

2. 2. 3 沿岸海域および海陸統合構造調査

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カ年の年次実施計画（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（令和元年度）
 - 8) 令和 2 年度
- (e) 令和 2 年度業務目的

(2) 令和 2 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 調査地域の地質概要
 - 2) 調査測線
 - 3) データ取得
 - 4) データ解析
 - 5) 地質学的解釈
 - 6) 津軽半島沖の日本海域から津軽半島にいたる地殻構造の特徴
- (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) 8 か年の成果

- (a) 業務の成果
 - 1) 北日本における地殻構造調査
 - 2) 西日本における地殻構造探査
 - 3) 中部日本における地殻構造探査
 - 4) 日本海と本州背弧域の地殻構造
- (b) 結論ならびに今後の課題
- (c) 引用文献

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

2.3 沿岸海域および海陸統合構造調査

(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
	助教	蔵下 英司
	特任研究員	加藤 直子
地震予知総合研究振興会	主任研究員	岩崎 貴哉
岩手大学工学部	教授	越谷 信
愛知教育大学	教授	戸田 茂
新潟大学理学部	教授	豊島 剛志
	講師	小林 健太

(c) 業務の目的

震源断層・津波の波源断層の位置と形状を明らかにするために、北海道から九州北部にいたる日本海沿岸地域において、マルチチャンネル反射法地震探査を行う。また、海陸統合構造調査を行い日本海～陸域にいたる複雑な海陸接合部を含む基本的な地殻構造を明らかにし、津波波源モデル・震源断層モデルの高度化のための基礎資料を得る（図 1）。

(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：

中越～上越、富山トラフ、能登半島沖、金沢沖の二船式による反射法地震探査、富山トラフ海陸統合反射法地震探査を海域 715 km、陸域 15 km の区間で実施した。計 10 測線において、海底活断層の深部形状の推定に資する基礎資料が収集できた。また、富山トラフの地殻構造が明らかになった。

2) 平成 26 年度：

福井沖～鳥取沖の沿岸海域において、反射法地震探査を実施した。堆積盆地の構造も含めた総合的な検討により、断層の再活動過程についての情報が得られた。海陸統合調査は、能登半島西方の羽咋沖海域から砺波平野を経て富山平野西端にいたる領域「かほく-砺波測線」で実施した。海陸統合反射法地震探査では、羽咋沖から砺波平野、富山平野西部を構成する堆積盆地の基本的な形状と断層の深部形状が明らかになった。

3) 平成 27 年度：

山口～北九州沖の沿岸海域において、反射法地震探査を実施した。海陸統合測線は、南丹市美山町静原から、若狭湾に至る約 80 km の陸上及び海域区間からな

り、既存の新宮-舞鶴測線と連続させ、島弧・背弧海盆の基本的な地殻構造を把握するための基礎データを取得した。

4) 平成 28 年度 :

鳥取県倉吉から沖合の大和海盆南部に至る測線で海陸統合反射法地震探査を実施し、宍道褶曲帯と呼ばれる背弧変形帯の地殻構造の特性を明らかにし、震源断層の形状を明らかにした。また、測線直下で発生した 2016 年鳥取県中部地震 (Mw6.2) 震源域の地殻構造の特徴を明らかにした。

5) 平成 29 年度 :

北海道天売島周辺から石狩湾にいたる反射法地震探査を行い、震源・津波波源断層の深部形状を明らかにするための資料を収集した (サブサブテーマ2.2.1参照)。夕張から西方に石狩低地東縁断層帯を横切り約68 kmの陸域区間と、石狩湾を横切り日本海盆にいたる約250 kmの海域区間 (サブサブテーマ2.2.1参照) において、海陸統合地殻構造探査を行い、日本海盆から日高衝突帯にいたる地殻構造の特性と、活断層の深部形状を明らかにした。

6) 平成 30 年度 :

積丹半島沖から松前半島沖に至る沿岸海域において、反射法地震探査を行い、震源・津波波源断層の深部形状を明らかにするための資料を収集した (サブサブテーマ2.2.1参照)。北海道南部を東西に横断する50 kmの陸域区間と、1993年北海道南西沖地震の震源域を横切り日本海盆にいたる約250 kmの海域区間 (サブサブテーマ2.2.1参照) において、海陸統合地殻構造探査を行った。この探査では、函館平野西縁断層帯や北海道南西沖震源域周辺の震源断層の深部形状や海洋地殻である日本海盆と北海道南部の大陸地殻など地殻構造の特性を明らかにした。

7) 平成 31 年度 (令和元年度) :

山形・宮城県境付近の奥羽山脈から新庄盆地・出羽丘陵をへて庄内平野にいたる60 kmの陸域区間と、庄内沖から大和堆にいたる約300 kmの海上区間 (サブサブテーマ2.2.1参照) で、海陸統合地殻構造調査を実施した。この測線では火山弧から背弧海盆にいたる基本的な地殻構造を明らかにする他、多数の活断層を横断し、それらの深部形状を明らかにした。

8) 令和 2 年度 :

津軽半島を東西に横断する約 60 km の区間で、地殻構造探査を実施し、震源断層の形状を明らかにした。また、海洋研究開発機構が取得した津軽半島沖のデータも含め、火山弧から背弧海盆の基本的な地殻構造の特性を明らかにした。

