

### 3. 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
  - 1) 調査地域の地質概要
  - 2) データ取得
  - 3) データ解析
  - 4) 地質学的解釈
- (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

#### 2.3 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
	教授	岩崎 貴哉
	助教	石山 達也
	助教	蔵下 英司
	特任研究員	加藤 直子
	技術職員	田中 伸一
	技術専門職員	宮川 幸治
	技術職員	田上 貴代子
	技術専門職員	辻 浩
	技術職員	渡辺 茂
	技術職員	坂 守
	技術職員	安藤 美和子
	岩手大学	准教授
愛知教育大学	教授	戸田 茂
新潟大学	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。

### (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：

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する。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の陸上および海域区間からなり、大和海盆を横断し、大和碓にいたる沖合構造調査測線と連続する。この測線では活断層の深部形状の他、島弧・背弧海盆の基本的な地殻構造を把握する。

4) 平成28年度：

島根県沿岸から対馬海盆南部において、反射法地震探査を行う。島根半島から大和碓にいたる420 kmの測線で海陸統合探査を実施し、地殻構造の特性を明らかにする。この測線では、1943年鳥取地震(M7.2)の震源断層のイメージングが期待される。

5) 平成29年度：

北海道北稚内沖から石狩湾にいたる沿岸海域において、反射法地震探査を行う。石狩低地帯東方の馬追丘陵から積丹半島北方を経て日本海盆にいたる420 kmの測線で海陸統合探査を行う。この測線では、札幌市街地に伏在する可能性の高い活断層を通過する他、日本海盆までの複数の活動性の高い活断層を横断する。

6) 平成30年度：

積丹半島から松前半島に至る沿岸海域において、反射法地震探査を行う。下北半島から津軽海峡を経て日本海盆にいたる450 kmの測線で海陸統合探査を行う。この測線では、下北半島西縁に推定される断層の他、日本海盆までの複数の活動性の高い活断層を横断する。

7) 平成31年度：

津軽海峡～村上沖に至る沿岸海域において、反射法地震探査を行う。出羽丘陵から庄内平野、大和碓にいたる550 kmの測線で海陸統合地殻構造探査を実施する。この測線では庄内平野東縁断層帯の他、大和海盆地に至る間の多数の活断層を横断する。

8) 平成32年度：

データのとりまとめを行う。とくに、データ解析手法などに大きな進展があった場合には、初期のデータの再解析等を行い、均質なデータとして利用可能にする。

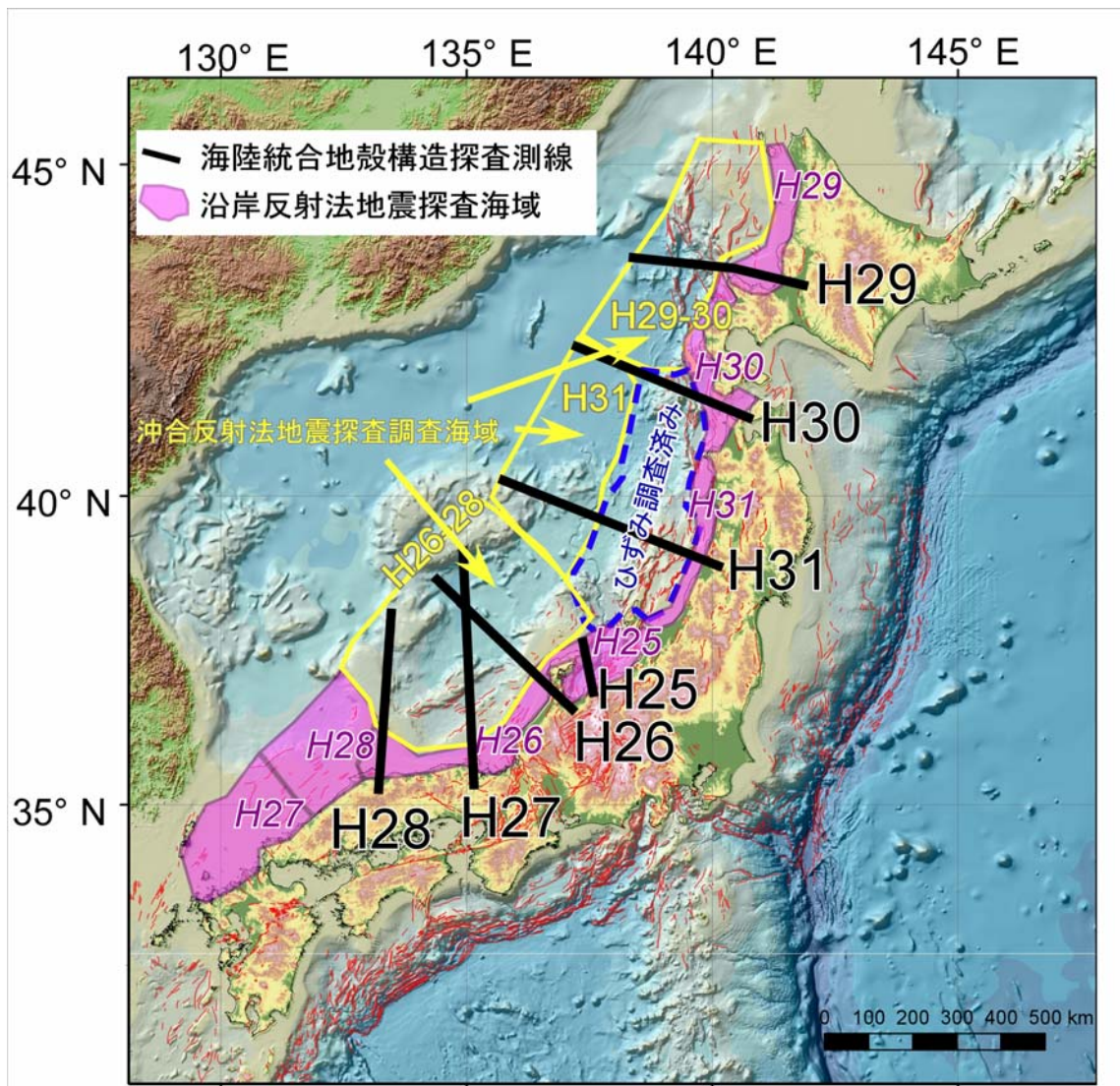


図 1 日本海地震津波プロジェクトにおける制御震源を用いた構造探査地域。H は平成の省略。活断層は日本列島の地質編集委員会編(1996) 1)による。

(e) 平成 26 年度業務目的

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する。海陸統合測線は、富山県富山平野南縁から石川県羽咋沖に至る約 53 km の陸上および海底ケーブル区間からなり、大和海盆を横断し、大和確にいたる沖合構造調査測線と連続する。この測線では活断層の深部形状の他、島弧・背弧海盆の基本的な地殻構造を把握する。

(2) 平成 26 年度の成果

(a) 業務の要約

震源・津波波源断層の位置と形状を明らかにするために、福井沖～鳥取沖の沿岸海域について、計 9 測線、能登半島沖大陸棚、金沢-福井平野沖陸棚にかけて、計 10 測線、海域 490 km の区間で、地殻構造調査を実施した。展開長を確保するために発震船とケーブル

船を分離した二船式によってデータを取得した。最大オフセット距離は 4 km である。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。陸上 45 km、海域 18 km の区間である。海陸統合探査では、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。また、富山堆積盆地には最大 5 km に及ぶ堆積物の分布が明らかになるなど、強震動予測にとっても重要なデータが明らかになった。

石川沖から鳥取沖にいたる範囲では、測線下で海面下 6-7 km までの地下構造が明らかになった。とくに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。この結果、正断層として形成された断層が逆断層として反転し、その中の一部が、とくに第四紀後期に横ずれ断層として形成された。第四紀の断層の中には、再活動を示さないものもある。断層の深部形状を推定するための良好な資料が得られた。

## (b) 業務の実施方法と成果

### 1) 調査地域の地質概要

調査地域は、福井沖から鳥取沖にいたる地域の沿岸域と、海陸統合探査を行った能登半島西方海域から富山平野に至る地域である (図 2)。初期中新世の日本海の形成によって本地域の地殻構造は大きな影響を受けている。日本海拡大と西南日本の時計回りの回転によって、現在の西南日本弧の伸びとほぼ平行な、東南東-西南西方向の正断層群が形成され、背弧海盆には厚い新第三系が堆積した (田中, 1979<sup>2)</sup>; 田中・小草, 1981<sup>3)</sup>)。鳥取沖では厚さ 5 km に及ぶ堆積物によって充填されている。これらの正断層群は、中新世末から鮮新世に及ぶ時期に、強い南北方向の短縮変形を受け、背弧海盆充填堆積物を構成層とする水平短縮量の大きな褶曲が形成されている (Itoh and Nagasaki, 1996<sup>4)</sup>)。より変形の軽微な鮮新統がこれらの短縮構造を覆って堆積したが、短縮変形は鮮新世においても継続した (Yamamoto, 1993<sup>5)</sup>)。第四系中には、主として横ずれの断層が形成されている (活断層研究会, 1991<sup>6)</sup>; 岡村ほか, 2014<sup>7)</sup>; 日本海における大規模地震に関する調査検討会 (調査検討会), 2014<sup>8)</sup>)。近年、島根-鳥取-丹後半島沖の断層群が大規模な横ずれ断層帯を形成しているという指摘がある (Itoh et al., 2002<sup>9)</sup>)。

調査地域のうち、海陸統合探査である KT01 測線は富山トラフの南西延長部に位置する富山堆積盆地をほぼ直交方向に横断する。砺波平野から呉羽丘陵・富山平野にかけての富山堆積盆地には日本海形成後の厚い新第三系堆積層が分布し、新潟堆積盆地と類似した層序を示す (例えば早川・竹村, 1987<sup>10)</sup>)。基礎試錐「富山」(奥田・岩崎, 1992<sup>11)</sup>) では、下部中新統の礫岩 (楡原層) を下部-中部中新統のグリーンタフ火山碎屑岩 (岩稻層) が不整合に覆い、その上位に厚さ 2 km を超える海成堆積岩 (下位より黒瀬谷層・東別所層・音川層・氷見層・埴生層) が分布する。富山堆積盆地では岩相変化が著しいが、珪藻化石層序・火山灰層序などによって地域間の対比が行われている (柳沢, 1999<sup>12)</sup>) など。これら新第三系の地層は、主として北東-南西方向の軸跡を有する褶曲に参加し、その多くは伏在を含む逆断層の上盤側に発達する。一方、ほぼ東西方向の軸跡を持つ褶曲も医王山北部や宝達山北部に顕著に発達しており、異なる応力配置における構造形成を示すものと考えられる。

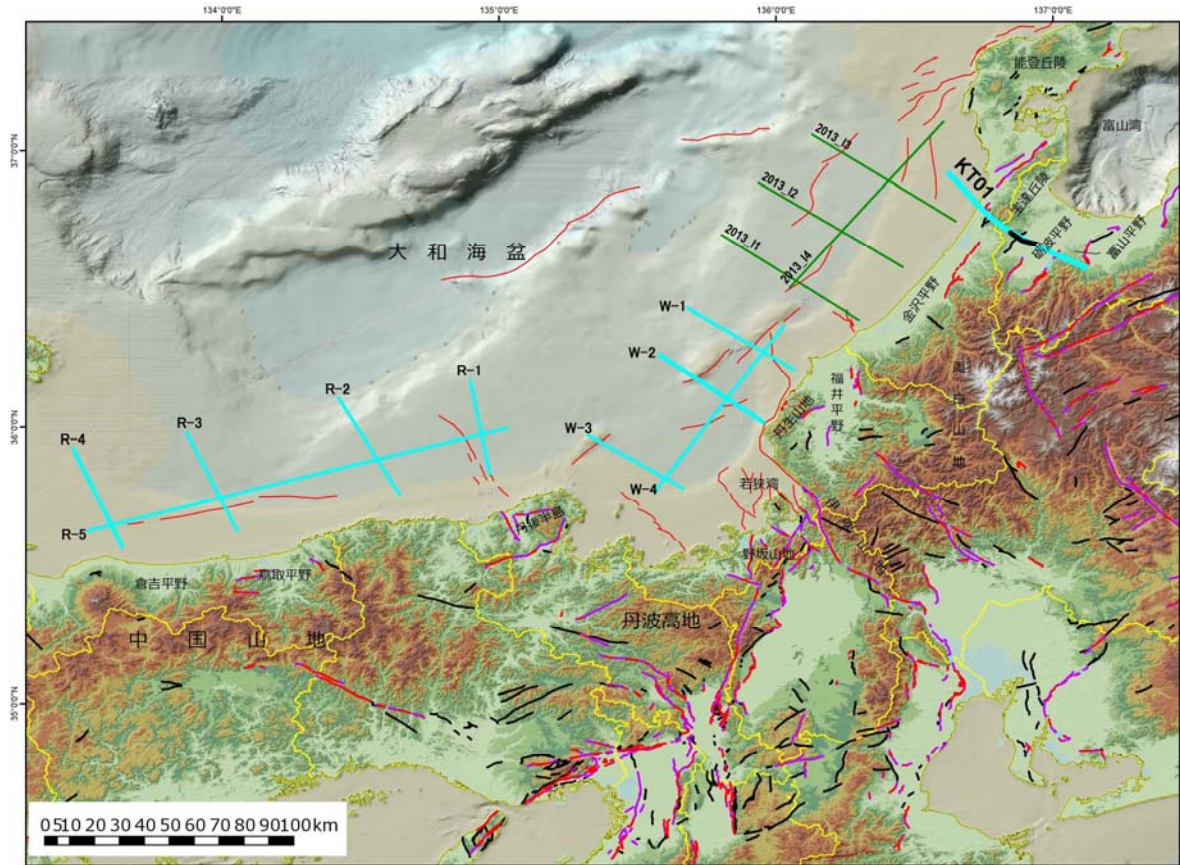


図 2 探査測線図。水色：平成 26 年度、地殻構造探査測線。赤実線：海底活断層（調査検討会，2014<sup>8)</sup>による）。赤・マゼンダ・黒実線：活断層および推定活断層（中田・今泉編，2001<sup>13)</sup>）。

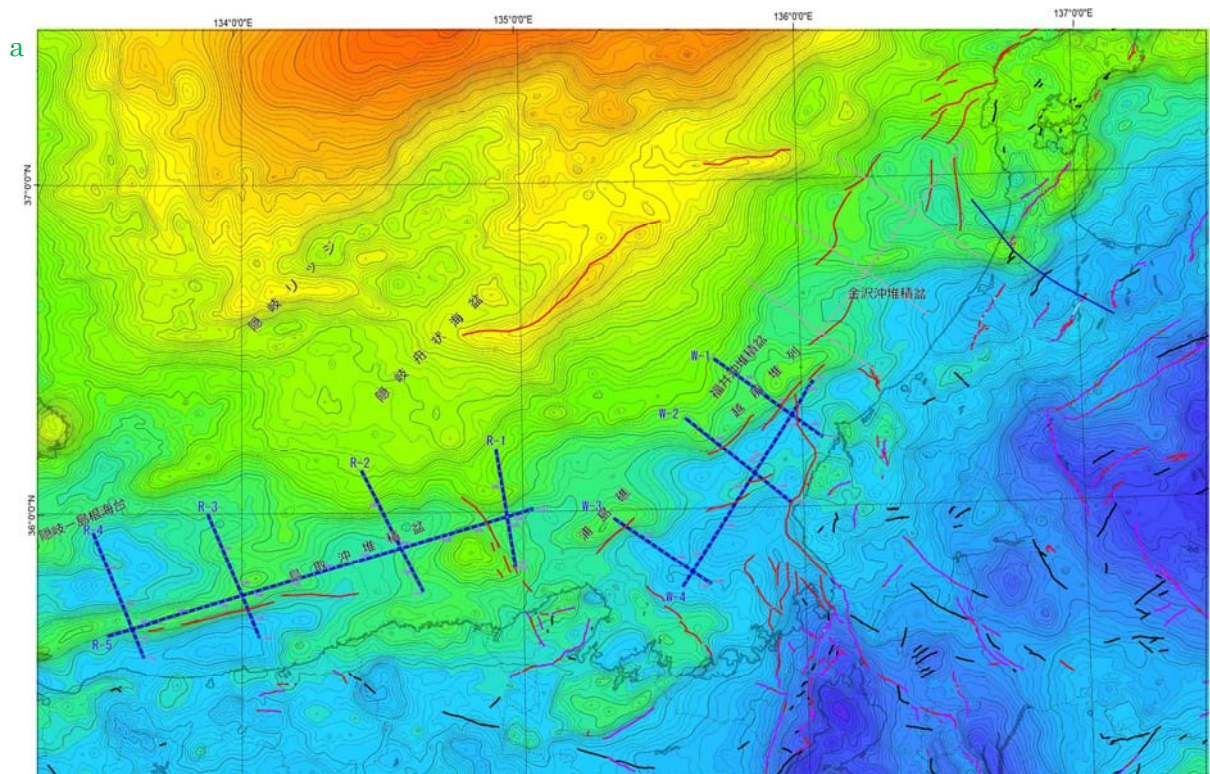


図 3 石川・鳥取沖の構造と探査測線。基図はブーゲ異常（仮定密度 2.67 g/cm<sup>3</sup>, 重力異常図は、地質調査総合センター編（2013）<sup>14)</sup>による。赤線：活断層。陸上の活断層は中田・今泉編（2001）<sup>13)</sup>、海底活断層は調査検討会（2014）<sup>8)</sup>による。

## 2) データ取得

海陸統合測線を含めた計 10 測線で、地殻構造調査を実施した(図 4)。海陸統合反射法調査では、測線を能登半島西方の羽咋市沖合から富山平野西端に設定し、海上エアガン発震ならびに陸上バイブレータ発震による反射法地震探査を実施した。沿岸域の海上反射法調査では、若狭湾沖（4 測線）、山陰沖（5 測線）において、大型エアガンを艦装した発震船ならびに小型エアガンとストリーマケーブルを艦装した観測船を用いて、二船式反射法地震探査を実施した。

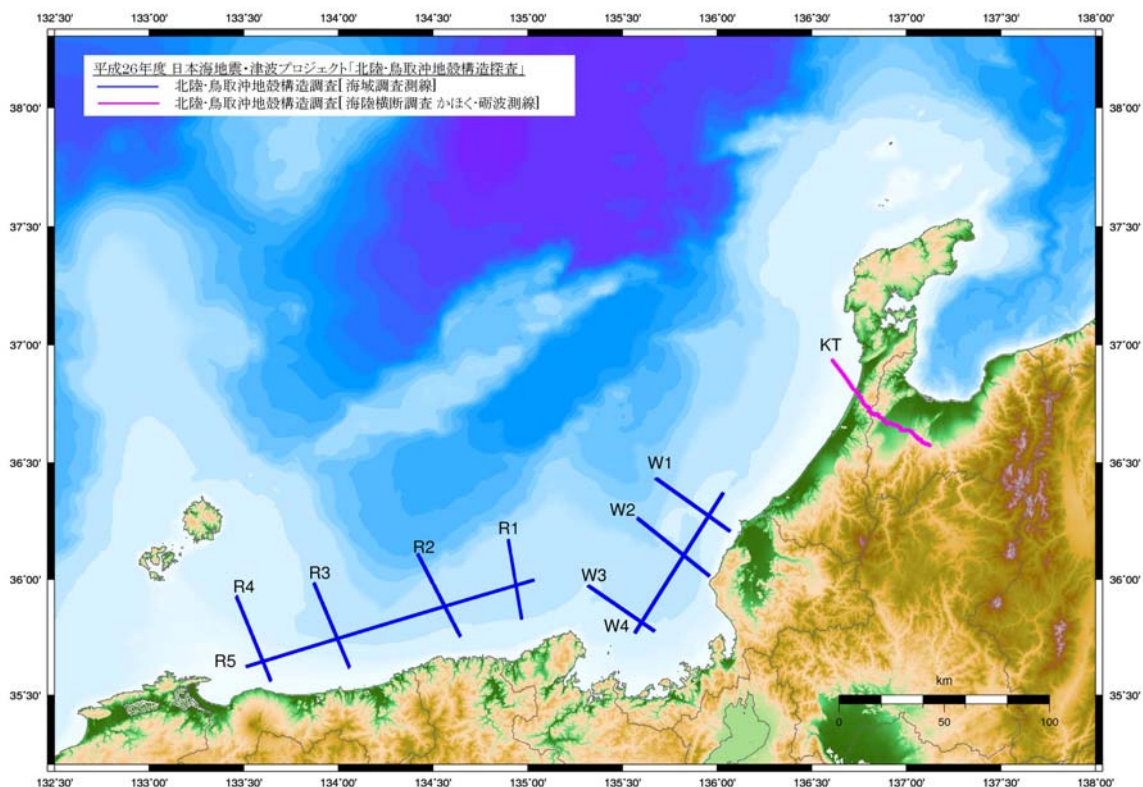


図 4 調査測線概略図

### a) 「かほく-砺波測線」海陸統合反射法調査 (KT)

#### i) 調査測線

本調査は、石川県（宝達志水町、かほく市、津幡町、小矢部市）と富山県（砺波市、富山市）の陸域および海域における、北西-南東方向の全長約 63 km(投影測線上の距離：受振測線 53 km、発震測線 63 km) の区間である（図 5、6）。

