

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760577

研究課題名(和文)超高速衝突による任意材料破砕現象の解明

研究課題名(英文)Study of Hypervelocity Breakup Phenomena for Arbitrary Material

研究代表者

鳴海 智博(Narumi, Tomohiro)

東京理科大学・理工学部・助教

研究者番号：10530892

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円、(間接経費) 450,000円

研究成果の概要(和文)：これまで宇宙機や天体などを構成する特定の材料および単純な形状においてのみ行われてきた超高速衝突による破砕に関して、現象の幅広いより詳しい解明、およびそれを用いたスペースデブリ環境の正確な将来予測のため、SPHコードおよび軌道計算コードを作成し、GPGPUによる並列計算を可能にした。特にエジェクタと呼ばれる2次デブリの爆発的増加が近年懸念されているが、これまで計算機で扱うことが困難であった現象の解明が、これにより今後さらに進んでいくことが期待される。また複雑な構造物についても数値計算による実験との比較が可能となり、破砕現象が衝突方向と構体の内部質量分布に大きく依存することが分かった。

研究成果の概要(英文)：Hypervelocity impact tests have been conducted for spacecraft or celestial body composed of specific and simple target, and furthermore wider and detailed study is required for predicting future space debris environment. We developed new SPH and orbital computation code that are able to be run on GPGPU. Especially increasing secondary small debris called ejecta is becoming serious problem currently, hence this research enables to further accelerate investigation of the phenomena that have had difficulty in computation. Besides it is applicable for complex structure by comparing to experimental results, and it was found that the phenomena highly depends on internal distribution of mass and impact direction.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：構造・機能材料

キーワード：超高速衝突力学 スペースデブリ

1. 研究開始当初の背景

今日まで徐々に増加してきた観測可能なスペースデブリの総数は、観測が不可能な微小サイズのものを合わせると数千万個にも上ると推定されている。これらは今後数百年以上に渡って宇宙に存在し続けるものが多く、人工衛星と衝突すると多大な被害をもたらすため、近年になってようやくその危険性が広く認識されつつある。しかし危険性が認知されているにも関わらず、スペースデブリ環境の現状を把握できていないと言え、観測および実験からスペースデブリの個数を推定しているアメリカおよびヨーロッパの機関による試算結果では、同じ条件でも2桁以上異なる領域が存在する。環境把握で特に重要な要素として、スペースデブリと衛星の衝突が起きた際に生成される破片のサイズ分布や速度分布が正確でなければならないが、未だ現象が不明な部分が多く、結果として地球軌道環境の把握および将来予測ができない状況にあるため、フラグメンテーション理論の構築が不可欠となる。

また、初期の太陽系形成過程において、超高速衝突現象が頻繁に起きていたことは、天体に無数のクレータが見られることから明かであるが、衝突による噴出物(エジェクタ)の研究はこれまでに多くなされており、経験式は多数あるものの、材料パラメータやひずみ速度、ユゴニオなどを考慮したフラグメンテーションの理論の構築例は皆無である。特に大規模天体同士の衝突となると、個々のケースにおいてSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)などを使い、数値計算するより他無く、頻繁に衝突が起きていた時期のシミュレーションが困難な状況である。したがって、超高速衝突による任意材料および任意形状のフラグメンテーション理論構築は、様々な現象を解明する上で今後必須であると考えられる。

2. 研究の目的

これまでに我が国では初となる地球周回軌道におけるスペースデブリ環境の将来予測モデルを構築している。しかし、衛星とデブリが衝突することで破砕が起きた際に発生する破片のサイズ分布や速度分布は、他国が実験や過去のデータから導出した推算式を使用しているが、どの推算式も結果から導き出したものであるため破砕過程を考慮しておらず、材質に依存しない分布となっていることは九州工業大学で行われた模擬衛星破壊実験の結果からも問題視されている。したがって、破砕過程を考慮した破片のモデリングが必須であり、さらなる実験による検証が必要であるという判断に至った。また、応募者は小惑星探査機「はやぶさ」後継機の研究開発にも参加しており、天体内部構造解明および高速衝突現象観測のための実験を実施する予定であるが、これについても噴出物の量等を推定する経験式はあるものの、原理

