# 10 万分の 1 相模湾沿岸域空中磁気図（全磁力異常）説明書

Explanatory Notes of
1:100,000 Aeromagnetic Map of the Coastal Zone of Sagami Bay
(Total Magnetic Intensity)

大熊茂雄 [1]・中塚　正 [1]・宮川歩夢 [1]・木下佐和子 [1]・上田　匠 [2]・岩田光義 [3]
OKUMA Shigeo[1], NAKATSUKA Tadashi[1], MIYAKAWA Ayumu[1], KINOSHITA Sawako[1],
UEDA Takumi[2] and IWATA Mitsuyoshi[3]

**Abstract:** An aeromagnetic map of the coastal zone of Sagami Bay (total magnetic intensity, 1:100,000) has been compiled for the whole compilation of the Digital Geoscience Map of the area. The total magnetic intensity anomalies on a smoothed surface 1,500 m above terrain have been extracted from the aeromagnetic anomaly database for the compilation area. The reduced to the pole anomalies have been also calculated from the total magnetic intensity anomalies on the surface and compared to the geology (Ozaki *et al*., 2021) of the area.

The magnetic anomaly pattern is totally different between the western and eastern parts of the area: Magnetic highs are dominant in the west while magnetic lows with low amplitudes are obvious in the east. This characteristic reflects the geologic difference of the study area: the Izu-arc collision zone in the west and Miocene-Pliocene accretionary prisms in the Miura Peninsula and its surrounding areas.

High-resolution aeromagnetic surveys have been also conducted to better understand the subsurface structures of the northern and eastern Sagami Bay areas in 2014 and 2016, respectively. Total magnetic intensity anomalies were reduced onto a smoothed observation surface. In the coastal area of the northern Sagami Bay, a continuation of magnetic highs lies along the western edge of the Oiso Hill and its southeastern offshore and was treated as an evidence of the offshore continuation of the Kozu-Matsuda Fault. Whereas in the coastal area of the eastern Sagami Bay, three magnetic boundaries range from the Miura Peninsula to its western offshore areas, implying the extensions of the Kinugasa and Takeyama faults to Enoshima Island.

**Keywords:** magnetic survey, magnetic anomaly, Kozu-Matsuda Fault, Kinugasa Fault, Takaeyama Fault, Sagami Bay, Sagami Trough, Izu Peninsula, Miura Peninsula

## 要　旨

相模湾沿岸域の空中磁気異常図（全磁力異常，10 万分の 1）は，当該地域の数値地質図の全般的編集のために作成された．対地高度 1,500 m の平滑化された面上の全磁力異常が，編集エリアに合わせて空中磁気異常データベースから抽出された．極磁力異常は，全磁力異常から計算され，その地域の地質構造（尾崎ほか，2021）と比較された．

磁気異常パターンは，この地域の西部と東部でまったく異なり，調査地域の地質の違いが反映されている．西部は伊豆弧衝突帯になっていて，東部は三浦半島とその周辺地域の中新世－鮮新世の付加体となっている．

2014 年と 2016 年に相模湾北部と東部の地下構造をよりよく理解するために，高解像度の空中磁気調査も実施された．観測データから平滑化された観測面上での全磁力異常が計算により求められた．相模湾北部の沿岸地域では，大磯丘陵の西端とその南東沖に沿って高磁気異常が続き，神津松田断層の沖合の延長を示している．一方，相模湾東部の沿岸地域では，三浦半島から西方沖合にかけて 3 つの磁気境界が存在し，これは衣笠断層と武山断層が江ノ島に延びていることを示している．

## 1.　はじめに

本磁気図は，産業技術総合研究所の重点研究課題「沿岸域の地質・活断層調査－陸海接合の物理探査」にお

*Correspondence
1 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門（AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation）
2 早稲田大学（元産業技術総合研究所 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門）(Waseda Univ., previously AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute for Geo-Resources and Environment )
3 東京電力パワーグリッド（株）（元産業技術総合研究所 地質調査総合センター地質情報研究部門）(TEPCO Power Grid, Incorporated, previously AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

いて，海陸シームレス地質情報に関わる数値地質図整備の一環として，相模湾北部沿岸地域の空中磁気図として作成されたものである．

本磁気図は，様々な高度で得られている既存の空中磁気データを対地高度 1,500 m の面上での空中磁気データに変換したデータベース（中塚・大熊，2009）から図面作成範囲についてデータの切り出しを行い，図化したものである．空中磁気図に図化された磁気異常は，地下を構成する岩石の磁性や地下構造に対応して変化するため，逆に磁気異常から地下地質構造を推定することが可能である．

例えば，海陸シームレス地質情報集「駿河湾北部沿岸域」（大熊ほか，2014）では，全磁力異常を極磁力異常に変換した図を示した．これによって磁気異常と地質構造の対応付けが容易になり，陸域においては顕著な高磁気異常が富士火山等の第四紀火山に対応して分布することが示された．また，富士火山の南西方でも高磁気異常が分布し，付近に分布する古富士溶岩を含む岩屑なだれ堆積物との関係が示唆された．蒲原丘陵でも高磁気異常が分布し，付近に分布する新第三紀の岩淵火山岩類との関係が示唆された．伊豆半島では，半島西岸付け根の井田火山，達磨火山および内陸の天城火山の各火山岩の分布域で高磁気異常が分布する．一方，駿河湾では，水深が深いためか，一般的に顕著な磁気異常は認められず，低磁気異常が卓越する．活構造図（杉山ほか，2010；尾崎ほか，2016a）と磁気図との比較では，竜爪山地の東麓を通過する糸魚川－静岡構造線沿いに高磁気異常が分布し，付近に一部露出するドレライトや斑糲岩が断層沿いに伏在しこれらが磁気異常源となっていると考えられた．

また，新たに実施された高分解能空中磁気探査の結果，蒲原丘陵での磁気異常の分布パターンから付近に分布する岩淵安山岩類等が南部では正帯磁，北部では逆帯磁であることが推定され（Okuma and Nakatsuka, 2015），古地磁気測定結果（水野ほか，1992）とも整合的であることが分かっている．蒲原丘陵南東部の海岸線付近への高磁気異常の張り出しは，その東端が善福寺断層の推定位置に対応する．入山断層沿いとその西方に 2 列の南北方向の高磁気異常列が分布し，浜石岳層の伏在が示唆されている（Okuma and Nakatsuka, 2015）．

さて，本論では相模湾沿岸域における空中磁気図の作成過程について説明するとともに，作成された空中磁気図から読み取れる磁気異常の特徴について報告する．また，新たに高分解能空中磁気探査を「相模湾北部沿岸域」と「相模湾東部沿岸域」で実施したので，この 2 地域の高分解能空中磁気異常図の作成と磁気異常分布の特徴についても述べる．

なお本報告で用いる図面の作成には基本的に LibSoft3（中塚，2009）を使用し，解析には，AMsysSoft2（Nakatsuka，2009），IGRF5（中塚，2015），AMSS3（Nakatsuka and Okuma，2018）等の一連の公開ソフトウェアを使用していることを付記する．

## 2.　空中磁気データ

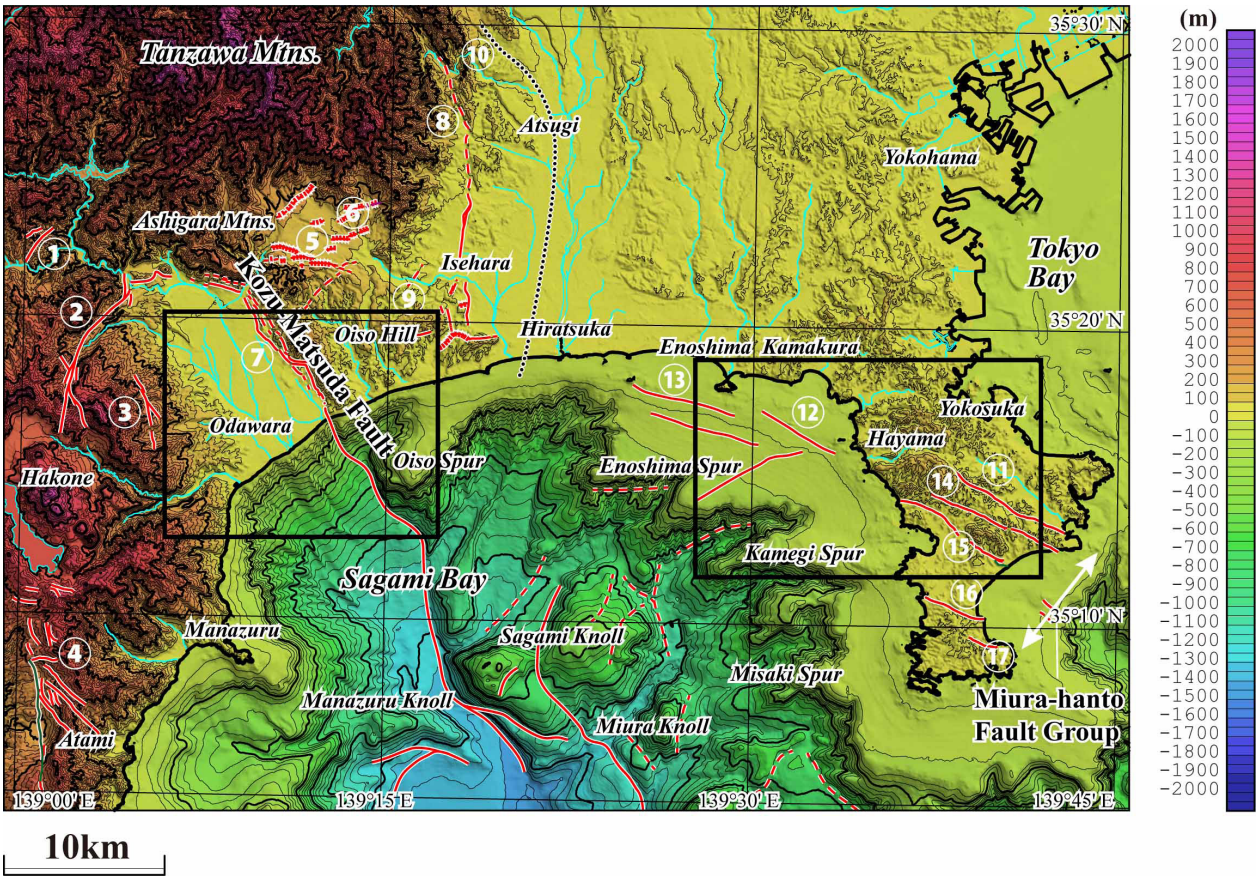
今回の空中磁気図作成には，対地高度 1,500 m の面上での空中磁気データ（中塚・大熊，2009）を使用している．これは，「日本空中磁気データベース」（地質調査総合センター，2005）に収録された磁気異常分布データを用いて，統一的に設定した滑らかな高度面での磁気異常分布を求める処理を行い，日本全国をカバーする緯経度メッシュ（0.1 分メッシュ）における磁気異常値分布データ計算したものである．