海域は、石川県羽咋郡宝達志水町の海岸を基点として北西へ 18 km の区間が測線として設定し、このうち約 8 km 区間に海底敷設型受振ケーブルを設置した。陸域は、同じく石川県羽咋郡宝達志水町の海岸を基点として、富山県富山市八尾に至る約 45 km の北西-南

東方向の測線を設定した。受振点は、海域では 25 m 間隔（受振ケーブルに固有）で 320 点、陸域では独立型受振システムにより 25 m 間隔で 1816 点、総数 2136 点とした(表 1)。



図 5 海陸統合反射法地震探査「かほく-砺波測線」測線図

表 1 受振展開仕様

	陸上区間	海底受振ケーブル
展開区間	石川県羽咋郡宝達志水町 ～ 富山県富山市八尾	県羽咋郡宝達志水町の海岸より北西方向
測線長	約 45 km（投影測線上）	8 km
受振器	オフオン SM7/SM24(10Hz)	ハイドロフォン SH001(3Hz) 三成分加速度計 DSU428
受振器/点	3 個組または 9 個組	4 個（1+3）
探鉱機	独立型受振システム ・ MS2000D (株地球科学総合研究所) ・ GSR (OYO Geospace)	有線テレメトリーシステム ・ SeaRay (Sercel)
受振点間隔	25 m	25 m
受振点数	1816 点	320 点



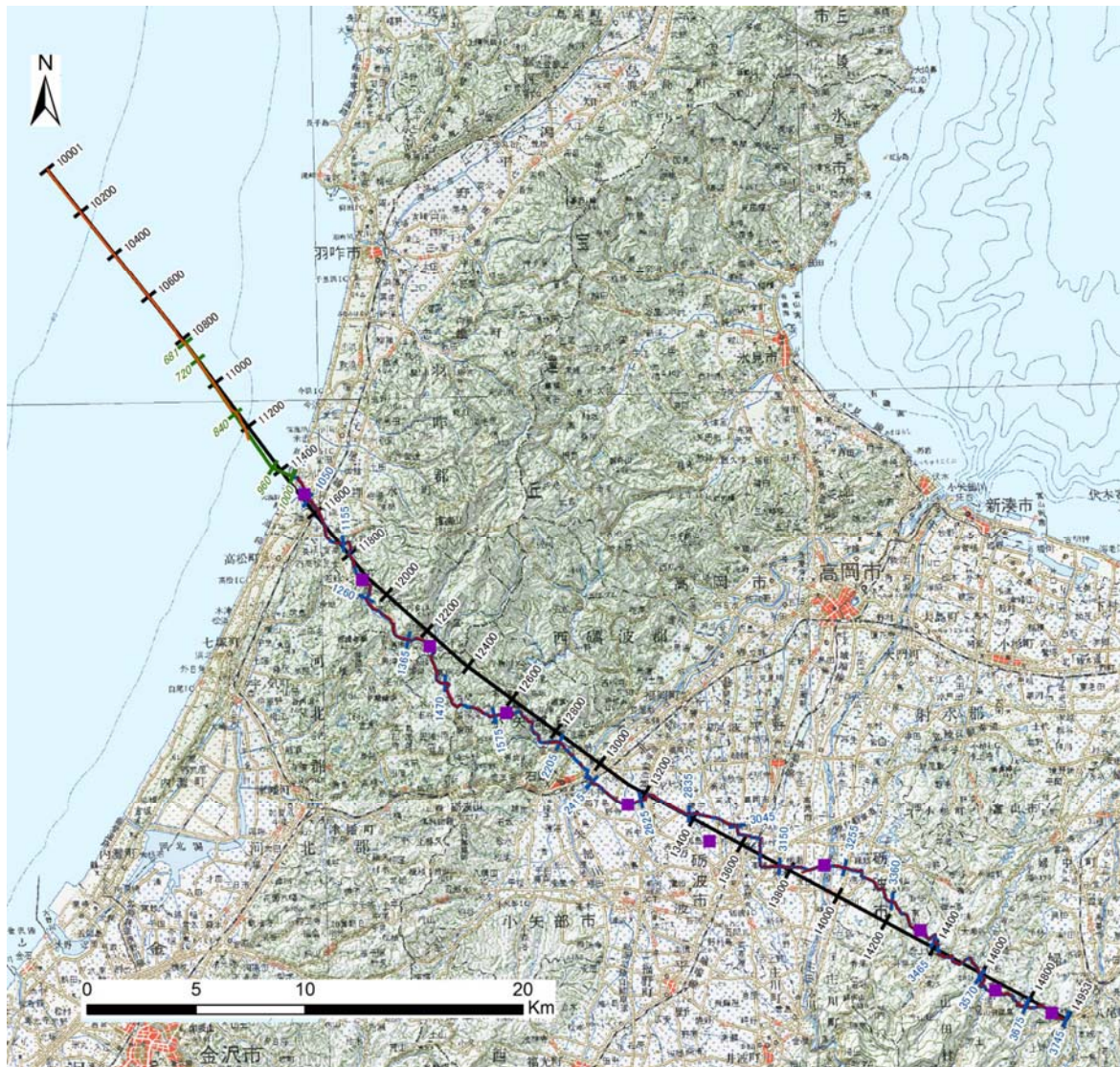


図 6 海陸統合反射法地震探査測線図。

黒：CMP 番号、青：陸上の受振点番号、赤：海底敷設ケーブルの受振点番号。国土地理院発行 1/200,000 数値地図[七尾・富山・金沢・高山]に加筆。

受振測線は、海域約 8 km の海底敷設型受振システム SeaRay の有線展開、陸域約 45 km の独立型受振システム MS2000 および GSR による展開とした。受振点番号が 2000 番台については、浅層高分解能反射法調査と重複するため、12.5 m 毎に番号が割り振られており、広域反射法調査では、奇数番が受振点、偶数番が中点発震による発震点とした。

陸域の表層地質については、陸域測線の基点部では後期更新世～完新世の砂丘堆積物や海生または非海生堆積物からなる。宝達丘陵では、ジュラ期前期の船津山花崗岩類、前期中新世～中期中新世の非アルカリ苦鉄質火山岩類、後期漸新世から後期中新世までの海成または非海成堆積岩類が露出している。砺波平野については、後期更新世～完新世の海成または非海成堆積岩類や後期更新世・完新世の扇状地堆積物に覆われている。砺波平野の東端では後期更新世の中位段丘堆積物が見られ、それより東部では中期～後期中新世の海成または非海成堆積岩類が露出している(図 7)。

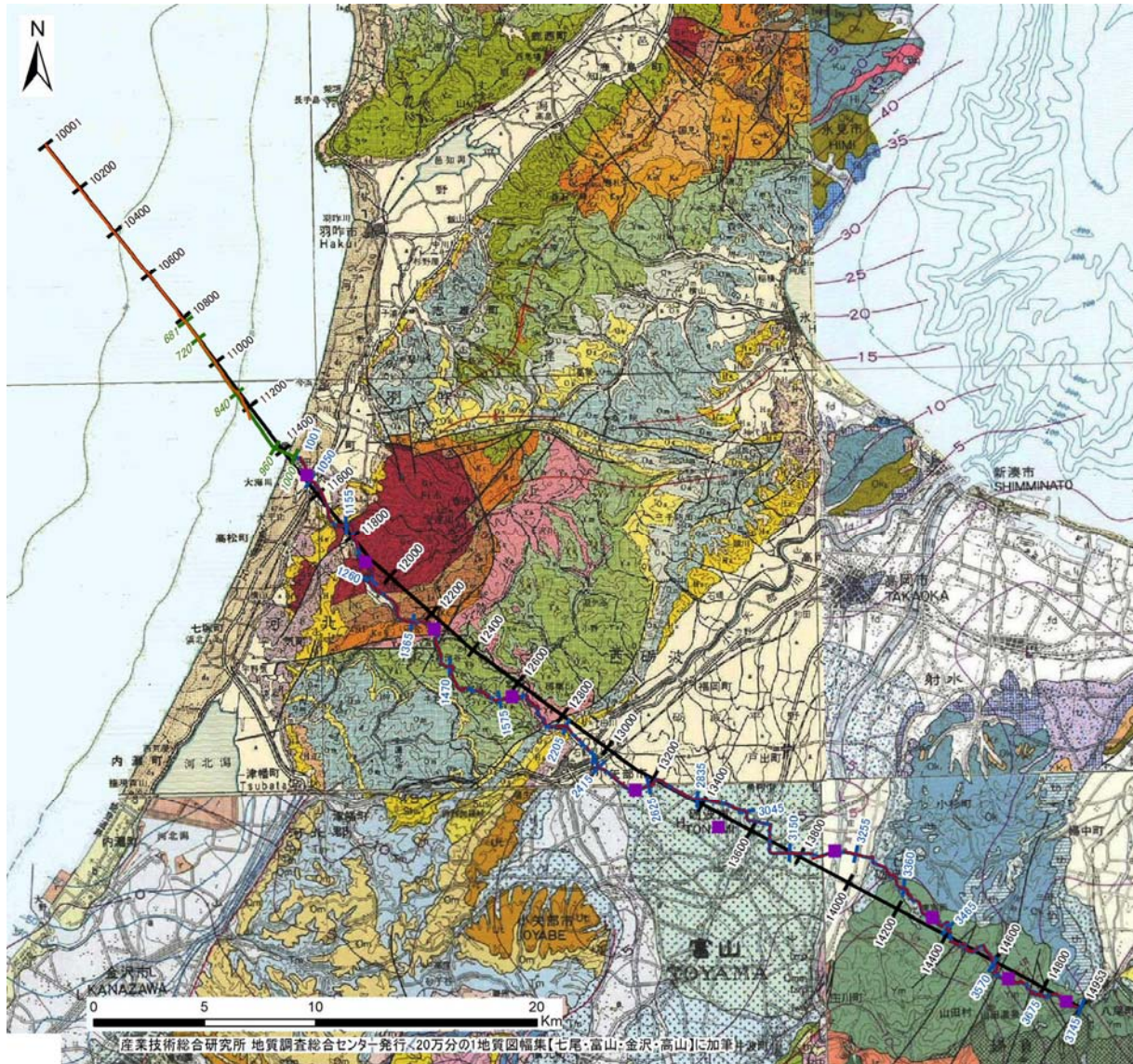


図7 調査測線周辺地質図（海陸統合調査「かほく-砺波測線測線」）地質図および測線図  
 地質図は地質調査所20万分の1地質図幅「七尾・富山」<sup>15)</sup>「富山」<sup>16)</sup>「金沢」<sup>17)</sup>「高山」<sup>18)</sup>による。

ii) 調査概要

本調査は、平成26年6月28日の測量作業に始まり、7月11日に受振システムの展開終了、陸上発震を8から19日に、海上発震を7月19・20日に行った。その後撤収作業を行い、24日に終了した。

受振器に関して海域については多成分海底敷設型受振ケーブルシステム (SeaRay) を用い、陸域では独立型受振システム (MS-2000D および GSR) を用いてデータ取得を行った。

海底敷設型受振ケーブルシステム SeaRay (Sercel 社製) は、観測室内のデータ収録装置 (CRU) から、データ伝送ケーブルにより受振器が接続されオンラインデータ収録を行う。海底敷設される受振ケーブルには、多成分受振器 (ハイドロフォン+3成分加速度計) が 25 m

間隔で設置されている。この海底受振ケーブルの利用により、直線性の高い測線ジオメトリーの確保、低ノイズ環境における稠密展開データ取得、海陸接合部の欠損のないデータ取得が可能である。独立型受振システム MS-2000D((株)地球科学総合研究所社製)は、A/D 変換ユニット、受振器からの信号を入力するアナログケーブル、コンパクトフラッシュメモリーを内蔵したデータ収録ユニット、GPS システムおよびリチウムイオンバッテリーユニットから構成されている。主として道路(幹線道、地域道、農道)の路肩に沿って設置し、各受振点では、1 点あたり 9 個または 3 個の受振器 (ジオフォン、固有周期 10 Hz) がバンチング設置された。OYO Geospace 社製の独立型受振システム GSR は、A/D 変換ユニットとデータ保存用メモリーと GPS システムを内蔵したデータ収録ユニット、ならびにバッテリーユニットから構成されている。MA-2000D と同様に主として道路(幹線道、地域道、林道および農道)の路肩、河川敷および堤防道路に沿って設置した。各受振点では、1 点あたり 9 個または 3 個の受振器 (ジオフォン、10 Hz) がバンチング設置された。

バイブレータ発震:バイブレータによる反射法発震作業は、平成 26 年 7 月 8 日から 7 月 19 日の日中または夕方～夜間に大型バイブレータを 4 台用いて行われた (図 8)。発震作業は、測線全域の投影測線上約 45 km 区間において、25 m 間隔で発震を行い、計 1190 点の反射法発震記録が取得された。住居、周辺施設、路面状況、埋設管などに配慮し、バイブレータの台数や出力を適宜変更しつつ、発震点を確保した。対象が深度 5000 m 以上の深部に及ぶことを考慮し、低周波数帯の発震エネルギーを確保する観点から、反射法ではスイープ周波数 6-50 Hz によりスイープ長は 20 秒、屈折法・広角反射法ではスイープ周波数 6-30 Hz によりスイープ長は 24 秒とした。スタック数は標準 2 回とした。



図 8 バイブレータによる発震作業 (VP1037)

発震制御は、発震制御車または SeaRay 観測車からの無線同期による発震制御 (図 9) を行い、無線を通じて得られたスタート信号によりバイブレータは発震を行い、同様に、SeaRay 観測室では TB 信号を受け取ると同時にデータ収録を開始する。

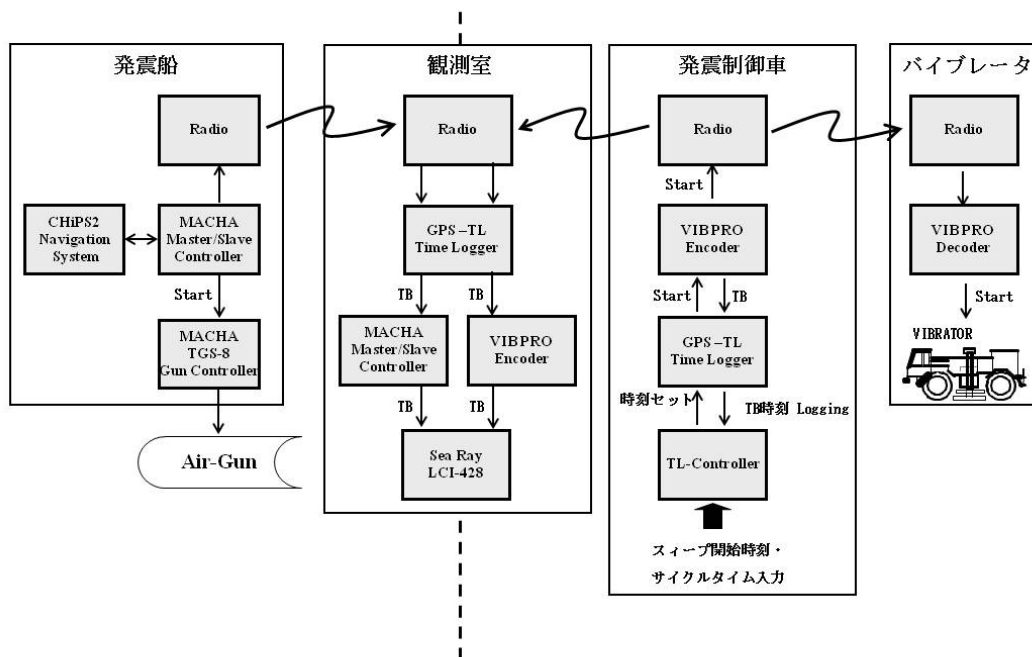


図 9 海陸統合調査におけるバイブレータおよびエアガン発震ダイアグラム

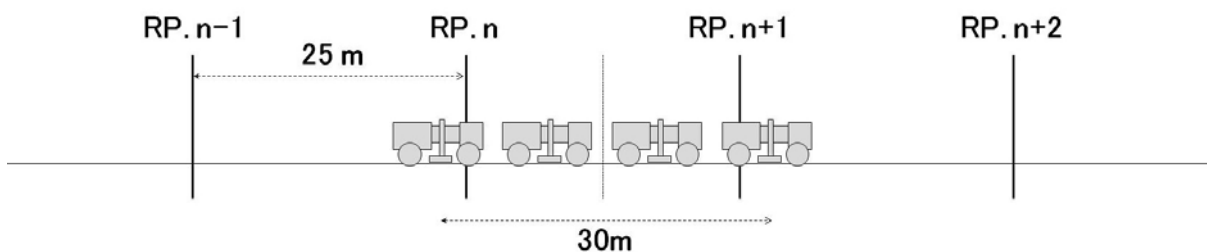


図 10 バイブレータ発震アレイパターン

バイブレータ発震アレイパターンを図 10 に示す。原則として大型バイブレータの場合、約 30 m の固定アレイとする。アレイの中心が 2 受振点の midpoint で発震点位置となる midpoint 発震を標準として作業を行った。

海上エアガン発震：発震作業は、平成 26 年 7 月 19 日および 7 月 20 日の日中に実施された。エアガン発震作業における受振点展開は、全受振点による固定展開とした。使用したエアガン震源は、相互干渉型エアガン(ガン容量 3020 cu.in.、発震圧力 2000 psi)であり、総トン数 685 t の海洋調査船「第七海工丸」に航測システムと共に艀装された。発震作業

では、小型航法システム（CHiPS2）により予定測線上に誘導されるエアガン発震船が予定発震点に達する毎に発震を行い、発震船側からの無線信号により陸上の観測室と同期して観測を行った(図 9)。反射法発震作業では、発震深度は 6 m とし、全長約 18 km の海上測線のうち、水深の浅い海岸から約 2.6 km の区間を除く 15.4 km 区間について 25 m 間隔で発震を実施した。

### iii) 調査仕様

調査仕様は以下のとおりである。

#### 発震系仕様

##### 陸上バイブレータ発震

- ・ 震源 大型バイブロサイス車 4 台(IVI-HEMI)
- ・ 発震点間隔 標準 25 m
- ・ スウィープ長 20 s
- ・ スウィープ周波数 反射法：6～50 Hz、屈折法：6～30 Hz  
(Linear-up sweep、Taper length = 300 ms)
- ・ スウィープ回数 標準 2 回
- ・ アレイパターン ムーブアップなし (有効アレイ長 30 m)
- ・ 総発震点数 (実績) 1190 点

##### 海上エアガン発震

- ・ 震源 大型エアガン：  
‘TRI-GUN’ Cluster[Bolt Long-Life Air-gun 1500LL]  
+ ‘8-GUN’ Array[Bolt Long-Life Air-gun 1900LLXT]
- ・ 調査船舶 発震船(第七海工丸 685 t)
- ・ 発震点間隔 25 m
- ・ 発震深度 6.0 m
- ・ エアガン容量 3020 cu.in
- ・ エアガン圧力 2000 psi
- ・ 総発震点数 1222 点 (テスト発震を含む総数)

#### 受振系仕様

- ・ 受振器 陸上区間：  
ジオフォン： SM-7 / SM-24(10 Hz)  
海底受振ケーブル区間：  
ハイドロフォン： SH001(3 Hz)  
3 成分加速度計： DSU428
- ・ 受振器数/受振点 陸上区間：  
9 個(SM-24：3S×3P)または 3 個(SM-7 / SM-24：3S)  
海底受振ケーブル区間：  
2 個 ( 1 個(SH001) + 1 個(DSU428) )
- ・ 受振アレイ長 バンチング設置(陸上)

・受振点間隔	25 m (陸上区間) 25 m (海底受振ケーブル区間)
・展開長	最大約 53 km (投影測線距離、海域 8 km+陸域約 45 km)
・展開パターン	全域固定展開
・総受振点数	2136 点(海域 320 点+陸域 1816 点)
記録系仕様	
・探鉱機	SeaRay(海底着底型有線テレメトリー方式) 線型位相型 A/D Decimation フィルター MS2000D (独立型受振システム) 線型位相型 A/D Decimation フィルター GSR (独立型受振システム) 線型位相型 A/D Decimation フィルター
・サンプル間隔	4 ms (MS2000D、GSR)、2 ms (SeaRay)
・記録長	反射法： 32 s (SeaRay、但し相互相関後は 12 s) 屈折法： 40 s (SeaRay、但し相互相関後は 16 s) 連続観測 (MS2000D および GSR、 但し相互相関後は 12 s または 16 秒)
・プリアンプゲイン	12 dB (SeaRay)、31 dB (MS2000D)、30 dB (GSR)
・チャンネル数	最大 2136 (海底受振ケーブルは 1 点につき 1 チャンネルとして計算)
・相互相関	CAS (Corralation After Stack)
・ノイズエディット	ウィンドー長 = 4.0 s、オーバーラップ長 = 2.0 s、 冪乗係数=3.0

