

GAME/HUBEX IOP に観測された梅雨前線付近の クラウドクラスターとスコールラインの特徴

坪木和久 (名古屋大学 大気水圏科学研究所)

1 クラウドクラスターの日変化

GAME/HUBEX の主要な目的のひとつに、流域規模の水循環の研究がある。梅雨期の大陸上では梅雨前線に沿って活発な雲活動がみられるが、その中でクラウドクラスターは主要な要素である。大陸上での雲活動の日変化についてはこれまでいくつかの研究がある。しかしながらクラウドクラスターの日変化については、ほとんど報告されていない。GAME/HUBEX では1998年と1999年の梅雨期に特別観測を実施したが、その期間中、長江・淮河流域を含む領域でクラウドクラスターを含む雲活動の日変化が顕著にみられた。ここではまず日変化について述べ、次の節で日変化するクラウドクラスターに伴う降水についてレーダー観測の結果を示す。

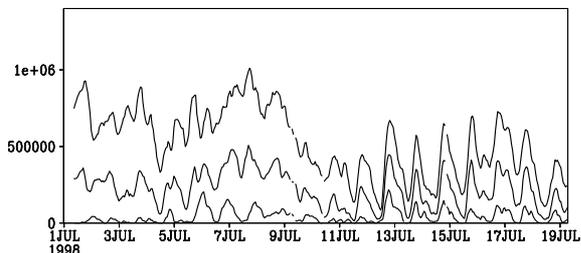


図 1: 1998年7月の100°E ~ 122°E, 25°N ~ 35.3°Nの領域のTBB面積。値は面積の大きい方から、-20°C、-40°C、および-60°Cである。

まず、領域全体での雲活動の平均的な時間変化を調べるために、100°E ~ 122°E, 25°N ~ 35.3°Nの領域で平均した7月前半のTBBの時間変化を、1998年と1999年について図1と図2にそれぞれ示す。両年とも雲の面積の日変化が顕著にみられる。高い温度の雲の面積に顕著な日変化がみられるのは雲全体が日変化している様子で、これまでよく知られてきている。これらの図で注目すべき点は-60°C以下の雲の面積についても顕著な日変化がみられる点である。これは毎日の最大が夕方から深夜にかけてあり、昼間についてはほとんど0になる。こ

のような低温の雲は活発な対流雲によってもたらされていると考えられ、大陸上に発生するクラウドクラスターの日変化によるものと考えられる。

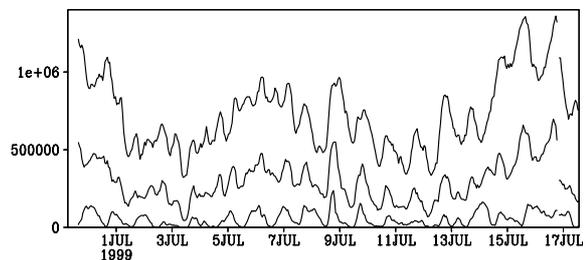


図 2: 図 1 に同じ。ただし1999年7月について。

1998年と1999年の7月前半におけるクラウドクラスターの位置を図3と図4にそれぞれ示す。これらの位置とそれぞれの年の大陸上の梅雨前線の位置を比較すると、ほとんどのクラウドクラスターが梅雨前線帯で発生していることがわかる。すなわち梅雨前線に沿って発生するクラウドクラスターが日変化をしており、これは大陸上の顕著な特徴と考えられる。図3と図4を比較すると、四川盆地以東の領域では1998年の方が1999年より、北側に多くクラウドクラスターが発生していることがわかる。これらの両年のこの期間の梅雨前線の位置は、1998年は北緯30度以北に多く見られ、一方、1999年は北緯30度以南に多く梅雨前線が停滞したことと対応している。これらの図の比較からもこの2年は梅雨前線の活動が異ったものであることがわかる。

図4に示された、クラウドクラスターの-60°C以下の雲面積の時間変化を図5に示す。図2から予想されたように、このクラウドクラスターは夕方から発達をはじめ深夜に雲面積の最大をもつものがほとんどである。これらのことから大陸上で梅雨前線に伴ってクラウドクラスターが活発に形成されるが、それは夕方から深夜に雲面積の最大を持つような顕著な日変化をすることが示された。

