

## 惑星深部条件における鉄合金の音速測定

## Sound velocity measurements of iron alloy under the condition of planetary core

<sup>1)</sup>近藤忠, <sup>1)</sup>境家達弘, <sup>1)</sup>高橋英樹, <sup>1)</sup>横山直也, <sup>1)</sup>細木亮太,  
<sup>2)</sup>重森啓介, <sup>2)</sup>弘中陽一郎, <sup>3)</sup>門野敏彦, <sup>4)</sup>入船徹男

<sup>1)</sup>T.Kondo, <sup>1)</sup>T. Sakaiya, <sup>1)</sup>H.Takahashi, <sup>1)</sup>N.Yokoyama, <sup>1)</sup>R.Hosogi et al.

<sup>1)</sup>阪大院・理, <sup>2)</sup>阪大・レーザー研, <sup>3)</sup>産業医科大学, <sup>4)</sup>愛媛大・地球深部研  
<sup>1)</sup>Sci, Osaka Univ.; <sup>2)</sup>ILE, Osaka Univ.; <sup>3)</sup>Univ. of OEHJ; <sup>4)</sup>GRC, Ehime Univ.

## はじめに

地球や惑星の深部物質の状態解明を行うためには、様々な天体の観測量とモデル物質の比較を行う必要がある。中でも密度や音速の情報は地球核の構造や組成の強い制約条件となっている地震波構造と直接対比できる重要な測定対象であり、地球核条件以上での音速測定には、レーザー衝撃圧縮を用いた測定がほぼ唯一の手法となっている。一方、近年の天文学的観測は、太陽系の地球型惑星と同様に岩石-金属系の組成を有しながら、比較的低温ではるかに大きな質量を持つスーパーアースなどの大型惑星の存在を示している。今後の地球型惑星との対比が求められている。比較的低压側における深部物質の振る舞いの定量的理解に役立ってきたのが静的な実験であり、近年、技術開発が急速に発展して、地球中心条件でのX線観察をも実現している。しかし、超高温の安定した同時発生には未だに大きな技術的障壁があり、特に安定した液相を取り扱うことは現状でも大きな技術的障壁がある。我々は最終的にはスーパーアースを含む大型天体の内部構造や形成過程を明らかにしたいと考えている。すでに核融合条件をも実現しているレーザーの技術はこの目的に最も適した装置の一つであり、惑星深々部の液体を扱う点からも、レーザー圧縮法による超高温高温実験に着目してきた。本講演では、我々がここ数年で実施してきた地球の液体金属核の密度・音速測定実験について報告する。

## 実験手法

地球核の組成は純粋な鉄ではなくニッケルや軽元素をいくらか含んだ組成が想定されている。そこで実験試料には純鉄の他、ニッケル(20wt%)を含む合金、軽元素候補として重要な硅素(33.5wt%)を含んだ合金をアーク炉を使

って合成した。高温・高圧発生には激光 XII 号 HIPERレーザーシステムを用いた。図1に実験のセットアップを示す。

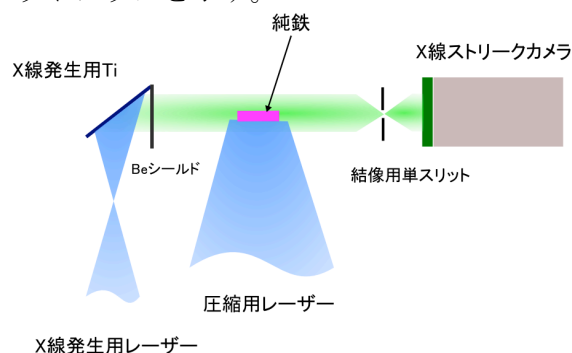


図1. 時間分解 X 線シャドウグラフ実験配置

試料に圧縮用レーザーを照射し、試料内部に衝撃波を伝播させることによって高温・高圧条件を生成する。圧縮下の試料中の音速は時間分解 X 線シャドウグラフ法[1-3]を用いて測定する。この方法では、試料の側面からX線を照射し、試料の射影像から試料表面・裏面の動きを観測する。試料中を伝播した衝撃波は試料裏面に到達すると希薄波が音速で試料表面に向かって伝播する。この希薄波が表面に到達すると、試料全体が加速を始める。X線シャドウグラフによって、試料裏面に衝撃波が到達する時刻( $t_s$ )とその時の試料の厚さ( $d_1$ )、希薄波が試料表面に到達する時刻( $t_r$ )を観測することで、試料の音速( $c_s = d_1/t_r$ )を得ることができる(図2)。圧縮用のレーザーは 12 本のビームのうち 8 本のビームを用い、各々遅延を付加して、パルス幅(半値全幅)7ns の擬似フラットトップパルスにする。レーザー波長は 351 nm、エネルギーは約150 J/ビーム、スポット径は約300  $\mu\text{m}$  にする。試料である鉄の厚さは 30  $\mu\text{m}$  程度で、X 線シャドウグラフ用の X 線光源にはチタン(Ti)を用いて実験を行った。

