携帯電話を利用した簡易型聴力検査とユビキタス音質フィッティング

中 村 則 雄*

要旨

I T 社会が高齢者にとって活動しやすい生活環境・情報環境を提供すると期待されているが、現状では I T 技術自らが情報強者と情報弱者というデジタルデバイドを加速しようとしている。特に I T 機器のインターフェイスの使い難さが指摘されているが、エージェントインターフェイスがデジタルデバイドの是正において注目されている。本稿では、ユーザの聴覚特性や状況に合わせた適応的なユーザインターフェイスを実現するために、自己評価用簡易型聴力検査器として著者が提案・開発している携帯電話機を用いた“モバイルオーディオメータ”，および、ユビキタス・聴覚インターフェイスの音質フィッティングシステムを解説し、デジタルデバイドを是正する方法について検討する。

1. はじめに

e-Japan 重点計画¹⁾などに記されているように I T 社会が高齢者にとって活動しやすい生活環境・情報環境を提供すると期待されているが、現状では高度化・高機能化した I T 技術自らが情報強者と情報弱者というデジタルデバイドを生み出し、これを加速しようとしている。特に I T 機器のインターフェイスの使い難さが指摘されているが、人間にとってフレンドリーなコミュニケーション手段のひとつである音声を用いたエージェントインターフェイスが情報バリアフリーの実現を促進すると考えられる(図1)。

使い易いインターフェイスとして高齢者用の携帯電話機においてメール読み上げ機能や音声コマンド機能が実用化されているが、一般に加齢にともなって聴力が低下するため高齢者が利便性を十分に享受することは難しい。そのため、個人の特性に合わせたユーザインターフェイスの実現は重要な課題である。また、感覚特性は環境に合わせてその特性を動的に適応させるため、実生活環境における聴覚特性をリアルタイムに測定し、データベース化することが不可欠である。

本稿では、ユーザの特性や状況に合わせた適応的な聴覚ユーザインターフェイスを実現するために、著者が提案・開発している携帯電話機を用いたモバイルオーディオメータ²⁾，および、ユビキタス・音質フィッティングシステム³⁾を解説し、デジタルデバイドを是正する聴覚インターフェイスについて検討する。

2. モバイルオーディオメータ

高齢になり身体・感覚器官の機能が低下することは誰もが今後直面する問題である。一般に 40 歳を過ぎた頃から人の聴力は衰え始め、50 歳を過ぎると加齢にともなう純音聴力の低下が 2kHz 以上で際だってくる⁴⁾。更に脳に言葉という刺激が伝わり難くなると、情報隔離やコミュニケーション能力の低下につながる可能性さえある。このように聴力が低下し聴取において何らかの不自由さを感じたならば補聴器の装用を検討すべきである。このとき、補聴器を使った聴こえは以前の健聴時の聴こえとは異なるため音の再学習が必要となる。音の再学習は軽度な段階ほど効果が高いため聴力低下および難聴者が早期に発見され、補聴器の早期装用が適切に実施されることは重要な課題である(図2)。

従来、補聴器のフィッティングは遮音室等の検査室において行われているが、実際に生活する環境はユーザ毎に異なり、実生活における聴こえ方は音源の特性や騒音などの生活環境の影響を受ける。また、装用を開始した直後は補聴器特有の音に対する学習が進み、開始時の適音音質フィッティングと学習後の最適音質フィッティングが異なってくる。そのため、最終的にユーザが生活する環境においてユーザ自身が聴取を評価して音質フィッティングすることが理想であり、補聴器の効果を評価するためにも実際に生活し

2004 年 4 月 21 日受付

* 独立行政法人産業技術総合研究所

人間福祉医工学研究部門感覚知覚グループ

〒 305-8566 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 6

Tel : 029-861-6767 Fax : 029-861-6611

E-mail : n-nakamura@aist.go.jp

キーワード : 携帯電話, オーディオメータ, パーソナルフィッティング, デジタルデバイド, ユビキタス

ている環境において評価できることは有用なことである。

そこで、実生活環境において、いつでもどこでも比較的容易に聴力特性が測定できるように、著者は、図3に示すように携帯電話機を用いた簡易型聴力測定器を提案し、プロトタイプ機として純音聴力および語音聴力を測定する“モ

