

スコールライン型対流システムの周期的変動に関する数値実験

Numerical study on the periodic behavior of squall-line type convective systems

川島 正行[1]

Masayuki Kawashima[1]

[1] 北大・低温研

[1] Inst. of Low Temperature. Sci., Hokkaido Univ.

<http://stellar.lowtem.hokudai.ac.jp/~kawasima>

2次元の雲解像モデルを用いてスコールライン型降水系の数値実験を行い数時間周期の変動が生じるメカニズムについて調べた。

環境風の下層シアが十分弱い場合、あるいは十分強い場合は準定常な降水系が生じたが、その間の範囲では数時間の周期で降水系を構成する複数の雲が組織化され、後方に大きく傾いた単一の雲(メソスケールセル)が生じた。モデルで得られた各種物理量の時間変動の解析から、下層の雲から切離されたメソスケールセルとその周囲の擾乱は後方に傾いた等位相面をもつ内部重力波の構造をもち、後方に伝播するこの内部重力波と下層の雲との相互作用により周期的変動が生じることが示された。

雲が組織化されて生じたクラウドクラスター内部には特に強い対流雲が組織化された数10km程度のメソスケールの対流性降水セル(以下メソスケールセルとする)が発達し、強い降水をもたらす。メソスケールセルはしばしば数時間の周期で発生、消滅を繰り返すことが観測や Yamasaki (1983) 他の数値実験から報告されている。本研究では2次元の雲解像モデルを中心としてスコールライン型降水系の数値実験を行い、特にメソスケールセルの励起する重力波の役割に着目して周期的変動が生じるメカニズムについて調べた。

環境の風の鉛直シアがメソ対流システムの構造を決める上で重要な役割を果たすことが多くの研究で指摘されている。そこで下層の環境風の鉛直シアを変えた実験を行い、降水系の変動に対する環境風の鉛直シアの効果についても調べた。その結果、鉛直シアが十分弱い場合、あるいは十分強い場合はそれぞれ Fovell and Ogura (1989) によるスコールラインの数値実験で見られたマルチセル型、Weak evolution 型の準定常な降水系が生じたが、その間のシアの範囲では、複数の雲からなるマルチセル型の形態と、後方に大きく傾いた単一の雲(メソスケールセル)からなる形態の間で周期的に変化した。

メソスケールセルの成熟時には対流圏下層から上層までつながった傾いた強い加熱がパルス的に生じ、振幅の大きな内部重力波が励起された。その直後にセルは冷氣外出流と一般風との収束により生じた定定的な下層の雲から切離され、その後システムの後方に移動してやがて消滅した。また、メソスケールセルの鉛直軸からの傾きの大きさにほぼ比例して、降水系の変動周期は長くなること、メソスケールセルの傾きは下層のシアが強さと上昇流の得る浮力とのバランスで決定されることが示された。

各種物理量の時間変動の解析から、下層の雲から切離されたメソスケールセルと、その周囲の擾乱は内部重力波の構造をもちることが示された。また、メソスケールセルの加熱を単純化して得られた熱源に対する線形応答実験の結果から、後方に軸が傾いた加熱が起ると、加熱の傾きにほぼ一致した等位相面の傾きをもつ複数の上昇、下降域からなる内部重力波が励起されることが示された。すなわち、加熱の傾きが大きくなるほど、励起される重力波の周期は長くなる。対流圏下層では加熱に対する応答として、やはり後方に傾いた強い下降域が形成され、その一部は地表面での反射により降水系的前方へ伝播する重力波となった。

以上の数値実験で得られた結果から、メソスケールセルの周期的発達のメカニズムは以下のように説明される。後方に傾いたメソスケールセルによる強い加熱が生じると、その傾きに応じた等位相面をもつ内部重力波が励起される。下層では加熱に対する応答として生じた重力波の前方への伝播に伴い outflow が強まり、メソスケールセルは定常な下層の収束域から切離される。するとセル内の凝結加熱が減少し、セルとその周囲の下降流、上昇流は後方に傾いた等位相面を持つ内部重力波の波列となって後方に伝播する。この擾乱の下降流が下層の雲の上空にある間は、積乱雲の発達は抑制され、降水系は複数の積乱雲からなるマルチセル型の構造を呈する。擾乱がさらに後方へ伝播し、上昇流の位相が下層の雲の上空に到達すると、雲が発達を始め、再びメソスケールセルが形成される。このメカニズムの妥当性は、周期がメソスケールセルの鉛直軸からの傾きにほぼ比例すること、中、上層の環境風を変化させると、ドップラーシフトの効果により降水系の変動周期が変わることからも裏付けされる。

他に 3 次元の数値モデルを用いた実験でも 2 時間程度の周期でスケールの大きなセルの発達が見られた。これは 3 次元の系では、セルの周囲を回り込む流れが許されるため 2 次元の場合よりセルがより直立し、励起される重力波の周期も短くなるためであると考えられる。また、3 次元の系では、ライン方向に並んだ雲の組織化により、メソスケールセルが生じるという相違点が見られた。