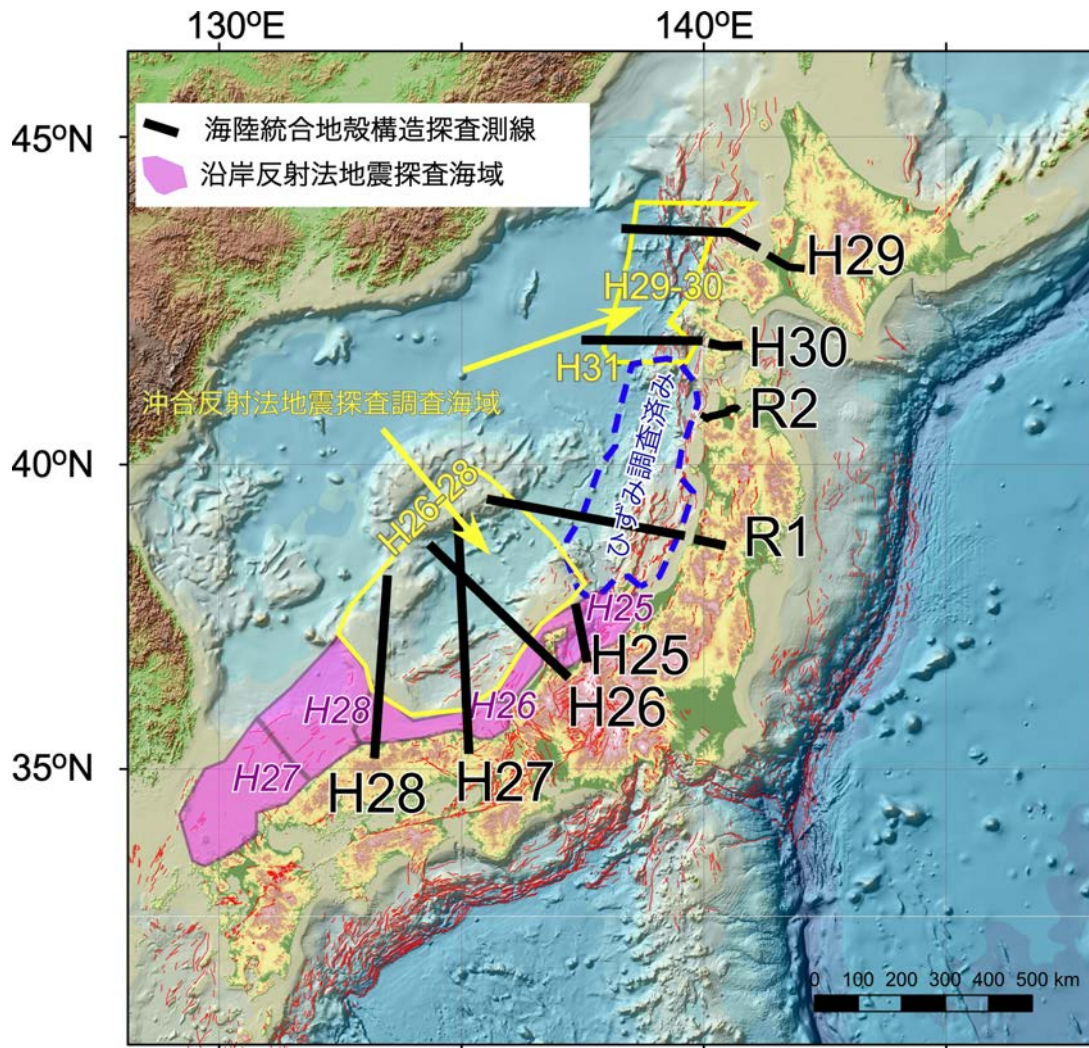


図1 日本海地震津波調査プロジェクトにおける制御震源を用いた構造探査地域。
Hは平成、Rは令和の省略。活断層は日本列島の地質編集委員会編(1996)¹⁾による。

(e) 令和2年度 業務目的

津軽半島南部を東西に横断する約60 kmの区間において、反射法地震探査を行い、基本的な地殻構造と活断層の深部形状を明らかにする。津軽半島沖の海域の構造も含め（令和元年サブサブテーマ2.2.1参照）、津軽半島から沖合の地殻構造の特性を明らかにする。

(2) 令和2年度の成果

(a) 業務の要約

震源断層の形状把握と島弧・背弧海盆の基本的な地殻構造を把握するために、青森湾西岸から津軽山地を横断し、日本海沿岸に至る59 kmの区間で、地殻構造探査を行った。バイプロサイス車を使用した反射法地震探査発震の他、集中発震による屈折法・広角反射法地震探査により、深部反射法断面の他、P波速度構造を明らかにした。さらに、測線区間に3つの稠密受振・発震区間を設け、詳細な構造データを取得した。得られた反射法地震探査断面は地表と孔井の地質資料と対比し、地質構造について解釈した。津軽半島の東

部には半島の伸びと平行した津軽山地が位置し、東翼急傾斜の非対称な隆起帯をなし、その東翼部には逆断層が併走する。地殻構造探査の結果、隆起帯東翼は津軽断層や青森湾西断層などの西傾斜の中角度の逆断層が分布し、津軽山地中軸部では、5.4 km/s の P 波速度を示す層は低下している。これらの構造は津軽山地東翼の断層が正断層として形成され、その後反転して逆断層になったことを示している。東側隆起の活断層として知られる津軽山地西縁断層帯は、東翼の主断層に対してバックスラストとして形成された副断層と解釈される。津軽平野西縁には、白神山地との境界部に、幅広い撓曲構造を伴う西傾斜の伏在断層が分布する。撓曲には鮮新統から下部更新統の鳴沢層が参加し、隆起側に酸素同位体ステージ 5e の海成段丘が海拔高度 80 m に分布することから、この断層は A 級の伏在活断層である。白神山地域には厚い新第三系が分布し、これらの構造が西傾斜の正断層運動によって形成されたことを示している。

