



気象ビジネス推進コンソーシアム

Weather Business Consortium

気象データの利用におけるリスクマネジメント

～さまざまなアンサンブル予報の形態～

令和2年度第1回WXBCセミナー（オンライン）

開催日：8月4日 @ 3:15 PM - 4:15 PM

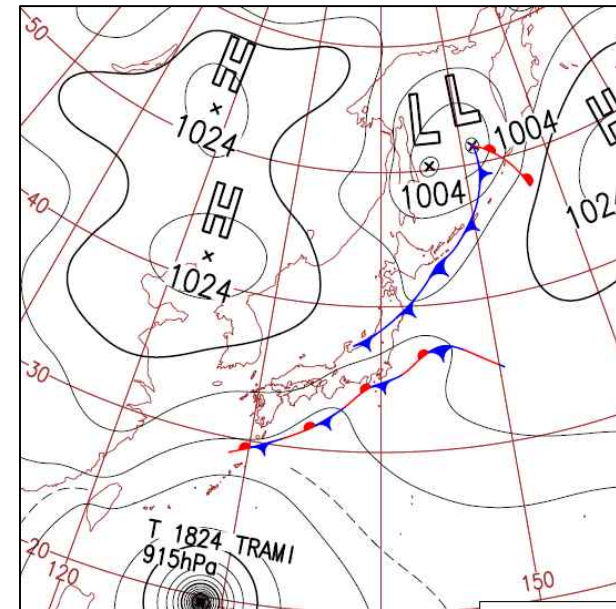
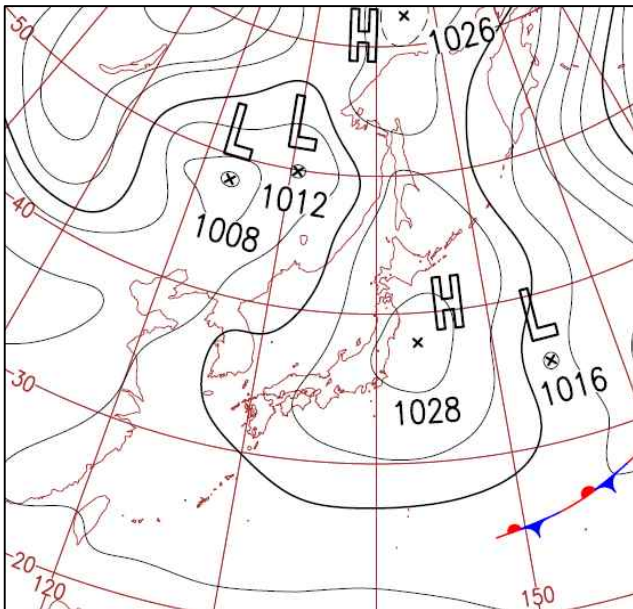
気象庁 気象研究所 応用気象研究部

山口 宗彦



本日の話の趣旨

- 本日は、気象予報における予測の幅について講演を行います。
- 皆さんがお使いの気象予測値(例えば、最高気温の予測値)には、**予測の幅**があります。
- この予測の幅は、日によって変わります。つまり、予測が当たりやすい日もあれば、予測が非常に難しい日もあります。

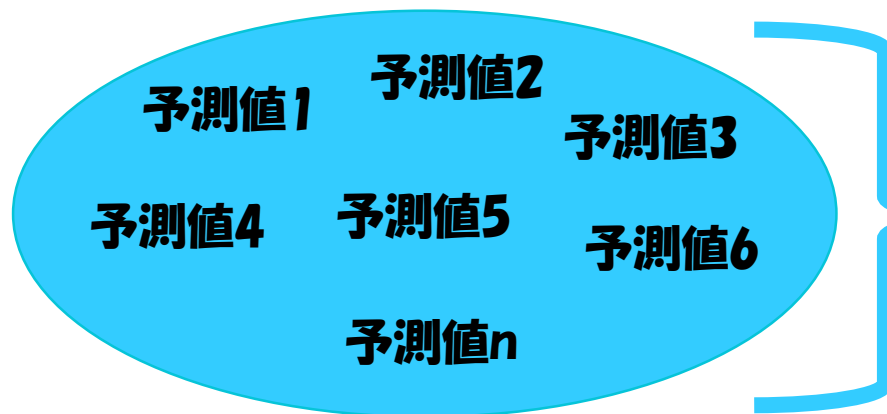


- 予測の難しさを予測するシステムがあり、**アンサンブル予報**と呼ばれています。

決定論的予報
Deterministic Forecast
(1つの予測値を得る)

予測値1

アンサンブル予報
Ensemble Forecast
(複数の予測値を得る)



複数の予測値のばらつき具合から、予測の難しさがわかる。

複数の予測値があると、いろいろなことを計算できる！！

●平均値 ●ばらつき(分散) ●ある値を超える(下回る)確率 など

具体例:ある地点の最高気温の予測

比較的ばらつきが小さい

	決定論的予報	アンサンブル予報
予測値 1	30.5	30.5
予測値 2		30.4
予測値 3		30.5
予測値 4		30.6
予測値 5		30.3
予測値 6		30.5

比較的ばらつきが大きい

	決定論的予報	アンサンブル予報
予測値 1	30.5	30.5
予測値 2		35.4
予測値 3		28.5
予測値 4		31.9
予測値 5		27.7
予測値 6		33.9

極端な現象の可能性

	決定論的予報	アンサンブル予報
予測値 1	30.5	30.5
予測値 2		30.4
予測値 3		30.5
予測値 4		30.6
予測値 5		35.3
予測値 6		35.5

たとえば、1週間先の予報であってもばらつきが小さい(信頼度が高い)場合もあるし、短期の予報でもばらつきが大きい(信頼度が低い)場合もあります。

このアンサンブル予報による予測の幅をビジネス利用できないだろうか、皆さんと一緒に考えていきたいと思います。

自己紹介

気象大学校（千葉県柏市）



気象庁本庁数値予報課
（東京都大手町）



マイアミ大学（米国）



気象研究所（茨城県つくば市）



ヨーロッパ中期予報センター
（ECWMF, 英国）



講演の内容

1. なぜアンサンブル予報は必要なのか？

2. さまざまなアンサンブル予報の形態

3. アンサンブル予報の利用の具体例

～気象データ利活用事例集を参考に～

1. なぜアンサンブル予報は必要なのか？

将来の大気の状態を予測する

大気の流れを解く方程式

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \omega \frac{\partial u}{\partial p} - f v + \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \omega \frac{\partial v}{\partial p} + f u + \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0$$

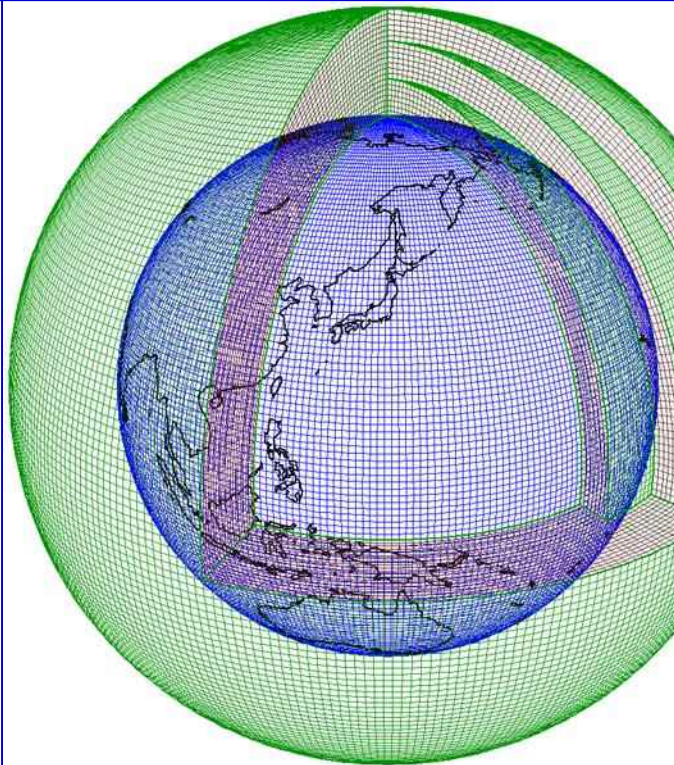
方程式のプログラミング化

...

```
do kz = kzst, kzen
  do jy = jystlc, jyenlc
    do ix = ixstlc - 1, ixenlc
      workfx(ix, jy, kz) = umx(ix, jy, kz) * fmap_ss(ix,
jy, 2) & ! U
& * (vr dx2(ix + 1 + basex1) * u(ix + 1
```

このプログラムを
数値予測モデルと呼ぶ

入力(現在の大気の状態)

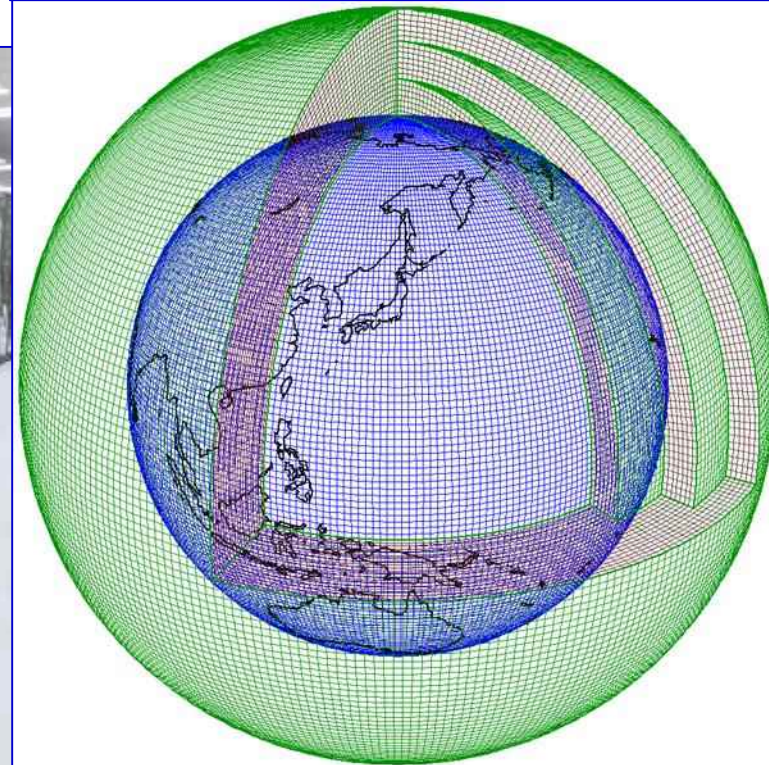


大気を格子(網目)に分割

スーパーコンピュータ



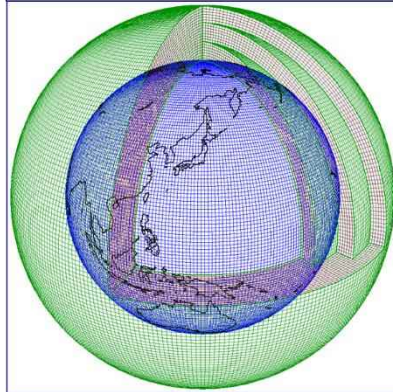
出力(将来の大気の状態)



