

南半球の気象と海洋に関する第4回国際会議の報告*

鬼頭昭雄^{*1}・田口彰一^{*2}・川村隆一^{*3}

1. 概要

1993年3月29日から4月2日まで、オーストラリアのタスマニア島ホバート市において上記会議が開催された。主催は米国気象学会とオーストラリア気象海洋学会で、Karoly (Monash 大学) が会議全般を取り仕切っていた。会議は南半球大気・海洋の様々な時空間スケールの現象を対象としており、大循環から南極環境に至るまで研究発表は多岐にわたった。会議がホバートで開かれた理由は、ここにはCSIRO (オーストラリア科学産業研究機構) 海洋部、オーストラリア気象局地域予報センター、オーストラリア南極部があり、さらにタスマニア大学内には上記機関による共同研究センター (Cooperative Research Centre for the Antarctic and Southern Ocean Environment) が置かれており、この国の気象学と海洋学の研究者が一堂に集まったセンターになっているためである。

今回の会議の登録者は27ヶ国約350人に達し、口頭発表110件、ポスター発表約200件の他、パネルセッションも行なわれた。参加者は、地元オーストラリアの次に米国のコロラド近辺のメンバー (NCAR, NOAA, コロラド大学等) が多かった。第2回会議 (ウェリントン, 1986年12月) については忠鉢 (天気1987年4月)、第3回会議 (プエノスアイレス, 1989年11月) については鬼頭 (天気1990年4月) の報告がある。ちなみに第1回は1983年7-8月にブラジルのサンホセ・ド・カンポスで開かれている。

2. 研究発表から

2.1 データの問題

Trenberth (NCAR) は、1988年の地球放射収支実験 (ERBE) の放射のデータと ECMWF の客観解析データを用いて熱の極向き輸送を計算し、1日2回のデータを使う場合と4回のデータを使う場合で残差として得られる海洋の熱輸送量に大きな差の出ることを示した。また、ECMWFの上昇流の値は1989年5月に物理過程の変更によって大きく増大していて、これは多分大きすぎると述べた。ECMWFの上昇流のデータが大きすぎるとする理由は、一つは英国気象局のデータに比べて大きすぎることと、ECMWFでこの上昇流を使ってセミラグランジュ法のスキームの導入作業をした担当者の感想ということにある。Trenberth自身が計算した物理量に矛盾が生じたということではなかった。

Sardeshmukh と Liebmann (コロラド大) は FGGE の時 (1979年2月) の GFDL と ECMWF の大気データから普通に大気の加熱率を計算すると両データの熱帯での加熱率に差が出ることを示し、水平発散に修正を加えることで力学的に整合性のある加熱率が計算でき、その結果は GFDL と ECMWF で一致すると主張した。彼らが問題にしたのは、アフリカ、ニューギニア、南米の3ヶ所の加熱率で、OLR (外向き長波放射) から推定してそれらが同程度であることが正しいという考え方に基づいている。

Reynolds (NMC) は1981年に遡って行なっている海面水温 (SST) 再解析について述べた。NMC の SST 解析はこれまで船舶データのみ、衛星データのブレンド (1984年～)、最適内挿法 (OI) の導入 (1990年～) と変わってきている。後者では OI に先立って成層圏エアロゾル等による衛星データのバイアス補正もなされている。問題は3つの手法で同じ月の解析をしてみると特に赤道太平洋で違いが大きいことである。最新手法では赤道東部太平洋の冷水域が明確に出る

* Report on the Fourth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 29 March-2 April 1993, Hobart, Australia.

^{*1} Akio Kitoh (気象研究所).

^{*2} Shoichi Taguchi (資源環境技術総合研究所).

^{*3} Ryuichi Kawamura (防災科学技術研究所).

上、赤道上の渦 (Legeckis 波) も解析される。1988~89年の SST 低温偏差も、再解析では以前に比べて大きく出るとのことである。種々の GCM 実験から明らかのように、熱帯の SST は大気にとって大きいインパクトを持つ。過去に遡った同一手法による SST データ再解析の必要性を痛感した。

2日目の夜に CSIRO 海洋研究所で行なわれたパネルセッションでは気温と降水量の観測が南半球でどの様に運営されているかが問題となった。気温データから観測点の都市化の影響を取り除く方法があるのか？なぜ衛星のデータが南半球の気候トレンドの研究に使われないのか？などが問題となった。オーストラリアの場合は気温や降水量は郵便局で観測していて、観測点の担当者の変更に伴う観測値の変化にも気を付ける必要があるとの意見が出た。

