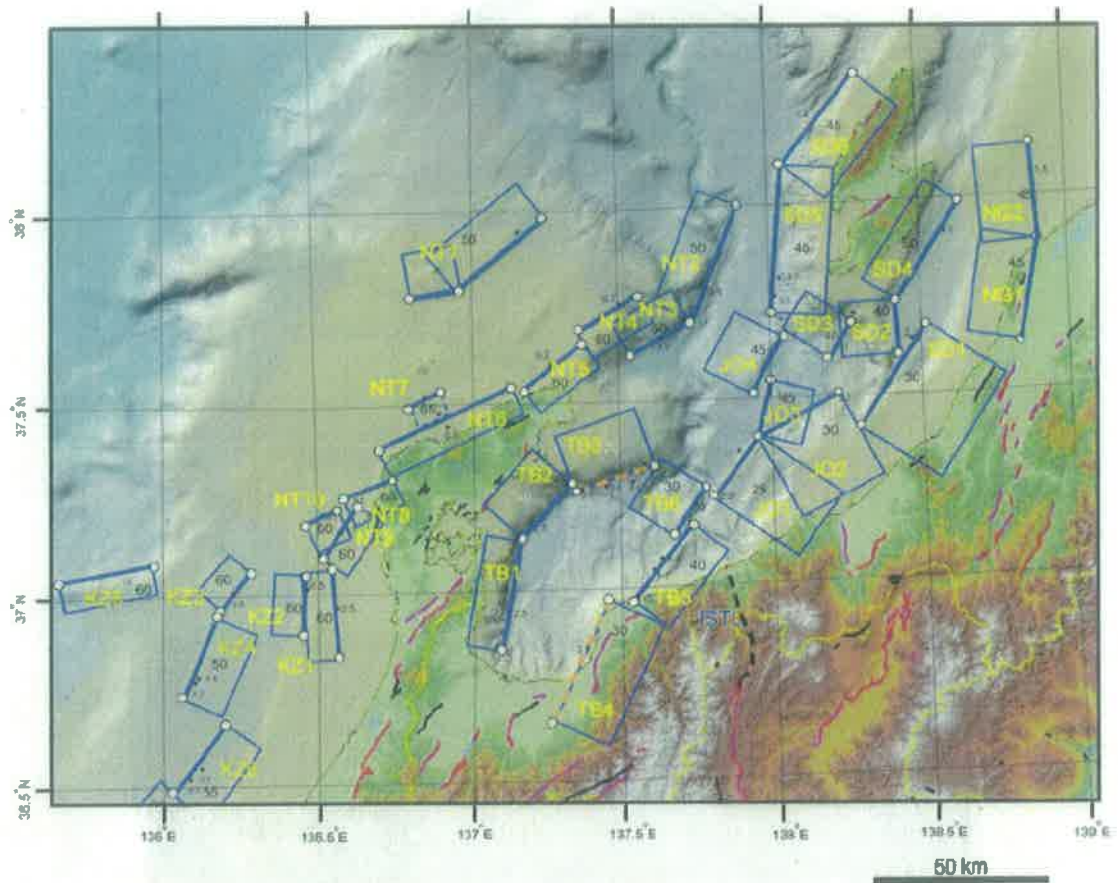
(b) 業務の実施方法と成果

日本海東縁部には多数の活断層が存在し、津波の波源となっている。これらの活断層から発生する津波を予測することは、日本海沿岸の防災対策上、喫緊の課題である。このため本プロジェクトでは、プロジェクト終了後の8年後に断層モデルを作成するという手法をとらず、初年度に一次モデルを作成し、調査の進展とともに、順次モデルを高度化させていく。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」とよぶ)と共同して、産業総合研究所・石油公団・海洋開発研究機構のデータなどを基に、日本海全域についての

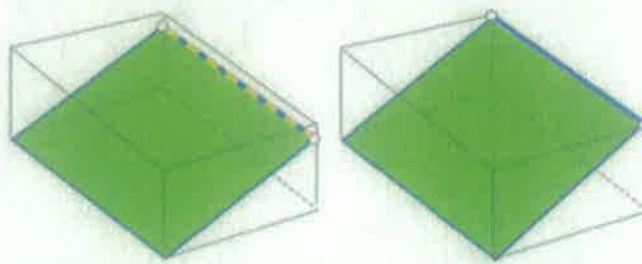
矩形モデルを作成した<sup>1)</sup>。とくに、地震発生層の深さは、地震波トモグラフィや地質構造に基づく構成岩石の推定と、それらのレオロジー特性を基に推定した。また、地震観測から推定されている応力状態をもとに、断層面のすべり角を求めた<sup>2,3)</sup>。平成 26 年度には、平成 25 年度にデータを取得した中越沖から富山湾、能登半島西方海域までの活断層に対して総合的に検討を加えた。検討結果については矩形モデルとして表現した(図 1)。矩形モデルの作成にあたって、地震発生層の深さについては、日本海検討会(2014)<sup>1)</sup>と同様、レオロジー特性の基づく値<sup>2)</sup>を参考にした。矩形モデルについては、地域名を 2 文字のアルファベットで表し、番号をつけた。表現した断層の矩形は、地殻変動や津波波源を想定したもので、矩形断層の上端は、地震発生層の上端を意味するものではない。

断層の形状については、平均的な傾斜角度で表現した。とくに新潟堆積盆地など、厚い新第三系の泥質岩が分布する地域では、間隙水圧が大きな泥岩中で、層理面に沿って強度が低下し、低角度の断層が形成される。堆積層より下位の断層は基本的には日本海形成期の正断層運動によって形成されたものが多く、中角度の形状を示す。したがって、基本的には断層は基盤岩中と堆積層中で異なる傾斜を示すことが多く、大局的には二枚の断層で表現することがより実態に近い(図 2)。しかしながら、深部断層形状の拘束データは、粗いため、二つの断層面は作らず、断層の先端部と地震発生層の下端部分を平面で近似する矩形とした。

断層形状の矩形モデルでの表現については、断層形状を優先させて推定した。日本海検討会(2014)<sup>1)</sup>では、日本海全体に影響を与える波源断層を評価するために、長さ 40km を越える断層を抽出し、できるだけ単純な形状で表現している。また津波の最大波高を検討するために、断層の連続性を重視し、連動する可能性のある断層については、単純な矩形で表現している。ここで作成した矩形モデルでは、陸上の活断層の断層モデルと同様に、より細かな地質構造や断層の形状変化に対応した矩形を作成した。したがって、全般的にはより小規模な断層についても矩形として表現した。最大津波高の算定に特化したものではないため、日本海検討会(2014)<sup>1)</sup>のモデルと比べ、断層の矩形の数が増大している。これは、断層の活動性・応力変化に伴う断層の動きやすさの評価などについて検討するための基礎として、細かい形状変化に対応させたことによる。こうした観点から、日本海検討会(2014)<sup>1)</sup>モデルとは異なるものであり、隣接する断層の連動については、津波や強震動予測などの目的に応じて判断する必要がある。



震源断層の矩形モデルの表示



伏在

地表出現

図1 新潟-北陸沖の震源・波源断層矩形モデル

青実線の矩形: 断層面の平面投影、太実線: 断層面の上端 (端点は白丸で表示)、オレンジ破線: 伏在している断層上端の位置、陸域については、矩形モデル化を行っていない。



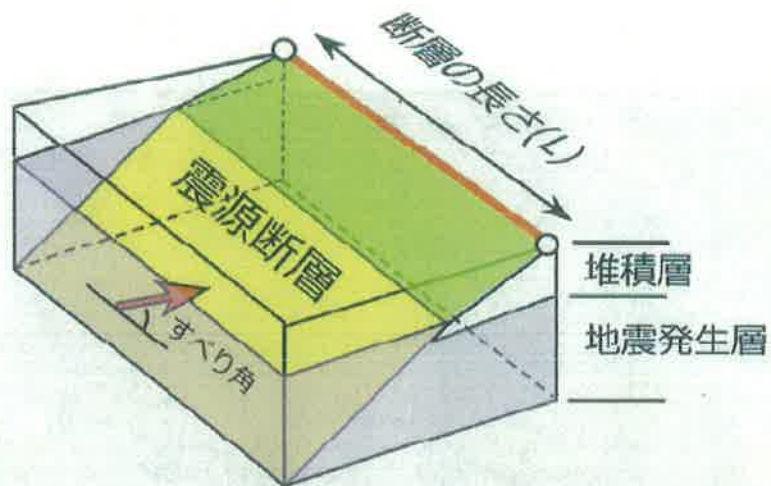


図2 震源断層のパラメータの概念図<sup>2)</sup>

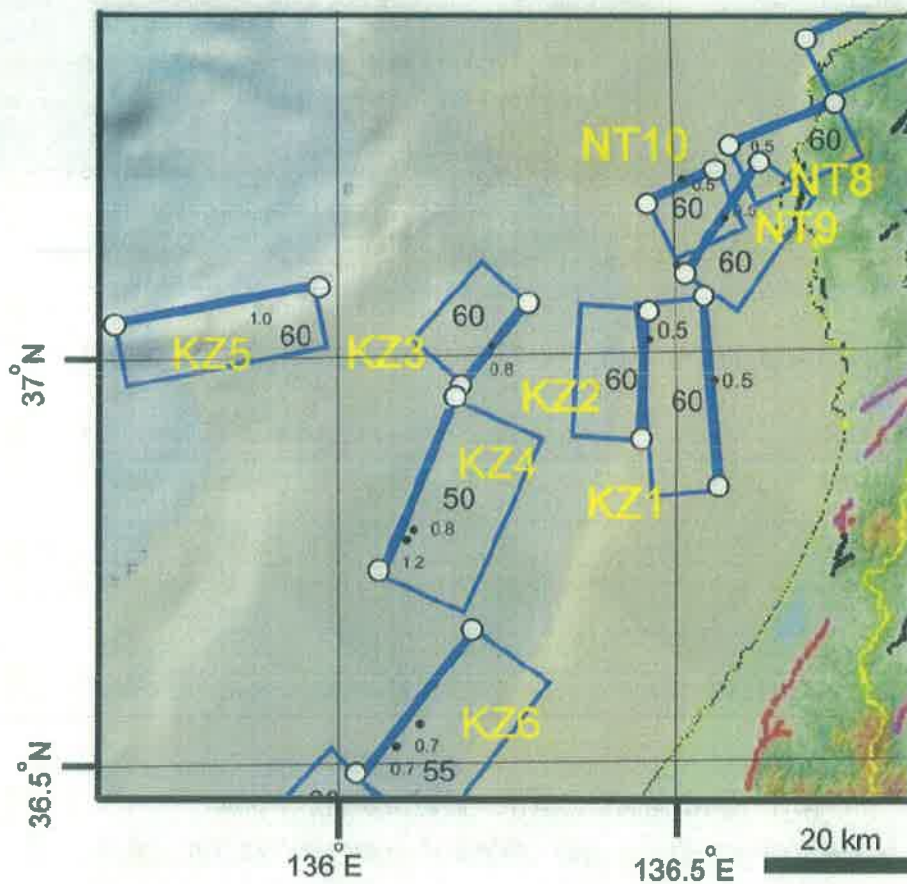


図3 金沢沖周辺の断層矩形モデル (KZ1~KZ6) 凡例は図1と同様。黄色の文字: 断層の記号、黒丸と数値: 反射法地震探査断面から判断した断層面の上端深度 (km)。 矩形内の数値: 断層の傾斜 (単位は度)。



1) 金沢-羽咋沖の断層 (KZ1~KZ6)

KZ1: 羽咋沖の断層で日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> の F46 に相当する。岡村 (2007) <sup>4)</sup> は羽咋沖でほぼ南北方向の軸跡を有する背斜を記載し、背斜軸の東翼に伏在する断層を推定している。2007 年能登半島地震の際に実施した反射法地震探査測線は、この断層の北端部を横切り、西にみかけの傾斜約 55 度で傾斜する断層の存在を示している <sup>5)</sup> (図 4)。陸起側の堆積層の厚さは、低下側より厚く、正断層が反転した逆断層である。

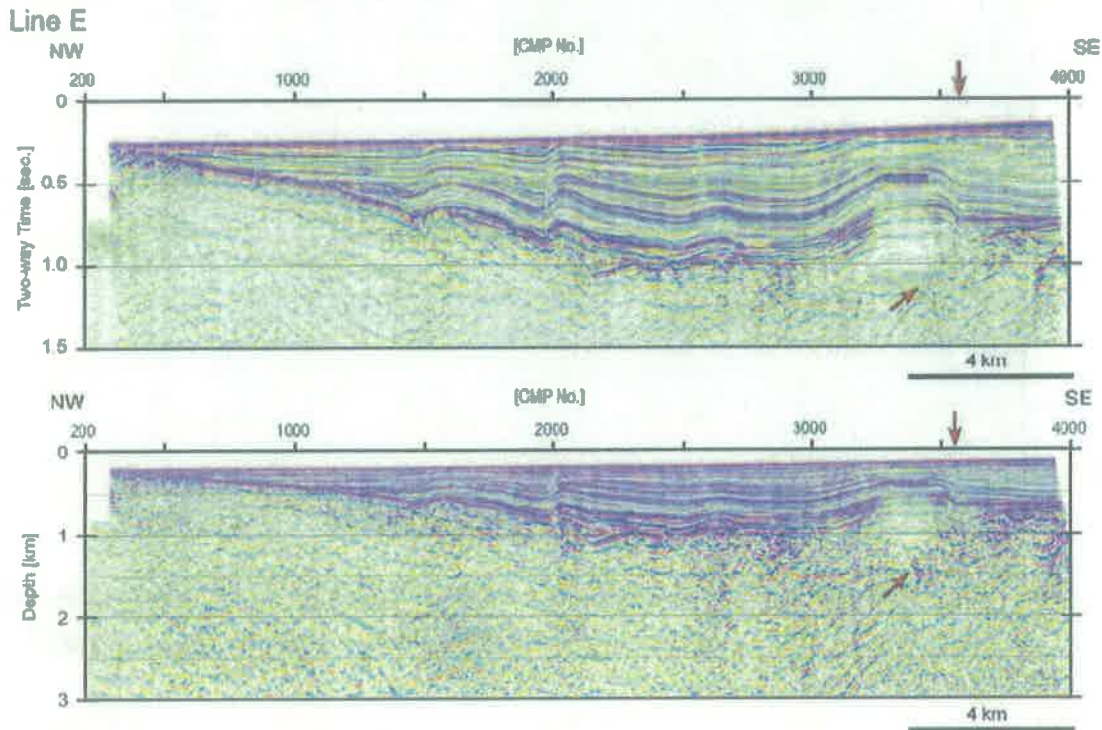


図 4. 羽咋沖の断層 KZ01 を横切る反射法地震探査断面。(上) 時間マイグレーション断面、(下) 深度変換断面。赤矢印は断層 KZ1 とその延長。反射法地震探査断面は佐藤ほか(2014) <sup>1)</sup> による。

