

7) データ解析

本節では、反射法及び低重合反射法データ解析、高分解能反射法データ解析、広角反射法データ解析、屈折法データ解析の順に従って、解析内容を詳述する。

a) 反射法及び低重合反射法データ解析

本節では、測線全域に亘って測定作業が実施された反射法バイブレータ測線(CMP 重合測線長 101.0km)のデータ解析内容について記述する。図 39 に、データ処理フローを示す。

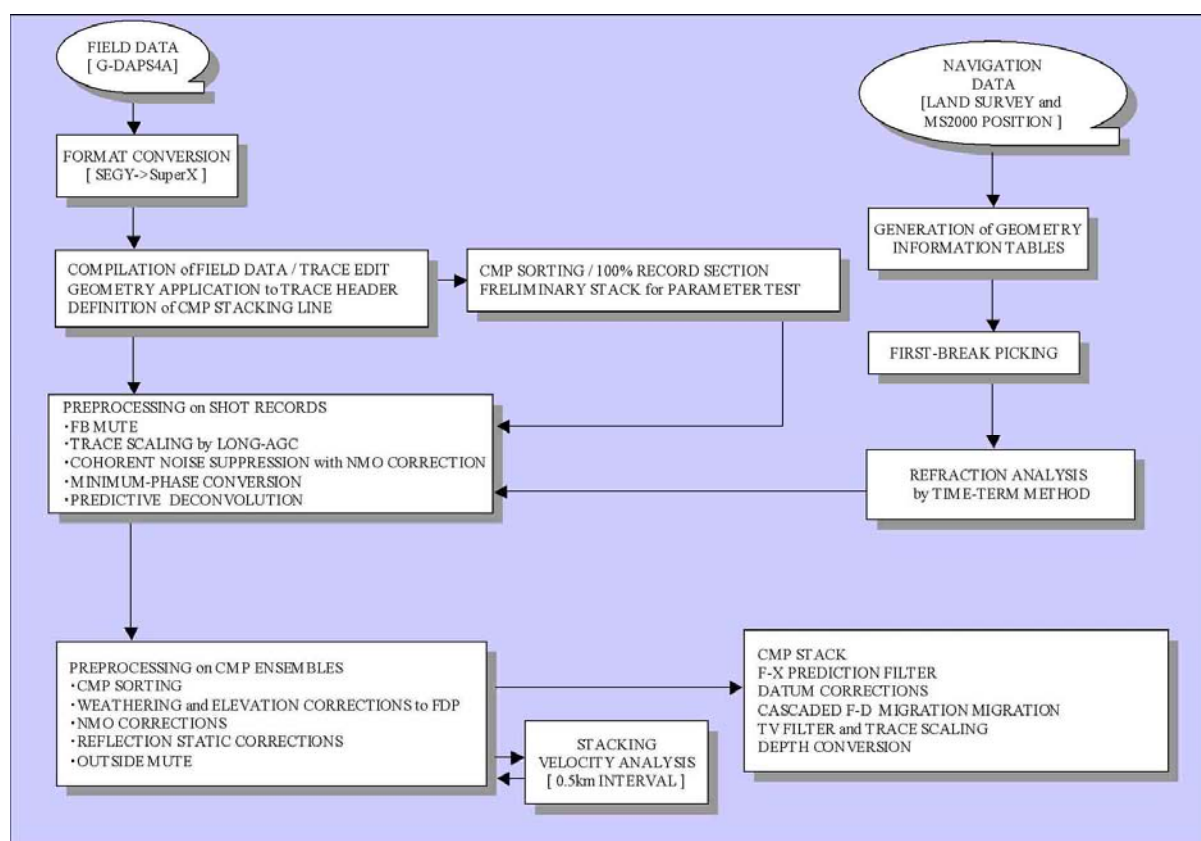


図 39 反射法近江測線重合処理フロー

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

フィールドデータに記録された原記録(GDSPS-4 SEG-Y Format)について、SuperX(JGI Internal Format)フォーマットへ変換を行った。また、発震測線に関して下記の発震記録を発震点番号の昇順に従って抽出した。これは、バイブレータ発震作業順序が発震路あるいは発震作業の制約によって適宜変更され、フィールドテープには、作業時間順にデータが記録されているためである。下記に示す様に、反射法データ解析結果には、反射法バイブレータ京都測線(標準発震及び低重合発震)、反射法エアガン琵琶湖測線及び反射法バイブレータ近江濃尾測線(湖東表層補正、鈴鹿山地西縁低重合発震、全域標準発震及び養老断層高分解能発震)の広角反射波データを除く全バイブレータ及びエアガン発震記録 756 点の寄与が含まれている。

反射法バイブレータ京都測線	低重合発震点	VP. 1058.0 - 1564.0 (25 点)
反射法バイブレータ京都測線	標準発震点	VP. 2001.5 - 2301.5 (83 点)

反射法エアガン琵琶湖測線	標準発震点	SP. 3008.0 - 3215.0 (249 点)
反射法バイブレータ近江-濃尾測線	湖東表層補正発震点	VP. 4005.0 - 4195.0 (16 点)
反射法バイブレータ近江-濃尾測線	近江盆地標準発震点	VP. 4204.5 - 5161.0 (98 点)
反射法バイブレータ近江-濃尾測線	低重合発震点	VP. 5181.5 - 5441.0 (12 点)
反射法バイブレータ近江-濃尾測線	鈴鹿-濃尾標準発震点	VP. 5445.5 - 6107.5 (172 点)
反射法バイブレータ近江-濃尾測線	養老断層高分解能発震点	VP. 5823.0 - 5966.0 (101 点)

さらに、S/N 比が著しく低く、初動が判別できないトレースを処理対象から除外した。

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

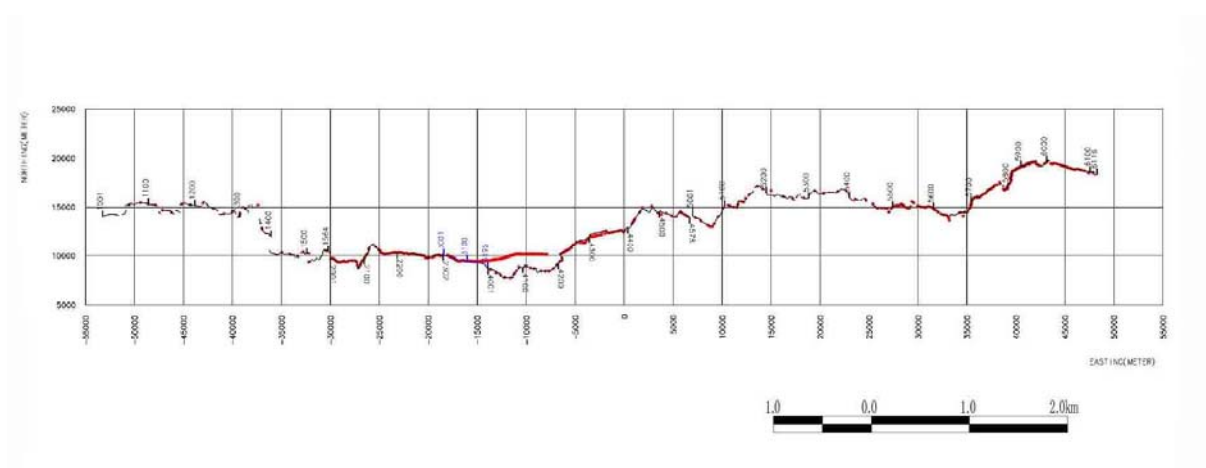
SuperX トレースヘッダーに関して、発震点、受振点及び各 CMP のインデックス、座標、標高値、オフセット距離、基準面標高値等の測線情報を入力した。データ解析における基準標高面は平均海水面位置に設定された。また、CMP 重合測線は下記の基準によって決定された。

CMP 間隔…………… 25.0m

重合測線からの最大偏倚制限… 制限無し

重合測線の決定基準…受振測線の屈曲度及び測線上主要活断層走向に関する直交性

図 40 に受振点及び発震点位置図を示した。図 41 に重合数及び重合測線位置を示した。また、図 42 には、CMP 重合数分布を測線情報の確認のために示した。



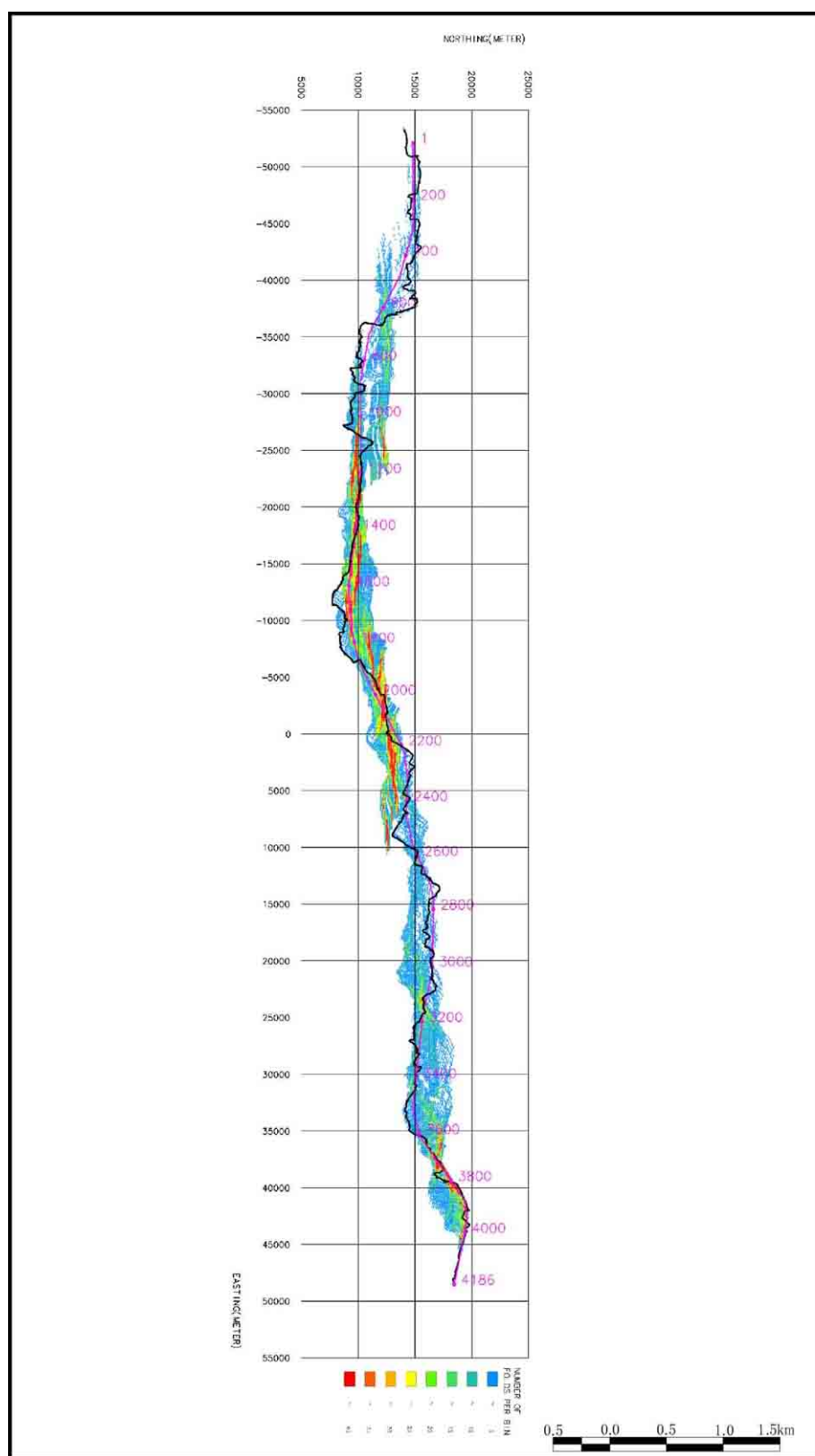


図 41 CMP 重合測線及び重合数分布図

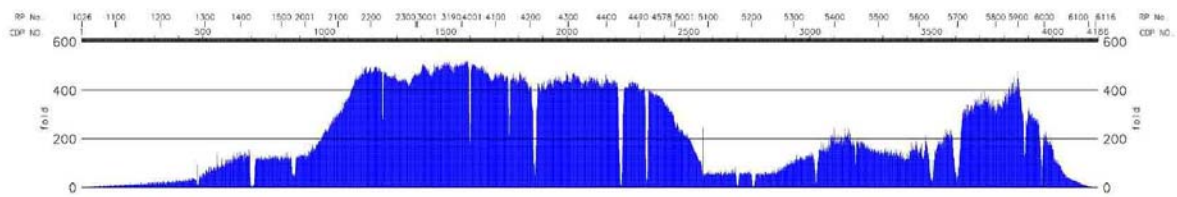


図 42 CMP 重合数

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。この手法では解析対象とする屈折面が 2 次元ブロックに分割され、各ブロックに対して表層基底層速度が定義される。このモデルは以下の関係式で記述される。

$$T_{ij} - \sum_k s_{k,0} \Delta_{ijk} = a_i + b_j + \sum_k \delta_k \Delta_{ijk} \quad (1)$$

ここに、 T_{ij} は屈折初動走時、 a_i, b_j は発震点及び受振点タイムターム、 $s_{k,0}, \delta_k, \Delta_{ijk}$ は各ブロックにおけるスローネス初期値、スローネスの初期値からの偏倚量及び屈折波線長である。この受振点及び発震点タイムターム値と表層基底層速度はインバージョン (‘Generalized Linear Inverse Method’) によって算出される。この改良型タイムターム法解析には、以下のパラメータが採用された。

初動読み取り位相	正のピーク位置
表層基底速度を求める際のブロック区分	2000-8000m (‘Space-variant’)
屈折波インバージョンに用いるオフセット距離	100-600m

改良型タイムターム法解析の結果を用いて、表層基底深度は各発震点及び各受振点について以下の様に計算される。

$$D_w = \frac{T_m}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_w}{V_{sw}} \right)^2}} \cdot V_w \quad (2)$$

