



夏季気候変動

—冷夏猛暑に代表される夏季異常気象研究の統合—

2004年7月に猛暑をも たらした高気圧の成因

原 田 やよい
遠 藤 洋 和
榎 本 剛

Formation mechanisms of the anti-cyclone
that caused heat waves in Japan in July 2004

Yayoi Harada • Hirokazu Endo • Takeshi
Enomoto

はらだ やよい: 気象庁地球環境・海洋部気候情報課
えんどう ひろかず: 仙台管区気象台技術部気候・調査課
えのもと たけし: 海洋研究開発機構
地球シミュレータセンター

2004年7月に起きた猛暑の要因の一つは、日本付近で発達した高気圧である。波の活動度や渦位の解析を行った結果、この高気圧はアジアジェット沿いに伝播する準定常ロスビー波束（「シルクロードパターン」）によりもたらされたことがわかった。また、2003年7月との比較を行ったところ、この二つの年のアジアモンスーンの季節進行には大きな違いがあり、その結果初夏に対照的な天候がもたらされたことが分かった。

1. はじめに

日本の初夏の天候は、地上気圧系の表現を用いれば、オホーツク海高気圧、梅雨前線、日本の南東海上に見られる亜熱帯高気圧の動向に左右される。そして盛夏期になると、地上の天気図上ではあたかも亜熱帯高気圧が北西に張り出しているかのように見えるが、鉛直構造を見ると日本の南東海上の亜熱帯高気圧とは明らかに異なる、“背の高い”高気圧が発達することが多くなる。この高気圧の急速な発達に伴い梅雨明けがもたらされることもしばしばある。過去の観測的研究（例えば、二階堂、1987）が指摘するように、この高気圧の位置や強弱は盛夏期の日本の天候に大きな影響を与える。1980年代以降、盛夏期に日本付近で発達する高気圧と西部熱帯太平洋の対流活動の関係に注目が集まったが（Nitta, 1987; Kurihara and Tsuyuki, 1987; Tsuyuki and Kurihara, 1989; Ueda *et al.*, 1995）、等価順圧的な鉛直構造の形成に関して力学的に明快な説明は成されてこなかった。しかし近年では、アジアジェット上を伝播する準定常ロスビー波（Terao, 1998）が盛夏期の日本の天候に対して重要な影響を与えていること、準定常ロスビー波が日本付近に背の高い高気圧を形成、強化しているという指摘が成されるようになった（Enomoto *et al.*, 2003）。アジアジェット上を伝播する準定常ロスビー波のエネルギーには年々変動が見られ、ヨーロッパ方面から流入する場合もあるが（佐藤、2003）、励起に対してはベンガル湾の対流活動、伝播に対してはチベット高気圧による導波管の形成が重要であるとされおり（Enomoto

