

データサイエンスによる楽曲分析

Song Analysis Based on Data Science

小松 隆行*

Takayuki Komatsu

概要

本稿では、データサイエンスの手法を用いて、日本人が好む代表的な楽曲のメロディを構成する音高（ピッチ）と音価（音の長さ）の情報理論や情報工学の分野で定義される各種のエントロピーや相互情報量を算出し、それらを尺度にして楽曲の分布を可視化し、さらにデータサイエンス的な視点から機械学習の教師なし学習の手法である k-means 法を用いて、似たものを同一グループに分類するクラスター分析を試みる。分析する楽曲は、代表的な文部省唱歌、J-pop の代表的な女性アーティスト達の代表曲である。エントロピーによる散布図とクラスターリング結果から、それぞれに特徴があることを報告する。

1. はじめに

楽曲の分析は、クラシック音楽をはじめ、ポピュラー音楽についても数多く行われている。著作権切れ楽曲の電子データのデータベースや、研究目的で制作された楽曲データベース⁽¹⁾も存在し、音楽研究に役立っている。近年は、音楽配信のシステムが普及し、Google の音楽認識技術⁽²⁾では、Finger Print（指紋）という楽曲毎の特徴量データを使い、一般ユーザがスマートフォンを使い、音で楽曲を検索できるシステムも開発され実用化されている。生成系 AI の学習データ利用としての著作物利用は、制限や議論中のものも多いが、日本の著作権法で許可された情報解析を目的とした統計的な処理での楽曲のメロディや歌詞の分析研究^{(3) (4) (5)}は、実例も多く興味深かつ意義あることであると考えられる。

本報告の目的は、日本人が好む代表的なメロディをデータサイエンスの視点から分析することである。基本となる尺度は、情報工学やデータサイエンスの分野で重要とされる情報エントロピーを用いる。分析対象の楽曲は、代表的な文部省唱歌（以下「唱歌」と略す場合あり）、日本のポピュラー音楽の分野で長年秀逸な楽曲を数多く提供してきたシンガーソングライターの松任谷由実と中島みゆきの代表的な楽曲とする。具体的には、楽曲毎の各種エントロピーや相互情報量を算出し、これらを使って

それらの分布を散布図にて可視化し、代表的な教師なし学習の手法である k-means 法を使ってクラスターリングを行い、特徴を調べる。

2. データ分析の流れと分析環境について

メロディ分析処理の全体の流れを説明する。最初に、メロディのデータを Music21⁽⁶⁾という音楽処理ライブラリでグラフ化し可視化し概観する。次に、メロディデータからエントロピーを算出し、散布図を作成後、クラスターリングを行う。本報告でも、著作権法が許可する範囲内で、情報解析を目的としてメロディの情報の統計処理や可視化を行う。全ての処理は、MacBook Pro (14 インチ, 2021), Apple M1 Max, メモリ 64 GB, MacOS Monterey で行った。プログラム開発は、Anaconda 仮想環境において Jupyter Notebook で Python アプリにより行った。

3 Music21 によるメロディの可視化

3.1 文部省唱歌の可視化

まず、楽曲のメロディを概観するために、音楽データの解析のための Python 言語のライブラリである Music21 を用いて、日本の代表的な文部省唱歌を可視化してみる。唱歌は、それらが五線譜形式で掲載されている楽譜を参照し、音楽制作ソフト (DAW) で手入力により入力したものを、データ形式を

MusicXML 形式にして出力し用意する。入力メロディは、歌詞付きの歌があるワンコーラス部分のみとしている。Music21 には、様々な可視化メソッドが用意されているが、音高と音価（四分音符単位長さ）毎の出現頻度の 3 次元グラフでの可視化例を図 1、図 2 に示す。Music21 の音高軸を、全楽曲のグラフで同一にするために、C3 から C6 までの半単位ですべての音高の全音符（四分音符が 4 個分の長さ）をダミーで 1 つ必ず入れた。これは Pitch 軸に出現頻度 1 で表れている quarter Length 4.0 の要素として現れている。「七つの子」（図 1）と「かごめかごめ」（図 2）のグラフを比較してみると、後者のほうが出現する音高の種類が少なく、この 2 つの楽曲を聴き比べた時に、後者の方が単純（単調）な印象を受けることを、スペクトル的なグラフから視覚的に捉えることができると考えられる。

