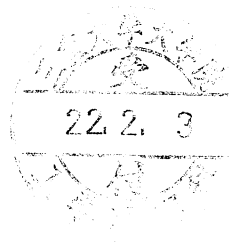


平成 21 年度

修士論文

ベイジアンネットワークを用いた
オーケストラ演奏モデルの構築



指導教員 寺島 貴根 准教授

三重大学大学院工学研究科

建築学専攻

小島 徹弥

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景.....	2
1.2 研究目的.....	3
1.3 既往の研究	3
1.4 研究概要.....	5
第2章 音場主観評価実験.....	6
2.1 実験概要.....	7
2.2 実験方法.....	8
2.3 実験条件.....	11
2.4 実験に用いた主観評価項目.....	13
第3章 分析結果.....	15
3.1 分析概要.....	16
3.2 因子分析.....	16
3.2.1 因子分析の目的と概要	16
3.2.2 因子数の決定	16
3.2.3 因子分析結果	16
3.3 クラスタ分析.....	18
3.3.1 クラスタ分析の目的と概要.....	18
3.3.2 クラスタ分析結果	18
3.4 主観評価項目のグルーピング	20
3.5 小括	20
第4章 モデル化.....	21
4.1 モデル化の手法.....	22
4.2 モデルの評価基準	22
4.3 ベイジアンネットワーク概要.....	23
4.4 代表的な主観評価項目を使用したモデル.....	24
4.4.1 使用する主観評価項目の選定.....	24
4.4.2 BayoNet を使用した分析結果	25
4.4.3 モデルの作成	27
4.5 全主観評価項目を使用したモデル.....	30
4.5.1 主観評価項目間の関係性.....	30
4.5.2 音響条件と主観評価項目の関係性	32
4.5.3 モデルの作成	42
4.6 小括	43

第 5 章 指揮者の個性に関する分析	44
5.1 分析の目的と概要	45
5.2 各指揮者の回答傾向	45
5.3 クラスター分析	47
5.4 因子分析	50
5.4.1 指揮者別因子分析結果	50
5.4.2 因子得点の平均値	52
5.5 因子分析とクラスター分析の応用	53
5.6 ベイジアンネットワークを用いた分析	55
5.7 小括	66
第 6 章 モデルの検証	67
6.1 ベイジアンネットワークの確率推論	68
6.2 交差検証法	70
6.2.1 検証手順	70
6.2.2 検証結果	71
6.3 実験による検証	77
6.3.1 検証手順	77
6.3.2 検証結果	77
6.3.3 モデルの改善による正解率の変化	81
6.4 小括	82
第 7 章 最適音響条件の算出	83
7.1 分析方法	84
7.2 分析結果	84
7.3 客席部における最適音響条件との比較	88
7.4 小括	89
第 8 章 まとめ	90
8.1 モデルの作成について	91
8.2 指揮者の個性に関する分析について	91
8.3 モデルの検証・最適音響条件の算出について	92
8.4 総括	92
参考文献	93
謝辞	94

第 1 章

序論

1.1 研究背景

Sabine が室内における残響理論を確立してからおよそ 100 年が経過し、現在に至る。この間の音楽空間を対象とした建築音響設計は、客席の音響条件を整備すること、すなわち聴衆側の要求を満たすことに対して主眼が注がれてきた。これまでに客席側を対象とした数々の音響設計に関する研究は行われてきており、残響時間 (Reverberation Time) や初期減衰時間 (Early Decay Time) などのパラメータが提唱されている。また、これらのパラメータは客席側を対象とした音響設計の実務にも用いられ、設計指標として確立されている。

一方、ステージ音響設計とは、舞台上の音響条件を整備することによって、演奏者に快適なステージ音響条件を提供し、演奏者のパフォーマンスを十分に引き出すことを目的としている。これまでに、ステージ音響設計に関する研究例としては、プロ演奏者を対象としたホール舞台上における音響状態のアンケート調査、ホール舞台上における音響構造の実測、独唱者やソロ演奏およびアンサンブル演奏を対象とした実験室実験を手法とした研究が行われてきている。また、ステージ音響に関する一連の研究からは、舞台空間音響量に関する実験式も提案されている。

以上のようにステージ音響設計は、建築音響の一研究分野として確立され、現在も継続して研究が行われているものの、音響設計の現場にはほとんど研究結果が反映されていないのが現状である。これは、近年まで客席側の音響設計手法の確立が急務であったために、ステージ音響設計に関しては、主眼が注がれなかったこと、また客席側の音響条件が満たされていればそれでよし、という考えが存在していたことから、結果としてステージ音響設計の研究成果は数少なく、実務設計に反映できる研究資料が十分に整備されていないことに起因する。現在では客席側の音響設計手法がほぼ確立し、聴衆の要求を満足させる音響設計が可能となった。

今後の新たな設計目標として、客席側とステージ側、すなわち聴取と演奏者の双方の要求を同時に満足させる音響設計手法を確立させることが考えられる。ステージ音響設計の資料が未だ数少ない現状においては、まずステージ音響設計に関する研究を進め、演奏者側の要求を満たす音響条件を明らかにし、演奏環境を整備することが重要である。

1.2 研究目的

これまでのステージ音響設計に関する研究は、ソロ演奏者や独唱者、アンサンブル演奏を対象として実験が行われてきており、指揮者を含む実験室実験は全くといって良いほど行われていない。そこで、本研究はステージ上のオーケストラに対する最適音響条件を提案することを目的としている。オーケストラは指揮者と複数の演奏者から構成されており、音響条件や指揮者・演奏者それぞれの心理や行動等が複雑に絡み合って 1 つの音楽が形成されて行く。そのようなオーケストラ全体を 1 つのシステムととらえることにより、指揮者・演奏者がそれぞれ満足するような音響設計を行うための解法を示すことを目標としている。

具体的な手法としては、まず指揮者 1 名・演奏者 2 名を対象とした最小限のオーケストラを構築し、シミュレーション音場により様々な音響条件のなかで演奏行為を行う。その際に指揮者・演奏者が音楽を構築する心理的プロセスのメカニズムを明らかにすることによって、オーケストラにとっての適切な音響条件を明確にする。

1.3 既往の研究

コンサートホールを代表とする音楽空間における音響設計は、これまで客席の音響条件を整備すること、すなわち聴衆の要求を満たすことに対してのみに主眼が注がれてきたが、近年ではステージ音響が一研究分野として確立し、舞台上の演奏者に対する反射音構造や最適音響条件に関する研究も行われてきている。ここではステージ音響分野における既往の研究をまとめ、本研究の位置づけを明確にする。

演奏者のための舞台音響設計の分野については、先駆的に Kundsén が 1931 年に「演奏のしやすさ」の要因として、舞台周りの反射面の構成を挙げている。その後、演奏者に関する室内音響要因を求めるために、Barron、Marshall、Gade、中山、中村らによって実際の演奏会場や合成音場を用いた無響室内での実験による、直接音、反射音、残響音の構造についての基礎的な研究が進められた。

橘、上野らはシミュレーション音場を用いてソロ演奏者に対する初期反射音および後期反射音の効果を調べている。聴衆にとっては避けるべきと考えられている後期反射音は、適切な遅れ時間とレベルであれば演奏者にとっては有益なものとなることを言及している。

安藤は主観的広がり感に関連が大きい IACC（両耳間相互相関度）を提唱し、また個人のプリファレンスは空間的要素と時間的要素によって説明がなされることを明らかにしている。また IACC を指標とした場合の演奏者に対する最適音響条件についても言及している。

Meyer は各楽器間の音響出力特性の相違のために、指揮者の位置と客席におけるオーケストラからの直接音と初期反射音のレベルについて差があることと、指揮者にとって水平面内からの初期反射音が音場評価に対して影響があることを言及している。

三重大学の岩田は指揮者を対象とした模擬的指揮行為を伴った音場評価実験を行い、好ましい反射音到来方向や初期反射音レベルについて実験を行っている。

三重大学の徳永は指揮者に対するコンサートホールの音響状態に関する意識調査を行い、多くの指揮者が実際のホールにおいて指揮のしにくい音響状態を体験していることや、指揮者の後期反射音に対する許容範囲の存在、指揮者は客席部における音響状態を推定しながら演奏者に対して指揮を行っていること等を明らかにしたうえで、指揮行為に対するステージ音響条件の影響、指揮者の客席部音響状態の推定行為に関する意識調査と同一ステージ音場における指揮者と演奏者の主観評価の比較の分析を行った。

三重大学の成松は、無響室内にて実演奏を伴ったオーケストラの実験モデルを構成し、数種類のシミュレーション音場での実際の演奏行為より指揮者および演奏者の主観応答を測定する実験を行い、指揮者が音楽を構築する心理的プロセスのメカニズムを明らかにし、それらのモデル化を行った。

三重大学の内藤は、シミュレーション音場での実験により得られたデータより、構造方程式モデルを構築し、指揮者・演奏者・音響条件の関係性を定性的なモデルにより示した。本研究は内藤の研究を引き継ぐものであり、定量的な値を算出することのできるモデルを作成し、オーケストラを対象としたステージ上の最適音響条件を算出する事を目標としており、今後の展開においては、オーケストラの演奏環境改善に対する解法に発展する可能性を含む内容と位置付けられる。

1.4 研究概要

無響室内にて実演奏を伴ったオーケストラの実験モデルを構成し、数種類のシミュレーション音場での実際の演奏行為により、指揮者および演奏者の主観評価応答を測定する実験を行った。そして、オーケストラが音楽を構築する心理的プロセスのメカニズムを明らかにし、モデル化を行った。分析の際には、既往の研究で得られた成松・徳永・内藤による実験データに加え、新規に実験を行い得られたデータを用いて、ベイジアンネットワークによりモデル化を行った。さらに作成したモデルの精度を検証すると共に、モデルを用いて最適音響条件の算出を行った。詳しくは次章以降で述べる。

なお、本論文は全 7 章から構成される。本論文の構成・内容は以下の通りである。

第 1 章：序論

本研究の背景、目的、既往の研究および研究概要を述べる

第 2 章：音場主観評価実験

オーケストラ演奏のモデル実験の内容について述べる

第 3 章：分析結果

実験により得られた結果の分析結果について述べる

第 4 章：モデル化

オーケストラ演奏のシステムモデル化について述べる

第 5 章：指揮者の個性に関する分析

各指揮者別に分析を行った結果について述べる

第 6 章：モデルの検証

作成したモデルの精度の検証結果を述べる

第 7 章：最適音響条件の算出

作成したモデルを使い最適音響条件を算出した結果を述べる

第 8 章：まとめ

本研究の総括を述べる

第 2 章

音場主観評価実験

2.1 実験概要

演奏行為における様々な音響条件において、指揮者および演奏者の心理に与える影響を明らかにするために無響室におけるシミュレーション音場で実験を行う。本実験では、より実際の状況に近い実験システム、すなわち実際の演奏行為における指揮者と演奏者の相互関係を考慮したシステムを実験室内に構築する。

実験には、指揮者 1 名、演奏者を鍵盤演奏者と管楽器演奏者の 2 名に参加してもらい、これをオーケストラのモデルとする。無響室内で指揮者は指揮行為を、演奏者はその指揮に合わせた演奏行為を実際に行う。鍵盤演奏には電子キーボードを、管楽器演奏にはウィンドシンセサイザーを用いて演奏者は演奏を行う。実験に参加した被験者の総数は、指揮者 8 名（内プロフェッショナル 1 名）、鍵盤演奏者 6 名、管楽器演奏者 6 名である。

被験者に提示するシミュレーション音場は、いくつかの音響パラメータを変化させ設定している。指揮者および演奏者は、設定された音場において演奏行為を行い、その直後に演奏時におけるそれぞれの音響状態をいくつかの主観評価項目について回答する。この行為を十数回繰り返し、一度の実験において十数種類のシミュレーション音場における被験者 3 名分の主観評価項目についての回答結果を得る。

2.2 実験方法

無響室内においてシミュレーション音場を構築する。シミュレーション音場は、演奏者の実演奏音の無響音声信号がパソコンに入力され、その電子情報に、あらかじめ設定した音響効果を実時間たみこみ演算システムを通す事で付加し、電子回路を通してヘッドホンにより指揮者および演奏者へ提示される。図 2.1 に実験システム概要を、図 2.2 に実験装置概要を示す。

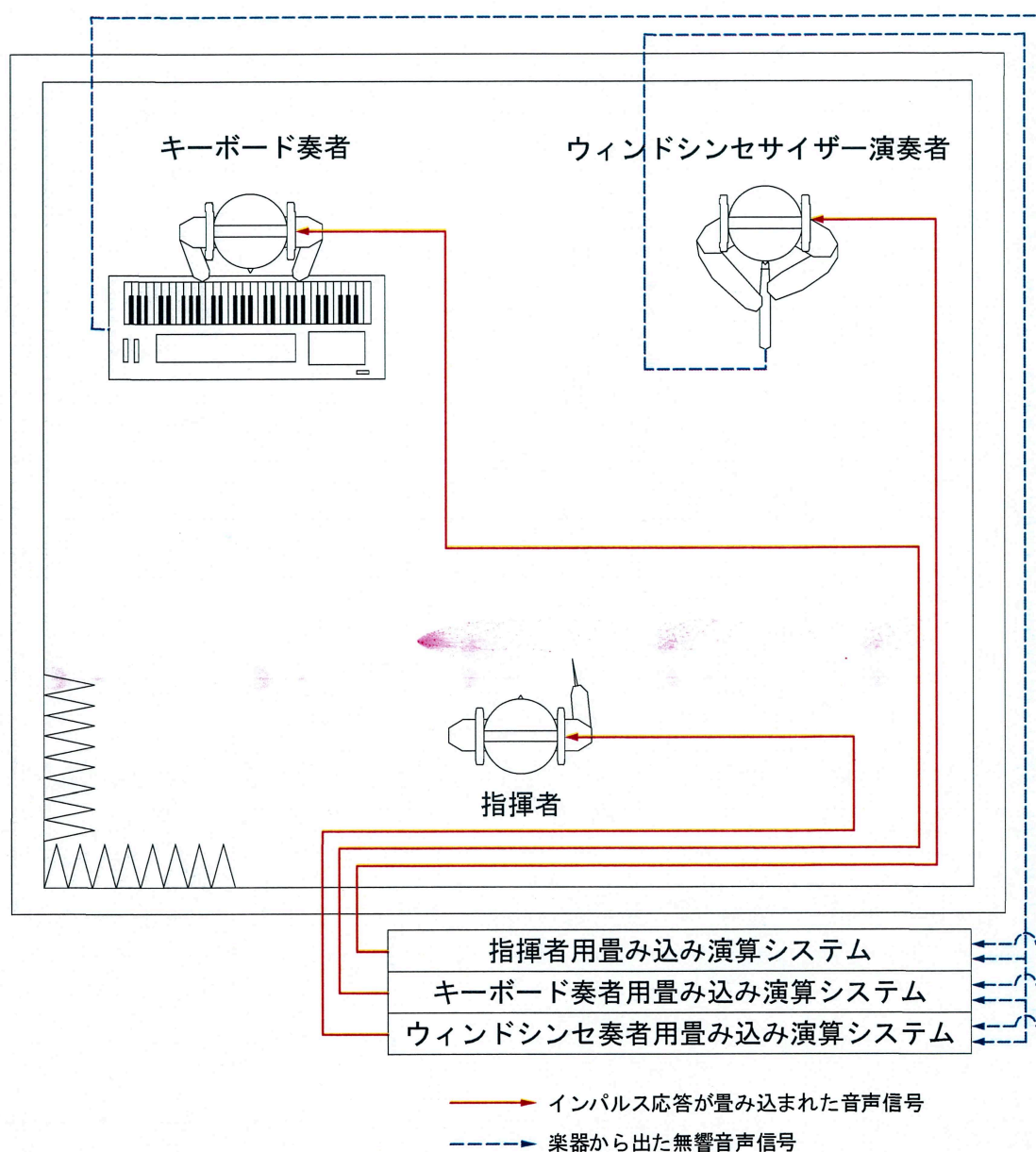


図 2.1 実験システム概要

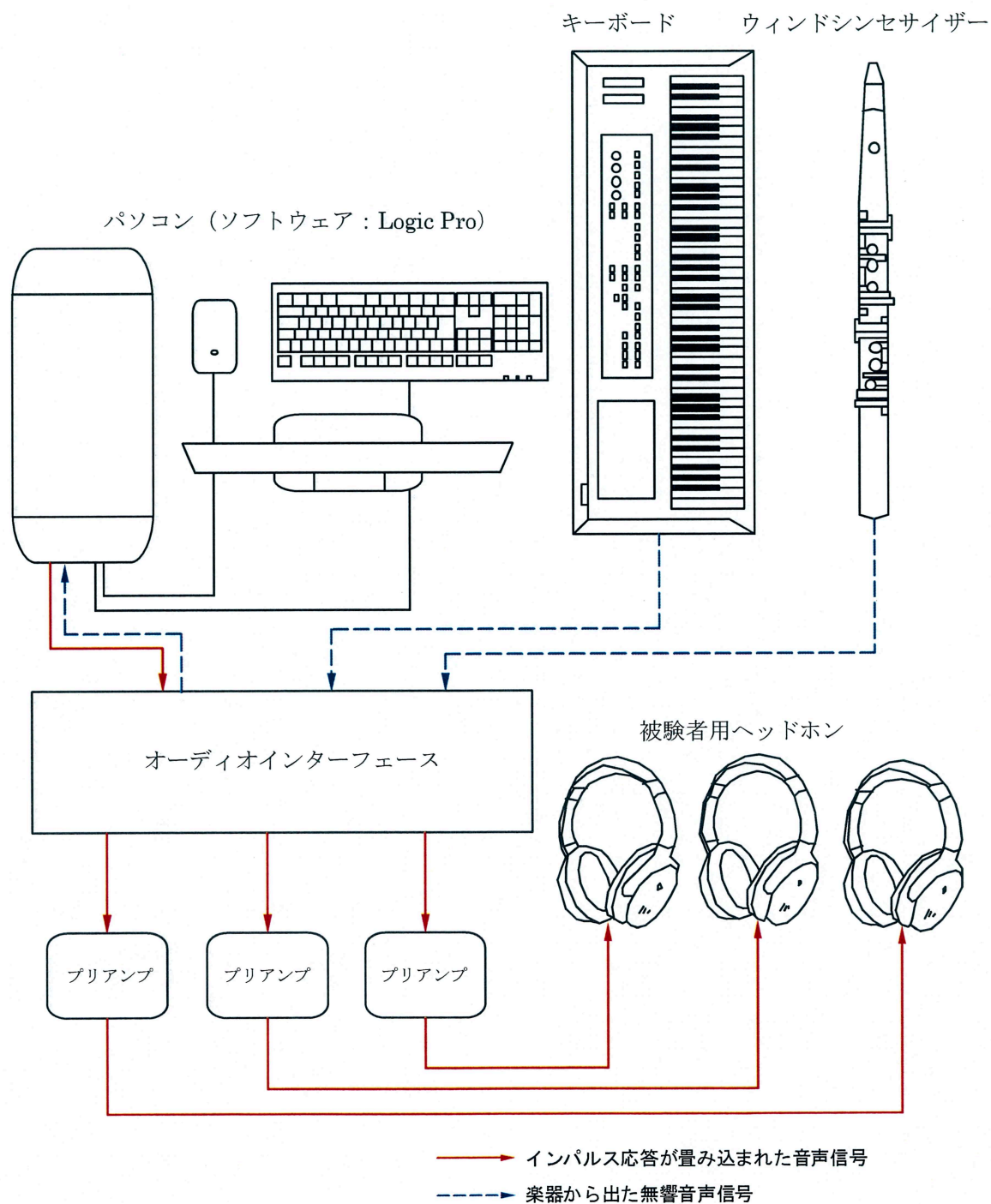
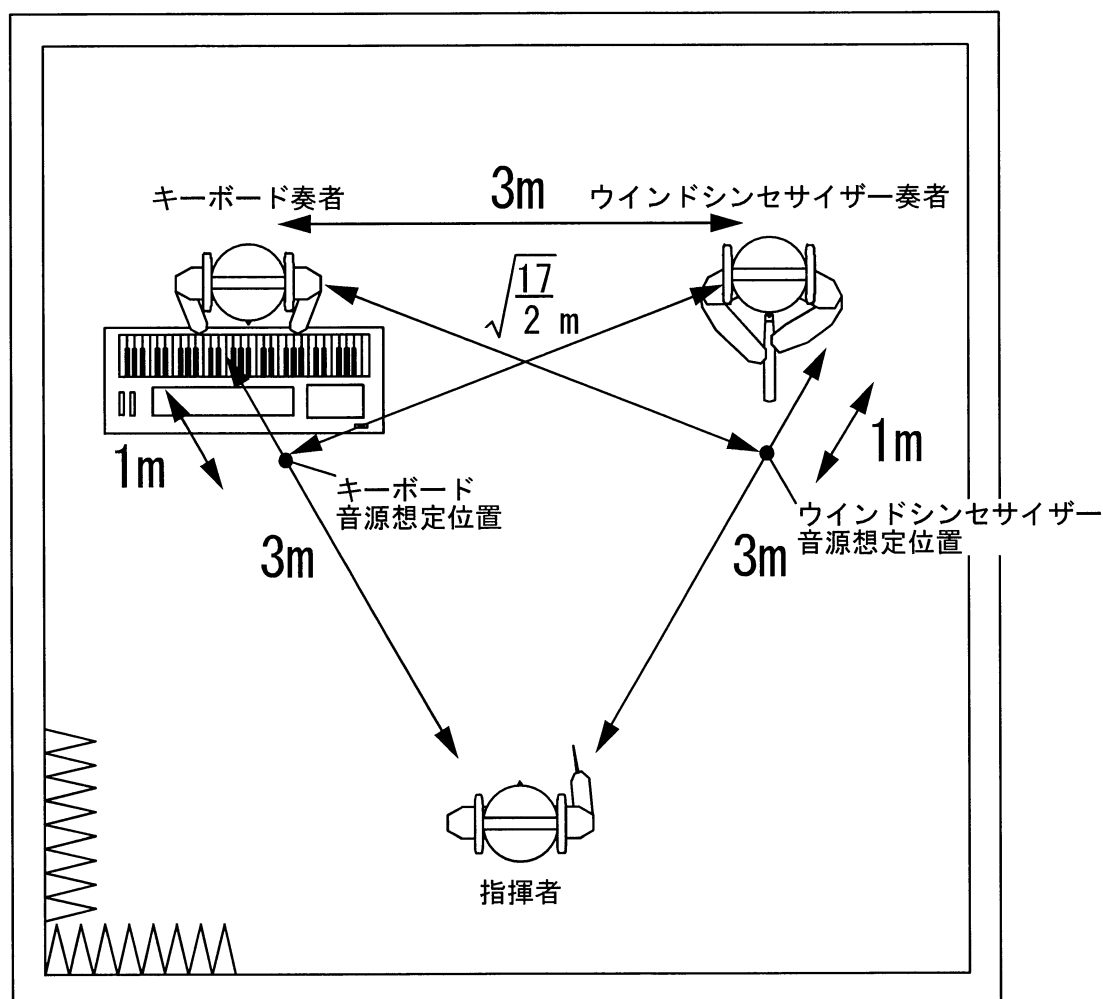


図 2.2 実験装置概要

直接音は実際に演奏している時に聞こえる位置関係の影響を再現するために、指揮者から右側に位置する演奏者の演奏音は指揮者に右寄りに聞こえ、同様に左側に位置する演奏者の演奏音は指揮者に左寄りに聞こえるように設定する。演奏者が聞く音も、横に並ぶ演奏者の位置に近い側の耳からよく聞こえるように設定する。このとき、指揮者と演奏者の距離関係と直接音の減衰量は図 2.3 のように設定した。音源の音圧レベルはキーボードが約 100dB、ウィンドシンセサイザーが 90B とした。なお、ステージ上を完全拡散音場と仮定し、各被験者には同一の反射音を返している。



演奏者から指揮者への距離減衰量は、 $10 \log_{10}(\frac{1/4 I_1}{I_0}) = 10 \log_{10}(\frac{I_1}{I_0}) - 6$ より、6.0dB

演奏者から演奏者への距離減衰量は、 $10 \log_{10}(\frac{2}{17} \frac{I_1}{I_0}) = 10 \log_{10}(\frac{I_1}{I_0}) - 9.3$ より、9.3dB

ただし、 I_1 ：演奏者の音源の強さ I_0 ：基準音の強さ

図 2.3 直接音の減衰量

2.3 実験条件

実験に使用したインパルス応答のデータは成松、徳永、内藤らによるものを使用している。インパルス応答の分析に用いたソフトウェアはサウンドアナライザー（吉正電子株式会社）であり、各音響パラメータの概要は次ページの通りである。

また、それぞれの指標の相関行列は表 2.1 の通りであり、互いに相関の強い項目から代表項目を選定したときの各項目の最大値・最小値は表 2.2 の通りである。

なお、実験に使用した楽曲は Eine Kleine Nachtmusik 第一楽章の冒頭から 27 小節までとした。およその演奏時間は 1 分程度である。

表 2.1 音響指標間の相関係数

	$\Delta t1$	A-value	Tsub	T20	T30	EDT	C50	C80	D50	Ts
$\Delta t1$	1.0000	0.1834	-0.3205	-0.3493	-0.4181	0.0301	-0.1757	-0.1435	-0.1769	0.1247
A-value	0.1834	1.0000	0.0103	-0.0980	-0.2157	0.3169	-0.8548	-0.8020	-0.8899	0.7512
Tsub	-0.3205	0.0103	1.0000	0.8080	0.8153	0.3496	-0.1075	-0.2151	-0.0709	0.2658
T20	-0.3493	-0.0980	0.8080	1.0000	0.9466	0.3177	-0.0566	-0.1582	0.0956	0.0733
T30	-0.4181	-0.2157	0.8153	0.9466	1.0000	0.1823	0.1408	0.0318	0.2181	-0.0269
EDT	0.0301	0.3169	0.3496	0.3177	0.1823	1.0000	-0.5254	-0.5971	-0.4629	0.5709
C50	-0.1757	-0.8548	-0.1075	-0.0566	0.1408	-0.5254	1.0000	0.9842	0.9280	-0.8103
C80	-0.1435	-0.8020	-0.2151	-0.1582	0.0318	-0.5971	0.9842	1.0000	0.9158	-0.8425
D50	-0.1769	-0.8899	-0.0709	0.0956	0.2181	-0.4629	0.9280	0.9158	1.0000	-0.9084
Ts	0.1247	0.7512	0.2658	0.0733	-0.0269	0.5709	-0.8103	-0.8425	-0.9084	1.0000

表 2.2 音響指標の最大値・最小値

	$\Delta t1$ (ms)	Tsub(s)	RT(s)	EDT(s)	C80(dB)	LPEがある場合	
						dt(ms)	dL(dB)
最大値	25.0	2.5	2.3	5.6	23.7	250	-10
最小値	10.4	0.4	0.4	0.0	-2.0	150	-30

—————各パラメータの概要—————

 Δt_1 [ms]

初期反射音の到達時間。

A-value[-]

直接音に対する反射音の総合振幅。次式で定義される。

$$A = \sqrt{\frac{\sum_{\varepsilon}^{\infty} h_j^2}{\sum_0^{\varepsilon} h_j^2}}$$

h_j^2 : インパルス応答の振幅

ε : 直接音の持続時間（本論文では $\varepsilon = \Delta t_1$ ）

 $T_{20} \cdot T_{30}$ [s]

残響時間の事。残響時間は残響曲線が 60dB 減衰する時間として定義できるが、通常は初期部分を回帰した直線が 60dB 減衰するまでの時間を求める。回帰する区間によって T_{20} (-5dB ~ -25dB)、 T_{30} (-5dB ~ -35dB)等と呼ばれる。

EDT[s]

残響時間の中でも特に初期減衰を重視したパラメータであり、初期減衰時間とも呼ばれる。残響時間の最初の 10dB を回帰して得られた直線が 60dB 減衰するのに要する時間を EDT とする。

 T_{sub} [s]

後続残響時間。直接音到来後、第 1 反射音から 60dB 減衰するまでの時間で定義される。得られる残響時間は ISO で規格化されている T_{30} 等とほぼ等しい値となる。

C 値[dB]・D 値[%]

直接音と反射音のバランスを表す（減衰の形状を表す）指標であり、明瞭性や残響感との関連性が深いことからホールや教室の音響性能測定に使用される。インパルス応答の波形を $p(t)$ で表すと、C 値・D 値は次式で定義される

$$C_t = 10 \log_{10} \left(\frac{\int_0^t p^2(t) dt}{\int_t^{\infty} p^2(t) dt} \right)$$

t : 初期反射音と後続残響音の境界[ms]

（音楽の明瞭性を評価する時は 80ms が一般的）

$$D_{50} = \left(\frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right)$$

 T_s [s]

