

学位論文題名

The Response of the Tropical Pacific Mean Temperature Field to Intra-Seasonal Wind Forcing

(大気の季節内変動が熱帯太平洋の平均海水温度場に及ぼす影響)

学位論文内容の要旨

大気の季節内変動に対する熱帯太平洋の海洋の応答の研究は、主に季節内ケルビン波や海面での熱フラックスの時間変動に着目しており、海洋の時間平均場におよぼす影響についての研究はされていない。

ところが、近年の係留ブイの観測によって大気の季節内変動に伴う強い赤道ジェットが存在が示された。この事実は非線形性によって季節内変動が海洋の平均場に影響を及ぼし得ることを示唆している。

強い季節内変動がエルニーニョ発生時に存在するため、この影響を明らかにすることは、季節内変動と ENSO サイクルの関係を理解する上でも、非常に重要である。

本研究では、現実的な地形を持つ高解像度の海洋大循環モデルを用い、気候値で駆動した結果と、気候値に理想化した東西風の季節内変動を加えて駆動した結果を比較することにより、季節内変動が海洋の平均水温場に及ぼす影響を調べた。

大気の季節内変動は、Madden-Julian Oscillation と呼ばれ、周期 30 日～60 日、東西波数 1 で、東向きに伝播する東西風の変動を持つ。そこで、本研究では理想的な東西風の季節内変動として、平均ゼロの東進する正弦波を用いた。このモデルにおいて、海洋構造及び季節内変動に伴う赤道ジェットはよく再現されている。

結果として、大気の季節内変動は海洋の平均海水水温場に次のような影響を与えることが明らかになった。

- (1). 西部赤道太平洋の暖水塊の東へのシフト。
- (2). 海洋上層 200m の貯熱量の on-equator での下降、off-equator での上昇。
- (3). 西部赤道太平洋の暖水塊の鉛直温度勾配の減少。
- (4). 西部赤道太平洋の暖水塊での海面水温の低下。

海洋大循環モデル、1.5 層モデルによってその原因を検証したところ、(1),(2)はレイノルズストレスによる力学的な効果、(3)はレイノルズフラックスによる効果、(4)は鉛直混合(リチャードソン数に依存)の非線形性が原因であることが分かった。

定性的には次のように説明できる。

(1) 季節内変動の西風に伴う赤道向きのエクマン流が東向運動量を赤道に収束させ、東風に伴う極向きのエクマン流が西向運動量を赤道で発散させるため、平均場として赤道に東向きの流れができる。この流速場の変化により、暖水塊が東へシフトする。

(2) 海洋上層の厚さのエクマン流による収束、発散によって温度躍層の深さが on-equator で浅くなり、off-equator で深くなる。この温度躍層の南北構造は(1)の平均場の東西流速の構造と地衡流バランスの関係にある。

(3) 温度躍層が季節内変動に伴って振動するため。

(4) 季節内変動の擾乱によって鉛直混合が増加するため。

さらに気候値、季節内変動の各パラメーターを変化させて海洋大循環モデルを用い感度実験を行った結果、平均流速の応答は海洋上層の厚さ、季節内変動の風応力の振幅、周期により局地的に決定されることが示された。この結果は 1.5 層モデルの結果から説明できる。特に、季節内変動の周期が増加すると東西流速と南北流速の位相のズレは 90 度から 180 度に近づく。このためレイノルズストレス $\langle v'u'_y \rangle$ が増加し、より多くの東向流速が効率よく赤道に収束する。

以上により、季節内変動が海洋の平均場に及ぼす影響とそのメカニズムが明らかになった。また、エルニーニョ発生時の強い季節内変動では、中部赤道太平洋で約 0.4 度の海面水温の上昇、西部赤道太平洋で 0.4 度の海面水温の下降が見られた。この値は ENSO に十分影響を与えると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 竹 内 謙 介
副 査 教 授 久 保 川 厚
副 査 教 授 和 方 吉 信 (九州大学応用力学研究所)
副 査 助 教 授 沼 口 敦

学 位 論 文 題 名

The Response of the Tropical Pacific Mean Temperature Field to Intra-Seasonal Wind Forcing

(大気の季節内変動が熱帯太平洋の平均海水温度場に及ぼす影響)

熱帯域での大気の変動の中でエルニーニョ・南方振動や季節変動とともに卓越するものとして季節内振動が知られている。これは40 - 60日の周期をもち、地球一周を一波長として赤道に沿って東進する波動で、特に西太平洋暖水塊上で対流活動を活性化し、しばしば西風バーストとして知られる強い西風を伴う。季節内振動はエルニーニョの起こる年に活発で、両者の関係はこれまでも多く言及されている。特に西風バーストが大気と海洋の不安定な相互作用の引き金を引く役割を果たしている、と言う議論がなされてきている。しかし、必ずしも西風バーストがエルニーニョの発生につながるわけではなく、また、季節内振動を含まない結合モデルにおいてもエルニーニョの様な現象が再現されることから、季節内変動の様な短期の変動はエルニーニョ・南方振動の様な長い時間スケールの現象には影響を及ぼさないという見方もあった。

申請者の研究はこの季節内振動が熱帯太平洋に及ぼす影響を研究したものであるが、これまでの研究が一時的な影響にのみ注目していた傾向にあったのに対し、短周期の変動が非線形過程を通じて熱帯太平洋の時間的な平均場にも影響をあたえる点に焦点を当てたところに特徴がある。申請者は海洋大循環モデルによって熱帯太平洋の平均的状态を再現し、これに理想化された季節内振動による風応力を加えた。モデルが周期的定常状態に達した後、その時間平均場を季節内振動が無い状態と比較した。与えた季節内振動は平均すると0になるように設定しており、海洋の応答が線形であれば平均場は変わらない筈であるにもかかわらず、海洋の平均場には変化があり、特に西太平洋の暖水塊が東に拡大していることが見出された。

この結果は何らかの非線形過程の役割を示唆するものであるが、申請者はそのメカニズムを追求するためにさらに 2 層モデルに単純化した上で摂動法により解析を行った。その結果、コリオリ力の効果が無くなるという赤道の特殊性に起因するレイノルズ応力によって赤道域表層に東向きジェットが形成され、それが暖水塊の東への拡大をもたらしていることを明快に示した。また、解析解で示された季節内振動の振幅への依存性もモデルの結果と良い一致を示した。

申請者はまた、季節内振動の周期が重要なファクターであることを示した。この周期が熱帯海洋のダンピングの時間スケールより長い場合は効率的にジェットが形成され、暖水塊の東方拡大がおきるが、短い場合はその効果は小さい。実際の海洋でのダンピングの時間スケールを見積もることは困難であるが、申請者は赤道での海流の東西成分と風の位相差がダンピングの時間スケールの指標になることを示し、観測データからこれを推算した。結果は季節内振動と同程度であることを示した。このことは季節内振動の周期の違いがその影響の程度に大きく反映する可能性を意味している。申請者はこの周期が実際、年によりかなり変動することも見出し、その影響が暖水塊の東方拡大に影響を与えている可能性を示唆している。暖水塊の東方拡大はエルニーニョの発生につながる大気と海洋の不安定な相互作用を引き起こす要因であり、この結果はエルニーニョ発生メカニズムの研究という視点からも重要な貢献である。

この様に本研究は熱帯太平洋の気候値的な構造の形成維持機構にも、またエルニーニョの発生にも、季節内振動の様な短期の変動の影響が寄与していることを示した事は高く評価されるもので、申請者が研究者として研究活動を行うために必要な高度な研究能力と学力を有していることを示している。よって審査員一同は申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。