

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 18 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21530762

研究課題名（和文）人工内耳装用児の音楽とパラ言語の知覚と産出の発達

研究課題名（英文）Development of Music Perception and Production and Speech Perception and Production by Cochlear Implant Users

研究代表者

中田 隆行（NAKATA TAKAYUKI）

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

研究者番号：00281155

研究成果の概要（和文）：

人工内耳装用児は、喜びと悲しみの感情については発話者の感情を正しく弁別できること、韻律表出の精度は、健聴の5-6歳児と同程度であること、日常会話で確認される疑問文よりも音高の変化の幅が狭い6半音と8半音の上昇調であっても質問文として正しく知覚できる子どもが存在することを明らかにした。また、録音した歌のタイミングと音高の精度について5、6年の期間を挟んで3名を対象に比較分析した結果、音楽レッスンを受け、人工内耳を両耳に装用するようになった2名の音高表出の精度が向上したことを確認した。

研究成果の概要（英文）：

Japanese 5- to 13-yr-olds who used cochlear implants (CIs) and a comparison group of normally hearing (NH) Japanese children were tested on their perception and production of speech prosody and music production. For prosody perception task, they were asked to determine whether semantically neutral utterances were spoken in a happy, sad, or angry manner. Child CI users performed below ceiling but above change levels on happy- and sad-sounding utterances but not on angry-sounding utterances. For the prosody production task, children were asked to imitate stereotyped Japanese utterances expressing disappointment and surprise as well as culturally typical representations of crow and cat sounds. Child CI user's imitations did not differ significantly from youngest (5-6 yr-olds) NH children. To examine development of music production, three child CI users sang songs from memory and compared from songs recorded 5-6 years ago. Their performances on timing further improved and for the two children who had been taking music lessons and received second implants showed large improvements on relative pitch patterns.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：人工内耳，パラ言語知覚，パラ言語表出，音楽知覚，音楽表出

1. 研究開始当初の背景

補聴器のみでは言語の理解が困難な高度難聴者のために、言語理解の向上を当初の目的として開発された人工内耳によって、多くの装用者は電話で会話ができるなど高い言語理解能力を獲得している。しかし、言語と比較してよりスペクトラル情報のより詳細な検出を必要とする音楽やパラ言語の理解と表出は人工内耳では困難であるとされてきた。音楽を楽しみたい装用者は多く、音声言語によるコミュニケーションには文の最終音節を上昇させて疑問文として（例：「ごはんを食べる？」）表現することができるように、スペクトラル情報の理解の役割は多い。

我々はこれまでに人工内耳を装用した児童は既知の曲を正しく同定でき、検査をした大部分の装用児が歌唱を楽しんでいること (Nakata, et al., 2005) そして曲のリズムを健聴児と同程度に正確に歌で表現できること (Nakata, Trehub, Mitai, & Kanda, 2006) を報告した。日本語を母語とする人工内耳装用者のパラ言語知覚と表出については健聴者と比較した報告がこれまでに存在しなかった。また Nakata ら (2006) の報告では人工内耳装用児の音高表出については、音高の方向性が不正確である子どもが多かったが、音高表出能力がどのように発達するのかについては研究がされていなかった。

2. 研究の目的

当該研究では、人工内耳装用児による音楽知覚表出の発達とパラ言語知覚表出の発達について人工内耳装用児と健聴者を対象に以下について検証することを目的とした。

- ・パラ言語情報からの話し手の感情の同定の精度 (研究1)
- ・韻律表出の精度 (研究2)
- ・韻律知覚の精度 (研究3)
- ・歌の音高とタイミング精度を指標とする音楽表出の精度 (研究4)

3. 研究の方法

(1) 研究参加者

研究1から4まで、参加者、または参加者が子どもの場合には保護者に、研究の目的と検査内容をわかりやすく説明した説明書またはパンフレットを準備し、インフォームド・コンセントを得た上で研究を開始した。

本研究に参加した人工内耳装用児は検査当時に長崎ベルヒアリングセンターに通院していた。研究1と研究2には5-13歳の18名の人工内耳装用児 (3名の男子と15名の女子) が参加した。人工内耳装用児のうち1名をのぞく全員が先天性の難聴であった。その後天性難聴児1名の成績は残りの先天性難聴児の成績の平均値から1標準偏差以内であったため検証の対象とした。すべての人

