

高密度降雨情報表示システム の試作およびモニターラン



松沼 政明* 友利 方彦* 島村 誠*

気象レーダから得られる降雨強度を雨量計の実測値で補正した「高密度降雨情報」の鉄道防災分野での利用方法を研究し、「高密度降雨情報表示システム」を開発した。現在、降雨時の列車運転規制や災害警備は鉄道雨量計の観測値に基づいて実施されている。しかしながら、鉄道雨量計の設置間隔は約10kmと離散的であり、発生した災害の要因となった降雨と、鉄道雨量計の観測値とでは、降水量に差が生じることがある。そこで、雨域が狭い局所的な降雨も的確に捉え、線路沿線の面的な降雨状況が把握できる「高密度降雨情報」を活用し、運転規制や災害警備支援を行うシステムを開発した。さらに、気象庁レーダアメダスについて鉄道雨量計観測網との精度の比較を行った結果、現段階で高密度降雨情報表示システムを鉄道防災業務の運転規制や災害警備に用いるのは、時期尚早であることがわかった。

●キーワード：高密度降雨情報、気象レーダ、災害警備、防災情報システム、災害危険度

1 はじめに

気象レーダから得られる降雨強度を雨量計の実測値で補正した「高密度降雨情報システム」を開発した。降雨分布をより正確に把握し、降雨時の列車運転規制や災害警備の発令・解除を、より適切な指標により行うことは安全かつ安定的な列車運行を確保するために重要だからである。

現在、降雨時の列車運転規制や、災害警備は鉄道雨量計の観測値に基づいて実施されてる。しかしながら、鉄道雨量計の設置間隔は約10kmと離散的であり、発生した災害の要因となった降雨と、鉄道雨量計の観測値とでは降水量に差が生じることがある。そこで、雨域が狭い局所的な降雨も的確に捉え、線路沿線の面的な降雨分布が把握できる「高密度降雨情報」を活用し、運転規制や災害警備支援を行うシステムを開発した。

本論文では現行の雨量観測網ならびに高密度降雨情報の説明、今回開発した高密度降雨情報表示システムの紹介、さらに、精度検証の概要について述べ、今後のシステムの展開のコンセプトについて触れる。

いて行われている(図1)。



図1：鉄道雨量計の観測網

2 鉄道雨量計の観測網

現在列車の運転規制発令・解除、災害警備等は線路沿線約10km間隔で設置された鉄道雨量計の観測値に基づ

3 高密度降雨情報の特徴

3.1 レーダエコー

気象レーダではマイクロ波とよばれる電波を使って、半径数百kmに及ぶ広範囲内の雨や雪を観測している¹⁾。雨や雪などで反射された電波（レーダエコー）から、空中の雨や雪の量および、距離を測定することができ、レーダエコーに地上の雨量計のデータを加えて解析したものがレーダアメダス解析雨量などの高密度降雨情報である（図2）。

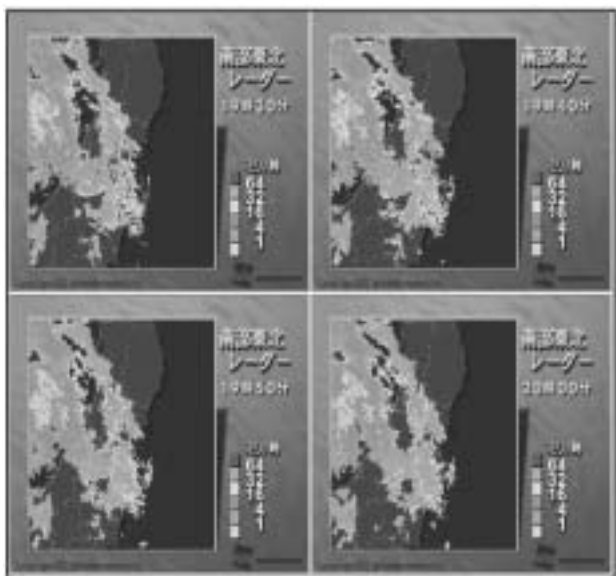


図2：プレダス画面の気象庁レーダアメダス情報

3.2 開発に用いた高密度降雨情報の特徴

今回開発に用いた高密度降雨情報は、現在防災情報システム（プレダス）上において参考情報として（株）ウェザーニューズから提供されているものであり、以下の特徴がある（図3）。

