

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24年 5月 16日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740293

研究課題名（和文） 多粒子系における系の界面運動と粒子の集団運動との競合

研究課題名（英文） Competition between two dynamics:
interface motion and collective motion of granular particles

研究代表者

山崎 義弘（YAMAZAKI YOSHIHIRO）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：10349227

研究成果の概要（和文）：

多粒子系における系の界面運動と粒子の集団運動との競合を理解するために、水-粉粒体混合系の乾燥に伴う水-空気境界の運動により得られる迷路状パターンの特徴付けを行った。我々の実験およびフェーズ・フィールドモデルに粉粒体の運動方程式を結合したモデルによるシミュレーションの結果、パターンのフラクタル性（自己相似性・自己アフィン性）および運動的性質が粉粒体の混合量に応じて変化することが確認された。

研究成果の概要（英文）：

The aggregation process of granules driven by the motion of water-air fronts in the drying process of two-dimensional wet granular systems is experimentally studied. And a model for the collective motion of granular particles induced by an interaction with interface motion is constructed. By the experiment and the numerical simulation, it is found that the model can qualitatively reproduce labyrinthine patterns that are quite similar to those experimentally obtained in the drying process of a water-granule mixture. Moreover, the stick-slip motion of the interfaces and fractal properties are confirmed in our model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	200,000	60,000	260,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	700,000	210,000	910,000

研究分野：統計物理学

科研費の分科・細目：物理学・数理物理・物性基礎

キーワード：界面運動・粉粒体・シミュレーション・パターン形成

1. 研究開始当初の背景

例として、水と粉粒体（コーンスターチ・酸化アルミニウム・ガラスビーズなど）との混合物における乾燥過程で、混合物を2枚の板（アクリル板・ガラス板など）にはさんだ状態の系に対する乾燥を考える。この場合、水が蒸発するため、2枚の板のすき間に空気が進入し、水と空気との境界面（界面）の運動が引き起こされる。このとき、界面運動によって水中に存在する粉粒体は掃き寄せられ、集められた粉粒体の領域が迷路状のパターン（図1参照）を自発的に形成することが知られている[文献1]。このようなパターン形成をより一般的な視点から考えると、2相系（さらには、多相系でもよい）において、ある相領域に存在する粒子が集団として相界面の運動にどのような影響を及ぼすかという問題を提起することができる。この一般化された問題に対する理論構築に取り組みたいというのが本研究の背景である。

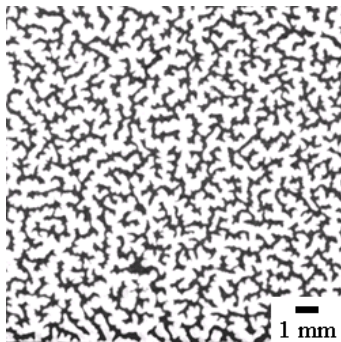


図1

[文献1] Y. Yamazaki, T. Mizuguchi, J. Phys. Soc. Jpn. 69 (2000) 2387-2390.

2. 研究の目的

(1) 粉粒体を局所的密度として取扱う連続モデルと個々にその運動を考慮する離散モデルとの関係は現在のところ明らかになっていない。この関係を明らかにすることで、粉粒体の個々の運動を集団として記述した場合に、界面の運動方程式として粉粒体の影響がどのように表されるかといった問題に

ついてのより厳密な処方箋を提示できる。この問題はモデルの縮約法とも関連し、界面ダイナミクスの数理として重要な課題である。

(2) 迷路状パターンを特徴付ける空間スケールとして、粉粒体領域（図1の黒い部分）と空気領域（図1の白い部分）のそれぞれの幅を画像解析により求めることができる。これらの幅は粉粒体の材質に依存しており、粉粒体と板との摩擦が影響していると考えられる。パターンの空間スケールと粉粒体の摩擦との関係が明らかになれば、パターンの画像解析から粉粒体の物性についての知見を得ることができ、工学的にも興味深い成果が得られる。

(3) 界面運動と粉粒体の集団運動の競合についての研究は、水-粉粒体の混合系に限らず関連する様々な系に適用可能である。例えば、地中におけるメタンハイドレートの結晶化過程では、結晶成長に対し土の粒子が影響を及ぼし、結晶が周期的に並んだ縞状の構造を形成することが知られており、この現象にも適用できると考えている。その他、培地上での細菌コロニーの成長においても、化学物質を分泌する細菌の個体を増殖し自走する粒子とみなし、化学物質の分泌で動きやすくなった培地領域とそうでない領域との界面に着目することにより、細菌の集団運動と界面の運動との競合を議論できる。

3. 研究の方法

(1) これまで我々が行ってきた水-粉粒体混合系の乾燥過程における詳細な実験をさらに行い、粒子の集団運動と界面の運動とが互いに影響を及ぼすことにより系全体のダイナミクスが決定される現象の数理モデルを提案する。

