

## (追加資料) 表面波探査と P 波反射法の暫定解析結果

### Addition of surface-wave survey and P-wave reflection survey

「福岡市生の松原での浅部地下構造調査」で解析を行った S 波反射法データに加えて, Line2 で実施した表面波探査データの解析とそのデータを利用した P 波反射法解析を進めたので, その暫定的な結果を資料として追加する.

We show the preliminary result of the surface-wave survey and P-wave reflection processing result of the same data. The analysis limit depth of the surface-wave survey data set is almost the same to the basement depth of the survey line and the exact basement depth could not be obtained. P-wave reflection survey shows the structures in the basement.

#### A-1. 表面波探査と P 波反射法

本論で報告した S 波反射法データの解析に加えて, 本論でデータ収録についてだけ述べた Line2 で実施した表面波探査法のために収録したデータを用いて, 表面波探査と P 波反射法の解析を進めたので, それらの暫定的な結果を資料として追加する. なお, 表面波探査結果と S 波反射法の結果と比較は加野・山口 (2012) を参照されたい.

測線は S 波反射法測線 Line2 およびそれを北東側に延長した 623m である (第 A-1 図). 赤い線が表面波探査で S 波反射法測線を延長して調査した部分である.

調査の測定諸元および使用した機器類は本論の第 1 表を参照されたい. 発振点・受振点間隔を 1m とし, 震源としては, 人力により大かけやで地面に置いたプラスチックプレートを打撃した (第 A-2a 図). 垂直重合はなしで, 各発震点で 1 回の発震とした. 受振器はランドストリーマ (第 A-2 b 図) で移動することとし, 小型ユンボで牽引した (第 A-2c 図). 展開は最大オフセットを 50m, オフエンド発震を基本とし, 各発震点で 48ch のデータを取得した. 実質 1 日の現地探査で取得したデータは総発震点数 624 点であった.

#### A-2. 表面波探査解析結果

Windows7 上で動作する表面波処理ソフトウェア Seismic Imager (応用地質製) を用いて CMP クロスコリレーション (CMPCC) 解析 (Hayashi and Suzuki, 2004) を行った. 処理の概要を以下に記す. 測線は 1m 間隔の直線として扱った. CMPCC ギャザは 2m おきに求め, 各 CMPCC ギャザに対して表面波多チャンネル解析 (Park et al., 1999) を適用して分散曲線を求めた. ソフトウェアの制限によりすべての CMP を同時に扱うことができず, オーバーラップさせた 3 つの区域に分けて解析を行った.

まずジオメトリを定義し, 表面波部分を抽出し, 直接波や後続のノイズを解析範囲から除くためにミュートを, また大きなノイズの入っているトレースの削除を行うというトレース編集を施した. その後, クロスコリレーションの計算を行い, その結果の CMPCC ギャザの作成 (同じ発震 - 受振点間隔の重合を含む), CMPCC ギャザごとの周波数領域での見かけ位相速度分布の計算を行った. 自動で各周波数ごとに最大振幅の位相速度を求めた後, 高次モードの読み取りを修正するため, 手動で位相速度を修正し, S 波速度の逆解析を行った.

発震点記録と CMPCC ギャザの例を第 A-3 図に示す. また, 位相速度スペクトラムの例を第 A-4 図に示す. 横軸は速度, 縦軸は周波数である. 赤い点は自動で読み取った位相速度である. 高次モードあるいは屈折波による位相が卓越しているために 12-22Hz で基本モードとはかけ離れた位相速度が読み取られている. これを手動で基本モードと思われる位相速度に修正した. ただし, 受振器の固有周期に近い 4-8Hz 付近の低周波部分は S/N が悪く不安定であり, その領域の位相速度は精度よく求めることができなかった. そのため基盤深度の精度はよくない.

表面波探査の解析結果 (S 波速度構造) を第 A-5 図に示す. 地表面を基準面としている. 速度のスケールは等間隔でない. 地表付近は 120-130m/s で, 2m 深ぐらいい北東側では 150m/s 程度, 南西側では 160m/s 程度になっている. 深度 6m から 10m 付近に速度の変わり目がある. その深度は変化に富んでいる. これは 8Hz より低周波の位相速度に対応しており, 探査深度の限界に近い事を示している. 距離程 240m-305m の大きな窪みはこの部分の S/N が悪く位相速度を読み取れなかったことによる. その他 390m 付近の窪み, 400m-420m で一旦深くなった後 580m にかけて徐々に浅くなっていくのが特徴的である. 深度 6m から 10m 付近の速度の変わり目からは速度が速くなり, 10m 以深はほぼ 200m/s を超えている.

### A-3. P 波反射法解析結果

表面波探査用に取得したデータに対して、S 波反射法とほぼ同様の手順で解析を行った。データ処理には S 波の反射法解析と同じく、Linux 上で動作する専用の反射法処理ソフトウェア Omega2 (WesternGeco 社製) を用いた。

データ処理は通常の反射法処理の流れに従った。データ処理の流れを第 A-6 図に、また各処理の概要を以下に記す。測線はほぼ直線状であり、測線に沿ったなめらかな曲線を CMP 重合測線とした。CMP の間隔は 0.5m として共通反射点の編集を行い、CMP 点数は 1242 となった。

まず前処理としてトレース編集を施し、次に測量作業によって求められた各受振点および発震点の座標データを入力し、ジオメトリを定義した。受振器はランドストリーマで牽引しているため、受振器の移動後も同じ位置に固定できるわけではないが、同じ位置に移動できたものとして扱った。その後、ローカットフィルタ、バンドパスフィルタ (帯域通過フィルタ)、振幅補正、振幅調整等の処理を施し、反射イベントが強調されるようにした。屈折波走時を読み取り、静補正值を計算し、適用した。速度解析は、定速度走査センブリュンス計算法を用い、50CMP (25m) 毎に実施した。速度解析点数は 25 点である。速度を決定する際にはその速度による NMO カーブと CMP ギャザとの比較、その速度による NMO 補正後の CMP ギャザデータの確認を行った。この解析で求めた重合速度構造を用いて NMO 補正、直接波のミュート、CMP 重合処理を施し時間断面を作成した。この重合後時間断面に対して、反射面の連続性を強調する FX 予測フィルタ処理を施した。また重合後時間マイグレーション処理、重合後深度マイグレーション処理を行った。この処理には速度解析で求めた重合速度構造データを傾斜構造の影響を加味して 0.9 倍のスケールリングを行った速度を用いた。

