

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月21日現在

機関番号：33934

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656304

研究課題名（和文） 24時間内の集中豪雨発生場所・時間と降雨量の高確度予測手法の開発

研究課題名（英文） Development of a method with high-reliability to forecast the occurrence of location and time of local heavy rainfall within 24 hours.

研究代表者

安田 孝志 (YASUDA TAKASHI)

愛知工科大学・工学部・教授

研究者番号：10093329

研究成果の概要（和文）：1時間～24時間先豪雨予測に対し、レーダー画像と同化させたメソ気象モデル PSU/NCAR MM5 に実装されている各種物理過程モデルを32通りに変化させ、そのアンサンブル平均によって予測を行うモデルアンサンブル手法を開発し、それによって、集中豪雨の予測精度が向上することを明らかにした。また、1時間内豪雨予測に対し、気象庁によるレーダー画像と降水ナウキャスト予測雨域のズレを基に降雨域の複雑変化を画像解析的に取り込んだ予測法を開発し、降水ナウキャストによる適中率を大きく上回る精度改善を実現した。

研究成果の概要（英文）：Forecasting method of local heavy rainfall was developed by using a model ensemble approach combining 32 member ensembles obtained from multiple parameterizations in the mesoscale meteorological model PSU/NCAR MM5. The multi-parameterization ensemble forecasts were combined with the model initialized using the 20km resolution global analyses JMA GSM-GPV with the Radar-data assimilation system. The forecasts averaged by 32 members are found to be very skillful in indicating the area of severe local storm activity, while each member deviates largely from the ensemble average.

A new rainfall nowcasting approach based on the image processing method taking in complicated changes of rainfall area was developed, by evaluating the deformational errors between observed and predicted rainfall obtained by Japan Meteorological Agency(JMA) so as to minimize errors of the JMA rainfall nowcasting in real time based on its evaluation. Results of the verification experiments for intense rainfall events verified that the new approach can remarkably improve the accuracy of rainfall nowcasting by considering complicated deformation processes of rainfall area. Further, it made clear that the predictive value for one hour ahead forecasted by the new approach is at least 10% more accurate than that by the original JMA rainfall nowcasting.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：河川工学・集中豪雨予測

1. 研究開始当初の背景

(1) 集中豪雨による被害は山間部から平野

部まで至る所で毎年のように発生し、大きな社会問題となっている。ゲリラ的な集中豪雨

に対しては、計画降雨に基づく従来型対策の効果は低く、確度の高い予測情報に基づく機動的対策が必須である。それゆえに、温暖化による豪雨の激化が懸念される今日、我が国の地理・地勢条件から、確度の高い予測手法の開発は焦眉の課題となっている。

(2) 研究代表者らは、日本の大学初となる「気象予報業務」許可を取得し、岐阜・愛知両県を対象に 2005 年 6 月から 2km 格子で 36 時間気象予測情報の公開を始めた。この予測は降水量予測を含めて全体的に満足すべきレベルにあり、Google や Yahoo での「局地気象予報」の検索において公開以来検索件数 1 位を持続する実績を上げている。しかし、40 台を超える大型トラックや乗用車を押し流し、4 名の死者・行方不明者を出した 2010 年 7 月の岐阜県可児豪雨に対しては、発生場所が南西に約 50km ずれていた上に降水量も過小評価であったため、地元の大学としてその原因説明が緊急の課題となった。その検討過程で、モデルアンサンブルと初期値の高精度化が可児豪雨の予測精度向上に効果的であることを試行錯誤の結果で見出した。

2. 研究の目的

このことが契機となり、これまで予測が不可能視されて来た集中豪雨を高い確度で 24 時間先まで予測できるとの確信の下、それを可能とする手法開発を研究目的とした。

3. 研究の方法

(1) 気象モデルによる集中豪雨予測を成功に導く鍵は、豪雨に至る決定論的過程の高精度化と強い不安定性の下にある確率論的過程に対するアンサンブル予測の最適化にある。前者に対しては、気象モデルの高精度・高解像度化とそれに適合した水蒸気混合比の初期値設定が求められ、雲微物理過程へのビンモデルの導入と陸面境界過程を含めた気象モデルの高精度・高解像度化、レーダー画像データ同化に基づく最適初期値推定のためのアルゴリズム開発を行う。後者に対しては、最適化されたマルチパラメタリゼーション法と初期値摂動法によるモデル・初期値アンサンブル予測の結果を基に、24 時間内の集中豪雨の予測手法を開発する。

