

図 10 屈折法発震記録 (VP50016)

大型バイブロサイズ車 5 台、出力エネルギー80%、スイープ回数 50 回、AGC (4,000 ms)

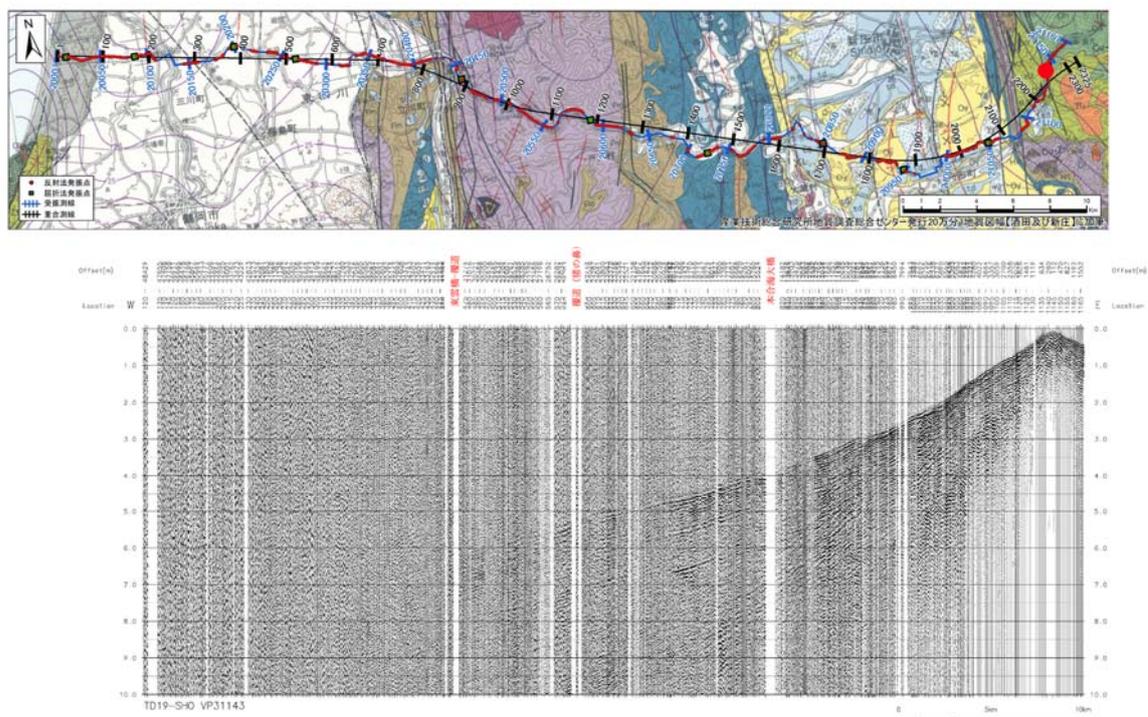


図 11 屈折法発震記録 (VP50016)

大型バイブロサイズ車 5 台、出力エネルギー80%、スイープ回数 50 回、AGC (4,000 ms)

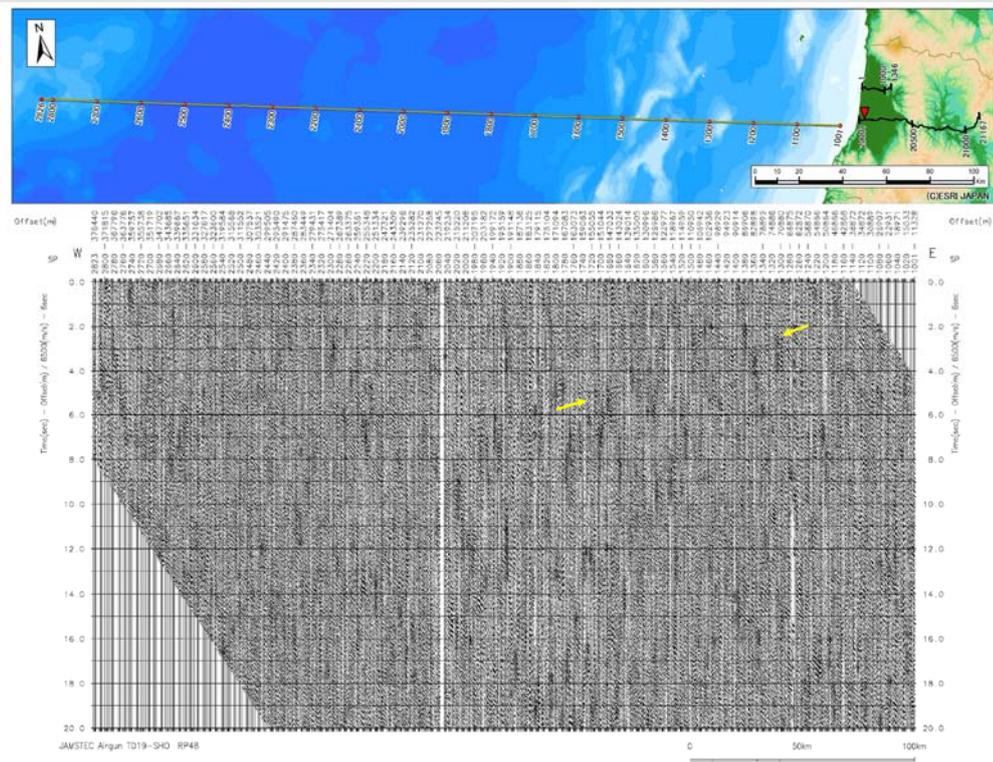


図 12 海上エアガン発震に対する陸域観測記録例 (RP10054)
表示 : AGC (8,000 ms)

