

## ネットワーク表現を用いた民謡の音楽的概念の比較

河瀬 彰宏 往住 彰文

東京工業大学大学院社会理工学研究科

本研究では、大規模音楽コーパスをネットワーク表現で記述し、ネットワーク分析の種々の解析方法を適用することで楽曲の旋律が持つ複雑な概念の記述・表現を試みる。具体的には、中心音の概念に基づくネットワーク化アルゴリズムを提案し、3ヶ国の民謡の音楽コーパスからネットワークを構築し、ネットワークの基本統計量、中心性分析を通してそれぞれのネットワークを計量的に比較する。そして、音楽楽曲データのネットワーク分析における将来的方向性について解決すべき問題を明確化する。

### Comparison methodology of musical schemes using network expression

Akihiro Kawase Akifumi Tokosumi

Graduate School of Decision Science and Technology  
Tokyo Institute of Technology

This study applies network analysis techniques to large-scale music corpora to attempt to describe and capture the complicated concepts that melody information carries. More specifically, we first design a networking algorithm based on the concept of centrality. Then, we construct networks from music corpora of folk songs from three countries and execute statistical analysis and network centrality analysis in order to numerically clarify the differences among the three networks. Based on these analyses, we will discuss some issues to suggest future directions in the application of network analysis to melodic data.

#### 1. はじめに

本研究では、民謡の音楽楽曲データをネットワーク表現で記述し、ネットワーク分析で培われた種々の分析方法を適用することで楽曲の音楽的概念を抽出し、比較を通して特徴の差異を明確化することを試みる。本研究における音楽的概念とは、音楽学において旋律の仕組みを表す「音組織」(Tonessystem)、すなわち、音階、音階、調性、テトラコルドなどの音楽の時間的要素を除いた体系、音の相互関係のことである。

認知科学の分野やコンピュータを用いた音楽楽曲分析では、とりわけ、近代西洋音楽における特定の作曲家や音楽作品の特徴把握、聴衆による音楽体験の解釈が主な対象とされている。他文化の音楽(非西洋音楽)がどのように概念化されているのか、ということについては音楽人類学[1]の視点に踏み込むに至っておらず、未だに完全に理解されていない。また、比較音楽学の分野では、文化人類学的なフィールドワークと歴史学的な文献調査を複合した人文的アプローチに基づいており[2]、非西洋音楽の大規模な音楽コーパスに基づく科学的アプローチによる音楽的概念の計量的な分析や客観的な判断指標の提示をした事例がほとんど存在しない。

本研究では、3ヶ国の民謡を対象を絞り、音楽楽曲データの計量的な分析を試みる。具体的には、3ヶ国の民謡の音楽コーパスをネットワ

ーク表現で記述することにより、それぞれの音高同士の体系的表示を視覚化し、人が発見できる大まかな音楽の特徴や相違を、ネットワークの基本統計量と中心性分析から明確化することを目指す。そして、分析を通して音楽楽曲データのネットワーク分析における将来的方向性について解決すべき問題点を明確化する。

#### 2. 先行研究

これまでに人間の概念を表すために様々な手法が用いられてきたが、近年注目されている手法にネットワーク分析がある。ネットワーク分析では、様々な対象を点と線によって抽象的に表現し、その構造的な特徴を把握する。

社会学では、人間関係や企業間の関係をネットワークとして表現し、情報の流れや個人の役割を分析する社会ネットワーク分析(social network analysis, SNA)がある[3-4]。認知科学では、人工知能上に意味ネットワーク(semantic network)の実装[5-6]、記憶に関するモデルをネットワークで表現したもの[7]など、知識構造をネットワークとして表現し利用している。情報工学では、hypertext 間の引用関係を持つ World Wide Web がネットワークそのものであり、ネットワークの紐帯数の関係に基づく検索エンジンの Page Rank[8]や、ページの性質や重要度を判定する計算手法が開発されている[9-10]。また、人文学では、複雑な思想や概念の関係性を記述

する上で有効であり[11]、例えば音楽評論論文に使用される語彙の出現頻度と文中の共起関係をネットワーク表現で記述することで、作曲家の音楽的概念を抽出する解析が行なわれている[12]。以上のように、ネットワーク分析は様々な分野において、複雑な関係性の記述・表現に活用されている。音楽コーパスの楽曲データについても同様にネットワーク表現で記述することにより、これまでに情報理論やグラフ理論の分野で培われた種々の分析方法を音楽分析に導入し、音組織という極めて抽象的な対象を客観的な基準から比較・評価することが可能であると考えられる。

小田[13]は、モロッコのアラブ=アンダルシア音楽の音組織を分析することを目的に、その旋律をネットワーク表現で記述している。小田は旋律を2音間の非対称行列で表現し、楽曲の特徴的な音高推移を抽出することを試みている。また、これに先んじて、柴田[14]も独立に日本民謡の旋律を協和関係と音程関係の2つの要素によって表現し、旋律のネットワーク表現を試みている。これら2つの先行研究では、楽曲の音高をグラフの頂点(vertex)、2音間の推移を弧(arc)として採用した上で、楽曲のネットワーク表現を与えている。しかし、いずれも単一楽曲からネットワークを構築しており、本研究で試みる音楽コーパス(楽曲群)を単位とした複数の楽曲からの計量的な分析を視野に入れたものではなかった。

