

降水量データの異常値検出システムの開発

Development of the anomaly detection method
of precipitation data

田所 正 Tadashi Tadokoro

(一財)河川情報センター 河川情報研究所 副所長

渡辺 有 Yu Watanabe

(一財)河川情報センター 河川情報研究所 研究第2部 研究員

佐々木 亮人 Ryoto Sasaki

(一財)河川情報センター 河川情報研究所 研究第2部 研究員

辻本 哲郎 Tetsuro Tsujimoto

名古屋大学 名誉教授

(前 (一財)河川情報センター 河川情報研究所 所長)

目次

I. はじめに

1. 豪雨災害の多発と降水量データの役割
2. 地上雨量計に発生する異常
3. 雨の降り方の特徴を踏まえたモデル開発

II. 異常値検出モデルの開発

1. リアルタイム対応：IDW(逆距離加重法)モデル
2. 降雪時対応：DMC(ダブルマスカープ)モデル
3. 長期変動対応：MC(マスカープ)モデル

III. データ監視・照査実務への反映

1. リアルタイム異常値検出システムの構築
2. 異常値発生の原因と対策
3. 品質照査への反映

IV. 今後の課題

1. レーダ雨量計と地上雨量計の役割分担
2. 観測所の適正配置とテレメータ化
3. 観測所の環境保全

V. おわりに

要旨

近年多発する豪雨災害から住民の生命と財産を守るためには、観測された降水量や水位のデータを迅速かつ正確に伝えることが重要になっている。しかし、厳しい自然条件下に置かれている観測所には、さまざまな障害が発生しやすい。

筆者らは、国土交通省や都道府県が、河川の計画・管理や防災・危機管理等のために全国に配置している水文観測所を対象に、データの品質向上に取り組んでいる。2023年6月に本誌において、河川の水位計データの異常値検出システムを開発した結果を報告した¹⁾とところであるが、本研究では地上雨量計データの特徴を踏まえた異常値検出モデルを開発し、実用化を図った結果を報告する。

近隣の観測データやレーダ雨量計データと比較し短期的に発生する異常値を検出する「IDWモデル」を開発し、リアルタイムに24時間監視するシステムに導入した。さらに、長期的に発生する異常値を検出する「DMCモデル」や「MCモデル」も開発し、ストックデータの精度向上のための品質照査実務に試験的に導入した。

キーワード：降水量データ，水文観測，防災・減災，避難情報，IDWモデル，DMCモデル，MCモデル，異常値検出，オンラインシステム，品質照査

I. はじめに

1. 豪雨災害の多発と降水量データの役割

近年、大型台風、線状降水帯や局地的豪雨等が頻発する傾向を示しており、多くの人命に影響の及ぶ深刻な水害や土砂災害への対応が社会的な課題としてクローズアップされている。また、これらの大雨・短時間強雨が多発する背景には、自然変動の影響による異常気象に加え、地球温暖化の影響も考えられるため、問題がより深刻化することが懸念されている^{2), 3), 4)}。

住民の命を守るためには、危機的な状況が近づいていることをいかに早く伝え、速やかな防災・避難活動を促すことができるかどうか肝心であり、最近では洪水予測や土砂災害発生危険度情報のような高度な予測情報も提供されてきている。しかし、「今どれだけ強い雨が降り続けているか」というシンプル

な情報が、避難を判断するための明瞭なトリガーとなりうるため、正確な降水量データを迅速に伝えることが重要な役割を担っている。

降水量のデータには「地上雨量計データ」と「レーダ雨量計データ」があり、危険が迫っている状況を察知するためにはレーダ雨量計の画像データが効果的である。2023年1月現在では、国土交通省が全国に配置する20基のCバンドMPレーダと39基のXバンドMPレーダを合成したXRAIN画像情報が、地上雨量計データと共に、「川の防災情報(<https://www.river.go.jp/index>)」(図1)等のwebサイトから、1分間隔で更新し提供されている。



図1 川の防災情報 雨量表示画面

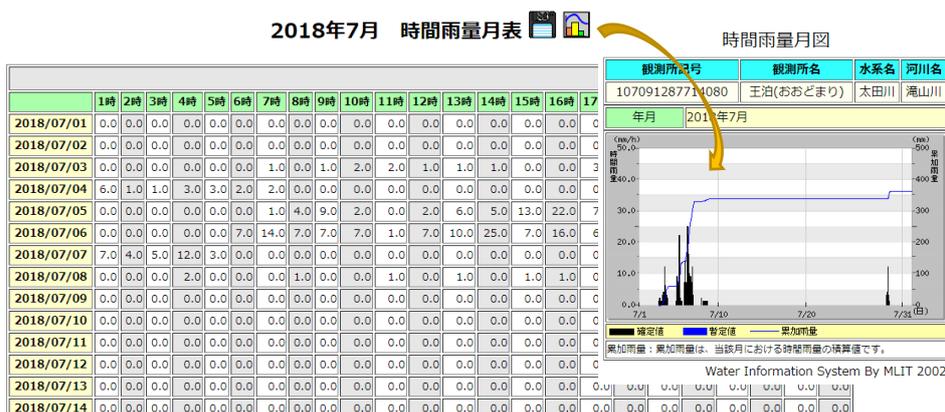


図2 水文水質データベース 過去データ表示画面

しかし、レーダ雨量計にはさまざまな地形・気象要因等からノイズ（各種エコー・クラッター等）が発生することがあるため、常に高い精度を維持することは難しい。降水量は、防災・避難活動だけでなく、今後の治水・利水計画を立案する場合等に重要なデータとなるものであるため、データの精度が強く求

められる性格を持つ。近年は気候変動・地球温暖化による影響がさまざまな立場から論じられているが、将来像をシミュレーションするためにも精度の高い降水量を保存して行くことが必要不可欠である。

このため、国土交通省の地上雨量計で観測したデータは、水位データ等と同じように「①テレメータデータの24時間リアルタイム監視」「②半年毎のストックデータの品質照査」を行い、品質の確認できたデータを図2に示す「水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>)」に保存し、誰でも必要な場所のデータを必要な期間に応じて検索しダウンロードできるようになっている。

筆者らはこれまで国土交通省と都道府県が観測する水位と降水量を中心にデータの異常値検出による精度向上に取り組み、水位データの異常値検出については既に成果を報告したところである¹⁾。本論文は降水量データを対象とするが、上記の背景を踏まえ、保存データとして高い精度を求められる地上雨量計データの異常値検出について、モデルを開発し実用化に至るまでの技術的な概要を報告することとしたい。

2. 地上雨量計に発生する異常

2022年3月現在、全国には国土交通省所管で2,402箇所、都道府県所管で5,050箇所のテレメータ地上雨量観測所があり、川の防災情報(図1)等で10分毎の観測データが公開されている。また、国土交通省所管の観測所データに対しては、品質照査によって異常値等の修正が行われ、時間データが水文水質データベース(図2)に保存され一般公開されている。



図3 転倒ます型雨量計

地上雨量計としては、基本的には図3に示す転倒ます型雨量計が配置されており、漏斗状の受水器から滴下される水量に応じた転倒ますの転倒回数から降水量をカウントし、テレメータデータとして発信される仕組みとなっている。水位計と比べると大きな外力が周囲から与えられることは少ないが、以下に記すとおりさまざまな外的要因によって、観測値の異常や精度低下が生じることが問題となっている。

- a) **周辺の樹木や建物等の影響**・・・風によって斜めに降下する雨が樹木等に遮られることがある（十分な離隔距離を取るべき条件が満たされていない場合が多い）
ビルの屋上等に設置され、風が雨滴を巻き上げる場合がある
- b) **風の影響**・・・強風の吹き付ける時には受水器にうまく雨が入らない
- c) **落葉等の詰まり**・・・周辺からの落葉等が受水器に貯まり、雨の滴下を妨げる
- d) **昆虫等の侵入**・・・雨量計内部に昆虫等が集まり、転倒ます等の作動を妨げる（クモの巣の影響事例が多い）
- e) **降雪の凍結・融解**・・・寒冷時に降った雪が溶けずに受水器に貯まり、気温が上がった後に融解されるため、遅れてデータがカウントされる（寒冷地の多くの観測所にはヒータ等による融雪機能が付加されているが、機能が十分でない場合がある）

上記は代表例であり、各地の観測所で改善が進められ異常値の発生頻度は徐々に減っている状況にはあるが、全てを防止することは困難である。このため、観測値を速やかにチェックし精度良く異常値を検出する機能が求められている。