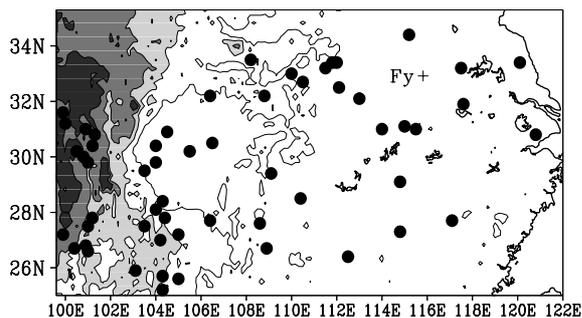


図 3: 1998 年 7 月 1 日 ~ 同月 19 日の間に 100°E ~ 122°E, 25°N ~ 35.3°N の領域で発生したクラウドクラスターの最盛期 (TBB-60°C 以下の面積が最大となる時刻) の位置および地形。地形の等値線およびグレースケールは 1000m 毎である。

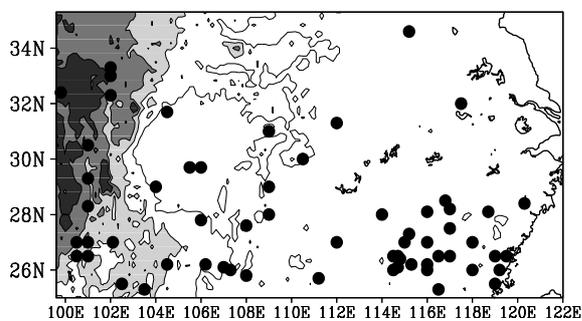


図 4: 図 3 に同じ。ただし 1999 年 7 月 1 日 ~ 同月 19 日について。

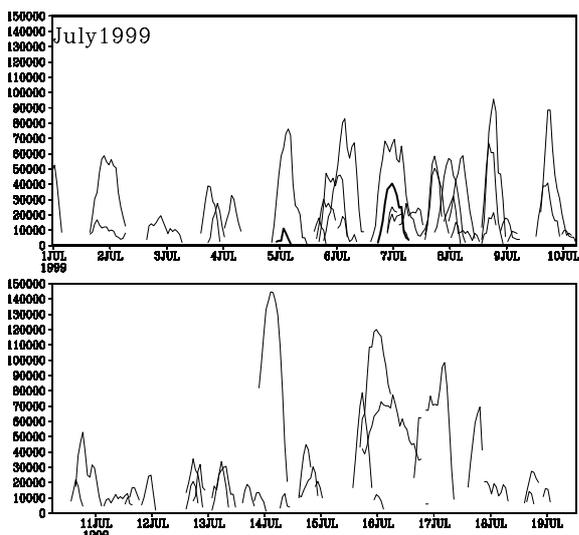


図 5: 1999 年 7 月 1 日 ~ 同月 19 日に発生したクラウドクラスター -60°C 以下の面積の時間変化。

2 クラウドクラスターの降水特性

前節で示した顕著な日変化を示す梅雨前線付近のクラウドクラスター内でどのような降水が発生しているかは、この地域の水循環において重要な問題である。GAME/HUBEX では 1998 年と 1999 年の梅雨期の特別観測期間中、阜陽の気象レーダーをデジタル化して整備し、降水を定量的に観測できるようにした。これにより特別観測期間中いくつかのクラウドクラスターが観測され、その降水特性を解析している。

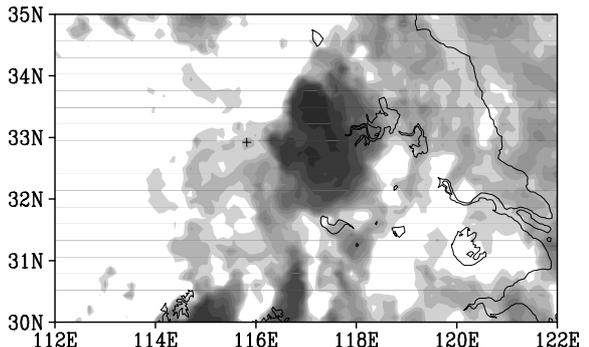


図 6: 1999 年 7 月 6 日 1930BST の GMS 赤外画像。

図 6 は 1999 年 7 月 6 日から 7 日に観測されたクラウドクラスターの GMS 赤外画像で、このクラウドクラスターは阜陽のレーダー観測領域内に発達期から最盛期にかけて存在していたことがわかる。このクラウドクラスターの降水をレーダーでみると、その発達期に顕著なスコールラインが形成されていたことがわかる。

