

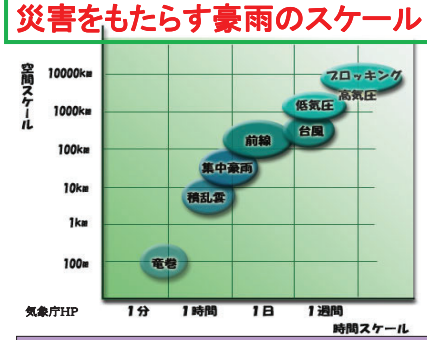
京都大学防災研究所公開講座 [第32回]
「激甚化し頻発する災害に備える」
2021年10月19日@オンライン開催

ゲリラ豪雨と線状降水帯の予兆を探る
－豪雨のタマゴとタネ－

京都大学防災研究所
気象・水象災害研究部門
山口弘誠
（専門：水文気象学）



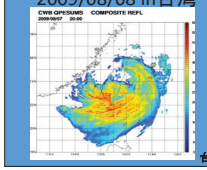
災害をもたらす豪雨のスケール



台風

範囲：1000km規模
継続時間：1日から数日

大河川での洪水、大規模水害、土砂災害
2009/08/08 in台湾



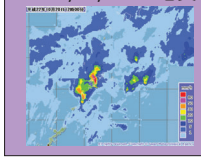


台湾中央気象局、台湾国家災害防救科技中心

集中豪雨・線状降水帯

範囲：100km規模
継続時間：数時間から半日程度

中・小河川での洪水、内水氾濫、土砂災害
2010/10/20　in奄美





南日本新聞　OFFICIAL SITE

ゲリラ豪雨（局地的豪雨）

範囲：10km規模
継続時間：1時間程度

小河川や下水道内での鉄砲水、都市内水氾濫
2008/07/28 at都賀川　　2008/08/05 at雑司ヶ谷



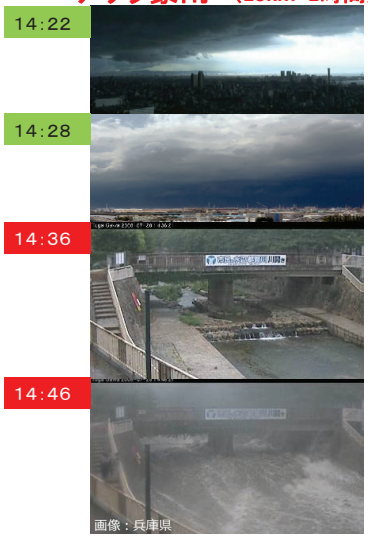
都賀川モニタリング映像



共同通信

目的：集中豪雨・ゲリラ豪雨とその災害予測を実現する！
都市化や温暖化で増加すると推測

2008年7月28日　（神戸、都賀川）
ゲリラ豪雨　（10km・1時間）



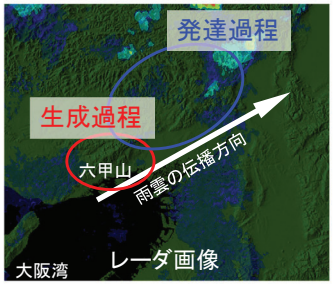
2017年7月5日（平成27年九州北部豪雨）
線状対流系・集中豪雨（100km・半日）



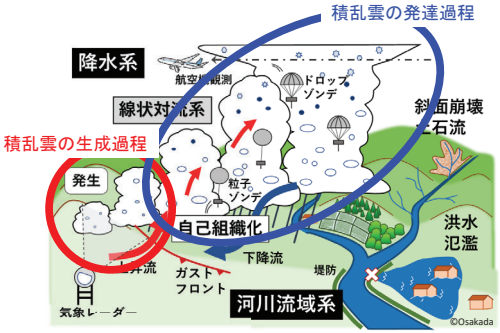
笑顔が、突然、悲惨な顔になる災害
突然の発生が予測できない現実
わずか数分でも早い情報
たとえ1人・2人でも、命を守りたい！

集中豪雨・ゲリラ豪雨の
予知・予測は最先端課題

ストームジェネシス(生成過程）の解明へ



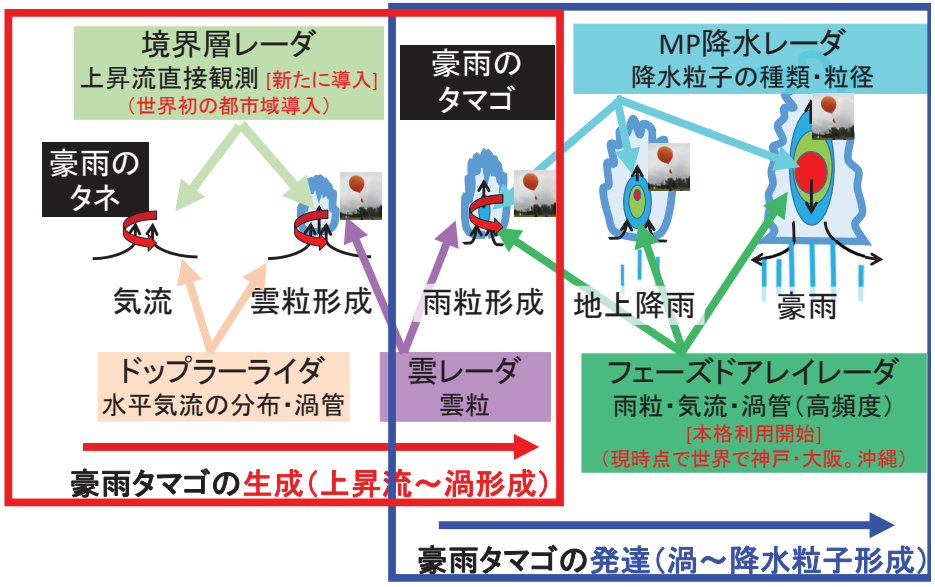
5分毎、計3時間の動画



降水レーダ画像で見えない生成過程が不明

- 発達過程に関しては、**精緻化・高解像度化**へ。
- 加えて、生成過程の**解明・モデル化**にも挑戦して、
  より早い予測、情報提供ができるようにしたい。

豪雨の生成と発達を捉える観測



本日の内容

1. 発達に関する近年の研究
   - ✓ 気象レーダー観測による危険な豪雨のタマゴの探知
   - ✓ 雲物理過程の理解の進化とモデル同化予測
   - ✓ アンサンブル予測
2. 生成に関する近年の研究
   - ✓ 時代は、降水だけでなく、降水・雲・水蒸気のステージへ
   - ✓ マルチセンサーを用いた観測
   - ✓ 都市の熱効果・形状効果を考慮できる数値モデルの開発

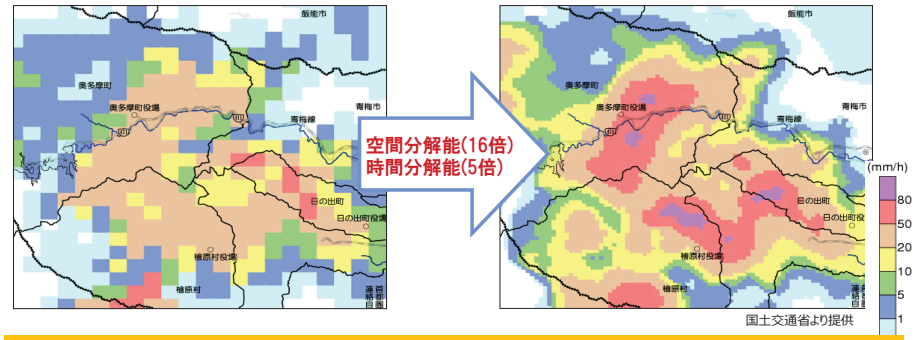


- ✓ 降雨開始からわずか10分で急激な水位上昇
- ✓ たった一つの積乱雲によってもたらされた鉄砲水
- ✓ “分”単位の時間の重要性を愕然と認識

XRAIN(エックスレイン)　2010年より導入
：国土交通省の最新レーダーネットワーク

在来型非偏波Cバンドレーダ雨量
（空間分解能：1km, 更新間隔：5分, 配信までの遅れ時間：5～6分, 地上雨量による補正：あり）

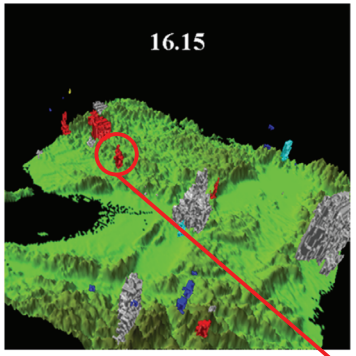
Xバンドレーダ雨量
（空間分解能：250m, 更新間隔：1分, 配信までの遅れ時間：1分, 地上雨量による補正：なし）



