

平成30年6月1日現在

機関番号：24303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K15263

研究課題名(和文) 血痕から事件現場を推定する方法の開発

研究課題名(英文) Development of a new crime scene investigation using bloodstain

研究代表者

新谷 香(石田香)(Shintani-Ishida, Kaori)

京都府立医科大学・医学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50345047

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：血中ヘモグロビンは、2価の鉄イオンを配位する磁性体であることから、血痕は地磁気により帯磁し、その磁場方向を記録している可能性がある。本研究の目的は超伝導量子干渉素子(SQUID)磁束計を用いて、帯磁した血痕の磁化方向を決定することにあった。血中のヘム鉄と同等量の鉄イオンを含有する9 mM塩化鉄(III)溶液を、地磁気の約1.5倍強さの磁場の中に置いた担体に滴下して斑痕を作製したところ、SQUID磁束計で磁化方向に矛盾しない磁気シグナル波形を得ることができた。しかし、血痕では磁気シグナルを検出することができなかった。

研究成果の概要(英文)：Hemoglobin in the blood is a magnetic molecule holding ferrous iron; therefore, blood-stain on cloth may become magnetized by geomagnetism and preserve the geomagnetic orientation. The aim of this study was to determine the magnetic orientation preserved on the magnetized blood-stain by using a superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer system. The solution of 9 mM ferric chloride, which corresponds to the equivalent density of ferric ions in blood, was dropped onto the substrate in the magnetic field equivalent to approximately 1.5 times intensity of the geomagnetic field. The orientation of the magnetization on the stain samples could be identified by SQUID measurements. However, the magnetization of the blood-stain samples were not detectable.

研究分野：法医学

キーワード：血痕検査 地磁気 SQUID磁束計 残留磁化 磁化方向

1. 研究開始当初の背景

血痕は傷害事件、殺人遺棄事件、ひき逃げ事件などの犯罪捜査において極めて重要な証拠資料である。しかし、出血時の状況を知り得る血痕検査としては、血痕の陳旧度の推定、血痕の形状の観察(付着の仕方)、出血量の推定などしかない。

本研究の発想は「古地磁気学」といわれる岩石や土壌などに残留磁化として保存されている過去の地磁気を分析する地質学の研究手法からきている。例えば火山岩の場合、噴火で流れ出したマグマが冷却し固結する時、マグマに含まれた磁性を持つ鉱物粒子はその時の地磁気の方に帯磁する。この残留磁化を調べることで、岩石が生成された場所の方位や経緯度が推定できる。我々はこの現象が、磁性体であるヘモグロビンを含む血液が血痕になるときにも起こるのではないかと考えた。

血液の赤血球に存在するヘモグロビンは、2 価の鉄イオンを配位する磁性体である。ヘモグロビンの磁気モーメントは外部磁場の影響を受けるが、外部磁場では液体状態の血液はヘモグロビン分子の運動により帯磁しない。一方、血痕はヘモグロビンが担体に固定されるので、外部磁場(地磁気)の方に磁化されると予想される。しかし、ヘモグロビン含有量から、血痕の残留磁化は微弱であることが予想され、超高感度な磁束計が必要であった。

2. 研究の目的

今回、研究分担者らが開発した世界トップクラスの高感度超伝導量子干渉素子(Superconducting QUantum Interference Device: SQUID) 磁束計を用いて血痕の磁化の検出を試みることにした。本研究の目的は、SQUID 磁束計を用いて、地磁気程度の弱い磁場で帯磁した磁性体の残留磁化を検出する方法を開発し、血痕の磁化情報(方位や経緯度)を検出できる方法を確立することにあった。

3. 研究の方法

SQUID 磁束計は元々脳磁や心磁のような自発磁場を検出するものなので、そのままでは血痕の残留磁化を検出することはできない。そこで、血痕試料が磁気センサの直下を反復通過するよう、左右に揺動するモーター装置を作製した(図1)。

塩化鉄(III)の斑痕あるいは血痕用の担体は、マニキュアで20 mm×20 mmに縁取りしたポリエチレンろ紙を大判のスライドガラスにテープで貼り付けて作製した。ヘルムホルツコイルあるいはソレノイドコイルで生成した磁場、あるいは磁気シールドボックスの中に担体を置き、塩化鉄(III)溶液あるいはボランティアの血液100 μLを滴下し、試料を作製した。

試料を、SQUID 磁束計に内蔵した揺動装置にセットし、試料がセンサ下を通過する(図2a)ごとに得られるx、y、あるいはz軸方向(図2b-d)の波形シグナル(図3)50回分を加算平均した。

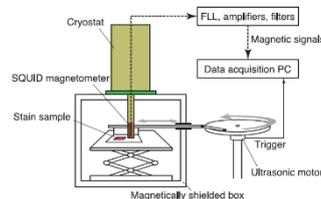


Fig. 3. Schematic diagram of the experimental setup.

