

レーダ雨量計の仕組みと運用

一般財団法人 河川情報センター (FRICS)
研究第一部 深見 和彦



はじめに

激甚な水害の頻発 および 気候変動影響による降雨外力増大が懸念される中で、河川・流域でのハード・ソフト施策を総動員する流域治水の推進が求められている。

★レーダ雨量計の特長：

広域性、即時性、
時空間的網羅性・詳細性、
面的把握の直感的容易性、定量性

→ 降雨分布の面的・網羅的かつ迅速な把握に優れるレーダ雨量情報には、ダム的高度運用や、大河川から山地上流域・中小河川に至る洪水予測（水害リスクライン）に基づく水門操作・避難等の防災・減災活動のトリガー情報となり、それらの活動を支える基本情報としての役割が期待される。

**雨の情報(降り方・面的な分布・降雨量等)を
きめ細かに把握することが重要**

出典：中国新聞HP

土石流災害による
被害状況



山岳域へ長時間雨が降り続くことで・・・

内水氾濫による
被害状況



局所的に短時間の強い雨が降ることで・・・

出典：佐賀河川事務所HP

河川の氾濫による被害状況



多量の雨が河川に集まることで・・・

出典：産経新聞HP

内容

1. レーダ雨量計の概要
2. レーダ雨量計の観測原理
 - (1) Cバンドレーダオンライン補正合成
(Cバンド単偏波レーダ)
 - (2) XRAIN
(CバンドMPレーダ/XバンドMPレーダ)
3. レーダ雨量計の設備・システム
4. レーダ雨量計合成雨量の観測精度
5. レーダ雨量計データを利用するにあたっての留意事項
6. まとめ

1. レーダ雨量計の概要



The screenshot shows the XRAIN website interface. On the left is a map of Japan with a radar overlay. The top navigation bar includes '国土交通省 川の防災情報' and search functions. A secondary navigation bar contains icons for '概況', '発表情報一覧', '観測所一覧', '登録地点', 'レーダ雨量', '洪水想定', and '表示設定'. The main content area is divided into sections: '履歴動画再生' (History Video Playback) with buttons for '1時間(5分間隔)', '3時間(30分間隔)', and '6時間(60分間隔)', and a '再生' button; '表示設定' (Display Settings) with a '透過率' slider and '分割表示' options for '表示切替' (1枚表示, 4枚表示) and '表示間隔' (5分間隔, 30分間隔, 60分間隔); and 'SNS共有' (Social Media Sharing) with icons for Facebook, Twitter, and LINE. A 'レーダ雨量' legend is visible at the bottom left of the map area, showing a color scale from 0 to 80 mm/h. A red box highlights the 'レーダ切替' (Radar Switch) section, which contains two options: 'XRAIN' (観測日時: 2022/09/21 11:18) and 'Cバンドレーダ' (観測日時: 2022/09/21 11:10).

オンライン配信されるレーダ雨量全国合成プロダクトは、2種類ある。

This is a close-up of the 'レーダ切替' (Radar Switch) section. It features a blue header with the text 'レーダ切替'. Below the header are two buttons: a blue button labeled 'XRAIN' with the observation time '観測日時: 2022/09/21 11:18', and a white button with a blue border labeled 'Cバンドレーダ' with the observation time '観測日時: 2022/09/21 11:10'. At the bottom right of this section, there is a link for 'レーダ雨量ご利用上の注意事項'.

レーダ雨量計の種類

オンライン配信データプロダクトとして見ると、

1) **XRAIN** (e**X**tended **RA**dar **I**nformation **N**etwork) データ

250mメッシュ、1分毎観測、1~2分後配信。(地上雨量計による補正無しで精度確保)
MPレーダ(**CMP** + **XMP**)のみ利用 = **CX合成**データ (Cバンド単偏波レーダは利用せず)
→ 全国的にはまだ整備途上にある。(近畿地方以西は、全CバンドレーダのMP化完了済)

2) **Cバンドレーダ** (Cバンドレーダオンライン補正合成) データ

1kmメッシュ、5分毎観測、5~10分後配信。(地上雨量計による補正付き)
全**Cバンド**レーダ (**Cバンド**単偏波 + **CMP**) を利用 (XMPは利用せず)
→ 2002年度以来、長年にわたり継続してきた従来型のプロダクト

※ Cバンドレーダ同時刻補正合成データ (オフラインデータ)

1kmメッシュ、5分毎観測、約3時間後作成・保存
全**Cバンド**レーダ (**Cバンド**単偏波 + **CMP**) を利用 (XMPは利用せず)

レーダ雨量計機器 (ハード)として見ると、

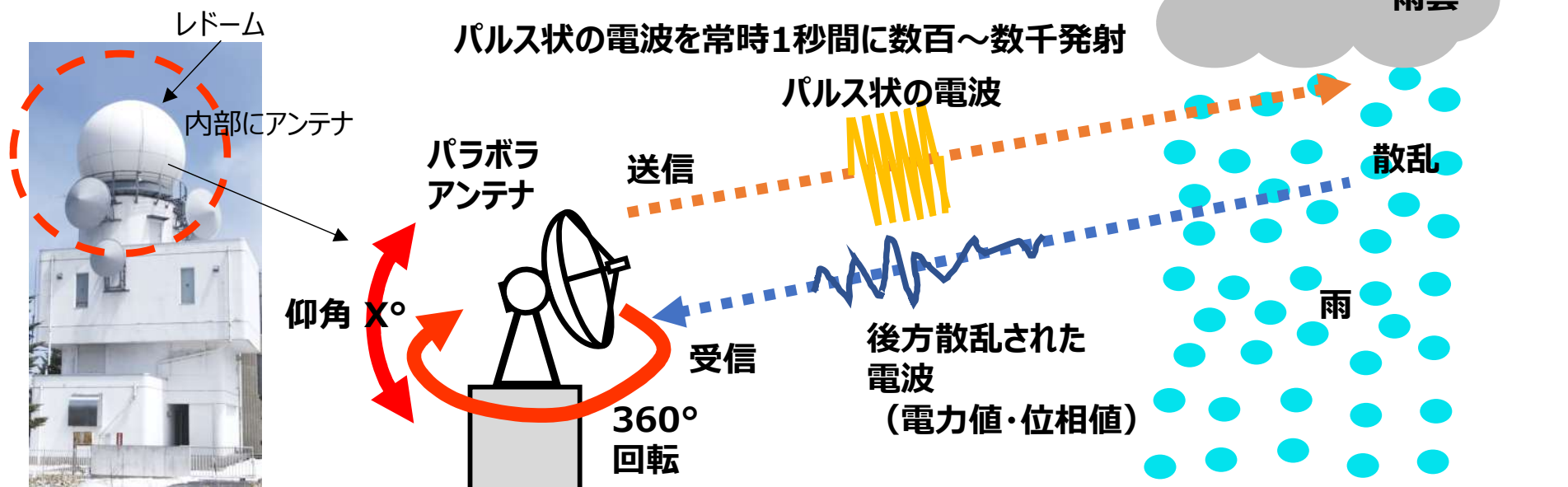
a) **Cバンド** (単偏波) レーダ

b) **Cバンド**二重偏波ドップラーレーダ (**CMP**: CバンドMPレーダ)

c) **Xバンド**二重偏波ドップラーレーダ (**XMP**: XバンドMPレーダ)

レーダ雨量計について 1

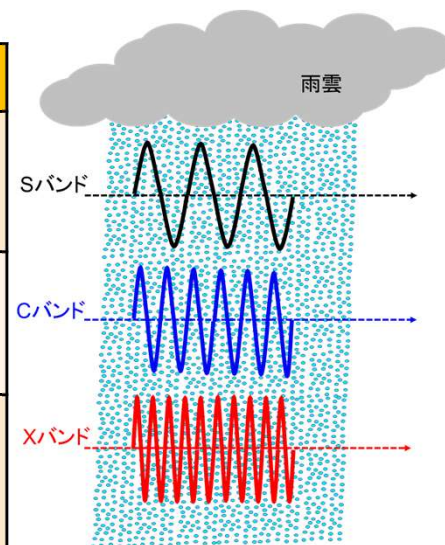
◆レーダ雨量計の観測原理



パラボラアンテナ(空中線)直径はSバンド(富士山レーダー)は5m、Cバンドは4-5m、Xバンドは2m程度

◆降水観測レーダの種類

種類	概要
Sバンド (波長約10cm)	長距離の観測が可能で、降雨減衰の影響が少ないため、広大な土地を有するアメリカなどで使用されている。感度は低く、空間分解能は低い。 日本も富士山レーダーで使用された(1999年まで)
Cバンド (波長約5cm)	感度が高く、空間分解能はやや高い。中～長距離の観測が可能。降雨減衰の影響はやや受ける。ヨーロッパや日本などで使用されている。 国交省水局所有レーダの観測範囲：定量※ ¹ 120km程度、定性※ ² 300km程度
Xバンド (波長約3cm)	感度が非常に高く、空間分解能も高い。短～中距離の観測が可能。降雨減衰の影響は大きい。主に研究用に使用される。 日本では二重偏波機能を利用することで降雨観測の実運用を実施している。 国交省水局所有レーダの観測範囲：定量※ ¹ 60km程度、定性※ ² 80km程度



※¹ 出水期において、融解層よりも低い高度の雨量を観測できる範囲

※² 雨域の分布や移動状況がわかる範囲

○全国陸域（特に1級水系）での網羅的な観測を効果的・効率的に行う観点（精度確保と少ない観測所数の両立）から、**Cバンド**レーダにより全国レーダ雨量計網の整備を開始（1975年～）。地上雨量計によるオンライン補正で精度改善（1998年～）。

※日本は山地が多く地形が複雑なため、Sバンドレーダによるロングレンジ観測は効果的ではない。

○2008年にゲリラ豪雨災害・水難事故が頻発

→ 都市・人口稠密域（および砂防渓流域）での高時空間分解能・高速配信データの必要性

→ 地上雨量計によるオンライン補正を必要とする当時の**Cバンド**レーダ技術（**ZR法**）では対処不可能。

→ 防災科学技術研究所等で開発が進んでいた**XバンドMPレーダ**（**Kdp法**）を導入
→ 地上雨量計によるオンライン補正を行うことなしに高精度を確保
（2010年のXRAINサービス開始時は、**XMP**のみで構成）

※但し、Xバンドレーダは観測範囲が狭く、かつ、降雨減衰の影響を受けやすいことから、対象域（人口稠密域等）に集中的に多数配置する必要があった。）

○2015年度以降、研究実績の積み重ねを背景として、MPレーダ技術（**Kdp法**）をCバンドレーダにも適用（**Cバンドレーダ**を漸次的に**MP化**）し、既存の**XMP**も生かしつつ、XRAIN網を効率的に全国展開へ

単偏波レーダ

水平偏波の観測

Cバンドレーダ：6基※2022.9時点

順次、単偏波からMPへ更新中

雨量換算手法：ZR法($Pr \Rightarrow Z \Rightarrow Rr$)

同じ降雨量でも、雨滴の粒径分布により、雨量換算の元となる観測値(Z)のばらつき大。

降雨によって観測精度にばらつき有り

≒地上雨量による補正が必要

二重偏波レーダ(マルチパラメータ(MP)レーダ)

水平偏波と垂直偏波の観測

XMP：39基 CMP：19基 ※XRAIN運用中。2022.9時点
赤城山CMPは試験中

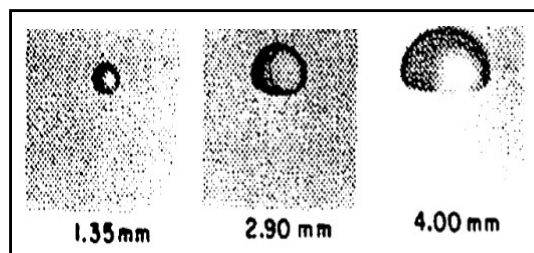
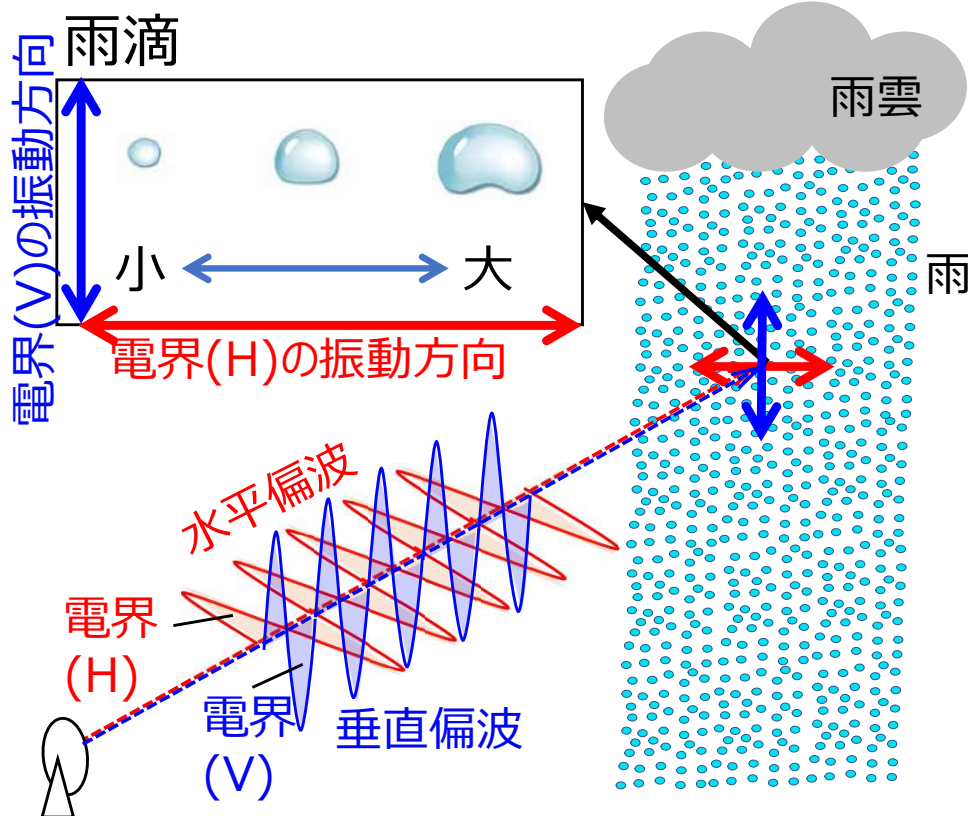
雨量換算手法：Kdp法($\Phi dp \Rightarrow Kdp \Rightarrow Rr$)

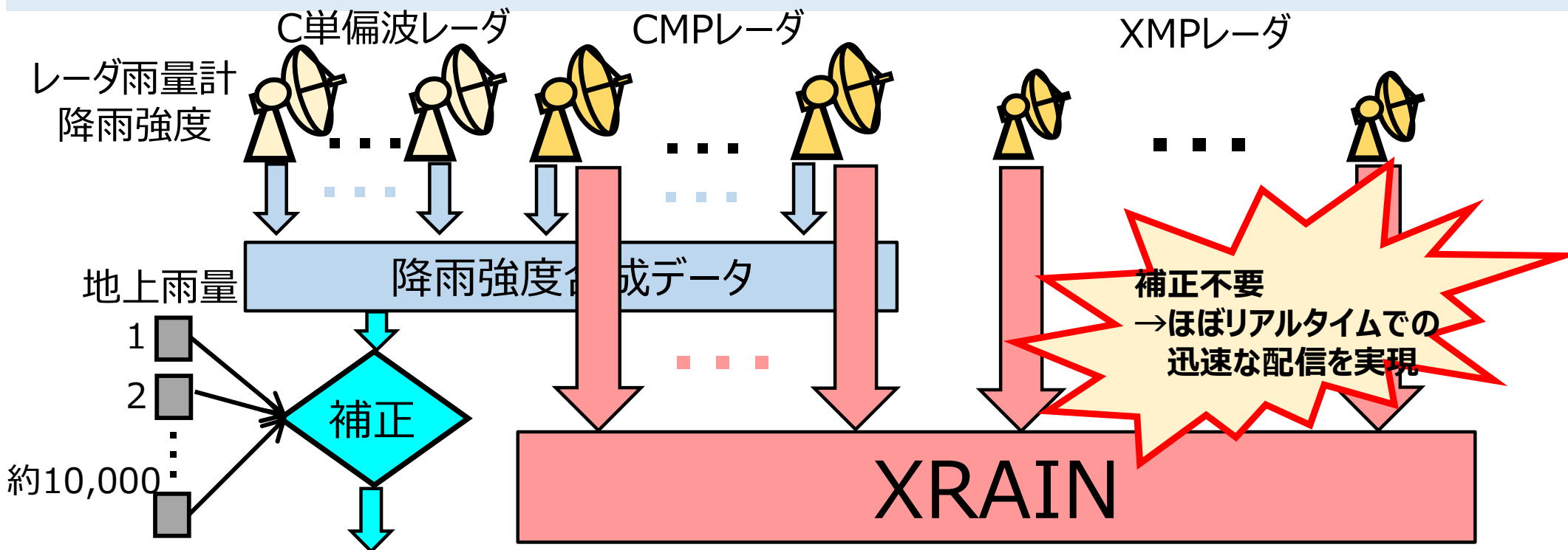
同じ降雨量において、雨滴粒径分布による雨量換算元の観測値(Kdp)のばらつき小。

※実運用上はKdp法(強雨時)とZR法(弱雨時)を合わせて運用

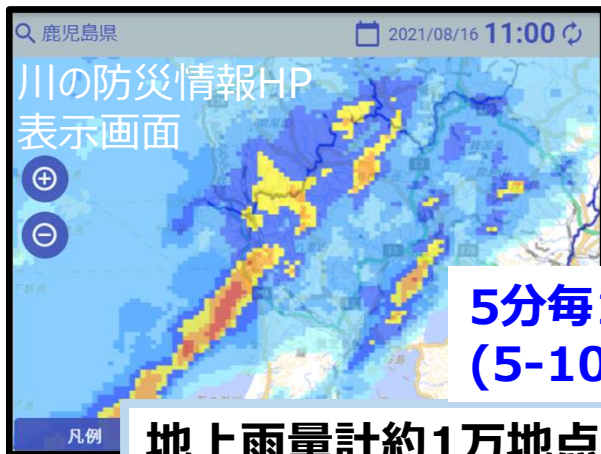
降雨によらず高精度に観測

≒地上雨量による補正が不要





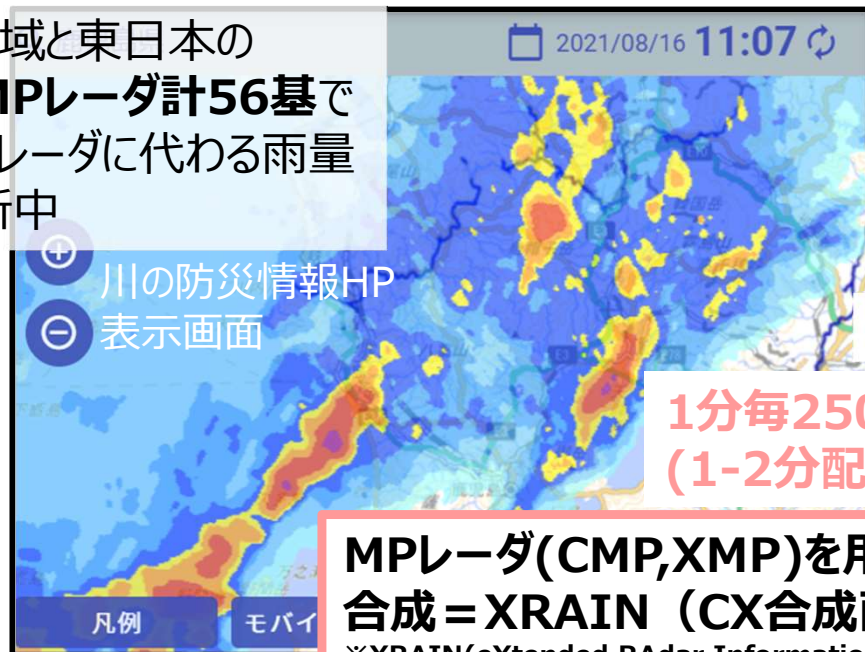
Cバンドレーダ(オンライン補正合成)



地上雨量計約1万地点を使ったリアルタイム補正処理をしたCバンド全国合成 = Cバンドオンライン補正合成雨量

西日本の全陸域と東日本の殆どの地域をMPLレーダ計56基でカバー、Cバンドレーダに代わる雨量として拡大更新中

Cバンドレーダ



MPLレーダ(CMP,XMP)を用いた全国合成 = XRAIN (CX合成雨量)

