

## フィジカル・エクササイズのための 個人特性対応型楽曲検索システムの実現

佐々木史織<sup>†</sup> 小杉尚子<sup>††</sup> 清木康<sup>†††</sup>

フィジカル・エクササイズにおいて、トレーナーが運動目的に合致する楽曲を選択する、または運動をする人が個人特性（身体・嗜好）に合った楽曲を選択することの支援を目的として、実施する運動の特性と個人特性に合った楽曲を検索し、運動の負荷に合わせて楽曲の再生を調整するシステムの実現方式について述べる。本システムの特徴は、運動の特徴を記述する“運動属性”と、運動に強く関連する楽曲の特徴量（リズム、テンポ等）を表す“楽曲属性”の関連性を定義する運動・楽曲特徴変換マトリクスを設定し、運動と個人特性に応じて楽曲データベース中から適切な楽曲群を選択する点にある。

### A Music Recommendation System for Physical Exercise with Users' Characteristics Adaptation Functions

SHIORI SASAKI<sup>†</sup> NAOKO KOSUGI<sup>††</sup>  
YASUSHI KIYOKI<sup>†††</sup>

This paper describes architecture and a function set of a music recommendation system for physical exercise with users' characteristics adaptation functions. The system retrieves music tunes which fit both exercises and users' preferences and adjusts the tunes based on the exercise load. The system will help trainers and people who do exercise so that they can find tunes for their exercises. The features of the system are 1) making an exercise-music transformation matrix that defines relationship between the exercise attributes based on the exercise features and music attributes that strongly relate to exercises, for example rhythm and tempo, and 2) retrieving tunes based on the exercises and users' preferences from a music database.

\*<sup>†</sup> 慶應義塾大学政策・メディア研究科  
Graduate School of Media and Governance, Keio University

<sup>††</sup> NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Laboratories

<sup>†††</sup> 慶應義塾大学環境情報学部  
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

### 1. はじめに

医療の高度化によって、交通事故や脳卒中などに見舞われても死亡に至らないケースが増えている。しかし、死亡は免れたものの、重篤な事故や疾病に見舞われた患者には、機能的な障害が発生する場合も多い。また日本では急激な高齢化が進んでおり、介護負担も増加の一途をたどっている。このような状況では、患者や高齢者が自立した日常生活を維持するためのリハビリテーションが重要な役割を担う。

リハビリは、ある一定の期間（場合により長期間）実施するもので、効果は本人のモチベーションに大きく左右される。しかし、リハビリや2次予防のための機能訓練などでは、痛みを伴う場合や単調な動作の繰り返し運動となることも多く、途中で継続が困難になるケースも少なくない。そこで、リハビリをする本人のモチベーション維持を支援する仕組みが必要となる。1つの解決策として、音楽を用いてリハビリや機能訓練を行う「神経学的音楽療法」がある。

神経学的音楽療法（NMT=Neurologic Music Therapy）は、コロラド州立大学のタウト博士が推進する機能的・科学的根拠に基づいた音楽療法の方法であり、「治療的な楽器演奏法」などの複数の方法から成る[1]。治療的な楽器演奏法では、楽器演奏によって機能的動作パターンを訓練する。たとえば、右手に麻痺が生じて物を握る動作が困難になり、自力で食事をすることが難しくなった場合には、棒を握って腕を上げ下ろしする運動（スプーンを用いた食事を想定）をリハビリとして行うことが考えられる。しかし、これは単調動作の連続であるため、モチベーションを維持し続けるのは容易でない。そこで、治療的な楽器演奏法では、これを類似する動作からなる楽器演奏に置き換える。たとえば、マレット（ドラムを叩くためのバチの一種）を用いて、テンポ60で演奏されている楽曲に合わせて隔拍でドラムを叩いた場合、1回の演奏で約50回の「棒状のものを握って、それを上げ下げする」という運動を行うことができる。

このように、単調な動作も楽曲に合わせた楽器演奏運動に置き換えることによって、単なるピッチ音を用いた運動や所定の回数を数えるなどしながら運動を行うのに比べ、はるかに意欲をもって実行することが可能となる。また、楽曲の終了時間が既知であれば、患者はリハビリ運動の終了を予測することができ、安心感にも繋がる。しかし、曲が自分の好みのものでない場合や、曲の種類が少ない場合はリハビリが長期化するとマンネリ化する可能性もあり、やはりモチベーションの維持が難しくなることは避けられない。

そこで我々は、対象者がモチベーション高くリハビリや運動を継続できるようにするための、1) 症状の回復や運動機能維持に効果的、かつ、2) 対象者の嗜好に合った曲を推薦するシステム的设计・構築を行っている。すなわち、実施する運動の目的別特性と個人特性（症状、身体特徴、性格、好み）に合った楽曲を検索し、運動の負荷に合わせて楽曲の再生を調整・加工・編集するシステムの実現である。本稿では、そ

