

ロスビー100シンポジウムに参加して*

山 森 美 穂^{*1}・榎 本

剛^{*2}・高 谷 康 太 郎^{*3}

1. はじめに

Carl-Gustaf Rossby (1898-1957) の生誕100年を記念して、1998年6月8日~12日に標記の国際シンポジウムが開かれた。会場はストックホルム大学内の自然史博物館であった(第1図)。このシンポジウムはスウェーデン国内の関係機関、アメリカ気象学会、ドイツ・マックスプランク気象研究所の共催により、ストックホルム大学気象学部(Meteorological Institute, Stockholm University; MISU) が主催したものである。

シンポジウムは3つのメインテーマ(地球流体力学、気象と気候の数値モデリング、大気微量成分とエアロゾルの地球規模循環)から成り、発表論文数は招待講演10件、一般の口頭発表114件、およびポスターセッション16件であった。

北欧、アメリカ、ドイツからの参加者が多かったが、韓国、イスラエル、チリからの参加もあった。日本からの出席者は、筆者らのほかに真鍋淑郎(地球フロンティア)、田中博(筑波大学)、松田佳久・中村尚・高木征弘(東京大学大学院)、佐藤薫(京都大学大学院)、佐藤正樹(埼玉工業大学)であった(敬称略)。ここでは、今回はじめて国際学会に参加した大学院生がシンポジウムの概要や印象などを報告する。なお、一般講演の内容紹介が地球流体力学の分野に偏っていることを悪しからずご了承されたい。

2. 招待講演

招待講演に先立って、Bolin (MISU) が Rossby の業績について紹介した。“Carl-Gustaf Rossby: The post-war years”と題されたこの講演は、主として Rossby が1947年に米国からスウェーデンに移った以降の彼の活動についての紹介であった。彼の名が冠せられた「ロスビー波」からは地球流体力学しかイメージされないが、彼は人間活動が地球にもたらす影響、とりわけ中央ヨーロッパから北欧に輸送される大気汚染物質に非常に関心を持っていたそうである。この講演を聴いて、シンポジウムが上記の3つのテーマで構成されていることを納得することができた。

引き続き、3つのメインテーマにつき3件ずつの招待講演が行われた。

オゾン層破壊理論で1995年にノーベル化学賞を受賞した Crutzen(マックスプランク化学研究所)は、対流圏におけるオゾンの化学反応についてのレビューを行った。オゾンの生成と消滅に関する化学反応において、OH ラジカルが大きな役割を担っていることを話した。また森林等の焼失で生じる NO₂ や CO からのオゾンの生成についても話もあった。

Heimann(マックスプランク気象研究所)は、生物圏のモデリングについて講演した。生物圏の状態が気候に与える影響は大きい、その変化となると果たしてどこまでモデル化できるのか、すればよいのか、非常に難しい問題だと感じた。

Rodhe (MISU) は、硫黄の循環についての講演をした。大気中に放出される硫黄は人為起源のものが自然起源のもの(主に海からの硫化ジメチル(DMS)と火山からの SO₂) の約2倍で、北半球の大部分では、産業革命以後に大気中の硫酸エアロゾルが増加しているそうである。硫酸エアロゾルが気候に及ぼす影響として、負の放射強制をもたらすことと雲の特性を変化させることを挙げ、後者の理解を進める必要があると主

* Report on the Rossby-100 Symposium.

^{*1} Miho Yamamori, 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻.

^{*2} Takeshi Enomoto, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻.

^{*3} Koutarou Takaya, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻.

© 1999 日本気象学会



第1図 会場の自然史博物館。

張した。成層圏では光化学的寿命の長い硫化カルボニル (COS) が重要であることも述べた。

Bengtsson (マックスプランク気象研究所) はこの40年間の数値予報 (長期予報を含む) の発展について述べた。計算機の進歩と全球観測システムの確立により予報精度がどれだけ向上したかを具体的な数値をもって示した。例えば、予報される500 hPa 高度場と客観解析場の相関が0.9以上の予報期間が1980年には1.5日程度だったのが、1993年には3日弱になったことなどが示された。プロッキング、急速に発達する低気圧、台風など、特定の現象の予測についても紹介した。また次の10年間には、アンサンブル予報がますます重要になり、衛星観測による水蒸気データの利用が進むだろうという見通しを示した。

