

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20666

研究課題名（和文）高速測定法QUESTを用いた、高齢者の聴覚時間分解能検査の作成

研究課題名（英文）Developing test battery of auditory temporal resolution for aged populations, using fast measurement method QUEST

研究代表者

森 周司（Mori, Shuji）

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：10239600

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、高齢者の聴覚時間分解能の検査法を考案することである。時間分解能の指標としては無音検出閾値と振幅変調（AM）検出閾値を用いた。それらの閾値測定法にはベイズ閾値推定法の一つであるZEST（QUESTの改良版）を用い、コンピューターシミュレーションと、若年健聴者と高齢難聴者を対象とした測定を行った。その結果、ZESTは効率的で信頼性が高く、15試行未満で正確な閾値を測定可能であることが分かった。15試行の閾値測定には90秒程度しかかからず、約10分でAM検出閾値から時間変調伝達関数を求めることが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ZESTを用いることで効率的かつ信頼性の高い閾値測定が可能であることを示した学術的意義は大きい。これまでZESTは主に視覚、例えばコントラスト感度や視野の測定で用いられてきたが、本研究は聴覚でもZESTが有効な測定法であることを示した。本研究では総計130名以上の参加者から無音検出閾値とAM検出閾値を測定しており、余り前例がない規模のデータセットを収集している。このデータをエビデンスとして、時間分解能の検査法を考案することは、高齢化社会の聞こえの問題の取り組みとしての社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to design testing methods of auditory temporal resolution for aged populations. We chose gap detection and amplitude modulation (AM) detection thresholds as indices of auditory temporal resolution. As the threshold measurement method, we used ZEST, the Bayesian threshold estimation procedure. We conducted computer simulations and measurements of large populations of normal-hearing adults and hearing-impaired old people. The results demonstrated that ZEST was quite efficient and reliable, in that it requires less than 15 trials to yield accurate threshold values of gap and AM detection. Threshold measurements of 15 trials take only about 90 sec, which means that we need only 10 minutes to construct a temporally modulated transfer function from AM detection thresholds.

研究分野：認知科学

キーワード：聴覚 時間分解能 閾値測定 無音検出 振幅変調検出 ZEST

1. 研究開始当初の背景

高齢者は、音の聞き取りが困難になると生活の質が低下し、社会参加も妨げられる(内田ら, 2012)。難聴は認知症を引き起こす最大の危険因子でもある(Livingston et al., 2017)。直面している超高齢社会において、聴覚障害は取り組むべき喫緊の課題である。

聴覚障害の代表的な検査法は純音聴力検査であり、難聴の主たる判断基準である。しかしながら、純音聴力検査では正常範囲内であっても、日常の音の聞き取りや音声知覚の困難を訴える高齢者の存在が近年顕在化している。内毛細胞のシナプス障害である隠れ難聴はその典型例である。本研究グループは、こうした聞こえの困難の背後には、音の時間変化を聞き取る能力、即ち時間分解能、の低下があると考えている。音は時間軸上の変化であり、変化の中に有用な情報がある。時間分解能が低下すると、音は「聞こえる」が意味や内容が分からなくなる。

現時点で、時間分解能の臨床上的検査法として定まったものは無く、診断や治療、適切な補償方法の開発の妨げとなっている。時間分解能の基礎研究では、無音検出と振幅変調(AM)検出が良く用いられる(図1)。但し、どちらも測定時間が長く、臨床診断での使用に適さない。特にAM検出では複数の測定から時間分解能を推定するため、数十分から2時間程度を要する。このため臨床的な判断基準の根拠となるデータの蓄積もない。

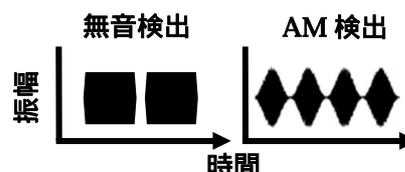


図1. 時間分解能測定法

2. 研究の目的

以上より、高齢者の臨床診断に適した時間分解能検査の開発を本研究の目的とした。無音検出とAM検出の閾値を時間分解能の指標とし、その高速かつ高信頼な測定のためにZEST(King-Smith et al., 1994)を用いる。申請時にはQUESTを提案したが、ZESTはQUESTの改良版であり、他の測定法と比べても高性能であることが示されている(Marvit et al., 2003; Treutwein, 1995)。

