

## 日本気象学会 2016 年度岸保賞

受賞者：眞木雅之（鹿児島大学）、上田 博（名古屋大学）、中北英一（京都大学防災研究所）

業績：X-バンド偏波レーダーによる降水観測技術の開発及び社会実装

選定理由：

日本は周囲を海に囲まれ下層が湿潤であり、しばしば積乱雲が低い高度で急速に発達し短時間で顕著な豪雨・豪雪をもたらすことがある。山地に近い平野部に人口が集中する大都市も多く、豪雨・豪雪による被害の軽減のためには、降水雲の発達過程の3次元構造を高時間空間分解能で定量的に観測する必要がある。

眞木雅之氏・上田 博氏・中北英一氏は、これらの条件を満たすレーダーとして、波長が短く高空間分解能であり、かつ降雨強度の定量測定、降水粒子の種類判別と粒径分布の推定が可能な X-バンド偏波レーダーに注目し、偏波レーダーの開発・改良、降雨強度推定法の開発・検証、降水粒子判別法の開発・検証を継続して行い、世界的にも最先端の X-バンド偏波レーダーを開発し研究観測に使用するとともに、国土交通省の X-バンド・マルチパラメータレーダー（偏波レーダー）観測網（XRAIN）の実用化に道を開いた。さらに、安定した X-バンド偏波レーダーによる降水観測データの有効性を示すことにより、次世代のフェイズドアレイの X-バンド偏波レーダーの開発に展望を与えた。XRAIN のデータは気象庁の現業においても降水ナウキャストに利用されている。

眞木氏は、X-バンド偏波レーダーによる降雨強度の測定精度を、防災科学技術研究所の X-バンド偏波レーダーと雨滴粒度計の比較観測によって日本で最初に検証した<sup>[1]</sup>。さらに、X-バンド偏波レーダーによる雨量推定法<sup>[2], [4]</sup>及び偏波間位相差変化率を用いたレーダー反射強度の補正法を検討し、偏波間位相差変化率を用いた降雨強度の補正法<sup>[5]</sup>を確立した。さらに、局地的な豪雨のメカニズムに関する研究に X-バンド偏波レーダーの観測データを活用している<sup>[3]</sup>。

上田氏は、北海道大学理学部、防災科学技術研究所、情報通信研究機構の偏波レーダーを用いて、降水特性の観測に偏波パラメーターが有効であることを示した<sup>[6][7][8]</sup>。2007 年には名古屋大学地球水循環研究センターに世界初の固体素子発信器を用いた X-バンド偏波レーダーを導入し、その有効性を実証することにより、XRAIN の展開に実用性の根拠を与えた。また X-バンド偏波レーダーを用いた固体降水粒子の判別法を確立した<sup>[9]</sup>。

中北氏は、早くから C-バンド偏波レーダーを用いた降雨量推定アルゴリズム開発の研究<sup>[10]</sup>を行っている。XRAIN の観測データを用いた降水予測法の開発<sup>[12], [14]</sup>を積極的に進めるとともに、偏波レーダーを用いた粒子タイプの判別法の開発に関する観測研究<sup>[11], [13]</sup>を行い、降水粒子の判別を降水予測に用いるための方向性を示した。

受賞者らは、上記の経験を生かして、国土交通省の X-バンド・マルチパラメータレーダー観測網（XRAIN）展開のために、同省の「レーダー活用による河川情報高度化検討会」の委員として、高精度の観測ネット

ワーク作りに貢献した。この結果、XRAINは2009年度に3大都市圏を中心に11台が整備され試験運用を開始し、順次一般配信を行い、ほぼネットワークを完成し現在に至っている。

以上のように、受賞者らは、防災科学技術研究所・名古屋大学・京都大学の研究者間の密な協力体制を構築し、X-バンド偏波レーダーによる降雨強度推定法および降水粒子判別法を開発した。さらに、同レーダー観測網(XRAIN)の展開に貢献した。受賞者らによる降水機構の解明、豪雨・豪雪等の極端気象の短時間予測方法の高精度化、降水データの提供への貢献は、気象学の発展と安全安心な社会の構築に大きく貢献するものである。

以上の理由により、眞木雅之氏・上田 博氏・中北英一氏に日本気象学会岸保賞を贈呈するものである。

#### 主な関連論文

1. Maki, M., K. Iwanami, R. Misumi, S.-G. Park, H. Moriwaki, K. Maruyama, I. Watabe, D.-I. Lee, M. Jang, H.-K. Kim, V. N. Bringi and H. Uyeda, 2005: Semi-operational rainfall observations with X-band multi-parameter radar. *Atmos. Sci. Lett.*, 6, 12-18.
2. Maki, M., S.-G. Park and V. N. Bringi, 2005: Effect of natural variations in rain drop size distributions on rain rate estimators of 3 cm wavelength polarimetric radar. *J. Meteor. Soc. Japan*, 83, 871-893.
3. Kato, A. and M. Maki, 2009: Localized heavy rainfall near Zoshigaya, Tokyo, Japan on 5 August 2008 observed by X-band polarimetric radar: Preliminary analysis. *SOLA*, 5, 89-92.
4. Kim, D.-S. and M. Maki, 2012: Validation of composite polarimetric parameters and rainfall rates from an X-band dual-polarization radar network in the Tokyo metropolitan area. *Hydrol. Res. Lett.*, 6, 76-81.
5. Shakti, P.C. and M. Maki, 2014: Application of a modified digital elevation model method to correct radar reflectivity of X-band dual-polarization radars in mountainous regions. *Hydrol. Res. Lett.*, 8, 77-83.
6. Takahashi, N., H. Uyeda and K. Kikuchi, 1996: Evolution process and precipitation particles of an isolated echo observed with dual-polarization Doppler radar near Sapporo on July 9, 1992. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics)*, 10, 135-153.
7. Katsumata, M., H. Uyeda, K. Iwanami and G. Liu, 2000: The response of 36- and 89-GHz microwave channels to convective snow clouds over ocean: Observation and modeling. *J. Appl. Meteor.*, 39, 2322-2335.
8. Oue, M., H. Uyeda and Y. Shusse, 2010: Two types of precipitation particle distribution in convective cells accompanying a Baiu frontal rainband around Okinawa Island, Japan. *J. Geophys. Res.*, 115,

- D02201, doi:10.1029/2009JD011957.
9. Kouketsu, T., H. Uyeda, T. Ohigashi, M. Oue, H. Takeuchi, T. Shinoda, K. Tsuboki, M. Kubo and K. Muramoto, 2015: A hydrometeor classification method for X-band polarimetric radar: Construction and validation focusing on solid hydrometeors under moist environments. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 32, 2052-2074.
  10. 中北英一, 竹畑栄伸, 中川勝広, 2008: Cバンド偏波レーダーによる降雨量推定アルゴリズムの構築に関する研究. 土木学会水工学論文集, 52, 349-354.
  11. 中北英一, 山口弘誠, 隅田康彦, 竹畑栄伸, 鈴木賢士, 中川勝広, 大石 哲, 出世ゆかり, 坪木和久, 大東忠保, 2009: 偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測および降水粒子タイプ判別. 土木学会水工学論文集, 53, 361-366.
  12. Yoon, S. and E. Nakakita, 2013: The development of rain-based urban flood forecasting method for river management practice using X-MP radar observation. *Adv. River Eng., JSCE*, 19, 223-228.
  13. Oue, M., T. Ohigashi, K. Tsuboki and E. Nakakita, 2015: Vertical distribution of precipitation particles in Baiu frontal stratiform intense rainfall around Okinawa Island, Japan. *J. Geophys. Res.*, 120, 5622-5637, doi:10.1002/2014JD022712.
  14. Yoon, S. and E. Nakakita, 2015: Application of an X-band multi-parameter radar network for rain-based urban flood forecasting. *J. Hydrol. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001281, E5015005.

