

XRAIN拡大試行版 ～公開までの取組み～

若松 聡¹・佐藤 宏明²

¹(一財)河川情報センター 情報開発部副参事
²(一財)河川情報センター 審議役兼情報普及推進部長

国土交通省ではレーダ雨量計の研究が1966年から始められており、今年は節目となる50年目を迎え、7月には新たに「XRAIN拡大試行版」を公開している。この「XRAIN拡大試行版」は、現状では全国をカバーしていないものの、広い範囲で250mメッシュの雨量情報を1分間隔で配信することを可能とした。

本論文では、レーダ雨量計から受信されたデータを雨量に換算するための手法のひとつであるKDP法の優位性を示すとともに、「XRAIN拡大試行版」の雨量情報を作成するために用いられている解析処理機能、合成処理機能について、合成処理局側において実際に取り組んだ内容とともに説明する。また、これらの雨量情報を公開した後収集したユーザからのご意見をいくつかを紹介する。

Key Words : XRAIN, KDP法, MP, 解析処理, 合成処理

1. はじめに

日本の国土は、周囲を海に囲まれており、急峻箇所の多い地形特性を持つとともに、他国に比べ降水量が多く、河川の氾濫や土砂災害を発生させやすい。2016年においても、台風や梅雨前線の被害が相次ぎ、8月終わりには異例のルートを通った台風10号により、岩手県、北海道において河川の甚大なはん濫被害が発生している。

このような背景を踏まえると、レーダ雨量計を用いた観測結果（雨量の面的なアウトプット）をリアルタイムに配信することは、防災情報の一環として大いに役立つ情報であると考えられる。たとえば、地上雨量計の分布だけでは把握しきれない狭い範囲に強い雨が降っている状況等を、レーダ雨量計では捉えることが可能となり、またその履歴を見ることで強い雨域の移動を追跡することができ、今後どの地域にどのくらいの雨が降るかを、ある程度把握することができる。

国土交通省は、日本全域をカバーしているCバンドレーダ雨量情報と、都市域を中心としたXバンドMPレーダ雨量情報を公開しており、両者のメリット、デメリットを踏まえ、新たに「XRAIN拡大試行版」を2016年7月に公開している。河川情報センターは、当サイトに関わる業務を国土交通省より受託し遂行してきた。

本報告は、「XRAIN拡大試行版」に用いられているMP（マルチパラメータ）レーダの雨量算定手法のひとつであるKDP法や、雨量情報を作成しているC-X・MPレーダ合成処理局（以下、合成処理局）のしくみを説明し、実際に配信されている雨量情報の特性について、紹介するものである。

2. レーダ雨量計のあゆみ

(1) Cバンドレーダ雨量計の整備

国土交通省ではレーダ雨量計の研究が1966年から始められ、その10年後である1976年には赤城山レーダ雨量計が設置され世界初の運用が開始された。それ以降、レーダ雨量計は、ハード・ソフト両面の技術向上とともに、全国各地に整備され、25年間経った2000年に、四国の高城山に最後のCバンドレーダ雨量計が設置された。以後、26基地局体制で、今も「川の防災情報」からCバンドレーダ雨量情報を配信しており、そこから全国の雨量情報を見ることができる（図-1参照）。