### 3. 使用データの概要

本研究では、『日本民謡大観』[15]に最も多く収録されている5種目の日本民謡(子守唄、田植唄、田草取唄、地形唄、盆踊唄)の楽譜データ全1,794曲を電子化し、日本民謡コーパスを構築する。日本民謡の使用楽曲の譜例を図1に示す。また、日本民謡の比較対照として、スタンフォード大学CCARH(Center for Computer Assisted Research in the Humanities)が公開している楽曲データベースKern Scores[16]より、Essen Folksong Collectionの楽譜を電子化した中国民謡1,984曲とドイツ民謡2,286曲からそれぞれ音楽コーパスを構築する。

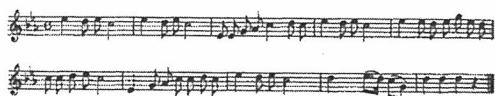


図1: 日本民謡楽曲の譜例

### 4. ネットワーク構築に関わる問題点

3ヶ国の民謡の音楽コーパスからネットワークを構築する際に、グラフの頂点と弧に旋律のどのような要素を割り当てるかという問題がある。単一楽曲をネットワークで表現した小田[13]と柴田[14]は共通して頂点に音高を、弧に2音間の推

移関係を割り当てていた。そして明示的でないものの、弧に推移回数を重み付けていた。人は音程(音高と音高の差分)に関する情報を頼りに旋律を記憶したり、聴き分けたり、歌えるため[17]、2つの先行研究のように音高の推移関係、すなわち、音程関係を反映したネットワークを構築することは認知科学の観点からは理に適った表現方法であると評価できる。したがって、本研究においても、この方針を基礎にネットワークを構築することを考える。

ここでは2つの先行研究とは異なり、複数の楽曲を対象としたネットワークの構築を目指しているため、何らかの基準を設けて各楽曲を統一的に処理する問題を解決しなければならない。再び認知科学の分野を参照すると、人は世界を見るときに自分自身を世界の中心に据えた視点を基準とする(中心性の概念)[18]。そして音楽の構造把握においても同様に、人は時間的に反復して出現し強調される音高や拍を音楽の中心にある音高や拍として位置づける[19]。したがって、人はこの中心性の概念によって旋律の音高を相対的に把握していると考えられることから、ここでは中心性の概念に基づき音楽コーパス中の各楽曲の旋律の音高を正規化し、処理する方法を考える。具体的には、楽曲全体を通して繰り返し出現する音高をその楽曲における中心的な音高(中心音)と位置付け、各楽曲の音高をこの音高からの相対的な音高として統一して表現する。

### 5. ネットワーク化アルゴリズム

音楽コーパス中の全楽曲の音高同士の体系的表示を目的とするため、コーパス中の旋律を正規化し、ネットワーク化アルゴリズムを提案する。

ネットワークの頂点を楽曲の中心音からみた相対的な音高とし、音高間の関係性の強さをどれだけ多くの音高推移があるのか、という尺度で測る。ただし、3ヶ国の民謡の音組織の抽出と比較を最終的な目標としているため、この目的に合わせて、頂点の大きさや、弧の距離の調整が行なえることが理想的である。ここではコーパス毎に旋律の音高を中心音からの相対音高として表し、旋律の隣接する2音間(bi-gram)を集計し、中心音からの相対音高をネットワークの頂点、音高間の連結を弧として採用する。ネットワーク化アルゴリズムは以下の通りである。

**Step 1** 音楽コーパスに含まれる任意の楽曲データに対して、出現する音高を時系列に並べた音高順列

$$\Sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, \dots, \sigma_e)$$

を作成する。ただし、 $\sigma_k$  ( $k \in \mathbb{Z}^+$ ) は  $\Sigma$  の  $k$  番目に出現する音高であり、MIDI Tuning Standard

が返す整数値（ $A4 \equiv 69$ ）を取る。また、 $\sigma_e$ は旋律の最後に出現する音高である。

**Step 2** 音高順列  $\Sigma$  の要素のうち、 $\Sigma$  全体を通して最も持続時間の長い音高  $\sigma^* \in [0, 127]$  を決定し、 $\Sigma$  中の全ての要素を  $\sigma^*$  からの相対的な音程として  $\sigma_k^* (= \sigma_k - \sigma^*)$  に置き換えた音程順列

$$\Sigma^* = (\sigma_1^*, \sigma_2^*, \dots, \sigma_k^*, \dots, \sigma_e^*)$$

を生成する。 $\sigma^*$  は音高の持続時間の分布における最頻値(mode)に該当し、これを楽曲の中心音と呼ぶ。

**Step 3** 音程順列  $\Sigma^*$  に含まれる  $i$  番目の音高を  $v_i$  とし、これを要素に持つ頂点集合を  $V$  とする。また、 $\sigma_k^*$  と  $\sigma_{k+1}^*$  ( $1 \leq k < e$ ) が表す音高をそれぞれ  $v_i, v_j \in V$  とするとき、両者の順序対を  $a_{ij} = (v_i, v_j)$  とし、 $\Sigma^*$  における順序対  $a_{ij}$  の出現回数を  $c_{ij} = \#(v_i, v_j)$  とする。 $a_{ij}$  を弧とし、これを  $c_{ij}$  で重み付けた弧集合を  $A$  とする。

