

地磁気時空間モデルの効率的な更新手法の検討

実施期間	平成 30 年度		
測地部物理測地課	高橋 伸也	吉藤 浩之	
	高畑 嘉之	矢萩 智裕	

1. はじめに

物理測地課では日本全国の地磁気の地理的分布を表した「磁気図」を作成しており、1970 年以降、定期的に図を更新し、公表してきた。現在、最新の磁気図は 2016 年 12 月に公開した 2015.0 年値で、磁気図や対応する地磁気値計算サービスを国土地理院のホームページ上で提供している。これまで、磁気図や地磁気値計算サービスでは 2010.0 年値（2010 年 1 月 1 日 0 時（UTC））や 2015.0 年値（2015 年 1 月 1 日 0 時（同））など、ある特定の日時（基準日）における地磁気値のみを提供してきたが、地磁気データの利用拡大を図るため、昨年度、地磁気時空間モデル（以下「モデル」という。）を用いた予測値計算手法の検討を行った。これにより、直近の磁気図以降の任意の日時における地磁気情報を算出できるようになったが、実用化のためにはベースとなるモデルを高頻度に更新する必要がある。そこで、今年度はモデル作成に使用するデータを整理し、より効率的に更新するための検討を行った。

2. 研究内容

昨年度までの調査研究で、線形予測による予測値計算方法を確立した。一方、課題として下記の点が挙げられた。（高橋ほか，2018）

- (1) 一般的に実測値と予測値の乖離は年々大きくなる傾向がある。
- (2) 現状、モデルは磁気図に使用しているもので、磁気図と同じく 5 年ごとに作成している。予測値計算に同じモデルを使用した場合、5 年ごとのモデルの変わり目における予測値のギャップが大きくなる場合がある。

上記の課題を解消するためには、現在の 5 年周期よりも高頻度にモデルを更新する必要がある。しかし、現在のモデルでは使用するデータの整備に時間がかかるため、更新頻度の大幅な短縮は難しい。そこで本研究では、モデルの毎年度更新を目標として、モデル作成への暫定データの利用及びそれによる結果の評価を行った。

3. 得られた成果

3.1 暫定値と確定値

モデルの作成には、国土地理院の測地観測所（鹿野山，水沢），江刺観測場及び基準磁気点並びに気象庁の地磁気観測所（柿岡，鹿屋，女満別）における地磁気値の絶対値を使用している。絶対値（abs）は、(1) 式に示すとおり基線値（base）に磁力計の観測値（obs）を加えた値で表される。絶対値の分類として、基線値が暫定値である場合（以下「暫定基線値」という。）は「暫定値」、基線値が確定値である場合（以下「確定基線値」という。）には「確定値」と呼んでいる。なお、(1) 式で H は水平分力、D は偏角、Z は鉛直分力を意味する。

$$H_{abs} = H_{base} + H_{obs} \quad , \quad D_{abs} = D_{base} + D_{obs} \quad , \quad Z_{abs} = Z_{base} + Z_{obs} \quad (1)$$

基線値は観測点ごとに異なるだけでなく、磁力計の固体差によるドリフトや周辺環境の変化によって変化することから、定期的に絶対観測を行い各点の基線値を確認する必要がある。現在、測地観測所（鹿野山、水沢）及び江刺観測場では隔月、基準磁気点では年1回絶対観測を行い、基線値の変化を把握している。絶対観測により得られた基線値は、これまでの変化傾向を踏まえて妥当な値であれば確定基線値として採用している。一方、基線値の数値や変化傾向が、ある回だけ明らかに異なる場合には、観測誤差のほかに周辺環境の変化や磁力計の変調など複数の要因が考えられることから、その回の基線値は暫定基線値として取り扱い、次回以降の基線値の結果を考慮した上で最終的な採用値を判断している。

環境変化が無い場合、基線値は徐々に変化することから、図-1に示すとおり、絶対観測を実施していない月については、前後の絶対観測による基線値から月単位で線形補間した値をその月の確定基線値として使用している。また、最終絶対観測日以降の基線値の変化は予測できないため、次の絶対観測を行うまでの期間は、最後に採用した確定基線値の値を、暫定基線値として使用している。

