

苫小牧周辺の反射法地震探査データ再処理

Re-processing of offshore and onshore seismic reflection survey data around Tomakomai, Hokkaido, Japan

山口和雄^{1*}・横倉隆伸¹・岡田真介¹

Kazuo Yamaguchi^{1*}, Takanobu Yokokura¹ and Shinsuke Okada¹

Abstract: We re-processed seismic reflection survey data in the coastal area of Tomakomai, Hokkaido, which had been acquired and processed by JNOC (Japan National Oil Corporation; presently Japan Oil, Gas and Metals National Corporation). They are seven offshore lines from “Hidaka-Oshima” in 1972, six offshore lines from “Donan~Shimokitaoki” in 1986 and one onshore line from “Hidaka-chiiki” in 1991. The total length of them is 613.15 km. The data of “Hidaka-Oshima” lines were reprocessed from shot gathers by conventional and the latest CMP stack method. The data of “Donan-Shimokitaoki” lines were reprocessed from CMP stacked time data with trace interpolation and migration, and four of them were scanned and digitized from paper sheets of seismic sections. As a result, we obtained CMP stack time sections, time migration sections and depth sections of each line with their SEG Y digital data. The data of “Hidaka-chiiki” line were pre-processed by conventional method, then processed by CRS (Common Reflection Surface) and MDRS (Multi-Dip Reflection Surface) methods. The results are MDRS stack time section, migration section and depth section. Data quality is remarkably improved and many reflectors can be perceived on the sections of “Hidaka-chiiki” and some of “Hidaka-Oshima”. These seismic sections will be geologically interpreted together with another pre-existing seismic data, new seismic and gravity survey data conducted in 2010 and so on.

キーワード: 反射法地震探査, データ処理, CMP 重合法, CRS, MDRS, 石狩低地東縁断層帯, 地下構造

Keywords: Seismic reflection survey, data processing, CMP stack method, CRS, MDRS, Eastern Boundary Fault Zone of Ishikari Lowland, subsurface structure.

1. 再解析調査測線の概要

北海道苫小牧周辺の海域と陸域の既存反射法地震探査データを再解析した。目的は、日高衝突帯前縁褶曲・衝上断層帯の先端部とみなされる石狩低地東縁断層帯の最前縁部（西縁）に関して、既存データの収集、整理、再解析を通じて、石狩低地東縁断層帯の南部から海域への延長形態を明確にし地質解釈資料を提示することである。対象としたデータは、石油開発公団・石油公団（現、独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構、JOGMEC）が実施した以下の3件の調査のそれぞれ一部である。

- ① 昭和 47 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「日高一渡島」 海域
- ② 昭和 61 年度国内石油天然ガス基礎調査 海上基

礎物理探査「道南～下北沖」 海域

- ③ 平成 3 年度国内石油・天然ガス基礎調査 陸上基礎物理探査「日高地域」 陸域

再解析に際しては、以下のことに留意した。

- ① 苫小牧付近の沿岸海域と陸域で実施された地下構造調査結果を広域的に収集し整理する。
- ② それらの地下構造データをデータ処理システムや地質解釈システムに入力可能な状態（SEG Y フォーマット等のデジタルデータ）に整備する。古い調査は断面図デジタルデータが存在しない場合があり、発震記録まで遡ってのデータ再解析あるいは断面図の紙面スキャンなどにより、改めて断面図デジタルデータを作成する。
- ③ 反射法のデータ処理技術は時代とともに進歩している。調査時期・データ処理時期が今から 40 年

* Correspondence

¹産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

～20 年前頃の古いデータであっても、最新のデータ処理技術の適用により、既存解析結果と比較してより鮮明な地下構造イメージを得ることが可能である。

- ④ 予定されている海域での浅部高分解能音波探査を補完し深部の地下構造を把握する。

石狩低地東縁断層帯の周辺の既存反射法地震探査について横倉ほか（2011）にまとめられている。それらの測線の中から、苫小牧付近の沖合を通り陸域に近い海域測線 13 本と、海域に近接する陸域測線で既存データ解析では丘陵部付近が不鮮明だった測線 1 本を選択した。再解析した測線長は海域 565.5km、陸域 47.65km、総計 613.15km である。

対象とした反射法地震探査データは、データ処理内容、保管されているデータ種類、保管状態が必ずしも一様ではない。測線が海域か陸上か、調査域の推定地下構造の複雑さ、残存データの種類と使用可能性等の違いに応じて、次の 3 種類のデータ再解析を適用した。

- ① 通常の重合処理：「日高一渡島」の 7 測線

発震記録（SEGY フォーマットのデジタルデータ）まで遡って通常の反射データ処理を適用した。既存解析では CMP 重合まで適用されているが、重合後のデジタルデータは存在しなかった。再解析と既存解析で異なる主な点は、トレース内挿により発震点間隔・受振点間隔が従来の半分のデータを疑似的に作成し CMP 間隔を 12.5m に半減（従来は 25m）、速度解析点間隔を 500m に細分化（同 5km）、新たに、多重反射波やコヒーレントノイズの除去、マイグレーション、深度変換を追加、等である。再解析では、CMP 重合時間断面、CMP 重合後マイグレーション時間断面、深度断面のそれぞれのデジタルデータと断面図を作成した。

- ② 図面 SEGY 化と CMP 重合後処理：「道南～下北沖」の 6 測線

CMP 重合後時間断面データに対してマイグレーション、深度変換等を適用した。既存解析ではマイグレーションまで適用されている。一部の測線は CMP 重合後のデジタルデータが存在せず、紙面として残存する CMP 重合時間断面図をスキャンして重合後 SEGY データを生成した。再解析では、新たに、CMP 重合後マイグレーション時間断面、深度断面のそれぞれのデジタルデータと断面図を作成した。2 測線が CMP 重合後 SEGY データから、4 測線が重合時間断面の紙面スキャンからであった。これら測線では、発震記録

が使用出来ない区間があり、発震記録からの再解析では重合後に測線の一部でデータが欠損する恐れがあった。そこで、再解析はデータが欠損しない CMP 重合後からとした。

- ③ 高精度イメージング処理：「日高地域」の 1 測線

CRS（Common Reflection Surface）法およびその拡張である MDRS（Multi-Dip Reflection Surface）法による高精度イメージング処理を実施した。既存解析ではマイグレーションまで適用されている。再解析では、前処理として発震記録に対して通常処理を適用し、その後、CRS 法、MDRS 法を適用した。MDRS 法は、複数の交差する傾斜を持つ反射面のイメージングを向上させる手法である。新たに、MDRS 重合時間断面、MDRS 重合後マイグレーション時間断面、深度断面のそれぞれのデジタルデータと断面図を作成した。

本報では、データ再解析の詳細を記載し、それぞれの測線の深度断面を掲載する。データ再解析業務は（株）地球科学総合研究所に委託し、データ再解析には同社の地震探査データ解析ソフトウェア SuperX を使用した。

2. 通常の重合処理

2.1 データ概要

2.1.1 対象測線

基礎物理探査「日高一渡島」の内、H72-5、H72-6-1、H72-6-2、H72-H-1、H72-J-1、H72-J-2、H72-J-4 の 7 測線を対象とした。第 1 図に測線位置を示す。

2.1.2 データ取得仕様

第 1 表にデータ取得仕様を示す。

2.2 データ再処理

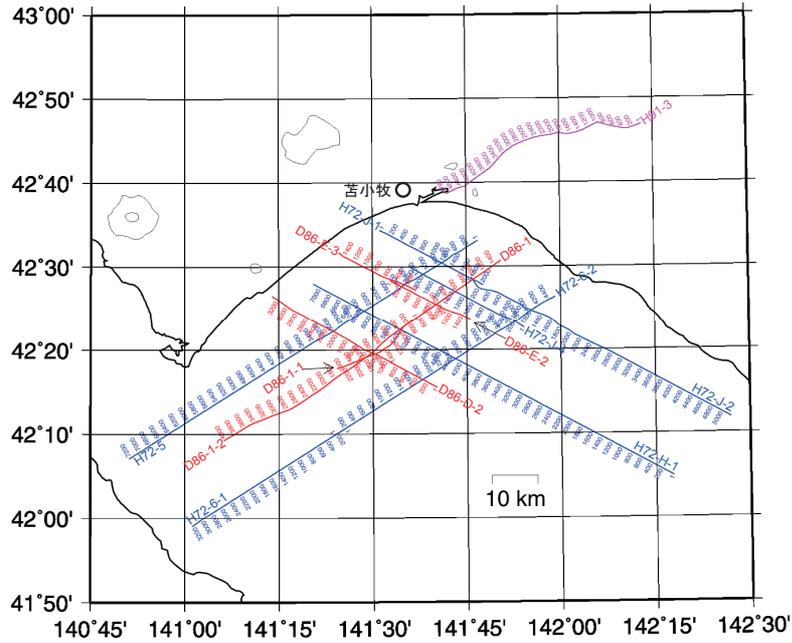
第 2 図に再解析フローを示す。また第 2 表に再解析パラメタを既存解析のパラメタと合わせて示す。パラメタテストは各メニューで必要に応じて実施した。

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

発震記録（SEGY フォーマット）を、SuperX フォーマット（JGI Internal Format）へ変換した。

- (2) トレース内挿（Trace Interpolation）

後述の多重反射波抑制処理では、CMP アンサンブル上のトレース間隔が十分に密でない場合に、多重反射波のムーブアウトに起因するエリアジングノイズが発生する。これを回避するため、トレース内挿により疑似的に発震点間隔 25m・受振点間隔 25m の発震記録を



第 1 図 データ再解析の対象とした測線位置図。青線：日高一渡島，赤線：道南～下北，ピンク線：日高地域。CMP/MDRS 重合測線と CMP 番号を示す。

Fig.1 Seismic reflection survey lines which are re-processed. Blue lines: Hidaka-Oshima surveys, red lines: Donan~Shimokitaoki surveys, pink line: Hidaka-chiiki survey. The lines are CMP/MDRS lines with CMP numbers.

