

3. 3. 1 2 自然地震・制御震源を用いた内陸活断層の深部モデルと地殻内三次元構造モデルの構築に関する研究

3. 3. 1 2. 1 活断層の深部形状モデルに関する研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

活断層の深部構造モデルに関する研究

(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	助教授	西上 欽也	nishigam@eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp

(c) 業務の目的

活断層の深部構造、すなわち断層面の形状、連続／不連続性、および地震破壊に関連する構造特性(破壊開始点、主破壊域)等を既存地震観測網により蓄積された波形データベースをもとに推定し、強震動予測の高精度化のための断層モデル構築に資することを目的とする。

(d) 5 年の年次実施計画

- 1) 平成 14 年度：解析手法の検討、データ前処理、処理・解析プログラムの準備、等を実施した。
- 2) 平成 15 年度：山崎断層、跡津川断層、等における断層深部構造の解析、および断層トラップ波の三次元差分シミュレーション手法の開発を行った。
- 3) 平成 16 年度：跡津川断層、野島断層、等における断層深部構造の解析。断層トラップ波、直達波走時パターンのモデリング高度化。これらに基づき、断層深部構造モデルを作成する作業仮説の提示。
- 4) 平成 17 年度：地震波散乱係数の分布に基づいて断層深部構造モデルを作成するための作業仮説の検証。近畿圏中央部の活断層地域における不均質構造の推定。
- 5) 平成 18 年度：近畿圏中央部のいくつかの活断層の深部構造モデル（アスペリティ、破壊開始点等）を作成する。地震学的な解析に基づく、活断層深部構造モデルの作成手法の提案。

(e) 平成 17 年度業務目的

16 年度までに提示した活断層深部構造モデル作成のための作業仮説についてさらに検証を行うとともに、近畿圏中央部のいくつかの活断層における深部構造モデルの作成を行う。

(2) 平成 17 年度の成果

活断層の深部構造モデルに関する研究

西上 欽也（京都大学防災研究所）

nishigam@eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp

(a) 業務の要約

強震動予測の高精度化をはかるためには、地震破壊に関わる詳細な断層構造モデルの作成が必要である。本業務では、地震観測網により蓄積された波形データを用いて散乱波（コーダ波）のインバージョン解析を行い、内陸活断層の深部不均質構造（地震波散乱係数の三次元空間分布）を推定し、それに基づいて活断層の深部構造モデルの作成を行う。これまでに本業務および従来の研究により行われた散乱波解析（サンアンドレアス断層系、2000 年鳥取県西部地震の震源断層、山崎断層系、跡津川断層系、2004 年新潟県中越地震の震源断層、等）の結果に基づいて、16 年度までに、震源域における地震波散乱係数の分布特性と地震破壊に関わる活断層深部構造を関係づける作業仮説を提示した。17 年度は、この作業仮説の検討をさらに進めるとともに、近畿圏中央部のいくつかの活断層における深部構造モデル作成に向けた序報的な解析を行った。

(b) 業務の成果

1) はじめに

活断層の詳細な深部構造モデル、すなわち断層面の形状（深部延長、傾斜、広がり）、連続／不連続性（分岐、セグメント構造）、および地震破壊に関連する構造特性（破壊の開始点および主要なすべり域、すなわち震源およびアスペリティ位置）を推定する地震学的手法の一つとして、散乱波のインバージョン解析が有効と考えられる。この手法では、近地地震のコーダ波を地殻・上部マントル内部の不均質構造による散乱波の集合と考えて、一次等方散乱モデルの仮定の下で、高密度観測網で収録されたデータを用いて地震波散乱係数の三次元分布を推定する（Nishigami, 1991¹⁾；Nishigami, 1997²⁾）。

これまで、サンアンドレアス断層系（Nishigami, 2000³⁾）、および 2000 年鳥取県西部地震の震源断層（Asano and Hasegawa, 2004⁴⁾）等における解析により、断層に沿って散乱係数が相対的に大きいこと、断層のセグメント構造を推定できること、散乱係数が相対的に小さい領域（セグメント）と M6-7 クラス地震の震源域が対応すること、等が示された。さらに、2004 年新潟県中越地震の震源域における解析により、本震の主要な破壊域は（散乱係数の大きい領域も重畳するものの）おおむね相対的に散乱係数の小さい領域と考えられること、本震および M5-6 クラスの余震の震源（破壊開始点）は相対的に散乱係数の大きい領域の近傍に位置すること、等が示された（本業務の 16 年度報告；Nishigami, 2006⁵⁾）。また、山崎断層系と跡津川断層系についても、散乱係数の空間分布と断層構造あるいは地震活動特性との対応が示された（本業務の 15、16 年度報告）。

