

# 対話型進化計算を用いた耳鳴検査法 —耳鳴模擬音を用いた健聴者による検討—\*

金澤好展（九州大芸術工学府），白石君男，高木英行（九州大芸術工学研究院），  
坂田俊文，加藤寿彦（福岡大耳鼻科），斉藤睦巳（富士通ネットワークテクノロジーズ）

## 1. はじめに

耳鳴は、「外界から音刺激がないのに耳の中あるいは頭蓋の中に音が感じられること」と定義される[1]. 耳鳴症例は耳鼻科のみならず，内科などの外来臨床でも多くみられ，数多くの研究報告がなされてきた。しかし，その病態，病因は不明な点が多く，いまだに体系化された治療方法などの確立には至っていない。その大きな要因として，耳鳴の多くは自覚的なものであり，研究が困難であることが挙げられる。耳鳴が音響的にどんな特徴をもっているかを知るには，患者本人の訴えによるほかに，その訴えを基に耳鳴音の性状を把握するのは容易ではない。

近年，感性情報学の分野では，各個人それぞれの評価情報だけでシステムの最適化を行うための手法である対話型進化計算（Interactive Evolutionary Computation, 以下IEC）が注目されている。これは，主観的な好みや感性を反映した最適化ができると考えられている。これを耳鳴検査に適用することで，本人にしか知りえない自覚的な耳鳴の音響的特徴が明らかになると予想される。そこで本研究では，IECを用いた耳鳴検査法を提案し，耳鳴の音響的特徴をより精細に捉えることを目的とする。今回は健聴者を対象とし，本検査法について検討を行った。

## 2. 対話型進化計算

進化計算（Evolutionary Computation, 以下EC）は，生物の進化にヒントを得た探索や最適化のアルゴリズムである[2]. その代表的なものとして遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, 以下GA）がある。

GAは，通常ビットコーディングした染色体で解を表現し，選択，交差，突然変異の遺伝的演算を用いて，よりよい解を探索する。まず様々な解候補について，その解が，与えられたタスクにどの程度適合しているかを評価する。そして，その評価に基づいて，解候補の中から親となる解が選ばれる。これを選択という。親は適応度が高いほど高い確率で選ばれる。選ばれた親の中から2つの親の染色体を掛け合わせる。これを交差という。掛け合わせた結果できた子供は，親の染色体と似通った染色体をもっているため，同様に高い適合度を持つことが期待できる。

しかし交差だけでは，局所最適解から抜け出すことができない場合もある。それを回避する演算として突然変異がある。これは，低確率で適合度にまったく関係ない個体をつくる演算であり，広域的な探索が可能になる。

IECは，人間の優れた評価判断能力とコンピュータの優れた最適化能力とを組み合わせた技術といえる。ECの探索結果と

\*Tinnitus Test for Normal Hearing Subjects to Simulated Tinnitus Sounds Using Interactive Evolutionary Computation.

By Yoshihiro Kanazawa, Kimio Shiraishi and Hideyuki Takagi (Kyushu University),  
Toshifumi Sakata and Toshihiko Kato (Fukuoka University),  
Mutsumi Saito (Fujitsu Network Technologies)

して得られたシステム出力を人間が評価し、その主観的評価に基づいて、EC でさらに探索を続ける。この主観的評価によって、人間の好みや感性を反映させたシステム最適化が可能になると考えられる。

### 3. IEC を用いた耳鳴検査

IEC を耳鳴検査に適用すると、患者の、検査音に対する評価を基にしてコンピュータが自動的にパラメータ空間を探索する。これを用いれば、似ているかどうかを判断していくだけで、耳鳴の音響的特徴を捉えることができると考えられる。

耳鳴患者は、呈示される様々な音刺激に対して自身の耳鳴とどの程度似ているかを評価していく。その評価値に基づいて、EC により耳鳴音に近いと思われるパラメータを探索し、新たな音刺激を作成していく。そして、「似ている」と判断された刺激に近いパラメータをもつ刺激が、高い確率で生成される。これを繰り返すことにより、多くのパラメータの中から、耳鳴に似ていると判断されるようなパラメータのみを抽出できると考えられる (Fig.1)。