工内耳装用児は検査当時、通常学級で学んでいて健聴者と音声言語で会話ができていたことを確認した。人工内耳埋め込み手術の前にはすべての参加児は補聴器両耳装用であった。統制群として日本語を母語とする5-10歳の44名の健聴児 (17名の男子と27名の女子) が参加した。他にも5名の児童が参加したが、課題を十分に理解できなかった (1名の人工内耳装用児と1名の健聴児)、または機器の不具合 (3名の健聴児) のために分析の対象から除外した。健聴児については最初の20名の研究1の成績が100%であったため、残りの健聴児に対しては検査を行わなかった。健聴の31名の19-22歳の日本の大学生が、人工内耳装用児と健聴児の表出した韻律の評定を行った。

研究3には日本語を母語とする7-17歳の33名の人工内耳装用児 (10名の男子と23名の女子) が参加した。統制群として健聴の13名の6歳児、8名の8歳児、そして13名の大学生が参加した。研究4には Nakata ら (2006) の研究に参加した12名の人工内耳装用児の中から3名 (12-13歳) が参加した。

(2) 機材

研究1から研究4に参加したすべての人工内耳装用児は、通院する長崎ベルヒアリングセンター内の無響室で検査に参加した。研究1と2に参加した健聴児のうち29名は減響室で、研究1と2に参加した健聴の5-6歳児17名、そして研究3に参加したすべての健聴児は騒音の少ない部屋でヘッドホンから音を聴取して検査を行った。大学生の参加者についてはすべて減響室で検査と評定を行った。

研究1, 2, と4では、参加児に対して刺激音は提示と反応の記録はタッチスクリーン付きのノートパソコンで行った。研究3では人工内耳装用児に対しての刺激音の提示と反応の記録はタッチスクリーン付きのノートパソコンで、健聴児に対しては通常のタッチ機能をもたないノートパソコンで行った。大学生に対してはタッチ機能をもたないノートパソコンまたはデスクトップコンピュータで検査と評定を行った。

研究2と研究4での参加児の音声の録音はデジタルオーディオレコーダーにマイクを接続して行った。

(3) 刺激

研究1では、20代の女性が感情的意味が中立の a) 電気をつけます, b) いすに座ります, c) 鉛筆を持っています, d) 道を歩きます, の4つの文について、喜びの感情 (発話速度が速くて音高が高い)、悲しみの感情 (発話速度が遅くて音高が低い)、怒りの感情 (発話速度が速くて音高が高い) の3通りに表現した合計12の発話を録音した。音声分析合成ソフトのPraat (Boersma & Weenink,

2008) を使って二乗平均平方根を指標としてすべての発話刺激の音圧を均一化した。研究2では研究1の音声刺激に協力した同じ女性が発声した、落胆を表現した「あーあ」と驚きを表現した「えー！」といった2種類の感嘆表現と、猫の鳴き声の「にゃーお」とカラスの鳴き声の「カーカー」といった2種類の動物の鳴き声の擬声語を刺激音とした。

研究3では練習用に a) 絵本を見る, b) 家に帰る, c) お風呂に入る, d) バスから降りる, の4文, 本検査用に e) 学校に行く, f) トランプで遊ぶ, g) バイロンを弾く, h) パンを焼く, i) 買い物に行く, j) 靴を履く, k) 泳ぎに行く, l) 図書館に行く, の8文を用いた。これらの合計12文は同じ母音の[u]で終了していて、20代の女性が平叙文として発声した音声を録音し、オーディオ録音・編集ソフトのMelodyne (Celemony) で最終音節[u]の基本周波数を258 Hzに揃えた。その後、1文の最終音節[u]の音高変化を選択し、generalised logistic function に従う上昇調と下降調のピッチスweepを作成した。平叙文としては、1半音の下降調、疑問文としては、1/2半音、1半音、2半音、3半音、4半音、6半音、8半音の上昇調をPraat (2008) を用いて作成した。それらの加工された音節[u]を12の基本の発話文の最終音節と差し替えることによって、ピッチスweepの程度を厳密に制御した発話刺激を作成した。