予測システムの不確実性

入力値(初期値)
の不確実性

入力(現在の大気の状態)



- 全ての格子点で観測データが得られるわけではない
- 入力値には誤差が含まれており、その誤差は繰り返し計算の過程で大きくなる

予測モデル
の不確実性

大気の流れを解く方程式

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \omega \frac{\partial u}{\partial p} - f v + \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \omega \frac{\partial v}{\partial p} + f u + \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0$$

静力学平衡の式

$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = -\frac{1}{\rho} = \alpha$$

質量保存則(連続の式)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

熱力学の第1法則
(エネルギー保存の法則)

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta}{c_p T} \dot{Q}$$

$$\alpha = \frac{\theta R_d}{p} \left(\frac{p}{p_{00}} \right)^{R_d/c_p}$$

※変数 $u, v, \omega, \phi, \theta, \alpha$ の連立方程式

大学で習う物理
と数学、化学の
かたまり

- 格子点の大きさよりも小さい空間スケールの現象を定式化する必要がある
- 大枠の方程式系はわかっているが、未知の箇所もある。
たとえば、加熱率 $\dot{Q}$ 。全ての格子点で水の相変化にともなう加熱量を正確に知ることができない

将来の大気の状態を予測する手法は不確実性がある

今後の科学技術の進歩などで 減少できる不確実性



観測の拡充による入力値改善



次世代スーパーコンピュータ による格子間隔の縮小化

方程式のプログラミング化

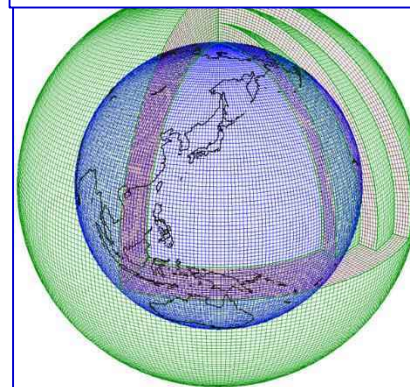
```
...
do kz = kzt, kztu
  do jy = jystic, jyenlc
    do ix = ixstlc - 1, ixenlc
      workf(ix, jy, kz) = umx(ix, jy, kz) * fmap_xst(ix,
jy, 2) & ! U
& * (vrdx2(ix + 1 + basex1) * u(ix + 1, jy, kz) & ! V
& + vrdx2(ix - basex1) * u(ix - 1, jy, kz)) &
& * vrdx2(ix + basex1)
    end do
  end do
end if
! "advu" <= m_1 d(u)/ds at (i-1/2,j,k).
do kz = kzt, kztu
  do jy = jystic, jyenlc
    do ix = ixstlc_u, ixenlc_u - 1
      advu(ix, jy, kz) = fmap_uu(u(ix, jy, 1) &
& * (workf(ix, jy, kz) - workf(ix - 1, jy, kz)) &
& * vrdx2(ix + basex1)
    end do
  end do
end do
end do
...
```

数十万行！

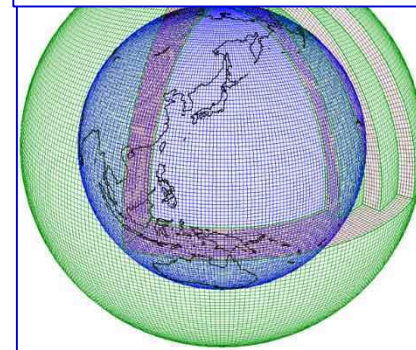
研究・開発による予測プログラムの精緻化

地球システムに内在する不確実性

入力1



入力2 (入力1と同じくらい 確からしい)

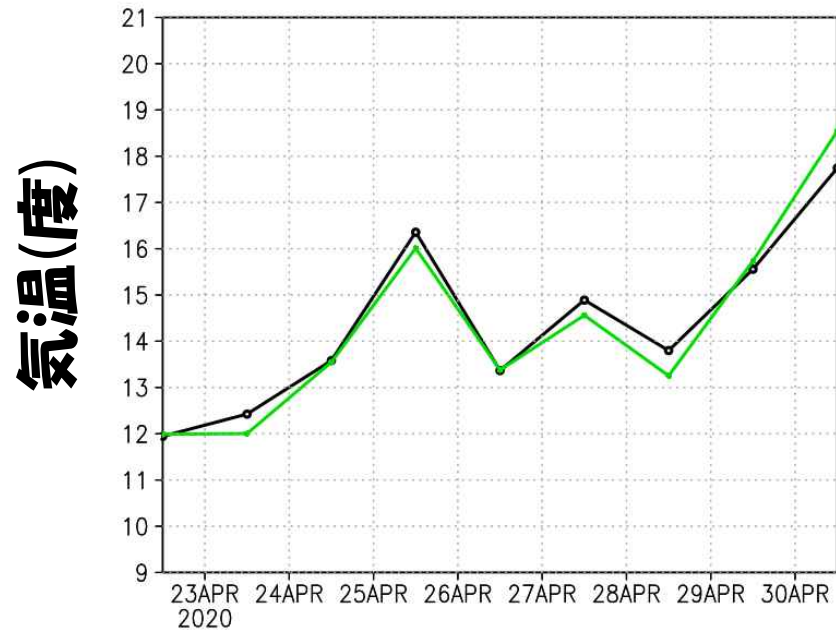


- 観測データを拡充しても、入力値に含まれる誤差を0にすることはできない。
- 入力1と入力2の差(入力値の誤差)が、時間とともにどのように大きくなるかは、実際にスーパーコンピュータで計算してみないとわからない。

ある地点における気温の予測

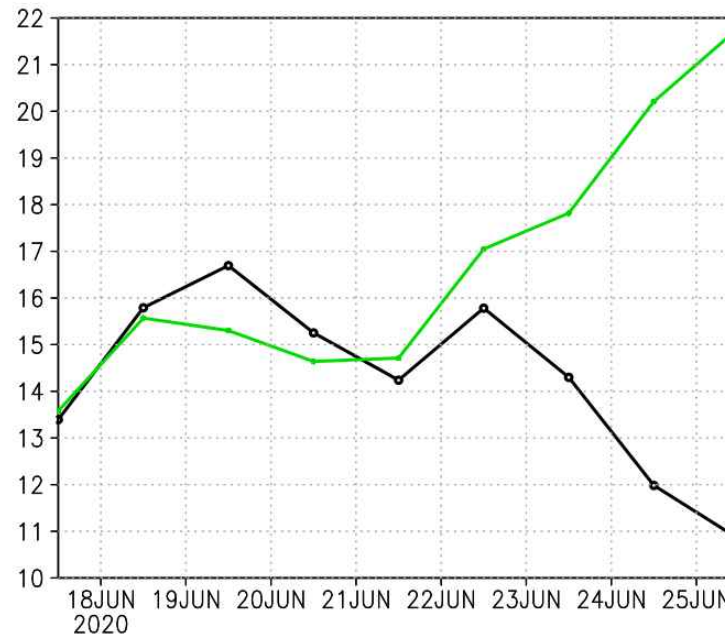
入力1(黒線) vs 入力2(緑線)

予測期間を通して差が小さい



予測時間(日)

あるとき急に差が大きくなる



予測時間(日)

予測期間前半の方が後半より差が大きい



予測時間(日)

これら例が示す通り、初期誤差の時間発展は、予報ごとに異なっています。そして、このばらつき具合を、全格子点において各予報時間で定量的に見積もる手法がアンサンブル予報と言うことになります。

2. さまざまなアンサンブル予報の形態

どうやって複数の予測値
を得ればよいのだろう？

予測値1 予測値2 予測値3
予測値4 予測値5 予測値6
予測値n



2-1. シングルモデルアンサンブル

2-2. マルチセンターアンサンブル

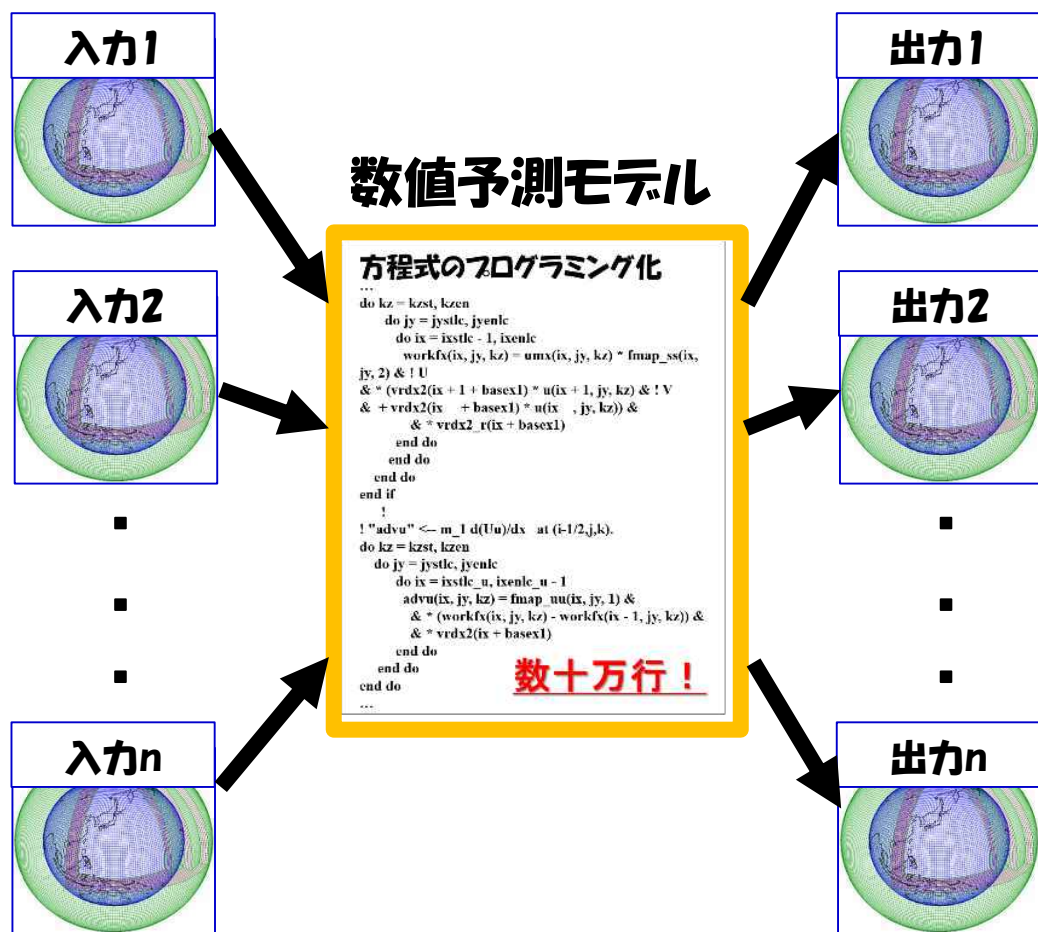
2-3. マルチセンターグラウンドアンサンブル

2-4. 再予報

2-1. シングルモデルアンサンブル

シングルモデルアンサンブル

使用する数値予測モデルは1つで、複数入力値(初期値)を用意して、
複数出力値(予報値)を得る手法



具体例

システム名	使用する 数値予測モデル	入力値の数 /1回
全球アンサンブル 予報システム	気象庁全球モデル	27
メソアンサンブル 予報システム	気象庁メソモデル	21
季節アンサンブル 予報システム	気象庁大気海洋 結合モデル	51

