

機関番号：12612

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007年度～2010年度

課題番号：19540443

研究課題名（和文） 高速衝突閃光：多孔質衝突体の場合

研究課題名（英文） HIGH-VELOCITY IMPACT FLASH
BY POROUS IMPACTORS

研究代表者

柳澤 正久 (YANAGISAWA MASAHISA)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：60134665

研究成果の概要（和文）：多孔質微小天体が緻密な惑星表面に高速度で衝突するのと等価な模擬実験を行い、その際に発する衝突閃光を世界で初めて測定した。微小天体と惑星表面にみたてた衝突体、標的の材質はともにナイロン66で、衝突速度は6km/sである。衝突エネルギー（微小天体の運動エネルギー）から閃光の可視光エネルギーに変換される割合が、衝突体が多孔質の場合には、緻密な場合に比べ約10倍大きいことが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：High-velocity impacts of porous meteoroids on solid planetary surface are simulated in laboratory impact experiments at 6 km/s. The visible light intensity of impact flashes are measured, for the first time, for the impacts of porous meteoroids, though the material (Nylon66) for both the impactors and the targets are quite different from planetary materials. It has been revealed that the light energy for the porous impactors are about 10 times that for the solid impactors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：地球惑星物理学

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：惑星形成・進化、高速度衝突

1. 研究開始当初の背景

彗星から放出された米粒ほどの粒子は、地球大気を高速度で突入し流星として観測される。これらは月面にも衝突しているはずで、より大きなものが衝突すれば、高速度衝突による閃光が地球から望遠鏡で観測されるはずである。1999年に我々を含む世界の3つのグループによって初めて確認されたこの閃光は、現在では「月面衝突閃光」として広く知られている。

流星群活動期の月面衝突閃光の頻度と地

球で観測される流星の数を比較することにより、衝突エネルギーの何%が可視光エネルギーに変換されるかが概算できる。その値は実験室での衝突実験で得られた結果より遙かに高い。我々は、この違いは衝突体が多孔質であるためであろうと考えた。流星の観測からは流星体の密度は低く多孔質であろうと考えられている。また、1次元衝突モデルによれば、同じ物質でも多孔質であれば衝突時により高温になり、より強い閃光を発することが期待される。

しかし、多孔質衝突体が強い閃光の原因になることを実験的に確かめることは、通常の方法では不可能である。多孔質衝突体が銃による加速中に破壊されてしまうからである。我々は新しい方法として、小さな「標的」を加速し、より小さな多孔質の粒子に衝突させる実験を提唱した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多孔質物質の高速衝突が強い閃光の原因となることを実験的に確かめることであった。そのために、[変換効率]=(衝突閃光の可視光エネルギー)/(衝突体の運動エネルギー)を、次の3つの場合について実験的に求めることを計画した。a)衝突体が緻密でかつ標的も緻密、b)衝突体が多孔質でかつ標的は緻密、c)衝突体が緻密でかつ標的は多孔質。更に、これらの場合の変換効率の違いを、理論的に考察することも計画した。

3. 研究の方法

(1) 予備実験

宇宙航空研究開発機(JAXA)・宇宙科学研究所の2段式軽ガス銃を利用して行った。2007年度は図1に示す銃を使い、図2のようにフライヤープレートと呼ばれるアルミニウムまたは玄武岩の板を弾丸に取り付け、それを岩石粉を焼結して作成した直径1mmの多孔質微小標的に衝突させる実験の準備を行った。



図1：古い2段式軽ガス銃。

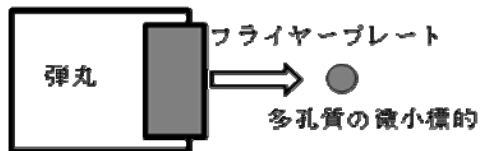


図2：多孔質の微小標的が、より大きなフライヤープレートに衝突するのと等価な実験。

弾丸発射時の閃光が強く、衝突閃光の計測を妨害する恐れのあることが分かった。

(2) 本実験の準備

2008年度にJAXAの2段式軽ガス銃は新しいもの(図3)に入れ替えられたが、それに伴いフライヤープレートの使用が禁止された。そのため、実験方法を、図4に示すように直

