

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14253

研究課題名（和文）乳児期の聴覚-運動統合におけるアロスタシス制御の役割

研究課題名（英文）The role of allostasis in auditory-motor integration in infancy

研究代表者

新屋 裕太（Shinya, Yuta）

東京大学・大学院教育学研究科（教育学部）・特任助教

研究者番号：20803828

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：乳児期の聴覚-運動感覚の統合過程において予測的なホメオスタシスの維持が行われる可能性について検証することを目的とし、乳児期早期の児を対象に、四肢運動および自発発声を聴覚フィードバックし、その際の行動・生理活動の変化のプロセスや両者の相互作用を検討した。その結果、申請者らは、生後3ヶ月児は四肢運動の可聴化経験を通じて、運動頻度を増加させることに加え、聴覚フィードバックのタイミングを予期して心拍数の増加を抑制していることを明らかにした。この結果は、乳児期の聴覚-運動学習の際に心血管系の予測的な制御が行われていることや心血管系の予測的な制御が、目標志向的行動や音楽行動の基盤となることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、新規の聴覚-運動関係の統合学習の過程における心血管系の予測的制御を詳細に検討したものであり、後の音声言語や音楽性の発達に重要な聴覚-運動統合の神経生理学的機序の解明に示唆を与えると考えられる。また、聴覚フィードバックを用いた運動機能のリハビリテーションは、すでにパーキンソン病患者や高齢者などを対象に行われているが、運動や自己制御発達に困難さを抱えるリスク児（早産児など）に対し、聴覚フィードバックを用いた発達支援の提案に貢献する可能性がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to examine the possibility of regulating predictive homeostasis in the process of auditory-motor sensory integration in infancy. The process of change in behavior and physiological activity and the interaction between the two were examined. As a result, the applicant found that 3-month-old infants increase the frequency of locomotion through the auditory experience of limb movements, and also suppress the increase in heart rate by anticipating the timing of auditory feedback. These results suggest that the cardiovascular system may be under anticipatory control during auditory-motor learning in infancy and that anticipatory control of the cardiovascular system may underlies more sophisticated goal-directed and musical behaviors.

研究分野：発達認知神経科学

キーワード：乳児 聴覚運動統合 自律神経系 アロスタシス 運動 発声 心拍 音楽性

1. 研究開始当初の背景

私たちはいつから音を奏でることを楽しむのだろうか。私たちの音声生成には聴覚-運動系の相互作用が不可欠である。発達初期の時点で、両者の統合に基づく学習をすでに開始していることが示されているが (Fujii, Watanabe, Oohashi, Hirashima, Nozaki, & Taga, 2014), “自ら音を鳴らすこと”に関する知見は限定的であり、また、その際の神経生理学的なプロセスについてはほとんど検討されていない。例えば、モービル等を用いた、身体の動きに随伴的な視聴覚フィードバックによって、3ヶ月児も自発的な四肢運動を選択的に増加させることが示されているが (e.g., Watanabe, Homae, & Taga, 2011), その際、身体内部でどのような生理的反応が生じるのかは分かっていない。

本研究は、乳児を対象に自発発声および四肢運動を聴覚フィードバックし、新たな聴覚-運動感覚の統合が生じる過程での運動・抹消生理活動の変化を測定し、その際にアロスタシス制御(行動・生理的制御による動的なホメオスタシスの維持)がどのように生じるのかを明らかにする。また、このようなアロスタシスの個人差と目標志向的な運動の生起や、自己制御発達との関連を検討することで、その発達の役割を検討する。このような検討を通して、私たちの音声制御や音楽的行動の発達理解の深化や、運動や言語発達に困難さをもつ児への発達支援の提案に繋がることを期待される。

2. 研究の目的

本研究では「乳児が新たな聴覚-運動感覚の随伴関係を学習する過程で、アロスタシスがどのように生じ、どのような発達の役割を果たしているのか」を明らかにするために、生後3ヶ月児を対象に、実験室において覚醒時の自発的な四肢運動を聴覚フィードバックし、その際の四肢運動および抹消生理状態(心拍数)の変化を測定する(図1)。新たな聴覚-運動感覚の随伴関係に気づき、その関係性の学習が生じる際の心血管系について調べる。四肢運動の聴覚フィードバックが生じる条件では、下記の行動・生理的变化のプロセスを辿ることが想定される。

(1) 自発的な四肢運動に伴う聴覚フィードバックへの持続的注意(聴覚定位)が働き、フィードバック直後の心拍低下が生じる。その後、随伴関係の学習に伴い聴覚刺激への予測が働くことで、徐々にフィードバック後の心拍低下が抑制される。

