



電波で豪雨災害の被害軽減

神戸大学
都市安全研究センター

大石哲

経歴



- 京都大学工学部卒・京都大学大学院工学研究科修了
- 京都大学防災研究所 助手 雨の研究
- 米国大気科学研究センター (NCAR)
客員研究員 気象数値計算の研究
- 山梨大学 准教授 河川・浸水の研究
- 神戸大学 教授 災害情報の研究
- 兼任 理化学研究所計算科学研究センター
総合防災・減災研究チームリーダー スパコンを使った防災の研究



今日の話題

- 小型レーダーの開発
- 定量的な降雨強度の推定
- 河川水位の推定
- 市民との水位情報の共有



小型レーダーの開発：古野電気＋神戸大学

FURUNO

フルノの事業

「安全安心、環境に優しい社会・航海の実現」を事業ビジョンに、お客さまや社会に貢献すべく事業活動を目指しています。



船用事業

大型商船をはじめ、漁船や小型ワークボートなどの船舶に、さまざまな船舶用電子機器・サービスを提供しています。



産業用・その他事業

ヘルスケアやETC2.0/ETC車載器のほか、防災ソリューションなど、安全・安心で、快適な暮らしを実現するための機器・サービスを提供しています。

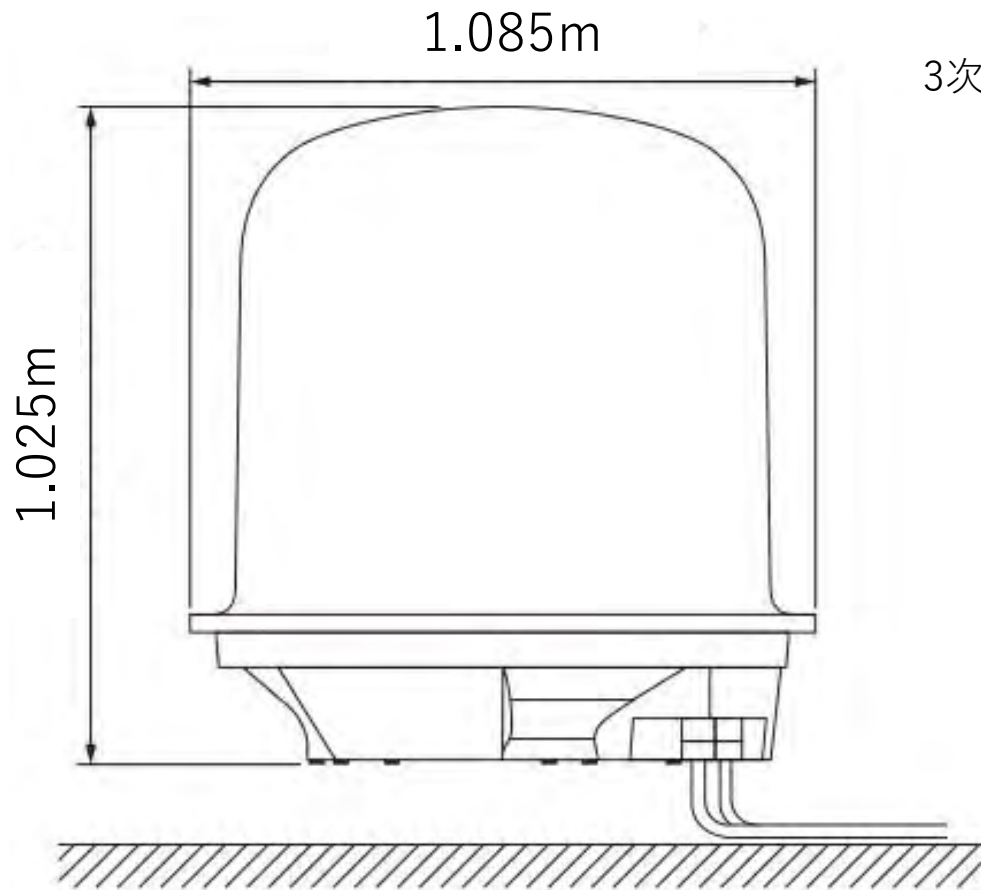