径7mmのナイロン球をナイロンの微小標的に衝突させる方法に変更した。



図3：JAXAの新しい2段式軽ガス銃。

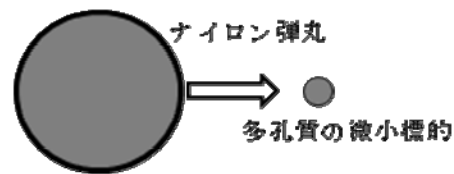


図4：多孔質の微小標的が、より大きな緻密なナイロン球に衝突するのと等価な実験。

ナイロンは惑星を構成する物質とは異質であるが、衝突体(多孔質の微小標的)の空隙率が衝突閃光の強度にどのように影響するかは調べることができる。また、加速ガスにヘリウムを使った古い銃に比べ、加速ガスに水素を使った新しい銃では、弾丸発射時の閃光が弱く、衝突閃光の計測に与える影響が少ないことも分かった(以下の5. 主な発表論文等の学会発表②参照)。

(3) 本実験

上記の図4に示した方式で、弾丸は直径7mmのナイロン66球とし、多孔質微小標的をナイロン66繊維を圧密加熱成形して作った1mmサイズの円柱とし、空隙率を0~80%の範囲で変えたものにつき10数回の衝突実験を成功させた。ただし、衝突体が緻密でかつ標的が多孔質の場合の実験は今回の研究期間では行えなかった。

衝突現象は、毎秒100万コマ撮影可能な高速度カメラ(島津HPV-1)で撮影し、同時に、フォトダイオード3ヶ、近赤外フォトダイオード2ヶで閃光強度を測定した。

4. 研究成果

多孔質微小天体にみたと多孔質微小標的の空隙率と衝突閃光強度の関係がはっきりと捉えられた(図5)。この図で縦軸は可視光エネルギーを衝突エネルギーで割った値であり、プロットの丸と四角は見る方向の異なる二つのフォトダイオードの測定値である。また、白抜きのプロットは、衝突点が検出器からみて球形ナイロン弾丸の反対側であり、

衝突点が直接見えないことを表す。空隙率を変化させると閃光強度が 10 倍以上変化することがわかる。月面衝突閃光の明るさから微小天体の衝突エネルギーを見積もる際には注意が必要である。微小天体の空隙率は大きいと考えられるので、緻密な衝突体を用いた室内衝突実験の結果は、可視光への変換効率を実際より小さく見積もることになる。つまり、月面閃光の衝突エネルギーを大きく見積もることになる。

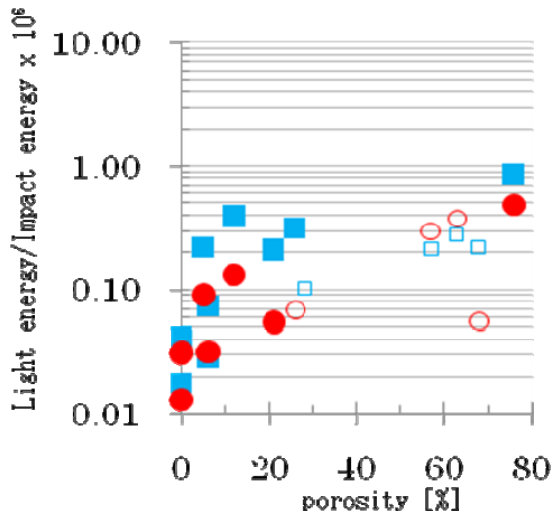


図 5：閃光強度と衝突体の空隙率の関係。

予備的ではあるが、衝突に伴う空隙の圧縮効果を考慮して理論的に見積もった閃光強度は、この図の上では、ほぼ右上がりの直線になり、実験結果を旨く説明できない。また、閃光強度はナイロン弾丸上でのローカルな衝突角、つまり、衝突速度の垂直成分に依存していない。空隙の圧縮が原因なら、閃光強度はこの成分に依存するはずである。これらの結果は、空隙の圧縮だけでなく、横ずれや局所的な加熱の閃光強度への寄与が大きいことを示唆している。

