

図1 調査測線全体図



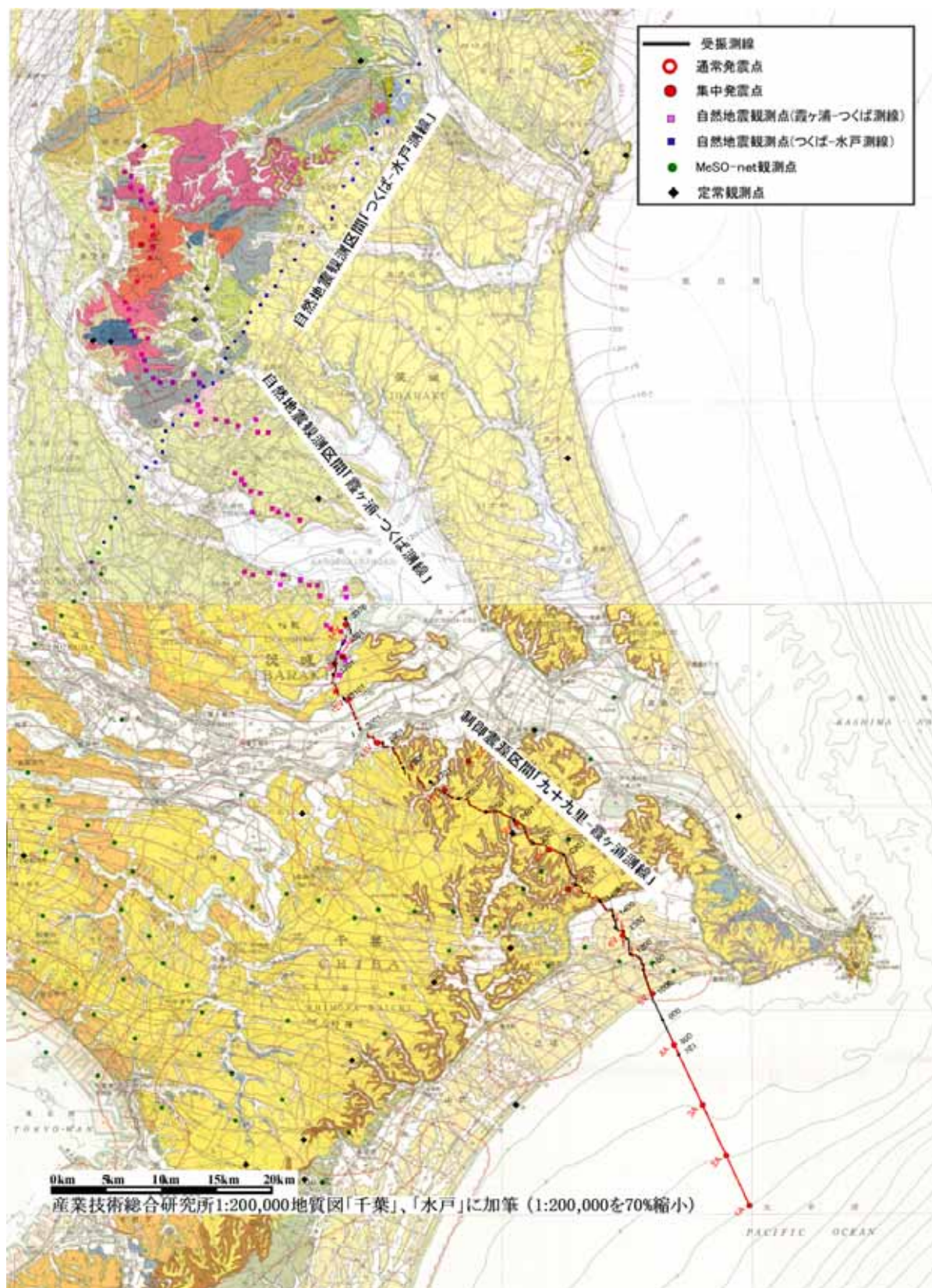


図2 調査測線地質図



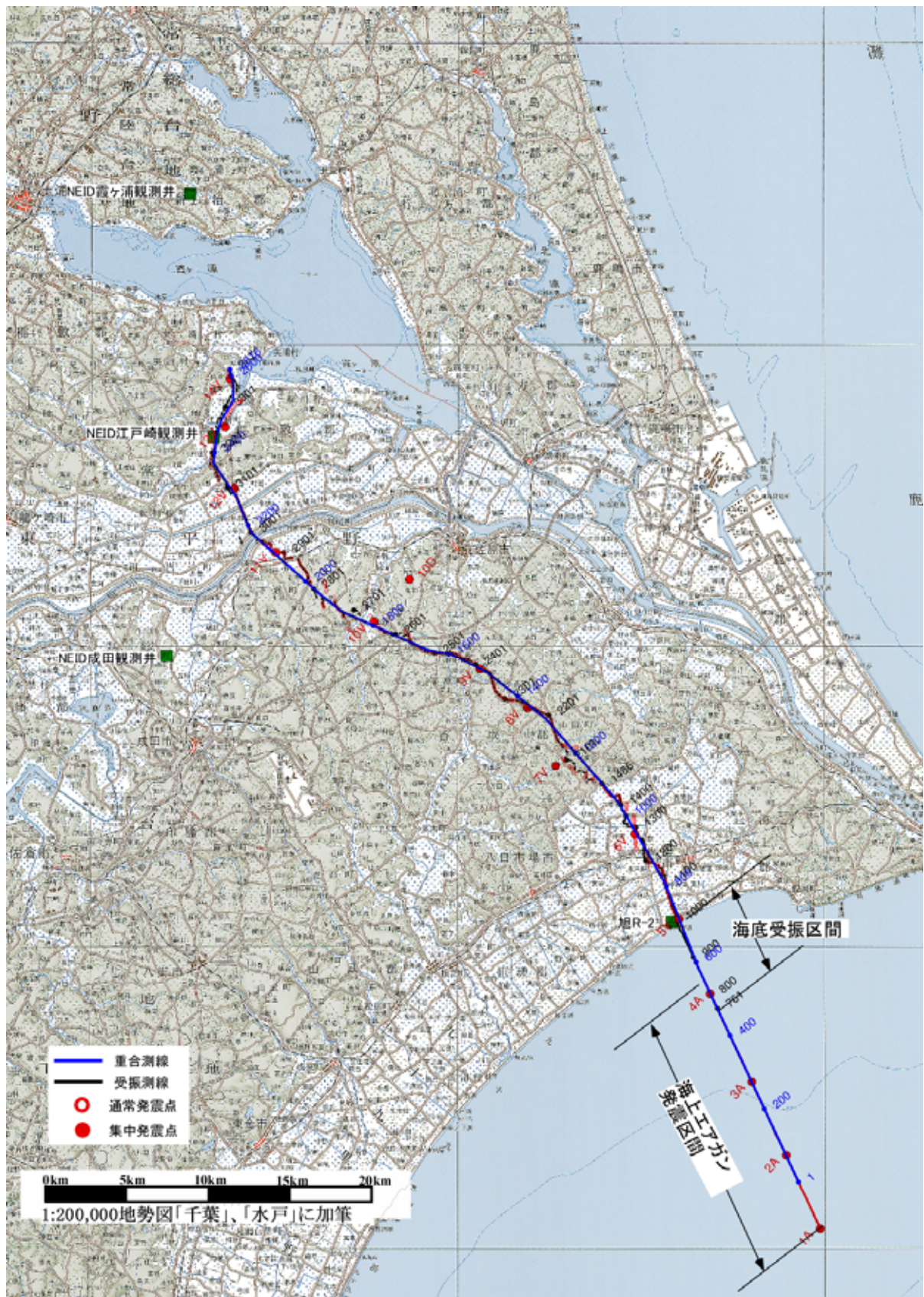


図3 調査測線位置図（九十九里-霞ヶ浦測線）

表 1 受振展開仕様一覧

	下総台地、利根川霞ヶ浦周辺区間	九十九里平野	九十九里浜沖合区間
測線長	40 km	12.2 km	6 km
受振器	ジオフォン SM7/SM24(10Hz)	ジオフォン SM7/SM24(10Hz)	ハイドロフォン SH001(3Hz)
受振器/点	3 個組または 9 個組	3 個組または 9 個組	Single Sensor
探鉱機	独立型受振システム MS2000D	有線テレメトリーシステム GDAPS4-A	海底敷設ケーブル SeaRay
受振点間隔	50 m	25 m	25 m
チャンネル数	822	486	240

(\*)下総台地、利根川霞ヶ浦周辺区間の測線長は投影測線上の距離を表す

表 2 反射法データ取得仕様

調査項目/測定諸元	反射法地震探査	
発震種別	パイプレータ(通常)発震	エアガン(通常)発震
測線長(発震区間)	52.2km(52.2km)	52.2km(17.0km)
調査測線位置概要(発震区間)	浅海域の測線は千葉県旭市井戸野浜の海岸から南南東の方向にむけて6kmのOBCを敷設している。陸域の測線はOBC上陸地点から北西方向に進み、香取市、成田市、神崎町、茨城県河内町を経て、稲敷市に至る。	受振器展開区間は全区間。発震測線は千葉県旭市井戸野浜地区の海岸線から沖合を南南東に向かって4km~21kmの範囲に設定されている。
<b>発震系パラメータ</b>		
震源	パイプレータ	エアガン(相互干渉型)
ダイナマイト発震薬量	-	-
エアガン発震深度	-	8.0m
エアガン容量及び圧力	-	3020cu.in./2000psi
パイプレータ台数	4台	-
標準発震点間隔	100-150m	12.5-25m
スイープ長	20 sec	-
ダイナマイト発震孔深度	-	-
発震回数/発震点	3~20回(6回もしくは8回スイープが標準)	1回
スイープ周波数	6~40Hz(VP1433まで) 6~50Hz(VP1450以降)	-
パイプレータアレイ長	B-B	-
総発震点数	333点	847点
<b>受振系パラメータ</b>		
受振点間隔	50m(MS2000D区間),25m(GDAPS-4A, SeaRay区間)	
受振器種別	SM-7/SM-24(10Hz), SH001(3Hz)	
受振器数/受振点	3-9個組(陸域)、Single(海底)	
展開パターン	固定展開	
展開長	58.2km	
受振測線長(SeaRay)	6.0km	
受振点数(SeaRay)	240点	
受振測線長(GDAPS-4A)	12.2km	
受振点数(GDAPS-4A)	486点	
受振測線長(MS2000D)	40km	
受振点数(MS2000D)	822点	
総受振点数	1548点	
展開設定に関わる特記事項	7月13日はMS2000D区間(822点)のみで記録	-
<b>記録系パラメータ</b>		
<b>GDAPS-4A/SeaRay(有線テレメトリーシステム)</b>		
サンプルレート	4msec	
Diversity Edit パラメータ	W=4.0sec, alpha=3.0	-
プリアンプゲイン(SeaRay)	12db(Offset >= 500m), 0dB(Offset < 500m)	
プリアンプゲイン(GDAPS-4A)	30dB	
相互相関	CAS	-
記録長	16sec	24sec
<b>独立型記録システム</b>		
サンプルレート	4msec	
記録長	連続観測(データ取得後に編集作業を実施)	

表 3 屈折法及び広角反射法データ取得仕様

調査項目/測定諸元	屈折法及び広角反射法地震探査		
発震種別	パイプレータ集中発震	エアガン集中発震	ダイナマイト発震
測線長(発震区間)	52.2km	52.2km	52.2km
調査測線位置概要(発震区間)	受振器展開区間は全区間。陸域測線におおよそ5km間隔で発震点を設定。	受振器展開区間は全区間。千葉県旭市井戸野浜地区の海岸線から沖合に向けて5kmの位置にSP-4A、11kmの位置にSP-3A、16kmの位置にSP-2A、21kmの位置にSP-1Aを設定している。	受振器展開区間は全区間。SP-10Dは千葉県香取市大戸、SP-15Dは茨城県桜川市真壁町長岡(筑波山系加波山西麓)に設定。
<b>発震系パラメータ</b>			
震源	パイプレータ	エアガン(相互干渉型)	ダイナマイト(海底発破用)
ダイナマイト発震薬量	-	-	100kg(SP-10D) 200kg(SP-15D)
エアガン発震深度	-	16.0m(SP-1A,2A,3A) 8.0m(SP-4A)	-
エアガン容量及び圧力	-	3020cu.in./2000psi	-
パイプレータ台数	4台	-	-
標準発震点間隔	-	-	-
スリーブ長	24 sec	-	-
ダイナマイト発震孔深度	-	-	45.0m
発震回数/発震点	100回(SP-5V,6V,7V,8V,9V,11V), 132回(12V), 150回(14V), 125回(13V), 50回(SP-10V)	92回(SP-1A), 129回(SP-2A), 131回(SP-3A), 132回(SP-4A)	-
スリーブ周波数	6 ~ 30Hz	-	-
パイプレータアレイ長	B-B	-	-
総発震点数	10点	4点	2点
<b>受振系パラメータ</b>			
受振点間隔	50m(MS2000D区間),25m(GDAPS-4A, SeaRay区間)		
受振器種別	SM-7/SM-24(10Hz), SH001(3Hz)		
受振器数/受振点	3-9個組(陸域)、Single(海底)		
展開パターン	固定展開		
展開長	58.2km		
受振測線長(SeaRay)	6.0km		
受振点数(SeaRay)	240点		
受振測線長(GDAPS-4A)	12.2km		
受振点数(GDAPS-4A)	486点		
受振測線長(MS2000D)	40km		
受振点数(MS2000D)	822点		
総受振点数	1548点		
展開設定に関わる特記事項			
<b>記録系パラメータ</b>			
<b>GDAPS-4A/SeaRay(有線テレメトリーシステム)</b>			
サンプルレート	4msec		
Diversity Edit パラメータ	W=11.0sec, alpha=3.0	W=30.0sec, alpha=3.0	-
プリアンプゲイン(SeaRay)	12db(Offset >= 500m), 0dB(Offset < 500m)		
プリアンプゲイン(GDAPS-4A)	30dB		
相互相関	CAS	-	-
記録長	20sec	30sec	50sec
<b>独立型記録システム</b>			
サンプルレート	4msec		
記録長	連続観測(データ取得後に編集作業を実施)		



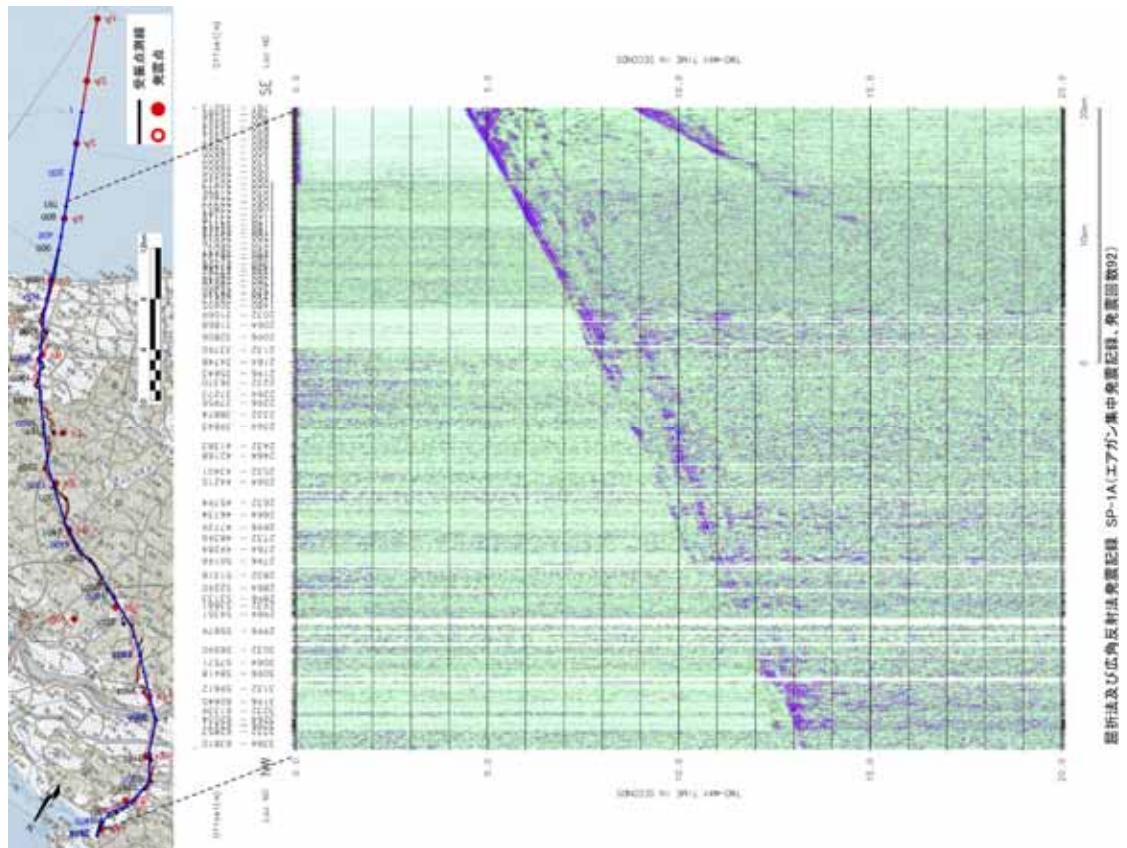


図4 屈折法及び広角反射法発震記録例 SP-1A (エアガン集中発震)

