

3. 2 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構	研究開発センター長代理	高橋 成実
	グループリーダー	清水 祥四郎
	調査役	及川 信孝
	特任技術副主任	安藤 五郎
	特任技術副主任	佐藤 伸明
	特任技術主事	新井 麗
	特任技術主事	勝山 美奈子
	特任技術主任	田中 恵介

(c) 業務の目的

統一的断層解釈を行うために収集された反射法地震探査データ（以下、「反射法データ」）等から、海底下最大10～20 km程度までの反射面の分布を把握するため、ノイズ除去手法などの最新のデータ解析を加え、深部イメージングの品質を向上させる。データベース（以下、「DB」）に登録後、断層の解釈、及び断層の三次元的な広がり进行评估する。その後、深さ方向を時間軸から深度軸に変換するための三次元地震波（P波）速度構造（以下、「速度構造」）を作成して解釈した断層を深度領域に変換し、その中から主断層を選定し、サブテーマ(3)に情報を提供する。断層の深部延長も解釈を加え、そのデタッチメントの場所进行评估する。解釈結果は、客観性を保持するため、アドバイザー、評価助言委員の方々から意見を頂き、適宜改訂する。

(d) 7ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成 25 年度：

収集したデータ（日本海）の再解析を開始、多重反射波除去のパラメータテストを行い、今後の解析のフローを作成した。また、既存の解釈データも収集、参考にしながら解釈作業を開始した。併せて日本海周辺の数値情報を収集、層構造構築を開始した。

2) 平成 26 年度：

引き続き収集したデータ（日本海）の再解析と解釈を行い、上記手法に従って断層評価を進めた。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て適宜改訂を行っ

た。三次元地震波（P波）速度構造モデル（以下、「速度構造モデル」）は、日本海全体に対して作成し、断層モデルの深度変換作業を行った。

3) 平成 27 年度：

日本海データの解釈をとりまとめ、DB に登録した。南西諸島南部海域のデータを収集し、一部データについては再解析を行い、その結果と既存の収集データを活用して断層解釈を行い、断層評価を実施した。速度構造モデルは、南西諸島南部海域に対して作成し、断層モデルの深度変換作業を行った。

4) 平成 28 年度：

南西諸島海域北部海域データの再解析と解釈を行い、DB に登録する。南西諸島南部海域も含めた速度構造モデルを構築する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て改訂する。データ公開システムの仕様を検討しているサブテーマ(1)に日本海、及び南西諸島海域の解釈例の提供を行うとともに、適宜必要に応じて改定を行う。また、断層モデルは適宜サブテーマ(3)に提供する。

5) 平成 29 年度：

伊豆・小笠原海域のデータの再解析と解釈をとりまとめ、DB に登録する。速度構造モデルを構築する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て適宜改訂を行い、サブテーマ(3)に提供する。

6) 平成 30 年度：

南海トラフ域のデータの再解析と解釈を行い、DB に登録する。速度構造モデルの構築を開始する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て改訂する。また、断層モデルは適宜サブテーマ(3)に提供する。

7) 平成 31 年度：

引き続き南海トラフ域のデータの再解析と解釈を行い、DB に登録する。速度構造モデルを構築する。解釈結果はアドバイザーからの助言を得て改訂し、断層モデルは適宜サブテーマ(3)に提供する。また、情報展開のためのシステムを試作する。

(2) 平成 27 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 27 年度は南西諸島南部海域において反射法データの再解析と解釈を実施した。対象となったデータの再解析は、石油資源開発株式会社（以下、「JAPEX」）から提供されたデータのうち、測線長計約 5,900 km のマルチチャンネル反射法地震探査（以下、「MCS」）データであった。開始するにあたり、地震探査データ、坑井データ他、文献等々の収集を図ると共に、断層解釈の際に問題となる種々多重反射を取り除く処理、様々なデータ取得仕様を統一的な波形とする波形変換処理等の再解析を実施した。

国際石油開発帝石株式会社（以下、「INPEX」）より提供を受けた約 7,100 km のデー

タは、フィルム断面図（アナログデータ）のみであったため、ベクトル化解析を行いデジタルデータに変換した。国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、「AIST」）のシングルチャンネル反射法地震探査（以下、「SCS」）データについてもノイズ除去等の解析を行った。

速度構造モデルは南西諸島南部海域に対して構築した。速度構造モデルを作成するにあたり、反射法データの処理過程で得られる重合速度と、海上保安庁が実施した地殻構造探査のOBSデータ解析で得られた速度データを使用した。

地質構造を把握するためのホライゾン解釈としては、音響基盤と第三紀の不整合面の解釈を南西諸島南部海域に対して実施した。

(b) 業務の実施方法

本年度実施した基本的なMCSデータの再解析フローとしては、データチェックの後、フォーマット変換、トレースエディットと最小位相化解析、簡易速度解析の後にノイズ抑制解析、各種多重反射解析、振幅補償、デコンボリューション、Common Mid Point (CMP) ソート、1 km間隔の速度解析後のNormal Move Out (NMO) 補正、この時点で除去しきれないデータに対して再度多重反射波除去、タイムマイグレーション、F-X予測フィルター、帯域通過フィルターの内容で順に実施した。特に多重反射波解析については、海水面に起因する長周期多重反射波を抑制するSurface-Related Multiple Elimination（以下、「SRME」）、層間多重反射波に代表される短周期多重反射波を抑制するRadial Trace Deconvolution（以下、「RTD」）を用いた。デジタルデータが存在しない測線については、重合断面図（フィルム断面図）をスキャナーで読み取りベクトル化解析によりデジタルデータに変換した。

AIST等のSCSデータについては、トレースの連続性の着目したフィルター解析を実施した。再解析は、フィールドデータに対して、フォーマット変換、振幅補償、走時補正、F-X予測フィルター、トレースミュート、タイムマイグレーションを実施、解析の基準フローを作成した。

これらの再解析したデータに加え、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（以下、「JOGMEC」）、国立研究開発法人海洋研究開発機構（以下、「JAMSTEC」）、海上保安庁によって近年取得された、再解析の必要がない高品質のデータを合わせて解釈作業に使用した。尚、解釈作業にあたっては、既存の解釈結果や文献も参考に進めた。

速度構造モデルの構築にあたり、まず、南西諸島全域での海底面、解釈したA-horizon、B-horizonのデータを用い、surfaceを作成し層構造を構築した。速度情報としては、反射法データやOBS調査データ及び坑井の速度データなどを使用して、基本となる速度キューブを作成した。この速度キューブに層構造を当てはめ、各層構造に様々な情報から速度関数を与え、速度構造モデルを構築した。速度構造モデルは水平

方向1kmグリッド、鉛直方向100m間隔の解像度で作成し、この速度構造モデルを用いて、反射法データ及び断層面の深度変換を行った。

断層解釈作業は、調査実施時期や調査仕様の異なる様々な反射記録断面図を用い、時間断面上で解釈を行い、統一的な速度構造モデルを用いて深度変換し、断層の形状を確認して、最終的な断層解釈とした。その後、断層の空間的な連続性を同定するため、解釈の際に海底地形や地質構造の特徴、断層下端の位置に従って分類分けし、その特徴の連続性を判断の基準とした。

(c) 業務の成果

1) データ再解析

平成 27 年度は、JAPEX より提供されたデータ約 5,900 km の測線に対するデータ再処理作業と、INPEX より提供されたデジタルデータが存在しない約 7,100 km に対するベクトル化作業を実施した。

a) データ概要

データ再解析作業の対象となる調査のデータ概要をまとめる。各調査における発震記録例を図 1 (a) 及び図 1 (b) に示す。対象調査のデータ概要は以下のとおりである。

- ・解析対象調査ではデータ取得時に 8 Hz のローカットフィルターが適用されているため、発震記録上に波浪ノイズ (Swell Noise) はほとんど確認できない。
- ・ケーブルノイズや船舶ノイズなどのコヒーレントノイズは見られず、品質は良好である。
- ・海底面に起因する多重反射波が卓越しており、一部の測線では反射波の識別を困難にしている。

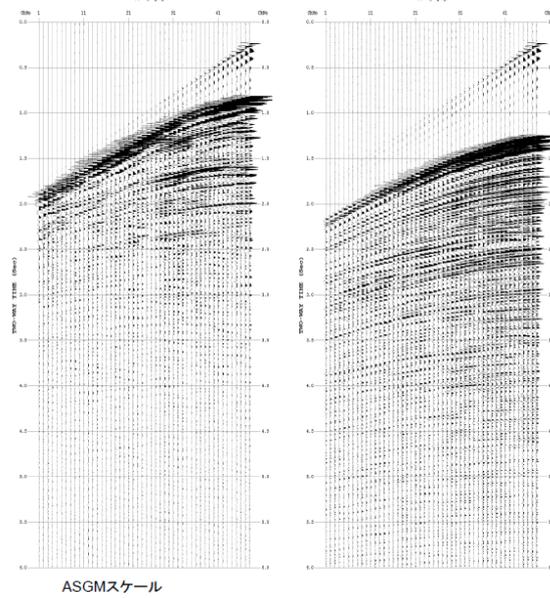


図 1 (a) 発振記録例

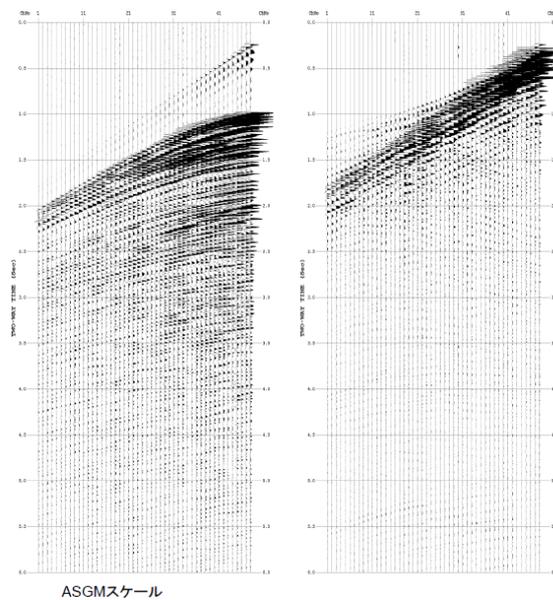


図 1 (b) 発振記録例

b) データ再解析概要

本データ再解析作業は、処理ソフトウェア「SuperX」を用いて実施された。重合前時間マイグレーションについては、TECHCO 社のソフトウェア「SUMMIG」が用いられた。各調査のデータ品質を考慮して最適な処理結果が得られるように、処理フロー及び処理パラメータを決定した。

本再処理では、海域断層のジオメトリ把握と可視化の観点から、解釈上

の必要に応じて、複合型多重反射波抑制処理、重合前時間マイグレーション、Multi-dip 型 CRS 解析の追加解析を実施した。これらの追加解析の作業量は、仕様により、それぞれ、解析対象調査の全有効測線長の 19%、2%および2%を超えないものとした。

古い年代の解析対象データに関しては、一部で発震記録のデータ欠損が確認されている。各測線でデータ欠損が25%を越えている場合は、対象測線をデータ解析から除外し、重合後記録のデジタルデータが残存する場合はその重合後記録を、残存しない場合はベクトル化処理で作成された重合後記録のデジタルデータを用いて、重合後の信号強調処理、重合後時間マイグレーション及び深度変換を実施した。データ欠損率が25%以下であっても、測線全体に欠損箇所が散在し、データ解析に大きな支障となる場合には同様の対応を取った。主な処理項目について以下にまとめる。

i) 複合型ノイズ抑制処理

対象記録のノイズ特性を考慮して、各種手法を複合的に組み合わせたノイズ抑制処理を検討し、適用した。一部の発震記録では探鉱機に由来するパルスノイズが見られたため、これを抑制する目的でパルスノイズ抑制処理を適用した。全調査の発震記録上には僅かではあるがランダムノイズが確認されたため、ランダムノイズ抑制効果のある F-X 予測フィルターを発震記録に適用し、空間的にコヒーレントな信号を抽出・強調した。ノイズ抑制手法の選択およびパラメータの決定においては、反射波を損傷しないように細心の注意を払った。

ii) 複合型多重反射波抑制処理

対象海域では海底深度が変化することから、長周期多重反射波、短周期多重反射波及び回折多重反射波などが重複的に発生している可能性があるため、各種手法を複合的に組み合わせた多重反射波抑制処理を検討し、適用した。短周期多重反射波の抑制には、標準解析で適用される RDT 法を用いた。長周期多重反射波の抑制には、SRME 法を用いた。SRME 法は、複雑な海底地形でも多重反射波の抑制効果が高く、反射波の損傷も小さく抑えられるため、仕様上は追加解析であったが全測線に適用することとした。ただし、SRME 法は波動方程式に準拠するため、二次元記録では三次元構造に起因する多重反射波の予測に誤差が生じ、このような多重反射波の抑制効果は低下する。

また、ファーオフセットでの多重反射波や、回折多重反射波についてはその抑制効果は限定的であるため、このような多重反射波が存在する場

合には、放物線ラドン変換法を検証し、効果が見られた場合は適用することとした。ところで、対象調査ではニアオフセットギャップが大きく、浅海域では海底面反射波が正しく取得できないため、波動方程式に基づくSRME法や周期性に基づくRDT法では、海底面に起因する1回目の短周期多重反射波の抑制は困難である。このようなケースでも走時差に基づく放物線ラドン変換法では、短周期多重反射波の抑制効果が期待できるため、この手法を検証し、効果が見られた場合は適用することとした。なお、本解析ではSRME法を対象調査の全測線に適用したため、複合型多重反射波抑制処理の対象測線長は、放物線ラドン変換法の適用測線長のこととなる。

iii) 重合前時間マイグレーション

過褶曲、複背斜あるいは衝上断層群といった短波長の構造不均質が顕著であり、海域活断層の解釈に重要な領域のデータに関しては、重合前時間マイグレーションを適用した。本年度の仕様では、重合前時間マイグレーションの対象測線長は全測線長の2%と大きく制限されたことから、解析対象範囲を測線内の注目する一部の区間に限定したため、解析対象測線長は実際の測線長よりも短く設定された。ただし、測線端ではマイグレーションの口径（アパチャー）の影響により品質が低下するため、実際の重合前時間マイグレーションの解析作業では、選択範囲にこの影響が及ばないよう測線全体を解析対象とし、処理結果から対象範囲を抜き出すこととした。

iv) Multi-dip型 CRS 解析

海域活断層の深部延長に関して、そのジオメトリー把握を目的とした微弱な深部反射波のイメージングが必要と判断されたデータについて、CRS (Common Reflection Surface) 法を適用した。CRS法では、近軸波線理論 (Paraxial Ray Theory) に基づき、ゼロオフセット反射波走時に関わるCMP間走時差の挙動を考慮したムーブアウト補正、つまり反射面沿いの振幅応答の集約を通じて飛躍的な重合数が確保される。CRS法では反射面として連続的な曲面を仮定するため、細かな断層形態を把握することは困難と考えられるが、不明瞭な深部構造の大局的な構造や、大きな断層などの把握に関しては有効である。

本解析では、複数の傾斜イベントに関して対応可能なアルゴリズム (Multi-dip型 CRS 解析) を採用し、深部反射波イメージングの高精度化を図った。解析対象測線長は、重合前時間マイグレーションと同様の理由から、実際の測線長よりも短く設定された。

v) ベクトル化処理

解析対象測線においてデータ欠損が多くデータ解析の除外となった測線で重合時間記録がデジタルデータとして残存していない場合と、INPEXから提供された既存結果のうち重合後デジタルデータが存在しない測線については、フィルムあるいは紙面で残存するCMP重合断面図をスキャナーで読み取りSEG-Yデータを生成するベクトル化処理を実施した。解析対象測線においてデータ欠損率が小さくても、データ欠損が連続することで重合記録上にデータ欠損が見られる場合には、同様の対応を取った。解析対象測線におけるベクトル化処理の適用測線では、原則としてデータ再解析は行われませんが、ある程度の区間で十分な品質の重合記録が作成可能な場合は、データ再解析も併せて実施した。

c) データ解析内容

データ解析作業は、図2に示すデータ処理フローに基づき実施された。この解析作業は、標準解析、重合前時間マイグレーション解析（以下、「PSTM解析」）、Multi-dip型CRS解析（以下、「MDRS解析」）、ベクトル化処理の4つに大別できる。

以下に各段階での処理内容を解析作業ごとに示す。処理パラメータの詳細については表1に示す。なお、以下で処理番号が“(**)”で記載された項目は、検討の結果、今回は適用しなかった処理を意味する。

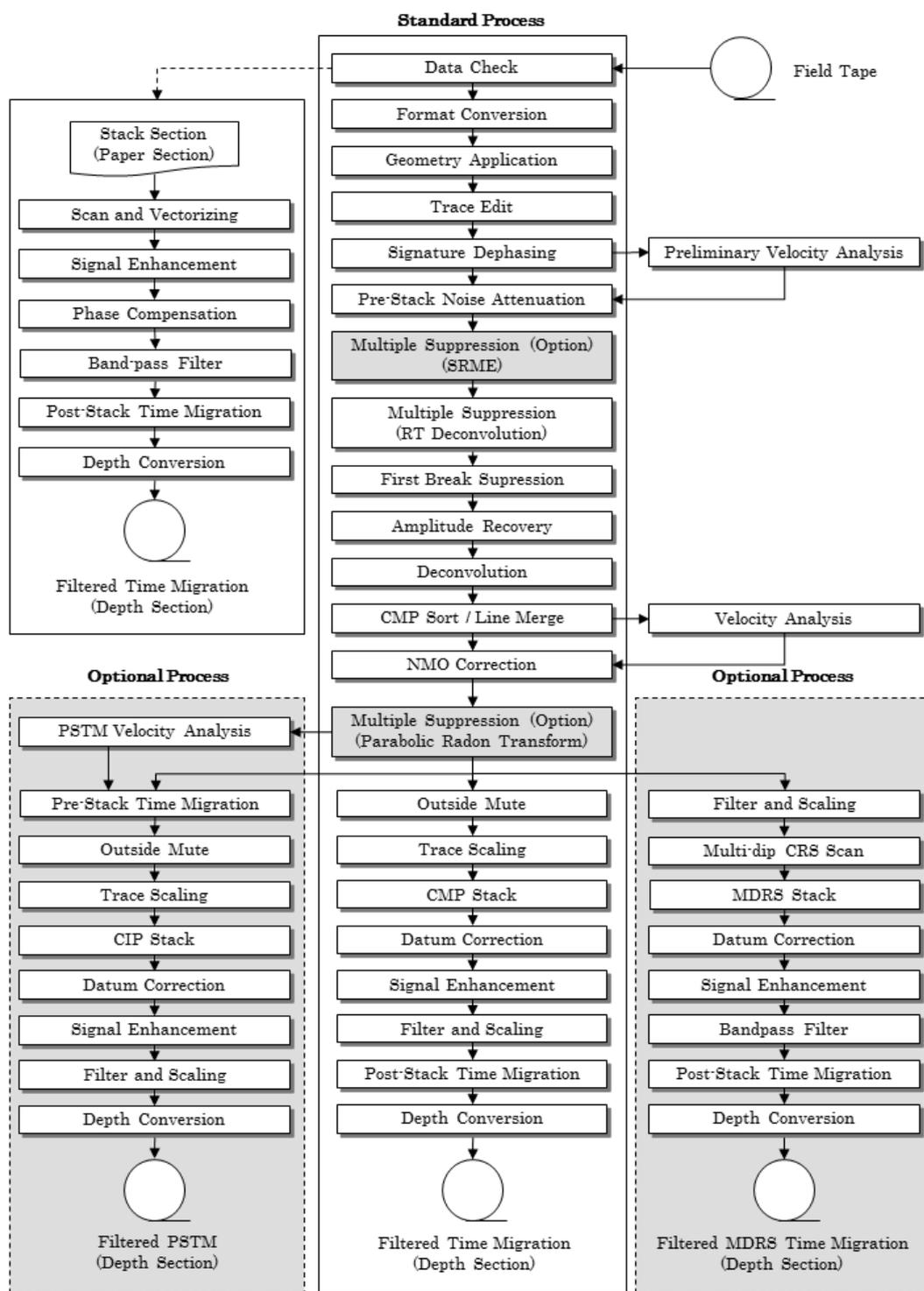


図2 データ再処理フロー

表1 処理パラメーター一覧

	Process	Parameters		
1	Data Check			
2	Format Conversion		SEG-B to SuperX format	
3	Geometry Application			
4	Trace Edit	Trace Edit	Manual	
		Despike Method	Spike and Zero Search	
		Spike Search Gate Length	200 msec	
5	Signature Dephasing	Gun Signature	Use Avaraged Sea Bottom Reflection	
		Polarity	Sea Bottom Reflector is positive	
6	Preliminary Velocity Analysis	Method	Constant Velocity Scan Method	
		Analysis Interval	2000 m	
7	Pre-Stack Noise Attenuation	F-X Prediction Filter		
		Domain	Shot Gather	
		Operator Type	Two-Side	
		Operator Length	11 traces	
		Gate Length	48 traces	
		Time Gate Length	500 msec	
		Time Gate Overlap Length	250 msec	
		Tempolary AGC Gate Length	300 msec	
8	Surface-related Multiple Elimination	Survay Type	2D	
		Adaptive Subtraction(1st)		
		Operator Length	200	
		Time Window	1500 msec	
		Space Window	48 traces	
		Adaptive Subtraction(2nd)		
		Operator Length	48	
		Time Window	500 or 100 msec	
		Space Window	11 traces	
9	Radial Trace Deconvolution	Transformed Parameter		
		Velocity Range	-4000 ~ 4000 m/sec	
		Deconvolution Parameter		
		Gate Length	3000 msec	
		Operator Length	300 msec	
		Prediction Distance	48 msec	
10	First Break Mute	Start Time	Sea Bottom - 15msec	
		Taper Length	8 msec	
		Sliding Velocity	1500 m/sec	
11	Amplitude Recovery	Method	Geometrical Spreading + AGC	
		AGC Gate Length	1000 msec	
12	Deconvolution	Method	Trace by Trace	Trace by Trace
		Mode	Time Invariant	Time Invariant
		Gate Start Time at 0m offset	Sea Bottom + 100msec	Sea Bottom + 100msec
		Gate Length	2000 msec	2000 msec
		Operator Length	350 msec	350 msec
		Prediction Distance	2 msec	4 msec
		Gate Sliding Velocity	1500 m/sec	1500 m/sec
		White Noise	1.005	1.005
13	CMP Sort	CMP Interval	25 m	
		Radius Limit	Unlimited	
14	Line Merge			
15	Velocity Analysis	Method	Constant Velocity Scan Method	
		Analysis Interval	1000 m	
16	NMO Correction	Stretch Factor	1.7	
17	Parabolic Radon Transform (optional)	Mode	Multiple Extraction	
		Reference Offset for Moveout	2000 m	
		Transform Moveout Range	-300 ~ 1000 msec	
		Filter Moveout Range	-300 ~ 200 msec	
18	Outside Mute	Base Time	Sea Bottom - 100 msec	
		Start Time	1000 msec	
		Start Offset	1000 m	
		Taper Length	100 msec	
		Sliding Velocity	2000 m/sec	
19	Trace Scaling	Method	AGC	
		Gate Length	600 msec	
20	CMP Stack	Method	Normal Stack	
		Divisor Type	Normalized by Square Root of Number of Fold	
21	Datum Correction	Datum	Mea Sea Level	
		Time Shift	16.67 msec	
22	Signal Enhancement	Method	F-X Prediction Filter	
		Operator Length	7 CMPs	
		Gate Length	50 CMPs	
		Time Gate Length	1000 msec	
		Time Gate Overlap Length	500 msec	
23	Band-pass Filter	Method	Time Variant	
		Operator Length	300 msec	
		Gate Overlap Length	1000 msec	
		Base Time	Sea Bottom	
		Pass Band	10/10 - 50/50 Hz (0.0 - 1.5 sec)	
			6/6 - 40/40 Hz (1.5 - 3.0 sec)	
			6/6 - 30/30 Hz (3.0 - END sec)	
24	Trace Scaling	Method	Trace Sigma Scale	
25	Post-Stack Time Migration	Method	T-X FD Migration	T-X FD Migration
		Approximation Angle	45 degree	45 degree
		Extrapolation Step	2 msec	4 msec
		Velocity Type	Stacking Velocity	Stacking Velocity
		Velocity Scaling Factor	90 %	90 %
26	Depth Conversion	Method	Vertical Stretch	

i) 標準解析

標準解析とは、重合後時間マイグレーションの深度断面図を作成するまでの標準的な解析である。

① データ確認 (Data Check)

磁気テープ等の記録媒体に保存されている既存データを精査し、データ欠損の状況を集約した。データ欠損率が小さく、十分な品質の重合記録の作成が見込める記録について再解析の対象とした。発震点記録が欠落している記録あるいは発震記録内でトレースが欠落している記録に関しては、発震記録とデータシート（オブザーバズログ）の対応関係を確認し、過誤が認められた場合には正しい対応を再現した。

② フォーマット変換 (Format Conversion)

磁気テープ等の記録媒体に保存されている既存データ（対象調査では SEG-B フォーマット）から内部フォーマット（SuperX フォーマット）への変換を行った。複数の測線に分けて取得されたデータのうち、発震船の航行方向が同じであり、接続域で発震点位置を含めて測線が一致するような単純なケースについては、この段階で測線を接続した。なお、データ確認の際に判明したトレース順の過誤や発震記録ごとの記録開始時間のずれ等は、この段階で補正された。

③ 測線情報の入力 (Geometry Application)

発震点、受振点及び CMP のインデックスと座標、オフセット距離等の測線情報をトレースヘッダーに入力した。なお、ここで設定される座標値は、二次元測線上の相対的な値である。

④ トレースエディット (Trace Edit)

全発震記録を確認することで、以降の処理に悪影響を及ぼす不良記録を読み取り、処理対象から除外するとともに、パルスノイズ抑制処理を併せて適用した。図 3 (a) に不良記録の例を、図 3 (b) にパルスノイズ抑制処理の適用例を示す。図 3 (a) の赤枠で示した時間にデータ欠損が見られるが、探鉱機エラーに起因すると考えられる。このような発震記録は処理対象から除外した。図 3 (b) では 1 サンプルのパルスノイズが見られるが、探鉱機の電気ノイズに起因すると考えられる。パルスノイズ抑制処理により、パルスノイズが除去されたことが確認できる。

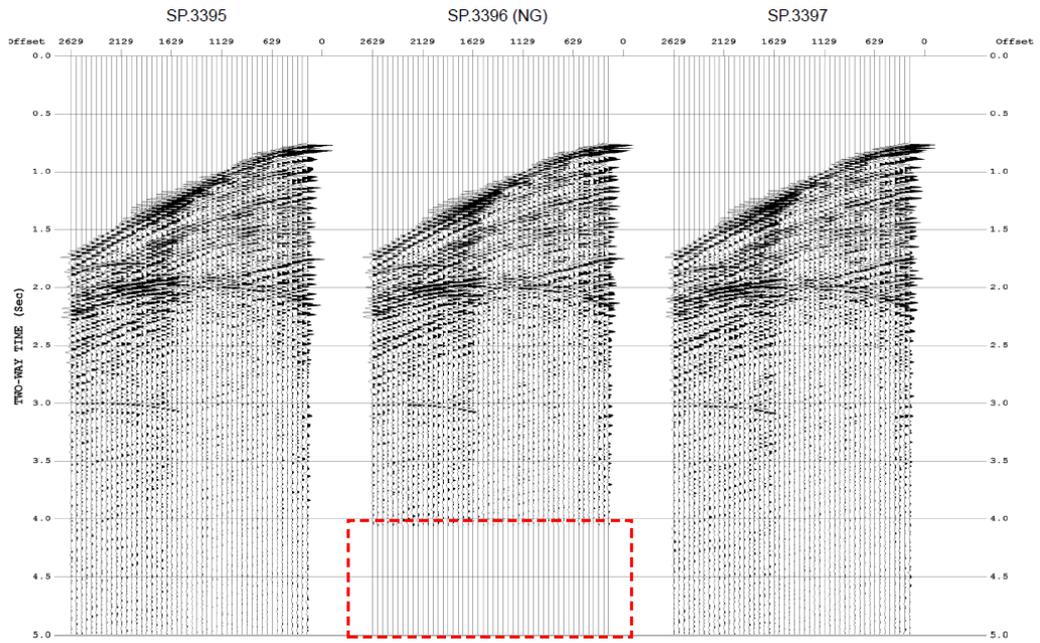


図 3 (a) 不良記録の例 (赤囲いにデータの欠損)

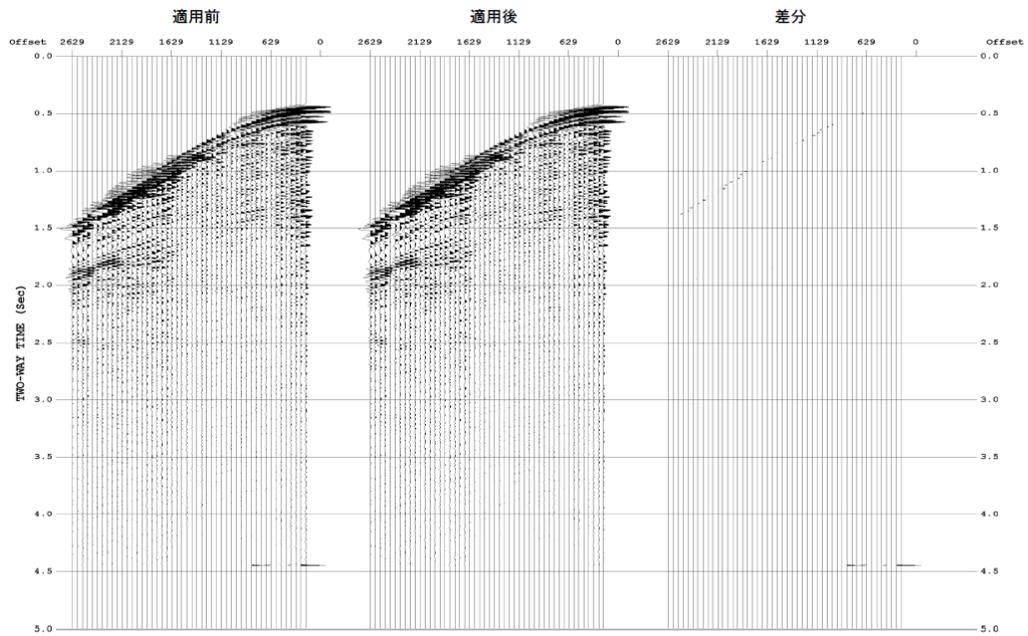


図 3 (b) 不良記録の例 (パルス除去前後の記録)

** プレフィルター (Pre-filter) (採用せず)

対象調査ではデータ取得時に8 Hz のローカットフィルターが適用されており、低周波数ノイズはほとんど確認できなかったため、帯域通過フィルターは適用しなかった。

⑤ 波形変換処理 (Signature Dephasing)

ニアトレース記録の海底反射波形から抽出したウェーブレットを用いて、最小位相変換を適用した。

対象調査では、適切なエアガン震源波形観測記録は存在せず、エアガンの容量及び配置の詳細情報の記載が既存報告書にはなく、シミュレーションソフトを使用したガン波形の作成もできなかったため、ニアトレース記録において海底反射波形の走時を読み取り、これを同一時間に揃えて重合することでウェーブレットを抽出した。ウェーブレット抽出までの過程を図4 (a)に示す。抽出した海底面反射波形に対する波形変換処理例を図4 (b)に、ニアトレース記録に対する海底面反射波形を用いた最小位相変換の適用例を図4 (c) に、波形変換処理適用記録にホワイトニング型デコンボリューションを適用した例を図4 (d)に示す。

