

2000年秋季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会秋季大会（京都）3日目（10月20日）のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が学会会場の京都テルサ第1会議室で行われた。出席者は約80名であった。今回は「極域の対流圏と成層圏とに広がる現象」と題して、極域・寒冷域における、時空間スケールの小さい「重力波」、総観規模の「ブロッキング」、惑星規模の「北極振動」の各々について、主に力学的側面から最新の研究成果も交えた講演会を行った。

世話人：

平沢尚彦（国立極地研究所）

本田明治（地球フロンティア研究システム）

中村 尚（東京大学理学部）

高田久美子（地球フロンティア研究システム）

阿部彩子（東京大学気候システム研究センター）

佐藤 薫（国立極地研究所）

浮田甚郎（米国航空宇宙局）

特集「極域の対流圏と成層圏とに広がる現象」

1. 極域中層大気重力波の研究

佐藤 薫（国立極地研究所）

中緯度や低緯度領域と同様、極域中層大気においても重力波等の小規模擾乱は極夜ジェットの構造や極域での気温の維持に重要な役割を担うことは広く認識されている。また、重力波の局所的な温度揺らぎは、オゾン破壊反応を促進する極成層圏雲の生成をもたらし得る。しかし、極域重力波の研究は事例解析が殆んどであり、その統計的特徴は知られていなかった。

Yoshiki and Sato (2000) では、定期ラジオゾンデ観測データを用い、重力波エネルギーやその力学特性の季節変化を調べ、北極域と南極域の違いを明らかにした。その結果は、北極域と南極域では重力波の発生源が異なることを示すものであった。一方、高分解能気候モデルを用いた大気重力波の研究によれば (Sato

et al., 1999; 佐藤・高橋, 1999), 極域中層大気重力波の起源として、地形効果(山岳波)の他に、極夜ジェットでの地衡風調節、赤道域対流(南北伝播により極域に到達)が示唆される (Sato, 2000)。Yoshiki and Sato の観測データ解析の結果はそれと調和的である。今後、定量的な議論を進めるためには、極域における、分解能や精度のよいラジオゾンデを用いた集中観測やMSTレーダーなどの鉛直運動量輸送が評価可能な測器の設置が望まれる。

2. 南極大陸とその縁辺で形成されたブロッキング高気圧の事例解析

中村 尚（東京大学理学系研究科/地球フロンティア研究システム）・西井和晃（東京大学理学系研究科）・平沢尚彦（国立極地研究所）・木村龍治（東京大学海洋研究所）

1997年の6月南極大陸上空で形成されたブロッキング高気圧はこの年最も顕著なものだった。ブロッキングに伴う暖湿な北風が大陸斜面を上昇して形成された雲からの長波放射に加え、この北風で下層の温度逆転層が破壊されたため、内陸では気温が急激に上昇した (Hirasawa *et al.*, 2000)。本研究では再解析データを基にこのブロッキングの立体構造を調べ、それを同年の晩冬・初春期にやや中緯度側で形成された別のブロッキング2例と比較した。

この6月は平年より大陸上の西風が強かった。南大西洋起源の定常ロスビー波列が18日頃大陸上の極渦内部にまで侵入し、顕著なブロッキング高気圧を形成した(70°S, 50°E中心)。実際、Takaya and Nakamura (2001) に従い求めた定常ロスビー波束に伴う偽運動量フラックスは高気圧へ向かう水平成分が卓越し、ブロッキング形成におけるロスビー波の水平伝播の重要性が示唆される。ブロッキング本体の高気圧偏差は高度約20 kmにまで達するものの、フラックスの上向き成分は認めらず、ブロッキングの影響が大規模波動としては成層圏に及ばないことが判る。