(2) 気象モデルによる予測では、初期誤差の影響でチューンナップタイムが必要となり、1 時間内予測が難しいという欠点がある。このため、気象庁では、降水ナウキャストによって 1 時間内の降雨予測を行っている。この手法では、5 分毎に最新のレーダー画像を用いて初期値を更新し、予測精度の向上を図っているが、更新間隔の短縮は、非定常性が顕著なゲリラ的な降雨の 10 分先程度の予測に

は有効であっても、それ以上に長くなるとその間の降雨の絶対量の増減などの影響が無視出来なくなり、定常性を仮定することによる誤差が拡大する。それゆえ、降雨の増減などがある場合の強雨予測に対しては、更新間隔の短縮だけでは不十分であり、その増減が様々な物理過程によっているとするならば、これらの影響評価が必須となる。

そこで、降雨域の時間変化を、移動ベクトルによる並進と降雨の増減を含めた並進以外の運動による複雑変化の合成として扱い、これまでのナウキャストでは不十分であった降雨の増減の影響を取り込んだ強雨予測法を開発する。具体的には、前者の並進による雨域変化に対しては降水ナウキャストの予測を用いるが、後者の複雑変化による雨域変化に対しては、全国合成レーダー-GPV による観測雨域と降水ナウキャストによる予測雨域とのズレからその影響を抽出し、これらを合成することによって降雨の複雑変化の影響を取り込んだ降雨予測手法を開発する。

4. 研究成果

(1) アンサンブル予測による 24 時間局地豪雨予測

先行研究(吉野・飯田・安田:モデルアンサンブル予報による 2010 年 7 月可児豪雨の予測可能性, 水工学論文集, Vol. 55, 475-480, 2011)では、気象モデルに実装されている多数のパラメタリゼーション(物理過程)の組み合わせに基づくマルチモデルアンサンブル予測により、2010 年 7 月に岐阜県可児市で発生した豪雨の発生箇所を 24 時間前に精度良く予測できる可能性を指摘している(図-1)。本研究では、まず、開発された新手法を他の豪雨事例においても適用することで、その予測可能性について検証を行った。

ここでは、愛知県岡崎市において甚大な被害(死者 3 名、床上浸水約 3,100 棟、床下浸水約 19,000 棟)をもたらした平成 20 年 8 月末豪雨(岡崎豪雨)を予測対象とした。初期値・境界値条件には気象庁 GSM (20km 格子)を採用し、吉野ら(2009)によるレーダーデータ同化を適用し、岐阜大学局地気象予報システムと同じ予測領域設定(2km 格子)により、マルチモデルアンサンブル予測による合計 32 メンバーからなる多数の 24 時間予測計算を実施した。

図-2 は、全 32 メンバーによるアンサンブル平均の 24 時間積算雨量の分布を示している。図-1 の可児豪雨では可児市における豪雨発生の可能性を 24 時間前に適切に予測できているのに対して、図-2 の岡崎豪雨では岡崎市における豪雨発生の可能性を適切に予測できていると言い難い。どちらかと言えば、岡崎市は周辺地域に比べてより低い日積算

雨量の値を示しており、必ずしもマルチモデルアンサンブル予測が万能でないことを示している。しかし、岡崎市のすぐ西側の名古屋市から一宮市付近にかけて、アンサンブル平均で100mmを超える日積算雨量のピークが生じていることは注目に値する。観測では、岡崎市で146.5mm/hの1時間降水量の極値を更新しただけでなく、一宮市でもそれに匹敵する120mm/hの1時間降水量（同じく極値）を観測しており、一宮市における豪雨発生の可能性については、本手法によってある程度予測できていたと言い換えられる。このことから、更なる予測システムの高度化により、更に高精度な豪雨発生箇所の予測が可能になると期待される。

岡崎市での豪雨発生箇所を予測できなかった理由として、1つに計算領域の設定に問題があると推測される。2km格子の計算領域の南端（境界）は愛知県の渥美半島のすぐ南の海上に設定されており、2km格子内で積乱雲が発達するのに十分な距離が確保されていなかったことが考えられる。この解決策として、より広い計算領域を設定することにより、岡崎市付近での積乱雲の発達を適切に予測できるようになるものと期待される。また、別の理由として、入力された初期値条件に依然として大きな誤差が含まれていることが推察される。岡崎豪雨は、高層に乾燥空気が流入（乾気貫入）することで形成された上空寒冷前線上で発生している。また、この上空寒冷前線の直下に強い暖気移流が重なることによって強い不安定成層が形成され、豪雨が発生しやすい大気環境となっていた。本研究で用いられた初期値条件にはその鉛直構造が適切に表現できなかったために、予測された豪雨発生箇所に系統的なズレが生じていたものと考えられる。今後は、気象レーダーのみならず気象衛星画像（水蒸気画像）をも同化することで、上空寒冷前線の状態（相対湿度の分布）をも適切に初期条件に組み込むことで、本手法の更なる高精度化を図る必要がある。