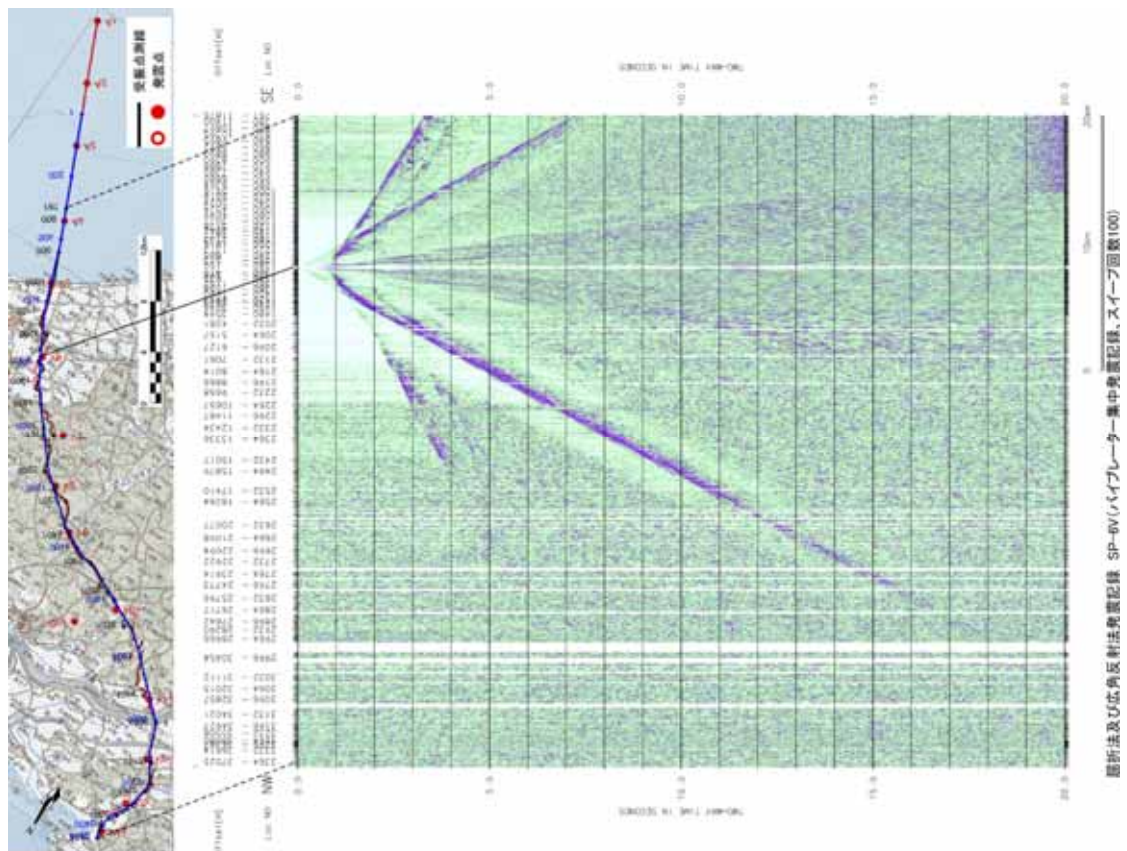


図5 屈折法及び広角反射法発震記録例 SP-6V (パイプレータ集中発震)



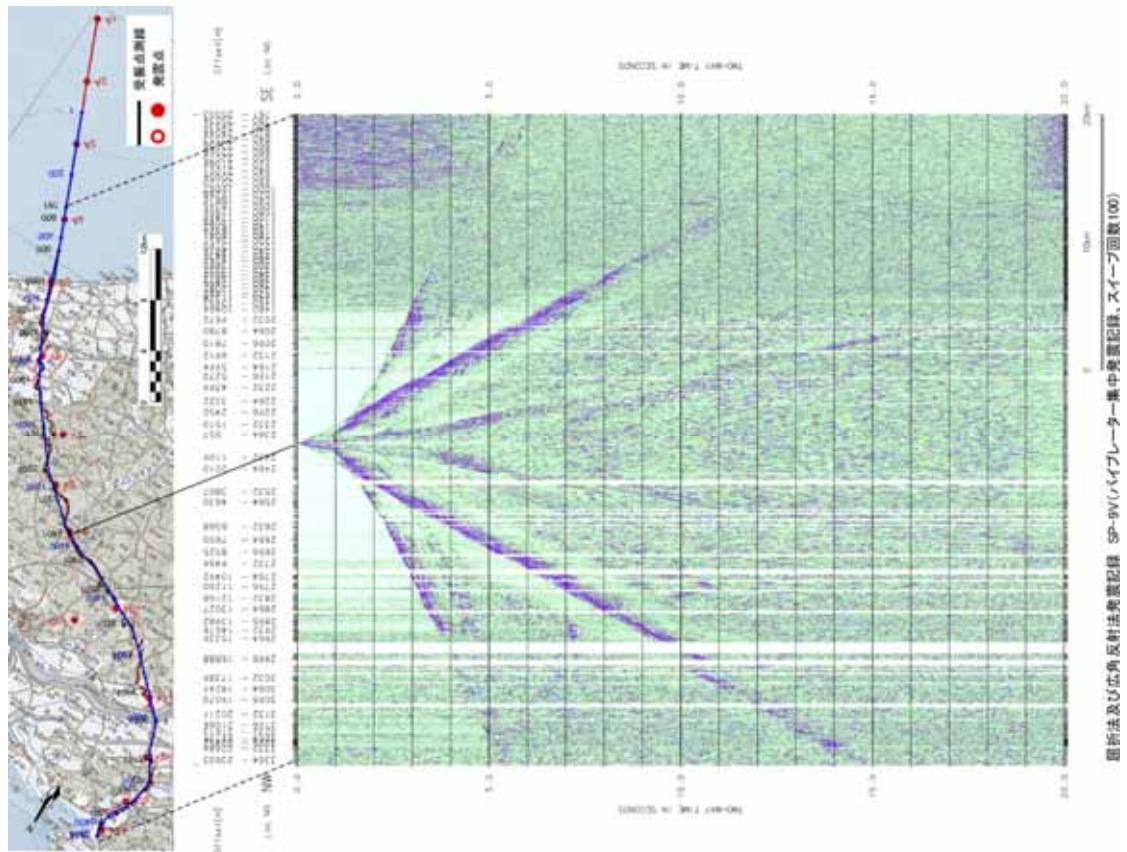


図 6 屈折法及び広角反射法発震記録例 SP-9V (パイプレータ集中発震)

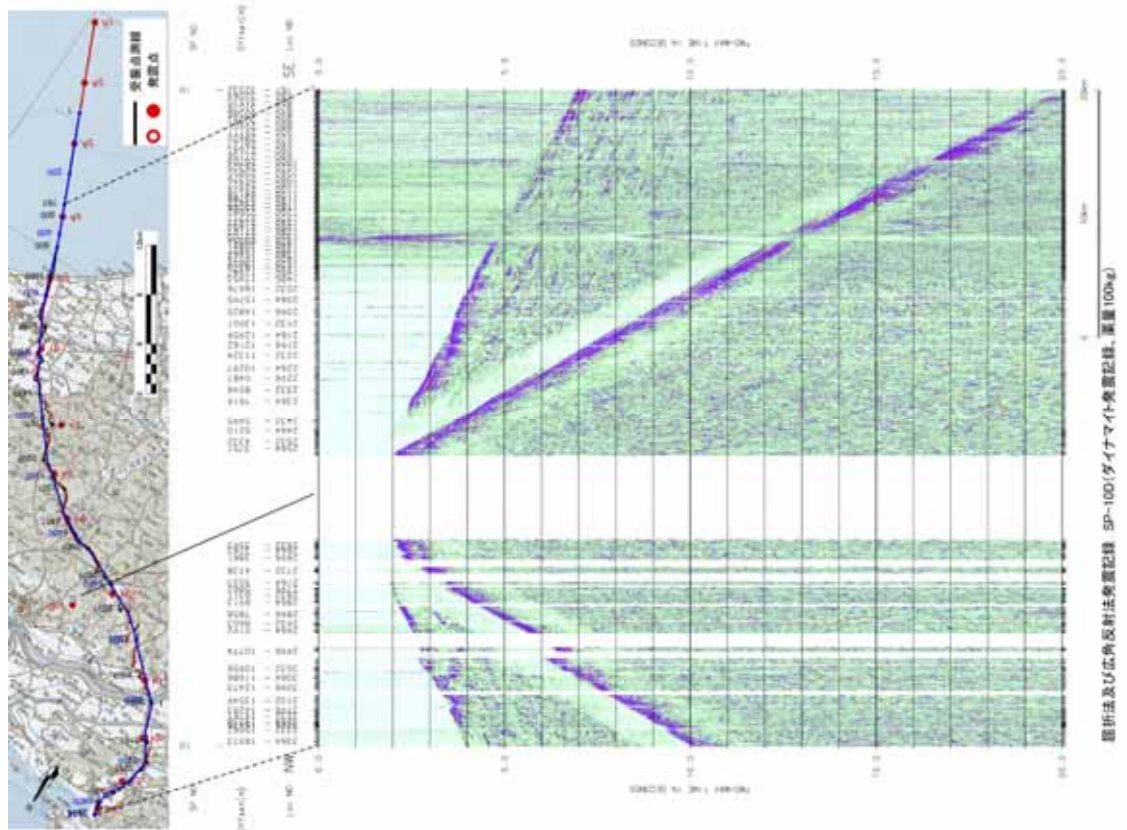


図 7 屈折法及び広角反射法発震記録例 SP-10D (ダイナマイト発震)



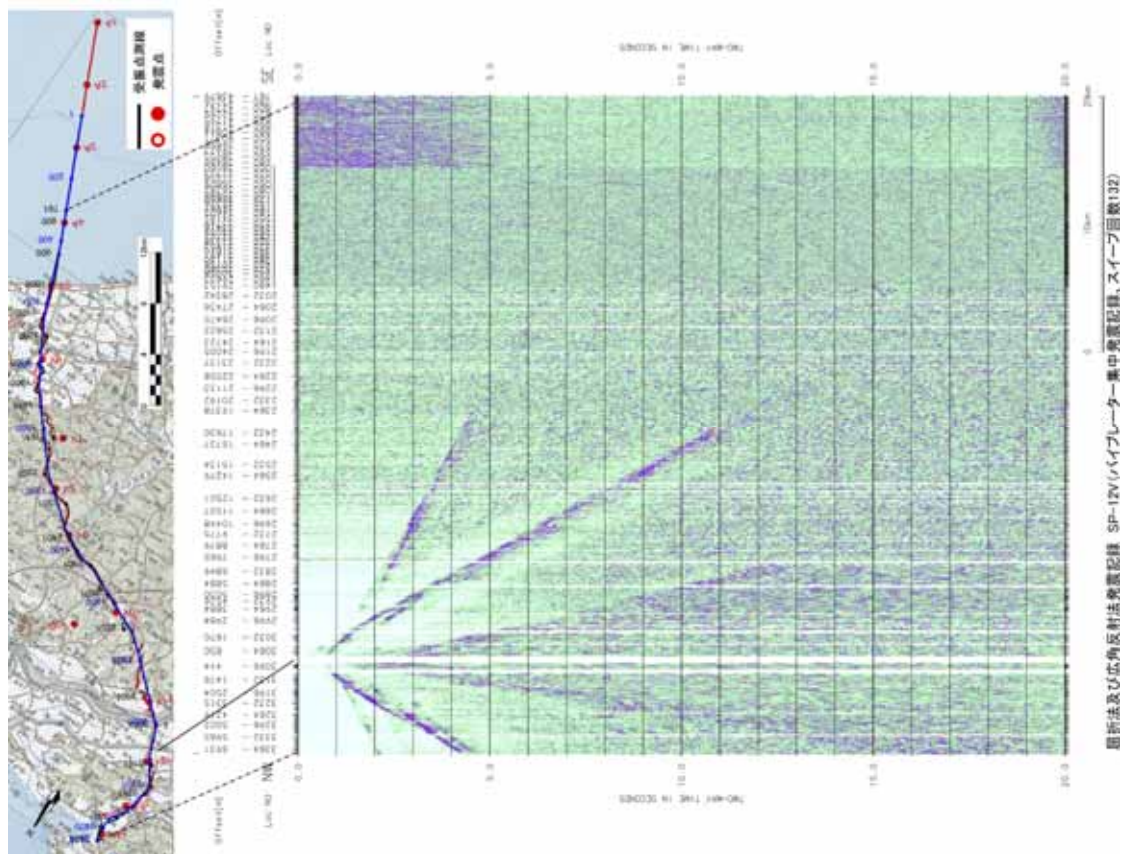


図8 屈折法及び広角反射法発震記録例 SP-12V (パイプレータ集中発震)

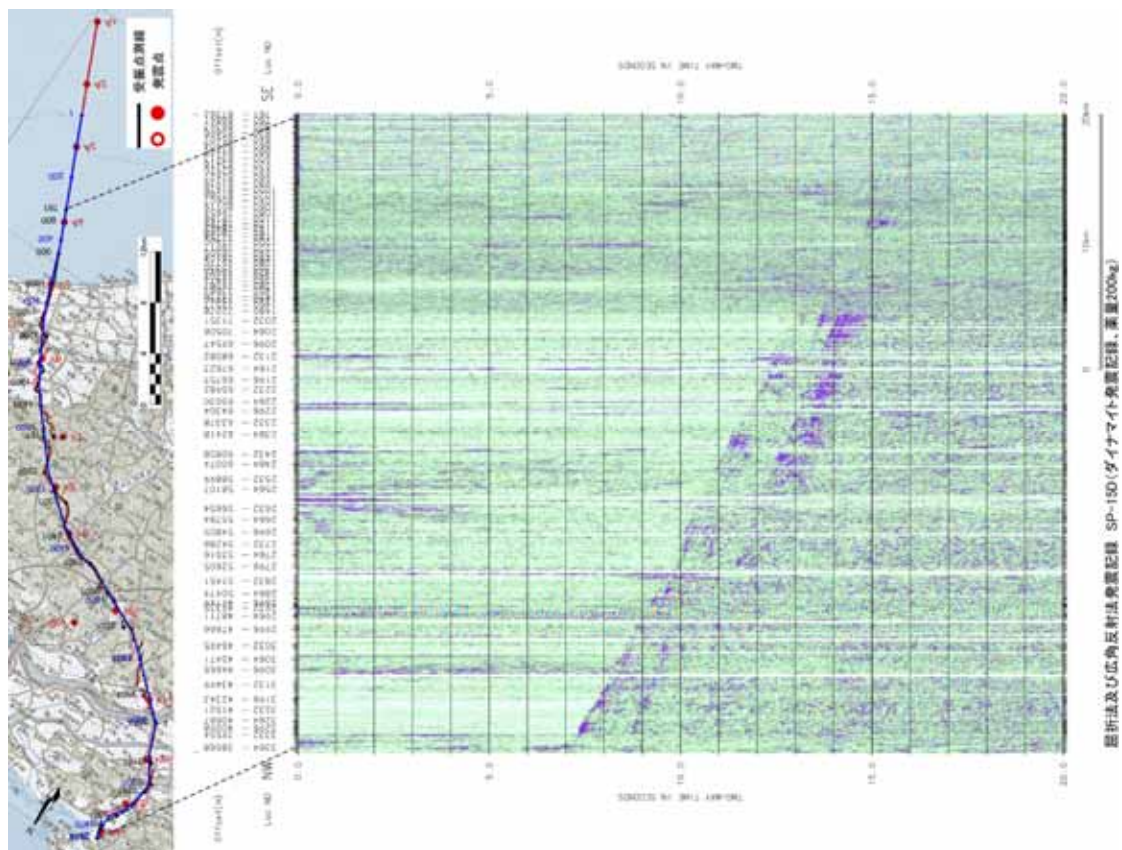


図9 屈折法及び広角反射法発震記録例 SP-15D (ダイナマイト発震)



