



富山県立大学



令和6年研究助成成果報告会

フェーズドアレイ気象レーダで観測された上空情報の活用に関する研究

助成受付番号 第令4-1号

2024.05.17

吉見 和紘

- 目的

- 気象レーダの上空観測情報活用の観点から、以下について検討した。

- 【上空データを活用した風速場推定】

- フェーズドアレイ気象レーダによって観測された風速場から、三次元的な風速場(鉛直風)を解析する。

- 【ナウキャスト手法の改良】

- ナウキャスト手法の課題に対して、改良案を提示する。

- 【ナウキャストによる降雨予測】

- 改良版ナウキャスト手法にて、降雨予測を実施し、改善効果を検証する。

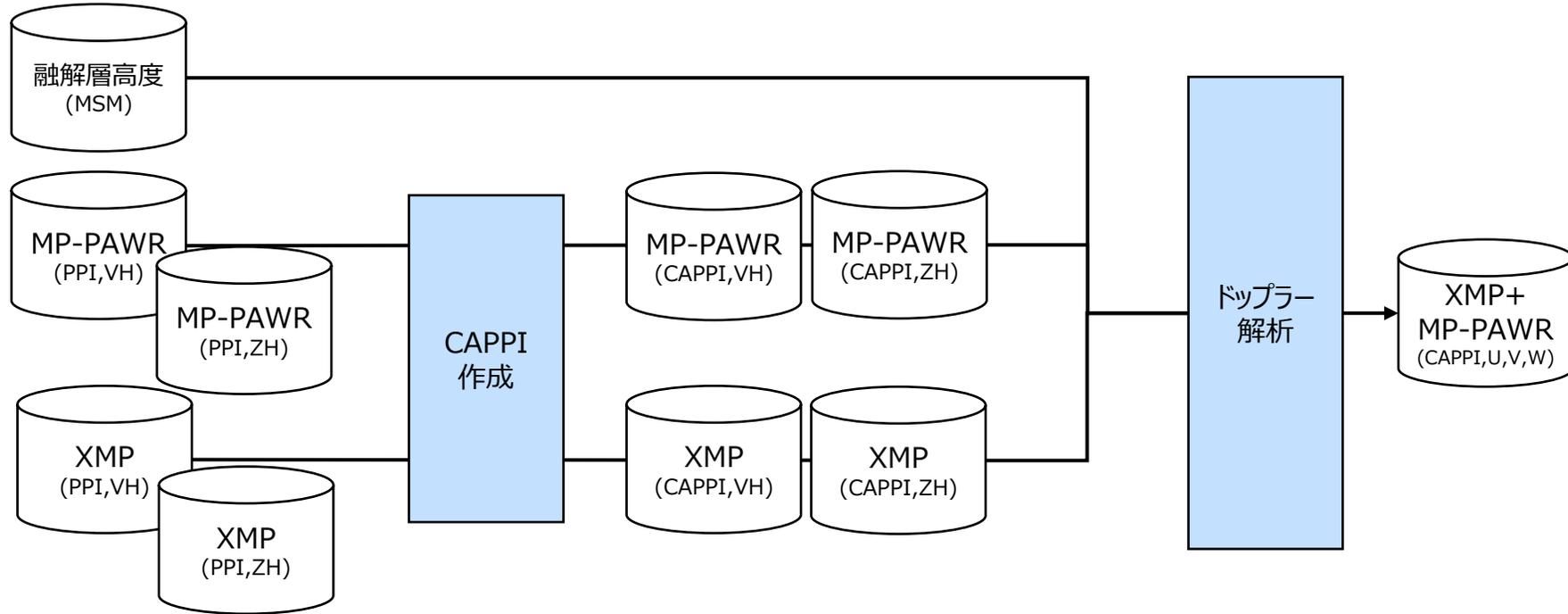
- 【水位予測】

- 改良版ナウキャストの降雨予測データに基づいて水位予測を実施し、従来の予測結果を入力データとして場合と比較することで、改善効果を定量的に明らかとする。

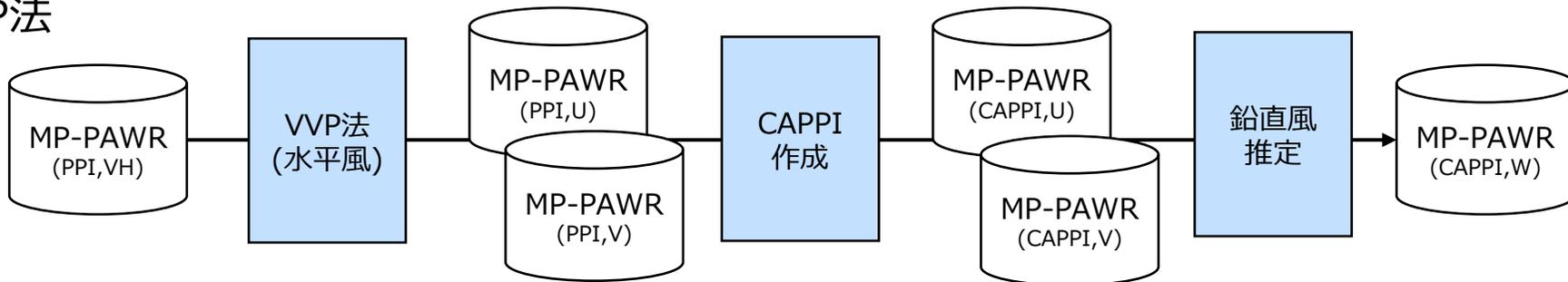
- VVP 法
 - MP-PAWRのみの観測データを用い、VVP法により水平風 u , v を推定.その後、水平発散の鉛直積算により鉛直風 w を推定
 - 疑似XMP(12仰角)の場合、MP-PAWR(114仰角)の場合を比較
- Dual ドップラー法
 - MP-PAWRと近接する新横浜局のXMPを用いDual ドップラー解析を実施
 - 疑似XMP(12仰角)と新横浜局のXMPでの場合と、MP-PAWR(114仰角)と新横浜局のXMPでの場合を比較
- VVP 法とDual ドップラー解析の比較の仕方
 - VVP 法及びDual ドップラー解析により推定した鉛直風において、MP-PAWRの観測仰角密度(114仰角)仰角で実施

