

気候のための長期再解析 JRA-25

大野木 和敏

気象庁 予報部 数値予報課

1. はじめに

気象庁と(財)電力中央研究所(以下、電中研)は、共同研究プロジェクトとして全球大気長期再解析 JRA-25 (Japanese 25-year Reanalysis) を実施した。その対象期間は1979年から2004年までの26年間である。作成に使用したデータ同化システムは気象庁の2004年当時の現業数値解析予報システムに準拠している。JRA-25では、降水量プロダクトの精度や、熱帯低気圧の解析精度が海外の再解析データに比べて最も優れているなど、顕著な成果が得られている。また、その成果は世界の研究者向けに公開され、研究での利用が進んでいる。気象庁ホームページからは JRA-25 の気候図集「JRA-25 アトラス」を公開している。

2. 長期再解析実施に至る背景

過去の長期にわたる地球大気および表層の気候状態を定量的に正確に把握することは、異常気象や地球環境問題、地球温暖化を正しく理解するために不可欠である。そのための情報源として、過去百年以上にわたって蓄積された地上気象の観測データや過去数十年の高層観測、航空機・衛星観測などの観測データが原理的には利用可能である。しかしこれらの観測データは、網羅的に収集・品質管理されておらず、多様な単位・書式や媒体で国家・組織に分散して保管されており、それぞれのデータは断片的・局所的な情報としてしか機能せず、グローバルな問題に対処するための必要を満たしていない。

一方、日本など先進的な国家気象機関においては、データ同化の手法を使って地球大気の状態を格子点上に精度良く解析できるようになった。この解析値から数値シミュレーションにより未来の大気の状態を予報する「数値解析予報システム」が急速に発達し、1980年代には全球データ同化サイクルが現業的に運用されるようになった。データ同化サイクルは、観測データの同化によって得られた解析値を初期値として予報を行い、その予報で得られた予報値を第一推定値として再びデータ同化を行い、というように、観測データの同化と予報を相互に依存させながら周期的に連続して行うもので、現業数値解析予報システムの根幹をなすものである。

このようにデータ同化と予報を一定時間間隔で繰り返すデータ同化サイクルによって蓄積された解析値は、一定の時間間隔で高い品質の地球大気の3次元的な格子点上および地表面での各種

物理量を提供するものであり、それぞれの時代においては気象・気候の研究に非常に有効なデータであった。

特に、気候に関連する業務・研究には、基礎データとして過去数十年の長期間にわたる日々の地球大気の大気温度や気圧などの物理量データが必要である。日々の現業データ同化サイクルにより蓄積された解析値は、その目的を満たす唯一のデータとして利用され、この解析値を基に「平年値」を計算して、気候解析のための基礎的な物理量データとして使用されてきた。

ところが、現業解析値を気候解析に使用するには、大きな問題がある。世界の主要な気象センターで数値解析予報が開始されて約半世紀が経過しているが、この間、計算機や観測などの数値予報を取り巻く環境も大きく変化してきた。解析値の品質は、技術的な手法と計算機性能に大きく依存しているため、長期的に見たデータ特性はプログラムや計算機の更新と共に大きく変動しており、数年以上の時間スケールで利用しようとした場合にそれが大きな障害となっていた。事実上、現業解析値を使用していたのでは数十年にわたる気候解析は不可能であった。

このような現業データ同化による解析値の欠点を補って、基礎的な気候データを整備することを目的に、1980年代末に気候研究者から「長期再解析」(以下、再解析)が提案された。これは、できるだけ多くの過去観測データを収集して精密な品質管理を行い、最新の数値解析予報モデルと計算資源を使用して、過去数十年にわたるデータ同化サイクルをやり直し、時空間的に均質でかつ高精度の解析値を作成することである(第1図(上))。

3. これまでに実施された再解析

しかしながら、再解析の実施は容易な作業ではない。第一に、過去の観測データは整備されていないわけではないので、世界の気象センター等から収集し、形式変換等の整備を行わなければならない。第二に、観測データには様々なエラーが含まれている。特に過去のデータは、測器自体の性能もさることながら、データ保存状況もまちまちであるし、観測位置情報から誤っているなどの多くの不良データが含まれる。第三に、再解析は、気候モデルの長期積分による将来の気候予測とはその手法、作業が全く異なる。気候予測では、高性能のスーパーコンピュータがあれば、ある初期

