

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22740295

研究課題名（和文） 大型レーザー装置を用いた衝撃変成手法の開発
～レーザーで切りひらく地球深部～研究課題名（英文） Development of recovery technique of laser-shocked earth
and planetary interior materials

研究代表者

境家 達弘（SAKAIYA TATSUHIRO）

大阪大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：60452421

研究成果の概要（和文）：隕石衝突現象を模擬するために、大型レーザー装置を使った衝撃変成手法の開発を行った。試料には地球内部物質であり、隕石中鉱物であるかんらん石（オリビン）を用いて、試料表面に試料噴出抑制用に金属板を配置することで、衝撃変成された試料を100%回収することに成功した。その回収試料の分析結果から、隕石衝突クレーター深部における衝撃変成機構としてモデル化されていた試料の熔融・塑性変形・弾性変形を観察することができ、クレーター深部の変成機構を検証することが出来た。またその深部中の衝撃波の減衰率を評価するための音速データの取得に成功した。

研究成果の概要（英文）：In order to investigate a meteorite impact phenomenon, the shock metamorphism technique in a large laser facility was developed. The shocked sample (olivine) was fully recovered by using the recovery cell which consists of aluminum with a titanium plate in the front of the olivine. From the analysis of the recovered olivine, the melting, plastic deformation, and elastic deformation of the shocked sample modeled as a shock compression mechanism in the meteorite impact crater interior could be observed, and the shock metamorphism mechanism in the crater interior was able to be verified. Moreover, it succeeded in the observation of the sound velocity for evaluating the shock decay ratio to the interior.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地球・惑星内部構造、レーザー、地殻・マントル物質、衝撃波、回収、オリビン

1. 研究開始当初の背景

地球惑星科学研究において地球惑星内部を直接観測することは困難であるので、地震波などの観測を基に地球惑星内部構造・物質に関して制限を付け、存在する可能性の高い物質について静的・動的な圧縮手法を使って地球惑星内部と同じ温度・圧力状態を生成し、その物理的・化学的な性質を調べることで地球惑星の内部構造を推定している。

ダイヤモンドアンビルセルなどを用いた静的圧縮法[例えば、Bassett et al. 1967]では、高温あるいは高圧状態を各々保持することは比較的容易であるけれども、高温と高圧状態を同時に達成することは困難である。また、ガス銃などを用いた動的圧縮法[例えば、Nellis et al. 1999]では、高温・高圧状態を同時に達成することは比較的容易であるけれども、温度はその物質の状態方程式に依存して

しまうので、温度・圧力を任意に制御することは難しい。

近年、地球惑星内部状態を生成可能と考えられているレーザーを使った動的（衝撃）圧縮法についての研究が精力的に行われてきている[1-4]。この手法では、レーザーのパルス波形や強度を変化させることで、原理的には任意の温度・圧力状態を生成することが可能である。

静的圧縮法では、高温・高压状態を比較的長い間保持できるのに対し、レーザーなどを使った動的圧縮法では高温・高压状態が衝撃波の伝播時間内に制限されるため、地球惑星内部物質が高压相転移するために必要な時間、高温・高压状態が保持できているか不確定な面がある。逆にこの制限を利用して、衝撃波の伝播を制御することで、高压相を凍結し回収できる可能性がある[Sano et al. 2003]。また、飛行体を使った衝撃圧縮実験は多数行われていて[例えば、Jackson and Ahrens 1979]、静的圧縮実験との比較・検討がなされているけれども、レーザー誘起衝撃波による高温・高压状態で相転移した試料を回収して調べられたことはほとんどない。

参考文献

- [1] K. Shigemori, et al., Eur. Phys. J. D **44**, 301-305 (2007).
- [2] 佐野孝好, 他, 高压力の科学と技術 **19**, 186-194, 2009.
- [3] 生駒大洋, 他, プラズマ・核融合学会誌 **84**, 93-99, 2008.
- [4] 重森啓介, 他, 高压力の科学と技術 **18**, 55-61, 2008.