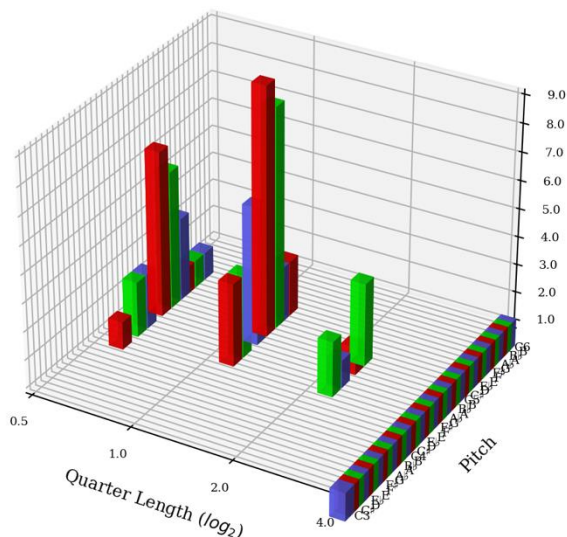


図 1 「七つの子」の音の出現頻度

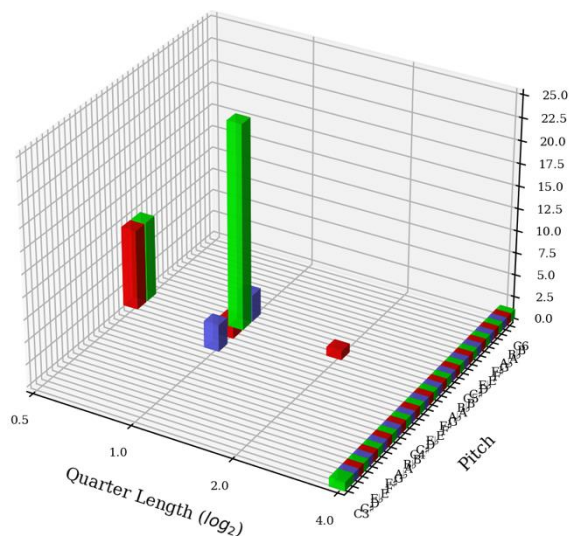


図 2 「かごめかごめ」の音の出現頻度

3.2 アーティストの楽曲の可視化

次に、ポピュラー音楽の楽曲を可視化し、楽曲の特徴を概観してみる。J-Pop 分野で長年活躍し多くの楽曲をリリースしている松任谷由実の 2 つの楽曲のグラフを図 3 と図 4 に、中島みゆきの 2 つの楽曲のグラフを図 5 と図 6 に示す。キー（調）が異なる楽曲を比較するために、MusicXML 形式の楽曲を、DAW 上でキーを C メイジャー（ハ長調）に移調したものを可視化している。グラフでの可視化で、やはり楽曲毎のメロディのスペクトル的な特徴を概観することができ、実際にメロディを聴いた時の印象やイメージを視覚的に捉えることができる。メロディ全体で使われている音高の種類やそれらの出現頻度の確認、音価の種類やそれらの出現頻度の確認、これらの比較などが視覚的に概観でき、楽曲と楽曲の比較も視覚的に概観できると考えられる。

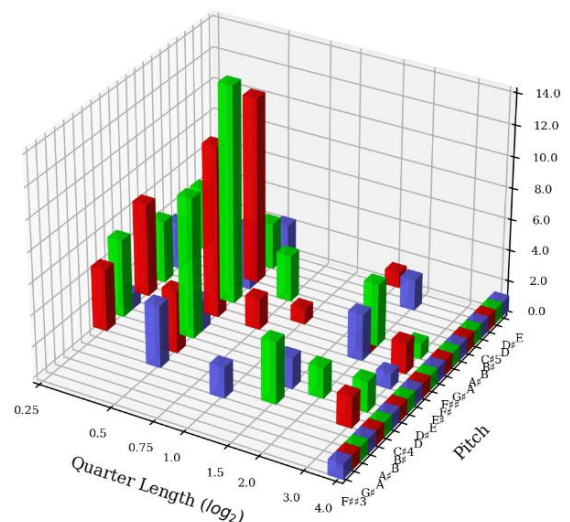


図 3 「やさしさに包まれたなら」の音の出現頻度

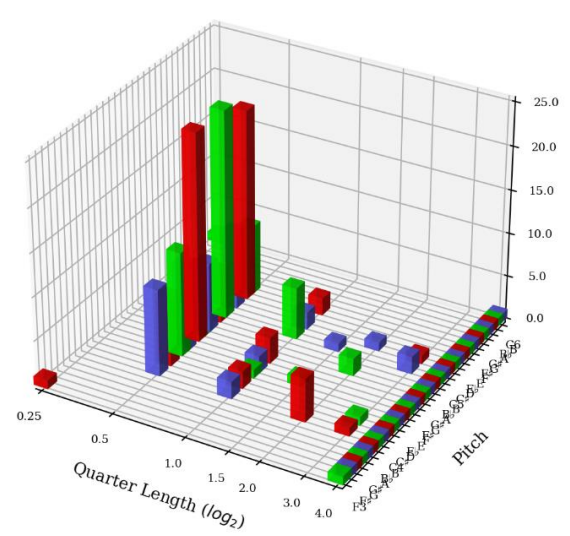


図 4 「守ってあげたい」の音の出現頻度

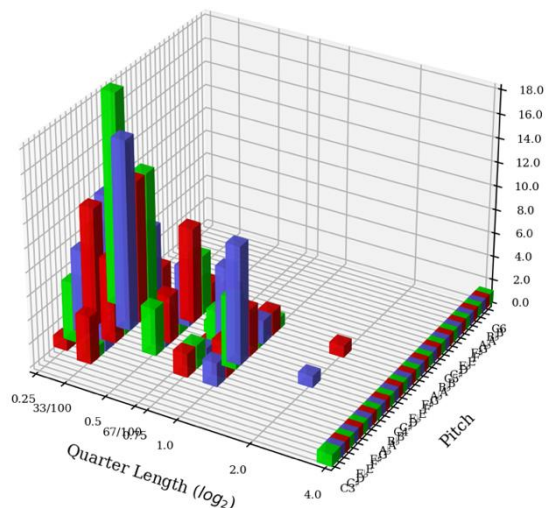


図5 「時代」の音の出現頻度

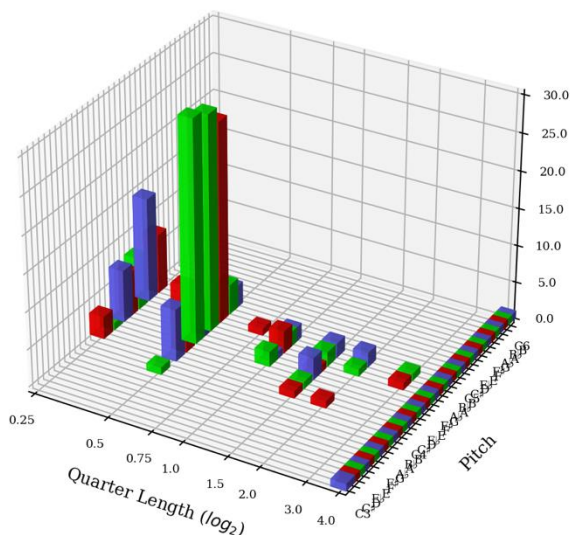


図6 「宙船」の音の出現頻度

4. 楽曲のメロディのエントロピー

一般に X が離散値をとる確率変数であるとき、情報理論⁽⁷⁾などで中心的な役割を担う情報エントロピー $H(X)$ は、その確率分布 $P(X)$ を用いて、式(1)で定義される。 \log の底は2とする。この量は、データの符号化において、圧縮の限界という重要な意味も持っている⁽⁷⁾。データサイエンスにおいても、これを応用した損失関数の尺度など、様々なところで使われている。直感的には、データの乱雑さを捉える指標とも解釈できる。情報エントロピーは「小さいほど予想がしやすい」「大きいほど不確かさが増す」という解釈もできる。

