

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 19 日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20340110

研究課題名（和文） 印象派の精神に基づく濡れ現象と破壊現象の研究

研究課題名（英文） Studies on wetting and fracture based on the spirit of impressionistic physics

研究代表者

奥村 剛 (OKUMURA KO)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号：80271500

研究成果の概要(和文):ソフトマターの先駆的研究でノーベル物理学賞を受賞した故 de Gennes 教授は、枝葉末節に目をつぶる独特の手法により、様々なテーマの研究を行い、シンプルな物理的本質を鮮やかにえぐりだした。そして、この研究手法を絵画における印象派主義にたとえ、物理学における印象派の精神を提唱した。本研究は、この精神に基づき、2次元バブルなどの濡れ・表面張力現象と、ソフトフォーム固体（クッション材）などの構造を持つ物質の破壊・強度、さらに、粉粒体について研究し、周辺異分野・化学工業・製品開発現場にも成果を還元され得るシンプルで直感的な理解を示した。その成果の一部は新聞・子供向け雑誌を通して一般社会にも還元された。

研究成果の概要(英文): Professor de Gennes, who received the Nobel Prize in Physics in 1991, studied a wide variety of problems, with a unique method in which he neglected many details, to reveal simple physical essences from them. He compared this method to impressionist paintings and emphasized the importance of such method in physics. In this research, with this method, we studied some wetting or capillarity problems such as the dynamics of two-dimensional bubbles and the toughness of structured materials such as soft-foam solids (shock absorbing materials), together with the dynamics of granular materials. We aimed at feeding back our results to related fields, chemical industries and research & development teams by providing simple and intuitive physical understandings. Part of these results have been introduced in details to the public through articles in newspapers and a magazine for kids.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	8,100,000	2,430,000	10,530,000

研究分野：ソフトマター物理学

科研費の分科・細目：生物物理・化学物理

キーワード：ソフトマター物理学、印象派物理学、濡れ、表面張力、破壊力学、複合材料

1. 研究開始当初の背景

ソフトマターの先駆的研究でノーベル物理

学賞を受賞した故 de Gennes 教授は、枝葉末節に目をつぶる独特の手法により、様々なテーマの研究を行い、シンプルな物理的本質を

鮮やかにえぐりだした。そして、この研究方法を絵画における印象派主義にたとえ、物理学における印象派の精神を提唱した。このような精神の象徴ともいえるスケーリング法則は、物理の世界では広く認められていた。そして、特に、流体力学の分野で新しい方法として徐々に認められつつあった。これには、高速カメラの発展によって可能になった滴の融合現象の動力学がスケーリング法則でシンプルに理解できることを示した研究が大きく貢献している。

2. 研究の目的

本研究は、この精神に基づき、2次元バブルなどの濡れ・表面張力現象と、ソフトフォーム固体(クッション材)などの構造を持つ物質の破壊・強度について研究し、周辺異分野・化学工業・製品開発現場にも成果を還元できるようなシンプルで直感的な理解を得ることを目指した。

3. 研究の方法

同じ研究グループで実験・理論・シミュレーションを同時進行することで効果的に研究を進めた。破壊の研究においては、特に真珠層に着目し、新しい解析解の発見・2次元ネットワークのシミュレーションを行うことで複合物質の強靱性に迫った。濡れの研究においては、2次元バブルの動力学の研究をベースとして、様々な実験・理論の同時進行の研究を行うことでスケーリング法則の発見を目指した。さらに、この研究の流れを粉粒体の動力学の研究に発展させた。

4. 研究成果

(1) 概観

濡れと破壊の研究が双方とも格段に進んだ。例えば、濡れの研究では、2次元状況下での滴の融合の動力学における次元クロスオーバーを明確に示した論文が、Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)に掲載され、同誌の巻頭に写真入りでピックアップされた。また破壊の研究においては、シンプルなモデルを用いてクモの巣の力学的適応性を示した論文が Phys. Rev. Lett.に掲載され、さらに Nature Materials誌において大きく取り上げられた。濡れの研究からの自然な拡張として粉粒体の研究も開始し、国内外で注目されつつある。これらの研究を通して、印象派の精神に基づくシンプルで明快な理解の例を次々と得ており、周辺分野にも影響を与えつつある。また、代表

者のこの研究スタイルが朝日新聞で顔写真入りで大きく報道されるなどして、新聞や子供向けの雑誌を通して、一般社会にも成果の一部が知られることとなった。

(2) 破壊の研究

真珠層は、真珠の美しさの源であるだけでなく、力学強度にも貢献している。本代表者はドゥジェンヌ教授とともに真珠層の強靱性を解明した。本研究ではこの研究をベースとして以下の研究を行った。