値から数十年間を連続して実行することができる。一方、再解析では、年代毎に質・量ともに変動する観測データに対する適切な品質管理や同化手法の適用などの細かい対処が必要であり、気候予測とは異質の労力と、細心の注意を要する。このようなことから、これまでのところ、再解析の実施は観測データ処理のノウハウを蓄積した現業数値予報センターに限られている。

海外の主要な数値予報センターでは、1990年代から再解析が取り組まれた。米国では、米国環境予測センター（NCEP）が中心となって低分解能モデルによる1948年からの再解析を実施した（NCEP/NCAR R1）。また、R1と同じシステムを用いて、R1で発覚した問題点を解決したNCEP/DOE R2を実施した。R1、R2ともに気候データ同化サイクル（CDAS）としてリアルタイムに実行が続けられている。一方、ECMWFでは、NCEPより高い分解能のモデルでERA-15を実施した。さらにECMWFは、ERA-15より進んだシステムを用い、対象期間を45年間に伸ばしたERA-40を実施し、2003年に完了している。ERA-40では、ERA-15の経験を踏まえ、その問題点の多くが解決されている。

4. JRA-25 再解析

4.1 概要

日本においては、2001年から気象庁と電中研がJRA-25再解析を実施した。世界のトップレベルの技術を保持する気象庁モデルを利用した実施したJRA-25は、アジアにおける最初の再解析であり、この分野での日本の国際的地位を高めるものである。

JRA-25では、1979年から2004年の26年間を対象とする6時間間隔のデータ同化サイクルを実行し、6時間ごとの大気解析値とそれに付随する多くの物理量を算出した。分解能は水平方向にはT106（約120km間隔）、鉛直には40層をとり、最上層は0.4hPaで成層圏界面までをカバーしている。データ同化に使用した観測データは、従来の地上・高層観測に加えて静止衛星による風データ、極軌道衛星による大気鉛直サウンダデータやマイクロ波輝度温度データから算出した可降水量データなどで、これらを3次元変分法で同化した。海面水温、海氷、3次元オゾン分布にはJRA-25用の日別データを作成して与えた。サウンダデータについては事前に可能な限りの品質管理を実施した。

JRA-25で使用したモデルは、データ同化、予報とも2004年3月当時の気象庁現業モデルに準拠している。JRA-25再解析データセットは、全世界の地上から上空約50kmまでの気象に関する基礎的なデータセットとして水平約120kmの間隔で気温、気圧、風、湿度、雲量、オゾン量、放射量、雨量、降雪量などの大気データおよび海面の温度、

海氷被覆量、地表面の温度、積雪量、蒸発量、土壌水分量、河川への流出量などの100種類以上の物理量を含んでいる。

さらに、JRA-25と同じ手法による気象庁気候データ同化システムJCDAS（JMA CDAS）を運用し、JRA-25と一貫したデータが現業的に利用可能となっている。

4.2 JRA-25の特性

JRA-25の最大の長所は、降水量プロダクトの精度が他のどの再解析よりも優れていることである¹。これまでに実施された海外の再解析に比べ、最も優れている。海外で作成された最新の再解析で品質が良いといわれるERA-40でも衛星データ同化の問題により火山噴火の影響を過敏に受け、また、1990年代以降の衛星データの増加と共に降水量が過剰となっているが、JRA-25では期間を通して安定した降水量が得られている。なお、全般に再解析における降水量は、全球降水気候計画（GPCP）による降水量や米国気候予報センターによる降水量（CMAP）といった観測に基づく降水量データより多い傾向がある。また、JRA-25では、これらの降水量データとの空間相関係数は他のどの再解析よりも大きく、これはJRA-25の降水量の空間的な分布が良いことを示す。特に1987年以降では、米国DMSF衛星のマイクロ波センサーSSM/Iのデータから算出した可降水量を同化している効果により相関が良くなっている。

第二の特長として、熱帯低気圧の解析では、過去のベストトラックデータに基づく熱帯低気圧周辺風を再解析としてはじめて同化することにより、観測データが少ない東太平洋などで、熱帯低気圧を検出できる割合が他の再解析より顕著に高く、熱帯低気圧に関して全世界で領域によらない均質な解析値が得られた。

その他の特長としては、亜熱帯の大陸西岸沖での下層雲の精度が優れている。この領域での下層雲をモデルで再現するのには世界の多くのモデルも苦心している。

また、積雪深解析では、電子化した中国積雪データの使用並びにマイクロ波衛星データから作成した積雪域データをSYNOPTと併用することにより、安定した積雪深解析が得られた。

