

授業等で使用可能な模擬難聴装置の試作

*Prototype Hearing Loss Simulation Device That Can Be Used
in Speech-Language-Hearing Therapy Classes*

馬屋原邦博¹⁾ 和田英嗣¹⁾ 塚本能三¹⁾

¹⁾ 大阪河崎リハビリテーション大学：大阪府貝塚市水間 158 番地（〒 597-0104）

Kunihiro Umayahara¹⁾, Hidetsugu Wada¹⁾, Yoshimi Tsukamoto¹⁾

¹⁾ *Osaka Kawasaki Rehabilitation University: 158 Mizuma, Kaizuka-city, Osaka 597-0104, Japan*

キーワード：聴覚障害、模擬難聴、言語聴覚士教育

¹⁾ 馬屋原邦博 Kunihiro Umayahara
E-mail: umayaharak@kawasakigakuen.ac.jp

受付日 2023 年 10 月 3 日 受理日 2023 年 11 月 2 日
Received Oct. 3, 2023. Accepted Nov. 2, 2023.

1. はじめに

保健医療福祉専門職は、対象者を正しく理解することが基本的に必要なスキルである。言語聴覚療法の対象となる聴覚障害は感覚障害であり、本人以外には本人の障害によってもたらされる経験を体験することが困難であるが、客観的には、主に純音聴覚閾値の上昇と、特に感音難聴では、語音弁別検査成績の低下等に現れる。難聴のために音声言語会話における相手の音声情報の聴取が困難になり、コミュニケーション活動や社会的場面への参加に制限や制約が生じる。難聴はコミュニケーションが困難になるので、本人だけではなく本人との会話に関わる人も含めた障害となるため、コミュニケーションパートナー側にも障害理解とそれに合わせた行動変容が必要となり、これまでも家族やコミュニケーションパートナーに向けた多くの難聴シミュレーションによる障害理解へのアプローチがなされてきた。

筆者らは昨年度、代表的な難聴シミュレーションシステムについて、ウェブ上で体験ができるもの、スマートホンのアプリとなっているものなど、感音難聴者のさまざまな聞こえの変化の側面を模擬するシステムについて概観し、またすでにいくつかの言語聴覚士養成校で使用されていることも示した¹⁾。今回、言語聴覚士養成校である本校の授業場面での活用を考えて、ノートパソコンをベースに、誰でも比較的入手可能なソフトウェアを利用したリアルタイムで難聴体験ができる装置を試作したので報告する。簡便な聴覚障害体験として、体験者が耳栓をした上にヘッドホンから聞こえるホワイトノイズ等によって周囲の音や相手の音声をマスキングして聞こえなくする方法があるが、本装置では会話時に相手の音声は聞こえるがことばとして聞こえにくい状況を模擬するものを目指した。

2. 今回試作した模擬難聴装置の概要

今回の試作に当たって考慮した点を下記に記載する。

- (1) ノートパソコンをベースにする
- (2) 入手しやすい音響処理ソフトウェアで、周波数イコライザと歪みエフェクトが利用できる
- (3) リアルタイムで模擬難聴音声を作成できる

今回試作した装置の概要と機材をそれぞれ図1と表1にまとめた。

表1 器材について

(1)マイクロホン	Marantz 社製 MPM-1000
(2)オーディオインターフェース	Focusrite 社製 Scarlett SOLO (3rd Gen.)
(3)ノートパソコン	Apple 社製 MacBook Air (MacOS 10.15.7, Intel Core i5 1.1GHz, 8GB)
(4)音楽ソフトウェア	Apple 社製 GarageBand (ver. 10.3.5)
(5)ヘッドホン	Sony 社製 MDR-CD900 ST

また、感音難聴では、補充現象、周波数選択性の劣化、時間分解能の劣化等のさまざまな側面で聞こえの変化が生じ、音声言語の聴取が困難になる²⁾。しかし、今回はリクルートメントや周波数選択性、聴覚フィルタ等の感音難聴の聴覚特性を厳密に模擬するものではなく、歪みエフェクトを利用して、語音弁別能の低下を簡便な方法で模擬することが目的である。