- ① 真珠層モデルの破壊に関する新解析解の発見。Phys. Rev. E誌にて発表。
- ② 真珠層の2次元ネットワークのシミュレーション。①の解析理論の物理的意味を解明。Phys. Rev. E誌にて発表。
- ③ 真珠層の研究②をベースにクモの巣のシミュレーションモデルを構築。縦糸と横糸の強さの差がクモの巣の力学的適応性を高めていることを解明。Phys. Rev. Lett.誌にて発表。
- ④ その他、モデルの非線形化の検討、シート状物質の破壊エネルギーの実験研究も模索してきている。

(3) 濡れの研究

2007年に Phys. Rev. E誌 Rapid Communicationにて発表した、2次元バブルの動力学の研究をベースとして次のような研究を進展させてきた。

- ① 擬2次元空間においてオリーブオイルに囲まれた水溶性液体の滴の融合の動力学の解明。Phys. Rev. E誌 Rapid Communicationにて発表。
- ② 擬2次元空間においてシリコンオイルに囲まれた水溶性液体の滴の融合の解明。Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)にて発表。
- ③ 擬2次元空間において流体液滴が受ける抵抗法則の確立。Soft Matter誌で発表。この論文は、Hot Articleに選ばれ、一定期間アクセスフリーになった。
- ④ 上記③を応用し、擬2次元粉粒体媒質での引きずり抵抗法則を確立。EPL(Europhys. Lett.)発表。この粉粒体の研究を主導した学生は、ロレアル・ユネスコ女性科学者日本奨励賞を受賞し、朝日新聞で顔写真入りで大きく紹介された。

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11件)

原著論文 (すべて査読付き)

- ① Ayako ERI and Ko OKUMURA, Viscous drag

friction acting on a fluid drop confined in between two plates, *Soft Matter*, 7, 5648 (2011),

DOI: 10.1039/c0sm01535k; **highlighted as hot article (May 25, 2011) and made access-free by the publisher.**

- ② Maria YOKOTA and Ko OKUMURA, Dimensional crossover in the coalescence dynamics of viscous drops confined in between two plates, *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)*, 108 (2011) 6395-6398, doi:10.1073/pnas.1017112108; **featured in In this issue (This week in PNAS), PNAS, 108 (2011) 6337.**
- ③ Yuka TAKEHARA, Sachika FUJIMOTO and Ko OKUMURA, High velocity drag friction in dense granular media, *EPL (Europhys. Lett.)*, 92, 44003 (2010), doi: 10.1209/0295-5075/92/44003.
- ④ Ayako ERI and Ko OKUMURA, Bursting of a thin film in a confined geometry: Rimless and constant-velocity dewetting, *Phys. Rev. E Rapid Communication*, 82, 030601 (2010), DOI: 10.1103/PhysRevE.82.030601.
- ⑤ Yuko AOYANAGI and Ko OKUMURA, A simple model for the mechanics of spider webs, *Phys. Rev. Lett.* 104, 038102 (2010), DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.038102; featured in, Philip Ball, Web designers, *Nature Materials* 9, 190 (2010).
- ⑥ Yuko AOYANAGI and Ko OKUMURA, Stress and displacement around a crack in layered network systems mimicking nacre, *Phys. Rev. E* 79 (2009) 066108, DOI: 10.1103/PhysRevE.79.066108.
- ⑦ Yukari Hamamoto and Ko OKUMURA, Analytical solution to a fracture problem in a tough layered structure, *Phys. Rev. E* 78 (2008) 026118-1-5, DOI: 10.1103/PhysRevE.78.026118.

解説・総説論文等

- ① 奥村剛、表面・界面の印象派物理学：スーパー理系女子たちが開きつつある新しい物理学の地平、応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会誌 vol. 22 (2011) 153; 査読なし
- ② 奥村剛、新著紹介 (P. Oswald, *Rheophysics; The Deformation and Flow of Matter*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2009)、日本物理学会誌、66 (2011) 223 (2011年2月号); 査読なし
- ③ 奥村剛、天然物質の強靱性：硬・柔の組み合わせの妙- 真珠層とクモの巣を例

として、日本物理学会誌、66 (2010) 97-105 (2010年2月号); 査読有; 口絵に採用。

- ④ 奥村剛、固体表面テクスチャによるぬれの制御、*トライボロジスト*、55 (2010) 242-247 (2010年4月号); 査読有

[学会発表] (計 56 件)

