

NCAR Summer Colloquium 参加報告*

渡 部 雅 浩**

1. はじめに

やや古い話になるが、2000年7月16~28日の13日間、National Center for Atmospheric Research (NCAR) と University Cooperation for Atmospheric Research (UCAR) の Advanced Study Program が共催している夏のコロキウムがコロラド州ボルダーにて行われた。これは、若手ポスドクと Ph. D. students のために毎年開かれているものだが、この年のテーマは 'Dynamics of Decadal to Centennial Climate Variability' ということで、Mike Wallace, David Battisti, Jim McWilliams ほか豪華講師陣に惹かれた事もあり参加してきた。各分野で第一線の講師が23名もいたのに対して参加者がたったの45名 (第1図参照) と、参加する側からすれば非常に贅沢な経験である。参加者はアメリカから35名 (うちワシントン大から10名、コロンビア大から6名)、イギリスから2名、フランス・ドイツ・ロシア・スペイン・日本・カナダ・オーストラリア・オランダから各1名と、やはり国内からの参加者が圧倒的に多かった (とはいえ、そのうちのかなりの部分は国外出身である)。

セミナーは毎日朝から晩まで、NCAR の Foothills Lab. にておこなわれた。同じテーマのもととはいえ、長周期気候変動は今や対流圏大気・海洋のみならず、海水・氷床・陸面・成層圏と多彩な領域にまたがる話題であるので、各講師は比較的初歩から話を始めていた。たとえば Kevin Trenberth は熱帯 SST の季節サイクルの様子やエルニーニョの定義から、Grant Branstator は浅水波方程式や順圧ロスビー波の解説から、



第1図 Foothills Lab. 玄関前での講師・参加者の集合写真。

といった具合である。それでも、当然ながら各講義には最新の研究成果や論点が盛り込まれており、気候システムにおける10年規模変動の全体像を把握するには絶好の機会だったと言える。また、以前会ったことのある講師やポスドクと再会して研究の進展状況を確認合うことができたことも私にとっては嬉しい点だった。講義は夕方には終わるので、その後仲間達とダウンタウンのバーで結構な地ビールを吞んでばかりの毎日だったが、そのような雑感の後回しにして、まずは各講師の話を簡単に紹介したい。なお、このコロキウムのより詳しい報告は <http://www.asp.ucar.edu/colloquium/2000/frontpg.html> に掲載されている。

2. セミナー報告：第1週目

第1週目のトピックは、大きく分けて観測された大気・海洋・海水の変動、熱塩循環にまつわる話、および ENSO の観測・理論であった。初日は、まず Jim Hurrell (NCAR) が最近100年間の地上気温・地表気圧のトレンドおよび観測データの信頼性について詳しく話し、続いて Mike Wallace (ワシントン大学) がはりの北極振動・南極振動 (annular mode と呼ばれ

* Report on the NCAR/ASP Summer Colloquium 2000.

** 東京大学気候システム研究センター (現：ハワイ大学気象学科), e-mail: hiro@ccsr.u-tokyo.ac.jp <mailto:hiro@ccsr.u-tokyo.ac.jp>

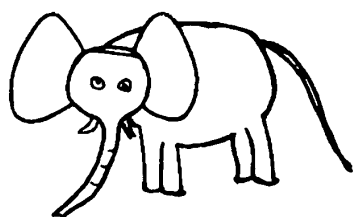
© 2002 日本気象学会

North Atlantic Oscillation

Walker and Bliss (1992)

van Loon and Rogers (1978)

Hurrell (1995)



Zonal Index Cycle

Rossby (1939)

Namias (1950)

Lorenz (1951)

EOF1 of SLP

Kutzbach (1970)

Trenberth (1981)

W & G (1981)

"Annular Mode"

"Arctic Oscillation"

第2図 AO, NAO, index cycleを説明する
Wallaceによるイラスト.

