大規模数値シミュレーションで切り拓く豪雨・洪水予測研究

小槻 峻司
(shunji.kotsuki@chiba-u.jp)

千葉大学
国際高等研究基幹 / 環境リモートセンシング研究センター

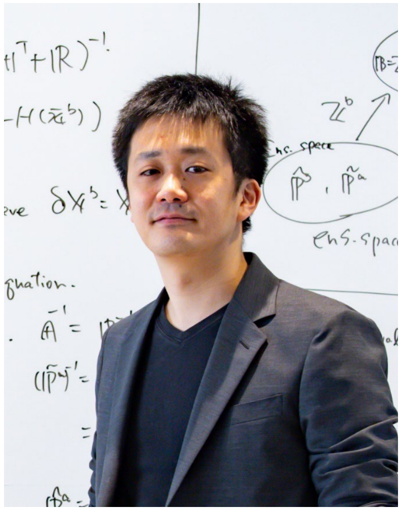
with many thanks to members of
Environmental Prediction Science Lab. of Chiba University &
Data Assimilation Team of RIKEN Center for Computational Science

A World Beyond Predictions
Environmental Prediction Science Laboratory

2022年7月29日 数学キャラバン

Who am I? Shunji Kotsuki

Environmental Prediction Science Laboratory



1986.05 高知県高知市に生まれる

2005.04 京都大学 工学部 地球工学科 入学

2013.11 同 大学院 工学研究科 工学博士

2014.01 理化学研究所 計算科学 特別研究員

2017.10 同 研究員

2019.10 千葉大学 環境リモセンセンター 准教授

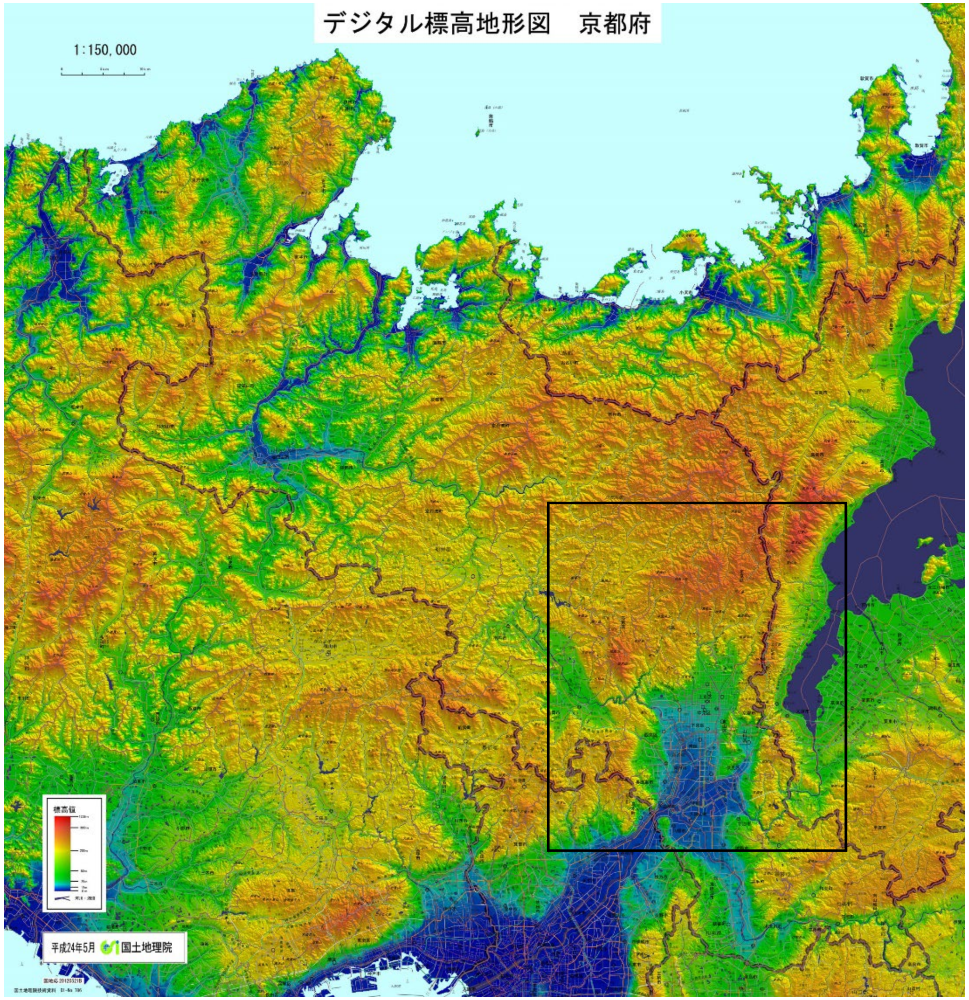
2022.07 千葉大学 国際高等研究基幹 教授

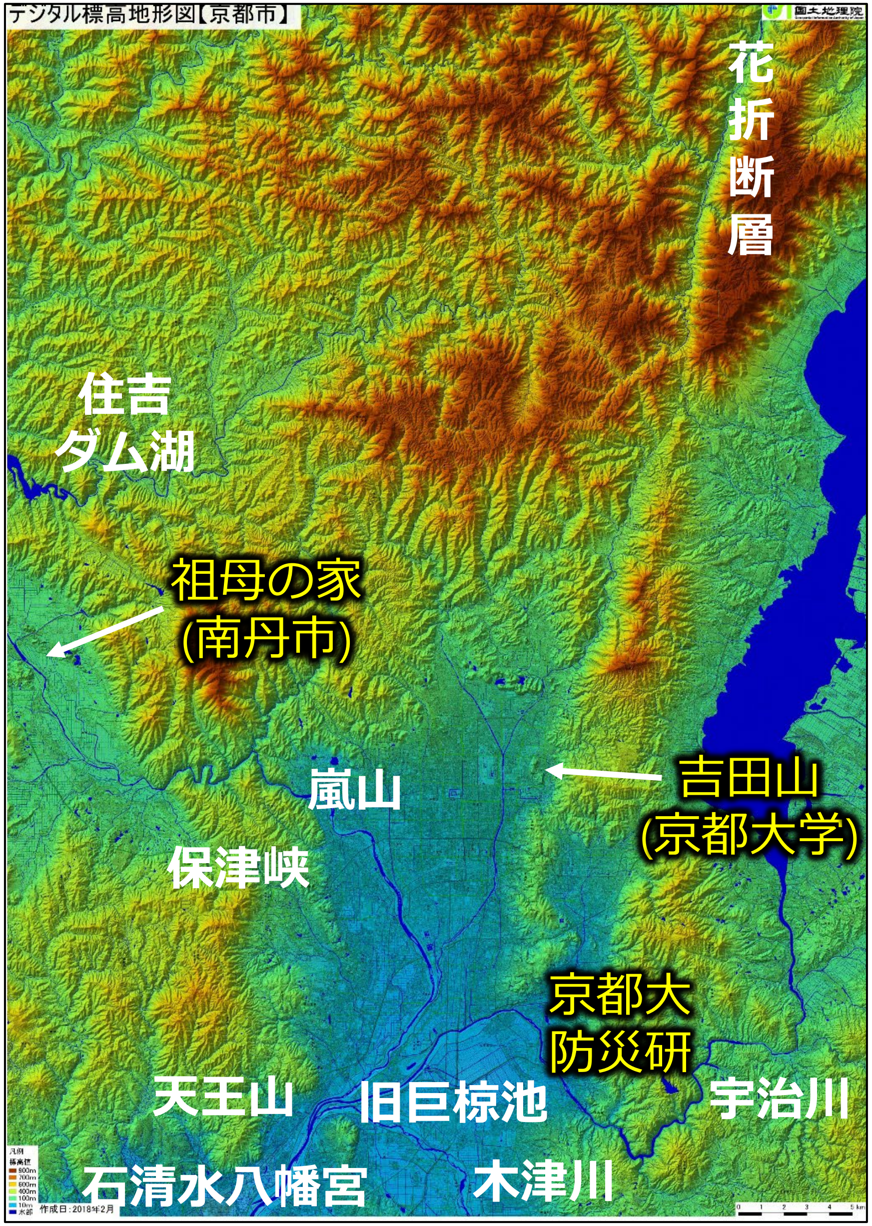
水文モデリング

データ同化＆数値気象予測

機械学習

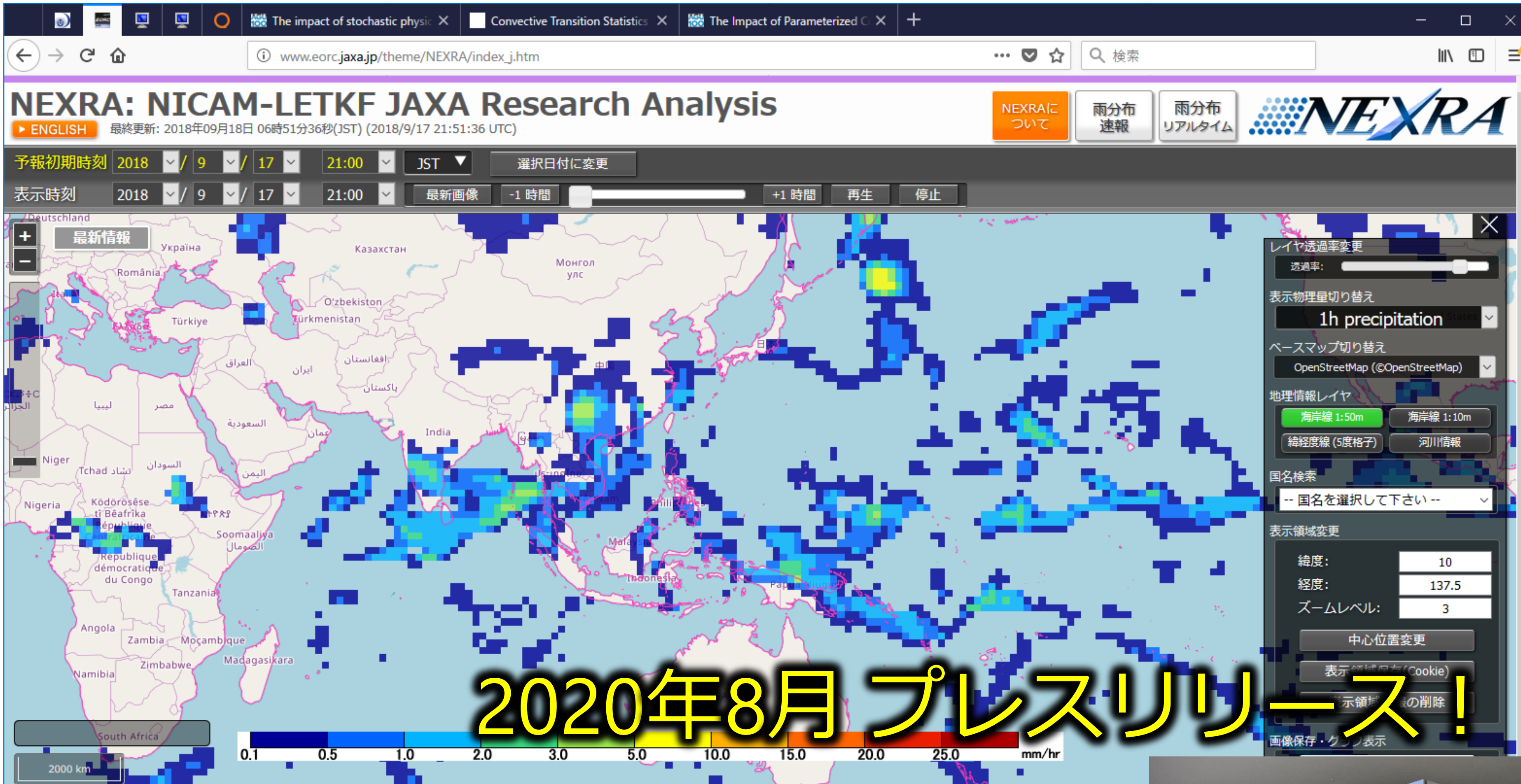
大学生時代


デジタル標高地形図　京都府
1:150,000
平成24年5月
国土地理院


デジタル標高地形図【京都市】
花折断層
住吉ダム湖
祖母の家
(南丹市)
嵐山
吉田山
(京都大学)
保津峡
京都大
防災研
天王山
旧巨椋池
宇治川
石清水八幡宮
木津川
作成日：2018年2月

専門: 全球天気予報システム開発

Environmental Prediction Science Laboratory

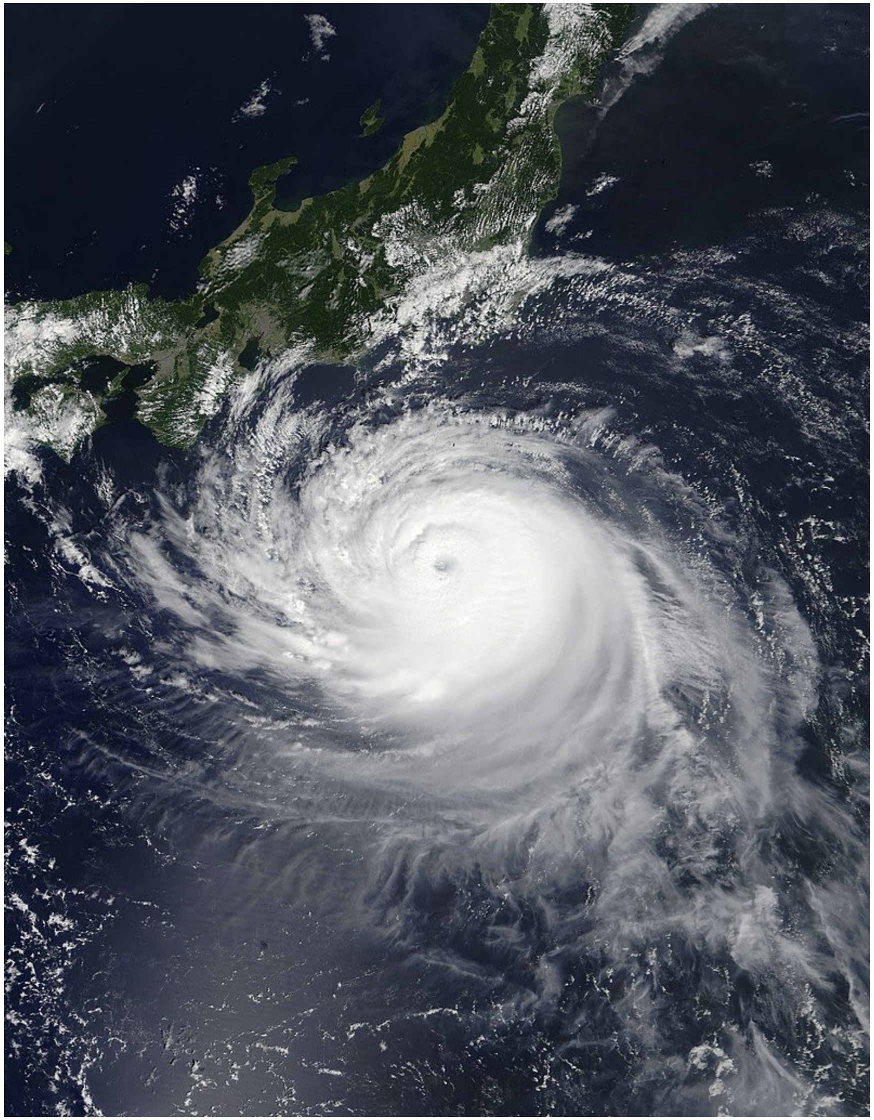


2020年8月 プレスリリース！

- JAXA,理研, 東大と共同開発。
- スパコン「**富岳**」も使い研究推進。
- 社会生活に直結するDEEPな研究！

激化する気象災害

令和元年房総半島台風 (2019)



被災住居

倒壊した鉄柱@市原市

images from wikipedia, 市民防災研究所

今日の発表で目指したこと

Environmental Prediction Science Laboratory

- **大事なコンセプトを伝える**
  - (1) 数値積分の気持ち
  - (2) 天気予報の仕組み
  - (3) データ同化の気持ち
  - (4) 天気予報におけるデータ同化の効果
- **言いたいことを伝える**
  - (5) 高校生へのメッセージ

「今の勉強は、こう広がっていくのか！」
みたいな雰囲気を伝えられたと思っています。

Environmental
Prediction
Science
Laboratory

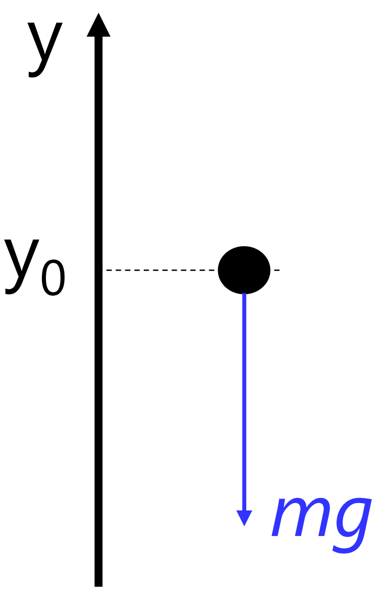
(1) 数値積分の気持ち
- 積分で未来を予測する -

支配方程式 (微分方程式) を解く,とは？

速度: 微小時間の位置変化 $v = \dfrac{dx}{dt}$

加速度: 微小時間の速度変化 $a = \dfrac{d^2x}{dt^2}$

簡単な例: 自由落下運動



$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -mg \Leftrightarrow \frac{d^2y}{dt^2} = -g$$

$$\xrightarrow{\text{積分}} \frac{dy}{dt} = \int \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right) dt = \int (-g) dt = -gt + C = v$$

$$\xrightarrow{\text{積分}} y = \int \left(\frac{dy}{dt}\right) dt = \int (-gt + C) dt = -\frac{1}{2}gt^2 + Ct + C'$$

