

# 気象庁非静力学モデルで再現された福井豪雨時の 線状降水システム

—2004年7月18日—

渡 部 浩 章\*

## 要 旨

福井豪雨をもたらした線状降水域について、1.5 kmまたは5 kmの分解能を持つ気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)で詳しく調べた。

福井県の西海上では、実況の解析雨量に対応する線状降水域をほぼ再現した。中層では梅雨前線に沿って高湿度領域となっており、前線付近での風向は一様に西北西であった。下層では前線に沿って前線南側の西風と前線北側の北西風により線状の収束域が持続していた。線状降水域の風上に次々と積乱雲(降水セル)が発生して、バックビルディング型の特徴を示した。降水セルは線状降水域に沿って時速約50 km/hで東南東進していた。降水セル下部の収束と上部の発散は、ともに $10^{-3}/s$ 以上の大きさであった。また、雨滴の蒸発による冷却効果は見られなかった。

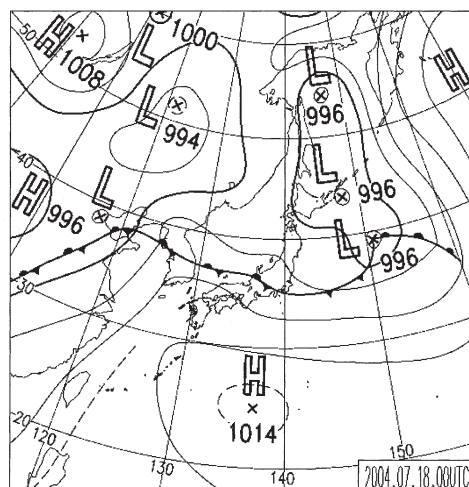
### 1. はじめに

2004年7月18日の未明から、福井県の中中部において、総雨量で250 mmを越す集中豪雨となった。

集中豪雨のほとんどは線状のメソスケール対流システムによってもたらされ、バックビルディング過程によって維持されていると言われている。その維持機構はさまざまであり、Kato (1998) は2 km 格子の非静力学モデルを用いてバックビルディングのシステムを再現し、地上付近での準定常的な収束と下層の強いシアが重要な役割をしたと報告している。また、Kato and Goda (2001) によると、対流システムの滞留は風の収束が強化することによって生じ、その収束はシステムの強い対流活動によって引き起こされ、さらに、雨滴蒸発の効果はなかったと報告されている。一方、Watanabe and Ogura (1987) は地形効果による下層風の収束が重要であると述べている。

今回の豪雨について、谷渡 (2006) が詳細な気象解

析を報告している。これによると、500 hPa のトラフは18日00時過ぎに能登半島付近を通過して、09時には関東東海上に進んでいる。梅雨前線はトラフの南東進と共にゆっくり南下し、18日09時には福井県嶺北に達している(第1図)。この梅雨前線への南海上の高気



第1図 地上天気図、2004年7月18日09時。

\* 気象庁松江地方気象台。

—2006年9月6日受領—

—2007年2月16日受理—

庄の縁辺を回る下層暖湿気塊の持続的な流入と、対流圏中・上層への乾燥空気の流れ入る環境下、対流活動が持続していた。レーダーでみると、18日の00時頃発生した線状の降水システムは18日03時に衰退し、その直後に新たにほぼ同じ海域で発生した別のシステムにより豪雨が引き起こされていた。このシステムでは、古い対流雲の風上側に新しい対流雲が次々と発生して移動し、バックビルディング型の線状降雨帯の特徴を示した。

Kato and Aranami (2005) は7月17日21時を初期値とする数値実験を行ったが、豪雨を再現できなかった。その原因は暖湿気塊の流入が実況に比べて小さかったことによると報告している。また、Honda *et*

*al.* (2005) は新しい同化システム (JNoVA) による予報実験を行っており、17日21時を初期値とする予報に JNoVA を導入した場合、従来の解析システムに比べ予報成績がよくなると報告している。