3. 雨の降り方の特徴を踏まえたモデル開発

雨雲は数 km～数千 km（メソスケール）の規模で、さまざまな形態を持っている。

豪雨をもたらす雨雲のほとんどは積乱雲であり、一つの大きさは数 km～数十 km（メソ γ スケール）であり発生後短時間の内に消滅している。しかし、豪雨災害の原因となる雨雲は、積乱雲が連続して発生・消滅を繰り返しながら成長しており、線状降水帯のような積乱雲群は数十～数百 km（メソ β スケール）、前線や台風は数百～数千 km（メソ α スケール）にまで広がると言われ

ている⁵⁾。

水位データの異常値検出を行う際には、上下流に位置する水位観測所データとの相関が高いため、その特徴を活かしたモデル構築が可能である。一方、降水量を扱う場合には、上述のとおり局地性の高い積乱雲が多様な形態で次々に発生し豪雨をもたらす場合も多いため、前時刻からの突然の変化（10分間で急激な発生や消失）が生じやすい。このため、降水量の異常値検出モデルの検討にあたっては、水位のような直前データとの比較は行わず、同時刻の近隣のデータとの比較を重視することとした。

また、レーダ雨量計データや気象庁アメダス観測所の各種データ等も幅広く比較対象に採り入れることとした。

II. 異常値検出モデルの開発

1. リアルタイム対応：IDW(逆距離加重補間法)モデル

1) モデルの選定

これまでのリアルタイムデータ監視においては、降水量の10分データが観測所毎に定める一定の閾値（数十mm）を超える場合をすべて自動的に抽出していた。このため、大規模な豪雨が発生した時には多数の観測所でフラグが立つため、人間の目によるチェックが十分に及びきれないこともあった。また、平常時に発生する比較的規模の小さい異常値にはフラグを立てられないという欠点も持っていた。

このため、新たなモデルには、以下の観点を踏まえた機能を満たすよう検討を進めた。

- a) チェックの対象となる観測所データを一定の閾値（許容範囲）によって評価するのではなく、近隣観測所のデータと比較し判断する<以下に詳述>
- b) 近隣観測所データだけでは十分な相関が得られない降雨パターンも想定されるため、観測地点のレーダ雨量メッシュデータとも併せて比較する<次項に詳述>
- c) 効率的に異常値を検出できるように、雨の降っていない時や弱い雨の時には許容範囲を小さく、まとまった雨の降っている時には許容範囲を大きくする<次項に詳述>

a)の観点からモデルを構築するために、面的に分布する多数の点群データから当該地点のデータを推定（内挿補間）する方法を調査した。近年ではデジタル画像データの編集や3次元表示等にさまざまな手法が活用されているが、主なものとして以下の5通りの手法が確認された（図4参照）。

① **逆距離加重補間法：IDW (Inverse Distance Weighted)**

当該地点Aから近隣地点B, C, D, ...の距離の逆数を重みとして加重平均を行うことにより、B, C, D, ...の観測値からAの推定値を求めるもの。
統計処理の多くの分野で活用され、降水量の品質照査において日降水量の高度照査でも使用されている手法。

② **三角形分割補間法：TIN (Triangulated Irregular Network)**

近隣地点B, C, Dを結ぶ三角形の面上から当該地点Aの推定値を求めるもの。

航空測量データからの図化等、平面点群処理に多く使われ、降水量の品質照査において月降水量の高度照査でも使用されている手法。

③ **最近傍補間法：(Nearest neighbor)**

近隣地点B, C, Dを結ぶ三角形の三辺にそれぞれ二等分線を引き、当該地点Aの属する領域（最も近い近傍地点）の観測値をAの推定値とするもの。

デジタル画像のリサイズ等多方面で使われる他、流域平均雨量の算定等にも古くから使われている手法。

④ **スプライン補間法：(Spline)**

近傍の複数の点をなめらかな曲線（非線形式）で結び、内挿補間する手法。

点群が比較的少ない場合の面的補間に使われる。

⑤ **クリギング補間法：(Kriging)**

AI（機械学習）モデル。近傍の多数の点群からなめらかな曲線を推定し、内挿補間する手法。

点群が多く連結が困難な場合の面的補間に使われる。

これらの内、②～⑤は平面上（2次元）に分布する点群の持つデータから、面的に広がる3次元連続データを作るものであり、GISデータ処理や画像処理等に幅広く使われているものである。しかし、平面上の1点のデータを補間するという本研究の目的に照らし合わせると、必要以上に精緻なアルゴリズムと

なり、計算量もやや多くなる。

①は、②③に比べて多数の（4点以上の）近隣地点を比較対象とすることが可能であること、④⑤に比べて簡易な計算式であり演算サーバへの負荷を軽減できることが大きなメリットである。

これらの観点から、本研究では①の IDW 法を異常値検出モデルに採用することにした。

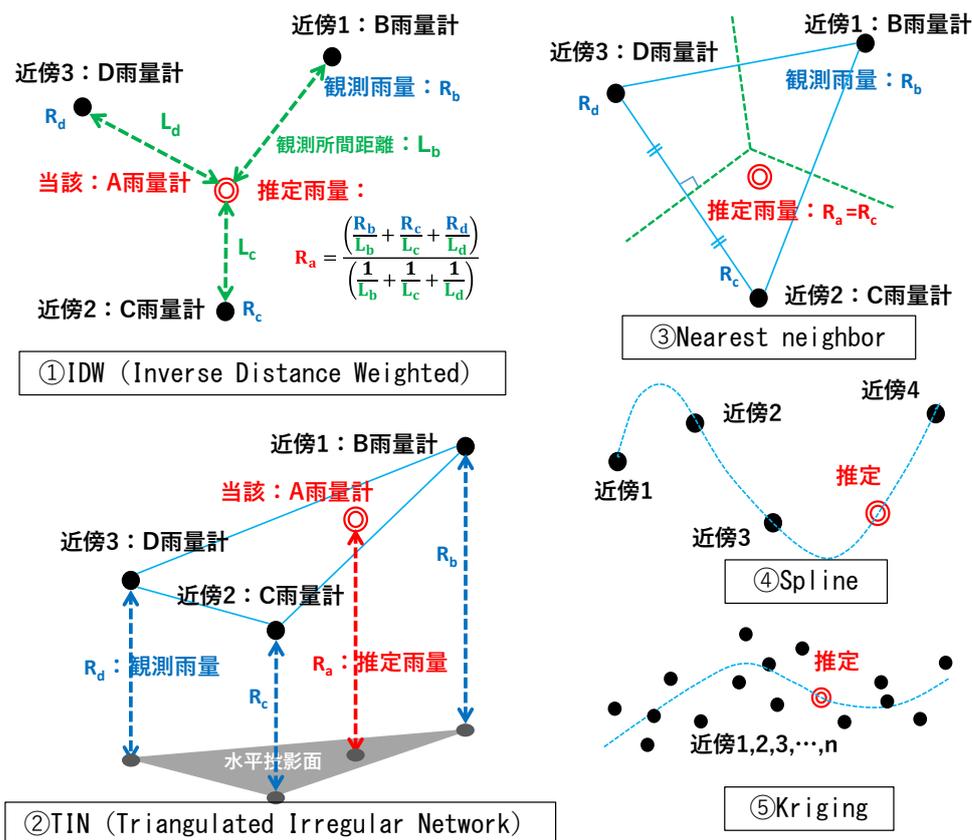


図4 内挿補間法の各種手法イメージ

2) IDW モデルの概要

上記①に示した IDW 法をベースにして、近隣観測所データやレーダ雨量データと乖離する当該観測所データを自動的に抽出するモデルを構築した。

Step1: IDW 推定雨量の算出

チェック対象の A 観測所の近傍に位置する B, C, D 観測所の観測データ R_b, R_c, R_d に a 観測所からの距離に逆比例した重み $1/L_b, 1/L_c, 1/L_d$ をつけ、A 地点の IDW 推定雨量 R_a を下式により求める（図4①参照）。

$$R_a = \frac{\left(\frac{R_b}{L_b} + \frac{R_c}{L_c} + \frac{R_d}{L_d}\right)}{\left(\frac{1}{L_b} + \frac{1}{L_c} + \frac{1}{L_d}\right)}$$

比較対象とする近傍観測所の数は、3箇所に限らずより多数のものを取り入れることもできるが、全国に配置されている国土交通省と都道府県の約7,500観測所に対して均質な計算を行いモデルの精度管理を行うため、3箇所を基本として進めることとした。

Step2: レーダ雨量の取得

また、前項b)の観点から、近隣データだけでは十分な精度が得られないことを踏まえ、当該地点における比較データとしてa観測所の緯度経度に該当するオンラインCバンドレーダ雨量^{*1}の1km²メッシュ（3次メッシュ）データを取得することとした。

*1：国土交通省の所管する26箇所のCバンドレーダの観測データを合成し、地上雨量計データでリアルタイムに補正し、5分毎に1km²メッシュの情報として配信しているもの。

