

平成21年 6月 30日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006 ～ 2008

課題番号：18340125

研究課題名（和文）グローバル地震データによる地球流体核成層構造の解明

研究課題名（英文） A study on a stratified layer in the Earth's liquid core from global seismological data

研究代表者

田中 聡 (TANAKA SATORU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・主任研究員

研究者番号：60281961

研究成果の概要：外核最上部約 100km の P 波速度は、標準モデルから予想されるより最大でも 1%ほど遅いことが分かった。この結果は、この領域では断熱的かつ均質であるという仮定が破綻していることを示唆する。また、地球流体核表面の地形を推定するための新たなデータを検討し、予備的な結果を得た。特徴的なパターンとして、環太平洋地域、中央太平洋、アフリカ直下で凹んでいることが挙げられる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	6,400,000	1,920,000	8,320,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地球流体核、外核最上部、SmKS 波、P4KP 波、コア・マントル境界

## 1. 研究開始当初の背景

近年、核・マントル境界において、マントル側境界層の地震学的 3次元構造が徐々に明らかにされ、その物質的・熱的性質が議論されている。その一方で、核側の構造は 1次元構造ですらよく分かっているとは言い難い。研究代表者自身も十年以上前にこの問題に挑戦して、興味深い結果を得たつもりではあるが、その結果は他の研究者の結果と必ずしも調和しない。これは、1980年代までは地震計の性能も低く、世界規模で地震観測点の数が全く不十分であったために、マントル最下部D”層の不均質構造の影響を十分に軽減できず、正確な外核最上部構造を議論するには至っていないことによる。

## 2. 研究の目的

地球核最上部の構造解明は、地球ダイナモの発生・維持機構、コア・マントル結合による地球回転への影響、コア・マントル境界での熱流量、地球核に含まれる軽元素などを理解するために重要な研究課題である。多くの研究者がそのような認識を持っているにもかかわらず、1980年代までの地震波データの蓄積が十分でなかったために、地球核最上部の地震学的研究は絶対数も少なく、コア・マントル境界の上側であるマントル最下部に比べて十分に調べられてはいなかった。しかし今日では、1990年代初頭から世界規模で整備され始めた広帯域地震観測網が本格的に稼働して10年以上経過している。そして、一世代前と比較して質・量ともに格

段に優れた未解析のデータが蓄積されており、インターネットを通じたデータ公開が進んでいるためにデータ収集も以前より格段に容易になっている状況が実現している。まさに、ようやく地球核最上部の構造解明に取り組む素地が整いつつあるとみるべきである。本研究では、このような状況に鑑み、現在入手可能な地震データを世界中から収集し、詳細な波形解析を通じて地球核最上部における地震学的1次元構造（地震波速度、地球核半径と凹凸）を推定し、地球核のダイナミクスを明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) SmKS 波形解析に地球核最上部の構造

地球核最上部の地震波速度構造を推定するために、当該領域を這うように伝播する SmKS 波群を収集した（図1）。

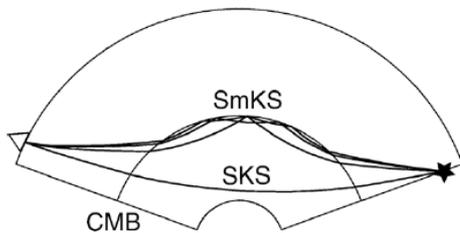


図1. SmKS 波の波線。

1990年から2003年に発生した深さ200km以深のやや深発・深発地震87個を観測した全世界の広帯域地震観測点442点の記録から、震央距離 $120^\circ \sim 180^\circ$ の良好な記録1211本を選び出した（図2）。

