

論文の内容の要旨

論文題目 Structure and Dynamics of the Meso- α -scale Low on the Baiu Front
(梅雨前線上のメソ α スケール低気圧の構造と力学)

氏 名 田上 浩孝

梅雨期には水平スケール1000km 程度のメソ α 低気圧(以後MAL)が梅雨前線上でしばしば発現し、日本付近に集中豪雨をもたらす。MALの詳細な3次元構造やその発達過程の理解は科学的観点や防災上の観点からも求められていたが、その水平スケールの小ささと短命さのために、従来の観測的・理論的・数値的研究ではその理解は十分ではなかった。本研究では、近年の計算機性能や客観解析データの時空間分解能の向上を最大限に活用し、データ解析や線形安定理論、及び積雲群を解像する数値シミュレーションを行うことでMALの詳細な立体構造とその発達力学を解明した。

第1章の導入部で従来研究を包括的に概観した後、第2章では2001年に梅雨前線上に発現した複数のMAL について、気象庁領域客観解析データ(水平解像度20 km)を用いた解析を行なった。その結果、観測されたMALには、(1)西傾する鉛直トラフを持ち、その発達に上層擾乱の果たす重要な役割を示唆するタイプと、(2)背の低い東傾する鉛直トラフを持ち、明瞭な上層擾乱を伴わないタイプとに大別されることが明確となった。特に、通常の傾圧不安定波とは本質的に異なる構造を持つタイプ(2)は下層ジェット北縁で発達し、東傾する鉛直トラフ東側の低温偏差と南西～北東走向の水平トラフ軸とで特徴付けられる。2001年に観測されたタイプ(2)のMALの予報再現実験を、積雲群の解像が可能な気象研究所/数値予報課統一非静力学モデルを用いて実施した。その出力を解析した結果、トラフ東側の低温偏差の維持には、降水に伴う中・上層での潜熱解放により駆動された強い上昇流による断熱冷却が主として寄与することが判明した。

第3章では、梅雨期の東シナ海上空で観測されるような南北にもジェット構造を持つ現実的で複雑な帯状流の線形安定性解析を、擾乱に伴う凝結熱の効果を考慮した非地衡流モデルにおいて初めて実施した。この際、東西波数と位相速度で張られる位相空間に固有モードの成長率をプロットする斬新な手法を考案することで、極めて多数の固有モードからタイプ(2)のMALに対応する成長モードを的確かつ効率的に特定することに成功した。観測されるMAL同様、この成長モードは擾乱振幅がジェットの下方に

限定され、東側に低温偏差を伴い東傾するトラフにより特徴付けられる。但し、凝結加熱と暖気移流との相対的重要性がジェット軸の南北で異なることを反映し、擾乱中心の北側では逆に鉛直トラフが西傾するという複雑な構造を持つことが分かった。さらに、ジェット構造の複雑性の異なる複数の帯状流に線型安定性解析を施すことで、擾乱の鉛直構造とその南北依存性は帯状流の傾圧性や潜熱加熱の強さにはさほど依存しないものの、擾乱の発達過程がそれらに大きく依存する傾向を見出した。即ち、MAL的なモードの発達過程において、対流性加熱が相対的に小さい場合に傾圧エネルギー変換の寄与が増大するのに対し、逆に加熱が相対的に大きい場合には潜熱解放と順圧エネルギー変換からの寄与が増大する傾向が明らかになった。一方、擾乱の水平構造については、鉛直シアが強い場合は鉛直運動に伴う運動エネルギー変換に適した南東～北西走向の水平トラフが実現するのに対し、水平シアが強い場合にはそれとは逆走向のトラフを持つ擾乱が順圧エネルギーを最も効率的に変換し発達する傾向が明確に示された。

更に第4章においては、積雲対流群を陽に表現可能な非静力学数値モデルにおいて、梅雨期の代表的な帯状流場に微小初期擾乱を与える理想化実験を通じ、MALの3次元構造と発達過程を精査した。与えた初期擾乱は円形の雲クラスターを伴うメソ α スケールの地上小低気圧に発達し、衛星観測の捉えるMALの特徴が再現された他、東傾する鉛直トラフや擾乱構造の南北依存性など、客観データの解析で明らかになった多くの特徴が再現された。データ解析や線形理論と同様、鉛直トラフの東傾は、その東側での潜熱解放に伴う上昇流による下層の断熱冷却により維持されている。一方、線形安定性理論と整合的に、帯状流の南北シアが鉛直シアより相対的に強い下層ジェット北縁において、水平トラフは南西～北東の傾きを持つ。一方、MALの発達過程は傾圧不安定で発達する温帯低気圧のものとは本質的に異なることが、エネルギー収支解析から明らかになった。MALの発達には潜熱加熱による有効位置エネルギー生成と運動エネルギーの順圧変換が主に寄与しており、帯状流の傾圧性や鉛直シアによるエネルギー変換の寄与を凌駕することが判明した。

以上のように、本論文においては、近年利用可能になった水平分解能の特に高い領域客観解析データや積雲対流群を解像可能な非静力学数値モデルを逸早く活用することで、今日まで不十分であった梅雨期特有のMALの詳細な立体構造の特定とその発達過程の解明とに初めて成功した。特に、梅雨期特有の現実的なジェット構造を有する帯状流とそれとやや異なる構造の帯状流との線型安定性解析、及びそれらを基本場として用いた理想化数値実験は、MALの立体構造やその主要な発達過程の帯状流の構造に対する依存性を初めて系統的に明示するもので、MALの構造と発達力学に関する一般的・客観的知見を与える画期的な成果である。