

# 東アジア夏季の異常気象に関連する遠隔伝播パターンの動態

川村隆一・若林成治(富山大・理)・鬼頭昭雄・荒川 理(気象研・気候)

## 1. はじめに

日本及びその周辺地域の暑夏あるいは冷夏の原因として、従来までは北太平洋(小笠原)高気圧、オホーツク海高気圧、チベット高気圧の動向(作用中心の変動)で説明されてきたが、遠隔伝播(球面上の定在ロスビー波の伝播)の概念が適用されてからは、主なテレコネクションとして、熱帯西部太平洋からの波列パターン(Nitta 1987; Kawamura et al. 1996)、チベット高原上空を横切る波列パターン(Krishnan and Sugi 2001; Wu and Wang 2002; Enomoto et al. 2003)、ユーラシア北部を横切る波列パターン(Wang 1992; Wang and Yasunari 1994; Nakamura and Fukamachi 2003)などが指摘されている。

ただ残念な事に、これら多くの関連研究は注目する気象要素や解析手法等が異なり、同じ基準(土俵)で客観的に比較するという事がなされておらず、そのため各テレコネクションが相対的にどの程度日本の夏季気温変動に影響を与えているのか、地域的な違いなどが曖昧のままである。そこで本研究では、比較可能な物理量として再解析データから計算した流線関数偏差を基に、EOF 解析と回帰分析を併用して各テレコネクションの特徴について比較し、日本の気温変動との関連性を調べた。

## 2. 使用データ及び解析手法

1974年から2003年までの30年間のNCEP/NCAR再解析データ及びNOAA OLRデータを使用。ユーラシア北部地域、中緯度アジア地域、西部北太平洋域の流線関数偏差にEOF解析を適用し卓越モードを抽出した。主なテレコネクションの変動度を説明する、月別のテレコネクション指数も併せて定義し、回帰分析により日本及び周辺地域の気温変動との関連を調べた。同様な解析をECMWFの再解析データ(ERA40)でも行った。

またこれとは別に、気象研究所大気海洋結合モデル(MRI-CGCM ver2.3.2; T42L30)の50年間の長期積分を実行し、上記のテレコネクションが結合モデルでどの程度再現されているのかを評価した。

## 3. 結果

### 3.1 遠隔伝播パターンの抽出

三つの地域(ユーラシア北部地域、アジア大陸中緯度地域、北西太平洋域)の500hPa, 200hPa, 850hPa面の流線関数偏差に各々EOF解析を適用して、日本及びその周辺地域の夏季の異常気象と関係が深いと考えられる四つのテレコネクションが抽出された(図1)。本研究ではテレコネクションが最も顕著に出現する等圧面を各々選択している。特に夏季前半にユーラシア北部上空で卓越する二つのテレコネクション(便宜的にEurope-Japan(EJ)1とEJ2)はオホーツク海高気圧の変動と関係している。第3のテレコネクション(West Asia-Japan; WJ)は西アジアから北太平洋中央部にかけての対流圏上層亜熱帯ジェットに沿った定在的な波列パターンであり、既にKrishnan and Sugi(2001)やWu and Wang(2002)によって指摘されているものと同定できる。また、第4のテレコネクションは新田によって見出されたPJパターンである。

各EOFのスコア(時係数)と半球規模の流線関数及び等圧面高度偏差との回帰分析を行い、順圧構造や季節依存性を調査した(図省略)。EJ1とEJ2共に、6月と7月はEOFの空間構造と非常に類似しているが、8月になると空間構造は歪んでいる。WJは各月共に大きな違いはみられないが、北太平洋を横切る波列構造は8月に最も明瞭である。PJに関しても月毎に極端な違いはみられない。夏季全体にわたってはWJとPJの構造が非常に頑健(robust)である。

