


# 論文内容要旨 (和文)

平成 13 年入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 環境保全科学講座  
氏 名 出町 知嗣 

論文題目 人工地震探査データを用いた 1995 年兵庫県南部地震震源周辺域の  
地殻不均質構造に関する研究

1995 年 1 月 17 日午前 5 時 46 分、兵庫県淡路島付近を震源とする M7.2 の地震が発生した。この地震によって、兵庫県神戸市・淡路島北部を中心とした地域は壊滅的な被害を受け、5,500 人以上の死者を出した。気象庁によって 1995 年兵庫県南部地震と命名されたこの地震の本震は、有馬-高槻-六甲断層系に位置し、発震機構はこの断層系と調和的な北東-南西方向に主圧縮軸をもつ右横ずれ成分に卓越したものであった(大阪管区気象台、気象庁地震予知情報課、1995)。

本震の発生から 11 ヶ月が経った同年 12 月、淡路島北部地域において、断層周辺の基盤構造・断層破碎帯の構造・地下反射体構造の解明などを目的とした制御震源を用いた地下構造探査が、爆破地震動研究グループによって行われた(爆破地震動研究グループ、1997a)。この地域の西部には地震断層となった野島断層があり(中田・他、1995)、また断層面におけるすべりには大きな不均質性がみられていること(Ide *et al.*, 1996; Yoshida *et al.*, 1996)などから地下の構造は複雑であると考えられる。

本研究では、この探査のデータを用い、まず、表層地質の深さ方向への広がりを把握し、2次元的な走時解析で得られている速度構造は3次元的にはどのような広がりを見せるのかを確かめるために、初動走時のトモグラフィ解析を行って断層域周辺の地表付近における3次元速度構造を求めた。その結果、以下のように特徴的な P 波速度分布が求められた。

- ・ 淡路島北部はその南部と北部では速度が大きく異なり、北部は南部に比べ低速度であるということで特徴づけられる。低速度域と高速度域の境界は、ちょうど解析領域の中央部付近にある。
- ・ 北側の領域で、P 波速度は深さ 0.09 km では 4.1 km/s、また、深さ 0.49 km では 4.5 km/s となった。南側の高速度域においては、深さ 0.09 km では 4.9 km/s、深さ 0.49 km では 5.2 km/s がそれぞれ得られた。
- ・ 重力異常データ(駒澤、2000)や比抵抗比の分布(池田・他、2000)と比較することによって、調査地域の北部の P 波速度が南部に比べて低速度となるという特徴は、花崗岩体の風化作用の強さの違いに因るものであると考えられる。

(10pt 2,000 字程度 2 頁以内)

近年、下部地殻が非常に不均質で反射的であるということが明らかにされている(例えば、Ito, 1999)。下部地殻の不均質性が上部地殻の断層へ影響を及ぼし、地震発生へとつながることも指摘されており(Iio and Kobayashi, 2002)、地殻内の不均質構造を推定することは重要である。そこで、上述のデータから地殻内の不均質構造の推定を試みた。

ここで扱う地下の不均質は、地震波の波長と同程度のもの、つまり、地震波トモグラフィ解析などで得られる地震波速度構造の不均質としては表すことのできない、より短波長のスケールをもった不均質である。短波長不均質媒質へ地震波が入射すると後方散乱が生じる(Wu and Aki, 1988)。このような短波長不均質構造の推定においては、地震波のアレイ観測を行い、アレイへ入射するコヒーレントな波の到来方向を前述のセンブランス法(Neidell and Taner, 1971)、 $f$ - $k$ (Frequency-Wave number)法(Capon, 1969)などを用いて決定的に求めることで、不均質の位置を特定するという手法が一般的である。今回の場合、データはアレイで観測されたものではなく、屈折法探査測線で記録されたものである。屈折法探査の測線にアレイ解析を適用しようとする試みはこれまであまり例がない。そこで、この測線をアレイとしてみたてのために、観測点間で波形の相関が悪くならない程度の規模(距離にして 2km 程度)で、測線全体を 18 個のグループに分割した。そして、発破グループのそれぞれの組み合わせごとにセンブランス解析を行い、各グループに到来するコヒーレントな位相の到来方向(方位角と見掛けのスローネス(入射角に相当))を求めた。ただし、今回の場合、ほとんどのグループの形状はほぼ直線状である。この場合求められる到来方向は、グループと発破点を焦点とした楕円上のどこか、というように大きく幅をもって決定される。そこで、この段階で求められた波源の位置というのは散乱点の候補点であると考えられる。すべての発破グループの組み合わせにおいて、センブランス解析を行ったのち得られた候補点をすべて地下に投影する。そして、地下を立方体のブロックに分け、ブロック内の候補点数をカウントして、候補点の集中しているブロック、つまりカウント数の多いブロックを真の散乱点として決定することとした。

この手法を用いて 4-8 Hz の周波数帯域の解析を行った。以下に結果をまとめる。

- 深さ 19 km から 26 km の範囲では測線から見て南方から南西方向において、また、深さ 26-31 km においては、測線西方に散乱体が存在することが示された。
- 調査地域の下部地殻は Obara (1997)のモデルのように、散乱の強い領域は下部地殻に存在するが、一方で、下部地殻内は一様な散乱強度をもつのではなく、散乱強度は局所的に変化している。
- 兵庫県南部地震震源域においては不均質構造の推定はできず、地震発生過程との関係は十分に議論できない。

# 論文内容要旨 (英文)

平成 13 年入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 環境保全科学講座

氏 名 出町 知嗣



論文題目 人工地震探査データを用いた 1995 年兵庫県南部地震震源周辺域の地殻不均質構造に関する研究

After the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) earthquake (M7.2), the Research Group for Explosion Seismology (RGES) conducted a refraction seismic experiment in the northern part of the Awaji Island in order to investigate a detailed structure around the source region.

