

AGU チャップマン会議 “Jets and Annular Structures in Geophysical Fluids” の報告*

余田成男^{*1}・林 祥介^{*2}・伊賀啓太^{*3}・石岡圭一^{*4}
田中 博^{*5}・富川喜弘^{*6}・中野英之^{*7}・前島康光^{*8}

1. 概要

AGUは毎年何件かの特定のテーマについて50~100人規模のチャップマン会議を各地で開催している。今回、Robinson (Univ. Illinois) と余田(京都大学)がコンビーナーとなり、2006年1月9~12日、ジョージア州サバンナで「地球流体中のジェットと環状構造」に関するチャップマン会議を、KAGI21, NSFとの共催で開催した(第1図に会議のポスター)。Allison (NASA/GISS), Baldwin (NWRA), 林(北海道大学), Haynes (Univ. Cambridge), Huang (LDEO), Rhines (Univ. Washington), Thompson (Colorado State Univ.), Vallis (Princeton Univ.)の8氏をプログラム委員に招いて、2年以上をかけて準備してきた会議である。

日米をはじめ13か国から70余名の参加者があり、(A) 大気中のジェット, (B) 海洋中のジェット, (C) 大気の環状変動, (D) 惑星大気中のジェットと環状流, (E) 地球流体力学的にみたジェット, の5つの広範だが関連深い話題について、レビュー講演(6件)、招待講演(22件)、および、ポスター発表(40余件)を行っ

た。レビュー講演は、各分野で主導的な役割を果たしてきたMcIntyre (Univ. Cambridge), Lee (Pennsylvania State Univ.), Marshall (MIT), Wallace (Univ. Washington), Allison, Rhinesの6氏にお願いした。

この会議のハイライトの1つは、太平洋域の高分解能数値シミュレーション (Nakano and Hasumi, 2005) で予言的に見出され、観測データで発見された海洋中の多重東西ジェット構造である。木星型惑星に見られる多重の環状流との類似性や、回転球面上の2次元乱流中におけるジェット形成メカニズムとの関連など、幅広い分野の研究者を巻き込んで熱い議論がなされた。また、傾圧擾乱による対流圏界面亜熱帯ジェットの維持過程が南極周極流のそれと力学的に相似な現象と認識しうる(基本場の傾圧性が南北加熱差によって維持されるか、海面での摩擦応力によって維持されるか、の違いはあるが)という話題も、地球流体力学的普遍性を具体的に示す好例であった。さらに、周極ジェット気流の時間変動が特徴的に環状パターンを示すという認識が、環状“mode”であるかどうかは措いても、天候の延長予報や今世紀中の気候変化予測などにも役立つ可能性が指摘され、実用的応用的な興味も喚起した。

この機会に、KAGI21で開発した地球流体力学計算機実験集 (Yoden *et al.*, 2005) のCDを参加者全員に配布した。これは、地球流体力学の基本的な数値実験演習問題をパソコンでインタラクティブに実行し、計算結果のアニメーションを見ることができるとのソフトウェアである。会議終了後すでにいくつかの好意的な反応を得ており、希望者には無償で配布中である。

サバンナは米国南部の観光小都市であり、会場となったホテルの近くにも昼食・夕食をみんなで食べら

* Report on the AGU Chapman Conference on Jets and Annular Structures in Geophysical Fluids.

^{*1} YODEN Shigeo, 京都大学大学院理学研究科.

^{*2} HAYASHI Yoshi-Yuki, 北海道大学大学院理学研究科.

^{*3} IGA Keita, 東京大学海洋研究所.

^{*4} ISHIOKA Keiichi, 京都大学大学院理学研究科.