Step3: フラグ閾値（許容範囲）の設定

Step1・2の結果、IDW推定雨量とレーダ雨量の両者ともA観測所データから大きく乖離する場合には、異常の疑いのあるデータとしてフラグを立てる。その際の閾値としては前項c)の観点から、降水量が大きくなると許容範囲が広がるよう設定した。

図5は閾値設定のために作成したグラフであり、四国地方にあるデータのバラつきやすい観測所4箇所分の2019年7～12月のデータを青い点でプロットし、その中で異常値と判定されたデータにフラグを立てられるような境界線を閾値として設定した。

当初はフラグを多めに立てて、後でフラグ発生数を絞り込んで行けるよう、内側の破線で閾値を設定した。その後実際の観測データで検証を行ったところ、許容範囲が狭いためまとまった雨が降った時に「空振り（正常値にフラグが立つ）」が多発し、多数の観測所データをリアルタイムに監視する実務には適用できないことがわかったため、「見逃し（異常値にフラグが立たない）」が発生しない範囲内で外側の実線まで閾値を広げることにした。

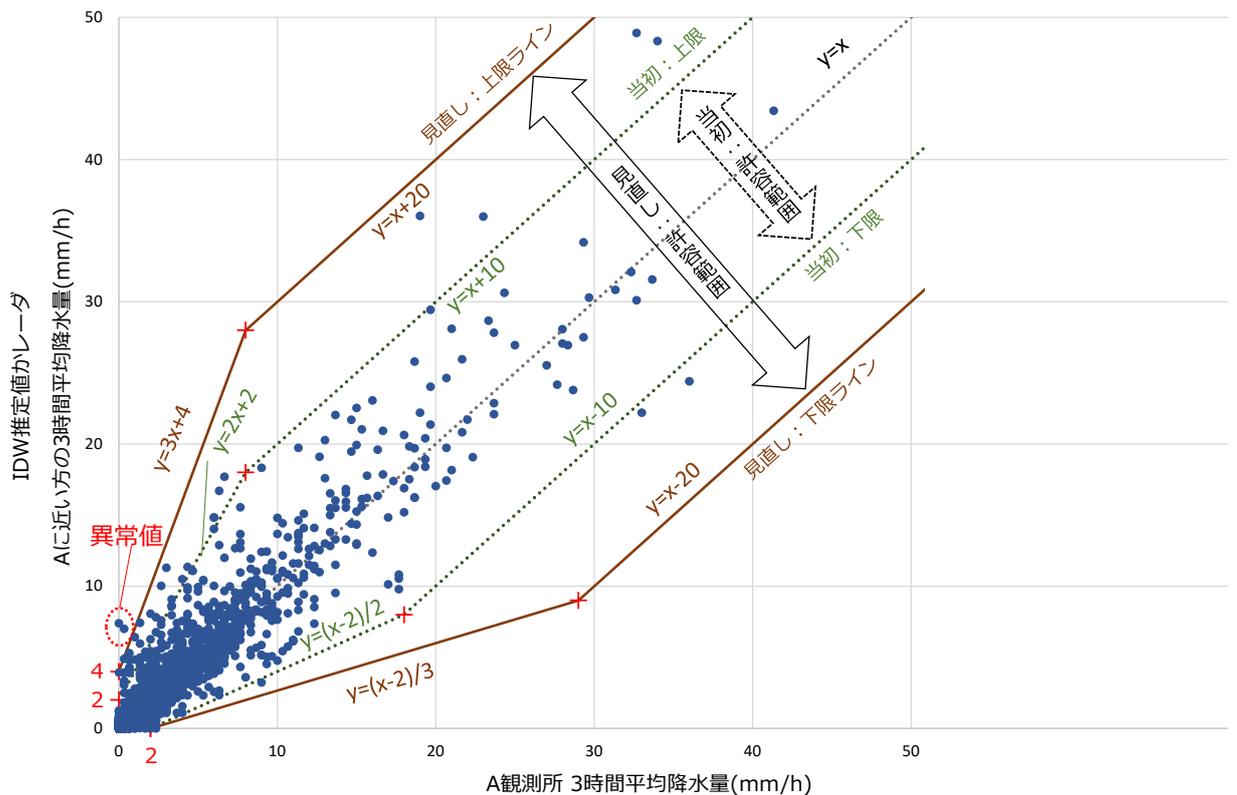


図5 IDW モデル 閾値検討グラフ

Step4: 計算対象時間の設定

当初は、テレメータ雨量観測所のデータ配信ピッチである 10 分間のデータに基づいてフラグを立てることを試みたが、降水域の時空間分布にバラつきが大きいことから空振りが多数に上り、異常値を判定する作業に影響することがわかったため、データを一定時間累加させてフラグを立てることにした。

累加時間を 1 時間と 3 時間に設定して比較検証を行った結果、空振りの発生が少なく見逃しも抑えられる 3 時間を累加時間として採用した。

2. 降雪時対応 : DMC(ダブルマスカープ)モデル

1) ストックデータの品質確保

1 節で紹介した IDW モデルは、周囲と全く異なるデータが急に発生する異常を速やかに見つけるために効果を発揮するものであるが、雨量計に発生する異常は I 章 2 節で示した例（周辺の樹木の影響や降雪の凍結・融解等）のように、周囲と異なるデータが発生し徐々に拡大して行く場合も多い。

これから 2 節、3 節で紹介するモデルは、リアルタイムデータ監視のために

開発した IDW モデルとは性格がやや異なり、データベースに保存し公開されるストックデータを品質照査する際の精度を向上させるため、少しずつ発生する異常値も捉えることができるよう開発を進めたものである。

品質照査の作業は、国土交通省の定める「水文観測データ品質照査要領」等に基づき半年毎に行われているが、AQC(Automatic Quality Check)によって異常の疑いのあるデータを自動抽出する精度が十分とは言えず、膨大に抽出されたデータの中からMQC(Manual Quality Check)によって異常値を見つけ出さなければならない状況にある。また、異常値がAQCで抽出されない場合もある。

特に冬期の降雪後に発生する凍結・融解現象（寒冷時に降った雪が受水器に残り、気温の上昇に伴い遅れて融解してくる現象）は、寒波の来襲によって全国各地で多発し、AQCモデルによる抽出が特に困難なため、効率的な手法が望まれていた。

融解した日の降水量を凍結した日の降水量に置き換える凍結・融解処理は、データの用途によっては必要とされないことも考えられる。しかし、歴史的に多くの観測所では観測員による定期的な測定が行われ、積もった雪は温め溶かしてその日の降水量にカウントしていた経緯があるため、長期間のデータを扱う際の連続性の観点から、現在でも凍結・融解処理が行われている。

2) 凍結・融解メカニズムのモデルへの反映

これまで凍結・融解のチェックは、日降水量を近隣観測所と比較する一覧表を作成し、数 mm 程度以上のデータが発生するタイミングのズレを目視で確認していたが、労力が多い割には精度に限界があり、その対応に苦慮していた。

そのための改善策として、まず観測所間のタイミングのズレをグラフで可視化することを考えた。図6が降雪時のデータに基づくダブルマスカーブの出力例であるが、横軸を照査観測所の時間降水量の累加値、縦軸を近隣の融雪機能の付いた比較観測所の時間降水量の累加値としている。

照査観測所に融雪機能（ヒータ等）がないか不十分な場合には、降雪直後の降水量データは比較観測所のみカウントされ、その時に溶けずに受水器に残った照査観測所の雪は、数時間～数日後に寒気が緩んで気温が上昇した時に溶け始め、カウントが始まることになる。そのため、X、Y軸の時間降水量の累加プロット（＝ダブルマスカーブ）は、照査観測所での凍結時に縦（Y軸）方向に伸び、その後の融解時に横（X軸）方向に伸びることになり、グラフプロ

