

[原著]

遅延聴覚フィードバックによる非吃音者の吃音様症状発生に おける個体差の要因 ～前頭皮質の脳活動による検討～

塩 見 将 志¹⁾ 水 本 豪¹⁾ 岩 村 健 司¹⁾
池 寄 寛 人¹⁾ 森 下 裕 介²⁾ 野 田 侑 佑³⁾

Factors Responsible for Individual Differences in Stuttering-like Symptoms with
Delayed Auditory Feedback in People Who Do Not Stutter: A Study on Brain Activity
in the Frontal Cortex

Masashi SHIOMI, Go MIZUMOTO, Kenji IWAMURA,
Hiroto IKEZAKI, Yuusuke MORISHITA, Yuusuke NODA

1) 熊本保健科学大学保健科学部リハビリテーション学科言語聴覚学専攻

2) 野市中央病院

3) 須崎くろしお病院

本論文では非吃音者を対象として、先行研究では報告の少ない個体差についての分析を行うため、近赤外分光法（NIRS）を用いて正常な聴覚フィードバック（NAF）条件下と遅延聴覚フィードバック（DAF）条件下での発話時の前頭皮質の活動を測定し、被験者全員、流暢群、非流暢群の3群に分類しその差異について検討した。非吃音者26名を被験者にNAF条件下とDAF条件下で文章音読を実施し、タスク試行中の前頭葉脳血流量の変化はNIRSで測定した。流暢群と非流暢群とは、DAF条件下で表出された全被験者の吃音様症状発生率の中央値を基に分類した。解析の結果、流暢群と非流暢群では、NAF-DAF間でオキシヘモグロビン変化値に統計学上有意な差が認められた場所やチャンネル数が異なっていた。このことから、流暢群と非流暢群ではDAFの影響により異なる脳活動を示すことが推測された。

キーワード：遅延聴覚フィードバック（DAF：Delayed Auditory Feedback）、正常な聴覚フィードバック（NAF：Normal Auditory Feedback）、近赤外分光法（NIRS：near infrared spectroscopy）、吃音様症状、個体差

I. はじめに

遅延聴覚フィードバック（Delayed Auditory Feedback：以下DAFとする）とは、自己の発話を時間的（50～200ms）に遅らせたものをフィードバックさせるものである。

DAFによる発話行動への影響は、非吃音者では、発話速度の低下、発話時に語音が強く高くなること、母音が引き伸ばされること、構音の誤りおよび非流

暢性が増加することが挙げられるが¹⁾、吃音者においては吃音症状が一時的に減少することが知られている。

DAFを用いた研究には非吃音者を対象としたものも多く、非吃音者へのDAFの効果は表出される音声言語に伴い、音声言語を表出する過程での様々なレベルに影響を与えているとの知見が示されている。

眼球運動については、DAF条件下で非吃音者の

発話に非流暢が生じている際の眼球運動は、吃音者のもつ眼球運動特性と同様のメカニズムによる可能性があることが示唆されている²⁾。また Sasisekaran¹⁾ は、発話時の構音運動（口唇の運動）に関する検討を行い、DAF 条件下では口唇の運動時間が長くなるという実験結果を示している。

さらに脳活動については、非吃音者に対して、陽電子放出断層撮影（Positron Emission Tomography : PET）を用いた研究では DAF 条件下においては両側の上側頭回の活動が増加することが示されており³⁾、機能的近赤外分光法（functional near infrared spectroscopy : fNIRS）を用いた研究では左半球の前頭皮質のヘモグロビン濃度の増加が示されている⁴⁾。

しかしながら、DAF の非吃音者への効果は個体差が大きく、DAF の影響をほとんど受けない話者がいることが知られているが、個体差についての検討はまだ少ない状況である⁵⁾。

DAF 条件下でも流暢性を保つことが可能な個体と DAF 条件下では非流暢性が高くなる個体では、表出された音声言語の評価によれば、表出過程での問題点の有無や内容が異なることが予想される。そして、DAF 条件下でも流暢性が高い群と DAF 条件下では非流暢性が高まる群とでは、何かがどう異なるかを分析すること、非流暢性群で起こっている事象を吃音と比較することは、吃音の原因を解明する一助と成り得ると考える。

