

論文の内容の要旨

夏季北太平洋における上層寒冷低気圧と熱帯対流活動の相互作用に関する研究 (Study on the Interaction between Upper Cold Low and Tropical Convection in the summer North Pacific)

坂本 圭

1.はじめに

中緯度の圏界面付近では、偏西風が蛇行してトラフが深まり、その先端が切離されて孤立した低気圧がしばしば形成される。このような低気圧を上層寒冷低気圧(Upper Cold Low, 以下、UCL)と呼ぶ。夏季北太平洋の気候場に注目すると、西太平洋の上空ではチベット高気圧が東に張り出し、東太平洋の上空では中部太平洋トラフが存在している。そして、中部太平洋トラフの存在に対応してUCLが頻繁に形成している。一方、熱帯の対流活動が西太平洋では東太平洋に比べて活発となっている。そのような気候場の中で日々の現象に注目するとUCLと対流雲が関連した現象がしばしば見られる。しかし、UCLと対流雲が関係したシステムの構造について、力学的、熱力学的に十分な理解が得られているとは言い難いのが現状である。また、現実大気のUCLの解析で、切離過程や衰弱過程に対流雲が果たす役割を議論した研究はこれまでに例がない。本研究では、UCLと対流雲との関係性に注目し、ECMWF・ERA40を用いたデータ解析やメソモデルMM5を用いた数値シミュレーションを行なって詳細に解析し、対流雲がUCLの切離や衰弱に与える影響や、UCLと対流雲が関連したシステムの構造を明らかにした。また、西部北太平洋の領域で熱帯の対流活動活発域が急激に北にシフトする現象が7月下旬に見られ、対流ジャンプと呼ばれている。本研究では、UCLと対流雲が関連したシステムの例として、対流ジャンプの構造についても解析を行なった。

2.UCL の切離過程に対流雲が果たす役割

西太平洋では東太平洋に比べて対流活動が活発であることに対応して、UCL の切離時に対流雲を伴う場合が6割弱存在していた。

事例解析の結果から UCL の切離過程に関して以下の結論を得た。対流雲が存在しない場合でも UCL は切離され、順圧不安定や内部ジェット的不安定の必要条件を満たしていた。渦度収支解析の結果、切離される領域で非線形項も大きく渦度減少に効いており、切離における非線形の効果も考えられた。本研究では特に、現実大気の UCL の中で、切離時に対流雲を伴う場合において、切離過程における対流雲の役割について強調した。すなわち、対流雲が存在する場合には、対流雲の効果として渦度場では対流に伴う上層の発散が切離に大きな役割を果たしていた。また、対流雲の発生により対流圏上層に暖気核が形成され、温度場の構造を変えることで、渦位も減少していた。図1は切離時に対流雲を伴った UCL について、標準実験（雲あり実験）と水蒸気を取り去った雲なし実験のシミュレーションを行なった結果で、色が 300hPa 面気温、線が 350K 等温位面渦位である。雲あり実験の場合には上層の渦位に伴う 300hPa 面の寒気が弱まり、上層の渦位が切離されているのに対し、雲なし実験では切離されていない様子がわかる。

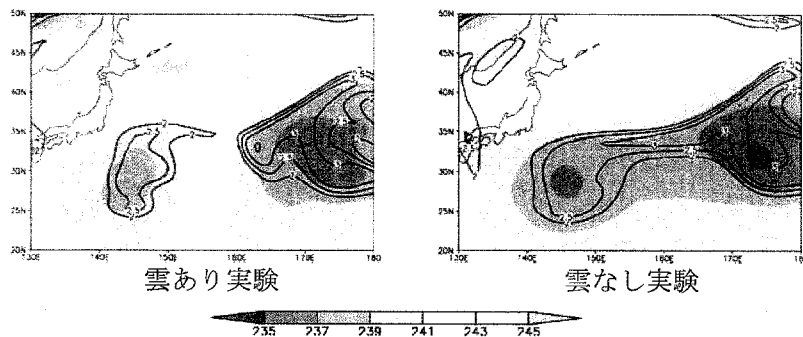


図1 UCL の切離過程におけるシミュレーション結果
300hPa 面気温 (色) [K]・350K 等温位面渦位 (線) [PVU]