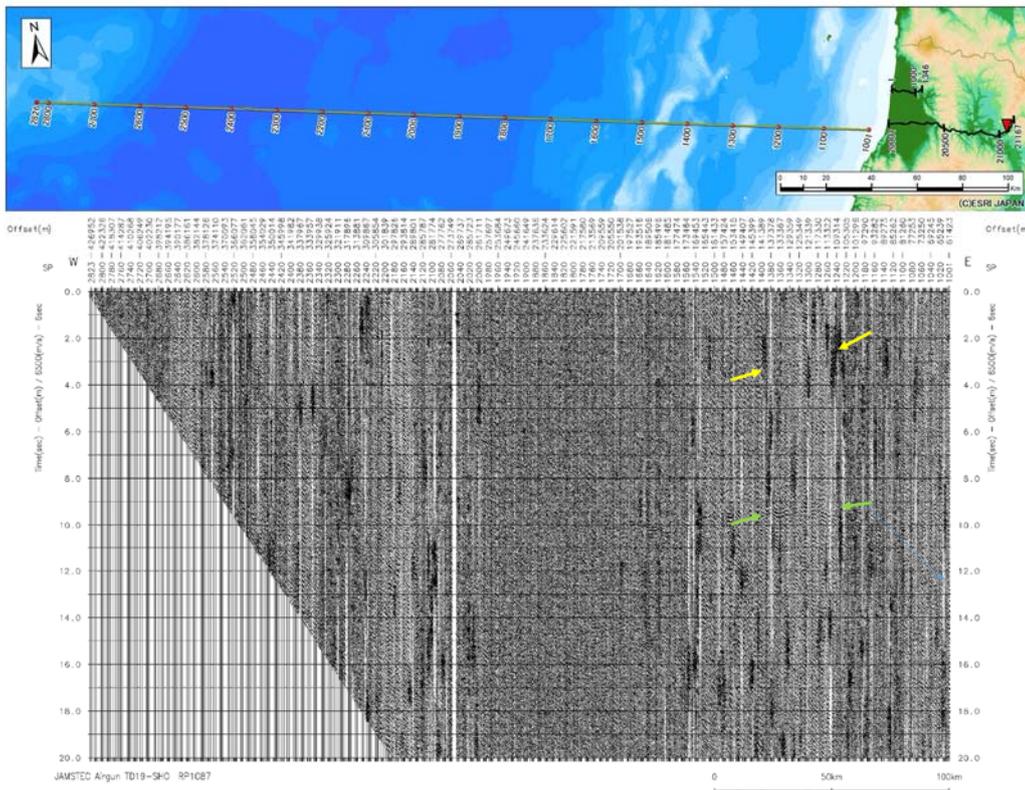


図 13 海上エアガン発震に対する陸域観測記録例 (RP10054)
表示 : AGC (8,000 ms)

a) 観測記録

取得された反射法発震記録例を図 7 に、屈折法発震記録を図 8-11 に示す。屈折初動に関して、反射法発震では標準的に片側 7~10 km 程度まで視認できる一方、屈折法発震では最大で約 30 km 程度まで視認可能である。また、反射法・屈折法記録ともに屈折初動の繰り返しが卓越していた。反射波と思われるイベントについて、全体的には約 1 秒あたりまで確認可能であり、庄内平野では 1.5~3 秒付近に強い反射波を確認できる。全ての発振作業は夜間に行われたため、ほとんどの記録においてノイズレベルは低い。

JAMSTEC による海上エアガン発震について、本測線において観測した。エアガン発震観測時間は 8/10 8:00 頃から 8/12 00:15 頃の期間で、酒田市沖から西北西に約 360 km 程度の発震測線で、発震作業は東から西に向かって実施された。ほとんどの受振点では屈折初動を判別することができなかったが、市街地や幹線道路を離れた静穏な箇所でのみ屈折初動等のイベントが確認できた。図 12-13 に二箇所の受振点における共通受振記録を示す。確認できる屈折初動の最大オフセットは約 140 km であった。発震時刻に着目すると、バックグラウンドノイズレベルが低い深夜帯の記録において屈折初動が確認できた。見かけ速度として 5~6.5 km/s の屈折初動が見られた。