## 岸保賞受賞記念講演

# X-バンド偏波レーダーによる 降水観測技術の開発及び社会実装(3)

京都大学 防災研究所  
気象・水象災害研究部門  
中北 英一

1

## 受賞理由として挙げていただいた内容

### • 最新偏波レーダー利用事始め(2004年～)

- ✓ 降水粒子タイプの識別と大気モデルによる同化を視野に入れる。
- ✓ Cバンドレーダーの降雨量推定精度の向上をはかる。

### • ビデオゾンデとの同期観測(2007年～)

- ✓ 降水粒子タイプの混在状態も含めた識別手法の開発
- ✓ 大気モデルによる同化による降雨予測

### • ゲリラ豪雨災害軽減への取り組み(2009年～)

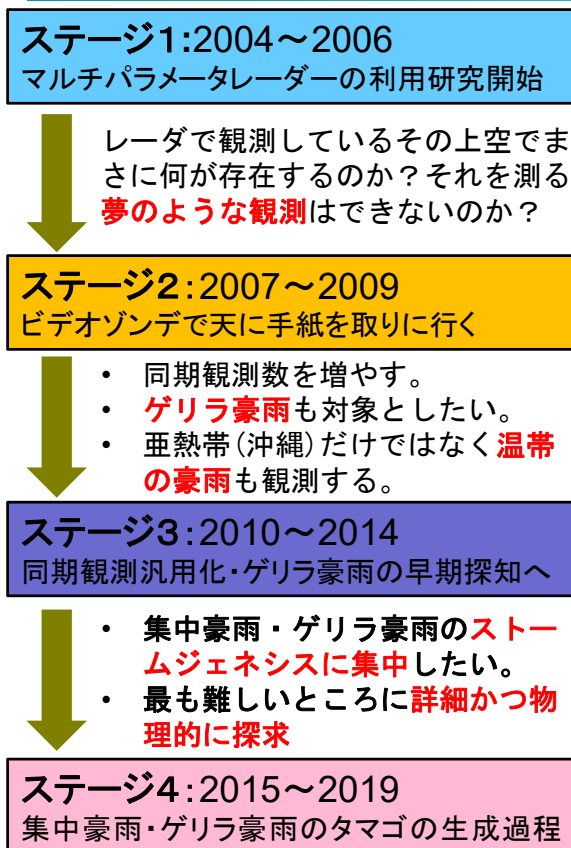
- ✓ (XRAIN導入前の上空タマゴの早期探知)
- ✓ (XRAIN導入後の早期探知と、渦度による危険性予測)
- ✓ XRAINを用いた移流モデルによるレーダー降雨予測と鉄砲水の水位予測

# 謝 辞

- 日本の偏波レーダー研究の先駆け: 吉野文雄先生(元土研)
- COBRA研究プロジェクトの皆さん
  - 特に、中川勝広さん(NICT)、坪木和久さん(名大)、大石哲さん(神戸大)、鈴木賢士さん(山口大)、高橋勲先生
  - そして、大東忠保さん(名大)、山口弘誠さん(京大)、相馬一義さん(山梨大)
- 情報通信研究機構(NICT)の皆さん(COBRA)
  - 特に、中川勝広さん、川村誠治さん
  - 沖縄電磁波技術センターの皆さん
- 国土交通省の皆さん(XRAIN)
  - 特に、五道仁美さん、二階堂義則さん、土屋修一さん
- 河川管理におけるレーダー活用検討会の皆さん
  - 特に、山田正先生(中央大)
- 歴代のCOBRA研究プロジェクトの学生の皆さん

3

## 共同研究の歴史(京大、名大、NICT、山梨大、神戸大、山口大、法政大)



- 世界で4機しかなかった5cm波偏波レーダー実験機を用いた、雲物理モデル、降雨量推定手法、豪雨予測手法の大改良を目指した基礎研究を開始。
- 国機関への将来性伝達開始。

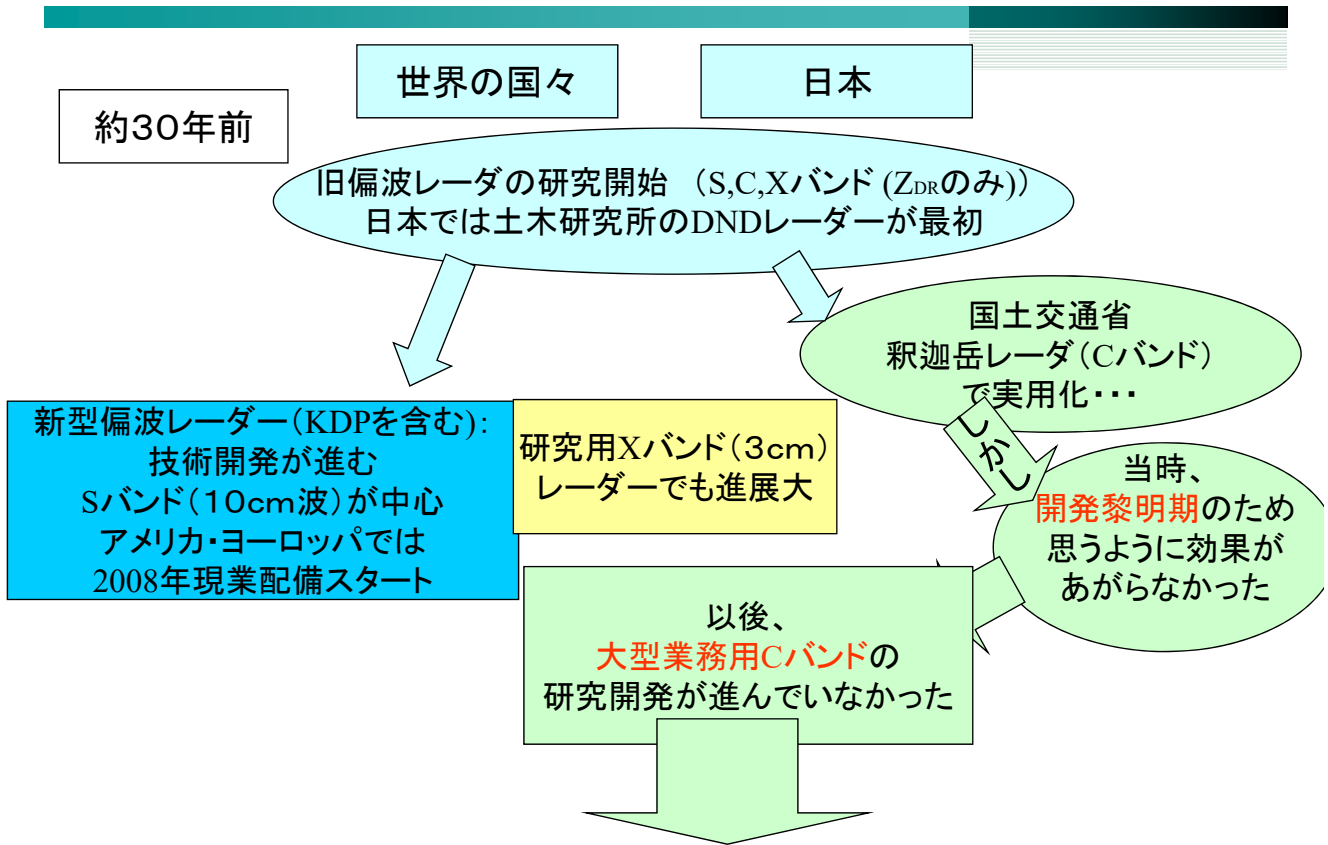
- 世界初の「レーダーとビデオゾンデの同期集中観測実験」(沖縄)を実現
- 降雨量推定手法の開発。
- 「降水粒子タイプ混在状態の推定手法」の開発。
- 降雨予測手法の開発。
- 国が現業用CバンドMPレーダ(Cバンド)導入を決断。

- 汎用型ビデオゾンデの開発。
- ゲリラ豪雨タマゴの早期探知・危険性予測実用化。
- 国の(Xバンド)偏波レーダXRAIN導入を促進。
- 雲レーダ・GPS・現業レーダによる同期観測。

- ライダ・フェーズドアレイレーダ・境界層レーダによるタマゴ生成の世界初同期観測。
- 渦管の生成・発達過程の解明
- ビデオゾンデで雲粒⇒降水粒子を集中観測。
- 高詳細モデルでヒートアイランド影響解明

