

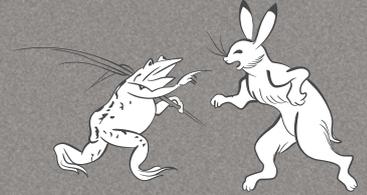
# 日本語の特性を考慮した 補聴器のフィッティング理論 VAC-J 開発に関する研究報告

## 【要約】

オーティコン独自の補聴器フィッティング理論であるボイスアラインメント・コンプレッション (Voice Alignment Compression、以下VACと略) は欧米言語をもとに開発されました。このほど日本語の音声特徴の基礎分析と実地検証の結果を踏まえてVACを改良し、日本語の特性を考慮したフィッティング理論であるVAC-Jの開発に至りました。その後、オーティコン補聴器にVAC-Jを搭載し聞こえの再検証を行い、その結果、VAC-JがフィッティングソフトGenie2に搭載される運びとなりました。本ホワイトペーパーはこの度の一連の研究経過についての報告となります。

VAC-J 搭載  
オーティコン・オープン

日本語仕様



- ◆研究総監修者及び基礎研究部門研究者：九州大学大学院芸術工学院 教授（現、名誉教授）白石君男先生
- ◆実地検証部門研究者：九州大学病院 耳鼻咽喉・頭頸部外科 講師 松本希先生  
国際医療福祉大学三田病院 耳鼻咽喉科 教授 岩崎聡先生
- ◆研究統括者：Oticon A/S 応用オーディオロジー研究センター センター長 Thomas Behrens
- ◆研究協力者（VAC-Jアルゴリズム作成）：  
Oticon A/S オーディオロジカルシステム スペシャリスト Thomas Ulrich Christiansen
- ◆ホワイトペーパー監修者：奈良県立医科大学 理事長・学長 細井裕司先生
- ◆研究コーディネーター及びホワイトペーパー執筆者：オーティコン補聴器 和田牧子
- ◆編集：オートメット株式会社 アドバンスト・オーディオロジー・センター

**【監修にあたって】**

今や補聴器は、単に音を増幅するだけでなく、周囲の聴取環境に応じて騒音抑制などの機能が自動的に変化し、以前に比べると著しく快適な聞き取りが可能な時代になりました。現在、日本で普及している補聴器の多くは欧米の言語を基に欧米で開発された製品ですが、これらの補聴器を日本人が装用しても、適度な満足感を得られるところまで、補聴器の技術が進歩してきているとも考えられるでしょう。

本レポートで報告されている一連の研究は、デンマークのOticon社が独自に開発した補聴器に対して、音響特性が欧米の言語とは異なる日本語を母語とする私達日本人に、より快適な聞こえを提供できないかとの発想でスタートしています。実際の日本語話者が話す日本語音声の音響特徴の分析から始まり、日本語に適した補聴器の増幅理論の仮説を立てて、それを実験室内において検証し、更に日常生活下での実証実験と段階を経た研究内容になっています。

私達人間の複雑な聴覚システムや、ひとりひとりの個性の多様性を勘案すると、今回の一連の研究結果で、全ての問題が解決できる訳ではないと思っています。しかしながら、難聴者の聞こえの改善を促進するために一石を投じた有用な試みなのではないかと考えます。

皆さんは、普段見慣れている建物を、ある日、別の方角から見た時、普段とは違った感覚を持ち、何か新しいことに気付いたという経験をされたことがあるのではないのでしょうか。このレポートの読者の皆さんが各々の立場で、聞こえの問題に新たな気づきを得て、その後の活動につなげて行かれることを期待しています。

2019年4月 桜花の候

監修者 奈良県立医科大学 理事長・学長 細井裕司

**【目次】**

第1章 補聴器の増幅法 .....	3
第2章 オーティコン独自のフィッティング理論 .....	3
第3章 日本語の特性を考慮したフィッティング理論開発の経緯 .....	5
第4章 研究概要 .....	5
第5章 研究詳細説明 .....	6
第6章 VAC-Jに関わる一連の研究のまとめ .....	13

## 【第1章】補聴器の増幅法

補聴器を用いて音声を増幅する増幅法は、一般的にフィッティング理論または処方式と呼ばれています。小さい入力音から大きい入力音までの全ての入力レベルに対して、同じ増幅量いわゆる利得を与えるリニア増幅理論（例えばハーフゲインルールなど）は、初期のアナログ補聴器のために1940年代から開発が始まりました。

しかし、感音難聴ではダイナミックレンジ(dynamic range、以下DRと略)<sup>(注1)</sup>が正常聴力者に比べて狭くなるという特徴があり、広いDRを持つ会話音を難聴者の狭くなったDRに合うように圧縮増幅(コンプレッション)をかけるという補聴技術が誕生しました。難聴者のラウドネス(音の大きさの感じ方)がどのように変化するかを考慮し、快適レベル(Most Comfortable Loudness Level、以下MCLと略)の補償だけでなく、入力音の強さに応じた正常なラウドネスの増大を回復するという観点でノンリニア増幅理論が考案されました。

このノンリニア増幅理論は、内耳にある蝸牛の外有毛細胞が本来持っている働きに類似した聞こえの再現を考慮しています。つまり、リニア増幅とは異なり、ノンリニア増幅が用いられている補聴器では、小さい入力音への利得は大きく、大きい入力音への利得は小さくなるように設計されています。

現在、主流の汎用ノンリニアフィッティング理論は、長時間平均音声スペクトル(Long-Term Average Speech Spectrum、以下LTASSと略)という音声の音圧レベルを長時間にわたり平均化したものをどのように増幅するかをベースとして開発され、代表的なものにDSL(Desired Sensation Level、以下DSLと略)法とNAL(National Acoustic Laboratories、以下NALと略)法があげられます。

カナダの西オンタリオ大学により音声の可聴性を主目的として開発され改良を重ねられてきたDSLv5.0a<sup>1)</sup>、オーストラリアの国立音響研究所(NAL)が、全ての音声周波数帯域での増幅が音声全体の可聴性に対して等しく貢献することを目指し開発したNAL-NL1<sup>2)3)</sup>、そしてNAL-NL1を用いて聴取実験を行い、性別や装用経験による違いを反映させ、より精度の高い明瞭度を実現するための改良が加えられたNAL-NL2<sup>4)</sup>などです。

一方、各補聴器メーカーが独自で開発したフィッティング理論も存在し、それを各メーカーが自社の補聴器フィッティングソフトに搭載してきたという経緯があります。

(注1) 信号の最小値と最大値の比率のことであるが、ここでは閾値と不快レベルの幅を意味する。

## 【第2章】オーティコン独自のフィッティング理論

オーティコンは、臨床研究に基づきこれまで、POGO、ASA2、DSEspなどの様々な独自のフィッティング理論を開発して来ました。2004年に人工知能搭載補聴器のSyncroを発表した際、オーティコン独自の新しいフィッティング理論である、ボイスアライメント・コンプレッション(Voice Alignment Compression、以下VACと略)を発表し、これによって、より自然な音質に近い適正な増幅が可能となりました<sup>5)</sup>。このVACは、BuusとFlorentineによる感音難聴者のDR全体のラウドネスモデル<sup>6)</sup>に基づいて開発されました。