なお、ここで用いたウェーブレットには、エアガンとケーブルの双方の位置でのゴースト成分が含まれているため、波形変換処理と後続のデコンボリューション処理を適用することで、両ゴースト成分が取り除かれたことになる。波形変換処理後の極性は、陸域の断面記録との接続を考慮して、海底面反射波が正となるように設定されたため、波形変換処理適用記録にホワイトニング型デコンボリューションを適用した例では、海底面反射波が正のピークとなる。

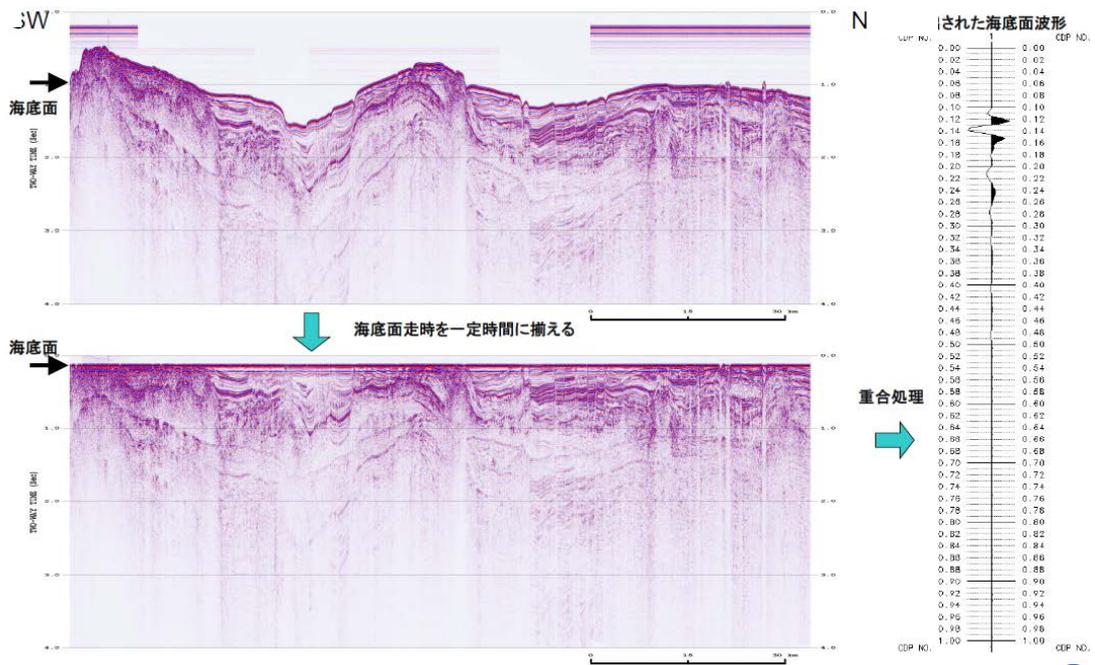


図 4 (a) 海底面波形の抽出

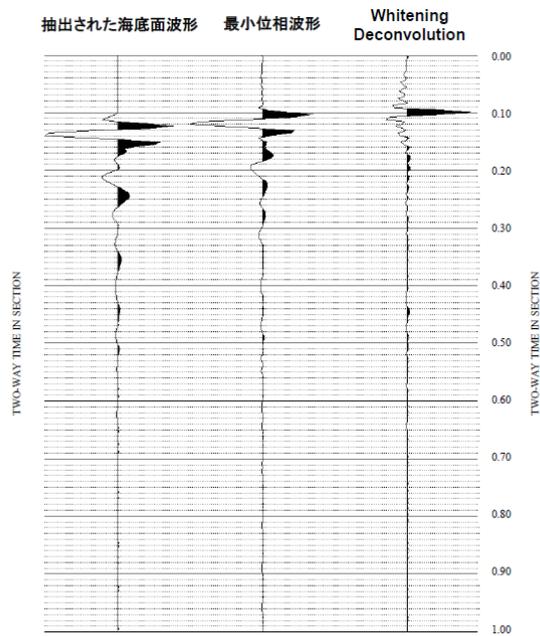


図 4 (b) 波形変換処理の例

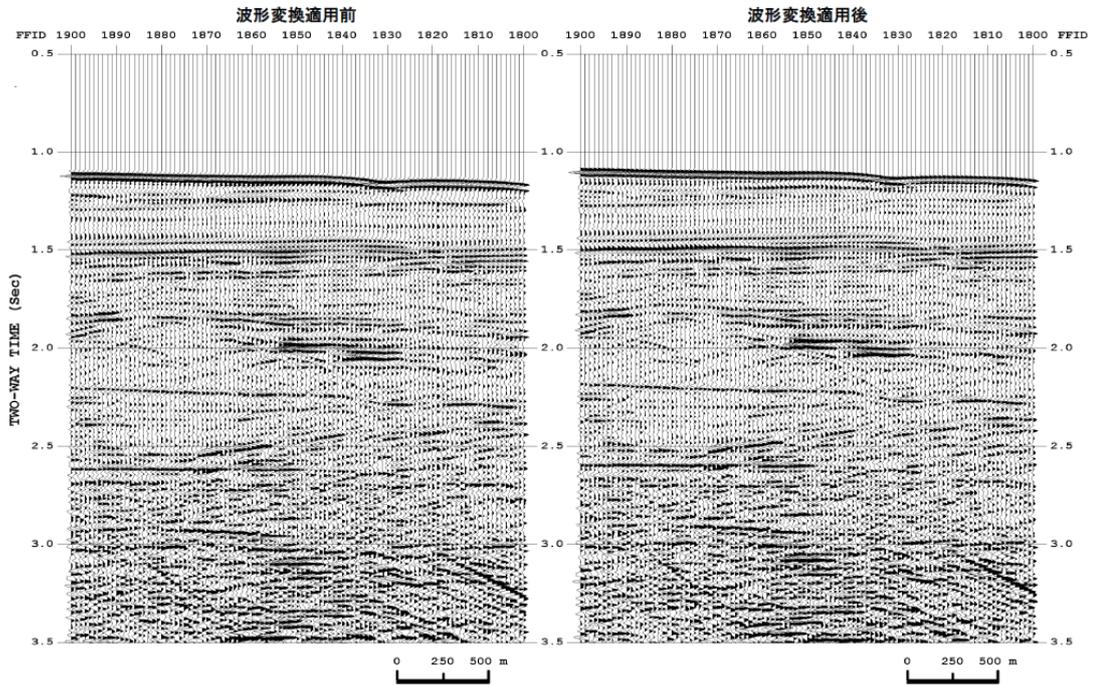


図 4 (c) 最小位相変換処理の例

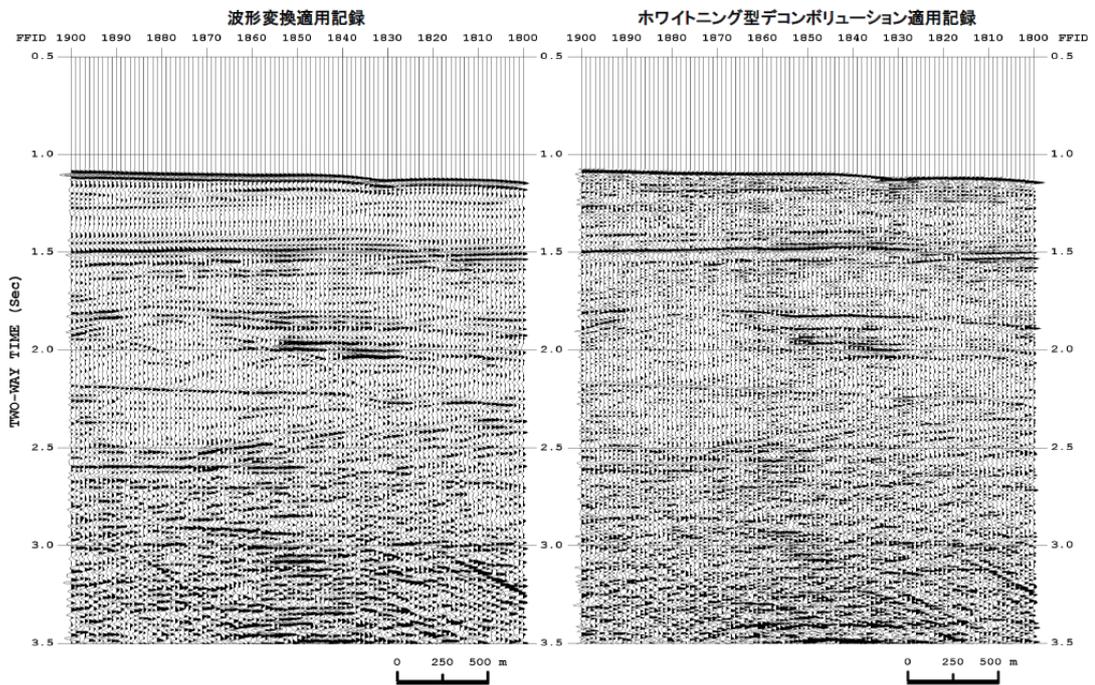


図 4 (d) ホワイトニング型デコンボリューションを適用した例

⑥ 予備的な速度解析 (Preliminary Velocity Analysis)

定速度走査法 (constant velocity scan) を用いて 2 km 毎に予備的な速度解析を行った。ここで得られた速度は、ノイズ抑制処理における一時的な速度の他、各処理の適用前後の結果を重合記録上で比較・確認するために用いられた。

⑦ 重合前ノイズ抑制処理 (Pre-Stack Noise Attenuation)

重合前記録の品質向上を目的としてノイズ抑制処理を適用した。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 予測フィルターを全調査で適用した。ノイズ抑制処理は以下の処理が実施された。

⑦-1 F-X 予測フィルター (発震記録)

F-X 予測フィルターの発震記録での適用例を図 5 (a) に、重合前ノイズ抑制処理適用前後での重合記録の比較を図 5 (b) に示す。ランダムノイズが抑制されたことで、特に深部で S/N の改善が見られた。

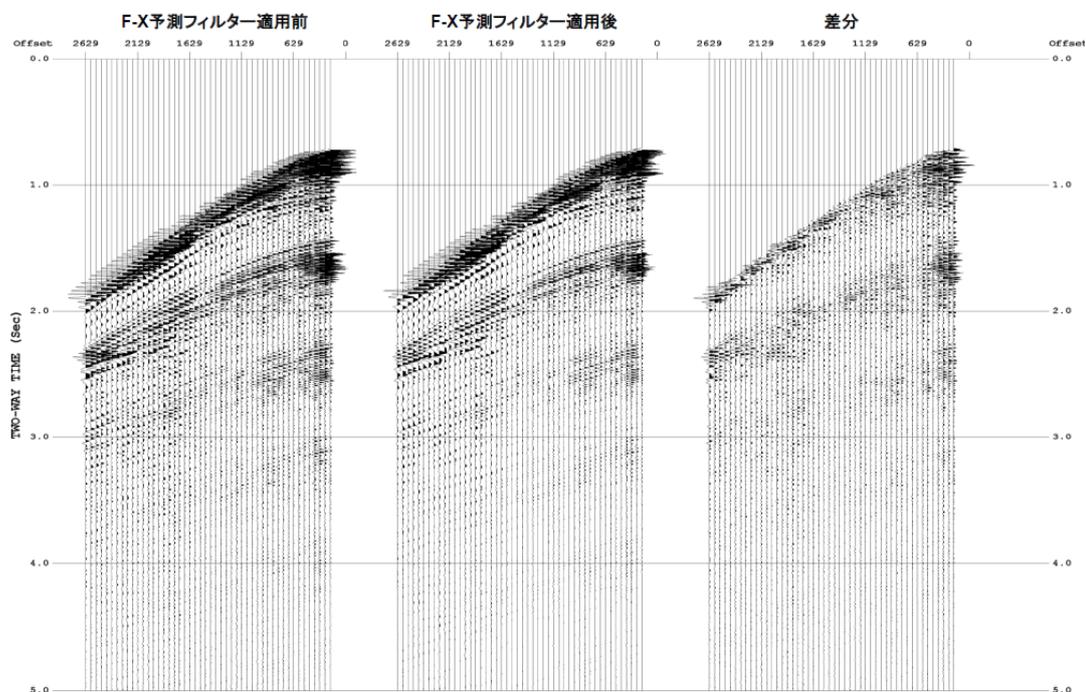


図 5 (a) F-X 予測フィルターの発震記録での適用例

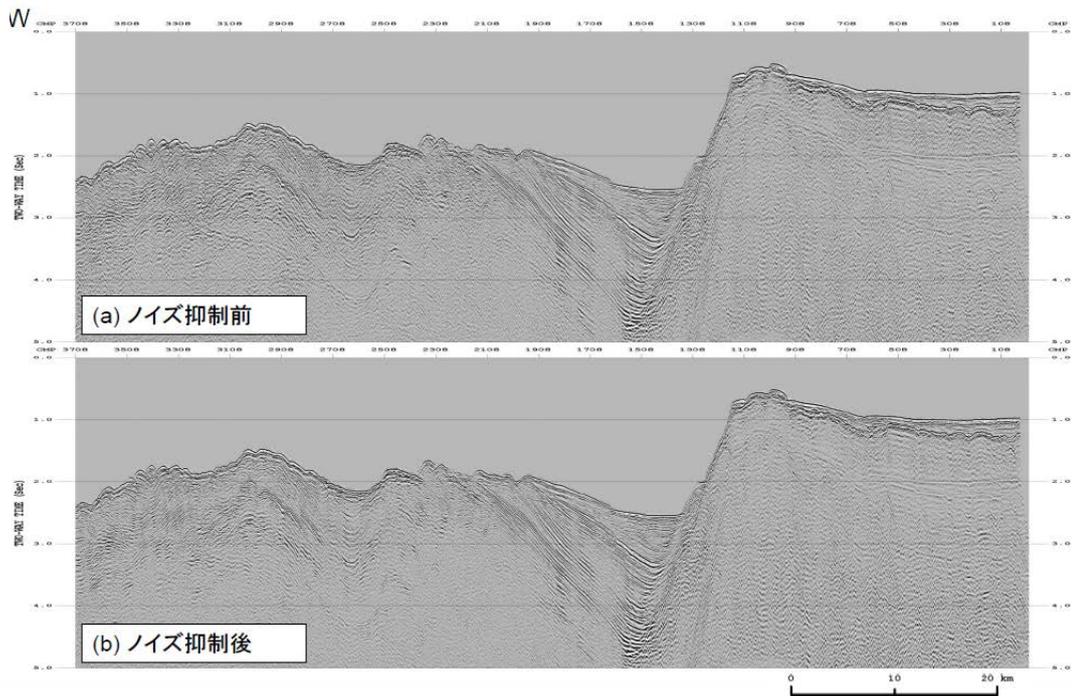


図 5 (b) 重合前ノイズ抑制処理適用前後での重合記録の比較

⑧ SRME (Surface-Related Multiple Elimination)

海水面を介在する長周期多重反射波を抑制するために、SRME 法を適用した。SRME 法は、波動方程式に準拠する多重反射波抑制手法であり、波線経路に海面での反射を含む Surface-related 型の多重反射波を予測し抑制する。共通発震点記録の受振点と共通受振点記録の発震点の位置が一致するような 2 つのトレースをコンボリューションすることにより、一次反射波から多重反射波を合成する。

合成された多重反射波は、最小二乗フィルターを用いた Adaptive Subtraction によって波形が調整され、取得された記録から減算される。図 6 (a)～(c)に、SRME 法による多重反射波抑制処理の適用結果の例を示す。図 6 (c)は、SRME 法で予測された多重反射波を重合記録上で表示しており、グレースケール記録が SRME 法適用後の重合記録、赤色が予測された多重反射波成分である。

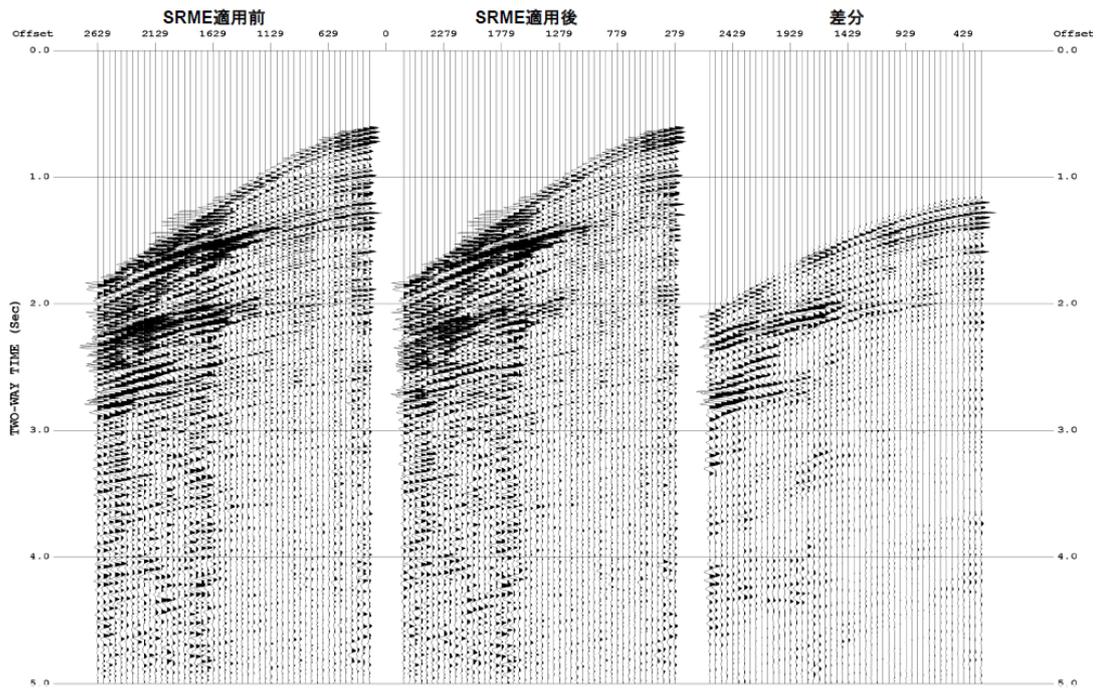


図 6 (a) SRME 適用前後の比較 (発振記録)

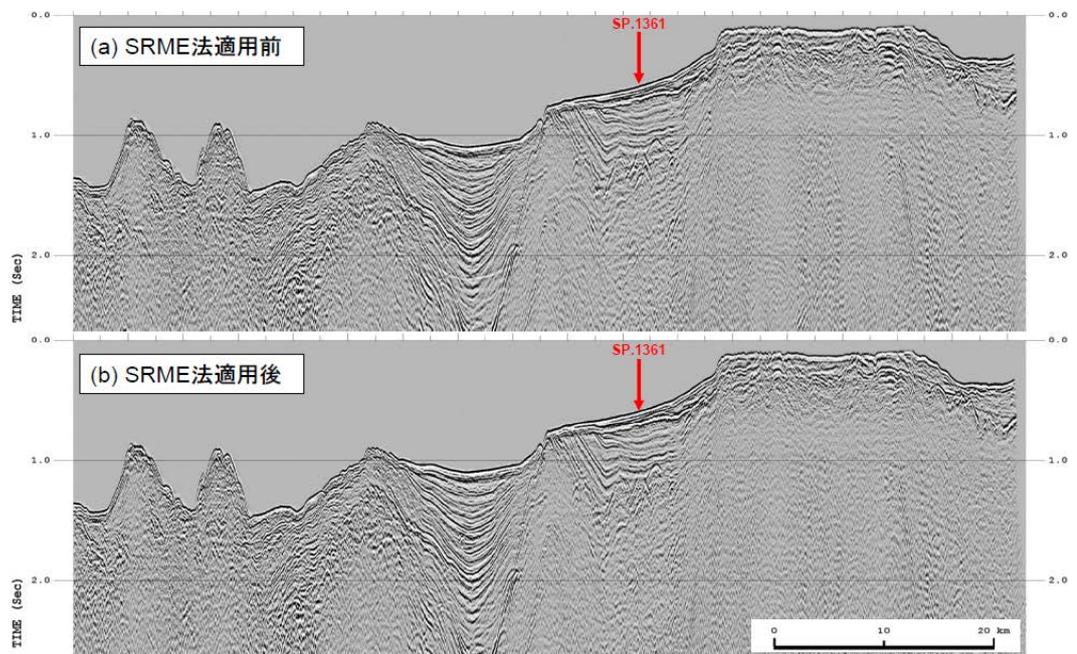


図 6 (b) SRME 適用前後の比較 (重合記録)

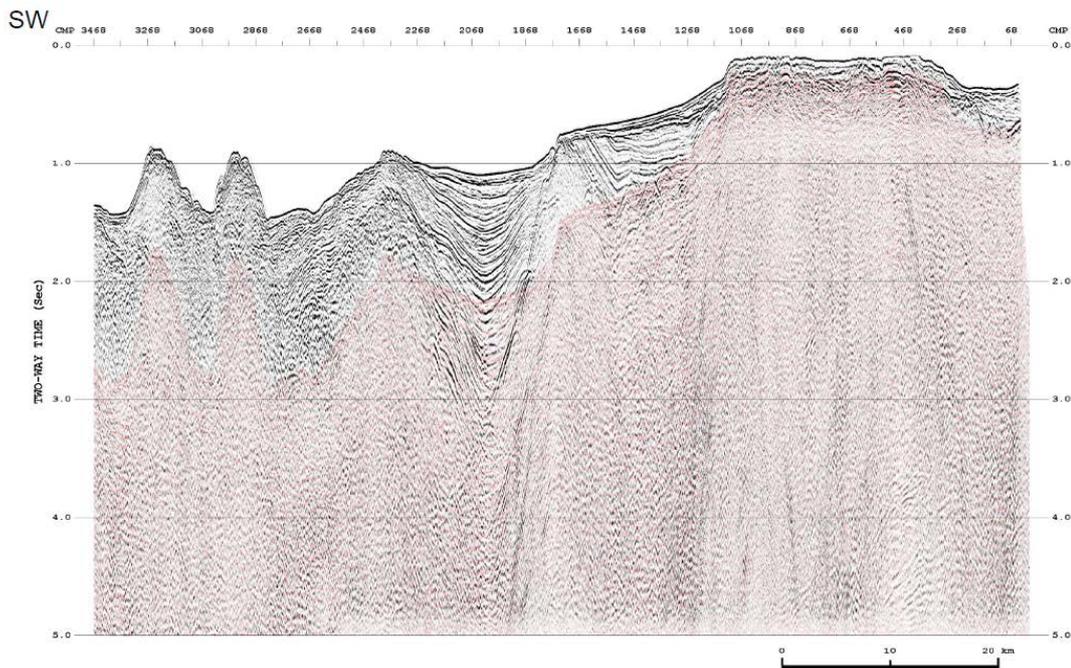


図 6 (c) SRME 法で予測された多重反射波 (赤色) : 重合記録上に表示

⑨ Radial トレースデコンボリューション (Radial Trace Deconvolution)

短周期多重反射波を抑制するために、RTD 法を適用した。オフセット一時間領域で表現された発震記録を、震源を原点とする様々な傾き (見掛け速度) を持つ放射状の軌跡に沿った時系列トレースに構成し直すことにより放射速度一時間領域 (Radial Trace 領域、以下、「RT 領域」) の記録が得られる。一次反射波と多重反射波の走時差、および多重反射波間の走時差は、層厚や区間速度に変動が無ければ、RT 領域においては時間方向に一定となるため、RT 領域で予測型デコンボリューションを適用することで周期性を持つ多重反射波を抑制できる。

図 7 (a)~(c) に、RTD 法による多重反射波抑制処理の適用結果の例を示す。図 7 (c) は、RTD 法で予測された多重反射波を重合記録上で表示しており、グレースケール記録が RTD 法適用後の重合記録、緑色が予測された多重反射波成分である。

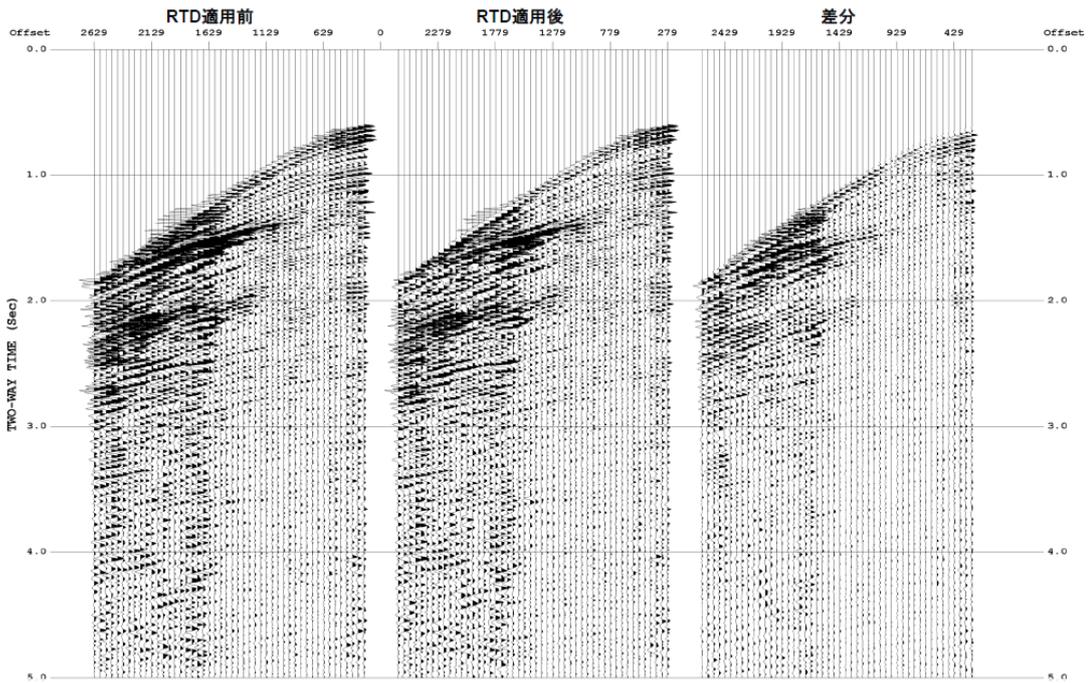


図 7 (a) RTD 適用前後の比較 (発振記録)

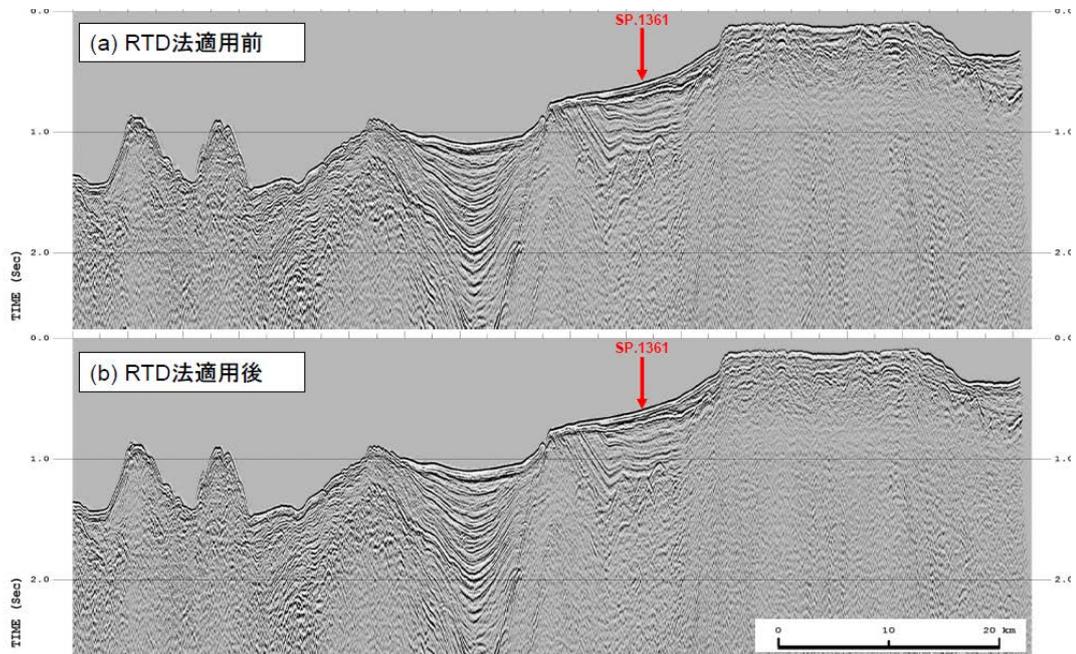


図 7 (b) RTD 適用前後の比較 (重合記録)

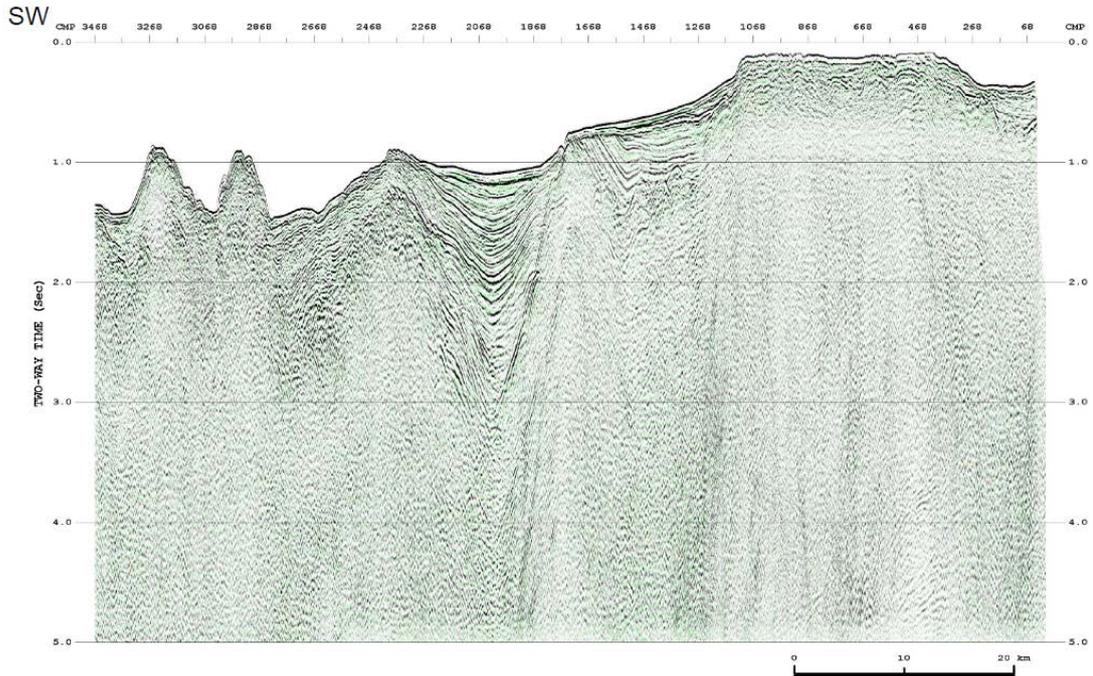


図 7 (c) RTD 法で予測された多重反射波 (緑色が予測された多重反射波成分)

⑩ 初動ミュート (First Break Mute)

初動付近では直接波や屈折波が卓越し、これらは幾何発散モデルから極度に逸脱した強振幅を示す。このような反射波の重合に不都合な波群を予め除去するために初動抑制を実施した。