自乗インパルス応答の時間重心を表し、次式で計算される。一般的に T_s が高い値を示す時は後続残響時間が多いことを示し、明瞭度が低くなり残響間が増す。

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

2.4 実験に用いた主観評価項目

前項で述べたように、実験に用いたデータは、成松、徳永、内藤らによって採集されたものを使用しているので、主観評価項目は統一されていない。表 2.4、表 2.5 に過去の実験で使われたすべての主観評価項目を、表 2.6 に各実験シリーズで使われた主観評価項目の組み合わせを示す。ただし、成松による実験を A シリーズ、徳永による実験を B シリーズ、内藤による実験を C シリーズとする。なお、新たに追加したデータは C シリーズと同じ主観評価項目を用いている。

図 2.4 に C シリーズの指揮者用回答用紙を示す。各項目の評価値は 7 段階に設定されている。また、各項目の良い評価を左右ランダムに配置することにより、被験者が機械的に回答してしまうことを避ける配慮を行っている。

表 2.4 指揮者用主観評価項目

1	指揮がしやすい	←→	しにくい
2	ピアノ演奏の質が高い	←→	低い
3	ウィンドシンセサイザー奏者の質が高い	←→	低い
4	コントロールできる	←→	できない
5	音楽構築に労力を使う	←→	使わない
6	心地よい	←→	悪い
7	違和感がある	←→	ない
8	楽しい	←→	楽しくない
9	演奏者の反応が良い	←→	悪い
10	演奏者に意図が伝わる	←→	伝わらない
11	演奏者の演奏の質が総合的に高い	←→	低い
12	音響効果により音楽完成度が向上する	←→	しない
13	音響効果に違和感がある	←→	ない
14	達成感がある	←→	ない
15	演奏音が聴き取りやすい	←→	にくい
16	音場が好ましい	←→	好ましくない
17	総合的に満足である	←→	満足でない

表 2.5 演奏者用主観評価項目

1	演奏しやすい	←→	しにくい
2	合奏しやすい	←→	しにくい
3	指揮に追従しやすい	←→	しにくい
4	自分の演奏の質が高い	←→	低い
5	違和感がある	←→	ない
6	合奏の質が高い	←→	低い
7	音場が好ましい	←→	好ましくない
8	心地よい	←→	悪い
9	楽器が弾きやすい	←→	弾きにくい
10	指揮が理解しやすい	←→	しにくい
11	総合的に満足である	←→	満足でない

表 2.6 各シリーズに用いられた主観評価項目

実験シリーズ	指揮者の主観評価項目	演奏者の主観評価項目
A	1,2,3,4,5,6,,7,8,9,10,11,12,17	1,2,3,4,5,11
B	1,2,3,4,5,6,7,15,16,17	1,2,3,4,5,6,7,8,11
C	1,2,3,4,5,6,7,9,15,16,17	1,2,3,4,5,7,9,10,11
共通項目	1,2,3,4,5,6,7,17	1,2,3,4,5,11

ステージ音響実験における音場の主観評価 回答用紙（指揮者用）

実験No. _____ 被験者氏名： _____ 日時： _____

① 指揮がしにくい -3 -2 -1 0 1 2 3 指揮がしやすい
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

② 心地よい -3 -2 -1 0 1 2 3 心地よくない
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

③ 演奏者の演奏をコントロールできなかった -3 -2 -1 0 1 2 3 演奏者の演奏をコントロールできた
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

④ 指揮行為に対して労力を使った -3 -2 -1 0 1 2 3 指揮行為に対して労力を使わなかった
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

⑤ 演奏者の反応が良い -3 -2 -1 0 1 2 3 演奏者の反応が悪い
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

⑥ この音場に違和感を感じない -3 -2 -1 0 1 2 3 この音場に違和感を感じる
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

⑦ この音場が好ましくない -3 -2 -1 0 1 2 3 この音場が好ましい
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

⑧ 鍵盤楽器演奏者の演奏の質が高い -3 -2 -1 0 1 2 3 鍵盤楽器演奏者の演奏の質が低い
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

⑨ 管楽器演奏者の演奏の質が低い -3 -2 -1 0 1 2 3 管楽器演奏者の演奏の質が高い
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

⑩ 演奏者の演奏音が聴き取りにくい -3 -2 -1 0 1 2 3 演奏者の演奏音が聴き取りやすい
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

⑪ 今の指揮行為に対して総合的に満足である -3 -2 -1 0 1 2 3 今の指揮行為に対して総合的に不満足である
|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|

図 2.4 Cシリーズの回答用紙（指揮者用）

第 3 章

分析結果

3.1 分析概要

モデル作成において、まず実験で扱ったすべての主観評価項目からいくつかの代表項目を選定し、よりシンプルにすることによりモデルの作成手順や大まかな構造を明らかにしていく。それを行った上で、複雑なモデルを作成する。そこで、本章では因子分析とクラスター分析を行い各主観評価項目の性質を検討する。ただし①はウィンドシンセサイザー奏者、②はキーボード奏者の属性を意味する。

3.2 因子分析

3.2.1 因子分析の目的と概要

因子分析の目的は、複数の変数の背後にある、隠れた要因を明らかにすること、または似ている変数をまとめ分類することである。観測可能な変数の背後には潜在的な要因（因子）が存在すると考えられ、その因子を明らかにすることにより変数間の構造を解明することができる。本研究では、得られた主観評価量の背後に隠れた因子を探ることで、被験者がどのような判断軸を持って回答したのかを検討する。

前項で示した通り、シリーズごとに使用している質問内容が異なるので、すべてのシリーズに共通して使用された項目を採用する。なお、分析の際は(株)エスミの多変量数値解析ソフト（Microsoft 社 Excel 用アドイン）を使用した。

3.2.2 因子数の決定

因子分析をする際にはまず因子数を決定しなければならない。まず、指揮者・演奏者それぞれ全主観評価項目について因子数が最大になるように分析する。その後、固有値が 1.0 付近から大きく外れる箇所を因子数の境界とする。図 3.1 に各被験者の分析から得たスクリーンプロットを示す。すべての被験者において、4 番目の因子になると固有値が急激に小さくなっているため、因子数は 3 とした。

3.2.3 因子分析結果

表 3.1-表 3.3 に各被験者の因子分析結果を示す。表中の数値は各項目における各因子の負荷量を示す。指揮者に関しては主に快適性を示す因子 1、操作性を示す因子 2、その他を示す因子 3 が抽出された。演奏者①に関しては演奏の操作性を示す因子 1、指揮とのコミュニケーションを示す因子 2、演奏者とのコミュニケーションを示す因子 3 が抽出され、演奏者②に関しては演奏性全般を示す因子①、総合的な音場の判断を示す因子 2、指揮者とのコミュニケーションを示す因子 3 が抽出された。

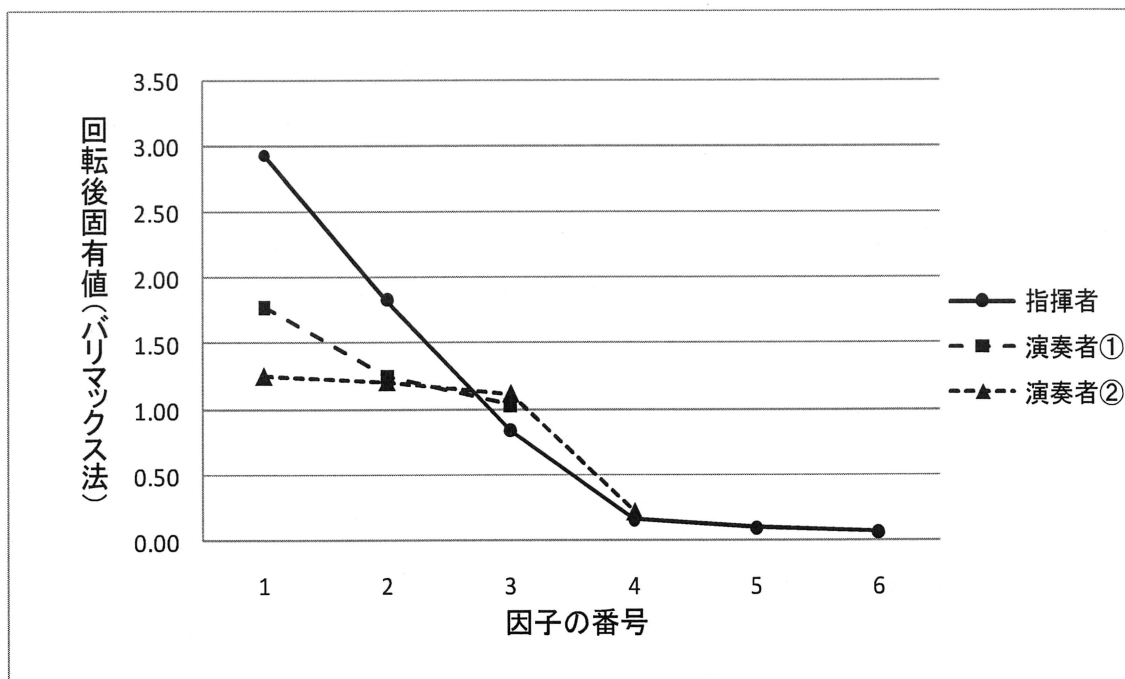


図 3.1 因子のスクリープロット

表 3.1 因子分析結果 (指揮者)

	因子1	因子2	因子3
慣れの程度	0.8236	0.1653	-0.2102
心地よさ	0.8176	0.2391	-0.2898
指揮のしやすさ	0.8126	0.2883	-0.2529
総合判断	0.6712	0.3090	-0.5208
ウィンドシンセ演奏の質	0.1182	0.7995	-0.2873
ピアノ演奏の質	0.2241	0.7528	0.0174
コントロール感	0.4843	0.5658	-0.1839
労力	-0.2651	-0.0981	0.5252

表 3.2 因子分析結果（演奏者①）

	因子1	因子2	因子3
慣れの程度①	0.8129	0.3678	0.2877
総合判断①	0.7065	0.5285	0.2505
演奏しやすさ①	0.6834	0.3793	0.4399
指揮への追従①	0.3391	0.6969	0.2422
合奏しやすさ①	0.4542	0.4901	0.5063

表 3.3 因子分析結果（演奏者②）

	因子1	因子2	因子3
合奏しやすさ②	0.7557	0.3186	0.4536
演奏しやすさ②	0.6873	0.4835	0.2676
総合判断②	0.3613	0.8139	0.3506
慣れの程度②	0.4436	0.5687	0.3938
指揮への追従②	0.3307	0.3415	0.6127

3.3 クラスター分析

3.3.1 クラスター分析の目的と概要

クラスター分析とは、対象間の距離（ユークリッド距離）を定義して、距離の近さによって対象を分類する統計手法の一つである。つまり、観測されたデータの中から性質の近いものを抽出する事ができる。本研究では、因子分析と並行して行うことで、よりの確な分類を行うことができると考えた。なお、使用した項目、ソフトウェアは因子分析と同じである。クラスター数に関しても因子数と同じで3とした。

3.3.2 クラスター分析結果

図 3.2、図 3.3 にクラスター分析の結果を示す。分類のカテゴリについては因子分析と同じ結果となった。なお、原データの距離計算式は r を相関係数としたとき、 $\sqrt{2 \cdot (1-r)}$ であり、合併後の距離計算にはウォード法を用いた。

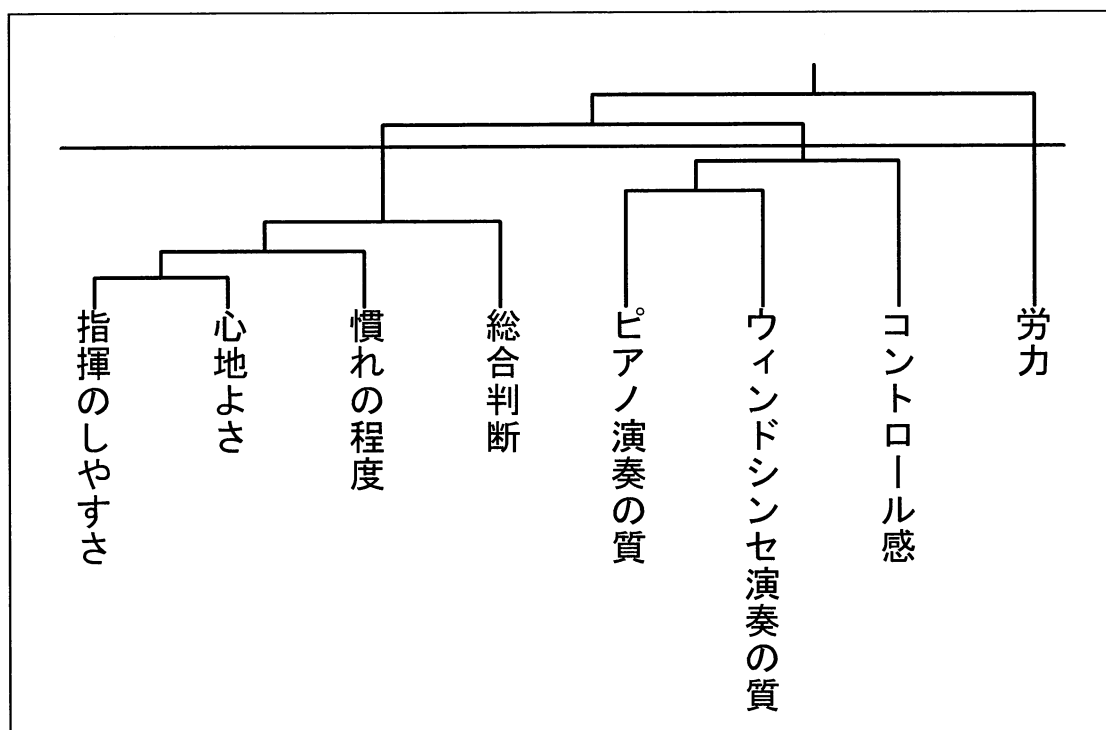


図 3.2 クラスター分析結果（指揮者）

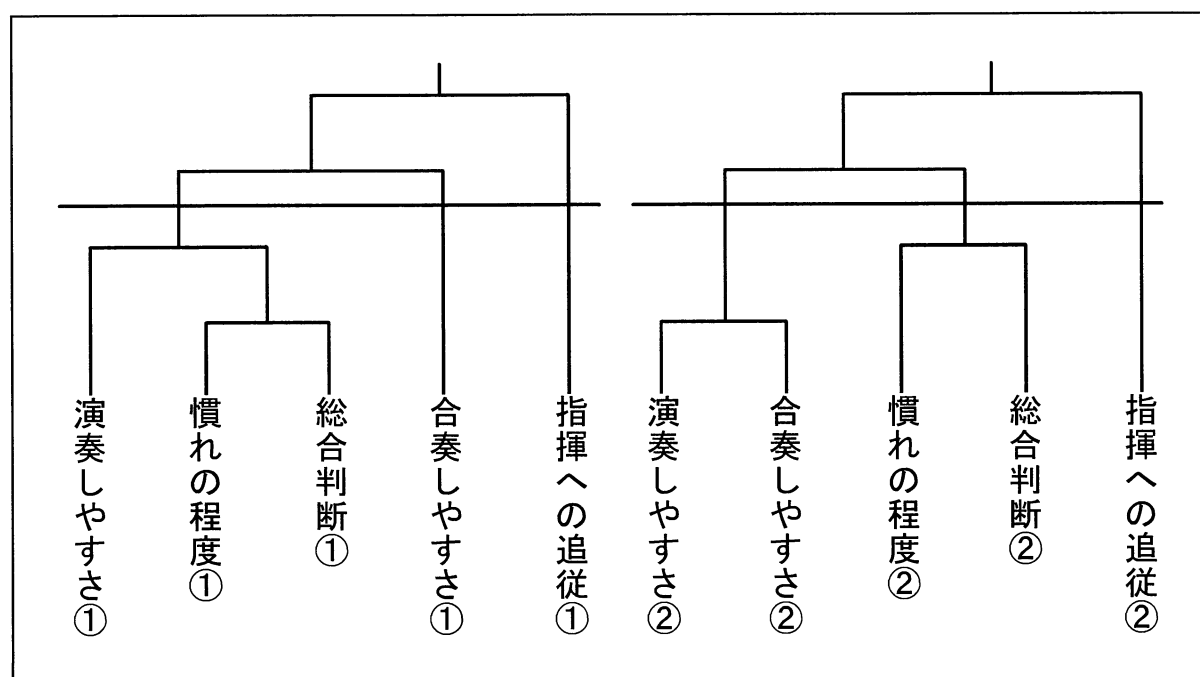


図 3.2 クラスター分析結果（演奏者）

3.4 主観評価項目のグルーピング

分析結果より指揮者の主観評価項目に関しては「慣れの程度」「心地よさ」「指揮のしやすさ」「総合判断」を快適性グループ、「ウィンドシンセ演奏の質」「ピアノ演奏の質」「コントロール感」を操作性グループ、演奏者①に関しては「慣れの程度①」「総合判断①」「演奏しやすさ①」を演奏性グループ①、演奏者②に関しては「合奏しやすさ②」「演奏しやすさ②」を演奏性グループ②、「総合判断②」「慣れの程度②」を経験性グループ②と分類した。

3.5 小括

因子分析・クラスター分析共に同じ分類結果となったことから、被験者は確定的な3軸ほどの判断軸を持って回答していることがわかった。指揮者については、快適性を判断する軸、操作性を判断する軸、その他（労力）を判断する軸が抽出され、それらは音響条件自体を判断する軸、オーケストラ演奏者を含めたコミュニケーションを判断する軸、その他を判断する軸と解釈できる。2名の演奏者に関しても多少の違いがあるものの、音響面を判断する軸と、コミュニケーションを判断する軸が存在しているようである。次章からはオーケストラ指揮者・演奏者・ホール音響からなるオーケストラモデルの構築を試みた結果を述べる。

第4章

モデル化

4.1 モデル化の手法

本章では、分析結果をもとにオーケストラ演奏のシステムモデル化について検討する。これまで、成松・徳永・内藤らによって構造方程式モデルを利用したモデル化が行われてきた。しかし、構造方程式モデルは、分析データがどのような性質をもつのか、どのような構造を示すのか等、定性的な分析はできるものの、データ内個々の変数間の定量的な関係を数値として得ることは難しい。そこで、複数の確率変数の間の定性的な依存関係をグラフ構造によって表し、個々の変数間の定量的な関係を、条件付確率を利用した確率推論により求めることが可能である、ベイジアンネットワークを用いることで、得られた回答結果から最適な音響条件が逆算できるようなモデルを作ることができるのではないかと考えた。なお、分析に用いたソフトウェアは構築システムの BayoNet version5.0 であり、BayoNet の自動モデル構築機能を用いたモデル構築を行った。なお、モデル探索に用いたアルゴリズムはすべて GreedySearch (ある評価基準値を目標に欲張り法で親子関係のリンクを張るもの) である。モデルの適合性に対する評価基準値として AIC をモデルのノード数で除した値を採用した。

4.2 モデルの評価基準

AIC (赤池情報量基準) とは統計モデルの良さを評価するための指標であり、モデルの複雑さと、適合度とのバランスをとるために使用される。例えば、ある測定データを統計的に説明するモデルを作成することを考える。この場合、パラメータの数や次数を増やせば増やすほど、その測定データとの適合度を高めることができる。しかし、その反面、ノイズなどの偶発的な変動にも無理に合わせてしまうため、同種のデータには合わなくなるような過適合問題が発生する。この問題を避けるには、モデル化のパラメータ数を抑える必要があるが、実際にどの数に抑えるかは難しい。AIC はこの問題に与える解の一つであり、AIC 最小のモデルを選択すれば、多くの場合、良いモデルが選択できる。AIC の公式は式(4.1)の通りである。

$$AIC = -2\ln(L) + 2k \quad \dots \text{式(4.1)}$$

$$\frac{AIC}{N} = \frac{-2\ln(L) + 2k}{N} \quad \dots \text{式(4.2)}$$

L : 最大尤度

k : 条件付確率分布表のサイズ

N : ノードの数

k の値はすべてのノードの条件付確率分布表のサイズの和であるので、ノードが増えれば増えるほど、大きくなっていく。比較するモデルのノード数が違う場合、AIC をノード数で除した式(4.2)のような指標を採用した。以後、AIC と表記した値は AIC / N の値となっている。

4.3 ベイジアンネットワーク概要

ベイジアンネットワークとは、不確実性を含む事象の予測や合理的な意思決定、障害診断などに利用することのできる確率モデルの一種である。ある確率分布を表現し、その確率分布によって計算対象をモデル化することによって予測や最適な意思決定を行うことができる。ベイジアンネットワークによってモデル化をすれば、一部の変数を観測したときのその他の任意の変数についての確率分布を求めることや、確率値が最も大きい状態をその変数の予測結果として得ることができる。このとき、入力となる変数と出力となる変数はモデルの中では区別されていない。観測された変数の情報があれば、そればどの変数にも代入することができ、それを与えた場合の任意の確率変数の事後確率を求めることができる。

図 4.1 にベイジアンネットワークモデルにおける確率伝搬の例を示す。各ノード間は条件付き確率分布により親子関係が結ばれ（リンクが張られ）、あるノードでの観測情報が得られれば、そこから任意の確率分布を求める事ができる。図 4.1 は X_1 と X_7 に観測情報が得られた時の X_4 の確率分布を求めたい場合の例である。細い矢印はリンクの方向、太い矢印は観測情報が得られた時の確率伝搬の方向である。

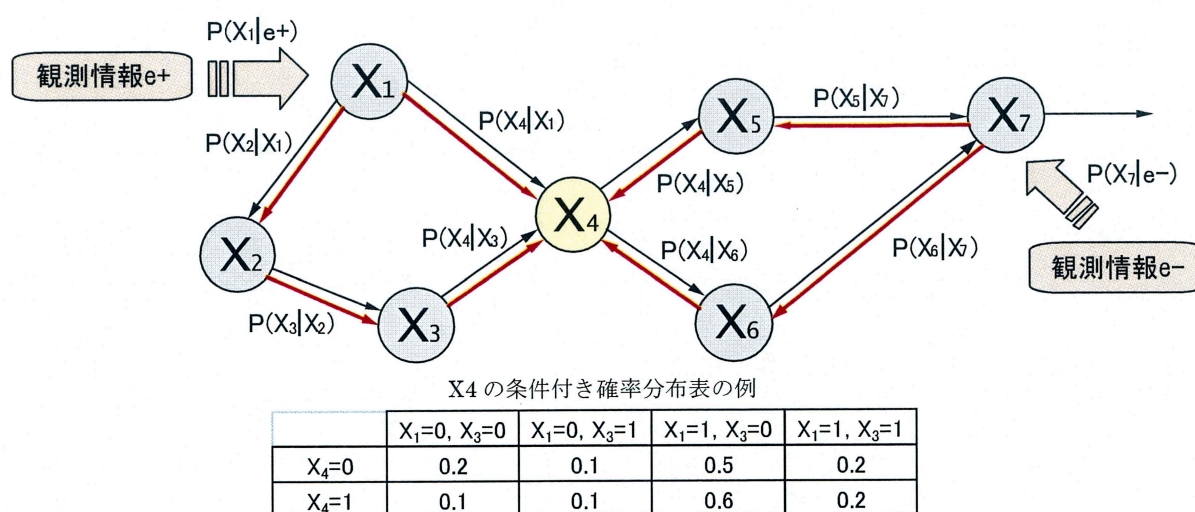


図 4.1 ベイジアンネットワークの確率伝搬

4.4 代表的な主観評価項目を使用したモデル

4.4.1 使用する主観評価項目の選定

音響条件に関しては、残響の長さ、残響の形状、ロングパスエコーにより特性を表現できると考え、残響時間 T_{30} (RT)、クラリティ (C_{80})、後期反射音の評価値 (LPE) をノードとして採用した。なお、残響時間およびクラリティは K-means 法により、表 4.1 のように離散化して扱った。LPE に関しては文献に従い図 4.2 のように、直接音とのレベル差 (ΔL) と直接音からの遅れ時間 (Δt) の組み合わせにより、I～V の 5 段階にカテゴリ分けした。

表 4.1 RT と C_{80} のカテゴリ分け

カテゴリ	RT(s)	C_{80} (dB)
I	0.5～0.8	-3.0～1.0
II	0.8～1.2	1.0～5.6
III	1.2～1.5	5.6～10.0
IV	1.5～1.9	10.0～16.5
V	1.9～2.5	16.5～23.7

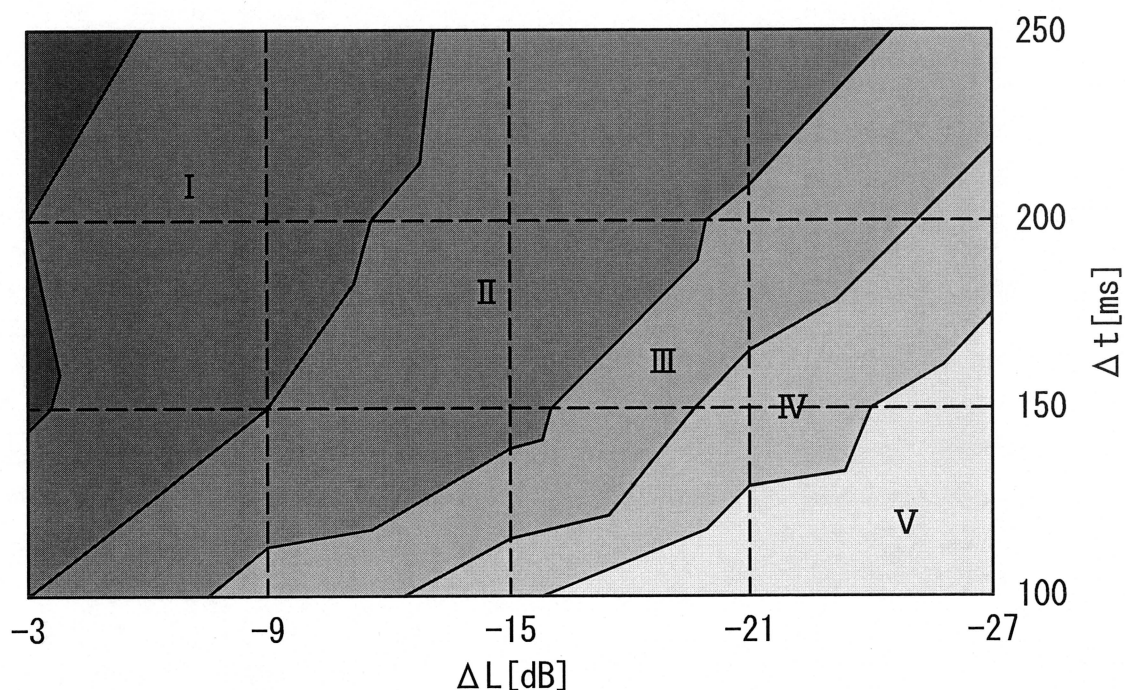


図 4.2 LPE のカテゴリ分け

主観評価項目については、指揮者心理に関するノードとして「指揮のしやすさ」「心地よさ」「コントロール感」「労力」の回答項目における評価値の確率分布を、管楽器演奏者（以降「演奏者①」とし各回答項目に①を付する）および鍵盤楽器演奏者（以降「演奏者②」とし各回答項目に②を付する）のノードとして両者の「演奏しやすさ」「合奏しやすさ」「指揮への追従」の回答項目における評価値の確率分布を使用した。

4.4.2 BayoNet を使用した分析結果

筆者等がこれまでに収集した 7 人の指揮者被験者に対する実験データに対して分析を行った。すべての項目間でリンクを可能とした条件において GreedySearch で導き出された基底モデルの AIC 値は 550.554 であった。しかし、そのモデルのリンク状態は、必ずしも現実の関係性を示しているとは言い難い。以下の分析においては、より実情を反映したリンクを有し、この基底モデルに近い AIC を有し、被験者間のコミュニケーション・音響条件の影響を適切に表現できるモデルの構築を目指した。

図 4.3 には、主観評価項目間でのみリンクを可能とする条件を課した場合の分析結果を示す。指揮者、演奏者共に自身の主観評価項目同士でリンクが張られ、指揮者と演奏者、演奏者間ではリンクが成立しなかった。指揮者に関しては、「心地よさ」がその他の項目に向かうリンクが成立し、演奏者に関しては「演奏しやすさ」から「合奏しやすさ」へ、さらに「指揮への追従」の順にリンクが成立した。

他者の評価項目間にリンクが成立しなかったのは、各被験者の評価項目間の連関が強かったためと考えられる。しかし、現実のシステムにおいては、被験者間の連関性も重要であると考え、次に自身の主観評価項目以外からのみリンクを可能とする条件を課し、次の分析を行った。

図 4.4 は全ての主観評価項目において、自身以外の主観評価項目からのリンクを可能にした場合の分析結果を示す。演奏者①と演奏者②で必ずしも同じリンク状態とはならず若干両者の評価構造に違いが現れた。それぞれの演奏者の演奏する楽器の違い（オーケストラシステムにおける役割の違い）、演奏時の心理状態の違い、個人差等の影響があることを示していると思われる。