**Step 4**  $V, A$  からネットワーク（有向グラフ） $D = \langle V, A \rangle$  を構築する。

したがって、音程順列  $\Sigma^*$  を生成する際に  $\Sigma$  の全ての音高から中心音  $\sigma^*$  の数値を差し引いているため、 $\Sigma$  における中心音  $\sigma^*$  に該当する音高の数値は  $\Sigma^*$  において常に数値 0 を取るようになる。また  $\Sigma^*$  における任意の音高  $\sigma_k^*$  の取り得る値は理論的には  $[-\infty, +\infty]$  の整数値であるが、人のハミングの発声帯域はおおよそ E2 音から G5 音（MIDI Tuning Standard の返す値が 40 から 79）の範囲内であるため、実質的には  $\sigma_k^* \in [-39, +39]$  よりも狭い区間に収まることが予想される。相対音高  $\sigma_k^*$  が示す数値と音程の対応関係は表 1 の通りである。ただし、 $\sigma_k^*$  が正で

あれば中心音よりも高い音程、負であれば低い音程を表す。

表 1: 相対音高  $\sigma_k^*$  と音程の対応関係

$ \sigma_k^* $	音程	$ \sigma_k^* $	音程
0	同度	7	完全5度
1	短2度	8	短6度
2	長2度	9	長6度
3	短3度	10	短7度
4	長3度	11	長7度
5	完全4度	12	完全8度
6	増4度/減5度	13	増8度

## 6. ネットワーク化の例

図 2 は、図 1 の日本民謡楽曲の譜例をネットワーク化アルゴリズムによって表現した例である。ネットワークの構築をアルゴリズムに沿って以下に説明する。

はじめに、図 1 の旋律は MIDI Tuning Standard が返す値によって音高順列  $\Sigma = (75, 74, 75, 72, \dots, 74)$  と表される(Step 1)。 $\Sigma$  において出現する音高の持続時間を集計していくことによって、楽曲を通して最も持続時間の長かった音高、すなわち、中心音  $\sigma^* = 72$  (C5) が決定する。 $\Sigma$  の音高から  $\sigma^*$  を差し引くことで、 $\Sigma^* = (+3, +2, +3, 0, \dots, +2)$  が生成される(Step 2)。 $\Sigma^*$  の音高から頂点集合  $V = \{-9, -5, -4, 0, +2, +3, +7\}$  および弧  $A = \{(+3, +2), (+2, +3), (+3, 0), \dots, (+2, +2)\}$  を数え(Step 3)、最終的に各弧が  $c_{ij}$  で重み付けされたネットワークが構築される(Step 4)。

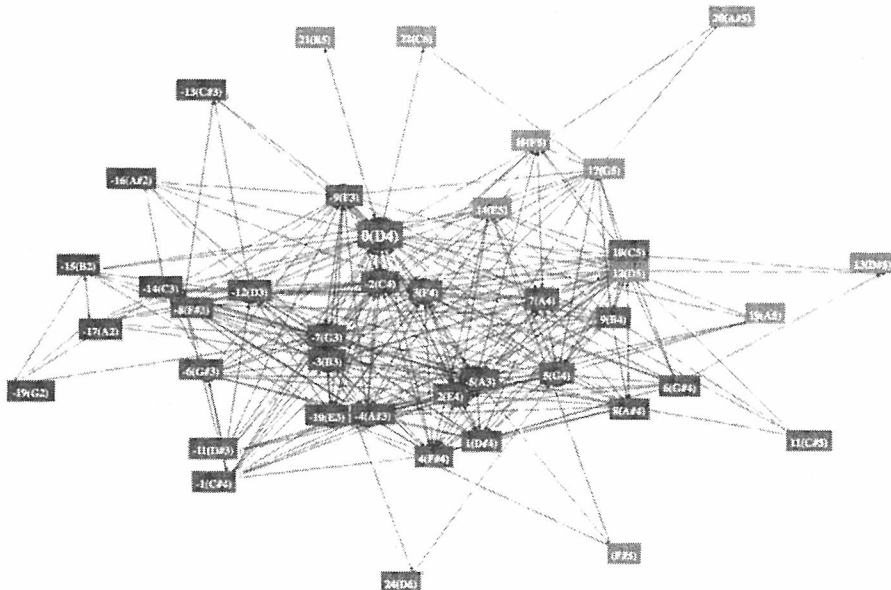


図 2 において、各頂点には頂点集合  $V$  の要素である整数値と共に便宜的に楽曲中で使用される音名を記した。このネットワークからは、中心音 0 (C5) と推移関係にある音高 -5 (G4) と -4 (Ab4) の限定的な推移傾向や、この 3 音間によって形成される都節のテトラコルド (音楽学者の小泉文夫が提唱した日本音楽に見られる 3 音高から構成される音組織の 1 種) [20]などを視覚的に確認することができる。