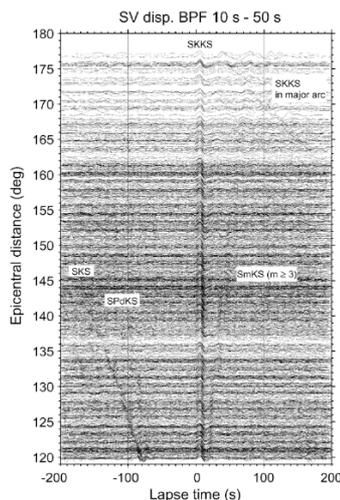


図2. 収集した SmKS 波形。

震源過程の複雑さを減じるために、周期10秒から50秒のバンドパスフィルターを適用し、単純な波形を選び出して、震央距離毎

に重合した SmKS ( $m=2, 3, 4, 5, \dots$ ) 波群から  $m=4$  以上の各位相の走時解析は困難なので、波形から直接最適な地震波速度構造を推定するために、Reflectivity法による波形あわせを行った（図3）。

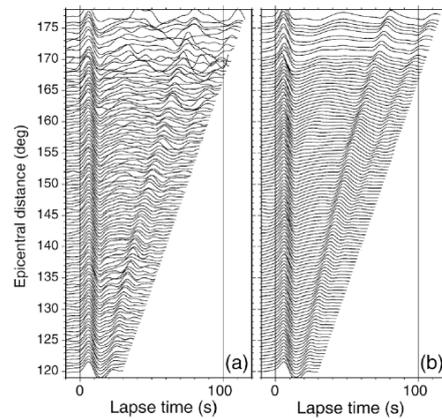


図3. (a)重合した観測波形。  
(b) Reflectivity法による理論波形。

#### (2) P4KP-PcP 波走時インバージョンによるコア・マントル境界地形の推定

P4KP 波とは、流体核境界の下で3回反射する波である。図4に示すように、PcP というコアの表面で反射する地震波とは、マントルでの波線が近接しているの、走時差を取ることによって、地震の発生時刻の不確かさや、地殻や上部マントルの不均質性を除去することができる。

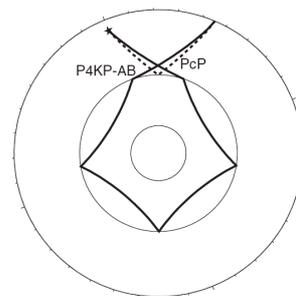


図4. P4KP と PcP 波の波線。

世界中の地震観測網から、362個ものデータを収集した。これによって、世界中を広くカバーすることができた。測定したデータに、地球の楕円体補正、マントル不均質の補正を施した後、マントル最下部厚さ150kmの範囲の速度不均質パターンを推定し、マントル不均質モデルの過小評価部分を修正した。その影響を差し引いた後、コア・マントル境界のトポグラフィーを推定した。波線のパターンから、球面調和関数における次数2と4の係

数だけを求めた。数値実験に基づく、次数2のパターンはマントル最下部の速度不均質パターンによる影響が残るが、次数4のパターンは比較的良く推定できることを確認した(図5)。

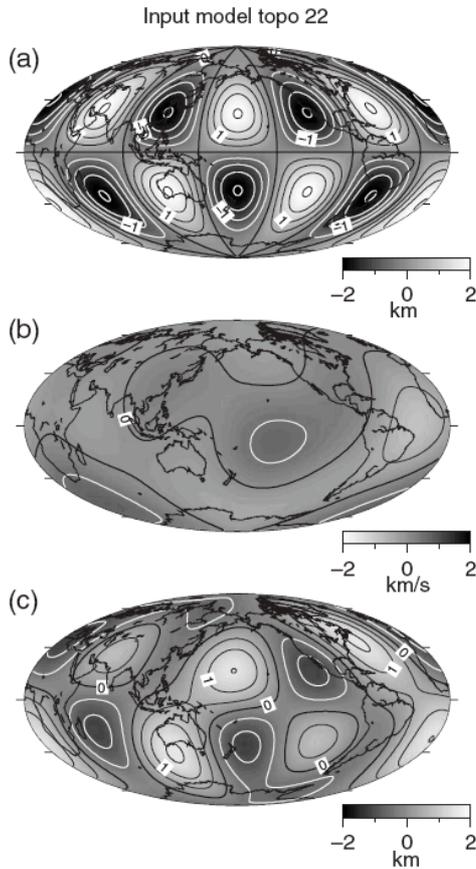


図5. インバージョンテスト. (a)入力したCMB地形モデル. (b)D''層の速度不均質として解いた結果. (c)D''速度不均質を解いた後の残差を、CMB地形として解いた結果.