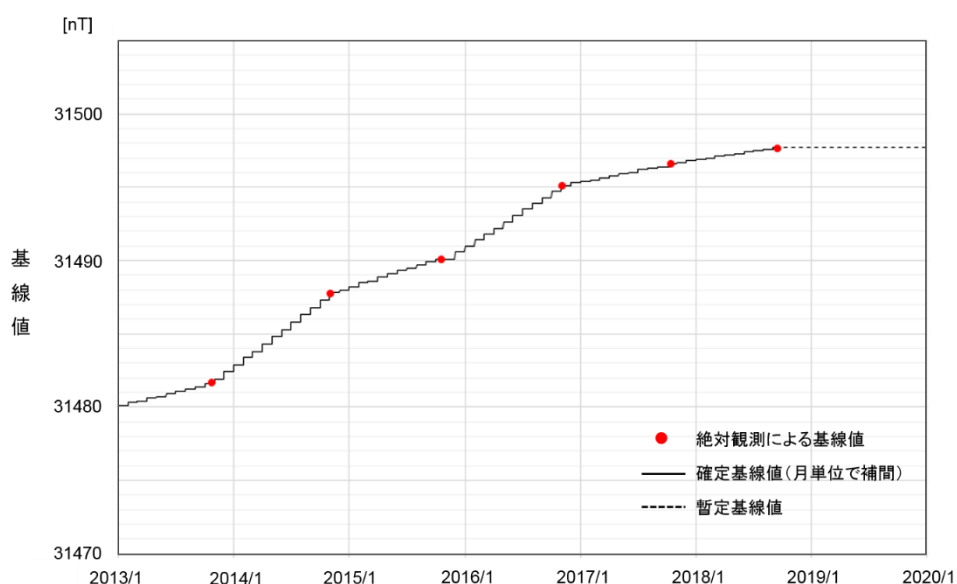


図-1 基線値変化の例（基準磁気点「吉和」、水平分力）

3.2 モデル作成に使用するデータ

磁気図に使用するモデルの作成には確定値を使用している。さらに、基準日^{※1}の地磁気値（以下「基準値」という。）の計算に、基準日の前後1年間のモデル値を使用するため、モデル作成には基準日の1年先までの確定値を整備する必要がある。そのため、最短でも基準日の1年後でなければモデル作成に着手することができない。また、確定値を整備するのに必要な確定基線値は、絶対観測による基線値の結果と過去の変化傾向から総合的に判断して採用値を決定しているが、過去の変化傾向と明らかに異なる場合など、単年度の結果だけでの判断が難しい場合には、次回の絶対観測まで採用値の決定を保留する場合がある。このようにして確定基線値の決定が遅れた場合には、確定値が整備できないため、さらにモデル作成への着手が遅れることになる。

以上のように、現状では確定値の整備に時間がかかり、毎年安定してモデルを更新することは困難であるため、5年に1回の頻度でモデル更新を行っている。

※1 磁気図 yyyy.0 年値に使用するモデルの基準日を yyyy 年 1 月 1 日と定義する。

3.3 予測値計算用モデルの作成

以上を踏まえ、モデルを毎年度更新するための方策として、磁気図に用いるモデル（A とする）と、予測値計算に用いるモデル（B とする）を分けて考えることにした。表-1 に示すとおり、モデル（B）では、確定値が整備されていない期間については暫定値を使用し、基準値を基準日の前後 6 か月間のモデル値の平均によって計算することとした。暫定値はデータ整備が遅延する懸念はないため、基準値の計算に必要なデータが揃う基準日から 6 か月後には、確実にモデル作成に着手することができ、毎年度安定してモデルを更新することが可能となった。

表-1 モデルに使用するデータ要素の比較

	A. 磁気図作成用 時空間モデル	B. 予測値計算用 時空間モデル
基準値の計算方法	基準日の前後1年間のモデル値の平均 (2年間平均)	基準日の前後6か月間のモデル値の平均 (1年間平均)
使用するデータ種別	確定値	確定値 (未整備の場合、暫定値)
更新可能時期	基準日の1年後	基準日の6か月後
更新頻度	5年	1年

ここで、図-2 に偏角の 2015.0 年値を例として、モデル（A）の基準値とモデル（B）の基準値の差分を示す。差は概ね 0.2 分以内（最大でも 0.3 分程度）となっており、予測値の要求精度（3 分：高橋ほか、2018）に対して十分小さく、実用上問題はないと考えられる。