#### iv) 測量作業

陸上では、ネットワーク型 RTK-GPS 法 (VRS 方式) の単点観測法により受・発震点を直接測定した。直接 GPS-RTK 測量で観測が実施できないエリアにおいて、ネットワーク型 RTK-GPS 法 (VRS 方式) の単点観測法により基準点を新設し、その基準点を既知点として、測線付近に多角測量及び細部測量を実施した。標高値は間接水準測量による。

海上測量作業は Differential GPS を利用して行われた。リファレンス局として海上保安庁が運営する DGPS 基準局を利用した。受振ケーブル敷設位置は、小型航法システム CHiPS2(地球科学総合研究所)によって受振ケーブル船を誘導し、予定受振点位置に投下した。ケーブルには一定間隔で音響測位システムのトランスポンダ装置が装着されており、ケーブル投下後、音響測位システム船上装置を動作させながらケーブル敷設測線沿いに航行して各トランスポンダ装置の位置観測を行い、最終的に観測された各トランスポンダ装置位置間を内挿計算して、各受振器位置を算出した。

v) 観測記録

図 11 に調査測線全域でのバックグラウンドノイズの空間時間変化を示す。海岸の平野区間では、海岸に沿って交通量の多い「のと里山海道」があるため比較的ノイズレベルが高いが、農道沿いの設置区間は比較的ノイズレベルは低い。宝達丘陵区間では、山間部で車両交通量は少なく、全般的にノイズレベルが低く静穏な環境である。砺波平野区間では、小矢部市と砺波市の市街地が近く生活雑音が多く、ノイズレベルが高い。射水丘陵区間は山間部となり、全般的にノイズレベルの低い静穏な環境であった。

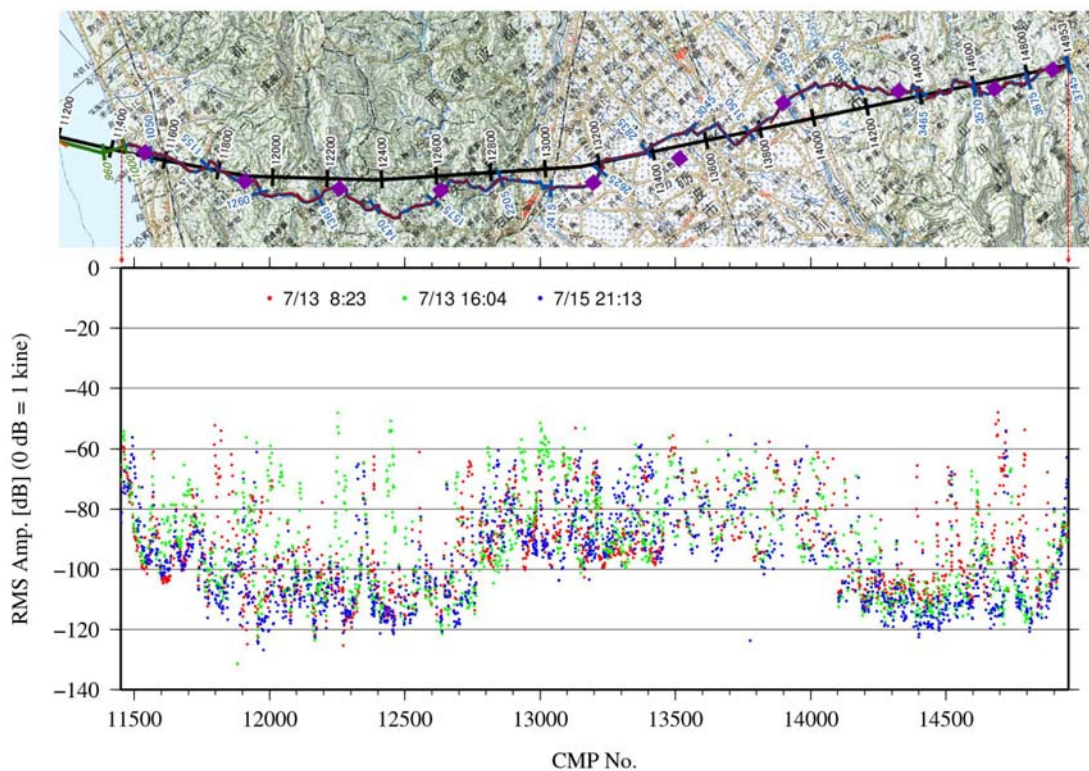


図 11 バックグラウンドノイズの時間および空間変化

図 12-14 に反射法発震記録を示す。海岸の平野区間では、海岸に沿って交通量の多い「のと里山海道」があるため比較的ノイズレベルが高いが、農道沿いの設置区間は比較的ノイズレベルは低い。宝達丘陵区間では、山間部で車両交通量は少なく、全般的にノイズレベルが低く静穏な環境である。砺波平野区間では、小矢部市と砺波市の市街地が近く生活雑音が多く、ノイズレベルが高い。射水丘陵区間は山間部となり、全般的にノイズレベルの低い静穏な環境であった。

陸域バイブレータ発震について、各発震点での標準重合回数は 2 回と少ないものの、発震受振の好条件のものでは、オフセット距離 10 km を超えて初動走時を確認することができ、2 秒から 3 秒程度まで反射波の存在を確認することができる。砺波平野内では、ノイズレベルの高い受振環境であるとともに、発震の出力も全般的に低いためエネルギーの伝

播が相対的に低い。しかし、砺波平野内の堆積層を示す反射波を捉えているのを確認できる。

海域の大型エアガンは発震エネルギーが大きく、受振区間の広範囲で初動の到達を確認できる。反射波については、1.5 秒以下の浅部の地層境界からの明瞭な反射波のほか、3 秒以上の比較的深部の反射波もオフセット距離 15 km 以下の領域で確認ができる。

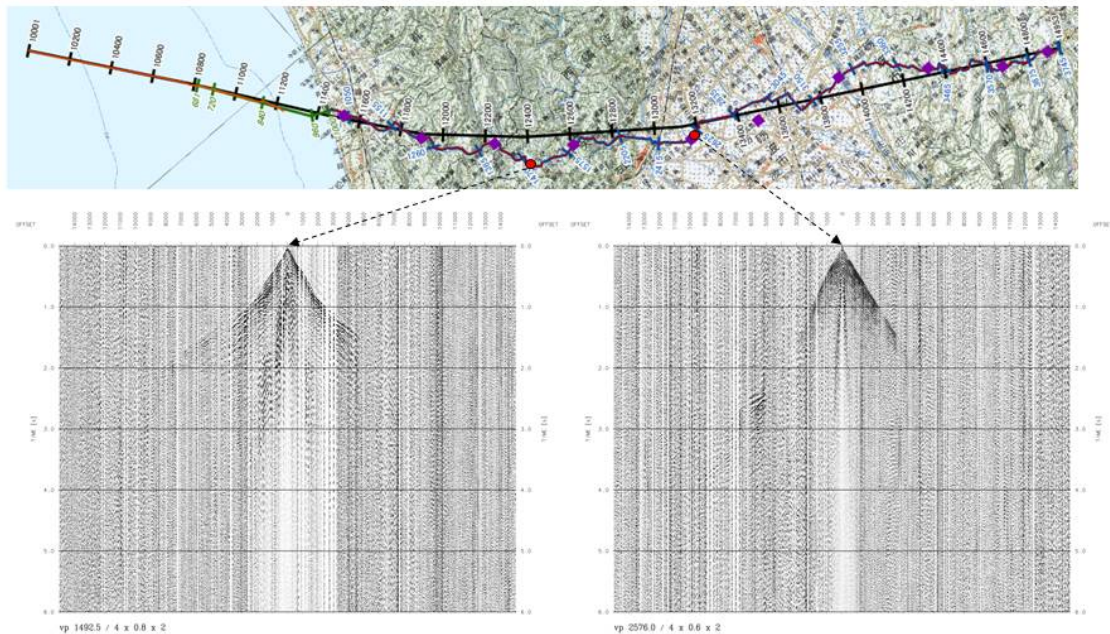


図 12 バイブレータによる反射法発震記録例。VP 1492.5, VP 2576.0

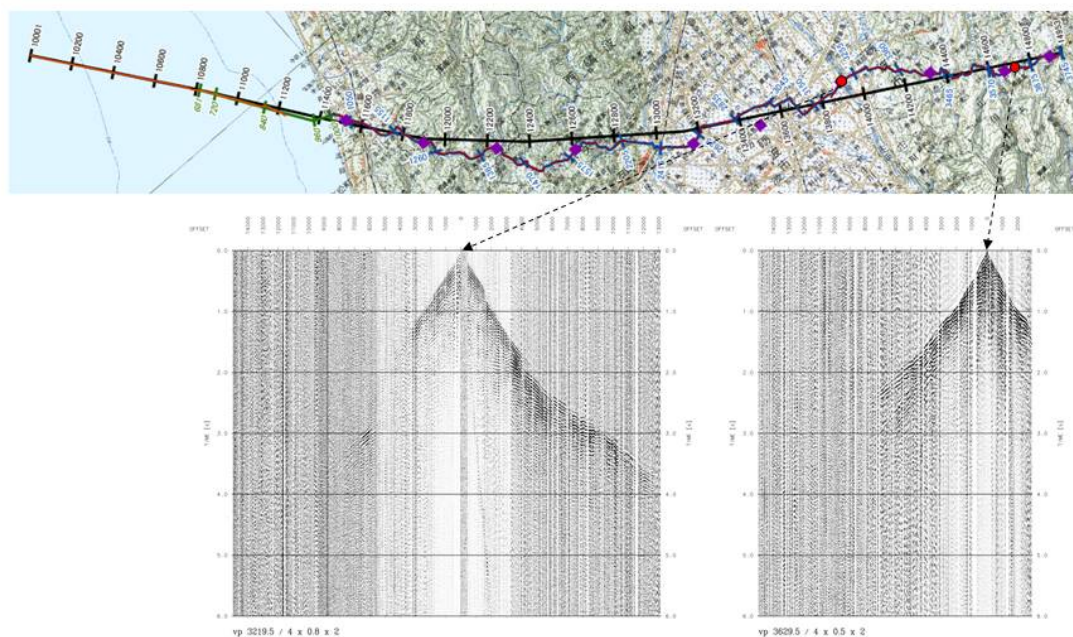


図 13 バイブレータによる反射法発震記録例。VP 3219.5, VP 3629.5



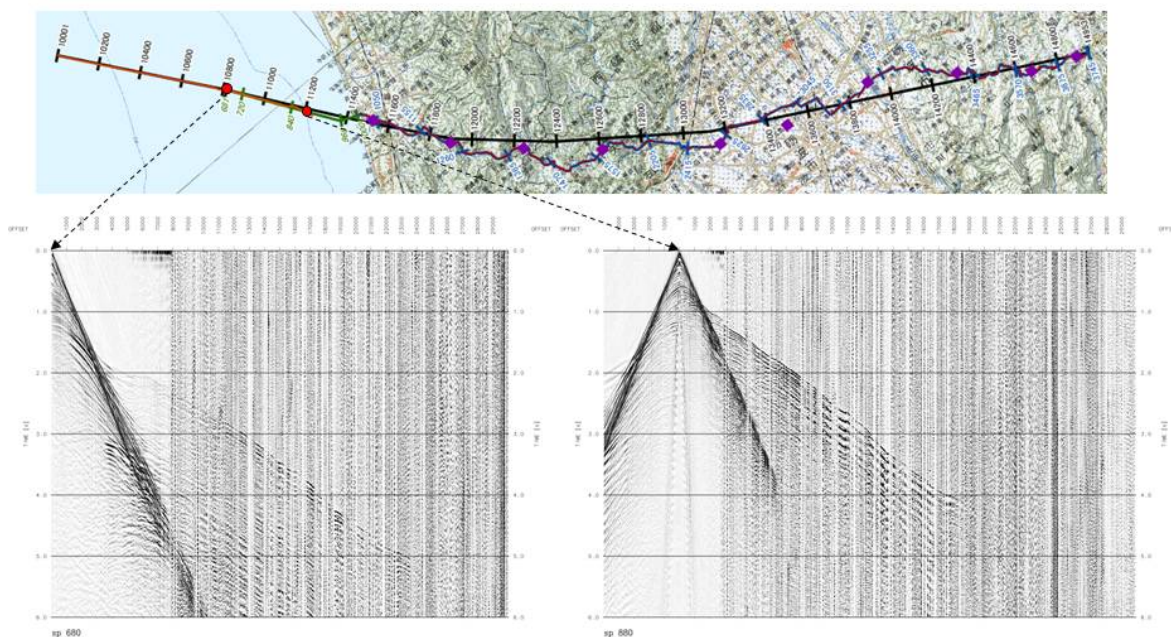


図 14 エアガンによる反射法発震記録例。 SP 680, SP 880

#### b) 北陸-鳥取沖海上反射法調査

##### i) 調査測線

本調査では、福井県沖から鳥取県沖に至る北陸沿岸域において、下記の 10 測線の海上反射法調査を実施した (図 4)。

##### 若狭湾沖海域

- ・ W-1 福井県あわら市沖から北西へ沖合に至る 40 km 区間
- ・ W-2 福井県丹生郡越前町沖から北西へ沖合に至る 40 km 区間
- ・ W-3 福井県小浜市海岸から約 25 km 北方地点から北西へ沖合に至る 40 km 区間
- ・ W-4 福井県あわら市沖合から京都府舞鶴市沖合に至る 75 km 区間

##### 山陰沖海域

- ・ R-1 京都府京丹后市沖から北北西へ沖合に至る 35 km 区間
- ・ R-2 兵庫県美方郡香美町沖から北北西へ沖合に至る 40 km 区間
- ・ R-3 兵庫県美方郡香美町沖から北北西へ沖合に至る 40 km 区間
- ・ R-4 鳥取県西伯郡大山町沖から北北西へ沖合に至る 40 km 区間
- ・ R-5 京都府京丹后市沖合から鳥取県西伯郡大山町沖合に至る 140 km 区間

##### ii) 二船式海上反射法調査

平成 26 年 7 月 23 日から 7 月 28 日まで、計 9 測線について、二船式による反射法地震探査データ取得を実施した。データ取得作業は、2 交代 (12:00~24:00、24:00~12:00) による 24 時間体制にてデータ取得を行った。

本調査では沿岸海域における作業の安全性、航行船舶や漁業活動への影響を考慮し、全長約 2,000 m の比較的短いストリーマーケーブルを使用した。一方で深部地殻構造の抽出に足るオフセット距離を確保するため、大型エアガン(ガン容量 3020 cu.in.、発震圧力 2000 psi)を搭載した発震船(第七海工丸)と、ストリーマーケーブルと小型エアガン(ガン容量 1050 cu.in.、発震圧力 2000 psi)を搭載した観測船(かいゆう)(図 15)の二船を同一測線上に航行させ、二船間の距離を一定に保ちながら、両船による交互発震または発震船のみの発震記録を取得する二船式反射法地震探査を実施した。それぞれのエアガンレイ構成を(図 16)に示す。また、警戒船(第八海工丸)が測線の予察および航行船舶や漁具の警戒作業を行った。

二船式反射法データ取得では、一つの測線について二船間の距離を変えて複数回航行することにより、それぞれでオフセット距離の異なるデータが取得され、複数回のデータを結合することで長大ストリーマーケーブルを曳航したときと同等のデータが取得できる。ただし、本調査では、二船間の距離を約 2 km に保ち、最大オフセット距離 4 km のデータを取得した。図 17 に二船式海上反射法におけるデータ取得レイアウトを示す。



図 15 観測船(かいゆう、左)と発震船(第七海工丸、右)。

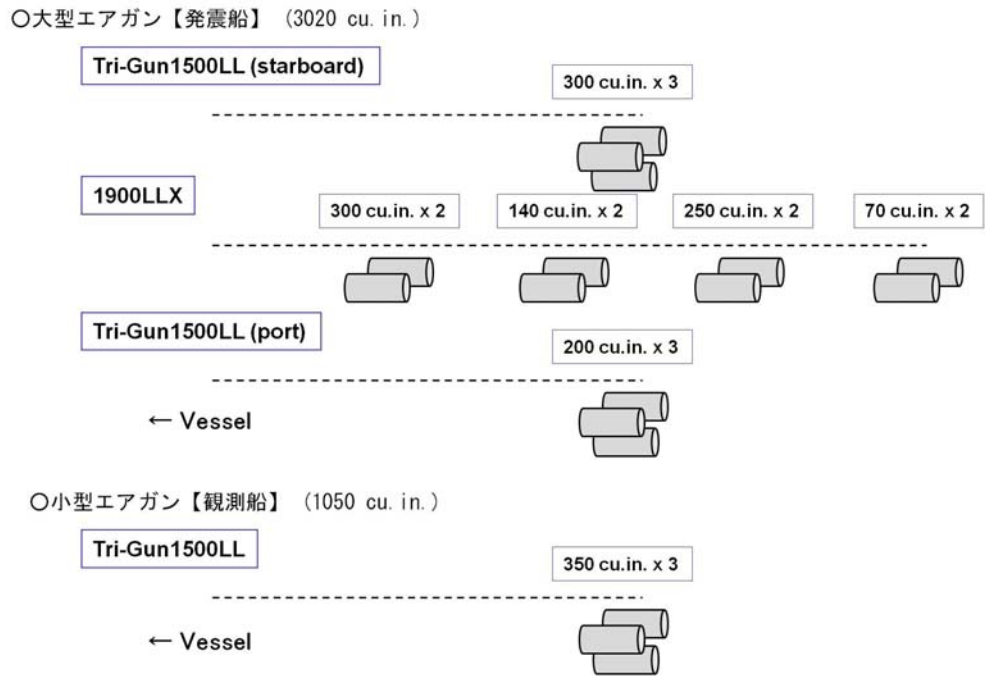


図 16 エアガン発震アレイ構成図

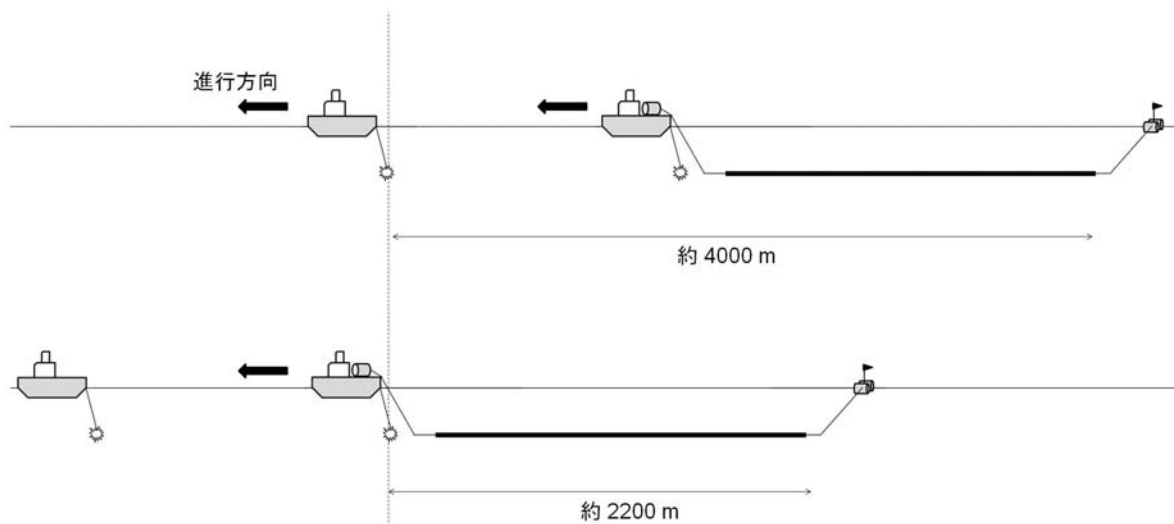


図 17 二船式海上反射法データ取得レイアウト

iii) 二船式エアガン交互発震作業

エアガン震源は、発震船には大型エアガン(3020 cu.in.)、観測船には小型エアガン(1050 cu.in.)のいずれも相互干渉型エアガンが用いられた。発震深度は観測船の小型エアガンと発震船の大型エアガンはともに6mとした。本調査では、二船の交互発震または発震船のみの発震が行われた。それぞれの発震は観測船側で制御され、小型航行システム(CHiPS2)を用いて予定測線への誘導される観測船が予定発震位置に達すると、観測船側には有線によって、発震船側には無線によって発震信号が伝達され、発震を行った。同時に、観測室内の探鉱機に対してTB(time break)信号が有線にて伝達され、データ収録が開始される。発震船のみで発震を行う場合も同様に、観測船側からの無線による発震信号によってエアガン発震が行われる。発震船側で発震が正常に行われたときは、発震時の発震位置、発震時刻、発震点番号などの情報が無線伝送される。図18に二船式反射法におけるエアガン発震ダイアグラムを示す。