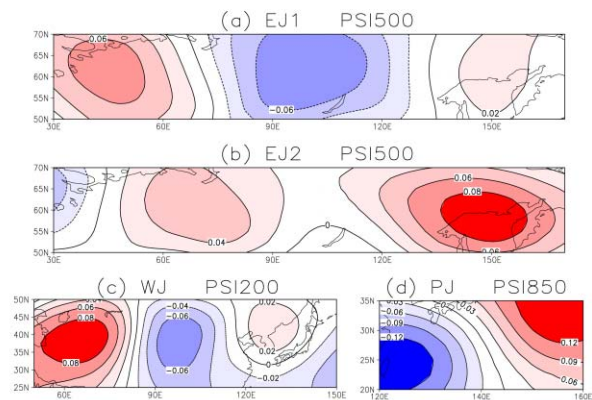


図1 日本の夏季の異常気象と関連する遠隔伝播パターン。EJ1とEJ2はユーラシア北部地域、WJはアジア大陸中緯度地域、PJは北西太平洋域の流線関数偏差にEOF解析を適用して抽出されている(Wakabayashi and Kawamura, 2004)。

### 3.2 テレコネクション指数

EOF解析及び回帰分析の結果に基づき、4つの遠隔伝播パターンの変動度を説明する、月別のテレコネクション指数を下記のように定義した。

$$EJ1 = [Z^*_{500}(45^\circ E, 60^\circ N) - Z^*_{500}(100^\circ E, 65^\circ N) + Z^*_{500}(145^\circ E, 60^\circ N)]/3,$$

$$EJ2 = [Z^*_{500}(70^\circ E, 60^\circ N) + Z^*_{500}(150^\circ E, 57.5^\circ N)]/2,$$

$$WJ = [Z^*_{200}(65^\circ E, 40^\circ N) - Z^*_{200}(100^\circ E, 40^\circ N) + Z^*_{200}(130^\circ E, 40^\circ N)]/3,$$

$$PJ = [Z^*_{850}(155^\circ E, 35^\circ N) - Z^*_{850}(125^\circ E, 22.5^\circ N)]/2,$$

ここで $Z^*$ は等圧面高度偏差を表している。適用可能性という観点から容易に定義できる等圧面高度を用いている。これらの指数を規格化して、等圧面高度偏差ならびにOLR偏差との回帰係数分布を示したのが図2である。EJ1とEJ2指数については6月の500hPa高度偏差、WJ指数については8月の200hPa高度偏差、PJ指数については8月の850hPa高度偏差に回帰分析を適用している(NCEP/NCAR再解析データを使用)。

6月のEJ1をみると、ユーラシア北部の正(負)の高度偏差と正(負)のOLR偏差が重なっている。EJ1の励起に伴いラージスケールの雲活動が影響を受けていることを反映していると考えられる。EJ2も類似した特徴がみられている。一方、8月のWJ

