

Title	ピアノ用楽譜の難易度評価手法の研究
Author(s)	宮川, 洋平
Citation	
Issue Date	2003-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/460">http://hdl.handle.net/10119/460</a>
Rights	
Description	Supervisor:西本 一志, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

# ピアノ用楽譜の難易度評価手法の研究

北陸先端科学技術大学院大学  
知識科学研究科知識社会システム学専攻

宮川 洋平

2003年3月

修 士 論 文

# ピアノ用楽譜の難易度評価手法の研究

指導教官 西本 一志 助教授

北陸先端科学技術大学院大学  
知識科学研究科知識社会システム学専攻

150076 宮川 洋平

審査委員 西本 一志 助教授(主査)  
國藤 進 教授  
小長谷 明彦 教授  
宮田 一乗 教授

2003年2月

# ピアノ用楽譜の難易度評価手法の研究

宮川 洋平

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

2003年3月

キーワード: ピアノレッスン、楽譜、難しさ、ピアノ、練習支援、CAI

本研究の目的はピアノ用楽譜の難易度を評価する手法を見つけることである。

長い間ピアノレッスンを受ける対象は子どもが主流であった。しかし最近では大人になってから初めてピアノを弾きたいと考える人も少なくない。実際に今ではピアノ教室で大人向けのコースが用意されている所も多い。また、対象を大人に絞ったピアノ教材や雑誌も珍しくない。しかしそのような人たちは、時間的制約などからピアノレッスンに通い続けることが難しい、あるいは十分に練習の機会を持ってないことが多い。時間的制約にとらわれず、自宅で自由な時間にピアノレッスンを受けられるような環境が、そういう人たちにとって理想の環境であると考えられる。

そのような環境を実現するための方法のひとつとして、コンピュータによるピアノ練習支援が考えられる。音楽研究分野においては、ピアノ演奏の一部をコンピュータが手伝ってくれるような、演奏支援という形の研究はいくつか行われている。

したがって本研究で

は、ピアノ用楽譜の難易度を評価するための手法について述べる。まず、ピアノ用楽譜に含まれる要素と、ピアノ演奏経験者による評価結果をもとにピアノ用楽譜を評価するための評価関数を決定する。そして、3つの未知曲をその関数で評価する。未知曲に対する評価結果を元に、この評価手法の有効性について論じる。

# A study on evaluation method of difficulty for a piano score

Yohei Miyagawa

School of Knowledge Science,  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

March 2003

**Keywords:** piano lesson, score, difficulty, piano, lesson support, CAI

The purpose of this study is to find evaluation method of difficulty for a piano score.

The mainstream of piano lessons is for a child for a long time. However, there are considerable adult people who want to play a piano in these days. Actually, many piano lesson schools have lesson courses for adult people now. There are many piano course materials and magazines of piano lesson for them. However, because of time restrictions, they are difficult to go to piano schools, and they have not enough time to practice. It is ideal for such an adult novice to able to take a piano lesson at his/her home at any time. One of the methods to realize an ideal environment is supporting piano lesson by a computer. There are some studies on systems that support a part of musical performance in the research field of music and computer.

First, I decide an evaluation function to evaluate a piano score based on various factors in the piano score as well as subjective evaluation results by experienced pianists. Then, I evaluate three different scores as open data by the function. I discuss the validity of this evaluation method based on the results on the open data.

# 目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の目的と背景	1
1.3	本論文の構成	4
第2章	評価手法について	5
2.1	楽譜の難易度を測る	5
2.2	楽譜の評価試験	5
2.3	評価方法について	6
2.3.1	難しさの要素	7
2.4	楽譜データ	9
2.4.1	基本データ	9
2.4.2	評価用データ	10
2.5	教師データの作成	11
2.6	論理積による説明変数の追加	12
2.7	評価関数の決定	12
第3章	評価手法の評価	13
3.1	評価方法	13
3.2	評価	13
3.2.1	閾値の決定	13
3.2.2	評価結果	16
3.3	考察	16
第4章	関連研究	24
第5章	結論	25
5.1	まとめ	25
5.2	今後の課題	25

# 目次

2.1	楽譜の評価例	8
2.2	音階とノートナンバー (文献 [18] より引用)	9
2.3	持続音中に弾く音 (後ろ 2 つの四分音符)	11
3.1	右手予測値の閾値と F 値	14
3.2	左手予測値の閾値と F 値	15
3.3	3 番の曲、右手の教師データと予測値	18
3.4	3 番の曲、左手の教師データと予測値	19
3.5	22 番の曲、右手の教師データと予測値	20
3.6	22 番の曲、左手の教師データと予測値	21
3.7	25 番の曲、右手の教師データと予測値	22
3.8	25 番の曲、左手の教師データと予測値	23

# 表 目 次

3.1 評価結果	16
----------	----



# 第1章 はじめに

## 1.1 研究の目的と背景

本研究の目的は、ピアノ用楽譜の難易度を評価する手法を考案することである。

長い間ピアノレッスンを受ける対象は子どもが主流であった。しかし最近では大人になってから初めてピアノを弾きたいと考える人も少なくない。実際に今ではピアノ教室で大人向けのコースが用意されている所も多い。また、対象を大人に絞ったピアノ教材や雑誌も珍しくない[1]。しかしそのような人たちは、時間的制約などからピアノレッスンに通い続けることが難しい、あるいは十分に練習の機会を持ってないことが多い。時間的制約にとらわれず、自宅で自由な時間にピアノレッスンを受けられるような環境が、そういう人たちにとって理想の環境であると考えられる。そのような環境を実現するための方法として、コンピュータを利用することが考えられる。そこで以下にコンピュータを利用したピアノ練習環境について述べる。

ピアノの独習を目的とした、ソフトウェアがいくつか市販されている[2, 3, 4, 5]。それらのソフトは、ピアノやキーボードなどの鍵盤楽器とコンピュータを、MIDIケーブルなどで接続することで利用できる。そういったソフトでは、ピアノを弾く上での基礎知識の習得を目的とした、音声やムービーによる指導や、コンピュータによる伴奏にあわせて練習したりできるようになっている。しかし、演奏の良し悪しや、自分で判断しなければならぬところが多い。コンピュータからの一方向の情報提供型の支援に偏っており、練習者の練習のフィードバックが得られるのは限られている。それらは、まだまだ従来のレッスンに代わるようなものではない。

新しい形のピアノレッスンとしては、コンピュータネットワークを利用したものがある[6, 7]。これはインターネットの普及により可能になったものである。ネットワークを利用したレッスンには、リアルタイム型と非リアルタイム型のレッスンがある。リアルタイム型のレッスンでは、従来のレッスンのように先生が生徒を逐一指導するという点で変わりはない。しかし間にネットワークを介することで、空間的制約が取り除かれた。それが時間的制約の軽減に大きく貢献している。非リアルタイム型のレッスンは、練習時に記録した演奏データのみを先生に送信

する。それを先生が添削して生徒に送り返すという形式である。この方法においては時間的制約はほとんど無いといえる。しかしそのようなピアノレッスンはいずれもまだ実験的な側面が強く、利用は一部に留まっている状況である。

音楽研究分野においては、ピアノ演奏の一部をコンピュータが手伝ってくれるような、演奏支援という形の研究がいくつか行われている [8, 9, 10, 11] しかしその場合、あくまで演奏しているのはコンピュータであり、人が介入しているのは実際の演奏の一部となる。したがって、それらのシステムを用いていくらうまく弾けるようになったとしても、実際のピアノでうまく弾けるようになるわけではない。ピアノの練習支援に関する研究としては、演奏にあわせて自動的に楽譜をめくる自動譜めくりシステムや、演奏にあった伴奏を自動的に生成してくれる自動伴奏システム [12] といったものがある。またそれら両方への応用が可能な、演奏者が現在楽譜のどこを弾いているのかを判断する演奏位置解析の研究 [13] もある。