Compact Dual Polarimetric X-band
Doppler Weather Radar
WR-2100

小さいけれどフル機能がついたマルチパラメータドップラーレーダー

詳細な＝時間的に細かく 空間的に細かい
降雨状況をみたい

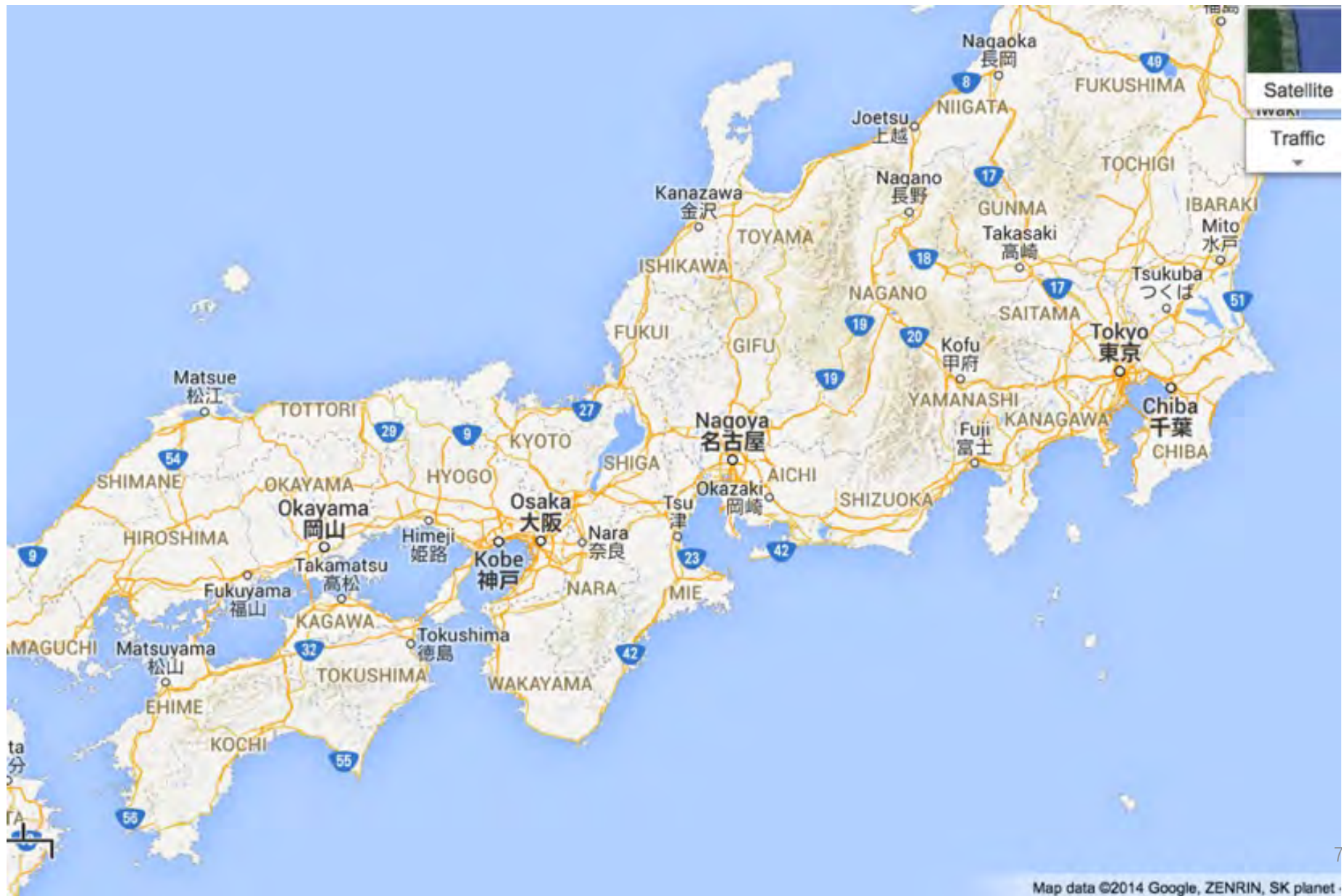
3次元的な雨の情報を知りたい



WR-2100

WR2100

詳細な雨の3次元的な動きを
捉える様子を見てください



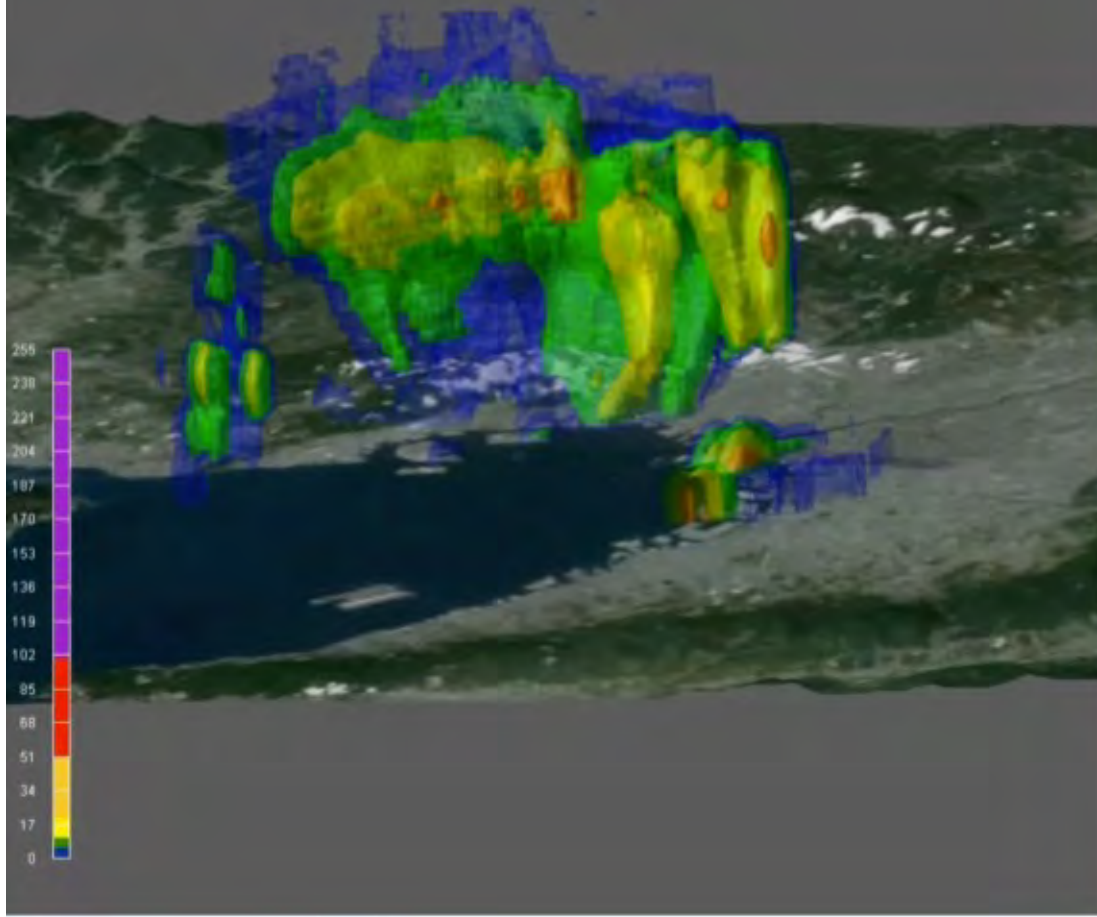


黄色の線は雷 レーダーとは別の機器で計測



左：鳥瞰図 高い高度の雨雲からの落下を見る
右：平面図 雨雲の動きを見る

1002

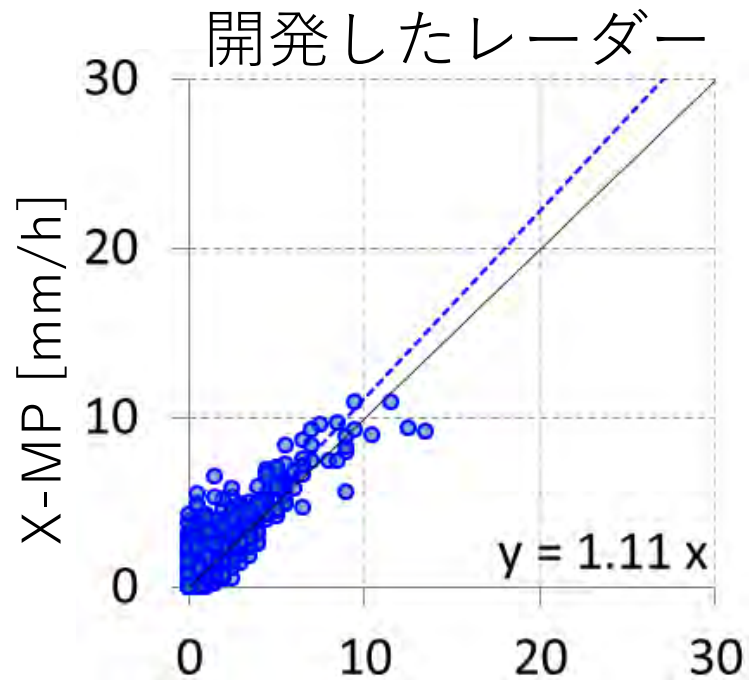


1002

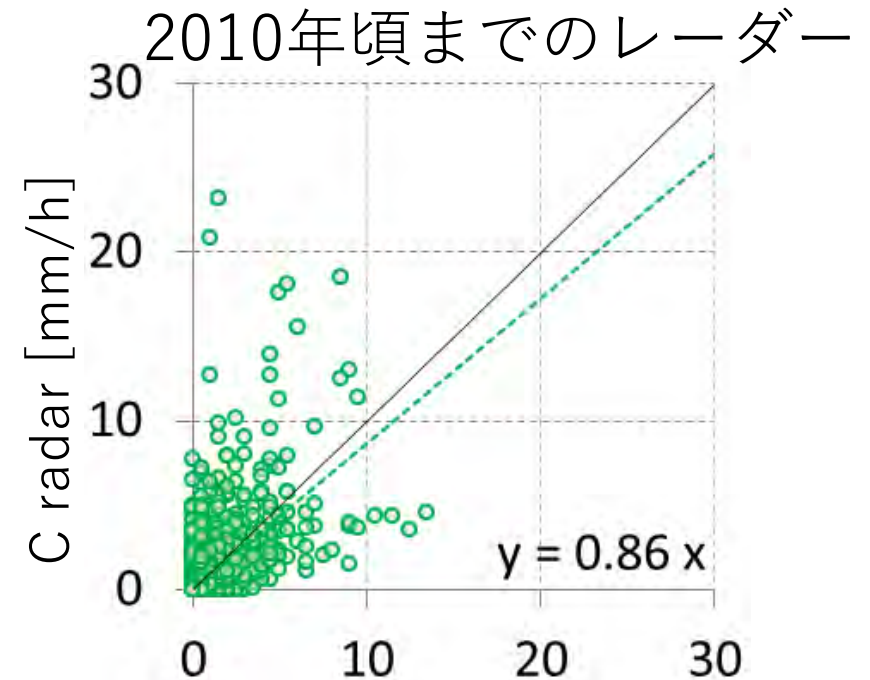


Osaka Bay L: Bird's eye View R: Plain View

動き： 定性的
降雨強度： 定量的

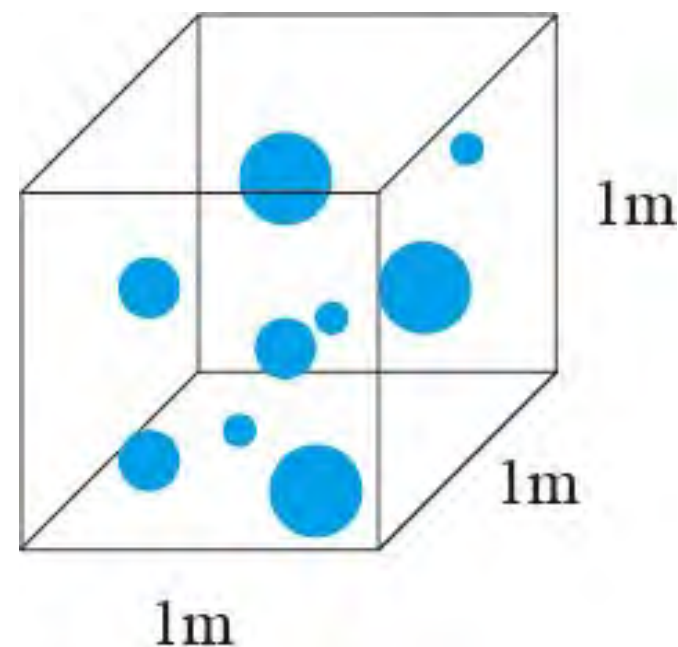
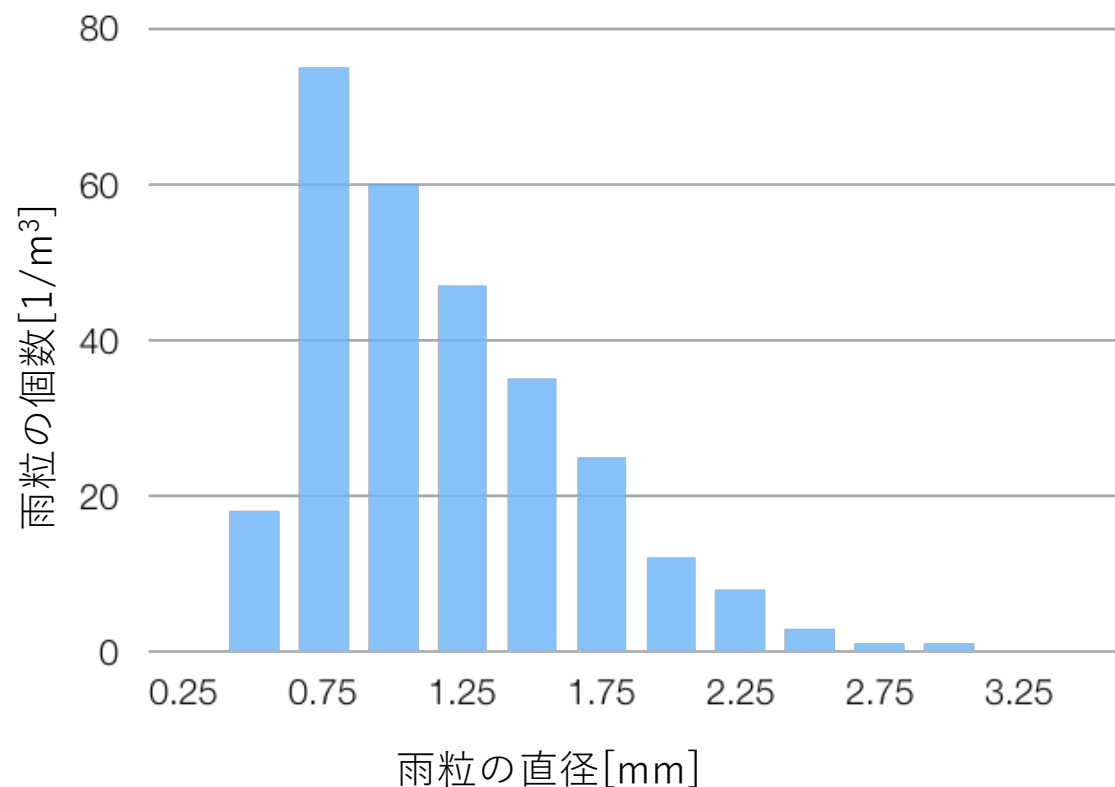


