

第24回米国気象学会台風・熱帯気象会議参加報告*

別所 康太郎*¹・那須野 智 江*²・森 一 正*³・吉 村 純*⁴
筒 井 純 一*⁵・西 憲 敬*⁶・大 内 和 良*⁷

1. はじめに

2000年5月29日～6月2日、米国フロリダ州フォートローダーデールにて、第24回台風・熱帯気象会議が、米国気象学会により開催された。本会議は第10回大気海洋相互作用会議との共催であった。会場は、市の中心街から少しはずれたマリナーのそばのプロワードコンベンションセンターが当てられ、その周辺のリゾートホテルに宿泊した。参加者は約400人で、米国・ヨーロッパはもちろん、アジア・オセアニア・中南米各国から台風・熱帯気象の研究者が集まった。台風・熱帯気象に特化した定期会議は他では見られないので、事実上の「世界会議」である。会議の構成は第1表にあるとおりで、総セッション数は53個にのぼり、その他にも会議冒頭にディベートが1つ、途中でパネルディスカッションが1つ、さらにポスターセッションがあった。

以下、台風の理論的研究(2章・那須野)・観測的研究(3章・森)・気候学的研究(4章・吉村)・その他(5章・筒井)、および熱帯気象研究(6章・西, 7章・大内)に関連するいくつかのセッションについて、その内容と印象を各参加者が報告する。台風・熱帯気象研究の最前線の熱気を味わっていただければ幸いである。

なお、本稿ではハリケーンや熱帯低気圧を固有名以外は全て「台風」と表記している。また、各参加者の興味の都合上、一部重複して報告するセッションがあることをお断りしておく。

会議の日程・講演の要旨については、米国気象学会のホームページ、<http://ams.confex.com/ams/last2000/24Hurricanes/program.htm>を参照して欲しい。また、筆者を含む気象研究所からの参加者については、気象研究所台風研究部のホームページ <http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ty/ty-sjis.html>に、別に報告があるので見ていただければ幸いである。

(別所康太郎)

2. 台風の理論研究

2.1 セッション1A・2A (台風強度変化理論I・II)

台風強度に対する海面水温や風速の鉛直シア어의影響は定性的には知られているが、これらについての事例解析や数値モデルを用いた検証が前半の中心テーマだった。Frank (ペンシルバニア州立大) は非静力学5 km 格子モデルを用いて鉛直シア어의効果(抑制)について調べ、5 m/s 程度のシア어でも実質的な影響があり、非対称成分の卓越が特に上層から始まって台風の構造が崩れていくことを示した。

後半6件の発表のうち、3件はSmith (独ミュンヒヒ大学) のグループによるもので、3次元の最小(できるだけ簡単な)台風モデルにおいて3種類の対流パラメタリゼーション(Arakawa, 1969; Ooyama, 1969; Emanuel, 1995) の比較から対流の効果の台風強度への寄与を調べ、熱放出を境界層上端の上昇流に依存させるOoyamaの方法では他の2つより発達が速く、いずれの場合にも最盛期にはパラメタリゼー

* Report on the 24th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology

*¹ Kotaro Bessho, 気象研究所台風研究部。

*² Tomoe Nasuno, 地球フロンティア。

© 2001 日本気象学会

*³ Kazumasa Mori, 気象庁気候・海洋気象部。

*⁴ Jun Yoshimura, 地球フロンティア。

*⁵ Jun-ichi Tsutsui, (財)電力中央研究所。

*⁶ Noriyuki Nishi, 京都大学大学院理学研究科。

*⁷ Kazuyoshi Oouchi, 東京大学大学院理学系研究科。

第1表 会議のセッション構成。

セッション番号	セッション名	本報告で該当する節
1A・2A	台風強度変化理論 (Tropical cyclone intensity change theory) I・II	2.1
1B・2B	熱帯波動・不安定性 (Tropical waves and instabilities) I・II	6
1C	台風の年々変動 (Interannual variation of tropical cyclones)	5.2
2C	台風の季節内変動 (Intraseasonal variations of tropical cyclones)	5.2
3A	台風・トラフ相互作用 (Tropical cyclone-trough interactions)	2.2
3B・4A	台風移動理論 (Tropical cyclone motion theory) I・II	
3C	熱帯の季節内変動 (Intraseasonal variations in the tropics)	7.1
4A・5A	最適観測法およびデータ同化 (Adaptive observing systems and data assimilation) I・II	
4B	熱帯の年々変動 (Interannual variations in the tropics)	
5B	メソ対流系 (Mesoscale convective systems)	
6A・7A	台風強度予報 (Tropical cyclone intensity forecasting) I・II	
6B・7B	台風発生 (Tropical cyclogenesis) I・II	2.3 3.1
8A・9A・10A	上陸時の台風 (Tropical cyclones at landfall) I・II・III	
8B・9B	台風の温帯低気圧化 (Extratropical transition) I・II	
10B	対流パラメタリゼーション (Convective parameterization)	5.3
11A	CAMEX (Convection and Moisture Experiment)	
11B	北アフリカモンスーン (North African monsoon)	
12A・13A・14A・15A	台風の構造 (Tropical cyclone structure) I・II・III・IV	2.4
12B・13B・14B・15B	台風の進路予報 (Tropical cyclone track forecasting) I・II・III・IV	5.4
12C・13C	モンスーンと熱帯収束帯 (Monsoons and the intertropical convergence zone) I・II	
14C	台風の気候変動度と気候変化 (Tropical cyclone climate variability and climate change)	4
15C・16B・17B	対流過程 (Convective processes) I・II・III	7.1
16A	台風の現業予報 (Operational forecasting of tropical cyclones)	
16C	歴史的な台風 (Historical tropical cyclones)	
17A	社会的影響と負荷 (Societal impacts and stresses)	
17C	SCSMEX (South China Sea Monsoon Experiment)	
J1・J2	台風強度への海洋相互作用の効果 (Ocean interaction effects on tropical cyclone intensity) I・II	3.2 5.1
J2・J3	JASMINE (Joint Air-Sea Monsoon Interaction Experiment) I・II	
J4	モンスーンの発達・変動・予報可能性におよぼす大気・海洋相互作用の影響 (Influence of air-sea interactions on monsoon development, variability and predictability)	
J5	ディベート「エルニーニョ・ラニーニャ予報にスキルはあるか？」 "Is there skill in forecasting El Nino and La Nina events?"	
J6	熱帯大気・海洋システムの季節予報可能性 (Predictability of the tropical atmosphere-ocean system on seasonal timescales)	
J7・J8	台風に関する大気および海洋境界層 (Atmospheric and oceanic boundary layers in tropical cyclones) I・II	3.2 5.1