KZ2: 岡村 (2007) <sup>4)</sup> に記載されている KZ1 の西方に分布する断層で、日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> では長さが短いために、対象の断層とされていない (佐藤ほか, 2014) <sup>1)</sup> ; 図 5)。測線 I4 (図 5) では、みかけ上約 40 度の西傾斜を示す。岡村 (2007) <sup>4)</sup> の断層の走向を考慮して、60 度の傾斜角を推定した。

KZ3: 日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> の F47 断層の北部に相当する。平成 25 年度に実施した I3 測線 (佐藤ほか, 2014) <sup>1)</sup> ; 図 6) では、日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> の判断とは異なり、反射法地震探査断面からは北西傾斜の逆断層と判断できる。このため、日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> が F47 断層に対して想定した長さよりは短くなる。

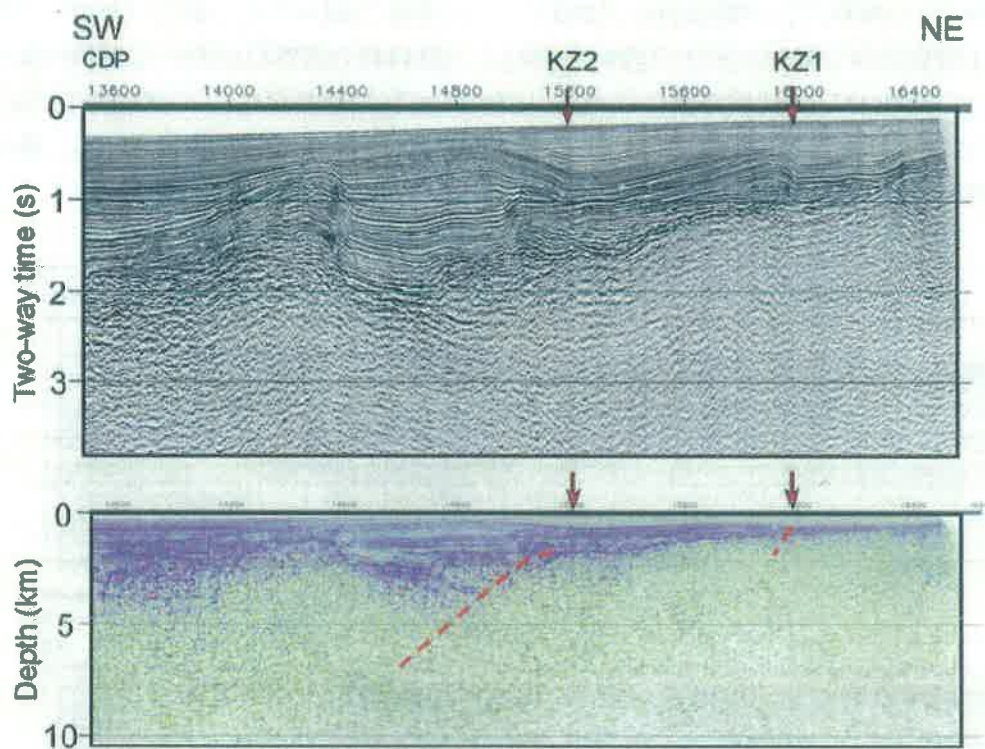


図 5. 羽咋沖の断層 KZ1 および KZ2 を横切る反射法地震探査断面。佐藤ほか(2014)<sup>6)</sup>の測線 I4。(上) 時間マイグレーション断面、(下) 深度変換断面。赤矢印は断層、北東側は KZ1、南西側は KZ2 とその延長。

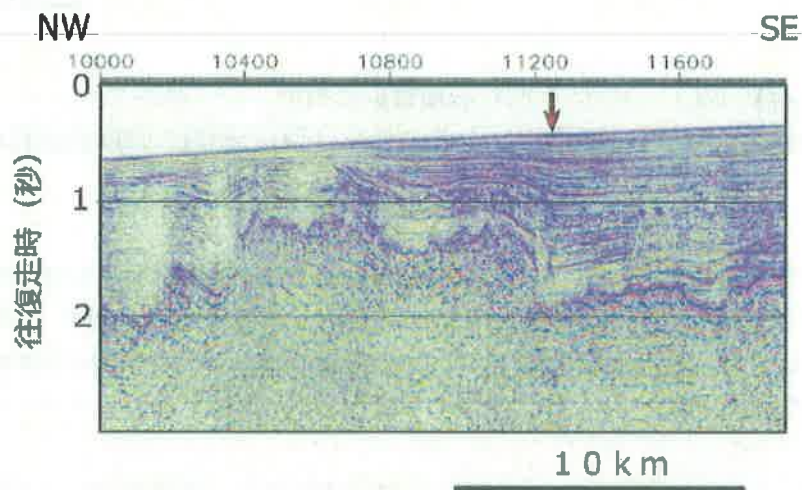


図 6 KZ3 断層を横切る I3 測線の反射法地震探査断面 (佐藤ほか, 2014<sup>6)</sup>)。時間マイグレーション断面。KZ3 断層のトレースを赤矢印で示す。北西側隆起の逆断層である。

KZ4: 日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup>では F47 断層の南部とされているが、北部に相当する KZ3 断層の傾斜が異なるため、南部を独立させて KZ4 断層として扱う。岡村ほか (2007) <sup>4)</sup>の Fig.14 の断面によれば南東傾斜の逆断層である。また、測線 I2 (図 8) の断面 (図 7)

はこの断層が南東傾斜であることを示している。

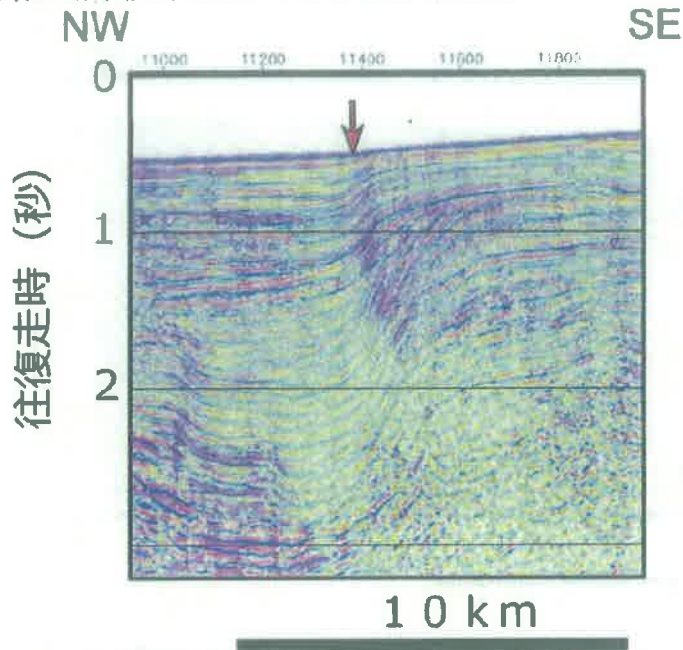


図7 I2 測線 (図 8) における断層 KZ4 を横断する反射法地震探査時間マイグレーション断面<sup>6)</sup>。断層は南東側傾斜。

KZ5: 日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> の F48 に相当する。本プロジェクトでは通過した測線がなく、パラメータは F48 断層と同一とする。

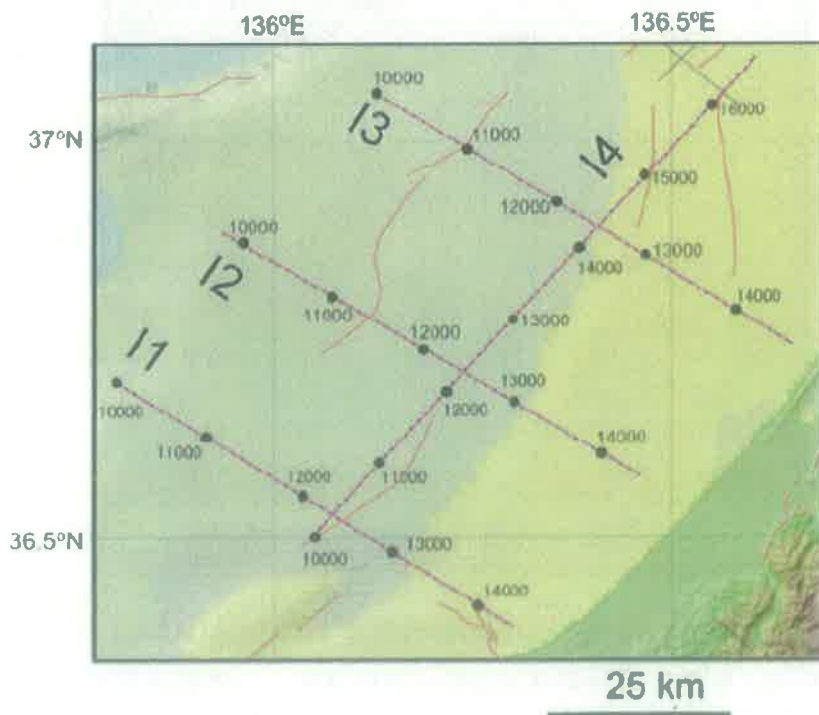


図8 金沢沖の反射法地震探査測線と活断層<sup>6)</sup>。



KZ6: 測線 I1 (図 8) では、南東傾斜の逆断層と判断される (図 9)。

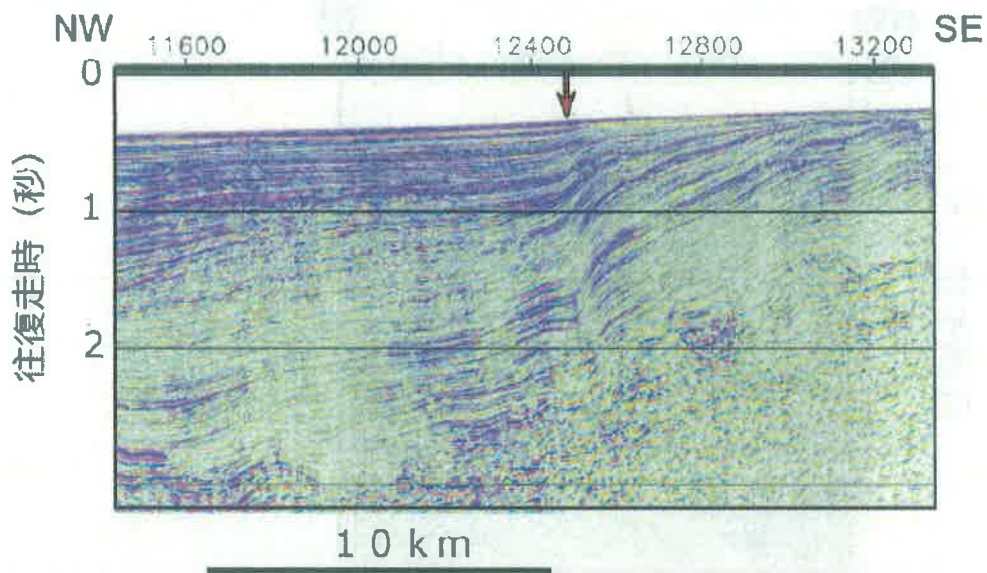


図 9 I1 測線 (図 8) における断層 KZ6 を横断する反射法地震探査時間マイグレーション断面<sup>6)</sup>。断層は南東側傾斜。

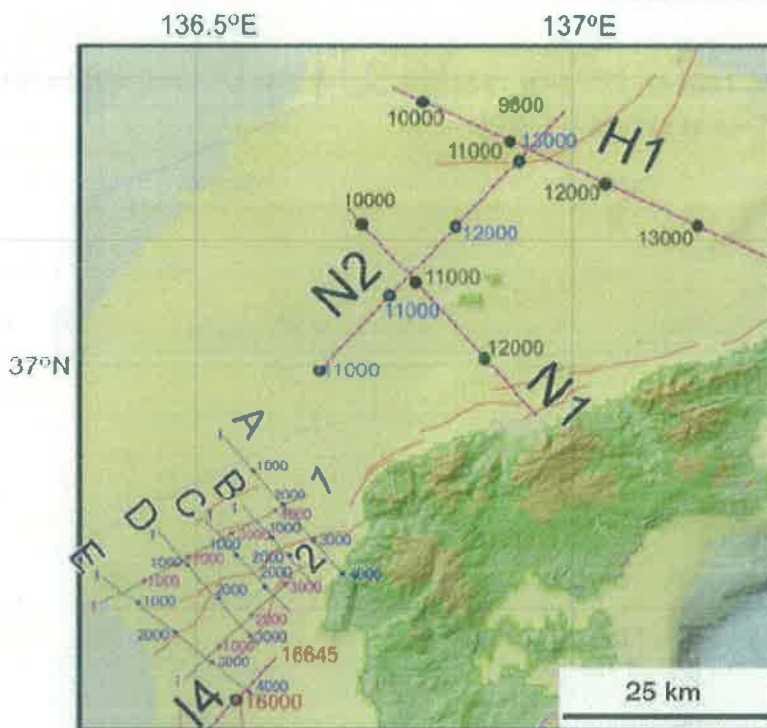


図 10 能登台地と能登半島西方の反射法地震探査測線。N1、N2、H1 は、平成 25 年度調査測線<sup>6)</sup>。図中、1~2、A から E は能登半島西方沖地震後に、地震研究所が実施した反射法地震探査測線<sup>5)</sup>。赤実線は活断層 (井上、2010)<sup>10)</sup>。

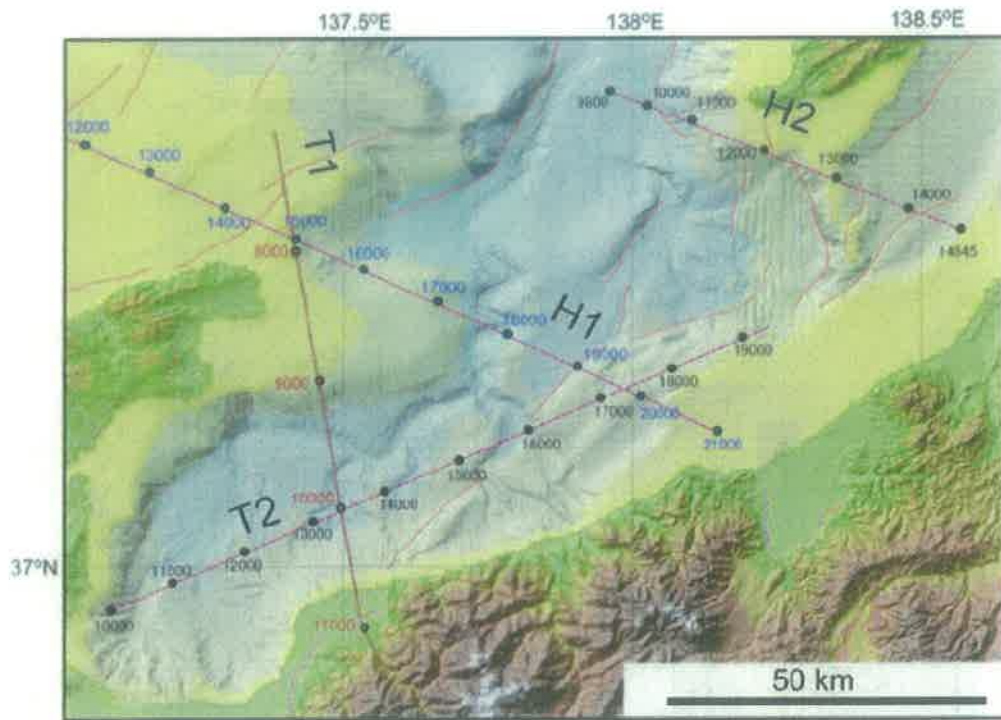


図 11 上越沖海域周辺の測線図<sup>①</sup>。 H1, H2, T1, T2 は測線番号。測線上の番号は、CMP 番号。CMP 番号は、それぞれの断面上の番号に対応。赤線は、岡村 (2002)<sup>②</sup>、中田・今泉 (2002)<sup>③</sup>による活断層。