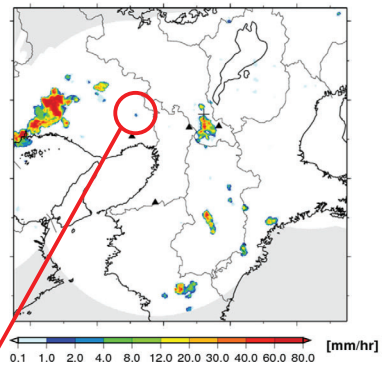
時間・空間分解能の向上と、降雨観測精度の向上

XRAINは3次元的な気流観測が可能

渦度を用いた発達する雨雲判定
（赤色が危険な雨雲）



地上の降雨強度

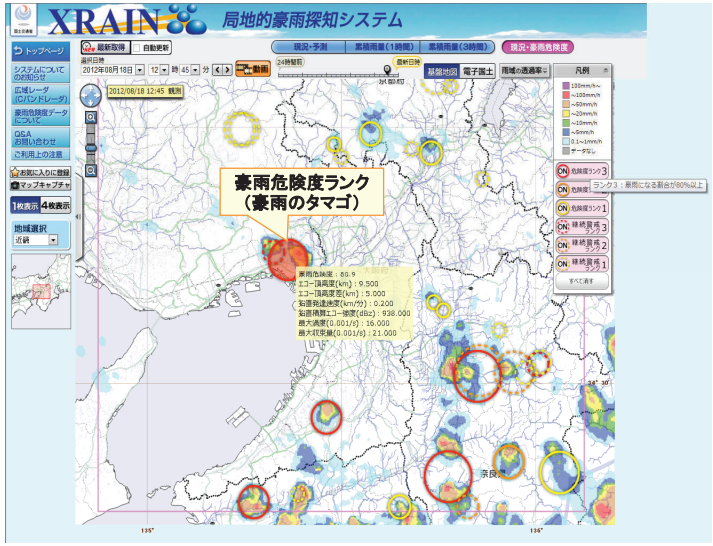


地上で降雨が開始され始めたころには、
上空で危険なセルと予測している

中北・西脇・山口(2014)

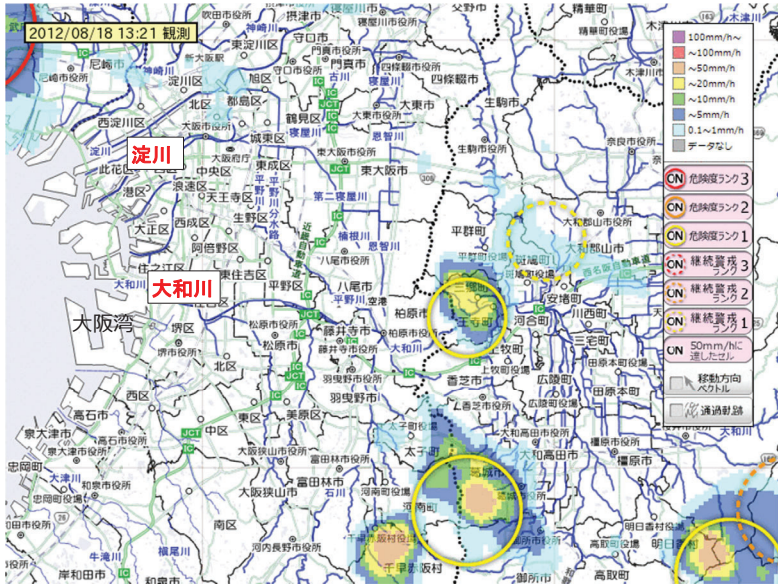
最新の研究成果が国土交通省で試験的に実用化されています。

国交省局地的豪雨探知システム（ゲリラ豪雨の早期探知と危険性予測）



国土交通省(2015)

探知事例（2012年8月18日：大阪豪雨）

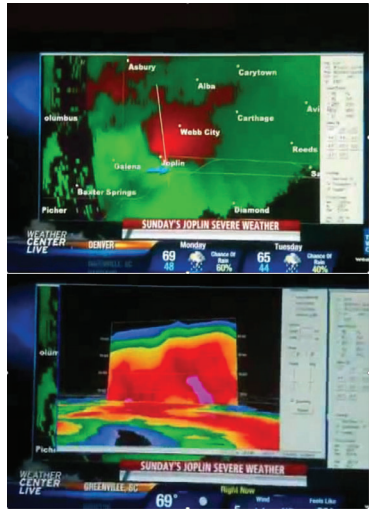


国土交通省(2015)

片山ら(2017)

米国・オクラホマでの気象ニュース番組

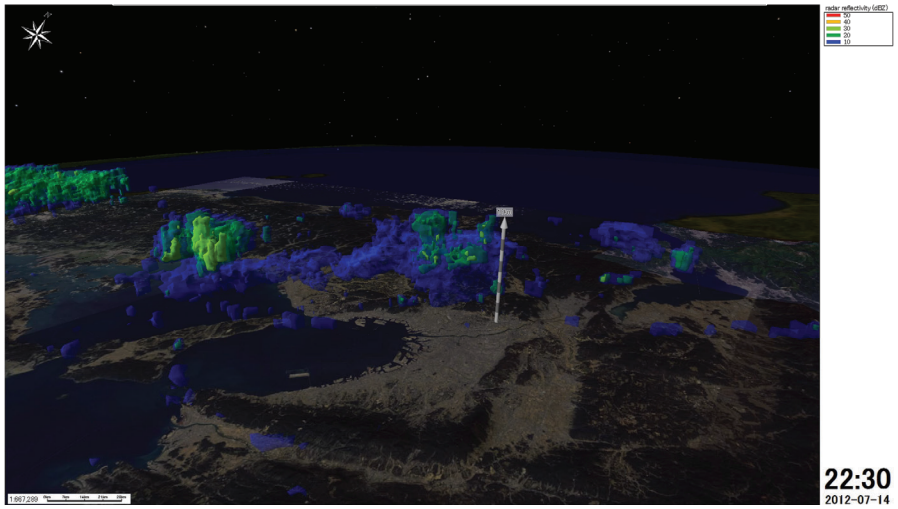




情報の高度化：　まずはレーダーの3次元化から！

3次元化の例：　2012年7月15日　京都・亀岡豪雨

国交省XバンドMPレーダー観測ネットワーク(XRAIN)

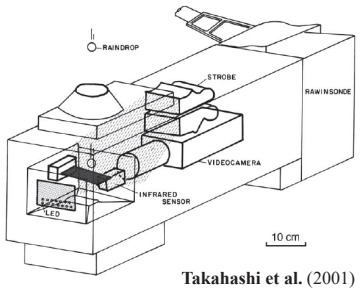


雲物理過程の解明：　最新レーダーとビデオカメラの同期観測

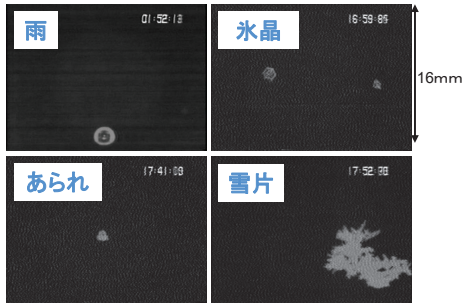




ビデオゾンデとは



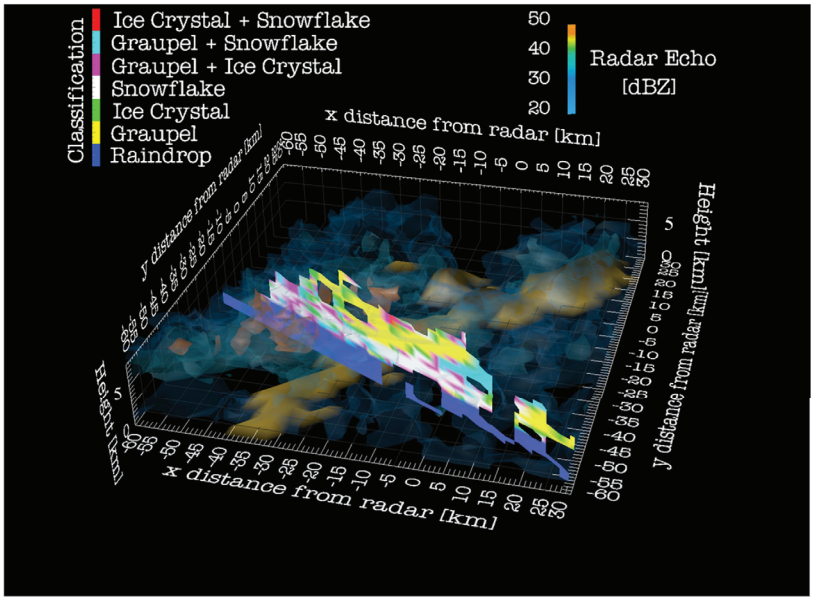
Takahashi et al. (2001)