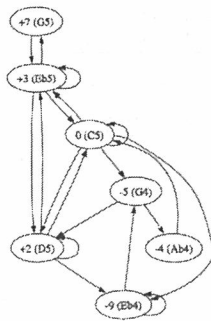


図 2: 単一曲から構築したネットワーク

## 7. 3ヶ国のネットワーク表現

ネットワーク化アルゴリズムによって構築した日本民謡、中国民謡、ドイツ民謡のネットワークをそれぞれ  $D_{JPN}$ ,  $D_{PRC}$ ,  $D_{FRG}$  とする。図 3 に  $D_{JPN}$  の概形を示す。ここでは弧の入次数が多いほど頂点  $v_i \in V$  の大きさを拡大し、 $v_i, v_j \in V$  間を経由する回数  $c_{ij}$  が多いほど弧  $a_{ij} \in A$  の距離を短く表現している。

図 4 は 3 ヶ国の民謡の音楽コーパスから生成した頂点の要素  $v \in V$  の度数分布である。各分布の基本統計量を表 2 に示す。図 4 において、日本民謡は  $v = 0$  (中心音) の占める割合が 29.99% であり、次いで  $\pm 2$  (中心音から長 2 度),  $\pm 5$  (完全 4 度),  $\pm 7$  (完全 5 度) の順にピークを取る。中国民謡は  $v = 0$  の占める割合が 26.13% であり、後続する分布のピークを取る音高は日本民謡とほとんど違いがない。ドイツ民謡は  $v = 0$  の占める割合が 31.32% と、3 ヶ国の民謡の中では最も高く、次いで  $\pm 2$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 3$  (短 3 度),  $\pm 7$  と続く。 $v \in V$  の平均値を比較すると、日本民謡とドイツ民謡は  $0 < v < 1$  の範囲内に値があり、中国民謡だけが  $2 < v < 3$  の範囲内にある。音高の頻度を中心音から見て負、中心音自身、正のいずれかを取る比率を集計すると、日本民謡は 32.57% : 29.99% : 37.44%、中国民謡は 20.89% : 26.13% : 52.98%、ドイツ民謡は 36.50% : 31.32% : 32.18% であり、中国民謡だけが正の値を取る音高が多いことから、中国民謡の  $v \in V$  の平均値が高まったと考えられる。日本民謡とドイツ民謡の旋律には中心音よりも高い音高と低い音高を使用する傾向が同程度あ

り、中国民謡は中心音よりも高い音高を使用する傾向が多いことが分かる。

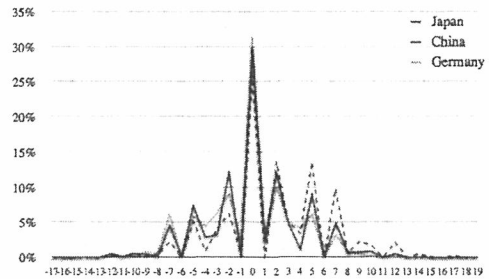


図 4: 頂点の要素  $v \in V$  の度数分布

また、ドイツ民謡の変動係数が他の 2 つの民謡よりも高いことから、ドイツ民謡の相対的なばらつき具合が他の民謡よりも大きいことが分かる。音高のばらつき具合を精査するために、音高の出現回数 (比率) を降幕の順に上位 20 位まで並べたものを表 3 に示す。表中の民謡名が記入された列は、該当する中心音からの音程の出現数とその割合を表している。日本民謡を含めた全体的な特徴を見るために中心音からの音程の累積度数分布を考えると、3 ヶ国とも上位 13 位以内までに全体の 95% を占める。3 ヶ国とも  $\pm 6$  (増 4 度/減 5 度) の使用頻度が低く、日本民謡と中国民謡は  $\pm 1$  を使用する頻度も低い。ドイツ民謡だけが、この上位 13 位以内に  $\pm 6$  を除く  $|v| \leq 7$  の範囲内の音程を全て含んでいる。さらに、日本民謡と中国民謡は上位 19 位以内に、ドイツ民謡は上位 18 位以内に、全体の 98% 以上の音程を占める。中国民謡の  $v = +14$  (0.50%, 17 位) を除けば、 $|v| > 12$  の値が出現する頻度は僅かであり、各国の音程は  $|v| \leq 12$ 、すなわち、中心音からオクターヴの範囲内にほとんど収まる特徴がある。

表 2: 頂点の分布に関する基本統計量

	日本民謡	中国民謡	ドイツ民謡
音高数	10,870,396	8,908,209	15,632,896
平均値	0.69	2.35	0.19
標準偏差	3.98	4.47	3.74
変動係数	5.78	1.91	19.80