3. 研究の方法

ZESTによる閾値測定の流れを図2に示す。閾値の初期確率密度関数 $q_0(T)$ の平均 x_I が刺激として呈示され、それに対する反応の正誤 r_I に応じて選択された心理測定関数 $p(r_I, x_I, T)$ により、初期確率密度関数が更新されて $q_1(T)$ となる。これを繰り返すことで確率密度関数が収斂しながら測定者の閾値に近づく。このようにZESTの実行に必要なのは閾値の初期確率密度関数と心理測定関数である。

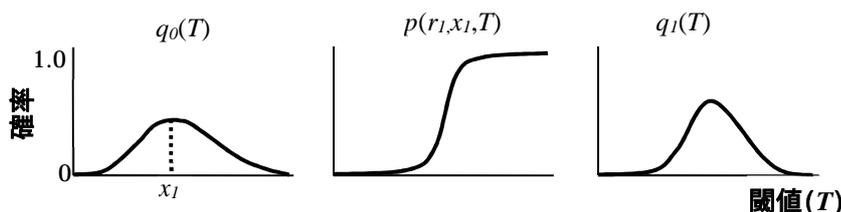


図2. ZESTによる閾値測定

ZESTにより無音検出とAM検出の閾値測定を高速かつ高信頼で実行可能にするために、コンピュータシミュレーションと人を対象とした実際の測定を行った。閾値測定法の開発ではこの両方が必要である(Treutwein, 1995)。測定対象者の閾値を正確に測ることが閾値測定の目的である。但し、測定対象者の「真の閾値」は未知であり、測定で得られるのはその推定値に過ぎない。コンピュータシミュレーションでは「真の閾値」の設定が可能であり、測定のパラメータ(ZESTでは閾値の初期確率密度関数と心理測定関数)により、測定の効率(測定値が真の値に到達する試行数)と精度(限定された試行数での測定値と真値の誤差)を定量化する。その効率と精度を実際の測定で検証する。

4. 研究成果

(1) 無音検出とAM検出のZESTで用いるパラメータを決めるためにコンピュータシミュレーションを行った。具体的には閾値の初期確率密度関数と心理測定関数を本研究グループの先行研究(Mori et al., 2018; Morimoto et al., 2018)から推定し、それらを用いて測定値の分散と真の値との誤差を検討した。

AM検出でのシミュレーション結果の一部を図3に示す。縦軸の b はシミュレーションで設定した真の閾値と各試行での測定値の期待値とのずれを表す。最初は b の値が大きいものの、試行

が進むにつれずれが小さくなる、即ち測定値が真の閾値に近づいている。他の結果と総合すると、適切な設定の ZEST を用いれば AM 検出閾値の測定は 15 試行程度で完了することが分かった（森ら, 2021; Mori et al., in press）。無音検出でも同様の結果が得られた（村田ら, 2021）。

(2) シミュレーションの結果から適切と判断したパラメータを用いて、ZEST による無音検出と AM 検出の閾値測定を行った。具体的には、刺激音には広帯域雑音の大きな振幅の変動を無くした low-noise noise を用いた（Kohler et al., 1997）。AM 検出では変調周波数 8、16、64、128、256 Hz のそれぞれで閾値を測定した。無音検出では、刺激中の無音区間の位置を毎試行ランダムに変化させた。以上について、ZEST では事前に定めた閾値の初期確率密度関数と心理測定関数を用いて 30 試行の測定を行った。ZEST の精度や効率と比較するために、1-up 2-down の適応法による閾値測定も併せて行った。測定対象者は、健聴者 113 名（18~58 歳、平均 22.8 歳）、難聴者 23 名（31~81 歳、平均 71.0 歳）であった。得られた結果は以下の通りである：

