



予測値計算手法の構築と精度評価

国土地理院 高橋伸也*, 吉藤浩之, 山口智也, 越智久一

HP : https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geomag_index.html E-mail : gsi-gmag@gbx.mlit.go.jp

1. 背景と目的

国土地理院では、日本全国の磁場分布の時空間変化をモデル化した「地磁気時空間モデル」を5年ごとに作成し、モデルを活用した成果として「磁気図」や「地磁気値計算サイト」を公開している。これらの成果は、地図作成、測量、建築設計等の分野で広く活用されている。しかし、現在公開している地磁気値は「磁気図2015.0年値」に準ずる値であるため、全て2015年1月1日時点の値である(図1)。そのため、時間の経過とともに鮮度の低い情報となってしまう、利用の幅を狭めている懸念がある。実際、航空機の安定運航に必要な情報が収録された航空路誌の作成には、資料作成時における磁気偏差(偏角)の情報が必要であるため、国際的な地球磁場モデルの一つであるWMM(World Magnetic Model)から求めた「予測値」が利用されている(図2)。このような現状を踏まえ、より多くの利用者が国土地理院のデータを有効に活用できるよう、2017年以降、地磁気時空間モデルを利用した「予測値」の計算及び公開方法について検討を行ってきた。この間に実施した予測値の計算手法や精度評価の結果及び今後公開予定の地磁気値(予測値)計算サイトについて紹介する。

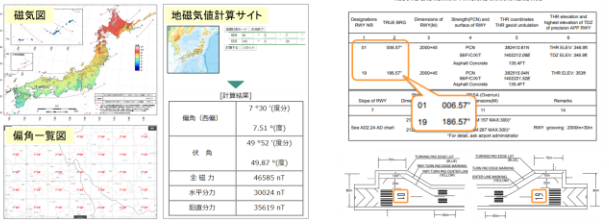


図1. 国土地理院が提供する地磁気値 ⇒ 全て「2015.0年値」
図2. 航路情報の一例(航空路誌より抜粋) ⇒ WMMの予測値(資料作成時の値)を使用

2. 地磁気時空間モデルの作成

全国14か所の長期間の連続観測データから、2000.0年値を基準とした日本周辺の標準的な地磁気の変化を、主成分分析を用いた手法によりモデル化した。磁気図作成のため5年ごとにモデルを更新しており、計算した年度をモデルのバージョンとしている。

$$H_j(\varphi, \lambda, t) - H_j(\varphi, \lambda, 0) = \sum_{k=0}^n X_k^j(\varphi, \lambda) \cdot T_k^j(t)$$

地磁気の変化量(連続観測データ)

空間関数(場所による) (全国共通)
時間関数(時間による) (全国共通)

$H(\varphi, \lambda, t)$: 各観測点における磁場の日平均値
 $H_0(\varphi, \lambda, t)$: 基準エポックにおける各観測点の磁場値
 $T(t)$: 共通の時間変化項(時間関数)
 $X(\varphi, \lambda)$: 各時間変化項の重み(空間関数)
 k : 主成分の次数、 j : 磁場の直交三成分(X, Y, Z)

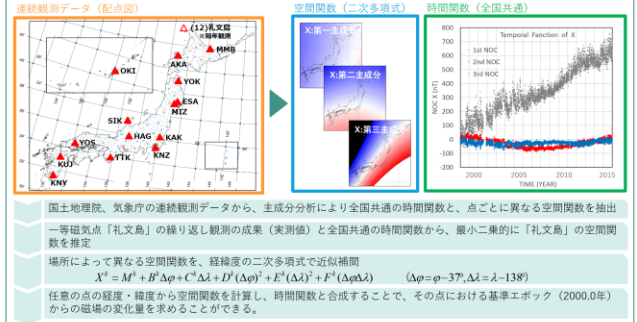


図3. モデル2015の基準値分布(偏角: 基準値グリッドから作成)
図4. モデル2015の年差分布(偏角: 年差グリッドから作成)
図5. モデル2015とIGRF-12による予測値の比較
図6. モデル2010とIGRF-11による予測値の比較

3. 予測値の計算手法

例として、2.の手法で作成した地磁気時空間モデル2015*1(以下、「モデル2015」という。)を用いた予測値の計算手法について説明する。計算の工程は大きく「(1) 基準値(モデル2015では2015年1月1日の地磁気値)のグリッドデータ作成」、「(2) 年差(変化率)のグリッドデータ作成」、「(3) 予測値の計算」の三段階に分けることができる。

※1 地磁気時空間モデル2015: 1999年1月1日-2015年6月30日の連続観測データを使用して作成したモデル。基準は2015年1月1日。
モデル2015を使用して任意の地点の予測値を計算する手順について以下のチャートに示す。

