

東シナ海上の水蒸気前線

“Water Vapor Front” over the East China Sea

* 茂木 耕作 (名古屋大学地球水循環研究センター)

1. はじめに

梅雨前線帯では、対流雲域が天気図で示される梅雨前線を挟んで南北に数百 km 以上の幅を持って広がることが多い。梅雨前線の北側は、比較的層が薄く弱い寒冷気塊の上を暖湿な気塊が滑昇する構造を考えれば、大規模な上昇気流場でまとまった雲域が形成されることは不自然ではない。しかし、梅雨前線の南側では、鉛直には確かに対流不安定であるとはいえ、大規模な対流雲域が、組織化されて発生・発達するメカニズムについての明確な説明は、まだなされていない。本研究では、梅雨前線の南側で組織化する対流雲域の発生要因として、「水蒸気前線」という新しい概念を提案する。

2. 「水蒸気前線」を提案する背景

図1aは、X-BAIU-99期間中の6月27日09JSTの雲画像と天気図である。梅雨前線を挟んで、中国大陆から九州にかけて南北に500km以上の幅を持つ活発な対流雲域が見られ、特に九州南西海上では、梅雨前線の南側の対流雲の発達が顕著である。その対流雲域をCバンドレーダーによる反射強度分布(図1b)で見ると、梅雨前線上の線状降水域の100km以上南側で、長さ数百kmに及ぶ別の線状降水域が発達していることが分かる。この梅雨前線の南側で発達した線状降水域は、デュアルドップラーレーダー解析結果から南西風場内に存在した弱い水平シアライン上で形成されていたことが分かっている(Moteki et al., 2000)。