したがって本研究では、コンピュータによってピアノ用楽譜の難易度を評価するための手法について述べる。ピアノ用楽譜に含まれる要素と実際に人が評価したデータを元に、ピアノ用楽譜を評価するための評価関数を求める。その評価関数を用いて未知曲に対する評価を行う。その結果と人による評価とを比べることで本評価手法の有効性を示す。

### 1.3 本論文の構成

本論文は、本章を含め5章で構成される。

第2章では、評価手法のための楽譜の評価試験と、その結果に基づく評価関数の決定について述べる。

第3章では、評価手法による楽譜の評価結果についてその有効性の検証を行う。

第4章では、本研究の関連研究について述べる。

第5章では本研究において得られた研究成果をまとめ、今後の研究の課題について述べる。

## 第2章 評価手法について

### 2.1 楽譜の難易度を測る

楽譜の難しいところとは初心者が練習したときに、すぐにはうまく弾くことができないところを指す。そのような難しさは楽譜に記されているさまざまな情報に起因していると考えられる。その難しさを測るための方法について考える。

楽譜のある1つの音符を見たとき、そこには音程、音長、臨時記号などいくつかの要素が含まれていることがわかる。それらの要素が難しさに影響を与えていることは間違いない。そこで、ある1つの音符や休符(以下これらをまとめてイベントと呼ぶ)に含まれる要素を  $x$  と、そのイベントの難しさ  $y$  に式(2.1)のような関係を仮定する。

$$y = f(x) \quad (2.1)$$

この式に基づいて、あるイベントの難しさの点数を求める。その点数が一定以上であれば、そのイベントは難しいと判断する。変数  $x_1 \sim x_n$  をイベントを構成する要素が持つ値、および要素の有無とする。それぞれの要素が持つ難易度への影響力として、係数  $a_1 \sim a_n$  が用いられる。 $a_0$  を定数とすると、 $f(x)$  は式 2.2 で表せる。

$$f(x) = a_1x_1 + a_2x_2 \cdots a_{n_i}x_{n_i} + a_nx_n + a_0 \quad (2.2)$$

これらの係数と定数を求めるために、重回帰分析を用いる。重回帰分析は、説明変数(イベントの要素)と目的変数(イベントの難しさ)との関係を分析して関数式を作成し、これを用いて(1)説明変数が目的変数に及ぼす影響度、(2)説明変数の重要度を求める手法である。

### 2.2 楽譜の評価試験

重回帰分析により各係数を求めるためには式(2.2)の  $y$  にあたる、教師データが必要である。また、求めた評価関数の精度を評価するためにも人による楽譜の評価データが必要となる。そららのデータを得るために、2回楽譜の評価試験を行った。評価試験には「ブルグミュラー・25の練習曲」[16]を用いた。「ブル

「ブルグミュラー・25の練習曲」は初心者向けのピアノ教材で全25曲からなる。曲は1番から25番に向けてだんだん難しくなるように構成されている。評価試験に用いたのは、2番、3番、6番、8番、11番、14番、15番、20番、22番、25番の10曲である。これらの曲は初心者にとって難しい要素が多く含まれていると考えられることから選んだ。

被験者は金沢大学教育学部音楽教育専攻の24名である(有効回答は1回目15名、2回目13名)。被験者はいずれも現在ピアノのレッスンを続けているか、過去にピアノレッスンに通っていた経験のある人たちである。回答の得られた人のうちピアノを専門に学んでいる人は15名で、ピアノの指導経験のある人は3名である。また、過去に「ブルグミュラー・25の練習曲」を自分の練習時に使用したことがある人は13名である。

## 2.3 評価方法について

評価試験で被験者に求めたのは、おおまかには以下の3点である。

- 楽譜の難しい箇所を特定し、マークする
- 難しさの原因となっている要素の記述
- その理由の記述

評価は楽譜に対して直接記入する。具体的には、以下の点に注意して記述する。

- 評価の対象はペダルに関するもの以外の楽譜に書かれているものすべて
- ピアノで弾くときに難しいところを探す
- その難しさに影響していると思われる部分が特定できるような形で、丸で囲むといったようにマークをつける
- その難しさの「要素(2.3.1節参照)」をマークに添え、できるだけ詳細な理由を記入する
- マークする箇所の基準として基本的には「ピアノを学ぶ初心者がつまづくであろうところ」とした。他の基準としては以下のものが挙げられる
  - － 生徒がよくつまづいていたところ(指導経験のある人)
  - － 自分が練習していた時に難しかったところ(ブルグミュラー・25の練習曲で練習したことのある人)
  - － 自分が初心者のころ弾いていたなら難しかったであろうところ

－ 現在自分が弾いてみて難しいところ

- 評価は右手だけで弾いた場合、左手だけで弾いた場合、両手で弾いた場合と分けて考える。特に、両手で弾いた場合に難しい(または逆に簡単になる)場合はそのことがわかるように記述する
- 曲全体を通して見たときに難しさに影響しているものがあれば、そのことについても記述する

### 2.3.1 難しさの要素

難しさの要素としてマークした箇所に記述するものとしては、あらかじめ以下のものを与えた。難しさの要素として適切なものが無い場合には、任意にその要素を追加してよい。

1. 音程 (和音、跳躍など)
2. 臨時記号
3. 音の長さ
4. 運指
5. 休符
6. リズム
7. 装飾音
8. 拍子
9. 調号
10. 音部記号

以上のことを踏まえた楽譜の評価例を図 2.1 に示す。たとえば、3 小節目の 8 番目のファの音は指くぐりをしなければならないため、「運指」の 4 とマークされている。1 小節目や 3 小節目の 2 とマークされたシの音では、臨時記号はついていないが、調号によりシ [ を弾かなければならないためマークされている。

Moderato (♩=100)

*p* *grazioso*

5

無邪気 (前と音調がかわるから)

cresc.

図 2.1: 楽譜の評価例



## 2.4 楽譜データ

重回帰分析を適用するために、評価に用いた曲をデータ化した。楽譜に記されているもののうちデータ化の対象となるのは、音符、休符、音長、臨時記号、指番号、連符、スタッカート、装飾音である。

音程の表現にはMIDIにおけるノートナンバーを利用した[17]。ノートナンバーとは音に与えられた番号のことで、ノートナンバーひとつに半音が対応している。楽譜に現れる音すべてに対してノートナンバーが与えられており、コンピュータ上で扱うのに適している。たとえば中央のドのノートナンバーは60で表される(図2.2)。

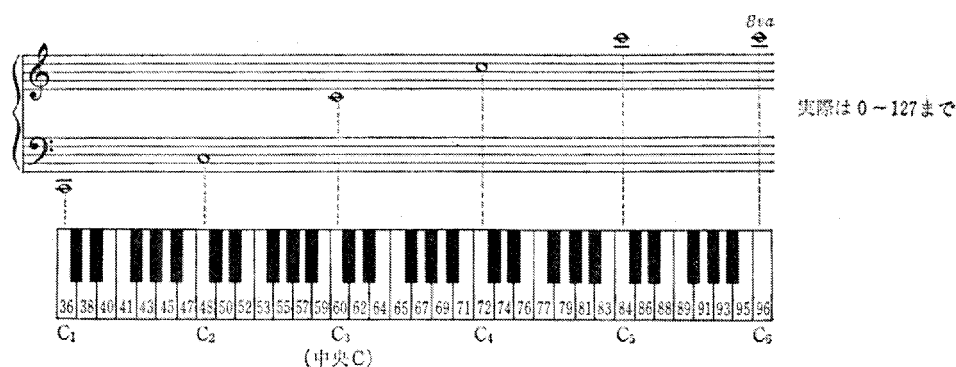


図 2.2: 音階とノートナンバー (文献 [18] より引用)

### 2.4.1 基本データ

曲のデータの基本となるものとして、音長、オクターブ、音名、ノートナンバーがある。この4つを「基本データ」と呼ぶこととする。基本データは、直接は評価に使われない。それぞれの要素のデータ化のルールを次に示す。