図1では、正常なラウドネス増加(実線)、従来から提唱されている感音難聴者のラウドネス変化(グレー点線)、BuusとFlorentineのラウドネスモデル(緑色点線)の3つを示しています。感音難聴者では、閾値以上の音に対して、ラウドネスが急増するリクレーメント現象(補充現象)が考えられていましたが、BuusとFlorentine<sup>6)</sup>は、この考えに異論を唱えました。

感音難聴者は、閾値近くの音を正常聴力者のように「小さな音」として知覚せず、それよりも大きい音であると感じていると報告しました。小さい音を難聴者に聞こえるように増幅すると、健聴者が感じるよりも大きな音として知覚されると考えられます<sup>7)</sup>。

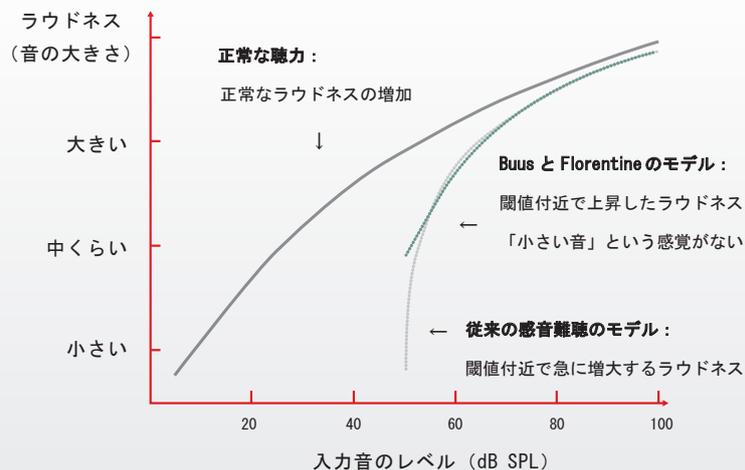


図1 ラウドネスモデルの比較

VACでは、ラウドネス補償に加え、語音明瞭度を犠牲にすることなく、主観的な音質の向上を提供することを目標とし、従来の増幅と比較して、入力レベルが低い場合には、低いニーポイントを使用し、コンプレッションをより大きくし、入力レベルが高い場合は、コンプレッションを小さくするという方法を用いました。

低入力から中入力より強いコンプレッションをかけることにより、スピーチキューの重要性が増す高入力レベルでの更なるリアに近い利得（より小さなコンプレッション）の提供が可能となりました。また、シンクロアイデンティティという設定の変更で、コンプレッションの時定数や利得出力を可変にすることが、このフィッティング理論の特徴となっています<sup>8)</sup>。

このような方法で、7つのニーポイントからなるカーブリアコンプレッションを行うVACでは、異なる入力レベルへの反応がスムーズになり、「ポンピング」<sup>(注2)</sup>などの不快な副作用を回避しています<sup>9)</sup>。

図2は、VACの入出力特性概念を表しています<sup>8)</sup>。また、近年は研究と技術の進歩に伴い、VACを発展させたVAC+もオーディオ独自のフィッティング理論として登場しました。

(注2) リリースタイム（作動したコンプレッションが解除されるまでの時間）が短いと生じる現象で、継続した騒音がある場合、いったん利得は下がるものの、リリースタイムが短い（速い）と、すぐに利得が復帰し、音が大きくなり、また、利得が下がって音が小さくなるということが繰り返されるために、音のふわふわ感が生じる現象です。

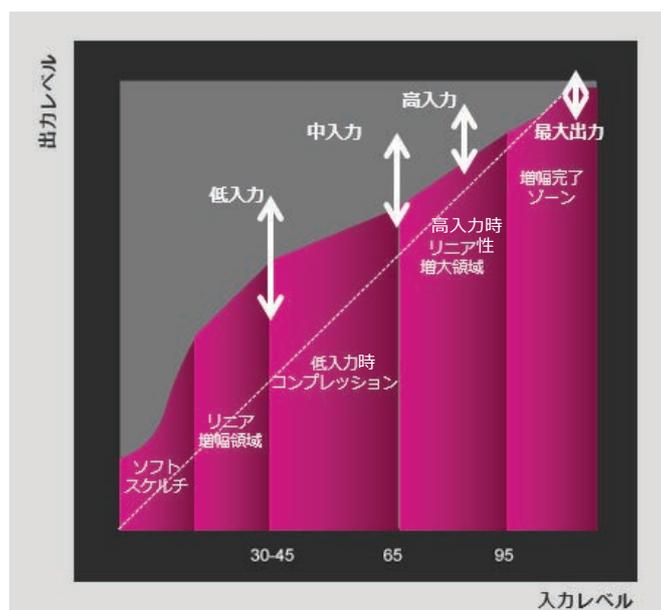


図2 VACの入出力特性概念図

**【ソフトスケルチ】**

入力レベル30 dB SPL以下で利得を低減するため、音声より小さい音が原因の不快感を軽減。

**【低入力時コンプレッション】**

45~65 dB SPLの入力レベルから、より強いコンプレッションをかけることで、更に高レベルの入力に対して、リニア性を持たせる。

**【高入力時のリニア性増幅】**

スピーチキューを保持するためにコンプレッションを少なくする。

**【増幅完了ゾーン】**

入力レベルが高い時は、増幅を行わない。

### 【第3章】日本語の特性を考慮したフィッティング理論開発の経緯

現在、世界的に普及している補聴器は、主に欧米で開発、製造されているものが多く、日本語が含まれない諸言語のLTASS<sup>10)</sup>を元に開発されているのが現状です。世界の5,000種類以上もある言語の音声特徴を細かく分析、検証し、補聴器メーカーがその各々の言語に特化した補聴器フィッティング理論の開発を行うことは、現実的にはなかなか難しい問題です。

従来のオーティコン独自のVACも欧米言語を基に開発されましたが、欧米言語とは異なる音響特性を持つ日本語をもう一度詳細に検証し直すことでVAC利用者である日本語を母語とする難聴者により良い聞こえを提供できるのではないか、という発想が生まれました。この発想の実現のため、日本国内の研究機関で、日本語の特性を考慮したフィッティング理論を改めて開発、検証するというVAC-J (VAC for Japanese language) (注3) プロジェクトが始動することとなりました。

### 【第4章】研究概要

VAC-Jプロジェクトの着想があった2013年末より、直ちにこのプロジェクトの趣旨に賛同、ご協力頂ける日本国内の大学等の研究者の探索が始まりました。2014年の初夏に、デンマーク本社Oticon A/Sの研究統括者のThomas Behrensと研究協力者であるThomas Ulrich Christiansenが来日し、当時、共同研究へのご協力の検討をお願いしていた九州大学大学院芸術工学院 教授の白石君男先生を訪問し、本プロジェクトの意義、研究方法に関して総合的な検討と討議を行いました。

その結果、九州大学、Oticon A/S、日本のオーティコン補聴器の共同研究としてVAC-Jプロジェクトを推進していくという合意に至り、一連の研究が実施される運びとなりました。

オーティコンも含め、特定の言語を対象としたフィッティング理論の開発と検証を実施するには、コスト、人的資源、時間的な問題など様々な要素が障壁となっているため、非常に重要ではあるものの、その実現は難しいと考えられてきました。このような環境の中、実地検証では九州大学病院耳鼻咽喉・頭頸部外科 講師 松本希先生、国際医療福祉大学三田病院耳鼻咽喉科 教授 岩崎聡先生をはじめとした、様々な医師、研究者、コメディカルの皆様のご尽力もいただき、一連の研究実施を成し遂げることができました。