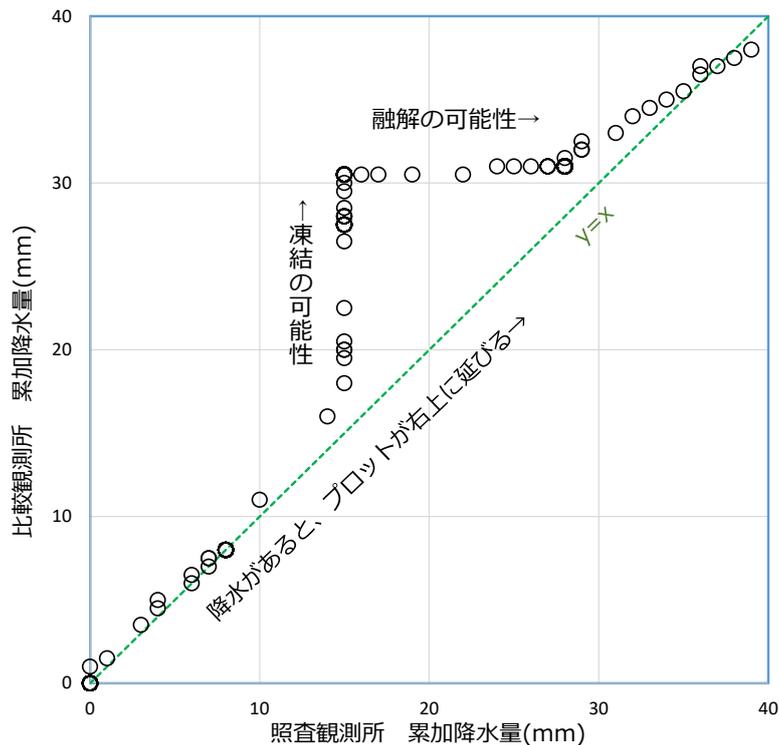


図6 ダブルマスカープに現れる凍結・融解現象

ットの形状から容易に凍結・融解の疑いのあるデータ群を抽出することが可能になる。

3) 気温データからの凍結・融解の推定

さらなる改善策として、照査観測所地点における気温を近隣のデータから推定し、雪の残りそうな低温時に累加プロットが縦（Y軸）方向に伸びた時に「凍結フラグ」、雪の溶けそうな気温上昇時に累加プロットが横（X軸）方向に伸びた時に「融解フラグ」を立てることにより、さらに目視確認を容易にすることが可能になる。

照査観測所の気温を推定するためには、近隣にある気象庁のアメダス観測所の気温データを用いることにした。観測所の場所が互いに異なり、標高も異なるため、アメダス観測所の気温に対して標高差に相当する気温変化量を加除して、下式の通り照査観測所の気温を推定することにした。高度が上昇するにつれて気温が低下する比率（気温減率）は、大気の気温と湿度によって変化するが、標準的な大気の気温減率は100m当たり0.65℃とされているため、この値を標高差に乗じて換算気温を求める⁶⁾。

$$T_s = T_a - 0.65 / 100 * (H_s - H_a)$$

T_s : 照査観測所換算気温(°C) T_a : アメダス観測所気温(°C)
 H_s : 照査観測所標高(m) H_a : アメダス観測所標高(m)

また、0°C近くまで気温が低下すると、湿度によって雪～みぞれ～雨に状況が遷移する。図7の雨雪判定図⁷⁾は概ねの目安を示すものであるが、気温が0°Cを数度上回っても、湿度が100%より低ければ雪やみぞれの状態が残ることが確認できる。大気中の湿度は場所や高度によってさまざまに変化しやすいものであるため正確な推定は難しいものの、この特性を活かして照査観測所の推定気温が3°Cを下回る時には「凍結」、0°Cを上回る時には「融解」が生じうるという設定をDMCモデルに適用することにした。

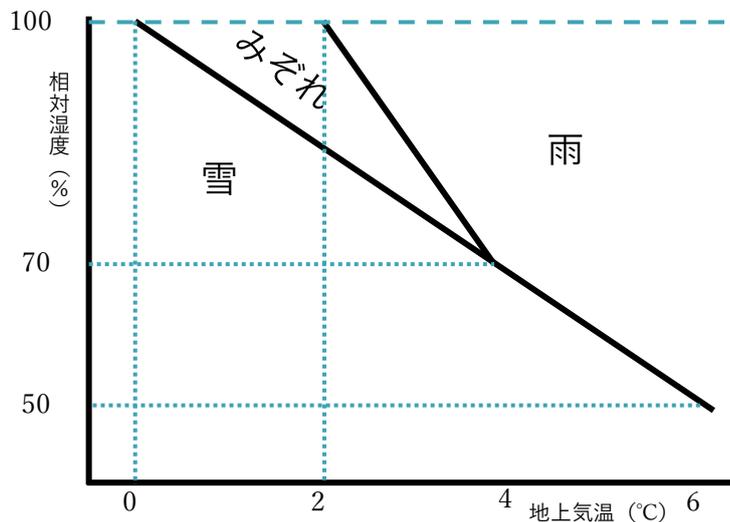


図7 雨雪判定図⁷⁾

4) DMCモデルの概要

2)で述べた凍結・融解メカニズムの可視化と3)で述べた気温データからの推定の手法を組み合わせ、以下に示すStepに沿ってダブルマスカーブ図上で凍結・融解の疑いのあるデータ群を図8のとおり抽出することにした。

- Step1 : 冬期のデータを収集して、横軸に照査対象観測所、縦軸に融雪対策をしている近隣観測所^{*2}の時間降水量の累加値をプロットする
- Step2 : 近隣観測所の気温データから標高差に標準大気の気温減率(0.65°C/100m)を乗じて、照査対象観測所の気温に換算する
- Step3-1 : 照査対象観測所の換算気温が3°C未満、近隣気象庁観測所の3時間降水量が照査対象観測所の3時間降水量の3倍超過の条件を満たした

場合に凍結フラグ（淡色）を立てる

Step3-2：照査対象観測所の換算気温が 0℃超過，照査対象観測所の 3 時間降水量が近隣気象庁観測所の 3 時間降水量の 3 倍超過の条件を満たした場合に融解フラグ（濃色）を立てる

Step4：凍結フラグが連続する後に続いて融解フラグが連続する場合，凍結・融解の疑いがあるデータ群として抽出する

*2：山間部に多く配置され月 1 回の保守点検がなされている国土交通省の雨量計に比べて，気象庁のアメダス観測所は平野部に多く融雪機能も充実しているため，照査観測所から最も近隣にある気象庁アメダス観測所を比較観測所とすることにした。

III. 3. 1)で具体例を紹介する。

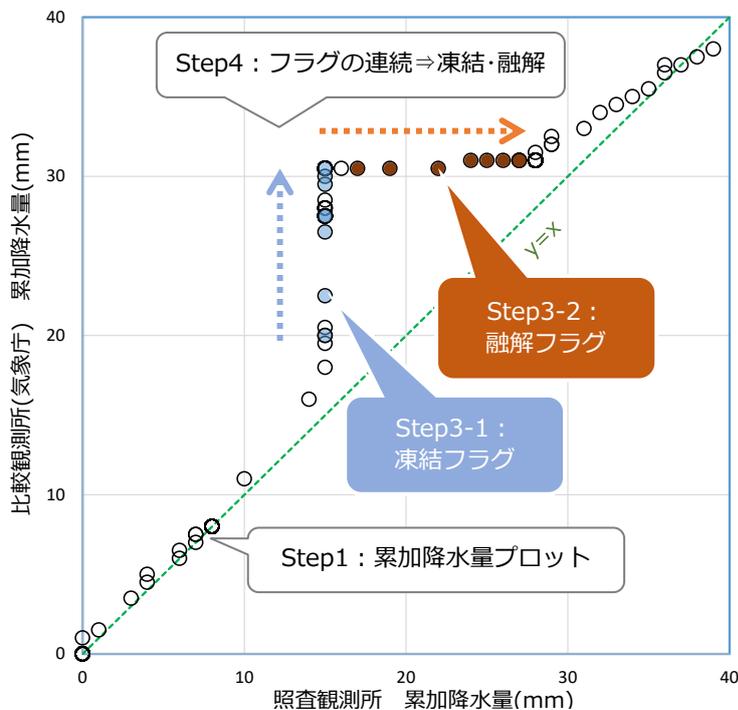


図8 ダブルマスキングモデルの出力例

3. 長期変動対応：MC(マスキング)モデル

1) 長期的に発生する異常値の検出

前節までに紹介した IDW モデルと DMC モデルによって，短期的にデータの乖離が生じる異常値の検出は可能になった。

しかし，I 章 2 節に示したように雨量計に生じるトラブルには，周囲の樹木

や建物の影響，風の影響，落葉等の詰まり，昆虫等の侵入のように，短期間で明白なデータの差異は生じないものの，影響がしばらく続くことによって長期間のデータに大きな開きを招くものもある。

現在は，地方整備局毎に行われる高度照査において近隣の3観測所データとの月毎のデータ比較が以下の2点から行われている。

- ①近隣観測所と当該観測所の日降水量の相関係数を月毎に求め，0.8を下回る月のデータを全て抽出し，表やグラフの目視によって異常の有無を確認する。
- ②TIN法（図4②参照）による月降水量の推定値と実測値の相対差を月毎に求め，±30%を超える月のデータを全て抽出し，表やグラフの目視によって異常の有無を確認する。

しかし，この手法によると，地方毎に数百箇所程度ある雨量観測所の内，数割程度以上の観測所が閾値を超えて抽出され，その中の時間データを一ヶ月分全て目視チェックすることに相当な労力を要するものとなっている。また，多数のデータを長時間かけて目視チェックすることは，ヒューマンエラーを招きかねないものであるため，何らかの補助ツールによる自動検出が必要であると考えられてきた。