雨量計 [mm/h]
相関係数 0.86
標準誤差 0.21mm/h



雨量計 [mm/h]
相関係数 0.65
標準誤差 0.32mm/h

定量的な精度向上のために
最も重要なことは空中の雨粒の直径と個数



レーダー反射因子 Z と降雨強度 $R_{[\text{mm/h}]}$ の関係

雨滴粒径分布

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$$

降雨強度 $[\text{mm/hr}]$

$$R = \int_0^\infty N(D) \frac{\pi}{6} D^3 w(D) dD$$

レーダー反射因子 $[\text{mm}^6/\text{m}^3]$

$$Z = \int_0^\infty N(D) D^6 dD$$

雨滴粒径分布

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$$

降雨強度[mm/hr]

$$R = \int_0^\infty N(D) \frac{\pi}{6} D^3 w(D) dD$$

レーダー反射因子[mm⁶/m³]

$$Z = \int_0^\infty N(D) D^6 dD$$

Z-R 関係

$$Z = BR^\beta$$

$$\begin{aligned}
Z &= \int_0^\infty N(t) D^6 dD \\
&= \int_0^\infty N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D) D^6 dD \\
&= N_0 \int_0^\infty D^{\mu+6} \exp(-\Lambda D) dD \\
&= N_0 \frac{\Gamma(7 + \mu)}{\Lambda^{7+\mu}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R &= \int_0^\infty N(D) \frac{\pi}{4} D^3 w(D) dD \\
&= \frac{\pi N_0}{4} \int_0^\infty D^\mu \exp(-\Lambda D) D^3 h D^i dD \\
&= \frac{\pi N_0}{4} \int_0^\infty h D^{\mu+3+i} \exp(-\Lambda D) dD \\
&= \frac{\pi N_0}{4} h \frac{\Gamma(4 + \mu + i)}{\Lambda^{4+\mu+i}}
\end{aligned}$$

$$Z = BR^\beta$$

粒径分布の3パラメータをレーダーの3パラメータから算出すれば. . .

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$$

$$R = \int_0^\infty N(D) \frac{\pi}{4} D^3 w(D) dD$$

$$= \frac{\pi N_0}{4} h \frac{\Gamma(4 + \mu + i)}{\Lambda^{4 + \mu + i}}$$

レーダー反射因子 Z_H

レーダー反射因子差 Z_{DR}

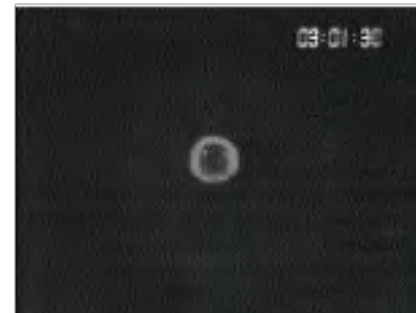
伝搬位相差変化率 K_{DP}

空中の雨粒を直接計測するビデオゾンデ



Takahashi (1976), Suzuki (2007)