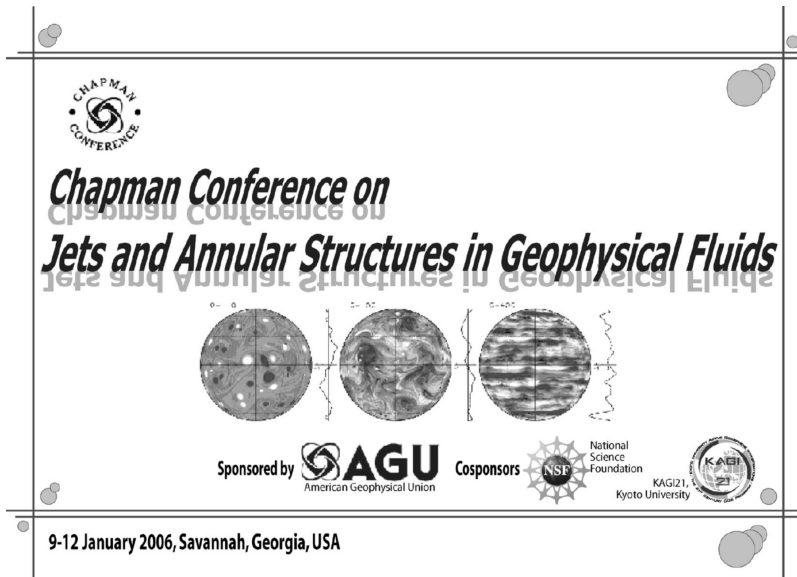
^{*5} TANAKA Hiroshi, 筑波大学計算科学センター.

^{*6} TOMIKAWA Yoshihiro, 国立極地研究所.

^{*7} NAKANO Hideyuki, 気象研究所海洋研究部.

^{*8} MAEJIMA Yasumitsu, 東京大学海洋研究所.

© 2006 日本気象学会



第1図 チャップマン会議の宣伝ポスター。

れるレストランが多くあった。気のあった仲間同士で出かけてゆっくりと科学的な議論を続けたり、また、それぞれの近況情報を交わしたりできた。最終日のパーティーでは、McIntyre氏が飛び入りでPV song（ビートルズの“Let It Be”の替え歌）を歌い、皆の喝采を浴びた。英国あたりでは、IPVとっていた頃から歌われてきた替え歌のようである。今回の会議後、

林氏が火付け役、McIntyre氏が先導役(掻き混ぜ係?)となって歌詞に関するメールのやり取りが続いた。原作のHall (CNRS), Thuburn (Univ. Exeter), さらにはHoskins (Univ. Reading), Wallace, Palmer (ECMWF), Emanuel (MIT) 氏らビッグネームも加わって盛り上がり、その統一版が完成した。第2図に歌詞を掲載するので、PVファンは味わっていただきたい。http://www.lthe.hmg.inpg.fr/~hall/pvsong/pvsong.shtmlには、Hall氏の演奏もある。

次節以降は、プログラム委員の林氏、および、参加者有志(アイウエオ順)の報告である。

(余田成男)

2. 全体を通じて

今回の会議は、ジェットあるいは環状構造をキーとして大気・海洋・惑星・天体にまつわる現象を横断的

<p>G D Em C C6 When I find myself in times of trouble, Father Hoskins comes to me, g D C d/b c/a b/g = G Speaking words of wisdom, P V _____</p> <p>G D Em C C6 And in my hour of darkness, Baroclinic instability: G D C d/b c/a b/g = G There will be an answer, P V _____</p> <p>Em Bm C G P V, P V, P V, P V, G D C d/b c/a b/g = G There will be an answer, P V _____</p> <p>G D Em C C6 And when the broken contours tell us There's cascading enstrophy, G D C d/b c/a b/g = G There will be a closure, P V _____</p> <p>G D Em C C6 And when it's less than zero and it's Lost its ellipticity, G D C d/b c/a b/g = G You just can't invert it, P V _____</p> <p>Em Bm C G P V, P V, P V, P V, G D C d/b c/a b/g = G You just can't invert it, P V _____</p>	<p>(funky instrumental interlude ad lib, with performers gyrating cyclonically and anticyclonically, pairing off etc.)</p> <p>G D Em C C6 And when the night is cloudy, There's a diabatic theta-E G D C d/b c/a b/g = G That modifies the parcel's P V _____</p> <p>G D Em C C6 Swirling round the isentropes, Around the world and back to me, G D C d/b c/a b/g = G But it integrates to zero, P V _____</p> <p>Em Bm C G P V, P V, P V, P V, G D C d/b c/a b/g = G Yes it all adds up to nothing, P V _____</p>
--	---