第 1 表 データ取得仕様。「日高一渡島」。

Table 1 Data acquisition specifications of the Hidaka-Oshima surveys.

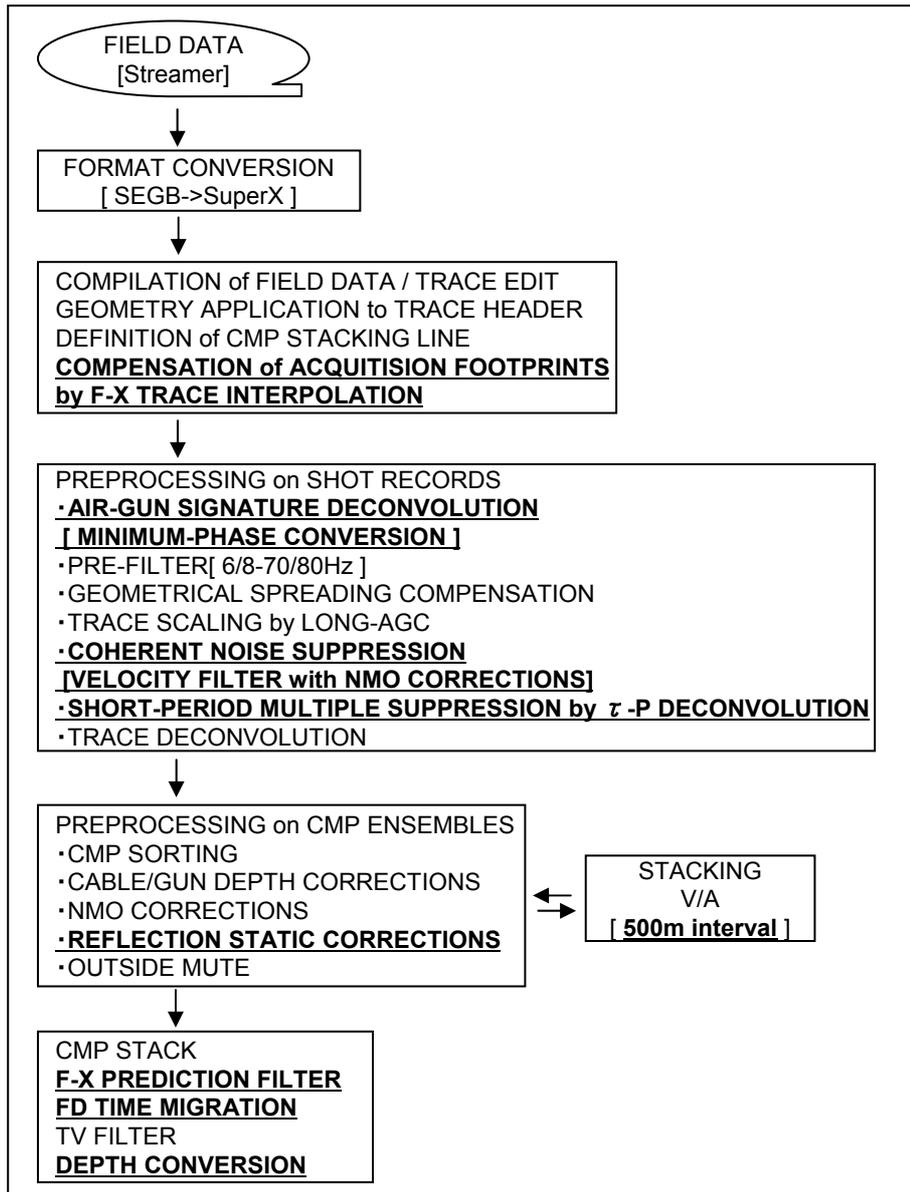
Survey Name		Hidaka-Oshima1972	
Reflection Data to be processed		Line Name	SP Range / Line Length
		H72-5	SP.1-1780(89.0km)
		H72-6-1	SP.1-780(39.0km)
		H72-6-2	SP.781-1890(55.5km)
		H72-H-1	SP.1-1760(88.0km)
		H72-J-1	SP.1-490(24.5km)
		H72-J-2	SP.451-1720(63.5km)
		H72-J-4	SP.1-550(27.5km)
Source	Type	Bolt Airgun	
	Gun Volume/Pressure	(810cu.in.,2000psi)	
	Gun Depth	10m	
	SP Interval	50m	
Receiver	Streamer System	SEG-Streamer 2350m	
	Near-offset Gap	316m	
	Receiver	Hydrophone(10Hz)	
	Cable Depth	14-16m	
	Receiver Interval	50m	
	No. of Channels	48	
Recording	Vessel	TAKUYO-MARU	
	Recording System	TI-DFS-4	
	Filter	8/18-62/72Hz(dB/oct)	
	Gain Control	IFP	
	Sampling Rate	4msec	
	Record Length	5sec	

作成した。周波数-空間予測フィルター理論に基づき、共通受振チャンネルギャザー内および共通発震点ギャザー内で、トレース間隔をそれぞれ 1/2 にする内挿を適用した。

(3) トレースヘッダーへの測線情報の入力 (Geometry

Application)

発震点および受振点のインデックス、オフセット距離等の測線情報を入力した。発震測線上において調査船の航跡は局所的に直線であると仮定している。ケーブルフェザリングによる受振点位置の偏倚は考慮して



第 2 図 データ処理フロー。「日高-渡島」に適用。太文字下線で示すメニューを再解析で新たに適用した。

Fig.2 Data processing flow of the Hidaka-Oshima surveys. Bold and underlined menus were newly applied.

いない。

(4) 最小位相変換 (Minimum Phase Conversion)

既知のエアガン波形 (同一エアガン構成および同一エアガン深度に対して他海域で測定されたもの) を用いて、フィールド記録を最小位相波形に変換した。

(5) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

フィールド記録に含まれる主に低周波数帯域のノイズを抑制するため、最小位相型帯域通過フィルターを適用した。

(6) 振幅補償 (Gain Recovery)

弾性波の震源からの伝播に伴う幾何減衰, 多層構造内を透過, 多重反射することによる伝播損失および非弾性効果による減衰を補償することを目的として振

幅補償を行った。幾何減衰補償および自動振幅調整 (Instantaneous AGC) を適用した。

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

エアガン発震とストリーマケーブルの記録で卓越する音波の除去, および, 海底崖等の起伏変化に起因する屈折多重反射波の除去を目的として, 速度フィルターを適用した。疎らなトレース間隔で生じる空間エリャジングを避けるため, 共通発震点記録内においてトレース間隔が 1/2 となるトレース内挿を実施した後にフィルター適用を行った。

(8) 多重反射波抑制 (Multiple Suppression by Tau-p Deconvolution)

第2表 データ再解析パラメタ。「日高一渡島」. 既存解析のパラメタと合わせて示す.

Table 2 Data processing parameters of the Hidaka-Oshima surveys.

	既存解析(1972)	再解析(2011)
フォーマット変換及びデータ編集		
トレース内挿		
適用領域	-	CSG and CRG
オペレータ長	-	2traces
空間ゲート長	-	8traces
時間ゲート長	-	300msec
CMP編集		
アレイフォーミング	100m	-
CMP間隔	50.0m	12.5m
PRE-FILTER		
帯域周波数	-	6/8-70/80Hz
振幅補償		
幾何減衰補償	-	Newman's Formula
AGC適用ゲート長	600msec	1500msec
コヒーレントノイズ抑制処理		
アルゴリズム	-	Velocity Filter with NMO
通過速度領域	-	±3000m/sec
サブアレイ長	-	-
多重反射波抑制処理		
アルゴリズム	-	Tau-p Deconvolution
デコンボリューション		
アルゴリズム	時間領域トレース単位適用型	最小位相変換 + 時間領域トレース単位 適用型
適用領域	CMP ENSEMBLES / CMP STACK	SHOT RECORDS
前提とするウェーブレット位相	最小位相	最小位相
予測距離	4.0msec	4.0msec
零オフセット位置における設計ゲート	300-3300msec (Non-TV)	250-2900msec/ 2600-5000msec(TV)
オペレータ長	300msec	320msec
プリホワイトニングファクター	0.5%	1.0%
速度解析		
解析内容	重合速度	重合速度
解析点間隔	5000m	500m
解析速度数	25(1400-5400m/sec)	40(1400-5000m/sec)
CMP重合		
NMOストレッチファクター	1.8	5.0
重合前振幅調整	-	AGC 400msec
標準重合数	12	48
重合オフセット距離範囲	0-2666m	0-2666m
帯域通過フィルター		
オペレータ長	300msec	300msec
周波数通過帯域	Time-variant	Time-variant
周波数-空間領域予測フィルター		
オペレータ長	-	3 CDPs
空間ウィンドー長	-	30 CDPs
時間マイグレーション		
アルゴリズム	-	差分マイグレーション (F-D Time Migration)
最大傾斜角度	-	45degree