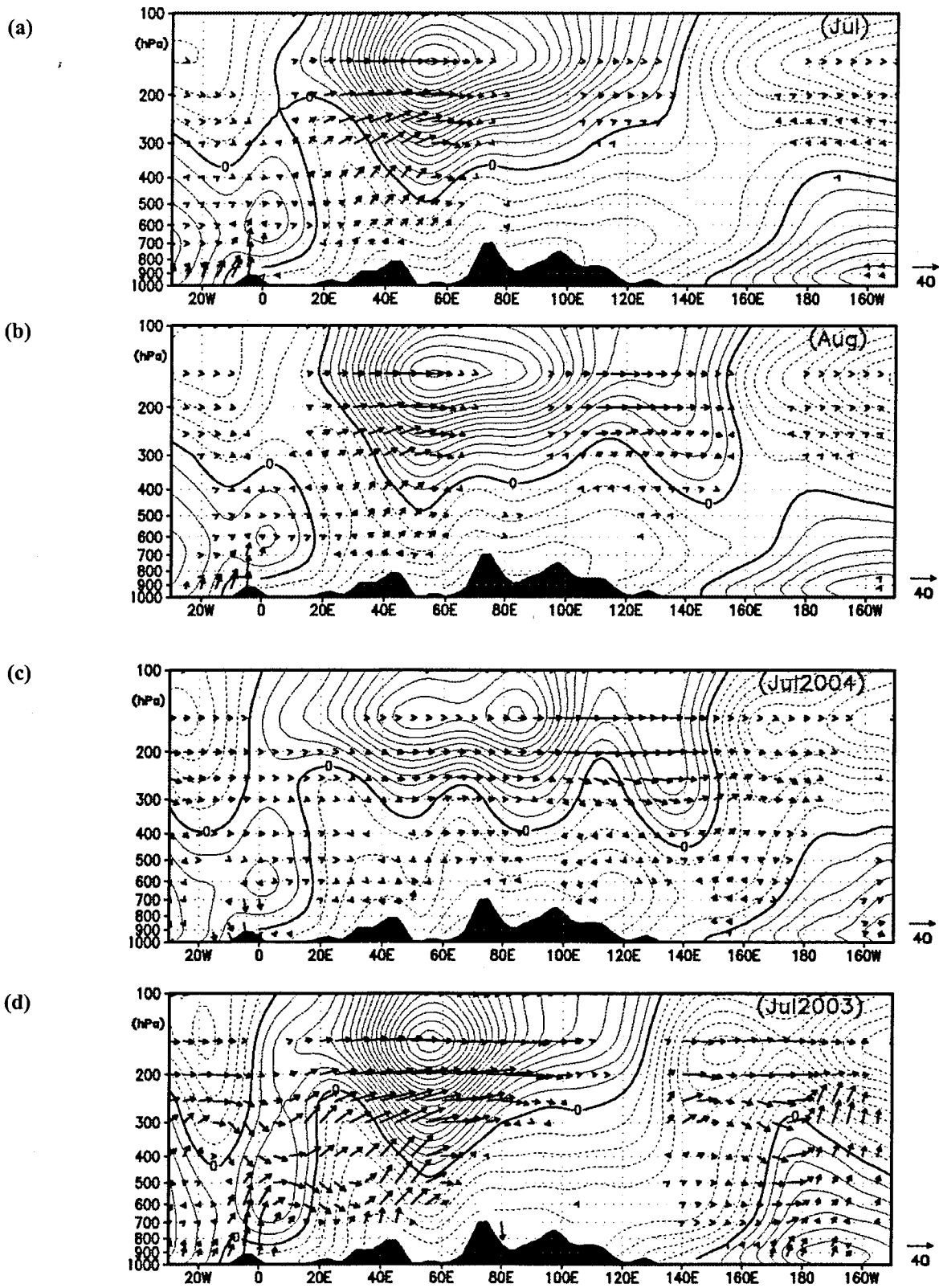


図1 北緯40度に沿った流線関数偏差(東西平均からの偏差, 線)と波の活動度フラックス(ベクトル)の東西鉛直断面図。上から順に(a) 平年の7月, (b) 平年の8月, (c) 2004年7月, (d) 2003年7月。実線(破線)が正(負)の値。等値線間隔は $2 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ 。波の活動度フラックスの計算方法はTakaya and Nakamura (2001)に基づき、基本場は実況値の波数2以下の成分とし、スケーリングは右下のとおりで単位は東西方向が m^2/s^2 、鉛直方向が $\text{Pa} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ 。ただし鉛直方向は20倍してある。

