

EUCLIPSE 雲と気候に関するサマースクール参加報告*

釜 江 陽 一*1・小 玉 知 央*2・武 石 あずさ*3

1. はじめに

2013年6月24日から7月5日の12日間にかけて、フランス南東部、アルプスの麓レ・ズッシュ (Les Houches) にて開催された、雲と気候をテーマにしたサマースクールに参加した。このサマースクールは、EU からファンドを受けている EUCLIPSE が主催し、KNMI (オランダ) の P. Siebesma, LMD/IPSL (フランス) の S. Bony, MPI-M (ドイツ) の B. Stevens, モナシュ大学 (オーストラリア) の C. Jakob の指揮によって実施された。

会場となった École de Physique des Houches (第1図) は、第1回冬季五輪が開催されたシャモニーに近い山麓にあり、ここでは年間を通して物理学に関わる様々なテーマのスクールが開催されている (例えば羽角・榎本 1998)。会場からは、イタリアとの国境にまたがるモンブラン山群の壮大な景色を眺めることができる。

参加者は全54名で、修士課程から博士課程の学生、博士課程を出たばかりの若手研究者で構成されていた (第2図)。サマースクールは EUCLIPSE が主催したこともあり、欧州圏の大学・研究機関からの参加者が多数を占めた。次いで、アメリカ、日本 (釜江・小玉の2名)、中国 (1名)、インド (1名) からの参加者があった。なお欧米の機関から、出身国としては日本人 (武石の1名)、中国人 (2名)、ベトナム人 (1名) の参加者もあり、アジア圏の参加者も少なくな

かった。女性の参加者が約半数と大きな割合を占めていた。

2. 講義

サマースクールは参加者によるポスター発表と、講義、課題によって構成されていた (第1表)。講義は通常講義と特別講義の2種類があった。

通常講義は13のテーマについて講師1人が1つのテーマを担当し、それぞれ数コマに分け、午前 (9時~12時30分) に3コマ、夕方 (18時~19時) に1コマ、それぞれ1時間ずつ行われた。特別講義は、2日に1度の頻度で主に夜間 (一部、スケジュールの都合で午前)、5人の講師が担当した。

2.1 通常講義

MPI-M の L. Nuijens はサマースクールのイントロダクションとして、雲研究発展の歴史について概説した。発展に不可欠なモチベーションとしての“恐怖” (極端現象に伴う気象災害など) について解説していたのが釜江にとって印象的であった。



第1図 会場となった École de Physique des Houches. 写真の建物は宿泊棟の1つ。

* Report on the EUCLIPSE International Summer School on “Clouds and Climate”.

*1 (連絡責任著者) Youichi KAMAE, 国立環境研究所. kamae.yoichi@nies.go.jp

*2 Chihiro KODAMA, 海洋研究開発機構.

*3 Azusa TAKEISHI, イェール大学.



第2図 参加者集合写真。

第1表 講義と課題一覧。

種類	内容	講師
通常講義	雲と気候 イントロダクション	L. Nuijens (MPI-M)
	雲と放射	H. Chepfer (LMD/IPSL)
	雲と熱力学	B. Stevens (MPI-M)
	雲微物理	H. Pawlowska (ワルシャワ大学)
	概念・理論モデル	S. de Roode (デルフト工科大学)
	雲解像モデル	F. Guichard (CNRM)
	気候モデルで再現される雲過程	P. Siebesma (KNMI)
	気候モデルにおける雲の再現性	C. Jakob (モナシュ大学)
	熱帯・亜熱帯の雲システム	G. Bellon (CNRM)
	温帯・極域の雲システム	G. Svensson (ストックホルム大学)
	雲と気候感度	S. Bony (LMD/IPSL)
	雲とエアロゾル	J. Quaas (ライプツィヒ大学)
	雲と陸面の相互作用	C. Hohenegger (MPI-M)
特別講義	進行する温暖化と山岳環境	L. Ravelle (サポア大学)
	放射対流不安定	K. Emanuel (マサチューセッツ工科大学)
	気象予報・気候変化予測における不確実性	J. Slingo (Met Office)
	雲放射フィードバックとMJO	A. Sobel (コロンビア大学)
	モンスーンのダイナミクス	S. Bordoni (カリフォルニア工科大学)
グループ課題 (ディスカッション)	<ul style="list-style-type: none"> - 地球が自転していないとしたら - 雲粒子からの正味蒸発量が0であったら - 雲の放射強制力が0であったら - 水の蒸発潜熱が3倍, 1/3倍であったら - 雲が短波放射に対して黒体であったら 	
グループ課題 (ディベート)	<ul style="list-style-type: none"> - 気候モデルの数は多すぎるか - IPCCは有害か無害か 	

