

観測データとシミュレーションに基づくゲリラ豪雨予測研究



三好 建正
みよし たけまさ

理化学研究所 計算科学研究機構

Takemasa.Miyoshi@riken.jp



別所康太郎(気象衛星センター)、瀬古弘(気象研)、富田浩文(理研)、
佐藤晋介(NICT)、牛尾知雄(大阪大学)、石川裕(東京大学)



Who am I?

Takemasa Miyoshi, Ph.D.
Team Leader
Data Assimilation Research Team
RIKEN Advanced Institute for Computational Science
Visiting Professor
University of Maryland, College Park
Visiting Senior Research Scientist
Earth Simulator Center, JAMSTEC



Education

- 2005 Ph.D. in Meteorology, University of Maryland, College Park, Maryland, USA (Dissertation PDF)
- 2004 M.S. in Meteorology, University of Maryland, College Park, Maryland, USA (Scholarly Paper PDF)
- 2000 B.S. in Physics, Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto, Japan

Professional experience

- 2012–present Team Leader, Data Assimilation Research Team, RIKEN, Japan
- 2013–present Visiting Professor, University of Maryland, College Park, Maryland, USA
- 2013–present Visiting Senior Research Scientist, Earth Simulator Center, JAMSTEC, Japan
- 2011–2012 Assistant Professor, University of Maryland, College Park, Maryland
- 2009–2011 Research Assistant Professor, University of Maryland, College Park, Maryland
- 2009 Visiting Assistant Researcher, University of California, Los Angeles, California
- 2005–2008 Scientific Official, Numerical Prediction Division, Japan Meteorological Agency
- 2003–2005 Graduate Student, University of Maryland, College Park, Maryland
- 2002–2003 Scientific Official, Numerical Prediction Division, Japan Meteorological Agency
- 2000–2002 Technical Official, Planning Division, Japan Meteorological Agency

データ同化

観測・実験データ

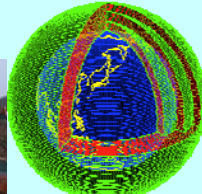


©Vaisala

データ同化



シミュレーション

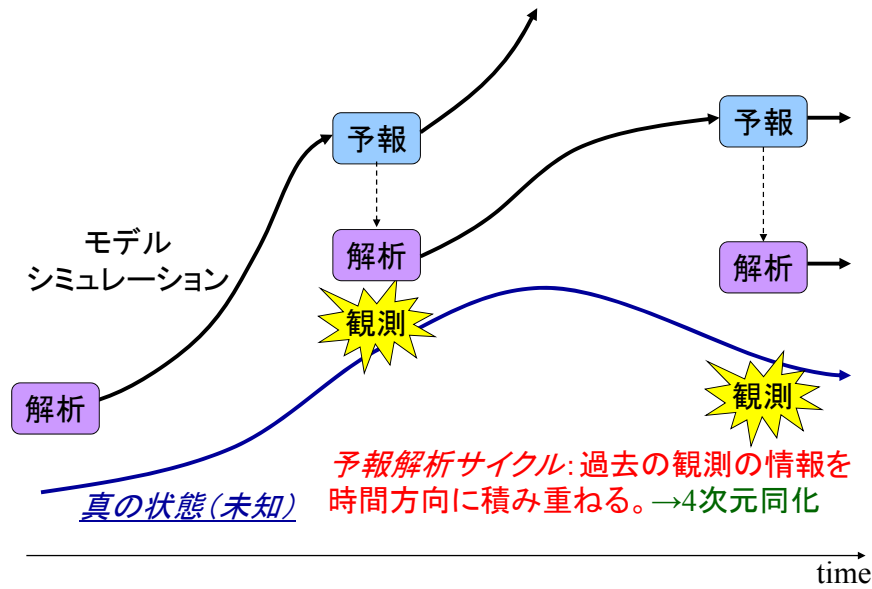


データ同化は、シミュレーションと現実世界を結びつけ、相乗効果を生み出す。

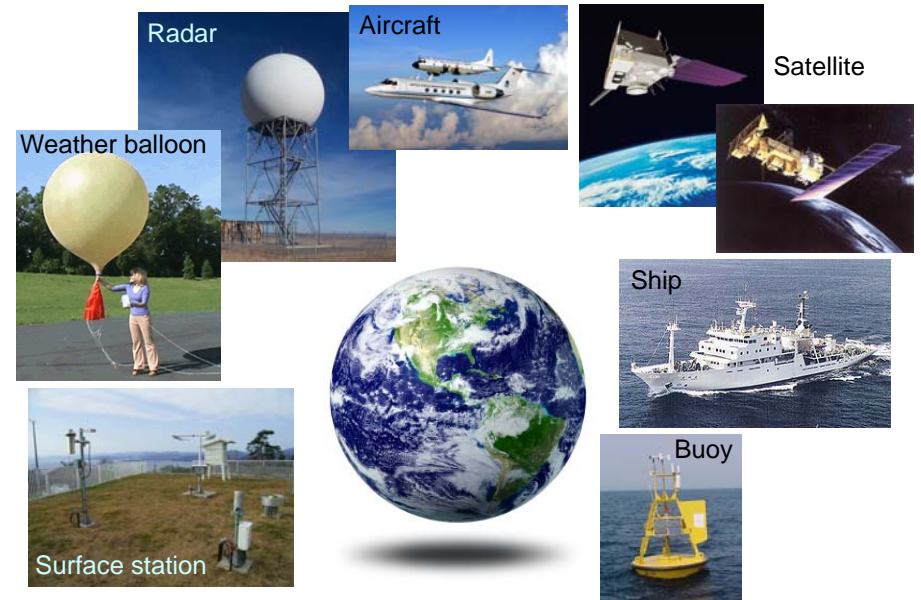
データ同化の役割、方法、効果

- **役割:**シミュレーションと現実世界をつなぐ
- **方法:**統計数理のアプローチ、データドリブン
- **効果:**
 - シミュレーションと現実世界のギャップを低減
 - シミュレーションの誤差評価
 - シミュレーション精度の向上
 - 初期値の改善
 - モデルパラメータの最適化
 - モデル誤差の推定・補正
 - 観測・実験システムの最適化
 - 観測・実験システムの効果を評価
 - 効果的な観測・実験システムの提言