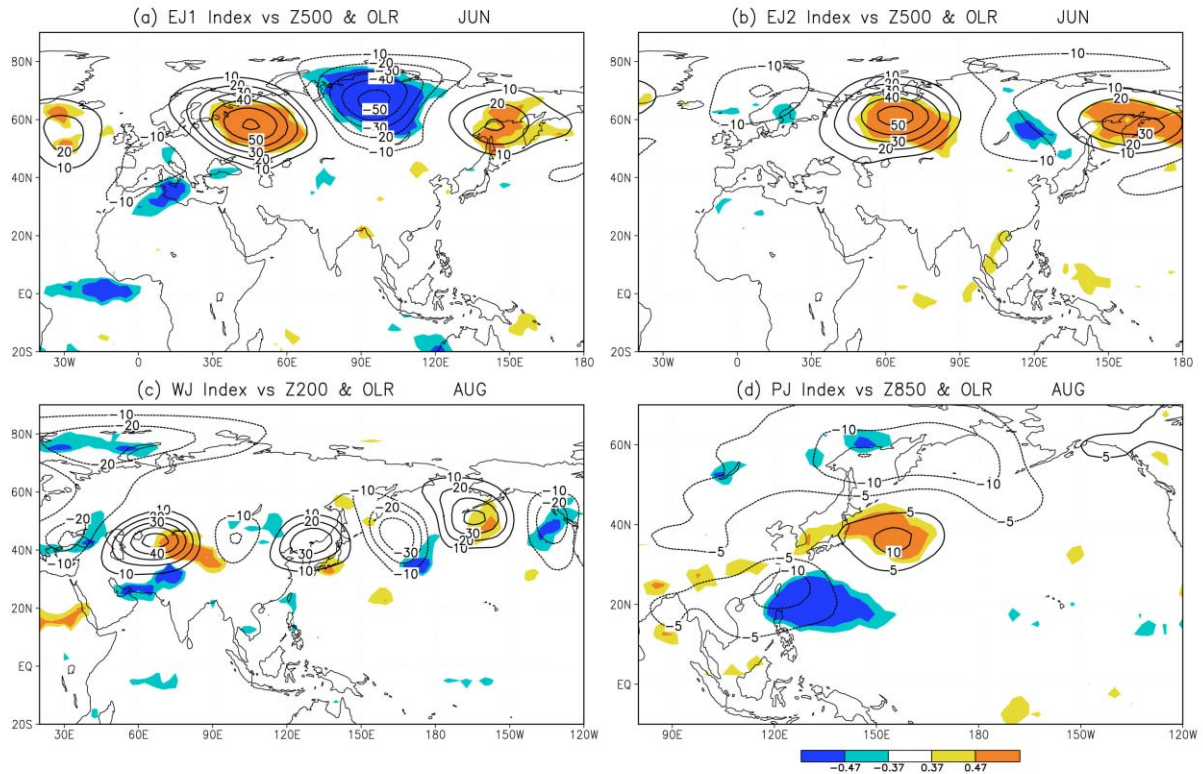


図2 各テレコネクションの規格化指数に対するジオポテンシャル高度の回帰係数分布（等値線）. (a) 6月のEJ1指数, (b) 6月のEJ2指数, (c) 8月のWJ指数, (d) 8月のPJ指数. 併せて、OLRの回帰係数の有意な領域を陰影部で示す.

は南西アジアの対流活発化と密接に関連している。そのようなリンクは6月や7月でも観測される。Guan and Yamagata (2003)などが指摘しているように、インド夏季モンスーンの対流加熱偏差によってWJが励起される場合があることが示唆される。また、8月のPJはフィリピン海周辺の積雲対流加熱による熱源変動に左右されている。OLRから推測される熱源の北西側に低気圧偏差の中心があり、ロスビー的な応答になっている。興味深いことに、オホーツク海周辺にもPJに関連した低気圧偏差がみられ、熱帯起源のテレコネクションがオホーツク海周辺の大気循環場にも部分的に影響を与えている可能性がある。

### 3.3 日本の夏季気温変動との関連

図3は各テレコネクションの規格化指数と回帰させた日本周辺の1000hPa気温の回帰係数分布を示したものである（紙面の都合上、EJ1とEJ2は6月、WJとPJは8月のみ示す）。この図はERA40再解析データに基づいているが、NCEP再解析を用いたものとはほぼ同じ結果が得られている。具体的には、6月のEJ2は北海道中心に北日本で統計的に有意（危険率5%）であるが、EJ1は日本付近では有意な回帰係数が得られなかった。一方、8月のWJは西日本中心に相関が高く（危険率1%）、対照的に、PJは北日本中心に非常に高い相関が得られている。このような地域性を検証するために、気象庁が管轄している17の気象官署（北日本を代表して網走、根室、寿都、山形、石巻、東日本では伏木、長野、水戸、飯田、銚子、西日本は境、浜田、彦根、多度津、宮崎、南西諸島は名瀬、石垣島）についても規格化指数との相関関係を調査した。得られた結果は図3と矛盾す

るものではなかった。

以上の結果を簡単にまとめると、PJおよびWJが最も影響力のあるテレコネクションであり、PJは特に北日本、WJは西日本の気温偏差と密接に関連している。EJ1とEJ2は日本の気温変動に常に有意な影響を与えているとは言い難いが、極端な夏が生じたいくつかの事例で卓越している。特に2003年の冷夏ではPJも含めてEJ1とEJ2の両テレコネクションは重要な役割を果たしている。