Dualドップラー解析/VVP法のフローチャート

■ Dualドップラー解析



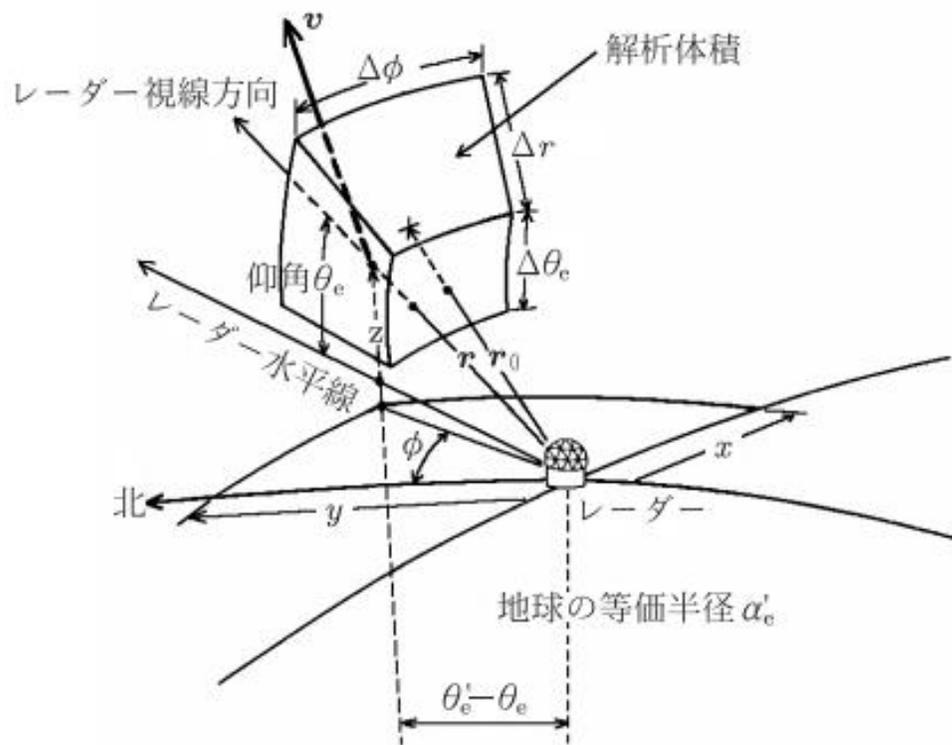
■ VVP法



(ZH : 減衰補正済みの反射強度, VH : ドップラー速度, U,V,W : 3次元風速)

- VVP 法

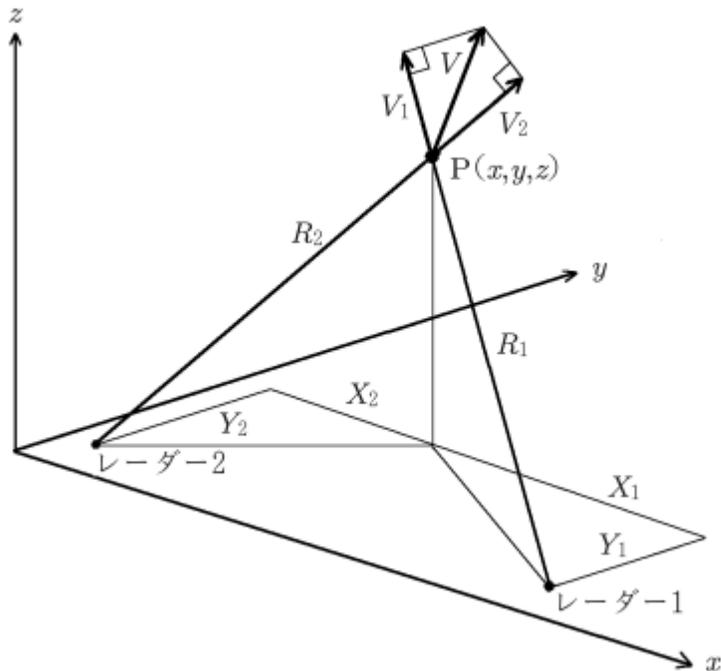
- 仰角20度以下のPPIデータを対象にして解析を行った.解析体積は文献を参考に $\Delta r=30 \text{ km}$, $\Delta\Phi=40 \text{ deg}$, $\Delta\theta=2 \text{ deg}$ とした



VVP 法による線形風速場の極座標表現
Doviak and Zrnica [1993] より改変

- MP-PAWRと近接する新横浜局のXMPを用いDual ドップラー解析を実施した
- 仰角20度以下のPPIデータを用いた
- w_T はMSMの気温に基づき融解層高度を算出, 降雨層・雪層・融解層で分別し, 式を算出
- 融解層は, 降雨層と雪層の推定式から算出した終端速度の平均値とした

2台のレーダを用いて三次元風速場の3成分(u,v,w)を推定する。



2台のドップラーレーダによる独立走査方式の座標系

$$u = \frac{r_1 Y_2 v_1 - r_2 Y_1 v_2}{D} + \frac{Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1}{D} (w - w_T)$$

$$v = \frac{r_2 X_1 v_2 - r_1 X_2 v_1}{D} + \frac{X_2 Z_1 - X_1 Z_2}{D} (w - w_T)$$

■ 降雨層 (Atlas et al., 1973)

■ 雪層 (Sekhon and Srivastava, 1970)

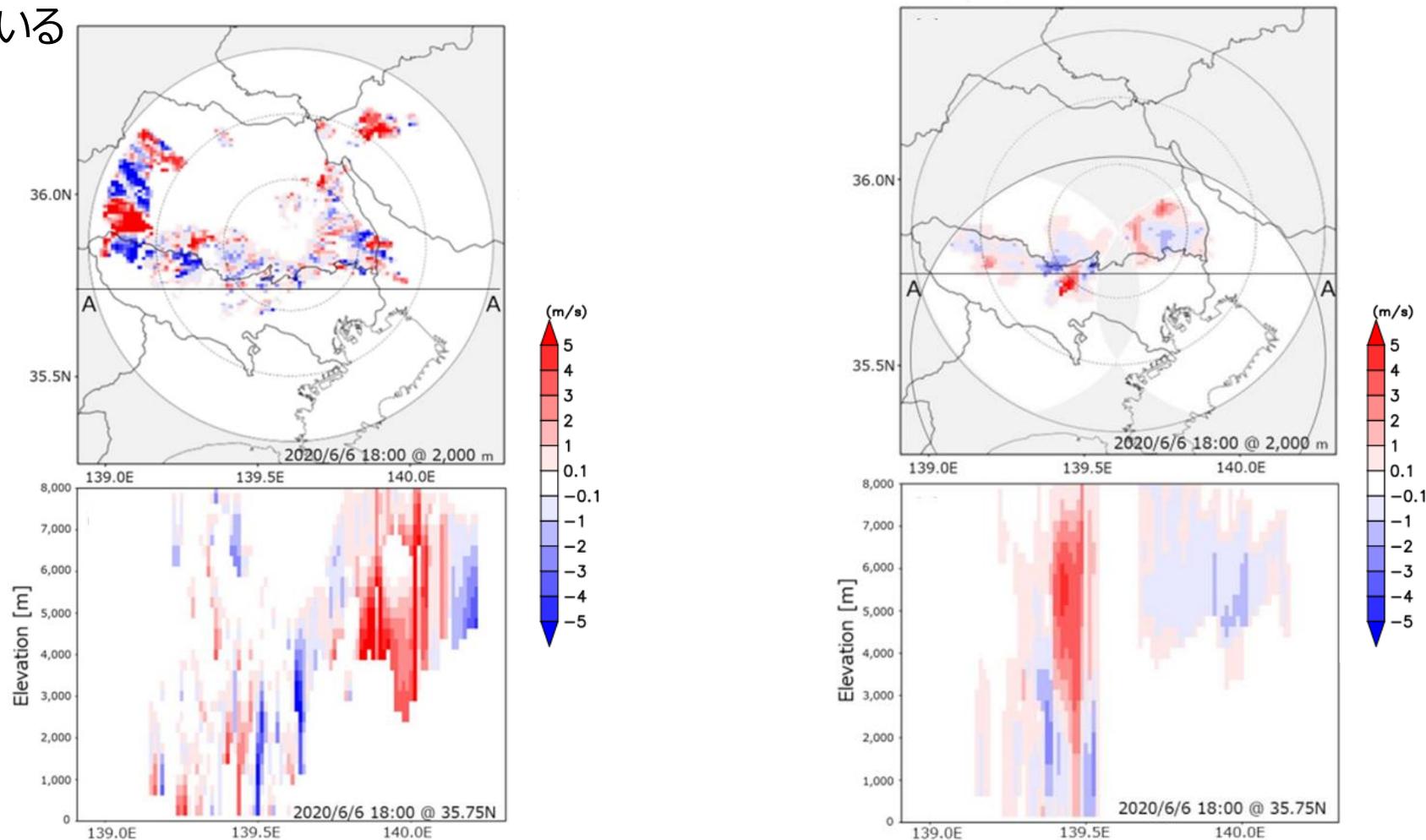
$$w_T = 2.65 Z^{0.1114} \left(\frac{\rho_0}{\rho_h} \right)^{0.4}$$