から導出したものは存在しないため、フラグメンテーション理論の構築を行い、実験および数値シミュレーションとの比較を行おうという着想に至った。

3. 研究の方法

これまで皆無であった任意材料のフラグメンテーション現象の解明を行い、導出した式を、過去に行われた超高速衝突実験の結果、ハイドロコードによる計算結果、過去の軌道上破砕事故のデータや衝突天体のサイズ分布などと比較することで検証を行う。また、衝突ターゲットの構造や材質によるフラグメンテーションプロセスへの影響など、これまでの超高速衝突実験では不十分であった点が確認できた場合は追加実験を行う。実験結果や数値計算結果などによりフラグメンテーションのプロセスが解明できると期待できる。

まずは任意形状に物体が超高速衝突する際の単純化されたフラグメンテーション理論を構築し、破片のサイズ分布や速度分布を決定する式を導出する。ただし、人工衛星のような複雑な形状および構造に関しては解析式を提案することは困難なため、衛星に使用されている材質の大まかな分類や、構造の単純化といった近似を施すことで導出を行う。さらに、開発が続けられているSPHコードによる数値計算との比較も行う。構築されたモデルを、過去の超高速衝突破壊実験の結果や、軌道上破砕事故のデータ、小天体を模擬した衝突実験結果、衝突天体のサイズ分布などと比較することで検証を行う。結果と推定値が合わない場合は、論理の見直し、パラメータの調整などを行う。最終的にはスペースデブリ環境予測モデルに、新しく構築したフラグメンテーションモデルを組み込み、これまでに行ってきた計算結果との比較を行う。また、各国のモデルの計算結果との比較も行う。

4. 研究成果

これまで超高速衝突による破砕現象に関しては、宇宙機の構造材や天体を構成する特定の材料においてのみ行われてきた。しかし近年の宇宙機開発の発展により多くの種類の材料が使用されるようになってきており、特に超高速衝突により発生するエジェクタと呼ばれる2次デブリの指数関数的増加が近年懸念されており、それに伴い衝突回数も爆発的に増加してきており、多種の材質における衝突現象を考慮しなければならない事態となっている。したがってより迅速なデブリ発生メカニズムの検証や、およびそれを用いたスペースデブリ環境の正確な将来予測のため、本研究ではまずSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)コードを開発した(図1)。また複雑な構造物についても数値計算による実験との比較が可能となり、破砕現象がプロジェクトの衝突方向および速度と構体の内部質量分布に大きく依存することが

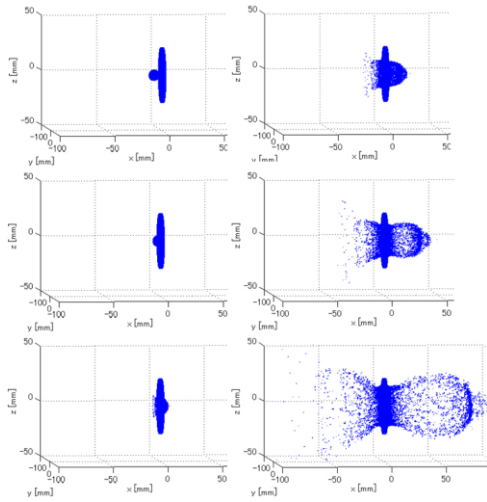


図1 超高速衝突計算例

分かった。これは、ファーストコンタクト直後の比較的早い段階で密度および質量が大きい物体に衝突したときに大規模なフラグメンテーションが発生し、生成されたダウンレンジエジェクタが拡散し他の構造物を破壊することに起因する。また、2次デブリを含めた多数の粒子の軌道計算(図2)が扱えるようGPGPU(General-Purpose Computing on Graphics Processing Units)による並列計算を可能にした。特に、 $100\mu\text{m}$ 程度の、サイズが小さく個数が膨大なためこれまで計算機で扱うことが困難であった現象の解明が、