発震点ギャザ例を第 A-7 図に、CMP ギャザの例を第 A-8 図に示す。発震点ギャザは 100m 間隔の記録、CMP ギャザは 50m 間隔の記録である。第 A-7 図の上段から、発震点ギャザのオリジナル記録、ローカットフィルタ・バンドパスフィルタを適用後の記録、時間方向の振幅補正・振幅調整・静補正を行ったあとの記録、直接波等のミュートを行った記録である。第 A-8 図の上段から、ローカットフィルタ・バンドパスフィルタを適用後の CMP ギャザ、時間方向の振幅補正・振幅調整・静補正を行ったあとの CMP ギャザ、直接波等のミュートを行った CMP ギャザ、NMO 補正を施した CMP ギャザである。フィルタ適用後は全般に S/N は良好であり、反射波が見られる。

時間断面図、時間マイグレーション断面図、深度マイグレーション断面図を第 A-9 ~ 11 図に示す。時間断面図、時間マイグレーション断面図では海拔 10m を基準面 (走時 0 秒) とし、速度 1500m/s を用いて標高補正を行っている。深度マイグレーション断面図は、S 波反射法の深度断面図との比較のために縦横比 4 のものと傾斜した構造を理解しやすくするために縦横比 1 のものを示した。

第 A-11 図では、S 波反射法でイメージングできている基盤以浅の構造は全く見えず、基盤の形状もあまりはっきりしていない。しかし、S 波反射法でイメージングできなかった基盤内部の構造がよくイメージングできている。基盤内部は大きく 4 つのブロックに分けることができる。北東端から CMP150 付近までのわずかに傾斜した反射面が認められるブロック、CMP150 付近から CMP710 付近の見かけ傾斜角 30 度程度の数多くの反射面が認められるブロック、CMP710 付近から CMP980 付近の浅部に水平な反射面がありその下には反射面が認められないブロック、第 3 のブロックと形状はほぼ同じであるが、第 3 のブロックとは傾斜した強い反射面で区切られた CMP980 付近から南西端のブロックの 4 つである。

### A- 文献

- Hayashi, K. and Suzuki, H. (2004) CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data. 物理探査 (Exploration Geophysics), **57**, 7-13
- Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J. (1999) Multichannel analysis of surface waves. geophysics, **64**, 800-808.
- 加野直巳・山口和雄 (2012) 福岡市生の松原での極浅部調査—表面波探査と S 波反射法—. 物理探査学会 第 127 回 (平成 24 年度秋季) 学術講演会講演論文集, 57-60.



第 A-1 図 測線図。  
測線の数字は発震点・受振点番号、ボーリングの位置も示した。赤い線は表面波探査で延長して調査した部分。  
基図として数値地図 25000 (地図画像)「福岡」を使用。志岐断層の位置を加筆。

Fig. A-1 Location map.  
Numbers on the survey lines are shot/receiver station number. The red line is extended survey line for surface-wave survey.  
The numerical topological map (Fukuoka) is used as a base map. The boring locations is also shown. The location of Iki-Fault is added.

a)



c)



b)



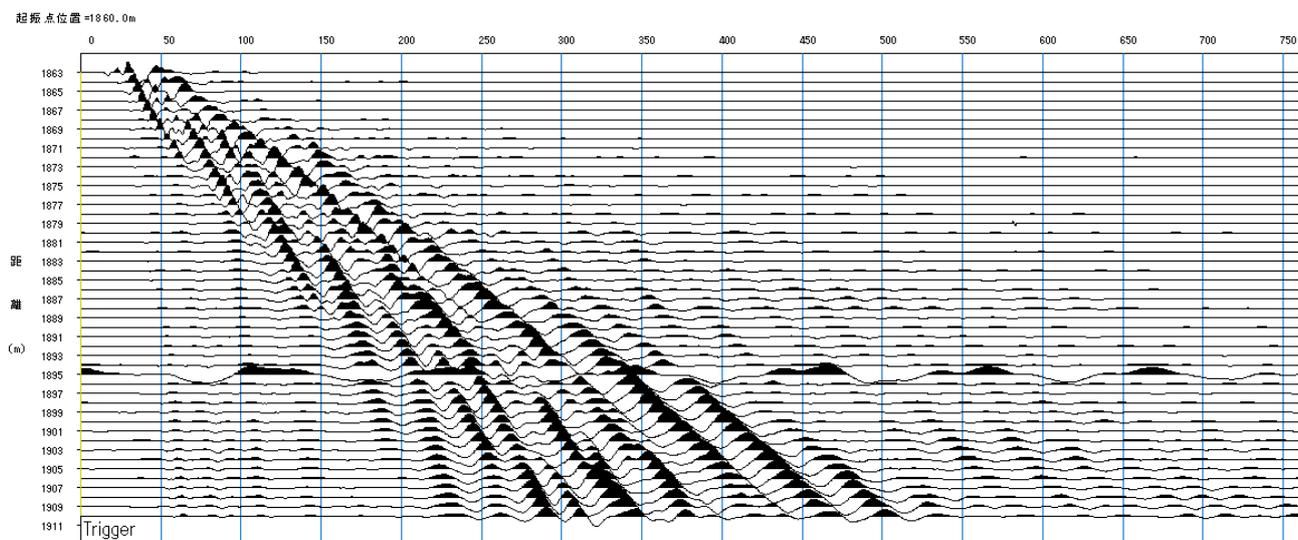
第 A-2 図 P 波震源・受振器 (ランドストリーマ).