⑪ 振幅補償 (Amplitude Recovery)

震源から放出される弾性波は、様々な原因 (三次元的伝播に起因する幾何学的発散効果、多層構造内の透過・反射に起因する伝播損失、非弾性散逸等) により振幅が減衰する。これらの原因による減衰を補償し、データの振幅の一様性を回復するため、振幅補償を適用した。ここでは、球面発散振幅補償適用後に、非弾性効果を補償する目的で、ゲート長 1000 msec の自動振幅補正 (AGC) を適用した。

⑫ デコンボリューション (Deconvolution)

地層の非弾性や観測系の諸特性により伸張した波形をパルスに戻す目的で、ホワイトニング型のデコンボリューションを適用した。デコンボリューション処理では、次式で示される一次元コンボリューションモデルが前提とされている。

$$F(t) = W(t) * R(t) + N(t)$$

ここに $F(t)$ は地震波トレース、 $W(t)$ は基本波形、 $R(t)$ はランダム定常な反射係数列、 $N(t)$ はランダムノイズである。このモデルにおいて基本波形を構成する要素としては、以下の項目が挙げられる。

- ・震源波形 ガン波形、ゴースト効果
- ・地層効果 多重反射波、非弾性による吸収
- ・記録系 受振器特性、ゴースト効果、探鉱機の応答特性

デコンボリューションでは、こうした要素の集積としての基本波形を地震トレースから推定・除去することで、記録の分解能向上を図ることが可能である。

⑬ 共通反射点編集 (CMP Sort)

共通発震点記録を、反射点（発震点と受振点の midpoint）を共通とするトレースの集合（CMP ギャザー）に編集した。

⑭ 測線接続 (Line Merge)

複数の測線に分けて取得されたデータについて、②の段階では接続が困難だった測線の接続を行った。測線接続の手法としては、共通反射点編集後のデータに対して、測線が交差あるいは近接する付近で両測線の CMP 番号の対応を取り、最近接 CMP で両測線を接続する方法を用いた。後述するマイグレーション処理や解釈作業を考慮すると、近接測線は接続されていることが望ましいため、測線が完全に交差していなくても、測線間の距離が 100 m 程度ならば、測線接続を行った。

⑮ 速度解析 (Velocity Analysis)

定速度走査法 (Constant Velocity Scan) を用いて 1 km 毎に速度解析を行った。

⑯ NMO 補正 (NMO Correction)

速度解析によって求められた重合速度関数を時間-空間方向に内外挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。NMO 補正は各トレースのオフセット距離を 0 m にする補正処理であり、この処理によって CMP アンサンブル内の反射波走時は同一時間となる。NMO 補正に伴い波形の伸長が生じるため、大きく伸長された波形を除去する目的でストレッチミュートを施した。ストレッチミュートの値が N の場合、元の波形に対して N 倍以上に伸長された波形を除去することを意味する。ストレッチミュートで抑制できない過伸張波形については、後述のアウト

トサイドミュートで取り除いた。

**** 残差静補正 (Residual Static Correction) (採用せず)**

各 CMP 内の反射波到達時間のバラツキを、統計的手法により発震点、受振点毎に算出し、時間シフト量として補正する残差静補正処理をテストした。

残差静補正は表層の影響を補正する手法であるため一般に海域では適用されないが、浅海域では海底面の形状が空間方向に変化する場合があり、残差静補正により品質が改善するケースがある。また、発震点位置などのジオメトリ情報の誤差が残差静補正により補正される可能性もあるため、残差静補正処理を試みた。残差静補正の適用前後での重合記録の比較例を図8に示す。残差静補正適用後では、赤丸で示した範囲で海底面のがたつきや形状変化が見られた。テストの結果、全対象調査で残差静補正適用により海底面のがたつきや、反射波の連続性の低下が確認されたため、本解析では残差静補正は適用しないこととした。

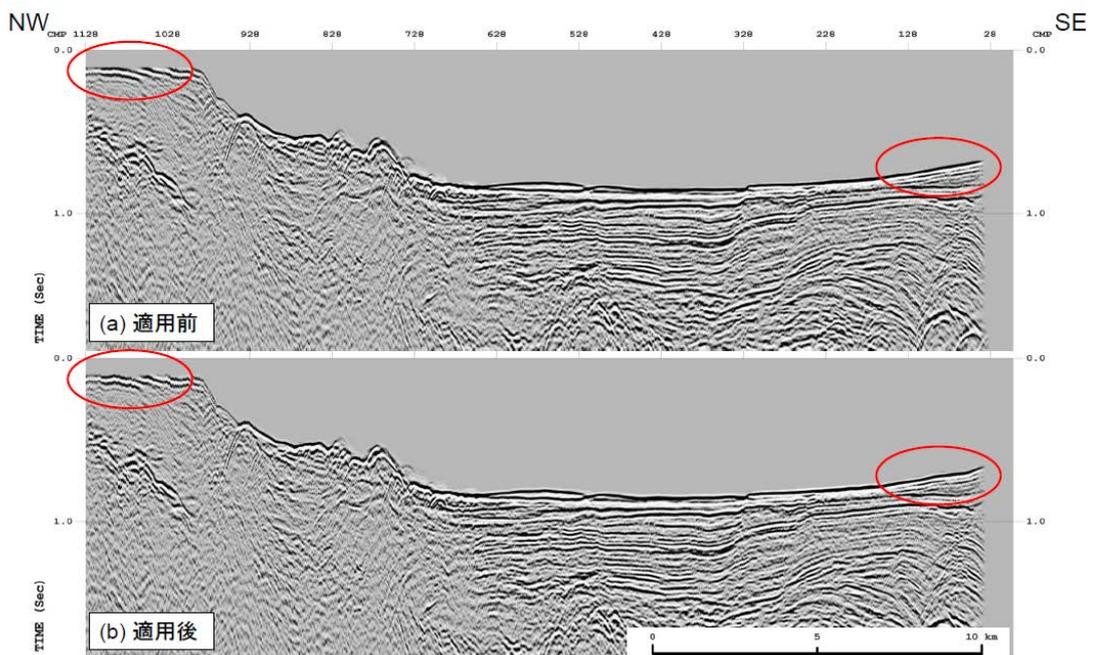


図8 残差静補正適用前後の比較

⑰ 放物線ラドン変換法 (Parabolic Radon Transform)

SRME 法や RTD 法で抑制できなかった多重反射波を抑制するために、放物線ラドン変換 (Parabolic Radon Transform、以下、「PRT」) 法を適

用した。

PRT 法では、NMO 補正後の CMP アンサンブルを入力として、水平に並ぶ一次反射波と、近似的に放物線軌跡で表現できる多重反射波を分離し、多重反射波を抽出・除去する。各調査で適用テストを実施したところ、対象調査の一部の測線で抑制効果が確認できたため、効果の見られた測線に限り、PRT 法を適用することとした。

図 9 (a)～(c)に、PRT 法による多重反射波抑制処理の適用結果の例を示す。図 9 (c)は、PRT 法で予測された多重反射波を重合記録上で表示しており、グレースケール記録が PRT 法適用後の重合記録、青色が予測された多重反射波成分である。この時点の記録に、重合速度で逆 NMO 補正を適用した結果を、後述の追加処理 (PSTM 解析、MDRS 解析) の入力記録とした。

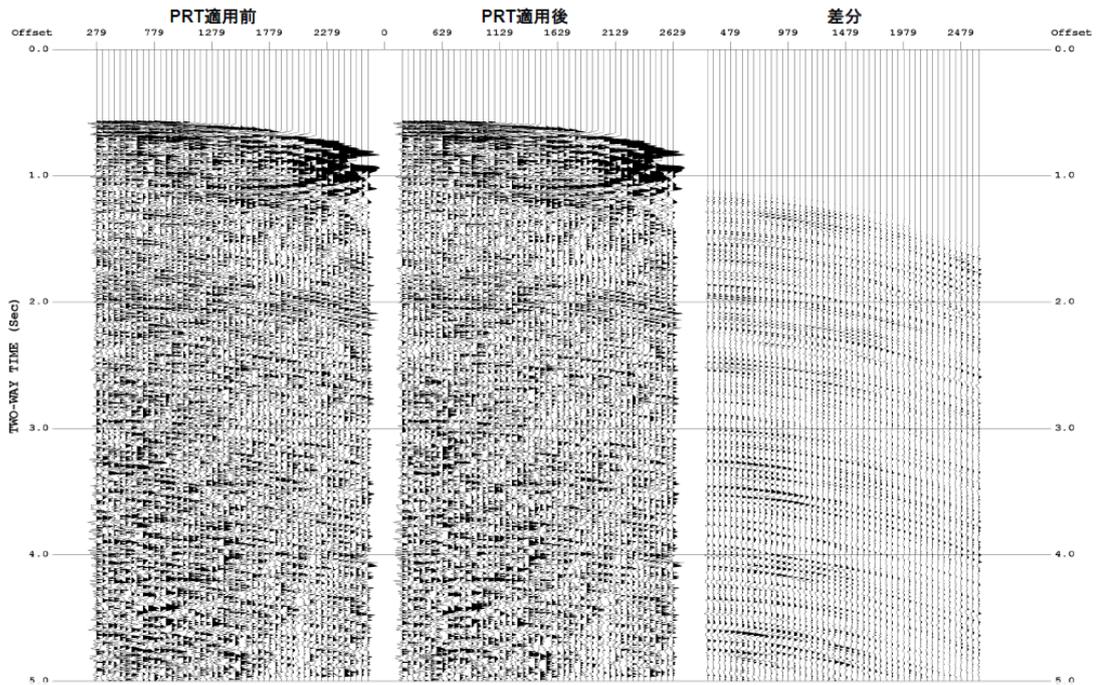


図 9 (a) PRT 適用前後の比較 (発振記録)

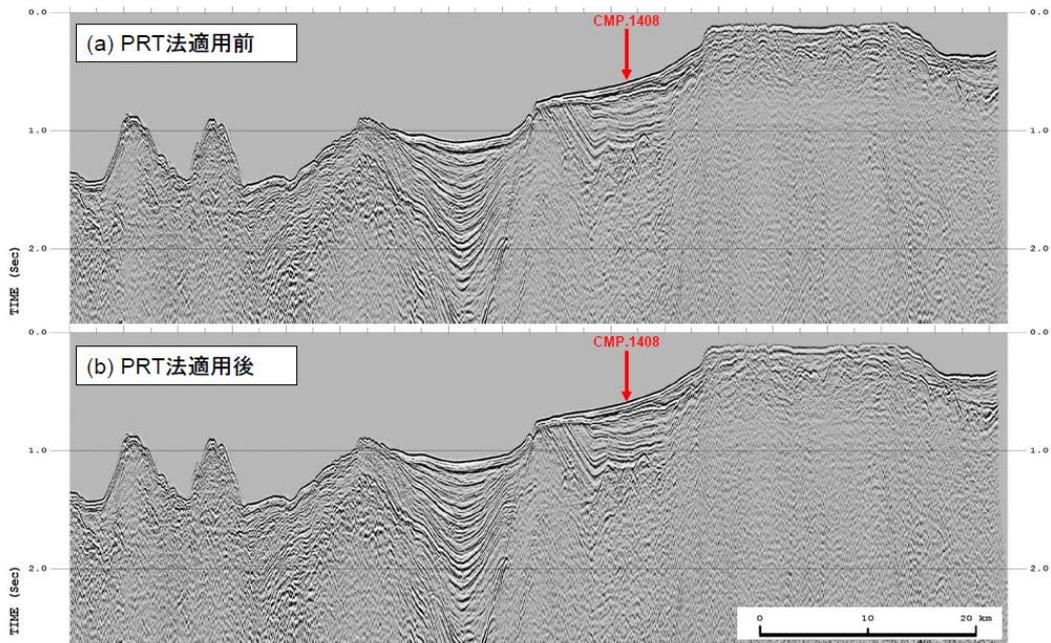


図 9 (b) PRT 適用前後の比較 (重合記録)

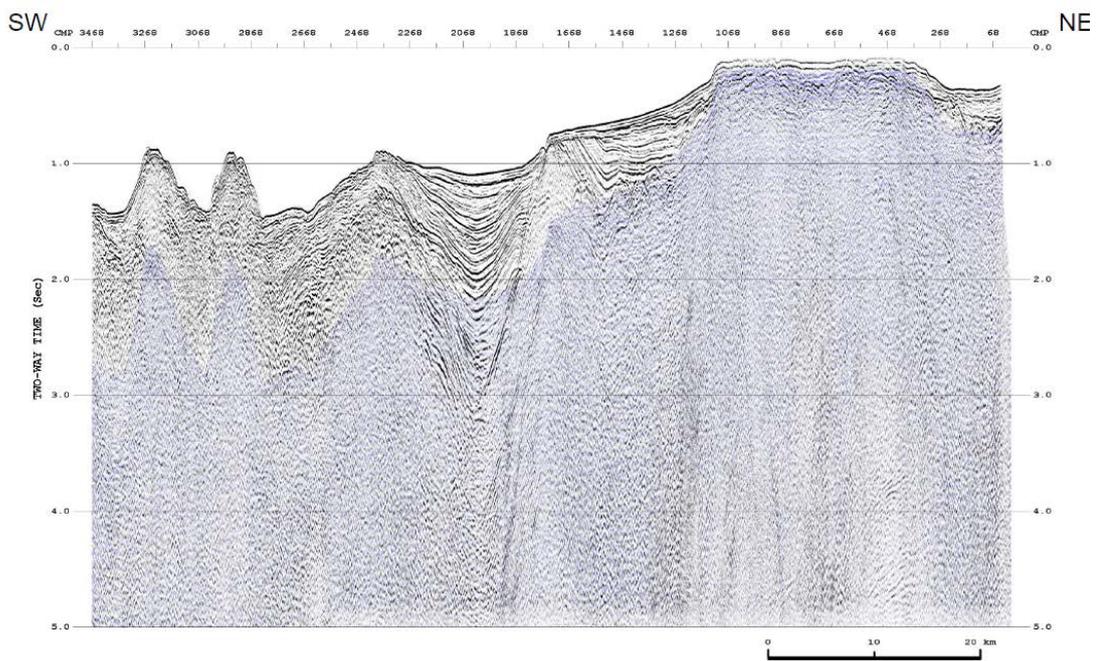


図 9 (c) PRT 法で予測された多重反射波 (青色部分：重合記録に重ね合わせ)

⑱ アウトサイドミュート (Outside Mute)

NMO 補正に伴う波形の伸長及びファア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、ミュートを設計し適用した。

⑲ 振幅調整 (Trace Scaling)

時間方向の振幅バランスを整えるために、ゲート長 600 msec の AGC を適用した。

⑳ CMP 重合 (CMP Stack)

NMO 補正適用後の共通反射点アンサンブルに対して、水平重合処理を実施した。

㉑ 基準面補正 (Datum Correction)

基準面を平均海水面とするために、震源の深度、受振器ケーブルの深度および海水中の音速速度 (1500 m/sec) を参照して基準面補正を行った。

㉒ 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、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 予測フィルターを適用した。

㉓ 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、周波数成分解析に基づき、タイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。周波数成分解析の例を図 10(a)に、帯域通過フィルター適用前後の重合記録の比較を図 10(b)に示す。周波数成分解析例での赤線は、設定した周波数帯域を表す。

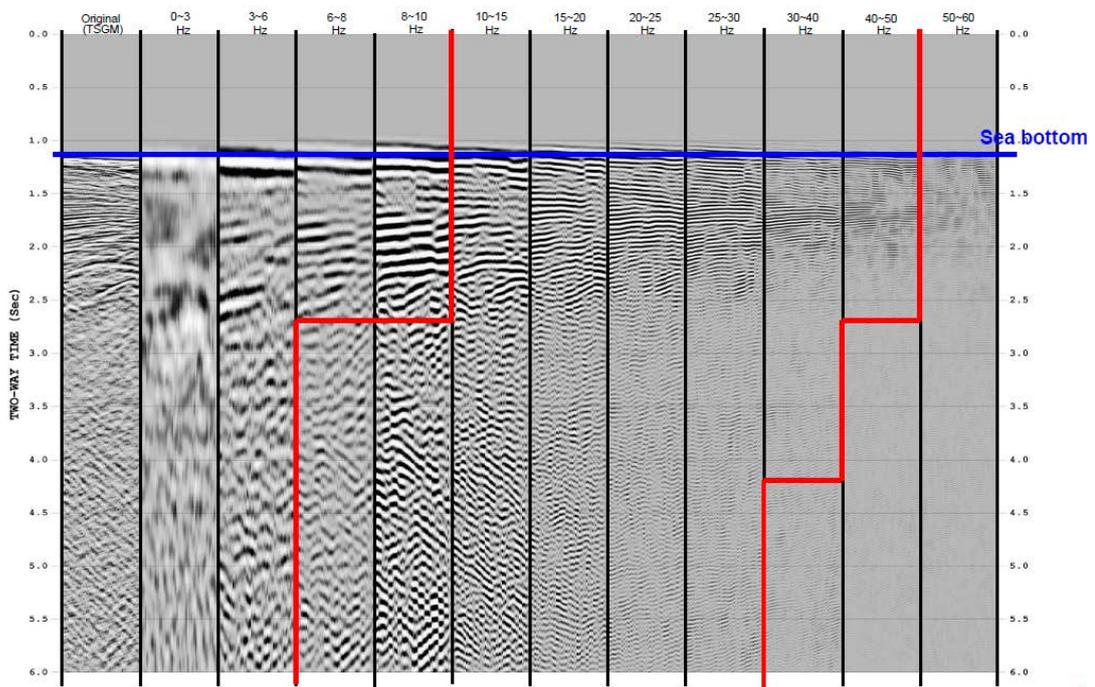


図 10(a) 周波数成分解析の例

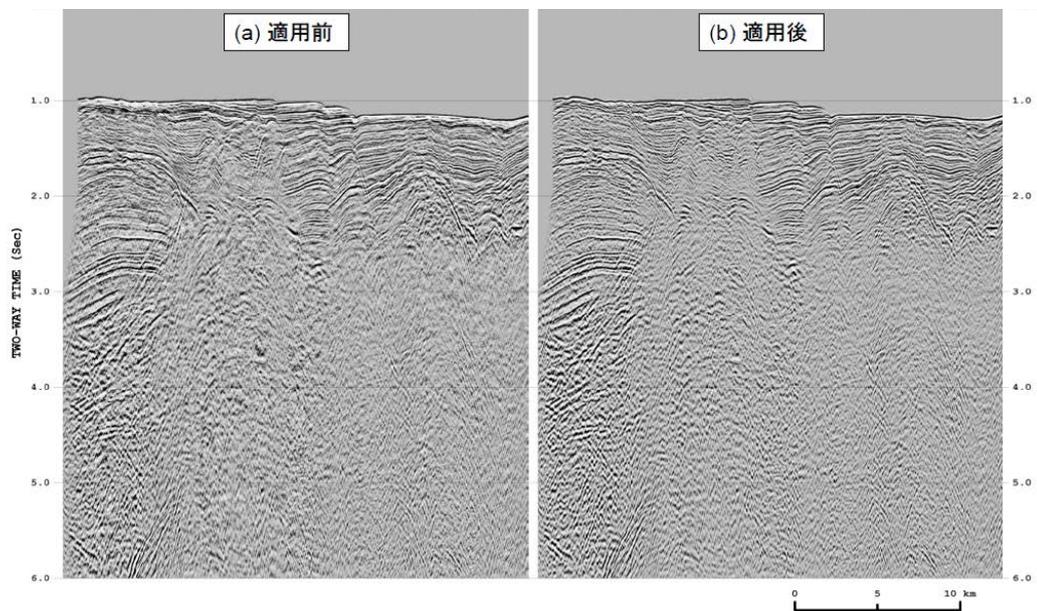


図 10(b) 帯域通過フィルター適用前後の比較 (重合記録)

②④ 振幅調整 (Trace Scaling)

空間方向の振幅バランスを調整する目的で、トレースシグマスケールを適用した。

②⑤ 重合後時間マイグレーション (Post-Stack Time Migration)

重合断面図では、反射波は各 CMP 位置からの垂直往復走時として表現されている。従って傾斜した反射面に関して、重合断面図上の傾斜は真の傾斜より緩やかに表現されることとなる。この誤差を補正し各 CMP 直下の構造形態を得る処理がマイグレーション処理である。マイグレーション処理の手法としては、時間-空間領域での差分時間マイグレーションを採用した。マイグレーション速度としては、重合速度を空間方向に平滑化した速度関数をスケールリングして用いた。

②⑥ 深度変換 (Depth Conversion)

深度変換速度を用いて、Vertical Stretch 法による深度変換を実施した。深度変換速度は、重合速度を空間方向に平滑化した速度関数を用いた。

ii) Pre-Stack Time Migration (PSTM)解析

PSTM 解析は、重合前時間マイグレーションの深度断面図を作成するまでの追加解析である。「i) 標準解析」における①から⑰の処理に続いて以下の処理を実施した。

⑱ PSTM 速度解析 (PSTM Velocity Analysis)

PSTM 処理に最適な速度を得るため、1 km 間隔で PSTM 速度解析を実施した。PSTM 速度解析は、逆 NMO 補正を適用した CMP 記録に対して、以下の手順で行った。

- ・手順 1 : 重合速度を近似 PSTM 速度として PSTM 処理を適用
- ・手順 2 : PSTM 適用時の速度で逆 NMO 補正を適用
- ・手順 3 : 「i) 標準解析」の「⑱速度解析」と同様の手法で速度解析を実施
- ・手順 4 : 求めた速度を用いて PSTM 処理を適用

速度が収束するまで上記手順 2 から 4 を繰り返し実行した。

なお、急傾斜構造では、近似 PSTM 速度 (重合速度) と PSTM 速度の

差が大きいため、上記の速度解析手法では PSTM 速度の推定誤差が大きくなる可能性がある。そのため、速度の精度向上のため Percentage Velocity PSTM Stack を用いた速度解析を追加実施した。Percentage Velocity PSTM Stack とは、基準速度（ここでは上記手順で得られた PSTM 速度）を様々な値でスケールした速度を用いて作成した PSTM 断面図のことである。各スケール速度から得られた PSTM 断面図上で最適なイメージを示す速度を読み取ることで、急傾斜構造においても最適なイメージを得ることができる。

⑲ 重合前時間マイグレーション (Pre-Stack Time Migration)

重合前データの見かけの反射点位置を真の位置に移動するとともに、回折波を回折点に復元するために ⑱ で求めた速度を用いて重合前時間マイグレーションを実施した。手法としては共通オフセット領域におけるキルヒホッフ積分マイグレーションを使用した。

⑳ アウトサイドミュート (Outside Mute)

波形の伸長を抑制する目的で、ミュートを設計し適用した。

㉑ 振幅調整 (Trace Scaling)

時間・空間方向の振幅バランスを整えるために、ゲート長 600 msec の AGC を適用した。

㉒ CIP 重合 (CIP Stack)

PSTM 処理適用後の共通イメージ点 (CIP) アンサンブルに対して、水平重合処理を実施した。

㉓ 基準面補正 (Datum Correction)

基準面を平均海水面とするために、震源の深度、受振器ケーブルの深度および海水中の音速速度 (1500 m/sec) を参照して基準面補正を行った。

㉔ 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、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 予測フィルターを適用した。

⑫ 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、タイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。

⑬ 振幅調整 (Trace Scaling)

空間方向の振幅バランスを調整する目的で、トレースシグマスケールを適用した。

⑭ 深度変換 (Depth Conversion)

「i) 標準解析」の「⑫深度変換」と同様の手法で深度変換を実施した。

iii) Multi-Dip Reflection Surface (MDRS) 解析

MDRS 解析は、MDRS 重合後時間マイグレーション深度断面図を作成するまでの追加解析である。「i) 標準解析」における①から⑭の処理に続いて以下の処理を実施した。

⑮ 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

MDRS 解析の前処理として、反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、帯域通過フィルターを適用した。

⑯ 振幅調整 (Trace Scaling)

MDRS 解析の前処理として、時間方向の振幅バランスを整えるために、ゲート長 600 msec の AGC を適用した。

⑰ マルチディップ CRS スキャン (Multi-dip CRS Scan)

CRS 法は CMP に属するトレースだけでなく、その近傍の CMP 多数を併せたスーパーギャザーを重合処理することで、従来の CMP 重合法に比べて飛躍的に高い S/N 比を得る手法である。しかし CRS 法では各時間サンプルで 1 つの傾斜角 (1 組の CRS パラメータセット) しか選択できないため、異なる反射面からの反射波が交差する状況 (コンフリクティング・ディップ) には対応できない。本解析の対象地域のように、複雑な地質構造を有する地域ではゼロオフセット断面上でコンフリクティング・ディップの存在が予想されるため、この問題を解決し、より忠実な反射面を再現するために、マルチディップ CRS スキャンを実施した。以下に手順を述べる。

- ・手順 1 : 傾斜の範囲を 61 分割し、それぞれにおいて CRS スキ

ヤンを実施

- ・手順 2： 求めた CRS アトリビュートを用いてスーパーギャザーの走時を補正
- ・手順 3： それぞれの傾斜範囲において重合処理を実施

以上の手順により、傾斜の各範囲で CRS 重合記録と関連するアトリビュートを 1 組ずつ、合計 61 組を作成した。

㉑ MDRS 重合 (MDRS Stack)

アトリビュートパネルのうち、センブランス値は CRS 重合記録における重合効果の指標であり、大きなセンブランス値が高い重合効果を表している。これを利用して、重合結果および関連する各アトリビュートに対してサンプル毎にセンブランス値の高い順に並べ替える MDRS ピッキングを行い、センブランス値の高い方から 2 番目までのセクションを用いて MDRS 重合を実行することで、コンフリクティング・ディップに対応した CRS 重合記録を作成した。このようにセンブランス値の高い方から複数枚のセクションを加算することで、ゼロオフセット断面上で複数(ここでは最大 2 つまで)の反射波が交差する状況に対応した。なお、センブランス値による並べ替えに際して、傾斜範囲に制限を設けることで不要な傾斜ノイズを除去した。

㉒ 基準面補正 (Datum Correction)

基準面を平均海水面とするために、震源の深度、受振器ケーブルの深度および海水中の音速速度 (1500m/sec) を参照して基準面補正を行った。

㉓ 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、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 予測フィルターを適用した。

㉔ 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)

反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、「i) 標準解析」の㉓と同様のタイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。

㉕ 重合後時間マイグレーション (Post-Stack Time Migration)

「i) 標準解析」の㉓と同様の手法で、重合後時間マイグレーション

を適用した。

②⑥ 深度変換 (Depth Conversion)

「i) 標準解析」の「②⑥深度変換」と同様の手法で、深度変換を実施した。

iv) ベクトル化処理

ベクトル化処理は、フィルムあるいは紙面で残存する CMP 重合断面図から重合後時間マイグレーション深度断面図を作成するまでの処理である。対象測線は、解析対象測線でデータ欠損が大きく、データ再解析結果の重合記録上にデータ欠損が見られた測線と、INPEX から提供されたベクトル化対象測線である。なお、解析対象測線でのベクトル化処理対象測線では、データ欠損範囲は限定的だったため、データ再解析も併せて実施された。

① スキャンとベクトル化処理 (Scan and Vectorizing)

大型スキャナーを使用してフィルムあるいは紙の重合時間断面図をスキャンした tiff フォーマットの画像データに対して、Lynx Information Systems Ltd 社のソフトウェア「SSV (Seismic Section Vectorizing)」を使用してトレースデータをベクトル化した。ベクトル化されたトレースデータに、同社のソフトウェア「TRACEPREP」を使用して振幅補正等の処理を行い、SEG-Y ファイルに出力した。

② 信号強調 (Signal Enhancement)

重合後記録の反射波の連続性を改善するために、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 予測フィルターを適用した。一部の調査では傾斜ノイズが顕著だったため、T-X 領域での速度フィルターを適用した。

③ 位相補償 (Phase Compensation)

ベクトル化処理でデジタル化した記録を、本再解析結果と位相が整合するように、位相補償を適用した。ベクトル化処理は、既往図面をデジタル化する処理であるため、既往結果の位相がそのまま反映される。既往処理では、ガン波形に基づく波形変換処理を適用していないため基本波形は最小位相波形ではなく、ホワイトニングデコンボリューションを適用していてもゼロ位相波形にはならない。そのため、再解析結果と位相が整合していない可能性が高い。実際に、ベクトル化処理と併せて

再解析を実施した測線で両結果の位相を比較したところ、位相にずれが見られたため、本再解析結果と位相が整合するように位相補償を適用した。位相補償としては、ベクトル化した記録において、海底反射波形の走時を読み取り、これを同一時間に揃えて重合することでウェーブレットを抽出し、この波形に基づきゼロ位相化処理を適用した。データの極性は、海底面反射波が正のピークとなるように設定された。

ウェーブレット抽出までの過程を図 11 に、位相補償適用前後の比較を図 12 に示す。図 12 での赤線は、位相補償適用前の記録の右端での海底面反射波の立ち下がり時間を表しているが、位相補償適用後の記録の右端では海底面反射波のピーク位置に対応しており、正しくゼロ位相化された結果と考えられる。位相の確認のため、位相補償適用前後でのベクトル化処理結果と再処理結果との比較結果を図 13 と図 14 に示す。図 13 と図 14 は、測線のベクトル化処理結果と再解析結果を鏡像の位置関係で表示したものであり、図面中央の縦線が同一 CMP 位置を表す。位相補償適用により、再解析結果との反射波出現時間の整合性が向上したことが確認できる。