の第一次の試みとして、健常者を対象としたフィジカル・エクササイズのための楽曲検索システムを実現するためのフレームワークについて述べる。本システムの特徴は、運動の特徴を記述する“運動属性”と、運動に強く関連する楽曲の特徴量（リズム、テンポ等）を表す“楽曲属性”の関連性を定義する運動・楽曲特徴変換マトリクスを設定し、運動と個人特性に応じて楽曲データベース中から適切な楽曲群を選択する点にある。

## 2. 関連研究

### 2.1 音楽療法

音楽療法とは「音楽のもつ生理的、心理的、社会的働きを用いて、心身の障害の軽減回復、機能の維持改善、生活の質の向上、問題となる行動の変容などに向けて、音楽を意図的、計画的に使用すること」（日本音楽療法学会 ガイドライン 01）[2]と定義されている。投薬や手術だけでは改善や回復が難しい人に対して、音楽を用いて QOL の向上や機能の維持・改善を目指すものであり、主な対象者は統合失調症患者や児童、高齢者などで、日本には約 1500 人の音楽療法士が全国の病院や施設で活動している。音楽療法では、1 回の施術をセッションと呼ぶ[11]。セッションの中で実施する事項および手順はプロトコルと呼ばれ、クライアントの参加目的に応じて歌唱や音楽鑑賞、合奏など複数のアクティビティを組み合わせて構成される。

音楽療法の分野では、音楽は 1 つのアクティビティの中に複数の目的を盛り込むことができる点で、療法のツールとしての多様性が高く有効であるとされる。例えば歌唱とは「歌を歌う」ことであるが、呼吸機能の訓練の他、同時に「声を出すことによって気分を発散する」や、複数人での合唱として歌唱することで「全体のルールに従うことを学習する」といった目的を盛り込むことができる。

### 2.2 神経学的音楽療法（運動と音楽の関係）

運動を用いてリハビリを行う療法を運動療法という。運動療法は、身体活動を通じて運動器系の状態を至適レベルに維持し、運動学習を図っていく治療法である[12]。神経学的音楽療法の中で運動機能に関するものは、運動療法の一部について音楽を用いて行うもの、と考えることができる。例えば歩行訓練や関節の可動域訓練などが挙げられる。

歩行訓練において、パーキンソン病患者のようにタイミングよく足を前に出すことが難しい場合、一定のテンポで鳴る音や一定のテンポで再生される音楽がガイドとなって、足を出すタイミングを予測させるので、患者にとってテンポに合わせて歩く訓練を安心して行うことができるようになる。

さらに、より音楽を積極的に取り入れた形として、「治療目的の楽器演奏法」とい

う手法がある。これは、訓練したい動作をその動作に近い動作を必要とする楽器演奏を行うことで訓練する手法で、患者は療法士や仲間と合奏を楽しんでいる間に楽しく機能訓練ができるので、高齢者や障害児の運動療法ではしばしば利用される手法である。しかも、楽器の演奏では注意力や知覚情報の処理をする能力も必要となるので、単なる機能訓練としてではなく、認知面の効果を期待できるという点で今後益々注目が集まると思われる。この治療目的の楽器演奏の例としては、座っている患者の手前の少し遠方に太鼓を置き、つまり、患者は少し腰を浮かせて立ち上がるような体勢にならないと叩けないところに太鼓をおき、音楽に合わせてその太鼓を叩くという課題で、立ち上がりの訓練を行うというものがある。

## 3. 本システムの構成

本稿において述べるフィジカル・エクササイズのための個人特性対応型楽曲検索システムのシステム構成を図 1 に示す。

本フィジカル・エクササイズのための音楽ガイドシステムは、(A)印象による楽曲検索システム、(B)運動に応じた楽曲検索システム、および、(C)楽曲特徴量分析システムの三つのサブシステムにより構成されている。これらサブシステムは、それぞれ音楽心理学、音楽療法・運動療法、音楽特徴分析の各分野の専門知識を活用した知識ベースシステムとして位置づけることができる。

(A)印象による楽曲検索システムは、運動を実施する人が自分の心理状態・気分や音楽的嗜好に合致する楽曲を選択するためのシステムであり、(B)運動に応じた楽曲検索システムは、療法士（音楽療法士、作業療法士、理学療法士等）やトレーナー、または運動をする人自身が、治療目的や症状改善の目的に応じて、運動の特性に合致した楽曲を選択するためのシステムである。一方、(C)楽曲特徴量分析システムとは、楽曲データを対象として各楽曲の物理的特徴量（テンポ、リズム、ピッチ等）を解析し、運動をする人の個人的特性（身体的症状、心理状態、認知等）に応じて楽曲を調整・加工・編集するためのシステムである。

