

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22403006

研究課題名（和文）小型無人飛行機による南極ブランスフィールド海盆の空中磁気観測と海盆形成メカニズム

研究課題名（英文）Aeromagnetic survey by small unmanned aerial vehicles and plate tectonics of Bransfield Basin in Antarctica

研究代表者 船木 實（FUNAKI MINORU）

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：10132713

研究成果の概要（和文）：小型無人飛行機により、南極・ブランスフィールド海盆にある Deception 島で空中磁気観測等を行い、同島の北半分と周辺海域の磁気異常を明らかにした。本研究により、南極でも無人飛行機による科学観測が可能で、安全で大きな費用対効果を持つことが示された。King George 島では岩石磁気、年代、それに磁気異常の研究が行われ、ブランスフィールド海盆が典型的な背弧海盆の特徴を持つことを明らかにされた。

研究成果の概要（英文）：Aeromagnetic survey by small unmanned aerial vehicles (UAV) was carried out at Bransfield Basin, Antarctica. The magnetic anomaly was obtained from the northern half of Deception Island. That was the first successful venture of this kind, demonstrating that airborne surveys by UAV are useful for Antarctic research investigations. Airborne surveys provide a safe and economical approach to data acquisition. Study of rock magnetism, geochronology and magnetic survey was conducted at King George Island. The results showed that Bransfield Basin was formed with a typical characteristic of geological structures of back-arc basin.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2011 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：数物系科学 A

科研費の分科・細目：固体地球惑星物理学

キーワード：Deception 島, South Bay, Livingston 島, UAV, Ant-Plane, 空中磁気探査、航空写真

1. 研究開始当初の背景

南極、サウスシェトランド(South

Shetland) 諸島は正断層で南極半島から切り離され、両者の間にブランスフィールド海盆

(Bransfield basin)が形成されたと考えられている。ブランスフィールド海盆の拡大は現在停止しているが、周辺では活発な火山活動が明らかにされている。しかし、海盆形成のメカニズムと進化系統的に研究した例はほとんど無かった。

ブランスフィールド海盆の磁気異常の研究として、船上磁気観測(Kim et al., 1992)は、最大 2000nT の磁気異常を観測したが、測線間隔が 30km 以上あり、拡大に由来する磁気異常の連続性を論ずることはできなかった。しかし、この磁気異常の強度は、無人機により高度 300m で十分観測できる大きさであることを示している。

背弧海盆形成初期には顕著な岩脈の貫入があり、その流動方向からマグマ供給系を推定できる (Staudigel et al., 1999)。ブランスフィールド海盆形成時のマグマ供給や、磁気異常のメカニズム解明は、海盆形成の初期の様子を知ることができる。

2. 研究の目的

本研究では小型無人飛行機による高密度の空中磁気観測を世界で初めてブランスフィールド海盆で実施する。また海盆形成時の貫入岩類を火山地質学、岩石磁気学、それに岩石年代学の観点から研究し、南極プレートからサウスシェトランド諸島が切り離される時に発生した岩脈の貫入の様子と年代を調べ、ブランスフィールド海盆拡大の様子を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、図 1 に示すキングジョージ島にある韓国の King Sejong 基地、チリの Escudero 基地、それにリビングストーン島にあるブルガリアの St. Kliment Ohridski 基地 (St. Kliment 基地) に 2~5 名の研究者と 2 名の研究協力者を派遣する。空中磁気観測では極地研既存の無人飛行機 (Ant-Plane6 号機) と磁力計、また九州大学の所有する無人機 (Ant-Plane3 号機) を用い、これまで開発に従事してきた代表者と分担者が研究協力者の協力を得て行う。観測領域はブランスフィールド海盆である。また海盆の形成を調べるため、火山地質、岩石磁気、地磁気観測、それに岩石年代の研究をキングジョージ島等で実施する。

本研究に用いた無人機、Ant-Plane6 は、図 2(a) に示すように、プッシャー式の機体である。機体の大きさは翼幅 3m、燃料搭載前の重量は 20 kg、10ℓ のガソリンを搭載した場合の離陸重量は 28 kg で、500 km の飛行が可能である。離着陸以外は GPS の位置情報をもとに WP (計画された通過地点) に沿って自動飛行する。フラックスゲート磁力計を、1 m のア

