

# コードの数理的分析

## コードの和音性に注目した分析と作曲への応用

### 1. 研究動機

- ・音楽の評価はかなりの部分を人の感性に依存している  
→音楽特徴量など、数理的分析がある
- ・作曲するとき、コードを上手く考えられないのが悩み  
→実際、コードは楽曲に対してどこまで影響するのか？  
楽曲の中でコードはどのような構造になっているのか？

数値化することで楽曲内のコード構造を分析し、  
作りたい楽曲に合わせてコードを選択できるようにすることを目指す

### 3. コードを分析する観点

- モダリティ (Modality)**  
…和音が明るい (= 長調に近い) か暗い (= 短調に近い) かを示す値
  - 調の明瞭度 (Key Clarify)**  
…調性がどれだけ明確に表れているかを示す値、和音の安定度 (主和音の出現率) やトニック周辺の音度の出現などによって変化する
  - コード進行の複雑性 (Harmonic Progression Complexity)**  
…和声の動きが予想可能か意外なのかを示す値
- 以下の分析では自分の曲データ (バンド編成、打ち込み音源、約50秒) を使用した

### 2. コードとは？ → 三つか四つの音で構成される和音の名称

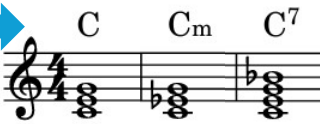


図1 コードの例

※音程差は2音の音程を半音で表記

例: 「さくら(独唱)/森山直太郎」でのコード  
さくら さくら 今、咲き誇る 刹那に散りゆく定めと知って  
G D Em D C G Am7 Dsus4

音程差※によって以下のように分けられる

- メジャー (例: C)  
…音程差が4, 3
- マイナー (例: Cm)  
…音程差が3, 4
- 7<sup>th</sup> (例: C7)  
…3音に加えて7thの音を合わせた4音

○他にもdimやaugなど様々な種類がある

### 4. 検証①モダリティ

- コードについては構成音の音程差から算出
  - ・3倍音まで重ねて検証した
  - ・参考文献[1][4]を参照に以下のように定義
- 参考: モダリティ値と音程差

$$M = - \left[ \text{音量} \right] \times \frac{\left[ \text{音程差} \right]}{1.214} \times \exp \left[ \frac{\left[ \text{音程差} \right]^4}{4} \right]$$

- 【音量】・倍音では音量が小さくなるのを表現
- 【音程】・2音目と3音目の音程から1音目と2音目の音程を引いたもの (例: Cでは3-4=-1)
- exp[] ・指数関数を表す (exp(x)=e^x)

○楽曲分析についてはMATLABの楽曲解析ツールmirtoolboxを利用[5]

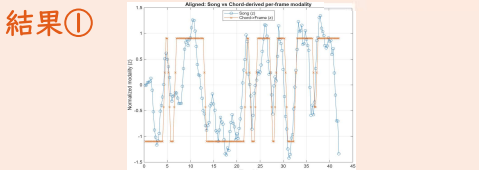


図2 コードと楽曲のモダリティ値の比較 (相関係数R = 0.7277)

- ・コードと楽曲の間では強い正の相関がある
- コードの持つ雰囲気は曲にも表れている
- ・曲の最初と最後ではコードと楽曲とでモダリティの値が乖離している
- 楽器の編成による違いか分析の過程の誤差なのか更なる検証が必要

### 7. 楽曲分析への応用 「夜に駆ける/YOASOBI」の分析

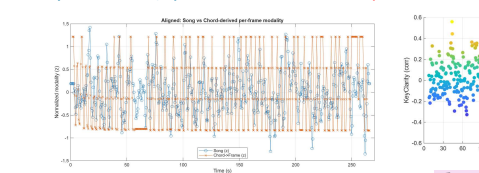


図7 コードと楽曲のモダリティの値の比較 (相関係数R=0.2331)

- モダリティ (図7)**
- ・相関が低い……コードに関わらず楽曲の雰囲気が決まっている
- 楽器・パートが多くより複雑な構造だから？
- ・楽曲のモダリティ値が高い(曲が明るい)
- イントロ・サビ、転調の部分
- ・楽曲のモダリティ値が低い(曲が暗い)
- 関連が見られなかった

- 調の明瞭度 (図8~10)**
- ・異なる調を示す、相関が弱い、KSの分布が異なるなど予測通りの結果)
- ・KSの値は楽曲の方が強い

### 8. 今後の課題・展望

- ・たくさんの曲のコードのデータで分析を行う
- ・自分の曲にどのように活かしていくのか (コード→楽曲の応用の仕方)
- ・曲の音声データを楽器ごとに分離して分析する

