

# ALS 患者の触覚利用による正答率向上に関する再現実験 —近赤外光による Yes/No 意思伝達装置の研究—

小澤 邦昭<sup>†</sup> 内藤 正美<sup>†</sup> 田中尚樹<sup>†,§</sup> 和田始竜<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 東洋大学工業技術研究所 § 東洋大学理工学部生体医工学科 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100

<sup>‡</sup> ダブル技研株式会社 〒252-0013 神奈川県座間市栗原 920-7

E-mail: <sup>†</sup> {ozawa, naito}@m.ieice.org <sup>†,§</sup> n\_tanaka@toyo.jp <sup>‡</sup> s-wada@j-d.co.jp

**あらまし** 身体が全く動かないALS患者が質問を受けたとき、そのYes/No回答を判定する近赤外光利用の意思伝達装置の研究を続けてきた。前回、被験者の手に配偶者が手を添え被験者の触覚を利用すると、被験者単独の実験に比べて正答率が有意に高くなった(有意水準5%)。その実験を今回繰り返し、同じ結果を得て、再現性を明らかにした。統計的には連続5回有意差が再現すると、その再現性は有意とみなされる。さらに3回の再現実験をする。  
**キーワード** ALS, 意思伝達, Yes/No 回答, 近赤外光, 脳血液量, 正答率, 触覚

## A Replication Experiment of Accuracy Rate Improvement by Utilizing an ALS Patient's Touch Sensation

### —Research on Yes/No Communication Aid by Near-infrared Light—

Kuniaki OZAWA<sup>†</sup> Masayoshi NAITO<sup>†</sup> Naoki TANAKA<sup>†,§</sup> and Shiryu Wada<sup>‡</sup>

{ <sup>†</sup> Research Institute of Industrial Technology, § Department of Biomedical Engineering }, Toyo University  
2100 Kujirai, Kawagoe-shi, Saitama Prefecture, 350-8585 Japan

<sup>‡</sup> DOUBLE Research and Development Co.,LTD.

920-7 Kurihara, Zama-shi, Kanagawa Prefecture, 252-0013 Japan

E-mail: <sup>†</sup> { ozawa, naito } @m.ieice.org <sup>†,§</sup> n\_tanaka@toyo.jp <sup>‡</sup> s-wada@j-d.co.jp

**Abstract** A Yes/No communication aid using near-infrared light for totally locked-in ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis) patients has been studied. In the former experiment an ALS patient showed significantly higher accuracy rate of his answers (with 5% significant level) when his wife attached her hand to his than when she didn't. This time we did a replication experiment and got the same result. From the statics view this repeated results are significant when the significant differences occur 5 times successively. Further experiments are scheduled 3 times to show the significance above.

**Keyword** ALS, communication, Yes/No answers, near- infrared light, cerebral blood volume, accuracy rate, touch sensation

#### 1. はじめに

神経難病の筋萎縮性側索硬化症 (ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis) 患者は、症状が進むと、動かせる身体部位が完全になくなることがある(完全閉じ込め状態)。この状態の患者は介護者からの質問を理解はしても回答する手段がなく、答えたくても意思伝達ができない。

完全閉じ込め状態の患者が、介護者からの質問に対して答える Yes/No 回答を、正しく判定する研究を我々は続けてきた [1] -[13]。

前回の実験で、配偶者が被験者に手を添え、被験者

は Yes 回答のときに配偶者の手を握ろうとすることにより、正答率が有意に向上することを報告した [13]。今回、その再現実験を試み、再現できたので報告する。また、再現実験を繰り返し、正答率の向上が連続的に起こるとして、それが統計的に有意と検定される条件について (何回の試行中何回再現性があればよいか)、検討したので、その結果も合わせて報告する。

