



# 第1章 基礎編

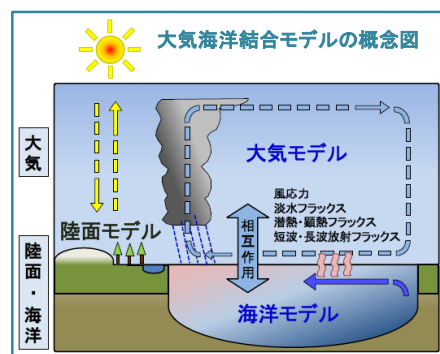
## 1.4.3 大気海洋結合モデル

# 大気海洋結合モデルの歴史

## 眞鍋淑郎博士

☆2021年ノーベル物理学賞受賞☆

- 2021年のノーベル物理学賞は、複雑系の理解に画期的な貢献をした3人の研究者が受賞した。そのうち眞鍋先生と独マックスプランク研究所のクラウス・ハッセルマン教授は、地球の気候と、それに対する人間の影響に関する研究が評価されての受賞（授賞理由：地球気候の物理モデル化、変動性の定量化、及び地球が温暖化することを高い信頼度で予測）。
- 眞鍋博士は、1960年代から地球の気候の物理モデルの開発を先導。放射収支と大気の鉛直輸送の相互作用を研究し、大気中の二酸化炭素の増加が地表の温度上昇につながることを実証した。
- 眞鍋博士の開発した大気海洋結合モデルは、世界各国の気象局や研究機関で開発・使用されている気候モデルの原型となった。



眞鍋淑郎博士が原型を開発した「大気海洋結合モデル」は、その後多くの専門家によって改良が続けられ、近年の計算機技術の目覚ましい進展もあって、人為的な温室効果ガスの増加に伴う数十年から百年規模の気候変動ばかりでなく、わが国の気候に大きな影響を与えるエルニーニョ・ラニーニャ現象などの数か月から数年規模の自然現象の予測にも利用可能なものとなったため、気象庁でも1998年7月より「大気海洋結合モデル」によるエルニーニョ・ラニーニャ現象の予測を開始した。

その後、2010年2月には、1か月から数か月規模の自然現象の予測にも利用可能となったことから、季節アンサンブル予報システムに「大気海洋結合モデル」を導入した。2015年6月には、「大気海洋結合モデル」の解像度を向上させるとともに、海洋モデルに加えて海氷モデルも結合した季節アンサンブル予報システムに用いるものとしては第2世代となる「大気海洋結合モデル」に更新し、2022年2月には「大気海洋結合モデル」の解像度を更に向上させた第3世代の「大気海洋結合モデル」に更新し、今後より短い予報にも「大気海洋結合モデル」を利用していくことが出来るように、初期値作成手法や運用方式にも改良を加えた。

# 気象・気候現象の予測可能性

## ■ 予測可能性の概念図

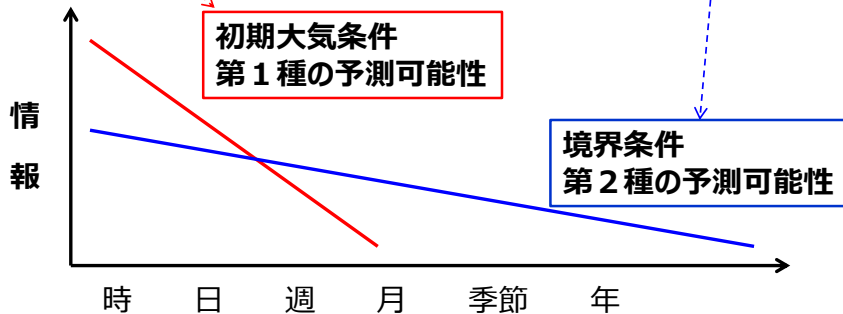
予測可能性は大きく2種類に分類される。

### ■ 第1種の予測可能性

初期大気条件に依存する。  
大気の変動は速く、初期の大気を持つ情報は急速に失われる。

### ■ 第2種の予測可能性

海面水温や海氷、積雪など境界条件に依存する。  
境界条件の変動は大気の変動に比べて遅いため、長期予報が可能。



初期値のわずかな誤差が時間とともに急激に増大し、ついには予測不可能な混沌とした状態になる性質をカオスと言う。大気にはカオス的の性質があり、海洋や海氷、積雪等に比べて変動が速く、初期の大気を持つ情報は急速に失われる。一方、海洋や海氷、積雪等は変動が遅いため、大気よりも長期間の予報が可能である。このため、大気が海洋や海氷、積雪等の大気の境界条件から受ける影響については、長期間の予報が可能である。初期の大気条件に依存する予測可能性を第1種の予測可能性、境界条件に依存する予測可能性を第2種の予測可能性と言う。