セッションを用いない場合より弱くなることを示した。

筆者は対流パラメタリゼーションのセッション (10B)において、メソスケール対流を解像した台風モデルにおける積雲対流スケールのパラメタリゼーションの効果について発表した。彼らと様々な議論を交わす機会を得たことは大きな収穫であった。

2.2 セッション3A (台風・トラフ相互作用)

台風の発生や発達に対する外的要因の1つとしてトラフとの相互作用が注目されてきた。このセッションでは、観測や数値実験からトラフの役割が議論された。Hanley (ニューヨーク州立大) はトラフにより強まった事例(ハリケーン Bertha, 1996)と弱まった事例(ハリケーン Edouard, 1996)の違いについて渦位偏差の深さと関連づけて考察した。Kammimga (南アラバマ大学) は数値モデルを用いて深さの異なるトラフと(深い, 中間, 浅い) 渦との相互作用を調べ、深いトラフは渦との合体により発達を促すことを渦位場から明快に示しており興味深かった。

2.3 セッション6B (台風発生 I)

台風の発生にはトラフとの相互作用の他、実に様々な要因が絡んでおり、興味が尽きない。Molinari (ニューヨーク州立大学) からは、季節内振動に伴う東西風速や中層の湿度の変化を背景場として、波動擾乱の増幅が起こり、地表で低気圧が発生するというシナリオを示した。Davis (NCAR) の言うようにはじめに上層に前兆となるものがあるところまでまとまった潜熱の放出(対流の組織化)が起こり、下層で渦が形成されて、海面との相互作用により発達・維持するというのが一般的な認識のようだが、まだまだそれぞれの具体的な理解は途上にある(まだできることが沢山ある)と感じた。

2.4 セッション12A (台風の構造 I)

今回は全体に非静力学高解像度モデル(1~5 km)を用いた研究発表が目立ったが、その中でもこのセッションでは目の壁の構造や力学の新たな理解に対する意欲的な取り組みが多く、息詰まるような興奮を覚え

た。Zhang (メリーランド大学) は、MM5で6 km 格子を用いて中心付近の鉛直加速度について各成分の比較を行い、接線風速の強まりに起因する鉛直気圧傾度力が下降流及び目の形成をもたらすことを強調した。Braun (NASA/GSFC) はMM5で1.3 km 格子(中心付近のみ、6時間)を用いたシミュレーション結果を示し、複数のセルから成る目の壁雲が上層(圏界面付近)だけでなく下層(2 km 付近)にも強い吹き出し流を形成すること、目の壁の最も中心付近まで達する空気は台風の外の領域から来ることを示し、質問とコメントが殺到した。これらの特徴は軸対称モデルで見られる構造(Yamasaki, 1983)とよく対応していたが、目の中の地表付近にある相当温位の極大や目の壁雲の内縁に沿って回転する重力波の存在は新鮮だった。Kossin (コロラド州立大学) は観測(ハリケーン Diana, 1984)から2つのレジームを検出し、最盛期までは渦位の極大が最大風速域に鋭いピークを持つのが、その後短時間のうちに中心で渦位が急増、最大風速域では減少して台風が弱まることを示し、これが渦位の水平混合によるものであることを数値モデルを用いて検証した。同様の特徴は軸対称モデルでもしばしば見られることから、筆者自身も後で色々質問したが、この発表も多くの議論を呼び、MAX EATON 学生賞に輝いた。

2.5 所感

筆者にとって今回は2度目の参加となったが、5日間のうちには発表を聴いて興味を持った相手を何とかつかまえて議論することができ、これは思ってもみなかった幸運であった。とつとつとしたこちらの話に辛抱強く耳を傾け、丁寧に答えてくれた一人一人の真剣な眼差しを思い出すと心が奮い起つ思いがする。また、大山先生、笠原先生、柳井先生から発表内容に関するコメントを頂き、大変励みになった。

研究者としてまだまだ駆け出しだが少しでも腕を磨いてまた次回も参加したいと考えている。

(那須野智江)

