

## 論文内容の要旨

論文題目 Madden-Julian 振動の伝播特性に関するデータ解析研究

氏名 菊地一佳

Madden-Julian 振動(MJO)は赤道域で最も卓越する大気擾乱の一つである。明確な定義は存在しないが、東西波数 1-3 という大きな水平規模を持った対流と循環の東進、30-90 日という周期性によって特徴付けられる。またインド夏季モンスーンの活発・不活発との関係性、ENSO(El Niño and the Southern Oscillation)の開始・終息との関係性などが指摘されており、多くの気象研究者の注目を浴びてきた。しかし、MJO 自身の伝播特性については十分に分かっているとはいえない。そこで本研究では MJO の伝播特性に関する全体的な理解を深めるために、主にデータ解析によって研究を行った。

まず、MJO の振幅が一年を通して最も強く、東進伝播が最も卓越する北半球冬季の伝播特性について、西半球、東半球にそれぞれ焦点をあてて研究を行った。この時期、MJO に伴う大気擾乱は東半球ではケルビン波・ロスビー波結合モードの構造を持ち約  $6 \text{ ms}^{-1}$  で進むが、西半球ではケルビン波の構造を持った擾乱が対流圏上層を約  $10-15 \text{ ms}^{-1}$  で伝わるということが知られている。

まず西半球を伝わる擾乱の伝播特性及び次のイベントとの関係性について、MJO に伴う水蒸気変動に特に着目して調べた。コンポジット解析の結果、対流圏上層を周回する擾乱に同期して可降水量正偏差も赤道域を周回していることが分かった。赤道域を周回する同様な擾乱は対流圏全層の東西風、1000 hPa のジオポテンシャルなどの大気場にも見られた。

1000 hPa ジオポテンシャルを除く大気場及び可降水量場の擾乱は西半球を平均約  $20 \text{ ms}^{-1}$  で東進していた。さらにこの擾乱の構造を詳しく見ると、約  $20 \text{ ms}^{-1}$  で進む波束の中に約  $30\text{-}40\text{ms}^{-1}$  で東進する速い擾乱が見られた。この擾乱は第一傾圧の鉛直構造をもっていた。位相速度、鉛直構造などから第一傾圧モードの自由ケルビン波であることが推測された。また、西半球を横断する可降水量正偏差はケルビン波の境界層摩擦収束によって生成されることが示唆された。このケルビン波に伴う可降水量正偏差が西部インド洋に達した数日後に大西洋から西部インド洋にかけて次の MJO サイクルの一部としての対流偏差が現れた。以上の結果は、北半球冬季には東進するケルビン波によって MJO サイクルが維持されていることを示唆するものである。

次に、同じく北半球冬季の今度は東半球での伝播特性に関して研究を行った。前述したように東半球では対流と対流により強制されたケルビン波・ロスビー波応答が結合しながらゆっくりと東進する。このケルビン波応答の境界層摩擦収束によって対流組織の東には、境界層収束、すなわち水蒸気収束があり可降水量蓄積が深い対流に先行して起こる。このような領域における水蒸気の蓄積と対流活動発達との関係を調べるために、対流発達の詳細な様子を、高解像度雲データである GMS 赤外等価黒体温度(IR  $T_{\text{BB}}$ )ヒストグラムデータを用いて、TOGA COARE 集中観測期間について調べた。また、同観測期間中の高層観測データも合わせて使用した。

その結果、 $T_{\text{BB}}$  ヒストグラム及び高層観測データともに整合的な対流発達の様子が得られた。すなわち、MJO に伴う対流発達過程は 3 つの安定層(貿易風逆転層、融解層高度の安定層、対流圏界面)によって特徴付けられる 3 種類の雲(層積雲、雄大積雲、積乱雲)の発達によって構成されていることがわかった。

結局、MJO に伴う雲組織のライフサイクルは、以下の 5 つのステージからなっていた。  
1) 抑制期: 対流活動が非常に抑制される、2) 層積雲発達期 (2-3 日): 対流活動はある程度活発化するが、ほとんどの雲が貿易風逆転層の高さで成長を抑えられる、3) 発達期 (3-4 日): 多くの雲が融解層まで発達し、散発的に対流圏界面まで発達する雲が発生する、4) 成熟期(4-5 日): 雲が大規模に組織化し、アンビル雲を形成、5) 衰退期: 雲の組織化がくずれ衰退していく上層雲がみられる。以上の結果は東半球での MJO の東進機構を考える上で、大気成層の効果を考慮する必要があることを示唆している。

最後に、季節によって異なる MJO の伝播特性について調べた。北半球冬季には赤道域を東進する対流活動が支配的であるのに対し、北半球夏季にはそのような対流活動に加えインド洋、西部太平洋上で北・北西進する対流組織を伴う。このような季節による伝播特性の違いに対する理解を深めるために、観測データ及び簡単なモデルによって北半球夏季と冬季の MJO の伝播特性について比較・検証を行った。

観測及びモデルは整合的な結果を示し、赤道上的大規模な対流活動による加熱に対する大気の応答特性が季節によって異なることが示唆された。つまり、赤道上的大気加熱に対して、北半球夏季には対流圏下層の大気擾乱はケルビン波応答と北半球側で比較的強い口

スビー波応答という構造をとった。一方、同様な加熱に対して北半球冬季の対流圏下層大気擾乱は比較的強いケルビン波応答と赤道対称で弱いロスビー波応答の結合という構造をもっていた。

観測データの解析により、このような応答特性の違いに対応した可降水量増加率の違いが見られた。両季節において可降水量蓄積と対流発達との結ぶつきは非常に強く、可降水量蓄積が対流活動の移動に常に先行していることから、大気の応答特性によって生じる可降水量蓄積の空間構造の違いが MJO の伝播特性の季節変化をもたらしていると考えられた。

このように季節によって異なる大気の応答特性が生じる理由を詳しく調べた結果、対流圏下層で見られる加熱に対する応答特性の違いは同高度での東西風南北シアーに起因していることが示唆された。つまり、対流圏下層で東西風南北シアーの少ない北半球冬季には、加熱に対してケルビン波応答が強く現れ、ロスビー波応答は比較的弱いのに対し、モンスーン循環によってシアーの大きい北半球夏季にはケルビン波応答に加え、シアーの大きい北半球側でロスビー波応答強く現れる。その結果、両季節ともにある程度強いケルビン波応答を伴い、両季節共通の東進という性質を示すが、対流組織の北進は東西風南北シアーの強い北半球夏季に限られる。