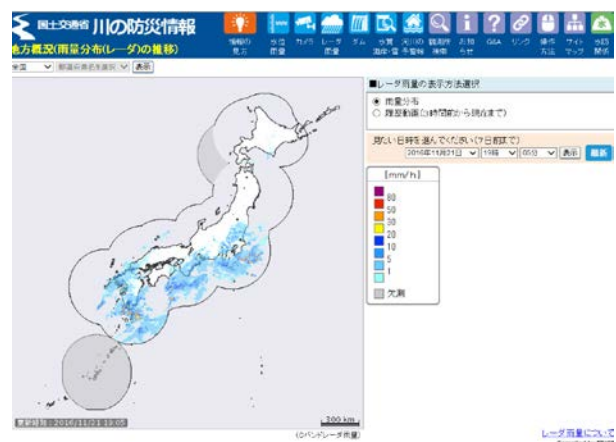


図-1 Cバンドレーダ雨量情報

(2) レーダの発射方法と雨量算定式

a) Z-R法

レーダ雨量計は、発射した電波が、雨滴にぶつかり、その後方散乱分が受信されることを利用し、雨量を算定している。この受信電力の強さ (Pr) はレーダ基地局により異なりレーダ方程式により反射因子 (Z) として算定し、Z (反射因子) -R (地上雨量計) のデータを統計処理した関係式 ($Z=BR^{\beta}$) を用いて、雨量算定している (Z-R法)。レーダ雨量計から発射される電波が単偏波の場合には必然的にZ-R法とされ、Cバンドレーダ雨量計の多くには、この手法が用いられている。

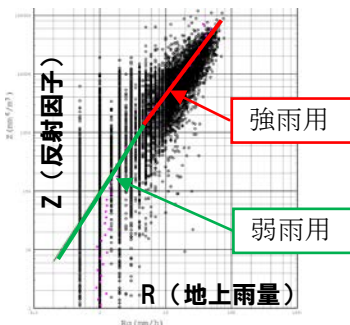


図-2 Z-R法

b) ZDR法

しかしながらZ-R法では、雨滴の粒径分布の変化に対応できず、雨量換算精度の限界があった。そのため1984年から二重偏波・ドップラーレーダ (以下DNDレーダ) を用いたZDR法の研究がなされた。当手法は、水平・垂直偏波の両方を発射することにより、反射因子 (Zh and Zv) を求め、雨滴の扁平度 (ZDR) を算定するものである。加えて、雨滴は大きくなるほど落下速度を増し、扁平度が大きくなる現象を利用することによって、粒径分布に適した (観測値であるZDRをパラメータとした) Z-R式を用いることが可能となった (図-3)。

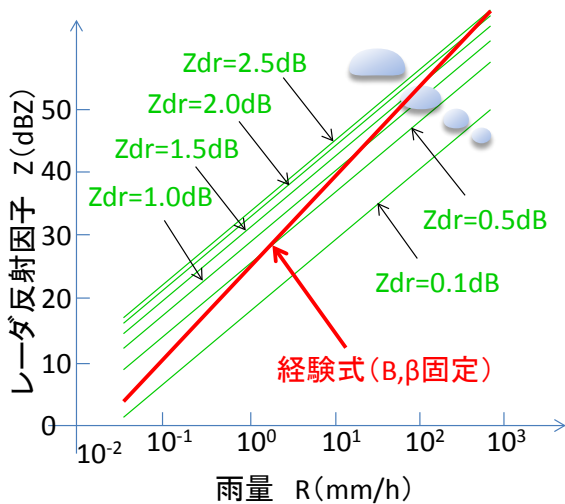


図-3 ZDR法の概念

c) KDP法

当時のレーダ雨量計は、現在のように水平偏波と垂直偏波を同時に発射することができず、偏波切替装置により交互に発射していた。

その後、機器の技術発展により同時に発射することが可能となり、水平・垂直偏波の位相差を観測することが可能となった。この位相差を利用して雨量を求める方法がKDP法である。

kdp (偏波間位相差変化率) は、雨滴径の4乗に比例しており、降水量は雨滴径の約3.6乗に近似していると言われていたことから、Z (反射因子) より降水量との相関が良い (Zは、雨滴径の6乗に比例)。

また、Z-R法や、ZDR法に利用されているZ (反射因子) は、減衰の影響を大きく受け、Zが微小になってしまう場合があり、降雨算定の精度が低下するのに対して、kdpの値はφdp(位相差)を距離微分した値であるため、こうした減衰の影響を受けにくい。ただし、φdpはノイズやグランドクラッタの影響を受けるため、品質を確保するための工夫が必要となる。