これまで、日本海地震・津波調査プロジェクトで収集した構造探査データを統合して、北日本・西南日本・中部日本沖の日本海とその沿岸の地殻構造について取りまとめた。日本海とその沿岸の地殻構造は、新第三紀に発生した日本列島を構成する大陸地殻がユーラシア大陸から分離し、現在の位置に定置するまでの日本海拡大期に形成された地殻構造に支配的な影響を受けている。北日本の陸上から日本海中軸部に分布する大陸地殻は、日本海側に傾斜する正断層群を伴って伸展・薄化する変形を受けた。日本海の開裂に伴う同様の変形は、日本海南部でも認められ、基本的に北傾斜の正断層群が形成された。東北日本の沿岸では、秋田-山形堆積盆地・新潟-北部フォッサマグナや富山トラフなど、中絶リフト群が形成され、その縁辺にリフト軸の外側に傾斜する断層が形成されていることが明らかになった。北日本においては、鮮新世から現在にかけて島弧の伸びと直交する短縮変形が進行し、正断層の多くが逆断層として再活動するとともに、中絶リフトの縁辺で低角度の逆断層が形成された。中絶リフト内では厚くポストリフト期の堆積物が堆積し、短縮変形とともに断層関連褶曲が形成された。西日本沖の日本海南部は、リフト期の終了とともに南北方向の短縮変形が進行し、正断層の反転運動を伴う逆断層運動が進行した。その後、東西方向の水平圧縮応力軸をもつ広域応力場の下で、既存の逆断層の一部は横ずれ断層として再活動している。

(b) 業務の成果

1) 調査地域の地質概要

東北日本陸域の先第三系の地質構造は、概ね北北西-南南東方向の地質帯に区分され、津軽半島から白神山地には、中古生層の堆積岩類と白亜紀花崗岩類が狭小に散在して露出する。古期堆積岩類は、葛巻-釜石帯の中・古生層に対比されている²⁾。白亜紀花崗岩類は、組成・年代から阿武隈帯の花崗岩に対比される³⁾。東北地方中部に分布する南部北上帯などを欠損して阿武隈帯と北部北上帯が隣接して分布するのか、阿武隈遼東帯の花崗岩類が、より東方の帯にも及ぶかなどの可能性が指摘されている⁴⁾。

津軽半島周辺は、地形的に津軽山地・津軽平野・青森平野・岩木火山・白神山地・十和田山地に区分される(図2)。

津軽山地は、ほぼ南北方向の西翼急傾斜の非対称複背斜によって構成されている。軸部には中期中新統の海成層が露出し、上方細粒化・上方浅海化を示す層厚 4000 m を越える

新第三系～第四系が分布する 5, 6, 7, 8)。この複背斜の西翼には西傾斜の逆断層である津軽断層が分布し、その東側には併走する活断層が分布している 9, 10)。