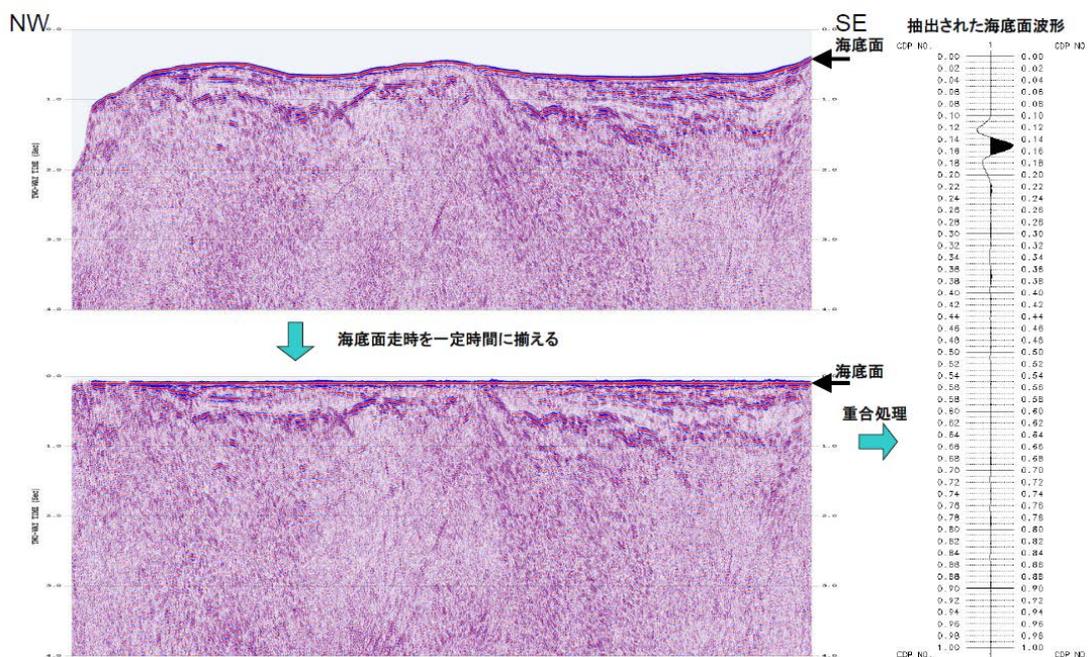


図 11 ベクトル化記録から抽出したウェーブレットの例

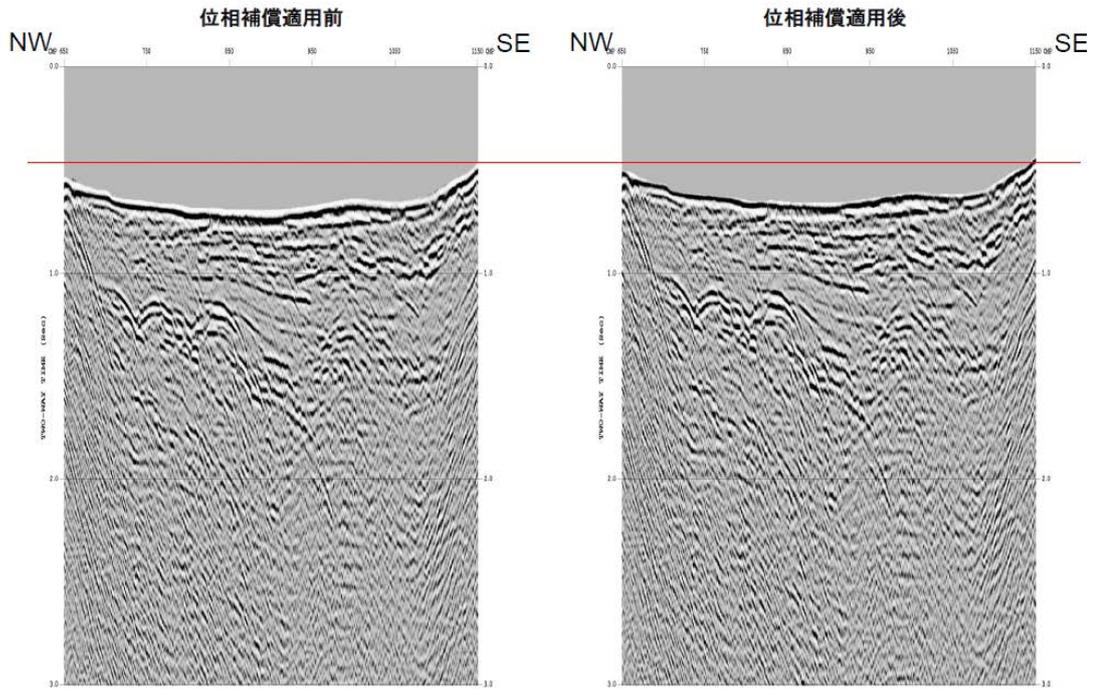


図 12 位相補償適用前後の比較

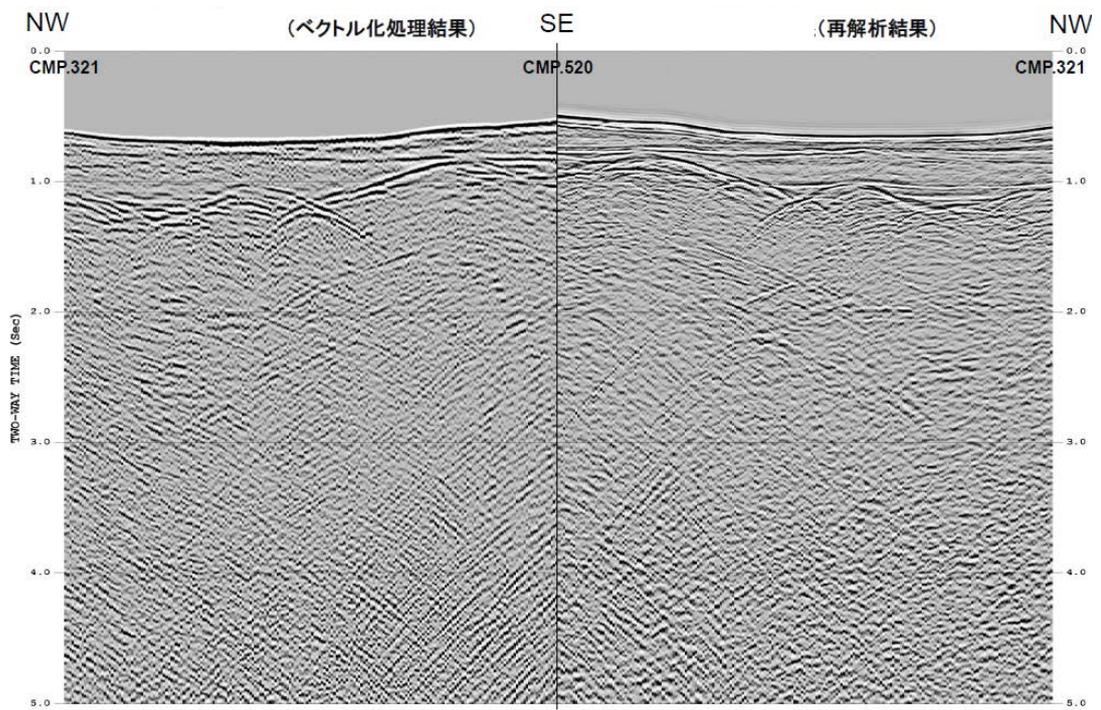


図 13 再解析結果との比較 (位相補償適用前)

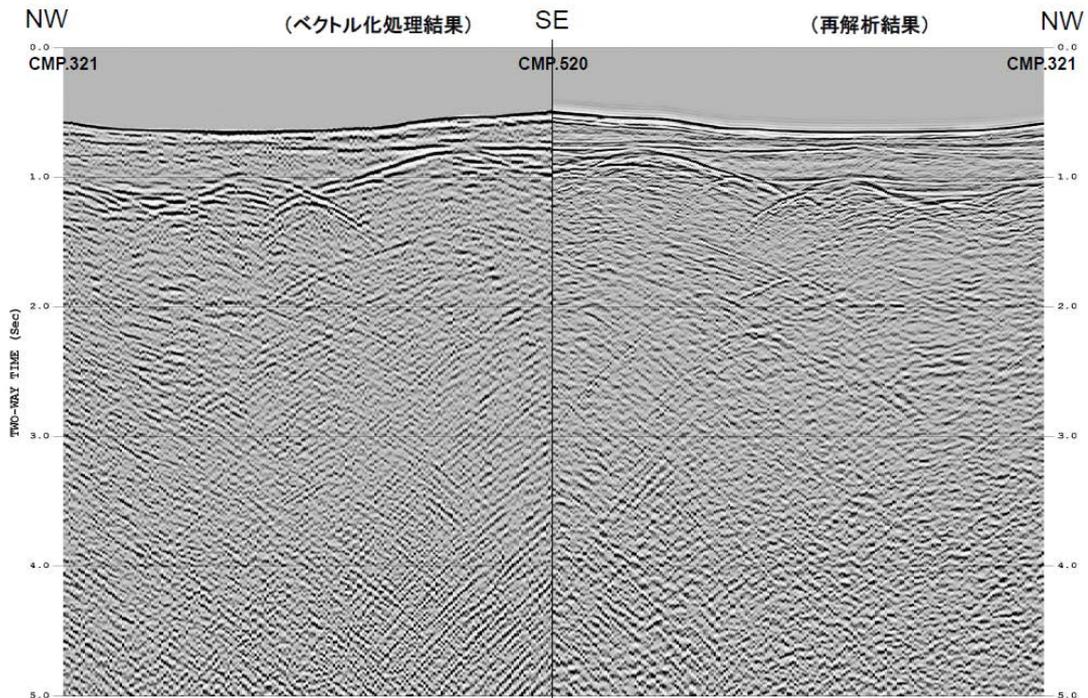


図 14 再解析結果との比較（位相補償適用後）

④ 帯域通過フィルター（Bandpass Filter）

一部の調査では低周波数ノイズが確認されたため、反射波の周波数帯域外にあるノイズを抑制するために、タイム・バリエーション型の帯域通過フィルターを適用した。

この時点の結果を、ベクトル化処理の重合時間断面図として SEG-Y ファイルに出力した。

⑤ 重合後時間マイグレーション（Post-Stack Time Migration）

「i）標準解析」の ㉔と同様の手法で、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としては、各調査の状況に合わせて以下の速度情報を用いた。対象測線で再解析を実施している JAPEX の測線については、再解析で求めた重合速度を用いた。INPEX の測線（沖縄Ⅱ）では既存のフィルムの重合断面図に速度テーブルが記載されていたため、この速度情報を用いた。残りの調査では既存のフィルムに速度情報の記載がなかったが、沖縄沖と天草沖Ⅱでは対象海域に基礎試錐（沖縄沖では基礎試錐「宮古島沖」、天草沖Ⅱでは基礎試錐「五島灘」）が存在するため、各基礎試錐での速度情報を用いた。宮崎～鹿児島沖では対象海域に坑井データも存在しないため、対象海域が一部重複する JAPEX の測線から重複海域内の代表的な 1 つの速度関数を選択し、これ

を用いた。重合速度を用いた、JAPEx および INPEX（沖縄沖Ⅱ、宮崎～鹿兒島沖）の各調査では、空間方向に平滑化した速度関数をスケールリングして用いた。

⑥ 深度変換 (Depth Conversion)

深度変換速度を用いて、Vertical Stretch 法による深度変換を実施した。深度変換速度は「⑤ 重合後時間マイグレーション」で参照した速度を空間方向に平滑化した速度関数を用いた。

以上の解析手順により作成されたベクトル化処理の重合後時間断面図の例を図 15 に、ベクトル化処理の重合後時間マイグレーション時間断面図の例を図 16 に、ベクトル化処理の重合後時間マイグレーション深度断面図の例を図 17 に示す。

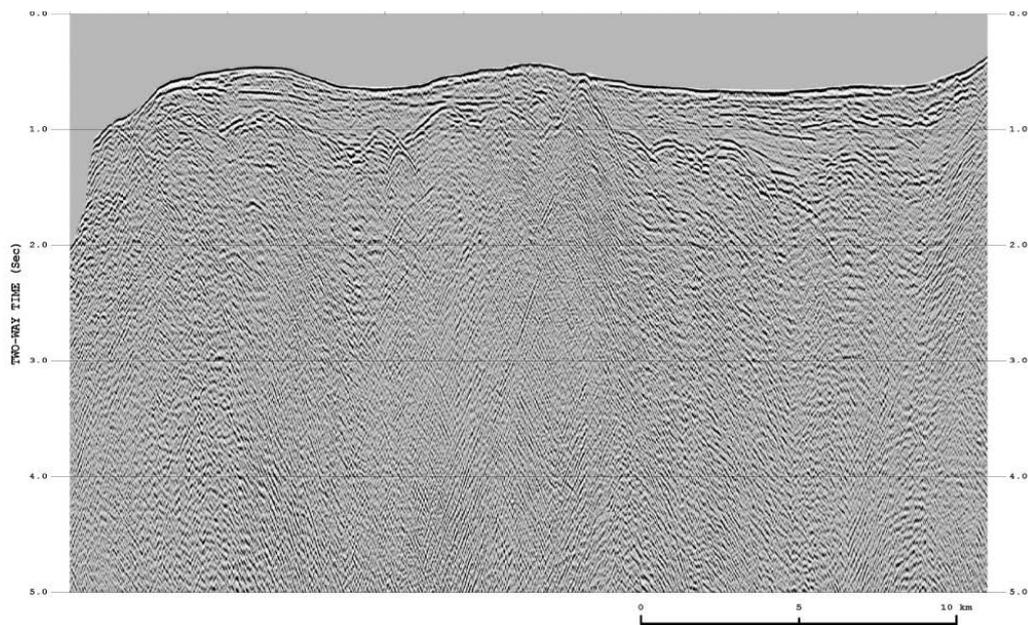


図 15 ベクトル化処理の重合後時間断面図

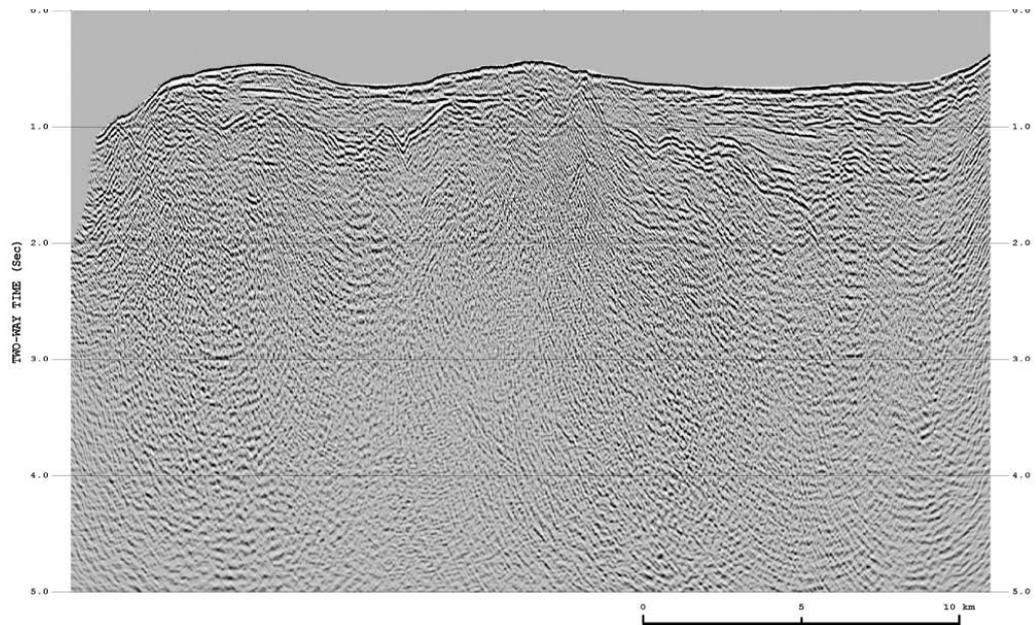


図 16 ベクトル化処理の重合後時間マイグレーション時間断面図

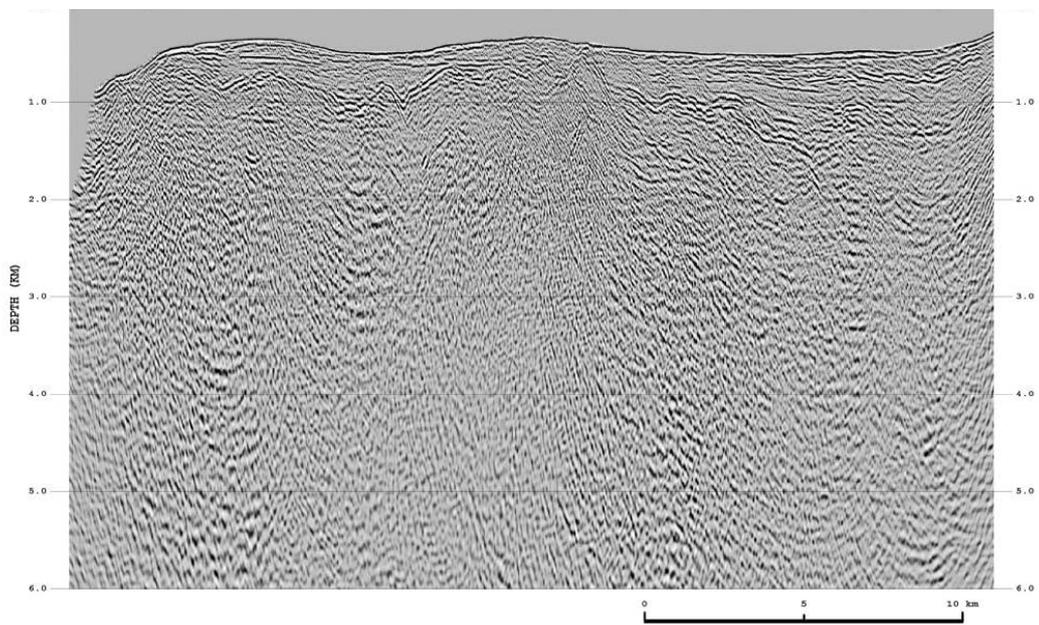


図 17 ベクトル化処理の重合後時間マイグレーション深度断面図

v) インハウス処理

インハウス処理の標準手順が確立されたため、南西諸島海域において再解析を実施した。対象とした測線は JAMSTEC が 2002 年に調査船「かいよう」で取得した KY02-11 の Line1 である (図 18)。位置は沖縄本島の北西の海域、測

線長は約 130 km である。

- ・業務の実施方法

再解析フローの内容は、データチェックの後、フォーマット変換、トレースエディットと最小位相変換を行い、簡易速度解析の後にノイズ抑制処理、多重反射波除去処理、振幅補償、デコンボリューション、1 km 間隔の速度解析後の Normal Move Out (NMO) 補正を行い、帯域通過フィルターを適用した後、最終重合断面を作成した。特に多重反射波解析については、海水面に介在する長周期多重反射波を抑制する SRME を用いた。

- ・既往探査データ等の解析

再解析を実施した既往探査データの概要は以下のとおりである。

- ・チャンネル数 24
- ・ストリーマー長 600m
- ・測線長 130km
- ・発振点数 5,097 点
- ・サンプリング間隔 2msec.
- ・発振間隔 25m

この測線では多重反射が目立つが、海底面付近の堆積盆内では良好な反射が得られている。

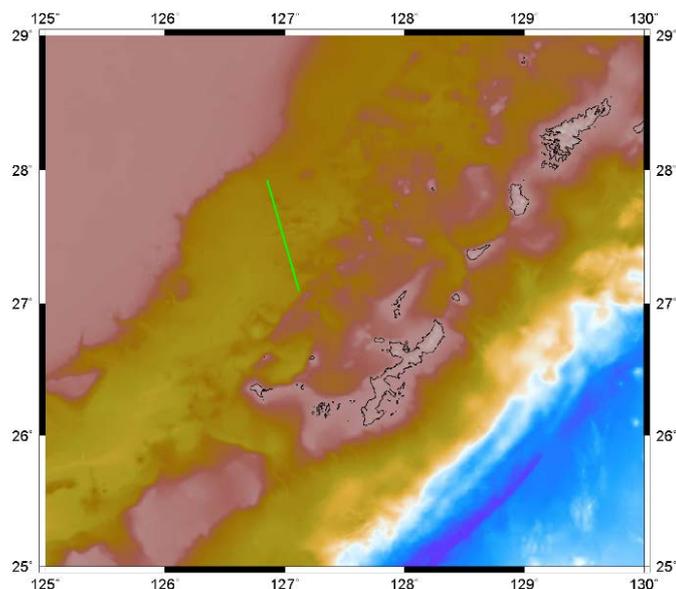


図 18 測線位置

・データ解析

データ解析は、前記のデータ再解析とほぼ同じ処理過程を踏襲するため、ここでは処理項目を順番に記載するのみで、特記すべき内容がない限り、処理内容については割愛する。

- ① データ確認 (Data Check)
- ② フォーマット変換 (Format Conversion)
- ③ 測線情報の入力 (Geometry Application)
- ④ トレースエディット (Trace Edit)
フィールドデータのチャンネル5と16は不良トレースのため処理では使わず。
- ⑤ 波形変換解析 (Signature Dephasing)
- ⑥ 予備的な速度解析 (Preliminary Velocity Analysis)
- ⑦ 帯域通過フィルター (Bandpass Filter)
- ⑧ 重合前ノイズ抑制解析 (Pre-Stack Noise Attenuation)
- ⑨ Surface Related Multiple Elimination (SRME)
- ⑩ 振幅補償 (Amplitude Recovery)
- ⑪ デコンボリューション (Deconvolution)
- ⑫ 速度解析 (Velocity Analysis)
- ⑬ NMO 補正 (NMO Correction)
- ⑭ Dip Move Out (DMO)補正 (DMO Correction)
- ⑮ アウトサイドミュート (Outside Mute)
- ⑯ 振幅調整 (Trace Scaling)
- ⑰ CMP 重合 (CMP Stack)
- ⑱ 信号強調 (Signal Enhancement)

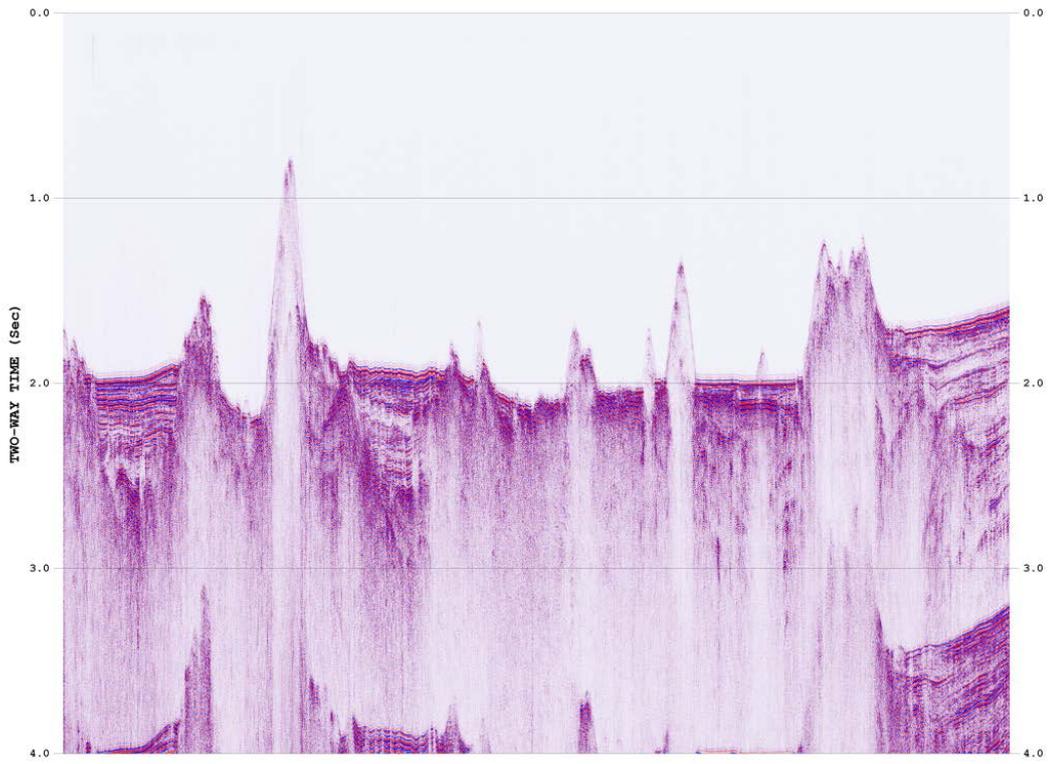


图 19 既存处理結果

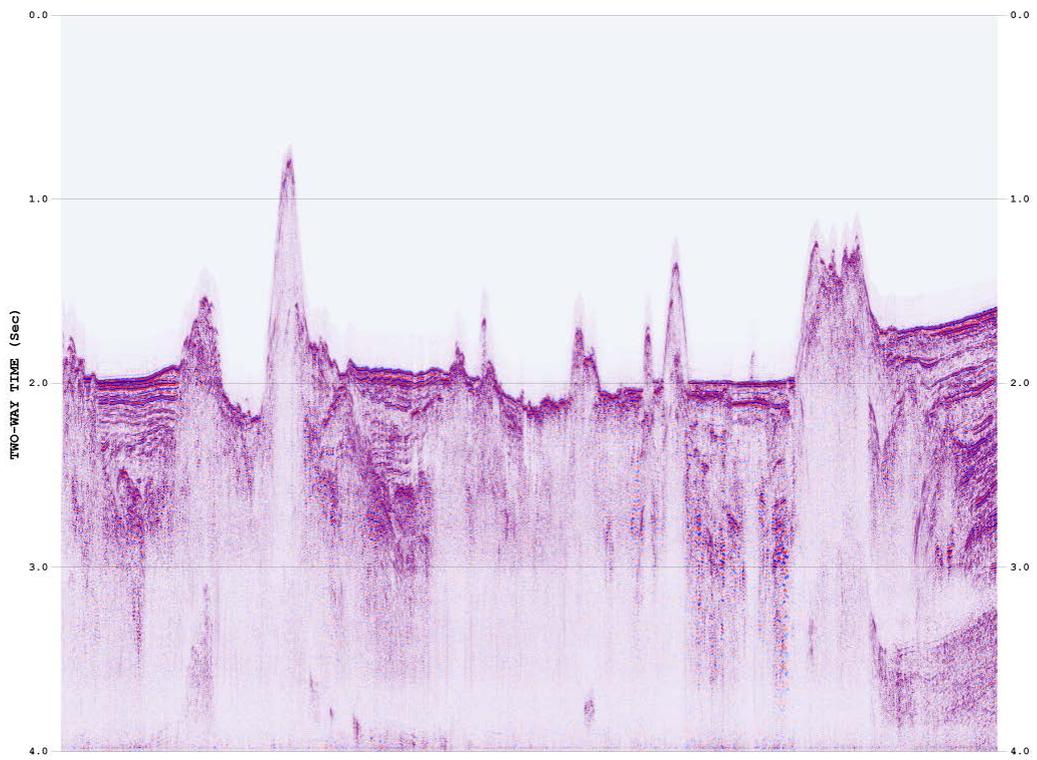


图 20 再处理結果

今回実施したインハウス処理（図 20）では、既存の処理結果（図 19）と比較し、海底に起因する多重反射の除去ができ、また、堆積層内の反射面の連続性が向上している事が明らかになった。

来年度以降のインハウス処理は、断層の連続性を判断するために、断層解釈を進める過程で測線を選定し、実施する予定である。

2) 海域における速度構造モデルの作成

a) 業務の目的

様々な機関で取得されたデータを統一された速度構造モデルを利用して、一様に時間ドメインから深度ドメインへと変換を行う。過去に取得されたデータで深度断面が存在しないデータや SCS データで深度ドメインへの変換が行えないものなども、速度構造モデルを作成することで深度断面への変換が可能になる。これによって断層情報も時間ドメインから深度ドメインに変換することができ、断層モデルについて議論することができるようになった。

断層情報はその形状や深さ方向への広がりなどについては、深度での議論が望ましく、今回、深度で議論ができるようになったことで、より断層について評価を行えるようになった。深度ドメインへと変換を行った断層についてはサブテーマ(3)に情報を提供する。

平成 27 年度は南西諸島海域において速度構造モデルを作成した（図 21）。作成方法についても議論し、平成 26 年度に実施した日本海海域で作成した処理フローを修正した。速度構造モデルを構築するにあたっては、反射法データの処理過程で使われる重合速度も使用した。

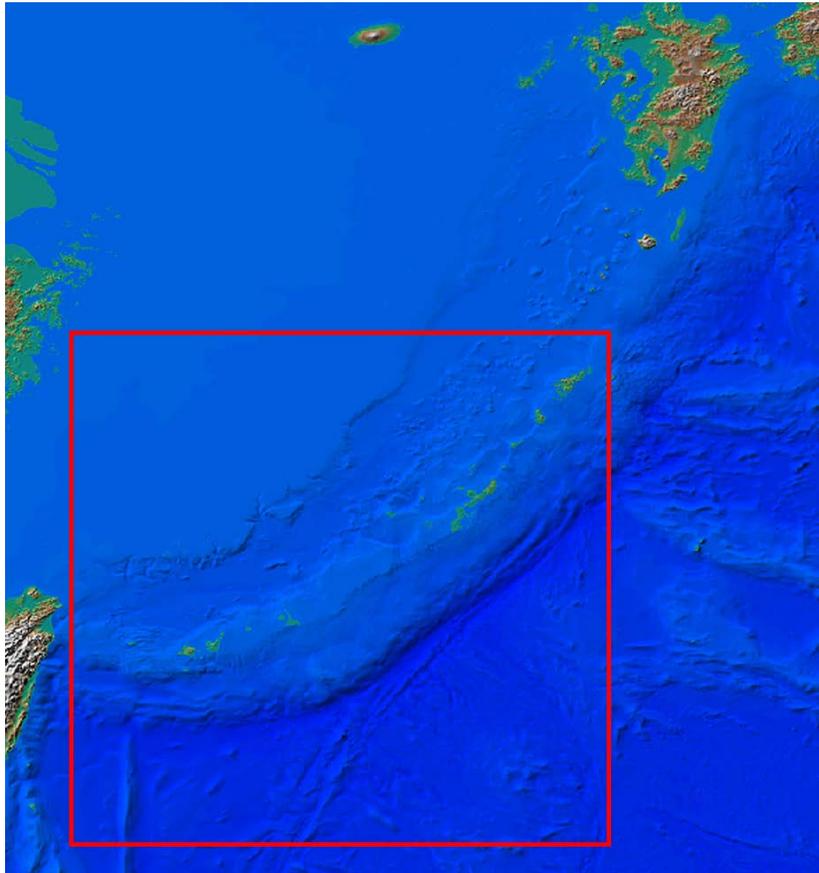


図 21 速度構造モデルの作成領域（赤枠）

b) 業務の実施方法

本年度は南西諸島南部海域において、海底面、A-horizon、B-horizon の解釈を行った（図 22）。この解釈した horizon に基づいて surface を作成し、層構造の作成を行った。

速度データとしては、反射法データや OBS 調査データ、坑井の速度データ及び既存論文情報などを使用して、各層構造に速度関数を与え、速度構造モデルを作成した。

速度構造モデルは水平方向 1 km グリッド、鉛直方向 200m 間隔の解像度で作成した。作成した速度構造モデルを用いて、反射法データ及び断層情報の深度変換を行った。

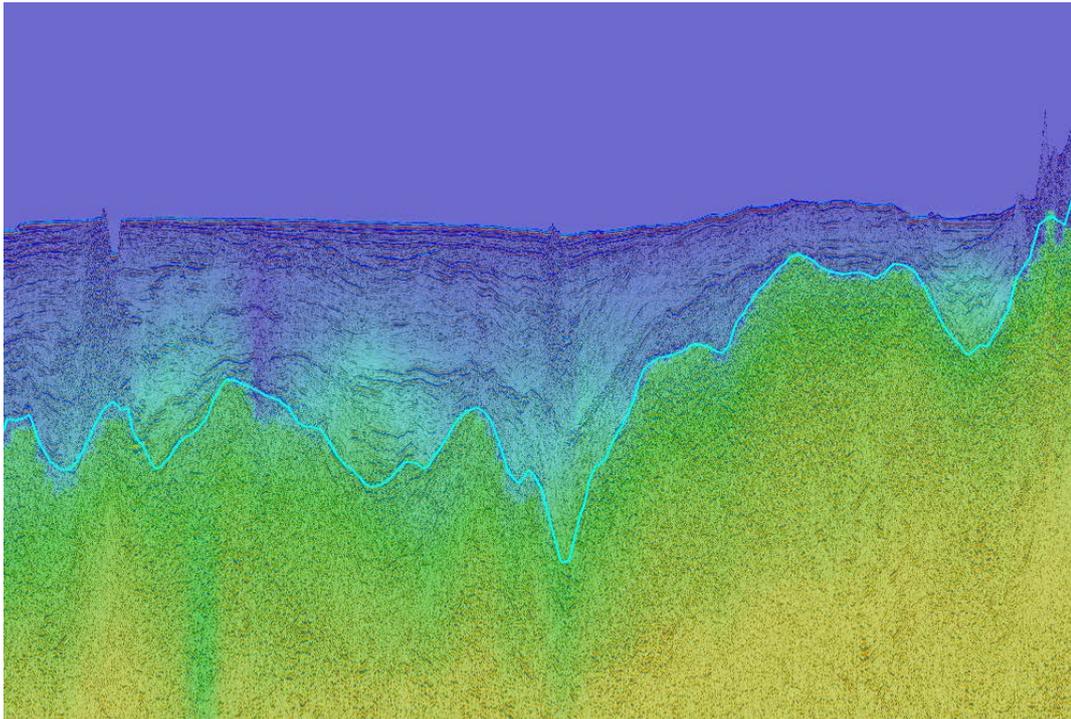


図 22 反射記録断面図上での Horizon 解釈の例
(青線は B-horizon を示す。)

c) 業務の成果

JOGMEC、JAMSTEC、AIST、海上保安庁などの様々な機関から提供された反射法データ、OBS 調査データ及び坑井の情報を使用し、海底面、A-horizon、B-horizon の解釈を行った。

