

2023
ホワイトペーパー

Audible Contrast Threshold (ACT)

アクト（可聴コントラスト閾値）測定はあらゆる言語に対応するテストで
実生活での雑音下語音聴取能を数値化し
補聴器の騒音下のサポート機能の個別設定に活用可能

編者

Søren Laugesen, PhD
インターアコースティクス研究ユニット、インターアコースティクス社

Sébastien Santurette, PhD
応用オーディオロジー研究センター、オーティコン社



目次

| | |
|--|----|
| 雑音下語音聴取： Beyond the audiogram（オーディオグラムを超えること）の重要性 | 3 |
| ACT テストの開発：科学の道のり | 4 |
| 最終的な ACT 臨床導入 | 6 |
| ACT の試験：2施設での臨床研究 | 8 |
| 研究協力者 | 8 |
| 試験方法 | 8 |
| 結果：ACT と雑音下語音聴取の関係性 | 10 |
| 結果：ACT の再検査信頼性 | 11 |
| ACT に基づいた補聴器の騒音下のサポート設定の初の処方 | 11 |
| 結果： ACT に基づいた補聴器の騒音下のサポート設定処方の使用効果 | 12 |
| 補聴器フィッティング現場での ACT の利用 | 13 |
| 結論 | 14 |
| 謝辞 | 14 |
| 参考文献 | 15 |

抄録

騒がしい環境での聴き取りが難しくなることは、難聴の挑候であるとされています。雑音下聴取、特に雑音下での言葉の理解は、補聴器で音を増幅してもなお、多くの人が難しさに直面しています。この問題は半世紀以上にわたる科学研究で報告されている事実ですが、エビデンスに基づいた手法、つまり個人の雑音下語音聴取能の標準臨床評価を基に補聴器の詳細設定を調整するというような手法はこれまで存在しませんでした。補聴器の雑音抑制などの騒音下のサポート設定に関しては、ほとんどの補聴器の初期設定（ファーストフィット）で、デフォルト設定を使用したり、調整する場合でも補聴器調整者が主観的に設定を決めたり、試行錯誤を重ねながら再調整を行っていたりする状況が多くあります。このホワイトペーパーでは、あらゆる言語に対応しつつ迅速で信頼性の高い方法で、被検者の実生活での雑音下語音聴取能の評価を可能にする、可聴コントラスト閾値（Audible Contrast Threshold、以下ACTと略、読み方はアクト）テストをご紹介します。また、臨床現場で使用できるようにこの測定法を開発し最適化を進めてきた研究背景や実験についても詳しく説明するとともに、ACT の測定手順の基盤となる主な原理についてもまとめています。さらに、補聴器ユーザーを対象とした ACT の最初の大規模臨床研究についても報告しています。この研究結果から、言語の種類を問わず、ACT と雑音下語音聴取能との間には強い相関関係があることが確認できました。補聴器の雑音抑制などの騒音下のサポート設定の強さを調整する際の指標として ACT がいかに有用であるか、またいかに信頼性に優れた測定法であるかという点も実証しています。ACT を使用することで、雑音下での補聴器ユーザーのニーズを測定でき、その結果に基づいて、より客観的に補聴器の騒音下のサポート機能を装用者個人に合わせて調整することができます。オーティコン補聴器の騒音下のサポート機能の調整に関しては、インターアコースティクス社とオーティコン社が共同で初となるエビデンスに基づいた処方ルールを定義しました。この処方ルールができたことで、オーティコンのフィッティングソフトウェアで、ACTに基づいた個別調整をシームレスに統合することが可能となりました。

雑音下語音聴取: Beyond the audiogram (オーディオグラムを超えること)の重要性

100年以上にわたり、純音オーディオグラムが補聴器フィッティングに使用される唯一の測定結果となっています。オーディオグラムは、補聴器装用を検討している方が、どのくらい小さい音を聞き取る能力があるのか(またはその能力の欠如)を見極める上で役に立ち、これまで、そしてこれからも有用な測定結果です。聴覚ケアの専門家は、このオーディオグラムを利用することで、補聴器フィッティングでの可聴性の問題には十分対応できていると言えます。しかし、難聴は可聴性の欠如という問題だけでなくそれ以上の問題があると、聴覚ケアの専門家はとらえていると思います。特に難聴は、聴力が適切に補償されていたとしても、騒がしい環境での語音聴取能に影響を及ぼしています(例: Lopez-Poveda, 2014年)。このことは特に新しい認識ではありません。約半世紀前、Plomp (1978年、1986年)は、可聴性 (audibility) とひずみ (distortion) という、音声明瞭度 (speech intelligibility, 以下SIIと略) を損なう2つの独立した有害因子を取り入れた雑音下語音聴取モデルを提案しました。この2つの因子があると、雑音下語音聴取で高い信号対雑音比(以下SN比と略)が必要となってしまいます。例えば可聴性(純音聴力閾値)単体では雑音下語音聴取の確率変数の50%しか説明できないとの報告もあり(例: Smoorenburg, 1992年)、他の研究者はPlompの2因子モデルを支持しました。ここでは、ACTテストの観点より、Plompの「可聴性」の概念に対応する「可聴性損失 (audibility loss)」と、「ひずみ」の概念に対応する「コントラスト損失 (contrast loss)」という用語を使用します。可聴性損失については定義が十分に確立されており、測定にはオーディオグラムを使用します。コントラスト損失は新しい用語で、聞きたい音声と聞きたくない環境雑音を識別するのに必要なコントラストの量を示しています。したがって、高度コントラスト損失の被検者が、軽度コントラスト損失がある被検者と同程度の聴取能を得たい場合は、SN比の改善が必要となります。これまでのところ、コントラスト損失を臨床現場で測定する標準的な尺度はありませんでした。

雑音下での聞き取りにくさやコントラスト損失を補うために、最新の補聴器では強力な騒音下のサポート技術を活用しています (Jensen & Pedersen, 2015年、Andersenら, 2021年)。フィッティングソフトウェアで、この技術の細かい調整が可能であるため、原理上は、各ユーザーに合わせた「サポートレベル」を雑音下で使用することができます。ですが、現時点では、個々の補聴器ユーザーに適したサポートレベルを選択するためのエビデンスに基づいた客観的な手法がありません。そのため、補聴器の雑音抑制などの騒音下のサポート設定は通常、中程度のデフォルト設定のままとなっています。つまりデフォルト設定を使用することで、適切な機能設定をする機会を逃してきたということになります。特に雑音下での聴き取りに実際苦労している補聴器ユーザーや、可能な範囲でサポート機能を最大に設定することで補聴器装用のメリットが向上するはずのユーザーにとっての好機を逃していると言えます。一方、その対極と言えるような、雑音下語音聴取能がほぼ正常なユーザー(可聴性は担保の上で)にとっても同様なことが当てはまります。このようなユーザーには補聴器の騒音下のサポート機能を中程度から軽度まで下げて設定すれば、音の機械的処理の度合いが弱い音環境となり、他のほとんどの補聴器ユーザーが苦労するような状況でも快適に過ごすことが可能となります。したがって、補聴器を装用した際の雑音下語音聴取能に関する情報を、あらかじめ聴覚ケアの専門家に通知できるような、客観的なテストがあると、非常に便利だと言えます。上述した処方に関するメリットに加え、雑音下語音聴取能の予測が可能となれば、カウンセリングや、補聴器に対する期待値の設定、そして補聴器に追加する補聴援助システムやコミュニケーション・ストラテジー、聴覚トレーニングなどの追加支援の推奨について検討する際にも役に立ちます。繰り返しのようになりますが、これは新しい着想ではありません。研究者はこれまでに数十年にわたり、このようなテストを模索してきましたが、最近までほとんど成果を上げられずにいました(例: Strelcyk & Dau, 2009年、Johannesenら, 2014年、Thorupら, 2016年)。こういった状況に変化が見られ始めたのは、難聴者を対象とした雑音下語音聴取検査と、いわゆるスペクトル・時間変調(以下STMと略)検知閾値との間に、かつて見たことのないほどの強い相関関係を示す研究論文が発表された、2010年代初頭のことでした (Bernsteinら, 2013年、Mehraeiら, 2014年)。