本調査では、観測船側にSercel社のSEALシステムが使用された。約2,000mのストリーマ・ケーブル(図19)に内装されたハイドロフォンにより、観測船および発震船のエアガン発震記録を取得した。曳航深度は、6mを標準として、波浪ノイズが卓越した場合には、ケーブル深度を適宜変更してデータ取得を行った。

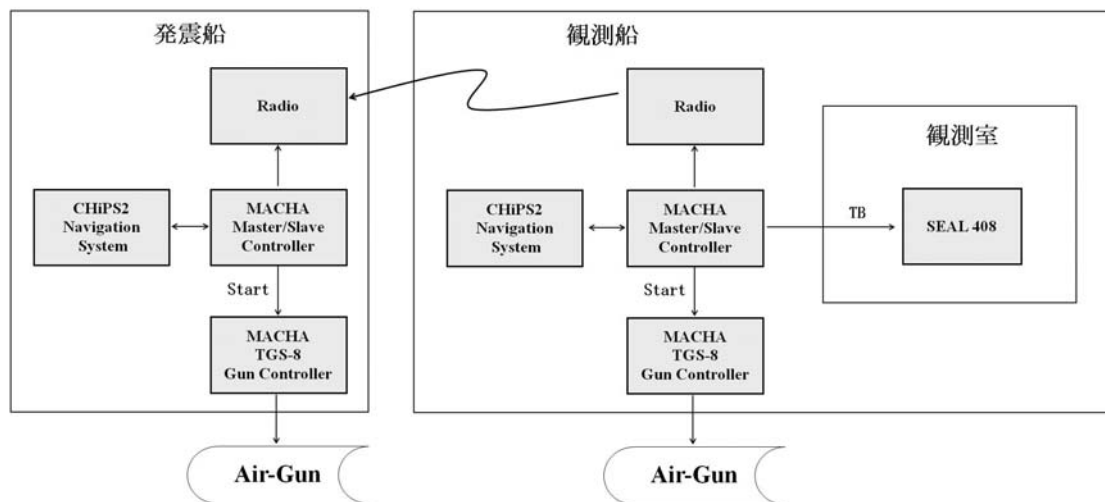


図18 二船式海上反射法におけるエアガン発震ダイアグラム

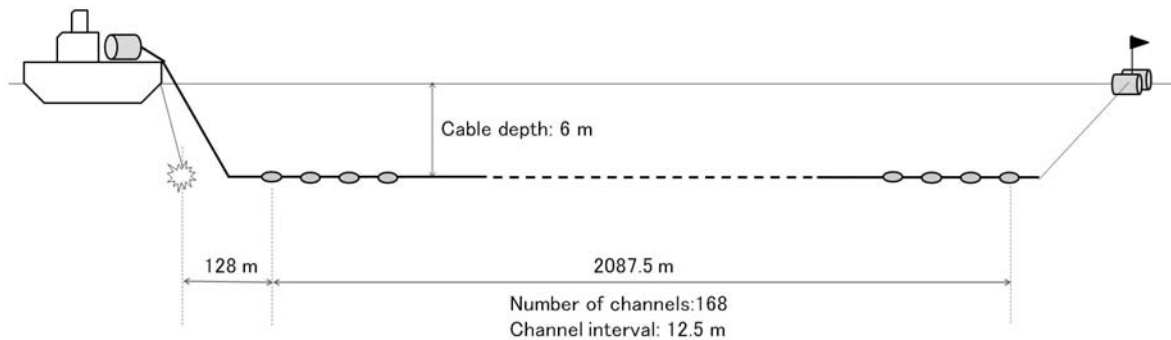


図 19 ストリーマーケーブル構成図

iv) 調査仕様

発震系仕様(海上エアガン発震)

- ・ 震源
  - 大型エアガン (3020 cu.in.)
  - ‘TRI-GUN’ Cluster[Bolt Long-Life Air-gun 1500LL]
  - + ‘8-GUN’ Array[Bolt Long-Life Air-gun 1900LLXT]
  - 小型エアガン (1050 cu.in.)
  - ‘TRI-GUN’ Cluster[Bolt Long-Life Air-gun 1500LL]
- ・ 調査船舶
  - 大型エアガン (発震船、第七海工丸 685 t)
  - 小型エアガン (観測船、かいゆう 1229 t)
- ・ 発震点間隔
  - 50 m
- ・ 発震深度
  - 6.0 m
- ・ エアガン容量
  - 3020 cu.in (大型エアガン)
  - 1050 cu.in. (小型エアガン)
- ・ エアガン圧力
  - 2000 psi
- ・ 総発震点数
  - 9,789 点

受振系仕様

- ・ 受振器
  - SEAL デジタルストリーマケーブル
- ・ 受振器数/受振点
  - 1 個 (ハイドロフォン 3 Hz)
- ・ 受振点間隔
  - 12.5 m
- ・ ケーブル長
  - 2 km
- ・ 受振点数
  - 168 点

記録系仕様

- ・ 探鉱機
  - SEAL デジタルストリーマ探鉱機
- ・ サンプル間隔
  - 2 ms

・ 記録長	10 s
・ プリアンプゲイン	0 dB
・ チャンネル数	168

#### v) 測量作業

海上測量準備作業として、エアガン発震船の発震制御は震源位置を基準としたため、予め各調査船の GPS アンテナから震源位置までのオフセット距離を算出し、この値を小型航法システム CHiPS2(地球科学総合研究所)に設定して、常に設定したオフセットポイントを基準として観測作業を行うこととした。また、事前に予定測線の予察・水深測定を行い、定置網及びブイ等の障害物の詳細な位置及び水深値を事前に把握し、各調査船の進入可能範囲を確認すると共に、エアガン発震深度及び実際の発震、ストリーマーケーブル曳航範囲を決定した。海上測量作業は Differential GPS を利用して行われた。リファレンス局として海上保安庁が運営する DGPS 基準局を利用した。各調査船の誘導は、小型航法システム CHiPS2 によって行われた。ストリーマーケーブル受振点位置は、観測船の位置情報及びデプスコントローラ（ストリーマーケーブルに 150 m または 300 m 毎に装着）に内蔵されたコンパスの値を基に計算した。観測作業は、DGPS 基準局から毎秒送信される DGPS 補正データによって補正された GPS 受信機からのデータを利用し、測線に対するジオメトリーや船速等の情報は CHiPS2 により計算した。

#### vi) 観測記録

図 20、21 に二線式反射法によるエアガン発震記録の例を示す。ケーブル長は約 2 km なので、同一発震点における小型エアガン(1050 cu.in.)による 0~2 km の記録と大型エアガン(3020 cu.in.)による 2~4 km の記録を並べて示す。総じて記録品質は良く、明瞭な反射波や屈折波が確認された。測線上に漁具や浮遊物のあるときや船舶の往来時には、回避するために測線から数 100 m の単位で測線から離れることがあり、その際にはフェザリングしたケーブルの水深制御用バードが抵抗を受けるためノイズが生ずることがある。山陰沖では、西から東へ向かう海流の影響を強く受ける区間があった。海流または波浪の影響によりノイズが目立つ場合にはケーブル深度を通常 6 m から 10 m に変更して対応した。エネルギーロスが少なく海底と海面を複数回反射するために現れる多重反射波も一部では卓越しており、これは水深の変化により繰り返し時間が異なる。水深の浅い場合には、屈折波を伴う短周期の多重反射波も見られた。

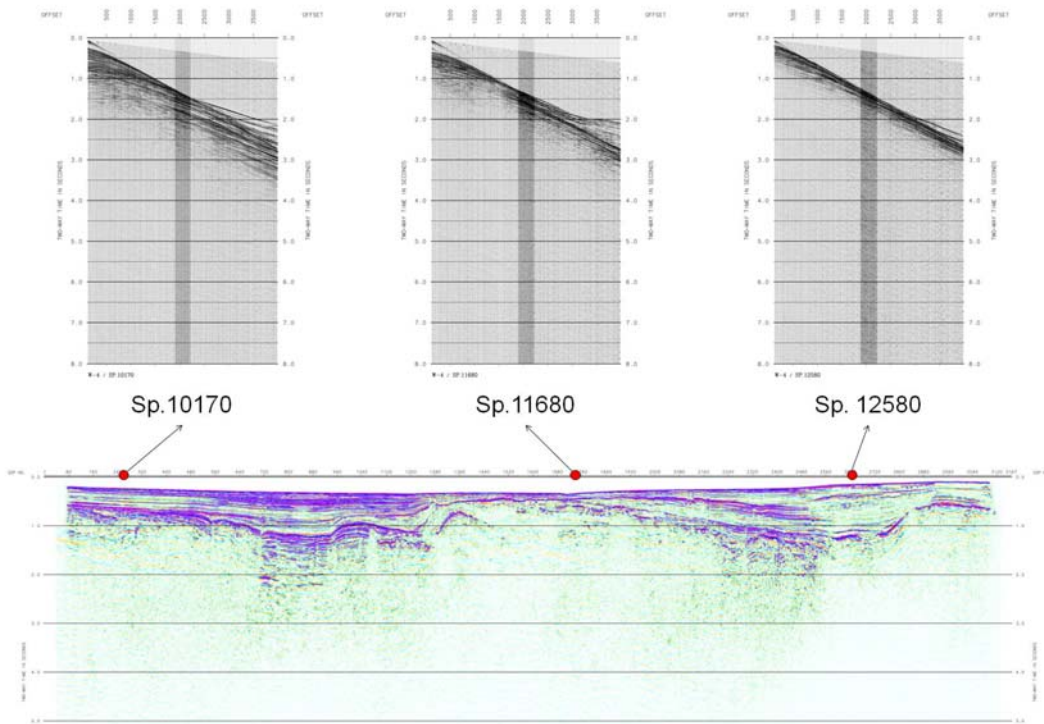


図 20 発震記録例：北陸-鳥取沖海上反射法調査 [1] W4 測線

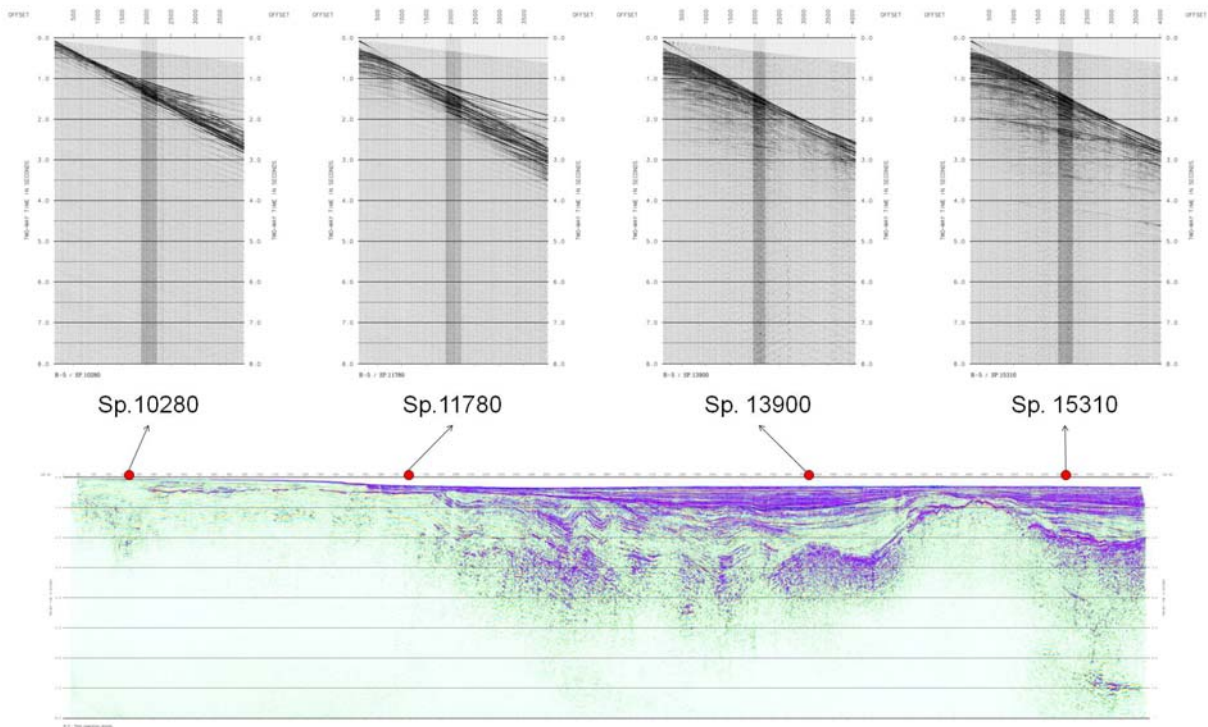


図 21 発震記録例：北陸-鳥取沖海上反射法調査 [2] R5 測線

### 3) データ解析

本節では、反射法データ解析ならびに屈折法データ解析について、データ解析内容を記述する。各データ解析作業は相互に関連しており、このため以下の記述では各データ解析項目間で順序が前後する部分がある。

#### a) 「かほく-砺波測線」海陸統合調査測線 反射法データ解析

本節では、「かほく-砺波測線」海陸統合反射法調査測線（測線長約 64 km）のデータ解析内容について記述する。図 22 にデータ処理フローを示す。

##### i) フォーマット変換およびデータ編集(Format Conversion and Data Compilation)

フィールドデータに記録された原記録(SeaRay、MS2000、GSR)について、SuperX(JGI Internal Format)フォーマットへ変換を行った。また、エアガン発震記録とパイブレータ発震記録はともに、観測時には発震作業の制約によって適宜変更された発震順序から、発震測線上に設定された発震点番号の昇順に従って並べ替えを行った。さらに、S/N 比が著しく低く、初動が判別できないトレースを処理対象から除外した。反射法データ解析結果には、本調査で取得された全ての発震記録の寄与が含まれる。

海上エアガン反射法発震 : SP.274 - 893 (620 点)

陸上パイブレータ反射法発震 : VP.1007 - 3738 (1190 点)

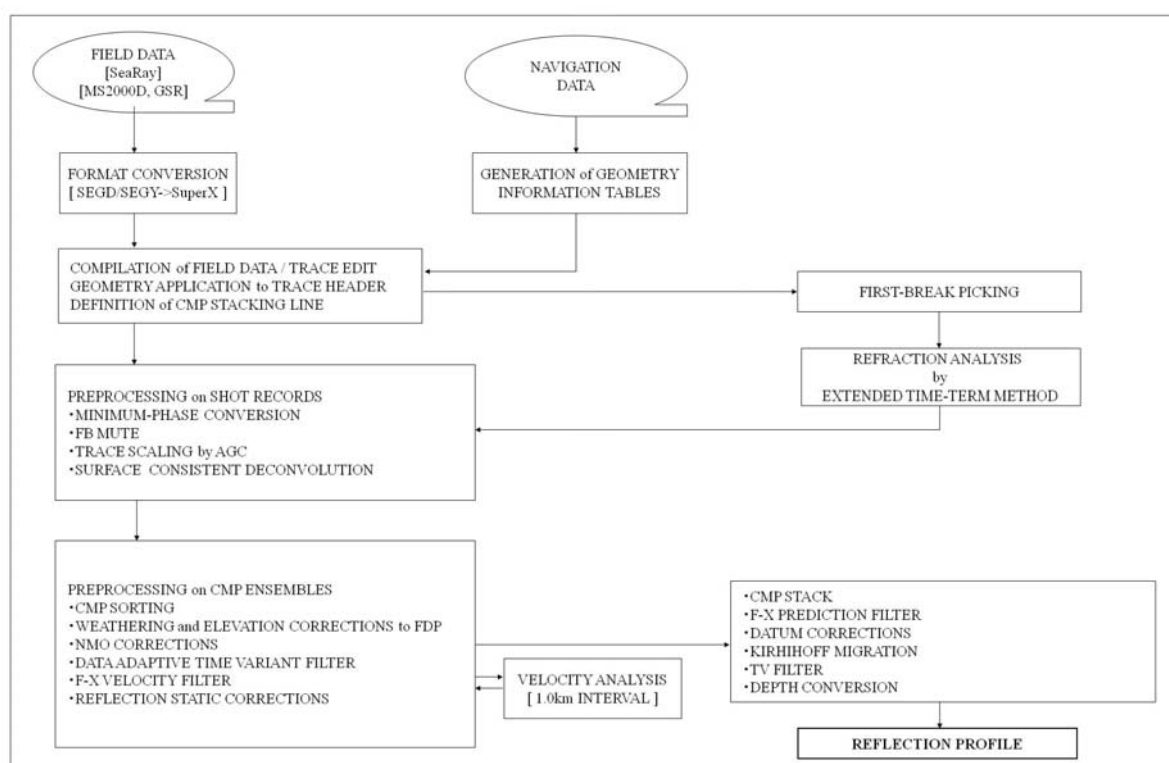


図 22 反射法データ処理フロー

##### ii) トレースヘッダーへの測線情報の入力( Geometry Application )

SuperX トレースヘッダーに関して、発震点、受振点および CMP の各インデックス、座



標、標高値、オフセット距離、基準面標高値等の測線情報を入力した。データ解析における基準標高面は平均海面位置に設定した。また、CMP 重合測線は受振測線の屈曲度および測線上の主要活断層走向に関する直交性を考慮して決定した。

CMP 間隔 : 12.5 m  
 CMP 範囲 : 10,001 – 14,953

図 23 に、CMP の各種情報(重合数分布およびオフセット距離分布)を示す。

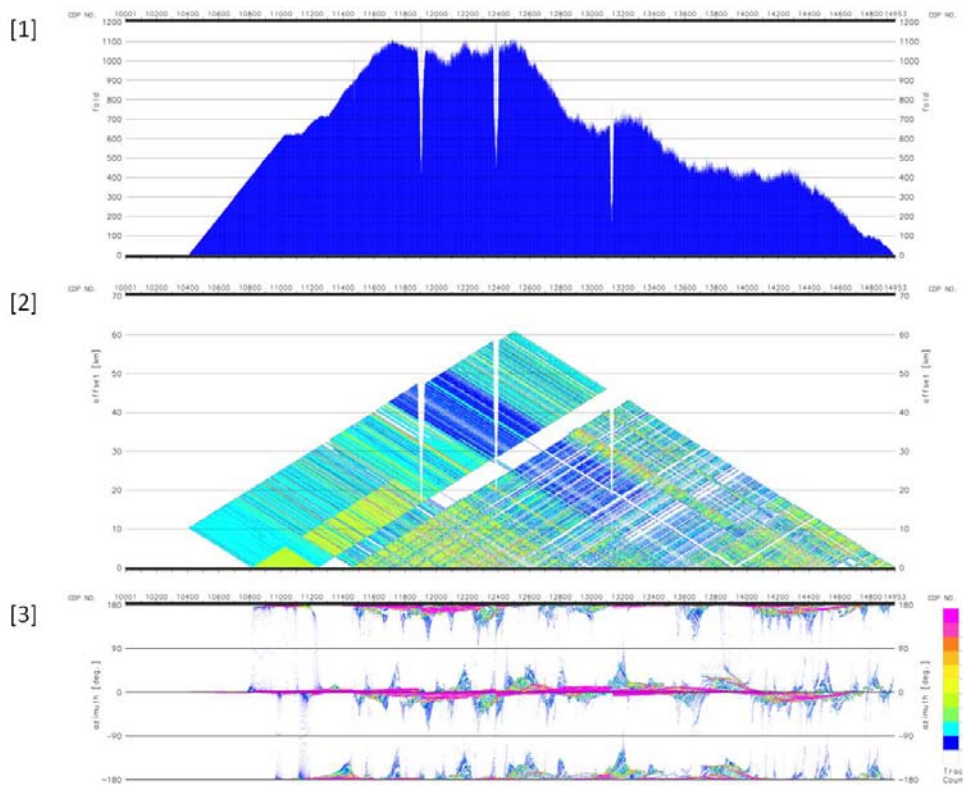


図 23 CMP 各種情報表示

[1] 重合数分布 [2] オフセット距離分布 [3] アジマス分布

### iii) 屈折波初動解析 (Refraction Analysis)

タイムターム法による屈折初動解析を行い、受振点および発震点タイムターム値と表層基底層速度を算出した。タイムターム法解析には、以下のパラメータを採用した。

初動読み取り位相 : 正のピーク位置  
 表層基底速度を求める際のブロック区分 : 1,000 m  
 屈折波インバージョンに用いるオフセット距離 : 300–900 m

図 24 に改良型タイムターム法による解析結果を示す。

### iv) 最小位相変換 (Minimum Phase Conversion)

バイブレータ発震記録については、零位相であるバイブレータ震源波形(探鉱機 A/D Decimation Filter(DCF)および相互相関処理実施後のスイープ波形)について、最小位相変換処理を適用した。エアガン発震記録については、本観測に対応するエアガン震源波形

