

日本気象学会誌 気象集誌
(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第81巻 第3号 2003年6月 目次と要旨

論文

- Gareth P. WILLIAMS : ジェットセット439-476
望月 崇・木田秀次 : 北太平洋十年規模変動に見られる中緯度海面水温偏差の維持機構477-491
青木一真・藤吉康志 : スカイラジオメーターを用いた札幌上空のエアロゾルの
光学的特性の観測493-513
村上正隆・山田芳則・松尾敬世・岩波 越・John D. MARWITZ・Glenn GORDON :
日本海上に発生した背の高いバンド状降雪雲を構成する対流セル内の降水機構515-531
管 兆勇・Karumuri ASHOK・山形俊男 : インド洋のダイポール現象に伴う
海面水温アノマリーへの熱帯大気 of 夏季の応答533-561
箕浦大介・川村隆一・松浦知徳 : 南アジア夏季モンスーンのオンセットのメカニズム563-580
久保田拓志・寺尾 徹 : エルニーニョ・南方振動に関連する熱帯対流圏温度の
季節規模持続性581-598
行本誠史・北村佳照 : 結合 GCM におけるエルニーニョの不規則性の研究599-622

要報と質疑

- Hans-Joachim LUTZ・井上豊志郎・Johannes SCHMETZ : MODIS データを用いた
Split-window 法と多チャンネル法による雲分類の比較623-631
学会誌「天気」の論文・解説リスト (2003年3月号・4月号)633
気象集誌次号掲載予定論文リスト634

.....◇.....◇.....◇.....◇.....

Gareth P. WILLIAMS : ジェットセット

Gareth P. WILLIAMS : Jet Sets

大気 of 循環の知見を拡げるため、また既存の理論の有用性をテストするため、厚い大気、薄い大気、中間的な厚さの大気における流れの力学に関するさまざまな問題について調べる。単純な熱源の関数分布を与えたプリミティブ方程式モデルを用いて、数値的に循環を調べる。大気 of 運動を上部の浅い層に局在させるために、指数関数 (EXP) 的な鉛直構造をもつ熱源と、上部で線型 (LIN)・下部でゼロという鉛直構造をもつ熱源を用いて、それぞれ流れを駆動させた。地球大気 of 軸対称状態、木星大気 of 軸対称状態、大気 of 3次元的基本状態、2種類の遷移的な木星状態という5通

りの解の組が得られた。

まず軸対称循環の場合について、地表面摩擦、静的安定度、自転速度、層の厚さが流れの性質にどのような影響を与えるかを調べた。標準理論を摩擦が弱い場合に拡張し、自転が小さいとハドレーセルが拡がり、熱的な前線構造が鋭くかつ2重化する解が得られることを確認した。摩擦がない場合には、セルは消え、温度風が全球的に拡がる。基本場の静的安定度がない場合には、セルはさらに強くなり、循環自身によって静的に安定な温度場が形成される。通常のパラメータ範囲では、自転が速いほど、ハドレーセルは理論的な予

測とあうようになる。ただし、セルの緯度幅が3度以下になる場合を除く。また、加熱される層が薄く、ジェットが上層に局在化される場合には、深く、通常の分布をもつ東西風が保たれるが、鉛直方向に2モード的な極大をもつセルが形成される。

次に、基本となる3次元的な地球条件において、加熱率、静的安定度、地表面摩擦、自転速度の循環の性質に与える効果を調べたところ、平均的なジェットがある限定された緯度帯に現れる。その場所は加熱の分布だけでなく、加熱の振幅にも依存する。基本場の静的安定度がない場合には、セルと傾圧不安定が強くなり、ともに低緯度と中緯度を安定化させるが、標準理論は当てはまらなくなる。しかし、摩擦を小さくすると、強い傾圧性による抑制効果のために、傾圧不安定が非常に弱く、下層に限定されるようになる。自転を速くするか、低緯度に傾圧性の熱源を付加するかに

よって、2重ジェットを形成する他の形態の傾圧不安定が生じる。

最後に、遷移的な木星条件について、熱源がLINとEXP構造を持つ場合について、循環を駆動する層の厚さによって多重ジェットがどのように変化するか調べる。全ての場合で、ジェットの幅は緯度によらず一定であるが、その強度は緯度に依存する。傾圧性の分布に応じて、ジェットの極大が低緯度あるいは中緯度に位置する。低緯度に傾圧性を付加すると、ジェットが形成され、これによる傾圧不安定により大気の高さによらず赤道にスーパーローテーションがもたらされる。渦によって生成されたジェットは全ての厚さの場合に似たような力学に従うが、定在的なLIN実験のジェットとは異なり、EXP実験のジェットは赤道方向に進行する。非常にまれに、極向きに進行するジェットもある。