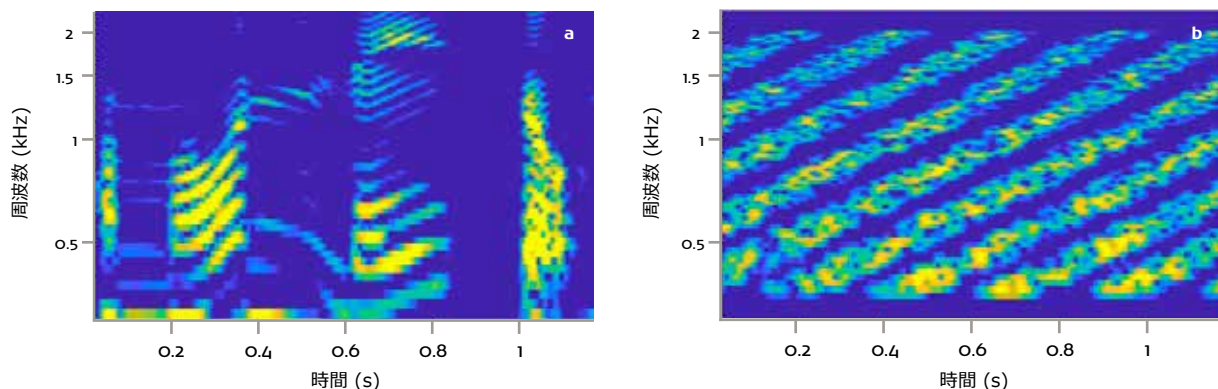


図1: (a) Hearing In Noise テスト (HINT, Nielsen & Dau, 2011年) のデンマーク語の一文、および (b) 最大スペクトル・時間変調を適用した STM/ACT 刺激音のスペクトログラム。

STMは音声信号に固有のものであり、STM 検査に使用される変調は、それを定型化したものですが、音声にみられる変調と似ています。図 1 の実際の語音と STM 刺激音のスペクトログラムの例をご覧ください。

STM 検知閾値（最終的には可聴コントラスト閾値、すなわち ACT）は、ヘッドホンやインサートイヤホンを通して伝達される刺激音の変調度を適応的に変化させ実験的に検知します。被検者には、変調を加えていない「基準」の刺激音と比較してもらいながら変調のある「ターゲット」刺激音が聞こえたら反応するよう指示します。この閾値は、被検者が検知できる最小の変調度です。一般的な考え方としては、ACT（または同等の STM 検知）が正常の被検者であれば、語音と環境ノイズのコントラストがほとんどない場合でも、環境ノイズから語音を拾い上げて聴き取ることができるとされています。逆に、ACT/STM の結果が芳しくない被検者の場合、語音を聴き取るには語音と環境騒音とのコントラストを大きくする必要があります。雑音下語音聴取能の推定に ACT/STM を使用する際は、言語固有の語音素材は用いず、人工刺激音だけを使って測定ができるというメリットがあります。このように、ACT/STM は、被検者の言語背景に関係なく、どの国のどの被検者にも使用することが可能です。

Bernstein ら（2013年）や Mehraei ら（2014年）が革新的な成果を上げている一方で、依然としていくつかの課題が残っていました。Bernstein らによる STM 検査（2013年）をスウェーデンの大規模臨床試験で使用したところ（Bernsteinら、2016年）、適応測定手順（adaptive test procedure）を取り入れていたため、研究参加者の約 3 分の 1 で、適切な STM 閾値を得ることができませんでした。

臨床現場でこの測定を使用するという点では、非常に期待できる結果が見られましたが、同時に大きな障壁も混在する結果となったことから、インターアコースティクス社とオーティコン社で共同研究を進めることになりました。共同研究の目標は、STM 検査を発展させることであると同時に、その可能性を最大限に引き出し、最終的には臨床現場で使用できる実用的な測定ツールを作成することでした。それが ACT（アクト、可聴コントラスト閾値）テストです。

ACT テストの開発：科学の道のり

本セクションでは、デンマーク工科大学（以下DTUと略）との共同研究として、インターアコースティクス研究ユニット（以下IRUと略）で実施された研究について説明します。出発点は Bernstein らが提案した STM 検査（2013年、2016年）ですが、終着点は臨床用 ACT テストになります。

最初の研究（Zaarら、2023a年）の主な目標は、Bernstein ら（2016年）による「天井効果問題」を解決し、どの研究協力者でも STM検査から適切な閾値を得られるようにすることでした。これを実現するため、測定手順にいくつかの変更を加えました。

- まず、測定パラダイムを二肢強制選択法（2-Alternative Force Choice、以下2-AFCと略）から 三肢強制選択法（以下3-AFCと略）のパラダイムに変更しました。2-AFCでは、変調のない基準刺激音と変調があるターゲット刺激音のペア（ランダムな順序で組み合わせたペア）を呈示し、研究協力者は変調がある刺激音を識別するという手順でした。この方法では、研究協力者は変調があるターゲット刺激音がどのように聞こえたのかを記憶する必要がありました。3-AFC の場合は、2 つの基準刺激音と 1 つのランダムに配置されたターゲット刺激音を呈示するので、3 つの刺激音の中で異なる音を識別するという手順になります。3-AFCでは、ターゲット刺激音がどのように聞こえたのかを覚えておく必要がないため、タスクが単純化されます。
- また、各刺激音の呈示時間を 0.5 秒 から1 秒に延長しました。変調を検知する時間を長くすることで、タスクをさらに単純化しました。
- Bernstein らの研究（2013年、2016年）では片耳に音を呈示していましたが、両耳呈示に変更しました。通常、私たちは両耳を使用して雑音下で語音を聴き取るので、このような変更は主に現実世界の聴取場面により近いものにするべく導入した改善点でした。また、この変更により、検知がしやすくなったという面もあります。
- 最終的に、Humes（2007年）が提案した「sufficiently audible（十分聞こえる）」という方略に基づき、周波数特性を加味した刺激音を導入しました。この手順では、個々のオーディオグラムを考慮し、刺激音周波数範囲内では少なくとも 15 dB の可聴性を担保しました。図 2 の説明図を参照してください。この方法により、完全な可聴性を保証し、その上、あたかも雑音下語音聴取の場面で補聴器を装着しているような状態を作り出していると言えます。この刺激音を、十分聞こえるレベルで呈示するアプローチは、Bernstein ら（2013年、2016年）が採用した周波数特性を加味せずに固定の大きなレベルで刺激音を呈示するアプローチとは対照的です。Bernstein のアプローチでは、完全な可聴性は担保されず、雑音下語音聴取の場面で補聴器を装着しているような状態であるとは言えません。

テストパラダイムに導入した前述の変更を評価することに加えて、本研究ではSTMの特色も検討しました。これまで使用されていた、帯域を制限した定常ピンクノイズ搬送波に代わるものとして、複合音搬送波信号に基づいた異なる特色のものを検討しました。本研究では、難聴がある13名の研究協力者で、特色が異なる様々なSTMと、2つの異なる検査設定条件での雑音下語音聴取検査（実験室使用レベル）を試しました。具体的には、いわゆる「生態学的妥当性に基づいた (ecologically valid)」(Keidserら, 2020年) 雑音下語音聴取検査を臨床試験で試しました。この試験では、雑音下語音聴取検査としてHearing In Noiseテスト (HINT, Nielsen & Dau, 2011年) を用いデンマーク語の日常会話文を呈示すると同時に、別のスピーカーからは、competing talkers (競合する話者の音声) と低レベルのspeech-shaped noise を加えた雑音を背景で呈示しました (下の図6を参照)。なお、スピーカーは中程度の残響のある部屋に設置しました。こうすることで、ターゲットの語音と定常雑音がどちらも同一のスピーカーから呈示される (co-located) という標準的な設定とよりも、より現実味のある聴取場面を作り出すことができました。この標準的な設定も、比較検討しました。どちらの検査条件であっても、個別化された増幅がスピーカー信号に適用され、図2に示すように可聴性を担保しました。したがって、研究協力者は裸耳で雑音下語音聴取検査を受けました。この結果は以下にまとめています。