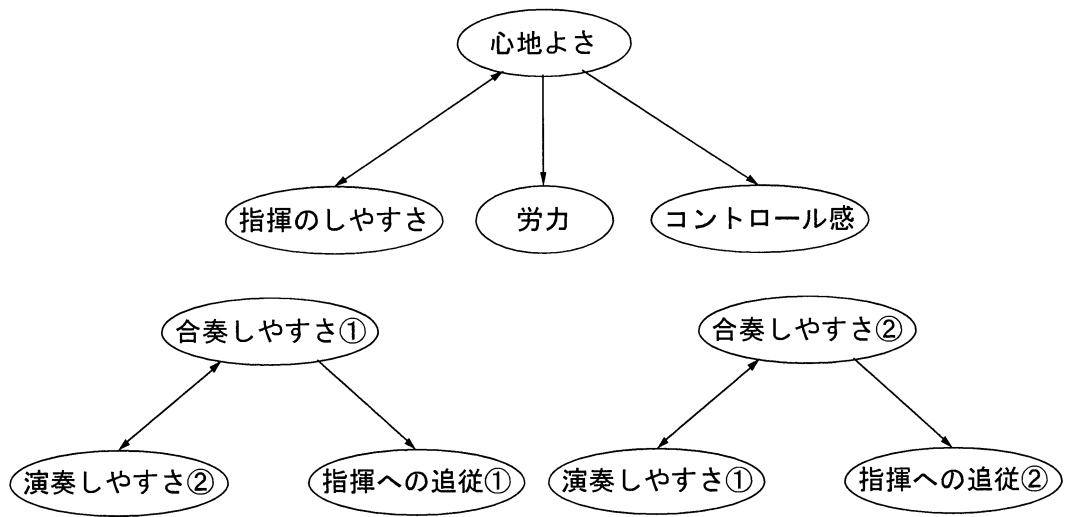


図 4.3 主観評価項目間の関係性

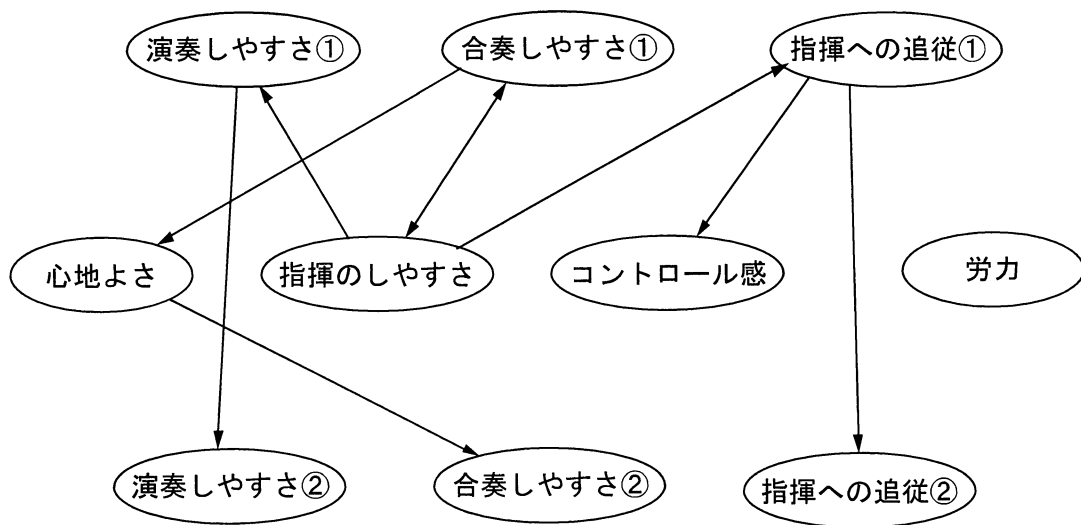


図 4.4 被験者間の関係性

4.4.3 モデルの作成

モデル 1

前述の分析結果をふまえ、オーケストラシステムに対するプロトタイプモデルとなるモデルを構築した。図5に示すモデル1では、主観評価項目間は図3および図4で示した全てのリンクを採用し、音響条件は各被験者の主観評価項目のうち、最も上流にあるノードに影響するものとした。このモデルのAICの値は50,411.952である。

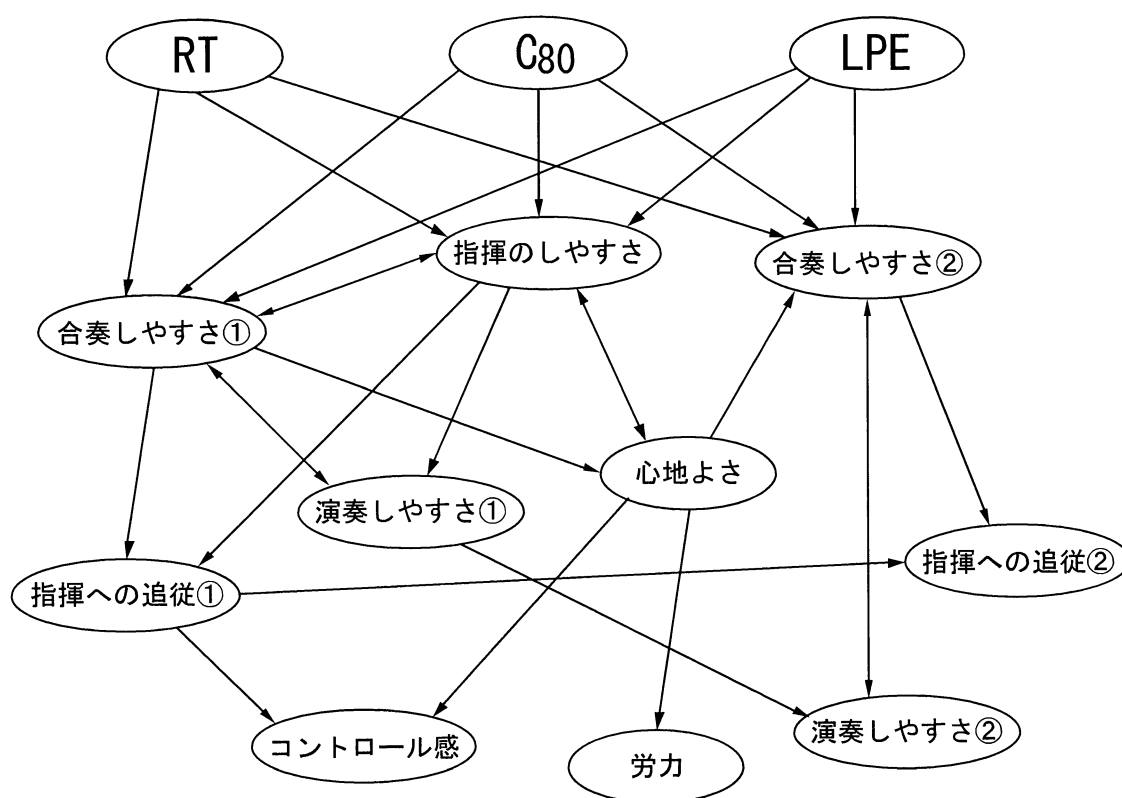


図 4.5 プロトタイプモデル

モデル2

図6は音響条件の影響する項目を検討修正したモデル2を示す。音響条件は各被験者の主観評価項目のいずれかの項目に影響すると考え、最もAICが低くなるノードを選定した。AICは11,391.199と低くなりモデル1に比べて適合性が上昇した。しかし、このモデルには数箇所の双方向リンクが存在し、このままでは確率伝播計算を行う際には適切なモデルであるとは言えない。

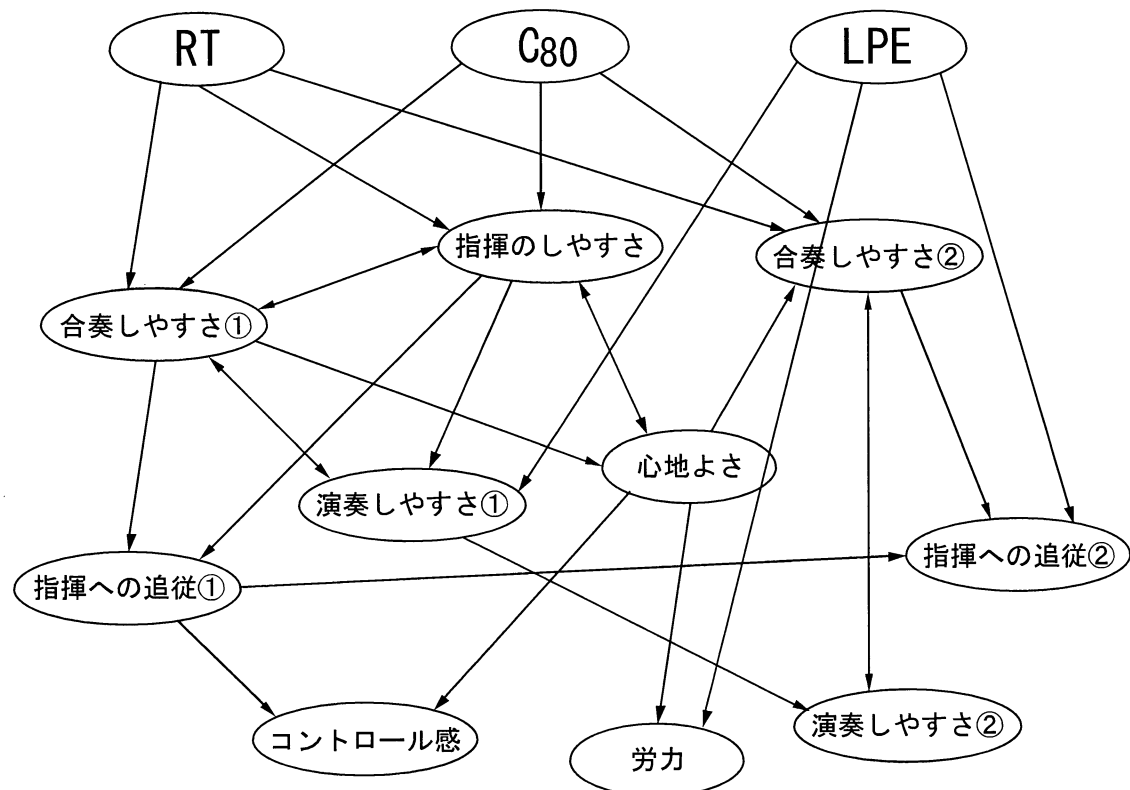


図 4.6 音響条件の影響を修正したモデル

モデル3

図7は BayoNet の双方向リンク回避プログラム（AIC の値が最も低くなるようにリンクを選択するプログラム）を使用し、双方向リンクを適切な方向となるように改善した。モデル2に比べさらに適合性は向上し、AIC は 2,461.195 となった。

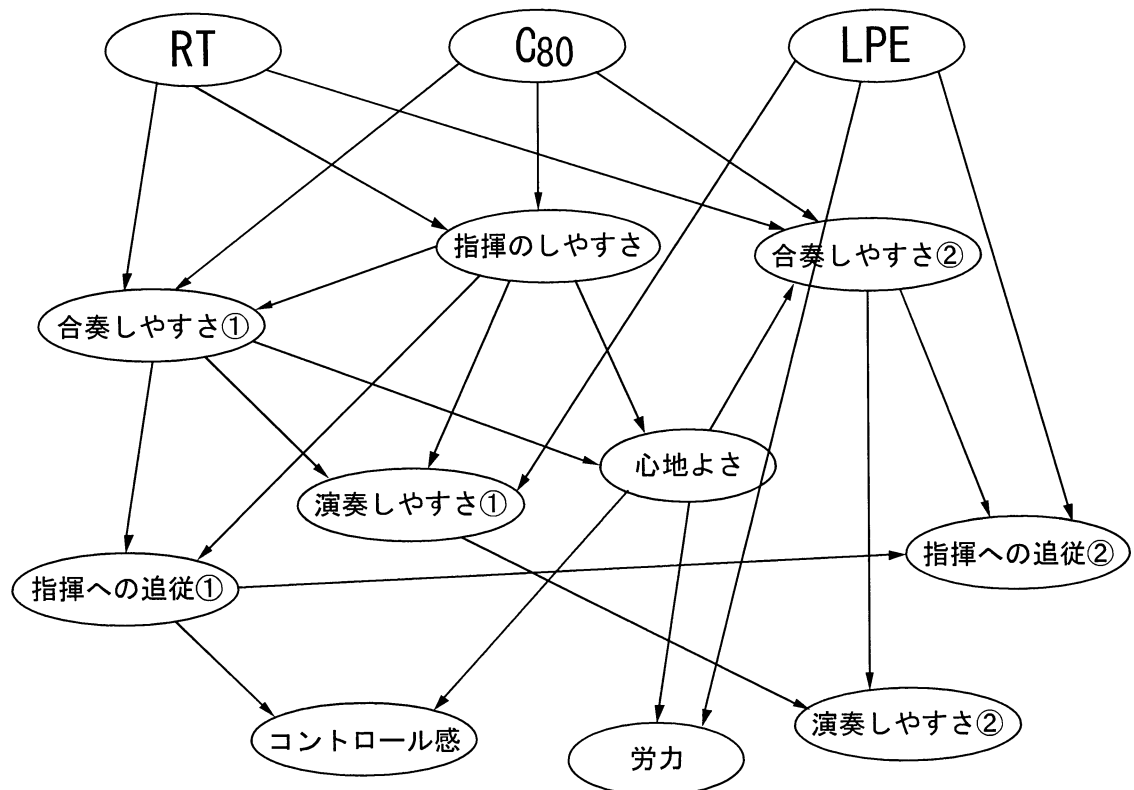


図 4.7 双方向リンクを回避したモデル

4.5 全主観評価項目を使用したモデル

4.5.1 主観評価項目間の関係性

図 4.8 にモデルの作成手順を示す。手順の最初の段階ではモデル探索機能を利用し、指揮者・演奏者それぞれにおいて因子分析・クラスター分析で 3 分類された主観評価項目の各グループ内の項目同士の関係性を調べた。図 4.9 に各グループ内の主観評価項目間でのみリンクを可能とする条件を課した場合の分析結果を示す。さらにグループ間での主観評価項目の関係性を調べた。図 4.10 に各グループ間の主観評価項目内でのみリンクを可能とする制約を課した場合の分析結果を示す。

次に、指揮者・演奏者の主観評価項目間の関係性を明らかにするため、各被験者は自身以外の主観評価項目間でのみリンクを可能とする条件を課した場合の分析を行った。その結果を図 4.11 に示す。

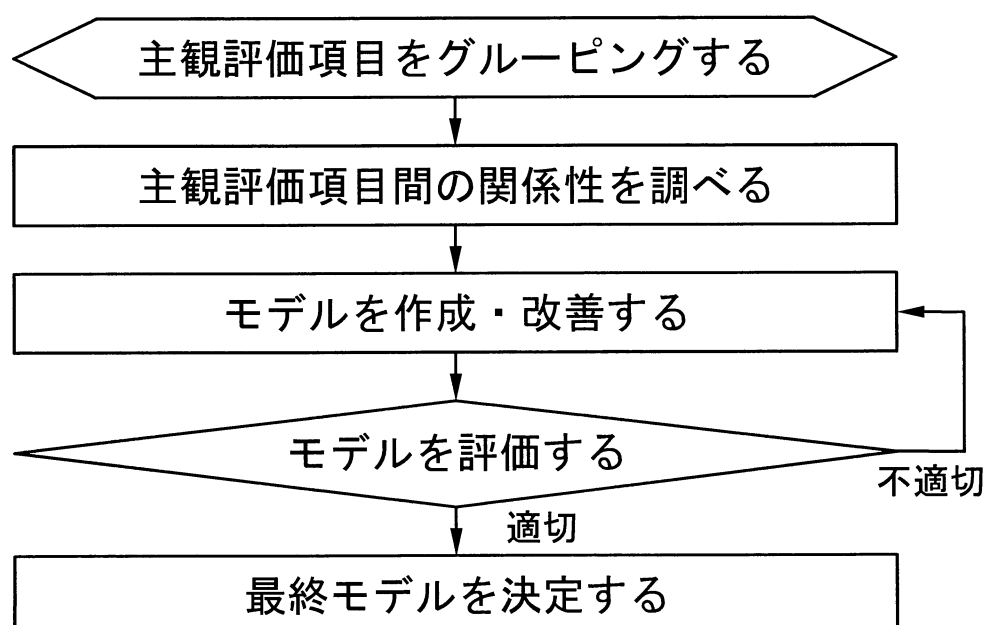


図 4.8 モデルの作成手順

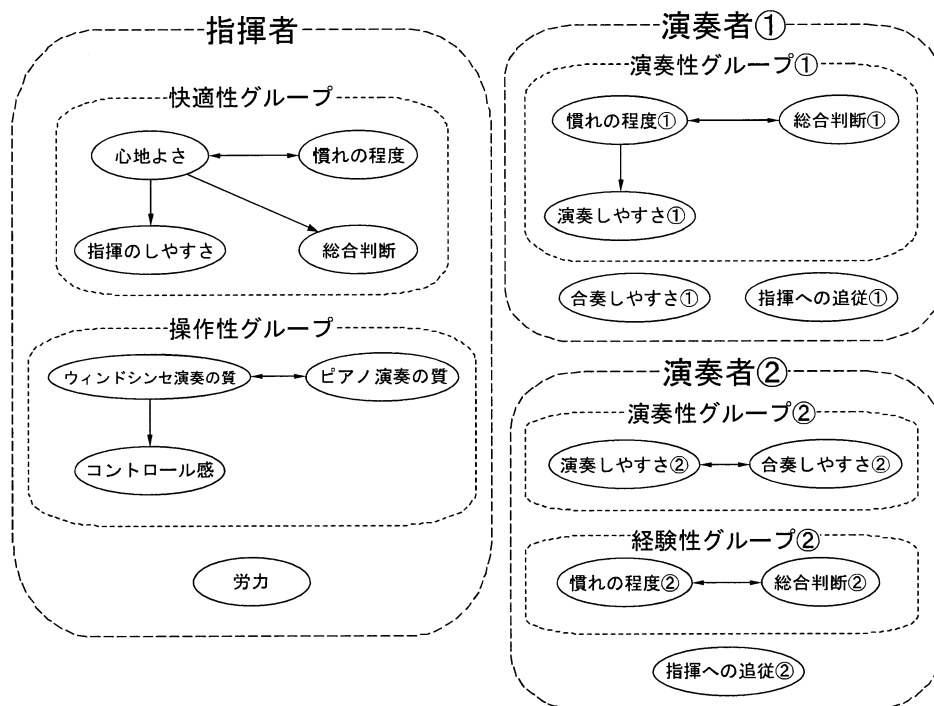


図 4.9 グループ内での関係性

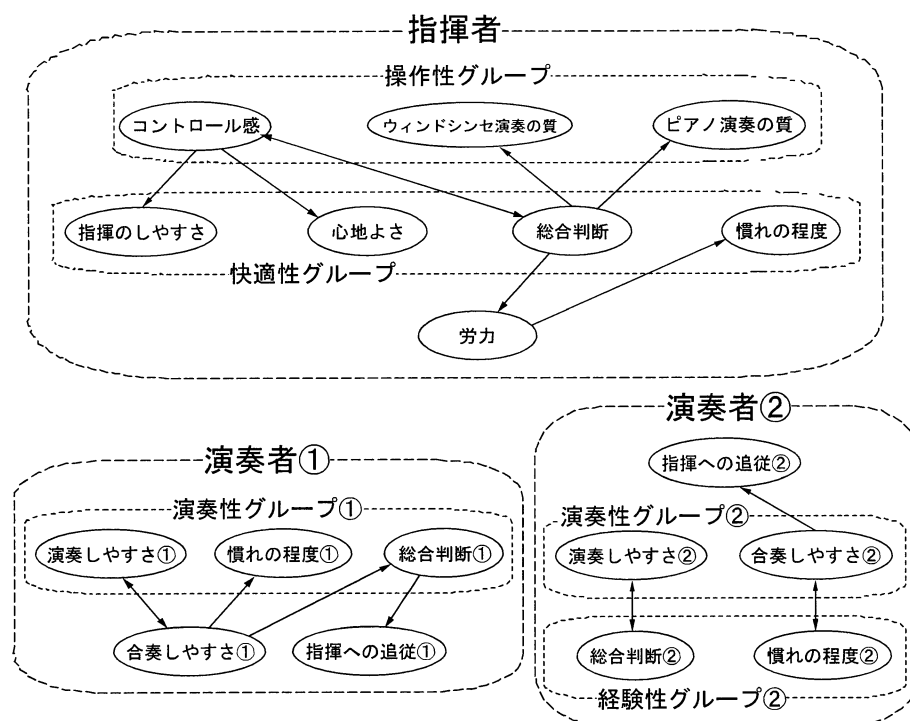


図 4.10 グループ間での関係性

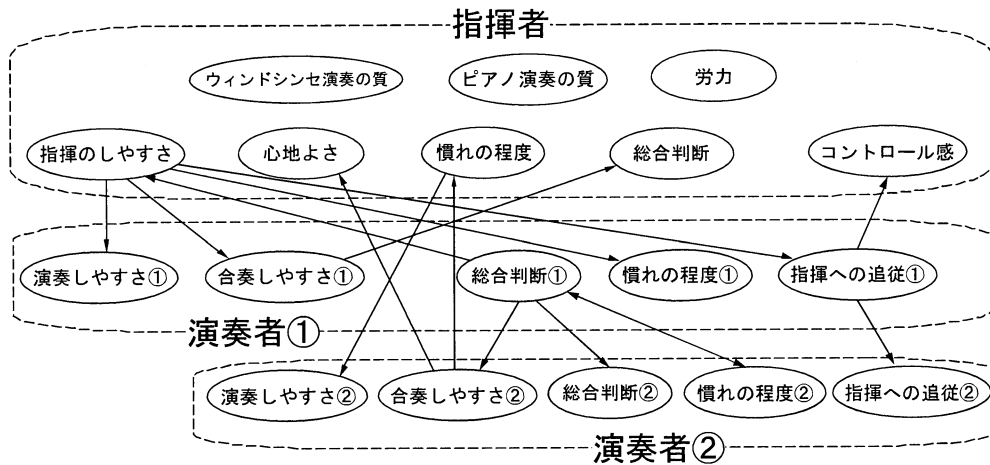


図 4.11 被験者間での関係

4.5.2 音響条件と主観評価項目の関係性

ここまでのモデル化により、主観評価項目同士の関係性は明らかになってきたが、音響条件が主観評価項目に与える影響は不透明な部分が多い。そこで、重回帰分析により音響条件が主観評価項目に与える影響を分析した。

重回帰分析とはある変数の動きが、別のいくつかの変数の動きによって左右されているとき、その関係を具体的な数式で表すとどのような式になるのかを導き出す分析である。本研究では音響条件を説明変数、各主観評価項目の評価値を目的変数とし、どの音響条件がどの主観評価項目に強く影響するのかを分析した。なお、互いに相関が強い項目を説明変数にはできないため、使用する音響条件は Δt_1 、 T_{30} 、EDT、 C_{80} 、 T_s とした。また、既往の研究より、LPE は全項目大きく影響を与えることが明白であるため分析から除外した。表 4.2.1-表 4.2.8 に指揮者についての分析結果を、表 4.3.1-表 4.3.5 に演奏者①についての分析結果を、表 4.4.1-表 4.4.5 に演奏者②についての分析結果を示す。

表 4.2.1 重回帰分析結果（指揮のしやすさ）

[重回帰式] 目的変数: 指揮のしやすさ										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回 帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0178	0.0232	0.1389	0.7097	[]	0.3727	0.0477	0.0227	-0.0901	×
T30	0.5613	0.1742	7.4991	0.0066	[**]	2.7385	0.2050	0.1647	0.1628	
EDT	-0.0713	-0.0550	0.5662	0.4524	[]	-0.7525	0.0948	-0.0458	-0.2038	
C80	-0.0159	-0.0601	0.3085	0.5791	[]	-0.5554	0.0287	-0.0338	0.2954	×
Ts	-12.8298	-0.3804	13.0578	0.0004	[**]	-3.6136	3.5505	-0.2152	-0.3629	
定数項	-0.1051					-0.0872	1.2045			
[精度]										
決定係数	R2 =	0.1577								
自由度修正済み決定係数	R2' =	0.1421								
重相関係数	R =	0.3972								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3769								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.8812								
赤池の情報量規準	AIC=	1004.7333								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.4820								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	701.50545	274								
回帰による変動	110.6559	5	22.1312	10.0758	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	590.84955	269	2.1965							

表 4.2.2 重回帰分析結果（ピアノ演奏の質）

[重回帰式]										
目的変数: ピアノ演奏の質										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	-0.0187	-0.0325	0.2403	0.6244	[]	-0.4902	0.0382	-0.0299	-0.1053	
T30	0.2966	0.1224	3.2637	0.0719	[]	1.8066	0.1642	0.1095	0.1483	
EDT	0.0387	0.0397	0.2596	0.6108	[]	0.5096	0.0760	0.0311	-0.0380	×
C80	0.0183	0.0917	0.6319	0.4273	[]	0.7950	0.0230	0.0484	0.1419	
Ts	-1.9670	-0.0776	0.4782	0.4898	[]	-0.6915	2.8445	-0.0421	-0.1395	
定数項	0.3826					0.3965	0.9650			
[精度]										
決定係数	R2 =	0.0439								
自由度修正済み決定係数	R2' =	0.0261								
重相関係数	R =	0.2095								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.1616								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.0943								
赤池の情報量規準	AIC=	882.7945								
残差の標準偏差	Ve^1/2=	1.1873								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	396.64	274								
回帰による変動	17.408232	5	3.4816	2.4696	0.0329	[*]				
回帰からの残差変動	379.23177	269	1.4098							

表 4.2.3 重回帰分析結果（ウィンドシンセ演奏の質）

[重回帰式]											目的変数: ウィンドシンセ演奏の質											
説明変数名		偏回帰係数		標準偏回帰係数		F値		P値		判定		T値		標準誤差		偏相関		単相関		符号チェック		
Δt1		-0.0248		-0.0494		0.5351		0.4651		[]		-0.7315		0.0339		-0.0446		-0.0663		×		
T30		0.0877		0.0416		0.3636		0.5470		[]		0.6030		0.1455		0.0367		0.0577				
EDT		-0.0199		-0.0234		0.0873		0.7678		[]		-0.2955		0.0673		-0.0180		-0.0172				
C80		-0.0156		-0.0897		0.5840		0.4454		[]		-0.7642		0.0204		-0.0465		0.0115				
Ts		-2.0647		-0.0936		0.6712		0.4133		[]		-0.8193		2.5201		-0.0499		-0.0386				
定数項		1.1144										1.3034		0.8550								
[精度]																						
決定係数		R2 =		0.0087																		
自由度修正済み決定係数		R2' =		0.0000																		
重相関係数		R =		0.0931																		
自由度修正済み重相関係数		R' =		0.0000																		
ダーヴィンワトソン比		DW =		1.3069																		
赤池の情報量規準		AIC =		816.1981																		
残差の標準偏差		Ve^1/2 =		1.0519																		
[分散分析表]																						
変動		偏差平方和		自由度		不偏分散		分散比		P 値		判定										
全体変動		300.26909		274																		
回帰による変動		2.6010331		5		0.5202		0.4701		0.7984		[]										
回帰からの残差変動		297.66806		269		1.1066																

表 4.2.4 重回帰分析結果（コントロール感）

[重回帰式] 目的変数: コントロール感										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0072	0.0110	0.0286	0.8658	[]	0.1692	0.0427	0.0103	-0.0901	×
T30	0.4680	0.1699	6.5227	0.0112	[*]	2.5540	0.1833	0.1539	0.1654	
EDT	-0.0383	-0.0345	0.2036	0.6522	[]	-0.4513	0.0848	-0.0275	-0.1276	
C80	0.0328	0.1448	1.6364	0.2019	[]	1.2792	0.0257	0.0778	0.2252	
Ts	-1.9159	-0.0665	0.3643	0.5466	[]	-0.6036	3.1744	-0.0368	-0.2114	
定数項	-0.4675					-0.4341	1.0770			
[精度]										
決定係数	R2 =	0.0782								
自由度修正済み決定係数	R2' =	0.0611								
重相関係数	R =	0.2796								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.2471								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.6107								
赤池の情報量規準	AIC=	943.1597								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.3251								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	512.38545	274								
回帰による変動	40.065084	5	8.0130	4.5636	0.0005	[**]				
回帰からの残差変動	472.32037	269	1.7558							

表 4.2.5 重回帰分析結果（労力）

[重回帰式]										
目的変数: 労力										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	-0.0330	-0.0456	0.4731	0.4922	[]	-0.6878	0.0479	-0.0419	0.0118	×
T30	-0.2527	-0.0832	1.5070	0.2207	[]	-1.2276	0.2058	-0.0746	-0.0774	
EDT	-0.0550	-0.0450	0.3334	0.5642	[]	-0.5774	0.0952	-0.0352	0.0524	×
C80	0.0163	0.0652	0.3195	0.5724	[]	0.5652	0.0288	0.0344	-0.1296	×
Ts	8.5115	0.2677	5.6995	0.0177	[*]	2.3874	3.5652	0.1440	0.1837	
定数項	0.9486					0.7842	1.2096			
[精度]										
決定係数	R2 =	0.0443								
自由度修正済み決定係数	R2' =	0.0265								
重相関係数	R =	0.2104								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.1628								
ダーヴィンフトソン比	DW =	1.2915								
赤池の情報量規準	AIC=	1007.0165								
残差の標準偏差	Ve^1/2=	1.4882								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	623.36727	274								
回帰による変動	27.591796	5	5.5184	2.4916	0.0316	[*]				
回帰からの残差変動	595.77548	269	2.2148							