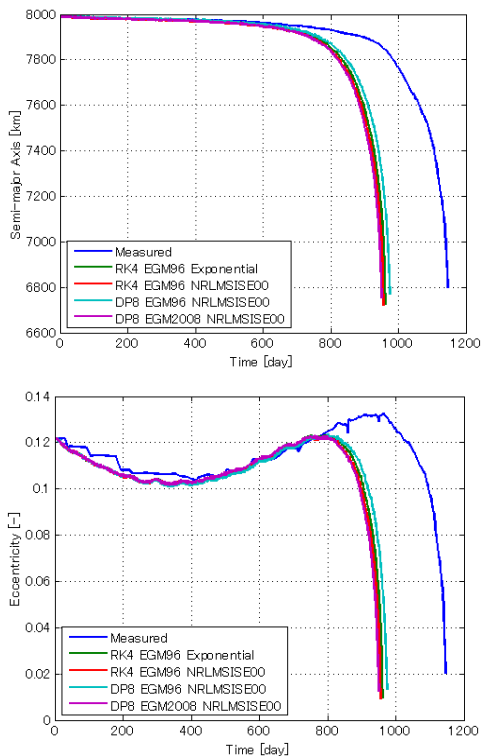


図2 軌道計算例

これにより今後さらに進んでいくことが期待される。衝突の数値計算で得られた現象は全てダウンレンジエジェクタおよびバックスキャッタードエジェクタ発生のカスケード現象によるものとモデル化することが可能であり、構造および構成材料のエジェクタモデルにより破片の分布を推定することができる。この成果をもとに、超高速衝突実験の準備を進めており、より詳細なパラメータ比較を行い、正確な宇宙環境の将来予測結果を出す予定である。

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)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 6 件)

- [1] Tomohiro Narumi, Yusuke Kameda, Naohiro Uyama, Shinichi Kimura, Real-time State Determination of Non-cooperative Space Object using High Sensitive Imaging Device, Proceedings of 29th ISTS, 2013-d-41, Nagoya, June 2-9, 2013.
- [2] Naohiro Uyama, Takehiro Matsunaga, Takashi Kurose, Tomohiro Narumi, Shinichi Kimura, Dynamics and Performance Evaluation of a Modular-Type Space Manipulator Guaranteeing Collision Safety for Intra-Vehicular Use, Proceedings of 29th ISTS, 2013-d-41, Nagoya, June 2-9, 2013.
- [3] 木村真一, 天野萌, 鶴山尚大, 鳴海智博, 吉井正広, 鈴木悟史, 加藤裕基, 渡邊恵佑, 上田敦史, 西田信一郎, 中西洋喜, 小田光茂, REX-Jにおける軌道上自律画像誘導に向けた画像取得に関する基礎実験, 第57回宇宙科学技術連合講演会, 1M03, 米子, 2013.
- [4] 天野萌, 鶴山尚大, 鳴海智博, 木村真一, 吉井正広, 鈴木悟史, 加藤裕基, 渡邊恵佑, 上田敦史, 西田信一郎, 中西洋喜, 小田光茂, REX-Jにおける軌道上自律画像誘導に向けた3次元形状再構成に関する基礎実験, 第57回宇宙科学技術連合講演会, 1M04, 米子, 2013.
- [5] 橋本翔太, 鶴山尚大, 鳴海智博, 木村真一, 接触ダイナミクスを考慮した非協力衛星へ誘接触維持制御, 第57回宇宙科学技術連合講演会, P36, 米子, 2013.
- [6] 菅野良祐, 鳴海智博, 鶴山尚大, 木村真一, 小林正規, 千秋博紀, 石橋高, 和田浩二, 八並裕幸, 永岡健司, 吉田和哉, 小惑星探査ローバMINERVA-II2搭載カメラに関する太陽光模擬環境撮像実験, 第57回宇宙科学技術連合講演会, P51, 米子, 2013.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kimura-lab.net>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鳴海 智博 (NARUMI, Tomohiro)
東京理科大学・理工学部・電気電子情報工
学科・助教
研究者番号：10530892

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：