

レーザー衝撃圧縮による液体水素のユゴニオ計測

Laser-Shock Compression and Hugoniot Measurements of Liquid Hydrogen

佐野 孝好 [1]; 生駒 大洋 [2]; 重森 啓介 [3]; 境家 達弘 [4]; 尾崎 典雅 [5]; 門野 敏彦 [6]; 弘中 陽一郎 [7]; 近藤 忠 [8]; 奥地 拓生 [9]

Takayoshi Sano[1]; Masahiro Ikoma[2]; Keisuke Shigemori[3]; Tatsuhiro Sakaiya[4]; Norimasa Ozaki[5]; Toshihiko Kadono[6]; Yoichiro Hironaka[7]; Tadashi Kondo[8]; Takuo Okuchi[9]

[1] 阪大レーザー研; [2] 東工大・理・地惑; [3] 阪大レーザー研; [4] 阪大・理・宇宙地球; [5] 阪大院工; [6] レーザー研; [7] 阪大・レーザー研; [8] 大阪大・理; [9] 岡山大・地球研

[1] ILE, Osaka Univ; [2] Earth Planet. Sci.

Tokyo Tech.; [3] Inst. Laser Eng., Osaka Univ.; [4] Osaka Univ.; [5] Osaka Univ.; [6] ILE; [7] ILE, Osaka Univ.; [8] Osaka Univ.; [9] ISEI, Okayama Univ.

超高压下での水素の状態方程式は、木星の内部構造を探る上で極めて重要である。しかし、現状では惑星内部に匹敵する圧力での水素の物性は、実験的にも理論的にもほとんど調べられていないため、状態方程式には大きな不定性が存在している。そこで我々は、高強度レーザーによる衝撃圧縮を用いて、超高压下での水素の物性を調べている。特に、最も不定性の大きい分子水素から金属水素への遷移領域（木星内部では圧力が200GPaで、温度は約6000度）での状態方程式を実験的に検証することを最終的な目標としている。そして、木星の内部構造を明らかにすることで、木星を始めとする太陽系惑星の形成過程の理解にも貢献していきたいと考えている。

液体水素のユゴニオ計測は、20年以上も前に二段式ガス銃を用いた実験で10GPaまで調べられているものが唯一のデータである。高強度レーザーを用いれば、10GPaよりも高い圧力に水素を圧縮することは難しくはない。もし、金属化への遷移が起こると予測されている10-200GPaでの水素の圧縮率が計測できれば、それだけで世界初のデータとなる。金属水素への遷移領域を含む200GPaまでの状態方程式が明らかになれば、木星内部にある固体コアの質量を高精度で決定することができる。標準的な木星形成シナリオでは、コア質量は地球質量の10倍以上あることを予測している。もし計測された状態方程式から見積もられるコア質量が地球質量の10倍以下になれば、標準シナリオを大幅に修正しなければならない。このことから、本実験の惑星科学的な意義は極めて高いと言える。

実験には大阪大学レーザーエネルギー学研究中心にある激光XII号レーザーを利用した。15Kに冷却した液体水素ターゲットに激光レーザーを照射することで、水素を一次的に圧縮し、超高压状態を作り出す。我々の実験の特色としては、水晶を標準物質として水素の状態方程式を決定する点が挙げられる。我々は同様のターゲット形状による原理実証実験にも既に成功しており、従来よりも高い精度で試料（ポリスチレン）の状態方程式が計測できることを確認している。今回は液体水素を水晶板（厚みは50um程度）で挟んだ独自のターゲット形状を用いて、液体水素のユゴニオ計測を実施した。

主要な計測は、速度干渉計（VISAR）を用いた衝撃波面の速度および反射率の測定である。速度感度の異なる2台のVISARを使うことで、高い速度分解能を実現させている。水晶の状態方程式は非常に良く調べられているため、水晶水素水晶と衝撃波が伝播する際のそれぞれの衝撃波速度を計測することで、水素の圧縮層の物理量を測定することが可能となる。また、裏面から輝度温度計による温度計測も同時に行った。

平成20年度に行った実験では水晶中と水素中の衝撃波速度をVISARのフリンジシフトから同時計測することに成功した。これによって、初めてレーザー衝撃圧縮による液体水素のユゴニオデータが得られたことになる。ターゲットの中を衝撃波が伝播する様子がすべての計測器できれいに捉えられている。水晶中と水素中での衝撃波速度はそれぞれ21km/s、30km/sで、これらから圧縮された水素の圧力は53GPaと見積られる。この圧力は、従来得られていたユゴニオデータの約5倍に相当する。また、圧縮率は4.5と、硬い状態方程式を支持する結果となっている。

本講演では、実験方法と結果の詳細と、今後の実験計画について詳しく紹介する。我々のこれまでの試みによって、高強度レーザーが高圧物性を実験的に検証する有効な道具となりうることが示されてきた。今後は静的圧縮との研究協力を密にし、それぞれの特徴を生かしながら、水素の相図のより広い範囲を実験的に調べていくことが興味深いと考えている。我々の計画に対応する温度圧力状態における、静的超高压中性子散乱実験の実現できればと期待している。