

梅雨期の東シナ海は降水系にとってどんな領域か？

What region is the East China Sea for Baiu frontal precipitation systems?

* 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

研究プロジェクト「メソ対流系の構造と発生・発達メカニズムの解明」において、梅雨期のメソ対流系に関しては、X-BAIU-98, 99, 00, 01, 02 の五つの野外観測が行われ、多くの観点からの研究がなされた。この中で、特に1999年に実施されたX-BAIU-99では、東シナ海東部の非常に広範囲に及ぶ観測網が展開された。この広範囲な観測網の展開によって、降水系の瞬間的な構造だけでなく、数値モデルの結果とも対応させながら発生起源や形成過程まで理解の範囲を広げられたことがこの観測の大きな成果であろう。ここでは、1999年6月27日に観測された2本の降水帯に関する解析結果から、東シナ海という領域が降水系にとってどのような領域であるのか？という点について解釈を示す。

2. X-BAIU-99 観測の特徴

ゾンデやドップラーレーダーの観測配置は、他の年のX-BAIUとほぼ同様のものであるが、最も大きな特徴はCバンド降雨レーダーを搭載した啓風丸が東シナ海の沖合(北緯30.5度、東経128度)に配置されたことである(図1)。これと現業の福岡及び種子島の降雨レーダーを併せて用いることで、東シナ海の東部全体における降水系の振る舞いを把握することができ、ドップラーレーダー等による詳細な構造なども降水系の発達段階を押さえた上で位置づけることが可能となった。

3. 梅雨前線の南側における収束線

本研究で注目した1999年6月27日の2本の降水帯は、09JST前後からCバンドレーダーの観測領域内で捉えられ、13JSTには2本の降水帯が併合する過程をドップラーレーダーで観測することができた。6月27日は、梅雨前線が九州中部の緯度帯で東西に延びており(09JSTの天気図とGMS赤外画像を図2aに示す)、総観規模では全体的にゆっくりとした南下傾向にあった。前線帯の中でも特に東シナ海東部で活発な雲が南北に数百km程度の幅で見られるが、その南北幅の大きな雲域はCバンドレーダーの反射強度分布で見ると2本の降水帯からできていることが分かる(図2b)。本研究では、南側の降水帯をLINE1、北側の降水帯をLINE2と呼ぶ。約10m/sの移動速度で南下し

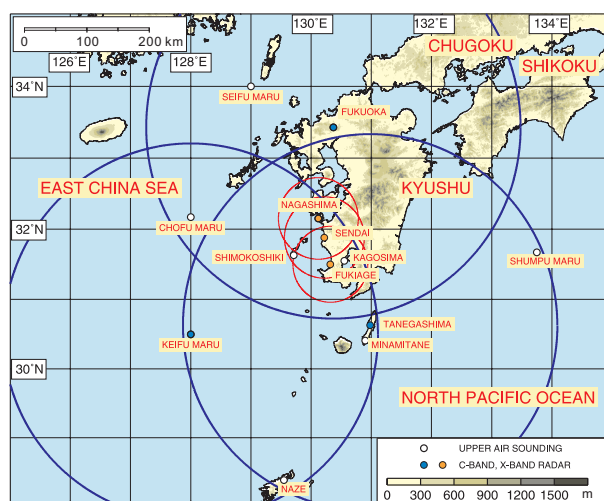


図1 X-BAIU-99の観測体制。○は高層気象観測点、青い円及び赤い円はそれぞれCバンド降雨レーダー、Xバンドドップラーレーダーの観測範囲を示す。

たLINE2は、13JSTにほぼ停滞していたLINE1に併合し、併合時にLINE1の降水が急激に強化された(図2c)。

この2本の降水帯の発達過程に関する詳細は、Moteki et al. (2003)を参照されたいが、ここでは併合直前における1240JSTの気流構造に注目する(図2d)。LINE2を横切る鉛直断面では、下層2km以下に見られる北風の先端にLINE2が発達しており、LINE2は梅雨前線に対応していたことが分かる(図3)。ところが、図2dの黒実線で示されるように、梅雨前線に対応するLINE2の南側の南西風領域内にも弱い収束線がLINE1に沿って見られる。過去の研究でも地形のない海洋上における梅雨前線の南側で降水系の振る舞いを記述した研究はあるが、このような収束線を捉えた例はない。そこで何故このような収束線が梅雨前線の南側に存在し得たのかを考えていく。

