磁気図 2010.0 年値の作成
Magnetic Charts for the epoch 2010.0

測地部　植田　勲・阿部　聡・後藤勝広[1]・海老名頼利
Geodetic Department　Isao UEDA, Satoshi ABE, Katsuhiro GOTO and Yoritoshi EBINA
東北地方測量部　石倉信広
Tohoku Regional Survey Department　Nobuhiro ISHIKURA
中部地方測量部　田上節雄
Chubu Regional Survey Department　Setsuo TANOUE

要　旨

国土地理院では，1939 年から地磁気測量を開始した．1949 年からは日本全国を対象とし，現在に至るまで，60 年以上にわたり全国で地磁気測量を実施している．その成果として，1970 年から 10 年ごとに日本の磁場分布を表した「磁気図」を作成している．特に，磁場成分のひとつである偏角は，地理空間情報と方位磁針を結びつけるために不可欠な情報であり，様々な分野で活用されている．今回，その偏角の地理的分布も表現した磁気図の最新版となる 2010.0 年値を作成した．2010.0 年値からは，新たに開発した「地磁気時空間モデル」を採用した．このモデルでは，自然直交基底法という数学的な手法を用いて，良質な連続観測データから，時間的に不連続な観測しか行われていない観測点のデータを連続化することにより，各磁場成分の時間変化と空間的な変化を推定することができる．このため，任意の年単位での磁気図を作成することが可能となった．磁気図の精度評価の結果，一部の磁気異常地帯を除いて，偏角・伏角で 10′，全磁力・水平分力・鉛直分力で 100nT 以内の精度を有することがわかった．

1. はじめに

1.1 地磁気とは

地球は，磁石としての性質をもち，地球のつくる磁場を地磁気という．地磁気は，その大部分が地球内部に起因するもの（主磁場）であり，強度的にはわずかではあるが，地球外部の太陽活動などに起因するもの（変化磁場）がある．地球磁場は一定のものではなく，時間とともに常時変化をしているため，その空間分布自体も変化している．つまり，磁場は時間と場所の両方に依存して変化している．変動の周期は，数秒の短いものから，数百年という長いものまである．比較的周期が長いものは地磁気の永年変化と呼ばれている．地磁気は，固体地球科学が取り扱う対象の中では，ひときわ時間変化が多様なものである．

地磁気は，方向と大きさを持つベクトル量で表される（図-1）．水平面で磁場の方向と南北方向のなす角を偏角（D），水平面と磁場の方向のなす角を伏角（I），地球磁場の大きさを全磁力（F），水平面上の磁場の大きさを水平分力（H），そして鉛直面上の磁場の大きさを鉛直分力（Z）と呼ぶ．単位は，方向を度（°）または分（′），大きさをナノテスラ（nT）で表示する．

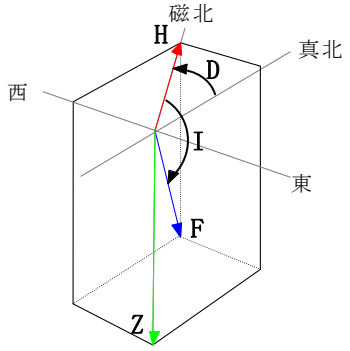

図-1　地磁気の成分

1.2 磁気図とは

国土地理院が作成する磁気図は，地上での実測値に基づき，全国的な地磁気の詳細な分布を表現したものである．地球全域の磁場分布は IGRF（International Geomagnetic Reference Field）に代表される全地球モデルが利用できるが，日本域のような狭い範囲で詳細な磁場分布を表現するためには不十分である．日本では，地上における密度の高い観測が行われており，独自に磁場分布を作成することが望ましい．磁気図は，観測所，基準・一等・二等磁気点の約 1,000 点の観測データを使用して作成されており，IGRF 等では表現できない詳細な磁場分布（地磁気異常）を表すことができる．特に，磁場成分のひとつである偏角は，地理空間情報と方位磁針を結びつけるために不可欠な情報であり，最近では，地磁気センサーの進化により，スマートフォンの電子コンパス・地図アプリに利用されるなど，様々な分野での活用が期待される．その他，物理探査，地

現所属：[1]関東地方測量部

殻活動，地磁気永年変化，磁気嵐等の研究にも活用されている．

国土地理院では，これまでに，1955.0 年値（偏角，伏角，水平分力），1965.0 年値（偏角）を作成し，2 回（一部地域は 3 回）にわたる二等磁気測量の全国改測の結果をまとめた．1970.0 年値以降は，その値を元に 10 年ごとに磁気図を更新してきた．1970.0 年値以降の磁気図は，全磁力，偏角，伏角，水平分力，鉛直分力の 5 成分を 1 セットとし，2000.0 年値以降は，偏角を全国の地形図に対応した値を表示した「磁気偏角一覧図」も作成している．なお，「2010.0 年」は，2010 年 1 月 1 日 0 時（協定世界時）を示している．

2. 使用データ

2.1 観測所

国土地理院の鹿野山測地観測所（1956 年～），水沢測地観測所（1969 年～）の観測データを使用した．これらの観測所では，フラックスゲート三軸磁力計による変化観測並びにオーバーハウザー磁力計及びプロトン磁力計を使用した全磁力観測の連続観測を実施している．また，基線値を決定するため，月に 1～4 回の絶対観測を実施している．後述する 2010.0 年値計算の一連の過程では，これらの連続データから求めた年平均値を扱っている．年平均値とすることで，季節変化の影響を抑えることができる．

国土地理院の観測所の他に，気象庁地磁気観測所の 3 つの観測所（柿岡，鹿屋，女満別）と父島観測点，海上保安庁の八丈水路観測所（2008 年度廃止）のデータも使用している．

2.2 基準磁気点（地球電磁気連続観測装置）

基準磁気点（地球電磁気連続観測装置：1996 年～）は，全国 11 箇所に設置されている無人施設である（田辺，1997）．観測所と同様に，フラックスゲート三軸磁力計による変化観測とプロトン磁力計による全磁力観測を行っており，年に 1 回（沖縄のみ 2 年に 1 回）の絶対観測を実施している．