(2) (1) の実験結果を記述する数理モデルを提案し、数値シミュレーションを行う。特に、粒子の集団運動と相界面の運動との競合を解明することが本研究において重要なテーマであり、この点が明確になるような手法を開発する。

(3) 様々な数理モデルを提案する中で、粒子の集団運動と界面運動の競合を記述することができる、より単純でかつ数学的に取り扱いやすいモデルの構築を目指す。特に、連続モデルと離散モデルとの結果から、離散的な粒子の集団運動を平均化して連続的に取り扱うための方法を確立する。

4. 研究成果

ドメイン成長現象は乾いた布への水の染み込みといった物理系だけでなく、バクテリアコロニーの成長といった生物系でも観られる普遍的な現象である。このようなドメイン成長は、ドメインの内と外を分ける境界の運動として捉えることができ、一つの定式化として、フェーズ・フィールドモデルがよく用いられる。このモデルにおいては一般に、いま考えている空間の各点に状態変数（フェーズ・フィールド）を定義し、ドメインの内と外で状態変数が異なる値を取るよう設定する。ここで、ドメインの境界は状態変数が急激に変化している領域で表すことができ、境界の運動は空間全体での状態変数の時間発展式（偏微分方程式）で記述される。我々は、境界運動の一例として、2枚の板に挟まれた水が蒸発することに伴う水-空気境界の運動に着目し、先ず、この境界運動がフェーズ・フィールドモデルで再現可能であることを確認した。次に、境界運動にを阻害する効果を考慮するために、水に粉粒体（コーンスターチ）を混合した液体を2枚の板に挟み、乾燥させることによる水-空気境界の運動を観察した。その結果、混合した粉粒体の割合により、境界運動の様子が大きく変わることを確認した。実際、混合した割合が少ないとき、粉粒体は境界の運動に対し、ピンニン

グ(pinning)の効果として働く。徐々に混合の割合を増やしていくと、割合に応じて、(1) 反応拡散系で記述可能な領域、(2) 迷路状パターンが現れる領域、(3) 乾燥破壊領域と分類できることがわかった。

我々は、迷路状パターンが現れる領域に着目し、フェーズ・フィールドモデルに粉粒体の運動方程式を結合したモデルを構築、シミュレーションによる実験結果の再現を行い、得られた結果の統計的性質を調べた[文献2]。その結果、図2に示すように、初期の粉粒体濃度に応じて界面運動に伴い得られるパターンが変化し、実験結果と一致する結果が得られた。また、パターンには自己アフィン性の存在することが明らかになった。

これらの成果は物理学科・国際会議において発表済みで、現在、論文を準備中である。

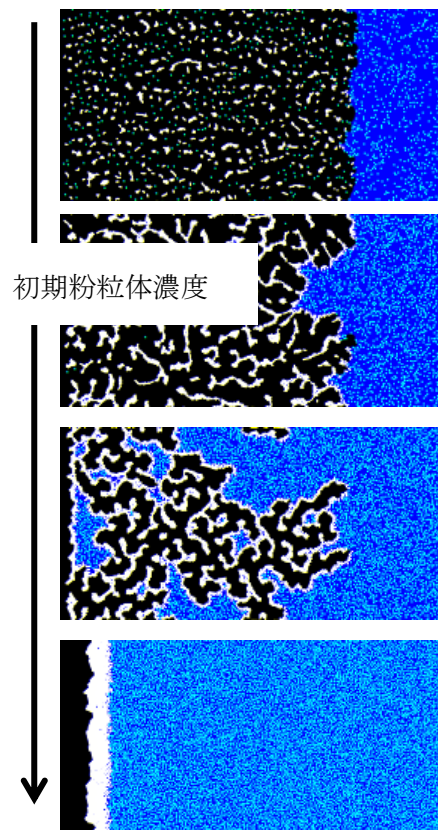


図2

[文献2] S. Komura, Y. Yamazaki, J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 083801 (4pages).

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3件)

- ① Shin-ya Komura・Y. Yamazaki、Complex structure of air-water interfaces interacting collective motion of granular particles、International Symposium on Complex Systems 2011、2011年12月1日、東京大学
- ② 山本健・小村真也・山崎義弘、粉粒体の乾燥過程で生じる迷路状パターンの分岐解析、日本物理学会秋季大会、2010年9月24日、大阪府立大学
- ③ 小村真也・山崎義弘、界面と相互作用する粉粒体の集団運動による迷路状パターン形成の過程に観られる性質、日本物理

学会第65回年次大会、2010年3月20日、岡山大学

[図書] (計1件)

- ① 山崎義弘、パターン形成現象の数理モデリング、複雑系叢書6. コンプレックス・ダイナミクスの挑戦 (共立出版, 2011) 78-116

[その他]

ホームページ等

<http://www.y2003.phys.waseda.ac.jp/cgi-bin/fswiki/wiki.cgi>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 義弘 (YAMAZAKI YOSHIHIRO)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：10349227