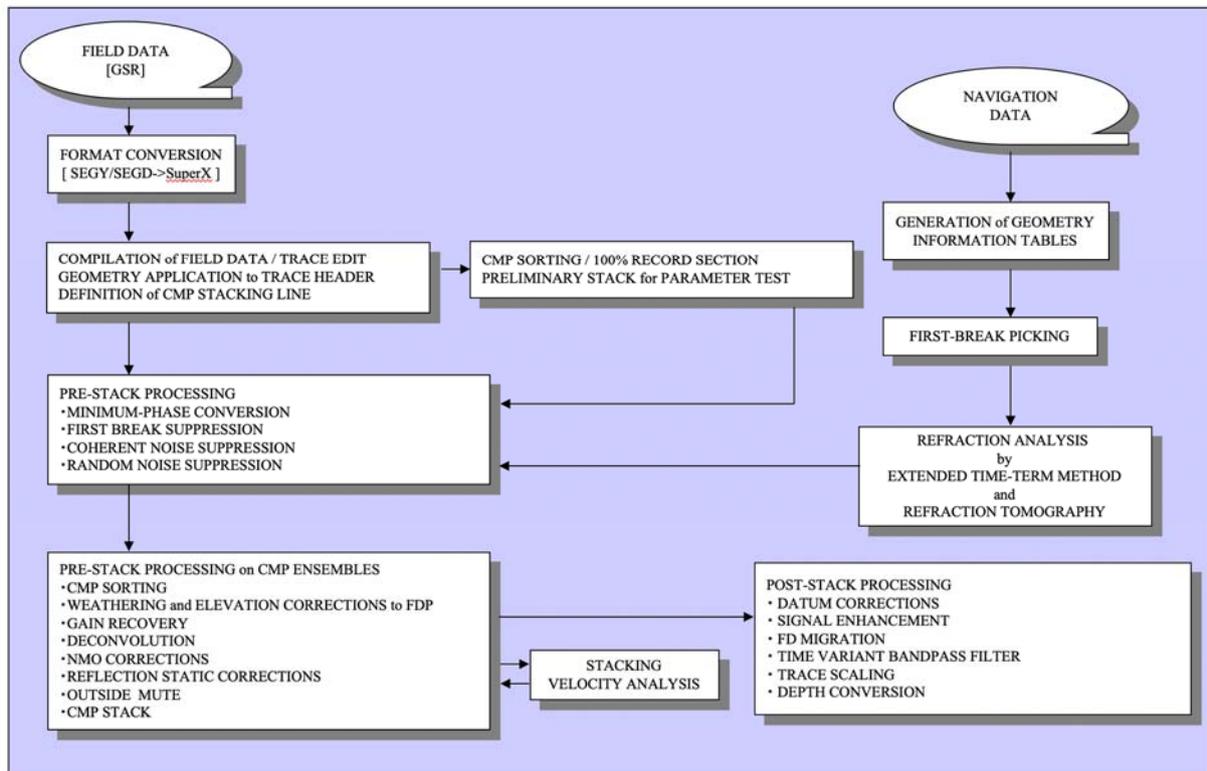


図 14 反射法データ処理フロー

4) データ解析

a) 反射法データ解析

陸域反射法データに関して解析を行った。図 14 にデータ処理フローを、処理パラメータを表 2・3 に示す。

表 2 反射法解析パラメータ一覧 (1)

No.	Process	Line Name Parameters	TD19-SHO
1	Format Conversion		SEG-Y to SuperX format
2	Geometry Setting		
3	Refraction Analysis	Method First Break Picking Offset Range (Standard)	Time-Term Inversion All Shot Records Loc. No.330: 400 m ~ 1200 m Loc. No.460: 100 m ~ 600 m
4	Minimum Phase Conversion		Applied
5	First-break Suppression		Applied
6	Coherent Noise Suppression : Liner Radon(t-p) Filter	Domain Tempolary Process Reference Offset Standard Offset Interval Moveout Range Number of Transformed Traces Pass Moveout (Noise Component) Target Frequency	Common Shot Gather Pre-NMO statics, AGC(300ms) 1500m 50m -1500 ~ 1500 msec/km 2000 traces -1000 ~ -500 msec/km 500 ~ 1000 msec/km 1 ~ 40 Hz
7	Random Noise Suppression : F-X Prediction Filter	Domain Tempolary Process Operator Length Gate Length Time Gate Length Time Gate Overlap Length	Common Shot Gather AGC(300ms), NMO 15 traces 105 traces 500 msec 250 msec
8	Coherent Noise Suppression : F-X Velocity Filter	Domain Tempolary Process Iteration Times Operator Length Velocity Range Operator Type	Common Shot Gather AGC(300ms), NMO 2 15 traces 0/0 ~ 1000/1100 m/s Symmetry
9	CMP Sort	CMP Interval Radius Limit	25.0 m None
10	Static Correction to Floating Datum	Vw Estimation of Vsw Replacement Velocity	600 m/sec Variable(Block size: 500 m) 2000 m/sec
11	Amplitude Correction	Method Gate Length Sliding Velocity	AGC 600 msec 3000 m/s
12	Deconvolution	Method Mode Gate Start Time at 0m offset Gate Length Operator Length Prediction Distance Gate Sliding Velocity White Noise	Trace-by-Trace Type Time Variant 300 msec 3200 msec 320 msec 4 msec 3000 m/sec 1.005
13	1st Velocity Analysis	Method Analysis Interval Analysis Velocity	Constant Velocity Stack Method 1000 m 1400-7000 m/s

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

フィールドユニットに記録された原記録(GSR Original Format)について、SuperX(JGI Internal Format)フォーマットへ変換を行った。その際、すべての発震記録毎にノイズエディットを伴う垂直重合を用い、バイブロサイスのリファレンス波形との相互相関処理を行った。また、バイブロサイス発震記録は発震点番号の昇順にしたがって抽出した。下記に示す様に、反射法データ解析結果には、本調査で取得された反射法発震記録 329 点と屈折法発震記録 11 点の合計 340 点のバイブロサイス発震記録の寄与が含まれている。

表 3 反射法解析パラメータ一覧 (2)

No.	Process	Line Name	Parameters	TD19-SHO
14	NMO Correction	Stretch Factor		2.5
15	Amplitude Conditioning before Stacking	Method		AGC(1000 ms)
16	Residual Static Correction	Method		Median Fit Criterion
		Maximum Allowable Time Shift		8 msec
		Correlation Space Gate		41
		Time Gate		100 msec - 1000 msec
		Offset Range		25 - 3000 m
		Structure Smoothing Gate		10 CDP
		Number of Iteration		5
17	2nd Velocity Analysis	Method		same as 1st Velocity Analysis
18	Residual Static Correction	Method		Median Fit Criterion
		Maximum Allowable Time Shift		24 msec
		Correlation Space Gate		41
		Time Gate		100 msec - 1000 msec
		Offset Range		25 - 3000 m
		Structure Smoothing Gate		10 CDP
		Number of Iteration		5
19	3rd Velocity Analysis	Method		same as 1st Velocity Analysis
20	CMP Stacking	Scaling		SQRT
21	Datum Correction	Datum		500m from MSL
22	F-X Prediction Filter	Operator Length		7 traces
		Gate Length		49 traces
		Time Gate Length		500 msec
		Time Gate Overlap Length		250 msec
23	F-K Coherency Filter	Power		1.6
24	Post-Stack Time Migration	Method		T-X FD Migration
		Approximation Angle		45 degree
		Extrapolation Step		4 msec
		Velocity Type		Stacking Velocity
		Velocity Scaling Factor		20 msec: 90%, 1000 msec: 80%, 2000 msec: 70%
		Upper edge taper		5 CDP
		Lower edge taper		50 CDP
		Bottom taper		250 msec
25	Band-pass Filter	Method		Time Variant
		Operator Length		1000 msec
		Gate Overlap Length		500 msec
		Phase Type		zero phase
		Frequency Definition		1: 10/12 - 38/40 Hz @ 0 ms 2: 6/8 - 38/40 Hz @ 500 ms 3: 3/4 - 30/35 Hz @ 2000 ms 4: 3/4 - 30/35 Hz @ 8000 ms
26	Depth Conversion	Final Datum		500 m

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、受発振点及び各 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。また、CMP 重合測線は下記の基準によって決定した。