4

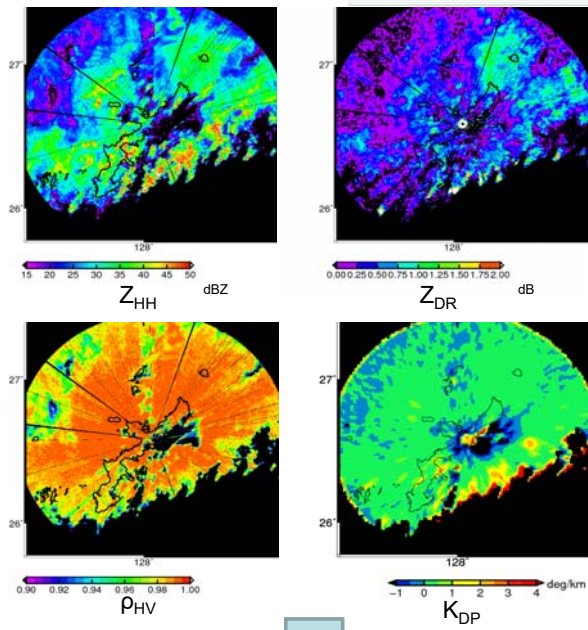
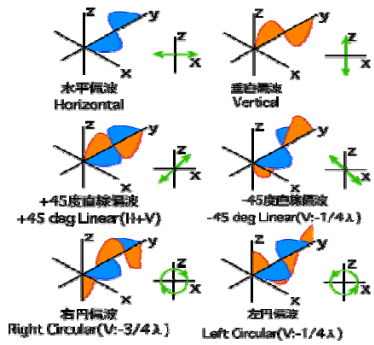
# 偏波レーダー研究の背景



# 偏波レーダーCOBRAによる観測例(Cバンド)



偏波レーダー COBRA  
(独)情報通信研究機構(NICT)

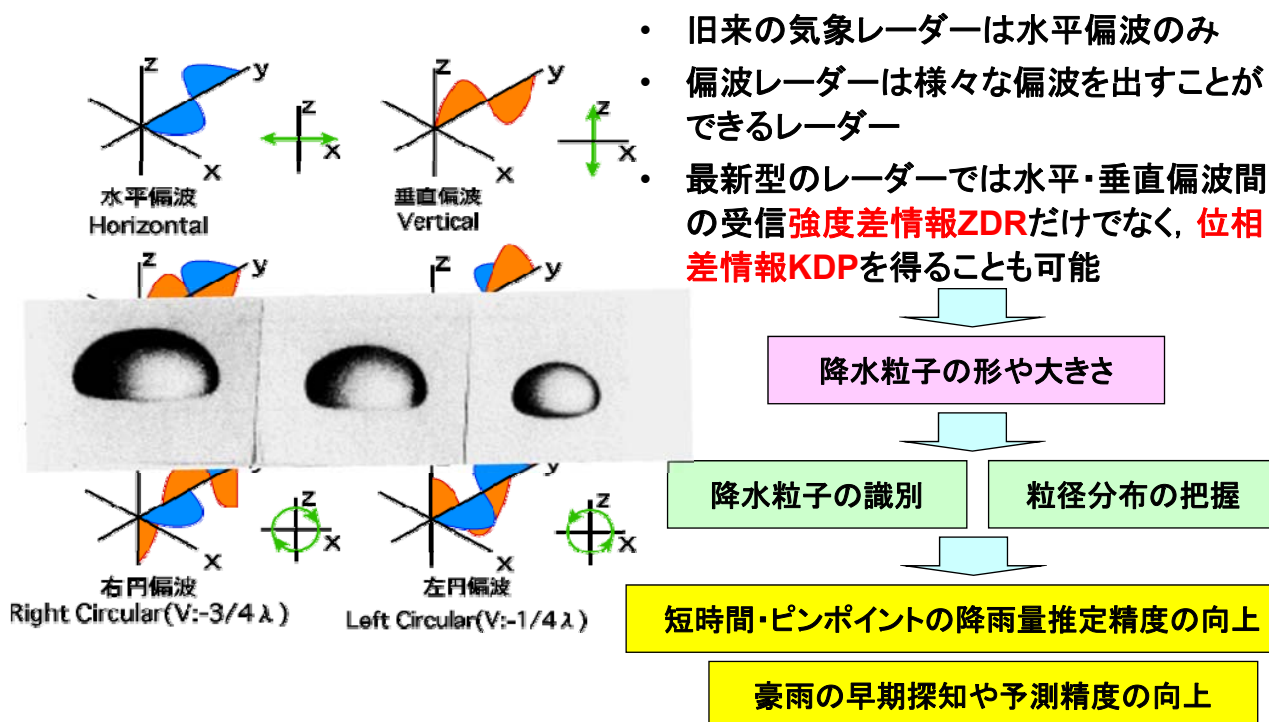


雨滴粒径分布

降水粒子種類



# 最新型偏波レーダー



## 受賞理由として挙げさせていただいた内容

### 最新偏波レーダー利用事始め(2004年～)

- ✓ 降水粒子タイプの識別と大気モデルによる同化を視野に入れる。
- ✓ Cバンドレーダーの降雨量推定精度の向上をはかる。

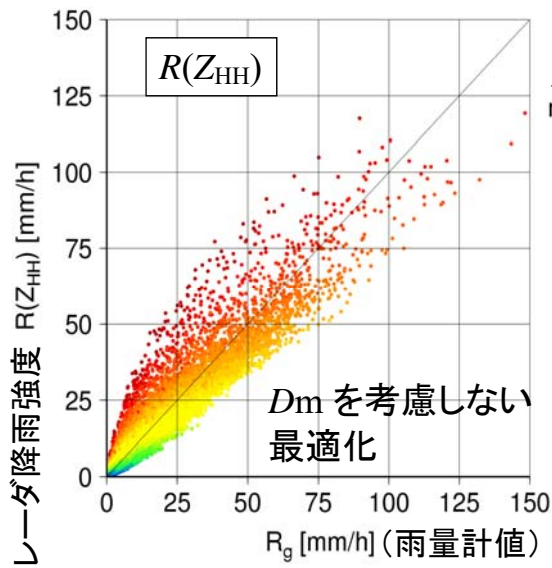
### ビデオゾンデとの同期観測(2007年～)

- ✓ 降水粒子タイプの混在状態も含めた識別手法の開発
- ✓ 大気モデルによる同化による降雨予測

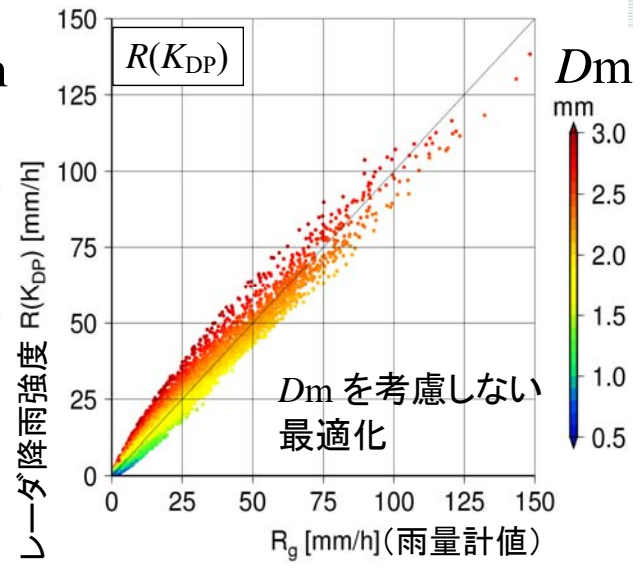
### ゲリラ豪雨災害軽減への取り組み(2009年～)

- ✓ (XRAIN導入前の上空タマゴの早期探知)
- ✓ (XRAIN導入後の早期探知と、渦度による危険性予測)
- ✓ XRAINを用いた移流モデルによるレーダー降雨予測と鉄砲水の水位予測

# D<sub>m</sub> のサイズ分類別に降雨強度推定式を最適化 (1)



$$R(Z_{HH}) = 3.59 \times 10^{-2} Z_{HH}^{0.634}$$



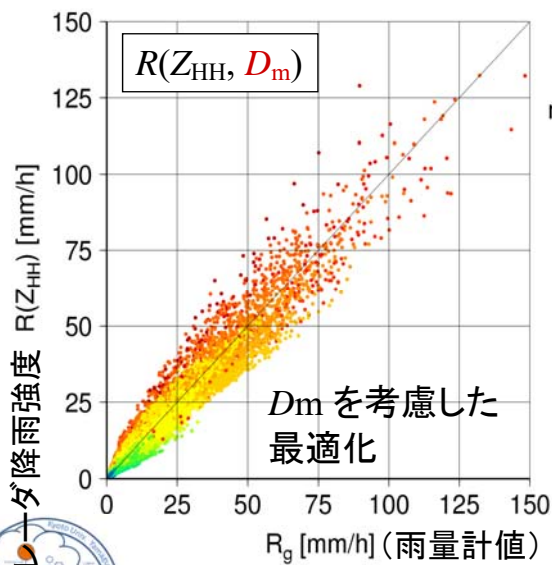
$$R(K_{DP}) = 30.56 K_{DP}^{0.814}$$

R(Z<sub>HH</sub>) ~ R<sub>g</sub>(雨量計値) や R(K<sub>DP</sub>) ~ R<sub>g</sub>(雨量計値) 関係は  
質量で重み付けした平均粒径D<sub>m</sub>に依存する。