週間天気予報では既に実用化されているアンサンブル予測技術を局地豪雨といった短期予測にも適用できるよう、今後も、更に豪雨事例の積み重ねと検証を繰り返し、予測技術の最適化を図る必要があるだろう。

（2）画像変形解析による短時間強雨予測

本研究では、現行の降水ナウキャストの更なる高精度化を実現するための画像変形解析に基づく短時間強雨予測手法を開発した。この手法は、気象庁が10分毎に配信する降水ナウキャストをベースとしており、これによる予測を雨域の複雑変化を考慮して修正することを目的とするものである。まず、降水ナウキャスト（予測データ）と全国合成レ

ーダー（観測データ）を閾値20mm/hとして2値化する。ここで10分先の予測を例に説明すると、「降水ナウキャスト（以下、NC）が10分前に予測した現在時刻の雨域RNC」の「全国合成レーダー（以下、RE）が観測した現在時刻の雨域RRE」に対する位置ズレ量を求め、10分先の予測RNCにその位置ズレ量を修正量として反映させることによって、修正予測雨域RNC*を得る。このとき、修正量算定に用いた10分前に予測した現在の雨域境界は10分後には移動してしまうため、雨域境界の移動速度を求め、この移動速度が10分先も持続するものと仮定して予測雨域と対応付けて10分先の修正予測雨域RNC*を評価する（図-3）。20分先～60分先の予測については、10分前にNCが予測した雨域のREに対する位置ズレ量を2～6倍し、20～60分先の予測に修正量として反映させることによって修正予測雨域を予測する。現行の降水ナウキャストでは雨域の並進のみを仮定しているが、本手法によって雨域の複雑変化をも考慮することが可能になる。

本研究で開発された短時間強雨予測手法による精度改善効果を実証する。ここでは、東海地方エリア内において、20mm/h超の降雨域が2時間半から3時間以上にわたって広がった2009年の強雨事例（2009/6/22, 7/21, 25, 27, 8/10）を抽出して予測対象とした。

図-4は、2値化した3mm/h超および20mm/h超の降雨域の時間変化と、その捕捉率を示したものである。これは、19:30に予測した10分後（19:40）、40分後（20:10）、60分後（20:30）の従来手法RNC（降水ナウキャスト）および新手法RNC*（修正降水ナウキャスト）による予測雨域を、RRE（全国合成レーダー）による同時刻の観測雨域と比較したものであり、上段はRNC-RRE、下段はRNC*-RREを示す。図中の青、緑および赤は、それぞれ見逃し、一致および空振り域を表しており、捕捉率（=100%-見逃し率）を緑/(青+緑)で定義している。これらから、本手法による修正降水ナウキャストRNC*は降水ナウキャストRNCによる予測精度を、降雨量に関係なくいずれも上回っていることが見て取れる。しかも、捕捉率は、60分先においても3mm/h超ではRNCの52%に対して61%、20mm/h超ではRNCの41%に対して57%と、共にRNCの予測精度を大きく超え、複雑変化の取り込みが短時間強雨予測の改善に大きく貢献していることが分かる。

図-5は、降雨閾値毎のRNCとRNC*の雨域捕捉率の時系列であり、リードタイム毎の予測数（78回）の標本平均をとっている。これから、降雨強度の増大に従って、またリードタイムが増大に従って、捕捉率は徐々に低下しているが、RNC*の捕捉率はRNCのそれを常に上回っていることが分かる。しかも、

その差はリードタイムが長くなるに従って拡大しており、60分先ではほぼ10%以上RNCを上回っている。これは、並進のみを仮定するRNCでは雨域の複雑変化が考慮されておらず、降雨の非定常変化が予測できていないのに対し、RNC*では直近の雨域の変化傾向を取り込むことで1時間先であっても精度がRNCほど低下しないことを意味している。

しかしながら、本研究で開発された新手法は、総じて雨域の面積を過大評価する傾向にあり、特に20mm/h以上の強雨における空振り誤差が大きいという問題点が残されている(図省略)。この問題は、積乱雲の急発達/急減衰といった非線形的な時間変化によるものであると推測される。積乱雲に伴う雨域は、一般的に急激に雨域が拡大した後に縮小(消滅)するといった変化を短時間で繰り返すことから、そのような変化の下では本手法は予測雨域の空振り領域を拡大させてしまうおそれがある。