バイルオーディオメータ”を開発して、その機能・性能をオーディオメータに関する IEC 規格および ISO 規格に沿って検証した。

ここで、オーディオメータと携帯電話機との主なシステム構成を比較してみると、図4に示されるように、正弦波

図1 ユビキタス・コンピューティングにおける音声ユーザインターフェイス

図2 モバイルオーディオメータを用いた難聴の早期発見・補聴器の早期装用 (文献⁵⁾を改変)

図3 モバイルオーディオメータのシステム構成⁵⁾

図4 携帯電話機とオーディオメータの類似性

図5 携帯電話の着メロを利用した刺激音のイヤホンにおける出力音圧レベル⁵⁾
(dBHL*: 被験者によるオーディオメータとの比較実験によって較正された聴力レベル)

発生器→FM音源, 外部信号源・マスキング雑音発生器→ADPCM音源, 減衰器→デジタルボリューム, 応答表示器→液晶ディスプレイ, 応答器→キーパッド, 自動記録・コンピュータ制御オーディオメータ→iアプリ・Javaアプリ, とオーディオメータと携帯電話機の着メロ用LSIの間で良い対応を示している。

開発したモバイルオーディオメータの特徴は, 図3に示すようにアプリ配信用サーバコンピュータからインターネットを介して著者が開発したJavaアプリをダウンロードするだけで携帯電話機上に「モバイルオーディオメータ」が実現される点である。また, 刺激音として着メロに使われるFM音源・PCM音源を利用することで, 固定電話機や携帯電話機での音声通話では実現できなかった低ノイズで安定した刺激音を再生することができる。検証結果から, 携帯電話機上に実装された簡易型聴力測定器は選別用聴力検査器の性能・機能として実用性があることが示されている。^{5,6)}

図5は, 選別用純音聴力測定器として開発したモバイルオーディオメータの機能・性能についてISO規格およびIEC規格に沿って検証した結果のひとつである出力音圧レベルであり, 被験者実験によりJIS規格のオーディオメータによる測定結果とイヤホンを用いたモバイルオーディオメータによる測定結果との比較して較正を行った聴力レベルHearing Level [dBHL*]で表示している。選別用オーディオメータとしてIEC規格で規定された, 最大音圧レベル60dBHL at 500Hz ~ 8kHz (70dBHL at 250Hz) と最小音圧レベル0dBHLを満たしている。

測定方法としては, 実験者を必要としない測定器を実現するために本論文ではISO規格にもとづいて自動記録式の検査アルゴリズムを採用し, 刺激音の呈示法として上昇法を用いた。スタートボタンを押すと測定が開始され, 測定に関するインストラクションが携帯電話機の液晶ディスプレイに文字で表示される。被験者はインストラクションに従いイヤホンを耳に挿入し, 1k → 2k → 3k → 4k → 6k →

図6 a 語音了解閾値検査用語表 b 正答率集計結果⁵⁾

8k → 1k → 500 → 250 Hzの順に測定される。測定時間の短縮を図るために, 前回の測定結果が存在する場合は, インターネットを介してダウンロードされた過去の測定結果を参考に刺激音が十分に聴こえる音の強さで刺激音を確認させ, 一旦, 刺激音が聴こえなくなる音圧レベルまで下げる。次に音の強さを1秒ごとに5dBずつ強めて行き, 初めて聴こえた音の強さを聴力レベルとする。聴こえの応答には携帯電話機のキーパッドを用いる。右耳の測定が終了したらインストラクションに従い被験耳を変更して同様の測定を行う。