2.2 総観規模の擾乱について

Gutowski と Uken (アイオワ大) は SSM/I の水蒸気データと NMC の客観解析値から総観規模擾乱と水蒸気分布の関係について議論した。ジェット的位置との関係が不明確だと指摘があった。

Lambert (カナダ気候センター) は CO₂ 倍増実験で南半球の総観規模擾乱の個数や強度がどの様に変化するかを調べた。低気圧の定義は周りの格子点より気圧が低いポイントというだけの単純なものであった。統計の結果全体の個数が減少し、周囲より気圧差の大きなものの個数が増えるという結果であった。大気海洋結合モデルによる CO₂ 漸増実験では、逆の結果になるのではというコメントがあった。

2.3 気候変動

ENSO 現象の時間スケールよりも長い、10年から数10年スケールの変動が大気・海洋各々に顕著なシグナルとして現われており、ENSO 研究後の新しいターゲットになろうとしている。Smith (CSIRO) は大気 GCM による約40年の長期積分の結果から地上気温、海面気圧、降水量の長期トレンドを示していた。また Allan (CSIRO) は今世紀におけるインド洋地域の海面気圧、雲量、SST の長期変動を調べ、1963~83年の南半球夏季において南インド洋の中緯度地域で SST の高温化が顕著であり、ENSO に伴う変動とは異なること、この地域は大気からの forcing や太平洋とインド洋を結ぶ Indonesian throughflow に敏感なことを指摘していた。さらに物理的に理解するために、南インド洋域の観測された地上風の長期変動による海洋 GCM の長期積分を試みている。

北太平洋では1970年代後半からのアリューシャン低気圧の深化が報告されているが、南半球では Mullan (ニュージーランド水文気象研究所) らが最近約20年の海面気圧データから、周南極トラフが1977年以降深まっていることを報告した。これと関連して海面気圧の帯状平均場に現われる半年周期変動の振幅が1980年代には小さくなってしまったことを van Loon (NCAR) らが示した。必ずしも同様な現象ではないが、似たような時期に両半球の中高緯度循環場に行くつかの有意な変化が見られるのは興味深い。

川村は、SST の長期変動を全球的に調べ、卓越する変動パターンを抽出し、その中で特にインド洋及び西太平洋熱帯域で SST の上昇傾向が最近みられる10年以上の時間スケールをもったモード (Dモード) が、南半球の中高緯度循環場の広い範囲に影響を及ぼしていることを示した。最近数十年間では、特に南インド洋における亜熱帯ジェットの北へのシフトが顕著であり、その要因としてインド洋熱帯域の SST の高温化があげられる。一方、南大西洋海域に大きなアノマリーをもつモードも顕著な長期変動特性をもっているが、Dモードと比較して大気循環場の応答は非常に局所的であった。これに関連して、Folland (UKMO) らが約100年の全球 SST の EOF 解析から、周期8年より長周期・短周期に分けて卓越モードを抽出していた。前述の Allan の研究などから、熱帯インド洋・西太平洋熱帯域 SST の高温化に伴い両半球の中高緯度循環が応答し、主に大気の forcing の結果として南インド洋中緯度 SST の高温化ならびに北太平洋 SST の低温化が生じているというシナリオが考えられる。

鬼頭は大気 GCM と観測データを使い、熱帯 SST 及び熱源と南半球冬季太平洋域の大気循環の年々変動の関係について調べた。その結果、オーストラリアの東の亜熱帯ジェットは赤道日付変更線付近の SST/熱源と局所ハドレー循環を通して、南太平洋域の循環は赤道西太平洋域の熱源に起因する波列によって、それぞれ影響されていることを示した。このトピックに関連して、Kiladis (コロラド大) による熱帯熱源による南半球亜熱帯ジェット加速の話と、Berbery (ユタ大学) らによる5~20日スケールの熱帯熱源の変動と40°-60°S の循環との関係の話があった。後者については既に1986年に青木らが半旬 500 hPa 高度場の一点相関図から示唆していたが、熱源も含めてより明確になったといえよう。

