

磁気図 2020.0 年値の作成 Geomagnetic Charts of Japan for the epoch 2020.0

測地部 攪上泰亮¹・吉田賢司²
Geodetic Department KAKIAGE Yasuaki and YOSHIDA Kenji

要旨

国土地理院では、日本全国の地磁気分布とその永年変化を把握するため、地磁気測量を行っており、その成果として「磁気図」を作成し定期的に更新している。2022年2月2日には、最新版の磁気図として、2020年1月1日0時(UTC)における地磁気分布を表した「磁気図 2020.0 年値」を作成し、公表した。

磁気図 2020.0 年値の作成方法は磁気図 2015.0 年値のものを踏襲している。まず、国土地理院及び気象庁の地磁気連続観測データから主成分分析を用いて、地磁気の時間変化を表す時間関数と空間分布を表す空間関数を算出する。一等磁気点「礼文島」の観測値を用いて空間関数を補正(一等磁気点の同化)した上で、地磁気時空間モデルを構築した。そして地磁気時空間モデルにより、一等磁気点及び二等磁気点の 2020.0 年値を求め、これに地磁気連続観測点の年平均値、海上点データ(IGRF モデル値)を加えた地磁気値データからグリッドデータを作成し、磁気図を描画した。グリッドデータの作成には Green 関数スプライン法を使用した。

磁気図は偏角、伏角、全磁力、水平分力及び鉛直分力の地磁気 5 成分の図を作成し、偏角一覧等と併せてホームページや地理院地図から公表した。また、作成したグリッドデータを元に、任意の地点における地磁気値(2020.0 年値)を求める計算サイトを作成し、公表した。

1. はじめに

国土地理院は、日本全国の地磁気分布とその永年変化を把握するため、1950年頃に日本全国の地磁気測量を開始し、70年以上にわたり観測を続けている。地磁気測量は、当初、北海道から沖縄まで日本全国約100点の一等磁気点において磁気儀を用いて行われ、その後、約800点の二等磁気点での観測が追加された。さらに、地磁気の永年変化を連続して把握することを目的に、1962年に鹿野山測地観測所(以下「鹿野山」という。)、1969年に水沢測地観測所(以下「水沢」という。)が発足した(国土地理院鹿野山測地観測所, 1992; 国土地理院水沢測地観測所, 1990)。1996年からは日本全国に地磁気連続観測装置(以下「連続観測点」という。)を設置することで、全磁力及び地磁気3成分(X, Y, Z)を連続的に観測することが可能になった(田辺, 1997)。

これらの観測結果をまとめて、日本全国の地磁気分布を地図に示した「磁気図」を定期的に作成し、公表している。1973年に地磁気5成分(偏角、伏角、全磁力、水平分力、鉛直分力)の磁気図1970.0年値を作成して以来、10年ごとに更新を行ってきたが、2015.0年値からは国際的な磁場モデルの一つである国際標準地球磁場(International Geomagnetic Reference Field, 以下「IGRF」という。)(Thébault et al., 2015)の更新間隔に合わせて、5年ごとに更新することとし、2022年2月2日には、最新版の磁気図として、2020年1月1日0時(UTC)における地磁気分布を表した「磁気図2020.0年値」を作成し、公表した。

地磁気は時間的及び空間的に変化し続けるため、磁気図はyyyy年1月1日0時(UTC)時点の地磁気の状態を表し、yyyy.0年値と呼んでいる。磁気図2020.0年値であれば、日本国内における2020年1月1日0時(UTC)時点の地磁気成分の分布を表した図を意味する。

磁気図2020.0年値では、地磁気5成分の図を作成し、偏角一覧等と併せてホームページや地理院地図から公表した。また、作成したグリッドデータを元に、任意の地点における地磁気値(2020.0年値)を求める計算サイトを作成し、公表した。本稿では、磁気図2020.0年値の作成手法や精度評価について報告する。

2. 地磁気とは

地磁気とは、地球が持つ固有の磁場のことであり、時間的にも空間的にも常に変化している。地磁気は、地球内部を起源とする主磁場と、地球外部を起源とする変動磁場から構成される。地磁気の 99 パーセントは主磁場であり、その形状は、地球内部に棒磁石を置いた双極子に似ている。変動磁場は、地球周辺を流れる様々な電流によって作られる磁場で、地磁気にも微弱ながら影響を及ぼす。地磁気の空間分布は複雑であり、地球の極と地磁気の極は一致しないため、地図の北(真北)と方位磁石が指す北(磁北)のずれ(偏角)は世界的に見ると場所によって大きく変わる。

磁北が真北より東側を示す場合を東偏、西側を示す場合を西偏と呼び、2020年1月1日時点では日本の全ての地域で西偏となっている。国土地理院の地形図には偏角が記載されており、方位磁石を使って地形図を正確に真北へ合わせることができる。

地磁気の時間変化は、数秒単位の短い変動から、数

百年単位の長い変動まで様々なスケールで生じ、数年から数百年の期間で生じる長期的な変化を「永年変化」と呼んでいる。

地磁気の水平面に対する傾き（伏角）は緯度によって変わり、極に近づくにつれて大きくなる（図-1）。

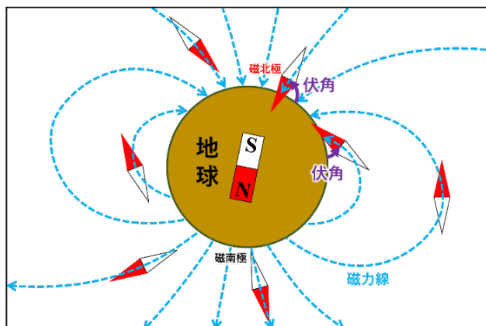


図-1 地磁気の水平面に対する傾き（伏角）のイメージ

地磁気はベクトル量であり、各成分に分解したものがよく利用される。地磁気の各成分の名称を図-2に示す。地磁気ベクトルの大きさを全磁力といい、 F で表される。全磁力 F を直交する3軸に分解したものをそれぞれ X 成分（北向きを正とした南北成分）、 Y 成分（東向きを正とした東西成分）、 Z 成分（鉛直下向きを正とした鉛直成分（鉛直分力））と呼ぶ。また、全磁力 F を水平面に投影したものを H 成分（水平分力）、 X 軸と水平分力 H のなす角度を偏角 D （時計回りを正とする）、全磁力 F と水平分力 H のなす角度を伏角 I （水平面から下向きを正とする）という。ただし、2020年1月1日時点では、偏角 D は日本の全ての地域で西偏となっているため、磁気図においては反時計回り（西偏）を正としている。

地磁気ベクトルを表現する際には、これらの成分の中の独立した3成分によって表記することが多く、例えば (X, Y, Z) 、 (F, D, I) 、 (H, D, Z) などの組合せが用いられる。国土地理院では、 (H, D, Z) に F を加えた組合せで日本全国の地磁気連続観測データの値を公表している。

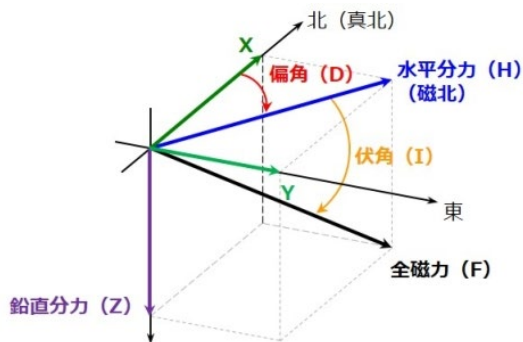


図-2 地磁気の各成分の名称

3. 磁気図2020.0年値の作成

3.1 データセット

磁気図 2020.0 年値の作成に使用したデータは、鹿野山、水沢及び日本全国の連続観測点における三成分磁力計及び全磁力計の連続観測データ並びに一等磁気点及び二等磁気点の測量成果（いずれも国土地理院所管）と、柿岡、女満別及び鹿屋における三成分磁力計及び全磁力計の連続観測データ（気象庁地磁気観測所所管）である。使用した観測点の配点図を図-3に、図-3の凡例を表-1に示す。連続観測点では年に1度の地磁気測量を行い、その結果を基に連続観測データを絶対値に化成している。一等磁気点及び二等磁気点では連続観測を行っていないため、過去の地磁気測量成果からの変化量を、4章で説明する地磁気時空間モデル（以下「時空間モデル」という。）を用いて算出することで、磁気図 2020.0 年値を導出した。なお、一等磁気点「礼文島」ではおおむね3年に1度、地磁気測量を行っている。時空間モデルの作成には、表-1に示す分類 A の測地観測所、地磁気観測所及び連続観測点データ並びに分類 B の地磁気測量の結果を使用した。

5章で説明する磁気図 2020.0 年値の描画には、分類 A の測地観測所、地磁気観測所及び連続観測点データ、分類 B, C における時空間モデルの値並びに分類 D における IGRF-13 (Alken et al., 2021) の値を使用した。このうち、分類 D の海上点は、連続観測点を設置していない島嶼地域における精度低下の軽減及び沿岸部と海域の磁場分布をシームレスに接続させるために使用した。なお、2015.0 年値作成時に分類 A としていた江刺観測場（高橋ほか，2018）では2019年9月15日をもって連続観測を停止しており、時空間モデル作成に必要なデータの期間が不足していることから、分類 C として磁気図描画のみに使用している。

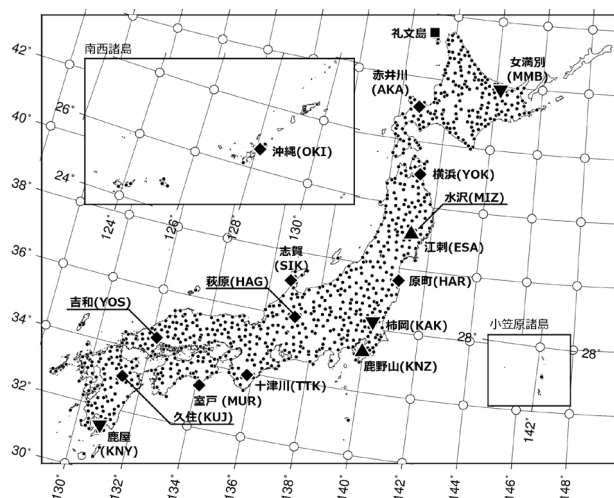


図-3 磁気図 2020.0 年値の作成に使用した観測点の配点図

表-1 観測点の配点図（図-3）の凡例

凡例	分類	種別	観測点の概要
▲ ▼ ◆	A	測地観測所 地磁気観測所 連続観測点	国土地理院（2点） 気象庁（3点） 国土地理院（10点）
■	B	一等磁気点	礼文島（1点）
●	C	一等磁気点 二等磁気点 江刺観測場	礼文島以外全点（91点） 全点（760点） 国土地理院（1点）
○	D	海上点	海上における経度緯度 2度間隔の点（230点）

3.2 磁気図 2020.0 年値の作成手法の概要

磁気図 2020.0 年値作成手法のフローチャートを図-4に示す。磁気図 2020.0 年値の作成は、時空間モデル作成と磁気図描画の大きく二つの工程に分けられる。

細部の工程に係る説明は、阿部・宮原（2015a, b）、高橋ほか（2018）で詳細に解説されている。磁気図 2020.0 年値は、磁気図 2015.0 年値の作成手法を踏襲している。作成手法の比較を表-2に示す。主な変更点は、時空間モデル作成工程において、時空間モデル作成に必要な期間のデータが得られた原町・室戸の連続観測データを加えたこと、最新のデータを活用するため主成分分析を行う解析期間を変更したことがある。磁気図描画工程においては、海上点として使用する国際標準地球磁場を最新の IGRF-13 に更新した。また、磁気図 2015.0 年値で局所的な磁気異常を示していた地域において検証観測を行い、検証観測の結果と時空間モデルで得られた推定値が整合しない地域の磁気点を

