

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：33803

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26590182

研究課題名(和文) 制限付RBF法と脳磁場計測法を用いてbimusicalの習得過程の神経基盤を探る

研究課題名(英文) How do our brains handle two different musical schemas?: a computational modeling and neuroimaging approaches

研究代表者

松永 理恵 (Matsunaga, Rie)

静岡理工科大学・総合情報学部・講師

研究者番号：70399781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果は、次の3点にまとめられる。第1の成果は、人間の調性スキーマの学習過程を模倣することができる計算モデルを構築したことである。第2の成果は、音楽聴取の初期経験が調性処理の脳活動に与える影響を脳機能計測実験によって観察したことである。第3の成果は、音楽のグローバル化が進んでいる現代においても、依然として文化間で調性スキーマが大きく異なることを実験的に確認したことである。

研究成果の概要(英文)：The present study with using three different methodologies, has provided the following three findings: (1) a study of computational molding shows that our connectionist model is successful in precisely simulating a learning process of musical tonal schema shown by a child; (2) a neuroimaging study observes influences of an early experiences of music exposure on brain activities involving tonal schema processing; (3) a cross-cultural study reveals that despite advances in musical globalization, listeners' tonal schemas still vary considerably across cultures.

研究分野：実験心理学

キーワード：音楽認知 計算論的モデリング 脳機能計測 調性知覚 ニューラルネットワーク 文化差 学習過程

### 1. 研究開始当初の背景

現在までに、数多くの研究が音楽の調性知覚処理の過程モデルを提案しているが(レビューとして Matsunaga & Abe, in press), それらはいずれも西洋音楽の聞き手の調性処理を平均的に説明しようとしたものにすぎない。世界を見渡すと、例えばアジアやアラブの人々のように、西洋音楽とは異なる音楽を享受している人々があり、彼らもまた調性処理を行っている。そして、彼らの調性処理は当然西欧人のそれとは異なることであろう。このような文化差をも射程に入れたモデル、すなわち、人間の調性知覚の情報処理過程モデルは未だ提案されていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、モデル内部の回路網構造を可視化できる神経回路網モデル(e.g., restricted Radial Basis Function Network (制限付 RBF); Hartono et al., 2013)を用いてシミュレーション実験を行い、形成された回路網構造と、実施する脳機能計測実験において観察された聞き手の脳活動との比較を行う。このような研究サイクルにより、聞き手の脳が調性スキーマを習得する過程を推定する。具体的には、以下2点を達成する。

(1) 脳磁計測(MEG)実験において、調性スキーマの習熟レベルや習得開始時期の違いが聞き手の脳活動にどのような違いをもたらすのかを明らかにする。

(2) 神経回路網モデルを用い、入力する音楽データの学習量や学習タイミングを操作してシミュレーション実験を行う。そして、形成されたモデルと、MEG実験において観察した脳活動との比較を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、行動実験と脳磁場計測法(MEG)を用いて、曝される音楽の量、音楽に曝され始める時期の違いによって聞き手の脳活動がどのように異なるのかを調べる。そして、神経回路網モデルを用いて、入力される音楽データの量、入力し始めるタイミングを操作したシミュレーション実験を行う。その後、そのモデル内部に形成された回路網構造とMEG実験において観察された脳活動との比較、および、学習に伴うモデル内部の回路網構造の時間的変化を追跡する。このような研究サイクルにより、人間の脳中で音楽スキーマが習得される脳内情報処理メカニズムを推定していく。

### 4. 研究成果

本研究の主要な成果は、以下3点にまとめられる。

(1) 第1の成果は、現在までに蓄積された行動実験及び脳機能計測実験の知見を基に、人間の調性スキーマの学習過程を模した計算モデル(多層型パーセプトロン: 図1)

を構築したことである。具体的には、調性スキーマ学習の計算原理は文化間で共通であるという仮説のもと、学習能力を有し、かつ、学習前には(特定の文化を前提としない)普遍的な特徴のみを備える神経回路網モデルを構築した。そして、そのモデルに西洋音楽の一般的な楽曲を多数入力して調性知覚学習を行わせると、モデルは西洋音楽の子どもが示す調性スキーマの学習過程を正確にシミュレートできることを確認した。このことから、聞き手の調性スキーマの学習過程に関して、(a)音楽に曝されるだけで、調性スキーマ学習に関する神経回路は少しずつ連続的に変化する; (b)調性スキーマの学習は、あらかじめ決められた年齢的スケジュールに則しているというよりも、曝される音楽の経験量に依存している部分が多い、という示唆が得られたといえる。以上の成果を、Frontiers in Psychology (2015)にて発表した。

なお、当初予定していた制限付RBFモデルを用いたシミュレーションも行ったが、制限付RBFよりも多層型パーセプトロンモデルの方が、西洋音楽環境に育つ子どもの調性スキーマの学習過程をより良くシミュレートできたため、本研究では多層型パーセプトロンを使用した。

