

休符時における人間の合奏制御の分析

石毛 大悟[†] 堀内 靖雄[†] 市川 薫[†]

本論文では、独奏に休符がある場合の人間の合奏制御のふるまいについて述べる。まず、休符がある分析用の楽譜を作成し、計算機の独奏と人間の伴奏者が合奏を行うデータを収録した。独奏に休符がある場合の伴奏者の合奏制御についていくつかの仮説を立て、重回帰分析によりモデル式を作成し、人間の演奏データとの誤差により評価を行い合奏制御の推定を行った。結果、ある時点において、その直前の独奏者との「ずれ」など差の情報を用いることができる部分では、その差の情報を利用して、相手が休符で差の情報を使うことができない部分では、1小節程度過去の演奏情報に従い演奏を行っていることが示唆された。

Analysis of the Human Performance at Rests in Ensemble

DAIGO ISHIGE,[†] YASUO HORIUCHI[†] and AKIRA ICHIKAWA[†]

This paper describes behavior of human performance when there is some rests in his/her partner's score. 96 ensembles by a computer and a human performer were recorded. Some hypotheses were formed about a model of human performance for synchronicity when a rest exists in his/her partner's part and multiple regression analysis is applied the recorded data. It is suggested that when the difference between two performers can be used, a human performer plays using the information for good synchronicity, but when the difference between two performers cannot be used because of a rest, a human performer plays based on the information at about one bar line past.

1. 本研究の背景と目的

自動伴奏システムとは、機械があらかじめ独奏パートと伴奏パートの楽譜を持った状態で、人間の独奏者の演奏を聞きながら楽譜を参照し、現在演奏している部分を知り、独奏者の演奏速度に合わせて伴奏を付けてくれるシステムである¹⁾。現在、伴奏システムは演奏が非常に機械的であるという問題点が指摘されている。この問題に対し、先行研究では人間と機械の合奏データを用いて人間の演奏制御を分析し、そこから得られた知見より人間同士の合奏制御モデルを推定する研究が行われた^{2)~5)}。

先行研究では、独奏者と伴奏者の演奏時刻の差の情報である「ずれ」、「テンポのずれ」を用いて次の音符の発音時刻を拍単位で決定してゆく演奏制御モデルが推定された。しかし、ほとんどの楽曲では、どちらかに休符があるなど独奏と伴奏が同時に発音しない部分が存在する。同時に発音しない部分は相手との差の情報を使用できないため、先行研究の演奏制御モデルそのままでは次の発音時刻を決定することができない。

そこで、本研究では相手との差の情報を使用できない部分として、休符がある部分の演奏制御モデルの推定を行った。まず休符のある楽曲を作成し、収録を行った。そして、休符がある部分の人間の伴奏制御について仮説を立て、仮説に基づいたモデル式の予測と収録データとの予測誤差により評価を行い、人間の合奏制御の分析を行った。

2. 演奏収録

2.1 演奏曲目

収録の対象曲は、Hanon 作曲の「ピアノの名手になる60練習曲 (Le Pianiste Virtuoseen 60 Exercises)」の第5番を編曲したものである(図1)。編曲にあたっては、以下の点を考慮した。

- 拍単位の制御モデルを想定しているため、四分音符のみとする。
- 楽譜は独奏に休符が入るものと伴奏に休符が入るものの二種類を作成した。図1は独奏に休符が入る例である。
- 休符は偶数小節に1箇所ずつ入れてある。休符が入る場所はランダムに配置したが、一曲を通して各拍位置に回数存在する。
- 音楽性を排除すると同時に演奏ミスを少なくする

[†] 千葉大学大学院自然科学研究科
Chiba University

ため、演奏が簡単な楽譜とする。

- リズミ的な影響を排除するために、計算機の演奏速度は四分音符 = 100 とした。

本研究は、休符周辺が分析対象となるため 1 回の演奏から取れるデータ数は少ない。そこで、なるべく多くデータ数を確保するために 85 小節にしたところ、1 曲の演奏時間は 3 分 23 秒となった。