磁気図描画工程から除外した（吉藤，2021）。

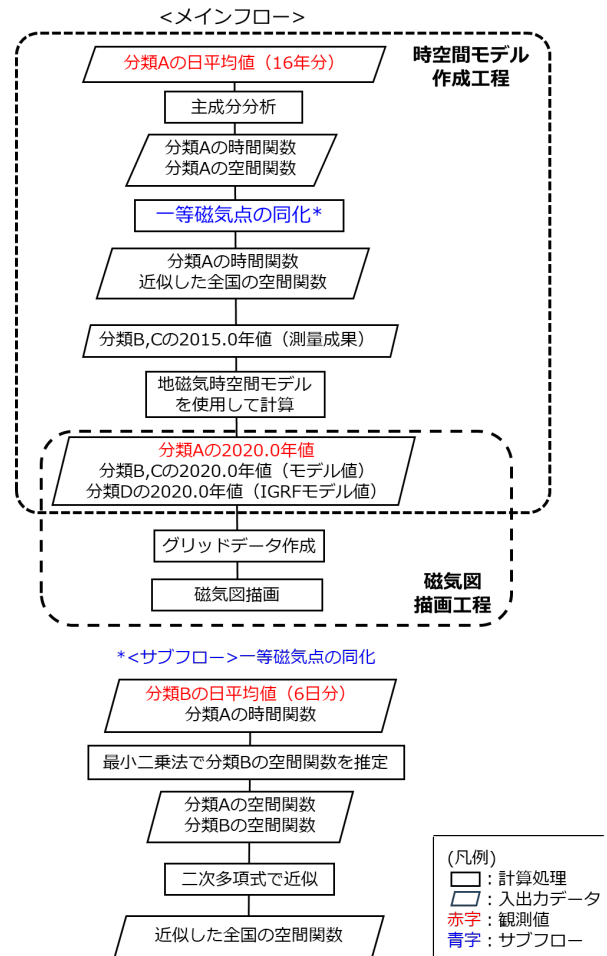


図-4 磁気図 2020.0 年値作成のフローチャート

表-2 磁気図 2015.0 年値と磁気図 2020.0 年値の作成手法の比較

	磁気図 2015.0 年値	磁気図 2020.0 年値
主成分分析の方法	直交 3 成分 (X, Y, Z 成分)	直交 3 成分 (X, Y, Z 成分)
扱うデータ	日平均値	日平均値
時空間モデル作成に使用したデータ群	気象庁地磁気観測所（3 点）	気象庁地磁気観測所（3 点）
	国土地理院測地観測所（3 点）	国土地理院測地観測所（2 点）
	連続観測点（8 点）	連続観測点（10 点）
	一等磁気点（1 点）	一等磁気点（1 点）
解析期間	1999 年 1 月 1 日～2015 年 12 月 31 日	2005 年 1 月 1 日～2020 年 12 月 31 日
基準エポック	2015.0 年	2020.0 年
海上点	IGRF-12	IGRF-13
採用した主成分の次数	X:3 次, Y:2 次, Z:2 次	X:3 次, Y:2 次, Z:1 次
磁気図の描画に使用した点	1,116 点	1,098 点

4. 地磁気時空間モデル作成

4.1 地磁気時空間モデルの作成手法

磁気図 2020.0 年値の作成には、地磁気連続観測データから主成分分析を用いて地磁気の時空間変化をモデル化した、地磁気時空間モデルを使用した。地磁気時空間モデルとは、任意の地点における地磁気変化量を求める数理モデルである。このモデルの解析期間内であれば、表-1 に示す分類 B, C のような連続観測を行っていない点においても、地磁気測量で得た地磁気絶対値に、時空間モデルから求めた地磁気変化量を足し合わせることで、任意の日の地磁気絶対値を求めることができる。

この手法は Fujiwara et al. (2001) や Ji et al. (2006) が用いた手法であり、磁気図 2010.0 年値の作成 (植田ほか, 2013) でも使われており、その後、阿部・宮原 (2015a) によってより細かな時間分解能を持つ時空間モデルが開発され、そのモデルを使用して磁気図 2015.0 年値が作成された (高橋ほか, 2018)。

時空間モデルは、(1) 式に示すとおり地磁気の時間変化と空間変化を互いに独立した変化であると仮定して扱う変化量モデルである。(1) 式の左辺は、連続観測を行っている分類 A の観測点の時系列データを示している。この時系列データを、主成分分析によって、(1) 式右辺のように、場所に依存しない共通の時間変化成分 (時間関数) と各点におけるその振幅 (空間関数) を乗じたものの和に分離する。

$$H_j(\varphi_i, \lambda_i, t) - H_j(\varphi_i, \lambda_i, 2015.0) = \sum_k X_j^k(\varphi_i, \lambda_i) \cdot T_j^k(t) \quad (1)$$

(1) 式において、 H は i 点 (φ_i, λ_i) における地磁気 j 成分の時系列データを表す。また、 X は地磁気強度の空間依存を表す空間関数、 T は地磁気の時間変化を表す時間関数で、 k は主成分の次数、 t は時間 (日単位) を表す。

さらに、日本周辺のあらゆる場所における空間関数の値を推定できるようにするために、(2) 式に示すような経緯度二次多項式で近似した (石倉ほか, 2010)。

$$X_j^k(\varphi, \lambda) = M_j^k + A_j^k \Delta\varphi + B_j^k \Delta\lambda + C_j^k (\Delta\varphi)^2 + D_j^k \Delta\varphi \Delta\lambda + E_j^k (\Delta\lambda)^2 \quad (2)$$

(2) 式は各成分 j の k 次の主成分ごとに作成し、右辺の定数及び係数 (M, A, B, C, D, E) は最小二乗法で求めた。また、入力する経緯度は日本に適した形に変換して $\Delta\varphi = \varphi - 37^\circ$, $\Delta\lambda = \lambda - 138^\circ$ としている。以上に示した右辺の係数、経緯度を入力することで、日本周辺の任意の地点で空間関数 X が計算できるようになる。

また、外挿によりモデル値が推定される北海道北部では、観測値との乖離が年々増加している (阿部・宮

原, 2015a)。そのため、磁気図 2015.0 年値では、一等磁気点「礼文島」の地磁気測量の結果を時空間モデルに組み込むことで、当該地域における精度低下の軽減を図っており、この工程を一等磁気点の同化と呼んでいる (高橋ほか, 2018)。磁気図 2020.0 年値でも、磁気図 2015.0 年値と同様に一等磁気点の同化により、当該地域の精度向上を図った。

4.2 主成分分析

図-4 に示した主成分分析には、表-1 に示す分類 A のデータを使用した。使用したデータセットの詳細を表-3 に示す。

表-3 のデータを用いて、 X, Y, Z 成分についてそれぞれ独立に主成分分析を行った。主成分分析では、主成分は寄与率が高いものから順番に抽出される。寄与率が高いものは多くの観測点に共通のシグナルを表現する成分、寄与率が低いものは特定の観測点の固有なシグナル (観測誤差、ノイズ、局所的な磁気異常などを含む) を表現する成分とみなせる。地磁気の永年変化を正確に捉え、日本全国の磁場分布を表現した磁気図を作成するには、連続観測データの多くの点に共通したシグナルを抽出し、特定の観測点で固有なノイズをカットする必要がある。そこで、主成分を適当な次数まで採用し、時空間モデルを作成する。

表-3 主成分分析に使用した地磁気のデータセット

データ期間	2005 年 1 月 1 日~2020 年 12 月 31 日
データ種別	日平均値 (時間平均値から計算) 直交 3 成分 (X, Y, Z 成分) 2015 年 1 月 1 日からの変化量
観測点数	15 点 (表-1 に示す分類 A を参照)

なお、磁気図 2015.0 年値では、 X 成分は第 3 主成分、 Y, Z 成分は第 2 主成分までを採用して時空間モデルを作成している。磁気図 2020.0 年値と磁気図 2015.0 年値では扱うデータセットの期間が異なることに加えて、磁気図 2020.0 年値は、モデル作成に使用する連続観測点を新たに 2 点追加したため、採用する主成分の次数を改めて検討した。

地磁気の永年変化を把握することがモデル作成の目的であることを考慮し、採用する主成分の次数は、時間関数の振幅及び主成分の寄与率から決定する。また、採用する次数の妥当性は、空間関数の近似式との整合性から確認する。表-4 に主成分分析で算出した各主成分の寄与率を、図-5 に X, Y, Z 成分の第 4 主成分までの時間関数のグラフを示す。

図-5 に示したとおり、 X 成分は第 3 主成分まで、 Y 成分は第 2 主成分まで、 Z 成分は第 1 主成分までが明瞭な時間変化を示すが、これ以降の主成分は絶対値が極めて小さくなり、ほとんど時間変化を示さない。各

主成分の寄与率を示す表-4 では、X 成分は第 4 主成分、Y 成分は第 3 主成分、Z 成分は第 2 主成分以降の寄与率が 1 万分の 1 程度になっている。低い寄与率の主成分は、特定の観測点での固有なシグナルや温度変化、年周変動を表現する成分と考えられる。今回のデータセットを用いた主成分分析では、例えば、X 成分では第 3 主成分、Y 成分では第 2 主成分、Z 成分では第 1 主成分までの累積寄与率が 99.9%以上となり、十分良い近似を示すと考えられる。このことから、X 成分は第 3 主成分、Y 成分は第 2 主成分、Z 成分は第 1 主成分までを採用した。

採用した主成分の次数の妥当性を確認するため、X, Y, Z 成分における第 1 から第 4 主成分までの空間関数の分布（段彩図）を図-6 (a) ~ (c) に示す。観測点の場所にプロットした色付き円は、その点の地磁気強度を表している。主成分の次数が高くなるほど、観測点固有のシグナルが表現される。コンター及び背景の段彩図は、15 の観測点の地磁気強度を (2) 式に示す経緯度の二次多項式で近似した図である。

円と段彩図は、赤と青の 2 色を用いて同じスケールで描画している。15 の観測点それぞれの固有シグナルを含んだ磁場強度を近似すれば、その近似式は複雑となり、二次多項式では表現しきれないため、色付き円と段彩図の色に差が生じる。図-6 に示したとおり、X 成分は第 3 主成分まで、Y, Z 成分は第 2 主成分まで、色付き円と段彩図の色が整合しており、段彩図の形も比較的単純である。ただし、Z 成分は第 1 主成分までの累積寄与率が 99.9%以上であるため、第 2 主成分は採用しないこととし、以上から、主成分の採用次数は妥当であると判断した。

表-4 X,Y,Z 成分の第 4 主成分までの寄与率 (%)

	X 成分	Y 成分	Z 成分
第 1 主成分	90.33	99.82	99.97
第 2 主成分	9.12	0.16	0.02
第 3 主成分	0.46	0.01	0.01
第 4 主成分	0.02	0.00	0.00

