

「身体性に着目した音の概念化」

○中山功一⁽¹⁾⁽²⁾, 井ノ上直己⁽¹⁾⁽²⁾

(1)NICT ユニバーサルメディア研究センター, (2) ATR 認知情報科学研究所
〒619-0288 京都府「けいはんな学研都市(相楽郡精華町)」光台二丁目2番地2
Tel : 0774-95-1098, Fax : 0774-95-2647, E-mail : knakayama@atr.jp

概要: 本論文では, 人の身体と環境との相互作用により, 音の高さ(音高)という連続値情報が, 音階という離散情報へと概念化される過程を, マルチエージェント・シミュレーションにより検証した. その結果, より心地よい音をより多くの頻度で発生させる学習メカニズムにより, 事前に音階を明示的に与えることなく, 現在の純正律に近い音階が概念化されることを示した.

1. はじめに

筆者らは, 概念を人間の知能の基礎と捉える視点から, 人工知能研究に取り組んでいる[中山03]. 前回のMYCOM2005の発表[中山05a]では, 環境からの情報入力概念化に向けた研究として, 概念獲得システムの構成法について議論した. 人工生命モデルを用いて, “不快”, “餓え”, “渇き”という単純な概念を創発的に獲得する実験例を示した. しかし, これらの研究で獲得した概念は, 人工生命モデルという特殊な環境における概念であり, 実際に人類が獲得してきた概念と比較できず, 概念の正当性について議論することができない.

本論文では, 実際に人が情報の概念化を実現した例として, 音の概念化による音階の創発に注目する. 古代ギリシャにおいて音の協和性を数学的に探求したピタゴラスは, 単弦楽器(図1)を用いた実験から, 二つの弦の長さの比が単純な整数比となるときに, 二つの音の響きが

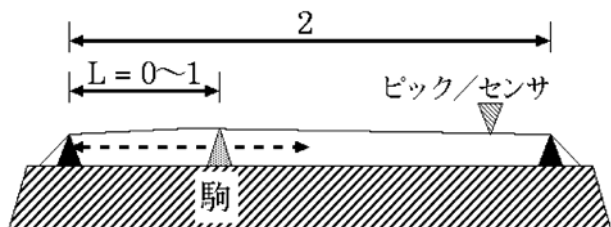


図1 単弦楽器

心地よいことを発見したと言われている[ジョン 89]. 音の高さ(音高)は周波数(Hz)で表される連続値であるが, 現代音楽の多くでは, 離散化された音階として, 1オクターブが対数的に12半音に分けた純正律(Pure Temperament), または平均律(Equal Temperament)が用いられる.

筆者らは, 人の身体と環境との相互作用と, 人類が心地よい音を追求した結果として, 現在の12音階が創発的に概念化されるという仮説を立て, 音の高さ(音高)という連続値情報が, 音階という離散情報へと概念化される過程を, 複数の単弦楽器を用いたマルチエージェント・シミュレーションにより検証し, エージェントにより概念化された音階を実際の音階と比較する.

2. 実験モデル

本章では, 人が発音や受音に用いる身体や機器類を単弦楽器モデルとして, 発音用/受音用単弦楽器を用いた発音/受音行為をエージェントとしてモデル化する. また, 人がより心地よいと感じる音をより多くの頻度で発音するようになるメカニズムを, エージェントの学習アルゴリズム

ムとしてモデル化する[中山05b].

・人の受音器官に基づく発音/受音モデル

人は、内耳にある蝸牛官（図2）で音高を知覚する[牧田 86]. 蝸牛官では、音高に応じて知覚する場所が異なり、周波数が高いほど手前で知覚する（図3）. 一方、弦楽器から発せられる音は、音高が基本周波数の整数倍である倍音成分を多く含む. このため、二つの弦の長さの比が単純な整数比となる場合、すなわち、二つの弦から発する音の基本周波数が単純な整数比となる場合、二つの弦から発するそれぞれの音の倍音が蝸牛官内の同じ位置で共鳴し、人は音の響きが心地よいと感じる.