CMP 間隔..... 25.0 m

CMP 範囲..... 1 - 2325

重合測線からの最大偏倚制限.....なし

図 15 に重合数及び重合測線位置を、オフセット距離制限 2,500 m、5,000 m、10,000 m、20,000 m、30,000 m を与えた場合とオフセット距離に制限を与えない場合の表示結果を示した。また、CMP の各種情報(重合数分布、オフセット距離分布、アジマス分布、標高および偏差分布)を図 16 に示す。

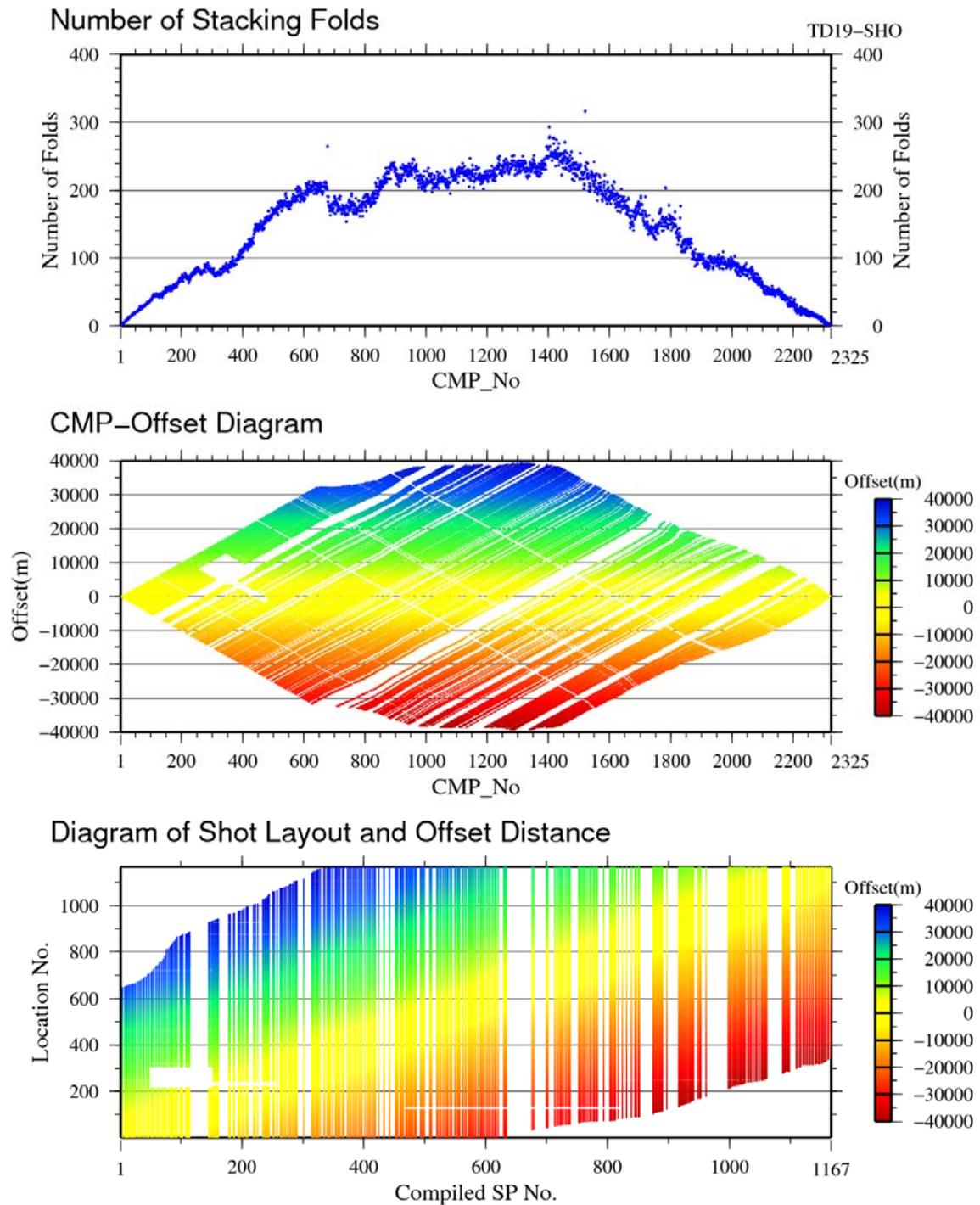


図 15 受振点および発震点分布図
 重合数分布（上）、オフセットダイアグラム（中）、発震レイアウト（下）。

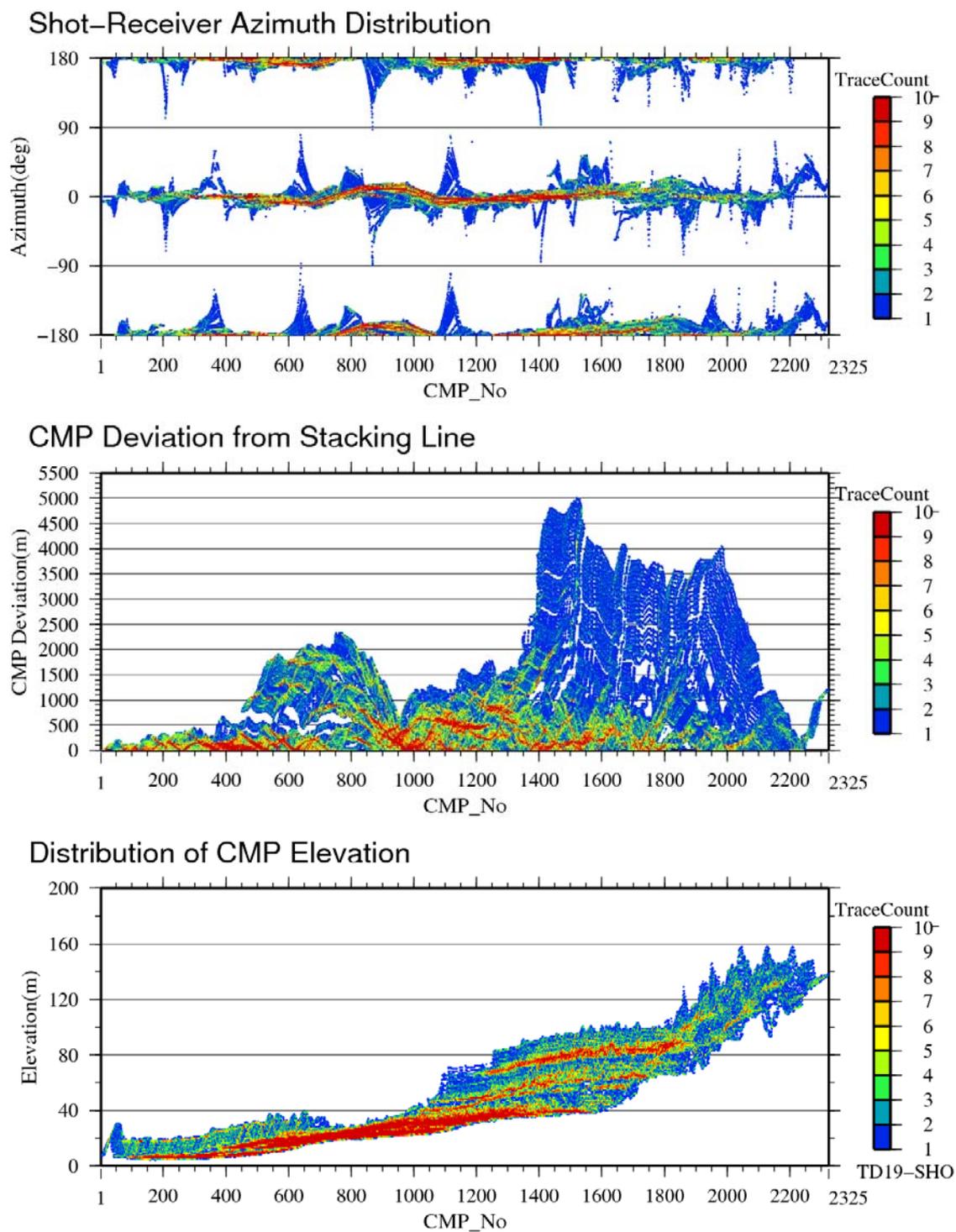


図 16 受振点および発震点分布図
 アジマス分布（上）、重合測線からの偏倚（中）、標高分布（下）。

