

### 3. 3. 1 2. 3 活断層および周辺地殻の三次元速度・減衰構造モデルの研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目：活断層および周辺地殻の三次元速度・密度構造モデルの研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	教授	伊藤 潔	ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	産学官連携 研究員	廣瀬一聖	hirose@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助手	大見士朗	ohmi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	赤松純平	akamatsu@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助手	中村佳重郎	nakamura@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
産業技術総合研究所	主任研究員	駒澤正夫	komazawa-m@aist.go.jp
岡山理科大学	教授	西村敬一	nisimura@big.ous.ac.jp

(c) 業務の目的

近畿地方の活断層系について、断層の深部形状の把握および活断層とその周辺地域の地殻構造モデルの推定を過去の制御震源データを用いて検討する。また、既存の地震観測網データベースを用いて近畿圏および活断層周辺の地殻の三次元速度構造モデルを作成する。既存の重力データベースに新たな重力観測データを加えて近畿圏中央部の活断層を含む三次元基盤構造モデルを作成する。

(d) 5カ年の年次実施計画

- 1) 平成14年度：既存の制御震源実験データ・地震観測網データ・重力データの収集・コンパイル、データ解析手法の検討を行った。
- 2) 平成15年度：制御震源実験データの走時解析、地震観測網データによる三次元速度構造の解析、および重力データの解析を行った。
- 3) 平成16年度：制御震源実験データの走時および波形(後続波群)の解析、自然地震の走時データを用いた三次元速度構造トモグラフィ解析、および重力データ解析の基礎となる基盤岩の密度測定を行った。
- 4) 平成17年度：地殻構造と地震発生特性の詳細な検討、近畿圏の地殻内および活断層近傍の詳細な三次元速度構造モデルの作成、および有馬高槻構造線近傍における三次元密度構造モデルの作成を行う。
- 5) 平成18年度：近畿全体の地殻構造と地震発生特性、地殻内および活断層近傍の詳細な三次元速度構造、および近畿圏中央部の基盤構造と三次元密度構造に関する取りまとめを行う。

(e) 平成17年度業務目的

制御震源データについて走時データおよび後続波形の系統的な解析を行い、地殻深部までの地震発生場の構造特性を抽出する。前年度までに実施した自然地震走時データによる三次元速度構造トモグラフィーの改善を行う。有馬高槻構造線近傍における重力データの追加測定を行い、詳細な三次元密度構造モデルの作成を行う。

## (2) 平成 17 年度の成果

### (2-1)人工地震記録を用いた近畿地方の地殻構造

伊藤 潔 (京都大学防災研究所)

ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

廣瀬一聖 (京都大学防災研究所)

hirose@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

#### (a) 業務の要約

本項目では、活断層の深部構造や、活断層と地殻構造の関係を明らかにすることを目的として、過去に近畿地方で行われた人工地震による地殻構造探査記録を統合的に再解析し、近畿地方広域の地殻構造の推定を行った。解析には、広角反射法解析と屈折法解析を用いて、観測測線に沿った地表から上部マントルに至る反射断面および、地震波 (P 波) 速度構造を得た。さらに、得られた反射断面及び速度構造の理解のために、震源データや地質などの関連データとの比較、検討を行った。本研究で得られた活断層の構造や地下速度構造は、強震動予測の精度向上の研究や、内陸で発生する大地震のメカニズムを探る上で、重要な資料となることが期待される。

#### (b) 業務の実施方法

##### 1) 近畿地方における人工地震探査

本研究では、過去に近畿地方で実施された人工地震を用いた地殻構造探査記録のうち、1989 年藤橋—上郡測線および 1995 年京北—西淡測線の記録を収集し、広角反射法及び、屈折法によるデータの再解析を行った。各測線の概略を表 1 に、測線の分布を図 1 に示す。

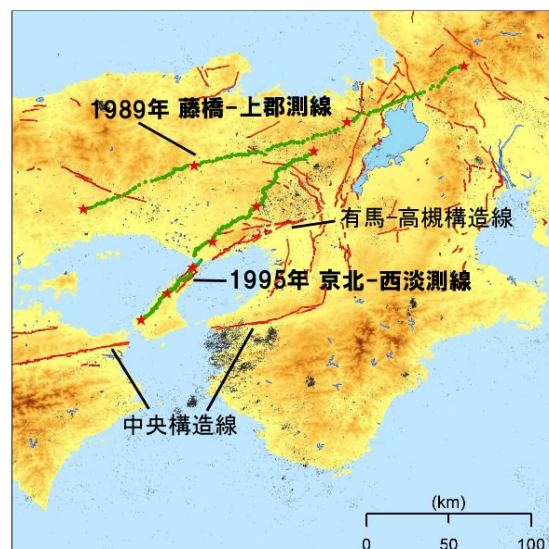


図 1 1989 年藤橋—上郡測線および 1995 年京北—西淡測線。★は発破点を示す。黒い点は気象庁による 1998-2004 年の M3 以上の震央分布で、赤い線は活断層を示す。

