

氏名：舟金 仁志

専攻・学年：機械理工学専攻 博士後期課程 3年

派遣国：フランス

派遣先(研究機関名)： ボルドー第1大学(20日間), トゥールーズ第3大学(8日間)

受入研究者(職・氏名)： Luc Mieussens・教授, Giacomo Dimarco・準教授

派遣期間： 2011年5月26日 ~ 2011年6月24日(30日間)

派遣先での研究テーマ： 気体論に基づく混合型数値計算法 (Hybrid multiscale methods for kinetic equations)

### 【研究実施概要】

希薄気体力学は微視的立場から気体の振舞いを記述するため扱う自由度が多く、計算負荷が高い。また複雑な衝突積分を含む。この解決策として、一方で衝突積分を単純化する Bhatnagar-Gross-Krook(BGK)モデルに代表されるモデル方程式に関する研究が、他方で低負荷の数値計算を可能にする計算手法に関する研究が行われている。後者では特に、漸近理論による学術成果に着目し、ボルツマン方程式をその流体力学極限であるナビエ・ストークス方程式やオイラー方程式といった巨視的流体方程式と組み合わせる混合型数値計算法に関する研究が近年盛んに行われている。その動機として、巨視的流体方程式を組み合わせることでボルツマン方程式が担う部分を軽減することができる。また大域的に系が局所平衡状態にあるが、局所的にすべり流や衝撃波といった希薄化効果や微小スケールにおける変化を考慮しなければならないマルチスケールの物理問題にも適用できるからである。

私は、派遣期間中、混合型数値計算法に関する共同研究を実施した。私たちが考えている計算手法は、まず適当な関数を導入し、系を局所平衡状態と非平衡状態に分離する。そして、それぞれをボルツマン方程式をもとにする Direct Simulation Monte Carlo(DSMC)法を用いて解く。DSMC法は広く用いられている強力な数値解法であるが、計算結果の変動が大きい。精度を保証するのに高い計算コストを要することが知られている。そこで DSMC法が与える巨視的物理量への寄与を軽減することを目的とし、局所平衡状態の巨視的物理量は流体力学極限で求められた巨視的流体方程式をもとに求める。そしてそれぞれ求めた解を重ね合わせて解を構築するというのが、私たちの混合型数値計算法である。これにより全て DSMC法や有限差分法で計算する場合と比較し、計算コストの低い数値計算が可能となる。また既往研究により、私たちの計算手法は巨視的流体方程式の数値解法によらないことがわかっており、このことも利点の1つである。現在までに BGKモデル方程式をもとにする混合型数値計算法が確立されており、私の共同研究の目的はこの成果を物性値との適合が良い Elliptical Statistical(ES)モデル方程式へ拡張することにある。

### 【研究成果概要】

流体力学極限に近い低希薄度領域においては平均自由行程が短くなる。これに対応して変化の尺度が小さくなり、その変化を数値計算で正確に捉えるとなると計算負荷が高くなるという数値的問題があった。派遣前、私は気体が高度に希薄な場合のポアズイユ流と熱遷移流(境界の温度勾配により誘起される流れ)を研究しており、それに関係する仕事として低希薄度領域のポアズイユ流、熱遷移流に関心があった。そして派遣プログラムを通して低希薄度領域において有効な数値手法と考えられ、近年研究が盛んに進められている Asymptotic Preserving(AP)スキームの習得を目指し研究計画を立てた。残念なことに APスキームに関する勉強は派遣期間中行うことができなかった。しかしながら対応する希薄度領域における数値解析手法である混合型数値計算法の研究に着手でき、勉強を開始できたことは、海外派遣の大きな収穫である。しかしながら、私たちが考えている混合型数値計算法は DSMC法をベースとし、巨視的流体方程式の解と組み合わせるため、計算精度が高いとは言えず、私の目的を達成するにはまだまだ改善しなければならない点が多くある。

派遣プログラムを通して初めて混合型数値計算法に関する研究に携わったため、当分野に関する知識が乏しい。そしてボルツマン方程式ではなくモデル方程式をもとにしていることから、まだまだ研究の初期段階にあり、新たな真理

の発見ができるかどうかは未知数である。

#### 【外国語のスキルアップ・コミュニケーション能力の向上，海外におけるネットワークづくり】

派遣の期間に二つの大学に滞在し，その間，計4回の研究発表を行いました(ボルドーで2回，トゥールーズで2回)．その発表形式はセミナー形式であったり1対1の個別であったりと，多様な研究発表の経験を積むことができました．特に個別形式は非公式なため，発表の途中で質疑応答を行う場合もあり英語の表現方法を磨くいい練習の場になりました．また短期間で発表の機会が集中したため，発表方法の改善が行いやすかったですしその動機にもなりました．

トゥールーズではトゥールーズ第三大学以外に Institut National des Sciences Appliquees (INSA) を訪問しました．INSA では実験，私は数値計算と色々な方法で現象を明らかにする試みがあることを知ることができました．そしてその実験を紹介して頂き，実験の難しさや方法を学ぶことができました．またポスドク等の若手研究者が各国から集まり研究を行なっていてその研究の話を伺えたのも良かったです．

2つの大学で共にその受け入れ先の準教授と彼らの研究成果について討議を行いました．ボルドーでは私の研究に直接役立つ知見を得られたわけではありませんが，はじめて海外の研究者と研究に関する討議を行うことができました．トゥールーズでは先方から共同研究を提案され，その研究内容について討議を行いました．共同研究では私の担う役割が大きく，そして研究に対し理解が不十分なことがあり，現在も連絡をとって研究を進めています．

#### 【派遣の感想】

学生時代に海外の大学で研究するという貴重な経験をさせて頂き，この場を借りて派遣プログラムにお礼を申し上げます．

派遣先での研究発表や討議から日本できちんと研究に取り組めば世界に通じる仕事ができることを実感できました．また受け入れ先の先生と話をし，日本への関心の高さや海外の国々の現状の厳しさを知りました．彼らにしたら日本の生の情報を知る機会ですので，ある程度，社会情勢に通じ考えを持っておくことも大切であると思いました．

留学先の大学で，同年代の研究者の人材交流が盛んで，様々な国の人々が集まり研究活動に取り組み，研究発表会や話し合いの場を積極的に作っている現状を目の当たりにしました．日本は地理的に北米や欧州と離れているためこのような機会を日常的に設けることは難しいですが，今回の派遣プログラムのように海外に行く機会を与えられた時に人脈作りや情報収集ができるように英語のスキルアップを続けなければならないと思いました．

派遣プログラムへの要望です．プログラムを使い留学するからには結果を伴わなければならないことは理解しています．しかしながら，派遣先の先生と面識がない場合や受け入れ先の先生が忙しい場合などあると思います．派遣プログラムに関わっている先生方もよく把握していると思いますが，このような中，短期間で共同研究を立ち上げ成果を上げることは非常に困難だというのが正直な感想です．