

人間情報学会

Academy of Human Informatics



第20回人間情報学会ポスター発表集

2015年4月23日

東京大学山上会館

## 第 20 回人間情報学会 ポスター発表集 目次

1. 脳波を用いた手話理解の視覚性と表語性の検討……………P1  
藤井優人里、大形遼平、青山敦
2. メタボリックシンドロームの抑制に対するケトンダイエットの  
短期効果発現に関する一考察:脳腸相関の関与……………P2  
高橋瑠伽、瀬藤乃理子、片桐祥雅
3. 認知制御の二重脳機能ネットワークモデル仮説と検証……………P4  
施嬭、大谷啓尊、羅志偉、片桐祥雅
4. 暑熱環境下で頸部冷却が脳活動に及ぼす効果……………P6  
片桐祥雅、今井絵美子、川又敏男
5. ウェアラブル個別適合冷暖房システムの開発……………P8  
鈴木悠太、豊住尚弥、依田大河、高橋淳二、ロペズ ギョーム
6. ロボットによる感情伝達の検討……………P10  
池田悠平、矢野雄也、渡辺柚佳子、菅谷みどり
7. デジタルセラピーにおける共感能力を養う手法の検討……………P13  
保科篤志、渡辺柚佳子、岡田佳子、菅谷みどり
8. 深部脳活動度を指標とする語産生課題におけるエラー処理の特徴評価……………P15  
今井絵美子、片桐祥雅、川又敏男
9. 左右反転立体音響への長期順応過程における視聴覚空間統合の脳磁界解析……………P17  
青山敦、重田和宏、本多敏、栗城眞也
10. スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムの開発……………P19  
駒澤真人、板生研一、羅志偉

# 脳波を用いた手話理解の視覚性と表語性の検討

藤井優人里 大形遼平 青山敦  
慶應義塾大学環境情報学部 〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤 5322

## 概要

背景と目的：近年、徐々に手話は言語として認められつつあるが、手話理解において視覚処理と言語処理のどちらが優位かは不明である。本研究では、その手話理解の脳内プロセスを探ることを目的とする。

方法：日本手話母語話者、学習者、未学習者を対象に、日本手話、線画、漢字の3種の視覚刺激をランダムに提示し、EEG(脳波計)を用いて脳活動の計測を行った。

結果：手話母語話者では、言語領域近傍の手話に対する活動が相対的に弱く、線画と漢字とで似た活動が観測された。一方で学習者では、手話と漢字とで類似の活動が見られ、未学習者では3者で異なっていた。

考察：健常者では、学習によって手話理解での言語処理の優位性が高まるが、手話母語話者では、必ずしも手話と漢字の処理が類似している訳ではないことが示唆された。

キーワード：日本手話 EEG(脳波計) 視覚処理 言語処理

## 1. まえがき

手話理解について調べることは人の言語処理を理解する上で重要である。手話には物の形を象った単語が多く、これまで長年の間、手話は果たして言語であるのかと様々な分野で議論されてきた[1]。しかしながら、手話を脳で理解、処理するときのプロセスは、視覚処理と言語処理のどちらが優位であるかは依然としてわかっていない[2,3]。本研究では、日本手話、漢字、線画に対する脳活動を脳波計(EEG)を用いて計測し、これらの比較を行った。

## 2. 方法

日本手話母語話者(聴覚障害者)、学習者、未学習者6名に画像刺激を提示し、32 channel EEG system (actiCHamp, Brian Products GmbH)で計測を行った。画像刺激として、同じ意味を持つ日本手話、線画、漢字を50単語ずつ用い、ランダムに提示した。実験協力者には各単語が生物か非生物かを右示指と右中指で応答してもらった。日本手話未学習者には事前に手話の単語を記憶してもらった。

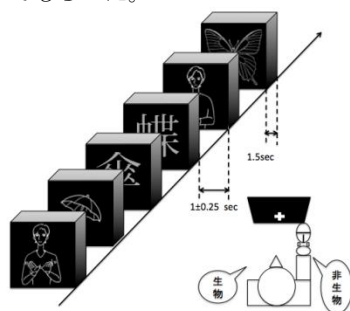


図1 実験課題.

## 3. 結果

左ブローカ野近傍のチャンネルFC1と左ウェルニッケ野近傍のチャンネルCP1について、Time-frequency dataに着目したところ、手話、線画、漢字のいずれの刺激に対しても、 $\alpha$ 波(8-13Hz)が減少した。手話母語話者については、FC1とCP1のいずれにおいても手話に対する活動は相対的に弱かった。一方で線画と漢字に対する活動パターンは似ており、 $\theta$ 帯域(4-7Hz)に強い持続的な活動と、遅れて $\gamma$ 帯域(30Hz以上)に弱い活動が見られた。手話学習者では、手話に対して強

い長時間の $\theta$ 活動が見られ、漢字に対する活動に似ていた。一方で、線画に対しても $\theta$ 活動は見られたが、活動時間が遅かった。手話未学習者では、手話に対する活動は(特にFC1で)弱く、線画ではより強い $\gamma$ 活動、漢字では加えて早期から $\theta$ 活動が見られた。

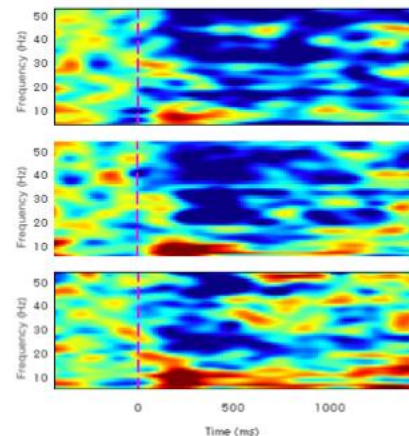


図2. 日本手話母語話者に手話(上図)、線画(中図)、漢字(下図)を提示したときのCP1のTime-frequency data。

## 4. 考察と今後の展望

健常者では、手話学習によって手話理解における言語処理の優位性が高まることが示唆された。一方で手話母語話者では、必ずしも線画に比べて手話と漢字の処理が類似している訳ではなかった。これは、手話母語話者にとっては、手話が物の形を象る性質故、視覚の形態処理が、また音声に接した経験がないこと故、表語文字の処理が健常者と異なるからだと考えられる。

今後は実験協力者を増やし、それぞれの手話学習背景にさらに注目しながら解析を進めていきたい。

## 文 献

- [1] 小崎寛子, “手話は脳の何を指し示すか—手話研究の最近の潮流”, 小児耳 27, pp. 252–255, 2006.
- [2] M. MacSweeney, et al., “Neural systems underlying British Sign Language and audio-visual English processing in native users,” Brain 125, pp. 1583–1593, 2002.
- [3] K. Emmorey, et al., “Neural Systems Underlying Spatial Language in American Sign Language,” NeuroImage 17, pp. 812–824, 2002.

# メタボリックシンドロームの抑制に対するケトンダイエットの短期効果発現に関する一考察：脳腸相関の関与

高橋瑠伽<sup>1</sup> 瀬藤乃理子<sup>2</sup> 片桐祥雅<sup>3</sup>

1 枚方公済病院 〒573-0153 大阪府枚方市藤阪東町1丁目2番1号

2 甲南女子大学看護リハビリテーション学部 〒658-0001 神戸市東灘区森北町6-2-23

3 神戸大学大学院保健学研究科/国立研究開発法人情報通信研究機構 〒654-0142 兵庫県神戸市須磨区友が丘7-10-2

## 概要

ケトン体によるエネルギー産生を基盤とする高脂肪低糖質食事療法は、終末糖化産物の産生を抑制しメタボリックシンドロームの発症を防止する有効な補完療法として期待されている。従来ケトン食療法は数か月以上の長期間のレンジで効果が発現されるとされていたが、抗酸化剤の併用により数週間という短期間のうちに高血圧症状抑制効果を発揮する事例を見出した。この短期効果発現は、酸化ストレス低減が内分泌系を介して昇圧システムを抑制する脳腸相関を基盤とする神経生理作用によるものであることが示唆された。

キーワード： エネルギー代謝、ケトン体、脳腸相関、ストレス緩和

グラント： 科研費 基盤研究 (C) 25420236

## 1. 背景・目的

高血糖状態からつくりだされる終末糖化産物 (AGE) は、強力な酸化作用を持ち、細胞内シグナル伝達を阻害するなど細胞に対して強い酸化ストレスを与え動脈硬化や発癌を促進するとともに、低密度コレステロール (LDL) を酸化することで血管内壁にプラークを形成する原因となっている [1]。糖質制限による食事療法は、薬物を用いない高血糖状態を解消する方法の一つである。特にエネルギー代謝が棟を利用する無酸素系からケトン体を利用する有酸素系へ移行するケトン食療法では、良好な血糖値抑制が可能である [2]。

本研究では、メタボリックシンドロームに対するケトン食療法の有効性を明らかにすることを狙いに、食事介入の経過日数に対する血圧の測定を行った。その結果、介入後1週間前後から血圧が良好に制御されていることを見出した。

## 2. 方法及び結果

ケトン食糧法では、代謝障害があるとケトosisまたはケトアシドーシスを誘発する危険性がある。そこで、重度の肝障害及び糖尿病のない高血圧症を呈する被験者を対象とするパイロットスタディを行った。なお、ケトン体は血液脳関門を通過しグルコースに代わって脳の神経細胞のエネルギー産生に寄与するため、ケトン食療法による中枢の障害の危険性は低い。

脂質 60%、タンパク質 15%、炭水化物 15%を主とする高脂肪食を朝、昼2回摂取する食事介入を行った。脂質を効率よく肝臓で分解しケトン体を生成するため、脂質は $\omega$ 3系脂肪酸を中

心に自然食品及び水素添加のない食用油脂から摂取するようにした。また有酸素系の代謝システムを誘導するため、グルコース枯渇を狙った $\alpha$ リボ酸、ケトン体のリン酸化を促進するLカルニチンをサプリメントとして摂取するようにした。カフによる非観血式血圧測定を温湿度25°C、60%の環境の下安静仰臥位で行った。

図1に介入前後の血圧の経時変化を示す。介入前の収縮期及び拡張期血圧は平均140, 85mmHgと高値 (I度高血圧) を呈していたが、介入後10日程度で平均120, 70mmHgまでの血圧低下を呈した。この至適血圧状態は介入後70日を経過した時点でも維持された。なお、食、事介入による体重の変化は60kg (体脂肪率22.5%) に対して-1.5kgであった。

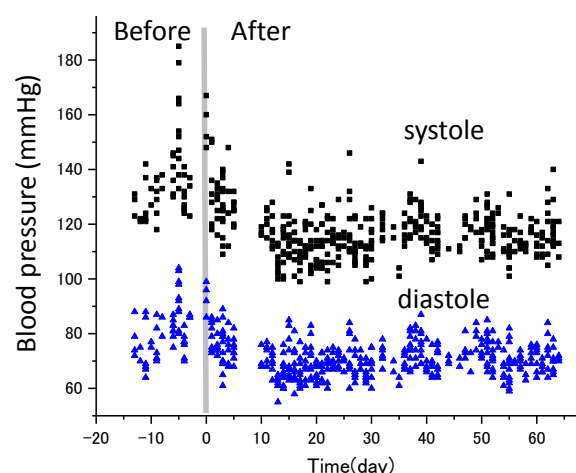


図1 食事介入が血圧に及ぼす効果

## 3. 考察

高血糖状態で産生される AGE により腎臓の血管が障害されると高血圧症を発症し得る。特

に腎動脈硬化によりレニンが過剰に産生されるとレニン・アンジオテンシン・アルドステロン(RAA)系を軸とする昇圧システムが常に起動され、持続的な高血圧状態が誘導される。ケトン食療法は、AGEによる血管障害を防止し得るものであるが、こうした腎性高血圧はその原因となっている血管の障害を短期に除去することができるとは考えにくい。