表1 本研究で用いた人工地震探査測線の概要。

測線名	実施年	測線長	発振点数	観測点数	サンプリング 間隔	記録形式
藤橋-上郡	1989年	220km	4点	137点	10msec	アナログ
京北-西淡	1995年	135km	6点	205点	10msec	デジタル

これらの実験は、爆破地震グループ（爆破地震動研究グループ，1995<sup>1)</sup>；1997<sup>2)</sup>）により行われた。各測線記録は、観測時期や観測目的が異なるため、探査の方法、精度、記録の質が大きく異なるが、各記録を統合的に解析することにより、新たな知見が得られることがある。つまり、これまで解析は測線毎に行われてきたが、図1に見られるように、両測線及び、大大特Iにより2004年に行われた新宮-舞鶴測線は、ほぼ同一領域で交差しているため、速度構造を求める際に速度境界などを拘束することができ、一測線だけでは見出せなかった速度境界を決めることができるため、かつ、ユニークなモデルを作成することができる。さらに、本研究では、上記の記録を用いて広角反射法解析を行った。一般的な反射法探査では、数十m規模の小さな反射体を認識するために、観測点間隔は数十m～100m程度にとられ、鮮明なイメージを得るために多数の発振点による地震トレースを重ねる。しかし、上記の探査実験は屈折法解析により速度構造を求めることが目的であったため、観測点間隔が数百m～数kmと長く、発振点数もそれぞれ4点、6点と非常に少ない。しかし、活断層や沈み込んだフィリピン海プレートなど、大規模な反射体であれば認識できることが期待される。

## 2) 解析方法

本節では、広角反射法解析、屈折法解析の順で、データ解析内容を詳述する。

### a) 広角反射法解析

本節では、広角反射法解析について記述する。目的は、地震波形トレースから反射断面のイメージを得ることである。図2にデータ処理のフローチャートを示す。なお、本研究では、(株)地球科学総合研究所による反射法解析プログラム SuperX-C を用いて解析を行った。

#### i) フォーマット変換、トレースヘッダーへの測線情報の入力

本研究で用いたデータは、爆破地震動研究グループのフォーマット（アスキー形式）で配布されているため、SuperX-C フォーマット（バイナリ）に変換する。その際、発振点、受信点のインデックス、座標、標高値、オフセット距離等の測線情報を SuperX トレースヘッダーに入力した。

#### ii) 初動ミュート

強振幅の初動部分を抑制するために、テーパー長 1000msec、スライディング速度 6000m/s で、初動抑制処理（ミュート）を行った。

### iii) 振幅回復

弾性波が地中を伝播する際、幾何学的発散、媒質への吸収、多層構造内での多重反射などにより、その振幅は減衰する。そこで、ウインドー長 2000msec の自動振幅調整 (AGC) 処理を行い、減衰したトレースの振幅の補償を行った。

### iv) フィルター処理

周波数解析によって反射波の有効周波数帯域を決定した。本研究では地表から上部マントルまでを調査範囲とし、深部からの反射波をより見やすくするため、表 2 に示すように往復走時 (深さ) によって周波数通過帯域を変化させた。

### v) デコンボリューションフィルタ

地層の多重反射や非弾性による吸収、震源波形や受信機のゴースト効果などにより、観測により得られた地震波形は乱れている場合が多い。より鮮明な地下構造のイメージを得るために、デコンボリューションフィルタにより、得られた地震波形トレースをインパルスかそれに近い波形に変換する。ここで、次式の 1 次元デコンボリューションモデルを前提とする。

$$F(t)=W(t)*R(t)+N(t)$$

ここで、 $F(t)$  は観測によって得られた地震波形トレース、 $W(t)$  は基本波形、 $R(t)$  はランダム定常な反射系数列、 $N(t)$  はホワイトノイズを表す。基本波形を観測波形から推定し、除去するためにデコンボリューションを適用した。比較テストにより、以下のパラメータを得た。

ゼロオフセットにおけるオペレータ設計ゲート開始時刻	: 3000msec
ゲート長	: 8000msec
オペレータ長	: 450msec
ゲートスライディング速度	: 6000m/s
ホワイトニング・ノイズ	: 0.5%
予測距離	: 140msec