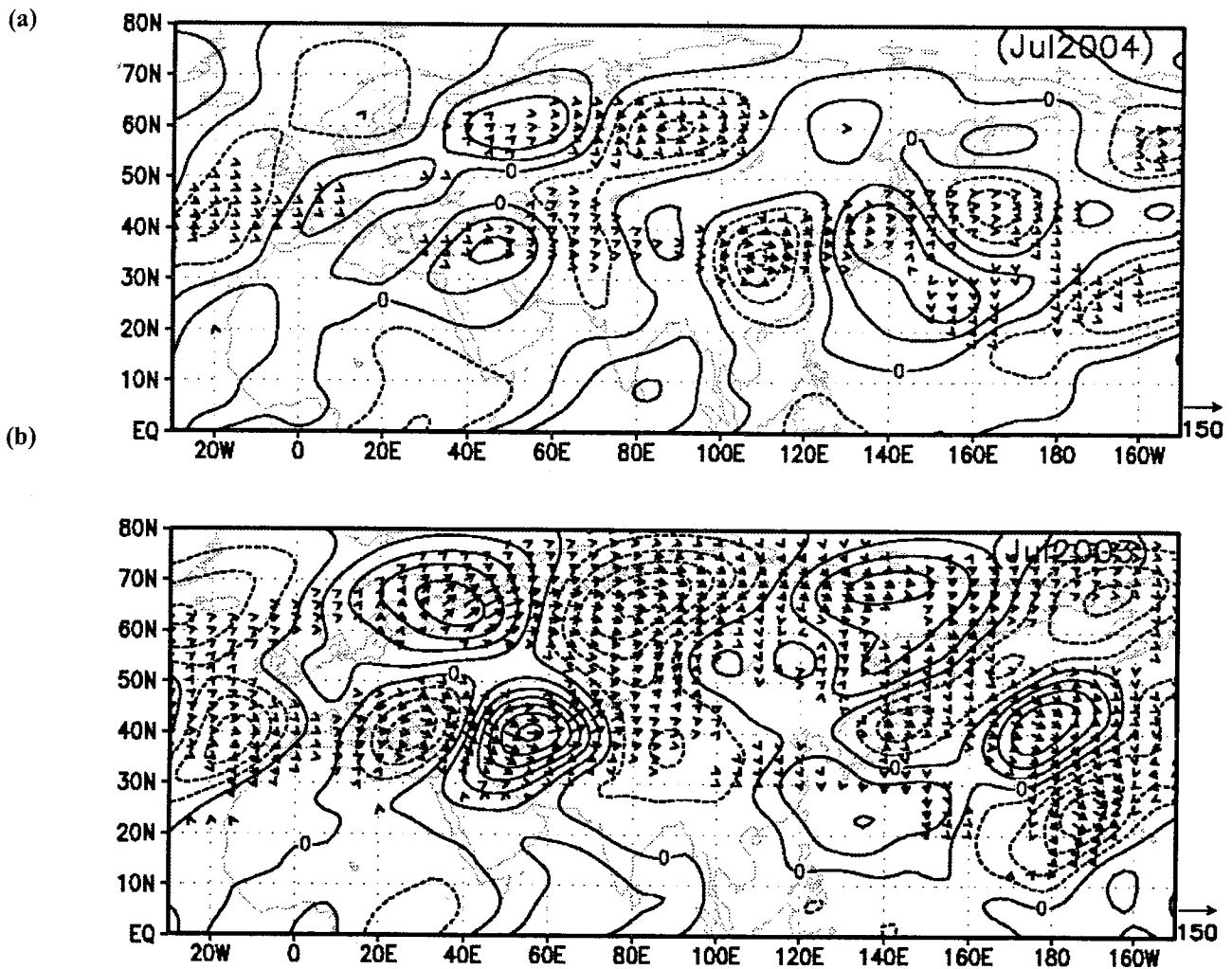


図2 250hPa面の流線関数偏差(気候値からの偏差, 線)と波の活動度フラックス(ベクトル). 上から順に (a) 2004年7月, (b) 2003年7月. 等値線間隔が $2 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$, ベクトルは波の活動度フラックスの水平成分である以外は図1と同じ.

et al., 2003), アジアモンスーン域の対流活動と循環場の変動が様々なプロセスを経て, 盛夏期に日本付近で発達する高気圧の動向に影響を及ぼしている (Enomoto, 2004).

本稿では, 2004年7月に起きた猛暑の要因の一つとされる日本付近で発達した高気圧に注目し, その成因についての検討を, 前述のアジアジェット上を伝播する準定常ロスビー波やアジアモンスーン域の対流活動に注目して行う. また, 対照的な天候だった2003年7月との比較を行い2004年7月の特徴を浮かび上がらせたい.

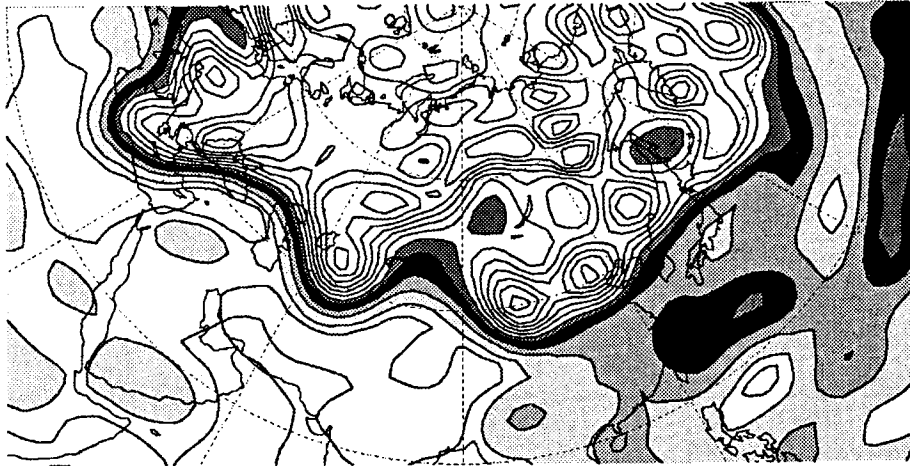
2. シルクロードパターン

図1に (a) 平年の7月, (b) 平年の8月, (c) 2004年7月, (d) 2003年7月それぞれの亜熱帯ジェット付近(北緯40度)の流線関数偏差と波の活動度フラックスを示す. 流線関数偏差は帯状平均からのずれ, 波の活動度フラックスはそれぞれの東西波数2以下の成分を基本場として計算している. なお, 本稿においては, OLRデータはCDC/NOAA, 循環場データは全てCDAS-2/NCEPを使用している.