2.3 一等磁気測量

一等磁気測量は，地磁気の永年変化の地理分布を求めることを目的として 1949 年に開始され，それ以降，全国に約 100 点設置された一等磁気点の改測を定期的に実施している．現在では DI メーターによる絶対観測，フラックスゲート三軸磁力計による変化観測及びプロトン磁力計を使用した全磁力観測を実施している．観測結果としては，観測日の日平均値が求められる．この観測値は，任意の観測日のデータであるため，気象庁地磁気観測所（柿岡）でのデータをもとに年平均値に補正（C1 補正）する．最大でも 6 ヶ月の補正なので，空間的な永年変化の差は考慮していない．

2010.0 年値計算では，2004 年以降に改測されている 27 点（以下，「一等磁気点（繰り返し）」という．）とそれ以外の点（以下，「一等磁気点（その他）」という．）で，データの取り扱いを区別している．

2.4 二等磁気測量

二等磁気測量は，地磁気の詳細な地理的分布を明らかにすることを目的として 1952 年から開始され，1968 年までに全国約 850 点の二等磁気点で実施された．しかしながら，1968 年以降二等磁気点の改測は行われていない．磁気図では，近似的に地域的な地磁気異常分布に変化はないという仮定の下で，二等磁気測量の結果を使用している．

2.5 1970.0 年値

上述の通り，二等磁気測量は 1968 年以降実施されていないため，その結果が統一的にまとめられている最後の成果は 1970.0 年値である．それ以降の磁気図は，1970.0 年値をベースとし，その後の観測所や一等磁気測量等の観測結果から求められた変化量を積算することで作成してきた．2010.0 年値でも例外ではなく，1970.0 年値をベースとなるデータとして使用している．

1970.0 年値では，任意の観測日の観測値を基準日に引き戻すために，気象庁地磁気観測所（柿岡）での時間変化と観測点での時間変化が同じとの想定で行う C1 補正に加えて，引き戻す期間における気象庁地磁気観測所（柿岡）と観測点との永年変化の差も考慮に入れた C2 補正が施されている（Geographical Survey Institute, 1973）．

2.6 データの取り扱い

上述のデータは，その品質，連続性，データの蓄積量等の特徴により，磁気図作成上の取り扱いを分類 I から IV に分けている．表-1 に分類毎の各データの取り扱いを，図-2 に観測点の配点図を示す．詳細については，第 3 章以降を参照されたい．

3. 磁気図の作成

3.1 作成手法の比較

磁気図 2000.0 年値（白井ほか, 2002）以前と 2010.0 年値の作成手法には大きな違いがある．その比較を表-2 に示す．

2000.0 年値以前は，一等磁気測量の成果から推定される 10 年間の変化量を 1970.0 年値から 10 年ごとに積算する手法をとっていたが，磁気図 2010.0 年値では，新たに開発した「地磁気時空間モデル」を使用し，1970.0 年値を基準とした任意の年単位で変化

表-1　2010.0 年値計算に用いたデータ

分類	種類	点数	使用データ	備考
Ⅰ	観測所（国土地理院）	2	1969～2010	年平均値
	観測所（気象庁）	3	1969～2010	年平均値
Ⅱ	一等磁気点（繰り返し）	27	1969～2010	観測日平均値
	父島観測点（気象庁）	※	1973～2010	年平均値
	一等磁気点「父島」		1971～1976	
	基準磁気点「沖縄」	※	1999～2010	年平均値
	一等磁気点「沖縄」		1973～2002	
	八丈水路観測所（海上保安庁）	※	1981～2008	年平均値
	一等磁気点「八丈島」		1973～1977	
Ⅲ	一等磁気点（繰り返し）	27	1970.0 年値	
	一等磁気点（その他）	69	1970.0 年値	内 4 点は 1970 年以降の観測値から推定
	父島，沖縄，八丈島	3	1970.0 年値	1970 年以降の観測値から推定
	二等磁気点	784	1970.0 年値	
Ⅳ	観測所（国土地理院）	2	2009～2010	
	観測所（気象庁）	3	2009～2010	
	基準磁気点	10	2009～2010	

※父島，沖縄，八丈島にある連続観測をしている点と一等磁気点（以下，それぞれ「父島」，「沖縄」「八丈島」という.）が至近のため，地点差を考慮した上で，同一点のデータとして扱い，長期間化している.