そこで本研究では、非吃音者を対象とし個体差についての分析を行うため、DAF 条件下での吃音様症状の発生頻度により流暢群と非流暢群に分類した。そして、全被験者、流暢群、非流暢群の3群で、DAF 条件下での発話時と正常な聴覚フィードバック（Normal Auditory Feedback : 以下 NAF とする）条件下での発話時の前頭皮質の活動部位と活動量の差異をオキシヘモグロビン濃度の測定により分析した。

Ⅱ. 方法

1) 被験者

被験者は、非吃音者である大学生26名（男性6名 女性20名）であり、いずれも学内の学業および生活において特別な支援を受けていない学生である。

2) 装置

1. DAF

DAF 装置には Visi-Pitch IV（K A Y P E N T A X 製）を用い、DAF 条件下での遅延時間は200ms に設定した。

2. 脳血流

タスク試行中の前頭葉脳血流量の変化は、16部位（ch）の NIRS 機器である Spectratech OEG - 16（スペクトラテック製）を使用し、オキシヘモグロビン濃度を連続して測定する方法で検討した⁶⁾。

測定部位（図1）⁷⁾ は、先行研究に従い国際10/20法の Fp 1 と FP 2 の中間点（Fpz）を中心として、プローブの左下端・右下端が F 7 ・F 8 となるように配置した⁸⁾。

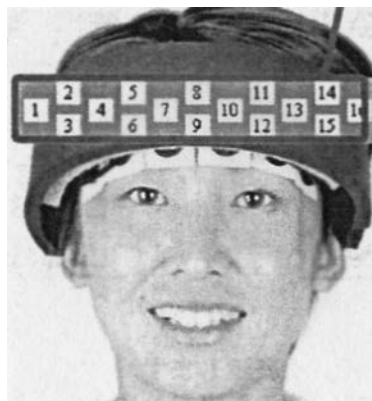


図1 近赤外線スペクトロスコピーの測定部位⁷⁾

3) 課題

吃音検査法⁹⁾の文音読課題（中学生以上版）、①にわとりが鳴く。②節子さんは、とてもうれしそうにブローチとネックレスを選びました。③父は飛行機の模型をつくり、わたしは、船の模型を作っている。④横綱を倒した、小結は、「お客さんが総立ちになっていたので、勝ったと思ったよ」と、上気した顔をほころばせた。の4題を用いた。

4) 手続き

1. 課題実施前（図2）

課題実施前の準備は、課題中の全ての漢字が音読可能かを確認しステレオイヤースピーカー（SONY MDR-EX1000）を装着し聞こえてくる自分の声がちょうど良い大きさになるように調整を行うことなどを実施した。また課題中の注意事項として眉をひそめたり表情を劇的に変えない、モニター（iiyama 製 Prolite E200 8 HDD）に＋マークが出てきた時は目線をすらすら集中して＋マークをみることな

どを指示した。

2. 課題

視覚刺激提示ソフト Spstim と Spectratech OEG-16（スペクトラテック製）を同期させ吃音検査法⁹⁾の文音読（中学生以上版）、4 題を表 1 の通り NAF 条件下で実施し、Rest（30秒）後に、DAF 条件下で同様に実施した。

5) 分析

1. 吃音様症状発生率

表出された音声はステレオ IC レコーダー（SONY ICD-SX1000）に録音し被験者全員の吃音様症状の分析を行った。吃音様症状は、吃音症状分類¹⁰⁾の

設定

- ・ステレオイヤレシーバーから聞こえてくる自分の声がちょうどいい大きさ（小さくも大きくもない）になるように音量を調節する。
- ・目線と中心点を合わせる。

指示

- ・課題文に出てくる漢字の音読（読めない漢字は正答を教える）。
- ・眉をひそめたり、表情を劇的にかえたりしないで下さい。
- ・首を傾けたり、体を大きく動かさないようにして下さい。
- ・目は普通に開けていて下さい。
- ・リラックスして座って下さい。
- ・モニターに＋マークが出てきた時は目線をそらさず集中して＋マークを見ていて下さい。
- ・モニターに文章が出てきたら、すぐに読み始めてください。読む時は、「ちょうどいい声の大きさで正確に間違えないように読んで下さい。
- ・読み終わった後も、文章は呈示され続けますが、モニターを見続けていて下さい。その際、文章を再度読むことはやめて下さい。