真鍋 (地球フロンティア) は、海洋の熱塩循環が気候に及ぼす影響が大きいこと、淡水の流入によって熱塩循環が逆転しそれが急激な気候変動をもたらすことを単純化したモデルを使った数値実験で示した。複雑な物理過程を含んでいないために何千年に渡る時間積分が容易な、シンプルなモデルの有用性を強調した。

Philander (プリンストン大学) は、まず、エル・ニーニョが、地球規模にわたって人々の生活に多大な影響を与えている事実を取り上げた。そして、エル・ニーニョの現業での予報に向けて大きな発展を見せた、熱帯大気海洋相互作用の研究百年間の発展を振り返った。また、昨今精力的に研究が進められている十年スケール変動がエル・ニーニョに重なり大きな振幅となる可能性について言及した。

Held (プリンストン大学) は、準地衡乱流理論の立場から、中高緯度対流圏における渦のスケールについて議論した。対流圏の南北温度分布を決める過程のうち下層の極向き熱流束に着目し、傾圧不安定波などに

伴う地表付近の熱流束を渦拡散としてとらえることを強調した。Held は2層の準地衡モデルでの数値実験の結果から、渦のスケールはRossbyの変形半径より大きく、むしろエネルギーの逆カスケードの停止するRhinesスケールの方でよく説明されることを示し、準地衡乱流理論の有用性を主張した。

Holton (ワシントン大学) は、夏季中間圏の低温をもたらす重力波の碎波について、積雲対流を分解する非静力学2次元モデルでの数値実験の結果について発表した。局所的なスコールラインから励起された重力波は扇状に上方伝播し、中間圏で碎波する。このとき、非局所的 (non-local) な平均流加速を生ずる一方、新たな波源として重力波が励起される。この様子がアニメーションによりわかりやすく示された。余談になるが、「ロスビー」シンポジウムで、ロスビー波ではなく重力波の話をする事について、「Rossby はきっと夜光雲とそれをもたらす重力波に興味をもっていたにちがいない」と弁解していた。

Hoskins (レディング大学) は熱帯の海面水温偏差に対する大気の応答とフィードバック、赤道域と中緯度の相互作用などについて、全球モデル実験の結果を示した。また、モンスーンに対応する加熱に対し、西方にロスビー波応答が伝わり、モンスーンの西方の下降流域で沙漠を生じるという「モンスーン=沙漠メカニズム」についても触れた。

以上の招待講演者による論文は、TellusのSpecial Issueとして刊行された。

3. 一般講演

ここでは、地球流体力学分野で筆者らの印象に残ったいくつかの発表と筆者らの発表について紹介する。

3.1 口頭発表

Montgomery (コロラド州立大学) は、台風を渦としてとらえた一連の研究結果を報告した。台風の発達について、軸対称を前提としたCISKやWISHEのメカニズムとは異なり、力学的な非軸対称過程により、対流スケールのエネルギーが渦のスケールに逆カスケードすることが本質的であるという考え方を提起した。さらに、衛星やレーダーにより観測されているアイ・ウォールが多角形になる現象をアイ・ウォール周辺の混合過程との関連から、解析的及び数値的に調べた結果を示した。

Nolan (カルフォルニア大学 Lawrence Berkeley National Laboratory) and Farrell (ハーバード大学)

も渦の非軸対称過程を重要視する立場からの台風に関する研究を発表した。彼らは、渦に確率的に強制された過度擾乱を与えて渦との相互作用を数値的に調べた。

Campbell and Maslowe (マギル大学) は、順圧シヤー流中の定常ロスビー波の臨界層に関し、これまで強制として仮定されていた単色波に代えて、ロスビー波束について漸近解を解析的に求めた。その結果、臨界層で閉じた流線が波束の中心から離れるに従って小さくかつ不明瞭になることを明らかにした。線型と非線型での数値実験により、この結果を確かめた。

Wernli (チューリッヒ工科大学) らは、傾圧的な基本場に局所的な初期擾乱を与え、この擾乱の発達と上流と下流で2次的に起こる低気圧の発達の数値シミュレーションを行った。2種類の基本場(シングルジェット場とダブルジェット場)を与え、結果を比較した。また、1997年1~2月に行われたFASTEX (Front and Atlantic Storm-Track Experiment) で観測された実例も示した。