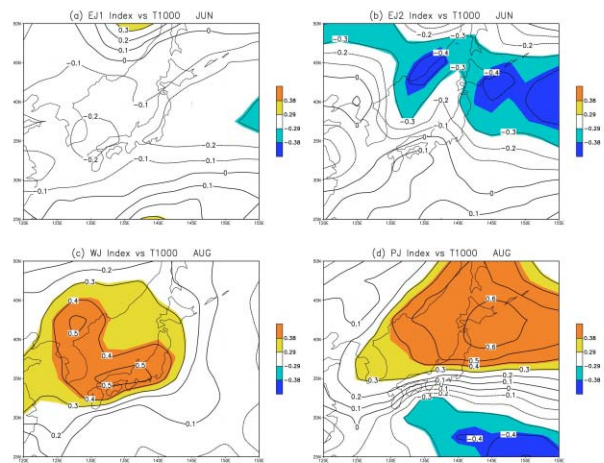


図3 各テレコネクションの規格化指数に対する1000hPa気温の回帰係数分布（等値線）。また、回帰係数の統計的に有意な領域を陰影部（有意水準1%, 5%）で示す。

### 3.4 結合モデルの再現性

前述したように、気象研究所大気海洋結合モデル (MRI-CGCM ver2.3.2; T42L30) の50年間の長期積分を実行し、上記のテレコネクションが結合モデルでどの程度再現されているのかを評価した。ここでは、6月のEJ1, WJ, PJについてのみ示すことにする。再解析データと同様に結合モデルにおいても各テレコネクションの規格化指数を計算し空間構造を調べている。

6月のEJ1に注目すると(図4)再解析で得られた空間パターンと非常に類似している様子がみとれる。しかしながら、変動度の観点からは観測の60%程度であり、必ずしも十分な再現性をもっているとは言いがたい。また、観測と他の相違点としては、日本の真南に順圧的構造をもった低気圧偏差がみられる。この低気圧偏差の成因については、月平均場の解析では無理であり、季節内変動がそれより短い時間スケールで調べる必要がある。ヨーロッパ沿岸のSST負偏差は上空の低気圧性循環と対応している。

一方、WJの変動度は観測の80~90%程度であり、EJ1と比べて変動度の再現性は良くなっている(図5)しかし、日本付近の高気圧偏差は観測より傾圧成分が強くなっており、その影響もあって降水量の負偏差は日本の南に偏り、逆に日本付近では降水量が増加している。観測では梅雨前線の不活発による降水量減少が日本でみられている。この不一致の原因の一つとして、モデルが表現している、梅雨前線の形成要因となるアジア大陸東岸の基本場(大陸規模の熱的低気圧、北太平洋高気圧、西部熱帯太平洋のモンスーントラフ等)に地域的な歪みや季節進行のずれが存在していることがあげられる。

ベンガル湾やインド内陸部で降水量が増加しており、対応してアラビア海からインドにかけてモンスーン西風が強くなり、インド北西部の下層に低気圧偏差が生じていることから、インド夏季モンスーンが強

いことがわかる。観測でモンスーンが強いと、アラビア海中心にSSTが低下する傾向がみられるが、モデル結果も矛盾していない。モデルからもWJの励起にインドモンスーンの熱源変動が寄与していることが示唆される。もちろん、他の要因によってもWJが励起される可能性は高く、その寄与の相対的割合は観測とモデル、あるいは複数のモデル間で異なってくるのが予想される。日本南の下層の高気圧偏差に対応してSST正偏差がみられる。海面の熱収支を調べた結果、主に風速減少による蒸発の抑制と日射量の増加がSSTの上昇をもたらしていた。

最後に、6月のPJをみてみよう(図6)。フィリピン海周辺で降水量が増加しており(西太平洋モンスーンが強くなり) Nitta (1987) や Kawamura et al. (1996) などが指摘しているように、積雲対流加熱によってPJが励起されている様子が再現されている。日本の東で高気圧性循環が強化されているが、日本付近ではむしろ降水量が増加している。観測との不一致の原因はWJの場合で指摘した問題と同じである。ただ、観測では、6月後半の梅雨最盛期にフィリピン海周辺での対流活動の活発化と日本付近の梅雨前線の活発化が同期する傾向が強く(Kawamura and Murakami 1998) あながち間違っている訳ではない。フィリピン付近の降水量増加域が観測と比べて南偏していることも不一致の原因の一つであると考えられる。南シナ海で顕著なSSTの低下がみられるが、これは熱源に対するロスビー応答により、南シナ海上でモンスーン西風が強化された結果、主に潜熱フラックスの増加でSSTが下降したものである。