皆様のご協力により、日本の難聴者の方々のお役に立てる重要な一歩を踏み出すことができたのではないかと考えています。図3は、VAC-Jプロジェクトの過程と概略の流れについて記しています。研究内容の詳細については第5章をご参照下さい。

(注3) VAC-JはVACまたはその後継であるVAC+を基に日本語の特性を考慮し開発したフィッティング理論の総称です。

### 1. 基礎研究と実験室での検証 (2014年8月～2015年5月)

九州大学大学院芸術工学院において白石君男先生を中心に実施。

#### ① 日本語の音響的特徴の分析に関する基礎実験

- ・ 2014年8月～2015年1月
- ・ 実験結果より日本語に適した増幅のための補正值を算出

#### ② 補正值の効果を調べるための実験室内における音声聴取実験

- ・ 2015年2月～2015年5月
- ・ 実験参加者：難聴者19名
- ・ 使用補聴器：イニウムシリーズの補聴器
- ・ 音声聴取実験の結果の検討の結果、更に、日常生活下における実地試験実施の必要性を示唆

### 2. 実地試験 (2016年3月～12月)

九州大学病院 耳鼻咽喉・頭頸部外科 松本希先生、国際医療福祉大学三田病院 耳鼻咽喉科 岩崎聡先生を中心として実施。

- ・ 実験参加者：難聴者22名  
(国際医療福祉大学三田病院: 16名、九州大学病院: 6名)
- ・ 使用補聴器：イニウムシリーズの補聴器
- ・ 結果分析 (2017年1月～2月)

### 3. 製品搭載 (2017年3月～9月)

実地試験の分析結果より、VAC-Jの有用性が実証され、デンマーク本社Oticon A/Sにてオーティコン補聴器のフィッティングソフトGenie2に導入

- ・ 第62回日本聴覚医学会総会学術講演会ランチョンセミナー“日本語の特性を考慮した補聴器の増幅理論”で研究成果についての情報を正式に公開 (2017年10月20日)

### 4. フォローアップ検証 (2017年12月～2018年11月)

最新の補聴器におけるVAC-Jの効果の検証

- ・ 実験参加者：難聴者7名 (医療法人永聖会松田病院、九州大学病院等)
- ・ 使用補聴器：ベロックシリーズの補聴器



図3 VAC-Jプロジェクトの過程と概略

## 【第5章】研究詳細説明

### 1. 基礎研究と実験室での検証

初めに、以下の内容は、基礎研究を実施して頂いた白石君男先生（現、九州大学名誉教授）より許可を得て、第62回日本聴覚医学会総会・学術講演会ランチョンセミナーでの発表内容を使用し、グラフなどの転載しております。また、本基礎研究の詳細な内容に関しては、今後、学会誌への投稿が予定されているため、現時点では、部分的な開示でありますことをご了承下さい。

現在、国際的に普及している補聴器フィッティング理論は欧米の言語のLTASS<sup>10)</sup>などを基に開発されています。日本語と英語を比較すると、日本語はモーラ単位で高低アクセント、英語は音節単位で強弱アクセントなどの音声学上の違いがあるため、日本語の補聴器の増幅特性は、欧米の言語などを基にして開発された補聴器の増幅特性とは異なる可能性が推測されます。言語学的構成の3つのレベル（音素、単語、文章）に関して、補聴器の増幅特性を考えた場合、以下のような違いが考えられています<sup>11)</sup>。

- (1) 音素構成: 周波数レスポンスの違い
- (2) 単語構成 (日本語はCVなど): リリースタイムの違い
- (3) 文章構成 (SVOとSOV): WDRCの二ポイントの違い

Chasinは、英語と他言語を比較した場合、増幅に関して表1のような違いが考えられると報告しています<sup>11)</sup>。Chasinの見解では、日本語に関しては、125Hz~2000Hzで利得を上げる必要があると述べていますが、実際の増幅を決めるに当たっては、どの周波数をどの程度増幅したらよいかの検討が必要となり、VAC-Jプロジェクトで基礎研究と実験室での検証が実施されました。

表1 英語と異なる音声学的特徴を持つ言語に対する電気音響学的な増幅の違い

音声学的特徴	例となる言語	増幅の違い (英語と比較して)
高周波数領域の子音	アラビア語	2000Hz 以上で、より大きい利得
鼻音	ポルトガル語	125~2000Hz で、より大きい利得
硬口蓋音	ロシア語の "ch"	3000~3500Hz で、より大きい利得
そり舌音	中国語の "r"	2700~3000Hz で、より大きい利得
声調	中国語	125~2000Hz で、より大きい利得
リズム類型論上の拍	日本語	125~2000Hz で、より大きい利得

Marshall Chasin 博士より許可を得て、文献<sup>11)</sup>の表を日本語版に翻訳して引用。

表2 基礎実験(2014年8月~12月)で実施した全ての実験(検証)概要

日本語の音響的特徴の分析に関する基礎実験

(1) 日本語のLTASSの分析

- ・分析時間の長さの影響を検証する補足実験
- ・音声素材の影響を検証する補足実験
- ・1/3オクターブバンド分析の精度を確かめる補足実験

(2) 日本語音声から導出されたスペクトルパワーのレベル分布を分析するためのパーセンタイル値の算出

(3) 日本語に適した補聴器増幅を行う際に最適な周波数重み付け係数を求めるための日本語の変調スペクトルの測定

(4) Vocal Effort (発話努力) 毎の音声スペクトルの測定実験 (変調スペクトルの測定、LTASSの測定、スペクトルパワー分布分析のためのパーセンタイル値の算出を含む)

### ① 日本語の音響的特徴の分析に関する基礎実験

上記の検討を具体的に実施する方法として、まず、日本語のLTASSの算出が試みられました。この基礎実験の目的は、日本語音声素材を用いてLTASSの算出を行い、日本語の一般的な周波数重み付け係数を求めるための基礎的資料を得ることでした。

それは、「音素バランス1,000文音声データ (NTTアドバンステクノロジ株式会社)」のCDに含まれる短文1,000文を発話訓練を受けた日本人話者4名 (男女各2名) が各々音読したものを録音したデータの分析を行うという手順で行われました。なお、分析時間の長さは1名あたり1,000文 (約4,100秒) 総解析時間: 約16,400秒と規定されました。

「音素バランス1,000文」に含まれる音声1,000文から求めたLTASSとByrne<sup>10)</sup>の先行研究によって求められた日本語のLTASSを比較すると、両者ではおおまかなスペクトル形状は一致しているものの、若干の相違も見られることがわかりました。

・男声においては、500Hz付近に現れるピークの位置について、「音素バランス1,000文」から今回求めたLTASSは、Byrne<sup>10)</sup>のものに対し、低周波側でピークが得られた。

・1000Hz~8000Hzの帯域において、今回求めたLTASSの方が最大10dB以上大きなレベル値となり、女声については、500Hz~1000Hz付近に現れるピークの位置に違いがあり、今回求めたLTASSの方が高周波側にピークが得られた。