$$H(X) = -\sum P(X) \log P(X) \quad (1)$$

また、 X, Y が離散値をとる2つの確率変数とするとき、それらの結合エントロピーは、同時確率分布

$P(X, Y)$ を用いて以下の式で定義できる。

$$H(X, Y) = -\sum P(X, Y) \log P(X, Y) \quad (2)$$

2つの確率変数に相関がある場合は、これらから求められる条件付きエントロピー $H(X|Y)$ と $H(Y|X)$ 、および相互情報量 $I(X; Y)$ を以下の式で算出できる。

$$H(X|Y) = H(X, Y) - H(Y) \quad (3)$$

$$H(Y|X) = H(X, Y) - H(X) \quad (4)$$

$$I(X; Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) \quad (5)$$

$$= H(X) - H(X|Y) = H(Y) - H(Y|X) \quad (6)$$

$H(X|Y)$ は、 Y を知った後に残る X の不確かさであり、 $H(Y|X)$ は、 X を知った後に残る Y の不確かさである。相互情報量 $I(X; Y)$ は、 $H(X)$ と $H(Y)$ に共通に含まれる部分であり、 X と Y が互いに独立であるとき $I(X; Y) = 0$ となる。

4.1 メロディの音高と音価のエントロピー

メロディにおける音高と音価は、確率的にランダムに発生しているものではない。かつ、ある音が発せられるとき、それが以前に発せられた音に依存していることで情動が生まれるので、無記憶情報源ではなく、マルコフ情報源を想定すべきであるが、分析の単純化のためにメロディ全体の中での相対的な出現頻度を確率と捉えることにして、メロディを構成する音高を確率変数 X の実現値、音価を確率変数 Y の実現値としてエントロピーを算出し、分析を行う。 X は $C3$ から $C6$ までの半音単位のすべての音高のどれかをとるものとする(式(7))。 Y は四分音符単位(「」)での長さ(「」なら1.0, 「♪」なら0.5, 三連符は33/100などの分数値)である(式(8))。ただし、楽曲毎に出現する実現値は、これらの集合の中の一部の要素のみであり、楽曲毎に異なる。

$$X \in \{C3, C\#3, D, D\#3, E3, \dots, A5, A\#5, B5, C6\}. \quad (7)$$

$$Y \in \{0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, \dots, 4.0, \dots\} \quad (8)$$

前章で示したように、一つの楽曲でのこれらの出現頻度のグラフを確率分布として、一つの楽曲のメロディに定義され算出されたエントロピーにより、その楽曲の単純さ複雑さを直感的に捉えることができると考えられる。 $H(X)$ の大小は、メロディとして出現する音高の「予想のしやすさ」、直感的な表現では「単調なのか、変化に富んでいるのか」を、 $H(Y)$ の大小は、メロディとして出現する音価の「予想のしやすさ」、直感的な表現では「単調なのか、変化に

富んでいるのか」を捉えることができると考えられる。また、エントロピーは期待値としての量であることを留意する必要がある。ある一つの楽曲を最初から最後まで聴いた時のメロディの印象を象徴する量として捉える必要がある。H(X, Y)は、音高と音価の間の相関を考慮しているので、これらの関係を考慮した「単調なのか、変化に富んでいるのか」の量であると考えられる。図5の「時代」では、 $H(X, Y)=5.18$, $H(X)=3.17$, $H(Y)=2.24$, 図6の「宙船」では、 $H(X, Y)=4.18$, $H(X)=2.78$, $H(Y)=1.59$ である。

4.2 メロディの条件付エントロピーと相互情報量

条件付きエントロピー $H(Y|X)$ は、音高を知った後に残る音価の不確かさであり、その大小は、ある音高の音が出現した時の音価の予想しやすさを意味すると解釈される。小さければ単純(単調)であり、大きければ予想しにくいので、変化に富んでいると解釈される。相互情報量 $I(X;Y)$ は、音高と音価の両方に含まれる不確かさの量であり、音高と音価の一方を知った時、他方のエントロピーの減少量である。その大小はこれらの関係の強弱を表すとも言える。

5. 楽曲のクラスタリング

5.1 文部省唱歌のエントロピーとクラスタリング

ここでは、代表的な文部省唱歌のエントロピーを算出し(図8)、それを尺度にしたクラスタリングを行った。分析した楽曲は、「一月一日」「海」「海(同名異曲)」「かごめかごめ」「荒城の月」「さくら」「月」「夏の思い出」「夏は来ぬ」「7つの子」「はと」「富士の山」「冬景色」「冬の夜」「ふるさと」「ペチカ」「村の鍛冶屋」「村祭り」「めだかの学校」「桃太郎」「ゆうやけこやけ」「ゆりかごの歌」「旅愁」「もみじ」の合計24曲である。図7に、エントロピー $H(X)$

と $H(Y)$ による散布図とクラスタリング結果を示す。Euclid 距離によるk-means法を用いた。クラスター数は、エルボー法により6とした。全体的にエントロピーの値が小さい領域に分布している。 $H(X)$ の分布範囲に比べ、 $H(Y)$ の分布範囲は小さい値の領域になっている。クラスター2に分類されている「かごめかごめ」の $H(X)$ は非常に小さいことは、音高の出現が単調であることを定量的に捉えていると考えられる。クラスター3に分類されている「ペチカ」の $H(X)$ はこれらの楽曲の中では高いが、 $H(Y)$ が非常に小さい。音高の出現は変化に富んでいるが、音価の出現は単調であることが定量的に捉えられていると考えられる。また、クラスター1の「旅愁」は $H(X)$ と $H(Y)$ の両方が高く、音高も音価も出現が変化に富んでいることを定量的に捉えていると言える。「旅愁」と「かごめかごめ」以外の他のクラスターの楽曲は、 $H(X)$ が約2.2から約3.0、 $H(Y)$ が約0.6から約1.5の範囲に散在しているが、 $H(X)$ と $H(Y)$ の大小で4つの領域にクラスタリングされていることが分かる。この範囲内のほぼ中央にある楽曲は「夏は来ぬ」であり、 $H(X)=2.616$, $H(Y)=1.036$ である。

