

学 位 論 文 題 名

Annual Variabilities caused
by Equatorial Waves in the Pacific Ocean
and Accompanying Responses of the Atmosphere

(赤道波によって太平洋に生ずる年周期変動
およびそれに伴う大気の応答)

学位論文内容の要旨

太平洋の赤道上で水位変動、東西流速、および海洋表面温度(SST)の年周期変動において、赤道波がどのような役割を果たしているのかを線形モデルに基づいて考察した。また、これらの海洋変動が引き起こす大気の応答についても、データ解析を行った。

モデルの水位変動の振幅は、 170°E から 160°W にかけてと 90°W 付近の二領域で大きい。これらの振幅の極大に挟まれた 120°W に、振幅の極小と位相の 180° の東西変化で表される、水位変動の節が存在している。これらの特徴は、Toga Sea Level Data Centerの潮位計ネットワークで観測された水位変動、および Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) の係留系データから求められた力学高度の特徴と良い一致を示した。モデルの水位変動は、主に鉛直第1および第2モードそれぞれの、ケルビン波と南北第1モードロスビー波の、計4つの赤道波によって引き起こされている。これらの赤道波のうち、東太平洋で励起されたロスビー波が、 170°E から 160°W の水位の極大に主に寄与し、同じく東太平洋で励起されるケルビン波が、 90°W 付近の極大の主要な原因となっている。また、 120°W に水位変動の節が生ずるのは、東太平洋で励起されるこれらのロスビー波とケルビン波に伴う水位変動が、逆位相で打ち消し合うためである。

風応力の振幅は東および西太平洋で大きいにもかかわらず、モデルの表面東西流速の振幅は、PMELの係留観測結果と同様に、東太平洋においては大きく西太平洋では小

さい。この東西流速の特徴は、異なる伝播特性を持つ鉛直高次モードと低次モードの重ね合わせによってもたらされる。鉛直低次モードにおいては、東太平洋で励起されたロスビー波が西太平洋まで情報を伝達する。一方強い減衰を受ける鉛直高次モードに伴う東西流速は、局所的な風応力にのみ応答する。東太平洋で東西流速の振幅が大きいのは、鉛直低次モードと高次モードがともにその領域の風によって励起されるので、両者の位相が比較的一致し、合成された振幅が各々の成分の振幅よりも大きいためである。一方西太平洋では、西太平洋で励起される鉛直高次モードに伴う東西流速と、東太平洋から伝播してくる鉛直低次モードのロスビー波による東西流速とが逆位相となるために、合成された振幅は各々の成分の振幅よりも小さい。西太平洋ではまた、深度150mに振幅の極大が観測されている。同様の振幅の極大はモデルでも再現され、やはり鉛直低次および高次モードの重ね合わせとして説明できることがわかった。すなわち鉛直低次モードと高次モードによる流速変動は海洋表面で逆位相であるけれども、高次モードは低次モードよりも短い鉛直スケールでその構造が変化するので、ある深度では両者が同位相となって、そこに振幅の極大が引き起こされる。従って、西太平洋の深度150mで観測された振幅の極大は、東太平洋で励起されたロスビー波が西太平洋に到達していることの証拠であることが示唆された。

SSTの年周期成分は、赤道波によって生じる成分と、大気・海洋間の熱フラックス、および局所的な風応力による赤道湧昇によって生ずる成分の、重ね合わせとしてモデル化された。赤道太平洋の季節変動の顕著な特徴として、SSTの年周期成分が80°Wの東岸から170°Eまで西へ伝播することが知られている。観測と比べると狭い領域ではあるが、モデルでは110°Wから170°WにかけてSSTの西方伝播が見られた。モデルで再現されたSST伝播を引き起こす要因は、経度によって異なる。110°Wから140°WでのSST変動に最も重要なのは、局所的な東西風応力が引き起こす赤道湧昇の変動であり、この領域でのSSTの西方伝播は風応力の西方伝播を反映している。一方140°Wから170°Wでは、ロスビー波に伴う温度の東西移流がSSTの変動に最も大きく影響し、SSTの伝播はロスビー波の伝播によってもたらされている。

SSTの西方伝播は、赤道から緯度3°以内の東西風の年周期成分に見られる、西への伝播を引き起こしていることが知られている。本研究では、赤道から緯度にして10数度離れた大気の年周期変動にも西方伝播成分が存在することを、過去の観測データに基づいて明らかにした。赤道から離れた大気の季節変動には、太陽放射の変動に起因