3. 気象庁現業の立場から

筆者の本会議参加目的は、「気象庁観測船啓風丸観測データによる台風 REX (1984) 発生過程のメソスケール解析」について講演発表し議論をすることと、「現業的な台風解析・予報等により貢献する今日的な海洋気象観測」に関する国際的な動向を把握することであった。筆者の立場からみて興味深かったセッションでの

主な研究発表を以下に紹介する。

3.1 セッション6B・7B (台風発生 I・II)

Molinari (ニューヨーク州立大学) は台風発生に関する大規模場の影響に関するこれまでの研究のまとめを行い、Lee (台湾大学) は台風発生に関する環境場の運動量の影響について数値実験により調べた結果を報告した。Davis (NCAR) は、ハリケーン DIANA (1984) の弱い熱帯低気圧から成熟期台風までの発達過程をMM5で再現し、弱い熱帯低気圧の段階ではメソスケール渦の強化が重要で、最盛期近くには大気海洋相互作用が重要であることを示した。Pan (NOAA/NWS/NCEP) は、現業予報モデルにおける台風発生過程の再現について NCEP での状況をまとめ、現在は台風発生予報を改善する段階であると述べた。

筆者他は、観測船啓風丸のレーダー観測結果を用いた台風 REX (1984) の発生過程中に既存下層渦循環中心付近に形成され急激に発達し長続きする MCS の構造と周辺下層循環場の時間変化を示し、この強くて長続きする対流が下層低気圧性循環強化に寄与しているという推論を示した。Molinari らから、下層渦が下降し海上に達した (touch down) かどうかと高層観測結果の特徴に関して質問があり、観測結果からは、下層低気圧性渦循環は海上に達していなかったようであることと、下層低気圧性渦循環の最大風速高度は発生過程の進展に伴って高度650 hPa から900 hPa まで下降していたようであった事を回答した。また、Dickinson (ニューヨーク州立大) は西太平洋域における混合ロスビー重力波からの台風発生的事例解析結果を示した。

3.2 セッション J1・J2 (台風強度への海洋相互作用の効果 I・II) および J7・J8 (台風に関する大気および海洋境界層 I・II) 他

Wright (NASA) は、航空機搭載レーダー高度計の観測データにより、外洋上での台風域の波の方向スペクトルの空間変動を示した。Shay (NOAA/AOML/HRD) のグループは表層混合層の熱量が台風の強度変化に重要な役割を果たしていることを示し、カリブ海域での暖水塊と台風発達・維持との関係について推論した。Huber (NOAA/TPC/NHC) はこの表層混合層熱量の台風強度の現業的解析、予報への利用について報告した。Black (NOAA/AOML/HRD) は航空機からのレーダー高度計、GPS ドロップゾンデ、AXBT 観測等による最盛期ハリケーン Bonnie (1998) の中心付近300 km 四方での波浪、海上風、表層混合層等について詳細な構造を示し、解析された Bonnie の強度変化

に対する大気海洋相互作用の効果について議論した。また、Cook (マイアミ大学) は Bonnie について GPS ドロップゾンデのデータから主に大気境界層の解析を行っていた。

その他ポスターセッションで Otero (NOAA/AOML/HRD) の航空機観測、GPS ドロップゾンデ、船、ブイ、ERS-2、SSM/I 等衛星データ等を取り込んだリアルタイム台風域風解析システムを紹介していたこと、セッション5B (メソ対流系) で Rutledge (コロラド州立大、Rickenbach (GFDL/NASA) が代読) が TRMM-LBA の観測報告で、モンスーンの活発期と不活発期があり、前者より後者の期間が個々の対流システムの反射強度が強いことを示していた (オーストラリアモンスーン等での特徴と同様に思われた) ことが印象深かった。

3.3 感想

これまで主に衛星データ解析から、台風発生過程では、初期の MCS 群と循環場の結合が弱い構造から、脈動的な対流爆発とその後の下層渦循環強化 (2~数回繰り返される場合が多い) をへて発達期の軸対称的構造へと遷移していく、というモデルが提案されている (Zehr, 1992; Gray, 1993など)。会場での議論を通じて、台風発生期における MCS 群と周辺循環場との相互作用を明らかにすることを目的とする REX の事例解析を丁寧に進めこのモデルをより発展させねば、という思いを新たにした。

現実的な立場からは、現場観測、TRMM 等による衛星観測等多様な観測手段の個々の発展とそれら観測データの現業予報モデルへの同化技術の発展により、現業数値予報モデル中の大気と現実大気がますます近づいていく過程において、台風発生機構についての理解が深まりその予測精度の向上も達成されていくであろうことが、推察された。このような気象学の進展を踏まえた上での、台風発生はもとより、台風強度・進路の解析・予報の精度向上への海洋気象観測、情報提供部門からの寄与の現状について整理し理解を深め、今後の展望について筆者自身もっと勉強する必要性を強く感じた。現業に応用可能な研究開発としては、NOAA/TPC/NHC が実施している台風強度予報の支援資料としての表層混合層の熱量分布図作成、NASA による台風域内の波浪方向スペクトルの航空機観測等が印象深かった。また「社会的影響と負荷」というセッション (17A) が設けられ、その中で Willoughby (NOAA/AOML/HRD) が「台風予報の