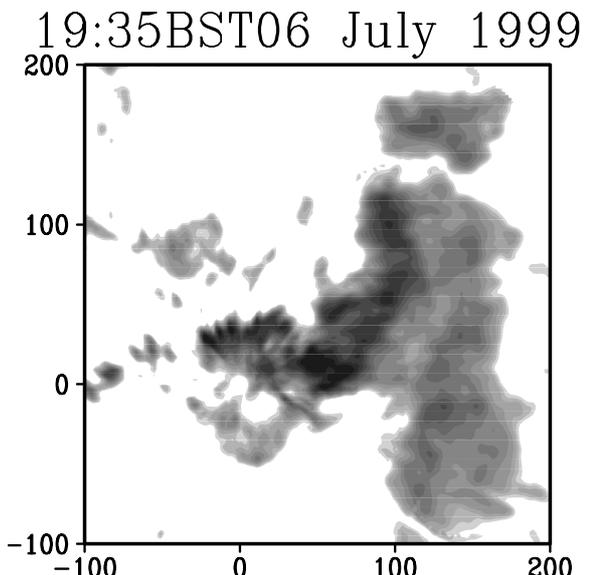


図 7: 1999 年 7 月 7 日 1935BST の阜陽レーダーの高度 2.5km のエコーの CAPPI 表示。

図 7 はこのクラウドクラスター内に発生し

たスコールラインの阜陽レーダーによるエコーの高度 2.5km の CAPPI 表示である。阜陽観測点付近から北東に伸びる線状降水系が顕著である。このスコールラインはこのあと東南東に移動した。このときのスコールラインのエコーの鉛直断面(図8)をみると、対流圏上層まで達するような顕著な対流性エコーが西側にあり、東側には層状性エコーが広がっていることがわかる。クラウドクラスターの発達期にはこのような強い対流性エコーが見られるのが特徴で、これは他の事例でもみられた。

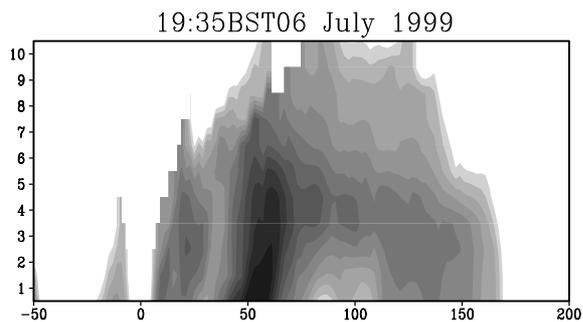


図 8: 1999 年 7 月 6 日 1935BST の阜陽レーダーの観測点を通る東西鉛直断面。

このクラウドクラスターはその後層状域を広げていき、スコールラインは対流性の領域が弱まって、層状性の領域が顕著になる。しかしながら、大陸上の梅雨前線付近は対流圏全層が湿潤であるため、層状性エコーが発達したあと対流性エコーが層状性エコーに埋め込まれるように発達するのが観測された。このエコーの特徴は分散した弱い対流性エコーが層状性の中に存在していることで、それらが組織化されふたたびスコールライン状になるのがみられた。これはこの地域のクラウドクラスターに伴う降水の顕著な特徴で、クラウドクラスターは最初の急激な対流の発達で形成されたあと、このような弱い対流が層状性降水の中に発達することで、クラウドクラスターに伴う降水が維持されているということが示された。こうした特徴はこの事例だけでなく他の事例でもみられた。

3 スコールライン

前節までに示したように、梅雨前線付近の降水はクラウドクラスターのその主要な要素で、その中にはスコールラインを伴っているものがある。本節では 1998 年 7 月 16 日に観測された顕著なスコールラインについて、鳳台と寿県に設置した名古屋大学のドップラーレーダーから明らかになった内部構造を示す。

