

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25380983

研究課題名(和文)音楽学習が人工内耳装用者の音楽と音声言語の知覚と表出に与える影響

研究課題名(英文) Effects of music course on perception and production of musical and speech sounds

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・教授

研究者番号：00281155

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：知覚実験の結果から作成したオンライン音楽訓練コースが7-9歳の健聴児と人工内耳を装用する重度の難聴児の音楽・言語知覚に与える影響を検証した。人工内耳装用児はコースに関心を持ち健聴児よりもより長い時間課題に取り組み、学習媒体としての有効性が確認された。今後も継続して人工内耳装用児が参加する予定である。

さらに音楽訓練の効果を高める要素の検証として、音列のタイミングパターンを同期する適応的パートナーが音高のずれに対する脳内情報処理に与える影響について象関連電位研究を行った結果、適応的パートナーは知覚反応(ミスマッチ陰性電位)と認知反応(N400)を高めることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We created a novel online musical intervention and assessed its effects on music and language perception for 7-9 year-old children with cochlear implants and normally hearing children. Overall, children with cochlear implants spent more time on the training tasks than normally hearing counterparts, suggesting that the intervention was motivating for them. We plan to test more children with cochlear implants in the coming year.

Additionally, we investigated electrophysiological responses to pitch deviation with adaptive timing partner. Results showed that having an adaptive partner leads to better pitch perception and cognition (measured by electrophysiological mismatch negativity [MMN] and N400 responses to pitch change) compared with having a non-adaptive partner.

研究分野：実験心理学

キーワード：人工内耳 音楽知覚認知 事象関連電位

## 1 研究開始当初の背景

### (1) 人工内耳装用者の音楽と音声言語の知覚・産出

蝸牛内の有毛細胞の未発達または損傷を原因とする重度難聴者の聴覚を補助するために開発された人工内耳は、人工臓器として現在最も普及している医療機器である。人工内耳のスペクトラル分解能は低いため、人工内耳装用児にとって、既知の曲を同定したり [1]、既知の曲を歌ったり [2]、意思疎通に重要な役割を果たすパラ言語を理解・産出すること [3] や話者を同定すること [4] は健聴児と比較してより困難である。

人工内耳装用児を対象とする近年の事例研究と関連研究により、音楽訓練とスペクトラル情報の理解の間に正の相関が確認されている。人工内耳装用児の間でも健聴児と同様に、音楽教育を受けた期間が長ければ長いほど高い音高弁別成績を示す [5] との事例研究や関連研究は存在するが、音楽訓練が人工内耳装用児に恩恵を与えることを実験的手法で証明した研究はいまだに存在しない。

### (2) 音楽訓練に効果的な音楽のタイミングパターン

音楽表現の豊かさは音楽訓練の効果に影響を与えると考えられるが、実験的手法による知見は少ない。音楽を共演する際には、共演者のタイミングに反応しながら自分の演奏行動の時間制御をすることで拍子を合わせるといった難度の高い作業を行っている [6]。臨床の場面では、適切に表現を導いてくれる音楽療法士に合わせて打楽器を演奏することはクライアントによる感情の自由な表現を助け、その体験はクライアントの活力を増加することが確認されている [7]。これらの知見から、パートナーとタイミングを合わせて音を産出する場面では、音の変化に対してより敏感に知覚・認知するようになると予測される。

## 2. 研究の目的

(1) 7-9歳の人工内耳装用児と健聴児を対象に音楽訓練が音楽知覚、プロソディー知覚、ノイズ下での音声言語知覚に与える効果を検証すること、(2) 健聴の大人を対象に、音列のタイミングパターンを同期するパートナーが音高のずれに対する脳内情報処理に与える影響について検証すること、の2点を研究の目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 音楽訓練実験

#### 音楽訓練課題と検査課題の作成

本研究で用いた音楽訓練課題は、カナダ・モントリオール大学 Centre for Research on Brain, Language, and Music (BRAMS) で失音楽症児の音楽知覚能力向上

