

# 地震波形インバージョンによる 大阪堆積盆地の 3 次元基盤面形状推定の試み

岩城麻子・岩田知孝 (京都大学防災研究所) e-mail: iwaki@egmdpri01.dpri.kyoto-u.ac.jp



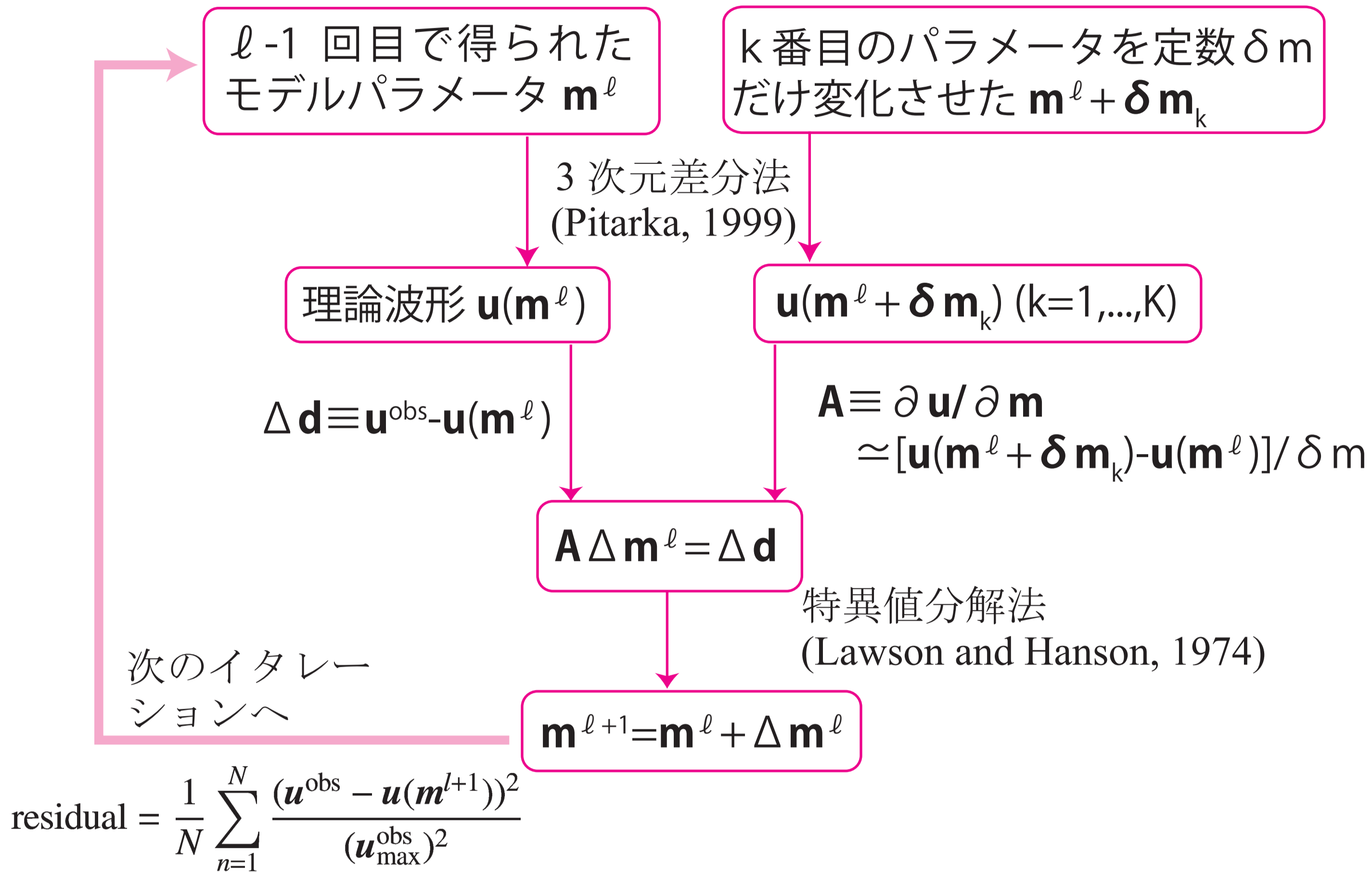
**動機と背景:** 大規模堆積盆地構造は地震動の長周期成分の増幅・伸長に大きく寄与することが知られており、信頼性の高い長周期帯域の地震動予測のためには高精度な 3 次元深部地盤構造モデルの構築が不可欠である。盆地構造による複雑な波動伝播を再現できるモデルを構築するためには地震波形による 3 次元構造のインバージョンが有効であると考えられるが、実地震記録に適用された例はまだない。実記録への適用には、観測点の高密度な分布と、ある程度精度の高い初期モデルが必要である。大阪堆積盆地において我々はこれまで、防災科研や関震協だけでなく、各機関の強震記録を収集してきた。また、地盤構造モデル Iwata *et al.* (2008) の長周期地震動の説明力を 3 次元差分法による地震動シミュレーションによって示してきた (Iwaki and Iwata, 2008)。