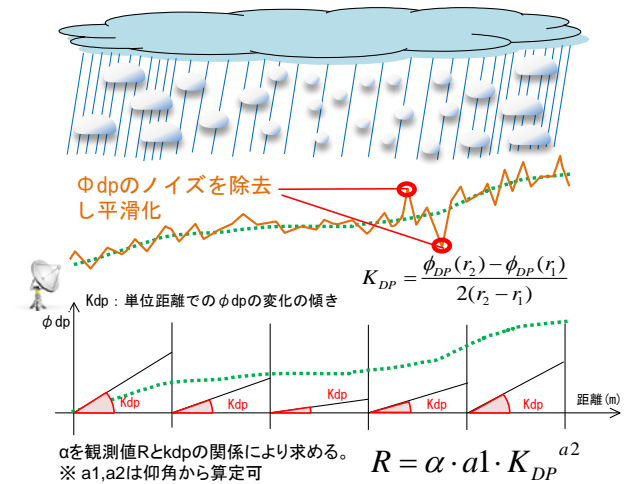


図-4 KDPの算定方法

(3) XバンドMPレーダ雨量計の整備

2008年7月神戸市の都賀川において、水難事故が発生し、また、その他の河川においても局地的な大雨による浸水被害が頻発した。これを契機に、2010年7月より「XRAIN (XバンドMPレーダ雨量情報)」の運用を開始している。

XバンドMPレーダ雨量計にはKDP法が採用されており、Z-R法で必要であった地上雨量観測所の降水量を用いた補正 (キャリブレーション) を必要としなくなったことから、配信間隔が5分から1分配信と大幅に短縮されている。



図-5 XバンドMPレーダ雨量情報

(4) Cバンドレーダ雨量計のMP化

XバンドMPレーダ雨量計は、高精度の雨量情報を、高頻度で配信できたものの、波長が短いゆえに強雨域で電波消散が発生しやすいといった欠点があった。

この問題を解決するため、国土交通省では波長の長いCバンドレーダ雨量計をMP化（2種類の電波を送受信し、位相差等の複数の観測情報を取得可能にする）により、電波の消散域を軽減していくことを試みてきた。

(5) CバンドとXバンドの合成

CバンドMPレーダと、XバンドMPレーダを合成するためには、CバンドMPレーダ雨量計の運用を1分間隔配信にする必要があるため、MP化が実施された基地局においては、以下に示すように回転速度と運用仰角の変更が行われた。

表-1 レーダ雨量計の比較

	Cバンド レーダ雨量計	XバンドMP レーダ雨量計
波長	Cバンド (約5cm)	Xバンド (約3cm)
特徴	弱雨に対し、精度はやや低い。	精度は良い。雨が強すぎると消散あり。
最大観測範囲	300km	80km
アンテナの大きさ	直径約4m	直径約2m
偏波	単偏波※ →二重偏波	二重偏波
雨量算定手法	Z-R法※ →KDP法,Z-R法	KDP法,Z-R法
運用仰角数 (CAPPI除く)	1~4仰角 →2仰角	2仰角
観測周期	5分 →1分	1分

※一部の基地局を除く , 赤字 : MP化による変更点

3. 河川情報センターの取組み

「XRAIN拡大試行版」を公開するにあたっては、全国のレーダデータを集結させるため合成処理局を構築する必要がある。合成処理局で、正常にデータが各装置を経由し処理されていることを確認した後に、一般配信用のサーバへ送信する。

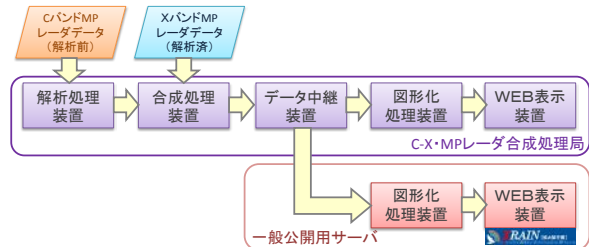


図-6 データの流れ

合成処理局では、正常なデータを安定して1分おきに（全国250mメッシュの雨量情報を）配信することが求められる。そのため、河川情報センターでは、センター内に試験環境を構築し、各サーバにおける機能や、処理時間値等の確認を行った（結合・総合試験）。この環境で、プログラムが仕様通りに作動していることを事前確認し、合成処理局にインストールした。