一方、問題点としては、アマゾン領域での乾燥、降水過小がある。アマゾン領域は、元々陸面モデルにとって扱いの難しいところであるが、問題の解決には陸面過程の改良が必要である。もうひとつの問題は、衛星の変動と背景場として使用する予報モデルに存在する成層圏の気温バイアスに起因する時間的な不連続である。データの品質管

¹降水量はデータ同化サイクルの6時間予報の積算値をプロダクトとしている。

理, 同化手法を工夫して問題を軽減したが, 不連続を解消するには至っていない。また, 極軌道衛星のサウンダ (鉛直探査計) のセンサーが切り替わった 1998 年 11 月を境に成層圏の気温や高度に不連続がある。

4.3 JRA データの公開

JRA-25 データは, 研究目的での利用に対して, JRA-25 公式ページ (<http://jra.kishou.go.jp/>, 2008 年 7 月現在) からオンライン・無償公開を行っている。データの取得方法及び内容の詳細は本ページに掲載されている。

また, JRA-25 による気候図集「JRA-25 アトラス」を作成し, 2008 年 3 月から気象庁ホームページ上で公開している。これは, 様々な気象要素に関する年平均, 季節平均, 月平均の気候図として, JRA-25 の成果を図情報にまとめたものである。
(<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/jra/atlas/jpn/atlas-top.htm>, 2008 年 7 月現在)

5. 再解析データの利用

再解析データには, 地球大気と地表面の多くの物理要素が, 規則正しい空間格子配置, 一定の時間間隔で収録されている。直接観測が可能な気温, 風といった基本的な気象要素だけでなく, 直接観測することの難しい, 放射フラックス量, 蒸発量などの物理要素も, 物理法則に則った数値モデルにより, 物理的に整合の取れたデータとして作成されている。これは, 気候に限らず, あらゆる気象研究, 関連する応用研究にとって基礎的なデータベースとして活用できる (第 1 図(下))。

気象庁気候情報課では, JRA-25 の完成を受け, 品質の一貫した再解析データから平年値を作成して, 気候系監視, 季節予報の循環場の解析などの業務に利用し, 季節予報の高度化を図っている。また, 季節予報モデルの長期間均質な初期値や検証データとして利用する。

一方, 炭素循環, オゾンの解析, 化学輸送モデルの長期にわたる参照データ等, 環境気象分野での利用, 海洋大循環モデルに与える大気側の境界条件等としても幅広く利用される。

気候研究以外の目的でも, 再解析データが利用できる可能性がある。再解析値自身は分解能が不十分だが, 総観規模で整合の取れた初期値・境界値をメソモデルに提供することができる。これにより, 過去の顕著な事例の再現実験も可能になった。

さらには, 理科年表 (平成 19 年度版から) への気候図の掲載, 農林漁業分野での基礎的な気象データベースとしての利用, ロケット打ち上げ時の大気参照データとしての利用, 科学館での展示への利用など, 予期していた以上の幅広い応用的な利用もはじまっている。再解析データの利用が

進むにつれて, これまでわかっていなかった気象庁数値モデルの細かな特性も研究成果として明らかにされることが期待される。再解析データは, 気象・気候分野での標準的解析データセットとしての地位を確立しつつある。再解析データの利用が進むとともに, その重要性が広く認識されてきている。

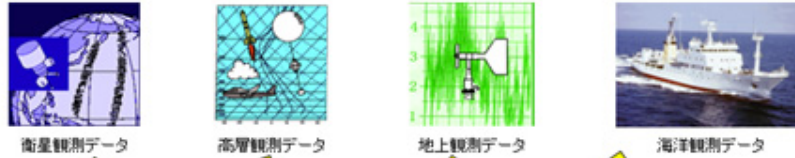
日本の気象庁をはじめとする世界の主要な数値予報センターは, さらに高精度な再解析を開始, または実施に向けた準備を進めている。

参考文献

- Hatsushika, H., J. Tsutsui, M. Fiorino and K. Onogi 2006: Impact of Wind Profile Retrievals on the Analysis of Tropical Cyclones in the JRA-25 Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 891-905.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira 2007: The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- 大野木和敏 2005: 「大気長期再解析」とは何か? 数学セミナー, 日本評論社, Vol.44, No.11(2005 年 11 月号), 52-59.
- 大野木和敏・筒井純一・小出寛・坂本雅巳・古林慎哉・初鹿宏壮・松本隆則・山崎信雄・釜堀弘隆・高橋清利・門倉真二・和田浩治・加藤浩司・小山亮・尾瀬智昭・萬納寺信崇・平隆介・大河原望 2007: 長期再解析 JRA-25. 気象研究ノート, 日本気象学会, Vol. 217, 163-205.
- 大野木和敏 2007: 長期再解析 JRA-25. 天気, 日本気象学会, Vol.54, 773-776.