「日本空中磁気データベース」では，原調査の生に近いデータ（中塚・大熊，2005）が収録されているため，各調査の仕様の相違・特徴に対応して特性の若干異なるデータとなっており，接合磁気図においても飛行高度の相違などの影響が反映されてしまう．一方，中塚・大熊（2009）のデータでは，地下構造に対する特性がなるべく揃うように，平滑化した地形面から 1,500 m 上方の高度面を基準に選び，等価ソースを利用した上方接続操作に相当するデータ処理（Nakatsuka and Okuma, 2006a）を行っている．これにより，磁気図作成面高度の違いによる接合域での磁気異常分布のゆがみなどが除かれている．

## 3.　空中磁気図の作成

空中磁気図作成のため前述の対地高度 1,500 m の面上での広域空中磁気データ（中塚・大熊，2009）から，磁気図作成範囲のデータの抽出を行った．当該の空中磁気データは，緯経度 0.1 分毎のグリッドデータとなっているため，これを WGS84 系の UTM 座標値（ゾーン 54）に変換し，図面の作成範囲［139°00′E ～ 139°45′E, 35°04′N ～ 35°30′N］を含む若干広い範囲［X（南北方向）: 3,881 km ～ 3,931 km，Y（東西方向）: 317 km ～ 387 km］の南北 50 km，東西 70 km のデータを 250 m 間隔で切り出した．したがって，格子点数は，南北 201 点，東西 281 点である．切り出した範囲の地形図を第 1 図に，磁気異常の作成面高度を第 2 図に，全磁力異常を第 3 図に示す．

次に，磁気異常分布と磁気異常源との対応付けを容易にするために，全磁力異常から極磁力異常への変換を行った．極磁力異常とは，北磁極で観測した場合の磁気異常分布を示すもので，日本周辺の中緯度地方で




第 1 図　10 万分の 1 相模湾沿岸域空中磁気図作成範囲の地形図．
地形陰影を重ねた．地形陰影作成のために，50 メッシュ地形データ（国土地理院，1999）と海底地形デジタルデータ（日本海洋データセンター，2012）を使用した．コンター間隔：50 m．黒の太線で囲まれた矩形は，左側が相模湾北部沿岸域高分解能空中磁気探査の，右側が相模湾東部沿岸域高分解能空中磁気探査の実施範囲を示す．水色の実線は河川を示す．赤の実線：活断層，緑の実線：地震断層，黒の点線：伏在断層各分布（尾崎ほか（2021）の第 2 図）．丸印の数字は活断層と伏在断層（尾崎ほか，2021）を示す．①塩沢断層，②平山－松田北断層帯，③和留沢断層，④北伊豆活断層系，⑤渋沢断層，⑥秦野断層，⑦国府津－松田断層，⑧伊勢原断層，⑨鷹取山断層，⑩藤野木－愛川構造線，⑪衣笠断層帯，⑫逗子沖断層，⑬姥島沖断層，⑭北武断層帯，⑮武山断層帯，⑯南下浦断層，⑰引橋断層．

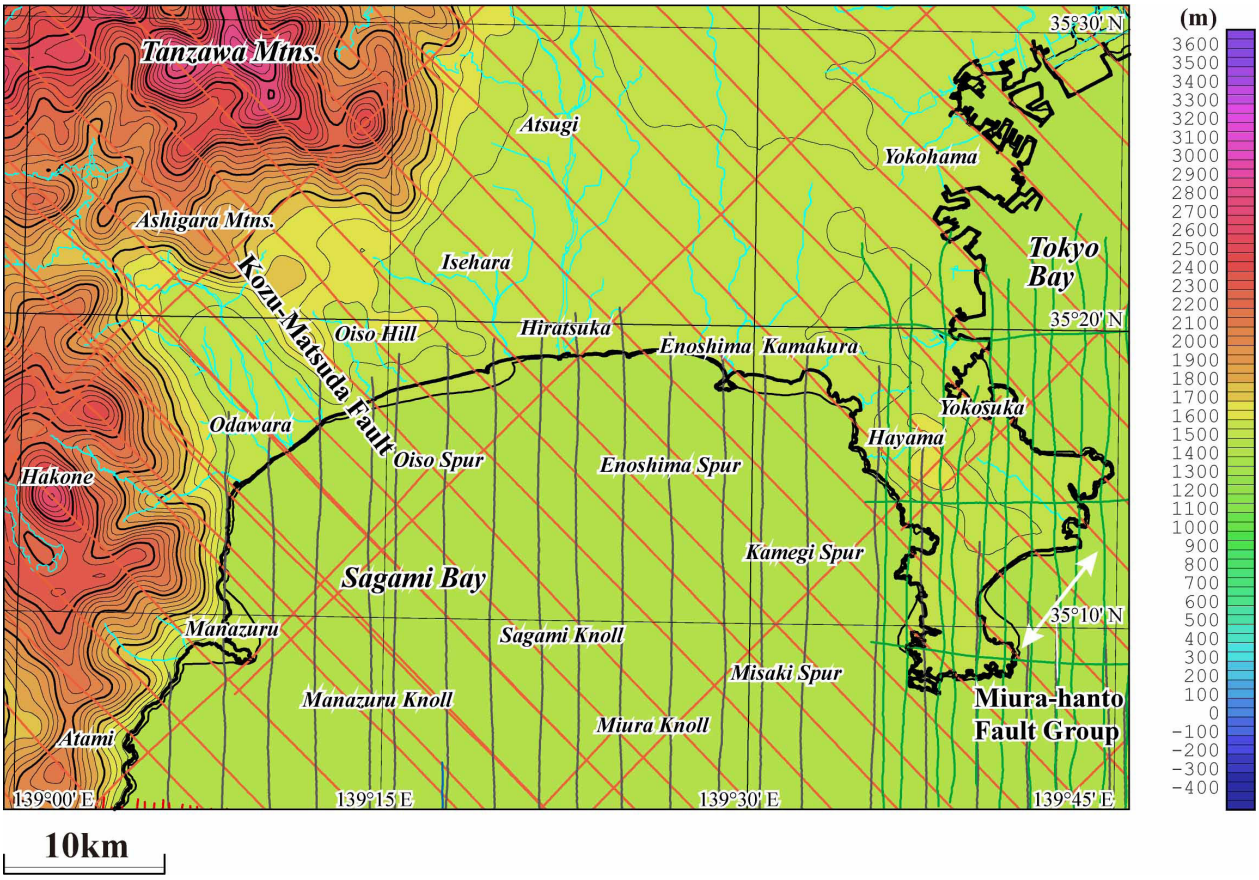
Fig. 1　Topographic map of the area for the 1:100,000 Aeromagnetic map of the coastal zone of Sagami Bay (Total Magnetic Intensity). Rectangles bounded by black thick lines indicate the high-resolution aeromagnetic survey areas in the northern (left) and eastern (right) Sagami Bay, respectively. Topographic shading was superimposed. DEM with 50 m mesh (Geospatial Information Authority of Japan, 1999) and digital bathymetric data (Japan Oceanographic Data Center, 2012) were employed for the topographic shading. Contour interval is 50 m. Light blue lines represent rivers. Red and green solid lines, and dotted lines denote active faults, earthquake faults and concealed faults (Fig. 2 of Ozaki *et al*., 2021), respectively.
Circled numbers show active faults and a concealed fault (Ozaki *et al*., 2021). 1: Shiozawa Fault, 2: Hirayama - North-Matsuda Faults, 3: Warusawa Fault, 4: Kita-Izu Faults, 5: Shibusawa Fault, 6: Hadano Fault, 7: Kozu-Matsuda Fault, 8: Isehara Fault, 9: Takatoriyama Fault, 10: Tonoki-Aikawa Tectonic Line, 11: Kinugasa Fault, 12: Zushi-oki Fault, 13: Ubajima-oki Fault, 14: Kitatake Fault, 15: Takeyama Fault, 16: Minami-Shitaura Fault, 17: Hikibashi Fault.

は全磁力異常が単一の異常岩体に対して正負一対の異常分布を示すのに対し，単一の正異常分布を示すため，磁気異常とその異常源との対応がつけやすくなる．

ここではまず全磁力異常データ（第 3 図）から等価ソースを求めた．等価ソースとは，磁気図作成面高度（ここでは対地 1,500 m）から 1,500 m 下方の平滑化した地形面上（海域では海水準面）での磁化分布である．そこで磁化は，外部磁場方向（伏角 49.0°，偏角：−7.0°）(Thébault *et al*., 2015) を向き，その大きさは鉛直方向に一様で水平方向にのみ変化するものと仮定し，その磁化方向と外部磁場方向の回転に相当する演算を行って，極磁力異常分布（第 4 図）を計算した．

## 4.　磁気異常分布の特徴

極磁力異常図（第 4 図）と当該地域の地質図（坂本ほか，




第 2 図　10 万分の 1 相模湾沿岸域空中磁気図の作成面高度．
コンター間隔：50 m．黒，緑および赤の実線は各々地質調査所（現産総研），JICA および NEDO による広域の空中磁気探査の航跡を示す．第 1 図参照．

Fig. 2　Reduction surface altitudes of the 1:100,000 Aeromagnetic map of the coastal zone of Sagami Bay (Total Magnetic Intensity). Contour interval is 50 m. Black, green and red solid lines show flight line paths by GSJ, JICA and NEDO aeromagnetic surveys, respectively. See also Fig. 1.