Chang (マサチューセッツ工科大学) は、ECMWF再解析データを用いて、位相速度よりずっと大きな群速度で東進する波束にともなう傾圧波のライフサイクルを調べた。擾乱の運動エネルギーの増幅には、傾圧的および順圧的なエネルギー変換よりもエネルギーフラックス収束の効果が支配的であるケースが多いことを示した。

Mak (イリノイ大学) は、海上で起こる浅い鉛直構造をもつ低気圧の発達を、下端からの顕熱フラックスを導入した準地衡チャンネルモデルで調べた。この問題設定のもとでは、短波長の不安定モードが存在し、その構造は観測される低気圧によく似ていることを示した。さらに、波のライフサイクルと背景流の安定化を、ポテンシャル渦度のインバージョンにより解析した。

榎本は、東西非一様な基本場における定常ロスビー波束の南北伝播に関する数値実験の結果について報告した。これまで、ロスビー波の臨界層でのふるまいに関する理論は、東西一様な基本場を仮定していた。これらの理論によると、臨界層においては、非線型性が重要になり、波が過度の偏差を移流し転覆することで、波の反射を生ずる。ところが、東西非一様な基本場を仮定した榎本と松田の数値実験によると、基本場の東西非一様な成分に伴う高気圧性循環が過度の偏差を移流し、線型的に波の反射が生じる。この結果は、成層圏に比較して東西非一様な強い対流圏上部において

は、既存の非線型理論は適用不可で基本場の東西非一様性を考慮しなければならないことを示唆している。この講演の内容は、Tellus ロスビー100シンポジウム特集号に投稿された (Enomoto and Matsuda, 1999)。

山森は、東アジア域における対流圏界面付近の中間規模波動の季節変動について、局地気候モデル(気象研究所)の1年分の時間積分値を用いて解析した結果について報告した (Yamamori *et al.*, 1997)。中間規模波動は春に最も活発であること、波動の卓越緯度は亜熱帯ジェット軸の季節による南北シフトと関連して変動していることなどを示した。

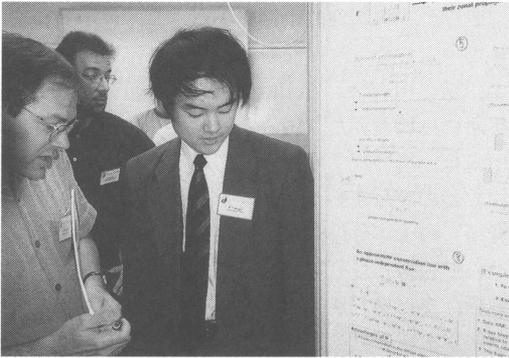
3.2 ポスターセッション

高谷は、定常な地衡流的波動や、移動性の地衡流的波動の“snapshot”の診断も可能である wave-activity flux の新しい定式化について発表した。今まで提案されてきた“wave-activity flux”(例えば E-P flux) では、停滞性擾乱、または、移動性擾乱の snapshot の(三次元的な)解析ができないという問題があった。Plumb (1985) は、東西一様な基本場中の停滞性擾乱のための“wave-activity flux”を提案しているが、東西非一様な基本場中では不適切である。ここで定式化した flux は、東西非一様な基本場中の停滞性、さらには移動性擾乱について適応できる。講演ではさらに、実際にその flux を現実大気データに適応して、その有効性を確認した解析結果を示した。

ポスター発表の会場となった部屋のひとつには、C. G. Rossby に関する資料も展示されていて、彼の若い頃からの写真や手紙などを見ることができた。Rossby の死を悼む記事をのせた各国のジャーナルを展示してあるコーナーもあり、我らが「天気」もその中にあった。

4. レセプション、バンケット

ストックホルムは、パリやロンドンのような喧噪とは無関係な静かな港町であった。歓迎のレセプションは、市内の観光名所のひとつである市庁舎で開かれた。市庁舎が観光名所であるのは、市内を一望できる塔のためだけではない。ノーベル賞授賞式が行われる場所なのである。学者なら別の用事で訪れたい場所である。懇親会に相当するバンケットは、市内の外れにある野外国俗博物館 Skansen で行われた。N. Phillips や米国気象学会会長の E. Rasmusson の挨拶があり、Rossby にまつわるエピソードが紹介された。



第2図 ポスターセッションでの熱い議論
(Dr. Shepherdと高谷).