を目的に開発されたゲーム形式の学習プログラム “MATI” を基盤にしている。このMATIに対して人工内耳装用児に適するように以下の変更を加えた。

まず教育研究機関、医療機関からのみではなく自宅からの利用も可能にし、利用履歴を記録し効果の検証を可能にするため、FlashベースのMATIをeラーニングプラットフォーム Moodle (moodle.org) 上で利用できるようにした。さらに、音楽知覚能力に大きな個人差がある子どもを対象にするため、Moodleの条件付き課題機能とMoodle用モジュールを開発することによって適応型学習を可能にした。さらに1日の利用時間を制限するモジュールを開発しMoodleコースに組み込んだ [8]。

人工内耳装用児の音楽知覚能力には大きな個人差があるため、難易度の異なる音楽訓練課題を準備する必要がある。この3つめの問題に対応するため、2013年度までに健聴者と人工内耳装用児を対象とした音高知覚評価実験を行った。実験参加者には6音からなる複数の旋律を対で聞かせ輪郭の変化の有無を判断させた。提示した半数の対では2番目の旋律の一部の輪郭を変化させていた。結果から、輪郭の類似性は、音高のずれの程度だけではなく、旋律パターン(上昇系、下降系、上昇系と下降系の組み合わせ)の種類に依存することが明らかになった。また、人工内耳装用児にとっては連続的ではなく離散的に変化する旋律の方が音高のずれを検出しやすく、訓練課題としてより適していることが明らかになった。

オンライン学習プログラムの効果を検証するために、3つの課題を選択した。1つめに音楽知覚課題として、Montreal Battery of Evaluation of Music Abilities in Childhood (MBEMA) [9] の中から scale (音階検査) と contour (輪郭検査) テストを選定した。2つめに、プロソディー知覚検査として、音声言語で表現された感情の認識能力を測定するために開発された Portuguese Prosody Test [10] を選択した。この検査では、ポルトガル語の発音に類似した無意味語を喜び、悲しみ、怒りなどの感情を込めて発した音声の録音を聞いた後、話者の感情を同定させる。本研究では、CastroとLimaが報告した同定率を基準として喜び、悲しみ、怒りの3種類の感情について各感情ごと4刺激の合計12の音声刺激を選択した。3つめに、騒音下での音声知覚課題として Phonetically Balanced Kindergarten Word List (PBK) を選択した。この検査では健聴児、人工内耳装用児それぞれに2段階の騒音レベルを設定し、騒音下(人工内耳装用児の1つのレベルでは騒音なし)で音声を "Say the word" の後に提示し参加児にその単語を復唱させることで検証する。

これらの3種類のテストの音刺激を提示し反応を記録するプログラムを作成し、タッチパネル付きノートパソコンにインストールして子どもが自分のペースで操作しながら回答

できるように準備した。

#### 対象児

音楽訓練を受けたことのないカナダ・オンタリオ州在住の6-9歳の健聴児54名と7歳の人工内耳装用児3名が参加した。

#### 実験計画

音楽訓練即時開始群（音楽訓練群）と音楽訓練遅延群（統制群）の2条件に無作為に参加児を分け、訓練期間前後での検査結果を比較するクロスオーバー法を用いた。音楽訓練群では、音楽知覚、プロソディー、騒音下音声言語知覚検査を受けたのち、1日に15-20分程度の時間、週に5日の頻度で最終場面に到達するまでオンライン音楽訓練を受講した。1回目の検査から3週間後に再度同じ検査を受講した。統制群では音楽訓練群と同様に3週間の間隔において音楽知覚、プロソディー、騒音下音声言語知覚検査を受けたが、オンライン音楽訓練の受講は2回目の検査の後に開始した。

#### 手続き

参加児と同伴した親に対して、実験者が研究の目的、実験の流れ、期待される効果、匿名性が守られることについての説明、自由意志での参加であり、そしていついかなる理由でも参加を中止できることを説明し、同意が得られた場合に同意書に署名を求め、MBEMA、Portuguese Prosody Test、とPBKの検査を行った。その後、3週間後に再度これら3種類の検査を行った。