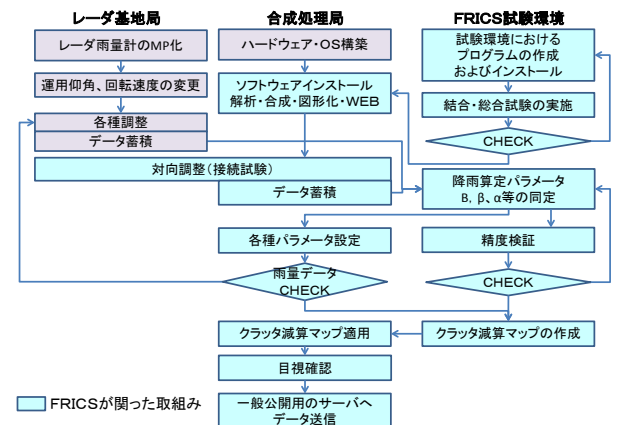


図-7 MPレーダデータ解析・合成処理システム構築のために取組

雨量算定に必要なパラメータは、基地局ごとに求める必要があり、正常に二重偏波化したことを確認した後、レーダデータを収集し、地上雨量観測所とレーダ解析降雨を対比させ、その近似線から求めている。そのため、総雨量が多く気温0度高度の高い（レーダ観測範囲に降雨層を多く含む）梅雨期の雨量データを利用することが望ましいが、基地局側の運用が大きく変更した場合には、それ以降の雨量データを用いなければならない。一方、基地局側としても、解析雨量結果を基に、微調整を要するケースもあり、試行錯誤の繰り返しが必要となった。

雨量データの精度検証が完了し品質を確保した後、クラッタ減算マップの作成を行った。マップは、晴天時一定期間において取得される雨量値から作成したものの、地面や建物によるクラッタ以外に、時系列で変化するクラッタ（例えば、海から反射してくるシークラッタ、大気屈折率の変化の影響から発生するエンゼルエコー、その他船の水しぶきや植生に付着している水滴と考えられるもの）は取り除くのが困難であり、過度な減算は危険側に雨量が出力される可能性があるため、当該クラッタが出現していない時間帯で作成した。

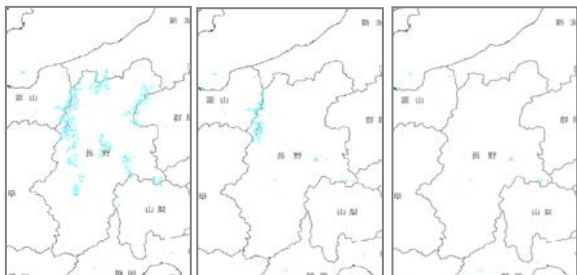


図-8 クラッタ減算マップの適用
(左：適用前,中：EL01適用,右：EL01,02適用)

4. 合成処理局の主な機能

合成処理局には、主に、CバンドMPレーダ雨量情報を解析する「解析処理装置」、解析した雨量データ（CバンドとXバンド）を合成する「合成処理装置」およびこれらのデータを表示するための、「図形化処理装置」と「Web表示装置」がある。

(1) 解析処理装置について

解析処理装置は、各レーダ雨量計の基地局から1分ごとに送信されてくるレーダデータに対し、降水量（mm/h）を算定するものであり、データフォーマットは入出力ともに極座標系である。図-9に、解析処理装置における処理フローを示す。