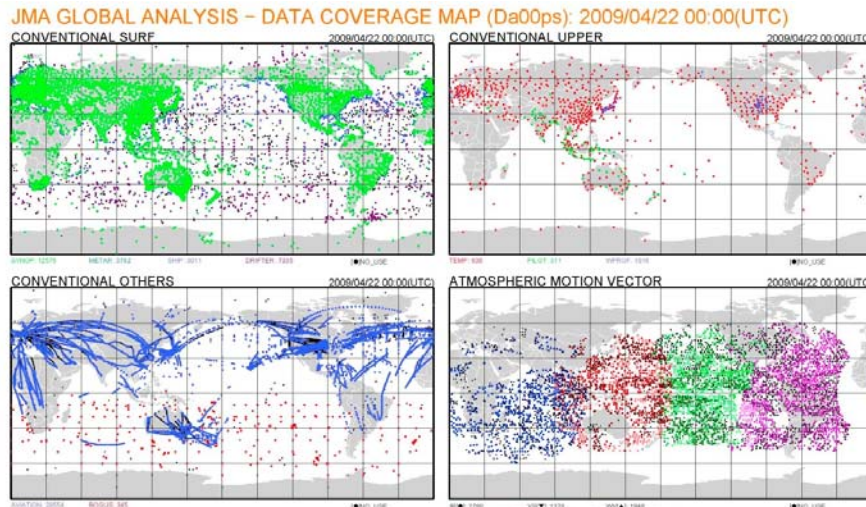
数値天気予報のしくみ



Global Observing System

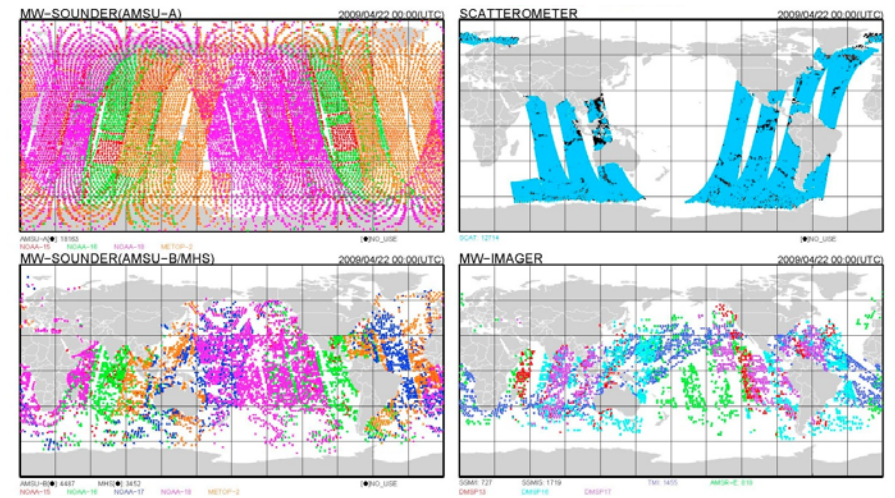


Collecting the data



World's effort! (no border in the atmosphere)

Collecting the data



1つ1つのデータを大切に!