費用と効果」との講演をしていたことにも興味をもった。

6月2日(金) 午後は NOAA/NHC の見学会に参加した。NHC では太平洋中部から大西洋までの熱帯擾乱と台風の解析・予報を現業で行っている。ハリケーン常襲地帯であるにも関わらず社会活動の活発なメキシコ湾岸や東海岸を抱える米国における台風と熱帯気象に関する研究と現業の両面に渡る厚みを実感することができた。地球上で最も台風発生数が多く、その沿岸地域において人口が多く社会活動も活発な北西太平洋域を観測対象海域とする日本の気象庁の気象業務 (海洋気象を含む観測、解析、予報等多岐にわたる) を「台風と熱帯気象」という切り口から整理することは重要であると思われた。

この会議への参加は第22回 (1997年5月、米コロラド州フォートコリンズ)、第23回 (1999年1月、米テキサス州ダラス) に引き続き3回目であった。会議期間中 Holland (BMRC)、Davidson (BMRC)、Richie (NPS)、Zipser (ユタ大学)、Ooyama (HRD) ら幾人かの欧米の台風研究者から助言を頂く機会があった。研究速度の遅い筆者がこの会議に出られた幸福と研究を継続していくことの困難さ重要さに思い至った。朝早く Zipser がホテルから会場へと1人歩いていかれる姿を本大会参加の思い出として帰路についた。この会議参加は TRMM 共同研究の一環としての参加でもあった。会議参加についてお世話になった多くの関係者の方々に感謝致します。

(森 一正)

4. セッション14C (台風の気候変動度と気候変化)

このセッションで発表されたのは、観測データを用いた台風の長期変動に関する解析が3件と、数値モデルによってシミュレートされた台風への地球温暖化の影響についての3件であった。ここでは、筆者が興味を持ったモデル研究の3件について紹介する。

Walsh (CSIRO) は、オーストラリア東側の海域を対象として、地域気候モデルによる数値実験結果を発表した。彼らは、3重ネスト (外側は R21 の GCM、中間は分解能 125 km の領域モデル、内側は分解能 30 km の領域モデル) での CO₂ 漸増実験を行ない、内側モデルで発生した台風について調べた。以前の研究 (Walsh and Katzfey, 2000) では、125 km の領域モデルを用いて、地球温暖化によって台風の出現頻度が高緯度寄り増加する (衰弱せずに高緯度側に移動するため)

という結果が得られていたが、今回の高分解能実験ではそのような傾向は見られなかったということで、台風に関して意味のある気候シグナルを検出するのは実に微妙な仕事であることを改めて感じた。

Knutson (GFDL, 講演者は代理で Tuleya) の発表は、高分解能の台風予報用大気海洋結合モデルを用いて、地球温暖化に伴う台風強度(最大風速)の変化について調べたものであった。以前の研究(Knutson and Tuleya, 1999)では、台風による海面水温の冷却効果を含めずに同様の趣旨の数値実験を行ない、温暖化によって台風強度が増加するという結果を得ていたが、今回、海面の冷却効果を入れた実験でも(冷却効果によって全体的な台風強度は若干低下したが)、温暖化の影響という点では同様に台風強度が増加するという結果が示された。

Yoshimura (地球フロンティア) は、昨年の同会議に引き続き、高分解能(T106)の大気GCMを用いて、地球温暖化が台風発生数に及ぼす影響について調べた結果を発表した。海面水温分布や対流スキームなどが異なる各4種類の現在気候実験と温暖化実験を行い、すべての温暖化実験において全球的な台風発生数が減少するという結果を得た。また、(同じ強度の台風と比較してみると)温暖化によって台風中心付近での降水量が増加していた。

残念ながらとくに目新しいと感じられる発表はなかったが、前回の台風熱帯気象会議からの間隔が1年4か月と比較的短かったためかもしれない。

(吉村 純)

5. 台風研究落ち穂拾い

5.1 会議冒頭のディベート・セッション J1 (台風強度への海洋相互作用の効果 I)・J8 (台風に関する大気および海洋境界層 II)

今大会の特徴としては、通常のセッションの他に、特別企画としてディベートとパネルディスカッションが行われたことが挙げられる。ここでは、会議のオープニングを飾った台風の発達強度に関するディベートの概要を報告する。テーマは、「何が個々の台風強度を支配するのか、熱力学か力学か?」というもので、DeMaria (NOAA/NESDIS) の司会の下、Emanuel (マサチューセッツ工科大学) と Gray (コロラド州立大学) との間で論戦が繰り広げられた。内容を一言で述べるとすると、「Emanuel (1999) の海気相互作用理論に基づいた台風強度予測の成功に対する Gray の反

論」といったところであろうか。

最初に発言した Emanuel は、台風の強度を左右する要因として、海洋からの熱供給の重要性を強調した。詳細は Emanuel (1999) に譲るが、彼の単純化された台風・海洋混合層結合モデルによる数値実験では、過去のいくつかの台風の強度変化が驚くほど良く再現されることがわかる。このモデルのポイントは、台風による海水温低下の効果が考慮されていること、台風の移動経路が与えられること、それに初期値として実際の強度とその変化率が与えられることである。したがって厳密には予報ではないのだが、海洋からの熱供給量を正確に評価することが、強度予報の飛躍的な精度向上につながるということを強く印象づけるものである。

このような熱力学が強度変化に支配的であると主張する Emanuel に対し、Gray は、海気相互作用の重要性を認めた上で、台風中心付近の力学過程も含めた総合的な考え方を強調した。また、大気が如何に複雑であるかを説明する発言が随所に聞かれた。熱力学派の Emanuel に対して力学派の Gray というディベートの構図であったが、実際には、Gray はその両者を含んだ多くの要因によって台風強度が決まるという立場である。実際、「CISK」と「WISHE」の2つの概念が左右に描かれた図を出して、「どちらも極端なんだ、真実はこの間にある。」と力説した。