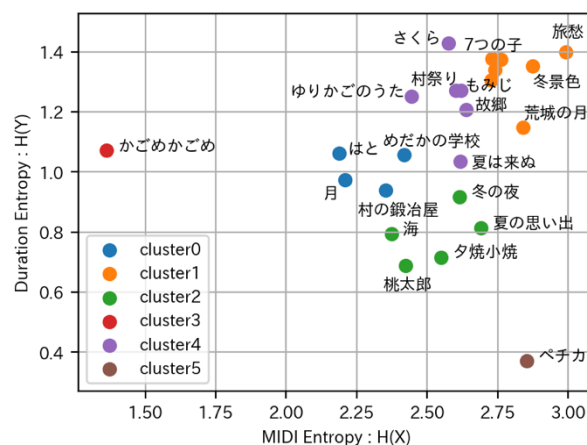


図7 文部省唱歌のクラスタリング：その1

	Joint Entropy	MIDI Entropy	Duration Entropy	Conditional Entropy MIDI Duration	Conditional Entropy Duration MIDI	Mutual Information	$I(X,Y)/H(X,Y)$	$I(X,Y)/H(X)$	$I(X,Y)/H(Y)$
./90SMF_xml_C/10129_Tsuki_CAI.xml	3.055037	2.207555	0.974489	2.080547	0.847482	0.127008	0.041573	0.057533	0.130333
0SMF_xml_C/10139_NatsuNoOmoide_CAI.xml	3.126283	2.691588	0.814827	2.311456	0.434695	0.380131	0.121592	0.141229	0.466518
./90SMF_xml_C/10141_NatsuHaKinu_CAI.xml	3.521121	2.616231	1.036082	2.485039	0.904891	0.131192	0.037258	0.050145	0.126623
./90SMF_xml_C/1014_3NanatsuNoko_CAI.xml	3.958968	2.730226	1.377311	2.581657	1.228742	0.148569	0.037527	0.054416	0.107869
./90SMF_xml_C/10153_Hato_CAI.xml	2.850188	2.186628	1.061278	1.788910	0.663560	0.397718	0.139541	0.181886	0.374754
./90SMF_xml_C/10173_FujiNoYama_CAI.xml	3.988273	2.762374	1.375135	2.613138	1.225899	0.149236	0.037419	0.054024	0.108524
./90SMF_xml_C/10175_Fuyugeshiki_CAI.xml	3.987773	2.874524	1.353137	2.634636	1.113249	0.239888	0.060156	0.083453	0.177283
./90SMF_xml_C/10177_FuyuNoYoru_CAI.xml	3.417819	2.614856	0.918296	2.499523	0.802963	0.115333	0.033745	0.044107	0.125594
./90SMF_xml_C/10179_Furusato_CAI.xml	3.683502	2.638354	1.207330	2.476172	1.045148	0.162182	0.044029	0.061471	0.134331
./90SMF_xml_C/10183_Pechika_CAI.xml	3.142784	2.853527	0.371232	2.771552	0.289257	0.081976	0.026084	0.028728	0.220820
./90SMF_xml_C/10197_MuraNoKajiYa_CAI.xml	3.065353	2.353814	0.938925	2.126427	0.711539	0.227387	0.074180	0.096604	0.242178

図8 文部省唱歌の楽曲のエントロピーと相互情報量の計算結果(抜粋)

次に、 $H(X)$ 、 $H(Y)$ 、 $I(X;Y)$ の3つを使いクラスタリングを行った。クラスター数はエルボー法で5とした。結果を図9から図11に示す。図9のプロット点を、 $H(X)$ と $I(X;Y)$ の平面に投影したのが図10、 $H(Y)$ と $I(X;Y)$ の平面に投影したのが図11である。文部省唱歌にも、エントロピーの尺度で複数クラスターに分けられる多様性があることが分かる。