# 気象・気候現象の予測可能性

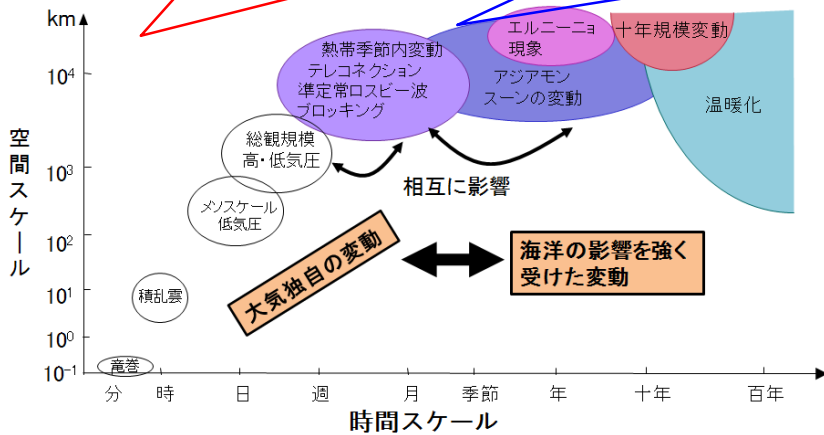
## ■ 大気現象の時空間スケール

### ■ 時空間スケールが小さい大気現象

例：竜巻，温帯低気圧など  
大気初期条件に敏感なため、長期予報は不可能。

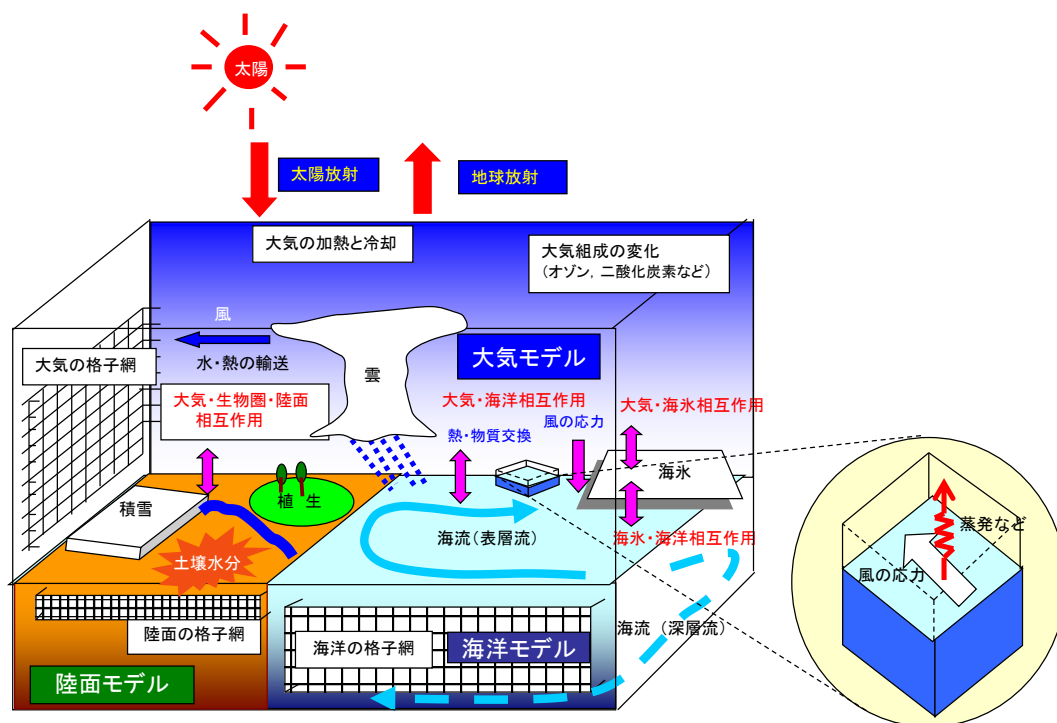
### ■ 時空間スケールが大きい大気現象

例：赤道季節内振動(MJO)、モンスーン、エルニーニョ現象等  
大気初期条件よりも、海洋・海氷・陸面等の境界条件に敏感なため、長期予報が可能。



大気現象には竜巻や温帯低気圧など時空間スケールの小さい現象から、赤道季節内振動(MJO)やモンスーン、エルニーニョ現象といった時空間スケールの大きい現象まで様々なものがある。時空間スケールの小さい大気現象は大気初期条件(第1種の予測可能性)に敏感であるため、長期間の予報は不可能である。一方、赤道季節内振動やモンスーン、エルニーニョ現象等は大気初期条件(第1種の予測可能性)よりも、海洋や海氷、積雪等の境界条件(第2種の予測可能性)に敏感であるため、長期予報が可能である。

# 大気海洋結合モデル



長期間の予報では、海水温や海氷、積雪等の大気への影響が大きく、これらを適切に予報する必要があるため、海洋モデルや海氷モデル、陸面モデルを大気モデルに結合し、熱や水蒸気といった物理量の相互交換(相互作用)を計算する大気海洋結合モデルが利用される。このため、大気海洋結合モデルは長期間の予報から導入され、比較的海水温や海氷、積雪等の大気への影響が小さい、より短期間の予報にも導入していくといった方向で開発が進められており、データ同化システムといった大気の初期条件の精度を高める開発とは逆向きの開発となっている。