Gray はいつものように雄弁ではあったが、個人攻撃に近いような発言があり、少し気になった。もっとも、アメリカにおけるディベートの文化を良く理解していない日本人の筆者がそう感じただけかもしれない。

熱力学か力学かという点については、明確な結論が出たわけではなく、また、そのようにはっきりと区別できるものでもないであろう。ただ言えることは、現在、台風の強度予報に、海洋の効果を取り入れることが主流になりつつあるということだ。アメリカでは大気・海洋結合モデルによる予報が、現業予報の一手前まできている。これについては、「第10回海洋・大気相互作用に関する会議」とのジョイントセッションの1つ、セッション J1で、この分野の第一人者と言える Ginis (ロードアイランド大学) によって発表された。彼は、GFDLの台風予報モデルとロードアイランド大学の海洋モデルを結合して、1999年の強度予報の精度が大きく改善されることを示した。近々現業モデルとするべく着々と準備を進めている。また、海洋の

熱容量を正確に評価するための観測も充実してきている。メキシコ湾などでは loop current に伴う暖水塊や冷水塊などが強度変化に関係することから、衛星高度計データから「台風熱容量」を推定し、強度予報に活用する試みが、Shay(マイアミ大学)や Goni(NOAA/AOML)によって発表された。データは、

<http://www.aoml.noaa.gov/phod/cyclone/data/>で公開されている。

台風に関連した海洋研究の中では、この他、D'Asaro(ワシントン大学)のセッション J8での発表も興味を引いた。台風の通過に伴って湧昇による海水温の低下が起こることは良く知られた事実であるが、現場での観測事例は少ない。彼の研究は、中立ブイを用いて台風による海洋の混合を観測した貴重な研究事例である。観測対象はハリケーン Dennis (1999) である。中立ブイは海水の流れに沿って動くように設計されており、海洋の流れや温度の場がラグランジュ的に観測される。台風の接近とともに風応力が増加し、それと同時に海面から深さ30~50 m 位の所までの間をブイが何度も往復し、海水が混合される様子がはっきり示された。海水の鉛直速度は、ピーク値で0.2 m/s を越えるということである。実は、この発表では、D'Asaro 本人が出席できず、代わりに彼自身の吹き込みによる録音テープが流された。しかしながら、この録音が秀逸であり、発表者が不在であることを感じさせなかった。なお、詳細は、

<http://poseidon.apl.washington.edu/~dasaro/DENNIS/Text.html> で公開されている。

5.2 セッション1C (台風の年々変動)・2C (台風の季節内変動)

筆者の知る限り、日本では、台風シーズンに先立って、その年の台風が多いか少ないかといった情報は発信されていない。しかし、世の中にはそのような台風の季節予報を発表しているところがある。Saunders(ロンドン大学)のグループもその1つで、海面水温と台風活動とのデータ解析に基づいて、海面水温の季節予報値を利用した台風の季節予報を発表している(<http://forecast.mssl.ucl.ac.uk/>)。ご丁寧に、日本に影響する台風についても予報を出しており、2000年5月26日時点での予報によると、2000年の北太平洋西部の台風および日本に上陸する台風の数は、ともにやや平年値を下回るようである。イギリスでわざわざ日本上陸台風の季節予報を行っている背景には、保険業界からの要請があるものと推察される。事実、

彼等の研究プロジェクトには、保険会社からも出資されているようである。また、同様な過去のデータ解析に基づいて、温暖化の影響についても考察を行っており、これまでのところ、北半球の台風活動には温暖化の影響は見られないという結果が、同じ研究グループの Roberts によってポスターセッションで報告された。

上記の研究は、台風活動と海面水温との相関関係に基づいて台風活動を予想するものであり、必ずしも明確な物理的根拠があるわけではない。Roberts とのディスカッションによると、例えば、北太平洋西部の台風活動は、その海域の海面水温とは逆相関である。実際、1998年は台風が記録的に少なく、おそらくはそれが1つの原因でもあって海面水温が高かった。また、ある場所の台風活動は、そこから遠く離れた海域の水温変動と相関が高いという側面もある。つまり、海面水温と台風活動の関係は、大規模な循環の変化が台風活動に影響することを間接的に示すものと解釈される。したがって、より本格的な台風の気候学的研究には、長期再解析データのような高品質かつ総合的なデータの解析が必要である。

このような観点から、Fiorino(Lawrence Livermore 国立研究所, GrADS の作者でもある)が関わった ECMWF の新しい再解析プロジェクトは注目される。彼は、再解析データから客観的手順で台風を検出し、再解析システムのパフォーマンスを調べるという考え方を発表した。台風が発生する熱帯海洋上は観測データが少ない所であり、台風がきちんと表現されるかどうかは、モデルの物理過程やデータ同化システムに依存する。したがって、台風を一種の指標としてシステムを評価するというのはおもしろい着想である。彼はまた、データ同化の一手段として、いわゆる台風ボーガス(客観解析データの粗さをカバーするための人為的台風渦の埋め込み)を用いることについても検討した。台風ボーガスは、初期位置の誤差低減や72時間先までの進路予報の改善に効果があるが、96時間を越える長い予報では逆効果となるようだ。さらに、ボーガス台風の代わりに、より観測データに基づいた風分布を与える“wind retrieval”の効用についても議論した。最終的にどのような方式が採用されたのかわからなかったが、新しい ECMWF 再解析データが台風研究に有用であることは大いに期待できる。