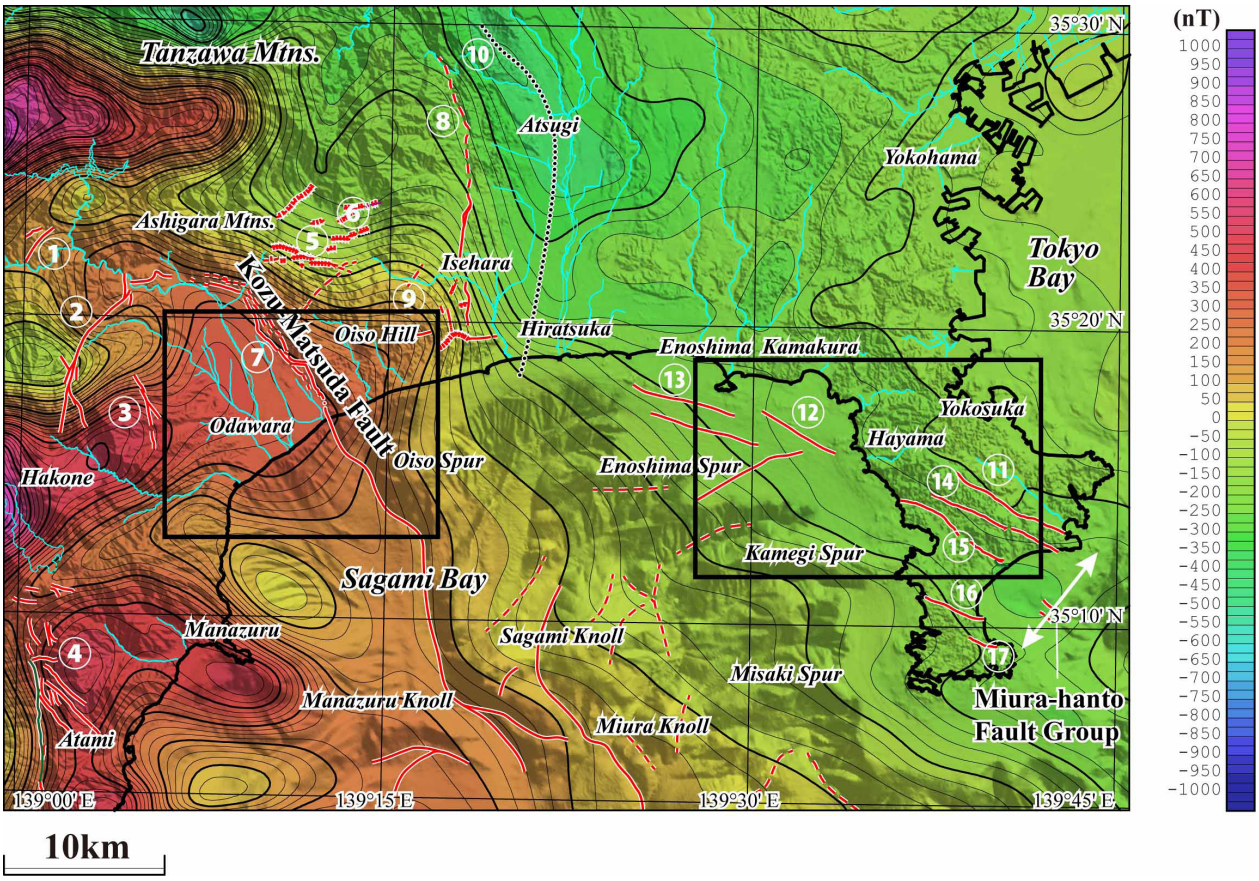
1987；竹内ほか，2015；尾崎ほか，2021）とを比較して，当該地域の磁気異常分布の特徴について述べる．

陸域においては伊豆半島の東岸付近に高磁気異常が複数認められる．当該図画内では真鶴～真鶴海丘（第 4 図中の a，以後同様）の第四紀火山噴出物分布域および分布推定域に対応して，顕著な高磁気異常が分布する．伊豆半島北部の箱根外輪山明星ケ岳付近の箱根火山群噴出物分布域（b）や足柄山地付近（c）でも高磁気異常が分布している．足柄山地では西端の矢倉岳に露出する石英閃緑岩等の火成岩類が山地全体に伏在する可能性を示唆している．丹沢山地西部（d）でも高磁気異常が分布し付近に露出する丹沢花崗岩類の分布とよく一致する．相模湾では，相模海丘，三浦海丘（e）などの付近で低振幅の高磁気異常が分布し，これら海底地形の高まりが磁性を持った地質からなることを示唆している．事実当該海域では，相模海丘，三崎海丘などで，新第三紀の安山岩質・玄武岩質火山岩がドレッジされている（木村ほか，1976）．

一方，三浦半島（f）およびその北西方では一帯が低振幅の低磁気異常域となっており，顕著な磁気異常が認められない．これは当該地域を構成する地質の磁性が相対的に弱いことを示している．三浦半島では，衣笠断層，上武断層および武山断層等の三浦半島断層群が分布するが，これに対応した磁気異常分布の特徴も当該の高高度の磁気図では明らかではない．

## 5.　高分解能空中磁気探査

相模湾沿岸域では，陸海域にわたる磁気探査は NEDO によるもののみで，その測線間隔は 3 km ～ 4 km と粗く，飛行高度も 4,500 ft（1,372 m）海水準一定と高い（中塚・大熊，2005；第 1 表；第 2 図）．また，海域は旧地質調査所と JICA（浦賀水道）による調査データがあるが，いずれも調査に固定翼機を使用し飛行高度が最低でも 1,500 ft（457 m）海水準一定と最近の高分解能空中磁気探査の標準仕様である対地高度 150




第 3 図　相模湾沿岸域空中磁気図（全磁力異常）．
コンター間隔：25 nT．地形の陰影を重ねた．磁気異常のリダクション高度：平滑化した地形面（陸域：地表面，海域：海水面）から 1,500 m 上空の高度面（第 2 図）．第 1 図参照．

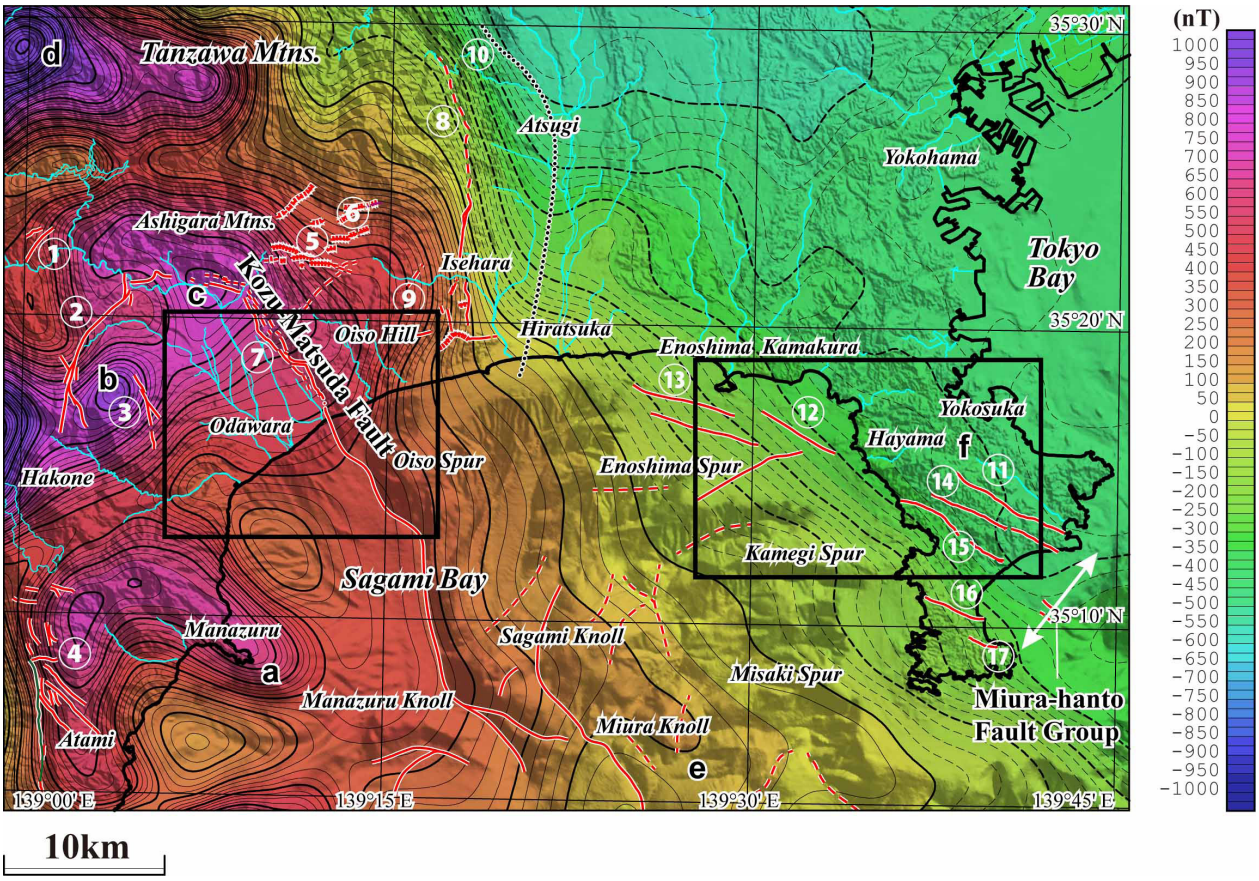
Fig. 3　Aeromagnetic map of the coastal zone of Sagami Bay (Total Magnetic Intensity).
Contour interval is 25 nT. Topographic shading was superimposed. The reduction surface altitude is 1,500 m above smoothed terrain/ sea surface (Fig. 2). See also Fig. 1.

m に比べ高いため（中塚・大熊，2005），局所的な地質構造と対応付けられるような詳細な磁気異常分布が得られていない地域が多い．このため，相模湾沿岸域の詳細な地質・地下構造の理解を目的として，当該地域において高分解能空中磁気探査を実施した（大熊ほか，2015，2017; Iwata *et al*., 2017）．調査地域は予算の関係上全域をカバーできないため，「相模湾北部沿岸地域」と「相模湾東部沿岸地域」の 2 カ所の小区域（第 1 図）で行っている．調査の仕様を第 2 表に示す．