(4) 手続き

研究1から4まですべての参加者は個別に検査に参加した。参加児に対して、研究1と研究2は同時に行われ、まずパラ言語情報による話し手の感情の同定課題を行い、次に韻律表出課題を行った。どちらの課題もゲームとして被検児に説明し、パラ言語情報による話し手の感情の同定課題について、まず実験者が被検児に対して喜び、悲しみ、怒りの感情表現について口頭で抑揚豊かな例を話してみせた(例えば、「うれしいときにはこんなふうに話すよね」で始まり例文をうれしそうに話す)。その後、実験者は被検児に対して、うれしく、悲しく、または怒って感じるときにどんな風に話しか発声するように求めた。その後、パラ言語情報による話し手の感情の同定課題を始めた。参加児は、これから女の子がうれしい、悲しい、または怒っている気持ちで話す声を聞くので、女の子がどんな気持ちか判断し、タッチスクリーンに表示されるそれぞれの感情を表現した顔の絵を指でタッチするように求めた。まず1文を用いて3つの感情を表現した練習課題を提示し、課題の内容が理解できることを条件に、12刺激(4文×3感情)が無作為の順序で提示される本検査を開始した。その後、韻律表出課題に進み、参加児には女性の声を聞いた後にできるだけ正確にものまねするように

求めた。研究2の韻律表出の得点は大学生の評定者によって行われた。評定者には、モデルの20代の女性の発話と比較して無作為な順に提示される子どもの韻律表現が20代の女性のモデルの韻律表現とどの程度にているかについて、1の全く似ていない、から10の非常に似ているの10件法で評定するように求めた。子どもの声が提示される直前に、モデルの声を提示し、正確に評定できるようにした。期待される韻律表出のパフォーマンスの幅について認識させるために、予備評定実験で評定値が最も低かった音声から最も高かった音声までの4つの音声に対する評定を練習として行った後、本実験を開始した。

研究3では研究1と同様に、まず実験者が被検児に対して平叙文と疑問文について口頭で例を話した後、被検児に対して平叙文と疑問文を発声するように求めた。次にパソコンに保存された8つの練習文を聞かせ、平叙文か疑問文かについて回答するように求めた。被検児が課題について理解できていると判断したら本検査に進んだ。本検査では、年齢と人工内耳装用の有無によって、8発話文×2韻律(平叙文または疑問文×音高変化の幅の音声刺激を無作為に提示して同定を求めた。6歳児と人工内耳装用児は6半音と8半音について、8歳児は2, 3, 4, 6半音について、大学生は0.5, 1, 2, 3, 4, 6半音の音高変化の音声刺激に対して同定を行った。

研究4では、参加児は記憶していても楽譜を見なくても歌える歌を歌うように求めた。

4. 研究成果

(1) パラ言語情報による話し手の感情の同定の精度

健聴児は100%の正答率を示した。人工内耳装用児の成績について1サンプルの*t*検定で検証した結果、チャンスレベルの33%よりも喜び($M=61\%$, $SD=32$)と悲しみ($M=64\%$, $SD=33$)の感情については有意に高いことが明らかになった、 $p < .001$ 。対照的に、怒りの感情については平均正答率が39%($SD=31$)とチャンスレベルであった、 $p = .46$ 。人工内耳装用児については、感情カテゴリーの効果は分散分析の結果、有意であった、 $F(2, 34) = 4.19$, $p = .05$ 。ボンフェローニ調節によるポストホック*t*検定の結果、怒りの感情に対してのほうが悲しみの感情よりも有意に成績が低いことが分かった。怒りの感情は、喜びの感情として有意に高い確率で誤って判断されることも明らかになった、 $t(15) = 6.22$, $p < .001$ 。人工内耳装用児の成績との相関を求めた結果、検査時の年齢($r(16) = .008$)、人工内耳装用時の年齢($r(16) = -.25$)、人工内耳装用期間($r(16) = .10$)とも有意ではなかった、 $ps > .05$ 。