望月 崇・木田秀次：北太平洋十年規模変動に見られる中緯度海面水温偏差の維持機構

Takashi MOCHIZUKI and Hideji KIDA : Maintenance of Decadal SST Anomalies in the Midlatitude North Pacific

北太平洋十年規模変動に見られる中緯度海面水温偏差の維持機構について、再解析データを用いた解析により調べた。水温偏差の季節的な増幅と減衰に注目しながら、強い変動シグナルが分離して現れる北太平洋中緯度の南部領域(25°N-35°N, 175°E-145°W)と北部領域(39°N-49°N, 165°E-155°W)において海洋混合層の熱収支を別々に調べた。南部領域の十年規模変動に見られる海面水温偏差は冬季に強く、11月から1月にかけてエクマン流による南北方向の熱輸送量偏差の寄与が明瞭に検出された。それに対して、北部領域の十

年規模変動に見られる海面水温偏差はほぼ全ての月に検出された。10月から12月にかけてエクマン流による南北方向の熱輸送量が変化することに加えて、海面熱フラックス(顕熱、潜熱、正味の長波放射)の大きさが変化することも海面水温偏差の維持機構として働いている。また北部領域の南西部と一部重なる黒潮続流域では、季節的な混合層の発達に伴う鉛直混合による熱輸送量の変化が、水温偏差の季節的な増幅にとって非常に重要である。

青木一真・藤吉康志：スカイラジオメーターを用いた札幌上空のエアロゾルの光学的特性の観測

Kazuma AOKI and Yasushi FUJIYOSHI : Sky Radiometer Measurements of Aerosol Optical Properties over Sapporo, Japan

札幌、つくば、東京において、スカイラジオメーターを用いた太陽直達光と周辺光の観測を行った。この観測から、気柱あたりのオングストロームパラメータ(0.5 μm のエアロゾルの光学的厚さ(τ (0.5)))とオングストローム指数(α)と体積粒径分布を求めた。

札幌における光学的厚さは、黄砂現象とシベリアの森林火災によって短時間の間に著しく増加した。黄砂

現象による体積粒径分布のピークは、2.0-3.0 μm であった。バックトラジェクトリー解析の結果、黄土高原やゴビ砂漠を起源とした粒子が、中国の南方を經由して札幌上空の光学的厚さの増加に影響を与えたと考えられた。森林火災の場合は、0.2 μm を中心とした粒子の増加が確認された。また、札幌の光学的特性の変動とシベリアの森林火災の関連がバックトラジェクト

リー解析によって示唆された。

札幌における $\tau(0.5)$ は、春に最大で、秋に最小という季節変化を示した。東京やつくばの α は、初冬に最大で、春に最小という季節変化を示した。札幌では、明瞭な季節変化は見られなかったが、夏に最大で、春に最小であった。3地点全てのデータから、エアロゾルを4つのタイプ(Type-I~IV)に分類した。Type-Iは、平均値より $\tau(0.5)$ は小さいが α は大きい粒子、Type-IIは、 $\tau(0.5)$ も α も大きい粒子、Type-IIIは、 $\tau(0.5)$ も α も小さい粒子、そして Type-IVは、 $\tau(0.5)$ は大きい α は小さい粒子である。その結果、どの地点でも Type-I の出現頻度が高い(約4割)ことが分かった。Type-IVの出現頻度は全地点で春に増加しており、黄砂のような大規模な現象が寄与していることを示唆する。Type-IIの出現頻度の季節変化は、3地点で異なっており、ローカルな現象がエアロゾルの生成と輸送において影響していることを示している。人為

起源エアロゾルの生成とその後の二次生成粒子過程が Type-II で寄与していることが考えられる。札幌における Type-IIIは、Type-IVとは逆に秋に出現頻度が增大するという特徴を持っており、大粒子の発生源と輸送過程が春と秋で異なっていることを示唆する。

スカイラジオメーターから求めた札幌における大気混濁度 β (SR) と直達日射計から求めた β (DSR) を比較した。両者の季節変化は同じであったが、 β (SR) の方が0.02程度小さかった。

スカイラジオメーターは、雲が発生していても、測定領域が晴れている場合、エアロゾルの光学的特性を推定することができる。雲がある場合は、晴天の場合に比べて、 $\tau(0.5)$ が1.5~1.8倍高く、 α は1.1~1.2倍低いことが確認された。言い換えれば、雲の周辺に存在するエアロゾルが直接効果に及ぼす影響も無視できない。我々は、エアロゾルのハイブリッド効果と名づけた。

村上正隆・山田芳則・松尾敬世・岩波 越・John D. MARWITZ・Glenn GORDON：日本海上に発生した背の高いバンド状降雪雲を構成する対流セル内の降水機構