どのように使われているか？

週間予報における予報の信頼度

日付	28 火	29 水	30 木	31 金	1 土	2 日	3 月
大阪 府県週間予報へ	26 / 32 40/50/50/30	25 / 30 40	25 / 32 30	25 / 30 30	25 / 31 30	25 / 33 30	25 / 33 30
高松 府県週間予報へ	24 / 31 20/20/30/40	25 / 30 30	25 / 31 10	24 / 31 30	24 / 32 10	24 / 32 10	24 / 32 10
山口							

警報級の可能性

警報級の現象が5日先までに予想されているときには、「**早期注意情報(警報級の可能性)**」を「**高**」、「**中**」の2段階で発表している。

「警報級の可能性」の都道府県・市町村における利活用方法の具体例

週末に警報級の可能性[中]となるケース

種別	1日	2日	3日	4日	5日	6日
	明け方まで 18-6	朝～夜遅く 6-24				
大雨	-	[中]	[中]	-	-	-
大雪	-	-	-	-	-	-
暴風(暴風雪)	-	-	-	-	-	-
波浪	-	-	-	-	-	-

土曜日・日曜日が
大雨の警報級の可能性が
[中]となっている。
今週末の当番は自分
なので遠出は控えよう。

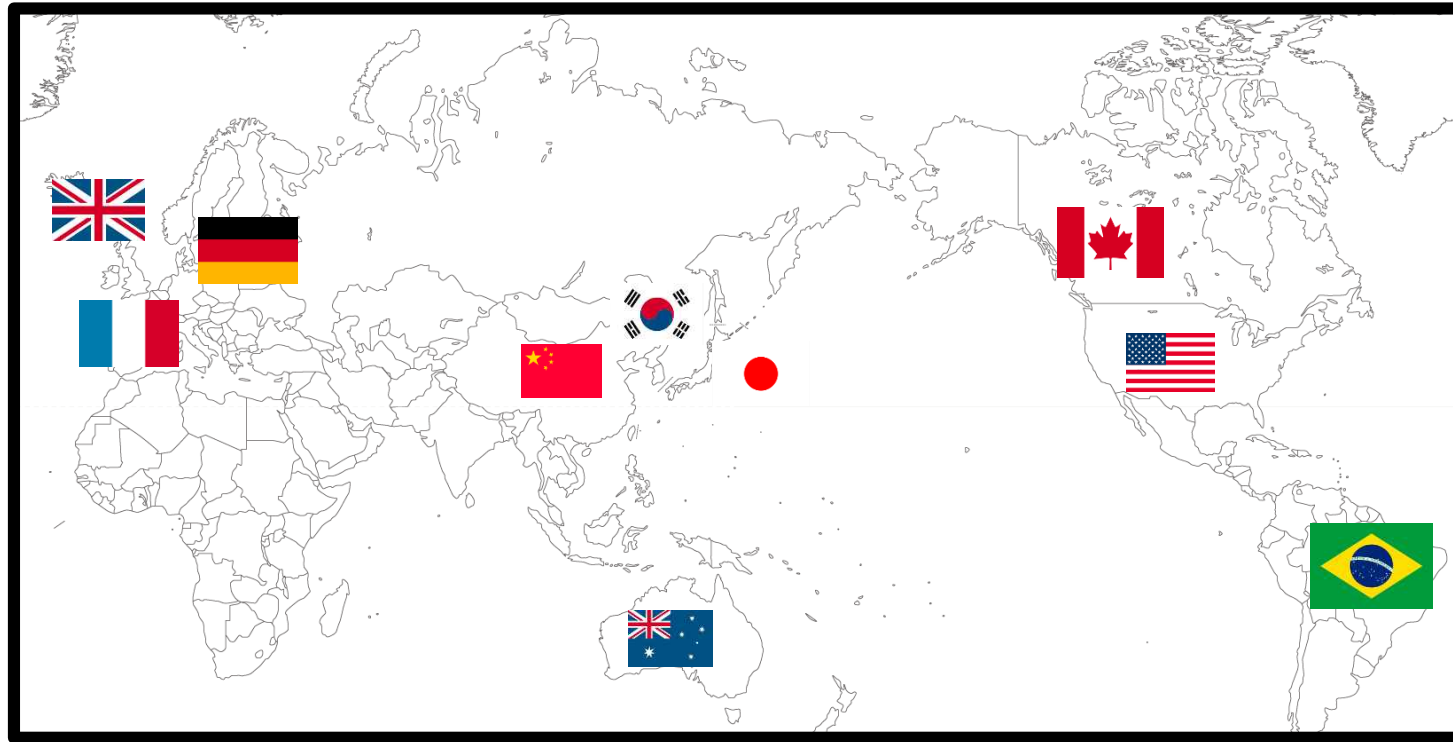


- 遠出を控えるなど、職員が心構えを持つことができた。
- 警報が発表される可能性が高くはないが、警報が発表されるかもしれない、という危機意識をもつことができた。
- 警報発表時に円滑な対応ができるよう、当直の職員に情報提供をした。
- 休日でもスムーズに参集できるよう、担当職員の所在を確認した。

2-2. マルチセンターアンサンブル

マルチセンターアンサンブル

各国の気象局で運用されている決定論的予測結果を集めて、複数予報値を得る手法



- 初期値や数値予測モデルは、各国の気象局でそれぞれ独立に作成されている。
- その結果(予報値)を集めることで、自然と、初期値や数値予測モデルの不確実性を考慮したアンサンブルを構築することができる。

どのように使われているか？

台風の進路予報

比較的予測精度の高い4つの気象局の予報値(気象庁、英国、米国、ECMWF)の平均の進路予測を基本に台風の進路予報を作成する

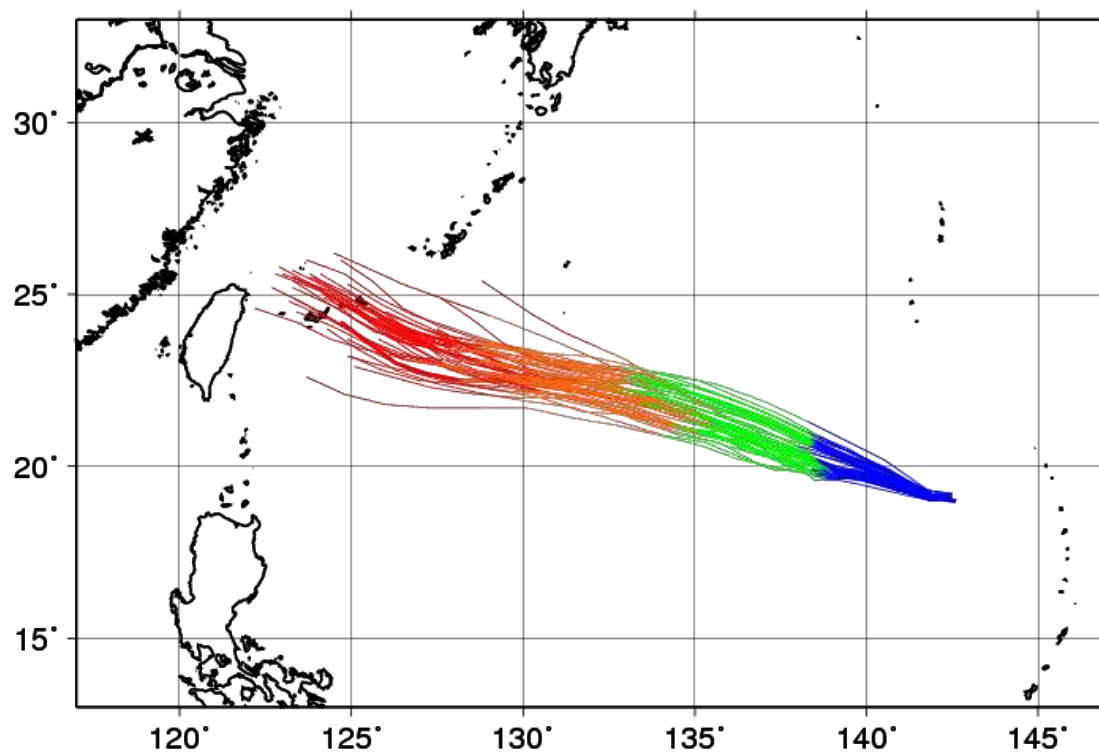


- 個々の予測結果を用いるよりも、平均予測(コンセンサス予測)の方が平均的に精度が良くなるということは2000年代はじめの研究で既に明らかになっている。
- このコンセンサス予測は気象庁だけでなく、進路予報を行なっている世界の気象局で用いられている標準的な手法である。

2-3. マルチセンターグラウンドアンサンブル

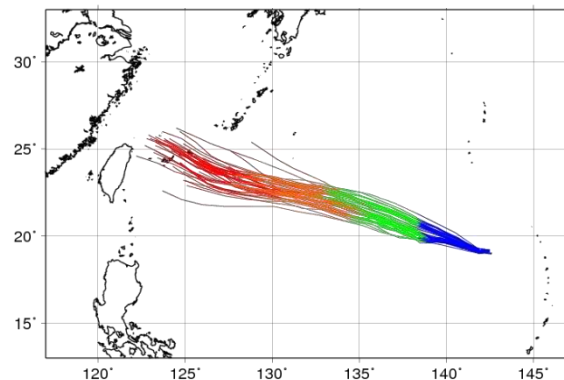
マルチセンターストランドアンサンブル

アンサンブル予報は、気象庁だけでなく、各国の気象局で運用されている。それらを集めて複数予報値を得る手法

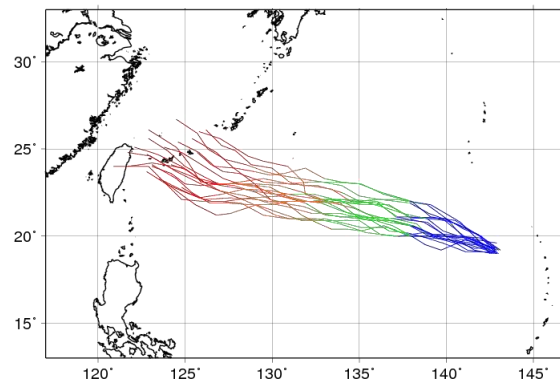


青: 1日予測, 緑: 2日予測, 橙: 3日予測, 赤: 4日予測

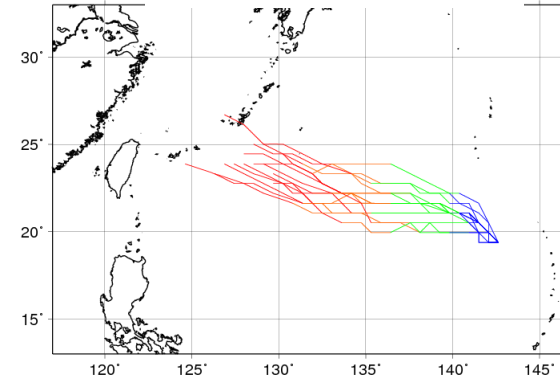
日本(気象庁)