本調査海域では 50-100msec の周期を持つ短周期海底面多重反射が顕著であり、海底面直下の比較的浅部の解釈を阻害しているため、Tau-p 領域でデコンボリューション処理を実施する多重反射波抑制処理を適用した。以下に適用パラメタを記述する。

予測距離 : 24.0msec
 零オフセット位置における設計ゲート : 200~2200msec[Non-TV]
 オペレータ長 : 240msec
 プリホワイトニングファクター : 1.0%
 アルゴリズム : トレース単位型

Tau-p 領域スローネストレース数 : 301
 多重反射波抑制処理は H72-5 測線および H72-J-2 測線に適用した。

(9) デコンボリューション (Deconvolution)

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、トレース単位のデコンボリューションを適用した。パラメタテストは発震記録および重合記録断面について行った。

(10) 共通反射点編集 (Common Midpoint Sorting)

上記 (3) で設定した受振点発震点位置に従って共通反射点編集を行った。

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

定速度重合法による速度解析を実施した。解析点間隔は既存解析の 1/10 の 500m 毎とした。

(12) 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、ストレッチミュートを適用した。

(13) ミュート (Outside Mute)

NMO 補正に伴う波形の伸長および Far オフセット側に残留する屈折波初動部分を抑制する目的で、ミュート処理を適用した。ミュートカーブは全速度解析点の CMP アンサンブルについて設計適用した。

(14) 共通反射点重合 (CMP Stack)

共通反射点アンサンブルに関して、全ての有効オフセット距離に関して CMP 重合処理を実施した。

(15) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

零位相帯域通過フィルターを採用した。周波数通過帯域は以下に示す通り時間方向に可変とした。

往復走時 [ms]	通過帯域 [Hz]	遮断周波数 [Hz]
0	14 - 60	10, 68
700	14 - 60	10, 68
1100	6 - 60	4, 68
4000	6 - 30	4, 35
5000	6 - 30	4, 35

(16) 周波数-空間領域予測フィルター (F-X

Prediction Filter)

周波数-空間領域において複素型予測フィルターを設計、適用して、ランダムノイズを抑制し相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルター処理を実施した。

(17) 時間マイグレーション (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、差分マイグレーション (F-D Time Migration) を実施した。マイグレーション速度には、速度解析の結果得られた重合速度プロファイルを時間および空間方向に平滑化した重合速度を用いた。

(18) 深度変換 (Depth Conversion)

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、Vertical Stretch 法による深度変換を実施した。

以上の処理ステップを経て、CMP 重合時間断面、CMP 重合後マイグレーション時間断面、深度断面を作成した。

3. 図面 SEGY 化と重合後処理

3.1 データ概要

3.1.1 対象測線

海上基礎物理探査「道南～下北沖」の内、D86-E-3, D86-E-2, D86-1-1, D86-1-2, D86-1, D86-D-2 の 6 測線を対象とした。第 1 図に測線位置を示す。

第 3 表 データ取得仕様。「道南～下北沖」。

Table 3 Data acquisition specifications of the Donan~shimokitaoki surveys.

Survey Name		Donan~Shimokitaoki1986	
Reflection Data to be processed		Line Name	Line Length
		D86-E-3	18.7km
		D86-E-2	19.7km
		D86-1-1	28.7km
		D86-1-2	50.2km
		D86-1	19.2km
Source		D86-D-2	42.0km
		Type	Bolt Airgun
		Gun Volume/Pressure	(3223cu.in.,2000psi)
		Gun Depth	8m
Receiver		SP Interval	25m
		Streamer System	AMG-Streamer 2375m
		Near-offset Gap	289m
		Receiver	Hydrophone(10Hz)
		Cable Depth	15m
		Receiver Interval	25m
Recording		No. of Channels	96
		Vessel	KAIYO-MARU
		Recording System	TI-DFS-5
		Filter	OUT-64/70Hz(dB/oct)
		Gain Control	IFP
		Sampling Rate	4msec
		Record Length	5sec

3.1.2 データ取得仕様

第3表にデータ取得仕様を示す。

3.2 データ再処理

3.2.1 重合断面図から SEGY デジタルデータ作成

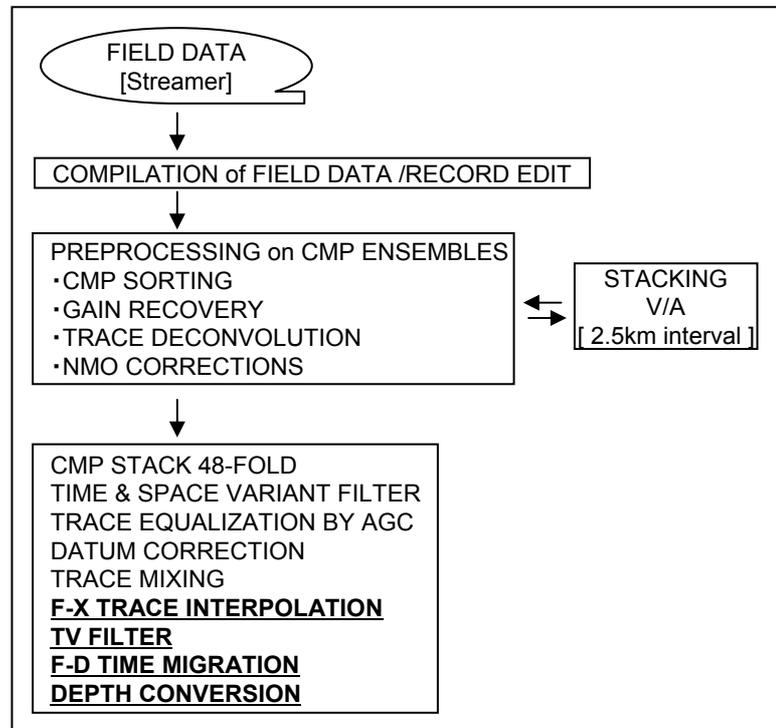
D86-E-3, D86-E-2, D86-1-1, D86-1-2 の4測線は、重合後デジタルデータが存在せず、紙面で残存する CMP 重合記録断面図をスキャンし SEGY フォーマットのデジタルデータを生成した。スキャンは 400dpi の精度で実施した。既存解析の CMP 間隔は 12.5m であるが、スキャンした断面図の表示では Trace Mixing が実施されているため、SEG Y 化した重合記録のトレース間隔は 25.0m となっている。このため、周波数-空間予測フィルターを用いたトレース内挿処理を実

施し、重合記録トレース間隔を 1/2 にし、CMP 間隔 12.5m のデータを生成した。パラメタは 2.2 (2) と同じである。

3.2.2 重合後処理

CMP 間隔 12.5m とした全 6 測線の CMP 重合記録に対して以下の処理を適用した。第3図に再解析フローを示す。また第4表に再解析パラメタを既存解析のパラメタと合わせて示す。

- (1) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)
手法、パラメタは 2.2 (15) と同じである。
- (2) 時間マイグレーション (Time Migration)
手法、パラメタは 2.2 (17) と同じである。
- (3) 深度変換 (Depth Conversion)
手法は 2.2 (18) と同じである。



第3図 データ処理フロー。「道南～下北沖」に適用。太文字下線で示すメニューを再解析で新たに適用した。

Fig.3 Data processing flow of the Donan~Shimokitaoki surveys.