(2) 韻律表出の精度

韻律表出評定値について、相関関係を検証した結果、検査時の年齢 ($r(16) = .006$)、人工内耳装用時の年齢 ($r(16) = -.37$)、人工内耳装用期間 ($r(16) = .13$) とも有意ではなかった、 $ps > .05$ 。

大学生による韻律表出評定値について、分散分析によって対象児の人工内耳使用の有無と発話の種類について分析を行った結果、人工内耳使用の有無の効果が有意であり、年齢と発話種類の要因を排除して比較すると、評定値は人工内耳装用児 ($M = 3.80$, $SD = 1.13$) よりも健聴児 ($M = 5.51$, $SD = 1.51$) のほうが有意に高いことが明らかになった、 $F(1, 60) = 18.68$, $p < .001$ 。発話の種類の効果も有意であった、 $F(3, 180) = 20.42$, $p < .001$ 。評定値は上昇調を含む驚き ($M = 5.73$, $SD = 1.92$) で最も高く、他のすべての発話との差が有意であった、 $ps < .02$ (ボンフェローニ調節済み)。猫の鳴き声の評定値が次に高く ($M = 5.15$, $SD = 1.72$)、カラスの鳴き声 ($M = 5.08$, $SD = 1.64$) そして、落胆 ($M = 4.34$, $SD = 1.77$) の順であった。落胆の評定値はその他のすべての発話よりも有意に低かった、 $ps < .01$ (ボンフェローニ調節済み)。

人工内耳装用児と健聴児に対して、それぞれ独立した分散分析によって年齢群 (5-6 歳, 7-8 歳, 9-10 歳) の効果について検証した結果、健聴児については年齢群の効果が有意であった、 $F(2, 41) = 24.80$, $p < .001$ 。健聴児の韻律表出評定値は年齢とともに 5-6 歳 ($M = 4.44$, $SD = 1.13$)、7-8 歳 ($M = 6.11$, $SD = 1.23$)、9-10 歳 ($M = 6.86$, $SD = .73$) の順に線形に上昇し、さらに Scheffé test によって 5-6 歳児は 7-8 歳児と 9-10 歳児よりも有意に低い評定値を得たことが明らかになった、 $ps < .005$ 。ボンフェローニ調節による t 検定によって、人工内耳装用児の受けた評定値を 3 つの年齢群の健聴児と比較した結果、人工内耳装用児の受けた評定値は健聴の年齢の高い 2 群と比較してより有意に低かった ($ps < .001$) もの、健聴の 5-6 歳児の受けた評定値と有意な差のない水準であることが明らかになった、 $p > .05$ 。また、研究 1 で得られた人工内耳装用児のパラ言語知覚得点とパラ言語表出得点である韻律表出評定値の間には有意な相関関係が確認された、 $r(16) = .56$, $p < .05$ 。

(3) 韻律知覚の精度

韻律知覚得点は疑問文の正答率から false alarm (平叙文の誤答率) を引いた値とした。人工内耳装用児について、韻律知覚得点は、性、検査時の年齢、人工内耳埋め込み手術時の年齢、人工内耳装用期間とデバイスのタイプとの相関を示さなかった、 $p > .05$ 。1 サンプルの t 検定の結果、人工内耳装用児の得点は 6 半音 ($M = 17.4\%$, $SD = 35.0$) でも 8 半

音 ($M = 24.2\%$, $SD = 41.7$) でもチャンスレベルよりも有意に高い値であった、 $ps < .01$ 。人工内耳装用児の 6 半音と 8 半音における得点の間には有意な差が確認されなかった、 $p > .05$ 。

人工内耳装用児と健聴児の得点を比較した結果、人工内耳装用児の得点 ($M = 16.7\%$, $SD = 34.7$) のほうが健聴児の得点 ($M = 70.6\%$, $SD = 32.0$) より有意に低かった、 $t(53) = -5.62$, $p < .001$ 。また人工内耳装用児のあいだには大きな個人差が確認された中で、22% の人工内耳装用児は健聴児の得点の 95% の信頼区間に入る優れた成績を示した。また、人工内耳装用児を韻律知覚得点の中央値で 2 分したところ、得点上位の人工内耳装用児の韻律知覚得点は健聴児と有意な差のないことが分かった、 $p > .05$ 。