「相模湾北部沿岸地域」では 2014 年 11 月 27 日～ 12 月 9 日に伊勢原市子易の子易場外ヘリポート（35°25’35.62” N，139°16’16.61” E，316.13 m ASL；写真 1）を基地として空中磁気探査測定作業飛行を実施した．空中磁気探査は，相模湾北部沿岸域の陸・海域に亘る範囲（第 1 図）を，標準対地高度 150 m（海域：海抜 150 m，陸域：対地 300 m），主測線間隔 250 m の，低高度・高密度測線配置で実施した（第 2 表）．主測線本数は 49 本，交差測線本数は 15 本である．

「相模湾東部沿岸地域」の調査では，2016 年 11 月 1 日～ 11 月 8 日に伊勢原市子易の子易場外ヘリポート（既出）を基地として空中磁気探査測定作業飛行を実施した．空中磁気探査は，相模湾東部沿岸域の陸・海域に亘る範囲（第 1 図）を，北部沿岸域と同様に標準対地高度 150 m（海域：海抜 150 m，陸域：対地 300 m），主測線間隔 250 m の，低高度・高密度測線配置で実施した（第 2 表）．主測線本数は 49 本，交差測線本数は 20 本である． 双方の調査では空中磁気探査装置を装備した同一の AS350B3 型機（写真 2）を使用した．

データ処理は産業技術総合研究所のヘリボーン空中磁気探査データの処理方式（中塚，2016）にしたがって実施した．機上での収録データからは，時々刻々の空中での全磁力測定値と GNSS 測位および対地高度データが得られる．また地上に定点観測点を設置し，その観測データを用いて地磁気日変化補正を行った．さらに第 12 世代の国際標準地球磁場である IGRF-12 (Thébault *et al.* , 2015) を基準とする残差計算を行った．




第 4 図　相模湾沿岸域空中磁気図（極磁力異常）．
コンター間隔：25 nT．地形の陰影を重ねた．磁気異常のリダクション高度：平滑化した地形面（陸域：地表面，海域：海水面）から 1,500 m 上空の高度面（第 2 図）．a ～ f は磁気異常の特徴（本文参照）を示す．第 1 図参照．

Fig. 4　Aeromagnetic map of the coastal zone of Sagami Bay (Reduced to the Pole).
Contour interval is 25 nT. Topographic shading was superimposed. The reduction surface altitude is 1,500 m above smoothed terrain/ sea surface (Fig. 2). The a ~ f indicate characteristics of magnetic anomalies (See also the main text). See also Fig. 1.

これらの処理を施した値を測線飛行中のランダム測定点データとする．この際，3 軸フラックスゲート型磁力計のデータを用いて機体磁気補償を行い観測磁気データに含まれる機体磁気の影響を除く処理も併せて行っている．最終的には高度リダクションを行い滑らかな観測面上での全磁力値（格子点データの間隔 50 m）を求めた．また，この際主測線に加えて交差測線のデータも使用して適切なリダクションを行うため，交点での誤差が最小となるよう交点コントロール法（Nakatsuka and Okuma, 2006b）を適用している．なお，磁気図の作成に当たって全てデータの再処理を行った．具体的にはヘリコプターに搭載した空中磁力計の Cs センサーと GNSS アンテナとの間の位置補正，相模湾北部沿岸地域の調査時には実施していなかった GNSS データのディファレンシャル処理や IGRF-12 に基づく残差計算，および交点コントロールも，東部沿岸地域のデータと同様に行っている．

## 6.　高分解能空中磁気探査による磁気異常分布の特徴

「相模湾北部沿岸域」の磁気異常作成面高度と全磁力異常図を第 5 図と第 6 図とに示す．第 3 図の全磁力異常図と比べてかなり詳細に磁気異常分布が得られている．ここでは全磁力異常と地質の対応を行う．

「相模湾北部沿岸域」では大磯丘陵西端部（第 6 図，図中 a，以下同様）に沿って高磁気異常が分布し，国府津－松田断層に西端を境される（大熊ほか，2015; Okuma and Nakatsuka, 2017）．さらに，その東方の二宮町二宮（b），鷹取山南西麓（c）などでも局所的な高磁気異常が認められる．20 万分の 1 地質図（竹内ほか，2015）と比較すると，大磯丘陵西端部の南半分や鷹取山付近には後期中新世－後期鮮新世の安山岩－玄武岩砕屑岩（池子層および剣沢層）が分布することから，当該高磁気異常はこれらの火山砕屑岩類の露出部と伏在部に対応すると考えられる．事実，予察調査の結果，大磯丘陵西端部では岩石の磁化率が $1x10^{-2}$（SI）を超える露頭

第 1 表　10 万分の 1 相模湾沿岸域空中磁気異常図の編集に使用した探査データの測線の仕様（中塚ほか（2005）から抜粋）.
Table 1　Specifications of aeromagnetic survey lines used for a compilation of the aeromagnetic anomaly map of the coastal zone of Sagami Bay, Japan (modified from Nakatsuka *et al.* (2005)).

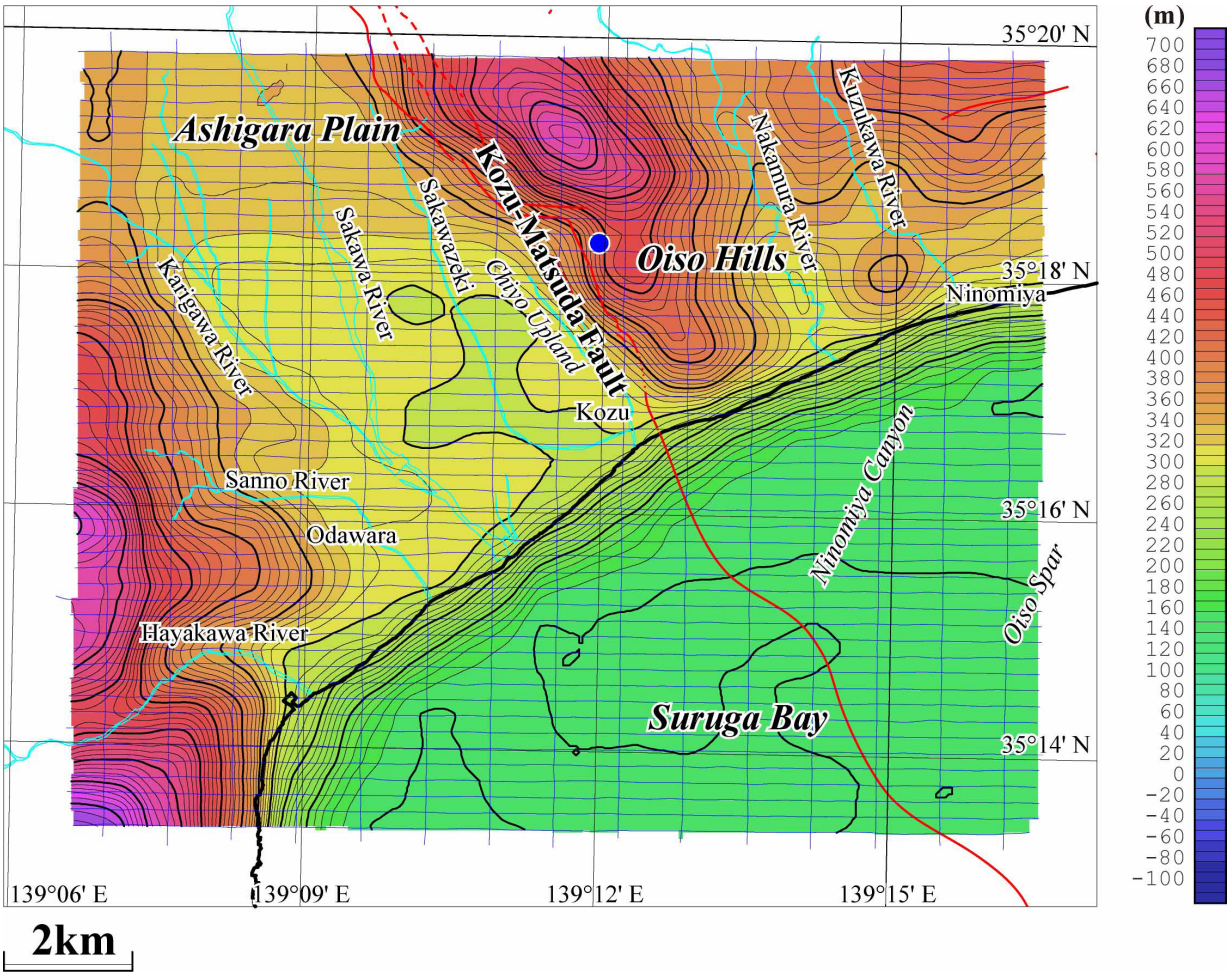
| Area Name | Data Source Organization | Survey Year | Line Spacing | Flight Altitude |
|---|---|---|---|---|
| South Tohoku, Kanto, Tokai | NEDO | 1982 | 3- 4 km | 4,500 ft (1,372 m) |
| Uraga Strait | JICA | 1980-1981 | 1.5 km | 1,500 ft (457 m) |
| Boso - Izu | GSJ | 1978 | 2.8 km | 1,500 ft (457 m) |
| Ito City | GSJ | 1989 | 0.3 km | 2,300 ft (701 m) |

第 2 表　相模湾北部沿岸域および相模湾東部沿岸域における高分解能空中磁気探査の仕様 .
Table 2　Outline of the high-resolution aeromagnetic surveys over the coastal zone of the northern and eastern Sagami Bay areas, Kanagawa, Japan.

| | |
|---|---|
| Survey period | November 27 – December 9, 2014 (Northern Sagami Bay)<br>October 31 – November 8, 2016 (Eastern Sagami Bay) |
| Survey area | Refer to Fig.1 |
| Survey helicopter | AS350B3（JA02AH） |
| Flight altitude | 150 m above terrain/ sea surface |
| Total flight km | 922.5 km |
| Survey line directions | E-W (spacing: 250 m) / N-S (spacing: 1,000 m) |
| Navigation / Flight path recovery | Visual flight aided by GPS positioning / DGPS |
| Air base | Koyasu Heliport, Koyasu, Isehara City, Kanagawa Pref.<br>35° 25' 35.62" N, 139° 16' 16.61" E, 316.13m ASL |
| Ground station | Koyasu, Isehara City, Kanagawa Pref.<br>35° 25' 33.43" N, 139° 16' 15.89" E, 287m ASL |
| Survey instruments | <u>Flight instrumentation</u><br>Airborne magnetometer: Scintrex CS-2 Cesium magnetometer<br>Three-axis flux-gate magnetometer：Billingsley TFM100G2<br>Data acquisition system：HPC Systems EMB-CD104R4<br>Navigation: AG-NAV Linav<br>GNSS: Novatel ProPak6 GPS receiver，Barometric/Radar altimeter, Video camera<br><u>Ground instrumentation</u><br>Ground magnetometer: Geometrics G-856AX proton magnetometer |
| Contractor | Nakanihon Air Service Co., Ltd. |

写真 1　空中磁気探査に使用した子易場外ヘリポート（大熊ほか，2015）伊勢原市子易地区の山中にある．
Photo 1　Koyasu Heliport used as an airbase for the high-resolution aeromagnetic survey over the coastal zone of the northern Sagami Bay area (after Okuma *et al*. (2015)). Located in the mountainous area of Koyasu, Isehara City, Kanagawa Pref.