2.1 本体

可搬性を考え、また USB などの汎用性の高いインターフェースを持つことから、ノートパソコンをベースとした。OS および本体メーカーとしてはさまざまなものがあ

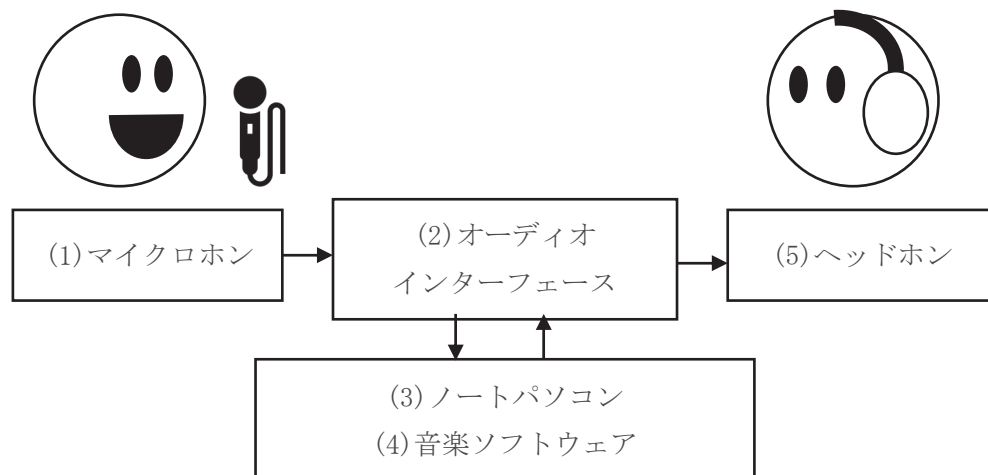


図1 今回試作した模擬難聴システムの概要

るが、下記の無料の音楽ソフトウェアの利用できる Apple 社製 MacBook を使用した。

2.2 ソフトウェア

マイクロホンで入力された音声に対して、オーディオグラムが模擬できるように、周波数イコライザ機能を有すること、語音弁別能の低下が模擬できるように、歪み効果を付加できるようなソフトウェアを探した。本体の検討時に Windows 用の無料で使用できる音響処理ソフトウェアを検索したが、適用できるものを見つけないことができなかった。そのため、Apple 社製の Mac であれば無料でダウンロードできる GarageBand を使用することにした。

2.3 オーディオインターフェース・マイクロホン・ヘッドホン

マイクロホン入力とヘッドホン出力は MacBook 本体に内蔵されたものではなく、ノートパソコン本体の処理負荷を軽くし、処理遅延時間を短くするために、別途、USB オーディオインターフェースを使用した。

3. ソフトウェアによる難聴者の聞こえの模擬

3.1 聴覚閾値の上昇と補聴による音量増幅の模擬

難聴の主要な側面として、純音聴覚閾値の上昇と語音弁別能の低下が挙げられるが、このうち純音聴覚閾値の上昇については、以下の表 2 のように閾値が上昇するほど難聴の程度は、軽度から重度に変化していく。補聴器をしていない難聴者の聞こえは、模擬難聴装置のヘッドホン音量を調整することによって、この聴覚閾値の変化は模擬することができるが、一般的には難聴者は補聴器で音を増幅することによって、補聴器装用時の相手の音声の音量は難聴者の耳には十分に大きくなって届いている。本装置の場合も基本的には相手の声は十分に聞こえる音量で聞くことを前提としている。しかし、難聴が重度である場合に、補聴器による閾値の改善には限界があることがあり、すべての音声情報が補聴器を通して耳に届いているわけではない。特に高音域の聴力損失の大きいオーディオグラム型の重度難聴では、補聴器によっても高音域の装用閾値の改善は大きくないことがある。そのため、難聴者が補聴器を装用して音声信号を増幅して聞くと、相手の声の大きさは十分であるが、特に高音域についてはやはり聞こえにくい場合がある。本装置では、こうした聞こえ方を、オーディオインターフェースのボリュームによってヘッドホンから聞こえる音は十分に大きい、ソフトウェアの周波数イコライザ機能を用いて高音域の利得を低減することによって再現することにした。