**本研究の目的:** 大阪堆積盆地をテストフィールドとして、地震波形インバージョンによる盆地基盤面形状推定手法の適用を試みる。

## 手法

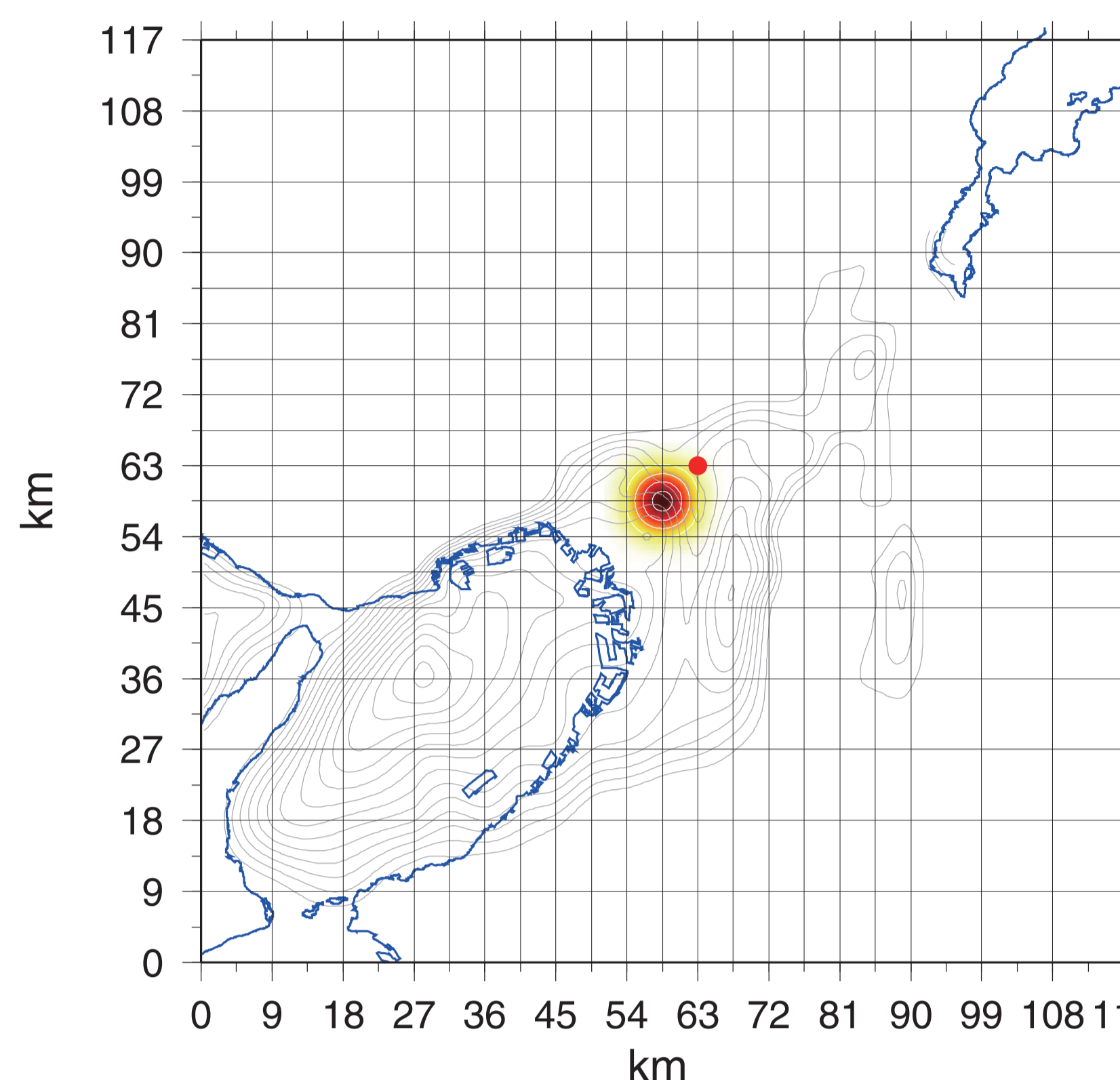
観測方程式  $u(m) \approx u^{obs}$  について、最適な構造モデルパラメータ  $m$  を最小二乗法によって求める。Aoi (2002) により提案された線形化反復法を適用する。

### l 回目の iteration



## モデルパラメータ

Iwata *et al.* (2008) による大阪堆積盆地構造モデルを初期モデルとする。このモデルは地震基盤面の 3 次元形状が 21×19 個のスプライン係数を持つ 2 次元 cubic B-spline 関数で表されており (手法は Kagawa *et al.*, 2004), 3 層の堆積層の境界面深さが基盤面深さにそれぞれ比例する。本研究ではこのスプライン係数をモデルパラメータとする。



1 つのスプライン係数はその付近の 4×4 パッチの領域をコントロールし、盆地主要部分は 10×10 個程度の係数でカバーされる。

	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
layer 1	1600	350	1700
layer 2	1800	550	1800
layer 3	2500	1000	2100
bedrock	5000	2700	2740