Byrneら<sup>10)</sup>の先行研究と、今回の日本語のLTASS分析の実験では、実験条件など異なっている部分があったため、それらの違いによる結果への影響を確認するために、実際には、複数の補足実験も実施されました。全ての実験の詳細な説明はここでは割愛しますが、参考資料として、基礎実験で実施した全ての実験(検証)概要を表2(6ページ)に記載しています。

図4はByrneら<sup>10)</sup>の先行研究での日本語のLTASS、図5はCDの中の日本語話者4名と次のVocal Effort(以下、発話努力と記載)実験の普通の声(moderate)の4名で測定したLTASSの結果を示しています。

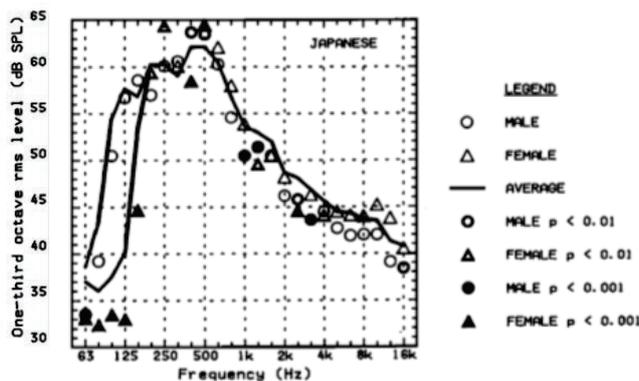


図4 先行研究での日本語のLTASS

The Acoustical Society of Americaの許可を得て、文献<sup>10)</sup>のFIG.3の一部を複写引用。

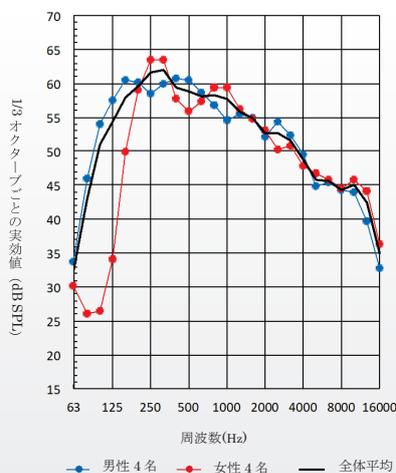


図5 普通の声の大きさ(moderate)のレベルで発せられた日本語のLTASS  
白石君男先生の許可を得て、文献<sup>12)</sup>の図1を引用改変。

Byrneら<sup>10)</sup>の先行研究は、「普通の声の大きさ」で行われた様々な言語の比較検証研究でした。しかし、実生活では様々な発話レベルで会話を行っているため、引き続き発話努力別の日本語のLTASSの測定が実施されました。分析の手順としては、九州大学の放送研究会に所属する日本人話者4名(男性2名、女性2名)によって、小声、普通の声、大声で「音素バランス1,000文」の中の80文を使用して発話してもらいました。さらに、普通の声に関しては、既にCDに録音されている日本語話者4名(男性2名:女性2名)により発話された同じ80文の音声データが追加されました。つまり、「音素バランス1,000文」中の80文という音声素材を、3段階の発話レベル毎(大声 約80 dB(4名)、普通の声 約65 dB(8名)、小声 約50 dB(4名))に発話されたデータを基に、発話努力別の日本語のLTASSの測定が行われました。その測定結果を図6に示しているJISC5516:2015の国際音声試験信号(International Speech Test Signal、以下ISTSと略)<sup>(注4)</sup>と比較検証を行ったところ、特に低周波数で若干の相違があることがわかりました。

これらの結果より、基礎分析の段階で測定された日本語のLTASSは、Byrneら<sup>10)</sup>の先行研究の報告と異なり、また国際音声試験信号(ISTS)とも若干異なり、そして、発話努力によっても大きく変化したという結果が得られました。

次の課題は、日本語に対する補正値はどうするかということでした。この課題に対して、実験で得られた日本語のLTASSをANSI S3.5と比較検討する方法を用いて、欧米の言語を基に開発された従来のVACに対する日本語の特性を考慮した補正値<sup>(注5)</sup>を算出しました。この補正値を用いて、日本語に対応した増幅特性VAC-Jが作成されました。

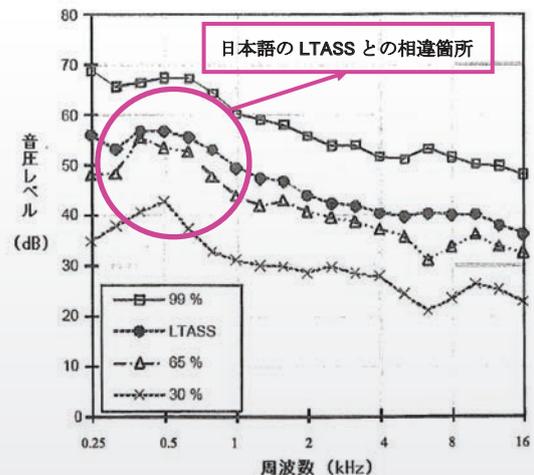


図6 JISにおけるISTSのグラフと基礎実験の結果の比較

日本規格協会の許可を得て、文献<sup>13)</sup>の図3を複写引用したものを改変(改変箇所は、グラフ中のピンク色の部分)。

このようにして、日本語の音響的特徴を考慮した補聴器の増幅方法VAC-Jが理論的には誕生したわけですが、このVAC-Jと従来からのVACが実際に、どのような違いを示すのかを検証するために、実験室において、音声聴取比較実験が次に実施されました。

(注4) ISTSはアラビア語、英語、フランス語、ドイツ語、標準中国語、スペイン語が母語の6名の女性の発話を基に作成されています。

(注5) 低周波数の利得を増やし、高周波数では利得を減少させた増幅特性。

## ② 補正值の効果を調べるための実験室内における音声聴取実験

図7は、補正值効果の検証のための実験室で実施された音声聴取実験の実験条件を示しています。聴取実験に参加した19名の軽度から中等度難聴の実験参加者で、オーディオンのイニウムシリーズの補聴器を両耳装用し(指向性や騒音抑制はオフ)、各々の被検者の聴力に応じたVACとVAC-Jの2種類の設定で、正面のスピーカーから呈示されるCI-2004の音声の聞き取りの比較を行いました。解析の対象は、SN比を変化させても最高語音明瞭度が50%未満であった3名を除いた16名としました。

図8は聞き取りテストの結果を示しています。呈示音圧間に有意差がみられるものの、VACとVAC-Jの増幅理論の間には有意差は見られませんでした。この結果により、この器種の増幅特性の設定では、日本語音声の特徴を特に考慮に入れる必要がなく、同程度の了解度が得られることが示唆されました。

図8が示すように聴取実験のスコアの比較では、確かにVACもVAC-Jも同程度の言葉の了解度が得られることが示されましたが、実験参加者19名中、15名から得られた、VACとVAC-Jに対する主観報告は表3のような内容となっています。

した。この結果、言葉の聞き取りという側面以外に、VACとVAC-J間の聞こえに何らかの差異があるのではないかとこの考察に至ったため、VACとVAC-Jの日常生活下での比較装用でその特徴をより詳細に検証するという実地試験が、次のステップとして計画実施されました。

