エルニーニョ現象発生時における夏の大気循環場の統計的特徴 竹村 和人(気象庁 気候情報課)

1. はじめに

エルニーニョ現象は、太平洋赤道域の日付変更 線付近から南米のペルー沿岸にかけての広い範囲 で海面水温が平年と比べて高くなり、その状態が 1年以上続く現象である。この現象と連動した変 動であるエルニーニョ・南方振動(ENSO)は、 数年規模の周期をもつ大気・海洋の大きな変動で あり、熱帯のみならず中・高緯度における大気循 環場や天候にも大きく影響する(Matthews and Kiladis 1999、Robinson 2002)。

一方、当庁では、気象庁 55 年長期再解析デー タ(JRA-55、Kobayashi et al. 2015)の運用を開 始し、従来よりも長い期間での統計解析が可能と なったことから、ENSO と JRA-55 による大気循 環場データとの統計解析を実施し、再評価を行っ た。本稿では、新しい統計資料で得られた結果に 基づき、エルニーニョ現象発生年に統計的に現れ やすい夏の大気循環場の特徴について報告する。

2. 使用データと解析手法

大気循環場のデータには JRA-55 による解析値 (経度・緯度 1.25 度格子;解析時刻は 00、06、 12、18UTC の 1 日 4 回)を、海面水温のデータ には、気象庁が収集した観測データから作成され た COBE-SST(経度・緯度 1 度格子、気象庁 2006) を用いた。いずれのデータについても 3 か月平均 値を用いた。移動性擾乱といった大気の高周波変 動については、2~8 日周期の変動成分で定義し、 以下では高周波擾乱と表記する。

統計解析の期間は 1958~2012 年の 55 年間と し、6~8 月を夏、7~9 月を夏後半と表記する。 偏差は 55 年平均値からの差、平年値は 1981~ 2010 年の 30 年平均値とする。

ENSO の両位相に対する熱帯域の降水分布や テレコネクションパターンの応答には非対称性が みられることが報告されており(例えば、 Hoerling et al. 2001)、このことを踏まえて統計 解析の手法には合成図解析を採用した。合成図の 作成におけるエルニーニョ現象発生年の抽出には、 エルニーニョ監視海域(NINO.3)における海面 水温に基づく気象庁の定義を用い、夏については 7月、夏後半については8月の値で判定を行った。

3. 夏の循環場の統計的特徴

エルニーニョ現象発生年で合成した海面水温 をみると、赤道域では、太平洋中・東部で高温偏 差、西部で低温偏差となり(第1図(a))、対流活 動は中・東部太平洋赤道域では活発、海洋大陸付 近では不活発となる傾向がみられる(同図(b))。 対流活動の分布と対応して、熱帯の対流圏上層で は太平洋中・東部では発散偏差、海洋大陸付近を 中心に収束偏差となり、ウォーカー循環が平年と 比べて弱まる傾向を示している(同図(c))。



第 1 図 エルニーニョ現象発生年で合成した夏平均の 海面水温、大気循環場の偏差

 (a)は海面水温(0.2℃間隔)、(b)は降水量(1mm/day 間隔)、(c)は 200hPa 速度ポテンシャル(0.2×10⁶m²/s 間隔)。陰影は信頼度水準を表す。 対流圏上層の循環場をみると、熱帯の対流活動 の分布と対応して、太平洋では高気圧性循環偏差、 インド洋から海洋大陸付近にかけては低気圧性循 環偏差がそれぞれ南北半球対でみられる(第2図 (a))。ユーラシア大陸南部に広がる低気圧性循環 偏差(同図(a))や100hPa高度の負偏差(図省略) は、チベット高気圧の勢力が平年と比べて弱まる 傾向を示している。このことと対応して、アジア ジェット気流は全体的に平年の位置と比べて南寄 りを流れる傾向がある(同図(b))。また興味深い ことに、200hPa南北風偏差をみると、ユーラシ ア大陸南部から日本付近にかけて正負の波列状の パターンがみられ、アジアジェット気流が特定の 地理的位相をもって南北に蛇行し、日本付近では 西谷となる傾向を示している(同図(c))。



第2図 第1図と同じであるが、要素は以下のとおり (a)は200hPa 流線関数(1×10⁶m²/s 間隔)、(b)は200hPa 東西風 (1m/s 間隔)、(c)は200hPa 南北風 (0.5m/s 間 隔)。



