

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 13 日現在

機関番号：37116

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540538

研究課題名(和文)超高速衝突によって発生するX線計測実験と地球外での天体衝突の観測

研究課題名(英文)Observations of X ray caused by hypervelocity impacts in laboratories and extraterrestrial ones

研究代表者

門野 敏彦 (KADONO, Toshihiko)

産業医科大学・医学部・教授

研究者番号：60359198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：固体どうしの超高速衝突によって発生するX線の検出実験を行った。当初、X線検出装置の充実した大阪大学レーザーエネルギー学研究中心において、最近開発された飛翔体加速技術を用いて衝突実験を行いX線の測定を行った。衝突によりX線が発生している兆候が掴めたが、実験・計測条件の制約からレーザー照射によるX線の発生との区別をすることが難しく、期間の後半からはレーザーによるX線発生を伴わない環境(油圧プレスによる圧縮および二段式軽ガス銃での衝突実験)での破壊実験を行いX線を測定した。その結果、岩石が破壊される際にX線が発生していることを確認し、試料サイズの違いが発生量と関係していることを見出した。

研究成果の概要(英文)：We carried out impact experiments and measured X-ray radiation. At first, the experiments are done at Osaka University where various X-ray detectors are available and recently new projectile acceleration system has been developed. There are signs that X ray is radiated when projectiles impact, but there are some noises due to high-temperature plasma caused by laser irradiation. Then, we construct new systems where solid samples are destructed by not laser irradiation, but compression using a hydraulic press and impact of hypervelocity projectiles using a two-stage light-gas gun. We actually observe x-ray radiation when rock samples are disrupted and find that the x-ray counts depend on the size of the samples.

研究分野：惑星科学

キーワード：固体の破壊 X線

1. 研究開始当初の背景

太陽系天体のサイズ分布には、太陽系の過去と現在にどのような衝突や天体力学的な運動が起こっているのかなどの証拠が含まれている。しかしながら、10 m から 1 mm までの天体サイズ分布は望遠鏡観測が難しく人工衛星搭載の塵検出器などによる測定もできないため、現在も不確かである。このような小天体が月面へ衝突する際に発生する X 線が衝突天体サイズの情報を含んでいれば、月面の X 線観測により小天体のサイズ分布を求めることが可能となるだろう。さらに、近年可視光その他で観測が進んでいる系外惑星の観測可能性も検討したい。地球では～40 億年前に Late Heavy Bombardment (LHB: 後期隕石重爆撃) という隕石が大量に落下した時期があったとされている。系外惑星でも起こっていると仮定し地球上空での観測可能性を検討する。LHB は惑星移動などが関連していると言われており、観測から惑星系形成末期の状況を知ることができるかもしれない。

2. 研究の目的

固体の衝突実験を行い、衝突により発生する X 線量を計測する。この実験結果を基にして、衝突によって発生する X 線放射機構を考察する。また応用として、地球外の天体衝突現象を X 線により観測することが可能かどうかを検討する。

3. 研究の方法

(1) 大阪大学レーザーエネルギー学研究中心の高出力レーザー、激光 XII 号を用いて弾丸の加速および岩石への衝突実験を行う。弾丸の加速技術は確立しており、直径 0.1～0.3 mm のアルミニウム、金、ガラス、ダイヤモンド粒子を秒速 10-60 km に加速することが出来る。当センターには X 線の測定装置が充実しており、これらの装置を利用して発生する X 線を測定する。まずは X 線ピンホールカメラにより岩石標的表面上に平行な方向より計測する。光量不足が懸念されるため、まずは時間積分型のカメラを使う。これにより衝突により発生する X 線が実験室内で計測可能か判定する。また、金にレーザーを直接照射して発生する X 線を同じカメラで観測する。金のレーザー照射プラズマから発生する制動放射 X 線の強度は計算できるので、相対的に衝突によって発生する X 線強度も推定できる。

