学 位 論 文 題 名

Role of Moisture Field
in the Large-Scale Surface Heat Exchanges

(大規模な海面熱交換に関わる水蒸気場の役割)

学位論文内容の要旨

熱帯太平洋で卓越するエルニーニョ・南方振動(ENSO)は太平洋域だけでなく、熱帯全域における対流圏気温構造にも影響することが知られている。このような対流圏気温の変化は降水活動や大気水蒸気場の変化をもたらし、大気下層における水蒸気場の変化を通して海面水温変動を引き起こすと考えられる。しかしながら観測に基づく研究では海面付近における水蒸気量の局所的な平衡を仮定しており、この大規模な大気循環場の変化に伴う水蒸気量の変化が海面の潜熱放出量に及ぼす影響については詳しく吟味されてこなかった。そこで本研究では観測データに基づく解析から、潜熱放出量の変化を表すバルク式を線形化することで潜熱変化を風速偏差に依存する項と大気海洋間における比湿差偏差に依存する項との和で近似し、ENSOに伴う(1)北部熱帯大西洋域、(2)南部熱帯大西洋域、(3)南太平洋域における海面水温偏差の形成に対する大気海洋間における比湿差偏差の役割について調べた。

北半球冬季における ENSO の成熟期において、東部熱帯太平洋で正(負)の海面水温偏差が現れた後、北部熱帯大西洋ではその後の2月にカリブ海域およびアフリカ西岸域で顕著な正(負)の海面水温偏差が現れる。中でもカリブ海におけるこの海面水温偏差の形成には1月の潜熱放出量の変化が主要な要因であった。カリブ海における潜熱放出量の変化を表すバルク式を線形化した解析結果はこの潜熱放出量の変化に対して海上風速偏差の寄与だけでなく、大気海洋間における比湿差偏差の寄与も十分に大きいことを示していた。特に ENSO の暖かいイベント時において1月の潜熱放出量偏差のうち64%を大気海洋間における比湿差の変化が説明していた。この大気海洋間における比湿差偏差は海面水温偏差が小さいために、海面直上の大気比湿偏差のみによって形成される。この大気比湿偏差は対流圏の平均気温と高い正相関を示していた。このことは、カリブ海における大気比湿偏差の増加が ENSO の暖かいイベントに伴う熱帯全域における対流圏気温の増加と関連することを示唆している。

北半球冬季に ENSO が成熟期を迎えると、その後の春季における熱帯大西洋の海面水温偏差は赤道より北側で有意なシグナルを持つものの南側では振幅が小さいままであった赤道を挟んだ南北非対称構造を示した。このときの潜熱放出量の偏差もまた海面水温偏差構造と同様に、赤道を挟んだ南北非対称構造を示していた。潜熱放出量偏差のバルク式を線

形化した解析は、風速偏差の寄与が赤道を挟んだ北部と南部で逆符号かつ同程度の大きさをもつといった南北反対称構造を示した。一方、大気海洋間における比湿差偏差の寄与は赤道の南側で風速偏差の寄与に対して約3分の2程度の大きさを打ち消していた。これら2成分の和の結果として、潜熱放出量の偏差と海面水温偏差は ENSO に対して赤道を挟んだ南北非対称構造を示す。この結果は南部熱帯大西洋の潜熱変動においても風速偏差だけでなく大気海洋間における比湿差偏差もまた重要な役割を果たしていることを示している。

ENSO の発達に伴い、海面水温は赤道太平洋上で正(負)偏差、その周りで負(正)偏差が現れた。この負(正)の海面水温偏差は特に南太平洋で赤道から南緯 40 度付近までの広範囲にわたり潜熱放出量の変化によって形成されている。潜熱放出量の変化を表すバルク式を線形化した解析結果はこの潜熱放出量の変化に対して南緯 20 度より北側では海上風速偏差の寄与が、南緯 20 度より南側では大気海洋間における比湿差偏差の寄与が支配項となることを示した。南緯 20 度以南における比湿差偏差は大気の子午面循環の強さと関係しており、上昇流(下降流)偏差域で大気下層が湿潤(乾燥)化していた。これらの観測事実はハドレー循環の変化が大気下層の比湿偏差をもたらす、大気海洋間における比湿差偏差を通して南太平洋における海面水温偏差を形成していることを示唆している。

熱帯域では、海面水温変動が大気海洋間における比湿差偏差を通して大気下層の比湿変動を引き起こすと一般的に考えられており、海洋から大気への影響として理解されていた。しかしながら、本研究では大気下層の比湿変動が ENSO の遠隔作用によって引き起こされると、それによって大気海洋間における比湿差偏差をもたらす、さらには海面水温偏差の形成に寄与する場合もありうることを示してきた。海面の熱交換過程において大気下層の水蒸気分布の変動が潜熱放出量に大きく寄与することを示した本研究は、大気中における大規模な水循環過程の変化が海面水温偏差を形成し、その形成された海面水温偏差が今度は大気の力学場や熱力学場の変化を引き起こすことで新たな大規模水循環過程の変化をもたらすフィードバック過程の存在を示唆している。