以上のように、散乱波インバージョン解析は、高密度の観測網データに対して有効であり、散乱係数の分布特性から活断層の深部形状および地震破壊に関わる詳細な断層構造を推定可能であることが分かった。これにより、強震動予測に必要な活断層の深部構造モデ

ルを地震波散乱係数に基づいて作成する作業仮説として、以下を得た（本業務 16 年度報告）。(1)活断層の深部形状：地震波散乱係数が相対的に大きい領域の空間分布に基づいて推定、(2)M7 クラス地震の破壊開始点(震源)：活断層に沿う地震活動域の中で特に散乱係数の大きい不均質領域の近傍、(3)M7 クラス地震の主破壊域(アスペリティ)：活断層に沿う地震活動域の中で相対的に散乱係数の小さい領域。

17 年度は上記の作業仮説をさらに検証するために、2004 年新潟県中越地震の震源域における解析を進めた。また、近畿圏中央部のいくつかの活断層における深部構造モデル作成に向けて、近畿圏中央部の全域にわたる地震波散乱係数の空間分布を推定した。

2) 2004 年新潟県中越地震の震源域における不均質構造の検証

上で述べた新潟県中越地震（2004 年 10 月 23 日、M6.8）の震源域における散乱波解析（Nishigami, 2006）では、本震発生直後の 11 月 1 日～7 日に発生した余震（ $2.5 \leq M \leq 4.5$ 、70 個）の波形データを使用した。この解の信頼性の検証と時間変化の検出の可能性を検討するために、今回は、新たなデータセットとして、11 月 8 日～12 月 31 日に発生した余震（ $3.0 \leq M \leq 3.8$ 、67 個）のデータを用いて解析を行った。インバージョンの結果を比較すると、震源断層面およびその周辺における散乱係数の分布は、2 つの期間でおおむね同様の特徴的パターンを示す。ただし、本震の震源近傍、特にすべりの大きかった領域（浅野・岩田、2005⁶⁾；Asano and Iwata, 2005⁷⁾）では、散乱係数が低下したように見える。これは、震源断層の強度回復に伴うクラック密度の低下等が散乱係数の低下として検出された可能性を示唆する。本震発生後 15～77 日以内に回復過程が検出されたとすれば、これは例えば野島断層の場合（本震発生後 12～33 ヶ月以内）と比べて格段に早い。また、本震の主破壊域（アスペリティ）を地震波散乱係数の小さい領域として推定する作業仮説を支持する。今後、さらに引き続く複数のデータ期間についても解析を行い、散乱特性の安定性（解の信頼性）と時間変化の可能性（本震破壊後の回復過程）について検証を行う。

3) 近畿圏中央部の広域にわたる不均質構造の推定

近畿圏中央部のいくつかの活断層（有馬高槻構造線、花折断層帯、琵琶湖西岸断層帯など）の深部構造モデルを作成する前段階として、今年度は、これらを含む広域の地震波散乱係数の分布特性を推定した。図 1 に解析領域（東西 260km、南北 240km、深さ 0-60km）を示す。この中央部付近に分布する 50 観測点（京大防災研、防災科研 Hi-net、気象庁、および産総研）を解析に使用した。また、今回は序報的な解を得るために、やや地震数は少ないものの、2003 年 1 月～3 月に発生した 18 個の地震（ $2.0 \leq M \leq 4.4$ ）を選んだ。合計 256 個の地震波形トレースに対して、7-15Hz のバンドパスフィルターをかけ、0.5 秒間隔でコーダ波エネルギーの揺らぎ（インバージョンに用いる観測量）を算出した。インバージョンに際しては、解析領域を水平方向 10km、深さ方向 5km のブロック（7,488 個）に分割した。なお、解の水平方向の分解能を上げるために、ブロック配置を東西、南北方向に半ブロック（5km）ずらせてインバージョンを行い、それらの解を重ね合わせた。得られた結果のうち、深さ 5-10km における相対的な散乱係数の分布を図 2 に示す。○は解析領域全体の平均よりも散乱係数が大きく、●は平均よりも小さいことを示す。序報的な解であるものの、有馬高槻構造線から六甲断層系にかけて散乱係数の大きい分布が見られ