- ・ 2.5kmメッシュで降雨強度が表示されるため、10km間隔の地上雨量計で捕捉できない降雨を捉えることが可能（より緻密な降雨情報が得られる）。
- ・ 降雨強度の面的な分布が捉えられる（降雨分布の視覚的把握が可能）。
- ・ データは10分ごとに更新される。
- ・ 現在時刻から最大3時間程度先までの降雨予測が2.5kmメッシュ単位で可能。

一般に降雨等の気象現象は面的な広がりを持つ現象であるから、面的でリアルタイムな降水量の情報である高密度降雨情報を鉄道沿線の防災分野において利活用することは、降雨に起因する災害に対して、より適確な評価を行うために有効な手段となることが考えられる。

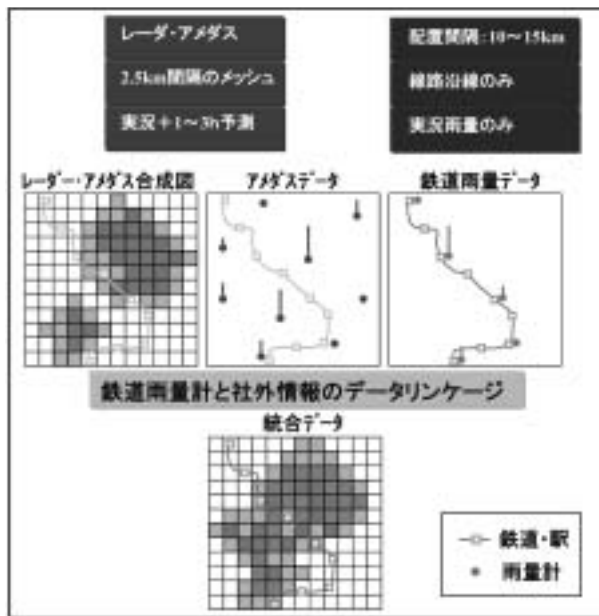


図3：高密度降雨情報のイメージ

3.3 利用方法の検討

鉄道防災業務に適用する場合、任意の運転規制区間や災害警備区間に合わせて線路に沿った形での表示を行うことは、表示の判りやすさという視点からは、大きな利点となる。そこで、2.5kmのメッシュで解析されている高密度降雨情報を線路に沿った1kmの区間（セグメント）で表現するために必要な開発を行った。

4 高密度降雨情報表示システムの概要

高密度降雨情報表示システムの開発概要を図4に示す。

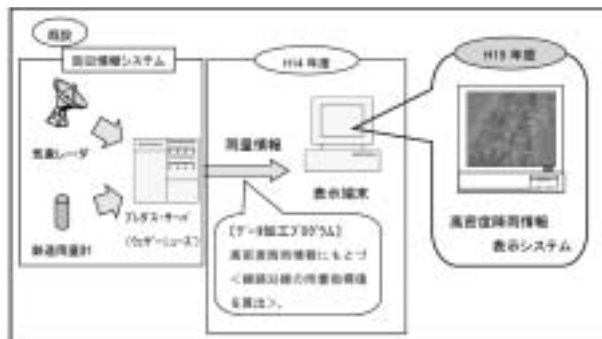


図4：開発概要

システム開発は、まず、（株）ウェザーニューズによる防災情報システム（プレダス）サーバから配信される高密度降雨情報を、線路沿線の1kmメッシュごとに計算し、リアルタイムに表示させる高密度降雨情報加工システムを開発した。このシステムは、配信された降雨データを沿線のキロ程1kmごと（1kmセクショ