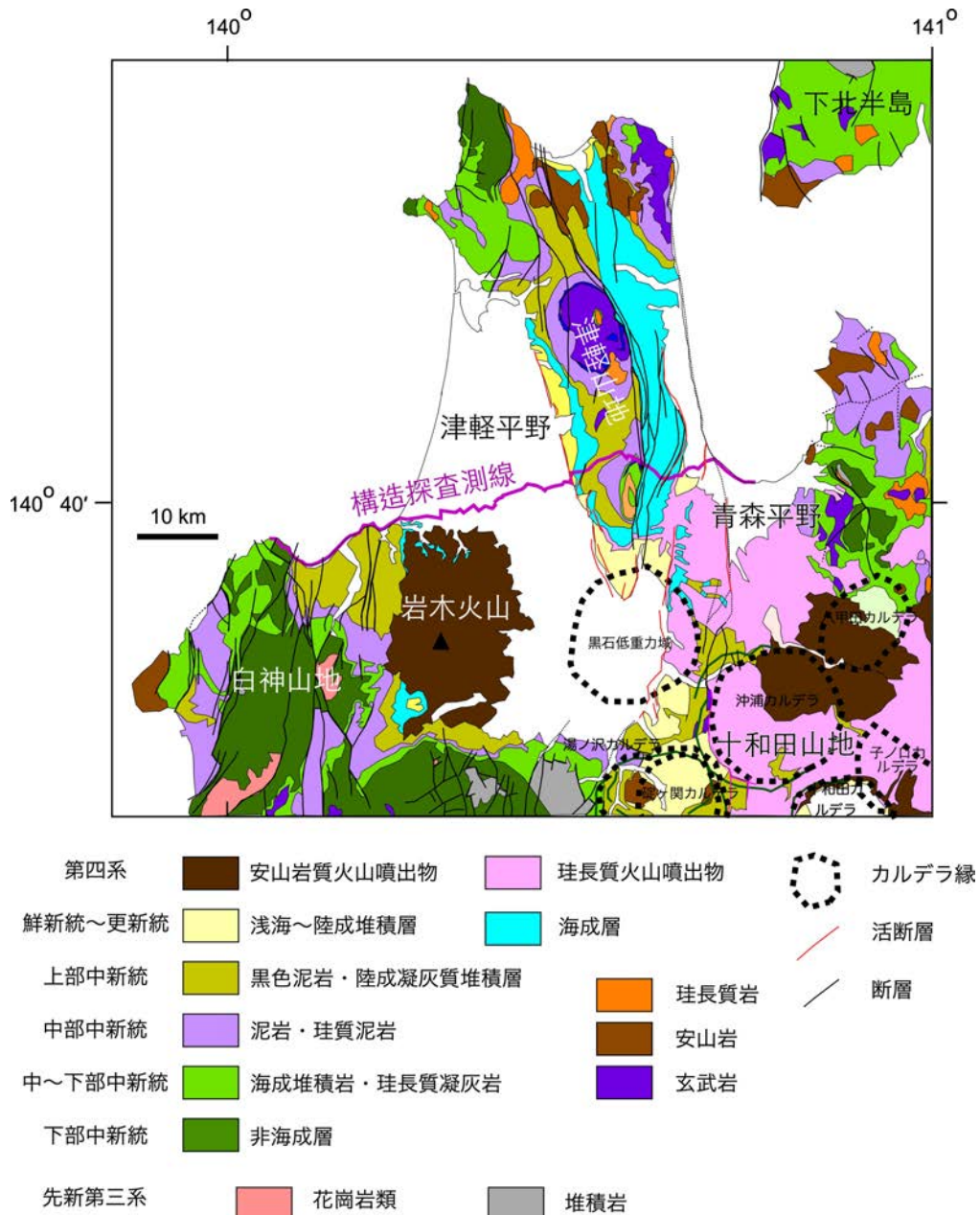


図2 津軽半島周辺の地質概略図

地質図は、主として産業技術総合研究所地質調査総合センター¹⁶⁾、東北地方土木地質図解説書¹⁷⁾を簡略化。活断層は活断層データベース¹⁸⁾、カルデラ縁は宝田・村岡(2004)¹³⁾による。

津軽山地の東側には青森平野が広がる。負のブーゲ異常を示し¹¹⁾、厚い堆積物の分布が推定される。これとは対照的に、津軽山地の西側に広がる津軽平野下では上部中新統より上位の堆積物は相対的に薄い⁷⁾。青森平野の南方には、奥羽脊梁山地の北端をなす十和田山地が広がるが、後期中新世から第四紀の珪長質の大規模カルデラが形成され構造上の特徴となっている^{12, 13, 14)}。津軽平野の南部にも環状の負の重力異常帯が存在し¹¹⁾、後期中

新世に形成されたカルデラが伏在する可能性がある（図 2）。津軽平野は全体として北北西-南南西方向に伸び、南西部には第四紀の成層火山である岩木火山が位置する。その西側には白神山地が位置するが、白神山地の東縁である津軽平野・岩木火山との境界には、ほぼ南北走向のブーゲ異常の急変帯がのびる¹¹⁾。白神山地は、日本海拡大に関連したリフト期前と初期の火山砕屑岩や堆積岩が広く分布する^{5, 15)}。

活断層としては、青森湾西岸断層帯¹⁰⁾や津軽山地西縁断層帯¹⁹⁾などが重要な断層としてとりあげられている。この地域では 1766 年に M 7・1/4 ±1/4 と推定される明和津軽地震が発生している²⁰⁾。この地震の震源断層については、津軽平野西縁断層帯が活動したものと推定が多いが¹⁰⁾、地質構造との関係において検討の余地がある。また、白神山地の沿岸で酸素同位体ステージ 5e の海岸段丘高度が増大するが²¹⁾、構造的な説明がなされていない。

2) 調査測線

津軽半島を横断する構造探査測線として、青森市青森港沖館地区から津軽山地・津軽平野を横断し、青森県西津軽郡深浦町に至る投影距離 59 km の区間に設定した（図 2, 3）。

3) データ取得

データ取得仕様は表 1 に示した。調査測線上に想定される地質構造に応じて、調査測線を標準区間と稠密区間に区分し、標準区間では受振点間隔を 50 m、発震点間隔を 100 m とし、稠密区間では受振点間隔を 25 m、発震点間隔を 50 m とした。測線東端から津軽山地東側稜線付近までの約 12 km（投影距離）区間、津軽山地西縁部の約 6 km 区間、および津軽平野西側の約 17 km（投影距離）区間を稠密区間とし、それ以外の計約 24 km（投影距離）区間を標準区間とした（図 4）。投影測線の方向は N 82° E とした。

調査測線全域に対して、片側受振展開長 15 km 以上による反射法発震記録、全区間固定受振展開による屈折法発震記録を取得した。深部構造を抽出するために、固有周波数 5 Hz の受振器を使用した。総受振点数は、1887 点である。震源には大型バイプロサイス 4 台を用いた。深部構造解明のため、反射法におけるスイープ周波数は 6~60 Hz、スイープ長は 20 秒とした。尚、青森市内および五所川原市内の大型バイプロサイスの進入が困難な一部区間では、中型バイプロサイス（1 台）を用いた。反射法での総発震点数は、828 点である。

深部構造と速度構造を明らかにするために、屈折法解析を目的とした集中発震を行った。スイープ数は 50 ないし 100 で、発震点間隔は 4 km、16 点である。スイープ周波数は、3~30 Hz ないし 3~60 Hz とした。

データ取得作業は 2020 年 6 月 28 日から同年 7 月 17 日までの 20 日間に実施した（写真 1）。測量作業はデータ取得作業に先立って 2020 年 6 月 22 日に開始し、同年 7 月 8 日に完了した。