一方、この年の8月上旬(55°S, 160°E 中心)と10月中旬(55°S, 100°W 中心)には、南極大陸の縁辺で強いブロッキング高気圧が形成された。これらの高気圧本体は上空約16 km までしか達せず、6月のケースに比べて背がやや低い。しかし、偽運動量フラックスは明瞭に対流圏の高気圧から成層圏中部の低気圧性偏差へ向かっていた。これらの高気圧は何れも成層圏極夜ジェットの下で形成されたため、その影響がロスビー波束として成層圏に深く及んだものと解釈できる。

上記のように、極く限られた事例を調べただけでも、寒候期に南極及びその周辺に形成されるブロッキング高気圧の立体構造は、その時期や極夜ジェットに対する位置関係に強く依存することが判る。また、ブロッキング高気圧本体の背の高さの違いは、局所的なロスビー深度の違いをほぼ反映するようである。なお、上記3例のブロッキング高気圧の形成期には、ストームトラック上を移動する総観規模の高低気圧波からのフィードバックに加え、上流側からの定常ロスビー波束の入射が何れの例でも顕著に見られ、Nakamura *et al.* (1997)の提唱した形成機構が、南半球の強いブロッキングにも働いていることを示す結果となった。

3. 北極振動 (Arctic Oscillation)

山崎孝治(北海道大学地球環境科学研究科/地球フロンティア研究システム国際北極圏研究センター)

3.1. 北極振動とは何か

北極振動 (Arctic Oscillation, AO) とは耳新しい言葉かもしれないが、冬季北半球の循環で卓越する変動パターンのことである。Thompson and Wallace (1998, 以下 TW98 と略す) が初めてこの言葉を使い、またたく間に研究者の間に広まった。TW98は北緯20度以北の北半球域で冬季(11月~4月)の月平均海面気圧偏差場に主成分分析を行い最も卓越するモード(第1モード)を抽出し、それをその形状から AO と名づけた。AO は北極域の気圧が負の偏差の時、中緯度の海上を中心に正の偏差となる変動である。北極域と中緯度の気圧のシーソー的変動である。AO は地表から下部成層圏までほぼ順圧的構造をもち、北緯55度付近と35度付近の平均東西風のシーソー的変動である。一年中存在するが、冬季に特に顕著である (Thompson and Wallace, 2000)。

当然 AO は地上気温偏差を伴っている。AO が正(中

緯度で気圧が高く北極で低い状態)の位相では、ユーラシア大陸北部を中心に高温偏差となる。日本も北海道を中心に高温となる。逆に、中近東からアフリカ北岸及びカナダ北東部は寒冷となる (TW98)。

3.2. 古くて新しい AO

AO は大西洋域だけをみれば、よく知られた北大西洋振動 (North Atlantic Oscillation, NAO) と似ている。NAO との対比から TW98 は AO とネーミングしたと思われる。AO は NAO と似ているが、AO は太平洋側にもシグナルがあり、ほぼ環状である。そこで AO は北半球環状モード (Northern Hemisphere annular mode, NAM) とも呼ばれる。南半球にも環状モードがあり SAM と呼ばれるが (Thompson and Wallace, 2000)、これはこれまで Single jet-Double jet と呼ばれていた変動の別名である。

従って、AO は特に新しい発見ではなく、NAO でいいし、NAO が本質であるという批判もある (Deser, 2000)。しかし、ほぼ環状の変動が両半球で卓越し、北半球では地形・海陸分布の影響で変形されるという古くて新しいパラダイムを提出した意義は大きい (Wallace, 2000)。ほぼ環状であることを重視すれば、AO は高緯度ジェット(成層圏では極渦というので、対流圏まで含めて、以後、極渦という)の強さの変動であるといえる。AO はインデックス・サイクル (Namias, 1950) の換骨奪胎とも考えられる。