iii) 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、受振点及び発震点タイムターム値と表層基底層速度を算出した。図 17 に改良型タイムターム法による解析結果を示す。

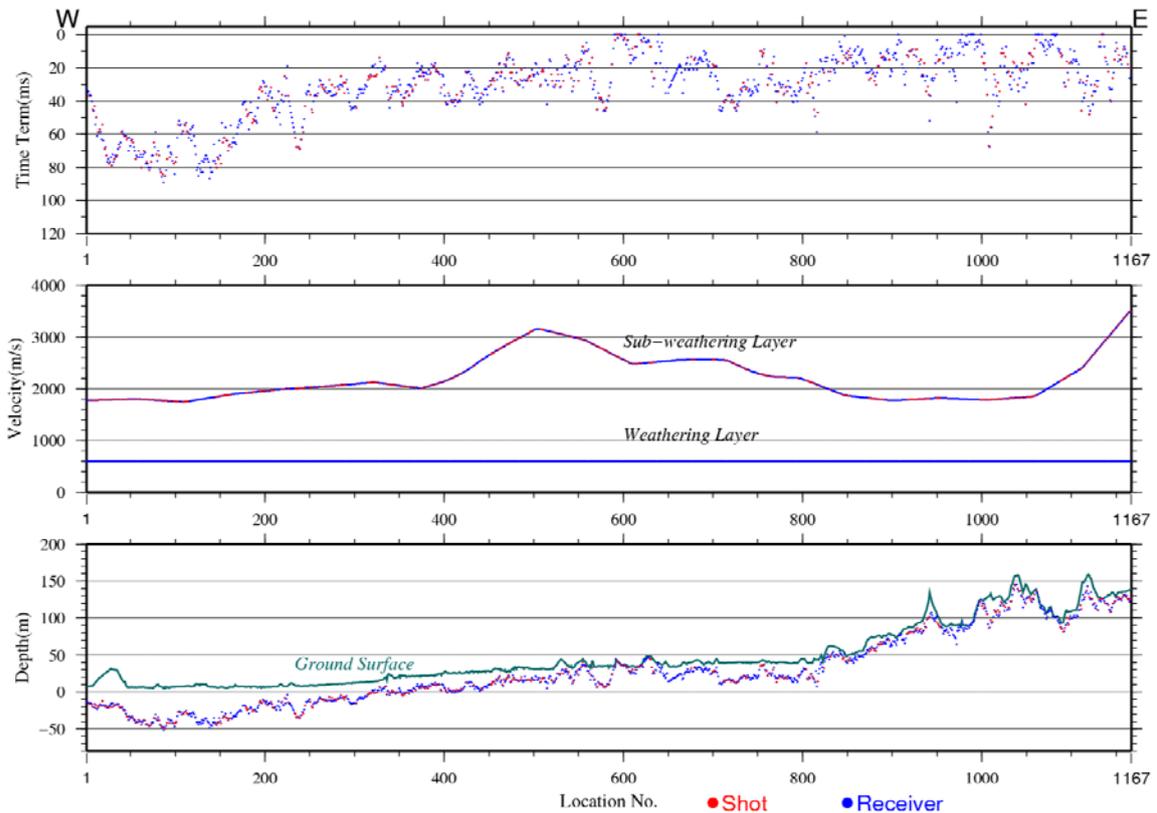


図 17 推定された表層構造図

iv) 最小位相変換 (Minimum Phase Conversion)

バイブロサイス発震記録については、零位相であるバイブロサイス震源のスウィープ波形（探鉱器'A/D Decimation Filter (DCF) '及び相互相関処理実施後のスウィープ波形）について、最小位相変換処理を適用した。

v) 初動ミュート (First-break Suppression)

強振幅の屈折波初動およびその繰り返しを抑制する目的で、初動抑制処理を実施した。処理においては、後述する屈折法解析に向けて読み取った屈折初動走時を参照して、それに平行する波群を抽出し、原記録から減算した。

vi) リニアノイズ抑制処理 (Linear Noise Suppression)