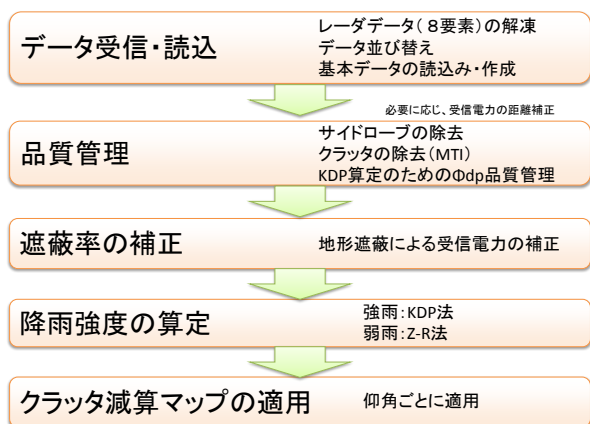


図-9 解析処理装置における処理フロー

(2) 合成処理装置について

合成処理装置は、解析処理装置から送られてく

る解析雨量（C-MP）と、既に運用しているXバンド合成処理局からの解析雨量（X-MP）を合成するものである。なお、入力データのフォーマットは極座標系であるのに対し、出力は平面直交座標系（以下250mメッシュ）となる。

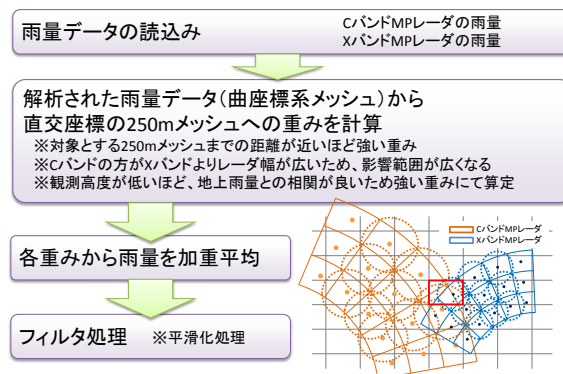


図-10 合成処理装置における処理フロー

(3) 図形化処理装置、WEB表示装置について

合成雨量データは、全国6ブロックに分割されており、これらのデータが重複することなく1枚にまとめられるよう図化する（図形化処理装置）。図化されたデータをWEB装置に送信することで、ブラウザから閲覧可能となる（Web表示装置）。

5. 提供している雨量情報

上述した合成雨量データは別途一般公開用の「図形化処理装置」、「Web表示装置」を經由して、平成28年7月1日より「XRAIN拡大試行版」として一般公開された。現状ではPCのインターネットブラウザから、誰でも閲覧することができる。

(1) WEB上の機能について

一般公開用では、既存の「XRAIN」で搭載している「履歴動画再生」、「4枚表示」の機能の他に、新たに雨量の透過設定を行える機能を加えた。この機能により、背景地図の情報と雨量情報の描画バランスを任意に調整することが可能となった。



図-11 透過設定機能

さらに、GIS機能を搭載することにより、ドラッグ&ドロップにより地図を移動させ、いち早く見たいエリアの雨量情報に移動可能となっている。

(2) 雨量情報の比較

「XRAIN拡大試行版」において提供している雨量情報を、既存の「Cバンドレーダ雨量情報」や、「XRAIN」としたところ以下のような違いが確認される。

a) 拡大したエリアにて1分配信が可能

Cバンドレーダ雨量計をMP化することにより、既存の「XRAIN」では配信できなかったエリアにおいても、1分配信が可能となった。図-12では、10～20mm/hの雨域（赤枠のエリア）が、概ね同じ範囲となっていることが分かる。

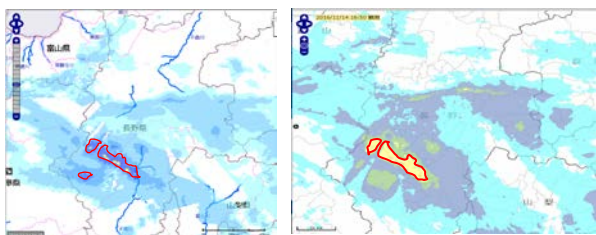


図-12 レーダ雨量情報の比較1
(左：Cバンドレーダ、右：XRAIN拡大試行版)