ン)に換算して、降雨強度を表示するものである。具体的には、1kmセクション全体が2.5kmメッシュ1個に入る場合は2.5kmメッシュの値をそのまま用い、1kmセクションが複数のメッシュにまたがる場合は、線路が各メッシュを通る割合を確認し、割合に応じた値を足し合わせたものを、1kmセクションの値とした(図5)。なお、換算表示可能な降雨情報としては高密度降雨情報の他に、実効雨量、土壌雨量指数とした。

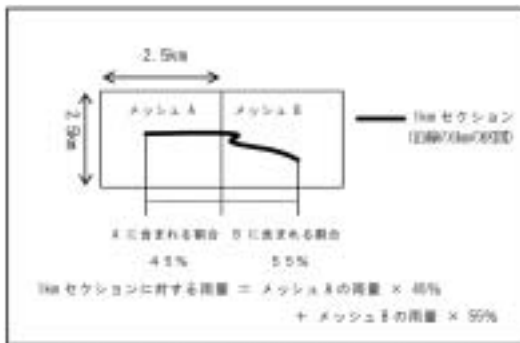


図5：1kmセクションの降雨強度の算出方法

次に、実際に高密度降雨情報システム上に表示される画面の構成について検討を行なった。

なお、このシステムで扱うモデル線区は、重要幹線系でかつ山岳線区である山形新幹線福島・米沢間を設定した。

高密度降雨情報表示システム検討の結果、機能画面は次の6画面構成とした(図6)。

- ① 路線状況表示画面
- ② 降雨状況面的表示画面
- ③ 駅間一覧状態表示画面
- ④ 駅間状態表示画面
- ⑤ キロ程状況表示画面
- ⑥ 災害警備画面

以下に、各表示システムの主な機能を紹介する³⁾。

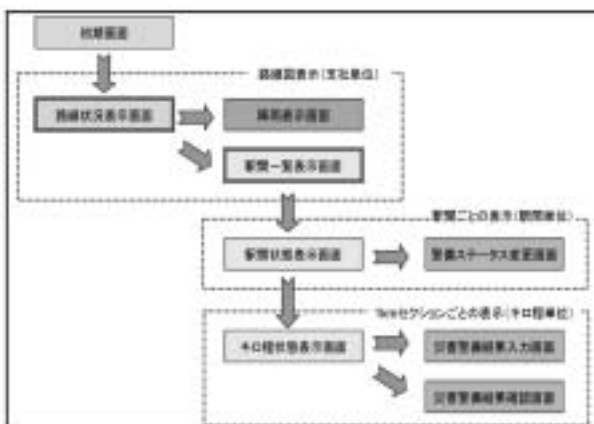


図6：高密度降雨情報表示システムの画面構成

4.1 路線状況表示画面

「路線状況表示画面」は、いわゆる管内のインデックス画面の役割をもち、施設指令や、保線・土木技術センター向けに、管内の降雨にともなう災害危険度を路線図上に表し、管内全体の面的な降雨状況およびそれに起因する災害危険度を把握することができる(図7)。

危険度表示は、危険側から「危険」、「警戒」、「注意」、「平常」の4表示とした。



図7：路線状況表示画面

4.2 降雨状況面的表示画面

「降雨状況面的表示画面」では、施設指令、保線・土木技術センターで、今後の降雨傾向を把握し、災害警備開始時刻の意思決定を支援する。

高密度降雨情報(高密度降雨情報についてのみ北部東北、南部東北、関東エリアごとに表示)、15時間半減期実効雨量、6時間半減期実効雨量、24時間半減期実効雨量、土壌雨量指数の各降雨情報については、実況、1時間後、2時間後、3時間後の予測情報を面的画像として表示する(図8)。



図8：降雨情報面的表示画面

4.3 駅間一覧表示状態表示画面

「駅間一覧表示状態表示画面」では、管内の各保線・土木技術センターエリアにおける災害警備の進捗状況確認、災害危険

度の実況と今後の予測を把握することができる。

災害危険度が「注意」以上となった場合、路線図の色の変化で危険度を知らせる設定とした。

また、画面下部に駅間ごとの災害危険度、災害警備ステータス等を表示する機能を設けた。災害危険度表示機能では、「実況」、「30分後」、「60分後」、「90分後」の災害危険度の変化傾向を捉えることができる。災害警備ステータス表示は図面と連動しており、現況の災害警備状態（警備中、警備終了等）が表示される（図9）。