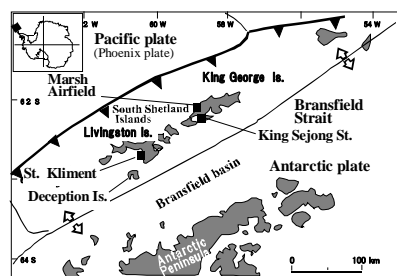


図 1 South Shetland 諸島と南極半島間の Bransfield 海盆とプレート境界。黒三角の付いた線は太平洋プレート (Phoenix plate) が南極プレートに潜り込む、沈み込み帯。白矢印の付いた線は Bransfield 海盆のプレート拡大軸

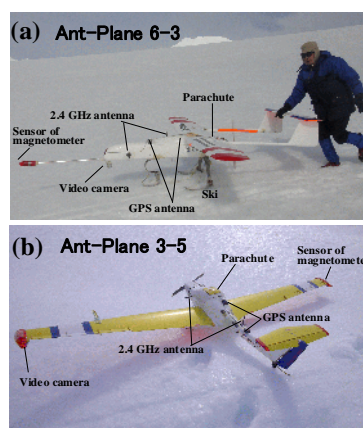


図 2 St. Kliment 基地の滑走路における機体。(a): Ant-Plane 6-3 号機と (b): 3-5 号機の写真。

ルミパイプを介し、機首前方に取り付け、機体磁気の影響を軽減させた。

Ant-Plane 3-5 は図 2(b) に示すようにトラクター式の機体である。右翼端には磁力計のセンサーを、左翼端にビデオカメラを装着している。翼幅 3m で、ガソリン 1.8ℓ を搭載した時の重量は 9 kg、300 km の飛行が可能である。

4. 研究成果

(1) 2011 年 1 月の Marsh Airfield での飛行実験

Escudero 基地に隣接する Marsh Airfield において、ブランスフィールド海盆の空中磁気観測を計画した。Ant-Plane6-3 号機は滑走路周辺を 1 時間自動飛行し、基地周辺の磁気観測を行った。Ant-Plane3-4 号機は基地北方向の空中磁気観測中に GPS 受信トラブルが発生し、ドレーク海峡に没した。この年の飛行実験は極端な天候不順と滑走路使用の制限により、満足できる成果を上げることができ

なかった。

(2) 2011年12月の St. Kliment Ohridski 基地での飛行実験

① 飛行準備

St. Kliment 基地の協力を得、基地裏の水河を滑走路として、35 km 南方の Deception 島 (図 1) の空中磁気観測と航空写真観測、それに基地周辺の South Bay の航空写真観測を計画した。12 月の同基地の気温は、昼間 1~5℃、夜間の気温は 0~3.5℃ と暖かく、雪はザラメ状で重く、日本で準備していたプロペラやスキーを使用できなかった。現地でプロペラの補強とスキーの改良を行い、雪面滑走が可能とした。

② 飛行計画

Ant-Plane6-3 に燃料 90 を搭載した場合、450 km の連続飛行が可能であるが、安全を考えフライトを約 300 km とした。図 3 に示すように、St. Kliment 基地から南方に 35 km 離れた Deception 島とその周辺海域で空中磁気観測をする場合、測線長は少なくとも 18 km になる。測線間隔 1 km で行うには、少なくとも 19 測線が必要である。1 回の飛行では全ての

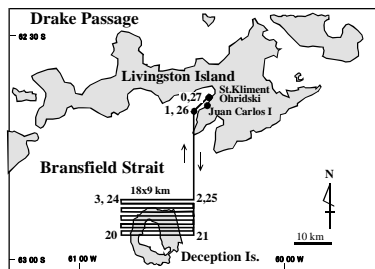


図 3 Livingston 島の St. Kliment 基地と Deception 島。実線：計画飛行ルート。数値：WP。

観測はできないので、島の北部と南部に分けて計画した。北部のフライトコースには WP 0-27 が与えられた。滑走路から手で離陸させ、高度 250m で自動飛行に切り替える。滑走路上空を旋回させながら上昇させ、高度 800m で Deception 島の観測領域に向けて飛ぶ。北部の観測終了後に南部の観測を行う。飛行高度は 800m、巡航速度は 33m/s (118.8km/h) とした。

③ 飛行結果

2011 年 12 月 18 日 5 時 20 分 20 秒 (UT)、Ant-Plane6-3 は地上気温 -3.5℃、北の風 4m/s、曇り (雲底 1000m 以上) の気象のもと、風上に向かって滑走路を離陸させた。そして機体は、北部の観測を終了し、8 時 27 分 28 秒に滑走路に着陸した。飛行時間は 3 時間 07 分