- 基準エポック(2000.0年)の地磁気値に地磁気時空間モデル2015で計算した変化量を加えることにより、一等・二等磁気点のモデル値(2015.0年値)を得る。
- (1) 連続観測施設の2015.0年値(2014年7月1日-2015年6月30日の実測値の平均)及び上記で求めた一等・二等磁気点のモデル値(2015.0年値)から、空間補間により経度・緯度3分間隔のグリッドデータを作成する。
【=基準値グリッドデータ作成: 図3参照】
- 連続観測施設における、基準日の直前1年間のモデル値(2015.0年値)の月平均値(12個)から、最小二乗法によって回帰直線を求める。この直線の傾きを、基準日以降の地磁気値の変化率(年差)として採用する。
- 連続観測施設のほか、一等・二等磁気点でも同様の計算を行い、各点における地磁気値の年差を計算する。
- (2) 連続観測施設及び一等・二等磁気点の年差から、空間補間により経度・緯度3分間隔のグリッドデータを作成する。
【=年差グリッドデータ作成: 図4参照】
- 予測値を計算したい任意の点(経度・緯度)における基準値及び年差を、作成した「基準値グリッド」及び「年差グリッド」から、バイリニア補間計算により求める。
- (3) 予測値を計算したい年月日について、基準日からの経過日数を計算する。「予測値=基準値+{(年差×365)×(基準日からの経過日数)}」として、任意の点、任意の年月日における予測値(日値)を求めることができる。

なお、磁気図に使用するモデルは入力値(全国14か所の連続観測データ)に「確定値」を用いるためデータ整備に時間を要する(5年ごと)のに対し、予測値計算に使用するモデルは一部「暫定値」の使用を許容しているため、毎年度モデルを更新することが可能である。

右図5は、鹿野山測地観測所における、偏角の実測値、モデル値(モデル2015)、予測値(モデル2015)及び予測値(IGRF-12)をプロットしたものである。地磁気時空間モデルは国際標準地球磁場(IGRF)よりも国内の詳細な地磁気変化に整合したモデルであるため、予測値を比較しても、モデル2015に基づく予測値の方が、より実測値に近い予測がされていることがわかる。モデル2010とIGRF-11を比較した右図6においても同様のことが言える。

4. 精度評価 (LOOCV: 一個抜き交差検証)

ある1か所の観測施設を抜いて地磁気時空間モデル2010~2018を作成し、各モデルを用いて、抜いた施設の基準日から5年間の予測値と実測値の残差をもとにRMSE(年平均)を計算した。図7は、モデルの基準日からの経過年数に対するRMSEの変化を示している。図には、全モデルの平均RMSEのほか、モデルによる予測のバラツキの指標として、最大・最小RMSEを参考に図示した。

予測(=変化量)の精度*2は以下とおりであり、例えば表中の3年後でみると、偏角1.5分、伏角3.0分、水平分力40nT、鉛直分力30nT、全磁力20nT程度となっている。

※2 「予測値」(=絶対値)の精度としては、ベースとなる基準値の誤差を加える必要がある。参考に、磁気図2015.0年値の誤差は、偏角18分、伏角16分、全磁力180nT、水平分力280nT、鉛直分力250nT程度とされている。

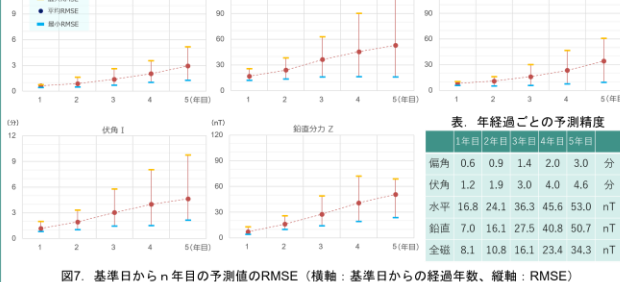


図7. 基準日からn年目の予測値のRMSE(横軸: 基準日からの経過年数、縦軸: RMSE)

5. 地磁気値(予測値)計算サイト

現在、国土地理院のホームページ上で、任意の地点の地磁気値(予測値)を簡単に計算できるサイトの公開準備を進めている。

このサイトでは、毎年度更新される最新の地磁気時空間モデルから作成した経度・緯度3分間隔の【基準値グリッドデータ】及び【年差グリッドデータ】を使用する。指定した地点の緯度・経度が含まれるグリッドの四隅の値から、バイリニア補間計算により基準値、年差を求め、指定した年月日の予測値(日値)を計算することができる(図8)。

地磁気値を求める(予測値)【実行例】

計算サイトから求める(緯度, 経度, 全磁力, 水平分力, 鉛直分力)

緯度 36° 5' 21"

経度 140° 4' 56"

年月日 2021年10月1日 ※3

使用した地磁気時空間モデル モデル 2019 ※4

【入力値】

緯度	36° 5' 21"
経度	140° 4' 56"
年月日	2021年10月1日
使用した地磁気時空間モデル モデル 2019 ※4	

※3 【モデルバージョン+2】年12月31日まで計算可能
※4 モデルは計算時点の最新のバージョンを自動的に適用

【計算結果】

地磁気ベクトル	記号	予測値	年差*2
偏角	D	7.93°	0.07°/yr
伏角	I	49.95°	0.00°/yr
全磁力	F	46832 nT	35.96 nT/yr
水平分力	H	30136 nT	20.89 nT/yr
北向分力	X	29848 nT	15.99 nT/yr
東向分力	Y	-4159 nT	-37.71 nT/yr
鉛直分力	Z	35848 nT	29.41 nT/yr

図8. 開発中の地磁気値(予測値)計算サイト