A-horizon として、主に南西諸島海域の広い領域に形成されている第三紀層内の不整合面を追跡したが、基盤の上昇した箇所等があり全域での追跡は出来なかったため、速度構造モデルの構築に際しては使用していなかった。

B-horizon は堆積層と上部地殻との境界、所謂、音響基盤と定義した。海底面は全ての測線で追跡し、海底面以下の A-horizon、及び B-horizon は深部まで反射波が明瞭に見えているマルチチャンネルデータ測線で解釈を行った。

B-horizon 以下の C-horizon 及び Moho 面については既存の論文や海上保安庁が地殻構造探査として実施した OBS 調査測線の速度データを基にして作成した (図 23)。

C-horizon は上部地殻と下部地殻の境界にあると考えられる速度ギャップの箇所とし、OBS 調査の速度情報や論文をもとに深度を決定し、情報のないエリアは上部の B-Horizon に平行となるように作成した。

Moho 面は下部地殻とマントルとの境界で C-Horizon と同様に OBS 調査の速度構造や人工衛星 (GOCE) による重力マップを参考に作成した。

この各 horizon から 1 km グリッドの surface を作成した (図 24、図 25)。作成した速度モデルは、地震波速度の差異に注目して境界を設定したため、必ずしも地質的な境界とは一致しない場合もある。

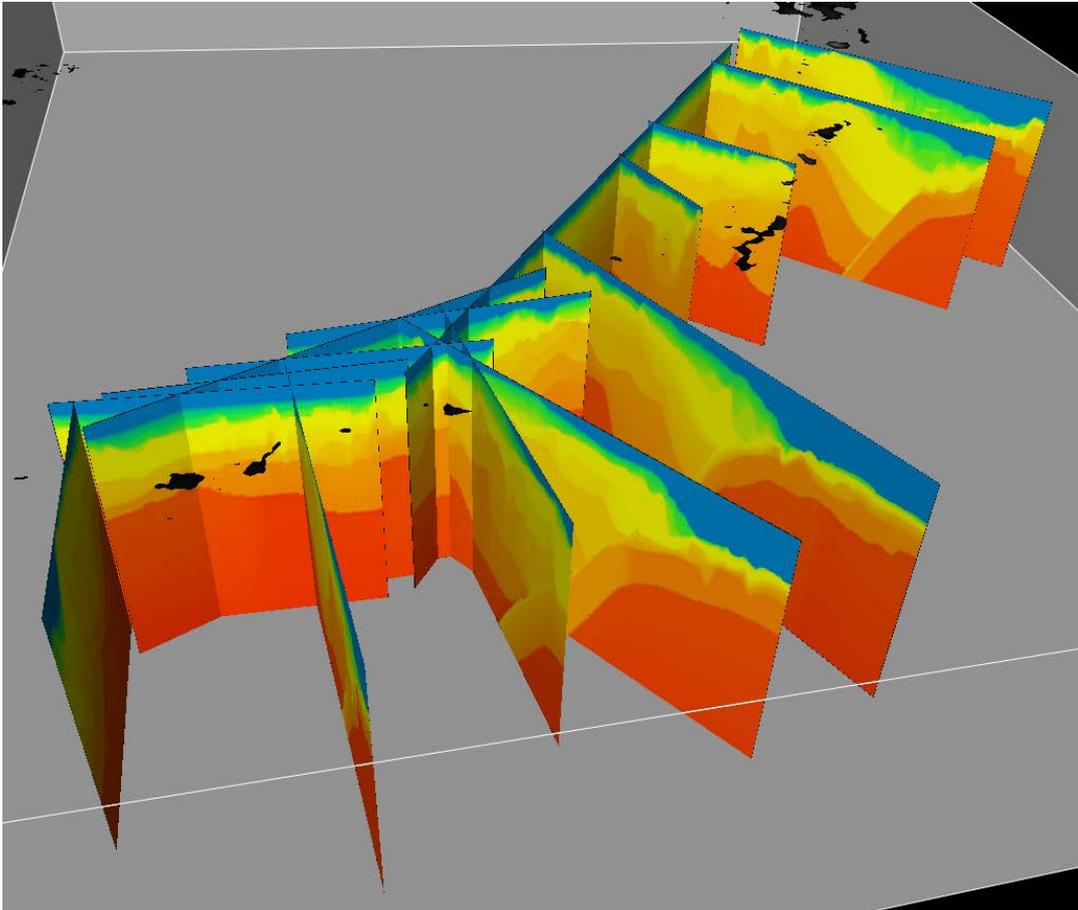


図 23 OBS 調査で得られた速度の例

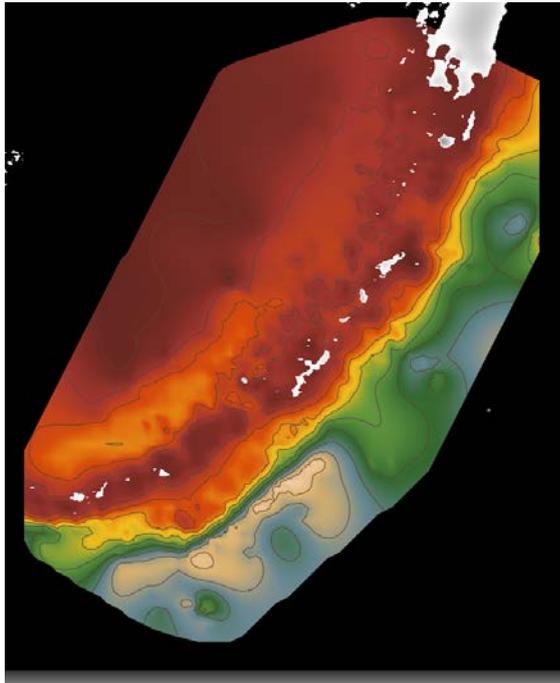


図 24 海底面の解釈範囲

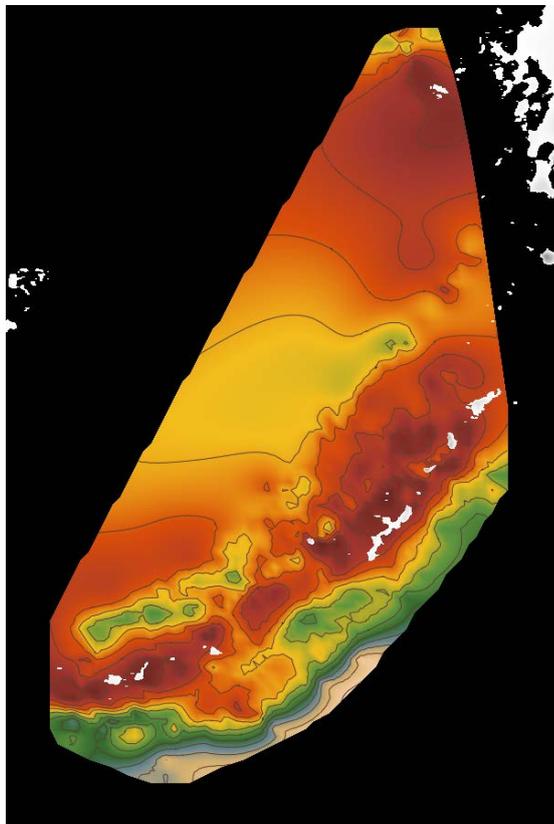


図 25 B-horizon の解釈範囲

南西諸島海域で速度構造モデルを作成する場合、南部海域と北部海域とに分けてモデル構築を行う予定であり、本年度は対象領域である南部海域について速度構造モデルを構築した。北部と南部で別々に計算を行って速度構造モデルを作成する予定だが、両者の境界付近については重なる領域を設置し接合をとることとする。基にした速度データは反射法データの再処理の際に得られるDMO処理時の速度データやOBS調査で作成された速度である。また、坑井のデータを用い速度のキャリブレーションを行ったが、本年度対象領域には坑井が少ないため、適用した範囲は少ない。

作成した各 surface を速度キューブに当てはめ、層構造 (Sea Water、Sediment、Upper Crust1、Lower Crust1、Mantle、Upper Crust2、Lower Crust2、Mantle) を作成する。Sediment は反射法データの再解析で得られた速度と OBS 調査で得られた速度を組み合わせて利用した。まず Sea Water、Sediment のみ速度を作成したキューブを用意し、この速度モデルを使用して時間ドメインであった海底面、B-horizon を深度ドメインに変換する。その後、マントルまでの最終速度モデルを深度ドメインで作成する。この時、Sediment 以下を上部地殻、下部地殻、マントルに区分し、OBS 速度情報や既存論文などを参考に速度構造を求めた (図 26)。次に、上部地殻は下面を 6,200m/sec の速度とし、下部地殻は上面を 6,580m/sec の速度とした。論文等では、上部地殻と下部地殻の境界には速度ギャップの存在が示唆されており、本プロジェクトの速度構造モデルにおいても、速度ギャップの存在するモデルとした。また、マントルの地震波速度は 8,000m/sec 一定値とした。このようにして作成した速度構造モデルを最終速度構造モデルとした。

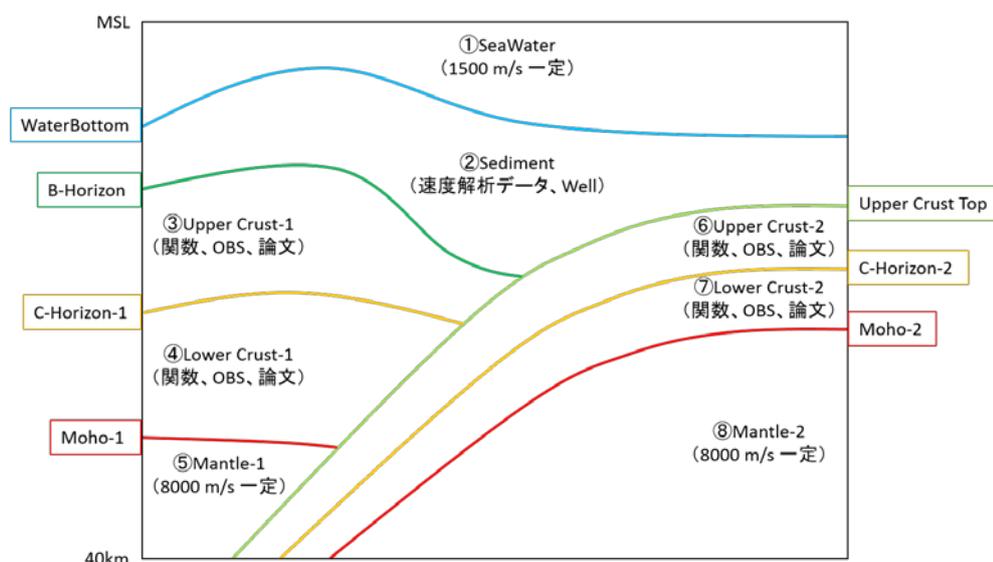


図 26 速度構造の層構造図

次に、この最終速度構造モデルを使用して反射法データ及び断層情報の深度変換を行った。以下に今回得られた速度構造キューブを示す（図 27）。また、図 28(a)～(d)は、対象エリア東西の速度プロファイルに対して、西から東にかけて速度構造が変化している様子を示した三次元速度構造を輪切りにしたイメージである。

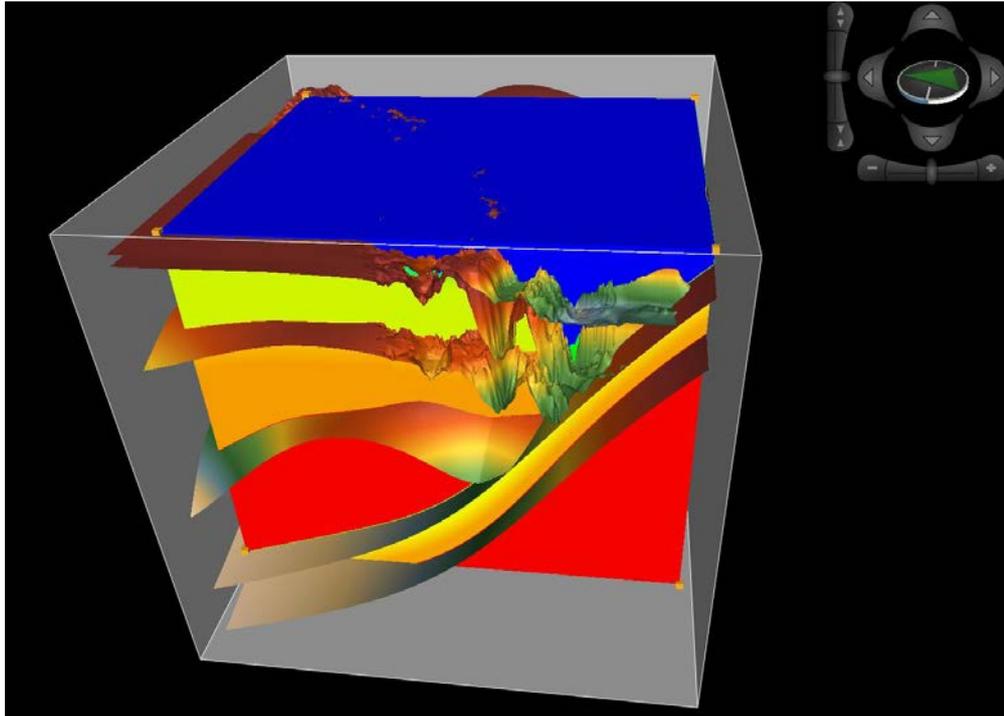


図 27 三次元地震波（P 波）速度構造モデル概観

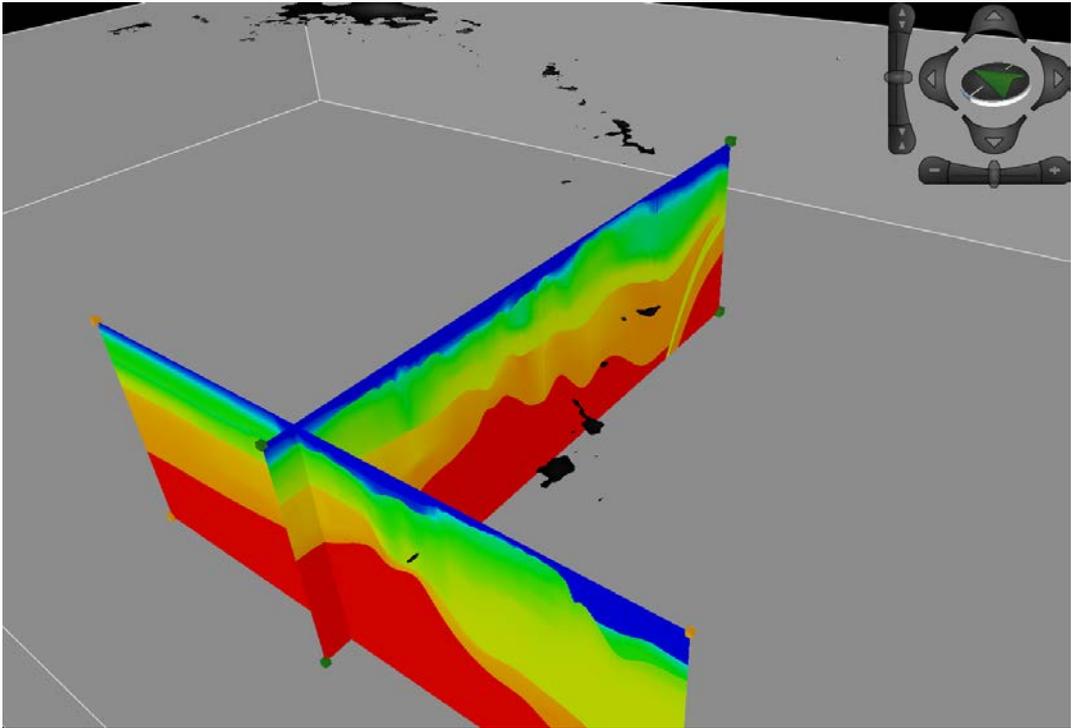


図 28(a) 速度構造モデル-1

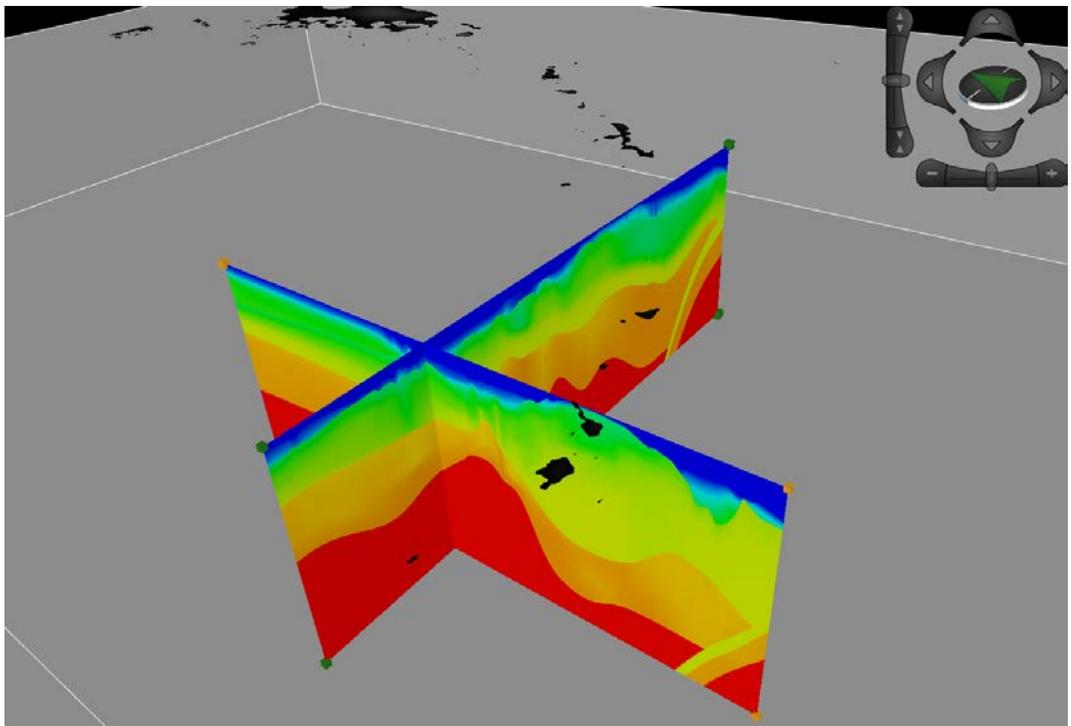


図 28(b) 速度構造モデル-2

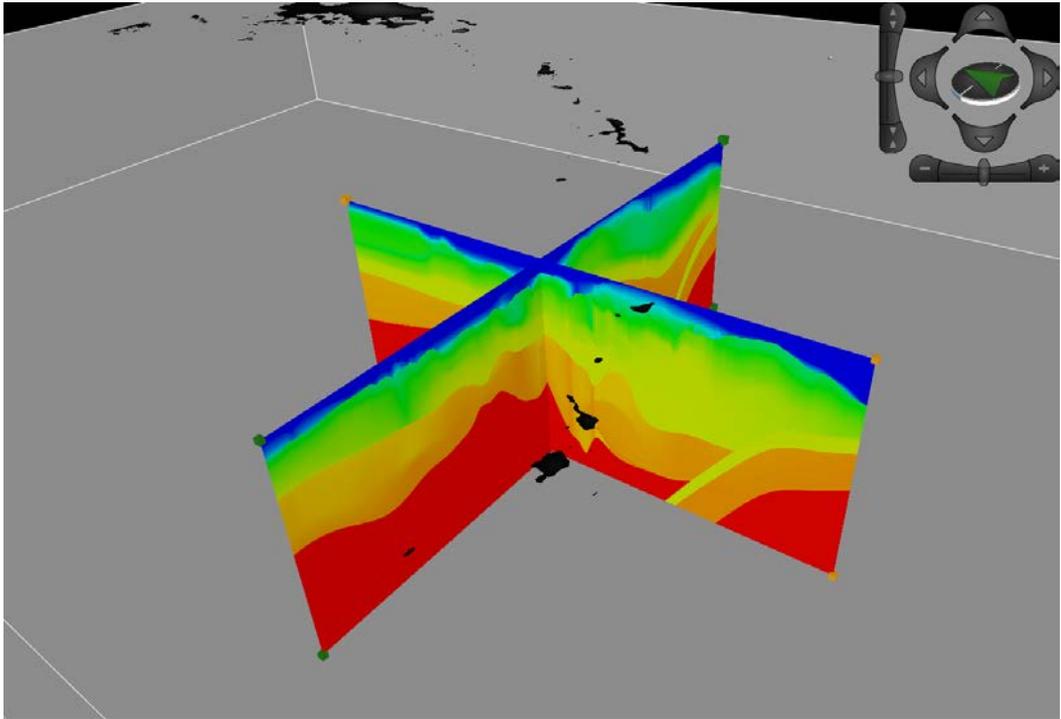


図 28(c) 速度構造モデル-3

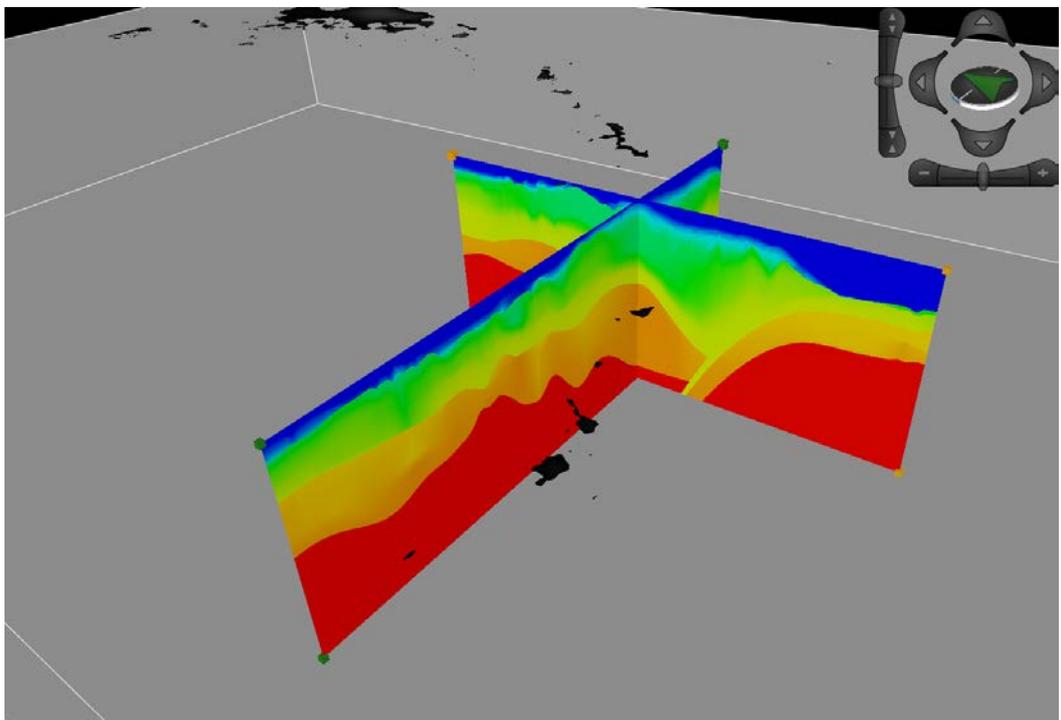


図 28(d) 速度構造モデル-4

d) 結果

南西諸島海域については北部、南部の二つの領域に分け、本年度は南部領域の速度構造モデルを作成した。この速度構造モデルを使い、断層の深度変換を実施し、概ね満足の結果が得られた。

来年度は北部領域についても同様に速度構造モデルを構築し、南部領域の速度構造モデルと一体化させる予定である。

3) 統一的断層解釈

a) 概要

平成 27 年度の対象海域は南西諸島海域である。南西諸島は九州から台湾にかけて連なっており、その距離は約 1,200 km におよび、海域においても琉球海溝や沖縄トラフを含んだ領域であるためかなりの広域となる。

そのため南西諸島海域を図 29 に示すように北部と南部で 2 カ年度に分けて作業を実施する事となった。地震探査データの収集・登録と再処理は今年度より着手しており、各機関や民間企業のデータを随時借用している。解釈準備のできた測線は南部に比較的揃っており、再処理を実施するデータも南部が中心であることから、平成 27 年度は南西諸島南部海域を対象海域と、主に南琉球の先島諸島海域と中琉球の沖縄諸島海域の断層解釈作業を実施した。

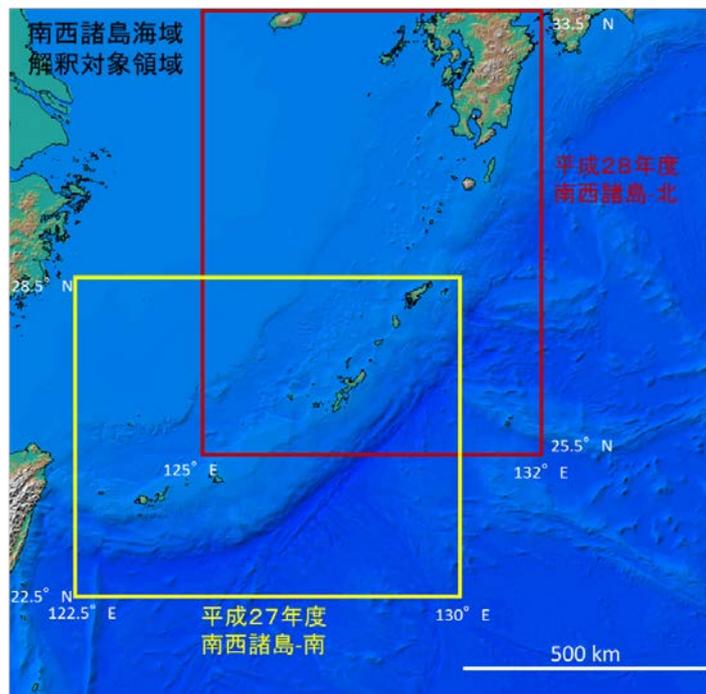


図 29 南西諸島海域解釈対象領域図

i) 南西諸島海域について

南西諸島は、九州から台湾にわたる琉球列島とその東側に位置する大東諸島を含む島嶼を指す。琉球列島は琉球弧を形作る列島で、種子島、屋久島、奄美大島、沖縄島、宮古島、石垣島などの琉球外弧の列と霧島火山群や桜島の延長上の火山島からなるトカラ列島を含む。琉球弧の太平洋側にはフィリピン海プレートが琉球海溝に沿って沈み込み、大陸側の背弧には沖縄トラフが発達する。

更に琉球弧は、構造的特徴より、3つのブロック、即ち北琉球・中琉球・南琉球に区分されている。境界部はトカラ海峡と慶良間ギャップと呼ばれる凹地形で、それらは島弧に対して垂直方向に形成し、島弧を分断している。琉球弧は北東-南西方向の太平洋側に弓なりになった形状をしており、西北西へ沈み込むフィリピン海プレートは北部・中部では島弧に対してほぼ直角に沈み込み、南部では斜め鋭角に沈み込んでいる。

b) 解釈方法

i) 断層の特定

本プロジェクトの平成 26 年度実施した日本海海域では、断層を特定する基準を海底面下の地質構造に変位（堆積層のずれや撓曲など）があることが第一の基準とし、海底地形に変位が現れているかを第二の基準とした。特定した断層は断層面として空間的に連続するかを判断するために、以下の基準を設定した。

- ・断層が反射記録断面上で明確に確認できる。
- ・地質構造から、同じ断層と認識できる。
- ・新規断層の場合、連続して3測線以上の反射記録断面で確認できる。
- ・既存の断層位置とほぼ同じ位置にある場合は、連続して2測線で確認できる。

しかしながら、南西諸島海域の反射法データは測線密度が粗く、隣りあう測線でも連続した地質構造であるかどうか判断するのは困難であり、加えて断層が無数に存在するような特徴もみられ、それらの空間的な発達や分布域を特定することはできない。そのため、南西諸島海域においては詳細な海底地形図を用いて、反射記録断面で特定できた断層の空間的連続性を判断した。そこで、以下の6項目を指標として断層を特定した。

- ・小さな構造特徴を追跡するのではなく、既存の地質図や海底地形で認識

できる大構造の断層を特定する (図 30)。

- 断層面と判断できる場合、断層両端の延長は海底地形図の地形特徴 (リニアメント等) を参考に延長する (図 31)。
- 断層による海底地形の変位が 1 測線でのみ確認、且つ 20km 以内に測線が無い場合、海底地形図の地形特徴 (リニアメント等) を参考にして延長し、断層と認定する (図 31)。
- 海底面まで変位は達するが、海底地形に変位が無い断層は 2 本以上の測線が必要である (図 32)。
- 反射記録断面で海底面直下の構造が不明瞭であっても、断層によるものと判断できる明瞭な地形特徴がある場合は、断層と特定する (図 33)。
- 測線が無い海域では断層を特定しない。

