

令和4年(2022)年度
理学部 卒業論文

遺伝的アルゴリズムで生成された知覚的適応をもつ旋律の解析

Analysis of melodies with perceptual fitness
generated by genetic algorithms

分野名

学籍番号

氏名

指導教員

令和5年1月26日 提出

目次

1章 序論.....	3
1.1 背景.....	3
1.2 目的.....	3
2章 関連研究.....	4
2.1 遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms).....	4
3章 本研究の手法.....	7
3.1 本実験の概要.....	7
3.2 本実験で用いたプログラムについて.....	7
3.2.1 メロディの生成について.....	7
3.2.2 遺伝的アルゴリズムについて.....	8
3.3 実験方法.....	10
4章 結果.....	11
4.1 実験結果①.....	11
4.2 実験結果②.....	14
4.3 実験結果③.....	19
4.4 実験結果④.....	20
5章 考察.....	23
6章 結論.....	26
7章 参考文献.....	27
8章 謝辞.....	29

1章 序論

1.1 背景

音楽は日常の中に満ち溢れているものであり、様々な分野で研究が進められているが、解明されていないことは多い。現在、私たちが作曲を行う場合、実際に鍵盤を叩き感覚的に作曲することが多い。そこで進化計算を用いて、知覚的適合度の高い音楽を生成する研究が進められている。つまり音楽の最適化を図るということである。しかしこのような研究が進められている中で、人間が作る音楽と機械的に作られる音楽にどのような違いがあるのか明らかにされていない。[1]

そして最適化を行う場合、通常は数値的目標とその誤差を測定する評価関数が必要であり、ここでシステムの評価が個人の嗜好や価値観に影響を受ける場合、その評価は困難になる。そこで一般的には制御システムが出力の評価を行うが、人間が評価したほうが数値目標の計算や評価関数の計算より簡単な場合はそれらを代替する場合もある。対話型評価計算(Interactive Evolutionary Computation EC)は最適化システムにおいて、人間の評価を利用する技術の事である。つまり、対話型評価計算は適応度関数を人間に置き換えたECである。[2][3]

その中で、音楽と対話型評価計算と遺伝的アルゴリズムを組み合わせた例は多くなく、これらの組み合わせによって人間が作る音楽と機械が作る音楽に新たな評価ができ、またその過程において人間の好みがどのように含まれているのかを明らかにできるのではないかと考えた。

1.2 目的

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて知覚的適合度の高い旋律(以降メロディ)を生成することと、そのメロディとランダムなメロディを比較することで、人間の好みがどのように反映されているのかを定量的に示すことが目的である。この研究は単に作曲活動の手助けになるだけでなく、日々の生活の手助けにもなるだろう。例えば、警報音がその一例である。知覚的適合度の傾向を割り出すことによって、人の不快な音(メロディ)が定量的に分かり、その結果として地震の警報音への応用などにも期待できる。

2章 関連研究

2.1 遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms)

遺伝的アルゴリズム(以降 GA)は、生物進化の原理から着想を得たアルゴリズムである。また、GAは確率的探索の一種としても考えることができ、計算が難しい問題において近似的な最適解を出すことが出来る。

GAには大きく3種類の遺伝的操作がある。

- ・ 選択 (Selection)
- ・ 交叉 (Crossover)
- ・ 突然変異 (Mutation)

この後のGAの処理手順と共に順次説明する。

遺伝的アルゴリズムにおいて、解は遺伝子型(Genotype)として染色体に1次元的に表現される。各世代は、その個体の集合でありGAの処理手順は以下のようになる。

1. 初期集団の生成
2. 条件の中でループ
 - (a) 適応度の評価
 - (b) 選択
 - (c) 交叉
 - (d) 突然変異

まず、初期集団の生成を行う。一般的には決まった数の個体数の染色体をランダムに生成する。個体数の決定や染色体の長さについては、その時の条件によって決まる。

続いて適応度の評価は、それぞれの染色体に対して行われる。ここでいう適応度とは、生物学用語で「どのくらい環境に適しているか」を示すものである。つまり、多くの子孫を残す個体は繁殖能力が優れているので高い適合度となる。[4]また適応度の評価は、その考えている問題によって異なる。

それぞれの適合度が決まると、その適合度を基に選択を行う。この選択の仕方は、考えている問題によって異なる。単純に適合度の高い遺伝子から選んでいくランキング選択や、適合度によって枠を作ってランダムに選択するルーレット選択、適合度の高い遺伝子をそのまま次の世代に残すエリート選択などがある。[5][6]

そして、選択された染色体同士を交叉させ新たな染色体を生成し、次の世代として残す。この交叉の方法も複数存在する。最も単純なものは染色体を任意の点で切断し、切断された部分を交換する一点交叉と呼ばれる方法である。他には、この切断される点が2点になった二点交叉と呼ばれるものや、染色体の遺伝子のビットをあらかじめ設定し、確率的にビット選択する一様交叉と呼ばれる方法もある。[5][6]

最後に交叉を行った染色体に行う操作が突然変異である。ある確率で、染色体の一部を変える操作である。この操作を加えることで、次世代に生まれてくる染色体の多様性を広げることができる。

これらの操作が終了すると、新たな世代の個体集団が生成されたことになる。この操作を、ある条件が満たされるまで繰り返し行う。

2.2 三角分布(Triangular distribution)の性質について

一般に、一様分布で表されるヒストグラムの差をとったものをヒストグラムにすると、三角分布の形になる。

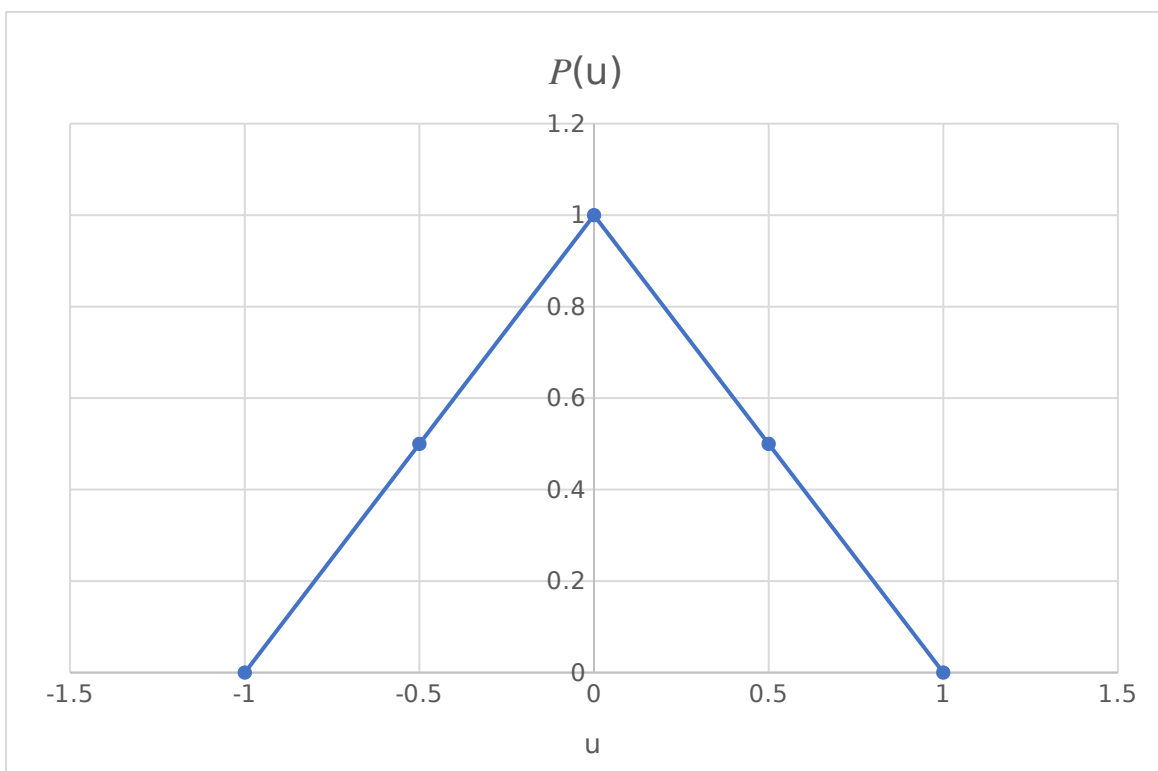


図1 三角分布の模式図

X1 と X2 区間上の二つの一様変量の差は、次の[0,1]の範囲の積分で表される。

$$P_{X_1-X_2}(u) = \int_0^1 \delta((x-y)-u) dx dy$$

$$\hookrightarrow 1-u+2uH(-u)$$

$\delta(x)$ はデルタ関数(delta function)であり、 $H(x)$ は階段関数(Heaviside Step Function)である。

[7]