LMD/IPSLのH. Chepferは雲と放射の相互作用について解説し、様々なサイズ・形状の雲粒子から放射特性を調べる難しさについて紹介した。また、CloudSat/CALIPSOといった衛星観測から分かる雲情報について解説した。

B. Stevensは雲を伴う大気の大気熱力学について、スライドを一切使わず、板書によってダイナミックな講義を展開し、参加者は熱心に聞き込んでいた。地球全体では、下降流に比べると上昇流の方が面積は狭くて絶対値は大きい。当たり前のようであり意識しないこの事実を、湿潤断熱減率(約6 K km⁻¹)と乾燥断熱減率(約10 K km⁻¹)の大小関係から直感的に説明できる、という話が小玉の印象に残った。

ワルシャワ大学(ポーランド)のH. Pawlowskaは暖かい雲・冷たい雲を含む雲微物理を基礎から解説した。

デルフト工科大学(オランダ)のS. de Roodeは大規模場の強制下における境界層のモデリングについて、理論と実際のパラメタリゼーションの手法を詳しく解説した。

CNRM(フランス)のF. Guichardは雲解像モデリング全般を担当し、計算機資源の向上とともに発展したLES, CRMの歴史について解説した。特にTOGA-COAREの観測と

CRM シミュレーションの結果から、 Q_1 、 Q_2 （見かけの加熱量、潜熱加熱量）の鉛直プロファイルの再現性について議論していた点が釜江の印象に残った。

P. Siebesma はラージスケールのモデルにおける雲に関連したプロセスの再現性について、モデルにおける解像・サブグリッド過程の違いや、混合層・積雲対流プロセスのスキームについて講義を行った。基礎に重きを置きつつも、最先端の取り組みについて代表的な研究例を交えて紹介した。

C. Jakob は雲を含む気候モデルの再現性評価についてユーモアを交えながら解説した。モデルを評価するための“真実”とは何かを知ることの難しさ、Transpose-AMIP（室井 2012）や衛星シミュレータ（増永 2011）といった代表的な評価手法、その問題点を解説した。

S. Bony は雲に関連した気候感度や水循環感度の基本的な概念と、その変動メカニズム、不確実性について、近年の研究を交えて紹介した。

CNRM の G. Bellon は、メソスケール対流システムから大気大循環を含む熱帯・亜熱帯の大気循環と雲システムについて解説した。

ストックホルム大学（スウェーデン）の G. Svensson はノルウェー学派の温帯低気圧の理論から、CMIP マルチモデルで表現されている海水をはじめとした北極域の環境場とその変動など、中高緯度と極域の雲・気候システムについて概説した。

ライプツィヒ大学（ドイツ）の J. Quaas は、エアロゾルを介した雲の気候への複雑な作用について、短い時間ながら網羅的な解説を行った。特に乾性・湿性沈着過程を含むエアロゾルの基本的な振る舞いについて、第 1 種・第 2 種間接効果を中心に解説した。

MPI-M の C. Hohenegger は空間・時間的に変動の大きい陸面と雲の相互作用について、アマゾンの大規模な森林伐採は降水を増加させるか？減少させるか？という問いかけをベースにして解説を行った。モデルの大陸上の高温バイアスに悩む小玉にとって、陸面の不均一性と降水日変化（時間・量）の関係を調べたシミュレーション結果は強く印象に残った。

2.2 特別講義

サボア大学（フランス）の L. Ravanel は、河川地形学を専門とする立場から、氷河をはじめとする山岳環境の地球温暖化に伴う変化について、氷河や山体の崩壊の様子を映した動画を交えながら紹介した。氷河の後退に伴う山肌の大規模な崩壊の様子は、氷河を取

り巻く山岳環境が常に動いているものであると、参加者に強く印象づけた。

マサチューセッツ工科大学（米国）の K. Emanuel は放射対流不安定についての講義を行った。まず基礎的な放射平衡、放射対流平衡の理論からスタートし、降雨強度と雨滴落下終端速度の競合によって起こる放射対流不安定について興味深い講演を行った。Emanuel は現在も自身の研究成果の発信を続けており、今なお第一線の研究者としての生活を楽しんでいるようであった。

Met Office（英国）の J. Slingo は気象および気候予測の不確実性について丁寧な講義を行った。システムの非線形な振る舞いに始まり、数日から季節、10年、100年スケールといった将来の気候変動予測可能性に至るまで幅広く解説を行った。将来予測の話題の中で、気候モデルは複数のモデルアンサンブルにより、不確実性を議論する目的では作られていないため、パラメータによる不確実性を考慮する必要性を強調していた点が興味深かった。