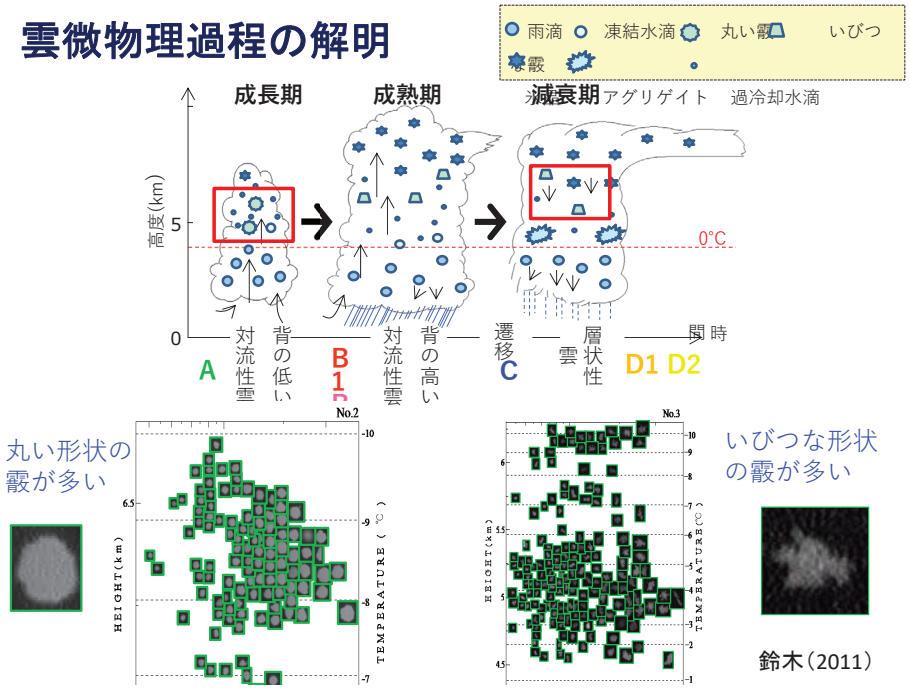
- ビデオゾンデは気球に吊り下げ、上空の降水粒子を直接撮影
- 一回の放球で1000枚程度の画像が観測される、(解析が大変)
- エクキスパートの目で、種類と大きさが判別される。

- 上空の氷相降水粒子は混在している→混在の表現を目指す。
- それを、将来の降雨予測への初期値としての導入(モデル同化)を目指した降水粒子の区分

立体観測から推定した降水粒子種類の鉛直分布

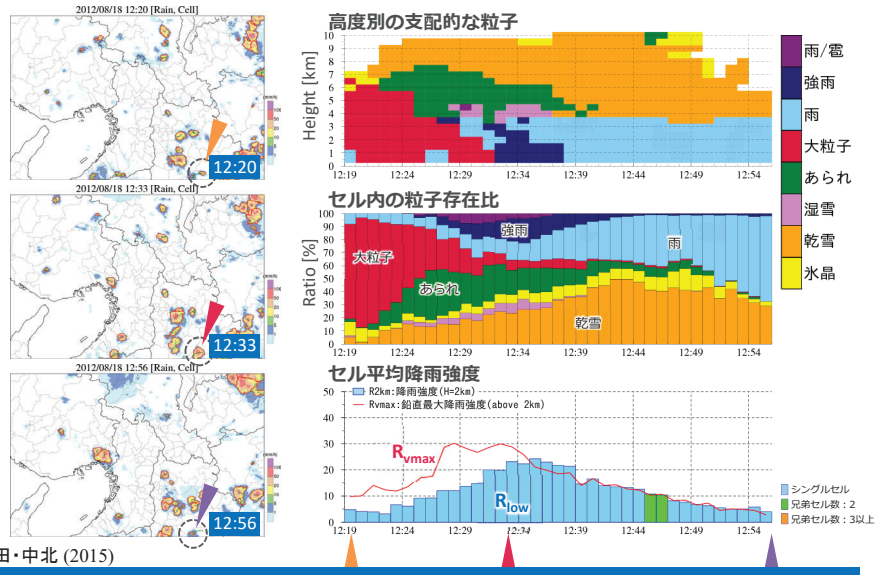


雲微物理過程の解明



鈴木(2011)

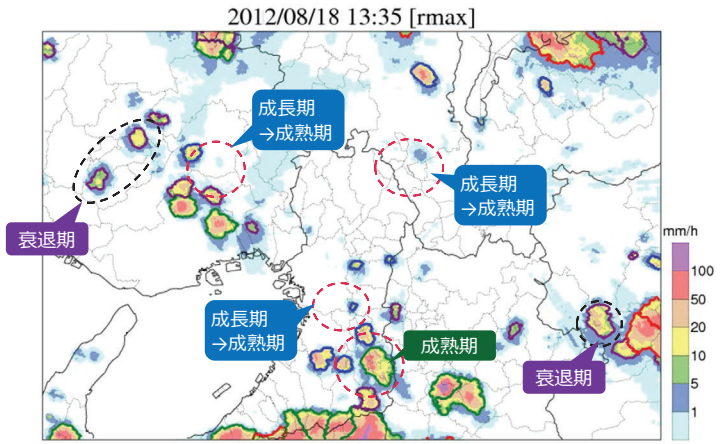
セル追跡結果×粒子判別結果 [No607]



増田・中北 (2015)

ライフステージ判別結果

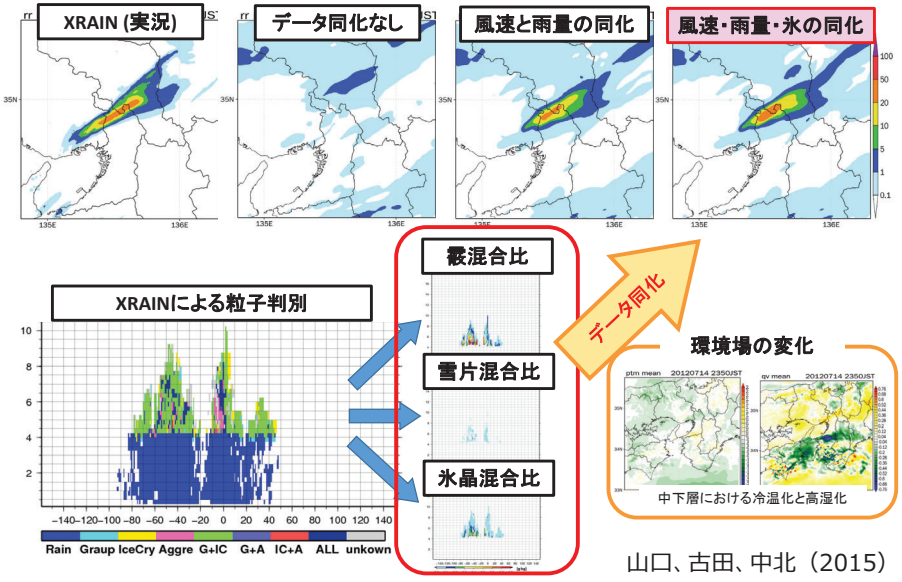
成長期　成熟前期　成熟後期　衰退期



増田・中北 (2015)