8 歳の健聴児と健聴の大学生の得点について年齢を被験者間要因、音高を被験者内要因とする混合要因の分散分析で検証した結果、大学生のほうが 8 歳児よりも得点が高いという年齢の主効果が確認された、 $F(1, 19) = 6.37$, $p < .025$ 。音高水準の効果も有意であり、8 半音において 6 半音よりも有意に高い得点を示した、 $F(3, 54) = 8.01$, $p < .001$ 。ポストホック検定によって 6 半音において 2, 4 半音のどちらの水準よりもより高い得点をしめした。大学生は 0.5 半音の音高変化では韻律を正しく弁別できないことも明らかになった。

(4) 歌の音高とタイミング精度を指標とする音楽表出の精度

参加した 3 名の人工内耳装用児の歌った歌についてタイミングと音高表出の精度を測定し、5-6 年前の初回の分析と比較した結果、3 名ともすべての項目において精度が向上していることが明らかになった。初回の分析でもタイミング表出の精度においては同年齢の健聴児と有意な差のない高い水準であることを報告したが (Nakata, Trehub, Mitani, & Kanda, 2006)、3 名の 2 度目のタイミング表出検査の結果、平均の絶対化されたタイミングのずれの百分率が 6-9% と初回の健聴児の同指標の平均値 21.0% よりも低いこと、つまりタイミング精度が高いことが分かった。相対的な音高変化について、初回の検査についての報告では、一部の人工内耳装用児の相対音高表出の精度は高かったが、全体としては人工内耳装用児の音高表出の精度は低く、音高の方向性 (次の音をより高く歌う、またはより低く歌う) の精度については全体ではチャンスレベルにあることを示した。2 回目の検査では音高の方向性の精度は 3 人中 2 人においては 70% を超える高い値を示し、それぞれ初回と比較して 18% 以上も精度が向上していた。これらの 2 人の人工内耳装用児には初回の録音時に音楽レッスンを受けてい

た、初回の録音と2回目の録音の間に人工内耳を両耳装用するようになったという2点が共通しており、音楽トレーニングと人工内耳の両耳装用がスペクトラル情報の知覚と表出に与える優れた効果について検証するために、オンラインで受講できる音楽学習コースの準備を進めている。

引用文献

Boersma, P., & Weenink, D. (2008). Praat (Version 5.0.34): University of Amsterdam.

Nakata, T., Trehub, S. E., Mitani, C., & Kanda, Y. (2006). Pitch and timing in the songs of deaf children with cochlear implants. *Music Perception*, 24, 147-154.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- 1) Nakata, T., Trehub, S. E., & Kanda, Y. (2012). Effect of cochlear implants on children's perception and production of speech prosody. *Journal of the Acoustical Society of America*, 131, 1307-1314, 査読有り.
- 2) Trehub, S. E., Vongpaisal, T., & Nakata, T. (2009). Music in the lives of deaf children with cochlear implants. *New York Academy of Sciences*, 1169, 534-542, 査読有り.

[学会発表] (計3件)

- 1) Takayuki Nakata, Sandra E. Trehub, Yukihiko Kanda, & Haruo Takahashi (2011.10.25-28). *Perception of intonation patterns by children with cochlear implants*. Poster presented at Asia-Pacific Symposium on Cochlear Implant and Related Sciences, 大邱 (大韓民国)
- 2) 中田隆行, Sandra E. Trehub, 神田幸彦 (2010.5.29). 人工内耳装用児と健聴児の抑揚の知覚と表出, 日本音楽知覚認知学会2010年春季研究発表会, 公立ほこだて未来大学 (北海道)
- 3) 中田隆行, 神田幸彦, 城戸由美子, 高橋晴雄 (2009.10.22) 人工内耳装用児の抑揚表出, 第54会日本聴覚医学会学術講演会, 新横浜プリンスホテル (埼玉県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 隆行 (NAKATA TAKAYUKI)
公立ほこだて未来大学・情報システム科学部・准教授
研究者番号: 00281155

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

神田 幸彦 (KANDA YUKIHIKO)
長崎大学・医学部・臨床准教授
研究者番号: 20264244