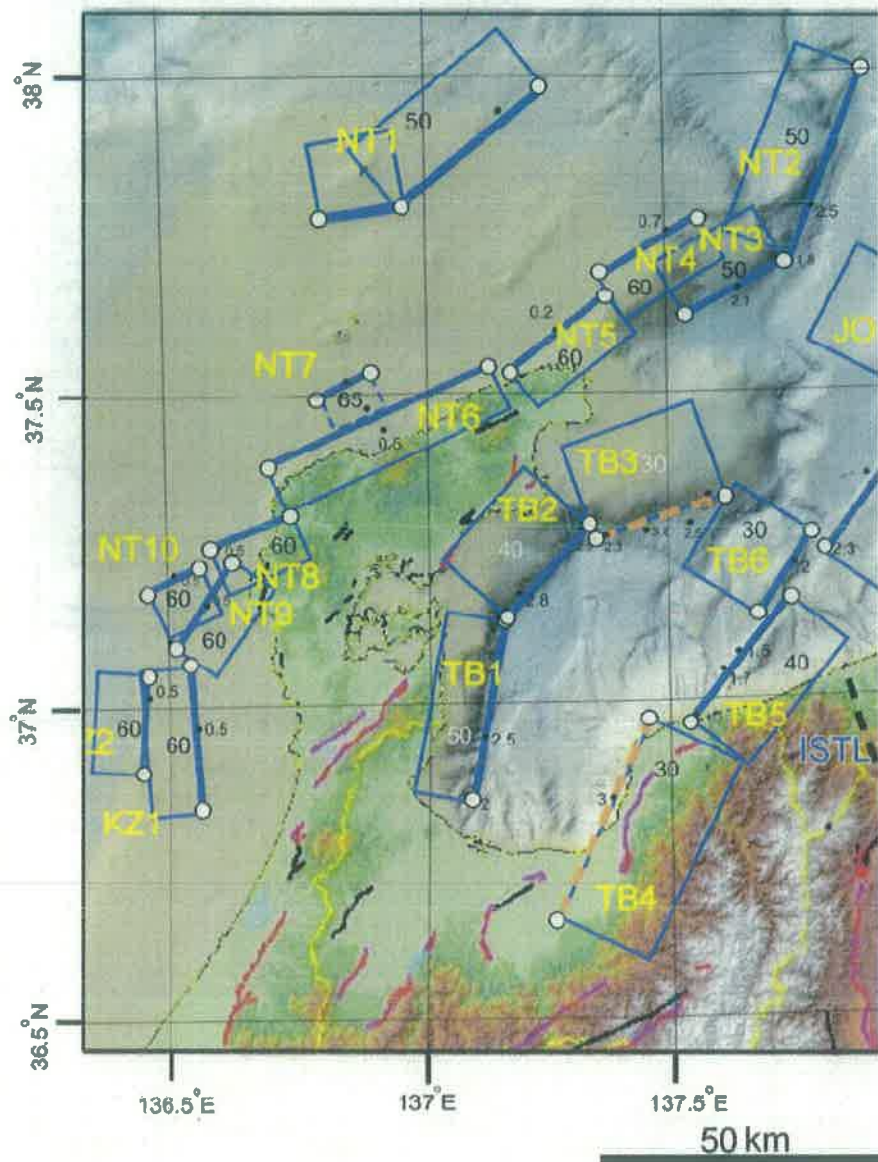


図 12 能登半島沖～富山湾周辺の断層矩形モデル。 凡例は図 1 と同様。黄色の文字: 断層の記号、黒丸と数値: 反射法地震探査断面から判断した断層面上端深度 (km)。 矩形内の数値: 断層の傾斜 (単位は度)。

## 2) 能登半島沖の断層 (NT1～NT10)

NT1: 岡村 (2002)<sup>9)</sup>・井上ほか (2010)<sup>10)</sup>による。日本海検討会 (2014)<sup>11)</sup>の F44 に相当する。 H1 測線が通過するが、この測線では活断層であるかどうかは、新期堆積層の欠如により不明確である。 H1 測線で確認される断層は、正断層として形成された北傾



斜の断層である (図 13)。H1 での傾斜角は約 35 度であり、測線と断層の走向との斜交角度を考慮すると 50 度北西傾斜となる。

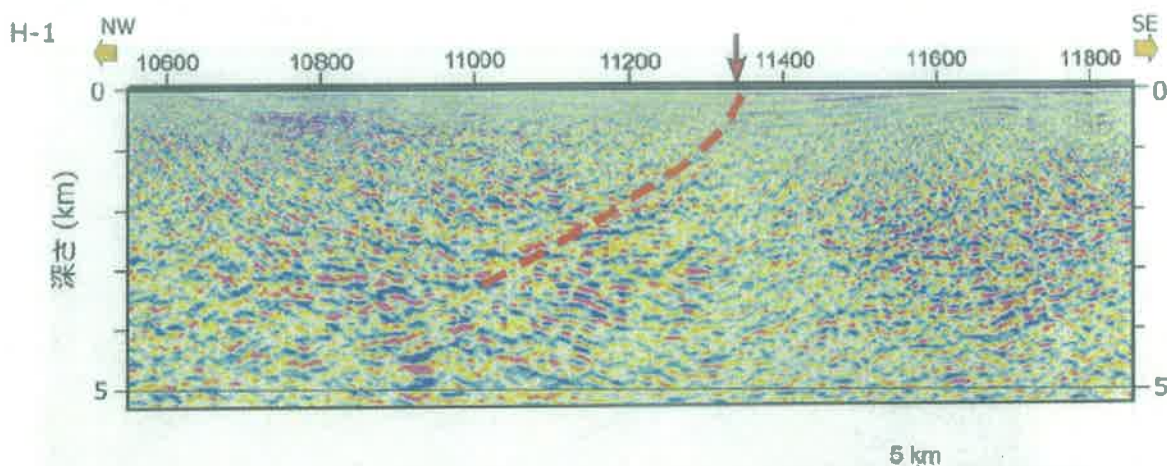


図 13 NT1 断層を横切る H1 測線の深度変換断面 (佐藤ほか, 2014<sup>6)</sup>)。NT1 断層のトレースを赤矢印で示す。測線は断層線と斜交、真の傾斜は 50 度。

NT2: 日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> の F42 に相当する。富山深海長谷の西側に平行する海底地形でも顕著な西側隆起の逆断層である。断層を横切る石油公団の複数の断面 <sup>11,12)</sup> で、西側の隆起側に背斜をともなう断層関連褶曲が確認される。

NT3: NT2 の南西方向に位置する断層で、日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> では NT2 と一括し、F42 としている。ここでは、走向の違いから断層面を独立させているが、連動性を否定するものではない。石油公団の複数の断面 <sup>12,13)</sup> で中角度での北西傾斜として確認できる。

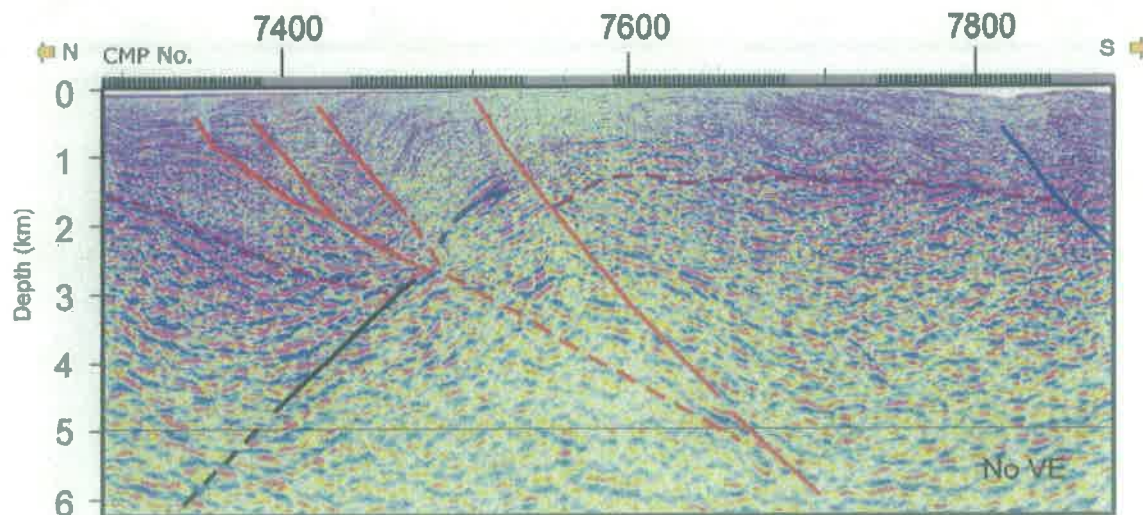


図 14 T1 測線能登台地東部区間の反射法断面の拡大 <sup>6)</sup>。CMP7500 付近の断層 NT5、CMP7400 付近の断層は NT4。凡例は、赤: 活断層、青: 逆断層、黒: 正断層、赤紫破線: 先新第三系もしくは火山岩の上面。



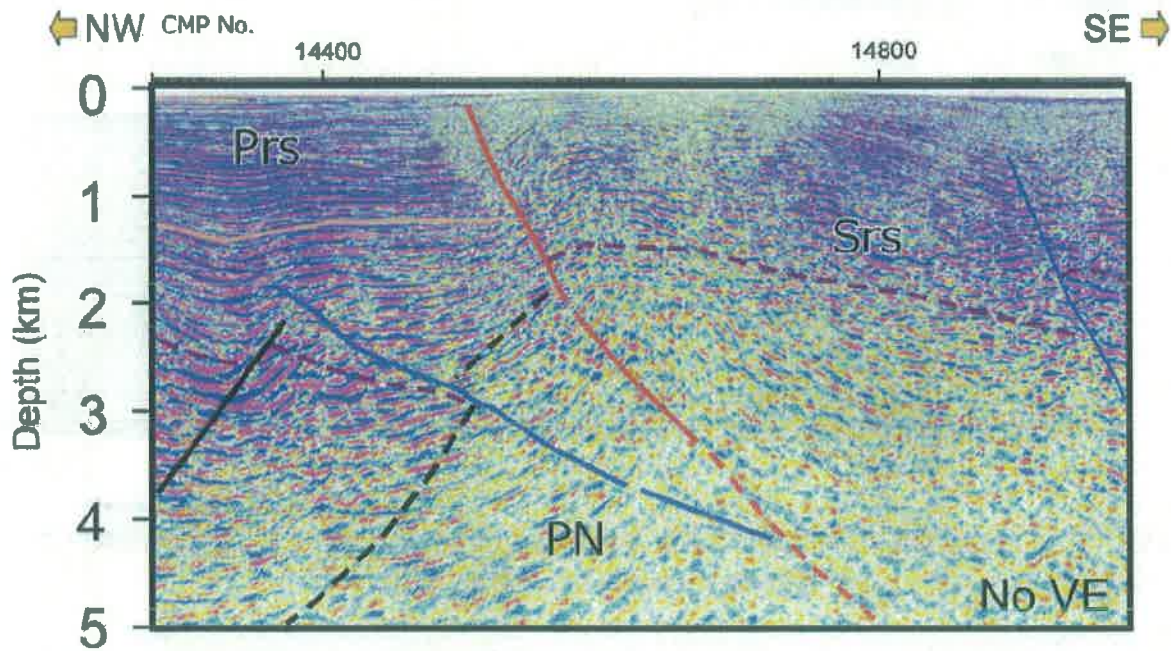


図 15 H1 測線 (図 10) の能登半島東延長区間の逆断層部分の拡大断面<sup>6)</sup>。測線と断層との斜交角から、断層 NT5 の傾斜は 60 度と推定される。凡例 赤: 活断層、青: 逆断層、黒: 正断層、PN: 先新第三系 (大陸性地殻)、赤紫破線: 先新第三系もしくは火山岩の上面、Srs: リフト期を主体とする堆積物、Prs: リフト期後の堆積層。

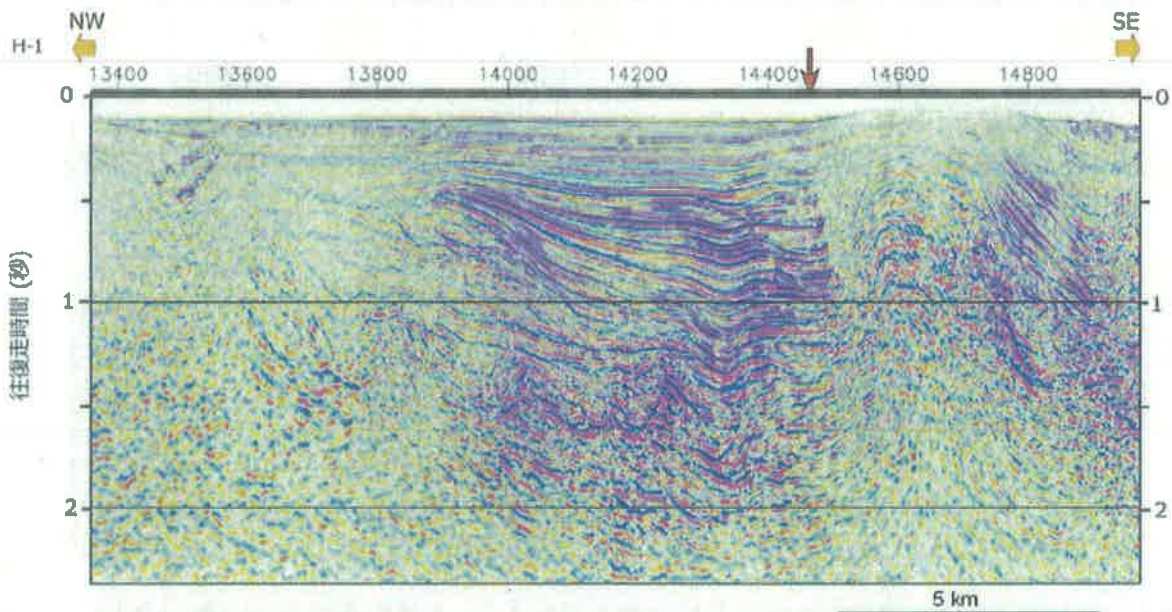


図 16 NT5 断層を横切る H1 測線の時間マイグレーション断面 (佐藤ほか, 2014<sup>6)</sup>)。NT5 断層のトレースを赤矢印で示す。南東側隆起の逆断層である。

