

## 研究紹介

### 非線型大気海洋結合データ同化の第一段階

モデリング研究系助手 上野 玄太

日本における冷夏・暖冬。世界的にも干ばつ、豪雨、台風の異常発生が続出。世界中にこのような異常気象をもたらすとされるのがエルニーニョ現象だ。太平洋赤道域の中央部からペルー沿岸にかけて、海面水温が平年に比べて高くなり、その状態が1年程度続く。語源はスペイン語で「男の子」という意味。ただし、この海の現象を指すときは「エル」と「ニーニョ」をそれぞれ大文字で始め、「キリスト」の意味である。

エルニーニョ自体は単に海水温の異常を指すが、その実体は海と大気が絡み合ったフィードバックシステムの一部である。ゼビアックとケインは、海洋と大気の結合相互作用を含めたシミュレーションモデルを立て、4年おきの周期的な変動を再現した。我々の研究では、このシミュレーションモデルにデータを取り込み（同化させ）、実際にはそれほど周期的でないエルニーニョ現象を正確に予測することを目的としている。

同化の手順は、時系列解析で用いられる状態空間モデルの適用順そのものである。

1. 状態空間モデルを立てる
2. ノイズの共分散行列を与える
3. 予測・フィルタおよび尤度の計算
4. 尤度が最大となるまで2に戻って繰り返し
5. 平滑化の計算

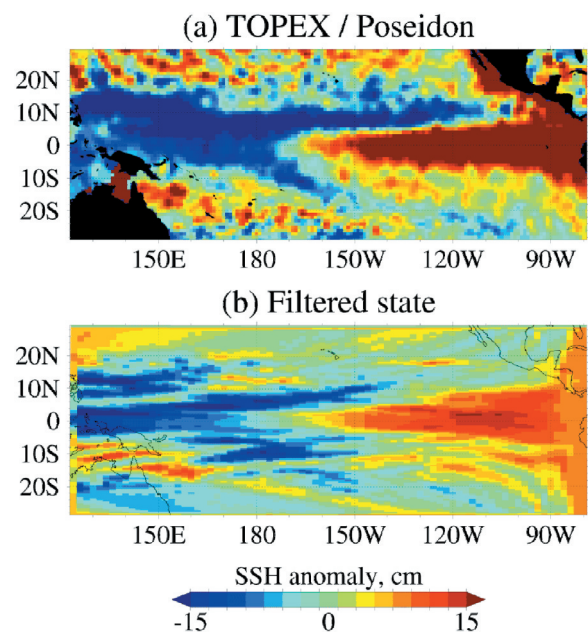
ここではシミュレーションモデルが非線型なので、アンサンブルカルマンフィルタを用いる。これは、まず粒子フィルタと同様に予測分布の実現値を生成したのち、実現値の共分散行列を使って擬似カルマンゲインを求め、これをもとにフィルタ分布へと更新する。同化するデータは、トペックス・ポセイドン衛星による海面高度の10日値10年分である。

アンサンブルカルマンフィルタに限らず、たいがいポイントとなるのは2の共分散行列の与え方である。与え方によって結果は良くも悪くもなること、最適化するには計算負荷が高いことがその理由である。

データ同化ではまずシミュレーションモデルが与えられ、そのモデル自体をノイズが入っていないシステム方程式と見なせるため、システムノイズを与える項さえ決めれば即座に2以降の段階に進むことができる。あとは前段で述べたような最適化の問題になるのだろう、と思っていたのだが

これが見当違いであった。3での逐次計算を進めていくと、結果が次第におかしくなり、あるべきでないシマシマ模様やあまりに非現実的な振動を呈するのである。全データ期間で計算を終えても、その結果は悲惨なまま。その上この状況は、アンサンブルサンプル数を増やすのはもちろん、ノイズの共分散行列を修正したり、ひとつ前の段階に戻ってノイズを与える項を変更したりしても解決に至らなかった。

そしてたどり着いたのが状態ベクトルの変更であった。これまでは無思慮にももとのシミュレーションの各タイムステップで保持している変数群をそのまま状態ベクトルとしていたところを、ある変数は1ステップ前のもの、また別の変数は1ステップ先のものという具合に現タイムステップの変数に限定せずリストアップし直したのである。この変更でシミュレーションの計算結果は変わらないが、状態ベクトルに並ぶ変数が替わるために、変数の選びようによっては適切なフィルタリングが期待できる。この変更作業には、この1年間輪読で勉強していたグラフィカルモデルの考え方が思いもよらず役に立った。図に示すのは、エルニーニョが発生している1997年11月20日の観測データとフィルタリングの結果である。（図参照）



図エルニーニョ発生時の海面高度データとフィルタリングの結果

※ SSHとはSea Surface Heightの略