表 4.2.6 重回帰分析結果（心地よさ）

[重回帰式]										
目的変数: 心地よさ										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0081	0.0111	0.0313	0.8596	[]	0.1770	0.0456	0.0108	-0.0982	×
T30	0.6521	0.2126	11.1002	0.0010	[**]	3.3317	0.1957	0.1991	0.1943	
EDT	-0.1163	-0.0942	1.6504	0.2000	[]	-1.2847	0.0905	-0.0781	-0.1545	
C80	-0.0810	-0.3210	8.7389	0.0034	[**]	-2.9562	0.0274	-0.1774	0.1699	×
Ts	-16.3647	-0.5098	23.2973	0.0000	[**]	-4.8267	3.3904	-0.2823	-0.2975	
定数項	0.4948					0.4301	1.1503			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1519								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.1361								
重相関係数	R =	0.3897								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3690								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.9674								
赤池の情報量規準	AIC=	979.3664								
残差の標準偏差	Ve ¹ /2 =	1.4152								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	635.28727	274								
回帰による変動	96.501428	5	19.3003	9.6361	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	538.78584	269	2.0029							

表 4.2.7 重回帰分析結果（慣れの程度）

[重回帰式]										
目的変数: 慣れの程度										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0426	0.0552	0.7578	0.3848	[]	0.8705	0.0490	0.0530	-0.0323	×
T30	0.4537	0.1397	4.6520	0.0319	[*]	2.1568	0.2103	0.1304	0.1010	
EDT	-0.1509	-0.1155	2.4054	0.1221	[]	-1.5509	0.0973	-0.0941	-0.2158	
C80	-0.0456	-0.1707	2.3978	0.1227	[]	-1.5485	0.0295	-0.0940	0.2333	×
Ts	-13.6551	-0.4018	14.0456	0.0002	[**]	-3.7477	3.6436	-0.2228	-0.3208	
定数項	-0.4594					-0.3716	1.2361			
[精度]										
決定係数	R2 =	0.1263								
自由度修正済み決定係数	R2' =	0.1101								
重相関係数	R =	0.3554								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3317								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.9906								
赤池の情報量規準	AIC=	1018.9675								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.5209								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	712.18182	274								
回帰による変動	89.944193	5	17.9888	7.7768	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	622.23763	269	2.3132							

表 4.2.8 重回帰分析結果（総合判断）

[重回帰式] 目的変数: 総合判断										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0026	0.0039	0.0037	0.9515	[]	0.0609	0.0433	0.0037	-0.1109	×
T30	0.5899	0.2058	10.0590	0.0017	[**]	3.1716	0.1860	0.1899	0.1919	
EDT	-0.1124	-0.0975	1.7082	0.1923	[]	-1.3070	0.0860	-0.0794	-0.1819	
C80	-0.0166	-0.0702	0.4044	0.5254	[]	-0.6359	0.0261	-0.0387	0.2360	×
Ts	-8.6191	-0.2873	7.1567	0.0079	[**]	-2.6752	3.2219	-0.1610	-0.2888	
定数項	-0.1173					-0.1073	1.0931			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1232								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.1069								
重相関係数	R =	0.3510								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3270								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.8216								
赤池の情報量規準	AIC=	951.3153								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.3449								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	554.90909	274								
回帰による変動	68.371448	5	13.6743	7.5603	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	486.53764	269	1.8087							

表 4.3.1 重回帰分析結果（演奏しやすさ①）

[重回帰式] 目的変数: 演奏しやすさ①										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
$\Delta t1$	0.0394	0.0441	0.5163	0.4730 []		0.7186	0.0548	0.0438	-0.1081	×
T30	1.1164	0.2971	22.5142	0.0000 [**]		4.7449	0.2353	0.2779	0.2806	
EDT	-0.0313	-0.0207	0.0825	0.7742 []		-0.2872	0.1088	-0.0175	-0.1043	
C80	-0.0712	-0.2302	4.6706	0.0316 [*]		-2.1612	0.0330	-0.1306	0.1934	×
Ts	-19.0562	-0.4844	21.8605	0.0000 [**]		-4.6755	4.0757	-0.2741	-0.3048	
定数項	-0.8227					-0.5950	1.3828			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1839								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.1687								
重相関係数	R =	0.4288								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.4107								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.9364								
赤池の情報量規準	AIC =	1080.6178								
残差の標準偏差	$\sqrt{e^2/2}$ =	1.7013								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	954.02182	274								
回帰による変動	175.41586	5	35.0832	12.1209	0.0000 [**]					
回帰からの残差変動	778.60596	269	2.8944							

表 4.3.2 重回帰分析結果（合奏しやすさ①）

[重回帰式] 目的変数: 合奏しやすさ①										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
$\Delta t1$	0.0222	0.0253	0.1657	0.6843 []		0.4070	0.0545	0.0248	-0.1025	×
T30	0.7644	0.2070	10.6530	0.0012 [**]		3.2639	0.2342	0.1952	0.2148	
EDT	0.0752	0.0506	0.4816	0.4883 []		0.6940	0.1083	0.0423	-0.1114	×
C80	-0.0229	-0.0755	0.4894	0.4848 []		-0.6996	0.0328	-0.0426	0.2596	×
Ts	-16.6291	-0.4301	16.8017	0.0001 [**]		-4.0990	4.0569	-0.2425	-0.3401	
定数項	-0.6174					-0.4486	1.3764			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1629								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.1473								
重相関係数	R =	0.4036								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3839								
ダーヴィンワトソン比	DW =	2.0355								
赤池の情報量規準	AIC =	1078.0682								
残差の標準偏差	$\sqrt{e^2/2}$ =	1.6934								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	921.54182	274								
回帰による変動	150.12111	5	30.0242	10.4697	0.0000 [**]					
回帰からの残差変動	771.42071	269	2.8677							

表 4.3.3 重回帰分析結果（指揮への追従①）

[重回帰式] 目的変数: 指揮への追従①										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回 帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0351	0.0461	0.5077	0.4767	[]	0.7125	0.0493	0.0434	-0.0809	×
T30	0.7473	0.2333	12.4674	0.0005	[**]	3.5309	0.2116	0.2105	0.2203	
EDT	-0.0013	-0.0010	0.0002	0.9891	[]	-0.0137	0.0979	-0.0008	-0.0832	
C80	0.0379	0.1439	1.6367	0.2019	[]	1.2794	0.0296	0.0778	0.2045	
Ts	-2.3574	-0.0703	0.4135	0.5207	[]	-0.6430	3.6660	-0.0392	-0.1926	
定数項	-1.6956					-1.3633	1.2437			
[精度]										
決定係数	R2 =	0.0907								
自由度修正済み決定係数	R2' =	0.0738								
重相関係数	R =	0.3012								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.2717								
ダーヴィンワトソン比	DW =	2.0181								
赤池の情報量規準	AIC=	1022.3434								
残差の標準偏差	Ve ¹ /2=	1.5303								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	692.78545	274								
回帰による変動	62.862128	5	12.5724	5.3689	0.0001	[**]				
回帰からの残差変動	629.92333	269	2.3417							

表 4.3.4 重回帰分析結果（慣れの程度①）

[重回帰式] 目的変数: 慣れの程度①										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt _l	-0.0222	-0.0269	0.1915	0.6621	[]	-0.4376	0.0507	-0.0267	-0.1719	×
T30	0.9707	0.2796	19.9025	0.0000	[**]	4.4612	0.2176	0.2625	0.2859	
EDT	-0.0803	-0.0575	0.6371	0.4255	[]	-0.7982	0.1006	-0.0486	-0.1387	
C80	-0.0505	-0.1767	2.7441	0.0988	[]	-1.6565	0.0305	-0.1005	0.2199	
T _s	-15.0758	-0.4149	15.9981	0.0001	[**]	-3.9998	3.7692	-0.2369	-0.3097	
定数項	0.0713					0.0558	1.2787			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1822								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.1670								
重相関係数	R =	0.4268								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.4086								
ダーヴィンワトソン比	DW =	2.0852								
赤池の情報量規準	AIC=	1037.6100								
残差の標準偏差	Ve ¹ /2=	1.5733								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	814.19636	274								
回帰による変動	148.31397	5	29.6628	11.9830	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	665.88239	269	2.4754							

表 4.3.5 重回帰分析結果（総合判断①）

[重回帰式] 目的変数: 総合判断①										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0356	0.0473	0.5832	0.4457	[]	0.7637	0.0466	0.0465	-0.1190	×
T30	1.0979	0.3468	30.1044	0.0000	[**]	5.4868	0.2001	0.3173	0.3183	
EDT	-0.0885	-0.0694	0.9134	0.3401	[]	-0.9557	0.0926	-0.0582	-0.1022	
C80	-0.0424	-0.1628	2.2928	0.1311	[]	-1.5142	0.0280	-0.0919	0.1701	×
Ts	-11.3018	-0.3410	10.6311	0.0013	[**]	-3.2605	3.4662	-0.1950	-0.2469	
定数項	-1.4004					-1.1909	1.1760			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1684								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.1529								
重相関係数	R =	0.4103								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3910								
ダーヴィンフトソン比	DW =	1.9748								
赤池の情報量規準	AIC=	991.5282								
残差の標準偏差	Ve ¹ /2=	1.4469								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	677.14909	274								
回帰による変動	114.00093	5	22.8002	10.8910	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	563.14816	269	2.0935							

表 4.4.1 重回帰分析結果（演奏しやすさ②）

[重回帰式] 目的変数: 演奏しやすさ②										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0109	0.0135	0.0450	0.8322	[]	0.2121	0.0512	0.0129	-0.1021	×
T30	0.7644	0.2265	12.0721	0.0006	[**]	3.4745	0.2200	0.2072	0.2228	
EDT	-0.0168	-0.0124	0.0272	0.8691	[]	-0.1649	0.1018	-0.0101	-0.0769	
C80	-0.0560	-0.2015	3.3015	0.0703	[]	-1.8170	0.0308	-0.1101	0.1454	×
Ts	-14.0185	-0.3968	13.5316	0.0003	[**]	-3.6785	3.8109	-0.2188	-0.2385	
定数項	0.1858					0.1437	1.2929			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1154								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.0989								
重相関係数	R =	0.3397								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3145								
ダーヴィンフトソン比	DW =	1.5815								
赤池の情報量規準	AIC=	1043.6625								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.5907								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	769.46909	274								
回帰による変動	88.768676	5	17.7537	7.0159	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	680.70041	269	2.5305							

表 4.4.2 重回帰分析結果（合奏しやすさ②）

[重回帰式] 目的変数: 合奏しやすさ②										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回 帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
$\Delta t1$	0.0694	0.0929	2.2684	0.1332	[]	1.5061	0.0461	0.0914	-0.0111	×
T30	0.3932	0.1251	3.9447	0.0480	[*]	1.9861	0.1980	0.1202	0.0965	
EDT	-0.0063	-0.0050	0.0047	0.9455	[]	-0.0684	0.0916	-0.0042	-0.2135	
C80	0.0076	0.0295	0.0755	0.7837	[]	0.2748	0.0277	0.0168	0.3426	
Ts	-12.4733	-0.3793	13.2314	0.0003	[**]	-3.6375	3.4291	-0.2165	-0.3987	
定数項	-1.1686					-1.0045	1.1634			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.1734								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.1581								
重相関係数	R =	0.4164								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3976								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.7541								
赤池の情報量規準	AIC =	985.6041								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.4314								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	666.78545	274								
回帰による変動	115.63884	5	23.1278	11.2880	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	551.14661	269	2.0489							

表 4.4.3 重回帰分析結果（指揮への追従②）

[重回帰式] 目的変数: 指揮への追従②										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回 帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
$\Delta t1$	-0.0238	-0.0358	0.2928	0.5889	[]	-0.5411	0.0440	-0.0330	-0.0606	
T30	0.0275	0.0098	0.0211	0.8846	[]	0.1453	0.1891	0.0089	0.0092	
EDT	-0.1193	-0.1057	1.8601	0.1738	[]	-1.3639	0.0875	-0.0829	-0.1863	
C80	-0.0038	-0.0167	0.0211	0.8847	[]	-0.1452	0.0265	-0.0089	0.1865	×
Ts	-4.6865	-0.1597	2.0472	0.1536	[]	-1.4308	3.2754	-0.0869	-0.2108	
定数項	1.1847					1.0661	1.1112			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.0525								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.0349								
重相関係数	R =	0.2291								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.1868								
ダーヴィンワトソン比	DW =	1.5799								
赤池の情報量規準	AIC =	960.3899								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.3672								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	530.72727	274								
回帰による変動	27.866896	5	5.5734	2.9814	0.0123	[*]				
回帰からの残差変動	502.86038	269	1.8694							

表 4.4.4 重回帰分析結果（慣れの程度②）

[重回帰式]		目的変数: 慣れの程度②								
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0921	0.1253	3.8802	0.0499	[*]	1.9698	0.0468	0.1192	-0.0012	×
T30	0.7941	0.2567	15.6278	0.0001	[**]	3.9532	0.2009	0.2343	0.1948	
EDT	-0.0888	-0.0713	0.9134	0.3401	[]	-0.9557	0.0929	-0.0582	-0.1126	
C80	-0.0591	-0.2320	4.4070	0.0367	[*]	-2.0993	0.0281	-0.1270	0.1407	×
Ts	-13.0641	-0.4035	14.0970	0.0002	[**]	-3.7546	3.4795	-0.2231	-0.2400	
定数項	-2.0947					-1.7745	1.1805			
[精度]										
決定係数	R2 =	0.1221								
自由度修正済み決定係数	R2' =	0.1058								
重相関係数	R =	0.3494								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.3252								
ダーヴィンフトソン比	DW =	1.5979								
赤池の情報量規準	AIC=	993.6286								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.4524								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	646.38545	274								
回帰による変動	78.919574	5	15.7839	7.4822	0.0000	[**]				
回帰からの残差変動	567.46588	269	2.1095							

表 4.4.5 重回帰分析結果（総合判断②）

[重回帰式] 目的変数: 総合判断②										
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
Δt1	0.0338	0.0485	0.5610	0.4545	[]	0.7490	0.0451	0.0456	-0.0604	×
T30	0.6973	0.2381	12.9816	0.0004	[**]	3.6030	0.1935	0.2146	0.2018	
EDT	-0.1109	-0.0941	1.5355	0.2164	[]	-1.2392	0.0895	-0.0753	-0.0934	
C80	-0.0583	-0.2419	4.6303	0.0323	[*]	-2.1518	0.0271	-0.1301	0.0933	×
Ts	-10.1318	-0.3304	9.1325	0.0028	[**]	-3.0220	3.3527	-0.1812	-0.1807	
定数項	-0.7140					-0.6277	1.1374			
[精度]										
決定係数	R ² =	0.0911								
自由度修正済み決定係数	R ² ' =	0.0742								
重相関係数	R =	0.3018								
自由度修正済み重相関係数	R' =	0.2723								
ダーヴィンフトソン比	DW =	1.6258								
赤池の情報量規準	AIC=	973.2079								
残差の標準偏差	Ve ^{1/2} =	1.3995								
[分散分析表]										
変動	偏差平方和	自由度	不偏分散	分散比	P 値	判定				
全体変動	579.63636	274								
回帰による変動	52.782323	5	10.5565	5.3899	0.0001	[**]				
回帰からの残差変動	526.85404	269	1.9586							

重回帰分析は性質上、説明変数と目的変数が線形の関係でないと精度は上がらない。そのためか、決定係数も低い値となりモデルに採用できるような結果を得ることができなかった。そこで、音響条件から主観評価項目へのリンクも BayoNet を利用して分析し、モデル化することとした。採用した主観評価項目は 4.3.1 のモデルと同じ項目（RT、C80、LPE）とした。

4.5.3 モデルの作成

図 4.12 に 4.2.1 で明らかになった主観評価項目の関係性をすべて採用し、指揮者と演奏者の心理を表現したモデルを示す。最終的にインプットした情報から定量的なアウトプットを算出する確率伝搬計算を行うためには、モデル中の双方向リンクや循環箇所は不具合となる。そのため、双方向回避プログラムを使い、また循環する箇所については最も AIC が低くなるように、リンクを修正した。さらに音響条件の影響を表すリンクを加えたモデルを図 4.13 に示す。このモデルの AIC は 2252.129 であり、4.7 で示したモデルより適合性が上昇した。

なお、音響条件についてリンクの貼り方は以下のような手順で行った。

- ・ 指揮者に関しては、各音響条件は快適性グループの中の主観評価項目の内、最も AIC の低くなるもの 1 つにリンクを張り、操作性グループと「労力」のうちから最も AIC の低くなるもの 1 つにリンクを張るものとする。
- ・ 演奏者に関しては、各主観評価項目の内、最も AIC の低くなるもの 1 つにリンクを張るものとする。

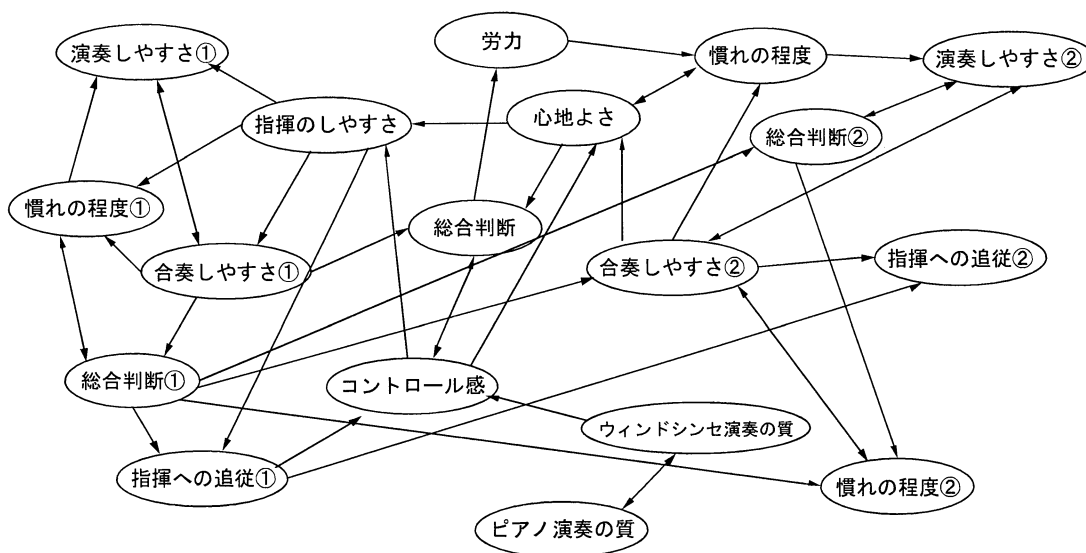


図 4.12 指揮者と演奏者の心理モデル

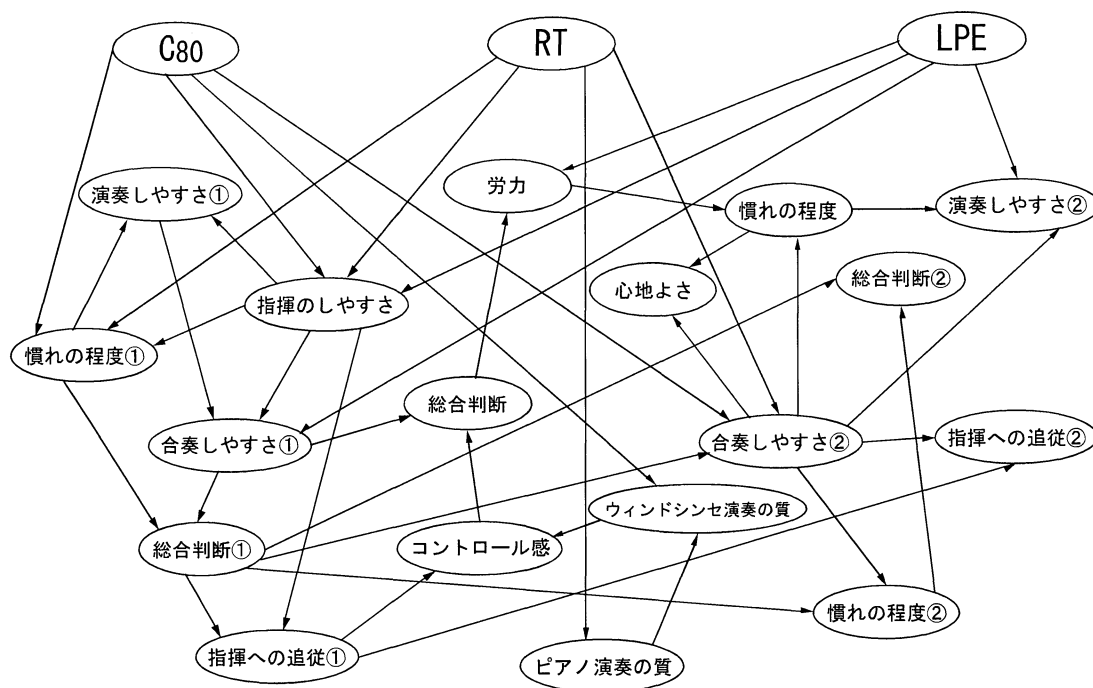


図 4.13 音響条件の影響を付加したモデル

4.6 小括

ベイジアンネットワークにより、ホール音響・指揮者・演奏者の関係性をモデル化することができた。モデルの改善を繰り返す事で、AIC の値もかなり下げることができたと思われる。指揮者・演奏者の主観評価項目間については分析結果が明確に出ていたが、音響条件が指揮者・演奏者に与える影響に関しては明確にならない部分が多かった。これは、実験のサンプル数がまだ不足していることや、音響条件の組み合わせが網羅的に与えられていないこと等が原因で、個々の音響指標の影響が明らかにならなかったのではないかとと思われる。今後は、さらに細かく設定したインパルス応答を使用し、データを収集していく必要があると思われる。

第 5 章

指揮者の個性に関する分析

5.1 分析の目的と概要

4章までの分析により、オーケストラ演奏のモデル化を行い、適合性の高いモデルを示す事ができたと思われが、さらに指揮者の個性を検討しグルーピングすることで、さらにモデルを改善できるのではないかと考えた。そして、指揮者をグルーピングした上でそれぞれのグループに適したモデルを作成することを目標とした。なお、各指揮者から採取したサンプル数は表5.1の通りであり、指揮者A～Gより採取したデータのうち32個は同条件での実験であるので、本章の分析は指揮者A～Gの32個のデータにより行った。

表5.1 各指揮者から採取したサンプル数

指揮者	A	B	C	D	E	F	G	H
サンプル数	42	32	44	44	37	32	32	8

5.2 各指揮者の回答傾向

指揮者を分類するに先立ち、各指揮者の回答傾向を調べた。表5.2に全主観評価項目に対する各回答値の回数を、図5.1に回答回数をグラフ化したものを示す。なお、使用した回答項目はモデル化に用いた項目のみである。

指揮者F以外は-1～+1あたりの回答数がピークとなるような山形を描いているが、指揮者Fのみ+2がピークとなる曲線を描くような結果となっている。これらを見たところ、指揮者により回答傾向はありそうだが、しっかりと分析してみないとはっきりとしたことは言えないようである。

表5.2 各回答値の回答回数

		指揮者						
		A	B	C	D	E	F	G
評価値	-3	12	13	10	6	12	27	0
	-2	30	39	29	22	25	17	13
	-1	57	46	49	36	54	12	84
	0	35	67	47	85	54	19	87
	1	90	46	75	74	58	45	62
	2	28	44	45	31	52	68	10
	3	4	1	1	2	1	57	0

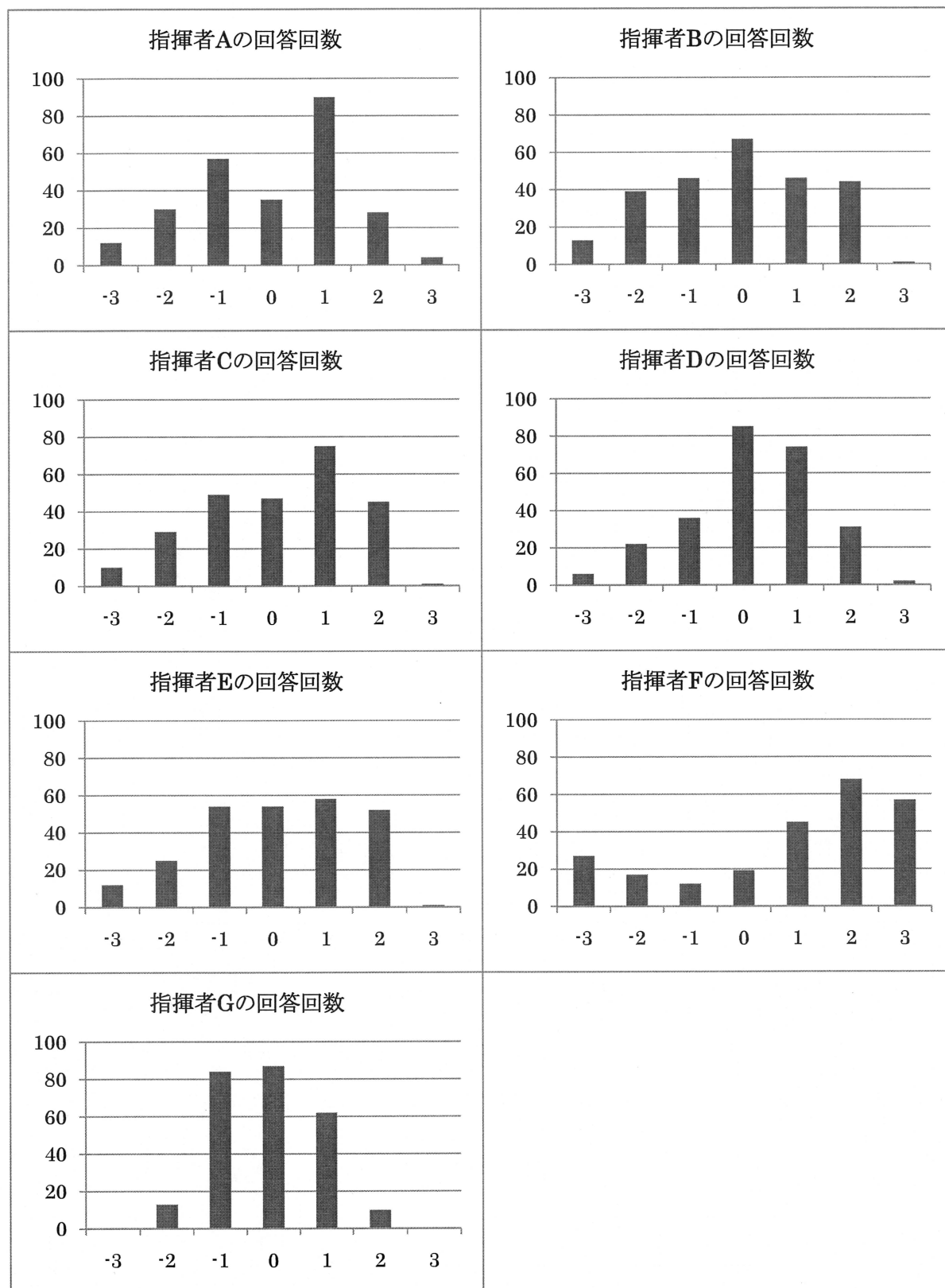


図 5.1 各回答値の回答回数

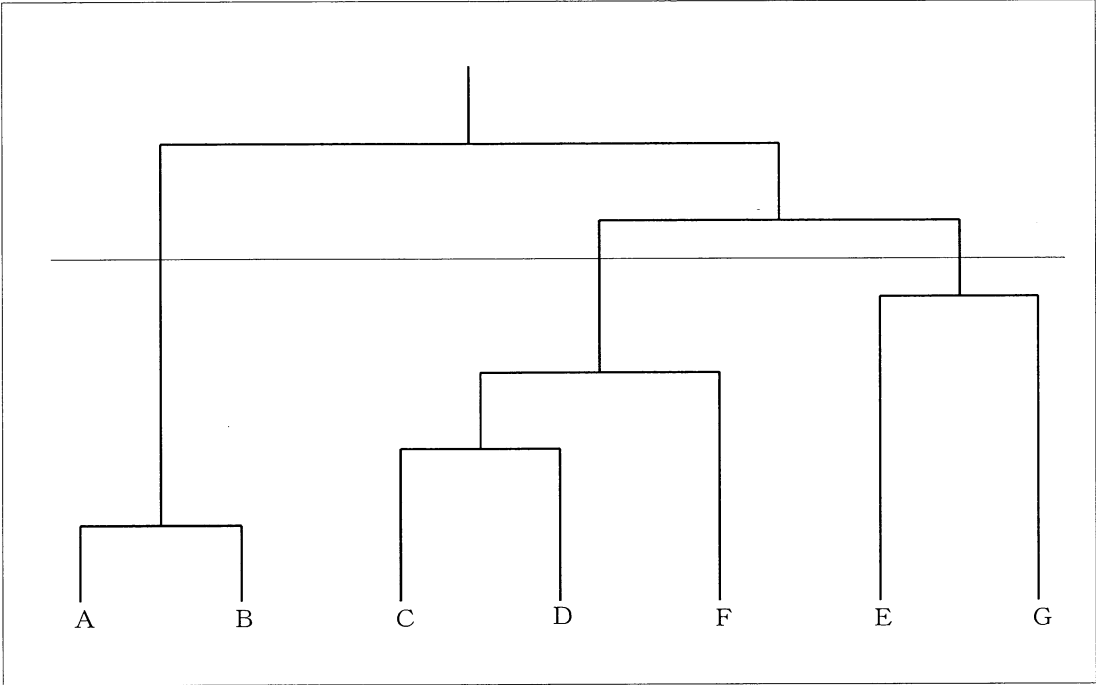
5.3 クラスター分析

表 5.3 ように全回答項目を変数とし、指揮者のクラスター分析を行った。分析結果を図 5.2 示す。指揮者 A・B、指揮者 C・D・F、指揮者 E・G がそれぞれ同じグループに分類される結果となった。

