

第3回「持続可能性と地球環境の流体力学に関する サマースクール」参加報告*

野口 峻 佑*¹・齋藤 泉*²

1. はじめに

ケンブリッジ大学応用数学・理論物理学科 (Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, 略して DAMTP) において, 2014年9月1日から12日までの約2週間にわたる, 持続可能性と地球環境の流体力学 (Fluid Dynamics of Sustainability and Environment) に関するサマースクールが開催された。

本スクールは, 1991年から2006年まで DAMTP において開催されていた, 地球環境流体力学に関するサ

マースクール (過去のスクールについての情報は, 石岡 (1994), 田口 (2000), 杉本 (2004) を参照されたし) が, エコールポリテクニクとの共催によって2012年より復活したものであり, 今回は現形式になってからの3回目にあたる。

復活後のスクールの様子について, 興味を持つ方もいると思われるため, 日本から参加した2名が簡単に報告する。なお, 本スクールへの応募方法等, 詳しい情報はスクールのホームページ (<http://fdse.org/>) に掲載されている。

2. スクールの概要

本スクールの目的は, 地球流体力学および環境流体力学の基礎的事項を学び, それを実際の事象に適用する力を養うための手ほどきを受けることにある。そのため, 講義・招待講演に加え, 豊富な室内実験・計算機演習が用意されており, 参加者は講義で学んだ現象を実際に体験することができる。この点は過去から受け継がれてきたこのスクー



第1図 参加者の集合写真。

ルの大きな特徴であり, スクールの名称に「持続可能性」が加わり, 実学的側面が増えようとも変わらないものようである。

参加者は, 大学院博士課程の学生を中心に50名程 (第1図) で, 欧米からの参加が大半 (上からイギリス, フランス, アメリカ, ドイツ, オーストラリアの順で, アジアからは著者ら2名のみ) を占めた。スクール初日の夕刻に, 自己紹介を兼ねたポスターセッ

* Report on the 3rd Summer School in Fluid Dynamics of Sustainability and the Environment.

*¹ (連絡責任著者) Shunsuke NOGUCHI, 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, noguchi@dpac.dpri.kyoto-u.ac.jp

*² Izumi SAITO, 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻。

© 2015 日本気象学会

ションが開催されたが、純粋な流体力学から船舶での観測まで、多様な研究背景を持った参加者の構成であった。なお、各自のポスターはスクール1週目を通じてDAMTPのコモンルームに掲示され、講義の合間などに講師を交えた参加者間での活発な議論が見られた。

3. 講義・招待講演

スクール中のスケジュールは、午前中に講義を3コマ（1コマ60分）受け、午後には後に述べる室内実験・計算機演習の後、夕食前にさらにもう1コマ講義か招待講演が続くというものであった。第1表に講義と招待講演の一覧を示す。

講義は大きく基礎と応用に分けられ、流体力学の基礎の基礎から、講演者の研究内容と絡めた最新の話題まで、段階的に進んでいった。特に R. Plougonven と V. Zeitlin の流れの不安定についての講義は、系統的で分かり易かったと参加者の間でも好評であった。また、各講義には随所に工夫が見られた。例えば、J.-M. Chomaz は次元解析（Buckingham の II 定理）の説明の際に「ハリウッドの特撮で、巨人の動きを違和感なく見せるためには、フレームレートをどう変えるべきか？」といった面白い問いを投げかけてきたり、G. Worster は海水の mushy layer としての特質を直感的に理解してもらうために、講義の最初にデモ

第1表 講師、講義数および講義テーマ。

| | | |
|----------------|---|--------------|
| 基礎講義 | | |
| J.-M. Chomaz | 3 | 流体力学の基礎 |
| P. Linden | 3 | 地球流体力学の基礎 |
| R. Plougonven | 2 | 流れの不安定 |
| V. Zeitlin | 1 | 大気・海洋における不安定 |
| C. Caulfield | 3 | 環境流体力学の基礎 |
| P. Haynes | 3 | 大気物理学入門 |
| J. Taylor | 3 | 海洋物理学入門 |
| 応用講義 | | |
| A. Woods | 3 | 流れとエネルギー |
| E. Shuckburgh | 3 | 気候科学 |
| C. Muller | 3 | 雲と気候 |
| G. Worster | 3 | 海水・氷床の流体力学 |
| J. Neufeld | 3 | 持続可能性の流体力学 |
| 招待講演 | | |
| M. McIntyre | 1 | 大規模大気力学 |
| S. Sparks | 1 | 火山とリスクアセスメント |
| S. Bittlestone | 1 | 石油探査 |