- すべての検査条件で、研究協力者全員から、適切な STM 検知閾値を得ることができました。これで Bernsteinらの天井効果問題 (2016年) は無事に解決しました。
- 2つの検査設定条件で雑音下語音聴取検査を実施し、STM 閾値と雑音下文聴取閾値 (以下SRTnと略) の相関関係を見てみると、標準的な設置条件 (co-located) で検査した場合よりも、生態学的妥当性に基づいた条件で検査した場合のほうが常に相関が強かったという結果になりました。このように、より現実的な雑音下語音聴取検査に向けての大きな一歩を踏み出したことで、STMと補聴器を装用した場合の雑音下語音聴取検査との関係性が強くなりました。このホワイトペーパーでは、SRTnという略語が登場しますが、これは雑音下での文聴取閾値、つまり文の聞き取りで50%の正答が得られるSN比を示しています。

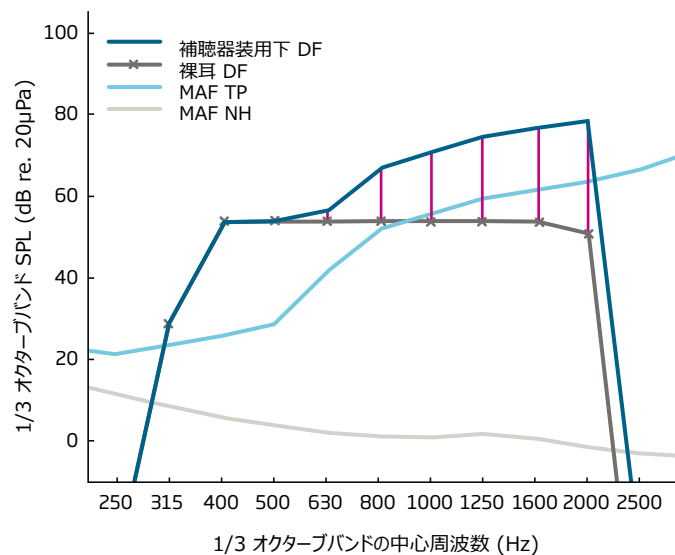


図2：各被検者が ACT 刺激音を聞き取れるようにする手法の図解。濃いグレーの線は、1/3 オクターブバンド音圧レベル (SPL) の ACT 刺激音スペクトルを示し、健聴者に呈示されます (拡散場 (DF) となっているが、実際には刺激音はヘッドホンを通して伝達される)。薄いグレーの実線は、健聴者の拡散場の聴力閾値 (最小可聴域、MAF、ISO389-7) を示し、裸耳で ACT 刺激音を問題なく聞くことができることを示しています。薄い青色の実線は、代表的な難聴被検者 (TP) の聴力閾値を示し、ACT 刺激音の一部はこの被検者の裸耳閾値よりも下回っています。縦のピンク色の実線は、1/3 オクターブバンドの中心周波数に付加された利得を示し、ACT 刺激音周波数範囲全体で 15 dB の聴力を担保しています。最後に、濃い青色の実線は、「十分聞こえる」ACT 刺激音 (補聴器装用下 DF) のスペクトルを示しています。

- STM検査手順にいくつかの変更を加えましたが、STMと補聴器装着下での雑音下語音聴取検査結果との関係性はそのまま維持されていました。

HINTを受けた補聴器ユーザー 30 名から成る新しいグループで、最初の研究から最も有望と思われた2つのSTM検査候補を、生態学的妥当性に基づいた検査設定条件で調べました (Zaarら, 2023b年)。本STM検査では、最初の研究とは異なり左右の耳ごとに聴力補償をする方式に変更しました (2023a年のZaarらの研究での聴力補償は左右の平均オーディオグラムを基にしています)。HINTでは、オーディオン独自のフィッティング理論である VAC+ (Le Goff, 2015年) を用いて両耳フィッティングしたオーディオン Opn補聴器を使用し、聴力の補償を行いました。補聴器の騒音下のサポート機能で3種類の設定を用い、オープンサウンドナビゲーター (以下OSNと略) をオフ (OSN無効)、中 (デフォルトのOSN設定)、強 (強にカスタマイズしたOSN設定) に設定して、雑音下語音聴取検査を実施しました。この研究協力者は、さまざまな雑音下語音聴力を持つ方を対象とするべく、特別に広範囲で募集しました。雑音下語音聴取で高度の難しさがある方を募集して、最初の研究で見られた天井効果問題に対する我々の解決策を検証することを重要視して進めました。結果は以下にまとめています。

- 再検査信頼性の観点から、望ましいSTM刺激音設定は、354-2000 Hzのノイズ搬送波、オクターブスペクトルリップごとに2サイクル (2 cycles per octave spectral ripple) で、時間変調 4 Hzという変調パラメーターに基づいた場合でした。これは Bernstein ら (2016年) が用いたものと同じ設定です。
- 補聴器をオフ (OSN無効) 条件に設定し、補聴器装着下で生態学的妥当性に基づく設定条件の雑音下語音聴取検査で得られた SRTn は、STM閾値から十分に予測することができ、 $R^2 = 0.61$ でしたが、良聴耳の4周波数平均聴力レベル (PTA) では $R^2 = 0.51$ となりました。2つの予測変数を使った重回帰モデル

(two-predictor regression model) から $R^2 = 0.69$ と証明されているように、STMとPTAは補完的な予測検出力を示しました。このように、STMと補聴器を装着した際の雑音下語音聴取能との関係には、この研究協力者グループでも同様に頑健性がありました。

- OSNを弱から強に設定した場合の SRTn へのメリットは、STM ($R^2 = 0.51$) と PTA ($R^2 = 0.54$) の両方から十分に予測できていました。この2因子はまた、相補的な情報を提供しています (結合モデルでは $R^2 = 0.64$)。この結果から、STM (ひいては ACT) を利用した補聴器の騒音下のサポート機能の設定方法を示唆する初のエビデンスを得ることができました。これについては、以下で詳しく説明します。

最終的なACT臨床導入

上述のSTM検査パラダイムは、研究経緯の最後の段階で、臨床現場で利用できる実用的なツールに生まれ変わりました。それが可聴コントラスト閾値 (ACT) テストです (Zaar/Simonsenら, 2023c年)。基本原則として、聴覚ケアの専門家が ACT を簡単に導入できるように、ACTの手順を純音聴力検査 (測定) の手順にできる限り近くなるようにしました。より具体的な必須条件は、(i) 検査時間を臨床的に受け入れられる範囲まで短縮すること、(ii) 一般的なクリニックですでに利用されている機器 (ヘッドホン/インサートイヤホンと応答ボタン) だけを使用すること、(iii) 研究バージョンで得られた長所を維持すること、でした。

推奨のテストパラダイムでは、1秒の刺激音の「波」が連続で研究協力者に呈示され、聴覚ケアの専門家が作動させると、変調したターゲット音が、変調のない基準音の波の間に現れます。図3をご覧ください。

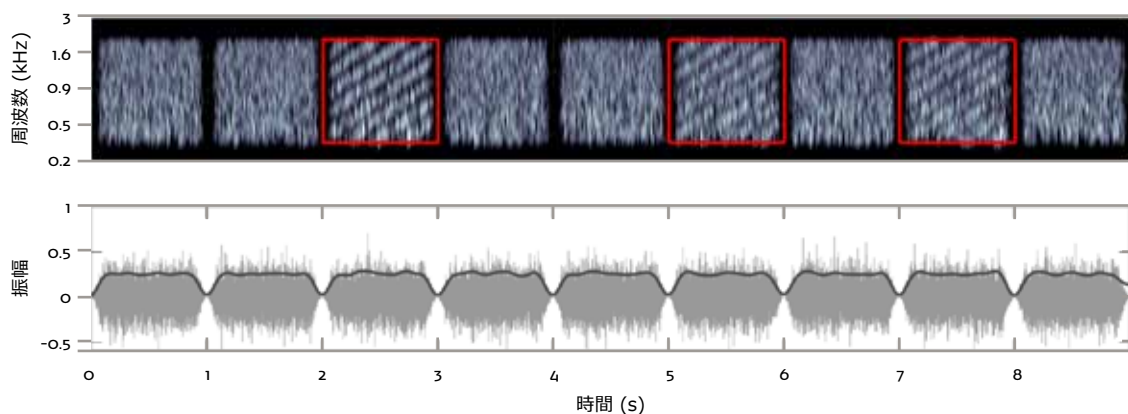


図3: ACTで使用する波状テストパラダイムの図解。(上) スペクトログラム、(下) 波形。スペクトログラムで赤枠で囲んでいるのが、変調のあるターゲット音。

変調度は、2 dBのステップサイズで、2 ダウン 1 アップする Hughson-Westlakeルールに従って、適応的に検査者が変化させていきます。測定は、5回同じ変調レベルを呈示したうちの3回で応答があり、その応答レベルが上昇から下降への転換点となっていると時点で終了します。図 4a に検査の実施例を示します。次のステップでは、Hughson-Westlake Threshold Candidate Window (閾値候補ウィンドウ、TCW、図 4a) 画面に表示されているデータポイントを用いて心理測定関数を推定し、最終的に閾値を決定します (図 4b)。詳細はZaar/ Simonsenら (2023 年) を参照してください。このテストパラダイムは調査した他のパラダイムよりも、再検査信頼性の点で優れていることが判明しました。さらに、前回の研究バージョンで得られたベースライン結果との一致はベストでした。