学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 谷 本 陽 一
副 査 教 授 山 崎 孝 治
副 査 教 授 藤 吉 康 志
副 査 助 教 授 渡 部 雅 浩
副 査 講 師 植 田 宏 昭 (筑波大学生命環境科学
研究科)

学 位 論 文 題 名

Role of Moisture Field in the Large-Scale Surface Heat Exchanges

(大規模な海面熱交換に関わる水蒸気場の役割)

熱帯太平洋で卓越するエルニーニョ・南方振動 (ENSO) は太平洋域だけでなく、熱帯全域における対流圏気温構造にも影響することが知られている。このような対流圏気温の変化は大気水蒸気場の変化をもたらし、大気下層における水蒸気場の変化を通して海面水温変動を引き起こすと考えられる。しかしながら観測に基づくこれまでの研究では海面付近における水蒸気量の局所的な平衡を仮定しており、この大規模な大気循環場の変化に伴う水蒸気量の変化が海面の潜熱放出量に及ぼす影響については詳しく吟味されてこなかった。そこで申請者は観測データに基づく解析から、潜熱放出量偏差を表すバルク式を線形化することで潜熱偏差を風速偏差に依存する項と大気海洋間における比湿差偏差に依存する項との和で近似し、ENSOに伴う(1) 北部熱帯大西洋域、(2) 南部熱帯大西洋域、(3) 亜熱帯太平洋域における海面水温偏差の形成に対する比湿差偏差の役割について調べた。

北半球冬季における ENSO の成熟期に伴い東部熱帯太平洋で正 (負) の海面水温偏差が現れた後、北部熱帯大西洋ではその後の2月にカリブ海域およびアフリカ西岸域で顕著な正 (負) の海面水温偏差が現れる。中でもカリブ海におけるこの海面水温偏差の形成には1月の潜熱放出量偏差が主要な要因であった。カリブ海における潜熱放出量偏差を表すバルク式を線形化した解析結果はこの潜熱放出量の変化に対して海上風速偏差の寄与だけでなく、大気海洋間における比湿差偏差の寄与も十分に大きいことを示した。この比湿差偏差は海面水温偏差が小さいために、海面直上の大気比湿偏差のみによって形成される。この大気比湿偏差は対流圏の平均気温と高い正相関を示した。このことは、カリブ海における大気比湿偏差の増加が ENSO の暖かいイベントに伴う熱帯全域における対流圏気温の増加と関連することを示唆する。

北半球冬季に ENSO が成熟期を迎えると、その後の春季における熱帯大西洋の海面水温偏差および潜熱放出量偏差は赤道より北側で有意なシグナルを持つものの南側では振幅が小さいままであるといった赤道を挟んだ南北非対称構造を示した。潜熱放出量偏差のバルク式を線形化した解析は、風速偏差の寄与が赤道を挟んだ北部と南部で逆符号かつ同程度の大きさをもつものの、比湿差偏差の寄与は赤道の南側で風速偏差の寄与に対して約3分の2程度の大きさを打ち消していることを示した。これら2成分の和の結果として、潜熱放出量の偏差と海面水温偏差は ENSO に対して赤道を挟んだ南北非対称構造を示す。この結果は南部熱帯大西洋の潜熱変動においても風速偏差だけでなく比湿差偏差もまた重要な役割を果たしていることを示している。

ENSO が成熟期を迎える前の北半球春季から秋季にかけて、海面水温は赤道太平洋上で正(負)偏差、その周りの亜熱帯域で負(正)偏差が現れた。この太平洋亜熱帯域における負(正)の海面水温偏差は北半球側では ENSO が成熟期を迎える1年前の12月から2月にかけて、南半球側ではその後の2月から4月にかけて形成されていた。これらの海面水温偏差の形成に対し、潜熱放出量偏差が主要な要因であった。潜熱放出量偏差を表すバルク式を線形化した解析結果は風速偏差だけでなく比湿差偏差の寄与も潜熱放出量の変化に対して重要となることを示した。これら亜熱帯域における比湿差偏差は大気の子午面循環の強さと関係しており、上昇流(下降流)偏差域で大気下層が湿潤(乾燥)化していた。これらの観測事実は局所的なハドレー循環の変化が大気下層の比湿偏差をもたらし、大気海洋間における比湿差偏差を通して亜熱帯太平洋における海面水温偏差を形成していることを示唆している。

熱帯域では、海面水温変動が大気海洋間における比湿差偏差を通して大気下層の比湿変動を引き起こすと一般的に考えられており、これは潜熱放出を通じた海洋から大気への影響として理解されていた。しかしながら、申請者は、ENSO に伴う熱帯対流圏全体の変化が大気下層の比湿変動を引き起こし、それが海面水温偏差の形成に寄与することを示した。海面の熱交換過程において大気下層の水蒸気分布の変動が潜熱放出量に大きく寄与することを示した解析結果は、大気中における大規模な水循環過程の変化が海面水温偏差を形成し、その形成された海面水温偏差が今度は大気の大気力学場や熱力学場の変化を引き起こすことで新たな大規模水循環過程の変化をもたらすフィードバック過程の存在を示唆している。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ申請者が博士(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。