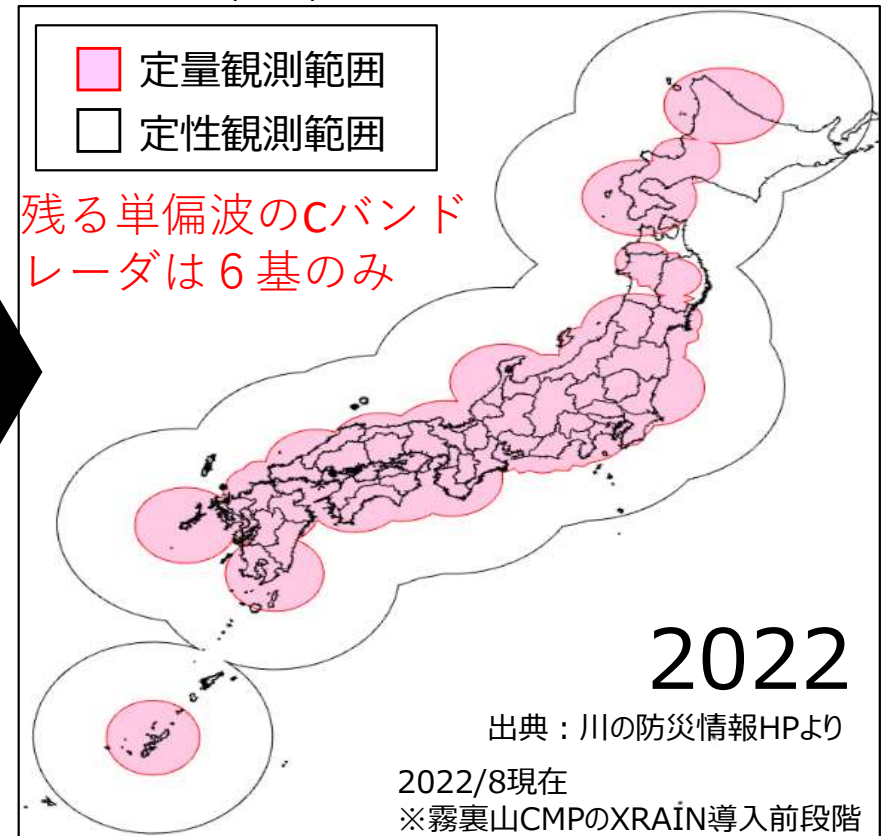
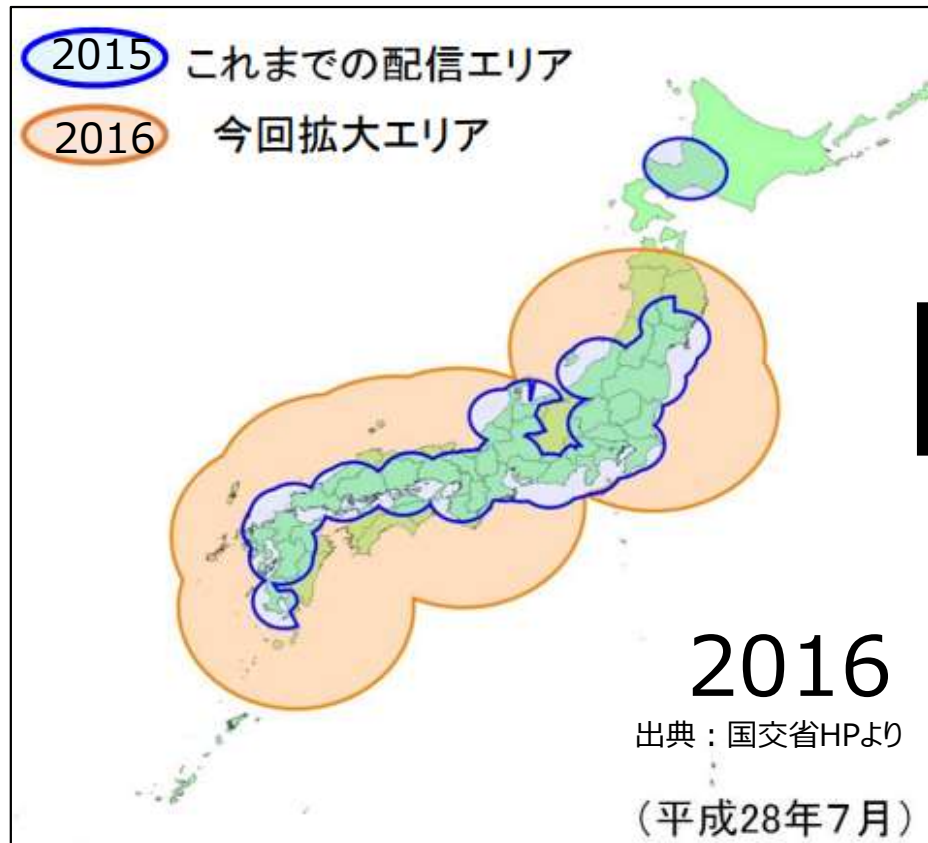
※XRAIN(eXtended RADar Information Network): MPLレーダ雨量計ネットワーク

これまでのXRAIN観測網の拡充

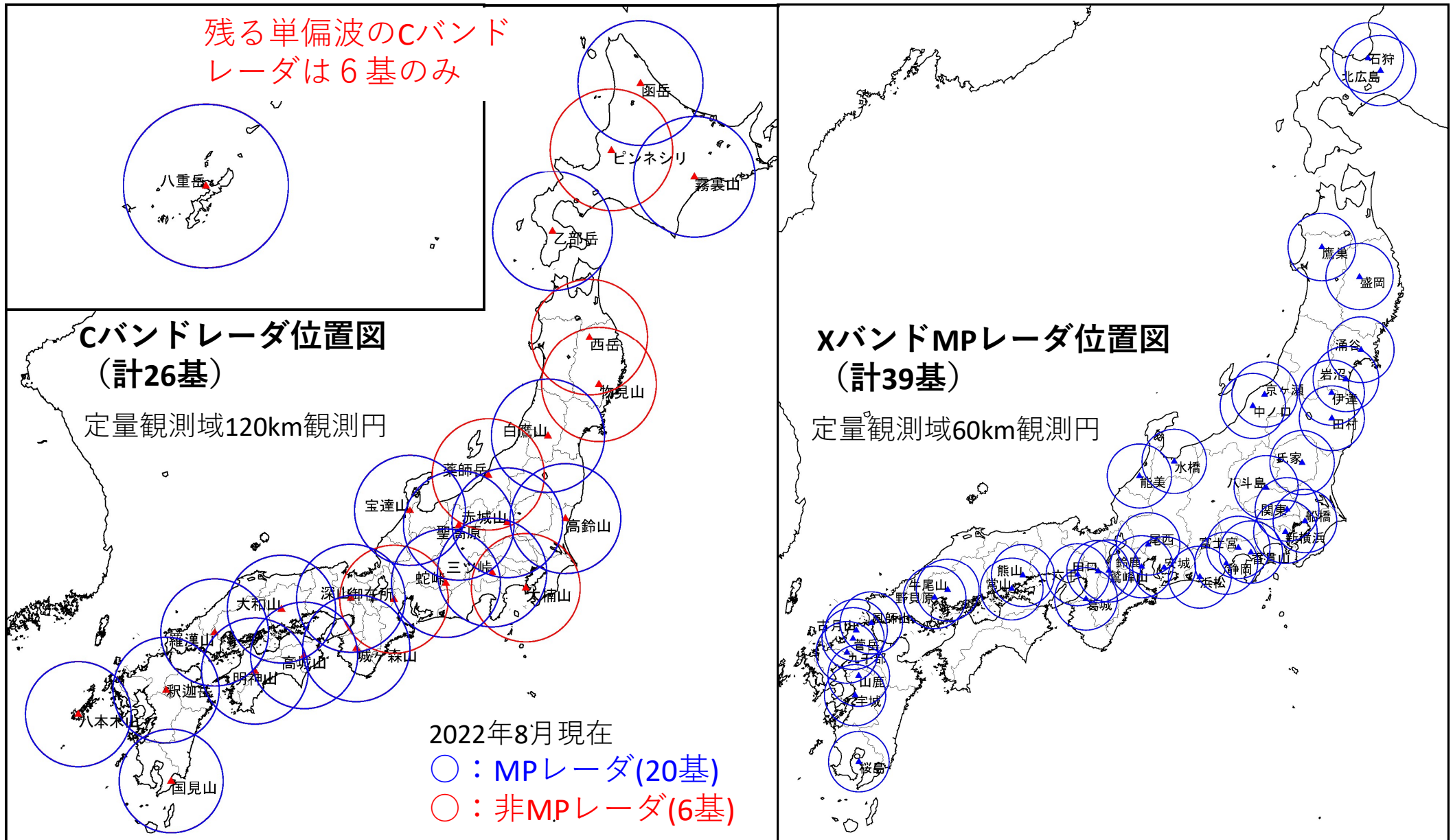
XRAINは2016年7月からXMPに加えCMPが合成に加わり、
 随時レーダが追加され、カバー域の拡大ならびに重複観測網の確保、パラメータ調整
等により観測精度を向上してきている。

XRAIN 合成レーダ数	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (R1)	2020 (R2)	2021 (R3)	2022 (R4)※
CMPLレーダ	0基	9基	14基	16基	16基	17基	17基	19基
XMPLレーダ	39基	38基	38基	39基	39基	39基	39基	39基

※赤城山CMP(関東)はXRAIN追加に向けて試験調整中



レーダ雨量計の整備状況



※霧裏山CMP(北海道)は2022年9月にXRAINに追加。赤城山CMP(関東)は2022年9月時点でXRAIN追加に向けて調整中

レーダ全国合成雨量の種類

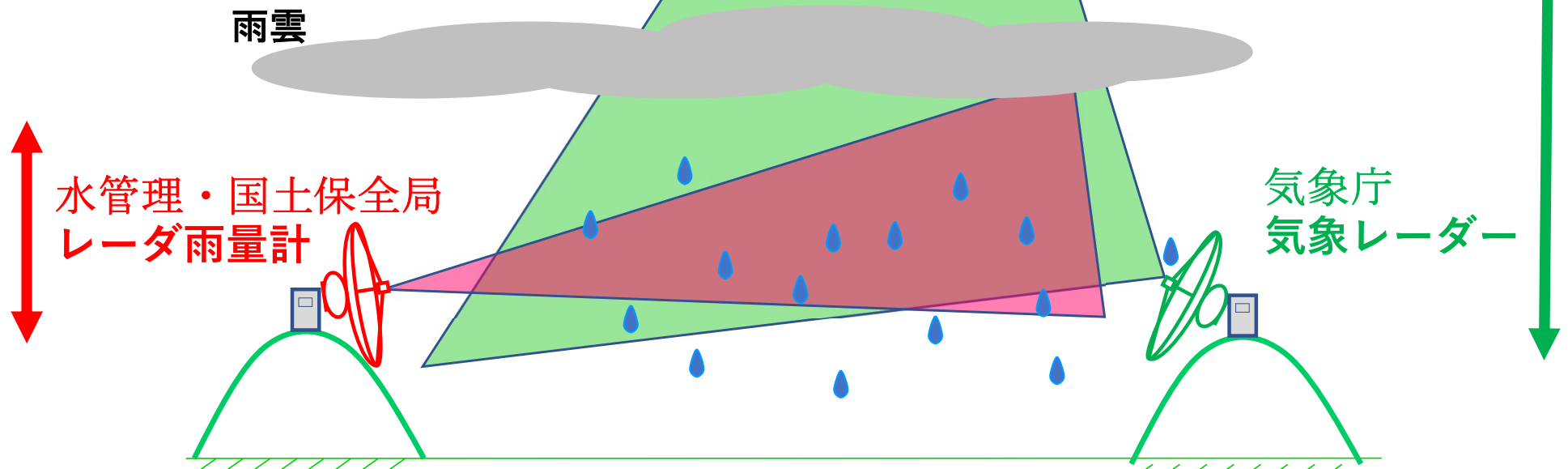
合成レーダの種類	所管	時間解像度	空間解像度	地上雨量補正	備考
XRAIN(CX合成)	水局	1分	250mメッシュ	無し	降水強度 CMP18基XMP39基
Cバンドレーダオンライン合成雨量	水局	5分	1kmメッシュ	有り	降水強度 C8基CMP18基
Cバンドレーダ同時刻合成雨量	水局	5分	1kmメッシュ	有り	降水強度 C8基CMP18基
全国合成レーダー	気象庁	10分	1kmメッシュ	無し	降水強度 ナウキャスト初期値 C20基(CMP含む)
全国合成レーダー	気象庁	5分	250mメッシュ	有り	降水強度 高解像度ナウキャスト初期値 C8基CMP18基XMP39基C20基(CMP含む)
解析雨量	気象庁	30分	1kmメッシュ	有り	前1時間雨量 降水短時間予報の初期値 C8基CMP18基XMP39基C20基(CMP含む)
速報版解析雨量	気象庁	10分	1kmメッシュ	有り	前1時間雨量 速報版降水短時間予報の初期値 C8基CMP18基XMP39基C20基(CMP含む)

◆気象庁の気象レーダー整備状況



気象庁と水管理・国土保全局のレーダの違い

陸上・海上において
リアルタイム防災情報として、雨を(鉛直方向にも)広く捉え、
気象予報に使う気象数値モデルへのインプット情報としての観測



陸域において、融解層高度よりも低い高度で、地上降水量相当の降水量を観測

2. レーダ雨量計の観測原理

- (1) Cバンドレーダオンライン補正合成
(Cバンド単偏波レーダ)

レーダ雨量計の観測原理 (単偏波/MPレーダ)

※MPレーダ：マルチパラメータレーダ
= 二重偏波トップラレーダ

Cバンド(単偏波/MP)レーダ

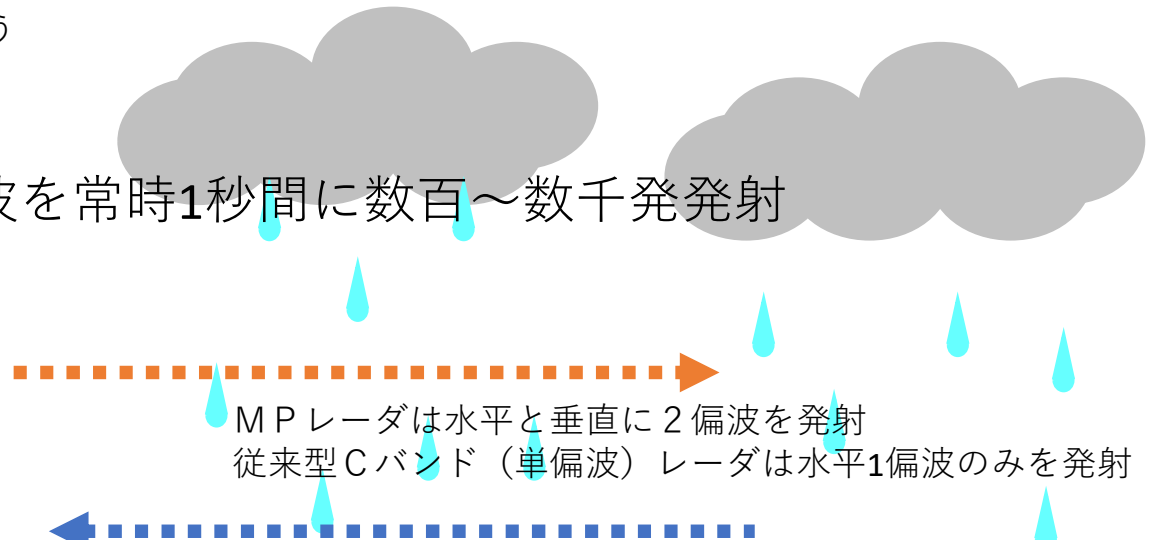
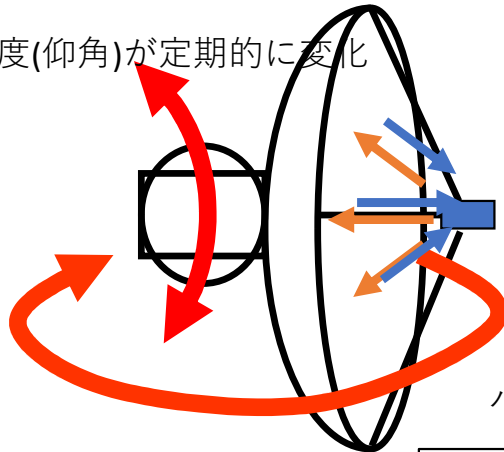
遠方まで観測できることから日本陸域をカバーするよう
山の上に多く設置されている



定性観測範囲300km
定量観測範囲120km

パルス状の電波を常時1秒間に数百~数千発発射

角度(仰角)が定期的に変化



MPレーダは水平と垂直に2偏波を発射
従来型Cバンド(単偏波)レーダは水平1偏波のみを発射

パラボラアンテナ(空中線)はCバンドは5-6m、Xバンドは2m程度

XバンドMPレーダ

雨により電波が減衰しやすいため、
都市部を2基以上で観測できるよう
平地に多く設置されている



定性観測範囲80km
定量観測範囲60km

常時360°回転

観測値(Rawデータ)の種類 (青字は1次処理データ)
(単偏波レーダでは2種類、MPレーダでは2+6=8種類)

受信電力Prh(MTI), Prv(MTI), Prh(NOR), Prv(NOR)

→ 反射因子 Z_H Z_V 、反射因子差 Z_{DR}

偏波間位相差 Φ_{dp} → 比偏波間位相差 K_{dp} → 降水強度 R_r

偏波間相関係数 ρ_{hv}

ドップラー速度 V

ドップラー速度幅(分散値) W

アンテナの駆動部を守るため、レドームで覆う

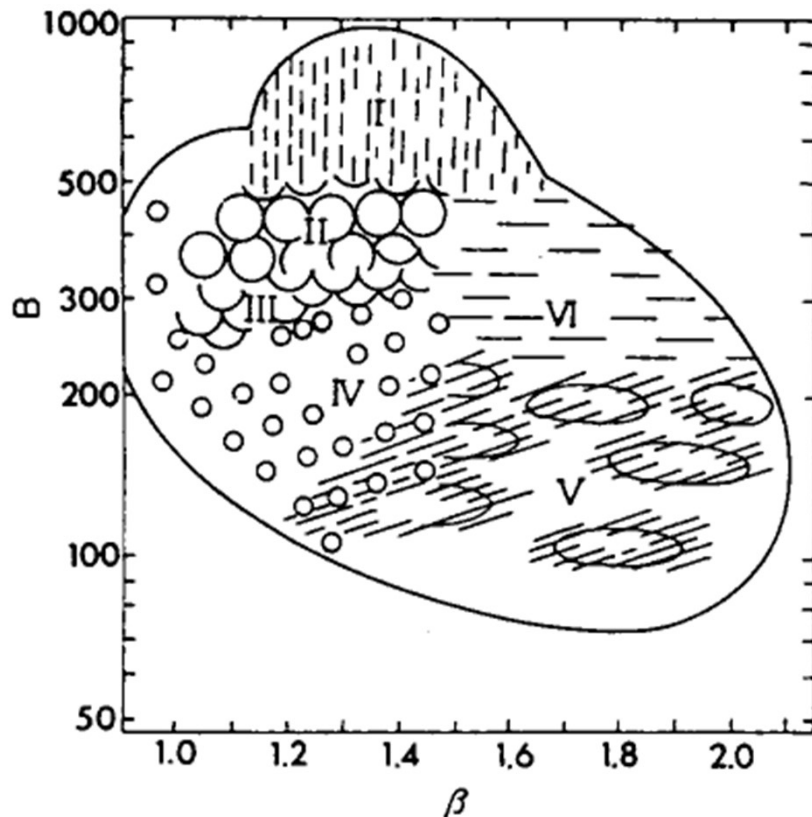
Cバンド単偏波レーダ雨量計におけるレーダ雨量算出法： ZR法（反射因子法、 $B\beta$ 法）

Z-R関係式： $Z = BR^\beta$

Z：レーダによる反射因子（反射電力値をもとにレーダ方程式から求まるレーダ計測値）

R：降雨強度

B・ β ：雨滴定数



雨滴定数 $B\beta$ の値は、降水粒子の相・形状、雨滴粒径分布（←降雨成因・発達段階等）によって変化する。

雨の場合→ B ：80～1000、 β ：1.0～2.0 程度

雪の場合→ B ：500～2000、 β ：2.0 程度

→レーダ毎（及び粒子形態・季節毎）に最適値を同定（気象庁は全国一律値： $B=200$ 、 $\beta=1.6$ ）



1998年以降、地上雨量観測値によるオンライン補正を導入することで精度安定化をった。

※上記Z-R関係式（及び定数 B, β ）が 雨滴粒径分布に依存することの理論的背景は次頁参照

単偏波レーダ雨量計における雨量算出の基盤： レーダ方程式とZ-D、R-D、およびZ-R関係

レーダ方程式：

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 r^4} \Sigma \sigma$$

P_t：送信電力、P_r：受信電力、G：アンテナ利得、
λ：波長、r：反射（後方散乱）対象までの距離、
σ：後方散乱断面積（降水粒子1個に対し）
V：レーダ1セクタ1レンジビン当たり照射対象体積、
η：単位体積あたり後方散乱断面積（反射率）

$$\frac{\Sigma \sigma}{V} = \eta = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \sigma(D) N(D) dD$$

D：粒径、
N(D)：降水粒子の粒径分布（粒径毎の粒子数）、
D_{max}、D_{min}：最大・最小雨滴粒径

なお、σ ~ D関係は左下式で表される。

故にη (σ) ~ D関係は右下式となる。

$$\sigma = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 D^6$$

K：誘電率で定まる値
(温度、波長の関数)



$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^6 N(D) dD$$

右上式の積分式(色塗り部)を反射因子Zと定義。

一方、降水強度は以下で表される。

$$Z \equiv \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^6 N(D) dD$$

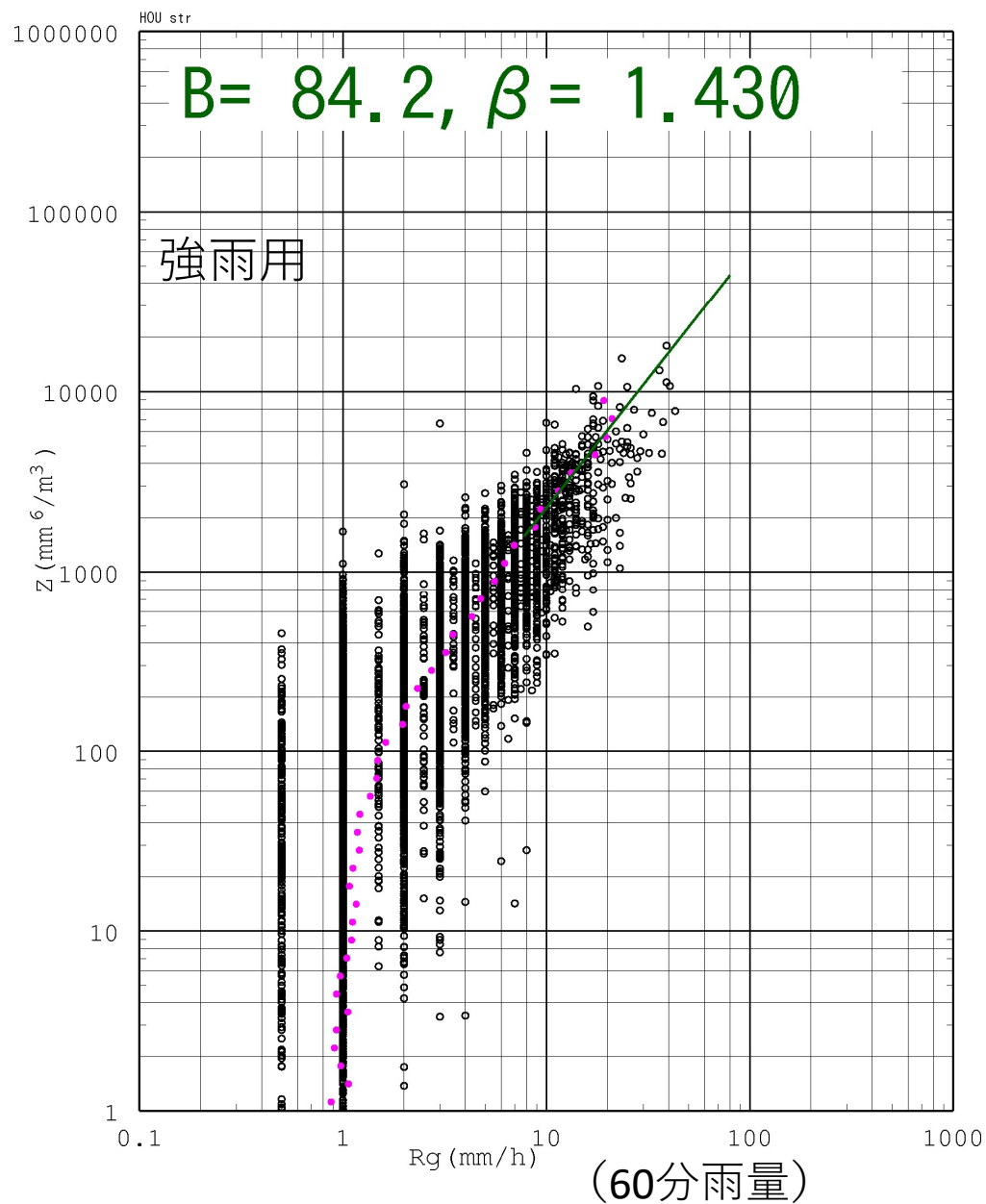
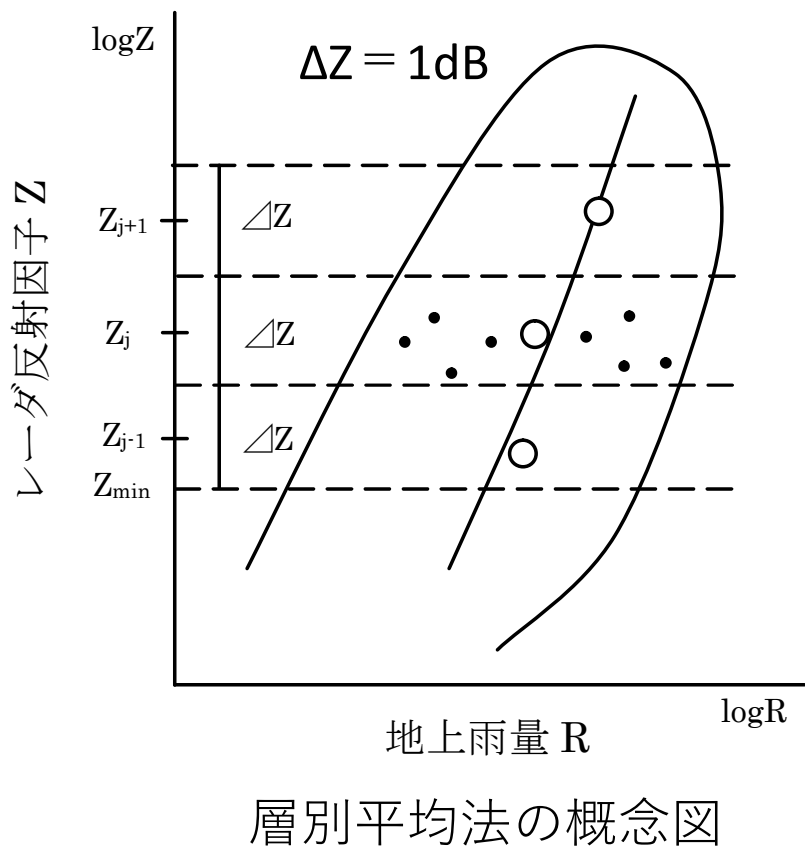
$$R = \frac{\pi}{6} \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 N(D) w(D) dD$$