ストレスが印加されると交感神経の亢進とともに副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) を介してアルドステロンの分泌が誘導され、RAA系と同様に高血圧症が誘導され得る。精神的ストレスは消化管の運動を阻害し腸内環境の劣化を誘導するが、劣化した腸内環境では抗原刺激は脊髄視床路・脊髄網様体路を上行し情動系に係る深部脳を刺激する[3-4]。こうした持続的不快刺激がストレスとなり、高血圧症を招く。我々は、食事療法が劣化した腸内環境を迅速に改善することで内臓感覚に重畳する不快刺激を防止するとともに、それが短期間で高血圧症を改善したものと推察している。食事介入後最も低い血圧状態を経て至適血圧状態内で若干の増大傾向を示す経時変化(図1)は、昇圧システムに係るホルモンの受容体の感度の変化として説明できる。この説明は上記推察と矛盾しない。

#### 4. 展望

高血糖状態は、甘味に対する嗜好性のほか、精神的ストレスに対する行動調節の一つとしての側面がある。その結果誘導される腸内環境の劣化が、高血圧等のメタボリックシンドロームの諸症状を誘導している可能性がある。こうした諸症状は、ストレスに起因した交感神経の亢進を緩和しても直ちには解消されない。このため、多くの場合、血糖値や血圧を制御するための薬物療法が適用される。

本研究は、しかしながら、臓器細胞の器質的变化にまで至らずとも、劣化した腸内環境が直接的なストレスとして高血圧等の症状を誘導している可能性を示唆している。これは、食事療法等による腸内環境の改善だけでメタボリックシンドロームの初期症状を緩和し得ることを意味している。こうした脳腸相関に基づく療法は、薬物療法が抱える副作用の問題を免れるとともに、解決が容易でない精神的ストレスに対しても有効であり、さらなる臨床でのエビデンスの蓄積が期待される。

#### 文 献

[1] Yamagishi SI, Fukami K, Matsui T., "Evaluation of

tissue accumulation levels of advanced glycation end products by skin autofluorescence: A novel marker of vascular complications in high-risk patients for cardiovascular disease", *Int J Cardiol.* 2015 Mar 17;185:263-268. doi: 10.1016/j.ijcard.2015.03.167.

- [2] Manninen AH1., "Metabolic effects of the very-low-carbohydrate diets: misunderstood "villains" of human metabolism", *J Int Soc Sports Nutr.* 2004 Dec 31;1(2):7-11. doi: 10.1186/1550-2783-1-2-7.
- [3] 福土審, "脳腸相関とストレス", *ストレス科学研究* 2013, 28, pp.16-19.
- [4] Kazunori Suda et.al., "Involvement of parasympathetic pelvic efferent pathway in psychological stress-induced defecation," *World J. Gastroenterology* 2013 Feb 28; 19(8), pp.1200-1209. doi: 10.3748/wjg.v19.i8.1200.

# 認知制御の二重脳機能ネットワークモデル仮説と検証

施嫺<sup>1</sup> 大谷啓尊<sup>2</sup> 羅志偉<sup>1</sup> 片桐祥雅<sup>2,3</sup>

1 神戸大学大学院工学研究科 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1,

2 神戸大学大学院保健学研究科 〒654-0142 兵庫県神戸市須磨区友が丘 7-10-2

3 国立研究開発法人情報通信研究機構 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

## 概要

刺激に対して単純に応答する皮質下の認知処理回路と刺激に対して一時記憶保持・認知処理を経て応答する高次脳機能処理回路の二つが拮抗する二重脳機能ネットワークモデル仮説を提案し、デュアルタスクにおける反応時間解析及び近赤外脳血流計測により仮説検証を行った。その結果、高次脳機能処理回路は応答速度の速い皮質下の認知処理回路を抑制的に制御しつつパフォーマンス向上を図っていることが示唆された。さらに、この抑制性の制御に係るパワーは課題の難易度に応じて調節されていることが示唆された。これらの結果は、従来謎とされていた認知制御における皮質下の役割を解明する手がかりを与える。

キーワード： 注意機能 標準注意検査 デュアルタスク 脳機能ネットワーク hemoencephalography

グラント： 科研費 基盤研究 (C) 25420236

## 1. 背景・目的

機器の制御をはじめとする認知制御は、安全・安心・快適な日常生活を送るための重要な脳機能である。しかしながら、脳の損傷や神経変性疾患[1]のみならずストレスが認知制御機能に障害を及ぼし得る[2]。このため、認知制御の神経科学的基盤に立脚した根源的防止策の実現が求められている。

認知制御の中心となるのは意識的な課題遂行を行う高次脳機能であり、その機能の中核は前頭前皮質に存在すると考えられてきた[3]。しかし、前頭皮質機能に特異的な機能として考えられてきたワーキングメモリ[4]や注意制御機能も皮質下を含めた脳全体のネットワークの中で機能していることが推察されるようになった[5]。

我々は注意機能を検査する方法の一つである continuous performance test (CPT) の中で単純な反応時間を検査する simple response time (SRT) と短期記憶に基づく制御が必要な AX-CPT の二つのタスクのパフォーマンスが拮抗することを突き止め、二つの異なる認知制御ネットワークの存在を示唆するに至った[6]。本研究では、これらネットワークがどのように影響しあい注意機能全体を制御しているかを明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法及び結果

存在が仮定されている二つの認知制御ネットワークの相関を明らかにするため、各々を検査するタスクを同時に試行するデュアルタスクパラダイムを基盤に実験計画を立てた。具体的には 2 台のコンピュータを左右の手で独立に制御しつつ SRT-CPT と AX-CPT の同時試行を行い、反応時間の解析を行った。単純な注意リ

ソースの分散の影響を除去するため、コントロールとして SRT-SRT 及び AX-AX というデュアルタスクを遂行した。図 1 にその結果を示す。まず single AX-CPT に対して dual AX-CPT の反応時間は 50ms 以上増大している。この増大はデュアル化による単純な負荷増大であると考えられる。一方、AX-CPT と SRT-CPT を同時に行うデュアルタスクでは AX-CPT の反応時間はデュアルよりもさらに増大すると同時に、単純な SRT-CPT の反応時間も AX-CPT に匹敵する程度に増大することが明らかとなった。また、AX-AX ではそれぞれのターゲットに対するエラー数は (1/400, 2/400) と低い一方 (400 は総試行数)、SRT-AX という組み合わせでは (10, 1) と高いといった特徴を示した。なお非ターゲットに関するエラーでも同様に顕著なエラーの増大 (エラー数=10) が認められた。但し、このエラーは AX-CPT で生じていた。

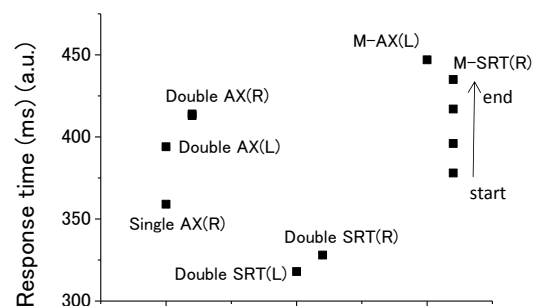


図 1 持続的注意機能検査(CPT)を基盤とするデュアルタスクに対する成績

次に、こうしたデュアルタスク試行による前頭皮質負荷を評価するため、近赤外分光法に基づく脳血流 (hemoencephalography, HEG) 測定を行った。その結果、シングルタスクよりもデュアルタスク (AX-AX) で、前頭部の顕著な前部

の脳血流 (HEG) の増大を認めた。一方、AX-SRT というデュアルタスクでは、試行開始直後で HEG 高値を示すものの急速に減少し、そののち試行終了に向けて微増していくという結果を得た。

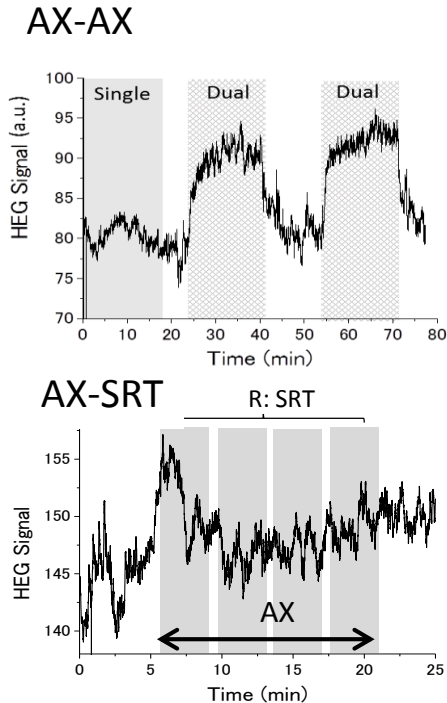


図2 持続的注意機能検査(CPT)を基盤とするデュアルタスクに対する成績

### 3. 考察

刺激入力に対して単純に応答する SRT-CPT はで基底核ループを基盤とする皮質下のネットワークが中心となって認知制御がなされている一方、短期記憶を要する AX-CPT では前頭前皮質による認知制御がなされているものと考えられる。この前頭皮質による認知制御は、単純な応答による誤反応を抑制するものであり、基底核ループの抑制を視床下核経由で行う機能ネットワークが基盤となっているものと考えられる。以上の検討から、単純反応をゲートにより制御する二重脳機能ネットワークモデル (図3) を構築するに至った。

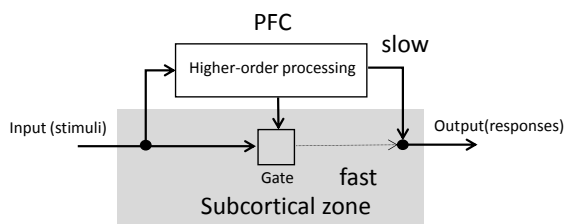


図3 皮質及び皮質下の相関を考慮した認知制御の二重脳機能ネットワークモデル

このモデルにより本研究で得られたデュア

ルタスクの結果を考察してみる。

デュアルタスク (AX-SRT) では、試行開始直後の脳血流は一時的に高値を呈した後急速に減衰している。これに対応し AX-CPT のパフォーマンスは急速に向上している。これは開始当初十分賦活していない PFC が試行により刺激され急速に活性化したことによるものと推察される。一方、タスク中盤 (10 分程度経過) からは減衰した脳血流が徐々に回復している。これに対応し SRT 反応時間も増大しており、認知制御回路の中心が PFC にシフトしていることが示唆される。一方、AX には反応時間のおおきなばらつきを伴う不安定性がある。現時点でこの不安定性を十分に説明することはできないが、皮質と皮質下の二つの認知制御回路がアクティブにスイッチングされていることによるものと考えている。

### 4. 今後の展望

ゲート不安定性とそれに係る二つの認知制御機構の拮抗は、学習における habituation に関連する可能性がある。即ち、皮質と皮質下の認知制御機構はどちらが支配的になるということではなく、適応行動の最適化という点で、どちらもアクティブに機能しているのではないだろうか。今後、こうした仮説を検証し、認知制御の全貌解明を進めていきたい。

### 文 献

- [1] 丸山哲弘, “パーキンソン病の認知機能障害とその神経基盤—薬物療法と認知リハビリテーションの発展に向けて—”, 認知リハビリテーション 1998, 3(1), pp. 2-16.
- [2] Paul E. Holtzheimer et.al., “Stuck in a Rut: Rethinking Depression and its Treatment”, Trends Neurosci. 2011 January ; 34(1): 1-9. doi:10.1016/j.tins.2010.10.004.
- [3] Todd S. Braver et. al., “Flexible neural mechanisms of cognitive control within human prefrontal cortex”, PNAS May 5, 2009 vol. 106 no. 18 7351-7356. Doi/10.1073/pnas.0808187106
- [4] Alan Baddeley, “Working Memory”, Science, New Series, Vol. 255, No. 5044 (Jan. 31, 1992), pp. 556-559.
- [5] Michael I. Posner et.al., “Analyzing and shaping human attentional networks”, Neural Networks 19(2006) 1422-1429.
- [6] Yoshitada KATAGIRI, and Tomomi BOHGAKI, “Dual pathway for controlling attention ability in the central nerve system”, ACBIT2013, Aizu, 2013. (2013/9/17)