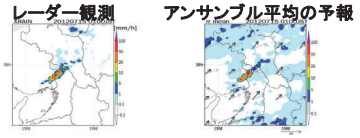
レーダー観測情報を活かした予測シミュレーション

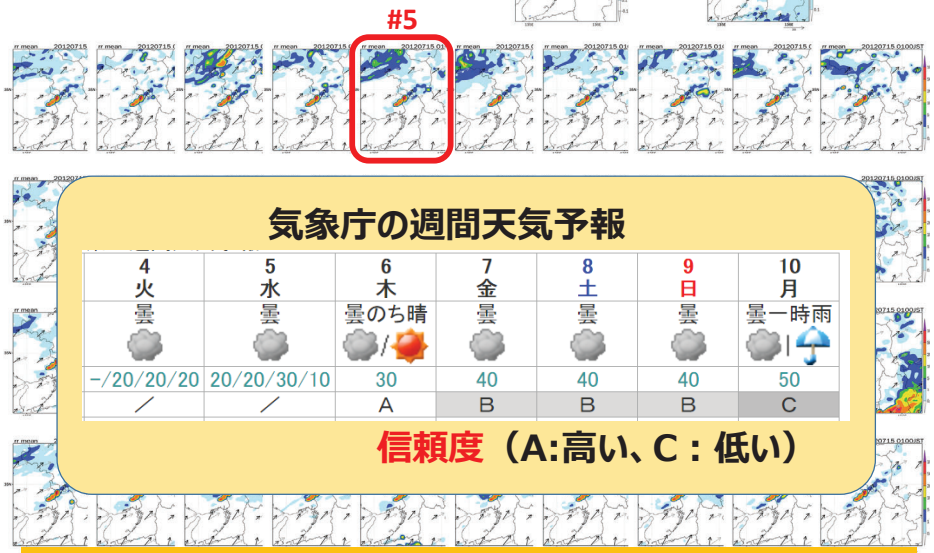
2012年京都亀岡豪雨(線状降水帯)に対する観測・予測積算降水量



山口、古田、中北(2015)

アンサンブル予報の利用





気象庁の週間天気予報

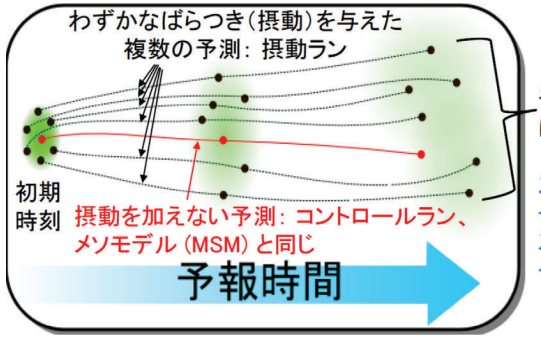
4 火	5 水	6 木	7 金	8 土	9 日	10 月
曇	曇	曇のち晴	曇	曇	曇	曇一時雨
−/20/20/20	20/20/30/10	30	40	40	40	50
／	／	A	B	B	B	C

信頼度（A:高い、C：低い）

いくつかのメンバーは精度の高い予測をしている。 どのように利用するかが重要

気象庁メソアンサンブル予報（MEPS） 2019年～

- 初期値作成、時間積分などにおいて生じ得る誤差の要因に対応するわずかな「ばらつき」（摂動）を加えた複数の予測（アンサンブルメンバー）により予測の不確実性を評価する手法

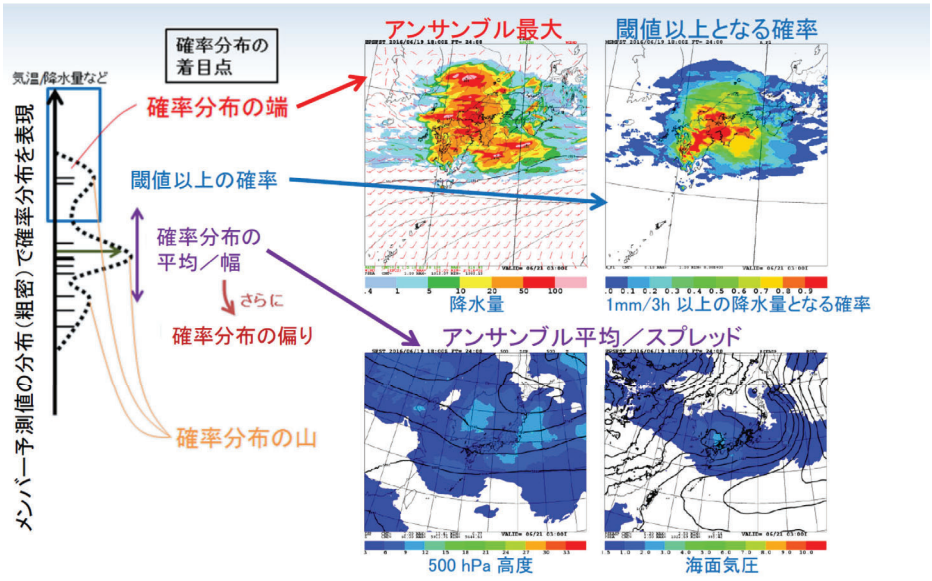


予測値のばらつきの大きさ（スプレッド）は MSM による予測の信頼度を表す

スプレッドが小さい
→ 信頼度が高い（不確実性が小さい）
スプレッドが大きい
→ 信頼度が低い（不確実性が大きい）

気象庁資料より

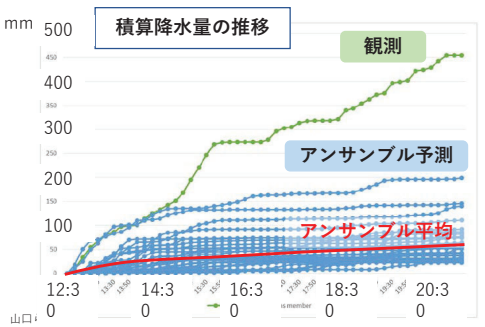
気象庁メソアンサンブル予報（MEPS） 2019年～



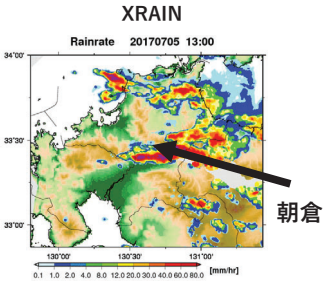
気象庁資料より

積算降水量のアンサンブル予測
H29.7月九州北部豪雨の事例

平成29年7月九州北部豪雨（線状降水帯）



アンサンブル平均　⇒かなり過小予測（α＝3～10）
最大値のメンバー　⇒過小予測（α＝1～3）



- 再現性が高いメンバーが存在しうる。
- 気象は非線形・複雑系であり、正規分布をとるとは限らない。
- アンサンブル最大メンバーを超える現象も起こりうる。

予測が外れることの価値

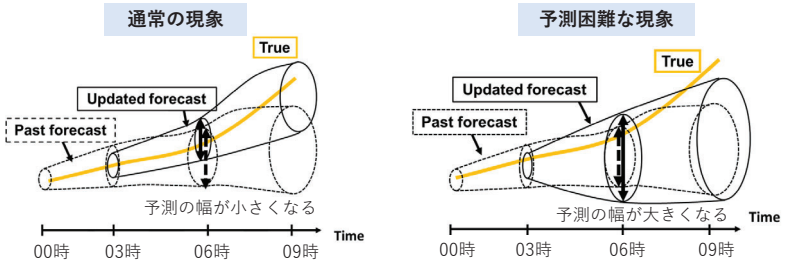
- 最大シナリオ（アンサンブル最大メンバー）を超えてくる可能性があるというリスク情報の創出が防災対応の一手目を確実に早く出すことができると考えた。すなわち、“予測が外れること”を予測することに価値がある。科学的な観点として、“正解を当てにいく予測”ではなく、“不正解を当てにいく予測”。

- 社会学的な観点として、“確実にコレが起こるという予測”が現時点で困難である以上、“コレが起こるかもしれない”という不確実な予測と向き合うほかない。しかし、社会はこの受容性を持つことが苦手。ならば逆転の発想で、“予測しきれないようなことが起こるという、確かな予測”を上手に使うよう社会の意識・体制を変革できる。