The PV Song (C) 1992- Nick Hall & John Thuburn
with contributions from Michael McIntyre
and the internationalatmospheric-science community

Figure courtesy of Juckes and McIntyre 1987, personal communication

第2図 PV-song (歌詞カード作成は、北海道大学理学研究科の光田千紘さんによる)。

に眺めてみようという、地球流体力学的な視点からの試み、あるいは、専門分化した近年では少々野心的な試みであった。気象学伝統の東西平均構造あるいは軸対称構造とは言わないで環状構造 (annular mode) というところが今日的であるのだが、そこにプログラム委員会の問題意識もある。くだけたタイトルに変えるならば「annular modeってどうよ」といったところであろうか。話題のスペクトルを欲張って確保しようとしたプログラム委員会の付けは、惑星大気の問題(観測と理論)を1時間で概観してくれた Allison 氏と太陽内部対流層の最新の計算結果を示してくれた Miesch (NCAR) 氏が一挙に解決してくれた。

この世界を束ねる力学的キーワードは渦位 (PV = Potential Vorticity) である。関与する主な過程は、渦位の混合 (PV mixing) とそれにまつわるエネルギーの逆カスケード (渦の水平大規模化と鉛直順圧化)、そして β 効果の存在による非等方化 (Rhines 効果)、ロスビー波射出と波に伴う運動量輸送 (EP フラックス) である。回転球面上 (β 面上) で渦位の混合が起これば混合の中心緯度で東風加速傾向となり、ロスビー波が射出されれば射出領域で西風加速傾向となる。また、回転球殻の内核接円筒の外側では循環がテイラー柱型をとるならば、混合や波の射出に伴う加速傾向は、 β の符号が逆なので球面の場合とは逆向きになることを除けば、同じ枠組みで語ることが出来る。非発散 β 面なら混合の南北幅はおおむね Rhines スケール $\sqrt{(U/\beta)}$ になり、混合の結果、渦位の南北分布は階段状になり多重ジェット形成に至る。これらの概念は、Rhines (1975) に始まって1980年代末ごろにはおおむね出そろっていたわけであるが、数値実験等によって具体的なイメージが提供されはじめたのは (GFDL 等の潤沢な計算環境での結果を除けば) 1990年代にはいつてからである。このことは、回転球面上の2次元乱流のみならず、 β 面上の Rhines 効果それ自体の可視化 (エネルギースペクトルのダンベル型空白域の存在と $k_x \sim 0$ 付近への集中) においても例外ではない。まして、プリミティブ系を用いての多重ジェット形成や、三次元球殻での運動量分配においては2000年あたりから、そして海洋における縞状の多重ジェット構造が見出されたのはつい最近のこととなるわけである。Rhines (1975) 30周年でもあり、2日目の晩餐の後には「Rhines 先生オンステージ」として Rhines 氏には1時間の特別講演を行っていただいたのだが、海洋、大気、外惑星/恒星にまつわる (であろう) これらすべ

ての話を歴史背景等も含めて凝縮して語っていただけた。

海洋での縞状の多重ジェット構造の発見は、縞状構造の存在を東西平均が意味を持つ (つまり東西に岸がない) 場での話と暗黙のうちに思い込んでいた (つまり私のような) 者にはちょっとした衝撃であった。 β 効果の働くそれなりの領域で渦位混合を行えば縞状構造が得られて良いわけで、そう言われてみればその存在はきわめて当然なのかもしれない。しかし、いわゆる海洋大循環スケールでの渦位一様化は知識としては知っていても、その下に縞状構造が隠れているだろうことはついぞ想像したことは無かった。我々の (私の?) 想像力、あるいは、運動構造の理解はその程度のものであり、数値計算による可視化がなければ現象予言などまったくできなかったといっても過言ではないだろう。

