

夏季亜熱帯高気圧の形成と変動の力学

宮坂貴文・中村尚

東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

1 背景

夏季の亜熱帯高気圧は冬季に比べて強く、北太平洋及び北大西洋の亜熱帯域を海盆スケールで覆っている。こうした強い亜熱帯高気圧は付近の気候を特徴付けるだけにとどまらず、その風応力が駆動する海洋の亜熱帯循環系を通じて、より広い範囲にも影響を及ぼし得る。亜熱帯高気圧の形成に関する力学をモデル実験により調べる研究が、近年行われ始めた。Chen et al. (2001) および Rodwell and Hoskins (2001) は局在化した非断熱加熱が存在する場合の大気の応答を調べ、北太平洋の亜熱帯高気圧の形成に関して相反する結論を導いた。前者は西に位置するアジアモンスーン、後者は東に位置するアメリカモンスーンであるとそれぞれ結論づけた。前者の実験は非断熱加熱および基本場が非常に理想化されていることが難点である。後者の難点是对流活動域と亜熱帯高気圧は隣接していないことである。亜熱帯高気圧のすぐ東側では対流活動は弱く、顕熱による浅い加熱が特徴である(Wu et al. 2003)。

そこで本研究では、Chen et al. (2001)で指摘された定常ロスビー波が現実大気で存在しているのか、対流活動と異なり地表付近に局在する顕熱加熱が亜熱帯高気圧の形成に寄与するのか、という二点に注目して亜熱帯高気圧の形成力学を調べた。亜熱帯高気圧の立体構造を調べ、夏季対流圏プラネタリー波との関連についても考察した。

用いたデータは NCEP/NCAR の再解析データで、期間は 1979-1998 年である。非断熱加熱については上記データの改良版である NCEP-DOE の AMIP-II を用い、期間は 1979-1993 年である。7 月を解析対象とし、気候平均は各データの全期間での平均とした。

2 気候平均

2.1 再解析データ

気候平均的な亜熱帯高気圧は北太平洋、北大西洋の海盆スケールで存在し、その中心は東に偏っている。高気圧の東縁では海岸に沿って強い赤道向きの風が吹き、大気海洋相互作用が起きていると考えられる。

この領域では下降流が見られ、地表付近での発散による負の渦度偏差傾向と赤道向きの風に伴う惑星渦度の移流の間で渦度平衡が実現されていることは過去の研究で指摘されている通りである。上層での渦度平衡は特徴的なプラネタリー波(東西平均からの偏差として定義)の分布が下降流に伴う収束の効果を相殺して実現されている。上層のプラネタリー波の分布は西風分布として見るとダブルジェットとなっている。すなわち、亜熱帯高気圧の北西側に高気圧性渦度偏差、南東側に低気圧性渦度偏差が存在しており、その節は南西 - 北東の向きとなっている(図 1 上段)。夏季においても上部対流圏では西風が十分強いために、上記の渦度の南北ダイポールの節で東西移流が下降流に伴う渦度変化傾向と相殺している。渦度の南北ダイポールと下降流の存在は、運動量収支の観点から見た場合には次のような整合性とし

て映る。 $u_g \partial u_g / \partial x \approx -fv_a$ という近似関係から分かるように、ジェットの出撃である高気圧上空の北側、ジェットの入口となっている南側でそれぞれ南向き、北向きの非地衡風が吹く。その結果、非地衡風が収束する傾向にある。ダブルジェット的なプラネタリー波は下降流の存在に有利な構造であるといえる。

こうしたプラネタリー波の定常ロスビー波動的な振る舞いを見るために、波活動度フラックス(Plumb 1985)を用いた。Chen et al. (2001) がモデル実験から結論づけたようなアジアモンスーンから北太平洋への波活動度の入射は、データ解析では見られなかった(図1上段)。一方、北大西洋では上流からの入射が見られ、その起源は北太平洋上空に遡ることが出来る。北太平洋に限らず、北大西洋においても対流圏中層で強い上向きと波活動度フラックスが見られ、亜熱帯高気圧域の大気下層に励起源がある可能性を示している(図1下段)。