る)について講義を行った. Wallaceの講義は, 最近出た論文 (Wallace, 2000) と同じ趣旨で, 一匹の象に喩えて北極振動 (AO)・北大西洋振動 (NAO)・zonal index cycleは同じ象を違う角度から見ているに過ぎない, と強調した(第2図). しかし Wallaceに近い人に言わせると, 以前はAOとNAOは違うモードであると主張していたようで, Wallace自身徐々に論調を変えているらしい.

2~3日目は, 始めに Ed Sarachik (ワシントン大学), Andrew Weaver (ヴィクトリア大学), Marika Holland (NCAR) などが熱塩循環の数十年変動, 温暖化時の応答, および北極域海水変動との結合について解説した. 数十年変動については, 後で触れる中緯度大気海洋系の10年変動と同様, 主に観測データの不足とモデル間の結果のばらつきが原因で, 未だメカニズムに対して統一した見解がないようである. しかし, 大気ノイズが強制源として重要であること, 大気海洋間に相互作用があるかどうかは1つの鍵であることは概ね一致してきたようでもあった. これらの話以降, 第1週の残りは ENSO の議論に費やされた. まず, 偉大なる 'スーパーマリオ', Kevin Trenberth (NCAR) がエルニーニョの観測的側面についての講義を行った. データ解析の権威にふさわしく, 観測的事実を非常に綿密に解説してくれたが, 現象の解釈にやや慎重過ぎる感が否めなかった. Trenberth に続いて, Grant Branstator (NCAR) が熱帯の熱源に対する大気の応答についてのレビューを行った (私の関心の度合いに

従って, 彼についてはちょっと長目に述べたい). 話のほとんどは彼が過去に線型力学モデルを用いて行った研究成果に基づいている. Hoskins and Karoly (1981) から20年近く経つ現在, 大気基本場の東西非対称性とストームトラックからのフィードバックが強制に対する定常大気応答を議論する際に重要であることが認識されている (例えば Held *et al.*, 1989や Branstator, 1992, 1995など). 彼がそうした経緯を解説することは予想していたが, さらに進んで短周期擾乱からのフィードバックを含めた定常場の固有関数を示したのには驚いた. これは, 大規模場の偏差とストームトラックの相互作用がどういうモードに選択的に働くかという, いわゆる preferred structure の問題に答えを与えるもので, 線型モデルを扱う研究者にとってはおおいなるチャレンジである. よく聞いてみれば, 固有モードは順圧渦度方程式と経験的に求めたフィードバック演算子を用いたものだったので, それほど大変なことではないと分かったが, 彼は1989年に既にこの結果を得ていたというからますます驚く (しかも未発表である). 詳述しないが, 結果は充分納得ゆくように見えた. しかし, Branstator 本人は未だに結果に満足していないようで, 自分が納得するまで論文にはしなないと言っていた. 論文物量主義のアメリカで, このように慎重な研究者がいるものかと思わず感心してしまった. 講義の後, ワシントン大学の Eric DeWeaver (彼は北極振動の力学について線型モデルで優れた仕事をしているポストドクである) と私が Branstator に質問を重ねているうちに宿へ戻るバスを逃してしまったので, 彼が我々を車で送ってくれた. 地味な彼らしいというべきか, 車は古いマツダで, しかしホイットニー・ヒューストンのカセットが積んであったのが微笑ましかった (Branstator は少なくとも外見は一初老に近い).

David Battisti (ワシントン大学) は講師陣の中で唯一3コマもレクチャーをして大活躍であった. 話は ENSO についての過去の理論と, 最近の decadal ENSO についての弟子たちの研究紹介が主だったが, さすがに長年大気-海洋結合系を研究してきた人で話の合間に多彩なアイデア (その多くは, Battisti 自身から前から温めていたものらしい) を紹介していた. この人は, 質問を受けるときに何とも困ったような顔をするのでどことなくユーモラスである.