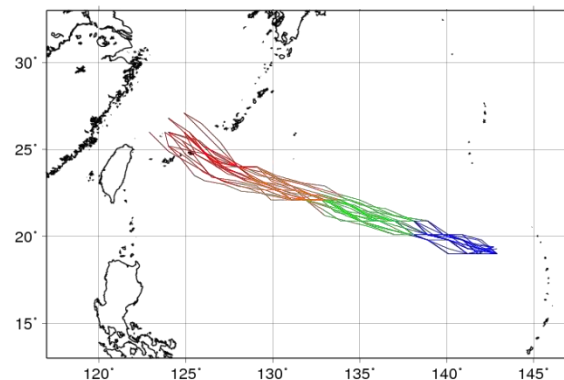
カナダ



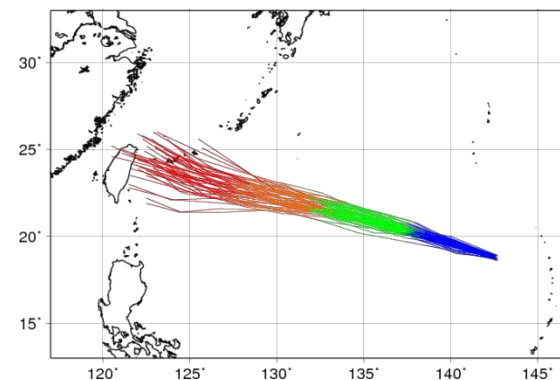
中国



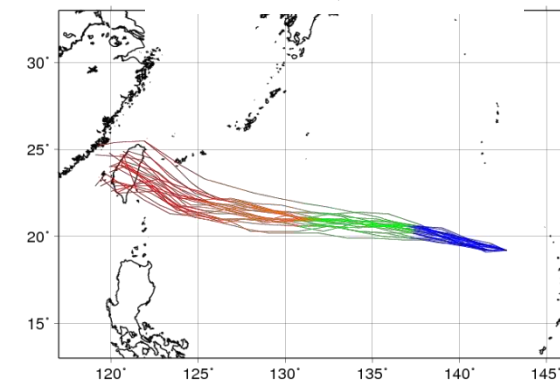
米国



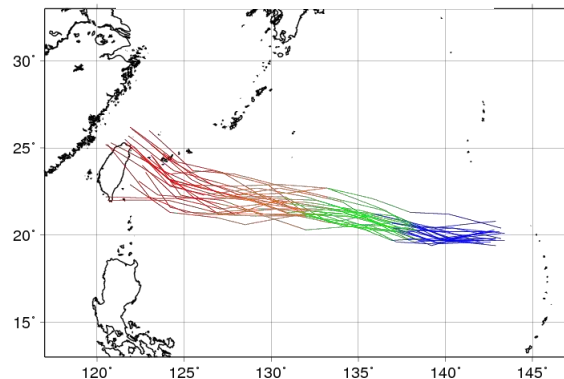
ECMWF



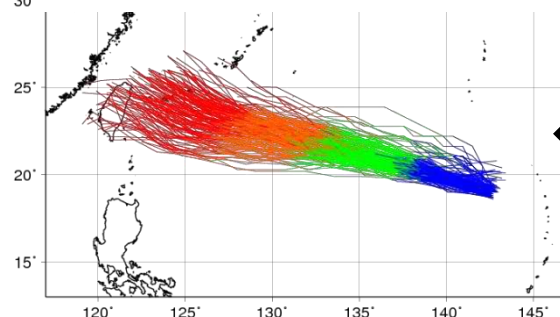
韓国



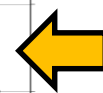
英国

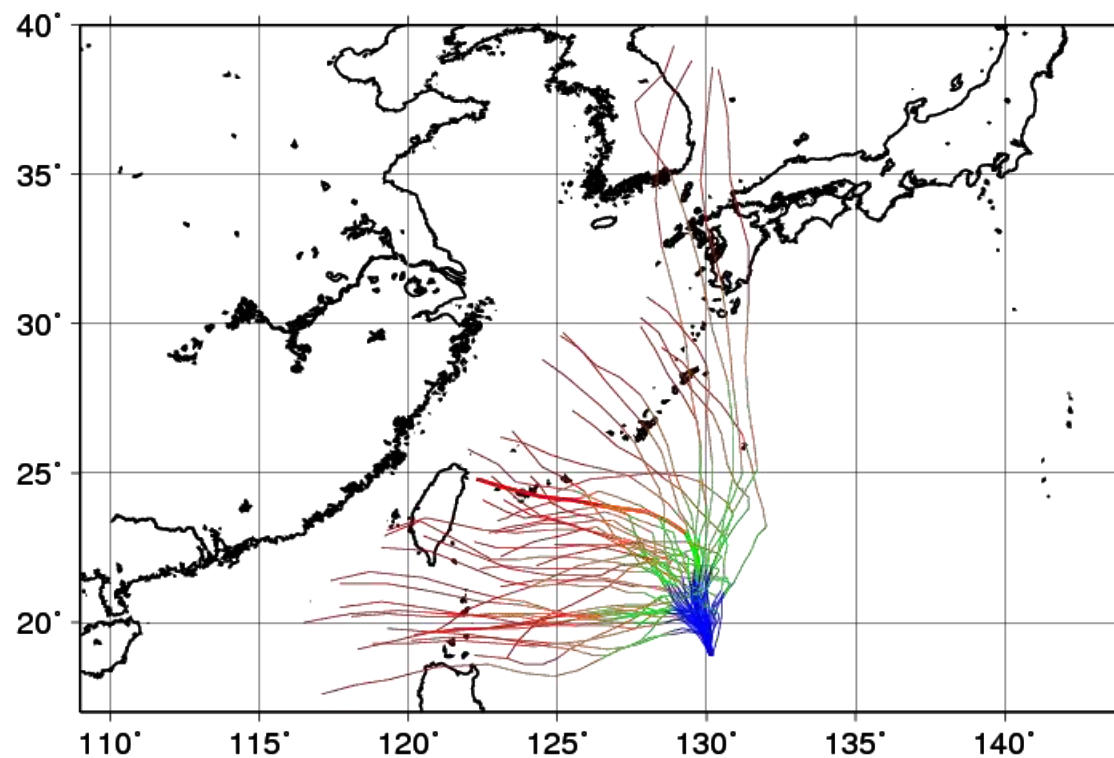


マルチセンター
グランドアンサンブル



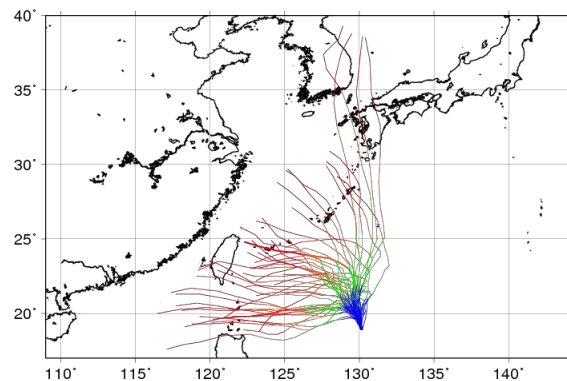
全部で
207通りの予測



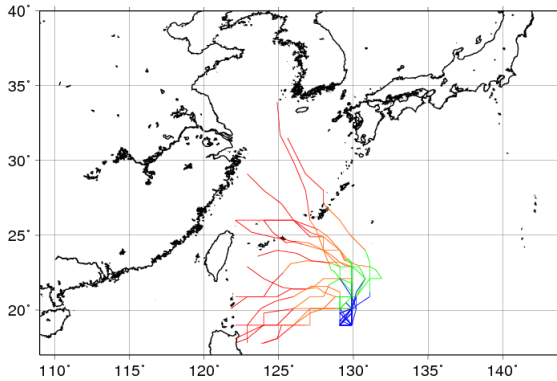


青: 1日予測, 緑: 2日予測, 橙: 3日予測, 赤: 4日予測

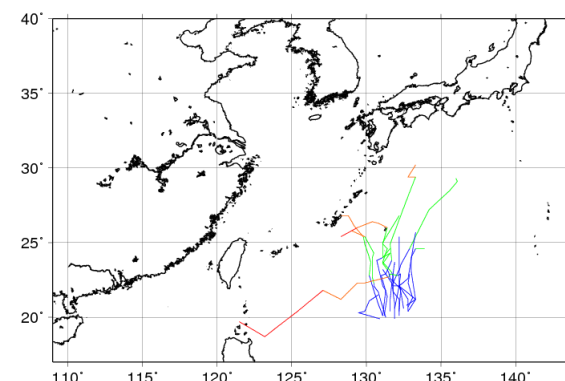
日本(気象庁)