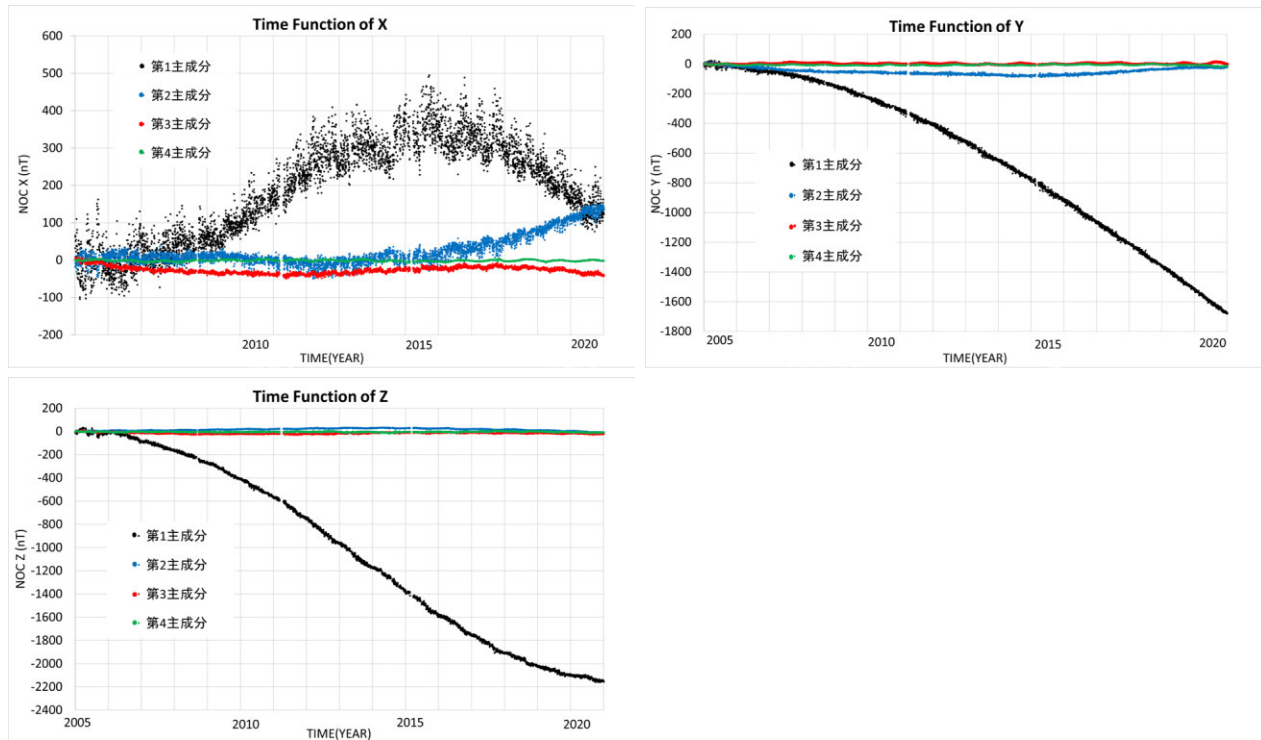
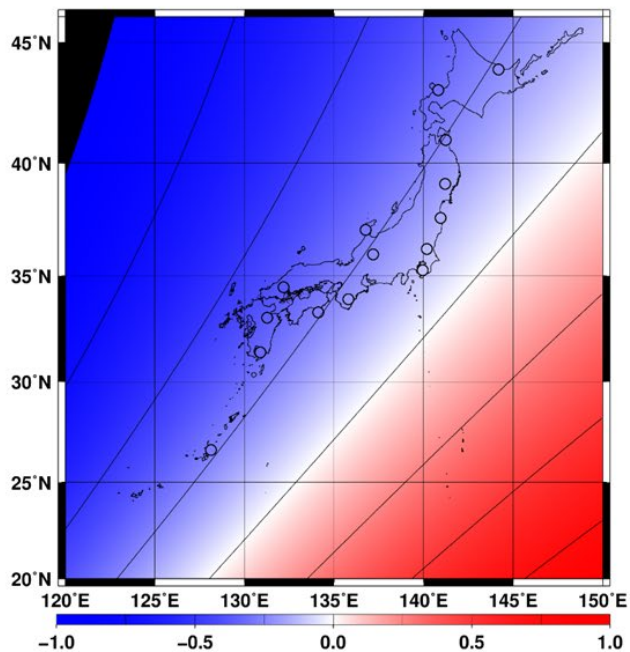
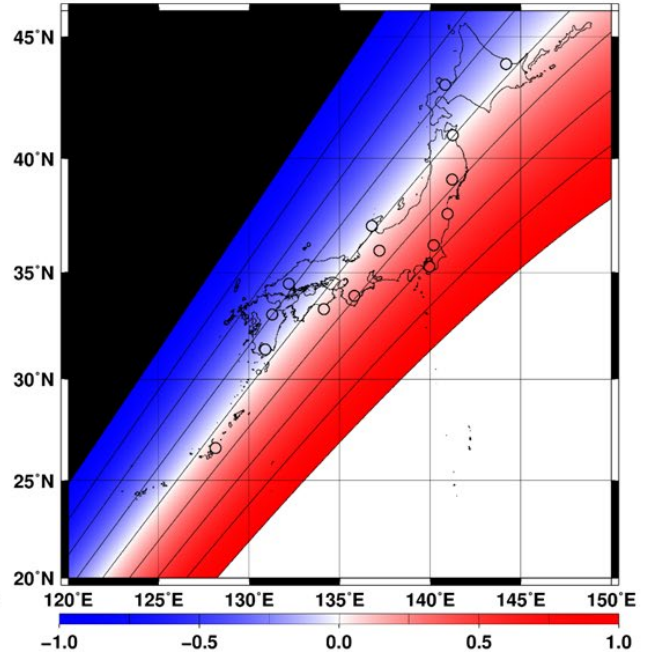


図-5 X, Y, Z 成分の第 4 主成分までの時間関数のグラフ

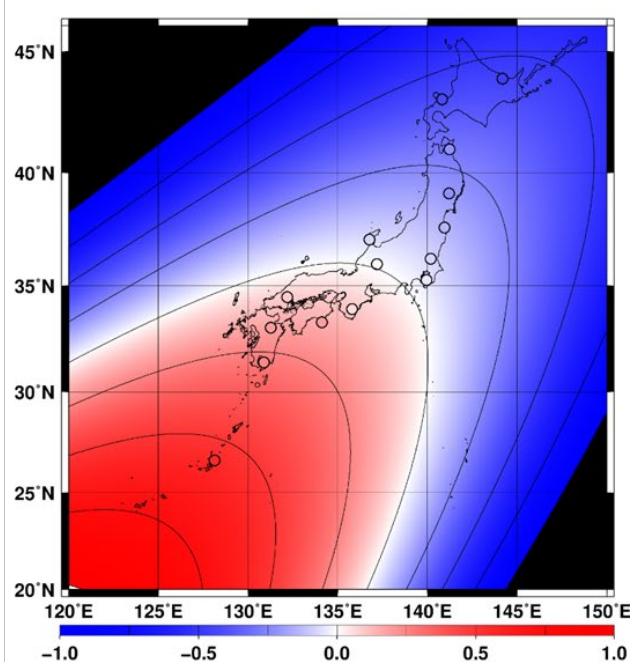
Spatial Function of 1st NOC X



Spatial Function of 2nd NOC X



Spatial Function of 3rd NOC X



Spatial Function of 4th NOC X

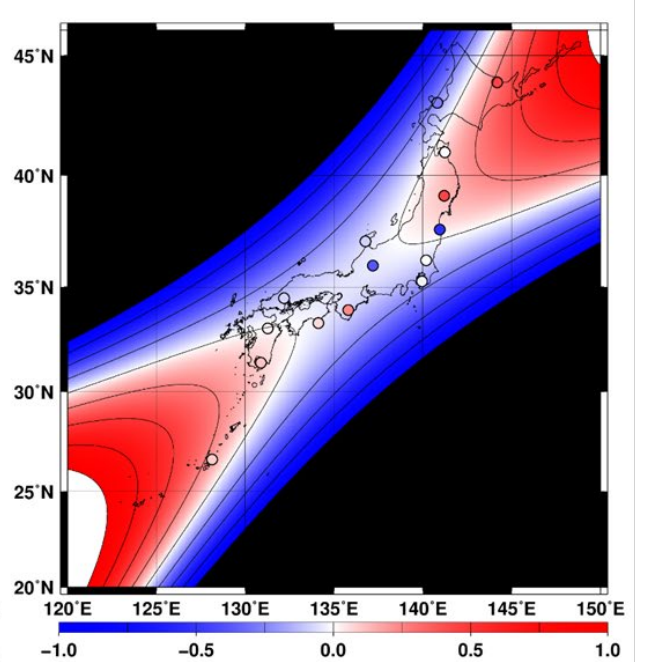
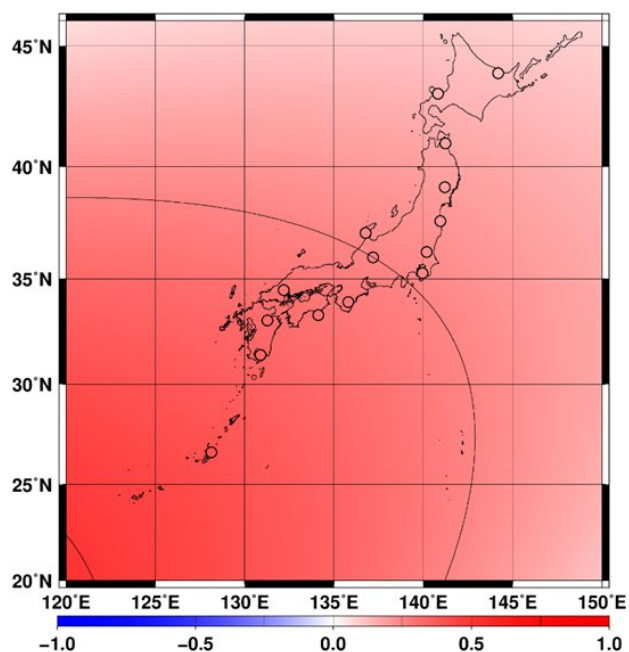
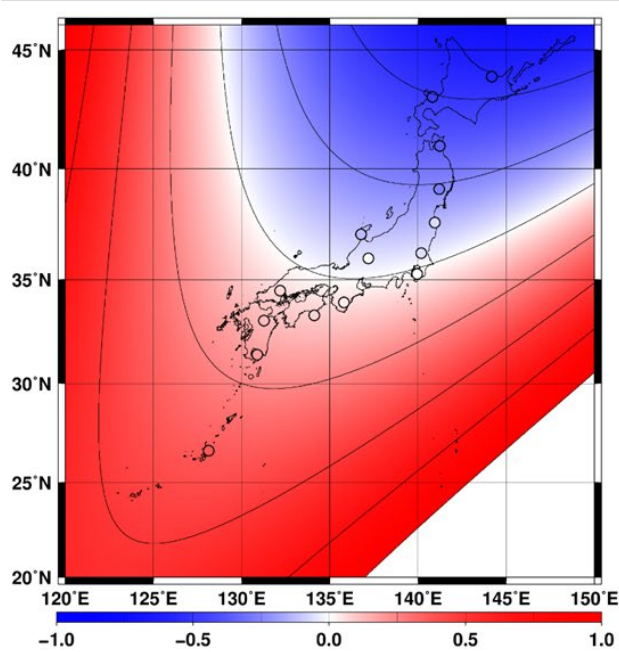


図-6 (a) X成分の第4主成分までの空間関数(近似式)の分布(段彩図)と観測点の地磁気強度(色付き円)の比較(無次元). 左上が第1主成分, 右上が第2主成分, 左下が第3主成分, 右下が第4主成分の空間関数を表す. -1から+1までの範囲を赤青の2色の勾配で描画し, コンター間隔を0.25とした. +1を超えるものは白色で, -1を超えるものは黒色で表現した. 段彩図と色付き円は同じスケールで描画した. 第3主成分までは段彩図と色付き円の色の整合が良いが, 第4主成分では色が合わない点が多く, 二次多項式では適切に表現できていないことを示唆している.