R：降水強度(m/s)、
w(D)：粒径毎の落下速度

すなわち、おおよそ $R \propto D^3$ であるのに対し、 $Z \propto D^6$

→ Z-R関係（すなわち定数B、β）は、雨滴粒径分布により変化する。

Z-R関係の例 (北陸・宝達山レーダ)



地上雨量による補正としては、①一様補正（レーダ雨量計毎の補正）、②メッシュ補正（1kmメッシュ単位での補正）の**2段階の補正**を実施

1. 一様補正（地上雨量補正①）

・レーダ雨量計間の観測レベルの調整を行うため、レーダ雨量計の定量観測域（120km）における地上雨量の総和とレーダ雨量総和との比により補正係数を算出

2. 全国合成

・前頁の全国合成マップに基づき、全国合成

3. メッシュ補正（地上雨量補正②）

・局所的な降雨や地域特性に起因する降雨に対応するため、配信している1kmメッシュ毎に、周囲の複数の地上雨量計のデータを用いて補正係数を算出

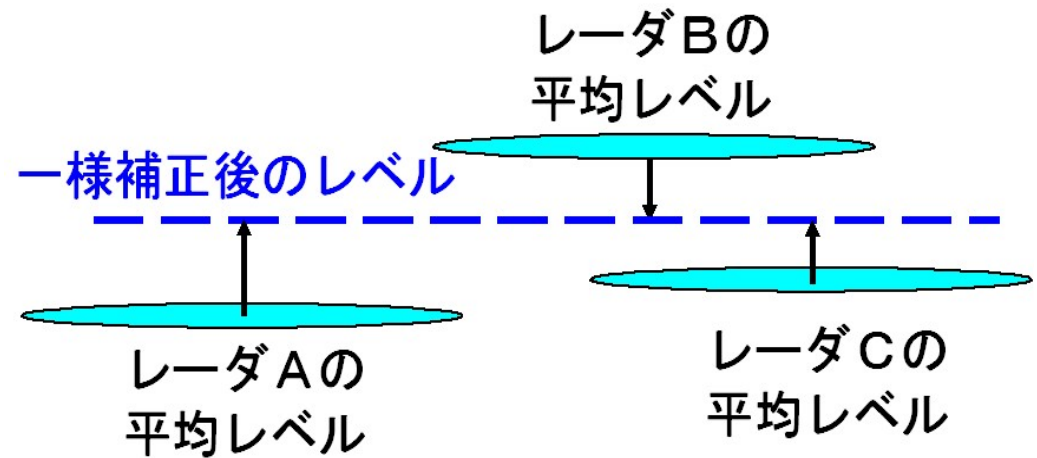


図 一様補正係数算出イメージ

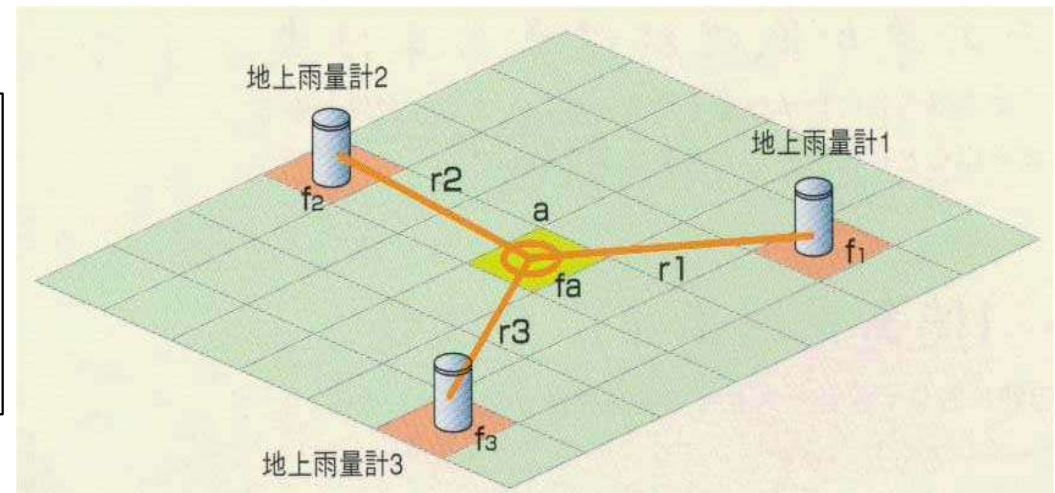
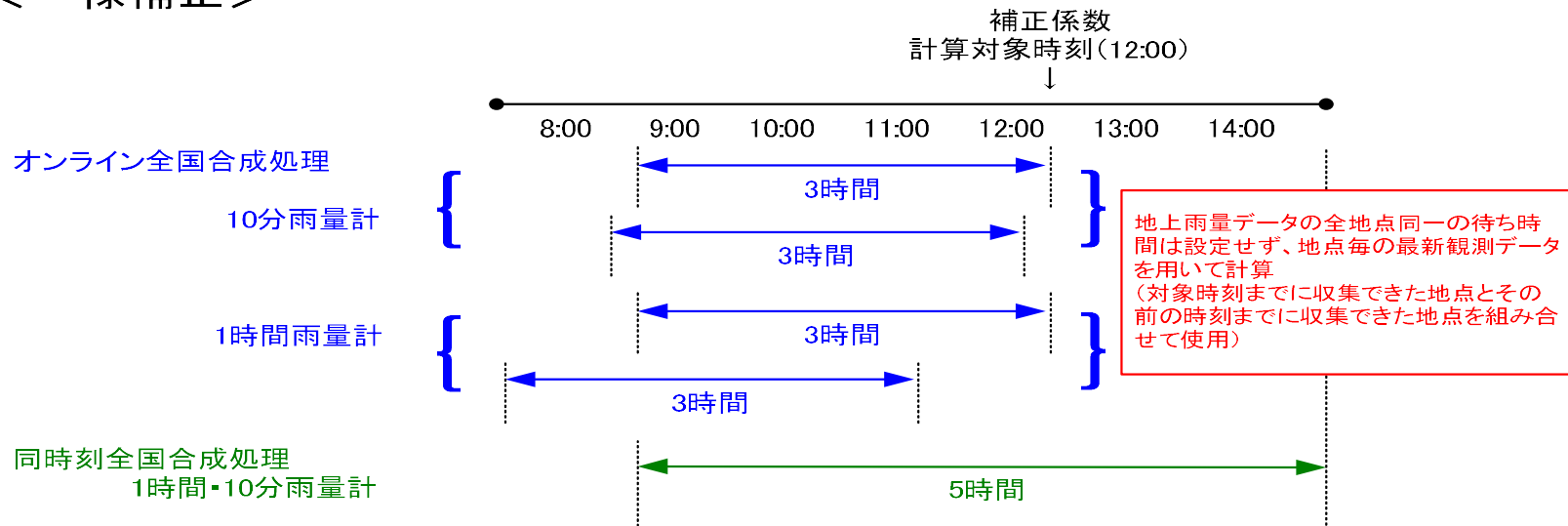


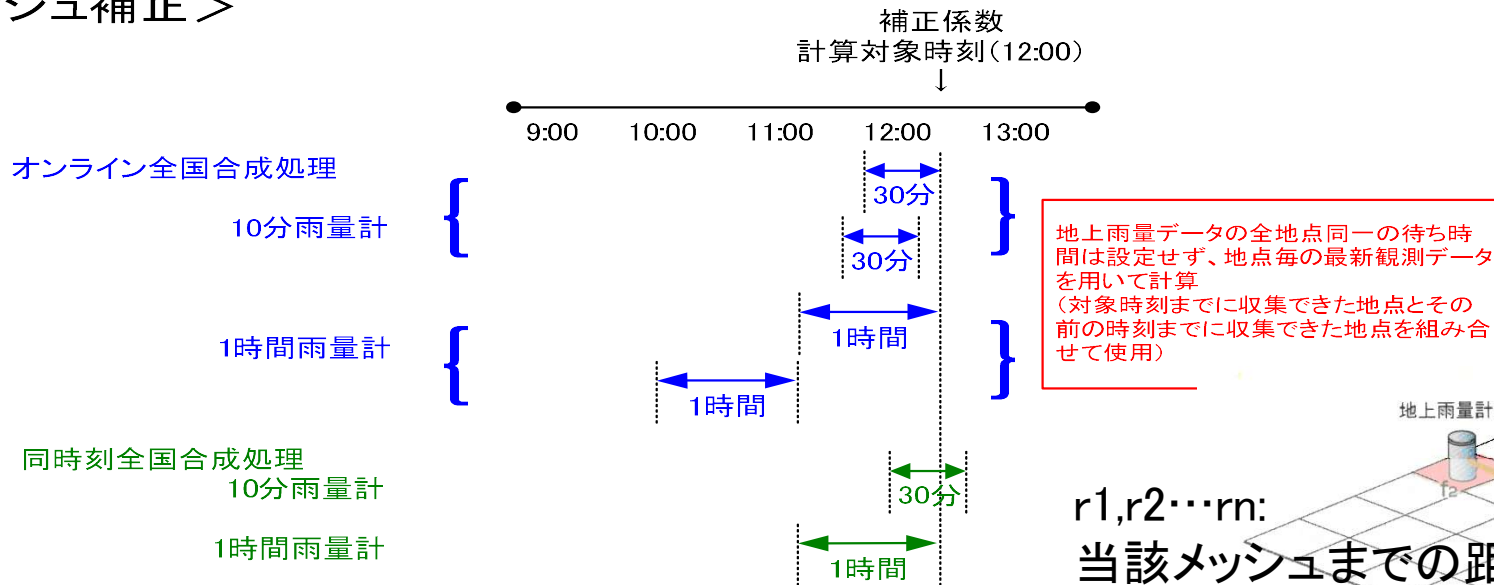
図 メッシュ補正係数算出イメージ
(ダイナミックウィンドウ法)

Cバンドレーダ 地上観測雨量による補正 (2)

<一様補正>



<メッシュ補正>

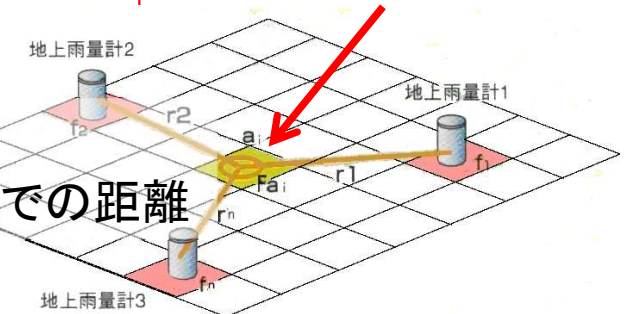


一定範囲内のN個の地上雨量計について、算出した雨量比($f_1, f_2 \dots f_n$)を用いて、当該メッシュの補正係数を算出

N: 地上雨量計の代表性(降雨量)に応じて変化
=ダイナミックウィンドウ法

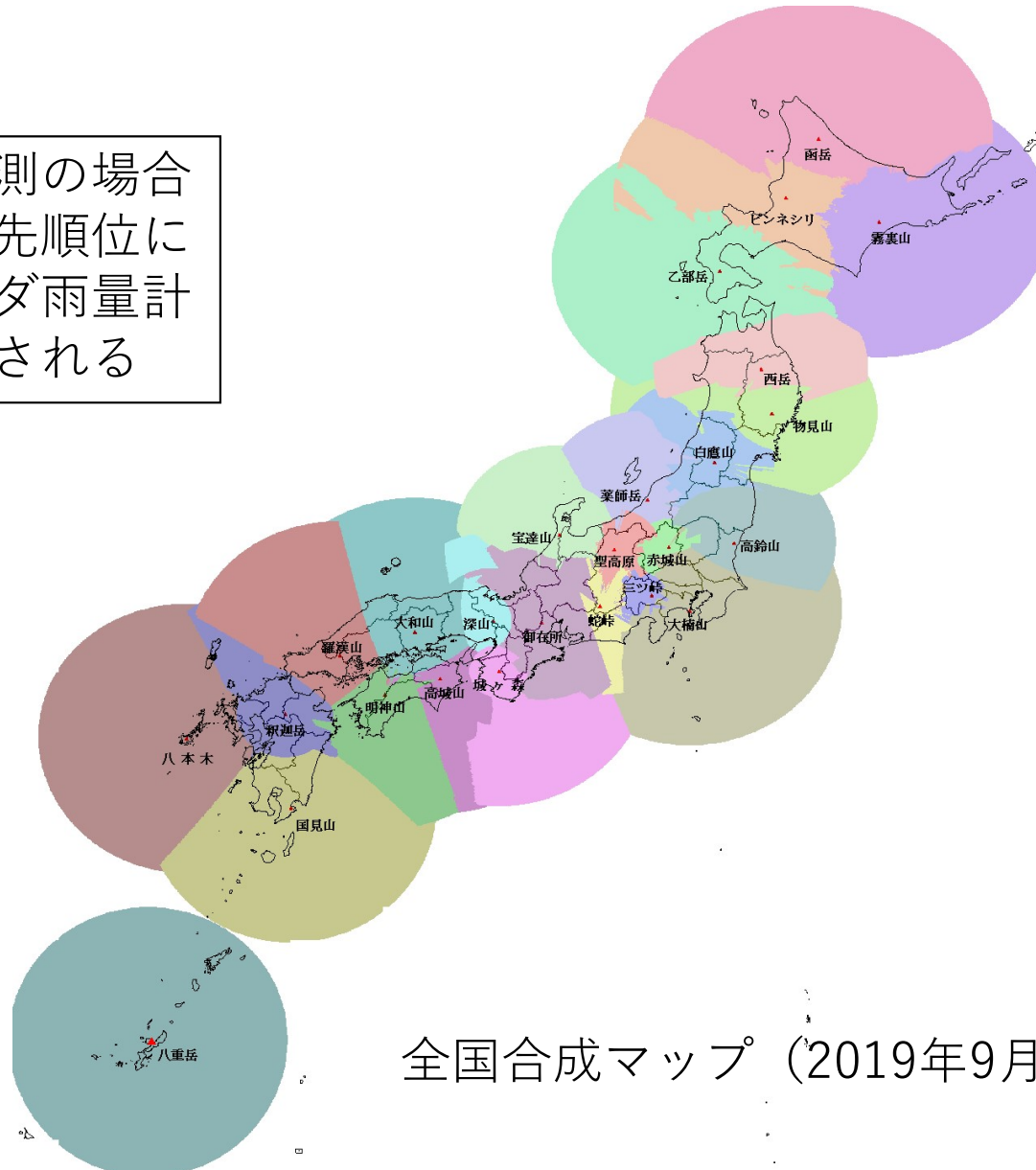
当該メッシュ

$r_1, r_2 \dots r_n$:
当該メッシュまでの距離



各レーダ雨量計の観測範囲、ビーム遮蔽状況、観測高度等から各レーダによる観測値を用いるのが最も適切であるエリアをあらかじめ設定

あるレーダ雨量計が欠測の場合には、事前に定めた優先順位に基づいて、周囲のレーダ雨量計により自動的にカバーされる

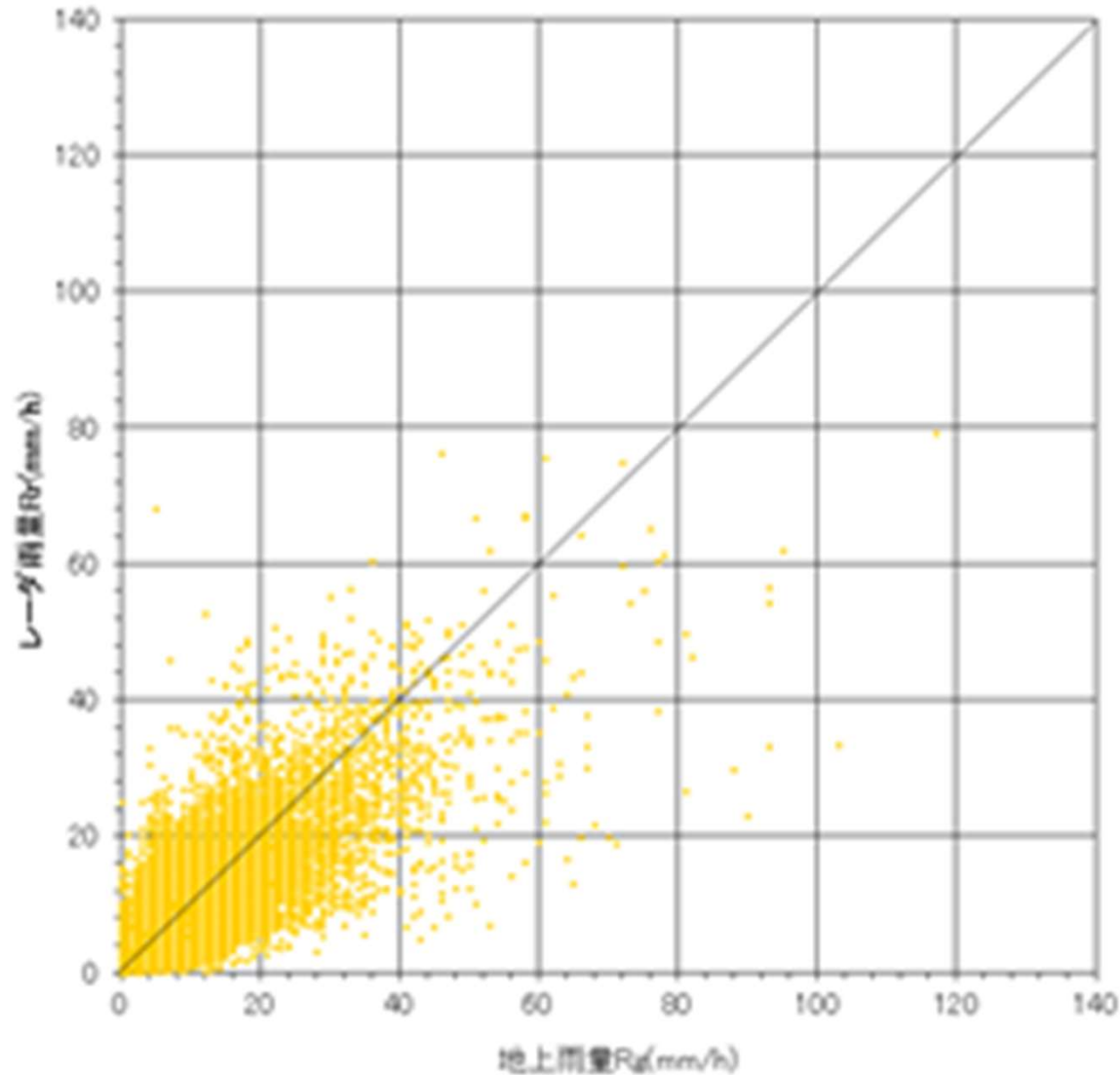


全国合成マップ (2019年9月時点)

九州・国見山Cバンド単偏波レーダ（当時）の例

地上雨量観測所:全観測所

対象降雨:全降雨（主要3降雨、60分雨量）



総雨量比 = 1.078 相関係数 = 0.815

(2012年)

2. レーダ雨量計の観測原理

(2) XRAIN

(CバンドMPレーダ/XバンドMPレーダ)

