

アーカイブ格子点データ (GPV) を利用する場合の注意

中西 幹 郎*

1. はじめに

日本気象協会は、米国で開発され、世界中で使用実績が豊富な WRF (Weather Research and Forecasting) モデルをベースに、独自の改良を加えた気象予測システム SYNFOSS (SYnthetic Numerical FOrecasting System) を運用している。気象モデルに組み込まれる物理過程のスキームは現在も改良、開発が続けられており、新たな有望なスキームは WRF にいち早く導入されているが、SYNFOSS はそれに加え、日々の天気予報から得た知見をもとに改良を進めている。

気象モデルの予測精度は、物理過程のスキームだけでなく、もちろん初期値や境界値にも依存する。我々はこれまで気象庁や NCEP (National Centers for Environmental Prediction) が提供するアーカイブ格子点データ (以下 GPV) を利用してきたが、新たに ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) の GPV も加えることにした。

WRF は、さまざまな機関が提供する GPV を容易に取り込み、計算を始めることができる。ところが、ECMWF の GPV から取り込まれた、例えば地面温度の分布を描いてみると、三浦半島や房総半島南部などの沿岸の地面には、海面水温に近い値が与えられていた。この異常な値は WRF の処理方法ではなく、ECMWF が提供する GPV の内容の理解不足にあることがわかった。ここでは、その正しい理解と異常値を改善する 1 つの方法を報告する。

2. ECMWF の水陸分布

大気と異なり、地表面は水面と陸面の間に明確な境

界がある。ECMWF (2021a) によると、水面は海面と、湖沼や河川に沿岸水も加えた陸水面とし、格子ボックス (ここではタイルという) 内の陸面が占める割合を水陸マスク (変数名 lsm) と定義している。lsm は 0 以上 1 以下の値を持ち、

In cycles of the ECMWF Integrated Forecasting System (IFS) from CY41R1 (introduced in May 2015) onwards, grid boxes where this parameter has a value above 0.5 can be comprised of a mixture of land and inland water but not ocean. Grid boxes with a value of 0.5 and below can only be comprised of a water surface. In the latter case, the lake cover is used to determine how much of the water surface is ocean or inland water.

の説明がある。

我々が使用した ECMWF の GPV にある lsm の分布を第 1 図に示す。使用した GPV の緯度・経度方向の解像度はともに 0.25° である。琵琶湖周辺を見ると (第 1 図右)、lsm が 0.4 程度の値のタイルがある。このタイルは陸水面と陸面の混合なので、上記の説明に従えば lsm は 0.5 を超える値のはずである。また、潮岬周辺には lsm が 0.1 前後と 0.6 を超えるタイルが隣接している。 0.5 よりも小さいか大きいかの分け方が上記の説明と一致しない。これらの分布を見ると、lsm は単純に陸面の面積率と考えたほうがよさそうである。

予想されるように、解像度 0.25° の GPV は予報モデルの生の出力結果ではなく、後処理が加えられた結果である。その処理には 4 種類あることがわかった (平原 2021; ECMWF 2021b)。ここで使用した GPV はデフォルトの三角メッシュに基づく直線内挿であるので、上記の説明と第 1 図の分布に食い違いがあるのは概ね理解できる。この後処理は予報値であろうと再解析値であろうと差はないものと考えられる。

* Mikio NAKANISHI, 一般財団法人日本気象協会.
nakanishi.mikio@jwa.or.jp

© 2022 日本気象学会

さて、水面には河川も含まれる。このため、 $lsm=1$ の領域を陸域とすると陸域はほとんど残らない。ここでは陸や海の単語との混乱を避ける意味も含めて、第1図の白抜きの $lsm > 0.75$ を「リク域」、薄い青色で塗りつぶした $lsm = 0$ を「カイ域」、色付きタイトルの $0 < lsm \leq 0.75$ を「キョウ域」と定義する。

