

積雪深解析の改善による全球数値予報へのインパクトについて

宮岡 健吾(気象庁数値予報課)
関口 亮平(気象庁気候情報課・数値予報課併任)
今野 暁(気象庁業務課)

1 はじめに

気象庁全球モデル(GSM)で利用している積雪深解析値は、GSM とは独立した解析システム(全球積雪深解析)により作成されている。全球積雪深解析では、積雪深気候値と SYNOP 地上観測値を利用して2次元最適内挿法¹により、積雪深を解析している。ただし、この解析システムについては、積雪深気候値の作成年代が古く低品質であることや、解析された積雪域が広すぎる等の課題が指摘されている。

これらの課題を解決するため、新しい全球積雪深解析(以下、新システム)の構築に取り組んでいる。新システムの主な改良点は、衛星データから作成した積雪域の情報と GSM の予報値をベースにした積雪深第一推定値作成処理の導入である。本稿では新システムに関わる開発の背景や変更点の概要、解析データの品質等について記述した。

2 現行の全球積雪深解析

現行の全球積雪深解析(以下、現行システム)の仕様について中村(2009)を要約して説明する。現行システムでは全球の積雪深を $1^\circ \times 1^\circ$ の解像度で1日1回解析している。解析に使用するデータは SYNOP 地上観測データと米国防空軍・環境技術応用センター(USAF/ETAC2)により作成された積雪深月別気候値(Foster and Davy, 1988)で、解析手法は2次元最適内挿法(詳細は多田(1997)を参照)である。解析されたデータは GSM、全球アンサンブル予報システム等で、積雪深の初期値として利用されている。

解析処理については、まず前日の積雪深解析値の対気候値偏差の50%を対気候値偏差の第一推定値 A_g^A とする。これを元に解析インクリメント $A_g^A - A_g^G$ を

$$A_g^A - A_g^G = \sum_i^{n_g} (A_i^O - A_i^G) w_{ig} \quad (1.1)$$
により求める。なお、 n_g は格子点 g の解析に利用する観測データの数を表し、 A_g^A 、 A_g^G は格子点 g における解析値、及び第一推定値、 A_i^O 、

A_i^G は観測地点 i での観測値、及び第一推定値(観測地点 i への内挿値)で、すべて対気候値偏差である。また、 w_{ig} は格子点 g での解析値に対する観測点 i での観測値の重みを表す。実際の計算では(1.1)を基に計算した A_g^A に気候値を加算することで解析値を確定する。

(1.1)式を解くのに必要となる n_g 個の重み w_{ig} は使用データの地点間の空間相関や、観測誤差と第一推定値誤差等を考慮して計算される。これらの誤差は観測値、第一推定値の特性を基に設定しており、値が小さくなるほどデータの重みが大きくなることを意味する。本処理では SYNOP 観測地点が限定的で、第一推定値の基となる月別気候値が低品質であることから、観測値の重みを大きくする設定(結果として w を大きくする設定)となっている。

現行システムは2000年にリアルタイム解析が開始(多田 2000)されて以来大きな変更がなかったが、課題として次のことが指摘されている。

- 積雪域を広めに解析する傾向がある。
- 定常的に地上観測が無いと解析値が気候値になり低品質となる。

前述のように現行システムの設定では観測値の重みを大きく設定しているため、図1でのフランスのように第一推定値でほぼ無積雪の領域でも一地点観測値が入ると、その地点周辺の広い範囲が積雪域として解析されてしまう。また南米アンデス、ニュージーランド等では、SYNOP 観測値がほとんど無い一方で、年を通して気候値で広めに積雪域を設定しているため、南半球の夏でも広めの積雪域を解析してしまう傾向が指摘されている。

3 新しい全球積雪深解析

2にあるような現行システムの問題を改善するため、新システムの開発をしてきた。主な改良項目としては月別気候値に代えて、第一推定値作成時に衛星データと積雪深予報値を利用することである。利用する衛星データはマイクロ