$$w_T = 0.817 Z^{0.063} \left(\frac{\rho_0}{\rho_h} \right)^{0.4}$$

ρ_0 : 積算開始高度における大気密度, ρ_h : 高度 h における大気密度 [kg/m^3]

③解析手法の違いによる鉛直風の推定結果の比較

- この解析結果はMP-PAWR(114)仰角を入力データとして解析した結果である
- Dualドップラー解析においてはVVP法と比較するとノイズのようなデータは少なく、上昇流と下降流の領域が明確に区分されている



MP-PAWR(114仰角)のデータ数を用い解析したVVP法による鉛直風(左図)とDualドップラー解析による鉛直風(右図)の推定結果

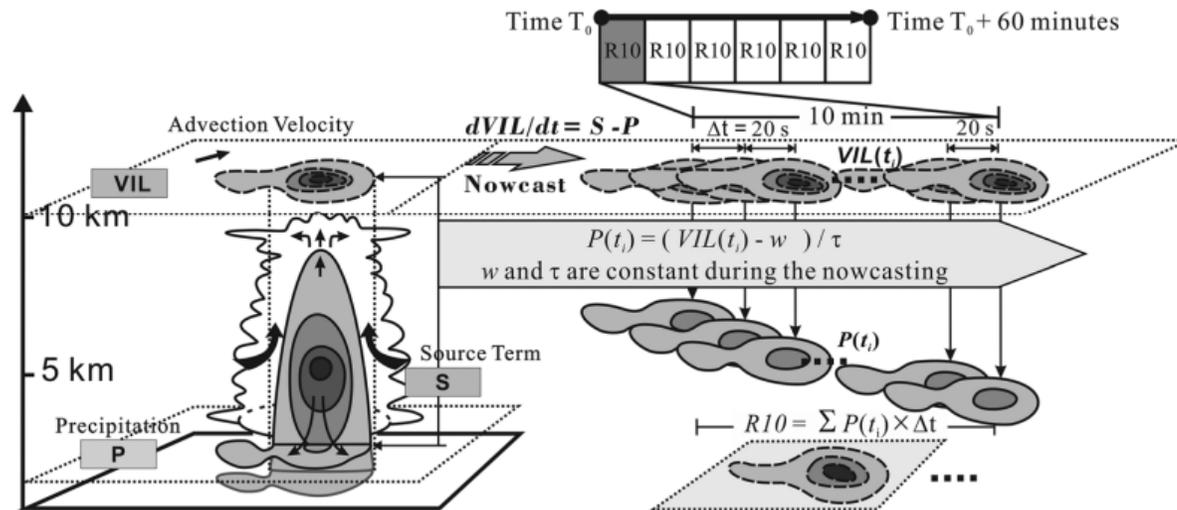
比較結果

検討結果の概要

- | 比較結果 | 検討結果の概要 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① VVP 法 | 仰角密度が大きくなってもほぼ同様の結果であった |
| ② Dual ドップラー解析 | 解析結果の強弱が明確に表れることが分かった |
| ③ VVP 法とDual ドップラー解析の比較 | 弱風域(±1 m/s)の相対メッシュにおいてばらつきが大きい
Dual ドップラー解析では,上昇流と推定しているメッシュにおいて,VVP法では下降流と推定している場合が多い |

- 高密度な仰角データからDual ドップラー解析により推定した鉛直風を用いて, VILNCの下降流の領域の水分量を補正し,予測改善効果を確認する

- VILナウキャストの概要
 - フェーズドアレイのデータを活用した降雨予測手法の1つとしてVILナウキャストが用いられている
 - 積乱雲の発達衰弱を表現することを目的として開発されたモデル



$$\frac{d(VIL)}{dt} = S(t) - P(t)$$

VIL:鉛直積算水分量
 S:雨滴生成率
 P:降雨強度

- 課題
 - 移流ベクトルの推定量や上空の水分量の推定結果により予測精度が異なる
 - 予測結果が過大評価傾向にある(小島ら 2021)
- 対策
 - ある地点における上空の水分量を定量的に評価するものとして鉛直風が有効だと考える。
 - レーダで観測した鉛直風をモデルに組み込むことにより精度向上を図る

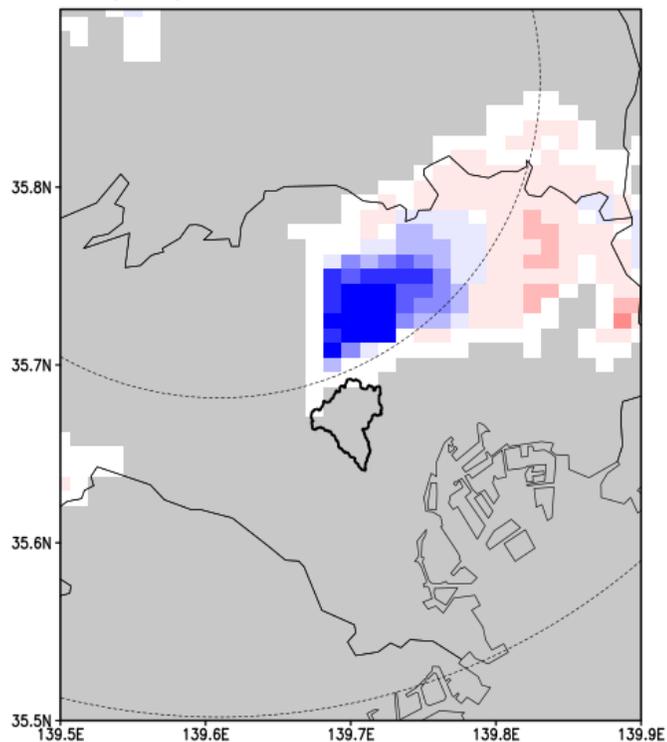
VILナウキャストの概念図(Hirano and Maki 2018より引用)