ACT を純音聴力検査 (測定) にさらに近いものにするため、正規化コントラストレベルスケールという新しい評価尺度を導入しました (図 4 にすでに適用されています)。導入のために、若年健聴者 25 名で、上述の波状テストパラダイムを用いて、変調閾値を調べました。最初にこの結果を、テクニカル変調レベルスケール上にプロットしました。

このスケールでは 0 dB フルスケール (FS) が最大の変調となります。図 5 に、このフルスケールと新しく提案した正規化コントラストレベル (nCL) スケールを一緒に表示しました。測定閾値の中央値が 0 dB nCL に近くなるようにこの新しいスケールをデータに合わせ、同時に、0 dB FS での最大変調を含むように、2 dB テストグリッドを合わせました。こうすることで、0 dB nCL は正常値に相当し、正の dB nCL 値はコントラスト損失の程度が上昇したことを示し、負の dB nCL 値は正常よりも良い測定結果を表せる仕様になりました。また、-10 dB HL (0 dB HL の 2 ステップ下) が検査下限であるオージオグラムの手順に合わせて、正規化コントラストレベルは、0 dB nCL の 2 ステップ下の -4 dB nCL を検査下限とし、それを超えないように設定しました。このように、聴力レベル (dB HL) スケールが可聴性損失を定量化すると同様に、ACT に使用されるコントラストレベル (dB nCL) スケールは、コントラスト損失を定量化できるようになりました。

要約すると、ACT テストは補聴器で音を増幅し十分に聞こえる状態での被検者個々の雑音下語音聴取検査の結果を、聴覚ケアの専門家が ACT 値から事前に予測できる、迅速で使いやすく正確、かつ臨床現場で使用可能であるツールとして開発されました。

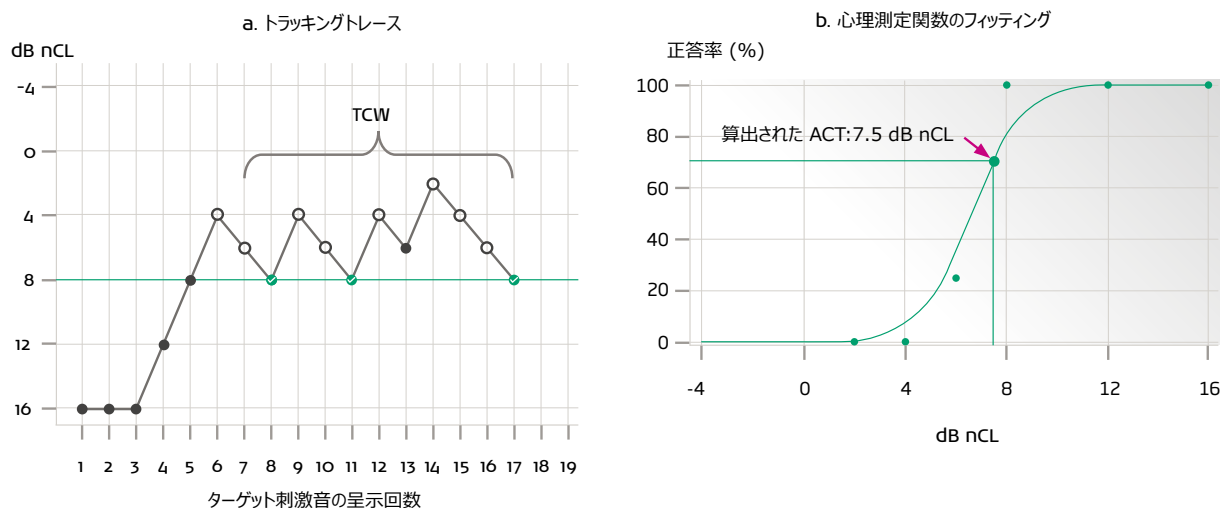


図4 : (a) ACT テストでの「トラッキングトレース」の例。黒丸印 (●) は、被検者がターゲット刺激音を正しく検知したことを示し、白丸印 (○) は、被検者がターゲット音を検知できなかったことを示しています。緑色のチェックマークシンボルは、Hughson-Westlake基準を満たす 3 つの同レベルで、上昇から下降への転換点となっています。Threshold Candidate Window (TCW) も表示されています。(b) (a) の TCW データの心理測定関数のフィッティング。最終的な ACT 結果は、緑色の直線で示されているように、心理測定曲線上の 70.22% のポイントで判定されます。

ACTの大きな特徴は、被検者が純音閾値測定ですでにヘッドホンまたはインサートイヤホンを装着し応答ボタンを手を持っているため、純音閾値を測定した直後にACTを手軽に測定できる、ということです。そのため、補聴器フィッティングプロセスの極めて早い段階で聴覚ケアの専門家はACT値を得ることができ、補聴器ユーザーの一番の主訴である「雑音下での聴き取り」(Jorgensen & Novak, 2020年, Manchaiahら, 2021年)という問題に、初めて直接取り組めるようになったのです。さらに、ACTという確かなエビデンスに裏付けられた測定結果を基に、問題に取り組むことができます。上述したように、ACTはカウンセリングや、補聴器の補聴効果への妥当な期待値の設定、補聴援助システムやコミュニケーション・ストラテジー、聴覚トレーニングといった追加支援の推奨を検討する場合にも役立ちます。ただし、ACTの最も確かな使用法は、補聴器の高度機能である騒音下のサポート機能を処方することです。これについては後述します。最後に繰り返しますが、ACTは特定の言語に特化していないテストであり、言語背景を問わず、誰でもどこでも受けられるテストであることを再度認識していただく価値があると考えています。

ACTの試験： 2施設での臨床研究

臨床使用に向けて、ACTテストの刺激音と手順を最適化することができたので、次のステップとして、実臨床での補聴器ユーザーへの適用性を確認しました。初めて2施設での国際的な臨床研究を遂行し、ドイツ（リューベック応用科学大学）と日本（一般社団法人新田・小川聴覚・補聴器研究所、オトクリニック東京、慶應義塾大学医学部耳鼻咽喉科、済生会宇都宮病院）の研究者が、多彩な補聴器ユーザーグループで、ACT値および雑音下語音聴取検査のデータを測定しました。この研究の詳細については、Zaarら（2023c年）を参照してください。この研究では、以下の研究課題に言及しました。

1. 主要研究課題として、異なる臨床フローやフィッティング手順、全く異なる母国語を使用する2つの実際の補聴器ユーザーグループにおいて、より学術的な初期の研究で報告された通りのACT値と雑音下語音聴取能の関係性が維持されるかどうかを調査。
2. 加えて、オーディオグラムのみを使用と比較して、ACTは雑音下語音聴取能の予測を大幅に向上させることができるかどうかを検討。