3. ECMWF の GPV の分布

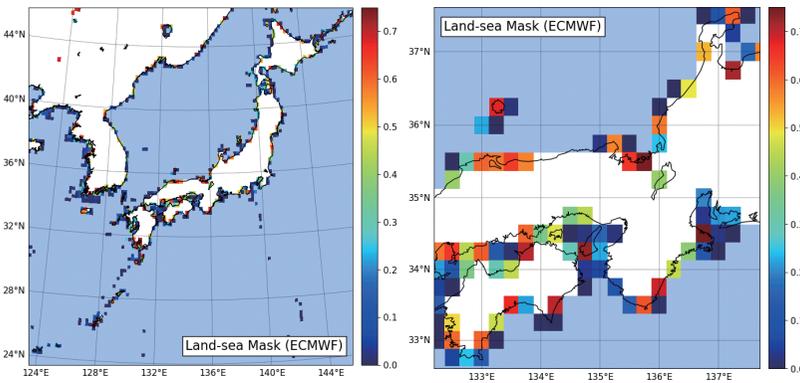
地表面に関連する ECMWF の GPV の分布を第2図に示す。2020年11月14日21時の初期値を選んだが、後処理は共通であるので、日時や初期値・予報値にかかわらず分布の特徴に違いはない。なお、ECMWF は大気海洋結合モデルを採用しているため、海面水温も時

間変化する。

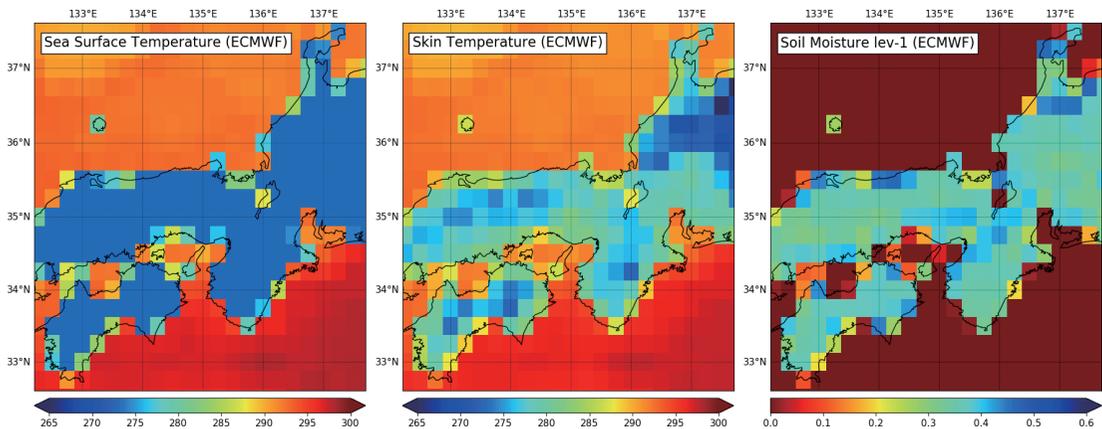
海面水温の分布をみると(第2図左)、リク域の温度は275K程度の一様な分布になっている。海面ではないので適当な値が与えられていると考えられるが、キョウ域では lsm の値に応じて、海面水温とこの適当な値の中間の温度が与えられているようである。このため例えば、陸面の割合(第1図)が比較的高い潮岬を含むタイトルの温度は海面水温よりもかなり低くなっている。

親モデルの GPV を読み込んで計算をする場合、通常は親モデルよりも細かい格子間隔で計算する。格子間隔を半分にすると、タイトルは4分割される。潮岬を含むタイトルの南側の分割されたタイトルは海面に分類される可能性が高く、第2図左はそこに海面水温よりも低い温度を与えることを示唆している。

第2図中央は表面温度(地表面に接する最下層の大気温度)である。大気であるので水面と陸面の区別はないが、この温度は、水面と陸面の区別がある地層の温度と大気第1層の気温から見積られているはずなので、第2図左のように lsm の値の影響が及ぶ。例えば、海面の割合(第1図)が比較的高い渥美半島や知多半島の温度は海面水温