再解析データの応用例の一つに、MJO と台風活動に関する研究がある。Maloney(ワシントン大学)は、

NCEP 再解析の850 hPa 赤道東西風データを用いた解析から、北太平洋東部の台風数と MJO の位相との間に、非常にはっきりした相関関係があることを発表した。この海域の台風数は、MJO の東風位相の時に比べて西風位相の時に4倍になるようである。西風位相では、下層過度や風の鉛直シアといった台風発達の条件が整うためである。また、メキシコ湾および西カリブ海においても、西風位相の時に台風が多いという関係がある。こうした関係は台風の週間予報などにも適用できそうである。

5.3 セッション10B (対流パラメタリゼーション)

筆者の発表はこのセッションに割り当てられた。いつもは自分の発表のことで頭がいっぱいで、同じセッションの他の発表は上の空だったりするのだが、今回は Adams (アリゾナ大学) の発表が印象に残った。彼は大胆にも、Arakawa and Shubert (1974) の準平衡仮定の誤り(?)を指摘し、その修正案(?)を提示した。その主張するところは、積雲による CAPE(元々は雲の仕事関数)の時間変化の式で、計算格子中に積雲が占める面積の比率(2~3%から10%程度)が考慮されていないという点である。そのため、準平衡仮定の式を追っていくと、CAPEの時間変化ではなく、CAPEの値そのものを0とするような式が得られるというのである。Adams の幾分挑発的な発表に対し、会場にいた当の Schubert (コロラド州立大学) は、積雲による調節時間の定義を確認するようなあっさりした質問を発するに留まったが、柳井先生(カルフォルニア大学ロサンゼルス校)は猛烈に抗議された。

この時のやりとりはともかく、Arakawa and Shubert(1974)では、積雲による調節時間の考え方に、少し曖昧な部分があるようである。事実、Arakawa-Schubert タイプのスキームの中には、CAPE が0に近い値に保たれるよう実装されているものもある。ただし、現実大気ではCAPEは0ではないということで Adams と柳井先生の意見は一致している。

5.4 セッション12B (台風の進路予報 I)

気象庁では、1996年のシステム更新以降、進路予報の精度が大幅に向上し、海外の予報センターの結果と肩を並べる程度になった。しかし、世界も着実に進歩していると感じさせられた。このセッションでは、UKMO モデルによる予報精度の向上が印象的であった。1999年の予報では、かつて、進路予報の精度でリードしていた GFDL モデル、あるいは、48時間を越える予報での誤差が小さかった ECMWF モデルのいずれ

に対しても、UKMO モデルの成績が上回ったようである(Heming (UKMO))。ECMWF では、長い予報で誤差を増大させないことを重視して、客観解析で台風ポーガスを使っていない。Heming は、より細かな台風ポーガスは精度向上の効果がないとも言及していた。台風ポーガスの使い方について考えさせられる結果である。

UKMO モデルの質の高さは、アメリカで現業予報に使われている GFDL の台風予報モデルを、NCEP の客観解析および UKMO の客観解析のそれぞれと組み合わせた場合に、両者の予報精度に歴然とした差が出ることから伺える。これを発表した Bender (GFDL) によると、GFDL モデルと UKMO 客観解析の組み合わせでは、現業予報としては最高の成績であった UKMO 単独の予報精度をさらに上回るようである。進路予報の精度向上には、観測データ、それを処理する客観解析および初期値化、それに予報モデルの総合的な改良が重要であることを再認識した。

(筒井純一)

6. セッション1B・2B (熱帯波動・不安定性 I・II)

熱帯の積雲活動活発域のふるまいを赤道捕捉波理論の枠組みで捉える試みは、1990年代に高藪(気候システム研究センター)を筆頭に多様な研究が進められ、驚くほど多様な現象がこの枠組みで理解されることがわかってきた。Wheeler (NCAR), Kiladis (NOAA/AL) らの研究はこの流れを汲むもので、Wheeler and Kiladis (1999) では、ここまできれいにモードが分離できるものかため息もたものであったが、今回も彼らのグループが3件の発表を用意し、研究の進展を示した。Harris (NOAA/AL) は、上述の論文で示されたような赤道対称モードでのインドネシア付近のみならず、ITCZ が赤道をはずれている中部太平洋でも、赤道からはずれた ITCZ 内で、赤道非対称モードに大きな振幅をもつ積雲の Kelvin mode が活発であることを指摘した。また、この積雲活動域のモードに対しての風速場の応答は、ITCZ 付近ではなく赤道付近で最大であることを示した。G. N. Kiladis は、彼らが提唱する赤道波モード分解をうまく使って、MJO と対流圏 Kelvin Mode が、成層圏へも伝播していること、また Kelvin mode の波源が200 hPa 付近にあることなどを、きれいに示して見せた。Singapore のゾンデデータでも示されており、いつもながら統計的な有意性をきちんと押さえた解析結果は明快である。Mapes (コ