語音了解閾値検査としては, 日本聴覚医学会がCD-ROMで提供している67-S語法の語音了解閾値測定用の1桁数字語表(図6a)の検査音源を用い, 携帯電話の着メロLSIのPCM方式によって刺激音を呈示する。モバイルオーディオメータの最大音圧レベルは70dBであり, 音圧レベルを下げながら1行で呈示する数字は6個であるため, 70dBから10dBまで順次10dBステップでレベルを下げて呈示することとし, 軽度難聴者である30dB以上を選別できるようにした。被験者は10dBステップで呈示された刺激音を聴き, 聴こえた通りに携帯電話のキーボタンの数字を押して応答する。呈示後5秒が経過してもキーボタンが押されない場合は無回答として記録され, 次の刺激音の呈示に移る。2行目以降も同様に測定が行われるが, どの行の1列目の数字も呈示音圧レベルは第1行1列目と同一で呈示される。測定結果は, Javaプログラムによって自動的に正誤・無回答が判定され, 各列毎に正答率(%)が算出され, 図6bに示されるように正誤表として, 呈示数字, 回答数字, 正答率が表示され, 正誤・無回答の区別が分かり易いように回答された数字は色分けされる(正:黄, 誤:赤, 無回答:青)。

この正答率は, 各呈示レベルにおける明瞭度を示しており, 呈示音圧レベルと明瞭度の関係が図7bに示すようにスピーチオーディオグラム上に表示される。語音了解閾値は, スピーチオーディオグラム上の上記明瞭度曲線が50%の明瞭

図7 a 測定アルゴリズム⁵⁾ b スピーチオーディオグラム⁵⁾

度を示す音圧レベルが 5dB 単位で求められる。

語音弁別検査としては、67-S 語法の語音弁別測定用の単音節語表（図 8a）を用いた。語音が十分に聞える音圧レベルとして、先に測定した語音了解閾値より 40dB 大きなレベルを測定開始時の語表提示レベルとして測定を開始する。ただし、提示可能な最大値を越えた場合は、スケールオーバーとしてこの最大値を聴力レベルとした。被験者は聞えた語音を携帯電話のキーボタンを用いてカナ入力方式によって応答する。提示後 5 秒が経過してもキーボタンが押されない場合は無回答として記録され、次の刺激音の提示に移る。ここで、1つの表を用いて測定をしている間は提示レベルが固定されている。第 2 表目以降は、各表毎に提示レベルを順次 15dB ずつ減衰させながら同様に測定が行われる。8つの語表（図 8a）のうち 4つの異なる提示音圧レベルでそれぞれ異なる表を用いて測定が行われる。測定結果は、Java プログラムによって自動的に、正誤、無回答が判定され、それぞれの語音聴力レベルにおける明瞭度（正答率，%）が算出され（図 8b）、スピーチオーディオグラム上にプロットされた明瞭度曲線（図 7b）から最高明瞭度を示すレベルが得られる。

以上、簡易的ながらも携帯電話によって自動化された純

- ことばの語表
- 1 表 アキシタニヨジウクス
 - 2 表 ネハリバオエモワトガ
 - 3 表 キタヨウスハバテワガ
 - 4 表 アシニジクネリオモト
 - 5 表 ニアタキシスヨクジウ
 - 6 表 オネバハリガテトワモ
 - 7 表 テネヨアキシハモシウ
 - 8 表 リワタクバトニスオガ

図8 a 語音弁別検査用語表 b 測定の集計結果⁵⁾

	純音聴力 (知覚)	語音聴力 (聴取, 聴覚器官末梢から聴覚中枢)
気導	感音性 伝音性	難聴鑑別 ロールオーバー
骨導 (骨導ケータイ)		

図9 モバイルオーディオメータによる診断の可能性

音および語音聴力の測定が可能になり、ユーザ自身によって自己評価できることとなる。語音聴取は、純音聴取と比較すると、聴覚器官末梢より聴覚中枢に至る経路における複雑な情報処理機能が関与している。そのため、両者の測定結果を比較検討することによって難聴の鑑別的评价が行える。また、語音明瞭度曲線を求めることにより、音圧レベルの上昇によってかえって聴き取りが悪くなるロールオーバー現象の存在を検出することができ、補聴器適合の際に大きな参考となる。最近では、骨導スピーカがついた携帯電話が登場し、モバイルオーディオメータによる骨導聴力の測定を実現できる可能性が出てきた。図 9 に示されるように、気導聴力および骨導聴力の測定器が揃うことにより、伝音難聴と感音難聴を鑑別することができ、遠隔医療や自己予防、アセスメントなどが重視されるこれからのユビキタス医療において携帯電話を利用した検査・診断の可能性を大きく広げてくれると期待が寄せられるところである。