気候値の特徴から述べる. 7月, 8月のどちらに

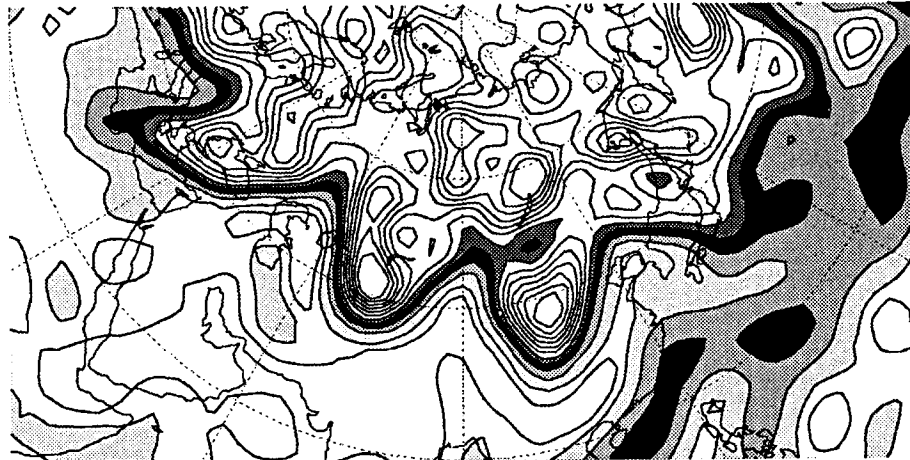
(a)

00Z 16Jul2004



(b)

00Z 18Jul2004



(c)

00Z 20Jul2004

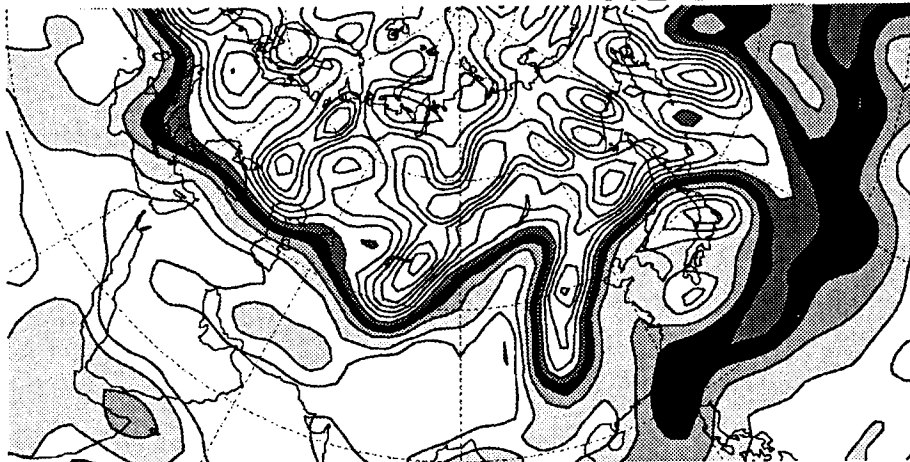


図3 2004年7月16~20日の360K等温位面における渦位分布. 上から順に(a)7月16日00UTC, (b)7月18日00UTC, (c)7月20日00UTC. 等値線間隔は, 1PVU以下は0.5PVU, 1PVU以上は1PVU (1PVU= $10^{-6} \text{m}^2/\text{s} \cdot \text{K}/\text{kg}$).