図 1. ある係数 (●) が  $\delta m$  変化したときの基盤深さの変化  $\delta z$  の分布。格子の交点はスプライン係数の位置、コンターは初期モデルの基盤深さ分布。

## 波形データ 対象とする地震: 2007 年 4 月 15 日三重県北部の地震 (M<sub>JMA</sub> 5.4)

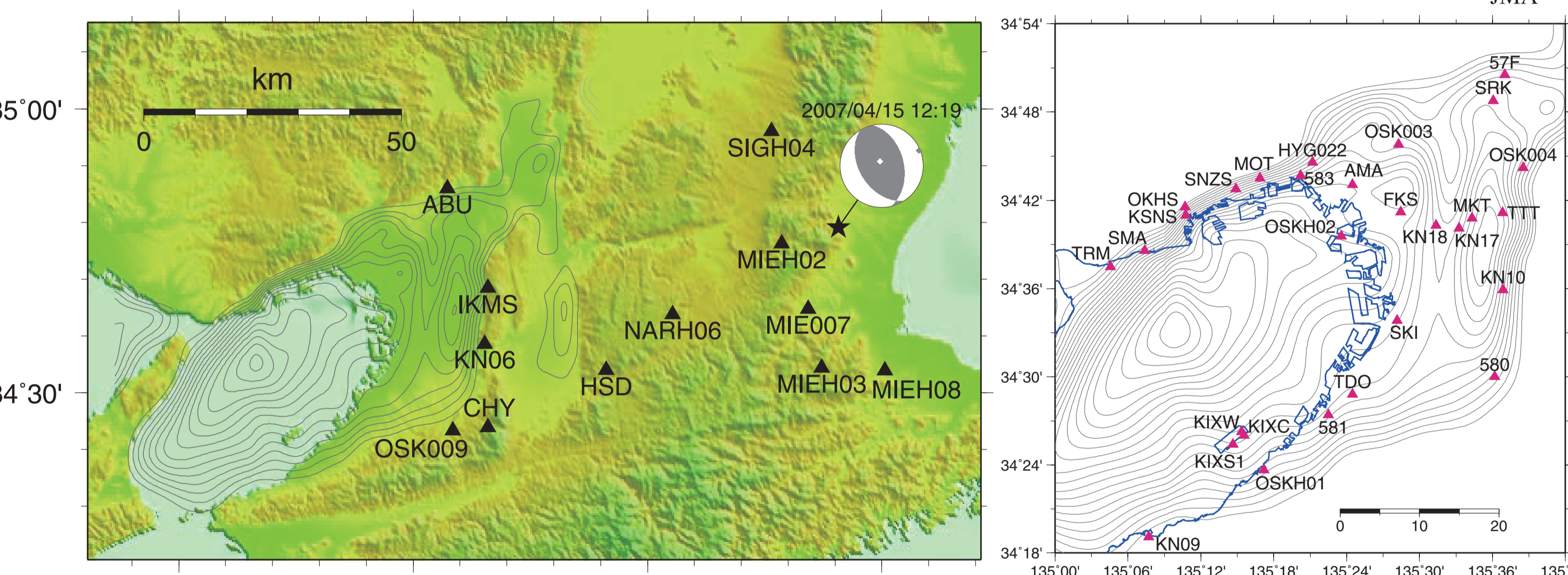


図 2. ▲岩盤観測点, ▲インバージョンに用いた観測点。コンターは初期モデルの基盤深さを表す。震央位置は気象庁、メカニズムは防災科研 F-net。

## 使用した強震観測点

関西地震観測研究協議会, 防災科研 K-NET, KiK-net, 気象庁震度計, 電力共通研究, 関西電力 (株), 関西国際空港 (株)

## 理論波形の計算

- 3次元差分法 (Pitarka, 1999): 盆地内は 125m 間隔のグリッド
- 堆積層の下および盆地の外は Iwata *et al.* (2008) を参考に 1 次元水平成層構造を仮定した。
- 点震源 (震央: 気象庁, メカニズム: F-net) とし、震源深さ 10km と震源継続時間 3 秒は震源近傍の観測点の速度波形を用いてグリッドサーチで推定した。

インバージョンには発震から 60 秒間の速度波形を用いる。観測・理論波形とも周期 5 秒周辺 (0.18-0.22 Hz) でバンドパスフィルターをかけ、全観測点の観測最大値で正規化した。

## 数値テスト

初期モデルの一部を基盤深さで最大 500m 程度変化させた "ターゲットモデル" を設定し、波形インバージョンによって初期モデルからターゲットモデルが得られるかどうかを実験した。