(2) 音列のタイミングパターンを同期するパートナーが音高のずれに対する脳内情報処理に与える影響

#### 刺激材料と装置

実験は減響室（縦2.55m×横1.70m×高さ1.88m）で行った。実験室にはMIDIキーボードと刺激提示用のスピーカー1台とリクライニングチェアを設置した。実験室の外に刺激提示と脳波測定のためのコンピュータをそれぞれ準備した。刺激提示用コンピュータでは、Max/MSPソフトウェア(Cycling'74)で刺激の発信、拍提示時刻と実験参加者の打拍時刻の記録を行った。Max/MSPからの刺激音は、USBオーディオインターフェースからプリメインアンプを介して実験室内のスピーカーから提示された。

脳波測定装置としてデジタル脳波計Active Two System (Biosemi)を用いた。International 10/20 Systemに従って32部位(Fz, Cz, Pz, Oz, Fp1, Fp2, AF3, AF4, F7, F8, F3, F4, FC1, FC2, FC5, FC6, C3, C4, T7, T8, CP5, CP6, CP1, CP2, P7, P8, P3, P4, P03, P04, O1 とO2)に、キャップを介してAg-AgCl電極を頭部に装着した。さらに、右目1cm下、左右のこめかみ、そして鼻突にも、筋電を測定する目的で電極を装着した。さらに、基準電極として左右の乳様突起にも電極を装着した。

Active Two Systemから送られた脳波は脳波データ取得用ソフトのActiView (Biosemi)で記録した。

Max/MSPによって、以下に説明する長さか200msで20msのフェードインとフェードアウトを含む正弦波の音刺激の生成と提示の制御、さらに音刺激タイプのActive Two Systemへの通信を行った。1拍目から3拍目までの導入音列は音高を110Hzとし、被験者がMIDIキーボードを打鍵することによって発生するタップ音の音高は1046Hzとした。4拍目のターゲット音の音高については、標準タイプを音高が等しい1046Hz、逸脱タイプを標準ターゲット音より1/4半音高い1061Hzと設定した。休息音の音高は220Hzとした。被験者の耳の位置で測定した音圧は、導入音が51.9dB、タップ音、標準タイプと逸脱タイプのターゲット音、そして休息音はすべて69.7dBであった。オッドボールパラダイムに従い、無作為の順に提示した標準刺激と逸脱刺激の出現比率はそれぞれ、80パーセントと20パーセントとした。

テンポ条件としてテンポ同期条件とテンポ非同期条件を用意した。以下に説明するテンポ同期条件とテンポ非同期条件のどちらとも、ターゲット音は3つの導入音の提示時刻の前後200ms以内にタップした条件でのみ提示された。テンポ非同期条件では各試行で、3つの導入音、1つのターゲット音の拍間隔を800msに固定した。テンポ同期条件では、ReppとKellerの仮想的パートナーのアルゴリズム[11]に従って拍間隔を調節した。

$$t_{n+1} = t_n + T_n + 0.4 \times asy_n$$

$$T_{n+1} = T_n + 0.4 \times asy_n$$

ここで、 $t_n$ とはn番目の拍提示時刻、 $T_n$ は現在の拍間隔、 $T_{n+1}$ は次の拍間隔、 $asy_n$ はn番目の参加者によるタップ時刻から $t_n$ を引いたテンポの不一致度である。

テンポ非同期条件と比較してテンポ同期条件で拍間隔が短くなる傾向を抑制するために、6試行ごとに、800msの拍間隔の6音音列による休息時間を設け、その間には参加者によるMIDIキーボードの打鍵に対して音のフィードバックを出さなかった。

#### 実験参加者

音楽レッスンを受けた経験の無い11名の大学生（うち女性1名）が参加した。上記の11名の他、2名は30分未満と設定した練習で安定してテンポを同期させることができなかったため、4名はターゲット音発生前後で筋電が確認され分析から除外した試行数の比率が全体の40パーセントを超えたため、1名については顕著なアーチファクトを含む試行が多かったため、データ分析の対象から除外した。