研究手法の根幹となる考え

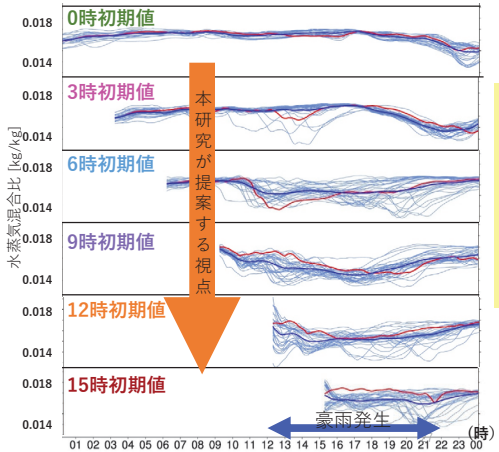
過去の予測情報も用いる

・予測困難な現象では初期値が更新されても予測精度があまりよくならない
・**アンサンブル予測が更新された時の変化（更新履歴）**に特徴があるという仮説



初期値が更新されるとばらつき（予測の幅）が大きくなる度合い
→**GFU(Growing Forecast Uncertainty Index)**

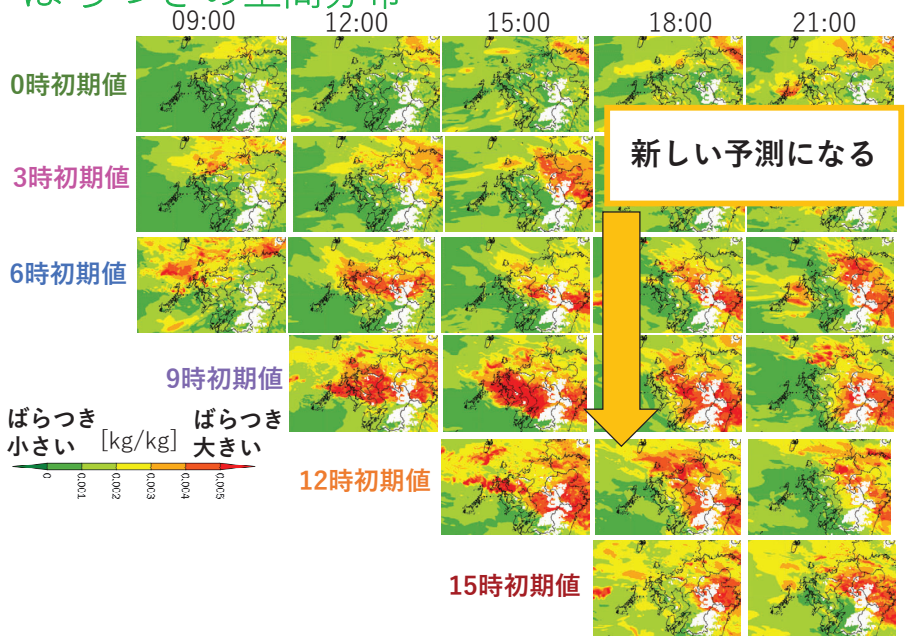
水蒸気量のアンサンブル更新履歴（2017年九州北部豪雨事例）



- 左から右に見るのでは無く、上から下に見る（更新履歴）が本研究が提案する視点。

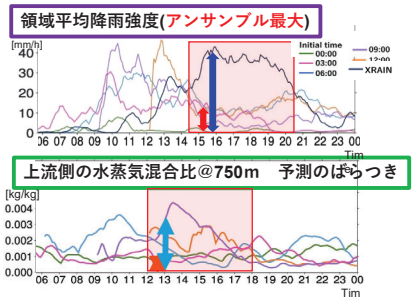
- 3時初期値のアンサンブル予測の幅を見ると、0時初期値と比較して、ざわめき始めている。時間を追うごとに顕著。

ばらつきの空間分布

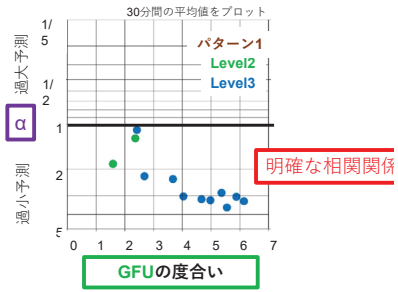


最悪ケース雨量予測への検討

アンサンブル最大メンバーでα値を作成



パターン１の度合いもGFUの度合いも大きい時，αは大きい（より過小予測）

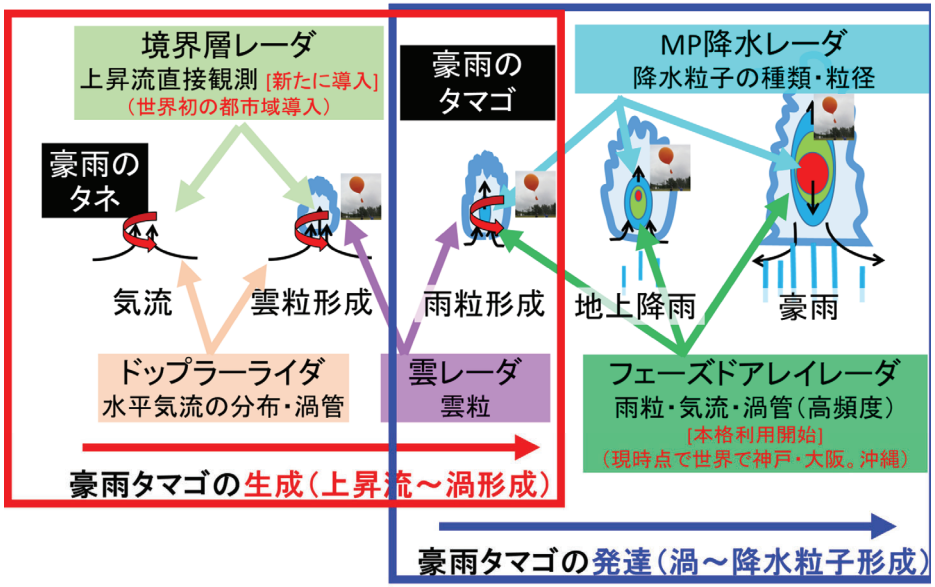


- GFUが大きいほど（＝予測が更新されるとばらつきがむしろ大きくなる度合いが高いほど）、予測が過小評価していた。
- この関係を利用すると、GFUが大きいとアンサンブルの予測の幅を超えて危険な何かが起こる可能性がある。

本日の内容

1. 発達に関する近年の研究
   - ✓ 気象レーダー観測による危険な豪雨のタマゴの探知
   - ✓ 雲物理過程の理解の進化とモデル同化予測
   - ✓ アンサンブル予測
2. 生成に関する近年の研究
   - ✓ 時代は、降水だけでなく、降水・雲・水蒸気のステージへ
   - ✓ マルチセンサーを用いた観測
   - ✓ 都市の熱効果・形状効果を考慮できる数値モデルの開発

