

議題その1

気象庁における今後の数値予報 モデル開発の方向性 ～ 気候分野の目標設定と課題 ～

数値予報モデル開発懇談会(第3回)

平成30年7月19日

気象庁

はじめに

- 第1回数値予報モデル開発懇談会
 - 気象庁における現業数値予報モデルの現状と課題
 - 現業数値予報モデル開発において、目指すべき目標や評価方法についてご指摘を頂いた
- 第2回数値予報モデル開発懇談会
 - 気象庁における現業数値予報モデル開発の方向性
 - 台風や集中豪雨等、防災情報に関する挑戦的な目標についてご議論頂いた。
- 今回の議題
 - 気候分野の目標設定と課題及びそれに対する技術開発の方向性について

本議題で扱う現業数値予報モデル

数値予報モデル (略称)	水平 分解能	鉛直層数 (最上層)	予報期間 (初期値の時刻 または実行頻度)	データ同 化 ¹
局地モデル(LFM)	2km	58層 (約20km)	9時間(毎時)	3DVar
メソモデル(MSM)	5km	76層 (約22km)	39時間(00,03,06,09,12, 15,18,21UTC、毎日)	4DVar
全球モデル(GSM)	約20km	100層 (0.01hPa)	84時間(00,06,18UTC、 毎日) 264時間(12UTC、毎日)	4DVar
本議題では、赤枠のシステムをスコープとする				
全球アンサンブル 予報システム	約40km	100層 (0.01hPa)	11日間、27メンバー(00,12UTC、 毎日)	4DVar
	約55km		18日間、13メンバー (00,12UTC、土・日曜日) 34日間、13メンバー (00,12UTC、火・水曜日)	
季節アンサンブル 予報システム	大気 約110km 海洋 約50～100km	大気60層 (0.1hPa) 海洋52層 +海底境界層	7か月間、 計51メンバー (00UTC、毎月)	4DVar

本議題で扱うモデル

¹区別法をそれぞれ示す。²全般海上予報区(赤道～北緯60度、東経100～180度)内に台風が存在する、または予想される熱帯低気圧が存在する場合、または、全般海上予報区外に最大風速34ノット以上の熱帯低気圧が存在し、24時間以内に予報円または暴風警戒域が同区内に入ると予想された場合に実行される。

現業数値予報への要請と現状

～ 気候に関する情報 ～

ニーズ

- 顕著な冷夏や暖冬、熱波や寒波等による災害や損害を軽減するための事前対策、気候の影響を受け易い生産・流通等の産業分野において、その影響を軽減・活用する「気候リスク管理」
- このようなニーズは近年さらに高まっている
 - ・ 既に顕在化し、今後さらに深刻になる地球温暖化の下で高まる「気候リスク」
 - ・ 少子高齢化を背景とした労働人口減少に対応するために求められる生産性向上

現状

- 異常天候早期警戒情報(2週先までの気温予測)は、熱波や寒波等の事前対策に活用されるとともに、農業・水産分野のみならず飲料や衣類、電化製品等の民間の様々な販売計画等で活用が進められ、生産性向上に貢献している。
- 3-4週～数か月先の気温予測は、その予測精度と、そのリードタイムを必要とする生産・流通計画の要求精度との間に大きなギャップがあり、利用が進んでいない。

今後への期待

- 数値予報の精度向上による数か月先までの気温の確率予測精度の飛躍的向上は、気象・気候による災害や損害を軽減するための事前対策ばかりでなく、ニーズに合わせた工業製品や農産物の生産・流通を可能として生産性向上に大きく貢献し、大きな経済効果をもたらすと期待できる重要な課題である。

将来的に目指すべき目標

- 顕著現象の事前対策 / 社会経済活動への貢献
 - 気象予測により生産・流通計画の最適化等に貢献し、生産性を向上
 - 特に重点を置くべきは、生産・流通計画に影響が大きく、災害や損害にもなり得る顕著な冷夏や暖冬、熱波や寒波等の予測改善
 - 例えば1993年の冷夏による農作物被害は1兆円を超えた
 - このような被害は生産計画の適切な事前対策で軽減できた可能性がある。

3か月先までの冷夏・暖冬等の予測

- 現在の1か月予報並みの信頼度で、顕著な天候を精度よく予測



3か月先までの冷夏・暖冬等の顕著な高温低温をメリハリのある確率で高精度に予報

1か月先までの熱波・寒波等の予測

- 現在2週先までを対象として実施している顕著な現象の予測をより早期から実現

熱波・寒波の可能性を週ごとに端的に表現

	1週目	2週目	3週目	4週目
関東甲信地方	低温	平年並	顕著な高温 [可能性大]	顕著な高温 [可能性中]