る。また、三方・花折断層帯および琵琶湖西岸断層帯に沿った一部に散乱係数の大きい分布が認められる。今後、さらに地震数を追加して、この広域分布特性の解像度を高める。さらに、各活断層の周辺における地震を特に多く追加し、また、ブロックを細分化することにより、各活断層に沿った詳細な散乱係数の分布特性を推定できるものとする。

なお、深さ 25・30kmにおける散乱係数の分布を図 3 に示す。花折断層帯の西側（特に京都西山断層帯付近）に強い散乱領域が存在する。これは、この地域（丹波山地）の活発な微小地震活動域の直下、深さ 20・25km付近に見いだされたS波反射体の分布（京都大学防災研究所地震予知センター、1993⁸⁾）と若干、位置がずれるものの、対応する構造であると考えられる。今後の散乱波解析により、この強い反射体（散乱体）についても詳細なイメージを得ることができるものと思われ、近畿圏中央部における地震活動特性との関係を検討したい。

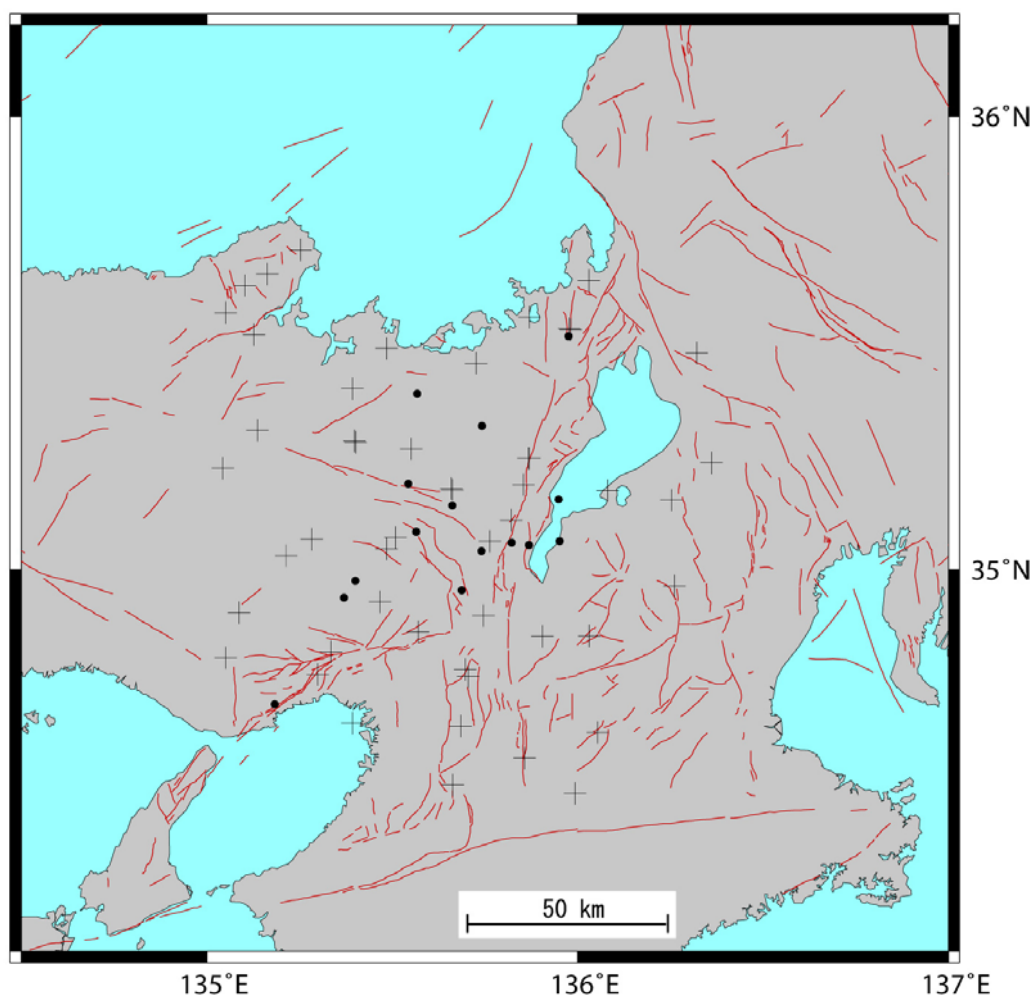


図 1 近畿圏中央部における散乱波インバージョン解析の領域、および解析に用いた地震（・）、観測点（+）の分布。

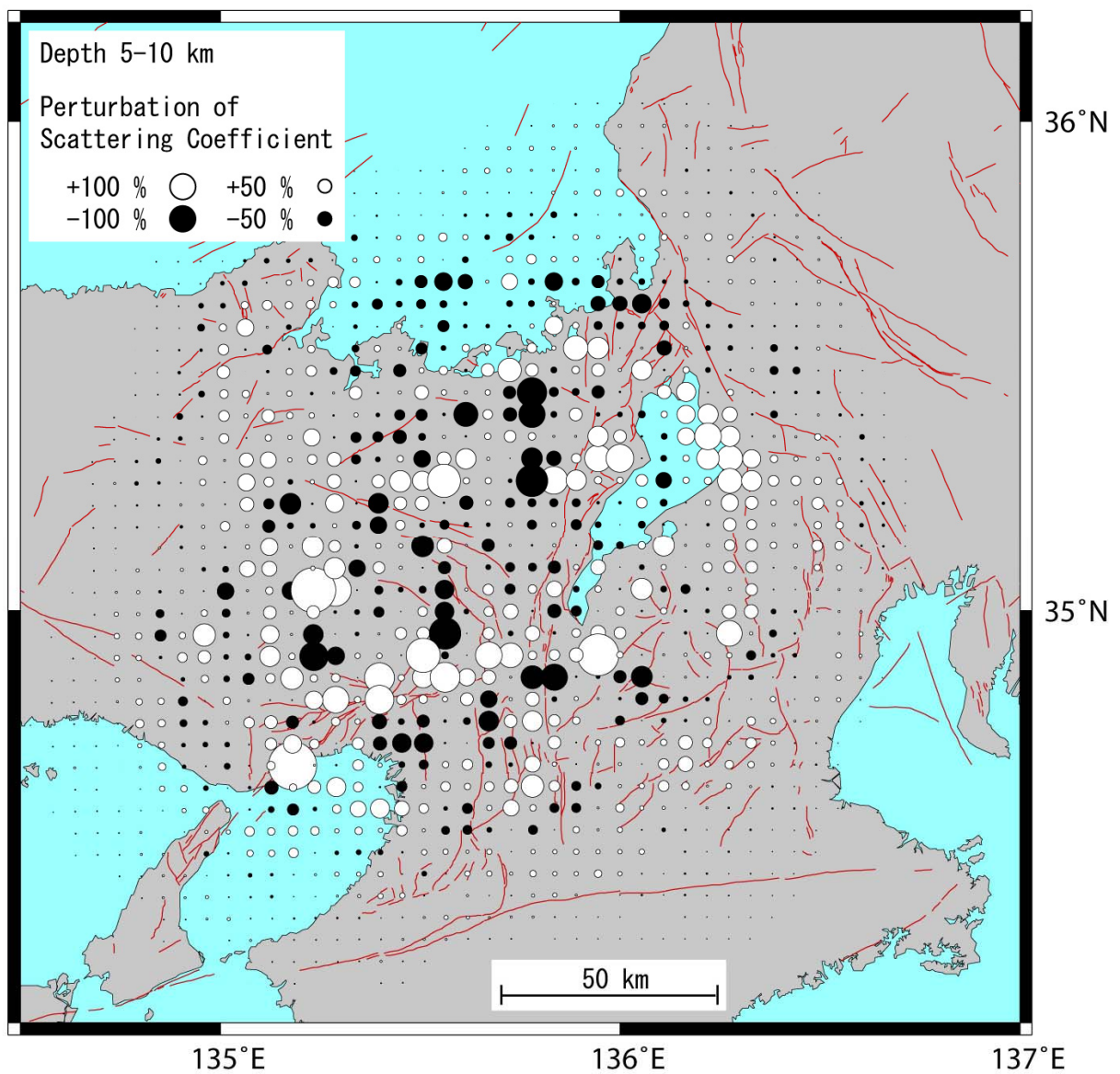


図2 近畿圏中央部における散乱波インバージョン解析の結果（序報）。深さ5-10kmにおける相対的な散乱係数の分布（解析領域全体の平均からの揺らぎ）を示し、○：散乱係数が平均より大きい、●：平均より小さい。