写真 2　空中磁気探査調査ヘリコプター（中日本航空（株）所有）（大熊ほか, 2015）AS350B3 型機．機体下部にスティンガーを固定し，その内部に Cs 磁力計センサーおよびプリアンプ，フラックゲート型磁力計センサーを収納する．撮影場所：神奈川県伊勢原市子易場外ヘリポート．
Photo 2　Survey helicopter employed for the aeromagnetic survey over the coastal zone of the northern Sagami Bay area (after Okuma *et al*. (2015)). Eurocopter AS350B3 owned by Nakanihon Air Service Co., Ltd.  A Cs magnetometer sensor and its pre-amplifier, and a fluxgate sensor were installed in the stinger attached to the helicopter.  The photo was taken at the Koyasu Heliport, Isehara, Kanagawa Pref.




第 5 図　相模湾北部沿岸域高分解能空中磁気異常図の磁気図作成面高度．
コンター間隔：10 m．青の実線は磁気探査の航跡を示す．青丸は磁化率が $1x10^{-2}$（SI）以上を観測した露頭箇所．水色の実線は河川を示す．赤の実線は活断層分布（尾崎ほか，2021）を示す．

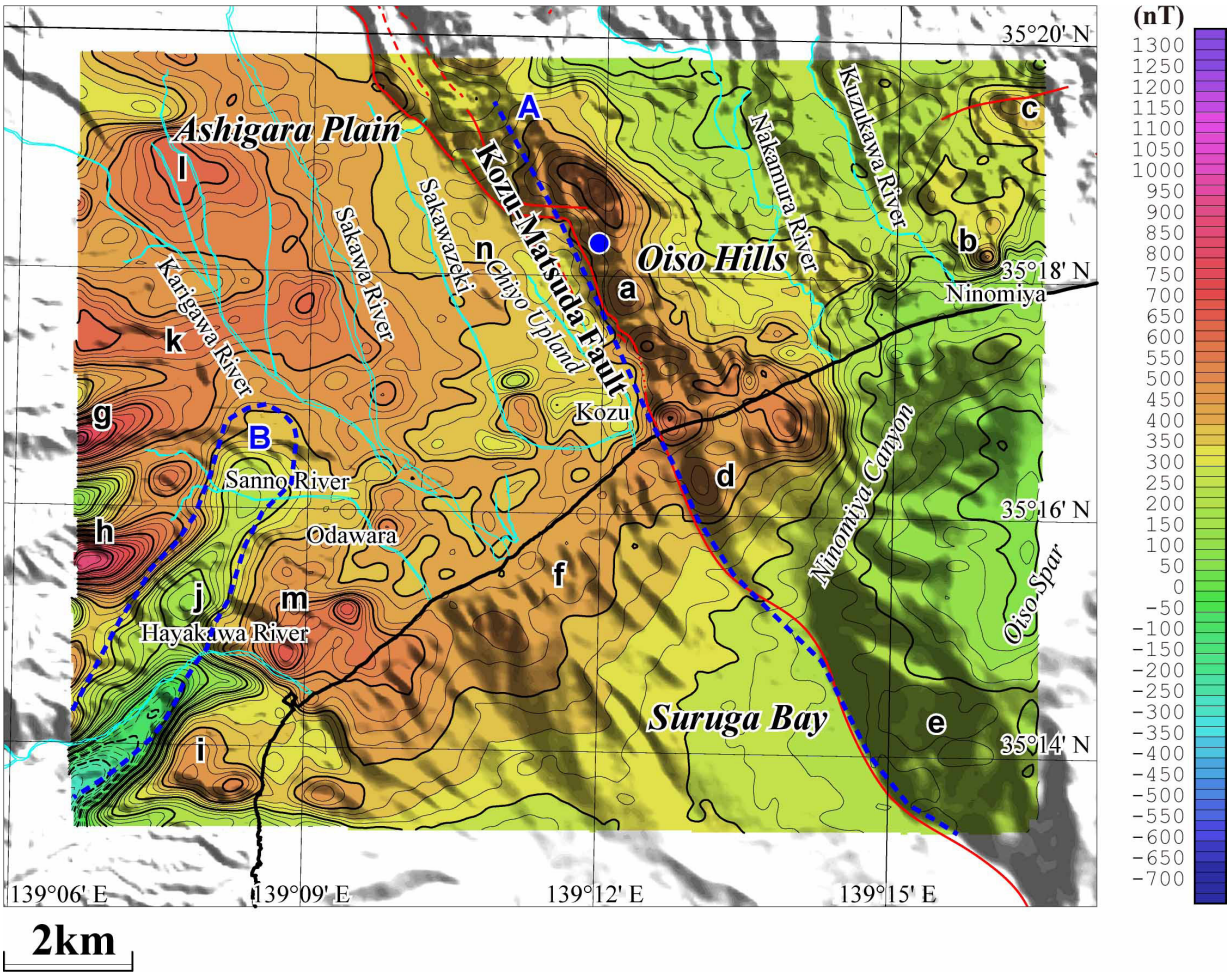
Fig. 5　Reduction surface altitudes of the high-resolution aeromagnetic map of the northern Sagami Bay area.
Contour interval is 10 m. Blue solid lines show flight line paths of the survey. A blue circle indicates the location of an outcrop where a high magnetic susceptibility (> $1x10^{-2}$ (SI)) was observed. Light blue lines represent rivers. Red solid lines show active faults (Ozaki *et al*., 2021).

（第 6 図青丸）が確認されており，また当該地域では古地磁気研究により正帯磁の火山岩の分布も確認されている（下川ほか，1993）．

国府津－松田断層の海域延長部にも高磁気異常が認められる．海岸線近傍の海域（d）には短波長の高磁気異常が海底地形の高まりに対応して分布する．沖合の大磯海脚では南西翼部（e）に低振幅ながら高磁気異常が分布し，そのパターンが陸域の大磯丘陵西端部に類似し同様の地質の分布が示唆されることから，当該地域への国府津－松田断層の延長が推定される（第 6 図中の青の破線 A）．

小田原市から二宮町中村川河口付近の海岸線沿い（f）に高磁気異常が分布する．ここで，磁気異常に含まれる地形効果の影響をみるために，上面が地形，下面が海水準下 1,500 m までの地形モデルを仮定し，図画内の平均磁化強度を計算してみると 1.38 A/m となった．この際の合成の磁気異常図（第 7 図）では海岸線近傍の海域に高磁気異常が分布することから，これらの磁気異常は急激に水深を増す崖状の地形の影響と判断される．

一方図画西端付近では，箱根火山東麓部の地形起伏に対応して複数の高磁気異常と低磁気異常の対（第 6 図 g，h，i）が分布し，溶岩などの箱根火山の外輪山噴出物の分布（竹内ほか，2015）に対応する．しかしながらよく見ると一部合成磁気異常とは異なる部分もある（第 6 図および第 7 図中の青の破線で囲まれた B）．小田原市北西方の早川流域（j）では低磁気異常が卓越して分布する．早川の上流域（図画外）では早川凝灰角礫岩や須雲川安山岩類（久野, 1972）の露頭が分布し，前者の年代は，微化石から 4.2Ma（萬年ほか，2003），