4. 梅雨前線と水蒸気前線

LINE1に沿って見られた収束線の構造及び形成原因を明らかにするため、気象研究所非静力学モデルMRI-NHMによる再現実験を水平格子間隔5kmで行った。12JSTにおける降水強度分布(図3a)で見られるように、併合直前の2本の降水帯がドップラーレーダーによる観測結果とほぼ同様に再現された。LINE2は、観測結果で得た結論と同様に梅雨前線と対応している。梅雨前線は、モ

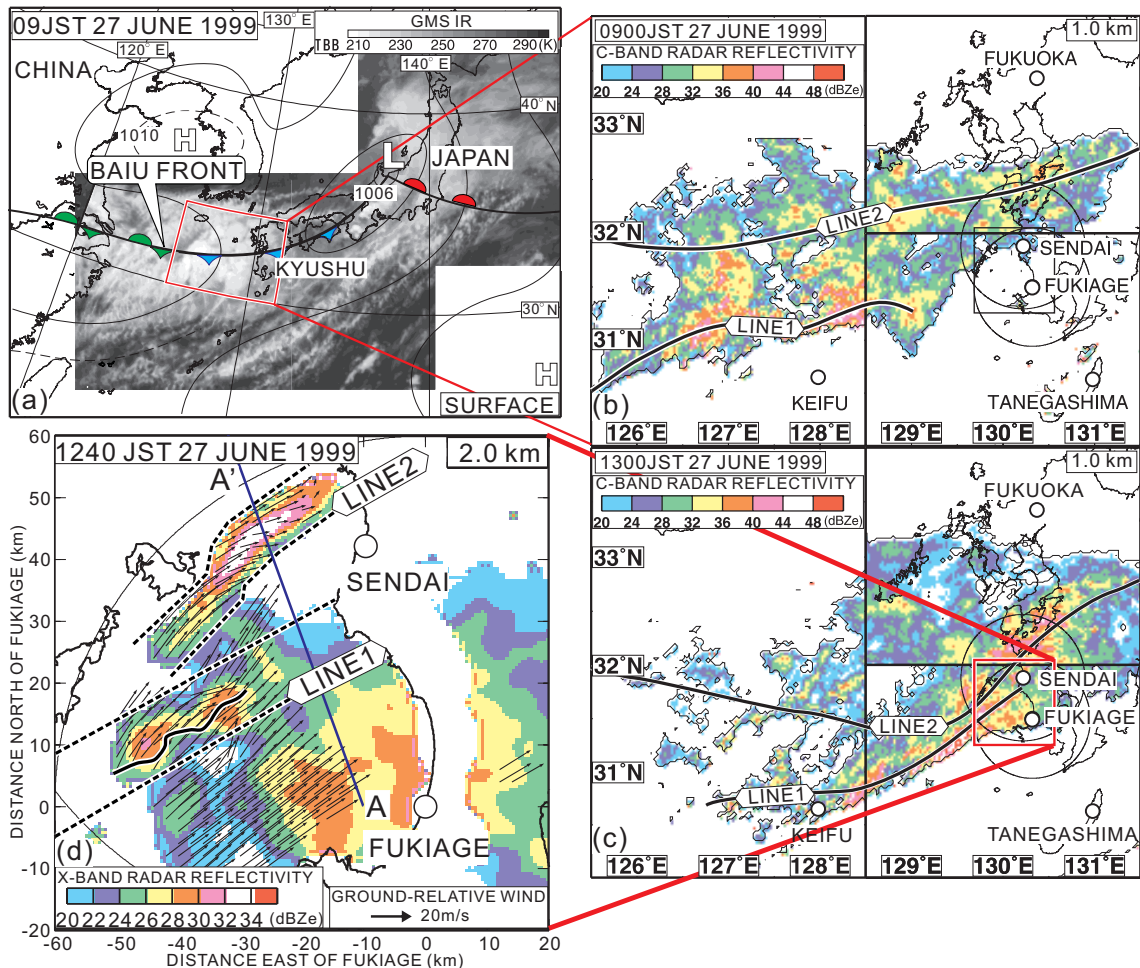


図2 (a)1999年6月27日09JSTの天気図とGMS赤外画像、(b)及び(c)09JST及び13JSTの高度1kmにおけるCバンド降雨レーダーによる反射強度、(d)1240JSTの高度2kmにおけるXバンドドップラーレーダーによる反射強度及び地上相対風。(d)のLINE1に沿った黒実線は、収束線の位置を示し、A-A'の青実線は、図3に示す鉛直断面の位置を示す。

デル最下層高度0.02kmにおいて2K/10kmの温位傾度及び3g/kg/10kmの水蒸気傾度を伴っていた(温位のみ等値線で図3に重ねて示してある)。

一方、高度0.52kmの水蒸気混合比分布(図3b)で見られるようにLINE1の収束線の、梅雨前線の南側に別に存在した2K/10kmの水蒸気傾度を伴っていた。この梅雨前線南側の大きな水蒸気傾度は、高度0.5kmから1.5kmの層で特に顕著であった。