b) 雨域の形状を把握できる

「XRAIN」同様250mメッシュで配信することにより、図-13のように雨域の形状を明確に把握可能となっている。

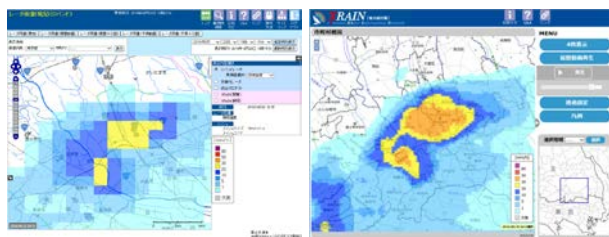


図-13 レーダ雨量情報の比較2
(左：Cバンドレーダ、右：XRAIN拡大試行版)

c) レーダとの境界において段差が少ない

Cバンドレーダ雨量情報では、各雨量情報のメッシュに対し、1つのレーダデータ（1仰角分）が対応しているため、対象レーダデータの変化点では段差が生じやすい。一方、「XRAIN拡大試行版」では、複数のレーダデータを用いて加重平均しているため、段差が生じにくいことが分かる。図-14の赤丸で囲んだところで明確に確認される。

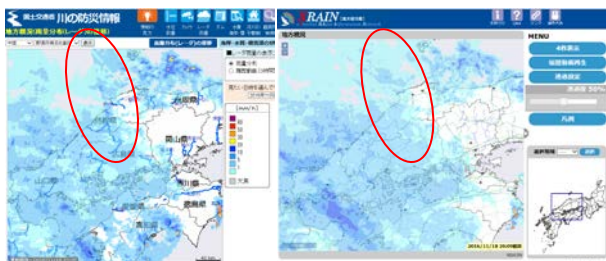


図-14 レーダ雨量情報の比較3
(左：Cバンドレーダ、右：XRAIN拡大試行版)

d) 電波消散が少ない

Xバンドは、強雨域で散乱が強く、その背面で電波が消散してしまう可能性が高い。そのため、他のレーダ観測範囲と重複しないエリアで雨量情報を配信できるエリアが極端に狭くなる。一方、Cバンドでは図-15右に示すように台風のアイウォール（台風を中心を取り巻く発達した積乱雲の壁）の背面側においても、雨量情報を捉えることが出来ている。ただし、遠方では距離減衰の影響も加わり、雨量情報が取得できない範囲がわずかに見られる。

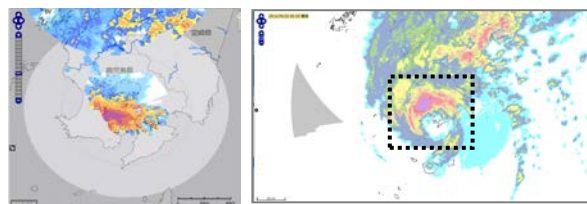


図-15 レーダ雨量情報の比較4
(左：XRAIN、右：XRAIN拡大試行版)

6. ユーザからの声

「XRAIN拡大試行版」の公開とほぼ同時に、「ご意見箱」のサイトを設置した（現在も収集中）。収集したご意見の多くは当サイトに満足しているものの、本格運用に向けたさらなる改善のため、可能な範囲で対応していく見込みである。以下に集められたご要望を多かった順に示す。

- 1位：更新ボタンを追加してほしい
- 2位：自動更新機能を追加してほしい
- 2位：さらに詳細な地図まで拡大したい
- 4位：履歴動画の時間を長くしたい
- 5位：透過設定のデフォルト変更依頼
- 6位：スマホ用のサイトがほしい
- 7位：観測日時を表示を大きくしてほしい
- 8位：降雨予測を追加してほしい
- 9位：TOP画面(全体画面)から拡大縮小したい
- 10位：ユーザの画面サイズに合わせてほしい

この結果をみると、Webアプリケーションの機能改善の要望が多いことが分かる。特に、「1位：更新ボタンを追加してほしい」「2位：自動更新機能を追加してほしい」との結果から、すぐに最新の雨量情報を見たいユーザが多いことが分かる。また、「4位：履歴動画の時間を長くしたい」、「8位：降雨予測を追加してほしい」との要望から、今後どのくらいで雨が降り始めるかを知りたいユーザも多いことが分かる。