(i) 初期条件 $v(0) = 0$ より $C=0$

(ii) 初期条件 $y(0) = y_0$ より $C' = y_0$

$$\therefore y = -\frac{1}{2}gt^2 + y_0$$

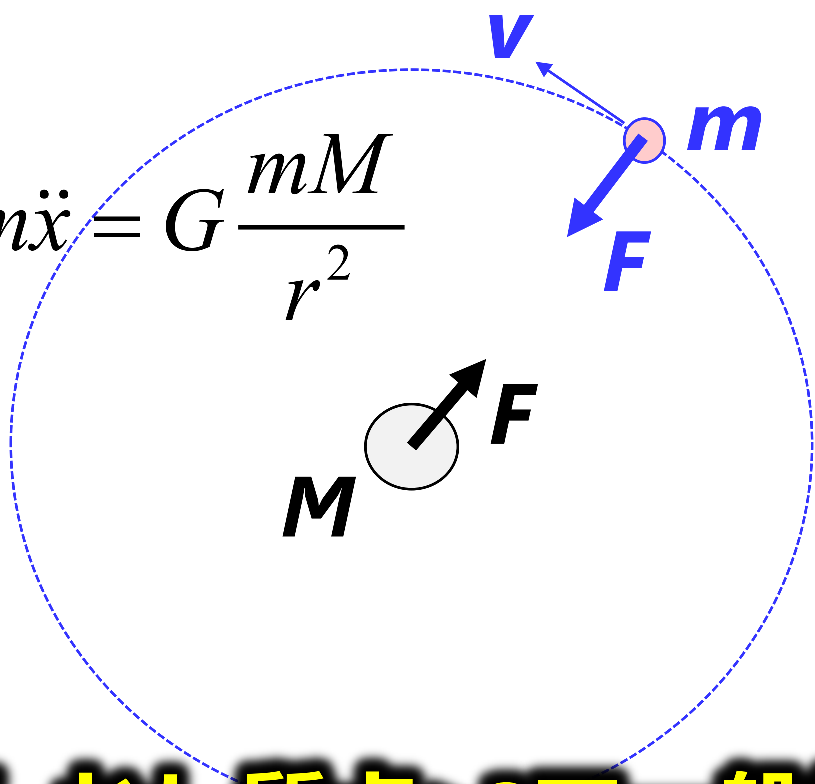
① 支配方程式を積分して初めて状態 (位置・速度) が分かる

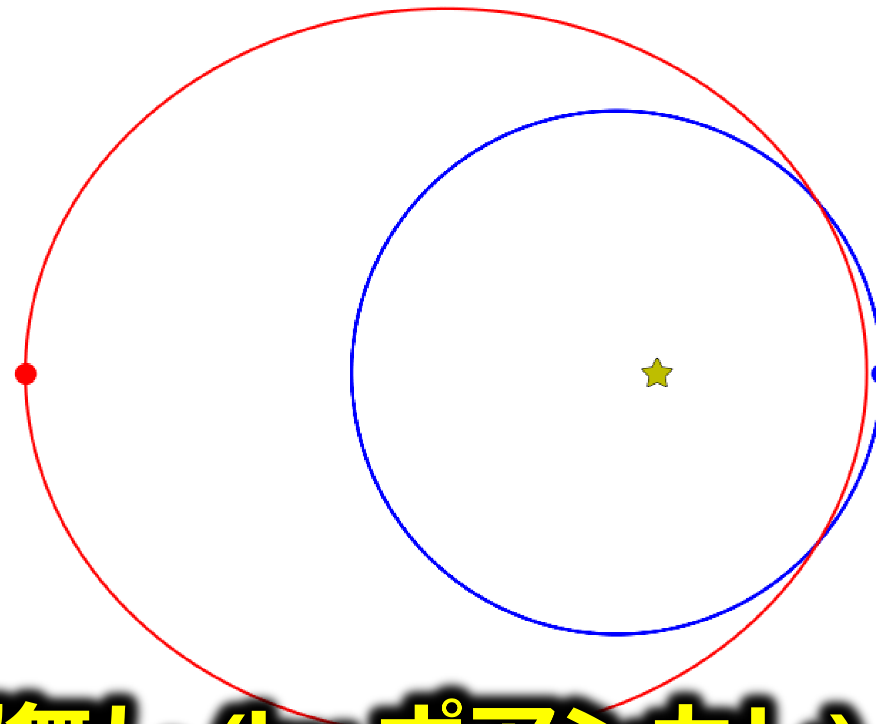
② 予測には初期条件 (積分定数) が必要

ニュートン力学と求積解の限界

世界は時間について微分方程式 (運動方程式)で記述されていて積分で予測する（=求積する）

$$m\ddot{x} = G\frac{mM}{r^2}$$

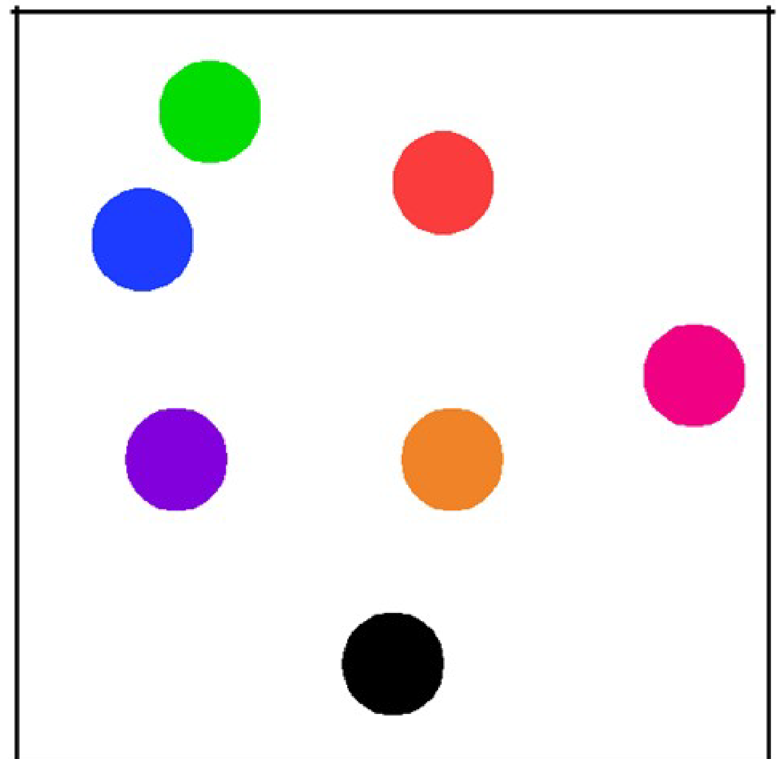




しかし質点≧3で一般解無し (by ポアンカレ)
➔ コンピュータを使った数値予測へ

計算機による数値積分の気持ち①

ビリヤードの例

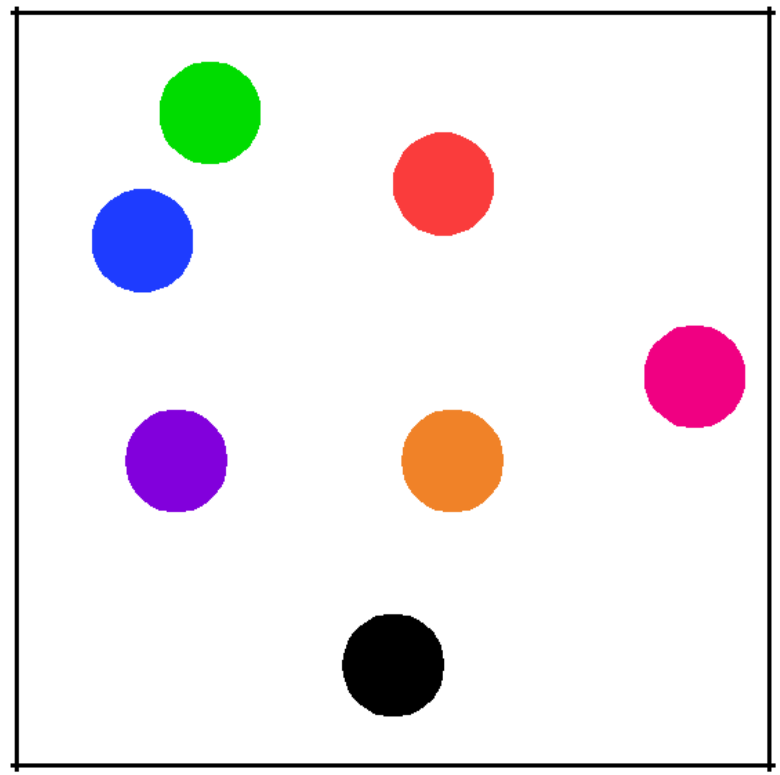


計算機による数値積分の気持ち①

現在の状態 → 予測モデル → 少し未来の状態

繰り返し計算

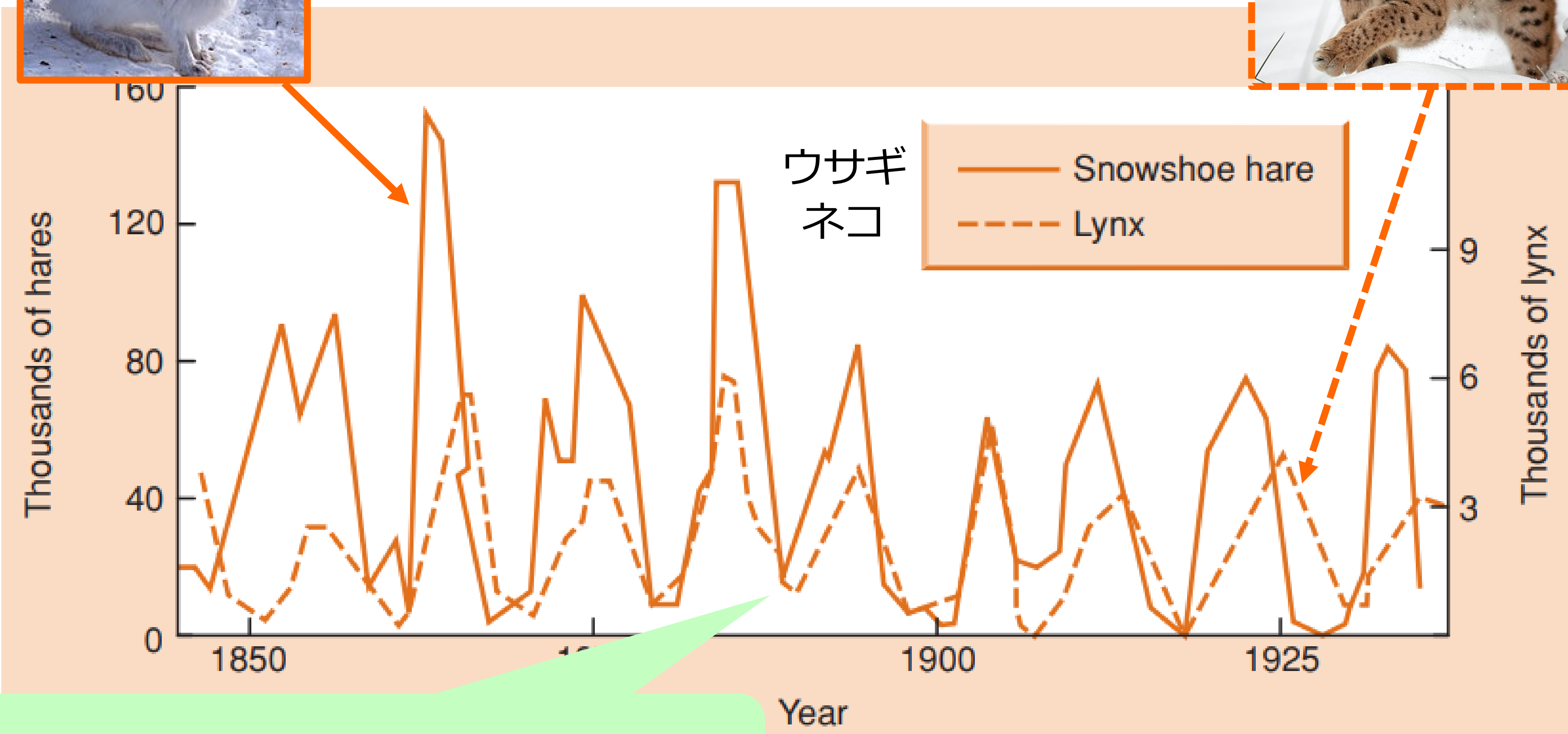
ビリヤードの例



計算機による数値積分の気持ち②

カンジキウサギ (hare)

オオヤマネコ (Lynx)



ウサギ(被食者)が増え、ネコ (捕食者)も増える。
どうやったら表現できるだろう？

Began et al. (2006) Ecology 4th edition
Originally from Maclulich (1937)
Photos from Wikipedia