LINE1とLINE2が九州西方の沖合で南北に100km程離れて存在していた10JST(図5a)において、2本の降水帯を横切る鉛直断面における温位と水蒸気混合比を図5bに示す。南から流入する厚さ2km程度の湿潤気塊は梅雨前線から南に100km程のところで急激に厚さ0.5km以下にまで浅くなっている。LINE1に対応する下層収束は、この湿潤気塊が急激に浅くなる北端部分に対応していた。本研究では、この湿潤気塊が急激に浅くなる北端部分における収束線を水蒸気前線と名付けた。水蒸気前線は、梅雨前線の南側で水蒸

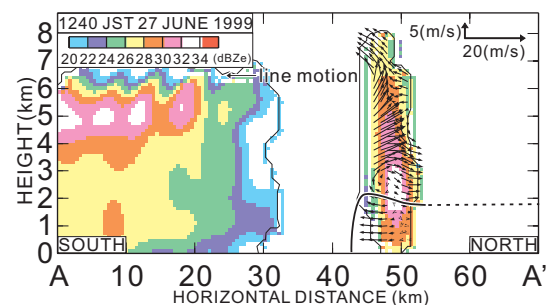


図3 図2dのA-A'の線に沿った反射強度と地上相対風の鉛直断面。黒の実線及び破線は、北風成分と南風成分との境界を示す。

気傾度のみを伴い、島等の地形が存在しない海洋上における梅雨前線の南側でも降水系を発達させる。

梅雨前線は、強い水蒸気傾度に加えて弱いながらも温位傾度を伴っているが、水蒸気前線は、温位傾度を持たず水蒸気傾度のみを伴う。従って、従来の研究でよく用いられる相当温位で見ると、最も顕著な南北傾度は梅雨前線に対応する。

