



Title	ヒト手指の温度感覚に伴う脳磁界
Author(s)	平田, 恵啓; 井野, 秀一
Citation	電子科学研究, 4, 55-58
Issue Date	1997-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24373
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_P55-58.pdf



ヒト手指の温度感覚に伴う脳磁界

量子計測研究分野 平 田 恵 啓
感覚情報研究分野 井 野 秀 一

ヒトが手を使って作業するには接触覚や圧覚・振動覚に加えて、温度感覚が重要な役割を担っている。しかし温度感覚に関する研究は主に心理物理実験でのみ調べられていて、脳活動と関連づけられたものはない。本報告ではヒトの右手に温度刺激を与えて、そのときの脳磁界を19チャンネルSQUID磁束計を用いて計測した結果について述べ、温度刺激誘発脳磁界を記録するためにはどうしたらよいかを検討する。

1. はじめに

我々は手で物に触れたり、握ったり、動かしたりするが、これらは日常生活において不可欠な動作である。これらの作業を行うためには、体性感覚の接触覚・圧覚・振動覚が活用されている。人が手を使って安全かつ正確な作業する際には、物体の材質感も重要な情報になっていると考えられるが、このときには触覚とともに温度感覚が重要な役割を担っている^[1]。ヒト手指の温度に対する基本特性はこれまで主に心理物理実験により調べられてきているが^[2]、手指の温度と脳活動との関連づけを行った生理学的な知見はほとんどない。そこで本報告では被験者の手に水を用いて温度刺激を与え、そのときに記録された脳磁界について述べる。

2. 実験方法

被験者は正常な温度感覚を有する成人4名（男3，女1，24-26歳）である。脳磁界の記録には量子計測研究分野内に設置された19チャンネルSQUID磁束計を用いた^[3]。ヒト手への温度刺激呈示法には電氣的に温度を制御するペルチェ素子を用いた熱移送や、赤外光やレーザー光を用いた加熱等が考えられる。しかし、本実験では超高感度な磁気センサであるSQUIDへの刺激呈示装置による電気・磁氣的なアーティファクトの混入をさけるために温水と冷水を用いた。図1に示すように、36又は39°Cの温水と氷を入れて0°Cに保った冷水をそれぞれタンクに用意し、マグネットポンプに

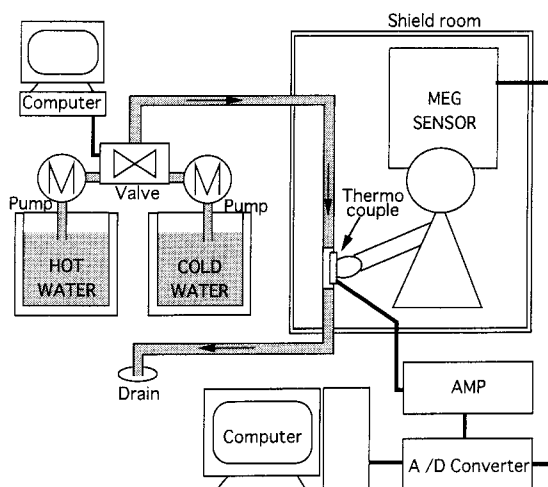


図1 ヒト手への温度刺激の実験システム

より加圧した。コンピュータで制御された3方電磁弁により常にどちらか一方の水が流れるようにした。内径8mmのポリエチレンチューブによりシールドルーム内に導かれた水は、被験者の右手示指または右手指と掌全体に薄い膜を通して温度刺激を与え、その後シールドルーム外の排水穴へ排出される構成とした。温度感覚は単位時間当たりの温度変化量が同じでも、変化前の皮膚表面の温度が違っていると異なった温度に感じられるため^[2]、温度刺激の基準となる温水の呈示時間（20-30秒）は冷水（3-5秒）に比べ十分に長くした。電磁弁から温度呈示部位までは約6メートル長であり、弁が切り替わってから約7秒後に呈示部で温度

の変化が観測された。温度呈示部での温度変化をモニタするために、熱電対を膜表面に接着した。被験者の指が常に熱電対を覆って温度呈示部に密着するようにし、熱電対の示す温度が指表面の温度であるとした。

右手に与えた温度刺激の求心性経路は痛覚と同様に脊髄で左側へと交叉し、延髄、中脳を経て左脳の中心後回(体性感覚野)に投射されるので^[4]、SQUID センサの中心は脳波記録で用いられる国際電極配置法(10-20 法)の C3 の部位(左頭)とした^[5]。本実験では温水から冷水に切り替わって右手の温度が変わったと感じたときの脳磁界を記録することを目標としたので、実験前に被験者が水温が変わったと感じた温度(閾値)を記録し、熱電対の表示温度が閾値に達した時にトリガをかけた。また、実験終了直後に再び閾値を求めて実験の前後で変化のないことを確認した。記録時間はトリガの前後 5 秒間とした。磁界データは、100 試行を加算平均し、40 Hz のデジタル LPF を通し、全区間にわたってオフセット処理を行った。