再解析とは

観測データ

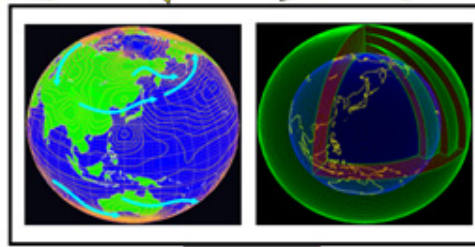


衛星観測データ

高層観測データ

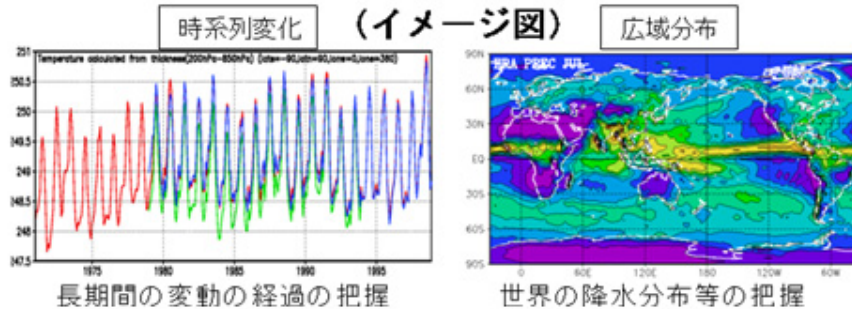
地上観測データ

海洋観測データ



最新のデータ同化システムによる計算

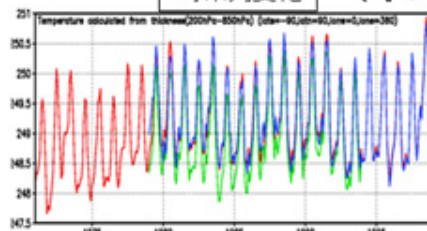
地球全体の大気の長期間にわたる高品質なデータセット



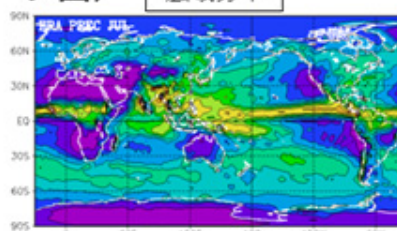
時系列変化

(イメージ図)

広域分布

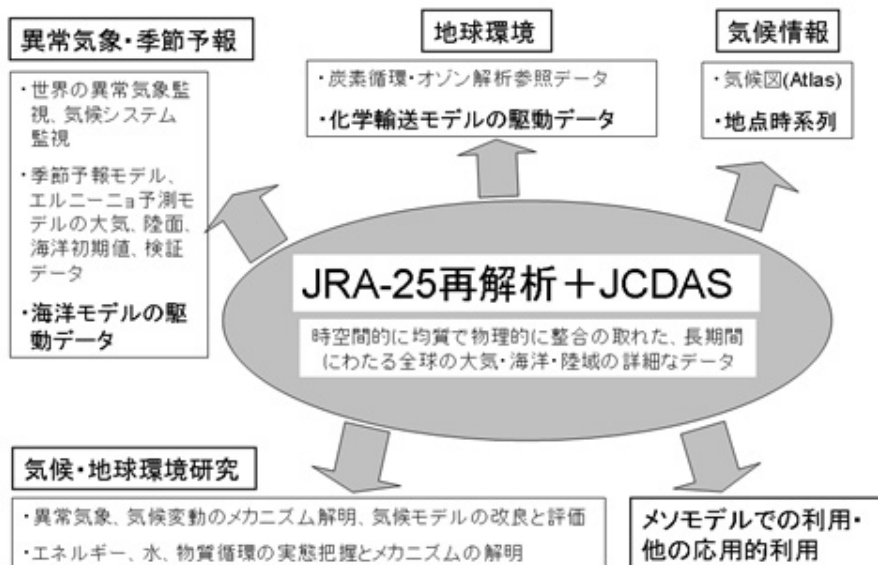


長期間の変動の経過の把握



世界の降水分布等の把握

JRA-25+JCDASの利用と応用



第1図 (上) 再解析の概念図 (下) JRA-25 と JCDAS の利用と応用