

東海地方に長時間停滞し豪雨をもたらした降水システムの3次元的構造と時間変化

STRUCTURE AND EVOLUTION OF EXTREMELY HEAVY RAINFALL-PRODUCING CONVECTIVE LINE-SYSTEMS IN TOKAI DISTRICT, JAPAN

* 金田幸恵 1)、坪木和久 1)、武田喬男 2)

1)名古屋大学地球水循環研究センター、2)鳥取環境大学

1. はじめに

発達した対流システムは、短時間で極めて多量の水蒸気を集約し降水に変換して、地上の限られた領域に一気にもたらす。空間的、時間的に集中化した多量の降水は、河川の氾濫、土砂崩れなどを通して、しばしば人命にも関わる重大な災害を引き起こす。また、水蒸気の凝結時に潜熱を放出するので、熱収支にも大きな影響を与えうる。すなわち、対流システムは、地球上の水循環・熱循環を考える上で、重要な一駆動メカニズムということができる。

対流システムは、さまざまな形状を持つが、とりわけ線状システムで数多くの研究がなされている。Bluestein and Jain (1985) は、アメリカのオクラホマ州でレーダー観測された150のメソラインシステムの解析を行って、4つのタイプに大別した。これに続く研究で、Bluestein and Marx (1987) は、それぞれのタイプに共通する大気成層状態を示した。だが、残念ながら、これらの研究は、北米乾燥域で取得されたデータに基づくものがほとんどである。日本のように下層が湿った亜熱帯域における対流システムは、北米乾燥域で観測された事例とは、また異なる構造やメカニズムを持つと考えられるため、それら湿潤域における、線状のメソ対流システムの3次元構造や時間変化の解明が急がれる。

本研究で着目したメソ対流システムは、上空を通るクラウド・クラスター（積乱雲の集団を含む100～300kmの雲塊）と一見異なる動きをしながらも、その通過に際し顕著な応答を見せた。これまでに、クラウド・クラスターやクラウド・クラスターがもたらす降水に関する研究は数多く行われているが、クラウド・クラスター下の降水システムの3次元構造やその時間変化、さらにはクラウド・クラスターと降水システムの相互作用・応答などに着目した研

究はない。クラウド・クラスターなど雲システムの通過にともない変質した一般場の中で、降水システムがどのような応答を見せるか非常に興味深い現象の一つである。

本研究の目的は、東海地方に長時間停滞し多量の雨をもたらしたライン状のメソ対流システムの構造と時間変化を、特に、クラウド・クラスターの通過と狭い領域に多量の雨をもたらしたライン状のメソ対流システムの周期性に着目して解明することである。

2. データ

本研究で使用したデータは、GMS（赤外画像）、気象庁アメダスデータ、レーダ・アメダス合成図、浜松と潮岬の高層ゾンデデータ、および中部電力三国山レーダーデータである。中部電力レーダーを含む東海地方のレーダー配置と観測領域を図1に示した。

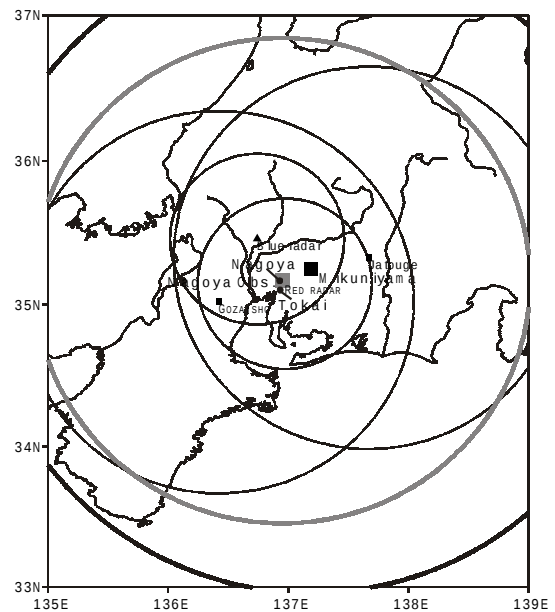


図1 東海地方のレーダー配置図と観測領域。（●は、名古屋および東海市の位置を示す）

3. 天気概況と降水分布

2000年9月11～12日にかけて、東海地方はきわめて激しい豪雨に襲われた。東海市における1日半の総降水量は564mm、最大時間降水量114 mm/hr（11日18～19時）を記録した。

9月11日0時～12日9時までの気象庁アメダスデータから作成した総降水量の水平分布を図2に示す。東海地方の狭い領域に、極めて多量の降水が集中している。多降水域は、紀伊半島の南東斜面付近から地形に沿う形で北西に伸びている。