図 1 収録に用いた楽譜例 (独奏に休符がある場合)

今回の分析は研究の第一段階であるため、合奏者同士がお互いに影響を与え合う相互作用⁶⁾,⁷⁾は今後の課題とし、計算機による独奏 (相手の影響を受けない) との合奏を収録した。

計算機の演奏はテンポ一定のパターンと、一部テンポにゆらぎがあるパターンを用意した (図 2)。揺らいでいる部分では $[\pm 50ms, \pm 20ms, 0ms]$ の演奏変化をしている。最後の 5 小節に関しては、揺れは 0ms (揺らぎなし) であるが、そのほかでは変化の順番はランダムであり、1 曲を通して同じ拍の位置から同じ揺れのおおさを 8 データ取れるデザインになっている。

演奏者 1 名につき、独奏に休符がある楽譜での合奏を 6 回 (揺れがあるパターンを 3 回含む)、伴奏に休符がある楽譜での合奏を 6 回 (揺れがあるパターンを 3 回含む) 収録した。



図 2 独奏の演奏を揺らすパターン

2.2 演奏者

演奏者は 8 名 (内訳は音楽大学ピアノ科の卒業生が 5 名、10 年以上の演奏経験がある学生が 3 名) である。

演奏者にはあらかじめ、楽譜と共に実験の手順書を渡し、実験概要について説明を行った。また、独奏者が機械であることを事前に伴奏者に伝えてある。これは、先行研究²⁾の予備実験で、相手が機械であるの

に人間であると伝えて収録を行ったところ、途中で気付かれてしまい、検討の結果、途中で気付かれるよりも始めから機械であること知っている方が一貫性のあるデータを得られるという結論に至った経緯による。

機械の独奏演奏に揺らぐ部分があることについては伝えていない。テンポについては 100 程度とだけ伝えてある。

3. 演奏制御の分析 (方法)

3.1 用語の説明

演奏制御モデルの説明の前に、用語について説明を行う。図 3 の独奏者と伴奏者の n 番目の拍の演奏時刻を X_n, Y_n 、時間長 (テンポの逆数) を x_n, y_n とする (演奏時刻の単位はミリ秒である)。

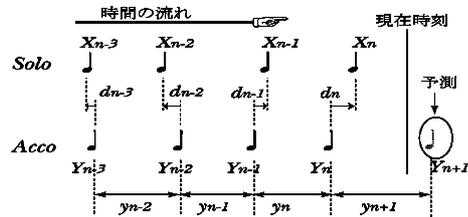


図 3 用語の説明

そして、伴奏者から見た独奏とのずれと時間長の差を d_n, T_n とする。時間長、ずれ、時間長の差、時間長変化は両者の演奏時刻 X, Y を用いて次のように表される。

$$y_n = Y_n - Y_{n-1} \quad (1)$$

$$x_n = X_n - X_{n-1} \quad (2)$$

$$d_n = X_n - Y_n \quad (3)$$

$$T_n = x_n - y_n \quad (4)$$

$$\Delta y_n = y_{n+1} - y_n \quad (5)$$

$$\Delta x_n = x_{n+1} - x_n \quad (6)$$

人間の次の演奏時刻 (予測したい目的変数) は時間長変化 Δy を用いて、以下のように表わされる。

$$Y_{n+1} = Y_n + y_n + \Delta y_n \quad (7)$$

3.2 分析対象部分

本研究では、独奏側に休符がある場合について分析を行った。独奏者の演奏方法は常に一定のテンポで演奏するパターン (図 4) と、休符の直前で変化しているパターン (図 5) がある。

今回分析の部分は、伴奏者の Y_{n-2}, Y_{n-1}, Y_n の演奏時刻である。 Y_{n-1}, Y_n の発音時刻の予測は、 X_{n-2} の情報がないため、この情報を使うパラメータ $d_{n-2}, T_{n-2}, T_{n-1}$ が使用できない。そのため、次に説明する先行研究⁴⁾,⁵⁾のモデルをそのまま適用することができない。また Y_{n-2} は、 d_{n-3}, T_{n-3} を使用で

