

機関番号：16401
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21740331
 研究課題名（和文）古地球磁場強度測定のためのマイクロ波着磁／消磁システムの設計・製作
 研究課題名（英文）Design and construction of a microwave magnetization/demagnetization system for geomagnetic paleointensity determination
 研究代表者
 山本 裕二（YAMAMOTO YUHJI）
 高知大学・教育研究部自然科学系・助教
 研究者番号：00452699

研究成果の概要（和文）：

新たな絶対古地磁気強度測定法である「低温消磁2回マイクロ波加熱ショー法」の適用に不可欠な、マイクロ波による着磁／消磁システムの設計・製作に取り組んだ。17.3-18.1 GHzのマイクロ波を利用する仮システムを組み上げて、システムの核となる空洞共振器の試験を行った。試料なしの状態では設計値通りの鋭いマイクロ波吸収が確認されたが、実際の試料を設置しての試験ではマイクロ波吸収がかなり鈍る様子が確認された。システムの実用化に向けては、試料サイズを小さくする必要がある。

研究成果の概要（英文）：

A prototype microwave magnetization/demagnetization system have been designed and constructed for an application of the microwave LTD-DHT Shaw method. The system use 17.3-18.1 GHz microwaves. The most important component of the system is a resonant cavity and it is tested with and without a rock sample. Sharp microwave absorption is recognized for the test without the sample, whereas a dull absorption is observed for the test with the sample. Towards the practical use of the system, sample size should be reduced.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：古地磁気学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：固体地球物理学，地球電磁気，磁性，マイクロ波，国際情報交換，イギリス

1. 研究開始当初の背景

地質学的なタイムスケールで見ると、果たして“最近”の平均地球磁場はどのような姿をしているのだろうか？ “最近”として過去500万年程度

を考えると、地球磁場の時間平均は地心軸双極子磁場であることが知られている。つまり、地磁気極の時間平均は、地理北極もしくは南極と一致する。では、双極子の強さについてはどうだろうか？ 様々な困難はあるが、古地磁気学的手

法を用いれば、過去に形成された火山岩から当時の地磁気強度の絶対値(絶対古地磁気強度)を推定することができる。この推定値は、ある仮定のもと、双極子の強さ(双極子モーメント)に換算できる。

これまで絶対古地磁気強度の測定においては「テリエ法」(Thellier and Thellier, 1959; Coe, 1967)が最も信頼性が高いとされ、広く用いられてきた。しかし、近年、テリエ法による測定地磁気強度が真の地磁気強度に一致しないという例が相次いで報告されてきている。Tsunakawa and Shaw (1994)および Yamamoto et al. (2003)は、ショー法(Shaw, 1974)をベースに様々な改良を行い、新しい絶対古地磁気強度測定法(低温消磁2回加熱ショー法)を開発した。その高い信頼性は、形成時の地磁気強度が既知の歴史溶岩試料を用いて実証されている。

Yamamoto and Tsunakawa (2005)は、この低温消磁2回加熱ショー法をフレンチポリネシア・ソサエティ諸島火山岩(南半球地域)に適用することにより、過去500万年間の地磁気双極子モーメント平均値として $3.64 \pm 2.10 \times 10^{22} \text{Am}^2$ (24データ)を得た。この大きさは、現在の地磁気双極子モーメントの大きさの約半分である。つまり、現在の地磁気ダイナモは相当活動的状態にあり、地質学的“最近”と比較すると、平均的な状態からはかけ離れていることが示唆される。この考えは従来の認識を大きく覆す。

しかし、低温消磁2回加熱ショー法は、まだ大きな問題点を抱えている。(1)実験室内で試料の熱残留磁化獲得を再現する際に行う加熱は時間がかかるうえ(数時間)、(2)試料中の磁性鉱物が熱変質を受けてしまうことが多いのである。(2)により変質が大きい場合は、測定結果を棄却せざるを得ない。そのため、過去1~500万年程度の火山岩に対しては、様々な工夫を重ねても測定合格率は約50%に留まっている。また、そもそも、加熱により変質を受けやすい地質年代の古い火山岩は、通常の絶対古地磁気強度測定に向かない場合が多い。