NT4: 日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> の断層 F43 に相当する。岡村 (2002) <sup>9)</sup>・井上ほか (2010) <sup>10)</sup> による。本プロジェクトの TA-1 測線が断層の末端部を通過する他 (図 14)、石油公団 <sup>11)</sup> の測線が交差する。南東傾斜の逆断層で、石油公団の測線からはほぼ 60 度の傾斜が推定される。

NT5: 岡村 (2002) <sup>9)</sup>・井上ほか (2010) <sup>10)</sup> による。日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup> の断層 F43 に相当する。NT4 とはトレースがステップするため区分した。両断層の重複通過部を通過する測線では、二つの断層が深部で連続する可能性が大きく、二つの断層が連動する可能性がある。交差する測線 H1 断面 (図 15、16) での断層の真の傾斜は 60 度となる。

NT6: 能登半島北岸とほぼ平行に分布する。長さ 50 km の断層である。複数のセグメントから構成される (岡村, 2007<sup>4)</sup>) が、日本海検討会では最大規模の津波を表現するために、一連の断層として評価している。

NT7: 測線 N1 において、海底の隆起地形と連続性のよい反射面群の分布が南方に断たれることから、活断層を推定した (図 17)。海底地形から長さ 10 km 程度となる (図 12)。

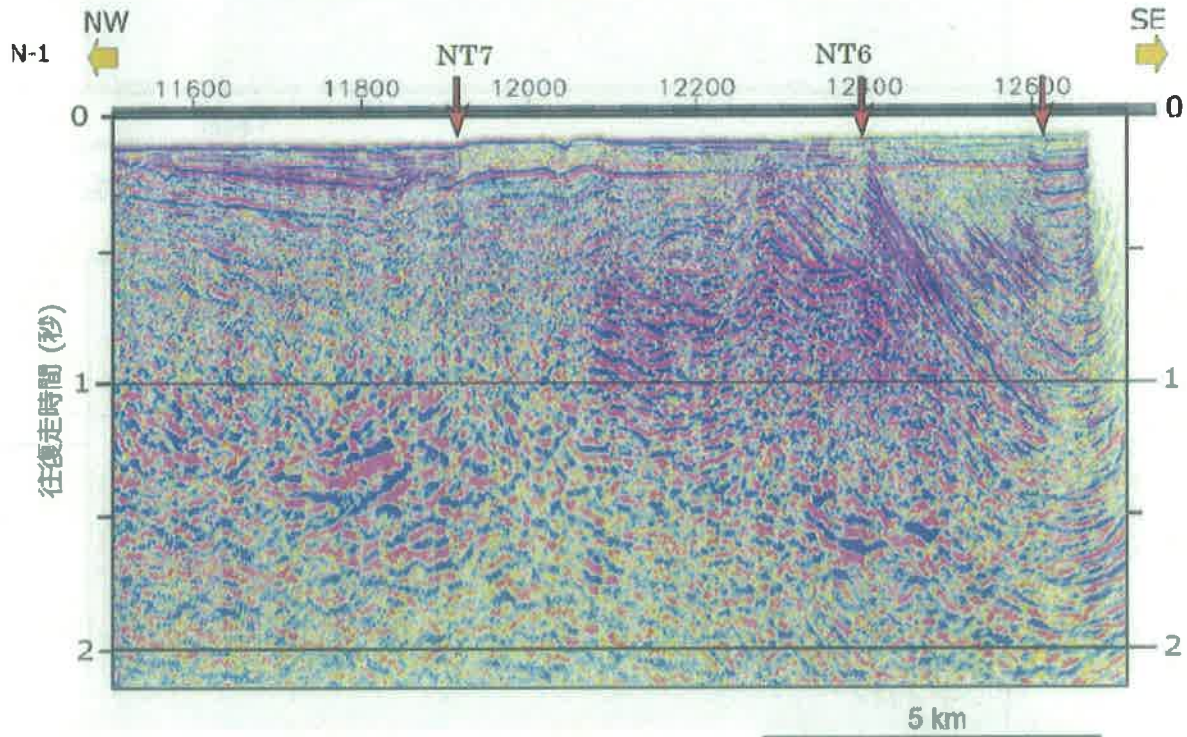


図 17 NT6、NT7断層を横切る N1 測線の時間マイグレーション断面 (佐藤ほか, 2014<sup>6)</sup>)。

NT8: 岡村 (2002) <sup>9)</sup> による。2007 年に発生した M6.9 の能登半島沖地震の震源断層である。断層の形状は余震分布や制御震源探査によって明らかにされている <sup>14)</sup>。日本海形成時に正断層として形成された傾斜 60 度の断層であり、能登半島地震の際には右横ずれ成分をもつ逆断層として活動した。



### Line B

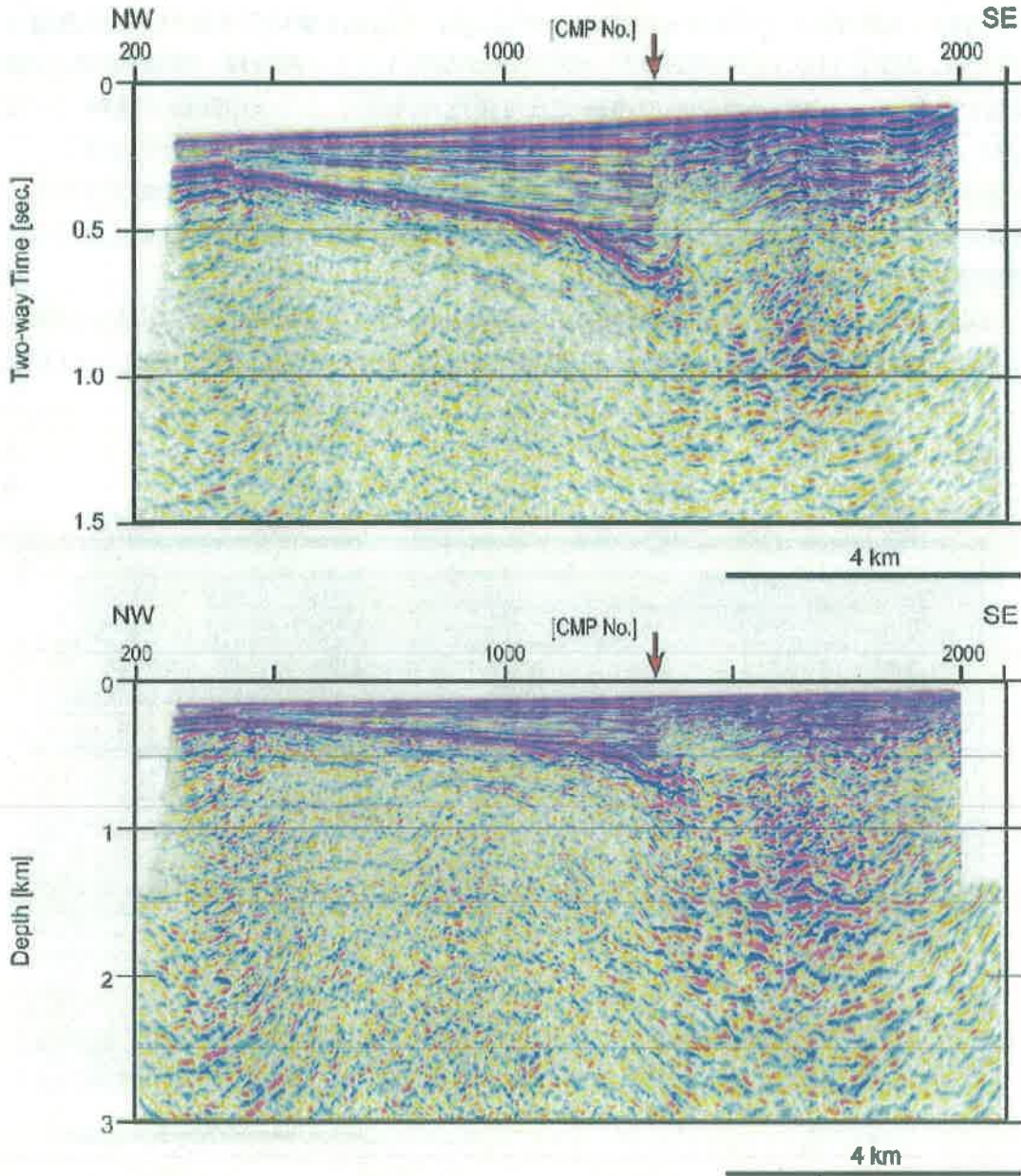


図 18 能登半島沖の反射法地震探査断面（測線 B）<sup>5)</sup>。（上）時間マイグレーション断面、（下）深度変換断面。測線位置は図 10 参照。断層 NTS の位置は赤矢印で示す。

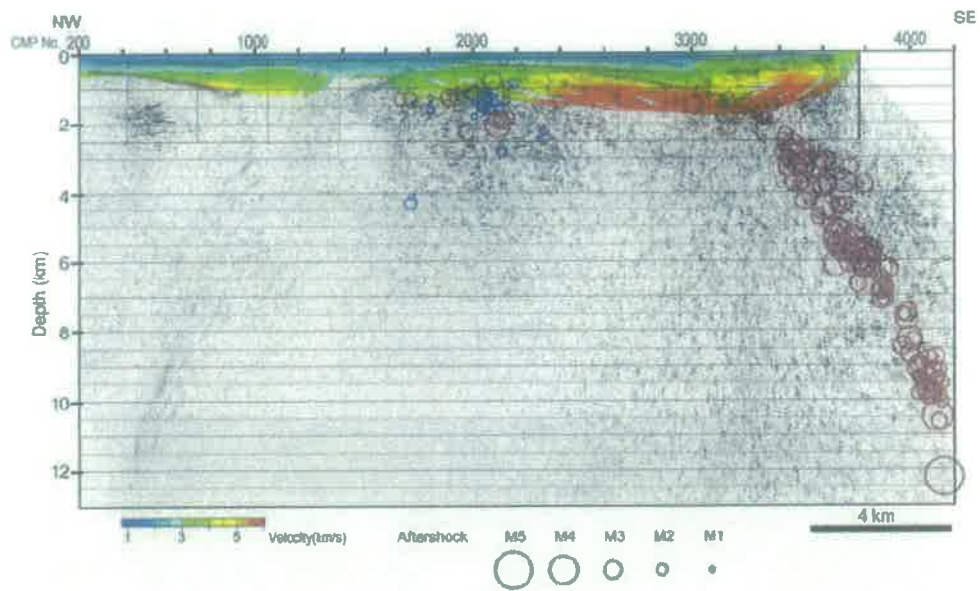


図 19 能登半島沖測線 A (図 10) の反射法地震探査深度変換断面と 2007 年能登半島沖地震に伴う余震分布との重ね合わせ (佐藤ほか, 2007<sup>15)</sup>)。

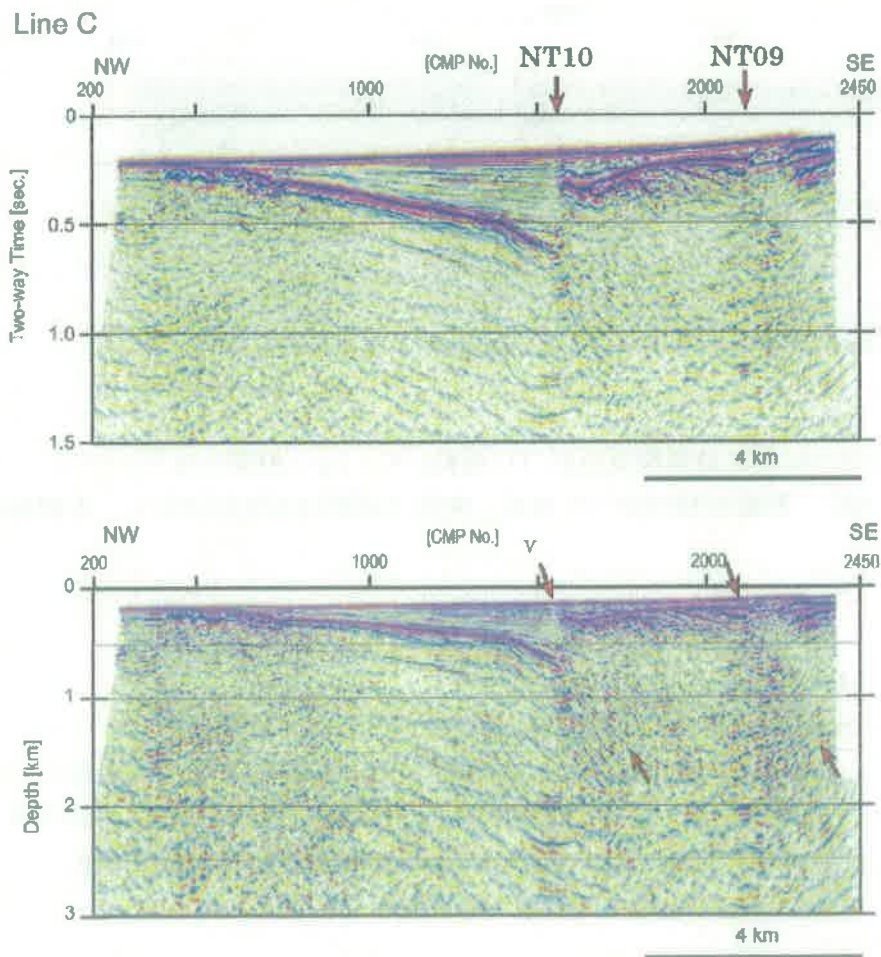


図 20 能登半島沖の反射法地震探査断面 (C 測線)<sup>6)</sup>。(上) 時間マイグレーション断面、(下) 深度変換断面。測線位置は図 10 参照。断層の位置は赤矢印で示す。



NT9: 岡村ほか (2007)<sup>4)</sup>、井上 (2010)<sup>14)</sup>による。佐藤ほか (2007)<sup>5)</sup>の二船式反射法地震探査によって、60度の東傾斜の断層と判断される (図 20)。

NT10: 岡村ほか (2007)<sup>4)</sup>、井上 (2010)<sup>14)</sup>による。佐藤ほか (2007)<sup>5)</sup>の二船式反射法地震探査によって、60度の東傾斜の断層と判断される。断層 NT08 とは、ほぼ同一の走向であるが南にステップするため、独立させて記述した (図 20、21)。NT8 との連動性を否定するものではない。