#### 4. 研究成果

(1) SmKS波の解析により、地球流体核の最上部には地震学的低速度域が存在することが示唆された。PREMを初期モデルとして、外核最上部のP波速度構造だけ変化させた場合、外核トップでのP波速度が7.95km/s、最上部90kmの範囲でP波速度を直線的に増加させ、CMBから90km以深ではPREMの構造と一致するモデルが波形の一致が最も良かった。また、最初にマントル最下部のS波速度を変化させた場合も、S波速度がマントル最下部30kmの範囲で10%減少させたモデルが波形の一致が良かった。このマントル構造からさらに外核最上部のP波速度を変化させた場合でも、外核トップでのP波速度が8.00km/s、最上部でP波速度が直線的に増加する範囲が140kmという構造が波形の一致が最も良かった(図

6)。

この結果は、外核最上部において、断熱かつ均質という仮定が破綻している可能性を示唆しており、今後の研究の発展が期待される。

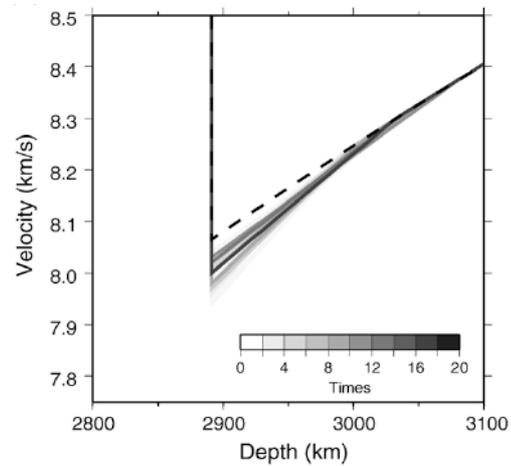


図6. SmKS波形から推定した外核最上部のP波速度分布とその不確定性. 破線は標準地球モデル(PREM).

(2) マントル最下部の速度不均質性をできるだけ取り除いた、P4KP-PcP波の走時差残差のインバージョンにより、コア・マントル境界の地形を推定した。凸凹の振幅は±2km未満であった。図7に示すように、オーストラリア、北大西洋、アフリカ、中央太平洋が凹み、南太平洋と中東が盛り上がっている。

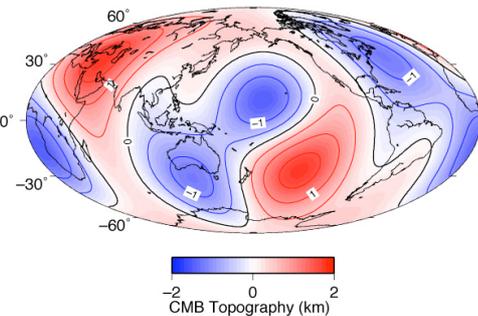


図7. P4KP-PcP走時差残差から推定されたCMB地形.