08 秒、総飛行距離は 302.4 km であった。飛行中に GPS ログが記録した位置情報 (秒値) による飛行経路は図 4 に示す通りである。磁気観測領域での飛行は 2 時間 3 分 40 秒間であった。機体は WP0-2 まで予定コースを飛行し、観測領域に入った。図 4 に示すように測線 (Line) Line 2 と 6 でコースを逸脱したが、その他のコースでは予定通り飛行し、予定通り帰路のコースを飛行した。短絡飛行の原因は不明である。

この飛行で使用した燃料は 60、燃料タンクには 30 の燃料が残っていた。燃費は 50km/ℓ となり、日本で行った飛行の燃費と同じで、極めて大きな費用対効果を実証することができた。しかし、Deception 島南半分の調査は天候悪化で実施できなかった。

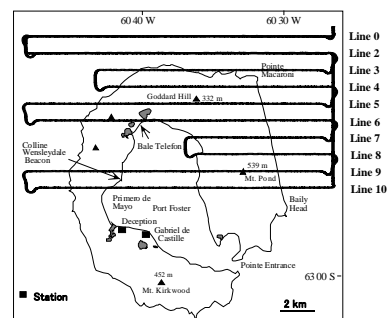


図 4 Deception 島での Ant-Plane6-3 の飛行結果

④ 空中磁気観測結果と考察

ジャイロの精度の悪さから、三軸フラックスゲート磁力計の磁気データ x, y, z は全磁力に変換して磁気解析に使用した。各測線間で最大地磁気変化量は 1860nT であった。

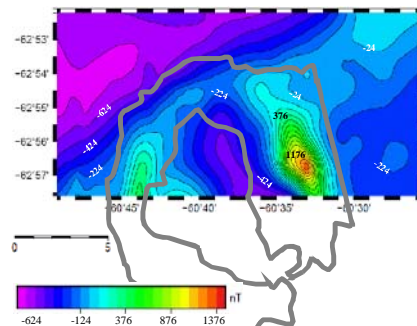


図 5 観測値から得られた Deception 島北半分とその周辺海域の磁気異常

観測データから IGRF の F 値を差し引き、磁気異常とした。500m² の移動平均により短周期成分を平滑化し、図 5 に示すような Deception 島の北半分とその周辺海域の磁気異常図を作成した。この図から以下のような磁気異常の特徴が明らかになった。

- 島の東側の Mt. Pound 付近で最も大きな

正の磁気異常(1387.0 nT)

- 観測領域の西側中央部で最も大きな負の磁気異常(-774.5nT)
- 観測領域の南西端から北東の線を境に北側と南側で磁化構造が異なる。この線は島の北部を通り、Lawver et al. (1995)の磁気異常図に記載されている断層と一致する
- Port Foster 内部の東側に、南東に伸びる負の磁気異常

(3) South Bay での飛行と観測

2011年12月17日、Ant-Plane3-5によるLivingston島のSouth Bayの空中磁気観測を行った。St. Kliment 基地裏の氷河を滑走路とし、高度350m、速度27.8m/s(100km/h)での飛行を計画した。観測範囲は長さ5kmのNW-SE測線を500m間隔で、11測線並べた領域である。

22時22分27秒(UT)に離陸した機体は予定のWPに沿って飛行し、23時間29分34秒に滑走路に着陸した。飛行時間は1時間7分7秒、飛行距離は105.4kmであった。観測領域内の飛行は45分45秒であった。飛行中に観測されたGPSによる機体の位置を図6に示す。機体はほぼ予定のコースを飛行している。

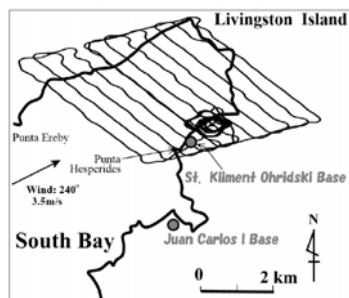


図6 South Bay での Ant-Plane3-5 の飛行結果

ビデオ画像は離陸から着陸まで正常に稼働し、氷河や海氷の状況を撮影した。しかし、磁力計は高度125mまで上昇した時に停止した。そのため当初計画していたSouth Bayの空中磁気データは得られなかった。磁力計とデータログ間の通信トラブルが原因と考えられる。