表 5.3 クラスター分析に使用したデータの一部分

実験No.	回答項目	指揮者A	指揮者B	指揮者C	指揮者D	指揮者E	指揮者F	指揮者G
1	指揮のしやすさ	1	2	1	-1	1	-1	-2
2	↓	-1	2	2	0	0	1	1
3	↓	2	0	1	1	1	3	2
4	↓	-1	-2	2	0	2	2	2
5	↓	-1	-2	2	-2	0	1	-2
6	↓	-2	-2	2	1	1	-2	0
7	↓	-1	-1	2	1	1	2	-1
8	↓	1	1	-1	1	1	-1	-1
9	↓	1	2	0	-1	-1	0	-1
10	↓	1	2	0	0	1	1	-1
11	↓	2	0	1	1	1	3	0
12	↓	1	-1	-1	0	1	2	1
13	↓	1	-1	0	0	0	3	0
14	↓	-2	0	-1	-2	3	3	-1
15	↓	1	0	1	0	1	2	-1
16	↓	-2	-2	-2	-2	-1	-3	1
17	↓	2	2	2	0	2	1	-1
18	↓	2	0	1	0	2	3	1
19	↓	-2	-2	-2	-2	2	-3	1
20	↓	1	1	1	0	1	2	1
21	↓	2	2	2	1	-1	2	-1
22	↓	-2	-2	-3	-3	0	-3	0
23	↓	-1	-1	1	-1	2	1	-1
24	↓	-1	2	1	1	-1	0	0
25	↓	1	-1	1	1	-3	0	-1
26	↓	-3	-2	-3	-3	-3	-3	-1
27	↓	2	1	1	1	-1	3	1
28	↓	1	-3	-3	-2	-3	-3	-2
29	↓	-3	-1	1	0	-1	2	2
30	↓	2	2	-2	-3	-2	1	0
31	↓	-1	-3	2	2	-2	-2	-2
32	↓	2	-1	0	2	2	-1	-1
1	ピアノ演奏の質	2	1	1	0	0	3	0
2	↓	1	1	2	0	0	3	0
3	↓	1	1	1	0	0	3	0
4	↓	1	0	2	1	0	3	0
5	↓	1	1	1	0	0	3	0

⋮

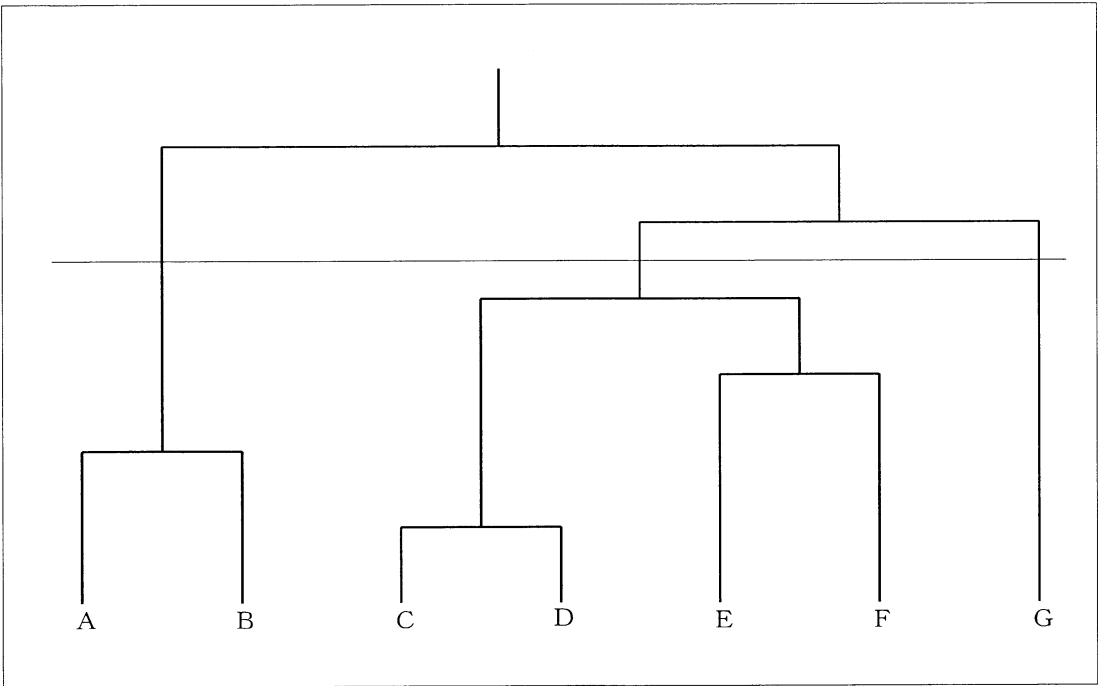


No.	変数名	距離
1	A - B	1.1182
2	C - D	1.1194
3	C - F	1.1889
4	E - G	1.3262
5	C - E	1.4262
6	A - C	1.5970

原データの距離計算: $\sqrt{2*(1-r)}$, r =相関係数
合併後の距離計算: ウォード法

図 5.2 クラスタ分析結果

次のステップとして、5.2 の分析より、各指揮者の回答傾向が異なると考えられるので、各回答項目・各指揮者ごとに回答値を標準化（Z 変換）し、分析を行った。分析結果は図 5.3 のようになった。



No.	変数名	距離
1	C - D	1.1149
2	A - B	1.1791
3	E - F	1.2103
4	C - E	1.3406
5	C - G	1.4694
6	A - C	1.6396

原データの距離計算: $\sqrt{2*(1-r)}$, r =相関係数
合併後の距離計算: ウォード法

図 5.3 クラスタ分析結果（標準化後）

標準化前の分析結果と比較すると、指揮者 E 以外はほぼ同じ樹形図となった。指揮者を分類する上での標準化による影響は少ないことがわかった。クラスタ分析による分析結果を総合的に判断し仮グループとして、指揮者 A・B をグループⅠ、指揮者 C・D・F をグループⅡ、指揮者 E・G をグループⅢとした。

5.4 因子分析

5.4.1 指揮者別因子分析結果

各指揮者別に因子分析を行った結果を表 5.4 に、クラスター分析によりグルーピングした、各グループ別に因子分析を行った結果を表 5.5 に示す。

表 5.4 各指揮者別因子分析結果

指揮者 A				指揮者 B			
	因子1	因子2	因子3		因子1	因子2	因子3
慣れの程度	0.9198	0.2022	-0.0484	心地よさ	0.8459	0.4018	0.3263
心地よさ	0.8612	0.2247	0.2897	慣れの程度	0.8276	0.4259	0.2585
指揮のしやすさ	0.8364	0.2912	0.0583	指揮のしやすさ	0.7939	0.4439	0.2121
総合判断	0.7728	0.4053	0.3755	コントロール感	0.5368	0.3057	0.3184
労力	-0.7261	0.0501	-0.3005	総合判断	0.4542	0.8406	0.1393
ピアノ演奏の質	0.0775	0.7484	0.1561	労力	-0.4395	-0.8375	-0.2462
コントロール感	0.4326	0.6854	0.3146	ウィンドシンセ演奏の質	0.1723	0.1009	0.9795
ウィンドシンセ演奏の質	0.1799	0.4430	0.7531	ピアノ演奏の質	0.3397	0.2209	0.5425

指揮者 C				指揮者 D			
	因子1	因子2	因子3		因子1	因子2	因子3
慣れの程度	0.8632	0.3500	0.3639	指揮のしやすさ	0.8834	0.1442	-0.0206
心地よさ	0.7073	0.4800	0.3789	慣れの程度	0.8032	-0.0204	0.0626
総合判断	0.6343	0.5437	0.5187	総合判断	0.7755	0.5157	0.1017
コントロール感	0.3931	0.8308	0.3322	コントロール感	0.6554	0.3360	0.1209
ウィンドシンセ演奏の質	0.4403	0.5150	0.4750	心地よさ	0.6416	0.6806	-0.0552
労力	-0.4080	-0.6702	-0.5381	ピアノ演奏の質	0.1100	0.5348	0.0125
ピアノ演奏の質	0.4457	0.3926	0.6280	ウィンドシンセ演奏の質	0.0489	0.3279	0.9419
指揮のしやすさ	0.5336	0.5338	0.5578	労力	0.0483	-0.2740	0.4714

指揮者 E				指揮者 F			
	因子1	因子2	因子3		因子1	因子2	因子3
指揮のしやすさ	0.8673	0.1166	0.3114	指揮のしやすさ	0.9552	0.2185	-0.0616
ピアノ演奏の質	0.8137	-0.0344	0.3112	総合判断	0.9325	0.1677	-0.2342
コントロール感	0.6281	0.2864	0.1862	慣れの程度	0.8803	0.1089	-0.3809
総合判断	0.2837	0.8971	0.1813	心地よさ	0.8268	0.1856	-0.4367
ウィンドシンセ演奏の質	-0.1202	0.5531	0.1601	ピアノ演奏の質	0.0315	0.8693	0.0238
労力	-0.3300	-0.7230	0.3099	ウィンドシンセ演奏の質	0.1618	0.8249	-0.3189
心地よさ	0.3964	0.2403	0.7860	コントロール感	0.3792	0.5910	-0.1640
慣れの程度	0.3614	-0.0069	0.7742	労力	-0.4190	-0.2354	0.7214

指揮者 G			
	因子1	因子2	因子3
指揮のしやすさ	0.9706	0.1398	0.0448
総合判断	0.9136	0.2038	0.2334
心地よさ	0.8475	0.1214	0.3089
慣れの程度	0.8038	0.0479	0.2914
ピアノ演奏の質	0.0991	0.9261	0.0855
ウィンドシンセ演奏の質	0.0525	0.7920	0.0087
コントロール感	0.2969	0.6318	0.3998
労力	0.3302	0.1321	0.7986

表 5.5 各グループ別因子分析結果

グループⅠ				グループⅡ			
	因子1	因子2	因子3		因子1	因子2	因子3
慣れの程度	0.8782	0.1694	-0.2987	総合判断	0.9208	0.2091	-0.2099
指揮のしやすさ	0.8568	0.2251	-0.2439	指揮のしやすさ	0.8555	0.2875	-0.1599
心地よさ	0.8294	0.3264	-0.3092	慣れの程度	0.8542	0.1652	-0.2371
総合判断	0.6476	0.3500	-0.5068	心地よさ	0.8264	0.2600	-0.2947
ウィンドシンセ演奏の質	0.0456	0.7819	-0.2749	ウィンドシンセ演奏の質	0.1987	0.8735	-0.1963
コントロール感	0.5103	0.5510	-0.1798	ピアノ演奏の質	0.1429	0.8567	-0.1227
ピアノ演奏の質	0.3031	0.5403	0.0218	コントロール感	0.4786	0.6034	-0.0613
労力	-0.4392	-0.1826	0.8782	労力	-0.4164	-0.2448	0.6993

グループⅢ			
	因子1	因子2	因子3
慣れの程度	0.8199	0.2991	-0.1049
心地よさ	0.8174	0.3307	0.1181
指揮のしやすさ	0.6061	0.5678	0.1940
ピアノ演奏の質	0.1817	0.7421	0.1033
コントロール感	0.3398	0.5303	0.2333
総合判断	0.5925	0.0923	0.7985
労力	0.2522	-0.0996	-0.5086
ウィンドシンセ演奏の質	0.0762	0.0945	0.4128

5.4.2 因子得点の平均値

第 2 章での結果より、各主観評価項目は 3 つの因子により回答されていることが分かった。そこで、各試行・各指揮者の各因子に対する因子得点を算出し、その平均値を図プロットした。その結果を図 5.4 に示す。

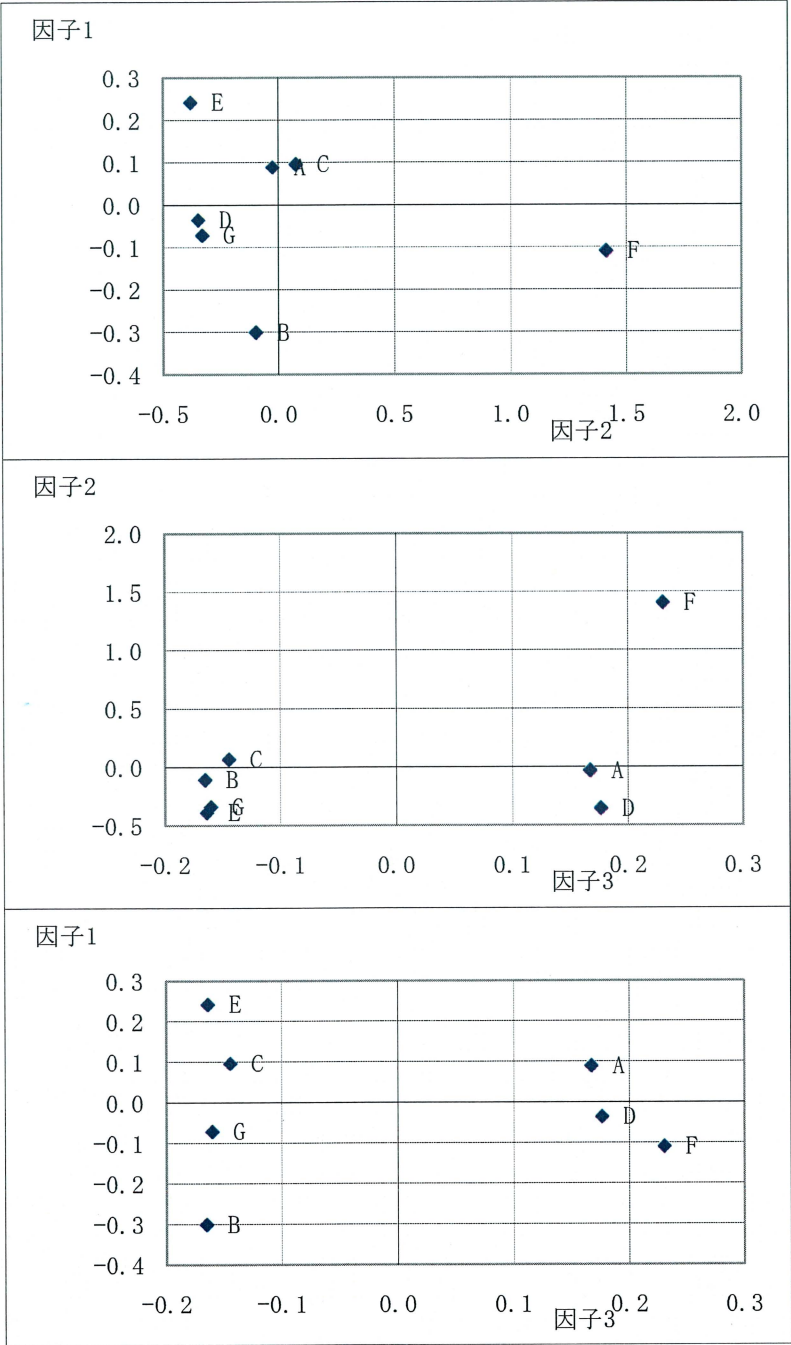


図 5.4 因子得点の平均値

この結果からは各指揮者を分類できるほどの傾向が表れなかった。これは、すべての試行における因子得点を平均してしまっているためではないかと思われる。

5.5 因子分析とクラスター分析の応用

因子得点を平均化した分析からは傾向が分からなかったので、因子得点をクラスター分析した。表 5.6 ように各因子に対する因子得点を変数とし、指揮者のクラスター分析を行った。分析結果を図 5.5 示す。5.3 での分析と同様に指揮者 A・B、指揮者 C・D・F、指揮者 E・G がそれぞれ同じグループに分類される結果となった。

表 5.6 因子得点からのクラスター分析に用いたデータの一部

実験No.	因子	山口	豊田	江崎	森	及能	中塚	徳永
1	因子1	1.0860	0.3238	-0.5842	-0.6294	0.1944	-1.6208	-0.4576
	因子2	0.1555	0.0619	0.6172	-0.1995	-0.4618	2.4155	-0.9841
	因子3	-0.5682	-0.6208	0.2628	-0.3208	-1.2111	-1.5179	-0.3536
2	因子1	-0.6611	1.2644	0.9895	-0.1459	0.3465	-0.5720	0.6901
	因子2	-0.0571	0.2671	1.1627	-0.2556	-0.4151	2.4070	-0.5674
	因子3	-0.3599	0.8083	0.9389	-0.0407	-0.0259	-1.1938	0.3689
3	因子1	0.6383	0.1347	0.5783	0.4132	0.8989	1.2772	1.3793
	因子2	0.0218	0.0814	0.3458	0.1975	-0.8986	1.6416	-1.1385
	因子3	-0.3063	-0.7353	0.5233	0.3027	-0.8407	0.3522	-0.3623
4	因子1	-0.4387	-1.2050	0.9631	0.1939	1.8197	1.0104	1.1040
	因子2	-0.2674	-0.3139	1.0574	-0.1465	-0.9230	1.5157	-0.4623
	因子3	0.0933	-0.4623	0.9988	-0.3060	-0.8655	0.7801	0.1222
5	因子1	-0.3595	-1.4799	1.1846	-0.5842	0.5155	-0.4351	-0.5406
	因子2	-0.6280	0.5817	0.3614	-0.8295	-0.4260	2.3193	-0.3973
	因子3	-0.9041	-0.3317	0.1839	-0.3397	-0.2570	-1.1101	0.0382
6	因子1	-0.8801	-1.4371	0.9792	0.9224	1.1715	-0.9031	0.0304
	因子2	-0.2870	0.0960	1.0958	-0.0815	-0.3837	1.6542	-0.3835
	因子3	-0.0503	0.6088	0.8414	-0.2382	-0.5177	0.2084	0.0241
7	因子1	-0.4026	-0.5912	0.9792	0.8320	0.5438	1.0804	-0.2760
	因子2	-0.3616	0.4804	1.0958	-0.2734	-0.1281	2.0532	-1.3649
	因子3	-1.4909	-0.0418	0.8414	-0.6062	-0.9806	1.0982	0.0068
8	因子1	0.6702	0.1166	-0.7140	0.7721	0.4585	-0.3815	-0.5456
	因子2	-0.7619	0.4066	0.4088	0.4319	-1.1141	0.6349	-0.7171
	因子3	-1.1395	0.0276	0.5777	0.5969	-0.3374	0.0166	0.2363
9	因子1	0.8505	0.9895	-0.1054	0.2310	-0.8714	-0.7190	-0.3166
	因子2	0.1621	1.1627	-0.9861	-0.5986	-0.1367	0.9377	-0.6345
	因子3	1.0550	0.9389	-0.2153	0.6927	-0.3068	-0.7357	0.1813

⋮

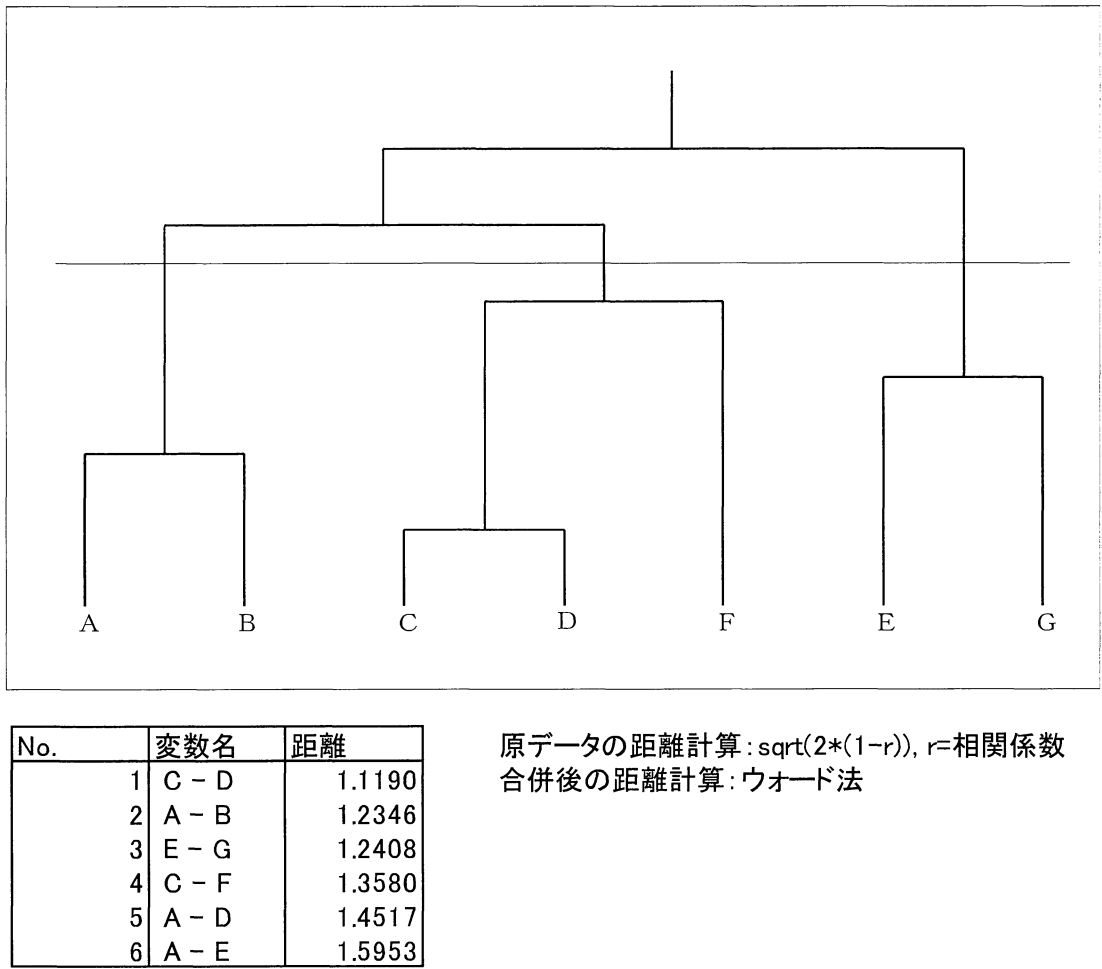


図 5.5 因子得点からのクラスター分析結果

5.6 ベイジアンネットワークを用いた分析

BayoNet による自動モデル構築機能を利用した分析を行った。各指揮者ごとのデータを用いて、GreedySerch によりどのようにリンクが張られるかを調べた。図 5.6.1-図 5.6.7 に自身の主観評価項目間でのみリンクを可能という条件を課した場合の分析結果を、図 5.7.1-図 5.7.5 に自身以外の主観評価項目間でのみリンクを可能という条件を課した場合の分析結果を示す。