第 3 図 エルニーニョ現象発生年で合成した夏平均の 順圧・傾圧エネルギー変換

(a)は 200hPa 順圧エネルギー変換(1m²/s³/day 間隔)、
(b)は 1000~100hPa で鉛直積算した傾圧エネルギー変換(4×10³W/m²/day)。基本場は 55 年平均値、擾乱は合成した偏差で定義し、正の値(赤線)が基本場から擾乱へのエネルギー変換を示す。陰影は基本場の200hPa 運動エネルギー(単位は m²/s²)。

アジアジェット気流の蛇行に関連して、基本 場・擾乱間におけるエネルギー収支をみると、朝 鮮半島付近のトラフの後面に対応した南風偏差域 において、基本場から擾乱へのエネルギー変換が みられ(第3図)、ジェット気流の蛇行における 位相の固定や、日本での西谷傾向に寄与している 可能性が考えられる。

一方、対流圏下層の循環場をみると、太平洋で は熱帯の対流活動の分布に対応した南北半球対の 低気圧性循環偏差が明瞭であり(第4図(a))、赤 道域での西風偏差と対応している(図省略)。また、 フィリピンの東海上から日本付近にかけては、東 西に伸びる偏差パターンが南北に連なる構造がみ られる。この構造を相対渦度でみると、日本の南 海上の20°~30°N帯で負渦度偏差、本州付近で正 渦度偏差となる南北対のパターンを示し、 Pacific-Japan (PJ)パターン(Nitta 1987)に類 似した、あるいはこの典型的なパターンより少し 位相が南北にずれた偏差パターンとなっている

(第4図(b))。またこの特徴は、太平洋高気圧の 北への張り出しが弱まり、日本付近では南海上の 高気圧偏差の縁を回る形で南西からの湿った気流 が入りやすいことを示している。



第4図 第1図と同じであるが、要素は以下のとおり (a)は 850hPa 流線関数(0.5×10⁶m²/s 間隔)、(b)は 850hPa 相対渦度(1×10⁻⁶s⁻¹間隔)。



第5図 第1図と同じであるが、要素は以下のとおり (a)は500hPa高度(5m間隔)、(b)は850hPa気温(0.2℃ 間隔)。



第6図 エルニーニョ現象発生年で合成した夏後半で 平均した高周波擾乱による高度偏差への寄与 500hPa の高周波擾乱による渦度フラックス収束発散 に伴う高度変化率で定義し、単位は m/day。

北半球域の循環場をみると、日本付近からその 東海上にかけては 500hPa 高度が帯状に負偏差と なり(第5図(a))、日本付近で低温となる傾向(同 図(b))と対応している。これらの特徴、及び対流 圏下層の特徴で述べた南西からの湿った気流が入 りやすい傾向より、日本付近では不順な天候とな る傾向が示唆される。また、日本付近からその東 海上にかけて、高周波擾乱によるフィードバック 効果によって高度が低下する傾向があり、特に夏 後半に明瞭である(第6図)。この特徴は、いく つか先行研究においても報告されており(例えば Alexandar et al. 2004、Robinson 2002)、日本付 近、特に北日本付近における夏から初秋にかけて の気温に大きく影響する可能性が考えられる。

4. 熱帯の対流活動による大気循環場への影響

熱帯の対流活動による大気循環場への影響について評価を行うために、線形傾圧モデル(Linear Baroclinic Model: LBM、Watanabe and Kimoto 2000)の強制項として、エルニーニョ現象発生年で合成した熱帯域における非断熱加熱の偏差(第7図(a))を与え、その線形定常応答を調べた。モデルの水平解像度はT42、鉛直層は40層で、基本場は夏平均の平年値で定義した。

その結果をみると、対流圏上層では太平洋中・ 東部で発散偏差、インド洋から海洋大陸付近にか けて収束偏差の応答を示し(同図(b))、加熱偏差

(対流活動)の分布とよく対応している。そのほ か、南北半球対でみられる太平洋での高気圧性循 環偏差や、インド洋から海洋大陸付近にかけての 低気圧性循環偏差、アジアジェット気流に伴う西 風域が南寄りとなる応答がみられ、いずれも合成 図にみられた特徴と整合している(同図(c)と(d))。