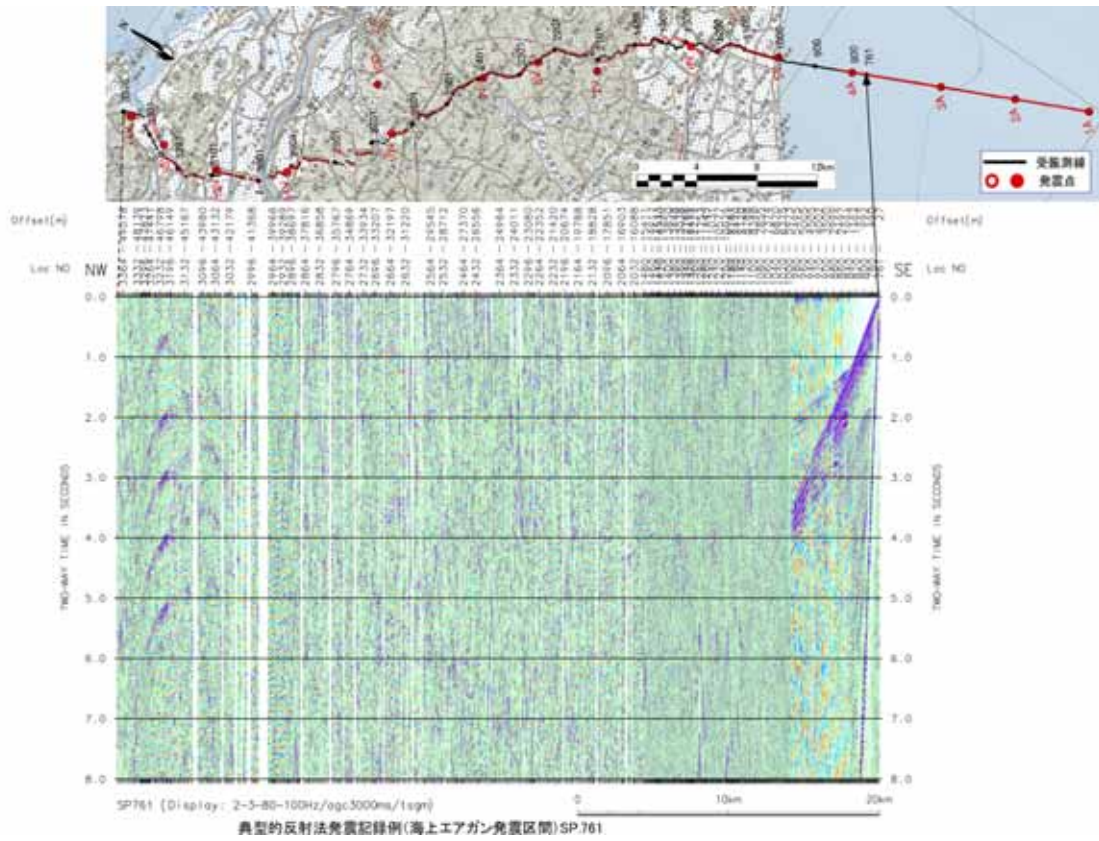


図 10 反射法エアガン発震記録例 SP.761

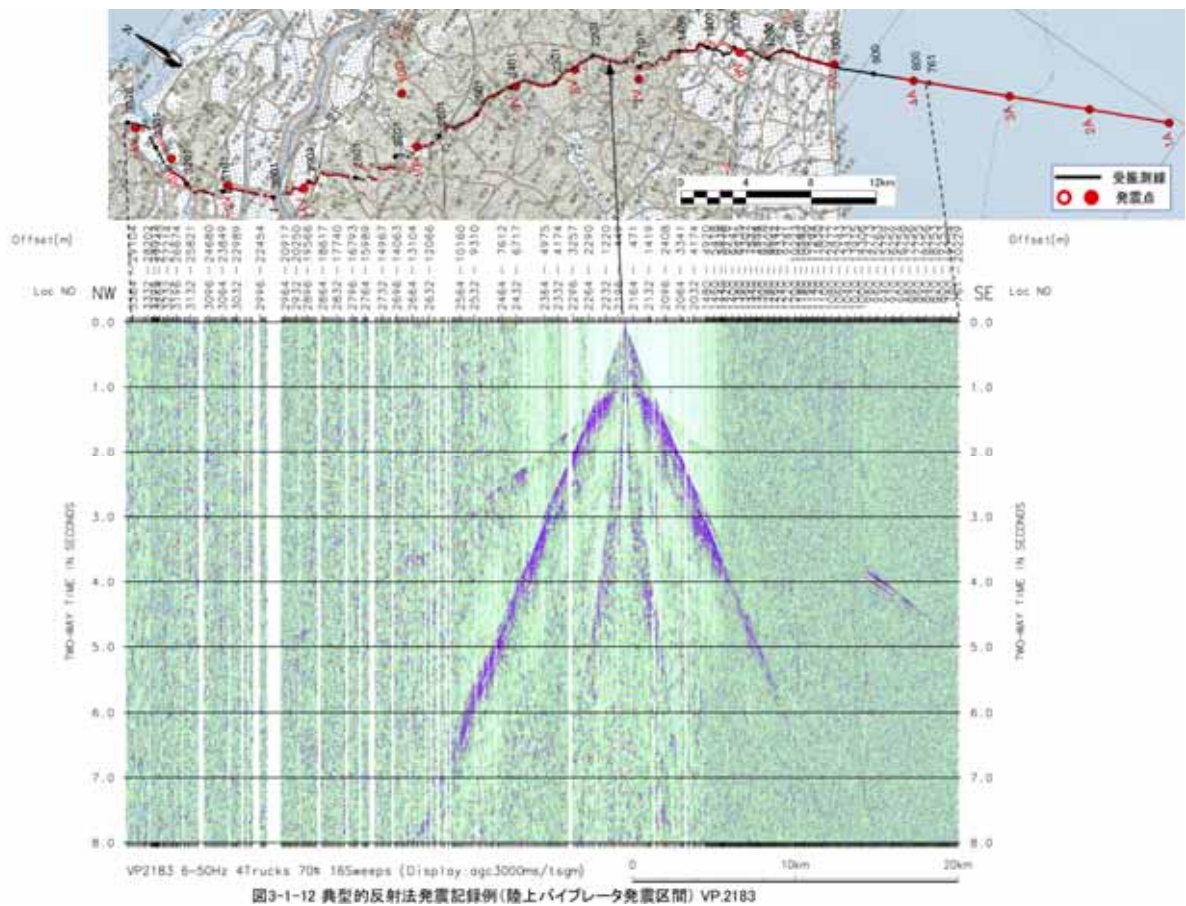


図 11 反射法パイプレータ発震記録例(下総台地区間) VP.2183



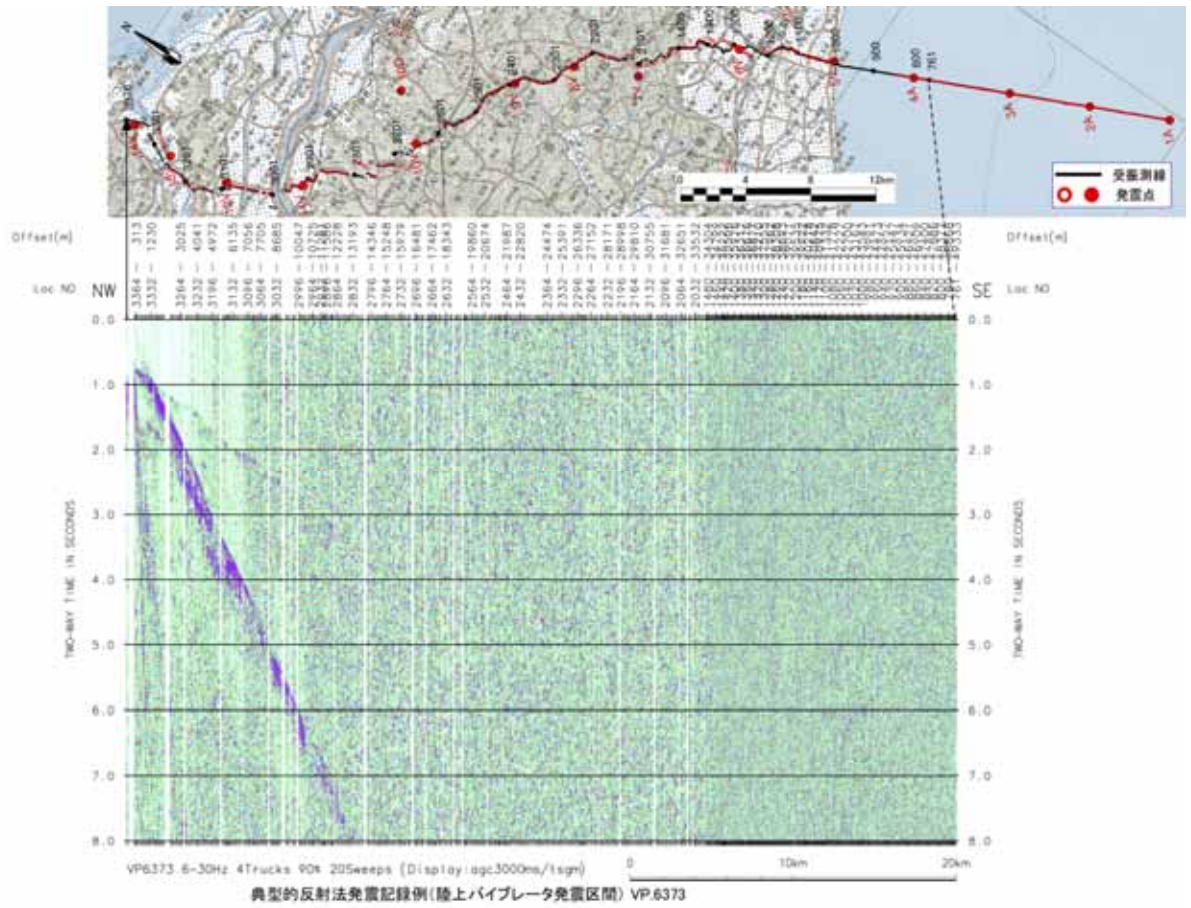


図 12 反射法パイプレータ発震記録例（利根川-霞ヶ浦周辺区間） VP.6373

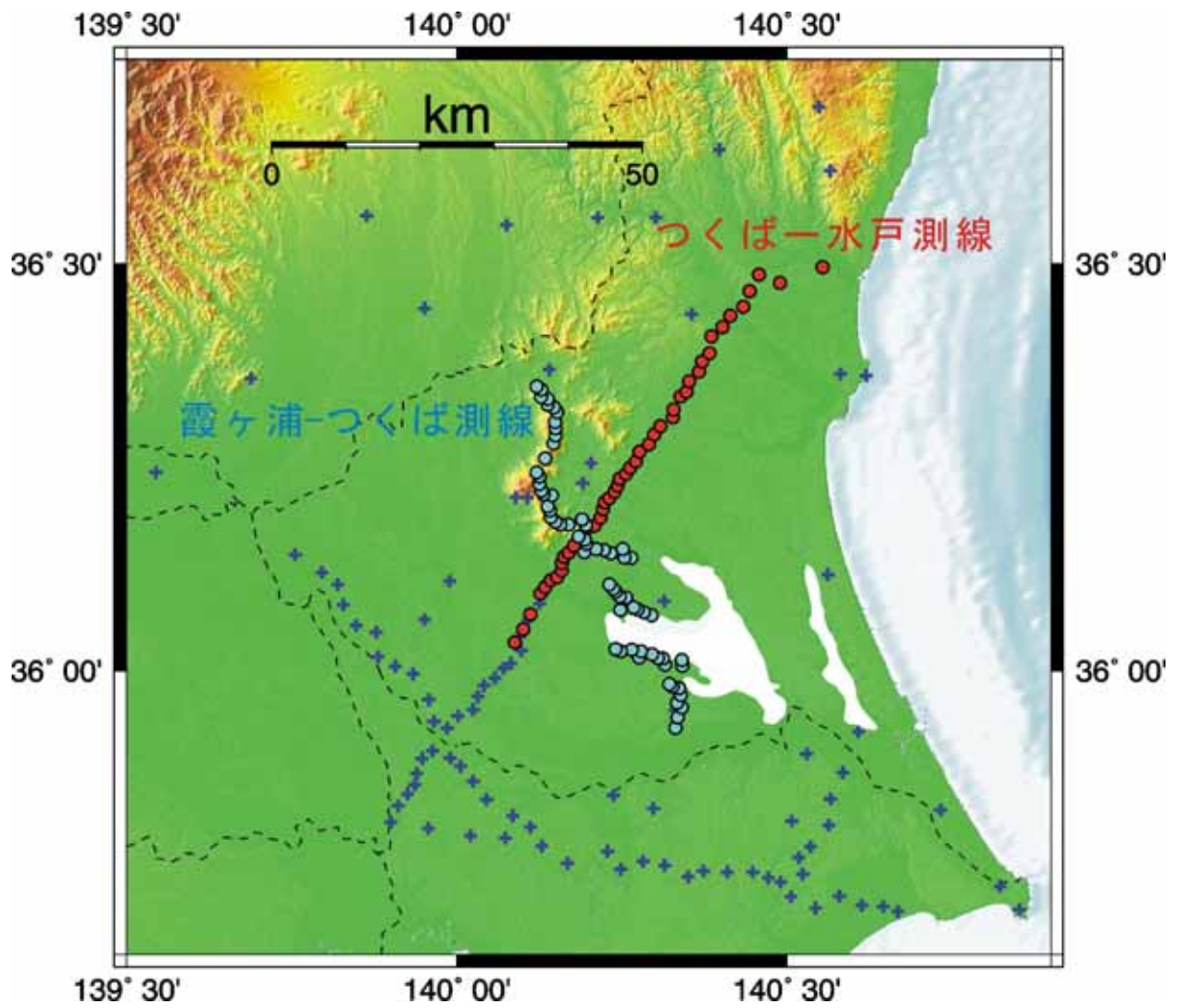


図 13 自然地震観測「霞ヶ浦-つくば測線」、「つくば-水戸測線」測線図  
 ●はつくば-水戸測線上の観測点位置、●は袖ヶ浦-つくば測線上の観測点位置、  
 + は本研究で使用した定常観測点の位置を示す。



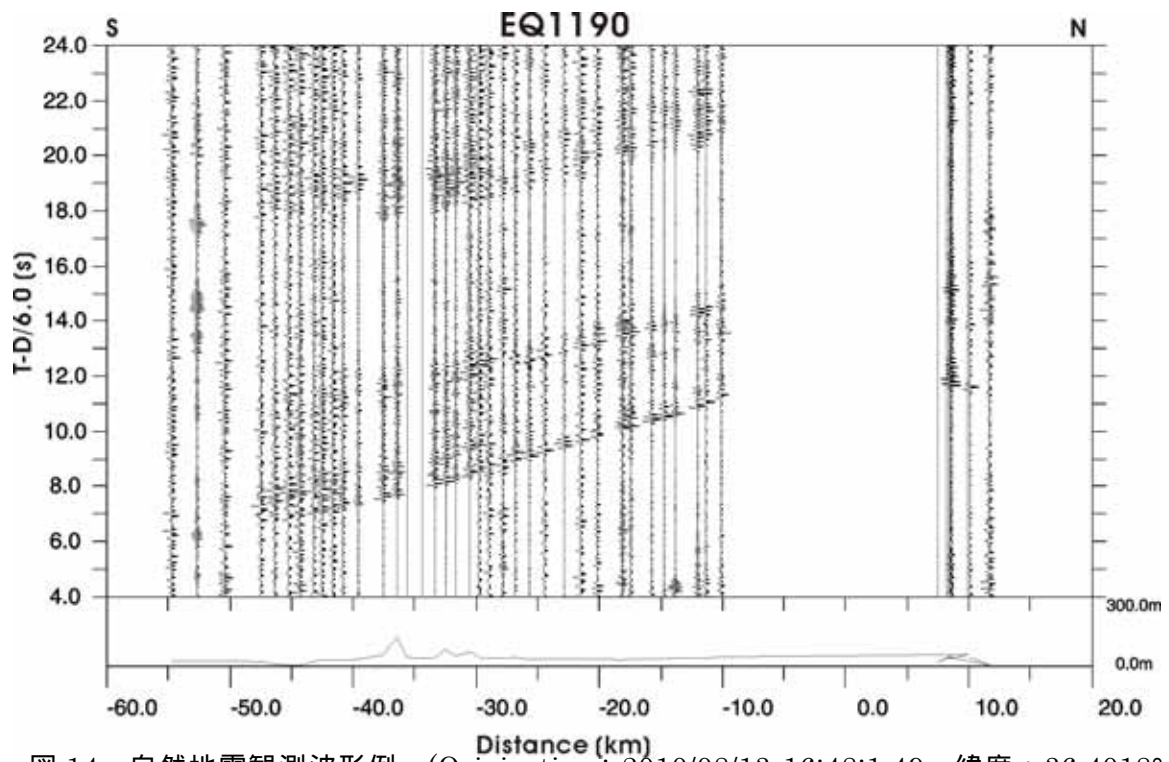


図 14 自然地震観測波形例 (Origin time: 2010/08/13 16:48:1.49 緯度 : 36.4018° 経度 : 140.4952 深さ : 89.13km MJMA : 2.2) 上下動成分。