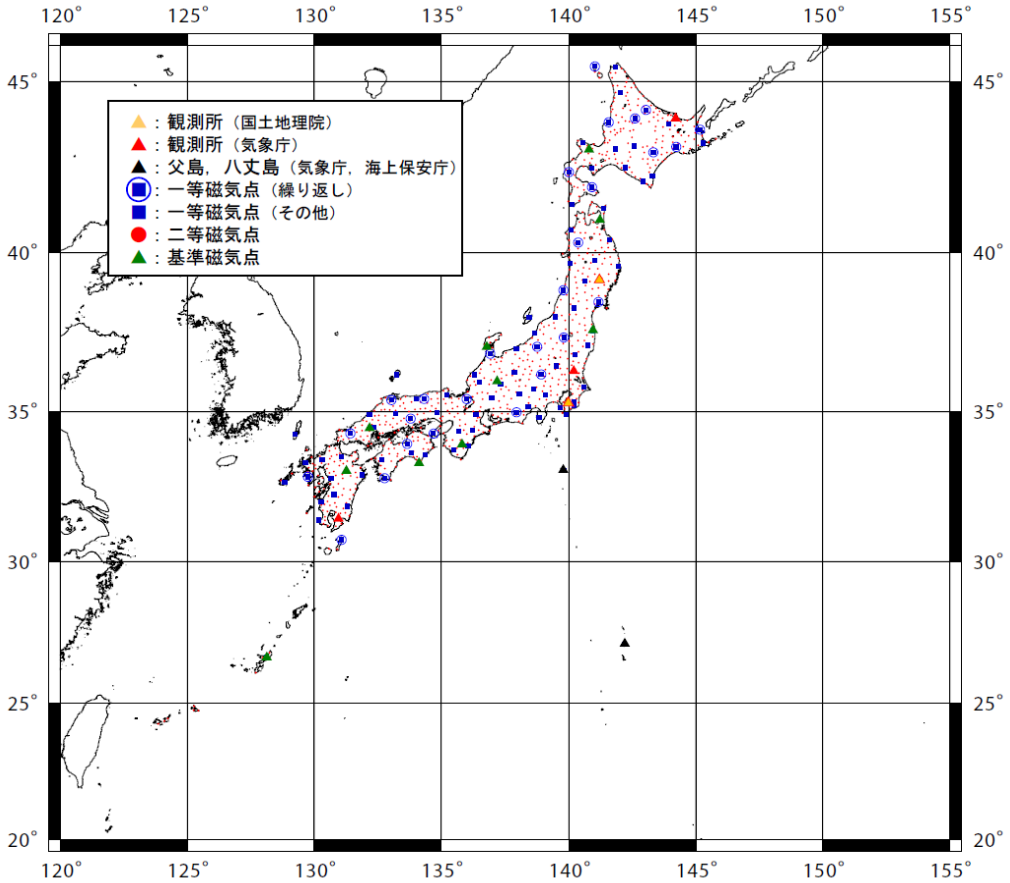

図-2　2010.0 年値計算に使用した観測点の配点図

表-2 磁気図作成手法の比較

	2000.0 年値以前	2010.0 年値
基準となる成果	1970.0 年値（一等磁気点，二等磁気点，観測所データ）	
根幹となるデータ	・国土地理院 一等磁気点（繰り返し），観測所 ・気象庁地磁気観測所 柿岡，鹿屋，女満別	・国土地理院 一等磁気点（繰り返し），観測所 ・気象庁地磁気観測所 柿岡，鹿屋，女満別，父島観測点 ・海上保安庁：八丈水路観測所
変化量推定方法	10 年間の変化量から 緯度経度の二次多項式で推定	地磁気時空間モデル 空間関数は緯度経度の二次多項式で補間
推定間隔	10 年単位	任意の年単位
観測点のない地域 （海域，離島）	海上保安庁モデル	IGRF-11（全世界モデル）

量を計算する手法を採用した．

また，2000.0 年値以前は，海域については磁気図の対象外であった（海上保安庁モデルが作成されていた）ため，特段の処理はしていなかったが，2010.0 年値からは，1) 陸域・海域の磁場分布をシームレスに接続すること，2) 観測点から外挿になる沿岸・島嶼地域において，外挿による精度低下を軽減すること，3) 海域について海上保安庁では全地球モデルを採用したこと，から，IGRF-11（IAGA，2010）のデータを海域に使用した．

3.2 地磁気時空間モデル

地磁気時空間モデルは，磁場時空間分布を高時間分解能かつ高精度に表現するための地域磁場モデルであり，これまでに日本周辺でのモデル構築が検討されてきた（藤原ほか，1998，宇津木ほか，2003）．磁場変化は，時間と空間に依存するが，自然直交基底法（Natural Orthogonal Components method）という数学的な手法を用いることで，磁場変化を時間依存項と空間依存項に分離し，両者を独立に扱うことが可能となる．本モデルでは，自然直交基底法により複数の観測点における地磁気の変化を「時間的変化の共通パターン」と「その重量（離散的な空間関数）」に分け，離散的な空間関数を空間的に補間することにより，任意の地点における変化量を求めるというものである．

3.2.1 時間的変化の共通パターン

地磁気の主磁場は，地球内部に起因するものであるから，その変化は，日本列島程度のスケールでは，観測点により全くバラバラなものではなく，似たような挙動を示す．この各点の共通の変化を複数の変化のパターンの重ね合わせで表現しようとするのが自然直交基底法を用いた解析（以下，「NOC 解析」という．）である．

この共通の変化のパターンを抽出するために，連続的で良質な観測を行っている観測所のデータ（表-1 の「第 I 群」，以下同様に示す．）を使用し，NOC 解析を行う．これにより，地磁気の変化は時間関数 T（時間的変化の共通パターン）と空間関数 X（時間関数にかかる重量）に分解される．つまり，ある点の地磁気時系列データ H は，

$$H = \sum_{k=1}^{N} X_k \cdot T_k \quad \cdot\cdot\cdot (1)$$

でモデル化され，時間関数（T_1～T_N）と空間関数（X_1～X_N）のそれぞれの積の和で表現することができる．図-3 に観測所のデータから抽出した時間関数を示す．T_k のインデックス”k”（次数）は相関の度合いに応じて時間関数を並べ替えたときの順序を表し，最も相関が高い変化傾向から第一主成分（T_1），第二主成分（T_2），…と呼ぶ．k が大きい時間関数の寄与は非常に小さいため，3～4 程度に留めるのが一般的であり，本解析でも 4 次までの時間関数を使用した．

以上は NOC 解析を利用して変化パターンを抽出することについて述べたが，逆に，時間関数と空間関数が求められている場合，NOC 解析を使用して，連続データを復元することができる．

3.2.2 空間関数の補間

NOC 解析で抽出された空間関数（X_k）は，場所に依存するものである．NOC 解析を複数の地点で行うと離散的な空間関数の分布が得られる．ここで，ある地点と近い場所の地点の地磁気変化は似ているので，空間関数（X_k）も空間的に連続的に変化するはずである．すなわち，空間関数（X_k）は座標 P の連続的な関数とみなせる．

$$H = \sum_{k=1}^{N} X_k(P) \cdot T_k \quad \cdot\cdot\cdot (2)$$

X_k (P)について，数学的な関数でモデル化できれば，任意の地点における空間関数 (X_k) を計算でき，その地点の地磁気の変化を求めることができる．空間関数（X_k）の空間分布を表現する関数として，経緯度の高次多項式と球キャップ調和解析を検討した．その結果，経緯度の二次多項式が実測値によく整合し，かつ計算も容易であることから，経緯度の二次多項式を採用した（石倉ほか，2010）．経緯度の二次多項式は(3)式で表され，S，A，B，C，D，E の係数は，最小二乗的に決定した．k は NOC 解析の主成分の次数を表す．

$$X_k(P) = S_k + A_k\Delta\phi + B_k\Delta\lambda + C_k(\Delta\phi)^2 + D_k\Delta\phi\Delta\lambda + E_k(\Delta\lambda)^2 \quad \cdots (3)$$