2. 研究の目的

地球の内部構造ひいては地球型惑星の誕生過程に制限をかけるために、地球惑星内部物質の物性を調べる一つのツールとして、高压発生手法である静的・動的圧縮法のうち、地球惑星中心部の状態をも生成可能であるレーザー衝撃圧縮法に着目して、大型レーザー装置を用いた衝撃変成手法を開発することが目的である。

3. 研究の方法

大型レーザー装置を用いた衝撃変成手法を開発するために、まずは地球内部の主要鉱物であり隕石中物質でもあるため、物性が良く調べられている試料（オリビン）を用いて、レーザー衝撃変成させた試料を回収し、観察を行う。試料が経験する温度・圧力条件はレーザー強度などを制御し、オリビンが複数回相転移するマンテル条件付近あるいは隕石衝突相当速度の状態にする。大型レーザー装置の特色を使ってレーザー条件を調整して、色々な温度・圧力状態を経験した試料を回収

し、観察結果を既存のデータとも比較して高压相の回収状態やレーザーによる変成効果

（試料面方向や深さ方向の変成状態）を調べて、レーザー衝撃変成手法の実現性を評価する。研究が計画通りに進めば、他の地球惑星内部物質の衝撃変成についても調べる。

4. 研究成果

(1) 初年度は、地球内部や隕石の主要鉱物であるオリビンを使って、レーザー衝撃変成実験を行った。レーザーを試料に直接照射すると高压状態になった試料が外側に噴出してしまうので、噴出物の回収に回収ボールなどを使用したが完全な回収は出来なかった。そこで、オリビン表面に金属板（アルミあるいはチタン）を配置し（図1）、試料の噴出を抑制した。これにより高温高压状態を経験したオリビン試料が噴出してしまうことなく、試料を100%回収することに成功した。また、レーザー照射によって金属板に出来た穴は、隕石衝突で出来るクレーターに類似しており（図2）、レーザーのエネルギーと金属板に開いた穴の径との関係は、飛行体（弾丸）を使った衝突模擬実験から得られる結果と一致していることがわかった。このことから、レーザー照射によって発生する衝撃波が隕石衝突現象を模擬し得る可能性を示唆した。

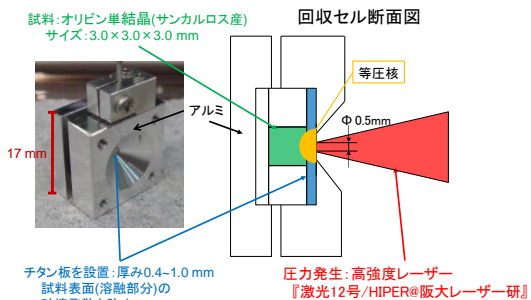


図1. 回収セル写真と断面図。

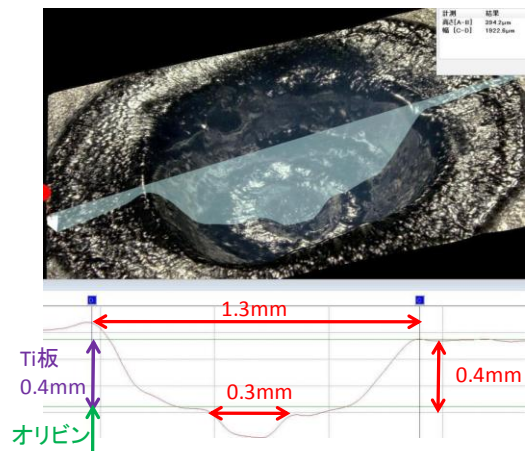


図2. 金属板表面の光学顕微鏡3D画像。

(2) 次年度は、地球内部や隕石の主要構成物質であるオリビンとクォーツとかんらん岩

を使って、レーザー衝撃変成実験を行った。試料表面には金属板（チタン）を配置し試料の噴出を抑制した。金属板の厚みはレーザー誘起衝撃波の等圧核が試料に到達するように調整した。これらにより高温高压状態を経験した試料が噴出してしまわずに回収することが出来た。回収した試料はレーザー照射中央部の断面を切り出して薄片化し、衝撃波伝播による変成状態の変化を光学観察（光学顕微鏡、ラマン分光観察）および電子顕微鏡観察により評価した。観察結果から、試料中に変成状態の異なる3つの領域が存在することがわかった（図3）。試料表面付近は高温高压状態を経験したことによる熔融の痕跡が見られた。これより深部は衝撃波が圧力減衰しながら伝播している痕跡が見られ、試料の破壊（クラック）形状によって異なる領域に分けられた。これらの変成状態の変化は隕石衝突クレーター深部において考えられているモデル[melosh 1989]と類似していることがわかった。試料中の変成分布から3つの領域の境界の位置とそこでの圧力を決定し、試料中での衝撃波の圧力減衰率を評価した。その減衰率はガス銃を使った衝突模擬実験の結果や理論シミュレーションによる結果よりも大きい値であることがわかった（図4）。