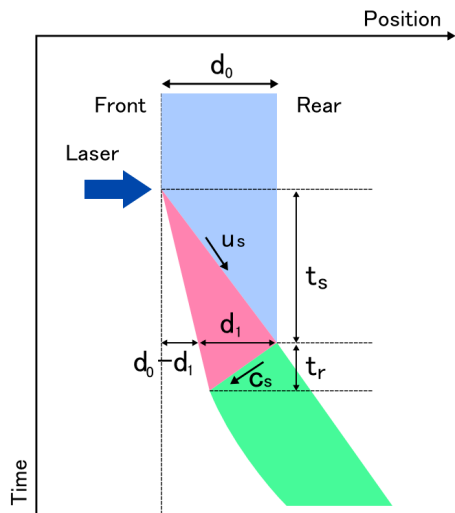


図2. 音速測定原理の概略図

図3に音速測定実験のX線ストリークカメラで得られた(a)像と(b)解析図を示す。試料の表面・裏面の軌跡が観測されている。X線シャド

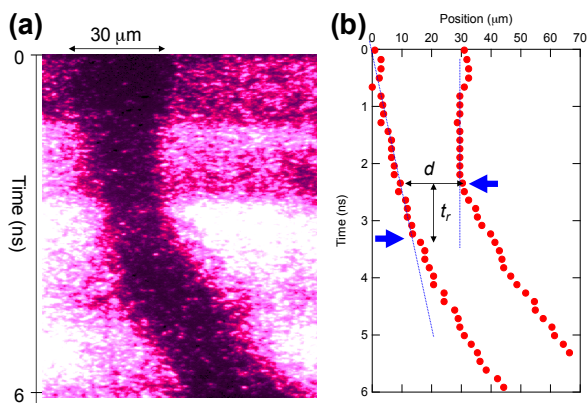


図3. (a)X線ラジオグラフィ像, (b)試料表面と裏面の軌跡. (b)の矢印のところで衝撃波と希薄波が試料裏面と表面に到達している.

ウグラフ画像から試料表面と裏面の軌跡をプロットし、これら軌跡から衝撃波の試料裏面到達時刻及び希薄波が試料表面に到達する時刻を決定した。

### 結果と考察

図4は純鉄における音速と圧力の関係を示した。これまでに測定した純鉄の結果は先行研究[4-5]と調和的であり、広い圧力範囲にわたって直線関係が見られることが解った。また、ニッケルや硅素の効果に関しては、それぞれ音速の低下と上昇に影響する可能性がある事が新たに解った。現状では測定の誤差も大きい為、定量的な議論にはもう少しデータの蓄積が必

要であるが、本研究手法は、地球深部の物性測定、特に液体条件での測定には有効な手段であることが分かった。今後、地球中心核だけでなく、木星などのガス天体の他、スーパーアースのような大型惑星・系外惑星についても内部構造と物性を明らかにしていく上で中心的な役割を果たすと思われる、今後の更なる発展が期待される。

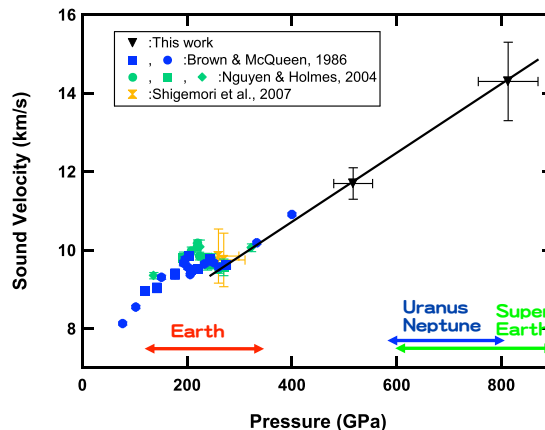


図4. 純鉄における音速と圧力の関係

### 謝辞

本研究は、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターの共同利用実験のもとで行った。本実験実施において、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターのレーザー部、ターゲット部、プラズマ計測部の方々にご協力して頂いたことを感謝いたします。

### 参考文献

- [1] K. Shigemori, *et al.*, *Eur. Phys. J. D* **44**, 301 (2007).
- [2] 境家達弘, 近藤忠, 重森啓介, *高圧力の科学と技術* **21**, 84 (2011).
- [3] K. Shigemori, *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **44**, 301 (2012).
- [4] M. J. Brown and R. G. McQueen, *J. Geophys. Res.* **91**, 7485 (1986).
- [5] J. H. Nguyen and N. C. Holmes, *Nature* **427**, 339 (2004).
- [6] T. Sakaiya *et al.*, Submitted to *EPSL* (2013).