AM 検出と無音検出の閾値は、ZEST と適応法で概ね類似した値となり（蝦名ら, 2022）、ZEST の閾値測定としての信頼性が示された。

得られた閾値から初期確率密度関数を推定したところ、AM 検出と無音検出ともに正規分布及び modified hyperbolic secant（King-Smith et al., 1994）が良く当てはまった（村田ら, 2023; 森本ら, 2023）。

無音検出と AM 検出ともに ZEST の測定値は 15 試行未満で安定し（図 4）、効率の高さが示された（森ら 2022a; 村田ら, 2022, 2023）。

AM 検出の閾値から時間分解能の指標を求めたところ、無音検出閾値とは異なっており、二つの方法が聴覚時間処理の異なる側面を反映することが示唆された（森ら, 2022b）。

で推定した健聴者と難聴者の無音検出閾値の初期確率密度関数を組み合わせて二峰性の初期確率密度関数を作成し、それを用いてシミュレーションを行った。その結果、健聴者と難聴者の組み合わせの比率を変えることで、測定の効率が変化することが示された（村田ら, 2023）。

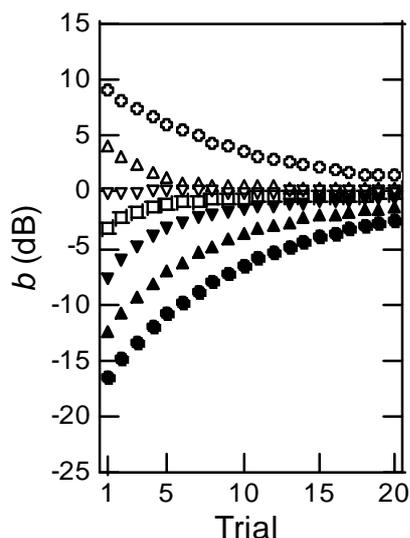


図 3 . AM 検出のシミュレーション結果の一部。図中の記号は、シミュレーションで設定した異なる真値を表す（Mori et al., in press, Figure 4 より抜粋）。

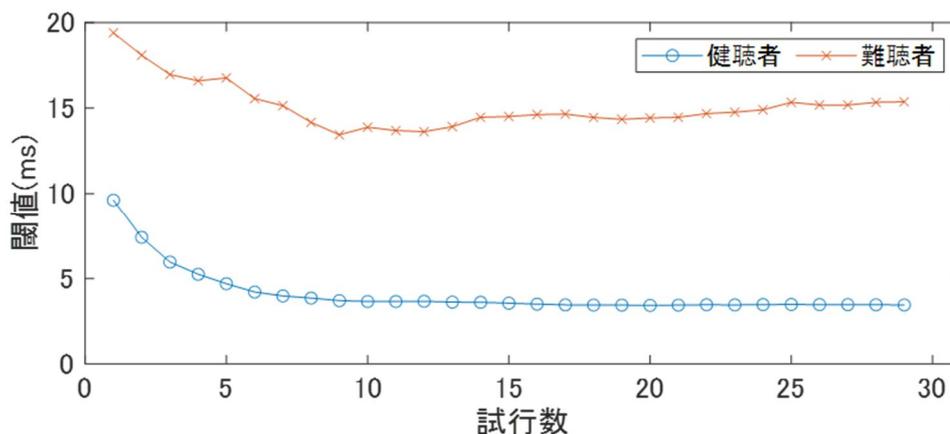


図 4 . 無音検出閾値の試行による変化（村田, 2023, 修士論文, 図 6）

以上の結果は、ZEST を用いれば無音検出と AM 検出の閾値測定が高速化できることを示す。で述べたように閾値測定を 15 試行で完了すれば時間としては 90 秒弱となる。AM 検出閾値を複数の変調周波数で測定し時間変調伝達関数を推定するにも 10 分程度しかかからないことになり、1-up 2-down などを用いた既存の測定法よりも大幅な時間削減となる。

今後の展望としては、の二峰性の初期確率密度関数を AM 検出でも作成し、高齢者、難聴者、健聴者で効率的な閾値測定法を設定する。これにより無音検出と AM 検出を用いた時間分解能検査法を作成し、新たな対象者に適用する。また、年少者にも対象を広げ、時間分解能の包括的な検査法の作成を目指す。