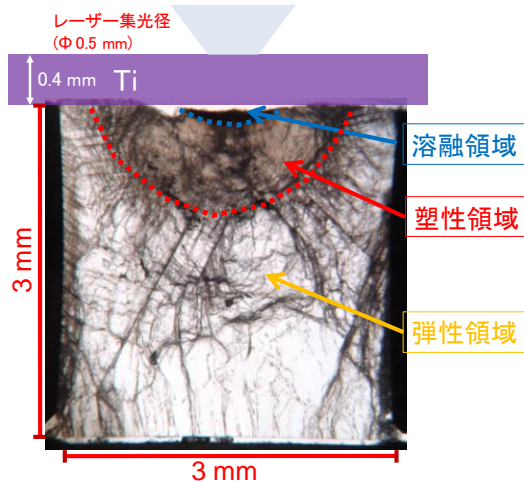


図3. オリビン薄片の光学顕微鏡画像(透過)。

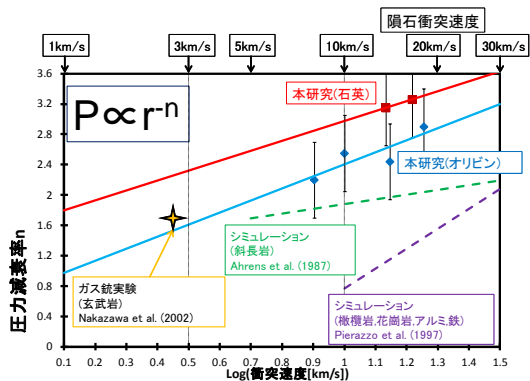
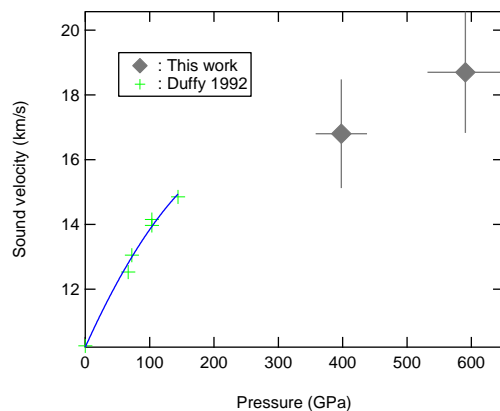


図4. 衝撃波の圧力減衰率の衝突速度依存性. (3)最終年度は、地球内部や隕石の主要構成物質であるオリビンとクォーツ、及びフッ化マンガンを使って、レーザー衝撃変成回収実験を行った。また、レーザーの照射条件（強度分布）を変化させて比較的大きな試料（粉末）に対して回収実験も行った。回収した試料のうち単結晶試料はレーザー照射中央部の断面を切り出して薄片化し、衝撃波伝播による変成状態の変化を光学観察（光学顕微鏡、ラマン分光観察）および電子顕微鏡観察により評価した。粉末試料はX線回折による構造観察を行った。また次年度の実績である衝撃波の圧力減衰率を評価する際に必要な音速データをX線撮影法により測定し 400 GPa-600 GPa の圧力領域でオリビンの音速デ



ータを取得することに成功した（図5）。

図5. オリビンの音速と圧力の関係。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計7件）

- ① 境家達弘（招待講演）、レーザー衝撃圧縮された鉱物の変成と衝撃波減衰～地球惑星科学への応用～、レーザー学会学術講演会第33回年次大会、2013. 1. 29、姫路商工会議所（兵庫県）
- ② 境家達弘、レーザー衝撃圧縮された鉱物の変成と衝撃波減衰、日本地球惑星科学連合2012年大会、2012. 5. 22、幕張メッセ国際会議場（千葉県）
- ③ 永木恵太、境家達弘、高強度レーザーによって衝撃圧縮された鉱物の変成分布、衝突研究会、2011. 11. 17.、北海道大学・低温科学研究所（北海道）
- ④ 永木恵太、境家達弘、高強度レーザーによって衝撃圧縮された鉱物の変成分布、日本惑星科学会2011年秋季講演会、2011. 10. 25日、相模女子大学・（神奈川県）
- ⑤ 永木恵太、境家達弘、高強度レーザーを使

った衝撃圧縮回収実験と惑星科学への応用、
日本地球惑星科学連合 2011 年大会、
2011. 5. 24、幕張メッセ国際会議場（千葉県）

⑥永木恵太、境家達弘、高強度レーザーを使
った衝撃圧縮回収実験と惑星科学への応用、
日本惑星科学会 2010 年秋季講演会、
2010. 10. 6、名古屋大学（愛知県）

⑦永木恵太、境家達弘、レーザー衝撃圧縮を
受けた物質の回収技術の開発、日本地球惑星
科学連合 2010 年大会、2010. 5. 25、幕張メッ
セ国際会議場（千葉県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

境家 達弘 (SAKAIYA TATSUHIRO)
大阪大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：6 0 4 5 2 4 2 1