

## 二国間交流事業 共同研究報告書

平成 23 年 4 月 11 日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 東京大学・大学院工学系研究科

(ふりがな) いとう のぶやす  
職・氏名 准教授・伊藤 伸泰

1. 事業名 相手国（ハンガリー）との共同研究 振興会対応機関（ハンガリー科学アカデミー）

2. 研究課題名 材料破壊の予測および制御に関する基礎研究

3. 全採用期間

平成 21 年 4 月 1 日 ～ 平成 23 年 3 月 31 日 （2 年 0 ヶ月）

4. 研究経費総額

(1) 本事業により交付された研究経費総額 5,000 千円

初年度経費 2,500 千円、 2年度経費 2,500 千円、 3年度経費 0 千円

(2) 本事業による経費以外の国内研究経費総額 0 千円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者

氏名 (ふりがな)	所属・職名	研究協力テーマ
ゆかわ 湯川 論 さとし	大阪大学・准教授	衝撃破壊の分子動力学シミュレーション
しまだ 島田 尚 たかし	東京大学・助教	非平衡統計物理学理論
わたなべ 渡辺 宙志 ひろし	東京大学・助教	非平衡分子動力学シミュレーション
いなおか 稲岡 創 はじめ	東京大学・特任講師	衝撃破壊の分子動力学シミュレーション
よしおか 吉岡 直樹 なおき	京都大学基礎物理学研究所・特任 研究員	破壊現象の粗視化モデルによるシミュレーシ ョン解析
やまだ 山田 賢太 けんた	東京大学・大学院生(修士課程)	衝撃破壊の分子動力学シミュレーション
なかはら 中原 明生 あきお	日本大学・准教授	乾燥破壊現象の実験
はたの 波多野 恭弘 やすひろ	東京大学・特任助教	粉粒体の理論
きつねざき 狐崎 創 そう	奈良女子大学・助教	乾燥破壊現象の理論
うらべ 占部 千由 ちより	明治大学・研究員	割れ破壊現象の理論

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名      デブレツェン大学・准教授・Ferenc Kun

(3) 相手国参加者（代表者の氏名の前に○印を付すこと）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
○Ferenc Kun	デブレツェン大学・准教授 (ハンガリー)	破壊の実験・理論
Imare Varga	デブレツェン大学・助教 (ハンガリー)	破壊の実験・理論

## 6. 研究概要（研究の目的・内容・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

物質の破壊は科学技術の幅広い分野で問題となる重要な現象である。材料学・土木建築学の課題や地球物理学的な現象の中核であり、加工・建設・安全・防災ほか応用上も重要である。破壊を理解する上で、与えられた材料、たとえば鉄筋コンクリート製の柱や鉄骨が、どれだけの荷重に耐えるのか、経年変化はどうなるか、破壊応力をこえる荷重がかかった場合にどのように破壊するのかといった問題は最も基本的である。こうした課題は、これまでは専ら実験的に研究がすすめられていたが、近年、計算機シミュレーション技術の発達を背景として理論的な研究の進展が著しい。例えば、コンクリートや岩石などでできた球体を高速で衝突させた場合にどのように破壊するか、球殻が爆発によりどのように破壊するかといった問題や、荷重下で材料がどのように経時劣化し破壊にいたるのか、といった問題に理論的な研究から著しい成果が得られている。ここに例示した成果はいずれも本共同研究に参加する研究者らが中心となって挙げられたものである。

本共同研究の目的は、こうした成果をさらにおすすめる研究を、破壊現象の理論的研究で著しい成果をあげている日本およびハンガリーの参加者の協力のもとで推進することである。この目的を実現するために取り組む問題の中核として計画している課題が、材料の不均一性と疲労の理解である。あわせて破壊に関連する基礎的な問題の研究も進める。