#### 手続き

実験参加者に、脳波測定実験についての説明を行い参加同意を得た後に、実験の手続き

について説明した。実験参加者は、ターゲット音が提示される直前に提示される3拍の導入音にテンポを合わせてMIDIキーボードを打鍵した。導入音との同期が、前述の3つの導入音提示時刻の前後200ms以内という基準を満たしターゲット音が提示された場合を1試行をみなし、1つのテンポ条件の試行回数を100とした。実験参加者はテンポ同期・テンポ非同期・テンポ同期・テンポ非同期の順序、またはテンポ非同期・テンポ同期・テンポ非同期・テンポ同期の順序に無作為に割り当てられ、合計で400試行を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 音楽訓練実験

即時訓練開始群28名と遅延練習開始群26名の健聴児から得られたMBEMA（音階検査と輪郭検査の合計）、Portuguese Prosody Test（喜び、悲しみ、怒りの得点の合計）とPBKの正答率について、音楽訓練の種類（即時、遅延）、年齢（6、7、8、9歳）を被験者間要因、検査順序（1回目、2回目）を被験者内要因とする分散分析、そして年齢との相関をピアソンの累積相関係数によって検証した。分散分析で年齢の主効果が見られた場合には、Bonferroni法で調節した対応のあるt検定によって事後比較を行った。有意水準は.05に設定した。

MBEMA、Portuguese Prosody TestとPBKの3つの正答率について音楽訓練の効果は確認されなかった。MBEMAとPortuguese Prosody Testでは有意な順序効果が確認され、2回目の検査で1回目よりも高い得点を示した。年齢の効果も有意であり、年齢が高くなるに従い得点が高くなる傾向が見られた。PBKの得点については分散分析からもピアソンの累積相関係数からも有意な効果が確認されなかった。

MBEMA音階の得点とMBEMA輪郭の得点の間には有意な正の相関が見られた。また、MBEMA音階の得点とPortuguese Prosody Testの間にも有意な正の相関が確認された。これらは、音楽知覚とパラ言語知覚の間には関連性があることを示唆する貴重な知見である。

訓練課題の最終場面に最短で2日で到達できた健聴児もいることから、健聴児にとっては難易度が低すぎたため、音楽訓練の効果が見出せなかったと推測される。

音楽訓練課題は、大きく2部に分かれていた。それぞれの部では、16施行で1単位のユニットが難易度の順に複数準備されていて、各ユニットで80%以上の正答を得た場合に、より高い難度のユニットに進むように設定されていた。まず第1部では4音からなる2つの旋律を連続して提示し同異の判断を求めた。第1部で最も難しい水準である4半音での輪郭の変化のユニットで、3名の人工内耳装用児全員が80%以

上の正答率を示し、次の第2部に進むことができた。第2部では、まず6音からなる基本旋律を移調させ、さらにピアノと音声の音色を切り替えながら提示し、参加児に音色の同定を求めることで基本旋律を記憶させた。その後、移調して提示する旋律について同異を判断させた。第1部とは対照的に、第2部の人工内耳装用児の成績は低く、3名のうち、1名が最低難易度の5半音の輪郭の変化でユニットを完了したのみで、他にはどの人工内耳装用児もユニット完了基準を超えなかった。

今回開発したオンライン音楽訓練課題は7-9歳児の健聴児と人工内耳装用児にとって手続きが分かりやすく、参加児は興味を持って取り組むことができた。今後も継続して人工内耳装用児の参加が予定されていて、第2部の課題をより難易度の低いパターンから開始することなどの改良を加えた後、人工内耳装用児にとってのオンライン音楽訓練の効果を再度検証する予定である。

(2) 音列のタイミングパターンを同期するパートナーが音高のずれに対する脳内情報処理に与える影響

脳波データはMatlab (Mathworks) 上で稼働するEEGLab Version 8[12]を使って1Hzから30Hzのフィルターをかけ、左右の乳様突起の平均が基準電極となるように再計算した。ターゲット音提示時刻を起点に-200msから800msまでを取り出し、32の電極を6つの領域に分けた後、テンポ同期条件・テンポ非同期条件別に平均値を算出した。前意識過程の音情報処理を示すミスマッチ陰性電位(MMN)は、ターゲット音提示後150msから250msの事象関連電位の平均によって、関連性についての認知的判断を反映するN400はターゲット音提示後300msから600msの事象関連電位の平均によって算出した。有意水準を.05に設定し、刺激条件（標準試行、逸脱試行）、同期条件（同期、非同期）、と領域を3つの被験者内要因とする被験者内要因の分散分析で検証した結果、MMNとN400のどちらについても刺激条件と同期条件の交互作用が有意であり、同期条件では逸脱刺激に対してMMNとN400が確認されたが、非同期条件ではどちらも確認されなかった。領域の効果を含む交互作用は有意でなかった。