(2) レーザーを使わない衝突実験での X 線検出を目指し、油圧プレスや二段式水素銃などを使った破壊実験を行う。

ハンマーの打撃による破壊実験

真空中で試料を金属棒に挟んで設置する。金属棒は大気側に伸びており、大気側からハンマーで打撃することにより試料を破壊する。試料として氷砂糖、NaCl、H₂O 氷などを用いる。真空度を変えて測定し、真空度が X 線発生量にどのように影響するかを調べる。

油圧プレスによる破壊実験

同じシステムで金属棒に対して油圧プレスにより力を加えて、より強度の大きい試料を破壊する。試料として花崗岩、ガラス、氷砂糖を用いる。

二段式軽ガス銃による破壊実験

千葉工大の二段式水素銃を用いて試料に高速度の弾丸を衝突させて破壊する。試料は花崗岩である。

4. 研究成果

(1) 激光 XII 号レーザーを使った岩石および隕石の高速度衝突実験を行い発生する X 線を計測した。まず、X 線ピンホールカメラによる撮影から、衝突点付近から X 線が発生している兆候が得られた(図 1)。ピンホールカメラは時間積分型の計測であったため、レーザーの漏れ光が衝突点付近を照射し X 線が発生した可能性がある。そこでレーザー漏れ光による X 線と衝突による X 線を区別するために時間分解型ストリークカメラによってレーザー照射が終了した後に粒子が標的に衝突するような条件で計測を行った。レーザー照射後、衝突した時刻に X 線が確認されたものの、レーザー照射によって発生した残留プラズマからの X 線という可能性を排除することができなかった。すなわちレーザー実験では現在の実験条件ではどうしてもレーザー由来の X 線がノイズとして入り込む可能性があり衝突起源の X 線量の定量評価は難しい。

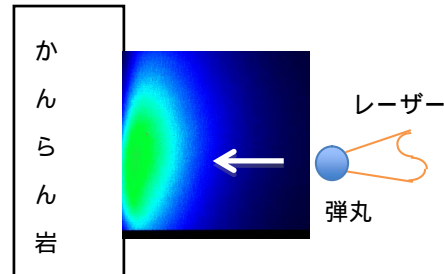


図 1

(2) 研究の方法に記述した各方法で試料が破壊される際に発生する X 線を検出することに成功した(図 2)。

ハンマー打撃による破壊の結果

真空度の X 線発生量に対する影響を調べた結果、残留大気の圧力が数十 Pa 以下であれば影響が無いが、それよりも大きい場合には圧力と共に X 線発生量は減少することがわかった。

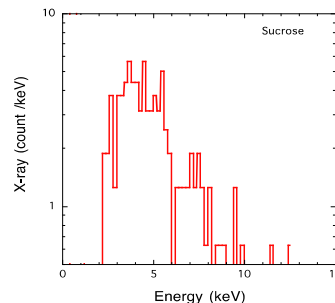


図 2. 氷砂糖破壊で発生する X 線スペクトル

油圧プレスによる破壊の結果
ハンマーによる打撃・プレスによる圧縮，ともに同じ物質に対しては矛盾のない結果が得られた．また岩石（花崗岩）の破壊では Si の特性 X 線および連続スペクトルが認められた．

二段式水素銃による破壊の結果
千葉工大の二段式水素銃を用いて岩石試料に秒速～6 km の速度で弾丸を衝突させて破壊した．油圧プレスによる小試料（～1 cm）に対して二段銃で用いた試料は～10 cm であるが，ほぼサイズの 2-3 乗に比例した X 線のカウント数が得られている．

今後は解析を進め，原始太陽系円盤中での微惑星衝突破壊，月面への小天体衝突，初期地球での隕石重爆撃などにおける X 線発生量を見積もり，系外惑星や月面での衝突現象の情報が X 線を通して得ることができるかどうかを検討する．

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5件)