ここ十数年程で縞状構造の存在に関する描像はこのように大きく広がったわけだが、その因果律的な理解や構造の定常性と変動に関する理解はまだまだこれからと言うべき段階にある。発見間もない海洋の縞状構造はいうに及ばず、30周年を迎えたような古くから知られている現象に関しても例外ではない。その具体的なイメージが明らかになったのはまさに高々この十数年にすぎないのであるから。本会議の意図は、理論や数値計算等による可視化から得られてきたこれらに関する知見を再構成し、現時点における我々の理解をチェックしようというものであった。最終日に行われたパネル討論、そしてより重要な休憩時間や食事時の議論によるインフォーマルな議論の結果は、どうやら我々はいまだに二次元 β 乱流の時間発展でさえあまり良く理解していないようだということである。スペクトル強度の非等方性の発現の数学的記述、あるいは、その実空間での現象論的記述 (どうしてそうなるのか、の直観的説明) は、ひょっとすると Balk (2005) による新しい保存量が理解の道を開くのかも知れないが、現状ではロスビー波ができちゃうから (正しくは、できないから) カスケードがブロックされるよね、以上のものではなさそうだ。Rhines スケールを与える速度スケール U は何を以るべきかということもあまり明解ではないし、ましてや、変形半径の効果はあまり調べられてはおらず、傾圧渦の生成とそれによる傾圧順圧変換の記述となると地球流体力学には始まったばかりといってもよいだろう。

地球流体力学がこのような理解の状況であるのだから

ら、本物の地球大気の大規模構造 (annular mode) の理解が簡単には得られないのは、残念ながら当然といえよう。いわゆる環状構造は、ジェットが存在それ自身ではなくその変動現象であり、したがってその記述や理解も一段と難しい。そもそも、北半球の環状構造が本当に環状であるのかどうか、大西洋域や太平洋域にある変動の軸対称成分への射影と見た方が良いのではないかと、という疑問はあいかわらず挙げられていたし、変動モードとしての実体性も、傾圧波のライフサイクルやロスビー波の伝搬時間を特徴的な時間スケールとして持つ統計的な揺らぎに過ぎないのではないかと、という問いかけもなされていた。仮に地表面や海洋の状況が変わらないとして、大気だけの固有の現象であるとするならば、環状構造は平均流 U と波の活動度 A による波と平均流相互作用の枠組で次のように簡略に (乱暴に?) 図式化されるはずである。

$$dU/dt = \nabla \cdot F + (U/\tau) \quad (1)$$

$$dA/dt + \nabla \cdot F = S - D \quad (2)$$

1 か月程度 (微妙かな?) の平均を行えば、おおむね、

$$U = (S - D)\tau \quad (3)$$

であろうから、環状構造を記述するために必要とされる理論は、波の射出源強度 S と散逸構造 D とを簡略に、かつ、「真っ当」に与えるものでなければならない。たとえば揺らぎ ε のもとで $S = S(U) + \varepsilon$, $D = D(U, A)$ という形が基礎方程式から抽出出来れば、それが環状構造を与える方程式となり、その数学的構造が環状構造の力学的構造と呼ぶべきものになる。以上はパネル討論 (第3図) のために Robinson 氏がえいやと整理して議論のネタとしたものである。北極振動が力学的なモードであることを主張する研究者もいるが、この図式の意味において現状では環状構造 (annular mode) と呼ぶべき力学的構造 (dynamical mode) は明確にはなっていないだろう、というのがパネリストらの見解であり、ひょっとするとそういう構造は無くやはり単なる統計的揺らぎであるのでは、という懸念も少なくなかったと思う。パネル討論での Robinson 氏の最後の問いかけは “Why is it so difficult, in GFD, to develop successful predictive theories?” であったのだが、予言的ってどういう意味かね、という McIntyre 氏の哲学的ちゃちゃ入れでそのまま閉会の夕食パーティーへと流れ込むことになった。“mode” っていうからすでにそこに力学的構造があると思っちゃ