これらの問題点を解決する切り札として、“マイクロ波励起技術”がある。1990年代以降、イギリス・リバプール大学のショー教授のグループは、マイクロ波により磁性鉱物の磁気モーメントのみを選択的に励起し、試料の加熱なしに着磁・消磁を行うことが可能な技術・装置を開発した。従来の電気炉による加熱とは異なり、試料の熱変質がほぼ抑制され、着磁・消磁の必要時間も劇的に短縮される(数秒~数十秒)。研究代表者は2006年6月~2007年3月にかけてショー教授の研究室に滞在し、「低温消磁2回マイクロ波加熱ショー法」の開発に取り組み、基本的な開発に成功した(Yamamoto & Shaw, 2008)。

2. 研究の目的

研究代表者は低温消磁2回マイクロ波加熱ショー法の開発に成功したが、現在、この方法の適用に必要な不可欠なマイクロ波による着磁/消磁システムは、世界で唯一、リバプール大学にのみ存在する。現状では、日本国内でこの方法を適用した絶対古地磁気強度測定を行うことはできない。本研究では、マイクロ波による着磁/消磁システムの実用化を目指し、その設計・製作に取り組む。

3. 研究の方法

(1) 本システムは主に「信号発生器」「信号増幅器」「信号伝播路」「共振器」「直流磁場制御部」で構成する。「信号増幅器」と「直流磁場制御部」を除く構成要素について、その設計と手配を行う。

(2) 仮システムを組み上げて、信号伝播路および共振器の周波数特性の試験・改善に取り組む。

(3) リバプール大学のショー教授の研究室を訪問し、情報交換および先方の装置による各種実験を行う。

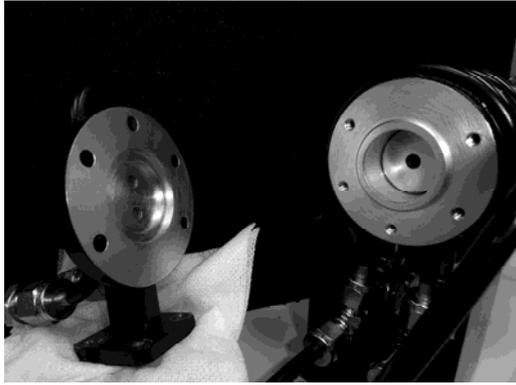
4. 研究成果

(1) システム構成要素の設計と手配

研究開始前の段階において、すでに20 GHzまでのマイクロ波を発生可能な信号発生器を準備しておいたため、着磁/消磁効率と価格を考慮して、システムとしては18 GHz帯のマイクロ波の利用に最適化することとした。

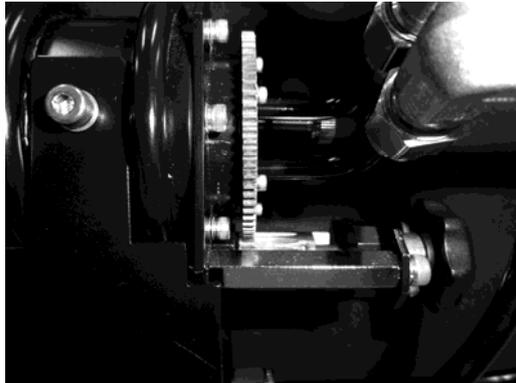
信号伝播路に対応する具体的な部品構成は、導波管、同軸導波管変換器、直行形方向性結合器、電界チューナー、磁界チューナー、アイソレータ、電力計、電力センサーとすることとした。すでに準備をしていた電力計以外について、手配を行った。

共振器部分は、17.3~18.1 GHzの範囲で鋭い吸収となる空洞共振器(図1)を設計・手配し、すでに準備していた磁気シールドケースの中にその共振器を設置することとした。最大で100 Wの入力電力まで対応できるようにしたため、空洞共振器およびその付近の導波管には水冷の配管を設けた。



【図1】 本研究で設計した空洞共振器

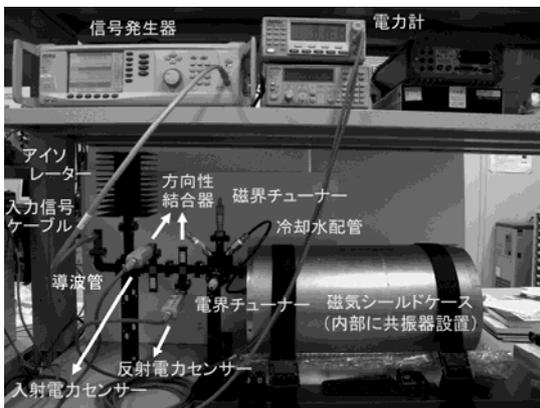
着磁/消磁の対象試料は直径 5 mm×高さ 2~3 mm を想定し、石英ガラス管の先端に取り付けて空洞共振器の共鳴中心に設置できる構造とした。試料ごとの形状や表面状態の違いによるマイクロ波共振特性の変化に対応させるため、共振器長を調節できる機構(図2)も備えるようにした。