¹ 観測データの第一推定値からのずれを、観測誤差や予報誤差の統計情報を考慮して第一推定値の格子内に

挿し、第一推定値を修正する手法(本田ほか、2018)

波(主に 19GHz と 37GHz)で、衛星とセンサーは DMSP 衛星の SSM/I と SSMI/S、及び GCOM-W の AMSR-2 である。

マイクロ波衛星データによる積雪量の観測手法では波長帯による積雪での応答の違いを利用する。(具体的なアルゴリズムは操野(2001)、隈部(2009)等を参照)。衛星が観測するマイクロ波は実際、大気、積雪、地面等からの放射の総量である。しかし本アルゴリズムでは衛星の観測値は地表面からの射出のみを受信した値と仮定して、さらに地表面に雪がある場合はその下の地面からの射出のみを考慮する(Koike 1993)。そのエネルギーは積雪中の氷粒子による散乱のために衰弱して、衛星で観測するエネルギー(輝度温度)は実際の地表面温度より低下する。積雪中の氷粒子はマイクロ波にとってはレーリー散乱の領域に当たり、19GHz と比べると、37GHz のほうが氷粒の散乱断面積が大きく減衰が大きいので、37GHz の方が観測される輝度温度がより低くなる。この二つの波長帯の輝度温度差は積雪深が深くなるほど大きくなる²。この性質を利用して輝度温度差に応じて積雪深を計測している(以上、Chang et al. (1987)、操野(2001)、隈部(2009)より)。なお本処理では計測した積雪深の値をそのまま利用するのではなく、積雪深 0cm より大きい場所を積雪有とした積雪域としての情報のみを利用している。

第一推定値については、原則³衛星データで積雪域と判定された地点についてのみ積雪有として積雪深予報値をそのまま積雪深第一推定値として設定している。これにより予報値で積雪があっても衛星で無積雪と判定されていればその地点では積雪深 0cm となる。ただし、衛星積雪域、予報値がともに積雪無の地点以外はすべて 2 次元最適内挿法を実行するため、第一推定値で積雪深 0cm の場所でも解析値で積雪有となることもある。この第一推定値を式(1.1)に代入して解析値を計算するが、新システムでは同式の A の値は気候値からの偏差ではなく、すべて実値(例えば A^c は第一推定値そのものの値)として計算される。

その他の変更点として最適内挿法での第一推定値の重みを現行システムの設定より大きくすること、解析に使用するデータの地点間の空

間相関を調整して解析をしている格子から遠方にある観測地点のデータを不使用にすること等がある。

4 新システムでの実験結果

3 で示した新システムを用いて解析予報サイクル実験を実行した。実験は 6 時間間隔の解析予報サイクルで、積雪深については 1 日 1 回解析をしている。以下、現行システムでの結果を CNTL、新システムでの結果を TEST と表記する。また CNTL、TEST の比較の際には NOAA/NESDIS で作成している北半球積雪域プロダクト (IMS)⁴を参照データとして図示している。

まず、積雪域の解析結果へのインパクトについて確認した。図 2 は 2018 年 2 月 11 日のヨーロッパ及び西アジアでの解析結果で、CNTL と比べて TEST ではやや広めだった積雪域が縮小して IMS との対応も良い。特にイギリスでは CNTL で全土に解析されていた積雪域が大幅に減少して IMS の分布に近づいている。同様の結果はチベット等でも見られる他、南米、ニュージーランドで定常的に解析されていた広めな積雪域が消滅・縮小していた(図略)。図 3 は地上での短波放射上向きフラックスを衛星(CERES)の同プロダクトと差をとったもので、CNTL で積雪が広めに解析されていた地域(西アジア、チベット等)ではフラックスが CERES プロダクトと比べてやや過剰であったが、TEST ではフラックスが減少して CERES のプロダクトの値に近づいた。CNTL でフラックスが多かった要因としては、積雪がある場所では積雪表面で短波放射を反射することで上向き短波放射フラックスが大きくなっていたため、TEST では積雪域の見積もりをより妥当なものとするのでフラックスを小さくすることができた。このようにして積雪プロダクトの改善の効果は地表面の積雪域のみではなく大気場にも見られた。