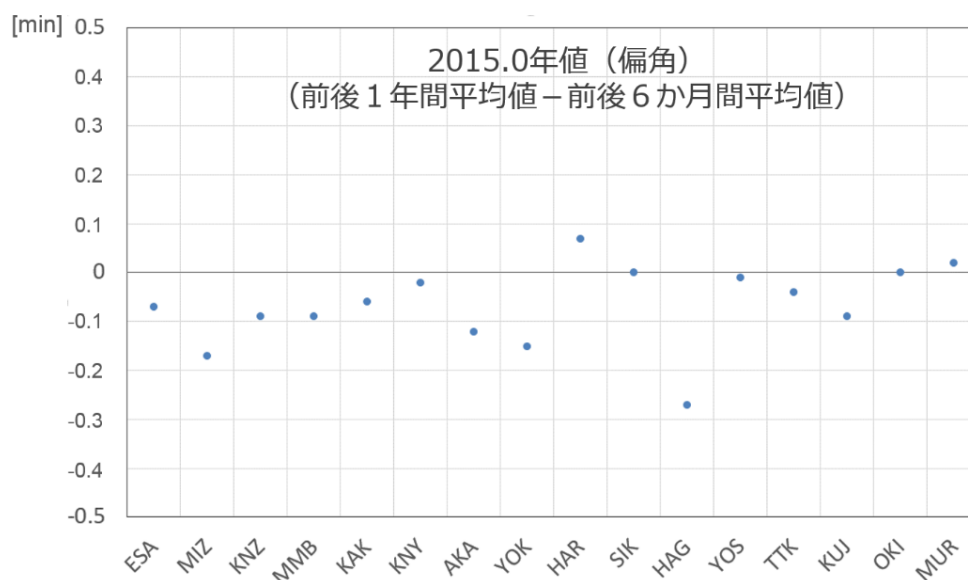


図-2 計算期間の違いによる基準値の差（測地観測所等及び基準磁気点）

3.4 毎年度更新による効果

前節の手法でモデルを毎年度更新した場合（B）の、鹿野山測地観測所における予測値の変化を図-3 に示す。参考に、国際的な磁場モデルの一つである World Magnetic Model（WMM）で計算した予測

値もプロットしている。WMMは5年ごとに更新され、更新から5年先までの予測値を計算することができる。2010年～2014年の予測値（黄丸）はWMM2010、2015年～2019年の予測値（青三角）はWMM2015により計算している。実測値（灰色の実線）と比較すると、2010年～2014年については年々実測値との乖離が大きくなっていることがわかる。また、2015年にモデルが切り替わった際に乖離は改善されるものの、更新時の予測値に大きなギャップが生じている。

一方、国土地理院でモデルを毎年度更新した場合の予測値（赤色の実線）は実測値と極めて近い結果が得られており、モデル更新時のギャップも最小限に抑えられていることがわかる。

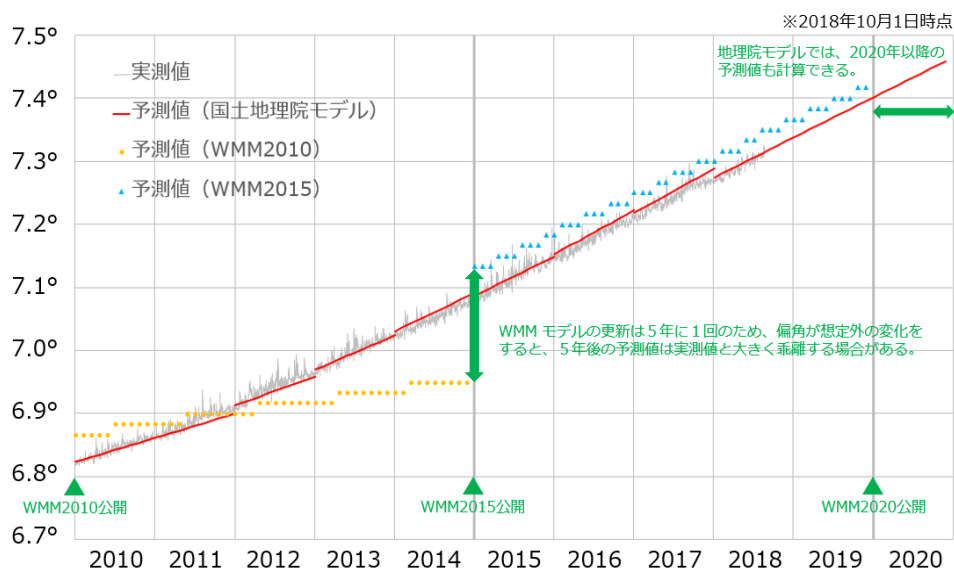


図-3 モデルを毎年度更新した場合の効果（鹿野山測地観測所，偏角の例）

4. 結論

従来の地磁気時空間モデルは、入力データに確定値を用いるため作成に時間がかかることから、磁気図用モデルと予測値計算用モデルを分けて取り扱うこととした。5年に一度更新する磁気図では、高い信頼性が求められることからモデル作成に確定値を使用しているが、予測値計算では高い更新頻度が求められることから、モデル作成に暫定値を使用することとした。また、基準値の計算も従来の前後1年平均から前後6か月平均とすることで、毎年度（同一年内）のモデル更新が可能となった。

最近のトピックスとして、北磁極の急激な移動に伴う磁気変化を反映するため、WMMが本来の更新時期（2020年1月）を前倒して、2019年2月にWMM2015v2として更新された。これは、WMMが従来5年毎に更新されているため、短期的な変動を適切に反映できないという事情から来ている。今回、新たに予測値計算に使用するモデルの作成方法を見直したことにより、国土地理院でも毎年度最新の予測値を提供できる環境が整ったため、利用者は日本周辺の信頼できる地磁気情報を取得することが可能となり、利便性向上が見込まれる。

参考文献

高橋伸也，菅原安宏，矢萩智裕（2018）：偏角（予測値）計算手法の構築，Conductivity Anomaly 研究会論文集，2018，24-31.