【図2】 共振器長を調節するためのツマミ

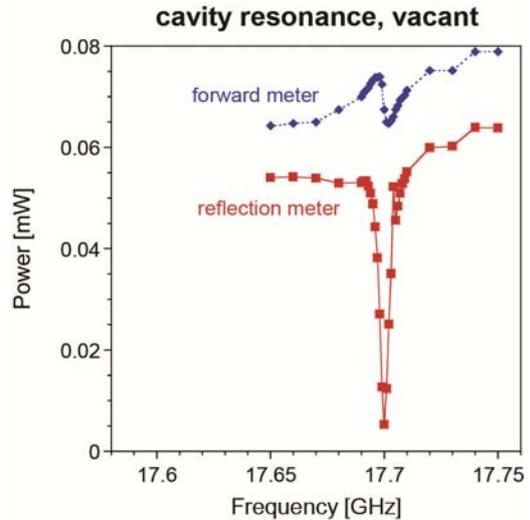
(2) 仮システムの組み上げと、信号伝播路および共振器の周波数特性の試験・改善

信号発生器、信号伝播路、共振器部分を組み合わせて仮システム(図3)を組み上げた。

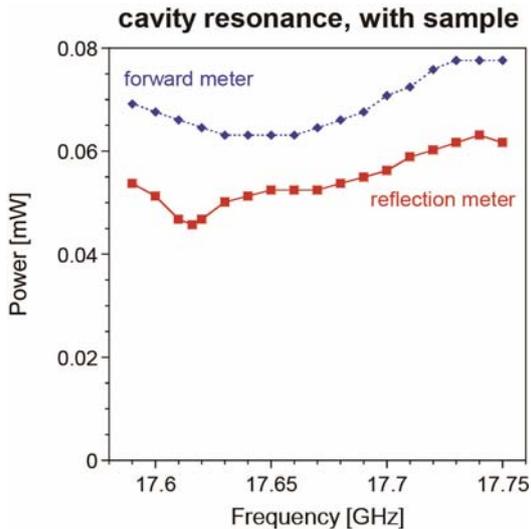


【図3】 本研究で組み上げた仮システム(上図)。磁気シールドケース内に空洞共振器を設置している(左図)。

まず、試料をセットしない状態で共振器の試験を行った。設計値通りに 17.3-18.1 GHz 帯でマイクロ波の鋭い吸収(共振)が確認され、システムの基本性能が満たされていることが確認された(図4)。次に、共振器長を変更せずに直径 5 mm×高さ 2 mm の火山岩試料を共振器の中心位置にセットして試験を行ったところ、共鳴周波数が 80MHz ほど低周波数側へシフトし、吸収もかなり鈍る様子が確認された(図5)。共振器の設計波長およびサイズに比べて使用する試料のサイズが大きいことが原因と考えられ、もっと試料サイズを小さくすることが必要と考えられる。この点については今後の検討課題である。



【図4】 試料をセットしない状態での、マイクロ波入力に対する共振器の応答。forward meter は入力電力を示し、reflection meter は反射電力を示す。17.70 GHz でマイクロ波の鋭い吸収が見られる。

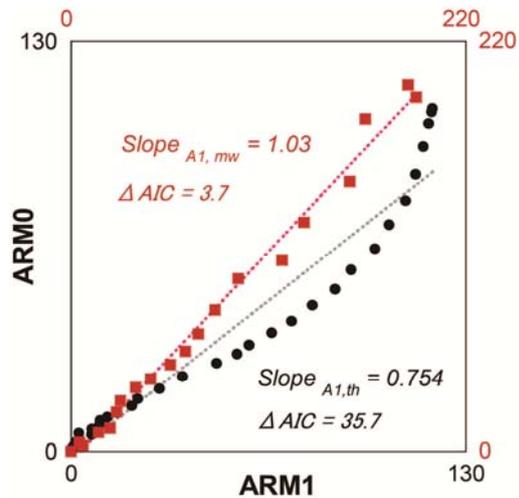


〔図5〕 試料をセットした状態での、マイクロ波入力に対する共振器の応答．図4に比べて共鳴周波数が80MHzほど低周波数側へシフトし、吸収もかなり鈍る様子が確認できる．