うから混乱するので、annular “pattern” とかの名前の方がいいんじゃないの、というような会話で Haynes 氏とビールを飲みながらカオスの語らいを楽しませてもらった。

(林 祥介)



第3図 最終日夕刻のパネル討論。Robinson (Univ. Illinois) が司会進行役、プログラム委員の Rhines (Univ. Washington), Baldwin (NWRA), 林 (北海道大学), Allison (NASA/GISS), Haynes (Univ. Cambridge) がパネリストとなって、この会議の総括をした。

3. 様々なジェットと、渦位を鍵とした理解

今回の会議は「ジェット (jet)」と「環状構造 (annular structure)」がテーマであった。このうちジェットについては、その対象が大気、海洋、惑星、太陽そして理想化した流体でのジェットと多岐に渡っていたが、渦位の混合 (PV mixing) や渦位分布の階段状の構造 (PV staircases)

など「渦位」という言葉を使って議論する発表が多かったように感じる。Dunkerton (NWRA) は大気物質輸送とジェット的位置の関係について実例を示しながら、McIntyre (Univ. Cambridge) は複雑な物理過程の少ない成層圏大気の運動を見るのに渦位がいかに有効かを歴史的にふりかえって説明しながら、それぞれ渦位分布の階段状構造ができる機構を説明した。地球大気以外では Allison (NASA/GISS) が惑星の帯状流についての紹介を行った。ジェットの機構の説明というよりは様々な惑星のジェットの記述的な紹介が中心であったが、その理解にはやはり渦位を用いた考え方がポイントになるのではないかと認識のようである。また、理想的な流体のジェットに関しては、2次元流体の数値実験による帯状流の形成に関する発表が多い中で、Read (Univ. Oxford) による、室内実験で小スケールの強制力から異方性と帯状のジェット形成を試みた発表は(札幌の IUGG でも同じ装置を用いた実験の話聞いた記憶があるが) 印象的である。半径 6.5 m の巨大な水槽を用いてもなお完全に定常なジェットを作るのは難しそうであることが伺えたが、ここでも渦位分布の階段状構造について議論が行われた。海洋では中野(気象研究所)が、高解像度の OGCM で帯状の構造が現れること、さらにこの研究を受けて Berloff (WHOI) が、閉領域での流体で小スケールの強制力から帯状ジェットができるメカニズムについて話をした。横に境界が存在することが特徴である海洋の流れはこのような帯状流とは無縁だと思いがちで、この高解像度海洋モデルの帯状流の話についても以前に聞いてからこれまではなんとなくもやもやした感じを持っていたが、こうして大気や惑星のジェットの話、渦位分布の階段状構造などの考え方と並べて聴くと、その延長として不思議と自然に理解できたような気持ちになってくるものである。

地球流体の様々な場所でのジェットの話をまとめてじっくりと聴いたのは非常によかった。発表時間もポスター発表を含めて十分にとっており、議論が白熱しても無理に途中で切る必要もなく、うまく構成された会議であったと思う。ただ一点、本来比較的暖かい土地で行われた会議であるというのに、会場内はなぜかエアコンが入っていて寒さにふるえることすらあったというのだけは勘弁して欲しかったが……

(伊賀啓太)

4. 2次元乱流関連

β 平面上の2次元乱流からのジェットの形成に関して、石岡(京都大学)の講演では減衰性乱流でも東向き/西向きジェットでの強さの非対称性が起きることを指摘した。この非対称性は西向きの方が強いというもので、強制散逸系で見られる非対称性とは逆のものである。この講演ではこの非対称性の成因が線形波の伝播理論で説明可能であることも示した。また、直後の講演で Smith (Univ. Wisconsin) は、共鳴に近い三波相互作用のみを抽出した数値計算によって、このような三波相互作用が上で指摘したような非対称性の形成に重要であることを示した。この研究でも強制が重要でない初期の時間帯では石岡が指摘したような東向き/西向きジェットの非対称性が見られており、これまで知られていなかったこの非対称性に関する講演が続いたのは全くの偶然であるが興味深いことであった。ポスター発表では、Kramer (Eindhoven Univ. Tech.) が矩形領域で粘着境界条件の場合の β 平面乱流の数値計算においてスナップショットでは帯状構造は見えにくい、ある程度の時間平均をとると帯状構造が見えてくる旨の発表を行っていた。彼等のグループは以前から粘着境界条件のもとでの乱流計算を行っているが、チェビシェフ多項式を使ったスペクトル法を高分解能化する場合の苦労話などが聴けて参考になった。