- a) P 波震源.
- b) 受振器 (ランドストリーマ).
- c) 受振器 (ランドストリーマ) の全体.

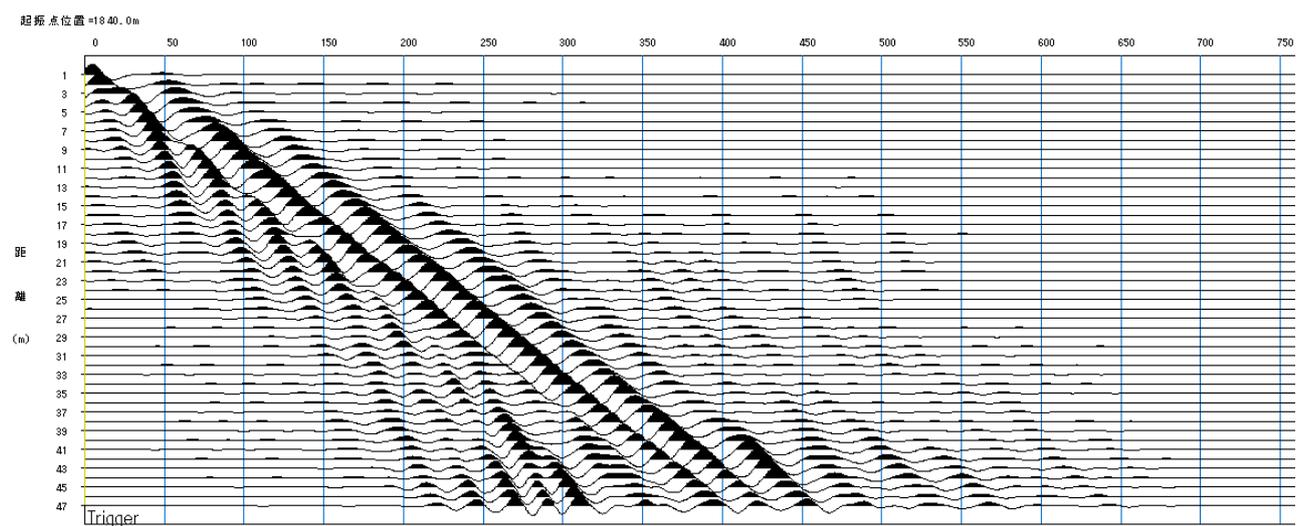
Fig. A-2 P-wave source and Receivers(Land-streamer).

- a)P-wave source.
- b)Receivers(Land-streamer).
- c)whole view of receivers(Land-streamer).

a)



b)



第 A-3 図 表面波探査発震点記録, CMPCC ギャザ例.

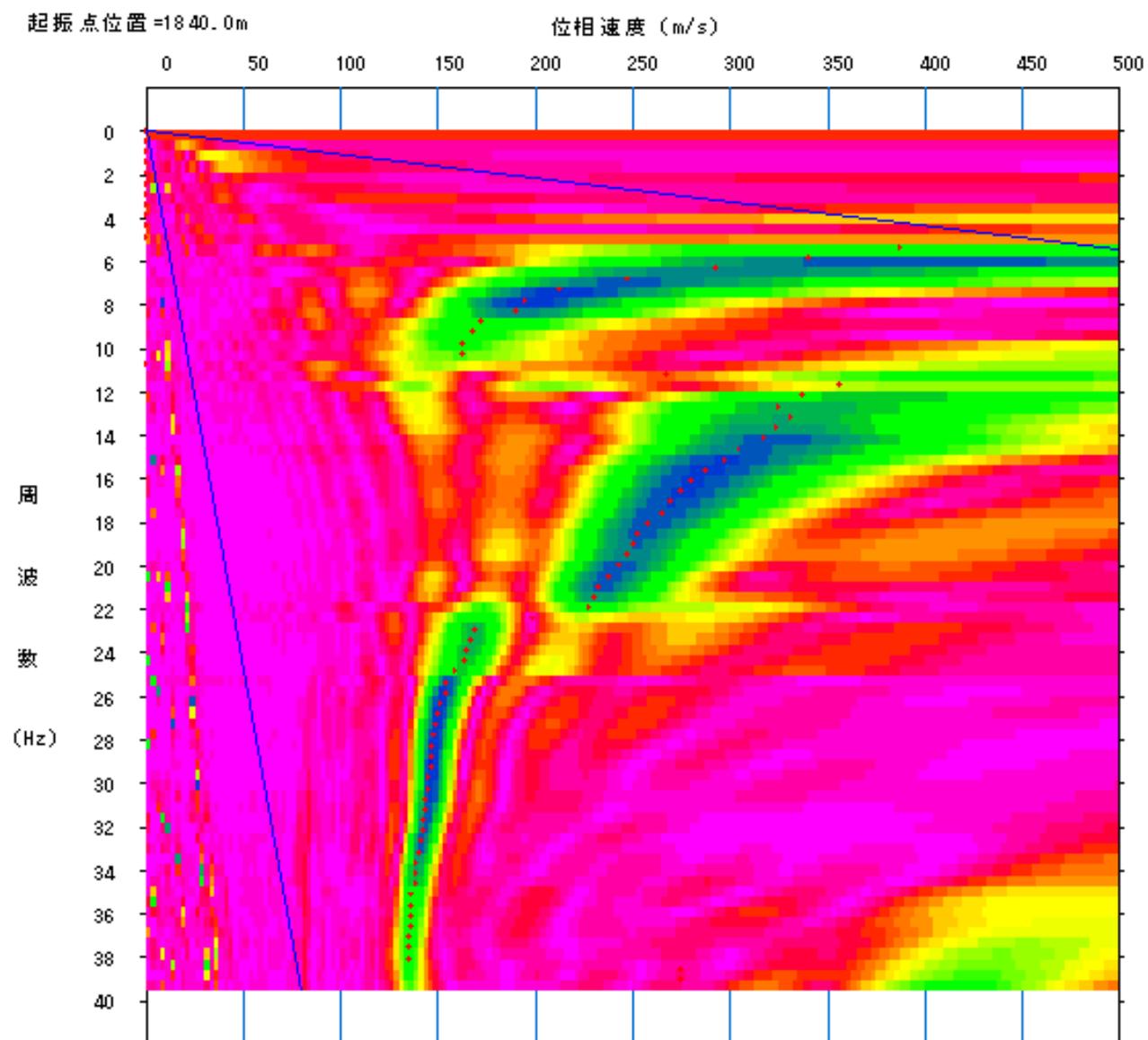
a) 発震点記録.

b) CMPCC ギャザ.

