

## 学位論文題名

A Study of Pitch Frequency Modification  
for the Chinese Hearing Aids

(中国語音声の補聴方式におけるピッチ周波数加工に関する研究)

## 学位論文内容の要旨

聴覚障害者の音声認識能力を向上させるため、最近、デジタル信号処理を採り入れた様々な補聴方法が提案されている。特に、音声信号のスペクトル構造や時間構造を加工する方法については、その有用性が議論されている。例えば、難聴者の可聴範囲に音声弁別に必要な周波数成分を圧縮する方法や子音部の音圧を強調する処理を行うことにより子音知覚能力を向上させ得るという報告もある。また、有声音のピッチ周波数  $F_0$  を抽出して呈示する補聴方式により、ピッチ情報を重度の聴覚障害者に知らせることで読唇の補助として効果があるという報告もある。

ピッチ周波数の情報は感情を伝えるだけではなく、その音声の意味を伝える上でも重要な役割を果たしている。そのため、補聴方式としてピッチ周波数の情報を聞き取りやすくすることは、音声に含まれる感情と意味の情報を正しく伝える上で極めて重要であると想像できる。特に中国語音声においてはピッチ周波数パターン（声調）が言語理解に決定的な役割を果たしており、同じ音素構成でも、声調の違いによって全く異なる意味を持つ。ここでは、以上のような背景の元に、中国語を母国語とする難聴者の音声認識能力を向上させることを最終目的として、ピッチ周波数強調という新しい音声加工方式の有用性を知覚心理実験を通じて調べた。

本論文では、まず中度及び重度の中国人感音性難聴者12名を対象として、ピッチ周波数変化の幅および変化方向に関する弁別能力を調べた。その結果、健聴者に比べ難聴者はその能力が有意に低下していることがわかった。中国語では声調すなわちピッチ周波数の変化パターンが語意の違いに関わるので、各声調に対応するピッチ周波数の変化幅を適度に拡大することによって、このピッチ周波数変化弁別能力の低下を補い、語音識別能力を上げることができるという仮説を立てた。この仮説に基づき、中国語話者の発声した音声の声調を強調する音声処理アルゴリズムを提案し、このアルゴリズムが語音の識別に与える影響を調べた。声調強調実験に先立ち、ピッチ周波数強調により声調が変わらないようなピッチ周波数の加工範囲を調べた。この範囲を考慮に入れ、ピッチ強調処理を行い、その処理した音声を難聴者に聴取させ、声調および音素構成を応答させることにより、語音の識別に与える声調加工の効果を調べた。その結果から、声調加工すなわちピッチ周波数強調という音声加工方法は中国難聴者の音声認識能力を向上させる上で大きく寄与することを示した。

本論文は全6章から構成されている。

第1章では、まず背景として、従来のデジタル補聴器に使われた音声処理方法とその問題点について述べた後に、本研究の目的を示した。

第2章では、感音性難聴者のピッチ周波数知覚特性について主に調べ、その結果から

どのような補聴方式が有効であるかを考察した。感音性難聴では、単に聴力の低下すなわち最小可聴閾値の上昇のみではなく、周波数選択性の低下や時間分解能の低下も同時に存在すると考えられている。それらの多くの要因がデジタル補聴器の設計に与える効果を考慮したうえで、特に難聴者のピッチ知覚特性を調べた。具体的には、ピッチ周波数変化の弁別能力、およびその能力が語音の聴取に与える影響を調べた。その結果、中国人難聴者のピッチ周波数変化の弁別能力は健聴者により有意に劣化していることがわかった。そして、その低下した能力を補正する方法として、可聴範囲の狭い聴覚障害者に対しては音声信号の振幅やスペクトルの圧縮処理が特に有効であり、周波数選択能力が劣化している場合にはピッチ強調処理機能を備えた補聴方法が有効であると仮定した。

