

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25年 3月31日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21500209

 研究課題名（和文） 音声、音楽刺激に誘発される感性の能動的特性に関する
生理学と音響学の融合研究

 研究課題名（英文） Interdisciplinary Research in Physiology and Acoustics on Active
Characteristics of *Kansei* Evoked by Speech and Music Stimuli

研究代表者

武田 昌一（TAKEDA SHOICHI）

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：10245293

研究成果の概要（和文）：人間の感性メカニズムを解明する研究の一環として、音楽や音声を聴くだけではなく音楽に合わせて手を叩く、百人一首かるた競技時に読手の発声を聞いてかるたを取るなど、能動的動作が伴うときの脳の情報処理に関するいくつかの新しい知見を脳血流や脳波計測、聴取実験などの方法により取得した。更に、感性に関する応用研究の一環として、感情の強さまで自由自在に表現できる日本語感情音声合成方式を初めて実現した。

研究成果の概要（英文）：As research on exploring *kansei* mechanisms of a human, several new findings were obtained concerning brain-information processing when performing tasks with active movements, using brain-blood-flow or EEG measurements, listening tests, etc. These tasks include clapping hands in synchronization with the beats of the music, taking a card by listening to the reader's recitation during playing the *Hyakunin-Isshu karuta* (Japanese-style card) game, etc. Furthermore, as an application study on *kansei*, we for the first time achieved a Japanese emotional-speech synthesis system that was capable of expressing arbitrary strength of the emotion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトウェア工学

キーワード：感性情報処理、近赤外分光法イメージング装置、音楽、感情音声合成、

ビートトラッキング、脳の情報処理、百人一首

1. 研究開始当初の背景

わが国は、既に高齢社会を迎えつつあり、認知症を始めとする高齢者特有の障害や病気を持つ人が急増する一方、年齢を問わずうつ病など心の病を持つ人たちが急増しており、深刻な社会問題となっている。

このような状況を打破するためには、高齢者や精神障害者を支える社会的基盤づくりが急務であるが、社会制度的面のみでの解決には限界がある。これに加えて、ライフサポート・システム、将来的には介護ロボットの開発等あらゆる科学技術を駆使して問題解決にあたらないといずれは手遅れになる。

提案者らはこのような問題意識から、種々の社会問題の解決手段として、機械が人間のサービスの一部を肩代わりする方法を長年模索してきた。その一環として、これまでに私立大学ハイテク・リサーチ・センター研究プロジェクトに参画して、脳波計測による認知症早期発見手法開発の基礎研究、更により基礎的な問題にまで遡って、上記応用を見据えた脳科学の研究を行ってきた。また、科学研究費特定研究(2)により、より「人に優しい」ヒューマン・インタフェースの実現を目指して、感情を表現する音声の特徴解析と合成の研究を行ってきた。そのほかにも、高齢者用ライフサポート・システムのプロトタイプモデルの提案等さまざまな福祉指向型の研究を行ってきた。

提案者らは、これらの中で特に感性と脳波の関係を解明することが、将来の「人に優しい」ヒューマン・インタフェースを開発するために本質的な研究課題と考え、これまでに人間の感性のメカニズムを解明するために多方面から基礎的な検討を行ってきた。この中には例えば、(1) 視聴覚刺激に対する脳波の反応を解析する研究、感性・知性・運動を総合した脳の情報処理の好例として、(2) 競技かるた選手の脳の情報処理の研究、などがある。

2. 研究の目的

(1) 目的の概要

本研究は、以上のようなこれまで多岐にわたって数多くの成果を上げてきた研究テーマの中から、2、3のテーマを厳選して更に発展させて、人間の感性の問題を更に深く掘り下げ、本質に迫るための基礎検討を行う。

本研究は、感性に関する具体的課題として、大きくは「言語的・非言語的感性情報に対する脳機能」ととらえて、① 音楽行為と脳の反応、② 感情(音声)と脳の反応、についての基礎検討を対象とする。脳情報の計測手段としては、脳波計と近赤外分光法イメージ形成装置(fNIRSあるいは光トポグラフィー、以下“fNIRS”という用語に統一する)を使っ

て同時計測を行うか、あるいは目的に応じて使い分けていく。

本研究は、従来のように視聴覚刺激に対する受動的な脳の反応を対象とするのみでなく、音楽に合わせて手を叩く、百人一首かるた競技時に読手の発声を聴いてかるたを取るなど、能動的動作が伴う脳の情報処理における感性と脳との関係を解明しようとするものである。