Dualの合成結果

新横浜XMPとMP – PAWR、船橋XMPとMP – PAWR、それぞれで推定したDualドップラー風速の鉛直風を合成した。

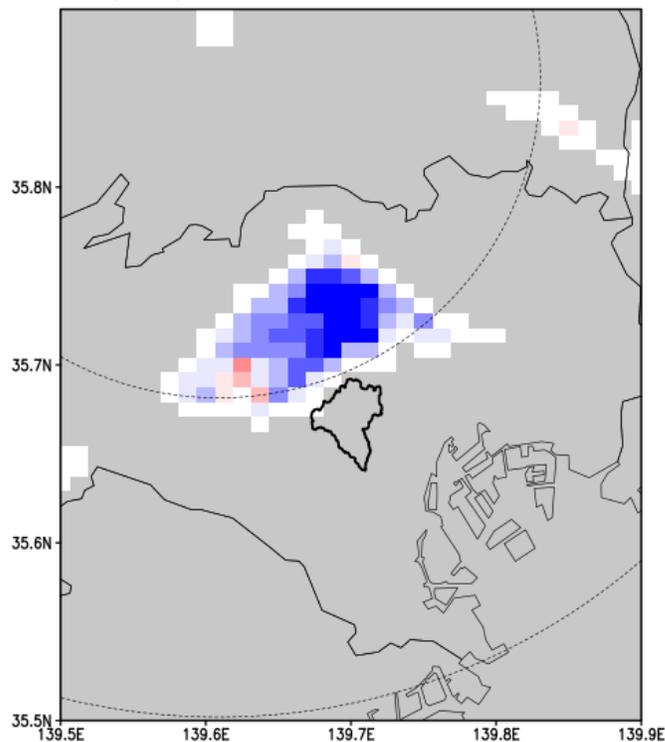
a.新横浜XMPとMP-PAWR

2018/08/13 14:24:48 DW0 @ 2000 m



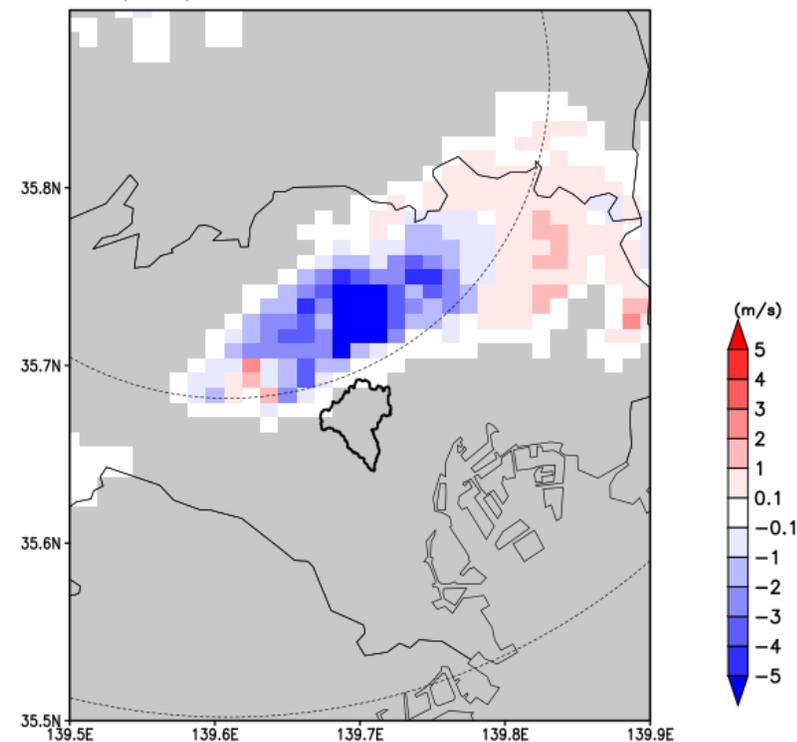
b.船橋XMPとMP – PAWR

2018/08/13 14:24:48 DW0 @ 2000 m



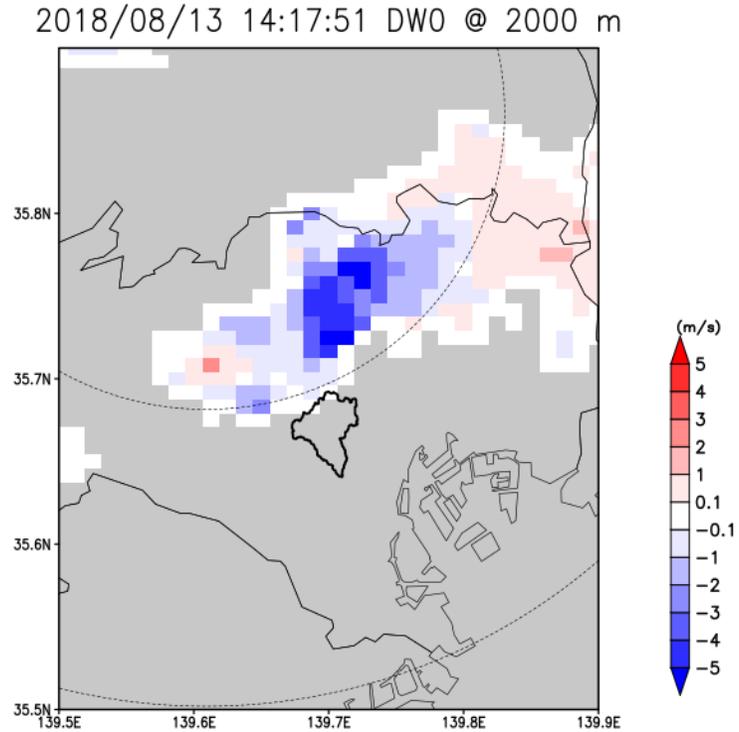
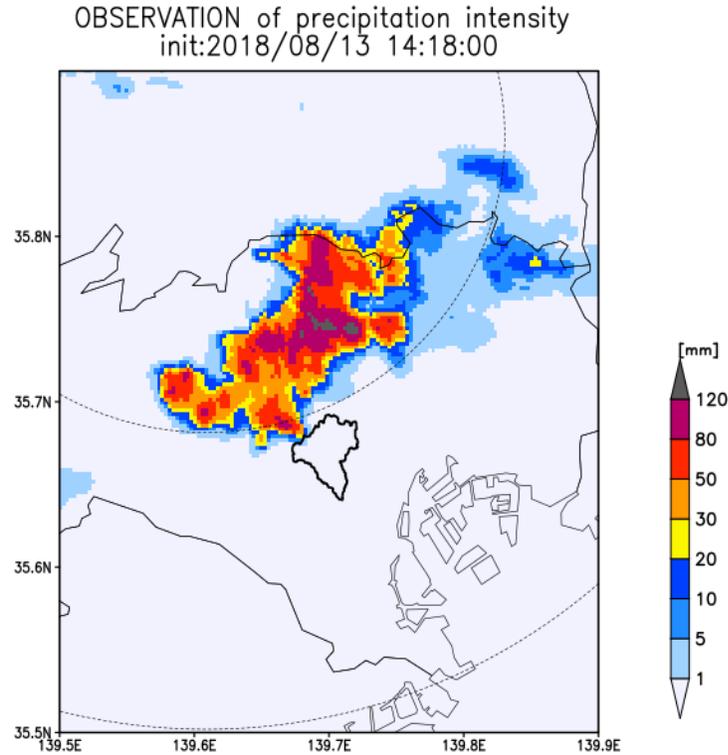
c. aとbの合成図