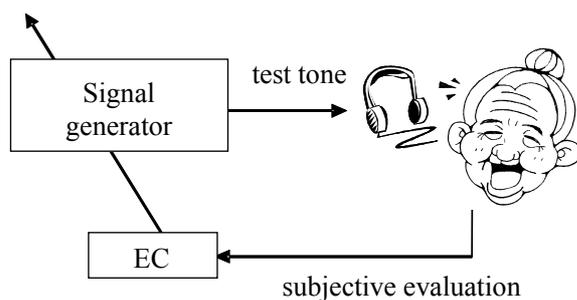


Fig. 1. Tinnitus test using IEC

## 4. 実験方法

### 4. 1 対象

対象は聴力正常な九州大学学部生・院生 10 名とした。いずれも音響設計学科に所属しており、また一つ以上の楽器経験を有していた。

被験者には、本実験の目的・内容を理解

した上で実験に参加することに同意してもらい、実験参加に対する報酬を支払った。

### 4. 2 手順

実験は全て防音室内で行った。はじめに、125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 12000 Hz という 8 種類の周波数の純音に対する閾値を測定した。このとき、検査音の持続時間は 2 秒間とした。その閾値データに基づいて、耳鳴検査の呈示刺激を感覚レベル (SL) に補正した。測定周波数以外の周波数については、測定周波数の閾値を対数周波数軸上で線形補間したものを閾値とした。

検査耳は右耳とした。被験者には、耳鳴模擬音を 2 秒間、1 秒の無音区間において、検査音を 2 秒間呈示した。耳鳴模擬音は、感覚レベルは 20 dB SL で、周波数は 250, 1000, 4000 Hz の 3 種類を用いた。検査音には純音を用いた。変化するパラメータは感覚レベルと周波数とした。感覚レベルは、0~35 dB SL の間を 5 dB ステップで変化させた。周波数は、耳鳴模擬音が 250 Hz のときには 125~4896 Hz の間を、1000, 4000 Hz のときには 306~11986 Hz の間を、それぞれ 1/24 オクターブステップで変化させた。

被験者には、耳鳴模擬音と検査音がどれだけ似ているかを 5 段階で評価させた。20 個の刺激対を 1 世代とし、それぞれの耳鳴模擬音につき 5 世代まで評価させた。例外として、5 世代まで評価しても「似ている」と評価されたものがなかった場合には、「似ている」と評価される検査音を作成されるまで評価を続けさせた。

## 5. 結果

ある被験者の、それぞれの世代における検査音に対する評価と、その収束過程の典型例を Fig.2 に示す。周波数に関しては、世代が進むにつれて耳鳴模擬音に近い検

検査音が多くなっていった。しかし、感覚レベルについては、収束は観察されなかった。ほぼ全ての被験者で同様の傾向がみられた。

各被験者の最終世代において、「似ている」と評価された検査音の周波数の分布を Fig.3 に示す。周波数のみに注目すると、耳鳴模擬音とほぼオクターブ関係にある検査音を「似ている」と評価していた被験者が2人いた。この現象は、**octave confusion** と呼ばれる。これを除いて、被験者が「似ている」と評価した検査音の周波数の範囲は、耳鳴模擬音が 250, 1000, 4000 Hz のとき、それぞれ 229~314 Hz, 612~1296 Hz, 3174~4362 Hz であった。しかし被験者によっては、耳鳴模擬音と検査音がちょうど一致した時のみ「似ている」と評価していた。

感覚レベルのみに注目すると、どの耳鳴模擬音のときにおいても、「似ている」と評価された範囲は、全被験者で、10~35 dB SL にわたっていた。

5 世代目で「似ている」と評価された検査音がひとつもなかった被験者は、耳鳴模擬音が 250, 1000, 4000 Hz のとき、それぞれ、0 名、1 名、2 名であった。