A 群から H 群の全ての症状および構音の誤りのいずれかが出現した際に計上し、吃音様症状発生率は、表出された吃音様症状数を総文節数で割ることで算出した。

そして、被験者全員での症状発生率の中央値で流畅群と非流畅群とに分類した。

2. 脳血流

計測には Spectratech OEG-16（スペクトラテック製）を使用し、16部位（ch）の測定を行った。測定後には、fNIRS Data Viewer（BR・System 社）により、NAF 条件下および DAF 条件下における課題中のオキシヘモグロビン変化の平均値を算出した。

分析の際には主に使用する手の、反対側の半球（左半球・優位半球）が10～16ch、同側の半球（右半球・非優位半球）が1～7ch となるように設定した。

また、NAF 条件下と DAF 条件下における課題間のオキシヘモグロビン変化値での差の有意性は SPSS Statistics Version22.0を用い対応サンプルによる Wilcoxon 符号付き順位検定により分析した。

Ⅲ. 結果

1) 吃音様症状発生率（表 2）

全被験者26名の DAF 条件下での吃音様症状の発生率の平均値は16.9%，範囲は 0 から40.0，中央値16.9，標準偏差は12.2であった。

中央値で 2 分した結果、流畅群は13名であり吃音様症状の発生率の平均値は7.0%，範囲は 0 から16.7%，中央値6.7，標準偏差6.2であった。また非流畅群は13名であり吃音様症状の発生率の平均値は

図 2 実験前の設定および被験者への指示

表 1 課題の設定時間

Rest（秒）	課題	音読 + 脳血流反応時間（秒）
30	にわとりが鳴く	20
30	節子さんは、とてもうれしそうにブローチとネックレスを選びました	30
30	父は飛行機の模型をつくり、わたしは、船の模型を作っている	30
30	横綱を倒した、小結は、「お客さんが総立ちになっていたので、勝ったと思ったよ」と、上気した顔をほころばせた	35

26.7%, 範囲は17.0から40.0%, 中央値23.3, 標準偏差7.8であった。

2) 脳血流

1. 全被験者 (表3)

全被験者において NAF - DAF 間でオキシヘモグロビン変化値に統計学上有意な差が認められたのは, 全て課題①であり, 4ch, 7ch, 9ch であった。

課題①における 4ch のオキシヘモグロビン変化値の平均値は, NAF 条件下では0.011mM・mm である一方で DAF 条件下では0.088 mM・mm と有意に高い値を示した ($p = 0.037$)。また課題①では, 1ch と同様に 7ch と 9ch でもオキシヘモグロビン変化値の平均値が NAF 条件下に比し DAF 条件の方が優位に高い値であった (7ch $p = 0.049$, 9ch $p = 0.025$)。

このことにより, 課題①の 4ch, 7ch, 9ch は, DAF 条件下では NAF 条件下に比し活動量が高くなることが推測された。

2. 流暢群 (表4)

流暢群 (13名) において NAF - DAF 間でオキシヘモグロビン変化値に統計学上有意な差が認めら

れたのは, 課題③の13ch のみであった。

課題③における13ch では, オキシヘモグロビン変化値の平均値は, NAF 条件下では0.151 mM・mm である一方で DAF 条件下では0.050 mM・mm と有意に低い値を示した ($p = 0.019$) ことから流暢群における課題③の13ch は, DAF 条件下では NAF 条件下に比し活動量が低くなることが推測された。

3. 非流暢群 (表5)

非流暢群 (13名) において NAF - DAF 間でオキシヘモグロビン変化値に統計学上有意な差が認められたのは, 全て課題①であり, 4ch, 5ch, 8ch, 9ch, 10ch, 11ch であった。

