

論文内容の要旨

夏季東アジア域に見られる 3 極気候偏差の形成プロセスに関する研究 (Formation processes of tripolar climate anomaly over the East Asia in summer)

廣田 渚郎

夏季東アジア域には、フィリピン付近、中国・日本、東シベリア付近に正-負-正(又は負-正-負)の南北に並ぶ 3 極構造を持つ変動パターンが頻繁に現れる。先行研究において、この様な 3 極偏差パターンは、エルニーニョ・南方振動(ENSO)やインド洋の海面温度(SST)と関係する年々変動偏差、二酸化炭素濃度増加に対する気候応答など、様々な大気変動の外部要因と関係する偏差場として示されている。本研究では、この様な 3 極構造を持つ偏差パターンを東アジア域(70° E- 170° W, 0° - 90° N)における 6-8 月の降水量と 500hPa 面高度場(Z500)の年々変動偏差から作成した相関係数行列に対する特異値分解解析(SVD)の第 1 モード(SVD1)として抽出した。そのスコア時系列との回帰係数として定義した Z500 の偏差を図 1 に示した。この第 1 モードの変動を説明する割合は 59% と大きく、高次のモードとは統計的に有意に分離できている。また、この第 1 モードの年々変動は ENSO、インド洋 SST や中国・日本の降水量変動との統計的な関係性が見られ、このパターンは気候学的にも非常に重要な変動パターンであると言える。類似な 3 極構造を持つ偏差パターンは、降水量の経験的直交関数(EOF)、Z500 の EOF、北半球や全球での解析、季節内変動に対する解析のいずれにおいても、第 1 モードとして抽出される。このパターンは全球的にも顕著な変動パターンであり、降水量や Z500 の季節内変動にも年々変動にも見られる変動パターンである。

3 極構造を持つ偏差パターンは、異なる地域の SST や二酸化炭素濃度など、様々な大気

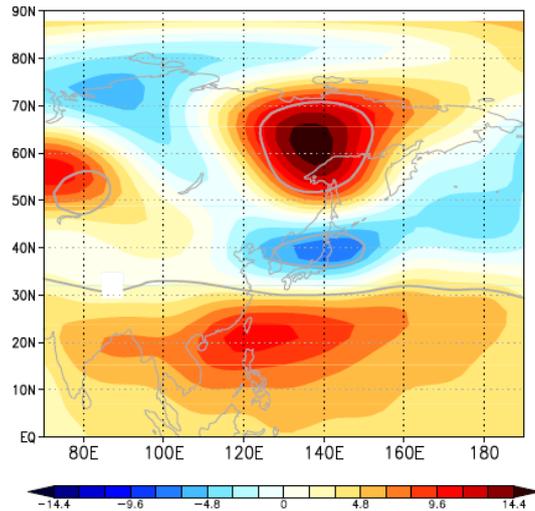


図 1: 東アジア域(70° E-170° W, 0° -90° N)における JJA 降水量と Z500 の SVD1 と Z500 の回帰係数[m]。灰色の線は 95%の統計的な有意水準。

変動の外部要因と関係して現れている。また、3 極偏差パターンは変動を説明する割合の大きいパターンを抽出する手法である EOF 解析や SVD 解析の第 1 モードとして抽出された。3 極偏差パターンが大気変動の外部要因の具体的な形に関係なく現れるという結果は、このパターンが、大気の内プロセスによって特徴付けられる出現頻度の高い、力学モード的なパターンであることを示唆する。これを示すために湿潤プロセスを考慮した線形プリミティブモデルを作成し、外部強制の具体的な水平構造に依存しない大気の内プロセスのみと関係して頻繁に現れる変動パターンの抽出を試みた。具体的には、北半球一様に分布する 206 点の強制に対する線形応答を計算し、その 206 個の応答から頻繁に現れる応答パターンを抽出する。頻繁に現れる応答パターンの抽出方法は、観測・再解析データの解析において 3 極偏差パターンを最も顕著に取り出した、東アジア域における降水量と Z500 の相関係数行列の SVD 解析を用いた。得られた現れ易い応答パターンは、観測・再解析データの解析で得られたものと類似な 3 極構造を持つ。現れ易い応答パターンを東アジア域ではなく、北半球や全球の SVD 解析で抽出した場合にも、東アジア域には南北に 3 つの偏差を持つパターンが得られた。つまり、大気変動の外部強制が北半球に一様に分布する仮想的な状況においても、大気の内プロセスと関係して、東アジア域に 3 極構造を持つ変動パターンが頻繁に現れると考えられる。