(3) リバプール大学での実験

2010年7月に約2週間にわたりリバプール大学のショー教授の研究室を訪問し、情報交換および先方の装置による実験を行った．行った実験は「低温消磁2回マイクロ波加熱ショー法」の適用である．Yamamoto and Shaw (2008)では、本方法を形成時の地磁気強度が既知のハワイ1970年溶岩試料に適用して、正しく地磁気強度が測定されたことを確認しているが、実際に過去に形成された溶岩試料に対する適用は未だかつて行っていなかった．そこで、アイスランド Sudurdalur 地域から採取された古期溶岩（約400-600万年前）から選定した7個の試料を対象として、「低温消磁2回マイクロ波加熱ショー法」の適用を行うこととした．

実験の結果、4個の試料から合格結果が得られ、通常加熱による方法と比較して化学変化が抑制されていることも確認された（例：図6）．今後、本研究計画を発展させて国内でマイクロ波着磁／消磁システムを実用化できれば、「低温消磁2回マイクロ波加熱ショー法」のルーチンの適用が可能になると期待される．



〔図6〕 MA26-05 試料の1回目加熱前後の ARM（非履歴性残留磁化）変化の様子．ARM0 は加熱前、ARM1 は加熱後の ARM である．赤はマイクロ波加熱の結果、黒は電気炉による通常加熱の結果であり、マイクロ波加熱のほうが化学変化が抑制されていると判断できる．

(4) 今後の課題

本研究によって、17.3-18.1GHzのマイクロ波を利用する着磁／消磁のための仮システムを組み上げることが出来た．今後は下記の課題を解決して、システムの実用化を目指す．

- ① 当初に想定していた直径5mm×高さ2~3mmのサイズの試料では、サイズが大きすぎて共振状態がかなりの程度失われてしまう．より小さいサイズの試料を使用する必要がある．
- ② 試料の位置に応じて、共振状態は微妙に変化する．試料の位置を制御するための機構が必要である．
- ③ 直流磁場発生コイルなどを設置していないため、現状では着磁を行うことができない．直流磁場制御部を設計して設置する必要がある．
- ④ 最終的に、試料の完全着磁・消磁を行うためには、信号増幅器（パワーアンプ）を設置してマイクロ波入力電力を数十ワットにまで増幅する必要がある．

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 1 件)

- ① Yamamoto Y., Shibuya H., Tanaka H. and Hoshizumi H., Geomagnetic paleointensity deduced for the last 300 kyr from Unzen Volcano, Japan, and the dipolar nature of the Iceland Basin excursion, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 293, 236-249, 2010, 査読有.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 山本 裕二, アイスランド Sudurdalur 地域から採取された古期溶岩への低温消磁 2 回マイクロ波加熱ショー法の予察的適用, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 128 回講演会, 2010 年 11 月 2 日, 沖縄県市町村自治会館, 沖縄県.
- ② Yamamoto Y., Shibuya H., Tanaka H., and Hoshizumi H., First absolute paleointensity record of the Iceland Basin geomagnetic excursion found in Unzen Volcano, Japan, and the dipolar nature of the excursion, *Western Pacific Geophysics Meeting*, 2010 年 6 月 24 日, 台北国際会議中心, 台湾.
- ③ 山本 裕二, 渋谷 秀敏, 田中 秀文, 星住 英夫, Iceland Basin 地磁気エクスカージョンは双極子的か? - 雲仙火山岩から得られた古地磁気強度測定結果からの検討, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 126 回講演会, 2009 年 9 月 28 日, 金沢大学, 石川県.
- ④ Yamamoto Y., High temperature oxidation of titanomagnetite grains and its possible influence to Thellier paleointensity determinations, *International Association of Geomagnetism and Aeronomy*, 2009 年 8 月 29 日, Sopron, Hungary.
- ⑤ Yamamoto Y., Lee Y.S., and Kodama K., Absolute paleointensity from ca. 5 Ma Jinchonri basalt in Baekryeongdo Island, the furthest north part of south Korea, *International Association of Geomagnetism and Aeronomy*, 2009 年 8 月 29 日, Sopron, Hungary.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 裕二 (YAMAMOTO YUHJI)
高知大学・教育研究部自然科学系・助教
研究者番号: 00452699

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし