

レーザー衝撃圧縮下の惑星材料物質の分光観測： 隕石衝突による惑星大気海洋形成モデルの構築

梅田悠平¹、尾崎典雅¹、福井敬也¹、宮西宏併²、関根利守¹、佐野孝好²、兒玉了祐^{1,2}、冬木正紀³

¹大阪大学大学院工学研究科、²大阪大学レーザー科学研究所、³畿央大学

はじめに

惑星や彗星に対する隕石衝突によって発生する、隕石物質または惑星表層物質の脱ガス・脱水反応は、惑星の海洋や大気形成に大きく貢献したと考えられている。例えば、隕石中には炭酸塩鉱物（カルサイト、マグネサイト）や含水鉱物（サーペンティン、ゲーサイト）などが一定量含まれているため、超高速隕石衝突（一般的な衝突速度は 10 km/s 超）によって生じる高圧・高温の極限環境下においては、衝突反応（分解）生成物として、炭酸塩鉱物からは二酸化炭素（and/or 一酸化炭素）などのガス成分、含水鉱物からは水などが発生することが予想される。しかしながら、隕石衝突現象において支配的な圧力領域である 100 GPa 超の状態方程式データは不足している。

本研究では隕石中や惑星表層に普遍的に存在する炭酸塩鉱物であるカルサイト（ CaCO_3 ）に着目した。衝撃圧縮下におけるカルサイトの圧力・温度計測と分光スペクトル観測を行い、物性量と化学反応データを取得し、炭酸塩鉱物の衝撃脱ガス反応が起こる温度圧力条件やその時間進展を明らかにすることが目的である。

本年度の実験では、カルサイトのユゴニオデータの取得を中心に行い、圧力 200 GPa から 1 TPa における圧力・温度データを 7 点取得することに成功した。さらに衝撃圧縮中のカルサイトにおける自発光分光スペクトルデータの取得にも成功した。

実験手法

カルサイトに対して、レーザー駆動の衝撃波を伝搬させることによって、隕石衝突下における極限環境下の脱ガス・脱水反応を再現した。衝撃圧縮中の試料について、(i) 速度干渉計 (Velocity Interferometer System for Any Reflector : VISAR) を用いた衝撃波速度計測、(ii) 自発光輝度温度計 (Streak Optical Pyrometer : SOP) を用いた温度計測、(iii) 分光器を用いた発光スペクトル計測を行った。

試料は単結晶のカルサイト（1 cm 角結晶）を用意し、4 mm 角、厚さ 500 μm へ加工を行った。ターゲット構成はレーザー照射側からアブレーターとして CH、標準物質として Al と Qz、試料の CaCO_3 を用いた。Qz は Qz-真空界面の反射を防止するために AR コーティングを行った。本実験ではユゴニオ計測用 (Fig. 1) と分光計測用 (Fig. 2) の 2 種類の構造のターゲットを使用した。

実験結果

カルサイトの衝撃波速度と粒子速度の関係を Fig. 3、圧力と密度の関係を Fig. 4 に示す。衝撃波速度と粒子速度の関係について、先行研究による低圧側データ (<100 GPa) [1] と本実験データの近似直線 (点線) を比較すると、両者に違いがあることが明らかになった。この領域 (圧力 100-200 GPa) における U_s - u_p 関係の変化は、カルサイトの状態変化や化学反応の発生を示唆する結果であり、先行研究[2]によって予測されている、 CaCO_3 の脱炭酸反応や CaO のメルト化の圧力域と調和的である。また、カルサイト中を伝搬する衝撃波面からのプローブ光の反射が 11.5 km/s を超えると観測されたことから、カルサイトの金属化開始圧力はおよそ 195 GPa である。

謝辞

本研究は大阪大学レーザー科学研究所での共同研究として実施されました。激光 XII 号に関わる職員の方々の支援に感謝致します。また、本実験におけるターゲット作成・実験オペレーションなどを中心となって行った修士学生の福井敬也君をはじめ、他共同研究者の方々に感謝致します。

引用文献

- [1] N. G. Kalashnikov et al., Physics of the Solid Earth, 2, 23-29 (1973).
- [2] B. Ivanov and A. Deutsch, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 129, 131-143 (2002).