### vi) 共通反射点編集および、静補正

測線両端の発振点を結ぶ直線を重合測線とみなし、CMP 編集を行った。CMP 間隔、CMP 総数、平均重合数を表 3 に示す。

本研究では観測点間隔の長い記録を用いており表層補正を行うことができないため、本研究では静補正に標高補正のみを施した。

### vii) 速度解析、NMO 補正及び、共通反射点重合

上述のように、本研究で用いた記録は CMP 総数が少ないため、通常の方法で行うことができない。本研究では、各測線について、全トレースを 4000m/s から 8000m/s まで 500m/s ごとに、一定速度で NMO 補正を行い、深さごとに適当な NMO 補正速度を見積もった。得られた速度を、図 3 に示す。この一次元の速度を用いて NMO 補正、共通反射点重合を行った。

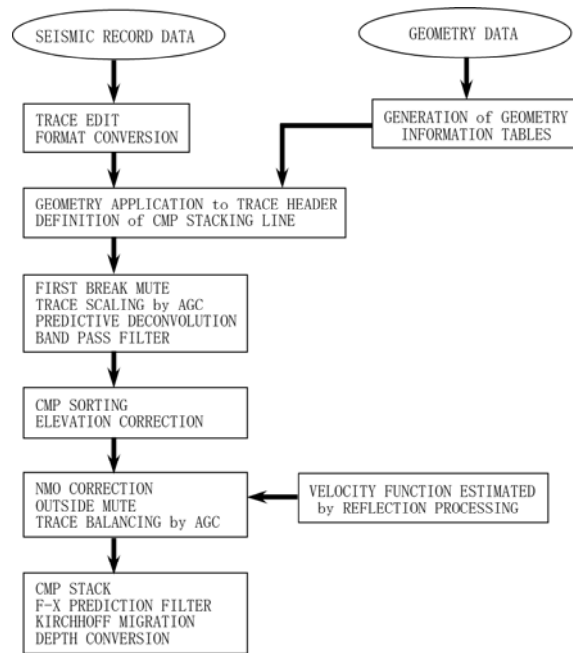


図2 広角反射法解析におけるデータ処理の流れ図

表2 バンドパスフィルター処理で用いた、往復走時とカットオフ周波数。

Travel time(s)	Cut off frequency (Hz)
5	3-15
10	3-10
15	3-8
30	3-6

表3 両測線の CMP 総数、平均 CMP 間隔、平均重合数

	CMP総数	CMP間隔(m)	平均重合数
藤橋-上郡	261	843	2.2
京北-西淡	338	400	3.7

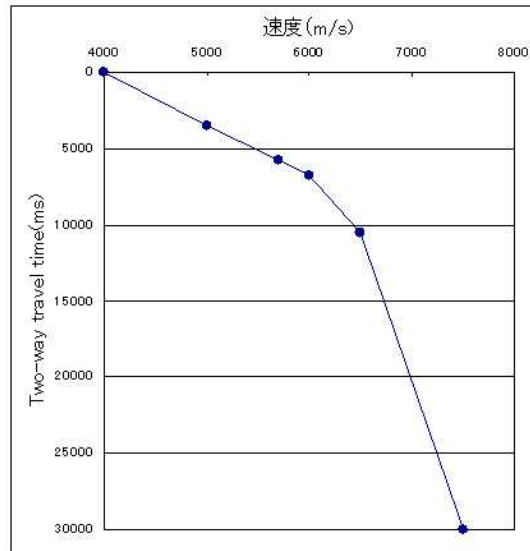


図3 両測線で用いた、速度構造一次元モデル。

viii) 周波数-空間領域(F-X)予測フィルター

周波数-空間領域において、複素 **WIENER FILTER** 理論に基づき設計した空間方向の予測フィルターを設計・適用することで、記録上に見られるランダムなノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる F-X 予測フィルターを適用した。

オペレータ長 : 3 CDPs

空間ウィンドー長 : 50CDPs

時間ウィンドー長 : 5000msec

ix) キルヒホッフ型マイグレーション

重合断面で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させるために、2次元キルヒホッフ型時間マイグレーションを適用した。片側アパチャー距離は 50km、最大傾斜角度は 40 度である。

x) 深度変換

速度解析によって得られた 1 次元速度構造を平滑化し、**Vertical Stretch** 法を用いて、深度変換を行った。

以上のステップを逐次行い、図 4 および図 5 に示す広角反射法時間マイグレーション断面を得た。なお、F-X 予測フィルターと共通反射点重合を行う順番を変えてマイグレーション断面を作成し、より鮮明なイメージが得られた順序を採用した。藤橋-上郡測線は重合後に F-X フィルターをかけたのに対し、京北-西淡測線では、F-X 予測フィルターを各ショットトレースに施した後、重合処理を行った。