豪雨の生成と発達を捉える観測



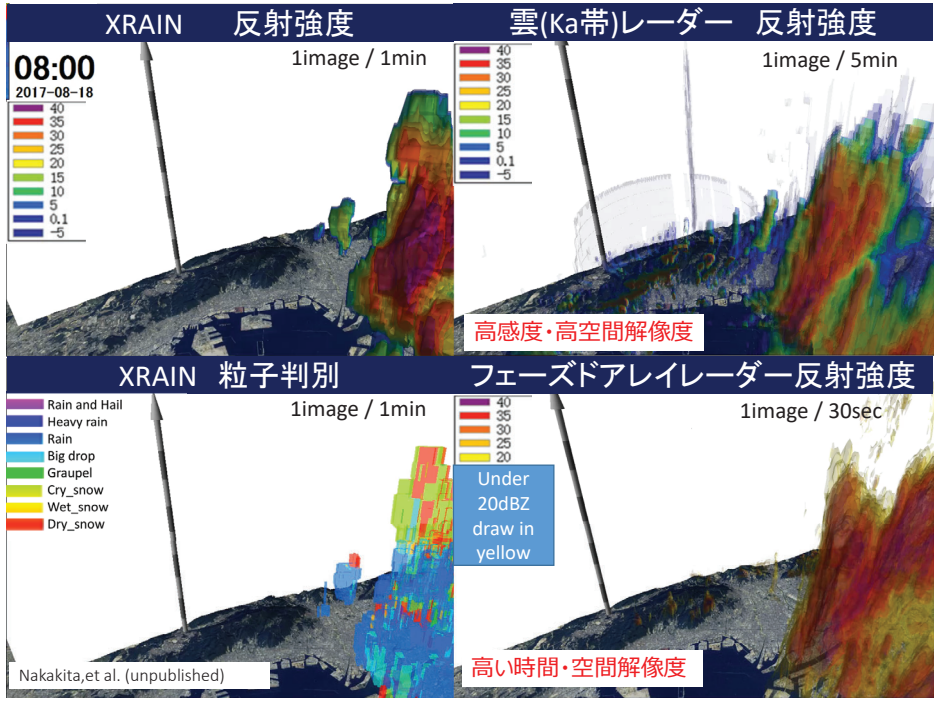
神戸集中観測



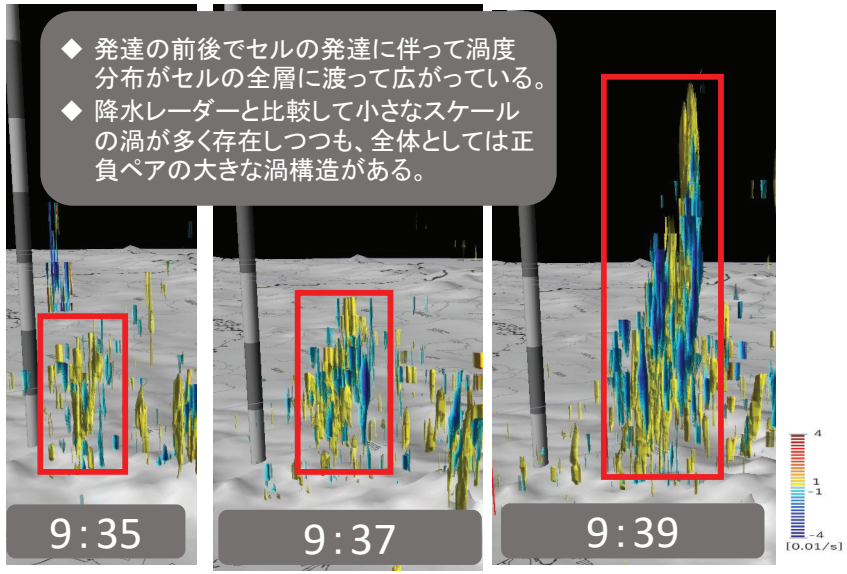
中北ら（2015～）







雲レーダー （降水粒子形成前の雲粒子を捉える）



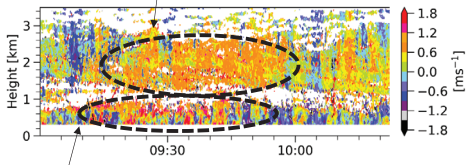
中北・新保・大東・山口（2019）

境界層レーダー （都市上空の熱的上昇流を捉える）

境界層レーダー

2018年8月21日＠神戸

境界層より上空で、継続して上昇流を確認。



9時過ぎから、境界層内部では、強い上昇流と下降流が交互に発生（通過）

タイムラプスカメラ

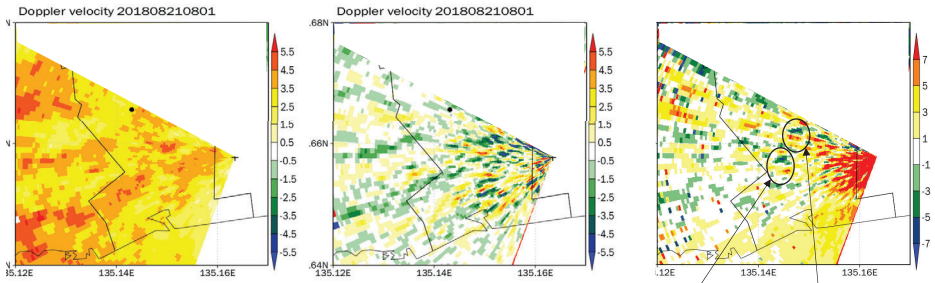


徐々に積雲が発生

ドップラーライダー観測　（晴天時の気流を捉える）

8/21　08:00～13:00の5分ごとの動画

ドップラー風速　　鉛直渦度　　鉛直渦度の4時間平均値



丘の手前

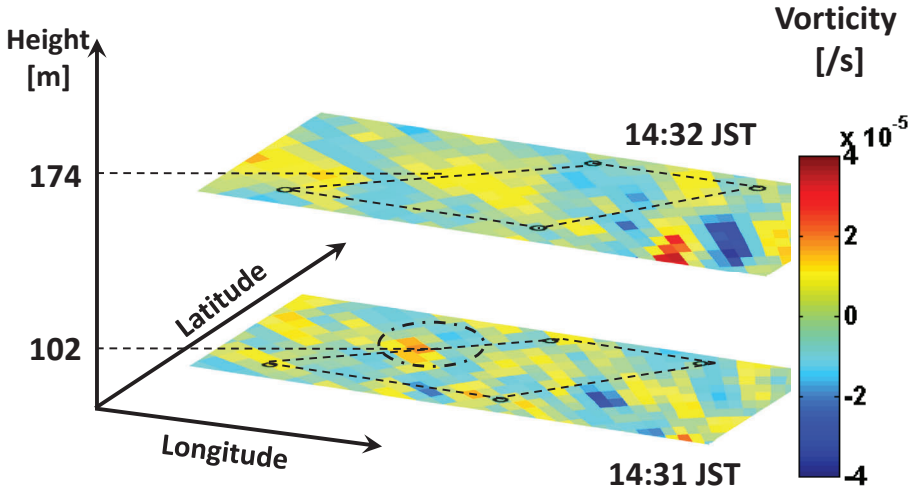
高層ビル群

タイムラプスカメラ（30秒毎）



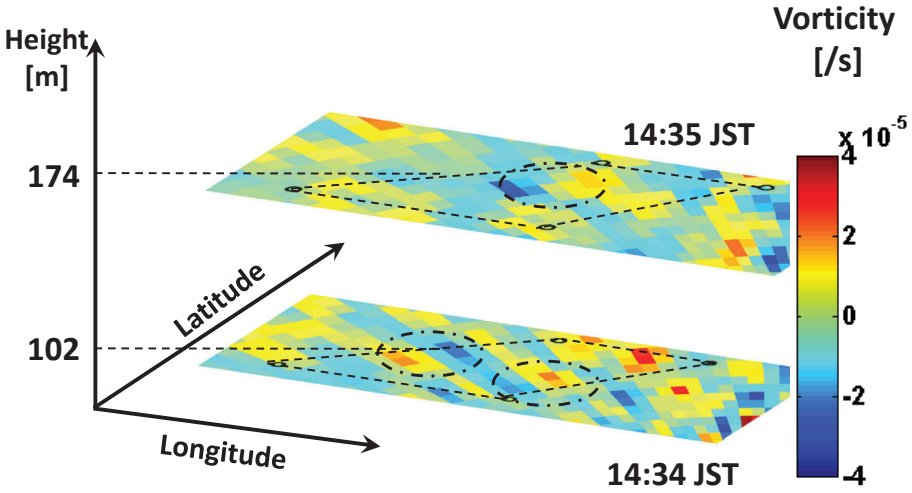
雲底に気流渦を確認

ドップラーライダー観測　気流渦（積雲生成前）



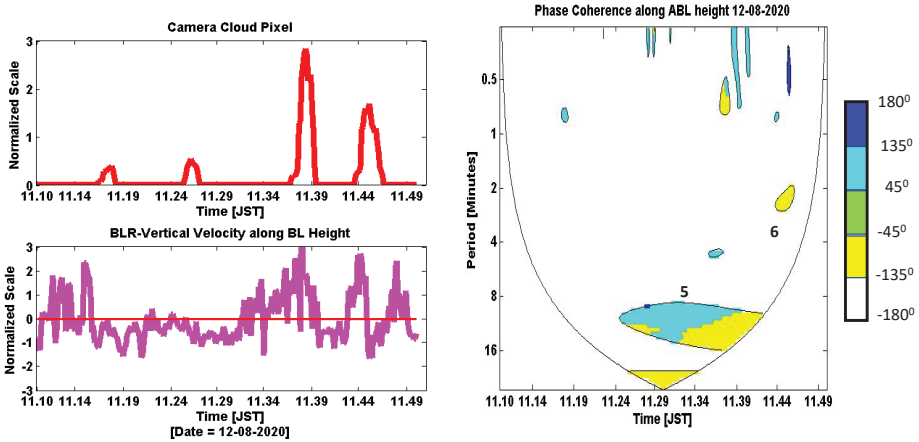
（Ari, Yamaguchi and Nakakita, 2021）

ドップラーライダー観測　気流渦（積雲生成前）



（Ari, Yamaguchi and Nakakita, 2021）

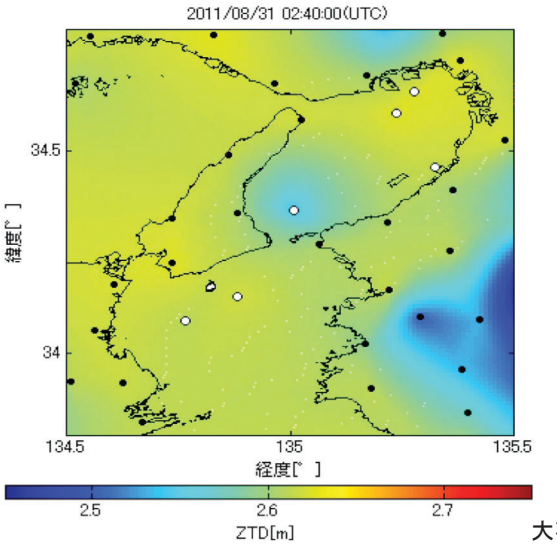
雲量（カメラ）と上昇流（境界層レーダー）



（Ari, Yamaguchi and Nakakita, 2021）

海洋GNSS（GPS）による水蒸気の鉛直積算量観測

台風12号（9/3午前10時前に高知県東部に上陸）
GPS気象　8/31(水)0:00～9/03(土)23:59　(UTC)