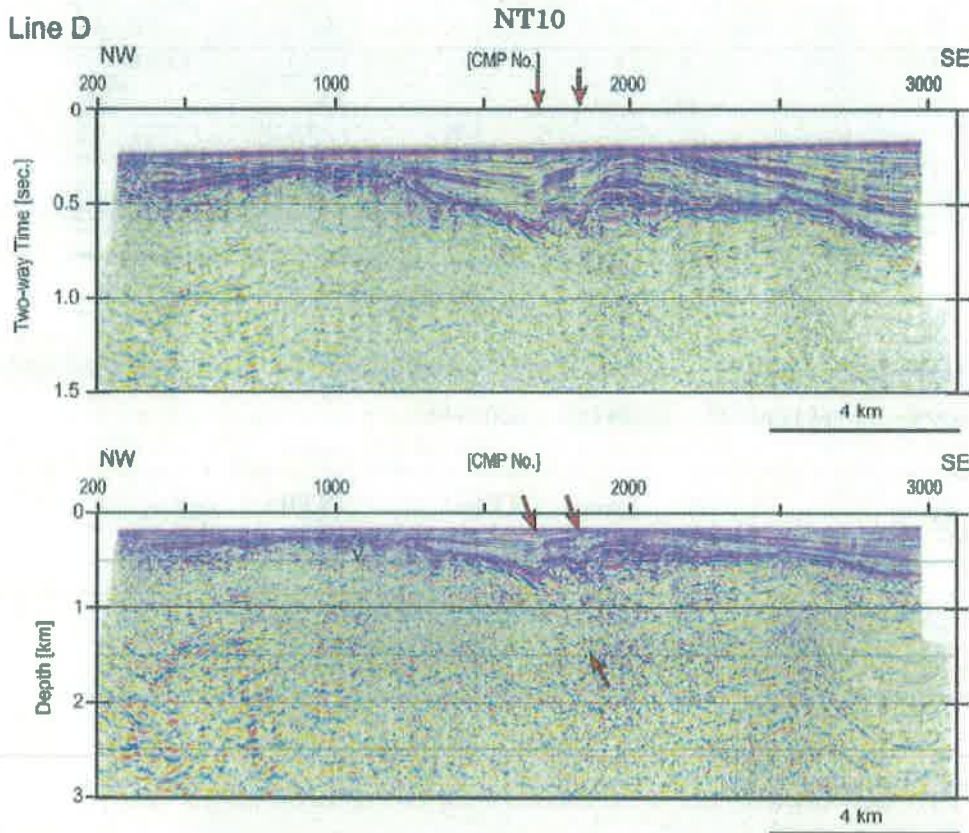


図 21 能登半島沖の反射法地震探査断面 (D 測線)<sup>5)</sup>。(上) 時間マイグレーション断面、(下) 深度変換断面。測線位置は図 10 参照。断層の位置は赤矢印で示す。北西側の矢印が NT10 断層。

### 3) 富山湾周辺の断層 (TB1~TB5)

TB1: 富山湾の西縁に南北に延びる断層。活断層としては、活断層研究会 (1991)<sup>16)</sup>、に記載されている。走向は北北東-南南西、平成 25 年度の探査測線 T3 (佐藤ほか, 2014)<sup>4)</sup>でイメージングされ (図 22)、深度 3 km 程度までの形状が捉えられる。日本海検討会 (2014)<sup>1)</sup>の F45 の南半部に対応する。ここでは走向が異なるため F45 を南部と北部に区分したが、TB1 と TB2 の連動を否定するものではない。

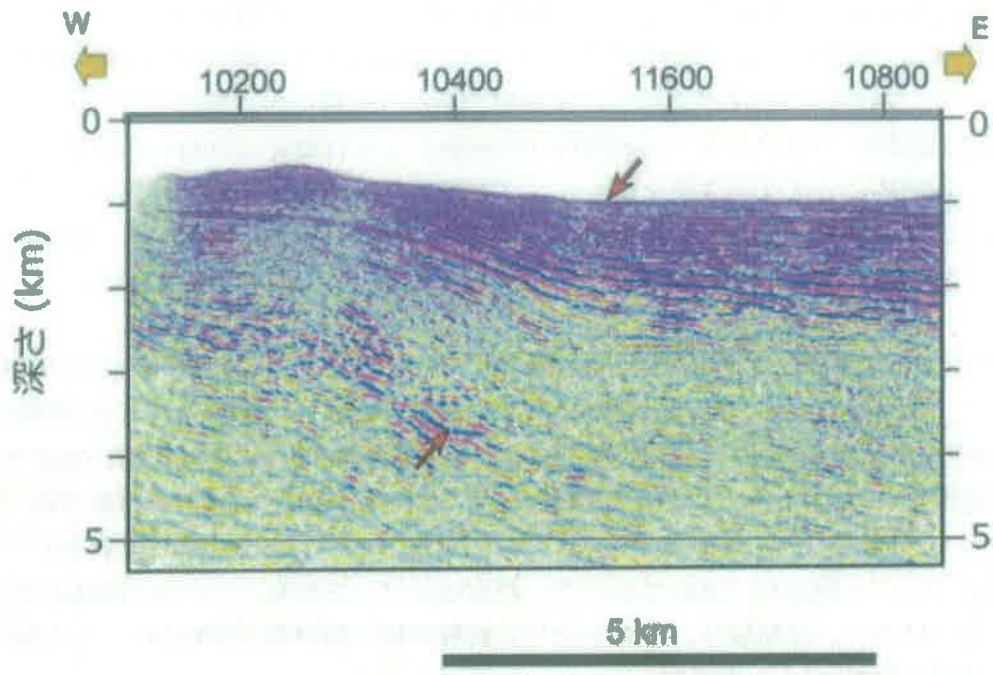


図 22 七尾沖の活断層 (TB1: ) を横切る反射法地震探査断面<sup>④</sup> (T2 測線、測線位置は図 11 参照)。

TB2: 断層 TB1 の北側に位置する断層。海底地形の能登半島と富山トラフの境界部に位置し、走向は北東方向である。石油公団 (1987) <sup>11)</sup> の断層と交差する測線において、北西側隆起の単斜構造を示す。日本海検討会 (2014) <sup>12)</sup> の F45 の北半部に対応。

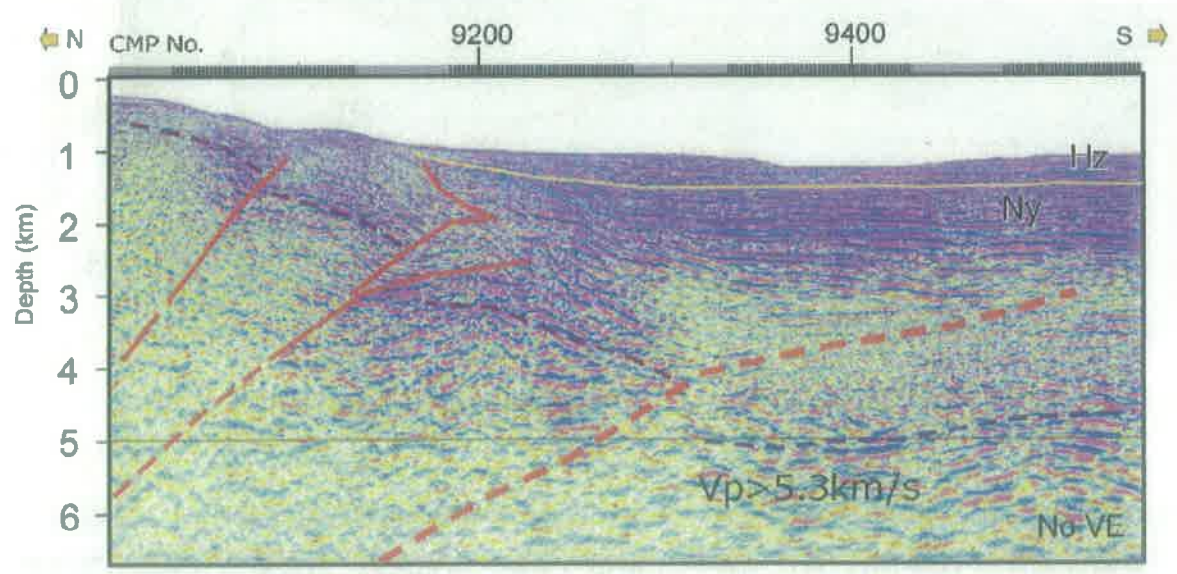


図 23 富山トラフ北縁の地震探査断面 (T1 測線<sup>④</sup>) の拡大。Hz: 灰爪層相当、Ny: 西山層相当、紫色波線: P 波速度が 5.3 km/s より大きい領域。



TB3: 能登半島南東沖の断層であり、能登海台から富山トラフの海底地形の勾配の大きな領域に相当する。東北東-西南西方向の走向を示す。H25年度の富山トラフ横断海陸統合測線において、みかけ上北傾斜を示す伏在断層である(佐藤ほか, 2014)<sup>4)</sup>。伏在しているため、海底近傍まで変位させている明瞭な活断層としては認められない。能登半島と富山トラフが地形的に大きな高度差をつくり、また能登半島南東部にも海成段丘が存在することから伏在活断層が推定された。複数の断層面が推定されるが(図23)、断層モデルとしては、図23のCMP番号9200付近に分布する断層に代表させて表現した。

TB4: 富山トラフの東南縁の断層である。魚津断層<sup>10)</sup>に併走し、沿岸に伏在する南東傾斜の断層である。H25年度の富山トラフ横断海陸統合測線<sup>6)</sup>において確認される伏在断層であり、上盤側の新第三系の地層は北西方向に傾斜する。魚津断層は基本的に扇状地面や河岸段丘面の北西側への傾斜からその存在が推定されているが、推定された断層線の低下側でも新第三系や、第四紀後期の堆積物が北西方向に傾斜することが、反射法地震探査やボーリング調査によって明らかにされており<sup>19)</sup>、推定されている断層トレースは断層本体を表現したものではない。主断層は、富山トラフと飛騨山地の境界部に形成されている南東傾斜の伏在断層と判断される(図24)。

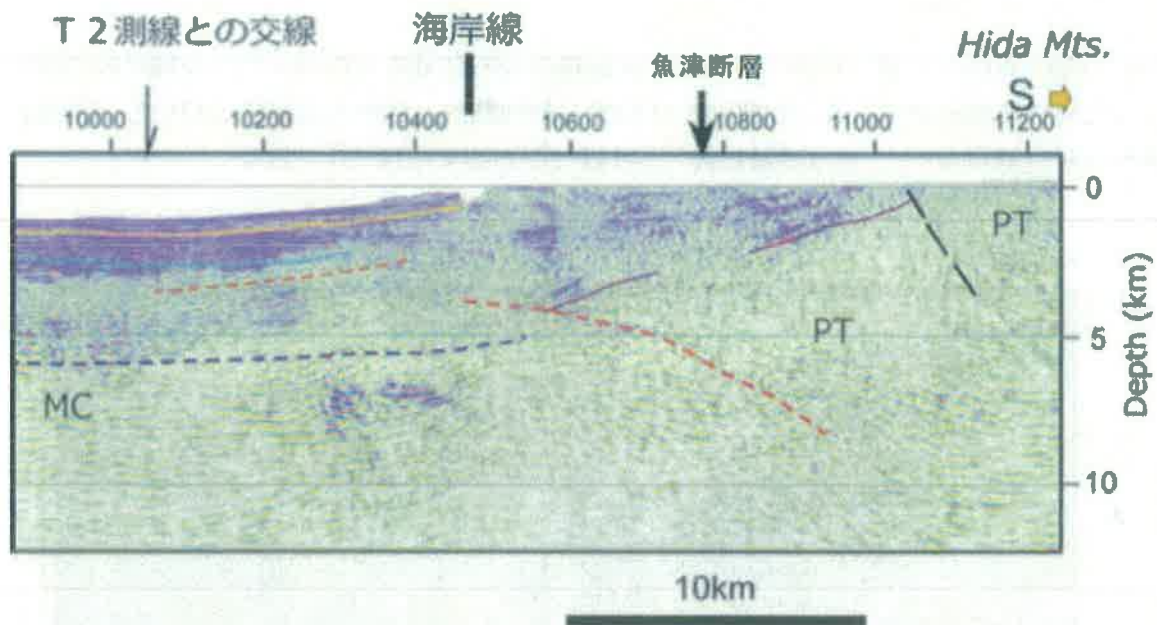


図24 飛騨山脈から能登半島東方沖にいたる海陸統合反射法地震探査測線T1の南端部<sup>4)</sup>(測線位置は図11参照)。黄色実線: 灰爪層相当基底、水色実線: 西山層相当基底、紫色波線・実線: P波速度が5.3 km/sより大きい領域。MC: 苦鉄質岩が卓越領域、PT: 先新第三系。赤波線: 推定伏在活断層。



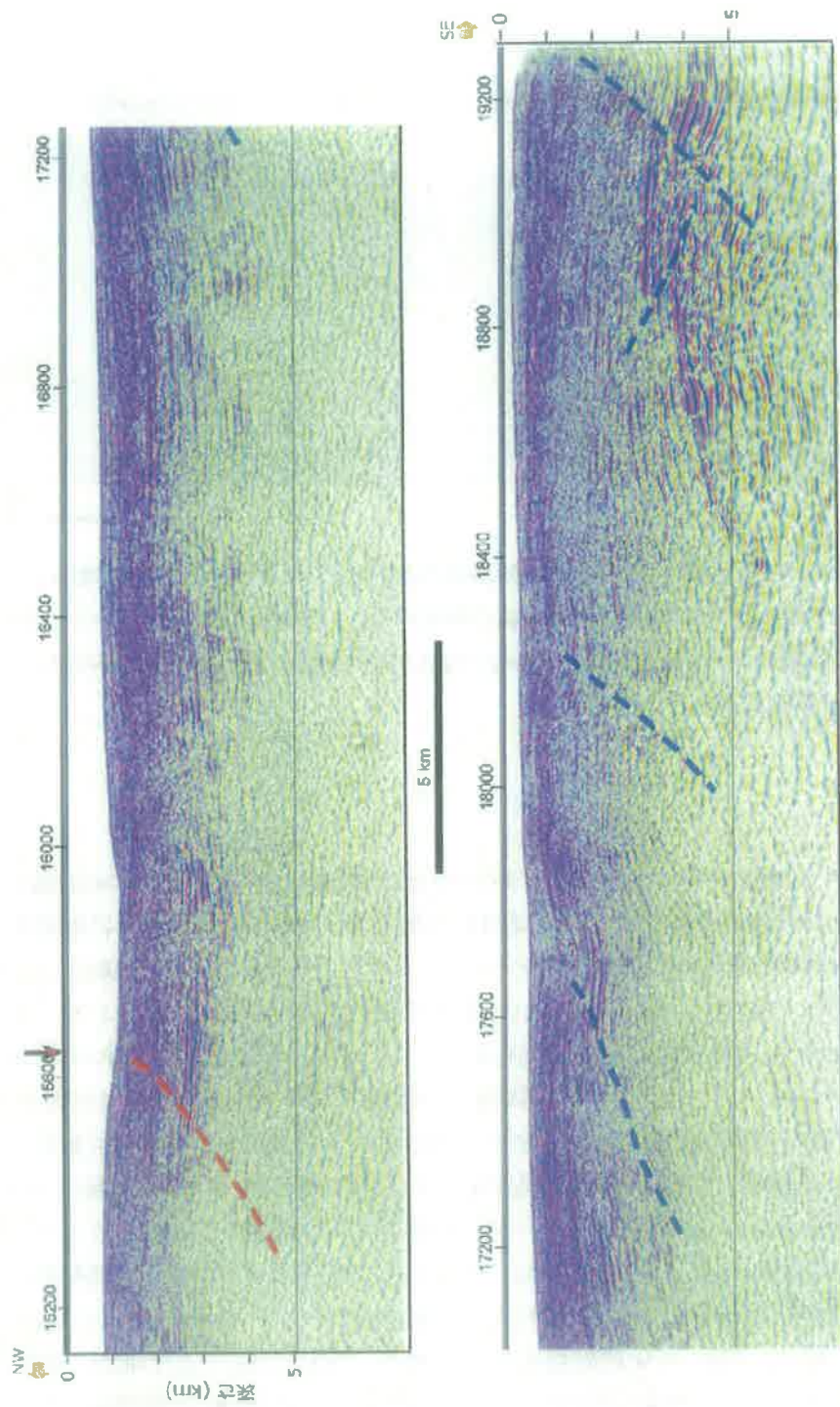


図 25 上越沖～富山湾にいたる反射法地震探査深度断面<sup>4)</sup> (T2 測線、図 11)。赤破線:推定活断層、青破線:逆断層、赤矢印:断層 TB6。