3. 結果

36°Cの温水刺激を基準(定常温)とした場合、全被験者で閾値となった温度は 20-24°Cであり、このとき冷たく感じると報告した。これは電磁弁から温度呈示部位までの経路途中での放熱効果により実際に右手に呈示された温度が 35-20°Cであること、32-35°Cの温度域は定常状態では暖かくも冷たくも感じない無関感覚であることに符合する。一方 39°Cの温水刺激とした場合、2名の被験者で温度閾値が 31-33°Cとなった。これらの被験者は暖かい状態から暖かくなる温度変化をはっきりと知覚した。しかし、その後続く冷たく感じる温度で合図するよう教示したが、温度が徐々に下がる感覚があるためか、その値は大きくばらついた。

被験者 2 より得られた脳磁界データを重ね書きした結果の一例を図 2 上に示す。この結果から明らかなように、視覚刺激・聴覚刺激で観測されるような振幅が数百 fTpp の応答は観測されなかった。被験者 1, 3 でも同様の結果であった。一方、温水の温度によらず 22-24°Cで冷たくなると答えた被験者 4 では 3 回の計測を通じて、データの記録区間全体に約 0.25 Hz、振幅 100 fTpp のゆっくりとした変動が観測されたが、温度閾値と磁界データの明確な対応関係は見られなかった。

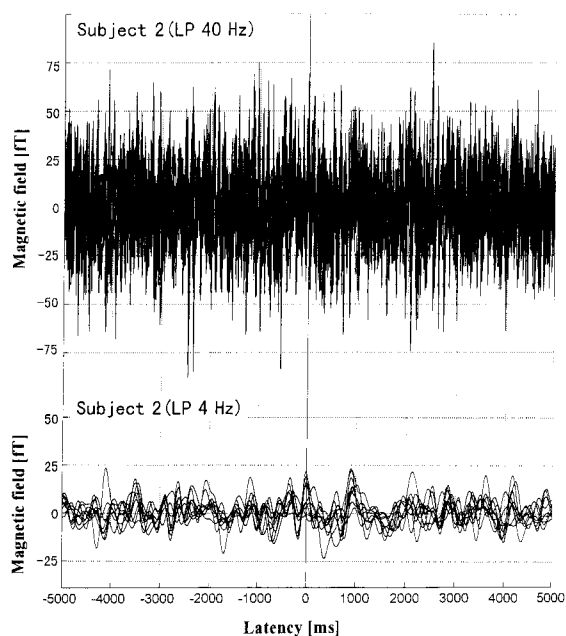


図 2 上図は被験者 1 から得られた 100 試行分のデータを各チャンネルごとに加算平均し 40 Hz の LPF をかけて、すべてのチャンネルのデータを重ね書きしたもの。
下図は上図のデータに 4 Hz の LPF で処理して、再度オフセットを取り直した結果。

そこで図 2 下のように脳磁界データを 4 Hz のデジタル LPF で処理した結果について検討を行った。図 3 は被験者 1 より同一の部位で 2 回連続して記録した脳磁界データである。明確な変化ではないが、温度が変わったと感じた潜時(0 ms)の前後で脳磁界の振幅が若干減衰している。この被験者は他の測定でも同様の傾向を示していた。図 4 には同様に同一の部位で 2 回連続して測定した被験者 2 の結果をセンサ配置状にならべて示す。この被験者の場合、測定ごとの磁界データの変動が非常に大きく、温度の知覚に関連すると思われる反応は見られなかった。一方、図には示していないが被験者 3 では温度閾値が常に 1 秒程度の時間幅(約 4°Cに相当)でふらついており、測定ごとの磁界の RMS のばらつきは大きくなかったが、温度刺激に対する反応も観測されなかった。

4. 考察

今回の実験では、1名の被験者で温度変化の知覚時に脳磁界の振幅が若干減衰した。しかし温水と冷水を用いた温度刺激によりはっきりとした誘発脳磁界を観

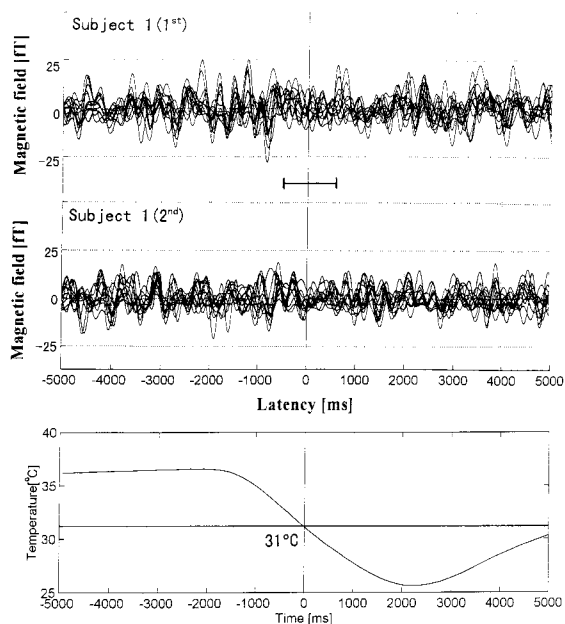


図3 被験者1の左頭から2回連続して記録された脳磁界データとそのときに呈示した水温の変化パターン。上図は1回目の結果、中図は2回目の結果を示す。横軸の時間0msは被験者1が温度が変わったと感じた温度になった時刻であり、このときは33°Cであった。