ンストレーションを行ってみせたりした。他にも、C. Muller は扱うトピックが雲であることを活かした、写真と絵をふんだんに使った講義を展開し、講義尽くの日々をおくる参加者を飽きさせなかった。

講義中は、セミナー室のいたるところから手が挙がり、いかなる疑問に対しても真摯に向き合う姿勢が印象的であった。P. Haynes の大気物理学の講義では、特に質問が活発で、結果として予定していた内容の半分しか進めない程であった（実は残されたトピックが彼の得意とする成層圏-対流圏結合変動であり、彼自身からこの話を聞くことを楽しみにしていた著者らは、充実した質疑応答とのジレンマに苛まれた）。

招待講演では、このスクール開始時からの中心人物であり、ほぼ全ての講義に参加していた M. McIntyre による彼の洞察に基づいた深い話以外にも、S. Sparks による火山噴火のリスクアセスメントや、S. Bittlestone による民間企業での石油探査の実例など、幅広い話が聞けた。なお、当初は他に、T. Woollings による「ストームトラックと気候変化」、H. Johnson による「南極周極流」についての講演が予定されていたが、両名は事情により来られず、代わりに J.-M. Chomaz による「流体とアート」についての講演が入った。これに関して、スクールの終わりに M. McIntyre が、室内実験のテーマの1つとして行った「アートプロジェクト」と絡めて、「学問であろうと芸術であろうと、人間が情熱を持って取り組む対象である点に変わりはないのだ」と綺麗にまとめてくれたが、様々な尺度に触れる良い機会を得られた。

4. 室内実験・計算機演習

初日と最後の2日以外の午後には、少人数のグループに分かれ、室内実験（第2表）と計算機演習（第3表）を1日ずつ交互に行った。

室内実験は S. Dalziel の指導の下、かの有名な G. K. Batchelor 実験室で行われた。各グループは第2表の中から割り当てられた4つの実験に取り組んだ。これらの実験はおおよそ講義で扱われた内容に対応しており、学んだ現象を直接目で見たり、基本的な法則が成り立っていることを確認することができた。例えば、著者両名とも体験した実験 E（重力流）では、塩分濃度の差で生じる水槽中の重力流を計測することで、C. Caulfield の講義「環境流体力学の基礎」で学んだ重力流の振る舞いの特徴（重力流の前線の進行速度が低減重力に比例したり、発達段階に応じて進行速度が変

第2表 室内実験のテーマ。

| |
|--------------|
| A: 混合 |
| B: 多孔性媒質中の流れ |
| C: 沿岸の流れ |
| D: 均質回転流体 |
| E: 重力流 |
| F: 内部波 |
| G: プリューム |
| H: アートプロジェクト |

化することなど)を実際に確かめた。他にも、混合過程に関わる様々な現象(Kelvin-Helmholtz不安定, Rayleigh-Taylor不安定, 二重拡散対流など)を扱う実験A(混合)や, 巨大な回転水槽を用いてEkmanパンピングやRossby波の伝播する様子を観察できる実験D(均質回転流体)などがあり, 全てを体験できないことが残念なほどに, 魅力的な実験が多かった。

一方, 計算機演習ではJ. Taylorの指導の下, 彼らの用意したMATLABプログラムを用いて第3表のテーマについてシミュレーションや解析を行った。用意されたプログラムは, 2次元のBoussinesq方程式を有限差分法により解くもので, 境界条件・パラメータ・強制・初期値等の設定を簡単に変更することができた。これらの設定をテーマごとに用意された実習テキストに従って調整すれば, すぐにシミュレーションができるようになっていた。実習テキスト内にはいくつか問いが用意されており, これをシミュレーション・解析を繰り返して解決していくことで, 現象のより深い理解を得ることができた。

最終日には, 各グループが室内実験と計算機演習のそれぞれから1つずつのテーマについて結果や解釈を発表した。

4. スクール中の生活

スクールの参加者は, ケンブリッジ大学の学寮の1つであるChurchill College(スクールの会場となったCentre for Mathematical Sciencesから徒歩3分, 通りを挟んですぐ北側にある)に寝泊まりし, 朝食から夜遅くまで, 活発な議論・交流を行った。特に, 上記の実験・演習の最終発表が近づいてくると, その打ち合せのためにチームで寮内のパブに集まり, 夜遅くまで話し合うことが多くなった。

講師とも非常に活発な交流が行われた。特にM.