中北・竹畑・中川(2008)

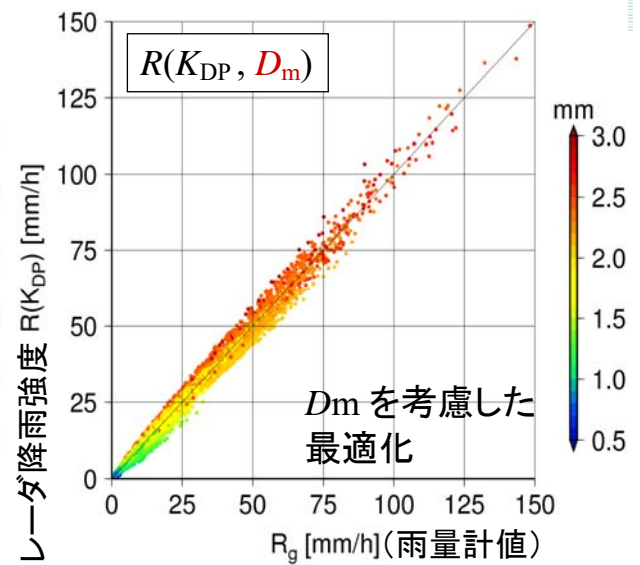


# D<sub>m</sub> のサイズ分類別に降雨強度推定式を最適化 (2)



$$R(Z_{HH}, D_m) = \begin{cases} 3.49 \times 10^{-2} Z_{HH}^{0.724} & 0.0 \leq D_m < 1.0 \\ 7.72 \times 10^{-3} Z_{HH}^{0.852} & 1.0 \leq D_m < 1.5 \\ 3.39 \times 10^{-3} Z_{HH}^{0.878} & 1.5 \leq D_m < 2.0 \\ 3.13 \times 10^{-3} Z_{HH}^{0.867} & 2.0 \leq D_m < 2.5 \\ 3.01 \times 10^{-3} Z_{HH}^{0.883} & 2.5 \leq D_m < 3.0 \end{cases}$$

中北・竹畑・中川(2008)

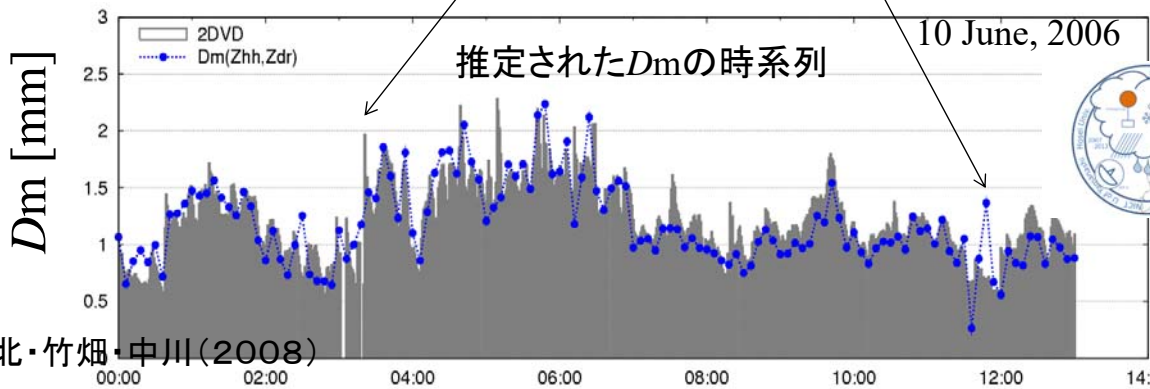
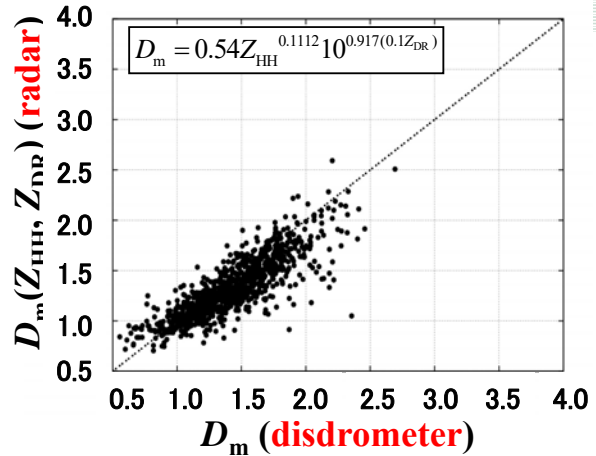


$$R(K_{DP}, D_m) = \begin{cases} 45.62 K_{DP}^{0.776} & 0.0 \leq D_m < 1.0 \\ 44.63 K_{DP}^{0.903} & 1.0 \leq D_m < 1.5 \\ 35.00 K_{DP}^{0.911} & 1.5 \leq D_m < 2.0 \\ 29.52 K_{DP}^{0.935} & 2.0 \leq D_m < 2.5 \\ 22.57 K_{DP}^{1.031} & 2.5 \leq D_m < 3.0 \end{cases}$$