MPレーダにより得られるデータの種類

※単偏波（非MP）レーダでは、1,2,12のみ

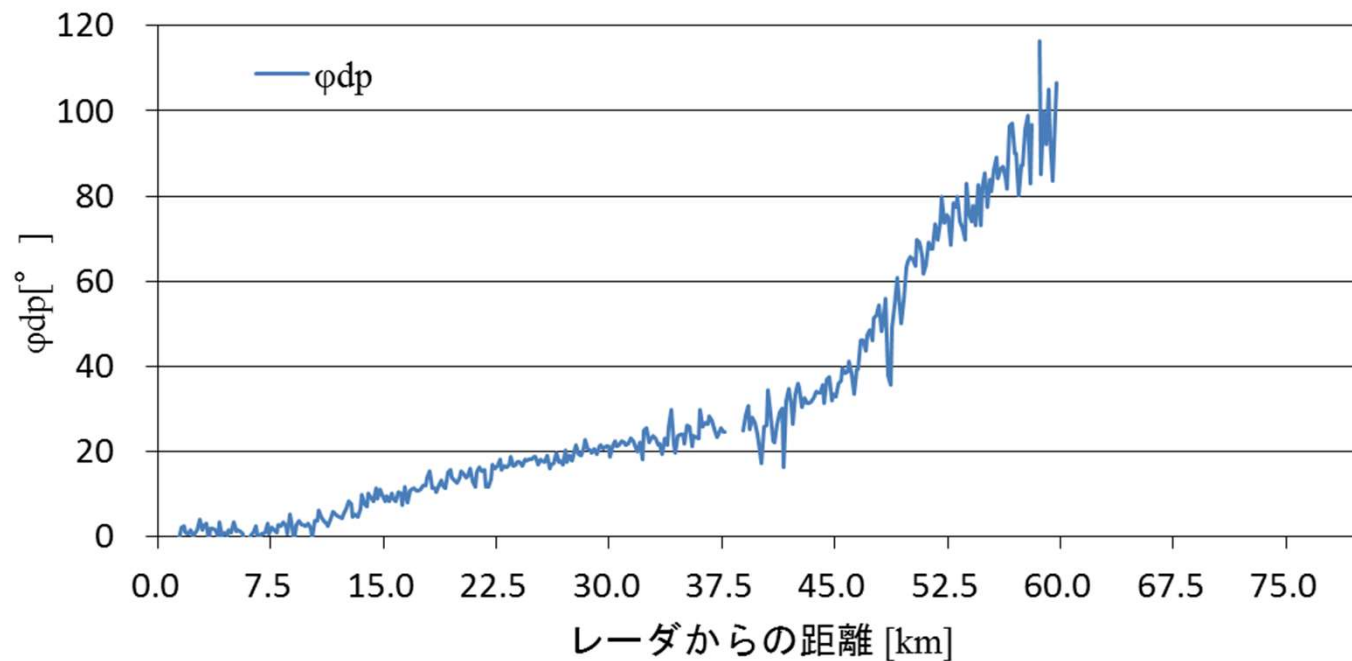
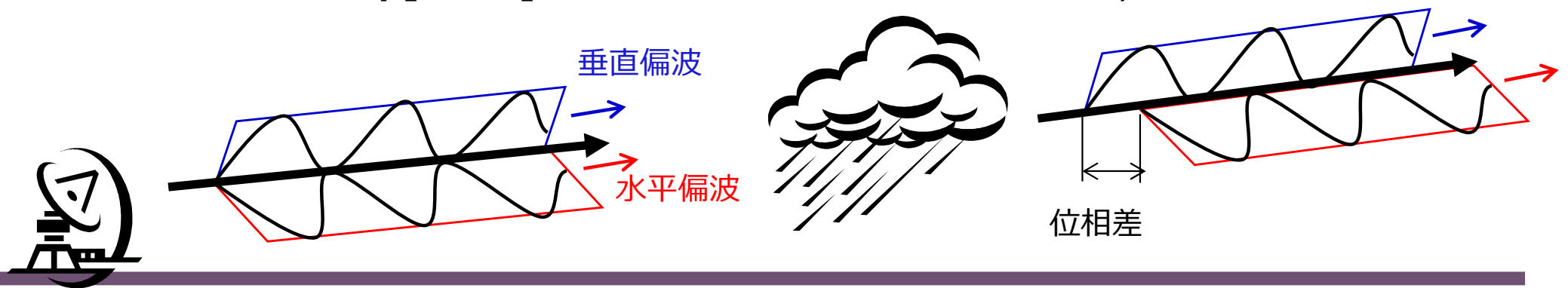
Rawデータ8要素	
1	Prh-NOR 水平偏波受信電力(クラッタ除去なし)：目標物にあたって返ってきた（後方散乱した）水平偏波の電力値。地形等に当たって返ってきた電波（グランドクラッタ）も含まれている
2	Prh-MTI 水平偏波受信電力(クラッタ除去あり)：MTI：Moving Target Indicator：移動目標検出の略。Prh-NORに対してMTI処理を施すことで不要なグランドクラッタを除去し、降雨域のみ抽出したもの
3	Prv-NOR 垂直偏波受信電力(クラッタ除去なし)：目標物にあたって返ってきた（後方散乱した）垂直偏波の電力値。地形等に当たって返ってきた電波（グランドクラッタ）も含まれている
4	Prv-MTI 垂直偏波受信電力(クラッタ除去あり)：MTI：Moving Target Indicator：移動目標検出の略。Prv-NORに対してMTI処理を施すことで不要なグランドクラッタを除去し、降雨域のみ抽出したもの
5	V 速度：レーダサイトに向かう（or 遠ざかる）成分の風速。複数基の観測値を利用することで風の3次元成分を推定できる
6	W 速度幅：観測ボリューム内のドップラー速度の分散（乱れ具合）。品質管理に利用される（速度幅が閾値以上のメッシュの観測値を欠測値化する等）
7	Φ_{DP} 偏波間位相差：水平偏波と垂直偏波の位相差。大きな（空気抵抗により平たくなった）雨滴を通過する際、垂直偏波に比べて水平偏波の位相が遅れる
8	ρ_{HV} 偏波間相関係数：観測ボリューム内の粒子の不揃い度を示す。降雨域は限りなく1に近い値。グランドクラッタ域や融解層（雨や雪が混じる層）では小さな値を示す
一次処理データ5要素	
9	Z_H レーダ反射因子(水平偏波)：Prh-MTIからレーダ方程式により算出したレーダ反射強度に降雨減衰補正を施したもの。降雨減衰補正には K_{DP} を用いている
10	Z_{DR} レーダ反射因子差： Z_H と Z_V の差。大きな雨滴（扁平度が大きい雨滴）ほど Z_V に比べて Z_H の値が大きくなるため、 Z_{DR} は正の値を示す。粒径分布の推定や、粒子判別の際に利用される
11	K_{DP} 比偏波間位相差：位相差 Φ_{DP} の電波進行方向の変化量、降雨強度と強い相関を持つ。降雨減衰の影響を受けにくいいため精度の良い観測が可能
12	R_r 単体レーダ雨量： K_{DP} -R関係式とZ-R関係式を閾値で切り替えて算出した、サイト毎仰角毎の降雨強度
13	QF 品質管理情報：採用した降雨推定式（ K_{DP} -R or Z-R）、欠測の理由（電波消散 or 観測範囲外 or 遮蔽域）が記載された品質管理情報

水平方向と垂直方向に電波を発射することにより、より詳細に降水粒子の粒径分布に関する情報を把握することが可能になり、**地上雨量計による補正を用いずとも精度の高いレーダ雨量情報を配信**することができる。

偏波間位相差 Φ_{dp} [°]：水平偏波と垂直偏波の位相差

降水粒子が扇平することにより、水平偏波と垂直偏波の伝搬経路に差が生じる。

偏波間位相差変化率 K_{dp} [°/km]：単位距離当たりの偏波間位相差 Φ_{dp} の変化率



MPレーダ雨量計における雨量算出の基盤2:

偏波間位相差変化率Kdpと雨滴粒径分布との関係

$$K_{dp} = \frac{2\pi}{k_0} \operatorname{Re} \int N(D) \left[\hat{h} \cdot \vec{f}(r, D) - \vec{v} \cdot \vec{f}(r, D) \right] dD$$
$$= \frac{\pi k_0}{12} \operatorname{Re} \left\{ \int D^3 N(D) \left[\frac{\epsilon_r - 1}{1 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_z)(\epsilon_r - 1)} - \frac{\epsilon_r - 1}{1 + \lambda_z(\epsilon_r - 1)} \right] dD \right\}$$

ここで、誘電率 ϵ 、波長 λ で表現される[]項は、以下のように近似できる。

$$\operatorname{Re} \left[\frac{\epsilon_r - 1}{1 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_z)(\epsilon_r - 1)} - \frac{\epsilon_r - 1}{1 + \lambda_z(\epsilon_r - 1)} \right] \approx C(1 - r)$$

r : 見かけの雨滴の軸比 = 縦横比、 C : 波長, r による定数

故に、Kdpは、以下の式で表現される。

$$K_{dp} = \frac{\pi k_0 C}{12} \int D^3 (1 - r) N(D) dD$$

すなわち、おおよそ $K_{dp} \propto D^3$

→ Kdp-R関係は、
雨滴粒径分布の影響を
ZR法に比べて受けにくく、
高精度の雨量算定が可能

MPLレーダ雨量計における雨量算出の基盤3：Kdp法 + ZR法

水平方向と垂直方向に電波を発射することにより、より詳細に降水粒子の粒径分布に関する情報を把握することが可能になり、**地上雨量計による補正を用いずとも精度の高いレーダ雨量情報を配信**することができる。



弱雨の場合（降水粒子があまり扁平しないためKdp感度小）

→Z-R関係式：
$$Z = B \cdot R_r^\beta$$

Z ：レーダ反射因子
 R_r ：レーダ雨量
 $B \cdot \beta$ ：雨滴定数

強雨の場合（降水粒子が大きく扁平するためKdp感度大）

→Kdp-R関係式：
$$R_r = \alpha \cdot a1 \cdot Kdp^{a2}$$

Kdp法適用条件：

$Z_h \geq 32\text{dB(C)}$ 、 30dB(X)

$Kdp \geq 0.2\text{dB(C)}$ 、 0.1dB(X)

$phv \geq 0.7\text{(C)}$

α ：雨量算定補正係数

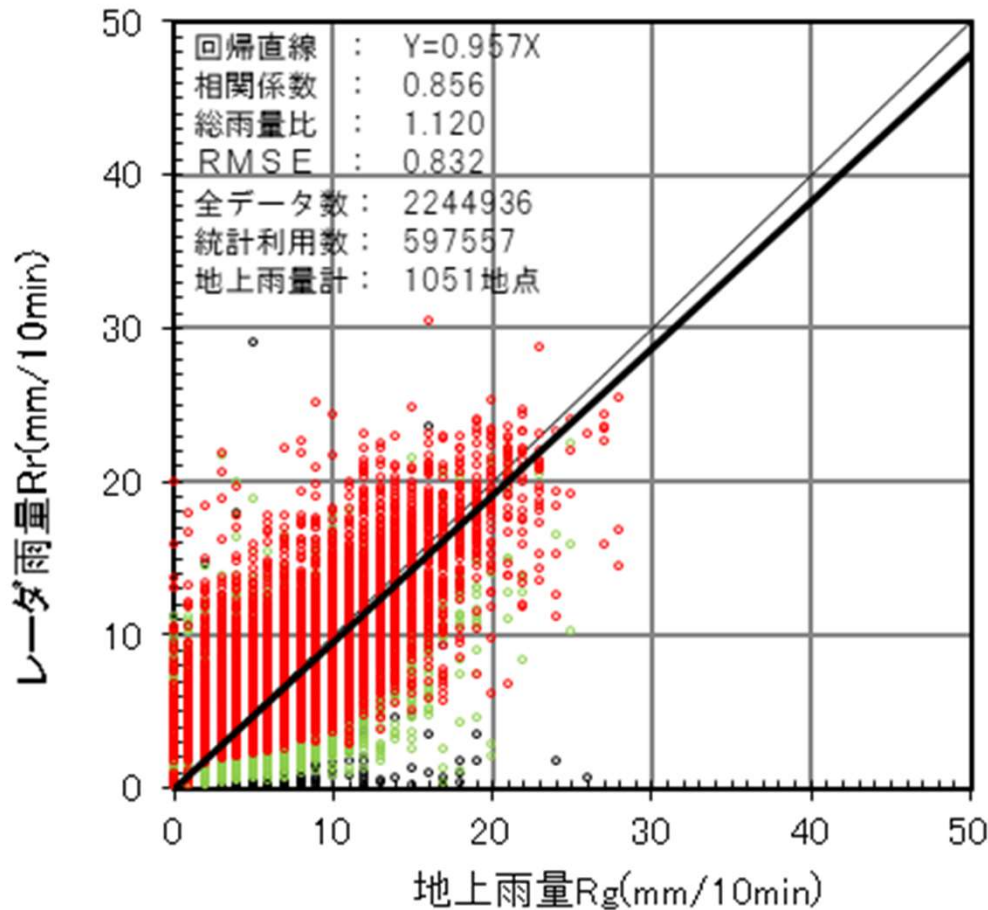
$a1 = 19.6 + 2.71 \times 10^{-2} \times EL + 1.68 \times 10^{-3} \times EL^2 + 1.11 \times 10^{-4} \times EL^3$

$a2 = 0.815$

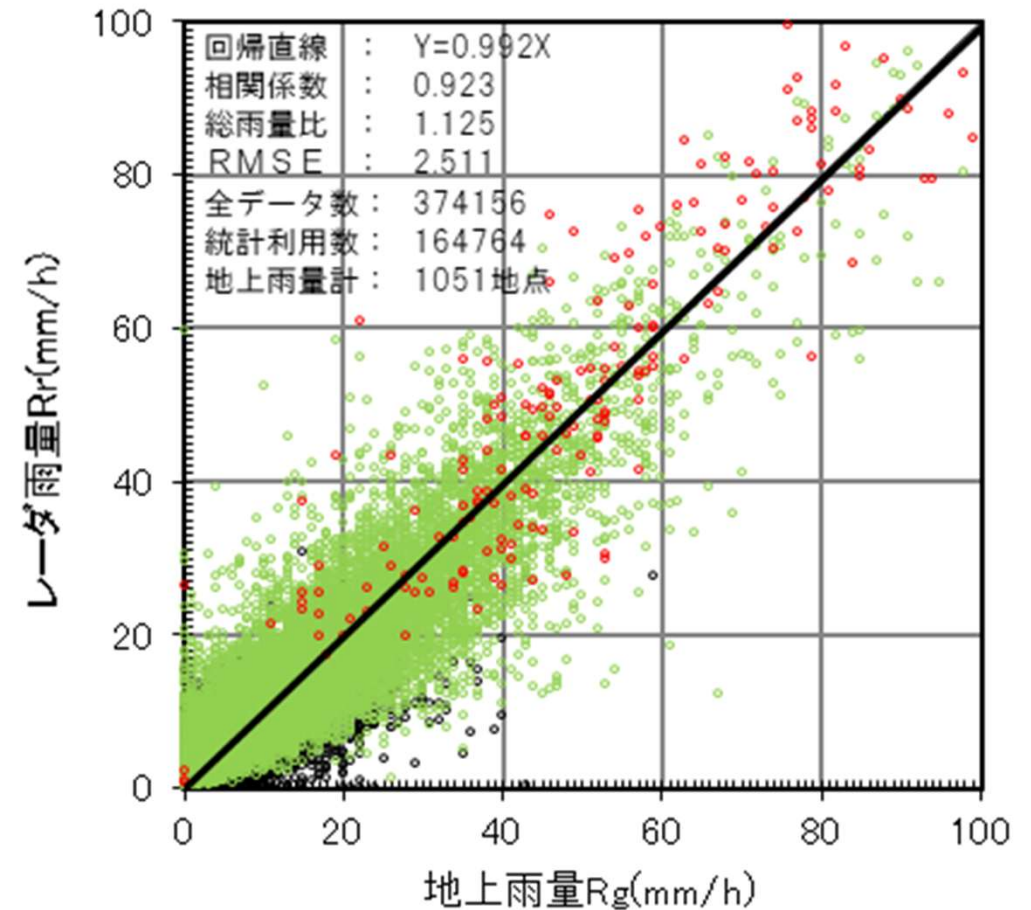
EL:仰角[°] ※ $a1$ と $a2$ の値はXバンドMPLレーダ雨量計の場合。防災科研同定値。

Kdp法による雨量観測精度（九州・釈迦岳CMPの例）

10分雨量



60分雨量

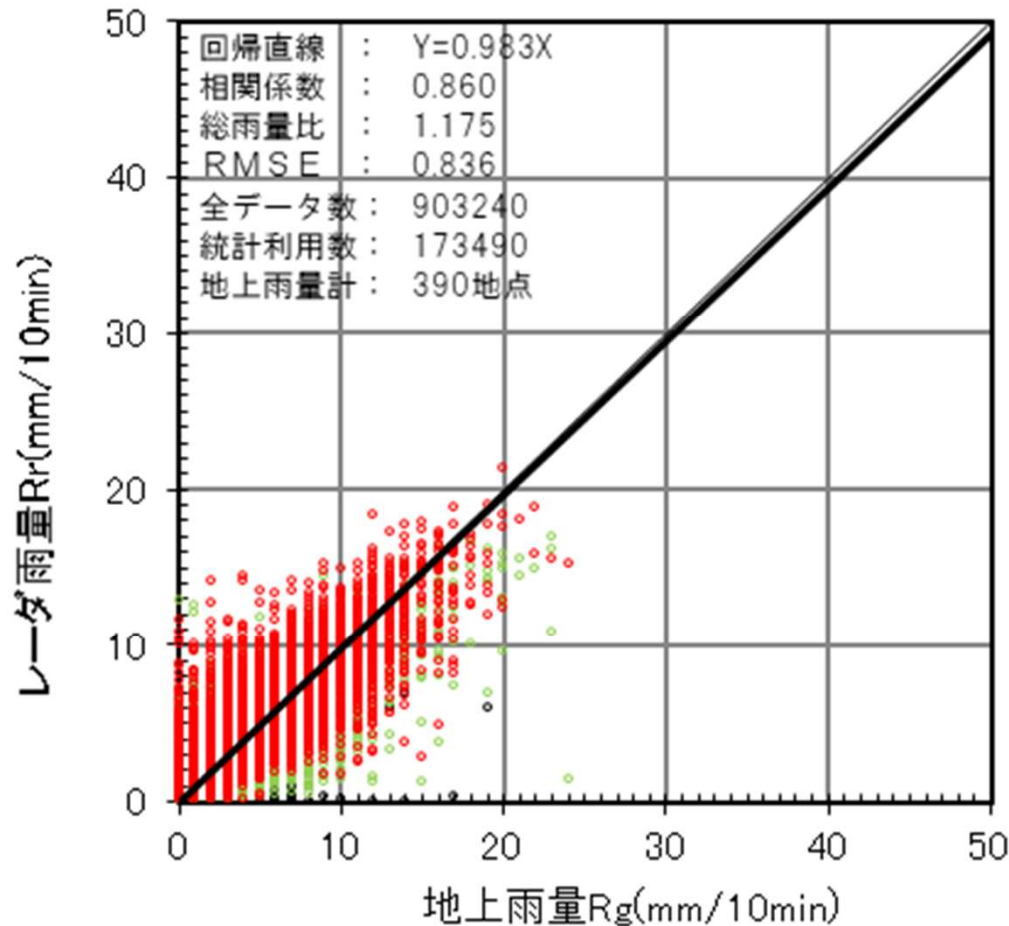


2019年（主要5降雨）

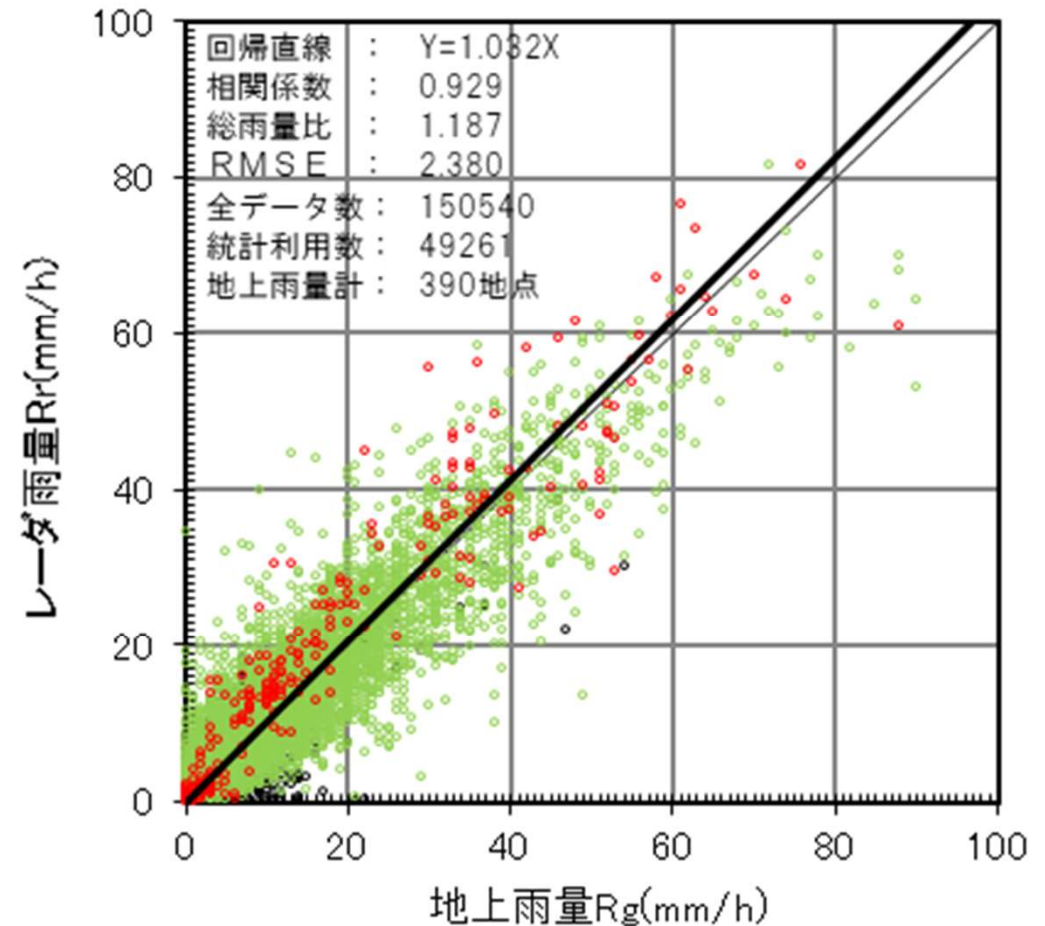
※10分雨量（60分雨量）の全てをR(K_{DP})で算出している場合は赤色で、5割以上をR(K_{DP})で算出している場合は緑色で示す

Kdp法による雨量観測精度 (九州・山鹿XMPの例)

10分雨量



60分雨量



2019年 (主要5降雨)