音長… 音符、休符の音価をそのまま数値に置き換えたもので、4分音符なら4、8分音符なら8、16分音符なら16となる。付点は数値の後に「.」をつけることで表される。

オクターブ… 中心のドの音があるところを4オクターブとし、1オクターブ上に移動すると5、1オクターブ下に移動すると3というようになっている。

音名… 「ド、レ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ」をそれぞれ「c,d,e,f,g,a,b」というアルファベットで表す。ド](レ )、レ](ミ )、ファ](ソ )、ソ](ラ )、ラ](シ )はそれぞれ、「c+,d+,f+,g+,a+」と表される。

ノートナンバー… その音のノートナンバー

たとえば、4オクターブのドの四分音符は次のように記述される。

音長	オクターブ	音名	ノートナンバー
4	4	c	60

曲データは一行に一音ずつ記述する。装飾音も一音として記述する。和音は低い音から順番に記述する。しかし、2音目以降の音長を0とすることでその前の音と同時に弾いていることを表している。たとえば「ド、ミ、ソ」の和音は次のように記述される。

音長	オクターブ	音名	ノートナンバー
4	4	c	60
0	4	e	64
0	4	g	67

## 2.4.2 評価用データ

基本データをもとに、楽譜に書かれている他の要素をデータ化する。他の要素とは、臨時記号、音程差、音長、リズム変化、付点、指番号、スタッカート、装飾音、持続音、黒鍵、距離、休符、和音、黒鍵で臨時記号なし、運指、 $n$ 分音符である。これらが重回帰分析に直接使用するデータとなる。これらの要素は基本データの対応するイベントと同じ行に入力する。それぞれの要素のデータ化のルールを次に示す。

指番号の有無…その音に指番号が書いてあれば1、そうでなければ0とする<sup>1</sup>

臨時記号…その音にシャープ (♯)、フラット (♭)、ナチュラル (♮) などの臨時記号が付いていれば1とする。そうでなければ0とする

音程差…現在の音から次の音までのノートナンバーの差の絶対値

リズム変化…そのイベントの長さで次のイベントの長さが違っていれば1、同じであれば0とする

付点…付点がついていれば1、そうでなければ0とする

スタッカート…その音にスタッカートが付いていれば1、そうでなければ0とする

装飾音…その音が装飾音であれば1、そうでなければ0とする

持続音…図2.3のような楽譜における四分音符のようなイベントを指す。持続音 (図では付点二分音符) 中に弾かなければならない音 (図では四分音符) なら1、そうでなければ0とする

<sup>1</sup>これはカテゴリーデータである。重回帰分析に用いることができるのは、基本的に説明変数が数量データの場合であるが、取る値が0,1というような2カテゴリーの場合は重回帰分析を適用することができる [19]

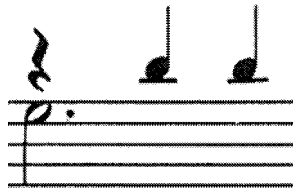


図 2.3: 持続音中に弾く音 (後ろ 2 つの四分音符)

黒鍵…その音が黒鍵の音なら 1、そうでなければ 0 とする

距離…五線から離れていれば 1、そうでなければ 0 とする。具体的には、上は 6 オクターブのド (ノートナンバー 84) より上であれば 1、下は 2 オクターブのソ (ノートナンバー 43) より下であれば 1 となる

休符…そのイベントが休符ならば 1、そうでなければ 0 とする

和音…その音が和音の構成音なら 1、そうでなければ 0 とする

黒鍵で臨時記号なし…臨時記号がついていない音で、かつそれが黒鍵ならば 1 とする。そうでなければ 0 とする。言い換えれば、これは調によって半音上下させる動作が必要な音のうち黒鍵を弾かなければならない音を示している (小節内の同音における臨時記号の省略の場合もある)

運指…指番号の書かれている音で、指くぐり、指またぎ、同じ音で指を変えるという動きのどれかが必要な音は 1、そうでなければ 0 とする

n 分音符…その音符が二分音符であれば 1、そうでなければ 0 とする。四分、八分、十六分、三十二分音符についても同様である。それらすべてが 0 の場合、全音符とみなす。このとき付点については切り捨てて考えるが、2.6 節で説明する手法の導入により付点の要素も補えると考える

## 2.5 教師データの作成

教師データを作成するために、評価試験で楽譜を評価した結果をデータ化する。基本データをもとに、楽譜上でマークされた音符とその難しさの要素を入力する。マークされた箇所には書かれている、難しさの要素 1 つに対して 1 ポイントをそのイベントに与える。そのポイントを曲ごとに、全員の評価分合計する。これをその曲の難易度の教師データとする。右手、左手のそれぞれについて 7 曲分 (2 番、6 番、8 番、11 番、14 番、15 番、20 番) のデータを全てまとめることで全体の教師データとする。

## 2.6 論理積による説明変数の追加

重回帰分析を用いた音楽演奏の表情付けに関する研究 [20] では、楽譜上に表現された要素と、実際の演奏との関係を重回帰分析によって求めている。楽譜上のスラーやスタッカートなどの表現情報の有無を、0と1とにデータ化して説明変数とし、実際の演奏データを教師データとして重回帰分析を行っている。しかし、実際の演奏の非線形性により、それらの情報だけでは十分にカバーできないことが多かった。そこで、重回帰分析を行う前に、それぞれの要素間の論理積をとり説明変数を増加させている。その処理を行うことによって、スラーとスタッカートが合わさることで生まれていた演奏表現などの、非線形的な影響を取り除くことに成功している。

本研究においてもこの手法を利用する。評価用データのうちカテゴリーデータ(0, 1の二値をとるもの。音程差以外の要素)については、すべての組み合わせで論理積をとり、それを新たな説明変数として追加する。これによりある2つの要素が原因で難易度に影響しているような、非線形的要因にも対応することができる。

## 2.7 評価関数の決定

全体のデータに対して重回帰分析を行う前に、評価用データのみで曲ごとに重回帰分析を行った。その結果、11番の曲データの決定係数が右0.34、左0.22と特に低かったため、この曲を外れ値とし、全体の評価には加えない。

目的変数を教師データ、説明変数を評価用データ19個と論理積により追加したデータ153個の計172個として重回帰分析を行った。用いたサンプル数は右手が1516イベント、左手が1611イベントである。変数の選択には変数減少法を用いた。右手の要素のうち五線からの距離、スタッカート、装飾音、持続音中に弾く音、黒鍵、休符、黒鍵で臨時記号なし、運指は変数減少法により除去された。左手の要素のうち、距離、臨時記号、スタッカート、黒鍵、休符、黒鍵で臨時記号なし、運指は変数減少法により除去された。重回帰分析の結果、相関係数Rは右手が0.794、左手が0.842であった(決定係数 $R^2$ は右手0.631、左手0.708)。分散分析の結果は左右ともに1%水準で有意であった。この結果から、楽譜の難易度を評価するモデルとしてここで提案したモデルが有効だといえる。

## 第3章 評価手法の評価

### 3.1 評価方法

求められた評価関数により未知曲に対して難易度を評価する。評価には、実際の評価との再現率、適合率、F値を用いる。未知曲のデータとしてはブルグミュラー・25の練習曲のうち、最初の評価試験に使用していないものを用いる。

教師データ、予測値それぞれの点数に閾値を決め、点数がその閾値以上であれば1(難しい)、そうでなければ0(易しい)とする。教師データと予測値を比べ、どちらも難しいと評価されていれば正解とし、正解数を数える。教師データが難しいと判断した箇所の個数をA、評価関数による評価結果(予測値)が難しいと判断した箇所の個数をB、正解数をCとすると、再現率、適合率、F値は以下のように表される。

$$\text{再現率} = \frac{C}{A}$$

$$\text{適合率} = \frac{C}{B}$$

$$F \text{ 値} = \frac{2 \times \text{再現率} \times \text{適合率}}{\text{再現率} + \text{適合率}}$$