屈折初動の繰り返しや Ps 変換波等を抑制し、以降の速度解析における読み取り精度の向上を図ると共に、重合処理における重合効果の向上を図る目的から、線形ラドンフィルターを適用した。

vii) ランダムノイズ抑制処理 (Random Noise Suppression)

発震記録に見られるランダムノイズを抑制し反射波の連続性を改善する目的で、周波数-空間領域の予測フィルターを適用した。

以上のノイズ抑制適用効果を確認するため、図 18 にノイズ抑制適用前後の重合断面における比較を示す。

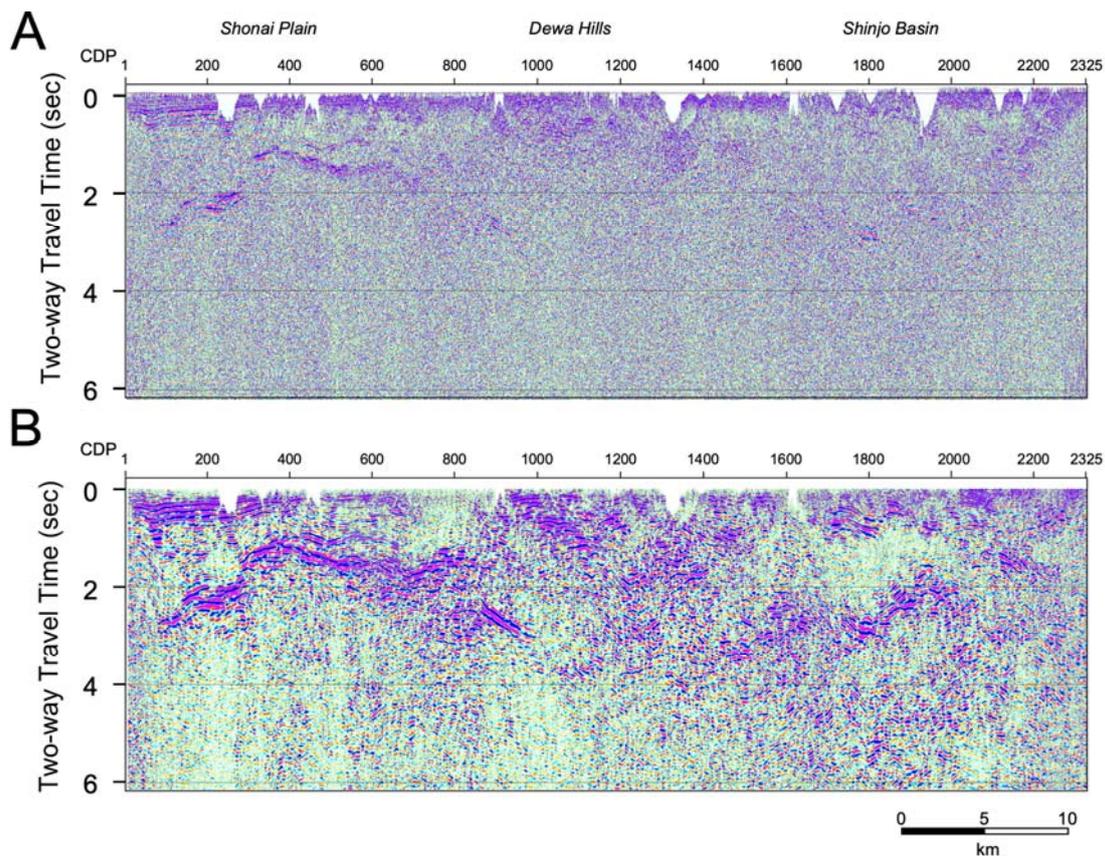


図 18 ノイズ抑制適用前後の重合断面における比較。

A : ノイズ抑制適用前重合断面、B : ノイズ抑制適用後重合断面。

viii) 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。

ix) 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。

x) 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及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異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。

xi) 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。

xii) 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。尚、残差静補正後に再解析がなされている。図 19 に重合速度プロファイルを示す。

解析点間隔 : 1,000 m
 解析速度数 : 57 (1,400 – 7,400 m/s)