2018/08/13 14:24:48 DW0 @ 2000 m



重複領域は平均値を、いずれか一方のみで解析している領域は、そのままの推定値を採用

- 三次元風速場の推定結果



推定された下降流場と強雨域の領域が一致していることから、鉛直風推定の妥当性を確認

VILNCの過大予測の改良

$$\frac{dVIL(t)}{dt} = S(t) - P(t) \quad (1)$$

$$S(t) = \frac{VIL(t) - VIL^*(t - \Delta t)}{\Delta t} - P(t)$$

VILと降雨強度の関係が線形である

$$\frac{d(VIL - w(t))}{dt} = P(t)$$

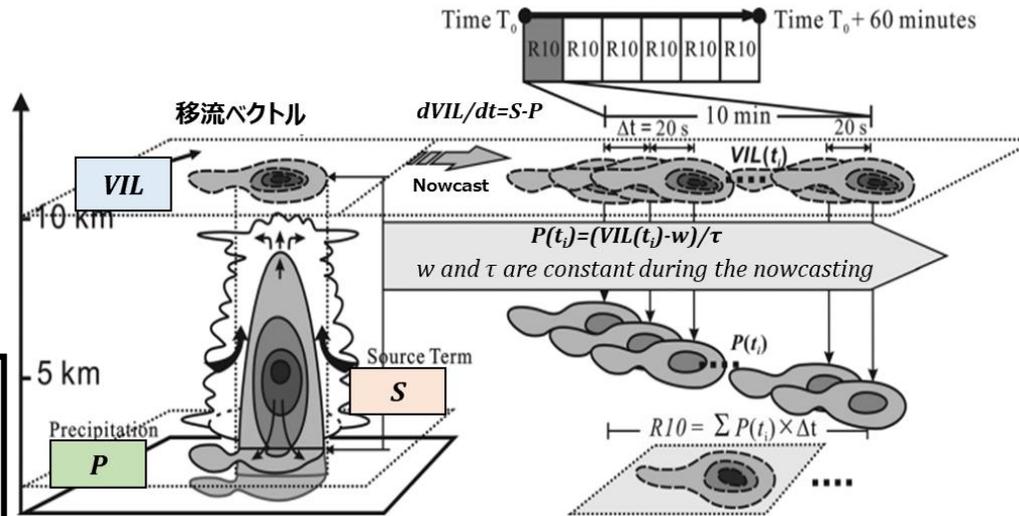
$$VIL - w(t) = \int P(t) dt$$

$$VIL(t) \cong \tau(t) \cdot P(t) + w(t) \quad (2)$$

$$\frac{dVIL}{dt} + \frac{VIL(t)}{\tau(t)} = S(t) + \frac{w(t)}{\tau(t)} \quad (3)$$

VILの予測式

$$VIL(t + dt) = VIL^*(t) \cdot e^{-\frac{dt}{\tau(t_0)}} + \tau(t_0) \left(S(t_0) + \frac{w(t_0)}{\tau(t_0)} \right) (1 - e^{-\frac{dt}{\tau(t_0)}})$$



▲VILナウキャストの概念図

- S: 雨滴生成率[kg/(m²·s)]
- P: 地表面に落下した雨の量(降雨強度)[kg/(m²·s)]
- w: 気柱の上空に残っている雨水量[kg/m²]
- τ: VILから地上の降雨への変換時間[s]
- VIL*: 移流ベクトル推定後のVIL(t) (FFT相関法)

VILNCの過大予測の改良

雨滴生成率に関する式の右辺第1項が一次差分形式⇒予測誤差が大きくなる傾向

$$\frac{dVIL(t)}{dt} = S(t) - P(t)$$

$$S(t) = \frac{VIL(t) - VIL^*(t - \Delta t)}{\Delta t} - P(t)$$

VILと降雨強度の関係が線形である

$$\frac{d(VIL - w(t))}{dt} = P(t)$$

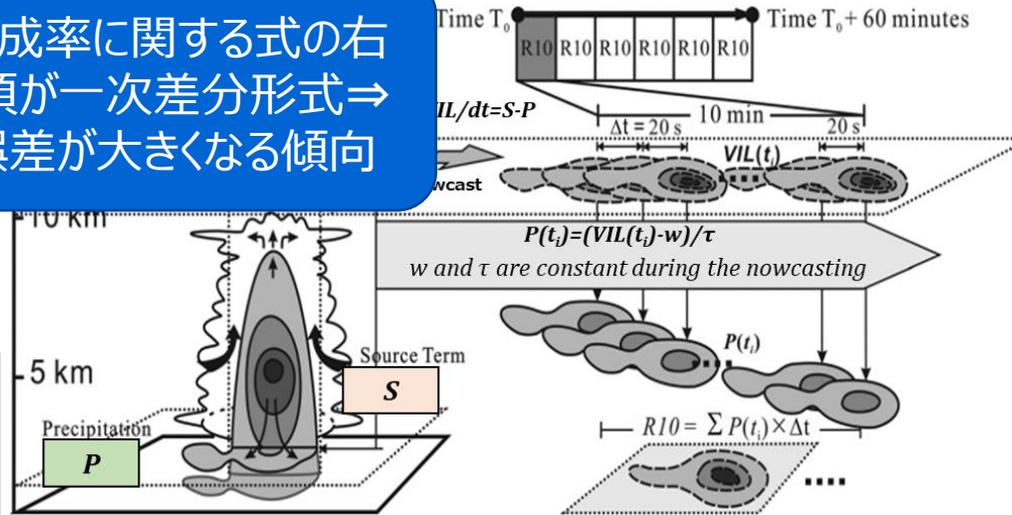
$$VIL - w(t) = \int P(t)dt$$

$$VIL(t) \cong \tau(t) \cdot P(t) + w(t) \quad \text{---(2)}$$

$$\frac{dVIL}{dt} + \frac{VIL(t)}{\tau(t)} = S(t) + \frac{w(t)}{\tau(t)} \quad \text{---(3)}$$

VILの予測式

$$VIL(t + dt) = VIL^*(t) \cdot e^{-\frac{dt}{\tau(t_0)}} + \tau(t_0) \left(S(t_0) + \frac{w(t_0)}{\tau(t_0)} \right) (1 - e^{-\frac{dt}{\tau(t_0)}})$$



▲VILナウキャストの概念図

S: 雨滴生成率[kg/(m²·s)]
 P: 地表面に落下した雨の量(降雨強度)[kg/(m²·s)]
 w: 気柱の上空に残っている雨水量[kg/m²]
 τ: VILから地上の降雨への変換時間[s]
 VIL*: 移流ベクトル推定後のVIL(t) (FFT相関法)

