

平成21年 4月30日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740277

研究課題名 (和文) 衝突脱ガス現象に関する実験的研究

研究課題名 (英文) Experimental study of impact devolatilization

研究代表者 大野 宗祐

(OHNO SOHSUKE)

岡山大学・地球物質科学研究センター・助教

研究者番号：80432631

研究成果の概要：

衝突脱ガス現象は大気の形成やその後の表層環境の進化に大きな影響を与えたと考えられている。我々は、レーザー銃あるいは新型ガス回収試料チェンバーを用い、衝突脱ガス実験の新しい手法を開発した。炭酸塩岩、硫酸塩岩へ適用した結果、多くの先行研究よりも弱い衝撃波で衝突脱ガスが開始することがわかった。これは、比較的低い衝撃圧の条件では圧力解放過程での脱ガス反応が重要であること、天然の衝突でも衝撃圧縮された後圧力が低圧まで開放される領域ではこれまで考えられてきたよりも衝突脱ガスが起こりやすいことを示唆する。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	0	1,900,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

研究分野： 惑星科学

科研費の分科・細目： 数物系科学、固体地球惑星科学

キーワード： 天体衝突、大量絶滅、大気形成、炭酸塩岩、硫酸塩岩、化学反応、衝突実験、衝突脱ガス

1. 研究開始当初の背景

天体が数 km/s 程度で惑星に衝突すると、衝撃波により加圧・加熱された構成物質中の揮発成分が分離・気化してガスとして放出されると考えられている。この現象を一般に衝突脱ガスという。衝突脱ガスで微惑星中の含水鉱物や有機物から放出されたガスによって、原始惑星の周囲には大気が形成されたと考

えられている。一方で、炭酸塩、硫酸塩などからの衝突脱ガス現象は、例えば K/T 事件などその後の表層環境や生命の進化において大きな役割を果たした。ところが、これまでの衝突脱ガス現象に関する実験的な研究には非常に大きな問題点がある。それは、脱ガスの素過程がよく分かっていない点である。そのために、実験結果の解釈の信頼性が無く、実際の天体衝突ではどのような条件で衝突

脱ガスが起こるのか研究によって推定値がまちまちである。

2. 研究の目的

上記1. で述べた状況をふまえ、本研究においては、衝突脱ガスがどのような物理・化学現象により支配されているか、を理解するとともに、それを踏まえて実際の惑星スケールの天体衝突での衝突脱ガスの起こる条件を決定したい。そのために、(1) レーザ銃を用いた開放系での衝突脱ガス実験 (2) 火薬銃を用いた封圧を制御した条件での衝突脱ガス実験 (3) 特に圧力解放過程に着目した衝突脱ガス条件の議論、を行う。

3. 研究の方法

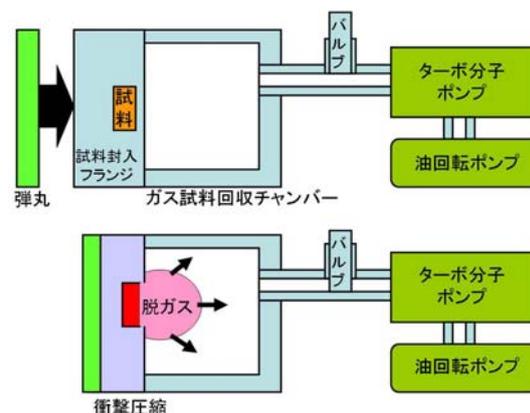
(1) レーザ銃を用いた開放系での衝突脱ガス実験

我々は、反射衝撃波や封圧の影響を受けずに衝突脱ガス生成気体を回収できる、レーザ銃を用いた衝突脱ガス実験の新しい手法を開発した。レーザ銃は、飛翔体の加速にレーザを用いた銃であり、例えば二段式軽ガス銃などのように火薬やガンデブリ等が発生・混入することはない。そのため、試料容器等を使用することなく開放系での脱ガス気体の回収・分析が可能である。今回我々はその特性を活かし、東京大学新領域創成科学研究科のレーザ銃を用い、真空チャンバーに四重極質量分析計 (QMS) を直接接続して脱ガス気体を分析するシステムを構築した。それを用い、方解石 (CaCO₃) の衝突脱ガスを観測したところ、従来困難であった微量の衝突脱ガスを検出することに成功した。この実験では、飛翔体の大きさを決めるレーザのビーム径は 800 μm に、レーザのパルスエネルギーは約 40 ジュールに固定し、飛翔体用金属箔は金箔、銅箔の二種類を用いた。金の飛翔体の厚さは 2.5 μm、10 μm の二種類、銅の飛翔体の厚さは 5 μm、10 μm のそれぞれ二種類を用いた。4 種類の密度・厚さの異なる飛翔体金属箔を用いることにより、レーザ出力のダイナミックレンジ以上の幅で衝突速度・衝撃圧力を変えた条件を実現した。本研究では、脱ガス率 = (脱ガス生成気体のモル数) / (飛翔体体積分に相当する標的試料のモル数) と定義し、様々な衝撃圧の実験条件での脱ガス率の変化を観測した。