#### 2. 「新心語り」の概要

「新心語り」の概観を写真 1. に示す。装置の説明は文献 [13] の参照をお願いする。

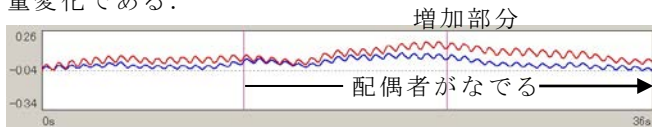


写真1 「新心語り」(ダブル技研株式会社製品)

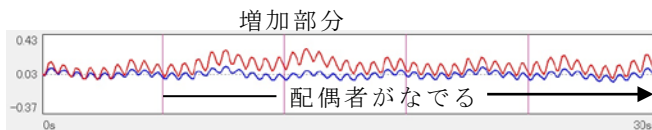
### 3. 触覚利用による正答率の向上実験方法

#### 3.1. 触覚利用による血液量の増加

被験者の手を配偶者がなでると血液量が増加する。健常者とALS患者について、血液量増加の様子を図1に示す。赤線は右額の血液量変化、青線は左額の血液量変化である。



(a) 触覚利用(配偶者の手)による健常者の血液量増加



(b) 触覚利用(配偶者の手)によるALS患者血液量増加

図1 触覚利用の効果

(a)(b)ともに、配偶者は被験者の左手をなでている。その時間はどちらも24秒である。ただし、(a)健常者ではその24秒間、安静にしていたが、(b)ALS患者では配偶者が左手をなで始めてから12秒間、配偶者の手を握ろうとしてもらった(その後の12秒は安静)。

#### 3.2. 再現実験の試み

正答率を高めるためには、識別機(SVM)を訓練するモデルデータの個数を多く測定する必要がある。しかし、患者宅での測定は時間の制約があり、沢山のモデルデータを測定できない。このため、当日に測定したモデルデータに、既に測定したデータを追加する方法を取っている。

前回の実験では、当日に測定したモデルデータに1週間前のモデルデータを加えて正答率を求めた。今回は、当日に測定したモデルデータに、当日測定した試験データを加えてSVMを訓練し、別の試験データで正答率を求めた。追加するデータ数は前回と同じであるが追加するデータが最新であるだけに、正答率の向上が期待できる。実際に、健常者による試験データ追加テストでは、1週間前のモデルデータを加えるより

も高い正答率が得られた。

今回、試験データ追加法でも、触覚利用により、有意に高く正答率がでるか、再現実験を試みた。

#### 3.3. 今回の実験方法

今回も配偶者が被験者の左手に手を添えた(写真2参照)。被験者はYes回答のときは暗算をすると同時に配偶者の手を握ろうとして



脳血液量を増やす。No回答のときは、安静にする。配偶者は手を添えるだけで、自分から被験者の手を握ることはなかった(後述の実験4で配偶者も手を握る実験を実施した)。

なお、配偶者が手を添えるのは、便宜上、被験者の左手とした。配偶者が被験者のベッドサイドに座るときは、通常、被験者の左手側に座るからである。

### 4. 触覚利用による正答率の向上実験結果

#### 4.1. 実験の概要

被験者は前回の触覚利用実験に参加のALS患者であり[13]、今回の実験でもご協力いただいた。

被験者：71歳男性(ALS発症17年、人工呼吸器装着15年、瞬きでYes/No回答が可能、「新心語り」の測定経験約28ヶ月)

測定は原則として週1回土曜日に実施した。毎回判定線を作成し試験データを測定した。試験データは毎回6個である(Yes3個、No3個)。6週間で一つの実験が終わる(原則として)。前回(2016年)は4実験を実施し今回(2017年)は3実験を実施した。今回の測定期間は2017年7月22日~2017年11月8日であった(前回は2016年8月13日~2017年3月18日)。

7つの実験の内容を表1に示す。

表1 7つの実験内容 (太字: 今回実施)