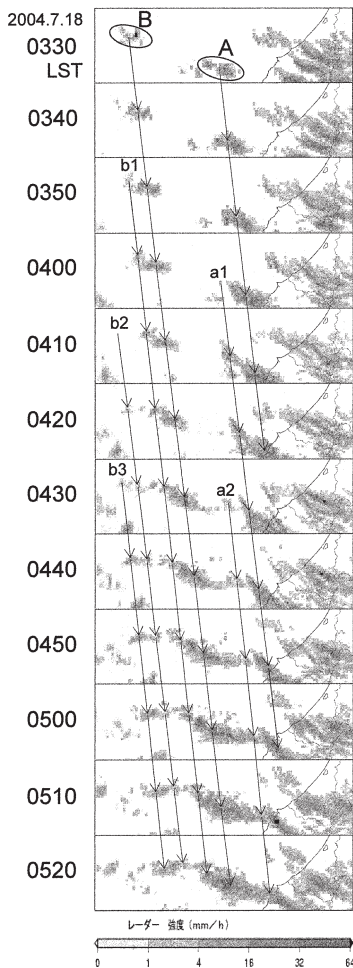
第2図は18日03時30分から05時20分までの10分毎のレーダーエコーを示す。図中に示した矢印によって主なエコーを追跡してある。03時30分に福井県西海上にエコーA, Bがあり、共に東南東進している。Aの風上にはa1, a2が、Bの風上にはb1, b2, b3が次々と発生し、バックビルディング型の特徴を示している。05時20分にはこれらのレーダーエコーが連なり、全体として線状の降水域となった。

本研究では、7月18日03時を初期値とする数値実験を行い、豪雨をもたらした線状降水システムの一部を再現することができたので、ここではその解析結果を報告する。

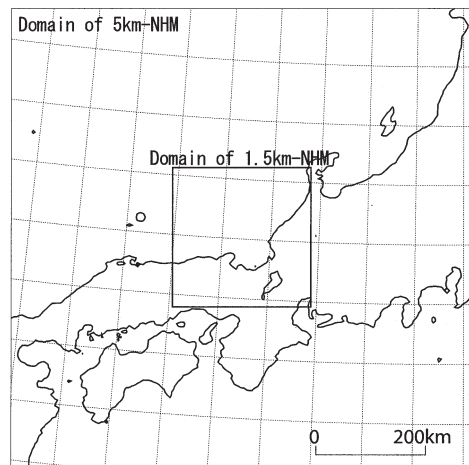
2. 数値モデル

今回用いた数値モデルは気象庁非静力学モデル (JMA-NHM, Saito *et al.*, 2006) であり、5 km 格子モデル (5 km-NHM) とその予想結果にネスティングした1.5 km 格子モデル (1.5 km-NHM) である。第3図にこれらの計算領域を示す。

降水過程としては、積雲パラメタリゼーションを用いず、雲物理過程 (雲水、雨水、雲氷、雪、あられを直接予報) のみを用いた。また、不自然な格子スケールの対流を抑制する適応水蒸気拡散については、用い