ここに、 T_m は ‘Time-Term’、 V_w は表層速度、 V_{sw} は表層基底層速度である。表層速度として受振点側及び発震点側共に 600~900m/sec を採用した。この値は表層速度を変化させた重合スキャンによって確定した。

iv) 初動ミュート (First-break Mute)

強振幅の屈折波初動部分を抑制する目的で、以下のパラメータによる初動抑制処理を実施した。

テーパー長	100msec (屈折初動近傍)
-------	------------------

v) 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、振幅補償を行った。湖西地域、近江盆地及び濃尾平野市街地では、バックグラウンドノイズレベルが著しく高く、幾何減衰補償の適用によって先新第三系基盤面層準以深の振幅

レベルを過度に増大させることが懸念されたため、下記の自動振幅調整のみを適用した。

Instantaneous AGC [ウィンドー長……800msec]

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

今回取得されたデータでは、湖西地域和邇川流域、琵琶湖横断区間さらに近江盆地東部区間における発震記録では、分散性の顕著なレイリー波及び比較的継続時間の長い屈折波多重反射波が一部で確認された。従って、こうしたコヒーレントノイズを抑制するために、次のフィルター処理を適用した。

速度フィルター(通過帯域)…………… -3500m/sec～+3500m/sec

この周波数-空間領域における速度フィルターは、NMO 補正及び屈折波静補正後の共通発震点アンサンブルで適用された。

vii) デコンボリューション(Deconvolution)

デコンボリューション処理では、次式で示される 1 次元コンボリューションモデルが前提とされている。

$$F(t) = W(t) * R(t) + N(t) \quad (3)$$

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、以下の項目を挙げることができる。

- ・震源波形：バイブレータスイープ波形、震源カップリング効果、ゴースト効果
- ・地層効果：多重反射、非弾性による吸収
- ・記録系：受振器特性及び設置効果、表層に関わるゴースト効果、探鉱機の応答特性

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・除去し、記録の分解能向上を図るために以下に示すトレース単位のデコンボリューションを適用した。

予測距離…………… 4.0msec

零オフセット位置における設計ゲート…… 300～4000msec [Non-TV]

オペレータ長…………… 400msec

プリホワイトニングファクター…………… 5.0%

尚、デコンボリューション適用に際しては、零位相であるバイブレータ震源のスイープ波形(探鉱機'A/D Decimation Filter(DCF)'及び相互相関処理実施後のスイープ波形)について、最小位相変換処理を適用した。今回用いたGDAPS-4A探鉱機では24ビット Δ - Σ A/D変換が採用されているため、ローカットフィルターは探鉱機では適用されず、最小位相推定において問題となる10Hz以下の低周波数成分についての影響は少ない。

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

上述(ii)のパラメータによって、共通反射点の編集が実施された。

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。静補正については、下式で定義される標高補正量及び表層補正量の和として各発震点、受振点について与えられる。

[A] 標高補正 T_e ：観測面を一定基準面へ補正する。

$$T_e = - (H_e - H_b) / V_{sw} \quad (4)$$

[B] 表層補正 T_w ：低速度の表層構造変化による影響を除去する。

$$T_w = S_d * (-1/V_w + 1/V_{sw}) \quad (5)$$

ここに、 H_e ：発震点あるいは受振点標高(m)

Hb : 基準面 [平均海水面 0.0m]

Sd : 表層厚(m)

である。

表層補正值は、前述(iii)の屈折波初動解析による結果を用いて計算された。本調査の基準面(Datum)は平均海水面位置に設定されたが、絶対値の大きい標高補正值の適用を回避するため、CDP に近接する受振点標高に対して41受振点の移動平均によって長波長成分を抽出してCMPアンサンブル上において平均標高を定義し、これを浮動基準面(FDP: ' Floating Datum Plane')とした。このFDP から基準面までの基準面補正量Tdは、下記のように定義される。

$$Td = -2.0 * (Hf - Hb) / Vc \quad (6)$$

ここに、 Hf : 浮動基準面(FDP)

Vc : 基準面補正速度(2500m/sec)

である。

x) 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43 - 45 に近江測線に関する重合速度解析例を示す。また、図46 に重合速度プロファイルを示す。これらの速度プロファイルは、先新第三系基盤以深の地震発生層下限相当である往復走時 4.5-5.5 秒までの速度構造を比較的精度良く表現しているものと考えられる。

解析点間..... 1000m(稠密発震区間)、2500m(低重合発震区間)

解析速度数..... 68(1500 - 5800 m/sec)

xi) NMO 補正(Normal Moveout Corrections)

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

ストレッチミュートファクター..... 2.5-5.0

xii) ミュート(Outside Mute)

NMO 補正に伴う波形の伸長及び' Far' オフセット側に残留する屈折波初動部分を抑制する目的で、ミュート処理を全CMP アンサンブルについて設計して、適用した。

xiii) 残差静補正(2D 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。

時間シフトの最大許容値..... 12msec(1st)

時間ウィンドー..... 150-1600msec

xiv) 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を向上させる以下のF-X 予測フィルター処理を実施した。

オペレータ長..... 3 CDPs

空間ウィンドー長..... 30 CDPs

時間ウィンドー長..... 1000 msec

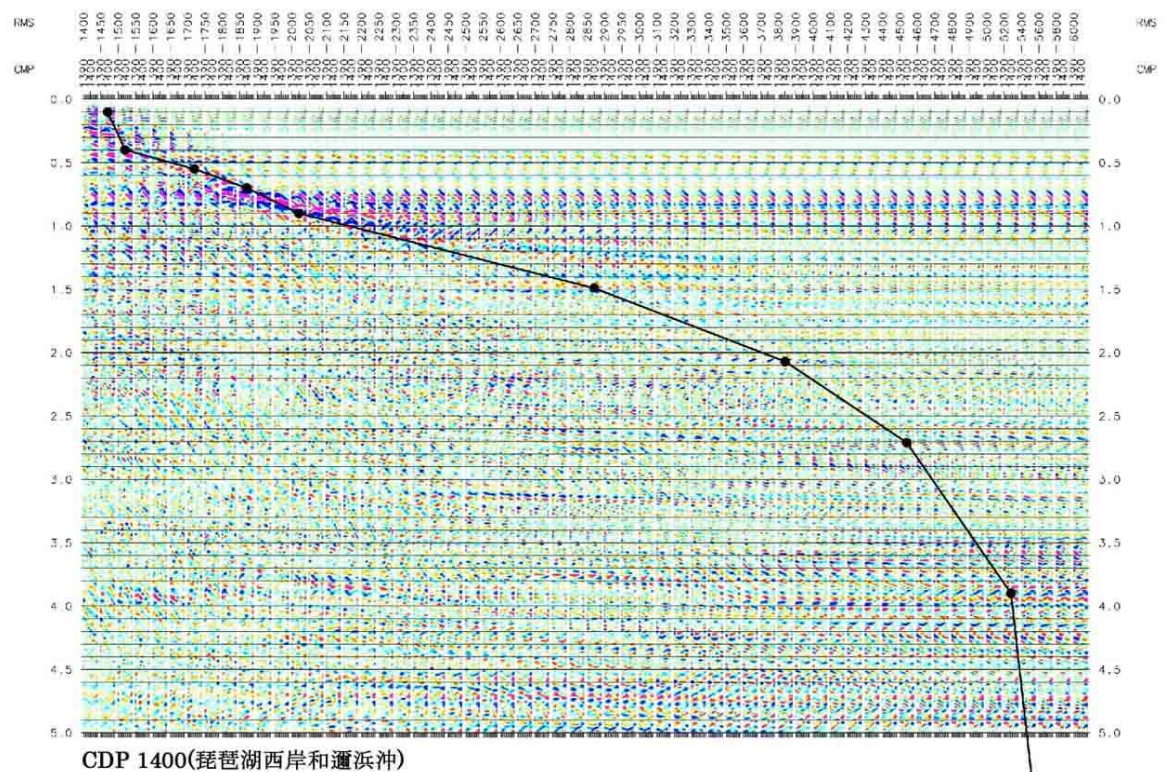
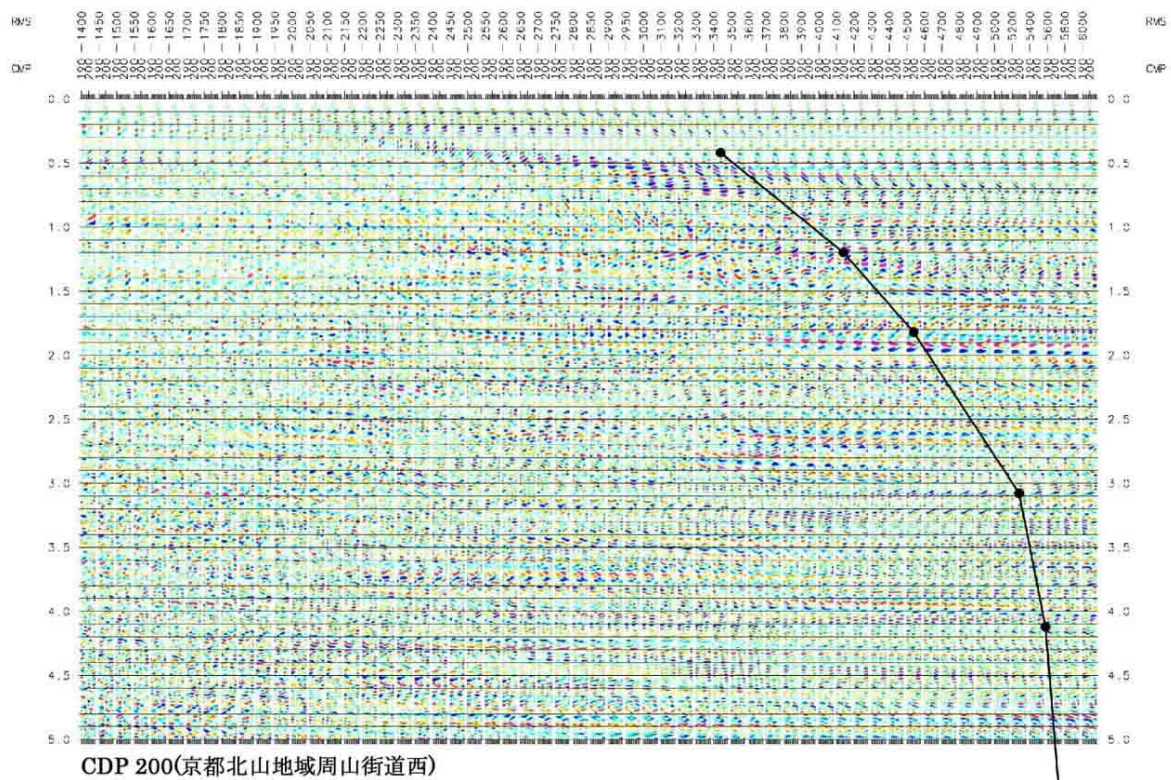


図 43 速度解析結果例 [1] CDP 200(京都北山地域周山街道西)、
CDP 1400(琵琶湖西岸和邇浜沖)

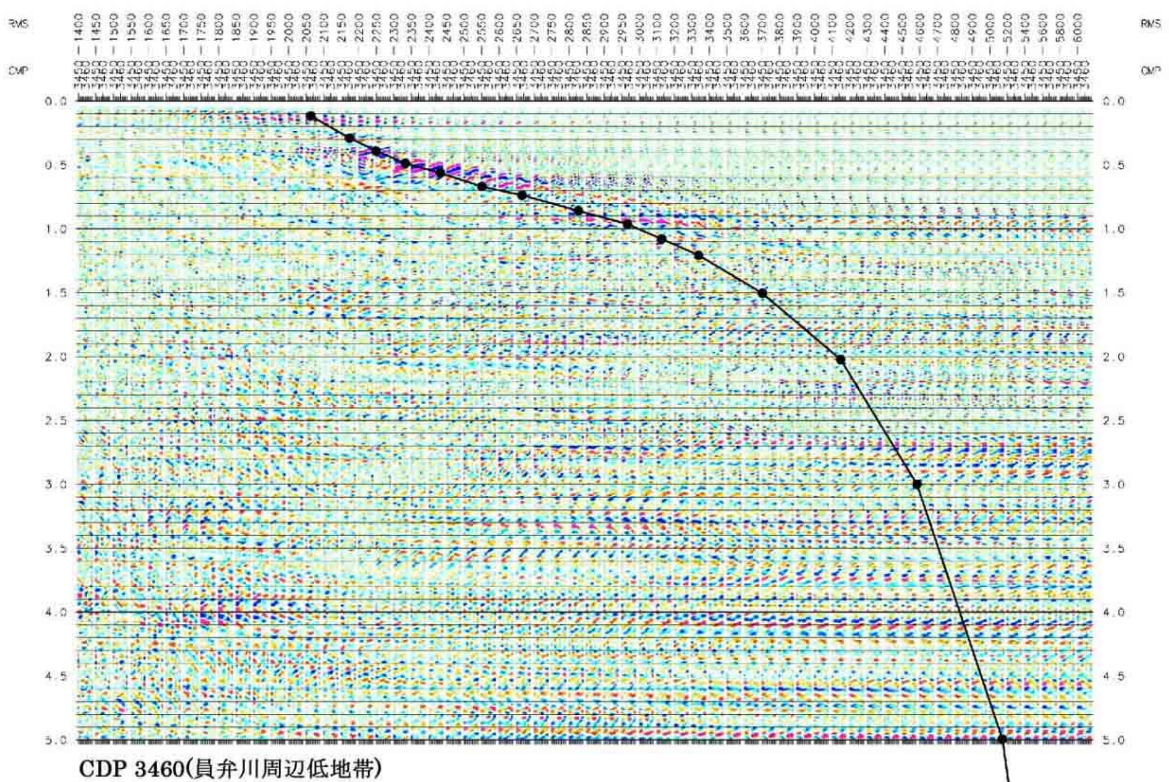
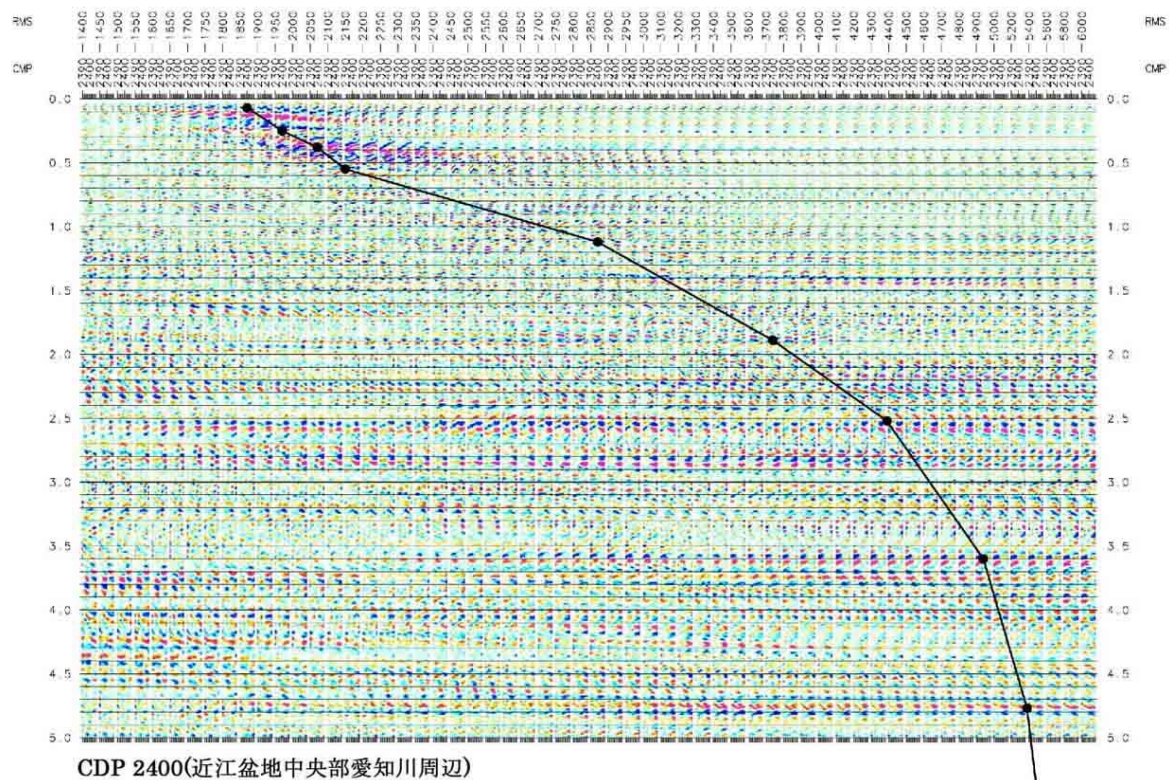


