

論文審査の結果の要旨

氏名 江端 宏之

本論文は 6 章からなる。第 1 章は序論であり、研究の背景と目的が述べられている。第 2 章では本研究で行ったコロイド懸濁液の垂直加振実験の実験手法と実験条件について説明している。第 3 章と第 4 章では、実験結果を示すとともに理論的な解析を行っている。第 3 章では、垂直加振されたポテトスターチ懸濁液において界面がへこんで生成される穴の生成消滅のダイナミクスについて述べられている。第 4 章では、この穴が安定に存在する条件と分裂が起こる条件について調べている。第 5 章では **heap** が発生するメカニズムを薄膜近似を用いて理論的に解析している。底面の固体表面での境界条件が加振により、スリップからノンスリップ境界条件に周期的に変わることを理論模型に取り入れると、この現象を説明できる。第 6 章では、本研究の結論が述べられている。

流体の自由界面に現れる不安定生やパターン形成については長い研究の歴史があるが、まだよくわかっていない現象が多々ある。本研究では、でんぷんやガラスビーズといったコロイド粒子の懸濁液においてみられるパターンに焦点を当てている。コロイド懸濁液は **shear thickening** や降伏応力がみられる非ニュートン流体であり、ニュートン流体ではみられないような不安定生やパターンが生じることが知られている。垂直加振によって安定な穴が生じることには知られていたが、論文提出者は、穴が安定な状態から分裂する状態に変化する条件を実験的に初めて明らかにした。さらに、そのメカニズムを物理学的に詳しく解析し、粉体粒子間に働く毛管力と容器の底面で働く降伏応力が穴を生成するための重要な要因であることを明らかにしている。

第 3 章では、まず、穴の分裂、衝突のダイナミクスを実験で詳しく観察し、穴の生成消滅頻度の穴の密度依存性を調べている。穴の生成頻度がほぼ一定なのに対し、穴の衝突により穴が消滅するため、消滅頻度は密度の 2 次の非線形項が現れることを示している。そして、穴の分布はこれらの頻度とマルコフ過程を考えることで再現できることを明らかにしている。これは反応拡散系のグレイ・スコット模型で得られる時空カオスと同様のパターンである。

第 4 章では、安定な穴から、分裂する穴への分岐を調べている。これまで、コーンスターチでは安定な穴が、ポテトスターチでは分裂する穴が生じること

は知られていたが、同一の懸濁液でこの両方の局所構造はこれまで観察されていなかった。論文提出者は、この二つの粒径の違いに着目し、ポテトスターチをふるいにかけることで粒径の分布を調節した場合とガラスビーズを分散させた場合の2種類の懸濁液において、加振強度の増加により、安定から分裂への分岐を得ることに成功した。また、界面活性剤の添加による表面張力の現象によって穴の分裂が起りやすくなることも明らかにしている。これらの事実から、粉体粒子間に働く毛管力が穴を安定化させる要因であることが示唆される。また、変形と重心運動のモデル方程式を構築し、理論解析を行っている。分裂は変形が敷居値を越えると起こると仮定している。このモデルを詳しく解析することで、加振強度の増加によって穴の形の変動が大きくなることが、実験でみられるふるまいを再現する上で重要であることを明らかにしている。

第5章においては、平らな液面が不安定化して、液面がこぶ状になる **heaping** 現象について、理論的に解析している。加振により、容器の底面近傍での粉体粒子の密度が変動することに着目し、その影響を底面の固体表面での働く降伏応力の変化と捉え、境界条件がスリップから nonslip 境界条件に周期的に変わるとして、理論模型に取り入れている。そして、薄膜近似を用いて液面の高さの方程式を導き、実験でみられる **heaping** を定性的によく説明できることを示している。

以上のように本論文では、界面がへこんで生成された穴状の構造が安定に存在する状態から、自発的に分裂する状態へ分岐する条件を新しく見だし、そのような局所構造の生じるメカニズムを理論的に考察している。また、化学反応系で用いられている理論模型が複雑流体のパターン形成の解析を有効であることを示し、自然界でみられるパターン形成の統一的な理解に示唆を与える研究であり、今後の非平衡物理学の発展への寄与が期待できる。なお本論文は指導教員である佐野雅己氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、審査員全員の一致により、博士（理学）の学位を授与できると認める。