

「秋田大学研究者海外派遣支援事業」帰国報告書

平成 21 年 11 月 10 日

所属・職名：工学資源学部機械工学科・准教授

氏名：足立 高弘

派遣期間：2008 年 9 月から 2009 年 3 月末まで

派遣研究機関名：英文 Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg

：和文 フリードリヒ-アレクサンダー大学 エアランゲン-ニュルンベルグ

研究課題：マイクロ流路内の剥離を伴う流れの数値解析

○研究概要（2000字程度）

ドイツでは、Erlangen 大学の Prof. Durst のグループに参加して、非常に狭いマイクロスケールの隙間を通過する気体流れの問題(マイクロ流路流れ)に取り組んできた。このようなマイクロスケールの熱流動現象では、クヌーセン数 $Kn = \lambda / h$ (λ は分子の平均自由行程, h は流路の幅) の値によって流れが分類される。 $Kn > 10$ の範囲では、流路幅が小さく分子の平均自由行程が大きいので、流れは希薄流となる。一方、今回のテーマであるマイクロスケールでは、 $Kn < 0.1$ の範囲であり、この範囲では通常流れは連続体で壁面では粘性応力が働くと考えられている。 $Kn < 0.1$ の範囲においては、マイクロバルブやマイクロノズルおよびマイクロポンプなどの工学的応用例がある。

このマイクロ流路流れを実験的に調べると、測定される質量流量がその条件に対応するマクロな理論的な見積もり(ポアズイユの法則) より大きくなることが知られている。この相違を解消するために、数値計算においては流路壁において流体がスリップする条件が導入される。この境界条件の変更を行うと、実験結果と理論的な見積もりとの相違が解消される。しかしながら、マクロな連続体としての取り扱いが可能で壁面でスリップしないと見なせる領域 $0.01 < Kn < 0.1$ においてさえスリップ条件が用いられており、物理的に不適切な取り扱いがなされているのが現状である。さらに、これらのスリップ条件を用いたモデルは、問題毎に適応係数が用いられている。その係数を実験結果を基に修正することが必要であり様々なモデルが存在する。つまり、マイクロ流路の流れを数値的に予測するためには、予め実験を行うことが必要となる。また、連続体の方程式を用いるにもかかわらず、境界条件には希薄流の条件を用いている問題をクヌーセンのパラドクスという。

工学的応用に現れるような複雑なマイクロ流路では、流れが剥離を伴うことが予想される。そのような流れと熱移動に関する理論的および数値的な取り扱いは、スリップ条件を用いて行うことが出来ない。これは、剥離現象が基本的には壁面で流体がスリップしないで、粘着する

ことで生じる現象だからである。そこでドイツでは、マイクロ流路内の剥離を伴う流れと熱移動について、流れ場と温度場をモデルの導入無しに数値的に求める方法についての研究を行ってきた。上述の拡張ナビエ・ストークス方程式を理想気体の場合について単純化の仮定を設けることなく数値的に解く方法の開発に取り組んできた。Erlangen大学のProf. Durstの研究グループでは、マイクロ流路内の流れに関して、これまでとは全く異なるアプローチからの研究を行っている。すなわち、これまで行われてきたような境界条件をスリップ条件に修正する方法に代えて、基礎式であるナビエ・ストークス方程式をマイクロスケールの流れに対応できるように拡張しようという取り組みである。壁面ではマクロな連続体の場合と同様に粘着条件（スリップしない条件）を課して流れ場を求めるというものである。我々のグループでは、マクロな流れを取り扱う場合には通常無視される分子拡散流を基礎式に取り入れることによりマイクロ流路での数値予測を行うことに取り組んだ。

○研究期間全般にわたる感想

（写真等があれば添付願います）

1) 大学の様子



大学は、昔の宮殿を使っていて古くて立派な感じのたてものと、モダンな建物の両方があった。



時々、キャンパスでイベントが行われていた。右はグループ5人の服や持ち物をどれだけ長くつなげられるかというようなゲームだった。

2) 仲間



研究室には、博士課程後期の学生が17人もいて驚いた。一緒に学会にいたり、ハイキングにいたりもした。



留学生や研究者向にドイツ語を教えてくれるコースがあった。その仲間がお別れ会を開いてくれた。

3) 食べ物



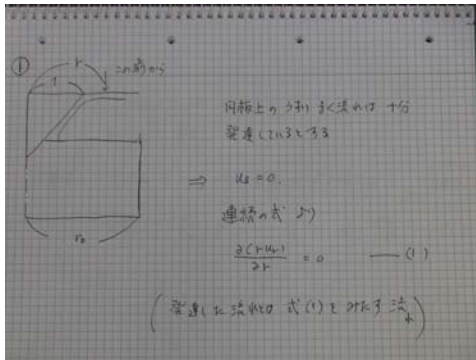
こんな感じの物をたべてました。左上は学食メニューの一例、右上はデカイ豚カツ2枚。左下はネパール人の友人とカレーパーティーしたときの料理です。右下は、Erlangen の名物の鯉料理。

4) 年中行事



クリスマスマーケットの様子

5) その他



秋田の研究室学生とはメールやメモを写真にしてやり取りしていました。卒業研究の4年生には迷惑をかけてしまいました。

※報告書は、国際交流センター刊行物（Webサイト含む）に公開を予定しております。