図 44 速度解析結果例 [2] CDP 2400(近江盆地中央部愛知川周辺)、
CDP 3460(員弁川周辺低地帯)

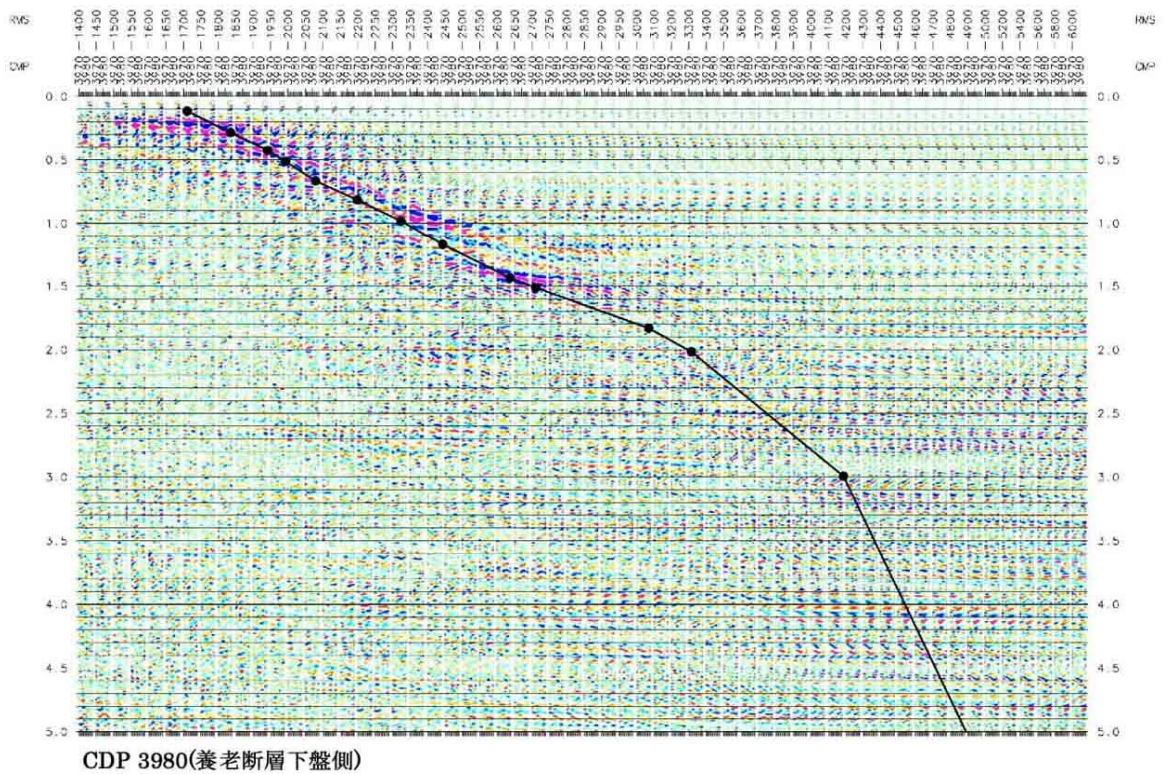
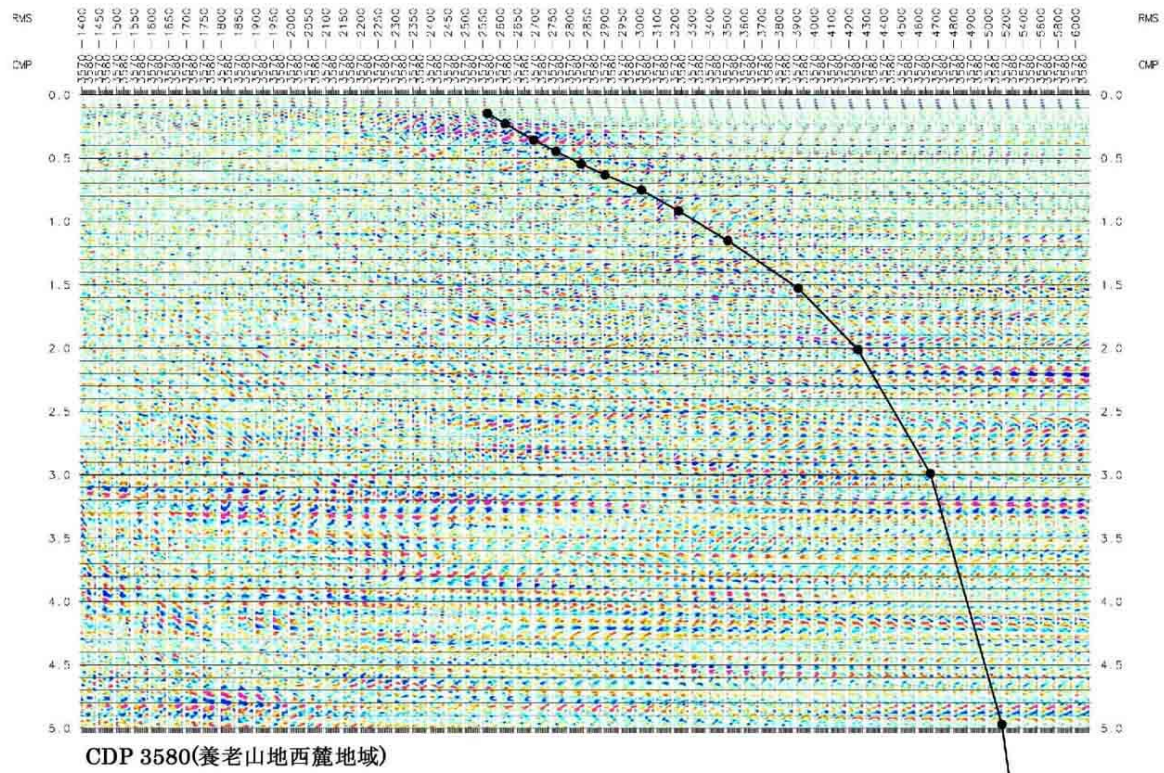


図 45 速度解析結果例 [3] CDP 3580(養老山地西麓地域)、
CDP 3980(養老断層下盤側)

xv) 帯域通過フィルター(Bandpass 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、以下の零位相帯域通過フィルターが採用された。

オペレータ長.....	400 msec
周波数通過帯域.....	4-40Hz

xvi) 基準面補正(Datum Corrections)

浮動基準面から基準面への、時間補正が適用された。

xvii) 差分マイグレーション(Residual F-D 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、二種類の異なった差分マイグレーションを組み合わせ、残差マイグレーションを実施した。この手法では、基準速度(2000m/sec)による周波数-空間領域差分マイグレーション後に、残差速度が再定義され、時間-空間領域差分マイグレーションが適用される。後者の残差マイグレーションの段階では、有効アパチャは大きく制限されるため、近似的に重合測線の屈曲及び浮動基準面の変動について対応が可能となると考えられる。

基準マイグレーション.....	周波数-空間領域差分法：基準速度 2000m/sec
残差マイグレーション.....	時間-空間領域差分法：下方接続ステップ幅 4msec
最大傾斜角度.....	45 度

xviii) 深度変換(Depth Conversion)

図 46 に示した重合速度プロファイルから、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。

以上の処理ステップを逐次経ることによって、図 47 - 51 の CMP 重合処理断面図、図 52 - 56 の時間マイグレーション断面図が得られた。また、重合記録を用いて深度変換を実施した結果を図 57 - 61 に、時間マイグレーション記録を用いて深度変換を実施した結果を図 62 - 66 に、示した。

