

京都大学教育研究振興財団助成事業
成 果 報 告 書

平成26年10月14日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 辻 井 昭 雄 様

所属部局・研究科 工学研究科

職 名・学 年 教授

氏 名 青 木 一 生

助 成 の 種 類	平成26年度・研究者交流支援・在外研究短期助成	
研 究 課 題 名	マイクロスケールにおける気体流の移動境界問題の研究	
受 入 機 関	チャルマーシュ工科大学, ボルドー大学	
渡 航 期 間	平成 26 年 8 月 27 日 ~ 平成 26 年 9 月 18 日	
成 果 の 概 要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()	
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	315,000 円
	使用した助成金額	315,000 円
	返納すべき助成金額	0 円
	助成金の使途内訳	渡航費の主要部分と滞在費の一部として使用
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 京都大学は国際交流の促進をうたっており、様々な企画が行われている。たとえば、今春には京都大学とボルドー大学の合同セミナーがボルドーで開催された。しかし、このようなトップダウンの企画が真の国際交流につながるかどうかは疑問である。大学当局が、各教員が個別に行っている国際交流を把握し、それらを総合的にサポートすることによってこそ、真の国際交流の発展が期待できると考える。京都大学教育研究振興財団の助成は、小規模ながらまさにそのようなサポートを実践するもので、非常に貴重な存在である。なお、近年の円安などで航空運賃、宿泊費が高騰しているため、助成金額の若干の上乗せが望まれる。	

成果の概要／青木一生

マイクロスケールや低圧環境における気体流では、気体分子どうしの衝突が十分ではなく、気体は局所的な熱平衡の状態に達することができない。このような気体に対しては、通常の巨視的な流体力学は適用できず、微視的情報を取り入れた分子気体力学を用いなければならない。マイクロ・ナノ技術の急速な発展に伴い、分子気体力学に基づくマイクロスケール気体流の研究が、様々な理工学分野で重要な研究テーマとなっている。

マイクロスケールの流れで実際に重要になる気体流は、流路の膨張・収縮やマイクロ梁の振動などのように、移動境界を含むものが多い。通常の流体力学では、移動境界問題は十分に研究されており、これを扱う数値解法も様々なものが提案されている。しかし、マイクロスケールの気体に対しては、分子気体力学の基礎方程式であるボルツマン方程式が、巨視的流体力学の方程式に比べてはるかに複雑であるため、移動境界問題の研究はほとんど行われてこなかった。ここ数年、数値的研究がやっと本格的に始まったが、ほとんどが通常の流体力学で開発された手法の安易な応用で、ボルツマン方程式の本質的構造に迫るものではない。申請者のグループでは、移動境界問題の本質にいち早く注目し、移動境界がもたらすボルツマン方程式の解の特異性とその振舞いについて、理論解析と数値解析によって大きな成果を上げてきた。この研究にさらに強固な数学的基盤を与え、それをもとに応用を目指した実用的数値解法を開発する研究を進める計画である。そのために、関連分野の世界的権威であるチャルマーシュ工科大学（スウェーデン）・数理科学科の **Bernt Wennberg** 教授およびボルドー大学*（フランス）・数学科の **Luc Mieussens** 教授の協力を得ようというのが本在外研究（短期）の目的であった。

まず8月27日～9月3日の期間、チャルマーシュ工科大学・数理科学科を訪問し、**Wennberg** 教授をはじめ、**Leif Arkeryd** 名誉教授、**Mohammad Asadzadeh** 准教授、**Alexei Heintz** 准教授などと緊密な研究討論を行った。具体的には、**Wennberg** 教授、**Arkeryd** 名誉教授に、青木らが形式的解析と数値解析によって解明してきた移動境界を伴うボルツマン方程式の境界値問題の解の構造について詳しい情報を提供した。これにより、ボルツマン型の運動論方程式に対して、移動境界がもたらす解の特異性についての厳密な数学的研究を行う方向性が定まった。また、**Asadzadeh** 准教授とは、ボルツマン方程式のモデル方程式、とくにその線形化方程式の有限要素法解析とそのマイクロ流路内の気体流への応用について、詳細にわたる情報交換を行った。さらに、**Heintz** 准教授からは、格子ボルツマン法による多孔質媒質内の液体流のシミュレーションとその製薬化学への応用についての最新の情報を得た。

次に、9月4日～9月17日の期間、ボルドー大学・数学科に滞在し、**Mieussens** 教授をはじめ、**Pierre Charrier** 名誉教授、**Stéphane Brull** 准教授、**Bruno Dubroca** 博士（ボルドー大学とフランス原子力委員会の合同研究所 CELIA の上級研究員）などと研究討論、研究情報の交換を行った。9月9日には「気体中の線形振子の減衰：空間1次元の場合」と題する講演を行い、青木らが最近行ったボルツマン方程式の移動境界問題の微妙で難しい数値解析についての情報を提供した。その後、**Mieussens** 教授と突っ込んだ議論を行い、青木らの数値解法と **Mieussens** 教授らの有限体積法と切断セル法を合わせた数値解法の利点・欠点について検討し

た。まずはテストケースとして、Mieussens 教授らの方法で青木らがこれまでに解析した問題を解き、効率と精度を調べることになった。一方、Brull 准教授は最近、ボルツマン方程式のモデル方程式を構築する一般的スキームを見出し、これをもとに混合気体、多原子分子気体、反応性気体に対する緩和型モデル方程式の構築で大きな成果を上げている。同准教授との緊密な討論により、有用な情報を得るとともに、それらのモデル方程式を応用すべき物理現象について、先方に有益な情報を与えることができた。また、Charrier 名誉教授とは、固体表面における表面拡散の運動論的取扱いおよびそのアプローチによるボルツマン方程式の境界条件の構築について議論した。さらに、Dubroca 博士からは、ITER に関連するプラズマの不安定現象とその運動論的解析についての最新の情報を得た。また、化学系学科の Gerard Vignoles 教授とは、多孔質内の気体流に対する運動論的アプローチと均質化法について、研究情報の交換を行った。

上に名前を挙げた研究者とはすべて旧知の間柄で、とくに Mieussens 教授、Charrier 名誉教授とは共同研究を行い、共著論文を出版した経験がある。したがって、お互いの研究背景をよく知っているため、短時間に本質的な研究交流を実践することができた。この意味で、今回の計 3 週間の滞在は、双方にとって非常に実り多い物であった。このような有意義な研究交流の実現を可能にして頂いた京都大学教育研究振興財団に対し、深く感謝いたします。

*申請書ではボルドー第 1 大学と記したが、今年になってからボルドー第 1 大学、第 2 大学、第 4 大学が統合され、ボルドー大学となった。