する、東西に一樣な成分が卓越していることが知られている。そこでこの影響を取り除くために、太平洋上での東西一樣成分からの偏差を計算し、その季節変動を調べた。その結果、4°Nから12°Nにかけての、南北風速、風速の収束、雲水量、および熱帯収束帯(ITCZ)の緯度に、明瞭な西への伝播を示す年周期成分が見られた。これらの諸量は、相互に関連しており、南北風が吹き込む風下では風の収束が生じ、収束に伴って雲水が増加する。この時、風の収束および雲水量から同定されるITCZの位置は、風下側に偏っている。また、南北風速の変動とSSTの南北勾配は強く相関しており、冷たいSSTの領域から温かいSSTの領域へと南北風が吹き込むことが示された。このSSTの南北勾配の季節変動は、主に赤道上の cold tongue の変動によって引き起こされている。従って、いわゆる cold tongue-ITCZ complex の東西一樣成分からの偏差の季節変動は、西方伝播によって特徴づけられている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 成 誠 一

副 査 教 授 竹 内 謙 介

副 査 教 授 若 土 正 暁

副 査 助 教 授 日 比 谷 紀 之

学 位 論 文 題 名

Annual Variabilities caused by Equatorial Waves in the Pacific Ocean and Accompanying Responses of the Atmosphere

(赤道波によって太平洋に生ずる年周期変動

およびそれに伴う大気の応答)

赤道域は、これを境に南北で惑星渦度が反転することのために、地球流体物理学的に特異な領域となっている。このような、領域の特異性はこの領域で発生する渦モード波を赤道沿いに捕捉するという現象に現れこうした波動とエルニーニョ現象との結びつき、更には、エルニーニョと広域の気候変動との関わりをもたらす。近年、この海域の大気・海洋の相互作用の問題が、気候変動とのからみで、にわかに注目を集め、赤道域の大気、海洋のダイナミクスの重要性についての認識が高まった。申請者の目的は、エルニーニョに見られる準周期的変動の根底をなす大気・海洋の年周期変動の重要性に着目し、こうした変動と赤道波の関係をモデルと実測データに基づいて明らかにしようとするものである。

先ず、申請者はLevitusの年平均密度データを水平方向に平均化して、この海域の鉛直密度プロファイルとし、この海洋を年周期成分の風応力データで駆動される β 面近似の線型モデルとして扱った。この解は、水平及び鉛直方向の固有解の重ね合わせとして表現され、基本的には、東へ伝播する赤道ケルビン波と、西へ伝播する赤道ロスビー波の解から構成される。

一方、モデルから導かれた移流場並びに密度躍層の変位、並びに大気・海洋間の年

周期熱フラックス・データに基づいて、熱輸送方程式を解き、この海洋の表面水温(SST)の年周期変動を求めることができる。申請者はこのようにして求めた、年周期のSSTアノマリー、水位並びに流速-の振巾、位相の分布が、観測データと極めて良く一致することを見いだした。

特に、この海域で従来から指摘されていた、年周期変動の西方伝播の問題に注目し、西方伝播に寄与する波動成分を詳細に解析し、

- (1) 年周期水位変動の主要部は、鉛直第1、第2モードそれぞれの、東へ伝播するケルビン波と西へ伝播する南北第1モード・ロスビー波の重ね合わせとして表される。
- (2) 表層の東西流成分の年周期変動は鉛直第1、第2モードのロスビー波と局所的な大気擾乱で誘発された高次鉛直モードに伴う応答として説明できる。
- (3) 大気・海洋相互作用で重要な役割を演ずるSSTアノマリーの西方伝播は、東太平洋で励起された鉛直第1、第2モード、南北第1モードのロスビー波に起因する。

という一連の結論を導いた。

また、申請者は、大気・海洋相互作用としての海洋が大気に及ぼす効果についても解析を行っている。SSTの西方伝播は、海洋から大気への熱フラックスによる大気安定度の変化という過程を通じて風速のアノマリーの西方伝播を誘発するとの考えに基づいて、年周期風速の経度平均からのアノマリーについて、振巾、位相の空間分布を調べ、SSTアノマリーとの相関解析を行った。その結果、両者の間の高い相関を見いだすと共に、従来、赤道域のみと考えられていた風速アノマリーの西方伝播は、赤道域のみならず、 3°N ～ 13°N にわたる熱帯収束帯に至る領域にまで及んでおり、こうした広域の西方伝播は、海表面水温分布の南北勾配と密接に関係しているという事実を初めて明らかにした。

以上の結果は、広域の気候変動と密接に関係する太平洋赤道域の大気・海洋相互作用のダイナミクスに重要な知見を与えたものである。

本審査に先だって行われた学力試験の結果も極めて満足すべきものであり、審査員一同は、申請者が博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認定した。