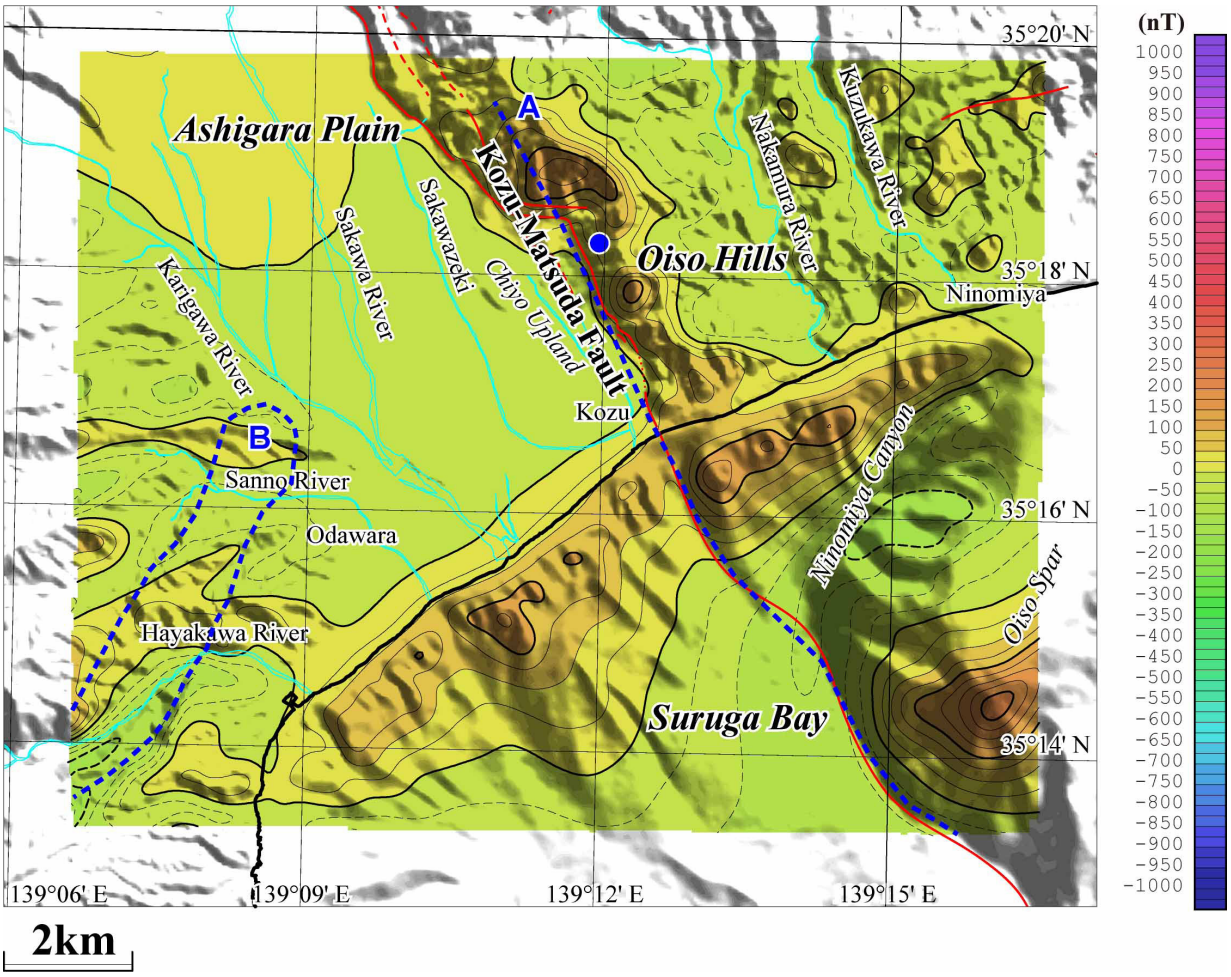

第 6 図　相模湾北部沿岸域高分解能空中磁気異常図（全磁力異常）．
コンター間隔:25 nT．地形陰影を重ねた．磁気異常のリダクション面:第 5 図（対地 300 m（陸域），海抜 150 m（海域）．a ～ n，A，B は磁気異常の特徴（本文参照）を示す．青丸は磁化率が 1x10$^{-2}$（SI）以上を観測した露頭箇所．青の破線は磁気構造の推定境界を示す．第 5 図参照．

Fig. 6　High-resolution aeromagnetic map of the northern Sagami Bay area (Total Magnetic Intensity).
Contour interval is 25 nT. Topographic shading was superimposed. Reduction surface: Fig. 5 (300 m above terrain (land) / 150 m above sea level (sea)). The a ~ n, A and B indicate characteristics of magnetic anomalies (See also the main text). A blue circle indicates the location of an outcrop where a high magnetic susceptibility (> 1x10$^{-2}$ (SI)) was observed. Blue broken lines indicate assumed boundaries of the magnetic structure. See also Fig. 5.

ジルコンのフィッショントラック年代から 5.2 ± 0.7Ma（柳沢ほか，2005）が報告されており，鮮新世中期とされている．場所は異なるが，最近の岩石磁気測定（杉野ほか，2019）により，ほぼ同じ年代の火山岩類は逆帯磁を示すことが多いことから，当該地域には逆帯磁の火山岩類が伏在している可能性がある．

箱根火山東麓部の高磁気異常の一部（k）は，さらに東方の足柄平野中央部の酒匂川方向まで連続し，箱根火山の火山噴出物の伏在が推定される．前出の 10 万分の 1 空中磁気異常図（第 3 図）でも箱根火山東麓部から足柄平野へ張り出す高磁気異常が認められていることから，箱根火山から足柄平野へ多量の火山噴出物が供給されていることが推定される．

都市部や人口密集地上空における磁気探査では，特に飛行高度が低い高分解能空中磁気探査の場合は人工起源の磁気異常の混入は避けられない（例えば，中塚ほか（2004），大熊ほか（2020））．この際は，地図情報による地物などの情報と比較検討を行い地質起源の磁気異常か判断する必要がある．足柄平野の酒匂川沿いや東海道線および東海道新幹線沿いでは，短波長の磁気異常が数多く分布する．空中磁気探査実施時に記録した対地ビデオ映像等と比較検討した結果，これらの多くは，大規模な工場，太陽光発電所等の大規模な人工構造物に対応する可能性が高いことが分かった．足柄平野北部（l）において，波長が 2 km 程度の東西に広がった高磁気異常が分布する．地物との比較では西部



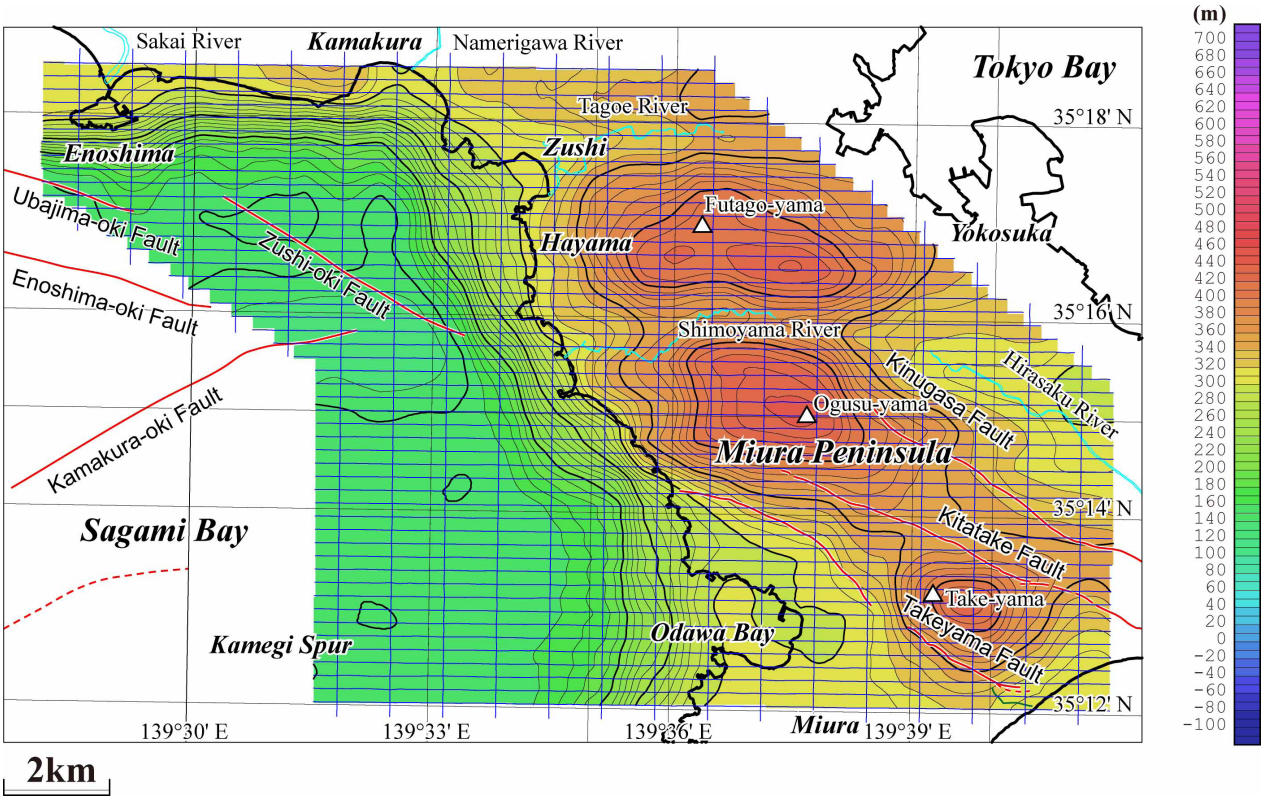

第 7 図　相模湾北部沿岸域の合成磁気異常（全磁力異常）．
コンター間隔：25 nT．地形陰影を重ねた．磁気異常の計算面：第 5 図（対地 300 m（陸域），海抜 150 m（海域）．上面が地形，下面が海水準下 1,500 m の地形モデルを仮定した際の平均磁化強度（1.38 A/m）から計算．青丸は磁化率が $1x10^{-2}$（SI）以上を観測した露頭箇所．青の破線は磁気構造の推定境界を示す．第 6 図参照．

Fig. 7　Synthetic magnetic anomalies of the northern Sagami Bay (Total Magnetic Intensity).
Contour interval is 25 nT. Topographic shading was superimposed. Calculation surface: Fig. 5 (300 m above terrain (land) / 150 m above sea level (sea)). Synthetic anomalies were calculated from a topographic model (1.38 A/m) with top and bottom surfaces of a topography and a plain at a depth of 1,500 m below sea level, respectively. A blue circle indicates the location of an outcrop where a high magnetic susceptibility (> $1x10^{-2}$ (SI)) was observed. Blue broken lines indicate assumed boundaries of the magnetic structure. See also Fig. 6.