以上の結果から、パートナーが適応的にタイミングを合わせると音列の音高パターンについての知覚処理と認知処理のどちらもが向上することが明らかになった。オンライン音楽訓練を含む、音楽や非音楽の音列を用いた訓練や療育を行う際には、適応的にタイミングを調節するパートナーと行うとタイミングを合わせないパートナーと行うよりも効果的であるとの考えを支持する貴重な知見を得られた。

##### 引用文献

1. Nakata, T., Trehub, S. E., Mitani, C., Kanda, Y., Shibasaki, A., & Schellenberg,

- E. G. (2005). Music recognition by Japanese children with cochlear implants. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 24, 29-32.
2. Nakata, T., Trehub, S., Mitani, C., & Kanda, Y. (2006). Pitch and timing in the songs of deaf children with cochlear implants. *Music Perception*, 24, 147-154.
  3. 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.
  4. Cleary, M., Pisoni, D. B., & Kirk, K. I. (2005). Influence of voice similarity on talker discrimination in children with normal hearing and children with cochlear implants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48, 204-223.
  5. Chen, J. K.-C., Chuang, A. Y. C., McMahon, C., Hsieh, J.-H., Tung, T.-H., & Li, L. P.-H. (2010). Music training improves pitch perception in prelingually deafened children with cochlear implants. *Pediatrics*, 125, 793-800.
  6. Nowicki, L., Prinz, W., Grosjean, M., Repp, B. H., & Keller, P. E. (2013). Mutual adaptive timing in interpersonal action coordination. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 23, 6-20.
  7. Bensimon, M., Amir, D., & Wolf, Y. (2008). Drumming through trauma: Music therapy with post-traumatic soldiers. *The Arts in Psychotherapy*, 35, 34-48.
  8. Nakata, T., Ruthven-Stuart, P., & Gosselin, N. (2014). *Making Moodle manageable for young learners*. Paper presented at the Moodle Moot Japan, Okinawa, Japan.
  9. Peretz, I., Gosselin, N., Nan, Y., Caron-Caplette, E., Trehub, S. E., & Béland, R. (2013). A novel tool for evaluating children's musical abilities across age and culture. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 30.
  10. Castro, S. L., & Lima, C. F. (2010). Recognizing emotions in spoken language: A validated set of Portuguese sentences and pseudosentences for research on emotional prosody. *Behavior Research Methods*, 42, 74-81.
  11. Repp, B. H., & Keller, P. E. (2008). Sensorimotor synchronization with adaptively timed sequences. *Human Movement Science*, 27, 423-456.
  12. Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9-21.
5. 主な発表論文等  
〔雑誌論文〕(計1件)
1. Nakata, T., & Trainor, L. J. (2015). Perceptual and cognitive enhancement with an adaptive timing spartner: Electrophysiological responses to pitch change. *Psychomusicology*, 25, 404-415. 査読有り
- 〔学会発表〕(計16件)
1. Nakata, T., & Trainor, L. J. (2017年6月18日). *Timing patterns in music influence levels of processing in response to pitch deviation*. Poster presented at The Neurosciences and Music - VI, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, USA.
  2. Nakata, T. (2016年7月28日). *Neural evidence for enhanced sensory and cognitive processing with adaptive partners*. Paper presented at the 31st International Congress of Psychology, 神奈川県横浜市パンフィコ横浜.
  3. Nakahara, S., & Nakata, T. (2016年7月27日). *Influences of musical expression on pitch discrimination and performer identification*. Poster presented at the 31st International Congress of Psychology, 神奈川県横浜市パンフィコ横浜.
  4. Nakata, T., & Trainor, L. J. (2016年7月6日). *Mechanical timing enhances sensory processing whereas expressive timing enhances later cognitive processing*. Poster presented at the 14th International Conference for Music Perception and Cognition, July 2016, Hyatt Regency Hotel, San Francisco, California, USA.
  5. Nakata, T., Marsh-Rollo, S., & Trainor, L. J. (2016年5月26日). *Musical experience and preference of timing expression in a song by 6- to 7-month-old infants*. Poster presented at The 20th Biennial International Congress on Infant Studies, Hilton New Orleans Riverside Hotel, New Orleans, Louisiana, USA.
  6. 中田隆行 (2016年4月29日). 音楽体験