表 2 難聴の程度（平均聴力レベル*）と聞こえの状態³⁾

軽度難聴： 25dB 以上 40dB 未満	小さな声や騒音下での会話の聞き間違いや聞き取り困難を自覚する。会議などでの聞き取り改善目的では、補聴器の適応となることもある。
中等度難聴： 40dB 以上 70dB 未満	普通の大きさの声の会話の聞き間違いや聞き取り困難を自覚する。補聴器の良い適応となる。
高度難聴： 70dB 以上 90dB 未満	非常に大きい声か補聴器を用いないと会話が聞こえない。しかし、聞こえても聞き取りには限界がある。
重度難聴： 90dB 以上	補聴器でも、聞き取れないことが多い。人工内耳の装用が考慮される。

* 500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz の聴力レベルの平均

3.2 語音弁別能低下の模擬

補聴器によって音声の聞き取りやすい音量に増幅されたとしても、補聴器による語音弁別能の改善には限界があり、また特に感音難聴者の語音弁別能（最高語音明瞭度）も個人差が大きく、もともと語音弁別能の低い難聴者が補聴器を装用した場合に、補聴器装用時の語音弁別能（最高語音明瞭度）が大きく改善するわけではない。補聴器または人工内耳等の聴覚補償機器を装用した場合の語音弁別能は、表 3 のように 0% から 100% までになり、語音弁別能が低くなるほど音声以外のコミュニケーション方法の依存度が大きくなる。

表 3 最高語音明瞭度と補聴器使用時のコミュニケーション能力の関係⁴⁾

100% 以下	80% 以上	聴覚のみで会話を容易に理解可能
80% 未満	60% 以上	家庭の日常会話は聴覚のみで理解可能。普通の会話はほとんど理解可能であるが、不慣れな話題では正確な理解に注意の集中が必要。
60% 未満	40% 以上	日常会話で内容を正確に理解できないことがしばしばある。重要な内容は確認することやメモの併用が必要。
40% 未満	20% 以上	日常会話においても読話や筆談の併用が必要。
20% 未満	0% 以上	聴覚はコミュニケーションの補助手段として有用である。聴覚のみの会話理解は不可能。

難聴は感覚障害であるので、実際にどのように聞こえるかは本人以外にわからない。感音難聴者に説明してもらった、「声は聞こえるがことばとしてはっきりしない」、「音

が割れて聞こえる」、「壊れたラジオのように聞こえる」と説明する人も多い。こうした語音弁別能の低下は聞こえのさまざまな側面の変化によるものと考えられている²⁾が、本試作機では、簡単にソフトウェアの歪みエフェクトを使用して、音を歪ませてことばがはっきりしないことを再現することにした。

3.3 GarageBand の設定

GarageBand は、Apple 社製のソフトウェアで、同社の運営する AppStore から MacOS 搭載の Mac に無料でダウンロードして使用できる音楽用ソフトウェアである（最新バージョンは 10.4.8⁵⁾）。また同社のスマートホン／タブレットである iPhone や iPad 用のものも配布されている（バージョン 2.3.14）が、今回は、Mac 用の GarageBand を利用した。使用にあたって、GarageBand のユーザーガイドや解説本を参考にした^{6,7)}。

事前に Mac 本体に USB オーディオインターフェースを接続し、システム環境設定のサウンドから出力入力デバイスを USB オーディオインターフェースに設定しておく。

GarageBand を起動して、新規プロジェクトを選択し、空のプロジェクトを作成する。トラックのタイプはオーディオのうちマイクまたはライン入力を選択し、このとき「演奏中や録音中に自分の音源の音を聞く」にチェックを入れる。作成ボタンを押すと、メインウィンドウが現れ、最上部にコントロールバー、その下に大きく分けて 3 分割された領域が現れる。左側にライブラリ・サウンドの領域、右側上部にトラック領域、右側下部にエディタ領域がある⁷⁾。エディタ領域がない場合は、コントロールバー左側の Smart Control ボタンを押すと現れる（各ボタンはアイコンで表示されているが、上にマウスのポインタを合わせるとボタンの内容が文字で表示される）。エディタ領域内のトラックボタンを押し、録音設定の入力は 1 を選択（モノラル）にしておく。