(4) 地質学、岩石磁気学、岩石年代学、地磁気学の成果

キングジョージ島における、地質調査、原岩磁気、岩石年代、それに磁気異常の研究により、以下のような知見を得た。

- 背弧海盆前面の火山列島では、ドレライトからトナル岩や花崗閃緑岩への変化(ACG)が一般的にみられる。キングジョージ島のMarian Cove周辺では花崗岩質深成岩体は、数か所で地表に露出し、溶岩類や火砕

堆積物に貫入していて、背弧海盆の特徴を示している。

- 閃緑岩と花崗閃緑岩の帯磁率は大きく0.01-0.4(SI)であった。帯磁率異方性(AMS)は線形構造を示し、この方向は斜長石の配列と一致した。即ち、深成岩類がマグマから垂直方向に押し出されたと理解される。

● 図7に示す磁気異常図が得られた。特に大きな磁気異常は、いずれも花崗閃緑岩の分布と一致し、花崗閃緑岩が磁気異常の源であることが判明した。磁気探査で氷床下や海底の花崗閃緑岩の探査が可能である。

- Fildes半島西部のK-Ar年代は51-53Maであった。岩脈の伸長方向で年代の違いはない。キングジョージ島が南極半島から切り離された時期は始新世である。

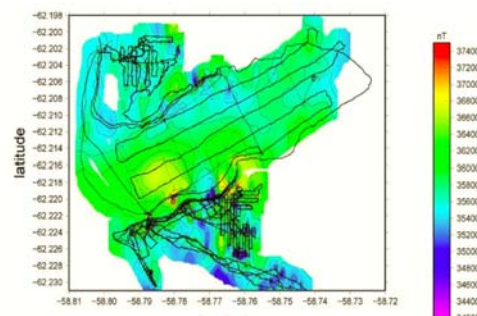


図7 キングジョージ島西部にあるMarian Cove周辺の磁気異常

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

- ① 船木 實、東野 伸一郎、坂中 伸也、岩田 尚能、中村 教博、平沢 尚彦、小原 徳昭、桑原 幹夫、南極サウスシェトランド諸島での小型無人飛行機Ant-Planeの飛行と空中磁気・航空写真観測、南極資料、査読有、57-2、2013、印刷中

- ② Higashino S. and Funaki M., Development and Flights of Ant-Plane UAVs for Aerial Filming and Geomagnetic Survey in Antarctica, International journal of intelligent unmanned systems, 査読有り, ICIUS2012, 2013, CD-ROM版

- ③ 船木 實、Ant-Planeグループ、南極観測用小型無人飛行機Ant-Planeと空中磁気観測、地質ニュース、査読有、677、2011、40-47

〔学会発表〕(計 18 件)