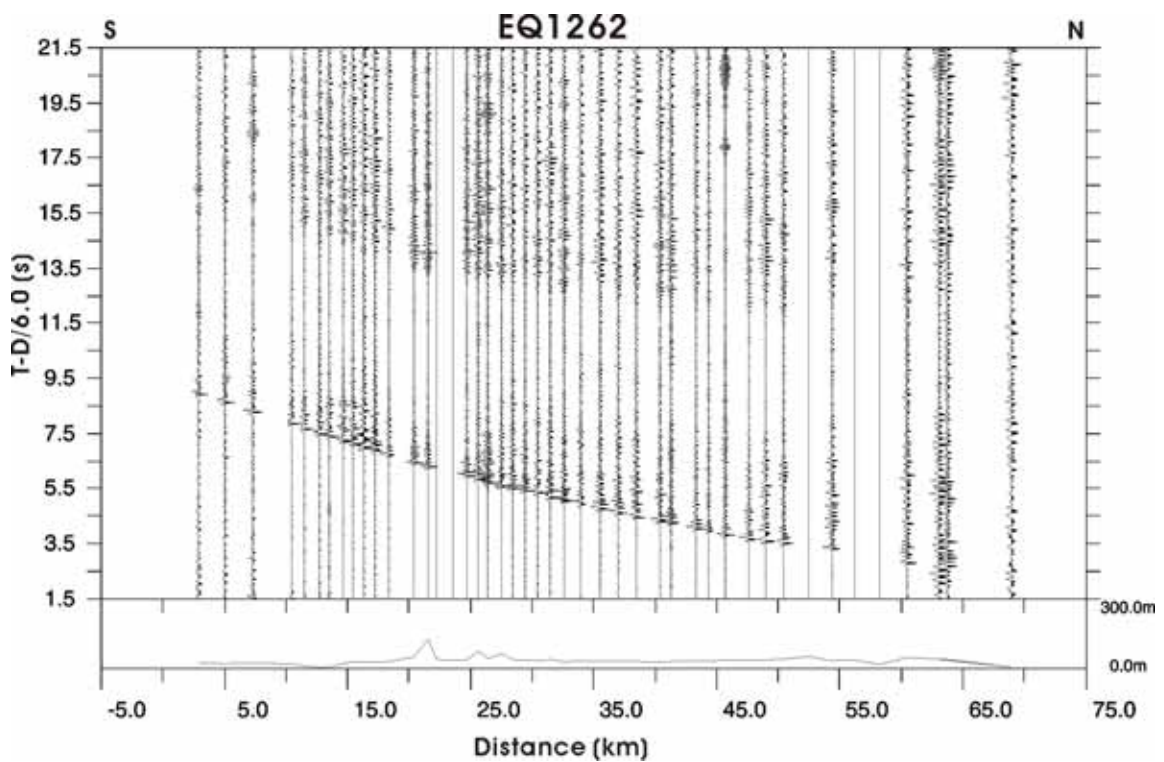


図 15 自然地震観測波形例 (Origin time: 2010/08/14 18:01:42.29 緯度 : 36.0118° 経度 : 140.0735° 深さ : 61.95 km MJMA : 2.3) 上下動成分。

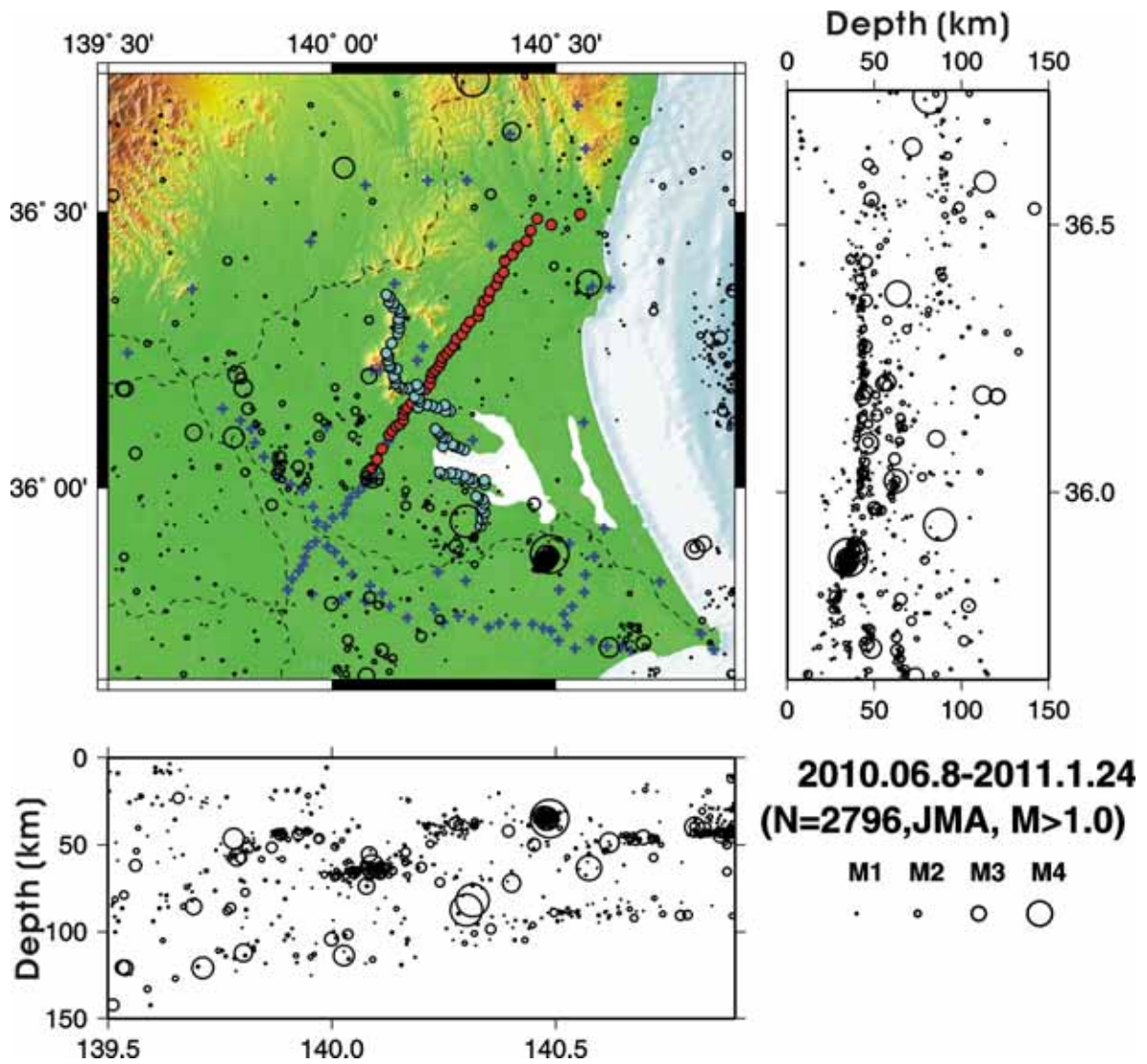


図 16 観測期間中(2010年6月8日-2011年1月24日)における気象庁一元化处理震源分布と稠密自然地震観測測線。○は震源位置を示し、その大きさがマグニチュードを表す。●がつくば-水戸測線上の観測点位置、●が袖ヶ浦-つくば測線上の観測点位置、+が本研究で使用した定常観測点の位置を示す。



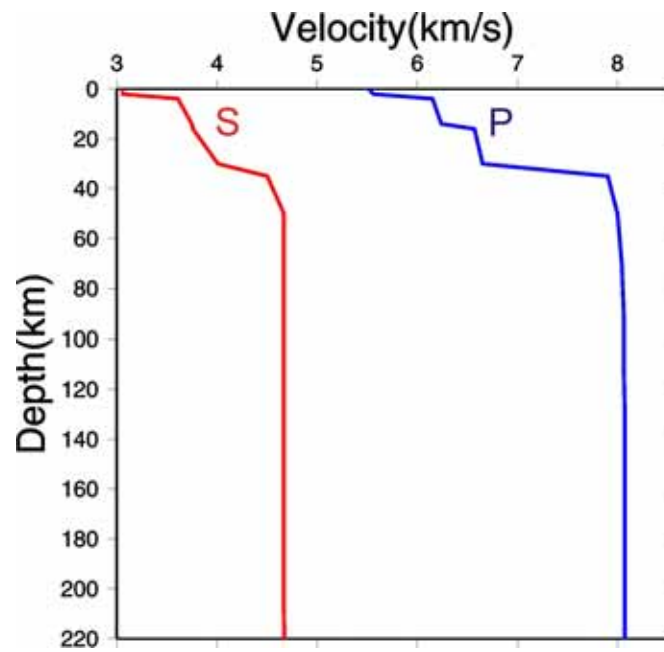


図 17 震源決定に使用した 1 次元速度構造。青：P 波速度構造、赤：S 波速度構造

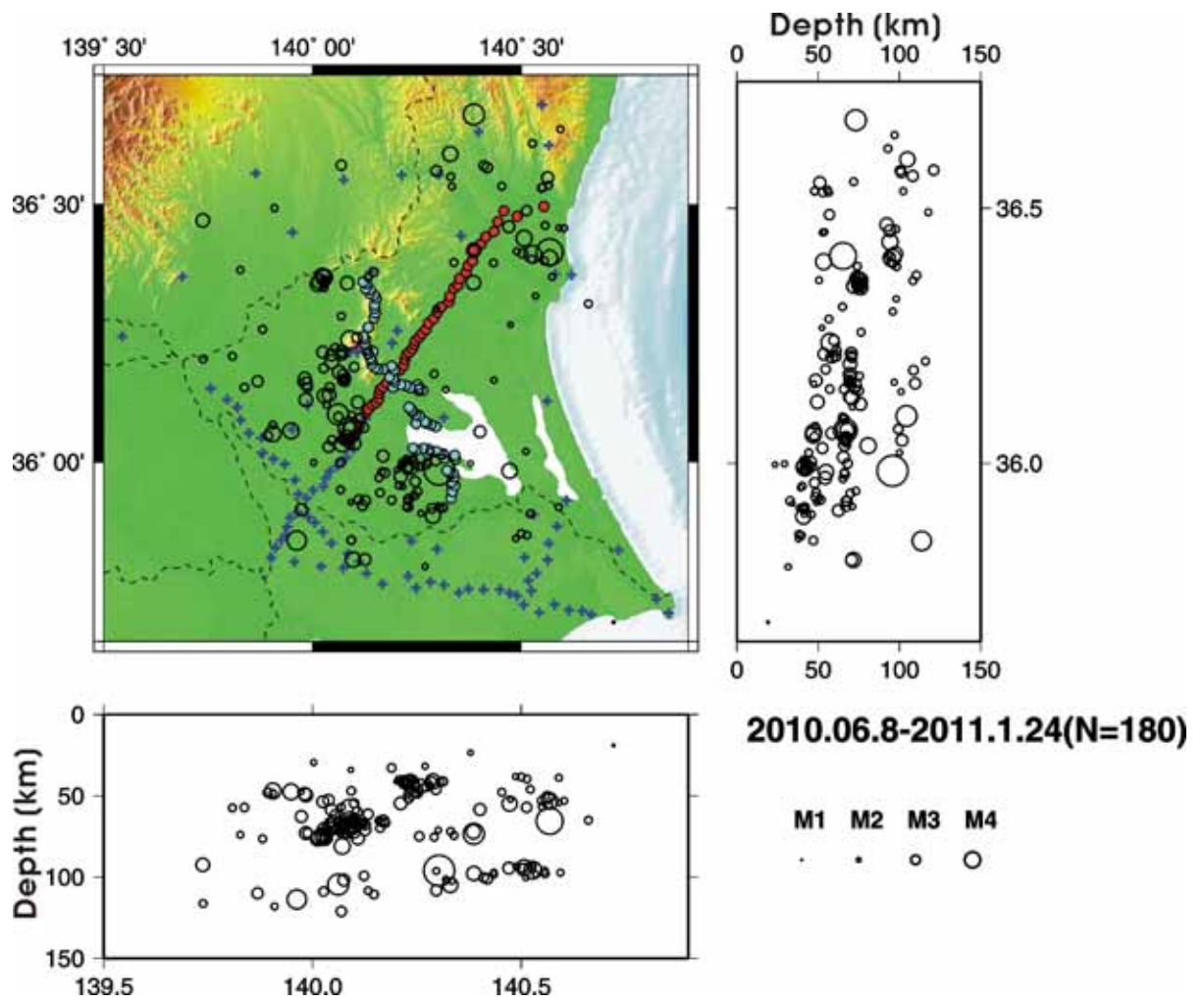


図 18 震源分布図。○は再決定した震源位置を示し、その大きさがマグニチュードを表す。  
 ●はつくば-水戸測線上の観測点位置、●は袖ヶ浦-つくば測線上の観測点位置、+は震源再  
 決定に使用した定常観測点の位置を示す。



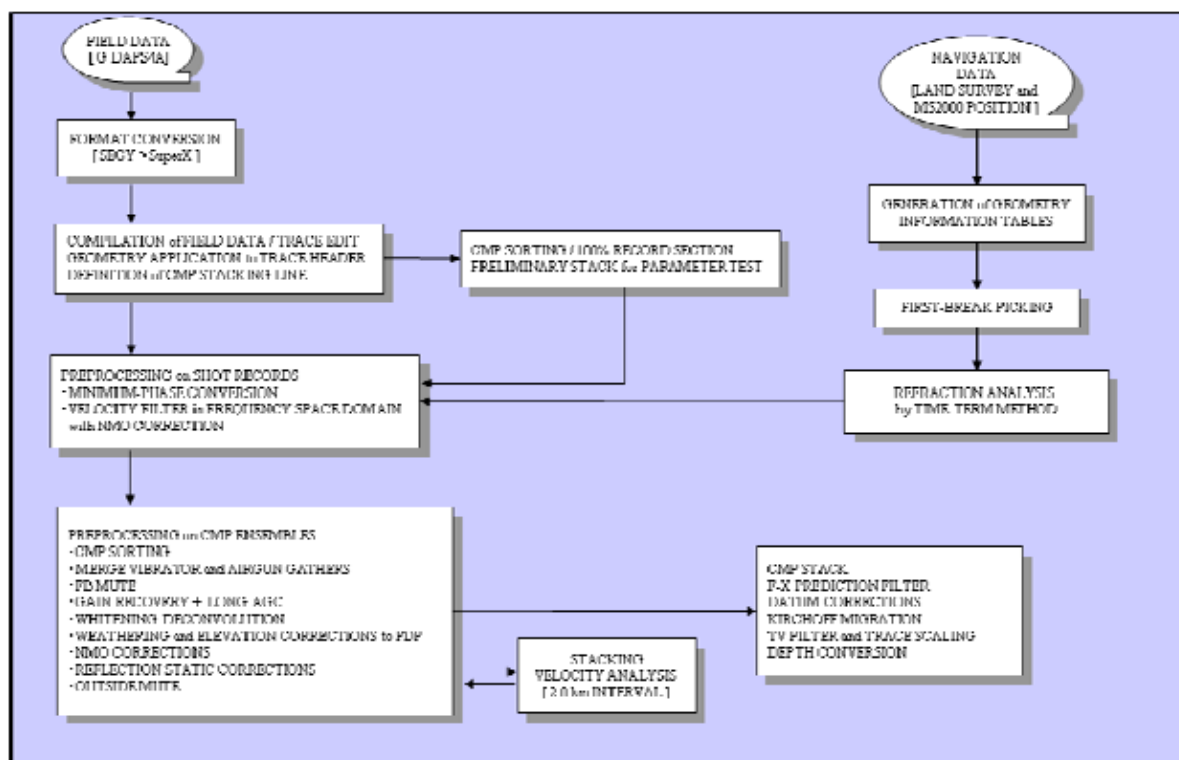


図 19 反射法データ解析フロー

表 4 反射法データ解析パラメータ一覧

九十九里-霞ヶ浦測線	
フォーマット変換及びデータ編集	
有効発震点数	バイブレータ標準発震 333点
	バイブレータ集中発震 10点
	エアガン通常発震 847点
	エアガン通常発震 1081点 (房総沖浅海)
トレースヘッダーへの測線情報の入力	
CMP間隔	25.0 m
重合測線からの最大許容偏倚	制限無し
屈折初動解析	
屈折初動読み取り位相	正のピーク位置
屈折波インバージョン実施オフセット範囲	250-1200 m
表層基底速度を求める際の空間ブロック長	7500 m
コヒーレントノイズ抑制処理	
アルゴリズム	周波数 - 空間領域フィルター
適用領域	NMO補正後の共通発震記録
通過(抑止)速度範囲	遮断領域 700 ~ 2300 m/sec
初動ミュート	
テーパー長	50 msec
ミュート開始位置(スライディング速度)	オフセット・時間の点で指定
振幅補償	
幾何減衰補償	-
ゲインリカバリー	T ** 1.2
AGC適用ゲート長	2000 msec
デコンボリューション	
バイブレータスウィープ波形位相処理	最小位相変換
アルゴリズム	時間領域トレース単位デコンボリューション
前提とするウェーブレット位相	最小位相
予測距離	4.0 msec
零オフセット位置における設計ゲート	0-3000 msec (Non-TV)
オペレータ長	240 msec
プリホワイトニングファクター	0.5%
浮動基準面に関する静補正	
補正内容	表層補正及び標高補正
浮動基準面の定義	長波長標高変化
補正速度	1700 m/sec
速度解析	
解析内容	重合速度
解析点間隔	2000 m
解析速度数	50 (1500-6300 m/sec)
残差静補正	
アルゴリズム	Linear Traveltime Inversion
時間シフトの最大許容地	8 msec
時間ウィンドー	200-1200 msec
CMP重合	
NMOストレッチファクター	4.0
重合前振幅調整	AGC 300 msec
標準重合数	300
重合オフセット距離範囲	0-20000 m
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	1000 msec
帯域通過フィルター	
オペレータ長	1000 msec
周波数通過帯域	0.2 - 1.2 sec : 8/10 - 50/55 Hz 1.2 - 15 sec : 3/6 - 45/50 Hz
時間マイグレーション	
アルゴリズム	キルヒホッフ型時間マイグレーション
最大アパチャー範囲	8000 m
反射面最大傾斜角度	45度