3 極偏差パターンに関わる大気の内プロセスをデータ解析や様々な数値実験から調べた。その模式図を図 2 に示す。東アジア域の低・中緯度には気候場の水蒸気量が多く、フィリピン付近や中国・日本の循環場偏差は統計的に有意な降水量偏差を伴う。降水量偏差と対応する凝結加熱は鉛直流と熱力学的にバランスし、その鉛直流は気柱の伸縮を通して(伸縮項)、大気下層の循環場偏差を強化する。東アジア域において、気候場の水平風は、大気下層でフィリピン付近から日本付近を、上層で東シベリア付近から南東を向く。更に、これらの地域にはロスビー波の導波管的な渦位の水平構造が見られた。この様な気候場の

特徴と関係して、3極構造を持つ偏差場において、ロスビー波の伝播を示す波の活動度フラックスは(WAF)は、下層で北向き、上層で南東を向く。また、大気上層の渦度収支解析、及び非線形渦度強制に対する線形モデルによる応答実験の結果から、東シベリア付近の高気圧偏差に対して非線形プロセスが重要な役割を果たしている可能性が示唆された。つまり、3ヶ月より短い周期の擾乱が、偏差の形状の特徴によって決まる非線形の渦度フラックスの収束を伴い、3ヶ月平均場に対する渦度強制として働く可能性がある。実際、東シベリア付近に高気圧的な年々変動偏差が存在する年には、低気圧性の偏差が存在する年に比べ、東シベリア付近において、9.2日より短い周期の移動性擾乱の活動が不活発であり、9.2日から3ヶ月程度の周期を持つ準定常ロスビー波の碎波がより顕著に見られた。また、それらの短周期擾乱の形状は、東シベリア付近に高気圧性の年々変動偏差が存在する時、南西から北東に伸びた構造を持ちやすい。気候場から偏差場への力学的なエネルギー変換は、気候場の特徴によって決まる特定の位置で、偏差にエネルギーを供給する。フィリピン付近では、気候場下層の東西風の東西傾度が強い地域で東西に伸びた偏差が気候場から順圧的にエネルギーを受け取る。東シベリア付近においては、気候場の南北温度傾度の強い地域で、傾圧的にエネルギーが変換される。また、日本の北東には、気候場水平風の南北傾度と関係する順圧エネルギー変換が見られ、日本上空ではジェットの傾圧的な構造と関係する傾圧エネルギー変換が見られる。