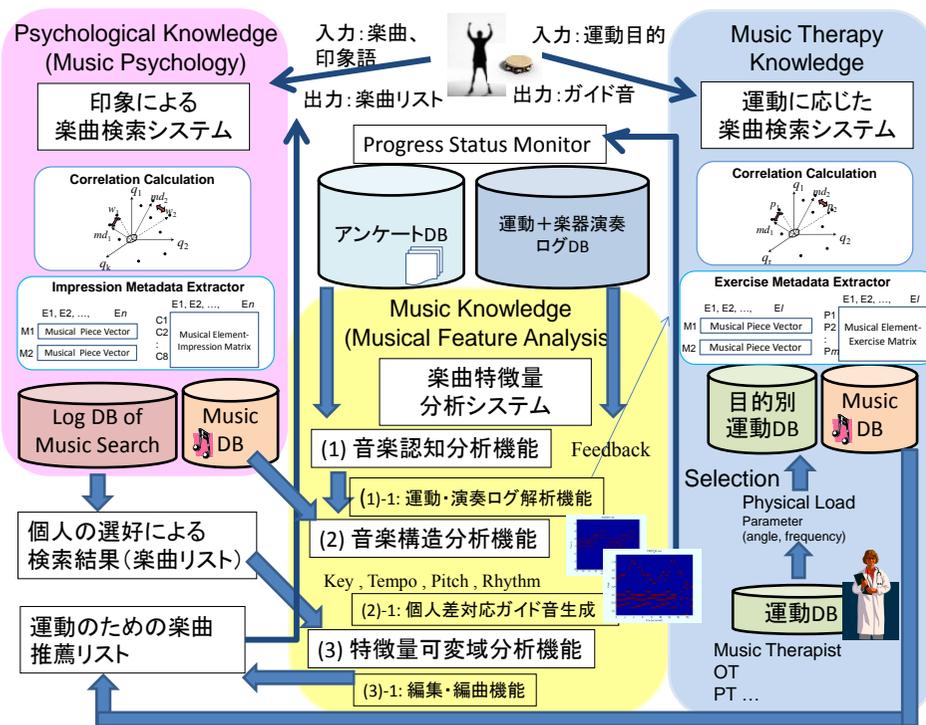


図 1 本システムの構成  
Figure 1 System Architecture

本楽曲検索システムの実利用ケースとしては、次のようなステップが考えられる。  
1. トレーナーや療法士が目的に応じた運動メニュー（たとえば「中程度の強度の歩行」）を設定する。2. システムは、運動目的に合致する楽曲群を提示する。3. 運動をする人の特性（体重、年齢、症状等）から設定されるテンポが決定される。4. そのテンポに調整可能である楽曲群が選定される。5. 運動をする人の嗜好や感性に合致する楽曲が、さらに絞り込まれ、提示される。6. 運動をする人の音楽認知（スピード感、リズム感など）に対応したガイド音などの補助機能が提供される。

### 3.1 印象による楽曲検索システム

本サブシステムは、運動をする人が自分の嗜好に合った MIDI 楽曲または印象語を

クエリとして入力すると、その楽曲の印象または印象語に合致する楽曲を楽曲データベースより検索し、検索結果をランキングとして提示・提供する。

#### 3.1.1 楽曲の印象メタデータ抽出

本機能では、既に提案されているデジタル化された楽曲データからの印象メタデータ自動抽出方式[8][9]を適用する。この楽曲メタデータ抽出方式は、音楽心理学者 Hevner による、リズム、和声、旋律など楽曲の形態や構造を決定する要素（以下、楽曲構造要素）と印象との相関関係についての研究成果[4][5]を用いることにより、楽曲データから「印象」という感性要素を数値メタデータとして自動抽出することを可能としている。Hevner は、楽曲構造要素として調性(key)・テンポ(tempo)・音高(pitch)・リズム(rhythm)・和声(harmony)・旋律(melody)の6要素を挙げ、これら楽曲構造要素と8つの印象語群によって表現される印象との相関関係を統計的実験により導き出している。図2は、Hevnerが類似する印象語をまとめて1つの印象語群とし、さらに印象語群間で類似するもの同士を隣接するよう円形に配置したものであり、図3は、それら8つの印象に対する各楽曲構造要素の相対的重要性について Hevner がまとめたものである。



図 2 Hevnerの印象語群サークル  
Figure 2 Kate Hevner's Adjective Circle [4][5]

本楽曲印象メタデータ自動抽出方式[8][9]は、これらHevnerの研究を基に変換行列  $T$  (図3) を作成し、1) 楽曲構造要素データの抽出、2) 楽曲構造要素の特徴量の抽出、3) 印象語群への変換の3ステップにより、楽曲メタデータとして重み付き印象語群を抽出する。