研究協力者

研究の最初のパートでは、年齢32～79歳（中央値：68歳、平均：66歳）で、軽度から高度の難聴（両耳の4周波数平均聴力レベル範囲：29～79 dB HL、中央値：51 dB HL、平均：52 dB HL）の補聴器装着経験者100名に対し、オーティコン More 1 補聴器をフィッティングしました。利得処方と音響パラメータの選択は、2つの各臨床施設で使用している最も一般的なフィッティング方法で実施しました。81名のドイツ人研究協力者は、NAL-NL2 利得処方方式 (Keidserら, 2011年) でフィッティングし、その増幅を実耳測定（以下REMと略）を用いて検証しました。音響パラメータは、Genie 2 フィッティングソフトウェアによって規定されたとおりに選択しました。19名の日本人研究協力者は宇都宮方式（新田 & 鈴木, 2016年）による利得調整を行い、日本聴覚医学会によって定義されたガイドライン（小寺ら, 2016年）に従ってフィッティングされました。日本人研究協力者は、現地での実臨床に従って、全員がベントなしのカスタマイズでフィッティングを受け、REMを用いてその増幅を評価しました。

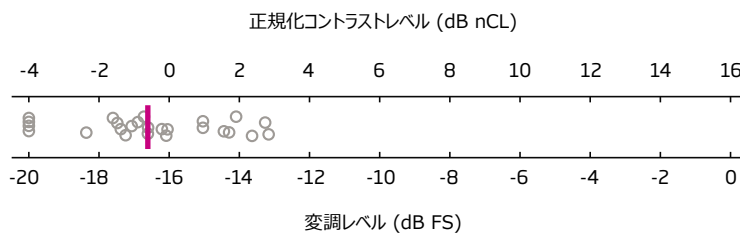


図5：若年健聴者 25 名を対象にした標準データ研究の結果を、技術的な変調レベル (dB FS) 軸 (下方)、および提案している正規化コントラストレベル (dB nCL) 軸 (上方) を上方に表示しています。グレーの丸印 (○) は個々のデータ、太い縦線は変調レベル中央値を示しています。

試験方法

標準純音閾値測定の後、研究協力者全員に ACT 測定を 2 回実施し、再検査信頼性を評価しました。また、ACT を約 6 カ月後にも再度 2 回実施し、横断的に再検査信頼性を評価しました。補聴器フィッティング後、生態学的妥当性に基づく条件で、補聴器装着状態で、Hearing in Noise Test (HINT、Nilssonら、1994年)を実施し、研究協力者の雑音下語音聴取能を評価しました。その際、HINT のドイツ語版 (Joikora、2021年) と日本語版 (Shiromaら、2008年) のコーパス (検査文) を使用しました。従来型の雑音下語音聴取検査よりも実際の聴取環境に試験設定を近付けるために (図 6 を参照)、研究協力者の周囲100°および 260°方向に空間的に分離されたマスクを配置しました。各マスクは、country-specific interfering talker (ターゲット文の音声とは異なる日本語またはドイツ語話者の音声) と stationary speech-shaped noise (SSN、ターゲット音声スペクトルの形状をもつ定常雑音) で構成しました。ターゲットの HINT 文は、真正面 (0°方向) から呈示しました。文の聞き取りで 50% の正答が得られるSN比に相当する雑音下文聴取閾値 (SRTn) を、オーティコンの新世代の高度な騒音下のサポート機能である、モアサウンド・インテリジェンス (以下MSIと略) の4つの異なる設定で追跡しました。MSI の4つの騒音下のサポートレベルは、それぞれ オフ、弱、中、強となります。

研究で使用しているMSIの上記サポートレベルで、実際に、様々な程度でSN比を向上するのかどうかを定量的に検証するために、オーティコン More 1 補聴器を装着したHead-and-Torso Simulator (以下HATSと略) を使用し、図 6 に示す生態学的妥当性に基づいた HINT 設定で技術的測定を実施しました。広帯域の加重SII で出力SN比を計算しました (2004年の Hagerman と Olofssonの位相反転法を使用)。検証の結果、図 7 に示すように、騒音下のサポートレベルを強くするほど、全体的なSN比も向上することが確認できました。全てのサポートレベルにおいて、MSI によってもたらされたSN比の向上は、その入力 SN比に依存していることがわかりました。つまり、その場の音の情景の複雑さに合わせて、MSI が処理の度合いを適応させるため、音環境が複雑になるに従って (図 6 で入力 SN比が小さくなるにつれて)、徐々にSN比を向上させるように作動しています。

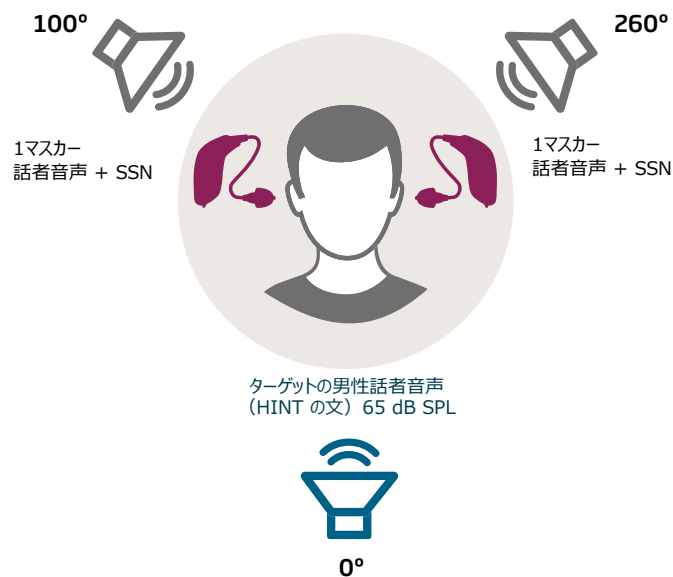


図 6 : 雑音下語音聴取を測定するための生態学的妥当性に基づいた HINT 検査設定条件。正面からはターゲットの話者音声を、両側からはターゲットの話者とは異なる話者の音声とターゲット音声スペクトルの形状をした定常雑音 (SSN) を混合したマスクを呈示。

結果：ACT と雑音下語音聴取の関係性

主要研究課題は、先行研究で報告された、ACT値と雑音下語音聴取との有意な相関関係が、今回試験を実施したより多様な実際の補聴器ユーザーグループでも見られるのかを調べることでした。この問いに答えるため、研究協力者のACT値と、雑音下でサポートレベル オフ（つまり補聴器で増幅のみ行われMSIは無効にした状態）でのSRTnの相関を算出しました。100名の研究協力者全員において、ACTの前駆形を使用した先行研究で得られた相関関係と同様にACT値とSRTnに有意な相関があり($p < 0.001$)、ピアソンの相関係数は $r = 0.70$ でした。さらに重要な点として、ドイツの参加者のみ ($r = 0.67, p < 0.001$) で算出しても、日本の参加者のみ ($r = 0.85, p < 0.001$) で算出しても、有意な非常に強い相関関係を示していました。この結果から、補聴器ユーザーが増幅のみ有効な補聴器を装着し生態学的妥当性に基づいた雑音下状況での雑音下語音聴取能の代わりとして、ACTを活用できることが分かりました。さらに、母国語が違う、異なるフィッティングの考え方に基いた利得調整や音響パラメータの選択がなされた実臨床の補聴器ユーザーにおいても、この結果が保持されることが期待できます。

ACTが雑音下語音聴取能と有意に関係していることを確認できたので、次の解析では、ACTを用いることが、オーディオグラムのみを用いる場合よりも、雑音下語音聴取能をより良く予測することにつながるどうかを検討しました。多変量回帰分析(multivariate regression analysis)の結果、図8に示すように、ACTは補聴器ユーザーのSRTnの最も強力かつ最も有意な予測因子であることが明らかになりました ($R^2 = 0.49, p < 0.001$)。一方、4周波数両耳純音平均聴力レベル(以下PTAと略)は中程度に強力で有意な予測因子であることが示されました ($R^2 = 0.40, p < 0.001$)。年齢に関しては、弱いものの依然として有意な予測因子であることが示されました ($R^2 = 0.04, p = 0.043$)。これにより、ACT単体で補聴器ユーザーのSRTnにおける分散の49%を説明することができました。ACTと上記の他2つの有意な予測因子(PTAおよび年齢)を組み合わせると、補聴器ユーザーのSRTnにおける分散の59%を説明でき、これはオーディオグラム単体で達成可能な値(40%)よりもはるかに高い値となります。