なお、指揮者 B・G に関しては自身以外からのリンクは 1 つも張られなかったもので、記載していない

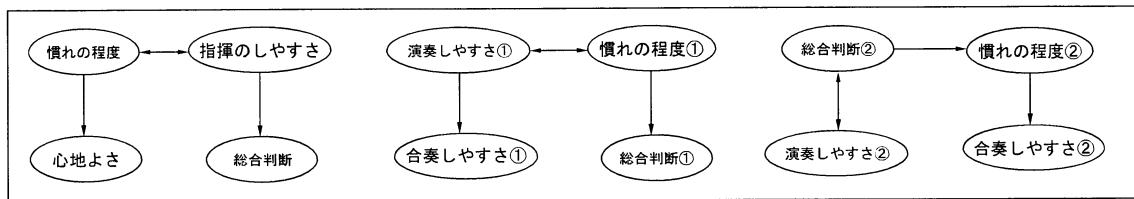


図 5.6.1 指揮者 A の分析結果

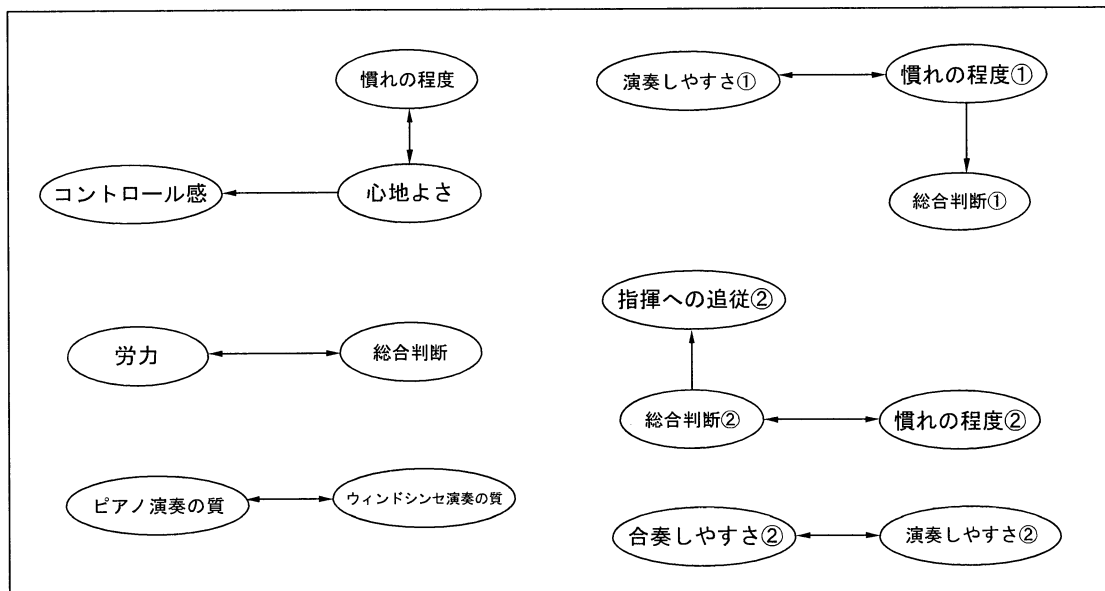


図 5.6.2 指揮者 B の分析結果

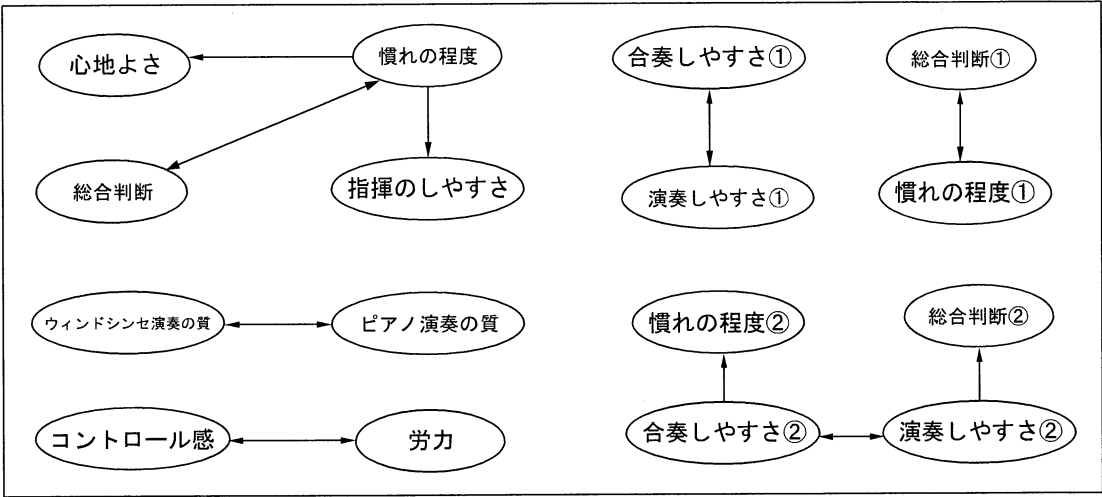


図 5.6.3 指揮者 C の分析結果

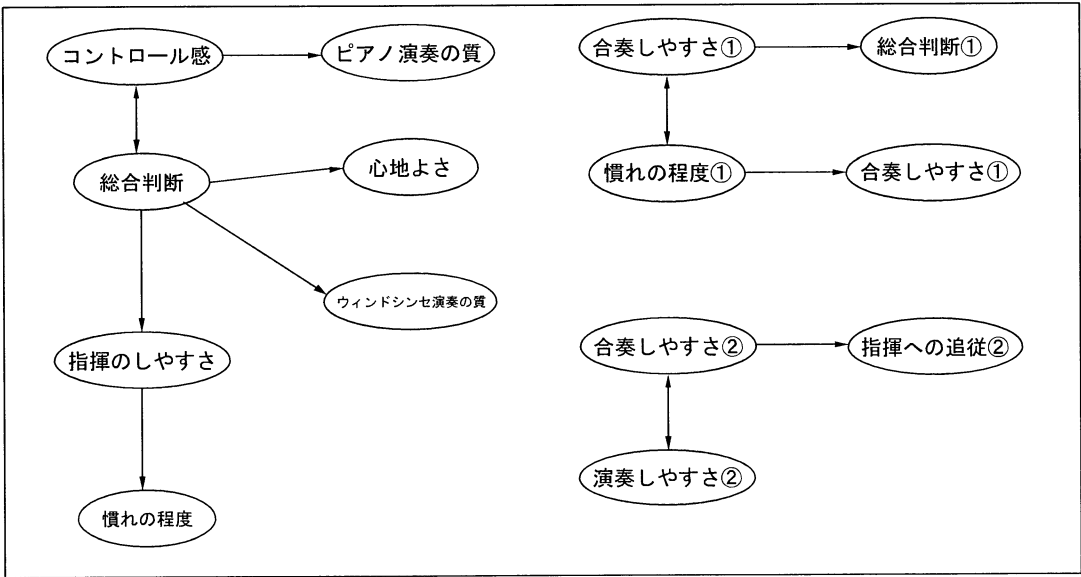


図 5.6.4 指揮者 D の分析結果

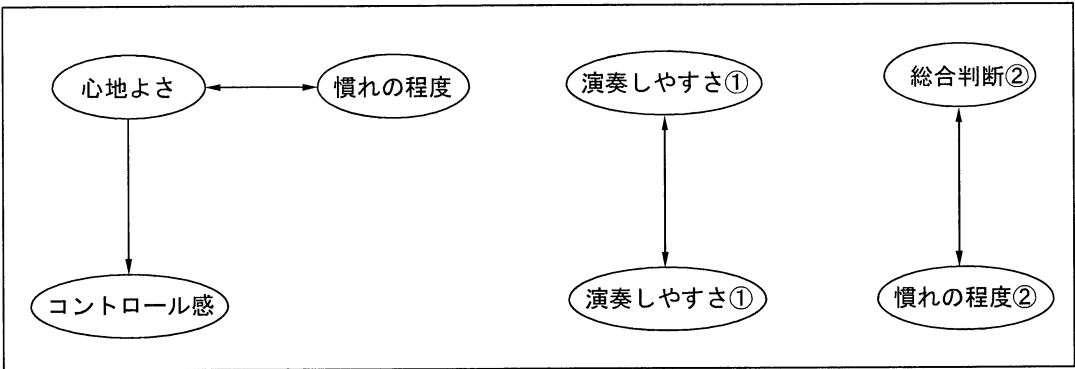


図 5.6.5 指揮者 E の分析結果

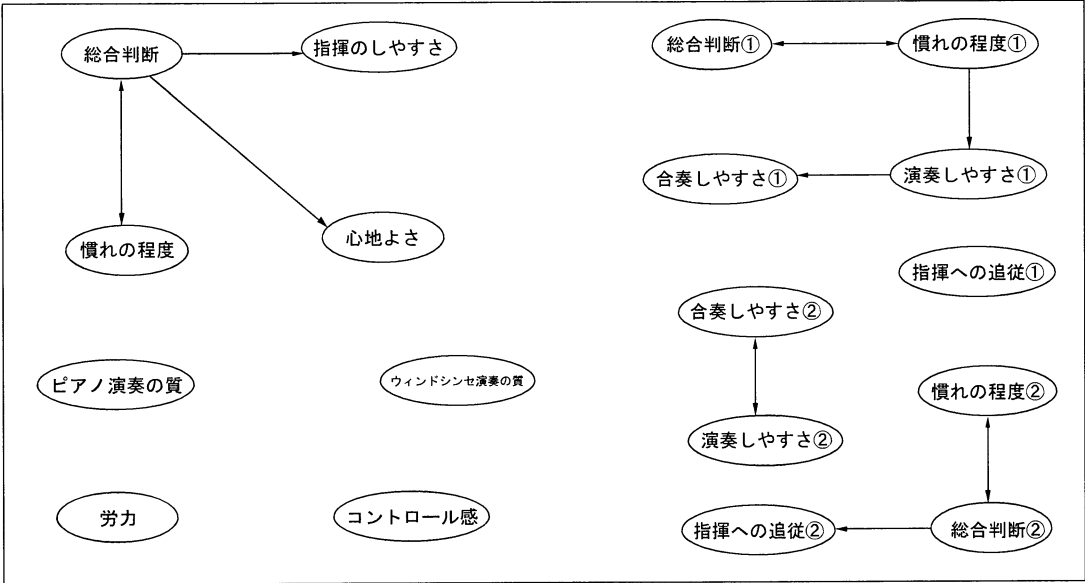


図 5.6.6 指揮者 F の分析結果

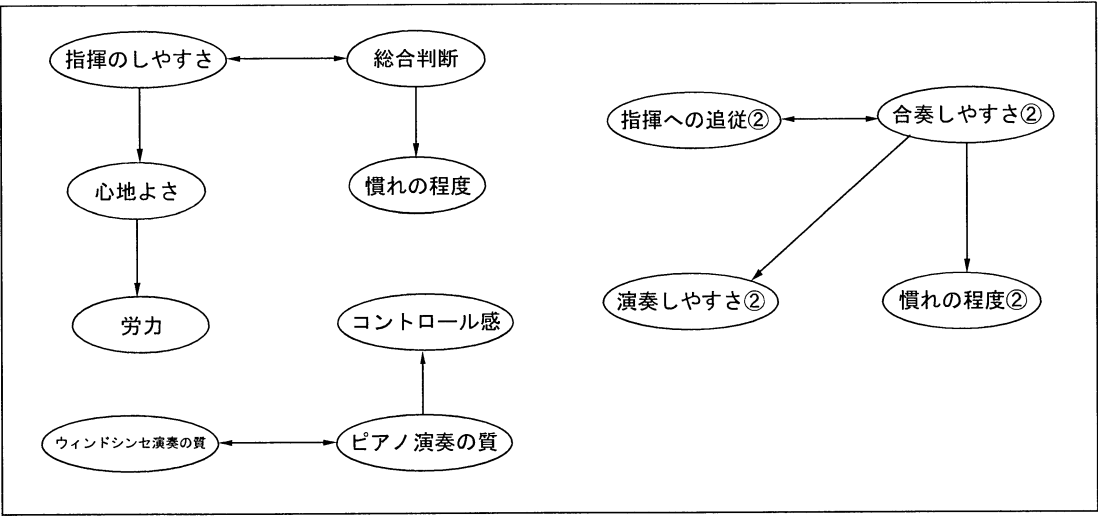


図 5.6.7 指揮者 G の分析結果

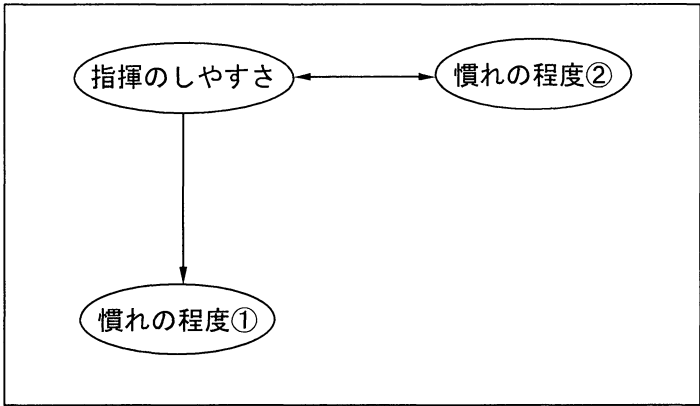


図 5.7.1 指揮者 A の分析結果

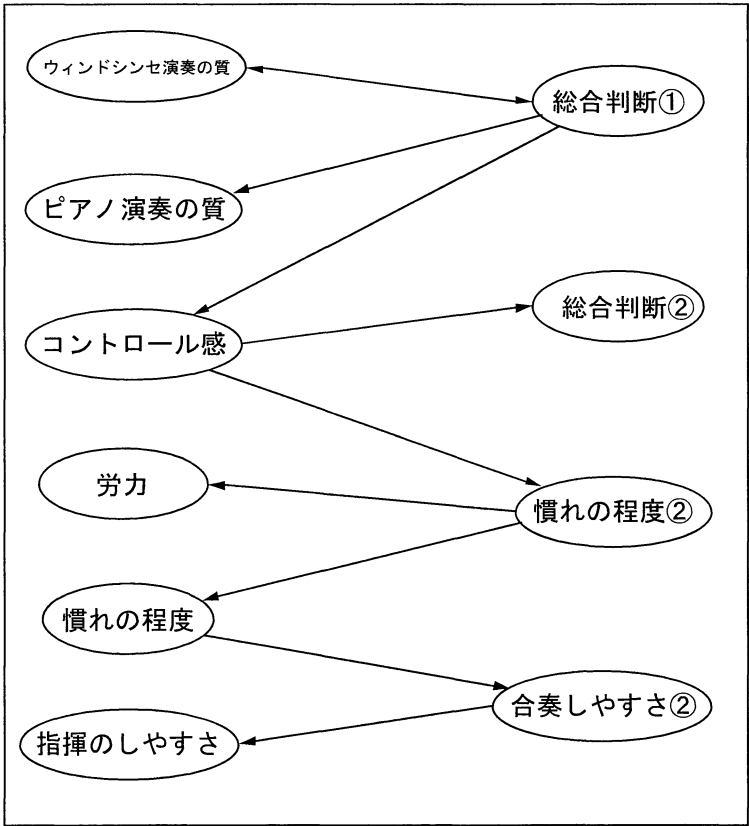


図 5.7.2 指揮者 C の分析結果

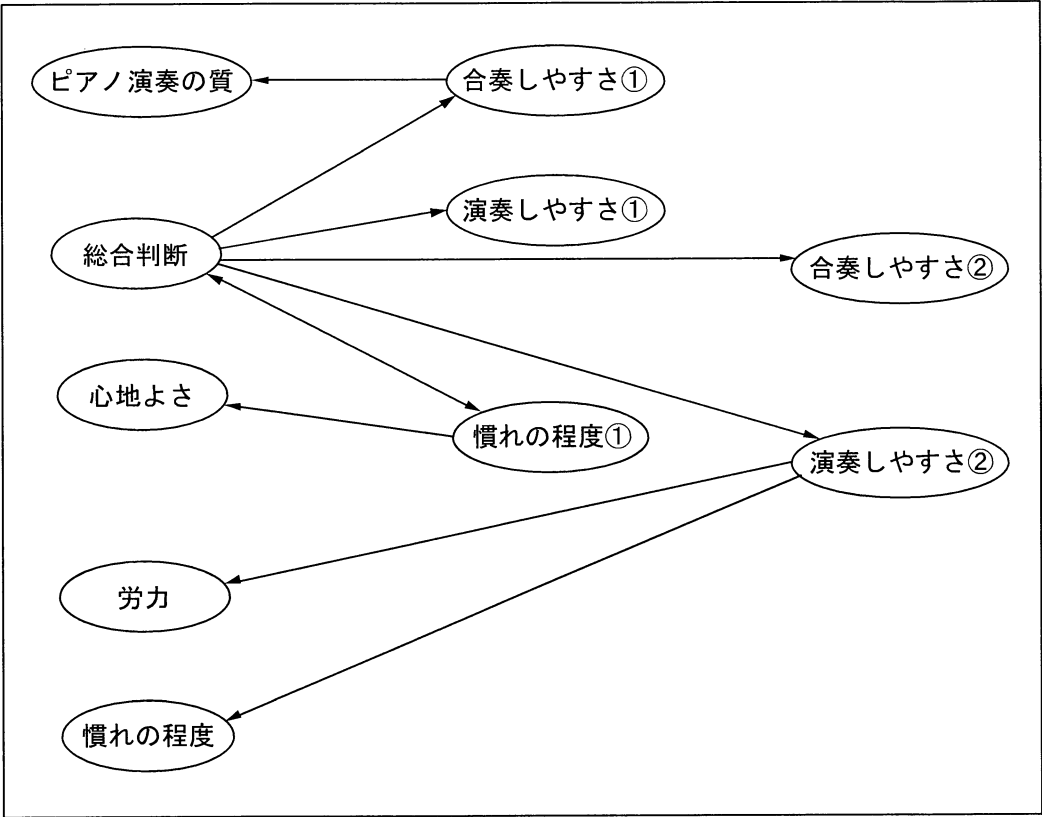


図 5.7.3 指揮者 D の分析結果

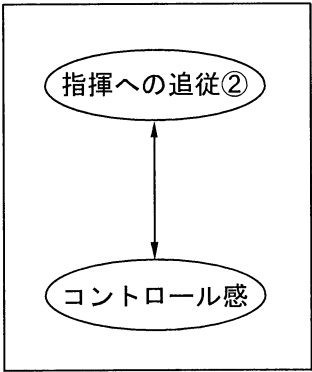


図 5.7.4 指揮者 E の分析結果

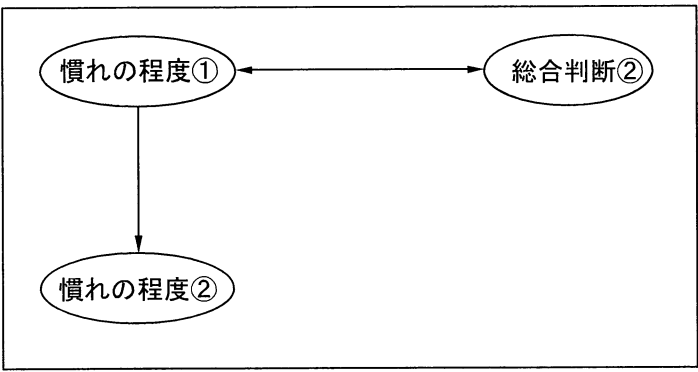


図 5.7.5 指揮者 F の分析結果

続いて、クラスター分析によるグループごとのデータを用いて、同様の分析を行った。
図 5.8.1-図 5.8.3 に自身の主観評価項目間でのみリンクを可能という条件を課した場合の分析結果を、図 5.9.1-図 5.9.2 に自身以外の主観評価項目間でのみリンクを可能という条件を課した場合の分析結果を示す。

なお、グループⅢに関しては自身以外からのリンクは 1 つも張られなかったもので、記載していない

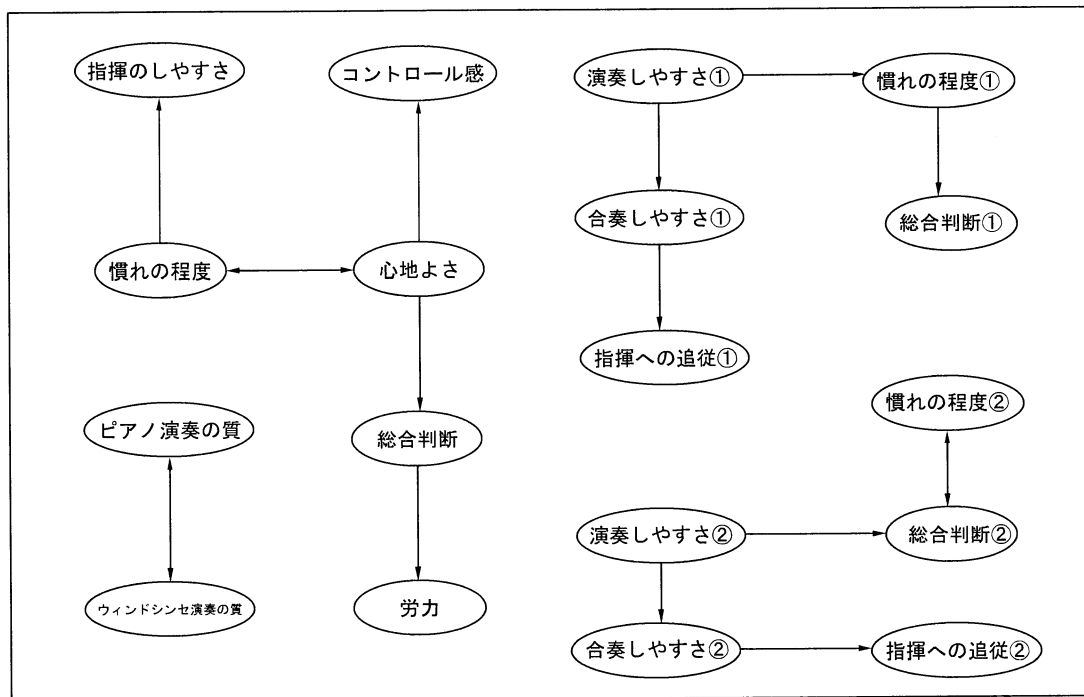


図 5.8.1 グループ I の分析結果

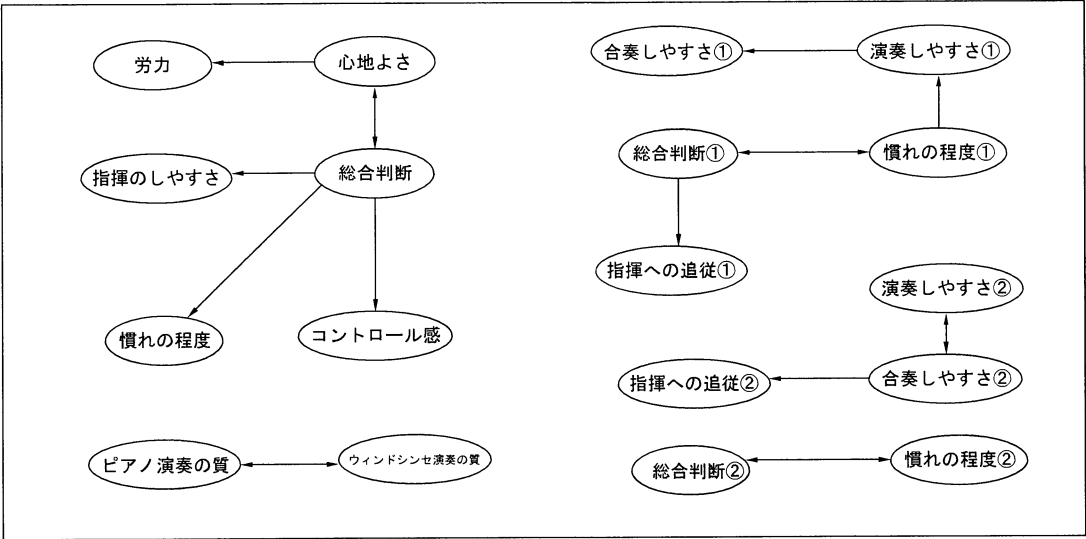


図 5.8.2 グループⅡの分析結果

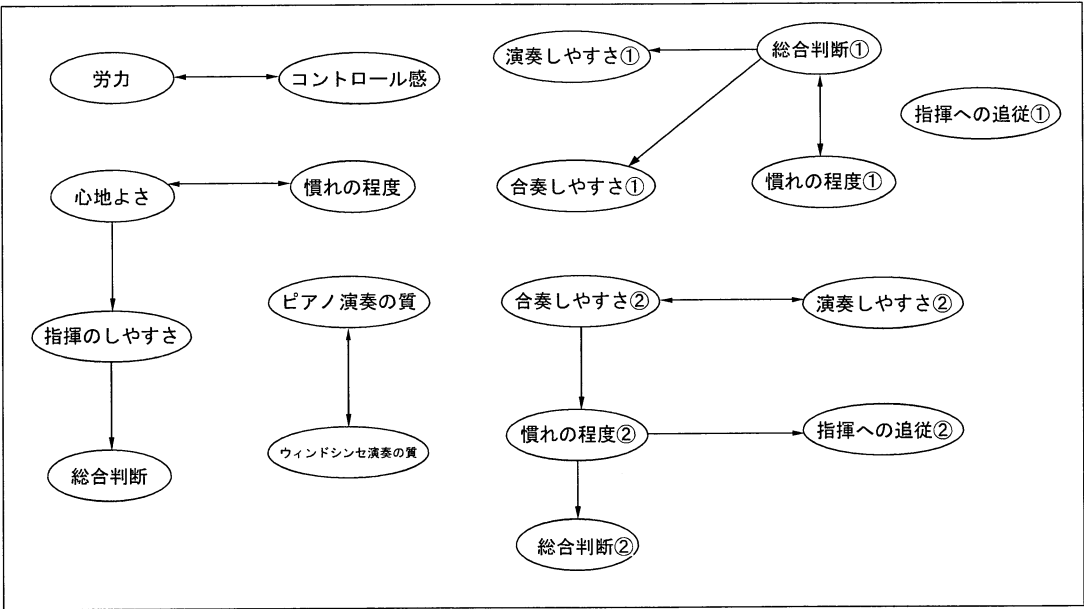


図 5.8.3 グループⅢの分析結果

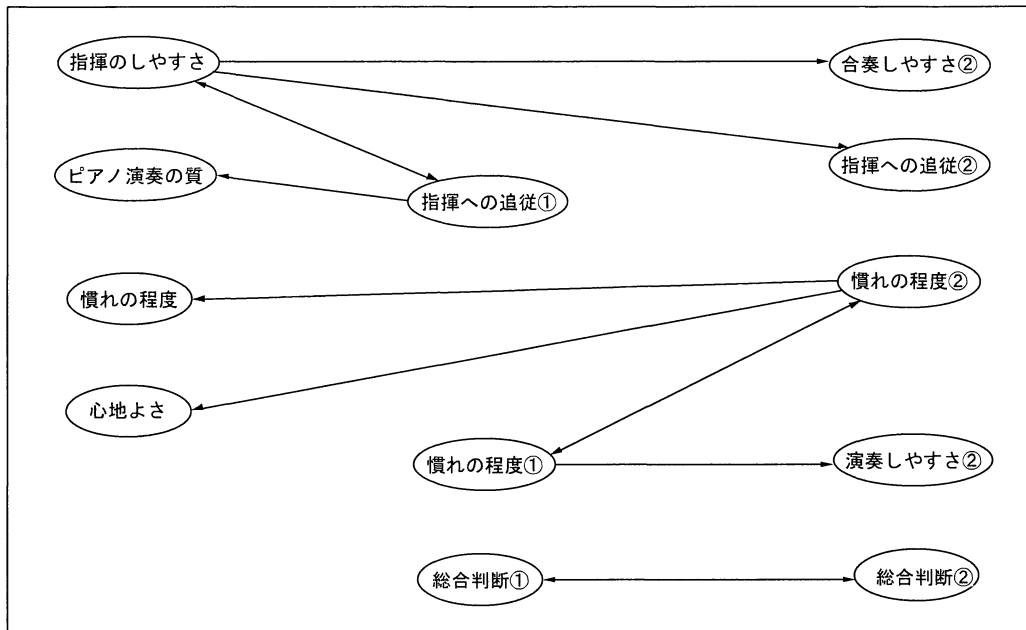


図 5.9.1 グループ I の分析結果

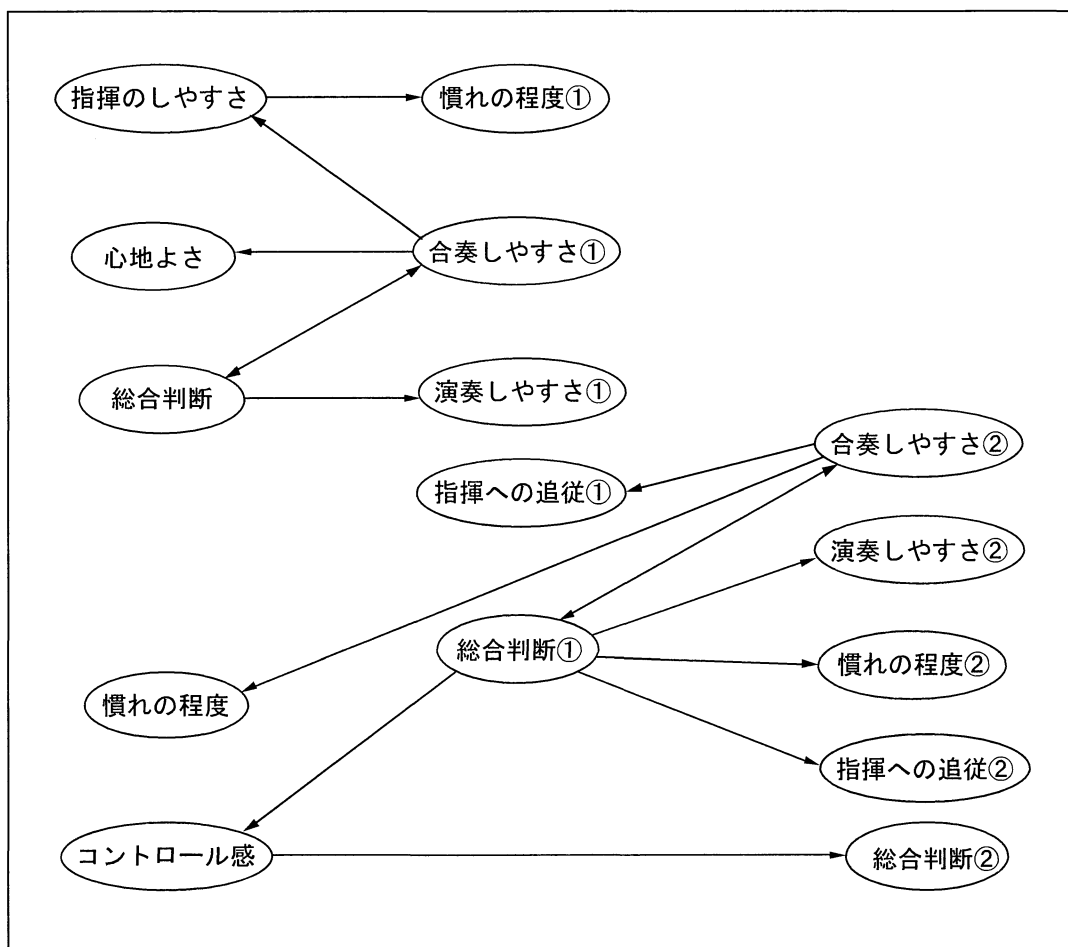


図 5.9.2 グループ II の分析結果

次に、これらの分析結果を検討しやすくするために表にまとめた。表 5.7 に指揮者別分析のまとめを、表 5.8 にグループ別分析のまとめを示す。なお、縦に親ノードを、横に子ノードを表すものとする。例えば、「心地よさ→指揮のしやすさ」というリンクは、全体のモデルで存在し、グループⅢの分析でも表れたということになる。

表 5.8 グループ別分析のまとめ

赤：グループⅠでの分析

青：グループⅡでの分析

緑：グループⅢでの分析

塗りつぶされたセル：全データによる分析

		指揮	P演奏	W演奏	コントロール	労力	心地よさ	慣れ	総合	演奏1	合奏1	追従1	慣れ1	総合1	演奏2	合奏2	追従2	慣れ2	総合2
親ノード 重大学大学院 工学研究科	指揮のしやすさ								○			○	○			○	○		
	ピアノ演奏の質			○ ○ ○												○	○		
	ウインドシンセ演奏の質		○ ○ ○																
	コントロール感						○												○
	労力					○													
	心地よさ		○		○	○		○	○ ○ ○										
	慣れの程度	○					○	○											
	総合判断	○			○	○	○	○			○			○					
	演奏しやすさ1										○		○	○					
	合奏しやすさ1	○					○		○			○							
	指揮への追従1	○	○									○							
	慣れの程度1									○ ○				○ ○ ○	○			○	
	総合判断1				○					○	○	○	○ ○		○	○	○	○	○
	演奏しやすさ2															○ ○ ○			
	合奏しやすさ2							○				○		○	○ ○		○ ○	○	○
	指揮への追従2																	○	
	慣れの程度2						○	○				○					○ ○		○ ○
	総合判断2													○	○			○	

表 5.7 指揮者別分析のまとめ

T : 指揮者 B K : 指揮者 E E : 指揮者 C M : 指揮者 D N : 指揮者 F t : 指揮者 G Y : 指揮者 A

塗りつぶされたセル：全データでの分析

		指揮	P演奏	W演奏	コントロール	労力	心地よさ	慣れ	総合	演奏1	合奏1	追従1	慣れ1	総合1	演奏2	合奏2	追従2	慣れ2	総合2
親ノード	指揮のしやすさ						t	M	Y	t	Y			Y					Y
	ピアノ演奏の質			T E Nt	t														
	ウィンドシンセ演奏の質		E Nt											E					
	コントロール感		M			E			M								K	E	E
	労力				E				T										
	心地よさ				TK	t		TK											
	慣れの程度	E	Y				TK E	Y	E N							E			
	総合判断	MNt		M	M	T	MN	E Nt		M	M		M		M	M			
	演奏しやすさ1										KE N Y		T	Y	M				
	合奏しやすさ1		M							KE			M						
	指揮への追従1																		
	慣れの程度1						M		M	T MN	Y	M		T E N Y				N	N
	総合判断1		E	E	E								E N						
	演奏しやすさ2					M		M								T EMN			E Y
	合奏しやすさ2	E													T EMNt		M t	E t	
	指揮への追従2				K											t			
	慣れの程度2		Y			E		E								Y			TK N
	総合判断2												N		Y		T N	TK N Y	