解析結果の数値予報へのインパクトを検証するため、2018 年 1 月毎日の 12UTC を初期日とした 11 日予報を CNTL、TEST それぞれについて、その解析結果を初期値として実行した。図 4 に地上気温の 132 時間予測値を SYNOP 観測値と比較した値の集計結果を示す。上記

² 実際はこの関係は単純ではなく雪密度、粒径、積雪域の植生等に依存する。

³ 処理の都合上、SYNOB 観測で積雪がある地点につい

ては衛星の判定によらず予報値を設定している。

⁴ IMS プロダクトは必ずしも正確な値であるものではない点留意が必要。

の積雪が縮小した場所(主に図 4 下図の赤領域)では地上での低温バイアスが軽減しており、積雪域の精度改善の効果が見られた。

5 まとめ

気象庁 GSM で利用している全球積雪深解析の開発進捗、及び調査結果について報告した。現行システムで指摘されている課題を解決するため、新システムでは、衛星データから作成した積雪域の情報と GSM の予報値をベースにした第一推定値作成処理の導入等の改良をしている。これにより想定より広めに解析されていた積雪域がより適切に解析されるようになり、

大気への放射バイアスが軽減する等の効果が見られた。さらに大気の前報結果についても地上気温で積雪が原因と思われる低温バイアスの軽減等の改善が見られた。新システムの運用への導入により、本プロダクトを利用している短期予報から1か月予報まで、その精度向上が期待される。今後は、導入に向けて詳細な検討を進めたい。

参考文献

- Chang, A. T. C., Foster, J. L. and Hall, D. K.,1987: Nimbus-7 derived global snow cover parameters. *Annals of Glaciology*, 9, 39-44.
 Koike, T., Suhama, T, 1993: Passive microwave remote sensing of snow, *Annals of Glaciology*, 18,

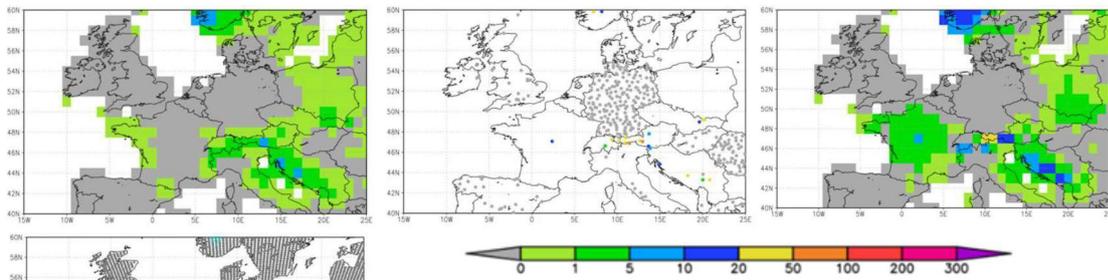


図1 現行システムでの積雪深解析結果(2017年10月25日)
 上段:第一推定値(左図)、SYNOP観測値(中図)、解析値(右図)の積雪深(cm)
 下段:IMSプロダクトの積雪域(水色領域)