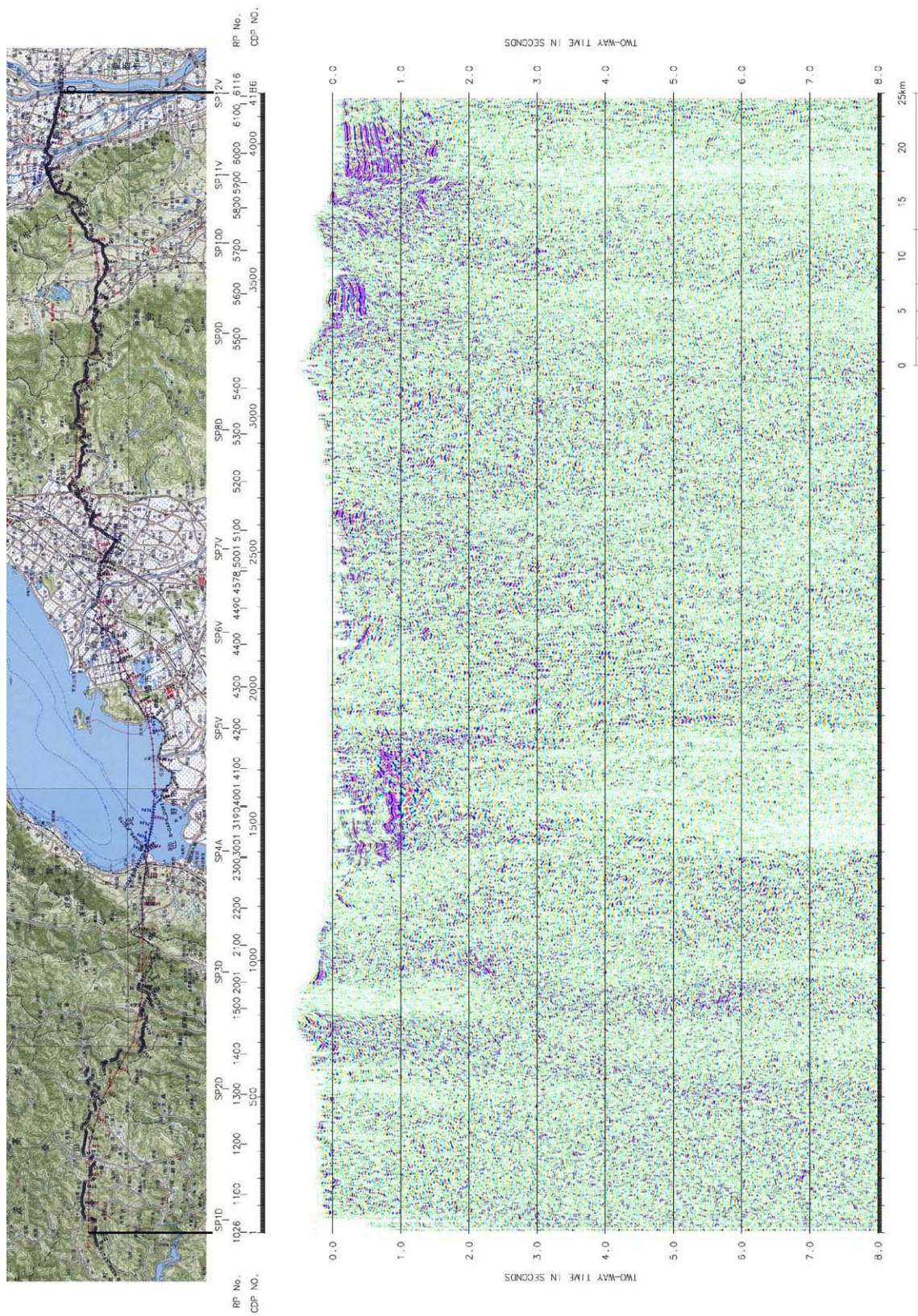


図 47 CMP 重合時間断面図 [1]調査区間全域

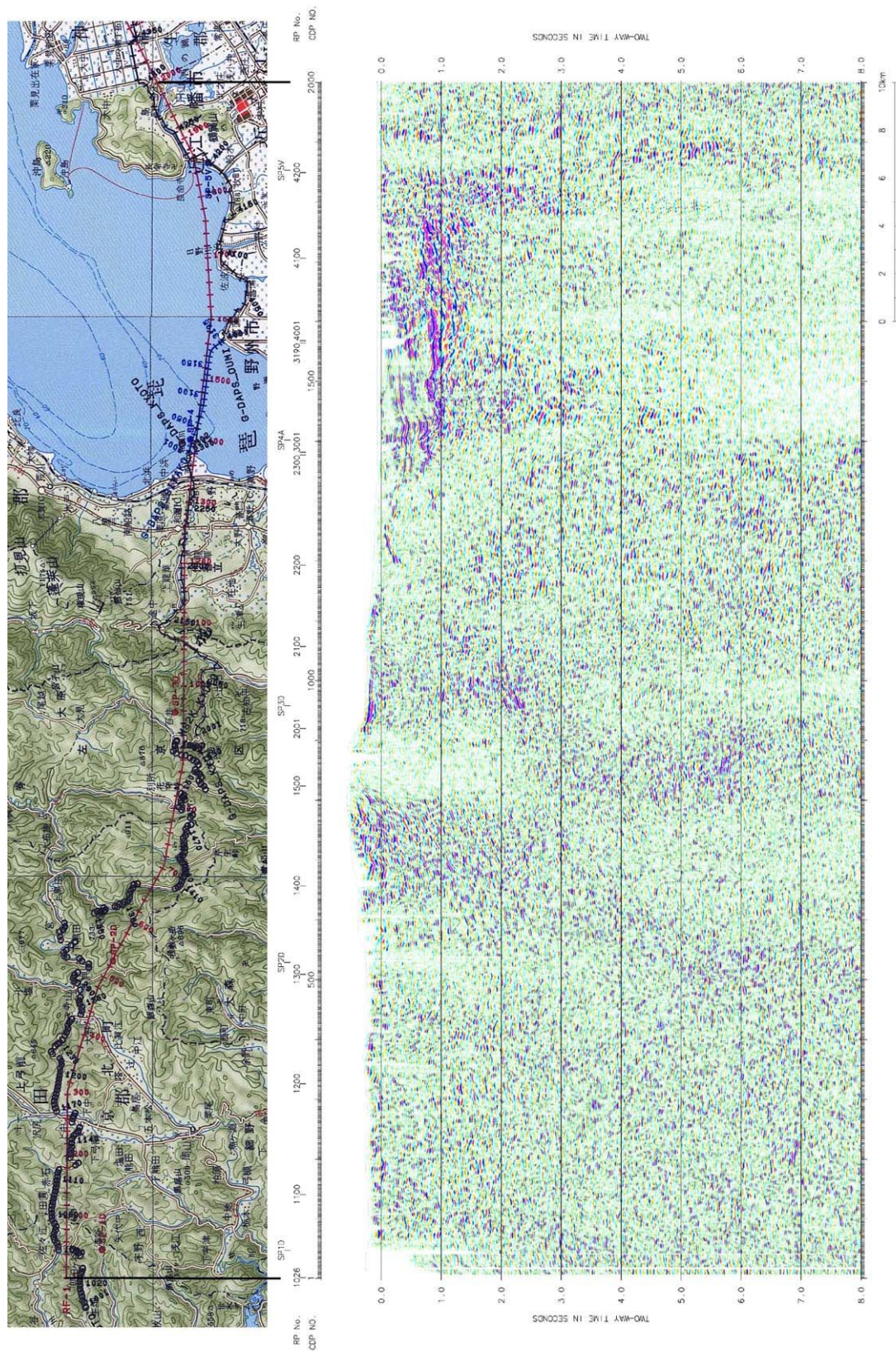


図 48 CMP 重合時間断面図 [2]湖西地域 - 琵琶湖区間

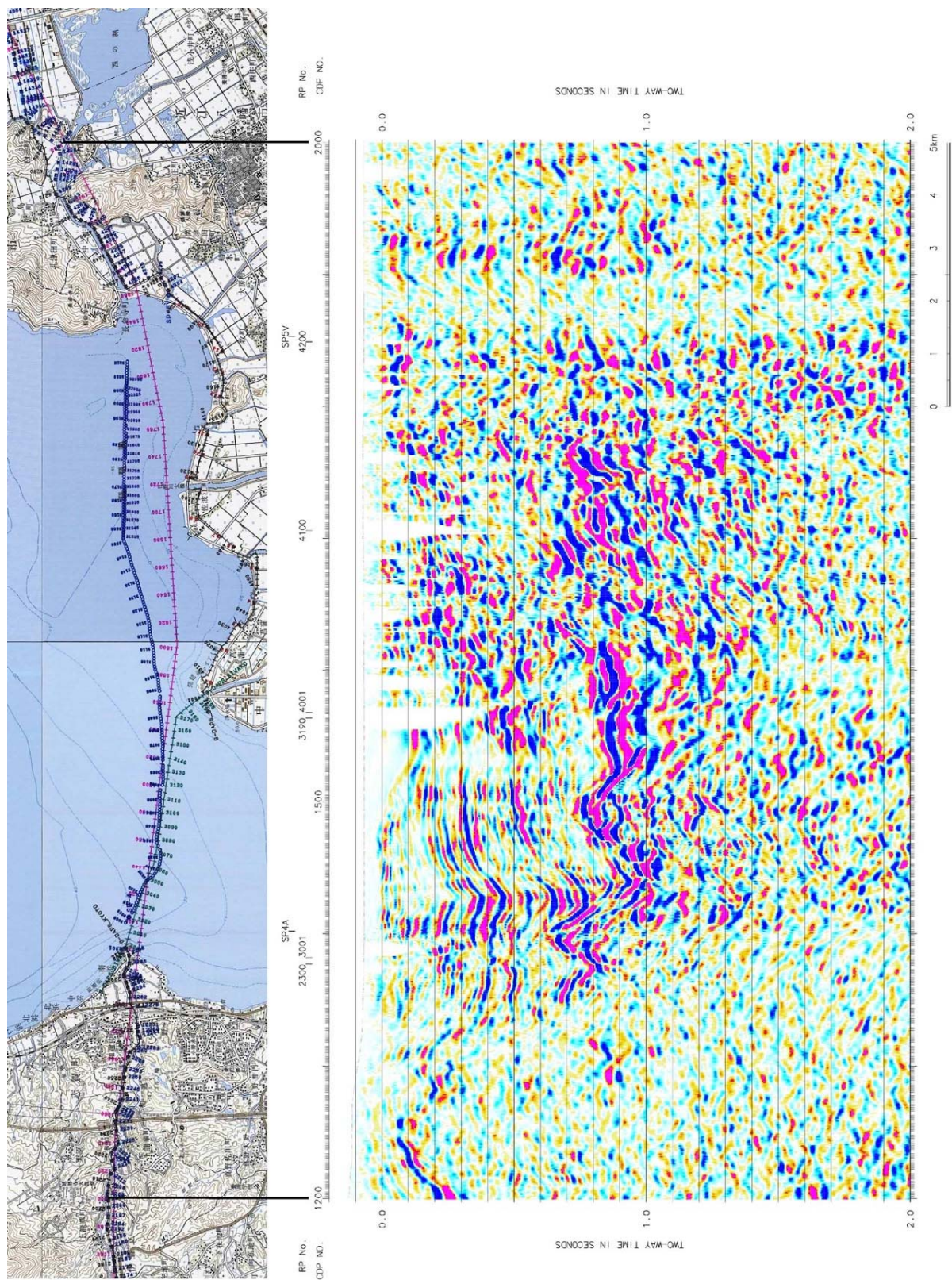


図 49 CMP 重合時間断面図 [3]琵琶湖横断区間

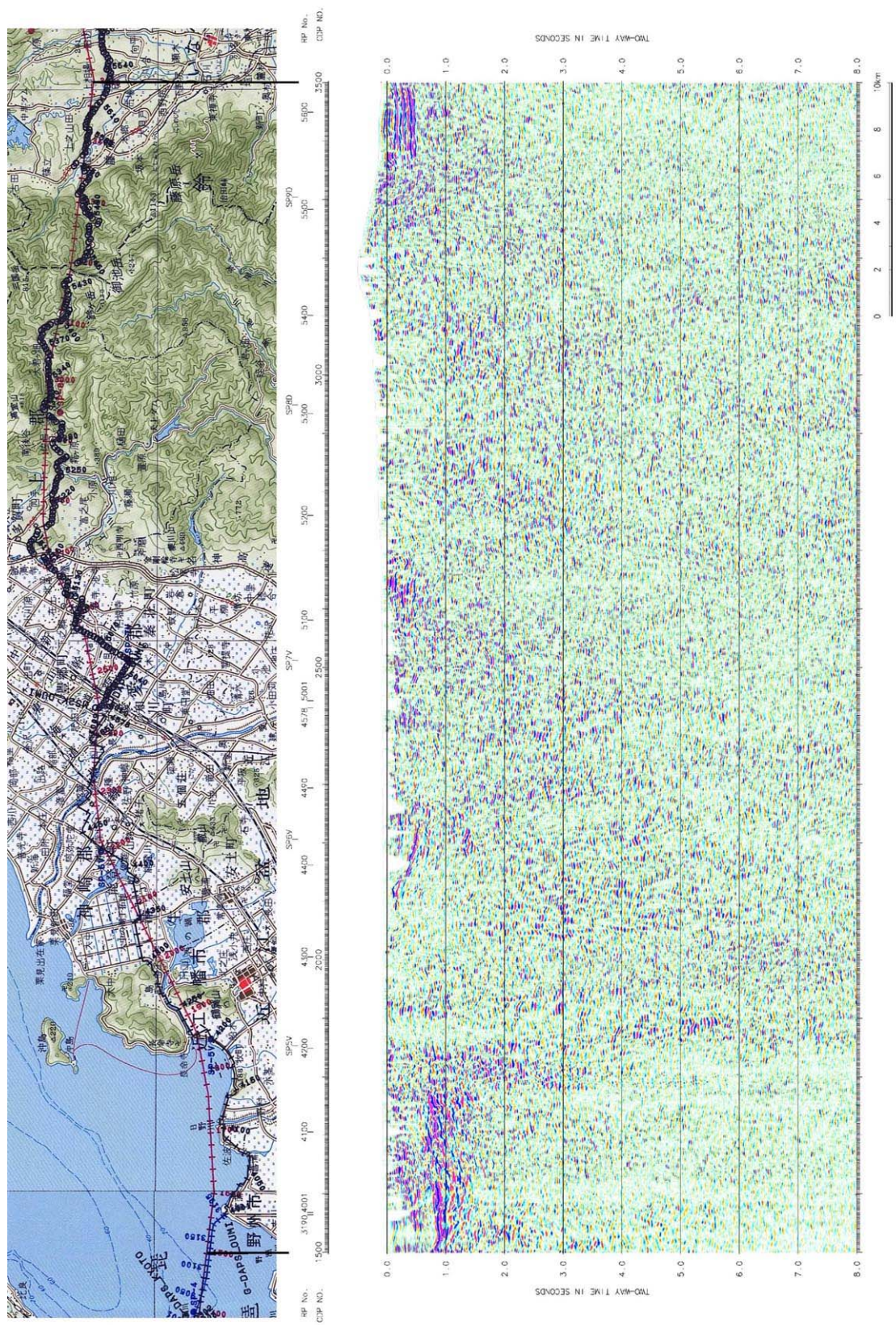


図 50 CMP 重合時間断面図 [4]琵琶湖 - 湖東地域 - 鈴鹿山地区間