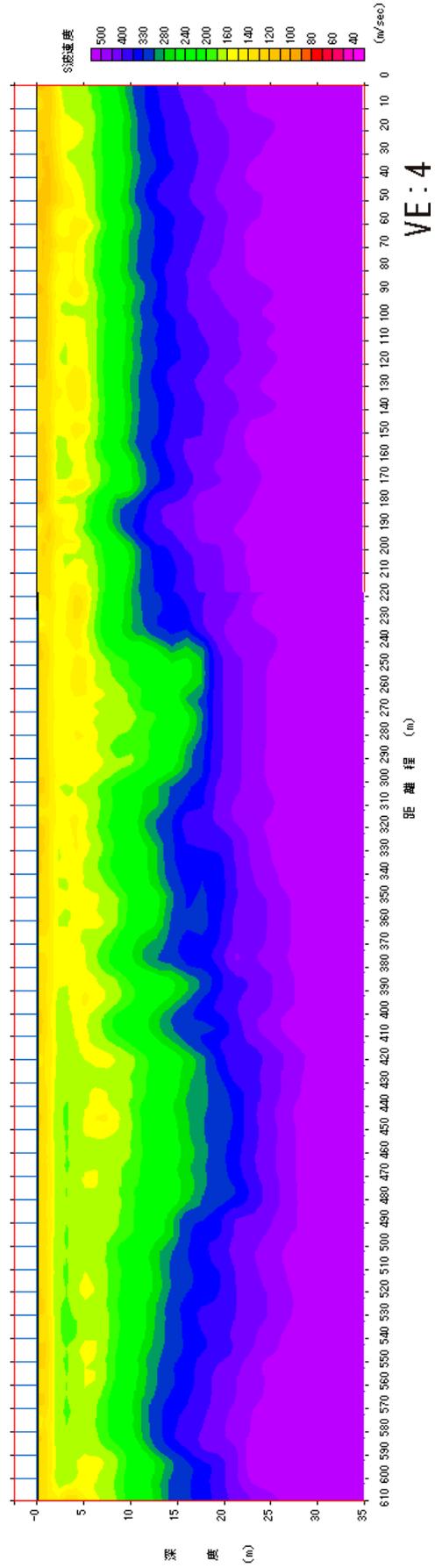
Fig. A-3 An example of shot gather and CMPCC gather of the surface-wave survey.

a) Shot gather.

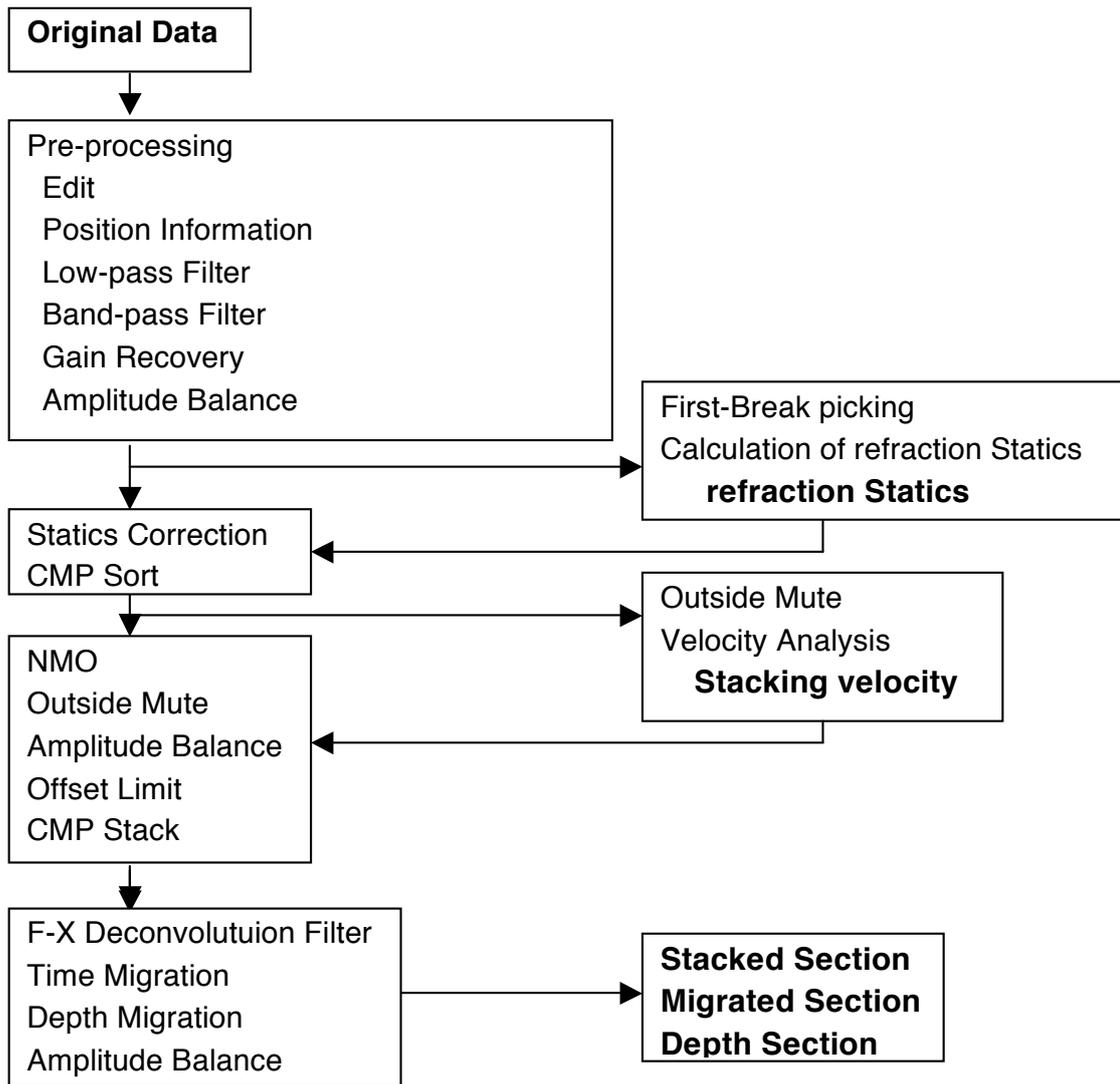
b) CMPCC gather.



