

世代間伝達によるメロディーの文化進化 実験的デモンストレーション

富士直斗^{†1} 佐藤浩輔^{†2} 橋彌和秀^{†3} 中分遥^{†3,4*}

概要：音楽は、世代を越えた社会伝達過程でどのように変化してきたのだろうか。本研究は文化進化論的観点から、メロディーの世代間伝達過程で生じる変化を検討するための予備的な実験室実験をおこなった。5 世代を模した 5 人を 1 チェーンとして配置し、独立にコンピュータ上で再生されるメロディーを 1 人ずつ視聴して、できる限り正確に再現することを求める課題を実施した。画面上に色の違う 7 つのボタンが横一列に表示されるプログラムをインタフェースとして作成し、1 人目は無作為に生成された 14 音からなるメロディーを視聴・再現、2 人目以降は 1 世代前の参加者による再現結果を視聴・再現した。その結果、最終世代の再現結果では、第 1 世代の基準刺激と比較して、順次進行の増加、旋律折り返し頻度の減少等の、認知負荷の低い内容への変化が示唆された。

キーワード：メロディー、文化進化、伝達実験、iterated learning

はじめに

音楽は聴覚コミュニケーションの形態の 1 つであり、古くから伝達を繰り返して発展してきた。その結果、文化普遍的に人々の生活に浸透している[1]。音楽を聞くことで特定の感情が引き起こされる現象は広汎に報告されている (e.g., [2])。音楽の内容に関する分析は数多く行われてきたが、伝達による音楽内容の変化については、過去に十分に検討されてこなかった。しかし、近年では、生物進化とのアナロジーから文化の変容や拡散を扱うパラダイムである文化進化の観点から、音楽も文化形態として取り扱えることが示されている[3-6]。特に、リズムに関しては実験室実験において人から人へと、様々なパタンのリズムを伝達することで、単純なリズムへと収斂する (e.g. 時間の長さが整数比になる) ことが示されている[7, 8]。そこで本研究では、リズムが人から人へと伝達されることで特定のパターンに変化したように、メロディーにおいても伝達する過程で特定のパターンへと変化するかどうかを検討する

では、メロディーには伝達の過程でどのような変化が起こり得るのであろうか。一般的に、音階の各度数 (音階度数 scale-degree) の生起には期待度の差があることが知られている[9]。あるメロディーを知覚し記憶する際に、そのメロディーを完全に記憶するのは困難であり、人々がメロディー構成音の生起頻度の差を事前分布として心の中に持っているのであれば、受信したメロディーを再現する過程でこのような事前分布へ近づくバイアスが生じる可能性がある。言語進化に関する一連の研究では、言語が世代間伝達を繰り返す過程で、人々が持つ認知バイアス (事前分布) に影響を受け伝達の過程でバイアスに沿ったパターンに近づ

いていくことが計算論的モデリングおよび実験室実験によってすでに知られている[10-14]。規則に基づいたパターンを処理し再生するという行為は音楽と言語に共通しており[15]、音楽の文化進化においても言語進化と同様に、ある世代から次の世代へと音楽が伝達される過程で、伝達されやすいパターンへとメロディーが変化していくことが予測される。この仮説を裏づけることを目的とし、コンピュータでランダムに作成されたメロディーが人から人へと伝達される過程でどのように変化するかを検討した。

なお、本研究に先行して、メロディーの実験室上での伝達に関して Lumaca と Baggio により研究されている[16]。Lumaca と Baggio の研究も、本研究と同様に、伝達の過程でメロディーが規則性を持つかどうかをテーマとした研究であった。しかし、彼らの研究目的は、信号ゲームとよばれるパラダイムを用いてメロディーが言語と同様に特定の感情を伝達する記号システムとして進化するかを検討することであった。そのため、「信号」として Bohlen-Pierce 音階 (1.5 オクターブを 13 の度数に分割した音階。西洋音階とは聞こえ方が大きく異なる) 上の 5 音からなるメロディーを、「意味」として合成表情刺激を参加者に受信させ、再現させる課題を用いていた。一方、本研究の目的は何らかの意味を付加された記号システムとしての音列ではなく、一般的に我々が「音楽」として慣れ親しんでいる音階上でのメロディーに起こる文化進化を確かめることである。そのため、本研究では Bohlen-Pierce 音階ではなく、長音階を用いる。実験では、コンピュータ上で長音階上の 7 つの高さの音が再生できるようにし、人から人へとメロディーを伝達させることで特定のパターンに変化するかを検討した。