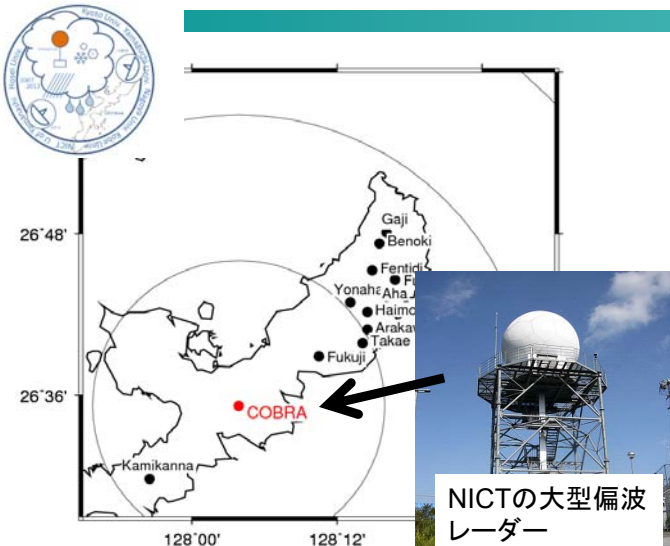


# 質量で重み付けした平均粒径 ( $D_m$ )

観測された雨滴粒径分布から直接推定した $D_m$ とレーダー情報( $Z_{HH}$ と $Z_{DR}$ )から推定した $D_m$ の比較。

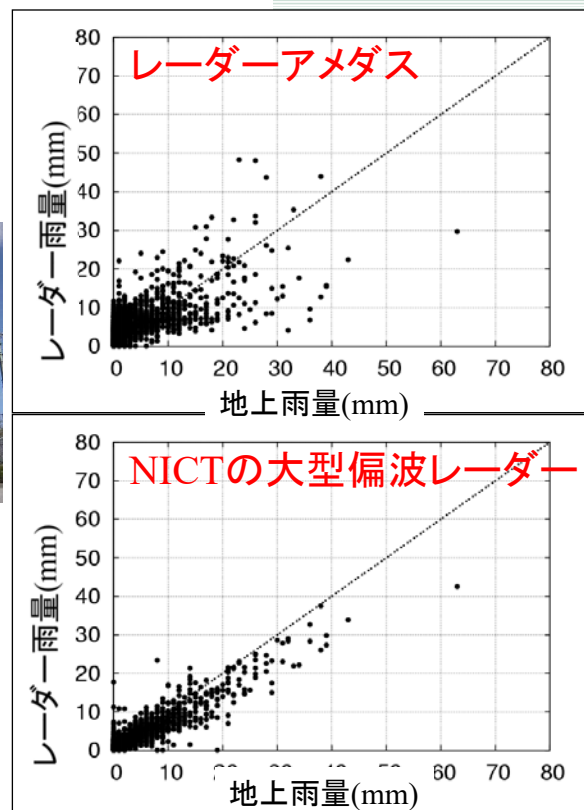


# 大型MPLレーダーによる雨量推定精度(1時間雨量)

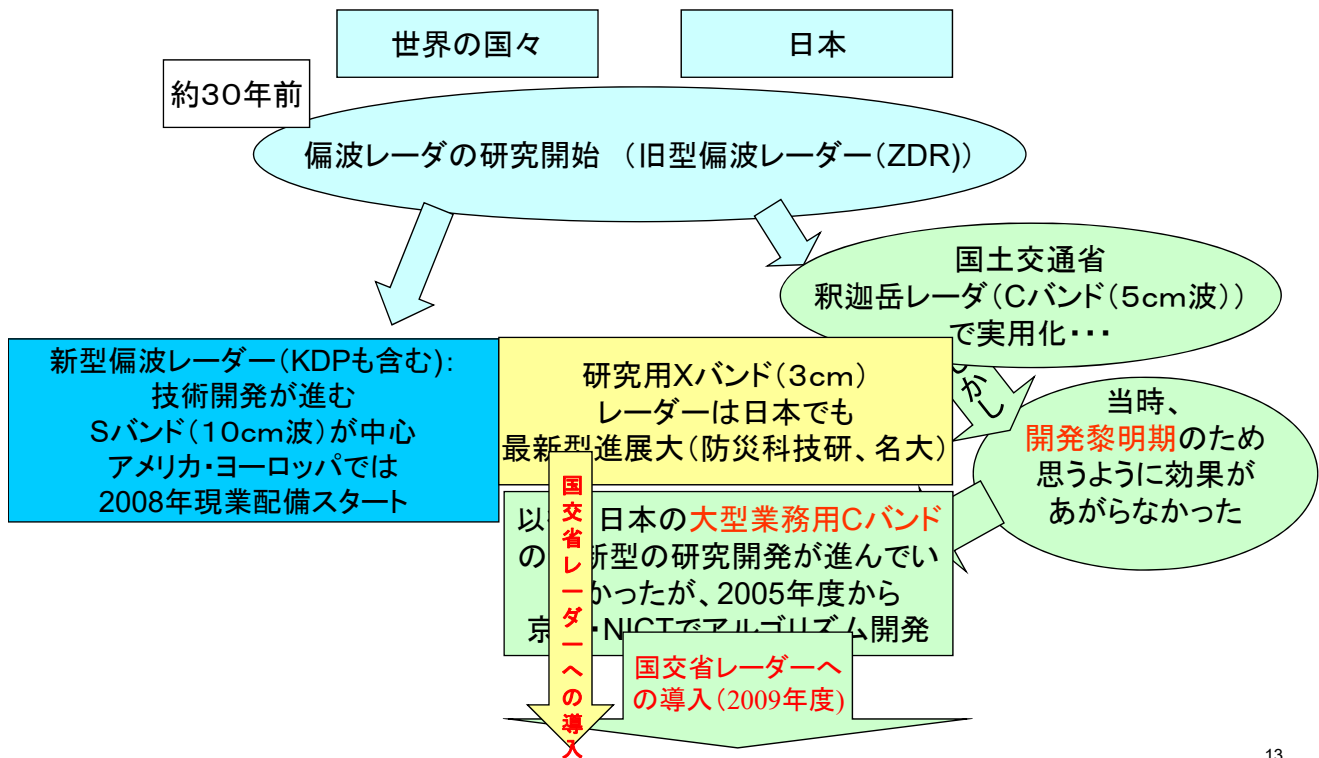


- レーダー・アメダス解析雨量値との比較を行う。
- レーダー・アメダス解析雨量値はアメダスの観測値で補正が行われている。
- アメダス観測値以外で比較を行う。(国土交通省)
- 我地, 辺野喜ダム, フェンチチ, 普久川ダム, 安波ダム, 与那覇岳, 排持山, 新川ダム, 高江, 福地ダム, 上漢那ダムの15ヶ所。

中北・竹畑・中川(2008)



# 最新型偏波レーダー開発・導入の歴史と今後



13

## 受賞理由として挙げられていた内容

### ● 最新偏波レーダー利用事始め(2004年～)

- ✓ 降水粒子タイプの識別と大気モデルによる同化を視野に入れる。
- ✓ Cバンドレーダーの降雨量推定精度の向上をはかる。

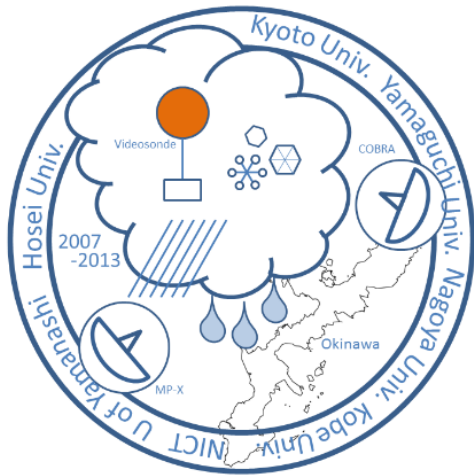
### ● ビデオゾンデとの同期観測(2007年～)

- ✓ 降水粒子タイプの混在状態も含めた識別手法の開発
- ✓ 大気モデルによる同化による降雨予測

### ● ゲリラ豪雨災害軽減への取り組み(2009年～)

- ✓ (XRAIN導入前の上空タマゴの早期探知)
- ✓ (XRAIN導入後の早期探知と、渦度による危険性予測)
- ✓ XRAINを用いた移流モデルによるレーダー降雨予測と鉄砲水の水位予測

# 最新型偏波レーダとビデオゾンデの同期観測



Since 2007

**雨滴**   **凍結水滴**   **霰**   **氷晶**   **雪片**

**ビデオゾンデ**

降水粒子の種類・大きさ  
降水粒子の持つ電荷、  
気圧、気温、湿度、  
風向、風速

**MP降水レーダ**

5) ビデオゾンデを  
めがけてスキャンする。

**レーダで観測しているその上空でまさに何が存在するのか？それを測る「夢のような観測」!**

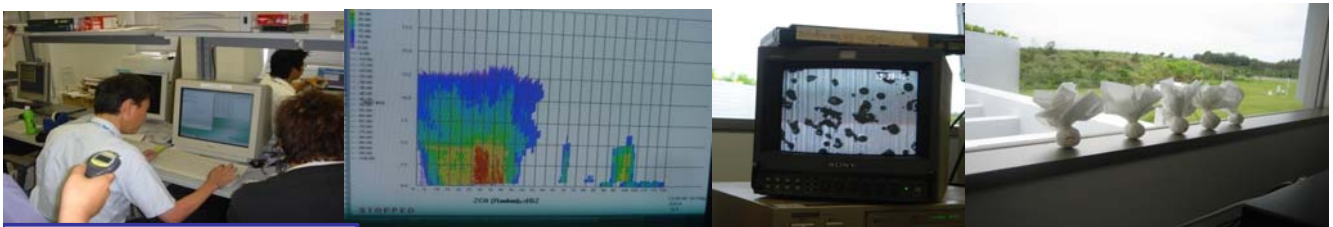
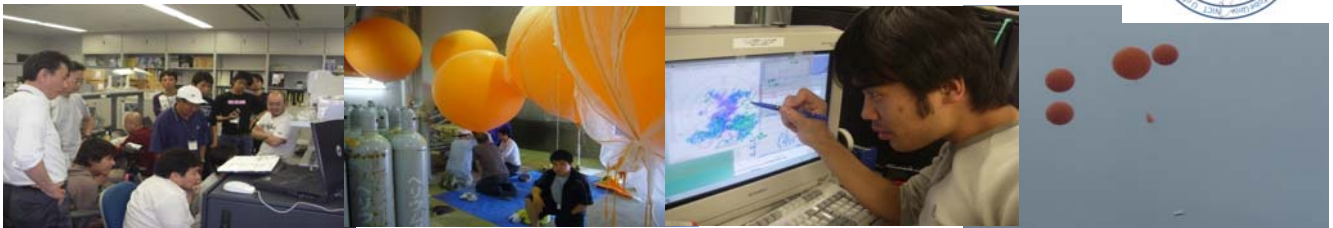
1) トランシーバーで連絡をとり合い、雨と風を予測して、バルーンを放球。