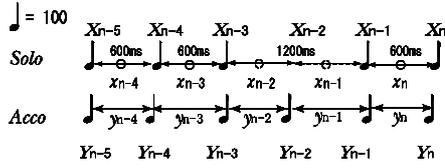


図 4 独奏者の演奏が一定の場合

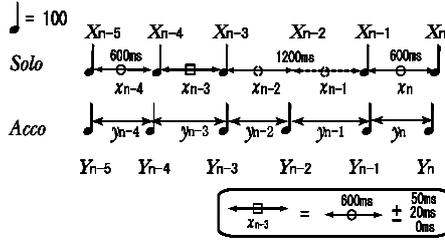


図 5 独奏者の演奏が変化する部分がある場合

きるが、伴奏者だけが演奏するのは先行研究に無かった状況である。楽譜より相手が休符であることが意識にあり、 Y_{n-2} にも先行研究とは違う演奏制御を行う可能性があると考え、 Y_{n-2} も分析対象とした。

3.3 演奏制御モデル

休符がない部分とある部分で同じモデル式により予測可能（伴奏者の基本的な演奏方針は楽曲の構造に左右されない）であることが望ましいと考え、休符の無い部分のデータを用いて重回帰モデルを作成し、そのモデルにより休符がある部分の予測を行った。

3.3.1 先行研究のモデル (Model1)

先行研究のモデルは、人間の反射的な演奏制御をモデル化したものである。文献 4), 5) では、演奏相手との「ずれ」と「時間長のずれ」から時間長変化の推測を行うモデルを推定した。時間長変化 Δy_n は、「ずれ」と「時間長のずれ」を用いて次のように表される。

$$Y_{n+1} = Y_n + y_n + \alpha d_n + \beta T_n \quad (8)$$

ここで、 α は直前の「ずれ」から、 β は直前の「時間長のずれ」から判断して、自分の演奏を修正する大きさを表すパラメータとする。

α, β は、今回収録した演奏データの休符の無い部分を用いて重回帰分析を行い、各演奏者ごとに決定した。

3.3.2 伴奏の平均テンポによる予測 (Model2)

相手との差の情報を使用できない部分では、差の情報を使えないので、過去の自分のテンポを頼りに演奏しているのではないかと考えられる。

伴奏者が直前から過去数拍分の自分の平均時間長により演奏を行うモデルは次のようになる。

$$Y_{n+1} = Y_n + \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l y_{n+1-k} \quad (9)$$

l について本研究では、最大過去 1 小節分の平均時間長による推定モデル ($l = 1 \sim 4$) を検討し、最も予測精度の高かった $l = 4$ を用いた。

3.3.3 テンポを安定させるパラメータを加えたモデル (Model3)

$i+1$ 番目の音符を決定する時に、過去の時間長変化 Δy_{i-1} 、と Δy_i に負の相関があることがわかった。直前の時間長変化に対して次の時間長変化に負の相関があると言うことは、テンポを早くしたら次は遅くし、テンポを遅くしたら次は早くする事になるので、過去のテンポに近づく制御を繰り返すことで演奏を安定させているのではないかと考えた。

そこで、 i 番目の音符を弾いた時の過去数拍分の平均時間長と現在の時間長の差を数式で

$$\left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m y_{i-k} \right) - y_i \quad (10)$$

と表し、次の時間長変化 Δy_i との相関を、休符のない部分の演奏データを用いて分析したところ、表 1 の結果を得た。

表 1 より、直前のテンポではなく過去 1 小節程度の平均テンポと直前のテンポの差が次の演奏変化と相関が高いことがわかる。そこで、「ずれ」を修正しながら過去の自分の平均テンポを保とうとする方針により、時間長変化 Δy を決定する演奏制御モデルを提案する。

$$Y_{n+1} = Y_n + y_n + \gamma d_n + \psi \left(\left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m y_{n-k} \right) - y_n \right) \quad (11)$$