研究進捗のスケジュールが遅れたために、残念ながら論文発表に至っていない。上記の理論的考察を行い至急論文を投稿したい。高速度カメラによる画像の解析からは衝突で生じた蒸気雲の膨張速度が求められる。また、実験に用いた幾つかのフォトダイオードの分光感度特性の違いを利用して、蒸気雲のスペクトルについて制約を加えることができる。これらの解析も現在進行中である。急ぎ論文発表に漕ぎ着けたい。

本研究によって、微小標的に弾丸を衝突させて、微小天体の惑星表面への衝突を模擬する実験手法が確立した。空隙率が高く機械的強度も弱いと考えられる微小天体の惑星表面への衝突模擬実験が世界で初めて可能となった。使用した 2 段式軽ガス銃の制約でナイロン同士の衝突についてのみの実験にと

どまったが、フライヤープレートを秒速数 km に加速できる 2 段式軽ガス銃が利用できれば、惑星物質に近い玄武岩などを使った同様の実験を行うことができる。運転に人手や経費がかかるため国内にはすぐに利用できるものがないが、状況が好転すれば、いつでもこの技術を使って実験することができる。機械的に弱い物体がより大きなものに衝突したらどうなるかは、スペースデブリ問題をはじめ他の様々な問題でも実験が必要になることがある。その際、今回の実験方法が役立つに違いない。この実験技術を確立させたことも、本研究の大きな成果の一つである。

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)

[学会発表] (計 24 件)

①柳澤正久、海老名良祐、高橋悠太、長谷川直、高速度衝突閃光、多孔質衝突体の場合Ⅱ、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、千葉市幕張メッセ、2011 年 5 月 24 日

②海老名良祐、高橋悠太、柳澤正久、長谷川直、衝突蒸気雲の膨張速度、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、千葉市幕張メッセ、2011 年 5 月 25 日

③高橋悠太、海老名良祐、柳澤正久、長谷川直、衝突閃光での黒体放射、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、千葉市幕張メッセ、2011 年 5 月 25 日

④柳澤正久、青井宏樹、海老名良祐、高橋悠太、竹市真理子、山下広大、長谷川直、高速度衝突閃光、多孔質メテオロイドの場合Ⅱ、平成 22 年度スペース・プラズマ研究会、2011 年 3 月 4 日

⑤柳澤正久、石榑勇介、田中慎一郎、青井宏樹、中村一貴、畑中祐介、長谷川直、高速度衝突実験、多孔質衝突体の場合、天体の衝突物理の解明Ⅵ、北大低温科学研究所、2010 年 11 月 6 日

⑥青井宏樹、海老名良祐、竹市真理子、高橋悠太、山下広大、柳澤正久、長谷川直、高速度カメラによる衝突閃光の測光Ⅲ、天体の衝突物理の解明Ⅵ、北大低温科学研究所、2010 年 11 月 4 日

⑦M. YANAGISAWA, Y. ISHIGURE, S. TANAKA, H. AOI, S. HASEGAWA, Luminous Flashes Generated in Highvelocity Laboratory Impact Experiments, 7th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society, Hyderabad (India), July 9 2010

⑧柳澤正久、石榑勇介、田中慎一郎、青井宏樹、中村一貴、畑中祐介、長谷川直、高速度衝突閃光、多孔質衝突体の場合Ⅰ、日本地球惑星科学連合 2010 年大会、千葉市幕張メッセ、2010 年 5 月 25 日