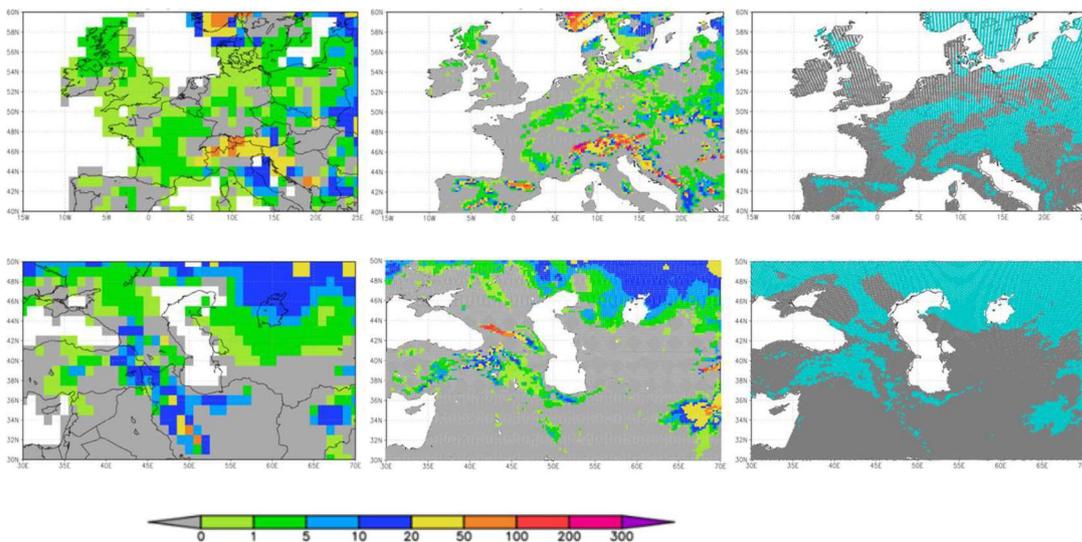


図2 積雪深解析結果(2018年2月11日)上段:ヨーロッパ付近、下段:西アジア
 CNTL(左図)、TEST(中図)での積雪深(単位:cm)、及びIMSプロダクトの積雪域(右図:水色領域)

305-308.
 限部良司, 2009: 衛星データによる積雪の監視、解析、平成 21 年度全国季節予報技術検討会資料、気象庁気候・海洋気象部。
 操野年之, 2001: 衛星による観測データを用いた監視資料の作成(マイクロ波による積雪情報抽出アルゴリズムの開発及び季節予報業務への利用)、平成 13 年度季節予報研修テキスト, 気象庁, 27-34。
 多田英夫, 1997: 最適内挿法, 数値予報課報告・別冊

第 43 号, 気象庁予報部, 74-83。
 多田英夫, 2000: 積雪解析・海面水温解析, 平成 12 年度数値予報研修テキスト 数値予報課報告・別冊第 47 号 合併号, 気象庁予報部, 15-16。
 中村 貴, 2009: 全球積雪深解析, 数値予報課報告・別冊第 55 号, 気象庁予報部, 11-14。
 本田有機, 藤田匡, 計盛正博, 室井ちあし, 佐藤芳昭, 2018: データ同化, 平成 30 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 84-89。