2.4 TOGA-COARE

TOGA-COARE のセッションが設けられていたが、西太平洋域での集中観測が終わったばかりなので、その速報は Eldin (ORSTOM) らによる船舶の観測結果だけだったのは残念であった。TOGA-COARE の海洋観測の重点の一つは塩分濃度分布であるが、フランスの Porte らは従来の船舶データから、ITCZ や SPCZ での降水量と表層塩分濃度との関係を調べ、これらの収束帯での降水の極大に対して低塩分の表層水は一般的に2~4ヶ月後にみられることや両者の年々変動が大きい地域は南北方向に大きくずれることを示していた。集中観測の解析によって、上述の現象を説明する、降水による海洋表層への淡水フラックスの影響や移流の効果のより定量的な考察がなされることが期待される。

2.5 熱帯の日変化

熱帯域の大気-海洋相互作用においては日変化の影響は無視できない。大規模スケールの対流活動では Janowiak (NMC) が GOES, GMS などの輝度温度データに基づいて、三つのしきい値を設定し日変化の位相を熱帯全域にわたって調べていた。たとえば陸地上はしきい値にかかわらず地方時の18~21時にピークをもつが、海洋上ではしきい値に大きく依存し235Kでは正午頃、215Kでは6時頃になることから、深い対流雲は早朝に頻繁にみられるが、絹雲の anvil が午後にピークに達することが影響していると述べた。

熱帯海洋の SST の日変化も気象条件によっては大きく変化する。Cechet (CSIRO) は西太平洋熱帯域の船舶観測から、風が弱く日射が強い気象条件では日較差は約4°Cにも達すること、日射の吸収による温度上昇は深さ20cmまでの表層で特に顕著であることを示していた。日変化を精度良くモニターできなければ、たとえば月平均値に系統的誤差が含まれてしまうし、船舶のルーチン観測による SST は深さ2~3mの水温であり、深さ1m未満の表層の SST とは有意な差が生ずる。気候研究では SST に $\pm 0.3^\circ\text{C}$ の精度が必要とされているが、特に赤道域の SST の日変化を含んだ dynamics を理解しなければならぬと強調していた。

地球温暖化の問題にしても日変化は影響評価に絡んでくる。GCM においては気温の日変化の振幅などは必ずしも十分に再現されていない。気候変化によるインパクトの研究では、日最高気温・日最低気温の上昇が同様に生じるのだろうかという問題は重要である。

Jones (East Anglia 大学) らは、北アメリカやユーラシア大陸での気温の増加傾向は主に日最低気温の上昇に起因しているということ、従来の研究と同様な手法で南アフリカとスーダンについて調べている。結果は最近40年間で日較差は小さくなっており、世界の他の地域での傾向と矛盾しないことを示していた。

2.6 海洋モデル

例によって Parallel Ocean Climate Model (POCM) と UK Fine Resolution Antarctic Model (FRAM) による、中規模渦を表現できる高分解能海洋モデルの話があった。Chervin (NCAR) は格子間隔が $1/2^\circ$ の POCM を、Hellerman and Rosenstein の気候値、ECMWF の気候値、実際の(年々変動のある)月平均値の風で走らせた結果、モデルの赤道逆流は風に敏感であると述べた。Semtner (米海軍大学校) は新たな $1/4^\circ$ 格子のモデルの話をした。ともに8cpuの CRAY YMP 上で実測1 Giga Flops 以上で動いているのはすばらしい。FRAM グループの Webb は東西 $1/2^\circ \times$ 南北 $1/4^\circ$ のモデル積分の詳細な解析結果を報告した。モデル結果から、南極周辺で沈み込む Deacon cell と呼ばれる鉛直循環は、鉛直スケールの小さな循環が集まって全体として大きい沈み込みになっており、決して単独の大きい鉛直循環ではないと述べた。他に Holland (NCAR) は $2/5^\circ \times 1/3^\circ$ 南太平洋モデルを紹介していた。

2.7 物質輸送

田口は ECMWF の客観解析値(1989~91年)を使った移流拡散モデルで仮想的な物質の移流拡散の計算結果を発表した。850 hPa での月平均濃度からみた南北大気境界は、3年間ほぼ同様に再現された。但し、1991年の7月は異なっていた。1月と6月の流跡線解析から、夏半球から冬半球へ移動する気塊は ITCZ を通過して対流圏上層から冬半球側へ入り込むのに対し、冬半球から夏半球への移動は対流圏下層で起こっていることが示された。これに対して、水蒸気収支を計算している人から、冬半球から夏半球への水蒸気のフラックスを説明できるとコメントがあった。また同時にビデオ上映した仮想物質の濃度の日々の変化は、輸送モデルを作っている研究者の関心を集めていた。