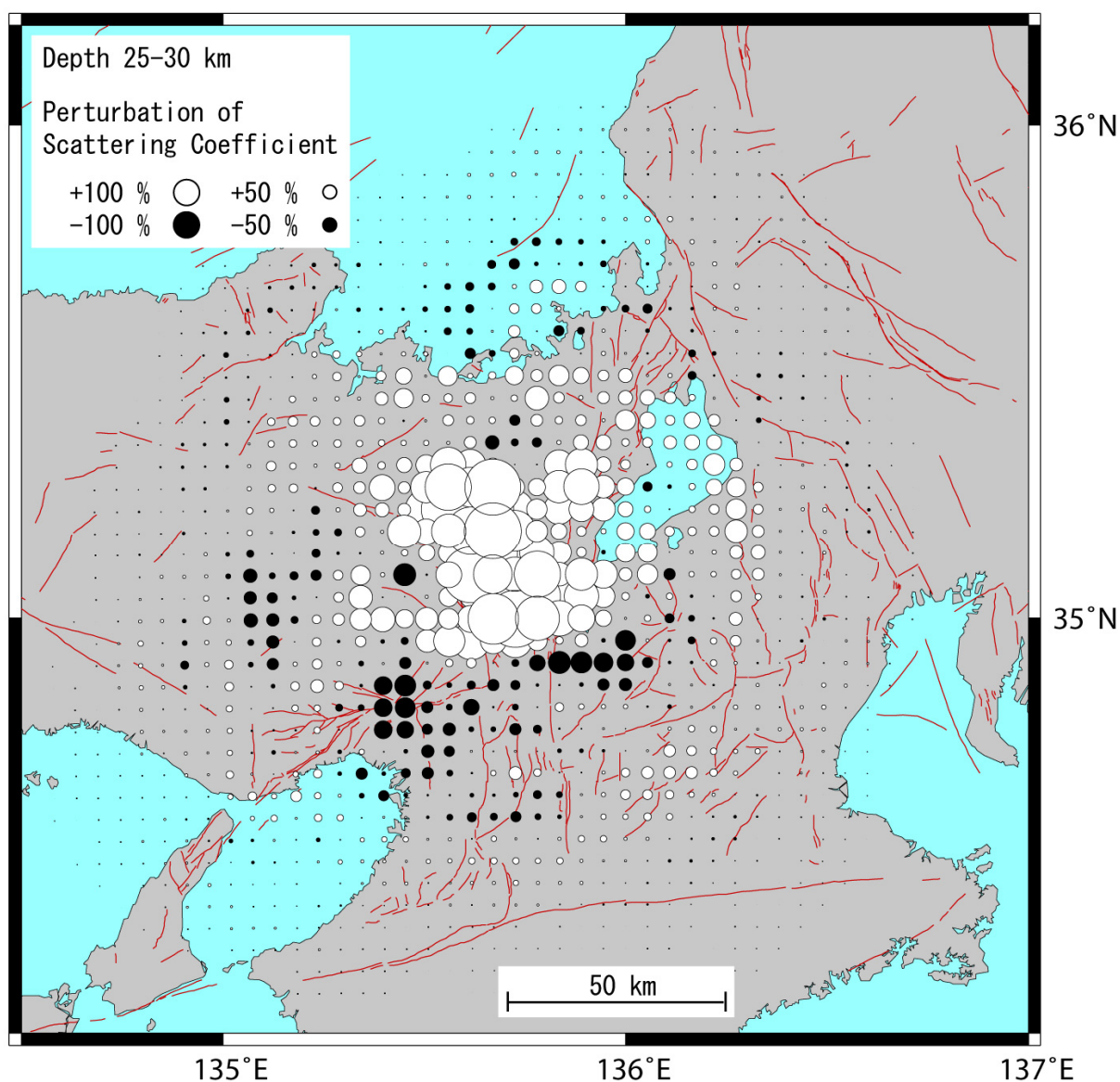


図3 近畿圏中央部における散乱波インバージョン解析の結果（序報）。深さ25-30kmにおける相対的な散乱係数の分布（解析領域全体の平均からの揺らぎ）を示し、○：散乱係数が平均より大きい、●：平均より小さい。

(d) 結論ならびに今後の課題

17年度は、これまでに提示した活断層深部構造モデル作成のための作業仮説についてさらに検証を行うとともに、近畿圏中央部のいくつかの活断層における深部構造モデル作成に向けた序報的な解析を行った。得られた結果と今後の課題を以下にまとめる。