### モデルの変化

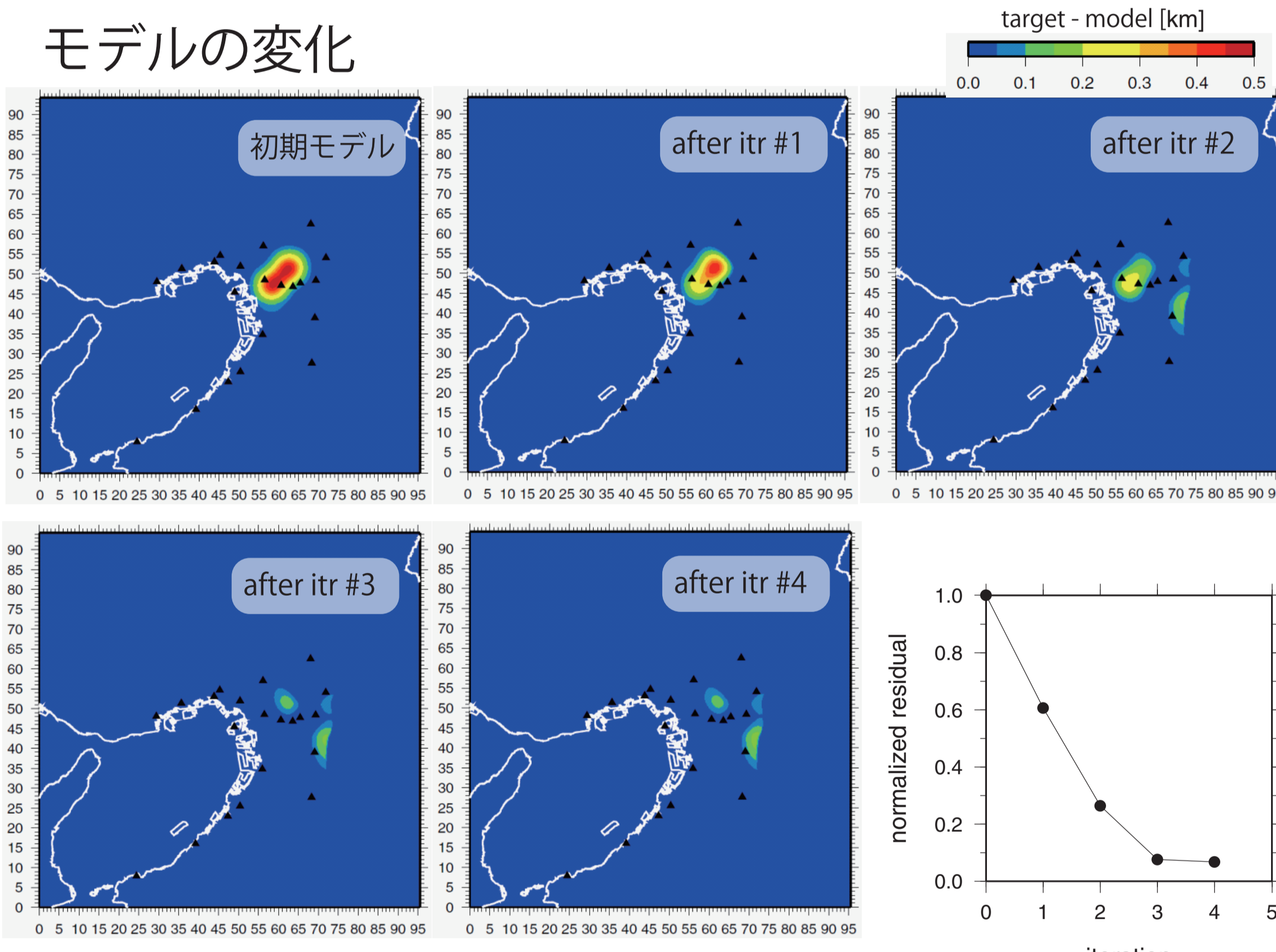