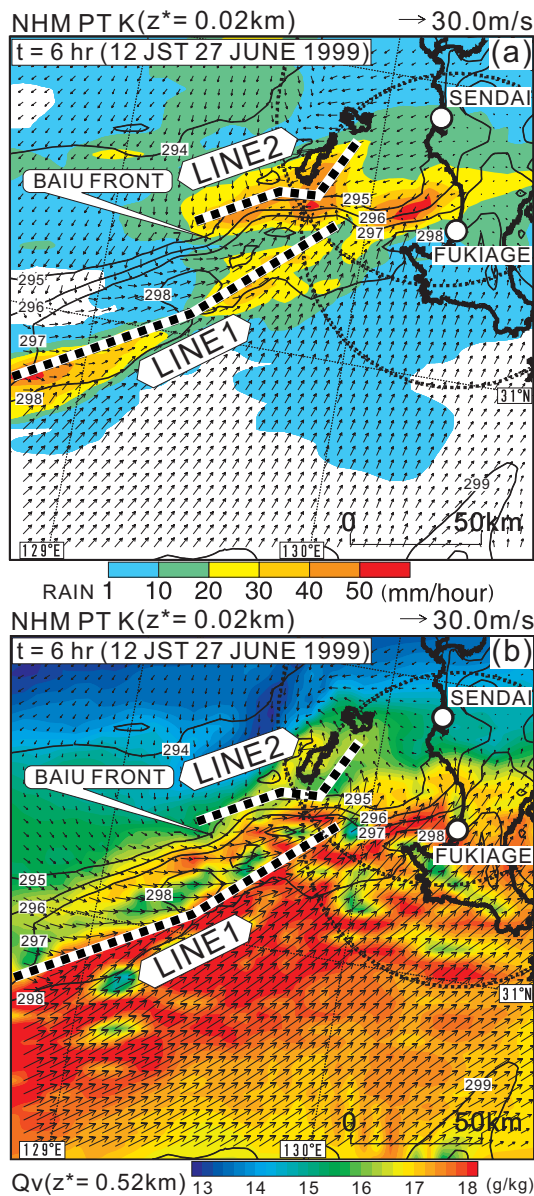


図 4 MRI-NHM で再現された LINE1 と LINE2 が併合する直前の 12JST における (a) 降水強度と (b) 高度 0.52km における水蒸気混合比。いずれも高度 0.02km における温位が 1K 毎の等値線で重ねられている。太い点線は LINE1 と LINE2 の位置を示す。高度 0.02km における温位及び水蒸気の顕著な傾度を伴う北風の先端を梅雨前線の位置として標してある。

水蒸気前線は、その南側の 2 番目に顕著な相当温位傾度として検出できるはずであるが、従来のデータでは水平格子間隔が粗かったため検出されなかったものと考えられる。また、水蒸気混合比の分布は地表面から高度 2km の間でかなり大きく変わってくるが、総観規模の解析では、下層の代表高度として 850hPa の気圧面が用いられることが多かったことも水蒸気前線が見いだされなかった大きな原因と思われる。ここで示したように、高度がわずか数十 m 違うだけで最下層の水蒸気場の分布が変わりうることは、今後の解析においても注意する必要があるだろう。

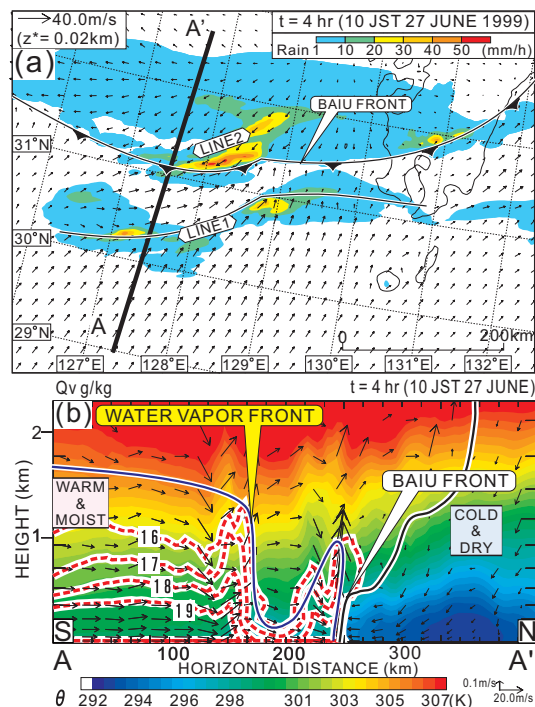


図 5 MRI-NHM で再現された LINE1 と LINE2 の併合前 10JST における (a) 降水強度と (b) (a) の A-A' における温位の鉛直断面。(b) における赤破線は、16g/kg 以上の水蒸気混合比を示す。黒実線は北風成分と南風成分の境界である梅雨前線面を示し、青実線は水蒸気混合比 15g/kg 以上で且つ相対湿度 90% 以上である湿潤気塊の境界。