# 暑熱環境下で頸部冷却が脳活動に及ぼす効果

片桐祥雅<sup>1,2</sup> 今井絵美子<sup>2</sup> 川又敏男<sup>2</sup>

1 国立研究開発法人情報通信研究機構 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

2 神戸大学大学院保健学研究科 〒654-0142 兵庫県神戸市須磨区友が丘 7-10-2

## 概要

持続的注意機能検査法及び近赤外分光による前頭部脳血流評価法を用いて、暑熱環境下で注意機能を支える脳活動の動態を明らかにした。その結果、単純暑熱環境暴露により前頭部脳血流が増大する一方、頸部冷却により前頭部及び深部とも脳血流が低下することがわかった。これは暑熱環境暴露による不快刺激ストレスへの対応として前頭前皮質が賦活する一方、頸部冷却による不快刺激除去が熱ストレス反応を緩和することを示唆する。

キーワード： 暑熱環境 注意機能 脳血流 頸部冷却

グラント：科研費 基盤研究 (C) 25420236

## 1. 背景・目的

暑熱環境暴露により熱中症等の生理学的危機のみならず認知制御の基盤となる高次脳機能が障害され得る。この障害を防止し安全・安心を確保するためには、障害メカニズムの解明が必要となる。

我々は、異なる二つの認知制御回路が存在し、それらは各々皮質及び皮質下を中心に置き互いに拮抗しつつ機能を補完し合っているという仮説に至っている[1]。しかしながら、暑熱環境暴露におけるこれらの回路の動態は明らかではない一方、臨床的には注意機能の向上と劣化が混在し、統一的な説明をするに至っていない。そこで本研究では、暑熱環境下での二つの認知制御回路の動態及び頸部冷却の効果について明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法及び結果

若年 (20~30 歳代) 健常者男女 13 名を対象に、平常環境 (温湿度 25°C, 60%) 及び暑熱環境の二つの環境条件に対し、持続的注意機能検査 (continuous performance test, CPT) を用いた定量的注意機能検査を実施した。具体的には単純反応時間を計測する SRT-CPT と短期記憶を必用とする AX-CPT の二つを検査法に選んだ。前者は脳深部、後者は前頭皮質を中心とする認知制御回路を基盤とすることが推察されている[2]。断熱環境を与えるヒト型寝袋により簡易的に暑熱環境の実現を図った[3]。

被験者を 2 群に分け、一方の群には頸部冷却装置を装着させる一方、他法には頸部冷却装置を装着するものの作動させないという条件の下で試験を実施した。この条件は頸部冷却装置装着による不快刺激の影響を取り除くために課した。また、試験は平常環境及び暑熱環境暴露での二組の注意機能検査を行うのみとした。

被験者 13 名中すべての試験項目を達成した 9 名の結果を表 1 に示す。

表 1 平常環境及び暑熱環境における持続的注意機能検査結果

被験者ID	反応時間(ms)				頸部冷却
	平常環境		暑熱環境		
	SRT	AX	SRT	AX	あり1, なし0
3	299	404	322	435	1
4	316	389	256	387	1
5	289	390	293	371	0
6	345	481	378	463	0
9	402	501	367	435	0
10	279	457	299	457	0
11	301	366	299	375	1
12	267	374	286	370	1
13	302	398	348	417	1

平常環境と暑熱環境の間での注意機能の変化を個人差に依存することなく評価するため、平常環境下での反応時間を基準とした反応字時間変化率を導入した。SRT 変化率を横軸、AX 変化率を縦軸として評価した結果を図 2 に示す。

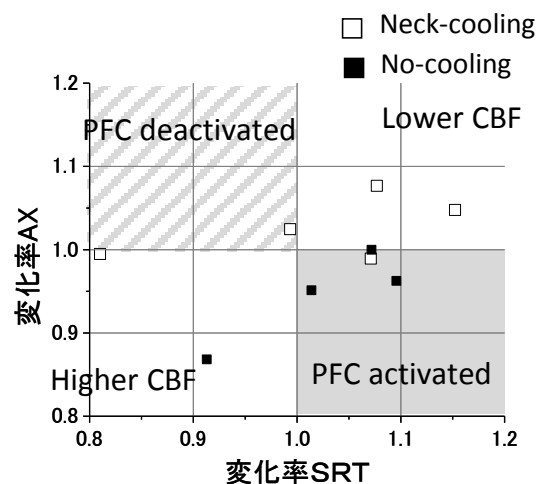


図 1 平常環境から暑熱環境に移行した時の持続的注意機能検査における反応時間の変化率

SRT-CPT および AX-CPT が各々脳深部および前頭皮質を中心とする認知制御により遂行



されるとするならば、変化率(SRT)>1 かつ変化率(AX)<1 は前頭皮質優位、変化率(SRT)>1 かつ変化率(AX)>1 は脳活動全体の低下にそれぞれ対応する。また、変化率(SRT)<1 かつ変化率(AX)>1 は脳深部優位（または前頭皮質低下）、変化率(SRT)<1 かつ変化率(AX)<1 は脳活動全体の賦活にそれぞれ対応する。

こうした脳活動の分類を基盤とすると、平常環境から暑熱環境の推移に対し、頸部冷却なしでは前頭皮質賦活、頸部冷却ありでは脳活動全体の低下がそれぞれもたらされていることが推察された。

### 3. 考察

暑熱環境に暴露されると、熱刺激が皮膚感覚として視床外側を経由して体性感覚野に伝達され温度感覚が認知されるとともに、視床髄板内核群を経由する信号は島皮質、全部帯状回へ伝達され、快不快感覚を伴った温熱感覚を発現させる。さらにこの情報は扁桃体に送られ、様々な対熱ストレス反応が現れる。前部帯状回膝下部は、この扁桃体の活動を抑制しようとする[4]。前頭前皮質と前部帯状回は解剖学的にも神経生理学的にも連続体とみなされるため、前部帯状回膝下部とともに前部帯状回も賦活していると考えられる。これが、頸部冷却なしの状態では暑熱環境に暴露したとき注意機能が前頭皮質に支配される原因であると推察される。一方、頸部冷却がある場合不快感覚が低減する。このとき扁桃体の活動が低下し、それに伴うストレス反応も低減する。このため、ストレス反応の一つである抹消血管収縮も緩和されることで、抹消の皮膚血流が増大するとともに代償的に脳血流が低下する。これが、頸部冷却により一般的に注意機能が低下する原因であると推察される。

### 4. 展望

頸部冷却（ネッククーラー）は、体表近くを走行する頸動脈を冷却することにより循環血液を介して深部体温を直接的に低減しようとするものである。しかし、体温制御における神経生理学的な作用機序は不明であった。特に、大量に流入する熱量を相殺するだけの冷房能力がない場合の効果を合理的に説明することがこれまで困難であった。

本研究で得られた結果は、頸部冷却は神経作用により暑熱ストレスを直接緩和する作用を有することを期待させるものである。すなわち、頸部冷却によりわずかに冷却された動脈血は脳動脈を介して直接的に体温調節中枢のある視床下部を冷刺激し、耐暑反応を緩和するといった神経生理学的作用機序の存在が期待される。従来から頸部冷却により選択的脳冷却が可能であると考えられていたが、ここではこの選択的脳冷却をさらに限定的にとらえている。こうした作用機序は、低い消費電力で駆動される頸部冷却であっても体温調節に対して効果的に作用できることの神経生理学的根拠となり得る。

頸部冷却により熱ストレスが緩和され、脳から抹消へ血流が移行すると放熱が促進され、暑熱環境で体温を維持するのに好都合である。しかし、この代償とし

て前天然皮質の血流が低下し注意機能が低下するという問題がここで改めて浮き彫りとなってきた。暑熱環境下で深部体温上昇の抑制と前頭皮質を中心とする注意機能維持を両立させることは今後の課題である。

### 文 献

- [1] Yoshitada KATAGIRI, and Tomomi BOHGAKI, “Dual pathway for controlling attention ability in the central nerve system”, ACBIT2013, Aizu, 2013. (2013/9/17)
- [2] Todd S. Braver et. al., “Flexible neural mechanisms of cognitive control within human prefrontal cortex”, PNAS May 5, 2009 vol. 106 no. 18 7351–7356. Doi/10.1073/pnas.0808187106
- [3] Gang Sun1 et.al., “Hyperthermia-Induced Disruption of Functional Connectivity in the Human Brain Network”, PLOS ONE, 2013, Volume 8 |(4) e61157.
- [4] Helen S. Mayberg, “Targeted electrode-based modulation of neural circuits for depression”, J. Clin. Investigation, 119(4) 2009, 717-725.

# ウェアラブル個別適合冷暖房システムの開発

鈴木悠太<sup>1</sup> 豊住尚弥<sup>1</sup> 依田大河<sup>1</sup> 高橋淳二<sup>1</sup> ロペズ・ギョーム<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科 〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1

## 概要

**背景:** 現行のネックウェアはスタンドアロン型のため、駆動状態や制御状態は把握できない。また、不快指数を用いた自動制御アルゴリズムは個人差を考慮していないという制約が挙げられる。本研究は、スマートフォンとの双方向通信によるウェアラブル個別適合冷暖房システムを提案している。

**方法:** ネックウェアの駆動状態抽出や制御指令受け取りを無線通信にて行なえるような仕組みを活用し、スマートフォンにより操作プロトコルとインターフェースを実装した。また、小型無線心拍センサからのデータをリアルタイムにスマートフォンで処理できるインターフェースも開発し、そのデータから算出できる副交感神経系の活動指標をもとにネックウェアを制御する仕組みをしている。

**結論・考察:** 副交感神経の活動指標とし、快不快の推定を行い、ネックウェアを制御する仕組みを。そのために他の生体信号を取得することも検討している。

**キーワード:** 頸部冷却 ウェアラブル装置 心拍変動解析 心拍センサ スマートフォン

## 1. 背景

近年、地球温暖化の影響により世界の平均気温が上昇していることが問題視されているとともに、電力不足等により、エアコンを無尽蔵に使用することが困難になってきた。一方、高齢化が進む社会において、空調システムがもたらす生活水準を下げるできない。さらに、エアコンによる空間冷却は、室内でしか使用できない他、年齢差、性別や、健康状態の違いから、その空間内の全員のニーズに応えることが難しい。

川久保らが化学工学に報告したウェアラブル局所冷暖房機能[2]を用いることで、従来のエアコンと異なり、空気を介さず直接人体を冷暖房することにより、使用するエネルギーを効率的に低減し、家庭及び業務部門におけるエネルギーを大幅に削減することができる。更には装置自体の小型化・ウェアラブル化が可能なことからいつでもどこでも個別な体温調節が可能になっている。身につけることの出来るウェアラブル局所冷暖房装置（ネックウェア）のプロトタイプが開発されているが、下記の制約が挙げられる。

- 1) スタンドアロン型のため、駆動状態や制御状態は把握できない。
  - 2) 不快指数による自動制御アルゴリズムが用いられていて、個人差は手動でしか調整ができない。
- そのため、本論文に紹介するウェアラブル個別適合冷暖房システムの開発に取り組んでいる（図1）。



図1. 提案システム概要図

## 2. ネックウェアを制御端末の通信の仕組み

ネックウェアは2.4GHzの特定省電力無線の送受信機能を備え、図2記載の流れの通りに通信を行なっている。内蔵されている各センサデータからなる駆動状態情報を1秒毎に発信している。駆動状態情報発信終