(2) 研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

本プロジェクト期間中は聴覚刺激のみに限定し、(1) 音楽行為と脳の反応、(2) 感情(音声)と脳の反応、について、下記の事柄を明らかにしようと考えている。

- ① **ビートトラッキング** 音楽に合わせて体を動かすことが楽しい理由を解明、換言すれば「音楽が感情を喚起する一要因は動きイメージである」とする仮説を検証する基礎的研究として、ビートトラッキング(音楽に合わせて手を叩く)時の脳の情報処理過程を推定しモデルを提案する。この中で、これまでの研究の結果でわかったビートトラッキング時に視覚野が安定して活性化する理由を明らかにする。
- ② **引込同調** 音楽の演奏・聴取時の身体・精神におけるリズム・周期現象を、演奏情報・生体情報を通して解析し、その理論的背景として非線形引き込み現象を機軸としたモデルを提案する。
- ③ **音楽ドリル** 音楽ドリルを用いた、音楽行為(演奏、読譜など)時の脳の音楽情報処理過程を推定する。なお、既にデータ採取済みのため、本プロジェクトではまとめと考察のみを行う。
- ④ **感情音声の認知・合成** 感情音声の認知過程を、心理実験を併用して推定する。更に音響分析結果との関連も明らかにし、感情生成モデルおよび高品質感情音声合成方式を提案する。
- ⑤ **かるた競技時の脳の情報処理** かるた選手が、1) 音韻のどの特徴を手がかりにして認識しているのか、2) 認識してから札を取るまでにどのくらい時間がかかっているのか、を定量的に明らかにする。また、3) 百人一首の朗詠を聴きかるたを取るとき、取られたときなどの脳の情報処理過程モデルを提案する。

3. 研究の方法

4ヵ年計画で研究を遂行していく。研究代表者を含めた各研究分担者、連携研究者は、随時、情報・研究成果を相互に交換し、必要

に応じて意見交換の機会を持ちながら、あるいは共同で、各自の研究課題を遂行する。更に、これまでに研究実績を十分に有する教授レベル、ポスドク、博士課程レベル、および修士課程レベルの研究協力者の力を主戦力として研究を遂行していく。

図1に研究代表者と研究分担者間の研究分担の関係を示す(最終年度)。研究は、お互いに連携を取り合いながら進められる。なお、研究期間中に一部メンバーの入れ替わりがあったため、構成メンバーは発足当初とは多少異なっている。

研究テーマ以下のように細分化される。

- (1) 演奏など音楽行為を行うとき、特に動きが伴うときの感動のメカニズムを模索することから音楽の本質に迫る研究



図1 研究分担関連図

- (a) ビートトラッキング(武田、研究協力者(中西、山本佐代子))
- (b) 引込同調(吉田)
- (c) 音楽ドリル(武田、研究協力者(山本佐代子、廣瀬))
- (2) 感情音声の認知・合成(武田、桐生、山本誠一、研究協力者(霧、磯部))
- (3) かるた競技時の脳の情報処理(武田、山本誠一、研究協力者(津久井、灰田、山本佐代子、長谷川))

全体研究計画を図2に示す。

4. 研究成果

(1) 平成21年度の実績の概要

- ① 感情音声の声質の特徴として、スペク

トル傾斜の特徴が明らかになり、声質変換方式を提案した。また、感情表現時の声質に近づくような音源生成方式を提案した。そして、これらの技術を用いた合成方式を提案した。これにより、高品質な感情音声合成実現の見通しがついた。またより高い信頼性のデータを得るために、声優発声による感情音声を収録した。関連発表11件。

- ② かるた競技時の脳の情報処理について、fNIRSデータを解析し、かるたを取る瞬間に前頭前野で高度な情報処理をしていることを示唆する結果が得られた。これにより、かるた競技時の選手の脳の情報処理過程の一部が明らかになった。取り札認識の聴取実験は、準備の都合上実施は来年度に延期した。関連発表4件。

(2) 平成22年度の実績の概要

- ① ビートトラッキングの関連研究として、頭の中で曲をイメージ形成したときの反応を脳波計で計測した。その結果、ビートトラッキング時と同様視覚野が活性化されるのはイメージ形成と同時に音楽を傾聴したことが多いことを確認した。関連発表3件。また、音楽リズムにおける引込同調の特徴については、言語リズムとの共通性に着目し、音楽と音声言語の境界領域について検討した。引き続き検討を行う。関連発表1件。