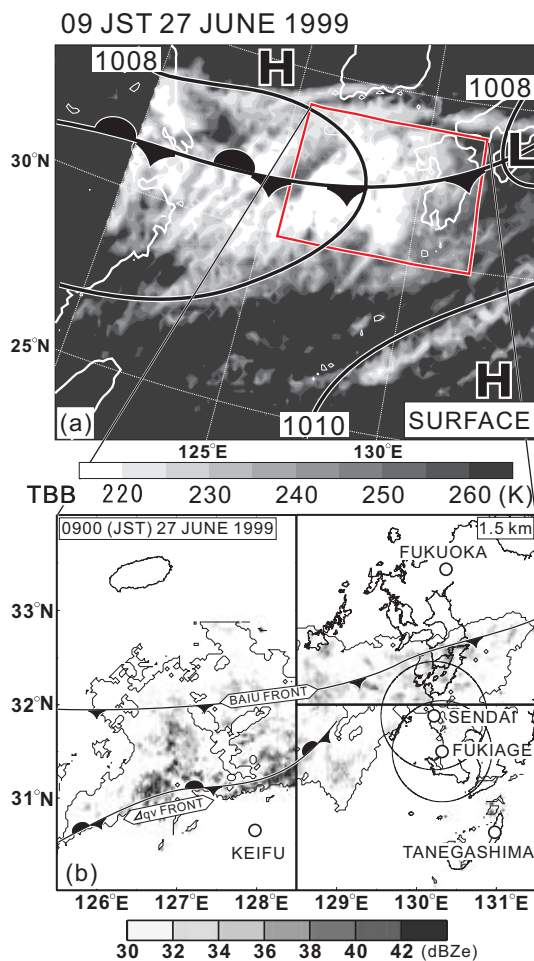


図1 (a)1999年6月27日09JSTのGMS赤外画像及び地上天気図と(b)高度1.5kmにおける09JSTの反射強度分布。

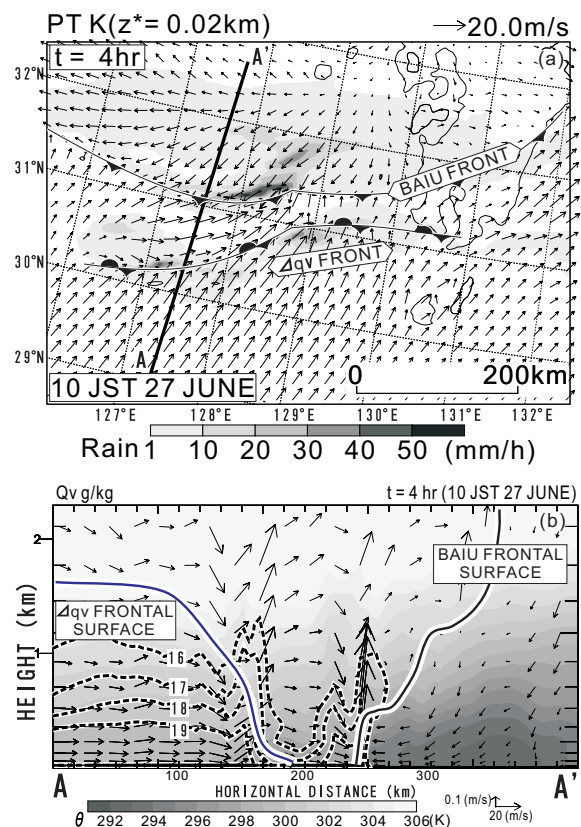


図2 5km-NHMによって再現された10JSTにおける(a)降水分布及び高度0.02kmにおける風の場合、(b)AA'に沿った温位(陰影)と16g/kg以上の水蒸気混合比(破線)。やや大きな温度傾度を伴う北風成分の先端を梅雨前線本体とし、西風と南西風による弱い下層収束と顕著な水蒸気傾度を水蒸気前線として、それぞれ区別して示してある。

さらに、この2本の線状降水域を格子間隔5kmの気象研究所非静力学モデル(5km-NHM)を用いた数値実験により、南側の線状降水域を形成した弱い収束線が、強い水蒸気傾度を伴っていることが分かった(Moteki et al., 2000; Moteki et al., 2001)。図2は、5km-NHMによって再現された2本の線状降水域とその2本を横切る鉛直の温位、水蒸気構造である。南側の線状降水域を形成した弱い収束線が、厚さ2km以下で見られる強い水蒸気傾度対応していることが分かる。本研究では、この南西風場に形成される“強い水蒸気傾度を伴った弱い収束線”を「水蒸気前線」と名付け、その起源と形成過程を5km-NHMの親モデルである気象庁領域スペクトルモデル(RSM)の予報値を用いて調べた。

2. 数値実験の概要と再現性

日本周辺の約5000km四方を予報領域とするRSMの24時間積分を6月26日21JSTの初期値を用いて行なった。天気図、GMSと比べても梅雨前線、低気圧、それに伴う雲域などの位置や広がりについては、良く予報されていた。また、図1bと図2aで示すように、この予報値を初期値・境界値に用いた5km-NHMによる数値実験でも降水システムを非常に良く再現することに成功している。従って、5km-NHMをネストした時間帯よりも前のRSMによる予報値は、客観解析による初期場へと戻っていくので、降水域を除いた場の再現性はかなり保証される。

3. 「水蒸気前線」の検出

本研究では、梅雨前線本体を“北風成分の先端で最も顕著な温度傾度を伴う下層収束線”として定義した。それに対して、図2で示したように梅雨前線本体より南側の南西風場で高度2km以下に存在する“強い水蒸気傾度を伴った弱い収束線”を「水蒸気前線」と名付けている。RSMの予報結果において、この2本の前線を区別して検出するために、地表の水蒸気収束場を計算した(図3)。12JST(図3a)では、ほぼ東西に伸びる梅雨前線とは別に、その約100km南側に「水蒸気前線」に伴う弱い水蒸気収束が九州の西方海上から南西方向へ中国大陸東岸まで連続的に伸びており、長さは1000km近くに及んでいることが分かる。従って、この「水蒸気前線」の根源的な成因を考える場合に、単独のクラウドクラスターのようなメソスケール降水システムが先に発達し、その結果として強められた水蒸気傾度及び下層収束であるということは考え難い。では「水蒸気前線」なるものの起源は一体なんであろうか？