Masataka MURAKAMI, Yoshinori YAMADA, Takayo MATSUO, Koyuru IWANAMI, John D. MARWITZ, and Glenn GORDON : The Precipitation Process in Convective Cells Embedded in Deep Snow Bands over the Sea of Japan

日本海上に出現した2つの背の高いバンド状降雪雲を構成する対流セルを、各種測定機器を装備した航空機とデュアルドップラーレーダを用いて観測した。2つのバンド状降雪雲は低気圧の中心を回り込んできた下層の比較的暖かい西風と、大陸からの低気圧後面に吹き込んできた中層・上層の寒冷な西南西風によって形成された不安定成層中に発達したもので、snow band A1は1993年1月28日16時頃、snow band B1は同日の17時頃に観測された。

レーダ観測の結果から、2つのバンド状降雪雲はデュアルドップラーレーダ観測領域内では共に準定常状態にあった。しかし、snow band A1はレーダ反射因子が15 dBZ程度であったのに対して、snow band B1は30 dBZに達し、その発達に大きな差があることを示した。

航空機観測の結果は、2つのバンド状降雪雲を構成する対流セル内ではともに、雪粒子の雲粒捕捉成長が

基本的な降水形成機構であることを示した。

航空機観測とドップラーレーダ観測から、風の鉛直シアが降水過程に大きな影響を及ぼしていたことが示された。snow band A1を構成するセルでは、強いシアのため、雲の中・上層で上昇流域が downshear に傾いており、上昇流中で発生した降水粒子は、主要な過冷却雲水域より下流に吹き飛ばされた。そのため降水粒子は大きなアラレ粒子まで成長することができなかった。一方、snow band B1を構成するセルでは、弱いシアのために、上昇流域が下層では upshear に傾き、中・上層でもほぼ直立していた。このため、上昇流中で発生した降水粒子は、主要な過冷却雲水域を落下しながら、直径5 mm程度のアラレ粒子にまで成長した。それに加えて、上昇流コアの周辺部を落下してきたアラレ粒子のリサーキュレーションも効率よく大粒のアラレ粒子を生成するのに重要な役割を果たしていたと考えられる。

管 兆勇・Karumuri ASHOK・山形俊男：インド洋のダイポール現象に伴う海面水温アノマリーへの熱帯大気の夏季の応答

Zhaoyong GUAN, Karumuri ASHOK, and Toshio YAMAGATA : Summertime Response of the Tropical Atmosphere to the Indian Ocean Dipole Sea Surface Temperature Anomalies

最近発見されたインド洋のダイポール現象に熱帯大気がどのように応答しているかを大気大循環モデルとNCEP/NCARの再解析データを併用して調べた。大気大循環モデル実験から循環の応答もダイポール型であり、かつ傾圧的であることがわかった。東西断面で見ると、インド洋東部の冷たい水温アノマリーのところで大気は下降、西部の暖かい水温アノマリーのところで上昇し、観測に見られるようにインド洋赤道域のウォーカー循環に変調を引き起こしている。子午面循環には、東部の冷たい水温アノマリーの極からインドやベンガル湾に向けて対流圏下層を北上する気流が再現された。これがインドの夏のモンスーンに伴う降雨

に影響を及ぼしている。一方、インド洋西部の暖かい水温アノマリーの極では潜熱、長波放射、顕熱フラックスの増加によりモデル大気は加熱される。こうして大気のコラム内の正味の水蒸気量は増え、潜熱放出が活発化してエンタルピーの収束が増大するとともに、力学エネルギーへ変換される。その力学エネルギーフラックスの収束は、対流圏の上層部で発散域を形成し、付随する擾乱が周辺地域へ伝播する。このダイポール現象のエネルギーの分布と励起される擾乱の伝播には夏季の循環の平均場の存在が重要である。高周波の擾乱はエネルギー変換にはあまり貢献しないようである。

箕浦大介・川村隆一・松浦知徳：南アジア夏季モンスーンのオンセットのメカニズム

Daisuke MINOURA, Ryuichi KAWAMURA, and Tomonori MATSUURA : A Mechanism of the Onset of the South Asian Summer Monsoon

大気海洋相互作用を考慮したオーストラリア夏季モンスーンのオンセットのメカニズムが、南アジア夏季モンスーンについても適用可能かどうかヨーロッパ中期予報センター作成の再解析データ等を用いて検証した。我々のメカニズムでは、大陸の赤道側沿岸海域での海面水温の上昇と600-700 hPa層への乾燥移流の複合効果が、オンセット前の潜在的な対流不安定を強める重要な役割を担っている。解析の結果、5月中旬のインドシナ半島のオンセットというよりもむしろ6月初めのインド夏季モンスーンの突然のオンセットに我々のメカニズムが適用できることがわかった。インド亜大陸の沿岸地域で最もオンセットが突然に生じるという観測事実とも矛盾しない。インドシナ半島では