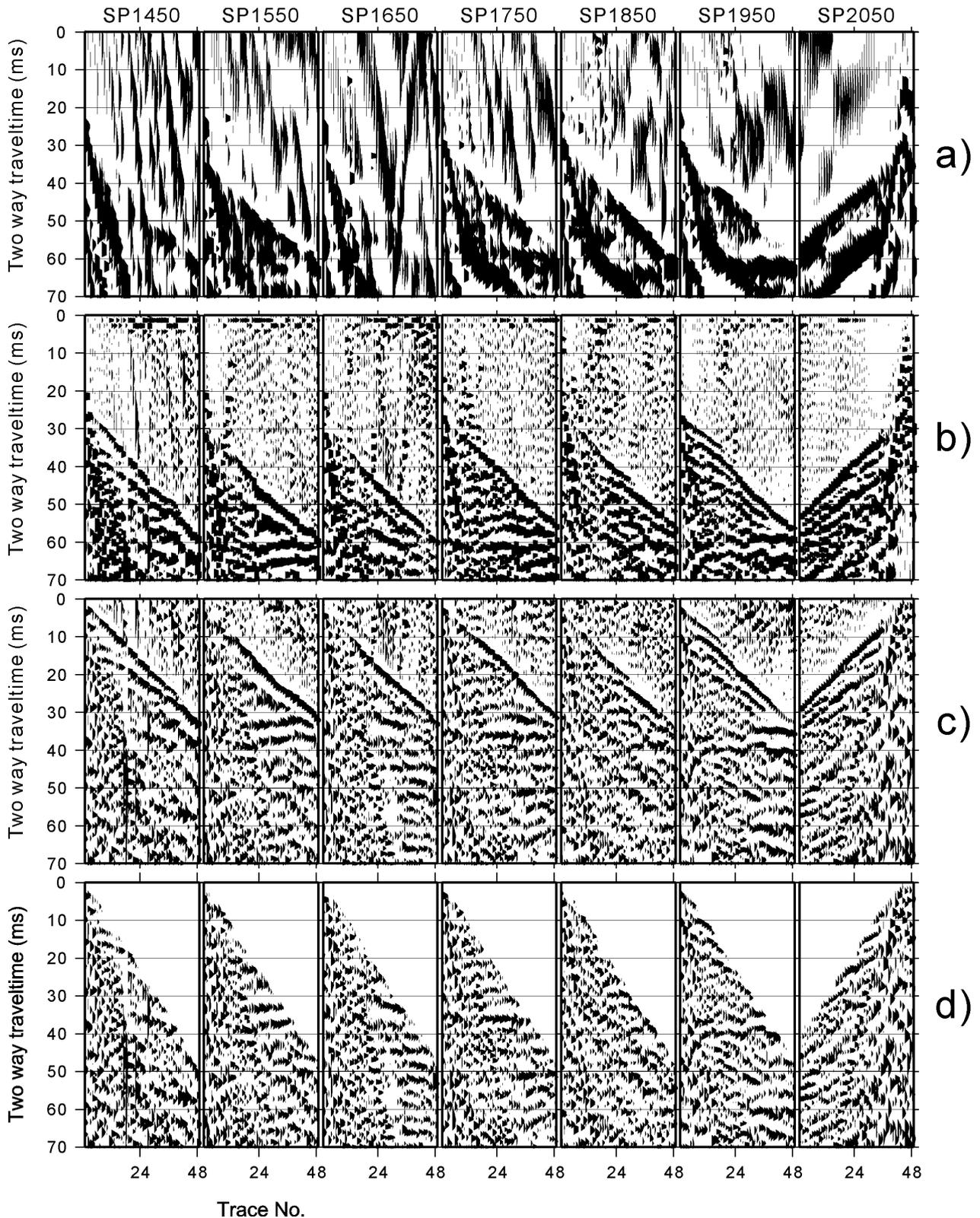
第 A-4 図 表面波探査位相スペクトラム例.  
Fig. A-4 An example of phase spectrum of the surface-wave survey.



第 A-5 図 表面波探査解析結果 (S 波速度構造).  
Fig. A-5 Result of surface-wave survey (S-wave velocity).



第 A-6 図 反射法データ処理の流れ図.  
Fig. A-6 Processing flow chart.