了から、次の発信タイミングまで、コマンド受信可能モードに入る。受入れ可能コマンドは電源入切と目標温度変更の2つがある。したがって、制御端末から特小電力無線規格の通信機を用いて、規定の形式に従ったコマンドを送信すれば、ネックウェアの温度を御制することができる。

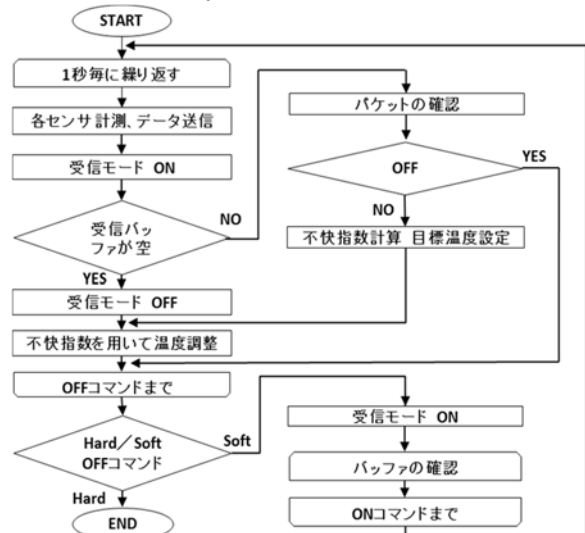


図2. ネックウェア通信処理のフローチャート

なお、受信モードに入っていないければ、コマンドを受信することができない。また、送信したコマンドが正しく受信処理されていれば、ネックウェアから受信成功を表す確認データ packets を返すが、その内容に合わせて再送しても、受信モードのタイミングに合うことが保証されない。その対策として、制御端末からコマンドを送信する際、あらかじめ設定した数の packets を連続送信する仕組みを検証した。制御端末のユーザーインターフェースに制御コマンドを送信するボタンを用意し、1度だけ押すことを計30回繰り返して送信方法を比較した結果、提案送信方法がより確実に受信されることを確認した（表1）。

表1 コマンド送信成功率の検証結果

方法	返事 packets を確認して再送	予め10回連続同じ packets を送信
成功率	40%	77%

### 3. ネックウェア駆動管理アプリの開発

ネックウェア駆動管理アプリの開発は前章紹介プロトコルの実装とユーザインターフェースの2つのモジュールで構成されている。特小電力無線規格はスマートフォンに標準搭載されていないため、USBアダプタ型の専用通信機を付加する必要がある。変換ケーブルを用いることで、充電やデータバックアップ用多くのスマートフォンが備え付けているマイクロUSB端子に専用通信機を接続することが可能。また、Android OS 4.0以降では、APIを用いてマイクロUSB端子に接続されているアクセサリとの通信がプログラミング可能である。シリアル通信によるデータ送受信が簡単実装できるオープンソースライブラリを専用通信機の規格に対応できるように改良し、小電力無線USBアダプタ経由前章紹介プロトコルでネックウェアとスマートフォン間の通信プログラムを実装した。

図3は作成したGUIのスクリーンショットを示す。GUIでは管理状態の可視化機能と端末からの制御機能を搭載した。管理状態では数値とグラフィックを用いてネックウェアの駆動状態情報(目標温度、ネック部温度、周辺温度・湿度、不快指数、バッテリー残量)を確認する。制御機能ではハード本体で可能な操作(温度調整、ON/OFF)を4つのボタンに役割を与えることで制御している。

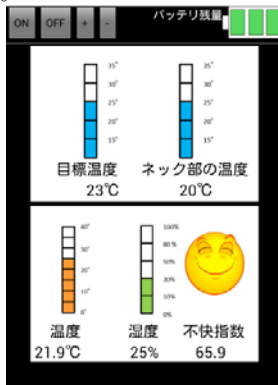


図3 作成したGUI (情報表示時)

さらに、GUIによる駆動状態把握の有効性を検証するため、評価実験を実施した。実験内容として、従来のネックウェアのみと、ネックウェアとスマートフォンアプリで構成される本提案システムにおいて、駆動状態の確認とボタン操作(OFF,+,-)を被験者11名(男性10名、女性1名、平均年齢21歳)に行って頂いた。また、実験器具の操作方法説明の有無によって、2通りのシステムのどちらが制御しやすい、駆動状態を確認しやすいかを実験終了後、アンケートにて評価した。

説明がない場合は、制御しやすさに関してはネックウェアのみの方が高く、駆動状態はスマートフォンとネックウェアの方が高い結果となったが、説明をした場合には、ネックウェアとスマートフォンを利用した方が駆動状態の把握(9名)と制御のし易さ(8名)が高く評価された。また、アプリの操作性、画面構成、魅力度について高い評価を得ることが出来た。しかし、コマンド応答性は今後の課題として残った。全体のアプリの魅力度としては、高い評価を得ることが出来た(図4)。

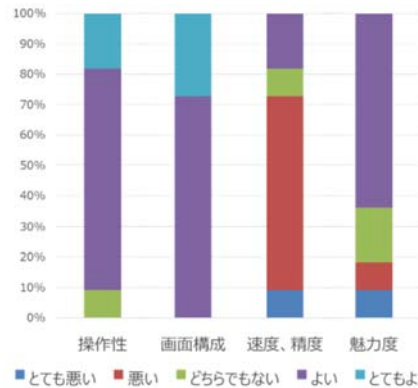


図4 作成したネックウェア駆動管理アプリ評価結果

### 4. 個人の快不快リアル推定アプリ

無線型ウェアラブル心拍センサで計測した心拍間隔データをスマートフォン上でリアルタイムに受信し、処理・分析を行なうアプリを実装した。心拍間隔値から、指定した時間間隔毎の自律神経系活動指標(pNN50 [3])の算出が可能になっている上、視覚的にも値を確認できるGUIを実装した(図5)。pNN50を用いた温湿度によるユーザの快適感を推定することで、その結果を基にネックウェアの目標温度調整と組み合わせることでより個人に適合した制御が実現できる。



図5 実装アプリのインターフェース

### 5. まとめ

ネックウェアの駆動状態抽出や制御指令受け取りを無線通信にて行なえるような仕組みを活用し、スマートフォンにより操作プロトコルとインターフェースを実装した。また、小型無線心拍センサからの心拍データをリアルタイムにスマートフォンで処理できるインターフェースも開発し、そのデータから算出する副交感神経系活動指標を用いて、ネックウェアを制御する仕組みを提案した。現在、快不快の推定のために心拍間隔データから算出されるpNN50を指標としているが、それだけでは不快の要因が特定できないため、不快指数などと組み合わせることも視野に入れている。

### 文 献

- [1] 川久保 佐記、ウェアラブル個別冷房システムの開発と節電効果、化学工学、76(9)、532-535 (2012)。
- [2] 片桐 祥雅、局所冷却による全身性温熱ストレス緩和の脳機能ネットワーク、第10回人間情報学会講演会ポスターセッション、(2012)
- [3] J E Mietus et al. "The pNNx files: re-examining a widely used heart rate variability measure," Heart 2002;88:378-380

# ロボットによる感情表現の検討

池田悠平, 矢野雄也, 渡辺柚佳子, 菅谷みどり

所属 芝浦工業大学

## 1. 研究背景と目的

近年, ロボットにおけるインタラクションの中でもロボットが人間と対話することにおいて, より多くの感情的な反応表現が行えることが望ましい. ロボットと人のコミュニケーションについては, 様々な研究がなされている.

例えば, ロボットの表情変化による性格付け[1]や, ロボットの反応の情動判定[2]など, 感情表現に関わる研究などがある. こうした中で, より詳細なロボットの感情表現と, 他人の理解について分析した論文として, ロボットの諸動作をデフォルメされたソフトウェアエージェントを用いた評価[3]がある. 画像を示して評価する研究では, ロボットが両手を上げるといふ身振りが喜びの感情表現として, 高い評価を得ている. しかし, 実際にロボットが両手を上げる際には, 動作角度や速度などが異なる場合により, 異なる感情評価となる可能性が考えられる.

本研究では実際のロボットに身振りを行わせた. その結果, 動作と速度は感情表現の強さと関係することが示唆された. 本結果をもとに, 今後の課題として, ロボットの動作と感情表現の関係について検討する内容について述べる.

## 2. ロボットハンドモーションの設計と実装

本研究では, プログラミングにより比較的複雑な操作が可能であり, 低価格で提供されている Bioloid を使用し, 感情表現の 1 つ目として, ハンドモーション動作(以下動作)を実現するものとした. 研究の第一段階として Ekman の基本 6 感情の 1 つである「喜び」といふ感情に関して扱うものとした.

動作の実現にあたり, 基本動作の要求分析のために, 図 1 のような機能関係図を作成した. 基本的な動作での評価を行うため, 動作点は腕の付け根のモータ部分とし, その回転速度および回転角度を指定することで, 複数の動作を実現するものとした.

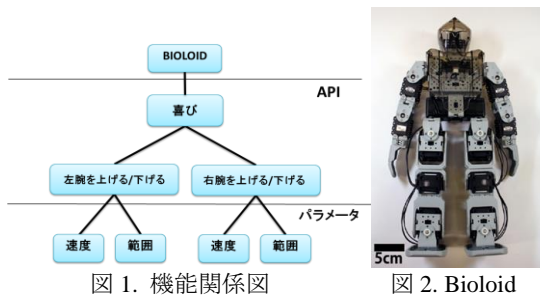


図 1. 機能関係図

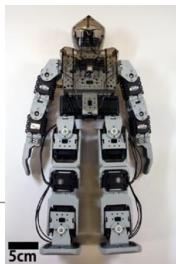


図 2. Bioloid

## 3. 実験

### 3.1 実験内容

既存研究[3]では, 静止面のデフォルメエージェントを用いて「喜び」の感情を示す動作を評価している. ここでは「目線が上, 又は正面」で, 「両手を上げる」といふ状態が最も評価値が高かった. 本研究では, ロボットを使い, 手を上げる速度と

速度, または往復運動を行った場合に, 感情評価に差異が生じるのかを予備的に調査した.

本研究で使用する Bioloid は, 特性上目線を扱うことができないため, 2 番目に評価値が高く, かつ「目線が上」と評価値に近い「正面」を扱う. 「両手を上げる」状態は, 前後に手を振り上げる動作とし, 「腕を上げる」, 「腕を上下する」, 「腕を大きく上げる」, 「腕を大きく上下する」の 4 パターン(図 3 参照)を無作為に 2 パターン選び, 速さを 5 パターンに分けた計 40 パターンの動作を被験者 10 名に見せ, 実験をした. アンケートでの評価項目は(1)「とても喜んでいる」, (2)「喜んでいる」, (3)「やや喜んでいる」, (4)「喜んでいない」の選択肢を用意した. 「喜んでいない」といふ回答をした場合について, その動作がどのような感情, 動作に見えたかを自由に記述してもらったようにした.



図 3. 動作正面図と各動作を横から見た図

### 3.2 実験結果

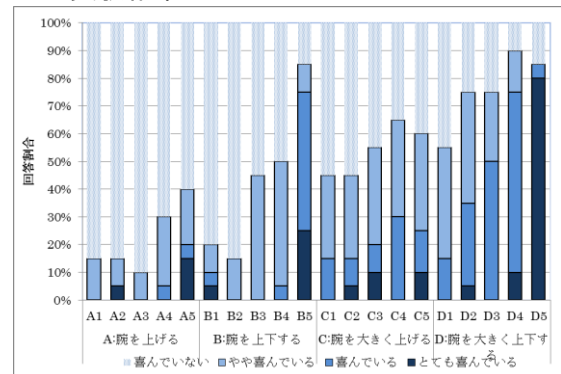


図 4. 各動作における回答の割合

図 4 では動作を示す際の便宜上, 「腕を上げる」を A, 「腕を上下する」を B, 「腕を大きく上げる」を C, 「腕を大きく上下する」を D とし, それぞれの数字が大きいのほど早い速度を表している.

