

# 固化が進行している場における超音波測定：予備的結果と内核外核境界への示唆

## Ultrasonic measurements during solidification: preliminary results and implications for the inner core boundary

# 隅田 育郎[1]

# Ikuro Sumita[1]

[1] 金大・理・地球

[1] Earth Sci., Kanazawa Univ.

<http://hakusan.s.kanazawa-u.ac.jp/~sumita>

### はじめに

地球の内核外核境界は、液体である外核から固体の金属鉄が析出し、固化が進行している場であると考えられている。また、外核に軽元素が含まれていることから、内核外核境界は少なくとも最上部では部分熔融状態になっていて、これが地震波の減衰をもたらしていると解釈されている。内核外核境界付近の地震波速度構造は近年ではアレイデータを用いるなどして、速度および減衰の半球構造、散乱構造などがわかってきている。このような地震学的構造を理解するための手がかりとして、内核のアナログ物質として液体金属を用いて、その弾性波速度特性を調べる研究がいくつかなされてきた (Bergman, 1997; Bergman et al. 2000.; Brito et al. 2002)。しかし、固化が進行している場の特性についてはまだ良くわかっていない。本研究では、そのような場に焦点をあてて、その超音波特性を詳細に調べ、地震学的構造との対比を行うことを目指している。

### 実験方法

28 - 30 重量パーセントの塩化アンモニウム水溶液をアナログ物質として用いる。この系は、金属と同様に、樹枝状結晶を晶出し、部分熔融体のアナログ物質として広く使われている。薄型水槽 (高さ 18 センチ、幅 18 センチ、奥行き 1 センチ) に、水溶液を入れ、下面に不凍液を循環させ、冷却する。超音波 (P 波と S 波、中心周波数 1 MHz) は奥行き方向 (1 cm) と幅方向 (18 センチ) の両方で透過法により、一定時間間隔で測定した。温度構造は、鉛直方向に並べた熱伝対により測定した。

### 結果

固化過程: 樹枝間隔が 0.3mm 程度の結晶が晶出し、実験開始後 2 時間で厚さ約 3cm の部分熔融層が形成された。層内部では組成対流が起き、煙突が形成した。相図より、部分熔融度は約 0.9 である。下面の温度が共融点 (-15.4 度 C) 以下になると、完全に固化した。

P 波特性: 固化に伴い、まず振幅減衰が顕著に見られ、その後に伝播速度が増加した。1 - 2MHz の周波数領域で Q を一定とすると、 $Q \sim 30$  と求まった。共融点以下になると、速度は不連続に増加し、振幅は液体と同程度になった。以上は伝播距離が 1 cm の場合の結果であるが、伝播距離が 18 cm の場合には、低周波成分が速く到達するという速度分散が見られ、その原因として散乱が考えられる。

S 波特性: 部分熔融状態では S 波とはっきり認定できる相は判別できなかった。共融点以下では、固体の S 波の相が認定でき、ポアソン比 0.46 が求まった。また SH, SV 波の速度、減衰の異方性も判明した。

### 地球の核への示唆:

内核は S 波を伝播するので、本実験で形成された部分熔融層は中心核で存在するとした場合、外核最下部に対応する。外核最下部にこのような層があった場合、この層は剛性を持たないが、密度は液体の外核に比べ結晶の分だけ高くなる。核のような高圧力下では、液体と固体金属鉄の体積弾性率の違いは小さい。従って、このような部分熔融層が外核最下部にあるとすると、そこでの P 波速度はその上にある液体の外核と同程度か、遅くさえなりうる。外核最下部の P 波速度勾配が PREM より小さいことは既に指摘されており (例: Souriau and Poupinet, 1991; Kaneshima et al., 1994)、この実験はそのモデルとなりえる。また、本実験によれば、外核最下部は Q が小さい。内核最上部は Q が低いとされてきたが、内核最上部を伝播する波は必ず外核最下部を通過するため、本実験は、これまでの Q モデルは内核の Q 値を過小評価していたことを示唆する。また、実験はこの層に散乱によると考えられる分散があることを示しており、これは PKP-Cdiff を内核外核境界での散乱波とする解釈 (梅津, 1990) と整合的である。実験との対比を進めるために、外核最下部の P 波特性が詳細に調べられることを期待したい。

### 引用文献

Bergman, M.I., 1997. Measurements of elastic anisotropy due to solidification texturing and implications for the Earth's core, *Nature*, 389, 60-63.

Bergman, M.I. et al., 2000. Elastic and attenuation anisotropy in directionally solidified (hcp) zinc, and seismic anisotropy in the Earth's inner core, *Phys. Earth Planet. Inter.* 117, 139-151.

Bruto, D. et al., 2002. Experimental crystallization of gallium: ultrasonic measurements of elastic anisotropy and implications for the inner core, *Phys. Earth Planet Inter.*, 129, 325-346.

Kaneshima et al., 1994. Seismic structure near the inner core-outer core boundary, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 157-160.

梅津功、1990. PKP 波を用いた地球核境界面の研究、東北大学大学院理学系研究科、修士論文

Souriau, A., Poupinet, G., 1991. The velocity profile at the base of the liquid core from PKP(BC+Cdiff) data: an argument in favour of radial inhomogeneity, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 2023-2026.