

カリフォルニア工科大学滞在記*

My ongoing research at CALTECH

真田 俊之**
SANADA Toshiyuki

1. はじめに

平成 20 年 12 月から約一年間の予定で、静岡大学工学部村川二郎基金の支援により、カリフォルニア工科大学 (California Institute of Technology, Caltech) に滞在している。カリフォルニア工科大学はロサンゼルス北東約 15 キロに位置する、パサデナという街にある。小規模ながら、多数のノーベル賞受賞者を輩出し、世界の大学ランキングのトップクラスを維持している大学でもある。大学の詳細はご存じの方も多いと思うので、滞在中に経験した研究姿勢・教育方針の違いや、滞在中での混相流研究についてふれることにする。

2. 研究内容

2.1 Computational Flow Physics Group

私を受け入れてくださった研究者は Prof. Tim Colonius 先生で、まだ 40 代半ばである。Colonius 先生は研究室の名の通り数値解析をメインのツールとして研究されており、音響学や混相流が専門である。研究室は大きく二つのグループに分かれている。一つは Flow Control で、幅広いスケールにおいて (すなわち乱流から層流まで)、騒音の制御から抗力の制御などを対象としている。もう一つはキャビテーショングループで、私はそちらに所属している。

キャビテーショングループは Prof. Brennen 先生と共同で運営しており、比較的人数も多い。主として取り扱っているテーマは、海軍のテーマとして、マクロスケールでの気泡流中の衝撃波の伝播、ミクロスケールでの衝撃波と気泡の相互作用がある。また NIH のテーマとしては衝撃波結石破壊法 (Shock Wave Lithotripsy) における、収束衝撃波のシミュレーションやミクロスケールでの気泡の役割などを研究している。それぞれのグループにおける最近の代表的な論文を文献として紹介しておく [1-8]。また Colonius 先生のユニークな点は、最新の計算結果を動画投稿サイトである You Tube に投稿しているところなどである。詳細はウェブページを参照されたい [9]。

私は、本格的に圧縮性の流体力学を研究したことが無く、この機会を利用してチャレンジすることにした。高速で壁面へ衝突する液滴の数値解析を主目的とし研究を行っており、文献 [2] の高精度リーマンソルバーを改良しながら、研究している次第である。

2.2 Explosion Dynamics Laboratory

どういう事情があるか私には分からないが、ある日突然、GALCIT (Graduate Aeronautical Laboratories of California Institute of Technology, 航空学専攻の大学院) の Prof. Joseph E. Shepherd 先

* 200#.###.## 受付

** 静岡大学工学部機械工学科 〒432-8561 浜松市中区城北 3-5-1

TEL: (053)478-1605 FAX: (053)478-1605 E-mail: ttsanad@ipc.shizuoka.ac.jp

生から電子メールを頂き、共同研究をしないか？と誘われた。おそらく Colonius 先生が紹介してくださったのだと思う。圧縮性流体力学の実験も学べるのであれば、と快諾した。Shepherd 先生は、デトネーションの研究で世界的に有名で、建物の地下一階および二階には、(私から見れば)とても激しい実験装置が並んでいる。詳細はウェブページを参照されたい[10]。

私が誘われた研究テーマは、固体-液体の連成問題をさらに複雑にして、固体であるパイプの中に液体があり、そこに気泡が存在した場合、衝撃波はどう伝播するか？という問題である。古くより気泡流中の衝撃波伝播に関しては数多くの研究がなされているが、今回行う研究はそれに比べ圧力比が非常に高い。管を变形させるほどの圧力波がどう伝播するかを計測する。

ポンド・インチ系の単位で実験することや、英語のカタログと戦いながらの実験装置製作は苦労も多いが、良い経験である。



Photo 1 Cavitation Gr. meeting.



Photo 2 Beer time at Athenaeum.

3. 研究・教育について

ここからが本題である。こちらでは、どのように研究や教育が行われているのか？私自身最も興味があった点である。まず Colonius 先生のグループについて述べる。

キャビテーショングループでは、決まりは一つだけである。毎週月曜日のミーティングだ。と言っても、それほど強制力も無く、簡単に休む学生もいる。「そう言えば彼いないね？」という感じで深く突っ込む様子も無い。全てが自主的というのが印象深い。ミーティングの方針も、各個人が、考えたこと、やってみたことを主張し、議論する。特に印象に残っている点として、教育に力を入れていることが挙げられる。例えば、あるスキームに対して、学生が意見を述べたときに、Colonius 先生が「それをやってみたのか？」と聞く。続いて「僕はやって経験しているから知っているが、君はやったことが無いはずだ。だからやってみても時間の無駄じゃない」と言った類のコメントが目立つ。つまり全体のプロジェクトの進行よりも学生の教育を優先するのである。

この考えはおそらく Caltech 全体の風潮だと思う。大学院生は、最初の2年はほとんど座学のみで費やす(修士論文は書かずとも Master Degree は取得できる)。その後3年から4年かけて一つのテーマに集中する。大学院の平均在学期間は6年から7年らしい。また世界のトップとの意識も強く、「これは世界で誰も成功していない」という難題があれば、「それこそ Caltech の研究テーマだ」と言った発言が自然と聞かれる。そのため、出てくる成果の質は非常に高い。また、つねに最新の事を行うという使命を持っているためか、過去の事例に対してはオープンであり、数値解析用のソースコードも簡単に頂いた。過去の博士論文を全てウェブで公開しているのも特筆すべき点である。