5.7 小括

様々な視点から指揮者の個性の検討を行ったが、明らかな傾向は現れなかった。今回は指揮者の個性のみに絞った分析を行ったが、演奏者の組み合わせやその日の体調、また被験者が実験に慣れていないことによる回答のブレなどその他の不安定要素と照らし合わせるにより、新たに傾向が見えてくる可能性はあるのではないと思われる。指揮者の被験者の数が少なかったことや、指揮者一人ひとりのサンプル数が少なかったことも傾向が現れなかった要因の一つかもしれない。ゆえに、今回の分析において指揮者別に分析をするのは妥当ではないと考え、図 4.13 のモデルを本研究の最終モデルと決定した。

第 6 章

モデルの検証

6.1 ベイジアンネットワークの確率推論

4.2 で説明したように、ベイジアンネットワークによってモデル化をすれば、一部の変数を観測したときのその他の任意の変数についての確率分布を求めることや、確率値が最も大きい状態をその変数の予測結果として得ることができる。ベイジアンネットワークによる確率推論は以下のような手順で行われる。

- ①観測された変数の値（エビデンス： e ）をノードにセットする。
- ②親ノードも観測値も持たないノードに事前確率分布を与える。
- ③知りたい対象の変数 X の事後確率 $P(X|e)$ を得る。

③における事後確率をもとめるために、変数間の局所計算を繰り返しながら確率をネットワーク中に伝搬することによって、各変数の確率分布を更新していく「確率伝搬法 (belief propagation)」と呼ばれる計算法が使われる。ここでは、単純な構造のもとでの計算の実行例を図 6.1 に示す。

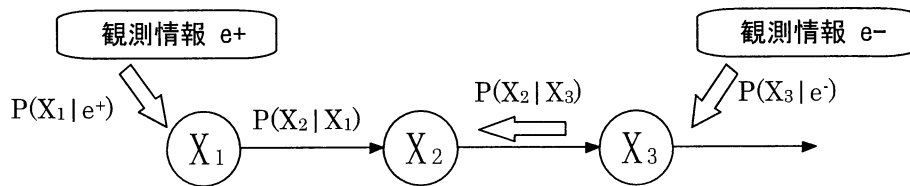


図 6.1 単純な構造での確率伝搬例

$X_1 \rightarrow X_2$ 、 $X_2 \rightarrow X_3$ の間に依存性があり、条件付確率があたえられているとする。 X_1 と X_3 にそれぞれ観測情報 e^+ 、 e^- が与えられたときの X_2 の事後確率 $P(X_2|e)$ は、 e を e^+ と e^- に分け、 X_2 と e^- に注目してベイズの定理を使うと、式(6.1)のようになる。

$$P(X_2|e) = P(X_2|e^+, e^-) = \frac{P(e^-|X_2, e^-)P(X_2|e^+)}{P(e^+|e^-)} \quad \dots \text{式(6.1)}$$

また、 e^+ と e^- は X_2 を固定した時には条件付独立になるので、 $\alpha = 1/P(e^-|e^+)$ を X_2 の値によらない正規化定数とすれば、式(6.2)のように変型できる。

$$P(X_2|e) = \alpha P(e^-|X_2)P(X_2|e^+) \quad \dots \text{式(6.2)}$$

このうち、 e^+ による X_2 への寄与分、つまり親ノードから伝搬する確率を $P(X_2|e^+)$ と書く。これは、 $P(X_1|e^+)$ と X_2 の条件付確率表を使って、式(6.3)によって求めることができる。

$$\pi(X_2) = \sum_{X_1} P(X_2|X_1) P(X_1|e^+) \quad \dots \text{式(6.3)}$$

$P(X_1|e^+)=\pi(X_1)$ は観測値が与えられているのであれば、その値のままとする。観測値が与えられず、さらに親ノードを持たない最上流ノードであるならば、事前確率を与える。その上流に親ノードを持つ場合には、式(6.2)を再帰的に適用していけば、最終的には最も上流にあるノードによってその値が求められる。

一方、式(6.2)の e による X_2 への寄与分、つまり子ノードから伝搬する確率を $P(e|X_2)=\lambda(X_2)$ とすると、これを計算するためには、すでに定義されている条件付き確率 $P(X_3|X_2)$ を使って式(6.4)を用いればよい。

$$\lambda(X_2) = \sum_{X_3} P(e^-|X_2, X_3) P(X_3|X_2) \quad \dots \text{式(6.4)}$$

観測から得られる情報 e が X_2 の値によらず独立であることを利用すると、これは式(6.5)のように書き直せる。

$$\lambda(X_2) = \sum_{X_3} P(e^-|X_3) P(X_3|X_2) \quad \dots \text{式(6.5)}$$

ここで、 $P(X_3|X_2)$ は条件付確率表として与えられており、 $P(e^-|X_3)=\lambda(X_3)$ は、観測情報が与えられているならば値が確定できる。また、観測値が与えられず、その下流に子ノードを持たない下端のノードの場合は、無情報であるから一様確率分布であるとして、 X_3 のすべての状態について等しい値とする。また、一般の構造のネットワークの場合、さらに下流の子ノードを持つならば、式(6.5)を再帰的に適用していけば、最終的には最も下流にあるノードによって値が求められるので、やはり $\lambda(X)$ を計算することが可能である。

したがって、式(6.3)と式(6.5)を式(6.2)に代入すれば、ノード X_2 の事後確率が求められる。同様に、式(6.6)によって任意のノードの事後確率も局所的に計算できる。

$$P(X_j|e) = \alpha \lambda(X_j) \pi(X_j) \quad \dots \text{式(6.6)}$$

6.2 交差検証法

6.2.1 検証手順

交差検証法とは、データ量が少ない場合に使われることの多いモデル検証手法であり、その検証手順は図 6.2 の通りである。まず、各ブロックに割り当てられる件数が同程度になるように元のデータを n 個のブロック (n の値は通常 10~20) に分割する。そして、一つ目のブロックをテストデータ、その他のブロックをトレーニングデータとして、モデルの構築と精度の算出を行う。次に二つ目のブロックをテストデータとし、その他のブロックをトレーニングデータとし、モデル構築を行う。このような手続きを n 回繰り返し、各回で算出された精度の平均を、モデルの推定精度とする。交差検証法を使うと、すべてのケースが一回はテストデータとして選ばれ、なおかつ見かけ上元データの $n-1$ 倍の件数のトレーニングデータを用いてモデルを構築したことになり、少ないデータであっても推定誤差が少なくなる。

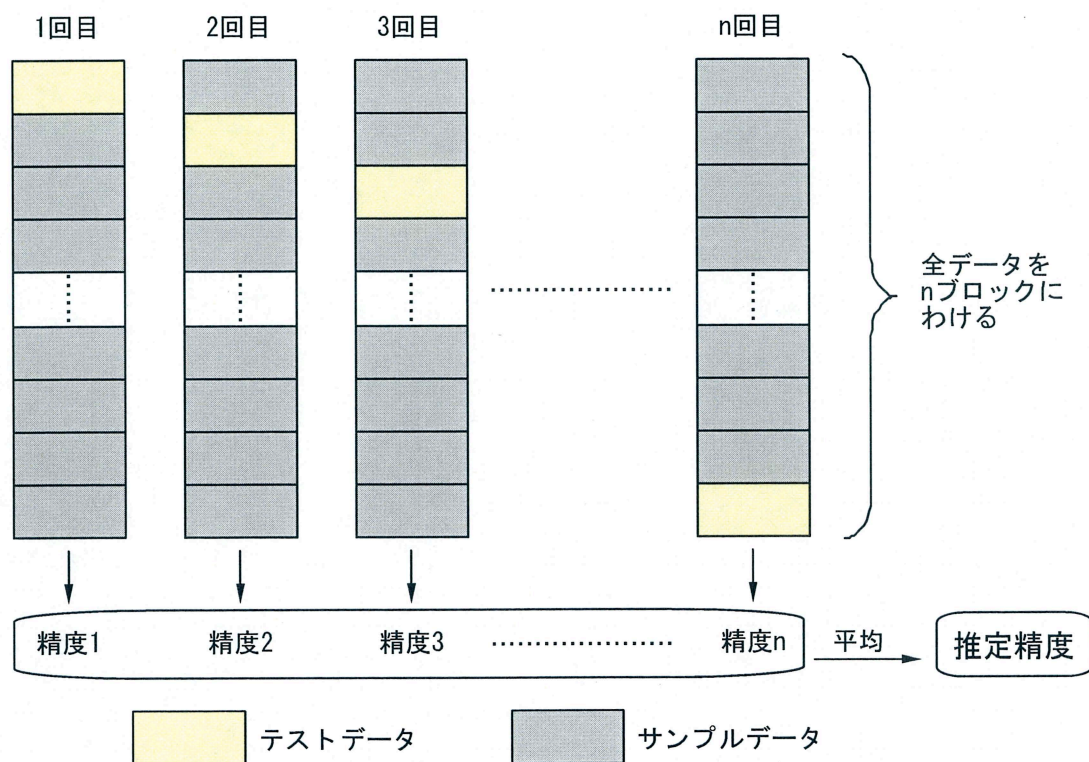


図 6.2 交差検証法の手順

6.2.2 検証結果

本研究ではモデル化に使用したデータを10ブロックに分割した。そして、各ブロックごとの予測正解率を算出する。設定した説明変数から算出された最も出現確率が高い目的変数の値（カテゴリ）が真の値（カテゴリ）と一致していた場合を「正解」と呼ぶものとする。

a) 目的変数を音響条件、説明変数を主観評価項目とした場合

表 6.1 にの各ブロック別分析結果を、表 6.2 に平均正解率を示す。

表 6.1 各ブロック別分析結果

ブロック1	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	28	11	0.393	1.615
	LPE	28	19	0.679	1.087
	C ₈₀	28	10	0.357	1.467
ブロック2	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	28	8	0.286	1.868
	LPE	28	18	0.643	1.010
	C ₈₀	28	8	0.286	1.719
ブロック3	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	28	9	0.321	1.674
	LPE	28	20	0.714	0.756
	C ₈₀	28	8	0.286	1.601
ブロック4	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	28	8	0.286	1.601
	LPE	28	22	0.786	0.772
	C ₈₀	28	9	0.321	1.454
ブロック5	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	28	8	0.286	1.643
	LPE	28	20	0.714	1.091
	C ₈₀	28	10	0.357	1.400
ブロック6	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	27	6	0.222	1.589
	LPE	27	18	0.667	0.918
	C ₈₀	27	11	0.407	1.434
ブロック7	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	27	9	0.333	1.527
	LPE	27	19	0.704	1.200
	C ₈₀	27	9	0.333	1.471
ブロック8	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	27	8	0.296	1.542
	LPE	27	20	0.741	0.898
	C ₈₀	27	7	0.259	1.476
ブロック9	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	26	9	0.346	1.510
	LPE	26	17	0.654	1.139
	C ₈₀	26	9	0.346	1.519
ブロック10	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	RT	25	12	0.480	1.279
	LPE	25	15	0.600	1.123
	C ₈₀	25	10	0.400	1.215

表 6.2 正解率の平均値

目的変数	正解率(%)
RT	32.5
LPE	69.0
C ₈₀	33.5
平均	45.0

RT、C₈₀ の正解率は 30%程度、LPE の正解率は 70%程度となった。目的変数である 3 項目は連続的な値であるが、モデルから得られた値が 1 カテゴリでもずれていれば不正解とされてしまうため、1 カテゴリのずれまでは正解としたときの分析を行った。表 6.3 に各ブロック別分析結果を、表 6.4 に正解率の平均値を示す

表 6.3 各ブロック別分析結果（許容誤差±1）

ブロック1	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	ブロック6	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	RT	28	18	0.64		RT	27	11	0.41
	LPE	28	21	0.75		LPE	27	20	0.74
	C80	28	21	0.75		C80	27	22	0.81
ブロック2	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	ブロック7	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	RT	28	17	0.61		RT	27	16	0.59
	LPE	28	20	0.71		LPE	27	22	0.81
	C80	28	19	0.68		C80	27	24	0.89
ブロック3	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	ブロック8	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	RT	28	14	0.50		RT	27	16	0.59
	LPE	28	21	0.75		LPE	27	26	0.96
	C80	28	20	0.71		C80	27	23	0.85
ブロック4	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	ブロック9	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	RT	28	17	0.61		RT	26	13	0.50
	LPE	28	23	0.82		LPE	26	20	0.77
	C80	28	23	0.82		C80	26	21	0.81
ブロック5	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	ブロック10	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	RT	28	15	0.54		RT	25	16	0.64
	LPE	28	21	0.75		LPE	25	18	0.72
	C80	28	23	0.82		C80	25	20	0.80

表 6.4 正解率の平均値（許容誤差 ± 1 ）

目的変数	正解率 (%)
RT	56.3
LPE	77.9
C ₈₀	79.5
平均	71.2

1 カテゴリーのずれを許容したとき、正解率は RT が約 55%、C80 と LPE が約 80%という結果となった。

b) 目的変数を主観評価項目、説明変数を音響条件とした場合

表 6.5 にの各ブロック別分析結果を、表 6.6 に平均正解率を示す。

表 6.5 各ブロック別分析結果

ブロック1	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	28	13	0.464	1.435
	コントロール感	28	10	0.357	1.748
	ピアノ演奏の質	28	11	0.393	1.583
	演奏しやすさ1	28	7	0.250	1.757
	演奏しやすさ2	28	8	0.286	1.842
	慣れの程度	28	5	0.179	1.866
	慣れの程度1	28	14	0.500	1.608
	慣れの程度2	28	11	0.393	1.766
	合奏しやすさ1	28	8	0.286	1.813
	合奏しやすさ2	28	10	0.357	1.731
	指揮のしやすさ	28	4	0.143	1.666
	指揮への追従1	28	7	0.250	1.803
	指揮への追従2	28	11	0.393	1.771
	心地よさ	28	5	0.179	1.848
ブロック6	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	28	10	0.357	1.560
	コントロール感	28	7	0.250	1.770
	ピアノ演奏の質	28	12	0.429	1.785
	演奏しやすさ1	28	7	0.250	1.826
	演奏しやすさ2	28	8	0.286	1.842
	慣れの程度	28	8	0.286	1.847
	慣れの程度1	28	5	0.179	1.762
	慣れの程度2	28	9	0.321	1.628
	合奏しやすさ1	28	7	0.250	1.855
	合奏しやすさ2	28	9	0.321	1.809
	指揮のしやすさ	28	6	0.214	1.742
	指揮への追従1	28	7	0.250	1.809
	指揮への追従2	28	6	0.214	1.838
	心地よさ	28	8	0.286	1.852
ブロック2	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	28	7	0.250	1.513
	コントロール感	28	10	0.357	1.737
	ピアノ演奏の質	28	10	0.357	1.700
	演奏しやすさ1	28	10	0.357	1.798
	演奏しやすさ2	28	9	0.321	1.878
	慣れの程度	28	10	0.357	1.810
	慣れの程度1	28	11	0.393	1.698
	慣れの程度2	28	9	0.321	1.764
	合奏しやすさ1	28	10	0.357	1.829
	合奏しやすさ2	28	8	0.286	1.794
	指揮のしやすさ	28	8	0.286	1.763
	指揮への追従1	28	13	0.464	1.734
	指揮への追従2	28	6	0.214	1.815
	心地よさ	28	9	0.321	1.817
ブロック7	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	28	11	0.393	1.484
	コントロール感	28	11	0.393	1.578
	ピアノ演奏の質	28	12	0.429	1.410
	演奏しやすさ1	28	10	0.357	1.792
	演奏しやすさ2	28	8	0.286	1.848
	慣れの程度	28	5	0.179	1.856
	慣れの程度1	28	9	0.321	1.720
	慣れの程度2	28	6	0.214	1.826
	合奏しやすさ1	28	6	0.214	1.879
	合奏しやすさ2	28	13	0.464	1.768
	指揮のしやすさ	28	7	0.250	1.745
	指揮への追従1	28	10	0.357	1.792
	指揮への追従2	28	10	0.357	1.743
	心地よさ	28	7	0.250	1.830
ブロック3	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	28	7	0.250	1.588
	コントロール感	28	6	0.214	1.882
	ピアノ演奏の質	28	10	0.357	1.696
	演奏しやすさ1	28	9	0.321	1.769
	演奏しやすさ2	28	8	0.286	1.864
	慣れの程度	28	8	0.286	1.875
	慣れの程度1	28	12	0.429	1.673
	慣れの程度2	28	8	0.286	1.744
	合奏しやすさ1	28	10	0.357	1.846
	合奏しやすさ2	28	11	0.393	1.757
	指揮のしやすさ	28	9	0.321	1.569
	指揮への追従1	28	8	0.286	1.795
	指揮への追従2	28	9	0.321	1.815
	心地よさ	28	3	0.107	1.938
ブロック8	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	27	9	0.333	1.471
	コントロール感	27	8	0.296	1.767
	ピアノ演奏の質	27	10	0.370	1.588
	演奏しやすさ1	27	9	0.333	1.767
	演奏しやすさ2	27	7	0.259	1.849
	慣れの程度	27	11	0.407	1.829
	慣れの程度1	27	9	0.333	1.746
	慣れの程度2	27	6	0.222	1.813
	合奏しやすさ1	27	6	0.222	1.875
	合奏しやすさ2	27	10	0.370	1.748
	指揮のしやすさ	27	4	0.148	2.036
	指揮への追従1	27	9	0.333	1.741
	指揮への追従2	27	12	0.444	1.787
	心地よさ	27	11	0.407	1.809
ブロック4	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	28	12	0.429	1.458
	コントロール感	28	4	0.143	1.841
	ピアノ演奏の質	28	11	0.393	1.660
	演奏しやすさ1	28	8	0.286	1.823
	演奏しやすさ2	28	11	0.393	1.839
	慣れの程度	28	10	0.357	1.840
	慣れの程度1	28	8	0.286	1.770
	慣れの程度2	28	5	0.179	1.847
	合奏しやすさ1	28	9	0.321	1.841
	合奏しやすさ2	28	8	0.286	1.852
	指揮のしやすさ	28	11	0.393	1.641
	指揮への追従1	28	10	0.357	1.777
	指揮への追従2	28	8	0.286	1.806
	心地よさ	28	9	0.321	1.841
ブロック9	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	26	9	0.346	1.771
	コントロール感	26	9	0.346	1.784
	ピアノ演奏の質	26	9	0.346	1.606
	演奏しやすさ1	26	4	0.154	1.818
	演奏しやすさ2	26	5	0.192	1.844
	慣れの程度	26	8	0.308	1.844
	慣れの程度1	26	10	0.385	1.728
	慣れの程度2	26	9	0.346	1.780
	合奏しやすさ1	26	4	0.154	1.843
	合奏しやすさ2	26	8	0.308	1.859
	指揮のしやすさ	26	6	0.231	1.954
	指揮への追従1	26	11	0.423	1.768
	指揮への追従2	26	8	0.308	1.791
	心地よさ	26	4	0.154	1.866
ブロック5	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	28	10	0.357	1.453
	コントロール感	28	12	0.429	1.750
	ピアノ演奏の質	28	10	0.357	1.497
	演奏しやすさ1	28	4	0.143	1.795
	演奏しやすさ2	28	6	0.214	1.867
	慣れの程度	28	3	0.107	1.880
	慣れの程度1	28	10	0.357	1.705
	慣れの程度2	28	9	0.321	1.795
	合奏しやすさ1	28	10	0.357	1.820
	合奏しやすさ2	28	9	0.321	1.807
	指揮のしやすさ	28	4	0.143	1.842
	指揮への追従1	28	10	0.357	1.739
	指揮への追従2	28	10	0.357	1.780
	心地よさ	28	9	0.321	1.839
ブロック10	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率	平均対数尤度
	ウィンドシンセ演奏の質	26	6	0.231	1.680
	コントロール感	26	9	0.346	1.755
	ピアノ演奏の質	26	8	0.308	1.603
	演奏しやすさ1	26	6	0.231	1.794
	演奏しやすさ2	26	9	0.346	1.852
	慣れの程度	26	3	0.115	1.874
	慣れの程度1	26	11	0.423	1.693
	慣れの程度2	26	4	0.154	1.753
	合奏しやすさ1	26	5	0.192	1.901
	合奏しやすさ2	26	10	0.385	1.566
	指揮のしやすさ	26	9	0.346	1.657
	指揮への追従1	26	5	0.192	1.840
	指揮への追従2	26	8	0.308	1.797
	心地よさ	26	6	0.231	1.859

表 6.6 正解率の平均値

目的変数	正解率 (%)
ウィンドシンセ演奏の質	34.10
コントロール感	31.32
ピアノ演奏の質	37.39
演奏しやすさ1	26.82
演奏しやすさ2	28.69
慣れの程度	25.80
慣れの程度1	36.05
慣れの程度2	27.58
合奏しやすさ1	27.11
合奏しやすさ2	34.91
指揮のしやすさ	24.75
指揮への追従1	32.70
指揮への追従2	32.03
心地よさ	25.78
総合判断	20.01
総合判断1	28.05
総合判断2	24.71
労力	30.93
平均	29.37

どの項目も正解率は 30%程度となった。主観評価項目についても、連続的な値であるため、1 カテゴリまでを許容したときの分析をおこなった。表 6.7 に各ブロック別分析結果を、表 6.8 に正解率の平均値を示す

表 6.7 各ブロック別分析結果（許容誤差±1）

ブロック1	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	24	0.857
	コントロール感	28	18	0.643
	ピアノ演奏の質	28	20	0.714
	演奏しやすさ1	28	13	0.464
	演奏しやすさ2	28	16	0.571
	慣れの程度	28	17	0.607
	慣れの程度1	28	21	0.750
	慣れの程度2	28	17	0.607
	合奏しやすさ1	28	20	0.714
	合奏しやすさ2	28	22	0.786
	指揮のしやすさ	28	21	0.750
	指揮への追従1	28	21	0.750
	指揮への追従2	28	23	0.821
	心地よさ	28	13	0.464
	総合判断	28	14	0.500
ブロック2	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	24	0.857
	コントロール感	28	19	0.679
	ピアノ演奏の質	28	22	0.786
	演奏しやすさ1	28	18	0.643
	演奏しやすさ2	28	17	0.607
	慣れの程度	28	15	0.536
	慣れの程度1	28	20	0.714
	慣れの程度2	28	17	0.607
	合奏しやすさ1	28	18	0.643
	合奏しやすさ2	28	15	0.536
	指揮のしやすさ	28	19	0.679
	指揮への追従1	28	19	0.679
	指揮への追従2	28	16	0.571
	心地よさ	28	16	0.571
	総合判断	28	19	0.679
ブロック3	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	20	0.714
	コントロール感	28	14	0.500
	ピアノ演奏の質	28	19	0.679
	演奏しやすさ1	28	19	0.679
	演奏しやすさ2	28	21	0.750
	慣れの程度	28	15	0.536
	慣れの程度1	28	18	0.643
	慣れの程度2	28	15	0.536
	合奏しやすさ1	28	17	0.607
	合奏しやすさ2	28	21	0.750
	指揮のしやすさ	28	18	0.643
	指揮への追従1	28	15	0.536
	指揮への追従2	28	16	0.571
	心地よさ	28	13	0.464
	総合判断	28	17	0.607
ブロック4	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	25	0.893
	コントロール感	28	14	0.500
	ピアノ演奏の質	28	22	0.786
	演奏しやすさ1	28	13	0.464
	演奏しやすさ2	28	19	0.679
	慣れの程度	28	19	0.679
	慣れの程度1	28	18	0.643
	慣れの程度2	28	14	0.500
	合奏しやすさ1	28	17	0.607
	合奏しやすさ2	28	18	0.643
	指揮のしやすさ	28	21	0.750
	指揮への追従1	28	20	0.714
	指揮への追従2	28	19	0.679
	心地よさ	28	20	0.714
	総合判断	28	14	0.500
ブロック5	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	24	0.857
	コントロール感	28	23	0.821
	ピアノ演奏の質	28	20	0.714
	演奏しやすさ1	28	12	0.429
	演奏しやすさ2	28	15	0.536
	慣れの程度	28	13	0.464
	慣れの程度1	28	21	0.750
	慣れの程度2	28	16	0.571
	合奏しやすさ1	28	16	0.571
	合奏しやすさ2	28	20	0.714
	指揮のしやすさ	28	17	0.607
	指揮への追従1	28	23	0.821
	指揮への追従2	28	15	0.536
	心地よさ	28	17	0.607
	総合判断	28	15	0.536
ブロック6	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	22	0.786
	コントロール感	28	17	0.607
	ピアノ演奏の質	28	18	0.643
	演奏しやすさ1	28	17	0.607
	演奏しやすさ2	28	18	0.643
	慣れの程度	28	17	0.607
	慣れの程度1	28	16	0.571
	慣れの程度2	28	17	0.607
	合奏しやすさ1	28	14	0.500
	合奏しやすさ2	28	19	0.679
	指揮のしやすさ	28	19	0.679
	指揮への追従1	28	17	0.607
	指揮への追従2	28	15	0.536
	心地よさ	28	17	0.607
	総合判断	28	20	0.714
ブロック7	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	25	0.893
	コントロール感	28	22	0.786
	ピアノ演奏の質	28	24	0.857
	演奏しやすさ1	28	18	0.643
	演奏しやすさ2	28	16	0.571
	慣れの程度	28	12	0.429
	慣れの程度1	28	16	0.571
	慣れの程度2	28	16	0.571
	合奏しやすさ1	28	14	0.500
	合奏しやすさ2	28	21	0.750
	指揮のしやすさ	28	21	0.750
	指揮への追従1	28	17	0.607
	指揮への追従2	28	17	0.607
	心地よさ	28	13	0.464
	総合判断	28	12	0.429
ブロック8	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	25	0.893
	コントロール感	28	18	0.643
	ピアノ演奏の質	28	22	0.786
	演奏しやすさ1	28	18	0.643
	演奏しやすさ2	28	16	0.571
	慣れの程度	28	20	0.714
	慣れの程度1	28	16	0.571
	慣れの程度2	28	15	0.536
	合奏しやすさ1	28	18	0.643
	合奏しやすさ2	28	19	0.679
	指揮のしやすさ	28	15	0.536
	指揮への追従1	28	20	0.714
	指揮への追従2	28	23	0.821
	心地よさ	28	19	0.679
	総合判断	28	19	0.679
ブロック9	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	18	0.643
	コントロール感	28	18	0.643
	ピアノ演奏の質	28	20	0.714
	演奏しやすさ1	28	16	0.571
	演奏しやすさ2	28	17	0.607
	慣れの程度	28	14	0.500
	慣れの程度1	28	18	0.643
	慣れの程度2	28	16	0.571
	合奏しやすさ1	28	15	0.536
	合奏しやすさ2	28	17	0.607
	指揮のしやすさ	28	14	0.500
	指揮への追従1	28	15	0.536
	指揮への追従2	28	19	0.679
	心地よさ	28	14	0.500
	総合判断	28	13	0.464
ブロック10	目的変数	検証データ数	正解データ数	正解率
	ウィンドシンセ演奏の質	28	18	0.643
	コントロール感	28	19	0.679
	ピアノ演奏の質	28	17	0.607
	演奏しやすさ1	28	14	0.500
	演奏しやすさ2	28	20	0.714
	慣れの程度	28	13	0.464
	慣れの程度1	28	22	0.786
	慣れの程度2	28	10	0.357
	合奏しやすさ1	28	17	0.607
	合奏しやすさ2	28	19	0.679
	指揮のしやすさ	28	22	0.786
	指揮への追従1	28	17	0.607
	指揮への追従2	28	19	0.679
	心地よさ	28	15	0.536
	総合判断	28	13	0.464

表 6.8 正解率の平均値（許容誤差±1）

目的変数	正解率(%)
ウィンドシンセ演奏の質	80.36
コントロール感	65.00
ピアノ演奏の質	72.86
演奏しやすさ1	56.43
演奏しやすさ2	62.50
慣れの程度	55.36
慣れの程度1	66.43
慣れの程度2	54.64
合奏しやすさ1	59.29
合奏しやすさ2	68.21
指揮のしやすさ	66.79
指揮への追従1	65.71
指揮への追従2	65.00
心地よさ	56.07
総合判断	55.71
総合判断1	54.29
総合判断2	60.00
労力	67.14
平均	62.88

主観評価項目において 1 カテゴリーのズレで予測できていれば十分ではないと思われるが、正解率は 60%程度と若干低めであった。

6.3 実験による検証

6.3.1 検証手順

交差検証法により、モデル化に使用したデータを用いた検証を行ったが、それに加え新たな実験により採取したによる検証を行った。正解率の計算方法については交差検証法と同じである。

6.3.2 検証結果

a) 目的変数を音響条件、説明変数を主観評価項目とした場合

表 6.9 に各音響条件の正解率を、図 6.3 に許容誤差による正解率の変動を示す。棒グラフが各許容誤差であらたに正解した数であり、左縦軸が正解数、横軸が許容誤差である。折れ線グラフは各許容誤差での正解率であり、右縦軸が成果率、横軸が許容誤差である。誤差を許容しない時の RT、C80 の正解率は 30%前後、LPE の正解率は約 60%という結果となった。1 カテゴリーの誤差を許容すれば正解率 70%前後となり、高い値を示す結果となった。