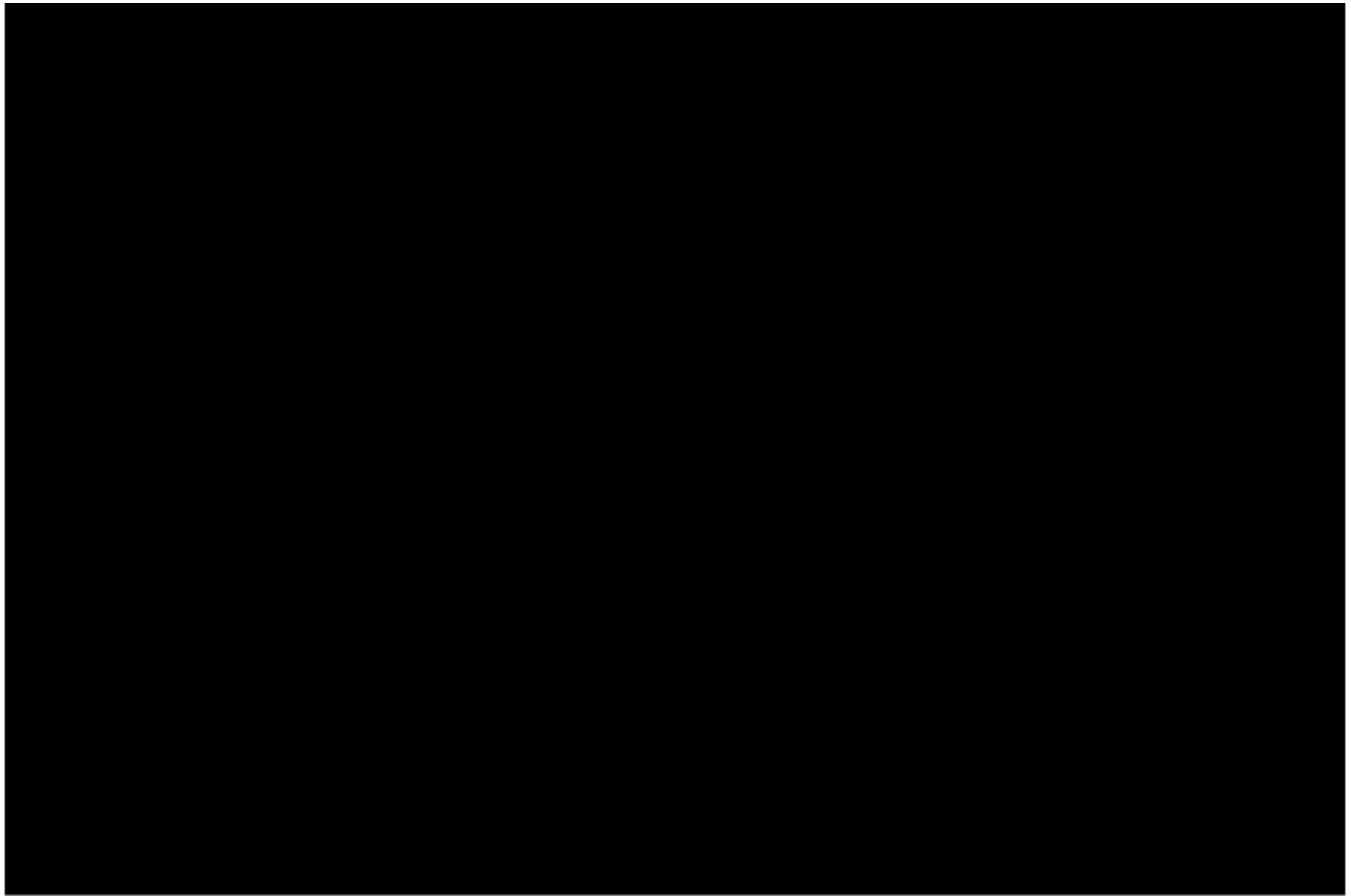
rain drop

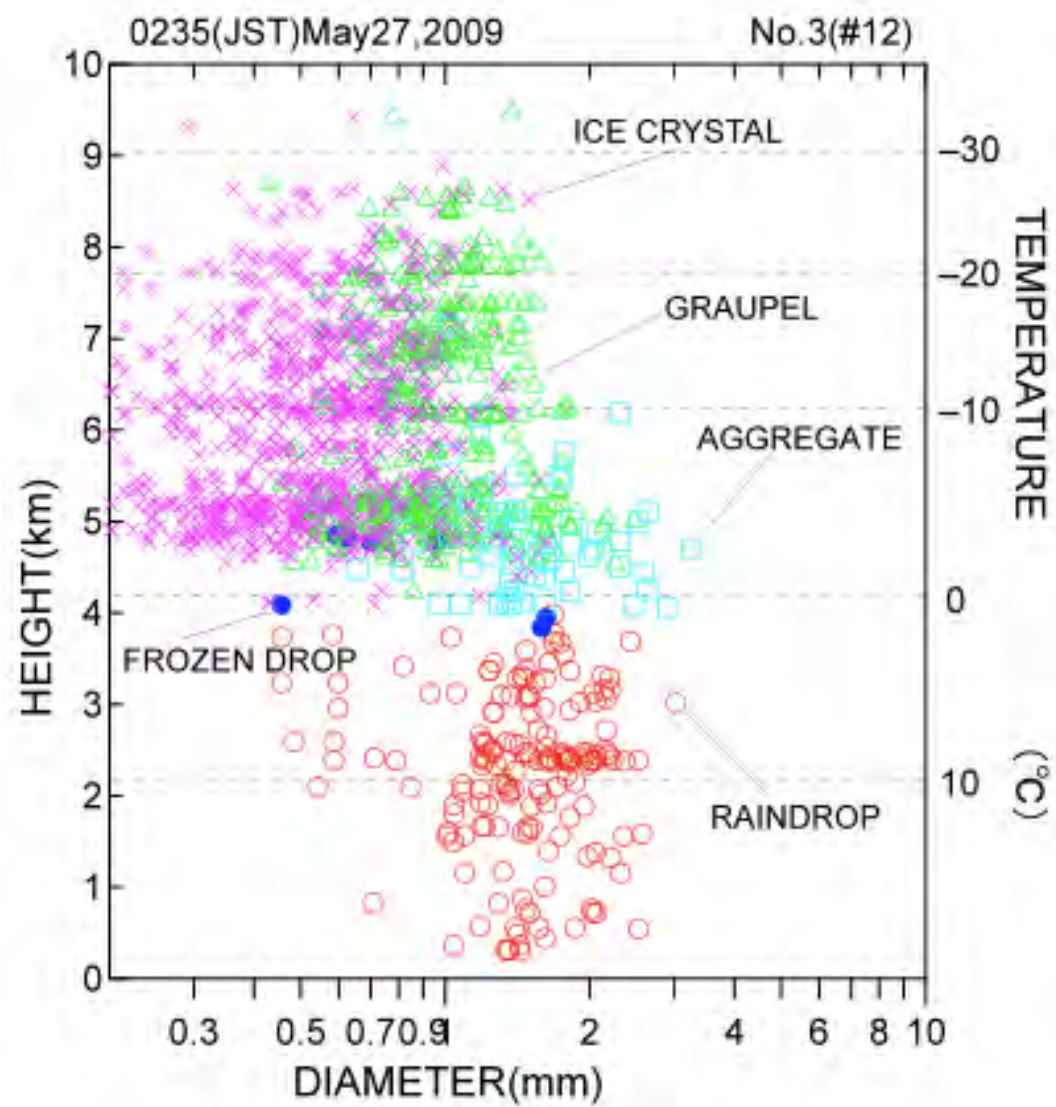


snow flake

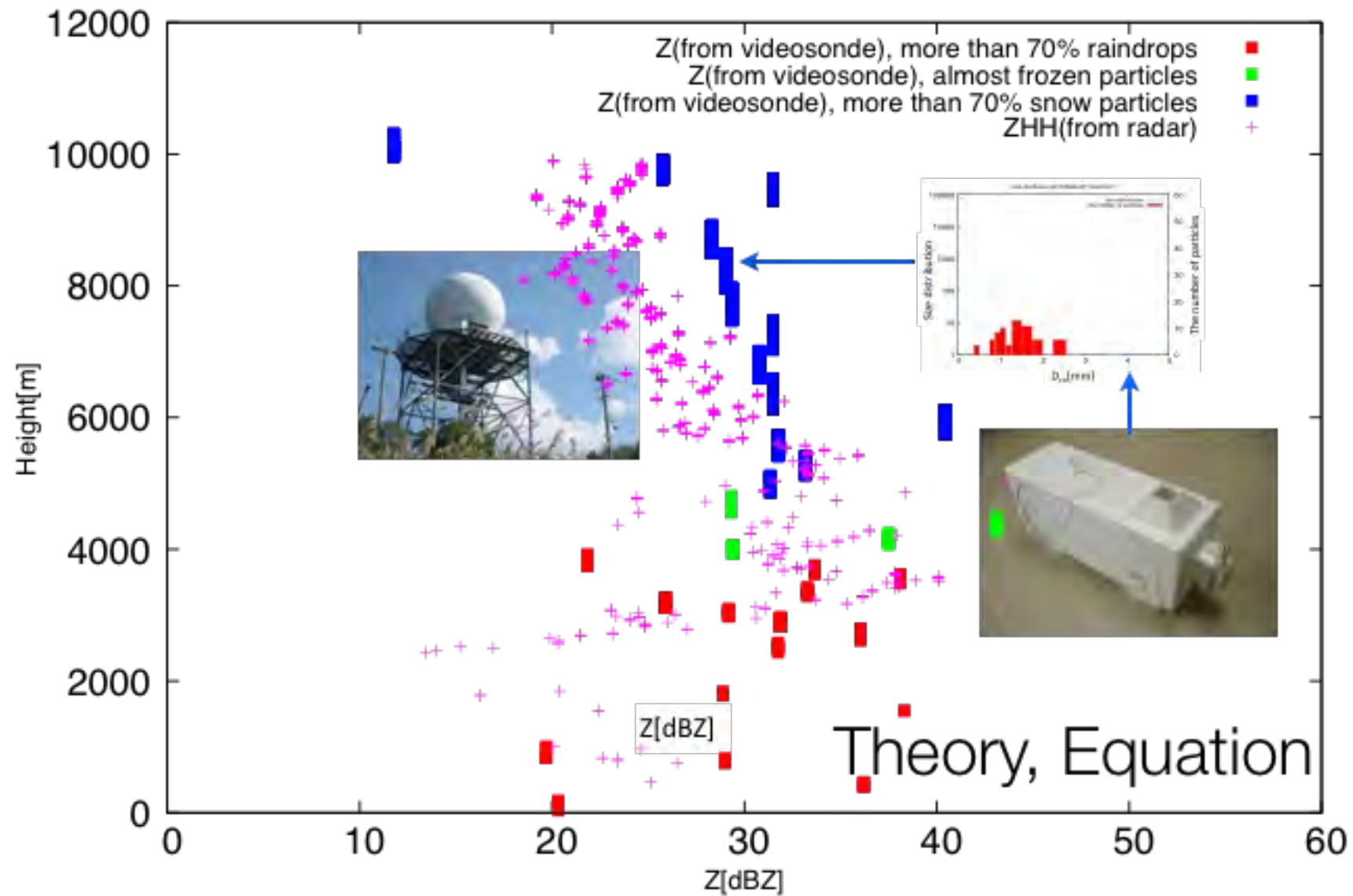








Height-Z 2012/05/20 11:03 - 11:59(JST) No08



地道な研究



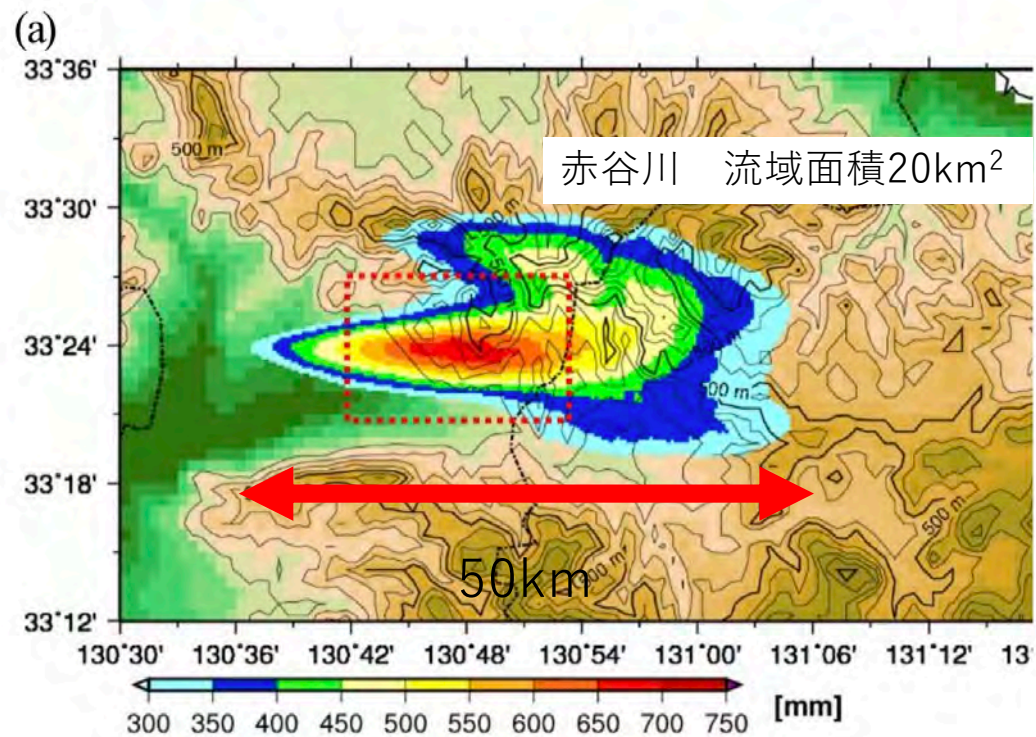
役立つ情報へ

市民の方々との情報共有

雨そのものの探知・予測は基礎情報

災害の直接要因の1つは河川の水

小流域の「河川水位」を推定=予測

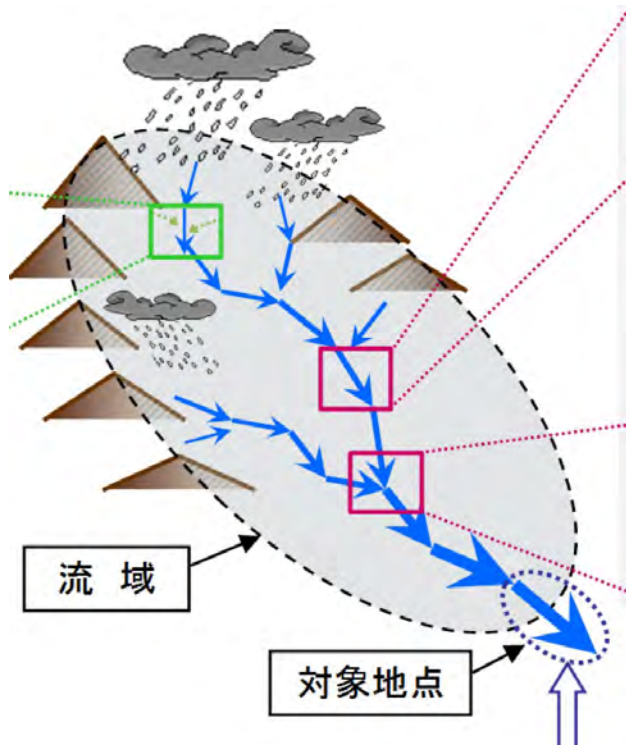


上: Nakakita and Yamaguchi (2018)
http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/publication/other/20180330_kyusu.pdf