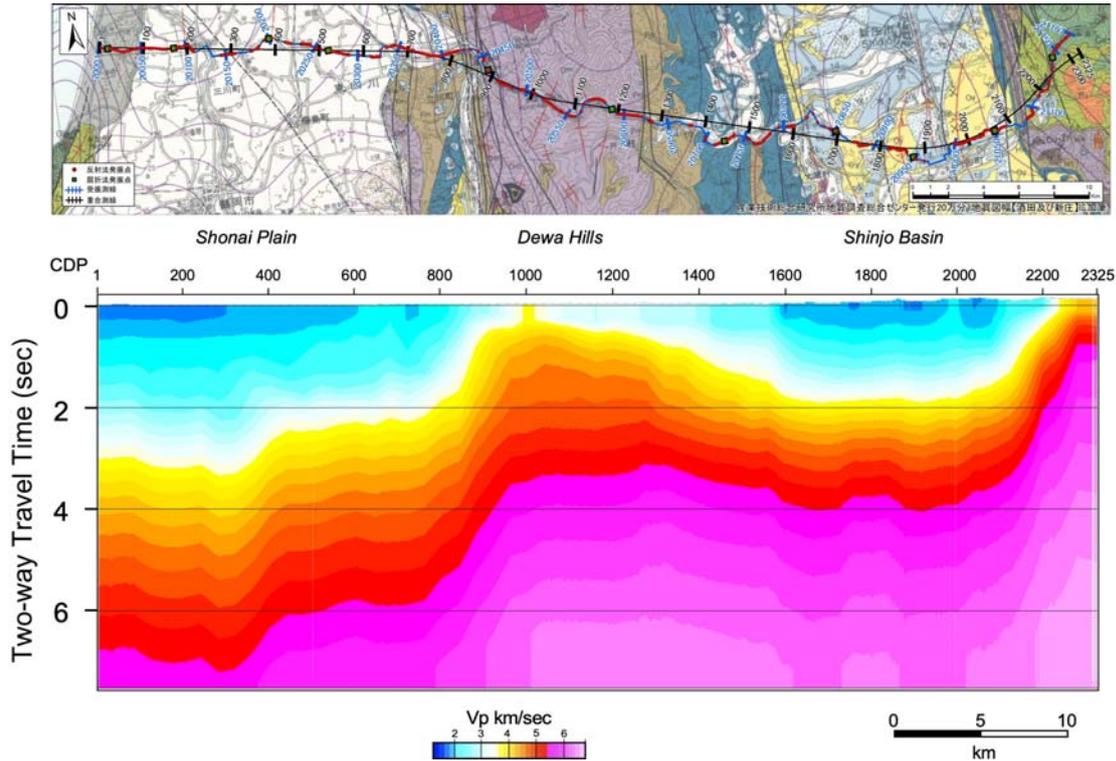


図 19 CMP 重合速度プロフィール

xiii) 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、NMO 補正に伴う波形の伸長に制限を設けてミュートを適用した。

xiv) 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、自動振幅調整による振幅補償を行った。

xv) 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 'Surface-consistent' な発震点、受振点残差静補正量を LTI (Linear Travel-time Inversion) によって統計的に計算し、これを適用した。

xvi) 共通反射点重合処理 (CMP Stacking)

NMO 補正及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。

xvii) 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。

xviii) 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。

xix) 周波数-波数領域コヒーレンシーフィルター (F-K Coherency Filter)

周波数-波数領域において Powering を適用して射波の連続性を向上させる F-K コヒー

レンシーフィルター処理を実施した。

xx) 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、時間-空間座標領域における差分法時間マイグレーションを実施した。マイグレーション速度には時間及び空間方向に平滑化および 80%のスケーリングを施した重合速度を用いた。また、標高変化を伴うデータに対し、基準面(Datum)から浮動基準面(FDP)までの区間を零速度層によって充填する手法を採用した。

xxi) 時間-空間可変帯域通過フィルター(Space-Time Variant Band Pass Filter)

反射波の有効周波数帯域が周波数成分解析によって決定され、時間-空間可変の零位相帯域通過フィルターを適用した。

xxii) 深度変換(Depth Conversion)

屈折トモグラフィ解析により推定された区間速度分布から、浮動基準面を起点とする鉛直下向きの平均速度を計算し、時間及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。

以上と同様の処理ステップを 758 点の補完発震記録にも適用し、本発震と補完発震それぞれの処理で得られた断面図を統合することによって、図 20 の CMP 重合処理断面図、図 21 の時間マイグレーション断面図が得られた。また、これらの重合記録及び時間マイグレーション記録を用いて深度変換を適用した結果を、図 22 に示す。