印象語群への変換では、楽曲データを6つの楽曲構造要素によって特徴づけした楽曲構造要素ベクトル  $dfv$  を生成し、これとHevnerの研究を基に作成した変換行列  $T$  (図3) を用いて、楽曲構造要素特徴量を重み付き印象語群に変換する。変換行列  $T$  は、印象語群ベクトル  $Ck$  ( $k=1, \dots, 8$ ) を行ベクトルとして構成されるデータ行列である。

$$T = (C_1, C_2, \dots, C_8)^t$$

楽曲データ  $d$  は、楽曲構造要素ベクトル  $dfv_i$  と変換行列  $T$  との積により、重み付き印象語群ベクトル  $div$  に変換される。

Musical element	Adjective group							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
key	Major 4	Minor 20	Minor 12	Major 3	Major 21	Major 24	---	---
tempo	Slow 14	Slow 12	Slow 16	Slow 20	Fast 6	Fast 20	Fast 21	Fast 6
pitch	Low 10	Low 19	High 6	High 8	High 16	High 6	Low 9	Low 13
rhythm	Static 18	Static 3	Dynamic 9	Dynamic 2	Dynamic 8	Dynamic 10	Static 2	Static 10
harmony	Simple 3	Complex 7	Simple 4	Simple 10	Simple 12	Simple 16	Complex 14	Complex 8
melody	Ascending 4	---	---	Ascending 3	Descending 3	---	Descending 7	Descending 8

[Hevner, 1937]

	key'	tempo'	pitch'	rhythm'	harmony'	melody'
$C_1$	4	-14	-10	18	3	4
$C_2$	-12	-12	-19	3	-7	0
$C_3$	-20	-16	6	-9	4	0
$C_4$	3	-20	8	-2	10	3
$C_5$	21	6	16	8	12	-3
$C_6$	24	20	6	-10	16	0
$C_7$	0	6	-13	10	-8	-8

図3 Hevnerによる楽曲構造要素と8印象語群間の相関関係表 (上部) [4][5]と、これを基に作成した変換行列  $T$  (下部) [8][9]

Figure 3 Hevner's correlation table between six structural elements and eight adjective groups (top) [4][5], and transformation matrix  $T$  (bottom) [8][9]

### 3.1.2 ベクトル空間における相関量計量

言葉と言葉、言葉とメディアの関連性を計量するための「意味の数学モデル」[6][7]に基づく多次元ベクトル空間を用いて、ユーザの入力する印象語と楽曲メタデータと

の相関量を計量する。多次元ベクトル空間は、 $m$ 個の基本単語  $\{w_1, w_2, \dots, w_m\}$  と、それを特徴づける  $n$ 個の特徴語  $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  によって構成された  $m \times n$  のデータ行列  $M$  を基に生成されている (図4)。データ行列  $M$  の自己相関行列  $M^t M$  を計算し、これを固有値分解によって非0の固有値 ( $v$ 個) に対応する固有ベクトルを導出し、この固有ベクトルを基底とする  $v$ 次元正規直交化空間をメタデータ空間とする。

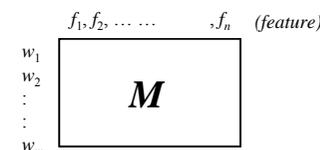


図4 メタデータ空間生成用データ行列  $M$  [6][7]

Figure 4 Data matrix  $M$  used to create metadata space [6][7]

楽曲メタデータ自動抽出機能によって抽出された重み付き印象語群ベクトル  $div$  は、印象語群データ  $Ck$  をメタデータ空間の特徴語によって特徴づけた印象語群データ行列  $I$  との積により、空間に写像可能な形式にベクトル化され、空間上で入力された印象語との相関量が計量可能となる。

印象語群データ行列  $I$  は、印象語群ベクトル  $C^k = (f_1, f_2, \dots, f_n)^t$  を列ベクトルとして構成するデータ行列である (図5)。

$$I = (C^1, C^2, \dots, C^8)$$

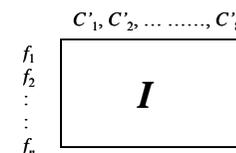


図5 Hevnerの8印象語群とメタデータ空間を構成する特徴との関連性を記述したデータ行列  $I$  [8][9]

Figure 5 Data matrix  $I$  representing relations between Hevner's adjective groups and features of the metadata space [8][9]

### 3.1.3 問い合わせ処理

ユーザによって入力された印象語のセット、または、入力楽曲から抽出された印象語メタデータは、メタデータ空間上の  $n$ 個の特徴語  $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  の合成ベクトルとして発行される。合成ベクトルによって選択された部分空間上において、印象語ベクトルと楽曲メタデータベクトルとの相関量が計量され、検索結果が相関の高い順にランキング形式で示される。