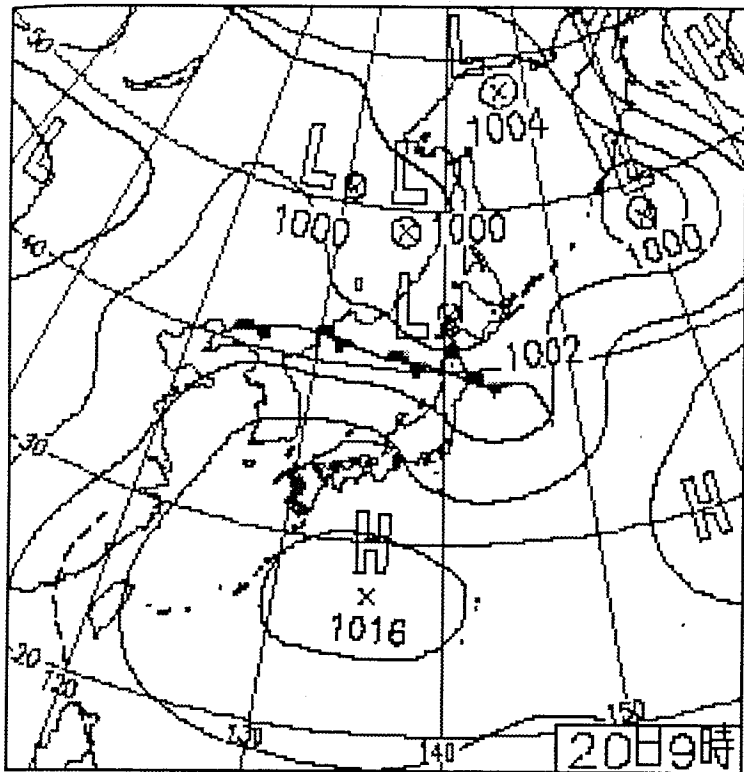


図4 2004年7月20日00UTCの気象庁作成の地上天気図.

も、チベット高気圧に対応する高気圧性循環が東経60度、150hPa付近を中心に見られる。しかし、日本付近の状況は7月と8月で大きく異なる。7月はチベット高気圧が日本の上層へわずかに張り出すのに対し、8月になるとチベット高気圧から独立した中心を持つ高気圧性循環が日本の上層に存在し、下層へ向かって伸びている。波の活動度フラックスと合わせて考えると、この高気圧の成因について良く理解できる。7月は東経20度付近を起源とする準定常ロスビー波のエネルギーがチベット高原以西で留まっているのに対し、8月になると日本付近まで達し、そして収束している。このためジェット南北蛇行が大きくなり、日本付近では等価順圧な高気圧が発達している。これは Enomoto *et al.* (2003) によって示された「シルクロードパターン」であり、このプロセスにより強まる日本付近の背の高い高気圧を、背の低い構造の太平洋高気圧や上層中心に存在するチベット高気圧と区別するために「小笠原高気圧」と呼んでいる。本稿でもこの表現を用いることとする。

記録的な猛暑となった2004年7月の実況を見ると(図1c)、平年で見られる8月の状況に類似、もしくはそれを一層強めた分布になっていることが分かる。平年の7月では不明瞭なチベット高原以西での準定常ロスビー波のエネルギー伝播(「シルクロードパターン」)が見られ、それが日本付近まで達している。波の波長も平年の8月の状況と良く合っている。このため日本付近の上層では、チベット高気圧や太平洋高気圧とは明らかに構造の異なる背の高い高気圧、すなわち「小笠原高気圧」が発達している。次に、2004年とは対照的な低温となった2003年7月の状況を示す(図1d)。地中海方面から東へ伝わる波のエネルギー量が多いものの、向きを南へ変えてイラン方面、もしくはチベット高原以西で収束している。これに対応して、チベット高気圧中心付近の高気圧が強化される一方で「小笠原高気圧」は形成されていない。また、上層の循環偏差と波の活動度フラックスの平面分布を見ると(図2)、2004年7月は「シルクロードパターン」が明瞭であり、波のエネルギー