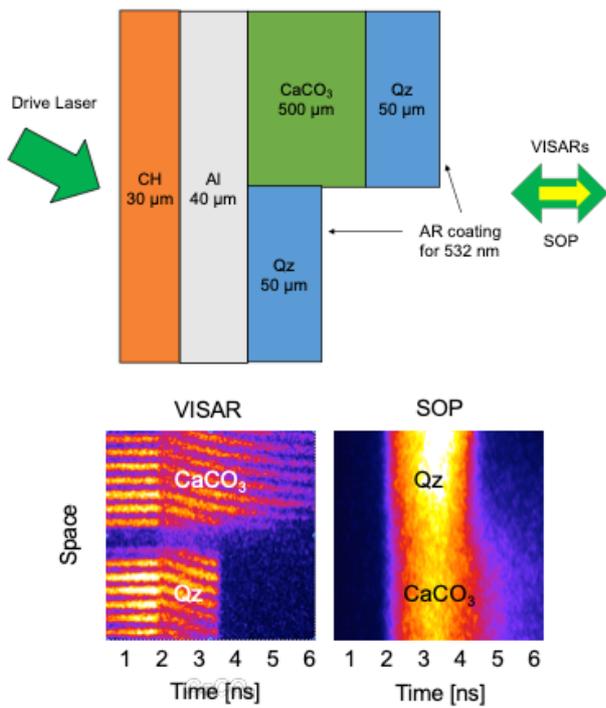


Fig. 1 ユゴニオ計測用セットアップと得られた VISAR・SOP データ

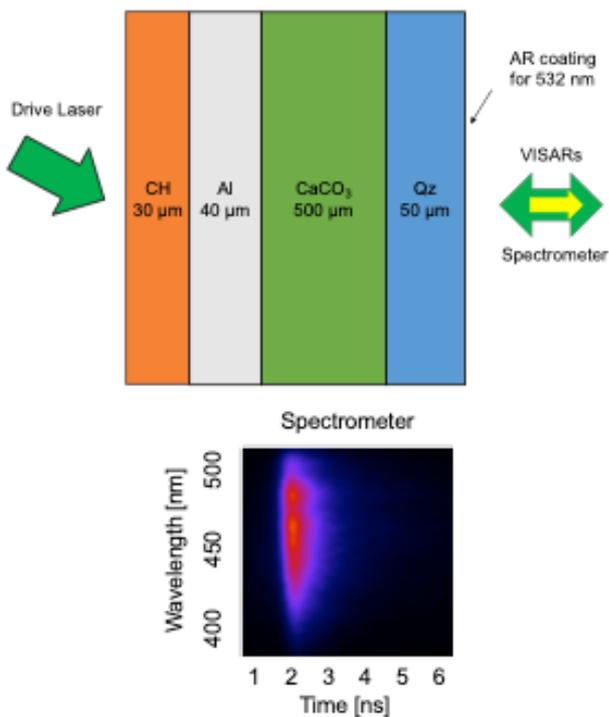


Fig. 2 分光計測用セットアップと得られた分光データ

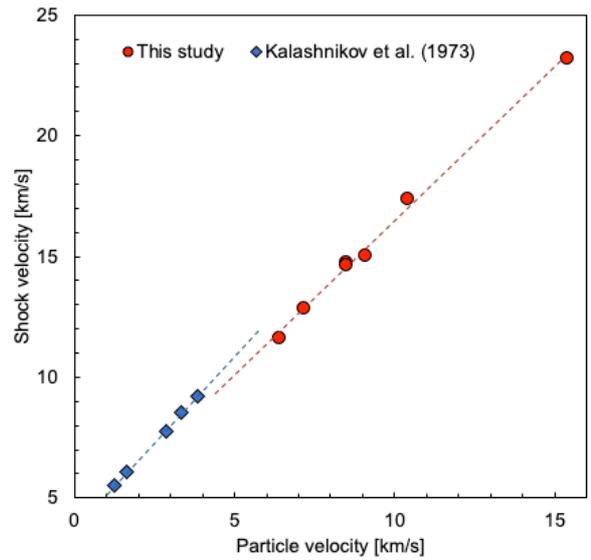


Fig. 3 衝撃波速度と粒子速度の関係

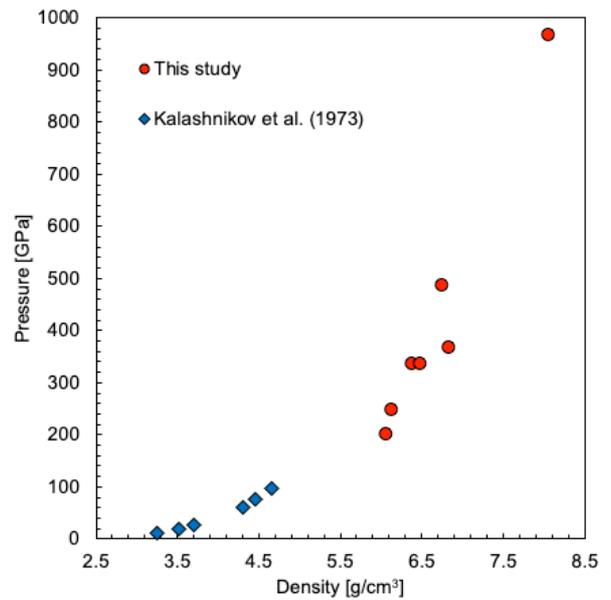


Fig. 4 圧力と密度の関係