



Title	Thermoelastic properties of iron-carbide and carbonate melts under high pressure : implication for carbon in the Earth' s and lunar interiors
Author(s)	下山, 裕太
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/61497
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (下 山 裕 太)	
論文題名	Thermoelastic properties of iron-carbide and carbonate melts under high pressure: implication for carbon in the Earth's and lunar interiors (高压下における鉄-炭素合金とカーボネートメルトの熱弾性的性質: 地球や月内部における炭素への応用)
論文内容の要旨	
水星や火星、月などの地球型惑星の外核は主に溶融鉄によって構成され、軽元素(H,C,O,Si,S)が含有した溶融鉄合金であると考えられている。近年における月地震波の再解析から月の核は溶融した層が存在し、その音波の伝搬速度は4100 m/sであるとされている(Weber et al., 2011)。月内部の軽元素を制約するためには鉄-軽元素系の音速測定を行い、これら軽元素の溶融鉄へ与える効果を明らかにする必要がある。しかし、鉄-軽元素系の音速測定はSのみに限られ、月環境下に適用しうる他軽元素系の報告例はない。 また、固体鉄合金は縦波速度 (V_p) 測定から軽元素の V_p へ与える影響は大きいことが報告され、密度-音速の関係式であるバーチ則から軽元素毎の効果が明らかにされつつある。そして溶融鉄合金の静的圧縮による密度-音速の同時測定の報告例が無いためバーチ則からみた軽元素の効果は明らかになっていない。 炭素は、月内部の核に入りうる軽元素として近年示唆されている(Wetzel et al., 2015 and Steenstra et al., 2017)が月の核条件環境(4-5 GPa)におけるFe-C系での音速測定は行われていない。したがって、本研究では軽元素の中で炭素に着目し、高温高压下における溶融鉄合金の音速-密度同時測定を目指している。 高温高压下における融体の密度-弾性波速度の同時測定を実施するため、圧電素子用の溝付きアンビル台座を新規に導入した。弾性波速度測定は、超音波法を用いた。密度の測定法はX線吸収法を採用した。圧力と温度の指示マーカーとしてMgOとh-BNの状態方程式を使用した。 本研究によりFe-C密度-音速同時測定を3.4 GPa, 1850 Kまでの圧力温度条件で行った。炭素が溶融鉄に含有することにより、純鉄の音速は3 GPa, 1700 Kにて約2%、密度は2 GPa, 1700 Kにて約2%減少する事が明らかとなった。これら得られたデータを基に密度-音速の関係式バーチ則の関係で表したとき、今回得られたFe-3.5wt%Cの線形関係は、圧力や温度変化によって変化しないことが明らかとなった。この傾向を純鉄と比較した結果、炭素の溶融純鉄の線形へ与える効果は圧力と共に小さくなることが明らかとなった。本研究によって得られた成果は学術論文として受理された(<i>Journal of Geophysical Research – Solid Earth</i>, Vol. 121, Issue 11, Pages 7984-7995, DOI: 10.1002/2016JB012968)。 また、近年、炭酸塩メルトが地球の低速度層にある事が示唆されている。中央海嶺直下ではマントル内部の炭素源であるダイヤモンドやグラファイトが酸化することによって炭酸塩メルトが発生し、海嶺上部まで運ばれるモデルが提唱されている。しかし、このメルトの輸送特性、つまりはメルトが上昇するか、下降するか、もしくはその場にとどまるかは周りの岩石との密度差によって決まる。地球内部環境下を模擬した高压環境下での炭酸塩メルトの密度測定はモデル計算に限られ、実測例はない。そのため、本研究では超音波法を用いた炭酸塩メルトの音速測定を高压下で行い、メルトの熱弾性的性質を調べた。 高温高压下における融体の音速測定は大型放射光施設SPring-8のBL04B1ビームラインで行った。弾性波速度測定は超音波法を用いた。 その結果、炭酸塩メルトの音速は固体の音速と比較して30%低いことが明らかとなった。このメルトの体積弾性率(K)を計算した結果、モデル計算による予測値より20-30%小さくなることが明らかとなった。そのため、炭酸塩メルトの密度の圧力依存性は従来の報告よりも大きく、地球内部における輸送特性は圧力に依存しやすいことが明らかとなった。この圧縮挙動を用いて中央海嶺における移動度を計算した結果、低速度層付近(60-80km, 2GPa)において炭酸塩メルトが濃集しやすいことが明らかになった。この圧力付近における炭酸塩メルトの橄欖岩音速へ与える効果を検証した。橄欖岩の部分溶融体の体積弾性率、剛性率はVoigt-Ruess-Hill平均を用いて計算し、密度は線形ミキシングを仮定して計算を行った。その結果、部分溶融による橄欖岩の音速の減少は2-4%であり、これは地震波観測に基づく縦波速度の減少量(Anderson and Sammis, 1970)と調和的な結果となった。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山下 裕太)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 近藤 忠
	副 査	教授 佐々木 晶
	副 査	教授 宇田 健太郎
	副 査	教授 浦川 啓
	副 査	准教授 大高 理
	副 査	准教授 宇崎 英紀