K. Nagaki, T. Kadono, T. Sakaiya, T. Kondo, K. Kurosawa, Y. Hironaka, K. Shigemori, and, M. Arakawa, Recovery of Entire Shocked Samples in a Range of Pressure from ~100 GPa to Hugoniot Elastic Limit. *Meteo. Planet. Sci.*, in press (2016). (査読有)

T. Kadono, A. I. Suzuki, K. Wada, N. K. Mitani, S. Yamamoto, M. Arakawa, S. Sugita, J. Haruyama, and A. M. Nakamura, Crater-Ray Formation by Impact-Induced Ejecta Particles. *Icarus*, **250**, 215-221, doi: 10.1016/j.icarus.2014.11.030, (2015). (査読有)

S. Ohno, T. Kadono, K. Kurosawa, T. Hamura, T. Sakaiya, K. Shigemori, Y. Hironaka, T. Sano, T. Watari, K. Otani, T. Matsui, and S. Sugita, Production of Sulphate-Rich Vapour during the Chicxulub Impact and Implications for Ocean Acidification. *Nature Geoscience*, **7**, 279-282, doi:10.1038/ngeo2095 (2014). (査読有)

T. Sakaiya, H. Takahashi, T. Kondo, T. Kadono, Y. Hironaka, T. Irifune, and K.

Shigemori, Sound Velocity and Density Measurements of Liquid Iron up to 800 GPa: A Universal Relation between Birch's Law Coefficient for Solid and Liquid Metals, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **392**, 80-85, doi: 10.1016/j.epsl.2014.02.019 (2014). (査読有)

K. Kurosawa, T. Kadono, S. Sugita, K.

Shigemori, T. Sakaiya, Y. Hironaka, N. Ozaki, A. Shiroshita, Y. Cho, S. Tachibana, T. Vinci, S.

Ohno, R. Kodama, and T. Matsui,

Shock-Induced Silicate Vaporization: The Role of Electrons. *J. Geophys. Res.*, **117**, E04007, doi:10.1029/2011JE004031 (2012). (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

日本地球惑星科学連合 2015 年大会（幕張メッセ国際会議場，千葉県千葉市）2015 年 5 月 25 日，衝突破壊における破片形状分布が示す破壊過程．門野敏彦，谷川享行，水谷仁

AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) 2015 (Singapore), 2 -7 August 2015, Fracture process in impact disruption inferred from fragment shape. T. Kadono, T. Tanigawa, H. Mizutani

日本地球惑星科学連合 2014 年大会（パシフィコ横浜，神奈川県横浜市）2014 年 4 月 28 日～5 月 2 日，はやぶさ 2・SCI の地上校正実験：クレーターサイズについて．門野敏彦，荒川政彦，辻堂さやか，保井みなみ，長谷川直，黒澤耕介，白井慶，早川雅彦，岡本千里，佐伯孝尚，今村裕志，矢野創，中澤暁，小川和律，飯島祐一，平田成，高木靖彦，和田浩二

AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) 2014 (Royton Sapporo Hotel, 北海道札幌市) 28 July - 1 August 2014 Crater-ray formation by impact-induced ejecta particles. T. Kadono, A. I. Suzuki, K. Wada, N. K. Mitani, S. Yamamoto, M. Arakawa, S. Sugita, A. M. Nakamura

AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) 2012 (Singapore), 12 -17 August 2012, X ray in hypervelocity impacts higher than 10 km/s. T. Kadono, T. Sakaiya, Y. Hironaka, T. Watari, T. Sano, K. Otani, T. Fujiwara, T. Mochiyama, S. Fujioka, H. Nagatomo, K. Shigemori, M. Arakawa, S. Takasawa, A. M. Nakamura, S. Ohno, T. Matsui, K. Kurosawa, T. Hamura, S. Sugita.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

門野 敏彦 (KADONO Toshihiko)
産業医科大学・医学部・教授
研究者番号：60359198