右: 毎日新聞(2017.7.12)
<https://mainichi.jp/graphs/20170712/hpj/00m/040/001000g/12>



雨量10mm/hの雨
 × 流域 8km²
 = 流量 22m³/s



気象庁HPより

流量22m³/s
 = 川幅 × 水深 × 流速
 = 5m × 1.0m × 4.4m/s



流れている水の量 = 流量
 流量 $Q[m^3/s] = 流速V[m/s] \times 断面積A[m^2]$
 断面積 $A[m^2]$ は、水位[m]で決まる

レーダーの降雨強度から水位を求める

利点

- レーダーで計測する降雨強度の誤差を流量計算の際の「積分過程」で相殺することができることが多い
- レーダーで計測した降雨強度と地上降雨強度の時間差は流出過程の計算の中にパラメータとして取り込む

欠点

- 小型レーダーによる降雨強度の計測は山岳部が得意ではない

兵庫県夙川（しゅくがわ）流域

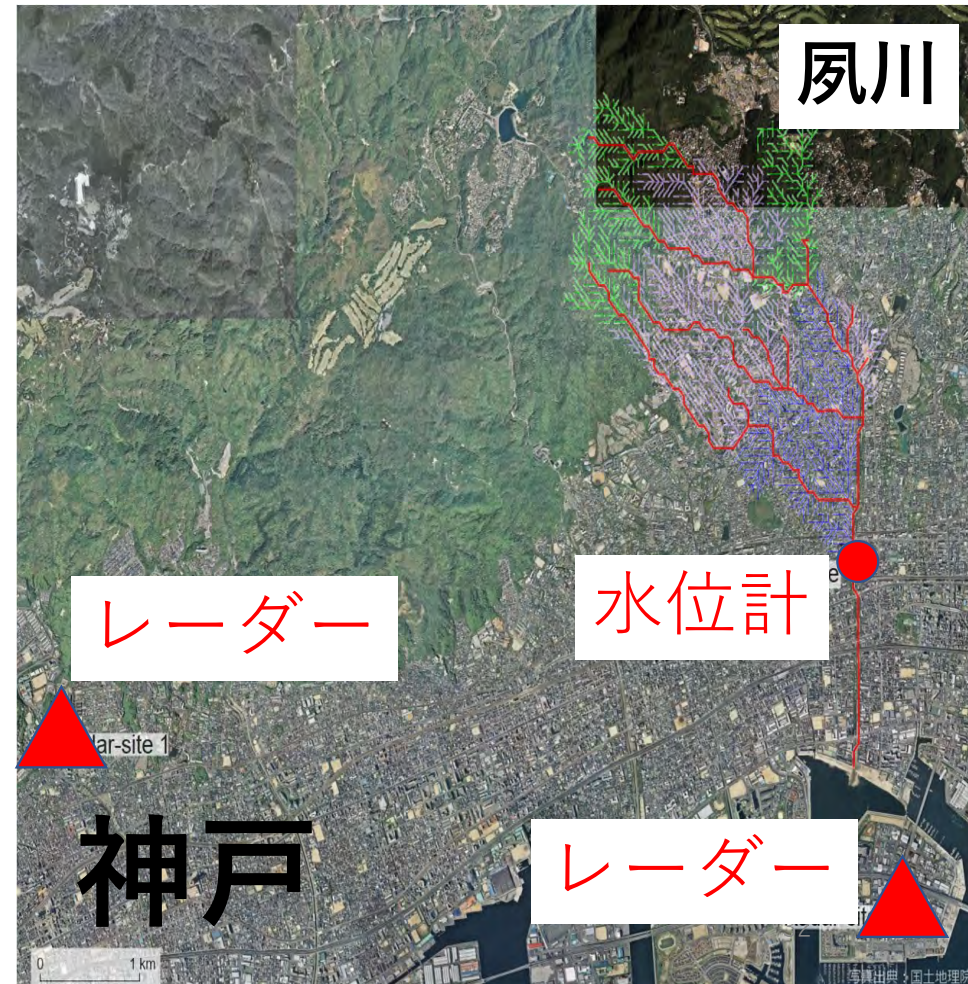
Ishigaki, Takaki, Oishi, Nakakita (2015): Estimation of water level by using high resolution radar in urban small river, JMS meeting in spring