Clara Deser (NCAR) は女性としてはもちろん, 研究者としても非常に魅力的な人である. 彼女は北太平洋の10年変動について自分のデータ解析とともにいく

つかのモデル研究を紹介した。1976年の気候シフトに関して、観測データから見積もったスベルドラップ輸送偏差や黒潮流量偏差から、現実には Latif and Barnett (1996) の仮説を支持しないことを、また、Schneider *et al.* (1999) の結果から、中緯度から熱帯へのラグランジュの水塊移動はありそうもないことを示した。Deser の詳細な解析結果は、モデルにより提示されたメカニズムを次々と否定している形だが、中緯度-熱帯間の結合については波による熱輸送というメカニズムが有力候補として残っている。彼女の講義の後、Peter Gent (NCAR) が Climate System Model について話して第1週目は終わった。Gent の話はさすがに貫禄で、よりよい結合モデルの開発にはいかに地道な努力の積み重ねが必要であることを思い知らされた。

3. セミナー報告：第2週目

第2週目はまず統計解析手法の講義から始まった。MJO 発見者の1人である Rol Madden (NCAR) が時系列解析を、C. Bretherton (ワシントン大学) が EOF, SVD その他のポピュラーな手法を解説した。1日を割いて統計解析の講義を設けたのは、モデラーだろうと誰だろうと1通りの手法は知っているべきであるという暗黙の意図があったように思われる。ちなみに Madden は1967年からずっと NCAR で研究しているという。私が生まれるだいぶ前である。未だに研究を続けたいために行政・管理側にはいかないと言っている彼は、レセプション会場でも熱心に現在見ている熱帯東進波動について語ってくれた。確かに彼は若々しかった。

2日目は Walter Robinson (イリノイ大学) が大気長周期変動について、Mike Alexander (CDC/NOAA) が海洋混合層過程について話をした。Robinson の話は大気の内外部変動から中緯度 SST 強制に対する大気応答まで過去の研究を網羅したよいレビューだった。一方、Alexander は海面の熱収支からエントレインメントの果たす役割までを解説した。私は一昨年初めて会って以来、彼ときどき連絡をとっているが、SST の再帰過程 (Alexander and Deser, 1995; Alexander *et al.*, 1999; Watanabe and Kimoto, 2000a) について既に確固たる業績があるにも関わらず、態度が謙虚で非常に好感の持てる人である。

2週目の山場は何と言っても中緯度大気-海洋系である。2日間にわたり、Jim McWilliams (UCLA), Claude Frankignoul (LODC/パリ大学), Joe Barsugli

(NCAR), R. Saravanan (NCAR), John Marshall (MIT) といった錚々たる顔触れが、中緯度大気-海洋系についての理論および各種モデルによる結合モードを議論した。そこに混じって、私を含む数人の参加者も発表を行った。我々の前に Frankignoul が中緯度大気-海洋系に対する stochastic 理論の適用を話したが、その彼が我々のスピーチのときに目の前に座っていたのには困惑した。Frankignoul は Hasselmann から stochastic モデルを引継ぎ、多くの優れた論文を書いているが (例えば Frankignoul, 1985), 中緯度では大気が一方向的に海洋を駆動しているというのが持論である。ところが私の発表は、主に中緯度大気-海洋系の正のフィードバックに関する話だったので、キツめに批判されるのではないかと思っていた。しかし、後で話してみると正の結合フィードバックを全く否定しているわけではないようで、GCM と線型モデルで検証を行った我々の研究 (Watanabe and Kimoto, 2000b) に概ね賛成してくれた。

コロキウムの締めくくりは熱帯大西洋変動である。Jim Hurrell が観測事実を、Rowan Sutton (レディング大学) が理論と簡易モデルから GCM までの幅広いシミュレーション結果をレビューし、最後に Ping Chang (テキサス A&M 大学) が風速-蒸発-SST フィードバック (Xie and Philander 1994) の重要性を指摘しつつ、大気-海洋結合モードとしての熱帯大西洋 dipole を論じた。私にとって面白かったのは、Saravanan and McWilliams (1998) や我々 (Watanabe and Kimoto, 2000c) が中緯度大西洋について提示したのとよく似た移流振動メカニズムを彼が考えていたことである。これは Xie and Tanimoto (1998), Xie (1999) のメカニズムとも異なるもので、どちらがより現実を説明するかは今後の研究の進展で明らかになるだろう。