このスコールラインが発生したときの総観場の様子を気象庁全球再解析を用いて図 9 に示す。観測点の北に梅雨前線上の低気圧があり、前線はそこから南西に伸びていた。観測点は前線南側の高い湿度の南西風の領域にあった。大気の状態は不安定で CAPE が 1700J kg^{-1} 程度であった。ただし、下層ジェットのようなものは顕著ではなかった。

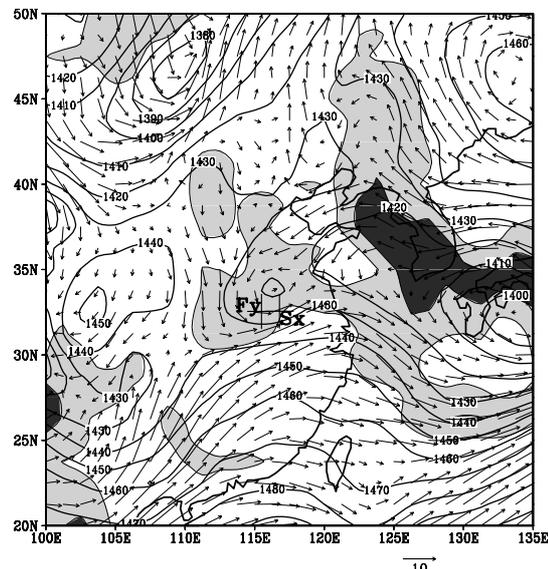


図 9: 気象庁全球再解析から作成した 1998 年 7 月 16 日 1200UTC の 850hPa の大気場。高度 (m) を等値線で、湿度場をグレースケール (濃陰影は 90% 以上、薄陰影は 80% 以上) で、矢印で水平風を示した。「Fy」は阜陽、「Sx」は寿県の観測点である。

雲の発達の様子をみると(図 10)「Sx」で示された寿県観測点付近で急激に対流性の雲が発達し、クラウドクラスターを形成していきようすがわかる。その東西には梅雨前線に伴うクラウドクラスターがみられる。このスコールラインも日変化するクラウドクラスターの初期にみられる強い対流の一つと考えられる。

このスコールラインをドップラーレーダーで観測した結果得られたエコーとスコールラインに相対的な水平風を図 11 に示す。スコールラインの前面に強い対流があり、後方にその衰退するエコーが見られる。相対風には顕著なラインに平行な成分がみられ、これはほぼ全層についてみられた。エコーの時間変化を見るとこの平行な成分のダウンシアー側に次々と対流が発達し、その結果としてスコールラインが南東方向にのびていく様子がみられた。

ラインに垂直な方向の鉛直断面(図 12)をみると、後方からのインフローがありライン先端部でそれが下降して下層には顕著な収束を形成している。また先端部の後方には顕著な上層発散があり、その結果としてスコールラインの

先端部で次々と対流が発達したと考えられる。図 12 をみると先端部で対流が発達し、その後方で衰弱する様子が顕著である。ただし、先端部の後ろにある弱まりつつあるエコーでも上層にはまだ上昇流が顕著で、これがエコーを高くまで発達させ、スコールラインのエコー頂は最大で 17km 付近にまで達していた。