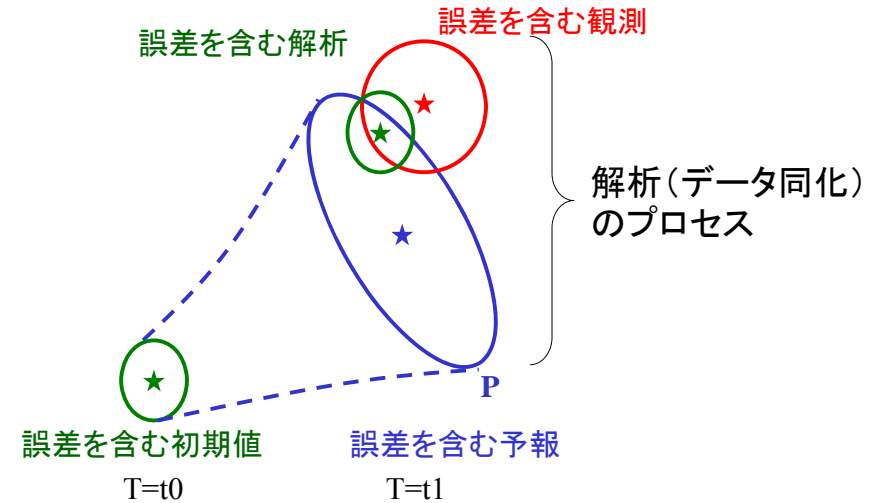
データ同化



データ同化は、シミュレーションと現実世界を結びつけ、相乗効果を生み出す。

双方の情報を最大限に抽出

確率論的な表現



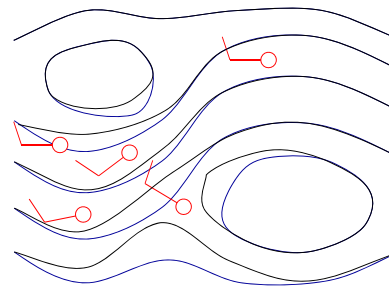
解析(データ同化)のプロセス

背景場を観測で修正する

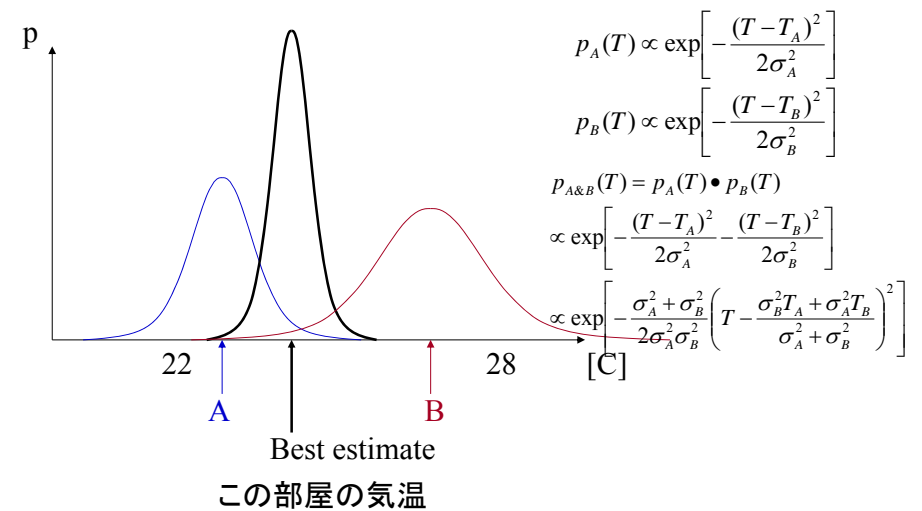
背景場も観測も、真の状態(未知)のまわりに分布

真の状態について、独立な情報を提供する。

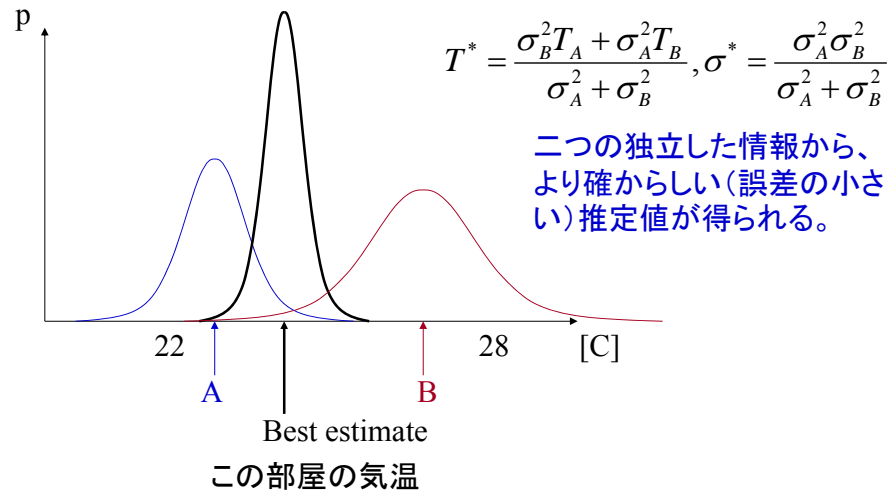
二つの情報を組み合わせることで、より確からしい解析値を得る。



情報の組み合わせ(1次元の例)



情報の組み合わせ (1次元の例)



多次元変数への拡張

変数を多次元に一般化する。

背景場の確率密度関数 (PDF)

$$p^f(\mathbf{x}) \propto \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^f)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^f)\right]$$

背景誤差共分散行列

観測のPDF

$$p^o(\mathbf{x}) \propto \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{H}\mathbf{x} - \mathbf{y}^o)^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{H}\mathbf{x} - \mathbf{y}^o)\right]$$

合成確率

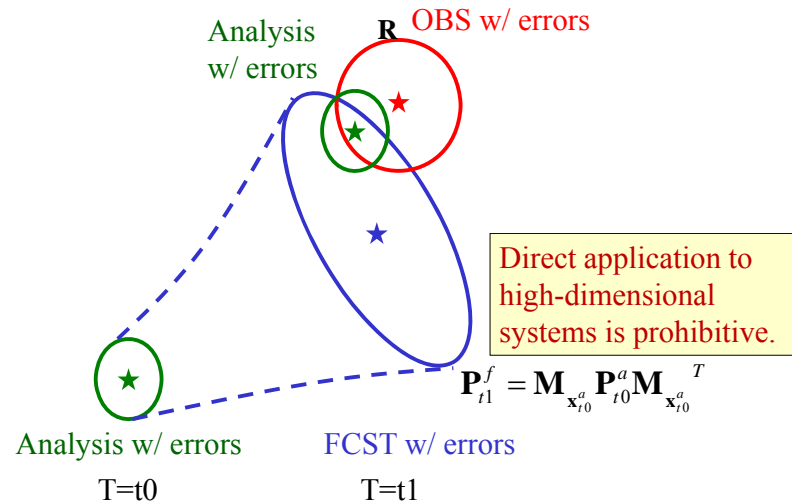
$$p^{f \& o}(\mathbf{x}) = p^f(\mathbf{x}) \cdot p^o(\mathbf{x})$$

観測誤差共分散行列

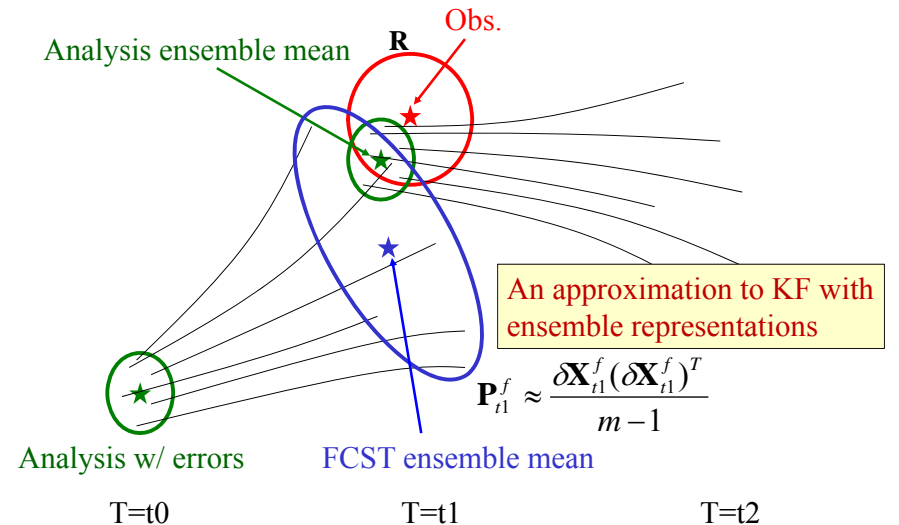
$$\propto \exp\left[-\frac{1}{2}\{(\mathbf{x} - \mathbf{x}^f)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^f) + (\mathbf{H}\mathbf{x} - \mathbf{y}^o)^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{H}\mathbf{x} - \mathbf{y}^o)\}\right]$$