### 3.2 評価

#### 3.2.1 閾値の決定

難しいか否かの判断をする閾値を決めるために、評価関数を求めるのに用いたデータそのものに対し難易度評価を行う。教師データの閾値は1とし、予測値の閾値を少しずつ変えながら、F値が最も大きくなるものを予測値の閾値として選択する。

以上のような方法でF値を求めた。閾値とF値の関係を、図3.1(右手)、図3.2(左手)に示す。結果として、右手は0.3、左手は0.9の時にF値が最大となった。これらを予測値の閾値として未知曲の評価を行う。

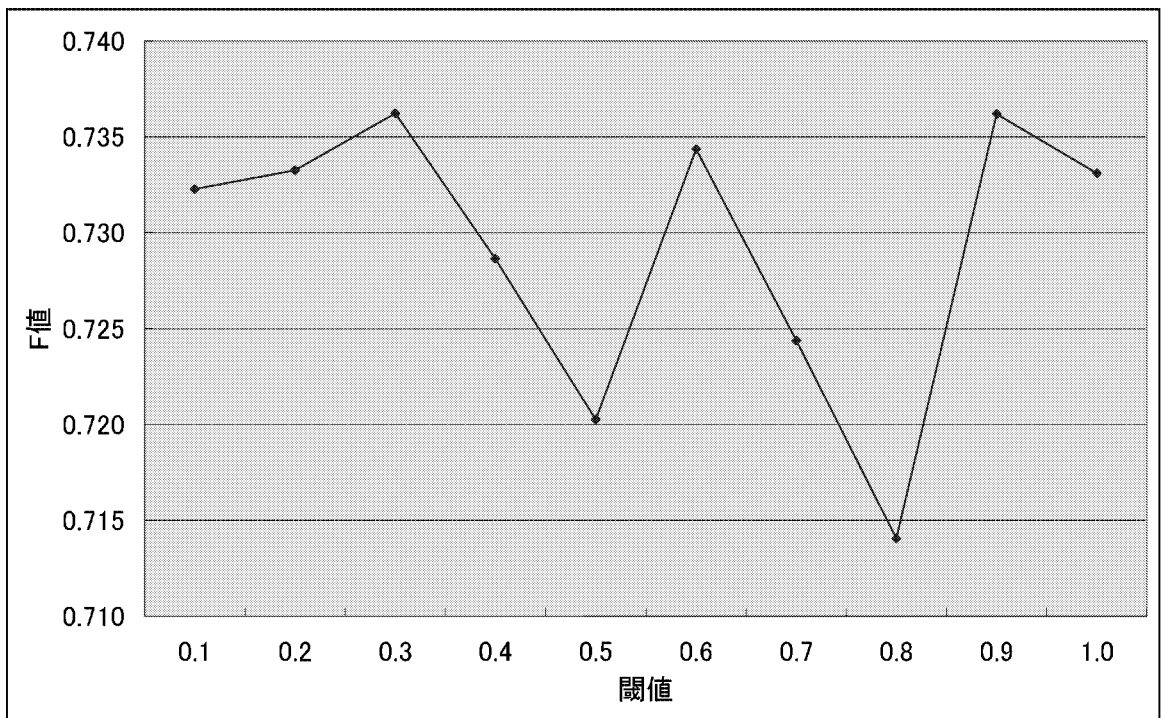


図 3.1: 右手予測値の閾値と F 値

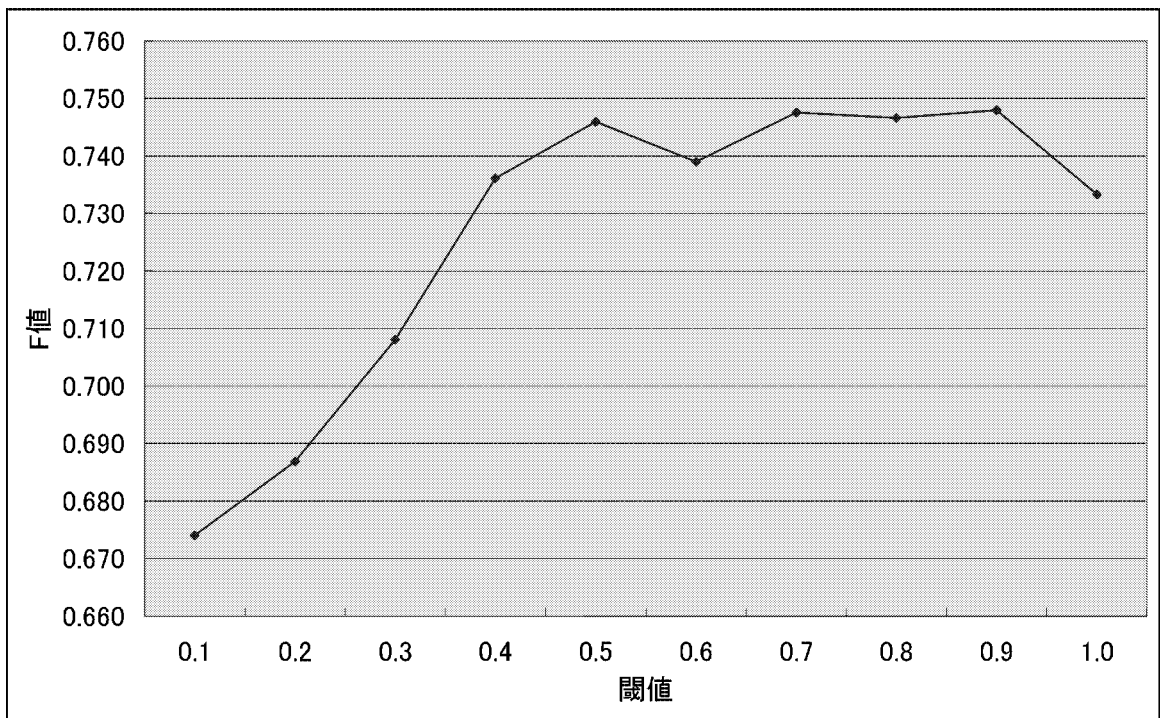


図 3.2: 左手予測値の閾値と F 値

### 3.2.2 評価結果

重回帰式を求める際に使用しなかった3曲(3番、22番、25番)の曲データに論理積のデータを加え、求めた評価関数を用いて難易度の評価を行った。結果を表3.1に示す

		適合率	再現率	F値
3番	右手	94.1%	41.0%	0.571
	左手	41.4%	80.0%	0.545
22番	右手	33.5%	83.1%	0.478
	左手	35.7%	71.8%	0.477
25番	右手	94.3%	78.1%	0.854
	左手	75.4%	69.4%	0.723

表 3.1: 評価結果

3番、22番の曲については、評価関数によって右手左手ともにあまり良い評価結果が得られていない。25番の曲については、評価関数によって比較的良い評価がなされている。特に、右手における評価が良い結果となっている。

### 3.3 考察

図3.3~3.8は、3番,22番,25番それぞれの曲の左右パートの教師データと、評価関数による難易度の予測値のグラフである。3番の曲の左手データは、適合率において低い結果となっているが、図で見ると、2つのデータのグラフは近い形となっているのがわかる。そこで、予測値の閾値として、2番目に大きなF値であった0.7を用いてみたところ、適合率63.8%、再現率83.5%、F値は0.723と大きく向上した。このことから左手全体のデータから導いた閾値がこの曲には合っていなかったと考えられる。図3.2からわかるように閾値0.5~0.9の間でF値がかなり近い値となっているため、F値が最大である0.9という閾値の選択が左手の閾値として必ずしも最良の選択ではない可能性がある。

22番の曲の右手のデータについて、教師データが難しいと判断しているところは、全体の202イベントのうち65イベントであるのに対し、評価関数による予測値は161箇所を難しいと判断している。この曲は他の曲に比べ多くの音符に対して指番号が振られていることで、指番号の要素により評価が引き上げられたことが原因として考えられる。