(2) 新規の聴覚-運動感覚の随伴関係の学習によって、四肢運動の目標志向性が高まり、運動リズムのエントロピーが減少する。聴覚フィードバックに至る運動が効率化されることで、フィードバック前の心拍増加は抑制される。

3. 研究の方法

本研究では、東京都文京区役所を通してリクルートされた乳児期初期の健常満期産児(3-4ヶ月児)約40名を対象に、東京大学大学院教育学研究科 発達脳科学研究室(多賀厳太郎教授)において下記の調査を実施した。

[調査の手続き] 乳児はマットレス上に仰向けに寝かされ、胸部に心電図電極、四肢にエアドラムデバイス(Freedrum)を装着された(図1)。各デバイスから得られた四肢運動の加速度が閾値を超えた際に、ドラム音がフィードバック(FB)されるよう設定された。計測については、以下のフェーズ順で、音が鳴る運動のタイミングおよび心電図が記録された: Pre期(2分) Test期(8分, FB有) Post期(2分)。なお、社会的影響を最小にするため、計測中、児の養育者は乳児の視野外に待機する。

[分析方法] ドラム音が鳴る運動タイミングから、運動の頻度、運動間隔の変動係数が算出された。心電図から心拍数の時系列データが抽出され、心拍変動の低周波(LF, 0.04-0.24Hz)・高周波(HF, 0.25-1.50Hz)成分が算出された。また、音が鳴る運動に関連する心拍反応として、オンセット(=四肢の加速度が閾値を超えたタイミング)の前後10秒間の心拍数の時系列データを加算平均し、事象関連心拍反応を算出した。

(a) 調査の様子(イメージ図)



(b) 成人用エアドラム (Sweden, Freedrum)



(c) 心電図用電極 (日本光電, WEB-1000)



図1. 実験室環境と聴覚フィードバックおよび心電図計測に用いるセンサ

4. 研究成果

(1) 聴覚フィードバックが四肢運動および心拍指標に与える効果

運動・心拍の各指標について1要因（フェーズ）の分散分析を行った(図2)。運動指標については、Test 期に音が鳴る運動頻度の増加がみられた。この結果はモビールなどを用いた先行研究と一貫する結果であり、四肢の動きと運動の随伴関係の学習に伴い、随意的な運動が増加した可能性を示している。その一方で、その運動間隔の変動係数が低下したことから、より分散の少ない一定のリズムの運動生成が増加したと考えられる。

また、運動頻度の増加の一方で、Test 期に心拍数や交感神経指標である LF/HF には増加が見られなかったことから、音を鳴らすためのより効率的な運動生成や、聴覚統合学習に基づく心血管系の抑制機構が存在することが示唆される。