には工場があり人工的な影響も考えられるが，東部には構造物は認められない．相模湾北部の残差重力図（大熊ほか，2021）では，当該地域は高重力域の縁となっており，基盤岩類の分布に対応する可能性もある．小田原市の市街地でも高磁気異常が分布し前述と同様に人工的な影響も考えられるが，JR 小田原駅の北西方の段丘（m）では伏在する基盤岩類の可能性もある．足柄平野東部の千代台地の曽賀谷津付近（n）でも高磁気異常が分布し箱根火山噴出物の局所的な分布（竹内ほか，2015）に対応する．

次に，「相模湾東部沿岸域」の磁気異常作成面高度と全磁力異常図を第 8 図と第 9 図とに示す．当該地域では，既に 10 万分の 1 相模湾沿岸域空中磁気異常図（第 3 図）でも明らかなように，「相模湾北部沿岸域」と比較してバックグラウンドの磁力値が低く，かつ磁気異常の振幅が格段に小さいことに注意する必要がある．それらは，第 6 図と第 9 図のコンター間隔とカラー段彩図の中央値が，各々 25 nT および 300 nT と 10 nT および -420 nT となっていることに反映されている．

「相模湾東部沿岸域」では，東南東－西北西方向の高磁気異常帯が三浦半島北部（第 9 図中の a，以下同様）から江の島方向（b）に分布する（第 9 図；大熊ほか，2017）．これは，高重力異常帯（大熊ほか，2016，2021）の分布と整合的であるとともに，地質的には陸



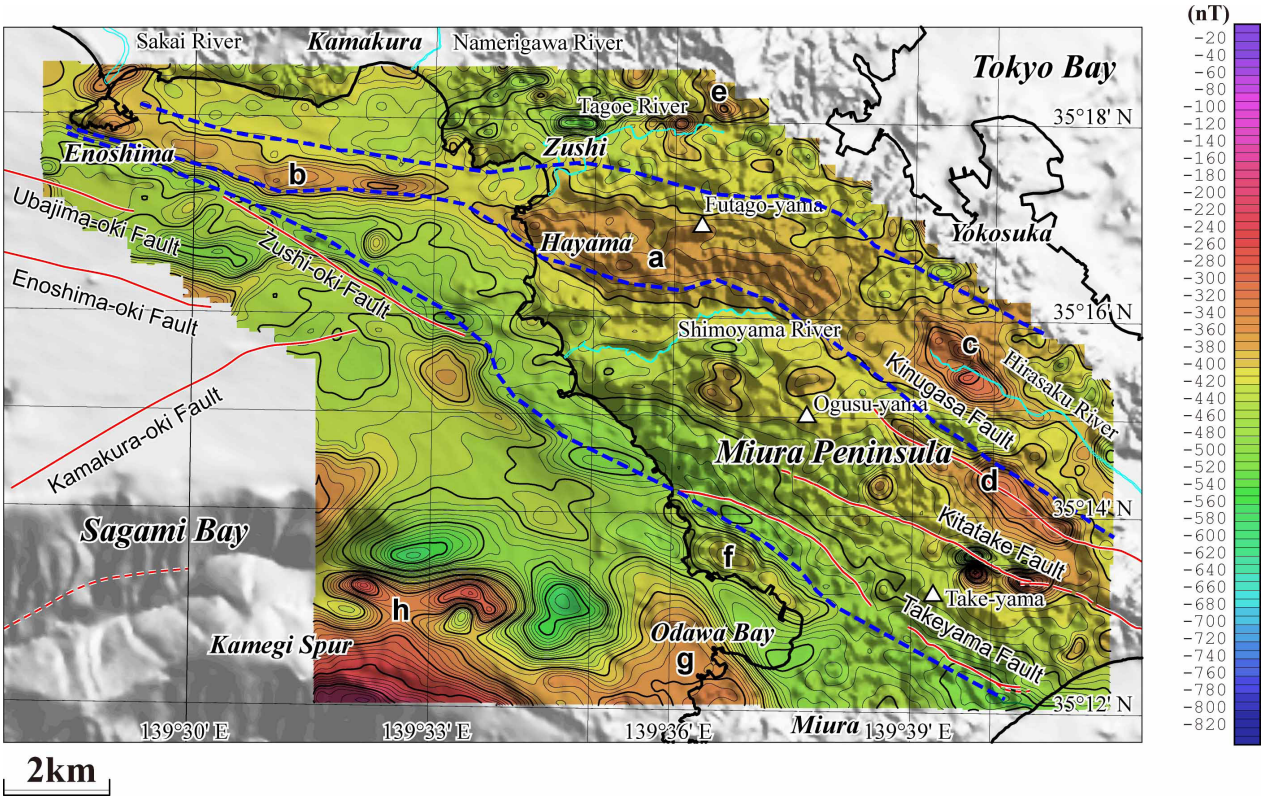

第 8 図　相模湾東部部沿岸域高分解能空中磁気異常図の磁気図作成面高度．
コンター間隔：10 m．青の細線は航跡を示す．水色の実線は河川を示す．赤と緑の実線は各々活断層および地震断層分布（尾崎ほか，2021）を示す．

Fig. 8　Reduction surface altitudes of the high-resolution aeromagnetic map of the eastern Sagami Bay.
Contour interval is 10 m. Blue thin lines indicate flight line paths. Light blue lines denote rivers. Red and green solid lines show active faults and earthquake faults (Ozaki *et al.*, 2021), respectively.

域では葉山隆起帯北列（高橋，2008）に対応する．また，海域では最近音波探査の結果（佐藤，2021）から明らかになった逆断層の海底活断層分布と整合的である．これらから，葉山隆起帯北列は西方の江の島まで，重力異常図（大熊ほか，2016，2021）を参考にすればさらに西方の相模川河口付近まで連続するものと考えられる．したがって，葉山隆起帯北列の南限を境する衣笠断層は陸上で認めれられているよりも長くさらに北西方の相模川河口付近まで続く可能性がある．当該地域の 5 万分の 1 地質図（江藤ほか，1998）を参照すると，三浦半島では葉山隆起帯北列（高橋，2008）の葉山層群森戸層，鐙摺層，大山層，衣笠層，矢部層の各分布域に高重力異常が分布するが，磁気異常ではそのうち葉山層群大山層および鐙摺層の分布域を中心に高磁気異常が分布する．磁気異常源としては，葉山層に含まれる火山性堆積物である凝灰質砂岩等が考えられる．事実予備的な調査を行ったところ，これらの地層の凝灰質砂岩の磁化率は場所によって，20 ～ 30×$10^{-3}$ SI 程度を示すことから磁気異常源となり得ることが分かった．

また，調査地域東端付近では比較的長波長の複数の高磁気異常が認められ，その一つは葉山隆起帯北列中の蛇紋岩類や玄武岩類（江藤ほか，1998）の露頭（c）をとり囲むように分布しており，当該地質がより広い範囲に伏在する可能性を示唆している．また，衣笠断層の東部（d）に沿っても高磁気異常が分布するが，逗子層中の下山口砂礫岩部層および矢部層中の坂口凝灰質砂岩部層（江藤ほか，1998）の分布範囲に対応する．同じく調査地域東端付近の北武断層付近では複数の短波長・高振幅の磁気異常が分布するが，構造物など人工起源である可能性が高い．調査地域北東端の鷹取山付近（e）では短波長の高磁気異常が分布し，露出する安房層中の鷹取山火砕岩部層（安山岩質－玄武岩質火山砕屑岩）（江藤ほか，1998）と対応する．

葉山隆起帯南列では，隆起帯北列と異なり一般に低磁気異常となる．これは，隆起帯南列が砂岩泥岩互層を主体とするためと思われる．小田和湾の北岸付近（f）で北西－南東方向の高磁気異常が分布し，北西方向に同様の磁気異常が連続する．小和田湾北岸の佐島付近に分布するスコリア質および軽石質粗粒砂岩かなる初声層（江藤ほか，1998）の分布に対応すると思われる．また小田和湾南方から北方の天神島（写真 3）方向に高




第 9 図　相模湾東部沿岸域高分解能空中磁気異常図．
コンター間隔：10 nT．地形陰影を重ねた．磁気異常のリダクション面：第 8 図（対地 300 m（陸域），海抜 150 m（海域）．a ～ h は磁気異常の特徴（本文参照）を示す．青の破線は磁気構造の推定境界を示す．第 8 図参照．

Fig. 9　High-resolution aeromagnetic map of the eastern Sagami Bay.
Contour interval is 10 nT. Shaded terrain was superimposed. Reduction surface: Fig. 8 (300 m above terrain (land) / 150 m above sea level (sea)). The a – h indicate characteristics of magnetic anomalies (See also the main text). Blue broken lines indicate assumed boundaries of the magnetic structure. See also Fig. 8.

磁気異常が分布し，こちらも付近に露出する初声層との関係が示唆される．

一方，海域では亀城海脚付近（h）で長波長の高磁気異常に重畳して，逆帯磁型の磁気異常が複数分布する．このことから亀城海脚は火山性の構造の可能性がある．

最後に磁気異常から本地域の大凡の磁気構造の境界を推定し第 9 図に青の破線で示す．北側の破線は葉山隆起帯北列とその北方の安房層群との境界を示している．中央の破線は葉山隆起帯北列の南限を示し，衣笠断層に相当する．南側の破線は葉山隆起帯南列の南限に相当し，陸域では武山断層と海域では逗子沖断層に対応する．陸域の衣笠断層と武山断層相当の磁気構造の境界が三浦半島から西方の海域に延伸し江の島付近で収斂するように見える．

## 7.　まとめ

相模沿岸域は，西部はフィリピン海プレートの北進に伴う伊豆地塊の衝突帯，東部は三浦半島に代表されるフィリピン海プレートの沈み込みに伴う付加体と大きく地質を異にしている．今回，既往の空中磁気データを使用して，対地 1,500 mの滑らかな高度での相模湾沿岸地域の空中磁気図を作成した．この結果，当該地域の磁気異常は相模トラフ付近を境に東西で二分されることが明らかとなった．相模湾から伊豆半島北部を経て丹沢山地に至る北西方向に高磁気異常が分布する．このうち海域では，真鶴岬沖であり，陸域では熱海北方，箱根火山北東方，足柄平野北方～足柄山地，丹沢山地西部などである．既存資料との比較検討の結果，伊豆半島の沿岸部や箱根火山北東方の高磁気異常は付近に分布する第四紀火山岩類が磁気異常と考えられる．丹沢山地西部の高磁気異常は付近に露出する丹沢花崗岩類の分布とよく一致する．一方，三浦半島，さらにはその北西方向に低磁気異常が分布し，当該地域を構成する地質の磁性が弱いことを示している．また，三浦半島の沖合では多くの海底地形の高まりがあり，そのうち南から，三浦海丘，相模海丘付近に低振幅の高磁気異常が分布する．

高分解能空中磁気探査により作成された相模湾沿岸域の全磁力異常図を参照すると，より詳細な磁気異常

写真 3　天神島（大熊ほか，2017）．
天神島（横須賀市佐島地域）を北方より臨む．天神島から北西（写真左手前）に延びる岩礁が認められる．
探査ヘリコプターから撮影．

Photo 3　Aerial photo of Tenjinjima Island and its surrounding area (after Okuma *et al*. (2017)).
Tenjinjima Island viewed from the north. Reeves extending to the northwest were recognized from the island (lower left in the photo). The photo was taken from the survey helicopter during the survey.