名称	内容		
	配偶者の手	配偶者の耳	備考
実験1(単独)	X	-	被験者の手に何も触れない
<b>実験5(単独)</b>			
実験2(添える)	○	○	被験者の手に妻が手を添える
<b>実験6(添える)</b>			
実験3(ボール)	X	-	ボールを握る
実験4(誘導)	○	○	妻が手を握る
<b>実験7(耳塞ぎ)</b>	○	X	質問時妻耳塞ぎ

○: 利用 X: 利用せず -: 直接の関係なし  
実験7は、配偶者は手を添えるが質問を聞かない実験である。実験実施者(作業療法士)が被験者に質問をするときに配偶者が耳を自分で塞いで、その質問を聞か

ないようにする。その後、配偶者が被験者の手に自分の手を添えてから、実験実施者は測定を開始する。

## 4.2. 今回の実験結果

前回は右額の正答率に（単独）と（添える）とで有意差が出た。今回も、同様に、右額で有意差がでた。

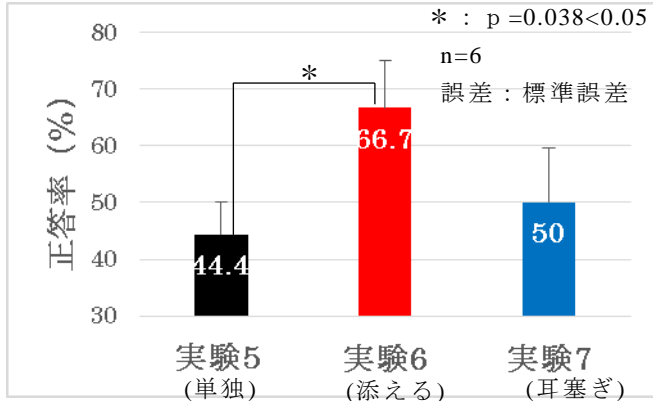


図2 今回の触覚利用実験

実験7で、配偶者に「質問を知る、知らないで、手を添える仕方が異なっているか」尋ねた。「意識して変えてはいない。同じである」とのことであった。

## 4.3. 前回の実験に追加した実験4（誘導）

前回の報告 [13] 後に、実験4（誘導）を追加した。

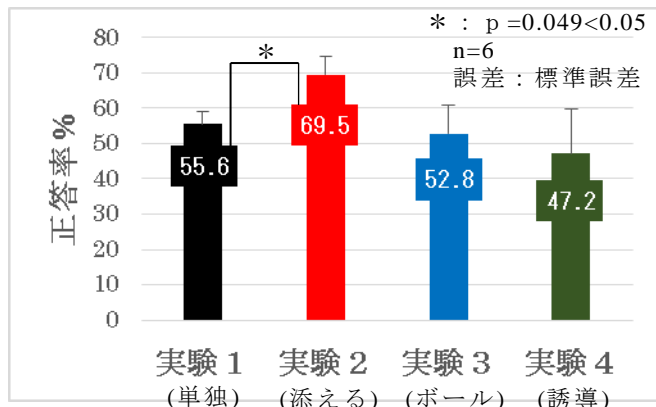


図3 前回の触覚利用実験

実験4を計画したのは「配偶者が手を添えることで被験者の正答率が上がるなら、被験者が手を握るタイミングで配偶者が被験者の手を握ったら、さらに正答率が上がるかもしれない」との考えによる。実験4では、Yes回答のときは配偶者が被験者の手を握り、No回答のときは被験者の手を握らずに添えたままにしておく。

実験4の正答率は他の実験との有意差はないものの、4実験中最も低い正答率になった。

## 5. 考察

### 5.1. 有意差の原因

触覚利用実験で、前回と今回共に、（添える）が（単独）よりも有意に高い正答率であった。ここでは、その原因について考察する。

原因はいくつも考えられる。触覚利用の他に、例えば、①体調（血圧、心拍数、睡眠など）、②環境（季節、騒音など）、③モチベーション、④偶然、などである。

①については実験前に血圧、心拍数、体温を介護者が計っているが、安定している。また、実験前に毎回安静状態での脳血液量変化を10分間測定している。激しい脳血液量変化が一度あり、そのときに正答率は高かった。しかし、激しい脳血液量変動があったのはそのときだけであった。この変動は睡眠時間に関係しているかもしれない。②については、室温は季節を通じて一定に保たれている。騒音も一時的にあったが、話が聞こえないことはなく、比較的静かな環境だった。