- ① Funaki, M., Sakanaka S. and Ant-Plane group, Aeromagnetic Survey of Deception Island, Antarctica, using Autonomous Unmanned Aerial, CA 研究会、2013 年 1 月 10 日、茨城県石岡町
- ② 坂中 伸也、船木 實、中村 教博、Hyoung Chul Shin、Han-jin Choe、La Hyoung Sul、キングジョージ島マリアン湾周辺の磁気異常—岩石磁気や海底を含む地形を考慮に入れて—、第 32 回極域地学シンポジウム、2012 年 11 月 29 日、国立極地研究所 (東京)
- ③ 佐藤 裕也、岩田 尚能、船木 實、西南極、キングジョージ島 Fildes 半島に分布する火山岩の K-Ar 年代測定、第 32 回極域地学シンポジウム、2012 年 11 月 29 日、国立極地研究所 (東京)
- ④ 昆 周作、中村 教博、船木 實、坂中 伸也、Vertical intrusive magnetite-series granodiorite as a source of surface magnetic anomalies in the King George Island, Antarctica、第 32 回極域地学シンポジウム、2012 年 11 月 29 日、国立極地研究所 (東京)
- ⑤ 船木 實、Ant-Plane Group、Development of Autonomous Unmanned Aerial Vehicles for Geoscience in Antarctica and its potentiality、第 32 回極域地学シンポジウム、2012 年 11 月 29 日、国立極地研究所 (東京)
- ⑥ 岩田 尚能、船木 實、佐藤 裕也、南極・キングジョージ島 Fildes 半島に産する岩脈の K-Ar 年代と古地磁気、第 32 回極域地学シンポジウム、2012 年 11 月 29 日、国立極地研究所 (東京)
- ⑦ Funaki M., Sakanaka S., Higashino S.、The aeromagnetic and aerial photographic surveys by an autonomous unmanned aerial vehicle, Ant-Plane 6-3 around Livingston Island, Antarctica. XXXII SCAR and Open Science Conference, July 17, 2012, Portland Oregon, USA
- ⑧ Funaki M., Sakanaka S., Higashino S., Hong J. and Kim Y.、The aeromagnetic and aerial photographic surveys by an autonomous unmanned aerial vehicle, Ant-Plane 6-3 around Livingston Island, The 18th International Symposium on Polar Sciences (ISPS), May. 22, 2012, Jeju Island, Republic of Korea
- ⑨ Funaki M., Sakanaka S., Higashino S.、The first success of aeromagnetic survey in Antarctica by an autonomous unmanned aerial vehicle, Ant-Plane 6-3, The 13th Castle Meeting on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, June 19, 2012, Zvolen, Slovak Republic
- ⑩ Sakanaka, S., Funaki, M., Nakamura, N., Hyoung Chul Shin, Han-jin Che, Hyoung Sul La、Magnetic anomaly around Marian Cove in King George Island, Antarctica. The 2nd Symposium on Polar Science, Nov. 2011, National Institute of Polar Research
- ⑪ 船木 實、東野 伸一郎、坂中 伸也、岩田 尚能、中村 教博、南極半島フランスフィールド海峡の磁気観測計画、第 2 回極域科学シンポジウム、2011 年 11 月、国立極地研究所
- ⑫ 平沢 尚彦、船木 實、林 政彦、無人飛行機を利用した対流圏下部の大気構造と物質循環の研究、第 49 回 飛行機シンポジウム、2011 年 10 月、日本航空宇宙学会、金沢
- ⑬ 船木 實、坂中 伸也、平沢 尚彦、東野 伸一郎、無人航空機 Ant-Plane による空中磁気観測、第 49 回 飛行機シンポジウム、2011 年 10 月、日本航空宇宙学会、金沢
- ⑭ Kon, S., Nakamura, N., Funaki, M., Sakanaka, S.、Magma flow direction of basaltic rocks in the King George Island, Antarctica, Japan Geoscience Union Meeting 2011, May 2011, Makuhari, Chiba
- ⑮ Funaki, M., Hirasawa, N. and Ant-plane group, Atmospheric and aeromagnetic researches by a small autonomous UAV, Ant-Plane, Developed for Antarctic Research., SCAR 2010 meet, The European Union's COST Action ES0802, Workshop on Scientific Application of Unmanned Aerial, Systems in Atmospheric Research. 2010, September, Cambridge, UK
- ⑯ Funaki, M., Hirasawa, N. and Ant-plane group, Aeromagnetic survey by a small autonomous unmanned aerial vehicles, Ant-Plane, developed for Atmospheric research, アジアオセアニア地球科学会議 (AOGS), 2010, July, Hyderabad India
- ⑰ Funaki, M., Hirasawa, N., Asano, H. and Sakanaka, S.、A review of the flights for

autonomous unmanned aerial vehicle,
Ant-Plane, at Syowa Station, Antarctica,
日本地球惑星科学連合 2010 大会、2010, May,
千葉市幕張メッセ

⑱ Funaki, M., Ant-Plane group,
Aeromagnetic survey by a small autonomous
unmanned aerial vehicle, ANT-PLANE
developed for Antarctic research, SCAR
2010 meeting, 2010, July, Buenos Aires

6. 研究組織

(1) 研究代表者

船木 實 (FUNAKI MINORU)
国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号：10132713

(2) 研究分担者 (H22-23)

東野 伸一郎 (HIGASHINO SHIN-ICHIRO)
九州大学・工学研究院・航空宇宙工学
部門・准教授
研究者番号：40243901

坂中 伸也 (SAKANAKA SHINYA)
秋田大学・工学資源学部・助教
研究者番号：20323131

岩田 尚能 (IWATA NAOYOSHI)
山形大学・理学部・講師
研究者番号：70302289

中村 教博 (NAKAMURA NORIHIRO)
東北大学大学院・理学研究科・准教授
研究者番号：80302248

(3) 連携研究者

()
研究者番号：