第2図 10分毎のレーダーエコー時系列。7月18日03時30分~05時20分。



第3図 5 km, 1.5 km 格子の NHM モデル計算領域。

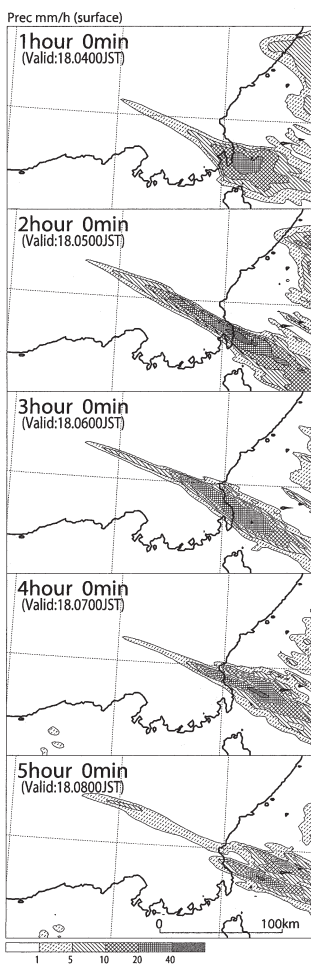
ていない。格子数については、水平方向が171×171、鉛直方向が50層である。

5 km-NHM の初期値は MANAL (気象庁メソ解析) を、境界値は RSM (20 km 格子の気象庁静力学領域モデル) の予報値を利用している。

### 3. 数値実験結果

初期値は 5 km-NHM, 1.5 km-NHM 共に18日03時とした。

第4図は1.5 km-NHM による1時間降水量であり、04時から07時にかけて線状降水域が予想されている。実況の解析雨量分布 (図略) では、特に06時の線

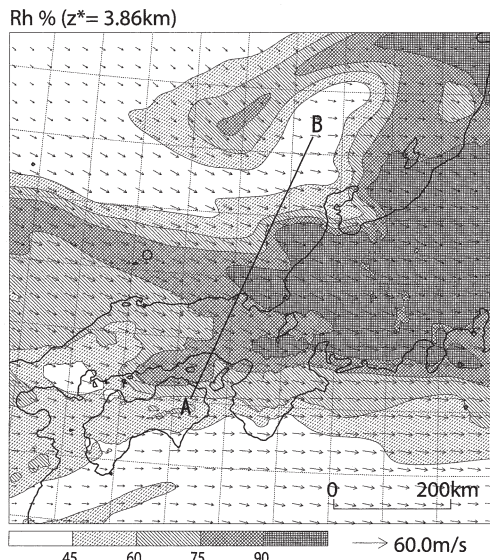


第4図 1.5 km 格子の NHM モデルによる1時間毎の予想雨量。18日04時～08時。

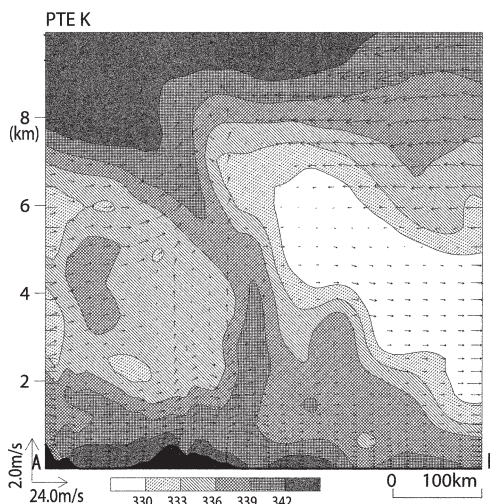
状の降水域が明瞭である。

#### 3.1 初期場

最初に、5 km-NHM による初期値の場を見てみる。第5図は中層の高度約4 kmにおける相対湿度と風の間を示し、直線 AB は次に示す鉛直断面図の位置である。山陰沖から福井県付近にのびる梅雨前線に沿って80%以上の高湿度領域となっている。前線付近



第5図 高度約4 kmの湿度と風の間。矢印で鉛直面内の風を示す。



第6図 第5図に示した直線 AB についての相当温位の鉛直断面図。矢印で鉛直面内の風を示す。

での風向は一様に西北西であり、明瞭なシアーは見られない。

第6図は第5図に示した直線ABに沿う相当温位の鉛直断面図で、矢印で鉛直断面内の風を示す。梅雨前線付近では中層まで336~339 Kの高相当温位となっており、梅雨前線付近における対流活動の結果が初期値に取り込まれていることを示している。また、高度6~10 kmには相対湿度30%以下の乾燥気塊が流入している(図略)。福井における03時のウインドプロファイラによって、乾燥気塊の流入によると考えられる風データ未取得域(図略)が6.5~8.5 kmに観測されており、これについても初期値に反映されている。