⑨青井宏樹、柳澤正久、長谷川直、高速度カメラによる衝突閃光の測光、日本惑星科学学会、2010年大会、千葉市幕張メッセ、2010年5月25日

⑩柳澤正久、石樽勇介、田中慎一郎、青井宏樹、中村一貴、畑中祐介、長谷川直、大坪貴文、高速度衝突閃光：多孔質メテオロイドの場合、平成21年度スペース・プラズマ研究会、JAXA宇宙科学研究本部、2010年3月11日

⑪石樽勇介、柳澤正久、田中慎一郎、青井宏樹、長谷川直、高速度衝突閃光の測光、高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム2009、大阪大学、2009年12月10日

⑫田中慎一郎、石樽勇介、青井宏樹、柳澤正久、長谷川直、高速度衝突閃光のスペクトル、高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム2009、大阪大学、2009年12月10日

⑬青井宏樹、田中慎一郎、石樽勇介、柳澤正久、長谷川直、高速度カメラによる衝突閃光の測光、高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム2009、大阪大学、2009年12月10日

⑭柳澤正久、石樽勇介、田中慎一郎、青井宏樹、中村一貴、畑中祐介、長谷川直、大坪貴文、衝突閃光の測光、天体の衝突物理の解明Ⅴ、北大低温科学研究所、2009年11月11日

⑮石樽勇介、柳澤正久、田中慎一郎、青井宏樹、長谷川直、高速度衝突閃光の発光効率Ⅱ、天体の衝突物理の解明Ⅴ、北大低温科学研究所、2009年11月11日

⑯田中慎一郎、石樽勇介、青井宏樹、柳澤正久、長谷川直、衝突閃光のスペクトル、天体の衝突物理の解明Ⅴ、北大低温科学研究所、2009年11月11日

⑰青井宏樹、石樽勇介、田中慎一郎、柳澤正久、長谷川直、高速度カメラによる衝突閃光の測光、天体の衝突物理の解明Ⅴ、北大低温科学研究所、2009年11月11日

⑱石樽勇介、田中慎一郎、青井宏樹、柳澤正久、長谷川直、高速度衝突閃光の発光効率、日本惑星科学学会、東京大学、2009年9月30日

⑲田中慎一郎、石樽勇介、青井宏樹、柳澤正久、長谷川直、微小標的への衝突における閃光スペクトル、日本惑星科学学会、東京大学、2009年9月30日

⑳青井宏樹、石樽勇介、田中慎一郎、柳澤正久、長谷川直、高速度カメラによる衝突閃光の測光、日本惑星科学学会、東京大学、2009年9月30日

㉑田中慎一郎、柳澤正久、石樽勇介、長谷川直、奥平恭子、小野瀬直美、水素とヘリウムを使った場合の二段式軽ガス銃発射時の閃光の違い、平成20年度スペース・プラズマ研究会、JAXA宇宙科学研究本部、2009年3月6日

㉒柳澤正久、石樽勇介、田中慎一郎、長谷川直、小野瀬直美、奥平恭子、磁石とコイルによる飛翔体の検出と速度計測、平成19年度スペース・プラズマ研究会、JAXA宇宙科学研究本部、2008年3月28日

㉓柳澤正久、池上裕美、多孔質衝突体による衝突閃光、日本惑星科学学会、高知大学、2007年9月25日

㉔柳澤正久、池上裕美、多孔質衝突体による衝突閃光実験の提案、平成18年度スペース・プラズマ研究会、JAXA宇宙科学研究本部、2007年3月22日

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.yanagi.ice.uec.ac.jp/>

謝辞

本研究は ISAS/JAXA スペースプラズマ共同研究設備の支援も得て行われた。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳澤 正久 (YANAGISAWA MASAHISA)

電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授

研究者番号：60134665

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：