2) ビデオゾンデの方に受信アンテナを向けて、電波で降水粒子の画像を受信する。

3) 1分ごとにビデオゾンデの位置情報を伝える。

4) ビデオゾンデの位置を特定し、COBRAのビーム方向をビデオゾンデに向ける。

## 観測実験の様子



土木工学・河川水文学・  
レーダー水文学

### 研究分担者の所属機関

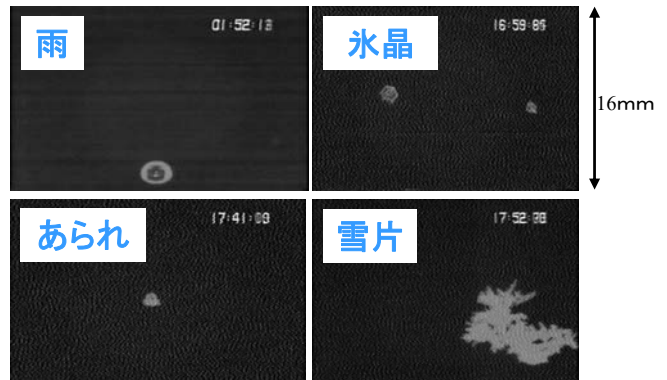
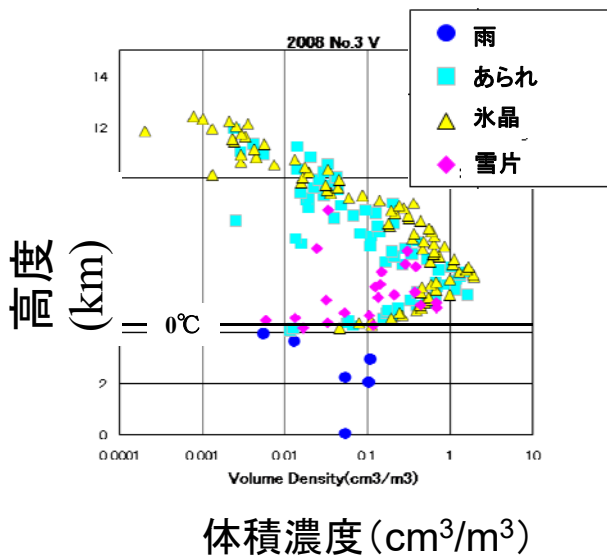
気象学・レーダー気象学

京都大学(防災研究所)、神戸大学(都市安全研究センター)、山口大学(農学部)、名古屋大学(地球水循環研究センター)、情報通信研究機構(電波工学) 担者は、レーダー開発、レーダー降雨予測・レーダーの水文学的利用、大気モデル開発において世界最先端の業績と認知され世界での利用例も多い。

### 研究協力者の所属機関

京都大学(生存圏研究所・生存基盤科学研究ユニット)、名古屋大学(地球水循環研究センター)、情報通信研究機構(電磁波計測研究センター)、山梨大学(医学工学総合研究部)、法政大学(工学部)、桜美林大学、電力中央研究所(地球工学研究所)、防災科学技術研究所(水・土砂防災研究部)

# ビデオゾンデから算出される沖縄上空の降水

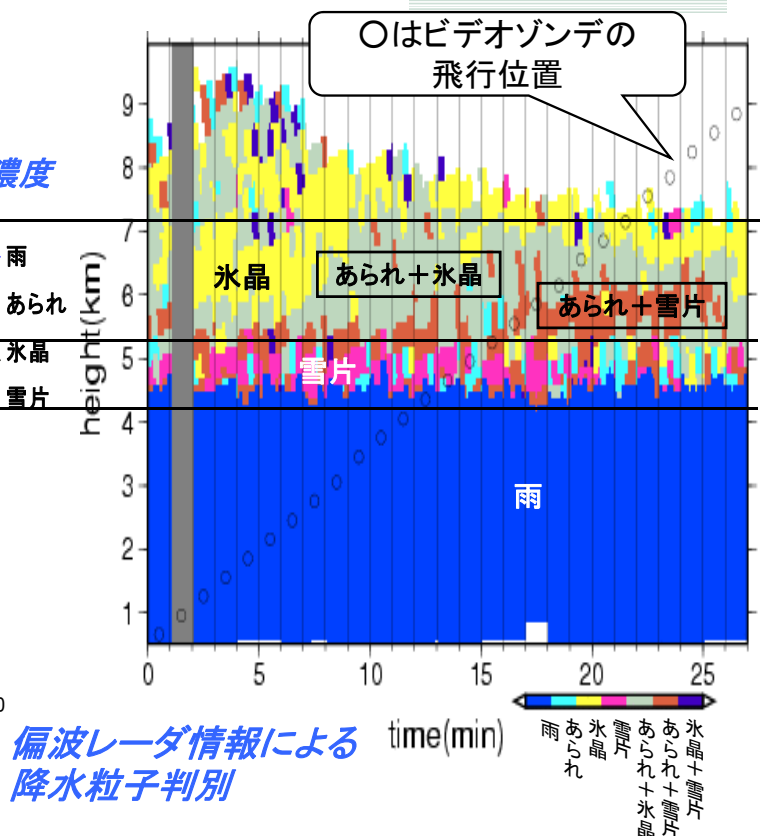
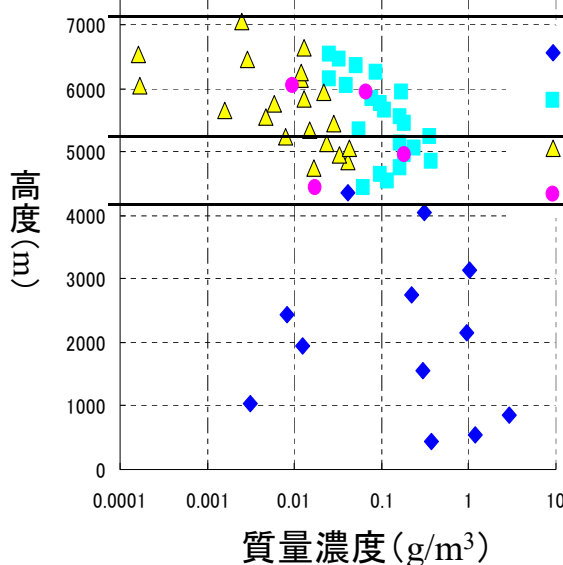


中北・山口・隅田ら(2009)

# 上空の降水粒子タイプの判別(混在状態も識別)



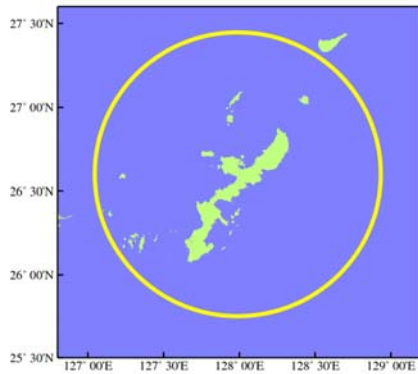
ビデオゾンデによって観測された  
各高度における粒子ごとの質量濃度



中北・山口・隅田ら(2009)

# 偏波レーダー情報の同化による降水予測(COBRA)

2008年6月3日@沖縄



CReSS (Tsuboki, 2002)

LETKF (Hunt, 2007)

積乱雲スケールにおけるデータ同化システム (CReSS-LETKF)の構築

## 予測モデルの設定

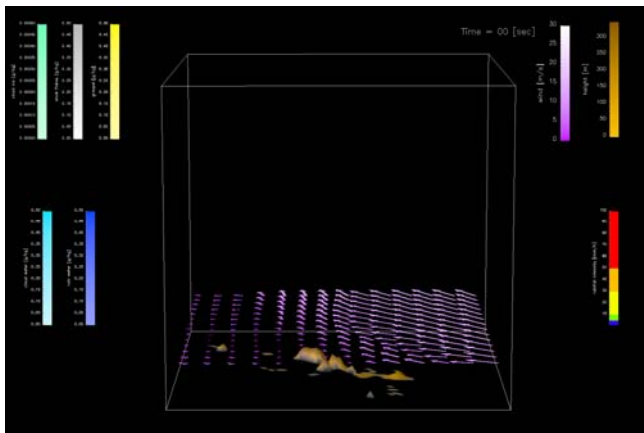
- 初期値・境界値: JMA MSM
- 海面水温: NEAR-GOOS
- 格子数: 100 × 100 × 40
- 格子間隔:  $\Delta x = \Delta y = 3000\text{m}$ ,  $\Delta z = 350\text{m}$