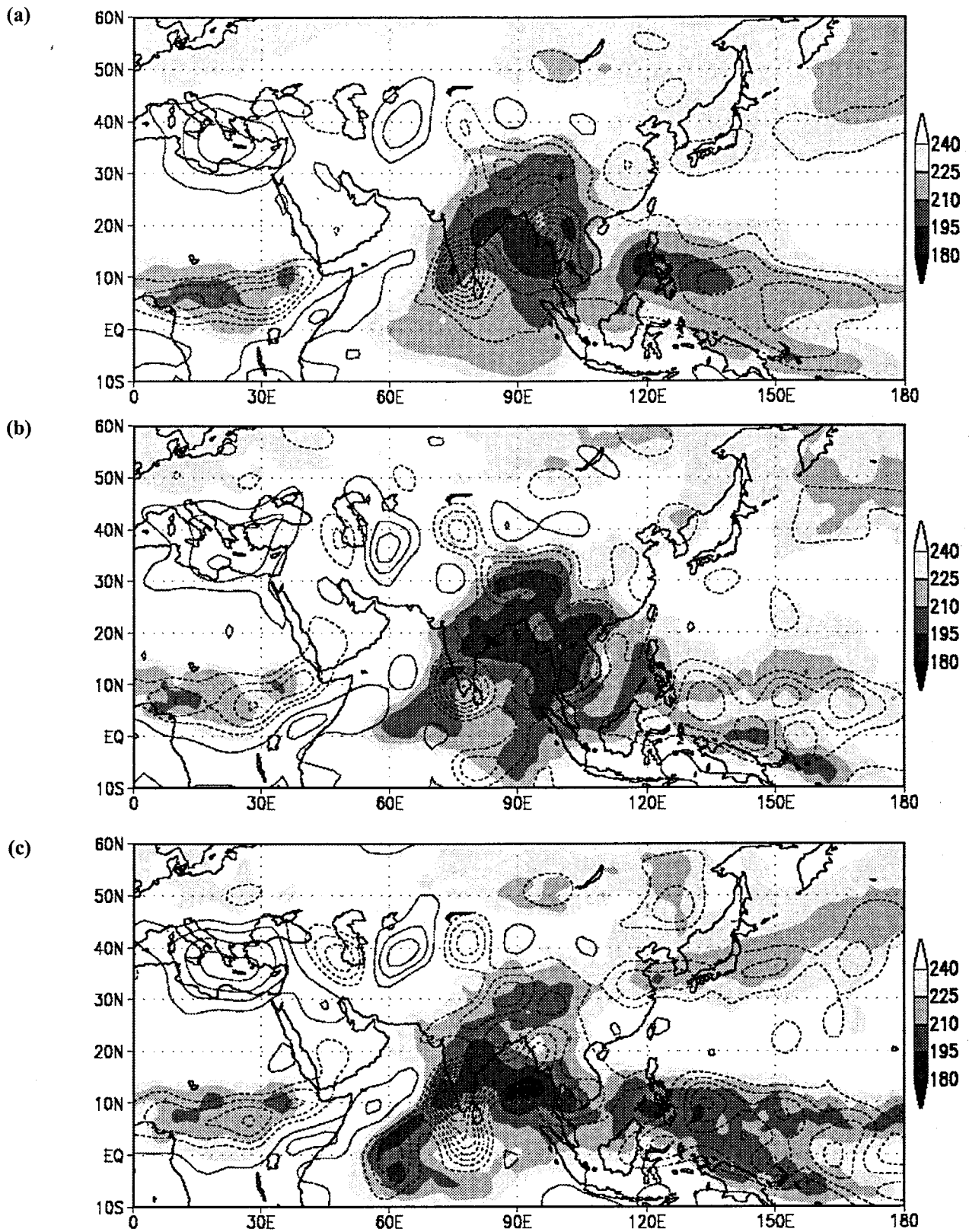


図5 OLRと上昇流の分布図. 上から順に (a) 平年の7月, (b) 2004年7月, (c) 2003年7月. 陰影はOLR (W/m^2), 線は上昇流 (Pa/s) を表す. 実線 (破線) が正 (負) の値. 等値線間隔は 0.03 Pa/s. 0 の等値線は省略.