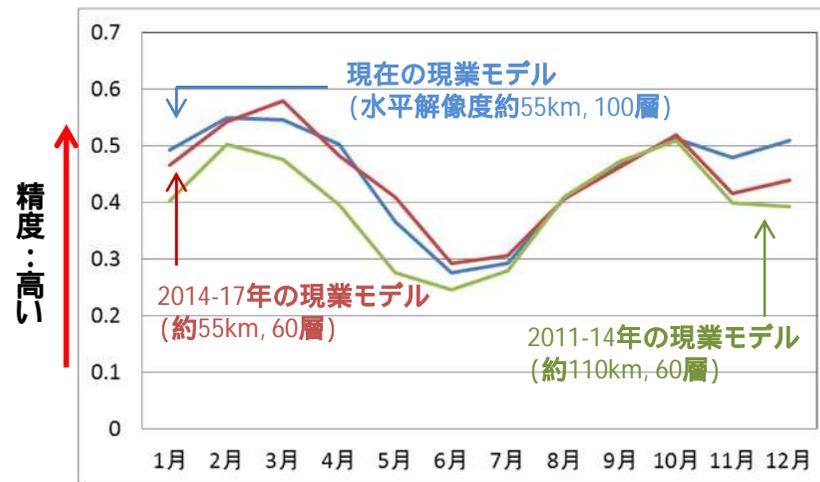
• 更に

- 利活用技術の開発や開発支援も必要
 - 気象ビジネス推進コンソーシアム等の活動への貢献
- 温暖化予測情報の高度化も大きな課題

1か月予報に用いるシステムの現状

～ 全球アンサンブル予報システム(全球EPS)の延長予報を利用～

- 数値予報モデルを用いた1か月予報の精度は1996年の運用開始以降、モデルの高度化や高解像度化等により着実に向上。
 - 近年では2014年の高解像度化で、3-4週目の冬季～春季の予測精度が大幅に向上
 - ✓ 平成18年豪雪の事例では現行のシステムを用いることで当時に比べてより精度の高い予測ができることを確認。
 - ✓ また、今年の3月の高温は約1か月前の段階から予測できていた。

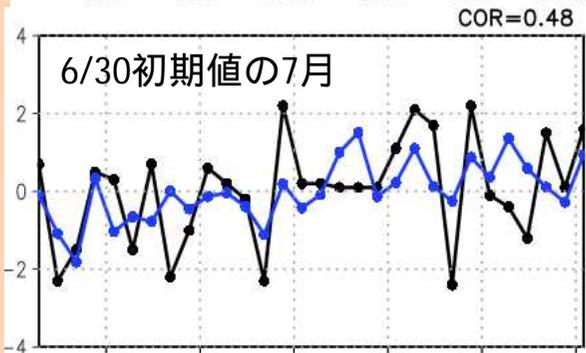
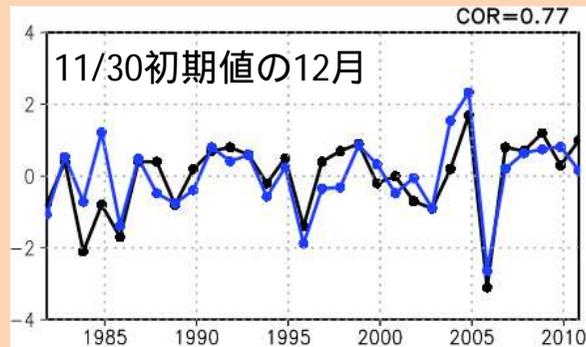


北日本域3～4週目の地上気温予測精度(相関係数)。1981～2010年の30年間の過去の予報実験と比較。横軸は予報初期値の月(前3か月平均)。

【参考】東日本の気温の予測精度と 平成18年豪雪の予測事例

東日本気温の予測精度

(28日平均気温予測と実況との比較、1981～2010年の30年分の予報実験で検証、黒:実況、青:予測)

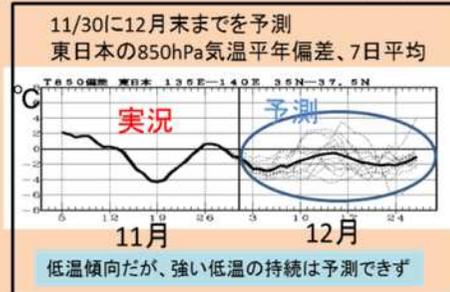


2005年12月の異常低温の予測(平成18年豪雪時)