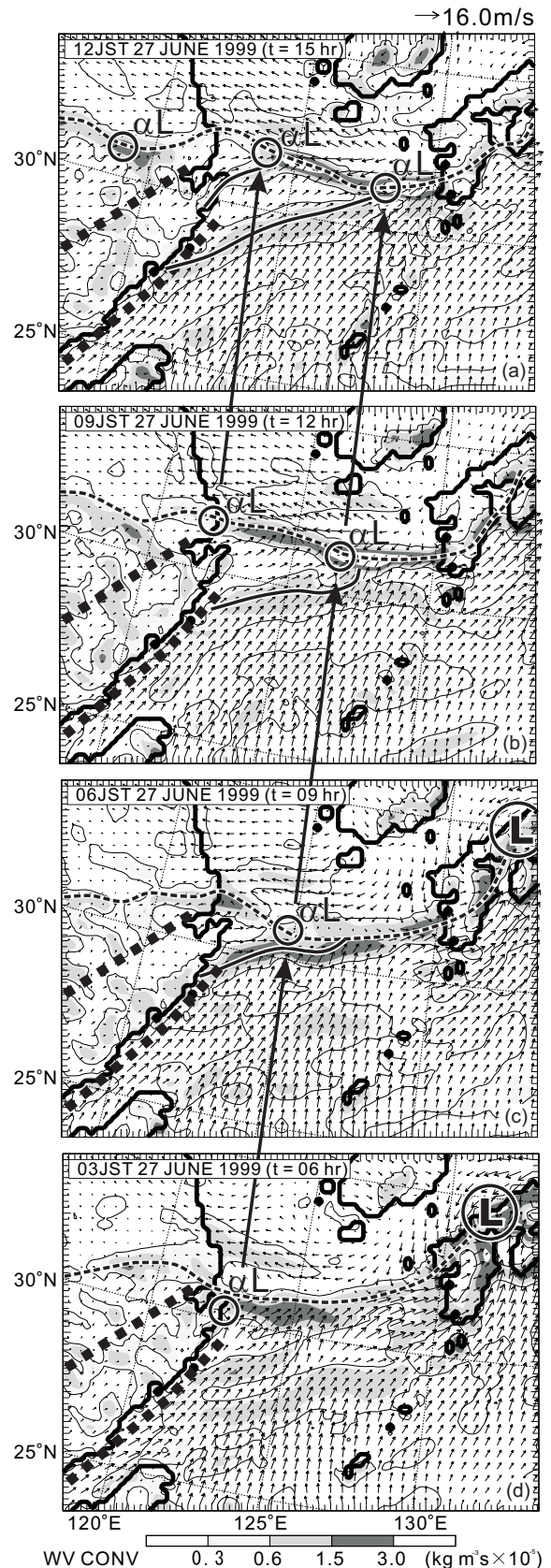


図3 RSMの予報値から計算した(a)12JST、(b)09JST、(c)06JST、(d)03JSTにおける地表の水蒸気収束場。Lと破線は、天気図で解析される総観場の低気圧及び梅雨前線を示す。 αL と実線は、RSMの予報値において検出された、メソ α 低気圧及び水蒸気前線を示す。

4. 「水蒸気前線」の起源と形成過程

12JST から3時間毎に9時間遡って「水蒸気前線」を辿る(図3)と、中国大陆東岸に近づくにつれ長さが短くなっている。大陸上でも弱いいくつかの水蒸気収束域が散在しているが、前線として認識できるような連続的なものは見られない。しかし、太点線で挟む領域で示す中国大陆の海岸部に注目すると、総観場の低気圧や梅雨前線の位置によらず、恒常的に弱い水蒸気収束域となっており、6月27日周辺の前後数日間に渡ってほぼ同様に見られた。この大陸東岸の弱いながらも恒常的な水蒸気収束域が、東シナ海上で認識される「水蒸気前線」の起源であると考えられる。そこで次なる疑問は、“大陸東岸の水蒸気収束域”が何故東シナ海上へと長さや走行を変えて東進してくるのか?、という点である。

「水蒸気前線」の起源を捉えた上で次に形成過程を考えた時に、メソ α 低気圧との位置関係が重要であることが分かった。図3では、RSMの予報値において地表の気圧の極小領域として認識できるものをメソ α 低気圧(αL)であると判断し、その位置を示してある。 αL は、梅雨前線本体と「水蒸気前線」の交点に位置しており、図3dから図1aへ時間を追うと、 αL の東進に伴って「水蒸気前線」の長さが伸びていることが分かる。つまり、「水蒸気前線」は、大陸東岸部で発生した αL が東シナ海上へ東進する際に、大陸東岸の水蒸気収束域を海岸線から分岐させて引き出した結果として形成されるものである。さらに、12JSTには1つ目の αL の西方500kmの位置に見られる2つ目の αL に伴って、2本目の新たな「水蒸気前線」が形成され始めていることが分かる。