第1図 ECMWFの水陸分布。左はSYNFOSで採用している計算領域を表し、右は関西地方を拡大した。各タイトルを水陸マスク $0 < lsm \leq 0.75$ に応じて色分けして表示した。ただし、薄い青色で塗りつぶした $lsm = 0$ の領域は水面が100%、白抜きの $lsm > 0.75$ の領域は陸面が75%を超える領域を表す。



第2図 地表面に関連する ECMWF の GPV の分布。左から順に海面水温、表面温度および地層第1層の含水率を表す。海面水温と表面温度の単位は K、含水率の単位は $m^3 m^{-3}$ である。

に近くなっている。

第2図右は地層第1層の含水率である。不思議なことに、カイ域には0に近いが0ではない値が与えられている。キョウ域はリク域の値とこの0に近い値の中間の値である。渥美半島や知多半島は海面の面積率が高いため、0に近い乾燥した値が与えられている。

このように、キョウ域では非現実的な値がWRFに入力される可能性がある。実際、何の特別な操作もなくWRF（ここではバージョン4.2を使用）に取り込むと予想される事態が起こった。このような非現実的な値は、沿岸近くの子報精度を悪くし、海陸風の発達に影響を及ぼして内陸の子報も変え得るため、キョウ域の値（＝便宜的に与えられた値）は何らかの修正を施