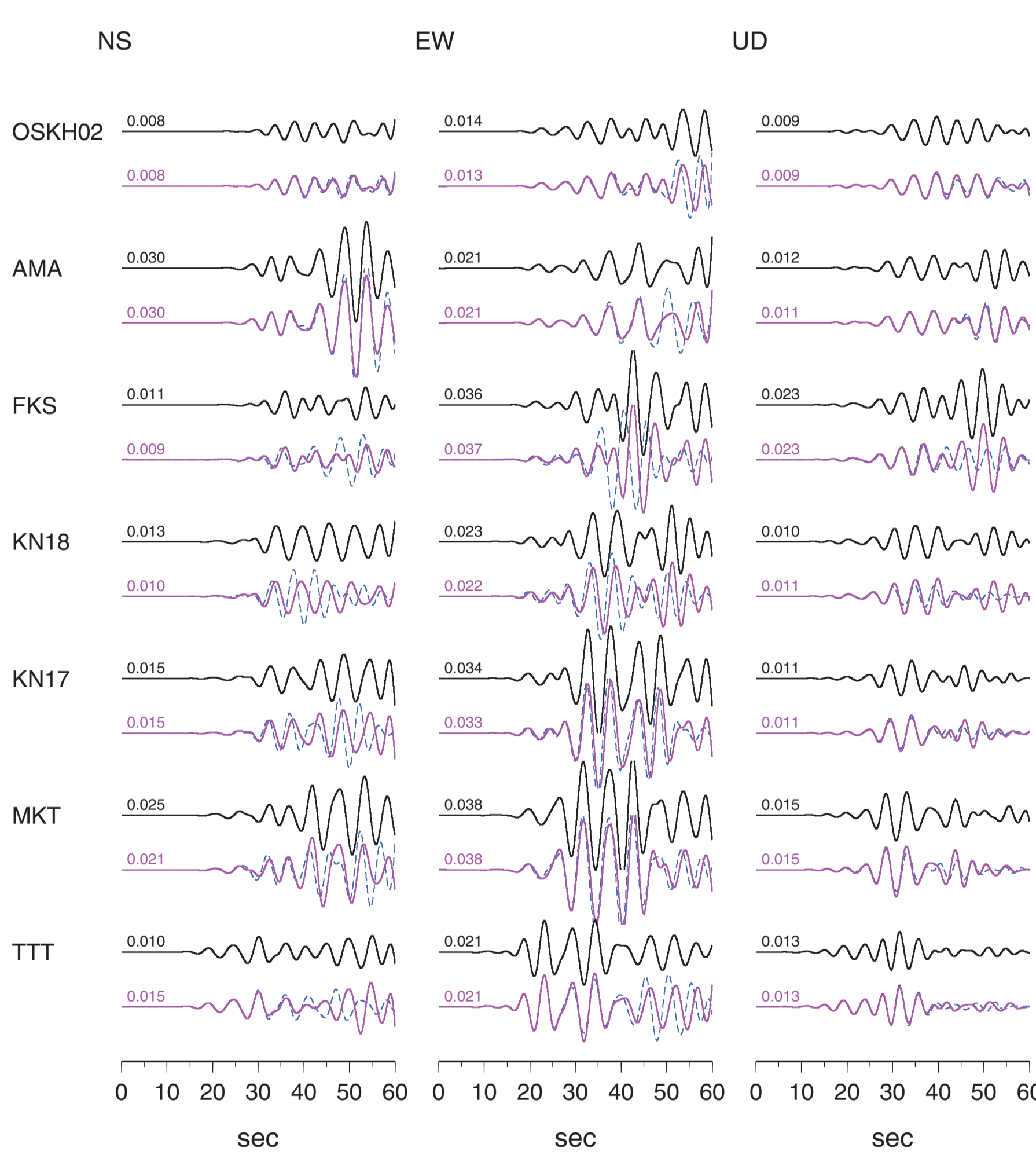