3.UCL と対流雲が関連したシステムの構造

UCL の南東側に活発な対流雲を伴う場合があることが、これまでの研究でよく知られている。本研究では UCL と対流雲が関連したシステムの構造について、コンポジット解析によって一般的な特徴を示し、事例解析によって詳細な解析を行なった。

対流活動が活発な西太平洋では、切離後孤立した UCL の8割弱が対流雲を伴う構造になっていた。対流雲を伴う UCL のコンポジット解析を行なった結果、平均的には太平洋高気圧の南西縁に位置しており、UCL が北側から西太平洋の対流活動活発域に侵入すると同時に、対流活動活発域が UCL の南東側で北側に伸びる構造が見られた。その相当温位の構造は、南北の相当温位勾配のある中で、中層では UCL に伴って低相当温位空気が存在し、下層では UCL の東側で高相当温位が北側に移流し西側で低相当温位空気が南側に移流する構造となっていた。このことに対応して、UCL の東側で対流不安定、西側で安定な構造となっていた。

次に、事例解析によって UCL と対流雲が関連したシステムの構造を詳細に解析し、そのメカニズムを示した。その結果、以下のような構造となっていることが示された。図 2 は UCL と対流雲が関連したシステムの構造の模式図である。図 2 の左図に示すように、UCL の東側では南風となっており、その循環は下層にまで達していた。また、太平洋高気圧南西縁の南風も存在していた。UCL の東側では、南から下層の高相当温位空気と伴に対流雲が移流されていた。対流雲の存在する領域では強い上昇流に伴う下層の収束によって渦度が強化され、UCL の内部では下降流に伴う上層の収束によって渦度が強化されていた。UCL と対流雲の境界では、それぞれの循環の相互作用の結果として、変形による前線強化が見られた。温度場の構造を見ると、図 2 の右図で示したように、UCL に伴って上部対流圏で寒気核、下部成層圏で暖気核が存在し、対流雲に伴って暖気核が形成されていた。その境界で非断熱による前線強化が見られ、対流雲内部と UCL 内部では温度場と鉛直流の構造から、有効位置エネルギーから運動エネルギーへの変換が見られた。シミュレーションを行ない、対流雲なし実験と UCL なし実験の結果を比較解析した結果、対流を取り去った実験では鉛直流が弱く UCL の構造も浅くなり、UCL を取り除いた実験では東側の対流活動も弱くなっていた。このことから、UCL と対流雲が相互作用することによって両者が強め合っていることが示された。

このような構造は、先に述べたコンポジット解析の結果から、対流雲が UCL の南東側に存在する構造、対流雲に伴う上昇流とその西側の UCL 内部での下降流、水蒸気場の構造などから共通点が見られ、夏季北西太平洋に見られる対流雲を伴う UCL の一般的な構造であると考えられる。