コロンビア大学（米国）の A. Sobel は、MJO を湿潤モードとして捉えたときの、地表面フラックス、雲放射フィードバックの相対的な重要性について、湿潤静的エネルギー収支の観点から解説した。

カリフォルニア工科大学（米国）の S. Bordoni はモンスーンの古典的な概念から、地理的なモンスーン域の分布、陸塊や標高の影響について解説した。水惑星実験の結果をもとに、大気エネルギー収支の観点から、惑星規模のモンスーンの振る舞いの解釈について説明した。釜江は、昼食時にたまたま隣り合わせに座ったときに議論を交わし、過去・将来のアジアモンスーン変動において、軌道要素（歳差）や大陸上の氷床・積雪被覆の変動が、海陸の熱的コントラストの変動を介して重要な役割を果たす、という共通認識について確認し合うことができ、よい機会であった。

2.3 全体を通して

講義が行われた階段教室は、参加者でほぼ一杯となり、講師と参加者、および参加者同士の距離が近く、活発な質疑が交わされた。今回のサマースクールは「雲と気候」という多様なプロセスが関わるテーマで開催されたため、参加者の専門分野も様々であり、基礎的な部分を確認するための質問が多い印象であった。1日あたりの講義の数が多く、深く掘り下げた講義を行うには、時間が限られていた印象もあった。これは特定のテーマで開催したときの専門性の高さと、

より広範囲な専門の講師，参加者が集い，交流することができるメリットとのトレードオフの問題であろう。また，空き時間を利用して，特別講義の講師を交えたパネルディスカッションや，これまでの講義をもとにした全体ディスカッションの機会も設けられた。パネルディスカッションでは，博士課程修了後やポストドク後のキャリアパスについて，悩みを持つ学生からの質問や，講師の経験談を交えた議論が交わされた。若手の学生やポストドクにとっては，サマースクールならではの貴重な機会となった。

なお，講義資料はサマースクールのホームページ (<http://www.euclipse.eu/summerschool/> 2013.8.12 閲覧) から閲覧することができるので，興味のある方は参照されたい。また，今回のサマースクールの講義と同様の内容の教科書“Cloud and Climate”が，現在，出版に向けて準備が進められている。

3. ポスター発表

参加者はそれぞれ，自身の研究についてのポスターを持参し，発表を行った。ポスターセッションでの発表に先立ち，サマースクール2日目に自己紹介とポスター紹介を兼ねた2分間のプレゼンが行われた。参加者は4つのグループに分けられ，それぞれ夕方に2日間ずつ発表を行った。研究がまだ進んでいない学生の参加者も，これから取り組みたい研究課題を紹介し，他の参加者や講師からアドバイスを受けていた。

4. グループ課題

参加者はくじ引きによって7つのグループに分けられ，それぞれ5つのディスカッション課題と，2つのディベート課題のいずれかが割り当てられ，サマースクール終盤の発表会に向けて準備を進めた。期間中の午後の時間の多くは自由時間であったが，そのほとんどがグループ課題の準備のために割かれた。

4.1 ディスカッション課題

ディスカッション課題は，大胆な仮定のもとの思考実験の結果を議論し，発表するというものであった(第1表)。それぞれ突飛な仮定にも思えるが，実際に雲フィードバック相互比較プロジェクトでは同様の感度実験が提案されている。理想的な条件下で起こる気候の応答から，雲のふるまいと気候との関係を深く探るためのヒントを得ようとする，研究者の姿勢が反映された課題なのだろうと感じた。

それぞれのグループは空き教室，あるいは天気の良い

日は外の芝生で，与えられた仮定のもとで想定される雲と気候の振る舞いについて議論を重ねた。終盤の発表会では，気候・雲システムを規定するコリオリ力，大気大循環，気温減率，雲微物理過程，大気上端や地表面の放射収支，放射対流平衡などの側面から，議論の結果について発表を行った。発表会後の投票の結果，「水の蒸発潜熱が3倍，1/3倍」グループが優勝を飾った。このグループの発表では，それぞれの条件下にある惑星から来た宇宙人が，地球の気候と比較して，いかに自分の惑星が住み易いかをアピールする，というユニークな形式を採用し，かつ大気科学の基本に則って論理的にメカニズムを説明していた。どのグループの発表にも，短い期間の中，初対面の若手同士が熱心に議論を続けた結果が表れており，同時に，日本ではあまり目にしない，ユーモアを交えたプレゼンテーション技術の高さに感心させられた。

