

宇宙で明らかになる流れの世界

1. マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその遷移過程 (MEIS)
2. マランゴニ対流における時空間構造
3. 高プラントル数流体のマランゴニ振動流遷移における液柱界面の動的変形効果の実験的評価

実験の背景と目的

ハスの葉やよくワックスをかけた自動車のボディの表面では、水は滴（しずく）になります。これは、水に“表面張力”があるためです。表面張力は、水などの液体に働く“表面積をできるだけ小さくしようとする力”です。

ところで、この表面張力は液体の温度や溶けている物質の濃度によって変わりますが、普通は温度が低い方が大きいのです。そのため、表面上の左右や表面と内側に温度差がある

場合、水の表面に油やアルコールを落とした時のように濃度差がある場合、表面張力の小さい方から大きい方に向かって流れが発生します。図1はその様子を説明しています。液体の表面が流れれば、それに引きずられて液体内部にも流れ（対流）が起きます。この現象は、19世紀にイタリアの物理学者マランゴニによってはじめて詳しく研究されたので、「マランゴニ対流」と呼ばれています（図1）。

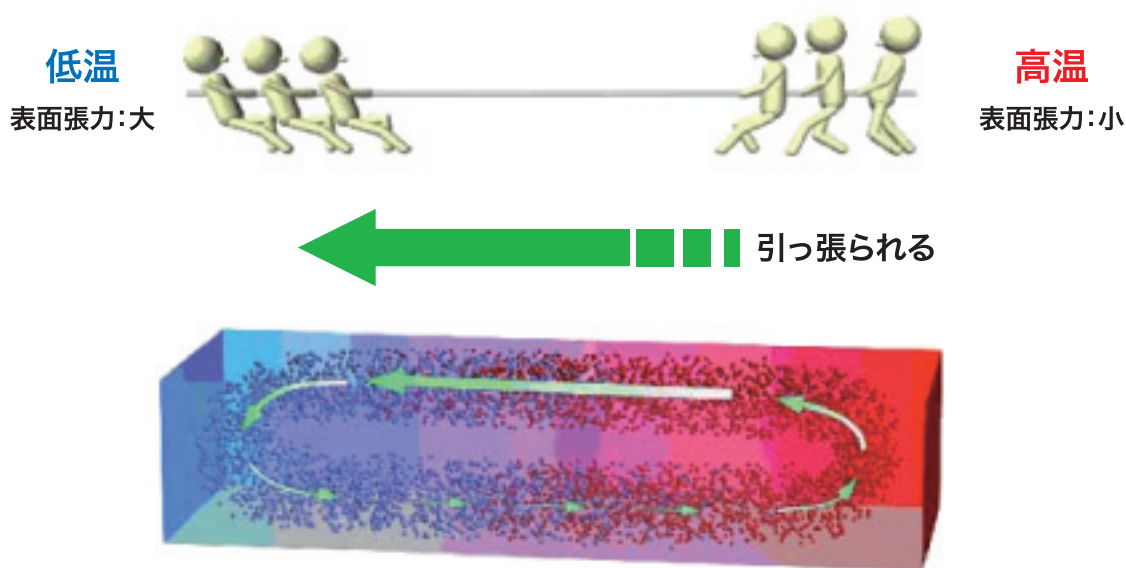


図1 マランゴニ対流の発生現象

マランゴニ対流は、半導体材料であるシリコン結晶を作るときや、パソコンの放熱に利用されるヒートパイプにも発生し、結晶の品質や放熱性能に影響を与えています。そのために、マランゴニ対流について詳しく知ることは、流体の性質についての知識を深めるだけでなく、半導体材料の製造や宇宙用の機器開発などに重要な意味をもっています。マランゴニ対流について研究するには、その影響をはっきりとらえる必要があることは言うまでもありません。しかし、地上では重力が作用して生じる熱

対流（浮力による対流）に隠れてしまい、マランゴニ対流の影響を観察することが難しいので、微小重力環境である宇宙での実験が役に立ちます。

この3つのテーマはFPEF（流体物理実験装置）を使って行なう実験で、いずれもマランゴニ対流に関する研究を目的としています。それぞれのテーマの観察方法や解析方法は異なり、特徴があります。

主な実験内容

①大きな液柱をつくる!