計算機による数値積分の気持ち②

Environmental Prediction Science Laboratory

被食者の個数変化
（ウサギが増える割合）

$$\frac{dX}{dt} = rX - aXY$$

- rX: ウサギの自然増加
- $-aXY$: ウサギがヤマネコに捕獲される数

捕食者の個数変化
（ヤマネコが増える割合）

$$\frac{dY}{dt} = faXY - qY$$

- $faXY$: ヤマネコがウサギを捕獲して繁殖する数
- $-qY$: ヤマネコの自然減少

ロトカ・ヴォルテラの捕食モデル

X	被食者の数
Y	捕食者の数
r	被食者の増殖率
a	捕食者の捕獲効率
f	捕食者が餌を子供に転換する効率
q	捕食者の死亡率
t	時間

fa: 捕食者が餌を見つけて繁殖する率

数値積分 (≒ 数列) で未来を予測

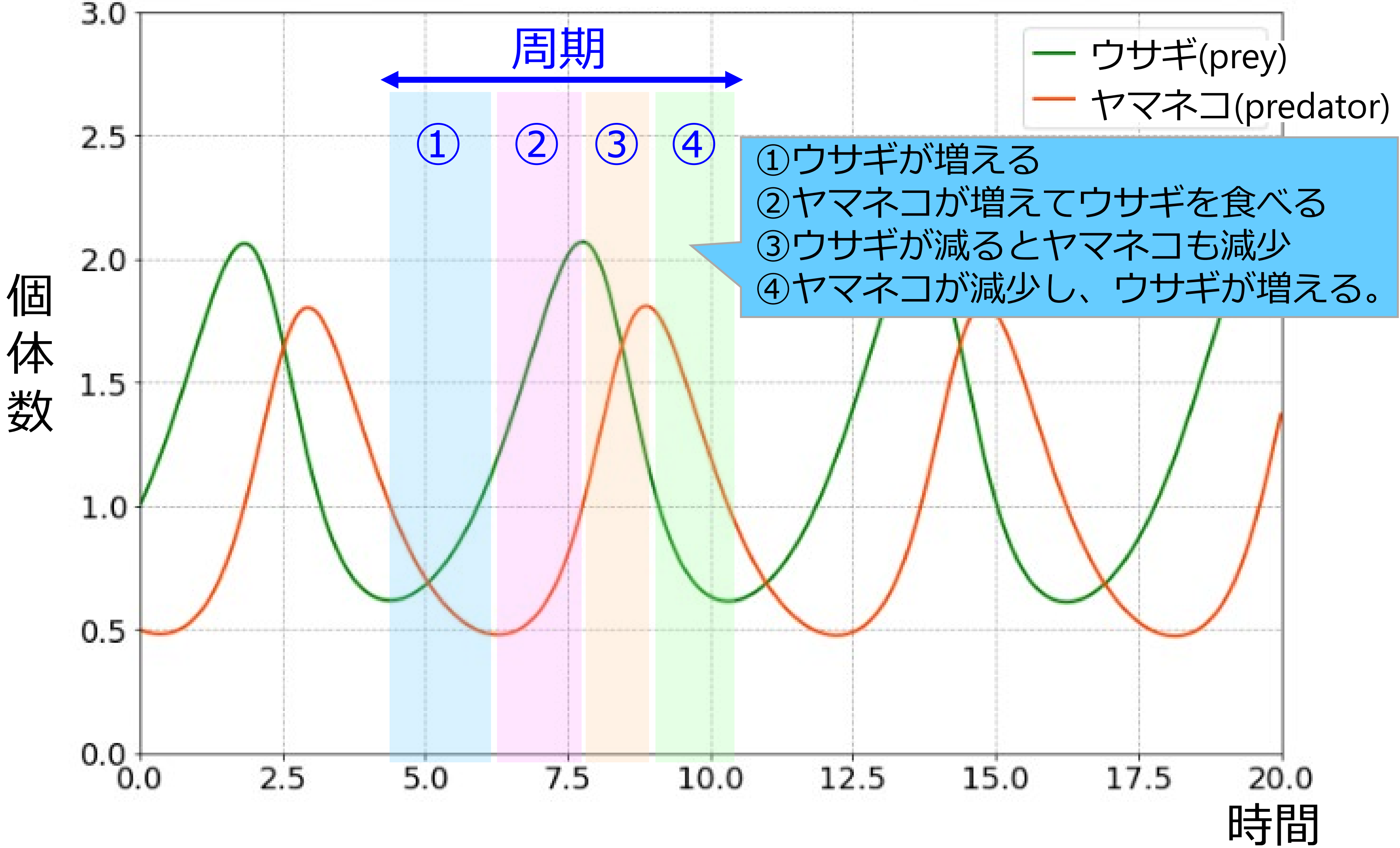
ある時刻のウサギ X(*t*)とネコ Y(*t*)から、

$$X(t+dt) = X(t) + dX$$
$$= X(t) + (rX - aXY)dt$$

$$Y(t+dt) = Y(t) + dY$$
$$= Y(t) + (faXY - qY)dt$$

計算機による数値積分の気持ち②

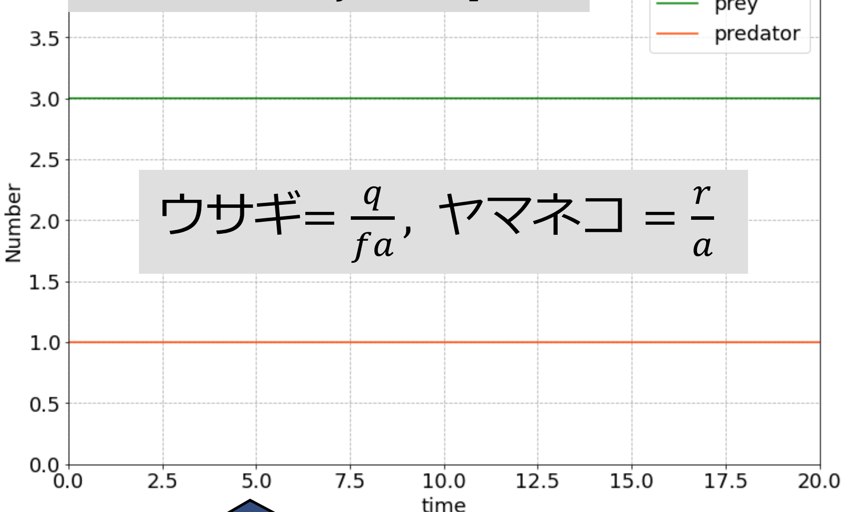
ウサギとヤマネコの個体数変化の数値シミュレーション



計算機による数値積分の気持ち②

平衡状態からの変化を確認しよう

$\boldsymbol{r = 1, a = 1, f = 1, q = 3}$

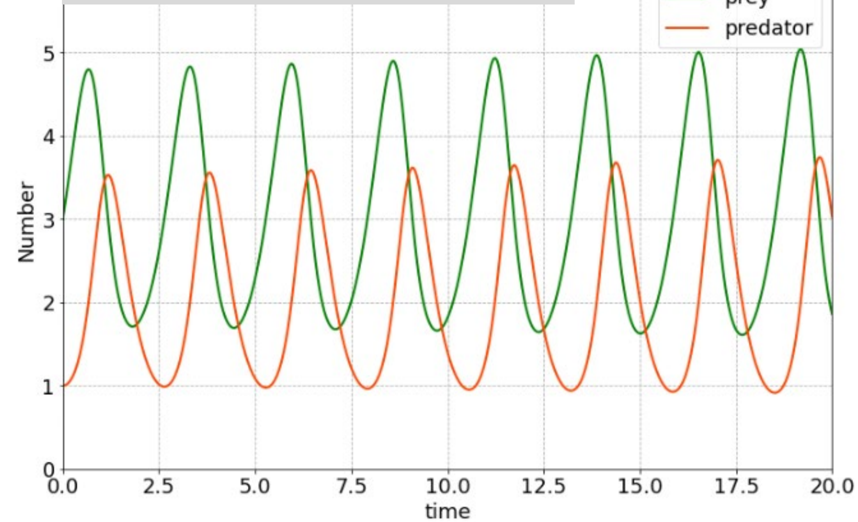


ウサギ$= \frac{q}{fa}$, ヤマネコ $= \frac{r}{a}$

ウサギの増減と
ヤマネコの増減が
釣り合っている場合

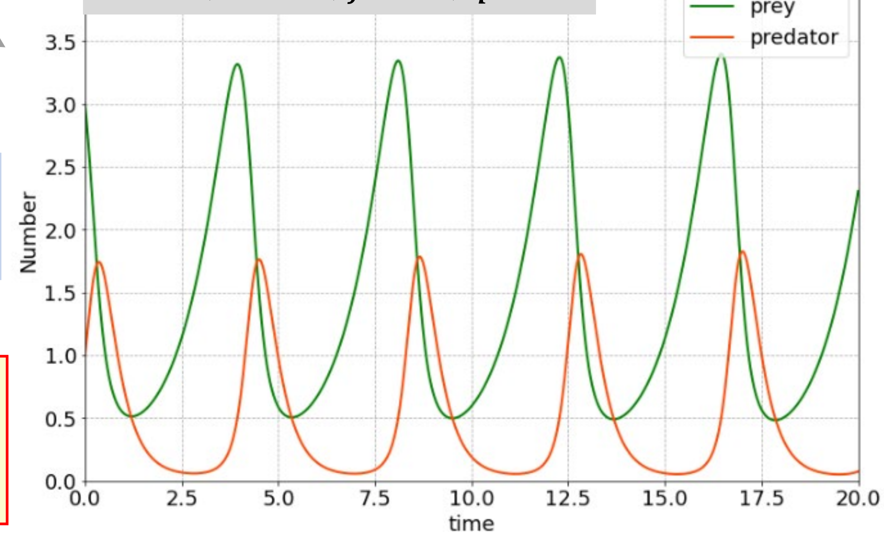
r (増殖率)
を２倍

$\boldsymbol{r = 2}, a = 1, f = 1, q = 3$



a (捕獲率)
を２倍

$r = 1, \boldsymbol{a = 2}, f = 1, q = 3$



同じ方程式でも、初期値次第で
全く異なる挙動を見せる

(2) 天気予報の仕組み

数値天気予報の仕組み

風，気温, 湿度, 雲, 気圧

現在の状態（初期値） → **数値天気予報モデル（天気の変化を計算）** → **少し先の状態（予測値）**

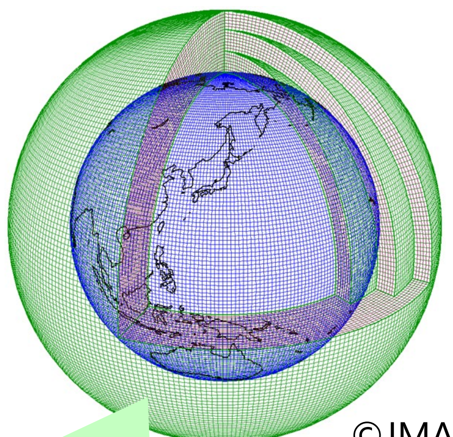
風，気温, 湿度, 雲, 気圧

何度も何度も繰り返し計算

Real Earth

離散化

Earth in Computer

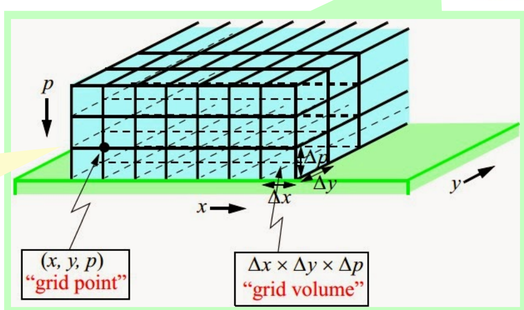


©JMA

Richardson's Dream (1920; 200km)

Fugaku (2020; 3.5km x 1000 ens)

各格子点で定義される
風, 気温, 湿度, 気圧など



ATMOS 301
Numerical Weather Prediction

天気予報モデル

風, 気温, 湿度, 雲, 気圧

現在の状態
（初期値）

→

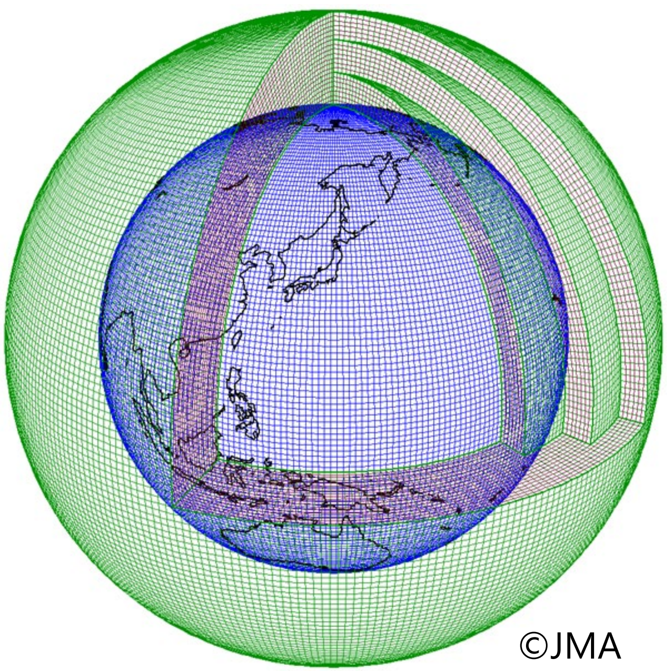
数値天気予報モデル
（天気の変化を計算）

→

風, 気温, 湿度, 雲, 気圧

少し先の状態
（予測値）

何度も何度も繰り返し計算



©JMA

地球大気を三次元格子に分割

- 水平方向の運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} - 2\Omega \sin\theta v + \frac{1}{a\cos\theta}\frac{\partial \phi}{\partial \lambda} = -\mathbf{V}\cdot\nabla u - \omega\frac{\partial u}{\partial p} + \frac{\tan\theta}{a}uv + F_u \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + 2\Omega \sin\theta u + \frac{1}{a}\frac{\partial \phi}{\partial \theta} = -\mathbf{V}\cdot\nabla v - \omega\frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\tan\theta}{a}uu + F_v \quad (2)$$

- 熱力学第一法則の式

$$\frac{\partial c_p T}{\partial t} + \mathbf{V}\cdot\nabla c_p T + \omega\frac{\partial c_p T}{\partial p} = \omega\alpha + Q \quad (3)$$

- 質量保存則

$$\frac{1}{a\cos\theta}\frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{1}{a\cos\theta}\frac{\partial v\cos\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad (4)$$

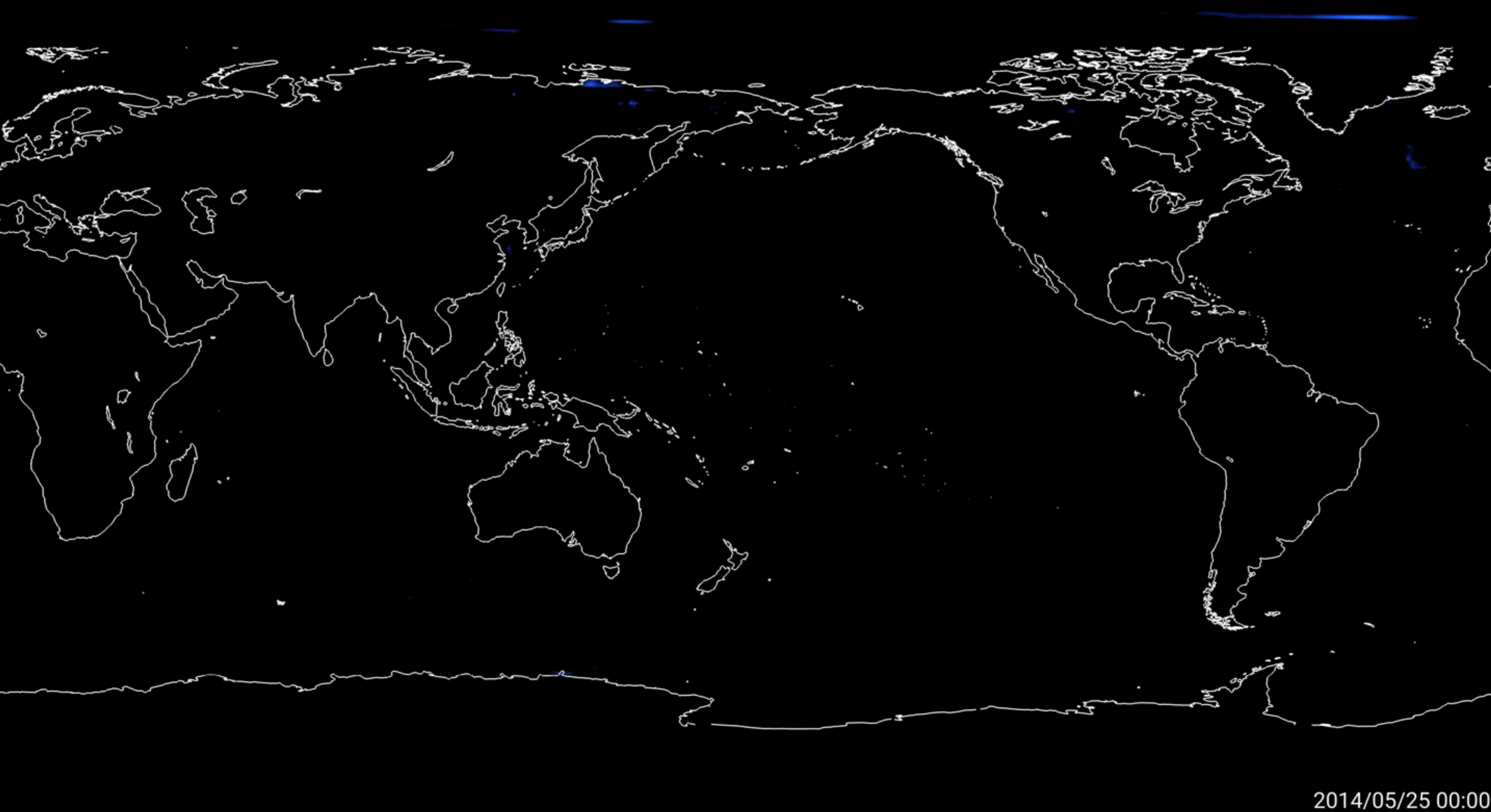
- 状態方程式

$$p\alpha = RT \quad (5)$$

- 静力学平衡の式

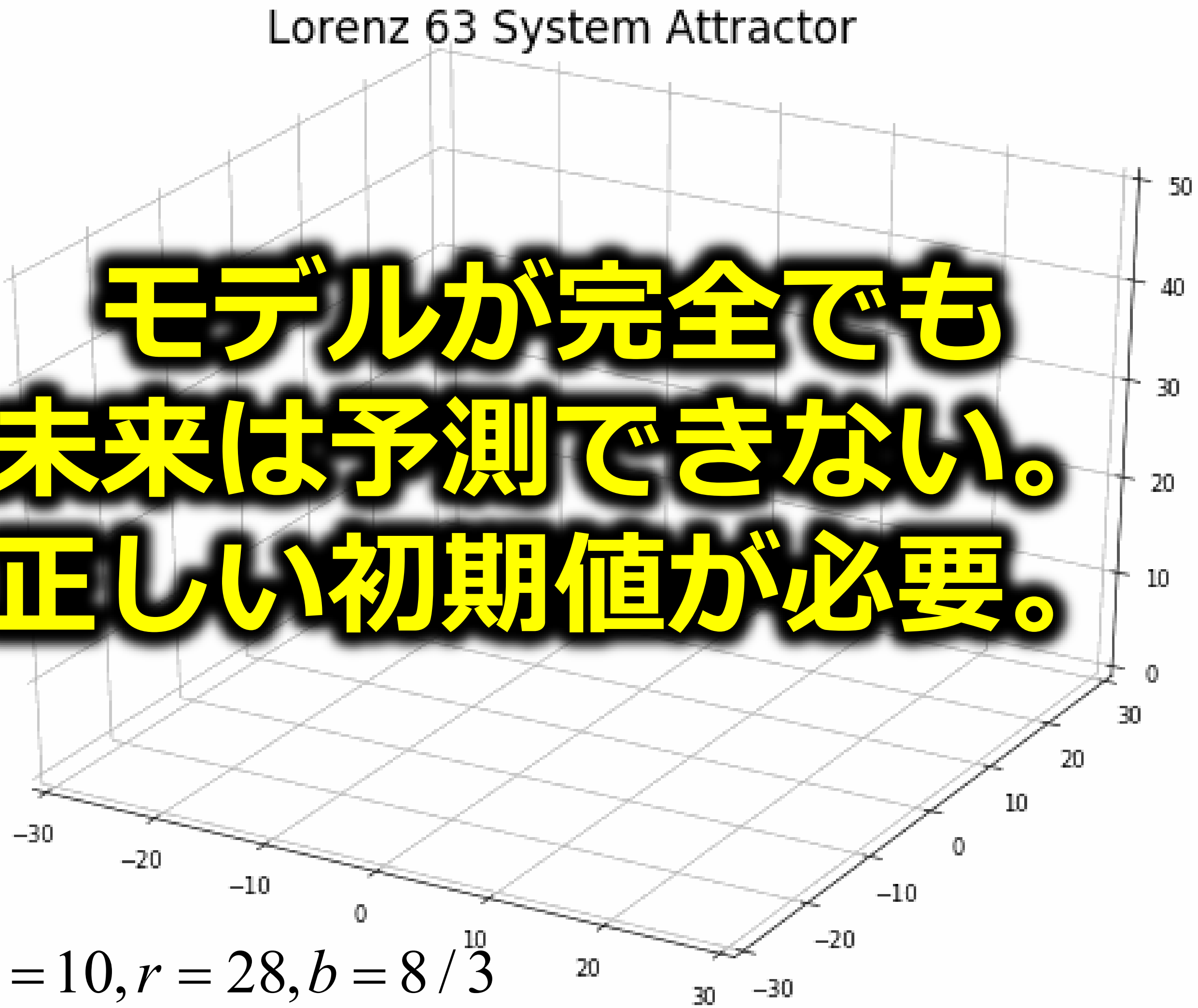
$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = -\alpha \quad (6)$$

Simulated Global Precipitation



決定論的カオスと予測可能性

Environmental Prediction Science Laboratory



モデルが完全でも
未来は予測できない。
正しい初期値が必要。

$$p=10, r=28, b=8/3$$

Edward Lorenz

Lorenz 63 model

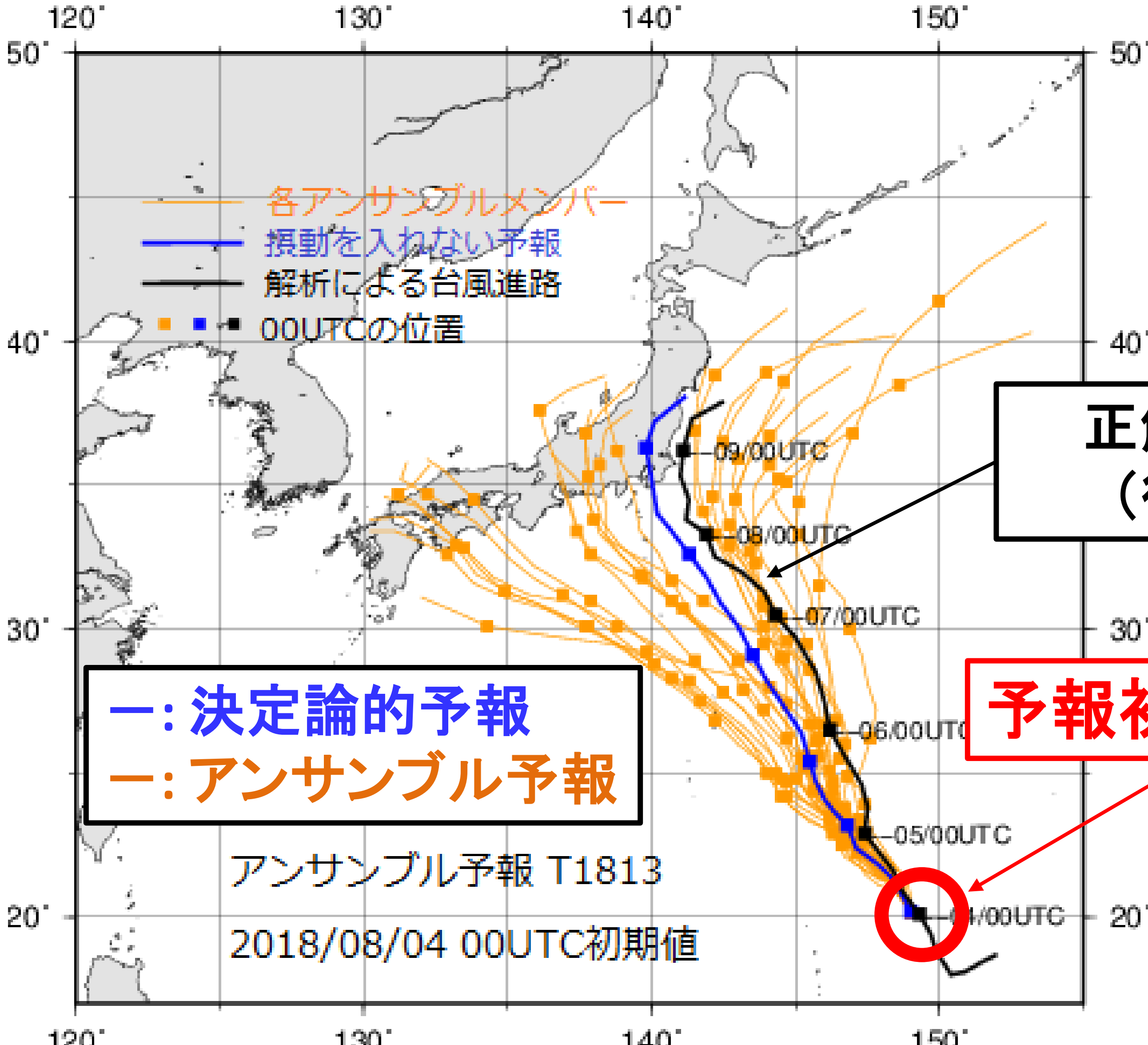
$$\dot{x}=p(y-x)$$

$$\dot{y}=-xz+rx-y$$

$$\dot{z}=xy-bz$$

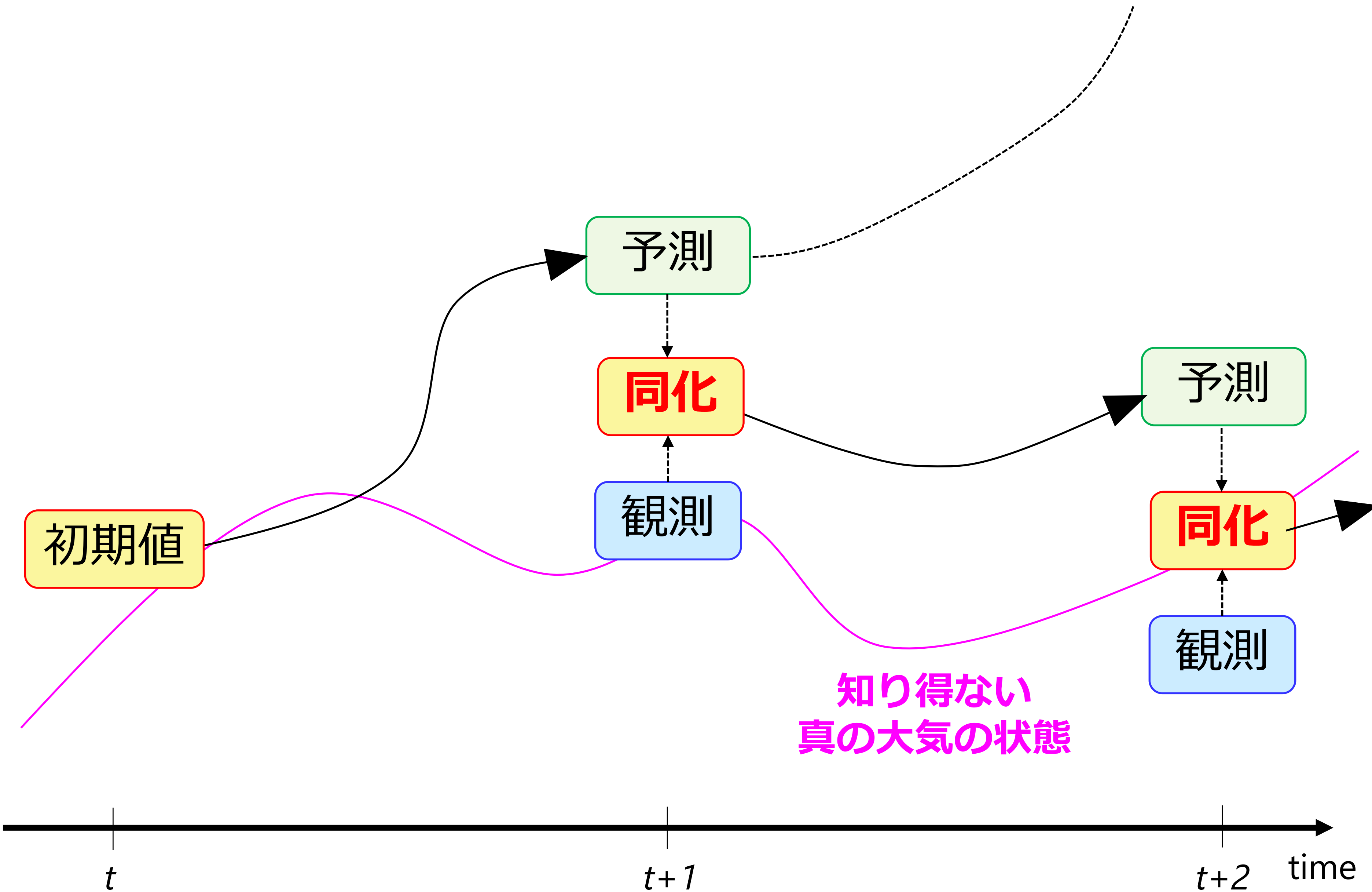
Initial Conditions :: x=y=z=15.000, 15.001, 15.002, ..., 15.009