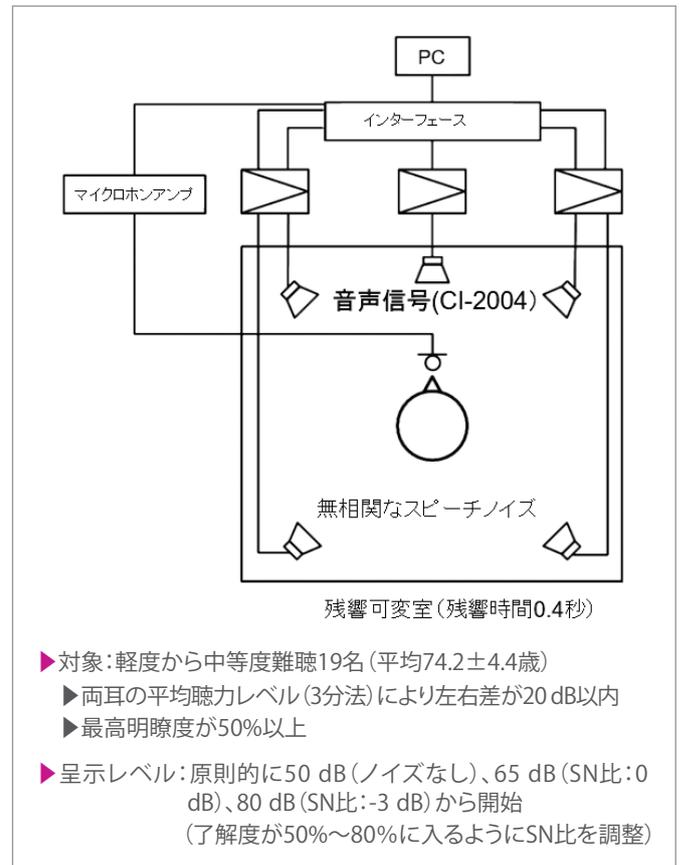


図7 実験室で実施された音声聴取比較試験実験の実験条件

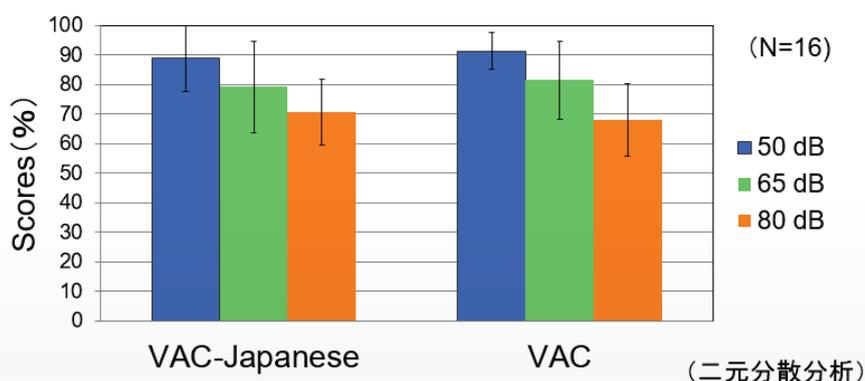


図8 VACとVAC-Jの音声聴取比較実験の結果

バーは、標準偏差を示す。分析は逆正弦変換後の値で行われた。  
白石君男先生の許可を得て、文献<sup>12)</sup>の図2を引用改変。

表3 VACとVAC-Jに対する主観報告例

参加者	VAC	VAC-J
1: 軽度難聴	音が高い感じがする。	違和感は特になし。聞こえやすい。
2: 軽度難聴	キンキンする。ソフトではない。	VACより違和感がない。キンキンしない。
9: 中等度難聴	VAC-Jより音が小さくなった感じがする。	いつもよりよく聞こえる。

## 2. 実地試験

実地試験は、九州大学病院 耳鼻咽喉・頭頸部外科 松本希先生、国際医療福祉大学三田病院耳鼻咽喉科 岩崎聡先生にご協力を頂き、二重盲検（検査者も実験参加者もどのフィッティング理論を使用しているのか知らされない）ランダム化比較交差試験を使用して、日本語を母語とする補聴器使用者がVACよりもVAC-Jフィッティング理論を好むかどうかについて質問紙で主観的評価を用い検証しました。異なるフィッティング理論に対する主観的好み二重盲検ランダム化比較交差試験を使用して検証した研究は、調べた限り、本研究で初めて実施されたこととなります。

2施設の実験参加者に対して、図9に示すような実験デザインで実施されました<sup>14)</sup>。実験参加者22名は、VACとVAC-Jの増幅理論をランダムな順序でプログラムしたイニウムシリーズの補聴器を3週間ずつ両耳装用し、その前後で合計3回（SSQ0、1、2）質問紙に回答するという手法で実施されました。

この主観的評価で使用された質問例を、図10に示しています。質問紙はSpeech, Spatial & Qualities of Hearing Scale（話声の聴取、空間における聴取、および聴取音質に関するスケール、以下SSQと略<sup>15)</sup>）の質問（図10(A)）と、本研究で新たに追加した聞こえの好みに関する質問（図10(B)）から構成し、視覚的評価スケール（Visual Analog Scale、以下VASと略）を使用したVAS形式で、主観的評価が実施されました。

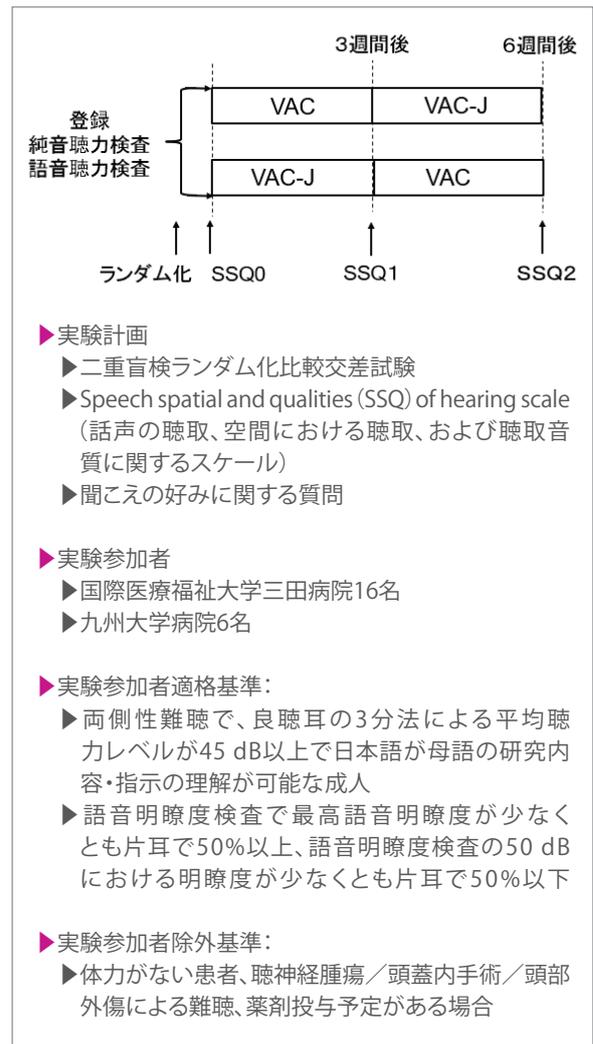


図9 実地試験の実験デザイン

(A)	質問	回答
1.	あなたは、テレビがついている部屋で、1対1の会話をしています。テレビの音を小さくしなくても、相手の言うことがわかりますか？	全くわからない（できない） <span style="float: right;">完全にわかる（できる）</span> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> 該当しない
(B)	質問	回答
1.	1回目の試験機と2回目の試験機は、どちらが好きでしたか？	1回目の方が好き <span style="float: right;">2回目の方が好き</span> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 <input type="checkbox"/> 該当しない