- 1) 2004年新潟県中越地震の震源域における地震波散乱係数について、異なる2つの期間の解析結果を比較し、全体的な散乱係数の分布特性がほぼ同じであること（解の信頼性）、および、本震の主破壊域付近における散乱係数の低下（回復過程）の可能

性を示した。これは、本震の主破壊域（アスペリティ）を地震波散乱係数の小さい領域として推定する作業仮説を支持する。今後、さらに複数のデータ期間についても解析を行い、これらを検証することが必要である。

- 2) 近畿圏中央部における地震波散乱係数の分布を推定した。序報的な結果ではあるが、有馬高槻構造線から六甲断層系に沿って散乱係数が大きいこと、三方・花折断層帯および琵琶湖西岸断層帯に沿った一部に散乱係数の大きい領域が存在すること、および京都西山断層帯付近の深さ 25-30km に強い散乱領域が分布することを示した。今後、さらに地震数を追加して、この広域分布特性の解像度を高めるとともに、各活断層に沿った詳細な散乱係数分布を推定することが必要である。

(e) 引用文献

- 1) Nishigami, K.: A new inversion method of coda waveforms to determine spatial distribution of coda scatterers in the crust and uppermost mantle, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.18, pp.2225-2228, 1991.
- 2) Nishigami, K.: Spatial distribution of coda scatterers in the crust around two active volcanoes and one active fault system in central Japan: Inversion analysis of coda envelope, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol.104, pp.75-89, 1997.
- 3) Nishigami, K.: Deep crustal heterogeneity along and around the San Andreas fault system in central California and its relation to the segmentation, *J. Geophys. Res.*, Vol.105, pp.7983-7998, 2000.
- 4) Asano, K. and Iwata T.: Source rupture models of recent disastrous earthquakes in Japan, *APRU/AEARU Research Symposium 2005*, P108, 2005.
- 5) Nishigami, K.: Crustal heterogeneity in the source region of the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake: Inversion analysis of coda envelopes, Vol.163, No.2/3, *Pure Appl. Geophys.*, 2006 (in press).
- 6) 浅野公之, 岩田知孝: 強震波形から推定した 2004 年新潟県中越地震の震源過程, 平成 16 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A-01, 2005.
- 7) Asano, Y. and Hasegawa, A.: Imaging the fault zones of the 2000 western Tottori earthquake by a new inversion method to estimate three-dimensional distribution of the scattering coefficient, *J. Geophys. Res.*, Vol.109, B06306, doi:10.1029/2003JB002761, 2004.
- 8) 京都大学防災研究所地震予知センター: 近畿地方の微小地震活動域直下に存在する顕著な地殻内反射面, *地震予知連絡会会報*, Vol.50, pp.512-515, 1993.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Nishigami, K.	Crustal heterogeneity in the source region of the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake: Inversion	Pure Appl. Geophys., Vol.163, No.2/3	平成 18 年 (印刷中)

	analysis of coda envelopes		
西上 欽也，儘田 豊	2004 年新潟県中越地震の震源域における不均質構造の推定—散乱波および断層トラップ波の解析—	京都大学防災研究所年報，第 48 号 B, pp.133-142, 2005	平成 17 年 4 月
西上 欽也，儘田 豊	2004 年新潟県中越地震の震源域の不均質構造：散乱波と断層トラップ波の解析	地球惑星科学関連学会合同大会	平成 17 年 5 月 24 日
Nishigami, K.	Crustal Heterogeneity in the Source Region of the 2004 Mid Niigata Prefecture Earthquake: Inversion Analysis of Coda Envelopes	2005 AGU Fall Meeting	平成 17 年 12 月 8 日

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 18 年度業務計画案

散乱波インバージョン解析により、近畿圏中央部のいくつかの活断層（有馬高槻構造線、三方・花折断層帯、琵琶湖西岸断層帯など）における地震波散乱係数の分布を推定する。これらの活断層に対して、これまでに提示した作業仮説にもとづいて、断層の深部形状、地震破壊に関する構造特性（破壊開始点、主破壊域）等の断層モデルを作成する。地震活動特性、発震機構の解析により得られる結果も含めて、総合的に、近畿圏中央部のいくつかの活断層の深部構造モデルを作成する。