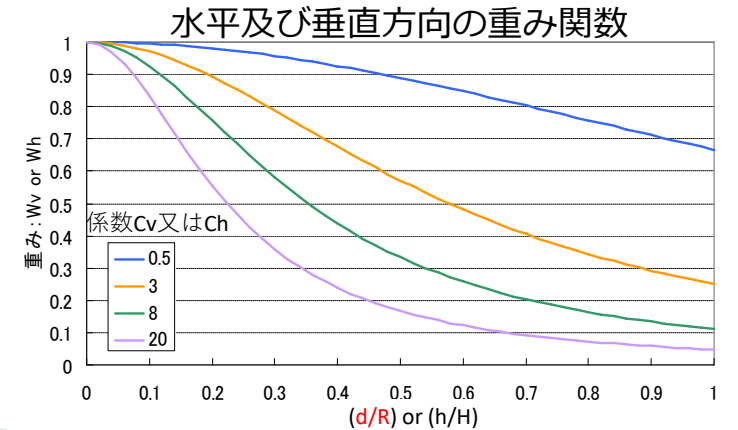
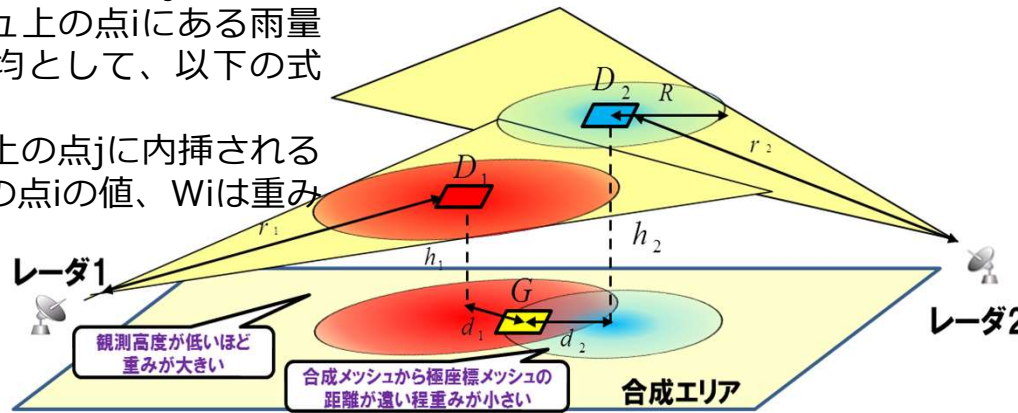
※10分雨量 (60分雨量) の全てをR(K_{DP})で算出している場合は赤色で、5割以上をR(K_{DP})で算出している場合は緑色で示す

X R A I Nにおける合成方法＝クレスマン内挿

合成エリア上の点jの雨量値Gjは、レーダの極座標メッシュ上の点iにある雨量値Diの重み付け平均として、以下の式で計算。

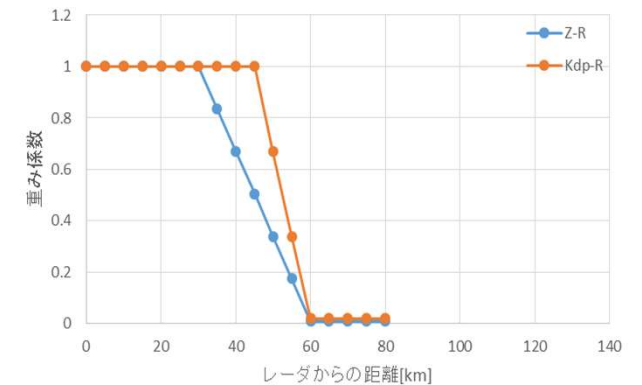
Gjは緯度経度座標上の点jに内挿される値、Diは極座標上の点iの値、Wiは重み係数

$$G_j = \frac{\sum_{i=1}^N D_i W_i}{\sum_{i=1}^N W_i}$$

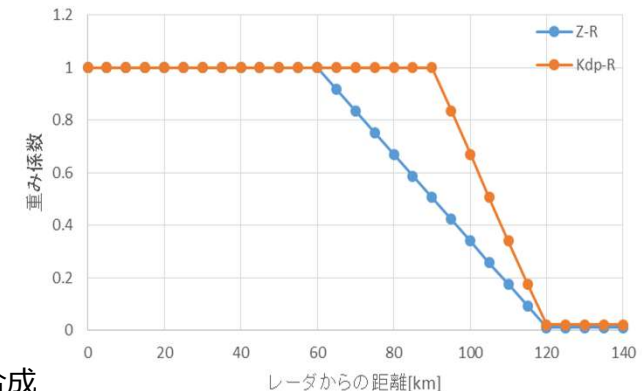


極座標メッシュからの距離または極座標メッシュ高度を0～1に正規化

重み		XMP	CMP
内挿距離 (水平方向) Wh	規格化距離 (影響円半径R)	R=0.013r+0.15[km] (セクタ幅相当) r:レーダからの距離	R=0.0076r+0.13[km] (セクタ幅相当) r:レーダからの距離
Wh	水平重み係数	Ch=0.5	Ch=0.5
内挿距離 (鉛直方向) Wv	規格化高度 (内挿最大高度)	H=15km	H=15km
Wv	鉛直重み係数	Cv=20	Cv=20
距離重み (レーダからの距離) Ws	重み係数1.0の範囲	0～30km (Z-R) 0～45km (Kdp-R)	0～60km (Z-R) 0～90km (Kdp-R)
	重み係数が1.0から0.02以下に変化する範囲	30～60km (Z-R) 45～60km (Kdp-R)	60～120km (Z-R) 90～120km (Kdp-R)
	重み係数0.02以下の範囲	60km～ (Z-R: 重み0.01) 60km～ (Kdp-R: 重み0.02)	120km～ (Z-R: 重み0.01) 120km～ (Kdp-R: 重み0.02)



レーダからの距離の重み関数 (XMP)



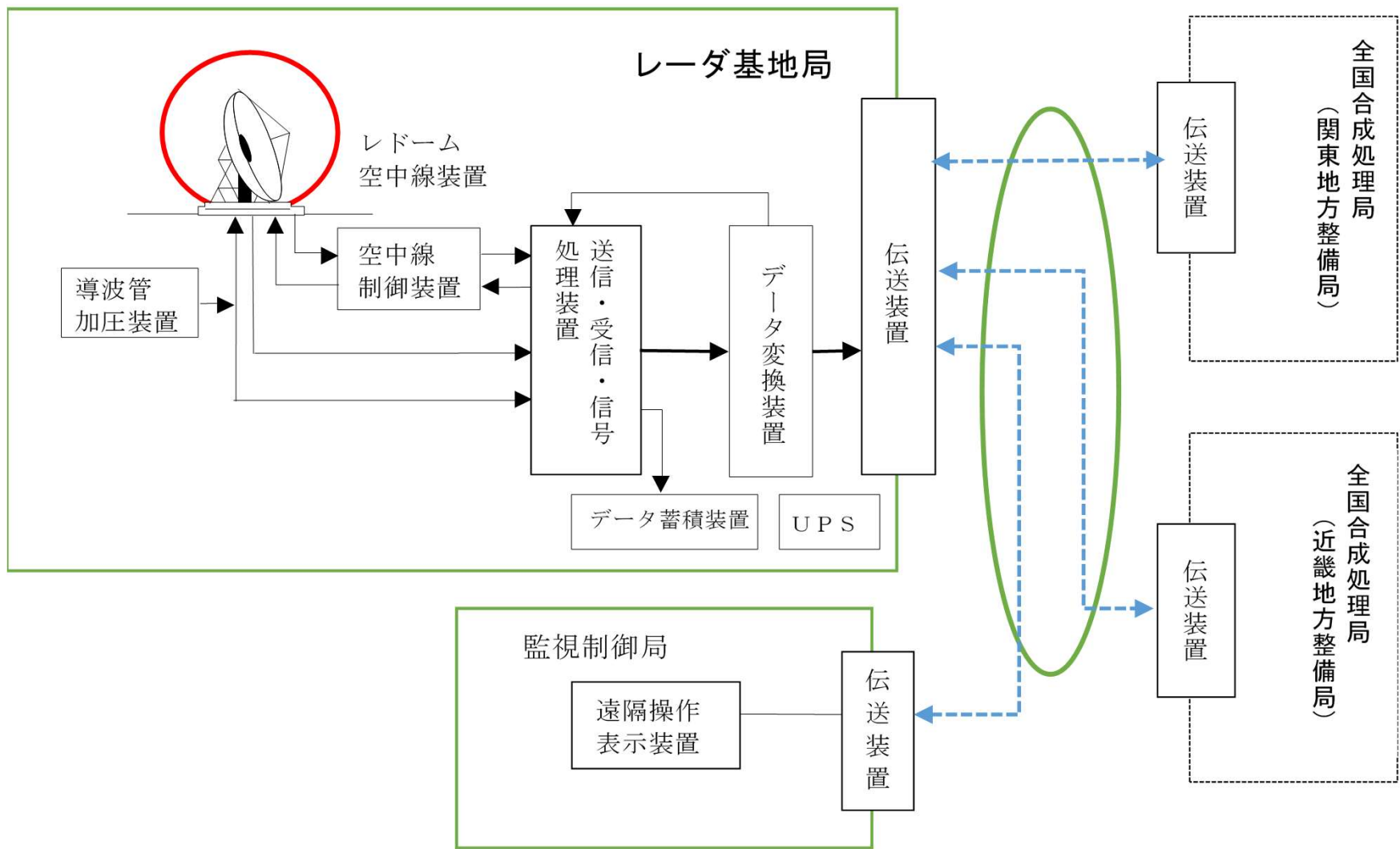
レーダからの距離の重み関数 (CMP)³¹

※距離重みにおいて雨量算定手法による違いを考慮

※レーダの違いではなく、観測条件（ビーム高度、レーダからの距離、雨量算定手法）を考慮して合成

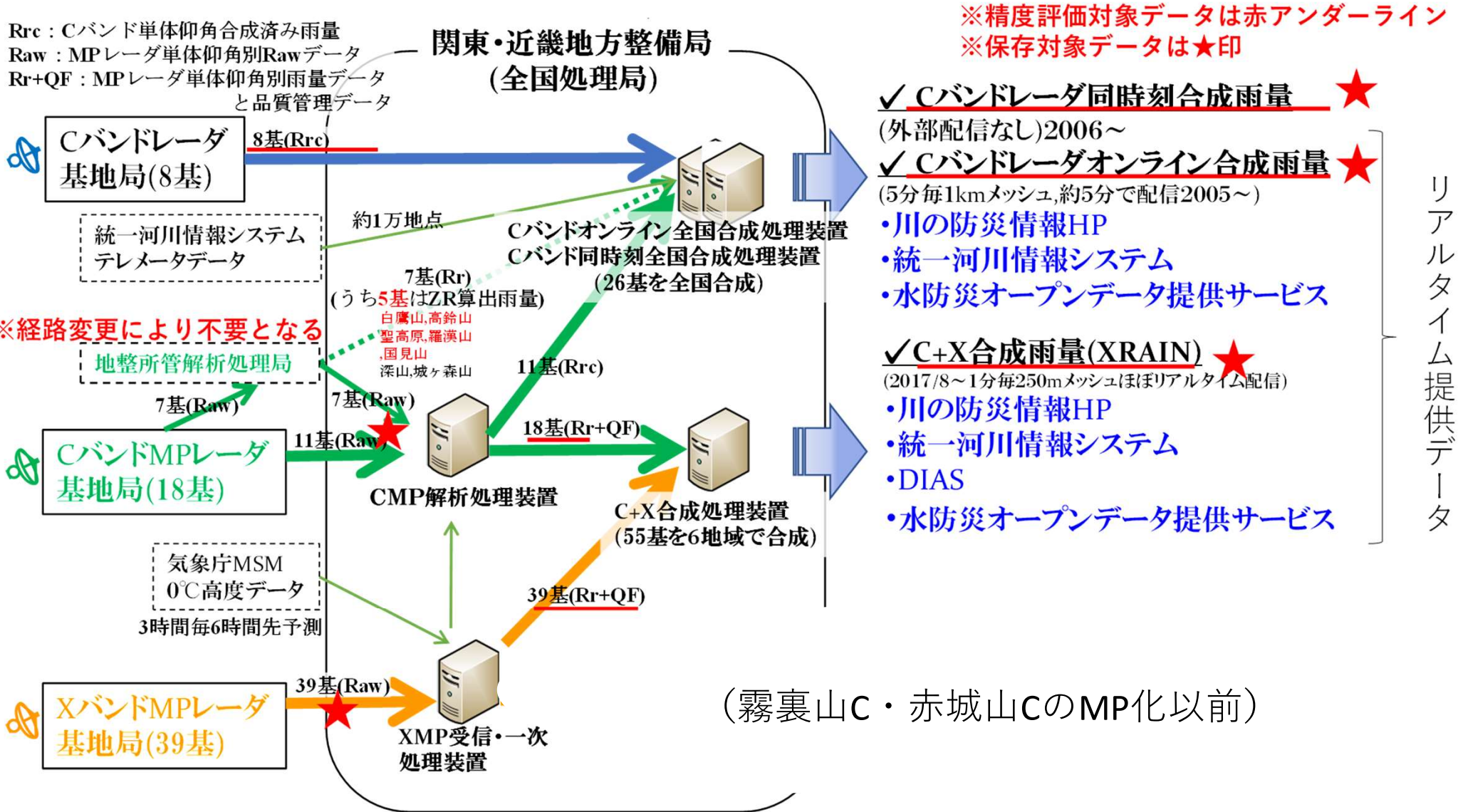
※ $W_i = W_h \times W_v \times W_s$ として重み係数を計算

3. レーダ雨量計の設備・システム



レーダ雨量計基地局 設備構成図

レーダ雨量計全国合成システム (XRAIN/Cバンド補正合成) 2022/3現在



4. レーダ雨量計全国合成雨量の 観測精度

中部地整管内CX合成雨量 (XRAIN) の領域 1 (ビーム中心高度0-1km)

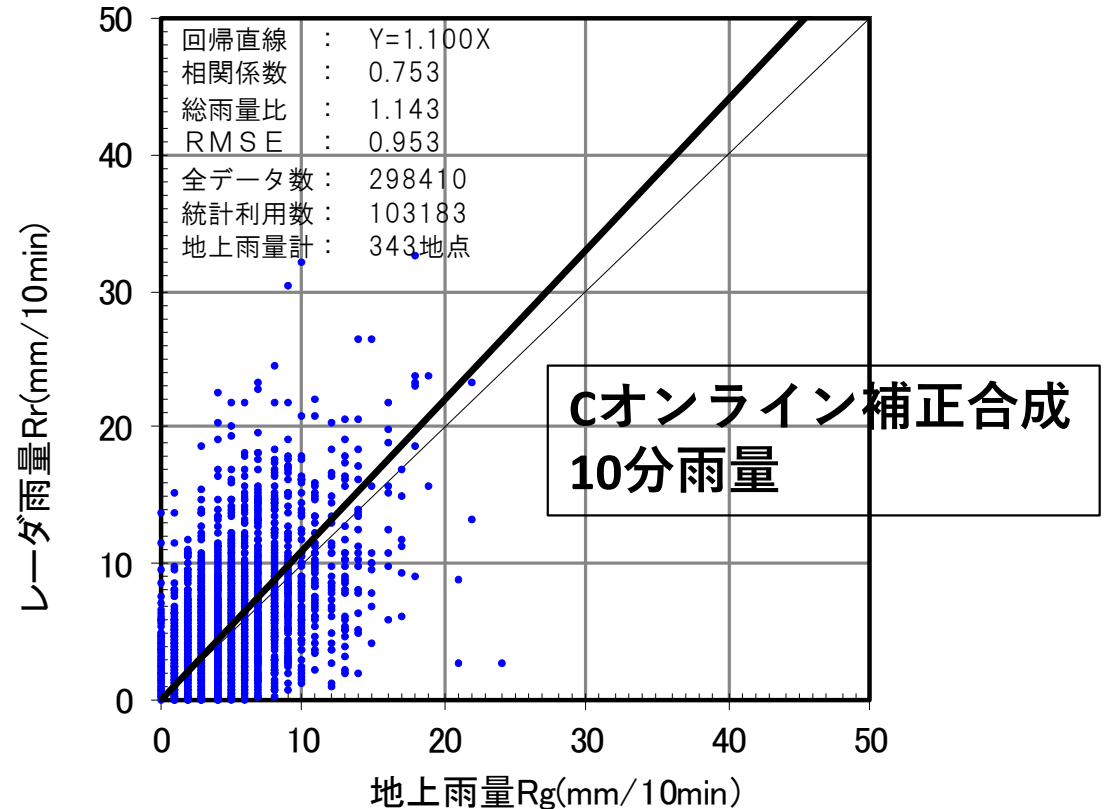
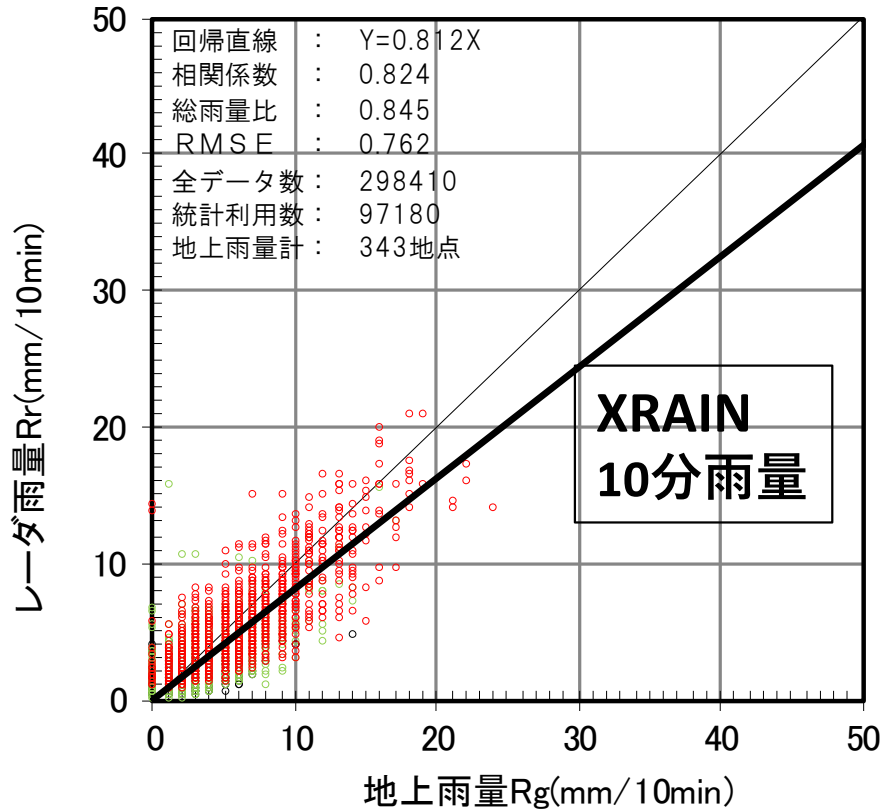
(2021年 主要3降雨)

CX合成雨量

Cバンドオンライン合成雨量

10分間雨量 地域:中部, 領域1の精度

10分間雨量 地域:中部, 領域1の精度



総雨量比 = 0.845

相関係数 = 0.824

総雨量比 = 1.143

相関係数 = 0.753

RMSE = 0.762

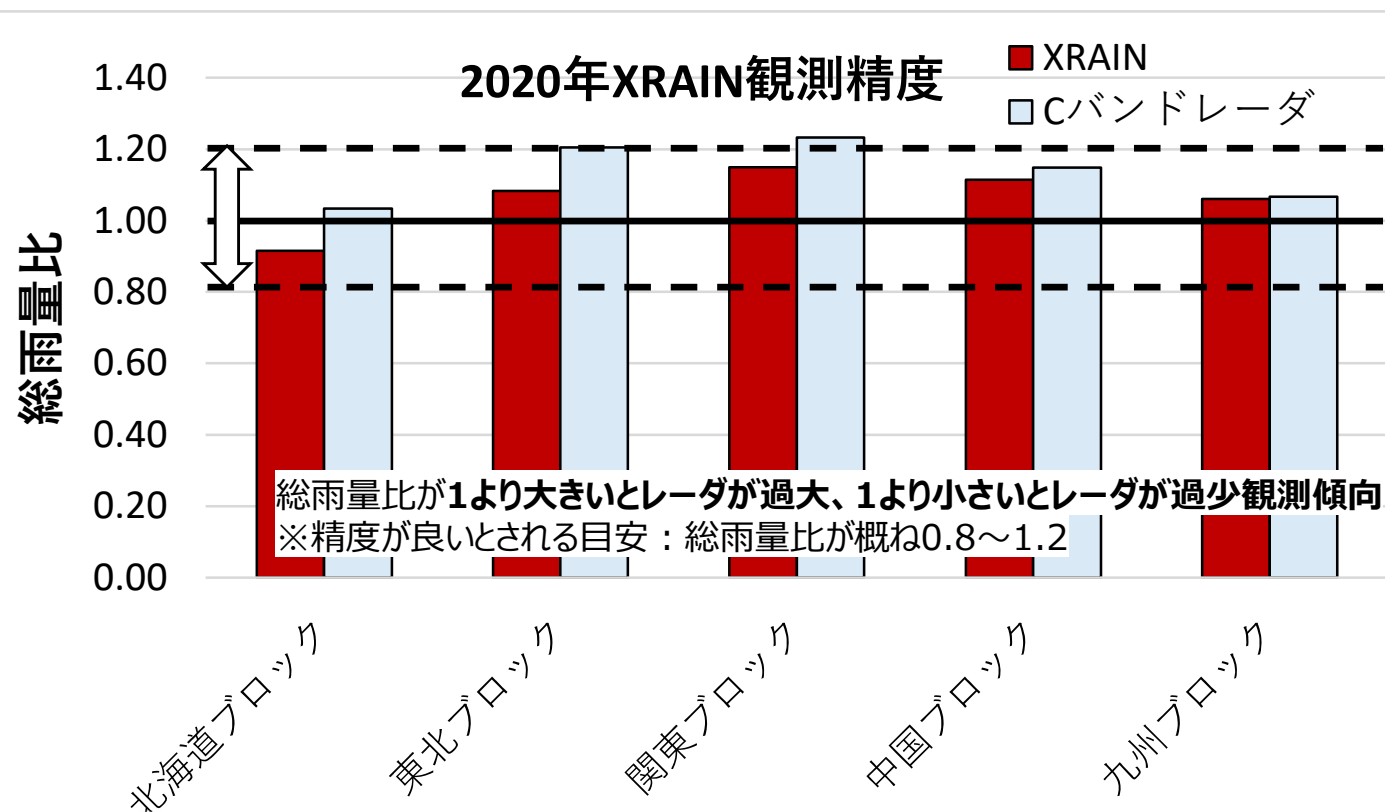
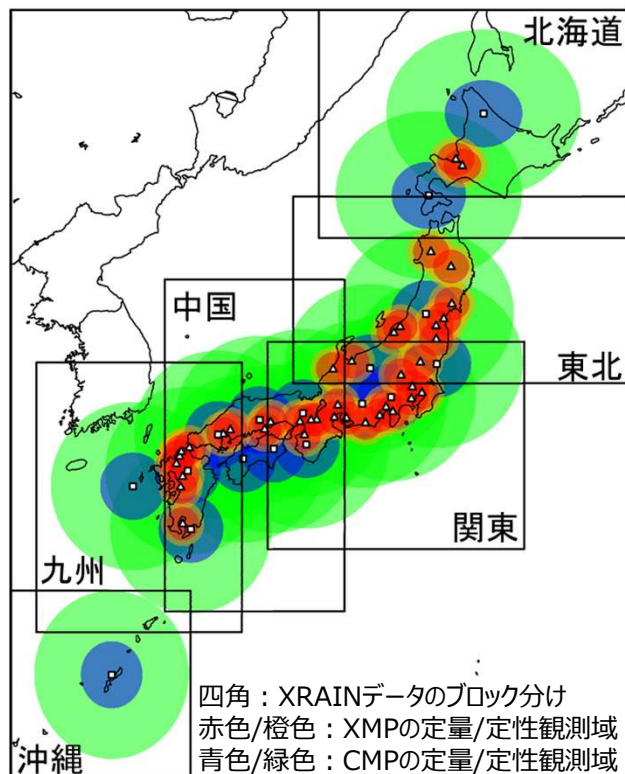
回帰係数 = 0.812