この問題を解決するため，品質照査の実務を担当する技術者からのヒアリングを行ったところ，データの一覧表をグラフ化して，累加曲線（＝マスクカーブ）を近隣観測所と合わせて描いてみるのが有効ではないか，という提案を受けることができた。

2) MCモデルの概要

このような経過を踏まえ，前項までのIDWモデル，DMCモデルの長所も取り込み，長期間に異常の疑いのあるデータを抽出し，マスクカーブ上にフラグを立てるモデルを以下のとおり構築した（図9参照）。

- Step1**：横軸に照査対象期間，縦軸に累加降水量をとり，照査観測所A，比較観測所B，C，DとA地点のオンラインCバンドレーダ雨量R（3次メッシュ）の時間降水量データの累加値をプロットする
- Step2**：A観測所と比較して，B，C，D観測所，Rレーダの全ての10日間累加降水量が以下の2点のいずれかに合う場合に，MCフラグを立てる

①差が 10mm^3 以上かつ比率が 3 倍以上

②差が 100mm^3 以上

*3：代表的な観測所で試算を行ったところ，出水期には降水量が地域的に大きく変化しやすく，空振りとなるフラグが多発することがわかったため，以下のとおり月によって倍率をかけて許容範囲を広げることとした。

5月，10月 → 2倍

6～9月 → 3倍

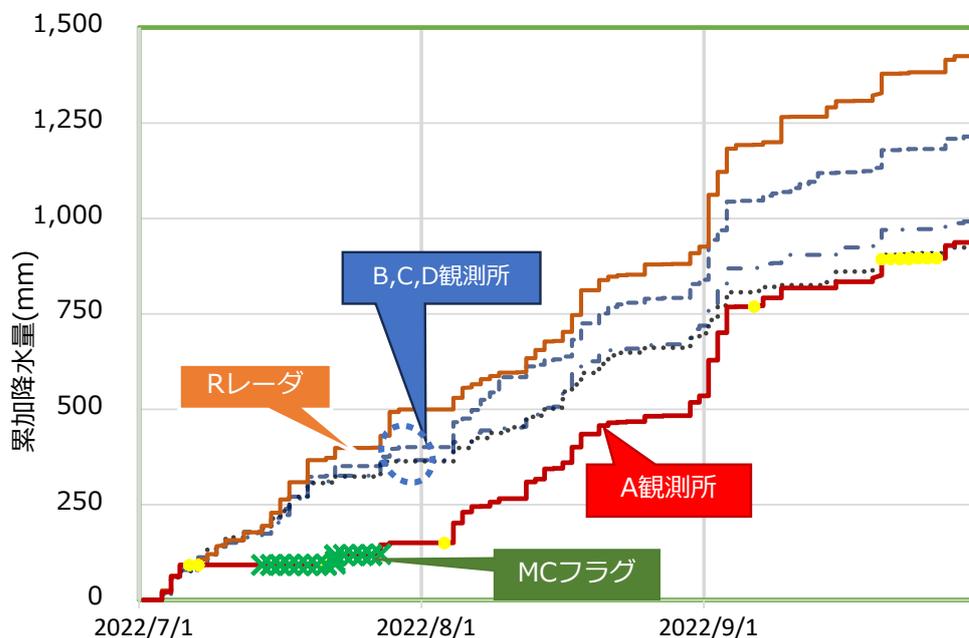


図9 MC(マスク)モデル出力例

図9に示す例では，2022年7月上旬から8月上旬にかけて，他のB，C，D観測所やレーダ雨量では累加降水量が同じようなパターンで増加しているのに，A観測所ではほとんど増加していない。その結果相互のマスクに乖離が生じて徐々に拡大して行くため，10日間累加降水量の差や比率が上記の閾値を超えてMCフラグが発生している。

このような事例に関しては，時間単位の降水量に大きな乖離がなくIDWフラグが立たないことが十分に考えられる。リアルタイム監視では発見できなくても，半年に一度行う品質照査の段階でMCモデルを回して，フラグの発生状況を確認し異常値を見つけて行くことが有効である。

Ⅲ. 3. 2)で具体例を紹介する。

III. データ監視・照査実務への反映

前章で3種類のモデルを紹介したが、IDWモデルはリアルタイムの「監視」のため、DMCモデルとMCモデルは半年毎に行う「照査」のために活用することとして、それぞれの用途に応じたシステム構築を行った。

1. テレメータ異常値検出システムの構築

筆者らは本研究に先立って、水位データの異常値を即時に検出するために、データのバラつき（標準偏差）を活用した 3σ モデルを開発し、図10に示すテレメータ異常値検出システムを構築してきた¹⁾。

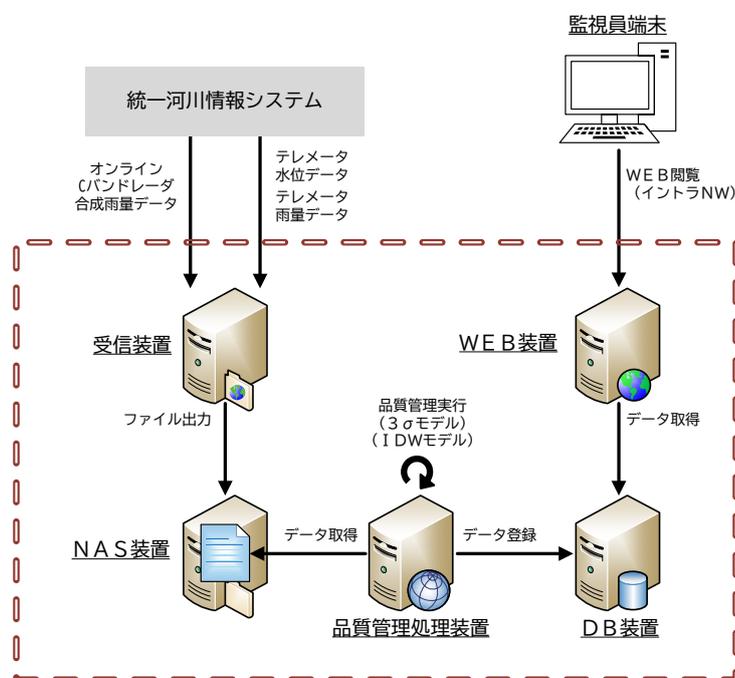


図10 テレメータ異常値検出システム概念図

今回開発した降水量をチェックするIDWモデルも、図10の品質管理処理装置に実装し、水位をチェックする 3σ モデルと併せて新たな監視システムとして実務に役立てることとした。

図11はリアルタイムデータ監視において地方毎に配置された監視員が確認する画面であり、フラグ発生一覧表の中の観測所名をクリックすると、詳細なデータ一覧とグラフを確認することができるようになっている。