### 5. 検証②調の明瞭度

- Krumhansl-Schmucklプロファイル法[6]の利用
- ・コード、楽曲の各音の強さを分析する
- ・24つの調(12つの調×長調短調の2つ)のテンプレートとの相関を求め最も相関が高い調の相関を明瞭度と定義する
- Key Strength…その時点での調の強さを表す指標
- Relative Clarify…KSを正規化、他の調に対する相対度数を表す

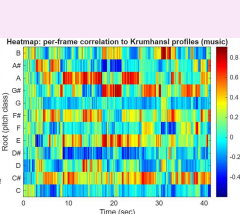


図3 コード(左)と楽曲(右)の調

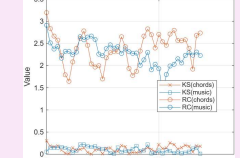


図4 コードと楽曲の調の明瞭度の相関

- ・コードと楽曲の間では異なる値をしめすことが多い
- 明瞭度の相関が弱い、KSの分布が異なる
- 調の明瞭度・調性はコードに依存しない
- ・楽器の方が明瞭度の値が高く出ている (図3)
- 重なっている音がより多いため調が強く出る？

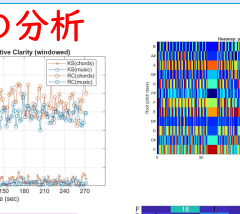


図5 コードと楽曲のKS, RC

- ・コードと楽曲の間では異なる値をしめすことが多い
- 明瞭度の相関が弱い、KSの分布が異なる
- 調の明瞭度・調性はコードに依存しない
- ・楽器の方が明瞭度の値が高く出ている (図3)
- 重なっている音がより多いため調が強く出る？

### 6. 検証③コード進行の複雑性

- 隣接和音間の和声距離の平均と分散の合計値 (= 平均遷移距離 (harmonic distance)) の値を利用
- ・コードは構成音に注目して12次元のベクトルに変換し隣接する和音との距離を分析した。
- ・楽曲も同じ評価基準で比べるため、検証②で定義した調の明瞭度の値を利用

結果③ 表1 コード進行の複雑性(HPC)

FrameSec	HPC(chords)	HPC(song)	Correlation
0.02	0.7963	0.0021	0.020041
0.04	0.7963	0.0050	-0.041186
0.01	0.7963	0.0040	-0.2471
0.2	0.7963	0.0114	-0.098957

- ・楽曲の複雑性が著しく低く、研究に使えない
- 一定義に問題がある？

### 検証③+α

- コードのみ追加で分析
- ・コードの遷移を表す行列(adjacency)をグラフ化
- ・avg\_clustering…遷移グラフの平均クラスター係数 → 局地的な循環の強さを示す

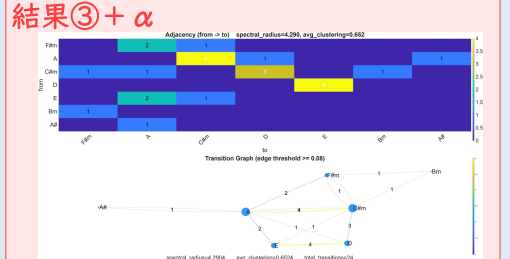


図6 遷移行列(上)とコード進行の頻度(下)

- ・avg\_clusteringが高い、C#mとAが頻出
- 複雑性は低い、循環に近い

### 8. 今後の課題・展望

- ・たくさんの曲のコードのデータで分析を行う
- ・自分の曲にどのように活かしていくのか (コード→楽曲の応用の仕方)
- ・曲の音声データを楽器ごとに分離して分析する

参考文献

- [1] 藤澤 隆史, Norman D Cook, 長田 典子, 井原 穂弘, 和音認知に関する心理的モデル, 2006
- [2] 千葉 潤, 今澤 洋子, 松本 浩志, 和音に関する印象特徴量計算モデルの検証実験による検証および 四和音への拡張, 2024
- [3] 上原 実咲, 伊 藤 貴之, 渡辺 浩志, コード進行に注目したJ-POP音楽の可視化, 2016
- [4] 藤澤 隆史, Norman D Cook, 長田 典子, 井原 穂弘, 和音認知に関する心理的モデル, 2006
- [5] Oliver Lartillot, Petri Toivonen, "A Matlab Toolbox for Musical Feature Extraction From Audio", International Conference on Digital Audio Effects, Bordeaux, 2007.
- [6] Oliver Lartillot, Petri Toivonen, "A Matlab Toolbox for Music Information Retrieval", in C. Preisach, H. Burkhardt, L. Schmidt-Thieme, R. Decker (Eds.), Data Analysis, Machine Learning and Applications, Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization, Springer-Verlag, 2008
- [6] David Temperley, "What's a Key for Key? The Krumhansl-Schmuckler Key-Finding Algorithm Reconsidered", 1999