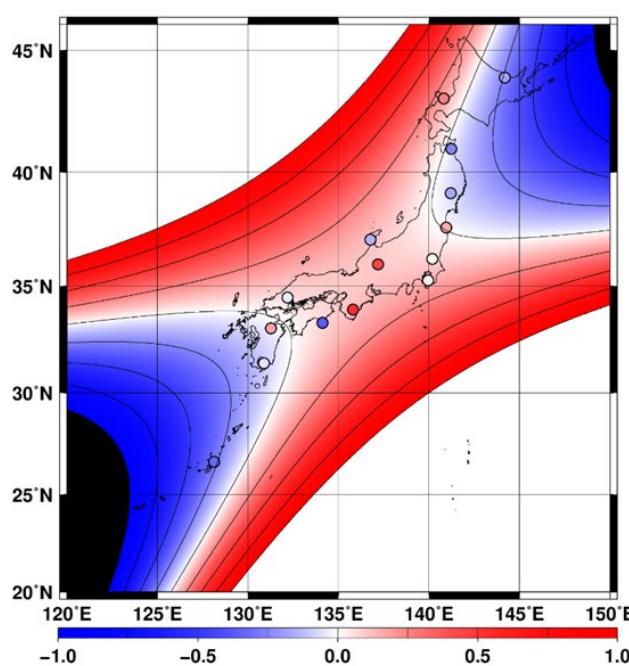
Spatial Function of 1st NOC Y



Spatial Function of 2nd NOC Y



Spatial Function of 3rd NOC Y



Spatial Function of 4th NOC Y

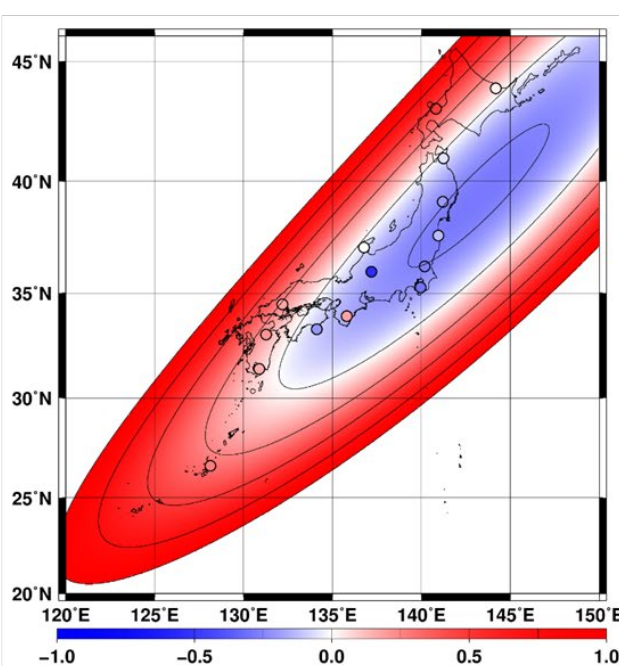
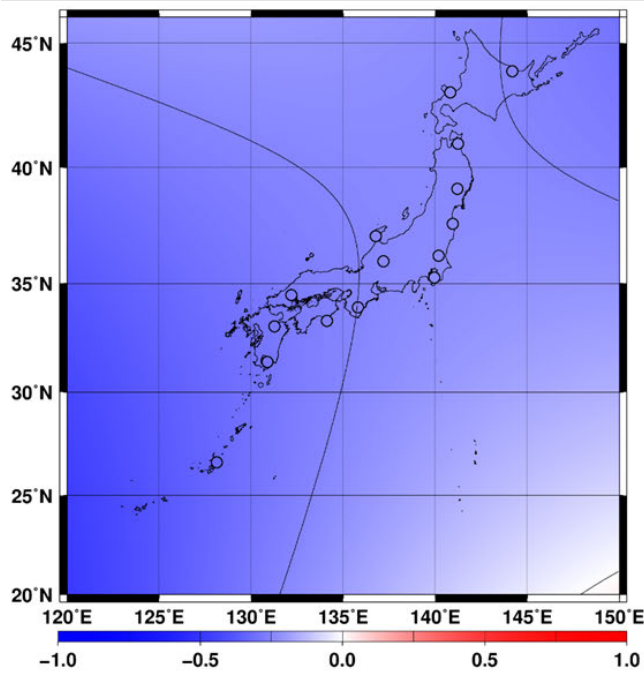
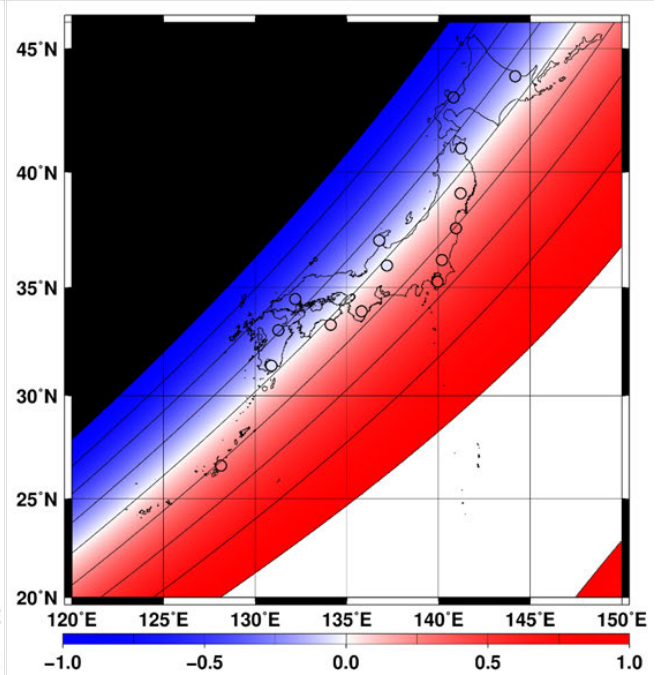


図-6 (b) Y 成分の第 4 主成分までの空間関数（近似式）の分布（段彩図）と観測点の地磁気強度（色付き円）の比較（無次元）。左上が第 1 主成分，右上が第 2 主成分，左下が第 3 主成分，右下が第 4 主成分の空間関数を表す。-1 から +1 までの範囲を赤青の 2 色の勾配で描画し，コンター間隔を 0.25 とした。+1 を超えるものは白色で，-1 を超えるものは黒色で表現した。段彩図と色付き円は同じスケールで描画した。第 2 主成分までは段彩図と色付き円の色の整合が良いが，第 3，第 4 主成分では色が合わない点が多く，二次多項式では適切に表現できていないことを示唆している。

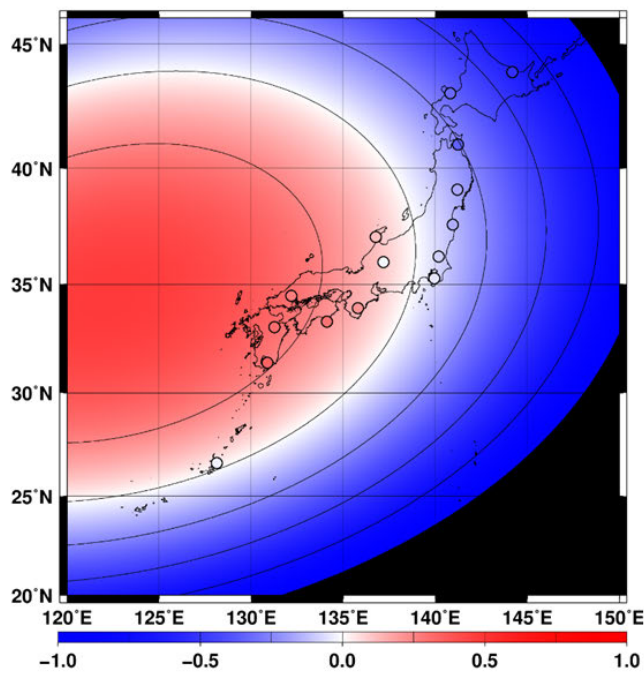
Spatial Function of 1st NOC Z



Spatial Function of 2nd NOC Z



Spatial Function of 3rd NOC Z



Spatial Function of 4th NOC Z

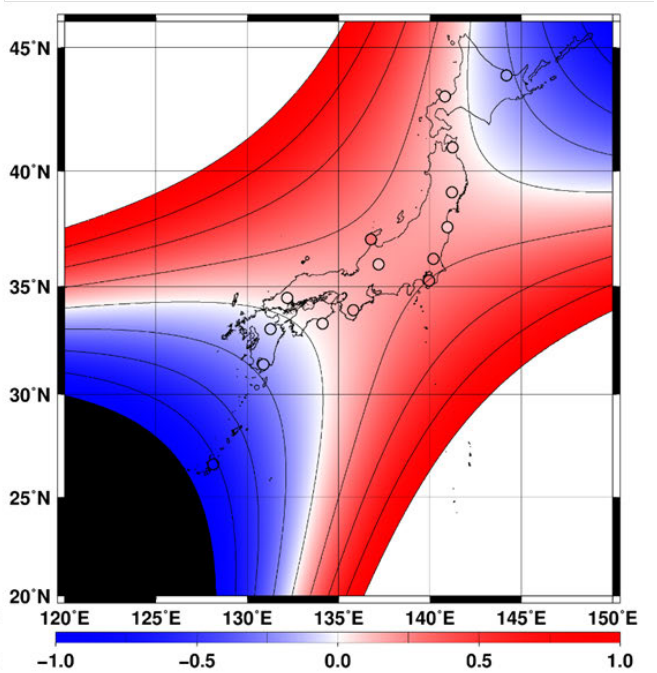


図-6 (c) Z成分の第4主成分までの空間関数(近似式)の分布(段彩図)と観測点の地磁気強度(色付き円)の比較(無次元)。左上が第1主成分, 右上が第2主成分, 左下が第3主成分, 右下が第4主成分の空間関数を表す。-1から+1までの範囲を赤青の2色の勾配で描画し, コンター間隔を0.25とした。+1を超えるものは白色で, -1を超えるものは黒色で表現した。段彩図と色付き円は同じスケールで描画した。第2主成分までは段彩図と色付き円の色の整合が良いが, 第3主成分では若干の乖離が見られる。第4主成分では色が合わない点が多く, 二次多項式では適切に表現できていないことを示唆している。

4.3 一等磁気点の時空間モデルへの同化手法

ここまでの工程で、表-1 に示す分類 A の観測点の時系列データを使用した時空間モデルができる。しかし、このモデルには北海道北部でモデル値と観測値との乖離が大きくなるという問題がある（阿部・宮原, 2015a）。そこで、磁気図 2020.0 年値では、磁気図 2015.0 年値と同じ手法（高橋ほか, 2018）を用いて、最北の一等磁気点「礼文島」での地磁気測量の結果を時空間モデルに組み込むことで、北海道北部における精度の向上を図っている。一等磁気点には連続した時系列データがなく、4.2 節と同じ手法で主成分分析を行うことはできないため、次の手法により礼文島を時空間モデルに組み込んだ。

まず、4.2 節の主成分分析で得られた時間関数は全国共通であり、緯度・経度によらないため、礼文島でも同じものと仮定した。その上で (1) 式に、2005 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 31 日までに行った 6 回分の地磁気測量の結果を入力し、礼文島での空間関数と初期値（2015.0 年値）を未知数とした観測方程式を立て、一等磁気点「礼文島」における空間関数を最小二乗法で推定した。使用した地磁気測量のデータの諸元を表-5 に示す。

推定した一等磁気点「礼文島」の空間関数と分類 A の観測データから算出した空間関数を用いて、全国の空間関数を緯度経度の二次多項式で近似することで、

全国の任意の場所での空間関数を作成した。その結果の一部を図-7 に示す。図-7 は、礼文島同化前後の Y 成分の空間関数の第 2 主成分である。Y 成分は阿部・宮原 (2015a) の精度検証において特に乖離が大きい成分であり、偏角に対応する成分である。同化手法の精度評価は、4.4.4 項で詳しく述べる。

表-5 に示したとおり、一等磁気点「礼文島」では地磁気測量をおおむね 3 年に 1 回行っている。最小二乗法で一等磁気点「礼文島」の空間関数を推定するには、採用した次数分の主成分と初期値が観測方程式の未知数になるため、その数よりも多くの観測が必要である。磁気図 2020.0 年値では、X 成分で最多の第 3 主成分まで採用しているため、少なくとも四つの地磁気測量の観測結果が必要である。今回は該当期間に、6 個のデータがあるため、精度良く推定することができたと考えられる。

表-5 一等磁気点「礼文島」のデータ

観測日	2006-08-24, 2010-06-26, 2013-07-18, 2016-07-13, 2018-07-05, 2020-07-29
データ数	6 個
データ種別	日平均値（絶対値） 直交 3 成分（X, Y, Z 成分）

Spatial Function of 2nd NOC Y

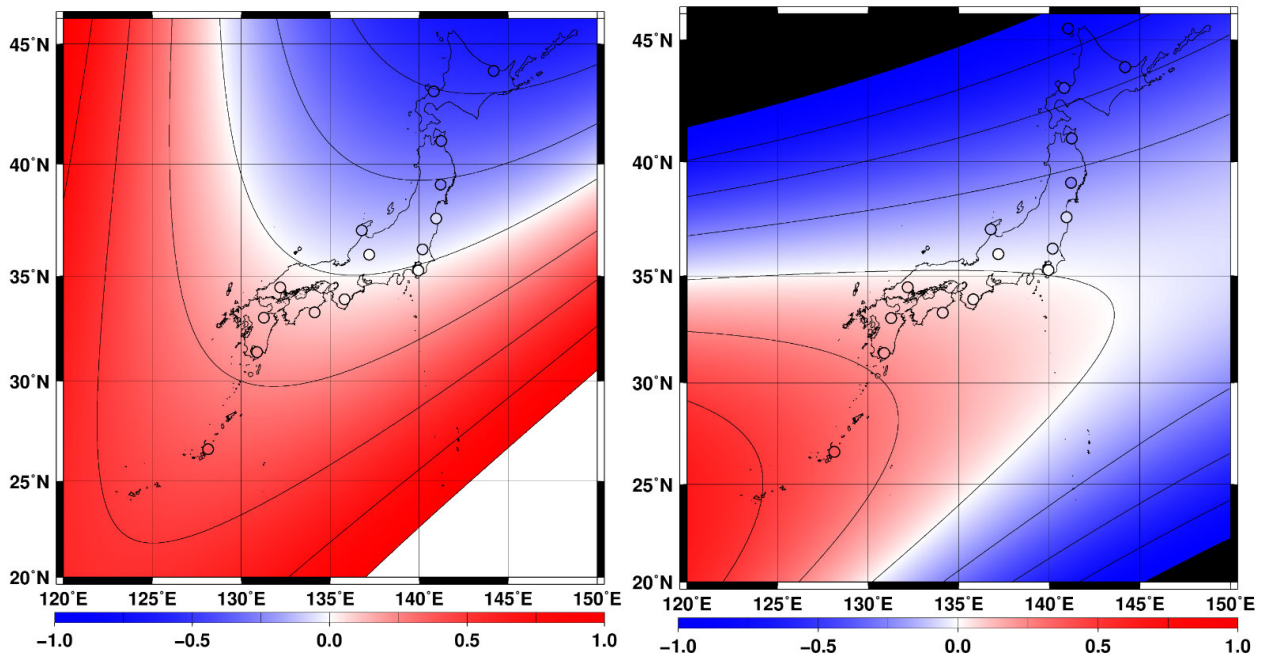


図-7 一等磁気点「礼文島」を組み込む前（左）、後（右）の Y 成分の空間関数（第 2 主成分）。モデルの適用範囲である陸域に着目すると、礼文島の同化により北海道北部の空間関数に変化している。精度評価については、4.4.4 項を参照。