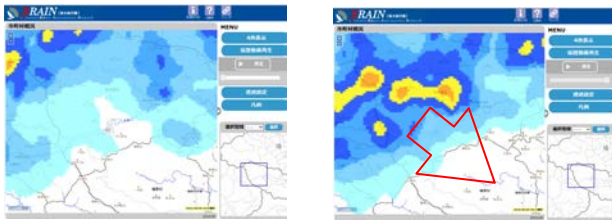


図-16 履歴動画機能

(左：30分前の雨量情報、右：現在の雨量情報)

また、10位以内にはランキングされなかったものの、防災のための利用を意識されていると考えられる意見として、「累加雨量の表示」、「具体的な降水量の表示」、「積乱雲発生予測の表示」などがあった。

7. おわりに

今回の取組みを通じて、レーダ雨量計による雨量情報の提供を実現させるためには、多岐に亘る技術力を集結させる必要があり、レーダ雨量計の基地局側と合成処理局側における技術者の情報交換の場が必要不可欠であることを実感した。

今回はこのような場を国土交通省関係機関の方々が幾度も調整して頂いたことにより、広範囲にわたる250mメッシュの雨量情報を、1分間隔で配信させることができた。

一方、ユーザからのご意見として、リアルタイムの降水状況や、今後どのくらいの雨がどこに降るかなどの予測情報も取り入れて欲しいとの要望を頂いたところである。

このような背景を踏まえると、レーダ雨量情報は利用者のニーズに応じて、提供内容を検討していく必要があると考える。

謝辞：本報告は、国土交通省国土技術政策総合研究所、及び関東地方整備局から受託した業務の実施内容、および業務を遂行するにあたり習得することのできた知見をもとに、「XRAIN拡大試行版」の公開のための取組みを紹介したものです。

公開への取組みにあたり、ご指導、ご調整頂いた国土交通省の皆様、また、レーダ雨量計に関わる知見を頂いた建設電気技術協会、メーカの皆様には、多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川崎将生,土屋修一,山地秀幸：「局地的豪雨監視体制のさらなる強化」国立国会図書館デジタルコレクション
- 2) 深見和彦,土屋修一,山地秀幸：「レーダ雨量計開発開始から50年の歩み」雑誌河川2016-9月号
- 3) 大手方如：「新技術を用いたXバンドMPレーダ雨量計の整備について」平成25年度スキルアップセミナー関東
- 4) 越田智喜,武中英好,中北英一,真木雅之,中川勝広,深見和彦：「現業CバンドMPレーダにおける降雨推定精度」土木学会論文集B1(水工学) Vol.68, No.4, I_361-I_366, 2012.
- 5) 栗城稔：「XバンドMPレーダの活用について -Cバンドレーダ雨量計と対比して-」平成22年度 河川情報シンポジウム講演集
- 6) 上城政浩, 武中英好,寺川陽：「Cバンドレーダ雨量計全国合成データの品質について」平成27年度 河川情報シンポジウム講演集

XRAIN VERSION EXPANSION TRIAL ACTION UNTIL A OPENING

Satoshi WAKAMATSU, and Hiroaki SATO

The study with the radar rain gauge was begun in Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism(MLIT) since 1966. Greeting the 50th year of the turning point this year, "XRAIN version expansion trial" has stated newly in July. Although this "XRAIN version expansion trial" can't cover the whole country at present ,this new system has made it possible to deliver precipitation information of the 250m mesh every one minute.

In this article, the authors demonstrate the superiority of the "KDP method" which is one of the technique for conversion of precipitation data received from a radar rain gauge, and explain the processes of analysis composition that is used to make the precipitation information of "the XRAIN version expansion trial" with the contents really working in the composition processing station side.

In addition, the authors introduce the opinions from users collected having offered this precipitation information.