観測記録（同一エアガン構成かつ同一エアガン発震深度仕様による既存震源波形記録）を利用して最小位相変換処理を適用した。

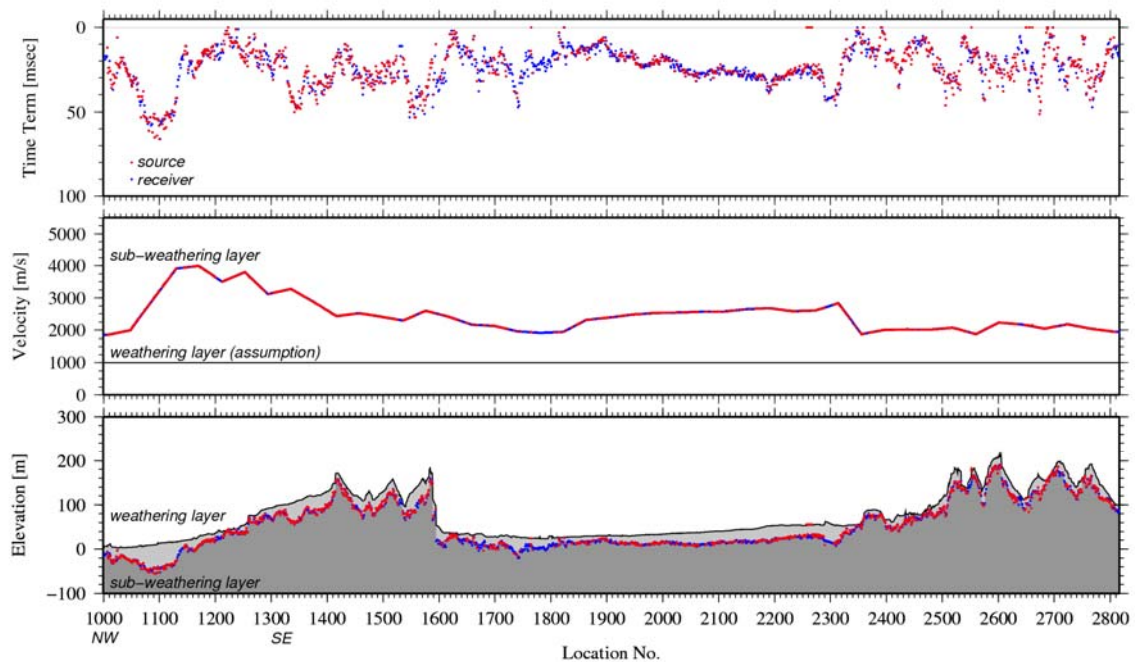


図 24 タイムターム法によって推定された陸域表層構造図

v) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

零位相帯域通過フィルターを適用した。

通過帯域 : 3/5 – 60/65 Hz

vi) デコンボリューション (Deconvolution)

震源波形、地層効果、記録系の集積としての基本波形を地震トレースから推定・除去し、記録の分解能向上を図るためにデコンボリューションを適用した。トレース毎に行うデコンボリューションとサーフェスコンシステントデコンボリューションについて比較を行い、反射波の連続性等の観点から、サーフェスコンシステント型デコンボリューションを適用した。

予測距離	: 4.0 ms
設計ゲート長	: 2000 ms
オペレータ長	: 300 ms
一時的な AGC のウィンドー長	: 300 ms
プリホワイトニングファクター	: 0.5 %
ゲートタイプ	: Non-tv
アルゴリズム	: サーフェスコンシステント型

vii) 共通反射点編集( Common Midpoint Sorting )共通反射点の編集を実施した

viii) データアダプティブ時間変化フィルター(Data Adaptive Time Variant Filter)

ショット記録上に見られる陸域と浅海域に見られる表面波、エアガン発震に伴う水中直達波の抑制を目的として、データアダプティブ時間変化フィルターを適用した。

一時的 AGC ウィンドー長	:	300 ms
周波数帯域	:	1 – 125 Hz
リファレンスレベル	:	平均振幅値の上位 5 %
スケーリング閾値	:	リファレンスレベルの 5 倍

ix) コヒーレントノイズ抑制処理(Coherent Noise Suppression)

バイブレータ発震記録とエアガン発震記録について、震源に起因する反射波とは異なる線型ノイズ(表面波、水中直達波)を抑制することを目的に、時間-空間領域の速度フィルターを適用した。速度フィルターは、NMO 補正後の共通発震点アンサンブルについて、下記の抑止帯域を設定した。

一時的 AGC ウィンドー長	:	500 ms
抑止帯域 (対称)	:	0 ~ 2000 m/s

x) 浮動基準面に対する静補正( Static Corrections to FDP )

浮動基準面に対する静補正を実施した。静補正については、標高補正量および表層補正量の和として各発震点、受振点について与えられる。本調査の基準面(Datum)は平均海面位置に設定された。絶対値の大きい標高補正值の適用を回避するため、CDP に近接する受振点標高を基に長波長成分を抽出して CMP アンサンブル上において平均標高を定義し浮動基準面( FDP: Floating Datum Plane)とした。

xi) 重合速度解析( Stacking Velocity Analysis )

以下に示す定速度重合法による速度解析を実施した。

解析点間隔	:	1,000 m
解析速度範囲	:	1,450 – 7,000 m/s

xii) NMO 補正( Normal Moveout Corrections )

速度解析によって求められた重合速度-時間の関数を時間-空間方向に内挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。同時に、下記のストレッチミュートを実施した。

ストレッチミュートファクター	:	2.0
----------------	---	-----

xiii) 重合前振幅調整( Amplitude Conditioning before Stacking )

トレース間の振幅バランスを調整するため、自動振幅調整(Instantaneous AGC)による振幅補償を行った。

ウィンドー長	:	300 ms
--------	---	--------

xiv) 残差静補正( Residual Static Corrections )

NMO 補正後の CMP アンサンブルを入力として、基準トレースとの相互相関関数から得られる最大ラグ値を用いてサーフェス・コンシステントな発震点および受振点毎の残差静補正量をインバージョンによって統計的に求めた。

時間シフトの最大許容値 : 16 ms  
時間ウィンドー : 500 ms – 2500 ms

xv) 共通反射点重合処理(CMP Stacking)

NMO 補正および残差静補正適用後の共通反射点アンサンブルに関して、水平重合処理を実施した。

xvi) 周波数–空間領域予測フィルター( F-X Prediction Filter )

重合後時間断面に対して、ランダムノイズを抑制し相対的に S/N を向上させる周波数-空間領域複素型予測フィルター (F-X 予測フィルター) を適用した。

オペレータ長 : 5 CDPs  
空間ウィンドー長 : 50 CDPs  
時間ウィンドー長 : 1000 ms  
ウィンドーオーバーラップ長 : 750 ms

xvii) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

零位相帯域通過フィルターを適用した。

通過帯域 : 5/6 – 60/65 Hz

xviii) 基準面補正( Datum Corrections ) 浮動基準面から基準面への時間補正を適用した。

xix) 重合後時間マイグレーション( Post-Stack Time Migration )

時間断面上の反射点位置を実際の位置に移動させ、回折波を回折点に復元することを目的として重合後時間マイグレーションを適用した。マイグレーション速度には時間および空間方向に平滑化した重合速度を用い、アパチャー及び最大傾斜角を制御したキルヒホッフ型時間マイグレーションを適用した。

最大アパチャー	5 km
最大傾斜角	50 度 (0 ms) 40 度 (1,000 ms) 30 度 (2,000 ms~)

xx) 時間空間変化帯域通過フィルター( Time-space-variant Bandpass Filter )

以下の時間方向に通過帯域の変化する零位相帯域通過フィルターを適用した。

時間 [ms]	周波数帯域 [Hz]
0	5/6 – 50/55
2000	5/6 – 45/50
4000	5/6 – 35/45
8000	5/6 – 30/35

xx i) 深度変換(Depth Conversion)

速度解析結果を元に、時間および空間方向に平滑化した平均速度分布を用いて、バーティカル・ストレッチ(vertical stretch)法による深度変換を実施した。

以上の処理により得られた、CMP 重合処理断面図と時間マイグレーション断面図を、それぞれ図 25 と図 26 に示す。また、この時間マイグレーション記録を用いて深度変換を実施した結果を、図 27 に示す。

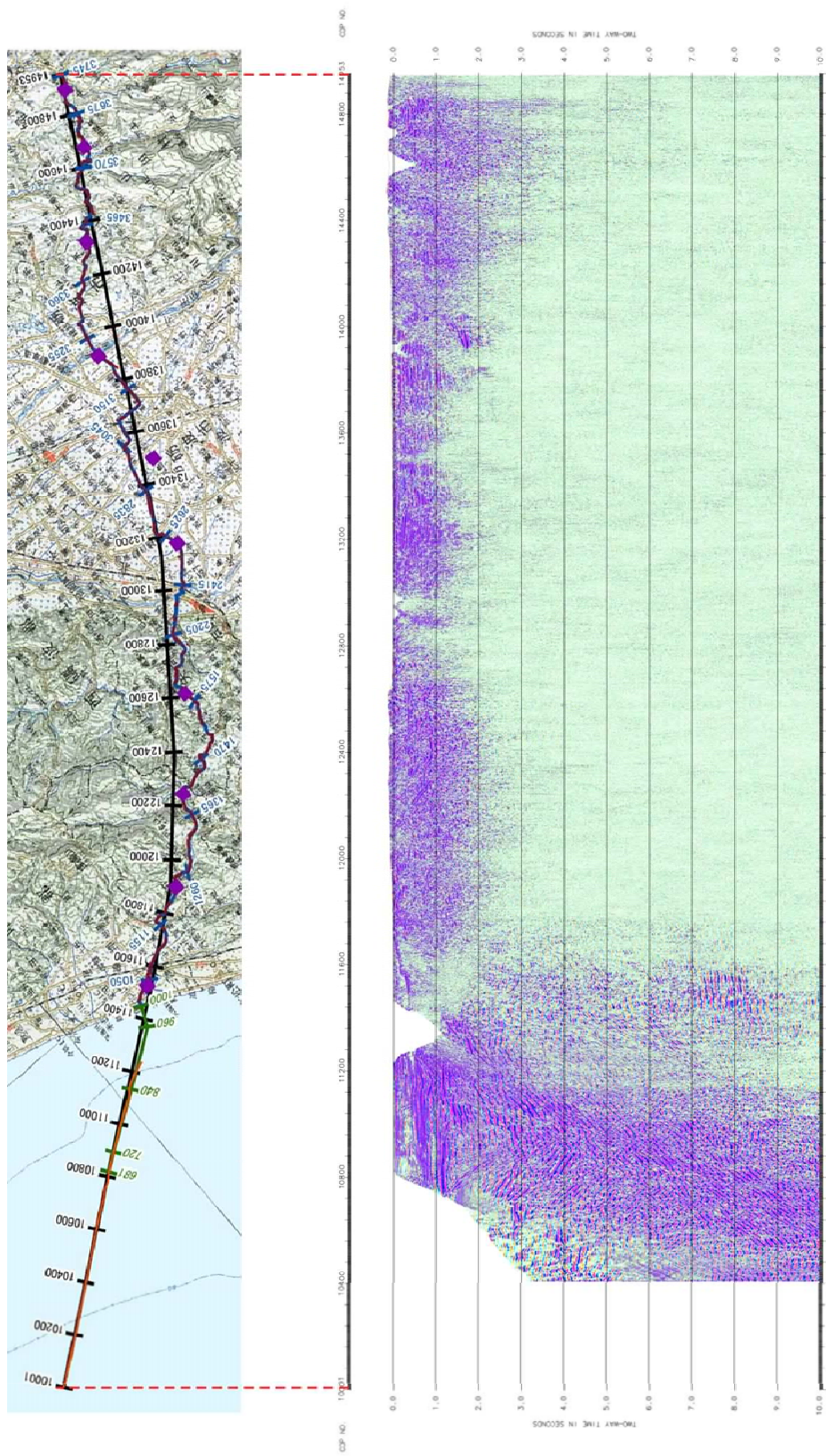


図 25 CMP 重合断面図 (時間断面)

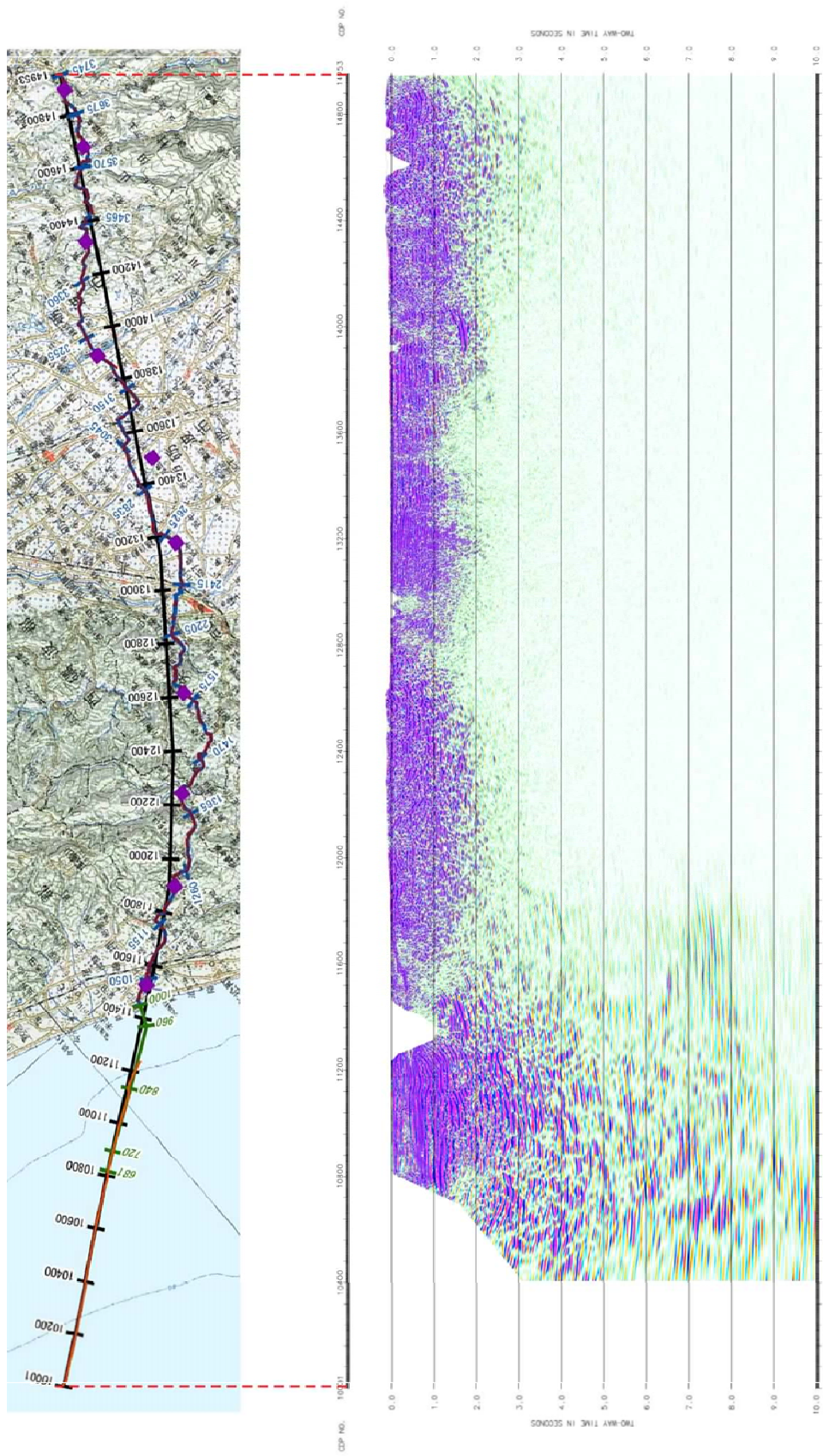


図 26 重合後時間マイグレーション断面図 (時間断面)

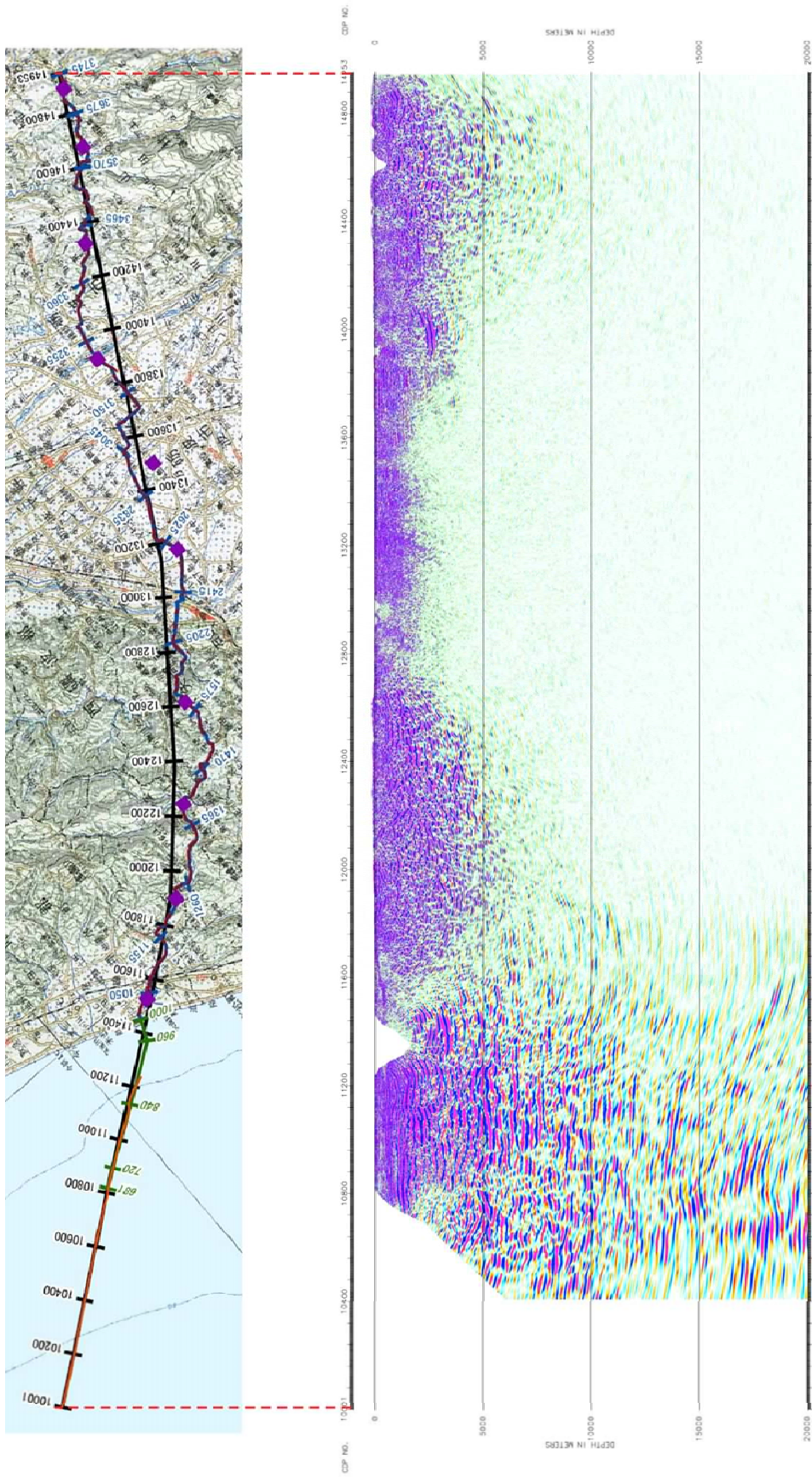


図 27 重合後時間マイグレーション深度断面図



## b) 屈折法データ解析

本節では、反射法地震探査記録を用いた屈折法解析について記述する。これらの反射法地震探査記録の屈折初動走時を用いて、図 28 の屈折法処理フローに従って、屈折トモグラフィ解析による速度構造モデル構築を行う。