雪害による死者数の推移
S56-H22



2005年当時のモデルによる予測資料

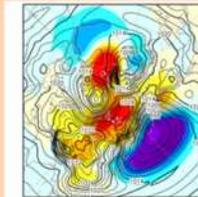


現在の現業モデルである全球EPSは、平成18年豪雪時の強い冬型の気圧配置の持続、低温と大雪を予測。

現在の現業モデルによる予測

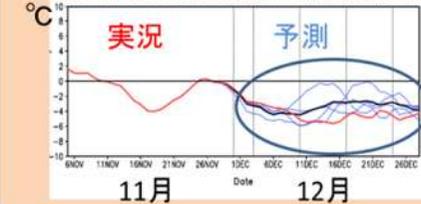
11/30に12月末まで予測

海面気圧(等値線)と平年偏差(色) hPa

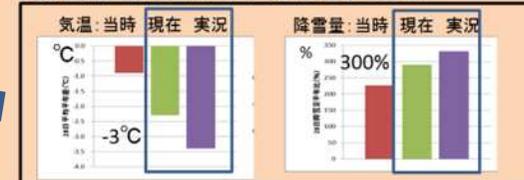


強い冬型の気圧配置(強いシベリア高気圧とアリューシャン低気圧)と強い低温の持続を予測

東日本の850hPa気温平年偏差、7日平均



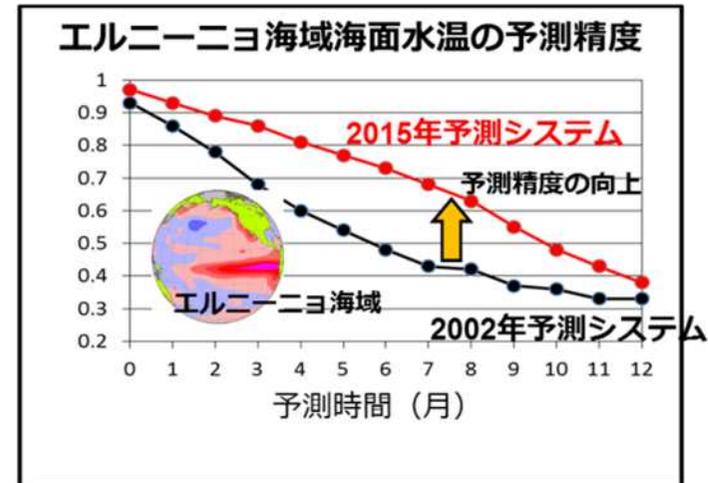
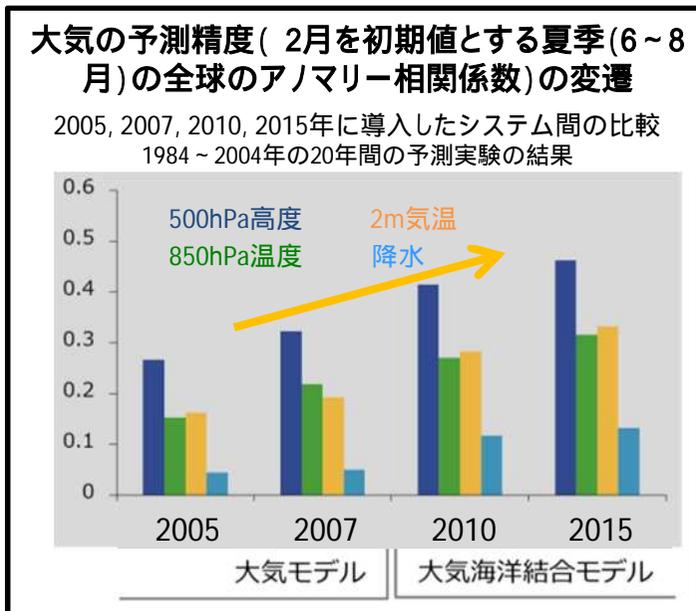
数値予報ガイダンス(北陸、12月)



平成29年に導入した全球EPSを用いれば平成18年豪雪時に強い低温の持続と大雪への万全の備え(除雪計画の見直し、マスコミによる除雪作業の注意喚起等)を呼びかけられた。