4.4 地磁気時空間モデルの精度評価

これまでの手法で作成した時空間モデルの妥当性を評価するため、内部評価、一個抜き交差検証 (Leave-One-Out Cross Validation, 以下「LOOCV」という.) (地球統計学研究委員会, 2003) を行った。以下にそれぞれの評価結果を示す。

4.4.1 内部評価

時空間モデルの内部評価として、モデル値と観測値を比較した。具体的には、表-1 に示す分類 A の各観測点について、(3) 式を用いて二乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error, 以下「RMSE」という.) を計算し、その数値の大きさからモデルの再現性の良否を評価した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_i^{obs} - H_i^{model})^2}{N}} \quad (3)$$

ここで、 N は時系列データの総数、 H^{obs} は各観測点の観測値、 H^{model} はモデル値を示している。なお、RMSE の数値が小さいほど、モデル値と観測値の差が小さく、その観測点における時空間モデルの再現性が高いと評価できる。

内部評価における各観測点の RMSE と平均値を表-6 に示す。

表-6 内部評価における各観測点の RMSE とその平均値

観測点	RMSE (nT)			
	X	Y	Z	F
MIZ	2.22	4.66	2.99	1.54
KNZ	0.65	1.67	5.92	4.25
MMB	1.79	3.29	4.15	3.92
KAK	0.66	1.45	4.31	3.14
KNY	1.46	1.44	2.41	1.73
AKA	1.73	5.03	9.32	8.71
YOK	1.39	4.06	5.78	5.67
HAR	2.27	3.44	5.29	4.74
SIK	1.27	2.41	2.22	1.46
HAG	3.03	3.32	2.10	3.49
YOS	1.08	2.23	5.97	4.94
TTK	2.31	4.45	3.22	2.70
MUR	2.51	3.83	3.68	2.14
KUJ	1.18	2.35	4.20	3.41
OKI	1.38	2.91	4.33	3.24
平均値	1.66	3.10	4.39	3.67

内部評価の結果、RMSE の平均値は X 成分で 2 nT 程度、Y 成分で 3 nT 程度、Z, F 成分で 4 nT 程度であった。各観測点の値では、鹿野山 (KNZ) の Z 成分、

赤井川 (AKA) の Z, F 成分、横浜 (YOK) の Z, F 成分、吉和 (YOS) の Z 成分の RMSE が、他の観測点の値よりも大きくなった。各観測点における観測値とモデル値の残差の評価を行うため、X, Y, Z, F 成分について、各観測点における各成分の観測値からモデル値を差し引いた残差の時間変化を図-8 に赤線で示す。柿岡 (KAK) などの観測所の結果から時空間モデルは正しく機能していると思われるため、赤井川 (AKA) の RMSE が大きい原因は、時空間モデル作成の端の点であるためだと考えられる。なお、萩原 (HAG) の Y 成分の傾向が、2019 年以降大きく変化している原因は、観測装置の交換によるものである。

4.4.2 一個抜き交差検証 (LOOCV)

表-1 に示す分類 A のうち、ある一点を除外して時空間モデルを構築し、その構築した時空間モデルを使用して除外した点のモデル値を計算し、モデル値と観測値とを比較した。LOOCV でも (3) 式の RMSE を計算し、評価を行った。LOOCV における各観測点の RMSE とその平均値を表-7 に示す。LOOCV の結果、RMSE の平均値は X 成分で 2 nT 程度、Y, F 成分で 4 nT 程度、Z 成分で 5 nT 程度であった。この結果から、モデルが 2~5 nT 程度の再現性を有することが示された。また、除外した各観測点の RMSE の値は、沖縄 (OKI) の Y 成分において極端に RMSE が大きいほか、女満別 (MMB) の Y 成分及び赤井川 (AKA) の Y, Z, F 成分でも RMSE が大きい結果であった。

表-7 LOOCV における各観測点の RMSE とその平均値

除外した 観測点	RMSE (nT)			
	X	Y	Z	F
MIZ	2.55	5.36	3.17	1.61
KNZ	0.95	2.04	6.19	4.51
MMB	2.56	6.74	4.44	4.49
KAK	0.87	1.51	4.53	3.25
KNY	1.81	1.73	2.65	1.95
AKA	2.65	7.30	9.90	8.68
YOK	1.65	4.88	6.27	6.19
HAR	2.78	3.88	5.74	5.19
SIK	1.46	2.73	2.37	1.53
HAG	3.23	3.62	2.37	3.75
YOS	1.45	2.93	6.66	5.49
TTK	3.06	4.97	3.45	3.02
MUR	3.11	4.42	3.98	2.27
KUJ	1.78	2.80	4.57	3.64
OKI	3.13	10.65	4.80	4.84
平均値	2.20	4.37	4.74	4.03

Difference data of X at each Observation station

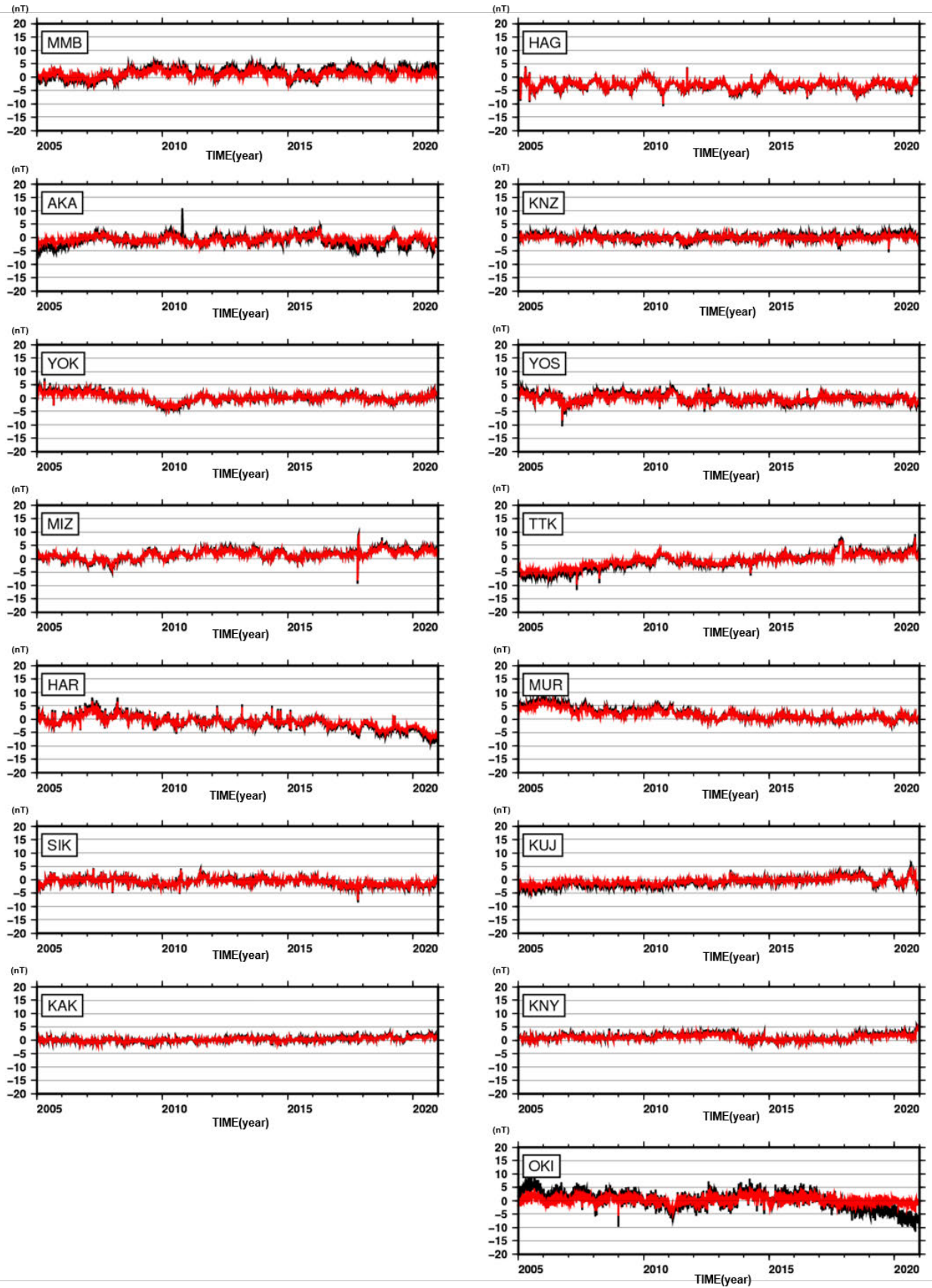


図-8 (a) 各観測点における X 成分の観測値からモデル値を差し引いた残差の時間変化. 赤線が 4.4.1 項の内部評価における残差の時間変化, 黒線が 4.4.2 項の LOOCV における残差の時間変化.

Difference data of Y at each Observation station

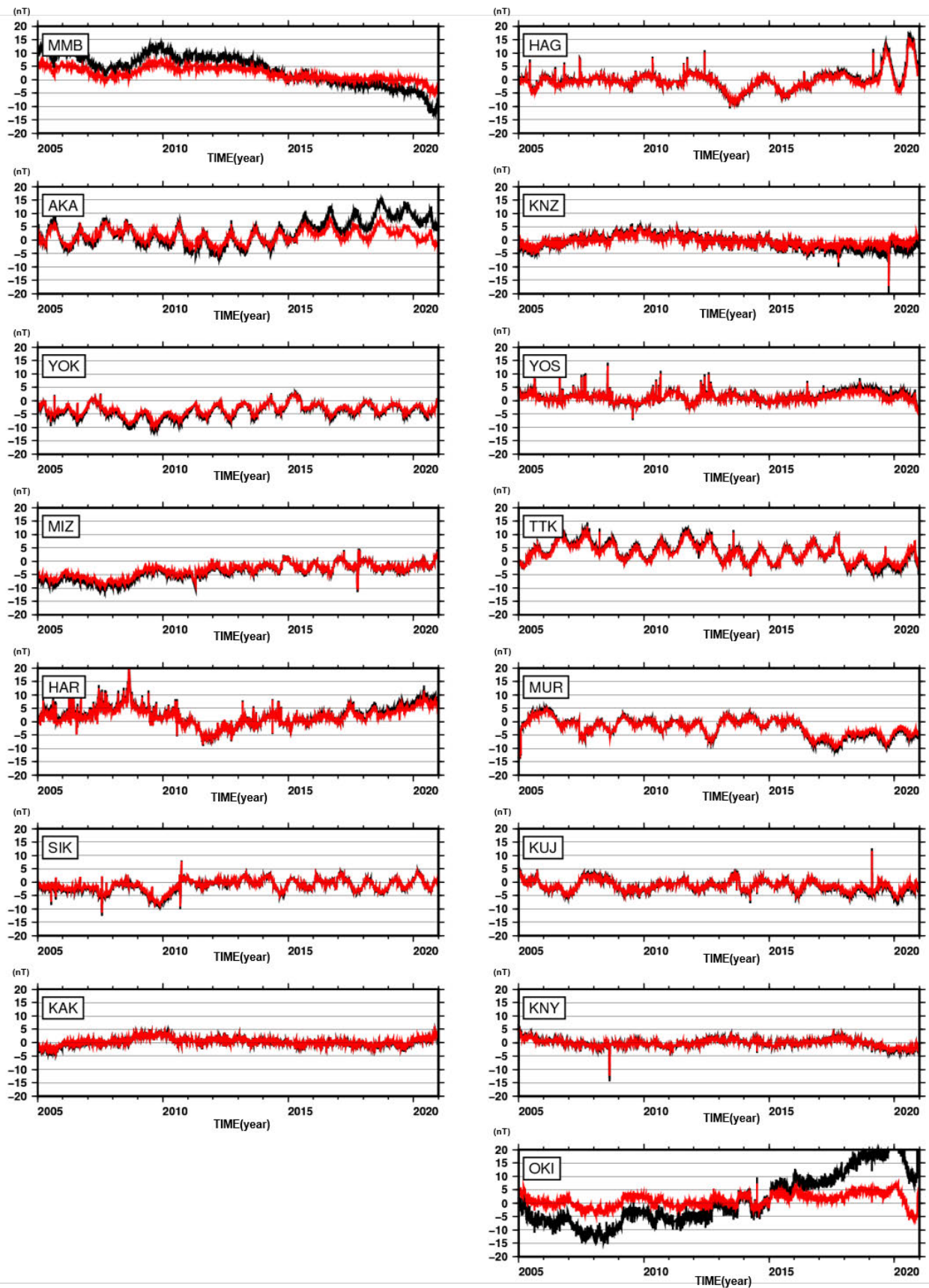


図-8 (b) 各観測点における Y 成分の観測値からモデル値を差し引いた残差の時間変化。赤線が 4.4.1 項の内部評価における残差の時間変化、黒線が 4.4.2 項の LOOCV における残差の時間変化。