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

以上の計算から得られた，観測所データから求めた時間関数と経緯度の二次多項式で補間された空間関数を用いて，任意の地点の変化量を計算することができる．

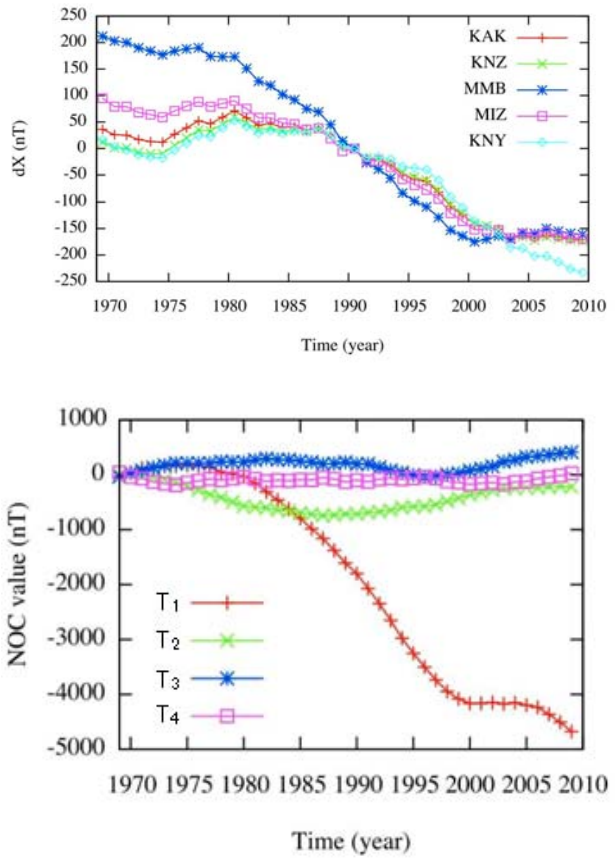

図-3　観測所データからの時間関数の抽出
上図：各観測所の時系列データ（X 成分）
下図：抽出された時間関数（共通の変化パターン）

3.3 2010.0 年値の計算

この項では，3.2 項で概説した地磁気時空間モデルを用いて，2010.0 年値を求める過程を詳細に述べる．その流れの概要を図-4 に示す．

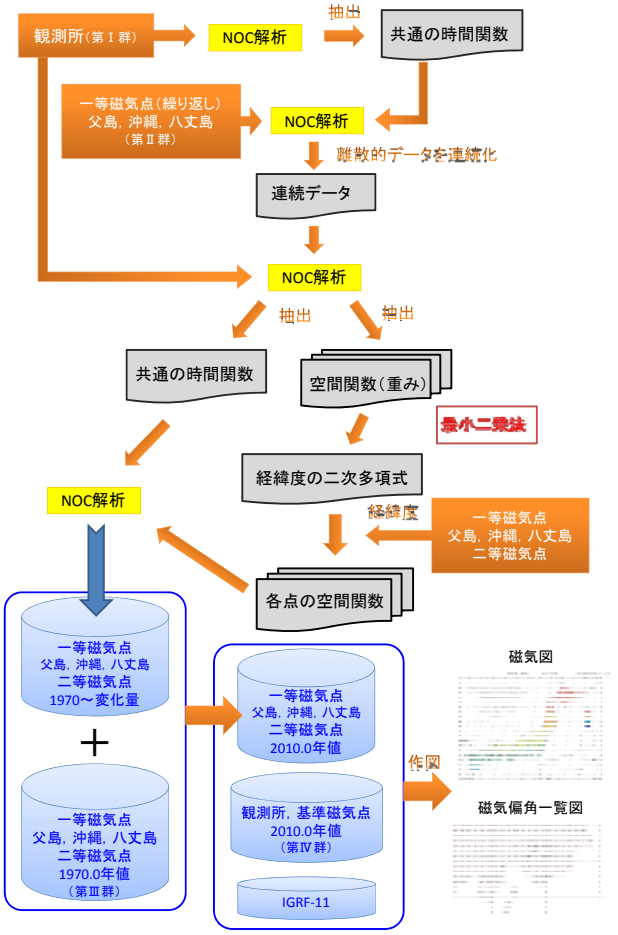

図-4　磁気図作成の流れ

3.3.1 一等磁気点（繰り返し）の連続化

観測所データ（第Ⅰ群）の NOC 解析により，全国共通の時間関数と離散的な空間関数が得られるが，空間関数を補間する経緯度の二次多項式を求めるには，点数が少ない．そこで，一等磁気点（繰り返し），父島，沖縄，八丈島のデータ（第Ⅱ群）を利用する．これらの観測点では毎年観測をしていないため時間的に不連続なデータであるが，第Ⅰ群のデータにより求めた時間関数と比較（重回帰分析）することで，観測点における空間関数を導出することができる．この空間関数と第Ⅰ群の時間関数を合成することで連続的なデータが推定される．ここで，4 次までの空間関数に対応する空間関数を求めるには，4 回以上の観測回数が必要である．また，直近の観測が新しいほど推定精度がよい（紀ほか，2006）．この方法で第Ⅱ群のデータを連続（毎年値）化した一例を図-5 に示す．

3.3.2 共通の時間関数と空間関数（経緯度の二次多項式）の導出

一等磁気点（繰り返し），父島，沖縄，八丈島のデータ（第Ⅱ群）（30 点）が連続化されたことにより，観測所のデータ（5 点）と共に 1970 年からの連続データを得ることができた．ここで，これら 35 点の連続データについて，再度 NOC 解析を行い全国共通の時間関数と 35 点分の空間関数を導出した．この 35 点分の空間関数を入力値として 3.2.2 項で述べた経緯度の二次多項式の係数を求めた．この補間式により，任意の地点の空間関数を計算することが可能となり，さらに全国共通の時間関数を用いることで任意の地点での磁場変化量を得ることができる．

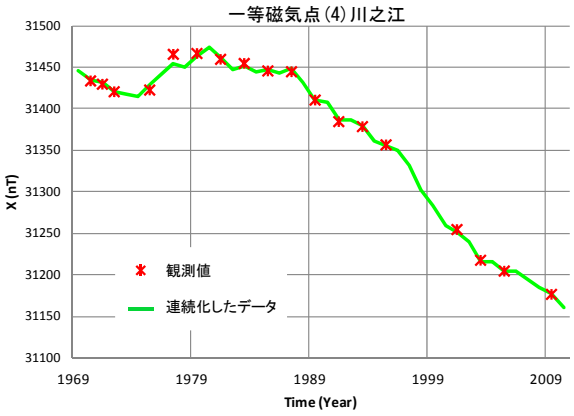

図-5　一等磁気点（繰り返し）観測データの連続化

3.3.3 一等磁気点と二等磁気点の変化量と 2010.0 年値算出

これまでに得られた全国共通の時間関数と空間関数（経緯度の二次多項式）に，一等磁気点（繰り返し），父島，沖縄，八丈島，一等磁気点（その他），及び二等磁気点の緯度・経度を入力し，NOC 解析を行うことで，連続データを得られる．ここで注意すべきは，得られた連続データは，絶対値ではなく，時系列の相対値（変化量）である．