- による子どもの社会性と知覚認知能力の変化 ラウンドテーブル「子どもにとって音楽とは何か? -発達における音楽の意味を多角的に議論する-」での話題提供 日本発達心理学会第 27 回大会 北海道札幌市 北海道大学.
7. 中田隆行 (2015年11月20日). 人工内耳によるパラ言語と音楽の認識・表現 第 32 回日本脳電磁図トポグラフィ研究会 第3回宮古島神経科学カンファレンス 合同学術集会 沖縄県宮古島市ホテルブリーズベイマリーナ.
8. Kanda, Y., Wakasagi, C., Nakata, T., Yoshida, H., Hara, M., Hatachi, K., Ito, A., Hayashida, S., & Takahashi, H. (2015年4月31日). *Association of music recognition and speech perception in children with bilateral cochlear implants: Effects of music training, implanted side and binaural hearing*. Paper presented at the 10<sup>th</sup> Asia Pacific Symposium on Cochlear Implants and Related Sciences 2015, China National Convention Center, Beijing, China.
9. Nakata, T., Kanda, Y., Wakasugi, C., Ito, A., & Takahashi, H. (2014年6月19日). *Association of musical training and music recognition by children and adolescents with bilateral cochlear implants*. 13th International Conference on Cochlear Implants and Other Implantable Auditory Technologies. Gasteig, Munich, Bavaria, Germany.
10. Kanda, Y., Wakasagi, C., Nakata, T., Yoshida, H., Hara, M., Hatachi, K., Watanabe, T., Ito, A., Miyamoto, M., Hayashida, S., & Takahashi, H. (2014年6月19日). *Effects of musical training on music recognition by children with cochlear implants*. 13th International Conference on Cochlear Implants and Other Implantable Auditory Technologies. Gasteig, Munich, Bavaria, Germany.
11. Nakata, T., & Trainor, L. J. (2014年5月30日). *Perceptual enhancement with an adaptive timing partner: Electrophysiological responses to pitch change*. The Neurosciences and Music -V. Grand Théâtre/Palais des Ducs, Dijon, France.
12. 中田隆行 (2014年3月7日). パラ言語の認識・獲得、コミュニケーション場における音楽と音声言語 金沢大学 特定研究推進プログラム 金沢認知科学シンポジウム 2014 言語・コミュニケーションの諸相、発達と障害 石川県金沢市 金沢大学 招待講演
13. Nakata, T., Ruthven-Stuart, P., & Gosselin, N. (2014年2月21日). *Making Moodle manageable for young learners*. Paper presented at Moodle Moot Japan, 沖縄県宜野湾市 沖縄国際大学.
14. 中田隆行 (2013年5月26日). パートナーとのテンポ同期が音高変化検出に与える影響: 事象関連電位による検証 日本音楽知覚認知学会(会場 岡山県岡山市 岡山大学) 平成 25 年度春季研究発表会資料集  
〔図書〕(計 1 件)
1. Nakata, T. (2013). Cochlear implants and music. In H. Takahashi (Ed.). *Cholesteatoma and Ear Surgery: An Update*. (pp. 155-157). Amsterdam, The Netherlands: Kruger Publications.  
〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)  
取得状況 (計 0 件)
- 6 . 研究組織  
(1)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・教授  
研究者番号 : 00281155
- (2)研究分担者  
ルースベン・スチュアート・ピーター (Ruthven Stuart, Peter)  
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 : 40278148
- (3)連携研究者  
( )  
研究者番号 :
- (4)研究協力者  
( )