A から D までの動作について, 評価項目の(1)-(3)を喜んでいるとした場合, A-D 全てにおいて, 速度が速くなるほど, 「喜び」の感情と受け取られる回答の割合が高くなる傾向が見られた.

特に B と D では, 速度が最大の 5 の場合, 急激に喜びの評価が高くなった. これは B, D が往復運動であり, なおかつ一定以上の速度であれば強い喜びの感情と受け取られる可能性が高いことが考えられる. 次の速度と感情表現の強さとの関係を明らかにするために, 速度ごとに集計した回答数を用いて作成した結果を図 5 にまとめた.

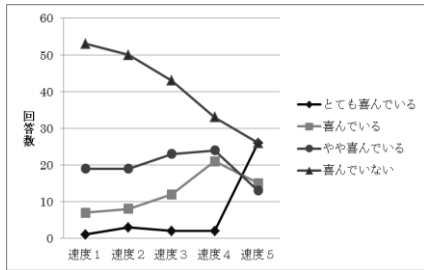


図 5. 速度における評価

各動作を腕振りの角度で表し(30°,60°,120°,240°),各モーションの喜び感情を弱いものから順に1~4とし,統計学的処理を行った場合,相関は0.98(p>0.5)の結果が得られた.統計学的には有意差が認められなかったが,一定の傾向が示唆された.

#### 4. ハンドモーション評価の課題

##### 4.1 感情表現と, 実際の感情

ハンドモーション評価においては,ハンドモーションという振る舞いと感情表現の相関があることが分かった.特に,「喜び」の感情について,ハンドモーションの速度と,感情の強さに正の相関がみられた.しかし,実際のコミュニケーションは,より複雑であり,感情と表現が一致しないケースも存在する.例えば,言葉では「元気です」と言っているのだが実際は疲れているというケースや,内面ではいらいらしているのに,表面では感情を押しえて,平静を装っているケースなどが考えられる.

こうしたケースに対応することで,より自然で円滑なコミュニケーションを行うために,我々は以下の感情と表現の関係をモデル化し,それに基づいた基礎的な実験を行うことを考えている.

##### 4.2 モデル化

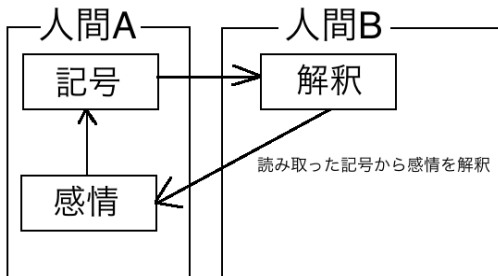


図 6.感情と表現の関係をモデル化

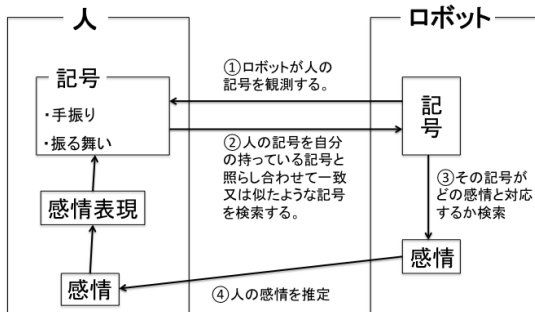


図 7 人の記号をもとにロボットが人の感情を推定する過程

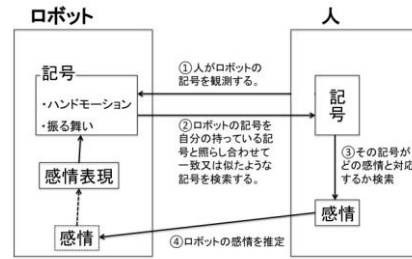


図 6 は,感情と表現の関係をモデル化して表したものである.この図では人間 A の記号を見て人間 B が反応する際の感情と表現の関係を表している.まず人間 A は自分の感情からそれに基づいた記号を発信する.この際の記号というのは,相手の発する言葉や表情の変化といったものが挙げられる.次に,その記号を相手である人間 B が読み取る.人間 B はその記号を解釈することで目で見ることのできない人間 A の感情を解釈する.この動作を繰り返すことで,我々のコミュニケーションは成り立っている.この一連の過程で我々は記号から感情を解釈するという箇所が,適切(解釈した感情と実際の相手の感情が一致しないしは,だいたい一致する)に行うことが出来れば,前述したような表現と感情が一致しないケースでも対応することができると考えられる.この解釈の過程をさらに細かく表現したものが図 7 である.図 7 のようなロボットを目指して作製していくことが本研究の今後の課題となっていく.この適切な解釈をロボットにさせる方法として,論理命題による方法を使うことが考えられる.つまり A という記号ならば B という感情をもっているかつ B という感情ならば A という記号を発するという例を出来るだけ多く見つけ,データベース化するという方法である.

##### 4.3 生体情報

4.2 節で表した解釈を正しく行うという事は,ただ単純に言葉を読み取るだけではなく,我々人間が当たり前に行っている,相手の顔色や雰囲気を読むという事が適切に出来なければ 4.1 節で述べた感情と表現が一致しないケースに対応することはできない.そこで我々は表情や心拍数などといった多くの生体情報から,特に重要な生体情報をセンサーやカメラを使って検知することで,出来るだけ多くの記号を検知し,解釈を正しく行うという行為をロボットにさせていこうと考えている.

#### 5. 結論

本研究では Bioloid を用い,ロボットハンドモーションにおける「喜び」の感情伝達の可能性について「動作の大きさ」と「動作の速度」という観点から調査し,相関を得ることができた.今後は 4 節に示した課題に取り組んでいきたいと思う.

##### 参考文献

[1]竹内昇平,前田陽一郎,高橋泰岳:コミュニケーションロボットによるヒューマン・ロボット・インタラクション,日本知能情報ファジィ学会人間共生システム研究会第1回人間共生システムデザインコンテスト,HSS-15-17(2013)  
[2]柴田寛,加納政芳,加藤昇平,中村剛士,伊藤英則:感性ロボットの表情変化による性格付け,情報科学技術レターズ 6, pp. 323-326, (2007-08)

- [3]細谷未生, 米村俊一: エージェントの身振りによる感情表現に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告.HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎 100(712), pp. 21-25, (2001-03)
- [4]ROBOTIS  
<http://www.robotis.com/xenobioid.jp>

# デジタルセラピーにおける共感能力を養う手法の検討

保科篤志 渡辺柚佳子 岡田佳子 菅谷みどり

所属 芝浦工業大学

## 1. はじめに

子どもの学習障害、発達障害は、放置すれば将来的に学習面のみならず、対人関係においても様々な困難を生じさせる。特に後者を緩和するためには、コミュニケーション能力を育成するための訓練を幼少期から日常的に行う必要がある[1]。我々は、2014年度に、伝統的なプレイセラピーを、センサーとCGの連携によりデジタルデバイスとして拡張した新しい訓練教材と、それをを用いた訓練手法“デジタルプレイセラピー”とその教材である“デジタルプレイセラピーデバイス”を提案した[1]。

本セラピーは、子どもの反応速度や、応答回数などで成果をあげることができた。しかし、より高度で自然なコミュニケーション能力を培わせるためには、子どもが相手に対して「共感」するしくみが必要であると考えた。本研究では、「共感」を、「相手の立場に立って物事を考え、相手の気持ちを理解することができる」と定義し、それを視覚化することでより、デジタルプレイセラピーの効果を高める手法を検討するものとした。

本論文では、まず、2節にて従来のデジタルセラピー手法について述べ、3節にて、提案する共感について現状の議論をまとめ、4節にて今後の課題を示す。

## 2. 橙色の屋根のお家：デジタルプレイセラピー

### 2.1 動機

学習障害や発達障害を抱えている子どもの言語コミュニケーション能力を向上させるための育成プログラムの具体的な内容は、様々な状況に応じた適切な言葉を引き出すことである。また、能力を安定化させるためには、訓練を繰り返し行うことが重要である。しかし、従来の育成訓練には、専門知識を持ったセラピストの同席、高価な教材が複数必要とされる等、繰り返し行う事に関しての様々な問題がある。これらの問題を克服するために、(1)訓練機材は大掛かりではなく、(2)子どもが自発的に関わりたいと思え、かつ(3)多様な課題を扱えるような教材であることが望ましい。

### 2.2 デジタルプレイセラピーとは

橙色の屋根のお家は具体物である家型デバイスと、デバイスに搭載したセンサーで取得した値をリアルタイムに反映したCGとを連動させた教材である。デバイスとCGが連動することで、アクションの結果や抽象概念を視覚化した。この機能により本教材は、専門知識を持たない訓練者と障害を持つ子ども間の情報共有を促進し、意思の疎通を助け、コミュニケーションに障害を抱える人々に早期の段階で言語コミュニケーションのスキル育成訓練を提供できるようにする。本研究ではこの“早期の段階”をピアジェの認知発達理論[2]における“前操作期”

と位置づけた。これは、コミュニケーションに障害を持つ子どもの場合、その発達の多くがピアジェの認知発達理論における前操作期[2]の段階で停滞しているためである。今回の対象とされる前操作期段階の子どもは、具体的な事物を通して直観的に思考する段階である。そのため、具体物として家型デバイスを用意した。「家」は、子どもにとって日常であり、具体的なイメージを持ちやすいという利点がある。また、CGで部屋の様子を示し、リアクティブな動作の結果を視覚的に確認することができる。以下の図1にデジタルプレイセラピーデバイスの外観、図2に利用イメージを示した。



図1. デジタルプレイセラピーデバイス

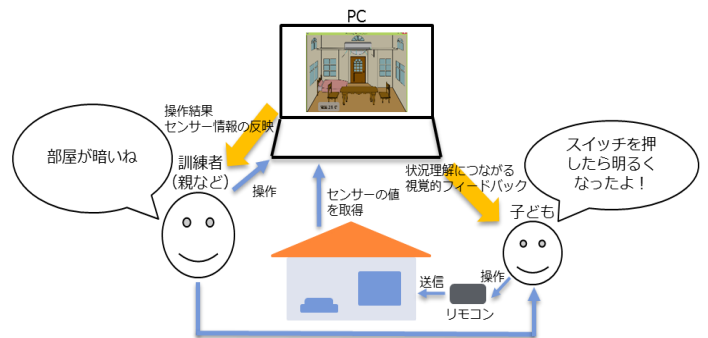


図2. 利用イメージ

## 3. 「共感」手法の検討

### 3.1 共感の定義とモデル化

第2節で提示されたデジタルプレイセラピーは、環境に応じた言語の引き出し能力を養うことが可能であることが示唆された。しかし、この段階では、コミュニケーションを行う相手の感情を理解し、それに共感し、その感情を言語で表すという、より高度で難しいコミュニケーションの能力を養う手法に欠けていると考える。そこで、本研究では、どのようにして相手の感情に対する理解力、すなわち「共感」の能力を養うことができるか、という点について検討するものとした。

我々は、まず、共感を、「相手の立場に立って物事を考え、相手の気持ちを理解することができる」と定義する。これはすなわち、相手の「感情」を理解し、それに「同調する」ことができる、と定義することも可能である。しかし、我々は「同調する」という高度な行動を意図的に演出することが困難であると考えた。そこで、まずは第一歩として、相手の「感情」を理解