これを最大にするような \mathbf{x} が解析値を与える。

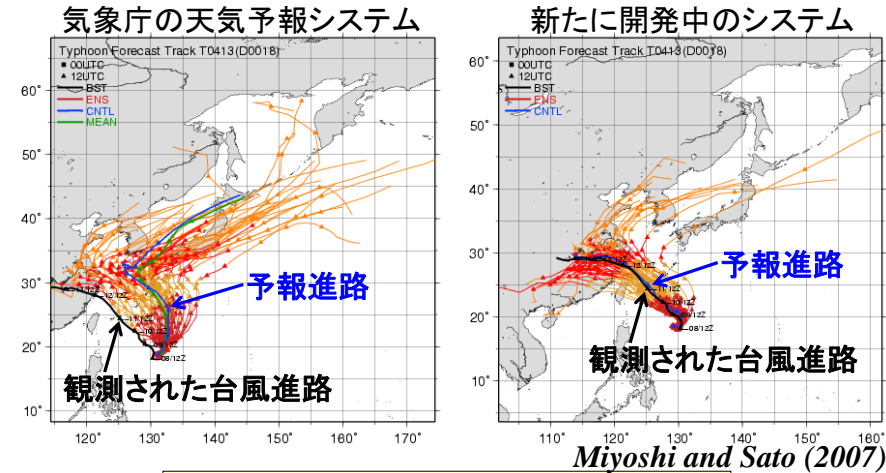
Kalman Filter (KF)



Ensemble Kalman Filter (EnKF)



データ同化による台風予報の改善

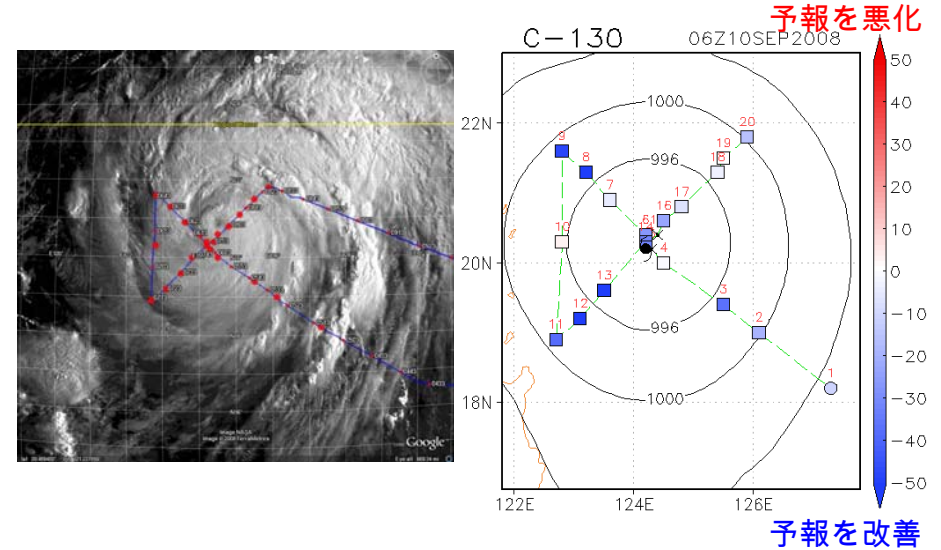


同じ観測データと天気予報モデルを使用。
データ同化は重要!

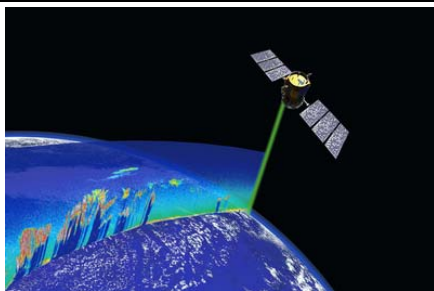
Miyoshi and Sato (2007)

観測の“価値”を計算する

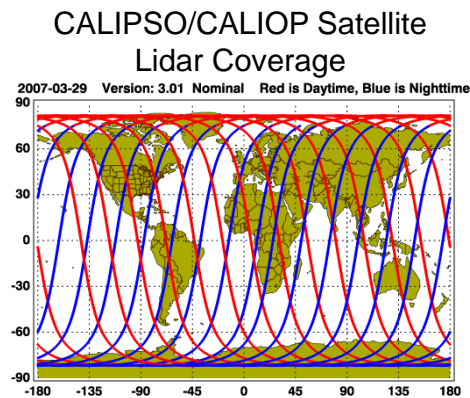
航空機観測についてその“価値”を計算した例



CALIPSO衛星データの同化(世界初)



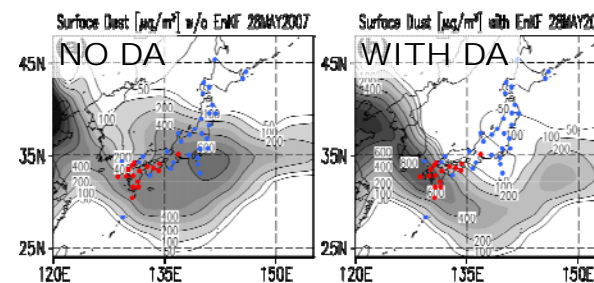
(Courtesy of NASA)



We developed the forward operator (model variables → observed quantity)
 for CALIPSO Level 1B data.