従来の温帯低気圧に伴う前線についての我々の知識からすると、簡単に前線というものを考えれば、寒気と暖気という2つの気塊の境界であるから、境界線は1本で良いことになる。しかし、一言で暖気といっても大陸上と海洋上では、供給される水蒸気や地表面加熱の量が全く異なるため、単一の気塊として片付けてしまうには無理がある。すなわち、梅雨前線帯には少なくとも次の3つの気塊を分けて考えるべきである。まず、梅雨前線本体の北側のやや冷たく乾いた気塊、そして1つは大陸性、もう1つは海洋性の性質を持つ2つの暖湿気塊である。3つの異なる気塊が存在するならば、その境界としての前線と呼ぶべき構造は、少なくとも2本必要である。大陸と海洋の境界領域では、地表の水蒸気量の急激な変化があり、また、粗度の違いは、恒常的に南西風場に弱い力学的収束を作ると考えられる。従って、2つの暖湿気塊の境界として、「水蒸気前線」の“強い水蒸気傾度を伴う弱い下層収束線”という特徴は、全く

矛盾していない。

5. 「水蒸気前線」の役割

「水蒸気前線」上では、本体の梅雨前線に比べると水蒸気供給は大きい下層収束が弱く、基本的には太平洋高気圧の沈降場内に位置するので、対流不安定度は大きくとも強い降水システムには発達し難いことが推測される。しかしながら、梅雨前線本体の南側にあるということなのでいくつかの役割を果たすことができると考えられる。

図4は、RSMによる地表水蒸気場に2本の前線と αL の位置を示したものである。1つ目の αL が上海付近にあり「水蒸気前線」がまだ形成されていない02JSTにおいて、東シナ海上での18g/kg以上の高比湿領域に注目すると、梅雨前線本体は

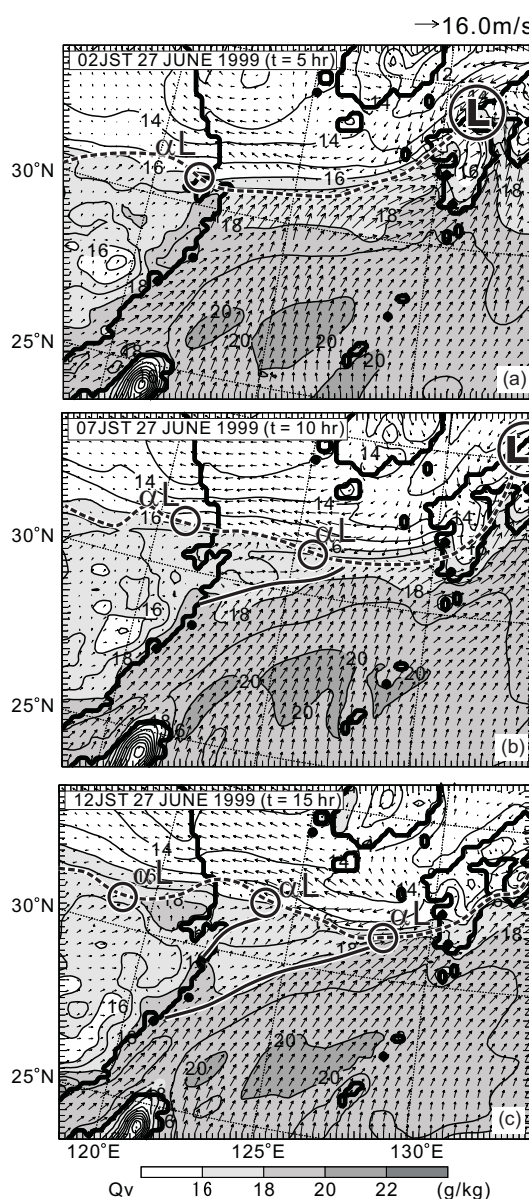


図4 RSMによる(a)02JST、(b)07JST、(c)12JSTの地表水蒸気場。

その領域の200km以上北に位置している(図4a)。5時間毎に12JSTまで見ると、18g/kg以上の高比湿領域は、形成された「水蒸気前線」に沿って北へ拡大しており、12JSTの九州付近では完全に本体の梅雨前線に到達していることが分かる。

つまり、「水蒸気前線」は、より南側で降水システムを発達させ、高比湿領域を引き込むことにより本体の梅雨前線へ多量の水蒸気を供給するための仲介的な役割を担っていると考えられる。また、高比湿領域が少しでも北へ拡大していれば、本体の梅雨前線が南下する際に降水が強化されるタイミングがより早くなることは、容易に想像できる。本体の梅雨前線が南下する際には、当然その南側に位置する「水蒸気前線」と併合するという過程が起こるため、それまであまり強くなかった降水が、広範囲で急激に強化される(Moteki et al., 2000)。