第7図は地表面から約1.5 kmの高度における流線を示す。福井県の西海上から山陰沖にかけての楕円で示した海上では、前線南側の西風と前線北側の北西風により線状の収束域が前線に沿って形成されている。

17日21時の初期値では十分でなかった暖湿気塊の流入(Kato and Aranami, 2005)は、18日03時の初期値ではより実況に近い状態に修正されていると考えられる。

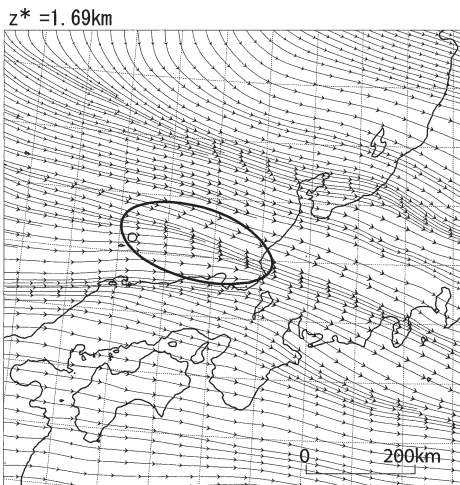
3.2 線状降水域

第8図は03時50分から05時までの、地上における雨水の混合比の10分毎時系列を示す。図中に示した細線によって主な降水セル(a~d)を追跡してある。また、降水セルc上に示した直線AB, CD, EFは後に示す鉛直断面図の位置である。降水セルは線状降水域