RMSE = 0.953

回帰係数 = 1.100

全体的な精度（2020年主要3降雨 地域ブロック別）

※各ブロックはCX合成データの範囲



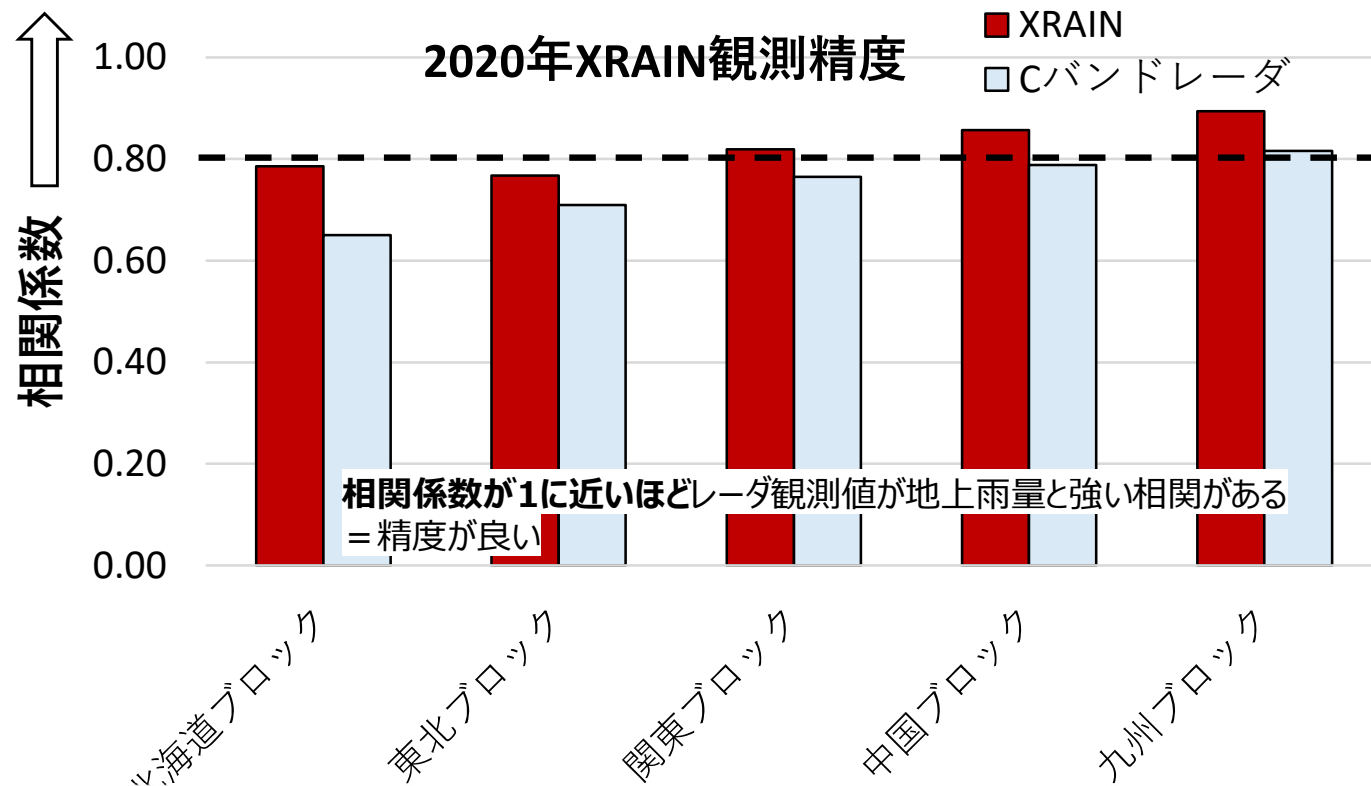
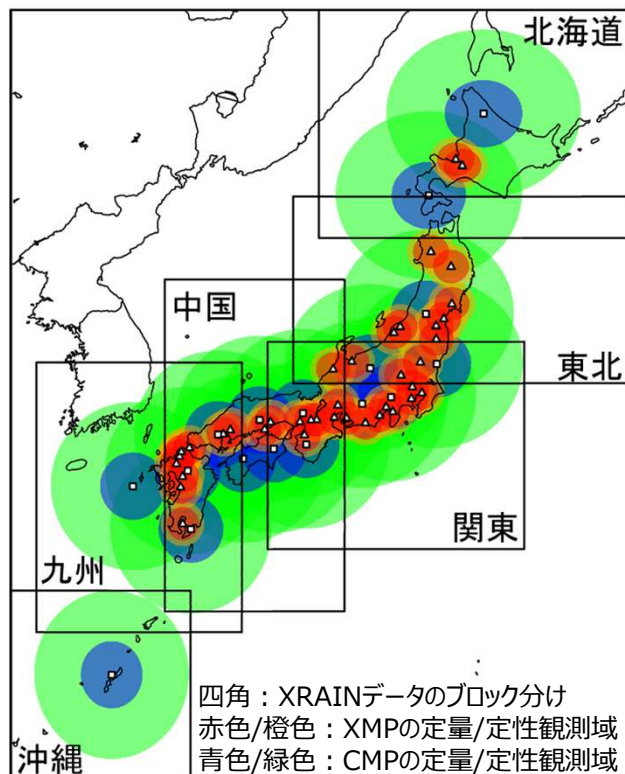
XRAINは地上雨量補正をしている**Cバンドレーダ**と同等以上の精度(0.9~1.1)が得られている

$$\text{総雨量比} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

Xi:地上雨量[mm/10min]、Yi:レーダ雨量[mm/10min]
N:対象地域および降雨期間におけるデータ数

全体的な精度（2020年主要3降雨 地域ブロック別）

※各ブロックはCX合成データの範囲



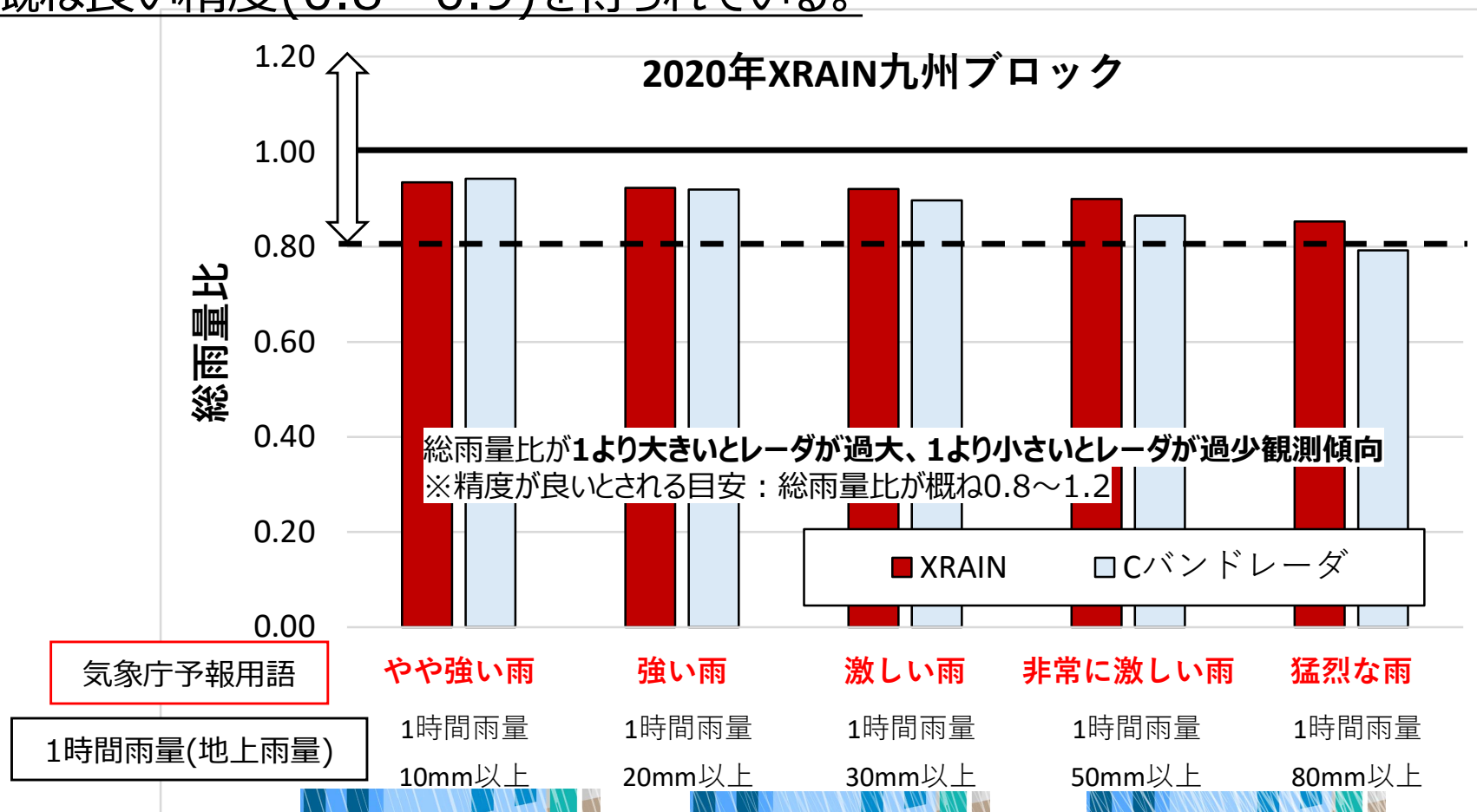
XRAINは地上雨量補正をしている**Cバンドレーダ**と同等以上の精度(0.8~0.9)が得られている

$$\text{相関係数} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}$$

X_i :地上雨量[mm/10min]、 Y_i :レーダ雨量[mm/10min]、
 \bar{X} :地上雨量平均値、 \bar{y} :レーダ雨量平均値
 N :対象地域および降雨期間におけるデータ数

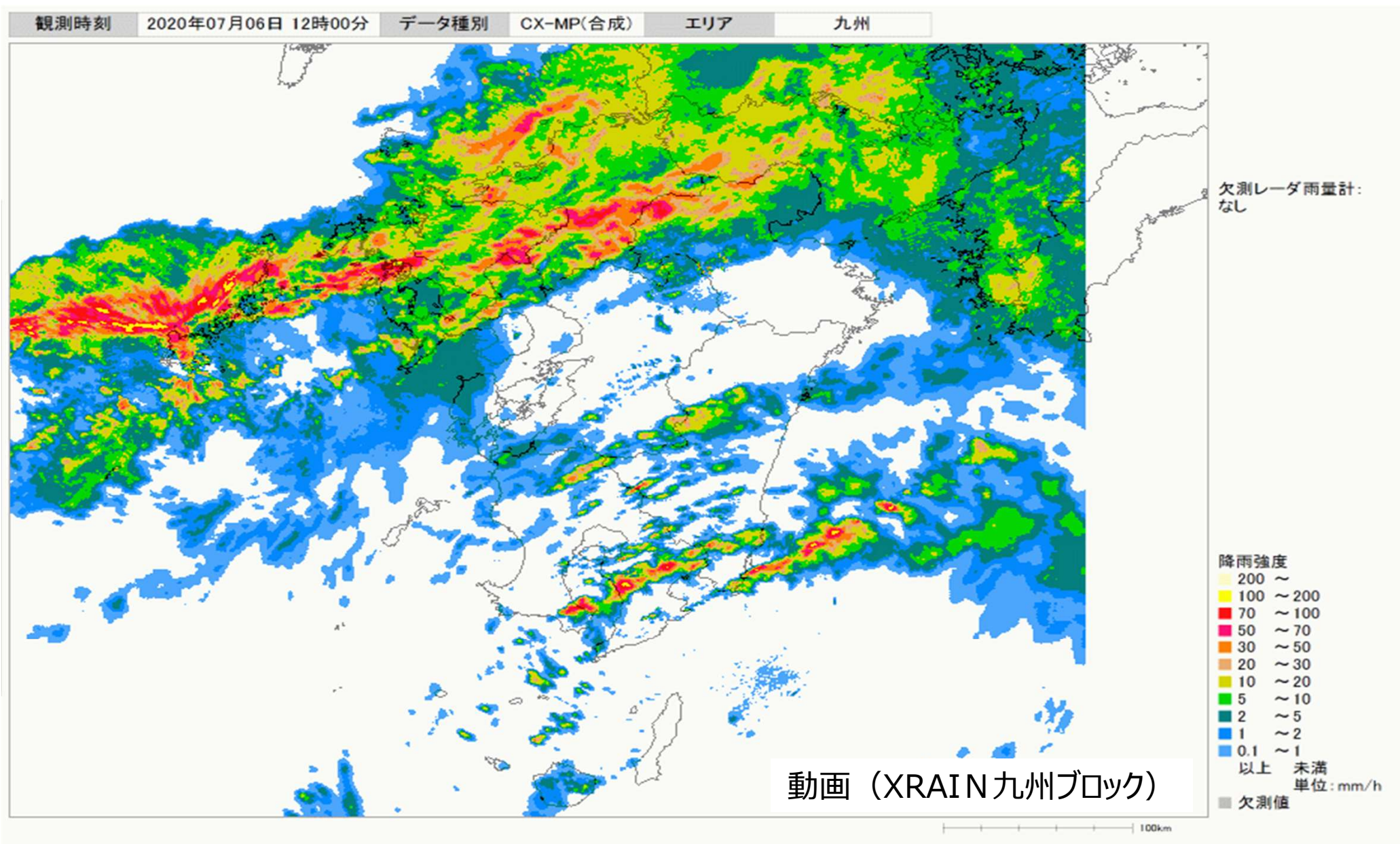
強雨時の精度（2020年主要3降雨 九州ブロック降雨強度別）

2020年九州地域での降雨強度別XRAIN観測精度は強雨時に着目しても、概ね良い精度(0.8~0.9)を得られている。



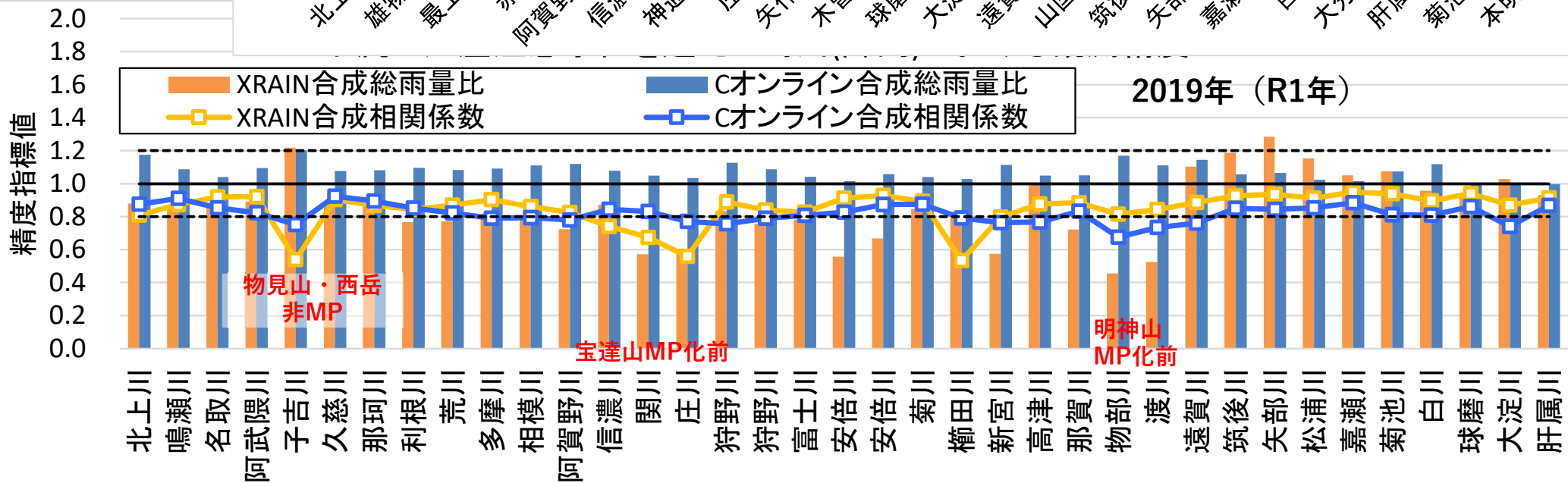
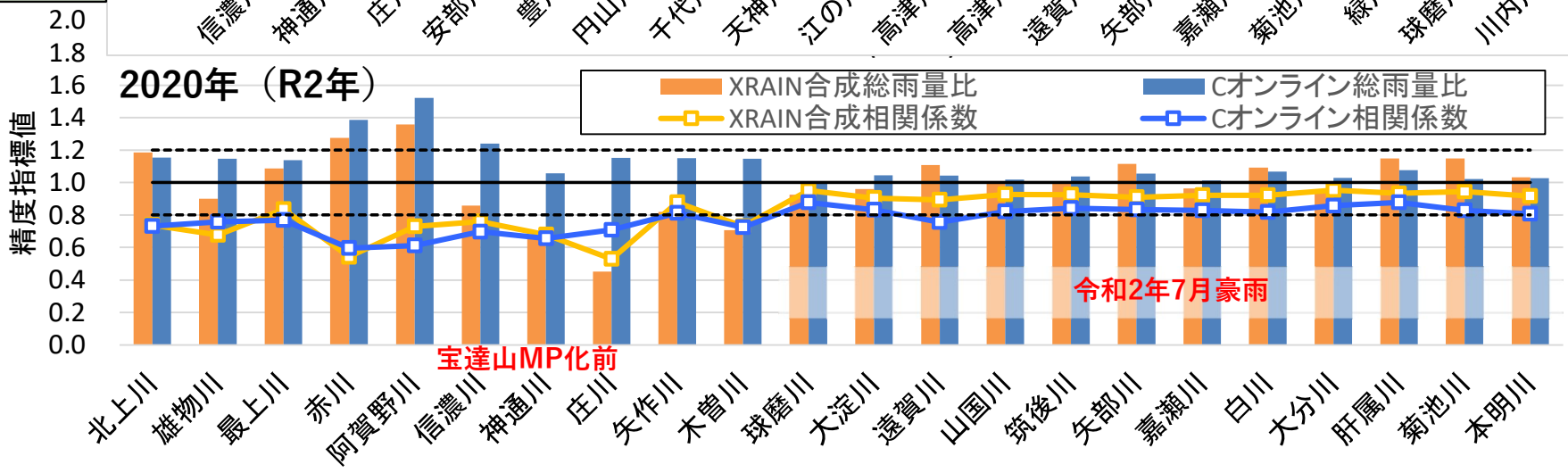
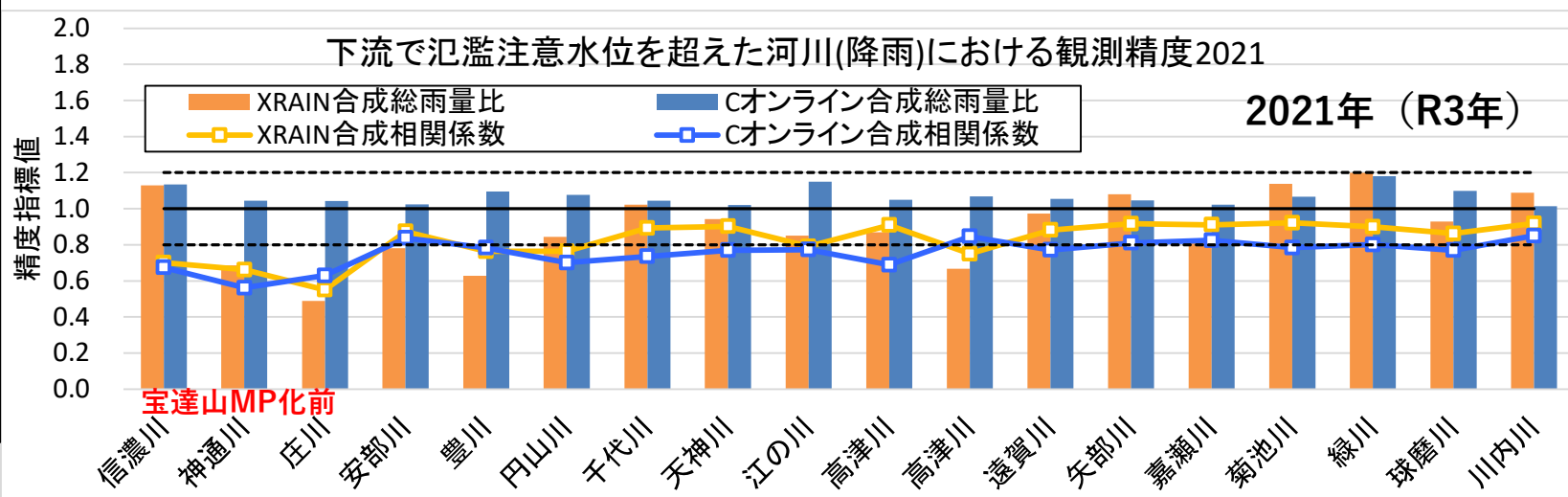
出典：気象庁