### 3.2 運動に応じた楽曲検索システム

本サブシステムは、療法士（音楽療法士、作業療法士、理学療法士など）やフィジカル・インストラクターが治療や運動の目的に合致する楽曲を選択すること、あるいは、運動をする人自身が個人的特性（身体的症状、心理状態、性格、音楽の嗜好）から運動にあった楽曲を選択することを支援するものである。楽曲の印象メタデータ自動抽出の基本方式[8][9]を応用し、運動・エクササイズの特徴を記述する“運動属性”と、運動に強く関連する楽曲の特徴量（リズム、テンポ、ピッチなど）を表す“楽曲属性”の関連性を定義する運動・楽曲特徴量変換マトリクスを設定することにより、楽曲の運動に関連するメタデータ（楽曲運動メタデータ）の自動抽出を行う。

#### 3.2.1 楽曲の運動メタデータ抽出

運動療法の分野においては、筋力強化や持久性向上などの運動の目的に応じた運動の種類やエクササイズ例が研究・考案されている（表1）。

運動の種類	エクササイズ例	運動の目的
1. ウォーキング・ジョギング（歩行訓練含む） 2. 水泳・水中運動 3. レジスタンス（筋力）トレーニング 4. エアロビクスダンス 5. ストレッチング 6. 他動的機器類による運動 7. ボールエクササイズ 8. バランスディスクとコア・トレーニング など	1. ウォーキングのバリエーション ・ 大また歩き ・ 横歩き ・ 腿上げ歩き など 3. レジスタンス・トレーニング（筋力トレーニング） ・ 座位からの膝伸ばし ・ 椅子利用のスクワット ・ 膝のボールはさみ ・ 後ろへの膝曲げ ・ 外腿上げ：横に寝て、片方の足を足の付け根から上げる ・ 腹筋運動 ・ 腰浮かし など 5. ストレッチング ・ 膝の抱え込み：寝転がって、膝を胸のところまで上げて抱え込む ・ 立位からの体前屈 ・ 腿前面伸ばし ・ アキレス腱伸ばし	1. 可動域訓練 2. 筋力強化 3. 持久性向上 4. 神経生理学的アプローチ 5. 運動協調性の獲得 など

表1 運動療法における運動の種類、目的、エクササイズ例（文献[10]を基に作成）  
 Table 1 Examples of types, objectives and exercises in the area of Exercise Therapy (based on [10])

本方式では、これら運動療法の研究を基に、運動の特徴を記述する“運動属性”と、運動に強く関連する楽曲の特徴量（リズム、テンポ等）を表す“楽曲属性”の関連性を定義する運動・楽曲特徴変換行列 $S$ （図6）を作成する。

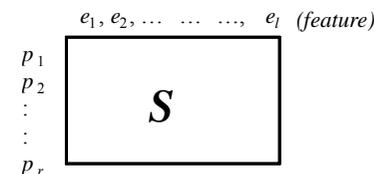


図6 楽曲構造要素と運動属性群間の相関関係を基に作成される変換行列 $S$   
 Figure 6 transformation matrix  $S$  representing relations between exercise properties and musical features

図6に示すように、運動・楽曲特徴変換行列 $S$ は、 $r$ 個の運動属性 $\{p_1, p_2, \dots, p_r\}$ と $l$ 個の音楽特徴（楽曲属性） $\{e_1, e_2, \dots, e_l\}$ との関連性を記述したマトリクスである。このマトリクスと、各楽曲データから抽出された音楽特徴量との内積計算により、楽曲メタデータとして重みつき運動属性群を抽出する。具体的には、次の3ステップにより構造要素、特徴量の抽出、および、運動属性への変換を行う。

音楽特徴としては、Heverが提示した楽曲構造6要素（1.調、2.テンポ、3.音高、4.リズム、5.ハーモニー、6.メロディ）[4][5]に加え、運動属性と特に関連が高いと考えられる次の4要素を設定する：7. 音符密度、8. 音程分散、9. 符号分散、10. 拍子。音符密度とは、単位時間あたりの音符の数によって表される尺度であり、人が感じる楽曲のスピード感を示す。音程分散とは、1小節ごとの各音符の前の音符との差分の大きさによって表され、楽曲内のフレーズの安定感を示す。符号分散は1小節ごとの各音符の前の音符との差分を+,-,0で表した尺度であり、メロディの上昇・下降の方向性を抽出するための特徴である。拍子は、2拍子、3拍子、4拍子といった、運動の組み合わせ（立つ、叩く、座るなど）によるエクササイズに影響を及ぼすものと考え、音楽特徴に追加した。