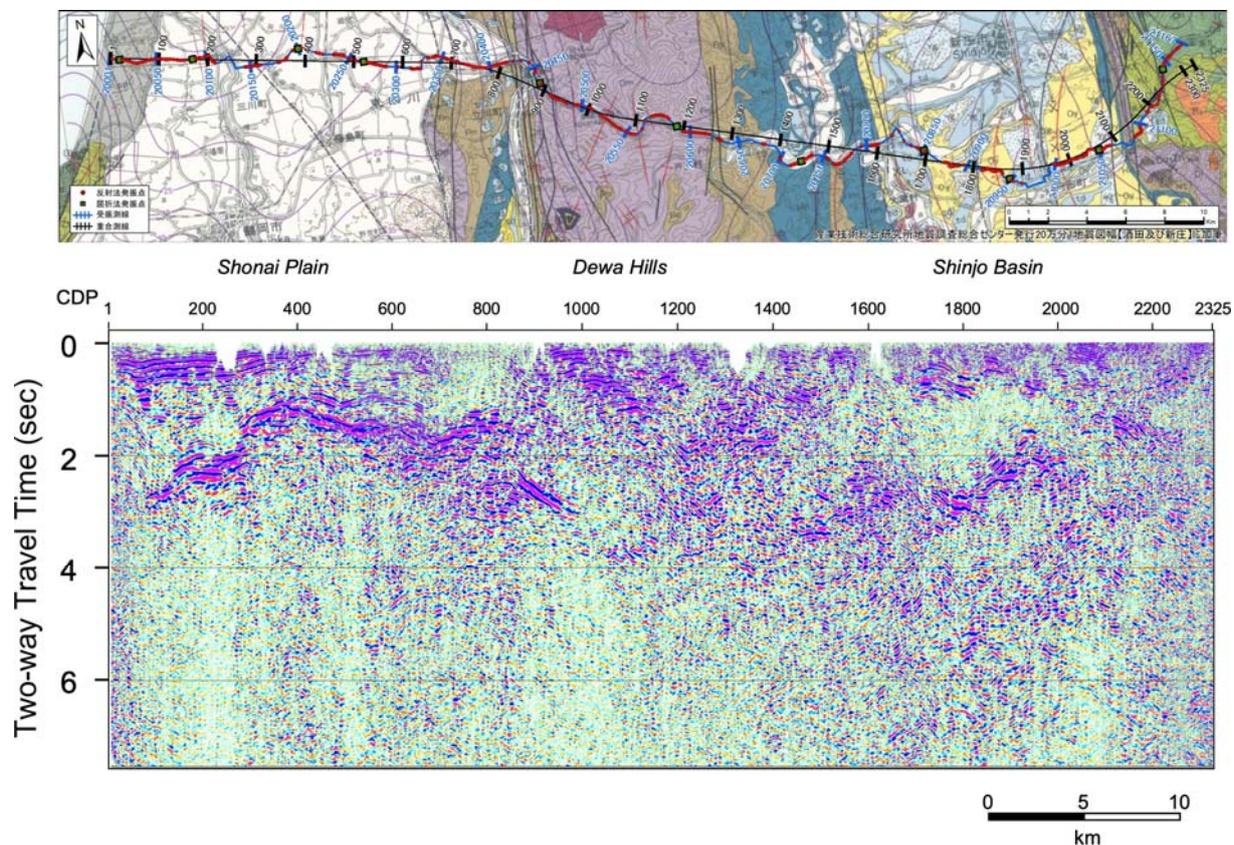


図 20 重合時間断面図。

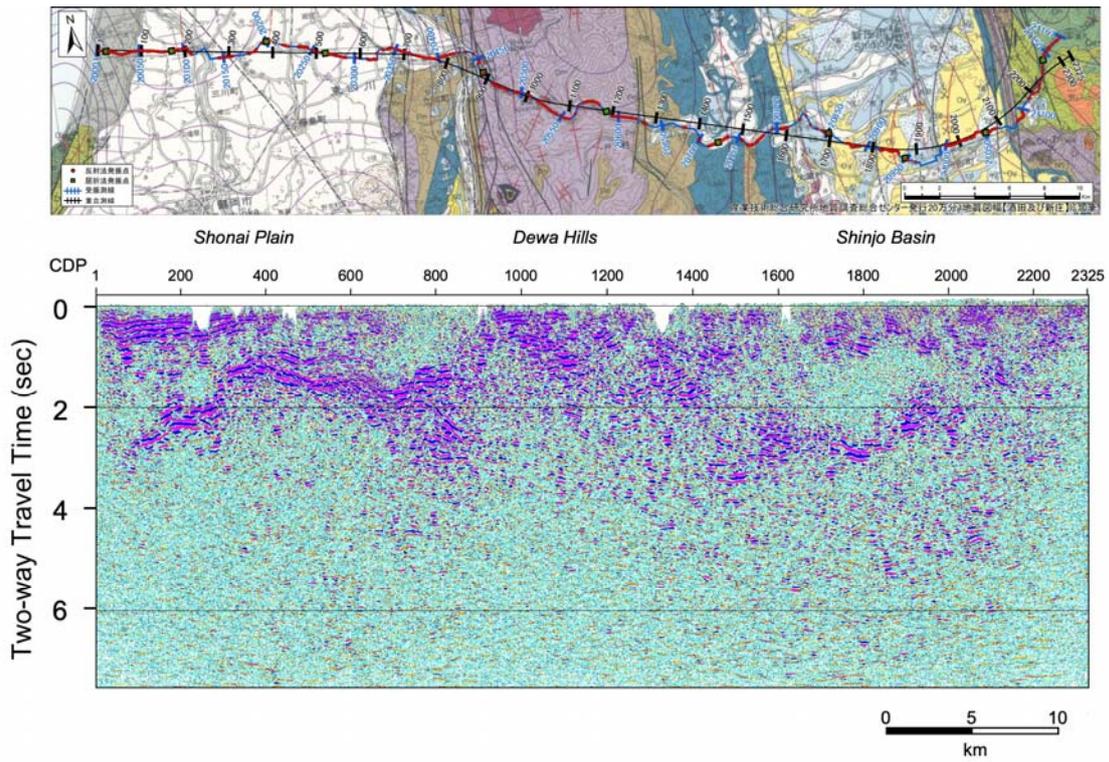


図 21 重合後マイグレーション時間断面。

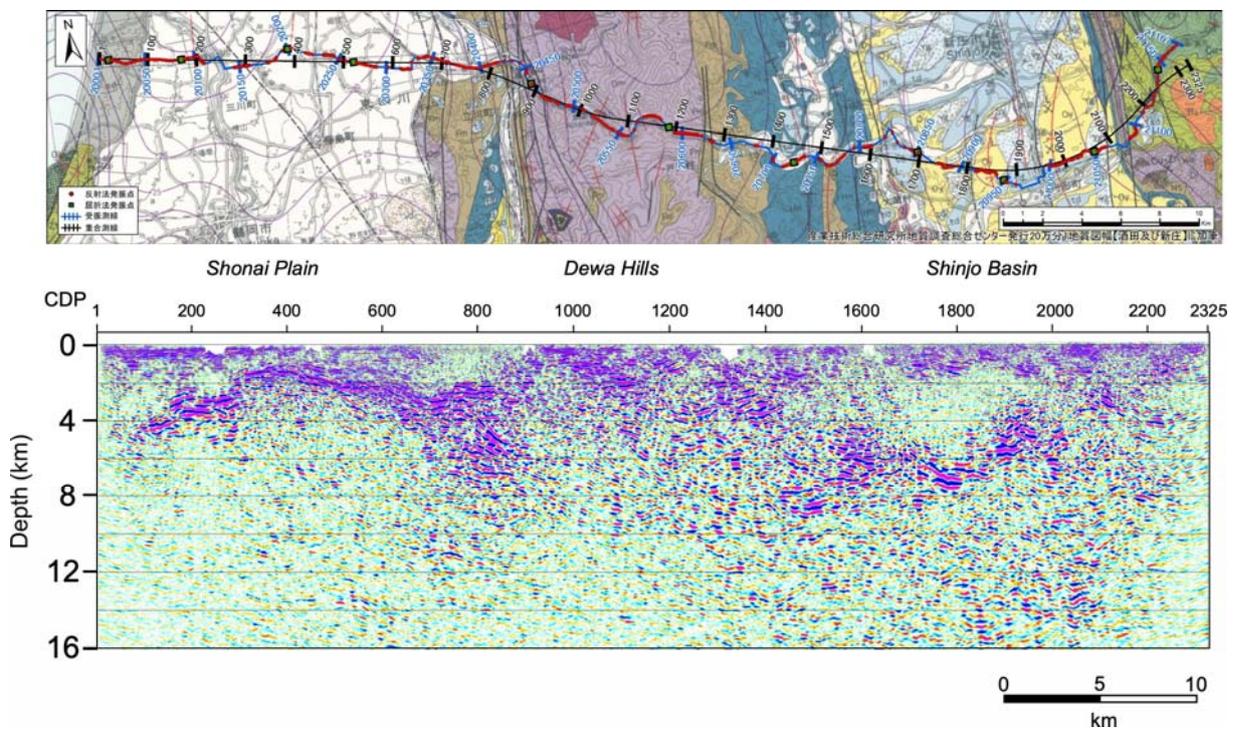


図 22 重合後マイグレーション深度変換断面。