コロラド州立大学)は、この Kiladis による両モードの鉛直構造を、動く熱源を用いたモデルでうまく表現していた。

このセッションは、全般的には講演数は14件と少なく、また充実していたともいえなかったが、いくつか興味深い発表もあった。Roundy(ペンシルバニア州立大)は、衛星からの可降水量(水蒸気)を用いて、赤道波の追跡をしていた。積雲がほとんどない中東部太平洋でも、きれいな波動伝播がみえているようだが、彼らはこれを下層の収束域でのカラム水蒸気量の増加と解釈していた。赤道捕捉波はきれいなモードに分離した形で、雲活動のないところでも、従来考えられていたより蔓延しているのだなと思った。Schafer(コロラド州立大学)は、Gageらによる赤道域のいくつかのプロファイラーの結果を用いて、赤道波がどのように観測されるかを整理した。西太平洋における混合ロスビーモードや赤道捕捉重力波モードと、北西進する総観規模擾乱についての発表も目立った(Kuo(台湾大学)、Aiyyer(ニューヨーク州立大学)、Gu(マイアミ大学))。

(西 憲敬)

7. 期待再来・再燃

空港から外に出ると、湿りを帯びた熱い大気に包みこまれた。ハリケーンの領土である。すぐ傍らに広がる大西洋から直送される風は、ほのかに潮の香を含んでいる。観光客を拾うタクシーが発着する度に熱風が巻き起こり、容赦なく生温い空気を拡散する。ハリケーンの本場とはいえ、夜になってもこの湿っぽさは相当なものである。夜がけると、南国の黄色い朝日が運河を這いのめり、ゆるめく水面に乱反射しながら不規則に呼吸する光の帯を描いていた。緩慢な時間の流れを時折つんざく、南国の鳥の声が耳に鮮やかである。冬のグラスで行われた前回から一転して、会議の舞台は初夏のフロリダのリゾート地。土地柄ゆえか、台風に関する講演が多数を占める一方で、季節内振動を扱った講演は予想以上に少なかった。

7.1 セッション3C(熱帯の季節内変動)および15C(対流過程I)

近年の季節内振動(MJO)に関する研究では、大気と海洋の相互作用など海洋の効果・役割を視野にいれ、ENSOなどの長周期変動との関連を焦点とした議論が増えている。今回、この線での発表は、MJOに伴って観測された地表フラックスの強制を与えた海洋大循

環モデルを用いて暖水域の海洋上部の熱収支の素過程を調べたもの(Shinoda, コロラド州立大学)や、MJOにより励起された海洋ケルビン波とエルニーニョとの関連を、海面水温や地表風から作成した指標を用いて議論したもの(Gottschalck, マイアミ大学)があった。筆者の興味は、MJOの励起・維持における対流の役割や振舞いにある。80年代後半からの多くのモデル研究の議論を生かし、ケルビン波のCISKやWISHEなどの理論を実のあるものにするためには、モデル中での対流の扱い(パラメーター化)の困難を克服する必要がある。

突破口の1つは、CRMの利用にあると思っていたが、今回、Grabowski(NCAR)の研究に接して確かにそう感じた。Grabowskiは、2次元CRMに基づいたパラメーター化(Grabowski *et al.*, 1999)を組みこんだ3次元モデルを用い、氷相過程や雲と放射の相互作用の効果が大規模対流(スーパークラスター)の組織化や励起される擾乱(MJO)の振舞いに大きな影響を及ぼすことを示した。10~100 kmのオーダーの規模の対流を表現したモデルからの示唆に富む結果である。筆者は、2次元CRMの120日にわたる積分から、MJOに似た東進重力波のCISKの存在を示し、加えて、対流による運動量輸送が環境風のシアを維持・強化する(upgradient)傾向をもつことを示した。対流による運動量輸送とMJOの関連は、CRMを用いた研究の魅力ある課題の一つである。この課題について、Tung(カルフォルニア大学ロサンゼルス校)は、TOGA-COAREのデータを用いて、西風バースト期の対流による運動量輸送が環境風の鉛直シアを強め、バーストを維持する(upgradient)可能性を示していたのが印象的だった。CRMを用いた研究は、MJOの鍵を握る対流の役割の本質を捉えるための恰好の道具である。今後は、大気海洋結合モデルだけでなく、2次元・3次元のCRMを駆使した研究が強く望まれる。将来の高分解能GCMにおける「対流」を理解するための基礎を得ることもできる。

7.2 感想

会議期間中は、おおむね摂氏30度前後、湿度70パーセント以上。しかし数値だけではない。町を包むのは、不敵なまでの湿気、南国の鳥・植物・太陽、海原遠く林立する雲群・雲群の下海。このような土地では、ハリケーンも起こるべくして起こるのであろう。期間中には気まぐれなスコールが訪れたのみ、本格的なハリケーンの卵には、ついに会うことはなかった。少

し残念である。

(大内和良)