測できなかった。この原因として以下のことを考察した。まず、脳磁界の計測では刺激に対する応答脳磁界だけでなく、アルファ波に代表される自発性のリズムが大きな振幅で観測される。そのため、刺激に同期させて脳磁界データを加算平均し、誘発脳磁界のS/Nを改善することが通常行われる。本実験でも熱電対の示した温度をモニタし、被験者の閾値でトリガをかけ同期加算を行うように設定した。しかし熱電対は水温を示しているのであって温覚や冷覚の受容器がある真皮自身の温度を直接計測しているのではない。今回の測定では皮膚と温度呈示部が常に接触するように工夫したが、常に一定の圧力で接触していたかどうかは定かでない。そのため、温度の知覚とデータ記録の同期性が十分に保たれなかった可能性もある。

今回用いた温度刺激が大きな誘発反応を引き起こすに十分な刺激であったかどうかについても検討する必要がある。これまでにCO₂レーザを腕に照射して加温する温度刺激により、C3部位からの脳磁界計測で400fTppの痛覚応答が得られることが報告されている^[6]。この方法では、刺激を与えてから短時間で刺激部の温

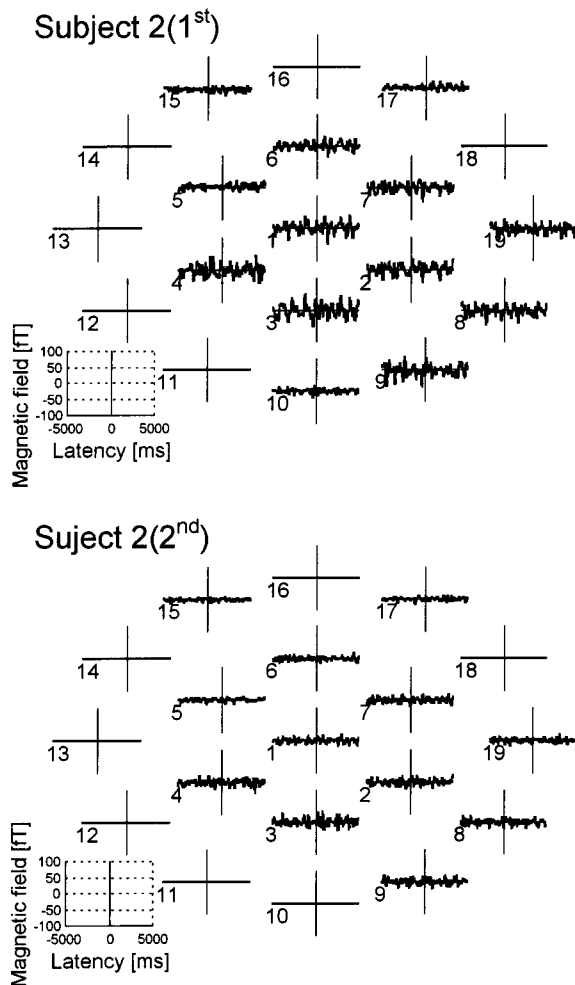


図4 被験者2の左頭から2回連続して記録された脳磁界データをそれぞれSQUIDセンサの配置に沿って表示した。1番がC3の真上で、13番が顔方向、16番が頭頂方向である。11-14、16、18番のセンサは調整中のため動作していない。

度が上昇することが予想される。本報告の温度刺激では温度勾配は最大6.6°C/秒であったが、この温度勾配をさらに大きくして同様の実験を行う必要があると考えている。また、先に述べたように、温度変化を与える直前までの定常温度の違いが、知覚される温度感覚に大きな影響を与えることから、定常温度の決め方を工夫することも重要である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、被験者として協力してくださった、量子計測研究分野の大学院生に記して感謝する。

【参考文献】

- [1] 井野秀一, 泉隆, 高橋誠, 伊福部達, 計測自動制御学会論文誌, 30, 345 (1994).
- [2] Kenshalo, D. R., In Human perception and performance (eds. Boff, K.R. and Lincoln, J.E.), AAMRL, Wright-Patterson AFB, 1, 758 (1988).
- [3] 平田恵啓, 栗城真也, 中山哲, 山崎慶太, 池田顕蔵, 電気学会論文誌, 116 C, 181 (1996).
- [4] Martin, J. H. and Jessell, T. M., In Principles of neural science (eds. Kandel, E. R., Schwartz, J. H. and Jessell, T.M.), Elsevir, 363 (1991).
- [5] 大熊輝雄, 臨床脳波学, 35, 医学書院 (1991).
- [6] Kakigi, R., Koyama, S., Hoshiyama, M., Kitamura, Y., Shimojo, M. and Watanabe S., Neurosci Letters, 192, 45 (1995).