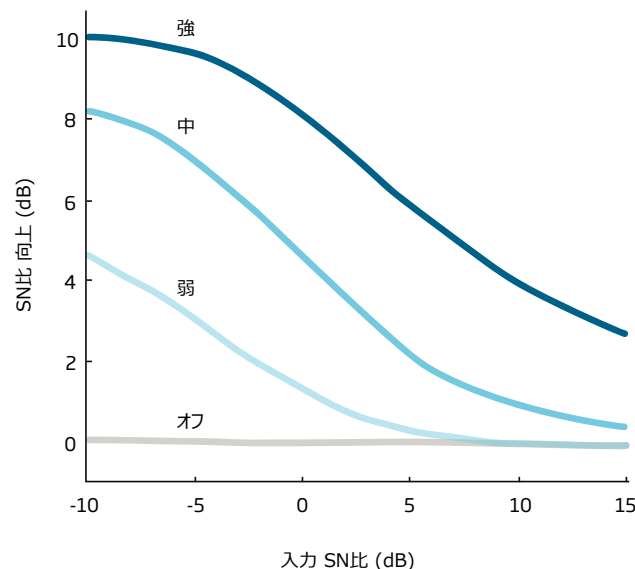


図7：モアサウンド・インテリジェンスの4つの騒音下のサポートレベル(オフ、弱、中、強)で測定したSN比向上。図6のテストセットアップでHATSを用いて測定。

したがって、ACT値と PTA（とはるかに小さな範囲ではありますが年齢）を組み合わせて使用することは、個々の補聴器ユーザーの雑音下語音聴取能をより正確に予測することにおいて、臨床的に意味があるということが分かりました。図9ではこれをさらに説明するため、オーディオグラム、ACT値、年齢から予測した研究協力者 100 名の SRTn と、増幅のみ有効な（サポートレベル オフ）補聴器を装着し実際に測定した SRTn との関係を示しています。予測値と実測値の相関は極めて有意 ($p < 0.001$) で、ピアソンの相関係数は 0.76 でした。この相関関係は、ドイツ人研究協力者だけで算出しても ($r = 0.80, p < 0.001$)、日本人研究協力者だけで算出しても ($r = 0.71, p < 0.001$)、極めて有意なことを示しています。

結果：ACT の再検査信頼性

本研究の補聴器ユーザーでは、ACT パラダイムの研究協力者内での試験 - 再検査標準偏差は、同じ訪問内で 0.96 dB、複数回の訪問間で 1.45 dB でした。これに対して、HINT の試験 - 再検査標準偏差は、難聴研究協力者の同じ訪問内で 0.92-0.95 dB でした (Nielsen & Dau, 2011年、Laugesenら, 2013年)。同一日に 2 回行った ACT 測定の級内相関係数は 0.95 で、さらに優れた信頼性が示されました。ACT のこのような高い再検査信頼性は臨床的に意味のある ACT 値を得るためには、測定を 1 回実施するだけで十分であることを意味しています。本研究における平均測定時間は 100 秒であることが確認され、これは ACT テストが実臨使用においても迅速で信頼性のあるテストであり、被検者への指示やカウンセリングを含めても所要時間がわずか数分を要するのみであることが確認されました。

ACT に基づいた補聴器の騒音下のサポート設定の初の処方

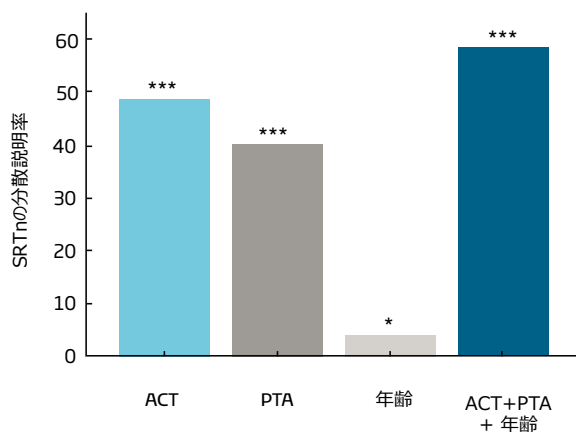


図8：ACT、PTA、年齢を単独または併用した時の、SRTnの分散説明率。

*** 統計的有意差が高いモデル ($p < 0.001$)

* 統計的有意差が低いモデル ($p < 0.05$)

上記の2施設での臨床研究結果に基づき、オーティコン補聴器の Polaris Rとそれ以降のプラットフォーム（すなわちオーティコン Realとそれ以降）と互換性のある騒音下のサポート機能の設定に適用できる、ACTに基づく処方を開発しました。これは、個々の補聴器ユーザーに対してMSIの初期設定（ファーストフィット）を最適化するために特別にデザインされた処方です。この処方では、臨床試験で判明したように、雑音下語音聴取能における最も重要な3つの予測因子を考慮しており、ACT値を第一の主要な寄与因子、2番目をPTA、最も小さい寄与因子を年齢としています。したがって、図10に示すように、利用可能なACT値を用いてある年齢の補聴器ユーザーに処方される騒音下のサポートレベルは、ACTで測定されたコントラスト損失の程度と、オーディオグラムで示された可聴性損失の程度に依存します。これにより、聴覚ケアの専門家は、語音と雑音のコントラストに最も貢献するMSI機能（Genie 2 フィッティングソフトウェアの MoreSound Intelligence 画面で設定可能）を、より正確かつ客観的で、個別化された設定からスタートを切ることができます。

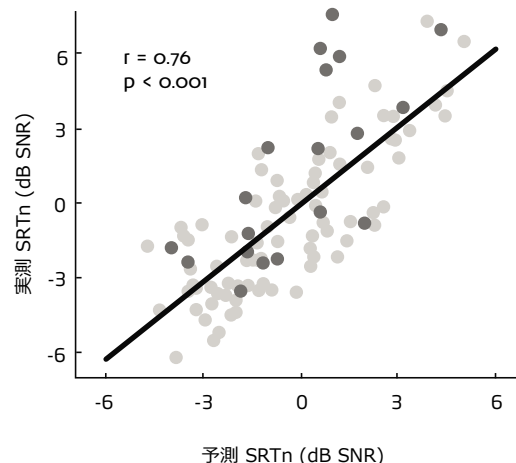


図9：オーディオグラム、ACT値、年齢から予測した補聴器ユーザー 100 名の SRTn と、増幅のみ有効とした（サポートレベル オフ）補聴器を装着して測定した SRTn との関係。薄いグレーの丸印はドイツ人研究協力者、濃いグレーの丸印は日本人研究協力者。

結果：ACT に基づいた補聴器の騒音下のサポート設定処方 使用効果

最後に、MSIの騒音下のサポートの設定で、この初の個別化処方を使用して、様々な雑音下語音聴取能を持つ補聴器ユーザーに対して語音と雑音の適切なコントラストを提供することが実際に可能であるかどうかを検証したいと考えました。これを調査するため、まずACT、PTA、年齢に基づいて定義された処方方式を使用して、前述の多施設臨床研究に参加した補聴器ユーザーを以下の3つのグループに分類しました。

- 第1のグループは雑音下語音聴取能力が良いグループ
このグループの15名の補聴器ユーザーには、図7の「弱」曲線に対応する、デフォルトよりも弱いMSIのサポートレベルを処方しています。
- 第2のグループは雑音下語音聴取能力が普通であるグループ
このグループの51名の補聴器ユーザーには、図7の「中」曲線に対応する、デフォルトの中程度のMSIのサポートレベルを処方しています。
- 第3のグループは雑音下語音聴取能力が悪い
このグループの34名の補聴器ユーザーには、図7の「強」曲線に対応する、デフォルトよりも強いMSIのサポートレベルを処方しています。

次に、図7の各サポートレベルに対応する4種のMSIサポートレベル（オフ、弱、中、強）でSRTnを測定した時に、これら3つの補聴器ユーザーグループのSRTnがどのように変化するかを比較しました。これらのSRTnは図11に示しています。図のグレーのエリアは、補聴器を装着していない若年健聴者のパフォーマンスを示しています。理想的には、補聴器の騒音下のサポートにおける適切な「サポート量」を処方し、補聴器ユーザーがこの正常範囲に収まるようにする必要があります。これにより、補聴器ユーザーが個々に必要とする以上に補聴器で入力音を処理せずとも、ユーザーの雑音下語音聴取がこの健聴者の範囲に収まるためです。