図9：駅間一覽状態表示画面

4.4 駅間状態表示画面

「駅間状態表示画面」では、災害警備区間内の1kmセクションにおける災害危険度の実況や警備の状態および今後の予測を把握することができる。

この画面では、1kmセクションごとの災害危険度の実況を表示する「実況欄」が設けられ、この欄に表記される数字は、雨量順位で、過去に経験した降雨の中で何番目の強さにあたることが表示される。また、「予測欄」では、10分後から90分後までを10分間隔で、降雨の有無や災害危険度を表示する。

さらに構造物欄では、「予め定められた警備区間」に指定された構造物が表示され、該当する地点の災害危険度を把握



図10：駅間状態表示画面

することができる（図10）。

4.5 キロ程状況表示画面

「キロ程状況表示画面」では、1kmセクションごとの災害危険度の実況と今後の傾向を把握することができる。また、指定構造物のある箇所（例えば、赤岩～板谷間（18km900m～19km900m））では構造物マップを表示し、各構造物を予め指定した降雨指標で危険度判定した結果を図示する。さらに、1.5時間半減期実効雨量、6時間半減期実効雨量、24時間半減期実効雨量、土壌雨量指数の変化傾向をグラフで表し、これまでの過去3時間の経過と今後1時間先の予測を確認することができる。過去の災害履歴についても確認する機能が設けられている。

災害危険度は地図上に対象エリア囲んだ線の色で表示される。災害危険度が危険側へ変化した場合、線の色が白→青→黄色→赤と変化する（図11）。



図11：キロ程状況表示画面

4.6 災害警備画面

「災害警備画面」は、災害警備業務の実施状況、実施結果を操作する画面である。駅間単位での災害警備の開始、終了等の情報を変更する「災害警備ステータス変更画面」、災害警備結果をチェックシートに対応して入力する「災害警備結果入力画面」、入力された警備結果を確認する「災害警備結果確認画面」の3画面で構成される。将来的に他の情報との共



図12：災害警備画面

有化を目指した画面群の構成となっている(図12)。

5 高密度降雨情報の精度検証

高密度降雨情報から得られる降雨強度は気象レーダが捉えた大気中の降水粒子からの反射波に基づいているため、実際に地上で観測される降水量との間には誤差が生じる。そこで、高密度降雨情報として一般的な気象庁のレーダアメダス解析雨量値の観測精度について検証し、降雨時の列車運転規制の指標としての適用性について検討した。

5.1 検証方法

任意地点の雨量の推定を考えた場合の精度の検証方法について記述する。領域Aの雨量を $R(A)$ とし、地点xの雨量を $R(x)$ 、地点yの雨量を $R(y)$ と表す。ここでは地点xの雨量 $R(x)$ を推定することとする。二つの推定方法による任意地点xの雨量は次のように表現できる(図13)。