第4表 データ再解析パラメタ。「道南～下北沖」。既存解析のパラメタと合わせて示す。

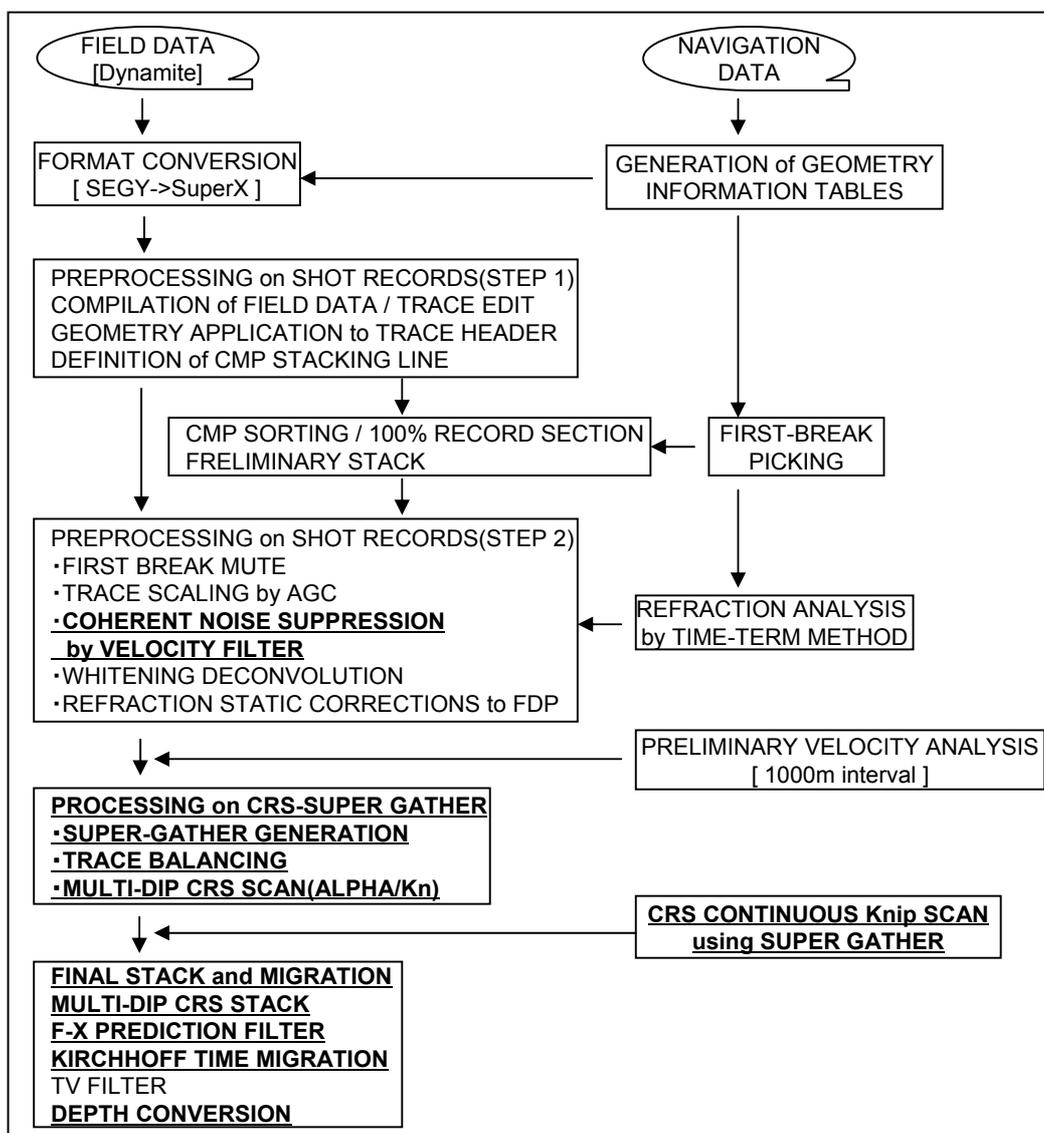
Table 4 Data processing parameters of the Donan~shimokitaoki surveys.

	既存解析(1986)	再解析(2011)
F-Xトレース内挿		
予測フィルターオペレータ長	-	2traces
予測フィルターゲート長	-	8traces
予測フィルター時間ゲート長	-	300msec
帯域通過フィルター		
オペレータ長	-	300msec
周波数通過帯域	-	Time variant
時間マイグレーション		
アルゴリズム	F-K領域マイグレーション	差分マイグレーション (F-D Time Migration)
最大傾斜角度	-	45degree

第 5 表 データ取得仕様. 「日高地域」.

Table 5 Data acquisition specifications of the Hidaka-chiiki survey.

Survey Name		Hidaka-Chiiki1991	
Reflection Data to be processed		Line Name	Line Length
		H91-3	48.5km
Source	Type	Dynamite	
	Source Quantity	15.6kg(5.2kg × 3Holes)	
	Source Depth	32m(5.2kg) / 41m(8.2kg)	
	Source Array	7m × 3Holes / 14m × 2Holes	
	SP Interval	40m	
Receiver	Type	OYO McSEISIII(10Hz)	
	Receiver Point Interval	20m	
	No.of Geophones/RP	18Geophones(3s*6p)	
	Geophone Interval	2m	
	No. of Channels	260	
Recording	Spread	5.2km(West1.8km-East3.4km)	
	Sampling Rate	4msec	
	Record Length	6sec	
	Recording System	G-DAPS3	
	Pre-amp Gain	24dB	
	Filter	4Hz(18dB/oct) - 90Hz(72dB/oct)	
	Polarity	Up-Movement='Negative'	
Format	SEGY		



第 4 図 データ処理フロー. 「日高地域」に適用. 太文字下線で示すメニューを再解析で新たに適用した.

Fig.4 Data processing flow of the Hidaka-chiiki survey. Bold and underlined menus were newly applied.

第6表 データ再解析パラメタ、「日高地域」. 既存解析のパラメタと合わせて示す.

Table 6 Data processing parameters of the Hidaka-chiiki survey.

	既存解析(1991)	再解析(2011)
フォーマット変換及びデータ編集		
発震点範囲	SP.936-1817	SP.936-1817
受振点範囲	RP.1-2426	RP.1-2426
トレースヘッダーへの測線情報の入力		
CMP間隔	10.0m	10.0m
重合測線からの最大許容偏倚	制限無し	制限無し
屈折初動解析		
屈折初動読み取り位相	立下り	立下り
屈折波インバージョン実施オフセット範囲	400-1000m	400-1000m
表層基底速度を求める際の空間ブロック	1000m	1000m
振幅補償		
AGC適用ゲート長	600msec	600msec
コヒーレントノイズ抑制処理		
アルゴリズム	-	Velocity Filter with NMO
通過速度領域	-	±3000m/sec
デコンボリューション		
アルゴリズム	最小位相変換 + 時間領域トレース単位適用型	最小位相変換 + 時間領域トレース単位適用型
前提とするウェーブレット位相	最小位相	最小位相
予測距離	4.0msec	4.0msec
零オフセット位置における設計ゲート	300-3300msec/ 3000-6000msec(TV)	300-3300msec/ 3000-6000msec(TV)
オペレータ長	300msec	300msec
プリホワイトニングファクター	0.5%	0.5%
浮動基準面に関する静補正		
浮動基準面定義オフセット	0-3400m	0-3400m
補正内容	表層補正及び標高補正	表層補正及び標高補正
速度解析		
解析内容	重合速度	CRS Knip Search
解析点間隔	1000m	Continuous
解析速度数	40(1400-5400m/sec)	Continuous
残差静補正		
アルゴリズム	Linear Traveltime Inversion	-
時間シフトの最大許容値	20msec	-
時間ウィンドー	400-4300msec(Space-variant)	-
CMP/CRS重合		
アルゴリズム	CMP Stack	CRS Scan + Multi-dip CRS Stack (No. of Dip Range=3)
NMOストレッチファクター	1.8	-
重合前振幅調整	-	AGC 300msec
標準重合数	65	2665(41CMPs*65Folds)
重合オフセット距離範囲	0-5200m	0-5200m
周波数-空間領域フィルター		
空間オペレータ長	-	5 CMPs
空間ウィンドー長	-	50 CMPs
時間ウィンドー長	-	1000msec
帯域通過フィルター		
オペレータ長	300msec	300msec
周波数通過帯域	Time-variant	Time-variant
時間マイグレーション		
アルゴリズム	F-X 差分マイグレーション	Kirchhoffマイグレーション
最大傾斜角度	45degree	90degree

以上の処理ステップを経て、CMP 重合後マイグレーション時間断面、深度断面を作成した。

4. 高精度イメージング処理

4.1 データ概要

4.1.1 対象測線概要

陸上基礎物理探査「日高地域」の内、H91-3 測線を対象とした。第1図に測線位置を示す。

4.1.2 データ取得仕様

第5表にデータ取得仕様を示す。

4.2 データ再処理

4.2.1 MDRS 解析前までの基本処理

第4図に再解析フローを示す。また第6表に再解析パラメタを既存解析のパラメタと合わせて示す。

(1) フォーマット変換およびデータ編集 (Format

Conversion and Trace Edit)

発震記録 (SEG Y フォーマット) を, SuperX フォーマット (JGI Internal Format) へ変換した。また, 分割発震となった発震点の記録は, 垂直重合処理を実施した。S/N 比が著しく低くノイズが多く含まれるトレースを処理対象から除外した。

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

発震点, 受振点および各 CMP のインデックス, 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水面位置に設定した。CMP 重合測線は, 既存解析と同じ測線に設定した。

(3) 屈折波初動解析 (Refraction Analysis)

改良型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。表層速度として 700m/sec を採用した。

(4) 初動ミュート (First-break Mute)

強振幅の屈折波初動部分を抑制する目的で, テーパー長 400msec で初動抑制処理を実施した。

(5) 振幅補償 (Gain Recovery)

弾性波の震源からの伝播に伴う幾何減衰, 多層構造内を透過, 多重反射することによる伝播損失および非弾性効果による減衰, さらには受振点, 発震点毎のカップリングの相違に起因する振幅特性の変化を補償することを目的として, 自動振幅調整による振幅補償を行った。

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

測線全域にわたって低速度のリニアノイズが卓越しているため, これらの除去を目的に速度フィルターを適用した。

(7) デコンボリューション (Deconvolution)

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トレース単位のデコンボリューションを適用した。

(8) 共通反射点編集 (Common Midpoint Sorting)

上述 (2) のパラメタによって, 共通反射点編集を行った。

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

静補正は, 標高補正量および表層補正量の和として与えられる。表層補正量は, 前述 (3) の屈折波初動解析による結果を用いて計算した。本調査の基準面

(Datum) は平均海水面位置に設定した。

4.2.2 MDRS 解析

4.2.1 の基本処理を適用したデータを入力として, CRS (Common Reflection Surface Stack) 法および MDRS (Multi-Dip Reflection Surface) 法による高精度イメージング処理を実施した。