物理学会における講演 計 32 件

H23 年度 9 件

H22 年度 11 件

H21 年度 8 件

H20 年度 5 件

国内招待・依頼講演 計 13 件

H23 年度 3 件

H22 年度 4 件

H21 年度 5 件

H20 年度 2 件

国際招待・依頼講演 計 11 件

2012 年 3 件

2011 年 4 件

2010 年 2 件

2009 年 2 件

招待講演等

- ① Invited Talk, Ko OKUMURA, Capability of Impressionist Physics in Materials Science: Liquid Drops, Spider Webs and Nacre, The 1st International Symposium on Fusion Materials, Toba, Aichi, Japan, October 16-18, 2011
- ② Invited Talk, Ko OKUMURA, Wetting on textured surfaces and dynamics of liquid drops and bubbles, The 3rd Asian Symposium on Advanced Materials- Chemistry & Physics of Functional Materials - (ASAM-3), Fukuoka, Japan, September 19 -- 22, 2011.
- ③ Invited Lecture, Ko OKUMURA, Toughening materials by combination of soft and hard elements: examples from nacre to spider webs, EUROMAT 2011 Congress, Montpellier, France September 12 -- 15, 2011
- ④ 基調講演, 奥村剛, 表面・界面の印象派物理学: スーパー理系女子たちが開きつつある新しい物理学の地平, 有機バイオ表面・界面研究会-有機バイオ表面ナノシステムの創成&観察の最前線-, 幕張メッセ(分析展 2011 併設) 2011.9.9

- ⑤ 夏の学校講師, 奥村剛, 印象派物理学で描き出す身近に潜むシンプルな物理: しずく、あわ、真珠、クモの巣を題材として, 第56回物性若手夏の学校, ホテルエバーグリーン富士(山梨県富士吉田), 2011/8/1-8/5
- ⑥ Invited Talk, Ko OKUMURA, Bubbles and drops, parabolic-flight experiments and other research interests PolaDrop topical team meeting March 8, 2011, ESA Headquarter, Paris
- ⑦ Invited Talk, Ko OKUMURA, Drops and bubbles, spider webs, granular materials, and parabolic-flight experiments FOAM-C instrument utilization meeting 17 -- 18 February 2011, ESA Headquarter, Paris
- ⑧ Invited Talk, Ko OKUMURA, Wetting on artificial lotus surfaces 11th International Symposium on Biomimetic Materials Processing (BMMP-11) 25 -- 28 January 2011, Nagoya, Japan
- ⑨ 招待講演, 奥村剛, 天然物質の強靭性: 硬・柔組み合わせの妙ー真珠層とクモの巣を例として第6回 LSW シンポジウム 北海道大学百年記念会館 ソフト&ウエットマターのデザインー新素材から生物までー 北海道大学百年記念会館 2011/1/7
- ⑩ 依頼講演, 奥村剛天然物質の強靭性: 硬・柔組み合わせの妙ー真珠層とクモの巣を例として バイオミネラルゼーション研究会 バイオミネラルゼミ 東京大学(本郷) 2010/9/27
- ⑪ 依頼講演, 奥村剛テスチャー表面の濡れ (社)表面技術協会 第37回『ナノテク部会』研究会 ~ナノスケール汚れと洗浄の基礎科学~東京理科大学森戸記念館第2フォーラム(神楽坂) 2010/7/29
- ⑫ Invited Plenary Talk, Ko Okumura, Toughness of soft-hard composites and Wetting on Textured Substrates the Spring annual meeting of the Materials Research Society of Korea (MRS-K) May 13-14(13) 2010, Palace Hotel in Samcheok City, Korea

[その他]

ホームページ等

<http://www.phys.ocha.ac.jp/okumuralab/h16/>

新聞記事

これらによって新聞記者の執筆した記事を通して本研究の一部が一般国民に還元された。

(1) 朝日新聞 2012年11月19日朝刊 科学欄 柔剛操る自然の達人 クモの巣・真珠・シャコに学ぶ (奥村等のクモの巣と真珠層に関する詳細な紹介記事が朝日新聞にて掲載)。同記事はさらにジュニア・アエラに転載され、多くの小学生等にも知られることとなった。

(2) 朝日新聞 2012年3月22日朝刊 科学欄 探究人 「印象派物理学」直感を重視(奥村等の印象派物理学の研究スタイルに関する紹介記事が顔写真入りで朝日新聞に掲載)

(3) 朝日新聞 2012年2月3日夕刊 ニュース欄 クモの糸 超高性能(奥村等のクモの巣の強さの研究に関する記事が朝日新聞に掲載)

(4) 日刊工業新聞 2012年2月2日 普遍的な数式追求(奥村等の真珠とクモの巣の強さに関する研究の記事が日刊工業新聞に掲載)

(5) 2011年9月29日、竹原由佳さん(当時D1)のロレアル-ユネスコ女性科学者 日本奨励賞受賞関連記事(顔写真入り)が朝日新聞に掲載。2011年7月13日(受賞発表翌日)にも毎日新聞、読売新聞等に竹原さんの氏名入りで受賞記事が掲載

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥村 剛 (OKUMURA KO)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号: 80271500

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し