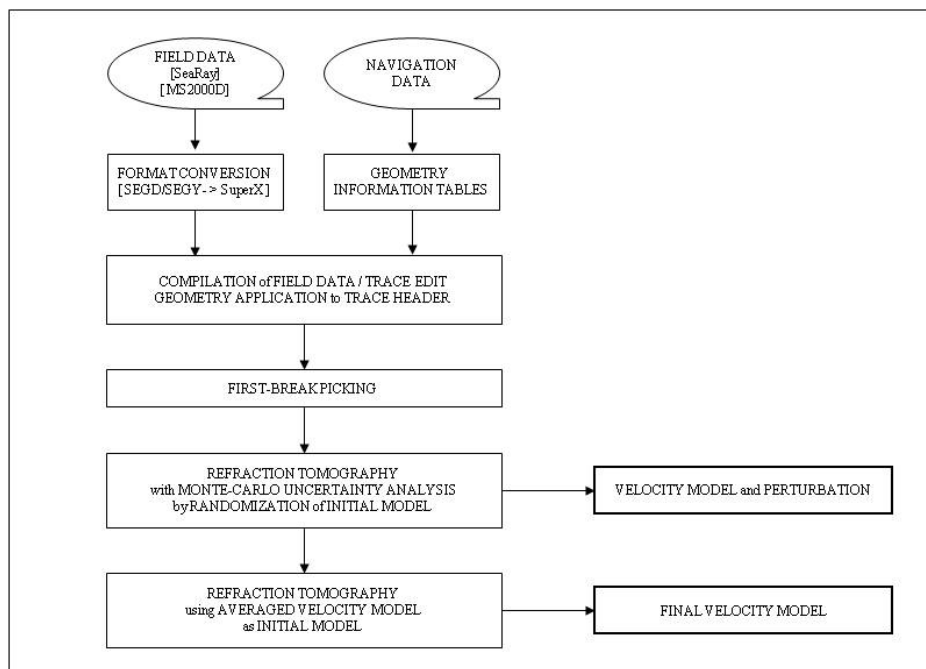


図 28 屈折法解析フロー

### i) フォーマット変換およびデータ編集 (Format Conversion and Data Editing)

フィールドデータから SuperX(JGI Internal Format)フォーマットへ変換を行った。トモグラフィ解析に用いるデータは、下記の通りである。

陸上 / バイブレータ屈折法発震 : 10 点  
海上 / エアガン反射法発震 : 2 点

### ii) トレースヘッダーへの測線情報の入力 (Geometry Application)

SuperX トレースヘッダーに関して、発震点および受振点のインデックス、座標、オフセット距離等の測線情報を入力した。

### iii) 屈折初動の読み取り (First Break Picking)

屈折波初動の読み取りは、会話型システム(地球科学総合研究所ソフトウェア'iRAS')によって行った。初動読み取り位相は最初のピーク位置とした。

### iv) トモグラフィ解析 (Turning-Ray Tomography)

読み取りを行った初動走時データを用いて、屈折初動走時トモグラフィ解析を実施し

た。一般に速度構造が鉛直勾配を伴うと屈折波はターニング・レイ(turning ray)として存在する。トモグラフィ解析は、最も精度の高い速度構造の推定に寄与するものと考えられる。以下に、この屈折法解析の解析内容に関して記述する。本解析では、図 29 に示す統計的評価およびカスケード解析を含むトモグラフィ解析を実施する。

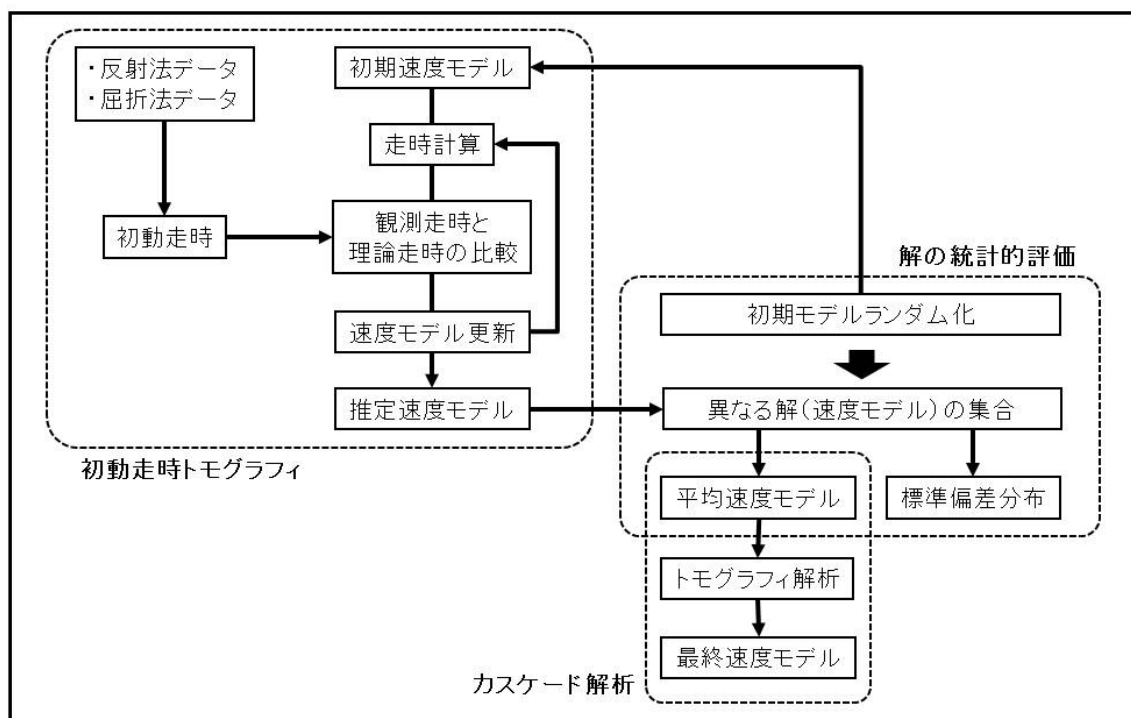


図 29 解の統計評価およびカスケード解析を伴うトモグラフィ解析ワークフロー

・速度モデルに対する走時計算および波線経路追跡

本解析では、第一段階における屈折波波線および走時の計算法として、まず、アイコナル方程式の差分法により総ての点で走時を算出し、次に、後進過程として走時勾配を元に受振点からの最小走時点となる波線経路を求める。

・速度モデル更新のアルゴリズム

初期モデルとして緩やかな線形速度勾配を伴う水平成層構造を設定した。観測走時、計算走時および速度モデルを用いてインバージョンを実施し、速度モデルの更新を行った。インバージョンでは速度モデルの格子を通過する全波線について速度値の修正を行い、各格子の平均値を用いて修正量を決定する SIRT法(Simultaneous Iterative Reconstruction Method)を採用した。速度(スローネス)の修正後に、速度モデルの更新およびインバージョンを実施し、残差が収束するまで解析を繰り返す。

・トモグラフィ解析の実施

実施する初動走時トモグラフィ解析では 2次元鉛直面が解析対象であるので、屈曲した

測線に沿った不規則な発震点および受振点についてトモグラフィ解析測線に沿った投影面への座標および走時を投影した。調査測線と解析に利用した投影ライン、さらに初期速度モデルの例を図 30 に示す。トモグラフィ解析では、発震点間隔が不規則分布を伴う場合には波線が一部の格子に集中し易く、集中した格子において速度の増加傾向がある。従って、インバージョン実施後の修正速度モデルに対して水平および鉛直方向に平滑化を実施した。さらに波線が存在しない測線両端部では、波線の存在する領域から水平方向に速度分布を外挿した。

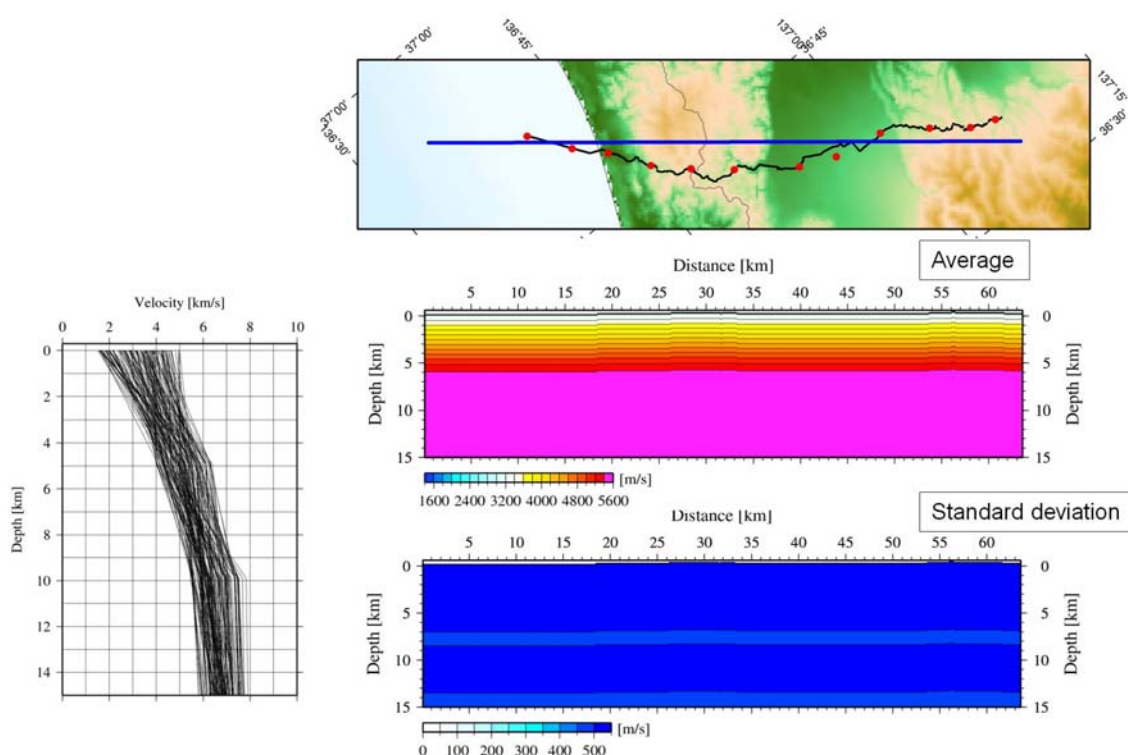


図 30 トモグラフィ解析投影ラインおよび初期モデル  
海陸統合測線

・初期モデルランダム化によるトモグラフィ解析結果の統計的評価

屈折トモグラフィ解析の結果に対する信頼性の評価を与える方法として初期モデルランダム化によるモンテカルロ不確実性解析を実施した。ある条件下でランダムに生成した多数の初期モデルに対してトモグラフィ解析を実施し、すべての結果を平均化した速度分布およびその平均値からのバラつき度合いを示す標準偏差分布が得られる。

・平均速度モデルを初期値とする速度再決定

初期モデルランダム化による解析結果の平均化を実施すると、速度構造の急変する場所では初期モデルへの依存度が高く標準偏差が相対的に高い値を示すとともに、速度構造の空間的平滑化の傾向が見られる。この問題へ対処するため、カスケードトモグラフィを実

施する。即ち、多数のトモグラフィ結果の平均化から得られた速度モデルを最尤な初期モデルとして使用し、再度トモグラフィを実施することで速度構造を再決定する。初期モデルに利用する速度構造は既に走時残差が十分に収束した状態であるため、再計算では速度モデルの微調整がねらいである。これにより平滑化されて曖昧となった速度境界の復元が期待される。

#### v) 解析結果

ランダムに生成した 128 個の初期モデルに対してトモグラフィ解析を実施した(表 4)。観測走時と計算走時の RMS 誤差の収束の様子を図 31 に示す。この 128 個の解析結果すべてを用いて、統計的評価を実施した結果(平均速度モデル、標準偏差分布、平均波線密度分布)を図 32 に表示する。なお、同図における速度分布は、波線の存在する部分にのみ色をつけて表示する。

その後、平均速度モデルを初期モデルとして利用してカスケード解析を実施した際の RMS 走時残差収束の様子を図 33 に示す。そのカスケード解析の更新 8 回目の速度モデルを図 34 に示す。統計的評価による平均速度モデルとカスケード解析による速度モデル(更新 8 回目)について、反射法地震探査断面との重ね合わせ表示したものを図 35 に示す。

表 2 屈折走時トモグラフィ解析のパラメータ

	KT01 測線
(1) 解析区間長	63.6 km
(2) 解析対象データ (初動読み取り対象)	共通発震記録 ・バイブレータ：10 点 ・エアガン：2 点
(3) 解析パラメータ	格子間隔 水平方向：100 m 鉛直方向：100 m 格子数 水平方向：636 鉛直方向：157 反復回数：15 回
(4) 初期モデル数	128 組
(5) 統計解析	128 組の速度モデルの平均と標準偏差
(6) カスケード解析	上記(3)と同じ