図 3. ターゲットモデルと各イタレーションで得られたモデルの基盤深さの差。下段右に各イタレーション後の波形の残差を示す。4 回のイタレーションで残差はほぼ収束した。

## 波形の変化

BPF: 0.18 - 0.22 Hz



BPF: 0.05 - 0.33 Hz

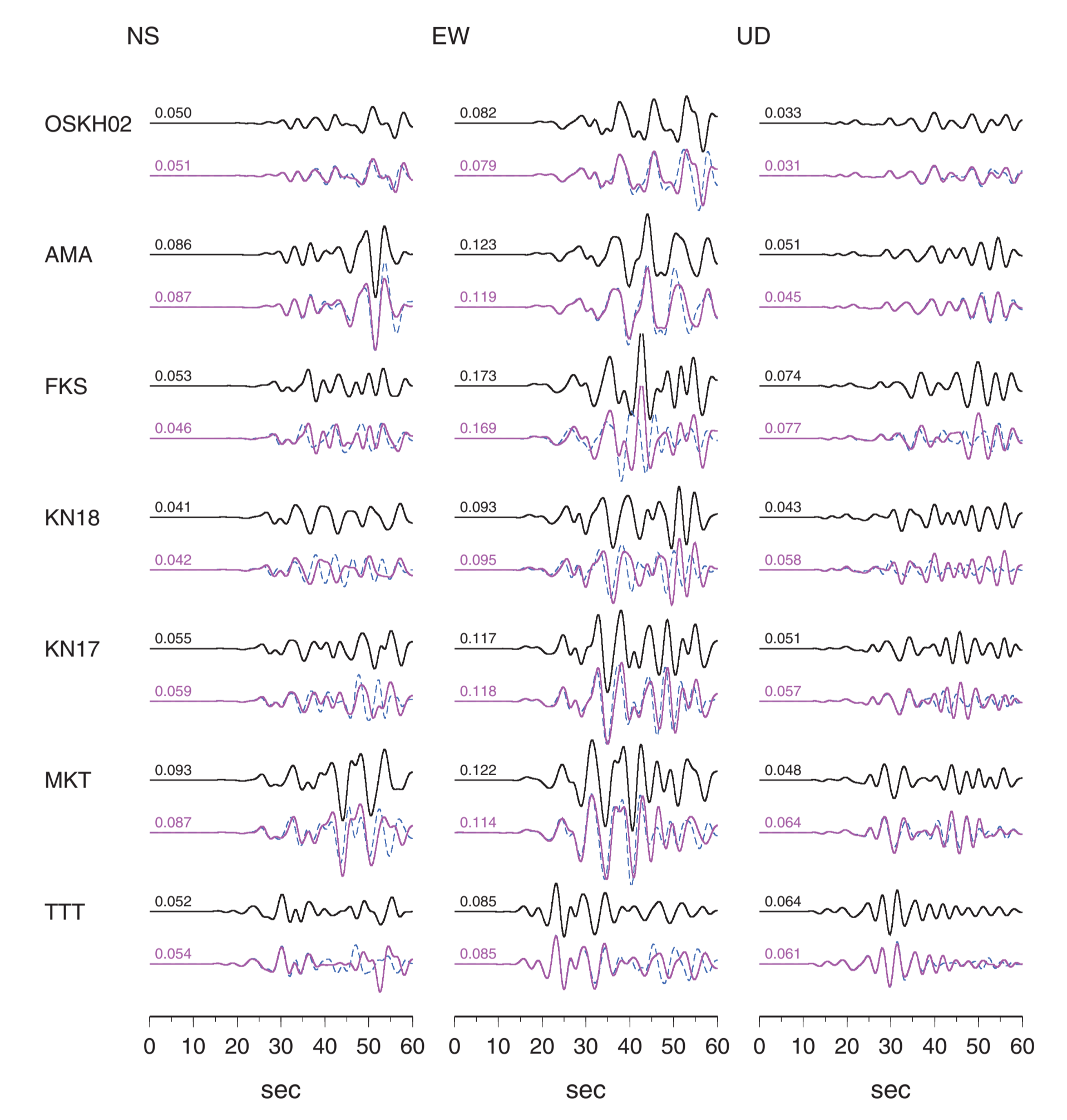


図 4. ターゲットモデルによる波形 (黒), 初期モデルによる波形 (点線), 4 回目のイタレーションの後の波形 (ピンク) の比較。波形は良好に再現されている。左: インバージョンに用いた周期帯域 (5 秒周辺)。右: 周期 3-20 秒。

## 実記録への適用

$\delta m$  (ヤコビアン  $A$  を計算するためのモデルパラメータの揺らぎ) は、基盤深さの揺らぎが最大約 100m となる  $\delta m = 0.2$  を採用した。またモデルの変化  $\Delta m$  に初期モデルに依存する拘束を与える damping factor  $\lambda$  を導入し、試行錯誤的に  $\lambda = 1.0$  を与えた。

$$\begin{pmatrix} A \\ \lambda C_M^{-1/2} \end{pmatrix} \Delta m^l = \begin{pmatrix} \Delta d \\ 0 \end{pmatrix}$$