日本上空の200hPa面では高気圧偏差が生じており、その振幅はWJの場合と同程度である。日本が猛暑に見舞われる時にしばしばチベット高気圧が日本周辺まで東へ張りだすように見えるが、その現象はWJに起因している場合もあり、またPJに起因している場合もあることをこれらの結果は示している。

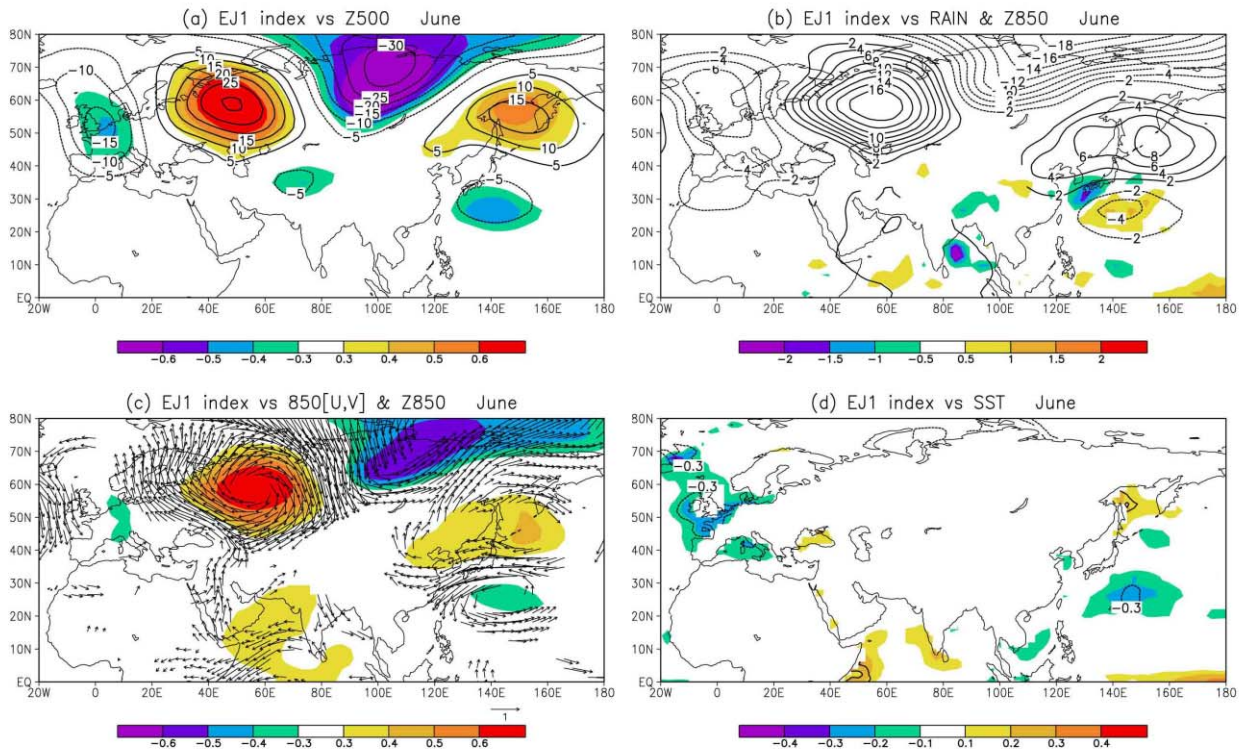


図4 6月のEJ1規格化指数に対する各物理量の回帰係数分布と相関係数。(a)は500hPa高度の回帰係数。(b)は降水量(陰影部)と850hPa高度(等値線)の回帰係数。(c)は850hPa風ベクトルの回帰係数。(d)はSSTの回帰係数。