- VILNCの過大予測の改良

$$\frac{dVIL(t)}{dt} = S(t) - P(t)$$

$$S(t) = \frac{VIL(t) - VIL^*(t - \Delta t)}{\Delta t} - P(t)$$

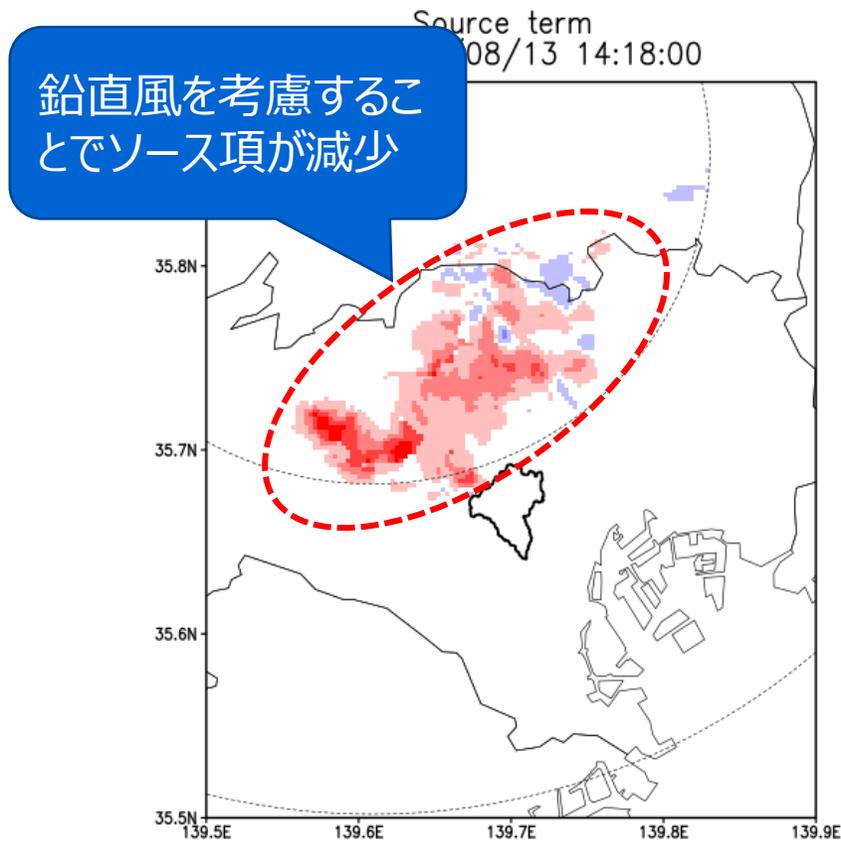
雨滴生成率に関する式の右辺第1項が一次差分形式⇒予測誤差が大きくなる傾向

$$\Delta VIL^* = \begin{cases} 0 & (w < 0.1 \text{ m/s}) \\ VIL(t) - VIL^*(t - \Delta t) & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

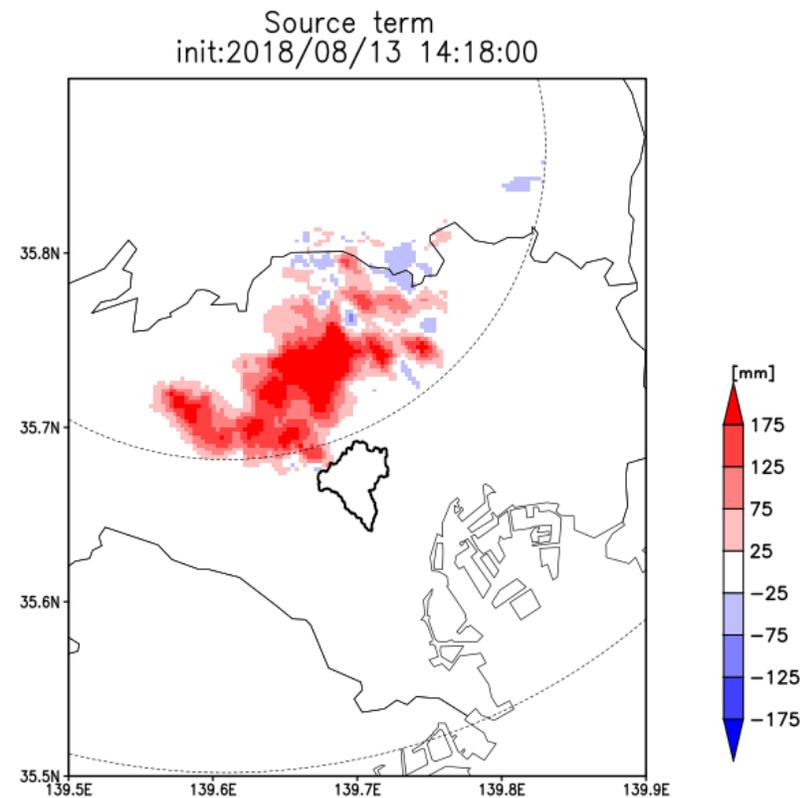
雨滴生成率が過大評価傾向にあることから、明瞭な発達傾向がない雨域（下降流場の領域）に関しては、雨滴生成率項を強制的に0とすることで発達を抑制する

鉛直風が0.1 m/s 未満の場合は、発達しないアルゴリズムを導入

• VILNCの過大予測の改良

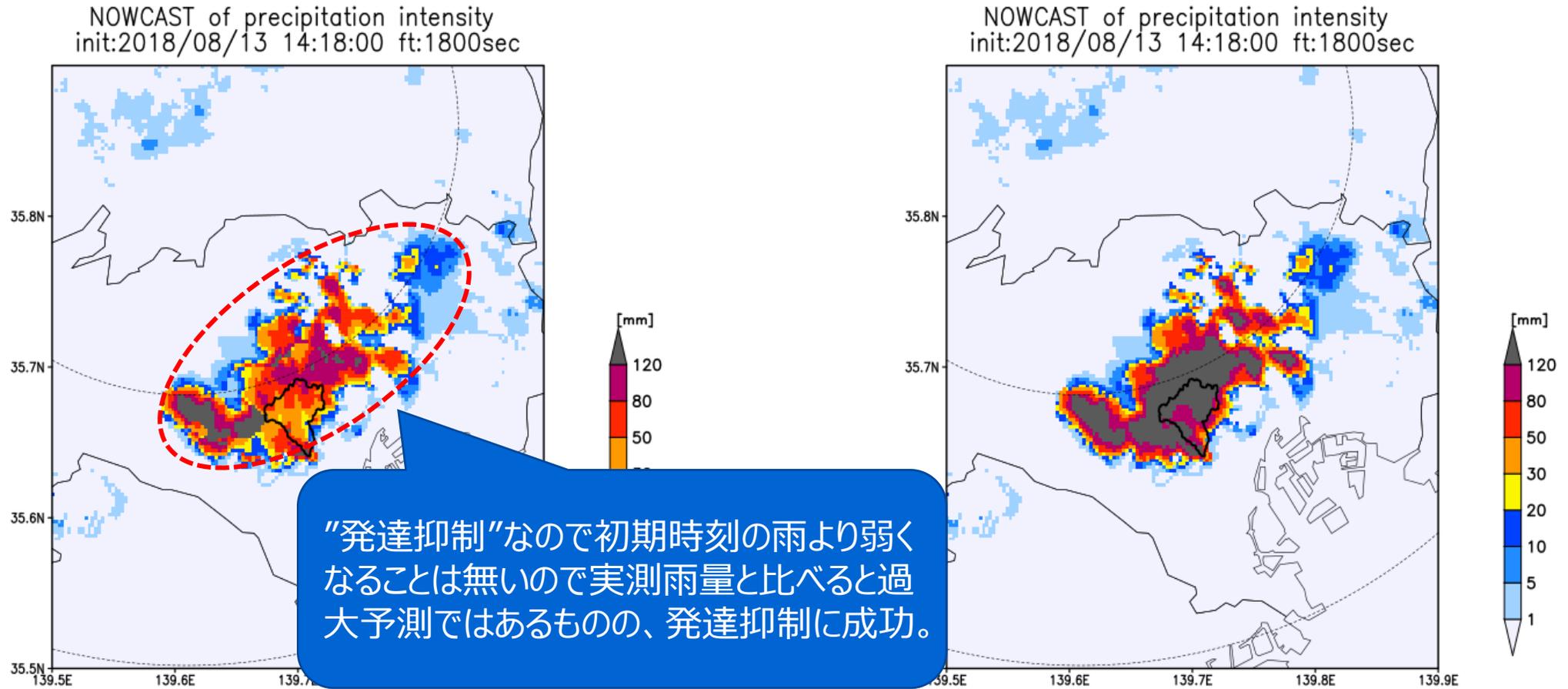


改良後 (ΔVIL^* 導入後)