図1 本装置の概略図

(発表論文 IEEE Trans. Appl. Supercond. 2018;28:1-4 の Fig. 3 より引用)

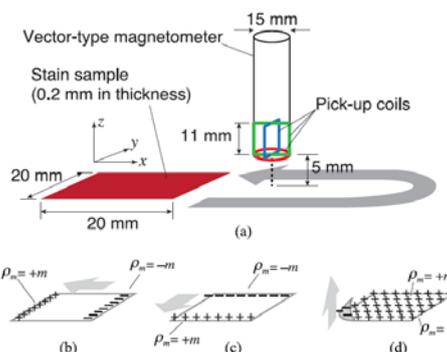


Fig. 1. (a) Schematic diagram showing the assumed dimensions of the magnetometer and a sample for the numerical experiment. (b) Simulated stain sample magnetized tangentially along the x-axis. (c) Simulated stain sample magnetized tangentially along the y-axis. (d) Simulated stain sample magnetized normally along the z-axis. Gray arrows in (a)-(c) represent the orientation of the magnetization.

図2 磁束計の概略図

(発表論文 IEEE Trans. Appl. Supercond. 2018;28:1-4 の Fig. 1 より引用)

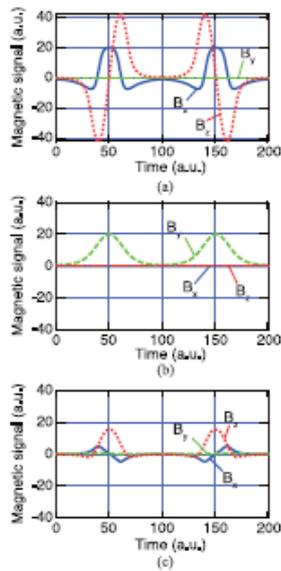


Fig. 2. Simulated waveforms of three perpendicular components of the magnetic fields. (a)–(c) show the results from stain samples magnetized along the x -, y -, and z -axes, respectively. The blue solid lines, green dashed lines, and red broken lines in each plot represent the x -, y -, and z components of the magnetic field, respectively.

図3 x軸方向 (a)、y軸方向 (b)、z軸方向 (c)に磁化された血痕を測定した場合のx方向 (青実線)、y方向 (緑実線)、z方向 (赤点線)のシグナル波形のシミュレーション (発表論文 IEEE Trans. Appl. Supercond. 2018;28:1-4のFig. 2より引用)

4. 研究成果

まず、原理実証実験を行なった。血液の模擬試料として、血液中へのム鉄と同等量の鉄イオンを含有する9 mM塩化鉄(III)溶液、あるいはその10倍濃度の90 mM塩化鉄(III)溶液を用いた。コイルで生成した $66 \mu\text{T}$ (地磁気の約1.5倍の強さ)の磁場に担体を置き、その中で塩化鉄溶液を滴下して任意の磁場方向に30分間磁化した斑痕を作製し、その残留磁化を測定した。その結果、図3のシミュレーション波形と矛盾しないシグナル波形を得ることができた(図4aと図2a、図4bと図2c)。

シグナル波形の大きさは、鉄イオンの濃度と相関し、90 mM塩化鉄の斑痕のシグナルは9 mM塩化鉄のほぼ10倍だった(図4aと図4c、図4bと図4d)。

磁場の暴露時間を30分、10分、5分、1分、30秒と短くしていき、検出可能な残留磁化を得るために必要な磁場暴露時間を検討したところ、1分が必要最短時間であることが分かった。一方、磁気シールドボックス内に置かれた担体に塩化鉄(III)を滴下し、1分間放置した後、 $66 \mu\text{T}$ の磁場に移して30分間暴露したものは、シグナルが検出されなかった

(図4e)。

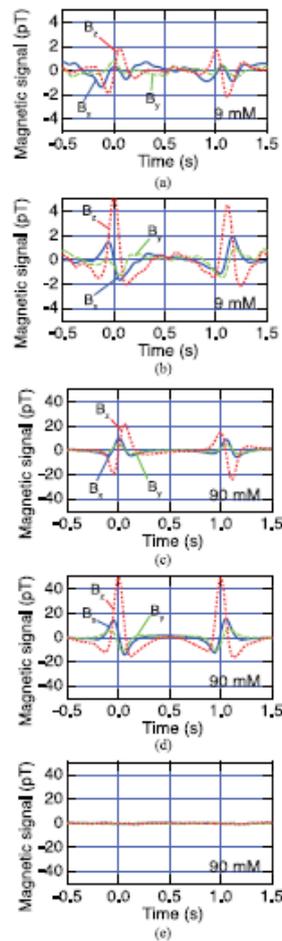


Fig. 4. Typical waveforms of detected magnetic signals. (a)–(c) show the results from stain sample types a–c, respectively. The blue solid lines, green dashed lines, and red broken lines in each plot represent the x -, y -, and z components of the magnetic field, respectively.