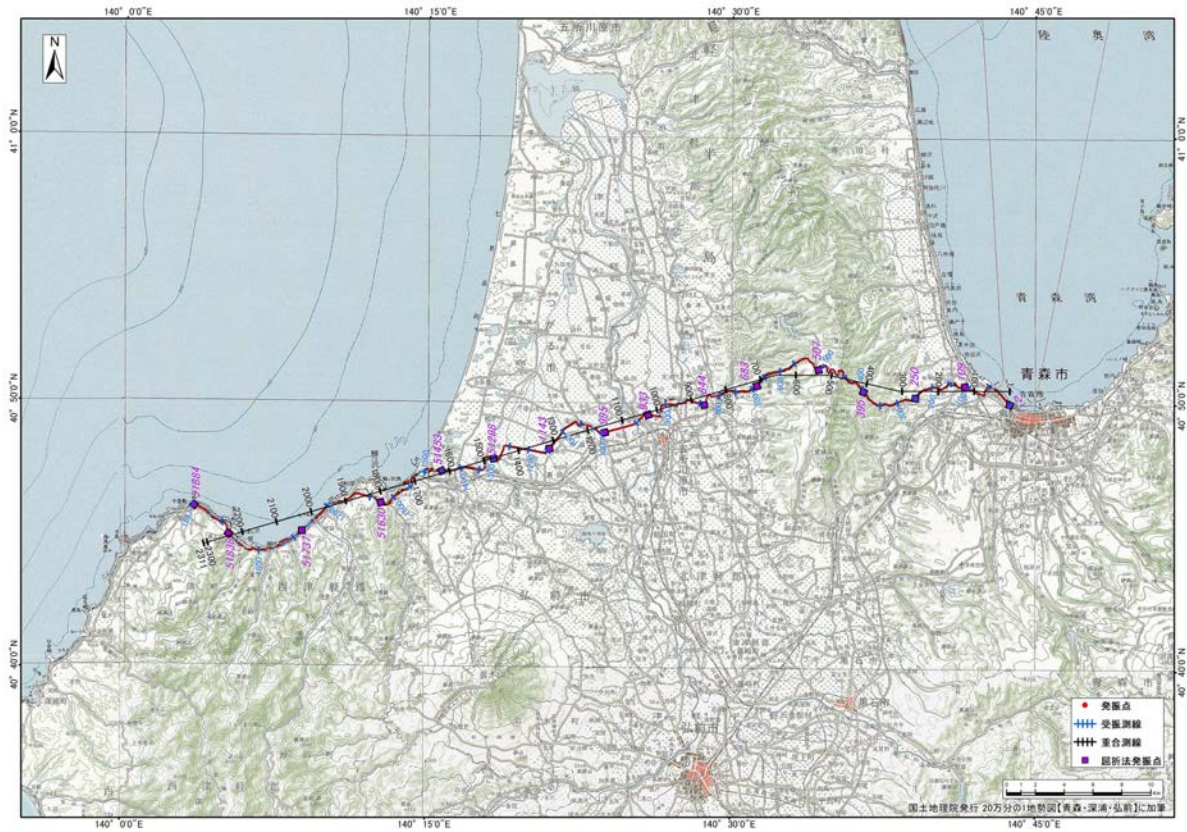


図3 調査測線概略図(1/200,000)。国土地理院発行数値地図 20 万分の 1 (地図画像) 図幅『青森』に加筆。



図4 標準区間と稠密区間の設定

CDP 番号は、稠密区間の CMP 間隔で表現。

表 1 データ取得仕様一覧

調査測線	TD20-TGR		
調査項目	反射法(標準)	反射法(稠密)	屈折法
総測線長	約 59 km		
発震系パラメータ			
バイブレータ台数	大型4台 or 中型1台		大型4台
発震間隔	100 m (投影)	50 m (投影)	4 km (投影)
スイープタイプ	Linear Up Sweep		
スイープ長	20 sec.		
スイープ周波数	6-60 Hz		6-60 Hz or 6-30 Hz
テーパー長	300 ms / 300 ms		
発震アレイ	B to B		
発震点位置	Integer		
発震回数/発震点	8		50 or 100
総発震点数	828		16
受振系パラメータ			
受振点間隔	25 m (稠密区間) / 50 m (標準区間)		
受振アレイ	シングルセンサー		
展開パターン	片側 15 km 以上		全点固定展開
記録系パラメータ			
探鉱器	Sercel 428XL(有線テレメトリ記録システム)...Loc.543-800 GSR/UNITE(独立記録システム)...Loc.908-1887(GSR)、Loc.1-542 & 801-907(UNITE)		
サンプルレート	2 ms		
プリアンプゲイン	428XL・UNITE : 12 dB /GSR : 30 dB		
デシメーションフィルター	Linear Phase		
Noise Edit(428XL)	CAS/Div Stack		CAS/Div Stack
Nb Of Windows	7		9
記録長	28 sec.		36 sec.