以下のイコライザやエフェクターの設定はトラックごと、またはマスタートラック（全体）が選択できる（今回はトラックが 1 つしかないのでどちらでもよい）。

3.3.1 周波数イコライザの設定

オーディオグラムを模擬するために、GarageBand の Channel EQ というイコライザ機能を使用する。右下側エディタ領域内の EQ ボタンを押して、今回は高音漸傾型を想定して、8 種類あるフィルターのうち、ローパスフィルタを使用する（一番右のローパスフィルタのボタンを押す）。EQ ディスプレイ画面上のピンク色のコントロールポイントを左右に動かすとカットオフする周波数が設定できる。傾斜はデフォルトで 12dB/oct である（画面右下の 12dB/oct をクリックしてから上下矢印キーで 6,12,18,24,36,48 の 6 段階の変更可能）。Gain スライダーは動

かさずに 0 のままにした。設定を保存する場合は、エディタ領域左側の設定をクリックするとプルダウンメニューが開き、名称をつけて保存できる。

3.3.2 歪みエフェクトの設定

感音難聴者の音は聞こえるがことばとしてはっきり聞こえないという聞こえ方を模擬するために、Smart Control 機能をオンにし、Audio Units プラグインが使用できるようにした。右下側エディタ領域内の Output ボタンを押し、左側に出てくるプラグインの Distortionの中から、今回は強力な歪みの得られる Clip Distortion 機能を選択した。Distortion の設定は、Clip Distortion ボタンの中央にマウスポインタを合わせてクリックすると設定画面がポップアップする。設定は Clip Drive、Clip Tone、Mix の 3 つである。Clip Drive は歪みの度合い（0～50dB）であり、数字を大きくするほど歪みが強くかかるが、入力レベルが上昇するからか、雑音も大きくなる。Clip Tone は歪みがかかり始める周波数設定（20～20000Hz）で、周波数を高くすると歪み感が少ない。Mix は原音とエフェクト処理をした音の混合度合いの設定（0～100%）で、100% はすべてエフェクト処理音になる。設定を保存する場合は、エディタ領域左側の設定をクリックするとプルダウンメニューが開き、名称をつけて保存できる。歪みエフェクトをオフにする場合は、Clip Distortion ボタンの左端にマウスポインタを合わせるとオンオフボタンが現れるのでクリックするとオフに切り替わる。

3.3.3 設定例と語音弁別検査の結果

試しに周波数イコライザのみ、または周波数イコライザと歪みエフェクトを組み合わせで設定した。参考までに下記の設定をした上での語音弁別検査（日本聴覚医学会 67S 語表⁸⁾）の成績を示した（表 4）。また後述の理由で、聴取時にはポリウレタン製耳栓をした上でヘッドホンを装着し、音量はオーディオインターフェースのダイヤルで快適レベルになるように自分で調整してもらった。

周波数イコライザ（500HzLPF、-12dB/oct.）のみの場合は、高音漸傾型オーディオグラムとなるためこもった音に聞こえるが、大きく語音弁別能は低下しない（85%）。ただし、例えば子音の誤り（例、[c] → [ç]）や母音の誤り（例、[u] → [i]）が経験できた。一方で、大きく歪みを加えた場合は、語音弁別能は 50% 以下という身体障害者手帳等級 4 級と同程度の語音弁別能になり、表 3 における「日常会話で内容を正確に理解できないことがしばしばある。重要な内容は確認することやメモの併用が必要」な聞こえが経験できた。今回は 1 名での 1 回のみの成績であるので、個人差が大きく、再現性も低いものと予想されるが、歪んで聞き取り難い難聴体験になるものと考えた。

表 4 GarageBand の設定例

周波数イコライザの設定例	Clip Distortion の設定例	語音弁別検査 (67S)の成績*
500Hz ローパスフィルター	なし	85%
500Hz ローパスフィルター	Crip Drive 20dB Clip Tone 20Hz Mix 100%	50%
500Hz ローパスフィルター	Crip Drive 50dB Clip Tone 20Hz Mix 100%	45%