## 8. ネットワークの基本統計量

3 ヶ国のネットワークに関する基本統計量は表 4 の通りである。

ネットワーク密度 (network density) とは、ネットワークの凝集性・緊密性を測る指標であり、グラフ上に存在する弧の個数と、完全グラフのときの弧の個数の比率によって計算される。重み付きグラフでない場合、密度は 0 から 1 の間

表 3: 頂点の出現頻度 (上位 20 位)

Rank	音高	日本民謡	音高	中国民謡	音高	ドイツ民謡
1	0	29.99%	0	26.13%	0	31.31%
2	-2	12.24%	+5	13.60%	+2	10.07%
3	+2	12.15%	+2	13.59%	-2	9.06%
4	+5	9.07%	+7	9.81%	-3	6.36%
5	-5	7.46%	-2	6.26%	-7	6.24%
6	+7	4.94%	-5	5.19%	+5	6.18%
7	+3	4.70%	+3	4.94%	-5	5.94%
8	-7	4.61%	-3	4.20%	+3	5.10%
9	-3	3.24%	+4	3.46%	-4	4.47%
10	-4	2.89%	+9	2.29%	+4	4.20%
11	+1	2.57%	-7	2.26%	+7	3.24%
12	+4	1.09%	+12	2.13%	-1	2.24%
13	+10	0.81%	+10	1.67%	+1	1.94%
14	+9	0.75%	-4	0.92%	-9	0.80%
15	+8	0.68%	+8	0.62%	+8	0.68%
16	-10	0.53%	-10	0.54%	-8	0.62%
17	+12	0.50%	+14	0.50%	+9	0.50%
18	-12	0.48%	-12	0.45%	-12	0.46%
19	-9	0.46%	-8	0.45%	-10	0.23%
20	-1	0.25%	-1	0.32%	+10	0.14%
21	rem.	0.60%	rem.	0.66%	rem.	0.20%

の値を取るが、重み付きグラフの場合、密度に重みが反映されるため、最大値が 1 を越えることがある。理論上、密度はネットワークの大きさに依存するため、頂点の個数（頂点集合の要素数）が大きく異なるネットワーク同士の凝集性を密度に観点から比較することは難しい。しかし、3ヶ国の民謡の音楽コーパスから構築したネットワークの頂点の個数は同程度の規模であるため、ここでは密度を用いて各ネットワークの凝集性を比較することが可能である。ネットワーク全体の基本統計量とその密度を知ることが、ネットワーク全体の構造把握の第一歩となる[21]。

表 4: 3ヶ国のネットワークに関する基本統計量

	日本民謡	中国民謡	ドイツ民謡
頂点数	41	36	35
紐帯数	202,355	124,677	112,783
密度	98.37	84.12	73.74
変動係数	6.72	5.16	5.13

3ヶ国間のネットワーク密度を比較すると、その値は日本民謡、中国民謡、ドイツ民謡の順に高いことが分かる。ネットワーク密度は、頂点

同士の関係がどれだけ密接であるかを示す分布に関する指標であり、理論的には、頂点数が増加するに連れてネットワーク内に存在可能な紐帯数が増加するため、ネットワークが大きいくほど密度は小さくなりがちである。しかし、日本民謡のネットワーク  $D_{JPN}$  は他の 2ヶ国よりも頂点数が多いものの、ネットワーク密度が 3ヶ国中最も高く、頂点同士が凝集していることが分かる。そして、中国民謡とドイツ民謡のネットワーク  $D_{PRC}$ ,  $D_{FRG}$  は、日本民謡のネットワークよりも頂点同士の関係が疎であることが分かる。さらに、次数の変動係数を 3ヶ国間で比較すると、日本民謡の値がやや大きい程度であり、3ヶ国の相対的な次数のばらつき具合は変わらないことが分かる。すなわち、3ヶ国の民謡において、ある音高からある音高へ推移する傾向には極端に大きな差が見られないことを意味している。

日本民謡の音楽コーパスの各楽曲の音高を中心音によって正規化し、中心音からの相対音高によって書き換えた場合、コーパス中の最小値は -19、最大値は +24 であった。中心音を D4 音とすれば、最低音 -19 は G2 音、最高音 +24 は D6 音、すなわち、3 オクターヴという広い音域覆うことを意味する。中国民謡の最小値は -19、最大値は +19 であり、ドイツ民謡の最小

値は-17, 最大値は+17であった。これらは日本民謡の場合と同様に中心音を相対的にD4音とすれば、中国民謡の最低音と最高音はG2とA5となり、ドイツ民謡の最低音と最高音はA2音とG5音となる。したがって、最低音と最高音がつくり出す音域だけを考えれば、中国民謡とドイツ民謡の音域は日本民謡よりも狭いことになる。しかし、これは図4および表3から得た、日本民謡よりも中国民謡とドイツ民謡の方が旋律の音域が広範囲に及ぶという結果に反する。これより、日本民謡では中心音から離れた音高ほど他の音高への推移傾向に拘束性が強く自由でないと考えすることができる。