写真 1 大型バイブロサイスによる発震(VP 1884)。

反射法発震記録例を図5・6に示す。本調査の受振測線は東端の港湾道路区間や測線西側の国道101号線区間の一部にノイズレベルの高い区間があるものの、測線の半分強を占める津軽平野および津軽山地区間は静穏あるいは概ね静穏であり、一般的に高品質な記録が得られた。ほぼ測線全域において発震記録上で反射波が認められ、特に測線中央から西側の津軽平野内の記録では、基盤上面の屈折波とともに浅部から堆積層底部に至るまでの反射波が明瞭に認められた。

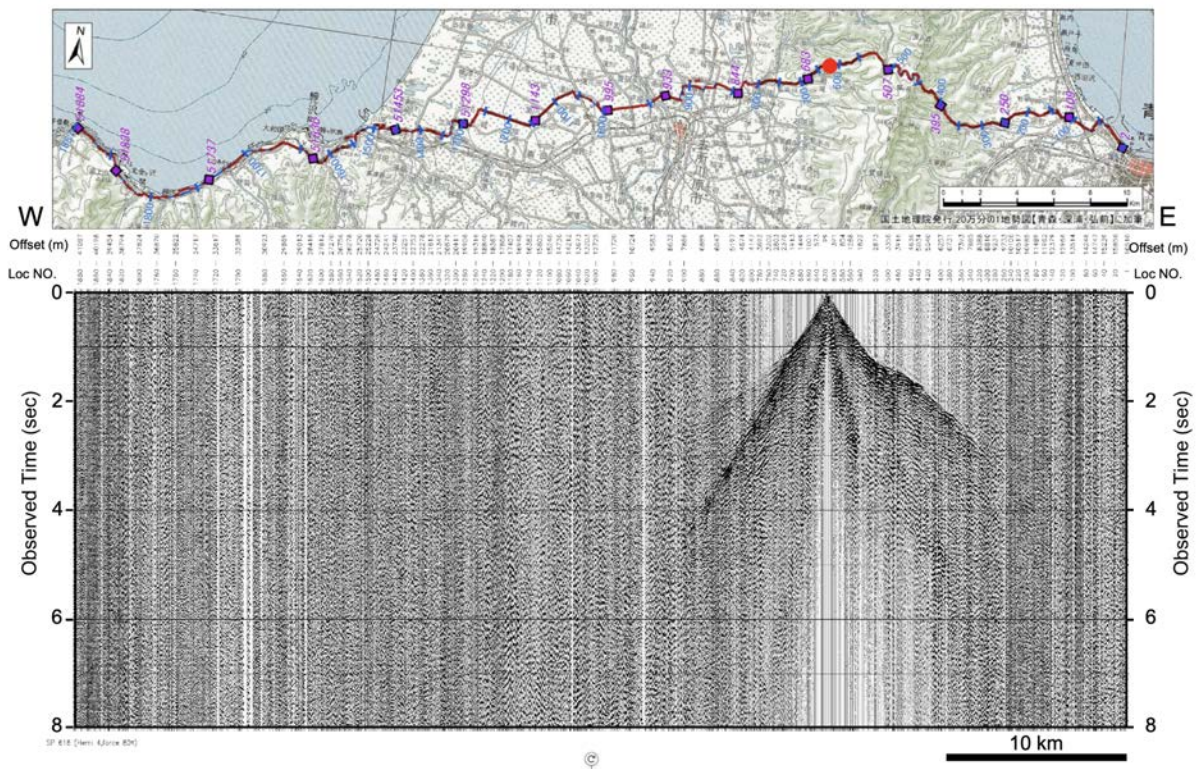


図5 反射法発震記録例 (VP616)