3か月予報、暖寒候期予報に用いるシステムの現状 ～ 季節アンサンブル予報システム(季節EPS)～

- モデルのバージョンアップを経る度に予測精度が向上してきているが、**生産計画策定等での活用のためには不十分**であり、更なる予測精度向上が必要。
 - エルニーニョ現象の予測でも大きな改善が見られているが、その**パターン再現性は不十分**で、そのことなどにより、日本付近への**遠隔相関(テレコネクション)**による**影響予測も不十分**となっている



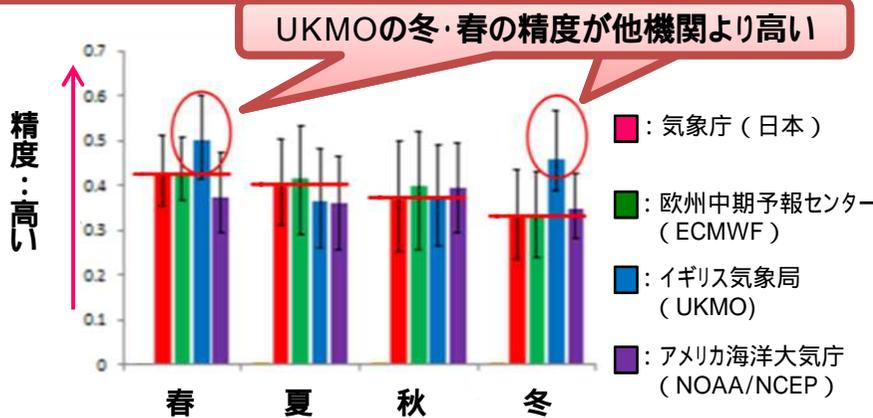
エルニーニョ監視海域(Niño.3*)における
月平均海面水温のアノミー相関係数

*Niño.3: 5N-5S, 150W-90W

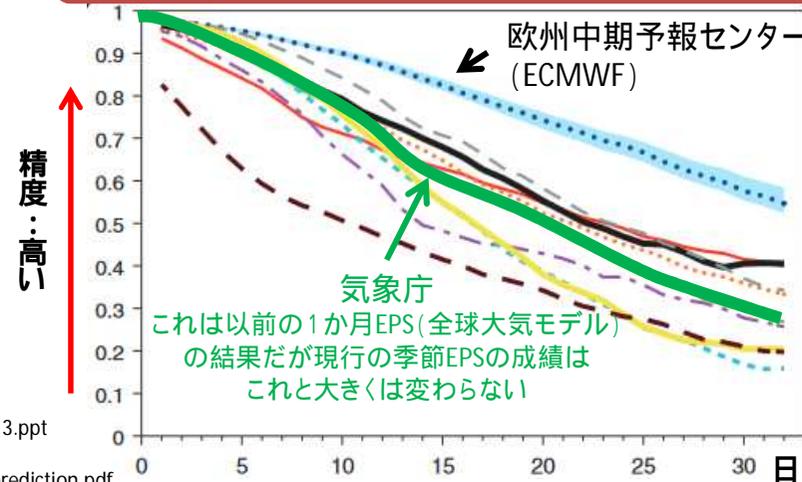
目標達成に向けてまず重要な課題

- 【3か月先までの冷夏・暖冬等の予測】
 - 季節予報に重要なエルニーニョ現象の中・高緯度への遠隔相関(テレコネクション)予測
 - 特に冬季の季節予報に重要な北極振動(AO) / 北大西洋振動(NAO)の予測
 - イギリス気象局(UKMO)はブロッキング等を再現できるモデルを用いること等で予測を改善、「季節予報のブレークスルーを果たした」とした(Met Office Science Strategy: 2016-2021)。また海洋モデル高解像度化でエルニーニョとそのテレコネクションの再現性が改善したとした(Brookshaw 2013)。
- 【1か月先までの熱波・寒波等の予測】
 - 1か月予報に重要な熱帯域の大規模な対流活動と日本への影響予測
 - 欧州中期予報センター(ECMWF)がより長いリードタイムを持った予測を実現している。ECMWFの予測精度向上は特に2006年及び2008年で顕著で、物理過程(積雲、放射等)改良が関係していると考えられている(Vitart et al. 2014)。また、大気と海洋の相互作用の効果の効果も大きいことも示されている(Vitart et al. 2016)。

北半球2m気温3ヶ月予測精度の国際比較(2016年時点)



熱帯域の大規模対流の位置(MJO)の予測精度
(1999-2010年の再予報の結果, Vitart 2017より引用)