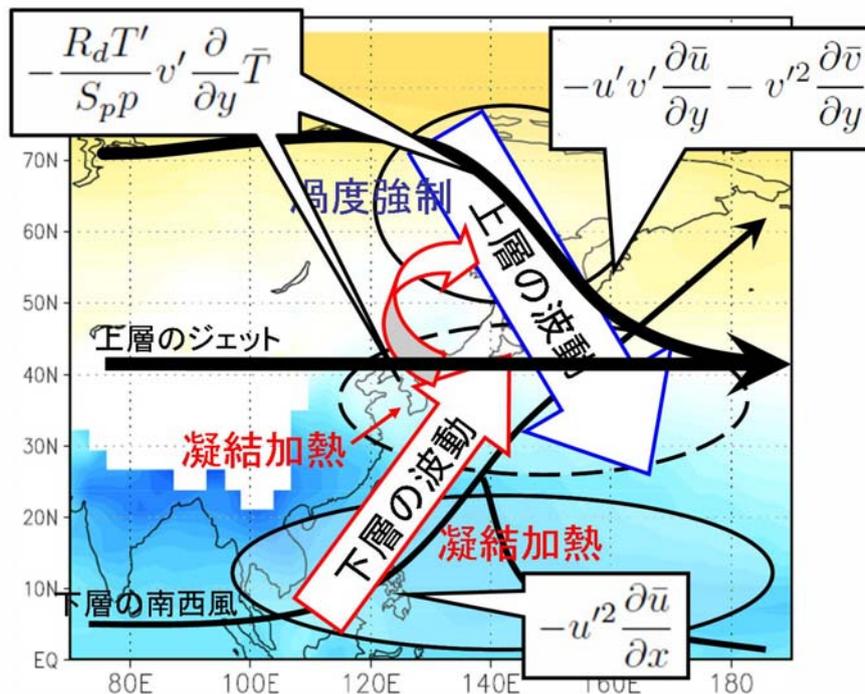


図 2: 3極偏差パターンに関わる力学・湿潤プロセスの模式図。

これらの東アジアの夏季気候場(水蒸気量、水平風、気温)の特徴と関係して働く大気の内部分プロセスは3極偏差パターンの位置、構造、発達に関わっていると考えられる。気候場から偏差場へのエネルギー変換や湿潤プロセスは、気候場の特徴によって決まる特定の

位置のみで効率的に働き、その地域の偏差の振幅、発達に寄与する。下層の北向き、上層の南東向きのロスビー波は、これらの各地域の偏差に伴う変動のエネルギーを波動的に伝播させる。3 極偏差パターンは、これらの内部プロセスによって、東アジア域において振幅が大きくなり、南北の広い地域に影響するため、観測・再解析データにおける SVD 解析や、一様強制実験における SVD 解析によって、変動を説明する割合が大きい第 1 モードとして抽出されるのだと考えられる。

線形モデルによる強制の地域的な切り分け実験を行うと、前述の大気の内プロセスは高緯度からの影響に関するものと、低緯度からの影響に関するものに分離して解釈することができた。フィリピン付近のみの強制に対する湿潤の線形応答では、WAF がフィリピン付近下層から北を向き、フィリピン付近と日本付近に逆符号の循環場偏差が現れた。これらは Kosaka and Nakamura (2006) が述べる PJ パターンの特徴として知られている。更にこの応答においては、日本の北に、特に下層で顕著な高気圧性の循環場偏差が現れる。この偏差を渦度収支解析と ω 方程式を用いた解析から調べると、この高気圧性の偏差には、大気下層の気候場南西風による気温と渦度の水平移流が関わる伸縮項が寄与することが分かった。フィリピン付近に何らかの擾乱(偏差) が見られるとき、この様なプロセスを通して、正-負-正(又は負-正-負) の構造が現れて、日本の北へまで影響すると考えられる。一方、東シベリアのみの強制に対する応答では、東シベリア付近のエネルギー変換、東シベリア上空から南東向きの WAF が見られ、渦度応答は東シベリアから南東に負-正-負と並ぶ。

前述の低緯度からと高緯度からの2つのプロセスは、共に東アジア域に南北に並ぶ Z500 や渦度の偏差を形成するが、エネルギー変換や WAF の様子に共通する部分があり無く、別々に働くプロセスである可能性が高いと考えている。これは、観測・再解析データの解析において、偏差が北西から南東に並ぶ 1984 年の年々変動偏差と南西から北東に並ぶ 1998 年の偏差の、3 極構造を持つ SVD1 に対する寄与が、解析した 27 年間の中で最も大きい 2 年であったことから裏付けられる。低緯度と高緯度からの影響が同じ様な構造を持ち、1 つの SVD モードに寄与することには、湿潤プロセスが重要な役割を果たしていると考えられる。実際、フィリピン付近強制実験と東シベリア付近強制実験における、中国・日本下層の東西に長い渦度偏差は乾燥応答よりも湿潤応答でより明瞭に現れる。また、乾燥の一様強制実験においては、頻繁に現れる応答パターンの偏差は北西から南東に並び、湿潤のものに比べて下層の渦度偏差が弱い。湿潤プロセスは、南北に並ぶ偏差の位置や強さに対して重要であると考えられる。

本研究では、東アジア域に 3 極構造を持つ主要な気候変動パターンを、大気の内プロセスと関係して頻繁に現れる力学モード的なパターンとして解釈した。先行研究で示された、ENSO やインド洋 SST の年々変動や二酸化炭素濃度の増加などに関係する 3 極構造を持つ偏差場は、大気変動の外部要因による 3 極パターンの励起として解釈できる。