## 同化手法の設定

- 同化期間: 1時間
- 同化間隔: 6分ごと
- メンバー数: 30
- 同化する観測値:
  - ・ 霰の存在比
  - ・ ドップラー風速
  - ・ レーダー反射強度

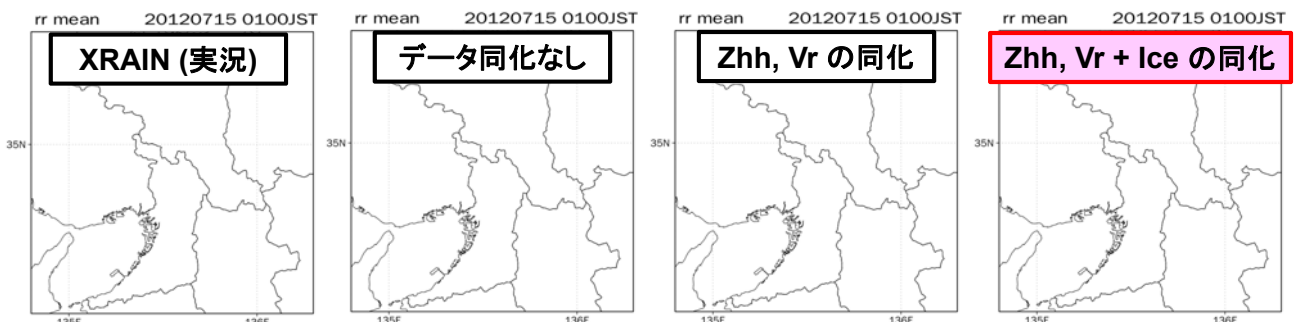


山口、中北(2009)

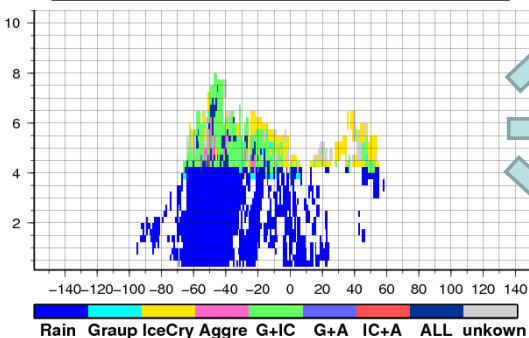


# 偏波レーダー情報の同化による降水予測(XRAIN)

2012年京都亀岡豪雨(線状降水帯)に対する観測・予測積算降水量



## XRAINによる粒子判別



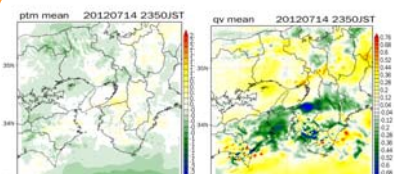
霰混合比

雪片混合比

氷晶混合比

1~2時間先の降水予測精度向上

## 環境場の変化

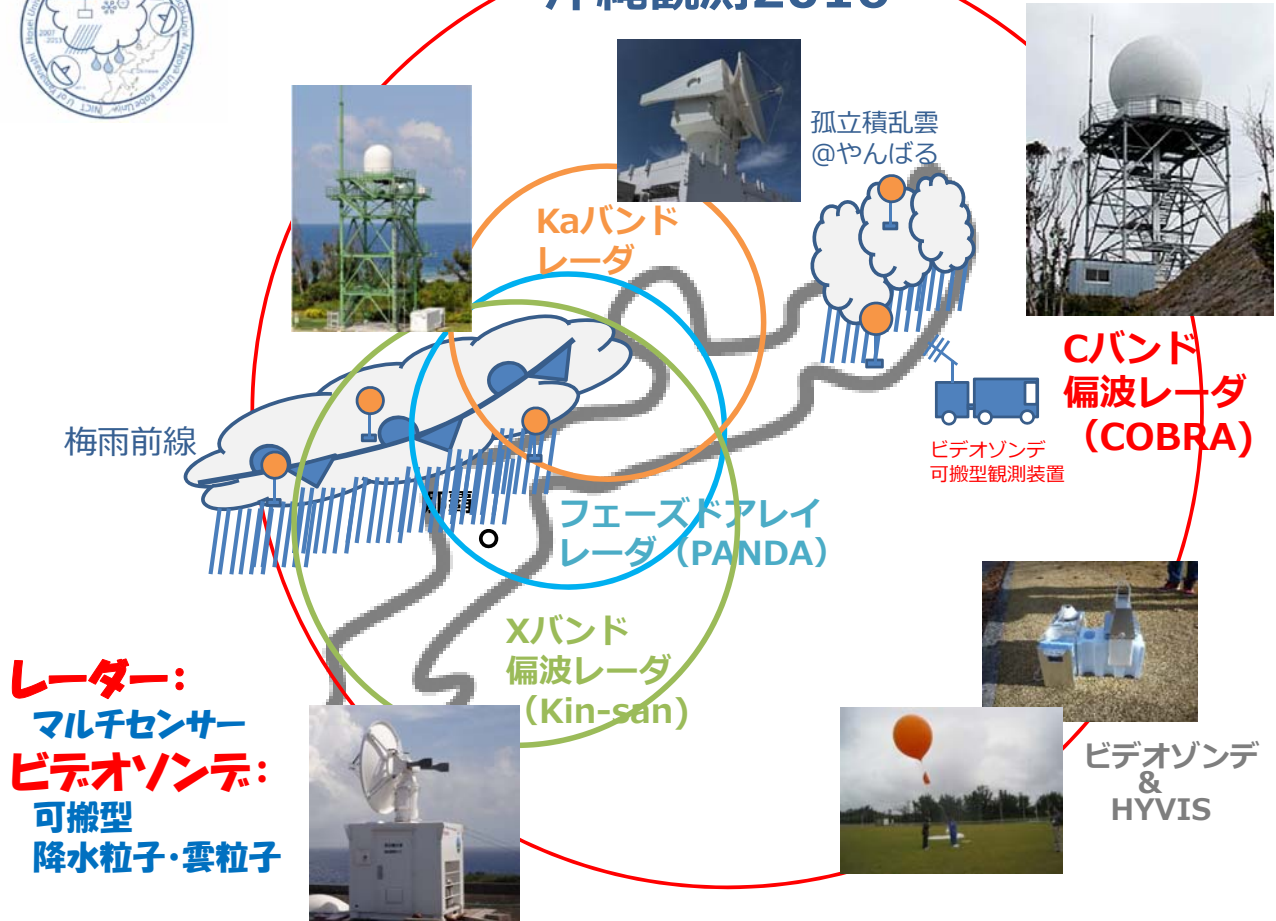


中下層における冷温化と高湿化

山口、古田、中北(2015)



## 沖縄観測2016



## 受賞理由として挙げていただいた内容

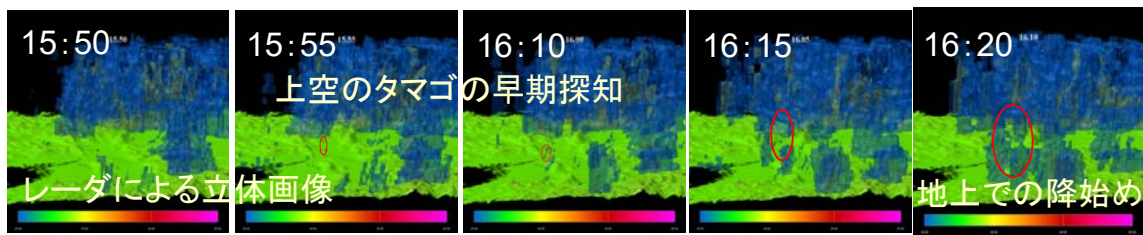
- **最新偏波レーダー利用事始め(2004年～)**
  - ✓ 降水粒子タイプの識別と大気モデルによる同化を視野に入れる。
  - ✓ Cバンドレーダーの降雨量推定精度の向上をはかる。
- **ビデオゾンデとの同期観測(2007年～)**
  - ✓ 降水粒子タイプの混在状態も含めた識別手法の開発
  - ✓ 大気モデルによる同化による降雨予測
- **ゲリラ豪雨災害軽減への取り組み(2009年～)**
  - ✓ (XRAIN導入前の上空タマゴの早期探知)
  - ✓ (XRAIN導入後の早期探知と、渦度による危険性予測)
  - ✓ XRAINを用いた移流モデルによるレーダー降雨予測と鉄砲水の水位予測