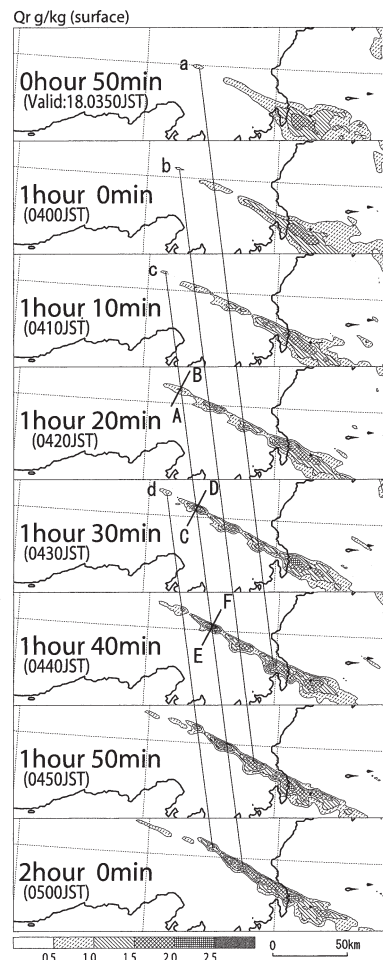
の風上に次々と発生し、バックビルディング型の特徴を示している。

Kato (1998) は地上付近での準定常的な収束と下層の強いシアーがバックビルディング形成に重要な役割をしたと報告おり、今回の豪雨でもこれに類似している。

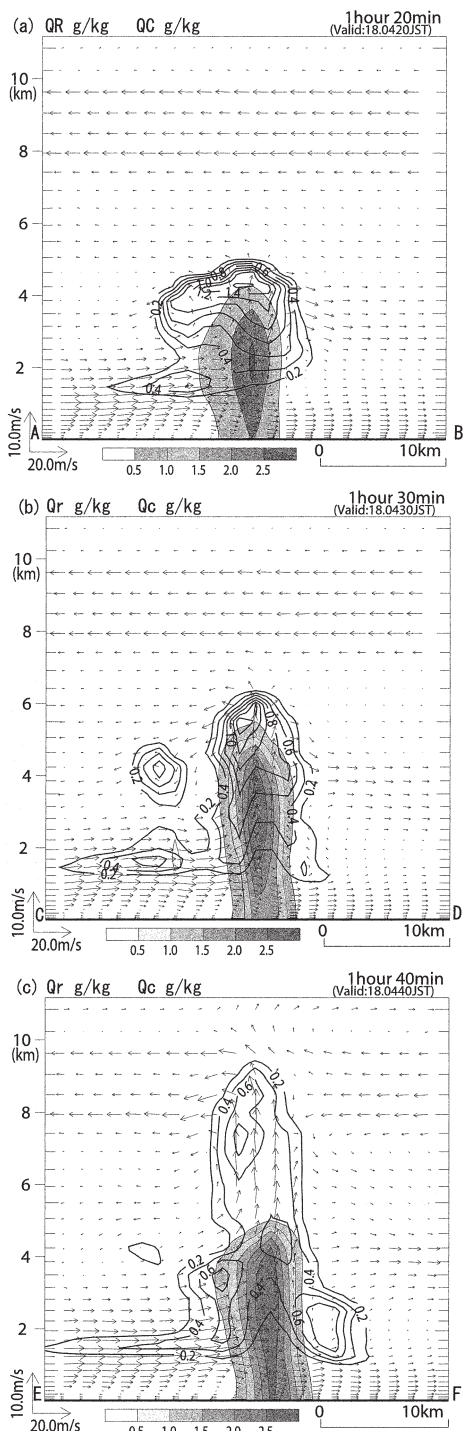
また、これらの降水セルは線状降水域に沿って時速約50 km/hで東南東進しており、この速度は高度1 km付近の風速に等しい。また、各セルの寿命は約1時間である。一般的には降水セルの移動方向と線状降



第7図 高度約1.5 kmにおける流線。



第8図 地上における雨水の混合比の10分毎時系列。03時50分から05時00分まで。細線で主な降水セルの移動を、直線AB, CD, EFで断面図の位置を示す。



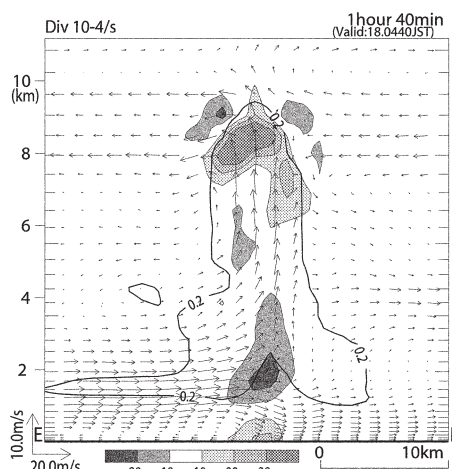
第9図 第8図の直線 AB, CD, EF 上の鉛直断面図。実線で雲水の混合比、陰影で雨の混合比、矢印で断面図内の風の場を示す。(a) 04時20分、(b) 04時30分、(c) 04時40分。

水域の方向は異なっている (例えば, Kato and Goda, 2001) が, 今回の豪雨 (ただし, 本論文での解析時間) では両者の方向が一致していることが特徴的である。

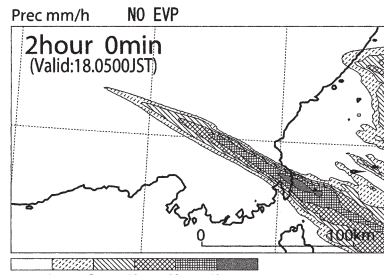
### 3.3 降水セルの構造

次に, 降水セル c に着目して, その盛衰を見てみる。第9図は, 第8図に示した降水セル c 上の直線 AB, CD, EF 上の鉛直断面図である。実線は雲水の混合比, 陰影は雨の混合比, 矢印は鉛直断面内の風の場を示す。

第9図 a は降水セル発生直後の04時20分における AB 上の鉛直断面図である。地上近くから高度2 km にかけて, 南から流入する気塊の一部が上昇流となり, 高度5 km に達している。高度3 km 付近で上昇流が最大となっており, この真下で最も強い降水と