③については、影響があると考えている。配偶者が実験に協力することで、被験者のモチベーションが高まり、それが正答率を高めることは考えうる。実際、配偶者は実験に協力的であり、手を添えながら、Yes回答の場合は、自分でも頭の中でテンポの早い歌を歌い、Noの場合はテンポのゆっくりした歌を歌うとのことであった。また、介護者が手を添える実験を1回したことがある。「手を触れ合うと、相手の脈拍が感じられ、自分の手も暖くなる。被験者も同様に感じているのではないか」とのことであった。これらが被験者に心理的に良い影響を与えているのかも知れない。この効果を「阿吽効果」と呼ぶことにする。「阿吽の呼吸」の表現の通り、言葉では説明できないが、配偶者と被験者に合い通じる場所があって、それが正答率を高める効果のことである。

「阿吽効果」は前回今回と続けて有意に高い正答が出たことに基づく仮説である。この2回の事象が④偶然かどうか不明であり、統計的な検討が必要である。

### 5.3. 統計的な検討

この効果を有意とみなすためには、事象が5回続けて起こる必要がある。帰無仮説として事象が起こる確率を0.5と仮定し、有意水準5%とすると、 $[0.5の5乗]=0.031$ であり、 $0.031<0.005$ となるからである。

ここで注意すべきは、片側検定になることである [14]。両側検定では、事象が「5回連続で起こらない確率」も考慮する。この場合の確率はやはり0.031である。5回連続同じ事象が起こる場合のp値は $0.031+0.031=0.062$ であり、 $0.062>0.05$ なので両側検定では有意差はない。両側検定では、事象が6回続けて起これば有意差がでる。

どちらの検定にするか、データの特徴による。予めデータがどちらの側に片寄るか特定できる場合、片側の効果だけを調べれば良いことになる [15]。慎重に検定するならば、データ偏りの特定が間違っていることもあるので両側検定が妥当である [15]。

今知りたいのは（添える）が（単独）よりも「高い

正答率を出すかどうか」であるので、触覚利用実験では、片側検定を採用する。「高い正答率を出す」の想定根拠は、前回・今回の両実験で、(添える)が(単独)よりも正答率が高かったからである。

片側検定を採用しても、接触利用実験2回では試行回数が不足している。さらに3回の実験を追加する。

なお、実験5回で有意差がないと検定されたときは実験回数を増やして検出力を高める方法もある。実験回数を大幅に増やすのは現実には難しい面があるが、理論的には実験回数を増やすと、検定統計量の棄却限界値が小さくなっていき、棄却域が大きくなる[16]。

## 6. おわりに

前回の(単独)と(添える)の実験を再現し、今回も同じ結果を得た。すなわち、配偶者の手を(添える)ことによる正答率の向上は有意であると検定された。その原因を考察し、まず、触覚利用による脳血液量増加を考えた。脳血液量増加の有効性を確認するために、例えば、バックグラウンドに被験者が好きな音楽を流すなどが考えられるので、今後検討する。

次に、別の原因として、「阿吽効果」を想定した。これは配偶者と被験者が合い通じあって被験者のモチベーションが高まり、それが正答率を高めるとの仮説である。もしそうであれば、阿吽効果以外にもモチベーションを上げる方策をとることで正答率が上がることが期待される。例えば測定前に被験者に実験協力の感謝を伝えることなどが考えられる。