#### Step1：楽曲構造要素データの抽出

MIDI楽曲データについて、ヘッダから1.調名データ $kn$ と、2.テンポ、10.拍子に関して、演奏時間データ $pt$ 、拍子データ $mt$ 、1分間における四分音符数 $tem$ を抽出する。3. 音程に関して、1楽音データの音程の値、音の強さ、発音開始～終了までの時間情報から平均音高数 $mnap$ を計算する。4. リズムに関して、全ての同時に鳴っている楽音の集合（和音）のうち、全て四分音符以上の和音の継続時間を固定的リズム値 $unac$

と、四分音符未満の音符を含む和音の継続時間を流動的リズム値  $ac$  として定義し、その割合を算出する。5. ハーモニーに関して、楽曲  $d$  の調  $d_{kn}$  の 3 主要和音の継続時間を単純ハーモニー値  $tc$ 、3 主要和音以外の和音の継続時間を複雑ハーモニー値  $oc$  と定義し、その割合を算出する。6. メロディ、8. 音程分散、9. 符号分散に関して、ある楽音と次になる楽音との音程差と継続時間から、上昇メロディ値  $um$ 、下降メロディ値  $dm$ 、水平メロディ値  $nm$ 、音符ヒストグラム  $h$  を算出する。7. 音符密度に関して、5 秒間あたりの全ての音符数  $nnum$  を算出する。

#### Step2: 楽曲構造要素の特徴量の抽出

楽曲データ  $d$  について、Step1により抽出された楽曲構造要素データから各特徴量を数値として抽出する。1. 調名データ  $kn$  と音楽心理学における調性度[1]との比較から楽曲データ  $d$  の調性値  $d_{key}$  を計算する。2. テンポデータ  $tem$  と、楽曲  $d$  が属する音楽ジャンルで用いられる平均的テンポの最小値、最大値、中央値との差分をとり、楽曲データ  $d$  のテンポ値  $d_{tempo}$  を算出する。3. 平均音高数  $mnap$  とピアノの最低音、最高音、楽音チューニング基準音との差分をとることで楽曲  $d$  のピッチ値  $d_{pitch}$  を算出する。4. 全ての同時に鳴っている楽音の集合（和音）のうち、固定的リズム値  $unac$  と流動的リズム値  $ac$  の割合の差を楽曲  $d$  のリズム値  $d_{rhythm}$  として算出する。5. 和音の継続時間のうち、単純ハーモニー値  $tc$  と複雑ハーモニー値  $oc$  の割合の差分を楽曲  $d$  のハーモニー値  $d_{harmony}$  として算出する。6. メロディに関して、昇メロディ値  $um$ 、下降メロディ値  $dm$ 、水平メロディ値  $nm$  の演奏時間に占める割合から楽曲  $d$  のメロディ値  $d_{melody}$  を算出する。7. 音符密度に関して、音符数  $nnum$  と小節数による平均値から音符密度値  $d_{density}$  を算出する。8. 音程分散、9. 符号分散に関して、上昇メロディ値  $um$ 、下降メロディ値  $dm$ 、水平メロディ値  $nm$ 、音符ヒストグラム  $h$  から、音程分散値  $d_{tonevariance}$  と符号分散値  $d_{notevariance}$  を算出する。

#### Step3: 運動属性への変換

Step2によって算出した特徴量の値より楽曲データを10個の楽曲構造要素によって特徴づけした楽曲構造要素ベクトル  $dfpv$  を生成し、これと運動療法の研究を基に作成した変換行列  $S$  (図6) を用いて、楽曲構造要素特徴量を重み付き印象語群に変換する。

楽曲データ  $d$  は、楽曲構造要素ベクトル  $dfpv_i$  と変換行列  $S$  との積により、重みつき運動属性群ベクトル  $dprv_i$  に変換される。

### 3.3 楽曲特徴量分析システム

本サブシステムは、運動をする人が楽曲に合わせて実施した運動および楽器演奏のログ、および、実施した運動と楽曲の組み合わせに対して抱いた感想を記録したアンケートデータを対象として、1. 個人の音楽に対する認知（スピード感、リズム感など）を解析する音楽認知分析機能、2. 楽曲 MIDI を対象として、音楽の構造的要素の分析と1.で抽出した音楽認知に関する個人差に対応したガイド音の作成などを行う音楽構

造分析機能、3. 楽曲の特徴量、特にテンポやピッチなどの可変域を分析し、不自然と感じられない程度に楽曲の特徴量を編集・加工する機能から構成される。

これらの機能により、トレーナーまたは運動をする人自身が目的に合った運動を設定した場合、まず3.2において述べた運動に応じた楽曲検索システムによって、運動属性に合致した楽曲が検索され、運動をする人の特性（年齢、体型、症状等）に応じた楽曲特徴量とその特徴量値に調整可能である楽曲群が選定される。次に、3.1において述べた印象による楽曲検索システムにおいて、運動をする人の嗜好や感性に合致する楽曲が、さらに絞り込まれて提示される。最後に、本セクションで述べた楽曲特徴量分析システムによって、運動をする人の音楽認知（スピード感、リズム感など）に対応したガイド音などの補助機能が提供され、運動をする人のモチベーションをより維持できる楽曲群の選択・再生が可能となる。