Brookshaw 2013 http://bcc.ncc-cma.net/upload/FOCRAIL/2013/10%20April-Morning/GloSea5_FOCRail_2013.ppt

Vitart et al 2014 <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qj.2256>

Vitart et al 2016 <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2016/16567-complexity-sub-seasonal-prediction.pdf>

Vitart et al 2017 <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qj.3079>

Met Office Science Strategy: 2016-2021 https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/migrated/met_office_science_strategy_2016-2021.compressed.pdf

目標達成のための第一歩(1)

- 次期季節予報システム(大気海洋結合モデル、平成33年度導入を計画)では、短期予報の開発成果と海外の成功例に倣ったスペック向上を図り、エルニーニョ現象、北極振動 / 北大西洋振動の再現性や予測精度向上で季節予報(数か月予報)の予測精度改善を目指す。
- また、本システムにより1か月予報改善を目指した大気海洋結合モデルの活用のための調査に取り組む。

次期季節予報システムの改良計画

- 予報モデルの改良
 - 海洋モデルは、熱帯の渦による熱輸送や海洋前線帯の温度傾度をより適切に表現できるように高解像度化(東西1度×南北0.3-0.5度→東西0.25度×南北0.25度)。
 - 大気モデルは、波と平均流の相互作用や成層圏の現象の再現性の改善を図るため、短期モデルで実績のある仕様で高解像度化(水平110km→55km、鉛直60層→100層)。
 - 長期積分時にバイアスが拡大していかないように物理過程等を改良。
- データ同化改善
 - 大気に比べて時定数の長い海水や海洋の初期値の改善を図るため、海水データ同化導入するとともに海洋データ同化手法高度化(4次元変分法導入)
- 摂動作成手法改善
 - エルニーニョ予測等で適切な確率予測ができるように大気と海洋の初期摂動作成手法を改良。

目標達成のための第一歩(2)

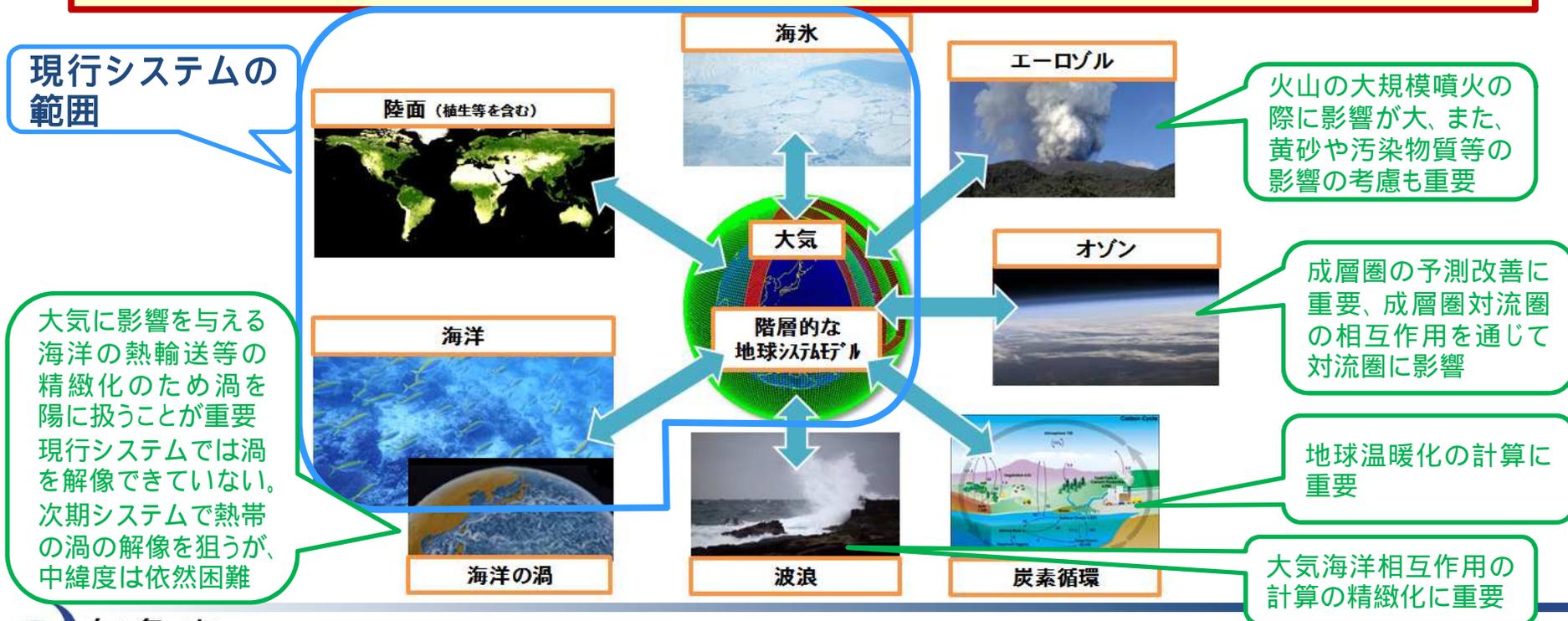
- 次期季節予報システム(大気海洋結合モデル、平成33年度導入を計画)では、短期予報の開発成果と海外の成功例に倣ったスペック向上を図り、エルニーニョ現象、北極振動/北大西洋振動の再現性や予測精度向上で季節予報(数か月予報)の予測精度改善を目指す。
- また、本システムにより1か月予報改善を目指した大気海洋結合モデルの活用のための調査に取り組む。