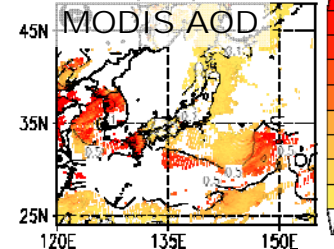
黄砂分布が改善

Surface dust distribution and station obs



- Blue stations: no dust observed
- Red stations: dust observed

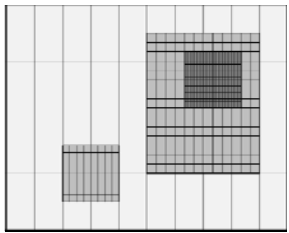
MODIS Optical Depth 28MAY2007



Assimilating CALIPSO data clearly improves horizontal surface-dust distribution.

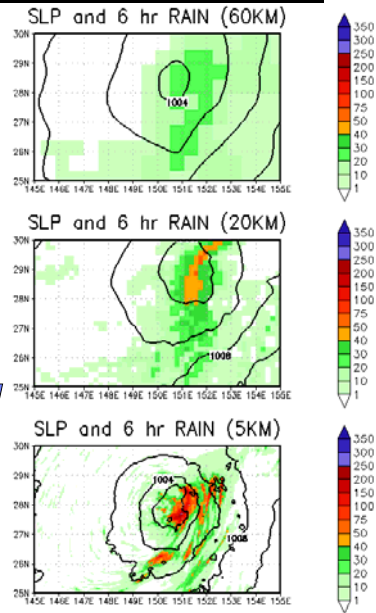
(Sekiyama et al. 2010)

データ同化の高解像度化



任意の格子構造に対応した
アルゴリズム研究

高解像度化

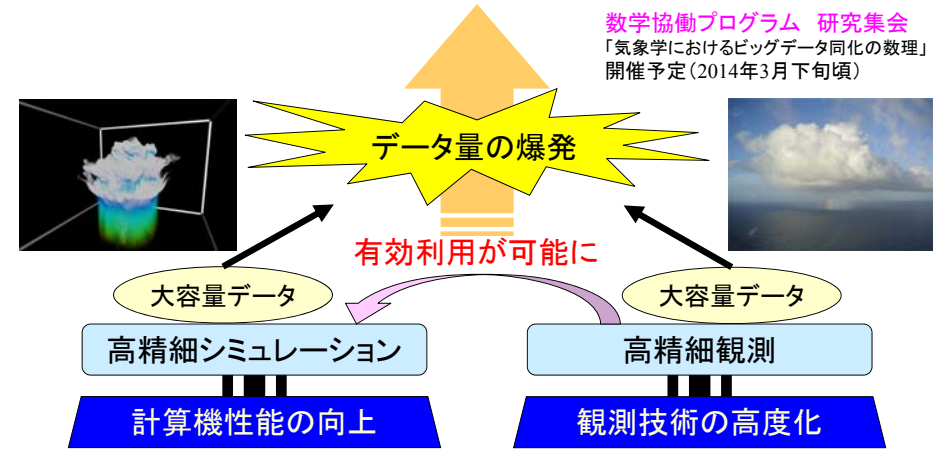


京による計算結果より

今後20年を考える

“ビッグデータ同化”の時代へ

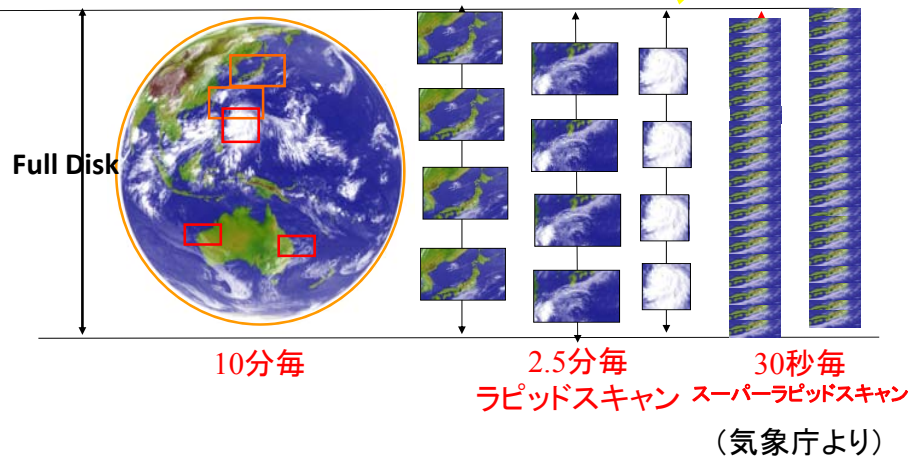
数学協働プログラム 研究集会
「気象学におけるビッグデータ同化の数理」
開催予定(2014年3月下旬)



次世代静止気象衛星

ひまわり8号: H26打ち上げ予定
ひまわり9号: H28打ち上げ予定
(次世代衛星としては世界初)

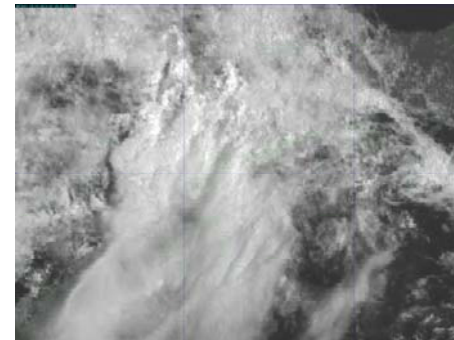
30秒毎の狭領域撮像
スーパーラピッドスキャン



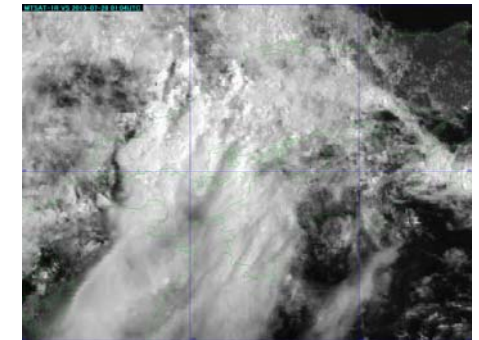
MTSATによる高頻度観測事例

山口・島根県における豪雨

2013年7月28日午前10時-13時



可視 高解像度 5分毎
(次期ひまわりの半分)