図3.5の中央部分で2つのイベントが特に高い値を取っている。調べたところ、この2つの音符には臨時記号のナチュラル(\)が付いていた。直感的な評価とし



では、臨時記号でもシャープやフラットと比べるとナチュラルはそう難しいとは思えないので、これは適切な評価とはいえない。これは評価関数を求めるときに与えた要素として、シャープ、フラット、ナチュラルをひとまとめにして「臨時記号」として扱ったのが問題だったのかもしれない。この対策としては、シャープ、フラットの2つとナチュラルを別の要素として扱うことが考えられる。

22番の曲の左手のデータの不一致について考える。図3.6は22番の曲の左手のパートである。教師データでは難しい箇所がまばらにあるのに対し、評価関数による予測値は難しい箇所が全体にまんべんなく広がっている。この曲の左手のパートほとんどが八分音符により構成される和音からできている。そのため、八分音符と和音の要素により全体的に難易度の評価が底上げされるような形となり、適合率が下がる原因となっていると考えられる。しかし実際の評価においては、全ての和音に対してではなく、「弾きにくい形」の和音などが高い点数となっている。これは本手法では扱っていない要素であるため、実際の評価とのずれが生じていると考えられる。

評価において、難しい理由としてそれまでと違うフレーズだからということが挙げられていることが少なくない。そのような場合、それ以降のフレーズでイベントを構成する要素が同じでも、そのフレーズの変り目の部分だけが教師データで高い値をとることになる。本手法を用いて評価した場合、イベントの構成要素が同じであれば、評価の点数も同じとなるためそういった部分で評価のずれが生じている。本手法では、主に単一のイベントを対象として難易度の評価を行っているため、フレーズなどまとまりや、曲の構造に依存する難しさを評価することができない。

楽譜の難易度には大きく分けて(1)個々のイベントに依存するものと、(2)曲の文脈に依存するものがある。本手法が難易度評価の対象としたのは、主に(1)の難易度である。(2)を原因とする難易度が多く含まれる曲の評価に評価に用いた3曲のうち、3番、22番の曲は教師データにおいて(1)を原因とするものが少なく、(2)を原因とする難しさが多く含まれていたため本手法の評価が有効に働かず、逆に25番の曲においては(1)の要因による難易度も含まれていたため良い結果となったと考えられる。

(2)のような原因への対応のひとつとして、ナームアのImplication/Realization理論[21]の適用が考えられる。要するに、過去の経験に基づき、次にくるフレーズが予測どおりであれば弾きやすく、予測に反するものであれば弾きにくいということである。したがって、次に現れるフレーズの予測しやすさを評価することができれば、文脈に依存する難しさへの評価向上の可能性はある。