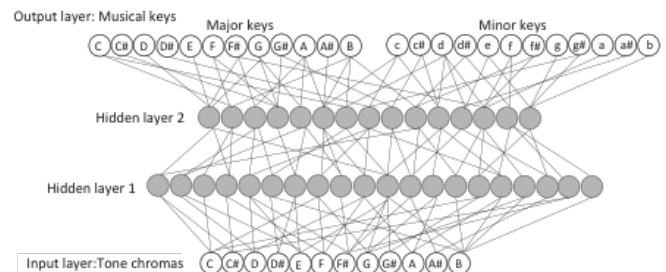


Fig. 1. The architecture of connectionist mode we prepared. The input layer represents 12 tone chromas. The output layer represents 24 keys (12 major keys and 12 minor keys). The number of units in each hidden layer is determined arbitrarily (45 units in hidden layer 1, 30 units in the hidden layer 2).

(2) 第2の成果は、初期経験が調性スキーマ学習に与える影響を、MEG実験を行い、詳細に観察したことである。本実験では、第1音楽(西洋音楽)に曝され始めた時期は同じだが、第2音楽(日本伝統音楽)に曝され始めた年齢が異なる日本人の聞き手を2群[誕生直度から日本伝統音楽に曝される環境で育った16名の群(早期群), 5-6歳頃まで海外で育ち、その後日本に戻って日本伝統音楽に曝された16名の群(後期群)]準備し、彼らが西洋音楽と日本伝統音楽それぞれを聴いている時の脳活動を測定した。現在までに終了した分析結果をまとめると、調性知覚処理に特異的な脳活動(ERAN)については、時間的特徴と空間的特徴のどちらにおいて

も、早期群と後期群に有意差はなかった。ERANの強度特徴においては、後期群の聞き手が日本伝統音楽に曝され始めた年齢と彼らの日本伝統音楽聴取時のERANの強度は正の相関関係にあることが示された。

(3) 第3の成果は、音楽のグローバル化が進んでいる現代においても、依然として文化間で調性スキーマが大きく異なることを実験的に確認したことにある。日本人、中国人、インドネシア人、ベトナム人、米国人の大人の聞き手に、西洋音楽と日本伝統音楽それぞれを聞かせ、得られた調性知覚反応を文化間で比較した。西洋音楽に対する調性知覚反応は、日本人と米国人の間で似通っていたが、それら以外の地域の聞き手の反応は互いに似通っていなかった。日本伝統音楽に対する調性知覚反応は、いずれの文化の聞き手も似通っていなかった。これらの実験結果から、西洋音楽と日本伝統音楽それぞれに対して感じる調性感は、日本人、中国人、インドネシア人、ベトナム人、米国人の間で異なっていることが分かった。

#### 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10件)

1. Matsunaga, R., Hartono, P., and Abe, J. (2015). The acquisition process of musical tonal schema: Implications from connectionist modeling. *Frontiers in Psychology (Cognitive Science)*, 6:1348. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01348 査読有
2. 竹下悠哉・角屋智香・木村勁介・松永理恵・栗城眞也・横澤宏一 (2015). 聴覚性定常脳磁界応答の音楽的期待による変調, *生体医工学誌*, 53 卷 (2), pp. 84-89. 査読有
3. Matsunaga, R., Yasuda, T., Johnson-Motoyama, M., Hartono, P., Yokosawa, K., & Abe, J. (2016). A cross-culture comparison of tonality perception in Japanese, Chinese, Vietnamese, Indonesian, and American listeners. Manuscript submitted for publication. 査読中
4. 竹下悠哉・田村菜月・横澤宏一 (2015). リズム変化音列に対する脳磁界応答, *電子情報通信学会技術研究報告: MBE, ME とバイオサイバネティクス*, 114, 229-232. 査読無
5. Hartono, P., Hollensen, P., & Trappenberg, T. T. (2015). Learning-Regulated Context Relevant Topographical Map, *IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems*, Vol. 26, No. 10, pp. 2323-2335. 査読有
6. Han, R., Takahashi, T. Miyazaki, A. Kadoya, T., Kato, S. & Yokosawa, K. (2015). Activity in the left auditory cortex is associated with individual impulsivity in time discounting. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.*, pp. 6646-6649. 査読有
7. Takeshita, Y., & Yokosawa, K. (2015). Acoustic pressure reduction at rhythm deviants causes magnetoencephalographic response. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.*, pp. 6650-6653. 査読有
8. 松永理恵・横澤宏一・阿部純一 (2014). 音楽の bimusicals と言語の bilinguals に共通する脳の可塑的变化. *日本生体磁気学会誌特別号*, 27, pp. 78-79. 査読有
9. Matsunaga, R., Yokosawa, K., & Abe, J. (2014). Functional modulations in brain activity for the first and second music: A comparison of high- and low-proficiency bimusicals. *Neuropsychologia*, 54, 1-10. 査読有
10. Matsunaga, R., Takeshita, Y., Sugino, Y., Yokosawa, K., & Abe, J. (2014). Bimusical brains revealed by magnetoencephalography studies. *Proceedings of Biomag 2014* (pp. 54).