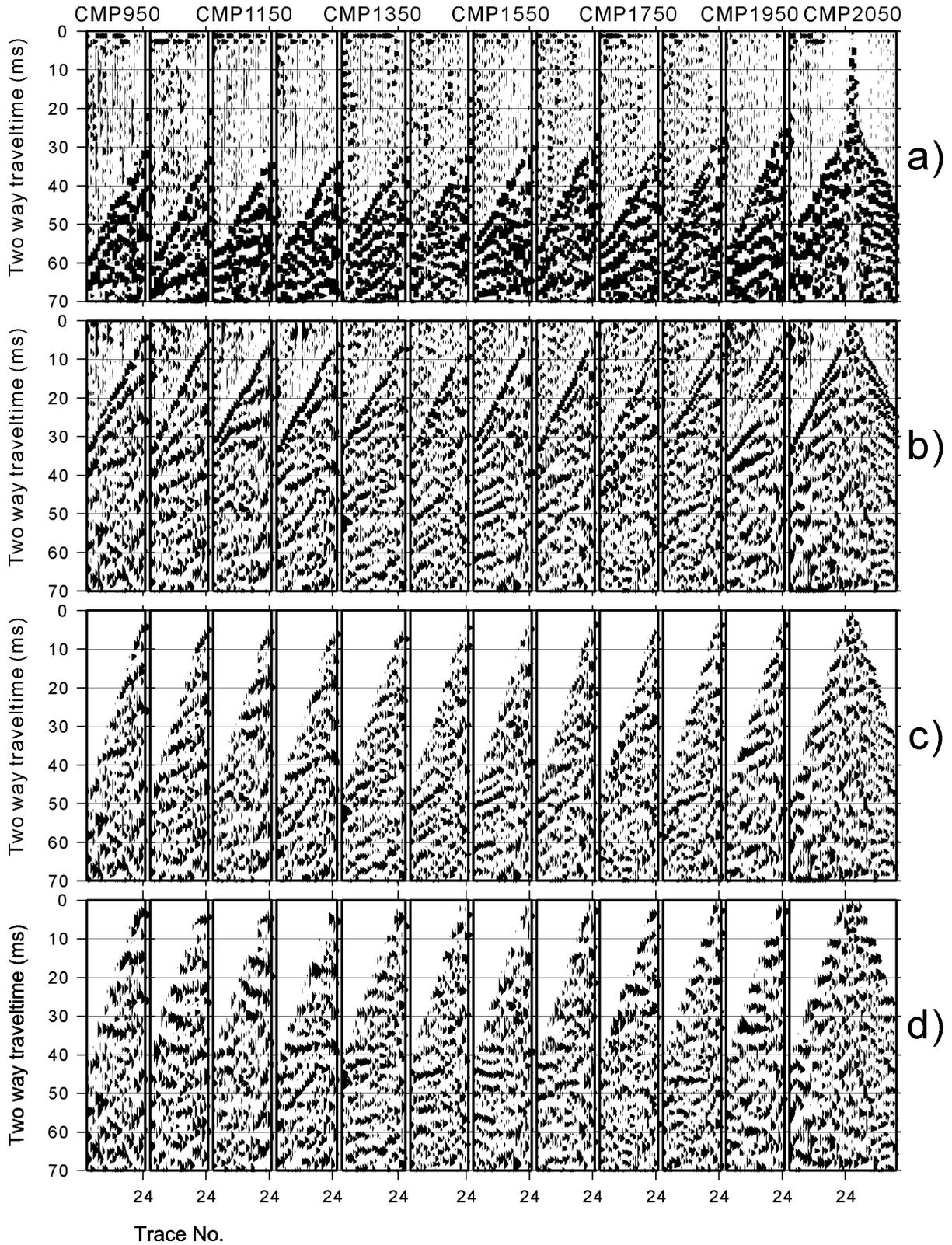


第 A-7 図 P 波反射法発震点記録例。

100m 間隔の発震点記録の例を示す。上から a) オリジナル記録, b) フィルター処理後, c) 振幅調整・静補正後, d) ミュート後の記録である。

Fig. A-7 Examples of receiver gather of Line 1.

Shot gathers in 100m interval. From top to bottom: a)Original shot, b)After filtering, c) After amplitude correction and static correction, d)After mute.

