

論文の内容の要旨

A Modeling Study on Coupling between Westerly Wind Events and ENSO (西風イベントと ENSO の結合に関するモデル研究)

氏名 林未知也

強い表層西風偏差が西・中央熱帯太平洋において数日から数週間持続する現象は西風イベント (WWE) と呼ばれ、エルニーニョ発生時によく観測される。個々の WWE の継続期間は大変短い、約 3-7 年周期のエルニーニョ・南方振動 (ENSO) に対して重要な役割を担うと考えられてきている。WWE は中央・東部熱帯太平洋の海面水温 (SST) を上昇させる一方で、より暖かい SST は WWE を発生させやすくする。このことは、WWE と ENSO の間に正のフィードバックが働いていることを示唆する。しかしながら、それらの相互作用の詳細なメカニズムはまだ十分に明らかにされていない。特に、(i) 季節周期を考慮する場合における WWE に対する大気海洋結合系の応答を決める過程と、(ii) WWE と東風イベント (WWE に対する東風の対現象、EWE) の環境場依存性およびそれらの非対称性、(iii) 環境場依存性をもつ WWE が ENSO の多様な振る舞いに果たす役割を明らかにすることは重要である。本研究の目的は、精密あるいは簡素ないくつかの大気海洋結合モデルと観測的データを用いることによって、WWE と ENSO の結合の理解を進展させることである。

第2章では、大気海洋結合全球モデル (CGCM) を用いたアンサンブル実験によって、WWE への大気海洋結合系の応答をいくつかの異なる時期や場所に単一の WWE を与えることで調査した。大気と海洋の季節周期との相互作用を通じて、WWE に引き続く大気海洋の応答は、WWE が与えられる時期に強く依存することが分かった。5月に WWE が与えられると、太平洋東部で季節的に急傾斜となる温度躍層に沿っ

て海洋赤道ケルビン波が伝播するので、まず東部熱帯太平洋がよく暖まる。するとその暖かい SST が太平洋にわたる降水帯を南下させ、東風貿易風と極向き表層流が弱まることでさらに熱帯太平洋が昇温する。一方で、3月の WWE に対する応答が起こる時期には温度躍層の傾きが小さく、また降水帯も不活発なので、その WWE は熱帯太平洋の東端のみを暖める。以上のようないくつかのモデル実験から、引き続き冬にエルニーニョを引き起こすために最も効果的な WWE の時期および場所の組み合わせを特定した。また、エルニーニョとラニーニャの年に対応する海洋初期値を用いた同様のアンサンブル実験を行うことで、WWE はエルニーニョをより効率的に増幅させるが、ラニーニャを減衰させる役割は小さいことも示された。

第3章では、WWE と EWE の特性についての調査を行った。それらの環境場依存性と非対称性を解析するために、観測に基づく大気海洋の日平均データを用いた。太平洋赤道域における 1982–2013 年の表層東西風偏差から、101 事例の WWE と 23 事例の EWE が抽出された。どちらのイベントも、深い対流が生じるのに十分なほど SST が高い太平洋暖水域上で、同様の季節を好んで発生し、また NINO4 領域 (東経 160 度–西経 150 度、南緯 5 度–北緯 5 度) の SST 偏差が上昇するにつれてより発生しやすくなる。マッデン・ジュリアン振動のある位相を好んで発生することも確認された。しかしながら、EWE が発生する頻度は WWE よりもかなり少なく、このことはいくつかの異なる抽出条件に基づくイベントの特性を比較することでも確認された。このような WWE と EWE の発生頻度の非対称性は、下層西風の季節内周期成分に伴う局所的な発達過程が異なることによってもたらされることが分かった。また、局所的な対流偏差だけでなく、離れた場所にある対流偏差も同等にイベントを引き起こすのに重要であることが、線形傾圧モデルによる実験によって実証された。

第4章では、ENSO の複雑な振る舞いにおける WWE と ENSO の結合の役割を、中程度に複雑な大気海洋結合モデルを用いて調査した。このモデルは、温度躍層フィードバックの効率を制御するパラメータ (γ) を調整することで ENSO のような振動を生じさせる。第3章で示した観測的な統計事実に基づいて、WWE を環境場依存性をもつ確率的大気ノイズとして表層東西風応力偏差にパラメタ化した。ノイズを含まない数値実験 (実験名: NO) は、ENSO のような 6 年周期の規則的振動を生じさせ、その分散は γ に伴い大きくなる。モデルに付加的 (純粋に確率的) なノイズを西部太平洋上に与えると (実験名: AD)、振動は卓越周期 5 年の不規則な変動となり、NO に対する分散の増減は γ によって異なる。環境場依存性をもつノイズを組み込むと (実験名: SD)、振動解はまた不規則となるのに加えて、その分散と非対称性は γ の

値によらず増加する。付加的および環境場依存性をもつノイズはどちらも、東太平洋 (EP) 型と中央太平洋 (CP) 型のエルニーニョと対応する、2つのタイプの ENSO 的な振動を発生させるように働く。AD においても、ノイズは CP 型エルニーニョを北半球冬期に、EP 型エルニーニョを初夏に引き起こす傾向にあるが、これはノイズへの応答が季節的に変化するためである (第2章参照)。SD では、暖水域の拡大によってノイズの発生位置はより東にずれるため、EP 型エルニーニョが強化される。環境場依存性をもつ確率的ノイズは、東西移流を強化することで中央太平洋を暖め、さらにより暖かい NINO4 領域の SST がノイズを発生させやすくするために、CP 型エルニーニョの発生にも有効である。この正のフィードバックは SD において γ によらず CP 型エルニーニョの発生を保証するが、AD では γ が大きくなると CP 型エルニーニョは発生しにくくなる。したがって以上の結果は、観測される ENSO の非対称性や多様性において、WWE の環境場依存性は重要な役割を担うことを示唆する。

本研究は、ENSO の多様な振る舞いにおいて、大気海洋の季節周期と WWE に対する応答の結合 (第2章) と、環境場依存性をもつ WWE (第4章) が重要な役割を果たすことを示す。WWE と EWE はどちらも同様の環境場依存性や季節性をもつにも関わらず、それらの発生確率が非対称であることは、エルニーニョに対する WWE の相対的な重要性を強調する (第3章)。本研究はまた、現実においても WWE と SST のフィードバックが ENSO の非対称性や CP 型エルニーニョの発生を保証することを提案する。以上の結果から、背景場季節性と環境場依存性をもつ高周波大気擾乱、またそれらの相互作用が ENSO のメカニズムに大きな影響をもたらすことは明らかである。このことは、それらの要素の再現性が、CGCM を用いたエルニーニョ予測技術や ENSO の将来変化の調査に強く影響することを指摘する。