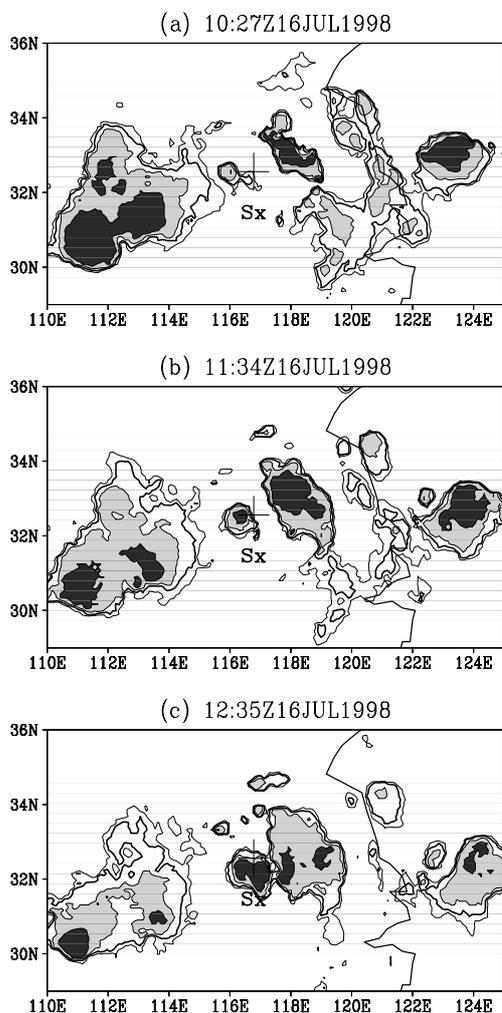


図 10: スコールラインが観測されたときの GMS 赤外画像の時系列。濃陰影、薄陰影、太線、細線で $-65, -55, -45, -35^{\circ}\text{C}$ の TBB を示す。

ドップラーレーダー観測点の西にある阜陽の高層観測から、スコールラインに垂直と平行な方向になるように回転した座標での水平風の鉛直プロファイルを作成した。その平行な成分には 400hPa 以下に顕著なシアアがある。これがドップラーレーダーで観測された相対風のラインに沿う成分のシアアとなっていると考えられる。また垂直成分には 650hPa 付近に最大値を持つ放物線型となっている。このような基本場のプロファイルと湿潤で不安定な成層がこのスコールラインの形成には重要で、特にライン

に平行な成分のシアアがスコールラインの伸長に効いていたことが推測される。

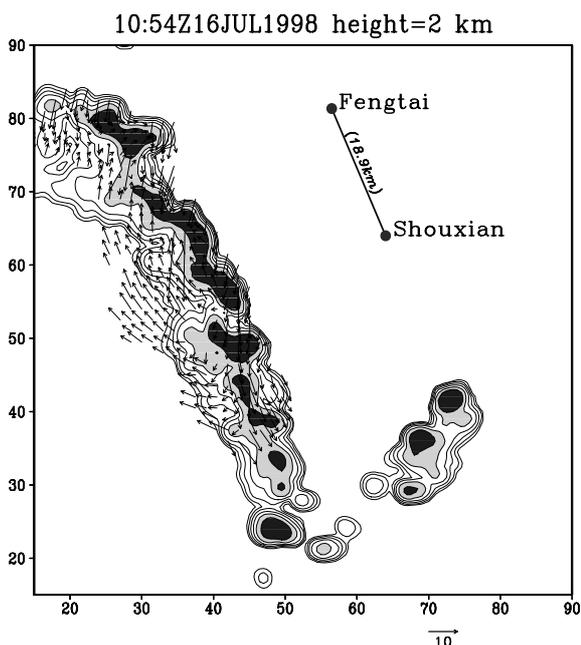


図 11: 1998 年 7 月 16 日 1045UTC に鳳台と寿県のドップラーレーダーから観測されたスコールラインに相対的な水平風とエコー強度の高度 2km の CAPPI 表示。

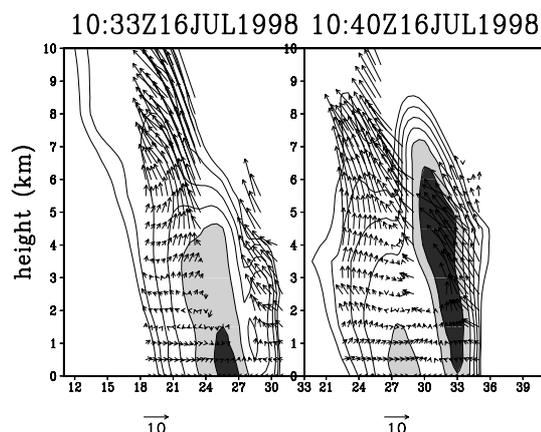


図 12: 1998 年 7 月 16 日 1033UTC、1040UTC に鳳台と寿県のドップラーレーダーから観測されたスコールラインに相対的な水平風とエコー強度のスコールラインに垂直な方向の鉛直断面。