アンサンブル予測: 台風の場合



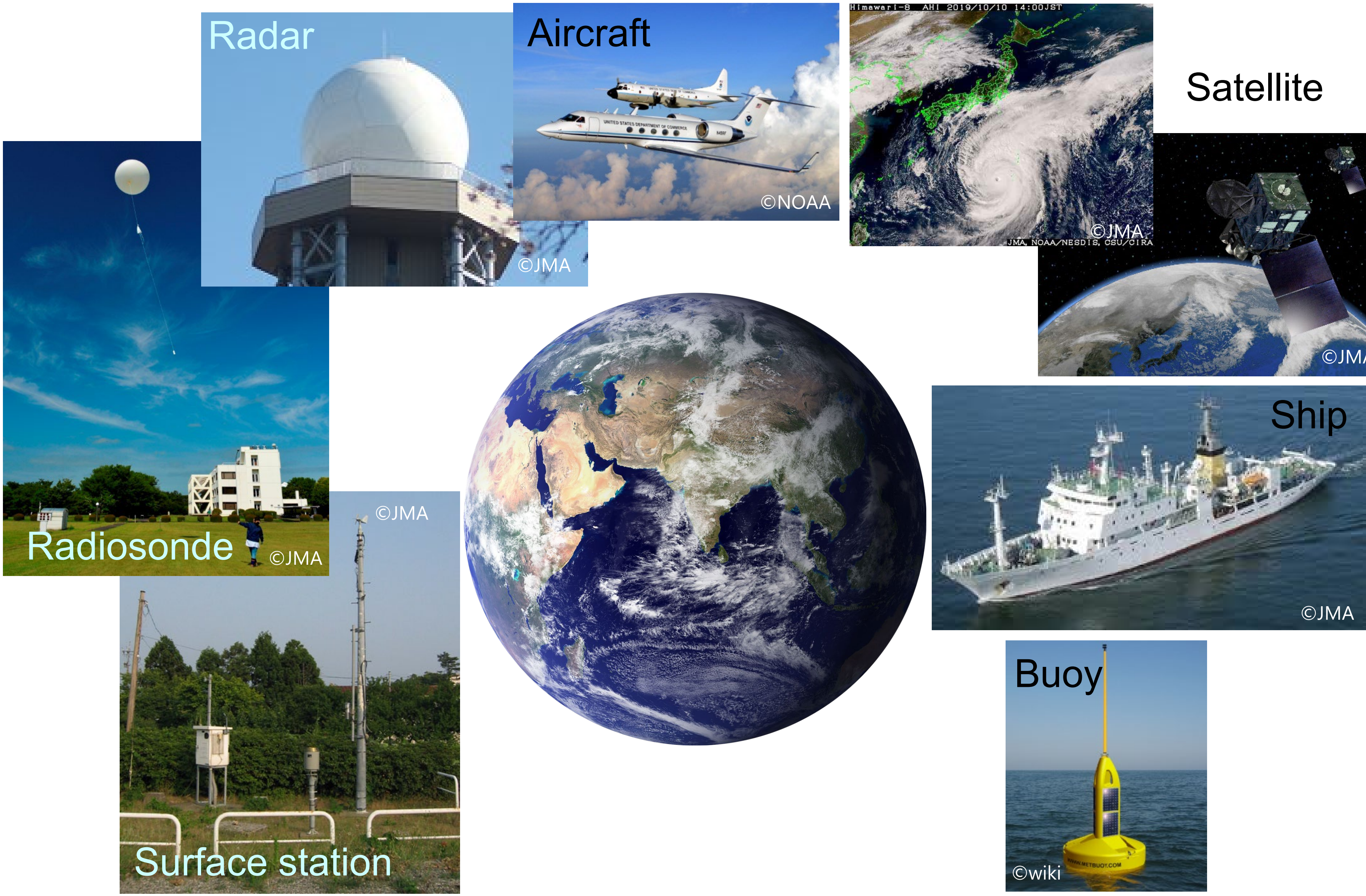
@ 気象庁「アンサンブル予報」より

数値天気予報の仕組み

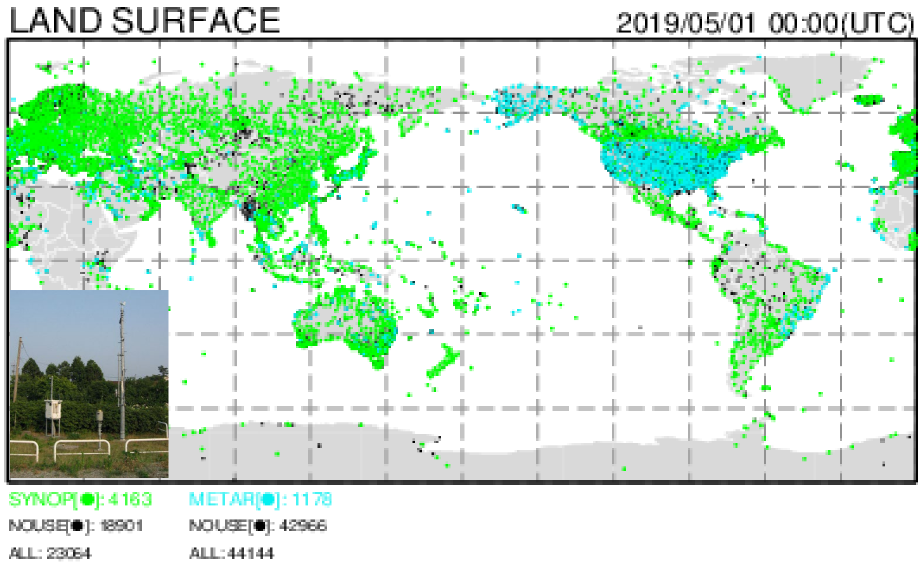


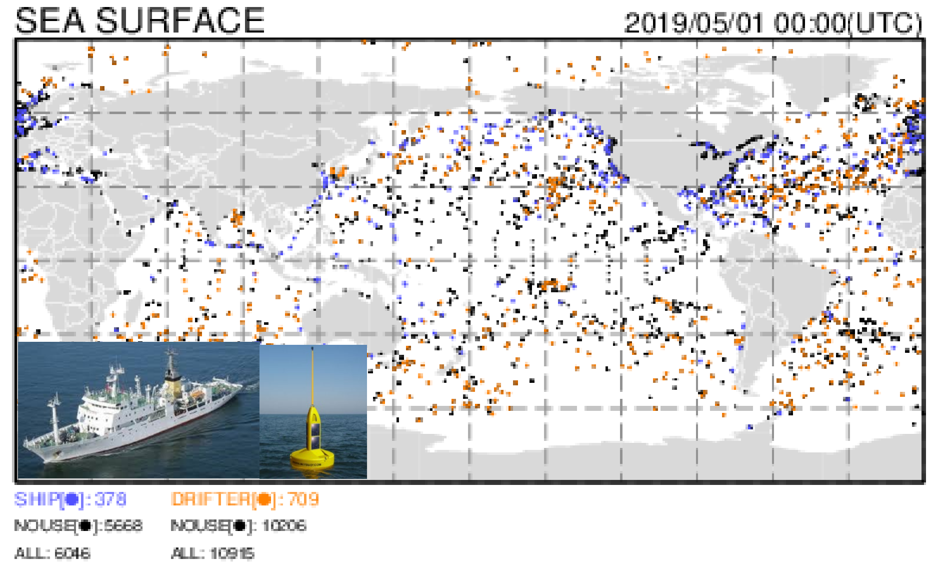
気象観測の仕組み

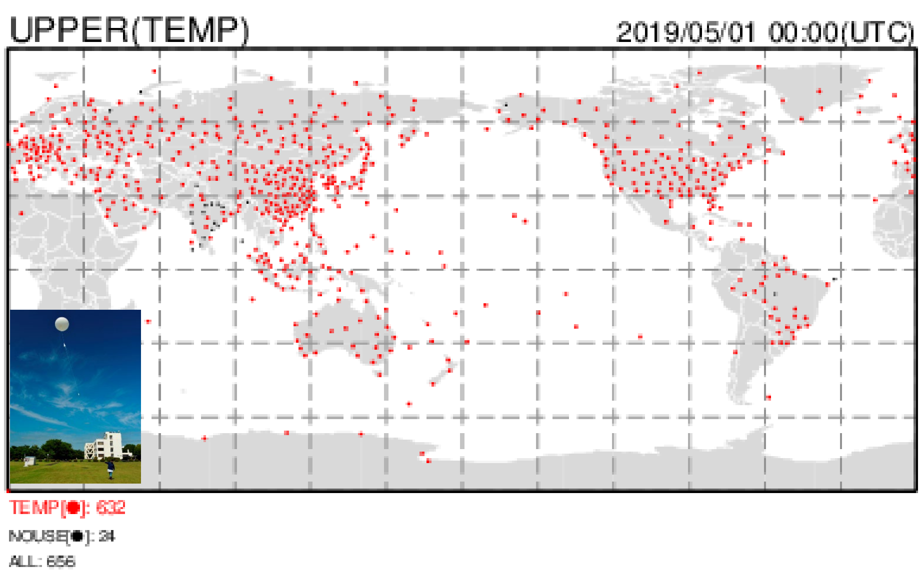
Environmental Prediction Science Laboratory

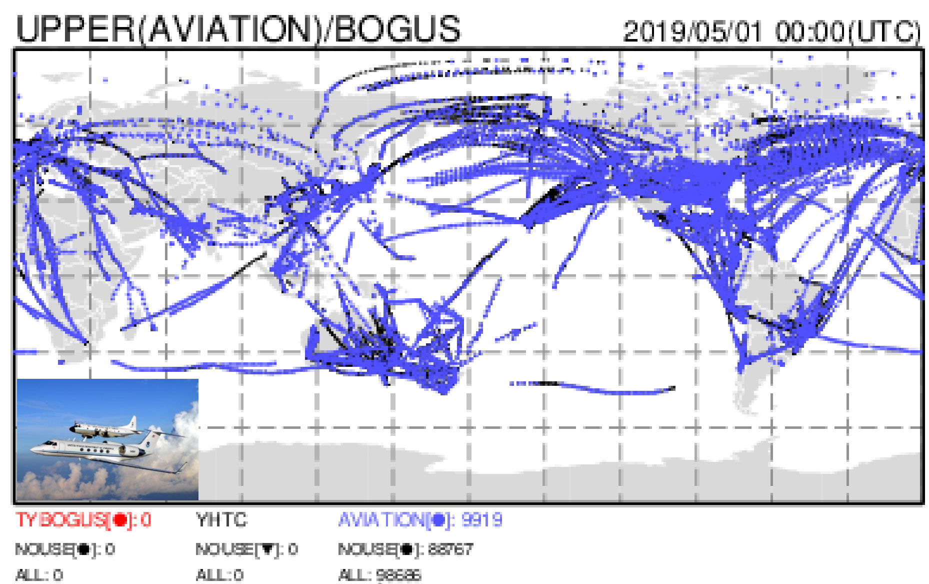


天気予報で用いられる観測





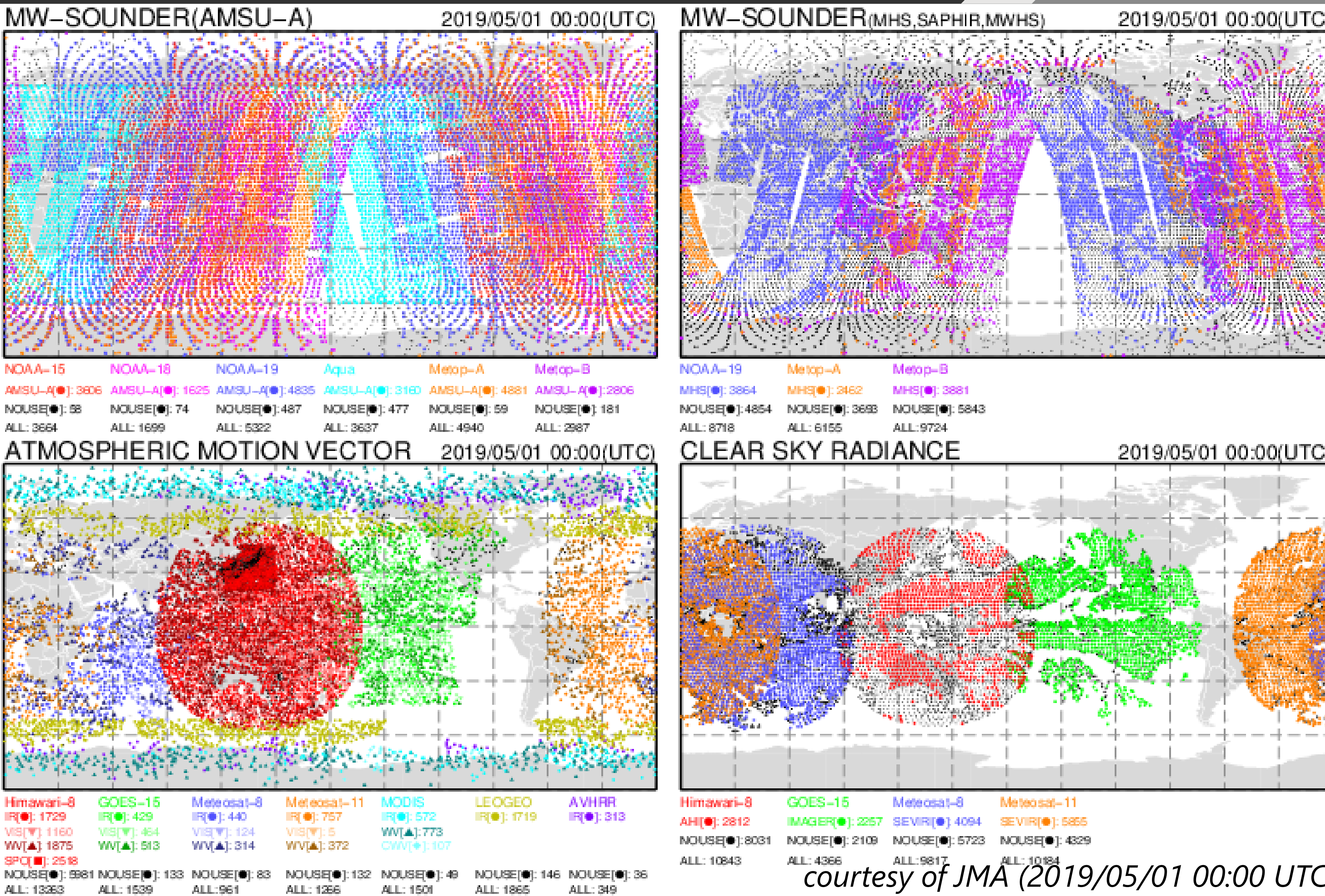




courtesy of JMA (2019/05/01 00:00 UTC)

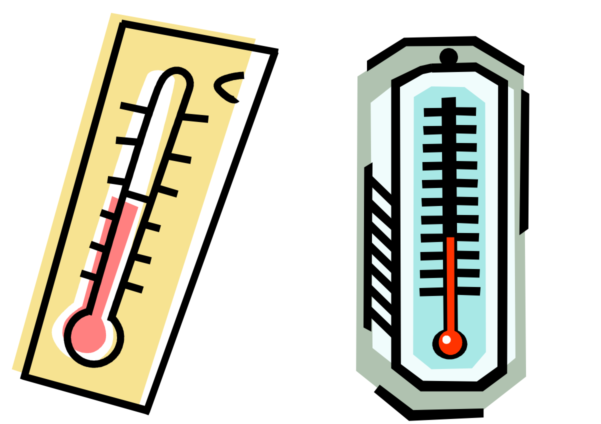
天気予報で用いられる観測

Environmental Prediction Science Laboratory



courtesy of JMA (2019/05/01 00:00 UTC)

(3) データ同化の気持ち



x_1 =20℃
(信頼性低い)

x_2 = 30℃
(信頼性高い)

最小分散推定

Environmental Prediction Science Laboratory

1つ目の観測 $x_1 = x^{tru} + \varepsilon_1$

2つ目の観測 $x_2 = x^{tru} + \varepsilon_2$

x^{tru}: 真値 (truth)

ε : ランダム誤差

< ・ >: 統計的期待値

仮定その1 : 誤差にはバイアスが無い

$$\langle x_1 \rangle = \langle x_2 \rangle = x^{tru} \quad \Leftrightarrow \quad \langle \varepsilon_1 \rangle = \langle \varepsilon_2 \rangle = 0$$