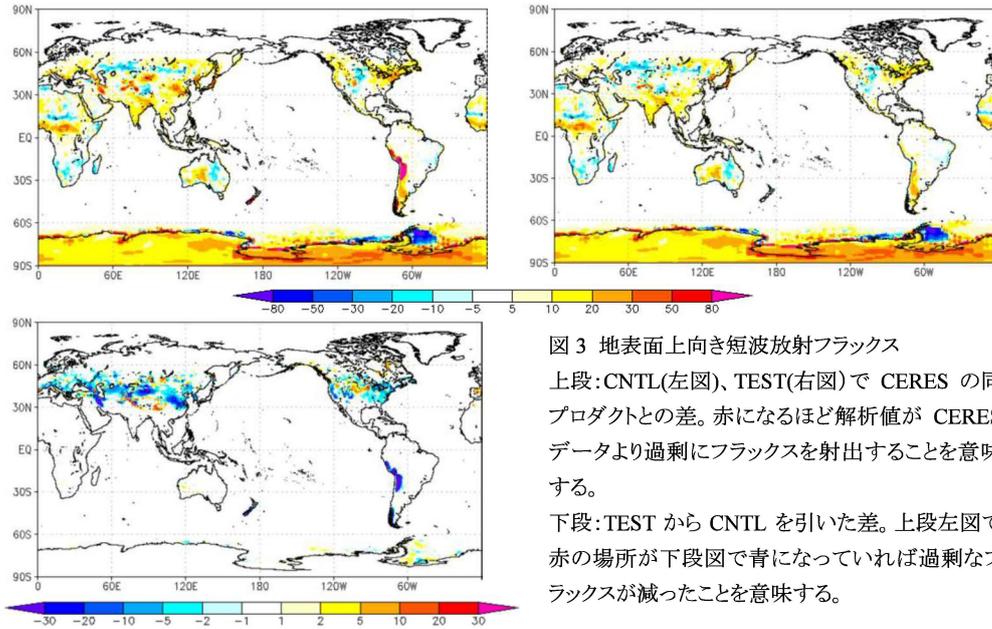


図 3 地表面上向き短波放射フラックス
 上段: CNTL(左図)、TEST(右図)で CERES の同プロダクトとの差。赤になるほど解析値が CERES データより過剰にフラックスを射出することを意味する。
 下段: TEST から CNTL を引いた差。上段左図で赤の場所が下段図で青になっていれば過剰なフラックスが減ったことを意味する。

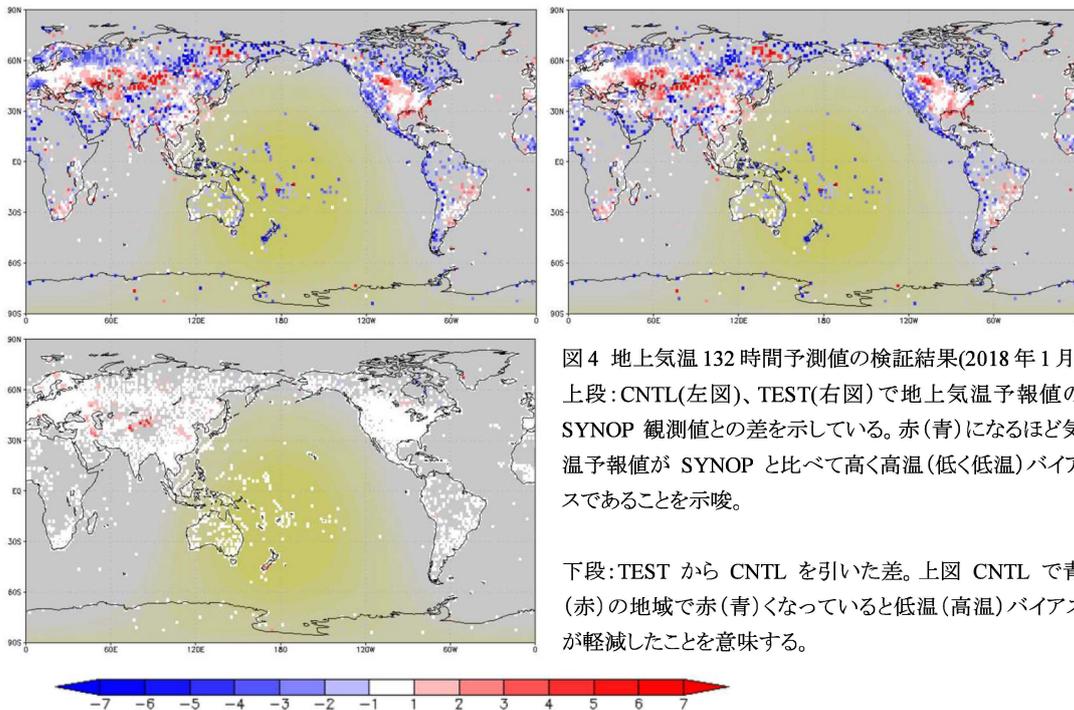


図 4 地上気温 132 時間予測値の検証結果(2018 年 1 月)
 上段: CNTL(左図)、TEST(右図)で地上気温予報値の SYNOP 観測値との差を示している。赤(青)になるほど気温予報値が SYNOP と比べて高く(低く)高温(低温)バイアスであることを示唆。
 下段: TEST から CNTL を引いた差。上図 CNTL で青(赤)の地域で赤(青)くなっていると低温(高温)バイアスが軽減したことを意味する。