# 神戸都賀川でのゲリラ豪雨災害(2008/7/28)

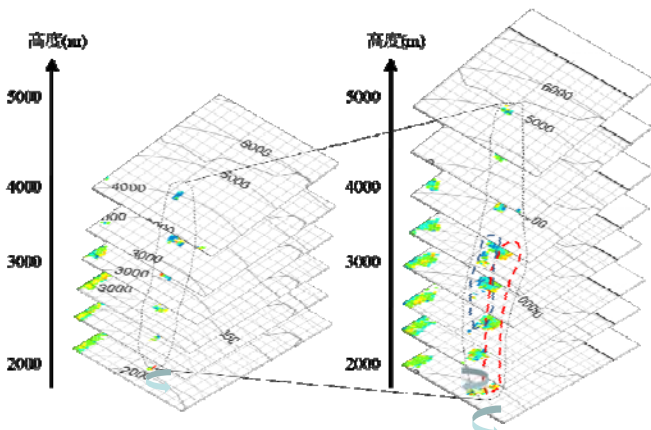


## ゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測(受賞理由対象外)

### 上空でのゲリラ豪雨タマゴの早期探知



中北・山邊・山口 (2010)

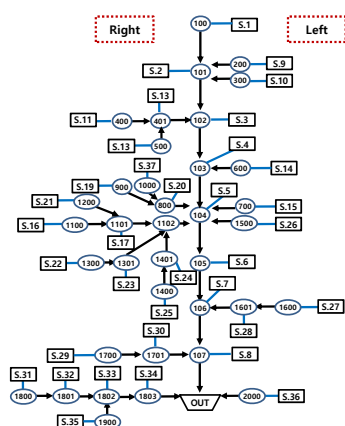


### 上空でのゲリラ豪雨タマゴの渦管による危険性予測

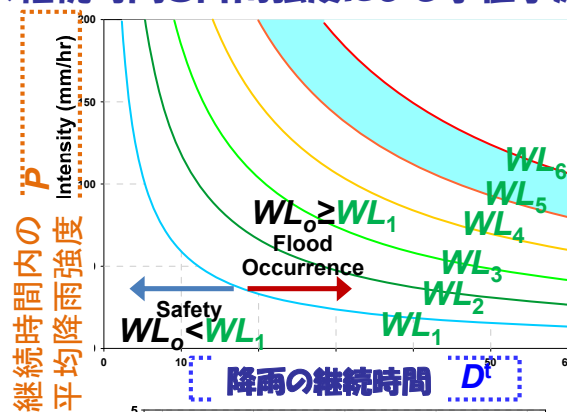
中北・西脇・山邊・山口 (2013)、中北・佐藤・山口 (2015)

# XRAINを用いた出水予測(1:水位予測)

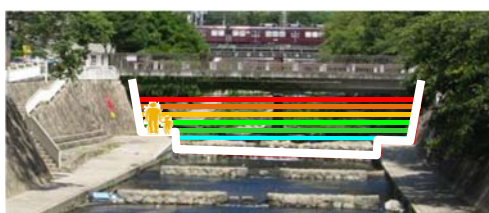
## 流出モデルによる流域表現



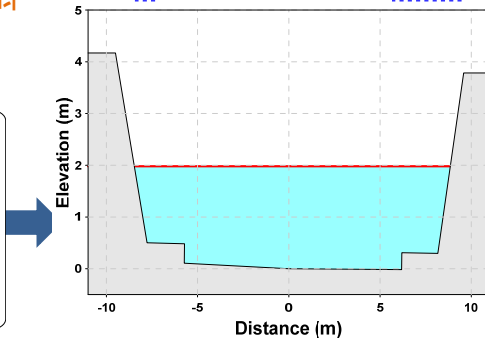
## 降雨の継続時間と降雨強度による水位予測



## 対象とする水位



<span style="color: red;">—</span>	Flood risk level (284 cms, 1.98m)
<span style="color: orange;">—</span>	Special flood alert level (214 cms, 1.70m)
<span style="color: yellow;">—</span>	Flood alert level (152 cms, 1.40m)
<span style="color: green;">—</span>	Waist level (85 cms, 1.00m)
<span style="color: lightgreen;">—</span>	Knee level (61.3 cms, 0.81m)
<span style="color: blue;">—</span>	Walklane (17.3 cms, 0.31m)



Yoon and Nakakita (2013, 2015)

# XRAINを用いた出水予測(2:降雨予測)

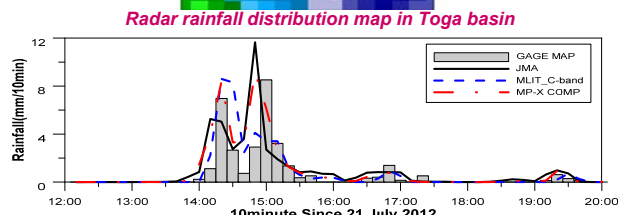
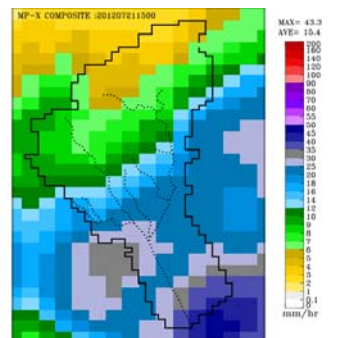
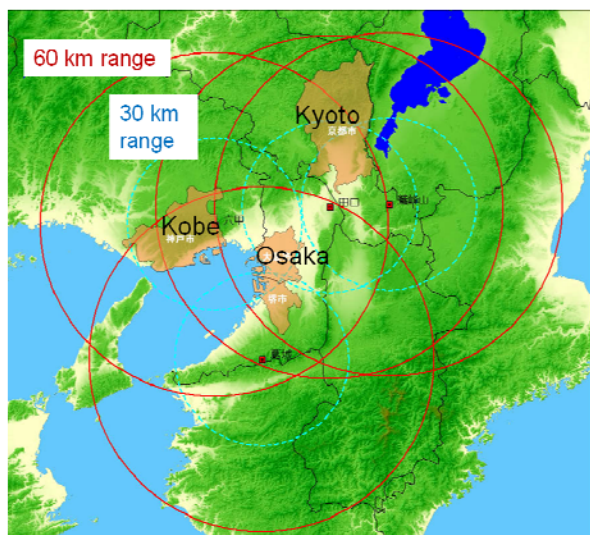
## XRAINを用いた降雨予測(運動学的手法)

### ✓XRAINによる降雨情報

- 近畿の合成情報
- 時間間隔: 1分
- 空間分解能: 0.25km X 0.25 km

### ✓降雨予測(1時間以内)

- 手法: 移流モデル(椎葉・高棹・中北(1984))
- 発達・衰弱量は考慮せず
- 予測時間: 10分ごとに60分先まで



Yoon and Nakakita (2013, 2015)



# 積乱雲(群)の生成・発達を捉えるマルチセンサーによる基礎観測(神戸エリア)(2017~2019)



## 現在のCOBRAプロジェクト実施チーム



三位一体の取り組みが広がりますように！

# 謝 辞

- 日本の偏波レーダー研究の先駆け: 吉野文雄先生
- COBRA研究プロジェクトの皆さま
  - 特に、中川勝広さん(NICT)、坪木和久さん(名大)、大石哲さん(神戸大)、鈴木賢士さん(山口大)、高橋勲先生
  - そして、大東忠保さん(名大)、山口弘誠さん(京大)、相馬一義さん(山梨大)
- 情報通信研究機構(NICT)の皆さま(COBRA)
  - 特に、中川勝広さん、川村誠治さん
  - 沖縄電磁波技術センターの皆さん
- 国土交通省の皆さま(XRAIN)
  - 特に、五道仁美さん、二階堂義則さん、土屋修一さん
- 河川管理におけるレーダー活用検討会の皆さま
  - 特に、山田正先生(中央大)
- 歴代のCOBRA研究プロジェクトの学生の皆さん

29

## ご静聴ありがとうございました。

様々な大学、機関からの若い研究者・学生達と。  
—これまで修了・卒業した学生は100名を超えます—



Since 2007



国立台湾大学、韓国世宗大学  
からも参加。

(2012年6月)



NICTフェーズドアレイレーダ設置直後  
(2014年6月)