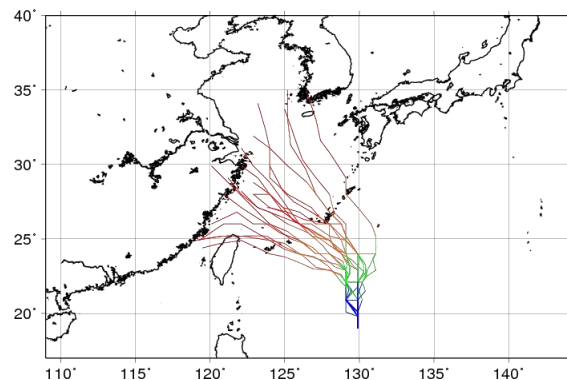
カナダ



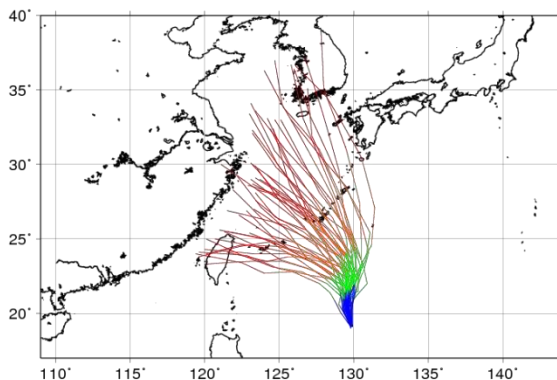
中国



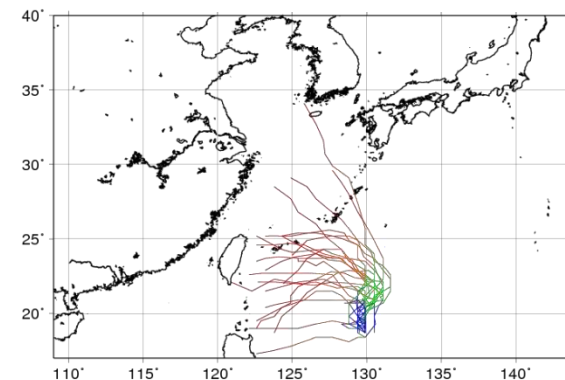
米国



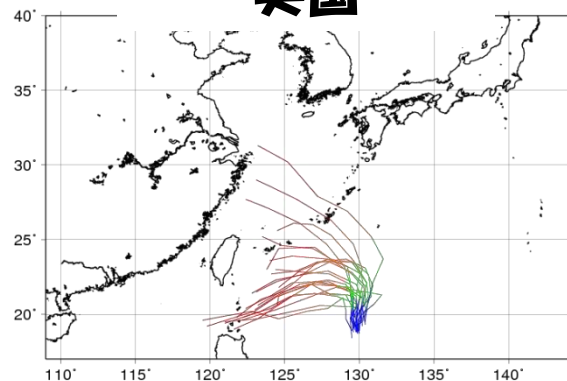
ECMWF



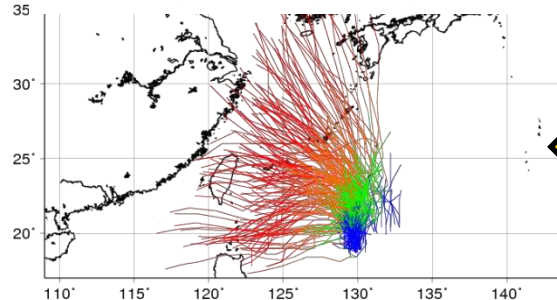
韓国



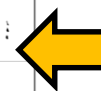
英国



マルチセンター
グランドアンサンブル



全部で
207通りの予測

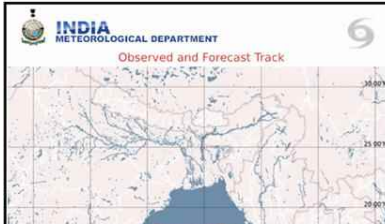


- 比較的予測精度の高い4つの気象局のアンサンブル予報(気象庁、英国、米国、ECMWF)を用いることで、より適切に予報円の大きさを決定できることがわかった。
- 気象庁では、2019年6月より、マルチセンタージェランドアンサンブルによって予報円の大きさを決定している。



世界の台風(熱帯低気圧)進路予報

北インド洋



北西太平洋



中部太平洋



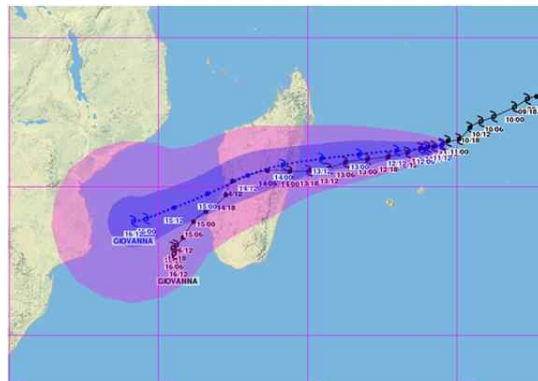
北東太平洋 / 北大西洋



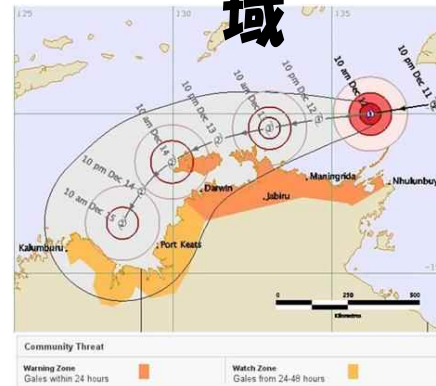
予報円の中心を結んだ線: コンセンサス予報 = 世界標準
予報円の大きさ: マルチセンターアンサンブル = 最先端

Predicted landfall zone of TC

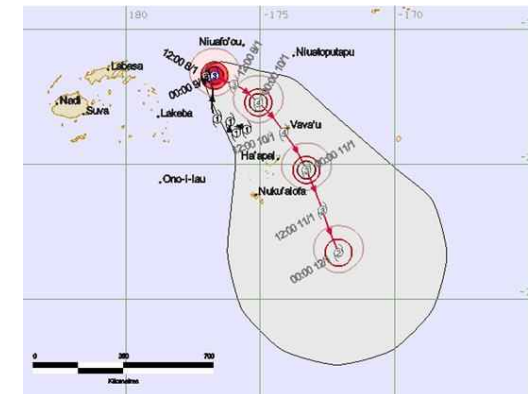
南インド洋



オーストラリア周辺 域

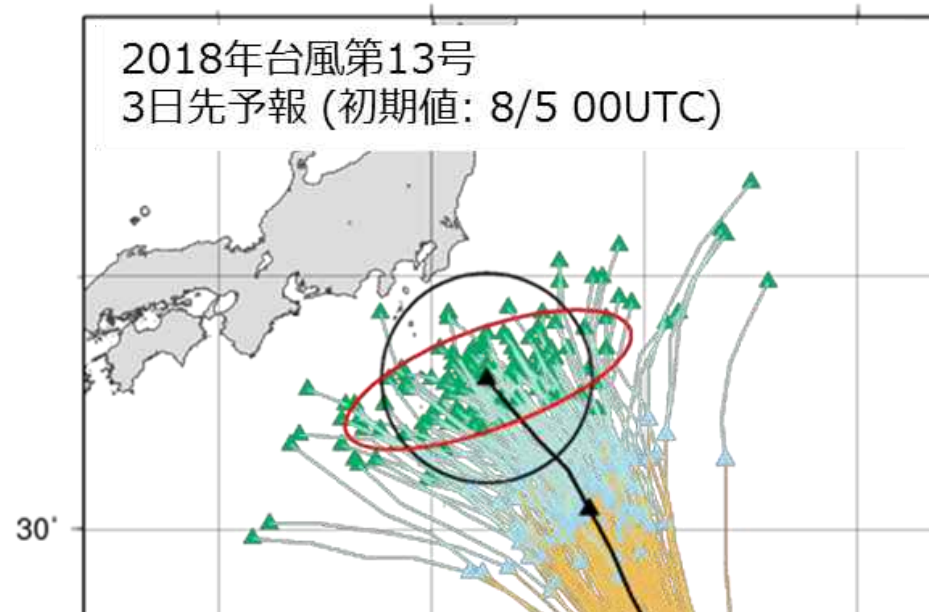
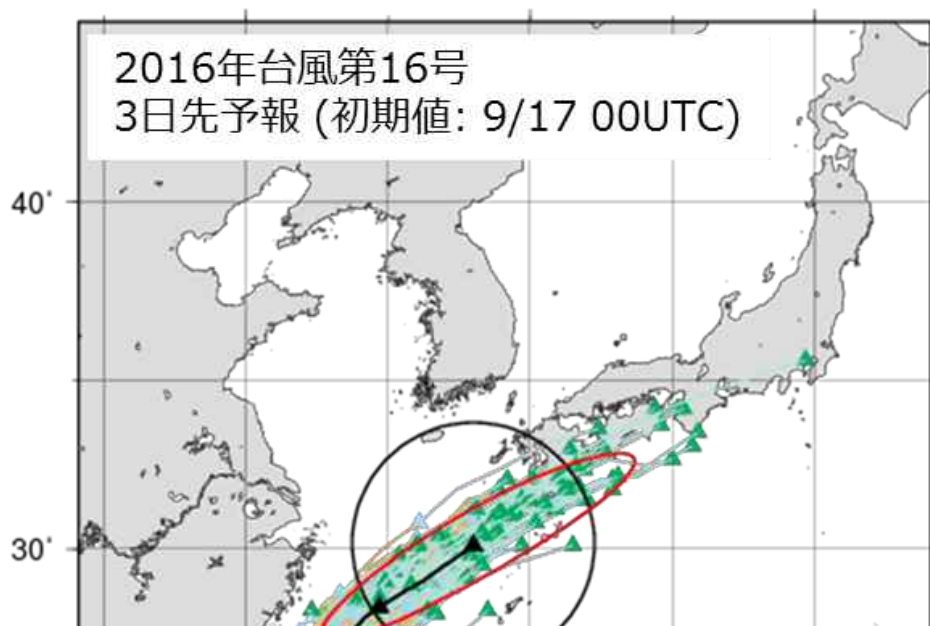


南部太平洋



予報円から予報楕円へ

(現在取組中の研究開発で、直ちにこの手法が予報業務に導入されるわけではありません)



予報楕円を導入することにより:

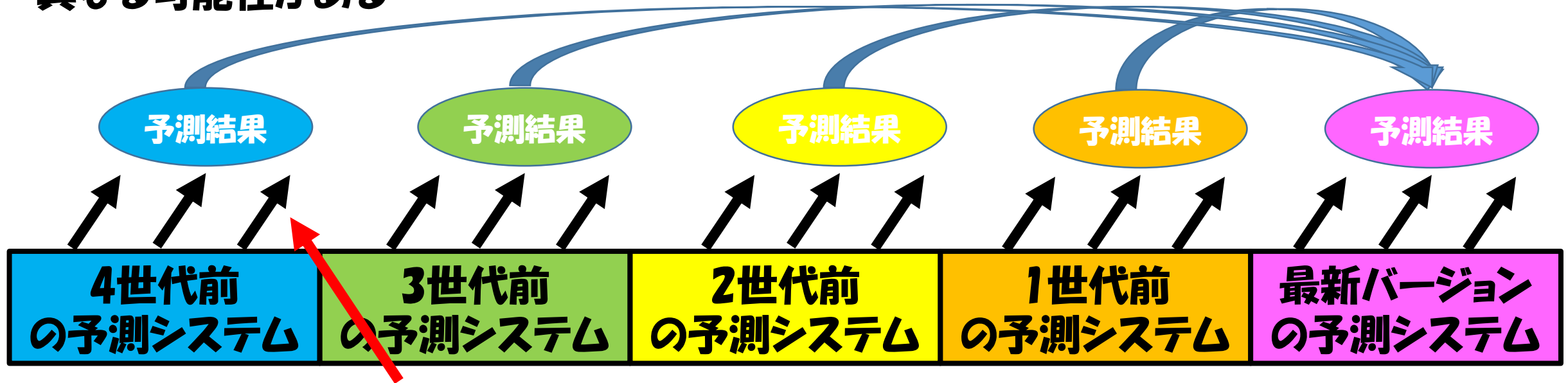
- 予報円よりも面積が減少(15~20%程度)
- 移動速度もしくは移動方向の不確実性の把握
- 防災上留意すべき領域をよりの確に示すことができ、メリハリのある防災対応ができる可能性

2-4. 再予報

- 気象予測データをビジネス利用する際、それぞれのビジネスの観点から、そのデータに利用価値があるか検証すると思います。その際、過去の予測データを収集して、検証を行うと思います。
- しかし、予測システムは頻繁に更新されるため、過去の予測データは古い予測システムで予測したデータかも知れません。