第7図 線形傾圧モデル(LBM)による、エルニーニョ現象発生年で合成した夏平均の熱帯域(30℃~30℃)にお ける非断熱加熱偏差に対する定常応答

基本場は夏平均の平年値。(a)は LBM に与えた非断熱加熱偏差、(b)~(f)は定常応答を表し、(b)は 200hPa 速度ポ テンシャル(単位:10⁶m²/s)、(c)は 200hPa 流線関数(単位:10⁶m²/s)、(d)は 200hPa 東西風(単位:m/s)、(e) は 200hPa 南北風(単位:m/s)、(f)は 850hPa 流線関数(単位:10⁶m²/s)。

さらに、200hPa 南北風の応答をみると、合成図 にみられる特徴と同様に、ユーラシア大陸南部か ら日本付近にかけて正負の波列状のパターンがみ られ、アジアジェット気流の南北蛇行や日本付近 の西谷傾向を再現している(同図(e))。対流圏下 層においても、太平洋での南北半球対の低気圧性 循環偏差がみられ(同図(f))、合成図にみられた特 徴と一致する。

これらの結果より、熱帯の対流活動が、合成図 にみられたような対流圏上層における収束・発散 分布や熱帯域の南北半球対のパターン、アジアジ ェット気流の南偏傾向といった大気循環場の特徴 に大きく寄与している可能性が考えられる。また 本結果では、アジアジェット気流の南北蛇行につ いても LBM での再現が認められたが、基本場と 擾乱のエネルギー変換といった診断を行うなど、 今後詳細な調査が必要である。

5. 議論とまとめ

本稿では、エルニーニョ現象発生年に統計的に 現れやすい夏の大気循環場の特徴について、主に 合成図解析や線形傾圧モデル(LBM)を用いた実 験の結果を踏まえて報告した。エルニーニョ現象 時における太平洋での海面水温偏差の分布に対応 した対流活動のパターンや、それに対応した対流 圏上層における南北半球対の循環偏差やアジアジ ェット気流の南偏、日本付近で西谷となる傾向が 統計的にみられた。対流圏下層においても、対流 活動の分布に対応して太平洋で南北半球対の循環 偏差がみられたほか、太平洋高気圧の北への張り 出しが弱まる傾向がみられ、日本付近で不順な天 候となる傾向を示唆していた。

本解析では、特定の地理的位相をもつアジアジ ェット気流の南北蛇行や、日本からその東海上に かけての高度負偏差に対する高周波擾乱のフィー ドバック効果についても触れた。アジアジェット 気流の南北蛇行については、熱帯の対流活動によ る影響のほか、基本場・擾乱間におけるエネルギ ー変換といった大気の内部変動や地形による影響 も考えられる。この南北蛇行の特徴は、合成図だ けでなく LBM による応答でもみられたことは大 変興味深い。一方、日本からその東海上にかけて みられた高度が負偏差となる傾向には、エルニー ニョ現象発生時における熱帯の対流活動の分布が、 ジェット気流の赤道側へのシフトとそれに伴う高 周波擾乱の活動の変調が関連している可能性が、 いくつかの先行研究において示唆されている(例 えば Alexandar et al. 2004、Robinson 2002)。い ずれも、日本の夏の天候に大きく影響する大気循 環場の特徴であることから、その詳細なメカニズ ムについては引き続き調査が必要である。

謝辞

本解析で用いた線形傾圧モデルは東京大学渡部 准教授よりご提供いただきました。また、高周波 擾乱による高度場への寄与に関する診断には、東 京大学中村研究室よりご提供いただいたプログラ ムを使用いたしました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 気象庁,2006:気候解析用全球海面水温解析データ (COBE-SST)の特徴.気候系監視報告別冊第12号.
- Alexander, and N. C. Lau, and J. D. Scott, 2004: Broadening the Atmospheric Bridge Paradigm: ENSO Teleconnections to the Tropical West Pacific-Indian Oceans over the Seasonal Cycle and to the North Pacific in Summer. Earth Climate: The Ocean-AtmosphereInteraction, *Geophys. Monogr.*, 147, Amer. Geophys. Union, 85–103.
- Hoerling, M. P., A. Kumar, and T. Xu, 2001: Robustness of the Nonlinear Climate Response to ENSO's Extreme Phases. J. Climate, 14, 1277-1293.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. J. Meteorol. Soc. Japan, 93, 5-48.
- Matthews, A. J., and G. N. Kiladis, 1999: Interaction between ENSO, transient circulation, and tropical convection over the Pacific. J. Climate, 12, 3062–3085.
- 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.
- Robinson, 2002: On the midlatitude thermal response to tropical warmth. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1190, doi:10.1029/2001GL014158.