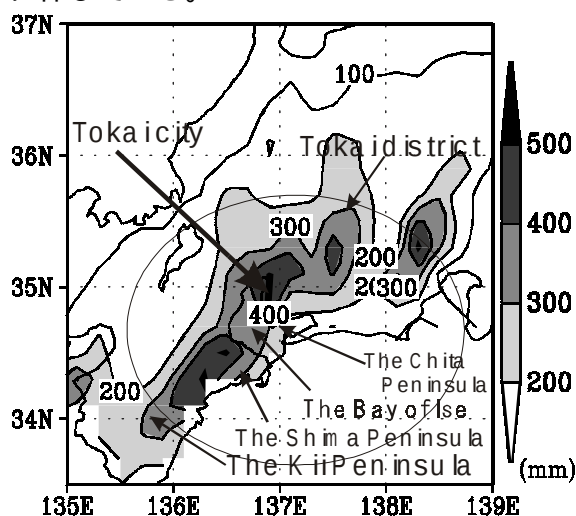


図2 9月11日0時～12日9時までの総降水量の水平分布図。

期間中、台風は日本の南東海上500 kmの位置にほぼ停滞し、日本海上には東西に伸びる停滞前線が存在した。日本時間で15時の浜松における高層ゾンデデータによると、下層では南東風が見られ、高度とともに時計回りに回転しながら、850 hPa面では20 m/sの南西風となっていた。

4. 結果

着目した期間中、複数の南北の走向を持つ対流性降水バンドが東海地方に見られた。図3は、GMS 赤外画像とレーダアメダス合成図の時間変化である。図中に示されるように、発達した雲活動を示す低TBB域が、西から東に移動している。その一方で、志摩半島から伊勢湾にかけてほぼ停滞している降水バンドがみられる。

潮岬における11日9時および21日の高層ゾンデデータによると、東海地方の一般場はほぼ全層にわたって非常に湿っている。そのため、

低TBB域は、クラウド・クラスターのコアとみなすことができる。

観測された降水バンドは2～3時間の周期で強弱を繰り返した。降水バンドの強化は、低TBB域の通過後数十分後に見られた。

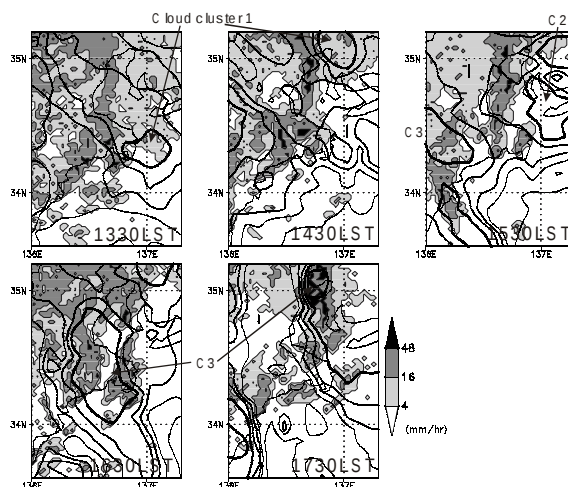


図3 GMS（赤外）とレーダアメダス合成図の時間変化

伊勢湾上における降水バンドの停滞性と降水バンドの周期性、および低TBB域の通過との関係は、図4からもよくわかる。11日13～18時を見ると、C1、C2、C3と名づけた低TBB域が西～東に移動しているにもかかわらず、強い降水域は東経136.7度付近に持続している。