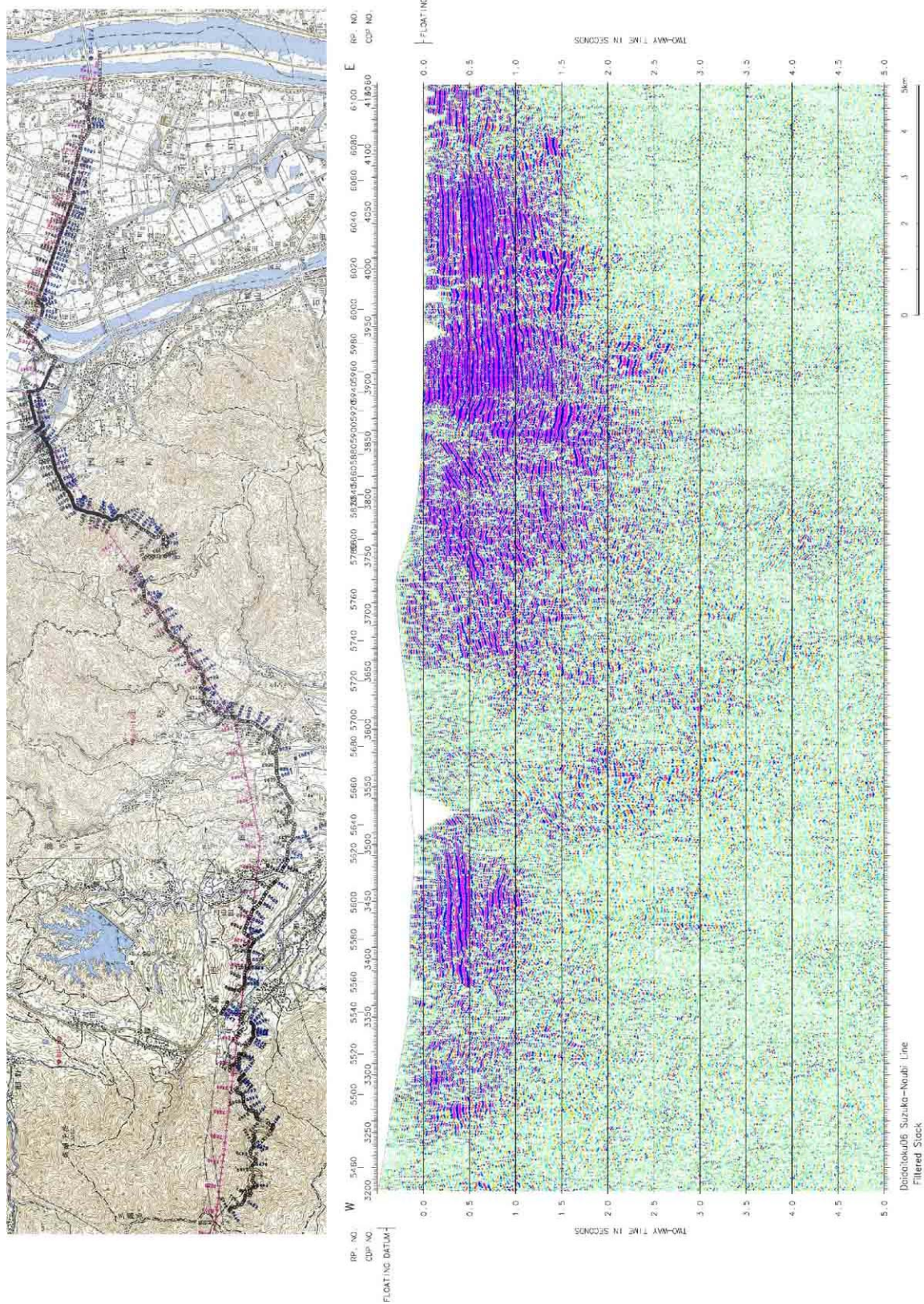


図 51 CMP 重合時間断面図 [5] 鈴鹿山地-濃尾平野区間

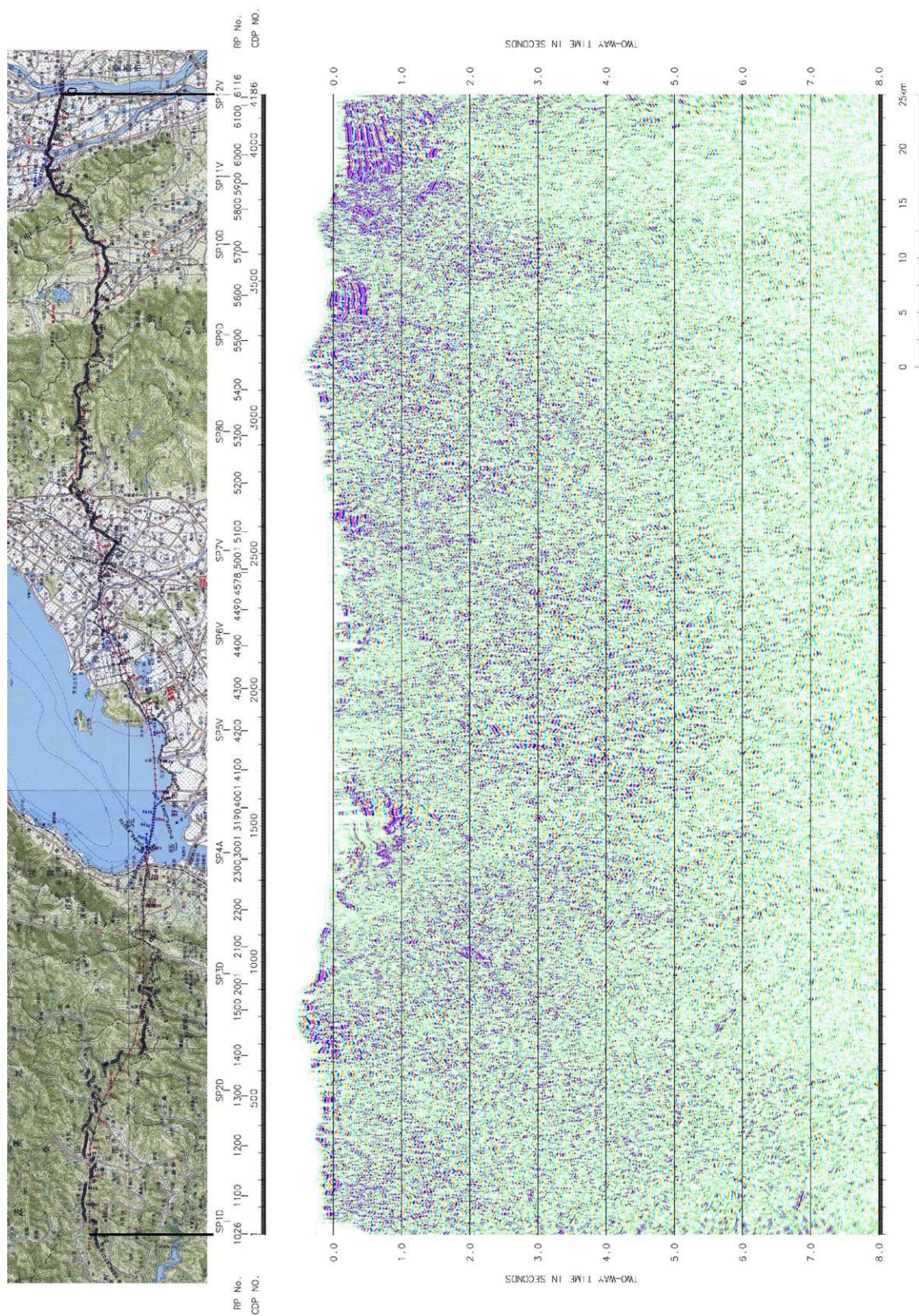


図 52 CMP 重合後時間マイグレーション断面図 [1] 調査区間全域

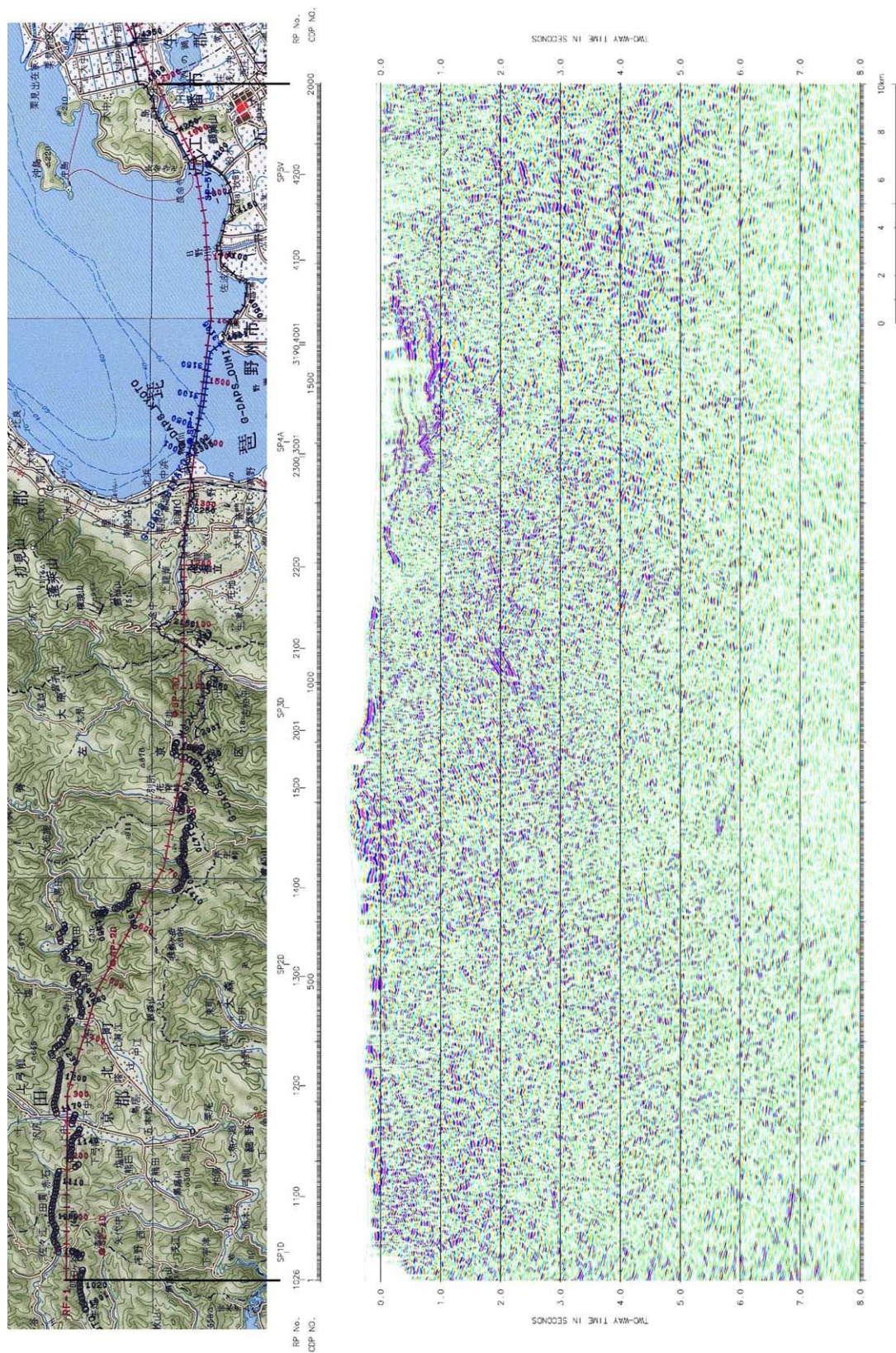


図 53 CMP 重合後時間マイグレーション断面図 [2]湖西地域 - 琵琶湖区間

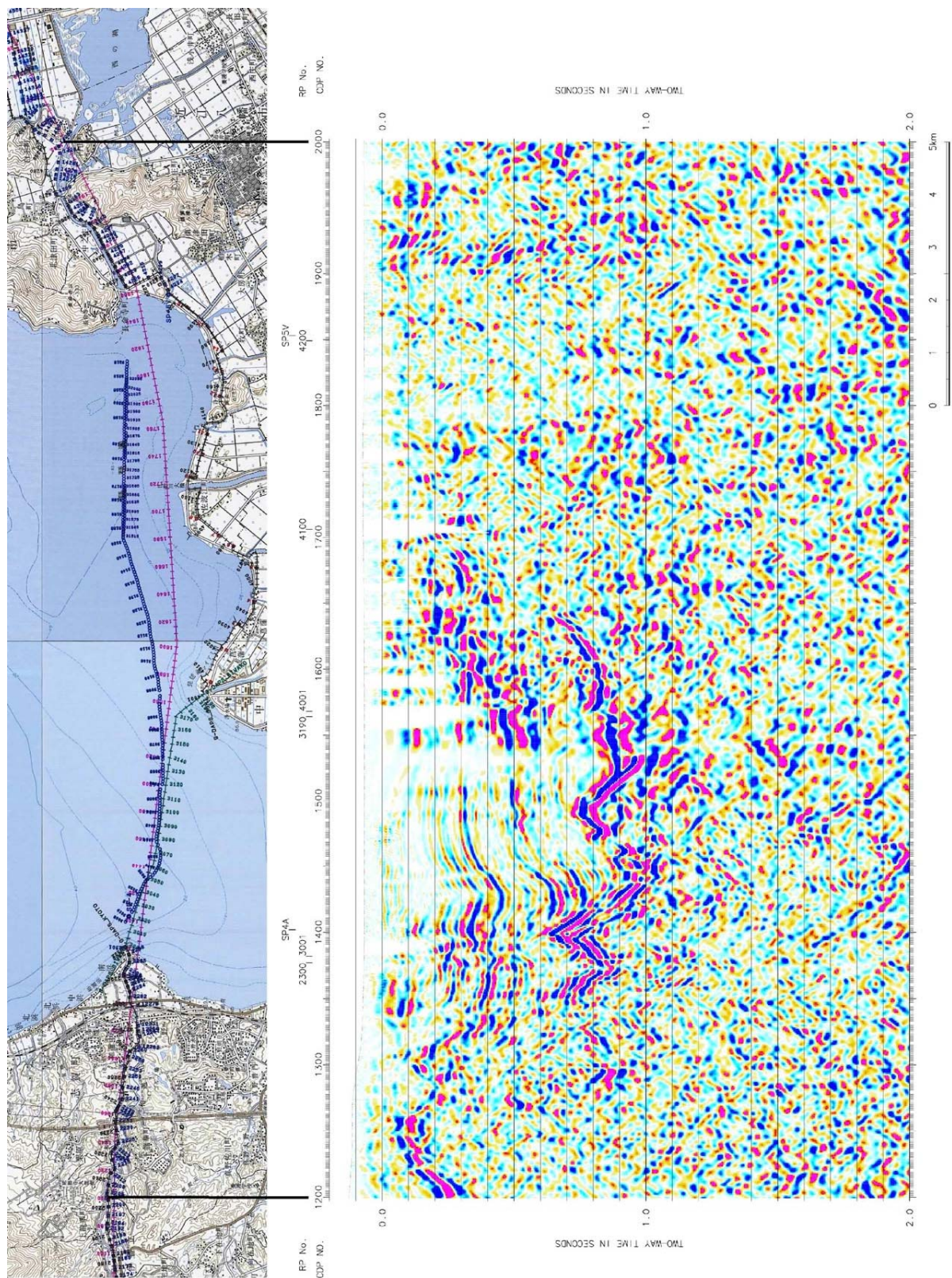


図 54 CMP 重合後時間マイグレーション断面図 [3]琵琶湖横断区間