す必要がある。ここでは技術的に簡便な修正方法を示す。物理的に適切な方法は今後の課題である。

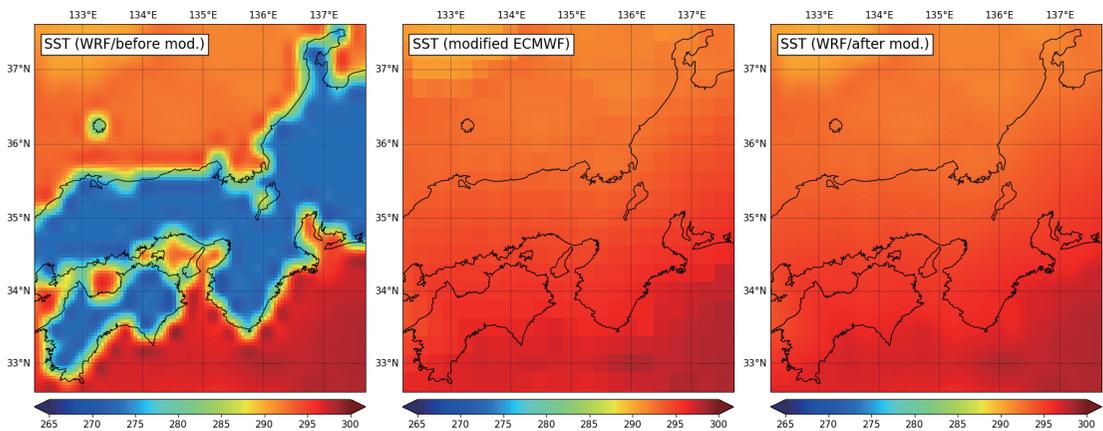
4. WRF の処理の流れと GPV の修正方法

まずは、WRFにおける処理の概略を説明する。詳細はWRF (2021)を参照していただきたい。初期化までの標準的な流れは

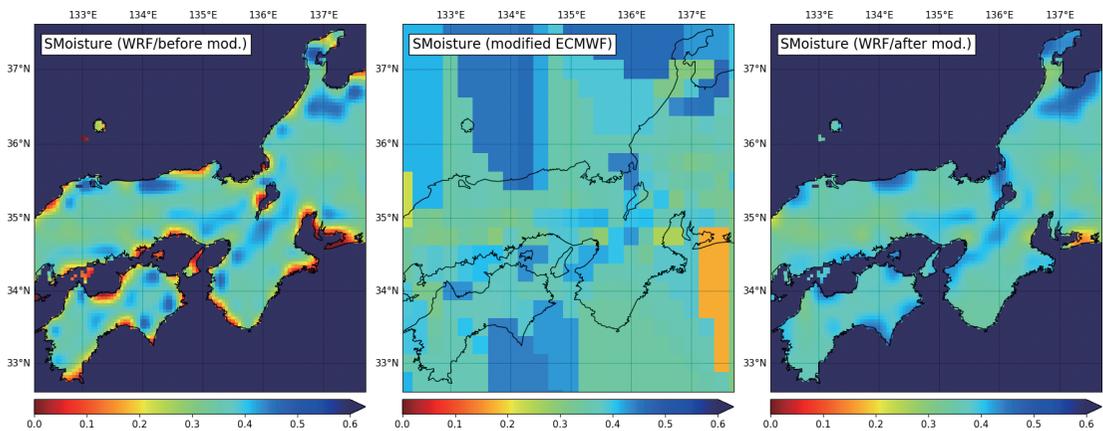
- (1) geogrid.exe
- (2) ungrib.exe
- (3) metgrid.exe
- (4) real.exe

の4つに分けられる。

- (1) は、標高、土地利用、気候値などの原始データ



第3図 海面水温の分布。左から順に ECMWF の GPV（第2図左）から作成した WRF の入力値、修正した GPV および修正 GPV から作成した WRF の入力値を表す。単位は K である。



第4図 地層第1層の含水率の分布。左から順に ECMWF の GPV（第2図右）から作成した WRF の入力値、修正した GPV および修正 GPV から作成した WRF の入力値を表す。単位は $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ である。地層第1層の厚さは ECMWF では地表から深さ7 cm まで、WRF では地表から深さ10cm までである。

を読み込み、水平内挿して計算領域、格子間隔に合ったデータを作成する。原始データは WRF (2021) からダウンロードできるが、自分で用意してもよい。使用する原始データはテーブル GEOGRID.TBLの中から選択する。

(2) は、GRIB 形式で与えられた GPV を読み込み、次の処理で使う中間ファイルに変換する。読み込む予報変数と変換後の変数名は VTable で指定する。

(3) は、中間ファイルを読み込み、水平内挿して計算領域、格子間隔に合った GPV を作成する。予報変数と内挿方法は METGRID.TBL で指定する。

(4) は、水平内挿された GPV を読み込んで鉛直内挿し、初期値と境界値を作成する。水面（海面と陸水面）に分類されたすべてのタイルで、表面温度や地層の温度は海面水温に、含水率は 1 に置き換えられる。

WRF のソースコードを変えずに GPV の修正をおこなうため、(1) と (2) の間に、GRIB 形式のファイルを読み込んで修正を施し、GRIB 形式のファイルに書き出す処理を加えた。修正内容は次のとおりである。

- (a) 海面水温は、カイ域の値をキョウ域とリク域に線形内挿し、内挿できないタイルには線形内挿されたタイルの中の最近接タイルの値を与える。ここで定義したリク域には一部水面が含まれるので、念のため、リク域のタイルにも値を与える。
- (b) 表面温度、地層の含水率と温度は、キョウ域のタイルにリク域の中の最近接タイルの値を与える。処理の都合上、カイ域にも値を与えてよい。
- (4) で水面に相応しい値に置き換えられるからである。

SYNFOS では、ランベルト正角円錐図法を採用し、格子間隔は 5 km としている。以下、WRF の入力値は初期化を終えた (4) の出力 wrfinput_d01 である。

5. 海面水温と含水率の修正値の分布

5.1 海面水温

第 3 図に海面水温の分布を示す。第 2 図左から作成された WRF の入力値 (第 3 図左) は、予想どおり沿岸の海上で 285K 前後の異常に低い水温を示している。

これを回避するための ECMWF の修正値は、第 1 図右のとおり瀬戸内海もキョウ域とみなしているため、日本海と太平洋の海面水温をキョウ域やリク域に内挿した分布になっている (第 3 図中央)。WRF の入力値はこれをそのまま内挿したものである (第 3 図右)。海面水温なので陸上の値は意味がないが、琵琶湖にも海