マランゴニ対流の実験を行うには、流体を円柱状にしてその両端に温度差を与えます。ところが地上では重力が作用して、この円柱(液柱)を变形させてしまうため、直径が数ミリメートルの液柱でしか実験が行えません。また、背の高い液柱で実験することもできません。したがって、マランゴニ対流によっておこるさまざまな現象を体系的に調べるには、微小重力環境が必要になってくるのです。

マランゴニ対流の実験は、地上では実現できない直径1cm、3cm、5cm、高さ1cm～数cmの液柱をつくることから始めます。

②対流を発生させる!

大きなサイズの液柱の両端に温度差を与え、マランゴニ対流を発生させます。液柱両端の温度差を大きくしていくと、最初の安定した流れ(定常流)は振動流という周期的に変化する流れに変わり、さらにはカオスとよばれる状態になり、最後には乱流という完全に乱れた状態になってしまいます(図2)。

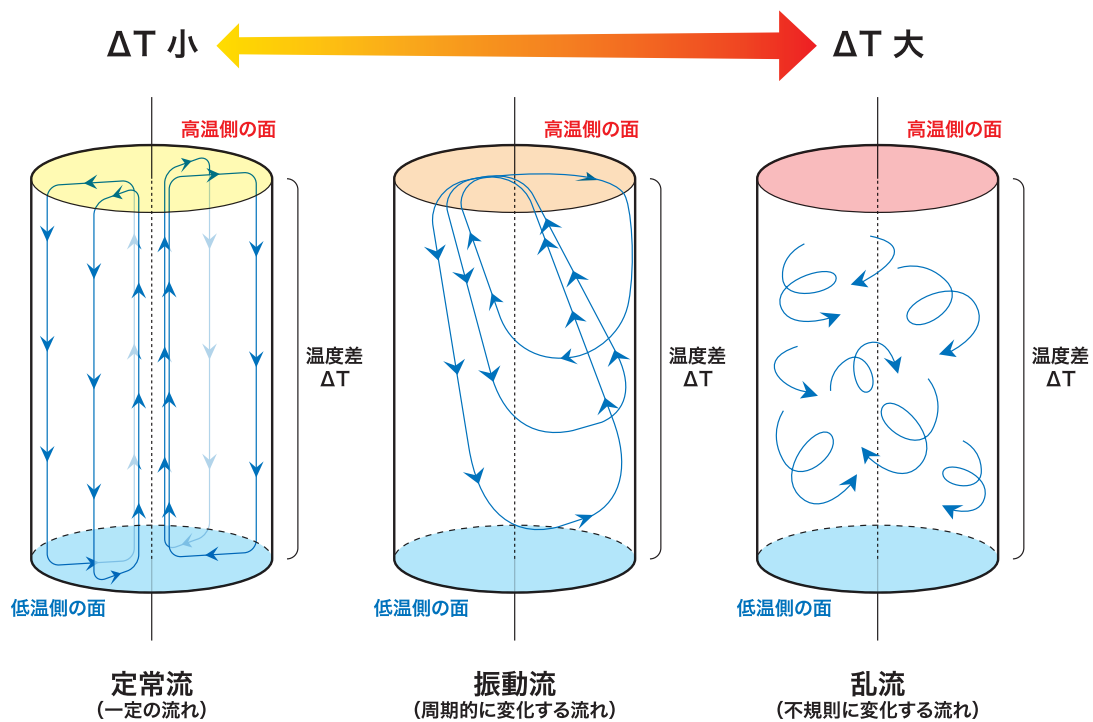


図2 対流の変化

③対流を観察する!