Difference data of Z at each Observation station

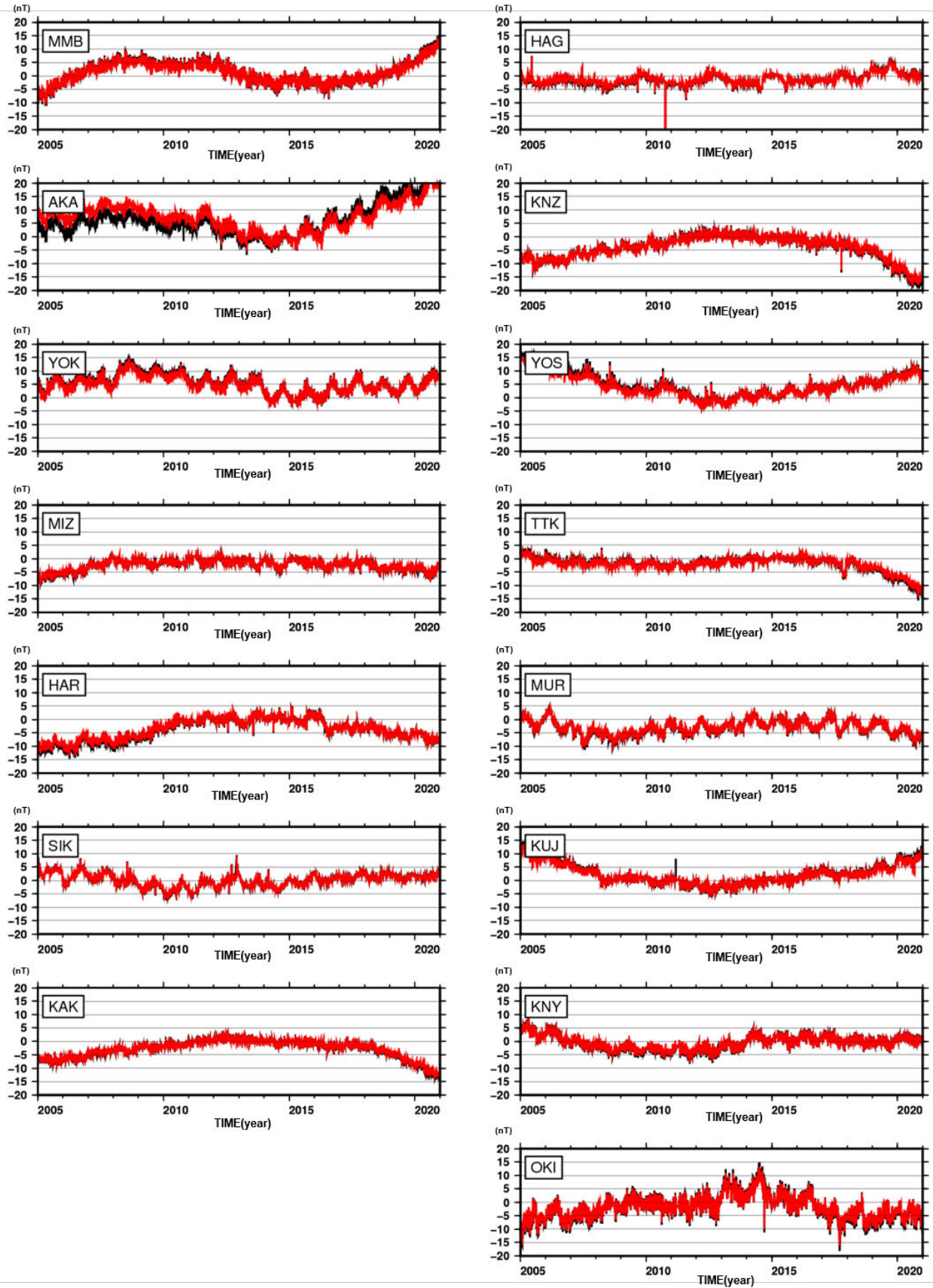


図-8 (c) 各観測点における Z 成分の観測値からモデル値を差し引いた残差の時間変化. 赤線が 4.4.1 項の内部評価における残差の時間変化, 黒線が 4.4.2 項の LOOCV における残差の時間変化.

Difference data of F at each Observation station

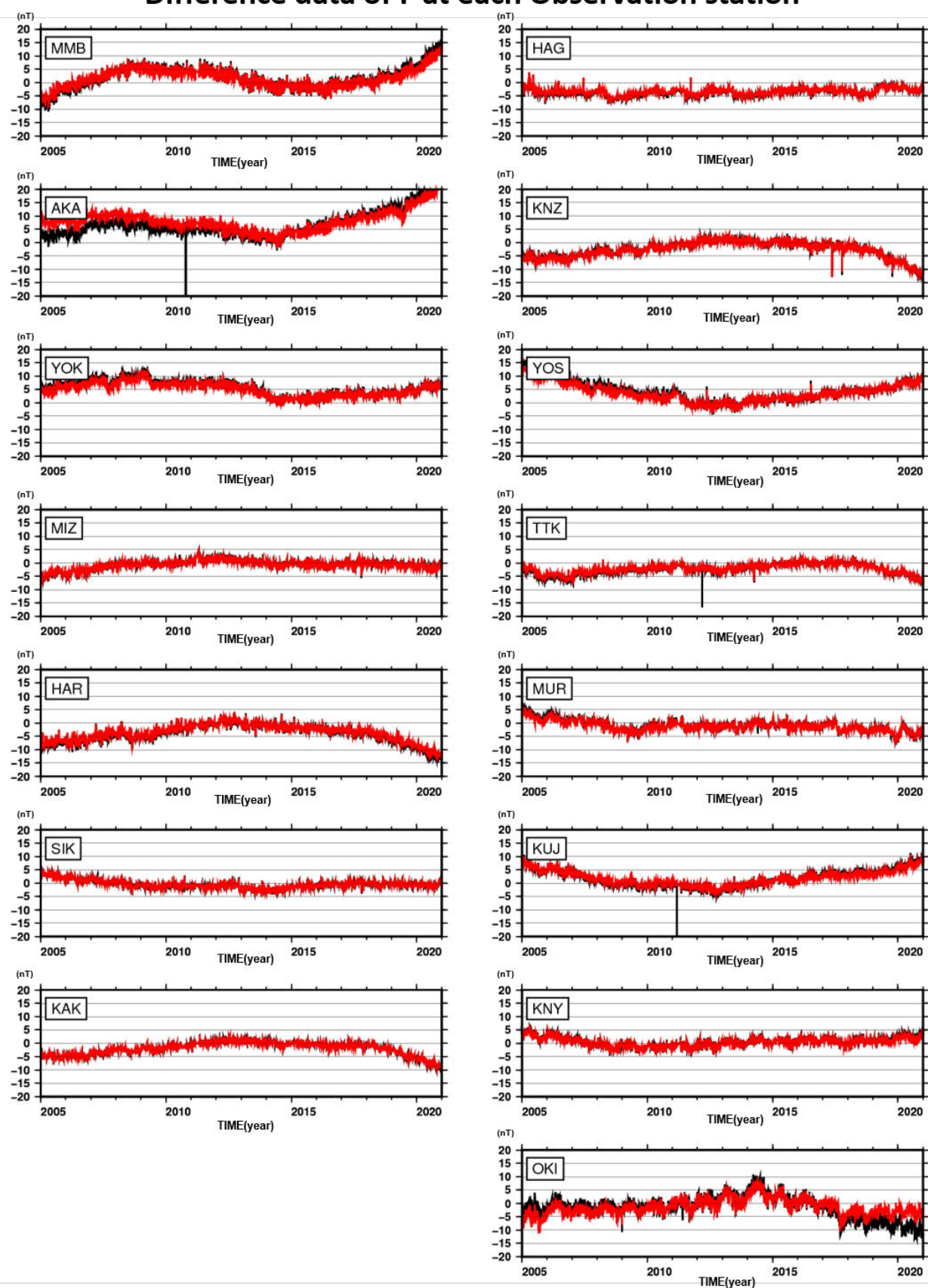


図-8 (d) 各観測点における F 成分の観測値からモデル値を差し引いた残差の時間変化. 赤線が 4.4.1 項の内部評価における残差の時間変化, 黒線が 4.4.2 項の LOOCV における残差の時間変化.

除外した各観測点における各成分の観測値からモデル値を差し引いた残差の時間変化を図-8 に黒線で示す。女満別 (MMB)、赤井川 (AKA)、沖縄 (OKI) は X, Y, Z 成分の赤線と黒線との乖離が大きい傾向にある。これらの観測点は、時空間モデル作成に使用している観測点の中で南北の端の点に相当する。これらを抜いた場合、南北の端点ではモデル値が外挿で作成されることが原因と考えられる。したがって、北海道から沖縄県までを網羅した一定の精度を有する時空間モデルを作成するためには、これらの連続観測データは不可欠であるといえる。

4.4.3 同化手法の評価

磁気図 2020.0 年値では、一等磁気点「礼文島」を時空間モデルに同化した。本項では、同化の効果を評価する。同化後の時空間モデルは、(1) 式を満たした時空間モデルの空間関数に一等磁気点「礼文島」の空間関数を後から組み込むため、厳密には (1) 式を満たさない。そのため、礼文島周辺の時空間モデルの再現性は向上するが、それ以外の場所では時空間モデルの再現性が低下することが想定される。なお、同化に使用した観測結果には観測誤差が含まれているが、地磁気測量の作業規程で定めた許容範囲を満たした観測であるため、観測誤差がモデルに与える影響は十分小さく、無視できるものとする。

まず、同化後のモデルによる礼文島周辺の再現性を確認する。一等磁気点「礼文島」における観測結果と同化前後のモデル値の RMSE を計算した (表-8)。表-8 から分かるとおり、同化後のモデルでは、Z 成分を除き再現性が改善した。特に、Y 成分では、約 4 nT の改善がみられた。

表-8 「礼文島」における観測結果とモデル値の RMSE

	RMSE (nT)			
	X	Y	Z	F
同化前	2.04	7.95	9.16	8.90
同化後	1.19	3.44	9.77	8.38

次に、礼文島以外の場所における時空間モデルの再現性を確認する。一等磁気点「礼文島」同化前後の時空間モデルについて、4.4.1 項と同様に内部評価を行った。同化前後の時空間モデルの内部評価の結果 (RMSE の差) を表-9 に示す。赤字は同化によって再現性が低下した箇所である。表-9 に示したとおり、各成分において再現性が低下している観測点が 6~8 点あり、同化の影響が全国に波及している。特に、赤井川 (AKA) では、Y 成分で 2 nT を超える再現性の低下がみられる。

表-9 「礼文島」同化前後の RMSE の差 (同化前-同化後)

観測点	RMSE (nT)			
	X	Y	Z	F
MIZ	-0.12	-0.60	-0.04	0.12
KNZ	0.01	0.09	0.03	-0.20
MMB	-0.03	0.06	0.00	-0.02
KAK	0.01	-0.02	0.00	-0.02
KNY	-0.11	0.24	-0.02	-0.09
AKA	-0.52	-2.14	-0.13	0.49
YOK	-0.02	-0.10	0.01	-0.02
HAR	0.05	0.34	-0.04	0.11
SIK	0.00	0.00	0.00	0.00
HAG	0.07	0.07	-0.03	0.05
YOS	0.00	-0.34	-0.03	0.11
TTK	0.01	0.04	0.00	0.02
MUR	-0.07	-0.19	-0.02	0.04
KUJ	0.01	-0.06	0.00	-0.02
OKI	0.01	-0.16	0.01	-0.05
平均値	-0.04	-0.22	-0.02	0.03

以上のように、一等磁気点「礼文島」を同化することで各成分において約半数の点で 0~2 nT 程度再現性が低下したものの、表-8 から分かるとおり、礼文島周辺の時空間モデルの再現性が X 成分で約 1 nT, Y 成分で約 4 nT, F 成分で約 0.5 nT 向上したため、磁気図 2020.0 年値では一等磁気点「礼文島」を同化したモデルを採用した。

なお、全体の再現性を低下させずに礼文島周辺の時空間モデルの再現性を向上させるには、礼文島又はその周辺の地域で連続観測を行い、(1) 式を満たすモデルを作成する必要がある。そこで、2022 年に、一等磁気点「礼文島」から東方約 55 km に連続観測点「稚内」を設置し、観測を開始した。「稚内」の観測データは今後の磁気図作成に活用していく。