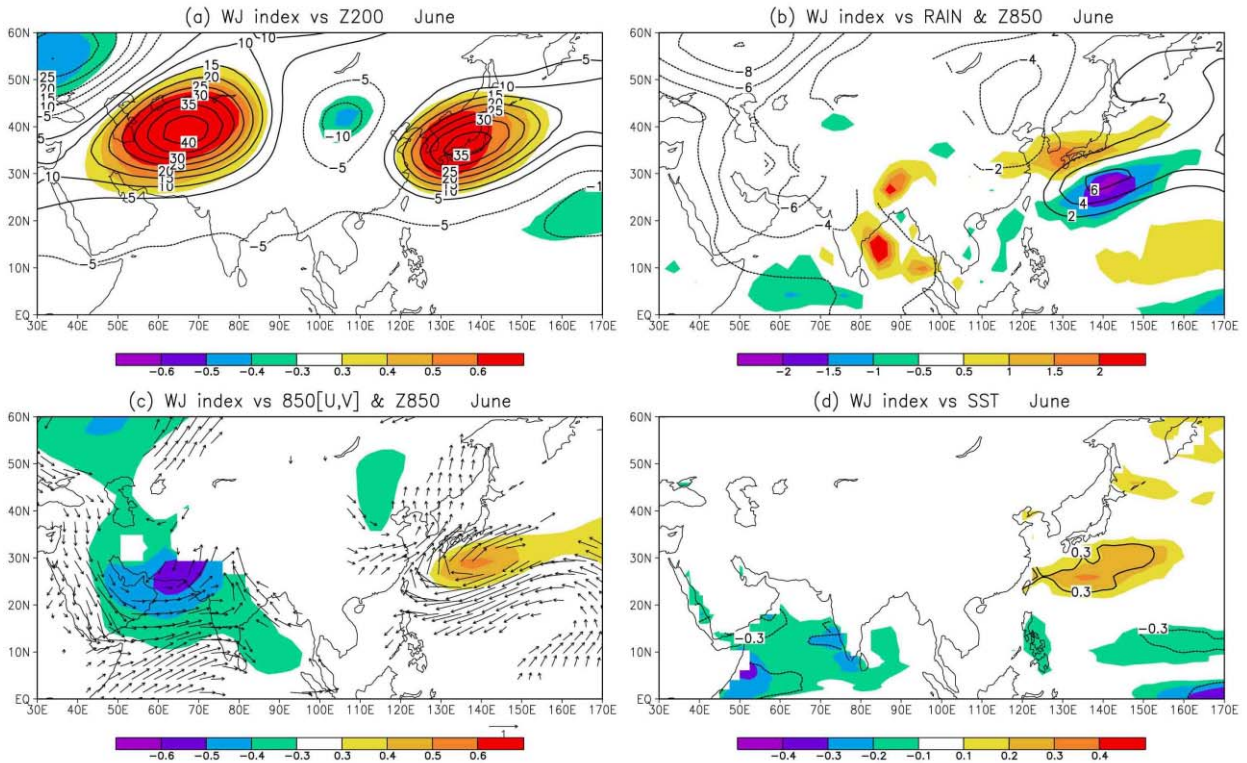


図5 図4と同様、ただしWJ規格化指数.