●3次元観察:

液柱を作る流体に小さな粒子を入れておき、それらの動きを3台のカメラで追うことにより、液柱内部の流れの変化を3次元でとらえます。(テーマ1~3の実験)

●UVP観察:

また、超音波によるドップラー効果を利用したUVP(超音波流速分布測定法)という方法で流れを測定します。UVPを用いると、液柱内部の粒子の動きが瞬時に立体的にわかり、流れの様子がとらえられます。(テーマ2の実験)

●表面温度測定:

液柱表面の温度を測定し、マランゴニ対流があらわれる温度の分布と内部の対流の様子との関係を調べます。(テーマ1~3の実験)

●表面流速測定:

レーザー光線を当てて一部に色をつけた液柱表面が流れる速さを測り、表面の流れと内部の流れの関係を調べます。(テーマ1の実験)

液柱内部の流れが定常流から振動流に変わる時、液柱の表面に生じる変形が重要な役割を果たすという説がありますが、まだ、証明されていません。これを調べるために、液柱表面を拡大して観察し、正確に測定します。また、同時に液柱表面の温度も測定し、表面変形と流れの様子を詳しく調べます。(テーマ3の実験)

これまでの地上実験および宇宙実験で、流体内に入れておいた粒子がマランゴニ対流によって一筆書きの曲がった輪のように集合する現象(粒子集合現象)が発見されています。この現象を細かく観察し、粒子集合現象が発生する過程を追求します。(テーマ1の実験)