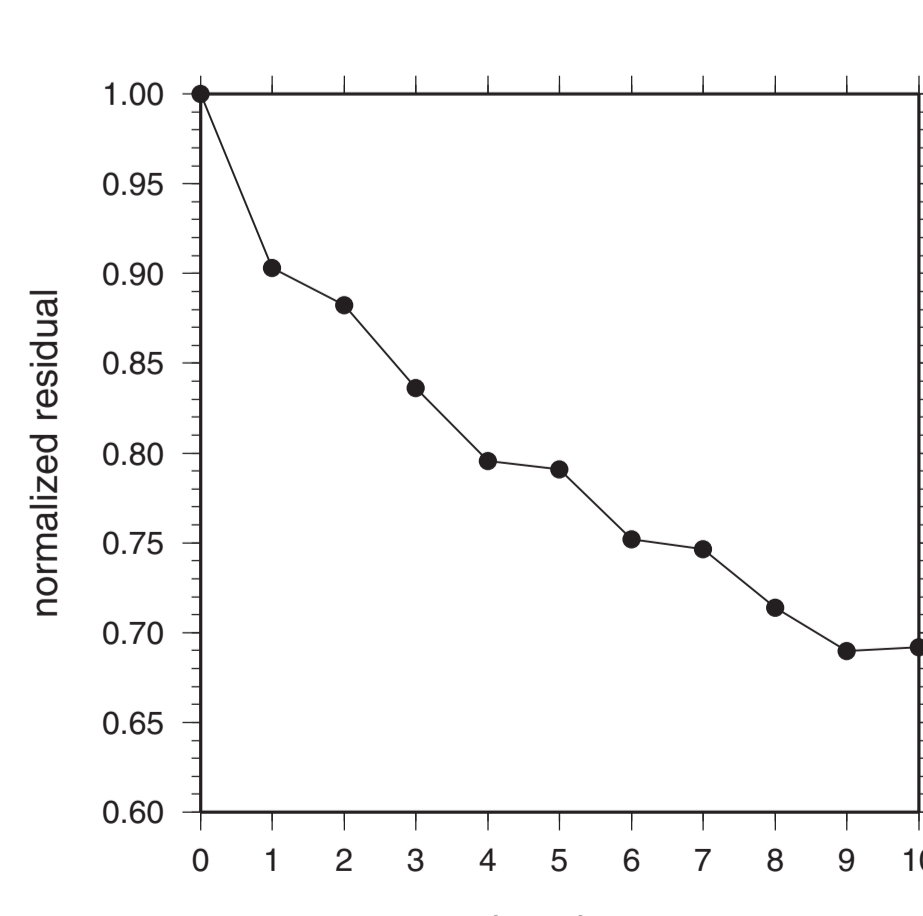


図 5. イタレーションを 10 回繰り返した時の残差の推移。

### モデルの変化

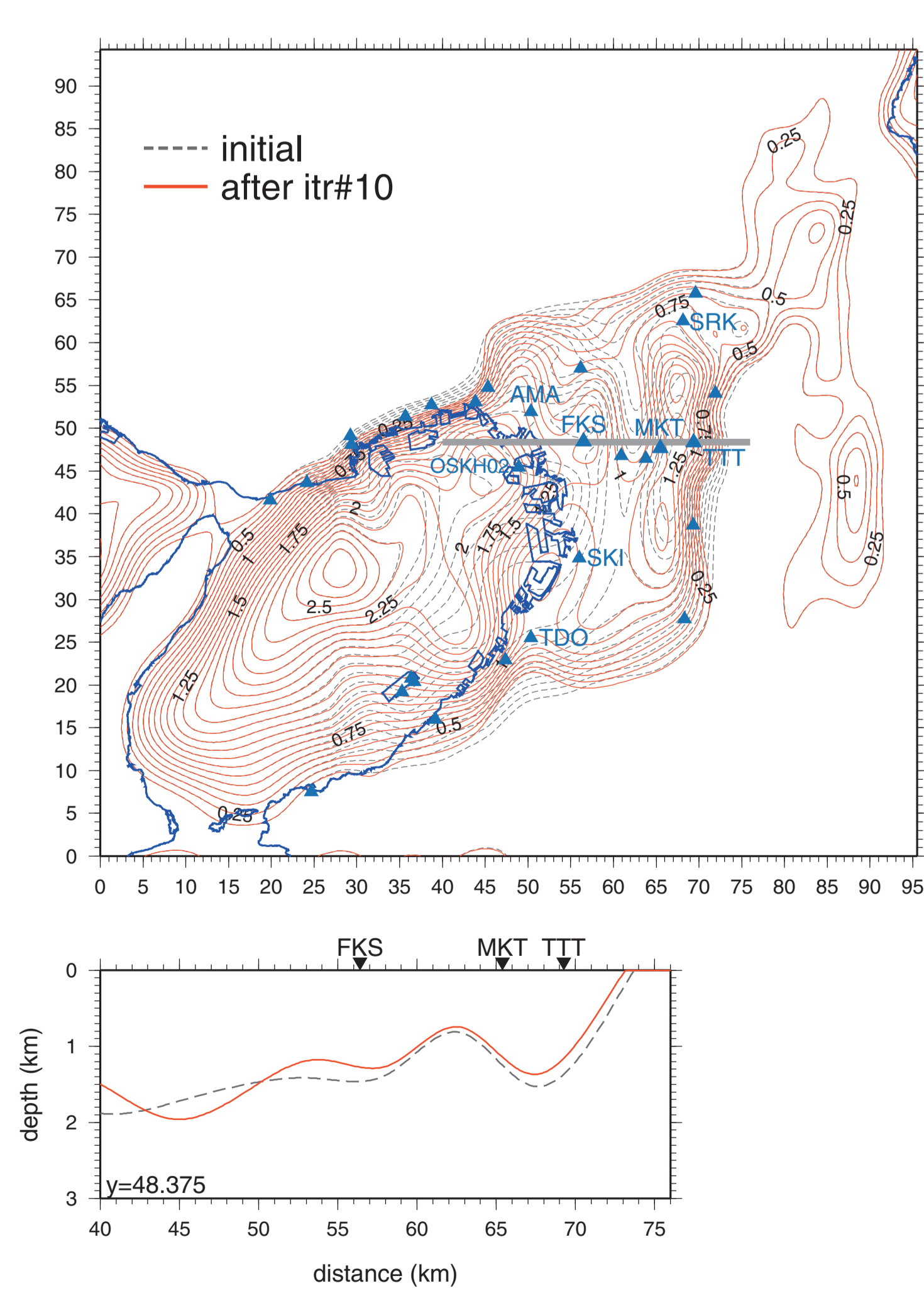


図 6. 初期モデル (点線) と 10 回目のイタレーション後のモデルの基盤深さ分布 (赤)。▲はインバージョンに用いた観測点。

### 波形の変化 BPF: 0.18 - 0.22 Hz

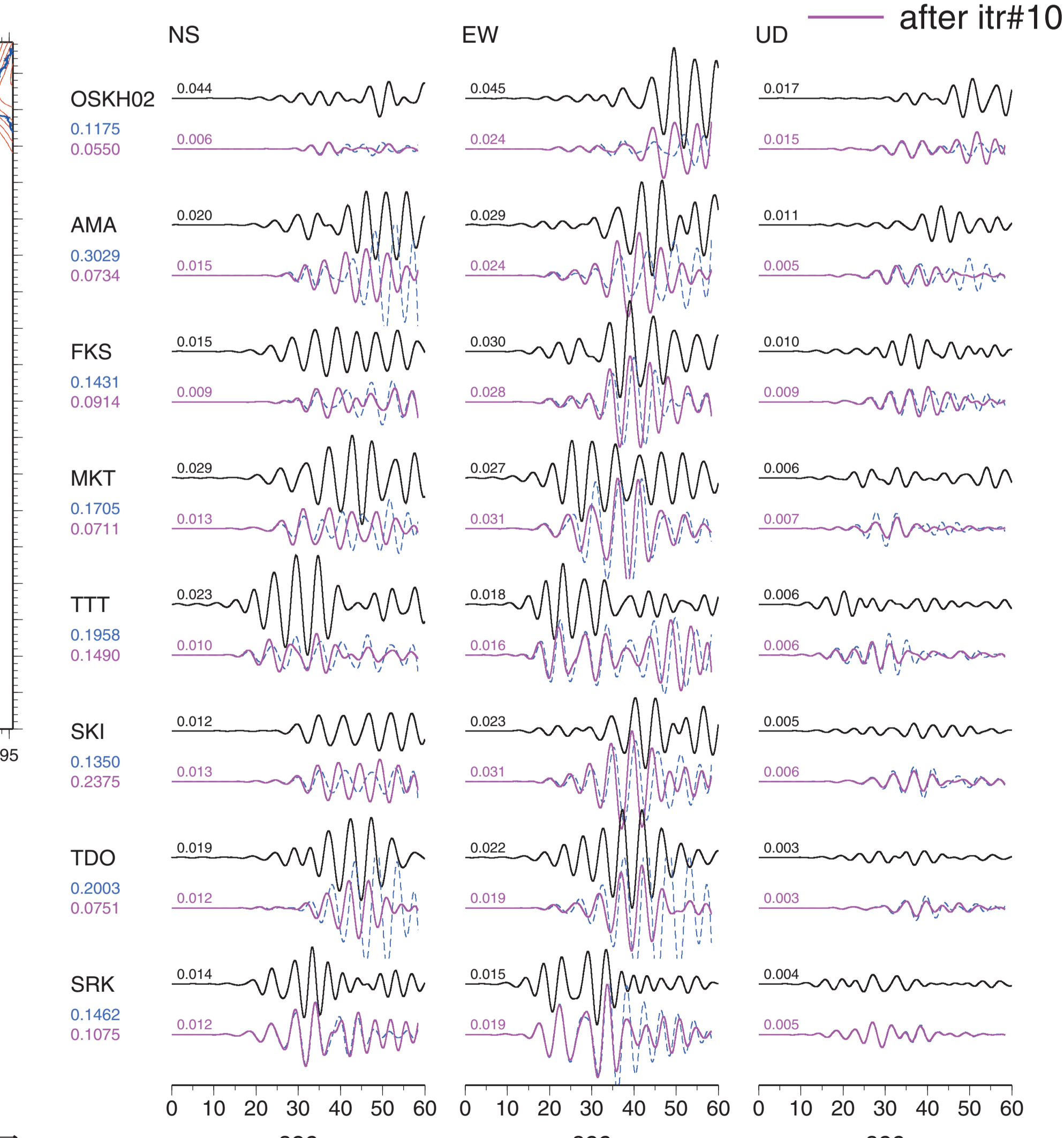


図 7. 観測 (黒), 初期モデル (点線), 10 回目のイタレーション後の波形 (ピンク) の比較。観測点名の下の数値は波形の残差を表す。

## まとめと課題

- 大阪堆積盆地において地震波形のインバージョンによる堆積盆地基盤面形状推定を試みた。
- 初期モデルをわずかに変えたモデルを用いた数値テストでは、4 回のイタレーションで残差はほぼ収束し、波形は良好に再現された。
- 2007 年 4 月 15 日三重県北部の地震 (M<sub>JMA</sub> 5.4) の記録に適用しイタレーションを 10 回繰り返したところ、残差は減少し波形の再現性は改善された。

実記録への適用において  
 ✓残差はまだ収束していない。  
 ✓位相がずれて残差の増えた観測点もあった (SKI)。  
 ・モデルパラメータの選び方  
 ・波形残差に加え、位相差の評価  
 ・解析対象周波数帯域等を検討する必要がある。

## 謝辞

本研究では関西地震観測研究協議会, (独) 防災科学技術研究所 K-NET・KiK-net, 気象庁震度計, 電力共通研究, 関西電力 (株), 関西国際空港 (株) による強震記録, および気象庁一元化震源情報と防災科学技術研究所 F-net のモーメントテンソル解を使用しました。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

Aoi (2002). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 2410-2418.  
 Iwata *et al.* (2008). *J. Seismol.*, **12**, 223-234.  
 Iwaki and Iwata (2008). *EOS Trans. AGU*, **89**(53), S33C-05.  
 Kagawa *et al.* (2004). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **94**, 1353-1368.  
 Lawson and Hanson (1974). *Printice-Hall*, New Jersey, 340pp.  
 Pitarka (1999). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **89**, 54-68.