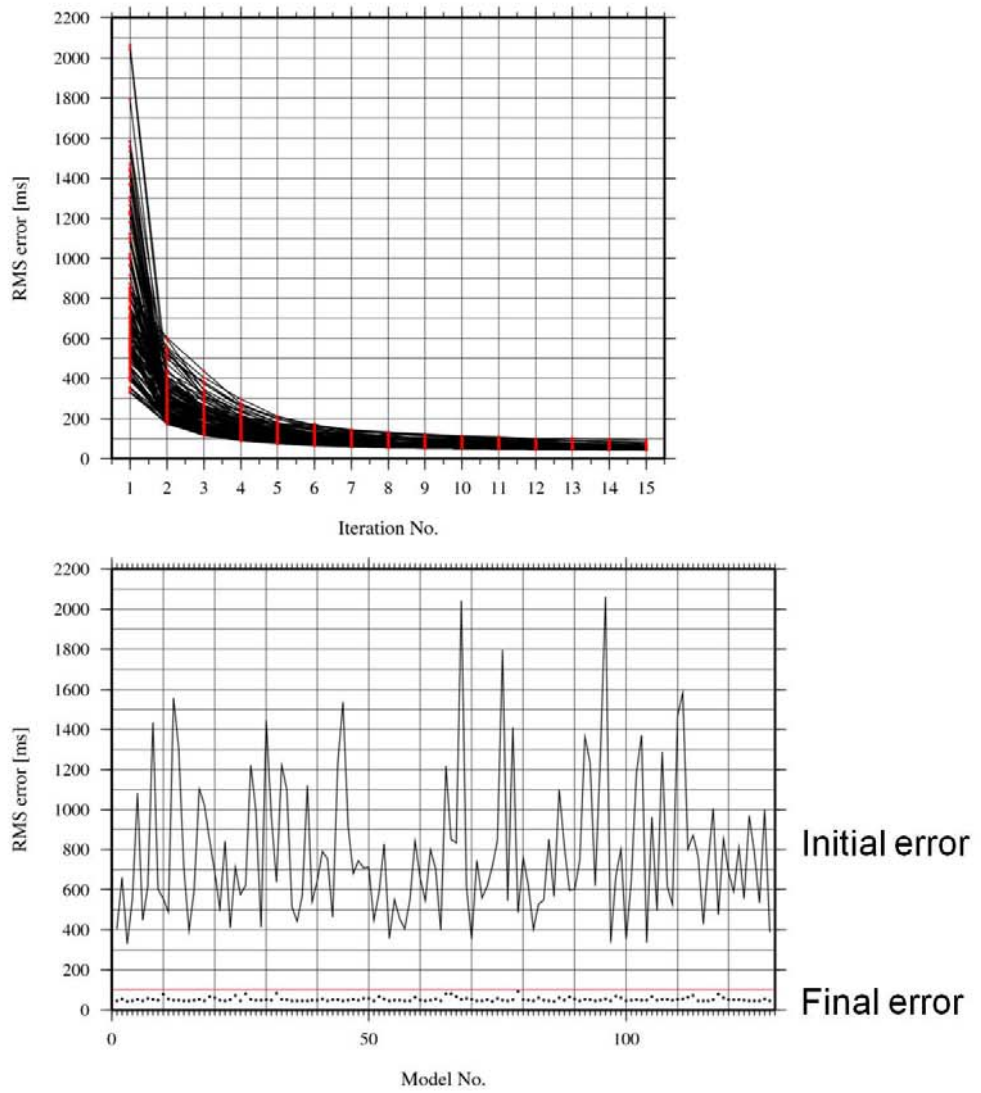


図 31 初期モデル毎の走時誤差の収束

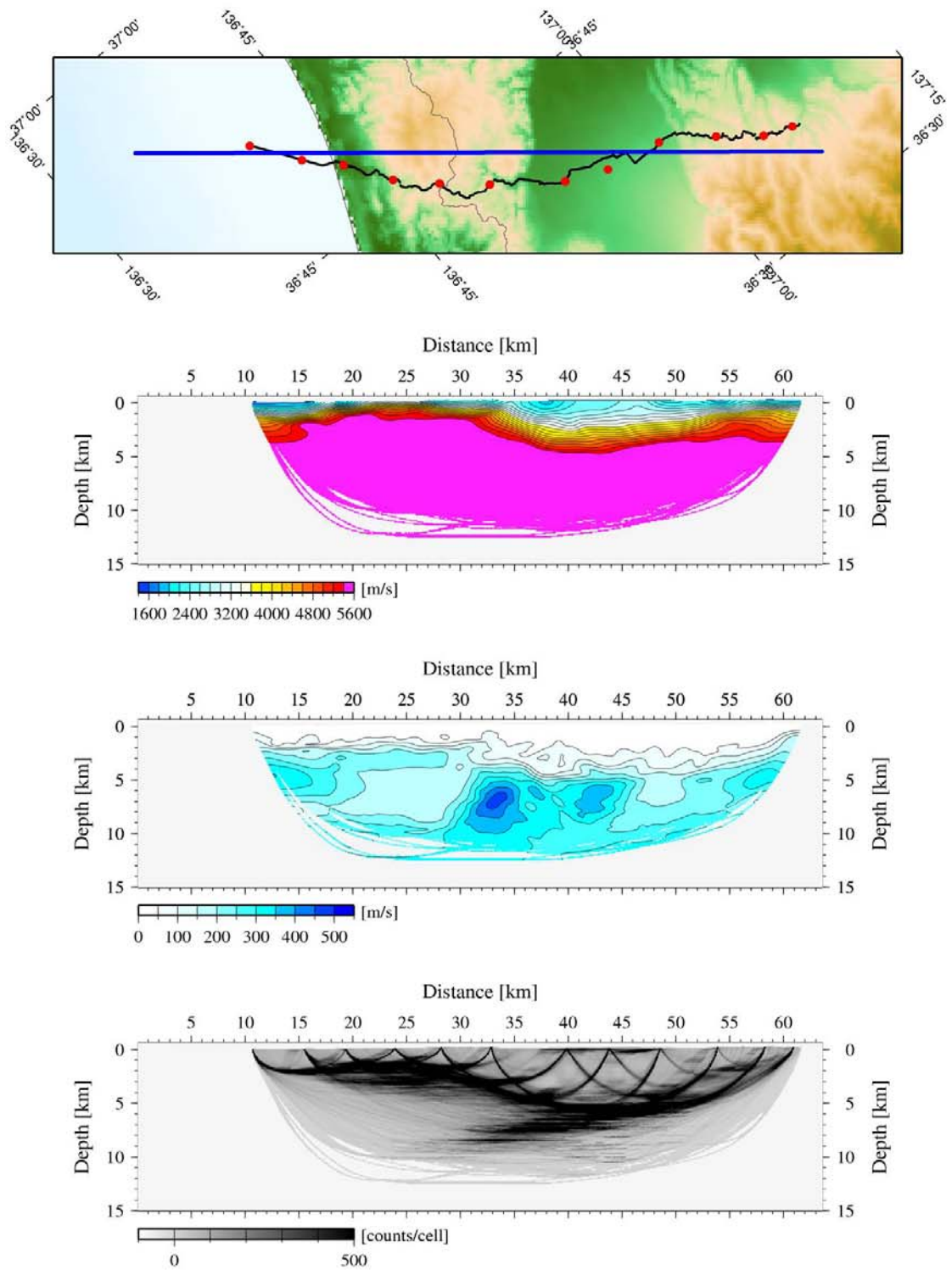


図 32 トモグラフィ解析結果の統計的評価

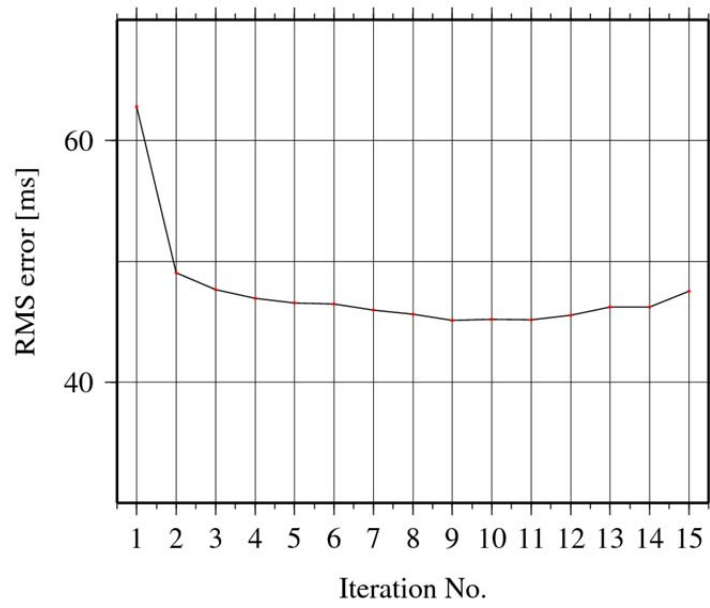


図 33 平均速度を初期モデルとしたトモグラフィ解析における誤差の収束

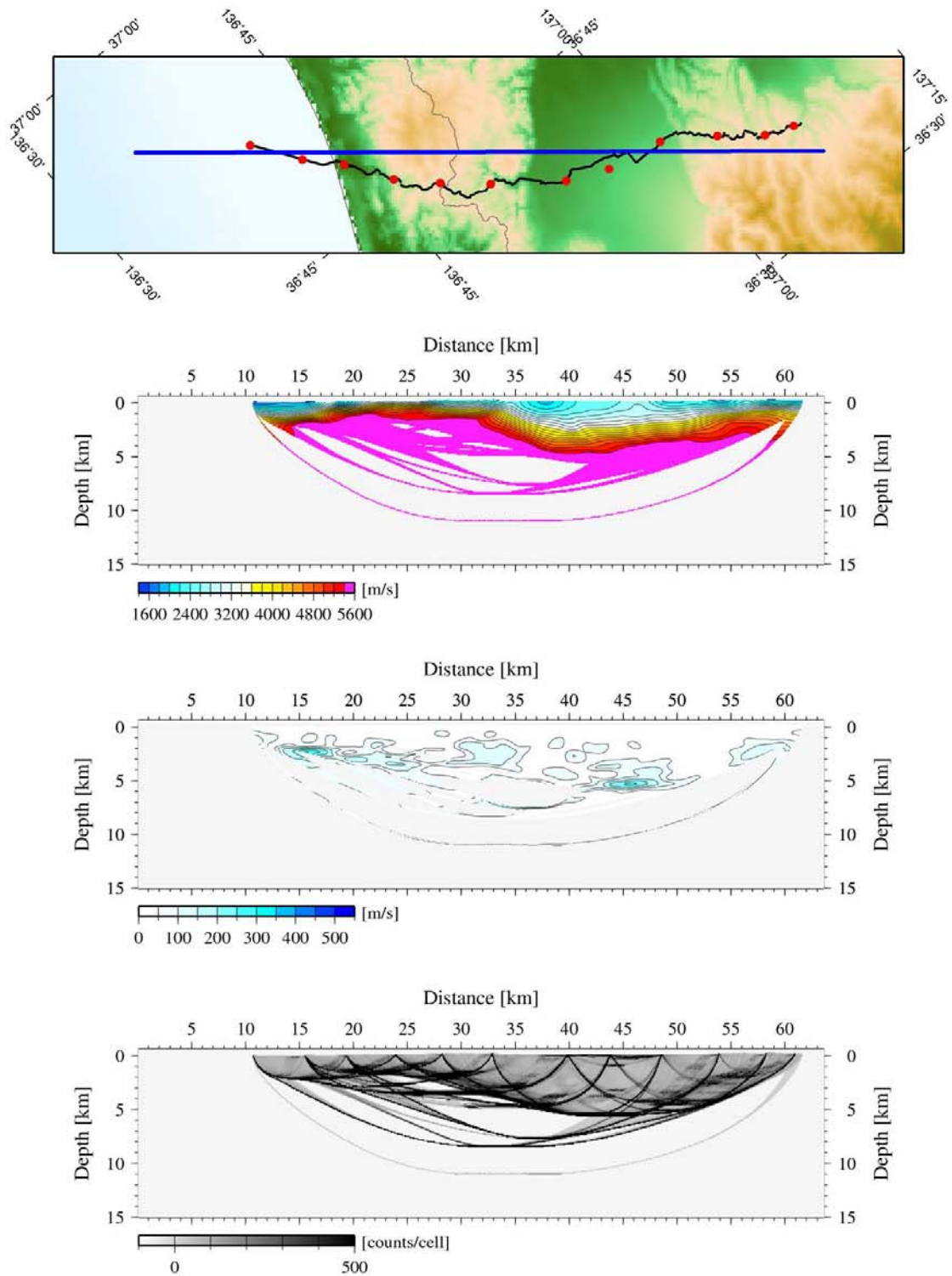


図 34 平均速度を初期モデルとしたトモグラフィ解析結果  
(8回更新後)



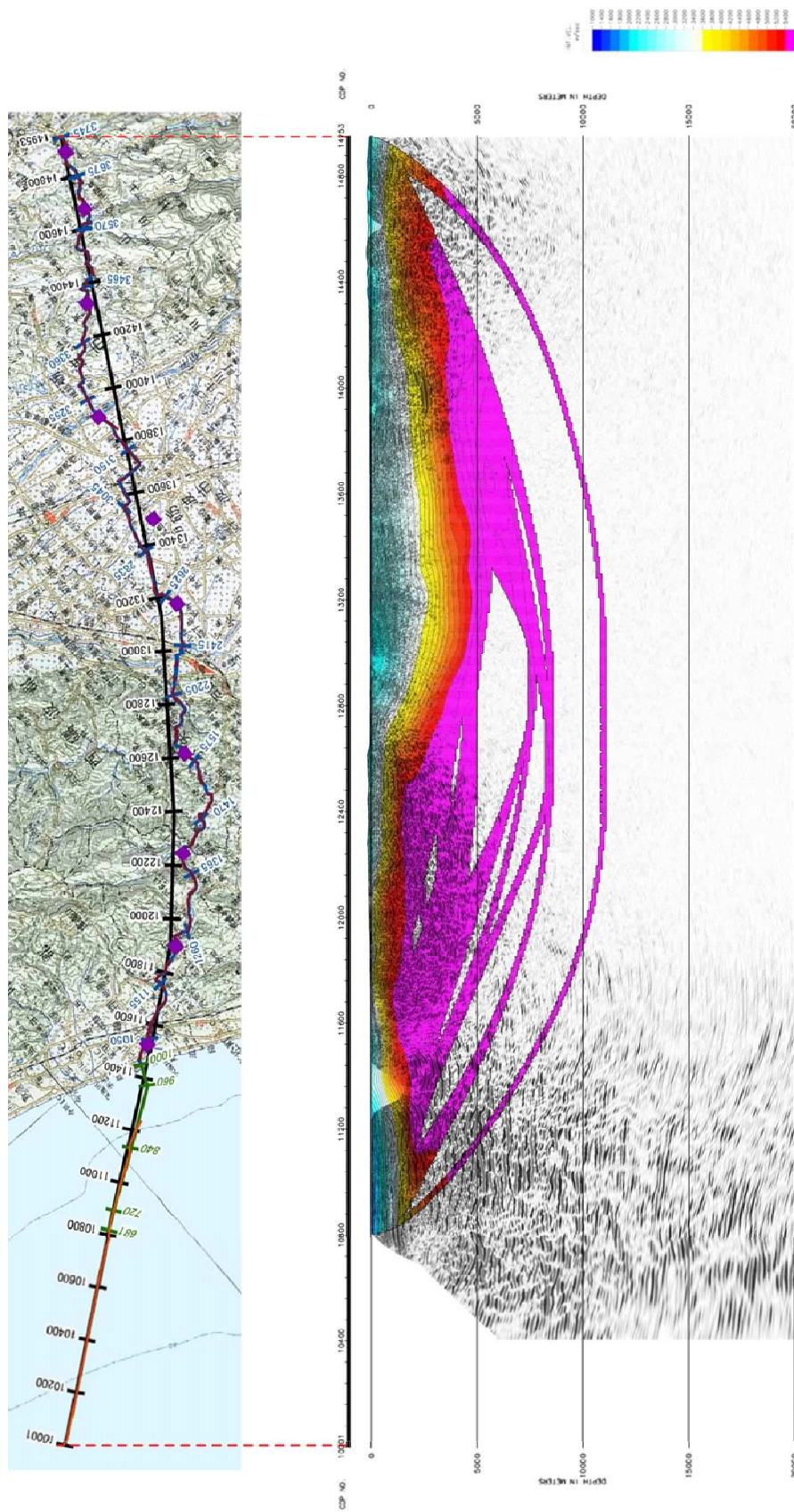


図 35 トモグラフィ解析結果と反射法地震探査断面の重ね合わせ表示  
 [平均速度モデルを初期モデルとするトモグラフィ解析結果 (8 回目更新) ]

c) 北陸-鳥取沖海上二船式反射法調査

本節では、北陸-鳥取沖の二船式海上反射法調査測線(測線数 9、総測線長約 490 km)のデータ解析について記述する。図 36 にデータ処理フローを示す。

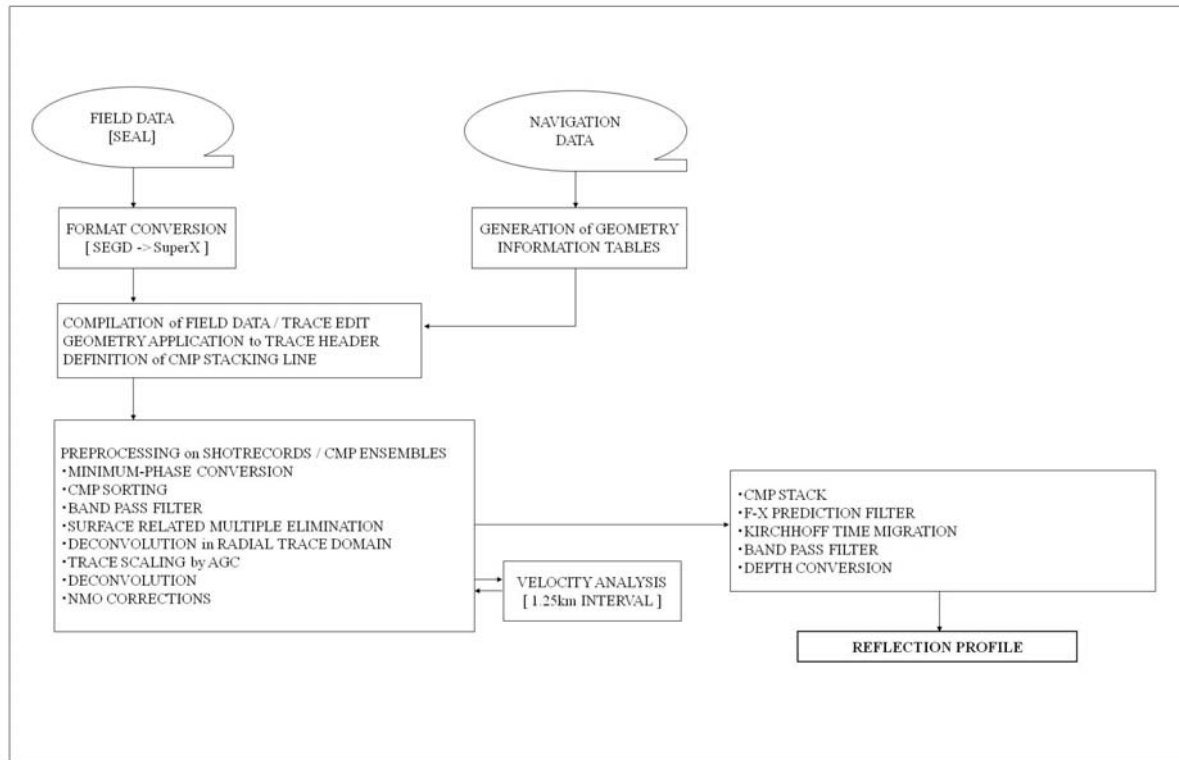


図 36 反射法データ処理フロー

i) フォーマット変換およびデータ編集(Format Conversion and Trace Edit)

フィールドデータに記録された原記録(SEAL 探鉱機、SEGD フォーマット)について、SuperX (JGI Internal Format)フォーマットへ変換を行った。また、S/N 比が著しく低いショットあるいはトレースを処理対象から除外した。

ii) トレースヘッダーへの測線情報の入力(Geometry Application)

SuperX トレースヘッダーに関して、発震点、受振点および CMP の各インデックス、座標、オフセット距離等の測線情報を入力した。データ解析における基準標高面は平均海水面位置に設定した。即ち、発震点および受振点の水深について、海水速度 1,500 m/s により時刻補正をおこなった。

CMP 重合測線は、各測線について下記のように設定した。なお、CMP 測線の 1 番は、測線の西端または北端に位置する、ストリーマの終端(航行方向が正の方向の場合)または最終発震点(航行方向が負の方向の場合)の位置によって定めた。即ち、発震点番号と異なる。

CMP 間隔 : 25.0 m

CMP 範囲(括弧内はおおよその距離)

R1	:	1 - 1,552 (38.8 km)
R2	:	1 - 1,779 (44.5 km)
R3	:	1 - 1,756 (43.9 km)
R4	:	1 - 1,755 (43.9 km)
R5	:	1 - 5,753 (143.8 km)
W1	:	1 - 1,741 (43.5 km)
W2	:	1 - 1,768 (44.2 km)
W3	:	1 - 1,544 (38.6 km)
W4	:	1 - 3,167 (79.2 km)

### iii) 最小位相変換 (Minimum Phase Conversion)

エアガン発震記録については、本観測に対応するエアガン震源波形観測記録（同一エアガン構成かつ同一エアガン発震深度仕様による既存震源波形記録）を利用して最小位相変換処理を適用した。

### iv) 共通反射点編集 (Common Midpoint Sorting)

上述 ii) のパラメータによって、共通反射点の編集を実施した。

### v) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

零位相帯域通過フィルターを適用した。

通過帯域 : 3/5 - 125/125 Hz

### vi) 多重反射波抑制処理 (Multiple Elimination)

#### ・ SRME 処理

海面に起因する比較的長周期の多重反射波抑制を目的として、SRME (Surface Related Multiple Elimination) 処理を適用した。この処理ではまずデータを元にした多重反射波を予測し、アダプティブサブトラクションにより原データから減算することにより多重反射波を抑制する。従来は、共通発震記録に対して適用される。しかし、ここでは二船式によるデータ取得に対応するため、共通反射点記録 (CMP アンサンブル記録) に対して適用した。

#### ・ ラディアルトレース領域デコンボリューション処理

比較的水深の浅場所や、インピーダンスコントラストの大きな地層の間で発生する比較的短周期の多重反射波を抑制するため、ラディアルトレース領域においてデコンボリューションを適用した。

予測距離	:	36 ms
設計ゲート長	:	2000 ms
オペレータ長	:	300 ms
プリホワイトニングファクター	:	5 %
ゲートタイプ	:	Non-tv
アルゴリズム	:	Trace-by-trace

図 37 に多重反射波抑制処理適用前後の比較例を示す。

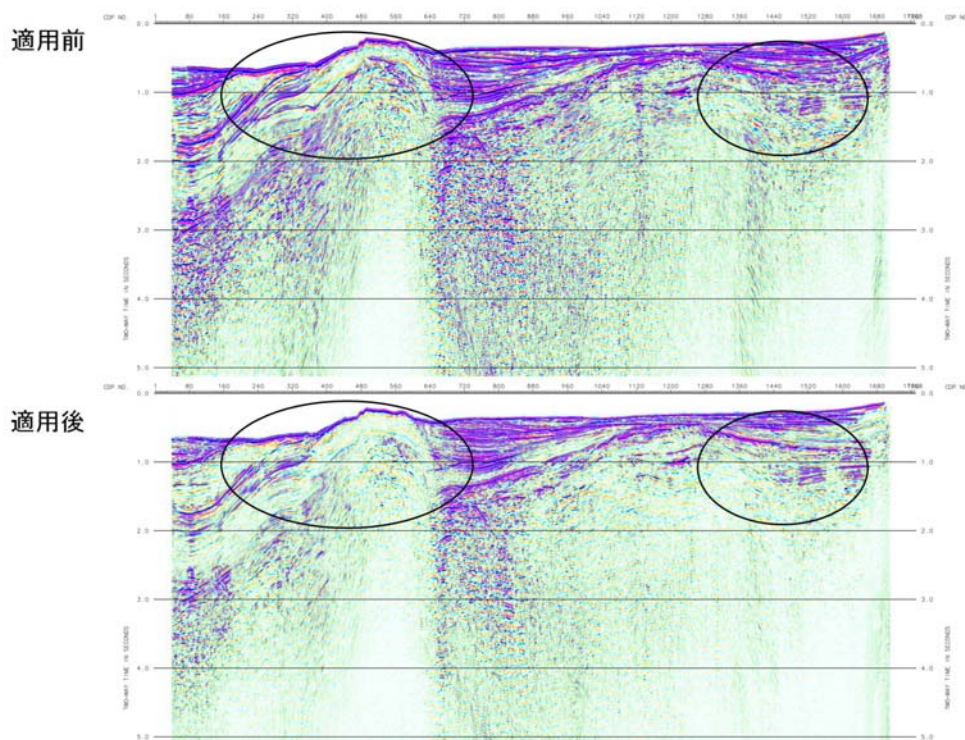


図 37 多重反射波抑制処理適用前後の比較例  
W2 測線 重合断面

vii) 振幅調整(Amplitude Conditioning before Stacking)

ウィンドー長 : 600 ms

viii) デコンボリューション( Deconvolution )

予測距離 : 4.0 ms  
 設計ゲート長 : 2,400 ms  
 オペレータ長 : 240 ms  
 プリホワイトニングファクター : 5 %  
 ゲートタイプ : Non-tv  
 スライディング速度 : 7000 m/s  
 アルゴリズム : Trae-by-trace

ix) 重合速度解析( Stacking Velocity Analysis )

以下に示す定速度重合法による速度解析を実施した。

解析点間隔 : 1,250 m

x) NMO 補正( Normal Moveout Corrections )

ストレッチミュートファクター : 2.5

xi) 共通反射点重合処理(CMP Stacking)

NMO 補正後の共通反射点アンサンブルに関して、重合処理を実施した。

xii) 周波数—空間領域予測フィルター( F-X Prediction Filter )

重合後時間断面に対して、ランダムノイズを抑制し相対的に S/N を向上させる周波数-空間領域複素型予測フィルター (F-X 予測フィルター) を適用した。

オペレータ長	: 5 CDPs
空間ウィンドー長	: 50 CDPs
時間ウィンドー長	: 1000 ms
ウィンドーオーバーラップ長	: 750 ms

xiii) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

零位相帯域通過フィルターを適用した。

通過帯域	: 3/5 – 125/125 Hz
------	--------------------

xiv) 重合後時間マイグレーション( Post-Stack Time Migration )

時間断面上の反射点位置を実際の位置に移動させ、回折波を回折点に復元することを目的として重合後時間マイグレーションを適用した。マイグレーション速度には時間および空間方向に平滑化した重合速度を用い、差分マイグレーションを適用した。

xv) 深度変換(Depth Conversion)

速度解析結果を元に、時間および空間方向に平滑化した平均速度分布を用いて、パーティカル・ストレッチ(vertical stretch)法による深度変換を実施した。

以上の処理により得られた、CMP 重合処理断面図と時間マイグレーション断面図を、それぞれ図 38-39 と図 40-41 に示す。また、この時間マイグレーション記録を用いて深度変換を実施した結果を、図 42-43 に示す。

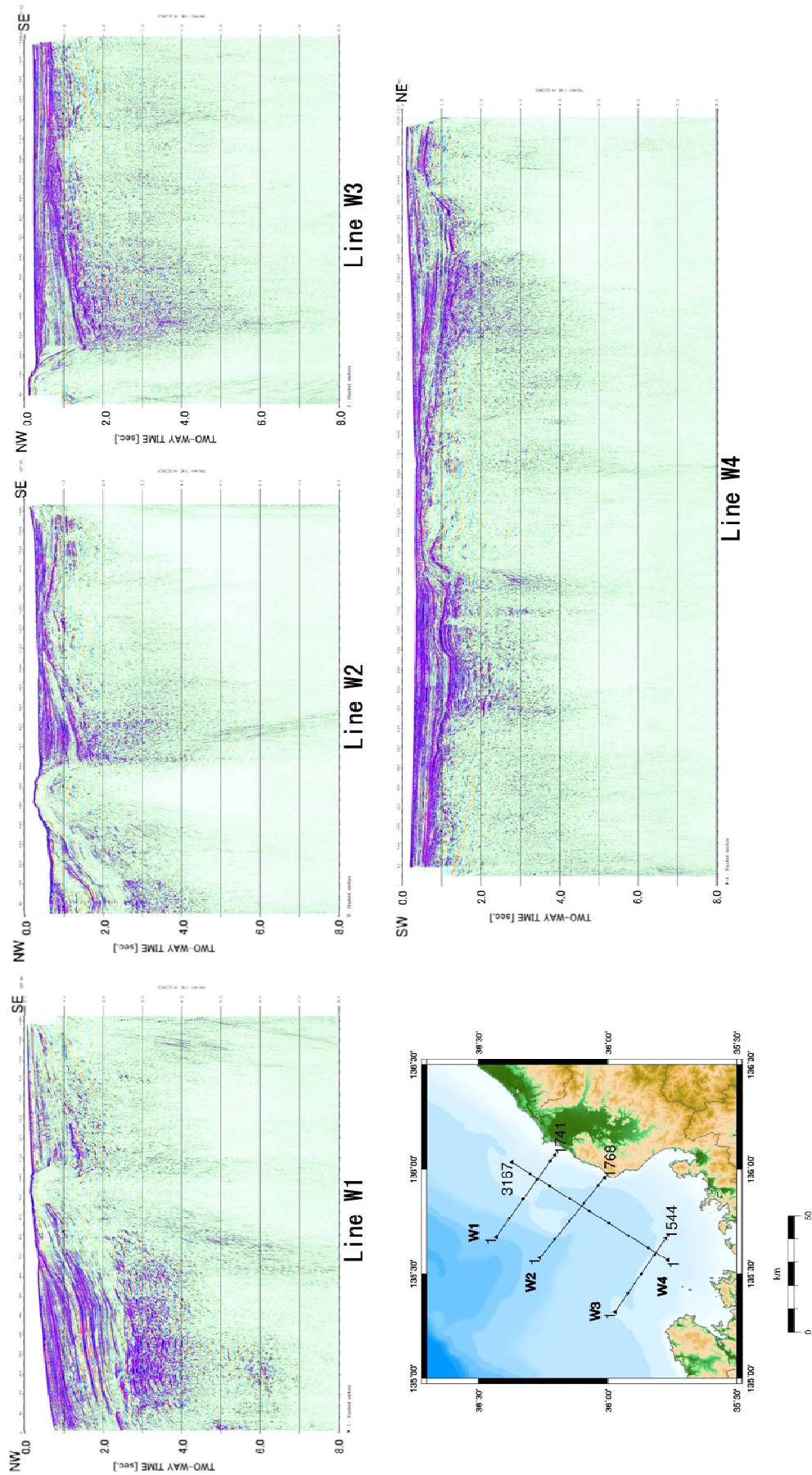


図 38 CMP 重合断面図 (時間断面) [W1-W4 測線]