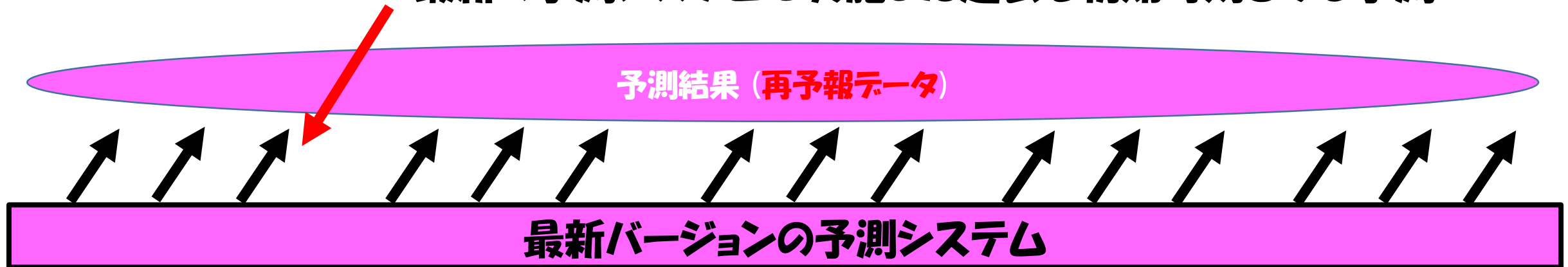
**最新の予測システムを使い、
過去の予測を予測しなおしたデータがあると良い。**

古い予測システムの予測結果と最新バージョンの予測システムによる予測結果の特徴が異なる可能性がある



古い予測システムで実施した過去を初期時刻とする予測

最新の予測システムで実施した過去を初期時刻とする予測



再予報データとは

最新の数値予測モデルを使って、過去の初期値からアンサンブル予報を行ったデータ

The screenshot shows the JMA website's '各種データ・資料' (Various Data and Materials) section. It highlights the '確率予測資料 (2週間気温予報) 提供ページ' (Probability Forecast Data (2-week temperature forecast) Provision Page). The page includes a breadcrumb trail, a search bar, and a navigation menu. The main content area shows the '確率予測資料のダウンロード' (Download Probability Forecast Data) section for Hokkaido. It features a dropdown menu for the region (currently set to '北海道地方'), a date selector for the initial value (currently '2020年7月28日'), and a download button. Below this, there is a section for the '最新の確率予測資料: 北海道地方' (Latest Probability Forecast Data: Hokkaido Region), which includes a download button and a link to a ZIP file containing an Excel workbook for data visualization. The bottom of the page shows a red dashed circle highlighting the '再予報データ (1981年1月~2010年12月) 北海道地方' (Re-forecast Data (January 1981~December 2010) Hokkaido Region) section, which also has a download button.

再予報データの仕様

- ・期間は 1981 年 1 月～2010 年 12 月
- ・初期日は毎月 15 日、月末日(2 月は 28 日)です。

過去30年分のデータがあるので、高温の年、低温の年、エルニーニョの年、ラニーニャの年などというように、さまざまな状況において予測データがどの程度利用価値があるか、定量的に把握することができる。

再予報データ (1981年1月~2010年12月) 北海道地方



ボタンをクリックしてダウンロードできます。(ZIPファイル: 約1MB、解凍してご利用ください。)

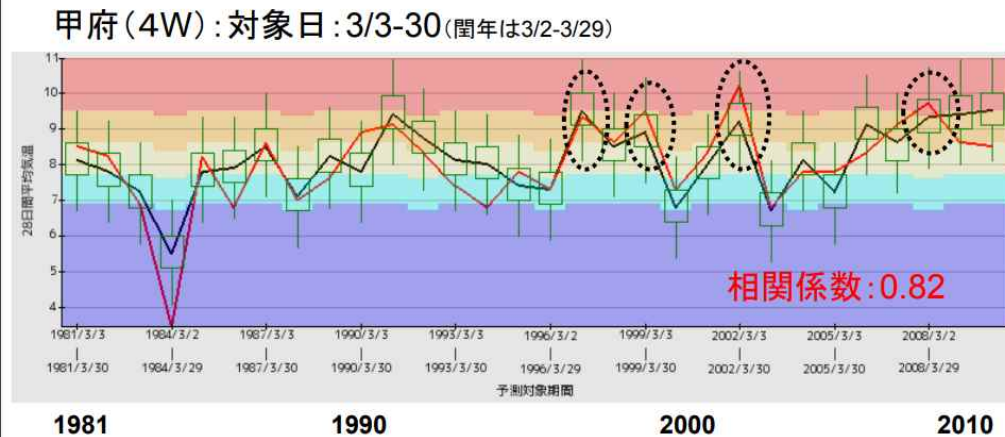
https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/guidance/csv_k2w.php

https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/guidance/csv_k1.php

利用例 ～山梨県における、ももの生育予測～

- ・ 開花日は、その後の防除、摘果、袋かけ等の作業計画を立てる上で重要であり、もも生産者の関心が高い
- ・ 山梨県では観光情報としても重要

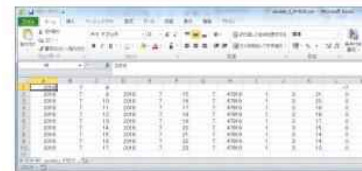
- ・ 平年と大きく隔たった年は、傾向を捉えている。4 Wの精度は高い。
- ・ 近年の極端な高温年をよく予測できている。



再予報データを用いて、予測データに利用価値があることを確認した。

最新の予測データで、極端な高温が予測されていた。生産者に対して、授粉労力(花粉採取も含めて)の確保といった作業に関して、従来の段取りよりも早めの準備を促すことができた。

極端な高温によりももの開花日が早まることが予測でき、早めの作業を促しました。



気象庁HPからデータ取得。
月・木の朝9時30分提供



従来の見通しに比べてどの程度早まるのか？
→情報・解説の充実

H30 ももの開花予想 第4報(H30/3/20現在)

表 発育速度モデルによるもも「白鳳」の開花予想			
今後の気温推移	予想開花始め	昨年の開花始め	平年値(H13～H29)
平年並	4月2日(平年より1日早い)	4月8日	4月3日
平年より2.6℃高い*	3月30日(平年より5日早い)		

*予想地点:山梨県市江原(標高440m)、品種は「白鳳」
モデル予測値:気象庁HPにおける確率予測資料(3/24～3/30、関東甲信地方、初期値3/18)

留意点

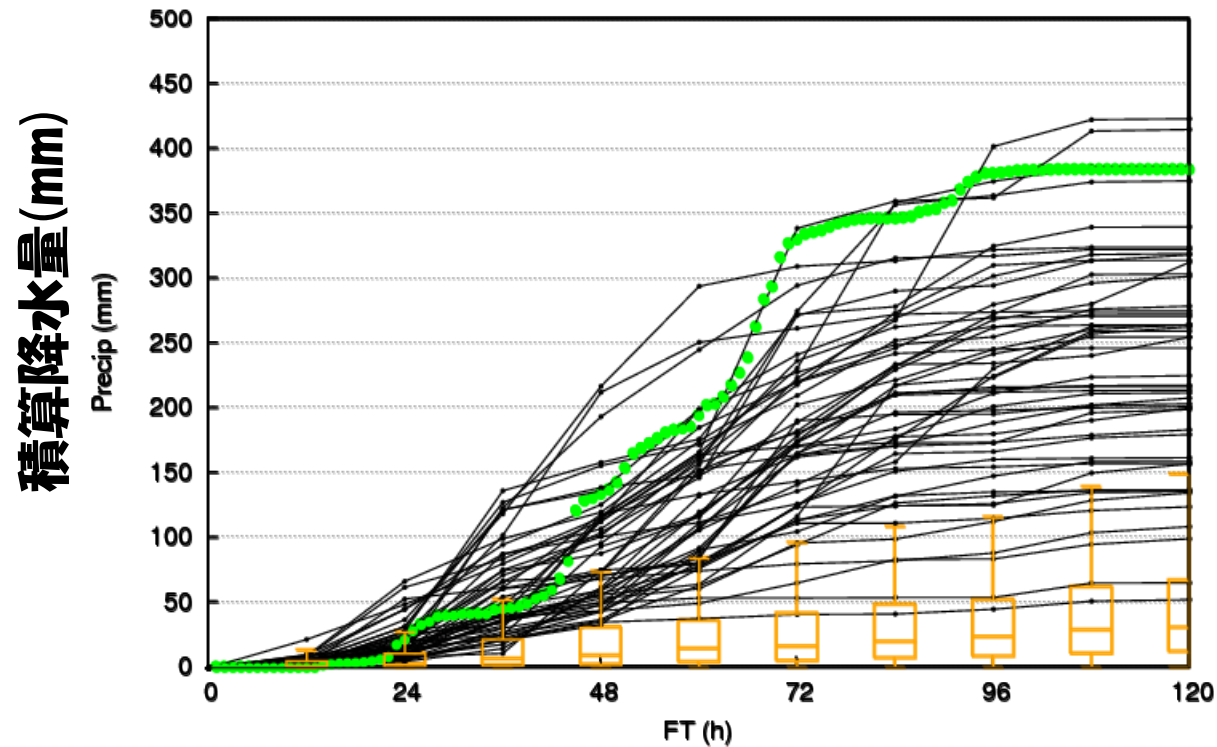
今後の気温推移により、予測日は変化します。
3月末まで毎週1回予想を更新し、果樹試験場HPに掲載する予定です。
(http://www.pref.yamanashi.jp/kajushiken/103_001.html)

再予報結果と比較したアンサンブル予報の理解

～平成30年7月豪雨～

- 平成30年7月豪雨では、ダムの事前放流が話題となった。

あるダムにおける降水量の予測



初期時刻: 2018.07.04 00UTC

緑線: 解析雨量

箱ひげ: 再予報データ(過去20年分の予測)

黒線: アンサンブル予報(全50通り)

少なくとも、2日以上のリードタイムを持って、過去20年において経験したことのないような異常な降水が高確率で予測されていた。



ユーヒーブレイク



米国発 気象を勉強している学生向けの天気予報コンペ



THE WEATHER CHALLENGE



Username:

Password:

Current Time: 02:58:16 UTC



Welcome to the WxChallenge, the North American collegiate weather forecasting competition.

- The Challenge +
- The Tools +
- The Info +
- Local Manager +

[Facebook](#) [Twitter](#) [RSS](#)

WxChallenge is open to all undergraduate, graduate and PhD students, as well as higher-education faculty, staff, and alumni.

Here's the challenge: forecast the maximum and minimum temperatures, precipitation, and maximum wind speeds for select U.S. cities. Over a ten-week period (each semester), you'll compete against top student and faculty meteorologists for honors as the top weather forecaster in North America.

WHY SHOULD I JOIN WxCHALLENGE?

The weather challenge is a great way for you to:

- Apply your meteorological knowledge to real-life situations
- Build your résumé and show off your forecasting skills to potential employers
- Compete against people with similar skills and interests
- HAVE FUN!

Take the challenge.