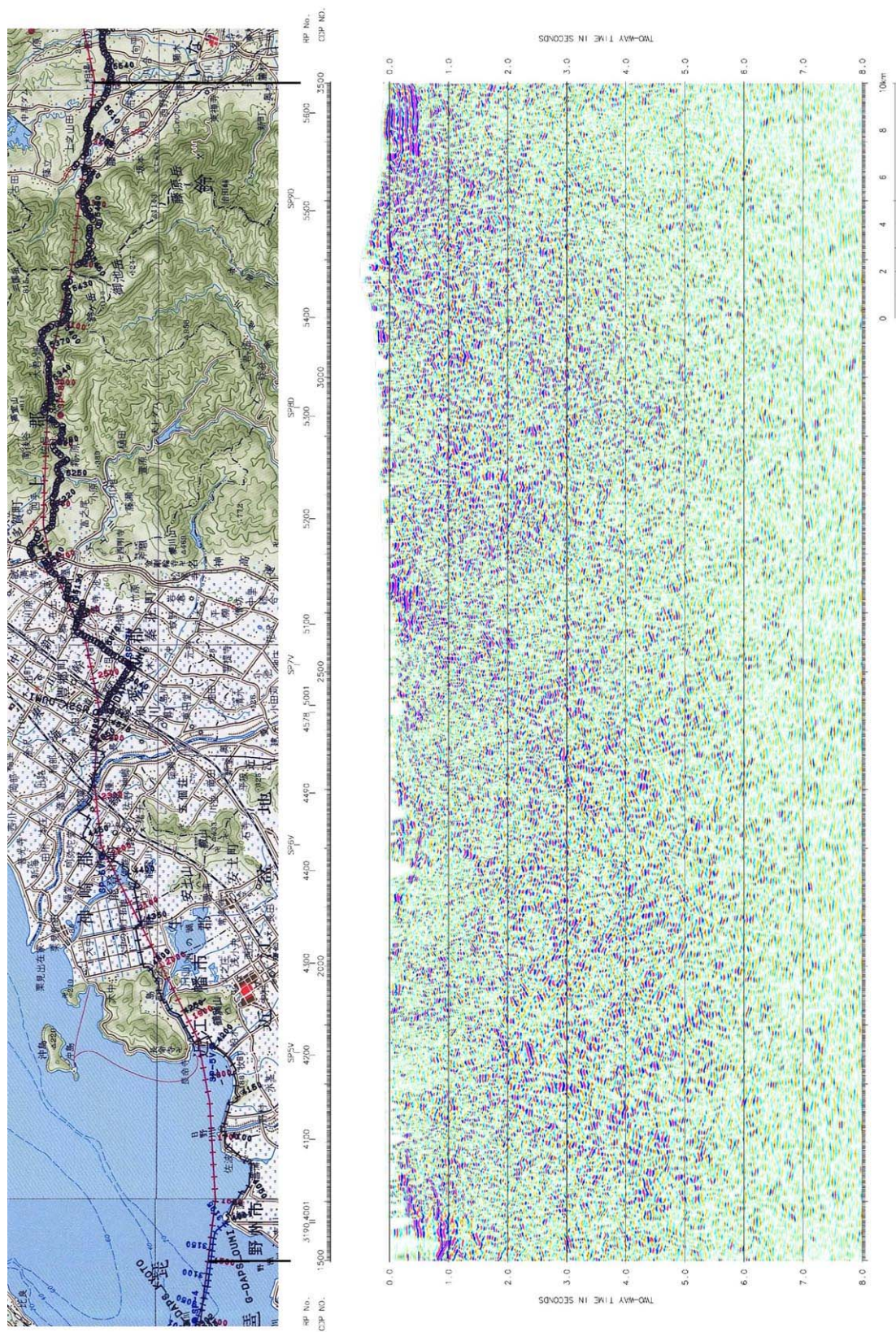


図 55 CMP 重合後時間マイグレーション断面図 [4]琵琶湖 - 湖東地域 - 鈴鹿山地区間

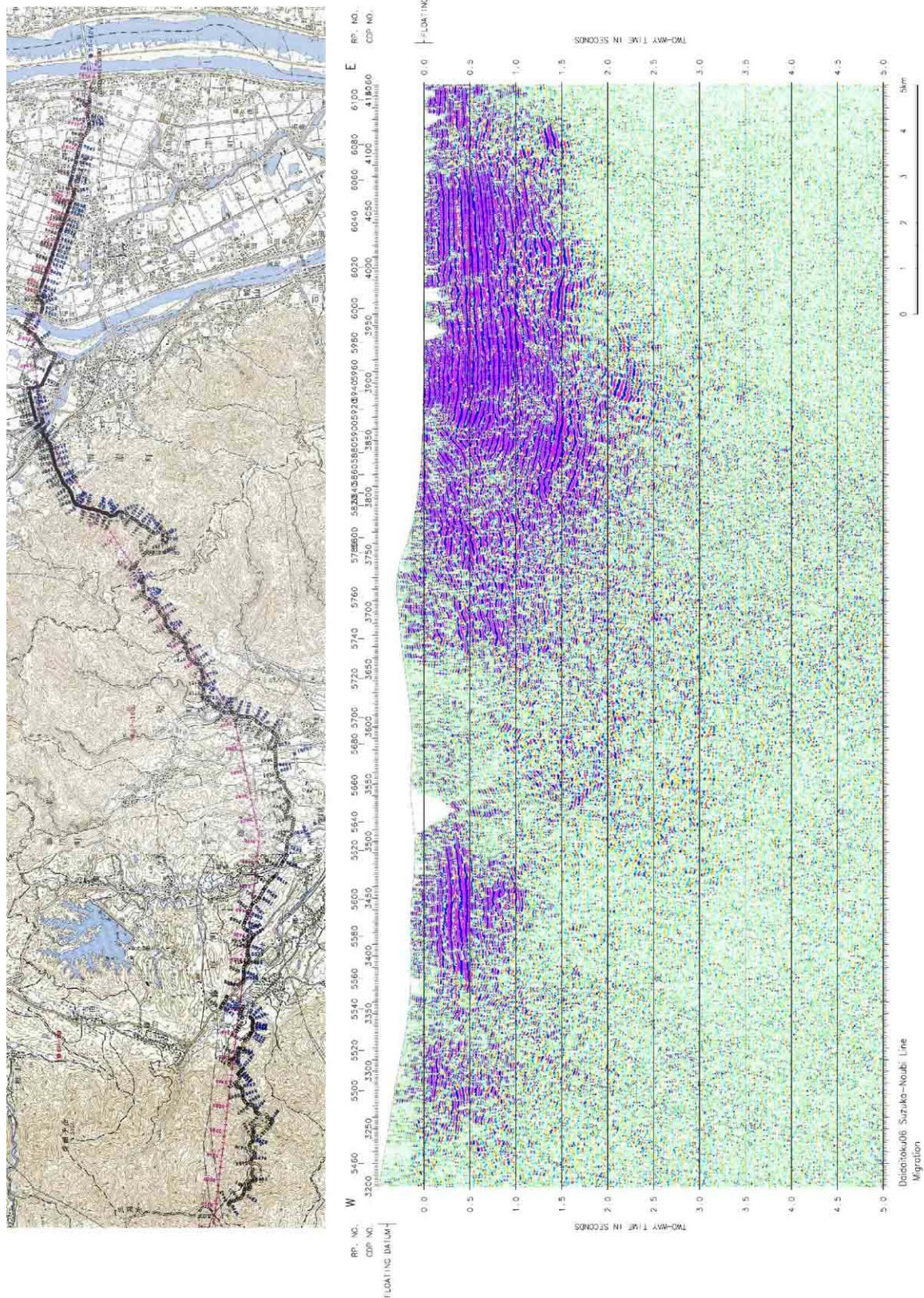


図 56 CMP 重合後時間マイグレーション断面図 [5] 鈴鹿山地-濃尾平野区間

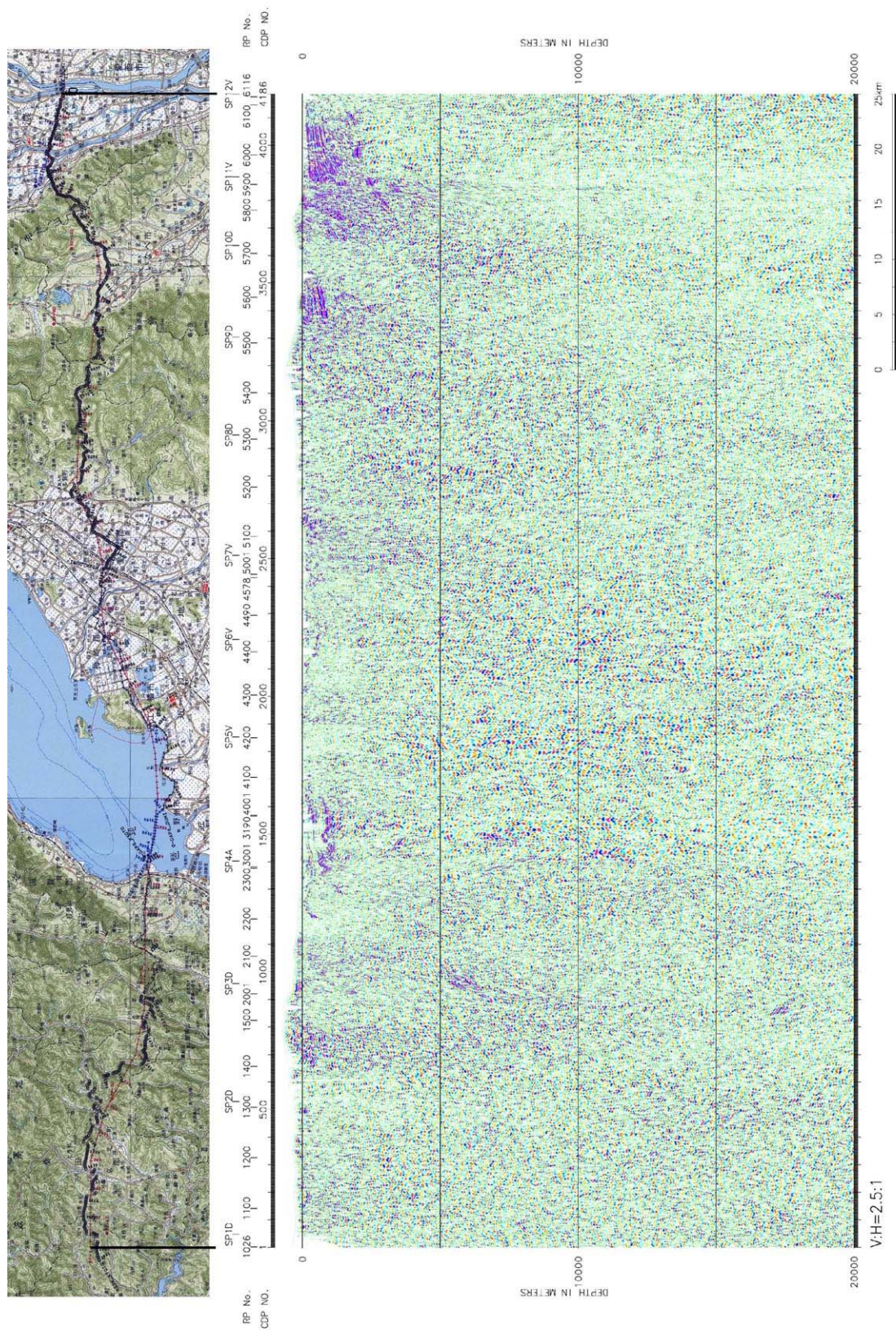


図 57 深度断面図 (CMP 重合記録) [1]調査区間全域

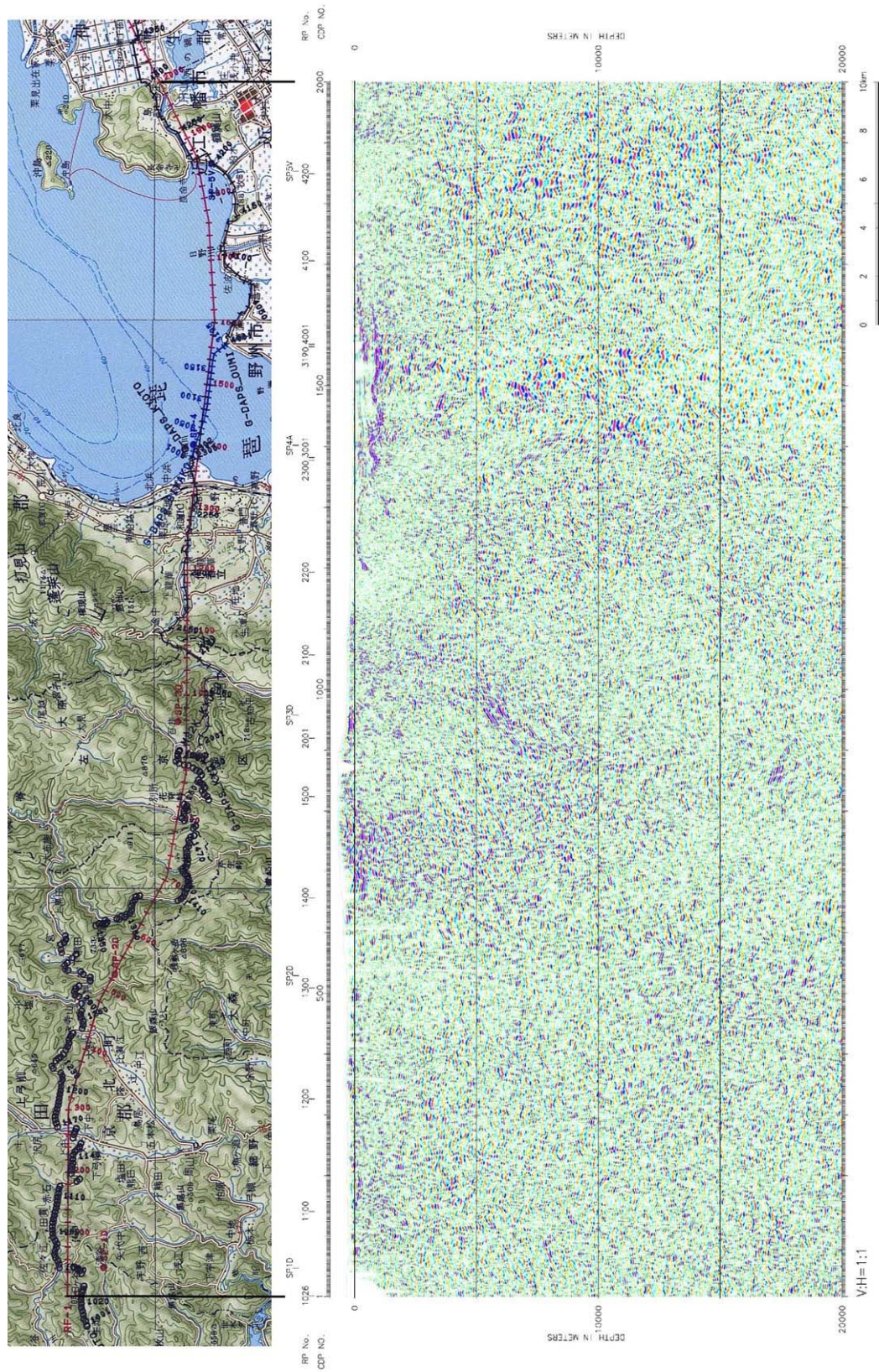