First, using the first arrival times, we derived a three-dimensional P wave velocity structure of the shallow crust in this region. A dominant feature was the low velocity in the northern part of the region as compared with the southern part. The averages of velocities in the northern area were 4.1 km/s (at a depth of 0.09 km) and 4.5 km/s (at 0.49 km). In the southern region, these were 4.9 and 5.2 km/s, respectively. The study region was mostly within the Cretaceous granitic rocks, and we cannot find a difference in geology that corresponds to the velocity variation. On the other hand, the Bouguer anomaly and the resistivity distributions consistent with the lateral velocity difference.

Next, we considered the later phases as P-P scattered waves and estimated the spatial distribution of scatterers by using the following procedure. We divided 128 stations into 18 groups, each consisting of 8-11 stations. For each group, the semblance coefficient (Neidell and Taner, 1971) was calculated in 4-8 Hz frequency range to pick up coherent later phases. The location of a scatterer was estimated from travel time, arrival direction, and slowness of the phase with the semblance value larger than 0.3. Applying this procedure to waveforms from the 7 shots, we obtained the image of scatterer distribution. The scatterers were distributed mainly beneath the southwestern and western part of the island at depths of 19-26 and 26-31 km, respectively. Our scatterer distribution corresponds to the existence of strong scattering body for P wave ranging from 20 to 25 km in depth estimated by Obara (1997). Our result also implies a heterogeneous distribution of scatterers in the lower crust.

(12pt シングルスペース 300 語程度)

# 学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成17年2月18日

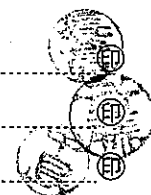
理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主 査 長谷見 晶子

副 査 齋藤 和男

副 査 中島 和夫



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 地球共生圏科学専攻

氏 名 出町 知嗣

2. 論文題目 (英文の場合は, その和訳を併記すること。)

人工地震探査データを用いた1995年兵庫県南部地震震源周辺域の  
地殻不均質構造に関する研究

3. 学位論文公聴会

開催日 平成17年 2月 7日

場 所 S.4.0.1教室 (理学部先端科学実験棟5階)

4. 審査年月日

論文審査 平成17年 1月25日 ~ 平成17年 2月15日

最終試験 平成17年 2月 7日 ~ 平成17年 2月 7日

5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 最終試験 合格

6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

7. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

## 別紙

専攻名	地球共生圏科学専攻	氏名	出町 知嗣
学位論文の審査結果の要旨			
<p>1995年12月に淡路島北部地域において大学・研究機関のグループによって人工地震の観測実験が実施された。この実験は1995年兵庫県南部地震の震源周辺域の構造および断層深部の構造などの解明を目的とし、震源（火薬の発破）と測線を面的に配置して行われた。これまでに測線ごとに地下浅部の2次元地震波速度構造が求められ、また、下部地殻で反射または散乱された後続波が認められることが指摘されていた。しかし、地震波速度構造の3次元的な把握や反射体・散乱体の分布を求める解析は行われていなかった。その理由は不均質が大きいところで3次元速度構造を求める方法がまだ十分には確立されていないこと、そして、この実験で観測された後続波の形状が非常に複雑なため、既存の手法では解析ができなかったことによる。</p>			
<p>本研究では、差分法に基づく波線追跡法をこの観測実験のデータに適用することにより浅部の3次元速度構造を求めた。また、解析手法を考案して地殻中の地震波散乱体の分布を求めた。論文の第1章、第2章はそれぞれ研究の目的・背景と観測について、第3章は地殻浅部の3次元速度構造、第4章は地殻内の短波長不均質構造（散乱体の分布）について述べており、第5章に結論がまとめられている。地殻浅部の速度構造に関しては観測地域の北部は南部に比べて低速度であるという結果が得られ、花崗岩地域の中でも速度差があることを明らかにした。また、初動の走時残差の標準偏差は読み取り精度と同程度になり、観測値を非常によく説明する構造が得られたことを示すとともに、適用した手法が妥当であったことも示唆している。この章の内容は査読がある国際誌で公表済みである。</p>			
<p>後続波の検出には測線全体をグループに分け、各グループについて発破記録のセンブランス値を求める方法を用いた。そして検出した波の到来方向と走時から散乱点の位置の候補点を計算し、候補点が多く集まる場所を探すことによって散乱体の分布を求めた。その結果、散乱強度の強い領域、すなわち短波長の不均質の程度が大きい領域が下部地殻中に局在することが示された。最近、震源断層の下部地殻への延長部分は不均質性が大きいというモデルが提唱されているが、この研究で得られた結果はそのようなモデルを支持しない。解析の手順は、非常に複雑な後続波を解析するために独自に構築されたものである。膨大な波形データを何段階ものステップを踏んで解析するプログラムを作り上げたことは特筆に値する。この内容は国際学会で口頭発表されており、国際誌への投稿を準備している。</p>			
<p>以上のように、研究手法は独自性があり、今後、同種の観測実験データの解析に新たな手法を提供するものである。得られた結果も地震学的に重要な知見をもたらした。よって、この論文は博士學位論文として十分な内容を持つと認め、合格とした。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>公聴会での発表内容と質疑応答をもって最終試験とした。発表内容、質問に対する応答は適切になされ、本学の博士の学位に値する研究能力を持つことが認められた。提出論文の内容についての議論、公表されている英文論文、国際学会1件を含むこれまでの学会発表の内容も勘案し、最終試験を合格と判定した。</p>			