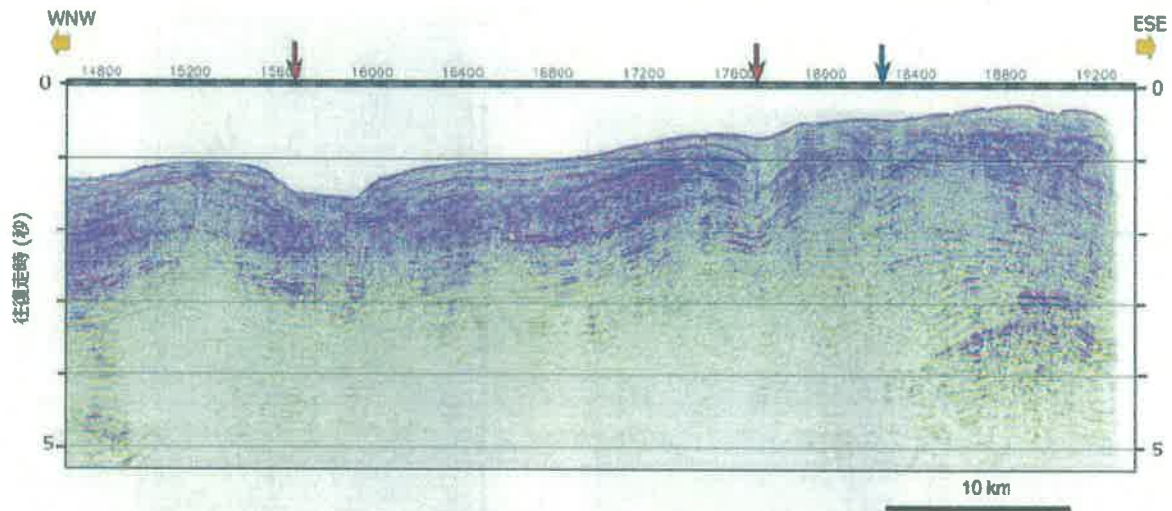


図 26 上越沖～富山湾にいたる反射法地震探査マイグレーション時間断面<sup>4)</sup> (T2 測線、図 11)。CMP15600 付近には TB6 断層が横断する。CMP15600-16000 の水深の大きな部分は富山深海長谷のチャンネル部分。断層 TB5 の走向延長である CMP16000 付近に変位の大きな断層は存在しない。

TB5: 岡村 (2002)<sup>9)</sup>による。親不知の沖合に位置する断層で、日本海検討会 (2014)<sup>1)</sup>の断層 F41 の西部に相当する。南東傾斜の低角度の断層で、先端部に断層関連褶曲を形成している。石油公団断面で確認できる<sup>13, 20)</sup>。また、海底地形にも断層による隆起構造はよく現れている (図 11)。海底地形から北西方向に凸型の平面形状をとり、隆起地形はその両端で減少する。日本海検討会 (2014)<sup>1)</sup>では、この断層は糸魚川沖の断層に連続すると推定されている。しかし、ブーゲ異常図でも明瞭であるが、この間には糸魚川-静岡構造線に相当する重力異常の急変帯が存在する (図 27)。この構造は、F41 を東西に隔てている。また、TB5 の断層と上越沖の断層 (JO1) の間では、石油公団での測線で 5 km 以上の間、断層が見られない。したがって、一連の断層としての活動は想定することが困難である。また、後述するように、JO1 断層は、堆積層中では長いフラット (緩傾斜部分) を有しており、強震動の発生域となる傾斜の大きい領域はトレースよりもさらに南東に位置することになる。他方、TB5 の強震動発生域の断層は、JO1 に比べより北西に位置することになり、地表のトレースは連続するよう見えても、二つの断層の強震動発生域の場所は大きく隔たる。したがって、TB5 断層と JO1 断層は連動しないものと判断した。

TB6: 富山トラフの平坦部に形成されている逆断層で、T2 測線で明瞭である (図 25, 26)。また、海底地形にも背斜に対応した隆起が現れている (図 11)。断層の長さは海底地形から 17 km と推定した。

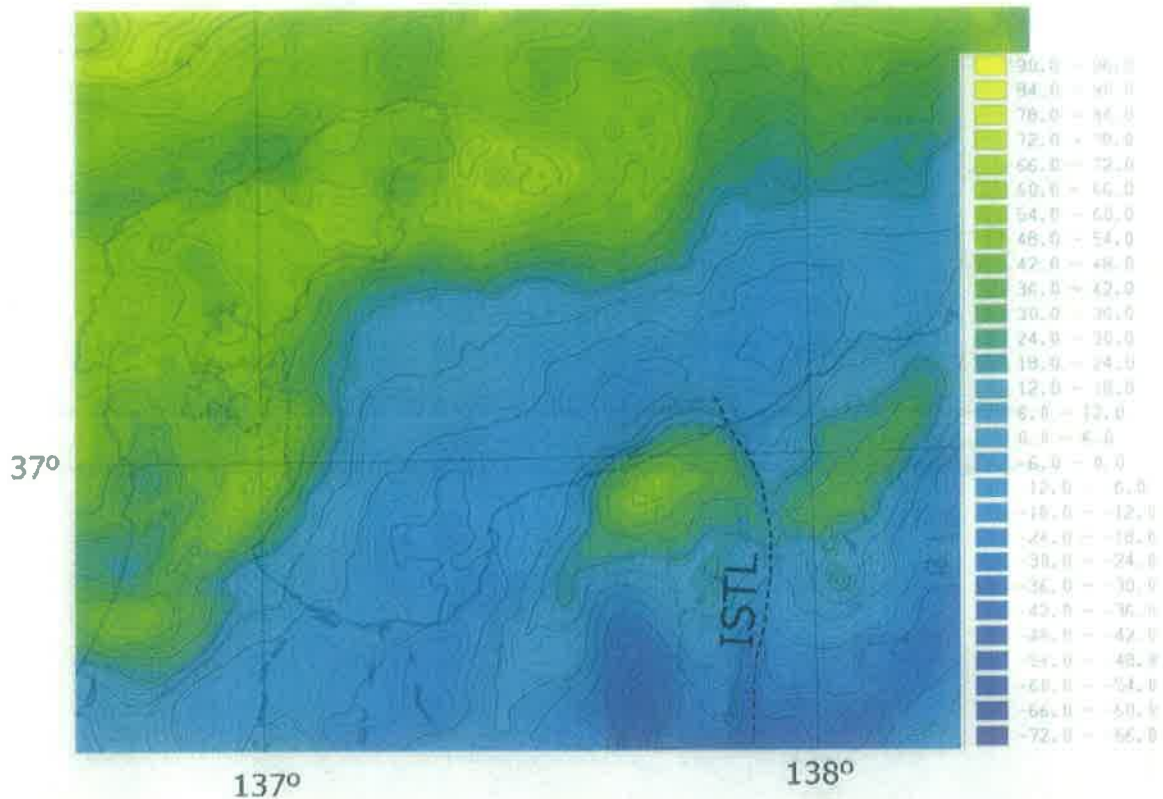
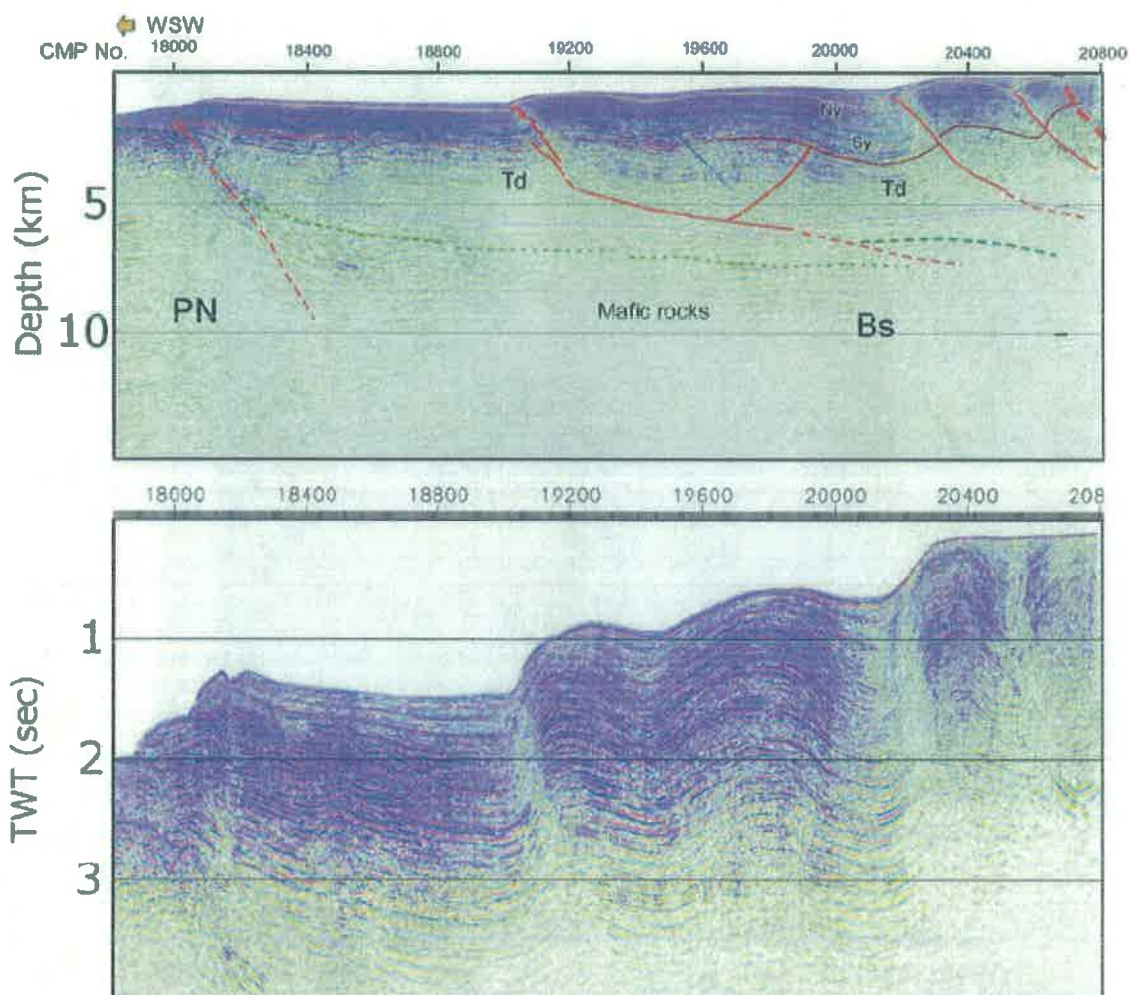


図 27 富山湾周辺のブーゲ異常 (仮定密度  $2.3 \text{ g/cm}^3$ )。産業総合研究所 (編) (2013) <sup>21)</sup>による。ISTL:糸魚川-静岡構造線。

#### 4) 上越沖の断層 (JO1~JO4)

JO1: 日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup>の F41 の中央部に相当。H1 測線 (位置は図 10 参照) において良好にイメージングされている <sup>6)</sup> (図 28)。断層は上盤側に断層関連褶曲を伴う南東傾斜の逆断層で、flat-and-ramp 形状を示し、低角度のフラット部分は寺泊層相当層中に形成されている。実際には低角度部と高角度部分をもつが、地下の断層形状についての資料が乏しいため、断層モデルでは単一の平面として表現した。全体としては堆積層中では低角度となるため、強震動を発生させる震源断層は地表の断層トレースより南東側に位置することになる。断層 TB5 の項でも述べたように、TB5 とは糸魚川-静岡構造線を隔てて、強震動発生域は大きく場所が異なるため、日本海検討会(2014)<sup>1)</sup>では一つの断層として表現しているが、ここでは独立した断層として断層モデルを作成した。TB5 と JO1 の断層は、上盤の地質構造が糸静線を隔てて異なり、また強震動発生域の場所が大きく異なるため、連動の可能性は極めて小さいと判断される。





5 km

図 28 上越沖～能登半島東方沖合にいたる反射法地震探査断面<sup>4)</sup> (H1 測線、図 11)。(上) 深度変換断面、(下) 時間マイグレーション断面。PN: 先新第三系、BS: 苦鉄質岩が卓越する領域、赤線: 活断層 (破線部分は推定)、黄色実線: 灰爪層相当基底、水色実線: 西山層 (Ny) 相当基底、茶色実線: 椎谷層 (Sy) 相当基底、薄紫実線: 寺泊層 (Td) 相当基底、緑色破線: 火山岩類上面。CMP19000 付近には JO1 断層が横断する。

JO2: 岡村ほか (1994)<sup>22)</sup>・岡村 (2002)<sup>9)</sup>による上越海盆南縁の断層である。日本海検討会(2014)<sup>1)</sup>の F41 の北東部に相当する。JO1 断層とは、走向が変化すること、海底地形 (図 11) から判断して断層の隆起側の地質構造が異なる可能性が強いことから、JO1 とは独立させて記述した。断層トレースは連続しており、連動の可能性を否定するものではない。既存の反射法断面<sup>22,13)</sup>から、上盤に断層関連褶曲を伴う傾斜約 30 度の断層形状を推定した。

JO3: 岡村ほか (1944) <sup>22)</sup>による上越海盆中の走向 NNE-SSW の断層である。石油公団の断面 <sup>11)</sup>から中角度の形状と推定した。断層長が 16.9 km であり、日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup>ではリストに掲載されていない。

JO4: 上越海丘の東縁を限る北西側傾斜の逆断層である (岡村ほか, 1994) <sup>22)</sup>。断層の隆起側に平行する背斜が形成されている。石油公団の断面 <sup>13)</sup>から中角度の形状を推定した。断層長が 18.7km であるため、日本海検討会 (2014) <sup>1)</sup>ではリストに掲載されていない。