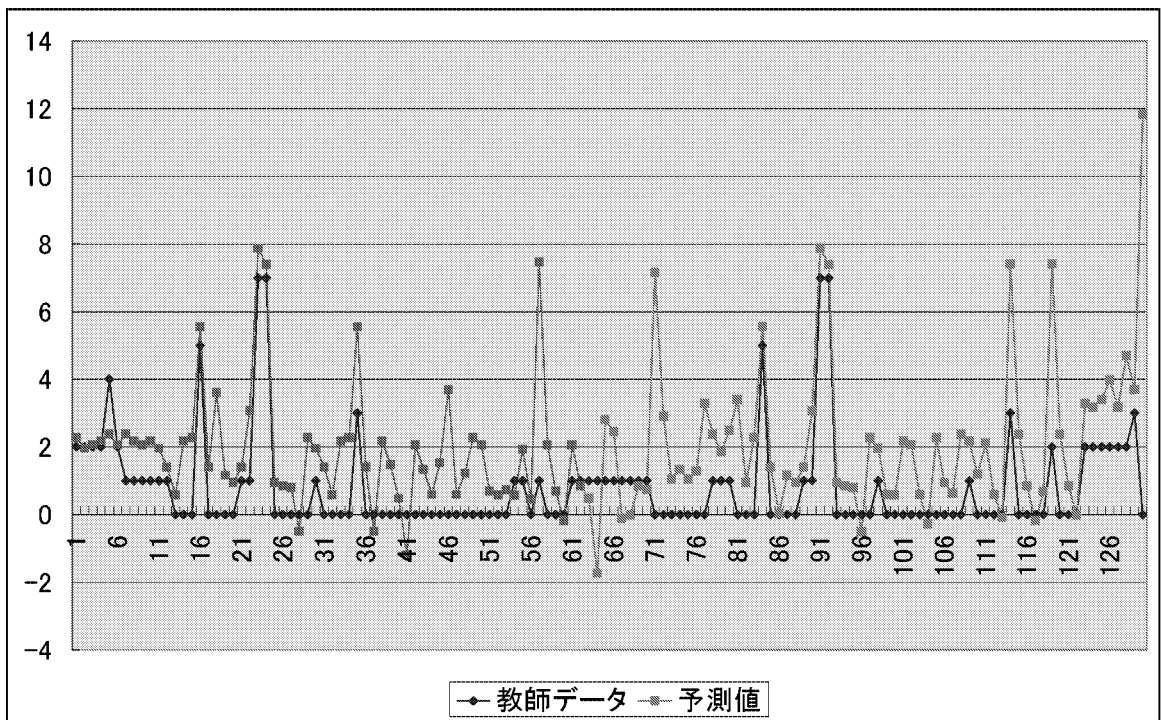


図 3.3: 3番の曲、右手の教師データと予測値

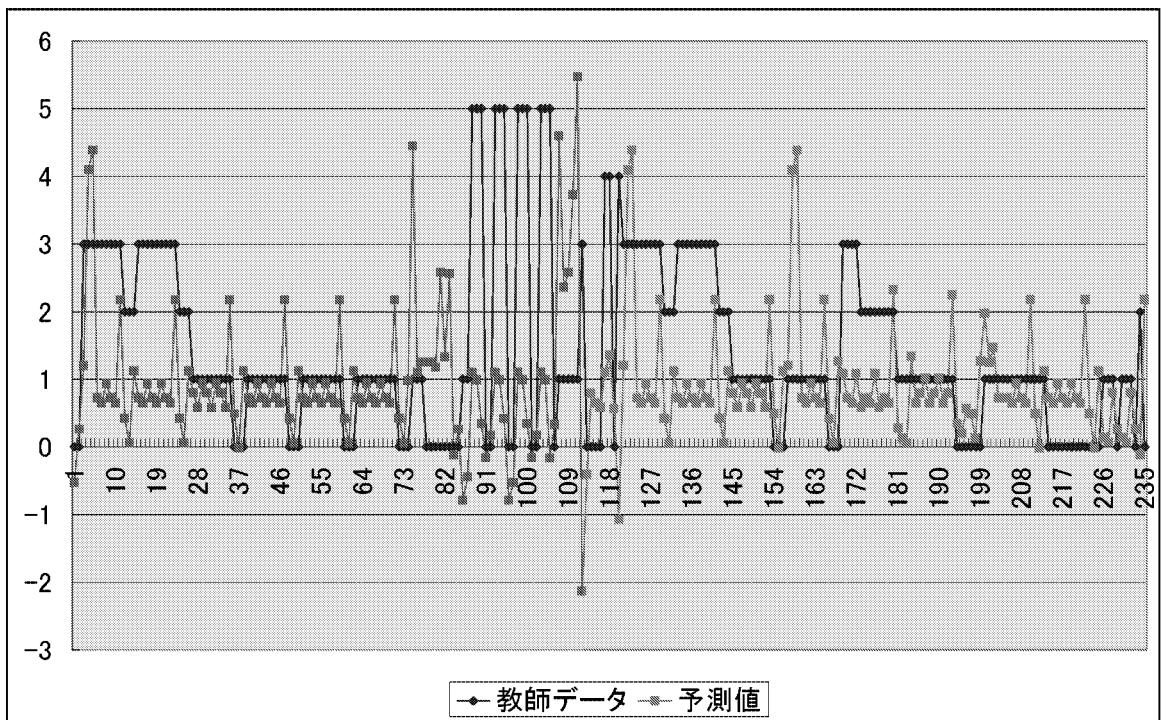


図 3.4: 3 番の曲、左手の教師データと予測値

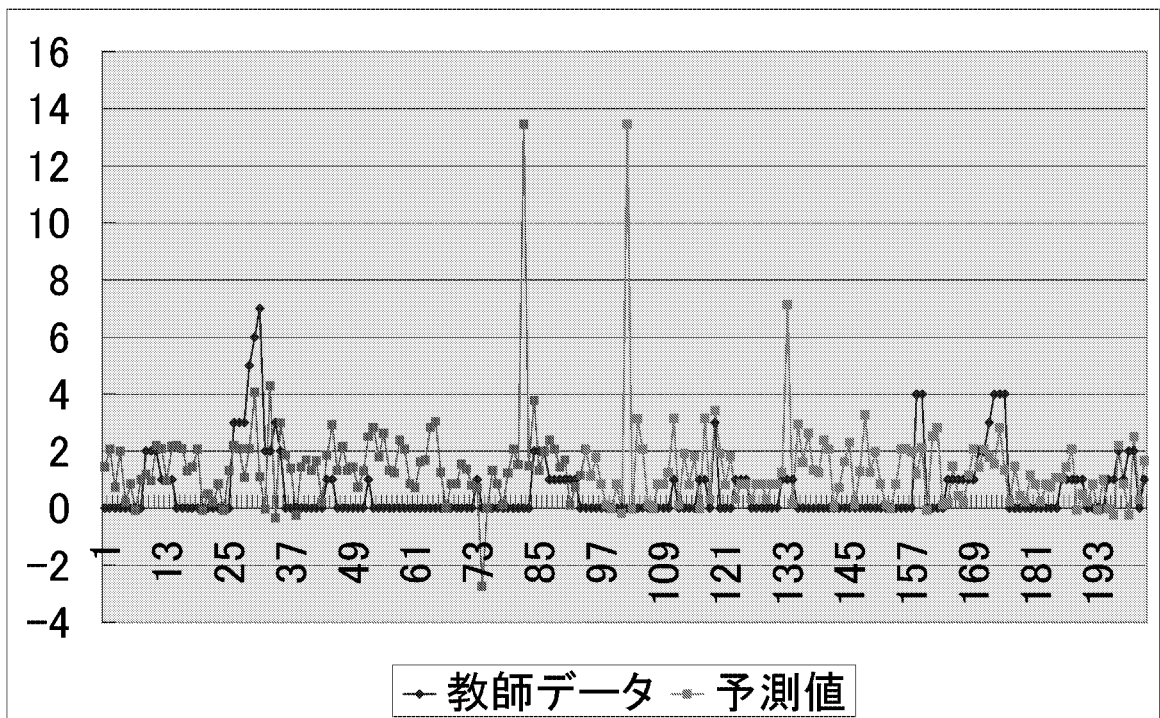


図 3.5: 22 番の曲、右手の教師データと予測値

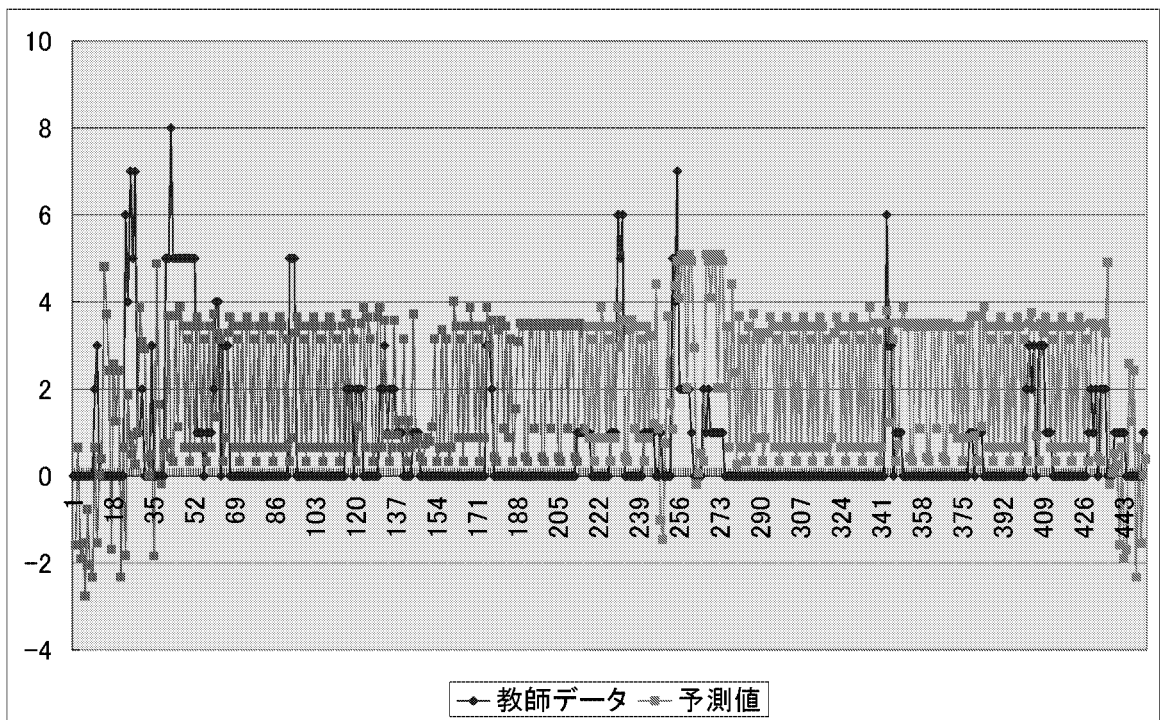


図 3.6: 22 番の曲、左手の教師データと予測値

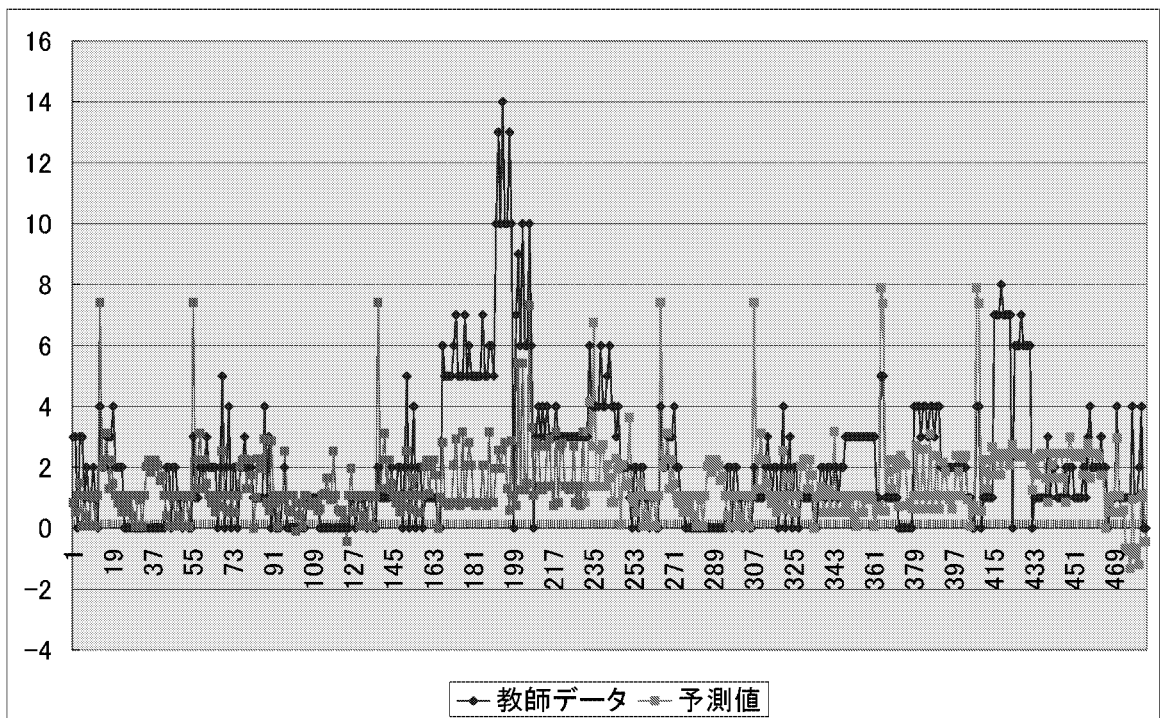


図 3.7: 25 番の曲、右手の教師データと予測値

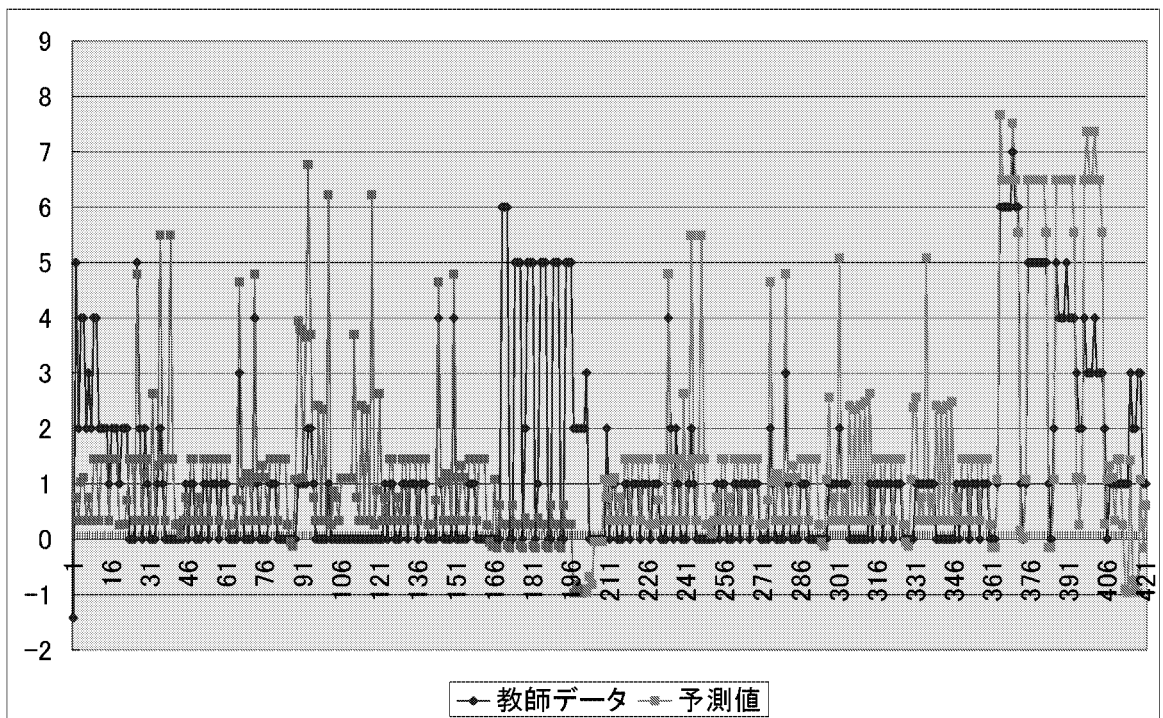


図 3.8: 25 番の曲、左手の教師データと予測値

## 第4章 関連研究

音楽演奏における表情付けの研究 [22, 23, 24] では楽譜データを説明変数、実際の演奏データのベロシティなどを目的変数とし重回帰分析を用いることで、演奏の表情付けのルールを導いている。そして、[20] では重回帰分析を行う前に、相関のありそうな説明変数どうしの論理積をとることで説明変数を増やし、その後変数減少法を適用して説明変数を減らすことで重相関係数の向上を実現している。

仮想空間におけるピアノ演奏動作の生成と表示 [25] では、譜面のデータをもとに運指運動の解析を行っている。それをもとに、運指動作を仮想空間に3DCGとして再現することで、練習の支援を試みている。また、ピアノの運指の自動生成とそのアニメーションを作成するような研究 [26] も行われている。

カシオの「光ナビゲーションキーボード」[27] や、ヤマハの「ドレミマスター」[28] は、次に弾く音を鍵盤自体が光ったりすることで示す、初心者支援システムを持った電子鍵盤である。鍵盤の光にしたがって弾いていけばよいので、楽譜を読むことができなくても演奏することができる。しかし、光が示すのは次の音だけなので、テンポの速い曲や、短い音の多い曲では光を追うことが非常に難しく、ぎこちない演奏となってしまうという問題がある。



## 第5章 結論

### 5.1 まとめ

本研究では、楽譜に表現された要素から難易度を評価する手法を考案し、その手法を用いた未知曲の評価の有効性の検証を行った。楽譜に表現された要素を説明変数、実際に人による難易度の評価結果を目的変数として、重回帰分析を行うことで、楽譜の難易度を評価する評価関数が求められることを示した。また、説明変数どうしの論理積を取ったデータを新たに説明変数に追加することで、決定係数の向上を実現し、評価関数の精度を高めた。その評価関数を用いた未知曲に対する評価結果においては、本手法の有効性を示すことができた。しかし、評価関数を求めるときに含まれていない要素が評価する楽譜に多く含まれている場合には、実際の評価と大きな差が開いた。