次に，各点の 1970.0 年値（第Ⅲ群）に各点で得られた変化量を加えることで，各点の 2010.0 年値が算出される．

3.3.4 観測所と基準磁気点の 2010.0 年値算出

観測所と基準磁気点に関しては，2009 年～2010 年の実測値（第Ⅳ群）があるので，これら 2 年間のデータを平均することで，2010.0 年値を算出した．

3.3.5 海域・離島の 2010.0 年値算出

海域と離島に関しては，IGRF-11（IAGA，2010）のデータを使用して 2010.0 年値を計算した．2010.0 年値を求めた場所は，緯度経度 2°間隔のグリッド状で，図-6 に示すとおりである．

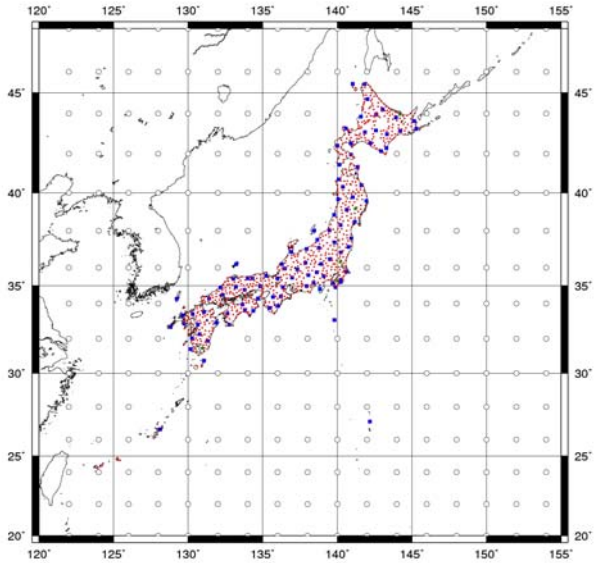

図-6　磁気図作図に用いた 2010.0 年値
（○：IGRF-11）

3.4 磁気図，磁気偏角一覧図の作図

磁気図は，3.3 項で求められた一等磁気点，二等磁気点，基準磁気点，観測所，及び海域・離島の 2010.0 年値（図-6）を用いて，成分ごとに等値線を描き作成した．作図には，The Generic Mapping Tools（GMT）を使用した．大きな磁気異常がある点は，点周囲で孤立した目玉状のコンターが現れるが，隣接する磁気点の値と照らし合わせて，明らかに不整合と思われる磁気点については削除した．作成した「磁気図（偏角）2010.0 年値」を図-10 に，「磁気図（全磁力）2010.0 年値」を図-11 に示す．コンターは，偏角・伏角が 10′毎に，全磁力・水平分力・鉛直分力が 100nT 毎の間隔で描いている．

2010.0 年磁気偏角一覧図に表示されている偏角値は，磁気図 2010.0 年値（偏角）の作図時のグリッドデータから各 2 万 5 千分 1 地形図の図郭の中心部の値を計算している．なお，北方四島の一部は 2 万 5 千分 1 地形図が未刊行のため，5 万分 1 地形図の図郭を用いている．

3.5 標準磁場分布式の計算

日本周辺域の磁場分布を大局的に，緯度・経度の二次多項式で表されるものとして，3.3 項で算出した基準磁気点と一等磁気点全点の 2010.0 年値と，その点の緯度・経度を用いて標準磁場分布式を求めた（表-3）．各係数は，最小二乗法により求めた．

ここで，M は日本のほぼ中心の 37 °N・138 °E の位置における地磁気各成分の 2010.0 年値を表す．ϕ・λ は緯度・経度を度単位で表示している．

表-3　標準磁場分布式（2010.0 年値）

$$F_{2010.0} = M + A\Delta\phi + B\Delta\lambda + C(\Delta\phi)^2 + D\Delta\phi\Delta\lambda + E(\Delta\lambda)^2$$ ※全磁力（F）の例

$\Delta\phi = \phi - 37°$,　$\Delta\lambda = \lambda - 138°$

	M	A	B	C	D	E
D	7°40.858′	19.003	-6.265	+0.009	+0.024	-0.591
I	51°13.230′	73.505	-8.210	-0.981	-0.496	0.655
H	29790.880 nT	-429.493	-86.162	-6.112	9.927	-5.389
Z	37056.760 nT	1067.432	-275.374	-10.225	-9.609	9.642
F	47532.820 nT	550.510	-262.498	-1.341	-1.913	3.796

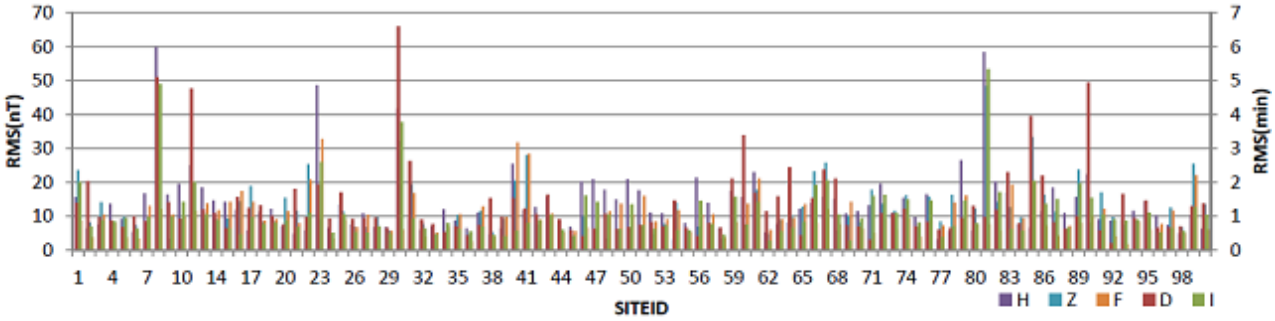

図-7　各一等磁気点の RMS（1970 年以降の全観測が対象）

4. 精度評価

4.1 内部評価

一等磁気点と二等磁気点の2010.0年値の計算には，NOC 解析で連続化されたモデル値を使用した．一等磁気点に関しては，1970 年以降，複数の実測値があるため，モデル値と実測値の精度を評価することができる（阿部ほか，2011）．各点における 1970 年以降の全観測に対する，実測値（X^{Obs}）とモデル値（X^{Model}）との差の RMS（式は以下の通り）を計算した結果を図-7 に示す．各点での実測回数は，4～19 である．