#### 5) 佐渡海峡周辺の断層 (SD1~SD6)

SD1: ほぼ中越沖地震の震源断層に相当する。震源域の活構造は、岡村 (2010) <sup>23)</sup>によってとりまとめられており、柏崎沖から出雲崎沖まで軸跡が北東-南西走向の褶曲群を伴う、南東傾斜の逆断層システムが推定されている。震源域北部で 2010 年に実施した地殻構造探査と本プロジェクトで実施した H2 測線の構造探査断面 (図 30) とともに、余震分布なども参考にして <sup>24, 25)</sup>、矩形モデル全体として 30 度の角度を推定した。

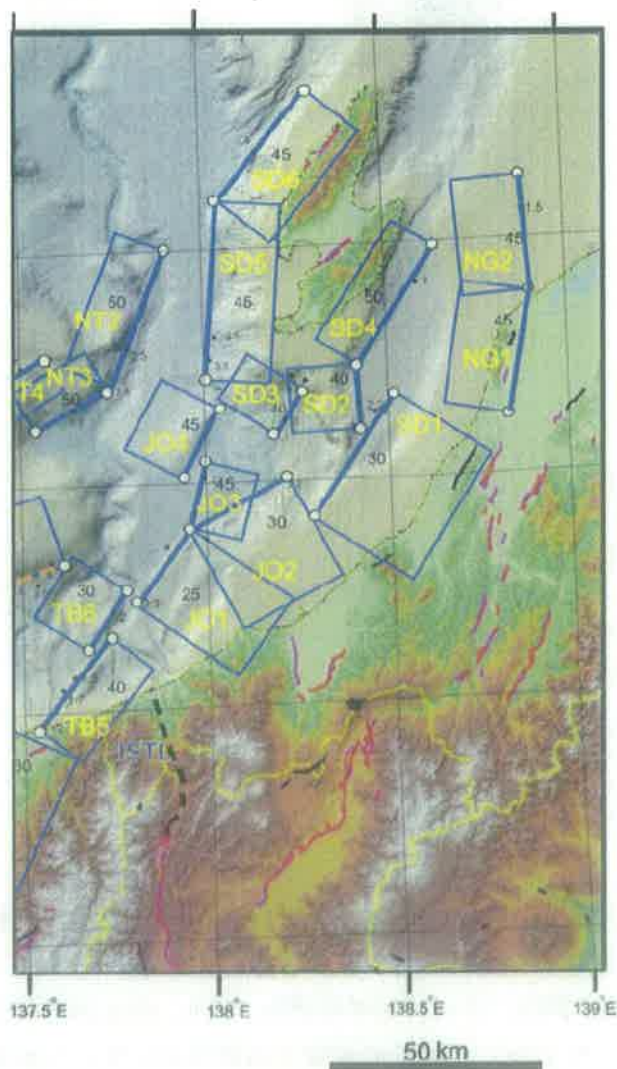


図 29 上越～中越沖海域の矩形断層モデル。凡例は図 1 と同様。黄色の文字: 断層の記号、黒丸と数値: 反射法地震探査断面から判断した断層面上端深度 (km)。矩形内の数値: 断層の傾斜 (単位は度)。

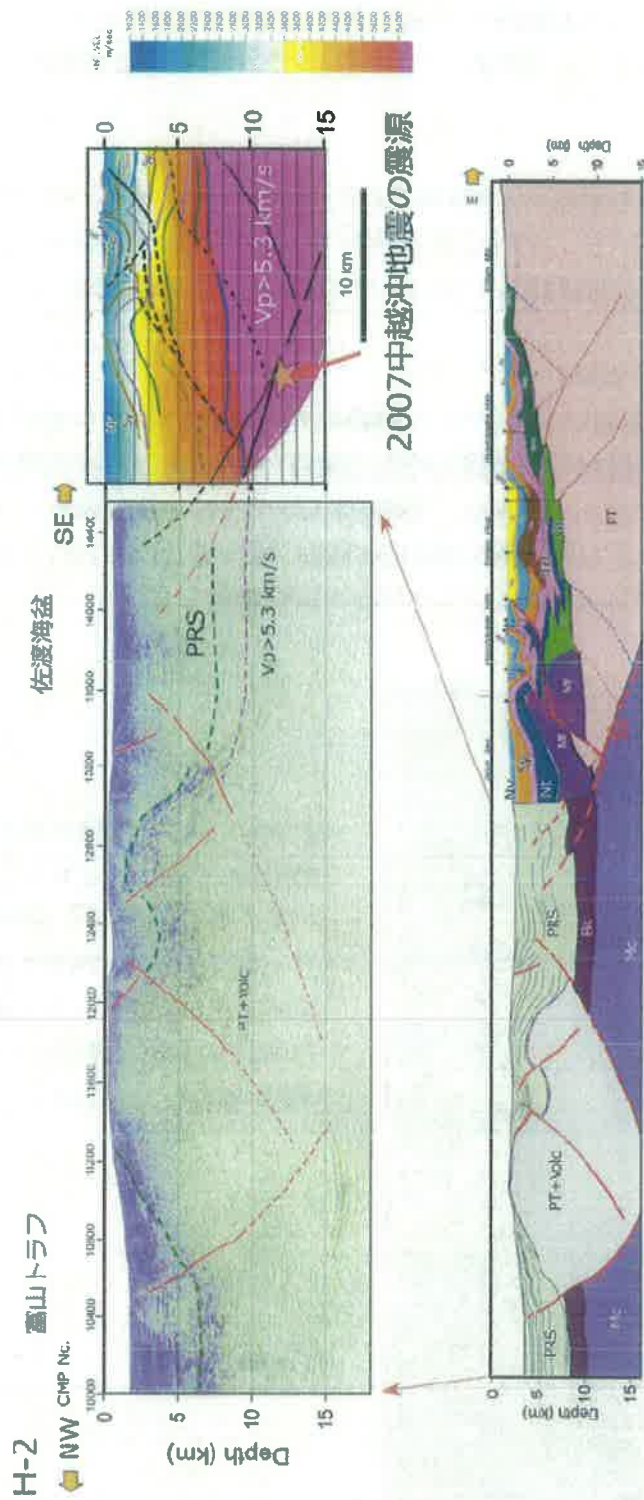


図 30 測線 H2 の地質学的解釈<sup>6)</sup>。左上: H2 測線の断面図、下: H2 測線と東山-三島測線の統合地質断面。右上: 東山-三島測線の速度構造の東部断面。地質体 PT: 先新第三系 (花崗岩質)、Mc: 苦鉄質な地殻、Bs: 玄武岩、PRS: リフト充填堆積物、Volc: 火山碎屑岩類、Mf: 苦鉄質火山碎屑岩、Gt: グリーンタフ (主として珪長質変質火山碎屑岩)、Nt: 七谷層、Td: 寺泊層、Sy: 椎谷層、Ny: 西山層、Hz: 灰爪層。赤線は活断層。



SD2: 佐渡島南方ではほぼ南北方向に近接して逆断層が位置し、断層モデルを推定する際に、主断層についての判断が重要となる。小木海脚をほぼ東西に横切る測線 H2<sup>④</sup>においては、西傾斜および東傾斜の断層が短い間隔で分布し、主断層の判断は単純ではない(図 30)。小木海脚の東側では、東傾斜の高角度の逆断層が存在し、海底面近傍の堆積層まで変位を与えている。この断層の東側には西傾斜の伏在断層が伏在し、大局的には西側の陸起帯と東側の佐渡海盆を隔てる断層となっている。東傾斜の高角度の逆断層は海底面近傍まで変位を与えているが、基本的には西側隆起の非対称な構造形状を示しており、佐渡海盆は構造的な低所となっている。図 30 の緑色破線で示したように、連続性の悪い反射面の分布する層準は、音響基盤と推定されるが、西側で浅く、プーグ異常とも調和的である。こうした構造は、CMP12400 付近の断層から続く、東傾斜の断層を主断層と捉えて幾何学的につくり出すことは可能であるが、東傾斜の構造では佐渡海盆が短縮変形とともに沈降するという構造運動を説明することが難しい。したがって、佐藤ほか(2014)では、小木海脚の東側に位置する伏在断層を主要な断層と判断した。従って、東傾斜の逆断層(図 29 の CMP13200、12500 付近)は西傾斜の断層 SD02 の副断層と判断した。この断層は長さ 15.4km であり、日本海検討会<sup>⑤</sup>では取り上げられていない。

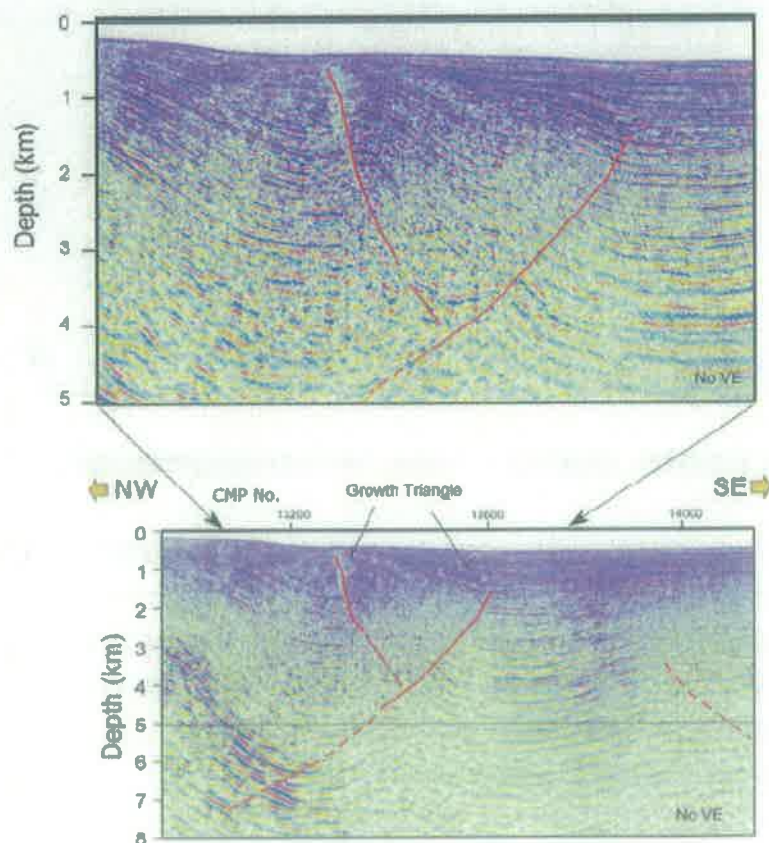


図 31 H2 測線断面の佐渡海峽東部区間の拡大図<sup>④</sup>。赤線は活断層。



SD3:佐渡南方の小木沖には NNE-SSW 方向の幅の狭い隆起帯が形成されている<sup>22)</sup>。図 30 の H2 測線の反射法地震探査断面では、CMP12000 と 12200 の領域に相当する。大局的には西側が構造的に高いことから、CMP12200 の西傾斜の断層が主断層であると判断した。尚、この断層は長さ 12.4km であり、日本海検討会<sup>1)</sup>では取り上げられていない。

SD4: 佐渡島の南東縁に位置する断層<sup>22,26)</sup>で、その深部形状はひずみ集中帯地殻構造探査会津-佐渡測線<sup>27)</sup>によって推定できる(図 31)。基本的には厚い堆積物中の伏在断層であり、日本海検討会の F38 の南部に相当する。F38 断層は、二つの断層トレースから構成され<sup>22,26)</sup>、ステップして分布し、直接連続しないこと、走向がやや異なることから分離して表現した。F38 断層の北方の断層については、次年度以降に報告する。

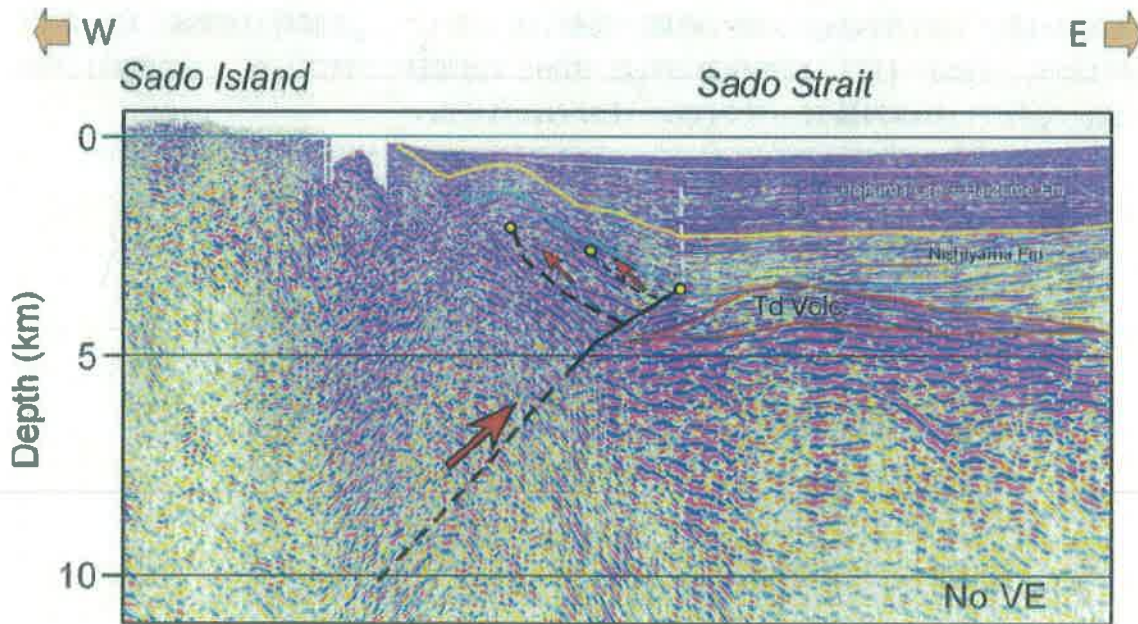


図 32 会津-佐渡測線 (佐藤ほか, 2010)<sup>26)</sup>の反射法地震探査断面。Td: 寺泊層

SD5: 富山トラフとの境界部に位置する大規模な断層で、日本海検討会の断層 F39 の南半分に相当する。断層の形状は、H2 測線<sup>9)</sup>でイメージングされている (図 30)。

SD6: 佐渡島の北西縁に位置する断層で、日本海検討会では断層 SD5 と SD6 を併せて、断層 F39 として扱っている。ここでは、それぞれ走向が異なるために、二つの断層として記述した。連動性を否定するものではない。断層の形状については、石油公団の反射法地震探査断面<sup>28)</sup>から中角度の傾斜を推定した。

6) 新潟周辺の断層 (NG1~NG2)

NG1: 角田山東縁断層<sup>29)</sup>にほぼ相当、ひずみ集中帯の重点的調査観測において実施された海陸統合地殻構造探査により、断層の深部形状が明らかになった(佐藤ほか, 2009<sup>30)</sup>, 2010<sup>27)</sup>)。(図 33)。防災科学技術研究所の震源分布によれば、本断層帯の深部延長部分で微小地震の分布域が、本断層の走向と平行に南北に帯状に分布する<sup>31)</sup>。この配列は本断層の深部形状を推定する上で重要な拘束条件となる。垂直平均変位速度は、3 m/千年という大きな値を示す活動性の高い断層である<sup>32)</sup>。