そもそも破壊現象自体は、地震・火山噴火といった地球物理学的な規模からナノテクノロジーを支える部材まで天然物・人工物を問わず、物質世界に広くみられる普遍的な現象である。好ましくない物質の突然の変化を「破壊」と総称し、材料設計から防災・減災まで科学技術の諸分野で各論的に研究が進められている。実際、破壊現象は多様であり、ある材料の破壊は別のものとは全く異なることが普通である。大地の破壊たる地震と紙をピリッと破る破壊とが全く同じであるはずはない。全く同じであるはずはないが、しかし、共通する面もあるかもしれない。もしも共通するものが少しでもあるならば、その理解は個々の破壊を特徴づけ解析し予測・設計するうえでこの上なく信頼できる出発点となろう。

物理学は、破壊に限らず複雑多様な森羅万象に対し、共通するものを見出して出発点を確立した上で理解し制御する科学である。20世紀末までに物理学は、多様な物質すべてに対して生物をも含め原子・分子という共通する出発点を確立し、今世紀にはナノテクノロジー・バイオテクノロジーとして花開いていることは周知のとおりである。

破壊現象についても分子スケールからの理解に基づいた普遍的な性質の解明が待たれている。分子スケールからの破壊の研究はまだ途半ばであるが、計算機の爆発的な性能向上が続く現在、徐々に解明が進むものと考えられる。これが本研究の今日的な意義・目標である。

日本側は非平衡粒子動力学シミュレーションやモンテカルロシミュレーションによる大規模な数値計算手法とそれを用いた解析とを主に担当し、一方、ハンガリー側は破壊・破砕の現象論的解析とモデルの構築とを担当する。日本側はさらに、乾燥に伴う破壊・材料が割れてゆく現象についての研究もすすめ、また地震など破壊現象を念頭に地球物理学的研究との連携を目指して粉粒体についても研究した。

具体的にはハンガリー側はファイバーバンドル模型、特に荷重が等しく再分配される場合の基礎理論の確立やそれに対応する局所的に再分配される場合のシミュレーションによる研究を、日本側はコードの大規模化や粒子動力学シミュレーションによる研究・乾燥破壊の実験および理論をそれぞれ担当した。

平成 21 年度 7 月・12 月および平成 22 年度 7 月・1 月にハンガリー側研究代表者である Ferenc Kun 博士が来日し、日本側研究者のもとで研究に従事した。この間に特に関係の深い国内の研究者を交えたワークショップを複数回、東京大学および奈良女子大学にて催した。平成 21 年度 11 月および平成 22 年度 9 月には日本側研究者が渡洪し、Kun 博士のもとで研究に従事した。各渡洪で、吉岡直樹は約 30 日間、他の参加者は 1 週間、デブレツェン大学に滞在した。吉岡直樹はまた、平成 22 年度 7 月にオーストラリア・ケアンズで催された第 24 回統計物理学国際会議に、また平成 22 年度 12 月に北京・計算科学研究センターで催された HPC ワークショップに参加し、本研究の成果について報告をおこなった。

平成 21 年度中には熱活性クリープ破壊を念頭に、主にファイバーバンドル模型に基づいた研究を行った。その結果、特にクエンチ乱れの無いファイバーバンドル模型を用いた解析により、古典的なグリフィス型の急激な破壊と、クラックが全系にわたって広がった上で生じる破壊という、二つの相が存在する事を発見した。温度と外力を変えることで得られる相境界は、磁性体の分野で知られるケルテス線であり、二つの相は連続転移であることが分かった。平成 22 年度はこの成果を原著論文にまとめ、出版した（以下の 9 項イ中の文献[6]）。

さらにこれまでに確立した模型を用い、バースト的に進む微視的な破壊についてその待ち時間の分布や頻度の時間発展の解析に着手した。これらは系の微視的な情報を持っており、以前に調べた静的な分布と合わせ、系が破断に近いかどうかを予測・理解するのに役立つと考えられる。特に後者のバースト頻度の時間発展は、測定をしたデータから直接得られる量であり、その性質を理解することは応用上極めて重要である。また、クエンチ乱れを導入したときに、寿命やバースト、クラックの性質がどのように変わるかを調べ、結果を取りまとめている。

また、乾燥破壊・割れ破壊・粉粒体破壊についての研究も推進した（以下の 9 項イ中 b の文献[1]から[5]）。