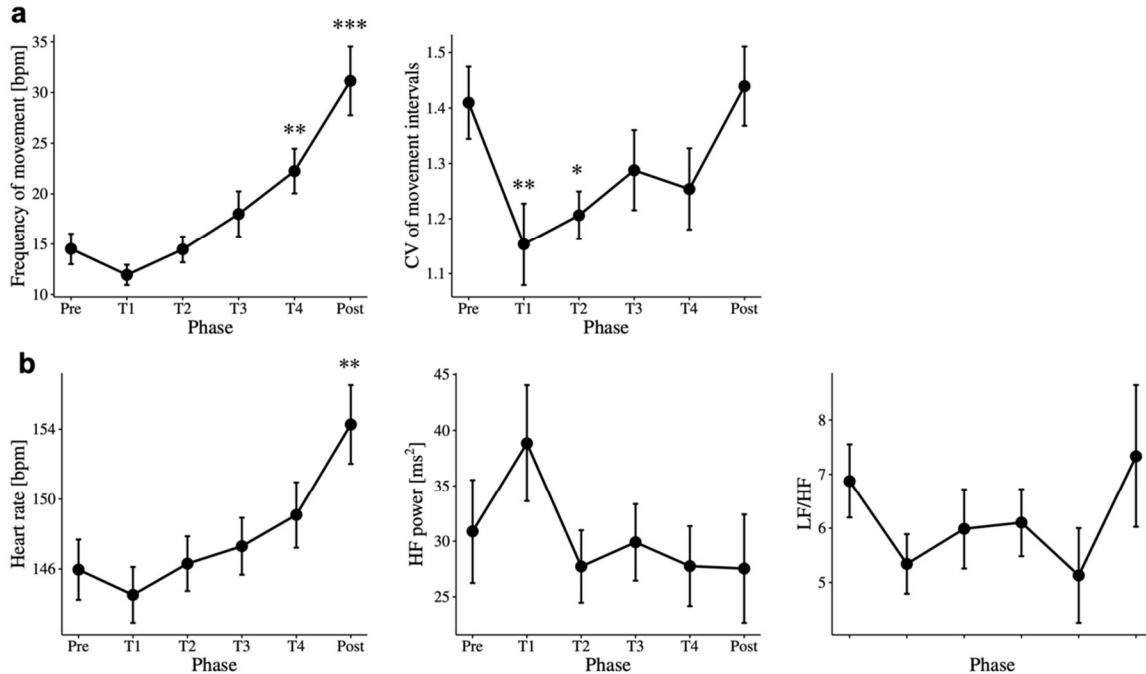


図2. 四肢運動の聴覚フィードバックによる (a) 運動および (b) 心拍指標の時系列変化

(2) 聴覚フィードバックに伴う事象関連心拍反応の時系列変化

聴覚フィードバックが心血管系の制御に与える効果をより詳細に検討するために、事象関連心拍反応（ERHR; Event related heart rate response）とサロゲートデータの比較をおこなった（図3）。聴覚フィードバックのオンセット前後10秒間の各0.1秒の心拍数について、イベントの固定効果（オリジナル vs サロゲート）と参加者のランダム効果を含む線形混合モデルによる分析をおこなったところ、Pre 期ではオンセットの1.7秒から5.1秒の間、オリジナルのERHRがサロゲートよりも有意に大きかった。一方、Test 期においては、有意差のある期間はPre 期に比べて短かった（T1: -0.7~1.6秒; T2: -0.7~1.6秒; T3: -0.2~2.8秒; T4: -0.5~2.6秒）。Post 期における心拍数の有意な上昇の開始点はよりオンセットに近づいており、その終点はPre フェーズと同様であった（-0.6~5.3秒）。これらの結果は、四肢運動に対する聴覚フィードバックを経験することで、オンセット前では心拍増加の抑制が、オンセット後には心拍減少の抑制が進むことを示している。

さらに、ERHRのピーク（オンセット後2秒間）心拍数がフェーズの推移によりどのように変化するかについて、フェーズの固定効果と参加者のランダム効果を含む線形混合モデルによる分析をおこなったところ、Test 期のERHRのピーク心拍数は、Pre 期よりも有意に低いことが示された。

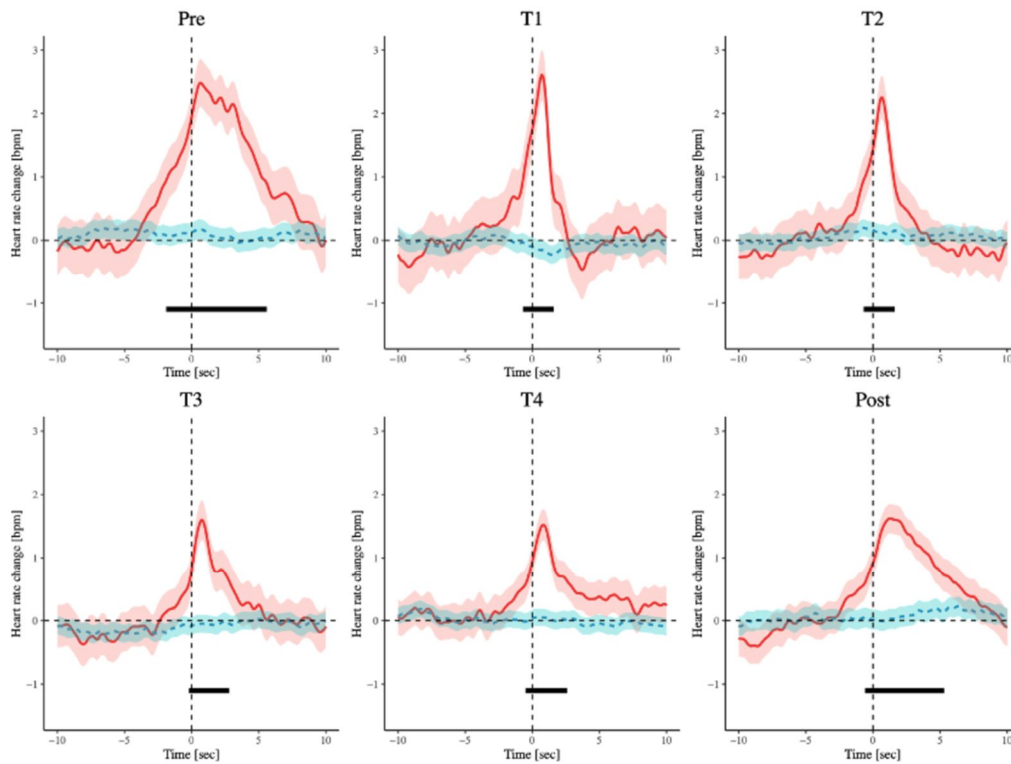


図3. 聴覚フィードバックに伴う事象関連心拍反応の時系列変化. (黒いバーはサロゲートデータとの間に有意差がある箇所を示す)