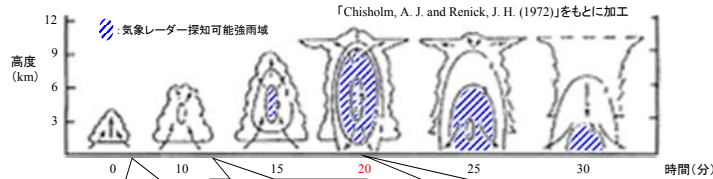
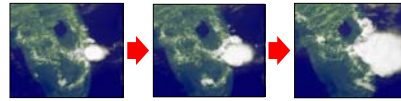
可視 低解像度 30分毎

高解像度衛星画像による豪雨の検知

積乱雲の発達の早期検知

短時間間隔で取得される衛星画像を分析処理し、積乱雲を発生段階からレーダーよりもいち早く監視・検出し、集中豪雨や突風等の発生に対する早期警戒情報を提供する。

衛星で捉えた積乱雲の短時間連続画像



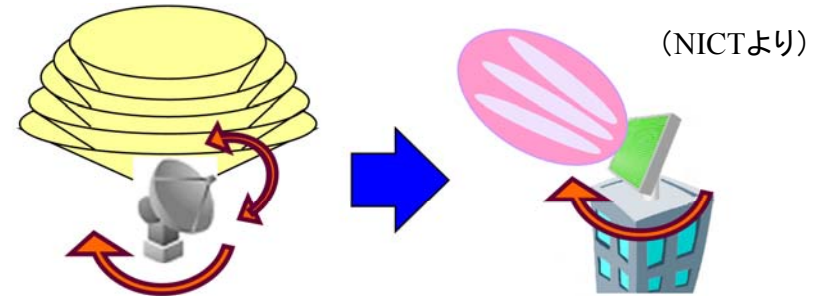
衛星画像:
雲の発生段階から
捕捉・監視

衛星画像:
急速な発達を自動解析
→早期警戒情報

気象レーダー:
既に豪雨を降らせる状態
になってから探知

(気象庁より)

次世代型フェーズドアレイレーダー

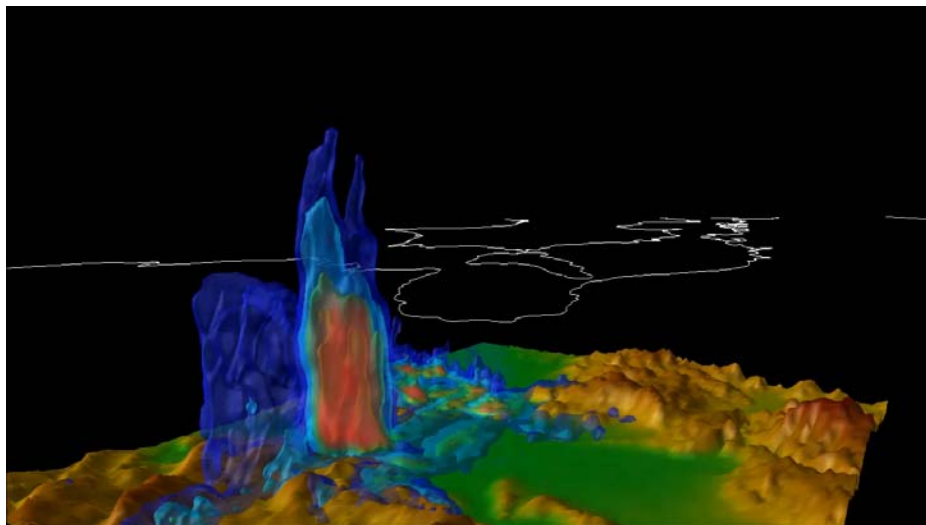


パラボラアンテナによる
3次元立体観測 (5~10分)
~15仰角

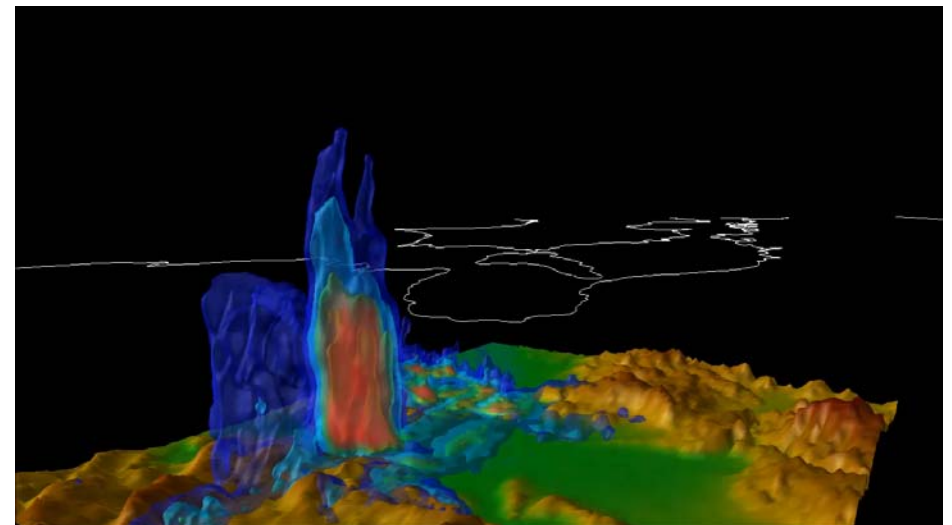
フェーズドアレイレーダーによる
3次元立体観測 (10~30秒)
100仰角

- 次世代に普及する新しいレーダー技術。
- 現在日本では1基が稼働中(大阪大学吹田キャンパス)。
- H25年度中に、2基設置予定。そのうち1基は神戸市に設置。

従来のレーダー(5分毎)



フェーズドアレイレーダー(30秒毎)



“ビッグデータ同化”時代を先取り



ビッグデータ同化によるゲリラ豪雨予測

●親水公園で水遊び

水位は10分間で約1m30cmも上昇

局地的大雨によって、平成20年7月28日、兵庫県神戸市灘区の新開川が急激に増水し、河川内の親水公園で水遊びをしていた子供たちが流され、その内5人が亡くなった。(写真提供：神戸市)

気象庁
Japan Meteorological Agency

晴れていたのに...