図10 質問紙の質問例 (A) SSQ、(B) 聞こえの好みに関する質問

また、結果の解析は、実験参加者ごとにそれぞれの質問で、補聴器試聴時の回答 (SSQ1、2) から試聴前の回答 (SSQ0) を減算し、試聴前後のVASスコア変化量を求めました。図11のグラフにはVAC群とVAC-J群での質問ごとのVASスコア変化量の中央値を表示しています。正数は試聴前よりも聴取が改善したことを意味しています。

図11のグラフで示しているように、3つのカテゴリー別で分析したところ、14の質問項目がある話声の聴取 (speech) では、VACは11項目、VAC-Jは12項目で有意差 (ウィルコクソン符号順位検定、 $p < 0.05$ ) がみられ、両方のフィッティング理論で試聴前からの聴取改善に有意差が多く見られました。空間における聴取 (spatial) と聴取音質 (qualities) では、試聴前からの聴取改善に有意差が見られた項目数は5項目以下となっていました。VACとVAC-Jの比較では、全体的な効果に有意差は見られませんでした。

新たに追加した聞こえの好みについての主観的評価結果は、図12に示しています。実験参加者の一人がVACを強く好み (スコア<0.9)、7人の実験参加者がVAC-Jを強く好む (スコア>9.1) という結果となり、好みのスコアの中央値は7で多くの実験参加者が有意差を持ち、VAC-Jを好むという結果が

得られました (ウィルコクソン符号順位検定、 $p < 0.05$ )。また、補聴器装着初心者はより好みが中立に近い評価であったのに対し (中央値 = 5.5)、補聴器経験者ではVAC-Jを明確に好むという評価を示しました (中央値 = 9)。聞こえの主観でも、下記のコメントを得ました。

- VAC: ハッキリ聞こえる・音の違いの区別がよくできる・きつすぎる・大きすぎる・機械のような音
- VAC-J: やさしい感じ・より自然な聞こえ・装用のストレスは感じないが方向感をとらえるのはやや困難

この実地試験から得られた結果として、オリジナルのSSQの質問からは、VACとVAC-Jの効果の違いに有意差は見られなかったものの、両方のフィッティング理論で、補聴器装着前に比べて有意な改善が見られました。そして、聞こえの好みの比較では、VAC-Jが有意に好まれる結果となり、この傾向は、特に補聴器経験者に多く見られました。先の基礎研究の段階で、九州大学の実験室内で行われたVACとVAC-Jの聴取実験の際に得られた実験参加者の主観的なコメントは、この実地試験での聞こえの好みの質問の結果を裏付けるものとなりました。

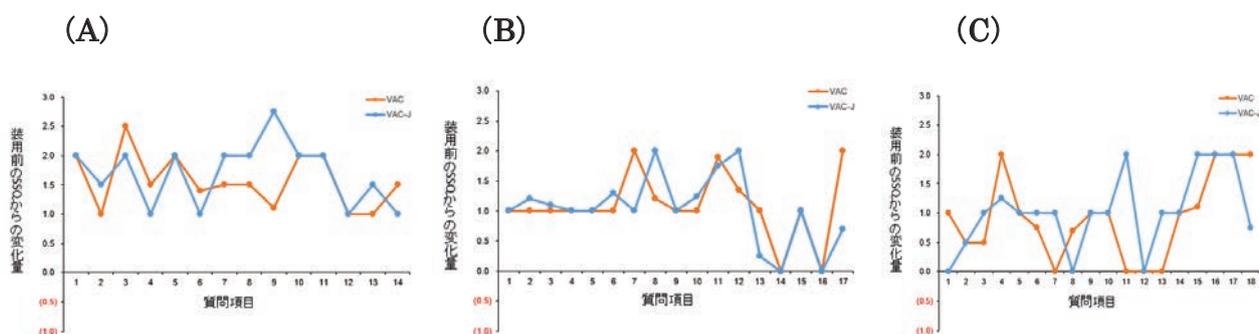


図 11 VACとVAC-J搭載のイニウムシリーズ補聴器装着前後のVAS中央値変化量  
(A) 話声の聴取 (speech)、(B) 空間における聴取 (spatial)、(C) 聴取音質 (qualities)  
正数は、試聴前よりも聴取が改善したことを示している。  
松本希先生の許可を得て、文献<sup>14)</sup>のFig.3.を引用改変。

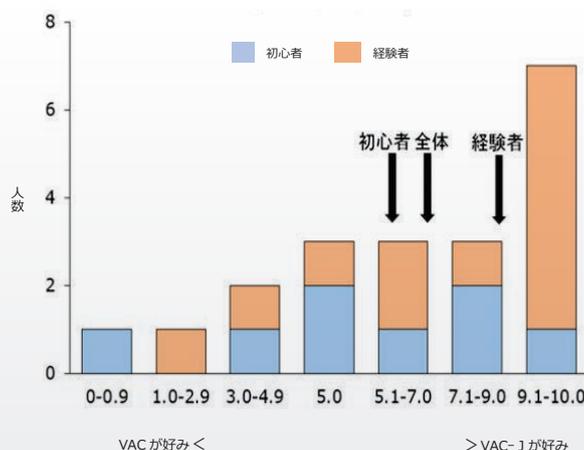


図 12 イニウムシリーズ補聴器に搭載されたVACとVAC-Jの聞こえの好み比較  
高値のVASスコアはVAC-Jを使用した補聴器を好んだことを示している。  
松本希先生の許可を得て、文献<sup>14)</sup>のFig.5.の一部を引用改変。

【基礎研究と実地試験のまとめ】

九州大学での基礎研究と2施設での実地試験の結果から得られる臨床上の意義として、イニウムシリーズの補聴器に関して、以下のようなことが想定できるという結論に至りました。

- 日本語の特性を考慮した補聴器の増幅理論の適用により、新しい補聴器の装用率の向上が期待できる。
- 不快でない、疲れにくい聞き取りを重視するのであれば、VAC-Jを推奨する。
- 明確な聞き取りや方向感を重視したいのであれば、VACを推奨する。

3. 製品搭載

基礎研究と実地試験の結果に基づき、従来から搭載されているフィッティング理論VACに加えて、日本語に適した補正を加え改善されたVAC-Jを新たな選択肢として提供することで、日本人の補聴器の満足度の向上に貢献できると考え、今までの研究結果で実証された、VAC-Jという日本語向けのフィッティング理論を、オーティコンのフィッティングソフトGenie2へ導入することが、4年の経過の末、デンマーク本社Oticon A/Sで実現されることとなりました。

