

一次相転移及び潜熱流を伴う流体物理学の構築

京都大学 大学院理学研究科 小貫 明

Research of hydrodynamics with phase transition and latent heat transport

Department of Physics, Kyoto University
Kyoto 606 8502 E-Mail: onuki@scphys.kyoto-u.ac.jp

Abstract: .

Key words; Phase transition, Latent heat transport, Hydrodynamics

潜熱が関与する流体现象は、我々が身近に体験するところであり気象現象を代表として自然界に満ち溢れている。高温部で蒸発が起るとその部分の熱が奪われガスの対流として低音部に運ばれる液化する現象である。冷却装置もこの熱輸送過程を使い効率的に作動している。ところが潜熱の関与する現象の物理学からのその研究は驚くほど少ない。科学としての基本的理解がない分野といえる。潜熱を取り入れるためには、液体・気体界面における一次相転移を正しく理解しないとイケない。ここに相転移物理学と流体力学の融合された大きな課題がある。

図1では最近の小貫の動的ファンデルワールス理論から計算された潜熱流（潜熱を運ぶ流）の二次元計算の一例を示す。潜熱流は熱伝導に比べ圧倒的に効率的で、僅かの蒸発・気化があると熱伝達は大変早くなる。そのため無重力下の一成分流体では、周囲に温度勾配があってもバブルや液滴内の温度は一樣になる。図2左ではバブルが大きくとも液体に囲まれてさえいればバブル内の温度が一樣になることを示す。図2右では気体中の液滴が冷たい壁に向かって動いているが蒸発のため冷たくなっている。図3では重力下で僅かの液体が壁を濡らしている場合に下面から熱を与えている。重力作用で循環する潜熱対流が起きている。ここでの実効的な熱伝導率は液体のものの3.9倍になっている。ここでの気体の熱伝導率は液体のものの5分の1に設定している。図では気体が大部分なのに潜熱流のため熱伝導効率が飛躍的に増大している。エアコンや冷蔵庫におけるヒートパイプの原理が示されていることになる。図4には別の興味ある効果を紹介する。液滴を無重力で気体中に浮かべてみる。壁の温度を僅か上昇させるとピストン効果により体系の圧力が増大する。この場合気体のほうが液滴より温度上昇が大きく液滴は最低温度になる。図4では液滴が少しずつ界面での液化により膨らみつつある。面白いこ

とに液滴の外には流動場が形成されている。また液滴や気泡に音波を照射した場合の流体力学的効果も面白い。これらの現象の観察では宇宙は最適の条件をあたえる。

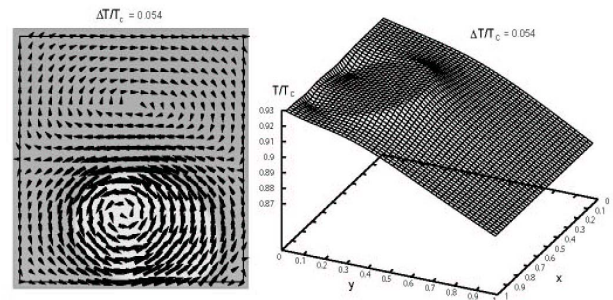


図1: 無重力下でバブルを含む液体に熱流を与えた時の定常的な速度場（左）と温度場（右）。バブル内は潜熱流のため温度は一樣となる。平衡では壁は液体を濡らすが、発熱壁は気体を引き付ける。

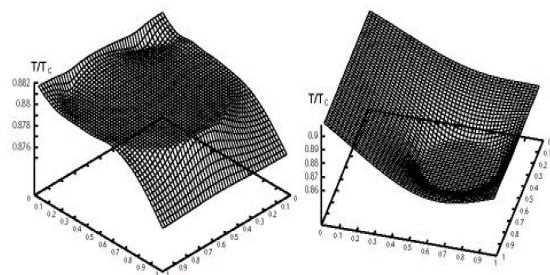


図2: 無重力下での液体に囲まれた大きなバブル（左）と気体に囲まれた液滴（右）の周りの温度場。ともにドメイン内では温度が一樣。液滴は冷たい壁に向かって動いており蒸発のため冷たい。

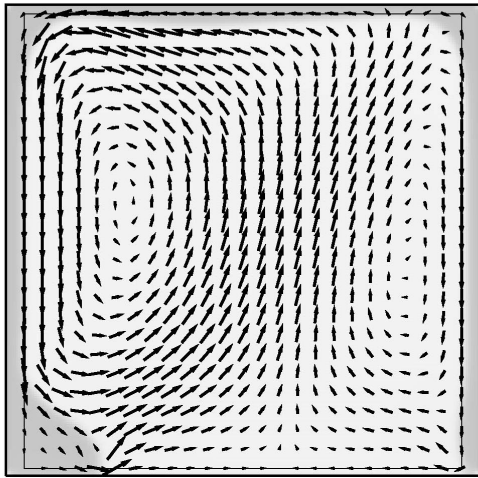


図3：重力下でのヒートパイプ中の潜熱流。下面で蒸発が上面で液化が起こり、液体（図で色の濃い領域）が壁を濡らしながら下方向に流れている。

このような潜熱流は僅かの異種の気体の混入に対して敏感である。2成分流体では界面に濃度勾配ができバブル内に温度勾配が発生する。そのため界面張力が非一様になり所謂マランゴニ対流が誘起される。マランゴニ流の速度はバブル径に比例しており一成分系における潜熱流よりも圧倒的に早くなりうる。このような「異物効果」は応用上は知られているが、物理からの基本考察は皆無であり、系統的实验はないように思われる。ちなみにシリコンオイル中のマランゴニ効果によるバブル運動については宇宙実験がなされている。しかしそこでは一次転移は起こらない。

我々は公募研究により潜熱の関与する流体现象を研究し、上記のような基本的効果の検証をする計画である。理論の概要は小貫の最近の理論 (Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 054501 ; Phys. Rev. E に掲載予定) に発表されている。具体的に検証したい主な効果としては、1) 気泡内の温度場が一樣になるべきこと、2) 気泡の周りの流速が不純物に敏感であること、3) 潜熱が関与すると実効的熱伝導率が飛躍的に向上することなどである。

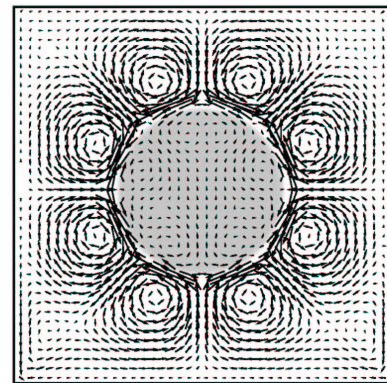
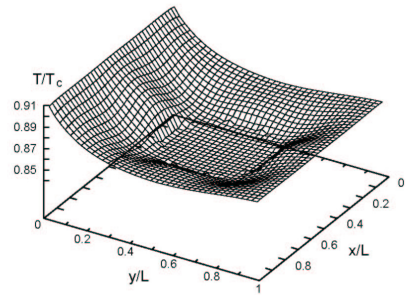


図4：無重力下で液滴を含む気体の圧を上昇させると気体の温度が液滴より上昇する。その結果液滴が増大している。液滴の周りに流動場ができています。