- 雑音下語音聴取能力が良い補聴器ユーザーグループ（左パネル）の場合、健聴者の範囲に到達するには、MSIの弱のサポートレベルで十分です。
- 雑音下語音聴取能力が普通である補聴器ユーザーグループの場合（中央パネル）、健聴者の範囲に達するには、弱のサポートレベルでは不十分なので、MSIのデフォルトの中サポートレベルが必要となります。
- 雑音下語音聴取能力が悪い補聴器ユーザーグループの場合（右パネル）、補聴器ユーザーを健聴者の範囲にできるだけ近づけるには、MSIの強のサポートレベルが必要です。このグループの補聴器ユーザーが健聴者の範囲に達するには、ある程度のギャップがまだあるということから、複雑な雑音下語音聴取環境では、ユーザーに可能な限り多くのサポートを提供することが重要になるということが分かります。



図10:ACTに基づいた処方を使用すると、個々のユーザーに適用される騒音下サポートレベルは、可聴性損失とコントラスト損失の両者の程度によって変化します。

以上の結果から、ACT、オーディオグラム、年齢に基づき、異なる騒音下サポートレベルを処方することの客観的なメリットを示すエビデンスが得られました。オーディオグラムによる可聴性損失の推定に加え、ACTで補聴器ユーザーのコントラスト損失を推定することは、補聴器フィッティングにおいて臨床的に有用であるということが実証されました。補聴器が聴取環境で必要とされる以上に入力音を加工処理することなく、補聴器を装用した際の雑音下での語音聴取を十分に補助できるように語音と雑音のコントラストをどの程度設けるかを、ユーザーごとに決定するのにACTが有用です。つまり、補聴器の騒音下のサポートの適正量を、ACTにより決定することができるのです。理想的には、補聴器ユーザーの脳が可能な限り楽に雑音下で語音を処理できるように、このサポート量は十分に強められてはいけません。そして、強めに加工処理された入力音に対して、通常よりも敏感になる補聴器ユーザーもいるため、このようなリスクを抑えるという意味からも、不必要にサポート量を強めるべきではありません。

補聴器フィッティング現場でのACTの利用

ACTテストは現在、インターコースティクス社、MedRx、GSIの診断機器で利用できるようになりました（日本では現時点でインターコースティクス社製品のみ対応。詳細は最寄りの販売代理店にお問い合わせください）。オーティコンGenie 2 フィッティングソフトウェアの今後のリリースでは、エビデンスに基づいた初のACT処方がフィッティングフローに完全統合される予定です。聴覚ケアの専門家には、ACTに基づいた個別化を選択するオプションが提供されます。ユーザーデータベースにACT値が記録されている場合は、フィッティングソフトウェアによって直接読み取られます。聴覚ケアの専門家がACT値を手動で入力するオプションもあります。そして、処方された騒音下のサポート設定が補聴器フィッティングに自動的に適用されます。ACTに基づくフィッティングを選択すると、Genie 2のMoreSound Intelligence画面のファーストフィットの設定は、客観的な予測に基づいた、その補聴器ユーザーの雑音下語音聴取の困難度を反映しシームレスに調整され、そして、必要に応じて残りの他の設定の微調整も可能となっています。ACTに基づく個別化を採用すると、補聴器ユーザーの約50%がデフォルトとは異なるMSI設定になることが期待されるので、多くのユーザー、特に雑音下での聴取がより困難なユーザーにとっては、より適切な騒音下のサポート設定からフィッティングを開始することができるようになります。

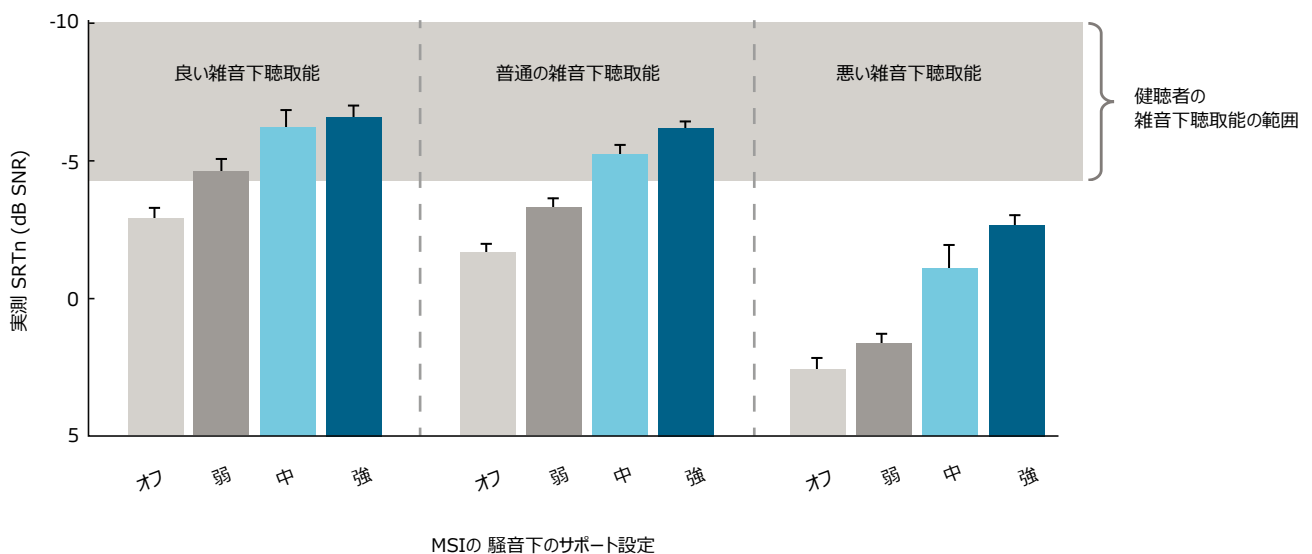


図 11: MSI の 4 つのサポートレベルで測定した補聴器ユーザーの SRTn。補聴器ユーザーは ACT、PTA、年齢から予測される雑音下語音聴取能に基づいて、3 つのグループに分類されています。グレーのエリアは、補聴器を使用していない若年健聴者の雑音下聴取能の範囲を示しています。エラーバーは、平均値の標準誤差を示しています。

結論

10年以上にわたる科学研究を通して開発し最適化されたACT (Audible Contrast Threshold、可聴コントラスト閾値) テストは、雑音下語音聴取能を数値化し、あらゆる言語に対応した迅速で客観的なテストです。ACT テストは、被検者の母国語や言語の習熟度に関係なく、純音閾値測定で使用するのと同じ機器を使い、同様の操作しやすい手順で実施できます。ACT を用いた初の大規模な国際臨床研究では、異なる国の実臨床の補聴器ユーザーである研究協力者を対象にし、生態学的妥当性に基づいた設定で行われた雑音下語音聴取検査の結果とACTが極めて有意な相関関係にあること、またオーディオグラム単体の場合と比べてACTの雑音下語音聴取能の予測力が優れていることが確認されました。現在、補聴器の利得を処方するためにオーディオグラムが主に使用されていますが、ACT 測定という一つのテストを加えるだけで、客観的エビデンスに基づいた高度な騒音下のサポート機能（雑音抑制など）の処方が可能となります。Polaris R プラットフォームとそれ以降のオーティコン補聴器で、初のACT 処方式が Genie 2 フィッティングソフトウェアに統合され、語音と雑音にコントラストをつける高度な信号処理を自動的に個別化し、初期設定（ファーストフィット）から使用できるようになります。ACT が開発されたことで、聴覚ケアの専門家の方は、補聴器ユーザーの一番の主訴である「雑音下での聴取」に対処するための信頼できるツールを持つことができるようになったのです。