オンセットの時期は最も早い、オンセットそれ自身は相対的にゆっくりである。夏季モンスーンの開始期と終了期の間の遷移速度の非対称性も同様な地域性をもっている。もし我々のメカニズムがインド亜大陸と隣接する海域に効果的に働くならば、海陸間の熱的コントラストの結果として、亜大陸スケールの熱的低気圧の周囲で生じる下降流が積雲対流を抑制するので、インド夏季モンスーンのオンセットは東南アジアのそれと比較して遅れることが予想される。このことが、なぜ南アジアの夏季モンスーン循環に2回の主要なオンセットがみられるのかという疑問に対する解答の一つかもしれない。

久保田拓志・寺尾 徹：エルニーニョ・南方振動に関連する熱帯対流圏温度の季節規模持続性

Takuji KUBOTA and Toru TERAO : The Seasonal-scale Persistence of Tropical Tropospheric Temperature Associated with the El Niño/Southern Oscillation (01076)

1979年から2000年までのNCEP/NCAR再解析データの解析から、熱帯対流圏平均温度を表す、熱帯

200 hPa ジオポテンシャル高度の持続性が、北半球の秋に、特に、9月と10月の間で、「障壁」をもつことが

わかった。熱帯対流圏温度の変動と密接に関連する、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) の指標の持続性が春に落ちる特徴と対照的である。

対流圏温度の特徴から、10月に始まる熱帯の気候年を提案する。この熱帯の気候年に対する熱帯平均200 hPa 高度の年平均値を、熱帯年インデックス (TYI) と定義する。

TYI を基準とした統計解析から、東西一様な熱帯温度偏差は、700-150 hPa で、11月からその後の9月まで

卓越することがわかった。一方、1000-850 hPa の熱帯温度は東西一様ではなく、その下にある熱帯海面水温とはほぼ同時に変動する。温度偏差は下部対流圏 (0.2-0.3 K) より上部対流圏 (0.4-0.6 K) で大きい。

熱帯対流圏の温度の上昇 (下降) は、熱帯全体の降水量の増加 (減少) と直接的に結びついていない。700-300 hPa の熱帯平均した水蒸気の質量は、ENSO のピークの後、対流圏温度とは異なり、徐々に増加する。

行本誠史・北村佳照：結合 GCM におけるエルニーニョの不規則性の研究

Seiji YUKIMOTO and Yoshiteru KITAMURA : An Investigation of the Irregularity of El Niño in a Coupled GCM

エルニーニョの不規則性を大気海洋大循環結合モデルの400年積分を用いて調べた。モデルは不規則なエルニーニョを再現し、赤道中東部太平洋における海面水温 (SST) 偏差の極大が不規則に 1°C から 4°C の範囲を示す。赤道域における海洋表層の貯熱量 (OHC) 偏差と SST および風応力の偏差との時間位相関係は、"recharge oscillator" メカニズムによって説明できる。赤道の SST 偏差が発達する前に、東西平均した貯熱量偏差に北半球亜熱帯と赤道域との間で差が生じる。また、強いイベントの前兆として、より大きな

OHC 偏差が赤道に蓄積されることがわかった。海洋熱収支解析により、大きな OHC 偏差が充填期に形成されるとき、低緯度北太平洋の東西平均した風の渦度偏差に関連した、海洋表層での水平移流が主要な寄与をしていることが示唆された。亜熱帯における海面加熱も南北熱輸送を通して潜在的に寄与していると考えられる。振幅の不規則性のほかに、モデルは ENSO の周期および季節依存性においても不規則性を示す。これらの不規則性との関連についても議論する。

Hans-Joachim LUTZ・井上豊志郎・Johannes SCHMETZ：MODIS データを用いた Split-window 法と多チャンネル法による雲分類の比較

Hans-Joachim LUTZ, Toshiro INOUE, and Johannes SCHMETZ : Comparison of a Split-window and a Multi-Spectral Cloud Classification for MODIS Observations

地球観測衛星 TERRA に搭載された MODIS データを用いて、Split Window 法と新しい第二世代 METEOSAT 用に開発された手法 (MSG/CLA) による雲分類の解析結果について西大西洋で比較した。両者は光学的に厚い水雲および水雲に対しては良い一致を示した。両者の違いは光学的に薄い巻雲や水雲および雲の端で見られた。これらの違いは主として MSG/

CLA 法では Split Window で解析された情報に付加して、3.9, 6.2 および $8.7\ \mu\text{m}$ の情報を用いていることによって説明できる。雲の端における解析結果の違いはチャンネル間のミスアラインメントによるものと考えられる。今回、MSG/CLA 法によって光学的に薄い水雲が的確に解析されることが確認された。