3.3. 対流圏 AO の成因

では、なぜ AO が卓越するのであろうか。AO を極渦の強さの変動と考えれば、帯状平均東西風の変動がなぜ引き起こされるのかという観点からの解析が行われる。観測データや大気大循環モデルを用いた解析から、プラネタリー規模及び総観規模の波動擾乱が AO を生成・維持していると考えられる (Ohhashi and Yamazaki, 1999, Yamazaki and Shinya, 1999, Limpasuvan and Hartmann, 1999)。平均流と渦の間に正のフィードバックが働くため、摩擦や放射減衰の存在にも関わらず、大気中で卓越する変動として現れると考えられる。AO は海面水温変動など外部強制に対する応答ではなく、本質的には大気内部の変動モードである。このことは、海面水温を固定した大気大循環モデルによる数値実験においても AO が卓越することから確認できる (Yamazaki and Shinya, 1999)。

3.4. 成層圏との関係

AO は冬季、成層圏と密接に結びついている。特に、月平均スケールの変動に顕著にあらわれる。本質的に

AOと同じパターンは、成層圏と対流圏の同期した変動を調べた研究でTW98以前にすでに見つかった(例えば, Baldwin *et al.*, 1994, Kodera *et al.*, 1996). そのため, TW98が現れると成層圏・対流圏相互作用の観点からのAOの研究が間髪を入れず現れた. 成層圏にはプラネタリー波と平均流の相互作用による成層圏極夜ジェット振動と称する数ヶ月の時間スケールの変動(OscillationよりVacillationの方が適切のように思う)が存在する. 平均東西風偏差は成層圏を極方向・下方に伝播し, しばしば対流圏まで達し対流圏のAO/NAOパターンが形成される(Kodera *et al.*, 1999, Baldwin and Dunkerton, 1999). 成層圏突然昇温も成層圏極夜ジェット振動のある位相の時に起こる.

3.5. 地球温暖化との関わり

AO index (第1主成分のスコア)の最近30年の時系列には, 10年程度の変動に重なって増加する傾向が見られる(TW98, Thompson *et al.*, 2000). 近年の北半球冬季の地表気温の温暖化傾向の半分はAOで説明できる. では, 最近のAO indexの増加傾向自身はCO₂など温室効果気体の増加によるもの(いわゆる地球温暖化)であろうか, それとも単なる自然変動なのだろうか. 気候モデルによるCO₂増加実験によるとAOは正になるという結果が得られており, どうも前者のようである. 即ち, CO₂の増加によってAOが正になりユーラシア大陸を中心に温暖化が大きくなっていると考えられている. その際, 成層圏をちゃんと入れたモデルではCO₂増大に伴いAOの位相が変化するが, 成層圏の表現が不十分なモデルでは変化しないという結果(Shindell *et al.*, 1999)が報告されている. 成層圏の果たす役割がどれほど重要であるか, これからの研究の進展に期待したい.

3.6. おわりに

ここでは詳述しなかったが, AO/NAOの長期変動は大西洋の海洋循環や北極海の海水・海洋の変動と関係している. 海洋から成層圏まで, また日々から100年スケールの変動まで, 広い時空間領域に関係するAOは広範囲の研究者を刺激して, 今後, 気候に関する主要なキーワードとなるであろう.

謝辞

本会の開催にあたって, 大会実行委員会, 講演企画委員会には大変お世話になりましたので, お礼申し上げます.