1か月予報改善を目指した大気海洋結合モデルの活用のための調査

- 1か月予報(特に3-4週目)に重要な熱帯域の大規模な対流活動の予測改善には、大気モデルの(積雲や放射等の物理過程の)改善だけでなく、大気と海洋の結合効果の導入も重要と考えているが、その実現のためには解決すべき大きな課題がある。
 - 予測初期の大気場の急激な変化(イニシャルショック)
 - 中緯度における予測初期の精度低下、等
- この様な課題に対し、本システムを用いた調査と課題解決に取り組み、大気海洋結合モデルを活用することによる1か月予報の改善を目指す。

目標達成のための更なる改善(1)

- 将来目標である飛躍的な精度の向上のためには大気海洋結合モデルの精緻化ばかりでなく、気象・気候に影響を及ぼす他の地球システム要素を、予測レンジや予測対象に合わせて段階的に考慮していくことが重要。
- 次期季節予報システムのさらに次のステップでは海洋の渦、波浪、エアロゾル、オゾン、炭素循環等の地球システム要素のうち**3か月予報**や**1か月予報に重要な要素を必要に応じて組み込む「階層的な地球システムモデル」**として開発することを計画。



目標達成のための更なる改善(2)

- この開発では、開発項目が多岐にわたるため、今後の開発人員や開発・運用に必要な資源を見据えつつ、効果の見込まれる要素の開発に特に集中的に取り組む必要がある。
- 特に優先すべき選択肢は何か？
 - エーロゾル等他の地球システム要素の追加・改良
 - 海洋モデルの更なる精緻化・高解像度化
 - 大気モデルの更なる精緻化・高解像度化
 - 結合同化の利用等、データ同化手法の更なる改善
 - その他
- 上記の他、日本付近の予測改善に資する優先すべき課題は何か、予測可能性研究等を踏まえて検討していきたいので、本件に関してご助言を頂きたい。

開発基盤と評価

- 長期予報の開発では、各種素過程の評価に加え、年々変動する様々な現象の再現性の評価が重要。
 - その開発において、現象再現性の評価のため、過去の長期間(30年程度)の事例の予測実験を新旧システムで計算する「再予報」の実施が重要あり、その実施のためには精度のよい「長期再解析データ」が開発基盤として必要。
 - 現在気象庁では第3次長期再解析(JRA-3Q)の実施に向けて準備中
 - 再予報の結果は、予測精度を客観的に評価する資料であると共に、モデルバイアス補正等のための基礎資料としても活用できる。
 - 再予報の結果については気象業務支援センター等を通じた部外提供も実施している。
 - 評価には500hPa高度予測や地上気温予測等のアノマリ相関のみならず、エルニーニョ監視海域の海面水温や各種季節内振動等の指数等も利用。
 - 評価の際に、特に確認すべき指標等についてご助言頂きたい

まとめ

- 早期の気候リスク対応や生産性向上のため、その基盤となる数値予報技術の飛躍的な高度化が必要。
 - 将来的な目標として、社会経済的に大きな影響のある冷夏や暖冬、熱波や寒波等の予測に関して高い目標を掲げて開発を進めていく。
- ご議論をお願いしたいポイント
 - 目標に向けて開発を進めていく中で
 - 重要となる開発課題や方向性
 - 確認すべき指標等
 - また、
 - 連携できる課題
 - についてもコメント頂ければ幸いです。