このような雨域の空振り誤差を解消させるためには、より直近の降水ナウキャストNCに基づいて修正量算定を行う必要があると考えられる。そこで本研究では、平成23年より気象庁により運用が開始されている降水ナウキャスト5分(NC05)を用いることにより、強雨時における雨域の急変を表現できるような改良を行った。降水ナウキャスト5分(NC05)では、60分までの10分毎の降水予測を5分毎に配信している。図-6は、降水ナウキャスト5分(以下、NC05)と従来の降水ナウキャスト10分(以下、NC10)の両者を比較した結果である。いずれも、2012年7月21日5:20を初期時刻とする50分後(同6:10)の予測結果を示している。NC05の利用により、より直近でかつより短時間の雨域の複雑変化を考慮することが可能になり、空振り率の大幅な減少(約17%)を実現していることが分かる。従来のNC10を用いた結果と比べても、NC05では予測雨域の異常な拡大を抑えることができ、NC05の方がより高精度であると言える。以上より、特に、20mm/h以上の強雨における雨域の急変を捉える上で、より短時間でかつより頻繁に配信されるレーダー雨量計を用いることが不可欠であると結論づけることができる。

今後は、より多くの豪雨事例に対して本研究による新手法を適用することで最適化を図り、より高精度な短時間強雨予測を実用化させる必要があるだろう。

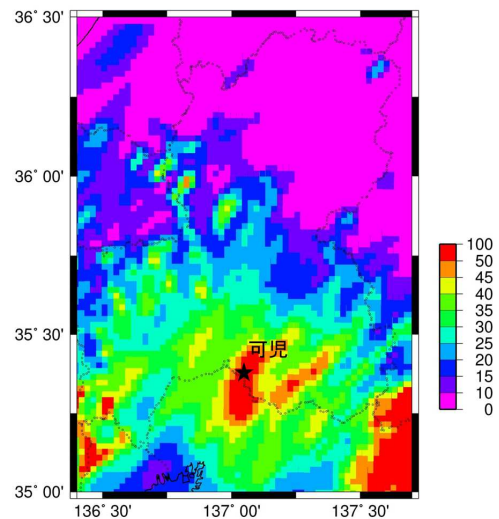


図-1: 可児豪雨(2010年7月15日)を対象とする32メンバーによるアンサンブル予測の結果(日積算降水量)。

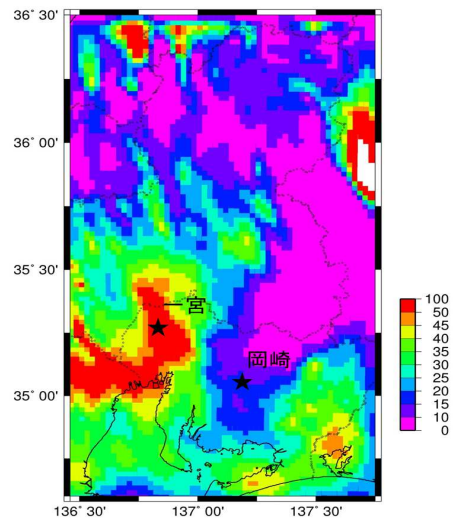


図-2: 岡崎豪雨(2010年8月28日)を対象とする32メンバーによるアンサンブル予測の結果(日積算降水量)。

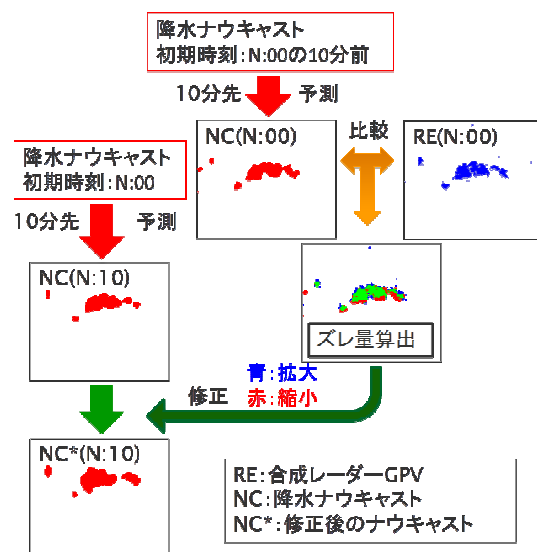


図-3：降水ノウキャストの修正方法.