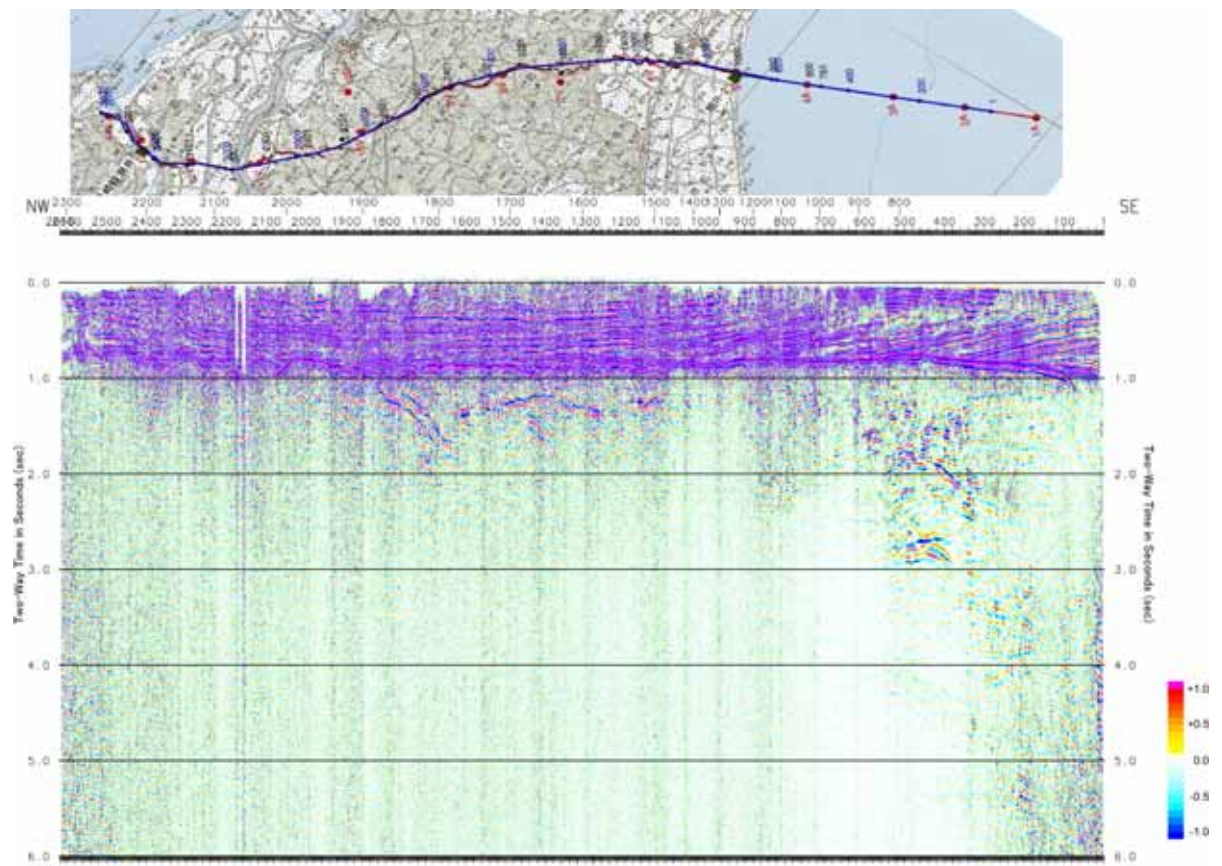


図 20 重合時間断面図

カラーは波形の相対振幅を線型スケールで表示したものである。

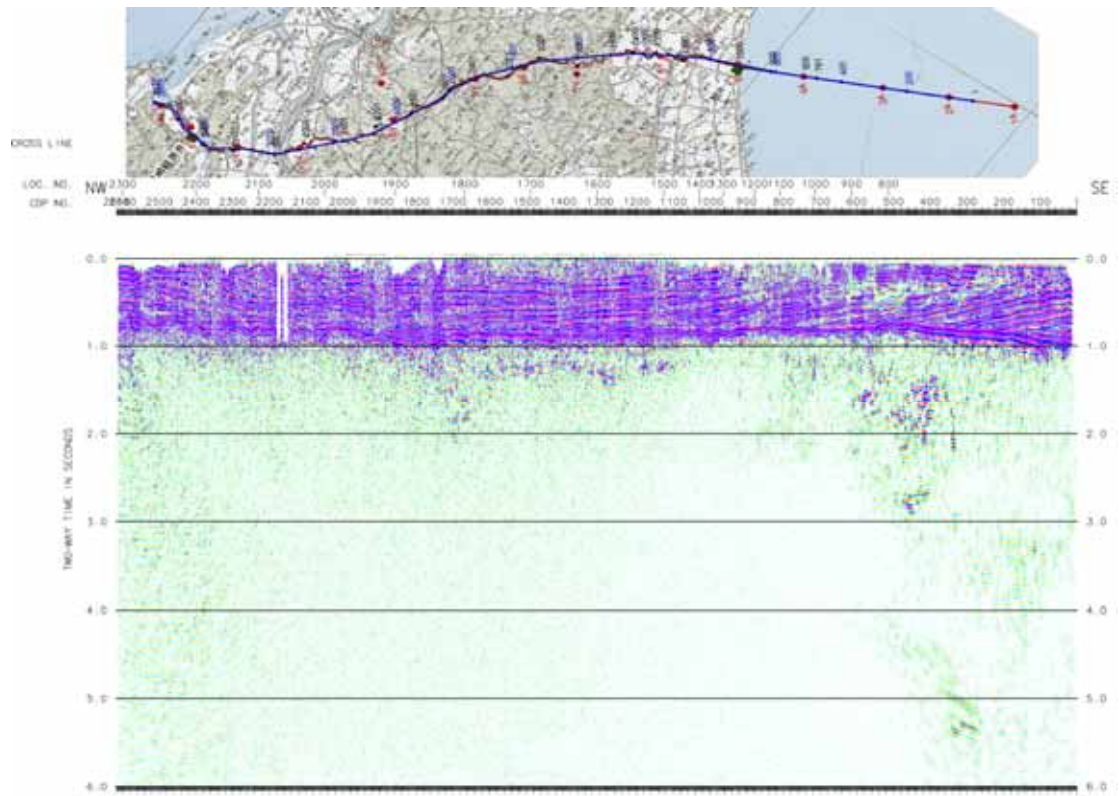


図 21 重合後時間マイグレーション断面図

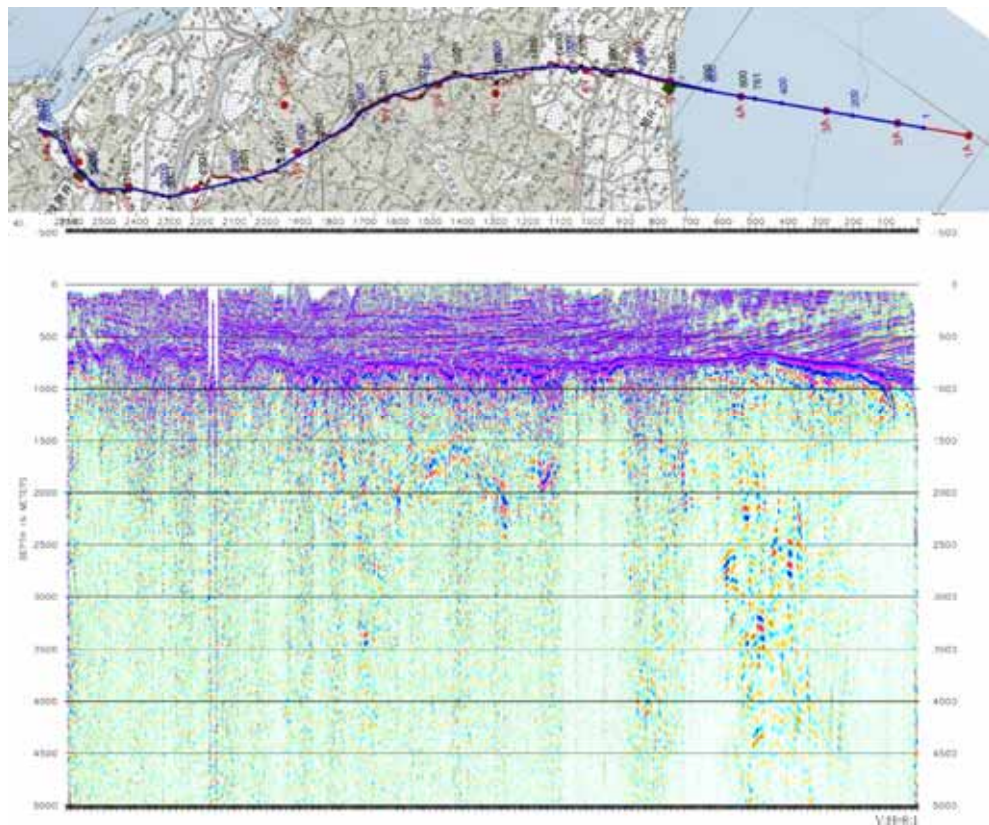


図 22 重合時間断面に対する深度変換断面図 (V:H=8:1)



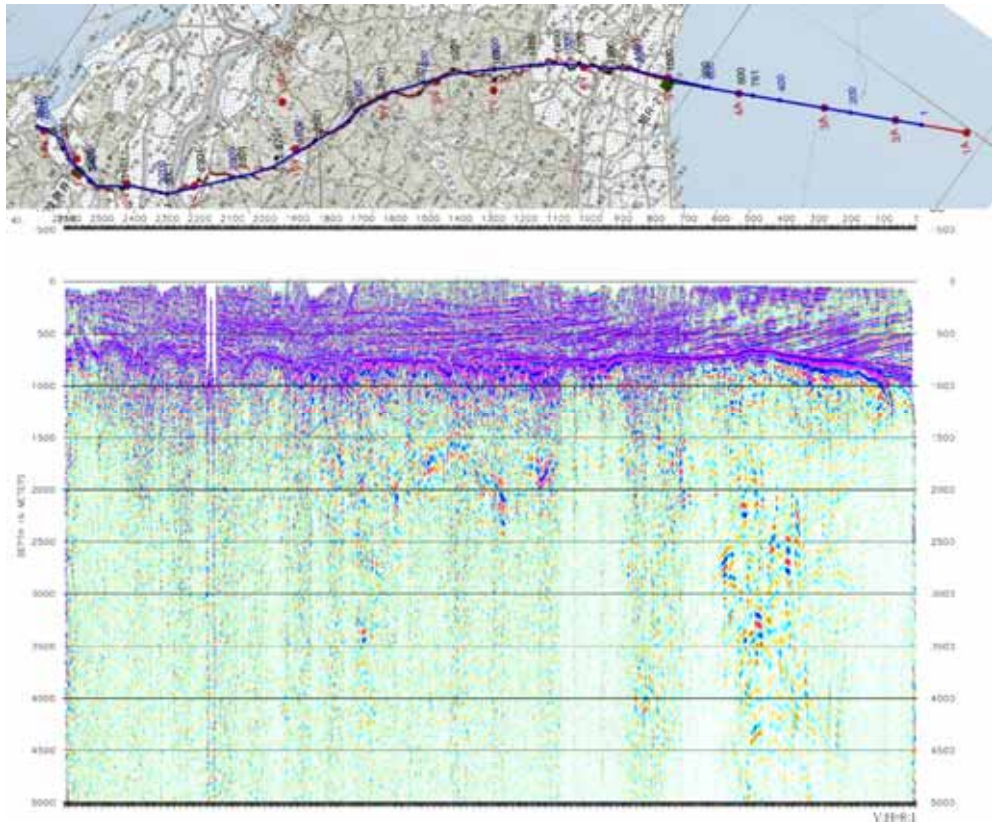


図 23 重合後時間マイグレーション断面に対する深度変換断面図 (V:H=8:1)