大きな出水をもたらした事例の精度：2020年7月豪雨（流域別精度）

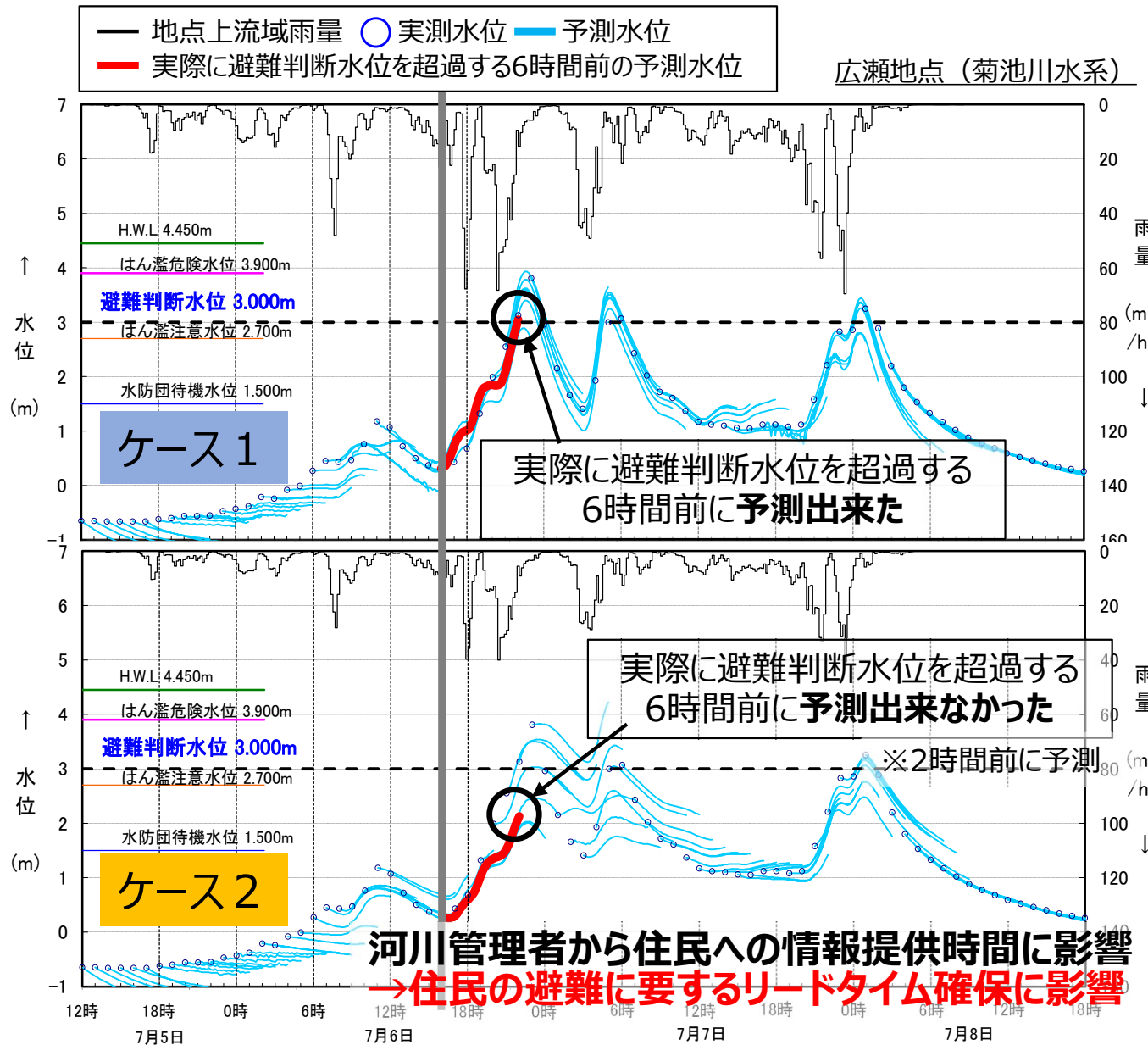


下流で
氾濫注意水位を
超えた河川(降雨)
における
XRAIN雨量および
Cバンドオンライン
補正合成雨量
の観測精度比較

2019
～2021年の
3か年分



現況XRAIN観測精度が水位予測に与える影響を検証



対象水系：菊池川水系
 対象洪水：2020年7月豪雨

検討条件

洪水予測モデル：
 分布型モデル+1次元不定流モデル
 (粒子フィルターによる水位同化あり)

降雨データ(ケース1)：

(現況)XRAIN雨量
 (予測)XRAIN雨量

降雨データ(ケース2)：

(現況)低精度影響検証用XRAIN雨量
 (予測)XRAIN雨量

※両ケースとも完全予測

※ケース2現況は検討用に仮想的に作成した低精度なデータを使用(×0.586倍)

九州地域直轄水系で最も過少な総雨量比相当

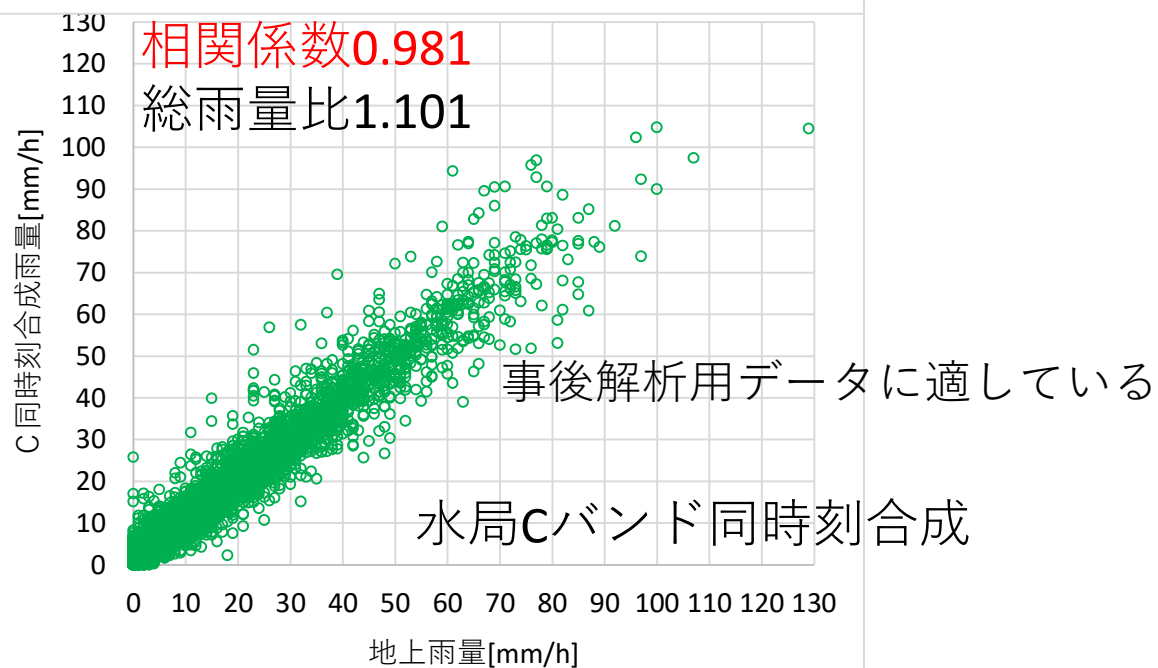
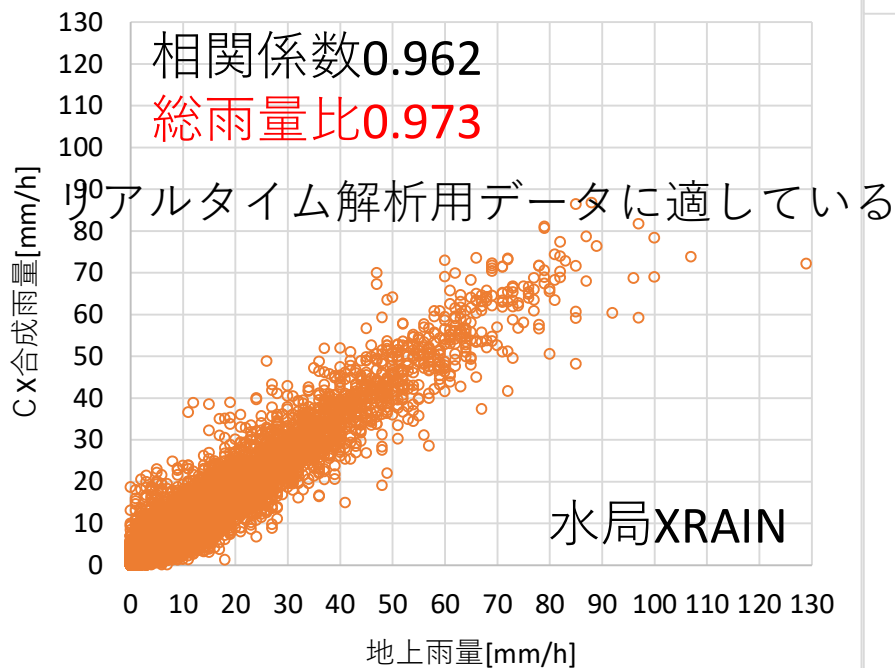
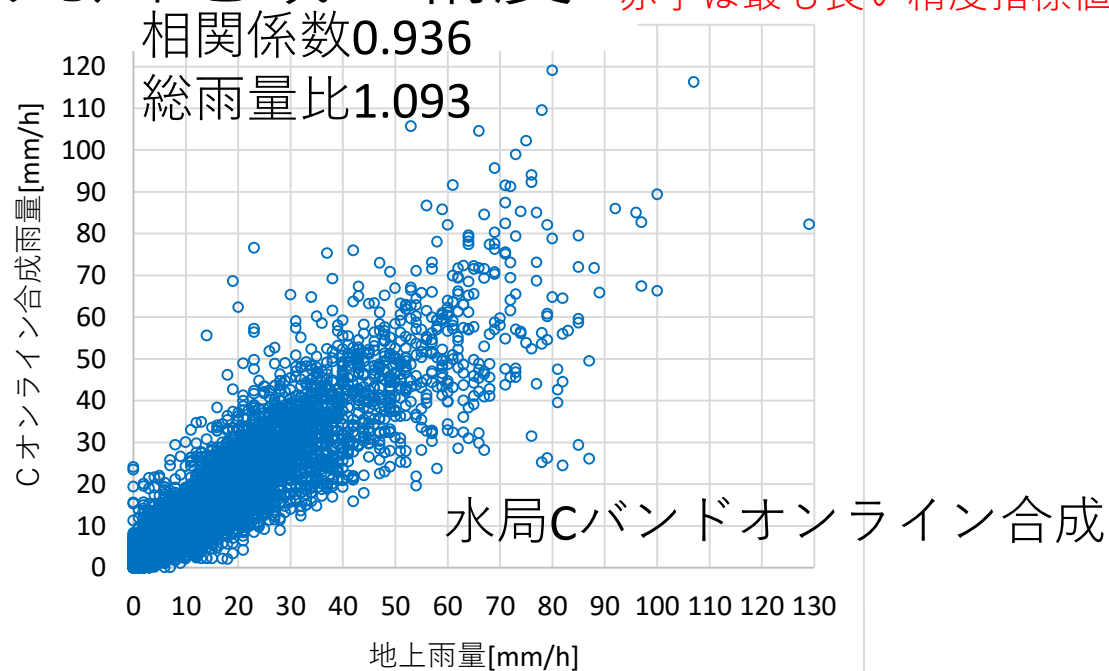
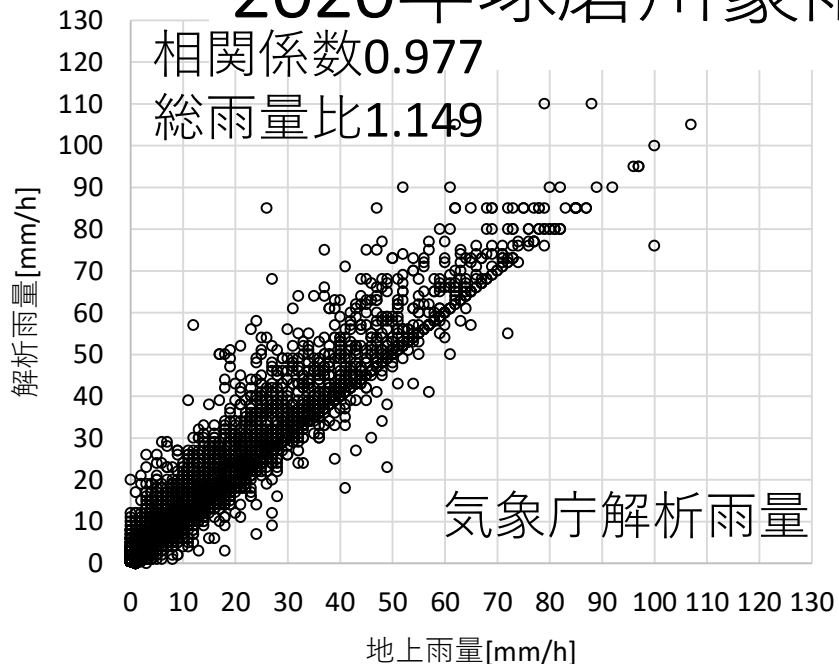
現況値であるXRAINの精度低下が予測水位の計算結果に影響を与えている

→XRAINの継続した品質管理及び精度向上が重要である

合成雨量の精度比較

赤字は最も良い精度指標値

2020年球磨川豪雨 九州地域の精度



4. レーダ雨量計データを利用するにあたっての留意事項

留意点 1

X R A I N 観測精度に係る運用状況の確認

留意点 2

X R A I N 観測精度に係る観測網の確認

留意点 3

レーダ雨量計による観測データの特徴

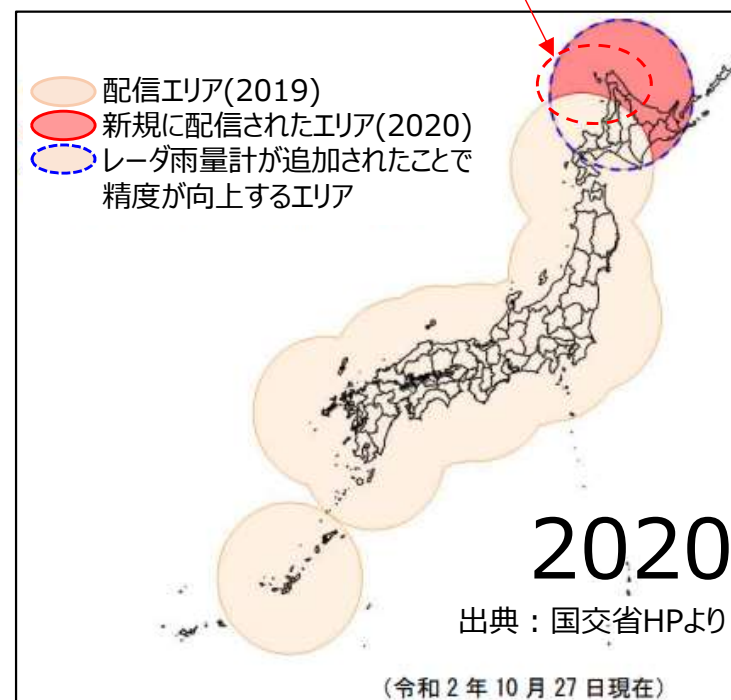
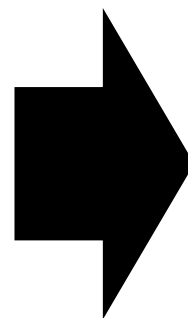
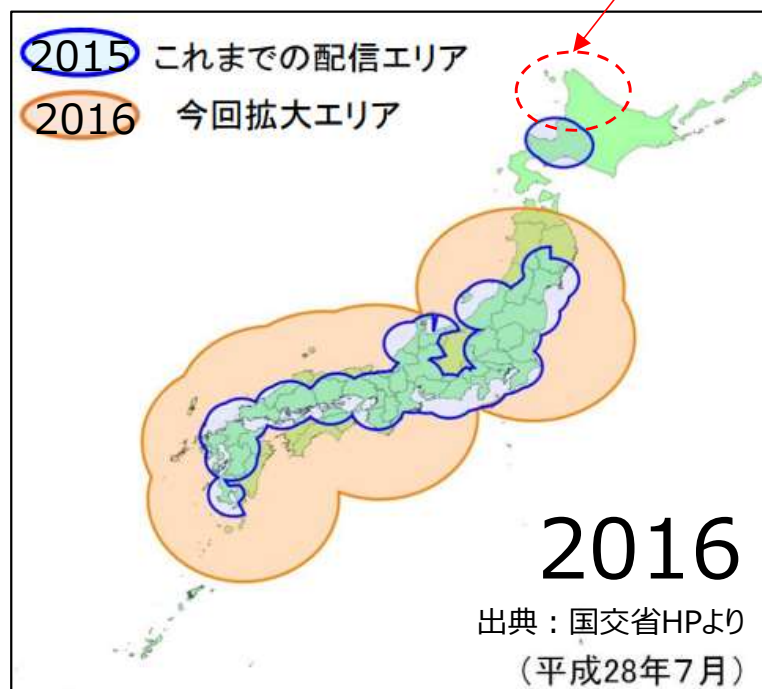
留意点 4

レーダ雨量計による観測データの性質

留意点 1

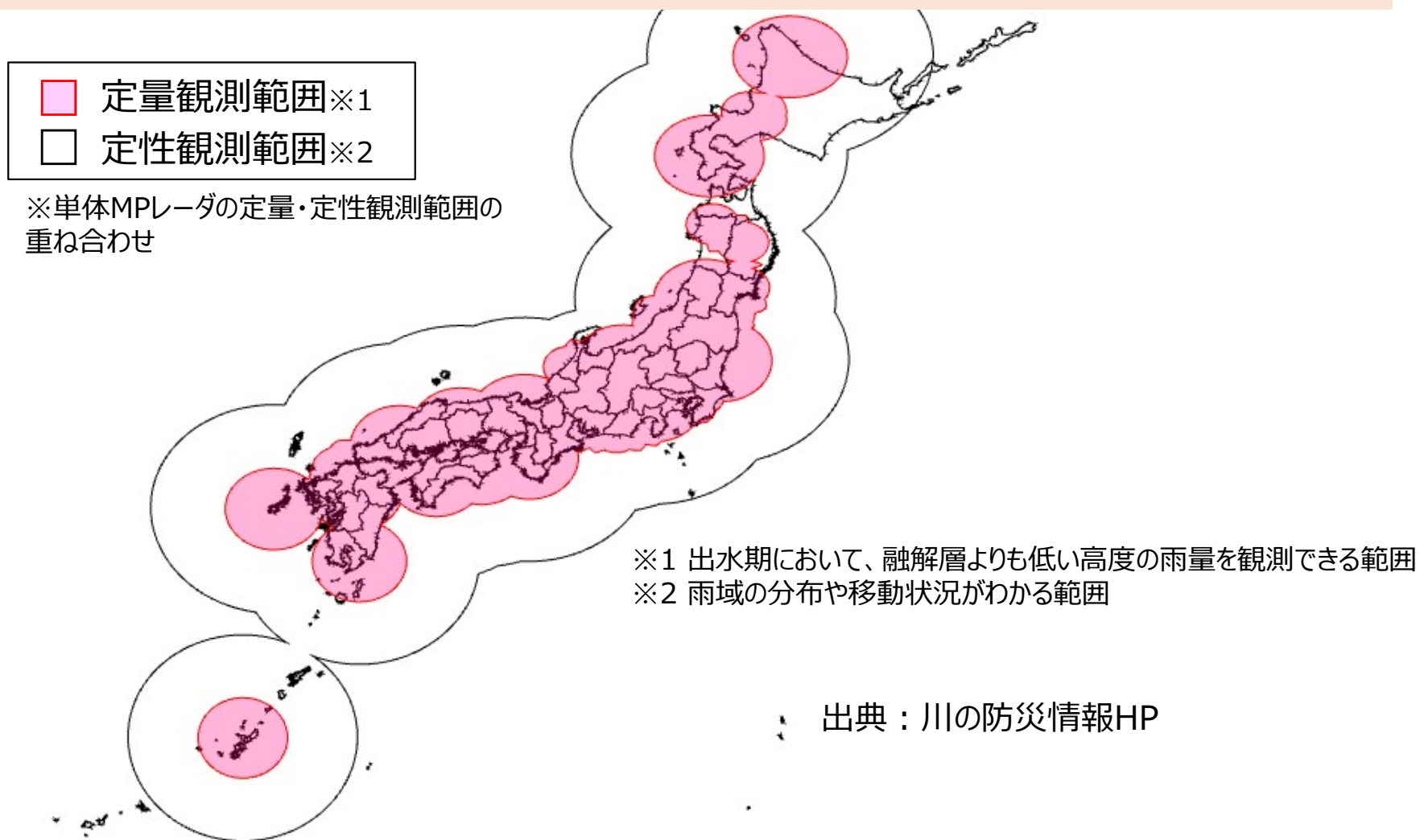
X R A I N観測精度は、観測網整備状況等で地域や年によって異なっており、データ利用対象地域におけるレーダ整備状況や点検・障害等のレーダ運用状況を確認の上、利用する必要がある。

データ利用年によって整備状況が異なる地域の例



留意点2

X R A I NにはMPLレーダが定量観測域でカバーしている領域と、定性観測域のみでカバーしている領域があり、利用時には事前に確認しておく必要がある。



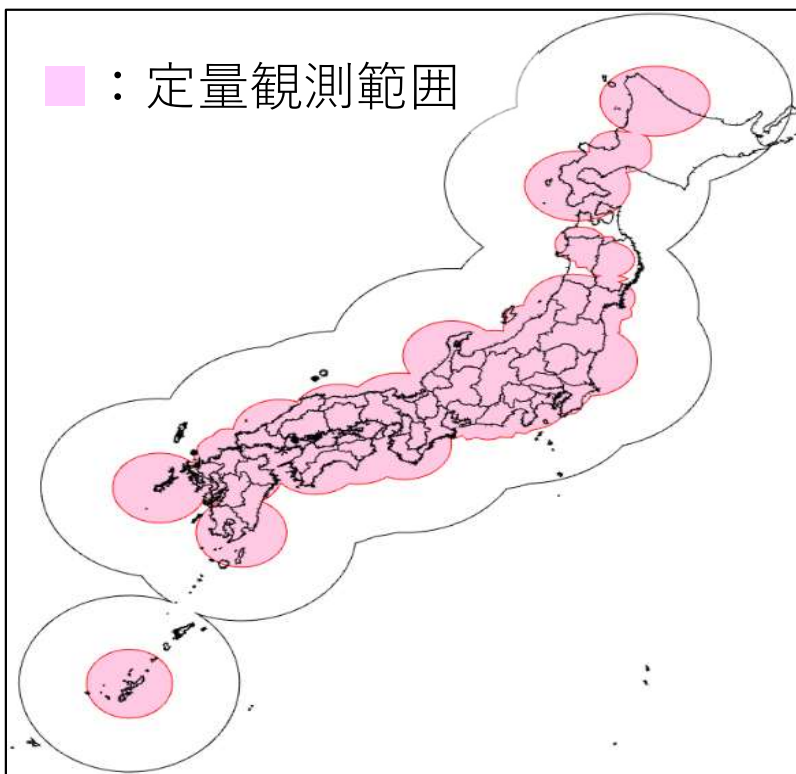
XRAINの観測高度

～XRAIN (Kdp法) の高精度確保能力を十二分に発揮させるために求められる観測条件

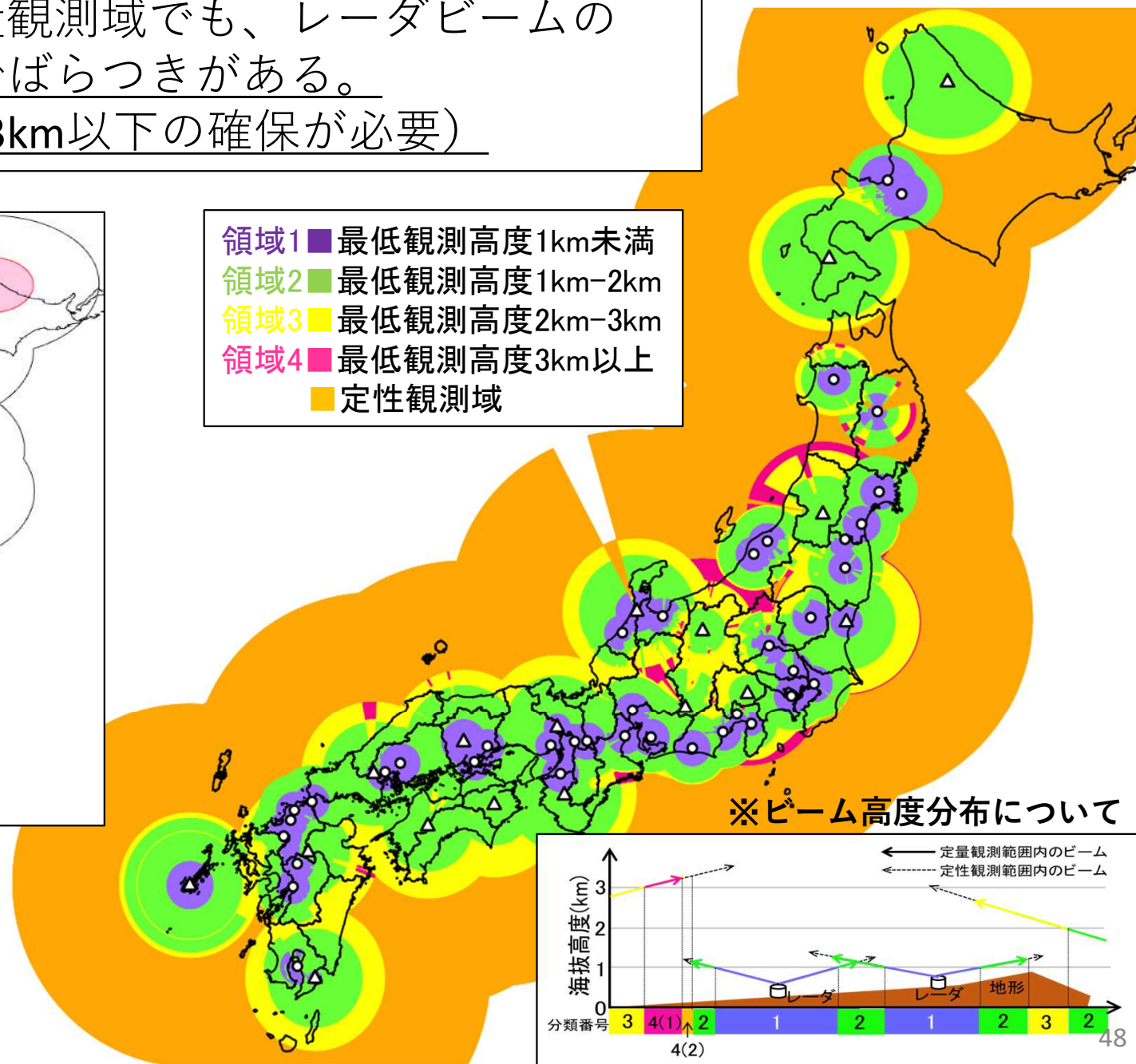
全国的に見ると同じ定量観測域でも、レーダビームの最低観測高度は各地域でばらつきがある。