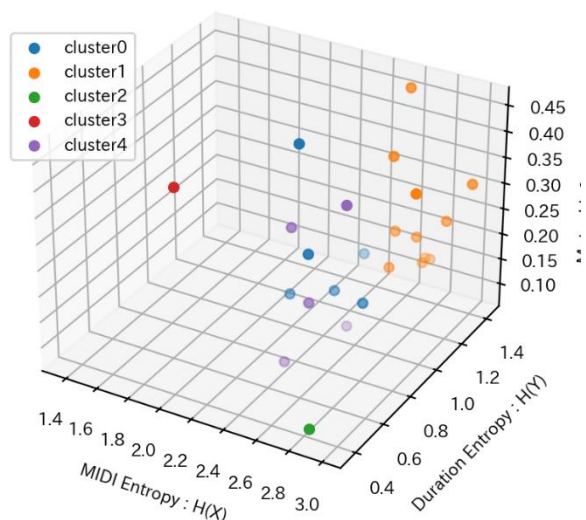


図9 文部省唱歌のクラスタリング：その2

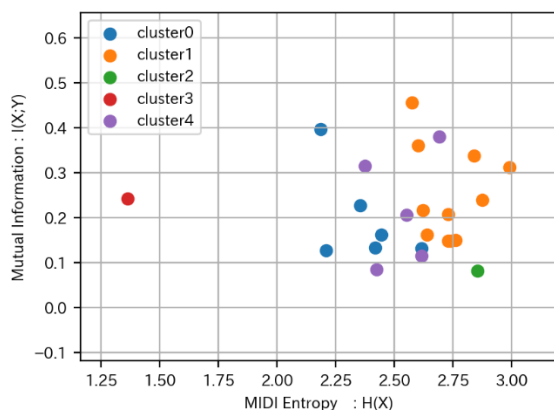


図10 唱歌の散布図：横軸 $H(X)$ ，縦軸 $I(X;Y)$

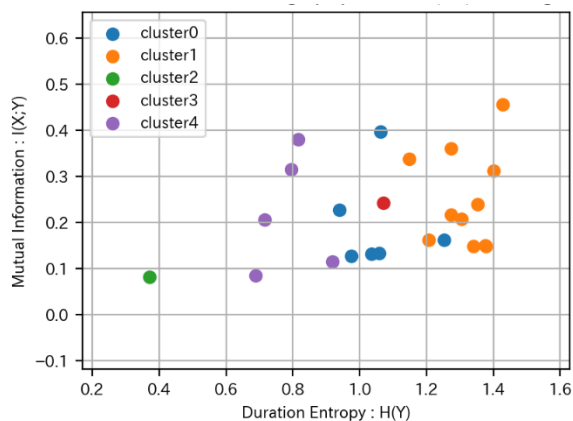


図11 唱歌の散布図：横軸 $H(Y)$ ，縦軸 $I(X;Y)$

5.2 松任谷由実の楽曲のクラスタリング

ここでの分析対象楽曲は、松任谷由実のベストアルバム「日本の恋と、ユーミンと。」から選んだ代表曲40曲である。楽曲毎にエントロピーの値を算出し(図16)、k-means法でクラスタリングを行う。エルボー法によりクラスター数は7とした。図12は、 $H(X)$ と $H(Y)$ の散布図とその結果である。 $H(X)$ が約2.5から約3.4、 $H(Y)$ が約0.6から約2.6の範囲に散在している。文部省唱歌の分布領域に加えて、それよりも両エントロピーとも高い値の領域に渡り、広く散在している。これらの楽曲の中で、クラスター2の「A HAPPY NEW YEAR」は、 $H(X)=2.490$ で最小だが、 $H(Y)$ は比較的高く、クラスター1の「守ってあげたい」は、 $H(X)=3.392$ で最大だが、 $H(Y)$ は比較的低い。クラスター5の「カンナ8号線」は $H(Y)=0.657$ で最小である。クラスター1の「青いエアメール」は、 $H(Y)=2.608$ で最大である。楽曲の分布のほぼ中央にあるのは「DESTINY」などである。