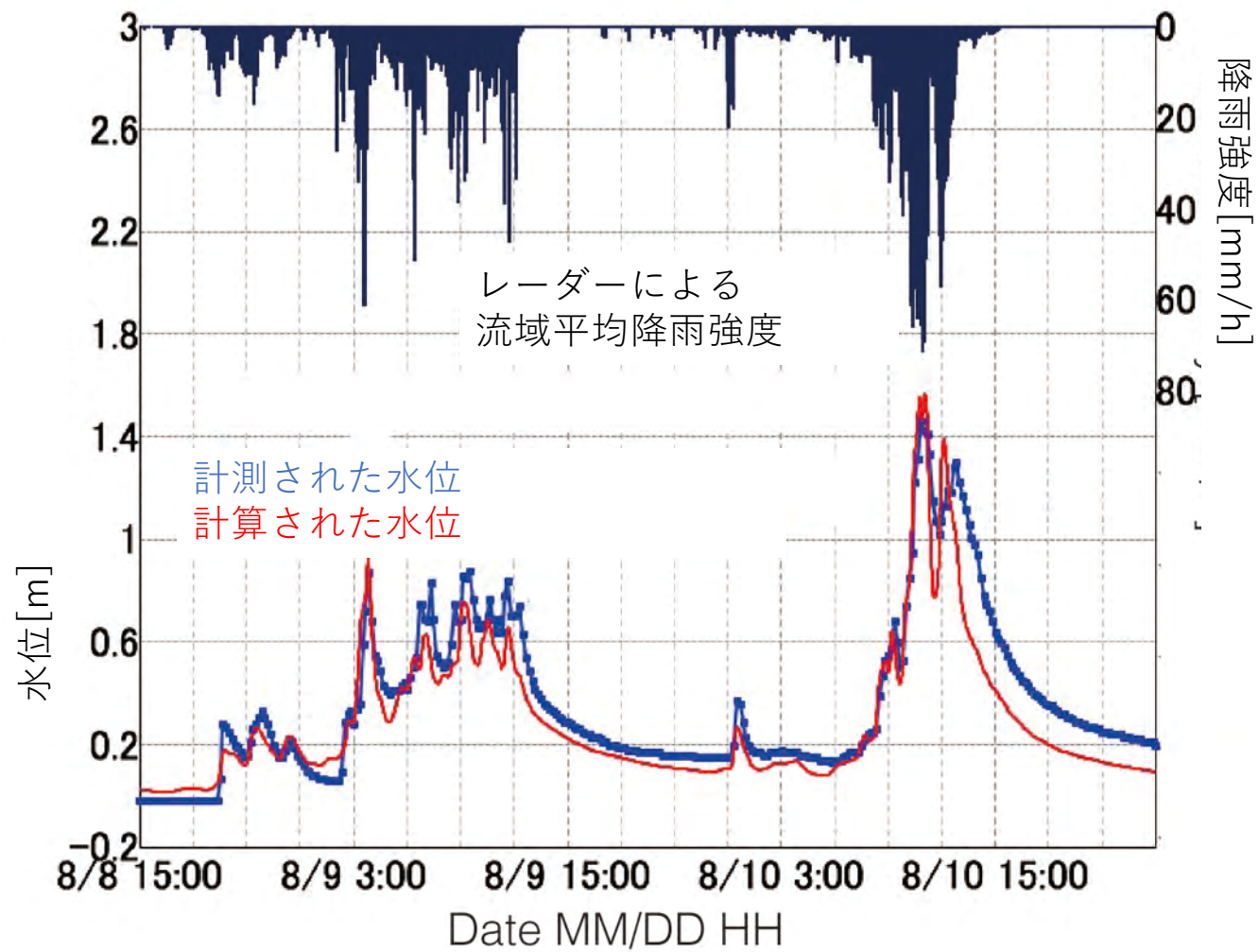


対象流域

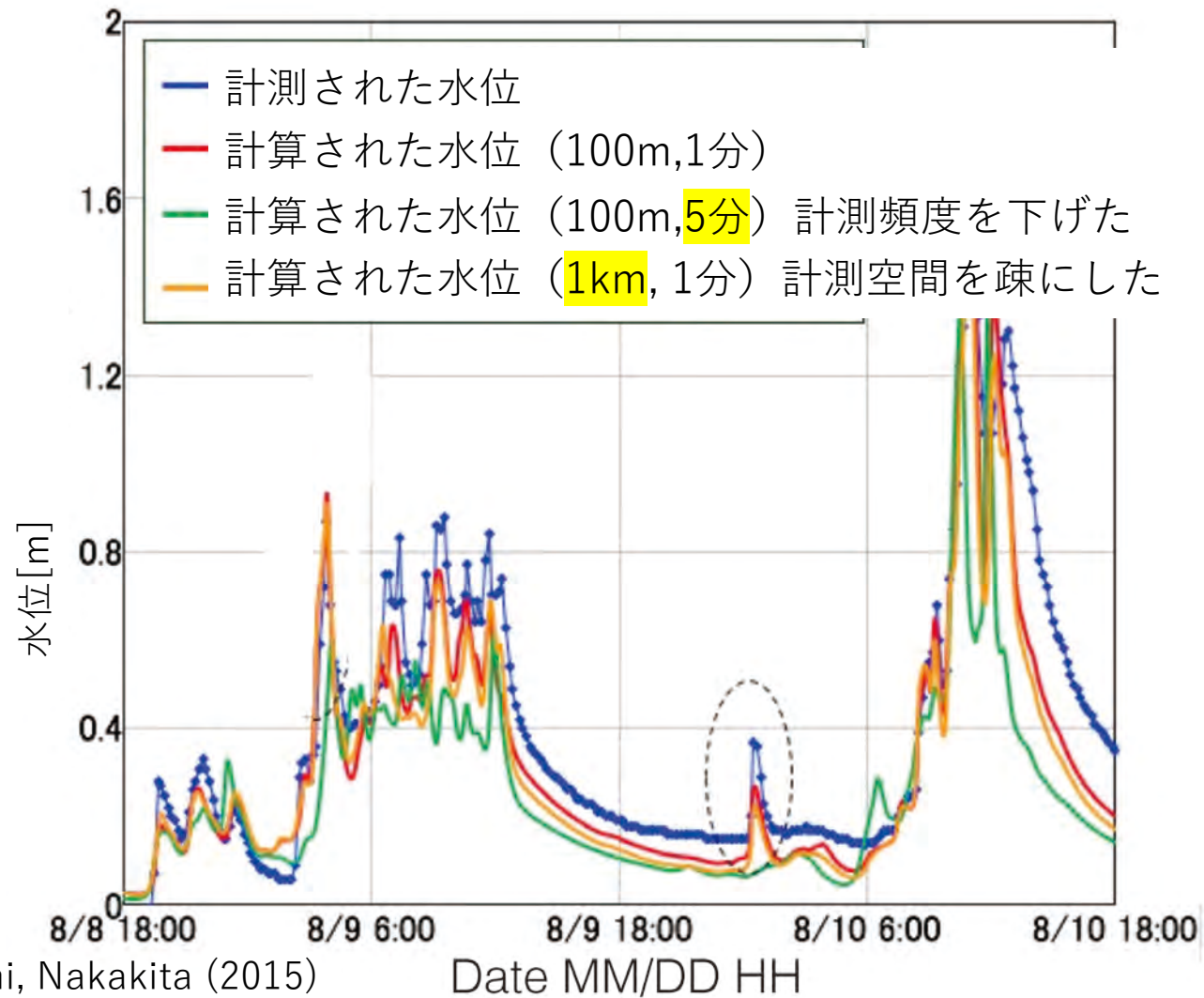
- 夙川: 8 km²
- 2014年8月8-10日
- 台風第11号
- 流量計算 GeoHyMos
(Shiiba, Tachikawa, et al.
2010)
- 土地被覆：住居，森林

Ishigaki, Takaki, Oishi, Nakakita (2015)

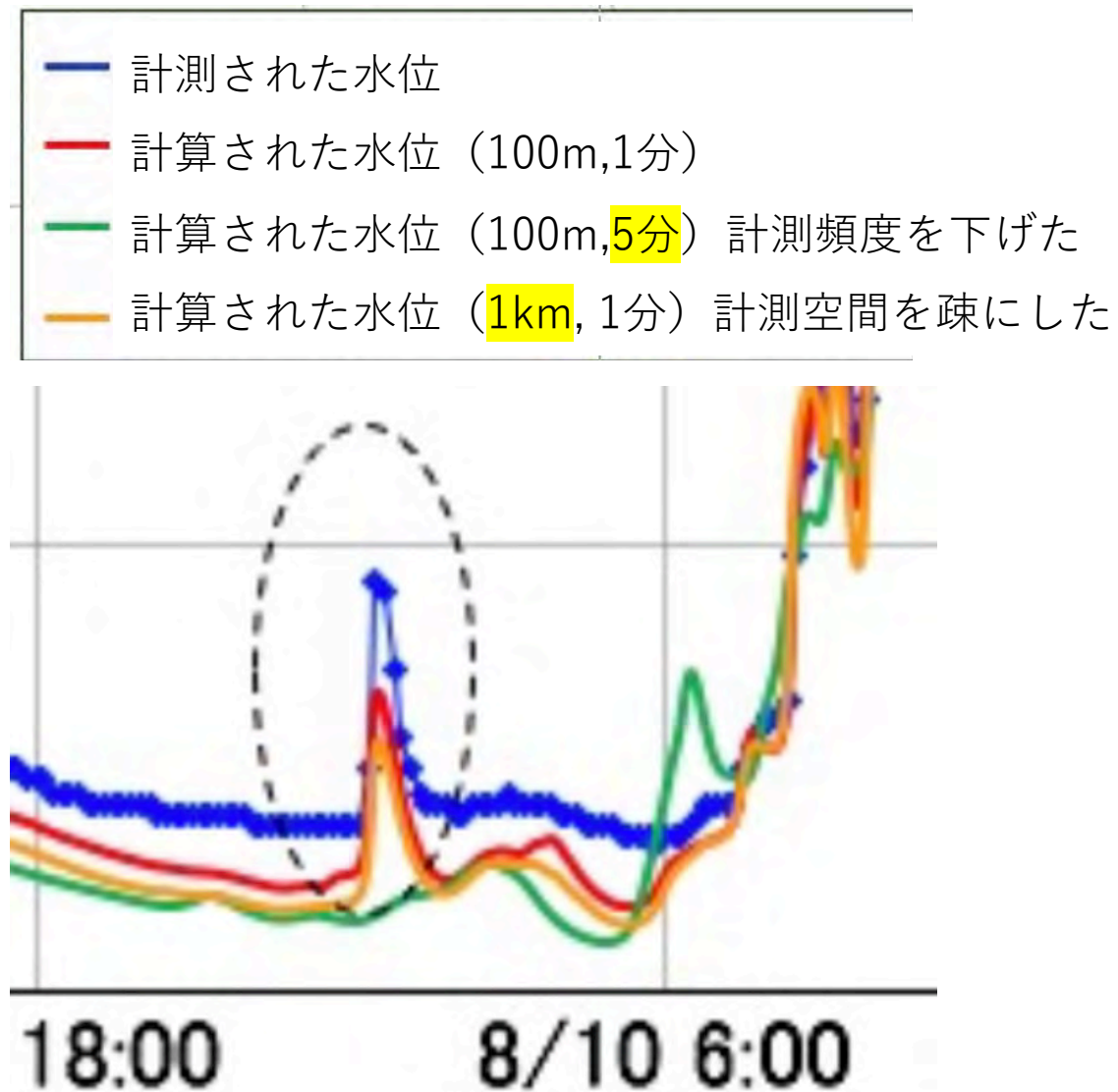


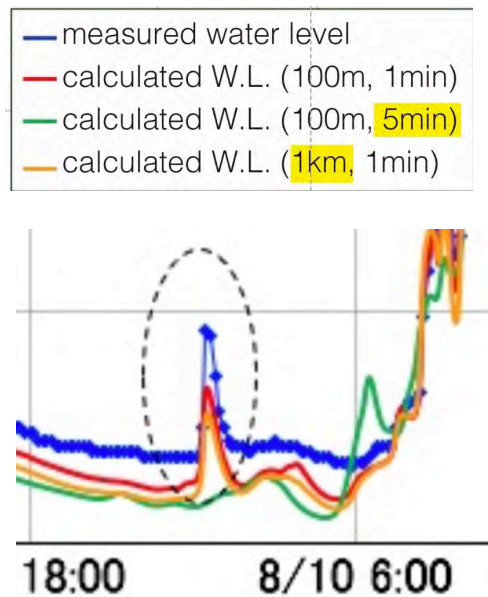


時間的に頻繁な計測が良いのか？ 空間的に密な計測が良いのか？



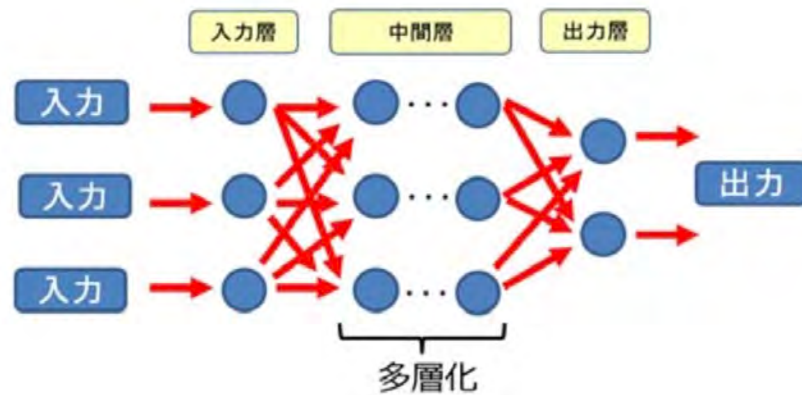
Ishigaki, Takaki, Oishi, Nakakita (2015)