- ② 感情音声の認知・合成 韻律と声質を制御して感情音声を合成する方法を提案し、実際に合成を行った。関連発表7件。

- ③ かるた競技時の脳の情報処理 取り札認知の予備実験と本実験を行い、実測結果を解析し基本データを得た。その他の研究を合わせて合計19件発表した。

(3) 平成23年度の実績の概要

- ① 音楽行為：(a)ビートトラッキングに関連して、音楽聴取時、その音楽を聴かずに頭の中でイメージ形成したとき、聴取+イメージ形成の3場合について脳波計測を行い、聴取+イメージ形成時に視覚野が最も活性化する、未知曲と既知曲では、既知曲の方で脳全体が活性化するなどの知見を得た。関連発表6件。(b)周期的に繰り返す同調に対応する音楽・音声におけるリズム的要素について、音響的な測定を中心として、基礎検討を行った。関連発表2件。

- ② 感情音声の認知・合成：(a)これまで解析した韻律的特徴と声質の特徴の一

つであるスペクトル傾斜を制御することにより、さまざまな度合いの「怒り」と「沈んだ悲しみ」を合成する方式を提案した。関連発表 11 件。(b) 多くの言語障害者、健常者を対象に感情音声受容時の反応を収集した。関連発表 1 件。

- ③ かるた競技時の脳の情報処理：(a) 昨年行った取り札認識聴取実験結果の解析の第 1 段階として、取り札認識力が競技かるた経験年数によって差があるか調べた。その結果有意差は認められなかった。更に、決まり字前後の音韻の種類により認識時間に大きな差があることが明らかになった。関連発表 4 件。(b) 競技時の脳計測に関しては、簡易型光脳機能イメージ形成装置を使用した予備実験を行った。

その他の研究を合わせて合計 32 件発表した。なお、この年度には、平成 24 年 1 月 9 日に研究成果中間報告会を開催した。出席者は 10 名であった。

この時点までの達成度

この時点では、やや遅れていた。その理由は、全体的に fNIRS や脳波計測の実験が遅れ気味であり、実験計画や方式開発（音声合成など）に解決すべき課題が多く、当初予想していた以上に時間が必要であったためである。

今後の研究の推進方策

全体的に、最終年度は fNIRS や脳波計測など生体実験を中心に結果をまとめていく。

1. ビートトラッキング（音楽に合わせて手を叩く）時、音楽の演奏・聴取時の脳の情報処理過程の推定・モデル化

当初計画通り、視覚刺激を用いて動きあるいは動きをイメージしたときの反応を、fNIRS 計測を中心に行っていく。但し周期的に繰り返す同調に対応する音楽・音声におけるリズム的要素についての検討は、担当研究者が持つ制約条件から、計画を変更してポリグラフを使わずにフットと呼ばれるリズム単位の音響的測定を中心に行っていく。

2. 感情音声の認知過程の推定、感情生成モデルと高品質感情音声合成方式の提案

既に任意度合いの感情音声合成の第 1 版は完成しているので、予定どおり合成音の聴取実験と生体計測実験を併用して行っていく。更に、言語聴覚士研究者の参入に伴い、言語障害者感情音声聴取時の反応について心理実験中心の検討を追加する。

3. かるた競技時の脳の情報処理過程のモデル化

近年安価な fNIRS 装置も出回っていることから、脳波実験は取りやめ、fNIRS 計測を中

心に実験を行っていく。また、取り札認識聴取実験結果の解析もまだ一部しか行っていないので、引き続き解析を行い脳の情報処理過程をモデル化するための知見を得る。

(4) 平成 24 年度の実績の概要

最終年度である平成 24 年度の当初の計画は、上記テーマごとの結果を整理し、まとめて、国内外の学術集会やシンポジウムで発表することであった。個別のテーマごとに進捗状況には差があり、テーマの一部はより適切なテーマへと方向転換を行ったが、以下に示すとおり、全体としては多大な成果があったと考えている。

① 音楽行為

- (a) ビートトラッキングに関連して、クラシック曲と嗜好曲聴取時、その音楽を聴かずに頭の中でイメージ形成したとき、の 2 場合について脳波計測を行い、嗜好曲聴取時の方で α 波パワーが大きくなる傾向が見られたなどの知見を得た。また、視覚刺激を用いて動きあるいは動きをイメージしたときの反応については、fNIRS 計測を中心に検討を行っていく予定であったが、事前検討の結果、まずは心理実験を行いそこで知見が得られたら fNIRS 計測を行うということに計画変更を行い、心理実験を行い結果のデータを解析した。これより、等速運動より加減速運動する視覚刺激の方が音楽と調和しているという結果が示され、音楽において緊張と弛緩のあるリズムカルな動きが音楽情動に重要であることを示唆する結果が得られた。この結果はビートトラッキング時に視覚野が活性化するという事実と関連あるものと考えられる。