増水直前

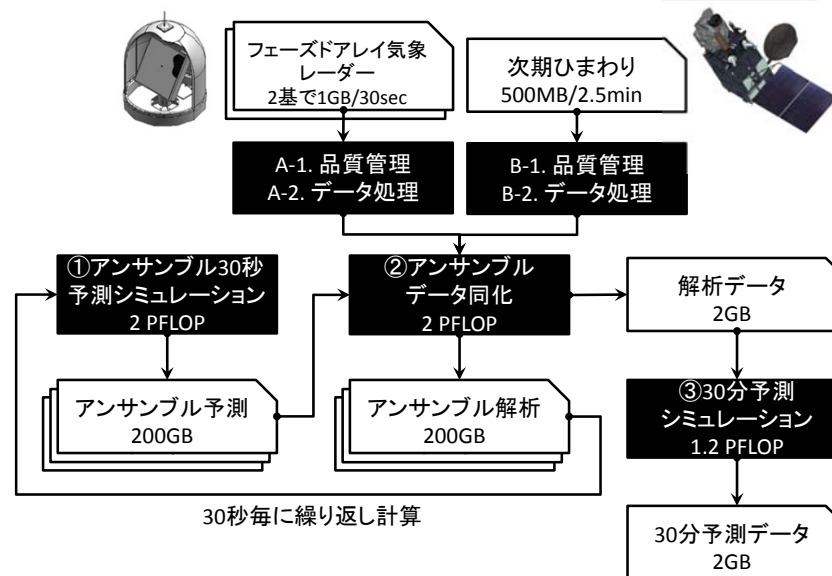
増水時

研究のねらい: 高精細シミュレーションと次世代高精細観測のビッグデータ同化により、ゲリラ豪雨の30分予測に道筋を。

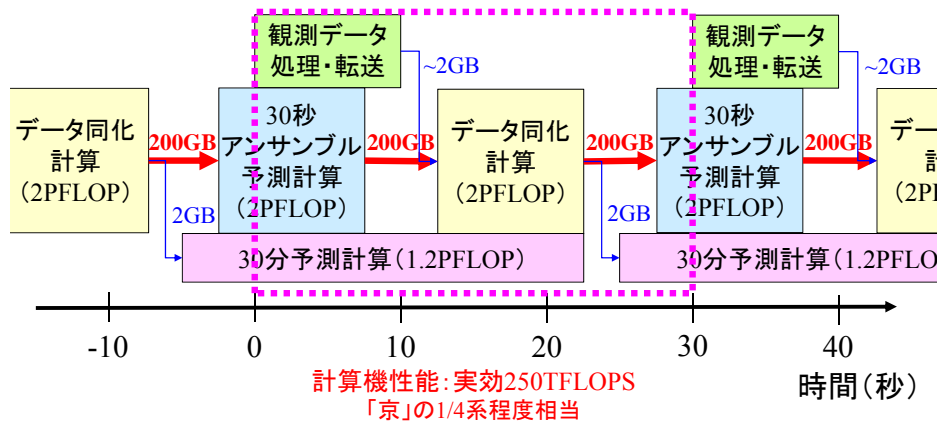
研究構想

- **30秒毎に更新する30分予報を行う画期的な天気予報システムを実証する**
 - フェーズドアレイレーダー、次期衛星ひまわりの観測データを有効活用
 - ゲリラ豪雨の短時間予測 → 防災・減災に貢献
 - 「見えないものを見る」 → 気象学的発見へ

研究構想: システムフローチャート



タイムスケジュール(案)



従来のデータ同化システムとの違い

- 全球データ同化では6時間毎、メソデータ同化では3時間毎にデータ同化。
- ケタ違いの高頻度 → 桁違いに高速なデータ処理が不可欠。

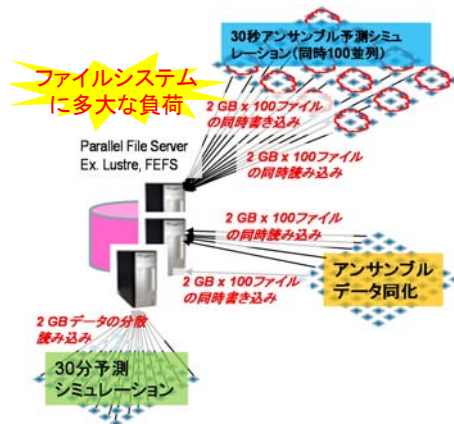
ビッグデータ同化の革新技術

- 高速I/Oに対応したデータ同化アルゴリズム
 - スパコンの200GB/sの超並列IO性能を生かすアルゴリズム開発
 - ハードウェアとのコデザイン
(CRESTビッグデータ基盤の松岡チーム)
- 観測サイトにおける高速な品質管理・データ処理技術
 - 生データ取得から品質管理、データ処理までを10秒以内で終わるための高速処理技術