†1 九州大学大学院人間環境学府
Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University
†2 明治大学 研究・知財戦略機構
Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University

†3 九州大学大学院人間環境学研究院
Graduate School of Human-Environmental Studies, Kyushu University
†4 オックスフォード大学 人類学・博物館民族誌学部 認知・進化人類学研究所
Institute of Cognitive and Evolutionary Anthropology, School of Anthropology & Museum Ethnography, University of Oxford
* yo.nakawake@anthro.ox.ac.uk

方法

参加者：音楽を専攻としていない5人の大学院生が参加した。

実験デザイン：5名の参加者は1人につき1世代に割り当てられ、時系列的に順番に実験に参加した。各世代では、受信した視聴覚ボタンを再現し、その再現したボタンを次の世代の参加者が受信した。

実験刺激：14音から構成され、嬰へ長調に属する7つの音階度数（以下、音階度数はハットつき数字で表記する： $\hat{1} = F\#$, $\hat{2} = G\#$, $\hat{3} = A\#$, $\hat{4} = B$, $\hat{5} = C\#$, $\hat{6} = D\#$, $\hat{7} = E\#$ ）が各2回ずつ含まれるメロディーをコンピュータにより無作為に生成した。これを1世代目に提示する基準刺激とした(図2)。

実験装置：Visual Basic 上で作成したプログラムを用いた。画面上には7つのボタンを横一列に配置した(図1)。各ボタンを押した際に嬰へ長調の各度数が再生された。再生音の長さは300msであった。

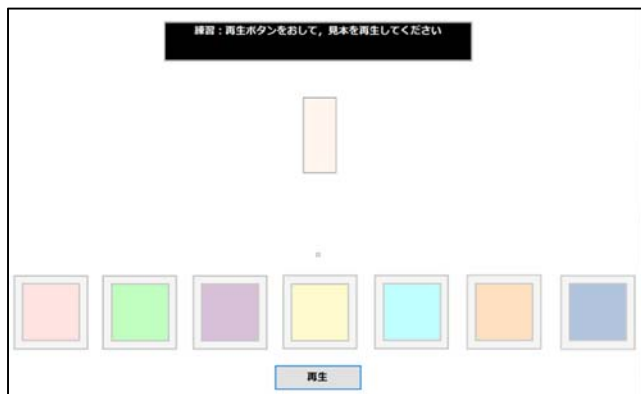


図1. 実験に用いたインタフェース画面

手続き：参加者への教示はコンピュータ上で動画によりおこなった。教示終了後に参加者は練習試行を行い、その後に本番試行を行った。実験では、練習試行・本番試行共に、最初にコンピュータ上で参加者が再生すべきメロディーが見本として提示された。見本では、画面上のボタンが押されるとともに音が鳴り、これがメロディーの長さの分だけ繰り返された。

練習試行では、見本として7音のメロディー($\hat{1}$, $\hat{7}$, $\hat{2}$, $\hat{6}$, $\hat{3}$, $\hat{5}$, $\hat{4}$)が、本番試行では14音のメロディーが提示され、その後参加者は再現を行った。本番試行で提示されたメロディーは、第1世代の参加者では実験者が用意した基準刺激(図2)、それ以降の世代では前の世代が再生したメロディーであった。

結果

各世代が再現をおこなった際の出力メロディーは図2の通りであった。各世代で、参加者によって再生された各音階度数の

頻度(各ボタンが押された回数)をそれぞれ算出し、伝達による変化を確認した(表1)。基準刺激はすべての音が様に分布するように生成したため、いずれの頻度も2回ずつであったが、世代を重ねることでこの分布から逸脱する傾向がみられた。すなわち、最終世代である第5世代では $\hat{3}$ (A $\#$)と $\hat{5}$ (C $\#$)がそれぞれ3回押され、一方で $\hat{1}$ (F $\#$)と $\hat{7}$ (E $\#$)はそれぞれ1回しか押されていなかった。つまり、聞き手が潜在的に有していた音高の事前分布は、基準刺激にみられたような一様分布とは異なる物であった可能性が示唆される。