5. 海洋性湿潤気塊と大陸性湿潤気塊

梅雨前線と水蒸気前線の総観規模における位置関係を見るために、MRI-NHM の親モデルとして使用した水平格子間隔 20km の RSM による 09JST の地表水蒸気収束場を図 6a に示す。図 2a で示した天気図で解析されている梅雨前線とほぼ同じ位置に最も顕著な水蒸気収束があり、温位や水蒸気、あるいは相当温位の傾度はこの部分で最も大きい。一方、東シナ海で梅雨前線の南側に見られる水蒸気前線の水蒸気収束は、中国大陸の東海岸に沿って延びていることが分かる。ただし、水蒸気前線は、全体的に太平洋高気圧の勢力圏内に位置するので降水系が発達していたのは、梅雨前線本体の低圧場に近い東シナ海東部のみであった。このように総観規模場においても 20km 程度の水平分解能で地表の水蒸気収束場を見れば、2 本の前線収束は明瞭に検出することができる（ただし、前節でも述べたように従来の総観規模の解析で用いられる 850hPa 面では、分布が地表とかなり異なるため検出されない場合が多い）。一般に梅雨前線の南側は、一様に湿潤な南西風場であると捉える認識が多かったが、この事例のように必ずしも様なものではない場合もあることは今後留意すべきだろう (X-BAIU-99 期間中だけでも水蒸気前線の存在する事例が数多くあった)。

東シナ海における梅雨前線の南側に注目すると、梅雨前線本体へ流入する南西風のうち、水蒸気前線を境に東シナ海東部と西部で水蒸気混合比及び風速に大きな差が見られる(図6b)。東シナ海の大部分の領域では、南西風の風速が 5m/s 以上で水蒸気混合比 19g/kg 以上であり、この気塊は海洋性湿潤気塊と見なすことができる。一方で、大陸上では粗度が大きいので風速がかなり小さく、水蒸気量も領域全体の平均的な量として比べると東シナ海より $2\text{--}3\text{g/kg}$ 小さい。しかし、その気塊は、梅雨前線北側の寒冷乾燥気塊に比べれば温暖湿潤であり、大陸性湿潤気塊と見なすことができる。この大陸性湿潤気塊の一部が、東シナ海西部において梅雨前線と水蒸気前線の間の領域に流入していることが分かる。すなわち水蒸気前線は、大きな粗度で風速が弱められているやや水蒸気の少ない大陸性湿潤気塊と東シナ海にもとからある海洋性湿潤気塊との境界であることが分かる。2つの湿潤気塊はいずれも南風成分であるが、風速差があることにより弱い収束が境界に生じ、同時に水蒸気量の差もあるのである程度水蒸気傾度を伴うことになる。

6. 結論

X-BAIU-99 期間中の6月27日に発生した2本の降水帯の解析から、梅雨前線の南側で水蒸気傾度のみを伴う弱い収束線：水蒸気前線を発見した。水蒸気前線は、東シナ海上における海洋性と大陸性の2つの湿潤気塊の境界における収束線であった。水蒸気前線の存在により、地形のない海洋上の梅雨前線の南側においても広範囲に降雨をもたらす降水系の発達が起こり得る。

この解析結果から、降水系にとっての東シナ海がどのような領域かを考えると、東シナ海は海洋上であるにも関わらず水蒸気を供給する気塊が大陸性と海洋性のいずれもあり得る領域であると言える。湿潤気塊が海洋性か大陸性かで供給できる水蒸気量や凝結高度などが異なりそれによって降水系の性質は変わってくることが考えられる。従って、ある一つの降水系を位置づける上で、東シナ海においては、梅雨前線という基準に加えて水蒸気前線という新たな基準が必要になる。図7に示した最低6つのポイントのうち、降水系がどこに位置するかを把握することで構造上の特徴や発達過程、発生に関わる物理過程などの説明の裏付けを増やすことができると考える。