第3章は、標準中国語におけるピッチ周波数変化と音声の声調認識や意味理解との関係を調べた。まず、単音節音声のピッチパターンを変えることによって、声調知覚能力がどのように変化するかを調べた。分析合成した刺激音を用いて、1声と4声に対してはピッチ周波数変化幅を変えたときの声調知覚特性、2声と3声についてはそのピッチ周波数の傾きが変化する点のタイミングとその点の周波数を変えたときの声調知覚特性を求めた。その結果、1声と4声の声調知覚特性はピッチ周波数変化幅に依存し、2声と3声の場合には、ピッチ周波数変化点のタイミングと周波数が相互に依存しているが、前者の方が優位であることが分かった。また、ピッチ周波数を全体的に高域や低域にシフトしても、声調知覚特性は変わらないことも明らかにされた。これらのことから、声調で決定される単音節音声の意味を変えないで、ピッチ周波数を加工する範囲を求めることができた。

第4章では、難聴者の音声識別能力を向上させるための音声加工アルゴリズムを提案した。まず、正弦波音声生成モデルを利用した音声分析合成システムに基づいて、音声のピッチスケール、時間スケール、周波数スケールの変換方法とそのアルゴリズムについて述べた。それらの処理方法によって、音声のピッチ周波数、会話速度、スペクトルが自由に変換でき、特に音声成分を難聴者の可聴範囲に収めることにより、より分かりやすい音声に変換することができた。また、中国語話者の発声した音声の声調特性を抽出し、その声調特性を強調するアルゴリズムも開発した。

第5章では、4章のピッチ強調処理アルゴリズムを用いて中国人感音性難聴者の音声識別能力がどのように改善されるかを調べた。まず、難聴者の難聴特性を得るための知覚心理実験を行った。この実験は、純音聴力テスト、ダイナミックレンジの検査、聴覚フィルターの測定により構成され、得られた測定値から難聴者の残存する聴覚機能の特性を把握した。次にピッチ加工処理が中国人難聴者の単音節音声の識別に与える効果を調べるために、声調弁別テストと音素識別テストを行った。また、このテストを行う際に背景雑音がある場合とない場合での比較検討も行った。声調弁別テストはピッチ加工処理が声調弁別に与えた効果を評価することを、また、音素識別テストはピッチ加工処理が子音、母音識別に与えた効果を評価することを目的としている。結果から、雑音の有無に関わらず、また、音素識別能力を低下させずに、ピッチ強調処理によって声調の弁別能力が改善されることが分かった。以上から、ピッチ強調処理機能を備えた補聴方式は中国人感音性難聴者の音声識別能力の向上に寄与することが示された。

第6章では、本研究の結論と残された課題を述べ、将来を展望した。特に、ピッチ強調処理を具体化するアルゴリズムとハードウェアについて触れた。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 福 部 達  
副 査 教 授 山 本 克 之  
副 査 教 授 下 澤 楯 夫

学 位 論 文 題 名

## A Study of Pitch Frequency Modification for the Chinese Hearing Aids

(中国語音声の補聴方式におけるピッチ周波数加工に関する研究)

声の高さや抑揚を決定付けているピッチ周波数は、感情を伝えるだけではなく音声の意味を伝える上でも重要な役割を果たしている。そのため、補聴方式としてピッチ周波数の情報を聞き取りやすくすることは、音声に含まれる感情と意味の情報を正しく伝える上で極めて重要である。特に中国語音声はピッチ周波数パターン（声調）が言語理解に決定的な役割を果たしており、同じ音素構成でも声調の違いによって全く異なる意味を持つという特徴がある。本研究は、以上のような背景の元に、中国語を母国語とする難聴者の音声認識能力を向上させることを最終目的として、ピッチ周波数強調という新しい音声加工方式の有用性を知覚心理実験を通じて調べたものである。