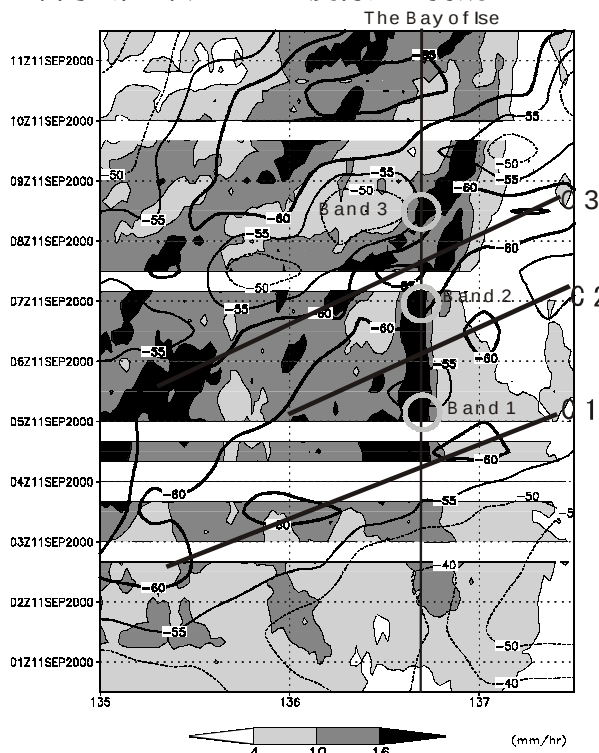


図4 GMS 赤外画像と降水の時間—経度断面図。（降水強度は、中部電力三国山レーダの高度3kmのCAPPIから算出した）

低 TBB 域の通過と降水バンドの周期的な強化の関係を調べるために、伊勢湾をはさんだ観測地点での東西風成分を抽出し、東西断面における収束・発散の時系列を調べた(図5)。東西断面における収束・発散を示す東西風の風速差のピークが、1350 LST、1530 LST、そして1650 LST にそれぞれ見られる。これらのピークは、低 TBB 域の通過と対応している。降水バンドの強化は、この伊勢湾上の収束のピークの数十分後に見られる。これらの時間差は、収束のピークが降水バンドの対流活動の強化の結果、周辺大気が吸い込まれた結果を反映したものではなく、収束が先に生じその結果、降水バンドが強まったことを示唆している。つまり、クラウド・クラスターの通過は、伊勢湾付近で見られる降水バンドの強化に対して、重要な役割を果たしていると考えられる。

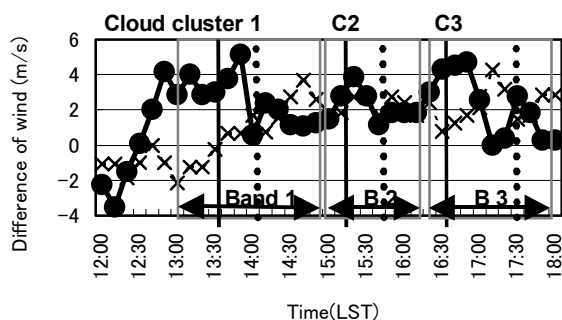


図5 伊勢湾上の東西風の東西成分の差。
正の値は収束を、負の値は発散をそれぞれ示す。
●: 伊勢湾上の風速差
×: 知多半島上の風速差

1 本目の降水バンドは、1306 ~ 1506 LST の間に見られた。図6に、この時間帯で平均した降水の水平分布図と、アメダスデータの地表風を重ねたものを示す。5 m/s を越える強い東風が、降水バンドの東側の広い領域で見られる。降水バンドが形成されている付近で、この東風と降水バンドの西側に見られる西風がぶつかって収束ラインが形成されている。また、特に強い降水域が、降水バンド内の北緯 34.7 度付近に見られる。

この降水バンドのより詳しい構造と発達の解析を、三国山に設置された中部電力の C-バンドレーダデータ(東経 137.18 度、北緯 35.15 度、標高 684 m)を用いておこなった。3 次元構造の一例を図7に示す。

バンド状のレーダエコーが、紀伊半島南東斜

面付近や志摩半島付近へ南から北へ伸びている。そのほかにも紀伊半島の南東海上には孤立したエコーが散在している。降水バンドを構成するセル状エコーグループは、南から北に移動している。この移動は、一般場の高度 2 ~ 5km 付近に見られる強い南風の風向と一致している。紀伊半島南東海上のレーダエコーグループのほとんどは、エコー頂高度が低く約 6km である。一方で、紀伊半島南東斜面に見られる、エコー頂の高度が 10km を越えるようなレーダエコーグループは、南西から北東に移動する。極めて顕著な降水バンドの強化が、これら背の高度が異なる二種類のレーダエコーグループの合流後にみられた。

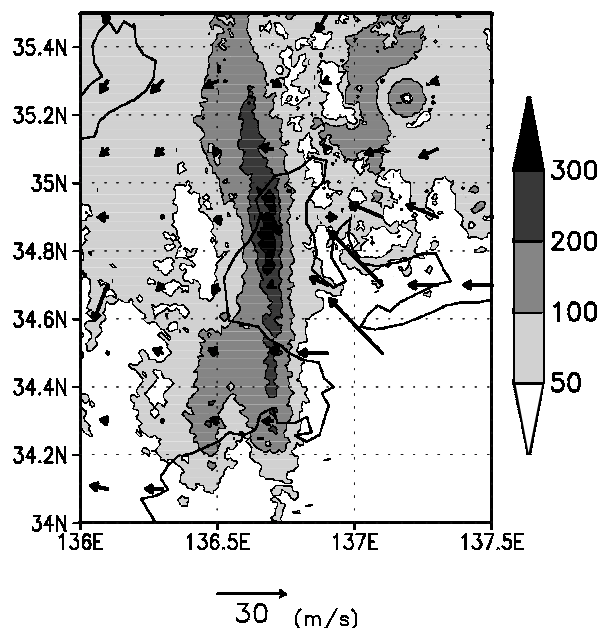


図6 1306 ~ 1506 LST まで平均した降水分布(三国山レーダ高度 3kmCAPPI より)と地表風の分布(アメダスデータより)