夏季亜熱帯の下層大気には大陸西岸を挟んで強い海陸温度コントラストが存在している。地表での温位偏差は渦位(PV)偏差と等価であることから(Hoskins et al. 1985)、海洋上の低温位偏差は高気圧性循環偏差を、大陸上の高温位偏差は低気圧性循環偏差を励起すると考えられる。そして、海陸温度傾度が強いほど海岸に沿って吹く北風も強くなることが推測される。そこで、PV inversion を用いて地表付近の温位偏差によって周囲に励起され得る循環を評価した。PV inversion とは、任意のPVの分布に対して、その周囲に励起され得る循環が適切な境界条件の下に一意に定まる性質を応用した診断手法である。1000hPa面の温位偏差が存在した場合、海洋上に高気圧性の、大陸上に低気圧性の循環が励起され、海岸に沿って赤道向きの強い風が吹くことが確かめられた。こうした循環がもたらす過度及び熱輸送によって励起される鉛直流をオメガ方程式に基づいて評価すると、海岸に強い下降流が診断された。この下降流は上空での収束を伴うため、プラネタリー波の生成に寄与すると考えられる。

なお、地表の温位偏差の分布はWu et al. (2003)で指摘された非断熱加熱の分布と対応しており、海洋上での長波放射による冷却、大陸上での顕熱による加熱が卓越する非断熱加熱はともに浅い構造をしている。

2.2 大気モデル

2.1節より得られた作業仮説「亜熱帯の大陸西岸の浅い非断熱加熱のコントラストが地表高気圧を形成し、プラネタリー波の波源としても振る舞う」を検証するため、モデル実験を行った。用いたモデルは解像度T42L30の非線形プリミティブモデル(Hoskins and Simmons 1975)である。このモデルは亜熱帯域の循環を良く再現することがRodwell and Hoskins (2001)やEnomoto et al. (2003)で示されている。力学過程は簡略化されており、非断熱加熱を陽に与えて駆動した場合の大気の応答を調べた。

非断熱加熱を亜熱帯高気圧域の海陸温度コントラストが存在する領域の下部対流圏($0.667 < \sigma < 1$ と定義)に限定して与えた場合、山岳の効果が無くとも十分な強さの亜熱帯高気圧を再現することができた。北太平洋でのSLP偏差は、全強制(全球、全鉛直層に非断熱

加熱を与え、山岳の効果も含める) の場合の約 70%、北大西洋でも半分強に達した(図 2)。下層の非断熱加熱の重要性は、非断熱加熱を全球の大気の中・上層に非断熱加熱を与え、さらに山岳の効果を含めた実験から確かめられる。この時、北太平洋では有意な応答は見られず、北大西洋でも全強制を与えた場合の 30%ほどにしかならなかった。こうした結果は観測データから示唆された上流からの影響の有無と整合的である。

北太平洋、北大西洋ともに、非断熱加熱を下層にのみ与えた場合でも上部対流圏に観測と同様の渦度偏差の南北ダイポールが再現され、対流圏中層において上向きの波活動度フラックスが診断された。上流からの影響が見られない北太平洋の場合、上空の循環偏差は観測とほぼ同じ位置に再現されていた。山岳の効果を含む実験の方が強い応答が得られるものの、含まない場合でも含む場合の半分ほどの振幅を持っていた。下層の加熱・冷却のコントラストがプラネタリー波の波源となるポテンシャルを持っていることを示すものである。

3 事例解析 ~1982年7月の北太平洋~

夏季北太平洋の亜熱帯高気圧も、年によっては波活動度の入射が見られた。1982年7月は顕著な波活動度の入射が上部対流圏で見られ(図3右)かつ地表の高気圧が平年よりも弱いという傾向にあった。

地表高気圧は西への張り出しが弱まっており、西側の縁を吹く南風が局所的に強い水蒸気輸送をもたらしていた(図3左)。この水蒸気輸送に支えられて、平年ではほとんど対流活動が見られない領域において対流活動が盛んになっており、上部対流圏においては平年とは異なるプラネタリー波の様子を示していた。対流活動によって励起されたと考えられるプラネタリー波が下流に伝播し、地表高気圧を弱めていたことが示唆される。実際、対流活動域に非断熱加熱を与えてモデルを駆動すると、上空でのプラネタリー波が励起される様子と、下流の地表高気圧が弱められている様子が再現された。