3. ユビキタス・音質パーソナルフィッティング

日本において補聴器を必要とする補聴器総需要者数は約 800 万人と言われているが、聴力低下は自覚され難く補聴器の必要性が認識されていない場合も多く、欧米人に比べ補聴器の装用を他人に悟られたくないという心理的なバリアが強い日本においては実際の補聴器利用者はその 20% の約 160 万人である。また、2003 年度のデジタル補聴器国内販売数は約 45 万台⁷⁾であるが、補聴器の日々の装用は煩わしく、また、期待した効果が得られず購入後ほとんど使用されることなく放置されている例も少なくはない。情報バリアフリーを実現し IT 技術の恩恵を享受するためには補聴機能が必要である。もし機器側に補聴機能を持たせたならば、補聴器の煩わしさなしに機器に内蔵されたインビジブルな補聴器によって問題が解決される。そこで、個人の聴力特性に合わせて音質をパーソナルフィッティングする方法をユビキタスにおいて考えてみる。

ユビキタスとはユビキタス・コンピューティングのことであり、人がどこにいてもコンピュータ・ネットワークにアクセスできる環境を示す。これをモビリティに注目して利用シーンごとに分類してみると、Ubiquitous 型および Pervasive 型は至るところにコンピュータを設置したり環境に埋め込んでおく方法であり、Portable 型および Mobile 型はネットワークとの通信機能を持ったモバイル機器などの

図 10 ユビキタス・コンピューティング

小型コンピュータを持ち歩く方法である(図10)。ユビキタス機器は様々な場所・状況において利用され、人の集まる公共の場など騒音環境下での利用も多い。また、多彩な状況で利用されるため、時々刻々変化する騒音環境をモニタリングしながらフィッティング情報を更新していく必要がある。特に難聴者は健聴者に比べて聴取において騒音の影響を大きく受けるため、個人の聴力特性を考慮した補聴サービスが重要である。

携帯電話などの Portable 型／ Mobile 型ユビキタス機器などは一般に個人に帰属するものであるから、所有者であるユーザに合わせて一度フィッティングを行えばしばらくの間はフィッティングをする必要はない。特に音質フィッティングを考えた時、携帯電話での聴力測定および音質フィッティングが行えれば DA コンバータが共通なために校正が不要となる。これに対して用途に合わせて多種多様なモバイル機器を利用するためには、機器に依存しないフィッティングおよび校正が必要である。

図 11 に、プログラマブルデジタルフィルタ (TDT 社 RL2) を用いて著者が開発した外付けタイプの Mobile 型音質フィッティングデバイスを示す。モバイルオーディオメータ(図 11a)で測定された聴力データがサーバ(図 11b)にアップロード・保存され聴力特性をもとにゲインを補正する FIR フィルタのインパルスが求められ、そのフィルタ係数がサーバにバス接続されたプログラマブルデジタルフィルタ (図

11c) にダウンロードされる。

これに対して、本来のユビキタス・コンピューティングである Ubiquitous 型／ Pervasive 型は不特定のユーザが使用するため、事前に測定・保存されたユーザの聴力特性が必要な時に瞬時に取り出せて、その場その時においてユーザ個々の特性に合わせたフィッティングが行われる必要がある。特に、Pervasive 型では、電腦空間を移動しながらシームレスにユビキタス・コンピュータに音声でアクセスするため、移動にともないアクセスする端末が更新され、新たにユーザ認証、聴力特性が転送されることでフィッティングが行われる必要がある。以上、モバイルオーディオメータによる聴力測定、および、ユビキタス・音質パーソナルフィッティングは図 12 のようにまとめられる。

機器や環境が補聴機能を有するというユビキタス機器のフィッティングと同様に、ユビキタス環境が聴力測定機能を持つことで日常生活のモニタから聴力低下の早期発見が促され、聴力低下のアセスメントが容易になる。そして、補聴機能がユビキタス機器に標準装備されることで軽度難聴時からの早期装用が可能になり、情報バリアフリーが促進されると考えられる。