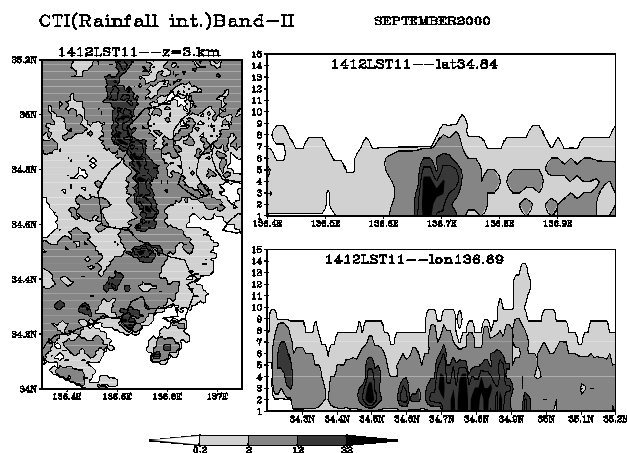


図7 降水バンドの水平構造と鉛直構造の1例。(11日 1412 LST、中部電力三国山レーダデータより)

5. まとめ

レーダデータ解析に基づいて、活発なクラウド・クラスター下で東海地方に極めて多量の雨をもたらしたライン状対流降水システムの解析を行った。

解析期間中、複数の南北の走向を持ったライン状降水システムが東海地方に見られた。この降水システムは、伊勢湾付近にほぼ停滞し、2、3 時間周期で全体として強弱を繰り返す、もしくは現れた。詳細にわたるデータ解析の結果、ライン状降水システムの周期性が、クラウド・クラスターの通過と関連していることがわかった。その過程は、次のように推測される。クラウド・クラスターの通過中、ライン状降水システムの特に西側で西風成分が強まる。このときライン状降水システムの東側には東風が広く分布しているため、伊勢湾周辺の収束が強化される。ライン状降水システムが強まるのは、クラウド・クラスターが通過した数十分後である事実も、この仮説を支持する。

ライン状降水システムを構成する積乱雲群は、はじめは紀伊半島南東海上付近でセル状エコーとして見られ、高度 3~5km の南風にのって北上したのち、志摩半島から伊勢湾にかけての領域でライン状システムとなる。図 6 で示したように、ライン状降水システムの内部の北緯 34.7 度付近で、特に降水が強まっていることも、顕著な特徴の一つである。積乱雲群は、志摩半島付近では雲頂の高さによって移動方向が異なる 2 種類がある。ライン状降水システムの顕著な強化は、これら 2 種類の積乱雲群が志摩半島付近で合流したあとに見られる。これら 2 種類の振る舞いを見せる積乱雲群の中で、西からやってくる雲頂が高い積乱雲群は、クラウド・クラスターの通過と同期している。

クラウド・クラスターに代表される雲システムと、それを形成する源となる降水システムとの関係は、いまだ明らかではない。日本周辺においては、Akiyama (1984a,b) や Ninomiya et al. (1981) などがクラウド・クラスターの解析を行っているが、衛星データを用いた雲システムの解析が中心である。Ogura et al. (1985) は、長崎豪雨をもたらしたクラウド・クラスターに関して、レーダエコーを併用して解析を行った。

しかしながら、クラウド・クラスターや降水システムの気流を含めた 3 次元構造を扱うものではない。本研究は、クラウド・クラスターの通過によって変質した一般場に対する降水システムの応答を指摘した点で新しい。

なぜ今回のようなライン状の降水システムが形成されたのか、その理由は不明である。だが、下層の東風の強化とともにライン状降水システムに沿って収束ラインがみられた。下層の強い東風が、ライン状降水システムの形成と維持に重要な役割を果たしたのだと考えられる。伊勢湾における収束ラインの形成メカニズムを解き明かすためには、地形を含んだ数値実験などを用いたさらなる解析が必要である。

謝辞

名古屋気象台と国土交通省および中部電力株式会社には、貴重なレーダデータを提供していただきました。深く感謝致します。また、解析にご協力してくださった若月泰孝氏、服部美紀氏、佐野哲也氏、大東忠保氏、川畑玲氏にも、記してここに謝意を示します。

参考文献

- Akiyama, T. 1984a: A medium-scale cloud cluster in a Baiu front Part I: Evolution process and fine structure. *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 485-504.
- Akiyama, T. 1984b: A medium-scale cloud cluster in a Baiu front Part I: Thermal and kinematic fields and heat budget. *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 505-521.
- Bluestein, H. B., and M. H. Jain, 1985: Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1711-1732.
- Bluestein, H. B., and G. T. Marx, 1987: Formation of mesoscale lines of precipitation: Nonsevere squall lines in Oklahoma during spring. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 2719-2727.
- Ogura, Y., Asai, T., and Dohi K. 1985: A case study of a heavy precipitation event along the Baiu front in Northern Kyushu, 23 July 1982: Nagasaki Heavy Rainfall. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 883-900.