仮定その2 : 誤差は相関しない (観測は独立)

$$\langle \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \rangle = 0$$

最小分散推定

1つ目の観測 $x_1 = x^{tru} + \varepsilon_1$

2つ目の観測 $x_2 = x^{tru} + \varepsilon_2$

(1) バイアス無し $\langle x_1 \rangle = \langle x_2 \rangle = x^{tru}$

(2) 相関無し $\langle \varepsilon_1 \varepsilon_2 \rangle = 0$

$$x^a = \alpha x_1 + (1-\alpha) x_2$$

推定値 (x^a)を重み付け平均で置いてみて
誤差分散を最小化するαを求める

最適値の誤差分散$(\sigma^a)^2$はどうなるだろうか？

$$(\sigma^a)^2 = \langle (x^a - x^{tru})^2 \rangle = \langle (\alpha(\underline{x_1 - x^{tru}}) + (1-\alpha)(\underline{x_2 - x^{tru}}))^2 \rangle$$

$$= \alpha^2 \langle \varepsilon_1^2 \rangle + \cancel{2\alpha(1-\alpha)\langle \varepsilon_1 \varepsilon_2 \rangle} + (1-\alpha)^2 \langle \varepsilon_2^2 \rangle$$

$$= \alpha^2 \sigma_1^2 + (1-\alpha)^2 \sigma_2^2$$

分散の定義

$$V(x) = E\left(\left(x - E(x)\right)^2\right)$$

$$\sigma^2 = \langle \varepsilon \cdot \varepsilon \rangle$$

σ ：標準偏差

σ^2: 分散

最小分散推定

1つ目の観測 $x_1 = x^{tru} + \varepsilon_1$

2つ目の観測 $x_2 = x^{tru} + \varepsilon_2$

(1) バイアス無し $\langle x_1 \rangle = \langle x_2 \rangle = x^{tru}$

(2) 相関無し $\langle \varepsilon_1 \varepsilon_2 \rangle = 0$

$$x^a = \alpha x_1 + (1-\alpha) x_2$$

$$(\sigma^a)^2 = \alpha^2 \sigma_1^2 + (1-\alpha)^2 \sigma_2^2$$

誤差分散$(\sigma^a)^2$を最小化するαを求める

$$\frac{\partial (\sigma^a)^2}{\partial \alpha} = 2\alpha\sigma_1^2 - 2(1-\alpha)\sigma_2^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow \ \alpha = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

誤差分散による重みづけ平均 (σ^2; =最適値)

$$x^a = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} x_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} x_2$$

$$= \underbrace{x_1}_{\text{1つ目の観測}} + \underbrace{\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}(x_2 - x_1)}_{\text{1つ目の観測からの変化}}$$

数式の解釈

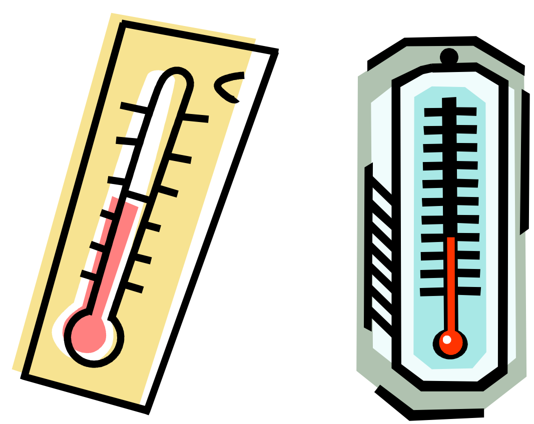
誤差分散による重みづけ平均 (σ^2; =最適値)

$$\boxed{x^a = x_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}(x_2 - x_1)}$$

誤差分散が大 ➔ 測定が信頼できない
誤差分散が小 ➔ 測定が信頼できる

仮に1つ目の観測の信頼性が低かったら？
σ_1^2が∞ ➔ 最適値 $x^a = x_2$

仮に1つ目の観測の信頼性が完璧だったら？
σ_1^2が0 ➔ 最適値 $x^a = x_1$



x_1=20℃ (信頼性低い)　x_2= 30℃ (信頼性高い)

多次元への拡張

誤差分散による重み付け平均 (σ²; =最適値)

$$x^a = x_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}(x_2 - x_1)$$

誤差分散が大 ➔ 測定が信頼できない
誤差分散が小 ➔ 測定が信頼できる

多次元に拡張するものの、同じ形の数式を用いている

$$\mathbf{x}_t^a = \mathbf{x}_t^b + \mathbf{P}_t^b \mathbf{H}^T \left[\mathbf{H}\mathbf{P}_t^b \mathbf{H}^T + \mathbf{R}\right]^{-1} \left(\mathbf{y}_t^o - H(\mathbf{x}_t^b)\right)$$

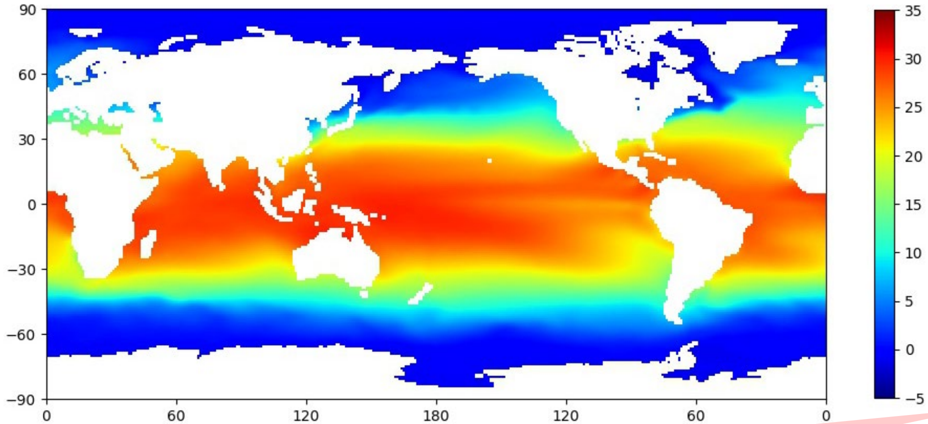
x: 状態量
y: 観測量

P: 状態誤差共分散
R: 観測誤差共分散
H: 観測演算子

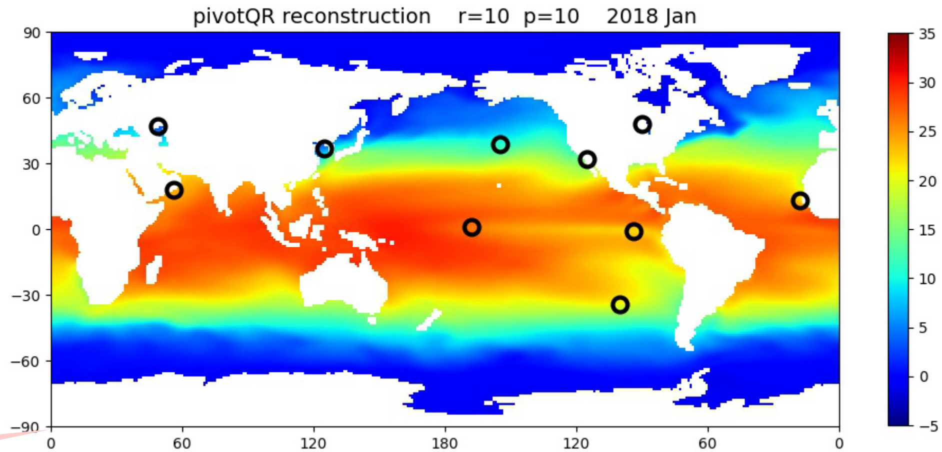
b: 予測値
a: 解析値 (最適値)
o: 観測地

多次元化の効果：海表面温度

世界の海表面温度 (℃) の分布 (正解)が知りたい

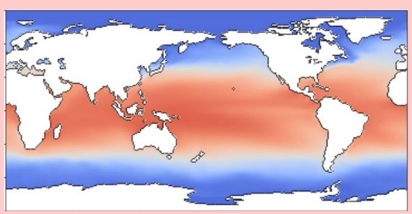


ここまで推定できる

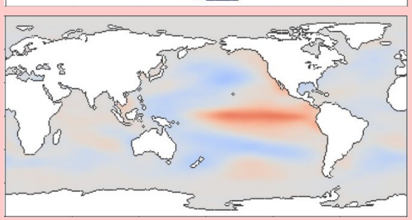


モード (空間的関係) の重ね合わせで表現可能

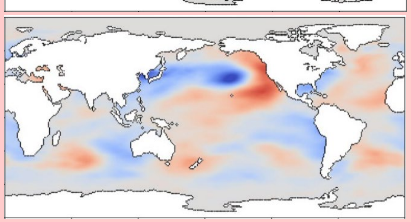
モード = 固有ベクトル



$\times a_1$ 第１モード 平均値

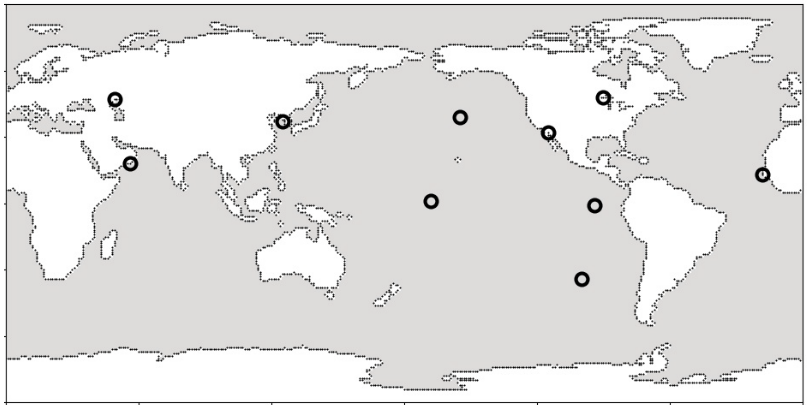


$\times a_2$ 第２モード エルニーニョ & ラニーニョ



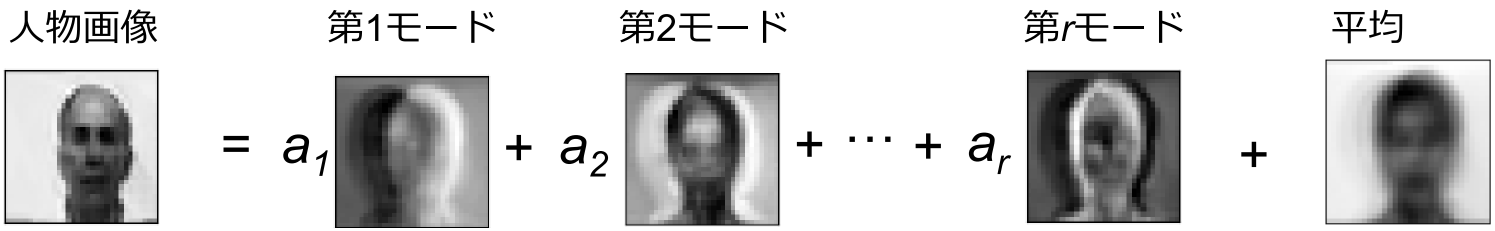
$\times a_3$ 第３モード 太平洋10年振動

10点だけの観測情報から



モードは色んな画像に存在する

顔画像も同様にモード (特徴的パターン) の重ね合わせで表現できる



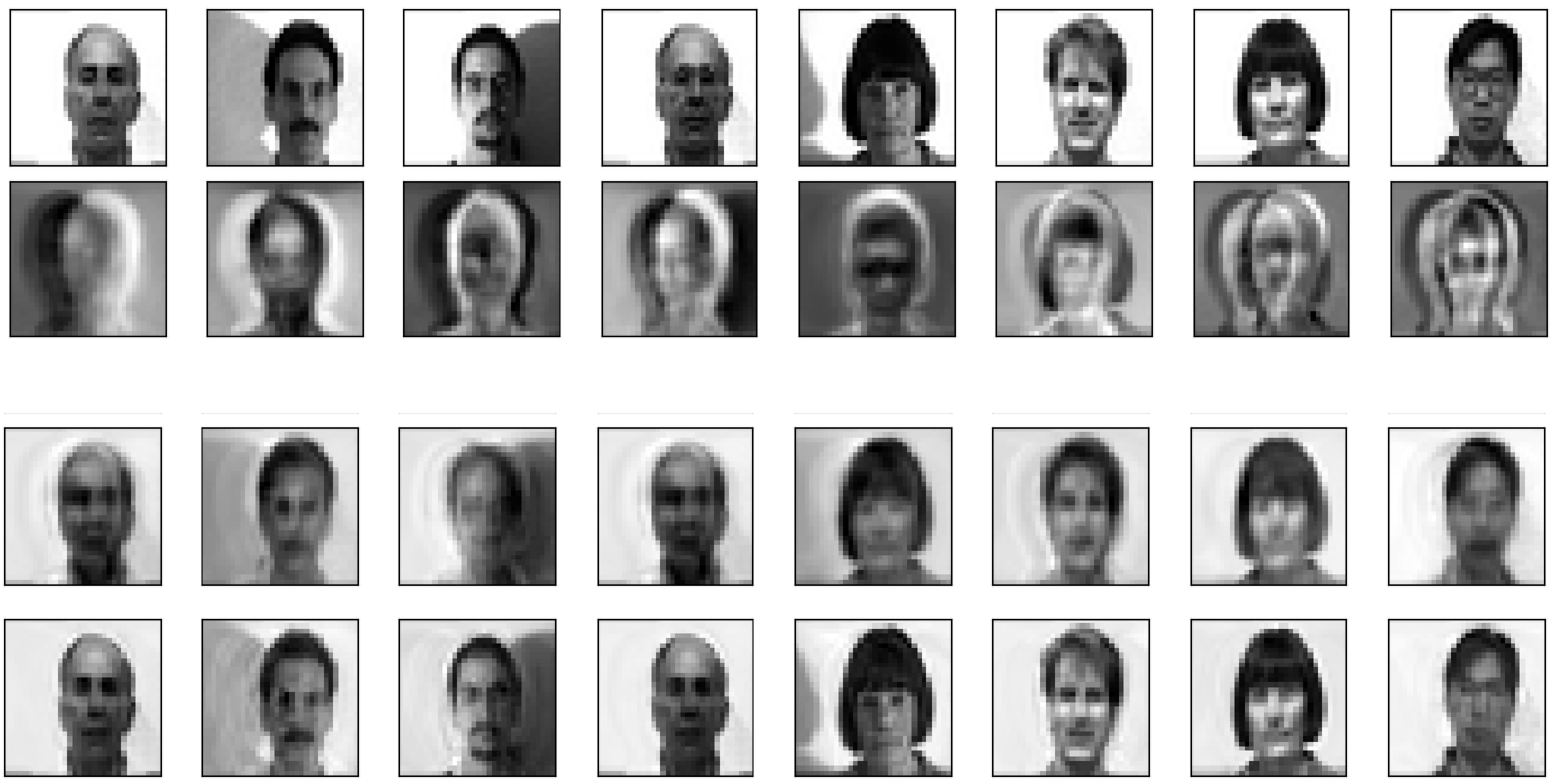
$$x = a_1 \,[\text{第1モード}] + a_2 \,[\text{第2モード}] + \cdots + a_r \,[\text{第}r\text{モード}] + [\text{平均}]$$

人物画像群

モード
(固有ベクトル)

10モードまで
使って復元

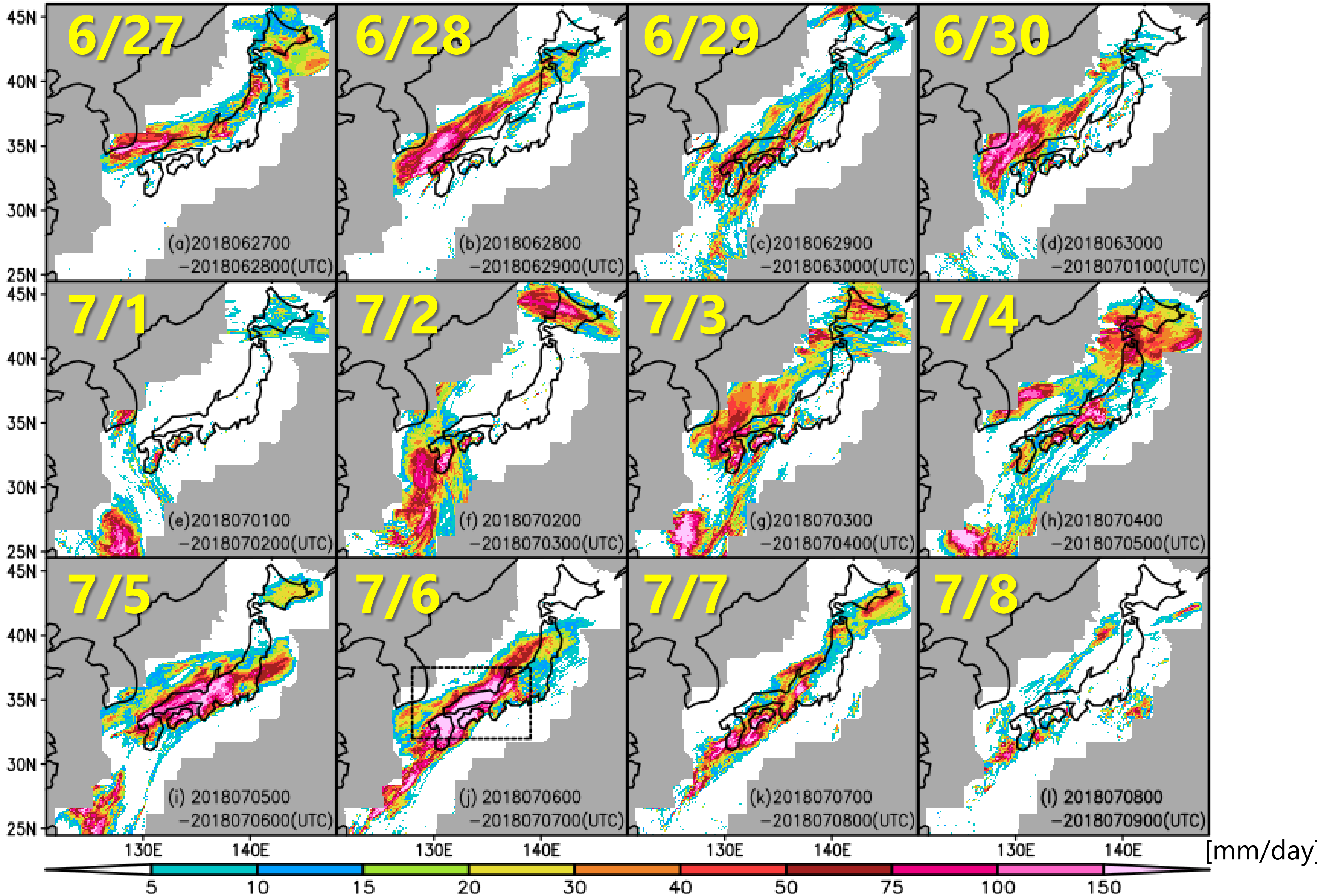
50モードまで
使って復元



(4) データ同化の効果
平成30年7月豪雨

Kotsuki et al. (2019; *SOLA*)