(1) CRS 法

MDRS 法の第一段階として CRS 法 (Jager et al. (2001), Mann et al. (2007), Schleicher et al. (1993)) を適用した。CRS 法は, CMP に属するトレースだけではなく, その近傍の CMP を併せたいわゆる Super gather を重合処理することで従来の CMP 重合法と比べて飛躍的に高い重合数を得ることができる手法である。反射点の異なるトレースの重合を空間解像度の劣化を抑えつつ適切に行うため, CRS 法におけるムーブアウト補正ではゼロオフセットセクション上での反射波走時の傾きと曲率といった CMP 間の挙動が考慮される。このため複雑な地下構造への適用性も高い。CRS パラメタ探索では既存の速度解析結果を使用した。

(2) MDRS 法

本調査地域では, 褶曲構造および衝上断層群が卓越し, ゼロオフセット断面上で反射波が交差する状況 (コンフリクティング・ディップ) が予想される。このような状況に対応するため, 第二段階として, 高精度 CRS 解析として位置付けられる MDRS 法 (Aoki et al. (2010)) を適用し, 複数の交差する傾斜を持つ反射面に関わるイメージングの改善を実施した。MDRS 法ではまず予測した反射波の出現角の範囲を幾つかの領域に分割し, それぞれの領域で CRS 法を適用した CRS 重合記録 (MDRS サブセクション) を作成した。次に, CRS 法の副産物であるセンブランスアトリビュートを参照し, サンプル単位に MDRS サブセクションの並び替えを行うセンブランスソート法によって反射波イベントを抽出した。最後にこれらの重ね合わせを行って MDRS 重合時間記録を作成した。

(3) CRS による速度構造の推定

CRS 法のパラメタから RMS 速度プロファイルを推定した。

4.2.3 MDRS 重合後の処理

4.2.2 の MDRS 重合処理後に適用したパラメタを以下に示す。

(1) 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

零位相帯域通過フィルターを採用した。周波数通過

帯域は以下に示す通り時間方向に可変とした。

往復走時 [ms]	通過帯域 [Hz]	遮断周波数 [Hz]
900	10 - 80	6, 85
1200	10 - 60	6, 65
1700	10 - 50	6, 55
2800	10 - 40	6, 45
6000	10 - 30	6, 35

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

周波数－空間領域において複素型予測フィルターを設計、適用して、ランダムノイズを抑制し相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルター処理を実施した。

(3) 時間マイグレーション

既存解析で用いた速度を用いて、キルヒホッフ型時間マイグレーションを実施した。

(4) 深度変換 (Depth Conversion)

既存解析で用いた速度を用いて、Vertical Stretch 法による深度変換を実施した。

以上の処理ステップを経て、MDRS 重合時間断面、マイグレーション時間断面、深度断面を作成した。

5. 再解析結果

第 5-1～5-7 図に再解析で得られた各測線の深度断面を示す。縦横比は、海域断面は 2:1、陸上断面は 1:1.25 とした。

発震記録まで遡って再解析した基礎物理探査「日高一渡島」では、トレース内挿処理による稠密対称サンプリングの実現と重合処理の最適化が重合記録の品質向上に奏功した。擬似的に発震点および受振点間隔 25.0m の発震記録を全データについて構築することにより、トレース内挿処理を適用しない場合に卓越する浅部の Trace Jittering を低減し、また、48 重合の標準重合数、500m の稠密速度解析間隔を確保することにより、速度解析の精度向上および最適化重合による顕著な品質改善を実現した。さらに、トレース内挿後の共通発震記録に NMO 補正を伴う周波数－波数領域における速度フィルターを適用し、断層解釈を阻害する屈折多重反射波の抑制を実施した。

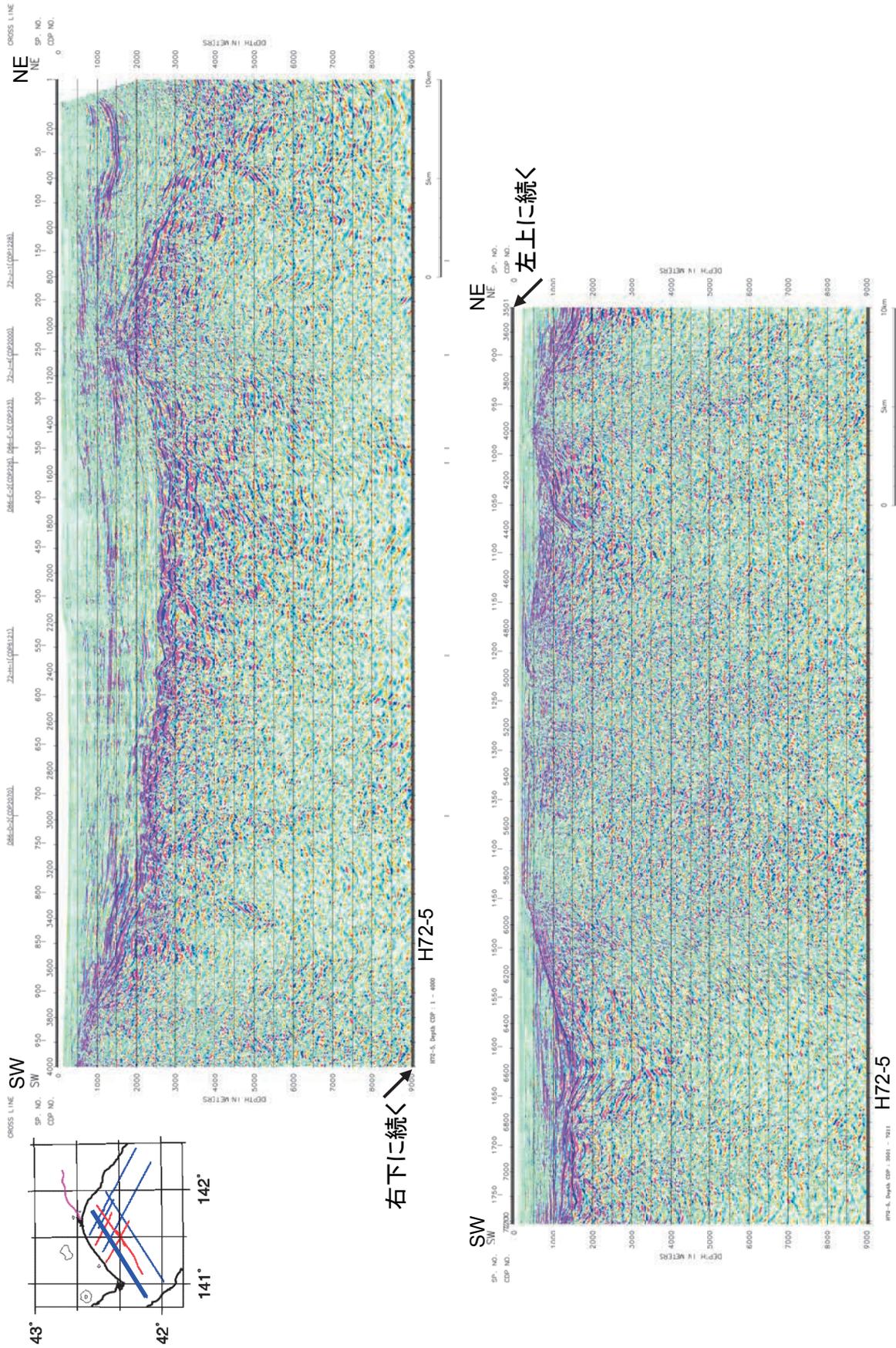
海域再解析測線の多くは南北方向の苫小牧リッジを横断する。それらの断面図から、苫小牧リッジは新第三系の堆積物で被覆され、北方へ緩やかにプランジし、雁行する正断層によって切られていることが確認

される。苫小牧リッジ東側では衝上断層および褶曲構造等の圧縮テクトニクスの影響が卓越し、日高海盆側では、千島弧西進に伴って形成された前弧堆積盆のデュプレックスを被覆する厚い堆積層の存在が示唆される。しかし、曳航ケーブル長が 2350m (最大オフセット 2666m) に限定されているため、必ずしも急傾斜反射波列は捕捉できず、石狩層群・音響基盤のイメージングに影響を与えている。海底面に見られる北西－南東方向の比高勾配の変化箇所(海底崖)は、H72-J-2 測線の CMP.1100 付近、および H72-6-2 測線の CMP.3980 付近を横断し、これは石狩低地東縁断層の海域延長に相当する可能性がある。上記 CMP 位置近傍の浅部においては速度不均質に起因するデータ S/N の低下が顕著であるが、その周辺の背斜両翼における高角反射波のイメージングは従来の解析結果と対比して、大きく向上した。

陸上基礎物理探査「日高地域」の H91-3 測線は、勇払平野から日高山地西縁部に至る測線である。測線西部の勇払地域は浅部における構造変形が相対的に乏しいが、測線東部の日高山地西縁部は深部にまで至る複数階建てのデュプレックス構造で特徴付けられる地域である。この両者の中間に位置する馬追丘陵部は、浅部ではスラストなどの圧縮性構造が発達するが、深部では正断層による伸張性構造の発達で特徴付けられる遷移域に相当する。既存解析結果では、この馬追丘陵部付近の中新統川端層および軽舞層の地表分布域 (CMP.801－2600) において、褶曲構造・衝上断層群の有意な反射波列を抽出することは困難であり、相対的に強反射を示す石狩層群に関しても、厚真向斜 (CMP.2700－3200) 直下を中心として部分的に確認が困難な区間が存在した。イメージング向上を目的として Multi-Dip 型 CRS (MDRS) 処理を適用した。それにより、厚真向斜を中心とする褶曲構造、厚真断層 (CMP.2700) とその地下深部延長を中心として、馬追丘陵区間のイメージング結果は大きく改善した。