## 6. 考察

検査音の耳鳴模擬音への収束が感覚レベルについては観測できなかったのは、類似度の判断基準が主に高さであったためだと考えられる。これは、被験者の内観報告によるものである。そのため、高さと大きさを測定する際には、どちらかのパラメータを固定し、別々に測定する必要があると思われた。

Octave confusion は、オクターブ違う音が聴感上似通っているために生じたと考えられる。これは一般にオクターブ違う音を同じ音と誤ってしまう現象であるが、被験者 08 については、オクターブ違う音を

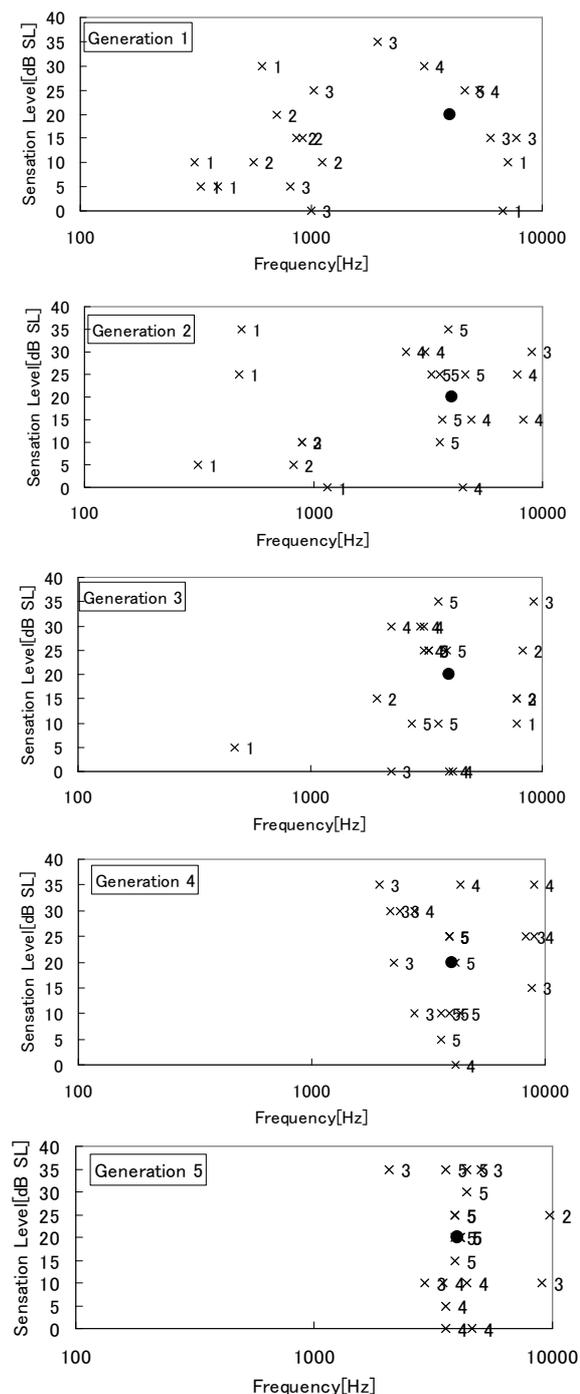


Fig. 2. A typical example of the process of convergence. The filled symbol represents the simulated tinnitus sound. The crosses represent produced test tones. The numbers by the side of symbols represent subjective evaluations.