(2) 火薬銃を用いた封圧を制御した条件での衝突脱ガス実験

物質材料研究機構の一段式・二段式軽ガス銃を用い、火薬銃の火薬等の混入を防ぎ脱ガス生成気体の正確な分析が可能なガス試料回収チャンバーを新たに製作した。チャンバー

の概略を下図に示す。チャンバーの試料側は



衝突の際の衝撃波に耐えられるよう肉厚にして丈夫にするとともに、この試料封入フランジ部分だけ交換・使い捨てが可能な構造にした。また、ベーキングもできるような全て金属製とし、10⁻⁸ トール以下の超高真空にまで到達可能である。試料を封入したチャンバー十個程度を岡山大学で超高真空にして準備しておき、それを物質材料研究機構へ持ち込み実験を行い、残留ガス測定計を用いて脱ガス生成成分の定量分析を行った。このシステムの導入により、ppb 以下の微量成分のガス組成の分析が可能となった。このコンテナを用い、弾丸の組成や大きさ、衝突速度を同じ値に固定したままコンテナ内の体積や封入する固体試料の量を変えて実験を行い、衝突脱ガスの起こり方の違いと生成が菓の化学組成を観測した。

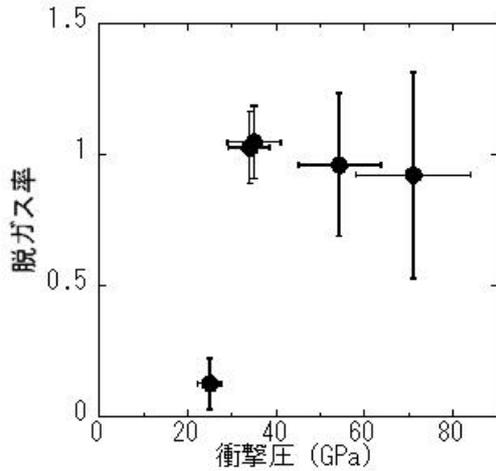
(3) 特に圧力解放過程に着目した衝突脱ガス条件の議論

これまで多く行われてきた衝突脱ガス実験は、主に試料コンテナで封入された条件での実験に限定されていた。ところが、実際の天体衝突では圧縮過程の後に圧力の解放過程が必ず続く。にもかかわらず、ほとんどの衝突脱ガス実験では圧縮過程のみを取り扱い解放過程を無視してきた。例えば炭酸塩等の相図を見れば低圧になり気相がより安定になる圧力解放過程での衝突脱ガスが非常に起こりやすいことは明らかである。本研究では、(1) と (2) で得られた先行研究と全く異なる条件での衝突脱ガスの観測結果から、圧力解放過程での衝突脱ガスが起こるのかどうか、また圧力の解放のされ方により脱ガスの様子がどのように違うのかを議論することとした。

4. 研究成果

(1) レーザ銃を用いた開放系での衝突脱ガス実験

方解石の脱ガス率（下図参照）を見ると、衝



撃圧が約 25 GPa のショットでは脱ガス率は 0.2 前後と小さいものの、有意な量の脱ガス生成気体（二酸化炭素）が検出された。これはすなわち、25 GPa 以下の衝撃圧の条件で方解石の衝突脱ガスが起こりはじめることを意味する。また、衝撃圧が 34 GPa 以上の衝撃圧の 4 回のショットでは方解石の脱ガス率はどのショットでも約 1 で、誤差の範囲内ではほぼ一定値を示した。これは、衝撃圧が 34 GPa 前後で方解石の衝突脱ガスがほぼ完全に起こるということを示唆すると考えられる。本研究で得られた脱ガスに必要な衝撃圧はほとんどの先行研究の結果と比べて小さな値であり、炭酸塩からの衝突脱ガスはこれまで考えられていたよりも起こりやすいということが分かった。また、硫酸塩岩でも同じ実験を行ったが、やはり先行研究の結果と比べ脱ガスが起こりやすいという同じ傾向の結果が得られた。