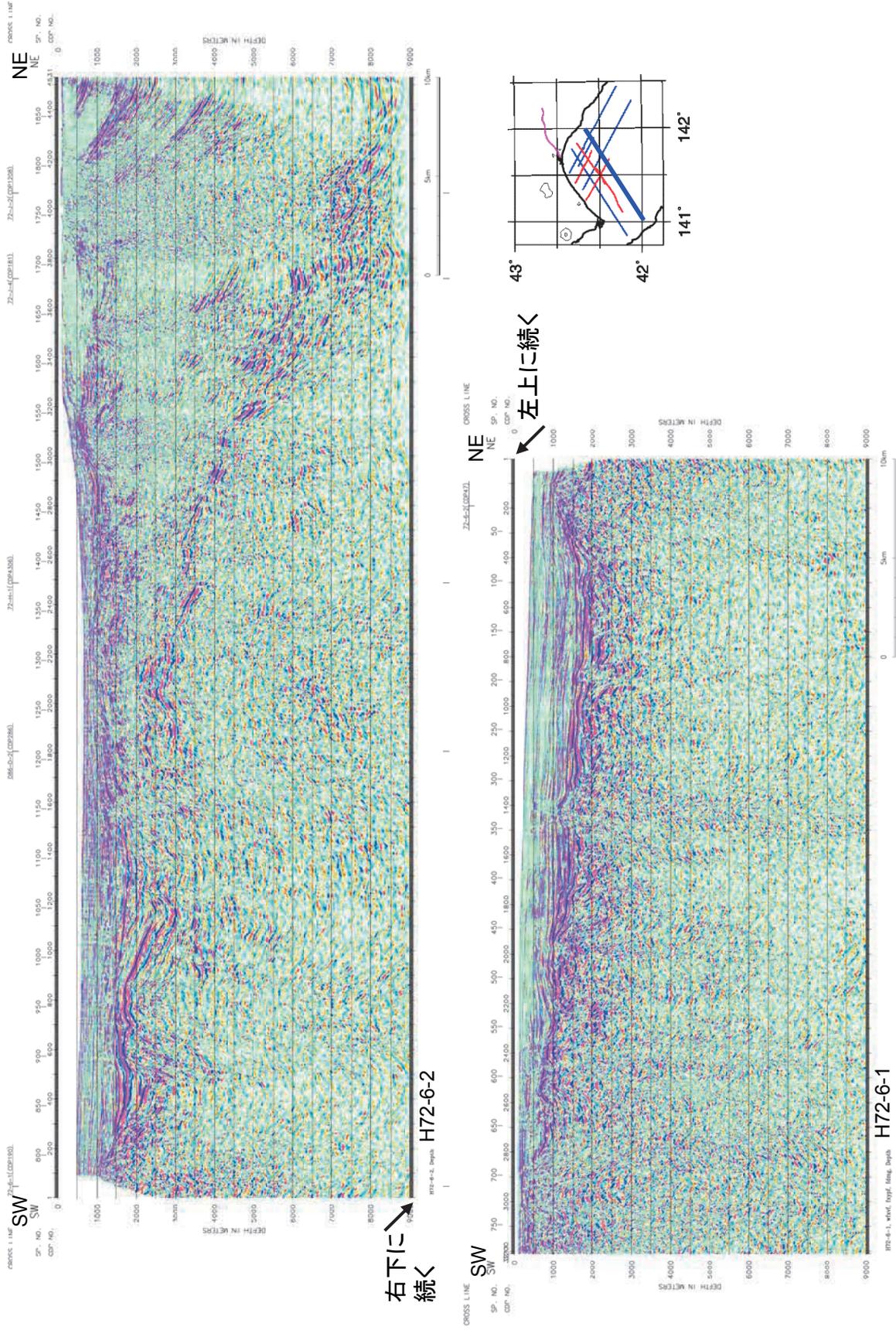
6. おわりに

石狩低地東縁断層帯の南部およびその延長域の既存反射法地震探査データ 14 測線を再解析した。海域の 13 測線のうち、7 測線は発震記録まで遡って再解析し、最新のデータ処理適用により特に高角反射波のイメージング結果が従来より大きく向上した。海域のほかの 6 測線は、CMP 重合時間断面 (2 測線はデジタルが存在、4 測線は断面図の紙面プロットをデジタル

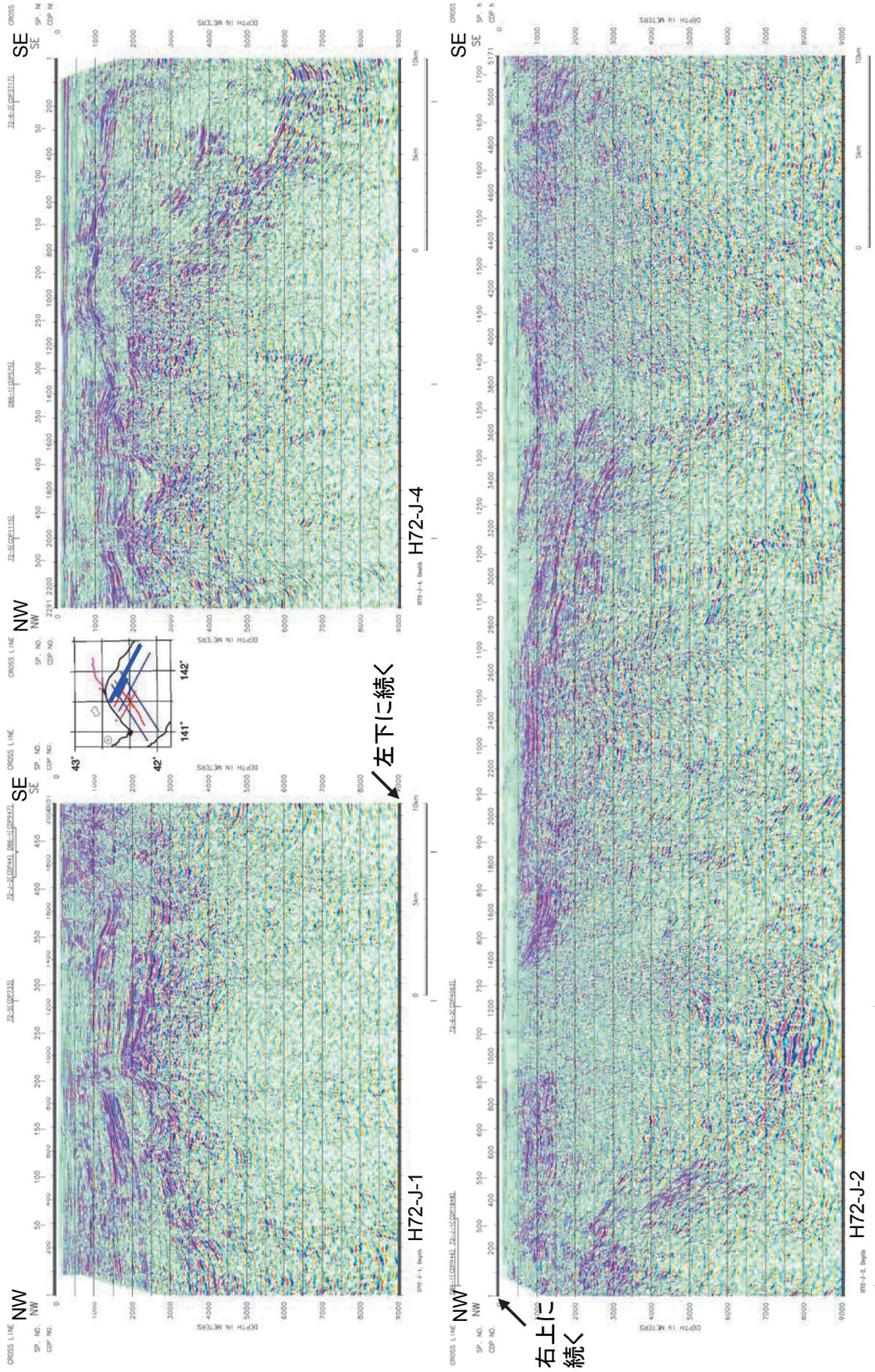


第 5-1 図 H72-5. 深度断面. 縦横比は、海域断面は 2 : 1 とした.

Fig.5-1 H72-5. Depth sections. The vertical exaggeration is 2 for offshore sections.