- (b) 音楽・音声において周期的に繰り返す同調現象に着目した。この同調の要因として韻律の概念である「フット」の考え方を導入し、その結果、フットの観測可能性について、一定の方向性が示された。この研究は今後さらに発展させていく予定である。

- (c) 音楽ドリルについては、関連研究として種々の音楽行為時の脳の反応についてまとめた。実験者の個人的事情により、論文化が遅れたが、近い将来投稿予定である。

関連発表 15 件。

② 感情音声の認知・合成

- (a) これまで解析した韻律的特徴と声質の特徴の一つであるスペクトル傾斜を制御することにより、さまざまな度合いの「怒り」と「沈んだ悲しみ」を

合成する方式を提案し、実際に合成できることを実証した。更に、「怒り」については聴取実験を行い、どのように特徴パラメータを選べばより「怒り」らしく聞こえるかを明らかにした。

(b) 多くのコミュニケーション障害者、特に認知症者と健常者を対象に感情音声受容時の反応を収集し、解析を行った。その結果、健常者に比較して認知症者は怒りの音声判断が良好で、喜びと悲しみの判断が不良であることがわかった。表情を伴わない音声のみのコミュニケーション時には認知症者は十分感情を理解できていない可能性が示唆された。

(c) 感情音声発声時の脳の反応を fNIRS 装置により測定し、解析を行った。その結果、「怒り」と「悲しみ」音声聴取時に特定の部位で強い反応が確認された。より詳細な解析は引き続き行っていく。

関連発表 18 件

③ かるた競技時の脳の情報処理

競技時の脳計測に関しては、初心者間とベテラン間の競技かるたにおける脳の活性化度の違いについて fNIRS を用いた計測実験を行った。解析の結果、初心者の方が活性化度合いが大きく、ベテランでは低く冷静に試合を展開しているとみられた。更に解析を進めて違いを明らかにしていきたいと考えている。

関連発表 1 件

その他の研究を合わせて合計 47 件発表した (予定を含む)。その中に、学術論文 6 篇 (掲載予定を含む)、国際会議論文を 6 件も含まれている。なお、この年度には、平成 25 年 3 月 16 日に研究成果報告会を開催する。

以上、4 年間を通じての発表件数総数 (投稿中の論文 4 篇を含む) は、関連論文を含めて 139 件である。

優れた成果があがった点

以上の研究成果をまとめると、以下の通りである。

1. 音楽の拍に合わせて等速運動と加減速運動する視覚刺激を提示する実験により、音楽に合わせて体を動かすことが楽しいという事実の一端を実証できたこと。なお、本研究は 2006 年に日本感性工学会賞論文賞を受賞した研究の後続研究である。
2. 楽曲を頭に思い浮かべイメージ形成しても実際にその楽曲を聴取すると類似の効果が得られることを見出したこと。なお、本研究は 2012 年 9 月に日本感性工学会優秀発表賞を受賞した。

3. 音楽と言語との関連を示す概念として「フット」という概念を提案し、その検証可能性を明らかにしたこと。

4. 感情の強さまで自由自在に合成できる日本語感情音声合成方式を初めて実現したこと。外国語を含めても数少ないと考えられる。

5. 健常者および認知症者が感情音声を聴取したときの反応を明らかにしたこと。

6. 光脳機能イメージング装置 (fNIRS) を用いて、小倉百人一首競技かるた選手のかかるた競技時の脳の反応を初めて明らかにしたこと。

7. 小倉百人一首の和歌読み上げ時にかかる選手が取り札を認識する時間を精密に計測する研究の一環として、従来よりも精度の高いデータを収集できたこと。このデータを使い、これまでに取り札認識能力は競技かるた経験年数に依存しないこと、認識の手がかりになる音韻の種類により認識時間が異なることなどを明らかにしたこと。

今後の展望

以上により、本プロジェクトの最終目標である (a) 動きを伴う感性情報についての脳の情報処理過程のモデル化、(b) 高品質感情音声合成方式、(c) 学会発表・論文化、のうち (b)、(c) については十分に達成できたと考えている。しかし (a) については、感性の本質を解明すること自体が極めて難しく、研究が進むにつれむしろその難しさが明らかになってきたので、種々の数多くの知見は得られたもののモデル化するまでには至っていない。(a) については、引き続き研究を続行していき、体系化を試みていきたい。

(b) についても一応の合成ができるようになったが、このプロジェクト期間中には「熱い怒り」と「冷たい悲しみ」が合成できるようになったにすぎない。今後も多様な感情表現が実現できるよう、引き続き研究を続けていく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 79 件)

- ① S. Takeda, Y. Kabuta, T. Inoue, and M. Hatoko, “Proposal of a Japanese-Speech-Synthesis Method with Dimensional Representation of Emotions Based on Prosody as well as Voice-Quality Conversion,” International Journal of Affective Engineering, Vol12, No2 査読有 (2013 掲載予定).