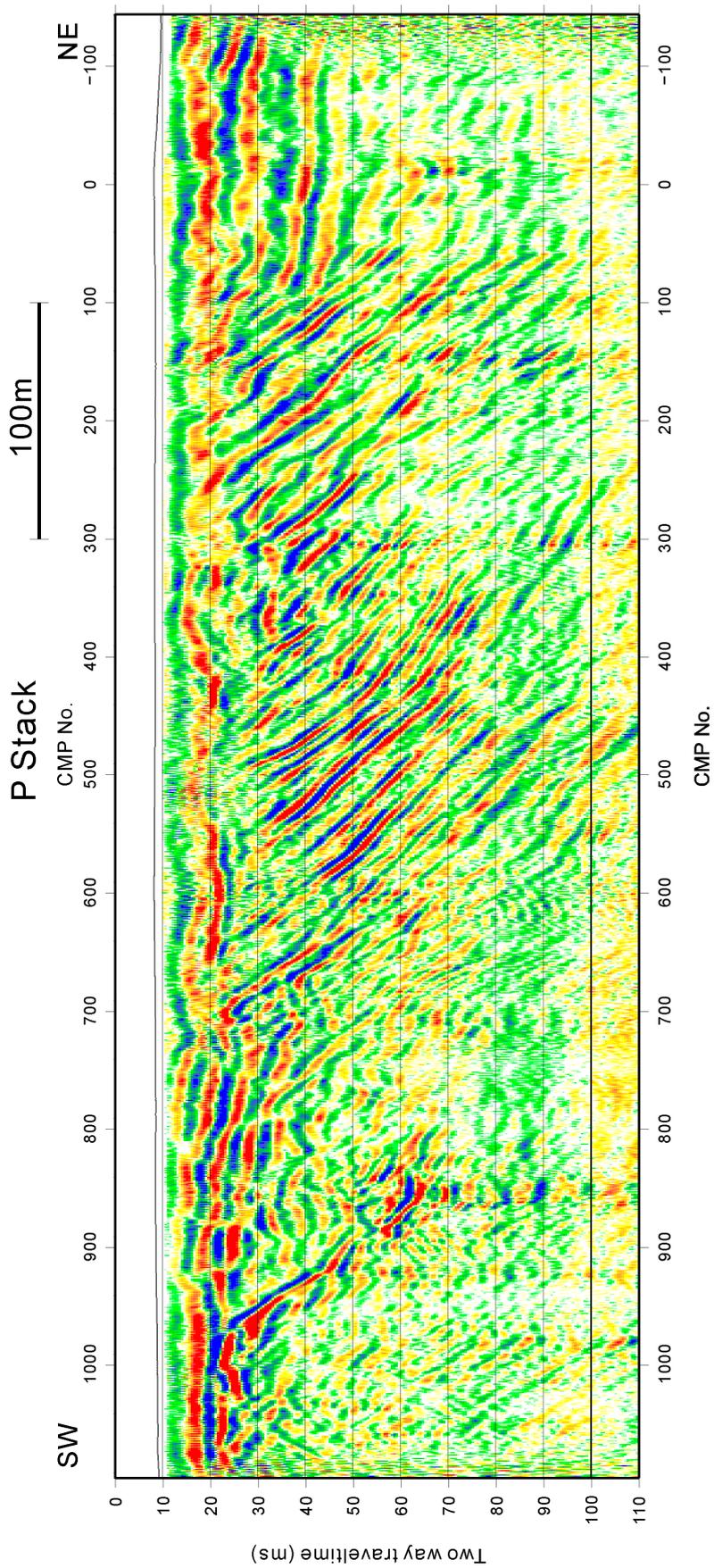


第 A-8 図 P 波反射法 CMP ギャザ例。

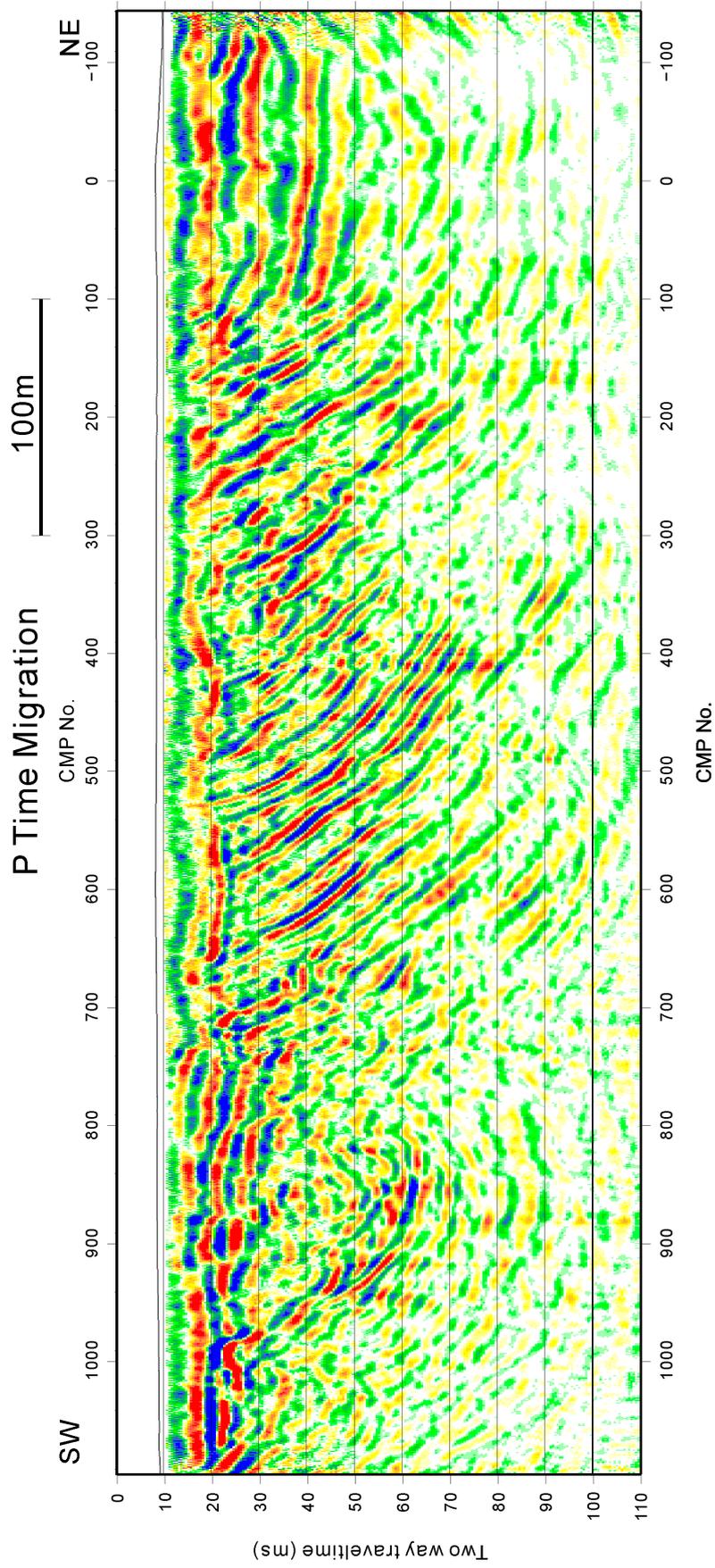
50m 間隔の CMP ギャザの例を示す。上から a) フィルター処理後, b) 振幅補正・静補正後, c) ミュート後, d) NMO 補正後の記録である。

Fig. A-8 Examples of CMP gather of Line 1.