4.2 ディベート課題

ディベート課題ではIPCCに関する議題が提示された。2つのグループはそれぞれ，発表会で「気候モデルの数は多すぎるか」「IPCCは有害か無害か」についてディベートをするため，賛成派と反対派に分かれて準備を進めた。刺激的なテーマが掲げられたが，IPCC報告書のリードオーサーを務める講師陣ならではのテーマ設定だったと言える。参加者には，気候モデル開発に関わる若手研究者も少なからずいたものの，自身の立場はひとまず忘れ，割り当てられた賛成派・反対派の立場からの主張を交わした。この課題はそれぞれ10名ずつで構成され，賛成派反対派は5つの異なる観点から主張を展開した。全球気候モデルや気候変動とはあまり関係しない研究テーマに取り組んでいる参加者も多い中で，熱心な準備とディベートが実践されていた。

前者の議題は，モデルの数を減らすことへの賛成派がモデルの開発・改良技術や計算機資源の集約といったメリットを主張したものの，自由競争の重要性を主張した反対派の優勢を覆すには至らなかった。後者の議題は，気候科学の政治問題化である，時間の浪費であると主張する「有害派」に対し，質の高い報告を通して科学的コンセンサスの形成に役立っていると主張する「無害派」が勝利する形となった。ただ，有害派の意見のうち，報告書を作成するスパンが短すぎることは問題であり，もっと長く設定すべきだという点については，会場全体から同意を得られていたように思う。

5. エクスカーション

モンブラン山群を目前にした恵まれた環境を活かし、参加者は空き時間に誘い合ってハイキングに出かけたり、日曜日にはエクスカーションとして全員でメール・ド・グラス氷河へと出かけた（第3図）。シャモニーから登山電車で、氷河を目前にした標高1,913mのモンタンヴェール駅にアクセスすることができる。参加者は1日コースと半日コースに分かれ、それぞれ氷河上のハイキング、モンタンヴェール展望台からの氷河の眺めを堪能した。壮大な景色を満喫し、今回の開催地ならではの貴重な体験をすることができたと同時に、氷河の後退が進んでいる現実を実感した機会であった。

6. サマースクールに参加して

国際的なサマースクールへの参加は初めてで、国内の夏の学校にも1度しか参加したことが無く、まして海外の初対面の参加者が相手とあって、コミュニケーションを取ることはしばしば苦勞した。しかし、ポスター発表やグループ課題、食事の際の議論や雑談を通して、徐々に苦手意識が薄れていった。特に、ワークショップではなかなか話しかけられない講師陣とフレンドリーに話す機会を持てたことは、今回のサマースクールでの大きな収穫であった。最終日前日の夜のパーティーでは、参加者全員でお酒を飲みながら、卓球やテーブルサッカーで盛り上がったのは最高の思い出である。講義内容はもちろん、人と環境に恵まれたサマースクールであったと思う。（釜江陽一）



第3図 エクスカーションで訪れたメール・ド・グラス氷河。手前は氷河上の水たまり。

小玉のサマースクール参加目的は、雲と気候システムについて系統的に学び直すことであった。この目的は十分達成できた。特に B. Stevens の湿潤熱力学の講義は、スライドを一切使わずに黒板と身振り手振りで行われ、非常に印象的であった。グループ課題も新鮮で、数値モデルに頼らずに持てる知識をフル活用して結果を予想するよい訓練となった。ただ、英語で行う議論については相変わらず苦手意識がぬぐえなかった。議論を英語で聞き取り、頭で理解し、考え、それを英語で表現する、というプロセスを反射的に行う能力は、国際会議で議論をする際には必須である。これは日本にいる限り簡単には身につかないが、国際会議などを利用して英語コミュニケーションの場数をこなすこと、(英語に限らず日本語でも) 質疑や議論の場面で積極的に発言すること、を心がけていきたい。

(小玉知央)

このサマースクールに参加し、雲は気象・気候においていかに重要な役割を担っているかを再認識させられることとなった。2週間でカバーされた内容は非常に幅広く、雲物理からグローバルスケールの気候まで、自分の研究対象である分野もそうでない分野でも、全てに雲は関わっており、まだ研究の余地を多く残している。講義を受け、この雲に関する謎を1つでも解く研究をしたいと、さらなる研究意欲が湧いた。