過去 4 つ (1 小節分) の情報を用いた場合が一番高い相関を出したので、 $m = 4$ を採用した。 γ, ψ は、今回収録した演奏データの休符の無い部分を用いて重回帰分析を行い、各演奏者ごとに決定した。

Model1, Model3 で各演奏者毎に求めた係数の平均を示す (表 2)。

表 1 式(10)と Δy_i の相関

演奏者	m			
	1	2	3	4
a	0.56	0.65	0.72	0.77
b	0.49	0.59	0.66	0.71
c	0.55	0.60	0.70	0.73
d	0.57	0.63	0.70	0.74
e	0.50	0.59	0.66	0.72
f	0.47	0.53	0.60	0.64
g	0.56	0.63	0.73	0.72
h	0.41	0.54	0.63	0.65

表 2 求めた係数 ($\alpha, \beta, \gamma, \psi$) の全演奏者の平均

Model1		Model3	
α	β	γ	ψ
0.35	1.02	0.57	0.82

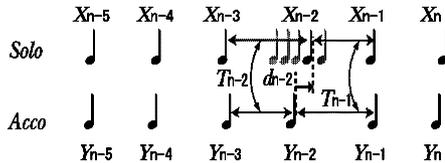


図 6 TypeA による X_{n-2} の決定方法

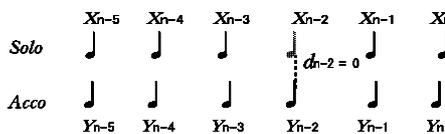


図 7 TypeB による X_{n-2} の決定方法

3.4 独奏に音がない部分について

独奏と伴奏の差の情報を使用するモデルを適用するにあたり、 X_{n-2} が無いために $D_{n-2}, T_{n-2}, T_{n-1}$ が使用できず、相手との差の情報を用いることができない。そこで本研究では次の 2 つの仮説による予測を行った。
TypeA 過去 1 小節程度の独奏者の演奏から推定
TypeB 独奏者は伴奏者と同じ時刻に演奏したと推定

TypeA の方法は、伴奏者は独奏者の拍の時刻 X_{n-2} を過去 1 小節程度の独奏者の演奏から推定し、 X_{n-2} により作られたパラメータ $d_{n-2}, T_{n-2}, T_{n-1}$ を使用して次の演奏を決定するという仮説による予測である。

X_{n-2} は測定できない時刻である。本研究では、独奏者の過去の演奏から X_{n-2} を推定するモデルに関する検討は今後の課題とし、その理想的な値として次の方法で X_{n-2} を決定した。休符が偶数小節のみ存在することと、機械の独奏が一定の演奏を行うことから、独奏の過去 1 小節程度の独奏者の演奏から予測する X_{n-2} は毎回同じであると仮定し、各演奏者の全データに共通の X_{n-2} を、図 6 のように $(X_{n-3} + 400ms) \sim (X_{n-1} - 400ms)$ の間に 1ms 間隔で作成し、 X_{n-2} により作られたパラメータを使用して Model 式による予測を行い、 Y_{n-1} と Y_n の予測には同じ X_{n-2} を利用しているとの考えから、 Y_{n-1}, Y_n を予測したときの予測誤差の和が最小になる X_{n-2} を採用した。 X_{n-2} の拍の時刻の推定には個人差があると考え、演奏者ごと X_{n-2} を決定した。

TypeB の方法 (図 7) は、独奏者の $n-2$ 番目の音符が伴奏者と同時刻に演奏していると仮定し $X_{n-2} = Y_{n-2}$ として予測を行う。

4. 演奏制御の分析 (結果・考察)

Model1, Model3 では X_{n-2} を使う予測となるが、Model1 では TypeA が、Model2 では TypeB の方が高い予測精度を示したため、以下の分析では、これらの Type に基づく結果を示す。