改良前 (従来のVILNC)

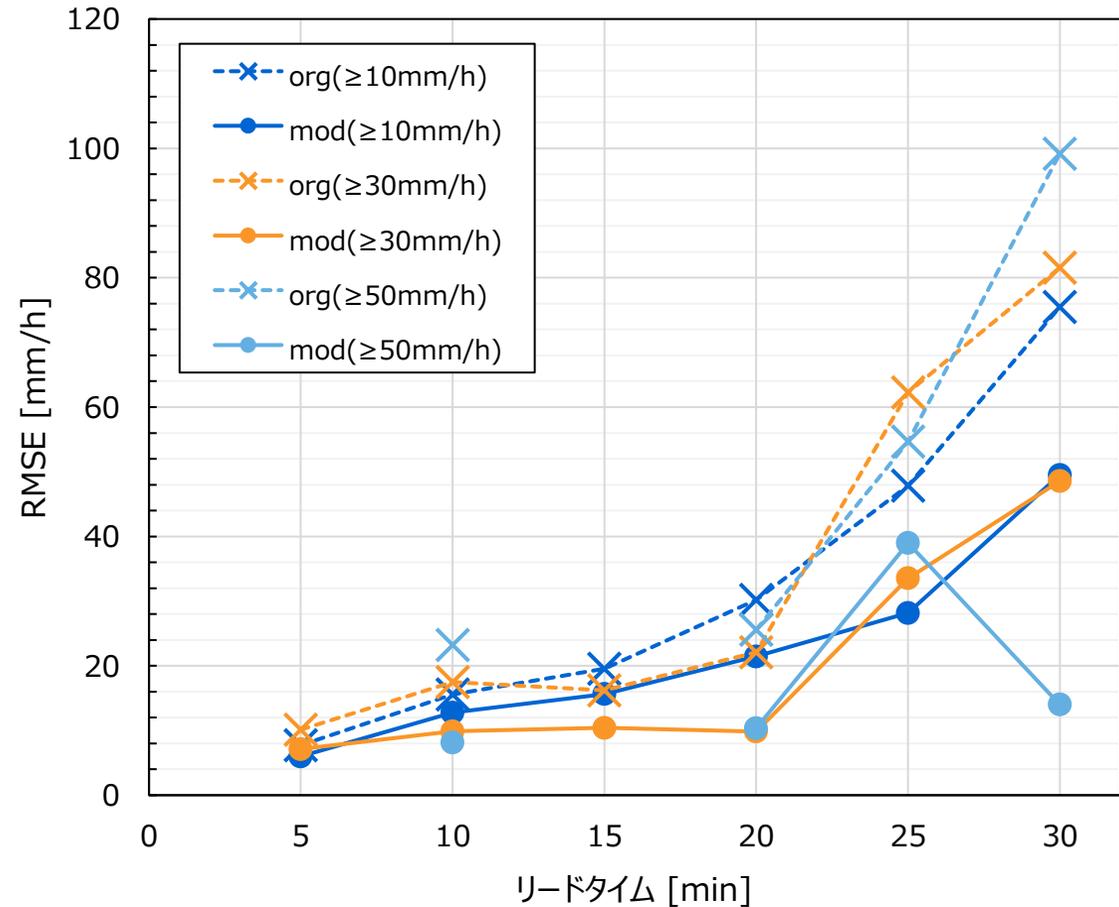
- 予測降雨強度の改良前後の比較



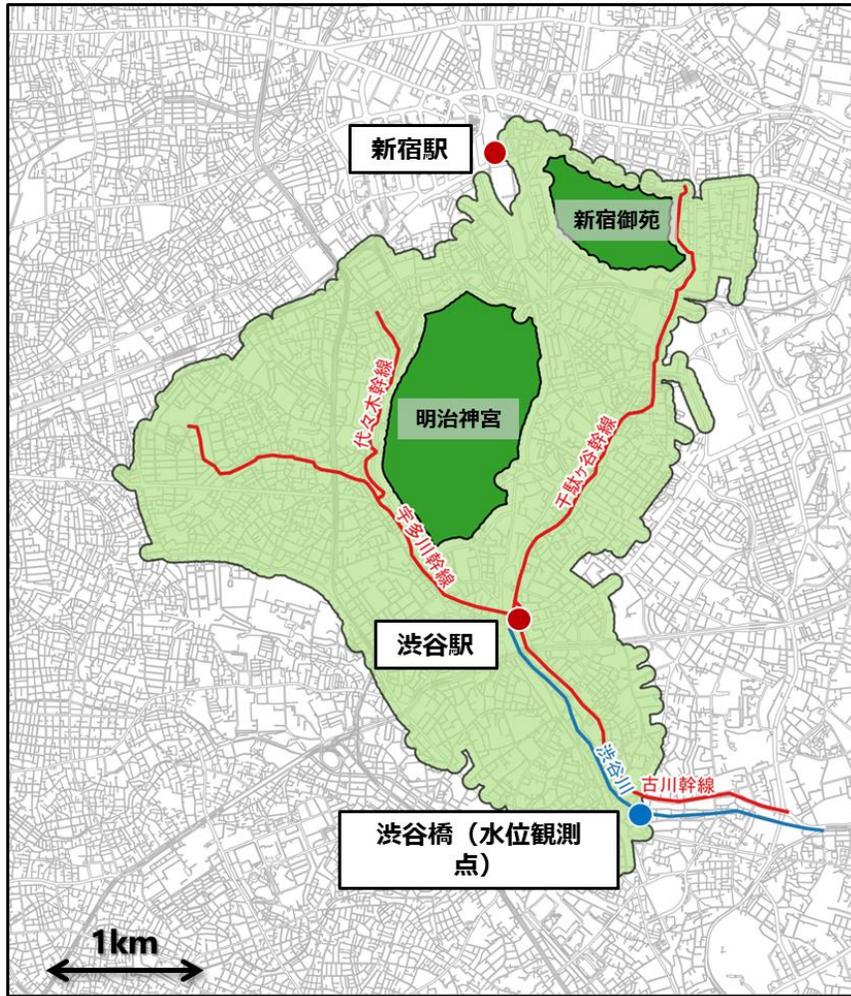
改良後 (AVIL*導入後)