基準刺激(第0世代)



第1世代



第2世代



第3世代



第4世代



第5世代



図2. 基準刺激および各世代で出力されたメロディー

表1. 世代別の再現結果に表れた各音階度数の頻度

	$\hat{1}$	$\hat{2}$	$\hat{3}$	$\hat{4}$	$\hat{5}$	$\hat{6}$	$\hat{7}$
基準刺激	2	2	2	2	2	2	2
第1世代	1	3	2	3	2	2	1
第2世代	2	3	4	2	1	1	1
第3世代	2	2	5	2	1	1	1
第4世代	0	1	2	4	4	2	1
第5世代	1	2	3	2	3	2	1

次に、世代間のパーセント・メロディック・アイデンティティ(ある旋律の2つのヴァリエーション間の一致度を表す。以下 PMI; [17])を算出したところ、隣接世代間では比較的高い数値が示されたのに対し、それ以外では低い数値が示

された(表2)。この結果、漸進的に変化したことが分かる。

表2. 各世代間のパーセンテージ・メロディック・アイデンティティ (PMI)

	基準刺激	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代	第5世代
基準刺激	100	7.1	7.1	7.1	21.4	14.3
第1世代	7.1	100	42.9	28.6	42.9	28.6
第2世代	7.1	42.9	100	78.6	21.4	7.1
第3世代	7.1	28.6	78.6	100	21.4	14.3
第4世代	21.4	42.9	21.4	21.4	100	35.7
第5世代	14.3	28.6	7.1	14.3	35.7	100

具体的にどのような変化が起こったのだろうか。1つは、順次進行(隣の音へ進む)の増加である。図3に、世代別の順次進行と屈曲点(旋律曲線の方向の折り返し)の数を示した。第1世代から第5世代にかけて、再現結果に含まれる順次進行の頻度が累積的に増加している。このような増加の原因として、メロディー声部内の度数進行における期待[18]に沿った進行へ累積的に近づいていったことが考えられる。期待から外れるような跳躍進行は、参加者が無意識のうちに補正して記憶した可能性が考えられる。また、旋律中の方向転換の頻度は、世代を経るごとに累積的に減少した。この減少の原因には、アーチ型の旋律曲線が文化普遍的に多く出現する[5]ことが考えられる。すなわち、参加者が折り返しの少ない旋律に対し統計的に多く曝露を受け、記憶の過程で無意識のうちに影響が生じた可能性がある。

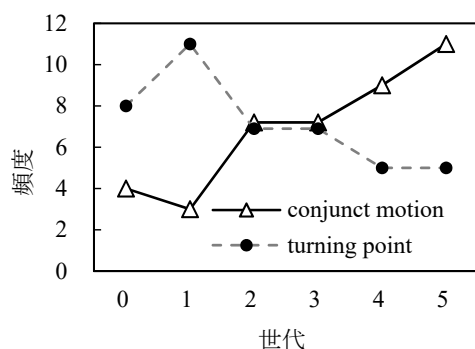


図3. 各世代の出力メロディーにおける順次進行および方向転換の頻度

考察

本研究では、連鎖的な伝達を通してメロディーの構成音に変化するかどうかを検証することを目的として、5世代による伝達実験を行った。その結果、隣接世代間のPMIが高くなること、順次進行が累積的に増加すること、折り返し頻度が累積的に減少することが予備的な結果として得られた。予備的調査としての性質上、統計的な検定を実施しておらず、規模も小さいため、当然ながら結果の一般化のためにはさらなる実験が必要である。

また、本研究に用いたインタフェースの特性上、もっぱら空間的位置やタイルの色といった視覚的情報のみが再現結果に強く影響を与えた可能性を否定できない。その可能性を今回の結果から切り分けて評価するために、どのタイルをクリックしても同じ高さの音が再生される統制条件を設定した実験を予定している。また、今回の基準メロディーでは各音階度数の出現頻度が同様であったが、旋律内で生じる音程の種類は統制されていなかった。この点も、体系的に操作を行うことで、元の音程の大きさによってどのような変化が生じやすいかを分類できるような刺激を用いることを検討している。