## 9. ネットワーク中心性分析

ネットワーク全体を俯瞰し、その中で中心的な位置を占める度合いを測る指標にネットワーク中心性(network centrality)の概念がある。例えば、ある組織の人間関係において人々の影響力の関係を理解するためには、ネットワーク内の「中心的な役割を担う人物」を特定することが非常に重要となる。ネットワーク全体で中心的な位置を占める点や集中度を決定する方法がネットワーク分析における中心性分析である。ここでは、ネットワーク中心性の概念を用いて、3ヶ国の民謡における中心的な役割を担う音高を把握することを試みる。ただし、どういった観点から「中心的」であるかは、着眼点が異なれば、特定される結果も異なり、一義的に決定されるものではないため、中心性分析には異なるいくつかの指標が存在する。本研究では、ネットワークにおいて複数の指標が示す結果を複合し、「中心的」である対象を特定する。ここでは最もよく利用される度数中心性(degree centrality)、近接中心性(closeness centrality)、ボナッチ中心性(Bonacich's centrality)、媒介中心性(betweenness centrality)の4種類を用いて3ヶ国の民謡における相対的な音程の中心度合いを比較する。

度数中心性は、より多くの頂点と接続している意味での中心性を、近接中心性は、ネットワーク全体で他の頂点からの平均的な距離が短い意味での中心性を、ボナッチ中心性[22]は、行列の固有値問題の解として再帰的に計算され、中心性の高い頂点に接続している頂点ほど中心性が高くなる計算方法を採用している。媒介中心性は、他の頂点をつなぐ役割(broker)を担う頻度が高い意味での中心性を表し、大きなグループからサブグループを見つける際に用いられる。

これらの中心性の指標を音程関係に置き換えた場合、度数中心性は、他の音高と関係を築こうとする度合いと、他の音高から重要であると認識される度合いを示している。近接中心性は、音楽コーパス内での各音高との平均的な親密度である。ボナッチ中心性は、各音高の影響力

を加味した上での重要度、他の音高への支配力を示す。媒介中心性は、音楽コーパス内での音高のまとまり同士、すなわち、音組織をつなぐパイプ役の大きさを示す。なお、度数中心性、近接中心性、ボナッチ中心性は、有向グラフに対応した中心性分析であるため、それぞれ入次と出次の場合について中心性を計算することができる。以上4種類(合計7つ)の中心性から得られる結果を複合的に解釈し、3ヶ国の民謡における音高の中心度合いを測る。

表5はそれぞれ、(a)日本民謡、(b)中国民謡、(c)ドイツ民謡のネットワーク  $D_{JPN}$ ,  $D_{PRC}$ ,  $D_{FRG}$  に対して求めた7つの中心性指標を、値が高い上位10位までを並べた結果である。各表の1列目は順位を示し、残りの列はそれぞれ度数中心性(出次)、度数中心性(入次)、近接中心性(出次)、近接中心性(入次)、ボナッチ中心性(出次)、ボナッチ中心性(入次)、媒介中心性が並ぶ。中心性の高い頂点に着目すると、日本民謡は  $v = 0, \pm 2, +3, \pm 5, -7$  を、中国民謡は  $v = 0, \pm 2, \pm 5, \pm 7$  を、ドイツ民謡は  $v = 0, \pm 2, -3, \pm 5, \pm 7$  を旋律における中心的な音高と示している。 $v = 0$  は旋律の中心音として定義したものであり、各中心性指標の1位に出現していることは自明である。 $v = \pm 2$  は中心音から長2度だけ離れた音高であり、中心音  $v = 0$  と近い役割を担っていると解釈できる。また、 $v = \pm 5, \pm 7$  は、それぞれ、中心音から完全4度、完全5度だけ離れた音高である。したがって、ネットワークの中心性分析によって得られた結果は、表3と対応する各国の民謡の使用頻度の高い音程と一致していることが分かる。これは、楽曲からのネットワーク構築そのものが根本的に旋律の隣接する音高間の表現であるために得られた結果であると考えられる。

また、媒介中心性の1位の結果だけが3ヶ国とも異なり、日本民謡では  $v = 0$ 、中国民謡では  $v = 0$ 、ドイツ民謡では  $v = 0$  であった。この結果から、各民謡においてサブグループ(音組織)間を結び付ける重要な音高は、日本民謡は中心音そのもの、中国民謡とドイツ民謡は中心音からオクターヴ離れた音高であると考えられる。これらの音高が結び付ける凝集的なサブグループがどのような頂点によって構成されているのかについては、今後、頂点の階層的なクラスタリング、クリーク分析を通して抽出する方針が考えられる。

## 10. まとめと今後の課題

本研究では、音高が異なる複数の音楽楽曲データに対してネットワーク表現で記述する方法を認知科学の観点から提案し、ネットワーク分析による民謡の音組織の抽出および比較を試みた。3ヶ国の民謡の音楽コーパスに対して、それぞれネットワークを構築し、ネットワーク分



表 5(a): 日本民謡のネットワークの中心性 (上位 10 位)