2.8 大気化学

キーノートアドレスで Pearman (CSIRO) は対流圏化学の研究はまだ始まったばかりでありこれから多くの結果が期待できる実り多い分野であると強調した。

CO₂の発生源・消滅先の計算は Enting (CSIRO) や Law と Simmonds (メルボルン大) で行なわれていた。Enting は3次元 GISS モデルを用い、Bayesian synthesis inversion と呼ばれる方法で推定していたが、炭素サイクルの未解明の消滅先を特定できるほど不確定幅を小さくすることはできなかった。

2.9 PILPS

4日目の夜に、本会議とは別のPILPS(陸面水文過程スキーム相互比較プロジェクト)の会議があった。このプロジェクトはGEWEX(全地球エネルギー・水循環観測計画)のGCIP(GEWEX大陸スケール国際協同プロジェクト)の一環として行なわれているもので、同一の地上観測データを与えて現在のところ22の気候/予報モデルの水文過程スキームの比較がなされている。スキーム間では熱帯多雨林の場合の一致が良く、草原、ツンドラと悪くなる。従来から使われている陸面を単純化したバケツモデルと植生の効果を導入したキャノピーモデルはやはり違いがはっきりしており、バケツモデルは熱帯で蒸発が多く早く地面が乾く。キャノピーモデル間でも、気温は一致しても流出・土壌水分には結構バラエティがある。これらを検証するデータで、ある程度の空間代表性がありしかも密な時間間隔で観測値がそろっている条件を満たすのは、今のところISLSCP(International Satellite Land-Surface Climatology Project)の一環として1987年に米国カンザス州で行なわれたFIFE(First ISLSCP Field Experiment)とフランスのボルドー南東部で1986年に行なわれたHAPEX(Hydrological Atmospheric Pilot Experiments)の最初の実験であるMOBILHY(Modelisation du Bilan Hydrique)の2つしかないようだ。そのためにもGCIPをやらねばというところだろう。

3. おわりに

オーストラリアで本研究集會が開催されたこともあって、オーストラリアの気象局(ABM)、CSIRO、大学からの参加が全体の半数を占めた。最近のオーストラリアの気象学研究的発展は目を見張るものがあり、参加者数が多いのは地元開催であるということだけでは言い切れない。その中でも、CSIRO 大気科学研

究部門は数年前から気候研究に力を入れており、スタッフの増員や米国・英国との研究・人材交流を通してその成果は本研究集會に如実に示されている。研究集會の構成について感じたことは、この研究集會は気象学と海洋学のコミュニティの合同学会の性格をもっているが、合同学会にみられる違和感はほとんどなく、むしろ地球流体としての気象・海洋現象を研究する単一の学会のように思えたことである。プログラム構成が、たとえば大循環のセッションでは海洋GCMの話もあるし大気循環の解析の話もあるというように、気象と海洋が区別されていなかったことが大きい。また、今回はTOGAのセッションも設けられており、熱帯気象・海洋研究者が少なからず参加したことも関係していると思われる。このようなプログラムの構成ができたのは、主催機関の一つがオーストラリア気象海洋学会(AMOS)であったことによるものかもしれない。また、参加国についてみると、発展途上国から(特に南洋の島々、フィジー、ソロモン、セシェルなど)の参加が数は少ないとしても多岐にわたったことが印象的であった。日本からの参加がとても少なかったことは残念だった。我が国で南半球の気象・海洋現象を調べている研究者は確かに少ないが、国際的に熱帯気象・海洋研究者が参加していることを考えれば、より多くの参加が期待されていいはずである。特に全球スケールの気候変動を調べている研究者は様々な理由から北半球に注目しているが、南半球と北半球の比較という視点から予想もしない知見が得られる可能性もある。その意味でも、この研究集會は絶好の機会であった。次回の集會に少しでも多くの日本の研究者が参加されることを期待したい。會議に参加している時でも、南半球にいるという実感が全然なかったが、南十字星を見ようと思えば夜空を見上げて、まだ夜半とはいえない空に(上弦ではなく)下弦の月を見つけたことが印象深かった。

今回の参加に当たっては、鬼頭は科学技術振興調整費重点基礎研究、田口は茨城県科学技術財団国際集會等参加助成金、川村は科学技術庁科学技術関係在外研究員制度(国際研究集會派遣)により旅費の援助を受けました。深く感謝いたします。