4.1 独奏がテンポ一定の場合の分析結果

Y_{n-2}, Y_{n-1}, Y_n のモデル式により予測した時刻と、人間の演奏時刻との誤差の平均を、表 3, 4, 5 に示す。

Model1 の TypeA による X_{n-2} の時刻は、各被験者で $X_{n-3} + 593 \sim 605(ms)$ となった。機械は休符のない部分では 600ms 間隔で次の音符を演奏しているので、それとほぼ同じ間隔に X_{n-2} の時刻が推定された事となった。

結果より、 Y_{n-2}, Y_n は Model1 が最も予測精度が高く、Model3 がそれに続いて予測精度が高い結果を得た。 Y_{n-1} の予測に関しては、理想的な X_{n-2} を用いた Model1 の TypeA による予測よりも、 X_{n-2} を利用しない演奏制御を行う Model2, Model3 の方が高い予測精度を示す結果となった。

この結果より、相手との差の情報である「ずれ」や「時間長のずれ」が測定可能な部分では、相手との差の情報を用いた演奏制御を行っているが、「ずれ」などが使用できない部分では過去 1 小節程度の演奏情報を用いて演奏制御を行っていることが推察される。

よって、直前の「ずれ」と過去の演奏情報を用いた Model3 が、全体的に良い結果を得たと考えられる。

4.2 独奏に揺れがある場合の結果

4.1 では機械の演奏が一定であった。だが、人間の演奏者はゆらぎを持っているため、ゆらぎの影響が独奏が休符の時の伴奏者の演奏に影響を与えている可能性がある。そこで、伴奏者の演奏に一番影響が出そうな部分である休符直前の演奏時刻を変化させた機械との合奏データにより分析を行う。

分析にはモデル式による結果と、基本統計量による結果から考察を行う。

4.2.1 モデル式による結果

独奏が休符に入る直前の時間長 x_{n-3} を、変化させている収録データ (図 5) による各モデル式と人間の演奏データとの誤差を表 6, 7, 8 に示す (TypeA による X_{n-2} の時刻は、 $[\pm 50ms, \pm 20ms, 0ms]$ の 5 種類の演奏変化の大きさ別に分類し、それぞれ X_{n-2} を決定した)。

Y_{n-2} の結果 (表 6) では、全てのモデル式で予測誤差が大きくなっている。その原因として次のことが考えられる。ここでは X_{n-3} の時刻が変化しているため、 d_{n-3} は他の部分に比べて大きくなりやすい。Model1 も Model3 もテンポ一定のデータより作成されたモデ

表 3 Y_{n-2} の予測誤差 (ms)

演奏者	Model1 TypeA	Model2	Model3 TypeB
a	14.71	17.73	15.48
b	16.76	18.90	18.27
c	19.40	23.33	19.91
d	12.71	13.55	13.53
e	15.33	19.69	16.47
f	16.81	19.57	18.18
g	13.14	14.74	13.65
h	14.92	18.24	16.27
平均	15.47	18.22	16.47

表 6 x_{n-3} が変化する場合の Y_{n-2} の予測誤差 (ms)

演奏者	Model1 TypeA	Model2	Model3 TypeB
a	24.62	34.92	18.71
b	20.29	35.80	19.37
c	27.33	45.76	27.92
d	24.22	34.80	18.36
e	28.87	35.00	27.07
f	23.81	35.66	16.20
g	26.99	31.50	19.91
h	26.79	28.21	16.03
平均	25.37	35.21	20.45

表 4 Y_{n-1} の予測誤差 (ms)

演奏者	Model1 TypeA	Model2	Model3 TypeB
a	14.02	13.89	14.55
b	18.41	13.68	16.31
c	16.82	14.93	14.97
d	14.34	15.57	12.33
e	17.29	16.96	16.74
f	19.97	18.83	17.06
g	17.86	16.02	17.09
h	13.64	15.88	16.14
平均	16.54	15.71	15.65

表 7 x_{n-3} が変化する場合の Y_{n-1} の予測誤差 (ms)