グラフには、当該観測所データの他に近隣観測所からのIDW推定雨量とオンラインCバンドレーダ雨量の10分観測値を棒グラフで示すとともに、3時間

累加雨量もそれぞれの色による折れ線グラフで示し、IDW フラグが立った根拠がわかるようになっている。

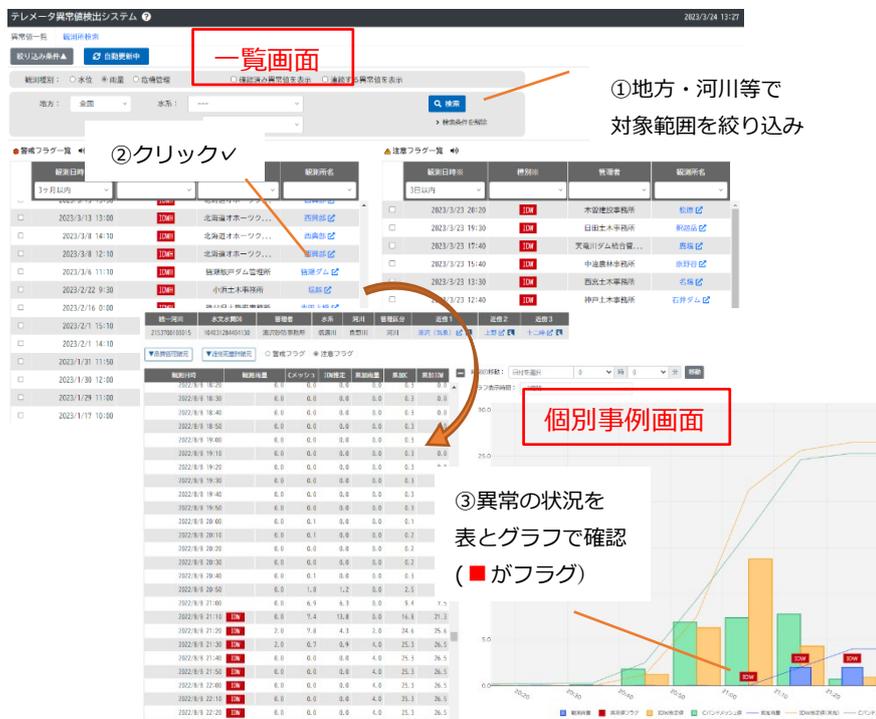


図 11 テレメータ異常値検出システム 操作画面

2. 異常値発生の原因と対策

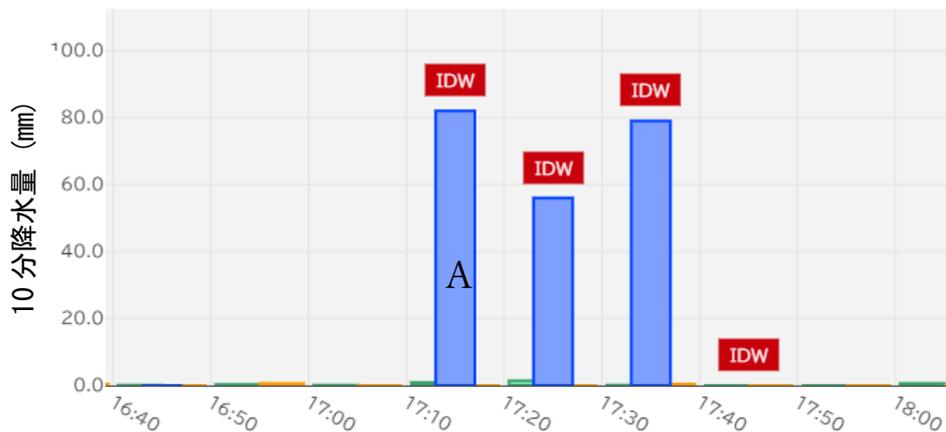
令和 4 年度より IDW モデルを実装して全国の監視を行ってきた中で、代表的な異常値を以下に 5 例示す。それぞれに特徴があり、原因の推定もある程度までは可能であるが、最終的には観測所を点検して原因を特定し、対策を講じて行く必要がある。

CASE-1 : 実績を上回る降雨

図 12-1 の事例では、対象観測所(A)で 10 分間に 80mm 前後の値が続き、30 分間で 217mm が観測されている。これまで気象庁で観測されたデータにおける最大値は、10 分で 55mm、1 時間で 153mm となっているため、明らかに経験のない規模の降水量となっている。さらに、この期間に IDW 推定値(B)とレーダ雨量(C)はほぼ 0mm となっている。

これらの状況を監視員が確認した後、速やかに観測所の管理者に連絡を取って、テレメータの閉局処理（当面のデータ休止）と雨量計の点検を行うよう依

頼している。雨量計の機械的な故障，テレメータシステムのエラー等の原因は想定されるが，現地の状況を確認することによって，その原因を明らかにして



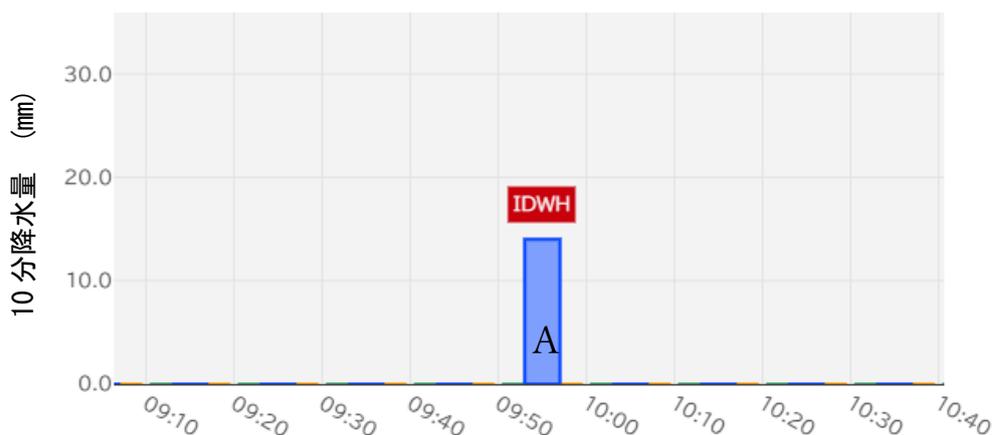
A: 対象観測所 B: IDW 推定値 C: レーダ雨量 ■: 異常値フラグ

図 12-1 異常値検出事例 (CASE-1)

対応策を講じることが可能になる。

なお，この事例は明らかに大きなデータであり，従来の監視システムでも 1 時間で 50~100mm（地方によって異なる）を超えるデータは自動抽出されていたので，IDW モデルを導入する以前でも発見できていたものである。

CASE-2: 突発する短時間降雨



A: 対象観測所 B: IDW 推定値 C: レーダ雨量 ■: 異常値フラグ

図 12-2 異常値検出事例 (CASE-2)

図 12-2 の事例では、対象観測所(A)で 10 分間に 14mm の降雨が記録されている。10mm/10 分を上回る降雨はさほど珍しいことではないが、この場合には IDW 推定値(B)もレーダ雨量(C)も 0mm であるため、IDW フラグが立っている。

夕立や雷雨等のように積乱雲が局地的に発生し移動する場合、レーダ雨量の精度によっては、このようなデータが確認されることも少なくない。一般的に、単独に発生する積乱雲は空間スケールで数 km、時間スケールで 1 時間程度の気象現象と言われているので、10 分間のデータだけでは明確な判断が難しい場合もある。

しかし、この場合には、前後の数十分間においても比較データ共 0mm であるので、雨雲が実際に発生したのではなく CASE-1 と同じく機械的・電氣的なトラブルが原因と判断することができた。このため、異常値を観測所の管理者に連絡し、適切な対応を講じてもらうよう依頼した。

これに類似した例として、雨の降っていない時に 10mm/10 分のデータが観測されることがある。この原因の多くは、月に一度行う観測所の定期点検の際に、テレメータの閉局処理を忘れて雨量計の注水試験（10mm 分の水量を落下して転倒マスの作動を確認）を行ったことによるものである。

このような数十 mm 程度までの突発データは、従来の監視システムで自動的には見つけられないものであるので、このような事例に対する抽出精度は格段に向上したと考えられる。



図 12-3 異常値検出事例 (CASE-3)

CASE-3 : まとまった降雨時の無降雨

図 12-3 の事例では、10 分で 10mm 程度の降雨が IDW 推定値 (B) やレーダ雨量 (C) で確認されているが、対象観測所 (A) では全く降雨が観測されていない。このデータだけで異常値と断定することはできないので、雨量レーダの画像等を確認して最終的な判断をすることになる。

このような場合には、雨量計の機械的・電氣的なトラブルが考えられるが、周囲の環境から何等かの影響を受けていることも考えられる。いずれにしても、異常値を観測所の管理者に報告して影響が長く続かないように、点検し対策を講じてもらうことになる。

CASE-4 : まとまった降雨時の少雨

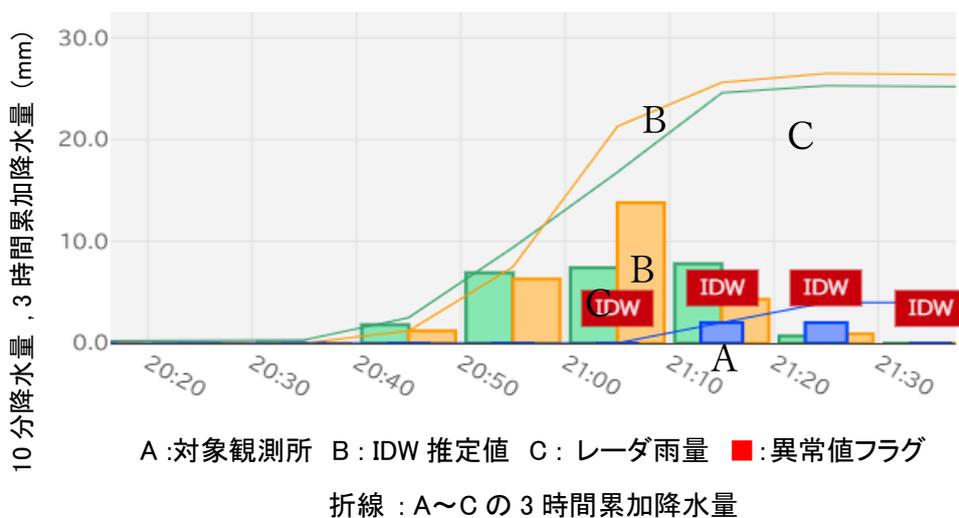


図 12-4 異常値検出事例 (CASE-4)