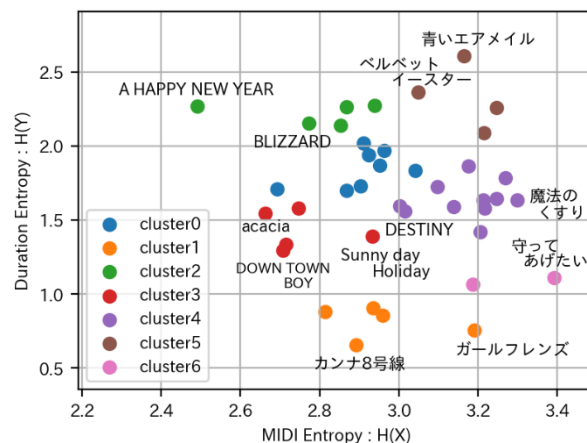


図12 松任谷由実のクラスタリング：その1

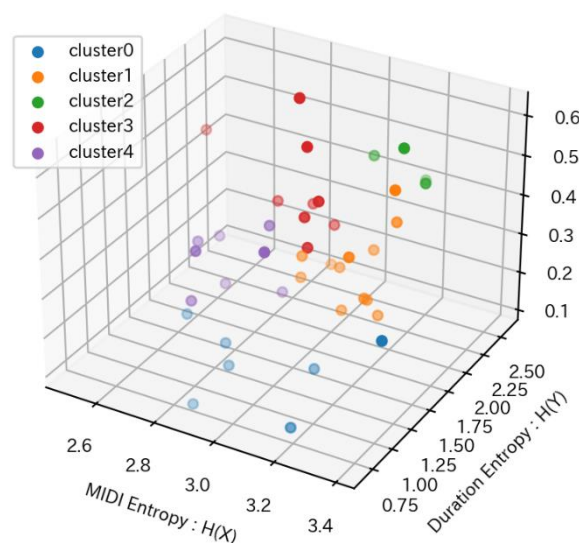


図13 松任谷由実のクラスタリング：その2

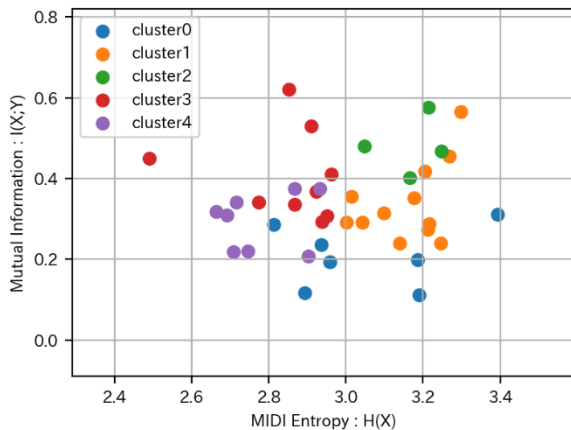


図 14 松任谷由実の散布図：横 $H(X)$ ，軸 $I(X;Y)$

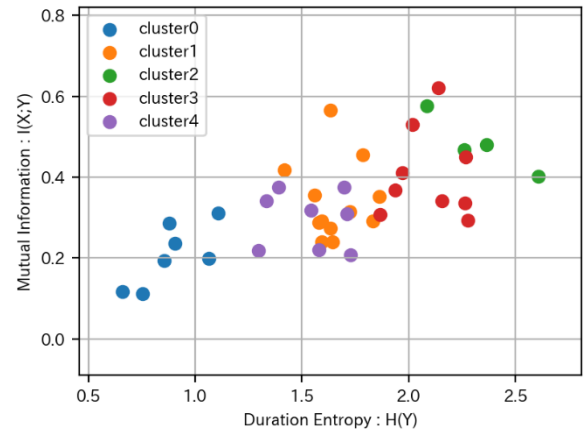


図 15 松任谷由実の散布図：横 $H(Y)$ ，縦 $I(X;Y)$

	Joint Entropy	MIDI Entropy	Duration Entropy	Conditional Entropy MIDI Duration	Conditional Entropy Duration MIDI	Mutual Information	$I(X,Y)/H(X,Y)$	$I(X,Y)/H(X)$	$I(X,Y)/H(Y)$
ng_C/101_YasashisaNiTsusumaretanara_CALL.xml	4.724060	3.215027	2.085871	2.638189	1.509034	0.576838	0.122106	0.179419	0.276545
./01yuming_C/102_MamotteAgetai_CALL.xml	4.190200	3.392574	1.107769	3.082431	0.797626	0.310143	0.074016	0.091418	0.279971
./01yuming_C/103_SotsugyoSyashin_CALL.xml	4.370557	2.852173	2.138976	2.231580	1.518383	0.620593	0.141994	0.217586	0.290136
./01yuming_C/104_HelloMyFriend_CALL.xml	4.686017	3.176161	1.862096	2.823921	1.509857	0.352240	0.075168	0.110901	0.189163
./01yuming_C/105_DOWNTOWNBOY_CALL.xml	3.785335	2.707830	1.296130	2.489205	1.077505	0.218625	0.057756	0.080738	0.168675
./01yuming_C/106_KoibitoGaSantaClaus_CALL.xml	4.205409	3.205605	1.418270	2.787140	0.999804	0.418465	0.099506	0.130542	0.295053
./01yuming_C/107_DandeLion_CALL.xml	4.573168	3.212639	1.634326	2.938841	1.360528	0.273798	0.059871	0.085225	0.167530
./01yuming_C/108_RougeNoDengon_CALL.xml	4.188947	2.867646	1.697167	2.491780	1.321301	0.375866	0.089728	0.131071	0.221467
./01yuming_C/109_SunnyDayHoliday_CALL.xml	3.948833	2.933069	1.391554	2.557279	1.015763	0.375790	0.095165	0.128122	0.270051
./01yuming_C/110_MahoNoKusuri_CALL.xml	4.365054	3.298325	1.632688	2.732366	1.066729	0.565959	0.129657	0.171590	0.346642
./01yuming_C/111_acacia_CALL.xml	3.887552	2.663176	1.542676	2.344876	1.224376	0.318300	0.081877	0.119519	0.206330
./01yuming_C/112_AoiAirMail.xml	5.373052	3.165403	2.608524	2.764529	2.207649	0.400874	0.074608	0.126642	0.153679

図 16 松任谷由実の楽曲のエントロピーと相互情報量の計算結果（抜粋）

次に、 $H(X)$ 、 $H(Y)$ 、 $I(X;Y)$ の3つを使いクラスタリングを行った。クラスター数はエルボー法で5とした。図14と図15を考慮しつつ、図13を確認すると、3次元空間でのクラスタリングの結果が把握しやすい。 $H(X)$ と $H(Y)$ が共に小さい領域のクラスターと、 $H(X)$ が約3.0を境界にして分けられる領域をさらに $H(Y)$ が約1.4から約1.9の領域と、約1.9以上の領域に分けてできる4つの領域でクラスターができていく様子が把握できる。図15から $H(Y)$ と $I(X;Y)$ の間に緩やかな比例関係が見られる。

5.3 中島みゆきの楽曲のクラスタリング

分析対象楽曲は、中島みゆきのセレクトアルバム「ここにいるよ」とシングル集「Singles」から選んだ代表曲30曲である。楽曲毎にエントロピーの値を算出し(図21)、k-means法によりクラスタリングを行う。エルボー法によりクラスター数は7とした。図17は、 $H(X)$ と $H(Y)$ の散布図とクラスタリング結果である。 $H(X)$ が約2.5から約3.5、 $H(Y)$ が約1.2から約2.3の範囲に散在している。松任谷由実の結

果(図12)と比較すると、 $H(X)$ の分布範囲はほぼ同じであるが $H(Y)$ がより狭い範囲であることが分かる。音価の出現傾向が、松任谷由実ほど変化に富んでいないことが定量的に捉えられていると考えられる。エントロピーの最大と最小と見ると、クラスター5の「ファイト!」の $H(X)=2.467$ が最小で、クラスター6の「誘惑」の $H(X)=3.483$ が最大である。2番目に大きいのは $H(X)=3.312$ の「わかれうた」である。クラスター2の「孤独の肖像」は、 $H(Y)=0.622$ で最小であり、 $H(X)$ も比較的低い。クラスター3の「時代」は、 $H(Y)=2.247$ で最大であり、 $H(X)$ も比較的高い。はずれ値気味の「孤独の肖像」以外の楽曲の分布のほぼ中央にあるのは「りばいばる」である。次に、 $H(X)$ 、 $H(Y)$ 、 $I(X;Y)$ の3つを使ったクラスタリングを図18から図20に示す。クラスター数はエルボー法で5とした。ここでも前節に近い、 $H(X)$ と $H(Y)$ が共に小さい領域のクラスターと、 $H(X)$ が約3.0を境界にして分けられる領域を、 $H(Y)$ の境界をそれぞれ約1.6、約1.75にして分けられる4つの領域でクラスターができていくことが分かる。