### 5.2 今後の課題

本研究で難易度の要素として扱ったものが楽譜に含まれる要素の全てではない。音部記号や調号の変化、テンポ、表情記号などの扱っていない要素も難易度に影響を与えていると考えられる。それらをうまく評価関数に取り込むことによって、難易度評価の向上が望めるだろう。

本研究では、右手だけで弾いた場合と左手だけで弾いた場合の難易度を扱った。ピアノ用楽譜は最終的には両手で弾けるようになることが目標であり、両手で弾いた時特に難しくなるところや、逆に両手で弾いたほうが簡単になるというところがある。両手で弾いた場合の難易度についても考慮しなければならない。

本研究では、主に単音レベルでの要素を扱ったが、楽譜の難易度には、フレーズの変わり目など、曲の構造に依存する要素もある。より人に近い評価を得るためには、それらを考慮した評価手法への拡張を考えなければならない。

本研究において用い

たデータは、楽譜を元に全て手作業にて書き起こした。しかし、そのようなシステムにおいては、Standard MIDI File(SMF)のようなデータを入力とすることが現実的だろう。しかし、SMFは楽譜をそのままデータ化することを目的としたものではなく、楽譜に表現されている要素のうち、指番号や表情記号などSMFの

データに含まれないものも多い。SMEに何らかの方法で楽譜の情報を加えたデータフォーマットを用意するか、楽譜の情報をできるだけ多く含むことができる他のフォーマットについて検討する必要があるだろう。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導下さった西本 一志 助教授に心より感謝いたします。研究に必要なことや、研究に対する姿勢など様々なことを丁寧に指導して頂きました。早くから研究会発表や、学会参加の機会を頂けたことは非常に良い経験となりました。そして、研究においても日常においても、学生の立場で物事を考えて下さり私たちとの距離を感じさせない、学生としてはこれ以上ない理想的な研究環境を提供して頂いたことに誠に感謝しております。

先輩の大島 千佳さんには、特に研究会の論文作成の際に細やかなご指導を頂きました。そして本研究においても、特に音楽面での様々な協力や助言をして頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。

また、突然の申し出にもかかわらず、評価試験への学生の協力を快諾して下さった、金沢大学教育学部の松中 久儀教授に感謝いたします。そして非常にお忙しい中、本研究の評価試験に協力して下さった、金沢大学教育学部音楽教育専攻の方々に感謝いたします。特に木下 麻奈美さんにはお世話になりました。本当にありがとうございました。そして研究の過程、ゼミ等において様々な貴重な意見を下さった、西本研究室のみなさんに感謝いたします。