図 12-4 は CASE-3 に似た事例ではあるが、対象観測所 (A) でも少量ではあるが雨量が観測されている。このような場合には、I 章 2 節で列記したような樹木や風等による周囲からの影響や受水器の目詰まり等が考えられる。局地的な雨である可能性もあるので異常値であるかどうかを即断することは難しいが、その後何度もフラグが発生するようであれば、異常値と判断することができるので、管理者による点検と対策を講じてもらうことになる。

樹木や風等の影響を受ける観測所では、影響が小さい場合には IDW モデルで

もフラグが立たないこともあるので、後述するように MC モデル等を活用して長期的な観点から品質照査を行い、異常値を確認し対策を考えていかなければならない。

CASE-5：降雪の凍結・融解現象

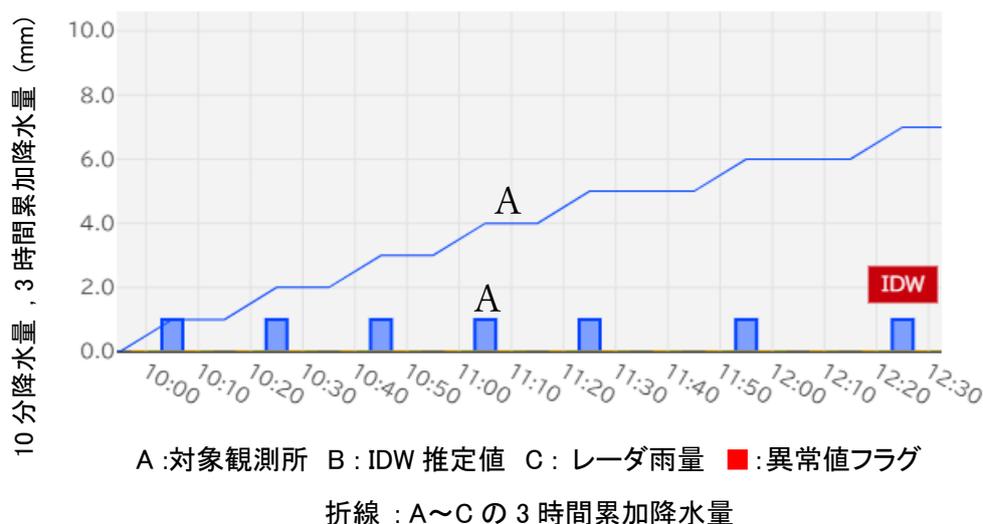


図 12-5 異常値検出事例 (CASE-5)

図 12-5 の事例は、西日本において冬期に寒波が来襲し、まとまった雪が降った翌日に 1mm の降水データが 20～30 分毎に観測されたものである。なお、前日（雪の降った日）の降水量は 0mm となっている。

この原因は I 章 2 節でも例示した、降雪の凍結・融解現象と考えられる。雨量計にヒータ等の融雪機能をつけていない場合や機能が十分でない場合には、このように寒波が緩んだ後に遅れて雨滴となりデータが観測されることは止むを得ないことである。また、降雪量が少ない場合には CASE-4 と同じように IDW フラグが立たないこともあるので、その後の品質照査において詳細に分析を行う必要がある。その際には後述するように、II 章 2 節で詳述した DMC モデルを活用して、融解した日から降雪した日に降水データを置き換えること等が可能になる。

以上 5 種類の事例を CASE-1～5 として示したが、再度整理すると表 1 のとおり、従来の監視システムでは十分に自動抽出できなかった異常値に対応が可能になったことがわかる。

IDW モデルの導入によって、異常値を自動抽出する精度は高くなり、防災等の観点から速やかに発見すべき異常値は概ね対応できるようになったと考えられる。ただし、II章1節2)項で示したフラグの閾値(図5)によってモデルの感度は大きく変わるので、今後も観測データや判定事例を蓄積して行きながらモデルのチューニングを行い、より適切な閾値に見直して行くことが重要である。

表1 異常値の特徴と対応できる検出モデル

CASE	特徴	異常の疑い	従来監視システム	新システム(IDW)	照査用モデル
1	実績を上回る降雨	極めて大	○	○	—
2	突発する短時間降雨	大	△*1	○	—
3	まとまった降雨時の無降雨	大	△*1	○	—
4	まとまった降雨時の少雨	中	×	△*2	MCモデル
5	降雪の凍結・融解現象	中	×	△*2	DMCEモデル

*1: 監視員が全ての観測所データを目視確認する中から発見するため、
出水時等の繁忙時には見落としが生じやすい

*2: 異常の程度の小さいものはIDWフラグが立たないので、照査用モデルによる補完が必要になる

しかし、閾値(許容範囲)を狭めると、フラグが増えて小さな異常にも対応が可能になるが、空振りとなるフラグが多発して出水時等の繁忙時の監視業務に影響が生じ、却って全体の精度を低下させる恐れがある。異常の程度の小さなものは品質照査の段階で、次節で示すようにDMCモデルやMCモデルの活用によって抽出することが望ましい。

3. 品質照査への反映

前節までに示してきた通り、降水量データには速やかに発見すべき大きな異常値だけでなく、周囲の影響等から徐々に生じて行く異常値もあるので、半年に一度行っている品質照査(河川事務所における標準照査と地方整備局等における高度照査)において精査を行うことが重要である。

国土交通省の定める「水文観測データ品質照査要領」では、特に大きな観測値を標準照査でチェックし、月毎の近隣観測所データとの誤差を高度照査でチ

チェックすることとしているが、両方の照査を行っても抽出できない異常値も少なくない。

このため、新しく開発したDMCモデルとMCモデルを有効に使用して、高度照査段階における異常値の抽出精度の向上を図ることとした。

1) DMC(ダブルマスカーブ)モデルの活用

前節の「CASE-5：降雪の凍結・融解現象」で例示したデータ（図12-5）をDMCモデルで図化してみると、図13のとおり凍結フラグと融解フラグが階段状に折れ曲がって表示された。融雪機能のある観測所を縦軸に取っているため、降雪日には気温も低く凍結フラグが縦に連続し、降雪が終わり気温の上があった頃から融解フラグが横に連続しており、降雪量が後日の降水量として現れていると判断できる。

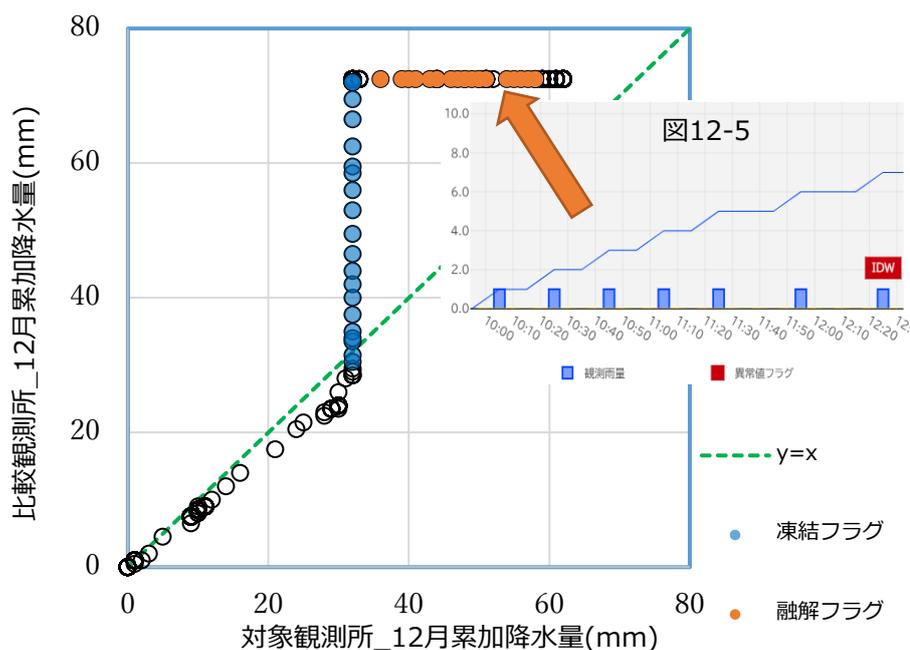


図13 ダブルマスカーブモデルによるIDWフラグ事例の精査

冬場の降雪時の降水量は正確な把握が難しく、河川の計画や管理のために必要となる日降水量だけでもより正確に把握したいという考えから、融解した降水量を凍結したと推定される日の降水量に加算することとしている。融解した日に降水量をカウントしても大きな問題となるものではないが、観測員による普通観測が行われていた時代から、一日の降水量を（雪は溶かして）定時にま

とめて測っていたため、その頃のデータの性格になるべく合わせる様に、今でもこのような処理を行っているものである。

冬期の降水量は、高水計画・管理に使われることはほとんどなく、低水計画・管理の観点から日降水量単位で使われることがほとんどであるので、過去のデータとの整合性をなるべく確保するために、このような凍結・融解処理が行われている。