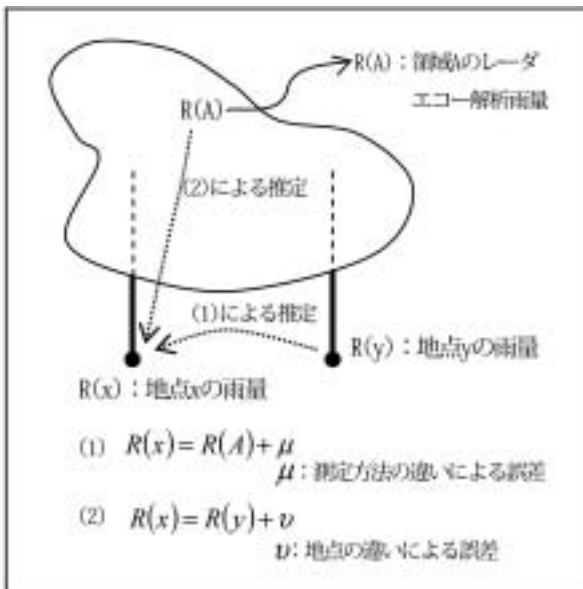


図13 : 精度の検証方法

(1)レーダエコー解析雨量による沿線のある地点の雨量の推定は測定方法の違いによる誤差を含む。

(2)鉄道雨量計による沿線のある地点の雨量の推定は地点の違いによる誤差を含む。

従って、精度の検証を行うには

- (1)沿線の任意地点の雨量とレーダエコー解析雨量による雨量推定値との相関係数
- (2)沿線の任意地点の雨量と鉄道雨量計による雨量推

定値との相関係数

の(1)と(2)の比較を行い、より高い相関関係にあるほうが推定量としての性能が良いといえる。

以上の考え方に基づき、気象庁レーダアメダス解析雨量を用いる場合と、鉄道雨量計を用いる場合の比較検証を行った。

5.2 気象庁レーダアメダス解析雨量による精度

検証は、水郡線瓜連(うりづら)～磐城棚倉間をモデル線区として、2000年5月22日～11月29日の約6ヶ月間にわたり収集した臨時雨量計6地点(No.1～No.6)の観測雨量値および同期間における既設の雨量計6地点(瓜連、常陸大宮、山万宿、赤塚、上菅谷、常陸太田)の観測雨量値を用いて行った(図14、表1)。なお、当該区間は茨城県北部～福島県中部の山間部を南北を縦断する位置にあり、複雑な地形、気象条件のため局地的な大雨が頻発することで知られる。

検証方法は、まず、基準雨量計を定め、その地点における観測雨量値から算出した雨量指標値と高密度降雨情報(レーダアメダス)との相関係数を求めた。次に、基準雨量計とそれ以外の11雨量計における観測雨量値から算出した雨量指標値の相関係数を求めた。基準雨量計からの雨量計までの距離を横軸に、相関係数を縦軸にとったグラフを雨量指標ごとに作成した。また、基準雨量計における観測雨量値から算出した雨量指標とレーダアメダス解析雨量指標との相関係数についても雨量指標ごとに図示した(図15、図16、図17)。なお、検証に用いた雨量指標は実効雨量値(半減期は15, 3, 6, 12, 24, 48, 96時間)、土壌雨量指数、X時間雨量値(時間xha 1, 3, 6, 12, 24, 48, 96)とした。ここでいうX時間雨量とは、その時刻を含む過去X時間に降った雨量の合計値を指す。

基準地点に置かれた雨量計で観測した雨量とその直上位置の気象庁レーダアメダス解析雨量との相関係数は、基準地点から約7km離れた雨量計の雨量との相関係数にほぼ等しいことが明らかになった。つまり、気象庁レーダアメダス解析雨量の観測誤差は、約14km間隔で配置された雨量計で任意地点の雨量を代表させる場合の推定誤差にほぼ等しい。現在、当社の防災情報システムでは、線路沿線については、最大間隔10kmでの雨量測定が実現されていることから、現時点ではレーダアメダス解析雨量を鉄道雨量計の代替手段として運転規制や災害警備に直接用いることは適切でないと考えられる。

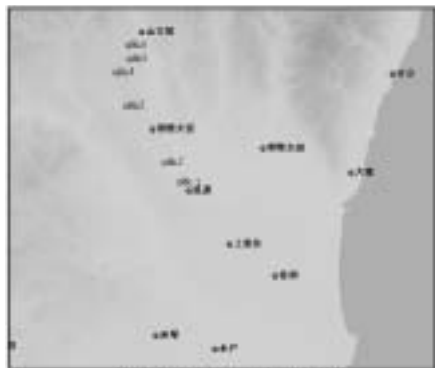


図14：検証雨量計配置図

表1：検証雨量計からの距離

山形	雨量観測点						レダースの観測点					
	N0	N2	N3	N4	N5	N6	常陸大宮	山方岩	赤塚	佐和	上菅谷	輝盛丸田
00	11	33	85	125	229	141	69	149	112	111	61	79