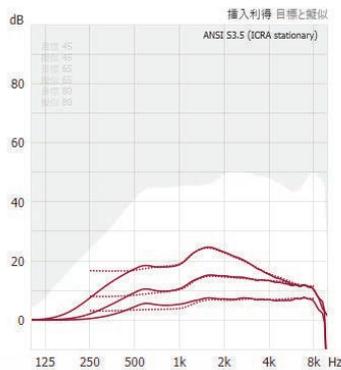
以下の図13は、オーティコンフィッティングソフトGenie2で聴力閾値40 dBHL水平型感音難聴を入力し、ベロックスシリーズ補聴器 (Opn) でオーティコン従来のフィッティング理論VACと新たに搭載された日本語の特性を考慮したフィッティング理論VAC-Jの疑似挿入利得のグラフと表 (個別化の質問入力なし、アダプテーションステップ3での設定) の比較を表しています。

4. フォローアップ検証

この段階では、新たに補聴相談室を開設された福岡市の松田病院の白石先生や九州大学病院の松本先生などのご協力を得て、7名の実験参加者を対象とし (両耳の3分法による平均聴力レベルが、右46.4 dBHL、左51.2 dBHLの40~80歳代の中等度難聴者) とし、最新の補聴器であるベロックスシリーズの補聴器を使用し、VAC-Jの効果検証を行いました。

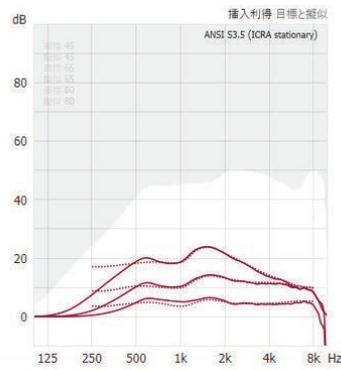
実験方法は、実地試験の研究計画に類似した形式で、従来のオーティコン独自のフィッティング理論とVAC-JをフィッティングソフトGenie2を使用してプログラムした補聴器をランダムな順番で実験参加者に、3週間ずつ日常生活下で装着してもらい、装着前後の合計3回、SSQ (追加項目も含む) の質問紙に回答して頂くという方法で行われました。今回の検証では、前段の実地試験で使用した、SSQと聞こえの好みの質問に、聴覚的印象評価に関する質問を追加した質問紙が使用されました。

(A)



125	250	500	625	750	1k	1.1	1.25	1.5	1.75	2k	3k	4k	5k	6k	8k	全体
0	1	3	3	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	高入力
0	3	6	7	5	5	5	6	6	4	4	4	3	2	2	2	中入力
4	14	19	20	20	21	22	23	25	23	22	19	16	14	12	11	低入力

(B)



125	250	500	625	750	1k	1.1	1.25	1.5	1.75	2k	3k	4k	5k	6k	8k	全体
0	1	3	4	5	5	4	4	3	2	1	0	-1	-1	-1	-1	高入力
0	3	7	8	6	5	4	5	5	3	1	1	0	-1	-1	-1	中入力
4	14	21	22	20	21	22	23	24	22	20	17	14	13	10	9	低入力

図 13 ベロックスシリーズ補聴器を使用したGenie2フィッティング画面 (疑似挿入利得) のグラフと表 (A) オーティコン従来のフィッティング理論VAC、(B) 日本語の特性を考慮したVAC-J

日本人に対しての聴覚的印象評価に関する研究は、まだ余り行われていない実情ではあったものの、健聴の日本人に対しての聴覚的印象評価に関する難波<sup>16)</sup>の見解があったこと、田中・白石<sup>17)</sup>により、健聴の日本人に対しての環境騒音の聴覚的印象の分類の検証が実施されていたこともあり本実地試験で採用されました。今回、これらの手法を参考にし、検証を試み、印象評価の評価尺度は形容詞対を用いてVAS形式を実施しました。図14に実際に使用した質問と回答用紙の例を示しています。

実験参加者7名の結果の分析に際しては、実地試験の分析方法に準じて、ノンパラメトリック検定であるウィルコクソン符号順位検定を用い、平均値でなく中央値を使用し、下記の結果となりました。

- SSQのオリジナルな質問項目に関して、従来のオーディオン独自のフィッティング理論とVAC-Jでは有意差は見られなかったことから、どちらを使用しても良いと考えられる。
- 聞こえの好みにも有意差は見られなかったが、図15 (A) に示すようにVAC-Jの聞こえを好む傾向が見られ、その傾向は、補聴器初心者と比較すると補聴器経験者の方が強かった。
- SSQの空間における聴取 (spatial) では、VAC-Jの主観的評価が有意に高かった ( $p = 0.03$ )。(図15 (B) 参照)
- 聴覚的印象評価ではVACとVAC-Jでは有意差は見られなかったが、VACに関して、SSQの聴取音質と聴覚的印象評価の「カン高い、鋭い、固いなど主観的印象」の散布図は、図15 (C) のようになった。

引き続き実験参加者の数を増やし、実地検証して行くことは重要ですが、ベロックスシリーズ補聴器を使用した現段階のフォローアップ検証での結果は以下の通りで、VAC-J使用について臨床的意義が得られる可能性が示唆されました。

#### 【フォローアップ検証のまとめ】

- VAC-Jの聞こえを好むという傾向が観察された。
- ベロックスシリーズの補聴器でVAC-Jを使用した場合、空間的聞こえが改善される可能性が観察された。
- カン高い、鋭い、固い、金属的な音質を好む人がベロックスシリーズの補聴器を装用する場合、VACを使用するとSSQの聴取音質が高くなる可能性が観察された。

3. この補聴器の音の“甲高き”について、どのように感じましたか該当するところに印をつけて下さい。	
10. この補聴器の音の“鋭さ”について、どのように感じましたか該当するところに印をつけて下さい。	
12. この補聴器の音の“かたさ”について、どのように感じましたか該当するところに印をつけて下さい。	