以上の結果は、聴覚-運動相互作用の出現には、心血管のホメオスタシスに関わる予期的な調節（アロスタシス制御）が存在することを示唆している。特に、四肢運動に伴う聴覚フィードバックのオンセット前の心拍反応が抑制された背景には、聴覚統合学習より、目標志向的な行動の増加や、聴覚フィードバックに対する予期的な定位反応（持続的注意）が生じていた可能性がある。このような予期的な心血管系の制御に関する知見は、より洗練された目標志向的行動および音楽的行動の発達を理解する上できわめて重要だと考えられる。本研究は、生後3-4ヶ月児のみを対象とした、健常児のみを対象にした一時点での検討であったが、今後は臨床群（早産児・低出生体重児など）を含むより多様なプロフィールの児を対象とした縦断的な検討をおこなうことで、運動発達遅滞などのリスク児への介入に繋がる可能性も期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shinya Yuta	4. 巻 65
2. 論文標題 How well does the General Movement Assessment predict general developmental delay in infants born very preterm/low birthweight?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Developmental Medicine & Child Neurology	6. 最初と最後の頁 301 ~ 302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/dmnc.15409	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shinya Yuta, Oku Kensuke, Watanabe Hama, Taga Gentaro, Fujii Shinya	4. 巻 -
2. 論文標題 Anticipatory regulation of cardiovascular system on the emergence of auditory-motor interaction in young infants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00221-022-06379-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shinya Yuta, Kawai Masahiko, Niwa Fusako, Kanakogi Yasuhiro, Imafuku Masahiro, Myowa Masako	4. 巻 12
2. 論文標題 Cognitive flexibility in 12-month-old preterm and term infants is associated with neurobehavioural development in 18-month-olds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-04194-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shinya Yuta, Oku Kensuke, Watanabe Hama, Taga Gentaro, Fujii Shinya	4. 巻 -
2. 論文標題 Anticipatory regulation of cardiovascular system on emergence of auditory-motor interaction in young infants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2021.10.11.464010	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 新屋裕太	4. 巻 20
2. 論文標題 「泣き」の発達の意義を再考する：発達初期の泣き声の音響特性と言語・社会性発達の関連から	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ベビーサイエンス	6. 最初と最後の頁 22-45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 新屋裕太
2. 発表標題 乳児の『泣き』にみる言語・社会性発達の起源（学会企画シンポジウム「発達カスケードの示唆：変化と経験の関係の非自明性」）
3. 学会等名 日本発達心理学会第34回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新屋裕太
2. 発表標題 赤ちゃんはなぜなくの？—ことばと社会性の発達から『泣き』の役割を考える—
3. 学会等名 同志社大学赤ちゃん学センター第13回赤ちゃん学コロキウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新屋裕太、儀間裕貴、渡辺はま、多賀厳太郎
2. 発表標題 乳児期早期における睡眠中の体動に伴う心拍変動
3. 学会等名 日本赤ちゃん学会 第22回学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新屋裕太
2. 発表標題 乳児の「泣き」における自律神経機能の役割 (シンポジウム : 胎児期・新生児期・乳児期の生体情報から紐解くヒトの初期発達)
3. 学会等名 日本生理心理学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新屋裕太
2. 発表標題 音楽性の発達の起源とホメオスタシス (シンポジウム : 音楽の起源と未来: 発達・進化の観点)
3. 学会等名 日本赤ちゃん学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Shinya, Kensuke Oku, Hama Watanabe, Gentaro Taga, Shinya Fujii
2. 発表標題 Heartbeat of infant drummer: Allostatic regulation of cardiovascular system in auditory-motor integration at three-month-old
3. 学会等名 International Congress of Infant Studies (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 古見 文一、西尾 祐美子	4. 発行年 2022年
2. 出版社 ナカニシヤ出版	5. 総ページ数 200
3. 書名 はじめての発達心理学	

1. 著者名 かしわらあきお	4. 発行年 2021年
2. 出版社 主婦の友社	5. 総ページ数 24
3. 書名 ひろげてびっくり！ いないないばあ！えほん	

1. 著者名 東京大学大学院教育学研究科附属発達保育実践政策学センター、秋田 喜代美	4. 発行年 2021年
2. 出版社 中央法規出版	5. 総ページ数 946
3. 書名 発達保育実践政策学研究のフロントランナー（分担執筆）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>身体運動可聴化技術を用いた乳児の音遊び行動とその生理的機構の解明 https://www.cedep.p.u-tokyo.ac.jp/research/measure/</p>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------