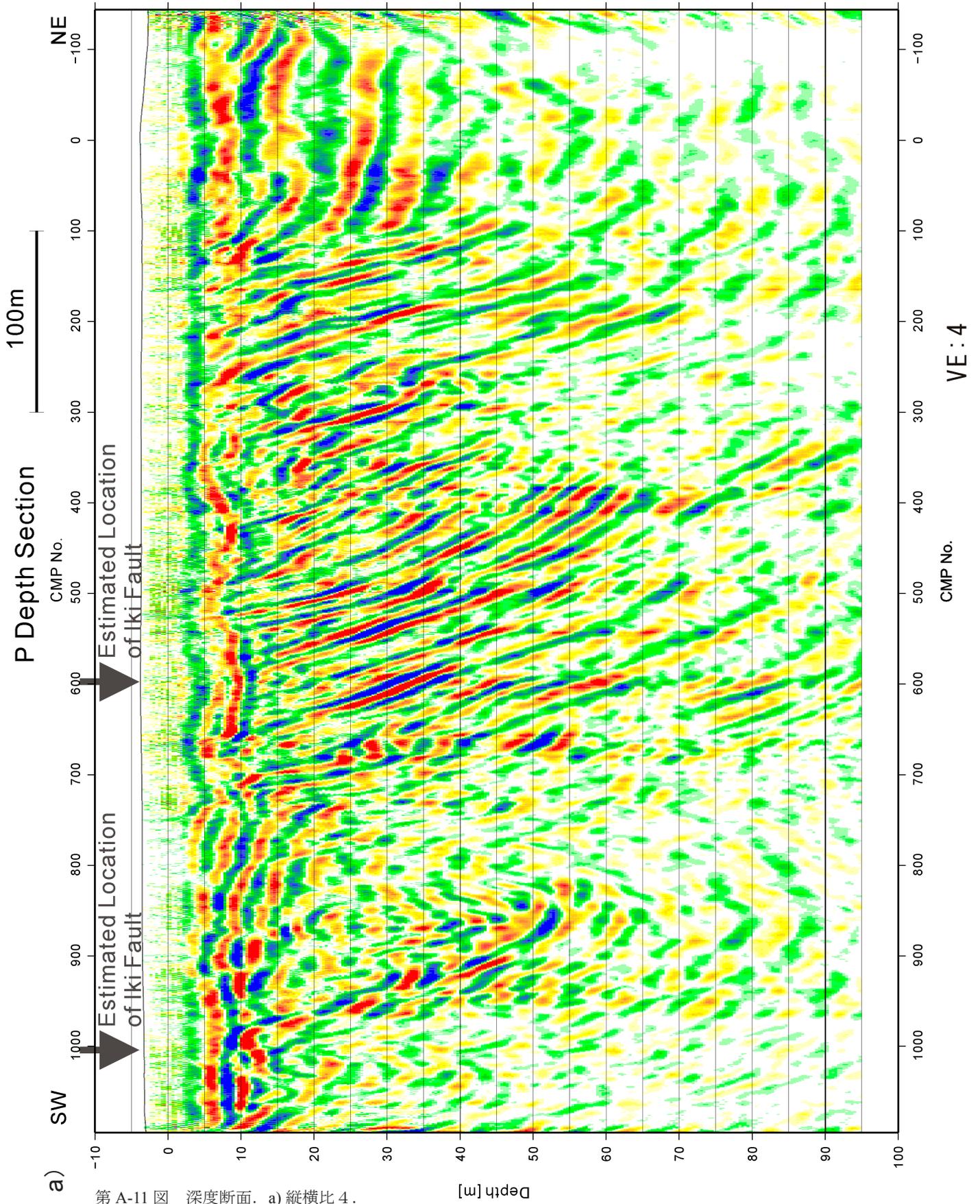
Receiver gathers in 100m interval. From top to bottom: a) After filtering, b) After amplitude correction and static correction, c) After mute, d) After NMO correction.



第 A-9 図 重ね時間断面.  
Fig. A-9 Stacked section.

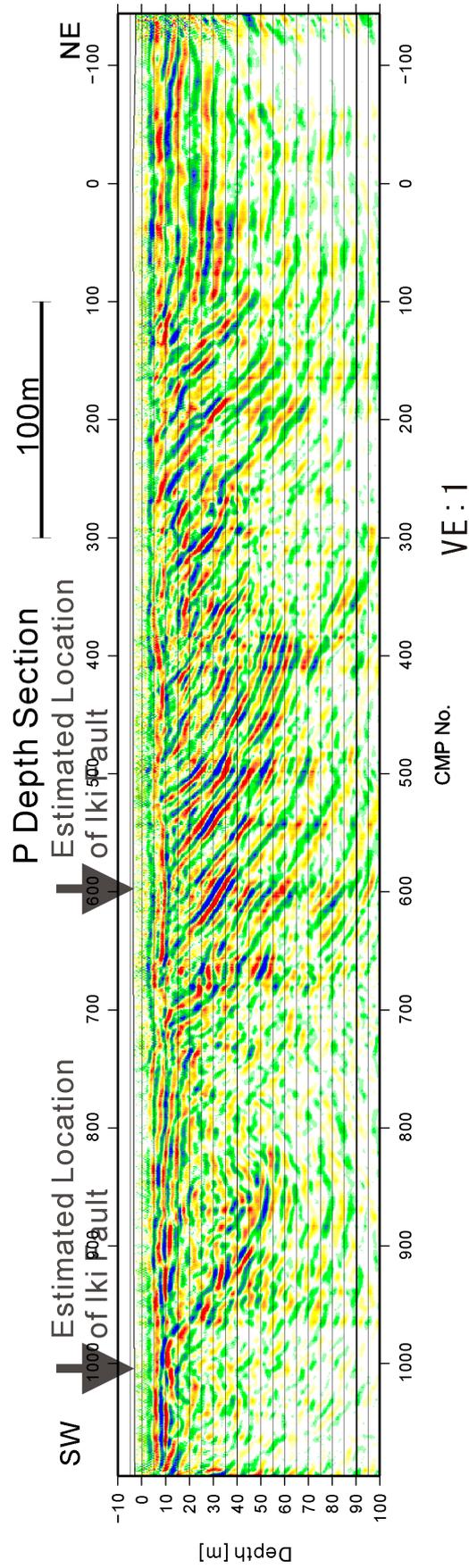


第 A-10 図 時間マイグレーション断面.  
Fig. A-10 Time migrated section.



第 A-11 図 深度断面. a) 縦横比 4.  
Fig. A-11 Depth section. a) Vertical Exaggeration =4.

b)



第 A-11 図 深度断面. b) 縦横比 1.  
Fig. A-11 Depth section. b) Vertical Exaggeration =1.