< 引用文献 >

内田育恵、杉浦彩子、中島務、安藤富士子、下方浩史、全国高齢難聴者数推計と 10 年後の年齢別難聴発症率 老化に関する長期縦断疫学研究 (NILS-LSA) より、日本老年医学会

雑誌 49 巻、2012、222-227

Livingston, G., Sommerlad, A., Orgeta, V., et al., Dementia prevention, intervention, and care, *Lancet*, 396, 2017, 413-446

King-Smith, P. E., Grigsby, S. S., Vingrys, A. J., Benes, S. C., Supowit, A., Efficient and unbiased modifications of the QUEST threshold method: Theory, simulations, experimental evaluation and practical implementation, *Vision Research* 34, 1994, 885-912

Marvit, P., Florentine, M., Buus, S., A comparison of psychophysical procedures for level-discrimination thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 113, 2003, 3348-3361

Treutwein, R., Adaptive psychophysical procedures, *Vision Research*, 35, 1995, 2503-2522

Mori, S., Aratake, R., Ito, K., Fujisaka, Y., Morimoto, T., Tamura, S., Hirose, N., Searching for a measure of auditory temporal resolution: Preliminary data, *Proceedings of 2018 Annual Meeting of International Society of Psychophysics*, 2018. 1-6

Morimoto, T., Irino, T., Harada, K., Nakaichi, T., Okamoto, Y., Kanno, A., Kanzaki, S., Ogawa, K. Two-point method for measuring the temporal modulation transfer function, *Ear & Hearing*, 40, 2018. 55-62

森周司、村田悠登、森本隆司、ZEST による振幅変調検出のコンピューターシミュレーション、日本音響学会 2021 年秋季研究発表会、2021

Mori, S., Morimoto, T., Murata, Y., Okamoto, Y., Kanzaki, S., Tests of human auditory temporal resolution: Preliminary investigation of ZEST parameters for amplitude modulation detection, *Frontiers in Neuroscience*, in press.

村田悠登、森周司、森本隆司、ZEST による無音検出閾値測定のコンピューターシミュレーション、日本音響学会 2021 年秋季研究発表会、2021

Kohlrausch, A., Fassel, R., van der Heijden, M., Kortekaas, R., van de Par, S., Oxenham, A. J., Detection of tones in low-noise noise: Further evidence for the role of envelope fluctuations, *Acustica acta Acustica*, 83, 1997, 659-669

蝦名俊匡、村田悠登、森本隆司、岡本康秀、神崎晶、森周司、聴覚時間分解能検査の作成:(3) 変形上下法と ZEST で得られた結果の比較、日本音響学会 2022 年秋季研究発表会、2022

村田悠登、森本隆司、岡本康秀、蝦名俊匡、神崎晶、森周司、聴覚時間分解能検査の作成:(5) 無音検出課題のパラメタの検討、日本音響学会 2023 年春季研究発表会、2023

森本隆司、村田悠登、岡本康秀、蝦名俊匡、神崎晶、森周司、聴覚時間分解能検査の作成:(4) 振幅変調検出課題のパラメタの検討、日本音響学会 2023 年春季研究発表会、2023

森周司、村田悠登、森本隆司、岡本康秀、蝦名俊匡、神崎晶、聴覚時間分解能検査の作成 - (1) 振幅変調検出課題の予備データ -、日本音響学会 5 月聴覚研究会、2022