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N}\left(X_i^{Obs} - X_i^{Model}\right)^2}{N_{1970-2010}}}$$

大部分の点の RMS は，偏角と伏角で 3′，その他の成分で 20nT 以内であるが，一部の点で RMS が突出しているものがある．これは，モデル値と実測値の差が大きい原因を特定することができなかったため，データの取捨等の処理を行わなかった点である．一例を図-8 に示す．1989 年及び 1994 年の実測値に，モデル値から推測される毎年値とのギャップが生じている．一方で，空間補間に二次多項式を用いたが，地域的な RMS の差が見られない．RMS が大きくなる主因は個々の観測点の事情であることがわかる．

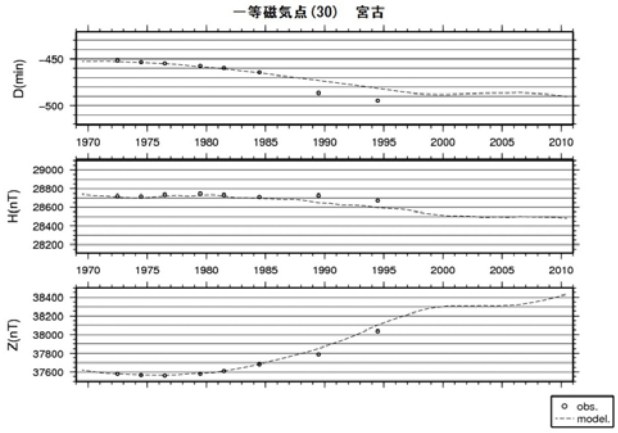

図-8　RMS の大きい一等磁気点の例
○：実測値　破線：モデル値

表-4 には，図-7 で示した一等磁気点毎に計算した RMS の最大値及び一等磁気点全点を対象とした RMS を示す．全一等磁気点の平均値は偏角・伏角で 1.6′以下，全磁力・水平分力・鉛直分力で 16nT 以下である．このように，大部分の一等磁気点の RMS は，コンター間隔（偏角・伏角：10′，全磁力・水平

分力・鉛直分力：100nT）の半分以下であった．

一方，二等磁気点については，1970 年以降繰り返し観測が実施されていないため，モデル値との比較ができない．1970.0 年値における二等磁気点の確度は，再測量した二等磁気点の化成値の比較から，偏角・伏角で 1′，全磁力・水平分力・鉛直分力で 10nT と推定されている（Geographical Survey Institute, 1973）．二等磁気点の 2010.0 年値は，1970.0 年値に，1970 年以降のモデルで推定された変化量を足しあわせて計算されている．モデルで推定される変化量は，上述の一等磁気点の検証と同等の誤差が考えられる．誤差伝搬の式から，二等磁気点の 2010.0 年値の確度は，偏角・伏角で 1.9′，全磁力・水平分力・鉛直分力で 19nT と推定される．

なお，長崎半島の先端に位置する二等磁気点（616）脇岬で 2008 年に精度評価のための再測量したところ，全磁力の 2010.0 年値との差は 0.3nT であり，上述の結果を裏付けるものであった．

4.2 外部評価

磁気図に使用していないデータと磁気図 2010.0 年度から読み取れるデータを比較することにより，気象庁以外の機関による地磁気観測は，全磁力観測のみのものや変化観測のみで絶対値がないものがほと

表-4　一等磁気点全点の RMS と各点毎の RMS の最大値（1970 年以降）

	D	I	H	Z	F
全点	1.59′	1.26′	15.7nT	13.4nT	11.2nT
各点毎の最大値	6.60′	5.34′	59.9nT	48.5nT	32.9nT

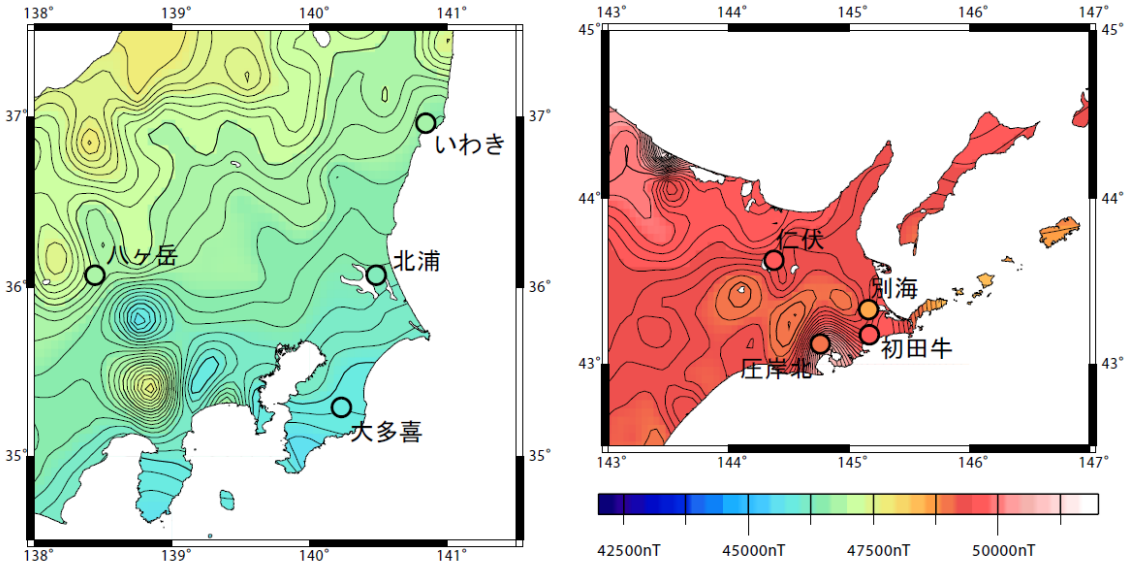

図-9　外部データの配点と磁気図との比較　（全磁力）
外部データの実測値を背景の磁気図と同じカラースケールで表している．

表-5　外部データと磁気図との比較　（全磁力）　単位：nT

観測点名	機関名	観測期間	実測値（C1 補正済）	磁気図（2010.0 年値）	差
いわき	気象庁	連続	46682	46672	10
北浦		連続	46348	46361	-13
八ヶ岳	東京大学	連続	46718	46961	-243
大多喜	国土地理院	連続	45960	45913	47
仁伏	北海道大学	2010/10/21	49678	49367	311
別海		2010/10/20	48573	49361	-788
初田牛		2010/10/20	49747	49576	171
圧岸北		2010/10/19	49105	50452	-1347