[学会発表] (計16件)

1. 松永理恵・安田利典・Michelle Johnson-Motoyama・杉野佑太・竹下悠哉・Pitoyo Hartono・横澤宏一・阿部純一 (2016). 調性スキーマの文化差: 日本人, 中国人, ベトナム人, インドネシア人, 北米人. 日本音楽知覚認知学会平成28年度春季研究発表会. 九州大学.
2. 松永理恵・ハルトノピトヨ・阿部純一 (2015). 私たちの脳は調性スキーマをどのように学習するか: コネクショニストモデル研究からの示唆. 日本音楽知覚認知学会平成27年度春季研究発表会, 札幌.
3. 松永理恵・安田利典・阿部純一 (2015). 音楽は国境を越えるか? 調性知覚反応と感情反応の文化比較. 日本心理学会第79回大会, 名古屋.
4. 松永理恵 (2015). 私たちの脳はいかにして音楽理解能力を獲得するのか: Bimusical 研究からの示唆. *Neuromusic Conference 3rd* (音楽神経学 浜松会議), 静岡.
5. 松永理恵 (2015). 音楽文化環境に適応する脳: Bimusical 研究からの示唆. *Joint conference JSBET+MiCoNS 2015*. 宮古島. (招待シンポジウム)

6. Trappenberg, T., Hollensen, P., & Hartono, P. (2015). Classifier with Hierarchical Topographical Maps as Internal Representation, International Conference on Learning Representations (ICLR 2015, workshop track)
7. Hartono, P. (2015). Dimension Reduction for Visualizing High Dimensional Data, The Fourth Indonesian-Japanese Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing 2015, Surabaya (Indonesia)
8. 竹下悠哉・木村勁介・ポーセンジェレド・横澤宏一 (2015). 音楽聴取中のリズム変化に対する脳磁界応答 -SPM による検討-. 日本音楽知覚認知学会 2015 年度春季研究発表会, 札幌.
9. 松永理恵 (2014). 音楽スキーマ獲得に伴う行動と脳の変容: Bimusical な聞き手の場合. 企画シンポジウム「SS-057 習熟に伴う行動と脳の変容: 言語, 音楽, 運動から探る」. 日本心理学会第 78 回大会. 京都.
10. 松永理恵 (2014). 音楽をおぼえる心と脳の仕組み: 認知心理学的アプローチ (ポスター発表). 静岡大学女性研究者研究活動支援事業 (拠点型). 静岡.
11. Hartono, P., Hollensen, P. & Trappenberg, T. (2014). Visualizing Hierarchical Representation in a Multilayered Restricted RBF Network, International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 21014), LCNS 8681, Hamburg (Germany).
12. Hartono, P., & Ogawa, K. (2014). Visualizing Learning Management System Data using Context-Relevant Self-Organizing Map, International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, San Diego (USA).
13. Yokosawa, K., Han, R., Kadoya, T., Miyazaki, A., & Takahashi T. (2014). Auditory sustained fields representing individual time perception. The 19th International Conference on Biomagnetism, Halifax (Canada).
14. 宮崎茜・韓若康・角屋智香・高橋泰城・久住一郎・横澤宏一 (2014). 時間知覚と聴覚 sustained field の相関, 第 29 回日本生体磁気学会大会, 大阪.
15. 木村勁介・角屋智香・竹下悠哉・栗城眞也・横澤宏一 (2014). 聴覚性定常脳磁界応答の音楽的期待による変調 -聴取音及び前音の影響の評価, 生体医工学シンポジウム 2014, 東京.
16. 竹下悠哉・横澤宏一 (2014). 音楽聴取中のリズム変化に対する脳活動の評価,

[その他]

ホームページ等

<http://133.88.240.21/~matsunaga/~matsunagarie/index.php?Research>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

松永 理恵 (MATSUNAGA, Rie)

静岡理工科大学・総合情報学部・専任講師  
研究者番号: 70399781

##### (2) 研究分担者

阿部 純一 (ABE, Jun-ichi)

北海道大学・名誉教授

研究者番号: 40091409

横澤 宏一 (YOKOSAWA, Koichi)

北海道大学大学院・保健科学研究院・教授

研究者番号: 20416978

ハルトノ ピトヨ (HARTONO, Pitoyo)

中京大学・工学部・教授

研究者番号: 90339747