することが可能になるための仕組みを考えた。以下の図3に感情理解のモデル図を提示した。

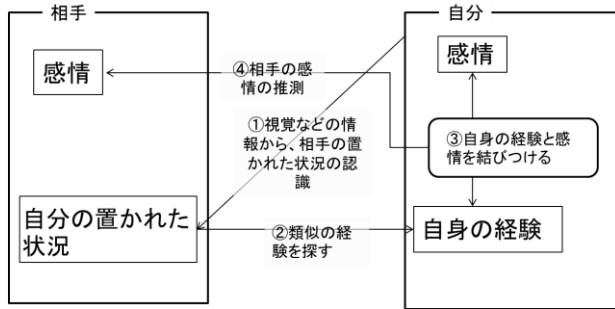


図3. 感情理解のモデル図

この図にのっとり説明をすると、相手の「感情」を理解するためには、まずは①自分の視覚などから得た情報から相手の置かれた状況を理解し、②その相手の置かれている状況と類似する自分の経験を探し、③その経験と自分の「感情」を結び付け、④そこから相手の「感情」を推測する必要がある、と考える。

### 3. 2 共感の視覚化

3. 1節では、共感を定義化し、それについて説明を行った。ここで我々は、“デジタルプレイセラピーデバイス”（以下：本デバイス）で共感の能力を養う手法として、CG上にユーザとして登場するキャラクター、すなわちエージェントを追加することを提案する。ユーザはあらかじめ用意された人形を本デバイスに設置すると、CG上にエージェントが表示される。しかし、図3で示した通り、感情理解には、自分と、コミュニケーションを行う相手の存在が必要不可欠である。そこで我々は、前操作期段階の子どもが扱うエージェントと、セラピストが扱うエージェントを導入することとした。セラピストが扱うエージェントは、デバイスを操作することにより、セラピストが意図した動きを実現することが可能である。たとえば、セラピストがキーボードを操作することにより、セラピストが扱うエージェントが喜怒哀楽の感情を表すことや、部屋の気温の状況に応じて様々な挙動をCG上で表示する、といった具合である。

2. 2節でも述べたとおり、教材を必要としている前操作期段階の子どもには、家という、子どもにとって一番身近な日常で起こる出来事が、一番相手の経験と自分の経験を結び付けることを容易にすると考えた。また、エージェントを用いた視覚化は、前操作期段階の子どもにとって、経験と「感情」を結び付けることをより容易にすることが可能であると考えた。

### 3. 3 評価方法

現在のアイデアとして、本デバイスの評価実験に心拍計を用いることを検討している。心拍計を利用すると、心拍数のみならず、体表温やLF/HF値、すなわちストレス値といったデータが取得できる。これを利用することで、エージェントを用いたときと、そうでない時で、セラピー後に子ども達がどれほど実際のコミュニケーションにストレスを感じるかを測定する。

## 4. まとめ

本論文では、従来の“デジタルプレイセラピー”とその教材である“デジタルプレイセラピーデバイス”で、前操作期段階の子ども達の共感の能力を養う手法として、自分自身の分身であるエージェントの導入を提案した。この研究では、セラピーを通じて、子ども達が相手の感情を理解することを可能とするデバイスの開発を最終目標と設定する。この、「相手の感情を理解する」という目標を達成するために、現在我々はセラピスト用のエージェントの導入の検討も行っている。今後は、エージェントをCG上に表示する手法として、どのようなセンサーを用いるか検討を行い、より多くの状況での評価実験を行うことで、より完成度の高いデバイスの開発を目指す予定である。

## 参考文献

- [1] 文部省：学習障害児に対する指導について（報告），習障害及びこれに類似する学習上の困難を有する児童生徒の指導方法に関する調査研究協力者会議（1999）
- [2] Piaget, J. : *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Paris, Delacchaux et Niestlé(1936). (谷村覚、浜田寿美男（訳）：知能の誕生、ミネルヴァ書房(1978).
- [3] 渡辺 柚佳子, 岡田 佳子, 大澤 博隆, 菅谷みどり：橙色の屋根のお家～コミュニケーションに障害を持つ児童向けのデジタル教材（2014，サービスコンピューティング研究専門委員会第10回研究会）
- [4] 大伴潔, 林安紀子, 橋本創一, 池田一成, 菅野敦: LCスケール 言語・コミュニケーション発達スケール 増補版, 2013, 学苑社



# 深部脳活動度を指標とする 語産生課題におけるエラー処理の特徴評価

今井絵美子<sup>1</sup> 片桐祥雅<sup>1,2</sup> 川又敏男<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学大学院保健学研究科 〒654-0142 兵庫県神戸市須磨区友が丘 7-10-2

<sup>2</sup> 国立研究開発法人情報通信研究機構 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

## 概要

認知制御課題において発生するエラーを処理する様々な神経機構が注意リソース配分論に基づき提案され、事象関連電位を中心とする電気生理試験によりその検証が行われてきた。このようなエラー処理には皮質の神経活動に加え、モノアミン神経系を中心とする深部脳活動が重要であると考え、語産生課題を使ってエラー処理の特徴を、深部脳活動度を指標として評価した。その結果、エラーを回避する行動の特徴と深部脳活動度との間に相関があることを明らかにした。この結果はエラー処理が単純に注意資源配分にとどまらず、認知制御行動と相関する深部脳活動と深く関係していることを示唆する。

キーワード：深部脳活動度 エラー 語産生課題 脳波

グラント：科研費 基盤研究 (C) 25420236

## 1. はじめに

高次脳機能としての認知機能を維持することは高い QOL を維持していく上でも重要である。言語コミュニケーションにおいても認知機能は重要な役割を果たしている。この認知機能は脳変性疾患のみならずストレスでも低下するため、リハビリテーションの現場においても神経科学的に立脚した根本的な防止策の実現が求められている。

認知制御課題においてストレスとなる要因の一つにエラーがある。エラー認識とともにそれを回避する行動が発生することで、脳活動全体が影響を受ける。こうしたエラー処理に係る様々な神経機構が注意リソース配分論に基づいて検討されてきた [1, 2]。しかし、注意機能には、背側前頭前皮質、頭頂皮質、運動前野および補足運動野といった皮質と結合する前部帯状回の背側経路の神経活動に加え、扁桃体や側坐核、視床下部、前頭眼窩野などと機能的に結合する吻-腹側前部帯状回が関与するなど脳の広範囲にわたるネットワークが関わっていることが明らかにされつつあり [3, 4]、単なる注意リソース配分論ではエラー処理を十分に説明できないと考えられている。

我々は、認知制御に係るネットワーク形成にモノアミン神経系を中心とする深部脳の機能が関わっていると考えている。本研究では、語産生課題を対象に、エラー処理と深部脳活動の相関を明らかにし、認知制御において深部脳機能が果たす役割を論じた。

## 2. 方法

インフォームドコンセントにより同意が得

られた健常ボランティア 12 名 (20 代、男女 6 名ずつ) を対象に動詞を想起して口頭表出する語産生課題[5]を行った。遅延反応課題のパラダイムを採用した。即ち、先行刺激 (S1) は名詞単語、それに続く命令刺激 (S2) はビーブ音で構成した。刺激語および命令刺激 (ビーブ音) は聴覚的に提示示した。1 クールの試行数を 60 とした。被験者は S1 で提示された名詞の使用方法 (名詞に合う動詞) を考え、S2 の合図後に口頭表出するよう指示された。表出にあたっては、同じ動詞の多用は避けること、できるだけ正確に答えることを被験者に要求した。また、S1-S2 間を約 1000 ミリ秒と短く設定することにより、被験者に時間的ストレスを与えた。約 2 分半の試験中を通して、被験者は閉眼を保持した。被験者の発話を録音し、言語リハビリテーションと同様に試験者 (言語聴覚士) の聴覚印象によりエラーの判定を行った。

タスク遂行中バックグラウンドとして 10-20 法に基づく脳波計測を行った。後頭部 O1, O2 の  $\alpha 2$  波成分 (10-13Hz) から深部脳活動度を算出した。この深部脳活動度 (deep-brain activity, DBA) は視床及び上部脳幹と相関することが知られている [6, 7]。

## 3. 結果と考察

録音された音声よりエラー解析を行い、良好な反応 (TR) と無反応 (NR)、誤反応 (FR) の三つの分類でパフォーマンスを評価した。FR には、同じ語を多用する保続反応、余分な音や語の付加、形容詞や不適切な動詞の産生が含まれていた。

こうしたエラーと DBA との相関を調べた結果、DBA の平均値は TR 発生率とは正の相関

を示す傾向があり、FR とは負の相関を示す傾向が示唆された。一方、DBA 変動率は TR と負の相関を示し、FR とは正の相関を示す傾向があった。NR は DBA 平均値、変動率のどちらに対しても相関があると結論付けるには至らなかった。しかし、DBA 変動率の値を基に被験者を2群に分けて検討すると、高変動率群と低変動率群とでエラー中の NR 発生率に有意な差が認められた ( $P<0.05$ )。すなわち、DBA 変動率が低い群では高い群よりもエラーに占める NR の割合が高いことがわかった。

DBA の平均値と変動率との間には、図1に示すように、負の相関を示すことを我々は突き止めている。我々は、DBA の平均値は前頭皮質に投射するモノアミン神経活動を、変動率は基底核の運動ループに係るモノアミン神経活動を反映しているという仮説を立てている。DBA の緩やかな変動成分 ( $<0.04\text{Hz}$ ) と速い変動成分 ( $>0.1\text{Hz}$ ) がそれぞれ腹側被蓋野及び視床の血流と相関するという先行研究[7]の結果はこの仮説を支持している。こうした DBA の神経生理学的基盤を背景とすると、DBA の平均値が高い場合には前頭皮質優位となり正答率が高まる一方、DBA の平均値が低い (変動率が高い) 場合、情動的行動を抑制できず誤反応を出力しやすくなると考えられる。

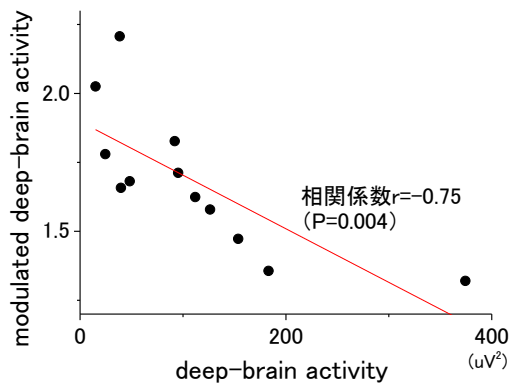


図1 深部脳活動度の平均値と変動率との関係。

語産生における深部活動の特徴の詳細を明らかにするため事象関連と同様のテクニックを用い、S1-S2 マーカーを基準に加算平均した結果から事象関連 DBA を算出した。その結果を図2に示す。

TR に比べて NR および FR は大きく変動している。さらに、S1 前 200 ミリ秒間の平均値を基準とした時、NR の事象関連 DBA は S1 後に下降し、TR および FR の事象関連 DBA は上昇し、両者は対照的な挙動を示している。こうしたエラーに対する深部脳活動は、逃走-闘争反応に由来したものであると考えられる。

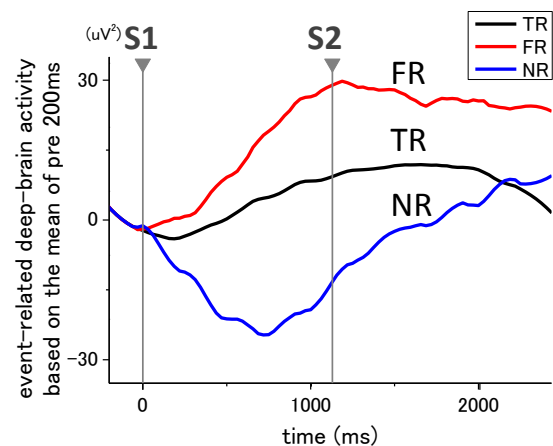


図2 エラータイプ別の事象関連深部脳活動度。

即ち、FR は、誤りを恐れずに行動 (発話) を選択した闘争行動である一方、NR は誤りを恐れて発声しないという逃走あるいは回避行動であると考えられる。

こうした結果は、モノアミン神経系を中心とする深部脳は、単純に認知制御に係る皮質機能を修飾するのにとどまらず、認知制御を行う脳機能ネットワークの形成に直接的に関与するものであることを示唆するものである。

## 文 献

- [1] M. Falkenstein, et al., "Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol.78, pp.447-455, 1991.
- [2] W.J. Gehring, et al., "A neural system of error detection and compensation," *Psychol. Science*, vol.4, pp.385-390, 1993.
- [3] B.A. Vogt, et al., "Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions," *Cereb. Cortex*, vol.2, pp.435-443, 1992.
- [4] O. Devinsky, et al., "Contributions of anterior cingulate cortex to behavior," *Brain*, vol.118, pp.279-306, 1995.
- [5] S.E. Petersen, P.T. Fox, M.I. Posner, M. Mintun, M.E. Raichle, "Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing," *Nature* vol. 331, pp.585-589, 1988.
- [6] N. Sadato, S. Nakamura, T. Oohashi, E. Nishina, Y. Fu-wamo-to, A. Waki, and Y. Yonekura, "Neural networks for generation and suppression of alpha rhythm: a PET study," *NeuroReport*, vol.9, pp.893-897, 1998.
- [7] K. Omata, T. Hanakawa, M. Morimoto, M. Honda, "Spontaneous Slow Fluctuation of EEG Alpha Rhythm Reflects Activity in Deep-Brain Structures: A Simultaneous EEG-fMRI Study," *PLOS ONE*, e66869, vol.8 (6), 2013.