NG2: 弥彦沖断層に相当<sup>32)</sup>。NG1断層と走向がやや異なるため形状としては、別の矩形として取り扱ったが、NG1と連続する。前述した断層深部での地震活動と判断される震源分布も連続し、基本的には一つの断層として活動する。

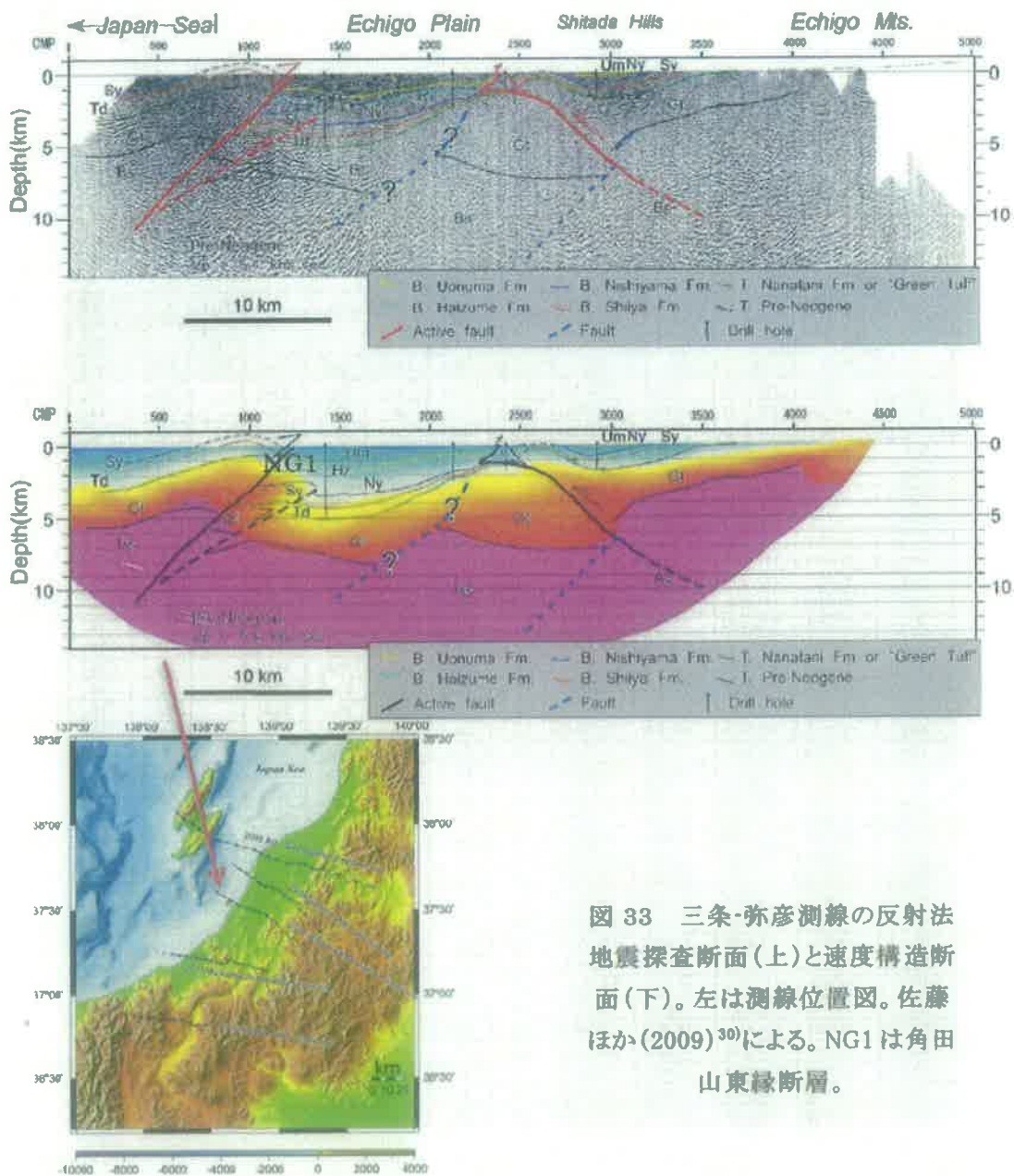


図 33 三条-弥彦測線の反射法地震探査断面(上)と速度構造断面(下)。左は測線位置図。佐藤ほか(2009)<sup>30)</sup>による。NG1は角田山東縁断層。

7) 断層パラメータ

平成 26 年度には、平成 25 年度にデータを取得した中越沖から富山湾、能登半島西方海域までの活断層に対して総合的に検討を加えた。断層を矩形モデルで近似し、それらの上端座標を読み取り、推定した地震発生層中の傾斜と、地震発生層の厚さをもとに、断層幅などを求めた。地震発生層の厚さは、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<sup>2)</sup>。また、地震観測から推定されている応力状態をもとに、断層面のすべり角を求めた<sup>3)</sup>。得られた結果を表 1 に示す。

今回の解析結果は、本プロジェクトにおける調査結果に基づくものであり、今後の調査研究によって変更される可能性もある。津波シミュレーション等に利用する際には、今回の断層モデルが変更の可能性があることに留意が必要である。

表 1. 断層の矩形モデルのパラメータ

断層 No.	始点座標		終点座標		上端深さ km, TP→	走向 (度)	傾斜 (度)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	合計断層長さ (km)	すべり角 (度)	地震発生層の深さ (km)
	緯度 JGD2000 (度)	経度 JGD2000 (度)	緯度 JGD2000 (度)	経度 JGD2000 (度)								
NG1	37.8823	138.9043	37.8180	138.8401	0.5	188	45	30.1	24.7	58	82	18
NG2	38.1328	138.8887	37.8823	138.9059	0.0	174	45	27.9	25.5		76	18
SD1	37.4039	138.2903	37.8673	138.5185	4.0	32	30	35.4	22.0	81	15	
SD2	37.7301	138.4346	37.5919	138.4378	2.0	177	40	15.4	23.9	98	18	
SD3	37.6779	138.2873	37.5869	138.2059	3.0	213	40	12.4	23.3	126	18	
SD4	37.8853	138.6489	37.7294	138.4327	2.0	212	50	34.2	17.0	96	15	
SD5	37.7101	138.0259	38.0925	138.0713	2.6	4	45	42.7	17.5	88	15	
SD6	38.0925	138.0729	38.1142	138.3205	1.4	38	45	33.8	19.2	73	15	
JO1	37.2331	137.8188	37.3671	137.9677	2.3	36	25	21.8	37.1	125	18	
JO2	37.3871	137.9677	37.4945	138.2356	2.2	61	30	26.8	31.8	111	18	
JO3	37.3958	137.9692	37.5332	138.0178	2.0	13	45	16.9	22.6	101	18	
JO4	37.8455	138.0848	37.4985	137.9598	1.8	208	45	18.7	22.9	83	18	
TB1	37.1303	137.1842	36.8450	137.1074	2.5	191	50	32.4	18.3	55	15	
TB2	37.2795	137.3685	37.1353	137.1889	2.8	222	40	21.9	19.0	95	15	
TB3	37.3195	137.6292	37.2557	137.3691	3.5	251	30	24.1	23.0	120	15	
TB4	36.8482	137.2625	36.9683	137.4615	3.0	25	30	39.7	24.0	50	15	
TB5	36.9595	137.5430	37.1579	137.7467	1.5	38	40	28.5	21.0	78	15	
TB6	37.2584	137.7937	37.1353	137.6825	2.0	214	30	17.0	32.0	94	18	
NT1	37.9813	137.2359	37.7981	136.9585	0.5	229	50	32.0	18.9	47	101	15
	37.7981	136.9585	37.7782	136.7912	0.5	281	50	14.7	19.9		148	15
	NT2	37.9928	137.9289	37.8895	137.7640	2.5	201	50	36.8	16.3	78	15
	NT3	37.8895	137.7640	37.8088	137.5618	2.3	242	50	20.0	16.6	117	15
	NT4	37.8808	137.3973	37.7642	137.5963	0.7	81	60	19.8	16.5	122	15
	NT5	37.5278	137.2075	37.8428	137.4050	0.2	52	60	21.8	17.1	108	15
	NT6	37.3867	136.7296	37.5368	137.1731	0.5	66	60	42.8	16.7	124	15
	NT7	37.4895	136.8300	37.5307	136.9397	0.1	64	65	10.7	16.4	126	15
	NT8	37.2569	136.6106	37.3045	136.7705	0.5	69	60	15.1	16.7	128	15
	NT9	37.1002	136.5354	37.2368	136.6530	0.5	34	60	18.4	16.7	94	15
NT10	37.1905	136.4806	37.2284	136.5887	0.5	65	60	10.5	16.7	125	15	
KZ1	37.0738	136.5821	36.8412	136.5746	0.5	177	60	25.8	16.7	42	15	
KZ2	37.0575	136.4775	36.9018	136.4618	0.5	184	60	17.4	16.7	52	15	
KZ3	37.0719	136.2988	36.9784	136.1693	0.8	228	60	16.0	16.4	131	15	
KZ4	36.7516	136.0611	36.9595	136.1828	1.0	25	50	25.5	18.3	95	15	
KZ5	37.0977	135.9838	37.0612	135.6720	1.0	81	60	28.0	14.7	215	15	
KZ6	36.4959	136.0230	36.6778	136.2023	0.7	38	55	25.8	17.5	122	15	



(c) 結論ならびに今後の課題

既存の知見に基づいて、プロジェクト初年度でのバージョンとして、日本海の矩形断層モデルを作成した。形状については、今後の地殻構造探査の進捗に応じて、年度毎に更新していくことになるが、背弧リフト部では褶曲の基底部に形成されるデタッチメントの平坦部分の距離が長い断層も存在している。これらの形状モデルの作成などが必要になる。また、地震発生層の厚さについては、サブテーマ(3. 2. 5. 2)(3. 2. 5. 3)の研究課題であり、順次これらの成果をもとに断層モデルを更新していく必要がある。

(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) 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，204-216，2014.
- 3) 武田哲也・浅野陽一・汐見勝彦・松本拓己・木村尚紀・松澤孝紀・上野友岳・木村武志：沿岸域の地震活動の把握，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，217-232，2014.
- 4) 岡村行信：能登半島西方海底地質図および説明書，20万分の1 海洋地質図(CD-ROM 版)，no. 61，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2007.
- 5) 佐藤比呂志・阿部 進・斉藤秀雄・加藤直子・伊藤谷生・川中 卓：二船式による2007年能登半島地震震源域の反射法地震探査，東京大学地震研究所彙報，82，275-300，2007.
- 6) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・石山達也・蔵下 英司・加藤 直子：沿岸海域および海陸統合構造調査，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，105-188，2014.
- 7) 岡村行信：大竹政和・太田陽子・平 朝彦編「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」，東京大学出版会，111-121，2002.
- 8) 中田 高・今泉俊文編：活断層デジタルマップ，東京大学出版会，2002.
- 9) 岡村行信：能登半島東方海底地質図および説明書，20万分の1 海洋地質図(CD-ROM 版)，no. 59，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2002.
- 10) 井上卓彦・岡村行信・尾崎正紀・池原研・駒沢正夫・大熊茂雄・加野直巳・伊藤 忍・横田俊之・山口和雄：海陸シームレス地質情報集「能登半島北部沿岸域」，数値地質図，S-1,1 DVD-ROM，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2010.
- 11) 石油公団：昭和62年度国内石油・天然ガス基礎調査 海上基礎物理探査「西津軽～新潟沖」調査報告書，46p.，1987.
- 12) 石油公団：昭和63年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「佐渡沖」調査報告書，96p.，1989.
- 13) 石油公団：昭和56年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「富山沖・北陸～隠岐沖・山陰沖」調査報告書，48p.，1981.
- 14) 佐藤比呂志：平成10年(2007年)能登半島地震(2007年3月25日、M6.9)，地震予知連絡会編、「地震予知連絡会40年のあゆみ」，国土地理院，196-205，2009.

- 15) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・金沢敏彦・宮崎真一・加藤直子・酒井慎一・山田知朗・宮内崇裕・伊藤谷生・平田 直：反射法地震探査・余震観測・地殻変動から見た2007年能登半島地震の特徴について，東京大学地震研究所彙報，82，369-379，2007.
- 16) 活断層研究会編：新編日本の活断層，437p.，東京大学出版会，1991.
- 17) 小池一之・町田洋編：日本の海成段丘アトラス，105p.，東大出版会，2001.
- 18) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：魚津断層帯の評価，地震調査委員会，17p.，2007.
- 19) 松浦旅人・吉岡敏和・宮脇理一郎・横田 裕・古澤 明：魚津断層帯の第四紀断層運動と地下地質，活断層研究，26，137-150，2006.
- 20) 石油公団，昭和48年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「北陸」調査報告書，15p.，1974.
- 21) 地質調査総合センター(編)：日本重力データベース DVD版，数値地質図 P-2，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013.
- 22) 岡村行信・竹内圭史・上嶋正人・佐藤幹夫：佐渡島南方海底地質図および説明書，海洋地質図，no. 43，25p.，1994.
- 23) 岡村行信：2007年中越地震震源域及び佐渡海盆の活構造，活断層研究，33，15-25，2010.
- 24) Nakahigashi, K., M. Shinohara, E. Kurashimo, T. Yamada, A. Kato, T. Takanami, K. Uehira, Y. Ito, T. Iidaka, T. Igarashi, H. Sato, R. Hino, K. Obara, Y. Kaneda, N. Hirata, T. Iwasaki and T. Kanazawa: Seismic structure of the source region of the 2007 Chuetsu-oki earthquake revealed by offshore-onshore seismic survey: Asperity zone of intraplate earthquake delimited by crustal inhomogeneity, *Tectonophysics*, 562-563, 34-47, 2012.
- 25) No, T., N. Takahashi, S. Kodaira, K. Obana, and Y. Kaneda: Characteristics of deformation structure around the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake detected by multi-channel seismic reflection imaging. *Earth Planets Space*, 61, 1111-1115, 2009.
- 26) 岡村行信・竹内圭史・上嶋正人・佐藤幹夫：佐渡島北方海底地質図および説明書，海洋地質図，no. 46，43p.，1995.
- 27) 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（平成21年度）成果報告，181-230，2010.
- 28) 石油公団：昭和60年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「大和堆」調査報告書，46p.，1986.
- 29) 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：第四紀逆断層アトラス，東京大学出版会，254p.，2002.
- 30) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・蔵下英司・加藤直子：三条-弥彦沖地殻構造調査，ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究（平成20年度）成果報告書，154-210，2009.
- 31) 関口渉次・武田哲也・浅野陽一・エネスク ボクダン・汐見勝彦・松原 誠・木村尚紀・松本拓巳・斉藤竜彦・松澤孝紀：陸域における自然地震観測. 科学技術振興費「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」平成23年度成果報告書，13-43，2012.

32) 地震調査推進本部地震調査委員会：長岡平野西縁断層帯の長期評価について，地震調査推進本部，23p.，2004.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(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) 平成26年度業務計画案

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る。地震活動の情報(3.2.5.2)、構成岩石モデル(3.2.5.3)の成果とともに、断層モデルを更新する。