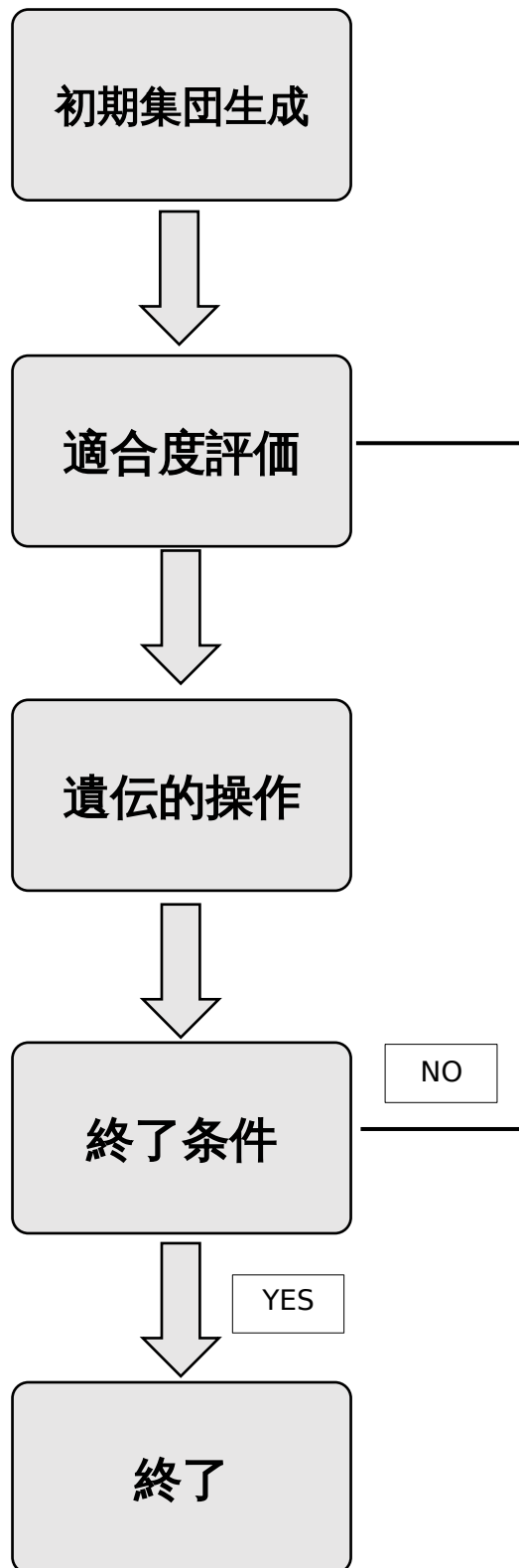


図2 遺伝的アルゴリズムのフローチャート

3章 本研究の手法

3.1 本実験の概要

長さが8音で構成される旋律をランダムに12個生成したものを第0世代とする。被験者は第0世代の旋律を逐次的に4段階で評価する。評価を適応度として遺伝的アルゴリズムを適用し、第1世代として同じ長さの旋律を新たに12個生成する。被験者は第1世代の旋律を第0世代と同様の方法で評価する。一連の流れを第12世代まで繰り返す。最終世代を知覚的に適応した旋律として解析する。

3.2 本実験で用いたプログラムについて

3.2.1 メロディの生成について

本実験で用いたプログラムはpythonで作成した。今回用いた音の周波数は100Hzから1200Hzを70個に分割したものである。(それぞれの音に対して順に0から番号をつけておく)
[100, 115, 131, 147, 163, 179, 195, 211, 227, 243, 259, 275, 291, 307, 323, 339, 355, 371, 386, 402, 418, 434, 450, 466, 482, 498, 514, 530, 546, 562, 578, 594, 610, 626, 642, 657, 673, 689, 705, 721, 737, 753, 769, 785, 801, 817, 833, 849, 865, 881, 897, 913, 928, 944, 960, 976, 992, 1008, 1024, 1040, 1056, 1072, 1088, 1104, 1120, 1136, 1152, 1168, 1184, 1200] (整数部分のみ記載)

この周波数をもとに、sin波を生成する。一音は125ms間流れるので、メロディ1個は1s間流れることになる。被験者が評価したメロディを点数が高い順に並べる(同点の場合、後に流れたものが上の順位になる)。そこから、上位6個のメロディ、GAを用いて生成した4個のメロディ、新たにランダムに生成した2個のメロディの12個のメロディを次世代として残す。次に被験者がメロディを聞く前に、メロディの順番はランダムにする。この被験者がメロディを評価し生成する過程を12回繰り返す。

3.2.2 遺伝的アルゴリズムについて

今回使用した GA は、関連研究で紹介した二点交叉に改良を加えたものである。交叉に関しては、評価が高かった上位 6 個のメロディに対して行われている。上位 6 個のメロディを上から 2 個ずつ選択し、片方のメロディの一部をもう片方のメロディの一部と置換する。上記で述べた通り、メロディは八音から構成されており、以下のように交叉を行う。

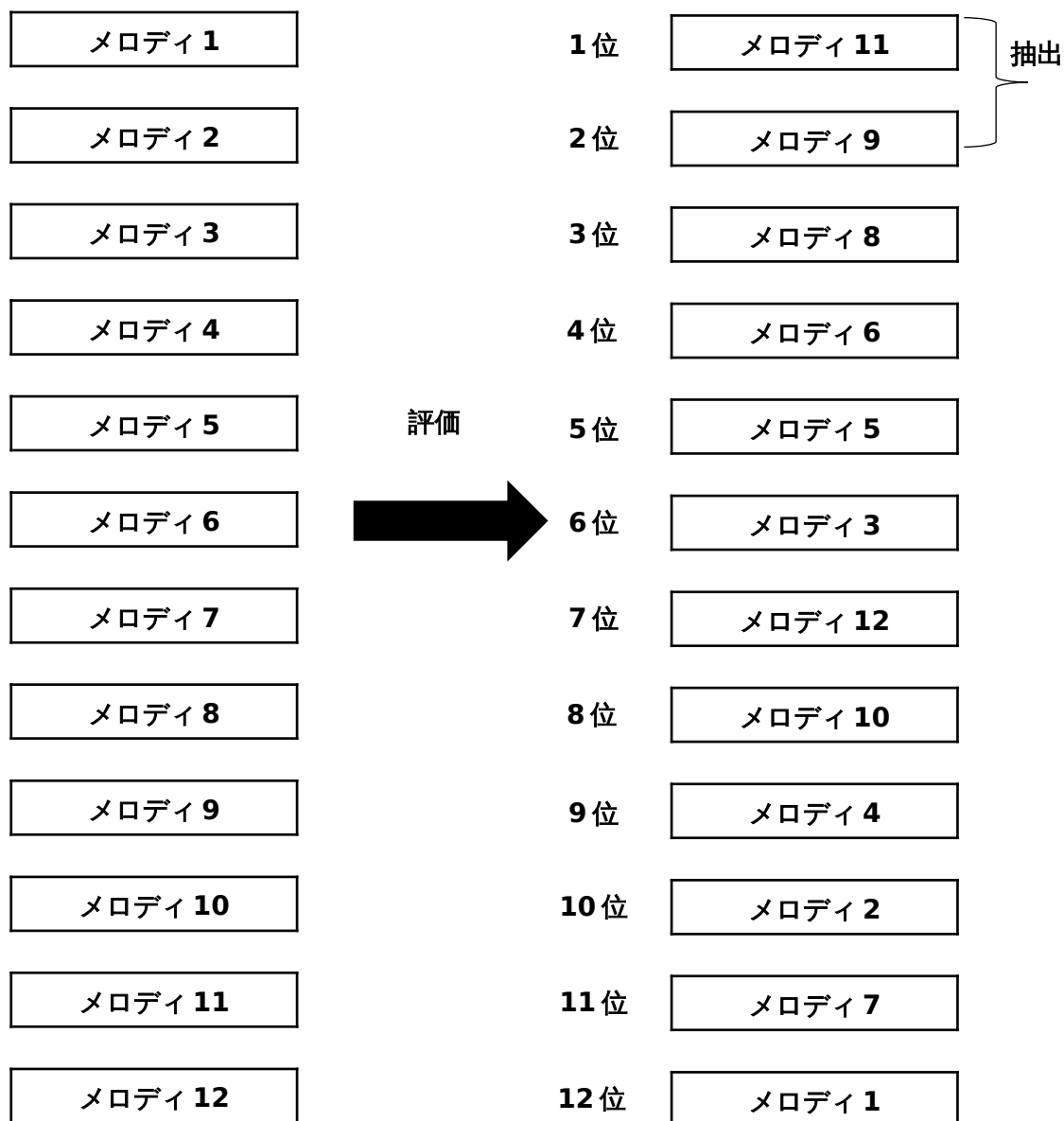


図 3 遺伝的アルゴリズムにおける評価

抽出したメロディを拡大し、八音それぞれの音に対する数字を付けた。
 (70個の音に対してそれぞれ順に0から数字が振られている)

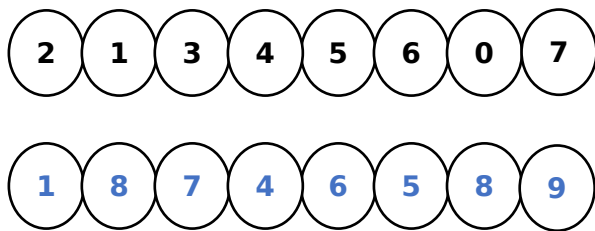


図4 遺伝的アルゴリズムにおける選択

交叉する点はメロディに対してランダムに二個ずつ生成。
 例)3,5と2,6と出た場合

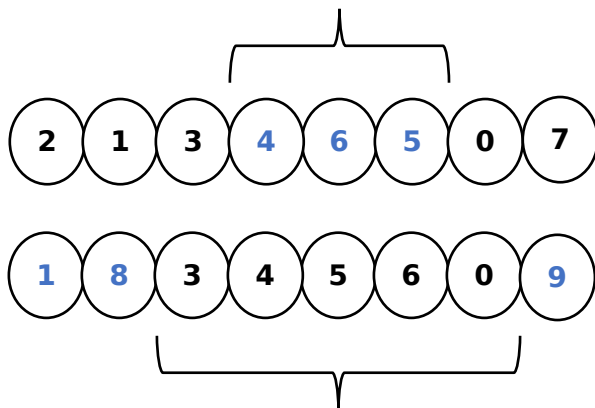


図5 遺伝的アルゴリズムにおける交叉

この交叉の後に突然変異として、1/100の確率でそれぞれのメロディのどこかの音が70個の音のどれかと入れ替わるように設定した。

例)突然変異が起きて4,9と出た場合

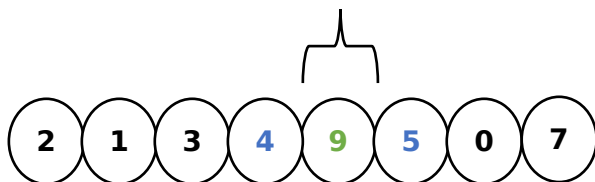


図6 遺伝的アルゴリズムにおける突然変異

上記で示したGAを(1, 2)位、(3, 4)位、(5, 6)位に対して行う。

本研究では、上位4個のメロディのみを次世代のメロディとして残している。

3.3 実験方法

本実験では、以下の過程を 15 人の男性被験者が行った。所要時間は約 10 分程度である。

- ① 実験の手順説明を受ける。
- ② 名前を打ち込む。
- ③ 第 0 世代のメロディを順番に聞き、その評価を(1, 2, 3, 4)の中から選択する。
(1 から順に評価が上がり、4 が最高の評価)
- ④ その評価を基に GA を用いて次の世代のメロディが生成される。
- ⑤ 新たに生成されたメロディを評価し、それに基づいた次世代のメロディがまた生成される。
⑤の過程を 12 回繰り返す(最終世代は第 12 世代)
- ⑥ 実験終了