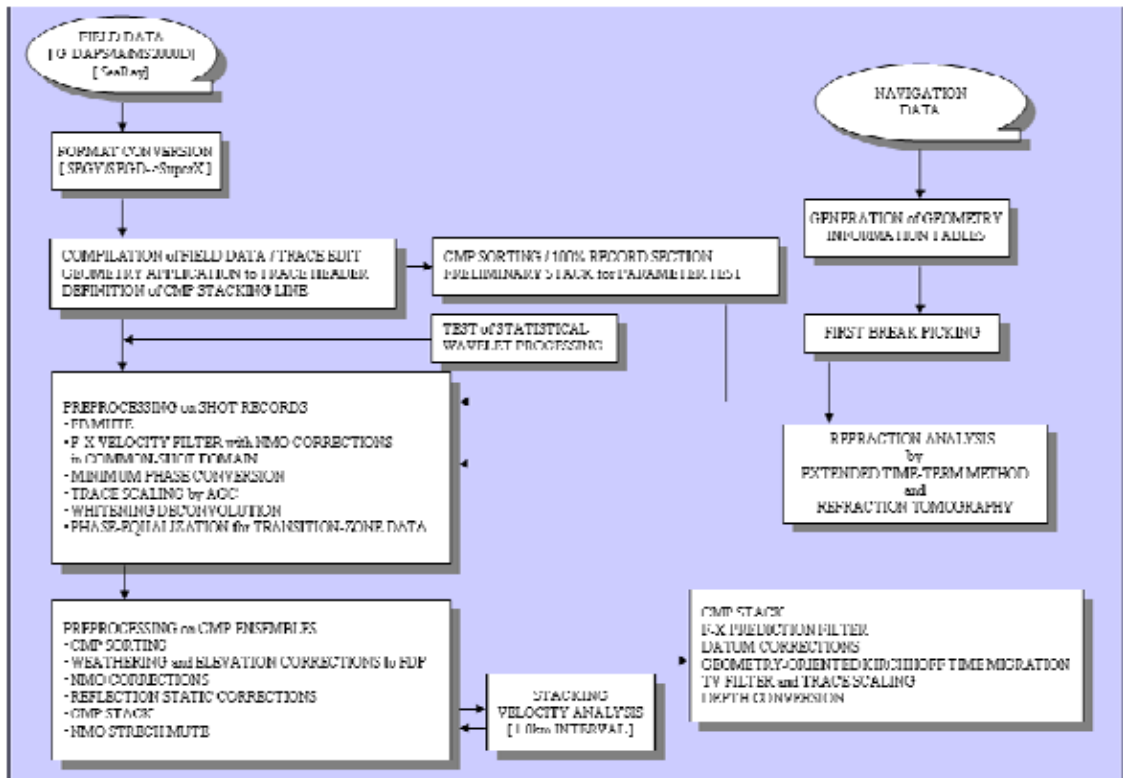


図 24 広角反射法データ解析フロー

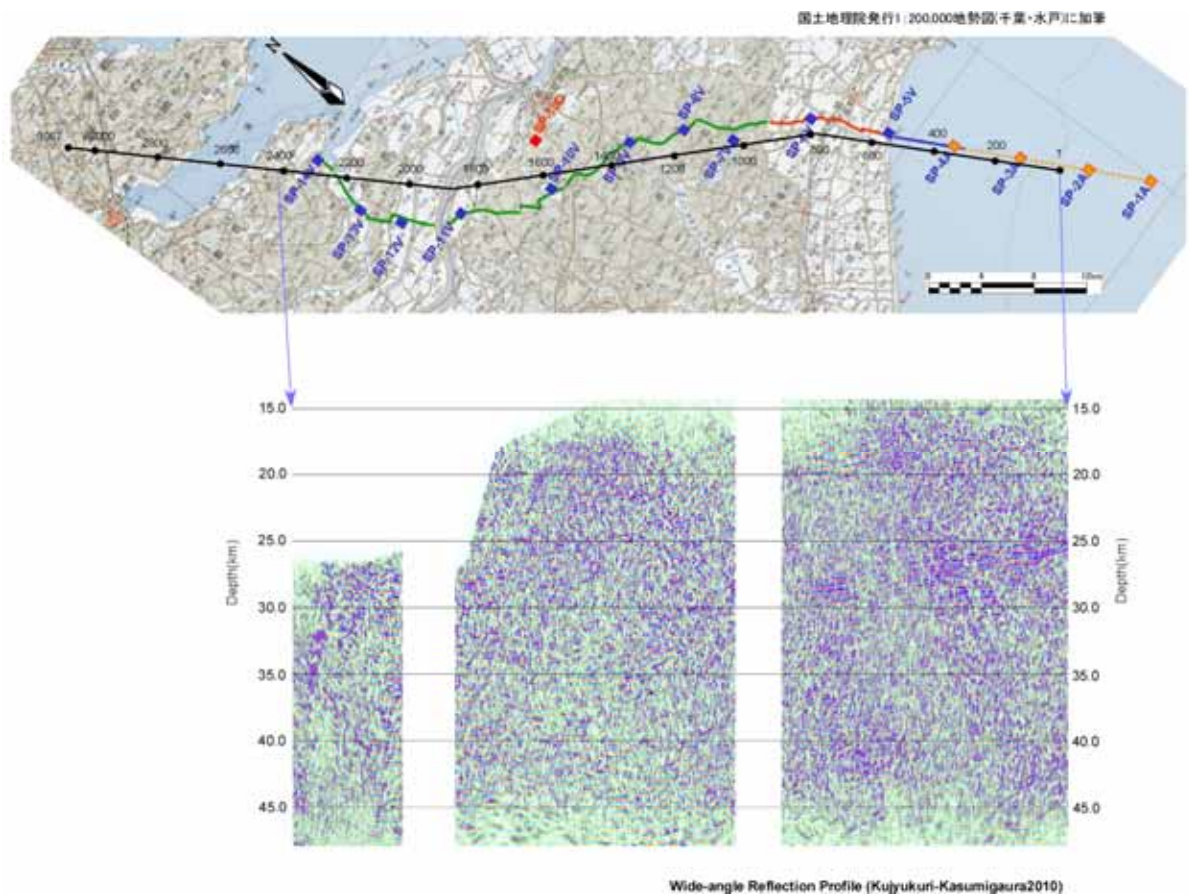


図 25 広角反射法深度断面図

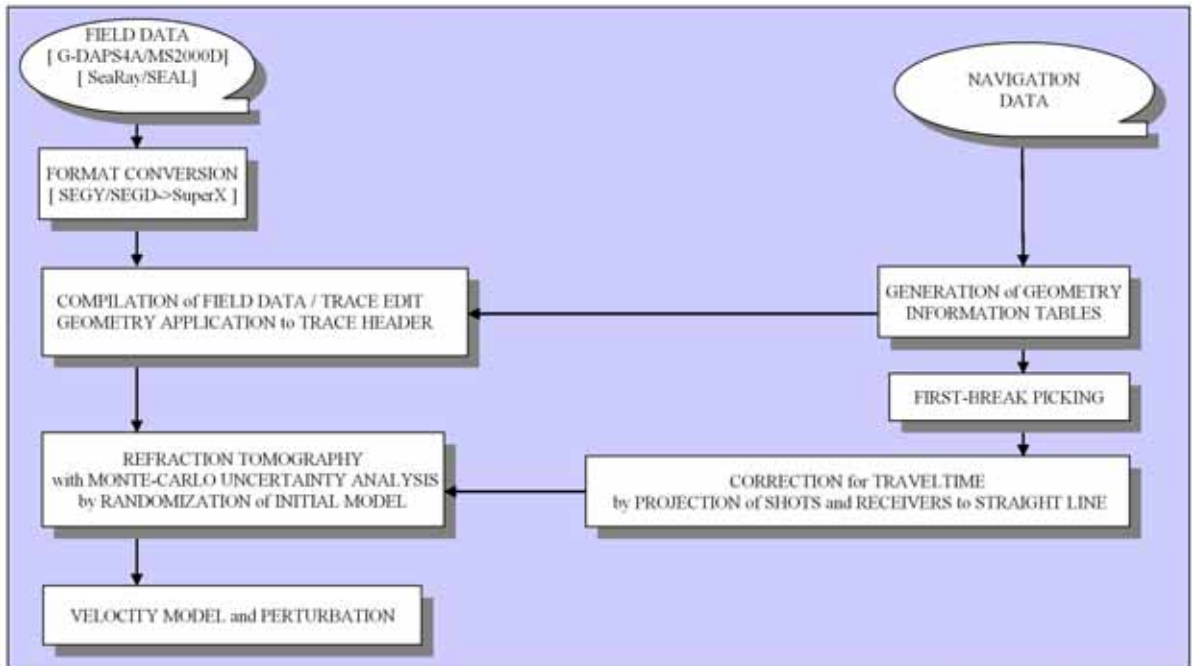


図 26 屈折波初動走時トモグラフィ解析フロー

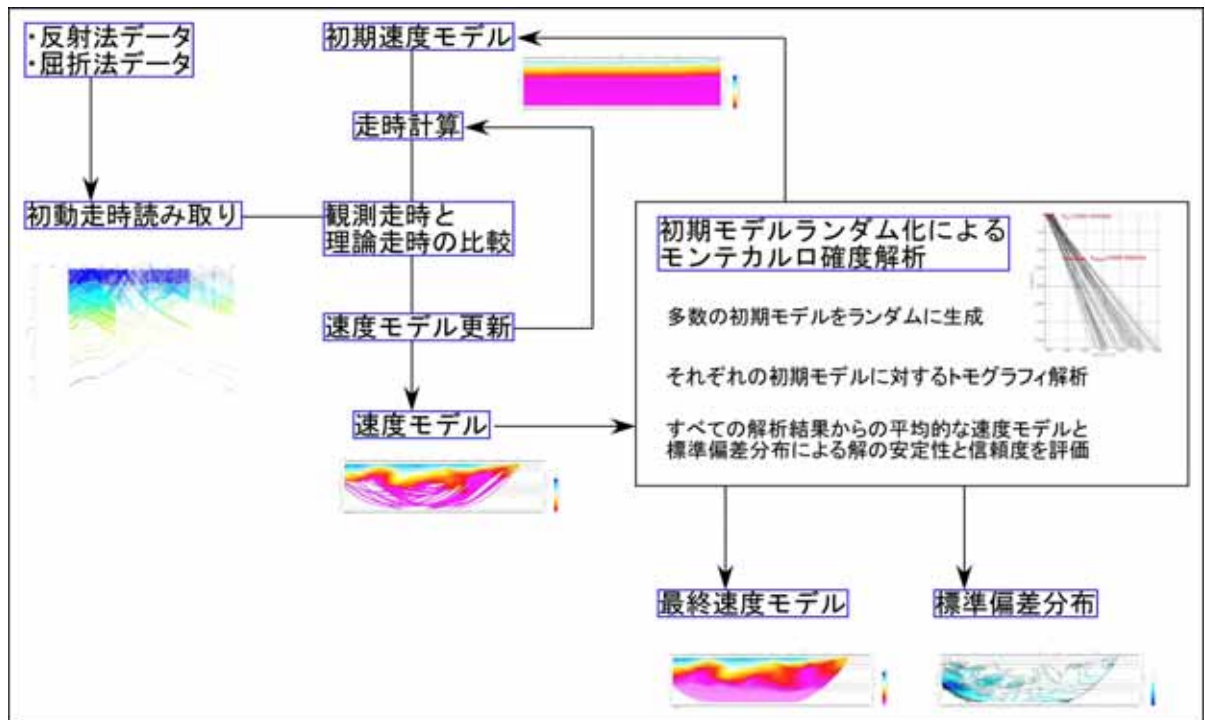


図 27 初期モデルランダム化によるトモグラフィ解析の概念図



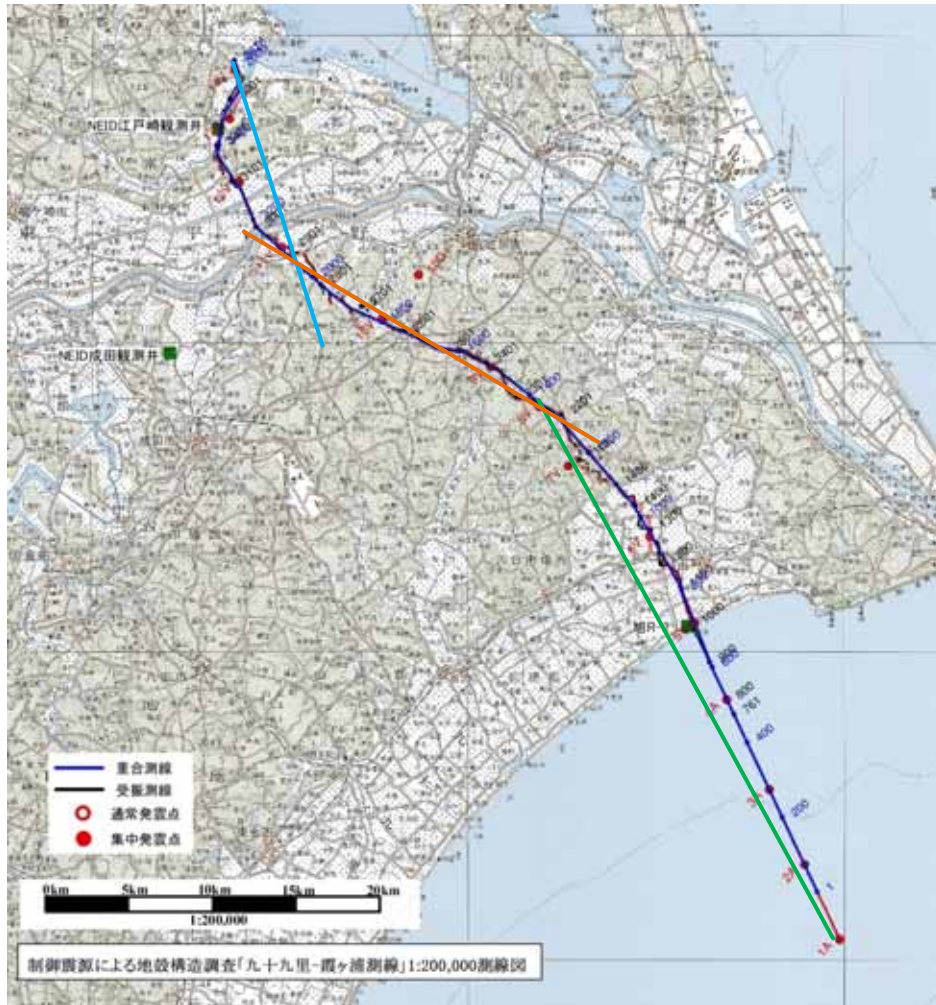


図 28 トモグラフィ解析投影測線の設定（水色 = 北区間，オレンジ色 = 中央区間，緑色 = 南区間）

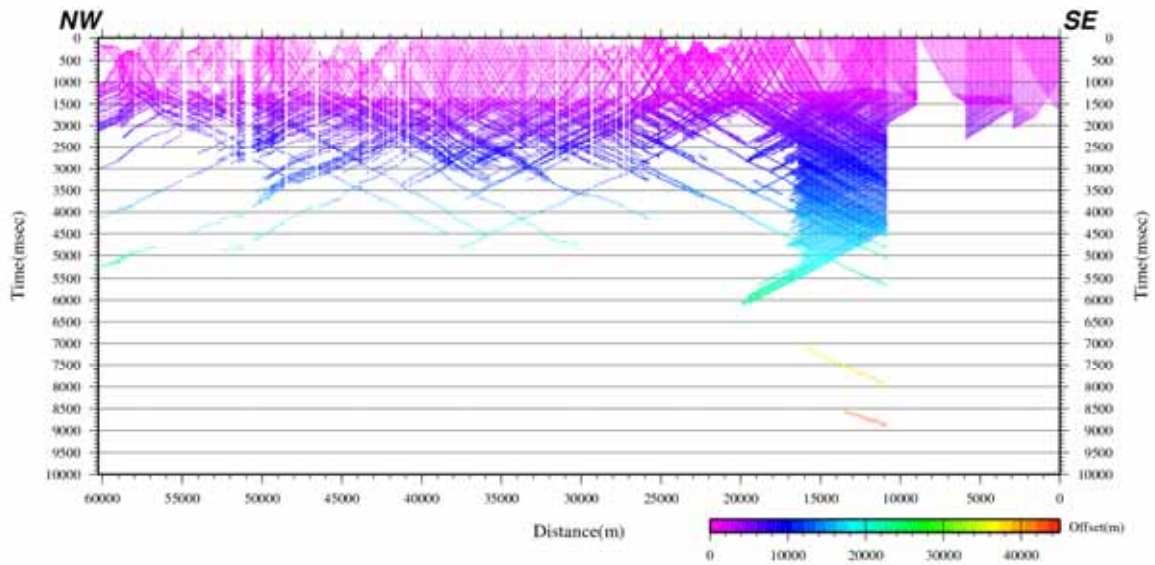


図 29 屈折波初動読取結果

表 5 屈折波初動走時トモグラフィ解析パラメーター一覧

解析区間長	北区間	17.75 km
	中央区間	25.55 km
	南区間	37.60 km
解析対象データ	北区間	パイプレート発震.. 151 点
	中央区間	パイプレート発震.. 168 点
	南区間	パイプレート発震.. 146 点 エアガン発震..... 114 点 SB98-1 発震..... 199 点
格子間隔	水平方向	50 m
	鉛直方向	50 m
格子数	水平方向 (解析区間長に一致)	北区間.... 355 中央区間.. 512 南区間.... 752
	鉛直方向	150 ( 7,500 m )
格子上の走時評価間隔	水平方向	5 m
	鉛直方向	5 m
透過する格子点からの反復修正有効範囲	100 m	
速度分布の反復修正回数	15 回	
反復修正時の修正係数の許容範囲	±30%	
発震点・受振点アジマスの制限	30°	
平滑化	水平方向	3 トレース
	鉛直方向	3 グリッド

表 6 初期モデルランダム化パラメータ一覧

初期モデル数（堆積層内）		
初期モデルランダム化における速度選択範囲（堆積層内）	深度	速度範囲
	0 m	8 ~ 1500 m/s
	1000 m	1000 ~ 5500 m/s
	5000 m	3000 ~ 7000 m/s
	7000 m	4000 ~ 7500 m/s
初期モデル数（基盤内）		
初期モデルランダム化における速度選択範囲（基盤内）	深度	速度範囲
	基盤直下	2000 ~ 2200m/s
	基盤下 600m	2500 ~ 6000m/s
	基盤下 5000m	4000 ~ 7500m/s