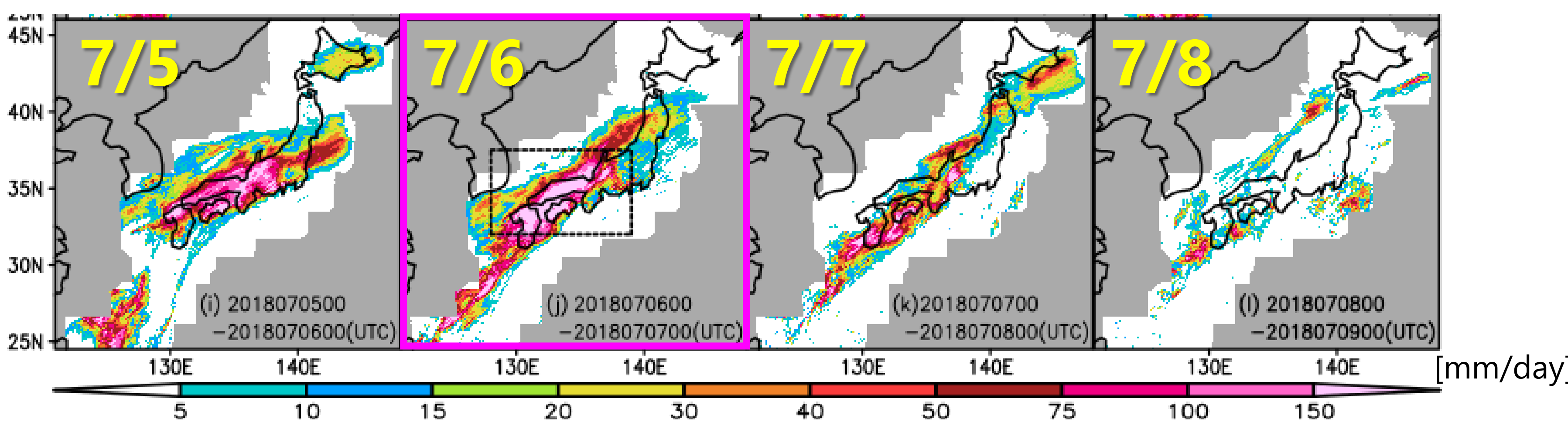
平成30年7月豪雨 (気象庁レーダー観測)



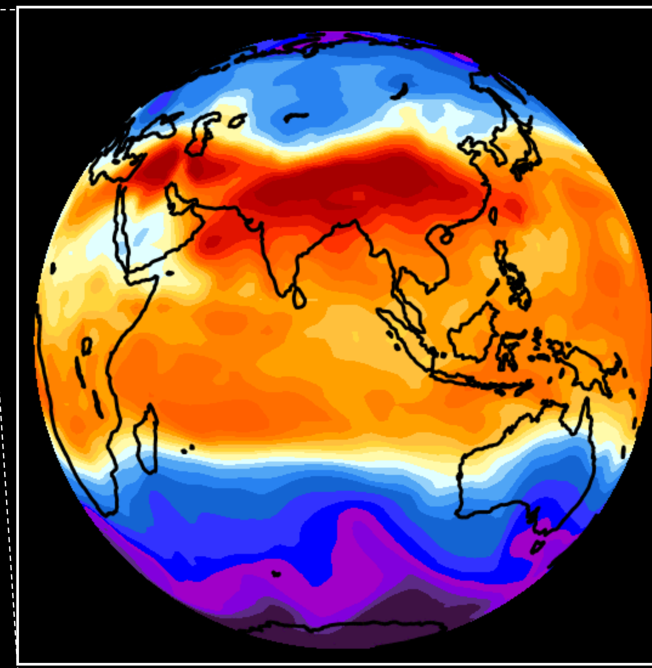
平成30年7月豪雨 (気象庁レーダー観測)

Environmental Prediction Science Laboratory

**最も激しく降った
7月6日の豪雨は
何日前から
予測可能だったのか？**



極端現象の予測は難しい。どうする？

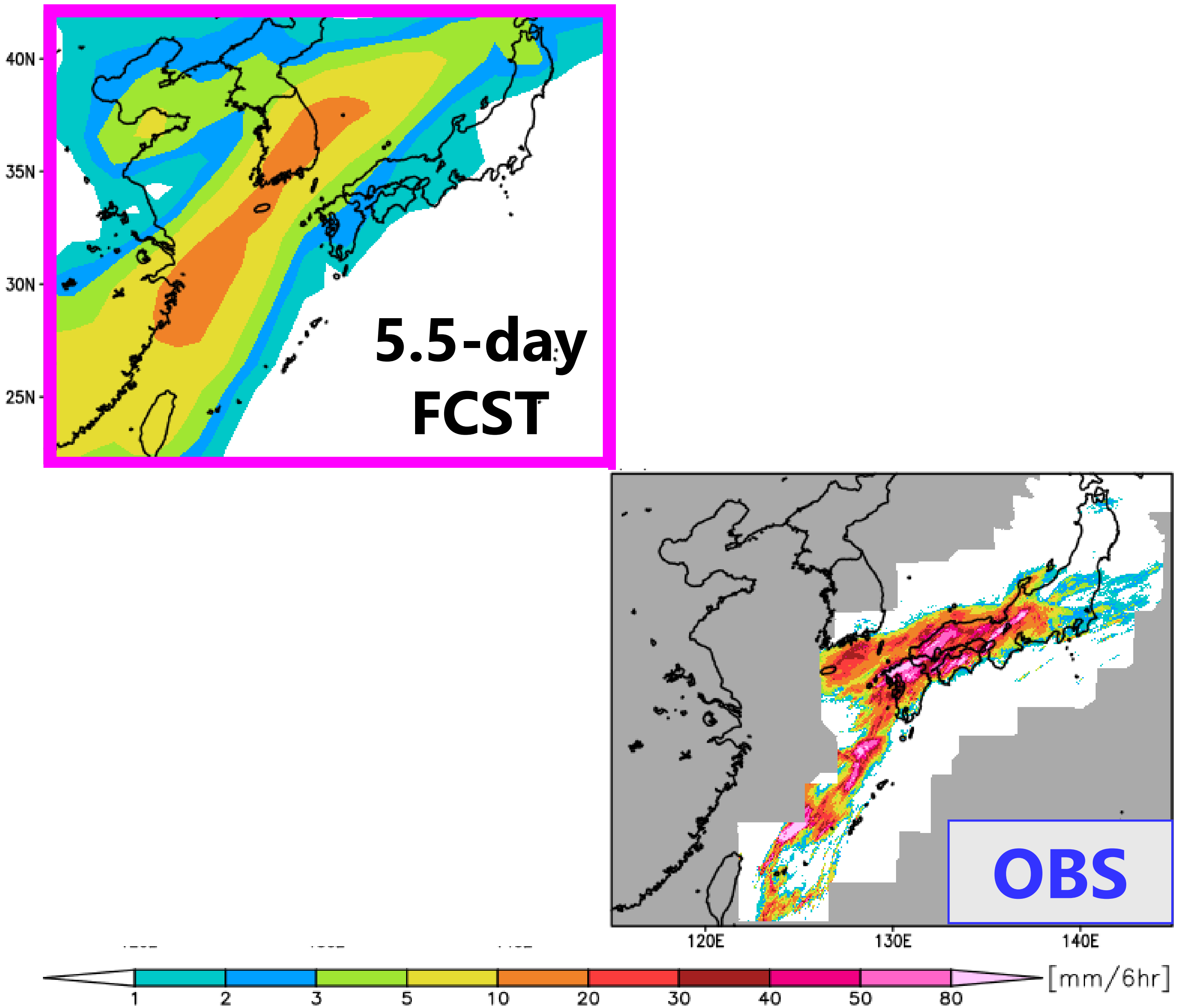


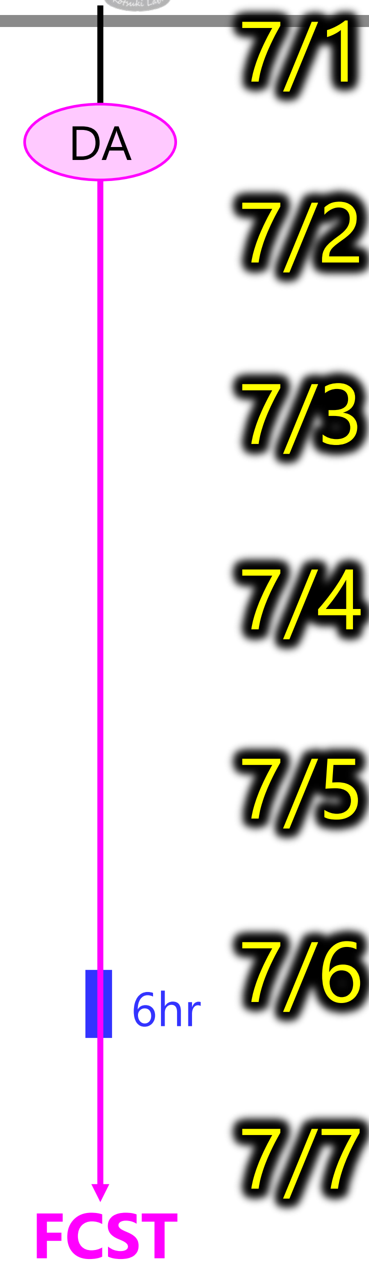
NEXRA

Running on JAXA's Supercomputer (JSS3)

Terasaki et al. (2015), Kotsuki et al. (2019), Chen et al. (in prep.)