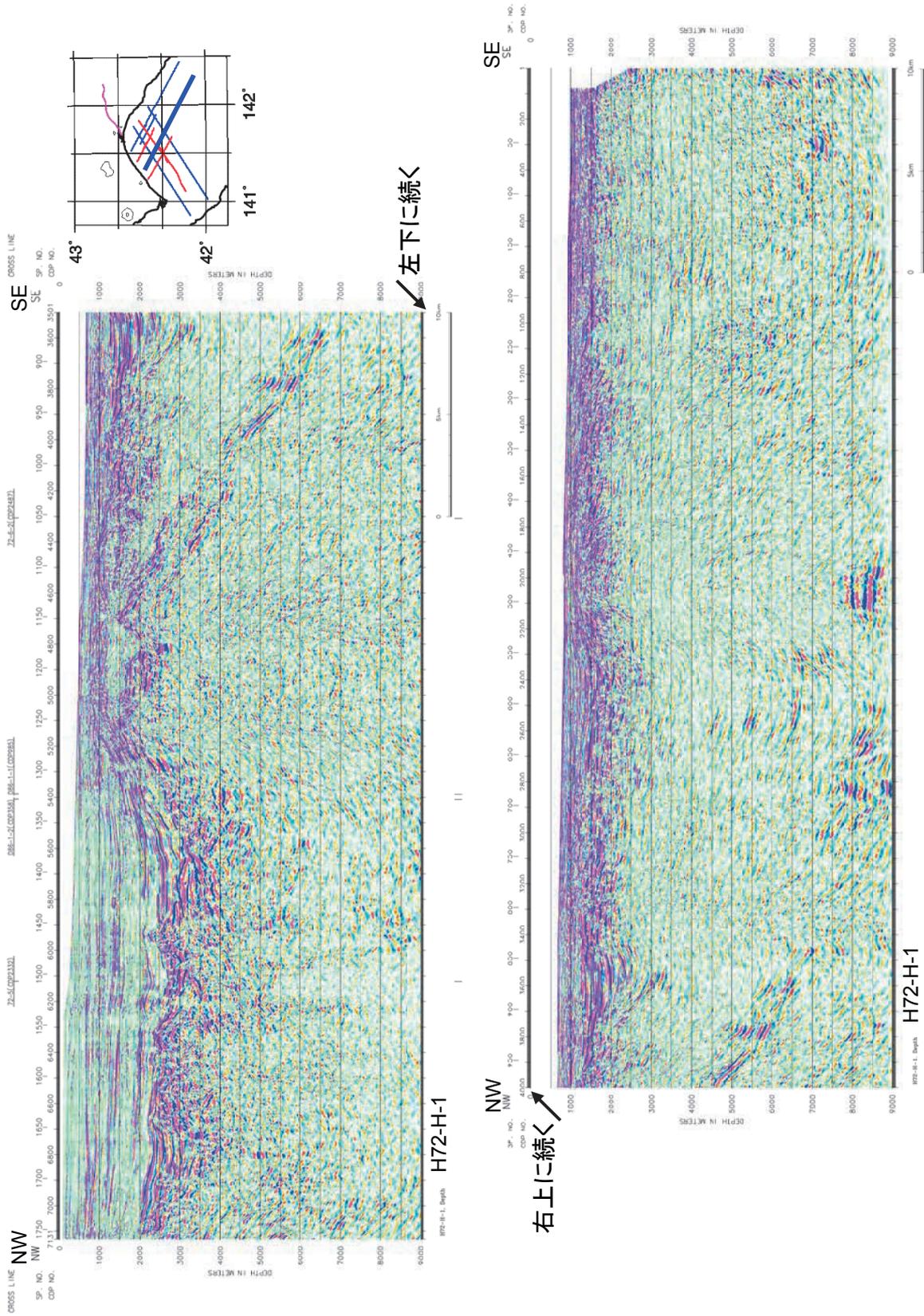


第 5-2 図 H72-6-1, H72-6-2. 深度断面. 縦横比は, 海域断面は 2 : 1 とした.
 Fig. 5-2 H72-6-1, H72-6-2. Depth sections. The vertical exaggeration is 2 for offshore sections.



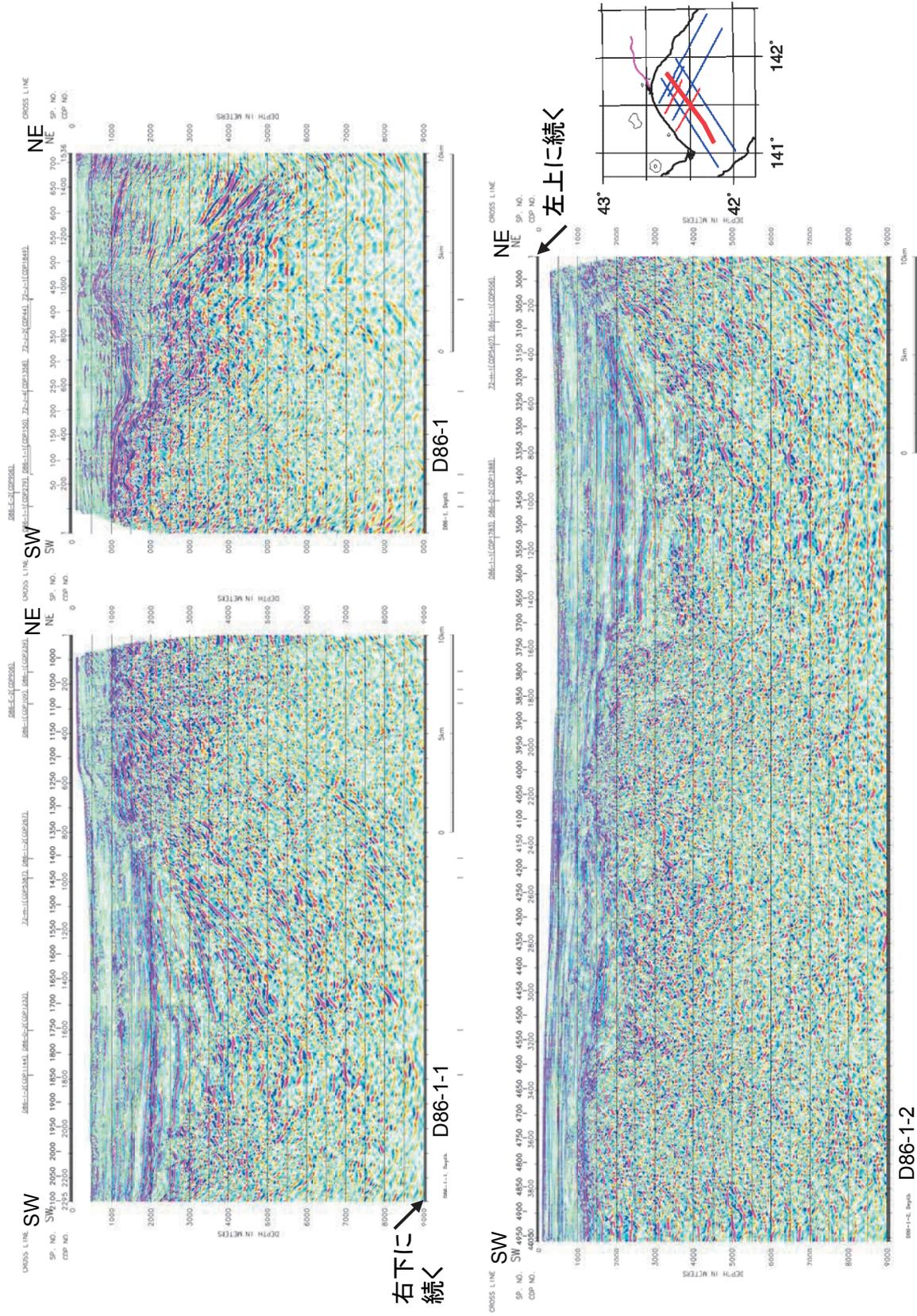
第 5-3 図 H72-J-1, H72-J-2, H72-J-3, H72-J-4. 深度断面。縦横断面は 2 : 1 とした。

Fig. 5-3 H72-J-1, H72-J-2, H72-J-3, H72-J-4. Depth sections. The vertical exaggeration is 2 for offshore sections.