研究室もユニークである。私は実験系の研究室出身のため計算の研究室が想像できなかったが、Colonius 研では、各個人の居室とは別にグループの部屋がある。昔実験室だったその部屋は、机と計算機が置かれ、各人が研究を行っている。個人で作業することが多いと思われる計算だが、実際は協力すればかなり効率的に物事が進む。計算を行っている際に出会う困難は、ほとんど誰かが経験しており、皆で情報を交換することによって解

決する。ということで、私も学生さんの部屋に滞在している。唯一の研究資源は計算機で、やはり驚くスペックである。現在、キャビテーショングループでは、160のCPUを5人で使用している。

私が勝手に、各自が独立しバラバラだ、と想像していた計算グループは非常に仲が良く、何かあると飲み会である。飲み会もたいていは学内のAthenaeumと呼ばれる食堂兼宿泊施設(大学の食堂とは別の会員制の施設である)で行われ、彼女を連れてきたりと、家庭的な雰囲気である。

またセミナー等の環境も恵まれている。そのため学会に行かずとも最新の情報を集めることができる。例を挙げると、流体に関する事項だけでも、月曜日は応用数学系のセミナー、水曜日は機械工学科のセミナー、そして金曜日はGALCITのセミナーと幅広い知識を得られるよう工夫されている。

次に実験系研究室である、Shepherd先生の運営について述べる。Shepherd先生の運営も自らやることや問題点等を挙げて、ミーティング時に相談、その後実行に移すという流れは同じである。ただ、Colonius先生との違いは、決定権である。実験ではお金がかかり、一つのことを試すのにかなりの時間を有する。そのため、アイデアを実行するか辞めるかはShepherd先生が決める。ミーティングも全員で行うのではなく、研究テーマ毎に分かれて行う。またミーティングも2週間に一度であり、毎回のように実験室まで一緒に足を運び、いろいろと相談する。計算では週に一度、実験では2週に一度というミーティングの頻度は、ちょうど良いと感じる。

先に述べたように、大学院の前半は座学が中心である。そのため、一年生は正式には研究室に所属していない(各個人が奨学金を得て来ている)。そこで、毎週金曜日は、上級生の大学院生が交代しながら各人の研究を下級生の大学院生に説明するという行事がある。タダでピザが食べられるため、私も数回参加したが、そのレベルの高さに驚いた。上級生が主張して、下級生が質問する。この一見シンプルに見える会が、実質は学会のようである。このような日常からもレベルの高さを痛感した。(会自体を学生のみで運営・実行している時点で驚きである。)

4. おわりに

長いと感じていた滞在もあっという間に半分が過ぎ、残り4ヶ月程度となった。

今回の滞在は静岡大学齋藤隆之先生に勧めていただきました。静岡大学工学部機械工学科の先生方には不在中大変ご迷惑をおかけしています。東京大学高木周先生にはTim Colonius先生を紹介して頂きました。また、静岡大学大学院の水谷浩也君には、不在中の雑務(郵便等)を対応してもらっています。その他大勢の方にお世話になっています。ここに記して深くお礼申し上げます。最後に、単身での海外滞在を速くから支えてくれる家族に感謝の意を伝えたい。

参考文献

- [1] Ando K., Colonius T. and Brennen C. E., Improvement of acoustic theory of ultrasonic waves in dilute bubbly liquids, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 126(3), xxx-xxx (2009).
- [2] Johnsen E. and Colonius T., Numerical simulations of non-spherical bubble collapse, *J. Fluid Mech.*, Vol. 629, 231-262 (2009).
- [3] Johnsen E. and Colonius T., Shock-induced collapse of a gas bubble in shock wave lithotripsy, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 124(4), 2011-2020 (2008).
- [4] Taira K., Colonius T., Three-dimensional flows around low-aspect-ratio flat-plate wings at low Reynolds numbers, *J. Fluid Mech.*, Vol. 623, 187-207 (2008).
- [5] Colonius T., Hagmeijer R., Ando K. and Brennen C. E., Statistical equilibrium of bubble oscillations in dilute bubbly flows, *Phys. Fluids*, Vol. 20, 040902 (2008).
- [6] Bres G. and Colonius T., Three-dimensional instabilities in compressible flow over open cavities, *J. Fluid Mech.*, Vol. 599, 309-339 (2008).
- [7] Rowley C. W., Williams D. W., Colonius T., Murray R. M., MacMynowski D. G., Linear models for control of cavity flow oscillations, *J. Fluid Mech.*, Vol. 547, 317-330 (2006).
- [8] Colonius T. and Lele S. K., Computational aeroacoustics: Progress in nonlinear problems of sound generation, *Progress in Aerospace Science*, Vol. 40(6), 345-416 (2004).
- [9] <http://poisson.caltech.edu/>
- [10] <http://www.galcit.caltech.edu/EDL/>