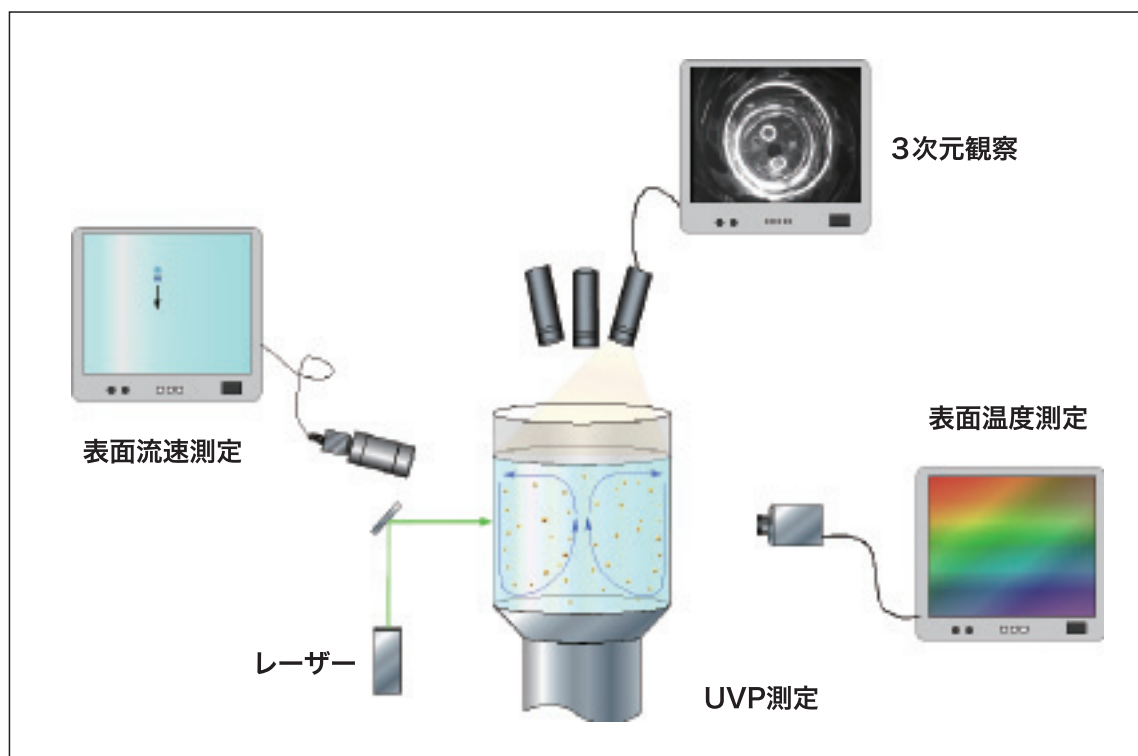


図3 流体実験装置

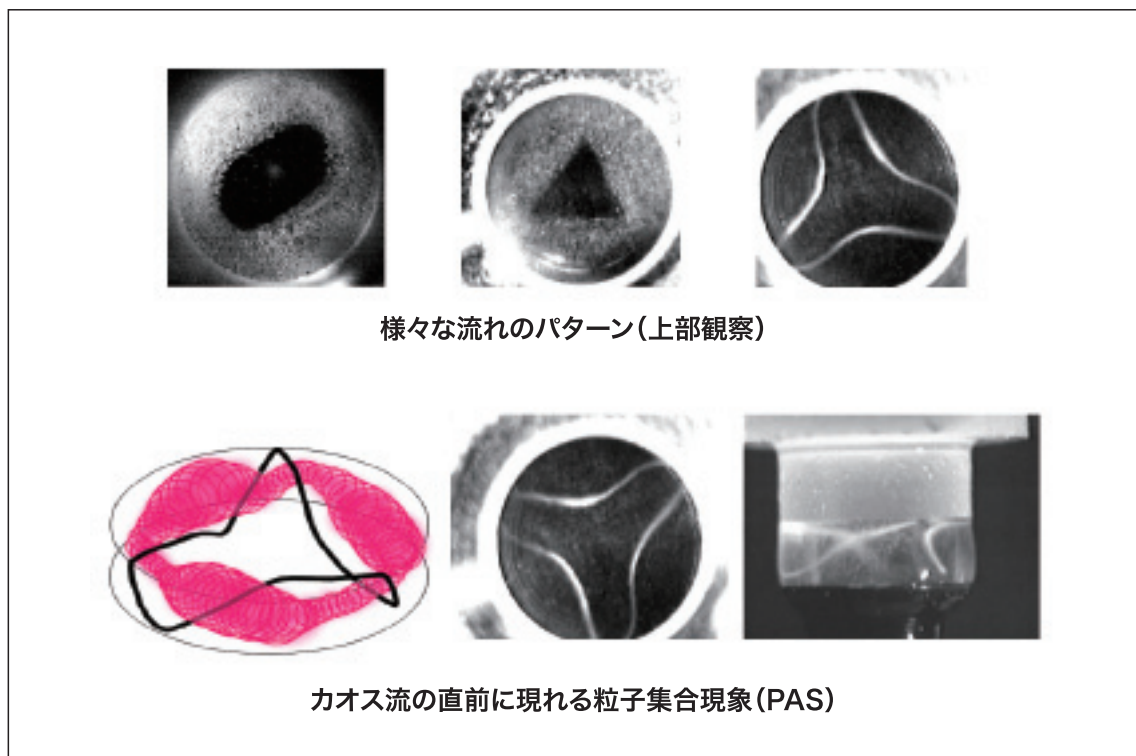


図4 上および側面から観察した粒子集合現象

プロフィール

●テーマ1(代表研究者)



河村 洋
 諏訪東京理科大学
 機械システムデザイン工学科 教授
 専門：熱流体力学

●テーマ3(代表研究者)



鴨谷 康弘
 ケースウェスタンリザーブ大学
 機械・航空宇宙工学部門 教授
 専門：対流による熱輸送
 微小重力流体力学

●テーマ2(代表研究者)



武田 靖
 北海道大学 工学研究科 教授
 専門：流体力学(流体制御)
 乱流遷移、流動場計測

●テーマ3(チームコーディネータ)



松本 聡
 宇宙航空研究開発機構
 宇宙科学研究本部 主任研究員
 専門：流体科学