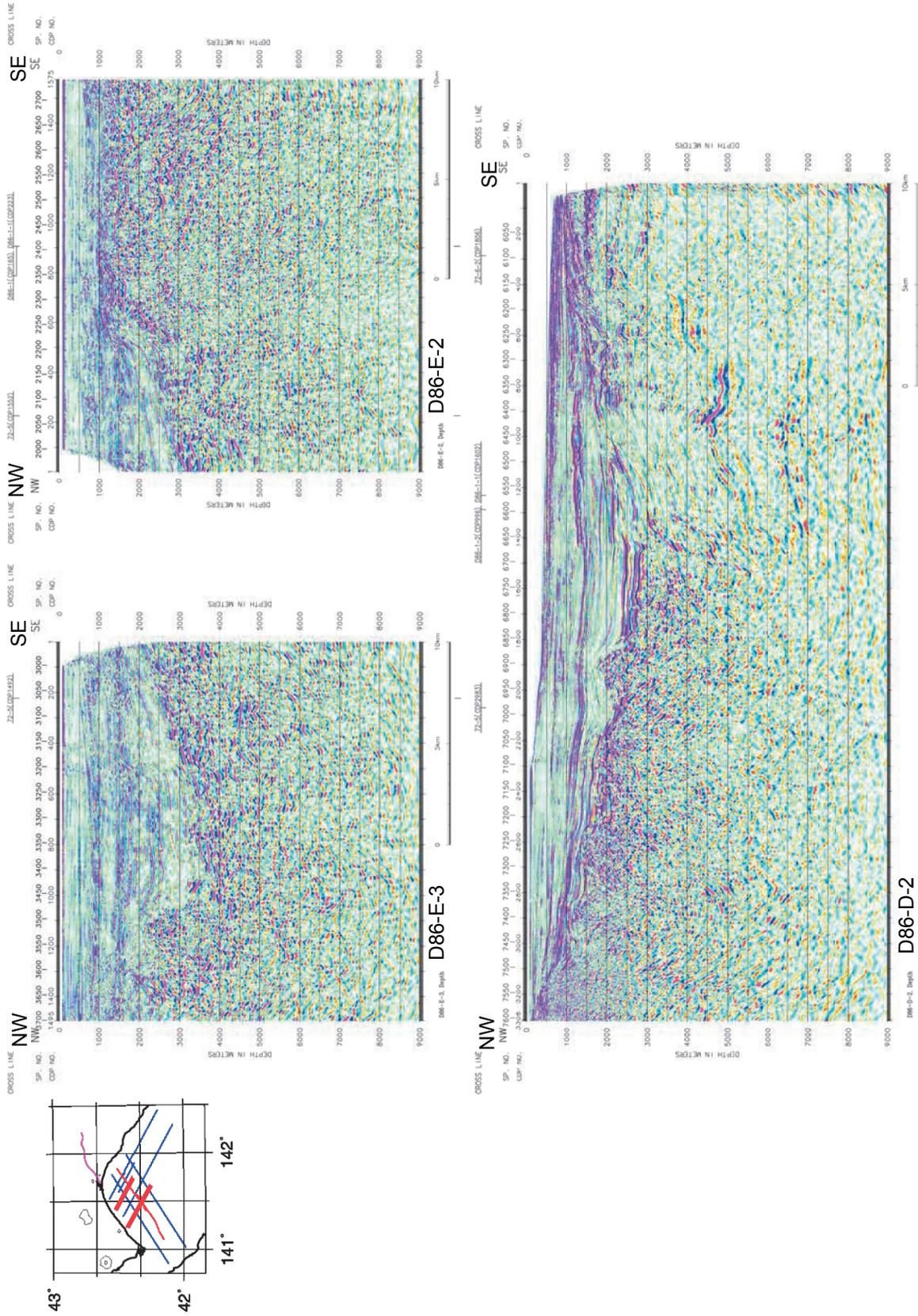
第 5-4 図 H72-H-1. 深度断面. 縦横比は、海域断面は 2 : 1 とした.

Fig.5-4 H72-H-1. Depth sections. The vertical exaggeration is 2 for offshore sections.

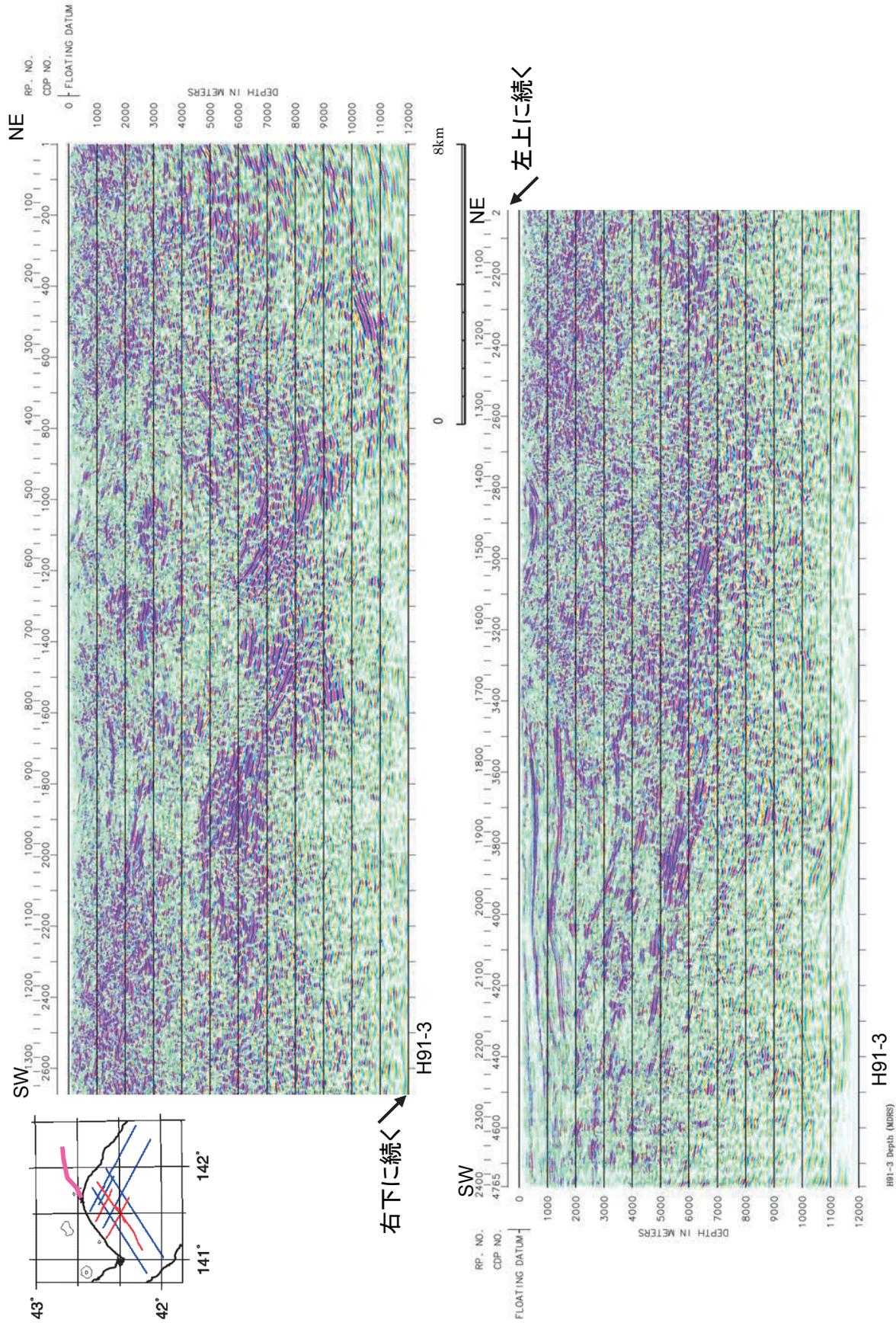


第 5-5 図 D86-1, D86-1-1, D86-1-2. 深度断面. 縦横比は、海域断面は 2 : 1 とした.

Fig.5-5 D86-1, D86-1-1, D86-1-2. Depth sections. The vertical exaggeration is 2 for offshore sections.



第 5-6 図 D86-D-2, D86-E-2, D86-E-3. 深度断面. 縦横比は、海域断面は 2 : 1 とした。
 Fig.5-6 D86-D-2, D86-E-2, D86-E-3. Depth sections. The vertical exaggeration is 2 for offshore sections.



第 5-7 図 H91-3. 深度断面. 縦横比は, 陸上断面は 1 : 1.25 とした.

Fig.5-7 H91-3. Depth sections. The vertical exaggeration is 0.8 for onshore section.

化)のデータにマイグレーション、深度変換等を適用した。以上により、苫小牧周辺沿岸海域の広域的な地下構造データ収集と整理が実現した。陸域の1測線では、MDRS法の適用により、従来は不鮮明だった馬追丘陵部のイメージング結果が大きく改善された。

今後は、今回の再解析結果、再解析の対象外の周辺既存地下構造データ、平成22年度に実施した2測線での反射法地震探査(横倉ほか, 2011)と重力探査(岡田ほか, 2011)等を合わせて、石狩低地東縁断層帯の地下構造を明らかにする。

謝辞

本研究を進めるにあたり、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構には石油・天然ガス基礎調査関連の各種資料の貸与許可、およびそれらを利用した研究成果の公表許可を頂いた。同機構に心からの謝意を表します。

文献

- Aoki, N., Narahara, S., Takahashi, A. and Nishiki, T. (2010) Imaging of conflicting dipping events by the multi-dip reflection surfaces method, SEG Expanded Abstract.
- Jager, R., Mann, J., Hocht, G. and Hubral, P. (2001) Common-reflection-surface stack: Image and attributes, Geophysics, Vol. 66(1), pp. 97-109.
- Mann, J., Schleicher, J., and Hertweck, T. (2007) CRS Stacking - A Simplified Explanation, In Extended abstracts, 69th Conf. Eur. Assn. Geosci. Eng. B044.
- 岡田真介・住田達哉・牧野雅彦・山口和雄・横倉隆伸 (2011) 石狩低地東縁断層帯・馬追丘陵を横切る重力探査. 平成22年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報(本研究報告).
- Schleicher, J., Tygel, M., dan Hubral, P.: Parabolic and hyperbolic paraxial twopoint traveltimes in 3d media, Geophysical Prospecting, (41) : 495-5, 1993.
- 石油開発公団(1973) 昭和47年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「日高一渡島」調査報告書, 18p.
- 石油公団(1987) 昭和61年度国内石油・天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「道南～下北沖」調査報告書, 36p.
- 石油公団(1993) 平成3年度国内石油・天然ガス基礎調査陸上基礎物理探査「日高地域」調査報告書, 25p.
- 横倉隆伸, 山口和雄, 岡田真介(2011) 石狩低地東縁断層帯における反射法地震探査, 平成22年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報(本研究報告).