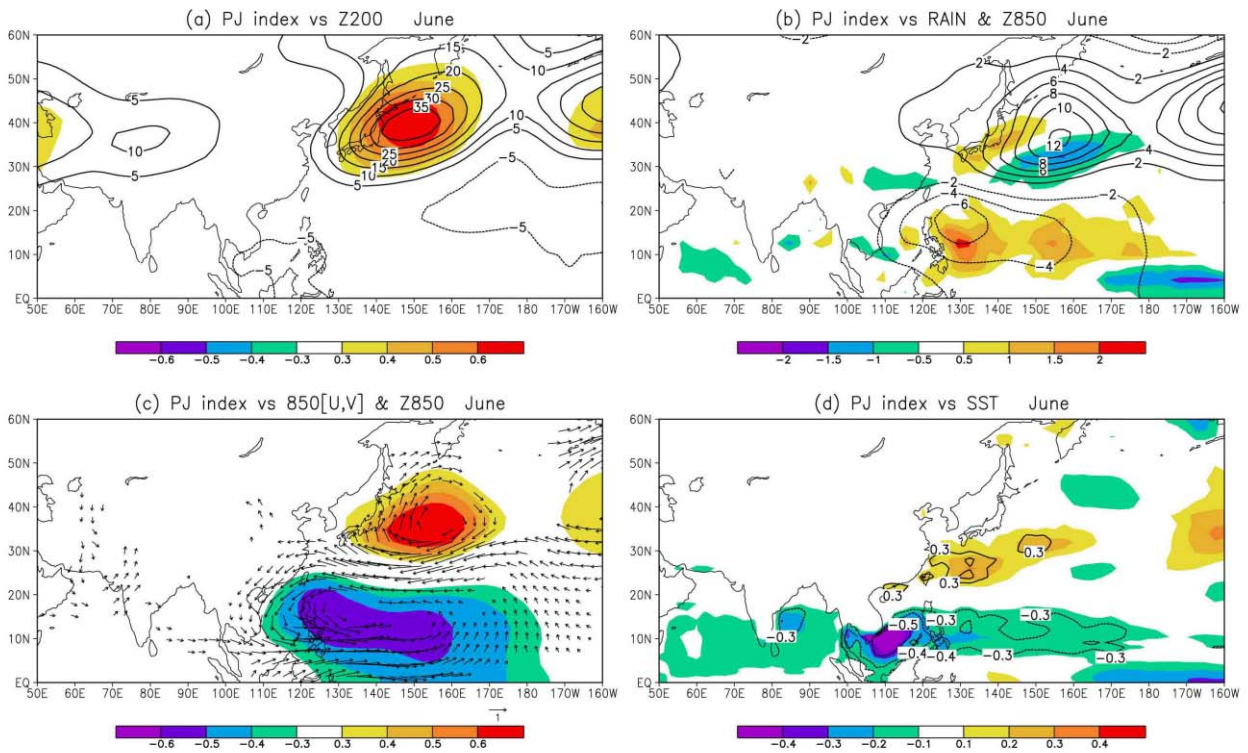


図6 図4と同様、ただしPJ規格化指数.

WJ と PJ の両テレコネクションが寄与している場合も考えられる。

#### 4. おわりに

今回は予備的解析であり、各指数はあくまでも現

象の一面を見ているに過ぎない。とはいえ、東アジア夏季の異常気象発生 of 要因と成り得るテレコネクションの監視が異常気象の理解とその予報に有用であると考えられる。

今後、励起源としてのモンスーン熱源の問題や複

数のテレコネクションの複合効果の問題、季節内変動と経年変動との関係、予測可能性の問題など、解明すべき多くの課題について、再解析データと GCM 実験を併用して少しでも新たな知見が得られるよう努めていきたい。

## References

- Enomoto, T., B. J. Hoskins, and Y. Matsuda, 2003: The formation mechanism of the Bonin high in August. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **129**, 157-178.
- Guan, Z., and T. Yamagata, 2003: The unusual summer of 1994 in East Asia: IOD teleconnections. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1544, doi: 10.1029/2002GL016831.
- Kawamura, R., T. Murakami, and B. Wang, 1996: Tropical and midlatitude 45-day perturbations over the western Pacific during the northern summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 867-890.
- Kawamura, R., and T. Murakami, 1998: Baiu near Japan and its relation to summer monsoons over Southeast Asia and the western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 619-639.
- Krishnan, R., and M. Sugi, 2001: Baiu rainfall variability and associated monsoon teleconnections. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 851-860.
- Nakamura, H., and T. Fukamachi, 2003: Evolution and dynamics of summertime blocking over the Far East and the associated surface Okhotsk high. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **129**, in press.
- 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.
- Wakabayashi, S., and R. Kawamura, 2004: Extraction of major teleconnection patterns possibly associated with anomalous summer climate in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, in press.
- Wang, Y., 1992: Effects of blocking anticyclones in Eurasia in the rainy season (Meiyu/Baiu season). *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 929-950.
- Wang, Y., and T. Yasunari, 1994: A diagnostic analysis of the wave train propagating from high-latitudes to low-latitudes in early summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 269-279.
- Wu, R., and B. Wang, 2002: A contrast of the East Asian summer monsoon-ENSO relationship between 1962-77 and 1978-93. *J. Clim.*, **15**, 3266-3279.