第3表 計算機演習のテーマ。

| |
|--------------|
| 1: 密度の効果 |
| 2: 成層シア流の安定性 |
| 3: 生物対流 |
| 4: 植物プランクトン |
| 5: 成層乱流 |
| 6: Rossby波 |



第2図 バーベキュー中の一コマ。

McIntyreが, 学生達に積極的に絡んでいき, 参加者一人一人の話をしっかり聞いて回っていたのが印象的であった。週末にはカレッジの中庭でバーベキュー(第2図)が, 最終日の前日には英国式フォーマル・ディナーが行われたが, このような機会に普段学会などではなかなか同席できないような大御所と研究に限らず様々な話をするというのは新鮮であった。

他にも参加者は, 少しでも時間があれば芝生の上でフリスビーに興じたり, 休みの日には名物であるパンティング(ケム川での舟遊び)に連れ立って行くなど, ケンブリッジでのサマースクールを満喫した。

5. おわりに

本サマースクールでは, 実験にしても演習にしても, 目の前の現象に対して, とにかく自分なりの考察を加えることが求められていると強く感じた。これを英語で行うのはややハードルの高いことではあったが, ボキャブラリーの中から自分の主張に相当する言葉を何とかひねり出し, ようやく納得してもらえた時は快感であった。気の良いチームメンバーにだいふ助けられてではあったが, このスクールの醍醐味を少し

は感じ取ることができたと思う。

また、スクール終了後、学部時代からの知り合いである P. Hitchcock (DAMTP でポストドク中) とオープンカフェで情報交換をしていると、学期外ということで DAMTP に遊びに来ていた G. Esler と偶然にも会うことができた。ちょうど自分の最近の研究 (成層圏周極渦分裂現象を対象にしたアンサンブル予報実験) と関連して、極渦分裂を順圧モードの励起で説明しようとしている彼の研究 (例えば Esler and Scott 2005 など) に興味を持っていたので、彼を交えて色々話が弾んだ。思いがけない幸運に恵まれ、有益な議論ができたので、今後の励みとなった。

2週間という短い期間であったが、自分達の今後の研究生活のために、非常に有用な経験を積むことができたと思っている。(野口峻佑)

本サマースクールでは、現象の数式的記述にとどまらず、物理的・直観的な解釈を徹底して行う姿勢が随所に感じられた。基礎理論として知ったつもりになっていたことでも、つきつめた説明を聞くことではとさせられることが多々あった。これに触発されて、私もグループのメンバーと数多くの議論を行った。特に発表課題については、最大発達率を持つ固有モードの構造の意味や、無次元数の表式の由来などについて発表直前まで話し合い、良い思い出となった。

一方で、自身が現在研究している球面浅水系における赤道西風形成の問題については、M. McIntyre から多くの有益なコメントを頂いた。特に、Rossby モードや混合 Rossby 重力波モードが赤道において西

風加速を起こすことが、彼の過去の論文 (Andrews and McIntyre 1976) の枠組でいかに説明されるかについての解説は、問題への理解を深めるとともに、今後の研究への励みとなった。(齋藤 泉)

なお、本サマースクールは、ケンブリッジとエコールポリテクニクとで交互に主催を回すとのことであり、次回はパリで開催の予定である。日本からもより多くの参加者があればと思う。

最後に、このスクールに参加する機会を与えて頂いた、京都大学防災研究所の向川 均教授、榎本 剛准教授、京都大学大学院理学研究科の余田成男教授、石岡圭一准教授にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- Andrews, D. G. and M. E. McIntyre, 1976: Planetary waves in horizontal and vertical shear: The generalized Eliassen-Palm relation and the mean zonal acceleration. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 2031-2048.
- Esler, J. G. and R. K. Scott, 2005: Excitation of transient Rossby waves on the stratospheric polar vortex and the barotropic sudden warming. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 3661-3682.
- 石岡圭一, 1994: 第3回地球環境流体力学に関するサマースクール参加報告. *天気*, **41**, 165-166.
- 杉本憲彦, 2004: 第13回地球環境流体力学サマースクール参加報告. *天気*, **51**, 155-157.
- 田口正和, 2000: イギリス・ケンブリッジでの「地球環境流体力学夏の学校1999」に参加して. *天気*, **47**, 295-297.