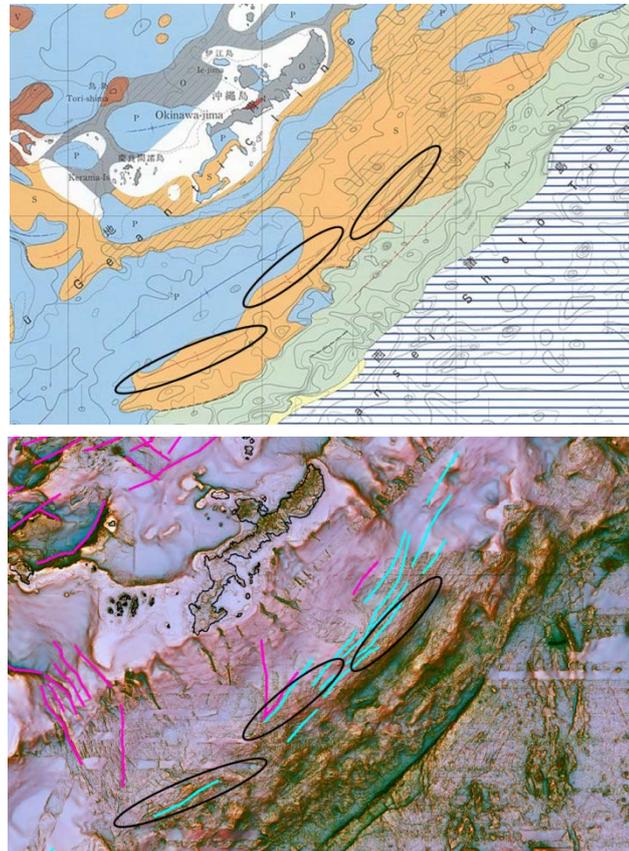


図 30 (上図) 琉球島弧周辺広域海底地質図(1977)においての構造 (黒楕円) を示す。
(下図) 同位置の解釈断層分布 構造線に沿った断層を認定。

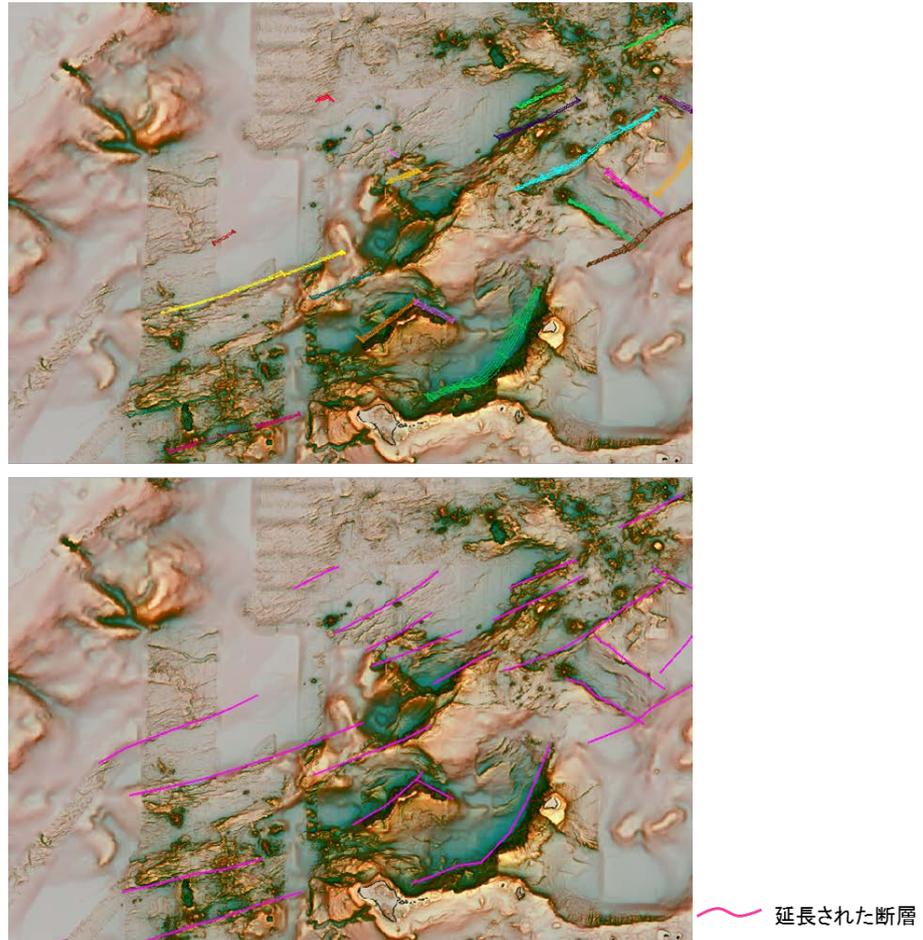


図 31 (上図) 各測線で解釈した断層を色別に表示。
 (下図) 海底地形を参考に解釈断層の延長部を決定する。

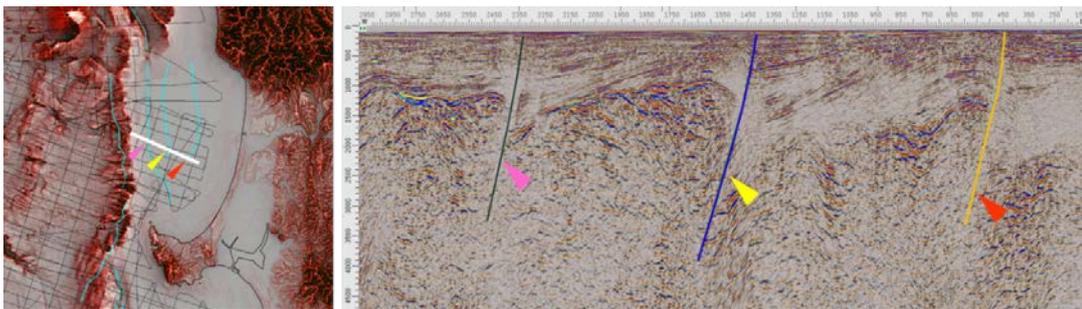


図 32 反射記録断面図で解釈し、海底に変位が無い断層(色矢印)。

2本以上の測線で連続性が確認できる場合は認定する

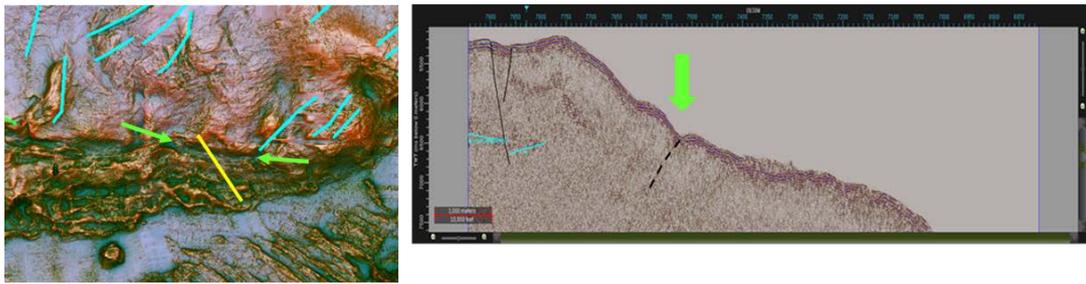


図 33 反射記録断面で断層が不確実な場合。断層による地形と判断できる明瞭な特徴がある場合は断層と認定する(緑矢印 →)。

以上の条件に当てはまる断層面を特定し、平成 27 年度の成果とした。

ii) 断層のランク付け

本プロジェクトの断層評価は、特定された断層が活断層であるか否か、が重要な判断基準となる。断層による変位が海底地形に現れているということは、断層が過去に活動していて今後も活動する可能性があるという判断ができる。また海底地形の変位が削剥され、平坦になっていても今後活動を繰り返す可能性があるという判断ができる。

今回の南西諸島海域で特定した断層は縦ずれの成分が大きく、変位が海底地形に現れている。認定した断層は主に沖積層内に発達している断層で、海溝側では沈み込みによる逆断層型、トラフ側ではリフトによる正断層型が分布している。島弧においては、沖積層内に限らず島棚上部に露出する鮮新世の島尻層群内に発達した断層もみられる。沖積層が分布していない領域であり、比較的古い断層の可能性はあるが、海底地形に現れているものはすべて断層と認定した。日本海海域断層のランク付けの要素は海底地形の変位の有無であったが、南西諸島海域ではさらに断層面の確実度を以下の基準で判断した(表 2 参照)。

- ・複数の解釈断層による空間的連続性を認定したものなのか
- ・ひとつの解釈断層から地形特徴を参考に延長したものなのか

ランク I : 複数の反射記録断面で地質構造に変位があり、且つ、海底地形にも変位がある。

ランク I” : 1つの反射記録断面で地質構造に変位があり、且つ、海底地形にも変位がある。

ランク II : 複数の反射記録断面で地質構造に変位があるが、海底地形に変位が見られない。

表2 断層の确实度のランク付け表

	複数測線	単数測線
海底地形変位あり	I	I''
海底地形変位なし	II	

また、断層がどの深度まで延びているかのランクは地殻構造区分で判定した(表3)。

ランク A : Sediment 1 (不整合面)

ランク B : Sediment 2 (音響基盤)

ランク C : Upper Crust (上部地殻)

ランク D : Lower Crust (下部地殻)

表3 断層ランク付け一覧

	A	B	C	D
I	I A	I B	I C	I D
I''	I'' A	I'' B	I'' C	I'' D
II	II A	II B	II C	II D

iii) 利用したデータ一覧、及び各データの特徴

断層解釈作業に利用した反射法データは以下の機関から提供されたものである。

・政府機関

JOGMEC、JAMSTEC、AIST、海上保安庁、沖縄県

・民間石油会社

JAPEX、INPEX

使用するデータはMCSとして、JAMSTECで取得したものをはじめ、JOGMECや民間石油会社から提供された主に石油探査用のデータと、海上保安庁から提供された大陸棚調査である。MCSデータの特徴は以下のとおりである。

- ・震源エネルギーが大きく、且つ重合効果で、深部までのイメージを取得できる。
- ・反射法データの処理過程で速度情報の入手が可能
- ・ゼロオフセットへの補正がされているので、急斜面を除き、MCS同士の交点で一致する場合が多い
- ・調査測線の密度が粗い

- ・震源の周波数帯域が相対的に低く、データの分解能が低い
- ・調査海域全体でのデータ取得が行われていない

日本海海域とは異なり、本年度実施した南西諸島海域では AIST から提供されたような調査海域全体を網羅する SCS データがないため、MCS データのみを使用し、解釈作業を実施した。

iv) 解釈システム

当該プロジェクトを実施するに当たり、平成 25 年度に導入済みの解釈システム Decision Space (Landmark 社製) を利用した。以下はその詳細である (表 4)。

表 4 導入されたソフトウェア一覧

ソフト名	ライセンス数	ソフトの役割
CTC e-Geo	1	DB 構築用ソフトウェア
Landmark Openworks	6	再解析・解釈データプロジェクト管理ソフトウェア
Landmark GeoData Load	1	データインポート/エクスポートソフトウェア
Landmark ProMax2D	1	地震探査データ処理ソフトウェア (2D)
Landmark ProMax2D/3D	1	地震探査データ処理ソフトウェア (2D/3D)
Landmark Decision Space Base Module	6	再解析・解釈データ可視化ソフトウェア
Landmark Decision Space Geophysics Module	2	速度モデル構築用ソフトウェア
Landmark Geologic Interpretation Component	2	地質解釈・地質モデリングソフトウェア
Landmark Seismic Interpretation Component	4	断層・ホライズン解釈ソフトウェア
Landmark Decision Space GIS Module	4	GIS データ表示
Landmark ZEH	1	CGM/CGM+表示/プロットイング/コンバートソフトウェア

v) 使用した資料等

南西諸島海域の断層を調べる上で、徳山・他（2001）による「日本周辺海域の第四紀地質構造図」の断層マッピングを断層解釈の参考とした。その際、断層マッピングを解釈システム上にトレースし、反射記録断面上で認識できれば変位方向や形状をみて断層面として特定した。

水深図としては、収集した下記の海底地形データを利用し、赤色立体海底地図を作成した。

- JAMSTEC シービーム
- 海上保安庁 水深グリッドデータ
- NOAA マルチビーム
- M7000 シリーズ
- J-EGG 500m メッシュ
- SRTM15 Plus
- GEBCO2014
- SRTM-1

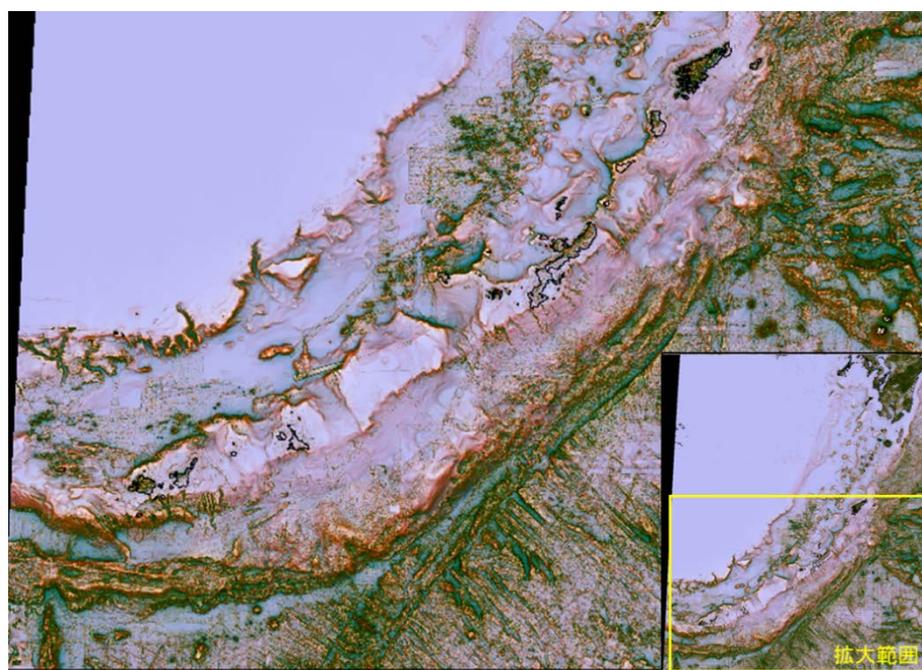


図 34 赤色立体地形図

海底地形データを赤色立体地図の手法で表示したものを図 34 に示す。この手法は斜度をグレースケールで表し、崖や谷などの地形の起伏を明暗で識別できるようにしたものである。この手法では平面的に見ても地形が

容易に判読できる。

他の手法として、光源を特定の位置に置き、その光源方向によって発生する陰の形態を利用する陰影図がある。この手法は、光源方向の依存性が高く、特定の地形だけが強調されるため、多方向に光源を置いた図面を利用して海底地形を判読する必要がある。

今回作成した赤色立体海底地図は、急斜面ほど彩度を高く、凸部ほどより明るく、凹部ほどより暗く表した地図で、1枚の画像で大地形と微地形を同時に立体的に感じられる表現が可能となっている。これによって反射記録断面で解釈した断層の微小な変位も平面図上で認識でき、断層が何処まで延びているかの空間的な広がりが特定できるようになった。

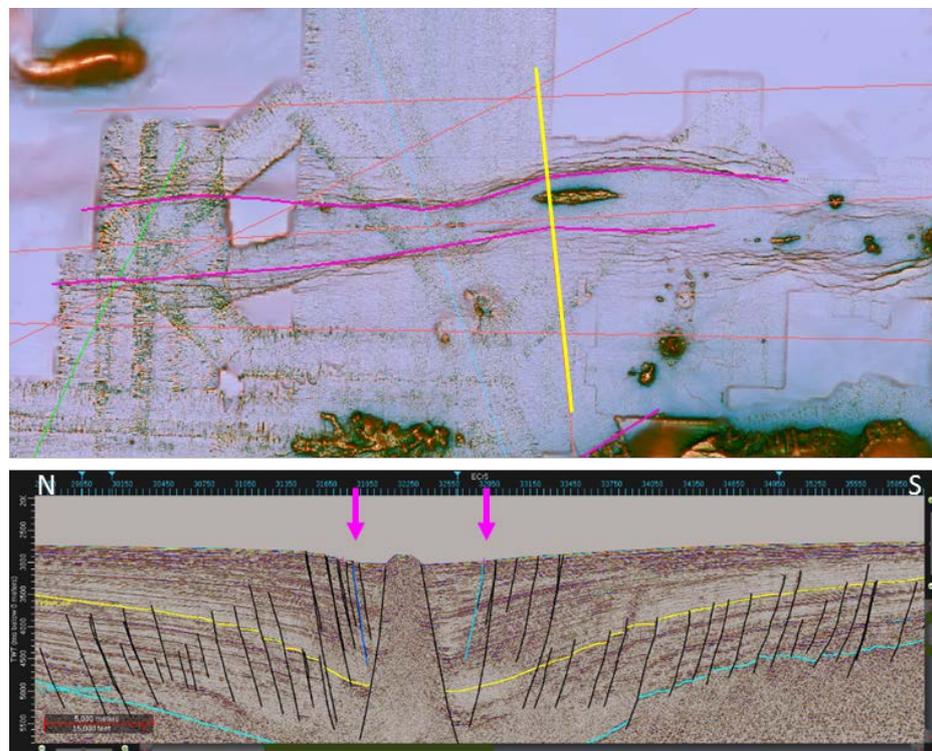


図 35 赤色立体地図による断層解釈の例

図 35 は八重山海底地溝を形成する正断層の 1 つを解釈した例である。赤色立体図では八重山海底地溝では断層が雁行状、または階段状に発達する地形が詳細に現れているのがわかる。反射記録断面で特定したグレーペン底を縁取る断層は青色（左側矢印）と水色（右側矢印）の断層である。これらの断層は中央海丘より西側では 3 測線で解釈でき、実際に解釈した断層の位置と地形判読から断層形状が特定できる。

しかし、中央海丘より東側へは反射法データがないため実際の断層位置

は特定できない。この場合は解釈断層の海底面の変位などの地形の連続性を判読し断層の延長を決定した。このように断層形状を決定するためには詳細な地形データは不可欠である。

vi) 海域別の特徴

断層解釈を行うにあたり、琉球弧全体、とりわけフィリピン海プレートが沈み込む琉球海溝とリフト形成がみられる背弧海盆の沖縄トラフにおける応力場を理解する必要がある。Terakawa and Matsu'ura (2010) による応力パターン (図 36) によると、沈み込むフィリピン海プレートでは北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型が優勢で、海溝付近の前弧側の付加体では、北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型と、横ずれ断層型や同方向に張力軸を持つ正断層型が混在している。

島弧では北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型と横ずれ断層型が優勢で、北東-南西方向に張力軸を持つ正断層の領域も存在する。沖縄トラフでは沖縄島を北限とした領域で北北東-南南西から北-南方向に張力軸を持つ正断層型が優勢で、沖縄島より北の領域では東北東-西南西から東-西方向の圧力軸を持つ横ずれ断層型が優勢となっている。

このような応力パターンの理解した上、図 37 に示す気象庁震源データの 2000 年~2014 年の 15 年間で発生した地震の内、深度 5 km 以浅の震源情報を参考にして、地震活動と整合する断層解釈を行った。

図 38 は本年度の成果である南西諸島海域の断層分布を示す。海溝側は沈み込むフィリピン海プレートによる圧縮の応力場の影響で逆断層が付加体や前弧海盆内に発達している。島弧では島弧軸に垂直方向の正断層が発達している。沖縄トラフ側はリフティング活動と思われる正断層が雁行状に発達している。以下に海域別に詳細を述べる。

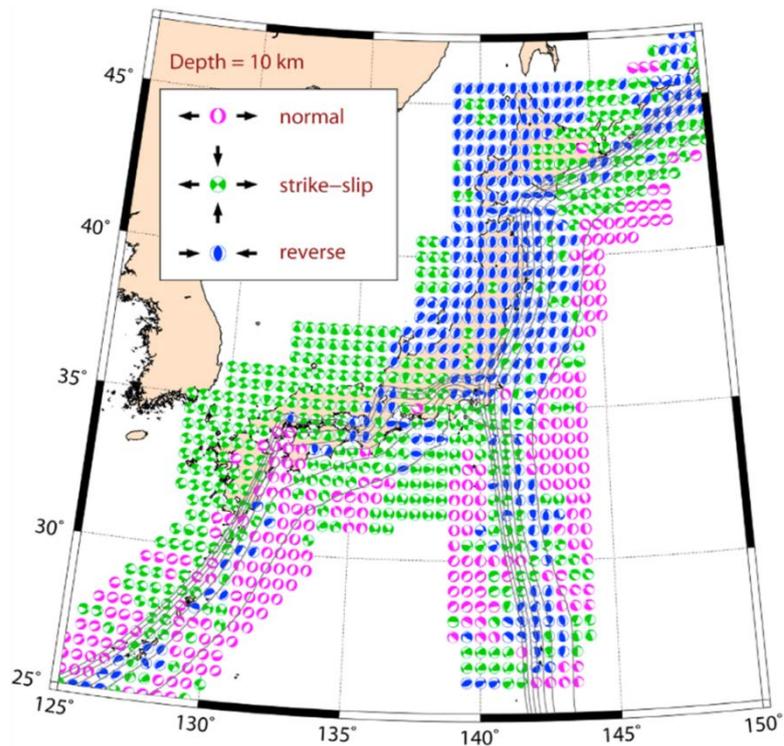


図 36 CMT 解析による応力パターン (Terakawa and Matsu'ura, 2010)

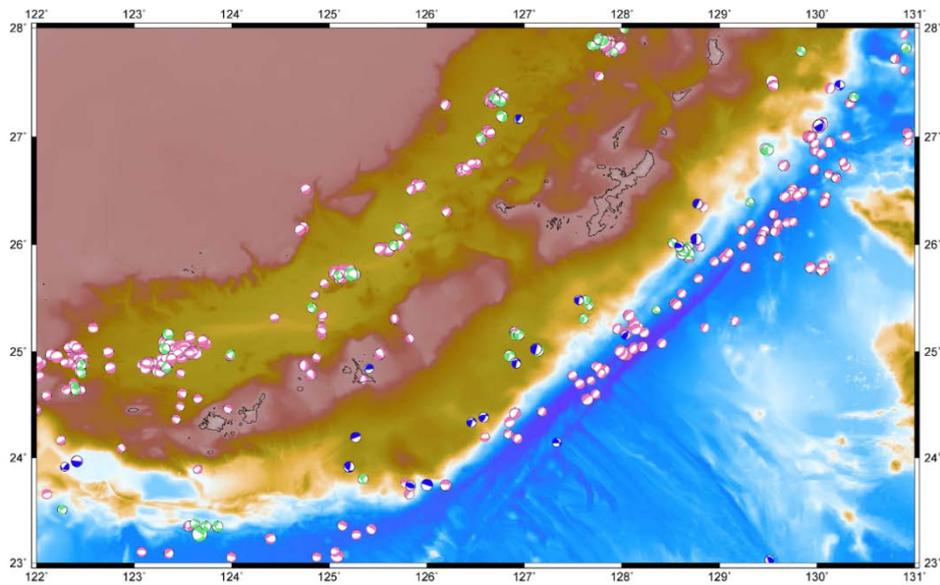


図 37 南西諸島海域の地震分布

(2000 年～2014 年の 15 年間で発生した地震のうち、深度 5 km 以浅の震源情報を抽出。発震機構は Terakawa and Matsu'ura (2010) と同じ応力パターンで識別。)

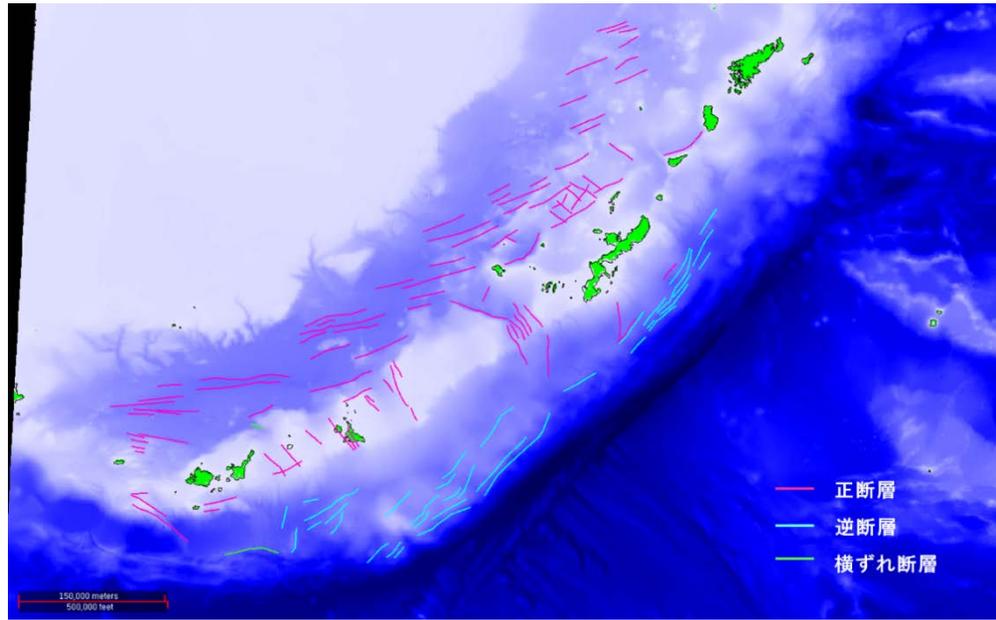


図 38 南西諸島海域の断層分布

① 南琉球海域

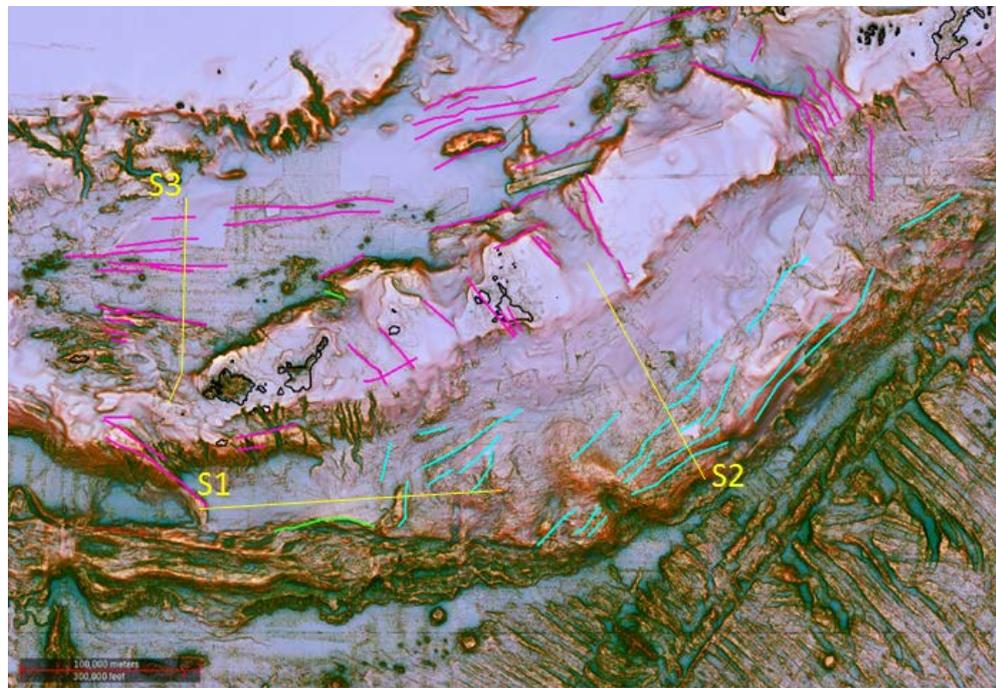


図 39 南琉球断層分布図

図 39 は、南琉球海域は台湾東沖から慶良間ギャップまでの海域で、主に先島諸島周辺海域での海底地形図と断層を示している。琉球海溝の南端は台湾

遡上断層帯と接しており、複雑な地形を成している。

与那国島から石垣島の南方領域は島弧から海溝側に向かって急峻な斜面を呈し、前弧海盆である平坦面に達する。斜面は堆積物が被覆するが、層厚は薄く、随所に地すべりによる堆積層の削剥がみられ、急斜面では基盤岩が露出している。

図 40 は、図 39 に示されている S1 の反射記録断面図である。この断面図から、西表島南西沖の島棚斜面から前弧海盆に至る西北西走向、北東傾斜の正断層 (trench-S-02) が発達し、これに伴い平坦面は西へ向かって深くなっている事が解る。更に西方、与那国島南方に一段低い平坦面があり、この地形に起因する断層等は確認されていないが、リニアメントが海底地形に現れていることから断層による地形の可能性は高い。

石垣島南東沖の前弧海盆には北北東走向、北西傾斜の逆断層 (trench-S-09) による撓曲が発達する。この逆断層以東より宮古島南方沖までの領域は基盤岩が海底面に露出し、北東～北北東走向、北西傾斜の逆断層が発達する。これらの逆断層は地震活動とも整合的である。付加体内には直線的なリニアメントがみられ、前弧海盆の南縁や付加体の海溝付近は東西方向の滑落崖が多数形成されていることから、この領域はフィリピン海プレートの斜め沈み込み運動が起因となり、横ずれ断層が発達している可能性が高いと思われる。地震活動も付加体内では横ずれの応力パターンを示し、プレートの動きの影響が示唆される。

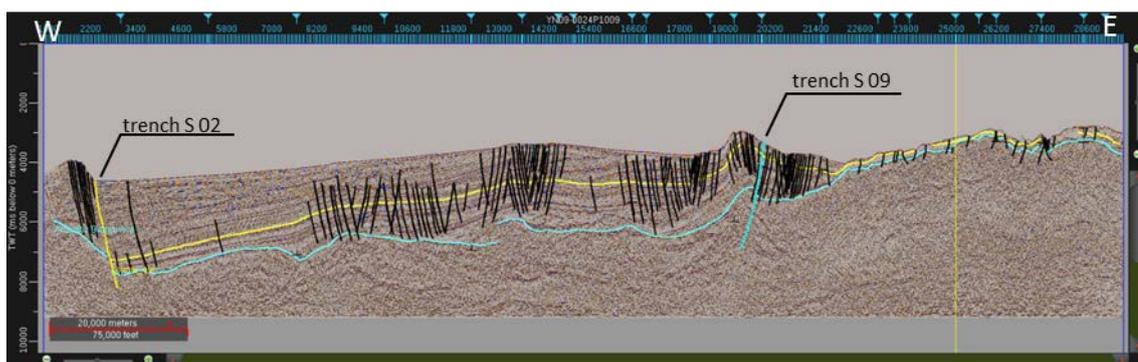


図 40 S1 反射記録断面図

宮古島南東沖の海溝側斜面はなだらかで起伏がなく、低活動域と言える。島弧より海溝側斜面を形成する地質構造は厚い堆積層が発達しており、層厚は最大 3,000m となり、下位の堆積層に被覆し、不整合を成している。下位の層は比較的薄く広域に堆積しており、断層 trench-S-22 や trench-S-28 にみられる分岐断層によって凸状に隆起している (図 41 参照)。表層には正断層

が無数に発達しており、空間的連続性は確認できないが、隆起によって表層が引張作用を受けた影響によるものと考えられる。

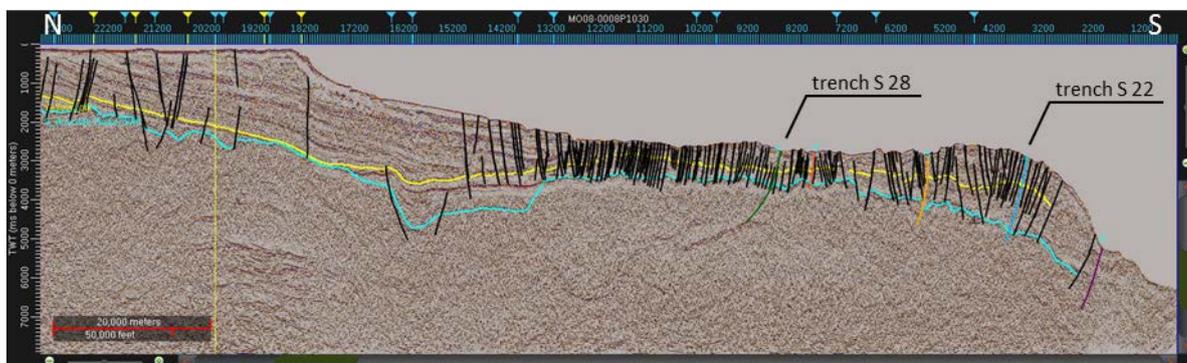


図 41 S2 反射記録断面図

沖縄トラフ南部は大陸棚や島棚の縁辺を形作る大地形の断層崖、平坦な海盆底に発達した雁行状の正断層による東西トレンドの地溝がみられる。地溝は地溝軸を中心にほぼ対称な階段状の断層で形成される。東から宮古海底地溝、八重山海底地溝、与那国海底地溝と呼ばれる。沖縄トラフは北より南にかけて深くなり、八重山海底地溝の水深 2,310m で最深部となり、台湾に向かって浅くなってゆく。与那国海底地溝では地震活動が活発であり、応力パターンからも南北方向の引張が卓越しており、現在は最深部の八重山海底地溝よりリフト活動が活発と言える（図 42 中の A 域に相当）。与那国島北方海域では西北西走向、南傾斜の正断層が発達し、与那国島と西表島間に小海嶺群が形成されている。小海嶺地形を形成する正断層は島棚縁辺から分布し、南北幅約 40km の凹地を形成している（図 42 中の B 域に相当）。