4章 結果

4.1 実験結果①

被験者毎の第12世代におけるメロディをグラフにした。それぞれのグラフタイトルに記載されている数字が被験者番号を示している。

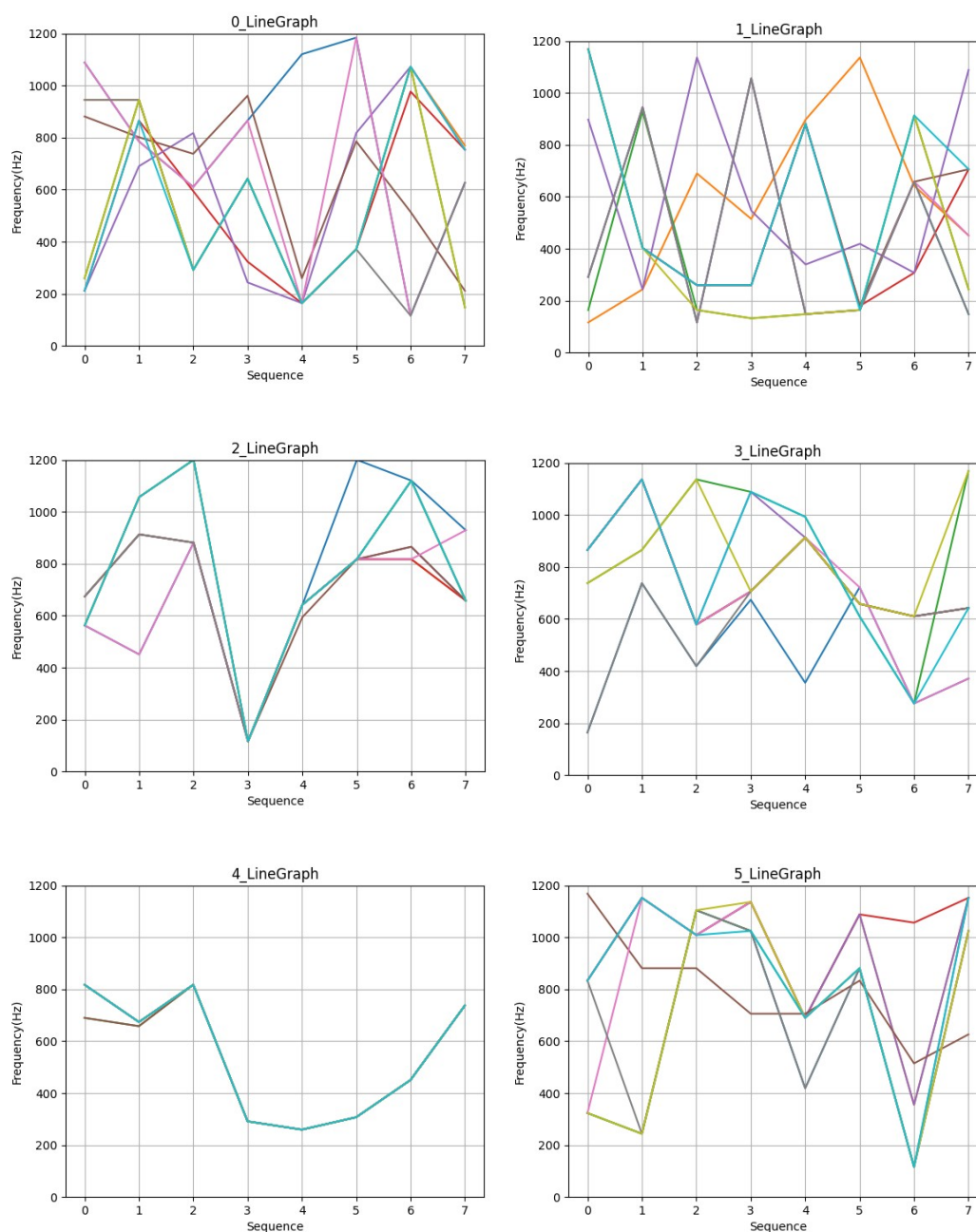


図7 被験者0-5の第12世代におけるメロディのグラフ

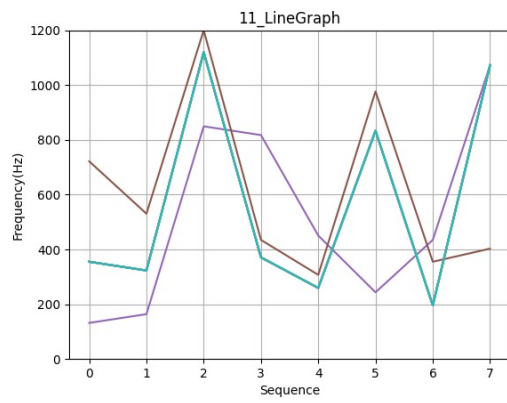
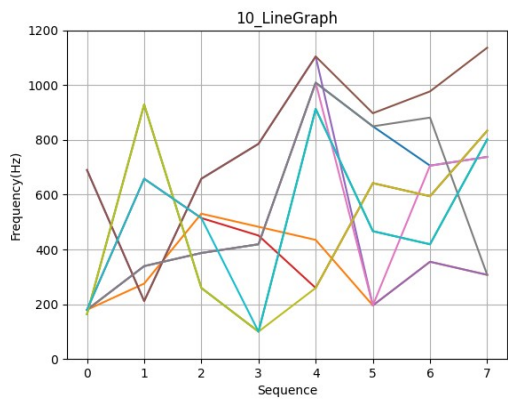
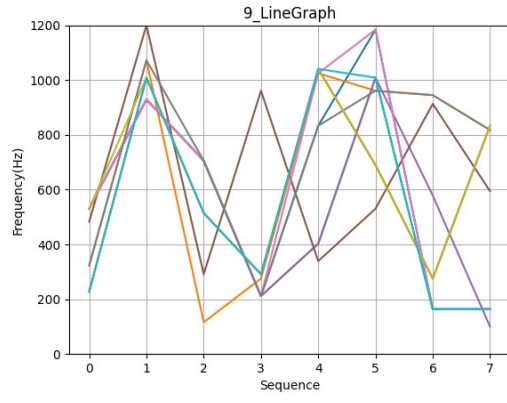
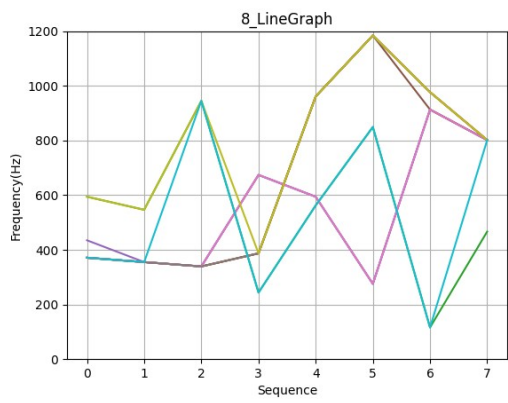
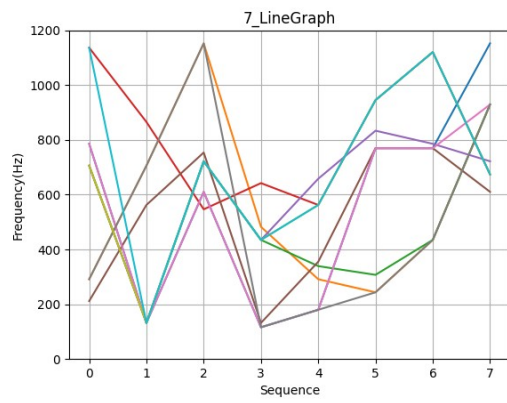
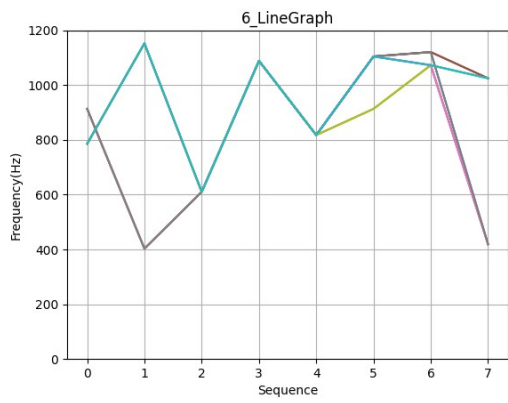


図8 被験者 6-11 の第12世代におけるメロディのグラフ

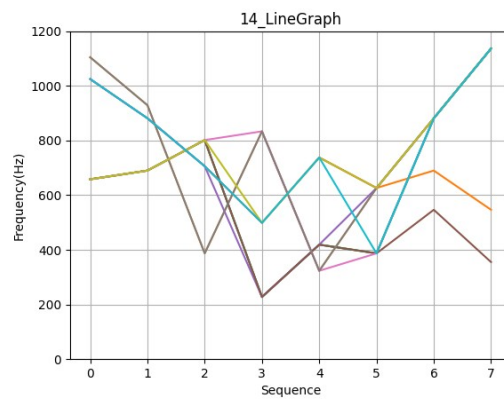
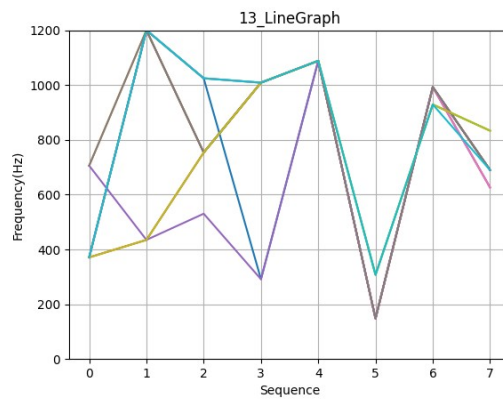
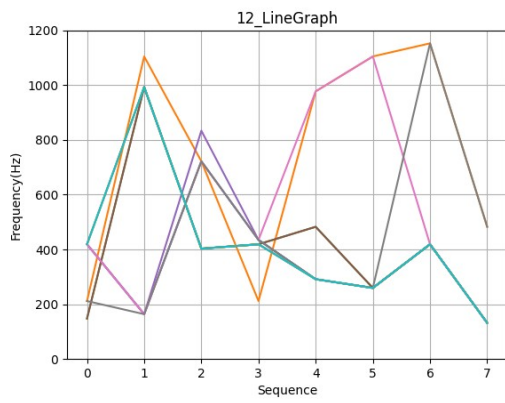


図9 被験者 12-14 の第 12 世代におけるメロディのグラフ

4.2 実験結果②

以下に被験者毎の、第0世代(ランダム)と第12世代の周波数のヒストグラムを載せる。グラフタイトルに記載されている数字は被験者番号を示している。左から順に、その被験者の第0世代、第12世代の周波数のヒストグラム、そして第0世代、第12世代の周波数の変化のヒストグラムを示している。

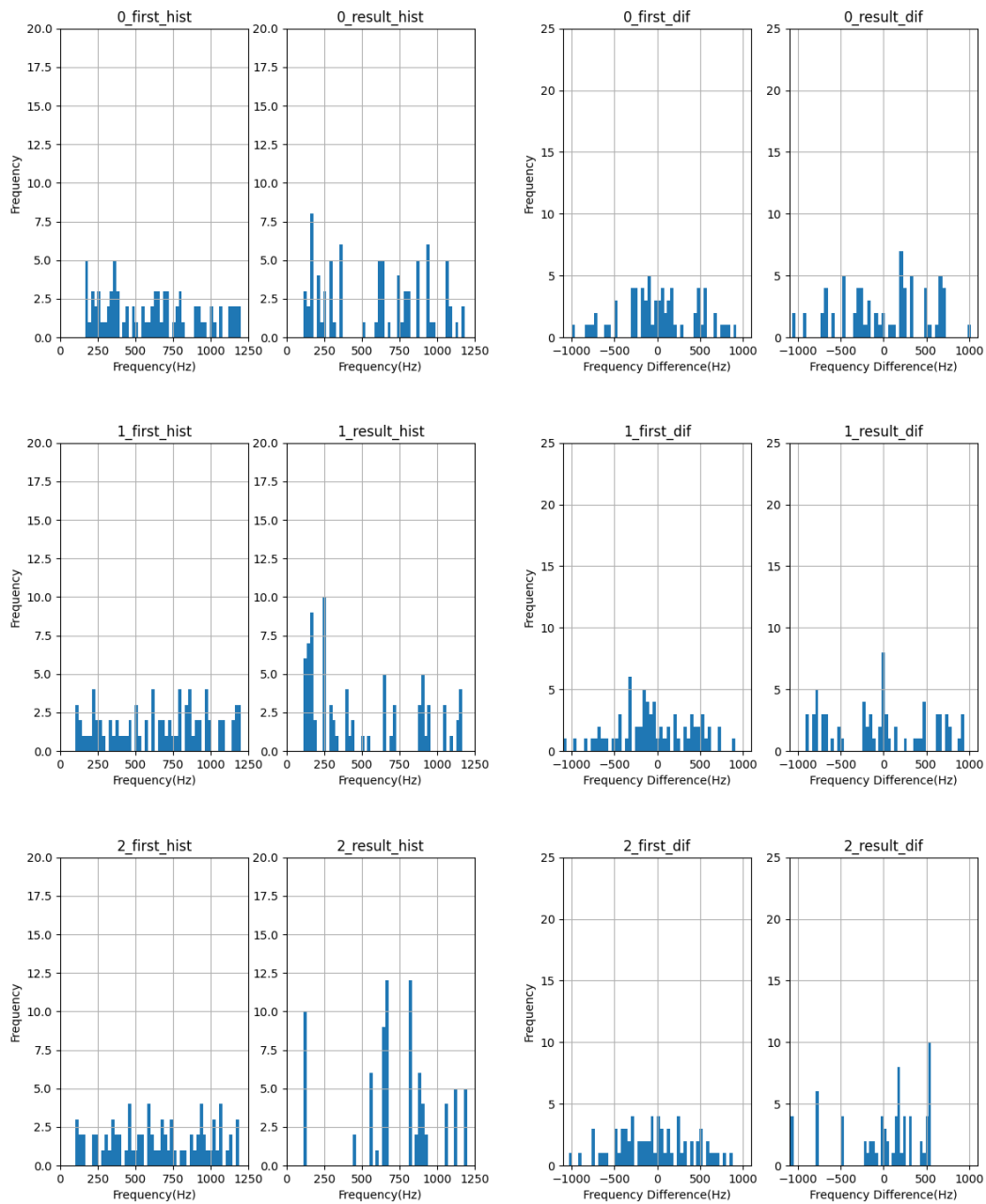


図10 被験者0-2のヒストグラム

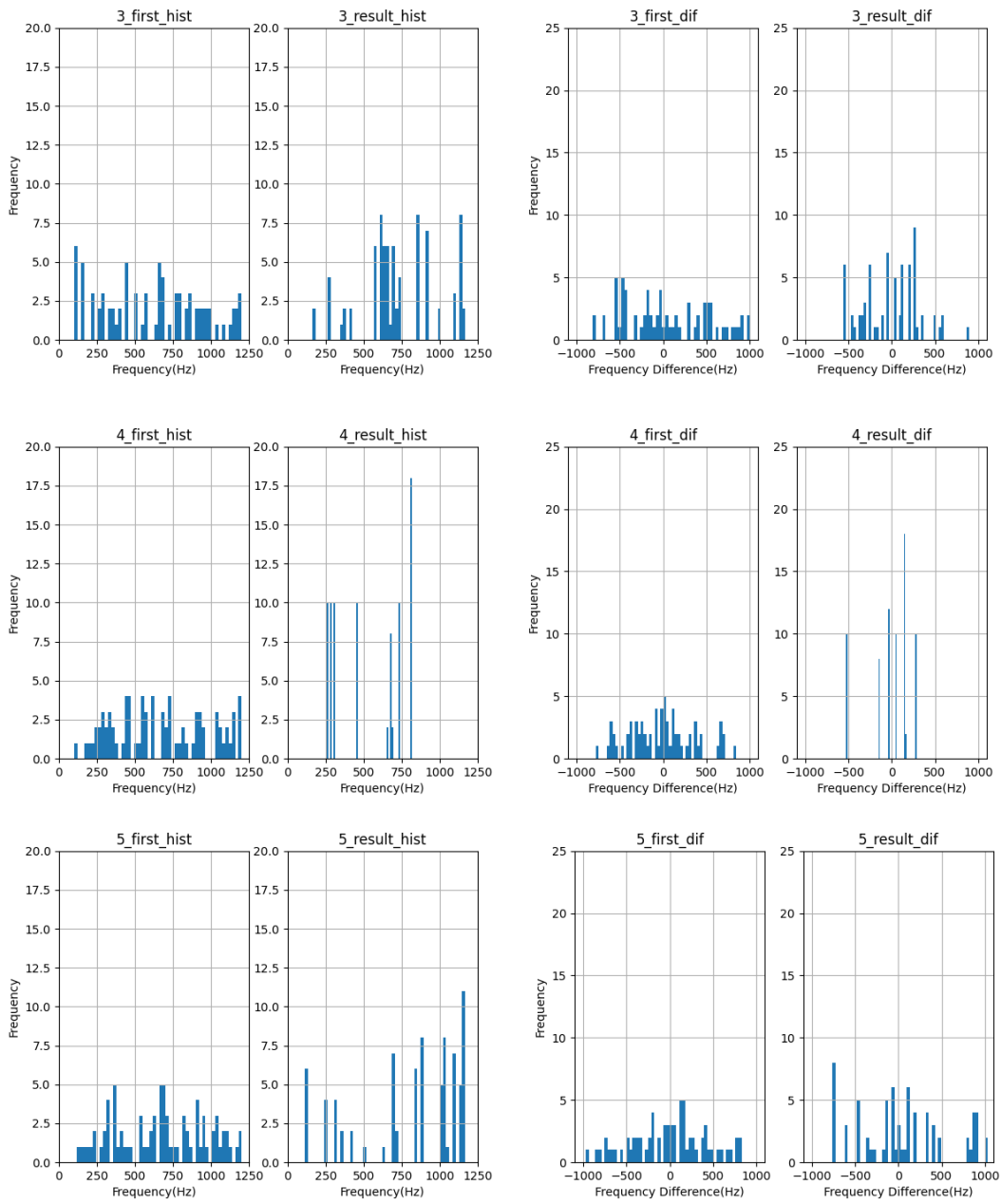


図 11 被験者 3-5 のヒストグラム

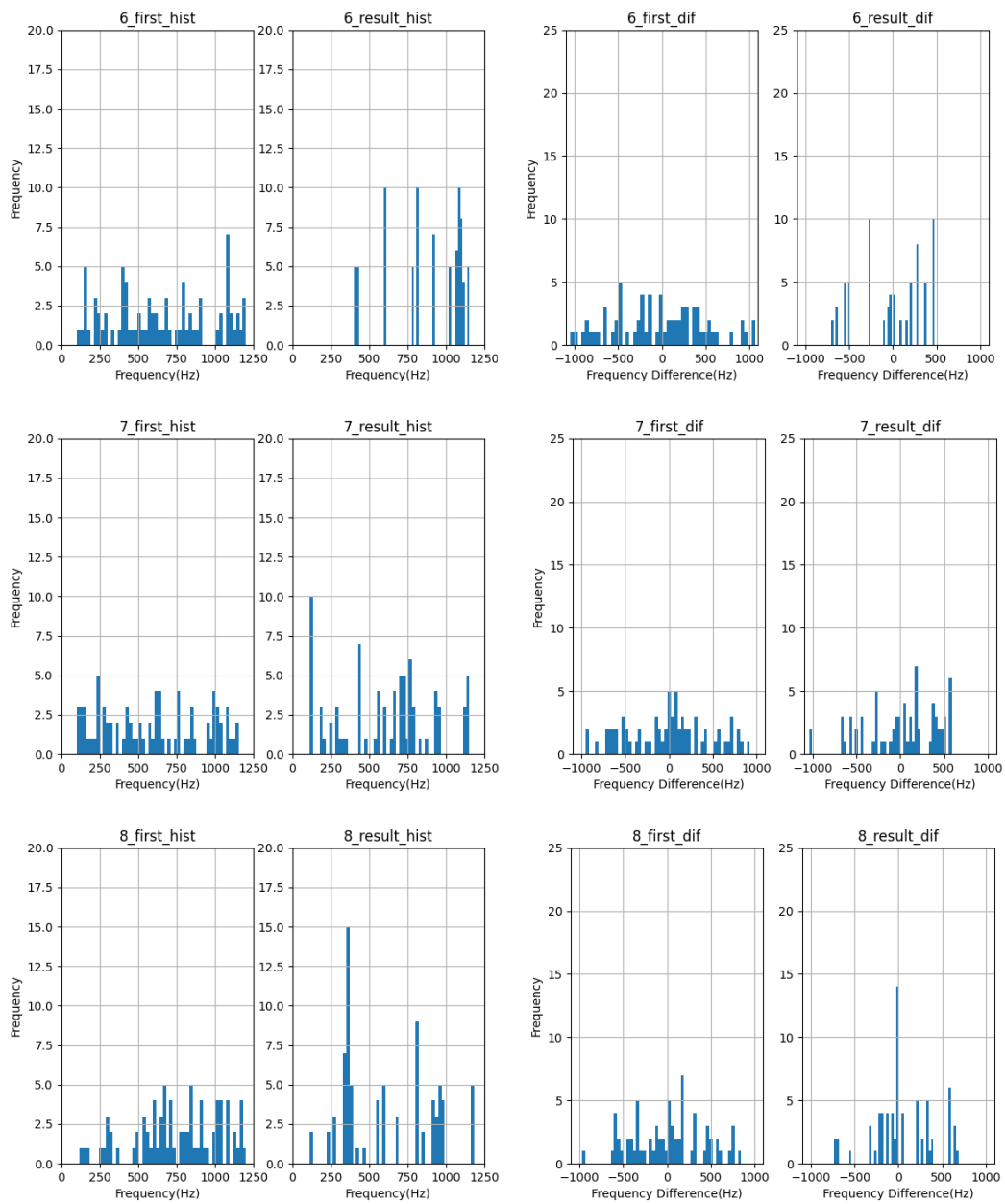


図 12 被験者 6-8 のヒストグラム

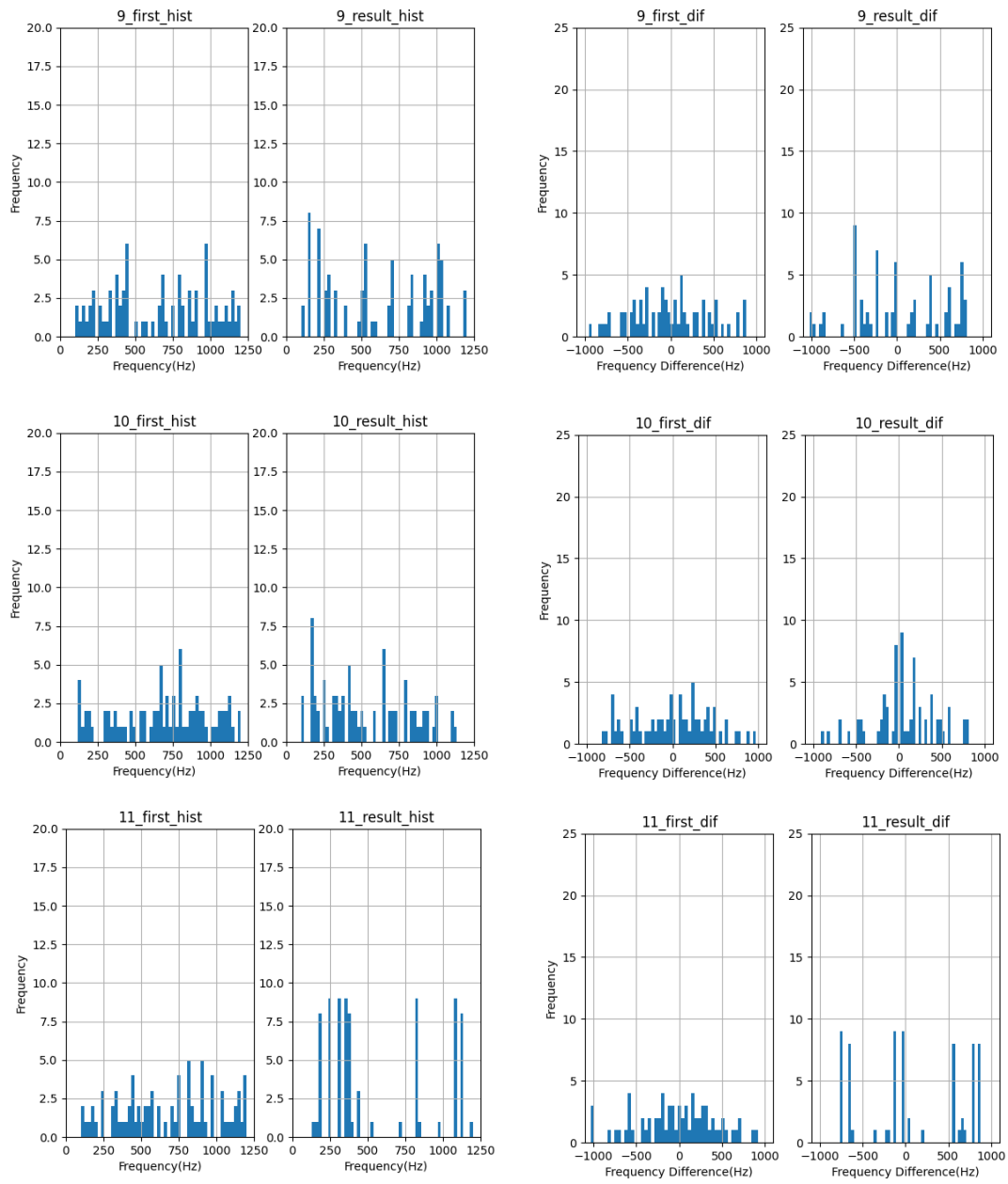


図 13 被験者 9-11 のヒストグラム

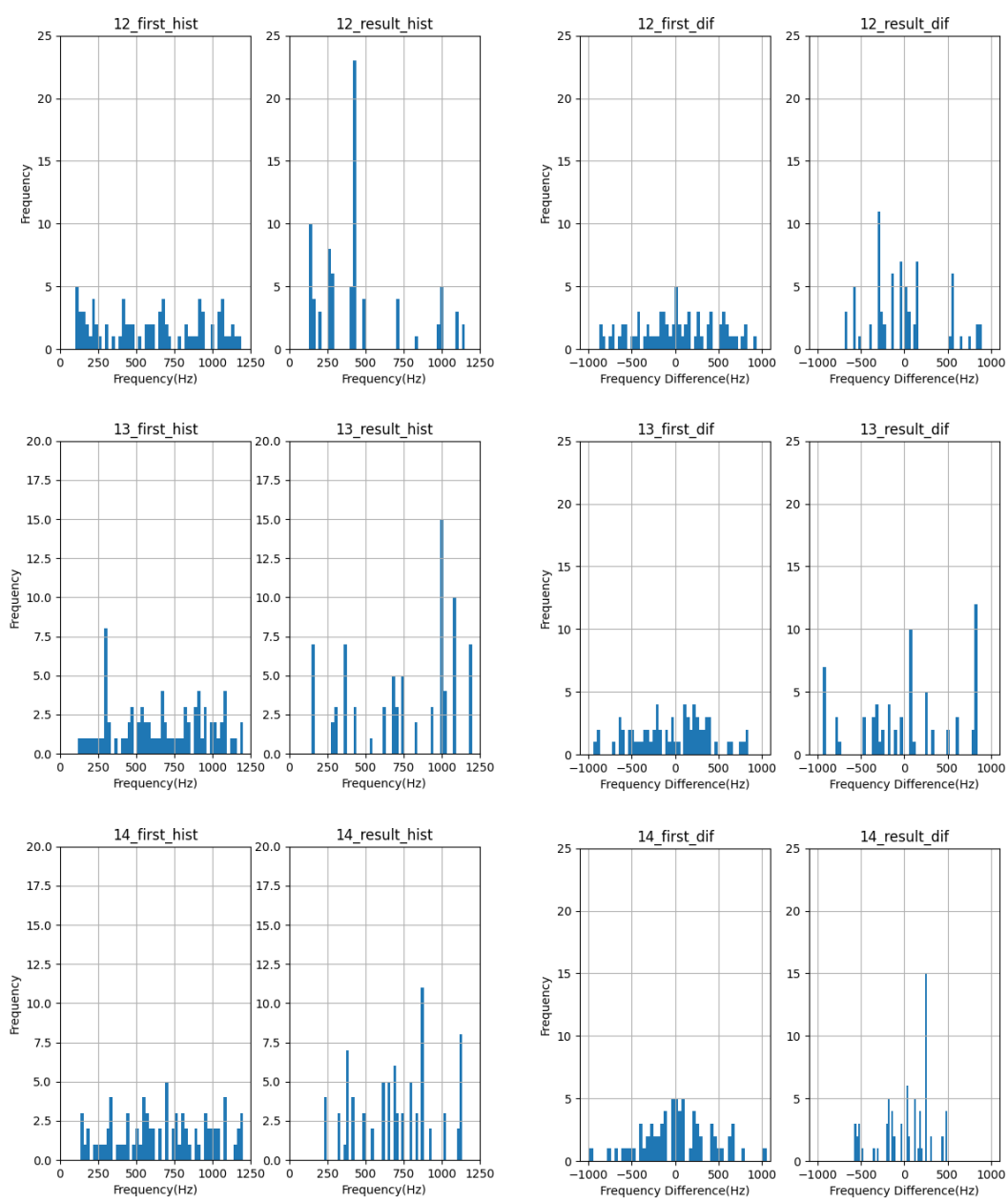


図 14 被験者 12-14 のヒストグラム

4.3 実験結果③

被験者全員の第0世代と第12世代のメロディのデータを全て集計し、一つ前の音から次に流れた音の遷移行列(Transition Matrix)を生成し、それを2Dヒストグラムにした。

左側が第0世代の遷移行列、右側が第12世代の遷移行列の2Dヒストグラムである。音は70種類あるので、軸の最大値は70(音を小さいから順に0から番号を振っている)であり、行が前の音で列が次に流れた音である。例えば(30,21)という座標に5という数字がある場合、30番目の音が流れた後に21番目の音が流れた回数が5回あったことを示している。

下側に載せているのは、それぞれのグラフのスケールを7倍落としたグラフである。つまり、70種類の音を10種類(7種類の音を1種類として考える)にしたということである。

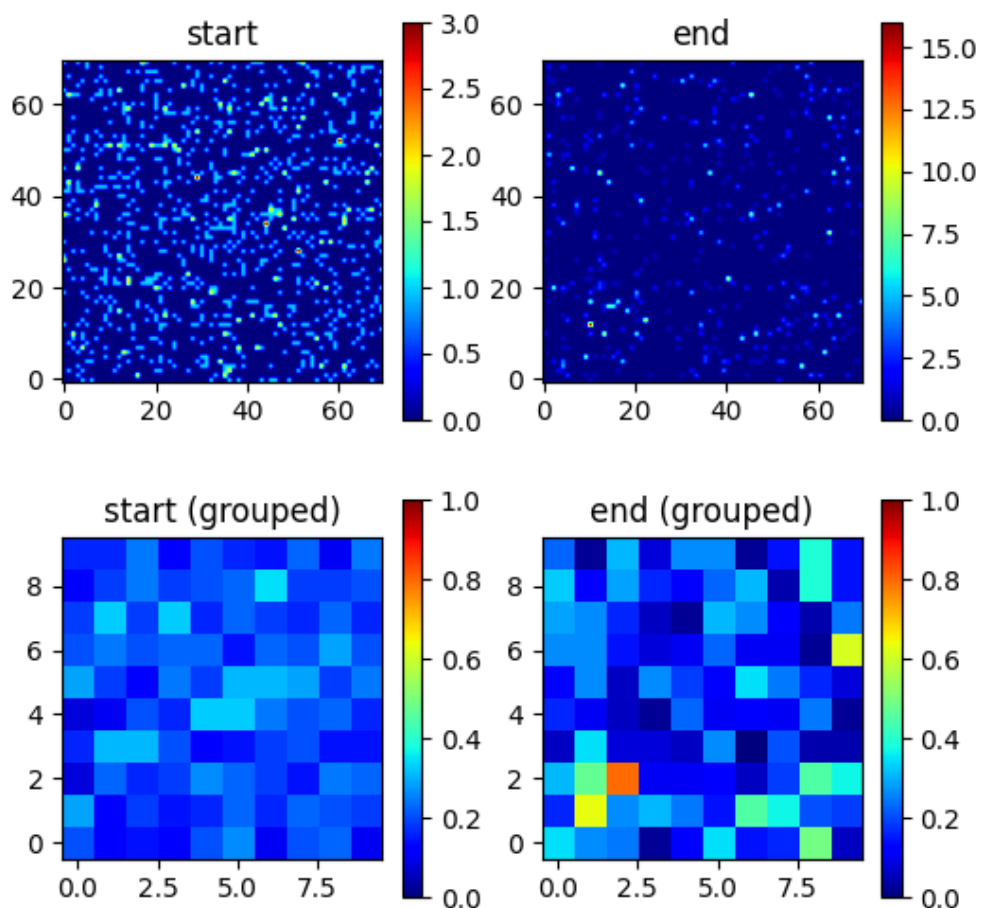


図15 2Dヒストグラム

4.4 実験結果④

被験者毎の第12世代におけるメロディの音の変化をグラフにした。グラフタイトルに記載されている数字は被験者番号を示している。横軸が一個前の音の周波数であり、縦軸がその次に流れた音の周波数を示している。つまり、その点の座標がそのまま音の変化を表している。一つのメロディは8音から構成されており、音の変化は7回あるためメロディ毎に7点プロットされている。音の変化が同一な部分に関しては、片方のメロディのプロットと繋がるように描かれている。

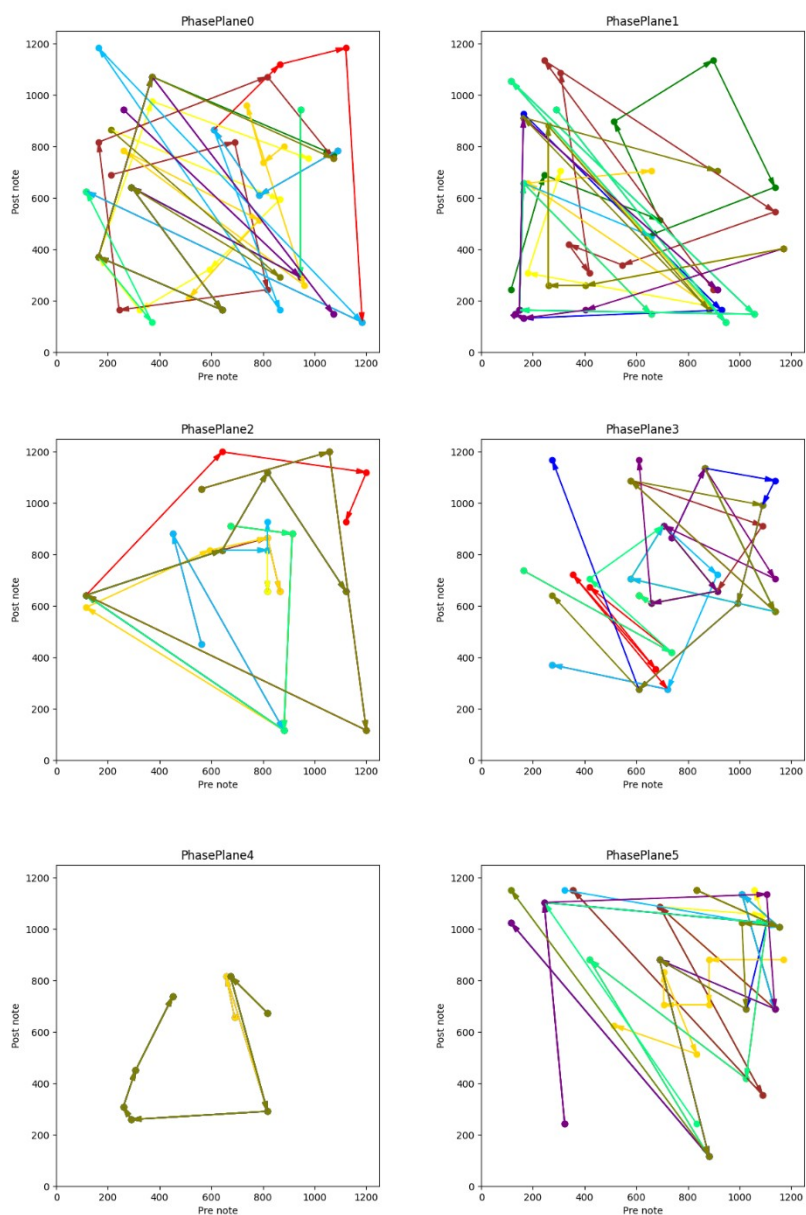


図16 被験者0-5のPhase Planeのグラフ

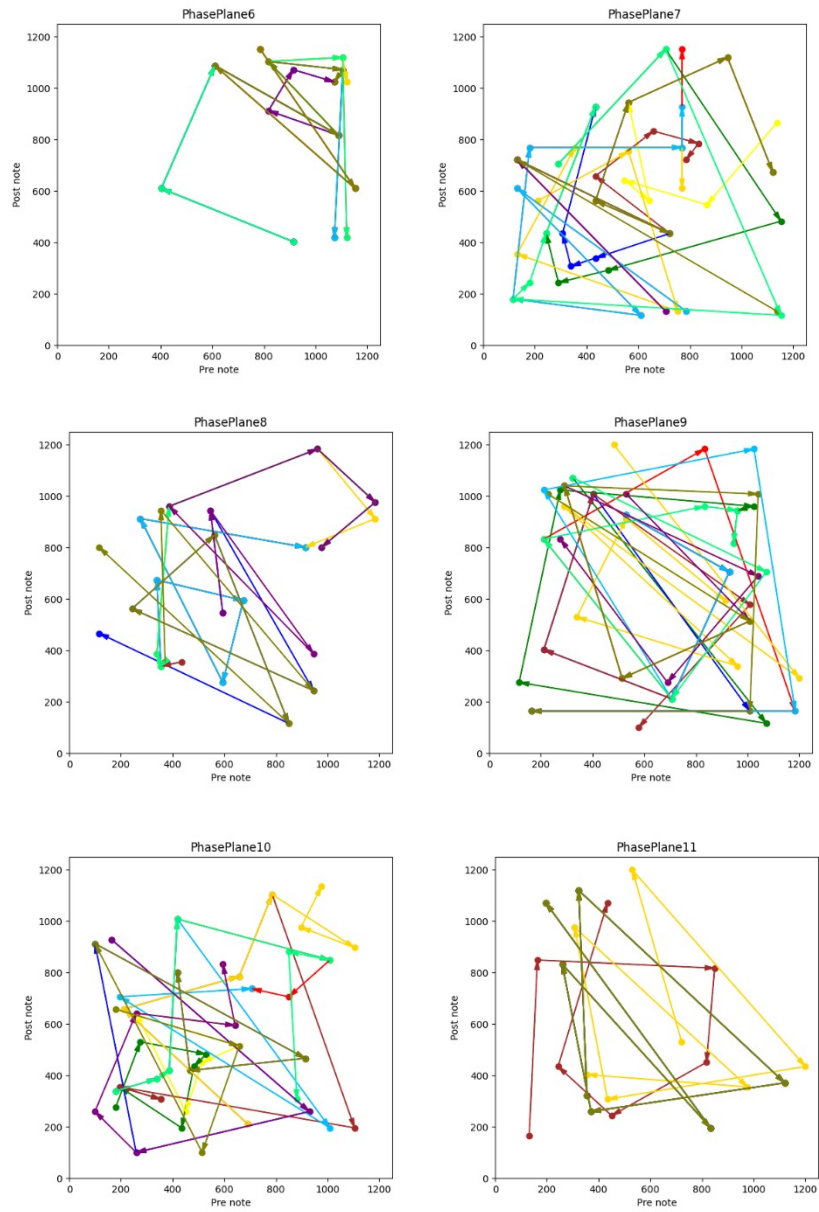


図 17 被験者 6-11 の Phase Plane のグラフ

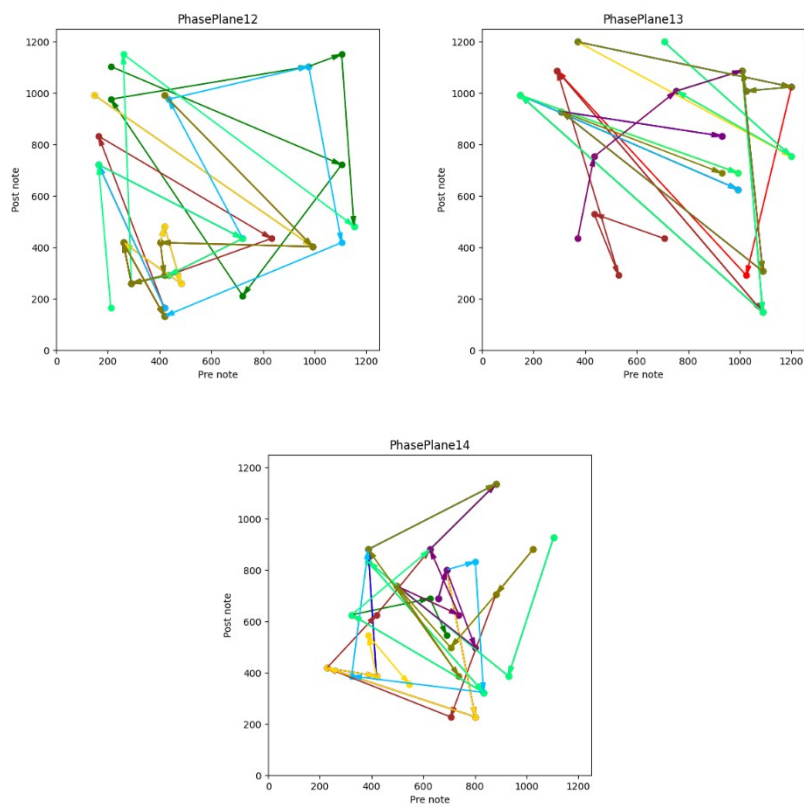


図 18 被験者 12-14 の Phase Plane のグラフ

5章 考察

考察する実験データは、第0世代のメロディと第12世代のメロディである。まず第0世代はランダムな12個のメロディであり、第12世代は第11世代の上位6個のメロディとそこから生まれた4個のメロディそしてランダムなメロディ2個で構成されている。そのため第12世代のランダムな2個のメロディを取り除いた10個のメロディを対象に実験結果を出しており、条件を合わせるため第0世代のランダムなメロディも2個のメロディを除き10個のメロディを対象にして実験結果を示してある。

実験結果①は、被験者の第12世代のメロディを折れ線グラフとして、一つにまとめたものである。15人の結果を見るとそれぞれに個性があるが、遺伝的アルゴリズムの近似的な最適解に収束するという特性から、第12世代のメロディは似た挙動をしていた。中にはほとんどのメロディが同じメロディになっている被験者もいた。これはその人のなかで近似的な最適解に早期に収束した可能性と、遺伝的アルゴリズムによる進化の多様性が小さかったことで比較的早い段階で収束してしまった二つの可能性がある。これについては、第12世代のメロディの種類が極端に減ってしまった被験者は少人数であったので、遺伝的アルゴリズムによる早期の収束であった可能性が高い。被験者の中で特に第12世代のメロディが似ている構成に収束していた被験者の4番と6番について、この二人の被験者の大きな共通点は中程度の音楽経験があることである(ここでは1年以上5年未満の音楽に関する経験があることを中程度の音楽経験とした)。音楽経験があると、一般的にはピッチ認知能力が高くなることが分かっている(ここでいうピッチ認知とは、正しく音程を把握することを指している)。^[8]つまり、ピッチ認知能力が高い被験者が音楽を聞いた場合、早い段階でピッチを認識しピッチが調整されたメロディを選択する。またメロディの調整がされている場合、二番目に聞いたメロディもその前に聞いたメロディに影響受けることが分かっている。^[9]そのため、二人の被験者は早い段階でそれぞれの最適解を決めるため、他のメロディもそれに近いものになると解釈した。

実験結果②は、被験者毎の第0世代と第12世代のメロディのヒストグラムである。第0世代のメロディはランダムなので、どの被験者のヒストグラムにも大きな偏りはない、そして周波数の差のヒストグラムを取ると三角分布に近い形になっている。これは2.2三角分布の性質から、第0世代のメロディがランダムであることを示している。また被験者毎に、第12世代のヒストグラムを見ると度数の差が大きくなっていることが分かる。そして被験者毎に第12世代における周波数の差をとったヒストグラムを見ると、被験者によって異なるヒストグラムとなっている。ここからランダムに生成したメロディとは異なり、人間の嗜好が反映されていることが分かる。加えて、第0世代の時には存在していた音が第12世代では欠落している音もあることから、ランダムな音から構成される第0世代のメロディとは異なることも理解できる。

続いて実験結果③について、ここでは第0世代と第12世代のメロディの遷移行列を2Dヒストグラムにしたものを示していた。第0世代の2Dヒストグラムは満遍なく点が存在しており、第0世代のメロディがランダムであったことをここでも確認できる。次に、第12世代のほうを見ると点はまばらであり、人間の好みが働いていることが分かる。特に、グラフの右上側と

左下側に点が集まり、その点の数字も大きいことから近い周波数の音への変化を人間が好んでいることが分かる。しかし、大きな周波数変化を表している位置にも点が存在していることからある一定の変化を好む被験者が居たことも分かった。この2Dヒストグラムの差をより強く表しているものが、スケールを下げた下のグラフであった。この作業をすることで、データのグループ化が出来る。つまり、近い周波数の音を集めて2Dヒストグラムを作り直したということである。グループ化した2Dヒストグラムから第0世代のほうは変化なく満遍なく音が散在していることが分かる。次に第12世代のほうを見ると、左下、右上、右下側に強い反応があることが明確になった。特に強い反応があったのは左下、つまり本実験の中で最も多い周波数変化であることを表している。そして次に反応が大きかった部分から、高音から高音への変化と、低音から高音への変化が多いことがわかる。また中音からの変化と中音への変化は特段少ないことが分かった。実験結果②からも第12世代で中音が抜け落ちている被験者が多かったことから、被験者は実験の過程で低音か高音に分かれる傾向にあると解釈できる。これはその人たちが普段聞く親しみのある音楽に影響を受けていると推測できる。ほとんどの人が音楽を聞くのは、音楽には感情を伝え、誘発する能力があるためである。[10]またこれまでの研究から、音楽を聴くことで主観的・客観的な感情に強い影響を与えることが示されている。[11]そして、音楽的嗜好と親しみが主観的・客観的情動の相関に影響することを示している研究もある。[12]今回の実験の被験者は同じ年齢層が多く存在し、環境が近いこともあり似たような音楽に親しみを持っていることから、同じような傾向になったのではないかと推測できる。

最後に実験結果④について、実験結果④は被験者の第12世代の音の変化をプロットしたものであった。図から、被験者の結果が全体的に円を描くようにプロットされていることが見て取れる。つまりこの結果は、被験者はある音の変化を基準にして、そこに戻るように音を選択していることを示唆している。ここで音の変化がもとに戻っていくことを表す指標として、第12世代のそれぞれのメロディが何回交差するかを数えたものを下部に載せる。

被験者番号	交差回数	交差合計
0	1,1,1,2,3,1,1,1,	11
1	4,1,4,3,5,4,4,1,3	29
2	2,1	3
3	3,1,1,3,1,1,2,3	15
4		0
5	1,1,1,3,1,1,1,1,1	11
6	4,1,2,2,4,2	15
7	2,1,3,2,1,2,1,1,1	14
8	1,2,1,1,1,7	13
9	1,1,5,3,2,1,5,1	19
10	2,4,1,1,1,3,1,4	17

11	5,5,5,5,1,4,5,5,5,5	45
12	2,1,1,1,2,1,1,1,1	11
13	2,3,2,2,4,2,2,3,2,2	24
14	3,2,1	6

表1 実験結果④の被験者毎の交差回数

上記の表は、被験者のメロディが複数回交差していることを表している。メロディが交差をするということは、そこに閉ざされた空間(図形)ができるということである。例えば、その空間を構成している直線が少なく、その音の順番が近ければ、被験者はメロディの一部で少し前に聞いた音の高さに戻ろうとしている変化を好んだということである。また交差回数が1回だった場合には、被験者が8音かけて元の音に近いところに変化するメロディを好んだということを示唆している。被験者のほとんどに交差しているメロディが存在していることから、被験者は8音のなかで基準を決めその基準から大きく外れないように音を選択していたことを示している。また、複数回交差があったメロディに関しては被験者自身が決めた基準を大きくはずれた音を基準に戻すように音を選択したと解釈できる。

最後にメロディの交差回数が0回であった被験者4について、被験者4には中程度の音楽経験があった。被験者4のグラフは2種類のメロディに分かれており、そのどちらの交差回数も0であるが円を描くようにプロットされている。被験者4は、被験者の中でも特に第12世代のメロディの分化が少なかったが、これは上記の考察のとおりピッチ認知能力の高さによるものが大きいとしている。被験者4は、早い段階でピッチ認知したことでメロディの収束が早かった。そのため調整されたメロディに音程の高低差が少なく交差が他の被験者より起こりにくいと考えた。

これらの結果考察を踏まえて、今回の実験に対する改善点が浮かび上がった。まず、今回の実験は遺伝的アルゴリズムを用いている。その過程で交叉を12回繰り返すため、被験者の負担を減らすためメロディを短く8音構成のものにしたが、より長いメロディを用いることができるシステムを考える必要がある。[13]特に、今回の実験で音楽経験のある被験者とない経験者で大きな差が生まれた。この差を考える際に被験者毎のデータをより大きなものにする必要があると分かった。また、本来音楽とは音のキーだけでなくリズム、早さ、楽器の種類などの多くの要素から構成されているため、他の要素も取り入れられる実験にすることで更に多面的なデータを得ることができる。また、被験者毎にメロディを聞いた後の評価にどれくらいの時間がかかっているかなどの被験者に焦点をあてる要素も必要である。例えば、メロディを聞いたあとの評価にかかった時間から、音の変化に時間という次元を加えて3次元でその評価をすることができる。そして今回の実験の被験者全員が男性であったが、さらに被験者毎のデータを細分化するために、より多くの性別と年代の方に実験を行ってもらうことが必要である。

6章 結論

本研究では、知覚的適合度の高いメロディの探索と生成、そしてそのメロディに人間の好みなどのように働いているのかを遺伝的アルゴリズムを用いた実験によって明らかにすることを試みた。

実験結果①の考察では、第12世代のメロディをプロットすることで、多くの被験者が似たメロディに収束することがわかった。その中でも音楽経験がある被験者とない被験者でメロディの分化が異なっていた。音楽経験のある被験者はピッチ認知能力が優れているため、早い段階でメロディが最適化され収束した結果、メロディの多くが同じ音で構成されると解釈した。

実験結果②の考察では、被験者毎の第0世代と第12世代のメロディのヒストグラムを比較することで、第12世代のメロディがランダムでないことを示した。ここで第0世代の時には存在していた音が第12世代で抜け落ちていたことから、ここに人間の好み反映されていたと理解できた。

実験結果③の考察では、第0世代と第12世代の2Dヒストグラムからどのような音の変化を被験者が好んでいるかを示した。特に中音が絡んだ変化が少なかったことから、被験者は高音か低音のどちらかの変化を好む傾向にあった。これは被験者の環境が近いことで、親しみのある音楽に近いことに起因していると推測した。

実験結果④の考察では、第12世代の音の変化のグラフから被験者の多くのメロディは円を描くように変化していることがわかった。そこでメロディの変化の交差回数に着目し、定量的にメロディがある基準の音に帰着することを示した。ここから、それぞれの被験者が好むメロディの特徴を明らかにした。

結論として、第0世代のランダムなメロディと第12世代のメロディには明確な違いがあった。そして、そこには人間の好み働いていた。また、知覚的適合度が高いメロディには音の高さや変化などに傾向が存在したが、より理解を深めるためには実験に用いた音の種類、遺伝的アルゴリズムなどの実験設定を変更することや、より多くの性別や年代の被験者に実験を行ってもらう必要があるとわかった。

7章 参考文献

- [1] Nao Tokui and Prof Hitoshi Iba (2000) “Music Composition with Interactive Evolutionary Computation”, International Conference on Generative Art.
- [2] Takagi Hideyuki (1998) “Interactive Evolutionary Computation : System Optimization Based on Human Subjective Evaluation”, IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems,1998,17-19.
- [3] Shimpei Koga and Makoto Fukumoto (2014)A Creation of Music-Like Melody by Interactive Genetic Algorithm with User's Intervention, C. Stephanidis (Ed.): HCI 2014 Posters, Part I, CCIS 434, pp. 523-527, 2014. © Springer International Publishing Switzerland 2014
- [4] 伊庭齊志 (2015) 『進化計算と深層学習 <<創発する知能>>』,オーム社.
- [5] 高木英行 (2000) 『遺伝的アルゴリズム』,九州大学大学院芸術工学研究院.
- [6] 北野宏明 (1991) 『遺伝的アルゴリズム』,カーネギー・メロン大学,日本電気(株).
- [7] <https://mathworld.wolfram.com/UniformDifferenceDistribution.html>
2023年1月25日アクセス
- [8] 後藤靖宏 (2009) 『メロディの音高情報の抽出能力と音楽熟達度との関係』
北星論集(文)第46巻第2号(通巻第51号).
- [9] 津崎実 (1988) 『音楽知覚心理学の動向 旋律-ピッチ知覚を中心として』 -
The Japanese Journal of Psychology 1988, Vol 59, No. 3, 176-190.
- [10] P.N. Juslin and J.A. Sloboda (2001) “Music and emotion: Theory and research”, Oxford University Press, New York (2001)
- [11] Fuentes-Sánchez, N., Pastor, R., Escrig, M. A., Elipe-Miravet, M., & Pastor, M. C. (2021) “Emotion elicitation during music listening: Subjective self-reports, facial expression, and autonomic reactivity. Psychophysiology”, 58(9), Article e13884.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/psyp.13884>

- [12] Nieves Fuentes-Sánchez, Raúl Pastor, Tuomas Eerola, Miguel A. Escrig, M. Carmen Pastor, “Musical preference but not familiarity influences subjective ratings and psychophysiological correlates of music-induced emotions”, *Personality and Individual Differences* ,Volume 198, November 2022, 11182
- [13] Makoto Fukumoto, Yoshiko Hanada (2019) “Investigation of the efficiency of continuous evaluation-based interactive evolutionary computation for composing melody”, 2019 Institute of Electrical Engineers of Japan. Published by John Wiley & Sons, Inc, Volume15, Issue2,February 2020,Pages 235-241

8章 謝辞

本論文は多くの方に協力してもらったことで書き上げることができました。第一にお世話になったのはミケレット・ルジェロ教授です。研究を始める前に、「興味を持って、楽しいと思えることを研究しなさい」と言って頂いたおかげで、能動的に研究に取り組みこの研究を成し遂げることができました。本当にありがとうございました。

またこの研究をするにあたって、たくさんのアドバイスや指導を下された本研究室の先輩方と、いつでも意見交換をしてくれた同期のメンバーのおかげで充実した研究生活を送ることができました。ありがとうございました。

そして、この実験にたくさんの方が参加して下さいました。本研究室のメンバー以外にも、協力してくれた全ての方に心から感謝申し上げます。ありがとうございました。