また、図8のような次数4の結果に示される地形の地理的分布の特徴は、アフリカと太平洋のマントル最下部に重たい塊があると仮定したマントル対流シミュレーションから予想されるパターンと定性的に似ている。しかしながら、P4KP-PcP走時残差からは、球面調和関数における奇数次の成分を推定することができず、まだ、データも少ないので4次までの推定に止まっている。今後は、異な

る種類のデータを取り込むことによって、モデルの適応範囲を拡大し、データをさらに集めて、地理的分解能のさらなる向上が要求される。

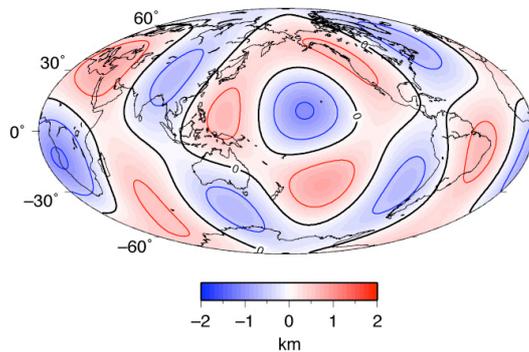


図 8. 推定された CMB 地形. 次数 4 の成分によるパターン.

(3) SmKS 波を探している中で、フレンチ・ポリネシアにおける臨時地震観測データを調べていたところ、思いがけず、直下の 3 次元マントル S 波速度構造が推定できることが分かった。副次的な成果ではあるが、トモグラフィ解析を実施して、南太平洋直下におけるマントル・ダイナミクスについての知見を得ることができた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Tanaka, S., et al., On the vertical extent of the large low shear velocity province beneath the South Pacific Superswell, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07305, doi:10.1029/2009 GL037160, 2009. 査読有.
- ② Tanaka, S. Possibility of a low *P*-wave velocity layer in the outermost core from global *SmKS* waveforms, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 259, 486-499, 2007. 査読有.

[学会発表] (計 13 件)

- ① Tanaka, S., Core-mantle boundary topography from P4KP-PcP differential travel times: Implications for mantle dynamics, in *Stagnant Slab Project International Symposium on DEEP SLAB and MANTLE DYNAMICS*, 2009/2/26, Kyoto.
- ② Tanaka, S., et al., S-wave velocity structure beneath the South Pacific Superswell derived from passive seismic experiments, AGU 2008 Fall Meeting,

2008/12/15, San Francisco, USA.

- ③ Tanaka, S., The topography of the core-mantle boundary from P4KP-PcP travel time, SEDI 2008, 2008/7/27, Kunming, China.
- ④ 田中 聡, P4KP-PcP 走時によるコア・マントル境界の地形: インバージョンの試み、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、2008/5/28、幕張.
- ⑤ Tanaka, S., New seismological attempts to study the top of the Earth's core, AGU 2007 Fall Meeting, 2007/12/10, San Francisco, USA.
- ⑥ 田中 聡, J-array と IMS-array で観測された P4KP-PcP 走時による CMB 地形モデルの検討、日本地震学会 2007 年度秋季大会、2007/10/24、仙台.
- ⑦ Tanaka, S., Seismological structure of the Earth's core: Recent progress and implication, The 21st century COE International Symposium at Tohoku University, 2007/9/19, Sendai.
- ⑧ Tanaka, S., Seismic structure of the outer core from P4KP-PcP travel times observed with the J-array and IMS arrays, IUGG 2007, 2007/7/2, Perugia, Italy.
- ⑨ Tanaka, S., Search for a stably stratified layer in the outermost core using global *SmKS* waveforms, WPGM 2006, 2006/7/25, Beijing, China.
- ⑩ Tanaka, S., A study on the seismic structure of the core-mantle boundary using global *SmKS* waveforms, SEDI 2006, 2006/7/10, Prague, Czech Republic.
- ⑪ Tanaka, S., *SmKS* waves observed by dense mobile broadband seismic arrays, IRIS 18th Annual Workshop, 2006/6/9, Tucson, USA.
- ⑫ 田中 聡, Search for lateral variation in the Earth's outermost core by using a global data set of *SmKS* waveform、日本地球惑星科学連合 2006 年大会、2006/5/17、幕張.
- ⑬ Tanaka, S., Seismological structure of the Earth's core: Implications for geomagnetism, JGU 2006, 2006/5/17, Makuhari.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

田中 聡 (TANAKA SATORU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・主任研究員

研究者番号: 60281961

##### (2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者  
なし