参考文献

Moteki, Q., H. Uyeda, T. Maesaka, T. Shinoda, T. Kato and M. Yoshizaki 2003: Structure and development of two merged rainbands observed over the East China Sea during X-BAIU-99 Part I: Meso- β -scale structure and development processes. *J. Meteor. Soc. Japan*, in print.

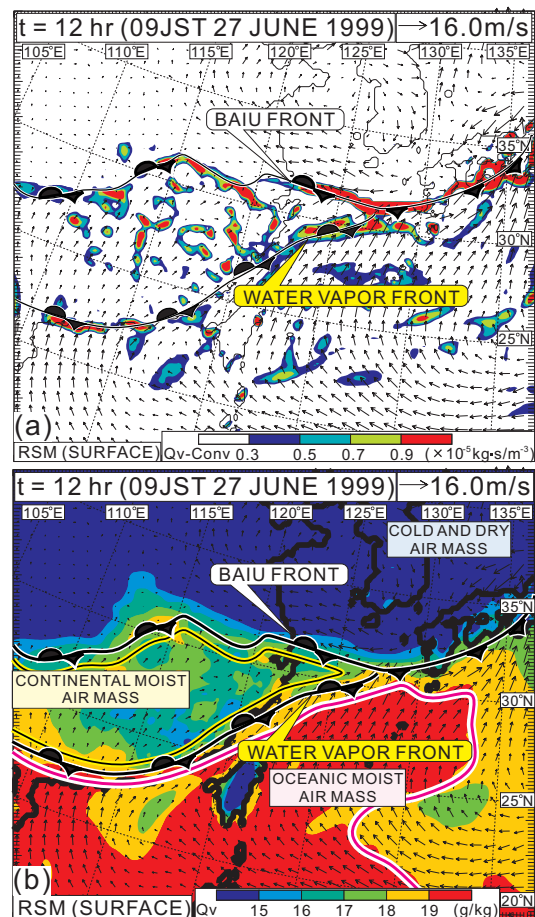


図6 RSMで再現された09JSTにおける地表の(a)水蒸気収束、(b)水蒸気混合比。梅雨前線南側において風速 5m/s 以上で水蒸気混合比 19g/kg 以上である領域を海洋性湿潤気塊として紫実線で囲み、風速 5m/s 以下で水蒸気混合比 18g/kg 以下の領域を大陸性湿潤気塊として黒実線で囲んだ。

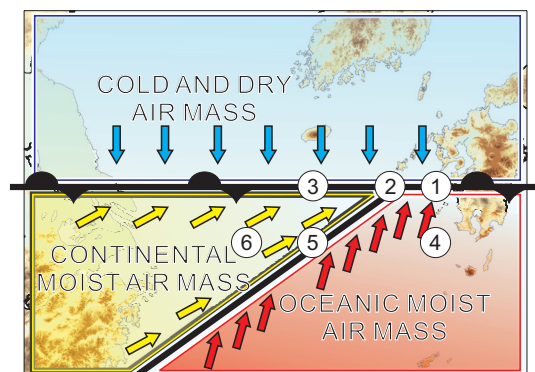


図7 東シナ海上で考慮すべき3つの気塊の地表分布に対する降水系の位置関係の模式図。1から6までの番号付きの○は降水系に対する6つの異なる環境条件(収束量、水蒸気供給量、凝結高度、中層の乾燥度等)の位置を代表的に示す。1は海洋性湿潤気塊(OM)と寒冷乾燥気塊(CD)との境界、2はOMと大陸性湿潤気塊(CM)、及びCDの合流地点、3はCMとCDの境界、4はOMの領域内、5是水蒸気前線上、6はCMの領域内である。