今後、短期予報から長期予報まで予測可能なシームレスな数値予報モデルを開発していくためには、第1種の予測可能性である大気初期条件の開発と、第2種予測可能性である境界条件の開発といった双方向の開発が不可欠である。

# 季節アンサンブル予報システム

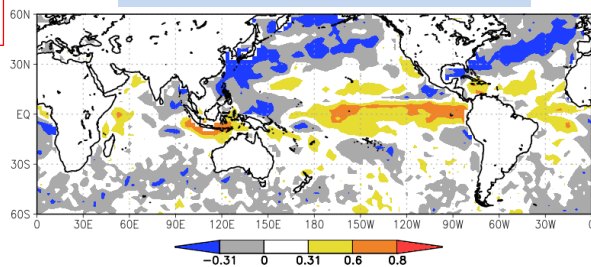
図は旧モデルで過去30年間 (1981-2010)の再予報結果を比較した例

気象庁では2010年2月に大気海洋結合モデルを季節アンサンブル予報システムに導入。

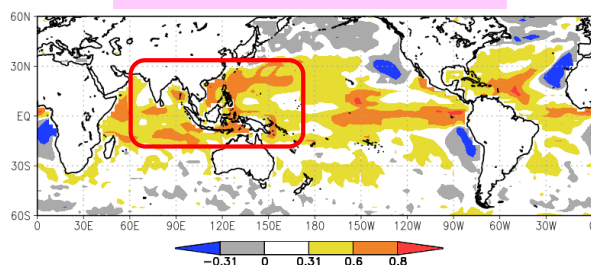
## ■大気海洋結合効果

大気海洋結合モデルは、海面水温と降水量の過剰な相関(応答)を抑制し、熱帯海洋変動に関連した現象の予報精度を向上する。

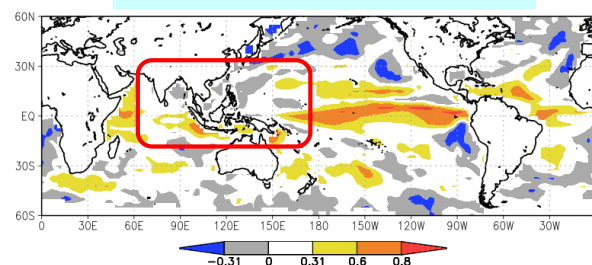
## 解析



## 大気モデル



## 大気海洋結合モデル



7月の海面水温と降水量の相関係数の比較

気象庁では、2010年2月に大気海洋結合モデルを季節アンサンブル予報システムに導入した。海面水温偏差を境界値とする大気モデルでは、海面水温が高い領域で対流が立ち続けてしまうため、海面水温と降水量が過剰な正相関となる。しかし、現実の大気(解析値)では、海面水温の高い領域で対流が立つと、日射の遮断や降水等によって海面水温が低下するため、弱い負相関となっている。大気海洋結合モデルは、図に示すように海面水温と降水量の過剰な正相関を抑制して解析に近づけ、熱帯海洋変動に関連した大気海洋相互作用の再現性を向上する。