- ② Y. Kabuta, H. Matsui, T. Taniguchi, M. Hatoko, T. Fukumoto, and S. Takeda, "Comparison of Spectral-Tilt Features of Emotional Speech Depending on the Degree of Emotions -Research on Emotional-Speech Synthesis Based on Voice-Quality Conversion-", International Journal of Affective Engineering, Vol12, No2 査読有 (2013 掲載予定).
- ③ M. Tsuru and S. Takeda, "Accent-type-dependency of agreement rates of emotions in Japanese word speech," International Journal of Affective Engineering, Vol12, No2 査読有 (2013 掲載予定).
- ④ Y. Hasegawa, N. Saitou, and S. Takeda, "Brain Responses while Imaging Music: Comparison between Known and Unknown Music," International Journal of Affective Engineering, Vol12, No2 査読有 (2013 掲載予定).
- ⑤ 長谷川 優、武田昌一、"好みの音楽ジャンルに着目した静止画と音楽の組み合わせに関する考察," 日本感性工学会論文誌 第 11 巻 3 号, pp. 435-442 査読有 (2012).
DOI:http://dx.doi.org/10.5057/jjske.11.435
- ⑥ 吉田友敬、武田昌一、"音楽リズムと音声リズムの共通性についての基礎検討," 名古屋文理大学紀要 第 12 号, pp. 113-119 査読有 (2012).
- ⑦ S. Takeda, Y. Ueno, N. Nakasako, H. Nakagawa, M. Tsuru, R. Isobe, and S. Kiryu, "Spectral-Tilt Features of Emotional Speech -Research on Emotional-Speech Synthesis Based on Voice-Quality Conversion-, " Proceedings of the International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2010 (KEER2010), Paris, France, pp.1081-1090 査読有 (2010).
- ⑧ S. Takeda, Y. Hasegawa, Y. Hirai, K. Kosugi, T. Tsukui, and S. Yamamoto, "A Study of Information Processing in the Brains of Players During Playing the *Hyakunin-Isshu Karuta* Game, " Proceedings of the International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2010 (KEER2010), Paris, France, pp.1705-1715 査読有 (2010).

[学会発表] (計 5 8 件)

- ① 長谷川 優、齋藤 望、武田昌一、"聴取経

験・未経験の楽曲のイメージ形成時における脳の反応の比較," 第 13 回日本感性工学会大会予稿集 (CD-ROM), C26, pp.1-3, 工学院大学 (2011 年 9 月 4 日). (優秀発表賞受賞)

- ② 磯部理沙子、桐生昭吾、武田昌一、鶴真紀子、"声帯情報に基づく「怒り」感情音声合成方法の提案と評価," 日本音響学会 2010 年春季研究発表会講演論文集 (CD-ROM) 3-7-17, pp.393-394, 電通大 (2010 年 3 月 10 日).
- ③ 津久井 勤、小林好真、小林達郎、長谷和彦、武田昌一、山本誠一、灰田宗孝、井上正雄、竹内義高、"「競技かるた」における選手の脳の反応過程について," 第 12 回光脳機能イメージ形成研究会資料 (2009 年 12 月 5 日).

[図書] (計 2 件)

- ① 武田昌一 (編)、平成 21~24 年度 (2009~2012 年度) 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (一般) 研究成果報告書「音声、音楽刺激に誘発される感性の能動的特性に関する生理学と音響学の融合研究」課題番号 21500209 (研究代表者: 武田昌一), p. 111 (2013).

[その他] (計 2 7 件)

報道関連情報

- ① かるた競技時の脳の情報処理研究に関する記事、奈良新聞 4 面、共同通信社配信 (2011 年 1 月 10 日).
- ② かるた競技時の脳の情報処理研究に関する記事、京都新聞 9 面、共同通信社配信 (2010 年 12 月 20 日).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 昌一 (TAKEDA SHOICHI)
近畿大学・生物理工学部・教授
研究者番号: 10245293

(2) 研究分担者

桐生 昭吾 (KIRYU SHOGO)
東京都市大学・工学部・教授
研究者番号: 00356908

(3) 連携研究者

山本 誠一 (YAMAMOTO SEIICHI)
同志社大学・理工学部・教授
研究者番号: 20374100

吉田 友敬 (YOSHIDA TOMOYOSHI)
名古屋文理大学・情報メディア学部・教授
研究者番号: 60367852