第10図 第8図の EF 上の収束・発散量の鉛直断面図。位置は第9図 c に同じ。



第11図 雨滴蒸発がない場合の予想雨量。18日05時。

なっている。

10分後の第9図bは降水セルの発達期(CD)で、南から流入する気塊の一部は高度7 km付近まで達している。さらに、04時40分の第9図cは降水セルの最盛期(EF)で、対流活動は高度11 km付近まで発達している。高度7 km付近で上昇流が最大となっており、この真下で最も強い降水となっている。

第10図には降水セルの最盛期である04時40分における鉛直断面(EF)の収束・発散分布を示す。高度2 km付近を中心に $2 \times 10^{-3}/s$ の強い収束域があり、一方、高度8 km付近を中心に $3 \times 10^{-3}/s$ の強い発散域となっている。降水セルの発生直後(AB)、発達期(CD)の鉛直断面図でも同様のオーダーを持つ収束・発散量が見られる(図略)。

### 3.4 雨滴蒸発の効果

雨滴の蒸発の効果調べるために、雨滴の蒸発の効果を取り除いて予報を行ったが、05時の1時間雨量と比較すると雨滴の蒸発を含む場合との差はほとんどなかった(第11図)。これは雨滴の蒸発の影響が小さいことを示している。Kato and Goda (2001)でも、下層の水蒸気場がほぼ飽和に近いために、雨滴の蒸発の影響は非常に小さいと報告している。

## 4. まとめ

2004年福井豪雨をもたらした線状降水域について、7月18日03時の初期値を用いて1.5 kmの分解能を持つ数値モデルで再現することができた。その再現結果を詳しく調べ、次のことが分かった。

- ① 中層では梅雨前線に沿って高湿度領域となっており、前線付近での風向は一様に西北西であった。
- ② 下層では前線に沿って前線南側の西風と前線北側の北西風により線状の収束域が持続していた。
- ③ 線状降水域の風上に次々と降水セルが発生して、バックビルディング型の特徴を示した。
- ④ 降水セルは線状降水域に沿って時速約50 km/hで東南東進しており、これは高度1 km付近の風速に等しかった。また、各セルの寿命は約1時間であった。

- ⑤ 降水セルには地上近くから高度約2 kmにかけて南から気塊が流入し、その一部が上昇流となっていた。降水セル下部の収束と上部の発散は、ともに $10^{-3}/s$ 以上の大きさであった。
- ⑥ 雨滴の蒸発による冷却効果は見られなかった。

## 謝 辞

有益なコメントをいただいた担当編集委員および査読者に感謝します。

## 参 考 文 献

- Honda, Y., M. Nishijima, K. Koizumi, Y. Ohta, K. Tamiya, T. Kawabata and T. Tsuyuki, 2005: A pre-operational variational data assimilation system for a non-hydrostatic model at the Japan Meteorological Agency: Formulation and preliminary results, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 3465-3475.
- Kato, T., 1998: Numerical simulation of the band-shaped torrential rain observed over southern Kyushu, Japan on 1 August 1993, *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 97-128.
- Kato, T. and K. Aranami, 2005: Formation factors of 2004 Niigata-Fukushima and Fukui heavy rainfalls and problems in the predictions using a cloud-resolving model, *SOLA*, **1**, 1-4.
- Kato, T. and H. Goda, 2001: Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 899-924.
- Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y. Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R. Nagasawa, S. Kumagai, C. Muroi, T. Kato, H. Eito and Y. Yamazaki, 2006: The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model, *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 1266-1298.
- 谷渡直樹, 2006: 福井豪雨の解析と災害の状況, 気象庁技術報告, (129), 56-70.
- Watanabe, H. and Y. Ogura, 1987: Effects of orographically forced upstream lifting on mesoscale heavy precipitation: A case study, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 661-675.

Structure of a Stationary Line-shaped Heavy Rainfall System  
in Fukui (18 July 2004) Simulated by the JMA Nonhydrostatic Model

Hiroaki WATANABE\*

\* *Matsue District Meteorological Observatory, 7-1-11 Nishituda, Matsue, Shimane, 690-0017, Japan.*

(Received 6 September 2006 ; Accepted 16 February 2007)

---