図 58 深度断面図 (CMP 重合記録) [2] 湖西地域 - 琵琶湖区間

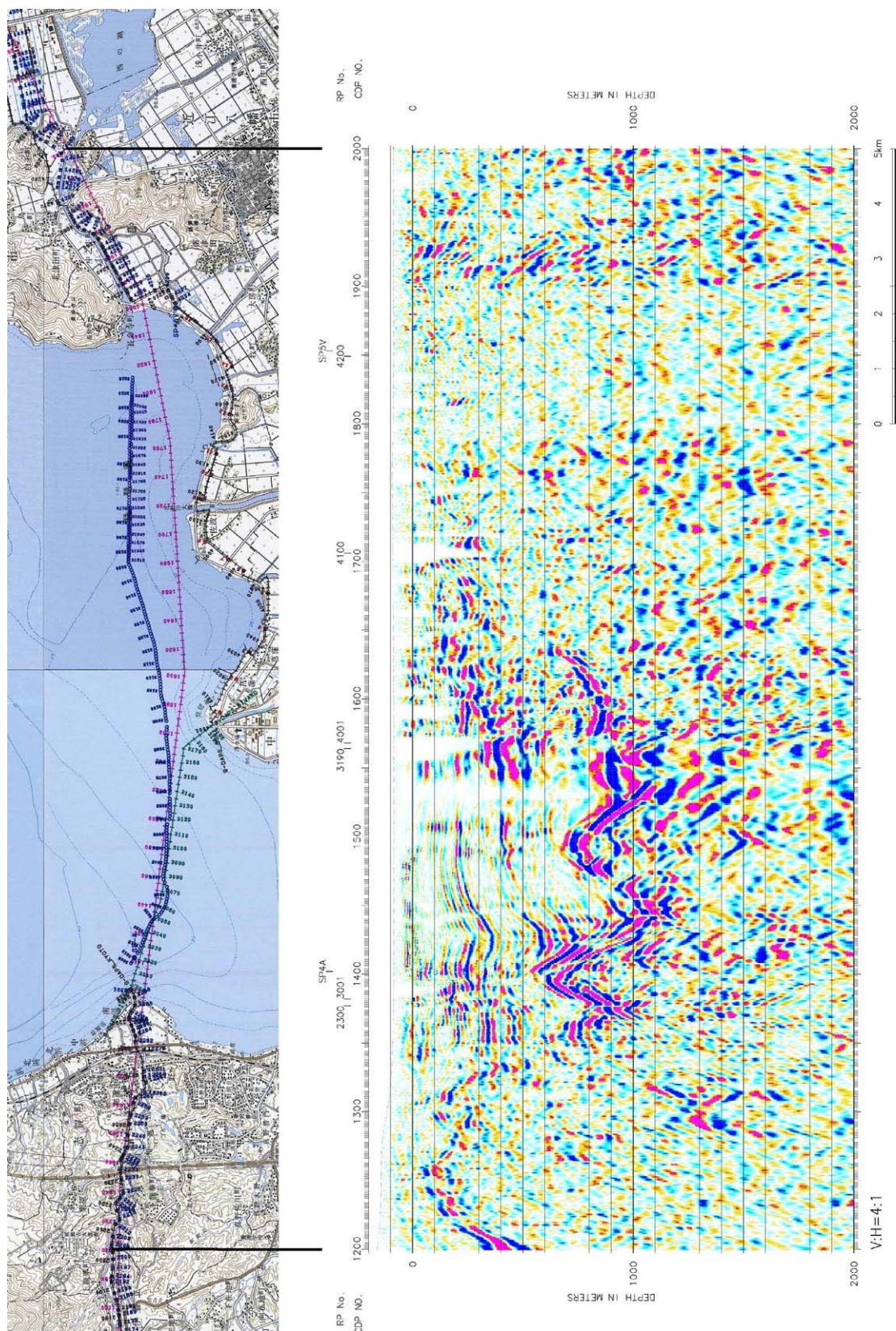


図 59 深度断面図 (CMP 重合記録) [3] 琵琶湖横断区間

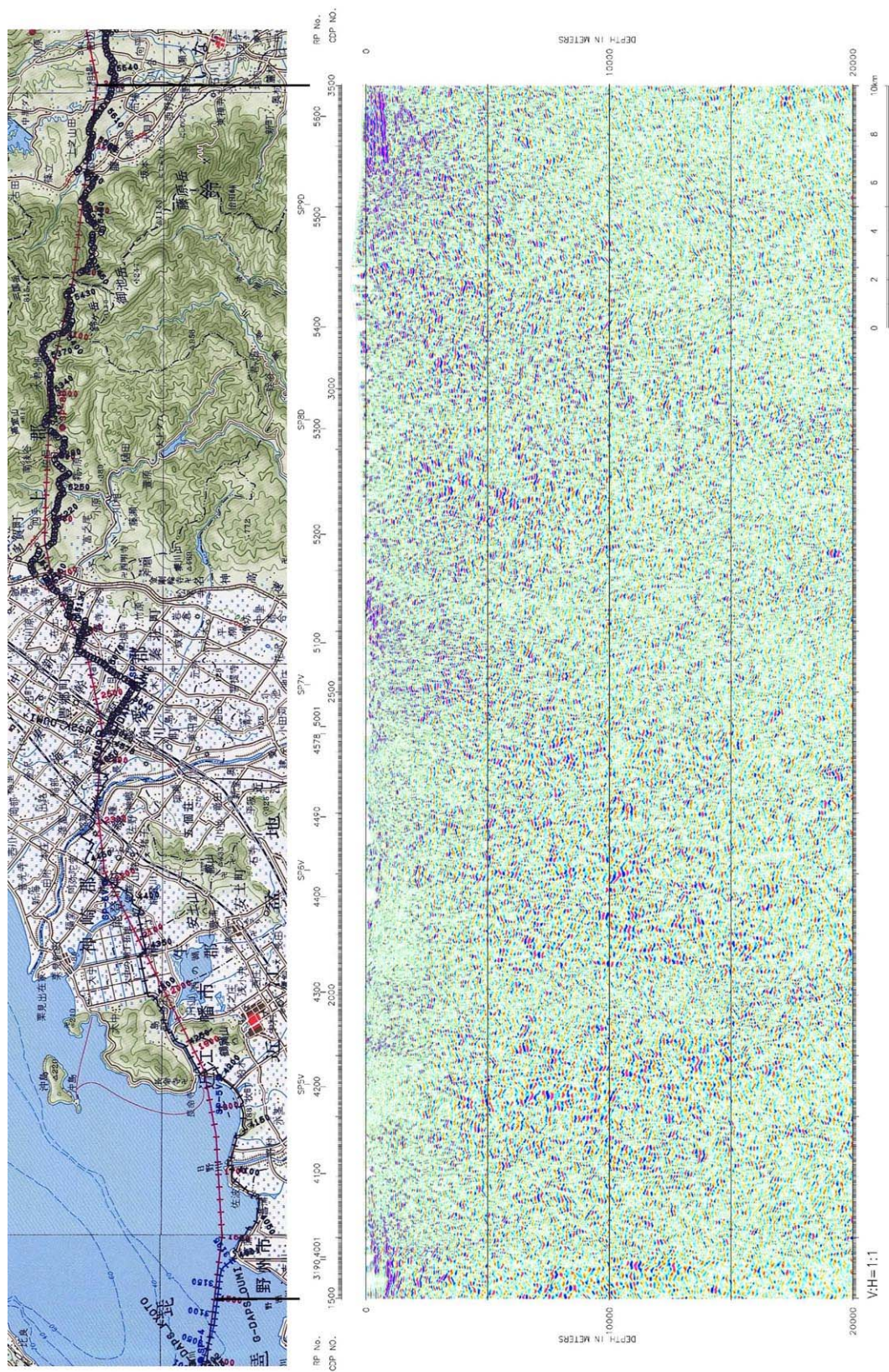


図 60 深度断面図 (CMP 重合記録) [4] 琵琶湖 - 湖東地域 - 鈴鹿山地区間

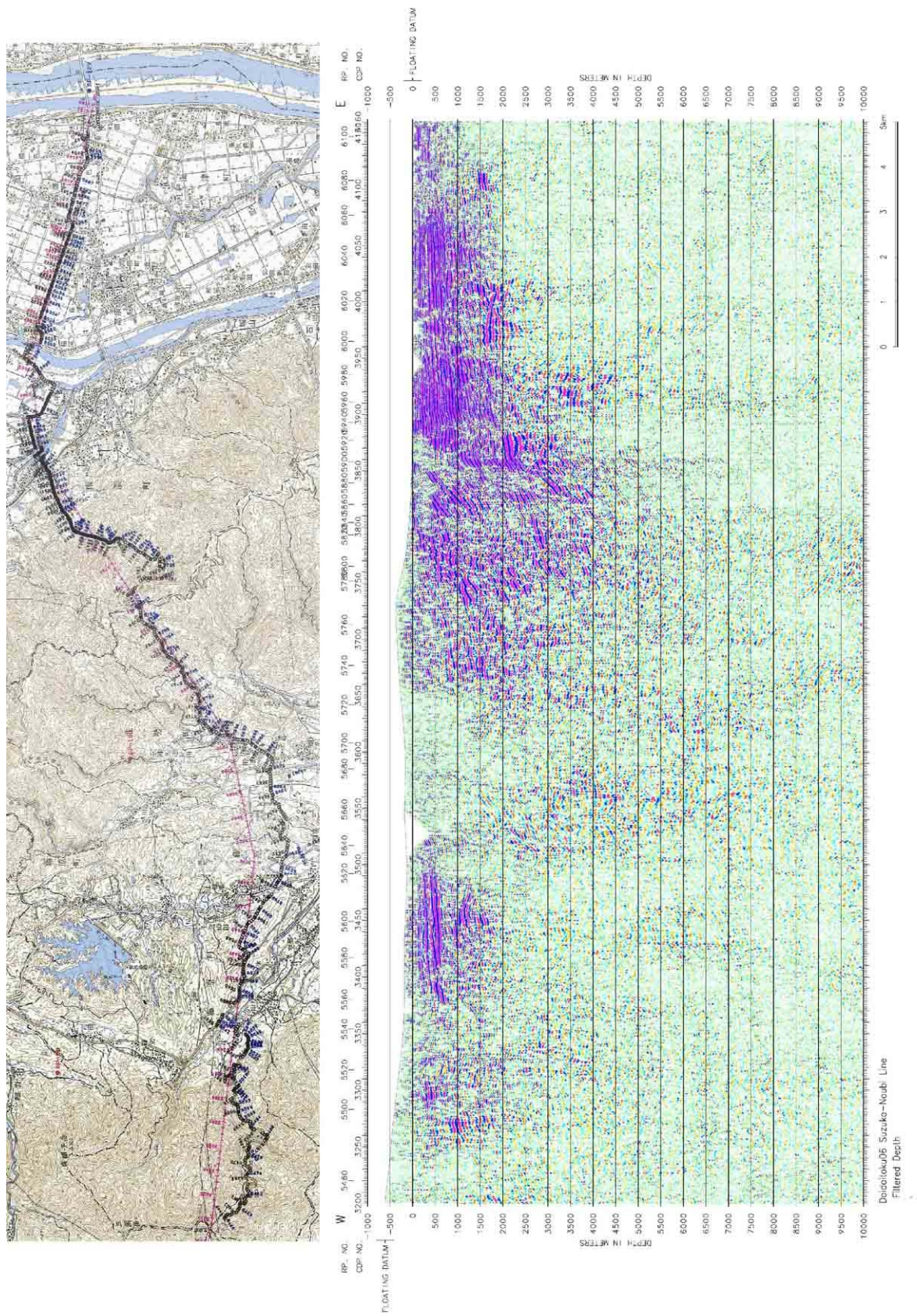


図 61 深度断面図 (CMP 重合記録) [5] 鈴鹿山地-濃尾平野区間

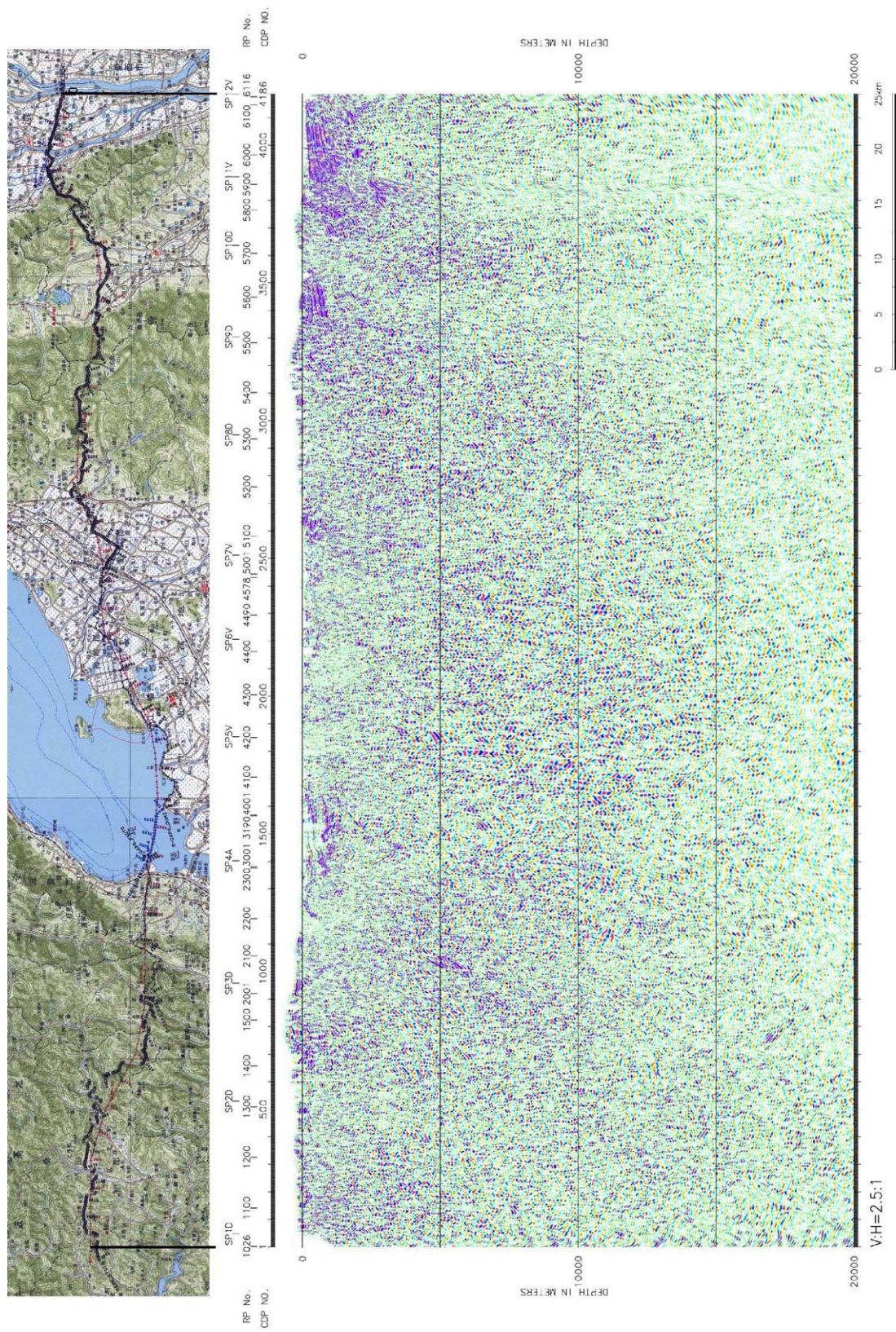