んどで，外部評価用データとして使えるものは少ない．そのような中でも比較できそうな全磁力に絞って検討した．図-9 に，使用した観測点の全磁力を磁気図のカラースケールにあわせて示す．また，表-5 に，その数値を示す．なお，連続観測されていない点については，気象庁地磁気観測所（柿岡）を基準に 2010.0 年値に化成（C1 補正）している．

データの信頼性の高い連続観測点のうち 3 点で磁気図のコンター間隔（100nT）以下の差であった．これらの地域については，よく再現されているといえる．一方で，八ヶ岳では大きな差となった．観測点周辺は火山地帯であり，一般的に磁気勾配が比較的大きい場所と考えられる．磁気点分布よりも細かな空間変化が存在しているため，差が大きくなったと考えられる．同じことは，道東の観測データにもいえる．これらのデータは連続データではないため信頼性は低下するが，それに起因する差以上に大きな差が見られた．同地区は磁気異常地帯として知られており，磁気勾配の大きさに対して，一等・二等磁気点の配点密度が粗いことが差の原因と考えられる．

以上の内部評価と外部評価の結果から，磁気図の精度としては，一部の磁気異常地帯を除いてコンター間隔（偏角・伏角：10′，全磁力・水平分力・鉛直分力：100nT）以内であり，磁気点上では，その半分以下であると推定できる．

5. まとめ

磁気図 2010.0 年値を作成した．今回から新たに開発した「地磁気時空間モデル」を用いて 2010.0 年値を計算した．本モデルでは，NOC 解析を採用し，良質な連続観測データから時間関数を導出するとともに，離散的な空間関数を空間的に補間することにより，任意の地点における変化量を求めることが可能となった．その特性を考慮し，計算の段階に応じて，データをいくつかのグループに分けて使用した．一等磁気点におけるモデル値と実測値の差は，個々の観測点の事情から一部の点で RMS が大きいものがあったが，全体としては，磁気図のコンター間隔の半分以下であった．本モデルを使用することにより，任意の年の磁場成分を推定することができるようになったことから，今後は磁気図の更新間隔を全世界モデルにあわせて 5 年に短縮する予定である．

謝　辞

磁気図の作成には，継続的な観測データが必要であり，これまで地磁気測量に従事されてきたすべての方々に感謝いたします．また，気象庁地磁気観測所，海上保安庁，東京大学地震研究所及び北海道大学の地磁気データを使用しました．ここに記して関係者に深く感謝いたします．

NOC 解析には，京都大学大学院理学研究科の宇津木氏作成のプログラムを使用するとともに，貴重な助言を頂きました．また，京都大学防災研究所の山崎氏には，地磁気時空間モデル構築に関して貴重な助言を頂きました．ここに記して深く感謝いたします．

参 考 文 献

白井宏樹，錦輝明，佐藤秀幸，宇津木充，仲井博之，森田美好，門脇俊弘，湯津堂亨（2002）：磁気図 2000.0 年値の作成，国土地理院時報，99，1-8.

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 No.87，4-12.

Geographical Survey Institute (1973) : Magnetic Charts for the Epoch 1970.0, Bulletin GSI, 19, 1, 131-137.

International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Working Group V-MOD (2010) : International Geomagnetic Reference Field: the eleven generation, Geophys. J. Int., 183, 1216-1230.

藤原智，田辺正，西修二郎，松坂茂，V. P. ゴロブコフ，S. V. フィリポフ（1998）：日本及び極東地域における地磁気変化モデルの作成，国土地理院時報，89，12-17.

宇津木充，白井宏樹，渡辺政幸，紀小麗，何金蘭，錦輝明，濱崎英夫，藤原智（2003）：日本及びその周辺における磁場経年変化の Regional Model，国土地理院時報 No.102，11-19.

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.

紀小麗，白井宏樹，鈴木啓，何金蘭，濱崎英夫（2006）：自然直交基底法を用いた一等磁気点の化成，国土地理院時報，110，27-32.

阿部聡，植田勲，高橋信雄，川原敏雄，田上節雄，石倉信広（2011）：磁気図 2010.0 年値の作成，Conductivity Anomaly 研究会 2011 年論文集，75-79.

