

## 地震波トモグラフィーによる地球内部の不均質構造イメージング

## Seismic tomography imaging of inhomogeneous structure in the Earth's interior

# 平原 和朗 [1]

# Kazuro Hirahara[1]

[1] 京大・理・地球惑星・地球物理

[1] Geophysics, Sciences, Kyoto Univ.

地球内部の不均質構造のイメージングには、散乱波等の解析による確率論的な手法と、地震波トモグラフィーに代表される決定論的な手法によるものがある。いずれも安芸敬一氏によって研究の口火が切られ氏の貢献は大きなものがある。本講演では、後者の地震波トモグラフィーの発展を概観し、今後の方向を議論する。主として地震波走時をデータとする地震波（走時）トモグラフィーは、様々なスケールの地殻およびマンテルの3次元地震波速度構造を描き出してきた。得られた3次元構造は、地震発生・火山活動からマンテル対流に至る諸問題を考える上で重要な情報を提供している。

地震波走時トモグラフィー研究は、Aki et al.(1977)とAki and Lee(1976)という2論文によりその口火が切られた。前者は、遠地震の相対走時データを用いた観測網下のリソスフィアの3次元速度構造を、後者は、ローカルなスケールでの3次元地殻構造と震源の同時推定を行うもので、当時は地球内部構造の3次元インバージョンと呼ばれていた。1970年代前半までの1次元速度構造インバージョンに対し、これらの論文では、地球内部を3次元セルに分割し、横方向の速度構造不均質性をも求めようとするものであった。当時修士の学生であった筆者は幸運にもそのプレプリントを目にすることができ、地震学における新たな方向性を感じ、日本列島の3次元速度構造研究に取り組んだことを、昨日のこのように覚えている。

1980年代には、データは実体波から表面波さらには自由振動まで広がり、また解析対象もローカルおよび地域的なスケールの問題からグローバルな3次元構造研究へと広がった。解析領域の拡大や高分解能を得ようとしてセル分割を細かくすると未知数が膨大になり、当初提案された行列解法による逆解法では解けなくなり、医学のトモグラフィーで用いられていた逐次解法が用いられるようになった。これに対応して地震波トモグラフィーという言葉が定着するようになった。

医学のトモグラフィーと大きく異なり、地震波トモグラフィーでは、観測点や震源配置の空間的な偏りが大きく、解の誤差評価に加えて空間解像度の評価が重要となる。解の空間分解能の評価には、行列解法ではリゾリューション行列、逐次解法では、チェッカーボードテスト等が用いられている。地震波走時トモグラフィーは非線形問題で繰り返し解法が必要になるが、その際に3次元破線追跡が必要となり、速度のパラメータ化（セル、グリッド、球面調和数展開）と併せて重要な開発要素であった。手法や初期の成果については、Nolet(1987)、Iyer and Hirahara(1993)に詳しい。

走時トモグラフィーの手法には、最近徐々に新たな展開が見られた。まず、震源が密な領域における空間分解能を上げる、二重差（DD）走時トモグラフィー法が開発された（Zhang and Thurber,2003）。この手法は、余震を用いた震源域の詳細構造の解明に威力を発揮しつつある。また、波線理論に基づく走時トモグラフィーから脱却して、バナナードーナツカーネルを用いた有限周波数走時トモグラフィー手法が開発され、実データに応用されつつある（Dahlen et al.,2000）。更に、雑微動の相互相関を取ることで任意の2観測点間のグリーン関数を求める手法が開発され、地震観測点ペアといった条件を必要とせず、2点間の表面波位相・群速度が求められることになり、従来とはデータを一新した表面波トモグラフィーが展開されつつある（例えば、西田・他,2005）。この手法は火山等に应用され、構造の時間変化を捉える4次元トモグラフィーへの可能性を感じさせる（例えば、Snieder and Hagerty,2004）。大気トモグラフィー等では当たり前だが（Hirahara,2000）、地震波4次元トモグラフィーは最初安芸氏が目指した方向であろう。

走時トモグラフィーは比較的滑らかな構造を仮定しており、従来は地震波速度の不連続を考慮してこなかった。Zhao et al.(1992)は、コンラッド、モホ、スラブの上面といった地震波速度不連続面を導入した初期構造モデルから出発する走時トモグラフィー法を開発した。ただ、この場合速度のみ推定され地震波不連続面の形状や位置はアップデートしていない。地震波不連続面を含めた不均質構造の推定には変換波まで含めた波形トモグラフィーが必要であろう。その中間的な手法として、例えば、観測点下での不連続面でのPからS波への変換波Psを強調するレシーバ関数とローカルな震源を用いる走時トモグラフィーとを組み合わせて、地震波不連続面の形状の推定まで含めた3次元構造の推定法（レシーバ関数トモグラフィー）が考えられる。