森周司、森本隆司、岡本康秀、蝦名俊匡、神崎晶、聴覚時間分解能検査の作成 - 無音検出と振幅変調検出、第 67 回日本聴覚医学会総会・学術講演会、2022

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Shuji Mori, Takashi Morimoto, Yuto Murata, Yasuhide Okamoto, Sho Kanzaki	4. 巻 in press
2. 論文標題 Tests of human auditory temporal resolution: Preliminary investigation of ZEST parameters for amplitude modulation detection	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers Neuroscience	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小野未琴, 森周司	4. 巻 in press
2. 論文標題 多感覚統合研究から考える質感認知	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 認知心理学研究	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小野未琴, 森周司	4. 巻 27
2. 論文標題 素材カテゴリー知覚及び性質知覚における視覚情報と触覚情報の相互作用の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 413-423
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/tvrs.i.27.4_413	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Friedrich Muller, Shuji Mori, Yuko Sakaki, Kwangoh Yi, Sungbong Bae, Yuka Tan, Lawrence M. Ward	4. 巻 7
2. 論文標題 Anspannung: Introduction to concept and quantification of mental strain exemplified on data taken in five countries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Methods in Psychology	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.metip.2022.100098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Nobuyuki Hirose, Shota Hattori Shuji Mori	4. 巻 63
2. 論文標題 Breaking Surface Feature Continuity of Previewed Mask Reinstates Object Substitution Masking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Psychological Research	6. 最初と最後の頁 35-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jpr.12275	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mikoto Ono, Nobuyuki Hirose, Shuji Mori	4. 巻 7
2. 論文標題 Tactile information affects alternating visual percepts during binocular rivalry using naturalistic objects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cognitive Research: Principles and Implications	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41235-022-00390-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 森周司, 村田悠登, 森本隆司, 岡本康秀, 蝦名俊匡, 神崎晶
2. 発表標題 聴覚時間分解能検査の作成 - (1) 振幅変調検出課題の予備データ -
3. 学会等名 日本音響学会5月聴覚研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村田悠登, 森周司, 森本隆司, 岡本康秀, 蝦名俊匡, 神崎晶
2. 発表標題 聴覚時間分解能検査の作成 - (2) 無音検出課題の予備データ -
3. 学会等名 日本音響学会5月聴覚研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蝦名俊匡, 村田悠登, 森本隆司, 岡本康秀, 神崎晶, 森周司
2. 発表標題 聴覚時間分解能検査の作成: (3)変形上下法とZESTで得られた結果の比較
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shuji Mori, Willy Wong
2. 発表標題 An inequality governing the peripheral auditory activity
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 周司, 森本 隆司, 岡本 康秀, 蝦名 俊匡, 神崎 晶
2. 発表標題 聴覚時間分解能検査の作成 無音検出と振幅変調検出
3. 学会等名 第67回日本聴覚医学会総会・学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森周司, Cho Hyunsoo, Wong Willy
2. 発表標題 無音検出から無音弁別へ - 実験と数理モデルの拡張 -
3. 学会等名 日本音響学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森本隆司, 村田悠登, 岡本康秀, 蝦名俊匡, 神崎晶, 森周司
2. 発表標題 聴覚時間分解能検査の作成: (4) 振幅変調検出課題のパラメタの検討
3. 学会等名 日本音響学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村田悠登, 森本隆司, 岡本康秀, 蝦名俊匡, 神崎晶, 森周司
2. 発表標題 聴覚時間分解能検査の作成: (5) 無音検出課題のパラメタの検討
3. 学会等名 日本音響学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森周司・村田悠登・森本隆司
2. 発表標題 ZESTによる振幅変調検出のコンピューターシミュレーション
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村田悠登・森本隆司・森周司
2. 発表標題 ZESTによる無音検出閾値測定シミュレーション
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本音響学会（編）古川 茂人・堀川順生・入野俊夫・鈴木陽一・飯田一博・津崎実・柏野牧夫・小澤賢司・森周司・北川智利・日高聡太・坂田俊文・白石君男（著）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 330
3. 書名 聴覚	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	神崎 晶 (Kanzaki Sho) (50286556)	独立行政法人国立病院機構（東京医療センター臨床研究センター）・その他部局等・室長 (82643)	
研究分担者	岡本 康秀 (Okamoto Yasuhide) (10317224)	慶應義塾大学・医学部（信濃町）・客員講師 (32612)	

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究協力者	ウォン ウィリー (Wong Willy)	トロント大学・Professor	
研究協力者	森本 隆司 (Morimoto Takashi)	リオン株式会社	
研究協力者	蝦名 俊匡 (Ebina Toshimasa)	リオン株式会社	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	トロント大学			