分布が明らかとなった．「相模湾北部沿岸域」では国府津－松田断層沿いに高磁気異常が分布し，付近に一部露出する火山砕屑岩類との対応が考えられた．南南東の海域でも，浅海部の地形の高まりとさらに南方の大磯海脚の南斜面に高磁気異常が分布することから，同様の地質とこれを境する断層の延伸が推定された．足柄平野の西縁では，高磁気異常や顕著な負の磁気異常が分布し，西方から箱根火山群噴出物や箱根火山より古い時代の逆帯磁の火山岩の流入があったと解釈された．「相模湾東部沿岸域」では，衣笠断層に対応した磁気構造の境界が明らかとなり，重力異常も考慮すると江の島や相模川河口付近までの延伸が推定された．また，武山断層相当の磁気構造の境界の北西方海域への延伸と江の島付近での衣笠断層に対応した磁気構造の境界との収斂も推定された．

今回の高分解能空中磁気探査の結果，陸海域に渡る地質構造が明らかとなり，当該調査が相模湾のようなプレート境界域での地質構造の調査に有効であることが確認された．

**謝辞**：査読者の当所地質情報基盤センターの森尻理恵氏には懇切丁寧な査読をしていただいた．ここに記して感謝申し上げます．

## 文　献

地質調査総合センター（2005）日本空中磁気データベース．数値地質図 , P-6, 産業技術総合研究所地質調査総合センター．

江藤哲人・矢崎清貫・卜部厚志・磯部一洋（1998）横須賀地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，128p.

Iwata, M., Okuma, S., Nakatsuka, T., Miyakawa, A. and Kinoshita, S. (2017) High-resolution Aeromagnetic Survey over the Eastern Sagami Bay Area, Kanto Region, Japan. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, STT58-P06.

木村政昭・村上文敏・石原丈実（1976）相模灘及付近海底地質図及び説明書 1:200,000．海洋地質図，3，地質調査所．

国土地理院（1999）数値地図 50 m メッシュ（標高），

日本－Ⅱ.
久野　久（1972）箱根火山地質図（5 万分の 1）及び箱根火山地質図説明書．大久保書店.
萬年一剛・堀内誠示・田口公則・山下浩之・平田大二・川手新一・蛯子卓二・谷口秀嗣（2003）箱根地域・早川凝灰角礫岩から得られた微化石年代とその意義．地質学雑誌，**109**，11，661–664.
水野清秀・山崎晴雄・下川浩一・奥村晃史・百原　新・福田美和（1992）静岡県蒲原丘陵付近に分布する古期第四系の年代と堆積場の変化．日本第四紀学会講演要旨集，**22**，84-85.
中塚　正（2009）地球物理データの解析処理・図化表現のためのライブラリ（3）．地質調査総合センター研究資料集，no. 518，107p. ＋ CD-ROM 1 枚，産業技術総合研究所地質調査総合センター .
Nakatsuka, T. (2009) Software system for aeromagnetic data processing, grid data manipulation, and reduction and quantitative interpretation of magnetic anomaly data (2). GSJ Open-File Report, no. 519, 70p. + 1 CD-ROM, Geol. Surv. Japan, AIST.
中塚　正（2015）国際標準地球磁場 IGRF とその計算ソフトウェア（5）．地質調査総合センター研究資料集，no. 614，産業技術総合研究所地質調査総合センター .
中塚　正（2016）3.4 空中磁気探査, 第 6 章磁気探査 . 物理探査ハンドブック増補改訂版，340–343.
中塚　正･大熊茂雄（2005）日本空中磁気異常データベース．数値地質図 , P-6，産業技術総合研究所地質調査総合センター.
Nakatsuka, T., and S. Okuma (2006a) Reduction of geomagnetic anomaly observations from helicopter surveys at varying elevations. Explor. Geophys., 37, 121–128. DOI: 10.1071/EG06121
Nakatsuka, T., and Okuma, S. (2006b) Crossover analysis for the aeromagnetic survey at varying elevations, and its application to extracting temporal magnetic anomaly change. Butsuri-Tansa (Geophys. Explor.), 59, 449–458
中塚　正・大熊茂雄（2009）日本空中磁気 DB による対地 1,500 m 平滑面での磁気異常分布データの編集．地質調査総合センター研究資料集，no. 516, 24p. ＋ CD-ROM1 枚，産業技術総合研究所地質調査総合センター.
Nakatsuka, T. and Okuma, S. (2018) AMSS3: Software system for aeromagnetic data processing, grid data manipulation, and reduction and quantitative interpretation of magnetic anomaly data (3). GSJ Open-File Report, no. 648, 127p. + 1 CD-ROM, Geol. Surv. Japan, AIST.
中塚　正・大熊茂雄・森尻理恵・牧野雅彦（2004）神戸 – 京都地域高分解能空中磁気異常図 (1:100,000). 空中磁気図，no. 42，産業技術総合研究所地質調査総合センター.
中塚　正・大熊茂雄・牧野雅彦・森尻理恵（2005）日本空中磁気探査データベースの内容について．数値地質図 P-6，産業技術総合研究所地質調査総合センター .
日本海洋データセンター（2012）海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ（アスキーファイル），M7001 Ver.2.2 関東南部.
Okuma, S., and Nakatsuka, T. (2015) High-resolution aeromagnetic survey over the plate boundary in the northern Suruga Bay, central Japan. 26th IUGG General Meeting (Prague).
Okuma, S. and Nakatsuka, T. (2017) Aeromagnetic Constraints on the Basement Structure along the Izu Collision Zone in Central Japan, 2017 IAGA Meeting.
大熊茂雄・中塚　正・山谷祐介（2014）駿河湾沿岸域の高分解能空中磁気探査．平成 25 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告，産業技術総合研究所地質調査総合センター速報，no. 65，35–39.
大熊茂雄・中塚　正・上田　匠（2015）相模湾北部沿岸域における高分解能空中磁気探査．平成 26 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告，産業技術総合研究所地質調査総合センター速報，no. 68，115–123.
大熊茂雄・中塚　正・山谷祐介（2016）20 万分の 1 駿河湾北部沿岸域空中磁気図（全磁力異常）説明書．海陸シームレス地質情報集「駿河湾北部沿岸域」，海陸シームレス地質図 S-5，産業技術総合研究所地質調査総合センター.
大熊茂雄・中塚　正・岩田光義・宮川歩夢・木下佐和子（2017）相模湾東部沿岸域における高分解能空中磁気探査．平成 28 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告，産業技術総合研究所地質調査総合センター速報，no. 74，75–84.
大熊茂雄・中塚　正・上田　匠（2020）仙台平野南部沿岸地域高分解能空中磁気異常図．空中磁気図，48，産業技術総合研究所地質調査総合センター.
大熊茂雄・駒澤正夫・宮川歩夢・伊藤　忍・住田達哉・江戸将寿（2021）10 万分の 1 相模湾沿岸域重力図（ブーゲー異常）及び説明書．海陸シームレス地質情報集「相模湾沿岸域」，海陸シームレス地質図 S-7，産業技術総合研究所地質調査総合センター.
尾崎正紀・佐藤智之・荒井晃作（2016a）20 万分の 1 駿河湾北部沿岸域海陸地質図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集,「駿河湾北部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-5，産業技術総合研究所地質調査

総合センター.
尾崎正紀・水野清秀・佐藤智之（2016b）5 万分の 1 富士川河口断層帯及び周辺地域地質編纂図. 海陸シームレス地質情報集,「駿河湾北部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-5, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
尾崎正紀・佐藤智之・水野清秀（2021）10 万分の 1 相模湾沿岸域地質図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集「相模湾沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-7, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
坂本　亨・酒井　彰・秦　光男・宇野沢　昭・岡　重文・広島俊男・駒澤正夫・村田泰章（1987）20 万分の 1 地質図「東京」, 地質調査所（現産業技術総合研究所地質調査総合センター）.
佐藤智之（2021）10 万分の 1 相模湾沿岸域海底地質図説明書. 海陸シームレス地質情報集「相模湾沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-7, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
下川浩一・山崎晴雄・水野清秀・奥村晃史（1993）蒲原丘陵及び大磯丘陵の前・中期更新統の古地磁気記録. 日本第四紀学会講演要旨集 , **23**, 78–79.
杉野由樹・上田　匠・大熊茂雄（2019）重・磁力データ解析のための岩石物性の測定－北海道武佐岳地域を例として－. 物理探査学会第 141 回（2019 年度秋季）学術講演会講演論文集, 216–219.
杉山雄一・水野清秀・狩野謙一・村松　武・松田時彦・石塚　治・及川輝樹・高田　亮・荒井晃作・岡村行信・実松健造・高橋正明・尾山洋一・駒澤正夫（2010）20 万分の 1 地質図幅「静岡及び御前崎」（第 2 版）. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
高橋雅紀（2008）3.3.3 三浦半島. 日本地方地質誌 3, 関東地方, 朝倉書店, 187–193.
竹内圭史・及川輝樹・斎藤　眞・石塚　治・実松健造・駒澤正夫（2015）20 万分の 1 地質図「横須賀」（第 2 版）. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
Thébault, E., Finlay, C.C., Beggan, C.D., Alken, P., Aubert, J., Barrois, O., Bertrand, F., Bondar, T., Boness, A., Brocco, L., Canet, E., Chambodut, A., Chulliat, A., Coïsson, P., Civet, F., Du, A., Fournier, A., Fratter, I., Gillet, N., Hamilton, B., Hamoudi, M., Hulot, G., Jager, T., Korte, M., Kuang, W., Lalanne, X., Langlais, B., Léger, J.M., Lesur, V., Lowes, F.J., Macmillan, S., Mandea, M., Manoj, C., Maus, S., Olsen, N., Petrov, V., Ridley, V., Rother, M., Sabaka, T.J., Saturnino, D., Schachtschneider, R., Sirol, O., Tangborn, A., Thomson, A., Tøffner-Clausen, L., Vigneron, P., Wardinski, I. and Zvereva, T. (2015): International geomagnetic reference field: the twelfth generation, Earth, Planets and Space, **67**: 79. doi:10.1186/s40623-015-0228-9
柳沢幸夫・渡辺真人・高橋雅紀・田中裕一郎・木村克己・林　広樹（2005）大深度ボーリング試料による地質年代調査. 大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅠ 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 16 年度成果報告書, 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・防災科学技術研究所, 338–358.

（受付：2020 年 1 月 7 日；受理 2020 年 3 月 6 日）