## 4. 実験設計

本研究では、3.2.1において述べた運動・楽曲特徴変換行列  $S$  の基本的なマトリクスを生成するために、以下のような予備実験を設計・計画している。

### 実験の目的

エクササイズ（運動特性）と音楽構成要素との関係を明らかにし、基本的な運動-音楽要素マトリクスを作成するための関連度数値を設定する。

### 実験方法

1. 運動に関係する音楽要素（テンポ、音高、調など、10種類）を設定する。特にこの中から、テンポは適宜調整しながら、1) 音符密度、2) 符号分散 3) 拍子に焦点を当てる。
2. 上記の各音楽要素について極端な値を持つ2曲を一对として20曲程度設定する。
3. 実験で対象とする運動属性を  $p_1, p_2, p_3$  の3種類設定し、各属性につき数種類のエクササイズを設定する（表2）。
4. 楽曲に合わせながら運動を実施する際の「運動のしやすさ」について、指標（1. 合わせやすさ、2. やる気・動機づけ、3.モチベーションの維持（飽きるかどうか）、4. 集中できるかどうか、5. 持続可能性、6. 達成感を設定する。
5. 被験者（大学生を予定）を3-4人一組とし、運動をする人、記録係、楽曲再生・加工係の担当を決め、順に、各曲に合わせながら各エクササイズを実施する。
6. 被験者は各楽曲の「運動のしやすさ」について、6つの指標に対して0.2ポイントずつ5段階評価を行う。

本システムの利用ケースとして、トレーナーや療法士が目的に応じた運動メニュー（たとえば「中程度の強度の歩行」）が設定された場合、運動をする人の特性（体重、年齢、症状等）から設定されるテンポが決定され、そのテンポに調整可能である楽曲群が選定される。また、音楽構成要素の組み合わせによって、楽曲の特徴とカテゴリも可能と考えられ（図7）、たとえば、ストレッチングの場合は、テンポがゆっくりで、単位時間あたりの音符数が少なく、音程の上下変化が激しくない楽曲、などが候補として考えられる。そこで、本実験では、次のような仮説に基づき、これを検証する形で実験の実施とアンケート調査を実施する。

	符号分散	大	小
音程分散			
大		音高が大きく上下変化する激しい曲	音高が大きく上昇、または大きく下降するダイナミックな曲
小		音高が小さく上下変化する軽快な曲	音高の上昇、下降が小さい静かな感じの曲

図7 音楽構造要素（音程分散と符号分散）の組み合わせによる楽曲の特徴  
 Figure 7 Characteristics of tunes by the combination of structural elements of music

運動属性	エクササイズ	関連が高いと予想される音楽特徴
$p_1$ : 単純な動作を一定の時間間隔で繰り返す運動	1. 歩行(ふつうの歩幅である) 2. 肩の上げ下げ(肩こり体操) 3. 首を左右に振る(頭部を右側に向けたり、左側に向けたり) 4. 両手で椅子の背を持ち、足を交互に後ろ向きに上に上げる(ヒップ・エクステンション)(立った状態で、伸ばした足を後ろに上げる)	テンポ、音程分散、符号分散
$p_2$ : 一定の時間、形を維持する必要のある運動、筋肉運動	5. 上体を左右に曲げる。曲げたときに一定の時間保つ(腰のひねり) 6. 片方の足の足首に手が届くまで体を曲げ、上体を上げて両手を大きく広げ、一定時間保持する(ラジオ体操の中にある)(上半身を曲げて、一度、後ろにそる) 7. 椅子に座って、足を片方ずつ膝の高さまで上げて一定時間保持する(三秒ぐらい)	テンポ、音程分散
$p_3$ : 複数の動作の組み合わせの運動	8. 椅子から立ち上がって、目の前のタンバリンを打つ(誰かが持っているタンバリン、または、机の上のタンバリン)①立つ ②叩く ③座る 9. 両足で前にジャンプして、片足ずつ後ろに下がって前の位置に戻る(三拍子)①前にジャンプ ②右足で後退 ③左足で後退し、両足がそろう	テンポ、拍子

表2 実験に用いる運動属性と各属性に該当するエクササイズ、および、各運動属性と関連が高いと予想される音楽特徴

Table 2 Examples of exercise properties, exercises and expected musical features which have high correlations to each exercise property