さらに東シナ海上では、「水蒸気前線」上で降水システムが発生できない場合でも、諫早湾や甌島のような地形の効果と重なった場合には、降水をもたらす可能性がある。諫早湾や甌島で発生する地形性の降水システムは、梅雨期の南西風場内で発達することが知られている。しかしながら、そのような地形性の降水システムは、梅雨期のいついかなる時も発生するわけではないので、その発達の初期要因として、「水蒸気前線」の通過が関係していることも大いに考えられる。近年の梅雨観測では、数値モデルでなかなか表現され難い地形性の降水システムに大きな関心がよせられているが、「水蒸気前線」を捉えられるような観測を行なって、その関連性を調べることも今後の1つのテーマとして興味深い。

6. まとめ

6月27日の梅雨前線帯の概念図を図5に示す。

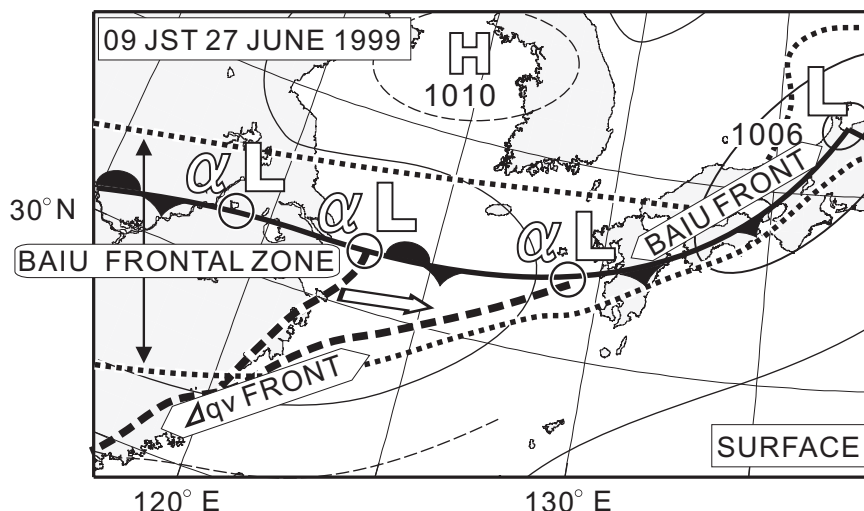


図5 1999年6月27日09JSTの天気図を基本として、水蒸気前線及びメソ α 低気圧を合わせて考慮した梅雨前線帯(GMSで捉えられる雲域:点線)の概念図。

東シナ海上では、梅雨前線の南側で中国大陸東岸に沿った弱い恒常的な水蒸気収束域を起源として、東西に伸びる梅雨前線とは別に梅雨前線上の α Lから南西に伸びる「水蒸気前線」が形成される。大陸性、海洋性の2つの異なる暖湿気塊の境界として「水蒸気前線」という梅雨前線本体の南側に形成される前線を考えることで、南北に数百km以上の幅を持つ“梅雨前線帯”と呼ばれる対流雲域を容易に説明することができる。「水蒸気前線」は、梅雨前線の南側で降水システムを発生・発達させることで、より南側の高比湿領域を引き込み、 α L付近での水蒸気収束を増大させて降水システムの強い発達を引き起こすと考えられる。また、梅雨前線本体は、南下時において「水蒸気前線」との併合に伴い急激な降水強化を引き起こす。さらに、「水蒸気前線」が地形性降水システムの発達要因となっている可能性もあり、今後予定されている九州地方での梅雨観測において注目される。

参考文献

Moteki, K., H. Uyeda, T. Shinoda., N. Osaka., H. Yamada., T. Maesaka., T. Kato., M. Yoshizaki, and X-BAIU-99 observation group, 2000: Structure and development of two rainband observed during X-BAIU-99. *International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rain in East Asia*, 111-116

Moteki, Q., H. Uyeda, T. Maesaka., T. Shinoda., T. Kato., M. Yoshizaki, and X-BAIU-99 observation group, 2001: Meso- α -scale structure of two rainbands observed over East China Sea. *International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia*, 82-87