Rank	Out Deg.	In Deg.	Out Close.	In Close.	Out Bona.	In Bona.	Between.							
1	0	8.013	0	85.1	0	11.69	0	11.34	0	0.189				
2	-2	4.399	-2	4.376	-7	76.9	-7	70.2	-5	11.02	-7	10.43	-7	0.091
3	-5	3.674	-5	3.688	-5	76.9	-2	67.8	-7	10.82	+2	9.83	-5	0.075
4	+2	3.278	+2	3.272	-2	70.2	+3	67.8	-2	10.01	+3	9.78	+12	0.067
5	+5	2.527	+5	2.521	+2	66.7	-5	65.6	+2	9.74	-2	9.64	+17	0.053
6	-7	2.414	-7	2.414	+12	66.7	+5	65.6	-3	9.16	-5	9.47	+5	0.043
7	+3	1.594	+3	1.589	-3	65.6	-10	64.5	+5	9.09	+5	9.05	-12	0.042
8	-3	1.457	-3	1.442	+3	65.6	-4	64.5	+3	9.03	+4	8.81	-10	0.037
9	-4	1.290	-4	1.280	+5	65.6	+2	64.5	+7	8.82	+7	8.64	-9	0.036
10	+7	1.114	+7	1.114	-12	64.5	12	64.5	+12	8.44	-4	8.62	-2	0.030

表 5(b): 中国民謡のネットワークの中心性 (上位 10 位)

Rank	Out Deg.	In Deg.	Out Close.	In Close.	Out Bona.	In Bona.	Between.							
1	0	9.417	0	9.342	0	79.6	0	44.3	0	10.06	0	9.92	-12	0.092
2	+2	5.179	+2	5.103	+5	76.1	+7	43.8	+5	9.68	+5	9.09	+7	0.087
3	+5	4.363	+5	4.267	-7	74.5	+5	42.7	-7	9.22	+2	9.03	0	0.079
4	-5	3.919	-5	3.983	-5	72.9	-5	42.2	-5	9.15	+7	8.99	-7	0.057
5	-2	3.429	-2	3.435	+7	72.9	+2	42.2	-2	8.82	-5	8.92	-9	0.046
6	+7	2.808	-3	2.743	-12	71.4	-2	41.7	+7	8.78	-2	8.28	+5	0.043
7	-3	2.761	+7	2.739	-2	71.4	-3	41.2	+2	8.12	+4	8.24	-4	0.040
8	-7	2.184	-7	2.368	+3	68.6	+4	41.2	-3	8.10	-3	8.21	-2	0.038
9	+3	2.084	+3	2.064	-3	67.3	+12	41.2	+3	8.08	+12	7.93	+12	0.035
10	+4	1.158	+4	1.138	-4	66.0	-7	40.7	-12	8.02	-1	7.49	-5	0.033

表 5(c): ドイツ民謡のネットワークの中心性 (上位 10 位)

Rank	Out Deg.	In Deg.	Out Close.	In Close.	Out Bona.	In Bona.	Between.							
1	0	10.143	0	10.194	0	79.1	0	75.6	0	9.65	0	9.57	+12	0.104
2	+2	5.294	+2	5.276	-2	75.6	+5	69.4	-2	9.51	-2	8.66	0	0.100
3	-2	4.354	-2	4.446	-7	72.3	-2	68.0	+2	8.82	-5	8.64	-7	0.074
4	-3	3.221	-3	3.255	+2	72.3	+7	68.0	-7	8.66	+2	8.53	+7	0.058
5	+5	3.082	+5	3.122	-3	70.8	-7	66.7	-3	8.55	+5	8.42	-10	0.053
6	-5	2.899	-5	2.746	+5	70.8	-5	66.7	+5	8.33	-7	8.32	-3	0.053
7	+4	2.622	+4	2.616	-5	68.0	-3	66.7	-5	8.26	-1	8.15	-2	0.051
8	+3	2.528	+3	2.500	+7	66.7	+2	66.7	+3	7.77	+7	8.15	-4	0.048
9	-7	1.627	-7	1.668	+3	65.4	+4	66.7	+4	7.75	-3	8.12	-12	0.046
10	+1	1.545	-4	1.560	+4	65.4	-4	65.4	+1	7.53	-4	7.84	+9	0.042

析における基本統計量と中心性分析を適用し、音楽楽曲データのネットワーク分析における将来的方向性について解決すべき問題点を明確にした。各分析によって得られた結果と解決すべき問題点を以下にまとめる。

- ・構築した 3ヶ国の民謡のネットワークの密度と変動係数を計算し、各ネットワークの凝集性を比較した結果、3ヶ国の民謡のうち、日

本民謡のネットワークが最も凝集的であり、中心音から離れた音高ほど拘束性が強いという特徴が明らかとなった。しかしながら、ある音高からある音高へ推移する傾向には構造的な違いは見られなかった。

- ・ネットワークの中心性分析により、中心音、中心音から長 2 度離れた音高、中心音から完全音程離れた音高がネットワークにおいて中心的な役割を担うことが分かった。楽曲の中