ユビキタス・センサーネットワークにおいては、身の回りの機器がコミュニケーションを行い自律的に情報を収集・管理し、環境情報、社会情報、位置情報等の情報に加えて、音声や身振り等の五感をセンシングして人間の状況を予測

図 11 a モバイルオーディオメータ上のオーディオグラム,
b サーバ上にアップされたオーディオグラム,
c 携帯電話に取り付けられた外付け型音質フィッティング デバイス⁸⁾

して情報環境を形成する技術の実現が 2010 年までの課題とされている⁹⁾。本システムの聴力特性データはインターネットにつながってさえいれば何処からでもアクセスすることができるため、聴力測定および補聴機能を情報家電の音質フィッティングにも利用できる。また、Ubiquitous 型/Pervasive 型はユーザの聴力特性を考慮した上で情報コンテンツにあわせた効果的な呈示および機能を装備することができるため、ユビキタス機器間のコラボレーションによって様々な音環境を提供することも可能である。これを利用して、情報が正しく伝われば音質を問わない、長時間音楽を楽しみたい、危険を知らせる等と状況によって適切にコントロールして目的に即した音質で情報呈示をすることで

豊かなユビキタス社会が実現されることが考えられる。

4. まとめ

“いつでも” 気軽に利用することができるモバイルオーディオメータは聴力検査専用器でないために、普段は電話機として携帯しており、必要とあれば聴力測定器に変身させえる手軽さがある。また、携帯電話機を利用することで安価にオーディオメータを構築することができるため体温計のように家庭へ普及していき、早期発見を促すことができる。

いつでもどこでも使用できるユビキタス・コンピュータは生活騒音の中で使用されることが多く、健聴者であっても騒音下では聴取が低下し、コミュニケーションが難しくなる。このように考えると補聴機能は難聴者のためだけの特別な機能ではなく、日常生活環境下においてより良いコミュニケーションを享受するためにユビキタス社会において必要な技術である。補聴機能を有するユビキタス機器が普通に使われるようになれば、ユーザの聴力特性に照し合わせて環境適応的にフィッティングすることによって、騒音環境や利用者の聴力、状況に合わせた音質サービスが可能である。

以上、本研究課題が携帯電話機および今後実現されていく IT 機器・ユビキタス機器の聴覚インターフェイスに関するデバインド問題を是正してくれるものと考えられる。

図 12 モバイルオーディオメータとユビキタス・パーソナルフィッティング

参考文献

- 1) 首相官邸・IT 戦略本部: e-Japan 重点計画ー 2003, (2003).
- 2) 中村則雄: 携帯電話の利用者個別音質フィッティングのためのリモート聴力診断システム, 日本人間工学会: ケータイ・カーナビの利用性と人間工学, 47-52, (2001).
- 3) 中村則雄: ユビキタス社会におけるパーソナルフィッティングとオーディオメータ, 医療・福祉分野におけるヒューマンインターフェイス研究会, 1-6, (2002).
- 4) 日本聴覚医学会編: 聴覚検査の実際・改定2版, 南山堂, p.25, (2004).
- 5) 中村則雄: 語音聴力検査用モバイルオーディオメータの開発, 日本人間工学会 “ケータイ・カーナビの利用性と人間工学”, 97-102, (2004).
- 6) Nakamura, N.: Proposal of mobile audiometric measuring system by using mobile phones, Proceedings of International Ergonomics Association XVth Triennial Congress, (2003).
- 7) 日本補聴器工業会: <http://www.jhima.org/> (2004)
- 8) 中村則雄: ユビキタス音質フィッティングシステムの提案, 日本人間工学会 “ケータイ・カーナビの利用性と人間工学”, 103-108, (2004).
- 9) ユビキタスネットワークキングフォーラム編: ユビキタスネットワーク戦略, クリエイト・クルーズ, p.57, (2002).

中村 則雄 (なかむら のりお)

1990 年筑波大学大学院理工学研究科修士課程修了。1990 年日本電信電話株式会社入社。1994 年筑波大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。現在、(独)産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門感覚知覚グループ主任研究員。高齢者に適したモバイル機器・ユビキタス機器の研究・開発に従事。日本音響学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 日本情報処理学会各会員。