課題①における 4ch のオキシヘモグロビン変化値の平均値は, NAF 条件下では0.037 mM・mm である一方で DAF 条件下では0.145 mM・mm であり, NAF 条件下と DAF 条件下でのオキシヘモグロビン変化値には有意な差が認められた ($p = 0.023$)。また, 非流暢群の課題①では, 4ch と同様に 5ch, 8ch, 9ch, 10ch, 11ch でもオキシヘモグロビン変化値の平均値が NAF 条件下に比し DAF 条件の

表2 吃音様症状発生率 N = 26

	対象者数	平均値	最小値	最大値	中央値	標準偏差
全被験者	26	16.9	0	40.0	16.9	12.2
流暢群	13	7.0	0	16.7	6.7	6.2
非流暢群	13	26.7	17.0	40.0	23.3	7.8

表3 全被験者：NAF-DAF 間でのオキシヘモグロビン変化値 N = 26

課題	測定部位	NAF/DAF	度数	オキシヘモグロビン変化 平均値	標準偏差	有意確立
課題①	4ch	NAF	25	0.011	0.222	0.037
		DAF	25	0.088	0.161	
	7ch	NAF	24	-0.013	0.248	0.049
		DAF	24	0.075	0.166	
	9ch	NAF	26	0.004	0.307	0.025
		DAF	26	0.085	0.156	

表4 流暢群：NAF-DAF 間でのオキシヘモグロビン変化値 N = 13

課題	測定部位	NAF/DAF	度数	オキシヘモグロビン変化 平均値	標準偏差	有意確立
課題③	13ch	NAF	12	0.151	0.128	0.019
		DAF	12	0.050	0.085	

表5 非流暢群：NAF－DAF間でのオキシヘモグロビン変化値 N＝13

課題	測定部位	NAF/DAF	度数	オキシヘモグロビン変化 平均値	標準偏差	有意確立
課題①	4 ch	NAF	12	0.037	0.141	0.023
		DAF	12	0.145	0.148	
	5 ch	NAF	12	0.018	0.103	0.034
		DAF	12	0.906	0.130	
	8 ch	NAF	13	0.031	0.114	0.016
		DAF	13	0.124	0.111	
	9 ch	NAF	13	0.023	0.137	0.019
		DAF	13	0.126	0.176	
	10ch	NAF	13	0.024	0.118	0.046
		DAF	13	0.120	0.209	
	11ch	NAF	13	0.029	0.144	0.033
		DAF	13	0.118	0.173	

方が高い値を示し、NAF条件下とDAF条件下でのオキシヘモグロビン変化値には有意な差が認められた（5 ch $p=0.034$, 8 ch $p=0.016$, 9 ch $p=0.019$, 10ch $p=0.046$, 11ch $p=0.033$ ）。

このことにより、非流暢群における課題①の4 ch, 5 ch, 8 ch, 9 ch, 10ch, 11chは、DAF条件下ではNAF条件下に比し活動量が高くなることが推測された。

IV. 考察

NAF条件下とDAF条件下では、前頭葉の脳血流量が異なる可能性が示唆され、全被験者ではDAF条件下では右半球（非優位半球）の活動量が高くなることが示された。また、流暢群はDAF条件下で左半球（優位半球）の活動量が低下する一方で、非流暢群では右半球（非優位半球）の活動量が高くなり、流暢群と非流暢群では活動する部位も内容も大きく異なることが示された。なお、全被験者と非流暢群は、DAF条件下で右半球（非優位半球）の活動量が高くなる点では同様の結果を示したが、非流暢群の方がDAF条件下で活動量が高くなるch数が多く認められた。

上述の通り、全被験者を対象とした結果、流暢群を対象とした結果、非流暢群を対象とした結果、そ

れぞれが異なる結果を示したことから、DAFを用いた研究では個体差を考慮し少なくとも3群に分けて分析を行う必要性があると考えられた。

特に流暢群と非流暢群間では、前頭葉の活動が大きく異なり、非流暢群では前頭葉の右半球（非優位半球）で活動が高くなることが示された。

なお、吃音者が示す脳内の賦活パターンは非吃音者とは異なり、一次運動野や外側運動前野下部で右半球の活動が有意に大きいことが示されている¹¹⁾。

これらのことから、右半球（非優位半球）の活動が高くなるという点に関しては、非吃音者であっても吃音様症状を多く呈する個体はDAF条件下では吃音者と同様の脳内の賦活パターンとなる可能性が示唆され、非流暢な発話の原因は脳内の活動にあることが考えられた。