心的な役割を担う音高は、使用頻度の高い中心音からの相対音高と一致するという結果が得られた。しかしながら、個々の中心性指標から得られた結果は、類似したものであり、多種多様な中心性指標を分析に適用する必要性が弱かった。

- ネットワーク表現によって単一楽曲を解析することは十分に可能であり、楽曲毎の特徴を特定した上で、パターンマッチングによる楽曲間の音組織の比較は行なえる。これに対して、複数の楽曲を単位として音組織を特定することは困難である。

音楽楽曲データのネットワーク分析の現状の課題として、音楽コーパスから構造上の特徴を抽出するために、媒介中心性の結果をより詳細に分析することや、階層的なネットワーククラスタリングを実施する方針などが挙げられる。そのために旋律のどのような性質に着目する必要があるのかを明確にする必要がある。例えば、音楽コーパス中の音高推移関係のうち、特に関係性の強いものに着目して音組織の抽出を試みるとする。この場合、ネットワークの構築段階で弧  $a_{ij}$  の出現回数  $c_{ij}$  が相互にある定数以上のもの、すなわち、頂点  $v_i$  に対応する音高が音程順列  $\Sigma^*$  中出现する回数や、 $c_{ij}$  そのものに対して、それぞれ閾値  $Th_V$ 、 $Th_A$  を決め、これを越えるもののみを採用してネットワークを構築する方針をアルゴリズムに盛り込み、閾値  $Th_V$ 、 $Th_A$  の値を順次下げることによって、緻密かつ大きなネットワーク（音組織）を階層的に得る分析などが考えられる。

## 参考文献

- [1] アラン・P.メリアム: 音楽人類学, 音楽之友社, 1980.
- [2] 藤井知昭: 「音楽」以前, NHK ブックス <325>, 1978.
- [3] Newman, M. E. J. and Girvan, M.: Finding and Evaluating Community Structure in Networks, *Physical Review E*, 69, 2004.
- [4] Bruggeman, J.: *Social Networks: An Introduction*, Routledge, 2008.
- [5] Brachman, R. J. and Schmolze, J. G.: An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System, *Cognitive Science*, Vol.9, No.2, pp.171–216, 1985.
- [6] Brachman, R. J., McGuinness, D. L., Patel-Schneider, P. F. and Borgida, A.: Reducing to Practice: Knowledge Representation Theory Meets Reality, *Artificial Intelligence*, Vol.114, No.1-2, pp.203–237, 1999.
- [7] Nelson, D. L., McKinney, V. M. and McEvoy, C. L.: Are Implicitly Activated Associates Selectively Activated?, *Psychon Bull Rev.* pp.118–124, 2003.
- [8] Haveliwala, T. H.: *Efficient Computing of PageRank*, Technical report, Stanford InfoLab, 1999.
- [9] Calado, P., Ribeiro-Neto, B., Nivio Ziviani, E. M. and Silva, I.: Local Versus Global Link Information in the Web, *ACM Transactions on Information Systems*, Vol.21, No.1 pp.42–63, 2003.
- [10] Meghabghab, G.: Discovering Authorities and Hubs in Different Topological Web Graph Structures, *Information Processing and Management*, Vol.38, pp.111–140, 2002.
- [11] 村井源, 往住彰文: 文芸批評の計量解析による批評行為の背景的特徴の抽出, *情報知識学会誌*, Vol.20, No.2, pp.117–122, 2010.
- [12] 河瀬彰宏, 村井源, 往住彰文: 音楽評論論文にみる概念構造の変遷-ネットワーク中心性を用いた音楽概念の抽出, *情報知識学会誌*, Vol.19, No.2, pp.138–143, 2009.
- [13] 小田淳一: 楽曲演奏における修辞技法-モロッコのアラブ=アンダルシア音楽の事例-, 日本認知科学会「文学と認知・コンピュータ II」研究分科会資料集, 15G-01, pp.1–12, 2008.
- [14] 柴田南雄: 音楽の骸骨のはなし, 音楽之友社, 1978.
- [15] 日本放送協会編: 日本民謡大観, 日本放送出版協会, 1946–1980.
- [16] Schaffrath, H.: *The Essen Folksong Collection in Kern Format*, Center for Computer Assisted Research in the Humanities, 1995.
- [17] Eerola, T., Järvinen, T., Louhivuori, J. and Toivianen, P.: Statistical Features and Perceived Similarity of Folk Melodies, *Music Perception*, Vol.18, pp.275–296, 2001.
- [18] Johnson, M.: *The Body in the Mind*, University of Chicago Press, 1987.
- [19] Snyder, R.: *Music and Memory*, The MIT Press, 2000.
- [20] 小泉文夫: 日本伝統音楽の研究, 音楽之友社, 1958.
- [21] 安田雪: 実践ネットワーク分析—関係を解く理論と技法, 新曜社, 2001.
- [22] Bonacich, P.: Factoring and Weighting Approaches to Status Scores and Clique Identification, *Journal of Mathematical Sociology*, Vol.2, No.1, pp.113–120, 1972.