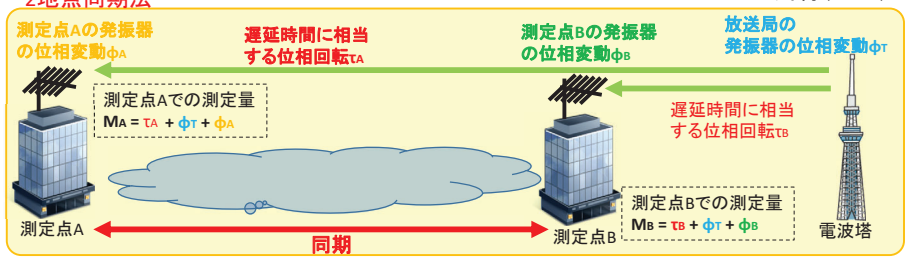


大石、中北（2011）

地上デジタル放送波を利用した大気下層の水蒸気量推定

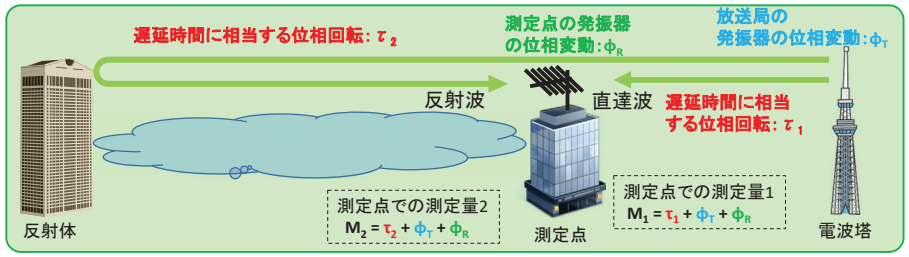
2地点同期法

川村（2016）



多点展開に有利（同期の部分に光ファイバー・CATVを用いて現在実証実験中）

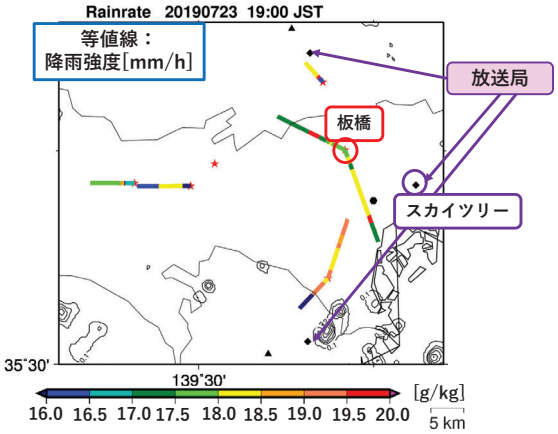
反射法



配置の条件に制約はあるが、うまく反射体が見つかる場合は同期不要で観測できる

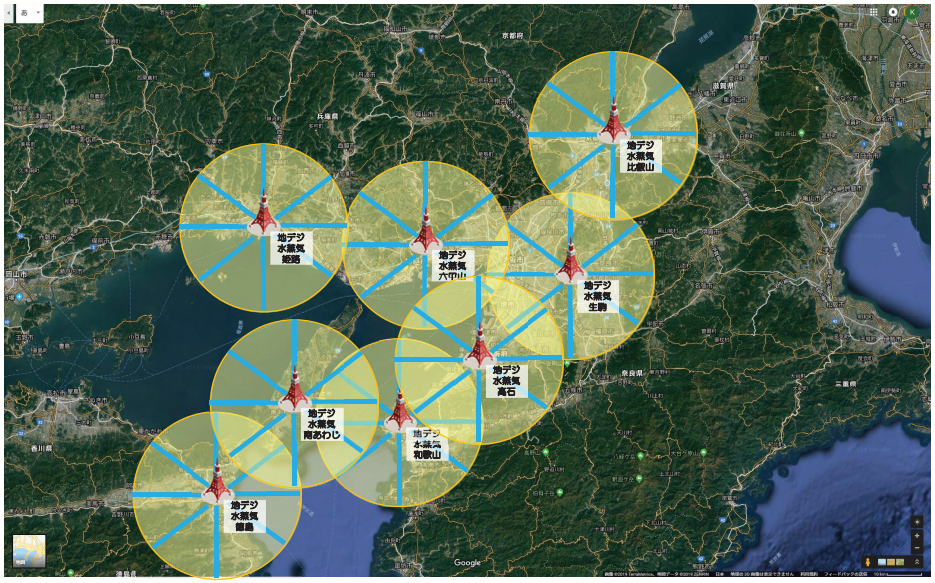
地上デジタル放送波を利用した大気下層の水蒸気量推定

地デジ水蒸気：地表面付近の水蒸気観測



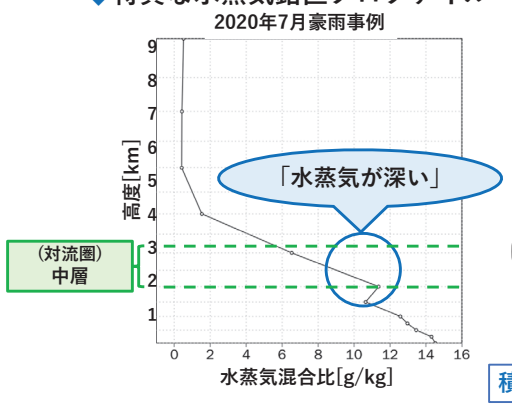
（山口, 村瀬, 中北, 2021）

地デジ水蒸気観測 （メソβ～ミクロスケール）

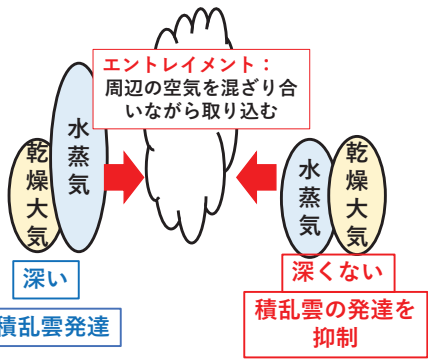


でも本当は、、、鉛直分布情報が欲しい。

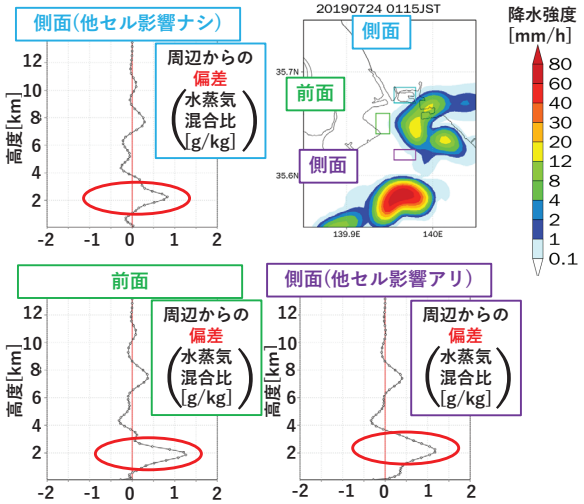
◆特異な水蒸気鉛直プロファイル



◆中層水蒸気の影響



46



モデル解析

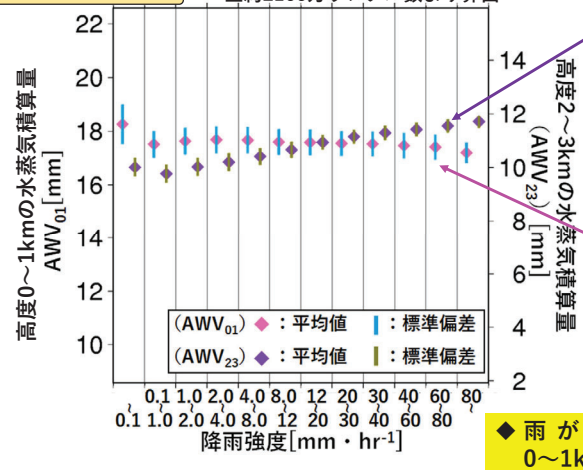
高度2km付近で、周囲よりも水蒸気が多い。

47

統計的解析

9時間分(⊿t：5分)，解析範囲全エリア(⊿x：500m)
全約2100万サンプル数より算出

モデル解析