(添える)による正答率向上が偶然かどうかは5回の実験が必要である。前回・今回の2回では実験回数が足りず、正答率の差は有意ではないとなった。今後さらに3回の実験を継続して、それらの全てで有意差がでれば、(添える)が(単独)より高い正答率を出すのは偶然ではない、と検定される。虚心坦懐に実験を進める予定である。

謝辞:本研究において、実験にご協力いただいた木村 暁雄・美良子ご夫妻、コミュニケーション担当の佐郷 谷義明作業療法士((株)シナプス)、介護担当の小原 征悟氏((有)ハートシップ)に御礼申し上げます。また、本研究に関しご協力いただいた、社団法人日本ALS協会、都立神経病院、東京都医学総合研究所、株式会社日立製作所研究開発本部の関係者に感謝します。

本研究に関連して、NEDOの「平成29年度福祉用具実用化開発推進事業」および科学研究費補助金15K12605の助成を受けました。

## 文 献

[1] M. Naito, Y. Michioka, K. Ozawa, Y. Ito, M. Kiguchi and T. Kanazawa, A Communications Means for

Totally Locked-in ALS Patients Based on Changes in Cerebral Blood Volume Measured with Near-Infrared Light, IEICE Trans. Inf. & Syst., E90-D, 1028-1037, 2007.

- [2] 内藤正美, “筋萎縮側索硬化症患者の意思伝達技術,” 光学, vol.36, no.12, pp.707-711, 2007.
- [3] 小澤邦昭他, “NIRSを用いたALS患者の意思伝達装置,” NIRS—基礎と臨床—, 酒谷薫監修, pp.268-269, 新興医学出版社, 2012.
- [4] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 小幡亜希子, 木戸邦彦, 尾形勇, 金澤恒雄, “生体信号を利用したALS患者のYes/No意思伝達法,” 信学技報 IEICE Technical Report HCS2013-45, pp.67-71, August 2013.
- [5] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 尾形勇, 金澤恒雄, “生体信号を利用したALS患者のYes/No意思伝達法—判別分析法とサポートベクターマシンの比較検討—,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2013-35, pp.65-70, August 2013.
- [6] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 尾形勇, 金澤恒雄, “ALS患者のYes/No意思伝達方法の改良—ケーススタディによる課題の把握と解決策—,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2013-74 pp.43-48, March, 2014.
- [7] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 尾形勇, 金澤恒雄, “Yes/No意思伝達方法の改良の提案,” 可視化情報シンポジウム講演論文集, pp.43-48, July, 2014.
- [8] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, 尾形勇, 金澤恒雄, “脳血液量を利用したALS患者のYes/No意思伝達方法の改良—左額と右額の測定による分離度の差の検討—,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2014-22 pp.19-23, September, 2014.
- [9] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, 尾形勇, 金澤恒雄, “ALS患者のYes/No意思伝達装置における正答率向上の実証—総合的な試作と実験による試作—,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2014-92 pp.39-43, March, 2015.
- [10] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, 尾形勇, 金澤恒雄, “ALS患者のYes/No意思伝達装置における正答率向上の分析,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2015-48 pp.1-6, October, 2015.
- [11] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, “Yes/No意思伝達装置の意識障害者への応用,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2015-103 pp.83-88, March, 2016.
- [12] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, “Yes/No意思伝達装置によるALS患者の単語選択の試み,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2016-37 pp.23-28, October, 2016.
- [13] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, “Yes/No意思伝達装置におけるALS患者の触覚利用による正答率向上の試み,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2016-76 pp.1-4, March, 2017.
- [14] 浜田知久馬, 学会・論文発表のための統計学, 真興交易医書出版部, 東京, 2011(第1版第7刷)
- [15] 市原清志, バイオサイエンスの統計学, 南江堂, 東京, 2012(第25刷)
- [16] Gernot R. Müller-Putz, et. al, “Better than random? A closer look on BCI results,” International Journal of Bioelectromagnetism, Vol. 10, No. 1, pp. 52-55, 2008