*聴覚正常者である 30 代男性 1 名の協力を得て実施した。

3.4 リアルタイム模擬難聴装置の試作

周波数イコライザや歪みエフェクトを設定の上、トラック領域の左側のボタンのうち、入力モニタリングボタンをオンにすることで、マイクロホンからの音声にエフェクト処理をした音声ヘッドホンから聞こえるようになる。

本装置を試用して、実際に 1 対 1 で音声会話を行うと、模擬難聴音声だけでなく、話者の肉声が聞こえてしまった。そのため、肉声が聞こえないように 100 円ショップのポリウレタン製の耳栓を装用した上で、耳のせ型ヘッドホンを装着することにしたところ、ほぼ解決した。ただし距離が近いと肉声が入ってしまうため、対面でも話者同士が 2～3m 離れる必要があった。

USB オーディオインターフェースを使用しているため、ほぼ遅延時間なく加工音声聞き手の耳に届くことを確認した。遅延時間がないために、読話を併用したコミュニケーションも体験しやすくなるものと考えた。

4. 今後の応用

今回試作した模擬難聴装置により、難聴者の聞こえを模擬しながら、リアルタイムでの会話を体験することができるのではないかと考える。あくまでも難聴を模擬した体験であり、すべての難聴者の聞こえを代表するものではないが、相手の話していることが「聞こえにくい」という体験は可能になりそうである。

また、本試作機によって模擬難聴者と会話を行う経験は、難聴者のコミュニケーションパートナーの体験（第三者の障害⁹⁾の体験）になる。

さらに、実際にリアルタイムでの会話を行う経験の中から、模擬難聴者にとっても、またコミュニケーションパートナー側にとってもスムーズなコミュニケーションを行うための双方の協力の必要性や、適切なコミュニケーションストラテジーの活用が必要が経験できるものと思われる。

また、周囲で音声言語での会話が行われる中で、難聴者は自分だけ会話がわからないために疎外されていると感じ

ることがある。実際、こうした体験を模擬してもらうことが障害理解研修の中で取り入れられることもある。一時的なものではあるものの、聴者の中で生活する難聴者が日頃置かれている立場の体験としての模擬難聴体験も可能である。今後授業等で使用する予定である。

5. まとめ

今回、ノートパソコンと無料で配布されるソフトウェアを使用した模擬難聴装置を試作した。周波数イコライザと歪みエフェクトにより、感音難聴者の特徴である語音弁別能の低下（模擬難聴）がリアルタイムで体験でき、実際のコミュニケーションを通して、難聴者自身の体験だけでなく、コミュニケーションパートナーの体験も可能になることが考えられた。こうした装置の利用は、言語聴覚士を目指す学生に対する難聴者の理解を促す方法の 1 つとなると考えられた。

引用文献

- 1) 馬屋原邦博, 和田英嗣, 塚本能三: 模擬難聴体験システムについて, 大阪河崎リハビリテーション大学紀要, 17:51-59, 2023.
- 2) 高木明: 難聴者の周波数選択性と時間分解能, 耳鼻科展望, 45:460-468, 2002.
- 3) 日本聴覚医学会難聴対策委員会: 難聴対策委員会報告－難聴（聴覚障害）の程度分類について－, 日本聴覚医学会, 2014. <<https://audiology-japan.jp/wp/wp-content/uploads/2014/12/a1360e77a580a13ce7e259a406858656.pdf>>. [accessed 2023-09-16]
- 4) 小寺一興: 補聴器フィッティングの考え方, 診断と治療社, 東京, p.4, 1999.
- 5) Apple: Mac のための GarageBand ミュージシャンになろう。今日から。 Apple. <<https://www.apple.com/jp/mac/garageband/>>. [accessed 2023-09-16]
- 6) Apple: GarageBand ユーザーガイド, Apple. <<https://support.apple.com/ja-jp/guide/garageband/welcome/10.4.7/mac>>. [accessed 2023-09-16]
- 7) 伊藤朝輝: 今すぐ使えるかんたん GarageBand, 技術評論社, 東京, 2022.
- 8) 日本聴覚医学会: 補聴器適合検査の指針 (2010) 検査用音源 CD Disc1, 日本聴覚医学会, 2010.
- 9) 障害者福祉研究会 (編): ICF 国際生活機能分類－国際障害分類改定版, 中央法規, 東京, p.241, 2002.