参考文献

- Arakawa, A., 1969: Parameterization of cumulus convection, Proceedings of WMO/IUGG Symposium, Numerical Weather Prediction, Japan Meteorological Agency, IV, 8, 1-6.
- Arakawa, A., and W. H. Schubert, 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I, J. Atmos. Sci., 31, 674-701.
- Emanuel, K. A., 1995: The behavior of a simple hurricane model using a convective scheme based on subcloud-layer entropy equilibrium, J. Atmos. Sci., 52, 3960-3968.
- Emanuel, K. E., 1999: Thermodynamic control of hurricane intensity, Nature, 401, 665-669.
- Grabowski, W. W. and P. K. Smolaekiewicz, 1999: CRCP: A cloud resolving convection parameterization for modeling the tropical convecting atmosphere, Physica D, 133, 171-178.
- Gray, W. M., 1993: Tropical cyclone formation and intensity change, Tropical Cyclone Disasters, Proceedings of ICSU/WMO International Symposium, 588pp, 116-135.
- Knutson, T. R. and R. E. Tuleya, 1999: Increased hurricane intensities with CO₂-induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system, Climate Dyn., 15, 503-519.
- 沼口 敦, 1992: 蒸発-風速フィードバック WISHE, 天気, 39, 4.
- Ooyama, K. V., 1969: Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones, J. Atmos. Sci., 26, 3-40.
- Walsh, K. J. E. and J. J. Katzfey, 2000: The impact of climate change on the poleward movement of tropical cyclone-like vortices in a regional climate model, J. Climate, 13, 1116-1132.
- Wheeler, M., and G. N. Kiladis, 1999: Convectively coupled equatorial waves: Analysis of cloud and temperature in the wave-number-frequency domain, J. Atmos. Sci., 56, 374-399.
- Yamasaki, M., 1983: A further study of the tropical cyclone without parameterizing the effects of cumulus convection, Pap. Meteor. Geophys., 34, 221-260.
- Zehr, R. M., 1992: Tropical cyclogenesis in the western north Pacific, NOAA Technical Report NES-

DIS 61, 181pp.

略語一覧

- AL Aeronomy Laboratory (大気研究所)
- AOML Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (大西洋海洋気象研究所)
- BMRC Bureau of Meteorology Research Centre (豪州気象研究所)
- CAPE Convective Available Potential Energy (対流有効位置エネルギー)
- CISK Conditional Instability of the Second Kind (第2種条件付き不安定)
- CRM Cloud Resolving Model (雲解像モデル)
- CSIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (豪州科学技術研究機構)
- DMSF Defense Meteorological Satellite Program (米国軍事気象衛星)
- ECMWF European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (欧州中期予報センター)
- ERS European Remote-sensing Satellite (欧州リモートセンシング衛星)
- GCM General Circulation Model (大循環モデル)
- GFDL Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (米国地球流体力学研究所)
- GrADS Grid Analysis and Display System (格子点解析表示システム)
- GSFC Goddard Space Flight Center (ゴッダード宇宙飛行センター)
- HRD Hurricane Research Division (ハリケーン研究部)
- MCS Mesoscale Convective Systems (メソ対流系)
- MJO Madden and Julian Oscillation (マダン・ジュリアン振動または赤道季節内振動)
- MM5 PSU/NCAR Mesoscale Model version 5 (PSU/NCAR メソモデル第5版)
- 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)
- NCEP National Centers for Environmental Prediction (米国環境予測センター)
- NESDIS National Environmental Satellite, Data and Information Service (米国環境衛星・データ・情報サービス)
- NHC National Hurricane Center (米国ハリケーンセンター)
- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (米国海洋大気庁)

NPS Naval Postgraduate School (米国海軍大学院)
 NWS National Weather Service (米国気象局)
 SSM/I Special Sensor Microwave/Imager (DMSP マイクロ波放射計)
 TPC Tropical Prediction Center (熱帯予測センター)

TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission (熱帯降雨観測衛星)
 UKMO United Kingdom Meteorological Office (英国気象局)
 WISHE Wind-Induced Surface Heat Exchange (例えば、沼口 (1992))

国際学術研究集会への出席補助金受領候補者の募集のお知らせ

—国際学術交流委員会—

日本気象学会細則第7章「国際学術交流」に基づき、国際学術研究集会への旅費もしくは滞在費の補助を下記により行いますので、希望者は期日までに応募願います。

なお、下記の二項を会員に連絡致します。

1. 応募者の年齢や研究実績、研究環境等様々です。主として若手研究者育成の観点で、運用要領に基づき融通性を持たせて運用しておりますが、明記する応募資格として下記を追加します。「大学院生の場合は原則として修士2年程度の研究実績を要するものとする。」最近の研究本務者、大学院生以外の応募者が殆どありません。会員の幅広い層からの応募も期待します。
2. 申請書の記入不備、添付書類不備が一例ならずありました。注意を喚起します。具体的には、
 - ・申請書に研究発表の概要が記入されていない例、
 - ・研究実績（論文、発表）が未記入の例、
 - ・abstract 受領のみで受理前か、受理済みかを記していない例
 などです。

記

1. 対象の集会

2001年12月1日～2002年5月31日の期間、外国で

開かれる国際学術研究集会

2. 応募資格

日本気象学会会員で国際学術研究集会に出席し論文の発表もしくは議事の進行に携わる予定の者。ただし、ほかから援助のあるものは除く。なお大学等の研究を本務とする機関で定職に就いている方の複数回の助成は原則として認めないこととする。また大学院生の場合は原則として修士2年程度の研究実績を要するものとする。

3. 募集人員：若干名

4. 補助金額：開催地域を考慮し最高15万円程度

5. 応募手続：所定の申請書類を期日までに国際学術交流委員会

(〒100 東京都千代田区手町1-3-4 気象庁内 日本気象学会気付)に提出する。大学院生は指導教官の推薦状を併せて提出する。

期日：2001年9月15日

注：申請書は最新の様式のものを用日本気象学会事務局から取り寄せるか、気象学会ホームページにあるものを使用すること。申請書の様式は断りなく変更することがある。古い様式の申請書で応募しても受理しない。e-mailでの申請は受け付けない。

6. 補助金受領者の義務

当該集会終了後30日以内に集会出席の概要を「天気」に掲載可能な形式で1ページ（2000字）程度にまとめ、報告書として委員会に提出する。