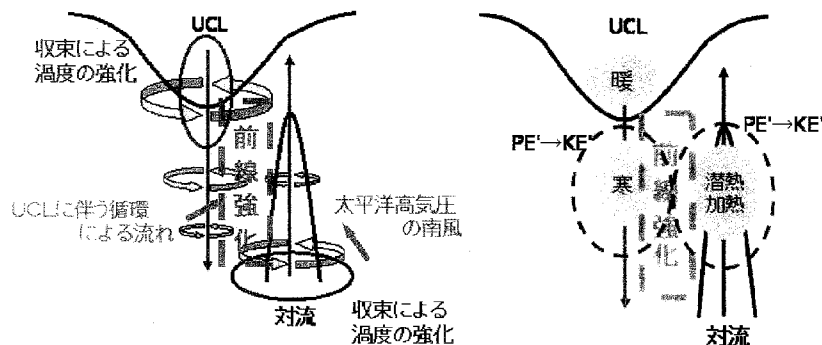


図 2 UCL と対流雲が関連したシステムの構造の模式図

対流雲を伴わない UCL についても解析を行なった。コンポジット解析の結果から、対流雲を伴わない UCL は、平均的には太平洋高気圧の内部に位置し、安定な構造となっていた。そして、対流圏上層で、UCL の西側に下降流、UCL の東側に上昇流が存在する構造が示された。この鉛直流の構造は、 ω 方程式を用いた解析の結果、南北温位勾配がある基本場の中に UCL が存在し、UCL の循環によって形成される温度移流の強制項が大きくなっていた。対流雲を伴う UCL の事例では、渦度移流の強制項も大きかったが、温度移流の強制が同じセンスになっており、それらの和として UCL の東側で上昇流が強制されていた。UCL のみの力学で東側に上昇流が存在することは、対流雲を伴う UCL について、平均的に UCL の東側で対流不安定な状況となっていることから、UCL の東側での対流雲発生に好条件を与えていることが考えられる。

4. UCL の衰弱過程に対流雲が果たす役割

UCL の衰弱には、さまざまなパターンがあり、一般的には、対流雲を伴う UCL は西太平洋に多く存在し、UCL の内部に対流雲が存在して衰弱するものと中緯度偏西風帯のトラフに合流するものが同程度の頻度で存在していた。対流雲を伴わない UCL は東太平洋に多く存在しており、中部太平洋トラフの中に合流するものが多かった。対流雲が UCL の内部に存在して UCL が衰弱する事例を取り上げ、UCL の衰弱過程における対流雲の役割について考察した。その結果、対流雲の生成に伴う潜熱加熱によって UCL に伴う対流圏上層の寒気核が衰弱され、UCL の衰弱を早め、UCL の衰弱に対流雲が重要な役割を果たしていることが示された。

5. 対流ジャンプ

UCL と対流雲が関連したシステムの例として、対流ジャンプの構造について解析を行なった。対流ジャンプの典型年には必ず対流活発域の北西側に上層の高渦位が見られた。対流活動の活発な領域は、太平洋高気圧の南西縁の南風域に存在し、対流雲を伴う UCL のコンポジット解析の結果と環境場の状況が類似していた。対流ジャンプ典型年のコンポジット解析の結果から、上層の渦位と対流活動活発域において、循環場や鉛直流の構造、温度場や湿度場の構造、前線強化やエネルギー収支で示される構造の特徴が、UCL と対流雲が関連したシステムの構造と共通していた。

6. おわりに

本研究では、夏季北太平洋で発生する UCL の切離から衰弱までの過程において、特に対流雲との関係性に注目して UCL の出現頻度の分布を示し、UCL の切離と衰弱における対流雲の役割を示した。また、よく知られている UCL の南東側で対流活動が活発となる現象を詳細に解析し、UCL や対流雲が果たす役割や、両者が関連したシステムの構造を明らかにした。さらに、上層の渦位と対流雲が関連した構造の例として、対流ジャンプの構造を解析し、対流ジャンプにおける上層の渦位の役割を強調した。対流ジャンプの形成のメカニズムを解明するためには、季節内振動や偏東風波動、熱帯の熱源やヨーロッパからのロスビー波の伝播など、より大きなスケールの現象との関係性が重要であると思われ、その詳しい解析が今後の課題として残される。また、UCL と対流雲が関連した構造の対流活動活発域の中から台風が生成される場合があることがこれまでの研究で知られている。しかし、台風生成における上層の渦位の役割については未だ明らかになっていない。台風生成における上層の渦位の役割を示すことも今後の興味深い課題の 1 つである。