参考文献

- Chen, P., M. P. Hoerling, and R. M. Dole, 2001: The origin of the subtropical anticyclone, *J. Atmos. Sci.*, 58, 1827-1835
- Enomoto, T., B. J. Hoskins, and Y. Matsuda, 2003: The formation mechanism of the Bonin high in August. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 129, 157-178
- Hoskins, B. J., and Simmons, 1975: A multi-layer spectral model and the semi-implicit method. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101, 637-655
- _____, and M. E. McIntyre, and A. W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 111, 877-946
- Rodwell, M. J., and B. J. Hoskins, 2001: Subtropical anticyclone and summer monsoons, *J. Climate*, 14, 3192-3211
- Wu, G., and Y. Liu, 2003: Summertime quadruplet heating pattern in the subtropics and

the associated atmospheric circulation, Geophys. Res. Lett., 30, art. No. 1201

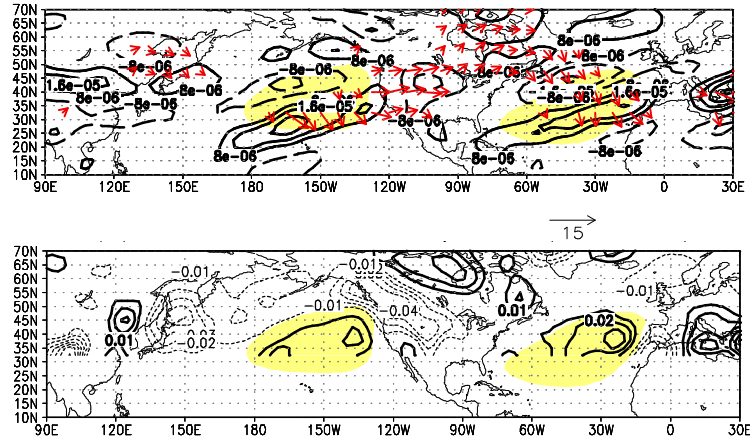


図1 NCEP/NCAR 再解析データに基づく7月気候平均。陰影はSLPが1020hPa以上の領域。上段は250hPaにおける渦度の東西非対称成分(s^{-1})と波活動度フラックス(m^2/s^2)。下段は500hPaにおける波活動度フラックスの鉛直成分(m^2/s^2)。

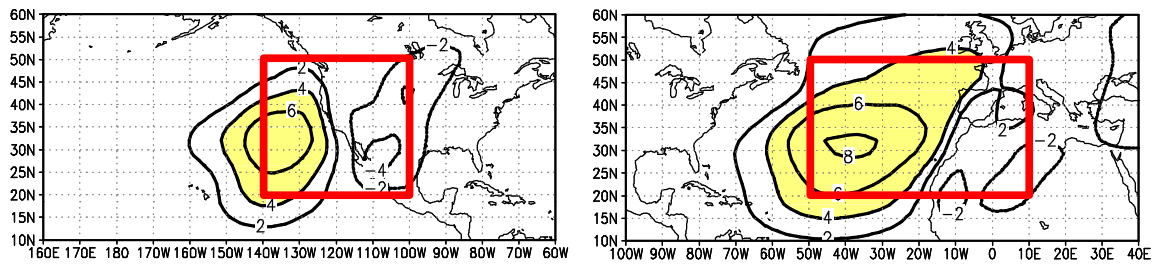


図2 太枠内の下層($0.667 < \sigma < 1$)にのみ非断熱加熱を与えた山岳効果を含まないモデル実験でのSLP応答(hPa)。左が北太平洋、右が北大西洋。

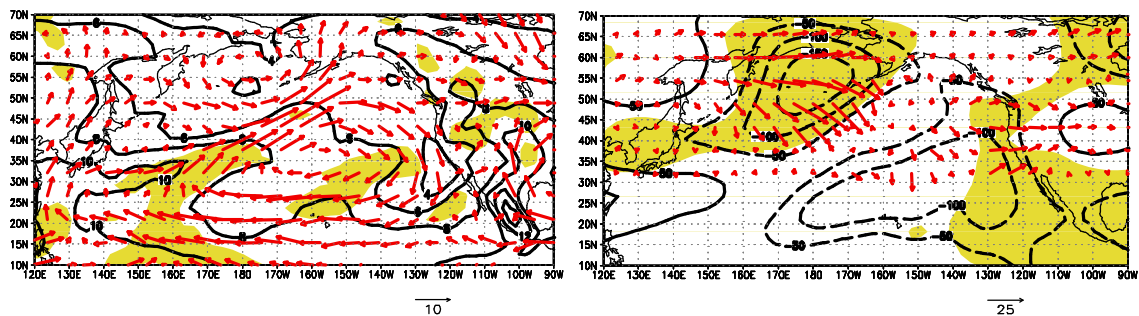


図3 1982年7月の分布。左は等値線は850hPa比湿(g/kg)、ベクトルは850hPa風(m/s)。陰影は850hPa比湿の気候平均からの偏差が $0.5g/kg$ を超える領域。右は等値線が250hPa高度場の東西非対称成分(m)、ベクトルは波活動度フラックス(m^2/s^2)。陰影は250hPa高度場の気候平均からの偏差が $50m$ 未満の領域。