本研究と同様にメロディーの伝達を検討した Lumaca と Baggio の実験[16]に対して、Ravignani と Verhoef [19]は Savage [5]に基づき伝達の過程で文化普遍的な性質(e.g. 繰り返しのパターンが、旋律曲線は750セント以内の音域に広がる)に関して十分に検討がなされていないことを批判している。同様の批判は、本実験にも当てはまるだろう。今回の実験で旋律曲線の音域が750セント以内に収束しなかった原因としては、声や実際の楽器等ではなく、跳躍に大きなエネルギーを必要としないインタフェースを用いたためである可能性がある。また、繰り返しのパターンが見られなかった原因としては、今回の実験に参加した人数が少なく、十分に大きい規模のデータが得られなかった可能性がある。

今回の実験結果に見られた変化はデモンストレーションの段階であり、今後のより大規模な実験で、メロディーに収斂が見られるかどうかをさらに検討したい。

参考文献

- [1] S. A. Mehr, M. Singh, H. York, L. Glowacki, and M. M. Krasnow, "Form and Function in Human Song," *Curr. Biol.*, vol. 28, no. 3, p. 356–368.e5, 2018.
- [2] D. Cooke, *The Language of Music*. Oxford University Press, 1959.
- [3] R. M. MacCallum, M. Mauch, A. Burt, and A. M. Leroi, "Evolution of music by public choice," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 109, no. 30, pp. 12081–12086, 2012.
- [4] P. E. Savage and S. Brown, "Toward a new comparative musicology," *Anal. Approaches to World Music*, vol. 2, no. 2, pp. 148–197, 2013.
- [5] P. E. Savage, S. Brown, E. Sakai, and T. E. Currie, "Statistical universals reveal the structures and functions of human music," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 112, no. 29, pp. 8987–8992, 2015.
- [6] P. E. Savage and Q. D. Atkinson, "Automatic Tune Family Identification by Musical Sequence Alignment," *Proc. 16th Int. Soc. Music Inf. Retr. Conf.* October, pp. 162–168, 2015.

- [7] A. Ravignani, T. Delgado, and S. Kirby, “Musical evolution in the lab exhibits rhythmic universals,” *Nat. Hum. Behav.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [8] N. Jacoby and J. H. McDermott, “Integer Ratio Priors on Musical Rhythm Revealed Cross-culturally by Iterated Reproduction,” *Curr. Biol.*, vol. 27, no. 3, pp. 359–370, 2017.
- [9] C. L. Krumhansl and E. J. Kessler, “Tracing the dynamic changes in perceived tonal organisation in a spatial representation of musical key,” *Psychol. Rev.*, vol. 89, no. 4, pp. 334–368, 1982.
- [10] H. Cornish, R. Dale, S. Kirby, and M. H. Christiansen, “Sequence memory constraints give rise to language-like structure through iterated learning,” *PLoS One*, vol. 12, no. 1, pp. 1–18, 2017.
- [11] S. Kirby, H. Cornish, and K. Smith, “Cumulative cultural evolution in the laboratory: an experimental approach to the origins of structure in human language,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 105, no. 31, pp. 10681–10686, 2008.
- [12] S. Kirby, M. Dowman, and T. L. Griffiths, “Innateness and culture in the evolution of language,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 104, no. 12, pp. 5241–5245, 2007.
- [13] K. Smith, S. Kirby, and H. Brighton, “Iterated learning: A framework for the evolution of language,” *Artif. Life*, vol. 9, pp. 371–386, 2003.
- [14] O. Morin, *How traditions live and die*. Oxford University Press, 2016.
- [15] F. Lerdahl and R. S. Jackendoff, *A generative theory of tonal music*. MIT Press, 1983.
- [16] M. Lumaca and G. Baggio, “Cultural Transmission and Evolution of Melodic Structures in Multi-generational Signaling Games,” *Artif. Life*, vol. 23, no. 3, pp. 406–423, Aug. 2017.
- [17] P. Savage, C. Cronin, D. Müllensiefen, and Q. D. Atkinson, “Quantitative evaluation of music copyright infringement,” *Proc. Folk Music Anal. 2018 Work.*, no. May, 2018.
- [18] D. B. Huron, *Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation*. MIT press, 2006.
- [19] A. Ravignani and T. Verhoef, “Which Melodic Universals Emerge from Repeated Signaling Games? A Note on Lumaca and Baggio (2017),” *Artif. Life*, vol. 24, no. 02, pp. 149–153, May 2018.