改良前 (従来のVILNC)

- 改良前後のRMSEの比較
 - 実測の降雨に対してはいまだに、過大予測傾向にあるものの、従来のVILNCから比較すると、大幅にRMSEが改善傾向にある。
 - 特に、LTが長く、強い降雨強度の領域ほど改善効果が大きかった。30分後予測のRMSEは、従来比で、10分後予測レベルまで改善されているケースもある。



• 水位予測対象流域



渋谷川の概要

流域面積 14.0km²
流路延長 2.6km (起点：宮益橋 終点：天現寺橋)
河床勾配 1/420

流域内居住人口 約27万人
居住人口密度 約1.2万人/km²
下水道普及率 100%

出典：東京都建設局

下水道管路網（渋谷橋上流）の概要

管路延長 243.8km
マンホール数 約8800個
主な管轄下水処理場 芝浦水再生センター

主要な下水道幹線

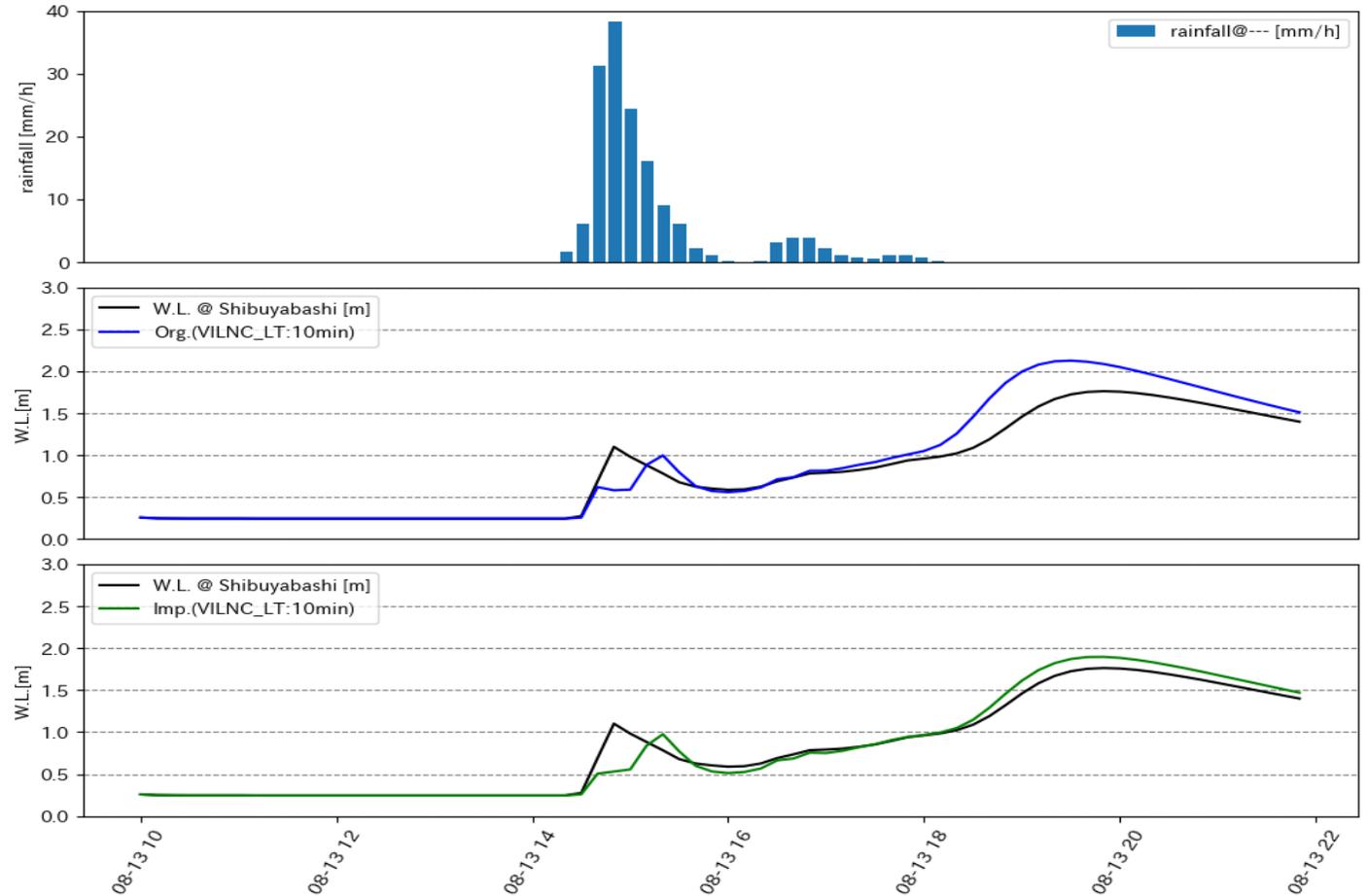
古川幹線
千駄ヶ谷幹線 (旧、隠田川)
宇田川幹線 (旧、宇田川)
代々木幹線 (旧、河骨川)

出典：東京都下水道局

集水域（渋谷橋上流）の概要

集水域面積 12.51km²
(明治神宮) 1.35km²
(新宿御苑) 0.46km²

- 水位予測結果の比較
 - ハイドログラフの概形, ピーク水位などについて改良後 VILNCが改善された傾向にあることがわかる.
 - ピーク水位差率を求めると, VILNC改良前の計算結果では, ピーク水位差率 $\doteq 20.7\%$, Nash 係数 $\doteq 0.87$ であるのに対して, VILNC改善後の計算結果では, ピーク水位差率 $\doteq 7.5\%$, Nash 係数 $\doteq 0.95$ まで改善された.



- 河川管理における上空気象観測データの有用性について基礎的な検討を実施した。実施内容は以下のとおり。
 - 短時間降雨予測において、MP-PAWRで観測可能な三次元観測データを用いて、Dualドップラー解析を行い、鉛直風場を推定した。
 - 推定した鉛直風を基準として、雨域の発達・衰退状況をVILNCに導入することで、雨量予測精度の改善を行った。
 - 改善した雨量予測データを用いて、流出予測を行うことで、雨量予測改善前後での予測精度を比較検証した。

- 得られた知見は以下の通り.
 - MP-PAWRを用いたDualドップラー解析により得られた**鉛直風の下降流の領域は、雨域の強降雨強度の領域と一致**しており、定性的であるが推定結果は妥当のものであると思われる.
 - 過大予測傾向にあったVILNCの雨滴生成率項に、推定された鉛直風を基準とした発達抑制のアルゴリズムを導入し、雨滴生成率を強制的に低下させることで、**雨量強度の過大予測を改善することができた**.
 - 鉛直風のしきい値は $w=0.1$ m/s程度が良いと思われる.
 - 改善前後のVILNCの予測結果を入力データとした水位予測を実施した結果、改善前後で、**ピーク水位差率は約12 %**、**Nash係数は0.95程度まで向上**した.

Contact us



河川・水文研究室（吉見研究室）

富山県立大学射水キャンパス中央棟N616

TEL : (0766)56-7500 (Ext.2616)

hyd.ytmlab@gmail.com

Experience is the child of
thought, and thought is
the child of action.

Benjamin Disraeli