謝辞

本ホワイトペーパーに記載の研究に多大な貢献をしてくださったりユーベック応用科学大学の皆様、小川郁先生（一般社団法人新田・小川聴覚・補聴器研究所 (GIASO)、オトクリニック東京 (OTO)、慶応義塾大学医学部 耳鼻咽喉科 (KU))、新田清一先生 (GIASO、OTO、KU、済生会宇都宮病院 (SUH))、西山崇経先生 (GIASO、OTO、KU)、北間翼先生 (GIASO、OTO、KU)、鈴木大介先生 (GIASO、OTO、KU、SUH)、デマントの同僚のJohannes Zaar、Lisbeth Birkelund Simonsen、Gary Jones、田中智英巳、Raul Sanchez Lopez、Marianna Vatti、Thomas Behrensに、心から謝意を表します。

参考文献

- Andersen, A. H., Santurette, S., Pedersen, M. S., Alickovic, E., Fiedler, L., Jensen, J., & Behrens, T. (2021). Creating clarity in noisy environments by using deep learning in hearing aids. *Seminars in Hearing* 42(3), 260-281.
- Bernstein, J. G. W., Mehraei, G., Shamma, S., Gallun, F. J., Theodoroff, S. M., & Leek, M. R. (2013). Spectrotemporal modulation sensitivity as a predictor of speech intelligibility for hearing-impaired listeners. *J. Am. Acad. Audiol.* 124(4), 293-306.
- Bernstein, J. G. W., Danielsson, H., Hällgren, M., Stenfelt, S., Rönnerberg, J., & Lunner, T. (2016) Spectrotemporal modulation sensitivity as a predictor of speech-reception performance in noise with hearing aids. *Trends in Hearing* 20, 1-17.
- Hagerman, B., & Olofsson, Å. (2004). A method to measure the effect of noise reduction algorithms using simultaneous speech and noise. *Acta Acustica United with Acustica*, 90(2), 356-361.
- Humes, L. E. (2007) The contributions of audibility and cognitive factors to the benefit provided by amplified speech to older adults. *J. Am. Acad. Audiol.* 18, 590-603.
- Jensen, J., & Pedersen, M. S. (2015). Analysis of beamformer directed single-channel noise reduction system for hearing aid applications. 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 5728-5732.
- Johannesen, P. T., Pérez-González, P., Lopez-Poveda, E. A. (2014). Across-frequency behavioral estimates of the contribution of inner and outer hair cell dysfunction to individualized audiometric loss. *Frontiers in Neuroscience* 8.
- Joiko, J., Bohnert, A., Strieth, S., Soli, S. D., & Rader, T. (2021). The German hearing in noise test. *Int. J. Audiol.* 60(11), 927-933.
- Jorgensen, L., & Novak, M. (2020). Factors influencing hearing aid adoption. *Seminars in Hearing* 41(1), 6-20.
- Keidser, G., Naylor, G., Brungart, D. S., Caduff, A., Campos, J., Carlile, S., Carpenter, M. G., Grimm, G., Hohmann, V., Holube, I., Launer, S., Lunner, T., Mehra, R., Rapport, F., Slaney, M., & Smeds, K. (2020). The quest for ecological validity in hearing science: What it is, why it matters, and how to advance it. *Ear and Hearing* 41, 55.
- Keidser, G., Dillon, H., Flax, M., Ching, T., & Brewer, S. (2011). The NAL-NL2 prescription procedure. *Audiology Research* 1(1), e24.
- Kjems, U., & Jensen, J. (2012). Maximum likelihood based noise covariance matrix estimation for multimicrophone speech enhancement. 2012 Proceedings of the 20th European signal processing conference (EUSIPCO), 295-299.
- 小寺一興, 細井裕司, 真鍋敏毅, 神田幸彦, 白石君男, 杉内智子, 鈴木恵子, 田内光, 西村忠己, 松平登志正: 補聴器適合検査の指針 (2010) について. *Audiology Japan* 53: 708-726, 2010.
- Laugesen, S., Rønne, F. M., Jensen, N. S., & Sorgenfrei, M. G. (2013). Validation of a spatial speech-in-speech test that takes signal-to-noise ratio (SNR) confounds into account. *Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audiological Research* 4, 397-404.
- Le Goff, N., Jensen, J., Pedersen, M. S., & Callaway, S. L. (2016). An introduction to OpenSound Navigator. Oticon Whitepaper. Retrieved from oticon.global/evidence.
- Lopez-Poveda, E. A. (2014). Why do I hear but not understand? Stochastic undersampling as a model of degraded neural encoding of speech. *Front. Neurosci.* 8, 348.
- Manchaiah, V., Picou, E. M., Bailey, A., & Rodrigo, H. (2021). Consumer ratings of the most desirable hearing aid attributes. *J. Am. Acad. Audiol.* 32(8), 537-546.
- Mehraei, G., Gallun, F. J., Leek, M. R., & Bernstein, J. G. W. (2014). Spectro-temporal modulation sensitivity for hearing-impaired listeners: Dependence on carrier center frequency and the relationship to speech intelligibility. *J. Acoust. Soc. Am.* 136(1): 301-316.

Nielsen, J. B., & Dau, T. (2011). The Danish hearing in noise test. *Int. J. Audiol.* 50(3), 202-208.

Nilsson, M., Soli, S. D., & Sullivan, J. A. (1994). Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 95(2), 1085-1099.

Plomp, R. (1978). Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *J. Acoust. Soc. Am.* 63(2), 533-549.

Plomp, R. (1986). A signal-to-noise ratio model for the speech reception threshold of the hearing impaired. *J. Speech Hear. Res.* 29(2), 146-154.

新田清一, 鈴木大介: ゼロから始める補聴器診療. 小川郁監, 中外医学社, 東京, 2016.

Shiroma, M., Iwaki, T., Kubo, T., & Soli, S. (2008). The Japanese hearing in noise test. *Int. J. Audiol.*, 47(6), 381-382.

Smootenburg, G. F. (1992). Speech reception in quiet and in noisy conditions by individuals with noise-induced hearing loss in relation to their tone audiogram. *J. Acoust. Soc. Am.* 91(1), 421-437.

Strelcyk, O., & Dau, T. (2009). Relations between frequency selectivity, temporal fine-structure processing, and speech reception in impaired hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 125(5): 3328-3345.

Thorup, N., Santurette, S., Jørgensen, S., Kjærboel, E., Dau, T., & Friis, M. (2016). Auditory profiling and hearing-aid satisfaction in hearing-aid candidates. *Danish Medical Journal* 63(10).

Zaar, J., Simonsen, L. B., Sanchez-Lopez, R., & Laugesen, S. (2023). The Audible Contrast Threshold (ACT™) test: A clinical spectro-temporal modulation detection test. Retrieved from medRxiv.

Zaar, J., Simonsen, L. B., Dau, T., Laugesen, S. (2023a). Toward a clinically viable spectro-temporal modulation test for predicting supra-threshold speech reception in hearing-impaired listeners. *Hear. Res.* 427: 108650.

Zaar, J., Simonsen, L. B., & Laugesen, S. (2023b) A spectro-temporal modulation test for predicting speech reception in hearing-impaired listeners with hearing aids. Retrieved from psyarxiv.com/5fk6s.

Zaar, J., Ihly, P., Nishiyama, T., Laugesen, S., Santurette, S., Tanaka, C., Jones, G., Vatti, M., Suzuki, D., Kitama, T., Ogawa, K., Tchorz, J., & Jürgens, T. (2023c). Predicting speech-in-noise reception in hearing-impaired listeners with hearing aids using the Audible Contrast Threshold (ACT™) test. Retrieved from PsyArXiv.

Notes:

Notes:

Notes:

Science made smarter

**インターアコースティクス社は
最先端のソリューション以上のもをお届けします**

当社には明確なミッションがあります。以下のように複雑さを明瞭にすることで、聴覚学とめまい平衡の歩みをリードしていきたいと考えています。

- 課題を明確なソリューションに
- 知識を実践に
- 目に見えない病態を具体的に治療可能に

当社の先進技術と洗練されたソリューションは、医療従事者の方々の日常業務での負担を軽減します。

今後も当社は業界全体の基準を作り続けます。それは科学のためではありません。医療従事者の皆様が、世界中の何百万人も患者の方々に優れた治療を提供できるために。

interacoustics.com



【製造販売元】デマント・ジャパン 株式会社 ダイアテックカンパニー
〒212-0013 神奈川県川崎市幸区堀川町580番地 ソリッドスクエア西館16階
044-543-0630 | info@diatecjapan.com | www.diatec-diagnostics.jp