演奏者	Model1 TypeA	Model2	Model3 TypeB
a	14.35	14.92	15.94
b	18.24	15.88	17.14
c	16.78	17.14	18.13
d	14.40	11.25	12.59
e	18.54	17.44	14.68
f	18.10	17.61	15.75
g	16.39	15.42	16.16
h	14.67	17.37	16.69
平均	16.43	15.88	15.89

表 5 Y_n の予測誤差 (ms)

演奏者	Model1 TypeA	Model2	Model3 TypeB
a	14.37	19.54	14.47
b	15.52	27.28	16.09
c	19.76	35.10	21.11
d	14.14	22.70	15.14
e	17.31	24.50	19.23
f	15.49	26.32	15.47
g	12.04	16.57	12.11
h	13.58	17.08	16.58
平均	15.28	23.64	16.27

表 8 x_{n-3} が変化する場合の Y_n の予測誤差 (ms)

演奏者	Model1 TypeA	Model2	Model3 TypeB
a	15.46	19.36	15.90
b	14.85	25.58	15.09
c	16.70	31.73	18.06
d	15.79	29.69	17.43
e	19.64	30.20	23.97
f	15.24	30.42	16.44
g	14.17	22.62	14.65
h	14.96	22.04	19.49
平均	15.85	26.46	17.63

ルであるため、突然の大きなずれに対して対応ができないモデルである可能性がある。

そこで、 d_{n-3}, T_{n-3} と Δy_{n-2} との相関を調べたところ、全ての演奏者において高い正の相関が見られた(表 9)。これより、 Y_{n-2} の演奏時刻は、直前の相手との演奏の差を修正しようとして、決定されているのではないかと考えられる。

Y_{n-1} の結果(表 7)は、演奏者 c においては Model1 の方が良くなったが、それ以外の演奏者では 4.1 節と同様、過去 1 小節程度の情報を用いた Model2, Model3 が全体的に精度がよいという結果を得た。これより、独奏の直前の演奏変化の影響を受けず、 Y_{n-1} は過去 1 小節ほどの演奏情報を利用した演奏制御が人間の演奏に近いことが示唆された。

表 9 d_{n-3}, T_{n-3} と Δy_{n-2} の相関

演奏者	a	b	c	d
d_{n-3}	0.86	0.90	0.83	0.86
T_{n-3}	0.88	0.91	0.88	0.89
演奏者	e	f	g	h
d_{n-3}	0.79	0.85	0.81	0.70
T_{n-3}	0.81	0.82	0.82	0.77

Y_n の結果(表 8)では、4.1 節と同様に Model1 が最も予測精度が高い結果となった。

これより、 Y_n では 1 小節ほど過去に遡った情報を使うよりむしろ、直前の差の情報を重視して、演奏制御を行っていると考えられる。

4.2.2 基本統計量による考察

音符周辺の時間長の標準偏差に関して調べたところ

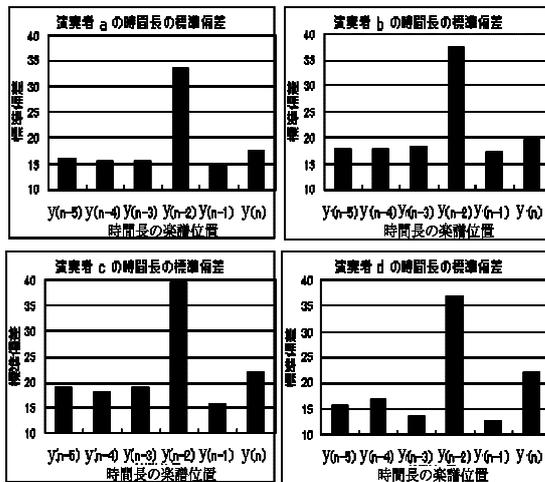


図 8 時間長の標準偏差 (演奏者 a ~ d)

(図 8)、 y_{n-1} の時間長の標準偏差が他の部分に比べて、同程度か小さいことが判明した。これは、 y_{n-1} では毎回ほぼ同じ演奏を行っていることを意味する。