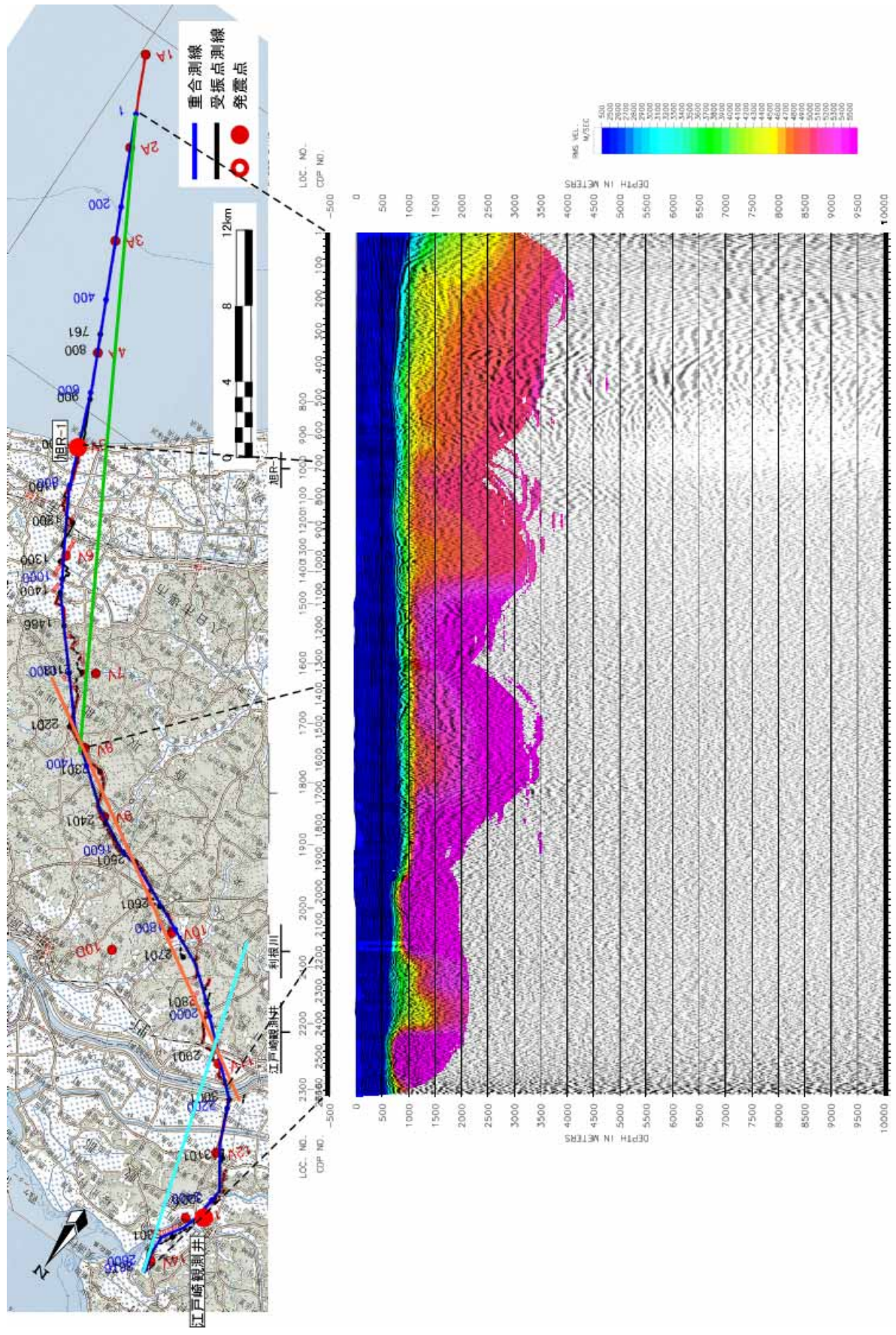


図 30 屈折波初動走時トモグラフィ解析結果

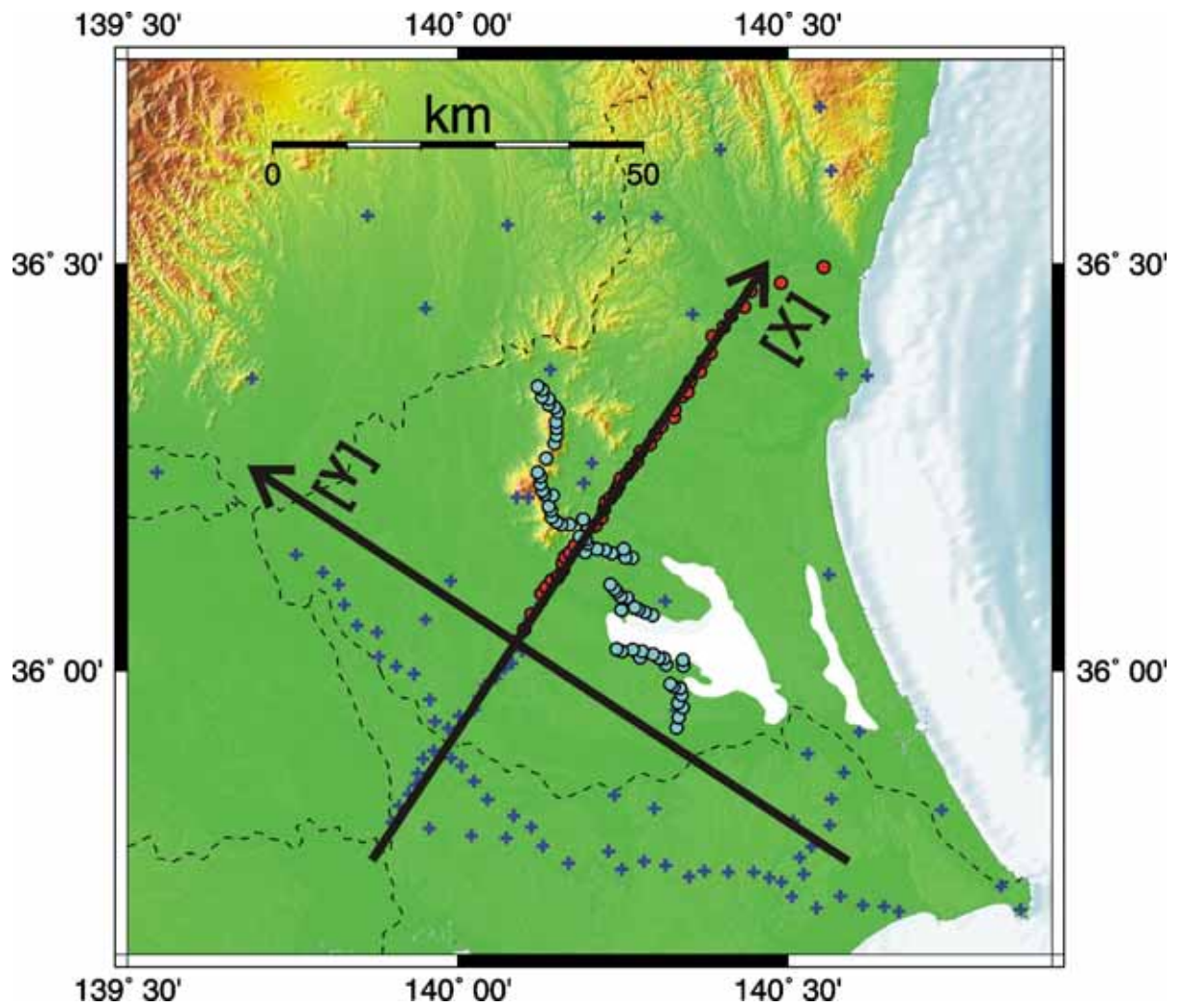


図 31 自然地震トモグラフィ解析用座標軸と観測点配置図

X-Y 軸は、トモグラフィ解析用に設定した座標軸を表す。●はつくば-水戸測線上の観測点位置、●は袖ヶ浦-つくば測線上の観測点位置、+ は自然地震トモグラフィ解析で使用した定常観測点の位置を示す。



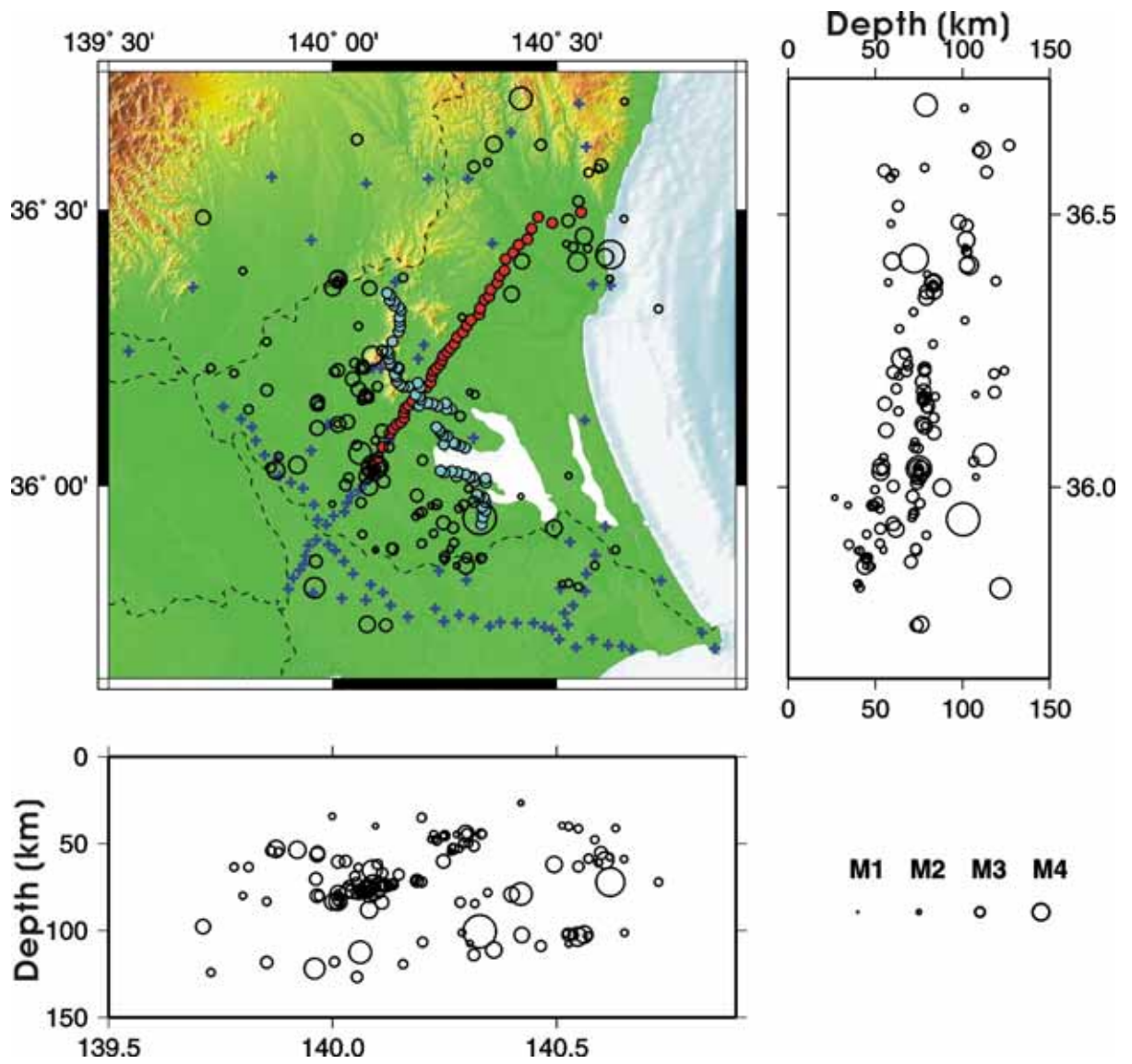


図 32 トモグラフィ解析により再決定された震源分布と観測点配置図。○は震源位置を表し、その大きさがマグニチュードを表す。●はつくば-水戸測線上の観測点位置、●は袖ヶ浦-つくば測線上の観測点位置、+ は自然地震トモグラフィ解析で使用した定常観測点の位置を示す。



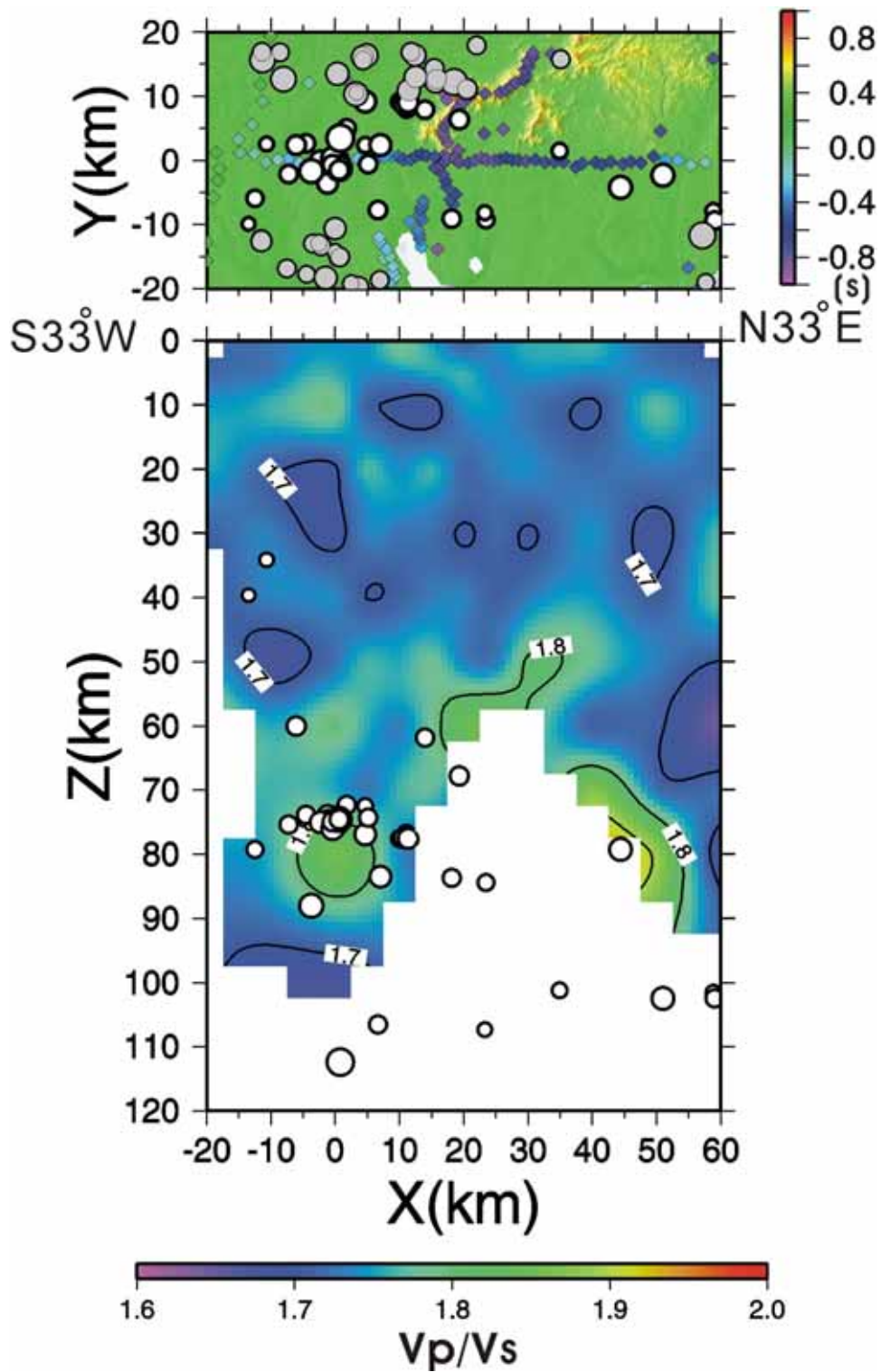


図33 トモグラフィ解析により得られたつくば-水戸測線下の $V_p/V_s$ 構造と測線近傍の震源分布。上図の が観測点を示し、色が解析により得られた観測点補正值を表す。白色丸印は測線近傍( $\pm 10\text{km}$ )以内の震央、灰色丸印は、それ以外の範囲の震央を示す。下図、白色丸印は測線近傍( $\pm 10\text{km}$ )以内の震央を示す。