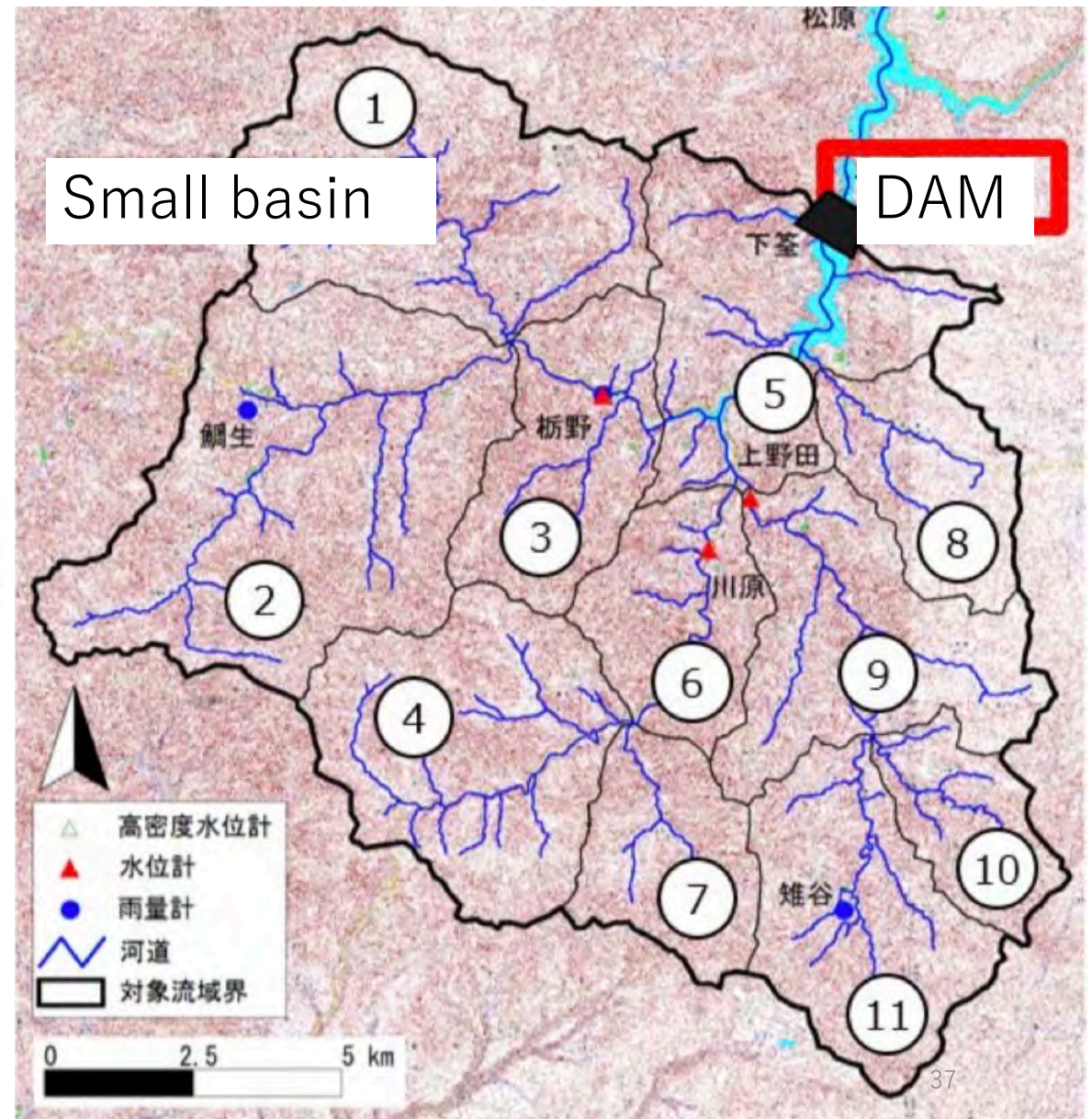


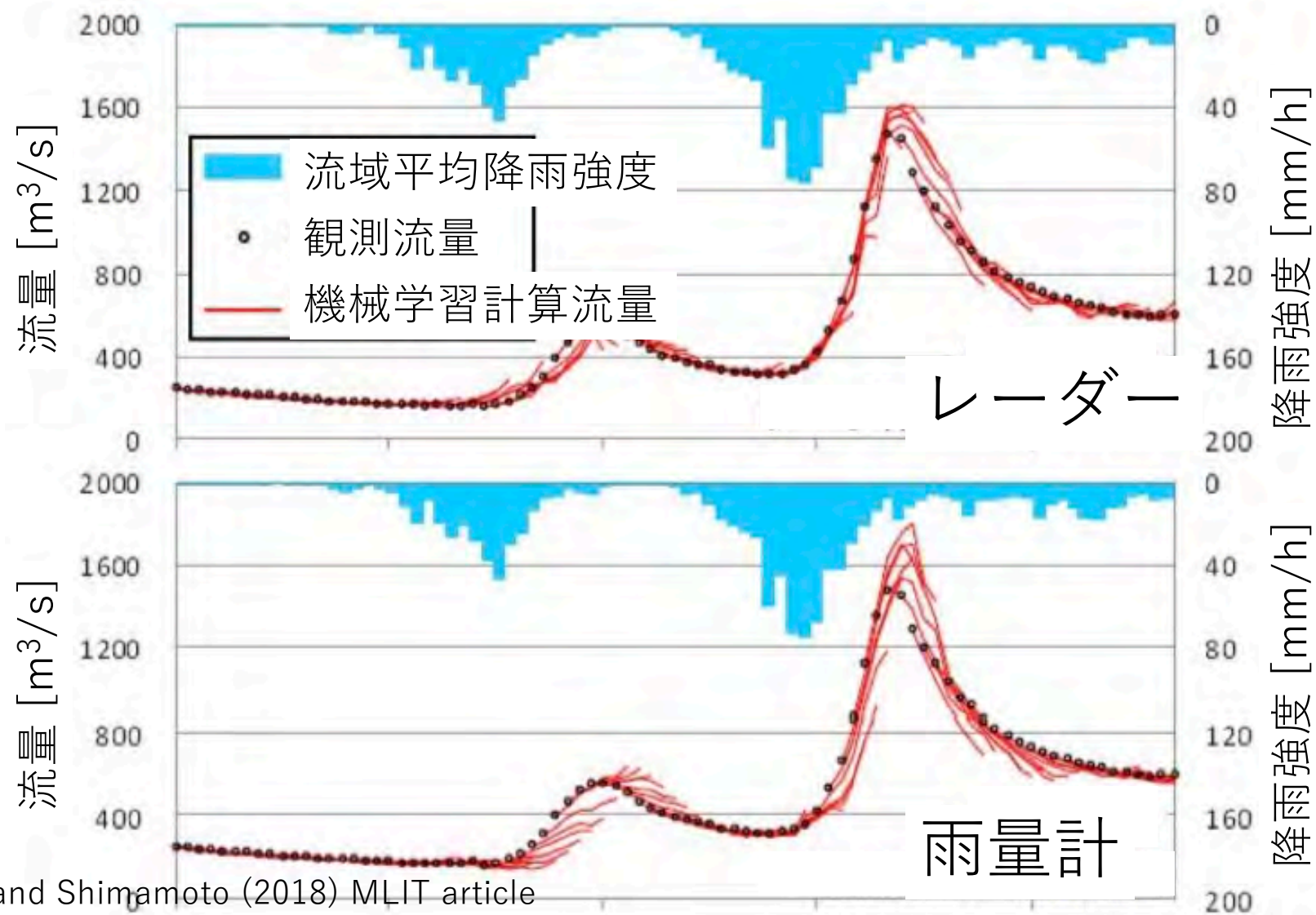
計測頻度（時間 分解能）の方が
計測密度（空間 分解能）より重要.

レーダーと 機械学習



Fusamae and Shimamoto (2018) MLIT
article
[http://www.qsr.mlit.go.jp/useful/n-shiryo/kikaku/kenkyu/h30/04/4_03\(18\).pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/useful/n-shiryo/kikaku/kenkyu/h30/04/4_03(18).pdf)





Fusamae and Shimamoto (2018) MLIT article

[http://www.qsr.mlit.go.jp/useful/n-shiryo/kikaku/kenkyu/h30/04/4_03\(18\).pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/useful/n-shiryo/kikaku/kenkyu/h30/04/4_03(18).pdf)