# 左右反転立体音響への長期順応過程における 視聴覚空間統合の脳磁界解析

青山敦<sup>1</sup> 重田和宏<sup>2</sup> 本多敏<sup>2</sup> 栗城真也<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 慶應義塾大学環境情報学部 〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤 5322

<sup>2</sup> 慶應義塾大学理工学部 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

<sup>3</sup> 東京電機大学総合研究所 〒270-1382 千葉県印西市 2-1200

## 概要

**背景と目的：** 人間が特殊空間へ順応する過程を長期に渡って脳レベルで調べることは、人間の環境適応性を理解する上で重要である。視覚的な特殊空間への長期順応を調べた報告がいくらか存在するのに対して、聴覚的な特殊空間への順応を扱った報告は殆ど存在しない。

**方法：** 左耳(右耳)に到達した音が右耳(左耳)から聞こえるような立体音響をウェアラブルに実現し、可能な限りの保護観察の下、3名の実験協力者にこのデバイスを約1ヶ月間に渡って装着して貰った。装着期間とその前後において脳磁界計測を週1回行い、視聴覚同時刺激の刺激耳(左/右)と刺激視野(左/右)に関する視聴覚照合課題(一致50%、不一致50%)に対する脳活動を解析した。

**結果：** 主観的な違和感は約1週間で減少し始め、積極的な音源定位を行わない限り、鏡像関係の視聴覚情報が一致として解釈され始めた。視聴覚照合課題では、3週目まで一致刺激よりも不一致刺激に対する平均反応時間の方が長かったが、4・5週目に短くなった。一方で脳磁界応答では、一致刺激の視聴覚連合野における $\theta$ - $\gamma$ 複合脳リズムが1週目から徐々に増大した。また3週目まで一致刺激よりも不一致刺激で大きかった聴覚誘発反応N1mが、3-5週目に相対的に小さくなった。

**考察：** 行動結果と脳解析結果から、新しい環境の統合ルールに基づいて視聴覚情報の誤差を補正する視聴覚連合野由来の早い順応と、統合する視聴覚情報の優先度が可塑的に変化する聴覚野由来の遅い順応の存在が明らかになった。後頭側頭回路網が視聴覚情報の再構成処理を段階的に調整することによって、人間は新しい環境に対しても適応できるようになると考えられる。

**キーワード：** 多感覚統合 順応 脳磁界計測(MEG) 環境適応性 特殊空間

本研究は、東京電機大学ヒト生命倫理審査委員会の承認を受けた。また本研究の一部は、科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)(26730078)の助成を受けた。

## 1. はじめに

人間の環境適応性を理解するにあたって、自然には存在し得ない特殊空間への順応過程を長期に渡って脳レベルで調べることは重要である。これまで、左右視野反転眼鏡等を用いた視覚的な特殊空間への長期順応に関する研究はいくらか行われてきた[1-3]。聴覚においても、神経細胞・感覚・知覚等の各レベルで順応の存在が明らかにされてきたが[4]、立体音響の簡易な構築が技術的に困難だったこともあり、聴覚的な特殊空間への順応を扱った報告は殆ど存在しない。

そこで本研究では、ウェアラブルデバイスを用いて、左右反転した立体音響(例：左前方の人の声が右前方から聞こえる)を実現し、この特殊環境への約1ヶ月間に渡る順応過程における視聴覚空間統合の変化を脳磁界計測(MEG)によって調べた。

## 2. 方法

インフォームドコンセントを得た3名の男性が実験に参加した。実験協力者1は4週間、協力者2と3は5週間、可能な限りの保護観察の下、左右反転立体音響デバイスを連続装着して貰った(就寝・入浴・バッテリー/メモリーカード交換・脳磁界計測時等を除く)。デバイスは、立体音響用バイノーラルマイク/イヤホンとリニアPCMレコーダから構成した(図1)。脳磁界計測にはNeuromag122TMを使用し、デバイス装着期間とその前後において週1回、磁性体であるデバイスを外した直後に実施した(Pre/Week 1-4 or

1-5/Post)。計測時には、左耳または右耳に1000Hzの純音を、左視野または右視野に正方形をランダムに組み合わせて合計320回同時呈示し、左右の空間情報に関して一致/不一致を右示指/右中指で可能な限り早く回答して貰った(図2、視聴覚照合課題)。



図1 左右反転立体音響デバイス。  
Fig. 1 Left-right reversed stereophonic device.

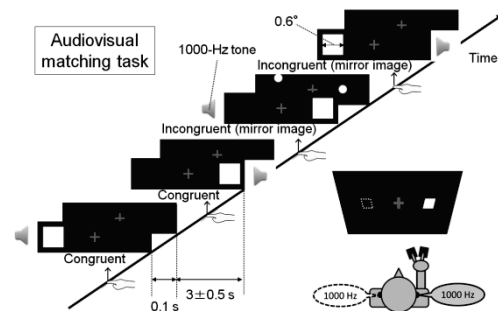


図2 視聴覚照合課題。  
Fig. 2 Audiovisual matching task.

### 3. 結果

デバイス装着の前後で音源定位の行動実験を行い、デバイスを付けていない通常の音響環境と変わらず、左右反転音響が立体的に構築できていることを確認した。主観的な違和感は約1週間で減少し始め、積極的な音源定位を行わない限り、鏡像関係の視聴覚情報が一致として解釈され始めた(図3)。視聴覚課照合課題では、3週目まで一致刺激よりも不一致刺激に対する平均反応時間の方が長かったが、4・5週目に短くなった(図4)。一方で視聴覚課照合課題下の脳磁界応答では、一致刺激の上側頭溝における $\theta$ - $\gamma$ 複合脳リズムが1週目から徐々に増大した(図5)。また3週目まで一致刺激よりも不一致刺激で大きかった聴覚誘発反応N1mが、3-5週目に相対的に小さくなった(図6)。

### 4. 考察

左右反転立体音響下での約1ヶ月に渡る実験の行動結果と脳解析結果から、違和感の減少と $\theta$ - $\gamma$ 複合脳リズムの増加の対応関係、一致刺激と不一致刺激に対する反応時間反転と聴覚野のN1mの強度反転の対応関係を見出すことができた。更にこれらの関係から、視聴覚空間統合に関して、

- (1) 新しい環境の統合ルールに基づいて視聴覚情報の誤差[5]を補正し、知覚に影響を及ぼす早い順応(活動源: 視聴覚連合野である上側頭溝)
- (2) 統合する視聴覚情報の優先度が可塑的に変化[6]し、行動に影響を及ぼす遅い順応(活動源: 聴覚野)

の2種類の順応の存在が考えられた。これら2段階の順応によって、左右反転立体音響に適応することができていたと考えられる。したがって、人間は現実には存在し得ない環境にも1ヶ月程度で適応できる能力を

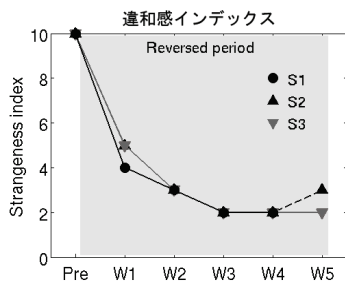


図3 違和感インデックス (0-10).  
Fig. 3 Strangeness index (0-10).

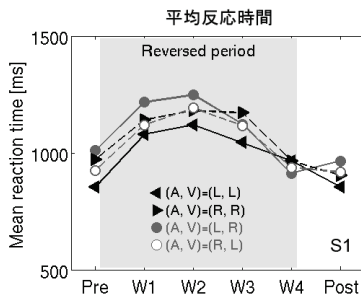


図4 視聴覚課照合課題における平均反応時間。  
Fig. 4 Mean reaction times in audiovisual matching task.

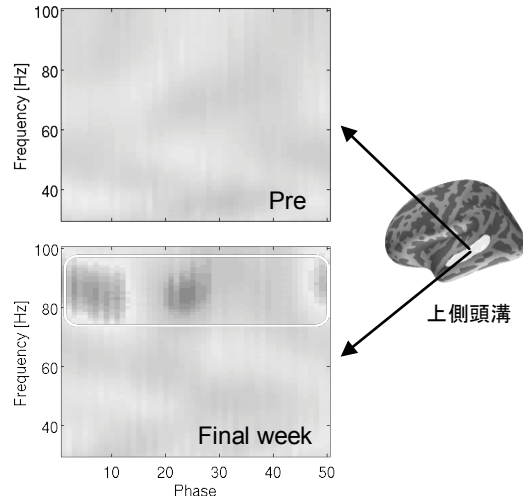


図5  $\theta$ - $\gamma$ 複合脳リズム。  
Fig. 5 Theta-gamma complex cortical oscillations.

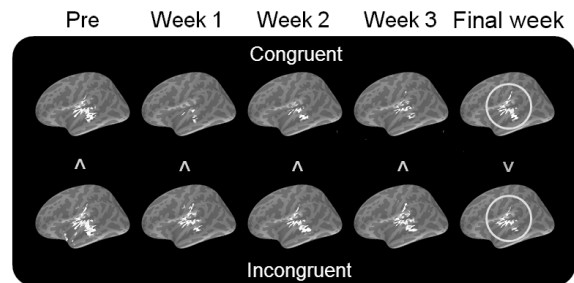


図6 聴覚誘発反応N1mの強度変化。  
Fig. 6 Intensity changes of auditory evoked responses N1m.

持っており、左右反転立体音響の場合、後頭側頭回路網における視聴覚情報の再構成処理の段階的な調節が重要であることが分かった。

### 文 献

- [1] S. Takeda, H. Endo, S. Honda, H. Weinberg, T. Takeda, "MEG recording for spatial S-R compatibility task under adaptation to right-left reversed vision", *Proc Biomag* 2000, pp. 347-350, 2001.
- [2] K. Sekiyama, S. Miyauchi, T. Imaruoka, H. Egusa, T. Tashiro, "Body image as a visuomotor transformation device revealed in adaptation to reversed vision", *Nature* 407, pp. 374-377, 2000.
- [3] K. Sekiyama, K. Hashimoto, Y. Sugita, "Visuo-somatosensory reorganization in perceptual adaptation to reversed vision", *Acta Psychol* 141, pp. 231-242, 2012.
- [4] D. Pérez-González, M.S. Malmierca, "Adaptation in the auditory system: an overview", *Front Integr Neurosci* 8, pp. 1-10, 2014.
- [5] L.H. Arnal, V. Wyart, A.L. Giraud, "Transitions in neural oscillations reflect prediction errors generated in audiovisual speech", *Nat Neurosci* 14, pp. 797-801, 2011.
- [6] L. Spierer, M. De Lucia, F. Bernasconi, J. Grivel, N.M. Bourquin, S. Clarke, M.M. Murray, "Learning-induced plasticity in human audition: objects, time, and space", *Hear Res* 271, pp. 88-102, 2011.

# スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムの開発

駒澤真人<sup>1</sup> 板生研一<sup>2</sup> 羅志偉<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学大学院システム情報学研究科 〒657-0013 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

<sup>2</sup> WIN フロンティア株式会社 〒100-0006 東京都千代田区有楽町 1-12-1 新有楽町ビル 247

## 概要

近年、自律神経を測定するセンサやソフトウェアが開発されてきているが、どれも専用の端末機器を使用する為、一般の人が使用するにはハードルが高いのが現状である。そこで本研究では、一般に市販されているスマートフォンを用い、端末のカメラに指先を約 30 秒強当てることで、血流の輝度変化から RR 間隔の変動を検出して、自律神経指標を簡便に測定できるシステムを開発した。ノイズを除去する独自のフィルタリング手法を適用することで解析精度が向上し、専用の指尖脈波センサを用いたシステムと比較したところ、約 8 割の相関があることが示された。

**キーワード：** 心拍変動解析、自律神経、ストレス、リラックス、スマートフォン、カメラ、輝度

## 背景と目的

現代はストレス社会と言われて久しいが、過度のストレスを長期間にわたって受け続けると、自律神経系に変調を来すことが明らかになっている[1]。そのため、自律神経の状態を日々把握することは自己管理の上でも重要であるといえる。近年では、自律神経を測定できるセンサやソフトウェアが開発、販売されてきているが、どれも専用の端末機器が必要であり、高価な為、一般の人が使用するにはハードルが高いのが現状である。そこで本研究では、専用の端末機器を使用せず、一般に市販されているスマートフォンのカメラを用いて、簡便に自律神経の測定（心拍変動解析）ができるシステムを開発した。

## 測定の原理

人間は呼吸をする毎に血流に含まれるヘモグロビンの量が増減するため、その影響で指先の皮膚の色（輝度）が微妙に変化している。そこで本システムでは、スマートフォンのカメラ部分に指先を当て、皮膚の輝度を連続的に取得することで、輝度の変化から脈波波形を検出し、その脈波のゆらぎより、自律神経指標を解析している。図 1 に測定の原理のイメージを示す。

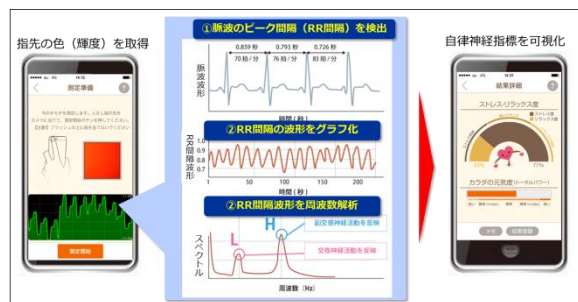


図 1 測定の原理のイメージ

## 解析処理の流れ

本システムの解析処理の流れを図 2 に示す。本システムでは大きく、「1. 輝度波形解析エンジン」と「2. 自律神経解析エンジン」の 2 つの解析処理を設けている。まず、「1. 輝度波形解析エンジン」の「1-1 輝度データのノイズ除去フィルタ」では、スマートフォンのカメラで取得された輝度データには、高周波成分のノイズの影響が大きい為、波形のデータスムージングで用いられる「Savitzky-Golay 法」を適用し、データを平滑化している。データの平滑化には、2 次微分値を用いて、フィルタ窓の幅は、波形が最も安定する値をプログラムでシミュレーションして最適値を決定している。

また、「1-2 ピーク検出アルゴリズム」では、スムージングされた輝度波形からピークを符号反転で検出し、RR 間隔波形（ピーク間隔波形）を取得している。

次に、「2. 自律神経解析エンジン」の「2-1 RR 間隔の異常値除去ロジック」では、直近の RR 間隔の平均値からの差分が、ある閾値を超えている RR 間隔値を異常値と推定して、値をフィルタリングしている。また、得られた RR 間隔波形にローパスフィルタを適用して（「2-2 ローパスフィルタ」）高周波のノイズを除去し、「2-3 周波数解析アルゴリズム」にて RR 間隔波形に対して周波数解析を施し、自律神経指標を算出している。自律神経指標の算出手法は、論文[2]の手順に則った。（本システムの一連の解析アルゴリズムは特許申請中）

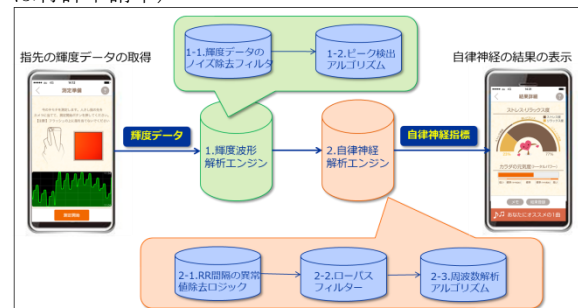


図 2 解析処理の流れ

## 周波数解析手法とその特性

自律神経指標は RR 間隔波形を周波数解析し、得られたパワースペクトルの 0.04Hz~0.15Hz の低周波成分(LF)の面積値を交感神経指標、0.15Hz~0.4Hz の高周波成分(HF)の面積値を副交感神経指標として定義して算出する[2]。周波数解析手法は、主に 2 つの手法が存在する。

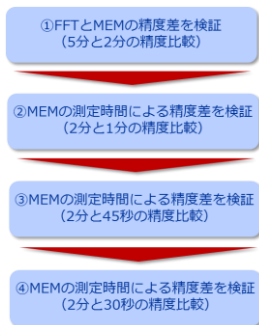
- FFT（高速フーリエ変換）
- MEM（最大エントロピー法）

FFT は、波形を正弦波の組み合わせとして仮定し、時系列データに窓関数を適用することで、有限長のデータを無限長に拡張して計算をおこなう手法である。データが短いと、スペクトルが悪化して精度が落ちる欠点があるが、計算処理は高速な利点がある。一方 MEM は、波形を自己回帰モデルとして仮定するため、時系列データに窓関数の処理が不要で、元のデータをそのまま使える。また、計算にやや時間はかかるが、短いデータ長からでも精度の高いスペクトルを算出する

ことができる利点がある[3]。本研究では、両手法での測定時間と精度を検証し、最も短い時間で精度良く算出できる手法を選択した(次項参照)。

### 測定時間と精度の関係

図3にFFTとMEMでの測定時間と精度との検証実験の流れを示す。一般的に、自律神経解析には5分間のRR間隔データを用いて算出する必要があるといわれている[2]。そこで、短いデータの解析に利点のあるMEMを使用して、FFT5分とMEM2分での精度比較をおこなった(①の検証)。その結果、LF(低周波成分)は90%程度、HF(高周波成分)は80%程度と、高い相関があることが示された。次に、MEMの測定時間をどれくらいまで短縮できるかを検証した。MEM2分とMEM1分、MEM45秒での精度の違いを検証ところ(②、③の検証)、LF成分、HF成分共に90%程度と非常に高い相関があることが分かった。また、MEM2分とMEM30秒での精度の違いを検証したところ、LF成分では90%程度の相関がある一方、HF成分で精度が70%程度と相関が落ちてくる傾向がみられた。上記の傾向から、MEMを使用すれば30秒~45秒程度まで測定時間を短縮できる可能性があることが示された。



※被験者男女5名×各5セットづつ測定  
図3 FFTとMEMの精度検証

### 測定精度の検証

本研究で開発したスマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムの精度を検証するため、専用の指尖脈波センサシステム(WINフロンティア株式会社製 Lifescore Quick ココロとカラダのバランスチェックシステム)を用いて精度比較を行った。指尖脈波センサ及びスマホカメラでの測定時間は38秒とした(周波数解析手法にMEMを使用)。表1に被験者の属性を以下に示す。男女11名の被験者を対象に、のべ261データを測定した。

表1 測定者の属性表

No	性別	年齢
1	男	40
2	男	31
3	男	38
4	女	38
5	女	31
6	女	21
7	女	60
8	女	35
9	男	37
10	男	45
11	男	30

### 測定精度の結果

指尖脈波センサとスマートフォンカメラで同時測定を実施したときの、自律神経バランス(交感神経と副

交感神経の割合)の相関図を図3に示す。相関係数は0.8であり、有意差検定を実施したところ有意な正の相関( $p < 0.05$ )が認められた。また、交感神経と副交感神経の総和である自律神経活動量(トータルパワー)の相関図を図4に示す。相関係数は0.89であり、有意差検定を実施したところ有意な正の相関( $p < 0.05$ )が認められた。最後に、心拍数の相関図を図5に示す。相関係数は0.99であり、有意差検定を実施したところ有意な正の相関( $p < 0.05$ )が認められた。

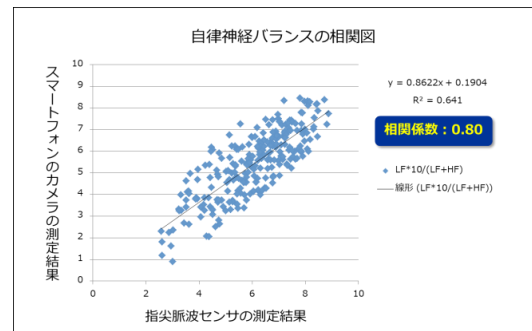


図3 自律神経バランスの相関図

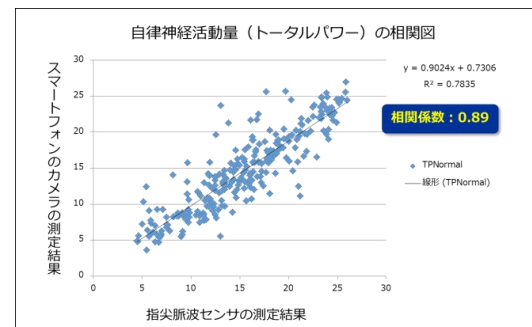


図4 自律神経活動量(トータルパワー)の相関図

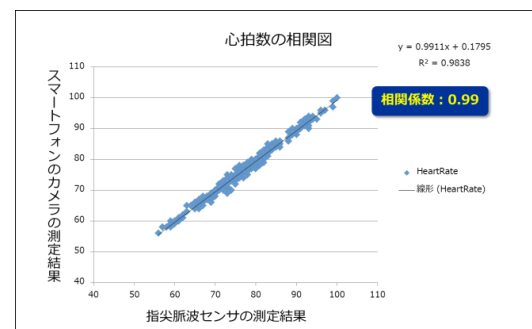


図5 心拍数の相関図

### 結論

本研究では、一般に市販されているスマートフォンを用い、端末のカメラに指先を約30秒強当てることで、血流の輝度変化から心拍変動を検出して、自律神経指標を算出するシステムを開発した。専用の指尖脈波センサを用いた心拍変動解析システムと比較したところ、約8割の相関があることが示された。

### 参考文献

- [1] 尾仲達史, ストレス反応とその脳内機構. 日本薬理学会誌 2005; 126(3): 170-173
- [2] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Circulation, 93, 1043-1065.
- [3] 日野幹雄: スペクトル解析 (朝倉書店, 2010) 新装版

## 第 20 回 人間情報学会ポスター発表集

---

平成 27 年 4 月 23 日発行

発行所 人間情報学会  
〒100-0006 東京都千代田区有楽町 1-12-1 新有楽町ビル 247  
Tel. 03-5252-7382 Fax. 03-5252-7386  
E-mail: admin@npowin.org  
URL: [http:// http://www.ahi-soc.info/](http://www.ahi-soc.info/)