4.4.4 精度評価のまとめ

内部評価、LOOCV の全観測点の平均値の結果を表-10 に再掲する。内部評価と LOOCV の評価結果は、それぞれの各成分の評価結果の差が 1 nT 程度以内とおおむね傾向が整合しており、作成した時空間モデルが正しく機能していることを示している。モデル値の再現性は LOOCV の結果から、X 成分 2 nT, Y 成分 4 nT, Z 成分 5 nT, F 成分 4 nT 程度である。

表-10 精度評価のまとめ

	RMSE (nT)			
	X	Y	Z	F
内部評価	1.66	3.10	4.39	3.67
LOOCV	2.20	4.37	4.74	4.03

5. 磁気図 2020.0 年値の描画手法

磁気図は、図-4 の磁気図作成のフローチャートに示したとおり、グリッドデータ作成後に描画する。グリッドデータ作成及び描画には、無償で利用可能なプログラム群 The Generic Mapping Tools（以下「GMT」という。）（Wessel et al., 2013）を用いた。本章では、グリッドデータ作成手法及びその精度評価について述べる。

5.1 グリッドデータ作成（空間補間）手法

磁気図を描画するために、表-1 のデータを使用して規則的な格子点状に配列したグリッドデータを作成する。表-1 に示す観測点のうち、分類 A は連続観測データ、分類 B, C はモデル値、分類 D は IGRF-13 から計算した値をグリッドデータ作成の入力値（以下「グリッド入力値」という。）として使用した。グリッド間隔は、2 万 5 千分 1 地形図の図郭の範囲に少なくとも 4 点以上のグリッドデータが含まれるように、緯度経度ともに 3 分間隔とした。

GMT には、複数のグリッド化コマンドが実装されている。磁気図 2020.0 年値では、磁気図 2015.0 年値と同様に観測点の情報をより忠実に反映させる方針としたため、Green 関数を用いたスプライン法を引き続き採用した。Green 関数スプラインの正則化スプライン法のテンションの設定は 0.02 とした。

5.2 グリッドデータの精度評価

グリッドデータの精度評価として、4.4 節のモデルの精度評価と同じ手法で内部評価と LOOCV を行った。

内部評価では、磁気点上のグリッド入力値と、グリッドデータから磁気点上の値を推定した値（推定値）を直接比較した。推定値は、周囲 4 点のグリッドデータからバイリニア補間して求めた。評価指標には、グリッド入力値と推定値の RMSE を用いた。さらに、磁気図 2015.0 年値における内部評価の結果と比較した。

グリッドデータの内部評価の結果を表-11 に示す。今回の磁気図 2020.0 年値は従来の磁気図 2015.0 年値と同等の RMSE となっており、同等の精度を持っているといえる。

表-11 グリッドデータの内部評価の結果

	偏角 D (min)	伏角 I (min)	水平分力 H (nT)	鉛直分力 Z (nT)	全磁力 F (nT)
2020.0 年値	0.68	0.77	6.75	13.98	11.06
2015.0 年値	0.74	0.77	7.00	14.54	11.89

LOOCV では、グリッド入力値のある一点を除外してグリッドデータを作成し、除外した点の推定値をバイリニア補間により求め、除外した点のグリッド入力値とその推定値を比較した。評価指標は、グリッド入力値と推定値の RMSE である。表-12 のとおり、LOOCV の結果も磁気図 2015.0 年値と同等の精度であった。

表-12 グリッドデータの LOOCV の結果

	偏角 D (min)	伏角 I (min)	水平分力 H (nT)	鉛直分力 Z (nT)	全磁力 F (nT)
2020.0 年値	15.74	15.56	198.52	262.68	230.60
2015.0 年値	17.63	15.65	180.80	276.10	246.15

表-11, 12 の結果を比べると、表-12 の結果は全ての成分で表-11 の 10 倍以上大きい値となった。この理由は、LOOCV で除外した点の地磁気値を周囲の点から推定する際に、除外した点と周囲の点で乖離があるため周囲の点から妥当な値を推定できなかったことが推測される。これは日本周辺の地磁気分布が、磁気点の平均点間距離 20~30 km よりも短い空間波長の特徴を持つことを示唆している。そのため、入力に用いた磁気点の配点密度よりも細かな磁場分布の磁気図を作成するためには、更に多くの磁気点を配置する必要がある。

5.3 磁気図 2015.0 年値との比較

磁気図 2020.0 年値と磁気図 2015.0 年値の差には、1) 5 年間の地磁気の変化、2) 新たな連続観測点の追加や主成分分析における採用次数が異なることなどによる時空間モデルの違い、3) グリッドデータ作成に使用したデータ数の違いが複合的に含まれている。このうち、2) には有意な差がなかった。つまり、二つの磁気図の違いは、主に 1) と 3) に起因する。5.2 節では RMSE を指標として評価したが、本節では偏角について二つの磁気図の差分を図示し、視覚的に評価した。

3.2 節に示したとおり、磁気図 2020.0 年値では、磁気図 2015.0 年値の検証観測結果（吉藤, 2021）において観測値と時空間モデルによる推定値が整合しなかった磁気点を、磁気図描画工程から除外している。図-9 に磁気図 2020.0 年値と磁気図 2015.0 年値のグリッドデータの偏角の差分を示す。ここでは 5 年間の偏角の変化量に加え、図中の黒枠で示した地域では、観測値と時空間モデルによる推定値が整合しない磁気点の除外により、偏角のグリッドデータの値が 2 度（120 分）程度変わっている。

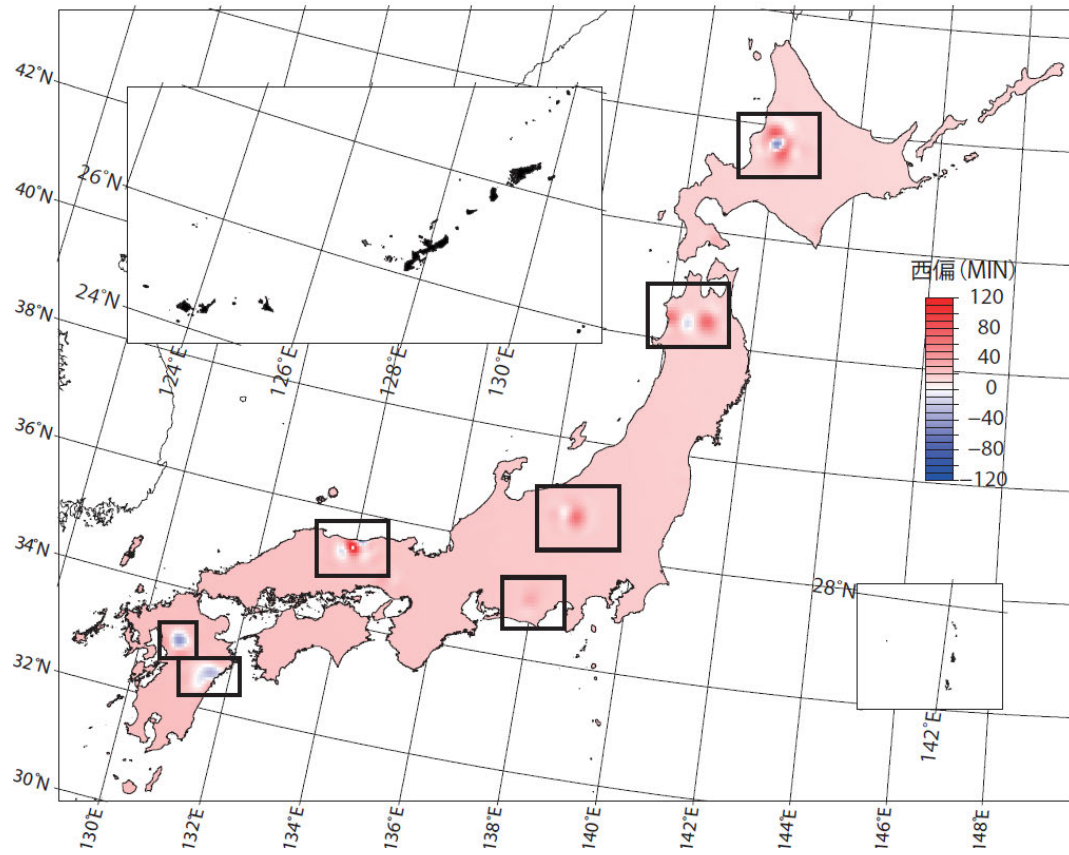


図-9 磁気図 2020.0 年値と磁気図 2015.0 年値のグリッドデータの偏角の差分

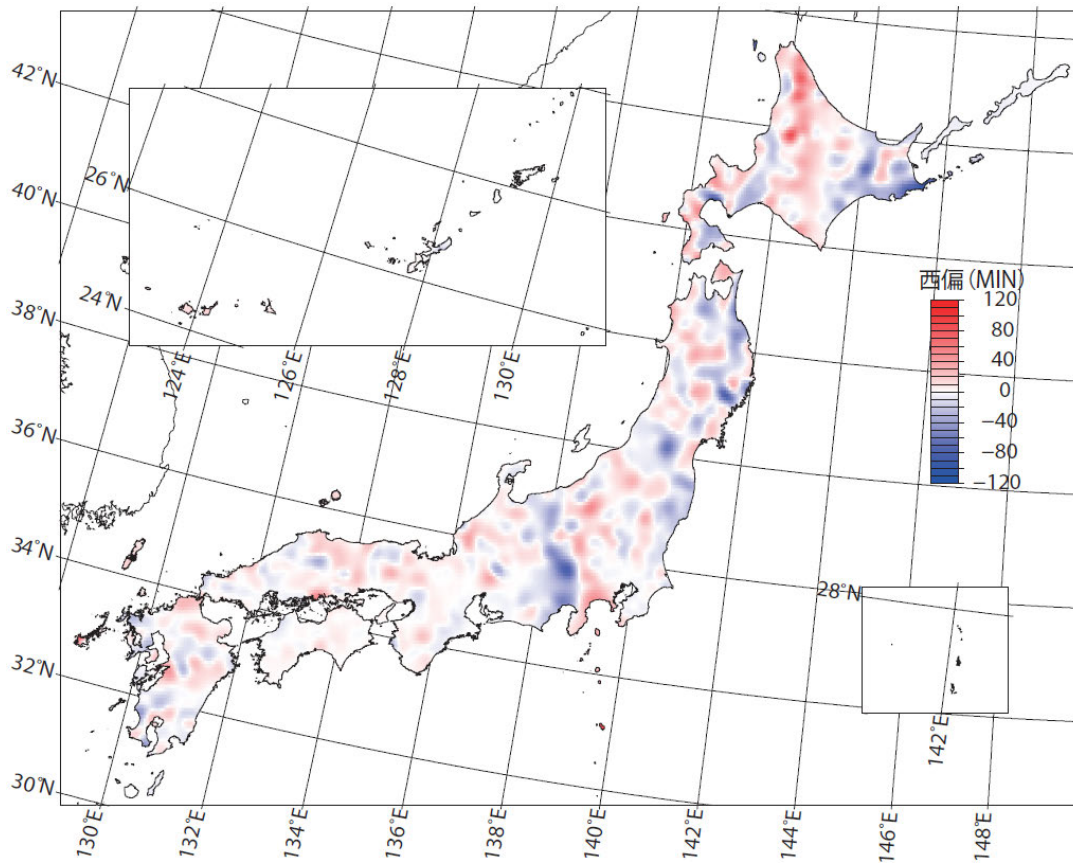


図-10 磁気図 2020.0 年値と国際標準地球磁場（IGRF-13）から作成した 2020.0 年値の差分（偏角）

5.4 国際標準地球磁場（IGRF-13）との比較

図-4 の工程で作成された磁気図は日本全国の地磁気分布を表した図である。一方、全球の磁場分布を表現する磁場モデルとして IGRF-13 がよく使われる。本節ではこの二つについて比較する。

IGRF-13 は数式で表された磁場モデルである。磁気図と比較するために、磁気図と同じグリッド間隔で 2020.0 年時点におけるグリッドデータを IGRF-13 から作成した。図-10 に、磁気図 2020.0 年値と IGRF-13 から作成した 2020.0 年値の偏角の差分を示す。IGRF-13 の空間波長は 1,000~2,000 km であるため、図-10 に見られる差は、IGRF-13 では表現できない日本国内の複雑な磁場分布を表しているといえる。場所によっては、1 度（60 分）以上の差が生じている地域もあるため、用途によって両者を使い分ける必要がある。

6. データの公開

4 章で作成した時空間モデルと 5 章の空間補間手法で作成した磁気図 2020.0 年値を 2022 年 2 月 2 日に公開した。公開したデータは表-13 のとおりで、地磁気測量ホームページ（以下「地磁気 HP」という。）（国土地理院, 2022a）から入手及び閲覧できる。