リンク

更新日時 2019.0

気象に関する団体のリンクをまとめました。

万一、載っていない教育研究機関等ございましたら、
[お問い合わせ](#)までお願いいたします。
情報提供も歓迎いたします。

気象学が学べる大学・大学院

大学名	研究科／専攻名（ [M]修士課程, [D]博士課程 ）, 学部／学科名
北海道大学	理学部 地球惑星科学科
	農学部 農学工学科
	水産学部 水産海洋科学科
	工学部 環境社会工学科 環境工学コース

およそ70の大学・大学院で気象が学べる

<https://www.metsoc.jp/jinzai/link2.html>

学生の部(個人戦 & 大学対抗)

一般の部

気象予報士の部

人工知能“KMOMY(くもみ)”による 雲観測自動化ソリューション

対象業（想定業）：気象観測業務、船舶・航空管制業務、太陽光発電出力予測、スマート農業、
建設現場、防災・気象学習

▶取り組み概要

人工知能“KMOMY(くもみ)”は、雲の写真をWMO(世界気象機関)で定義された雲の観測分類(10種類、27状態、10雲量)に判別する、AI開発の要となるアルゴリズムと学習データセットそれぞれを、神戸大学大学院システム情報学研究所及び河内大学海洋科学研究所の協賛・協力のもと研究開発を進めている(2018年AI学会で発表)。
KMOMYの機能を使ったスマホアプリ「くもるぐ」を公開し、広く一般の方にご利用いただけるようにしている。



▶気象データを利用した背景・経緯

法令による船舶気象観測の報告項目のうち、雲の観測には雲の状態など既存の気象観測での測定が困難な項目があり、目視による観測が必要であるが、乗組員にとっては難度高いとの意見がある。その自動化のために船上に設置するカメラで撮影した雲の画像を識別するためのAI(KMOMY)を開発した。
(国土交通省の「先進船舶・船舶技術研究開発費補助事業(先進船舶技術研究開発)」の支援対象事業。(株)南船三井、古野電気(株)、当社を主体とする産学官連携の共同研究の一環)

▶利用している気象データ

独自に収集している陸上・海上の雲画像と、それらを用いたAIによる識別結果

▶気象データ以外で利用しているデータ

撮影された画像に付随する位置・時刻情報など

▶この取り組みの効果

「くもるぐ」を公開し多くの方にご利用いただくことで、AI精度(＝雲観測自動化精度)が向上している。

▶その他(気象データの利用にあたり工夫した点、困った点など)

今後、投稿された雲画像の場所と日時における気象データを紐付けて表示して、利用者の気象への興味や知識の向上に役立ちたい。

▶参考となるHP・公開情報等

くもるぐのダウンロードサイト



スマホで撮った雲の写真から、その雲の種類
(10種雲形)を自動判別してくれるアプリ

第2版事例集P42より

3. アンサンブル予報の利用の具体例

～気象データ利活用事例集を参考に～

第2版事例集



第1版事例集



アンサンブル予報を具体的に
どのように使ったらよいのだろう？



<https://www.wxbc.jp/bizcasestudies/>

交通・物流

農 業

室内環境

観 光

漁 業

広告・販売促進

保 険

防 災

建設・インフラ

需要予測

レジャー・スポーツ

ファッション

ソフトウェア

エネルギー

美容・健康

さまざまな分野、業種で既に気象データが活用されている！！

黒: 決定論的予測, 緑: アンサンブル予測, 赤: 観測値

需要予測

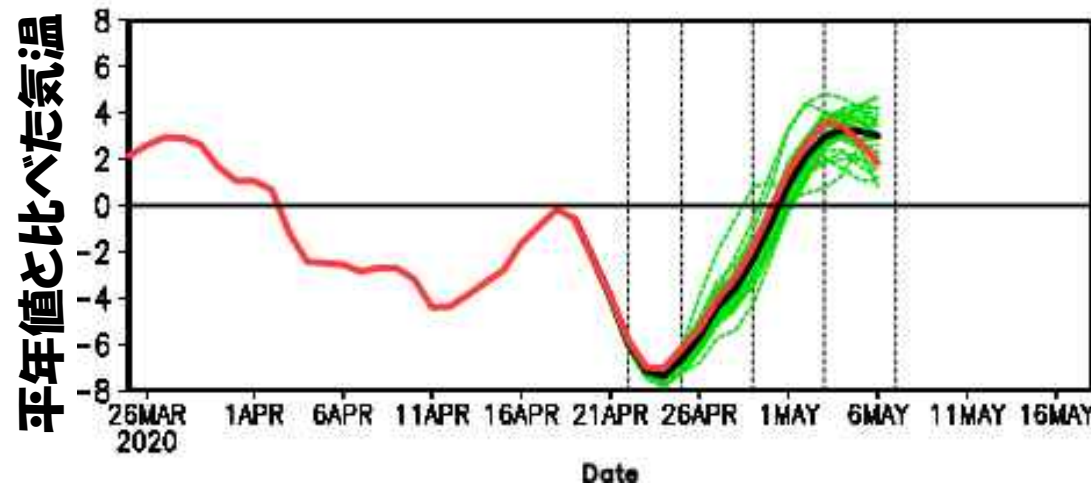
高温になると売れる商品があるので、多めに仕入れておこう。
逆に、低温のときに売れる商品の仕入れは少な目にしよう。

広告・販売促進

美容・健康

ファッション

高い確率で今後気温が高くなることが予想されている



来週は高い確率で高温になることが予想されているため、その情報とともに、商品の宣伝などを行う。

農業

来週は高い確率で高温になることが予想されているため、
〇〇の作業を来週行おう(今週中にやっておこう)。そのための準備をしておこう。

エネルギー

発電量予測、エネルギー消費量の予測

黒: 決定論的予測, 緑: アンサンブル予測, 赤: 観測値

需要予測

高温になると売れる商品があるので、多めに仕入れておこう。
逆に、低温のときに売れる商品の仕入れは少な目にしよう。

農業

来週は高い確率で高温になることが予想されているため、
〇〇の作業を来週行おう(今週中にやっておこう)。そのための準備をしておこう。

広告・販売促進

美容・健康

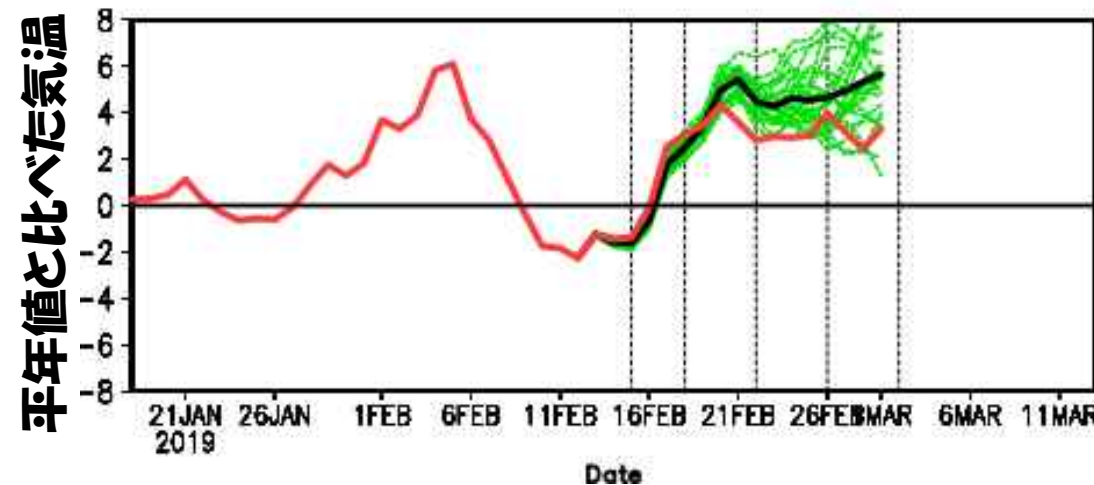
ファッション

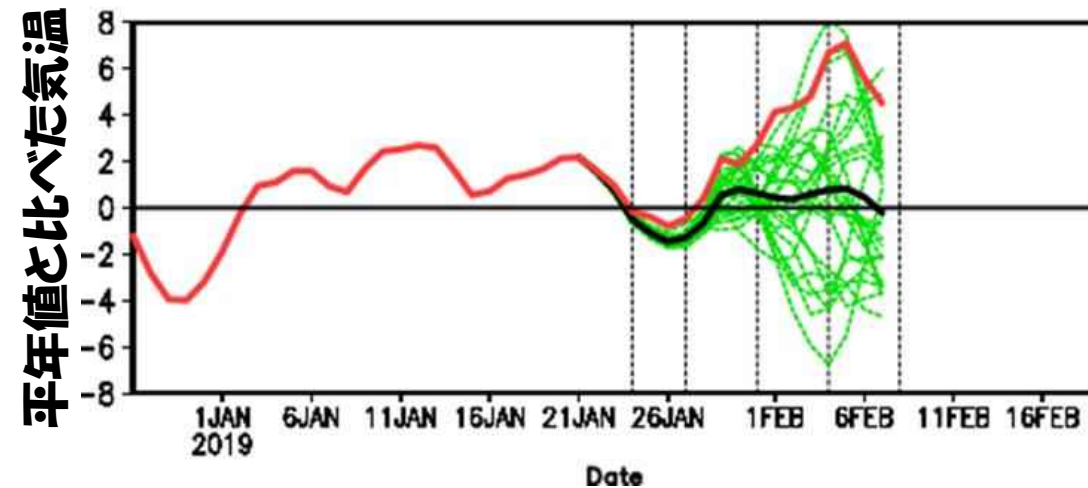
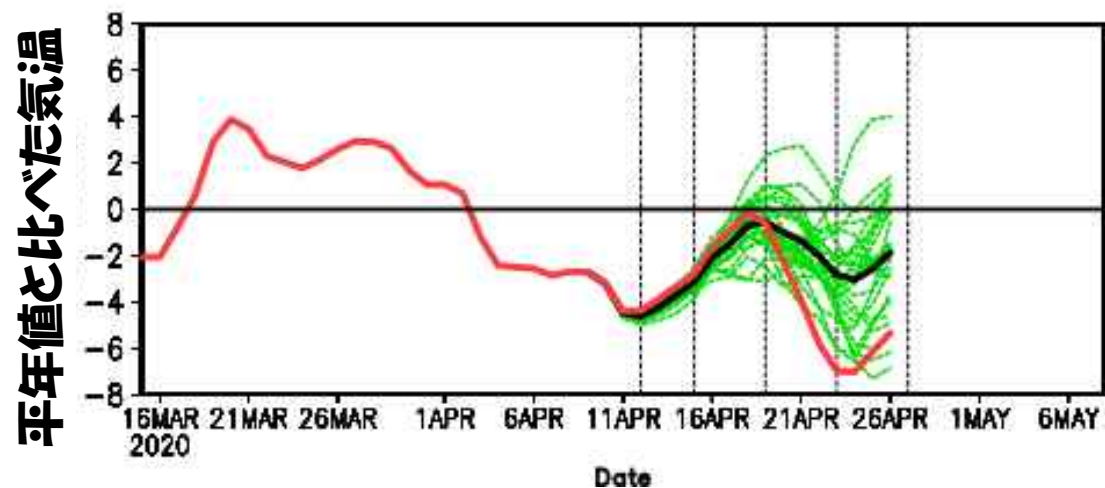
来週は高い確率で高温になることが予想されているため、その情報とともに、商品の宣伝などを行う。

エネルギー

発電量予測、エネルギー消費量の予測

高い確率で今後気温が高くなることが予想されている





アンサンブル予報を用いて、自信をもって大量に仕入れるときと、不確実性を考慮して仕込み量を調整する、もしくは通常通りの仕込み量とするなど、**メリハリ**をつける。