本論文では、まず中度及び重度の中国人感音性難聴者を対象として、ピッチ周波数変化の幅および変化方向に関する弁別能力を調べている。その結果、健聴者に比べ難聴者はその能力が有意に低下していることを明らかにしている。中国語では声調すなわちピッチ周波数の変化パターンが語意の違いに関わるので、各声調に対応するピッチ周波数の変化幅を適度に拡大することによって、このピッチ周波数変化弁別能力の低下を補い、語音識別能力を上げることができるといふ仮説を立てている。この仮説に基づき、中国語話者の発声した音声の声調を強調する音声処理アルゴリズムを提案し、このアルゴリズムが語音の識別に与える影響を調べている。声調強調実験に先立ち、ピッチ周波数強調により声調が変わらないようなピッチ周波数の加工範囲を求めている。この範囲を考慮に入れ、ピッチ強調処理を行い、その処理した音声を難聴者に聴取させ、声調および音素構成を応答させることにより、語音の識別に与える声調加工の効果を実証している。その結果から、声調加工すなわちピッチ周波数強調という音声加工方法は中国難聴者の音声認識能力を向上させる上で大きく寄与することを示している。

本論文は全6章から構成されている。

第1章では、まず背景として、従来のデジタル補聴器に使われた音声処理

方法とその問題点について述べた後に、本研究の目的を示している。

第2章では、感音性難聴者のピッチ周波数知覚特性について主に調べ、その結果からどのような補聴方式が有効であるかを調べている。その結果、中国人難聴者のピッチ周波数変化の弁別能力は健聴者により有意に劣化していることを明らかにしている。そして、その低下した能力を補正する方法として、ピッチ強調処理機能を備えた補聴方法が有効であるという仮説をたてている。

第3章は、前章の仮説を検証するために、標準中国語におけるピッチ周波数変化と音声の声調認識や意味理解との関係を求める実験を行っている。具体的には、分析合成した刺激音を用いて、単音節音声のピッチパターンを変えることによって、声調知覚特性がどのように変化するかを調べている。その結果、1声と4声の声調知覚特性はピッチ周波数変化幅に依存し、2声と3声の場合には、ピッチ周波数変化点のタイミングと周波数が相互に依存しているが、前者の方が優位であることを明らかにしている。以上から、声調で決定される単音節音声の意味を変えないで、ピッチ周波数を加工する範囲を求めている。

第4章では、難聴者の音声識別能力を向上させるための音声加工アルゴリズムを提案している。まず、正弦波音声生成モデルを利用した音声分析合成システムに基づいて、音声のピッチスケール、時間スケール、周波数スケールの変換方法とそのアルゴリズムについて述べている。それらの処理方法によって、音声成分を難聴者の可聴範囲に収め、より分かりやすい音声に変換できることを確認している。また、中国語話者の発声した音声の声調特性を抽出し、その声調特性を強調するアルゴリズムも開発している。

第5章では、前章のピッチ周波数強調処理アルゴリズムを用いて、中国人感音性難聴者の音声識別能力がどのように改善されるかを実証するための実験を行っている。具体的には、ピッチ加工処理が中国人難聴者の単音節音声の識別に与える効果を調べるために、背景雑音がある場合とない場合で、声調弁別テストと音素識別テストを行っている。声調弁別テストはピッチ加工処理が声調弁別に与えた効果を評価することを、また、音素識別テストはピッチ加工処理が子音、母音識別に与えた効果を評価することを目的としている。結果から、雑音の有無に関わらず、また、音素識別能力を低下させずに、ピッチ強調処理によって声調の弁別能力が改善されることを示している。以上から、ピッチ強調処理機能を備えた補聴方式は中国人感音性難聴者の音声識別能力の向上に寄与することを実証している。

第6章では、本研究の結論と残された課題を述べ、将来を展望している。特に、ピッチ周波数強調処理を具体化するアルゴリズムとハードウェアについて触れている。

以上のように、本研究は音声のピッチ周波数加工による抑揚強調が音声の意味理解の向上に寄与することを、四声を有する中国語音声を用いた中国人難聴者による音響心理実験に基づいて明らかにするとともに、抑揚強調を実現するアルゴリズムを開発したものであり、音声工学や医療福祉工学に寄与するところが大きい。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。