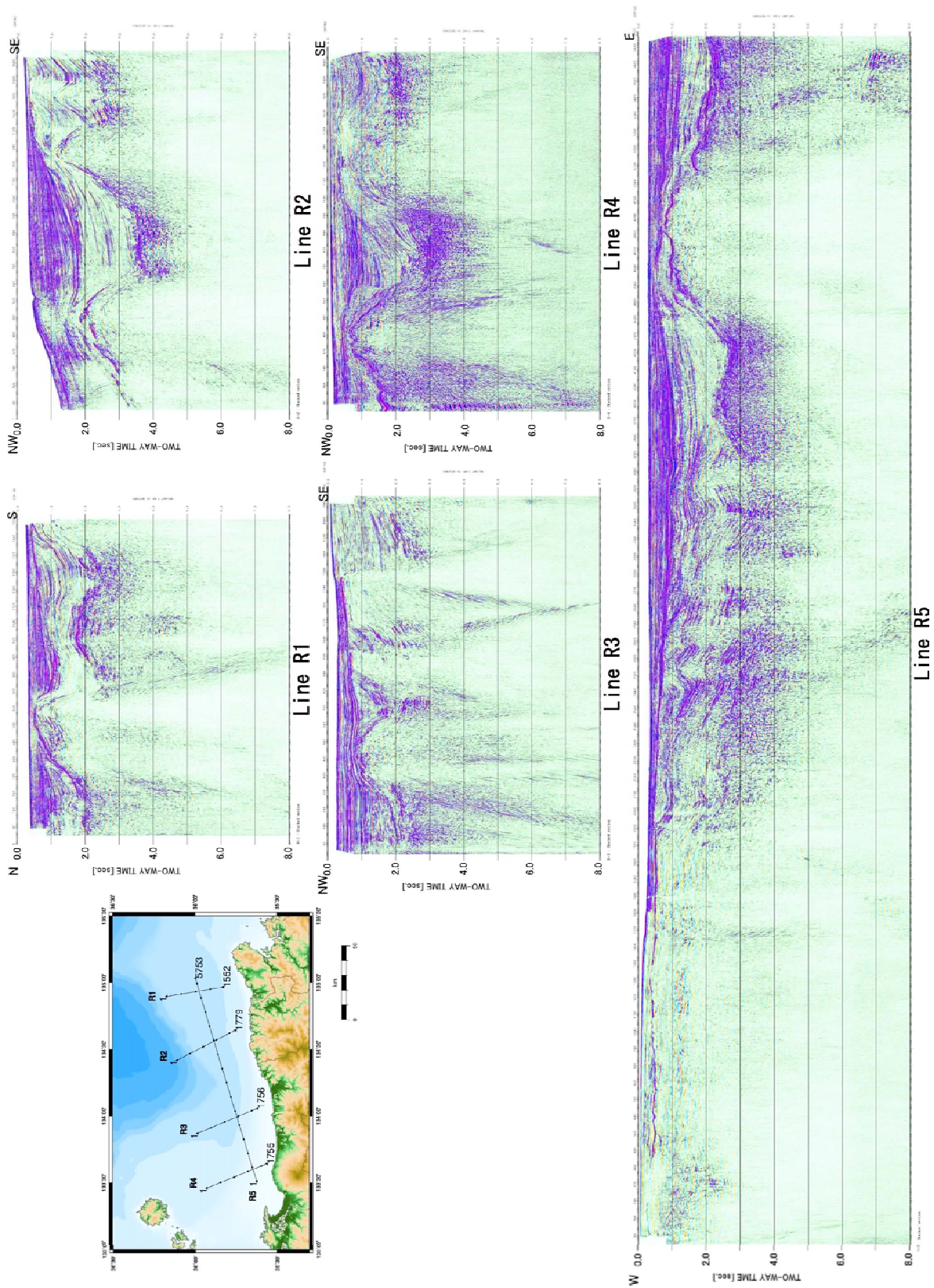


図 39 CMP 重合断面図（時間断面）[R1-R5 測線]

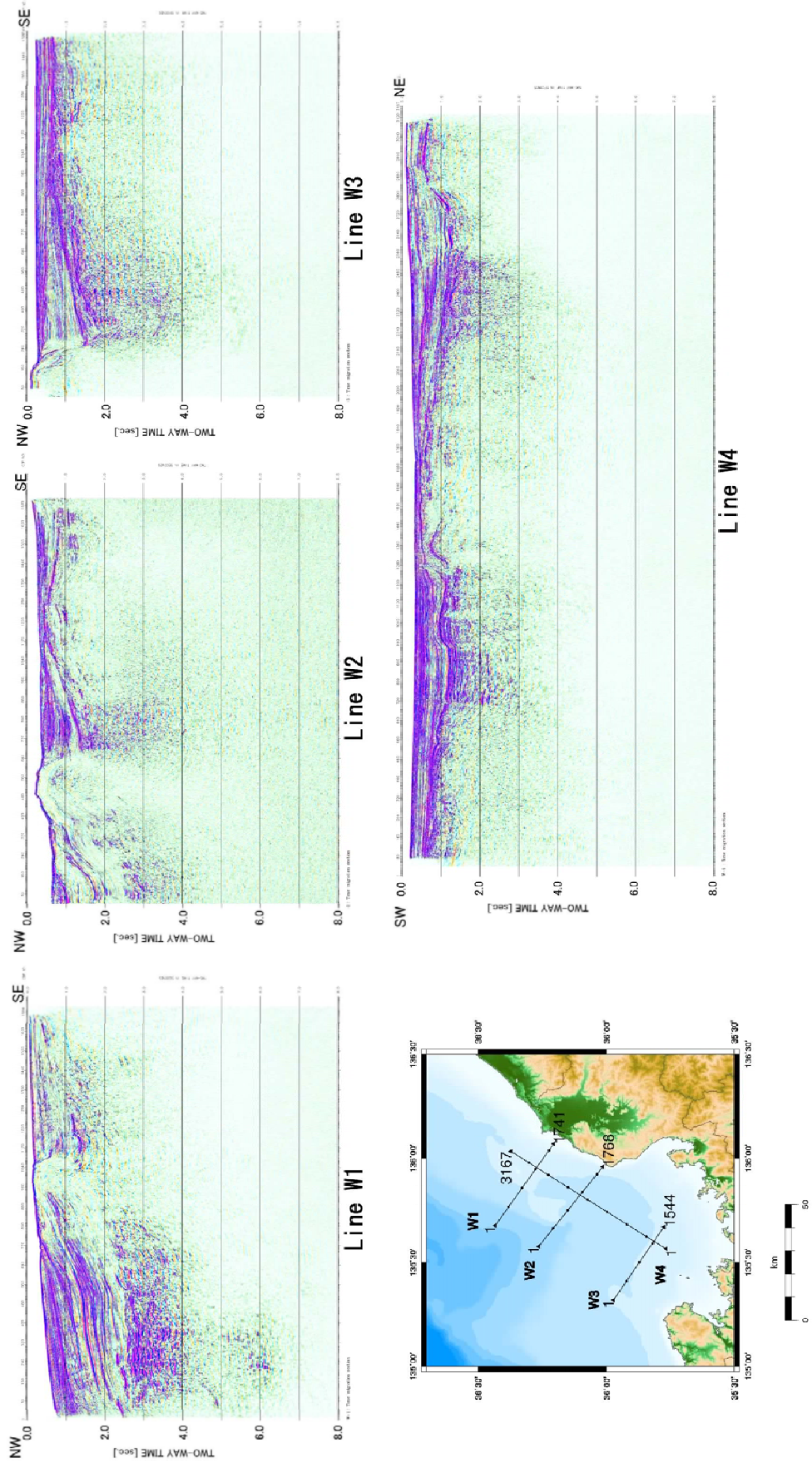


図 40 重合後マイグレーション断面図（時間断面）[W1-W4 測線]



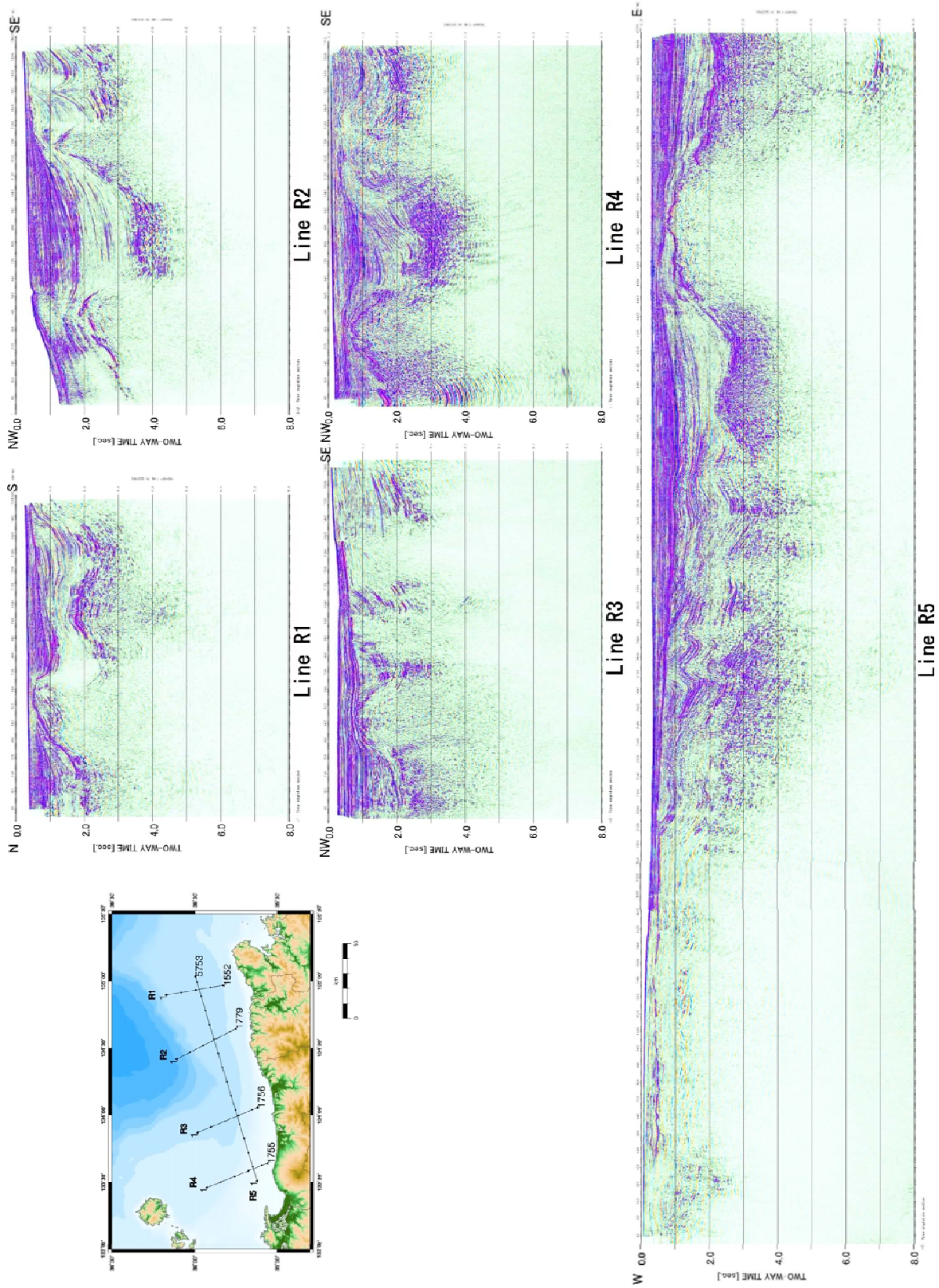


図 41 重合後マイグレーション断面図（時間断面）[R1-R5 測線]

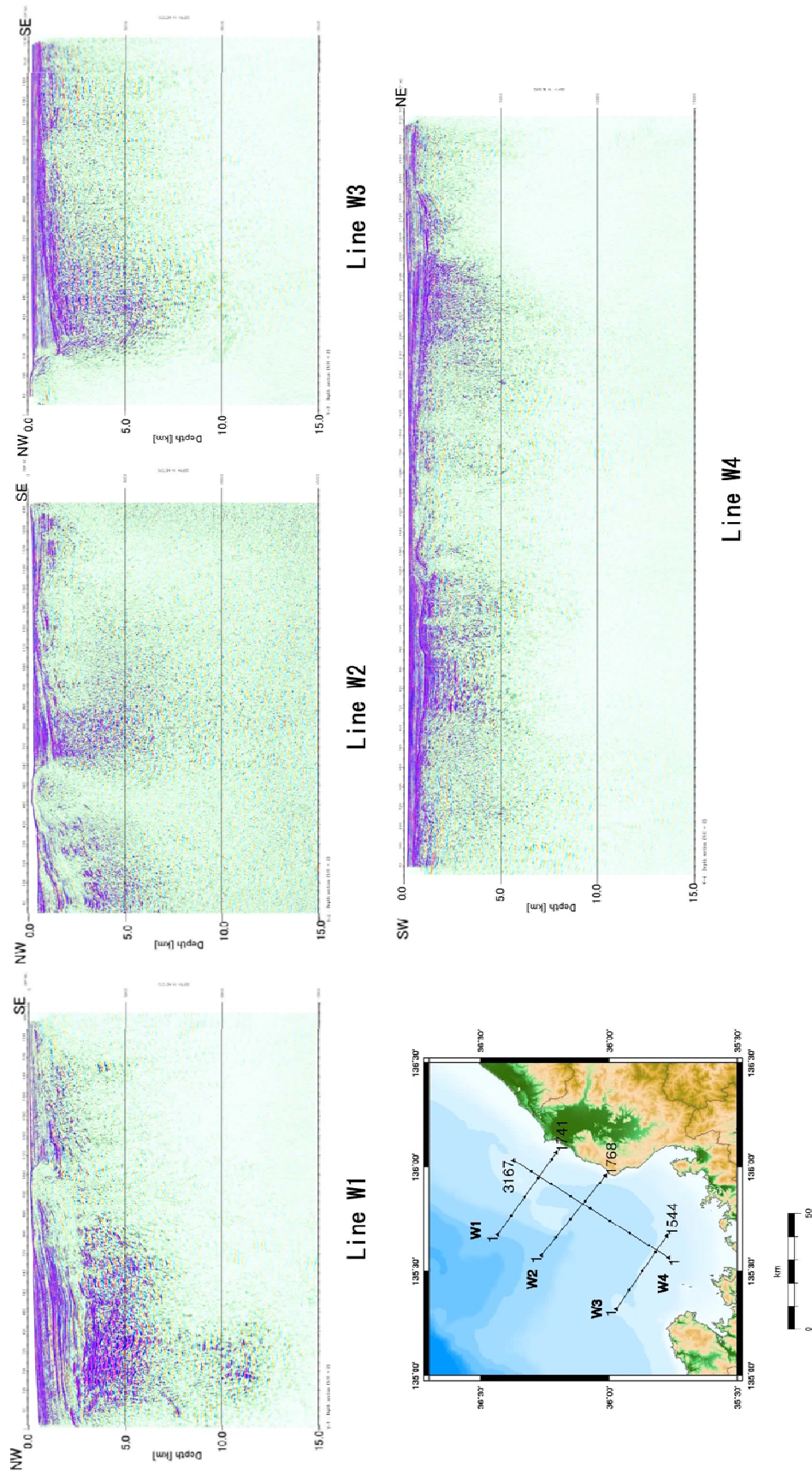


図 42 重合後マイグレーション深度断面図 [W1-W4 測線] V:H=2:1

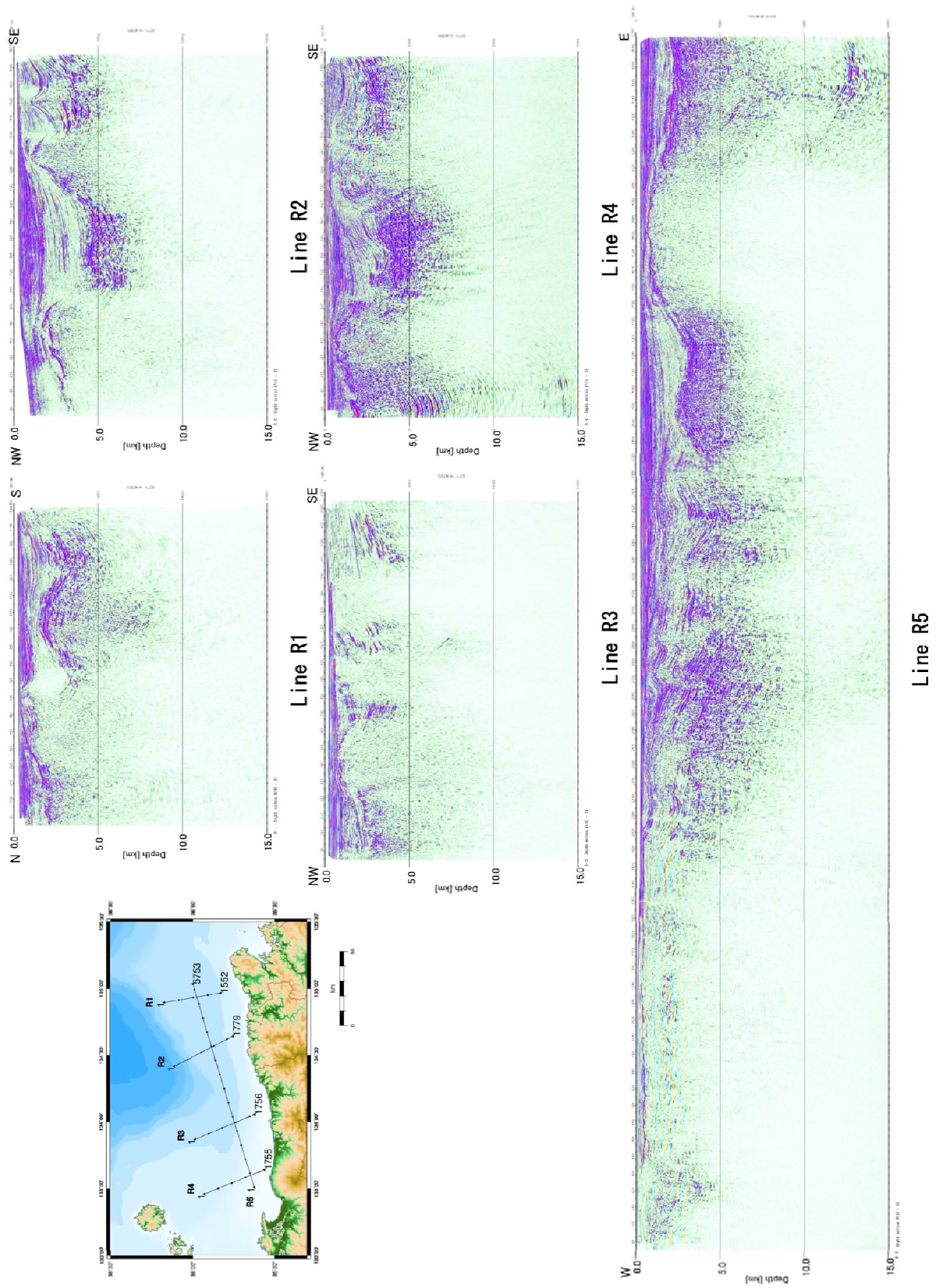


図 43 重合後マイグレーション深度断面図 [R1-R5 測線] V:H=2:1