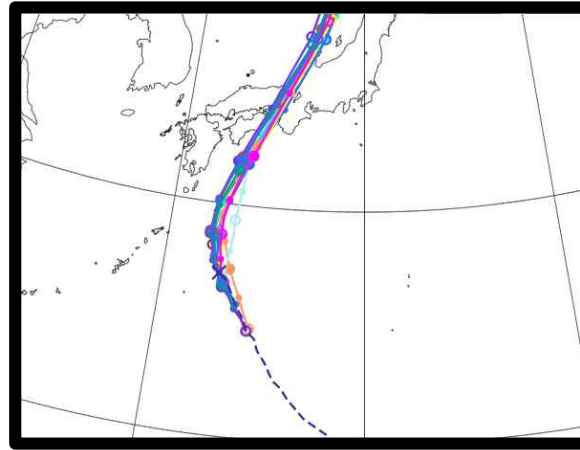
ばらつきが大きいので、予報の不確実性が大きいと判断できる。この段階で、意思決定することは控えて、**今後の最新の予報を注視する。**

**高確率で高温や低温などの顕著な現象が予測されることがある。
毎日毎日強いシグナルが出るわけではないが、強いシグナルが出たときに、機会損失をしないようにアンサンブル予報を活用する。**

交通

- 公共交通機関の計画運休
- 最適な飛行経路の決定
- 最悪のシナリオを想定した飛行経路の決定

高い確率で災害が予測される、また
顕著な現象が起こる可能性がある



物流

予想される顕著現象や気象災害
などを想定した人員の確保など、
リソースマネジメント

「警報級の可能性」の都道府県・市町村における利活用方法の具体例

週末に警報級の可能性[中]となるケース

種別	1日 明け方まで 18-6	2日 朝～夜遅く 6-24	3日	4日	5日	6日
大雨	-	[中]	[中]	-	-	-
大雪	-	-	-	-	-	-
暴風(暴風雪)	-	-	-	-	-	-
豪雨	-	-	-	-	-	-



- ・ 遠出を控えるなど、職員が心構えを持つことができた。
- ・ 警報が発表される可能性は高くないが、警報が発表されるかもしれない、という危機意識をもつことができた。
- ・ 警報発表時に円滑な対応ができるよう、当直の職員に情報提供をした。
- ・ 休日でもスムーズに参集できるよう、担当職員の所在を確認した。

建設・インフラ

防災

- 建設現場、工事現場で作業を行う
工事関係者が安全に作業が出来る
ような情報を提供する。
- テレワークの推奨

システム名	使用する 数値予測モデル	入力値の数 /1回
全球アンサンブル 予報システム	気象庁全球モデル	27
メソアンサンブル 予報システム	気象庁メソモデル	21
季節アンサンブル 予報システム	気象庁大気海洋 結合モデル	51

2019年6月から運用を開始したメソアンサンブル予報などの
利活用が今後期待される。

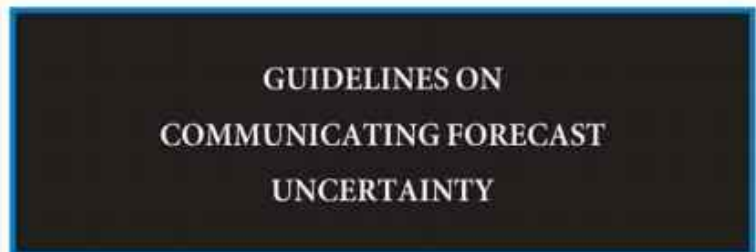
災害に繋がるような顕著な現象が予測されることがある。最悪のシナリオを想定した意思決定を行うためにアンサンブル予報を利用する。

ソフトウェア



広告・販売促進

例) 気象データから、気象予報などの文章を自動作成する



確率値と使用する単語の対応表

Terminology	Likelihood of the occurrence/outcome
Virtually certain	Greater than 99% probability
Very likely	Greater than 90% probability
Likely	Greater than 66% probability
About as likely as not	33% to 66% probability
Unlikely	Less than 33% probability
Very unlikely	Less than 10% probability
Exceptionally unlikely	Less than 1% probability

Table 1: IPCC Likelihood Scale

Terminology	Likelihood of the occurrence/outcome
Extremely likely	Greater than 99% probability
Very likely	90% to 99% probability
Likely	70% to 89% probability
Probable - more likely than not	55% to 69% probability
Equally likely as not	45% to 54% probability
Possible - less likely than not	30% to 44% probability
Unlikely	10% to 29% probability
Very unlikely	1% to 9% probability
Extremely unlikely	Less than 1% probability

Table 2: Forecast Likelihood Scale

世界気象機関のガイドライン

広告に気象予報、及びその信頼度に関する表現を入れる

気象×地域特性

実際の気象災害は、強風や大雨などのハザード(hazard)だけでなく、脆弱性(vulnerability)や暴露(exposure)の影響もある。

こういった社会経済的なデータを用いて、予想される被害を予測することが気象の分野における今後の課題である。

$$\begin{aligned} & | \text{Risk of impact} (x, t) | \\ \equiv & | \text{hazard} (x, t) | \cup | \text{vulnerability} (x, t) | \cup | \text{exposure} (x, t) | \end{aligned}$$

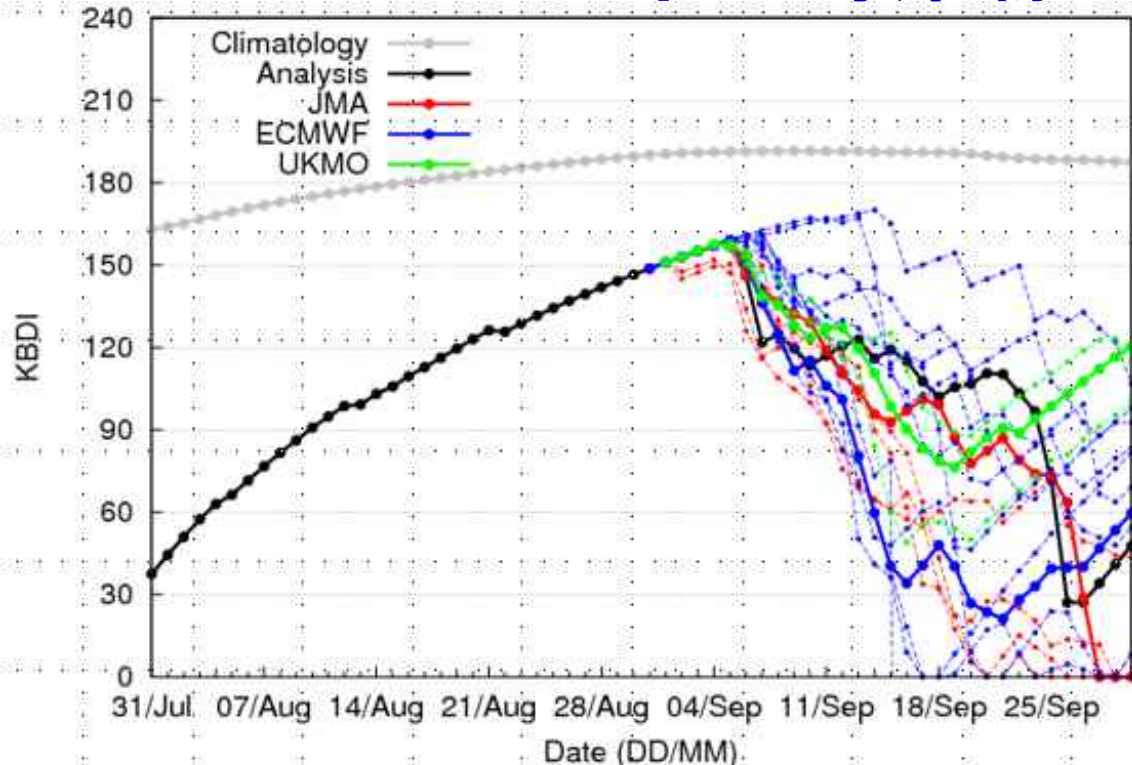
≡

売り上げ
気象 × 地域特性(個人特性)

保険商品の開発

例) 顕著な現象(大雨や干ばつなど)に対する保険商品の開発

インドネシアによる干ばつの予測の例



Red (solid): JMA control prediction
Blue (solid): ECMWF control prediction
Green (solid): UKMO control prediction

Red (dash): JMA ensemble prediction
Blue (dash): ECMWF ensemble prediction
Green (dash): UKMO ensemble prediction

従来の商品では、観測値だけから干ばつのリスクが評価されていた。

マルチセンタースランドアンサンブル予報により、干ばつインデックスの予測フィダクトを作成した。

マルチセンタースランドアンサンブル予報が、干ばつインデックスをある程度精度よく予測できることを確認した。

気候変動を見据えた天候デリバティブの開発

例) 気象データを用いた、気候リスクヘッジ商品の開発

熱帯低気圧の将来変化に関する世界の著名な11名の研究者による見解

熱帯低気圧の将来変化	信頼度				
	高	高～中	中	中～低	低
発生数の減少	－	3	1	7	－
勢力の強い熱帯低気圧の増加	1	4	1	2	3
降水強度の増大	6	5	－	－	－

- **意見が分かれている最大の理由は、予測結果にばらつきがあるからである。この気候を予測する予測モデルも、世界の様々な気象局や大学、研究機関でそれぞれ独立に開発されており、つまり予測結果は気候予測モデルの数と同じだけあるということになる。**
- **研究者の叡智を結集させて作ったこれらの複数の予測モデルによる予測結果がどれも同じようであれば、それは現段階でわれわれが知り得る最も信頼度の高い将来予測情報とすることができるであろう。一方で、予測結果のばらつきが大きければ信頼度は低くなる。**
- **信頼度の高い、または低い情報とは何であるか、を意識しながら保険商品の開発を行うと良いのではないか。**

まとめ

- アンサンブル予報は、複数の予測値から、単独の予測値では得られない予測の難しさを予測する手法である。また、複数の予測値を統計的に処理し(たとえば、平均)、単独の予測よりも確からしい予測を得る手法である。
- シングルモデルアンサンブル、マルチセンタールアンサンブル、マルチセンタールグランドアンサンブルなど、アンサンブル予報の形態はさまざまである。また、再予報といったデータも存在する。

アンサンブル予報を利活用
するということは、大量の
データを扱うことになる。

導入コストが比較的高いか
もしれない。



アンサンブル予報を利活用
することの相対的メリットを
評価することが重要である。
(**cost vs benefit**)

- 気象庁が行っている気象予測の評価は、気象庁目線の評価が主である。
- **それぞれのビジネスにおいては、それぞれのビジネスの観点から予測データの評価を行い、気象データの利用価値を実感することが重要である。**
- **すぐにアンサンブル予報のビジネス利用が実現しなくても、今回紹介したようなデータが存在しているといことを知り、今後のビジネス展開を考えていく上での参考になれば幸いです。**

最後に



エドワード・ローレンツ博士
(Wikipediaより)

“there are quite a few things that the atmosphere might do in the near future, even though there are far more things that it is certain not to do.” Lorenz (1991)

大気が将来取り得る状態は(大気のカオス的性質のため)複数あるが、大気が取り得ない状態はもっとたくさんある。