副テーマにおいて、主テーマとは違った観点から興味深い指導をして頂いた、下嶋 篤 助教授に感謝いたします。

最後に、学生生活における様々な苦労と楽しみを共有してきた、知識科学研究科のみなさんに心より感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 角聖子. 楽譜が苦手なお父さんのためのピアノ塾. 日本放送出版協会, 2002.
- [2] YAMAHA. これからはじめる大人のピアノ. <http://www.ymm.co.jp/cdrom/pds2/windex.html>.
- [3] YAMAHA. ファミリーピアニスト独奏中. [http://www.ymm.co.jp/cdrom/pds2/fp\\_index.html](http://www.ymm.co.jp/cdrom/pds2/fp_index.html).
- [4] YAMAHA. 弾ける! 一曲入魂. <http://www.ymm.co.jp/cdrom/pds2/i2index.html>.
- [5] Roland. Visual MT. <http://www.roland.co.jp/products/ck/V-MT1A.html>.
- [6] かがわりようこ バーチャル音楽教室. <http://www.beeplus.or.jp/Piano/tv/old>.
- [7] バーチャルピアノ教室. <http://www.nets.ne.jp/~ACMusic/PianoLesson/>.
- [8] 上田健太郎, 平井重行, 片寄晴弘, 井口征士. Two finger piano の改良. インタラクション 2000 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol. 2000, No. 4, 2000.
- [9] 谷井章夫, 片寄晴弘. 音楽知識と技能を補うピアノ演奏システム “inspiration”. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 02 – 007, pp. 256–259, 2002.
- [10] 大島千佳, 宮川洋平, 西本一志. Coloring-in piano: 表情付けに専念できるピアノの提案. 情報処理学会研究報告 音楽情報科学, No. 42, pp. 69–74, 2001.
- [11] 奥平啓太, 片寄晴弘. 指一本によるピアノ演奏システム: sfp. 情報処理学会研究報告 ヒューマンインターフェース, No. 102, pp. 57–62, 2003.
- [12] 小川大典, 戴岡, 五十嵐滋. 計算機によるピアノ伴奏. 情報処理学会研究報告 音楽情報科学, No. 14, pp. 37–42, 1996.

- [13] 尾崎昭剛, 原尾政輝, 平田耕一. 演奏習得支援システムのための効率的な演奏現在位置解析アルゴリズム. エンタテインメントコンピューティング, Vol. 2003, No. 1, pp. 41–46, 2003.
- [14] Fred Lerdahl, Ray Jackendoff. A Generative Theory of Tonal Music. MIT Press, 1983.
- [15] 竹内好宏. 音楽の構造解析とその応用. bit 別冊 コンピュータと音楽の世界, pp. 224–240. 共立出版, 1998.
- [16] BURGMÜLLER. ブルグミュラー 25 の練習曲. 全音楽譜出版社.
- [17] リットーミュージック出版編集部. MIDI バイブルI. リットーミュージック, 1997.
- [18] 西村 恕彦 監修 音楽情報科学研究会編. コンピュータと音楽. 共立出版, 1987.
- [19] 菅民郎. 多変量解析の实践 上. 現代数学社, 1993.
- [20] 石川修, 片寄晴弘, 井口征士. 重回帰分析のイタレーションによる演奏ルールの抽出と解析. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 02 – 009, pp. 1234–1241, 2002.
- [21] Eugene Narmour. Analysis And Cognition Of Basic Melodic Structures: The Implication-Realization Model. The University of Chicago Press, 1990.
- [22] 上符裕一, 青野裕司, 片寄晴弘, 井口征士. 演奏ルールの抽出について. 情報処理学会研究報告 音楽情報科学, No. 15, pp. 79–84, 1996.
- [23] 石川修, 青野裕司, 片寄晴弘, 井口征士. 自動演奏システムの構築～重回帰分析の問題と改良. 第 43 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集, pp. 567–568, 1999.
- [24] 石川修, 片寄晴弘, 井口征士. 重回帰分析を用いた演奏の表情付け—従来のシステムの発展と演奏プランの考慮—. 情報処理学会研究報告 音楽情報科学, No. 31, pp. 55–60, 1999.
- [25] 関口博之, 英保茂. 仮想空間におけるピアノ演奏動作の生成と表示. 情報処理学会研究報告 音楽情報科学, No. 29, pp. 25–32, 1999.
- [26] 首藤太吾. ピアノの運指の自動生成と演奏のアニメーション. <http://www.teu.ac.jp/chiit/~shuto/sotuken/last/00.html>.
- [27] CASIO. [http://www.casio.co.jp/emi/key\\_lighting/](http://www.casio.co.jp/emi/key_lighting/).

[28] YAMAHA. <http://www.yamaha.co.jp/product/epiano-keyboard/ez-j23/>.

## その他研究発表

- [1] 大島千佳, 宮川洋平, 西本一志: Coloring-in Piano: 表情付けに専念できるピアノの提案, 情報処理学会研究報告 音楽情報科学 2001-MUS-42, Vol.2001, No.103, pp.69-74, 2001.
- [2] 宮川洋平, 白崎隆史, 大島千佳, 西本一志: Coloring-in Piano による 2 ステップ打ち込みの提案, 情報処理学会研究報告 音楽情報科学 2001-MUS-43, Vol.2001, No.125, pp.21-26, 2001.
- [3] Kazushi Nishimoto, Chika Oshima, Yohei Miyagawa and Takashi Shirosaki: A Musical Instrument for Facilitating Musical Expressions, CHI2002 Extended Abstracts, pp.722-723, 2002.
- [4] Chika Oshima, Yohei Miyagawa, Kazushi Nishimoto and Takashi Shirosaki: Two-step Input Method for Supporting Composition of MIDI Sequence Data, Proc. First International Workshop on Entertainment Computing (IWEC2002), pp.253-260, 2002.
- [5] Chika Oshima, Kazushi Nishimoto, Yohei Miyagawa, and Takashi Shirosaki: Coloring-in Piano: Indiscrete Musical Elements are Essential for Performers, Proc. ICAD 2002 Rencon Workshop - Performance Rendering Systems: Today and Tomorrow, pp. 21-23, 2002.
- [6] Chika Oshima, Yohei Miyagawa and Kazushi Nishimoto: Coloring-in Piano: A Piano That Allows A Performer to Concentrate on Musical Expression, In C. Stevens, D. Burnham, G. McPherson, E. Schubert, and J. Renwick (Eds.), Proc. the 7th International Conference on Music Perception and Cognition (CD-ROM Proc.), Adelaide: Causal Publications, Paper No.707, 2002.
- [7] Chika Oshima, Kazushi Nishimoto, Yohei Miyagawa, and Takashi Shirosaki: A Concept to Facilitate Musical Expression, Proc. Creativity & Cognition 2002, ACM Press, pp.111-117, 2002.

- [8] 西本一志, 大島千佳, 宮川洋平, 白崎隆史: 離散的情報と連続的情報の分離による音楽演奏表現の支援, 情報処理学会第 64 回全国大会講演論文集 (4), pp.4-601-4-606, 2002.
- [9] 大島千佳, 西本一志, 宮川洋平: CiP (Coloring-in Piano), FIT ワークショップ「蓮根: 目指せ世界一のピアニスト」, <http://shouchan.ei.tuat.ac.jp/~rencon/FIT2002/>, 2002.
- [10] Chika Oshima, Yohei Miyagawa, Kazushi Nishimoto and Takashi Shirosaki: Two-step Input Method for Supporting Composition of MIDI Sequence Data, Entertainment Computing – Technologies and Applications, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [11] 大島千佳, 西本一志, 宮川洋平, 白崎隆史: 音楽表情を担う要素と音高の分割入力による容易な MIDI シーケンスデータ作成システム, 情報処理学会論文誌 条件付採録 再投稿中