オクターブ違うと認識しながら「似ている」と評価していた。これは、被験者 08 の「似ている」と感じる周波数範囲が広いためだと思われる。今回の被験者に対する教示では、「耳鳴模擬音と検査音がどれだけ似ているかを5段階で評価」ということ

のみであったため、このような現象が起きた可能性がある。IEC では人間の評価情報を基に最適化を行うため、人間の評価の正確さが重要になってくる。Octave confusion の回避に限らず、「似ている」と評価する範囲をより狭めるためには、教示内容を再考する必要があると考えられる。

宮崎ら(1984)は耳鳴が無い聴力正常者 14 名を用いて、耳鳴模擬音に対するピッチマッチ検査を試み、耳鳴模擬音との一致度の評価を行った[3]。その結果、耳鳴模擬音が閾値上 20 dB の 3 kHz の純音で、検査音を耳鳴模擬音の同側に呈示したとき、耳鳴模擬音からの誤差は、最大で-0.58~1.42 オクターブであった。本法では、「似ている」と評価された検査音の周波数範囲は、最大で-0.71~0.38 オクターブであった。今回の被験者は音響設計学科所属で楽器経験もあったため、一概に比較はできないが、

従来のピッチマッチ検査に劣るものではない可能性が示された。

耳鳴の周波数が高い場合に、5 世代で評価が収まらない例が観察されたが、耳鳴模擬音が異なる条件間で、目立った差は観察されなかった。耳鳴が低音性か高音性であるかで検査精度にはそれほど影響がないと考えられた。

## 7. まとめ

今回 IEC を用いた耳鳴検査法を提案し、健聴者を対象として、この検査法に関する検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。(1)周波数については、世代を重ねていくにつれて検査音が耳鳴模擬音へ収束していく過程を観察できた。(2)「似ている」と評価される周波数の領域は被験者によって異なり、被験者によっては高い精度で同定された。(3)ピッチ測定の精度は従来法に劣るものではない可能性が示された。

また、問題点として次のことが指摘された。(1)被験者の「似ている」と評価する範囲のばらつきを統制するために教示を工夫する必要がある。(2)高さと大きさを同時に捉えることは困難であるため、一方のパラメータを固定し、別々に測定するべきである。

## 文献

- [1]. 立木孝, “耳鳴の検査” 立木孝, 曾田豊二編(金原出版, 東京, 1999 年), pp.1-7.
- [2]. 田口善弘, 三井秀樹, 高木英行, “複雑性のキーワード”(共立出版, 東京, 2000), pp.77-129.
- [3]. 宮崎巨, 山下公一, 松平登志正, 坂本守, “耳鳴のピッチマッチ法の精度に関する検討” 耳鼻 30(補 3), pp.1008-1013 (1984).

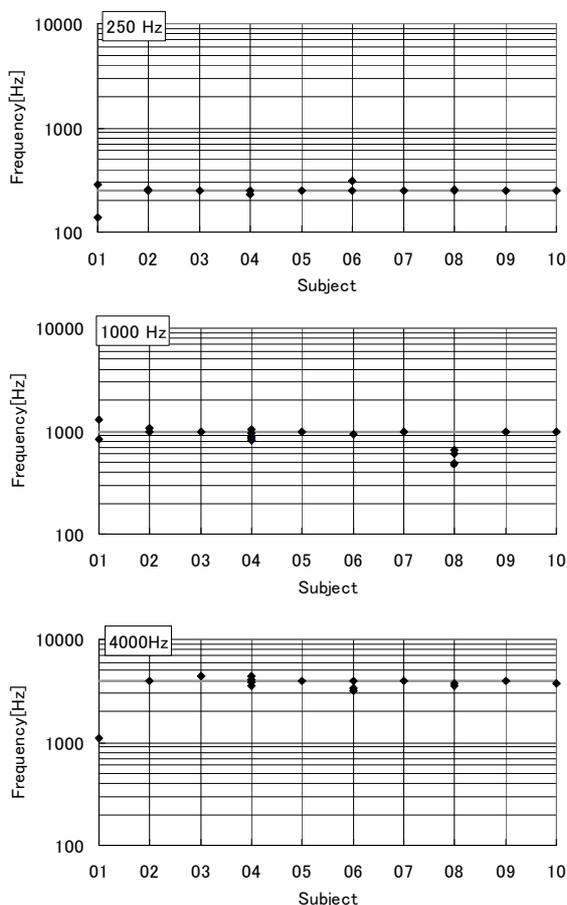


Fig. 3. The distributions of frequency of test tones evaluated as “similar”.