大型バイブロサイス車4台、出力エネルギー80%、発震周波数6~60 Hz、スイープ回数8回。

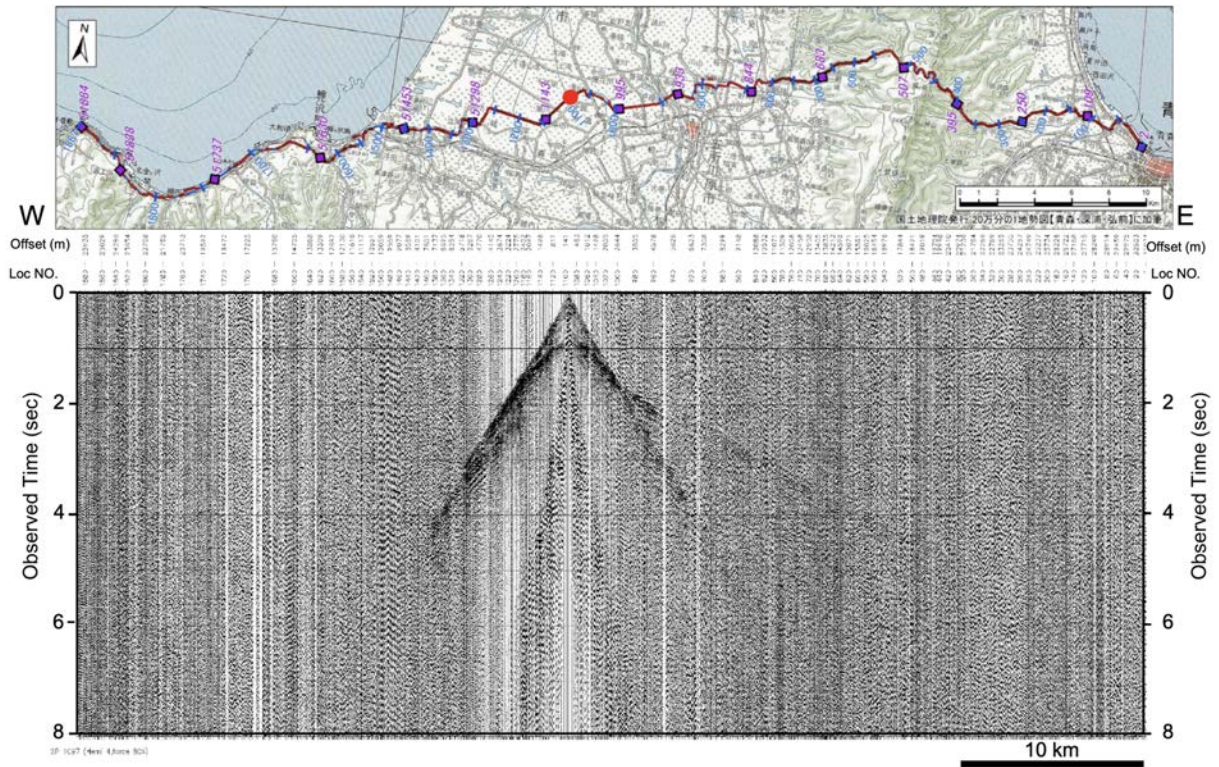


図6 反射法発震記録例 (VP1097)

大型バイブロサイズ車4台、出力エネルギー80%、発震周波数6~60 Hz、スイープ回数8回。

図7~9に、屈折法発震記録例を示す。初動波形が確認可能なのは最大30 km程度までであった。特に、青森平野内および津軽平野内の発震では、津軽山地を挟んだ反対側の平野において初動を確認することは困難であった。本調査において屈折波の到達が限定的であったのは、日中観測のためS/Nの向上に限界があったことに加え、平野を画する地質構造の影響が大きいものと考えられる。

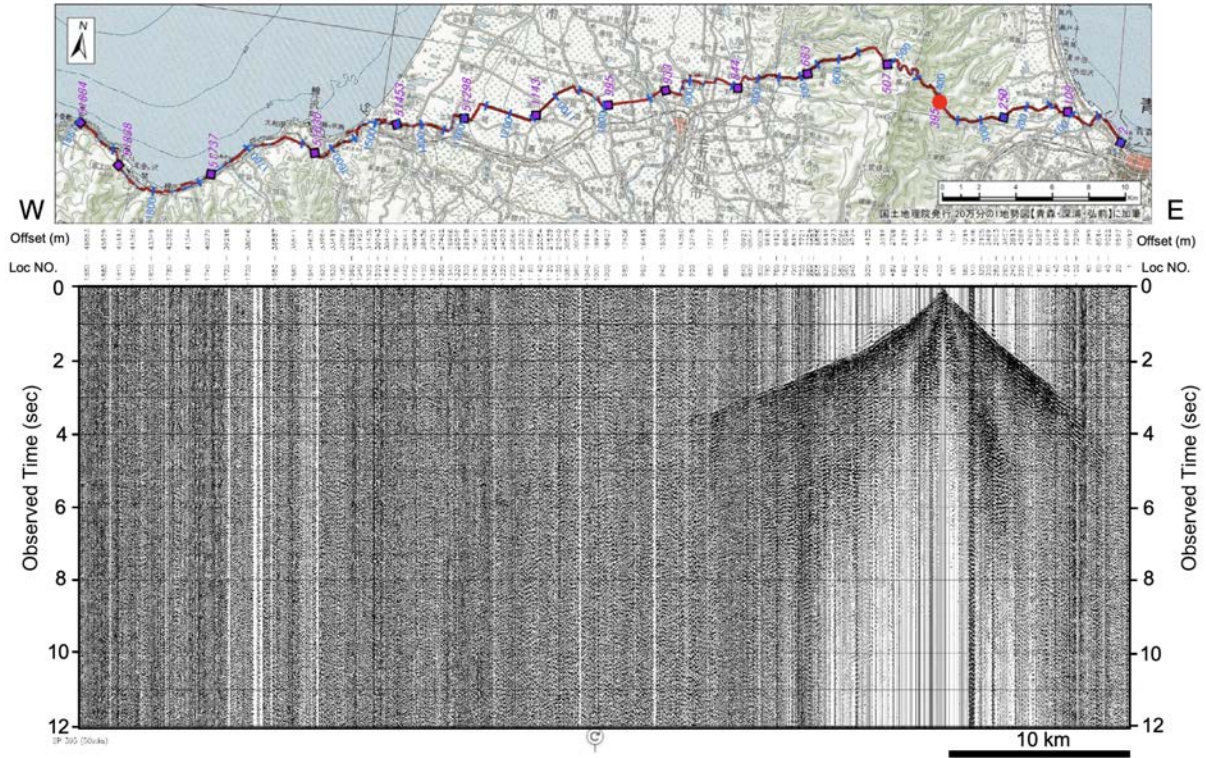


図7 屈折法発震記録 (VP395)