論文審査の結果の要旨

地球の液体金属核は10%ほどの軽元素(H,C,O,Si,Sなど)を含む鉄合金融体で構成されていると考えられており、その組成や構造を解明するためには鉄融体の物性に与える軽元素の影響を定量的に評価することが必要である。一方、最近の月探査結果から月にも水だけでなく炭素質の揮発性物質が同定され、アポロ計画の地震波データ再解析からは、月の核として金属融体の存在も示唆されている。これらの観点及び地震波観測データとの比較の重要性から、本研究では核の軽元素候補として炭素を想定した金属融体に対して、より結果の信頼性を向上させるために音速と密度を同時測定するという手法を用いた。金属融体の高圧下における物性測定は、最先端の技術を用いても最も難易度の高い実験の一つであり、液体条件におけるFe-C系の同時測定はこれまで行われていない。

高圧高圧発生にはSPring-8:BL-22XUビームラインに設置された180tonキュービックアンビルプレス(SMAP-180)を用いた。音速測定は超音波法(ハルスエコーオーバーラップ法)による音速測定システムをビームラインに新たに導入した。35-37 MHzのパルスを高圧容器の外から導入し、試料前後の境界から反射させて伝搬時間を求めると共に、X線吸収プロファイルによる試料サイズの計測と併せて音速を決定した。音速測定と同一高圧容器内にある試料に対する密度測定にはX線吸収法を用い、円筒状の融体試料に対する1次元吸収プロファイルをランベルト・ベールの式を用いてフィッティングすることにより試料の密度を求めた。実験条件として1.1-3.3 GPa、1650-1850 Kの圧力-温度条件で測定を行った。

その結果、Fe-C系融体の音速の温度依存性は1.2 m/sKで減少する事が分かり、これは先行研究で音速の温度依存性が小さなFe-S系と異なることが明らかになった。この違いは弾性率の温度特性が軽元素により異なることに起因していると考えられる。また、Fe-C系の密度-音速の関係と純鉄の傾向とを比較すると、炭素の効果は高圧側につれて小さくなることが明らかとなった。この他、炭素がマントルに及ぼす影響として、炭酸塩質マグマの音速測定も行い、地震観測データとの比較によりマントル中の炭酸塩質マグマの存在の有無を推定し、マントルでの上昇過程に関しても議論を行った。

以上のように、本研究では惑星核の構造や物性の議論に重要な金属融体の音速と密度の同時測定を実現し、炭素が惑星核の物性に及ぼす影響に関して定量的な議論を可能とする結果を導いた。これらの研究結果の主要部は、“Thermoelastic properties of liquid Fe-C revealed by sound velocity and density measurements at high pressure”としてJournal of Geophysical Researchに発表を行った。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分な価値を有するものと認める。