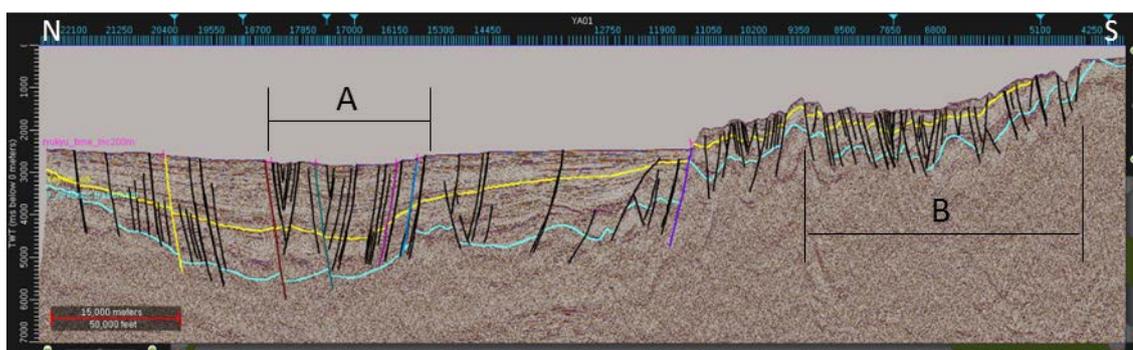


図 42 S3 反射記録断面図

西表島から慶良間ギャップまでの南琉球弧は水深が浅く、テラス状の地形

が連続している。島弧には島弧軸に垂直方向の正断層が発達し、島弧は宮古鞍部や慶良間ギャップにみられるグラーベンによって分断されている。慶良間ギャップは主に北北西走向、西傾斜の正断層群によって階段状地形が形成され、断層は島弧の軸付近の反射記録断面で3～4 km 程度の間隔で明瞭に確認できる(図43)。トラフ側の反射記録断面ではそれらの断層ははっきりみられないが、詳細な海底地形より断層形状が特定できた。海溝側斜面に至ると北北東走向、北西傾斜の正断層が断層間隔1 km～1 km 未満で発達している。

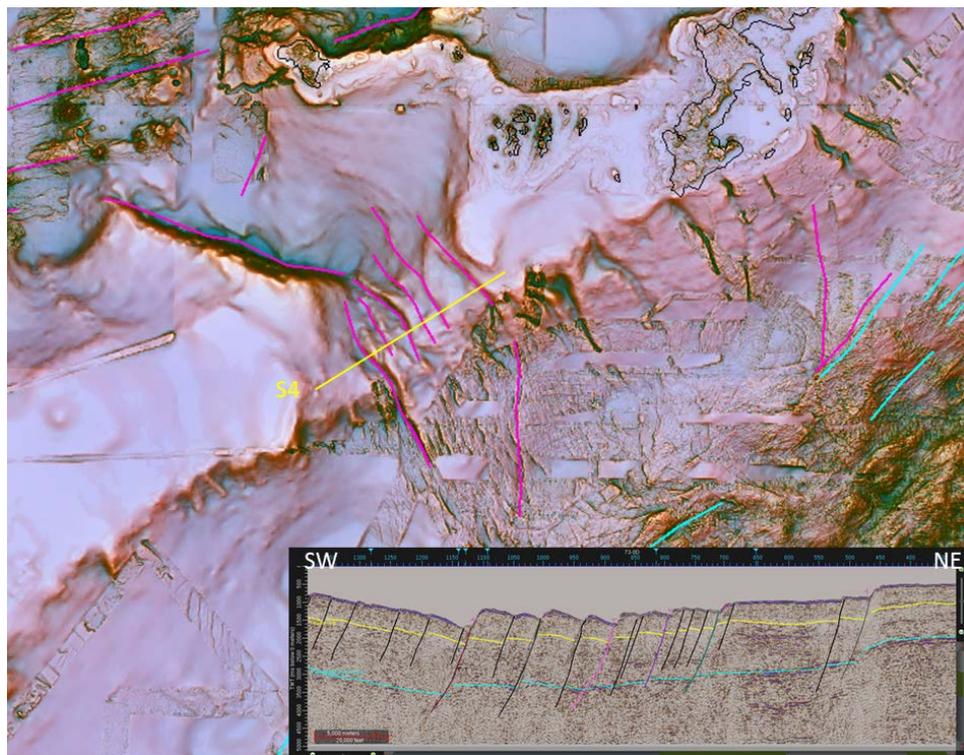


図43 慶良間ギャップにおける断層分布と断層を横断する反射記録断面図

宮古島断層帯は地震調査研究推進本部で主要活断層に認定されている断層帯である。宮古島、池間島、来間島、伊良部島にわたって北西-南東走向の複数の正断層が並走している断層帯であり、長沼断層系、与那原断層系、野原断層系、腰原断層系、嘉手断層系、牧山断層、来間断層によって構成される(図44)。図45では、図46で示される測線と断層位置の相対的な関係が解る。陸上の反射法データでは西傾斜で傾倒するブロック群が確認でき、これらが地表で現れる北西-南東方向の断層崖の地下構造であることがわかる(図46: 断面1, 2, 3)。これらの正断層のうち、海域の反射法データ(図46: 断面4)で野原断層系、嘉手断層系、来間断層の南端部が海域へ延長することが確認でき、来間断層においては地形を判読すると、北西方向(図44の破

線)に伸びている可能性が高く、北側の反射法データ(図46:断面5)でも相当する断層が確認できることから、北端を伊良部島の北西沖まで延長した。

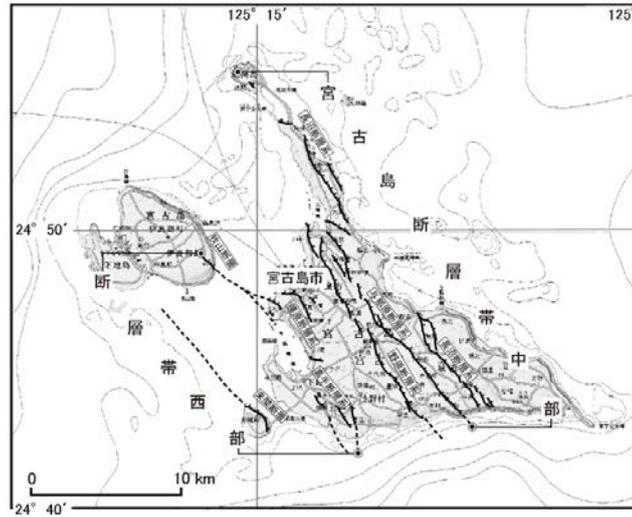


図44 宮古島断層帯の位置(地震調査研究推進本部より)

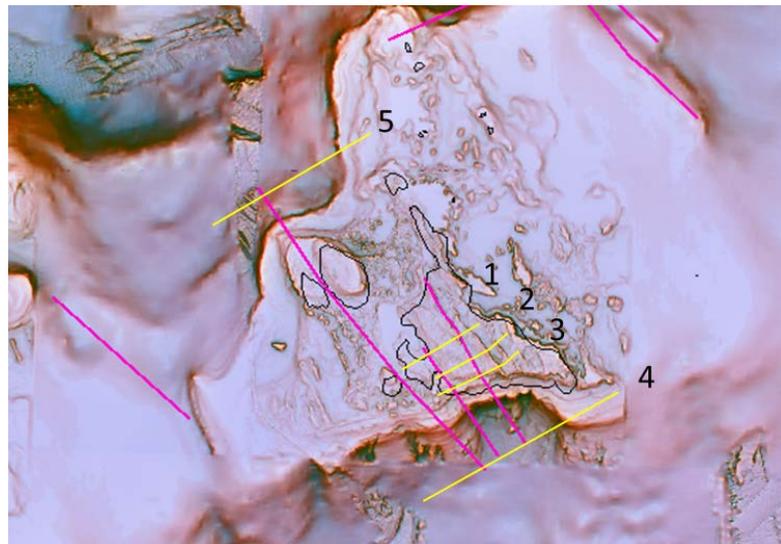


図45 解釈断層の位置(断層は西から来間断層、嘉手断層系、野原断層系に相当する)

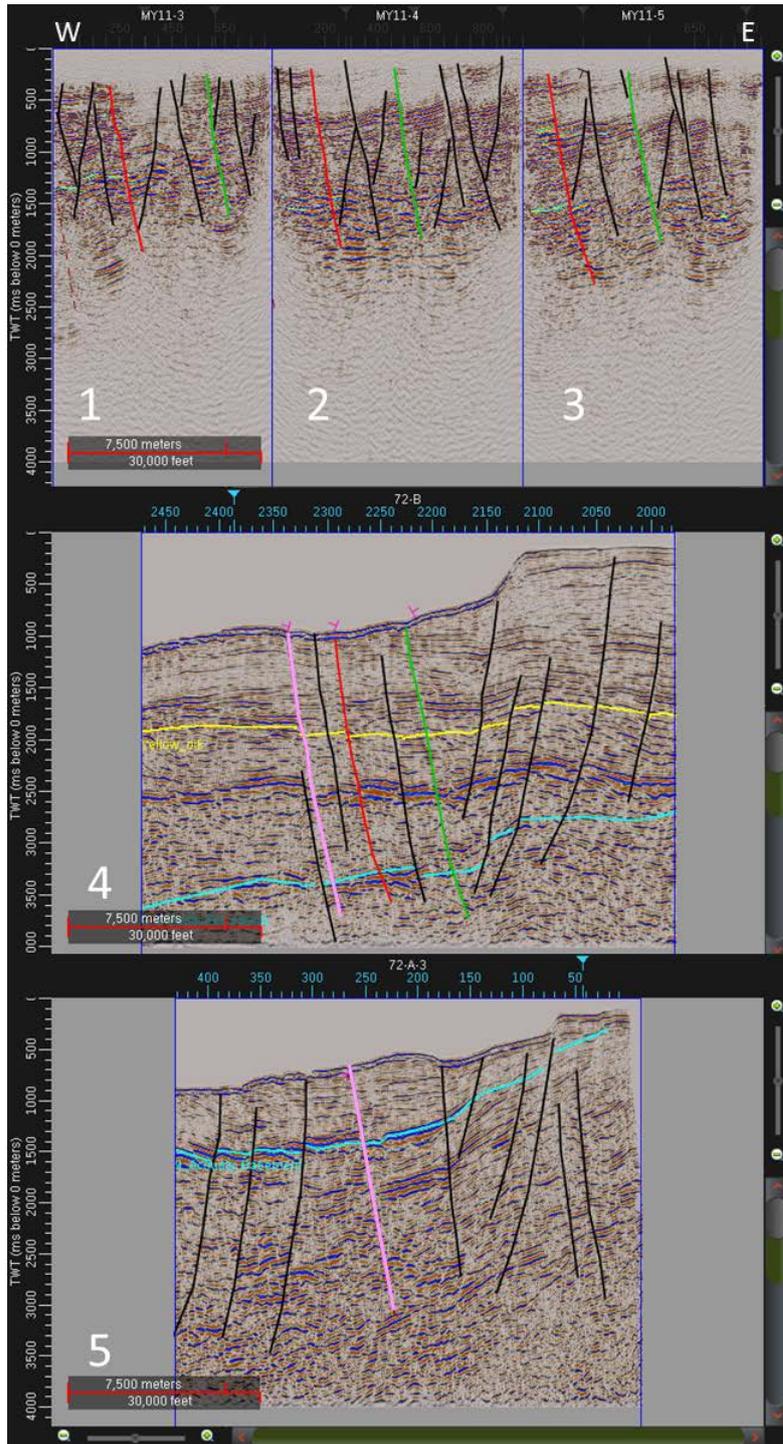


図 46 反射記録断面における解釈断層

断面 1-3 : 陸上	ピンク : 来間断層
断面 4 : 宮古島南方沖	赤 : 嘉手断層系
断面 5 : 宮古島北方	緑 : 野原断層系

② 中琉球海域

中琉球に含まれる沖縄諸島海域はフィリピン海プレートがほぼ島弧に対して垂直方向に沈み込んでいる領域である（図 47）。

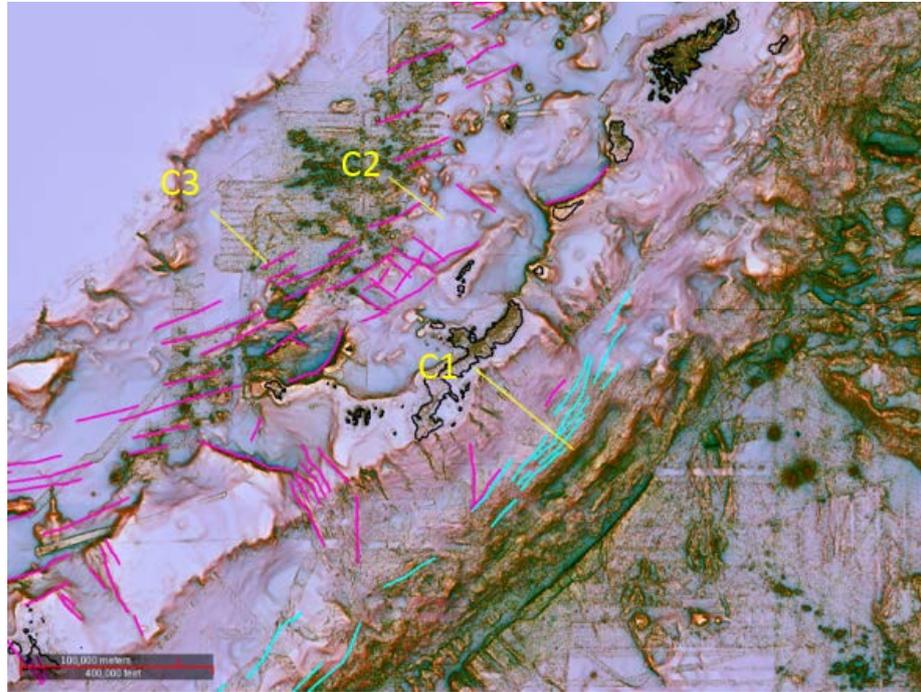


図 47 中琉球断層分布図

海溝側斜面は緩やかな斜面をなし、斜面を構成する堆積層は慶良間ギャップで分断されているが宮古島南東領域と同様に厚く分布し、断層 trench-C-06や trench-C-15にみられる分岐断層等によって隆起している。表層の堆積層内にはこの隆起によって正断層が発達している（図 48）。この領域ではフィリピン海プレート上の沖縄・ルソン断裂帯が沈み込んでいる。沈み込む前の海底地形には横ずれ断層のフラワー構造で隆起や沈降が現れている。沈み込み後の付加体の地下構造は不明瞭で活動を確認するのは難しいが、付加体には直線的な地溝のような溝がみられ、断裂帯の活動が影響している可能性も考えられる。震源情報では断裂帯の構造に沿って北西－南東方向の引張による正断層型の地震活動が活発であり、断裂帯自体の活動はではないが、過去に活動した横ずれ断層が沈み込みによって正断層として再活動しているものと考えられる。

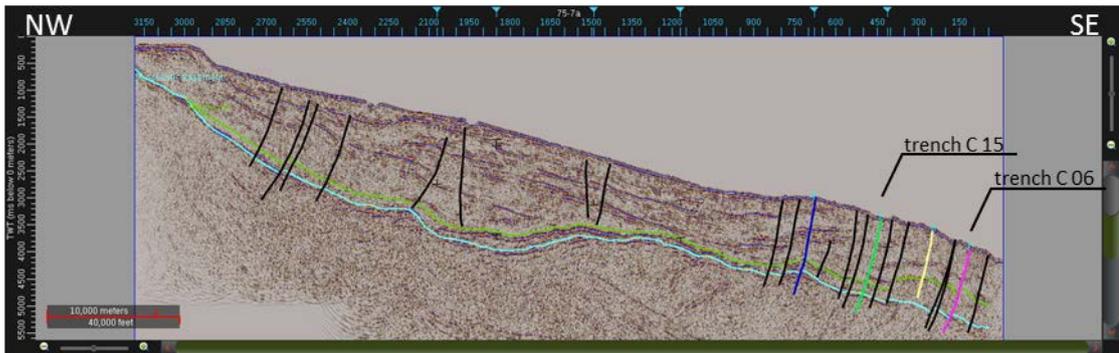


図 48 C1 反射記録断面図

沖縄トラフの南東縁は、慶良間諸島～沖縄島～沖永良部島～徳之島にわたる弧状に発達した崖によって縁取られている。沖縄諸島沿岸では水深 200m 以浅の島棚の縁辺よりトラフ底に向かって北東走向、北西傾斜の正断層でブロック群が傾倒し、堆積物が充填する構造がみられる。更にこの領域の伊平屋島西方沖では島弧軸と垂直方向にグラーベンが堆積盆内に発達するが、島弧側やトラフ軸側へは連続しない。沖縄島より北になると南域より小さいブロックの地溝地塁による海底面の起伏がみられる。これらは東北東トレンドの海丘列や小海嶺として現れている(図 49)。

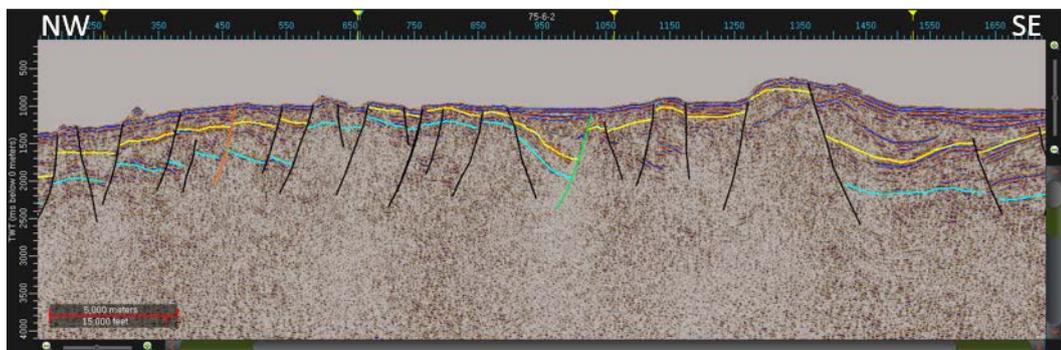


図 49 C2 反射記録断面図

一方、トラフ底には大陸側から北東～東北東走向、南東傾斜の正断層が無数に発達し(図 50)、極めて緩い斜面をなしている。個々の断層変位は小さく、沖縄トラフ南部でみられるような地溝は形成されていない。地震活動は限定的な領域ではあるが集中して多発していることから活動的と言える。

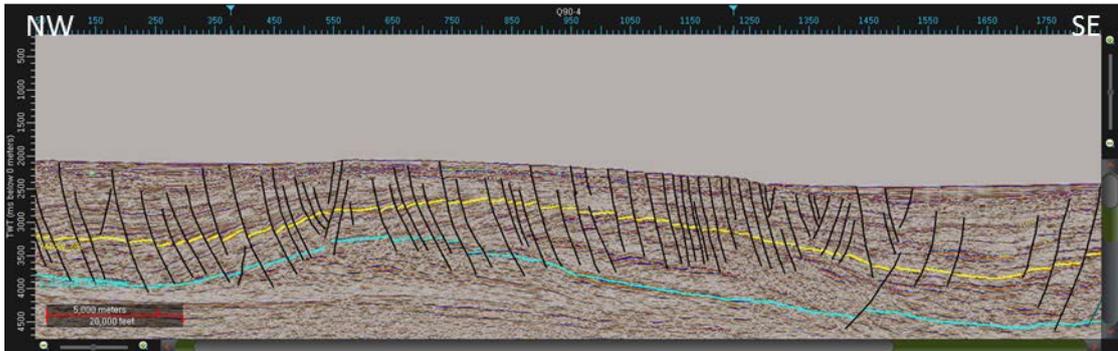


図 50 C3 反射記録断面図

平成 27 年度は、南西諸島海域南部海域で断層解釈を行った。今回の作業では、129 断層を特定し、表 5 にまとめた。この表 5 では、以下の海域別に、断層の形態、走向、傾斜、断層長、深さ及びランク付けを記載した。また、各断層の特徴についても記載した。

・対象海域

南西諸島海域南部海溝側 : 27 断層

南西諸島海域南部トラフ側 : 47 断層

南西諸島海域中部海溝側 : 17 断層

南西諸島海域中部トラフ側 : 38 断層

表 5 に断層の一覧を示す。

表5 断層一覧表

南西諸島海域南部海溝側断層一覧 (1/5)

断層名称	断層タイプ	走向	傾斜方向	長さ(km)	深さ(km)	ランク	備考	
trench_S_1	正断層	北西-南東	北東	42	3.0	I	C	堆積層と基盤内に発達している、断層面・構造が不明瞭。
trench_S_2	正断層	北西-南東	北東	70	10.1	I	C	北側・堆積層と基盤内に発達している、断層境界・構造が不明瞭、南側・前弧海盆の西縁を形成する隆起体にある正断層(YN09-0024)
trench_S_3	正断層	東-西	南	15	1.3	I	C	大陸地殻内に発達する、堆積活動あり(ハーフグラベン)。
trench_S_4	正断層	東北東-西南西	北	15	1.3	I	C	西表/石垣南方沖に発達する断層群、東-西トレンドの陥没地形を形成する
trench_S_5	正断層	北東-南西	北	34	0.8	I	C	西表/石垣南方沖に発達する断層群、東-西トレンドの陥没地形を形成する
trench_S_7	横ずれ	東-西	南	57	9.4	I	C	付加体が崩壊し、堆積層の崖が形成される
trench_S_9	逆断層	北北東-南南西	西	26	9.4	I	C	前弧海盆内に発達した横曲、
trench_S_10	逆断層	北東-南西	北	65	3.0	I	C	付加体内に発達したスラスト、堆積層が薄く断層面が不明瞭、比高差最大0.5sあり、西端は前弧海盆内で横曲を示す、東端は堆積物で埋没
trench_S_11	逆断層	東-西	南	15	1.9	I	C	付加体内に発達したスラスト
trench_S_12	逆断層	北北東-南南西	西	22	6.9	I	C	前弧海盆内に発達した横曲
trench_S_13	正断層	北東-南西	北	32	1.0	I	C	堆積層内に発達する、堆積活動あり(水平)。
trench_S_14	逆断層	北北東-南南西	北西	31	2.3	I	C	付加体内に発達したスラスト、堆積層が薄く断層面が不明瞭
trench_S_15	逆断層	北東-南西	北西	36	4.2	I	C	付加体内に発達したスラスト、堆積層が薄く深部の形状は不明
trench_S_16	逆断層	北東-南西	北西	54	6.3	I	C	前弧海盆内に発達した横曲、
trench_S_17	逆断層	東北東-西南西	北	62	5.1	I	C	付加体内に発達した横曲
trench_S_18	逆断層	北東-南西	北西	29	3.8	I	C	付加体内に発達した横曲
trench_S_19	逆断層	北東-南西	北西	21	5.6	I	C	付加体内に発達した横曲
trench_S_20	逆断層	北東-南西	北西	14	6.0	I	C	付加体内に発達した横曲
trench_S_21	逆断層	北東-南西	北西	110	5.5	I	C	付加体内に発達した横曲、
trench_S_22	逆断層	東北東-西南西	北	40	7.2	I	C	付加体内に発達した横曲
trench_S_23	逆断層	北東-南西	北西	23	4.1	I	C	付加体内に発達した横曲
trench_S_24	逆断層	北東-南西	北西	22	3.5	I	C	前弧海盆内に発達した横曲、
trench_S_25	逆断層	北東-南西	北西	76	3.1	I	C	付加体内に発達した横曲、21と並走する
trench_S_26	正断層	北東-南西	北西	25	3.0	I	C	前弧海盆内に発達した横曲、
trench_S_27	逆断層	北東-南西	北西	43	3.8	I	C	付加体内に発達した横曲
trench_S_28	逆断層	北東-南西	北西	38	4.6	I	C	前弧海盆内に発達した横曲、
trench_S_29	逆断層	北北東-南南西	北西	16	2.0	I	C	付加体内に発達したスラスト、堆積層が薄く断層面が不明瞭

南西諸島海域南部トラフ側断層一覧 (2/5)

断層名称	断層タイプ	走向	傾斜方向	長さ(km)	深さ(km)	ランク	備考	
trough_S_1	正断層	北北西-南南東	西	46	2.7	I	C	宮古島西方沖に発達する正断層、堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_S_2	正断層	北北西-南南東	西	13	4.9	I	C	同上
trough_S_3	正断層	北北西-南南東	西	15	3.5	I	C	同上
trough_S_4	正断層	北西-南東	西	10	1.1	I	B	同上
trough_S_5	正断層	北北西-南南東	西	18	1.8	I	C	同上
trough_S_6	正断層	北西-南東	東	20	4.8	I	C	同上
trough_S_7	正断層	北東-南西	北	67	3.3	I	C	既存断層とほぼ一致、トラフ内の正断層、堆積活動あり(ハーフグラベン)。
trough_S_8	正断層	東北東-西南西	南	91	5.0	I	C	既存断層の一部と一致、トラフ内に発達する断層群。
trough_S_9	正断層	東北東-西南西	南	43	4.3	I	C	既存断層とほぼ一致、宮古海山の南斜面を形成する、堆積活動あり(水平)。
trough_S_10	正断層	東北東-西南西	北	32	5.6	I	C	既存断層とほぼ一致、沖繩トラフの南縁、大陸地殻、
trough_S_11	正断層	北北西-南南東	西	35	3.5	I	C	慶良間ギャップ内の正断層群
trough_S_12	正断層	北北西-南南東	西	26	2.8	I	C	同上
trough_S_13	正断層	北北西-南南東	西	26	3.6	I	C	同上
trough_S_14	正断層	北北西-南南東	西	16	3.3	I	C	同上
trough_S_15	正断層	東北東-西南西	北	47	4.0	I	C	既存断層とほぼ一致、トラフ内に発達する断層群、19と15でグラベンを成す、延長・西へ10km
trough_S_16	正断層	東-西	南	40	4.3	I	C	トラフ内に発達する断層群
trough_S_17	正断層	東北東-西南西	南	66	4.4	I	C	トラフ内に発達する断層群、
trough_S_18	正断層	東北東-西南西	南	28	3.9	I	C	既存断層とほぼ一致、トラフ内に発達する断層群、
trough_S_19	正断層	東北東-西南西	南	18	5.7	I	C	トラフ内に発達する断層群
trough_S_20	正断層	東-西	南	92	5.4	I	B	八重山海底地溝、既存断層の一部と一致、対称的な階段状のグラベンを成す(20と21)。
trough_S_21	正断層	東-西	北	86	6.6	I	B	八重山海底地溝、既存断層の一部と一致、対称的な階段状のグラベンを成す(20と22)。
trough_S_22	正断層	西北西-東南東	北	51	5.7	I	C	既存断層の一部と一致、落差は1s程度あり、さらに堆積物が被覆する。
trough_S_23	正断層	西北西-東南東	北	28	3.5	I	C	落差は1s程度あり、さらに堆積物が被覆する。
trough_S_24	正断層	東-西	南	66	7.1	I	C	与那国海底地溝、グラベン形成する断層の1つ
trough_S_25	正断層	東-西	南	46	7.8	I	C	与那国海底地溝、グラベン形成する北縁の断層、
trough_S_26	正断層	東-西	北	67	5.8	I	C	与那国海底地溝、グラベン形成する南縁の断層、
trough_S_27	正断層	東北東-西南西	北	24	2.3	I	C	既存断層とほぼ一致、堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動なし
trough_S_28	正断層	北西-南東	南西	29	2.5	I	C	多良間島西方の堆積層内に発達する。
trough_S_29	正断層	東-西	北	36	2.5	I	C	堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動なし
trough_S_30	正断層	北東-南西	北	79	3.3	I	C	堆積層内に発達する、堆積活動なし

南西諸島海域南部トラフ側断層一覧 (3/5)

断層番号	断層タイプ	走向	傾斜方向	長さ(km)	深さ(km)	ランク	備考	
断層番号 41	正断層	北東-南西	北西	45	31	I	C	最早断層
断層番号 42	正断層	北東-南西	北西	51	43	I	C	最早断層地の褶曲帯に穿通せず
断層番号 43	正断層	北東-南西	北西	54	29	I	C	褶曲帯に穿通せず、Δ30-40に穿通せず
断層番号 44	正断層	北東-南西	北西	12	39	I	C	断層間を40-50に穿通せず
断層番号 45	正断層	北東-南西	北西	28	41	I	C	褶曲帯に穿通せず、Δ30-40に穿通せず
断層番号 46	正断層	北東-南西	北西	13	50	L	C	褶曲帯の褶曲帯に穿通せず、褶曲帯に穿通せず(10-20に穿通せず)
断層番号 47	正断層	北東-南西	北西	13	38	L	C	褶曲帯の褶曲帯に穿通せず、褶曲帯に穿通せず(10-20に穿通せず)
断層番号 48	正断層	北東-南西	北西	54	22	L	C	褶曲帯に穿通せず、Δ30-40に穿通せず
断層番号 49	正断層	北東-南西	北西	31	58	I	C	断層間を40-50に穿通せず、褶曲帯に穿通せず
断層番号 50	正断層	北東-南西	北西	38	18	L	C	褶曲帯に穿通せず、Δ30-40に穿通せず
断層番号 51	逆断層	北東-南西	北西	15	52	L	C	褶曲帯
断層番号 52	逆断層	北東-南西	北西	8	16	L	C	褶曲帯の褶曲帯に穿通せず
断層番号 53	正断層	北東-南西	北西	55	13	I	B	最早断層
断層番号 54	正断層	北東-南西	北西	46	21	I	C	断層間を40-50に穿通せず
断層番号 55	正断層	北東-南西	北西	12	53	I	B	最早断層の逆断層
断層番号 56	正断層	北東-南西	北西	61	26	I	C	断層間を40-50に穿通せず、褶曲帯に穿通せず
断層番号	断層タイプ	走向	傾斜方向	長さ(km)	深さ(km)	ランク	備考	

南西諸島海域中部トラフ側断層一覧 (4/5)