大型バイブロサイズ車4台、出力エネルギー80%、発震周波数6~60 Hz、スイープ回数50回。

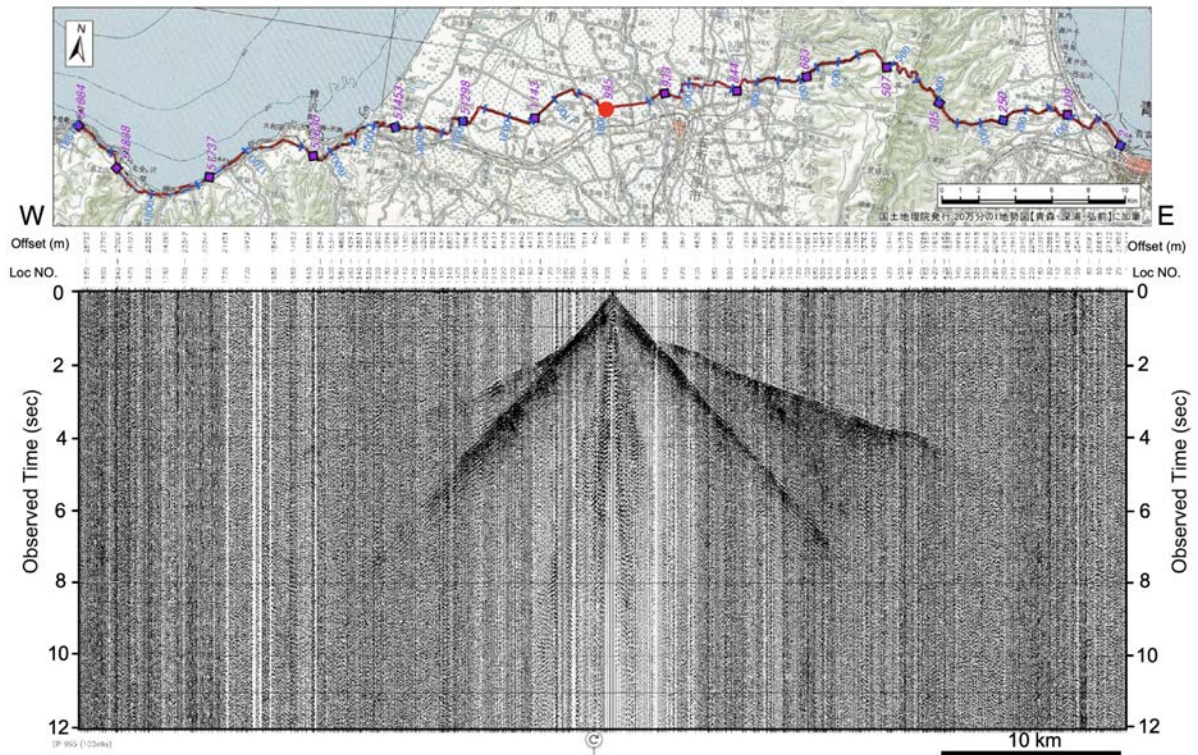


図8 屈折法発震記録 (VP995)

大型バイブロサイズ車4台、出力エネルギー80%、発震周波数6~60 Hz、スイープ回数100回。

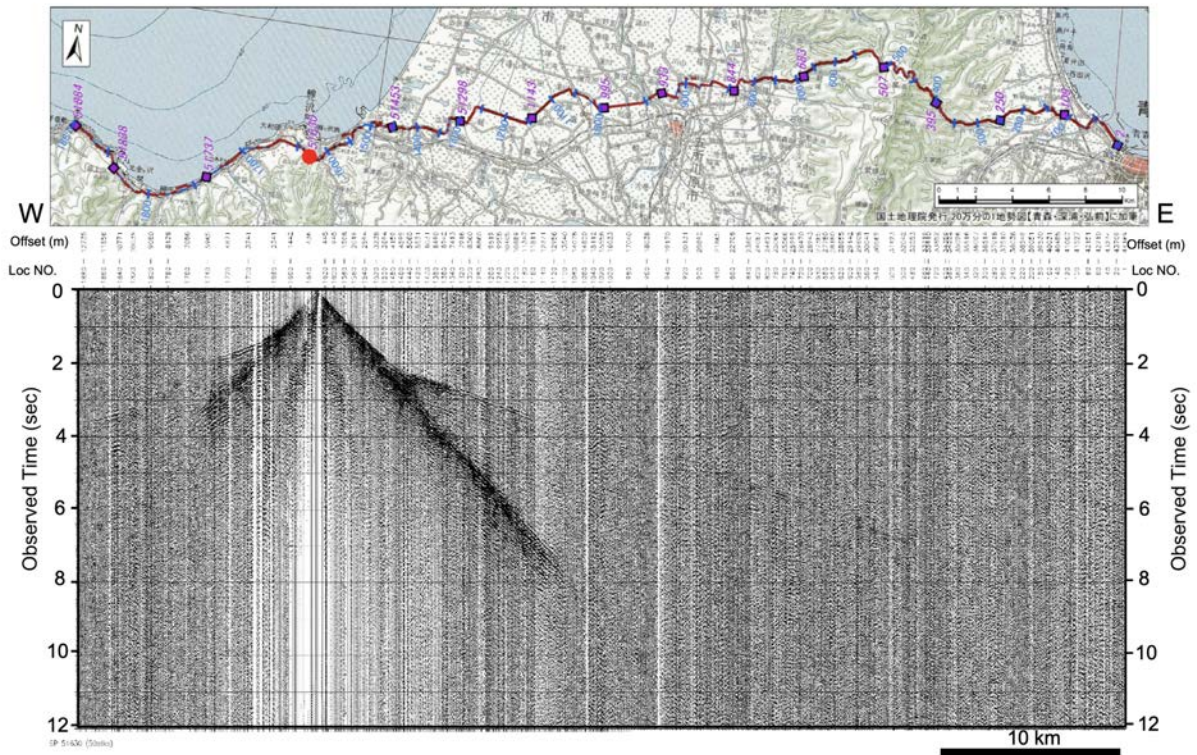


図9 屈折法発震記録 (VP1630)

大型バイブロサイス車4台、出力エネルギー80%、発震周波数6~30 Hz、スイープ回数50回。