面水温が与えられることに気づく。

これは geogrid.exe で選択した土地利用データで変更することができる。ここでは湖沼を海と同じ水面として扱うデータを選んだ。一方、例えば usgs_lakes という土地利用データは湖沼を海と区別している。これを選んで metgrid.exe の直前に

```
avr_tsfc.exe
```

を実行し、namelist.wps の metgrid レコードに

```
constants_name = 'TAVGSFC'
```

を加えれば、日平均地上気温が湖水温として与えられる。同時に、湖沼の表面温度や地層の温度も湖水温に設定される (前節の real.exe の説明参照)。

なお、ここで示した方法で、キョウ域に分類されている瀬戸内海に適切な海面水温を与えるのは難しい。ちなみに、使用した ECMWF の GPV から直接得た琵琶湖や瀬戸内海の水温 (第 3 図左) は、リク域の便宜的な値が混じっているはずなので、正しいとは限らない。

5.2 含水率

第 4 図に地層第 1 層の含水率の分布を示す。第 2 図右から作成された WRF の入力値 (第 4 図左) は、沿岸や琵琶湖周辺を赤く染め、異常に乾燥した地層を示している。前節の real.exe で説明したとおり、海面や琵琶湖のタイルの含水率は 1 に置き換わる。

ECMWF の修正値は、カイ域のタイルにも最近接タイルの値を与えたので、海上は不自然な分布が広がっているが (第 4 図中央)、水面は 1 に置き換わるので問題はない (第 4 図右)。浜名湖周辺に比較的乾燥したタイルが確認できる。第 1 図右によれば $lsm > 0.75$ は浜名湖周辺をリク域に分類し、ECMWF でカイ域に与えられた 0 に近い値の影響で乾燥した柿色のタイル (第 4 図中央) が残ってしまったからである。一方、琵琶湖周辺はキョウ域に分類されたため (第 1 図右)、乾燥した赤いタイル (第 2 図右) は残らなかった。

以上のように、簡便な方法でも異常な値をかなり改善できることを示した。できれば、より課題の少ない確かな方法を提示したいところであるが、WRF の入力に使う GPV の中には、修正が必要な GPV もあることを報告するのが先決であると考えた。

6. まとめ

ECMWF が提供する、三角メッシュに基づく直線内挿による後処理が行われた GPV の問題点と簡便な修正方法を報告した。そのほかの後処理や、ほかの機関の GPV についてはご自身で調べていただきたい。

何においても言えることであるが、自分が作成したわけではないデータやモデルを使う際には、計算できたからよしと鵜呑みにせず、地道な確認作業を怠ってはならない。入力値に不具合があれば、いくら物理過程のスキームを改良しても、どんなにチューニングを繰り返しても、予報を改善することはできない。難しいスキームの考案や労力のかかるチューニングをしながらも予報が改善するならば、少なくともその道筋が得られるならば、こんなに楽なことはない。

ここで示した内容は周知の事実で、単に筆者の情報収集不足に過ぎないのかもしれないが、恥を忍んで報告した。防災情報に限らず、日々の生活情報としても天気予報は欠かせないものである。天気予報に携わるすべての機関が正確な予報を提供できるように、これからも不可解な点を見つけたら、報告を続けたいと思う。

謝 辞

編集を担当してくださった青柳暁典氏、原稿に目を通してくださった高根雄也氏、平原洋一氏には、貴重なご意見、有益なご助言をいただきました。ここに深く感謝し、お礼を申し上げます。

参 考 文 献

- ECMWF, 2021a: GRIB Parameter Database.
<https://apps.ecmwf.int/codes/grib/param-db?id=172>
(2021.8.1閲覧).
- ECMWF, 2021b: Post-processing keywords.
<https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=153389795> (2021.11.11閲覧).
- 平原洋一, 2021: 私信.
- WRF, 2021: WRF Users Page..
[https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/\(2021.8.1閲覧\).](https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/(2021.8.1閲覧).)