本研究は、熊本保健科学大学倫理委員会で承認を受けてから実施された。

文献

- 1) Sasisekaran J : Effects of delayed auditory feedback on speech kinematics in fluent speakers. Perceptual and motor skills, 115 (3) : 845-864, 2012.

- 2) 佐藤裕, 笥一彦: 遅延聴覚フィードバック (DAF) 条件下での読みの影響. 電子情報通信学会技術研究報告, 100 (725): 43-49, 2001.
- 3) Hideki T, Frank E, Richard J.S, et al: The effect of Delayed Auditory Feedback on Activity in the Temporal Lobe While Speaking: A Positron Emission Tomography Study. Journal of speech, language, and hearing research, 53: 226-236, 2010.
- 4) Koki Y, Yasufumi K, Ken N, et al: A preliminary study of delayed auditory feedback and brain activity of bilateral prefrontal region detected by functional near infrared spectroscopy (fNIRS). Chiba Medical J, 88E: 1-7, 2012.
- 5) Chon H, Kraft SJ, Zhang J, et al: Individual variability in delayed auditory feedback effects on speech fluency and rate in normally fluent adults. Journal of speech, language, and hearing research, 56 (2): 489-504, 2013.
- 6) 成田奈緒子, 保坂良輔, 齋木雅人, 他: 第二言語語彙想起効率に関連する前頭葉血流変化. 「教育学部紀要」文教大学教育学部, 46: 201-213, 2012.
- 7) 光イメージング脳機能測定装置 取扱い説明書 ソフトウェア編 Rev2.0a, 7, 株式会社スペクトラテック, 東京, 2011.
- 8) 北洋輔, 軍司敦子, 後藤隆章, 他: 自閉症スペクトラム障害児に対するソーシャルスキルトレーニングの実践—脳機能計測を利用した客観的評価法—. 東北大学大学院教育学研究科研究年報, 61 (1): 127-143, 2012.
- 9) 小沢恵美, 原由紀, 鈴木夏枝, 他: 吃音検査法 吃音検査法, 学苑社, 東京, 2013.
- 10) 日本音声言語医学会 吃音検査法小委員会, 森山晴之, 小沢恵美, 他: 吃音検査法<試案1>について. 音声言語医学, 22 (2): 194-208, 1981.
- 11) FOX, P.T., Ingham, R.J., Ingham, J.C., et al: A PET Study of the neural systems of stuttering. Nature, 382: 158-162, 1996.

(平成27年1月31日受理)

Factors Responsible for Individual Differences in Stuttering-like Symptoms with Delayed Auditory Feedback in People Who Do Not Stutter: A Study on Brain Activity in the Frontal Cortex

Masashi SHIOMI, Go MIZUMOTO, Kenji IWAMURA,
Hiroto IKEZAKI, Yuusuke MORISHITA, Yuusuke NODA

The objective of this study was to analyze differences of brain activity in non-stuttering individuals. In order to achieve this research, we used near infrared spectroscopy (NIRS) for measuring oxy-hemoglobin in frontal cortex which is thought to positively correlate with both cerebral blood flow and the brain activity. Twenty six subjects were jointed in this research, who were divided into three groups, an overall group ($n = 26$), a fluent group ($n = 13$) and a non-fluent group ($n = 13$). Under the NIRS machine is set on the skull of all the subjects, they were asked to read sentences aloud under either normal auditory feedback (NAF) or delayed auditory feedback (DAF). As results, under these two feedback conditions, the fluent group was statistically different from the non-fluent group at both locations and numbers which the oxy-hemoglobin is changed, suggesting that the differences in the brain activity between the fluent group and the non-fluent group are due to effects of the DAF.