2) MC(マスカープ)モデルの活用

前節の「CASE-4：まとまった降雨時の少雨」で例示したデータ（図12-4）をMCモデルで図化してみると、図14のとおりMCフラグ（×）が複数回発生している。対象観測所(A)の累加曲線（マスカープ）を詳細に見ると、概ね他の比較観測所と類似した傾向を示すものの、MCフラグ付近では他の観測所よりかなり小さいデータしか観測されていないことがわかる。

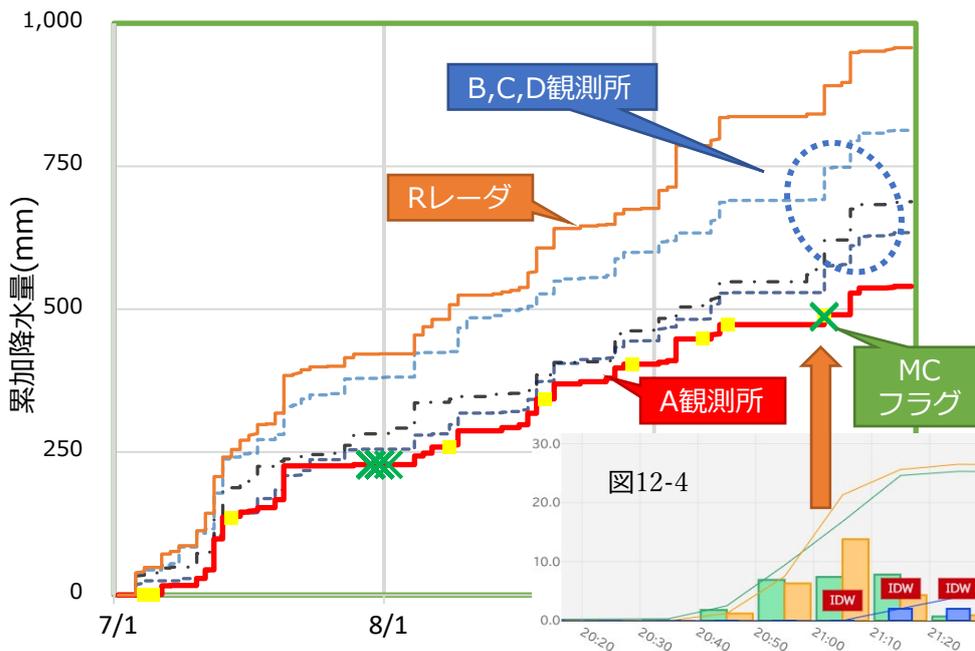


図14 マスカープモデルによる IDW フラグ事例の精査

国土交通省の管理する雨量計では概ね1カ月に一度の定期点検がなされるので、その際に受水器や転倒ますの詰まり等の不具合が解消される場合も多い。図14のような事例が生じた場合には、観測所の点検記録簿等をよく確認して、現地の観測機器や周辺の状態に異常の発生原因がないかどうかを分析する必要がある。

特に、周囲の樹木が成長して徐々に影響を強めるために、観測値がわずかずつ低下することが問題となることが多い。山間部に多く配置されている国土交通省や都道府県の観測所ならではの課題であり、樹木の所有者との調整がうまく進まないことも多いようであるが、枝打ちや伐木を適切に進めて行くことが重要である。

IV. 今後の課題

1. レーダ雨量データの品質向上

I 章 1 節でも述べたとおり、防災・減災の観点からは XRAIN を中心としたレーダ雨量データの重要性が近年高まってきている。洪水予測モデルにおいても、入力データを地上雨量計とする集中型モデルから、レーダ雨量計とする分布型モデルへの改良が進んできている。

しかし、ノイズ等によってレーダ雨量データに生じる誤差を抑えることには限界がある。このため、地上雨量計を適切に管理してデータを即時に提供し、さらに統計データとして精度良く保存していくことが重要であることは、今後とも変わらないと言える。河川整備計画等を策定・更新する際には、今でも地上雨量計のデータが信頼性の観点から使われているため、その精度の維持・向上は今後も重要である。

このように、防災・減災はレーダ雨量が主体、河川計画は地上雨量が主体、という役割分担が今後も続くと思われるが、全国的な配置の進む XRAIN データをさらに地上雨量データで補正して、より精緻なストックデータとして活用することも将来的には検討する必要があると考えられる。

2. 観測所の適正配置とテレメータ化

全国にあるテレメータ雨量観測所は、気象庁（アメダス）が約 1,300 箇所、国土交通省が約 2,400 箇所、都道府県が約 5,000 箇所存在しており、合計すると約 8,700 箇所となる。日本の国土面積は約 37.8 万 km² であるので、1 箇所当たりの面積は約 43 km² となり、平均的には約 6.5km 四方に 1 箇所存在することになる。

局地的に発生する積乱雲一つの大きさは数 km 程度なので、欲を言えばより多数配置すべきとも言えるが、コスト面から今以上に増やすことは現実的では

ない。

基本的には、気象庁の観測所は生活面での利便性から都市や集落等の居住地に多く配置され、国土交通省や都道府県の観測所は河川防災等の観点から山間部に多く配置されている。しかし、場所によっては近接して複数の観測所がある例も見受けられるので、前節で述べたレーダ雨量との役割分担を十分に踏まえて、間引いて行くこと等も考えなければならない。

逆に言えば、急峻な山岳地では稜線を超えると雨雲のでき方が大きく異なることも多いので、主な山地斜面の向きに合わせて最低限の配置を維持し、場合によっては空白地域に増設を考えることも必要と考えられる。

また、国土交通省所管の地上雨量観測所の約1割は現地での自記紙やデータロガーによる記録のみであり、テレメータが導入されていない。山間部では導入コストが嵩む場合もあるので全てに対応することは難しいが、データの利活用を高めるためには、極力導入を進めて行くことが望ましい。

3. 観測所の環境保全

前節で述べたとおり国土交通省の管理する雨量観測所は、山間部に多いため、維持管理コストがかかりやすい性格がある。また、月に1回の定期点検を行っているが、普段人目につきにくい場所が多いため、観測機器やその周辺に不具合が生じていても発見しづらい性格もある。

I章2節で述べた通り、地上雨量観測所にはさまざまな不具合によって異常値が発生していることが確認されている。観測機器の機械的・電氣的なトラブルが発生することを全て未然に防ぐことは難しいが、定期点検の際に古い部品を交換する等の予防措置を取ることが望ましい。また、周辺の樹木や建物の影響によって雨滴の捕捉率が低下すること等については、予防措置を取ることが可能であるが、徐々に進行するため見落とされやすい問題である。樹木の所有者等との調整や移転先の確保が難航することもあるが、河川計画・管理の基礎をなす貴重なデータの品質確保のために、根強く対応を進める必要がある。

V. おわりに

本論文の要点を整理すると以下の通りとなる。

- (1) 時間的・空間的に様々に変化しやすい降水量データの品質を向上させるため、IDW(逆距離加重法)モデルを開発した。既往研究において開発して

いたリアルタイム異常値検出システムに組み込み、24 時間データ監視における運用を開始した。

- (2) 地上雨量計には、周辺の樹木繁茂の影響や降雪の影響等より、微小な異常値が徐々に生じることも多い。このため、半年に一度行う品質照査においてストックデータの精度を向上するために、DMC(ダブルマスカーブ)モデルと MC(マスカーブ)モデルを開発し、試行運用を開始した。
- (3) 地上雨量計データは防災・減災のためのリアルタイム配信だけでなく、河川の計画立案や各種の調査・研究等のために長期的なデータ保存がなされているため、精度の高いデータを今後も蓄積して行く必要がある。このため、上記 3 モデルの活用による精度向上に併せて、適切な保守・点検によって良好な観測環境を維持していくことが重要である。

本論文において記述した各種の異常値検出モデルは、(一財)河川情報センターの自主研究として開発した。また、実用性を高めるために、IDW モデルの試行や改良は国土交通省から委託された「河川情報データ監視業務」の一環として行い、DMC モデルと MC モデルの試行や改良は国土交通省の地方整備局等から委託された「水文観測データ高度照査業務」の一環として行った。

検討の過程において全国の地方整備局の職員等各位からの貴重な意見やアドバイスをいただいたので、この場を借りて感謝申し上げたい。

参考文献

- 1) 田所・岡田・渡辺・辻本：河川水位データの異常値検出システムの開発，水利科学 2023. 6
- 2) 国土交通省：国土交通白書 2022
- 3) 文部科学省・気象庁：日本の気候変動 2020
- 4) 吉崎正憲・加藤輝之：豪雨・豪雪の気象学，朝倉書店，2007
- 5) 小倉義光：メソ気象の基礎理論，東京大学出版会，1997
- 6) 小倉義光：一般気象学，東京大学出版会，1984
- 7) 天気予報技術研究会編：気象予報試験実技演習例題集，2000