5. 感想

海外での発表はむろん、海外へいくことすら初めてだったので、大変に緊張した。ポスター発表の部屋は2部屋用意されていて、どちらも小さな部屋だったが、会場での2分間の説明を終えて自分のポスターの前に行くと、既に Dr. B. Hoskins がいたので、どうなってしまうかと思った。そのうち、Dr. T. Shepherd もやってきた(第2図)。よくもまあ高谷のつたない英語を理解してくれたものである。二人とも、非常に熱心に聞いてくれた。Dr. Hoskins はとても好意的だったし、Dr. Shepherd も、何回も“very interesting”といってくれたので、とても嬉しく自信になった。他にも、Dr. Mak をはじめ、たくさんの世界の一流級の科学者と議論でき、とても有意義な1時間だったと思う。

学会全体としては、Rossby 生誕100周年という重々しいタイトルの割には、非常に frank (というか地味) なものだったと思う。Dr. McIntyre や Dr. Pedlosky などの大物が何人か来ていなかったのがやや残念であったが、Dr. I. Held や、Dr. J. Holton など、教科書などでしか名前を知ることのなかった人と直接会えたのは、いい体験だった。

この学会出席で一番印象に残った事は、一流の科学者は皆、議論好きだということだった。第一線の研究は、この激しい議論から生まれるのかと思った。このことは、これからの自分の研究にとってたいへん有意義なものになると思う。それとともに、Dr. Rossby が実は大変なノンベエだったということを知ることができたのも、大変良かったと思う。(高谷康太郎)

はじめての国際会議の上、はじめての英語での学会発表となる私にとって、英語は最大の懸案事項だった。自分の発表は、お昼休みにまわりに誰もいない芝生の真ん中のベンチで練習したのが功を奏したのか、思っ

ていたよりスムーズにできた(と思う)。しかし、準備できる発表とは違い、質疑応答はやはり難ありで、Dr. Hoskins からコメントをもらったと思って“Thank you.”と答えて発表を終えたら、あとから質問もされていたと判明した。また、発表後にせっかく質問に来て下さった方も満足に議論できなかつたり、とてももったいなかったという気持ちでいっぱいである。今後語学力をつけて次の機会にはもう少し議論できるようにしたい。

ストックホルムで期待していたことのひとつが夜光雲を見ることだったが、残念なことにそれには少し早い時期だったようで、叶わなかった。しかし、夏至近くで夜は10時過ぎまで明るい北欧の夏を存分に味わうことができた。(山森美穂)

1997年に気候変動に関する夏の学校(羽角・榎本, 1998)に参加したときに、講師であった E. Rasmusson や L. Bengtsson に今度はロスビーシンポジウムにきたいと言ってしまった。目標にした講演でヨーロッパに行くことができ、レセプションの席で両氏御夫妻に再会の挨拶をすることができた。残念ながら、そのときに知り合った同世代の友人たちは、ほとんど参加していなかった。新たに臨界層の研究の先駆者のひとりである S. Maslowe に出会った。話し好きの氏とは、臨界層について時間をかけて議論することができた。

ある晩、同僚の高木君、高谷君とジャズが聞ける船に乗り、湾内を遊覧した。水辺に多くの別荘があるのが印象的だった。後日、バンケットの席で隣になったストックホルム大の海洋学者 P. Lundberg に別荘は金持ちだけのものかきいてみた。市内でアパートに住んでいて、別荘を持つ人が大勢いるとのことだった。教授は親戚と共有で持っているとのことだった。豊かさに対する考え方の違いを感じた。(榎本 剛)

参考文献

- Enomoto, T. and Y. Matsuda 1999: Rossby wave-packet propagation in a zonally-varying basic flow, *Tellus*, in press.
- 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.
- Yamamori, M., K. Sato and I. Hirota, 1997: A study on seasonal variation of upper tropospheric medium-scale waves over East Asia based on regional climate model data, *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 13-22.