図 62 深度断面図（重合後時間マイグレーション記録） [1]調査区間全域

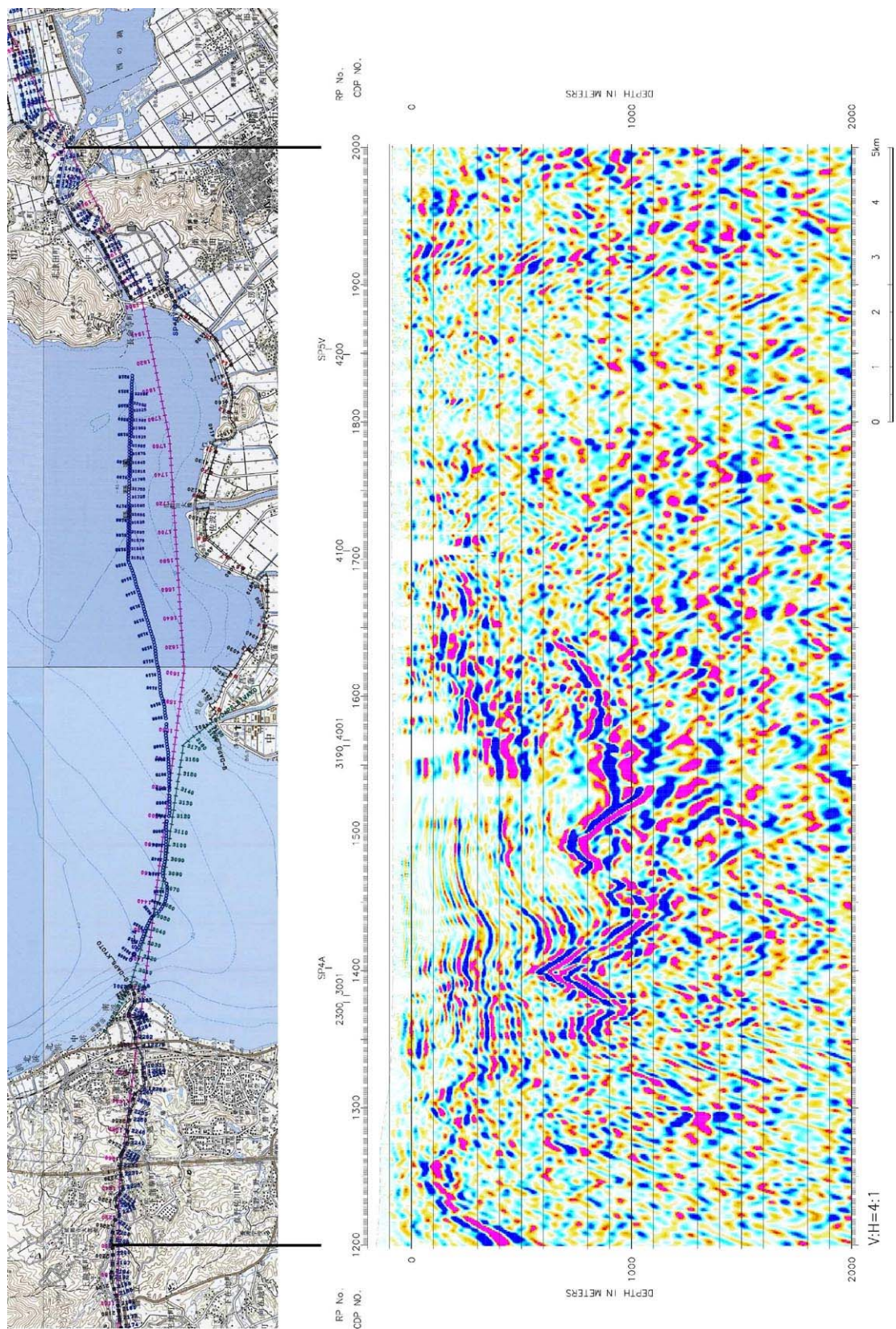


図 64 深度断面図（重合後時間マイグレーション記録）[3]琵琶湖横断区間

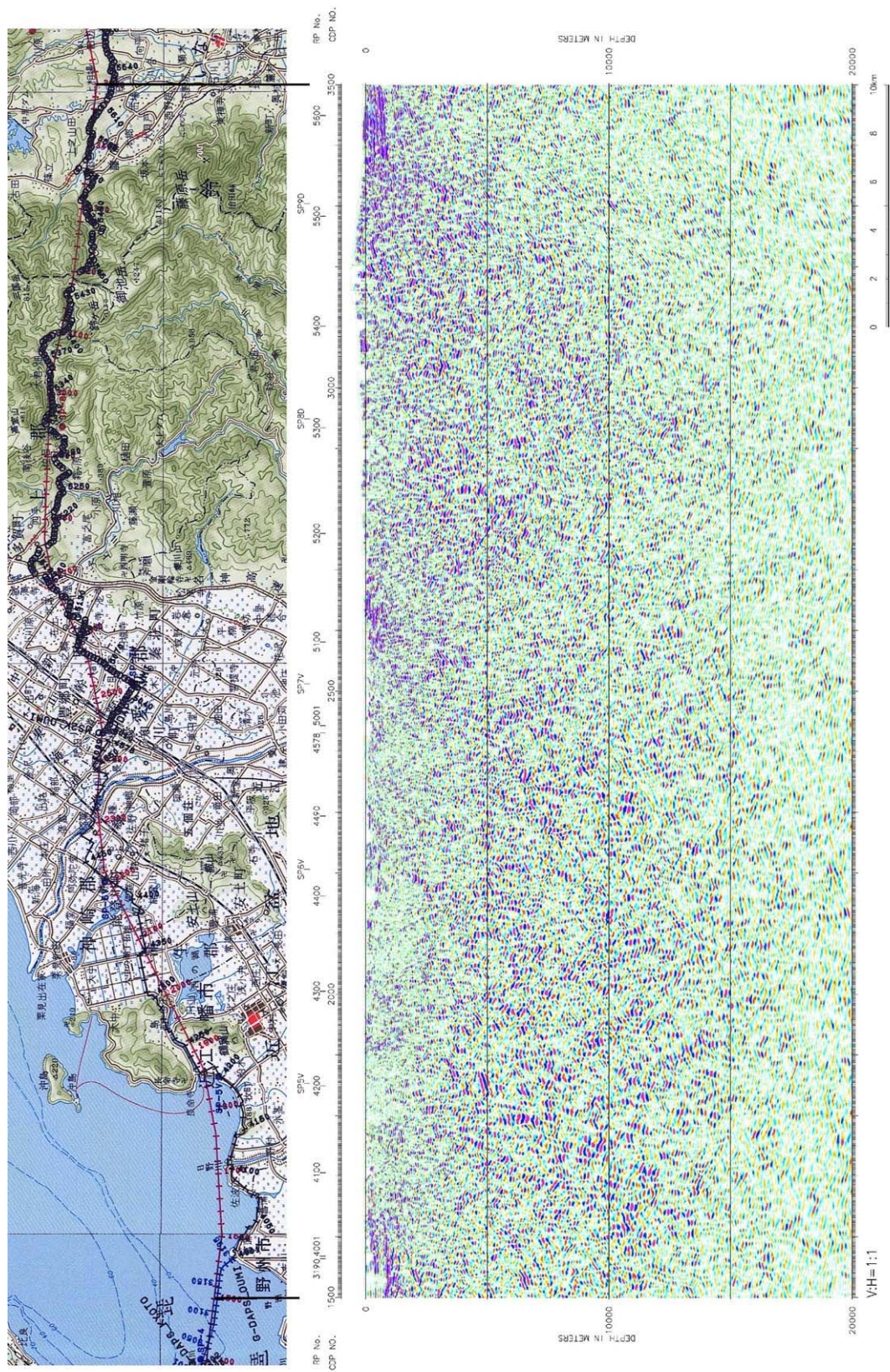


図 65 深度断面図（重合後時間マイグレーション記録） [4]琵琶湖 - 湖東地域 - 鈴鹿山地区間

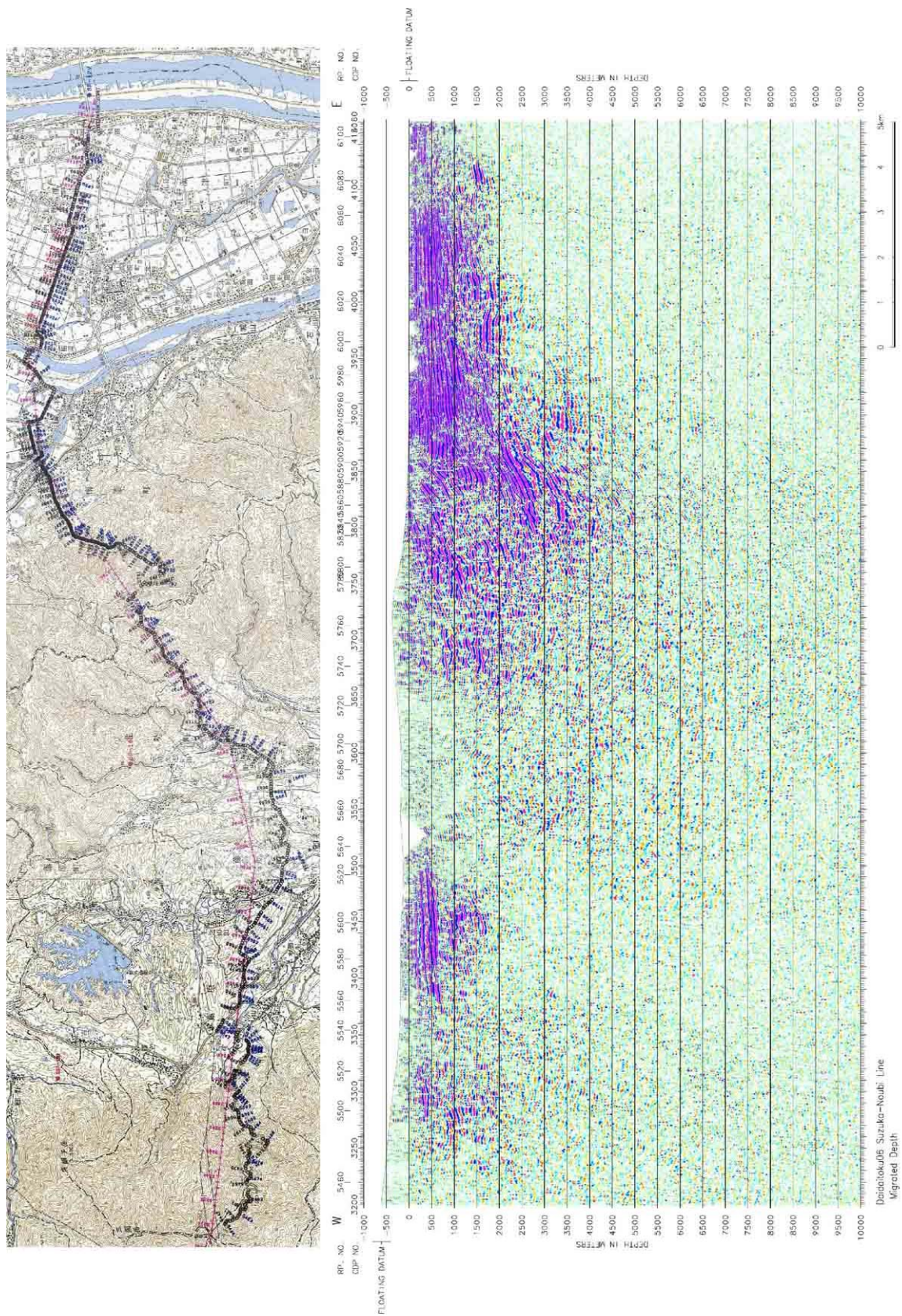


図 66 深度断面図（重合後時間マイグレーション記録） [5]鈴鹿山地-濃尾平野区間