また、セッションは異なるが、惑星大気のセッションで Read (Univ. Oxford) が Balk (2005) の論文について紹介していた。この論文は、やや条件に限定はつくものの、 β 平面のパロトロピック系においてエネルギーやカシミア保存量以外の新たな保存量が存在することを示し、それを用いて β 平面乱流から帯状構造が出現すべきことを議論しているものである。かなり数学的に難解なものであるが、30年来完全には未解決であったこの問題に対する最終的解答となっているかもしれないものであり、非常に興味深い論文である。

回転球面上の乱流計算については、まず、林(北海道大学)が回転球面乱流計算全般に関するサマリー発表を行った。パロトロピックな話としては谷口(京都大学)が赤道に粘着境界がある場合の減衰性乱流から東向き周極流が形成される話を、竹広(京都大学)が全球の場合で形成される西向き周極流の強さの回転角速度依存性の話を発表していた。浅水系については、減衰性の場合について、北村(京都大学)が赤道域で形成されるジェットの向きについてのパラメータ依存性およびメカニズムを議論していた。また、

Scott (NWRA) は強制散逸系で形成される帯状構造の変形半径依存性について議論していた。そこでは浅水系との比較のために球面上の等価順圧方程式という一見かなりナンセンスなものも利用していたが、現象の切り分けという意味で、こういうものを利用するものなかなか面白いアイデアなのかもしれないと思った。

(石岡圭一)

5. 北極振動研究の現状

本会議では、中高緯度に見られる偏西風ジェットの成因を念頭に、北極振動 (Arctic Oscillation : AO) の成因について多くの議論が交わされた。北極振動は力学的なモードなのか統計的な虚像なのか、北極振動は北大西洋振動 (North Atlantic Oscillation : NAO) とどう違うのか、また、AO と NAM (Northern Annular Mode) はどう使い分けるのか、などが話題となった。これらの疑問が、主観的には少しは解決に近づいたようである。Boldwin (NWRA) の説明によると、成層圏や対流圏の特定のレベルで気圧場の EOF-1 を見たものが NAM で、地上気圧場で EOF-1 を見たものが AO である、と解釈されていた。実に納得のゆく解釈である。地上気圧場は全鉛直コラムの質量積分で決まることから、大気の流れ成分を見ていることになり、2次元流体力学的振る舞いが重要となる。それに対し、成層圏や対流圏の特定のレベルの気圧場は、傾圧成分の影響が加わるので一層複雑な振る舞いになる。

成層圏の極夜ジェットは放射場による南北の温度傾度が基本的にその成因であるが、その変動となると成層圏突然昇温などの力学過程が重要になってくる。対流圏のジェット気流には、ハドレー循環による角運動量保存則が成因となる亜熱帯ジェットと、中緯度傾圧帯の渦運動量輸送の収束が成因となる寒帯前線ジェットの2つが存在する。Lee (Pennsylvania State Univ.) の解説によると、地球の自転や重力加速度などの物理的なパラメータは、シングルジェットとダブルジェットの遷移帯に存在するため、場所によりジェットの特徴が異なっている。たとえば、北半球の大西洋東部では両者が明瞭に分離しているが、太平洋西部では両者が重なりシングルジェットになっている。南半球では明らかにダブルジェットとなっている。