断層名称	断層タイプ	走向	傾斜方向	長さ(km)	深さ(km)	ランク	備考	
trough_C_1	正断層	北東-南西	北西	51	7.0	I	C	既存断層とほぼ一致、大陸地殻内に発達する、堆積活動あり(ハーフグラベン)、最大1.5s以上の落差がある
trough_C_2	正断層	北東-南西	北西	45	2.4	I	C	既存断層の一部と一致、堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_3	正断層	北東-南西	北西	68	3.2	I	C	既存断層の一部と一致、堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_4	正断層	北東-南西	北西	48	2.2	I	C	堆積層内に発達する、堆積活動は南側に僅かにあるのみ
trough_C_5	正断層	北東-南西	北西	28	3.3	I	C	慶良間ギャップの東縁逆断層
trough_C_6	正断層	北東-南西	北西	31	4.2	I	C	既存断層とほぼ一致、堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動なし、南側では1.5s以上の落差がある
trough_C_7	正断層	北東-南西	北西	53	2.2	I	C	堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_8	正断層	北東-南西	北西	19	2.6	I	C	既存断層の一部と一致、大陸地殻内に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_9	正断層	北東-南西	北西	31	3.8	I	C	既存断層とほぼ一致、大陸地殻内に発達する、堆積活動あり(ハーフグラベン)
trough_C_10	正断層	北東-南西	北西	33	3.7	I	C	伊平屋島西沖の断層崖、堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_11	正断層	北東-南西	北西	12	4.5	I	C	堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動なし
trough_C_12	正断層	北東-南西	北西	22	2.2	I	C	04と並走する、堆積層内に発達する、堆積活動あり
trough_C_13	正断層	北東-南西	北西	19	3.3	I	C	13と14でグラベンを成す、堆積層内に発達する、堆積活動あり、落差は僅か
trough_C_14	正断層	北東-南西	北西	20	2.9	I	C	13と14でグラベンを成す、堆積層内に発達する、堆積活動あり
trough_C_15	正断層	北東-南西	北西	31	2.1	I	C	15と16でグラベンを成す、堆積層内に発達する、堆積活動なし、落差は最大0.5s
trough_C_16	正断層	北東-南西	北西	19	3.5	I	C	15と16でグラベンを成す、堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_17	正断層	北東-南西	北西	29	1.9	I	C	堆積層内に発達する、堆積活動あり
trough_C_18	正断層	北東-南西	北西	38	2.3	I	C	堆積層内に発達する、堆積活動あり(ハーフグラベン)
trough_C_19	正断層	北東-南西	北西	38	2.2	I	C	19と20でグラベンを成す、褶曲構造の堆積層内に発達する
trough_C_20	正断層	北東-南西	北西	23	2.2	I	C	既存断層の一部と一致、19と20でグラベンを成す、強い褶曲構造の堆積層内に発達する
trough_C_21	正断層	北東-南西	北西	30	3.7	I	C	既存断層の一部と一致、堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動あり(ハーフグラベン)
trough_C_22	正断層	北東-南西	北西	47	5.3	I	C	徳之島から沖永良部島にかけて延びる断層崖、堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動あり(ハーフグラベン)
trough_C_23	正断層	北東-南西	北西	53	3.0	II	C	大陸地殻、ハーフグラベンで堆積層を形成する、地形に変位は現れない(III)
trough_C_24	正断層	北東-南西	北西	58	3.8	I	C	堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_25	正断層	北東-南西	北西	48	4.3	I	C	沖永良部島から沖永良部島北端にかけて延びる断層崖、堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_26	正断層	北東-南西	北西	45	2.0	I	C	堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_27	正断層	北東-南西	北西	35	1.8	I	C	堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動あり(ハーフグラベン)
trough_C_28	正断層	北東-南西	北西	24	2.5	I	C	28、15と16でグラベンを成す、堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_29	正断層	北東-南西	北西	31	3.0	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_30	正断層	北東-南西	北西	18	3.4	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_31	正断層	北東-南西	北西	23	2.5	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_32	正断層	北東-南西	北西	26	1.5	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_33	正断層	北東-南西	北西	22	1.3	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_34	正断層	北東-南西	北西	27	3.8	I	C	堆積層と大陸地殻境界に発達する、堆積活動なし
trough_C_35	正断層	北東-南西	北西	37	2.4	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動なし
trough_C_36	正断層	北東-南西	北西	20	3.9	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_37	正断層	北東-南西	北西	24	4.6	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動あり(水平)
trough_C_38	正断層	北東-南西	北西	22	1.4	I	C	褶曲構造の堆積層内に発達する、堆積活動なし

南西諸島海域中部海溝側断層一覧 (5/5)

断層名称	断層タイプ	走向	傾斜方向	長さ(km)	深さ(km)	ランク	備考	
trench_C_1	逆断層	北東-南西	北西	11	3.1	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_2	逆断層	北東-南西	北西	36	3.9	I	C	01の島弧側に平行に発達する
trench_C_3	逆断層	北東-南西	北西	41	4.3	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_4	逆断層	北東-南西	北西	30	4.5	I	C	03の島弧側に平行に発達する
trench_C_5	逆断層	北東-南西	北西	22	5.1	I	C	地形変換点
trench_C_6	逆断層	北東-南西	北西	38	3.0	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_7	逆断層	北東-南西	北西	42	3.2	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_8	逆断層	北東-南西	北西	29	4.0	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_9	逆断層	北東-南西	北西	42	5.0	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_10	逆断層	北東-南西	北西	20	3.6	I	C	09の島弧側に平行に発達する
trench_C_11	逆断層	北東-南西	北西	20	5.1	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_12	逆断層	北東-南西	北西	30	5.3	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_13	逆断層	北東-南西	北西	42	5.3	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_14	逆断層	北東-南西	北西	37	5.6	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_15	逆断層	北東-南西	北西	76	4.8	I	C	前弧海盆に発達した横曲
trench_C_16	逆断層	北東-南西	北西	42	6.0	I	C	慶良間ギャップの海溝側に発達する断層
trench_C_18	逆断層	北東-南西	北西	39	3.9	I	C	前弧海盆に発達する

フィリピン海プレートが沈み込む海溝側のアウターライズ域では、海溝軸の領域で正断層型の地震、付加体や前弧海盆の領域では逆断層型や横ずれ断層型の地震が発生している。図 51 で示す地震活動は深度 5 km 以浅の震源情報を示したものであり、プレートの沈み込む前後で北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型の地震が顕著にみられる。これらは沈み込むプレートが海溝に下降していく過程で歪がたまり、張力によって破壊されて起こるアウターライズ地震と考えられる。図 52 は海溝軸と直行する反射記録断面である (C4 測線)。正断層型の地震発生域では沖繩・ルソン断裂帯の断層崖や横ずれ断層による隆起した高まりがみられ、これらの断層がプレートにかかる張力によって再活動しているものと考えられる。

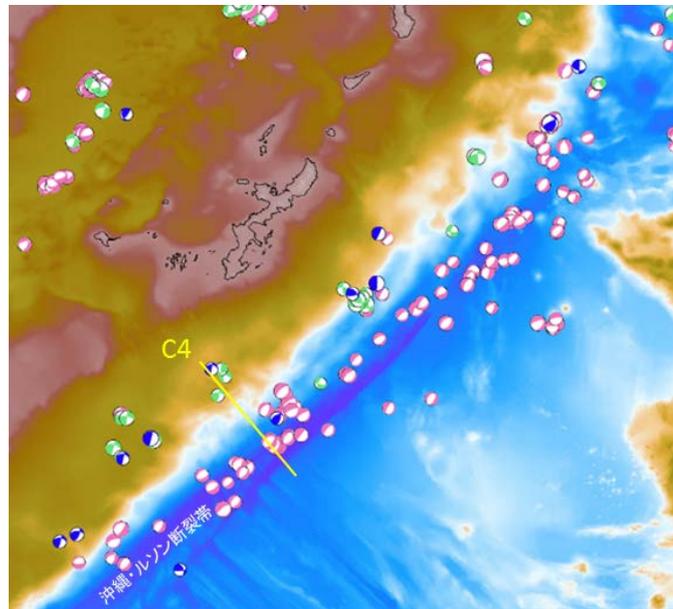


図 51 琉球海溝における地震分布 (2000 年~2014 年の 15 年間で発生した地震のうち、深度 5 km 以浅の震源情報を抽出。

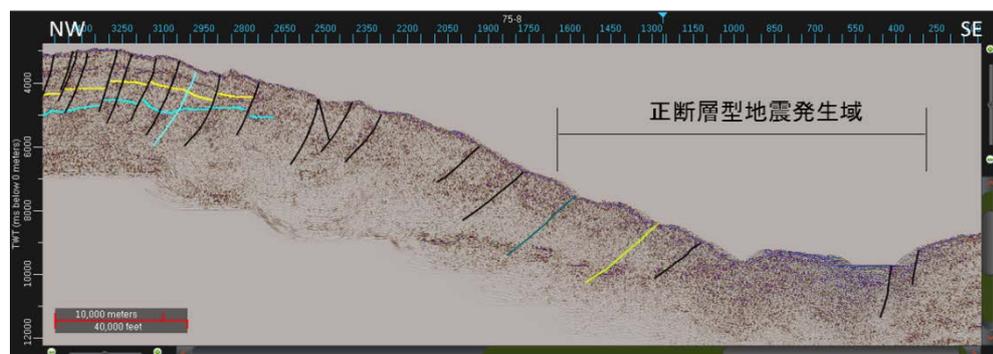


図 52 C4 反射記録断面図

vii) 沖縄本島南西沖の断層分布：三次元反射法地震探査データを用いた断層解釈
沖縄本島南西沖、海溝陸棚斜面における断層群について詳細な地質構造的
特徴を明らかにするため、沖縄本島南西海域で取得された三次元反射法地震
探査データ（以下、「3D反射法データ」）を用いて断層解釈を実施した。

① 使用データ

解釈作業に使用したデータは、平成22年度および平成23年度に取得され
た基礎物理探査「沖縄2D・3D」の3D反射法データを、JOGMEC 内のデー
タ処理センターにおいて重合前時間マイグレーション（以下、「PSTM」）
処理を行ったものである。その調査範囲は沖縄本島南西海域に位置する
2,290km²である。



図53 三次元地震探査調査範囲（赤枠）。

② 海底地形概要

断層解釈対象海域は沖縄本島南西100 km沖合に位置する琉球島弧中部
前面の陸棚である。図53の海底地形図が示すように、沖縄本島と宮古島と
の間には約50km 幅の地溝（慶良間海裂）が北西－南東方向に発達し、その
南東縁部には海溝側に向かって扇状に広がる数多くの小規模海底谷（慶良
間海底谷群）が認められる。この慶良間海裂は、琉球弧の新第三系の基盤
をずらす左横ずれ断層であると考えられており、地形・地質的に中琉球と

南琉球との境界として重要視されている（木崎，1985）。その北東及び南西側には沖縄本島～宮古島の前弧域を構成する、比較的急峻で、単調な陸棚斜面が形成されている（図54）。

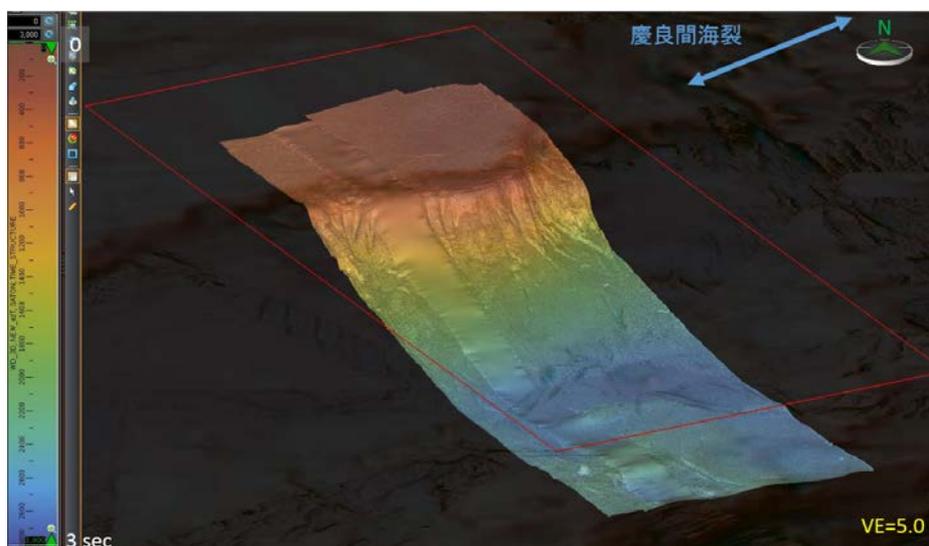


図54 海底面の三次元イメージ（タイムスケール）。

③ 断層解釈

沖縄本島南西沖には慶良間海底谷群が存在しており、その特徴が南北トレンドのリニアメントとして海底面付近のタイムスライス（往復走時2,800 msec）で確認できる（図55）。この特徴をより明確にするため、サイスミックアトリビュート計算を行い、海底面付近の地震波反射面の不連続部分を抽出したもの（Discontinuity Attribute）が図56である。図56では、延長5～15 km（最長30 km）のリニアメント（不連続部分：黒色）が緩くS字を描くように東西に配列していることがわかる。図57は地震波反射面の形状特性を抽出したもの（Mean Curvature Attribute）であり、地震波反射面が上に凸の形状を示す部分を青色、下に凸を示す部分を赤色で表現している。図57では図56でみられたリニアメントに沿った特性分布が認められ、断層の形成に伴う断層境界付近での上盤側（青）と下盤側（赤）の地層の変形を反映したものと考えられる。

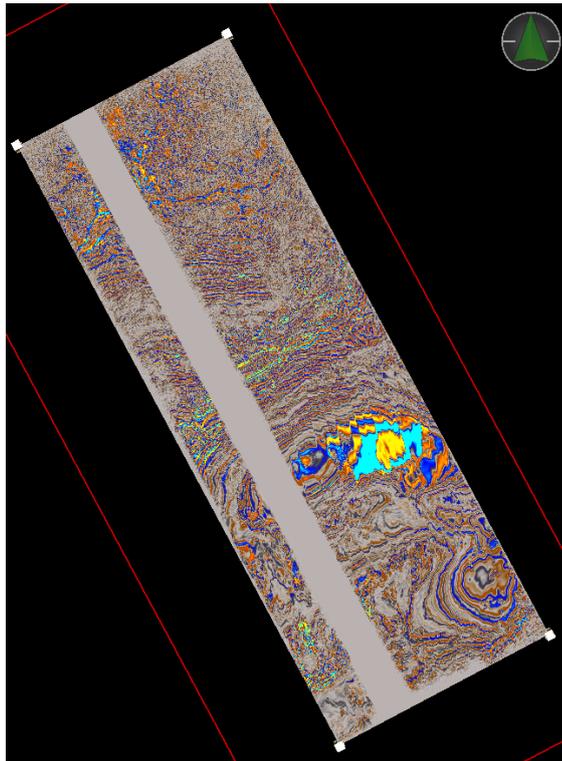


図55 タイムスライス (往復走時2,800 msec)

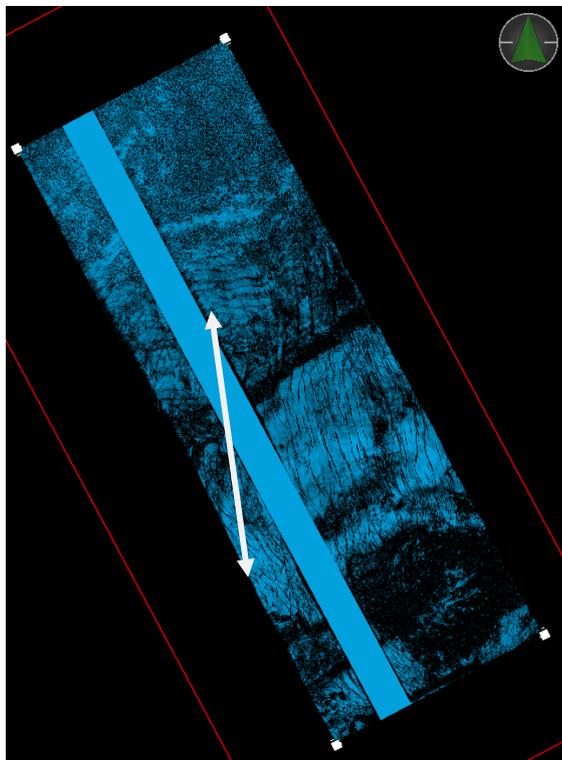


図56 Discontinuity Attributeのタイムスライス (往復走時2,800 msec)

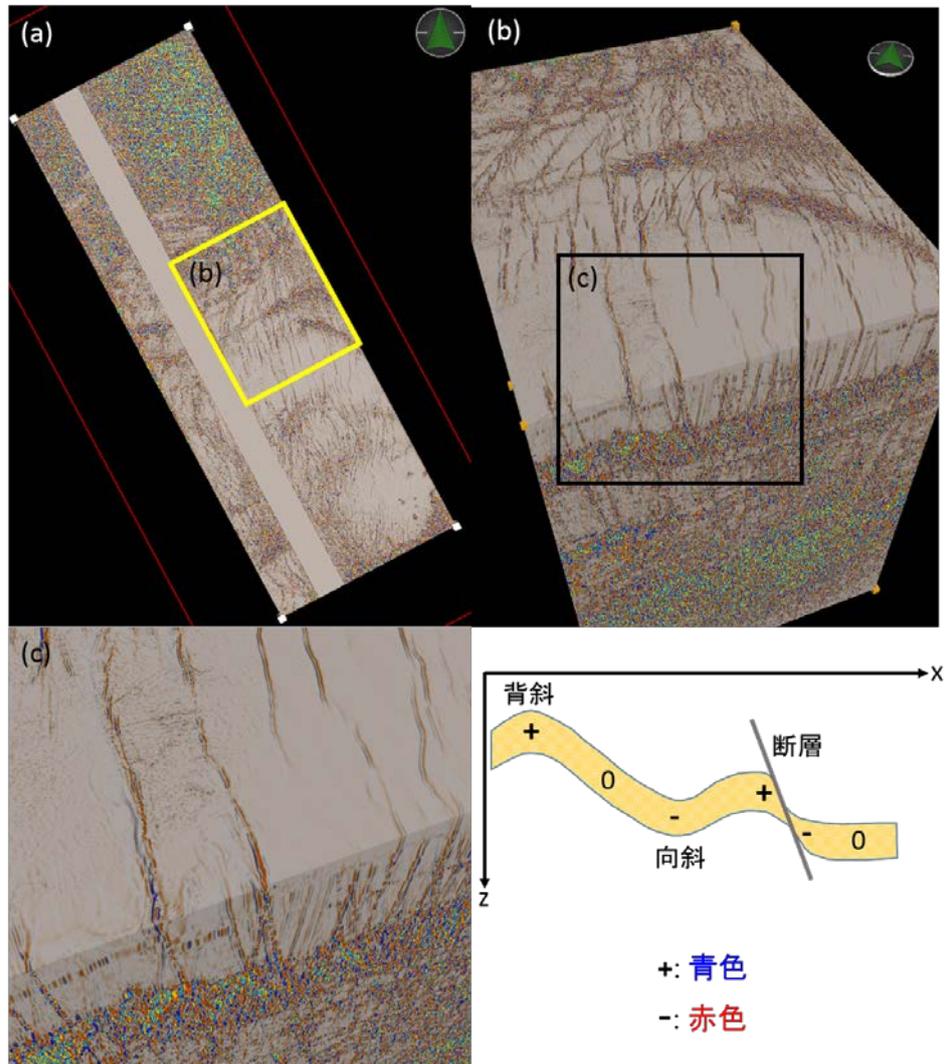


図57 (a) Mean Curvature Attributeのタイムスライス (往復走時2,800 msec)
 (b) Mean Curvature Attributeの三次元イメージ、(c) (b)の拡大。

上述した特徴に基づき断層解釈を実施した結果が図58である。併せて代表的な南北方向の反射記録断面を図59に、東西方向の反射記録断面を図60に示す。本海域は北西側に基盤の高まりが存在し、前孤海盆地にあたる三次元地震探査範囲中央部で堆積層厚が最も厚くなり、海溝側へと薄くなる傾向がある。本海域の北東には慶良間海裂が存在し、南琉球側に1,000 m以上の落差をもつ慶良間大断層が発達する。慶良間海裂の地質構造は西深一東浅の半地溝状の形態を示し、更新世に入って形成された左横ずれ断層と考えられている。本海域の断層はこの慶良間海裂へ収斂するように分布しており、東落ち正断層が卓越する。海底地形には断層崖として表れており、その走向は、延長は5～15km (最長30 km) のものが多く、A-horizonまた

はB-horizonまで達する比較的小規模な断層群である。この断層群は慶良間大断層の活動(左横ずれ運動)に伴って更新世以降に形成されたものと考えられており、基盤の高まりが存在する北西側では断層の形成が抑制され、堆積物が厚く存在する探査範囲中央部において断層が顕著に発達し、慶良間海裂に収斂するような断層分布が形成されたと解釈できる。また、調査範囲北東側に西落ち正断層がするのに対してその西方は東落ち断層が卓越することから、東落ち断層と西落ち断層の間のより深部にこれらの断層が収束するような主要断層が存在する可能性が示唆される。

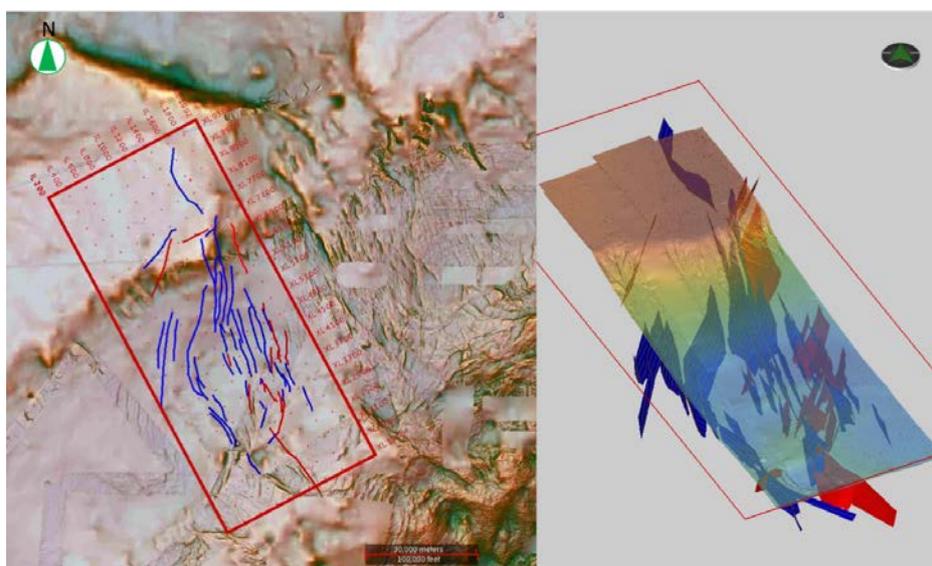


図58 沖縄本島南西沖の断層分布図

(青色：東落ち正断層，赤色：西落ち断層、カラースケールは図54と同様)

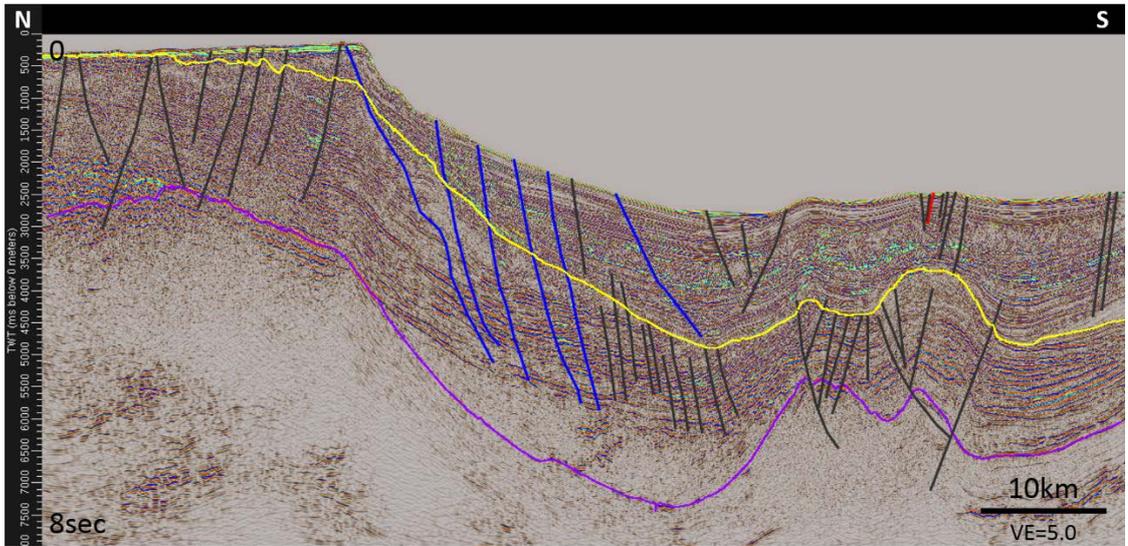


図59 沖縄本島南西沖の反射記録断面（南北断面）

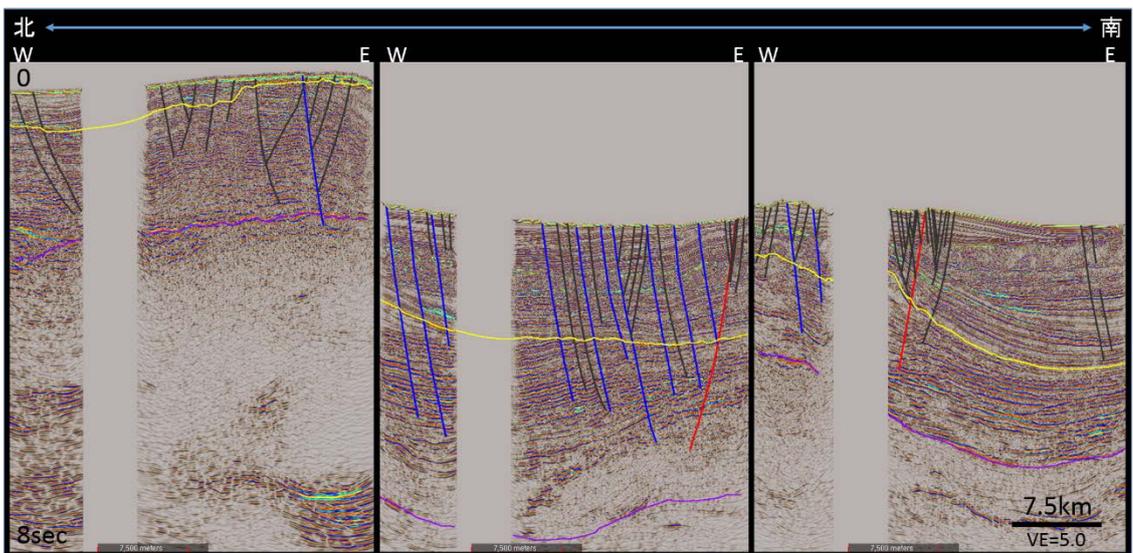


図60 沖縄本島南西沖の反射記録断面（東西断面）

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 27 年度は、南西諸島南部海域の既往探査データの再解析を実施した。対象となったデータは、民間会社が 1970 年代に取得したデータであったが、平成 26 年度と同じ解析フローに基づき実施し、データ品質の向上を図ることが出来た。また、反射法データとして、フィルム断面図しか存在しない大量のデータがあったので、これらのデータは、ベクトル化処理を行い、フィルムイメージからデジタル化をし、データ品質の向上を図った。その結果、断層解釈作業に貢献する高品質のデータ解析結果を得ることが出来た。

平成 28 年度は、平成 27 年度に引き続き南西諸島北部海域の既往データの再解析を計画しているが、来年度は、AIST の SCS データが存在しているため、測線密度を緻密になり、より効果的に再解析が実施できると思われる。

速度構造に関しては、海上保安庁の速度モデル、データ再解析の際に入手できた重合速度データ及び論文等を使い、三次元の速度構造モデルを作成した。平成 28 年度は、日本海で作成した速度構造モデルと、南西諸島南部海域とを矛盾の無いように繋ぎあわせた三次元速度構造モデルを構築する予定である。

断層解釈作業は、台湾との国境から沖縄本島北部までの南西諸島南部海域で実施した。この作業では、1970 年代から 2010 年代までの様々な仕様のデータを使ったが、データ再解析結果、ほぼ同等の品質のデータを利用できたため、効率的に作業を進めることが出来た。但し、AIST の SCS データが殆ど無くデータ密度が粗かったため、海底地形を使い、断層の空間的な広がり調べた。そのため、海底地形のデータが非常に重要となったため、既存の公表されたデータや、JAMSTEC が実施したシービームのデータ等を使い赤色海底地形図を作成した。この結果、以下の事が判明した。

- 沖縄トラフ側：ほぼ東西方向の正断層
- 琉球島弧付加体：北東－南西方向の逆断層
- 石垣島沖の前弧海盆：横ずれ断層

この結果は、Terakawa and Matsu'ura (2010) による応力パターンと調和的であり、活断層の可能性も高く、リスト化を図った。

平成 28 年度は、沖縄北部海域から、九州南西部へと断層解釈を行い、最終的には五島列島を含めた海域まで解釈作業を実施し、日本海で特定された断層まで統合的に断層解釈を実施する予定である。

(e) 引用文献

- 馬場久紀, Crustal Structure beneath the Southern Okinawa Trough off Southwest Japan as Derived from Seismic Refraction Measurements and its Tectonic Significance, 博士論文, 東海大学, 1992.
- Hirata, N., H. Kinoshita, H. Katao, H. Baba, Y. Kaiho, S. Koresawa, Y. Ono, and K. Hayashi, Report on DELP 1988 Cruises in the Okinawa Trough, Part3. Crustal structure of the southern Okinawa Trough, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 66, 37-70, 1991.
- Iwasaki, T., N. Hirata, T. Kanazawa, J. Melles, K. Suyehiro, T. Urabe, L. Moller, J. Makris, and H. Shimamura, Crustal and upper mantle structure in the Ryukyu Island Arc deduced from deep seismic sounding, Geophys. J. Int., 102, 631-651, 1990.
- Jet Propulsion Laboratory, California Institute Technology, SRTM topographic data, General Bathymetric Chart of Oceans, GEBCO, 2014.
- 木崎甲子郎編, 「琉球弧の地質史」, 沖縄タイムス社, 11-18, 1985.
- Kodaira, S., T. Iwasaki, T. Urabe, T. Kanazawa, F. Egloff, J. Makris, and H. Shimamura, Crustal structure across the middle Ryukyu trench obtained from ocean bottom seismographic data, Tectonophysics, 263, 39-60, 1996.
- Nagumo, S., H. Kinoshita, J. Kasahara, T. Ouchi, H. Tokuyama, T. Asamura, S. Koresawa, and H. Akiyoshi, Report on DELP 1984 Cruises in the Middle Okinawa Trough, Part2. Seismic Structural Studies, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 61, 167-202, 1986.
- Nakahigashi, K., M. Shinohara, S. Suzuki, R. Hino, H. Shiobara, H. Takenaka, M. Nishino, T. Sato, S. Yoneshima, and T. Kanazawa, Seismic structure of the crust and uppermost mantle in the incipient stage of back arc rifting -northernmost Okinawa Trough, Geophysical Research Letters, vol. 31, 2004.
- (独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成 24 年度国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「沖縄 2D・3D」 データ解釈報告書, 2014.
- Terakawa and Matsu'ura, The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, Tectonics, vol. 29, DOI:10.1029/2009TC002626, 2010.
- 徳山英一, 本座栄一, 木村政昭, 倉本真一, 芦寿一郎, 岡村行信, 荒戸裕之, 伊藤康人, 徐垣, 日野亮太, 野原壯, 阿部寛信, 坂井眞一, 向山建二郎, 日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, 海洋調査技術, 第13巻 第1号, p. 27-53, 2001.

(f) 収集文献

アメリカ海洋大気庁 (NOAA), マルチビームデータ

海上保安庁, 水深グリッドデータ

海上保安庁海洋情報部日本海洋データセンター, 日本周辺の 500m メッシュ海底地形データ (J-EGG500)

(独) 海洋研究開発機構, シービームデータ

気象庁 (2015), 地震月報 (カタログ編)

(独) 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 海洋地質図(1:100 万) no. 7「琉球島
弧周辺広域海底地質図」

(財) 日本水路協会海洋情報研究センター, 海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