図4 x軸方向 (a)、y軸方向 (b)、z軸方向 (c)に磁化された血痕を測定した場合のx方向 (青実線)、y方向 (緑実線)、z方向 (赤点線)のシグナル波形のシミュレーション

(下記の発表論文 IEEE Trans. Appl. Supercond. 2018;28:1-4のFig. 4より引用)

残留磁化に記録された磁場情報がどのくらい保持されるのか検討するために、30分磁場に暴露し磁化した斑痕を、暴露された方向とは逆向きの磁場に置き40日間暴露した。すると、磁気シグナルは半分以下に低下したが、シグナルの形状は変化せず、記録された磁化方向は保持されたままだった。

これらの結果から、1) 塩化鉄(III)溶液は斑痕化するときに置かれた場所の磁場条件を記録する、2) 試料をセンサ下で揺動させれば、SQUID磁束計を用いて、地磁気程度の磁場で帯磁した、斑痕の微弱な残留磁化を検出することができる、3) 一旦帯磁した斑痕は、その磁場から移動して1ヶ月以上置かれても、その磁場方向の記録を保持している、ことが明らかになった。

そこで、血痕への応用可能性を検討するために、健康なボランティアから採取した新鮮

血を用いて、同様の実験を行なった。しかし、血液では磁場を 9 mT に上げて、暴露時間を 10 日間まで延長しても磁気シグナルを検出することができなかった。

酸素化ヘモグロビンは常磁性体だが、血痕にすると直ちに反磁性体の脱酸素化ヘモグロビンとなり、その後変性して常磁性体のメトヘモグロビンになる。血痕で磁気シグナルが検出されないのは、血中ヘモグロビンが反磁性体の脱酸素化ヘモグロビンに変化していることが原因ではないかと考えた。そこで、血液を亜硝酸ナトリウム処理し、ヘモグロビンを常磁性体のメトヘモグロビンに変化させたものを用いて血痕を作製し、磁気シグナルが検出されるか検討した。しかし、これでも血痕から磁気シグナルは検出できなかった。

本研究では、新しい血痕検査の確立を目指し、SQUID 磁束計を用いて血痕の残留磁化を測定し、血痕が作製された時に置かれていた場所の磁場情報を解析できるか検討することを目的としていた。血液と同等の鉄イオンを含む 9 mM 塩化鉄(III) 溶液では、目的通り、地磁気下で滴下後 1 分ほど経つと、斑痕に磁場情報が記録され、残留磁化として SQUID 磁束計で検出できた。しかし、残念ながら、血液では検出することができなかった。ヘモグロビン分子は分子量が約 64,000 と大きいことから、強磁場でないと血中ヘモグロビンの磁気モーメントは影響を受けないのかも知れない。血痕で検出できない理由については、今後の検討課題として残った。

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)

Adachi Y, Oyama D, Kawai J, Yamaguchi T, Shintani-Ishida K, Ikegaya H. Investigation of geomagnetic orientation preserved in a stain containing iron compounds using a vector-type SQUID magnetometer. IEE Transactions on Applied Superconductivity 28(4):1-4 (2018) DOI: 10.1109/TASC.2017.2784843

[学会発表] (計 1 件)

Adachi Y, Oyama D, Kawai J, Yamaguchi T, Shintani-Ishida K, Ikegaya H. Investigation of geomagnetic orientation preserved in a stain containing iron compounds using a vector-type SQUID magnetometer. the 13th European Conference on Applied Superconductivity Geneva, 17 - 21 September 2017

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新谷 香 (石田 香) (SHINTANI-ISHIDA, Kaori)

京都府立医科大学・医学研究科・准教授

研究者番号: 50345047

(2) 研究分担者

足立 善昭 (ADACHI, Yoshiaki)

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授

研究者番号: 80308585

小山 大介 (OYAMA, Daisuke)

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・准教授

研究者番号: 60569888

山口 武志 (YAMAGUCHI, Takeshi)

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・研究員

研究者番号: 20593437