北極振動は、亜熱帯ジェットの 변동ではなく寒帯前線ジェットの変動に注目した現象である。したがって、

両者が南北に分離している大西洋で変動が顕著となり NAO が顕在化する一方で、両者が重なる太平洋域では相対的にシグナルは弱くなる。北極振動が渦運動量輸送、つまり EP フラックスの南北成分の変化により駆動されるという研究がある一方で、北極振動は定常プラネタリー波に駆動されるという解析結果もある。筆者は、大気大循環の特徴的なプロセスである Barotropization (順圧化) により、総観規模の順圧成分に蓄えられた渦動エネルギーが、逆カスケードにより Rhines スケールの準定常プラネタリー波にひとたび蓄積され、それが Zonalization (帯状化) により北極振動を駆動するプロセスを解析的に示した。そして、北極振動の具体的な構造を解明するために、固有値がほぼ0となる力学的な特異固有モード (北極振動モード) の存在を示し、準定常な Zonalization という外力で、この特異固有モードが北極振動という特徴的な構造を持ってアノマリを維持することを示した。筆者と同様に F. F. Jin (Florida state Univ.) も北極振動は力学的なモードであることを主張していた。本会議では北極振動が統計的虚像であると主張する発表は影を潜めてしまっていたが、論争はまた収束していないようである。

(田中 博)

6. ジェット、及び環状モードの東西非一様性

会議名にもなっているジェット、及び環状モードは第0近似としては東西一様な流れを想定しているといっても過言ではないだろう。一方で、ジェット・環状モード共に大きな東西非一様性を持つことも周知の事実である。そのような視点からの研究として、経度セクター別 EOF を系統的に調べた Kushner (Univ. Toronto) と対流圏・成層圏ジェットの結合 (jet linkage) の東西非一様性に着目した Ambaum (Univ. Reading) の発表が目をつけた。一方で、東西非一様な場の時間発展を記述するのに有効と思われる三次元波活動度フラックスを用いた研究が見当たらなかったのは意外でもあった。これは、背景場の時間発展とフラックス収束を明確に対応付ける三次元波活動度フラックスの出現を待たねばならないのかもしれない。筆者自身は東西非一様な場の平均的な描像を記述するのに有効な改良ラグランジュ平均の手法を用いた研究について発表したが、改良ラグランジュ平均場と波動との関わりを考える上で、東西非一様性は重要なキーワードになると感じた。会議全体としては、特にポスターセッ

ションにゆったりした時間・空間が確保されており、1日1回のセッションで突っ込んだ議論を行えたことは大きな収穫だった。筆者自身の勉強不足のために理解の及ばない発表も多かったが、大気・海洋力学の一線の研究者が一同に集まるこのような機会があれば、今後も参加していきたい。

(富川喜弘)

7. 海洋中のジェット

海洋の分野ではジェットやフロント構造の形成及び南極周極流関係などの口頭・ポスター発表があった。私自身はOGCMに現れた300~500 km ぐらいのジェット構造についての発表を行った。そのジェット構造は、最後のパネル討論では、ある種のモデルに特有の問題ではなく、実際に存在し、モデルで見つかり、その後で観測で部分的に検証された現象である例であるとして認識していただいた。一方、その形成メカニズムについては、不明な点が多く、その場の議論では、最も有力な形成メカニズムの1つであるRhines効果にしても、その海洋への適用には難しい面があることが共通認識のようである。

いままでは、極論をいえば、海洋の大循環場にとって、中規模渦のスケールはサブグリッドのパラメタリゼーションの対象であったが、最近10年ほどの、衛星・フロートなどによる観測データの飛躍的増大、中規模渦を表現できる高解像度海洋モデルの普及などによって、実際にその現象を直接説明する段階に來たと言う事という印象を受けた。南極周極流などの、東西に岸がなくかつ順圧流が卓越する海域においては大気の理論がほぼ適用できるが、その他の海域の特徴である、成層が強く南北に大陸がある条件の理論は、非常に理想的な状況でさえ、まだまだ未成熟であるように思えた。また、その上で現実への適用においては、海底地形と渦の相互作用も重要になりそうである。

特に、東西に岸があり強い成層がある場合のRhines効果は、理論的な取り扱いの難しさもあり、驚くほど長年無視されてきたが、今大会において、いくつかの萌芽研究を見ることができた。結果の解釈はともかく、数値実験そのものは別段難しいわけではない。今後盛んに行われそうである。

(中野英之)

8. 会議を通じての印象

今回の行われたチャップマン会議は、私にとって初

の海外出張でもあり、これまで参加させていただいた学会とは一味違った期待と緊張の中での4日間であった。会議では、jet や annular mode に関する幅広い研究が報告され、データ解析から理論的研究に至るまで多岐にわたる手法が展開されていた。その中でもLee (Pennsylvania State Univ.) のポスターセッションが印象的であった。観測では比較的良く知られた現象を、理想化したモデルでその成因を理論的に調べるという研究手法は、私が現在行っている研究と近い手法であり、学ぶところが多かった。私も、帯状収束雲に伴う渦状擾乱に関する理論的研究についてこれまでの成果を報告させていただいたが、有益なコメントをいただくことができた。またデータ解析の立場の方からは、理想化モデルによる結果が現実と整合的であるかという点について多くの質問を受けた。

近年の観測技術や計算機環境の発達により、現象論的な理解が進んでいる一方で、そもそもどういった要因によって現象が引き起こされているのか、その物理的プロセスに対する理解が進んでいない現象も多く残されていると思う。会議を通じて現象の物理的プロセスを明らかにしていくことのおもしろさと重要性を認識した。そして理想化して現象を検討する際に、常に実際の現象との対応を念頭においておかねばならない、という姿勢が私に十分備わっているかと考えさせられた。

(前島康光)

略語一覧

AGU: American Geophysical Union アメリカ地球物理学連合

AO: Arctic Oscillation 北極振動

CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique
フランス国立科学研究センター

ECMWF: European Centre for Medium-Range
Weather Forecasts ヨーロッパ中期天気予報センター

EOF: Empirical Orthogonal Function 経験的直交関数

EPフラックス: Eliassen and Palm flux エリアセン・パーム フラックス

GFDL: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory 地球流体力学研究所; 米国海洋大気庁

GISS: Goddard Institute for Space Studies ゴダード宇宙科学研究所

IUGG: International Union of Geodesy and Geo-

physics 国際測地学・地球物理学連合
 KAGI21 : Kyoto University Active Geosphere Investigations for the 21st Century COE Program 京都大学21世紀 COE プログラム「活地球圏の変動解明」
 LDEO : Lamont-Doherty Earth Observatory ラモント・ドーティ-地球科学研究所
 MIT : Massachusetts Institute of Technology マサチューセッツ工科大学
 NAM : Northern Annular Mode 北半球環状構造
 NAO : North Atlantic Oscillation 北大西洋振動
 NASA : National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局
 NCAR : National Center for Atmospheric Research 米国大気研究センター
 NSF : National Science Foundation 米国科学財団
 NWRA : Northwest Research Associates ノースウエスト研究機構
 OGCM : Ocean General Circulation Model 海洋大循環モデル

環モデル
 PV : Potential Vorticity 渦位
 WHOI : Woods Hole Oceanographic Institution ウッズホール海洋研究所

参 考 論 文

Balk, A. M., 2005 : Angular distribution of Rossby wave energy, *Phys. Lett. A*, **345**, 154-160.
 Nakano, H. and H. Hasumi, 2005 : A series of zonal jets embedded the broad zonal flows in the Pacific obtained in eddy-permitting ocean general circulation models, *J. Phys. Oceanogr.*, **35**, 474-488.
 Rhines, P. B., 1975 : Waves and turbulence on a beta-plane, *J. Fluid Mech.*, **69**, 417-443.
 Yoden, S., K. Ishioka and S. Sakai, 2005 : An Introduction to Geophysical Fluid Dynamics, KAGI21 Computer Exercise Series, Vol. 1 (ver. 0).