本実験モデルでは、発音及び受音機器として、それぞれ図1に示す長さ2の1本の弦からなる単弦楽器を想定する. 楽器の弦を押さえる駒は、左から $L_{out} \in \{0 \sim 1\}$, $L_{in} \in \{0 \sim 1\}$ の範囲で移動可能である. 楽器は、駒の位置により決定される基本周波数（固有振動数）を持ち、基本周波数 $F_1(L)$ と、その倍音の周波数成分「 $F_n(L) = n \times F_1(L)$ (n は自然数)」を含む音を発する. ここでは、基本周波数が400Hzから800Hzまでの1オクターブであるモデルとして、「 $F_1(L) = 800/(2-L)$ 」とする. 受音時には、弦の固有振動数と同一周波数成分を多く含む音を受けると共鳴として知覚される.

・エージェントとその学習モデル

楽器などを用いた発音行為（音の発生）、および聴覚などを用いた受音行為（音の知覚）を、それぞれエージェントとしてモデル化する. エージェントは、遺伝子として駒の位置を持つ. 各エージェントは、単位時間ごとに自らの遺伝子に応じて発音する. このとき、ランダムに選択された他のエージェントが、発せられた音を受音する.

エージェントは、より心地よい音をより多くの頻度で発音/受音するように駒の位置 L を学習する. 本論文では、人が同一周波数成分を多く含む音を心地よいと感じるという前提に基づき、エージェントの評価値を単弦楽器の共鳴の度合いに応じて決定する. 高い評価を得たエージェントが分裂し、低い評価を得たエージェントが消滅する.

3. 実験

本章では、3つの実験モデルとその結果について述べる.

- ・単純モデル：発音用楽器が発する音は基本周波数の $n \in \{2,3,4,5\}$ 倍の倍音成分を均等な音量で含む. 受音用楽器は、基本周波数の $m \in \{2,3,4,5\}$ 倍の倍音成分を含む音に対して共鳴する.

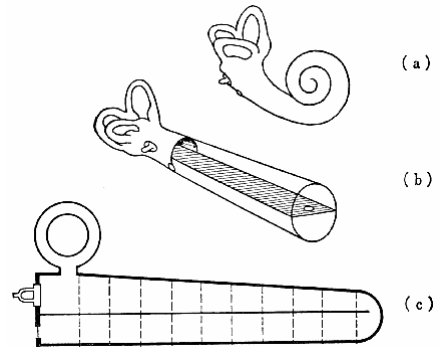


図2 蝸牛官

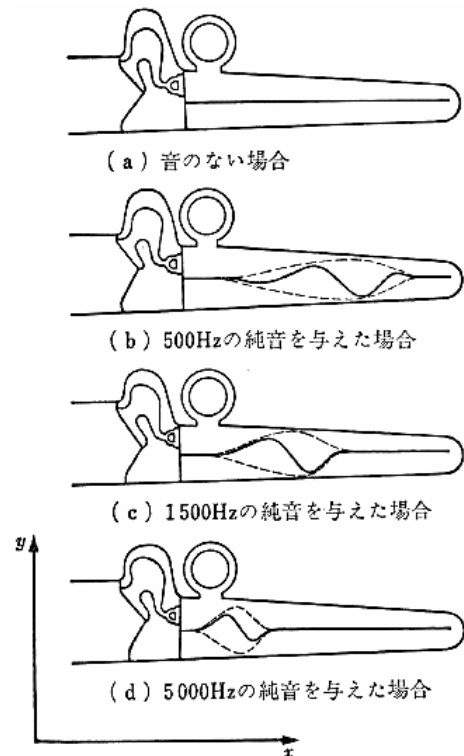


図3 音高の知覚

- **現実的モデル**：発音用楽器が発する音は基本周波数の $n \in \{2, 3, \dots, 10\}$ 倍の倍音成分を含み、 n 倍音の音量は基本周波数の 0.9^n 倍となる。受音用楽器は、基本周波数の $m \in \{2, 3, \dots, 10\}$ 倍の倍音成分を含む音に対して共鳴する。これは、実際の弦が5倍音以上の倍音成分を含み、基本周波数に比べて倍音成分の音量は高倍音ほど減衰して小さい点をモデル化したものである。さらに、音階生成の観点から、発音エージェントと受音エージェントの基本周波数がほぼ等しい(基本周波数の差が10Hz未満)場合に負の評価を与える。
- **超現実モデル**：発音用楽器が発する音は基本周波数の $n \in \{2, 3, \dots, 20\}$ (約4.3オクターブ) 倍の倍音成分を均等な音量で(音量の減衰なく)含み、受音用楽器は基本周波数の $m \in \{2, 3, \dots, 20\}$ 倍の倍音成分を含む音に対して均等に共鳴する。また、現実的モデルと同様に、発音エージェントと受音エージェントの基本周波数がほぼ等しい場合には、負の評価を与える。

<実験結果>

各実験モデルにおいて、エージェントの遺伝子(駒の位置)の値を0.01ごとに分類した個体数比率を図4~6に示す。

図4から、単純モデルでは、エージェントの遺伝子が3つの値に収束したことが分かる。これら3つの値が示す音の周波数比は、ほぼ3:4:5となり、452Hzをドとすると、それぞれド・ファ・ラに相当した。また、このときのファとラの周波数は、平均律におけるファ・ラより純正律におけるファ・ラに近い値となった。

図5から、現実的モデルでは、エージェントの遺伝子が6つの値に収束したことが分かる。これら6つの値が示す音の周波数比は、ほぼ36:40:45:48:54:60となり、408Hzをソとすると、それぞれソ・ラ・シ・ド・レ・ミに相当した。また、このときそれぞれの音の周波数は、平均律における値より純正律における値に近かった。

図6から、超現実モデルでは、エージェントの遺伝子が9つの値に収束したことが分かる。これら9つの値が示す音の周波数比は、10等分平均律に近い値となり、現在の12音階や、主に用いられている他の音階とは異なるものであった。

4. 考察

いずれのモデルにおいても、事前に明示的な音階は与えていないが、エージェントの自律的な学習により、3~10個の音からなる音階を創発的に獲得した。これは、人類が用いてきた楽器などの発音機器が「発せられる音に倍音成分が含まれ

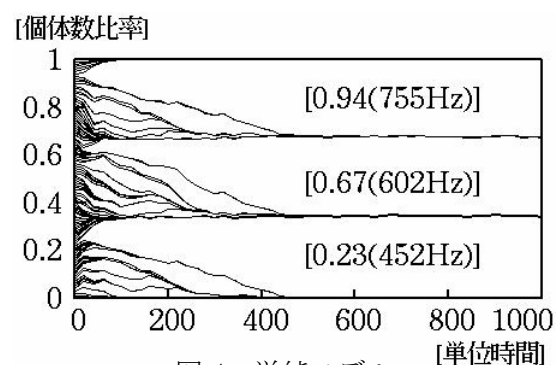


図4 単純モデル

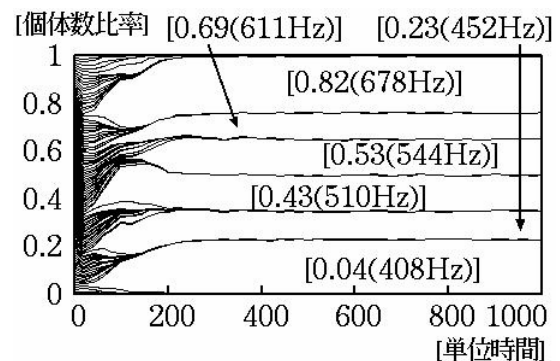


図5 現実的モデル

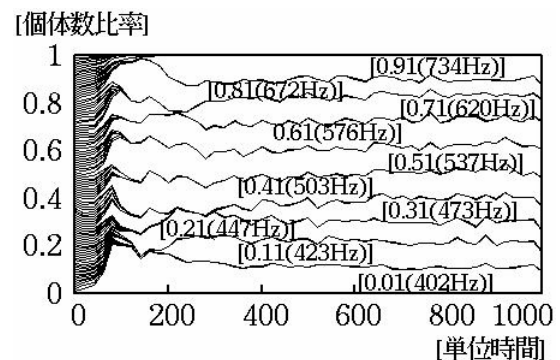


図6 超現実モデル

る」という条件を満たし、人の聴覚などの受音機器が「同一周波数成分を含む音を心地よいと感じる」という条件を満たす場合には、「より心地よいと感じる音の発生頻度を増加させる」という学習メカニズムにより、連続値である音高が離散値である元始の音階へと概念化される可能性を示すものである。

単純モデルでは、現在の12音階においてド・ファ・ラに相当する3つの音からなる音階が現れたが、それ以上の音からなる音階は現れなかった。一方、現実的モデルでは、現在の12音階により近いソ・ラ・シ・ド・レ・ミに相当する6つの音からなる音階が現れた。これらの結果から、現在の12音階に近いより多くの音からなる音階が生成されるためには、「発音用楽器が5倍音以上の倍音を含む」、「高倍音の音量は減衰して小さい」、「同一音を発音した場合に不快と感じる」といった条件が必要であると考えられる。

超現実モデルの結果は、倍数の大きな音まで減衰なく発生する楽器が古くから存在し、それらの音を知覚できる人々からなる集団では、現在とは異なる音階が生成されていた可能性を意味する。逆に、一部の民族で用いられる12音階とは異なる音階が生成され、共有される条件を検討することで、その民族の身体的特徴や楽器の特徴が推測できる可能性がある点も興味深い。

本論文で述べたような音階の構成論的なアプローチを用いることで、どのような条件ではどのような音階が生成されるのかが検証可能となり、既に存在する音階の解析的なアプローチでは得ることが難しかった音階に対するより深い理解や新たな知見が得られると期待される。

5. おわりに

本論文では、「楽器などが発する音には、倍音成分が含まれる」という特徴と、「人は、同一周波数成分を多く含む音を、心地よいと感じる」という特徴がある場合、より心地よい音をより多くの頻度で発生させることにより、音階が創発的・自然発生的に生成され、共有されることをマルチエージェント・シミュレーションにより示した。その結果、現在の12音階に近い音階の生成には、発音機器に含まれる倍音成分がある程度多い、高い倍音成分ほど音量が小さい、といった条件が必要であることを示した。

今後の課題として、地理的な影響が生成される音階に与える影響の検証があげられる。また、音楽を、同一周波数成分を多く含む音が「空間的に調和した和音(code)」や「時間的に調和した旋律(melody)」の組み合わせであるとして捉えることで、本論文で示した方法の応用により、音階の生成だけでなく、新しい音楽の創発的な生成法(作曲法)への展開が考えられる。さらに、本手法を用いることで、楽器の特徴に応じたその楽器のための音階や、聴覚などの個人が持つ身体性の特徴に応じた音階など、カスタムメイドな音階生成・提示システムなどへの展開が期待される。

参考文献

- [中山 03]中山 功一, 下原勝憲, 片井修: "概念を獲得する知能ネットワークシステム(INS)の提案", MYCOM2003, <http://mycom.alife.cs.is.nagoya-u.ac.jp/2003/proceedings/6-1-nakayama.pdf>
- [中山 05a]中山 功一, 松井博和, 下原勝憲: "概念獲得システムの構成法", MYCOM2005, http://mycom.alife.cs.is.nagoya-u.ac.jp/2005/MYCOM2005_proceedings.pdf#page=30
- [中山 05b]中山 功一, 下原 勝憲 "身体性に着目した音階の発生過程に関する考察", 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 82, pp.59-64 (2005).
- [ジョン 89]ジョン・R・ピアーズ: "音楽の科学", 日経サイエンス社, 1989.
- [牧田 86]牧田康雄: "現代音響学(改訂2版)", オーム社, 1986.