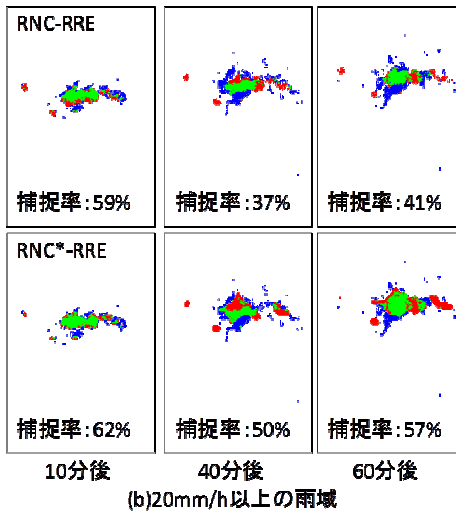
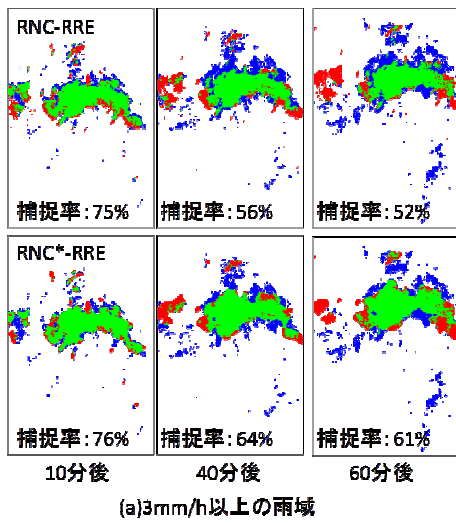


図-4：降水ノウキャスト（RNC）と修正降水ノウキャスト（RNC*）による降雨域（閾値 3mm/h および 20mm/h）の予測精度の比較（初期時刻：2009/7/27 19:30）.

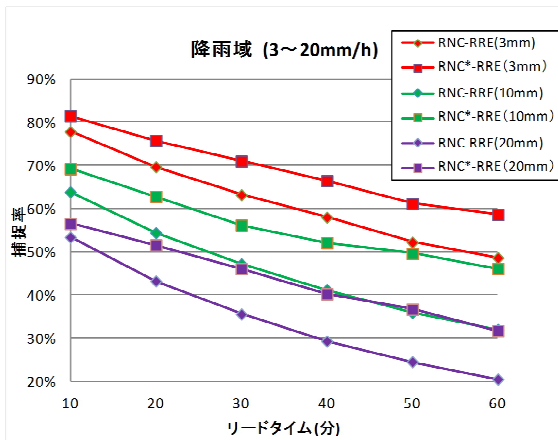


図-5：降水ノウキャスト（RNC）と修正降水ノウキャスト（RNC*）のリードタイム毎の捕捉率（全事例平均）.

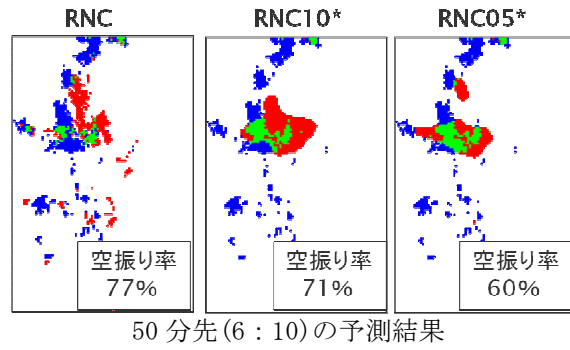


図-6：降水ノウキャスト（RNC）と修正降水ノウキャスト（RNC10*および RNC05*）による降雨域（閾値 20mm/h）の予測精度の比較（初期時刻：2012/7/21 5:20）.

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

（1）飯田潤士，安藤文香，吉野純，安田孝志，降雨域の複雑変化を画像解析的取り込んだ強雨の 1 時間予測，土木学会論文集 B1（水工学），査読有，Vol.68, No.4, 2012, 385－390

（2）吉野純，小林智尚，安田孝志，岐阜大学による気象予報業務の現状と今後の展開，天気，査読無，59 巻 6 号，2012, 93－94

〔学会発表〕（計 2 件）

①飯田潤士，降雨境界の移動誤差補正による降水ノウキャストの精度改善の試み，気象学会 2011 年秋季大会，2011 年 11 月 17 日，名古屋大学

②安藤文香，飯田潤士，吉野純，安田孝志，画像変形解析による短時間降雨域予測手法の開発と精度検証，日本気象学会中部支部，2012 年 11 月 13 日，愛知教育大学

〔その他〕

ホームページ等

岐阜大学局地気象予報

<http://net.cive.gifu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安田孝志 (YASUDA TAKASHI)

愛知工科大学・工学部・教授

研究者番号：1 0 0 9 3 3 2 9

(2) 研究分担者

吉野 純 (YOSHINO JUN)

岐阜大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：7 0 3 7 7 6 8 8