今回のサマースクールでの最大の収穫の1つは、同じ「雲」に関する研究をする大学院生・ポスドクの方々・先生方と交流できたことだと思う。1日3食を共にし、昼夜雲に関する講義・ポスター発表・グループ課題を通して知識を深められたことは非常に貴重な体験だった。ここで得られた知識、多くの方々からの自分の研究へのコメント、また人々とのつながりは、今後の自分の研究の質を高め、研究生活をより充実したものにすると思う。（武石あずさ）

7. おわりに

今回のような機会は、大規模な国際会議やワークショップに比べ、講師や参加者との交流を深めやすいように思う。特に、第一線の研究者と、長い時間を一緒に過ごしてきたことによる親近感、連帯感はこの機会ではなかなか得られないものであろう。一方で、今回のような機会に日本から参加する学生の数は、海外の学生に比べて少ない傾向があるように思う。自身の興味の幅を広げ、海外の同世代の若手や講師と交流を

持ち、英語でのコミュニケーションの実践の機会にもなる。そのメリットは、若手研究者のみならず、学生にとっても大きなものであろう。

大学の教員を始め、研究者・教育者の皆さんはスクールの情報を若手に積極的に発信（例えば ym-net メーリングリスト）、あるいは周辺の学生に直接勧めて頂けると幸いである。学生の皆さんも、過去のスクールの開催報告（例えば渡部 2002；杉本 2004；堀ほか 2008；小郷原 2009；中野 2010；小玉・山崎 2012）も参考にしつつ、自身の研究に関連したスクールの開催情報に注意を払い、積極的な参加を検討して頂ければと思う。

謝 辞

本スクールへの参加申し込みに際し、釜江は東京大学大気海洋研究所の渡部雅浩准教授、国立環境研究所の小倉知夫氏に、小玉は東北大学の岩崎俊樹教授、東京大学大気海洋研究所・海洋研究開発機構の佐藤正樹教授に、武石はイェール大学の Trude Storelvmo 助教、カリフォルニア大学デイビス校の Shu-Hua Chen 准教授に推薦状を書いて頂き、参加を後押しして頂きました。本スクールへの参加にあたり、釜江は文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムから、小玉は WCRP と海洋研究開発機構の次世代モデル研究プログラムから、武石はイェール大学から支援を受けました。貴重なスクールを開催して頂いた EUCLIPSE, P. Siebesma, S. Bony, B. Stevens, C. Jakob, 講師の皆さん、秘書の K. van der Schaft, École de Physique des Houches 事務局の皆さんに感謝致します。

略語一覧

CALIPSO : Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation 雲エアロゾルライダーおよび赤外探査衛星観測
 CloudSat : (米国の地球観測衛星プログラムの1つ)
 CMIP : Coupled Model Intercomparison Project 結合モデル相互比較プロジェクト
 CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques フランス国立気象研究センター
 CRM : Cloud Resolving Model 雲解像モデル

EUCLIPSE : EU Cloud Intercomparison, Process Study and Evaluation Project

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル

KNMI : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut オランダ王立気象研究所

LES : Large Eddy Simulation

LMD/IPSL : Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre Simon Laplace フランスピエール・サイモン・ラプラス研究所, 気象力学研究所

MJO : Madden Julian Oscillation マッデン・ジュリアン振動

MPI-M : Max Planck Institute for Meteorology ドイツマックスプランク気象研究所

TOGA-COARE : The Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment

WCRP : World Climate Research Programme 世界気候研究計画

参 考 文 献

- 羽角博康, 榎本 剛, 1998 : フランスでの NATO 夏の学校「地球の気候とその変動のモデリング」に参加して. 天気, 45, 241-244.
- 堀 E. 正岳, 立入 郁, 杉村 剛, 大西 領, 大楽浩司, 東塚知己, ロスビンタルティ カルティカ レスタリ, 草原和弥, 2008 : 第1回 UJCC-NCAS 気候モデルに関するサマースクール参加報告. 天気, 55, 475-480.
- 小玉知央, 山崎弘恵, 2012 : 第3回 NCAS 気候モデルに関するサマースクール参加報告. 天気, 59, 437-442.
- 増永浩彦, 2011 : 衛星データ・シミュレータ. 天気, 58, 559-561.
- 室井ちあし, 2012 : Transpose-AMIP. 天気, 59, 237-238.
- 中野満寿男, 2010 : 第2回 UJCC-NCAS 気候モデルに関するサマースクール参加報告. 天気, 57, 229-231.
- 小郷原一智, 2009 : 第1回環境災害研究における流体力学および地球物理学に関するスプリングスクール参加報告. 天気, 56, 815-817.
- 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.
- 渡部雅浩, 2002 : NCAR Summer Colloquium 参加報告. 天気, 49, 259-262.