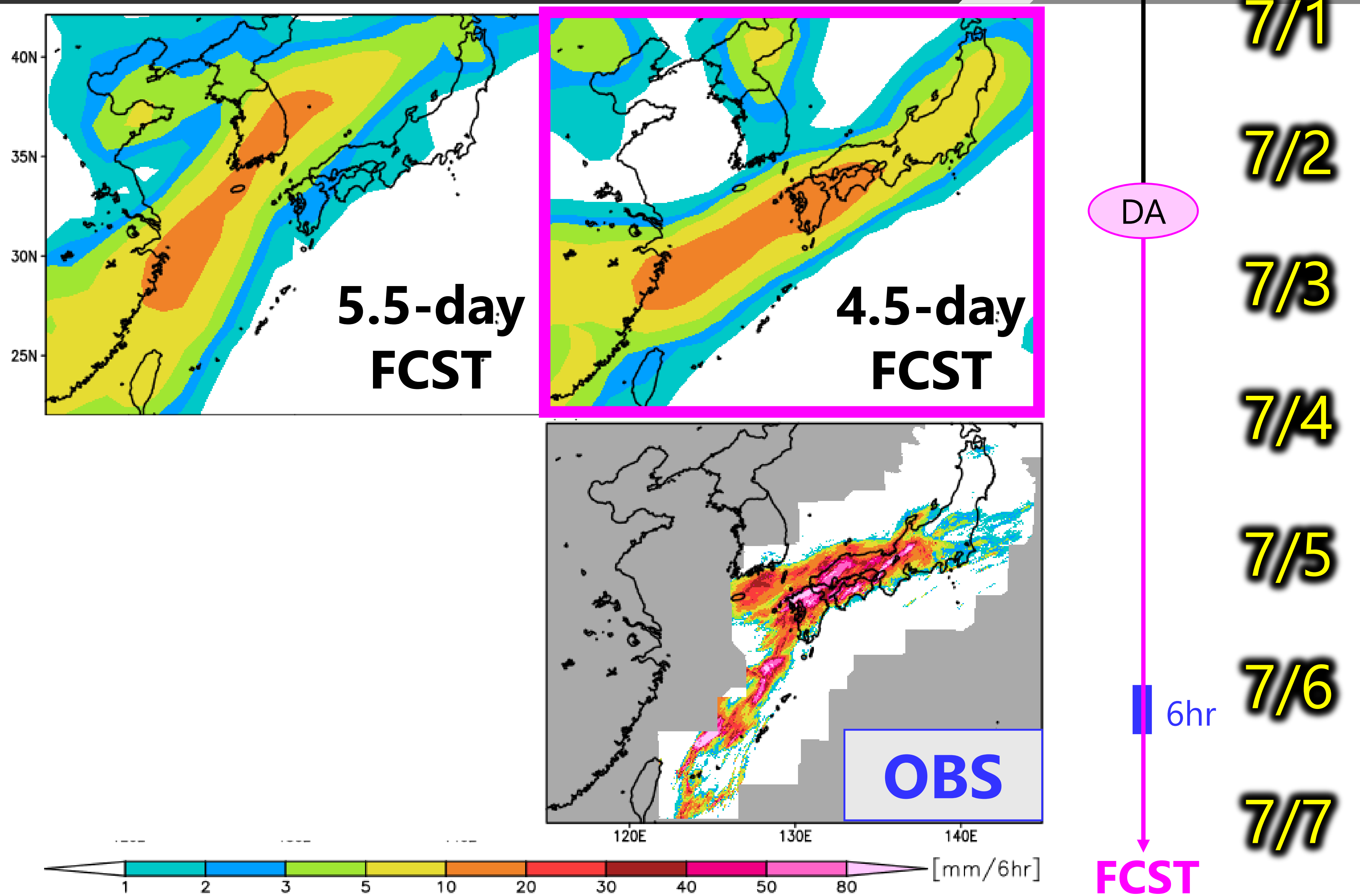
NEXRAアンサンブル予測



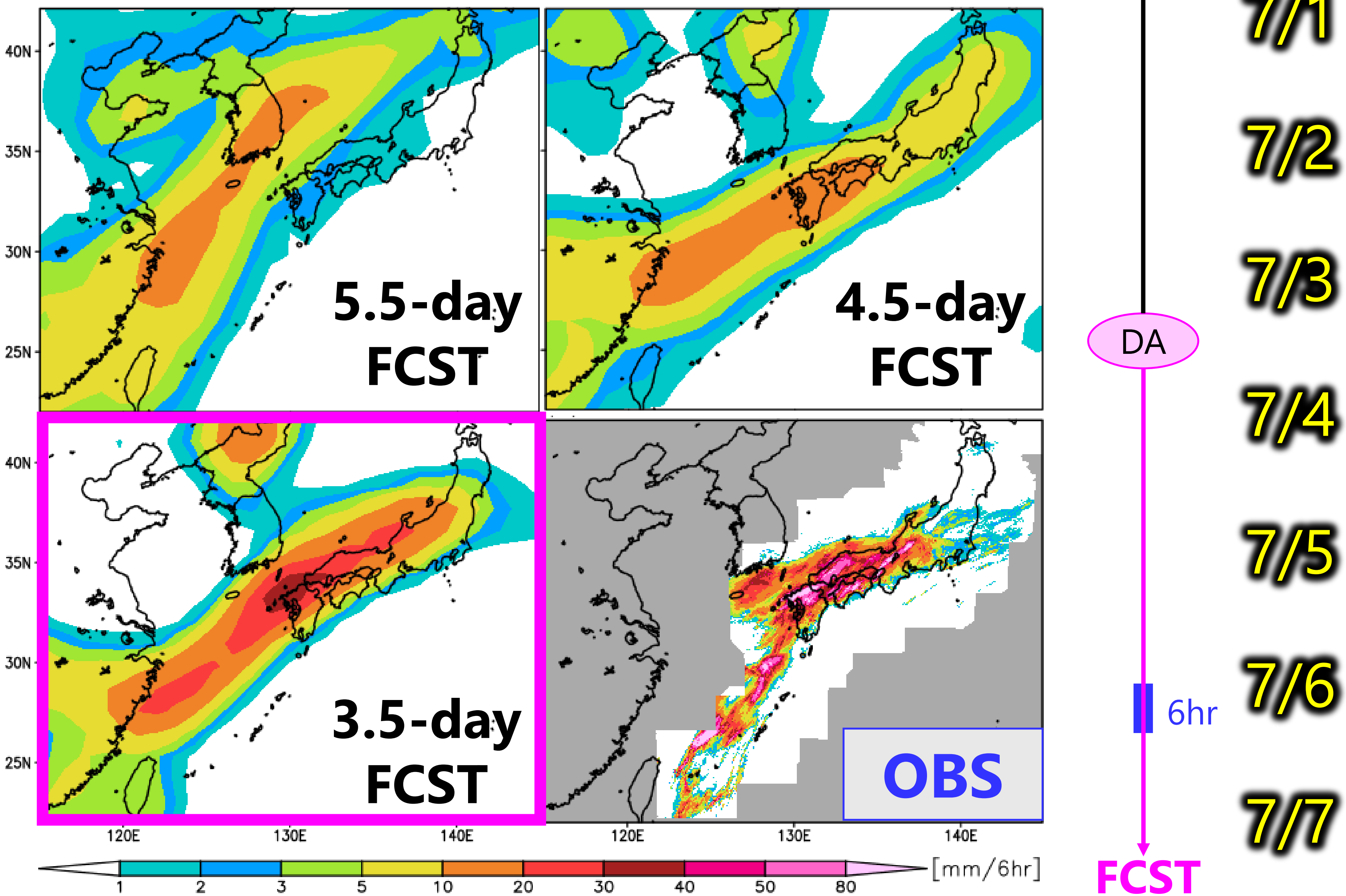


NEXRAアンサンブル予測

Environmental Prediction Science Laboratory

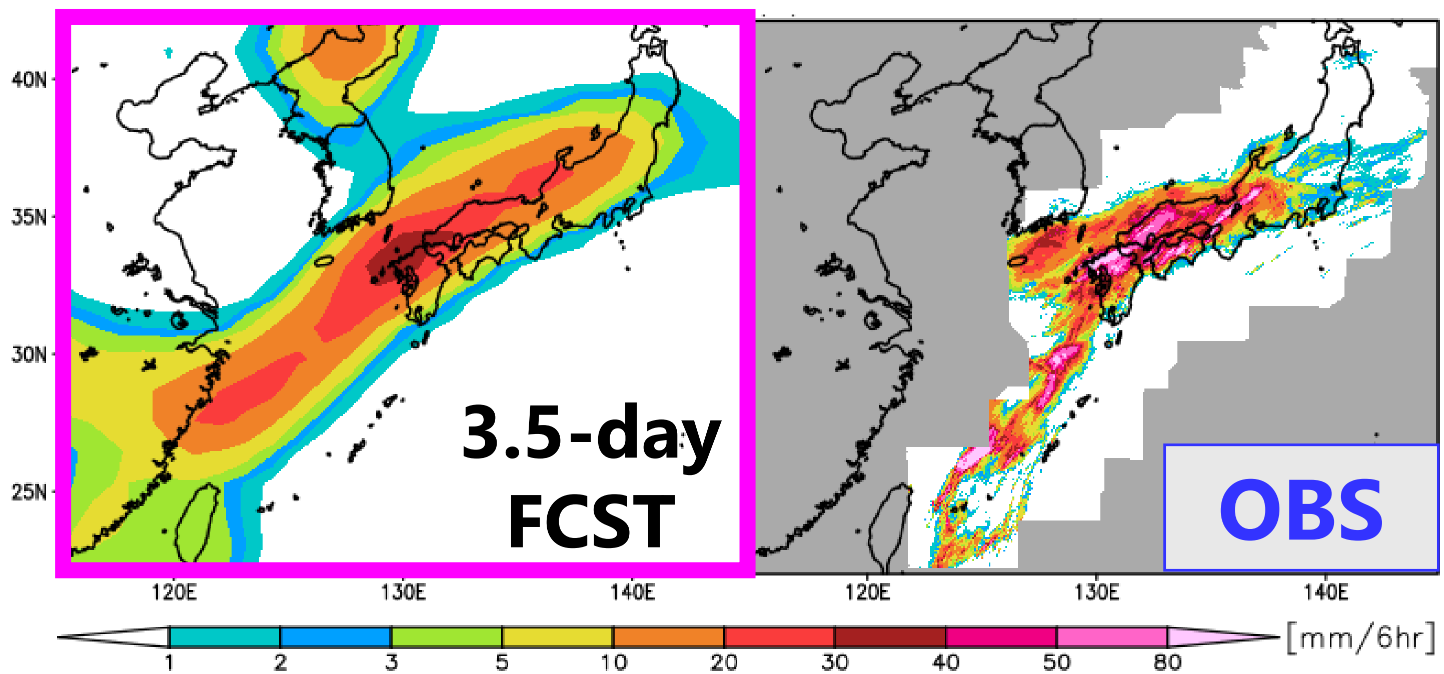


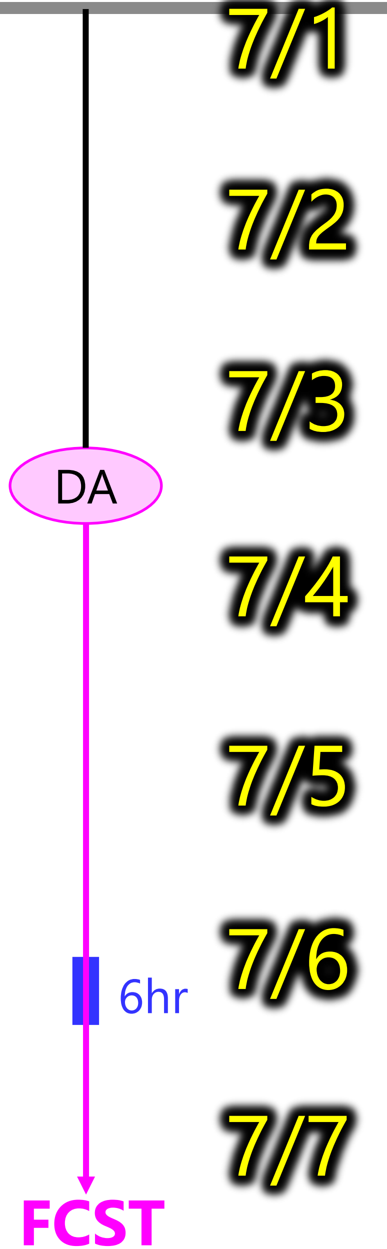
NEXRAアンサンブル予測



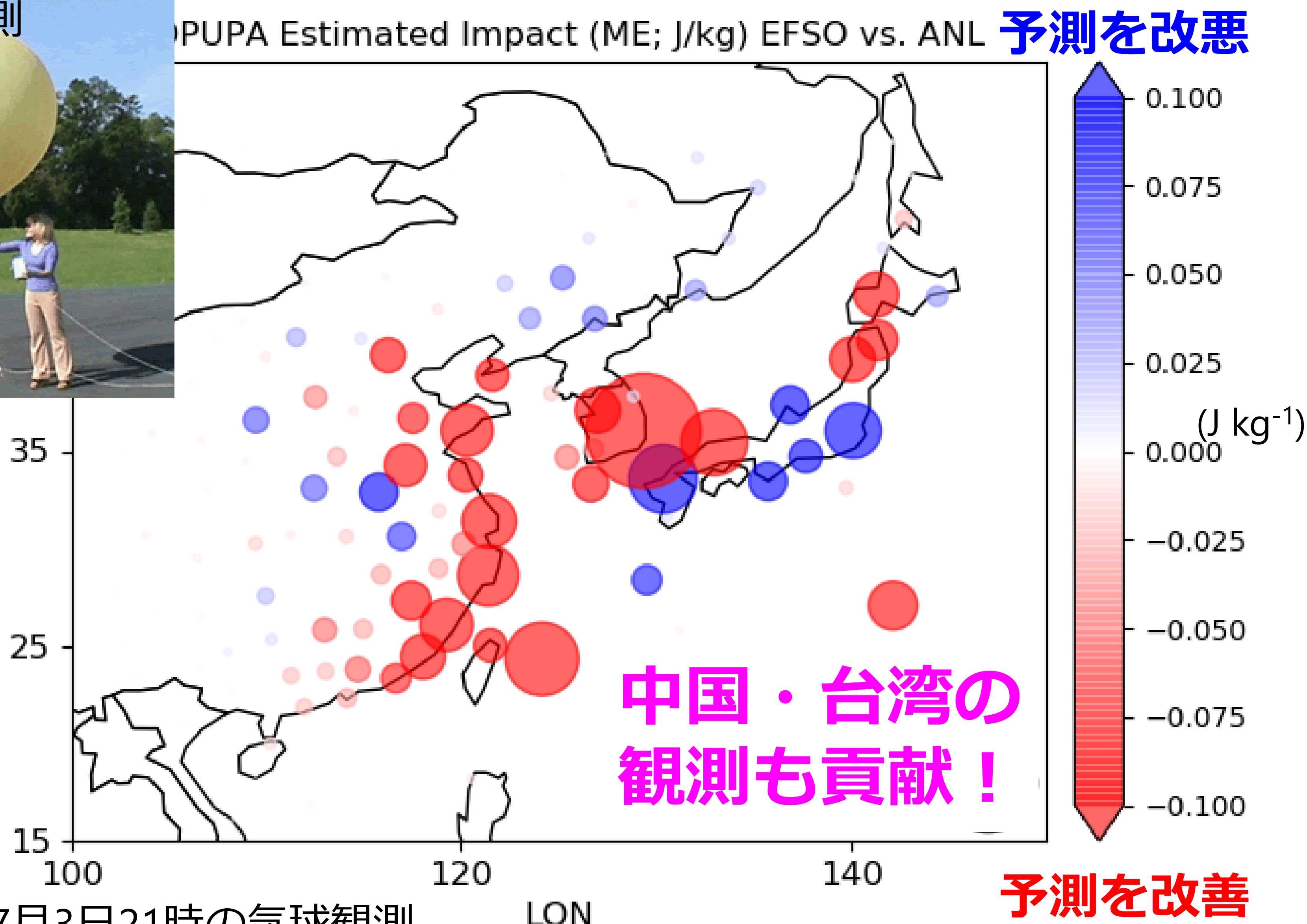
予測のターニングポイント

データ同化はどの様に
予測改善に貢献したか





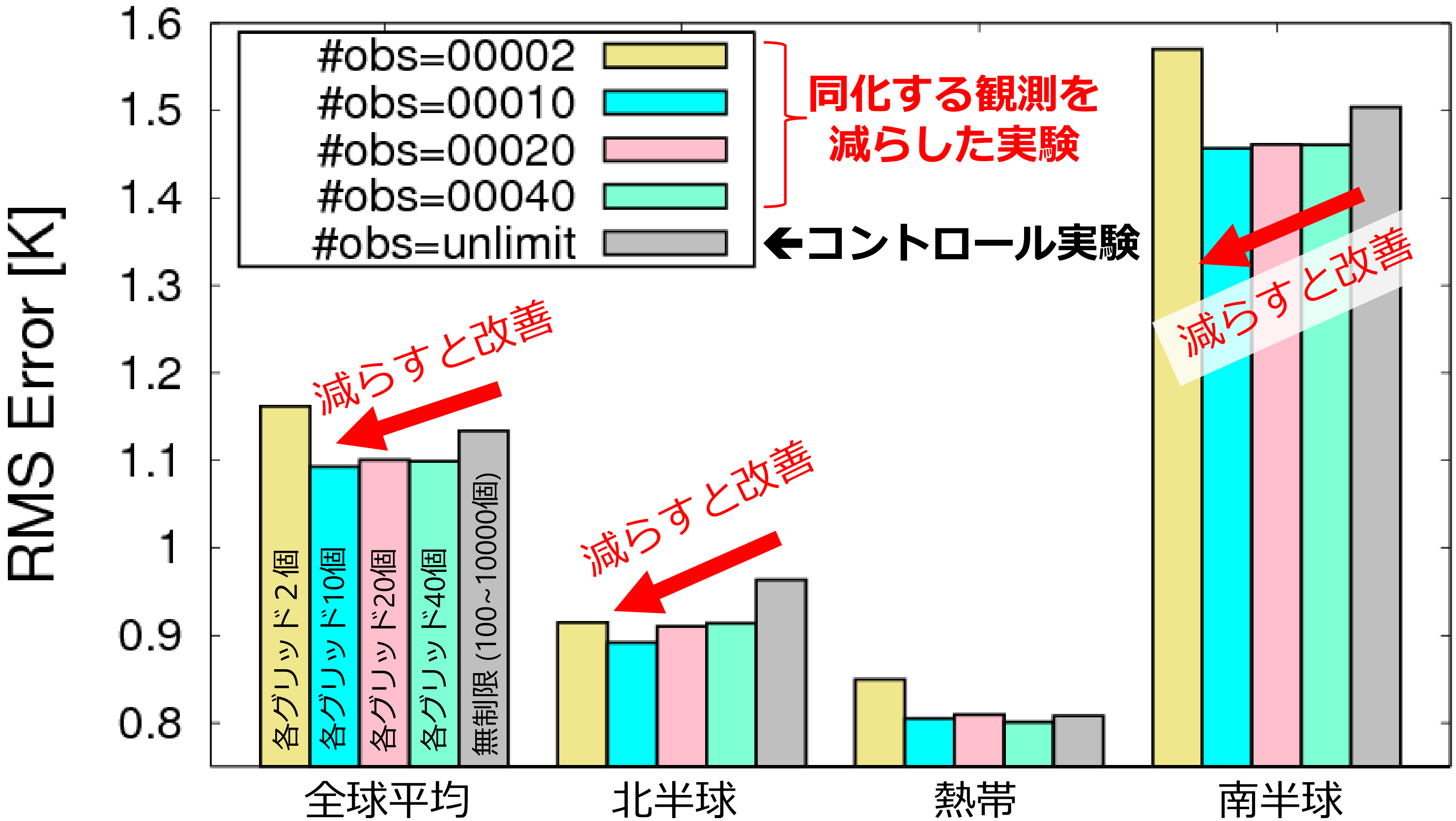
予測改善に貢献した気球観測点



2018年7月3日21時の気球観測

問題：観測ビッグデータの利用限界

同化する観測を減らすと予報精度が改善！



500 hPa 高度の気温の予報誤差（低いと改善） (2014年夏の３か月平均)

(1)得られる観測の数%しか利用できていない

(2)観測が多ければ多いほど良い、とは限らない

さきがけ・数理 (2019~)

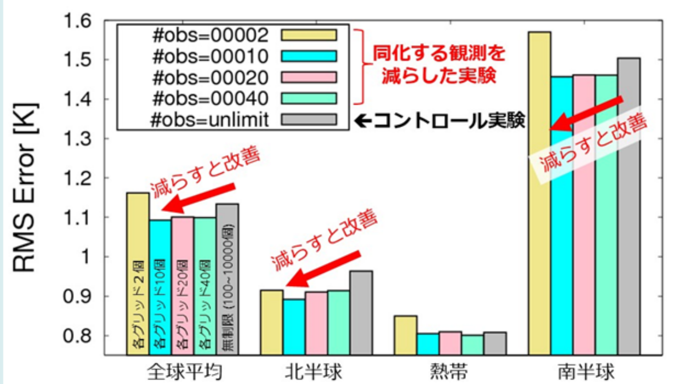
Environmental Prediction Science Laboratory

研究課題名 「観測の価値」を最大化するデータ同化・予測手法の開発

研究者氏名 小槻 峻司 （千葉大学・環境リモートセンシング研究センター 准教授）

研究領域「 数理構造活用 」
（研究総括: 坂上貴之、R1年度発足）

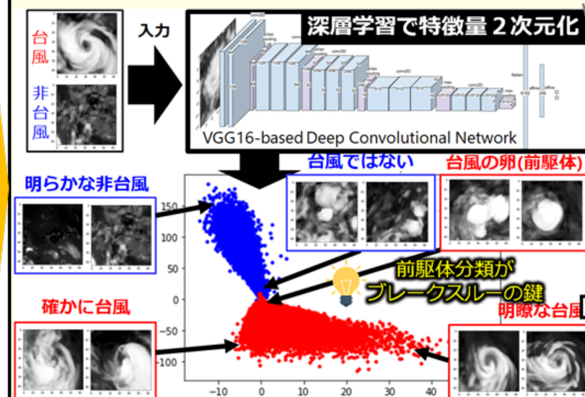
解決したい問題: 観測 Big Data 利用限界



500 hPa 高度の気温の予報誤差（低いと改善）（2014年夏の３か月平均）

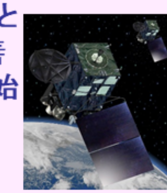
利用する観測の数を減らすと、天気予報精度が改善する。

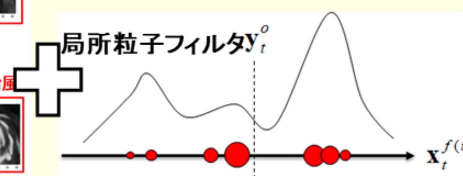
処方箋1: 「情報圧縮」して利用する



気象庁気象研究所と現業天気予報改善への共同研究を開始 (2021年4月)

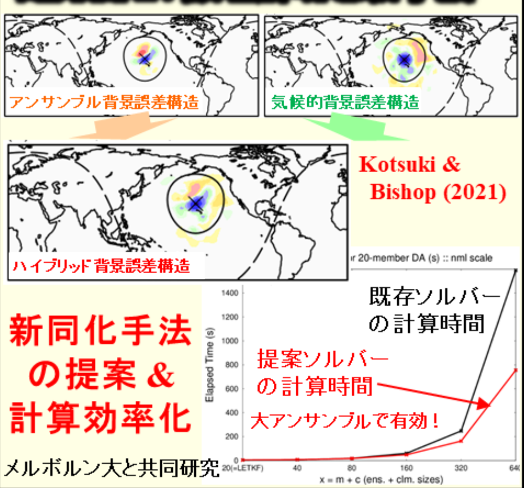
静止衛星ひまわりの情報圧縮&同化へ





1. 深層深層による気象情報圧縮　2. 圧縮情報同化の手法開発

処方箋2: 数理解明と新手法



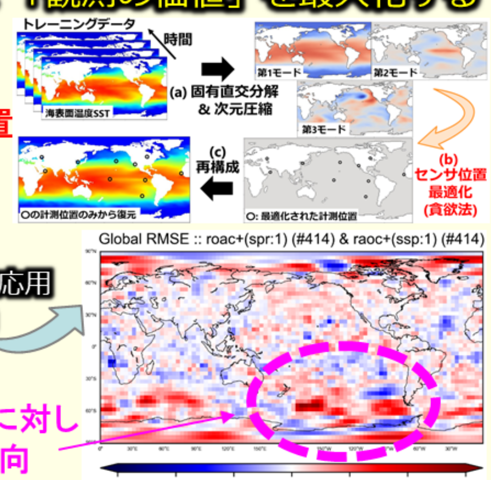
Kotsuki & Bishop (2021)

新同化手法の提案 & 計算効率化

メルボルン大と共同研究

処方箋3: 「観測の価値」を最大化する

スパースセンサ位置最適化



気象予測へ応用 (OSSE)

一般手法に対し改善傾向

成果: 実天気予報の改善

ongoing &
可視化システムを作成中

実天気予報での実証実験

今日の発表で目指したこと

Environmental Prediction Science Laboratory

- **大事なコンセプト**を伝える
  - (1) 数値積分の気持ち
  - (2) 天気予報の仕組み
  - (3) データ同化の気持ち
  - (4) 天気予報におけるデータ同化の効果

数値積分で未来を予測できる！

微分して最小値は天気予報でも使ってる！

- **言いたいこと**を伝える
  - (5) 高校生へのメッセージ

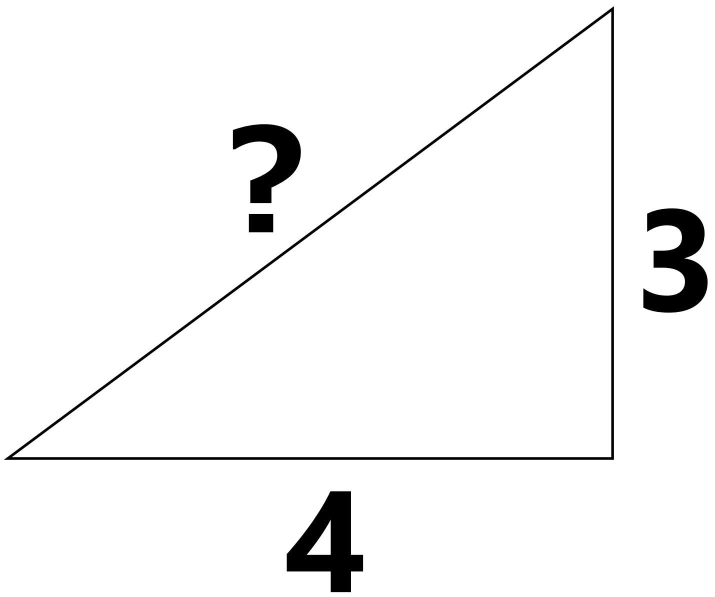
より深く理解するために大学で学ぶこと

- 数学で物理現象を記述する力学
- 多次元の情報を扱うための線形代数
- それらを計算機で解かせるプログラミング
- 基本的に、数式で書けば、プログラミングできる

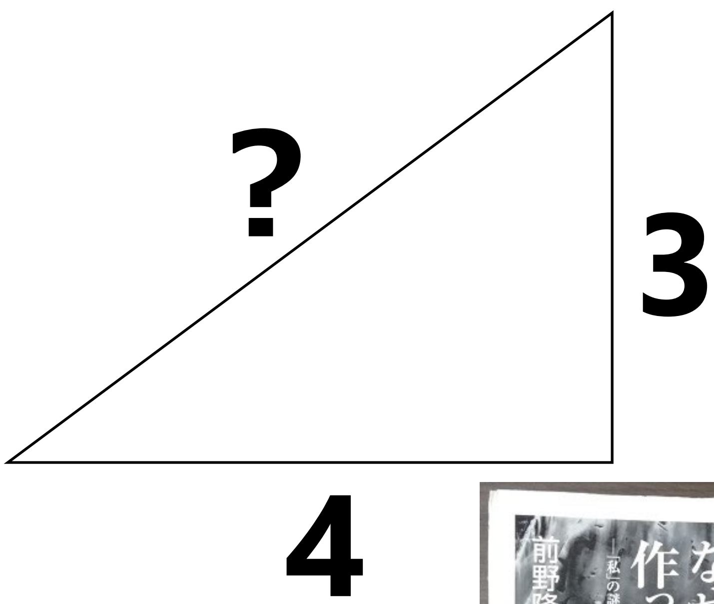
雑談: 何故, 勉強するのか？ (”こころ”の仕組みより)

