

氏 名	ます だ しゅう へい 増 田 周 平
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2403 号
学位授与の日付	平 成 13 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	北太平洋域における10年スケールの気候変動に関する研究

論文調査委員 (主 査) 助教授 秋 友 和 典 教 授 淡 路 敏 之 教 授 木 田 秀 次

論 文 内 容 の 要 旨

北太平洋域における大気、海洋の10年スケール変動はエルニーニョと南方振動(ENSO)と同程度の強度を持つ現象として知られ、ENSOあるいは北大西洋振動、北極振動などの変動現象と関連して全球規模での気候変動に大きな影響を与えると考えられている。しかし、そのメカニズムについては、これまでに幾つかの説が提出されているものの、必ずしも観測事実を十分に説明するには至っていないのが現状である。

この問題に対して、申請者は大気、海洋の力学的結合という観点で両者の観測データを見直すことから始めた。まず、アリューシャン低気圧の強度の指標である北太平洋指数と呼ばれる地上気圧の時系列には、顕著な10年スケール変動が比較的安定した低気圧の強大型(寒冷期)と弱小型(温暖期)の交替として現れるが、この低気圧の駆動に関わる海域である亜寒帯前線域に注目すると、そこでの海面水温に見られる10年スケール変動は必ずしも大気(アリューシャン低気圧)のそれと整合する位相関係を持っていないことを見いだした。この事実を踏まえ、申請者は大気の熱エネルギー収支が海面水温ではなく海面熱フラックス Q_0 によって決まること、および海面水温(海面熱フラックス)が大気の状態だけでなく亜表層水温の変動の影響をも受けることに着目し、これらの観点を初めてこの時間スケールの変動に適用し詳細な解析を行った。その結果、 Q_0 の水平ラプラシアン $\nabla^2 Q_0$ の偏差の10年スケールでの時間変動は、大気の温暖期から寒冷期への遷移時期に負の極値を、また逆の遷移時期に正の極値を持ち、それぞれアリューシャン低気圧に対する駆動が最小、最大であったことを初めて示した。さらに、1975年から1988年まで続いた大気の寒冷期には、風応力回転場の変動によって形成された海洋亜表層の低水温偏差が、東方から傾圧ロスビー波として伝播し、亜寒帯前線域での海面水温を低下させていた可能性を指摘した。

これらの事実に基づき、申請者は北太平洋域の10年スケール変動について次のようなメカニズムを提案した。大気には温暖期と寒冷期という二つの安定な状態が存在する。大気が寒冷期に入ると、亜寒帯前線域では海面過程による直接的冷却に加え、風応力場の変動によって形成された海洋亜表層の低水温偏差が傾圧ロスビー波として東方から伝播することで海面水温の低下が生じ、 $\nabla^2 Q_0$ を増加させる(アリューシャン低気圧に対する駆動が弱くなる)。そして、その増加がある閾値を越えると、大気の状態が短期間のうちに温暖期へと遷移する。大気の温暖期への遷移が生じたあとは、上とは逆の過程を経て再び寒冷期へと遷移する。この変動の時間スケールはおもに傾圧ロスビー波の伝播時間によって決まる。また、10年スケール変動と同程度の強さを持って存在している ENSO に伴う 2~3 年スケールの変動は、 $\nabla^2 Q_0$ の値を一時的に遷移に必要な閾値を越えさせることで、変動の時間スケールの決定に関係していると考えられる。

さらに、観測データ解析に基づいて提案されたこのメカニズムの実現可能性について、海洋が大気に対して復元力として働くことなどを考慮した4変数低次モデルを構築し実験を行った。その結果、大気为非線形性によって生じる二つの安定解の間の遷移現象として観測結果に類似した変動を確認した。

論文審査の結果の要旨

申請者の研究の特長は、観測データを解析するにあたり、単に現象論的な解析にとどまらず、力学的な観点から対象とする現象、領域を絞り込むと同時に、それに相応しい物理変数（例えば海面熱フラックス）に注目している点である。具体的には、この時間スケールでの変動が最も顕著に現れるアリューシャン低気圧の強度に関して、その駆動に関わる海域である亜寒帯前線域を考えることによって、北太平洋における大気・海洋の力学的結合をより明解に解析することを可能にした。この時間スケールでの変動に対してこのような観点から行われた解析は初めてであり、これまでの研究の多くが北太平洋や太平洋全域での海面水温を対象として10年スケール変動を解析していたのとは対照的である。

また、対象とした海域（亜寒帯前線域）での海面水温ではなく、大気熱エネルギー収支を決定する海面熱フラックスに注目し、その水平ラプラシアン時間変動がアリューシャン低気圧の強度の時間変化と力学的に非常に高い整合性を示すことを明らかにした。このような整合性は海面水温の時間変動については見られなかったものである。すなわち、アリューシャン低気圧が強化されると（寒冷期）、海面熱フラックスによる低気圧の駆動は徐々に弱まり、寒冷期から温暖期への遷移が生じる時期に最小になるのに対し、逆に低気圧が弱められると（温暖期）、海面熱フラックスによる低気圧の駆動は徐々に強まり、温暖期から寒冷期への遷移が生じる時期に最大になるのである。これは、海洋が海面熱フラックスを通して、大気のある状態からもう一方の状態へと変化、復元させるように働き得ることを意味しており、この時間スケールでの変動を維持する可能なメカニズムとして初めて提案された。

大気の変動に伴って、海洋がそれを引き戻すように変化するプロセスについても、比較的豊富にデータが存在する1975年から1988年までの大気の寒冷期について解析を行い検討を加えている。その結果、アリューシャン低気圧の発達に伴う偏西風の強化により、冷却などの海面過程を通して亜寒帯前線域での海面水温が低下することに加え、東方海域での風応力回転場の変化によって引き起こされる湧昇が亜表層水温の低下を生み、これが傾圧ロスビー波として亜寒帯前線域へと伝播することで、さらなる海面水温の低下を引き起こしている可能性を示した。この変化は、亜寒帯前線域での海面熱フラックスの水平ラプラシアンの増加を引き起こすことで、低気圧の駆動を弱めるように働き、大気の温暖期への移行を促す。また、この傾圧ロスビー波の伝播にかかる時間が10年スケール変動の時間スケールを決定づける主要因である可能性に加え、10年スケール変動と同程度の強度で存在する ENSO スケールの変動も、海面熱フラックスの水平ラプラシアンの一時的変化を引き起こすことで、変動の時間スケールを決めるもう一つの要因となる可能性を指摘している。種々の変動現象が互いに関連しあっていることを示唆する例として興味深い。

さらに申請者は、観測データ解析によって得られた結果に基づき、大気と海洋の結合を考慮した4変数低次モデルを構築し実験を行なうことで、大気非線形性に起因する二つの安定解の間の遷移現象として観測結果に類似した変動が生じ得ることも示している。非常に簡素化されたモデルであり現実との対応についてはさらなる検討が必要であるが、大循環モデルが特に大気・海洋結合過程に対して十分な信頼性を持たない現状においては、必ずしも十分な観測データが存在しない10年スケール変動のメカニズムを理解しようとする意欲的な試みとして評価できる。

よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと判断する。なお、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。