公開した磁気図（偏角）を別図に示す。磁気図は、偏角、伏角、全磁力、水平分力及び鉛直分力の地磁気 5 成分の図を公開している。磁気図の作成範囲は、2 万 5 千分 1 地形図の整備範囲と同じである。別図に表示されていない地域は地理院地図（国土地理院, 2022b）で確認できる。偏角及び伏角は 10 分ごとに、その他の成分は 100 nT ごとに等値線を描画した。また、角度及び磁力の大きさが大きいほど暖色系に、小さいほど

寒色系になるように段彩をつけた。全ての一等磁気点のモデル値を緯度経度の二次多項式に近似したものを（4）式に、各成分における同式の各係数を表-14 に示す。この近似式は、日本周辺の磁場分布を大局的に表すもので、局所的な磁気異常は反映されていない。また、観測点から遠方になるほど精度が低下するので注意が必要である。

偏角一覧のテキストデータ（txt データ）は、各種ソフトウェア、登山アプリケーションなどでの利便性を考慮し、地磁気 HP 上で公開した。

地磁気 HP 内の地磁気値計算サービスでは、任意の座標を入力することで、任意の地点における 2020 年 1 月 1 日 0 時 (UTC) の地磁気値を求めることができる。この計算では、時空間モデルから作成したグリッドデータを使用しているため、（4）式の計算よりも局所的な地磁気値が得られる。

表-13 磁気図 2020.0 年値に関連する公開データ

公開データ	提供形態
磁気図 2020.0 年値	地磁気 HP 上で PDF 公開 地理院地図に表示
偏角一覧図	地理院地図に表示 (2 次メッシュごとに表示)
偏角一覧	地磁気 HP 上で txt データ公開
地磁気計算サービス	地磁気 HP 上で計算

$$D_{2020.0} = M + A\Delta\phi + B\Delta\lambda + C(\Delta\phi)^2 + D\Delta\phi\Delta\lambda + E(\Delta\lambda)^2 \quad (4)$$

$$\Delta\phi = \phi - 37^\circ, \quad \Delta\lambda = \lambda - 138^\circ$$

※ $D_{2020.0}$: 地磁気値（2020.0 年値） ϕ : 北緯 $^\circ$], λ : 東経 $^\circ$]

表-14 各成分における（4）式の各係数

	M	A	B	C	D	E
偏 角 D (西 偏)	8°15.822'	18.462	-7.726	0.007	-0.007	-0.655
伏 角 I	51°26.559'	72.683	-8.642	-0.943	-0.142	0.585
全 磁 力 F	47881.463 nT	547.650	-256.043	-2.388	-2.750	5.199
水平分力 H	29855.926 nT	-439.613	-74.293	-6.703	7.987	-5.094
鉛直分力 Z	37441.791 nT	1058.480	-274.371	-10.853	-6.454	9.899

7. まとめ

2022年2月2日に、最新版の磁気図となる磁気図2020.0年値を公表した。図の作成には、国土地理院及び気象庁の地磁気連続観測データから主成分分析を用いて作成した地磁気時空間モデルを使用した。また、磁気図を描画するに当たり、Green 関数スプライン法（正則化、テンション0.02）を使用した。

磁気図2020.0年値におけるモデルの再現性は、表-12のとおり、偏角で16分程度、伏角で16分程度、水平分力で200 nT程度、鉛直分力で260 nT程度、全磁力で230 nT程度となった。

謝辞

気象庁地磁気観測所の皆様につきましては、磁気図作成のための観測データを使用させていただいたほか、地磁気測量に使用する磁気儀・磁力計の検定作業にも御協力いただきました。ここに記して感謝いたします。主成分分析や最小二乗法の解析には、R (Ihaka and Gentleman, 1996) を使用しました。図の作成には、The Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel et al., 2013) ソフトウェアを使用しました。

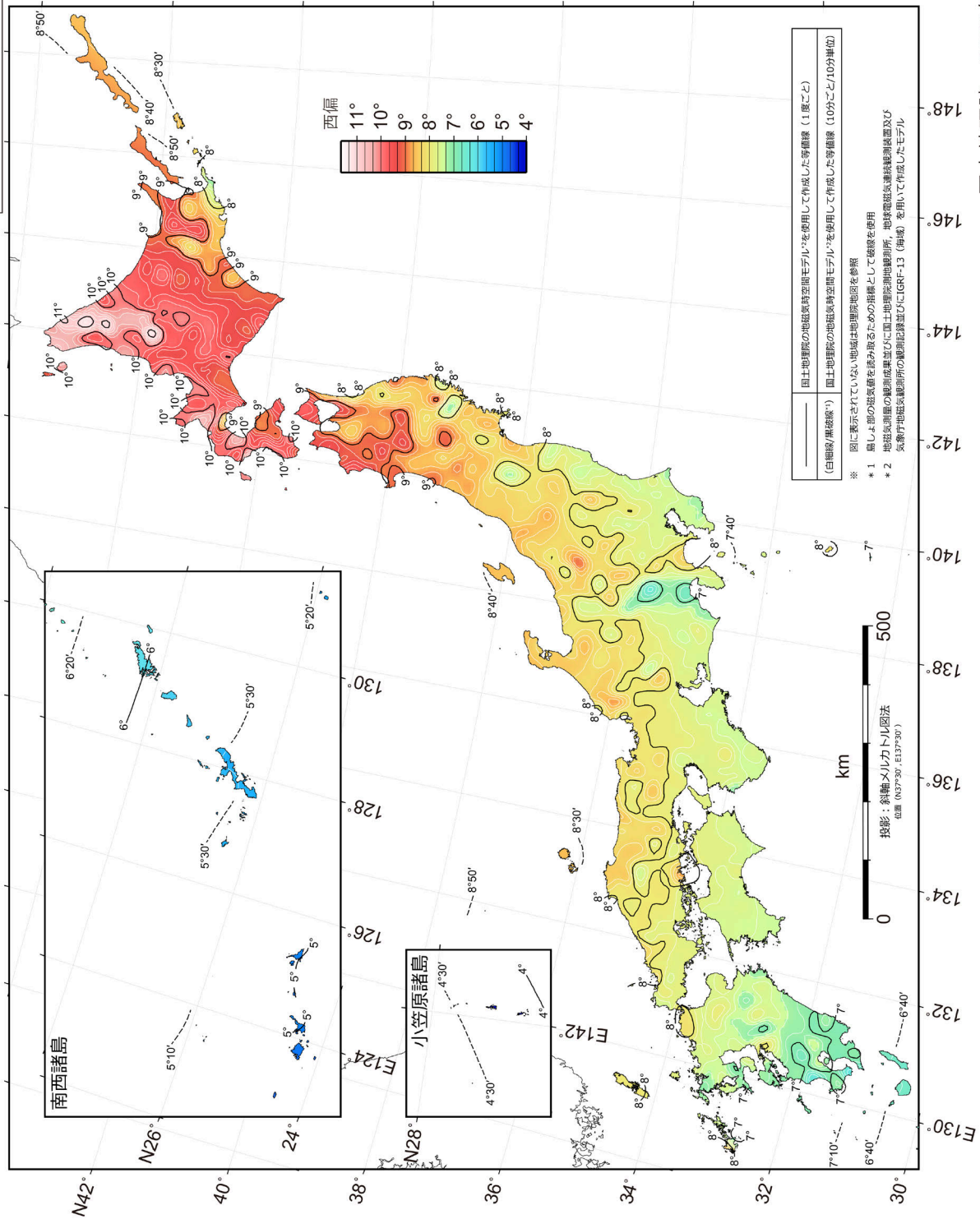
(公開日：令和8年5月13日)

参考文献

- 阿部聡, 宮原伐折羅 (2015a) : 主成分分析を用いた日本周辺の地磁気変化モデルの開発, 国土地理院時報, 127, 129–152. doi: 10.57499/JOURNAL_127_18
- 阿部聡, 宮原伐折羅 (2015b) : 日本の磁気図作図における地磁気値の空間補間手法の検証, 国土地理院時報, 127, 153–169. doi: 10.57499/JOURNAL_127_19
- Erwan Thébaud, Christopher C Finlay, Ciarán D Beggan, Patrick Alken, Julien Aubert, Olivier Barrois, Francois Bertrand, Tatiana Bondar, Axel Boness, Laura Brocco, Elisabeth Canet, Aude Chambodut, Arnaud Chulliat, Pierdavid Coisson, François Civet, Aimin Du, Alexandre Fournier, Isabelle Fratter, Nicolas Gillet, Brian Hamilton, Mohamed Hamoudi, Gauthier Hulot, Thomas Jager, Monika Korte, Weijia Kuang, Xavier Lalanne, Benoit Langlais, Jean-Michel Léger, Vincent Lesur, Frank J Lowes, Susan Macmillan, Mioara Manda, Chandrasekharan Manoj, Stefan Maus, Nils Olsen, Valeriy Petrov, Victoria Ridley, Martin Rother, Terence J Sabaka, Diana Saturnino, Reyko Schachtschneider, Olivier Sirol, Andrew Tangborn, Alan Thomson, Lars Tøffner-Clausen, Pierre Vigneron, Ingo Wardinski and Tatiana Zvereva (2015) : International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation, *Earth, Planets and Space* 2015, 67–79.
- Fujiwara Satoshi, Nishiki Teruaki, Shirai Hiroki, Hamazaki Hideo, and Vadim P. Glovkov (2001) : Modeling the daily mean values of regional geomagnetic total field changes in Japan, *Earth Planets Space*, 53, 69–73.
- 石倉信広, 田上節雄, 嵯峨諭, 石原操 (2010) : 地磁気時空間モデルを使った2010.0年磁気図作成, *Conductivity Anomaly 研究会2010年論文集*, 49–55.
- Ji Xiaoli, Utsugi Mitsuru, Shirai Hiroki, Suzuki Akira, He Jinlan, Fujiwara Satoshi, and Fukuzaki Yoshihiro (2006) : Modeling of spatial-temporal changes of the geomagnetic field in Japan, *Earth Planets Space*, 58, 757–763.
- 国土地理院 (2022a) : 地磁気測量 HP, http://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geomag_index.html (accessed 2 March.2022) .
- 国土地理院 (2022b) : 地理院地図, <https://maps.gsi.go.jp/> (accessed 2 March.2022) .
- 国土地理院鹿野山測地観測所 (1992) : 30年のあゆみ, 国土地理院鹿野山測地観測所.
- 国土地理院水沢測地観測所 (1990) : 20年のあゆみ, 国土地理院水沢測地観測所.
- Patrick Alken, Arnaud Chulliat, Manoj C. Nair (2021) : NOAA/NCEI and University of Colorado candidate models for IGRF-13: *Earth Planets Space*, Volume 73, article number 44.
- Paul Wessel, Walter H. F. Smith, Remko Scharroo, Joaquim Luis, and Florian Wobbe (2013) : Improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 94, 409–410.
- Ross Ihaka, Robert Gentleman (1996) : R: A Language for Data Analysis and Graphics, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, Volume 5, Issue 3, 299–314.
- 高橋伸也, 菅原安広, 松尾健一, 矢萩智裕, 阿部聡 (2018) : 磁気図2015.0年値の作成, 国土地理院時報, 130, 13–36. doi: 10.57499/JOURNAL_130_03
- 田辺正 (1997) : 全国に設置した地球電磁気連続観測装置, 国土地理院時報, 87, 4–12.
- 地球統計学研究委員会 訳編／青木謙治 監訳 (2003) : 地球統計学, 森北出版株式会社.
- 植田勲, 阿部聡, 後藤勝広, 海老名頼利, 石倉信広, 田上節雄 (2013) : 磁気図2010.0年値の作成, 国土地理院時報, 123, 9–19. doi: 10.57499/JOURNAL_123_02
- 吉藤浩之 (2021) : 磁気図2015.0年値の検証作業報告, 国土地理院2020年度技術報告書.

- Kakioka Magnetic Observatory, 2013, Kakioka geomagnetic field 1-hour digital data in IAGA-2002 format, [dataset], Kakioka Magnetic Observatory Digital Data Service. doi:10.48682/186bd.2b000
- Kakioka Magnetic Observatory, 2013, Memambetsu geomagnetic field 1-hour digital data in IAGA-2002 format, [dataset], Kakioka Magnetic Observatory Digital Data Service. doi:10.48682/186d7.2b000
- Kakioka Magnetic Observatory, 2013, Kanoya geomagnetic field 1-hour digital data in IAGA-2002 format, [dataset], Kakioka Magnetic Observatory Digital Data Service. doi:10.48682/186fd.2b000

磁気図 (偏角) 2020.0年値



別図 磁気図 2020.0 年値 (偏角) (2022 年 2 月公開)