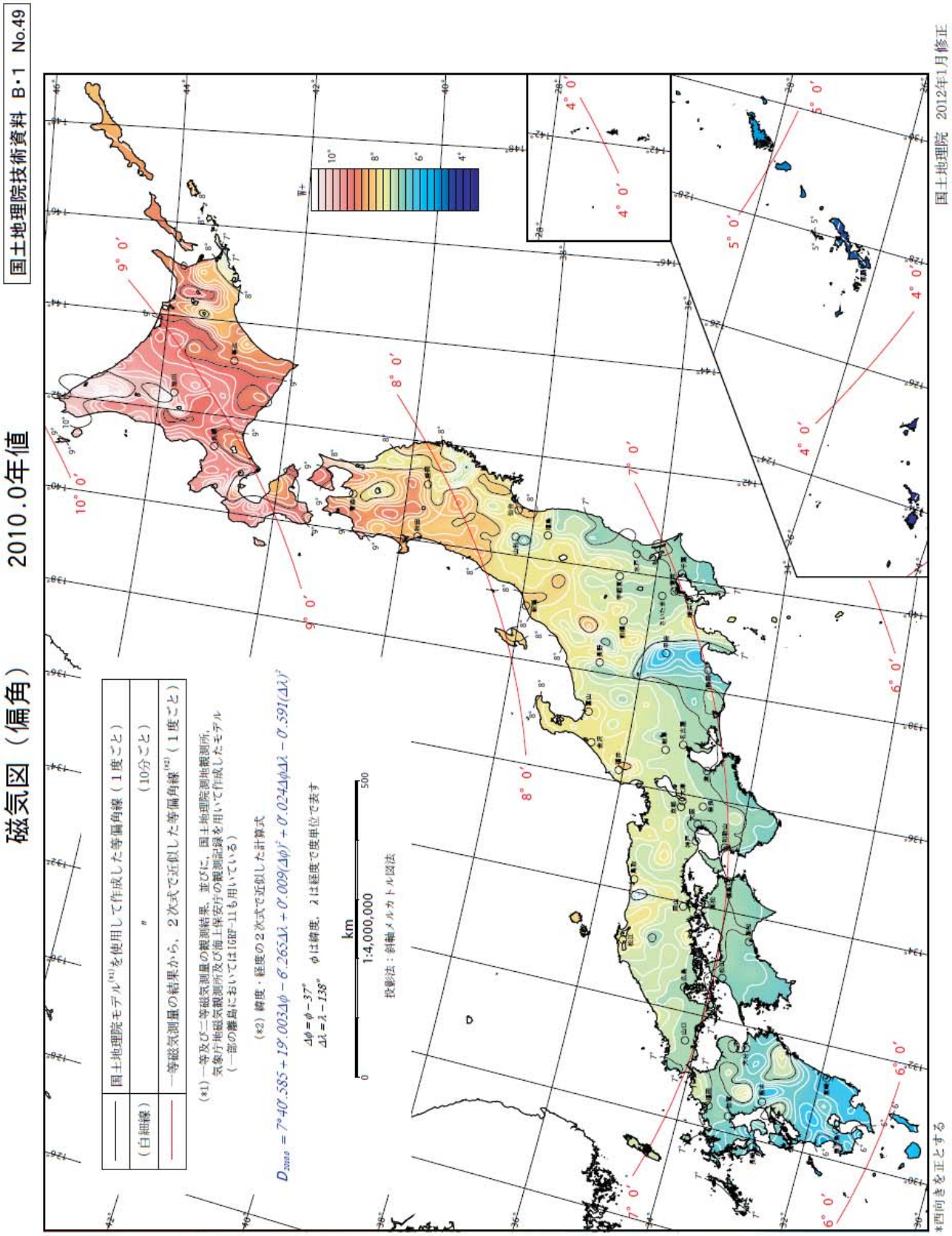

図-10　磁気図（偏角）2010.0 年値　（約 50%に縮小）

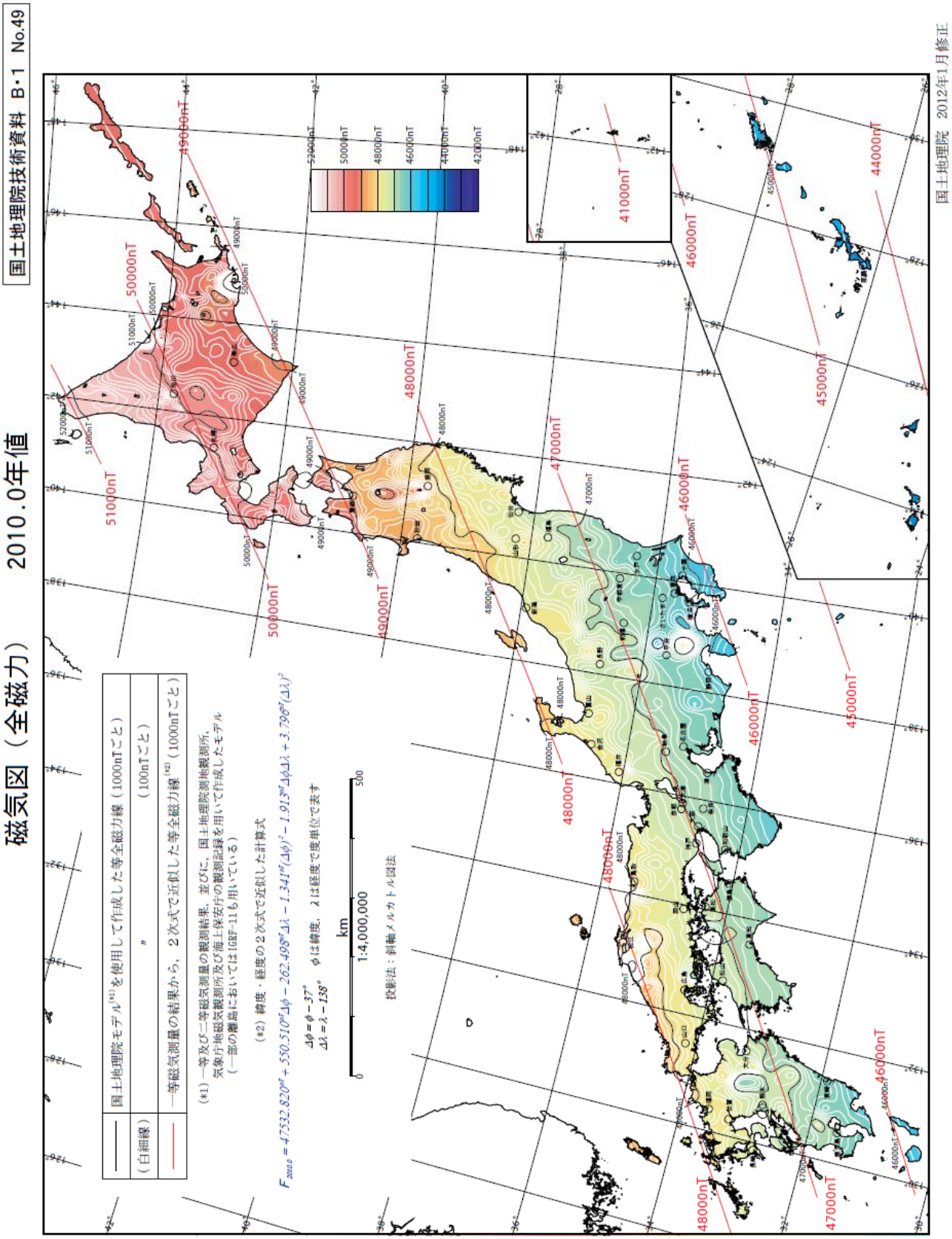

図-11　磁気図（全磁力）2010.0 年値　（約 50%に縮小）