### 仮説

1. 全ての運動においてテンポは重要である
2.  $p_1$  カテゴリの運動（歩行、肩の上げ下げのような単純な動作を一定の時間間隔で繰り返す運動）には、符号分散が大きく音符密度の小さい音楽が適している。拍子は2拍子系が良い。
3.  $p_2$  カテゴリの運動（一定の時間、形を維持する必要のある運動）には、符号分散が小さく音符密度も小さい音楽が適している。拍子は関係ない。
4.  $p_3$  カテゴリの運動（N個の動作の組み合わせから成る運動）には、拍子が重要。音符密度は小さい方が良い。符号分散は関係ない。

### 5. おわりに

本稿では、フィジカル・エクササイズにおいて、トレーナーが運動目的に合致する楽曲を選択する、または運動をする人が個人特性（身体・嗜好）に合った楽曲を選択することの支援を目的として、実施する運動の特性と個人特性に合った楽曲を検索し、運動の負荷に合わせて楽曲の再生を調整するシステムの実現方式について述べた。本システムの特徴は、運動の特徴を記述する“運動属性”と、運動に強く関連する楽曲の特徴量（リズム、テンポ等）を表す“楽曲属性”の関連性を定義する運動・楽曲特徴変換マトリクスを設定し、運動と個人特性に応じて楽曲データベース中から適切な楽曲群を選択する点にある。

本システムは、健常者や介護予防を目的とした高齢者を対象としたフィジカル・エクササイズのみならず、認知症高齢者や事故や病気によってリハビリを必要とする人

を対象とした運動療法・音楽療法の分野における実利用を目的として実現過程にある。今後は本システム内の中核となる基本的な運動・楽曲特徴変換マトリクスのベースを、まずは健常者を対象とした実験により生成し、十分な改善を加えて実用化した後、様々な疾患や利用者の主訴・年齢などに応じたマトリクスを生成していく予定である。

また、実用化に向けてユーザインターフェースの検討も重要な要素である。曲によっては、ビート（拍）を把握しにくい部分があるため、音楽を再生するだけでなく、その音楽に合わせて体を動かすためのタイミングを知らせるガイド音（例えば、メトロノーム音）を音楽と共に再生する必要がある。今後は、望ましいガイド音の再生についても検討する予定である。

**謝辞** 本研究は、総合科学技術会議により制度設計された最先端・次世代研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成されたものです。謹んで感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) マイケル・H・タウト：リズム，音楽，脳（神経学的音楽療法の科学的根拠と臨床応用），協同医書出版社（2006）
- 2) 日本音楽療法学会「音楽療法専攻コース・カリキュラムに関するガイドライン 01」（2001）  
<http://www.jmta.jp/about/index.html>
- 3) 梅本堯夫：音楽心理学，誠信書房(1978)
- 4) Hevner, K. "Experimental studies of the elements of expression in music," American Journal of Psychology, Vol. 48, pp.246-268. (1936)
- 5) Hevner, K. "The affective value of pitch and tempo in music," American Journal of Psychology, Vol. 49, pp.621-630 (1937)
- 6) Kitagawa T. and Kiyoki Y., "A mathematical model of meaning and its application to multidatabase systems," *Proceedings of 3rd IEEE International Workshop on Research Issues on Data Engineering: Interoperability in Multidatabase Systems*, pp.130-135 (1993).
- 7) Kiyoki, Y. and Kitagawa T. and Hayama, T., "A metadatabase system for semantic image search by a mathematical model of meaning," *Multimedia Data Management -- using metadata to integrate and apply digital media--*, McGrawHill, A. Sheth and W. Klas(editors), Chapter 7 (1998)
- 8) Kitagawa T. and Kiyoki Y., "Fundamental Framework for Media Data Retrieval Systems Using Media-lexico Transformation Operator - In the Case of Musical MIDI Data," *Information Modeling and Knowledge Bases* (IOS Press), Vol. 12, pp. 316-326 (2001)
- 9) 北川 高嗣，中西崇文，清木康：楽曲メディアデータを対象としたメタデータ自動抽出方式の実現とその意味的連想検索への適用，電子情報通信学会論文誌，Vol.J85-D-I, No.6(20020601) pp. 512-526 (2002)

- 10) 佐藤 祐造編：運動療法と運動処方—身体活動・運動支援を効果的に進めるための知識と技術』，文光堂；第2版（2008）
- 11) 日野原重明監修，篠田知璋・加藤美知子編集：標準音楽療法入門（上：理論編）。春秋社
- 12) 佐藤祐造編：運動療法と運動処方 第2版，東京文光堂
- 13) Gumulia, A., Puzon, B. and Kosugi, N., "Music Visualization: predicting the perceived speed of a composition –Misual Project --", to appear in ACM Multimedia 2011