図 14 聴覚的印象評価の質問例

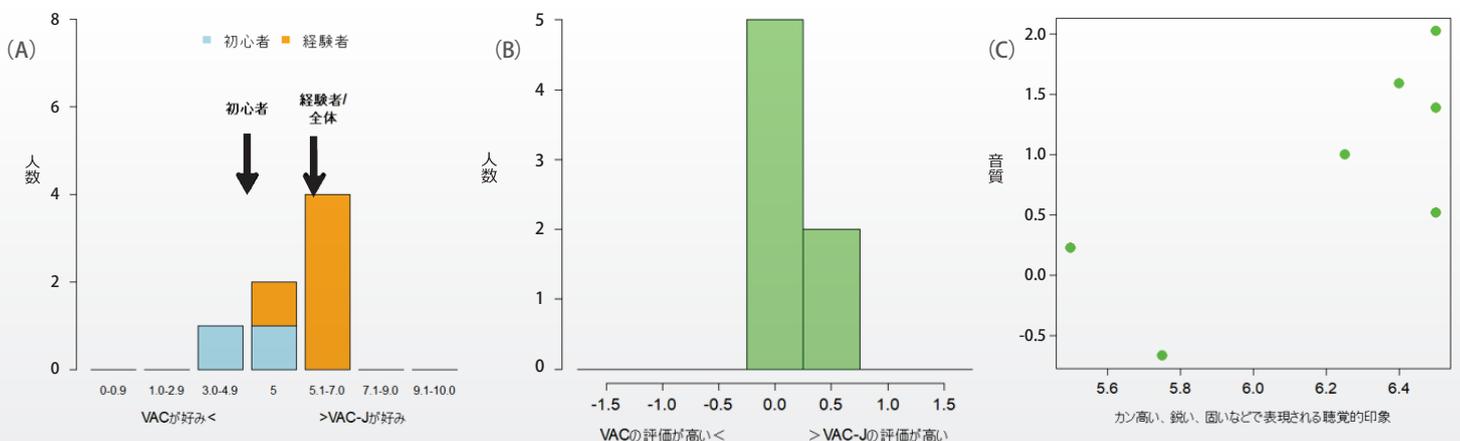


図 15 ベロックスシリーズ補聴器Opn 1に搭載されたVACとVAC-Jの主観的評価

(A) 聞こえの好み

(B) VAC-Jの特徴を示すSSQの空間における聴取 (spatial) のスコアの結果。VAC-Jの方を高評価する人数が多かったことを示している。

(C) 従来型のVACの特徴を示すSSQの聴取音質 (qualities) と聴覚的印象の散布図

### 【第6章】VAC-Jに関わる一連の研究のまとめ

- (1) 日本語の音響的特徴の分析を実施し、日本語のLTASSの測定を行いました。そこから得られた結果を先行研究などと比較検討し、欧米の言語とは異なる音響的特徴を持つ日本語に適した補正を加えた増幅理論VAC-Jの仮説を立てました。
- (2) 仮説として立てられた日本語により適したフィッティング理論VAC-Jと、従来からあるオーティコン独自のフィッティング理論VACを用いた比較検証実験を実施しました(イニウムシリーズ)。実験室内での聞き取りテストの実験、実験参加者の主観報告、日常生活下の二重盲検交差試験などの結果の比較を行った結果、日本語の特性を考慮した補聴器の増幅理論の適用により、新しい補聴器の装用率の向上が期待できる、不快でない、疲れない聞き取りを重視するのであればVAC-Jを、明確な聞き取りや方向感を重視したいのであればVACを推奨すると効果的であることが示唆されました。

加えて、ベロックスシリーズの補聴器でも、従来のオーティコン独自のフィッティング理論とVAC-Jの比較検証を行い、空間の聞こえや音質に関して、各々の臨床的意義の裏付けが得られました。即ち、イニウム～ベロックスシリーズに搭載されてきたオーティコン独自のフィッティング理論と日本語の音響特性を考慮したVAC-Jは、これらのシリーズの補聴器で、各々、臨床的意義を見出すことができたと考えられます。

- (3) 上述の数々の実証検証の結果に裏付けられたVACとVAC-Jの2種類のフィッティング理論は、両者ともフィッティングソフトGenie2に搭載される結果となりました。(Genie2を使用し、Opn1、Opn2、Opn3より使用可能)。使用フィッティング理論の選択は、Genie2上で簡単に行うことが可能になり、日本人の補聴器装用者に対して、様々な役立つ可能性を広げたと言っても過言ではありません。

### 【謝辞】

VAC-Jプロジェクト推進において、基礎研究推進と一連の研究の総監修を務めて頂きました九州大学名誉教授白石君男先生、九州大学での研究実施に携わって頂きました白石研究室の学生の皆様、九州大学病院での実地試験にご協力頂きました九州大学病院耳鼻咽喉・頭頸部外科教授中川尚志先生、講師松本希先生、言語聴覚士石川一葉先生、築地宏樹先生、東野好恵先生、臨床検査技師田泓朋子先生、国際医療福祉大学三田病院での実地試験にご協力頂きました国際医療福祉大学三田病院耳鼻咽喉科教授岩崎聡先生、岩崎先生の指導のもと研究実施に携わって下さった医師鈴木伸嘉先生、本ホワイトペーパーの監修および第62回日本聴覚医学会総会・学術講演会でVAC-J関連研究成果発表がされたランチョンセミナーでも座長を務めていただいた奈良県立医科大学理事長・学長細井裕司先生に心より感謝申し上げます。皆様方の多大なご協力により今日に至ることができましたことを、改めて深謝申し上げます。

## 【参考文献】

- 1) Scollie S, Seewald R, Cornelisse L, et al.: The desired sensation level multistage input/ output algorithm. Trends Amplif 9: 159-197, 2005
- 2) Dillon H, Katsch R, Byrne D, et al.: The NAL-NL1 prescription procedure for non-linear hearing aids. National Acoustics Laboratories Research and Development Annual Report 1997/98: 4-7, 1993
- 3) Byrne D, Dillon H, Ching T, et al.: NAL-NL1 procedure for fitting nonlinear hearing aids: characteristics and comparison with other procedures. J Am Acad of Audiol 12: 37-51, 2001
- 4) Keidser G, Dillon H, Flax M, et al.: The NAL-NL2 prescription procedure. Audiology Research 1: e24: 88-90, 2011
- 5) Schum DJ: Compression strategy of Syncro. AudiologyOnline, <https://www.audiologyonline.com/ask-the-experts/compression-strategy-of-syncro-503>, 参照日2019-03-02
- 6) Buus S, Florentine M: Growth of loudness in listeners with cochlear hearing losses: recruitment reconsidered. J Assoc Res Otolaryngol 3: 120-39, 2002
- 7) Le Goff N: Amplifying soft sounds - a personal matter. Oticon A/S white paper, [https://www.oticon.global/-/media/oticon/main/pdf/master/whitepaper/17577uk\\_wp\\_amplifying-soft-sounds-a-personal-matter.pdf?la=en&hash=FA6C6B0CC3D48ECA7225FFEAF5DE3ABB2A33C3C6](https://www.oticon.global/-/media/oticon/main/pdf/master/whitepaper/17577uk_wp_amplifying-soft-sounds-a-personal-matter.pdf?la=en&hash=FA6C6B0CC3D48ECA7225FFEAF5DE3ABB2A33C3C6), 参照日2019-03-02
- 8) Oticon Syncro Book. OticonA/S, 2004
- 9) 加我君孝監修：オーティコン・ラーニング 「みみとも」 オーディオロジー. オーティコン補聴器, 神奈川, 2012
- 10) Byrne D, Dillon H, Tran K, et al.: An International comparison of long-term average speech spectra. J Acoust Soc Am 96: 2108-20, 1994.
- 11) Chasin M: Setting hearing aids differently for different languages. Semin Hear 32: 182-88, 2011
- 12) 白石君男、和田牧子、大橋節子：日本語音声に対する補聴器の増幅特性に関する検討. Audiology Japan 58: 405-406, 2015
- 13) 日本工業規格JIS C 5516: 2015：音声に近い試験信号による補聴器の信号処理特性の測定方法. p.8, 2015
- 14) Matsumoto N, Suzuki N, Iwasaki S, et al.: Language-specific strategy for programming hearing aids - a double-blind randomized controlled crossover study. Auris Nasus Larynx 45: 686-692, 2018
- 15) Gatehouse S, Noble W: The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ). Int J Audiol 43: 85-99, 2004
- 16) 難波精一郎：音色の定義を巡って. 日本音響学会誌 49: 823-31, 1993
- 17) 田中良和、白石君男：補聴器適合検査のための印象評価による雑音および環境騒音の分類. Audiology Japan 54: 130-137, 2011



[www.oticon.co.jp](http://www.oticon.co.jp)

**oticon**  
PEOPLE FIRST