高度2～3kmの水蒸気は降雨強度との相関が高い

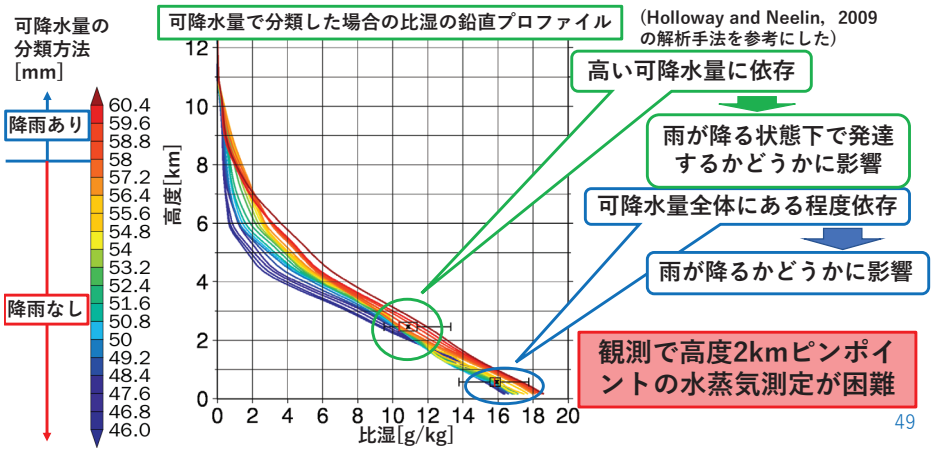
高度0～1kmの水蒸気は降雨強度との相関がない →ノイズ

◆雨が降るかどうかは、0～1km高度の水蒸気が重要。
◆雨が発達するかどうかは、2～3km高度の水蒸気が重要

統計的解析

9時間分(⊿t：5分)，解析範囲全エリア(⊿x：500m)
全約2100万サンプル数より算出

モデル解析



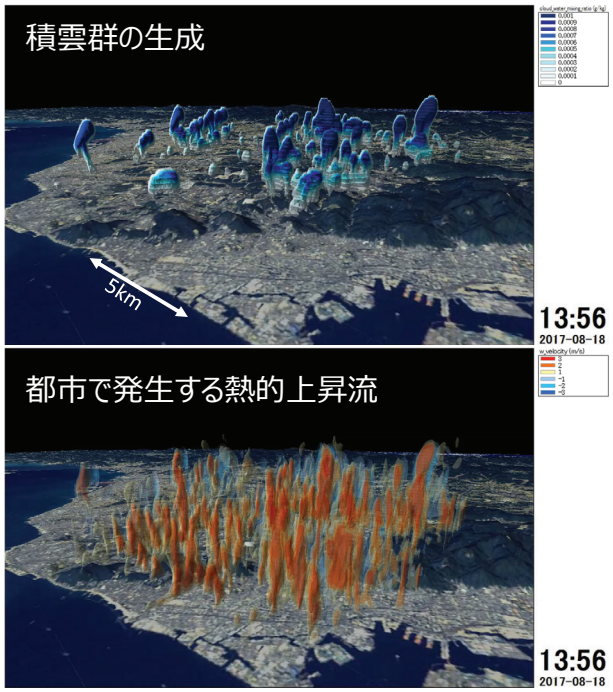
49

水蒸気の鉛直分布を捉える測器＝水蒸気ライダーに大いに期待。

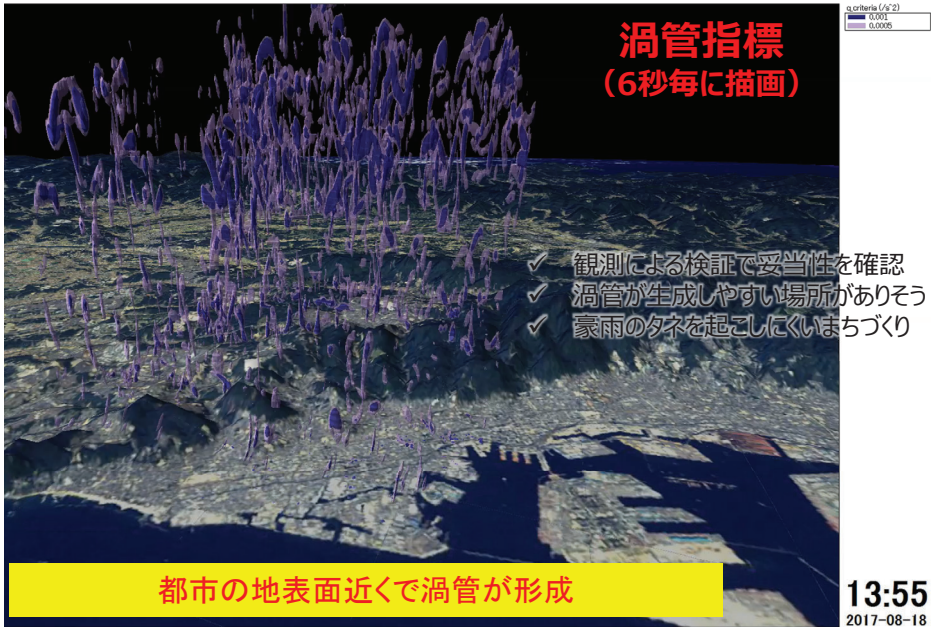
豪雨のタネのシミュレーション



- ✓ 気流の乱れを正確に解くLESモデル
- ✓ 水平60m解像度



豪雨のタネのシミュレーション



まとめ

1. 発達に関する近年の研究
   - ✓ 気象レーダー（XRAIN）の気流観測と粒子判別観測によって、豪雨予測精度が向上。
   - ✓ リアルタイム監視の上で、重要な情報を提供しているので、3次元化表示や高度な情報を普及できるのではないか。
   - ✓ アンサンブル予測を防災情報へ翻訳できつつある。外れを予測する新たな概念。

2. 生成に関する近年の研究
   - ✓ 時代は、降水だけでなく、降水・雲・水蒸気のステージへ
   - ✓ マルチセンサーを用いた観測で気流渦がタマゴの生成に重要。
   - ✓ 気象にとってのミクロスケールである都市効果は決してランダムではなく、物理に基づくと言える手前まできている。