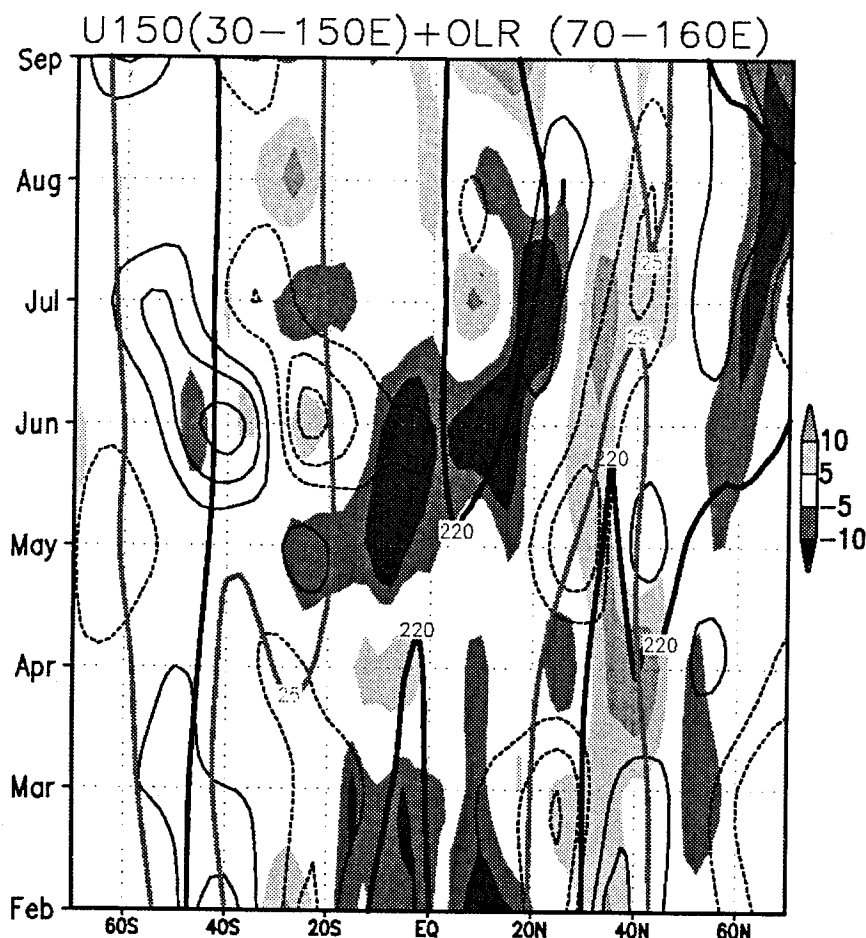


図6 東西平均したOLRと150hPa東西風速の2004年と2003年の差の緯度時間断面図。陰影はOLR偏差, 細線は東西風速偏差でいずれも2004年と2003年の差。OLRは70-160°E, 東西風は30-150°Eの領域で東西平均。それぞれの領域はアジアモンスーン域とチベット高気圧を意識して設定。実線(破線)が正(負)の値。等値線間隔は3m/s。0m/sの等値線は省略。濃い太線はOLR気候値の220W/m², 薄い太線は150hPa東西風速気候値の25m/sの等値線。

の一部はヨーロッパ方面からも流入している。2003年7月の場合は、東地中海付近から東へ伝播する波のフラックス量が多いが、図1で見たように、そのほとんどがチベット高原以西で収束している。つまり2004年と2003年ではチベット高原以西への準定常ロスビー波伝播の様子が明らかに異なっている。

2004年7月15日から20日頃にかけて明瞭な「シルクロードパターン」が現れた。この時の様子を図3に示す。7月16日はアジアジェット入口付近で等渦位線の蛇行が見られ、その2日後の18日には黄海付近まで達している。18~20日は黄海から日本付近では高気圧性の循環で等渦位線の蛇行が急速に大きくなっており、波のエネルギーが収束、そして碎波する様子が見取れる。そして、日本の南海上へは高渦位が侵入し、南北方向の渦位の逆転が起こっている。上層を中心に強まった

高気圧の影響は地上付近まで及び、20日の地上天気図ではいわゆる「鯨の尾型」をした高気圧が見られる(図4)。当日は太平洋側ではフェーンの影響も加わり関東地方を中心に最高気温が40度近くまで上昇し、東京の大手町では観測史上最高の39.5°Cを観測している。

3. 熱帯の対流活動

図5に平年、2004年、2003年(いずれも7月)のOLRと500hPa上昇流を示す。2004年7月のフィリピン付近の対流活動は平年に比べて不活発であり、さらに2003年7月と比べても不活発である。これまでの研究から、夏季の日本付近における高気圧の発達にはフィリピン付近の対流活発化により励起された準定常ロスビー波が伝播するためであるとされてきたが(Nitta, 1987; Kurihara and Tsusuyuki, 1987)、2004年7月に見られた日本付近

の高気圧の発達をこの角度から説明することが難しいことが分かる。しかしながら、もう少し領域を広げてアジアモンスーン域（ここでは赤道以北の70～160Eの領域を意味する）の対流活動を見ると、2004年7月は2003年7月や平年に比べて対流活発域が全体的に北寄りで、特にバングラディッシュやインドシナ半島北部などの20N以北の地域で活発であることが分かる。このように、2004年7月はフィリピン付近の対流活動は不活発であるものの、アジアモンスーン域の対流活動が北偏していたことが特徴である。

次に、2004年と2003年をアジアモンスーン北上の季節進行という視点で比較を行う(図6)。なおOLRと150hPa東西風はそれぞれ、アジアモンスーン域の対流活動、チベット高気圧を意識した領域で東西平均している。平年のOLR値 $220\text{W}/\text{m}^2$ の北縁緯度に注目すると、4月までは赤道付近にあるが、5月から8月にかけて北上し、8月になると北緯20度付近に達する。また、150hPa東西風の強風域も対流活動の北上にあわせて極側へ遷移している。これらは晩春から夏にかけての季節の進行に伴いアジアモンスーンとチベット高気圧が北上することに対応している。2004年と2003年の違いを見ると、2004年は春の時点から対流活動が全般的に活発で、5月から7月にかけては平年の対流活発域の北縁域で対流活発となっている。そして150hPaの東西風偏差では平年の強風軸の南縁域で弱風偏差、北縁域で強風偏差が分布している。つまり、2004年は2003年に比べてアジアモンスーンの北上が早く、チベット高気圧が早い時期から形成されていたと言える。アジアモンスーンの北上が早いという特徴は、Ueda *et al.* (1995) の定義した「対流ジャンプ」領域(15～25N, 150～160E)の対流活動が平年では7月下旬頃に強まるのに対し、2004年は6月中旬頃から活発化していた(図略)ことから見いだすことができる。