市民との情報共有

- タブレットコンピュータの活用
- 浸水域の住民への避難誘導

小川やため池が…

多発する“記録的大雨”
都市に潜むリスク

奈良

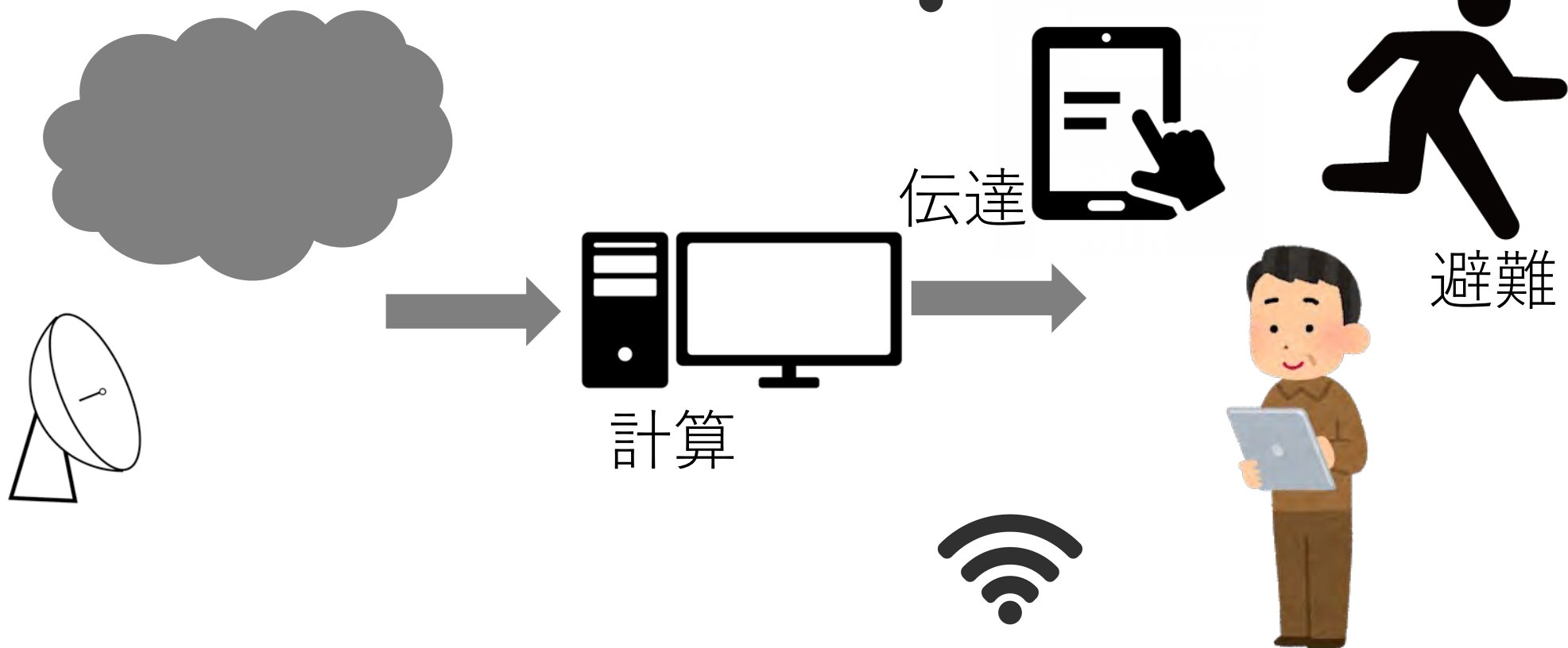
LIVE

7日現+

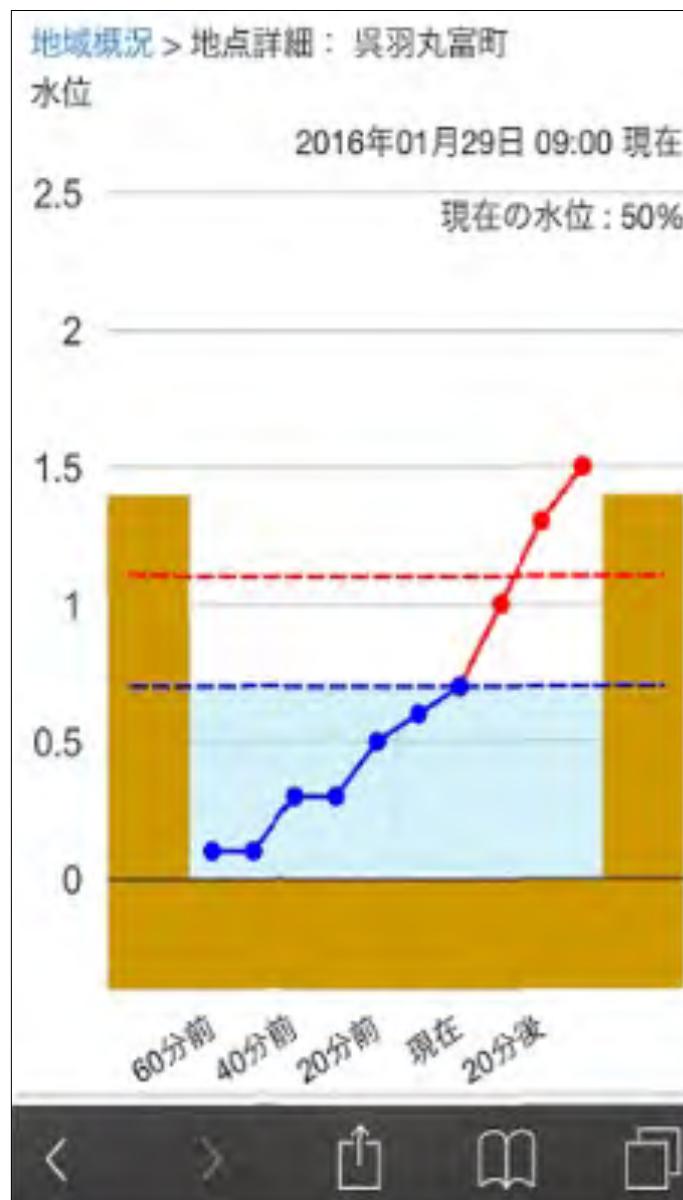
撮影 視聴者

内水氾濫

測定



ディスプレイの
イメージ



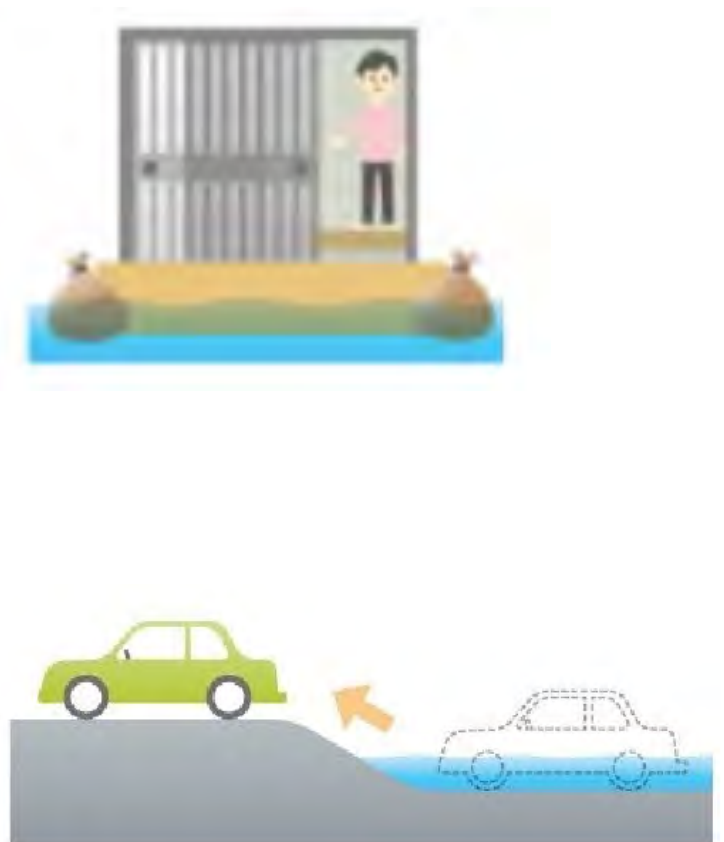
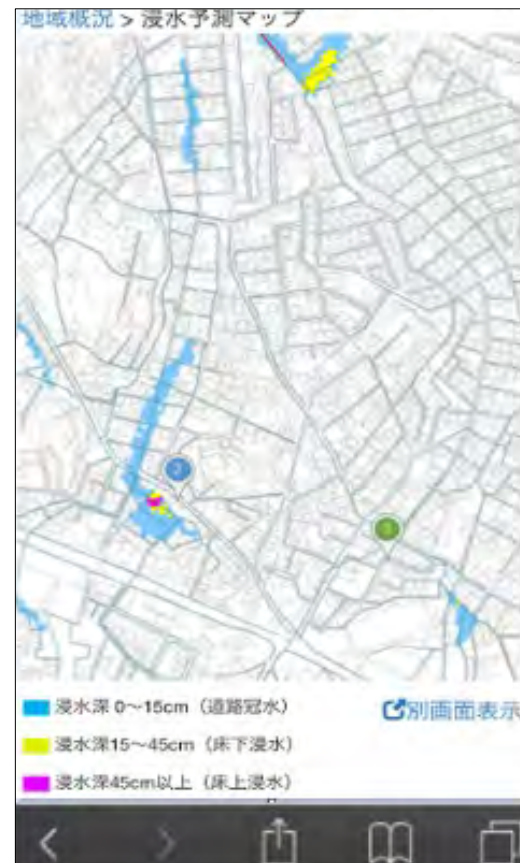
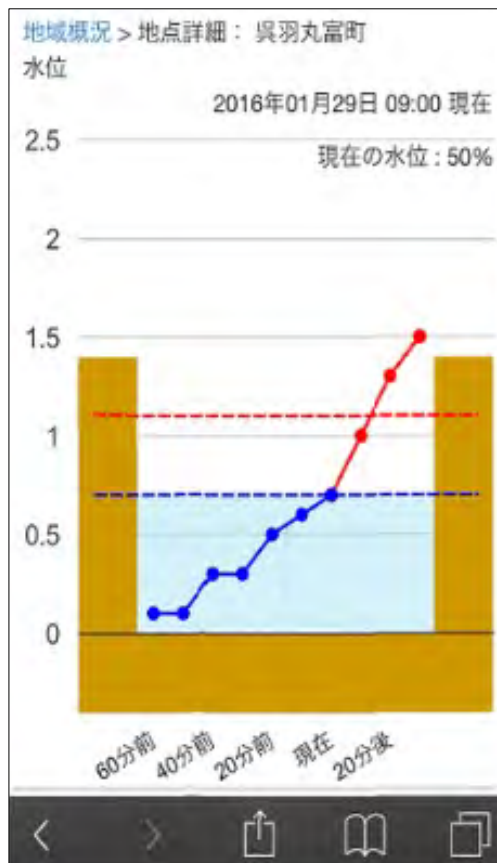
水位
現在より前

予測

ディスプレイの
イメージ



浸水予測域をリアル
タイムで伝達



まとめ

- レーダーの開発：降雨の定量的な計測
 - 現状 雨の推定精度は向上
 - 今後 降雨予測時間を延ばすために氷粒などの推定精度が必要
- 水位予測：時間的に細かな雨量情報が重要
- 市民との情報共有
 - タブレットコンピュータの活用
 - 機器や情報を出して終わりではなく，その後のフォローが重要

ご清聴ありがとうございました