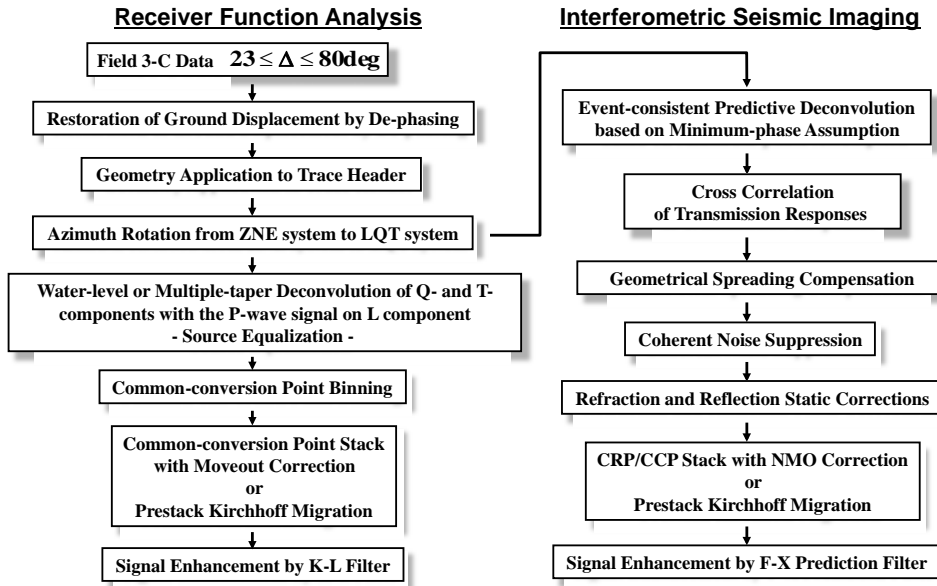


図 34 レシーバ関数解析および地震波干渉法解析のワークフロー

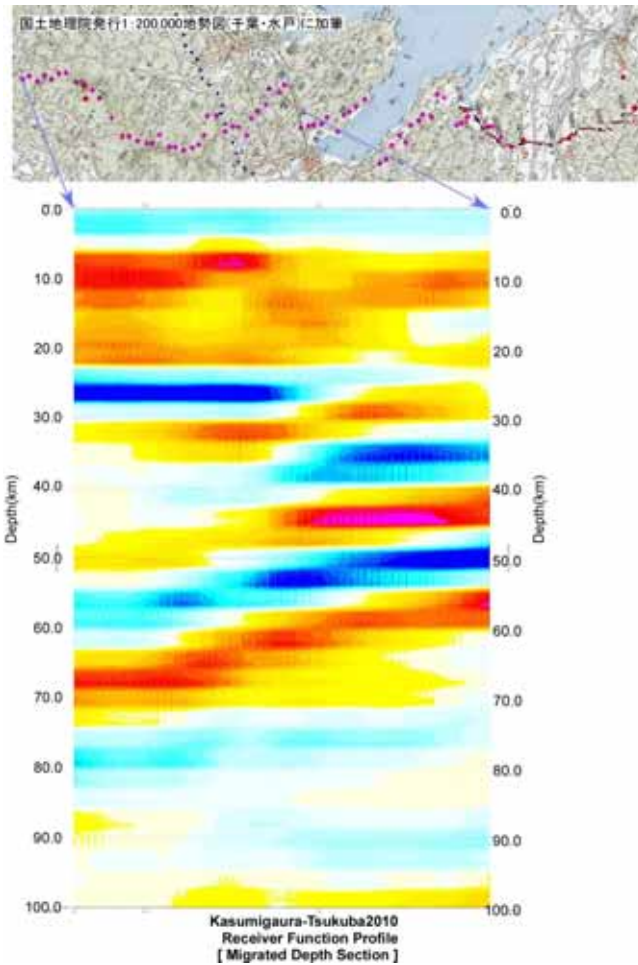


図 35 霞ヶ浦-つくば間のレシーバ関数プロファイル。  
マイグレーション処理を施した深度変換断面。

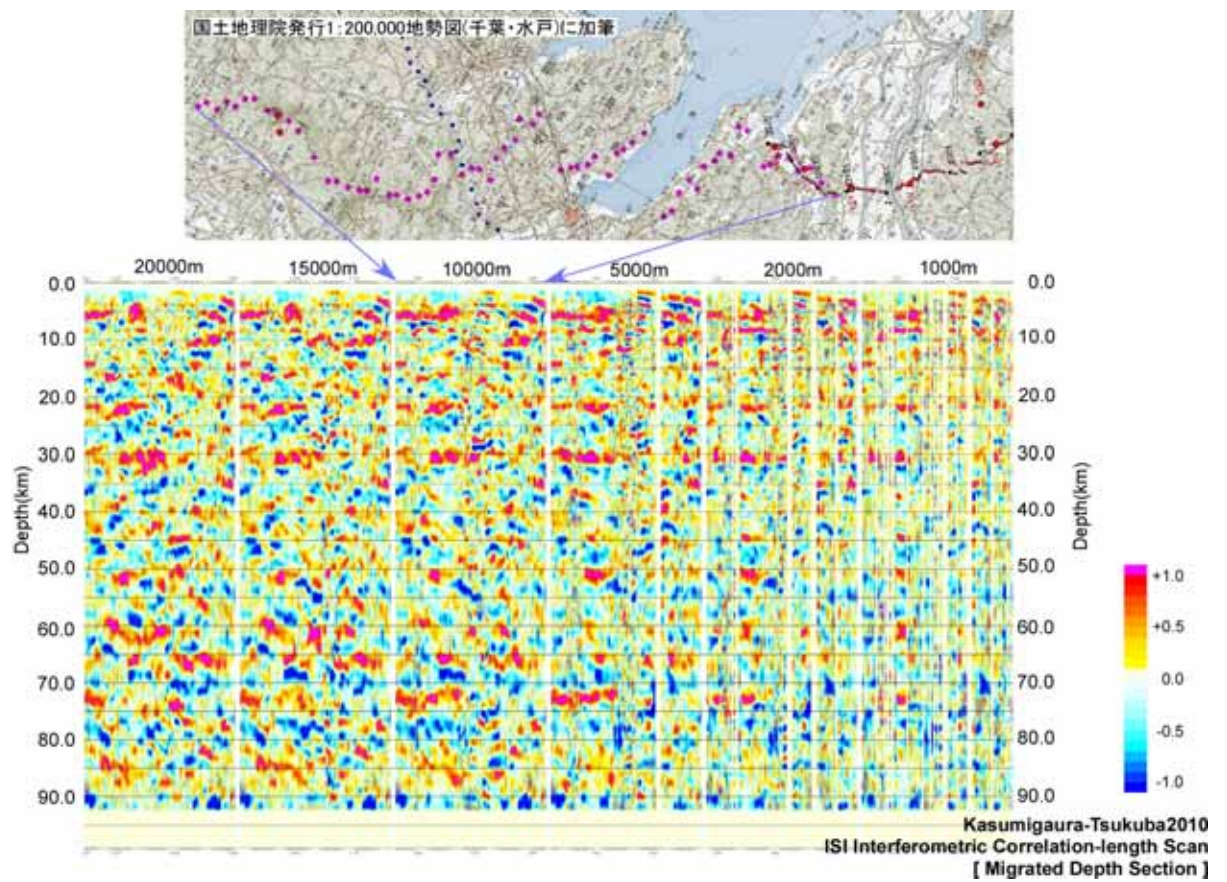


図 36 霞ヶ浦-つくば間の深度マイグレーションを施した干渉距離スキャン結果。  
 カラーは波形の相対振幅を線型スケールで表示したものである。



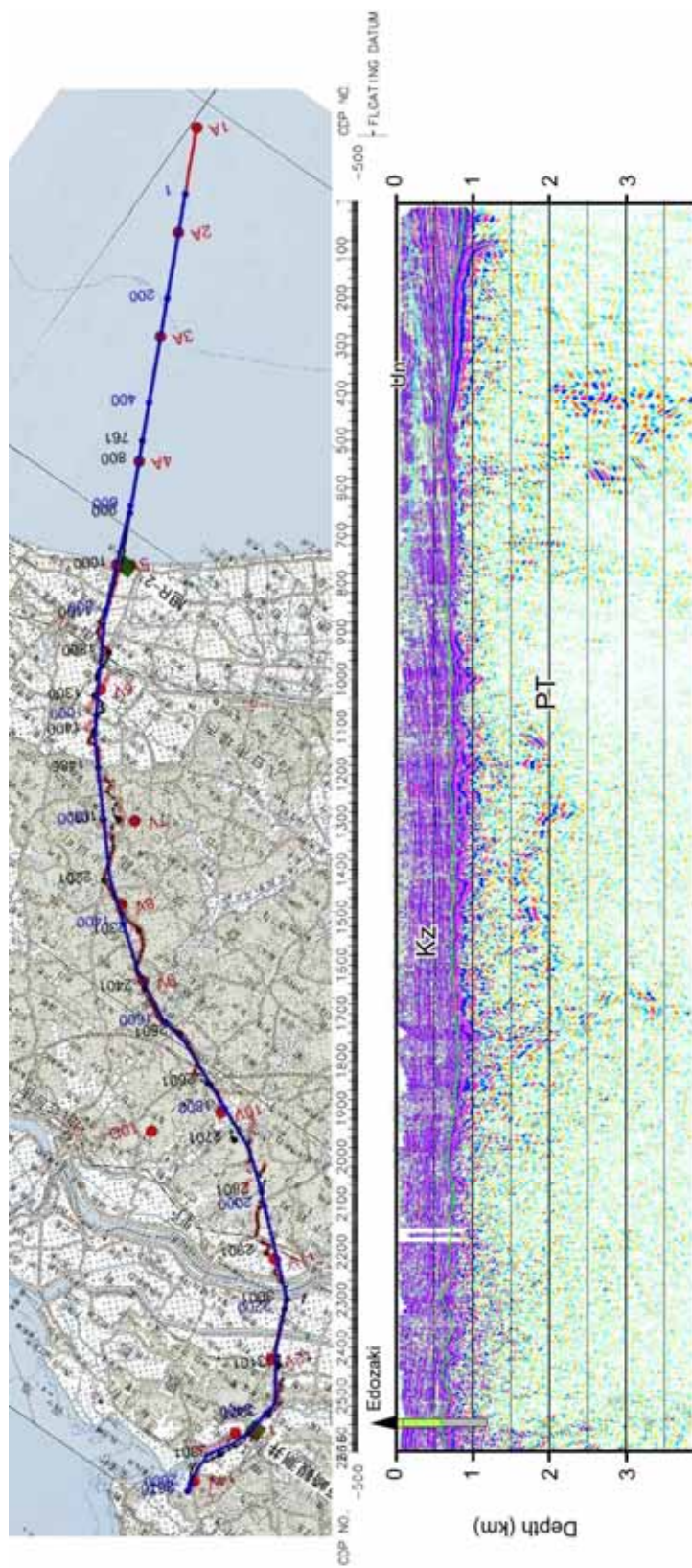


図 37 九十九里-霞ヶ浦測線の稠密発震区間の重合後マイグレーション深度変換断面(V:H=4:1)と地質学的解釈。 PT: 先新第三系、Kz: 上総層群、Un: 未区分第四系



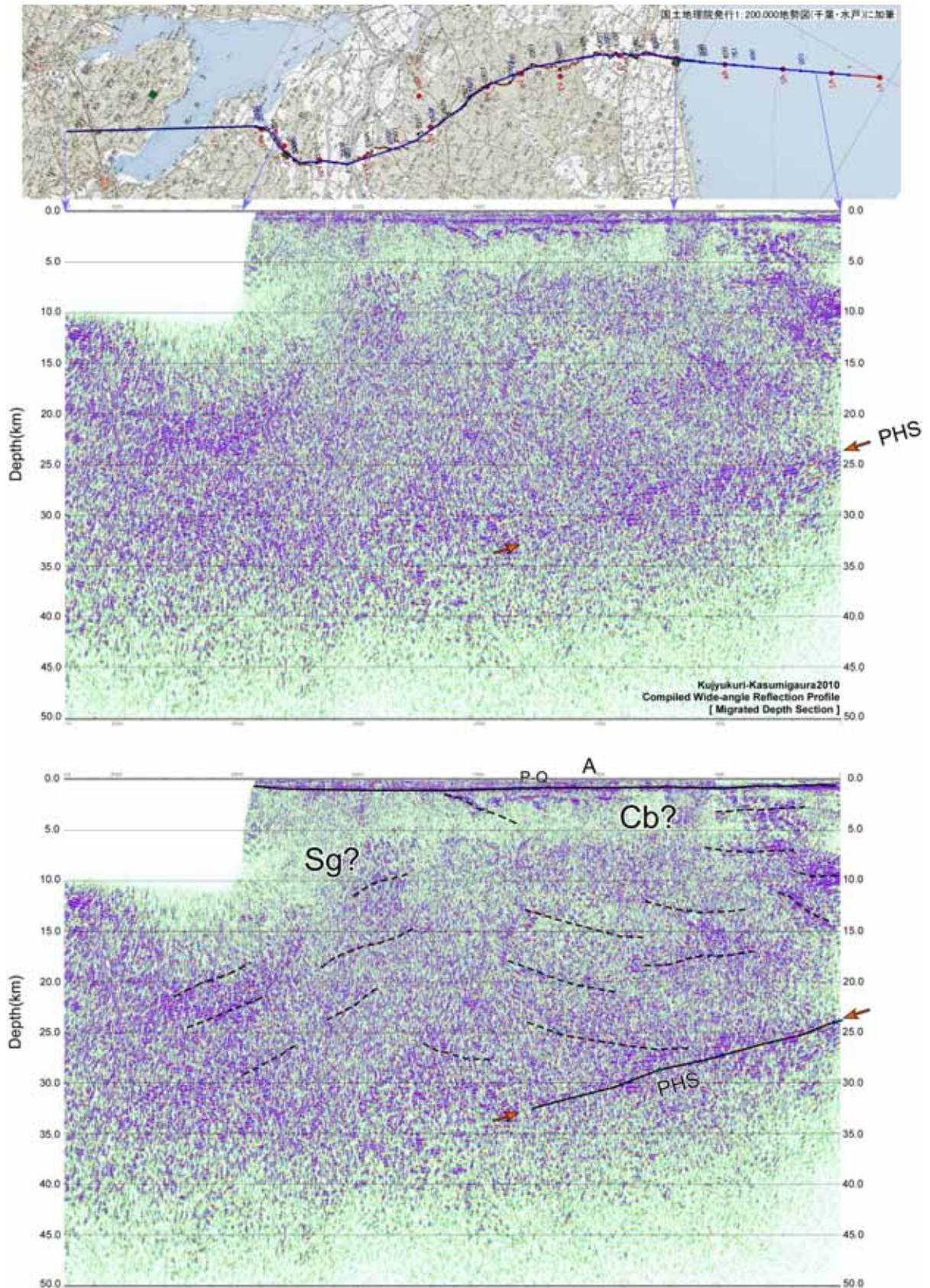


図 38 九十九里-霞ヶ浦測線の反射法地震探査、マイグレーション後深度変換断面とその地質学的解釈。 PHS: フィリピン海プレート、Sg: 三波川帯、Cb: 秩父帯、P-Q: 鮮新統-第四系、A: 地点名(本文参照)、破線は反射面。



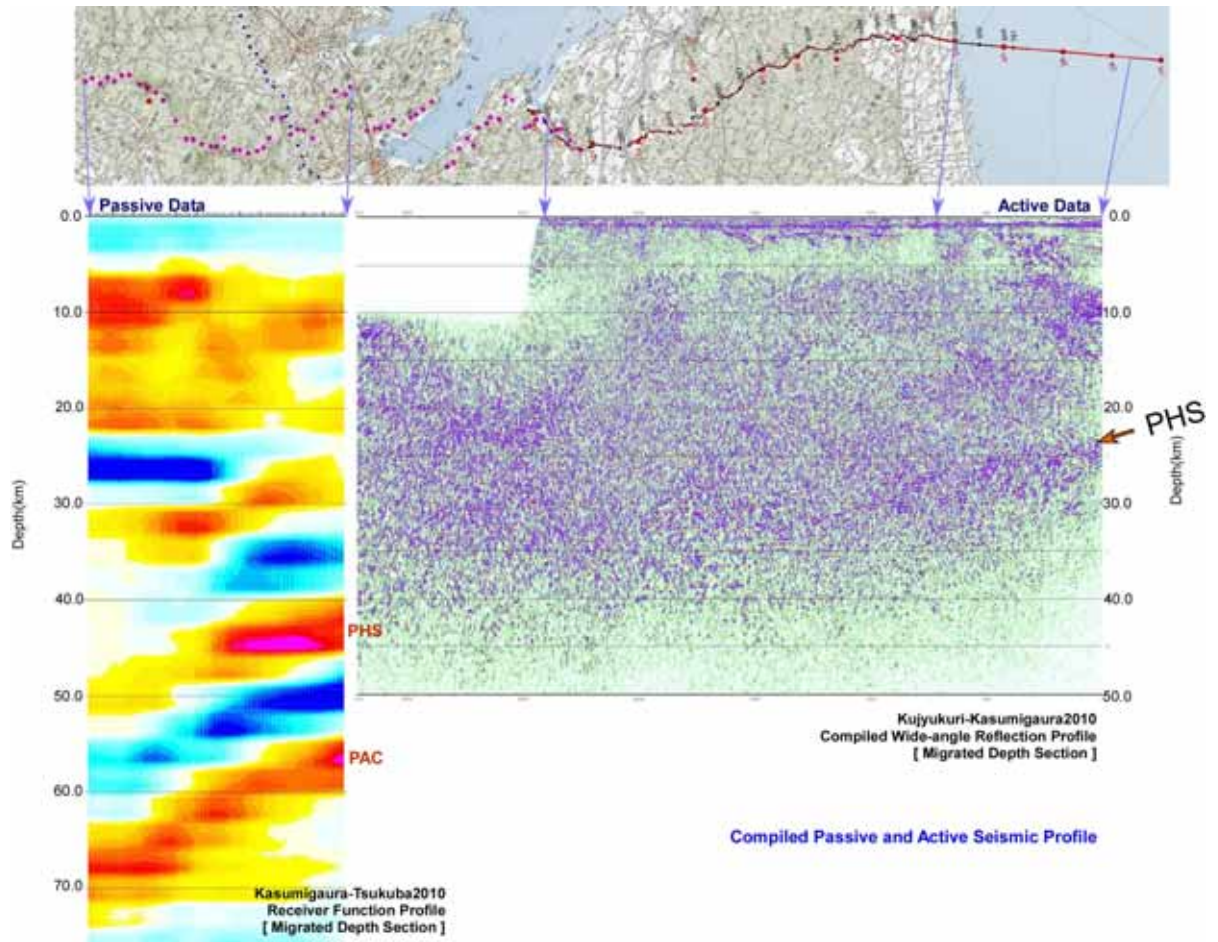


図 39 九十九里-つくば測線のレーバ関数解析プロファイルと反射法地震探査断面の統合表示。  
 PHS: フィリピン海プレート、PAC: 太平洋プレート