4. まとめと議論

2004年7月の猛暑をもたらした高気圧は、「シル

クロードパターン」によって形成された「小笠原高気圧」であったと言える。Enomoto *et al.* (2003)によれば、平年では「シルクロードパターン」は8月に卓越するとされているが、2004年は7月の時点で既に明瞭に現れていた。7月に「シルクロードパターン」の卓越を可能としたのは何だったのであろうか？それに必要な条件は、①アジアジェット入口付近で準定常ロスビー波が励起されること、②アジアジェットの導波管が強固であること、③日本付近におけるジェットの減速が明瞭であることである。

①の条件については、図1と図2が示すとおり2003年7月や平年の7月でも満足されている。この条件は多くの事例で満足していることが多い。ちなみに、準定常ロスビー波の励起源となりうる東地中海付近の下降流は2003年7月は2004年7月よりも明瞭となっている(図5)。②の導波管形成については、Enomoto (2004) が述べているように年々の変動が大きいため重要な因子である。導波管の強さはチベット高気圧の強さに関連するため、ベンガル湾付近の対流活動の動向が重要となる。2004年は晩春以降のアジアモンスーンの北上が早く、これに伴いチベット高気圧の発達も早い時期から始まっていた。そして7月は対流活発域が北偏していた。対流活動の北偏はGill (1980)が示すように循環場に対するインパクトが大きいため、チベット高気圧形成には有効に働くと考えられる。このため、7月の段階でアジアジェットの導波管が形成され、準定常ロスビー波のエネルギー伝播が可能であったと考えられる。実際に日別データを見てみると、6月下旬以降のアジアジェットの導波管が明瞭になった時期には、ベンガル湾から東南アジアにかけて対流活動の北偏が明瞭に見られていた(図略)。今後は、対流活動の変動とアジアジェットの導波管形成プロセスについて、日データを用いて詳細に解析する必要がある。③のジェットの減速は、アジアジェットを伝播してきた準定常ロスビー波のエネルギーを収束させ、そして碎波させやすい環境場を形成するという点で重要な役割を果たす。原田

ら (2005) はアジアジェット出口付近では擾乱成分から基本場へのフィードバックが働きやすいことを示していることから、日本付近のジェット減速の明瞭化にロスビー波自身が関わっていることも考えられ、アジアモンスーンの早い季節進行と何らかの関係があるのかもしれない。この点について検討を行うことも今後の課題である。

参考文献

- [1] Enomoto, T. (2004) : Interannual Variability of the Bonin High Associated with the Propagation of Rossby Waves along the Asian Jet. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 1019-1034.
- [2] 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.
- [3] Gill, A. E. (1980) : Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 106, 447-462.
- [4] 原田やよい, 遠藤洋和, 榎本剛 (2005) : 2004年7月に猛暑をもたらした高気圧の成因 (第2報), 2005年度秋季大会講演予稿集, 日本気象学会, p. 129.
- [5] Kurihara, K. and Tsuyuki (1987) : Development of the Barotropic High around Japan and its Association with Rossby Wave-like Propagations over the North Pacific : Analysis of August 1984. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 237-246.
- [6] 二階堂義信 (1987) : Q-map (等温位面上で解析された渦位分布図) - その2, Q-mapの実際, *天気*, 33, 300-301.
- [7] Nitta, T. (1987) : Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 373-390.
- [8] 佐藤尚毅 (2003) : 盛夏期の日本の天候の年々変動に関連する大規模場の力学過程, 東京大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻博士論文.
- [9] Takaya, K. and H. Nakamura (2001) : A Formulation of a Phase-Independent Wave-Activity Flux for Stationary and Migratory Quasigeostrophic Eddies on a Zonally Varying Basic Flow, *J. Atom. Sci.*, 58, 608-627.
- [10] Terao, T. (1998) : Barotropic Disturbances on Intraseasonal Time Scale Observed in the Midlatitudes over the Eurasian Continent during the Northern Summer., *J. Meteor. Soc. Japan*, 76, 419-436.
- [11] Tsuyuki, T. and K. Kurihara (1989) : Impact of Convective Activity in the Western Tropical Pacific on the East Asian Summer Circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 231-247.
- [12] Ueda, H., T. Yasunari and R. Kawamura (1995) : Abrupt Seasonal Change of Large-Scale Convective Activity over the Western Pacific in the Northern Summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, 73, 795-809.