(2) 火薬銃を用いた封圧を制御した条件での衝突脱ガス実験

火薬銃と新型試料コンテナを用いた弾丸の組成や大きさ、衝突速度を同じ値に固定した実験の結果、最初の固体試料の量に関係なく試料コンテナ内部の体積に比例した量の脱ガス生成気体が発生することが観測された。これは、固体試料の量が十分多く、到達温度圧力が十分高い場合には、衝突脱ガス反応進行時の固体試料の周囲の脱ガス生成気体の分圧によって脱ガス量が決まるということを意味している。

(3) 特に圧力解放過程に着目した衝突脱ガス条件の議論

レーザー銃を用いた開放系での衝突脱ガス実験結果、火薬銃を用いて封圧を制御した条件での実験結果から、本研究の条件では衝突脱ガスが圧縮過程ではなくその後の圧力解放過程で起こっていることがわかった。温度圧力条件がユゴニオ曲線上に載っている圧縮過程では分解領域に到達していない場合でも、その後の圧力解放過程で圧力が下がる

と分解領域に到達する可能性がある。圧力解放過程での衝突脱ガスが重要なことは先行研究でも指摘されており、特に脱ガス率を決める閾値付近では圧力解放過程での脱ガス反応が重要である。圧力開放過程で完全脱ガスを起こすためには非常に大きな自由空間が必要であることが先行研究でも理論的に予測されている。

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)

[雑誌論文] (計 4 件)

- (1) 高出力レーザーを使った弾丸飛翔体加速および衝突実験：秒速 10km を越える衝突，門野 敏彦，重森 啓介，境家 達弘，弘中 陽一郎，佐野 孝好，大谷 一人，藤原 隆史，持山 智浩，藤岡 慎介，黒澤 耕介，城下 明之，宮西 宏併，尾崎 典雅，兒玉 了祐，関根 康人，杉田 精司，松井 孝典，橋 省吾，大野 宗祐，荒川 政彦，竹内 拓，中村 昭子，日本惑星科学会誌 遊星人、2009、4-9、査読有
- (2) S. Ohno, T. Kadono, K. Ishibashi, K. Kawaragi, S. Sugita, E. Nakamura, T. Matsui Direct measurements of impact devolatilization using a laser gun: an application to calcite COE-21 International Symposium MISASA-3, 2008、査読無
- (3) 大野宗祐，門野敏彦、石橋高、河原木 皓、黒澤耕介、関根康人、杉田精司、中村栄三、松井孝典、レーザー銃実験と衝突脱ガスの新しい描像、日本惑星科学会誌 遊星人、2008、98-104、査読有
- (4) S. Ohno, T. Kadono, K. Ishibashi, K. Kawaragi, S. Sugita, E. Nakamura, T. Matsui Direct measurements of impact devolatilization of calcite using a laser gun Geophysical Research Letters, 35, L13202、2008、査読有

[学会発表] (計 4 件)

- (1) 大野宗祐、杉田精司、門野敏彦、衝突蒸気雲の化学、2008 年地球惑星科学関連学会合同大会 2008 年 5 月 30 日
- (2) S. Ohno, T. Kadono, K. Ishibashi, K. Kawaragi, S. Sugita, E. Nakamura, and T. Matsui. IMPACT DEVOLATILIZATION OF CALCITE: DIRECT MEASUREMENTS USING A LASER GUN. Lunar Planet. Sci. Conf. XXXIX,

#2046, 2008/3/11

- (3) 大野 宗祐・関根 利守・長谷川 直・丸山 誠史・石橋 高・黒澤 耕介・杉田 精司・中村 栄三・松井 孝典
衝突脱ガスの物理・化学過程：実験的アプローチ，日本惑星科学会 2007 年秋季講演会，2007 年 9 月 26 日
- (4) 大野 宗祐・門野 敏彦・石橋 高・河原木 皓・丸山 誠史・杉田 精司・中村 栄三・松井 孝典，レーザー銃を用いた炭酸塩からの衝突脱ガス実験，2007 年地球惑星科学関連学会合同大会，2007 年 5 月 22 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大野 宗祐 (OHNO SOHSUKE)

岡山大学・地球物質科学研究センター・助教

研究者番号：80432631

(2) 研究分担者 無し

(3) 連携研究者 無し