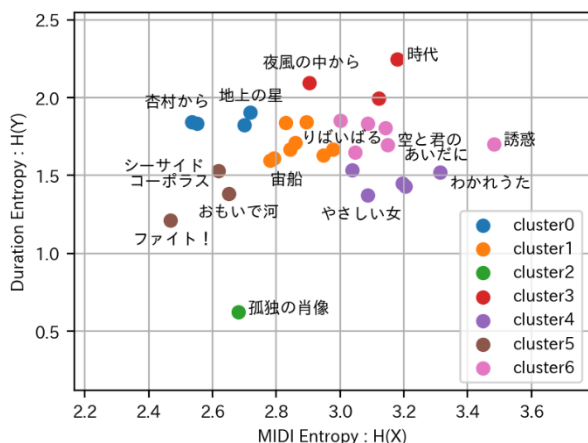


図 17 中島みゆきのクラスタリング：その 1

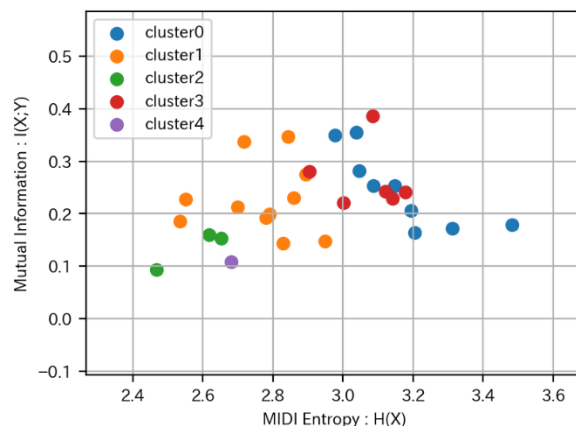


図 19 中島みゆきの散布図：横 $H(X)$ ，軸 $I(X;Y)$

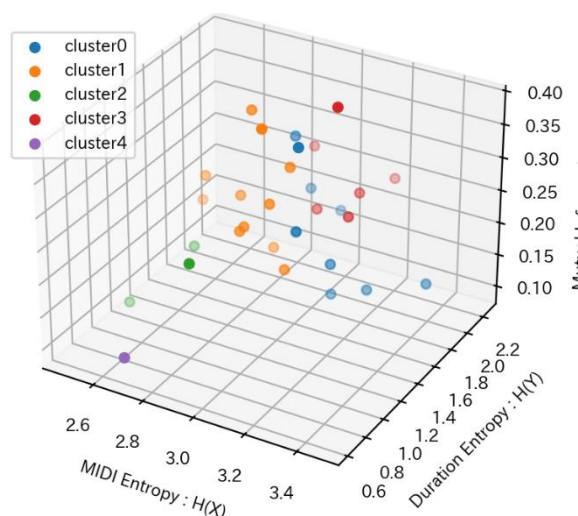


図 18 中島みゆきのクラスタリング：その 2

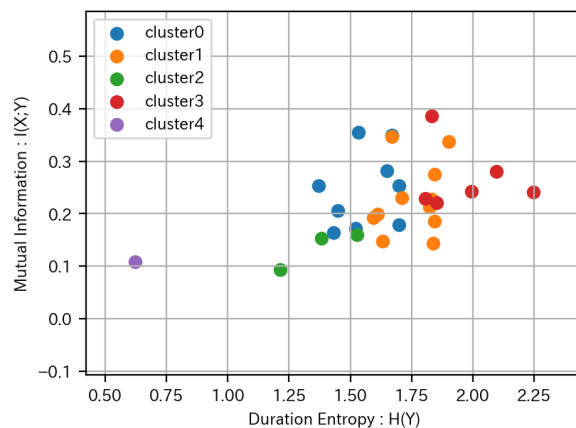


図 20 中島みゆきの散布図：横 $H(Y)$ ，縦 $I(X;Y)$

	Joint Entropy	MIDI Entropy	Duration Entropy	Conditional Entropy MIDI Duration	Conditional Entropy Duration MIDI	Mutual Information	$I(X,Y)/H(X,Y)$	$I(X,Y)/H(X)$	$I(X,Y)/H(Y)$
02miyuki_C/001_SoraToKimiTonoAidaNi_CALL.xml	4.593340	3.148537	1.698178	2.895162	1.444803	0.253375	0.055161	0.080474	0.149204
./02miyuki_C/003_SoraFune_CALL.xml	4.181926	2.780023	1.594841	2.587085	1.401903	0.192938	0.046136	0.069402	0.120976
./02miyuki_C/004_Ito_CALL.xml	4.157232	2.551527	1.832838	2.324394	1.605705	0.227133	0.054636	0.089019	0.123924
./02miyuki_C/005_Fight_CALL.xml	3.586448	2.467232	1.212572	2.373876	1.119215	0.093356	0.026030	0.037839	0.076990
./02miyuki_C/010_Jidai00_D_CALL.xml	5.184355	3.178258	2.247591	2.936764	2.006097	0.241494	0.046581	0.075983	0.107446
./02miyuki_C/011_HomeNite_CALL.xml	4.875023	3.121098	1.996005	2.879018	1.753925	0.242080	0.049657	0.077562	0.121282
./02miyuki_C/013_ChijyoNoHoshi_CALL.xml	4.284219	2.718112	1.903507	2.380712	1.566106	0.337401	0.078754	0.124131	0.177252
./02miyuki_C/101_AzamiJyoNoLalaby_CALL.xml	4.465017	2.894364	1.845243	2.619773	1.570653	0.274591	0.061498	0.094871	0.148810
./02miyuki_C/103_AiDakewoNokose_CALL.xml	4.431906	2.948523	1.630956	2.800950	1.483384	0.147573	0.033298	0.050050	0.090482
./02miyuki_C/109_Bojyo_CALL.xml	4.719227	3.141203	1.807617	2.911609	1.578024	0.229593	0.048651	0.073091	0.127014
./02miyuki_C/202_SeasideCoporouse_CALL.xml	3.985942	2.617609	1.528247	2.457694	1.368332	0.159915	0.040120	0.061092	0.104640
./02miyuki_C/203_MikaeriBijin_CALL.xml	4.340581	2.859343	1.711148	2.629433	1.481238	0.229910	0.052968	0.080407	0.134360
./02miyuki_C/206_Uwasa_CALL.xml	4.217354	3.037321	1.534542	2.682812	1.180033	0.354509	0.084060	0.116718	0.231019

図 21 中島みゆきの楽曲のエントロピーと相互情報量の計算結果（抜粋）

6. 文部省唱歌とアーティストの楽曲の散布図

これまでの章で分析したすべての楽曲を一つの散布図にしてみる（図 22 から図 24）。文部省唱歌と 2 アーティストの楽曲のプロット点は、それぞれの色で色分けされている（唱歌はシアン，松任谷は橙色，