4.2.1 節と統合して考えると、機械の演奏が変化した次の伴奏の時間長 y_{n-2} で、相手との差を修正するために、相手の演奏変化に合わせて演奏を変化させているため、時間長の標準偏差が特に大きくなっている。そして、 y_{n-1} では相手の演奏の影響を受けないので、自分の演奏を修正する要因が無い。そのため、過去 1 小節程度過去の演奏情報から決定する伴奏者自身のテンポにより演奏を行うのだが、機械の演奏が一定であるので毎回同じテンポになるため、標準偏差が小さい。そして、それ以外の部分では相手に合わせるために自分の演奏を変化させるので、標準偏差が y_{n-1} よりも大きいのではないかと推察される。

また、 y_n が他より少し標準偏差が大きくなっているのは、新たに生まれたはず D_{n-1} を修正しているためであると思われる。

以上の結果より、休符直前の独奏者の演奏が変化した場合は、その次の演奏時刻 (Y_{n-2}) に影響を及ぼすが、相手との差の情報を利用できない部分から次の演奏時刻 (Y_{n-1}) を決定する状況では、独奏のテンポが一定であった場合と同様に過去 1 小節ほどの演奏情報によって演奏を行っているかと推察される。

5. ま と め

本研究では、休符時における伴奏者の演奏制御について分析を行った。人間は独奏者の拍の演奏時刻を常に感じており、独奏者の音符が弾かれない状況でも、

独奏者の拍の時刻を推定して次の演奏を決定しているという仮説を用いることで、先行研究のモデルを休符がある場合に対応可能とした方法による予測に対し、1 小節ほど過去の演奏情報を用いたモデルを作成し、収録した人間の伴奏者の演奏時刻との誤差を見ることで、人間の合奏制御の分析を行った。

分析の結果より、人間の伴奏者は、相手との差の情報を利用できる部分では、その差を利用して演奏を修正しているが、差の情報を利用できない部分では、直前の情報を利用した演奏制御よりも、過去 1 小節程度の演奏情報を使用する演奏制御を行っている事が示唆された。

6. 今後の課題

今回は過去の情報を用いる際に 1 小節分の平均時間長を用いたが、実際にはどれくらい過去の情報を用いるのが適切か調べる必要がある。

また、人間同士の合奏を収録し分析することで、今回の結果が機械と合わせる場合の特殊な反応であるかも調べる必要がある。

参 考 文 献

- 堀内靖雄. 自動伴奏. 長嶋洋一・橋本周司・平賀譲・平田圭二 (編), コンピュータと音楽の世界 - 基礎からフロンティアまで - (bit 別冊). pp.252-269. 共立出版, July 1998
- 堀内靖雄, 財津茜, 市川薫. 人間の演奏制御モデルの推定 (1) ~ テンポ安定時における人間のふるまい ~. 情報処理学会 研究報告, Vol.99, No.51, pp.59-64, May 1999. 音楽情報科学 研究報告 No.30.
- 堀内靖雄. 人間の演奏制御モデルの推定 (2) ~ テンポ変化時における人間のふるまい ~. 情報処理学会 研究報告. Vol.99 No.68 (音楽情報科学 研究報告 No.31), pp.73 ~ 78, August 1999.
- 坂本圭司, 堀内靖雄, 市川薫. 計算機との合奏データによる人間の演奏モデルの推定. 情報処理学会研究報告 Vol.2000 No.37, pp.57-62.
- 堀内靖雄, 坂本圭司, 市川薫. 合奏における人間の発音時刻制御モデルの推定 情報処理学会論文誌 43 巻 2 号, pp.260 ~ 267 (2002.2)
- 井川孝之, 直井邦彰, 大照完, 橋本周司. 相互作用モデルによる実時間適応自動伴奏とその動作解析. 1990 年電子情報通信学会春季全国大会講演論文集, pp.7.216-7.216, 1990.
- 澤田秀之, 磯貝昌幸, 橋本周司, 大照完. 音楽演奏における人間と機械の協調動作について. 情報処理学会第 44 回 (平成 4 年前期) 全国大会講演論文集, pp.1.389-1.390, 1992