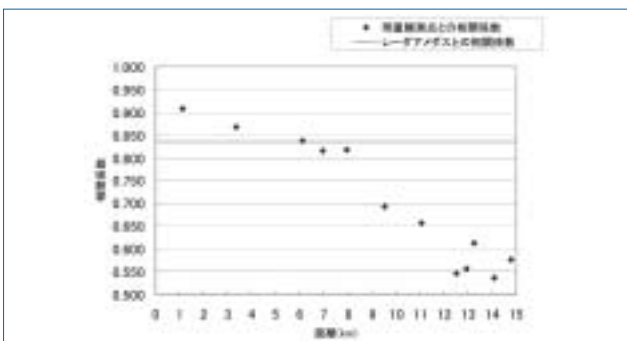


図15：距離一雨量相関係数散布図（水郡線瓜連1時間雨量）

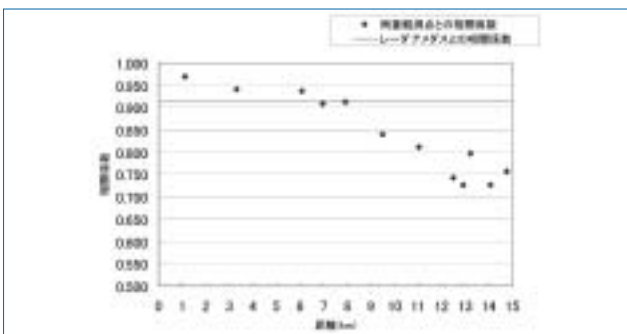


図16：距離一雨量相関係数散布図
（水郡線瓜連1.5時間半減期実効雨量）

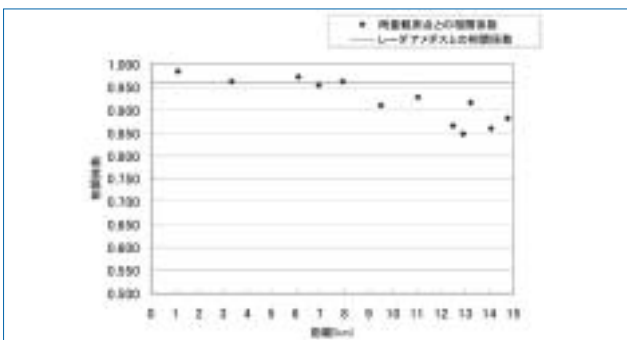


図17：距離一雨量相関係数散布図
（水郡線瓜連2.4時間半減期実効雨量）

6 おわりに

高密度降雨情報の鉄道分野への活用方法を検討し、降雨時における災害警備を支援するシステムを開発した。

高密度降雨情報を雨量情報として直接用いる場合の精度は、レーダエコー値を雨量情報に変換する手法に依存する。なぜなら、高密度降雨情報はレーダエコー値を用いて実際の降雨を推定する方法だからである。高密度降雨情報システムとして一般的な、気象庁レーダメダスを用いた精度検証の結果、現時点ではレーダメダス解析雨量を鉄道雨量計の代替手段として用いることは時期尚早であることがわかった。本システムの開発は完了したが、運転規制や災害警備への現地導入にあたっては、なお気象レーダ等の機器やデータ解析技術の発展に期待するところが大きい。

7 今後の進め方

本システムの開発は完了したが、並行して現在安全研究所で開発中の防災関連システムと融合させることにより、システムを発展させることを考えている。つまり、災害誘因としての「降雨」に関する開発である本システムに、「地形・地質の視点による災害発生場の抽出に関する開発」「降雨の土中への浸透プロセス解明に関する開発」の、成果との連関性をもたせ、斜面のり面の降雨に対する評価システムとして拡張することを考えている。さらに、リアルタイムハザードマップの作成の他、鉄道防災業務への応用を行ってゆくことをめざしている。

参考文献

- 1) 気象庁；気象業務はいま2004
- 2) 小林範俊；高密度気象情報、JR EAST R&D REPORT、200212
- 3) 小林範俊、友利方彦；高密度降雨情報表示システムの開発、土木学会年次学術講演会論文集、20049