高速I/Oを実現するビッグデータ同化技術

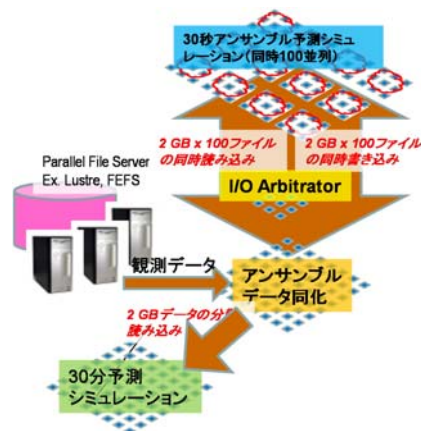
現状: ファイルシステム経由

- データ同化と予測シミュレーションのジョブ間データ転送がファイルシステムを介する



提案: ジョブ間並列通信機構

- ファイルシステムを介さず直接データ転送
- ファイルI/O APIを変更せず、ミドルウェアによってジョブ間の並列データ転送を実現
- I/O Arbitratorによるデータの集約配布



今こそ、ビッグデータ同化研究を

◆天の時

- ゲリラ豪雨予測は喫緊の社会的課題
- 次世代気象レーダー、京コンピュータの稼働、次期ひまわりの打ち上げ
- これら次世代技術により、サイエンス・ビッグデータの応用が可能に



京コンピュータ
➢ H24秋から稼働

◆地の利

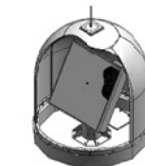
- 我が国には10年後の普及を見据えた次世代技術が揃っている
→ 世界的に見ても非常に稀有なアドバンテージ
- 神戸に2基の次世代気象レーダー



次期衛星ひまわり
➢ H26打ち上げ予定

◆人の和

- 世界で活躍する各分野のエース研究者のコラボレーション



フェーズドアレイ気象レーダー
➢ H24夏から1基稼働
➢ H25年度中に追加設置

世界に先立って、幅広く応用可能な革新的基盤技術を創出
→ 本研究による「ビッグデータ同化」技術が世界の研究・実利用に貢献

「ビッグデータ同化」の技術革新の創出によるゲリラ豪雨予測の実証

(H25-30年度)

三好 隆正 (理化学研究所 チームリーダー)

研究の概要

データ同化は、シミュレーションと実世界のデータを融合し相乗効果をもたらす基盤技術です。本研究では、次世代の高精細シミュレーションと新型センサによる「ビッグデータ」を扱うための「ビッグデータ同化」の技術革新を創出し、ゲリラ豪雨予測に应用于、フェーズドレイ気象レーダー、次期気象衛星ひまわり、京コンピュータという我が国が世界に誇る次世代技術を駆使して実証実験し、防災・減災に資するとともに、気象学的ブレークスルーをもたらします。



フェーズドレイ気象レーダー



次期気象衛星ひまわり



京コンピュータ

社会的・経済的・科学的課題と本研究による解決策(提案の独創性・新規性を含む)

- ゲリラ豪雨の短時間予測は、防災・減災の観点で重要な社会的課題
- 積乱雲中の空気の流れの詳細構造など「見えないものを見る」ことの気象学的意義

これらの課題に対し、本研究では、30秒毎に更新するリードタイム30分の天気予報という従来では考えられない画期的なシステムを、フェーズドレイ気象レーダー、次期衛星ひまわり、及び京コンピュータを駆使して実証実験します。本研究で目指すビッグデータ時代のデータ同化におけるリアルタイム処理は、現在のデータ同化技術の延長では到底実現し難いため、本研究では、ビッグデータを扱うデータ同化、すなわち「ビッグデータ同化」という技術革新を創出し、既存の技術では実利用が難しい次世代型センサによるビッグデータを有効利用することで、科学的発見を生むとともに、ビッグデータ利用の基盤技術を確立し、広く防災・減災に貢献します。

研究成果により想定されるインパクト、将来像、イノベーション創出への寄与など

ゲリラ豪雨の短時間予測による防災・減災への貢献、気象学的発見へのブレークスルー、2020年代の現業天気予報に向けた提言
 将来のエクストリーム・コンピューティング時代における幅広いシミュレーション分野で必須となるデータ同化基盤技術の創出

独立行政法人 科学技術振興機構 Japan Science and Technology Agency

CREST
 戦略的創造研究推進事業
 (Cross Research Field for Innovative Science and Technology)
 研究領域「科学的発見・社会的課題解決に向けた各分野のビッグデータ活用促進のための次世代アプリケーション技術の創出・高度化」(H25-30年度)

「ビッグデータ同化」の時代へ



MEXT undertake project "Coop with Math Program" (Institute of Statistical Mathematics)
 文部科学省委託事業 数学協働プログラム(受託機関:統計数理研究所)

Mathematical Science on Big Data Assimilation in Meteorology

Date: March 19 – 21, 2014
 Venue: Room 110 of Bldg. 3
 Department of Mathematics
 Kyoto University

Keynote Lecturer: Professor Brian Hunt (University of Maryland)
 "Ensemble Methods for Complex Models and Big Data"

Invited Speakers (without honorifics):	Organizing Committee:
Kazuyuki Nakamura (METI)	Takashi Sakajo (Kyoto)
Takemasa Miyoshi (RIKEN/AICS)	Takemasa Miyoshi (RIKEN/AICS)
Yasuki Hiraoka (Kyushu)	Masaru Inatsu (Hokkaido)
Shinsuke Setoh (NICT)	Yoshitaka Saiki (Hitotsubashi)
Kouaro Bessho (JMA/MSC)	Naoto Nakano (Tohoku)

URL: <http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/~nakano/cwm2013/>

Organized by Department of Mathematics, Kyoto University
 JST/Advanced Institute for Computational Science
 Supported by M. Mathematics/Meteorology Collaborative Research Team (Maet)
 JST/CREST/Miyoshi Team: Innovating "Big Data Assimilation" technology for revolutionizing very-short-range severe weather prediction

Inquiry: Naoto Nakano (Tohoku University) n_nakano@wpi-aimr.tohoku.ac.jp