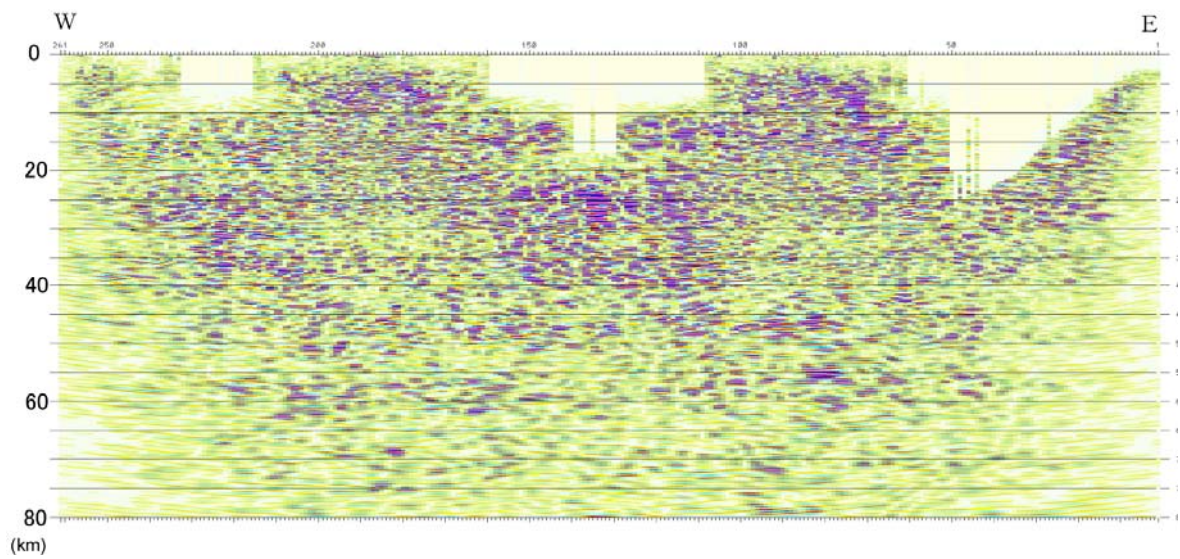


図4 1989年藤橋－上郡測線のマイグレーション深度断面。  
図の左側が西（上郡）、右側が東（藤橋）を示す。

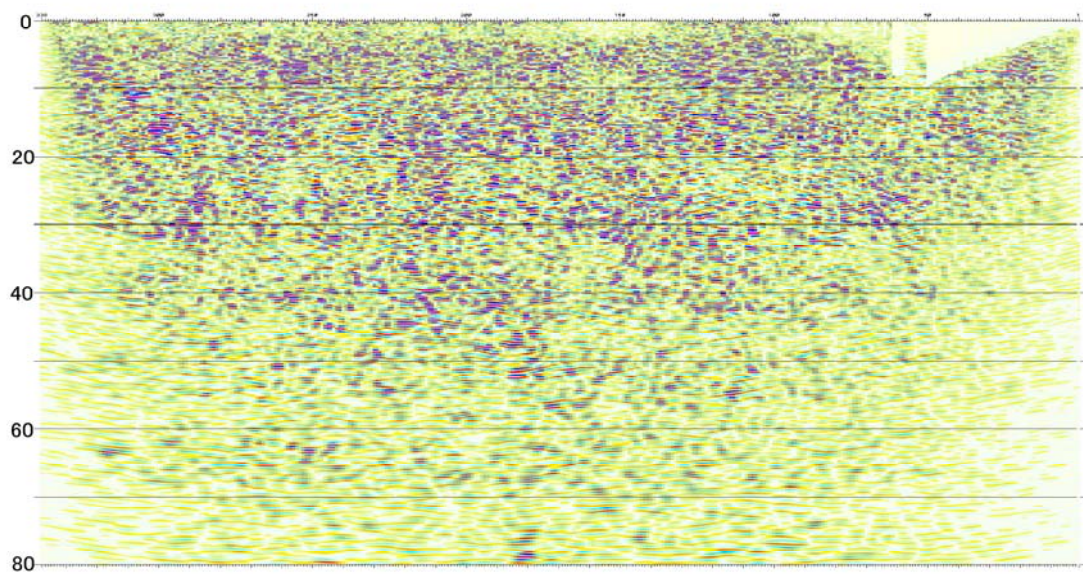


図5 1995年京北－西淡測線のマイグレーション深度断面。図の左側が南西（西淡）、右側が北東（京北）を示す。