参考文献

- Baldwin, M. P. and T. J. Dunkerton, 1999: Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere, *J. Geophys. Res.*, **104**, 30937-30946.
- Baldwin, M. P., X. Cheng and T. J. Dunkerton, 1994: Observed correlations between winter-mean tropospheric and stratospheric circulation anomalies, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 1141-1144.
- Deser, C., 2000: A note on the teleconnectivity of the 'Arctic Oscillation', *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 779-782.
- Hirasawa, N., H. Nakamura, and T. Yamanouchi, 2000: Abrupt changes in meteorological conditions observed at an inland Ant-arctic station in association with wintertime blocking formation, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1911-1914.
- Kodera, K., M. Chiba, H. Koide, A. Kitoh and Y. Nikaidou, 1996: Interannual variability of winter stratosphere and troposphere in the northern hemisphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 365-382.
- Kodera, K., H. Koide and H. Yoshimura, 1999: Northern Hemisphere winter circulation associated with the North Atlantic Oscillation and stratospheric polar-night jet, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 443-446.
- Limpasuvan, V. and D. L. Hartmann, 1999: Eddies and the annular modes of climate variability, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 3133-3136.
- Nakamura, H., M. Nakamura and J. Anderson, 1997: The role of high- and low-frequency dynamics in blocking formation, *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2074-2093.
- Namias, J., 1950: The index cycle and its role in the general circulation, *J. Meteor.*, **7**, 130-139.
- Ohhashi, Y. and K. Yamazaki, 1999: Variability of the Eurasian pattern and its interpretation by wave activity flux, *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 495-511.
- Sato, K., 2000: Sources of gravity waves in the polar middle atmosphere, *Adv. Polar Upper Atmos. Res.*, **14**, 233-240.
- 佐藤 薫, 高橋正明, 1999: 高分解能気候モデルを用いた大気重力波の起源に関する研究, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 354.
- Sato, K., Kumakura, T. and Takahashi, M., 1999: Gravity waves appearing in a high-resolution GCM simulation, *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1005-1018.
- Shindell, D. T., R. L. Miller, G. V. Schmidt and L. Pandolfo, 1999: Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse gas forcing,

- Nature, **399**, 452-455.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2001 : A formulation of a phase-independent wave-activity flux of stationary and migratory quasi-geostrophic eddies on a zonally varying basic flow, *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.
- Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998 : The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1297-1300.
- Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 2000 : Annular modes in the extratropical circulation. Part I : Month-to-month variability, *J. Climate*, **13**, 1000-1016.
- Thompson, D. W. J., J. M. Wallace and G. Hegerl, 2000 : Annular modes in the extratropical circulation. Part II : Trends, *J. Climate*, **13**, 1018-1036.
- Wallace, J. M., 2000 : North Atlantic Oscillation/annular mode : Two paradigms--one phenomenon, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 791-805.
- Yamazaki, K. and Y. Shinya, 1999 : Analysis of the Arctic Oscillation simulated by AGCM, *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 1287-1298.
- Yoshiki, M. and K. Sato, 2000 : A statistical study of gravity waves in the polar regions based on operational radiosonde data, *J. Geophys. Res.*, **105**, 17995-18011.

新刊図書案内

表題	編著者	出版者	出版年月	定価	ISBN	備考
沖縄天気ことわざ： 気象季語から旧暦まで	石島 英 正木 譲	琉球新報社	2001.03	¥1,200	4-89742-036-9	
陸上設置型レーダによる沿岸海洋観測	土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会	土木学会	2001.03	¥2,300	4-8106-0279-6	発売：丸善
英和環境用語辞典	羽生直之	工業調査会	2001.04	¥3,800	4-7693-7096-2	
環境基本用語事典： 身近な環境用語・略語をわかりやすく解説	井上嘉則	オーム社	2001.04	¥2,000	4-274-94874-9	
気候変動監視レポート：世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層の状況について 2000	気象庁	財務省印刷局	2001.04	¥2,060	4-17-160300-5	
局地風のいろいろ	荒川正一	成山堂書店	2001.04	¥1,600	4-425-55042-0	気象ブックス004 00年刊の改訂版
地球温暖化予測情報 第4巻：全球大気・海洋結合モデル及び地域気候モデルによる二酸化炭素濃度が年率1%で増加する場合の気候予測	気象庁	財務省印刷局	2001.04	¥2,600	4-17-263323-4	
天気予報はこんなに面白い！：天気キャスターの晴れ雨人生	平井信行	角川書店	2001.05	¥571	4-04-704031-2	角川 one テーマ21
中谷宇吉郎集第8巻：極北の水	中谷宇吉郎	岩波書店	2001.05	¥4,700	4-00-092408-7	編集：樋口敬二 池内 了
雨の名前	文：高橋順子 写真：佐藤秀明	小学館	2001.06	¥2,400	4-09-681431-8	

注：表中で定価はすべて本体価格です（特記したものを除く）。