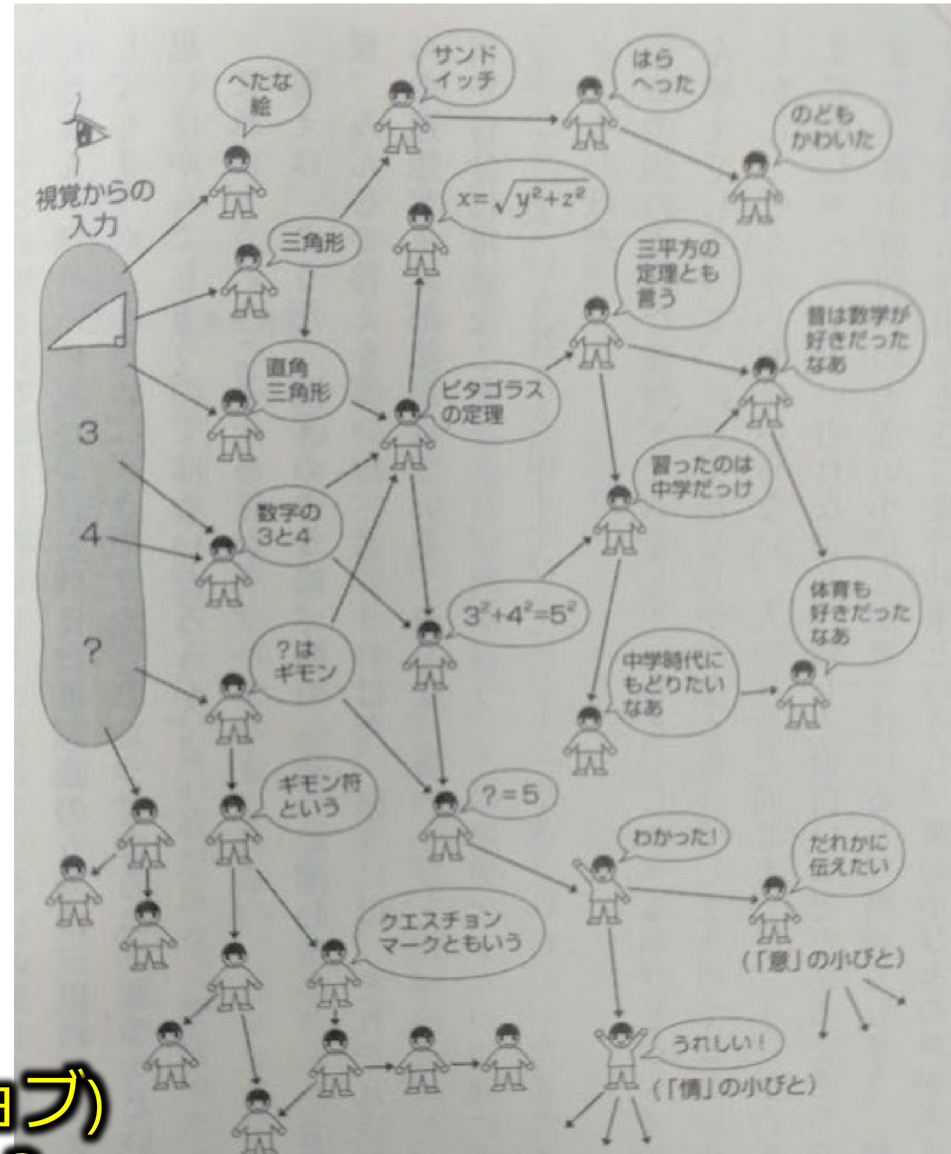
（ここから先は本題ではないので気楽に聞いてください）

これなんですか？



脳の仕組み (個人的な解釈)





図⑧ 「知」の小びとたちの連想ゲーム

脳は小人(バックグラウンドジョブ)
の連想ゲームなのではないか？

バックグラウンドジョブを使えると？

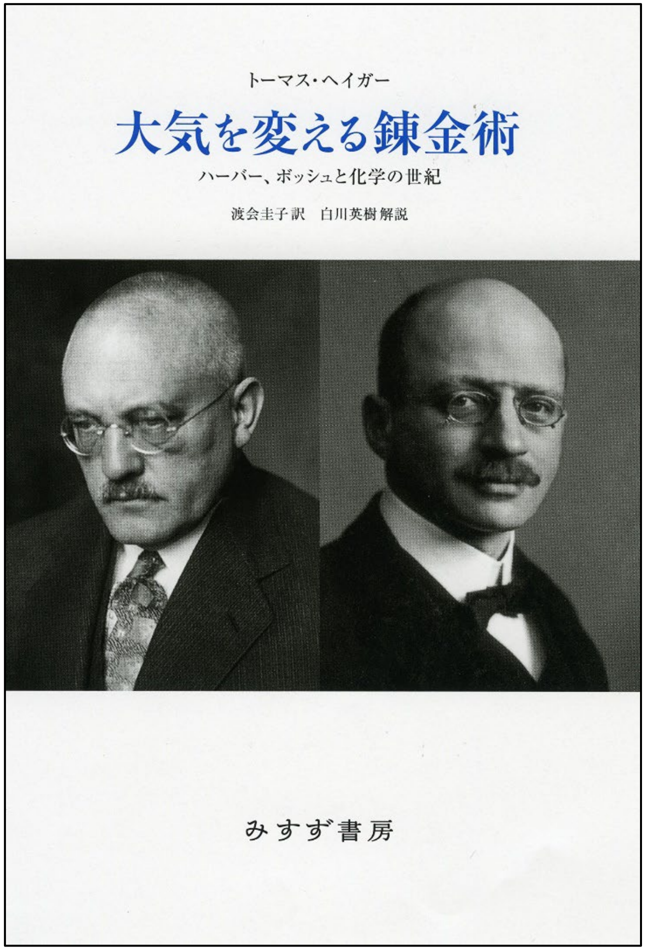
Environmental Prediction Science Laboratory

- 運が良い人は、本当に、運が良いのか？
- 虫の知らせは、本当に、虫の知らせなのか？
- 理解するって、僕が「能動的に」理解したのか？
- 意識に昇らないものの、バックグラウンドジョブが情報を処理し続けていて、それがある時、突然意識に昇るのではないか？
- では、バックグラウンドジョブはどうやったら鍛えられるの？
- 小槻's answer：　“結びつけ”の経験

結びつけの例：
ハーバーボッシュ法

これなんですか？

$$N_2 + 3H_2 \Rightarrow 2NH_3$$



ハーバーボッシュ法の裏側

$$\mathbf{N}_2 + 3\mathbf{H}_2 \Rightarrow 2\mathbf{NH}_3$$

ハーバー・
ボッシュ法

高校化学

世界人口の急増
（無ければ2/3）

肥料・緑の革命

ハーバー・
ボッシュ法

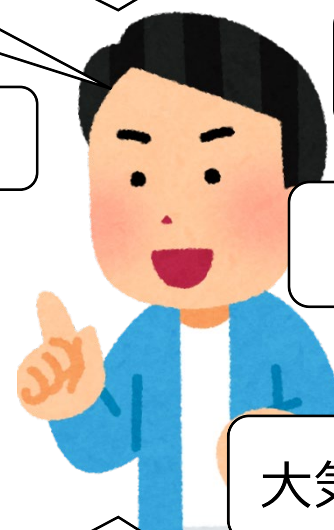
高温・高圧反応

窒素三重結合

輪作・マメ科

ハーバーの悲劇

ユダヤ人・ナチス



大気を変える錬金術

アンモニア➔硝酸

爆薬・毒ガス

面白い本で、不思議は連鎖する

Environmental Prediction Science Laboratory

自然科学・数学

- **暗号解読（サイモン・シン）[総合A; 面白さA, 読易さA, 知の感動A, 心の感動C)** **絶対に面白い**
  - 天才、サイモン・シンによる「暗号」への一冊。ユリウス・カエサルの時代から今に至る、暗号開発と解読の絶え間ない競演を描く。旧ナチスのエニグマの解読プロセスは、まさに感動。また、現代でも用いられているRSA暗号についても理解できる。理系学生になら、文句なしにお薦めできる１冊。
- **脳はなぜ「心」を作ったのか (前野隆司) [総合A; 面白さA, 読易さA, 知の感動A, 心の感動C]** **絶対に面白い**
  - 人工知能の研究者が考えた、「こころ」についての考察。機械論的な脳のモデル化など、人によってはそれなりにショッキングかもしれない。もしかしたら、人間はただの反応機械で、私たちには自由意志などないのかもしれない。しかし、小人モデルによる脳機能の説明は、相当に自分の脳への理解を助ける。理系学生になら、文句なしにお薦めできる１冊。**[読書録]**
- **ビッグバン宇宙論 (サイモン・シン) [総合A; 面白さA, 読易さA, 知の感動A, 心の感動C]** **絶対に面白い**
  - 2015年のBook of The Year。天才、サイモン・シンのおススメシリーズ。こちらも、面白いと思わない理系学生がいたら見てみたいレベル。人間が、宇宙についてどのように理解してきたか、歴史の流れの中で見ていく感じ。つまり、人の宇宙への理解を、この１冊で振り返ることが出来る。サイモン・シンの他作品は、**「フェルマーの最終定理」**も素晴らしい。ちなみに、「代替医療診断」は僕はあまり面白いと思えなかった。

哲学・思想・倫理

- **暇と退屈の倫理学 (國分功一郎) [総合S; 面白さA, 読易さB, 知の感動A, 心の感動A]** **なるほど分からん**
  - 2016年のBook of The Year。「暇」と「退屈」について、著者の膨大な哲学・思想学的知識をもとに紐解いていく。冒頭で問われる、「ISISの様な熱狂的な原理主義者・狂信者を、恐れつつ、どこか羨んでいる自分はいないだろうか？」という問いかけには、思わずドキリとさせられる。人は、暇がなくても、退屈するのだ。何度も読み直したい一冊。また、内容もさることながら、イントロがとにかく素晴らしい。僕はここで、「考えを世に問う」という価値観を学んだ。國分さんのファンになったら、「哲学の先生の人生の話をしよう」も傑作です。哲学者が人生相談に乗ると、こんな人生相談になるんやっていう感動があります。様々な価値観・考え方をストックして、それを適宜出し入れできる哲学者は凄いって思わされます。**[読書録]**
- **寝ながら学べる構造主義（内田樹）[総合A; 面白さA, 読易さB, 知の感動A, 心の感動B]** **なるほど分からん**
  - 2013年のBook of The Year。２０世紀に大流行した思想「構造主義」について、内田さんが解説してくれる。一つ一つのセンテンスは凄くわかりやすく、内容も面白い。しかし、全体を通して何を言おうとしてるのか、よく分からない。５回読んでやっとわかった気がした本。構造主義は、私たちの思考が、時代や社会において無意識に縛られている事を暴く。自分の思考が、どれくらい自由に決められているのか、よく分からなくなってくる。この本を読んでから、僕は思想の書籍に踏み込み始めた。構造主義という考えを知ることで、当たり前の因果関係を疑うことが出来る。

なんか良く分からんけど、絶対自分に大事な事言ってる。

http://kotsuki-shunji.com/blog/books-my-recommendations/

もし地球環境を学びたければ

Environmental Prediction Science Laboratory

- Further Information
  - https://kotsuki-lab.com/internal-pages/

Python Programming Training

地球科学・Python 入門 / Python Training Course for Earth Science (ver 2.0)

Python を利用した地球科学・数値解析入門

Python Training Course for Earth Science

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・小槻研究室

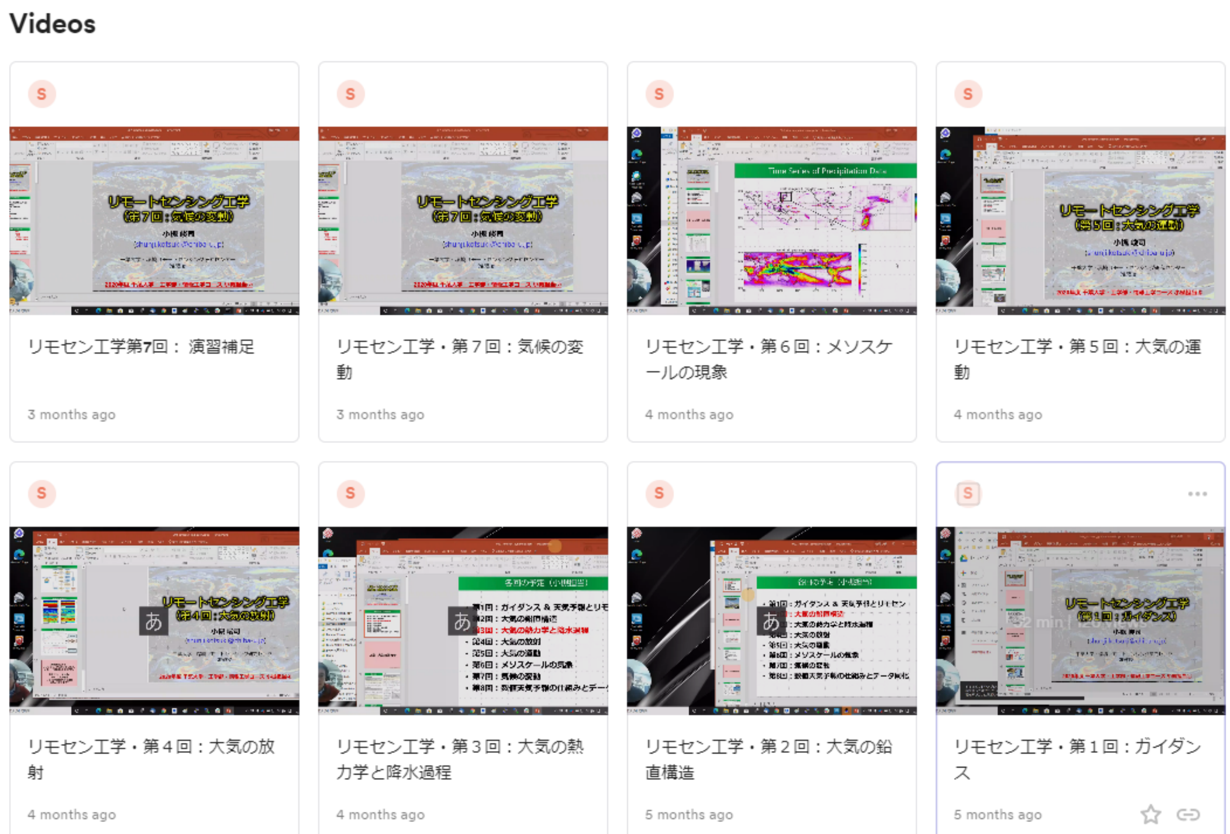
Kotsuki Laboratory, CEReS, Chiba niveristy

https://kotsuki-lab.com/

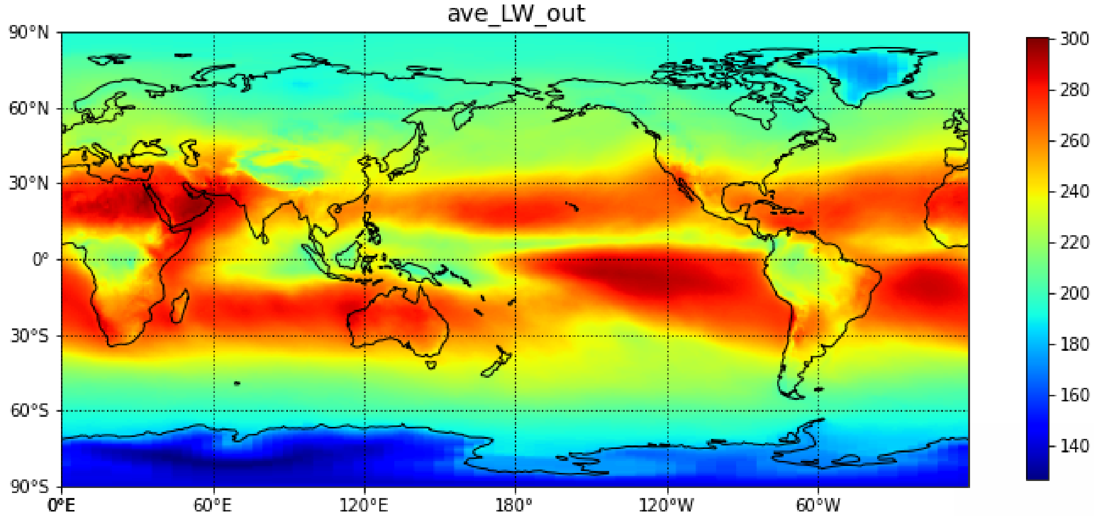
contact information: shunji.kotsuki@chiba-u.jp

1 / 140

Online Lectures & Python-based Satellite Data Analysis

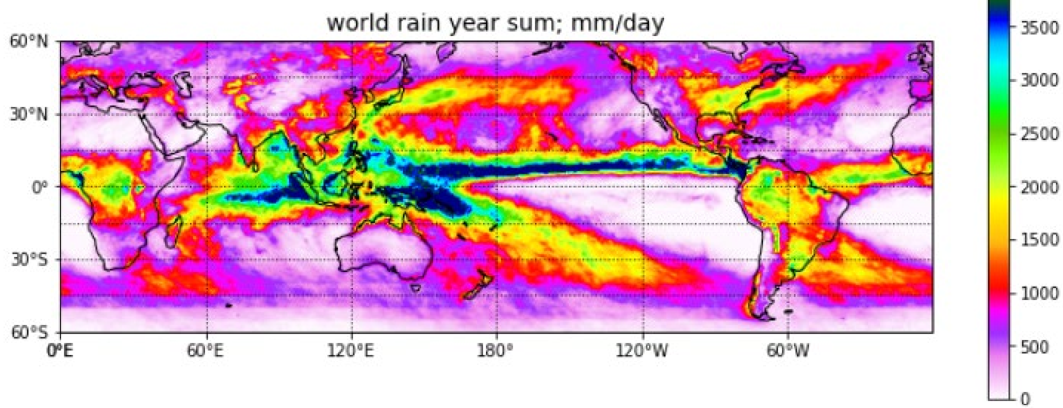


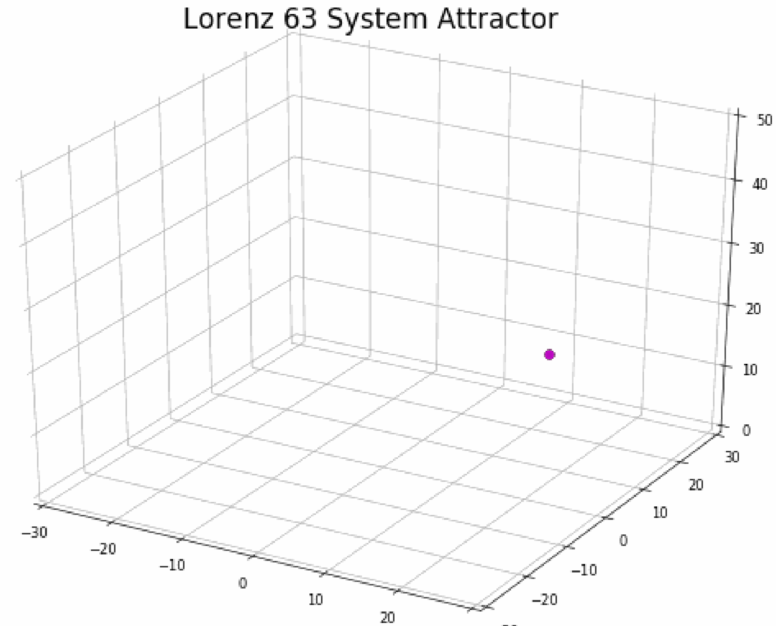
こんなことが出来るようになる



例１: 地球大気の赤外放射
≒どこに雲が多いか？

例２:世界の降水量分布 (2018年)





例３: ローレンツのバタフライ
アトラクタとカオス

Thank you for your attention!

Presented by Shunji Kotsuki
(shunji.kotsuki@chiba-u.jp)

Further information is available at
https://kotsuki-lab.com/

Environmental
Prediction
Science
Laboratory