4. ボールダー雑感

ボールダーはロッキーの山裾で、自然あふれた美しい街である。コロラド大学のキャンパスでは、リス・鹿・ラクーンなどをしばしば見かけた。またある日には、全員で小高い山に登り、グレートプレーンの雄大な景色を堪能した。

はじめに書いたように、セミナー中は毎晩のようにバーに出かけたが、ある晩ボールダーではよく見かける「オアシス」というビールの卸元のバー (日本でいうところの地ビールレストランである) に行ったとき

には些か困った。ボールダーはコロラド大学の街で(我々の宿泊先もコロラド大学の寮であった)、バーではしばしば年齢を証明するIDを見せることが要求される。ところが我々は外国人の混成集団なので、持っているIDカードもまちまちである。そのバーでは、仲間8人のうち私を含めた3人のIDカードが通用せず、我々は横目でビールを睨みつつオレンジジュースを飲まざるを得なかった。

NCARはボールダーに2つの建物を持っており、多くの研究者はMesa Lab. という丘の上の研究所で働いている。ボールダーでは雷雨がしばしば観られ、Mesa Lab. から眺める雷は非常に雄大だと住教授から聞いていたので期待していたが、残念ながらそれを見る機会は訪れなかった。

参 考 文 献

- Alexander, M. A. and C. Deser, 1995 : A mechanism for the recurrence of wintertime midlatitude SST anomalies, *J. Phys. Oceanogr.*, **25**, 122-137.
- Alexander, M. A., C. Deser, and M. S. Timlin, 1999 : The reemergence of SST anomalies in the North Pacific Ocean, *J. Climate*, **12**, 2419-2433.
- Branstator, G., 1992 : The maintenance of low-frequency atmospheric anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 1924-1945.
- Branstator, G., 1995 : Organization of storm track anomalies by recurring low-frequency circulation anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **52**, 207-226.
- Frankignoul, C., 1985 : Sea surface temperature anomalies, planetary waves, and air-sea feedback in the middle latitudes, *Rev. Geophys.*, **23**, 357-390.
- Held, I. M., S. W. Lyons and S. Nigam, 1989 : Transients and the extratropical response to El Nino, *J. Atmos. Sci.*, **46**, 163-174.
- Hoskins, B. J. and D. J. Karoly, 1981 : The steady linear response of aspherical atmosphere to thermal and orographical forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179-1196.
- Latif, M. and T. P. Barnett, 1996 : Decadal climate variability over the North Pacific and North America : Dynamics and predictability, *J. Climate*, **9**, 2407-2423.
- Saravanan, R. and J. C. McWilliams, 1998 : Advective ocean-atmosphere interaction : An analytical stochastic model with implications for decadal variability, *J. Climate*, **11**, 165-188.
- Schneider, N., A. J. Miller, M. A. Alexander and C. Deser, 1999 : Subduction of decadal North Pacific temperature anomalies : Observations and dynamics, *J. Phys. Oceanogr.*, **29**, 1056-1070.
- Wallace, J. M., 2000 : North Atlantic Oscillation/annular mode : Two paradigms-one phenomenon, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 791-805.
- Watanabe, M. and M. Kimoto, 2000a : On the persistence of decadal SST anomalies in the North Atlantic, *J. Climate*, **13**, 3017-3028.
- Watanabe, M. and M. Kimoto, 2000b : Atmosphere-ocean thermal coupling in the North Atlantic : A positive feedback, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 3343-3369.
- Watanabe, M. and M. Kimoto, 2000c : Behavior of midlatitude decadal oscillations in a simple atmosphere-ocean system, *J. Meteor. Soc. Japan*, **78**, 441-460.
- Xie, S.-P. and S. G. H. Philander, 1994 : A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific, *Tellus*, **46A**, 340-350.
- Xie, S.-P. and Y. Tanimoto, 1998 : A pan-Atlantic decadal climate oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 2185-2188.
- Xie, S.-P., 1999 : A dynamic ocean-atmosphere model of the tropical Atlantic decadal variability, *J. Climate*, **12**, 64-70.