(本来は、融解層高度～3km以下の確保が必要)

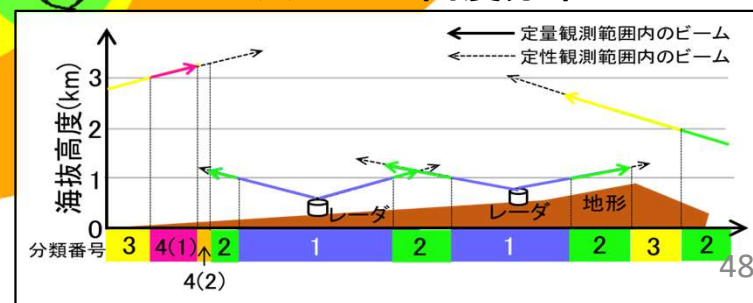
■ : 定量観測範囲



- 領域1 ■ 最低観測高度1km未満
- 領域2 ■ 最低観測高度1km-2km
- 領域3 ■ 最低観測高度2km-3km
- 領域4 ■ 最低観測高度3km以上
- 定性観測域



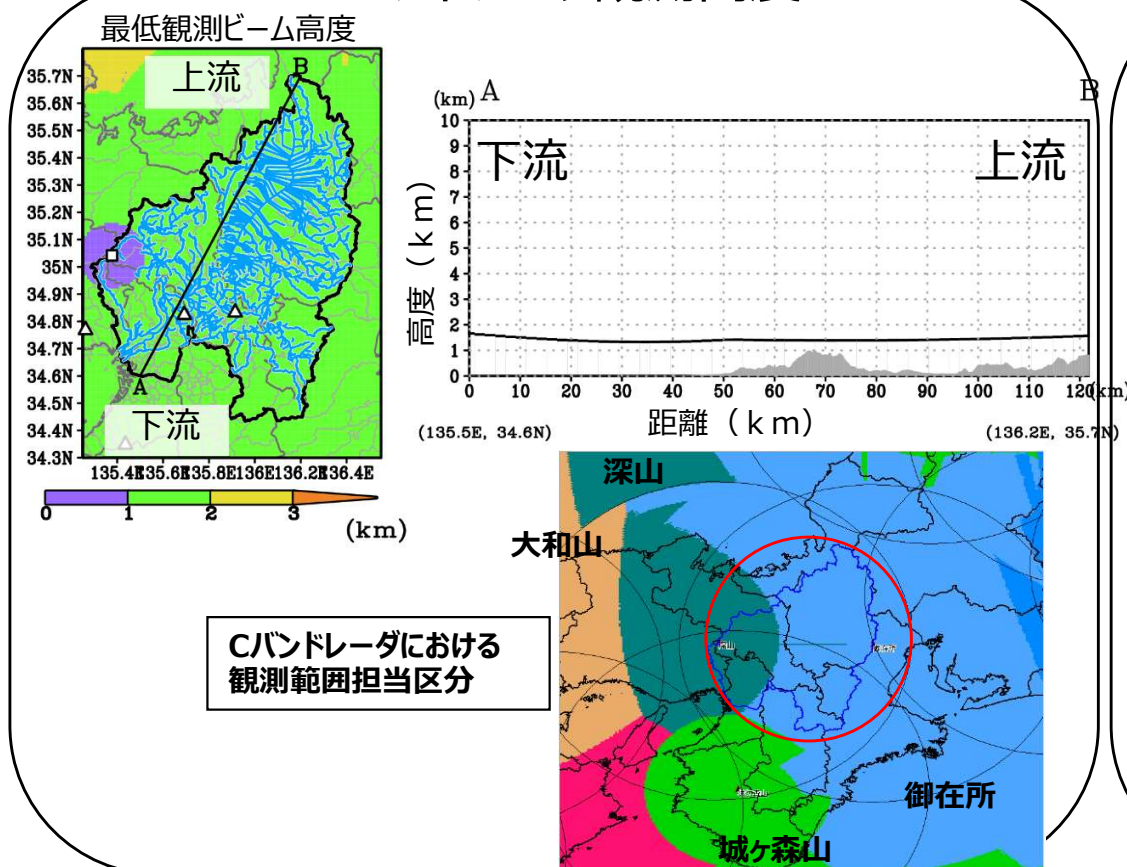
※ビーム高度分布について



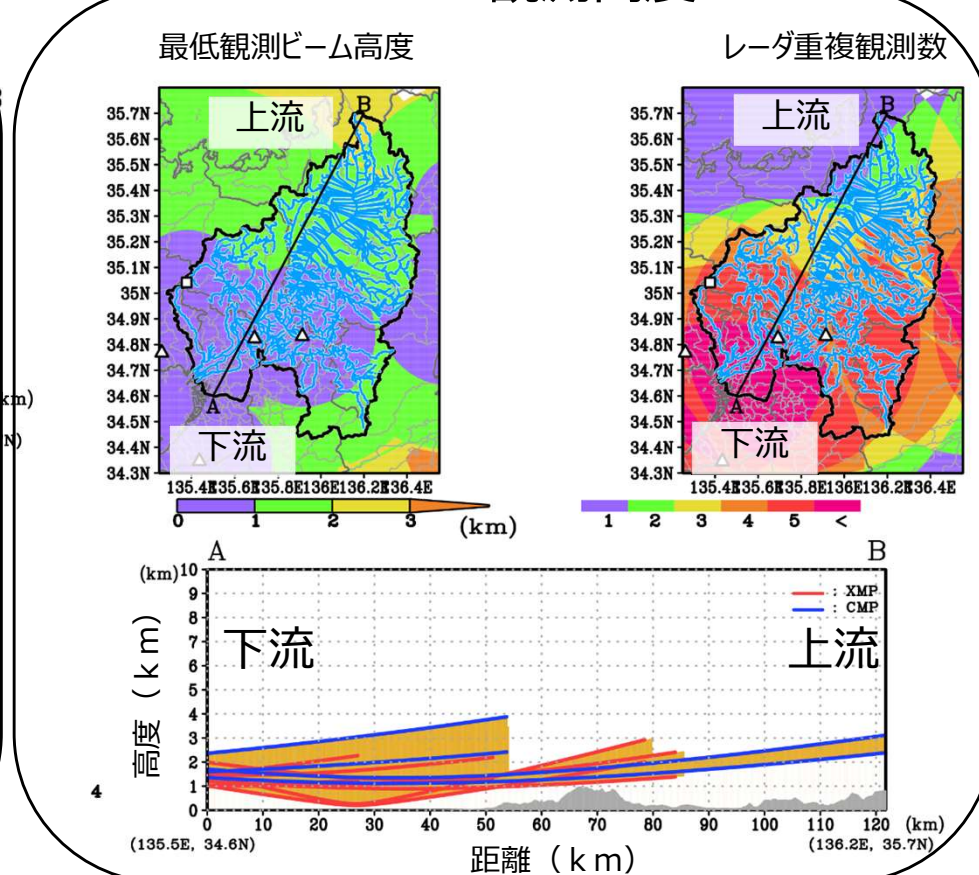
流域毎にXRAINとして必要な観測条件を確保しているかを確認

流域	合成雨量の利用		合成レーダ雨量利用上の留意点・問題点
淀川	Cバンドレーダ	○	下流域は深山CMPレーダ、中・上流域は御在所C単偏波レーダにより観測高度2km以下でカバーされており、御在所の運用状況が精度に大きく影響している。
	XRAIN	◎	下流域は鷲峰山、田口XMPレーダにより観測高度1km以下でカバーされており、中流域は深山CMP、御在所C単偏波レーダにより観測高度2km以下でカバーされている。流域の殆どは2基以上のレーダで重複観測がなされており、下流ほど多くのレーダで重複観測されている。

Cバンドレーダ観測高度

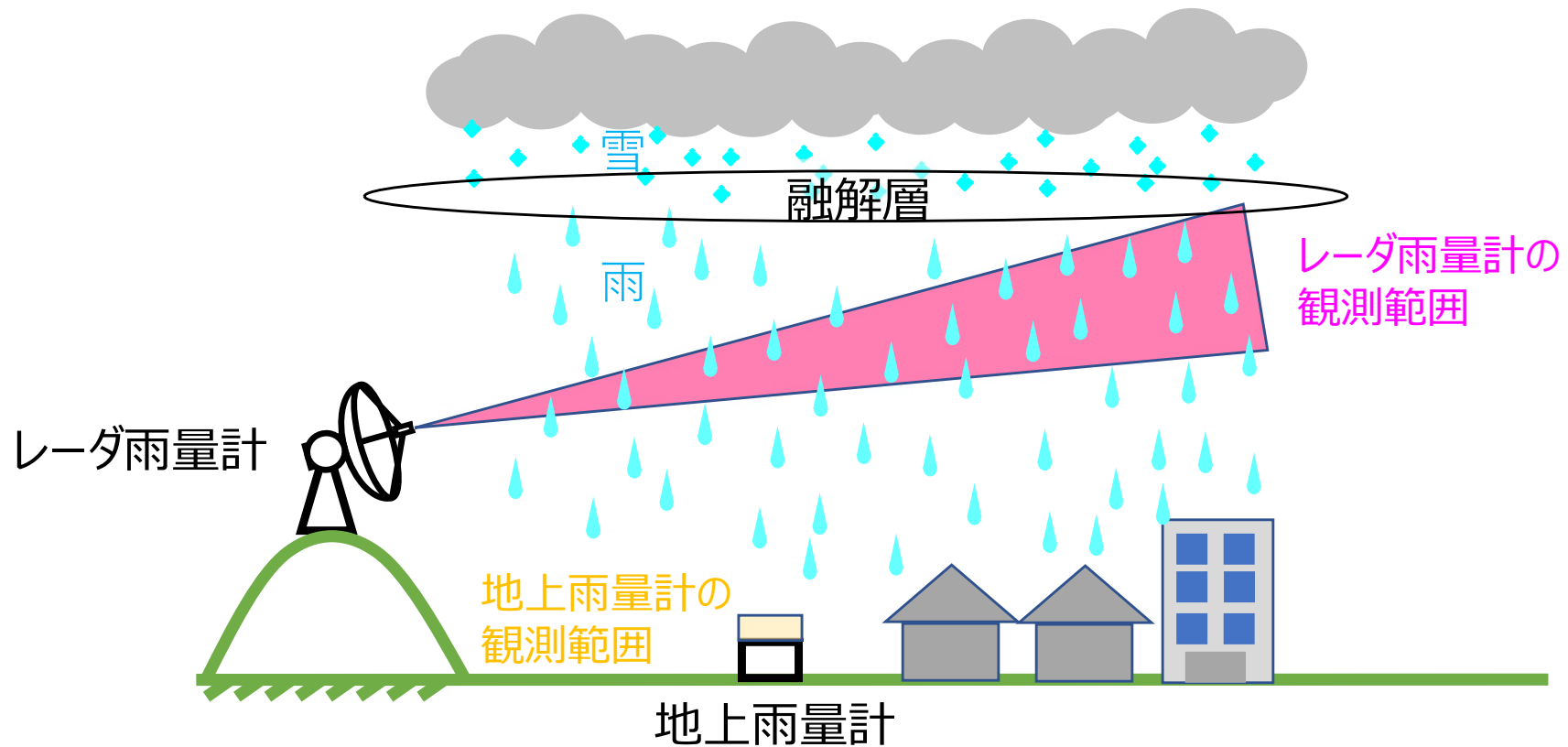


XRAIN観測高度



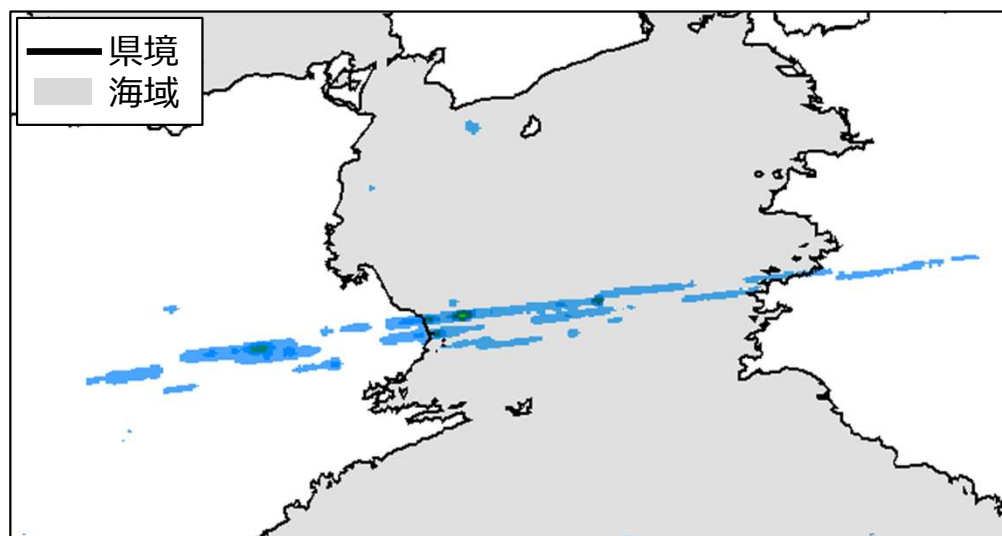
留意点3

レーダ雨量計は上空の降水を観測しているため、必ずしも地上雨量と完全に一致するものではないことに留意して利用する必要がある。

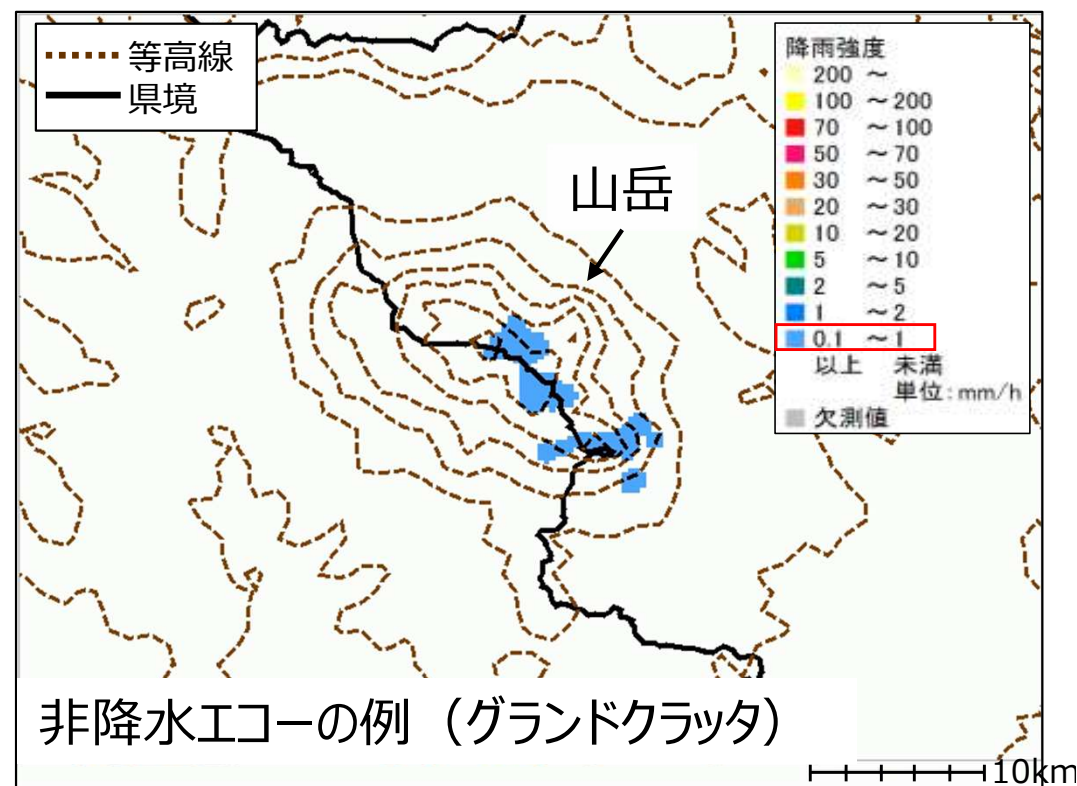


留意点 4

レーダの機器特性として弱い放射状の干渉エコーや円弧状のエコー、クラッタ等の非降水エコーが生じる場合があることに留意して、利用する必要がある。

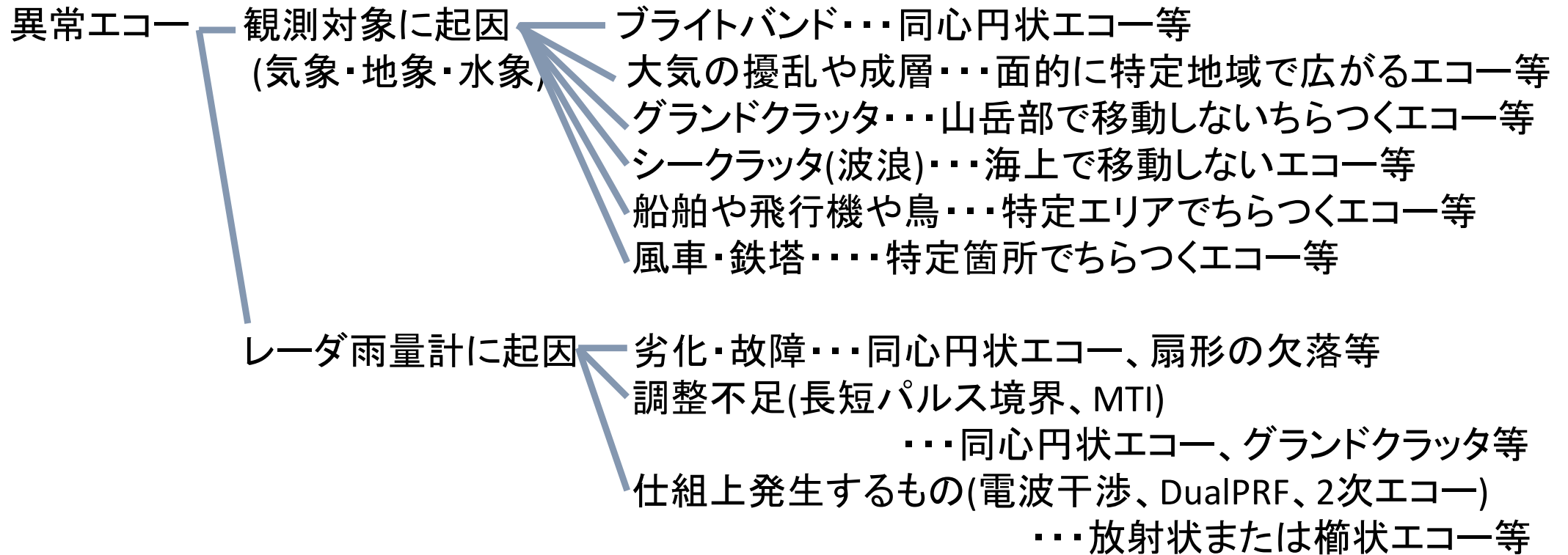


放射状の干渉エコーの例



非降水エコーの例（グランドクラッタ）

レーダ雨量計画像に現れる異常エコーに注意！



異常エコー発生時に、即座に上記分類を行うことは難しいことから、出て然るべきものについては、HP上での免責をしておく必要がある。

まとめ



- 国土交通省は全国26基のCバンドレーダ雨量計(うち20基はMP化済み)と39基のXバンドMPレーダ雨量計を運用し、それぞれの特性を生かしたレーダ合成雨量を配信・蓄積(XRAIN / Cバンドレーダ補正合成)
- CバンドレーダのMP化が進められており(2022年9月現在、全26基中、20基)、CX合成雨量データ(1分間隔、250mメッシュ)を配信。CX合成(XRAIN)の対象エリアは順次拡大の見込み
- 降雨の時間的・空間的な分布をきめ細かく把握できるデジタルデータとして、レーダ雨量ならではの価値に着目した活用の広がりに期待

ご清聴ありがとうございました

<http://www.river.or.jp>

【参考】

実務技術者のためのレーダ雨量計講座

<http://www.river.or.jp/jigyo/radar/314.html>

レーダ雨量計で見る過去の豪雨事例

http://www.river.or.jp/jigyo/radar/radar_past.html