中島はマゼンタ）。 $H(X)$ と $H(Y)$ による散布図（図 22）では，唱歌は $H(X)$ と $H(Y)$ が共に小さい領域，松任谷由実の楽曲は共に大きい領域を中心に，それぞれ広く散在している。中島みゆきの楽曲は両方にまたがって散在しているが， $H(Y)$ が約 1.5 から約 2.1 の

やや狭い領域に多くが集まっていることが分かる。音高と音価のそれぞれで、文部省唱歌は単純な印象、松任谷由実の楽曲は変化に富んでいる、中島みゆきの楽曲は、音高では変化に富んでいるが音価では一定の特徴がある、という解釈ができると思われる。

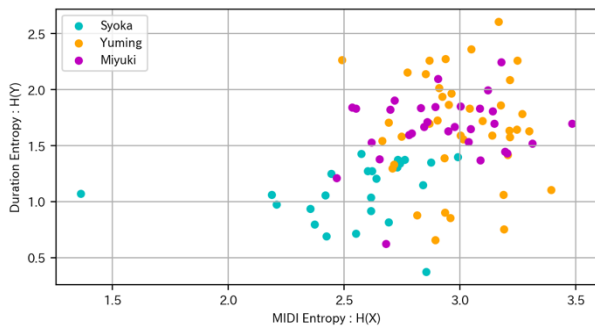


図 22 全楽曲の散布図：横 $H(X)$ ，縦 $H(Y)$

図 23 は、横軸に $H(X, Y)$ ，縦軸に $I(X; Y)$ とした散布図である。文部省唱歌においては、 $H(X, Y)$ が小さい領域（約 4.1 以下）に散在しており $I(X; Y)$ の分布幅は広い。松任谷由実の楽曲は $H(X, Y)$ の領域幅が広く（約 3.4 から約 5.4）、 $I(X; Y)$ の分布の領域幅も広い（約 0.1 から 0.61）。中島みゆきの殆どの楽曲は、約 $3.9 \leq H(X, Y)$ と大きく、 $I(X; Y) \leq$ 約 0.4 と小さい領域に集まっている。全体的に 2 つの量に緩やかな弱い比例関係が見られるが、楽曲毎の音高と音価の関係の強弱の $I(X; Y)$ は、広がりのある分布であることも特徴的な分布になることもあることが分かる。

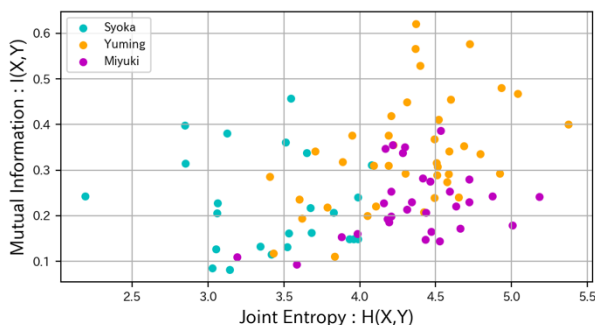


図 23 全楽曲の散布図：横 $H(X, Y)$ ，縦 $I(X; Y)$

図 24 は、横軸に $H(X)$ ，縦軸に「相関の測度」である $\rho = I(X; Y) / H(X)$ をプロットした散布図である。 $0 \leq \rho \leq 1$ で、 $H(X)$ に含まれる $I(X; Y)$ の割合を表し、 X と Y の関係の強さを表す⁽⁷⁾。唱歌は $H(X)$ が低い領域に、松任谷由実の楽曲は $H(X)$ が高い領域に、 ρ が約 0.025 から約 0.20 に広く散在している。中島みゆきの楽曲は、 $H(X)$ が高い領域に散在しているが、 $\rho \leq 0.125$ と他より狭い範囲に集まり、音高と音価の関係が相対的に比較的弱いと解釈される。

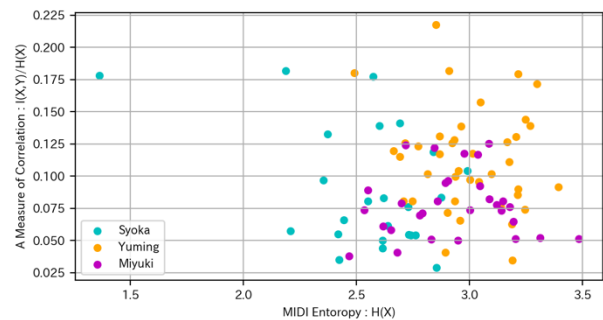


図 24 全楽曲の散布図：横 $H(X)$ ，縦 $I(X; Y) / H(X)$

7. まとめ

楽曲のメロディを、エントロピーを尺度とし可視化し、クラスタリングを行った。文部省唱歌と二人のアーティストの楽曲、それぞれでのクラスタリングで特徴を捉えた。全楽曲の散布図でも特徴的な知見が得られた。今後も、分析する楽曲を増やすことや、他のクラスタリング手法を用いることも興味深い。楽曲を聴いたときの印象や情動とクラスタリング結果の照合と妥当性の検証も必要である。

参考文献

- (1) RWC 研究用音楽データベース，2024 年 3 月 2 日，<https://staff.aist.go.jp/m.goto/RWC-MDB/index-j.html>.
- (2) Google' s Next Generation Music Recognition，2024 年 3 月 2 日，<https://blog.research.google/2018/09/google-next-generation-music.html>.
- (3) 伊藤 雅光，J ポップの日本語研究—創作型人工知能のために—，朝倉書店，2017.
- (4) 長野俊樹，J-POP バンド“スピッツ”の旋律構成に関する研究，2024 年 3 月 2 日，<https://fukuoka-edu.repo.nii.ac.jp/records/1608>.
- (5) 楽譜データベースを用いた日本ポピュラー音楽の旋律分析，2024 年 3 月 2 日，https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=55869&item_no=1&page_id=13&block_id=8.
- (6) music21: a Toolkit for Computer-Aided Musicology，2024 年 3 月 2 日，<https://web.mit.edu/music21/>.
- (7) Thomas M. Cover, Joy A. Thomas, Elements of Information Theory, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2006.