表 6.9 各音響条件の正解率(a)

許容誤差	正解率(%)		
	RT	C80	LPE
0	25	33	63
1	75	79	63
2	88	92	63
3	100	100	63
4	100	100	63
5	100	100	100
6	100	100	100

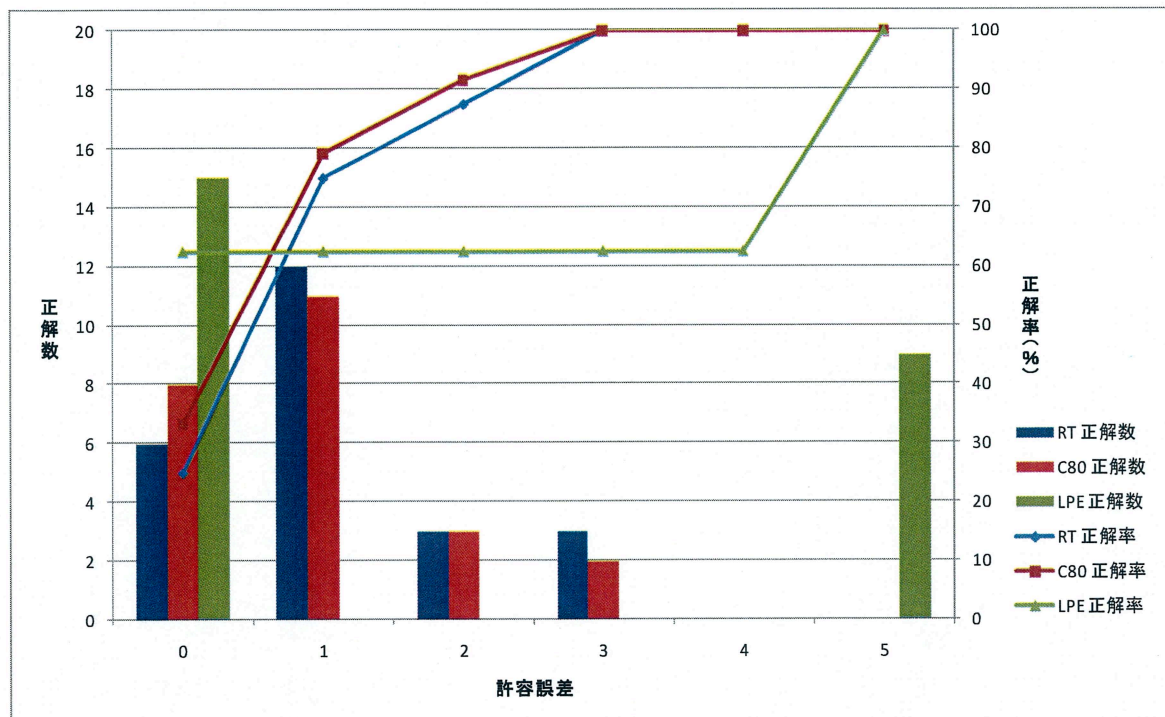


図 6.3 許容誤差による正解率の変動(a)

b) 目的変数を指揮者の主観評価項目、説明変数を音響条件とした場合

表 6.10 に音響条件を説明変数にした場合の指揮者の主観評価項目の正解率を、図 6.4 に許容誤差による正解率の変動を示す。誤差を許容しない時の正解率は 10%前後～50%前後となりかなり幅が広い結果となった。1 カテゴリーの誤差を許容すれば、ほとんどの項目は正解率 60%前後となり、比較的高い値を示す結果となった。

表 6.10 各主観評価項目の正解率(b)

許容誤差	正解率(%)							
	指揮のしやすさ	心地よさ	コントロール感	慣れの程度	ピアノ演奏の質	ウィンドシンセ演奏の質	労力	総合判断
0	17	50	46	33	8	21	25	38
1	42	88	58	71	67	83	50	71
2	71	100	75	100	100	96	67	92
3	88	100	96	100	100	100	100	100
4	96	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100

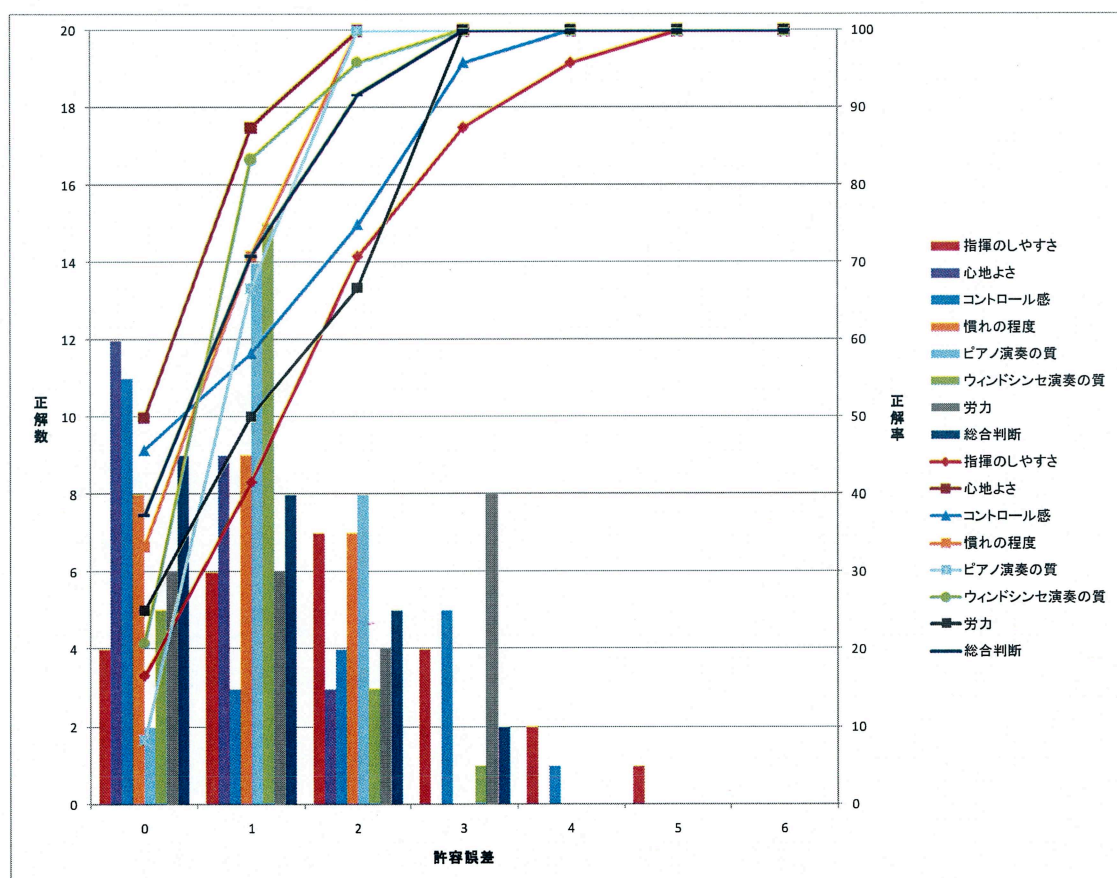


図 6.4 許容誤差による正解率の変動(b)

c) 目的変数を演奏者の主観評価項目、説明変数を音響条件とした場合

表 6.11 に音響条件を説明変数にした場合の指揮者の主観評価項目の正解率を、図 6.5 に許容誤差による正解率の変動を示す。誤差を許容しない時の正解率は 10%前後～50%前後となりかなり幅が広い結果となった。1 カテゴリーの誤差を許容すれば、ほとんどの項目は正解率 60%前後となり、比較的高い値を示す結果となった。誤差を許容しない場合、1 カテゴリーの誤差を許容した場合共に指揮者の分析結果と似た傾向を示しているが、指揮者の項目よりも若干正解率が低い結果となった。

表 6.11 各主観評価項目の正解率(c)

許容誤差	正解率									
	演奏しやすさ1	指揮への追従1	合奏しやすさ1	慣れの程度1	総合判断1	演奏しやすさ2	指揮への追従2	合奏しやすさ2	慣れの程度2	総合判断2
0	17	29	21	21	46	21	46	13	29	21
1	42	50	42	42	67	42	75	33	33	54
2	75	83	79	79	88	67	92	63	54	75
3	92	100	92	88	96	71	100	75	71	100
4	96	100	100	92	100	100	100	96	100	100
5	100	100	100	92	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

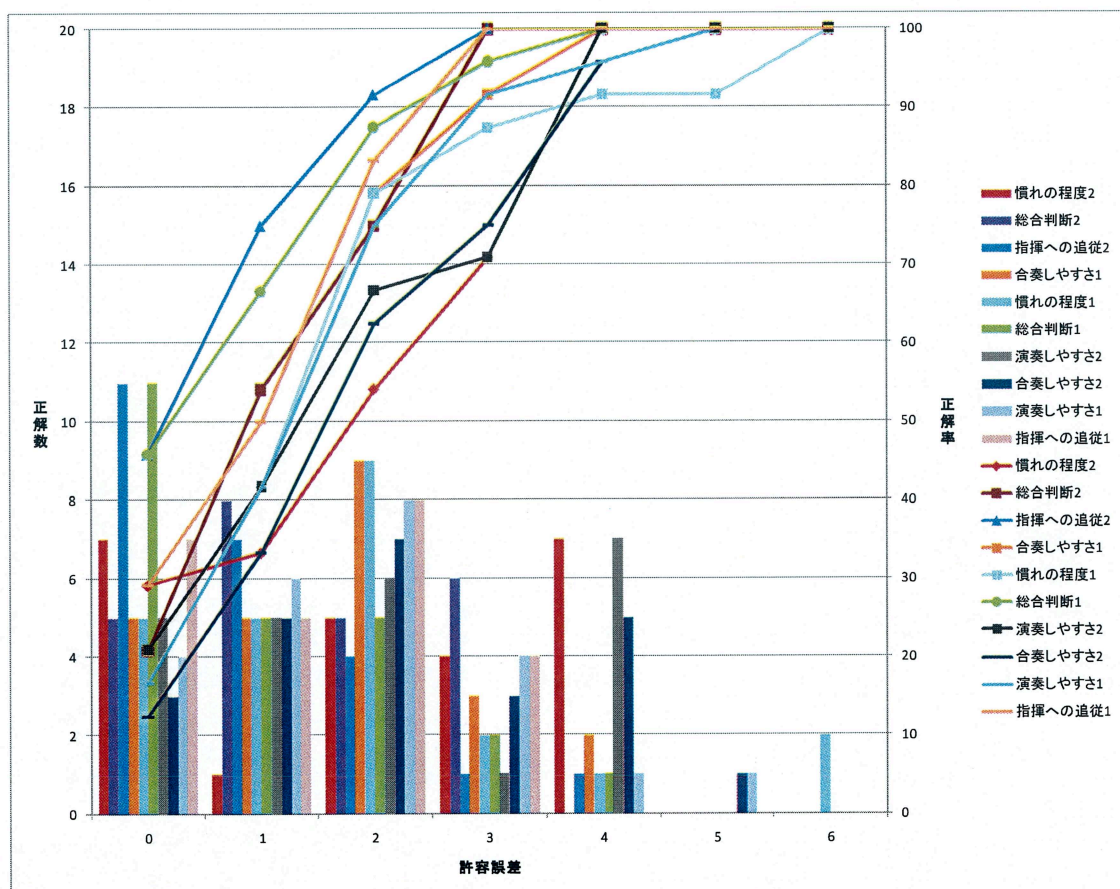


図 6.5 許容誤差による正解率の変動(c)

6.3.3 モデルの改善による正解率の変化

第4章では主観評価項目を選定したモデル化と、全主観評価項目を使用した分析を行ったが、2通りの分析で得られたモデルの精度の比較を行った。図4.7のモデル（以下、簡易モデル）と図4.13のモデル（以下、最終モデル）の両モデルにおいて、各主観評価項目を説明変数、音響条件を目的変数に設定した場合の正解率の比較を行った。その結果を図6.6に示す。どの音響条件に関しても最終モデルの正解率が簡易モデルの正解率を上回っており、モデルの構築手法の改善により予測性能が向上したと言える。

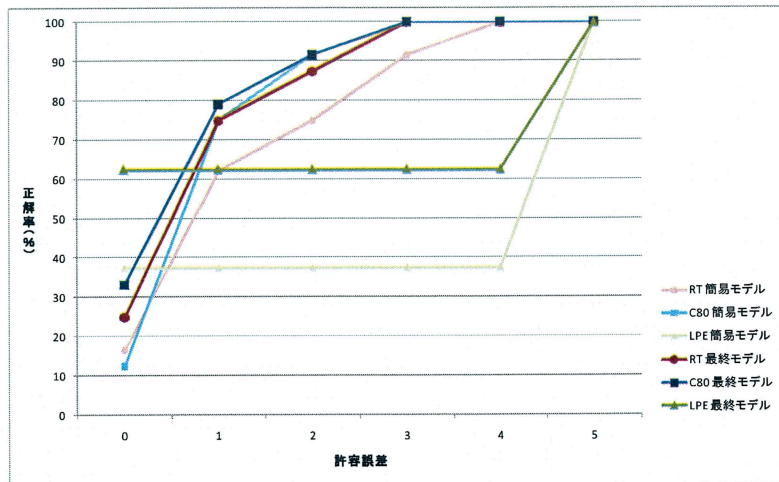


図 6.6 選定モデルと最終モデルの比較

次に、本モデルによる予測が単純な確率推論よりも優れているかどうかを確認するため、各音響条件がすべての主観評価項目に直接影響するだけのモデル（以下、単純モデル）を作成し、最終モデルと正解率を比較した。その結果を図6.7に示す。どの音響条件に関しても最終モデルの正解率が単純モデルの正解率を上回っており、モデルの構造を組み替えることで予測性能が向上したと言える。

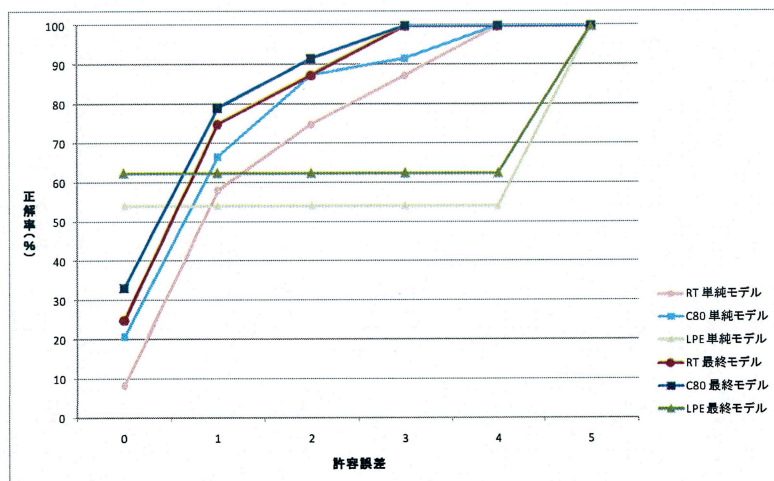


図 6.7 単純モデルと最終モデルの比較

6.4 小括

交差検証、実験での検証からは正解率が 30%前後、1 カテゴリーの誤差を許容したとしても 60～80%程となった。モデル作成に使用したトレーニングデータの主観評価値をテストデータとしてインプットしたときの音響条件の正解率が 50%前後であることや、一般的にベイジアンネットワークが使用されているユーザー適応型カーナビの正解率が 40%前後であることをふまえると、この値は決して低い値ではないと思われる。さらに、モデルの改善によりモデルの精度は確実に良くなってきているので、さらなる改善により予測精度は上げられるのではないかとと思われる。

しかし、音響条件を離散化して扱っており、正解したとしてもカテゴリ内での誤差があるため、離散幅を狭くする、又は連続値のまま扱う方法を検討する等、更に精密な検討が必要である。

第 7 章

最適音響条件の算出

7.1 分析方法

第 6 章での検証より、最終モデルが最も正確に音響条件と指揮者・演奏者の関係性を表していることが明らかになった。そこで、最終モデルを用いてオーケストラ演奏に最適な音響条件を算出した。分析の手順として、まず指揮者・演奏者の全主観評価項目に最高値(+3)をインプットする。計算を実行する前に、目的変数である音響条件の事前確率分布を一様にする。その後、各音響条件の確率分布を得る。

7.2 分析結果

図 7.1 に RT の計算結果を、図 7.2 に C80 の計算結果を、図 7.3 に LPE の計算結果を示す。横軸が各音響条件のカテゴリ、縦軸が予測確率であり、予測確率の値が大きいカテゴリほど、最適である可能性が高いといえる。どの音響条件・カテゴリに関しても予測確率は 15%～25%ほどとなり、低い値を示した。これは、被験者がほとんど+3 に回答していない（主に-2～+3 の範囲で回答している）からではないかと思われる。表 7.1 に指揮者の主観評価項目の各評価値回答回数を、表 7.2 に演奏者の主観評価項目の各評価値回答回数を示す。指揮者・演奏者共に+3 に回答した割合は 3%前後とかなり少ないことが分かる。そこで、被験者の主観評価項目に関して+2 も最高評価値とみなして再計算した。図 7.4 に RT の再計算結果を、図 7.5 に C80 の再計算結果を、図 7.6 に LPE の再計算結果を示す。この場合は好ましいカテゴリとそうでないカテゴリが比較的明確に現れた。今回はこの結果を採用し、「被験者が各主観評価項目に対して+2 以上と回答した場合の音響条件」を最適音響条件とする。

表 7.1 指揮者の主観評価項目の各評価値回答回数

	指揮のしやすさ	ピアノ演奏の質	ウインドシンセ演奏の質	コントロール感	労力	心地よさ	慣れの程度	総合判断	合計	全回答に対する割合(%)
3	9	13	6	15	14	5	7	4	73	3.3
2	52	42	43	44	56	42	38	42	359	16.3
1	71	71	72	86	90	58	60	62	570	25.9
0	41	105	109	49	34	47	33	58	476	21.6
-1	51	29	40	56	45	71	71	64	427	19.4
-2	33	12	5	24	27	34	42	36	213	9.7
-3	18	3	0	1	9	18	24	9	82	3.7

表 7.2 演奏者の主観評価項目の各評価値回答回数

	演奏しやすさ①	合奏しやすさ①	指揮への追従①	慣れの程度①	総合判断①	演奏しやすさ②	合奏しやすさ②	指揮への追従②	慣れの程度②	総合判断②	合計	全回答に対する割合(%)
3	16	13	7	3	3	10	1	12	1	2	68	2.5
2	53	55	51	44	43	70	67	39	31	36	489	17.8
1	59	59	90	66	56	68	81	89	71	61	700	25.5
0	9	26	35	12	35	20	24	45	21	45	272	9.9
-1	61	45	49	60	77	51	53	63	77	69	605	22.0
-2	42	42	18	56	37	42	35	21	51	51	395	14.4
-3	35	35	25	34	24	14	14	6	23	11	221	8.0

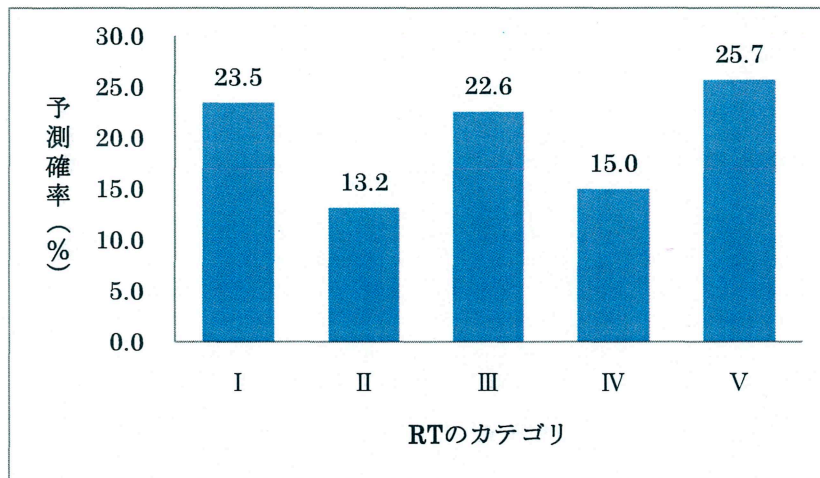


図 7.1 RT の計算結果

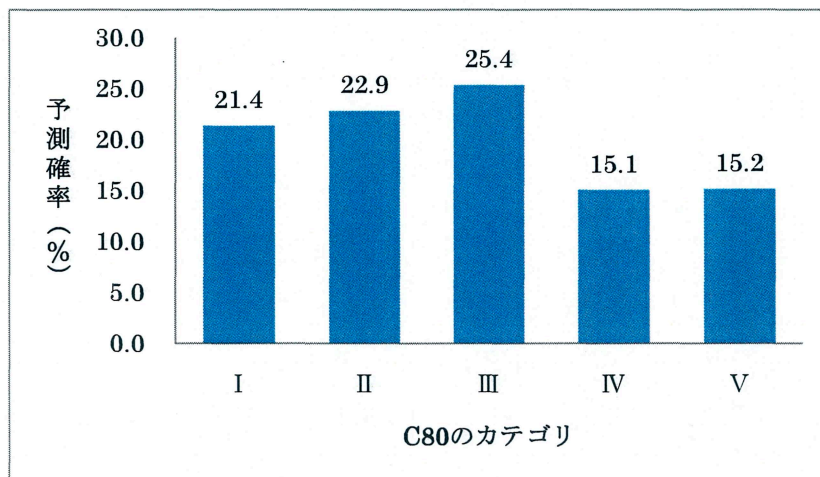


図 7.2 C80 の計算結果

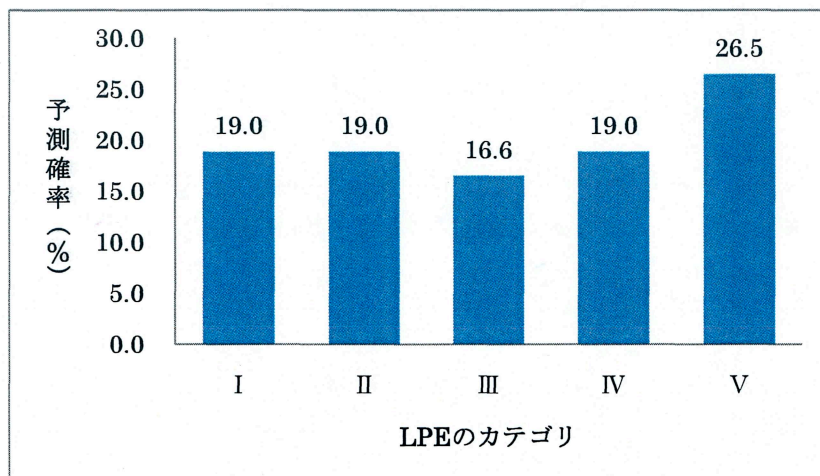


図 7.3 LPE の計算結果

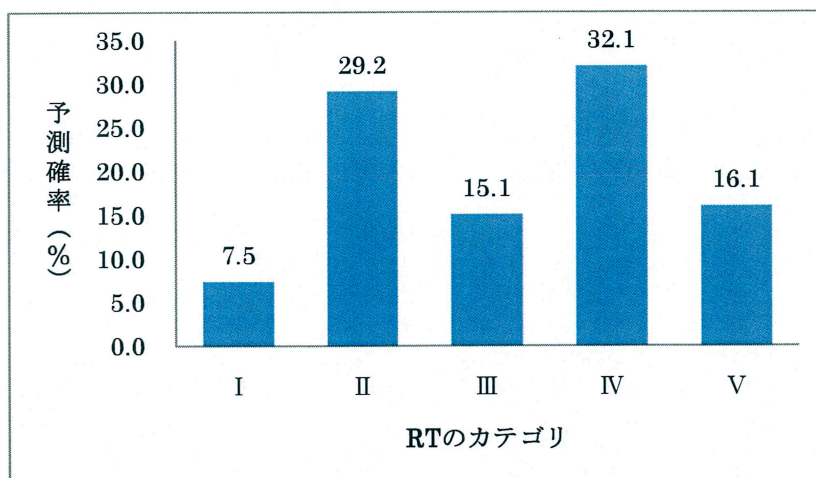


図 7.4 RT の再計算結果

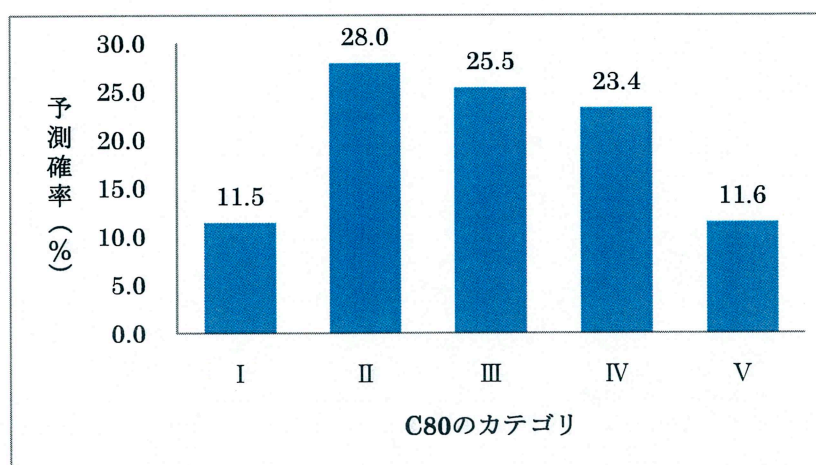


図 7.5 C80 の再計算結果

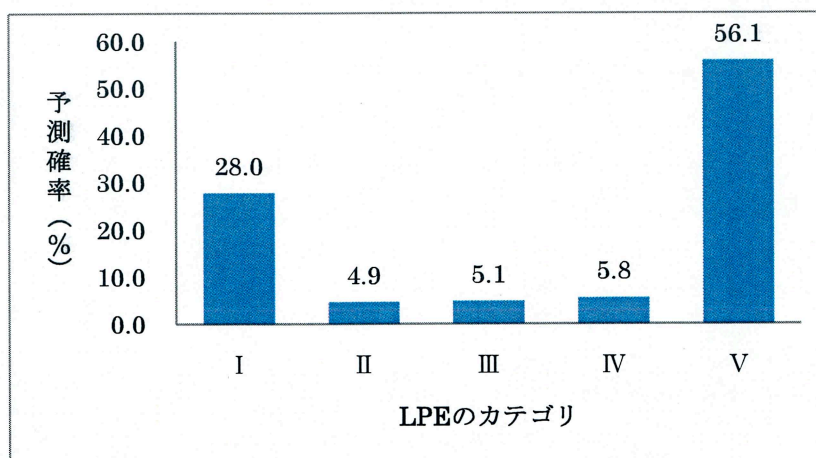


図 7.6 LPE の再計算結果

図 7.6 より LPE に関してはカテゴリ V がもっとも好ましいといえる。つまり、LPE は遅れ時間が小さく、よりレベルが低い方が好ましいということである。

図 7.4・図 7.5 より、RT はカテゴリ II とカテゴリ IV、C80 はカテゴリ II～IV の予測確率が高い値を示している。これだけでは最適音響条件を決定できないので、全主観評価項目に最高値を、C80 にカテゴリ II～IV をインプットして再計算した。その結果を図 7.7-図 7.9 に示す。

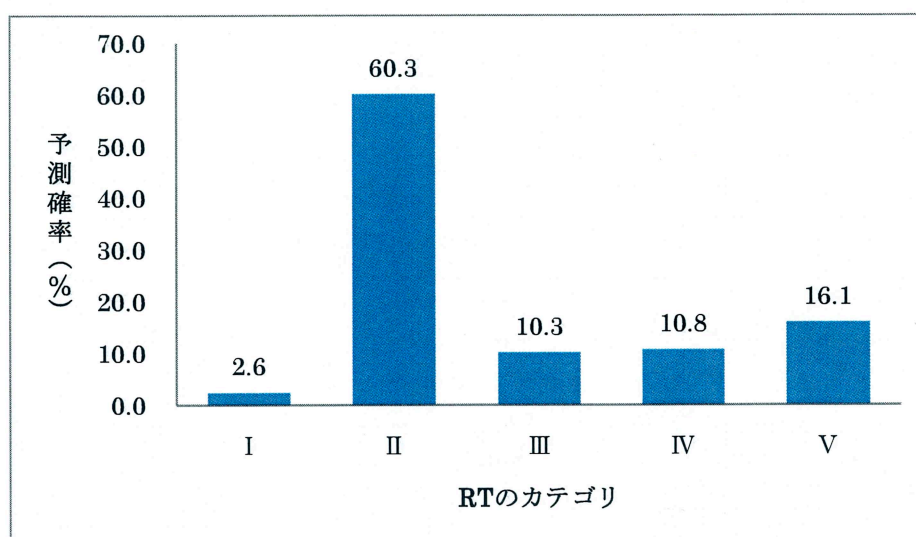


図 7.7 C80 のカテゴリを II とした時の計算結果

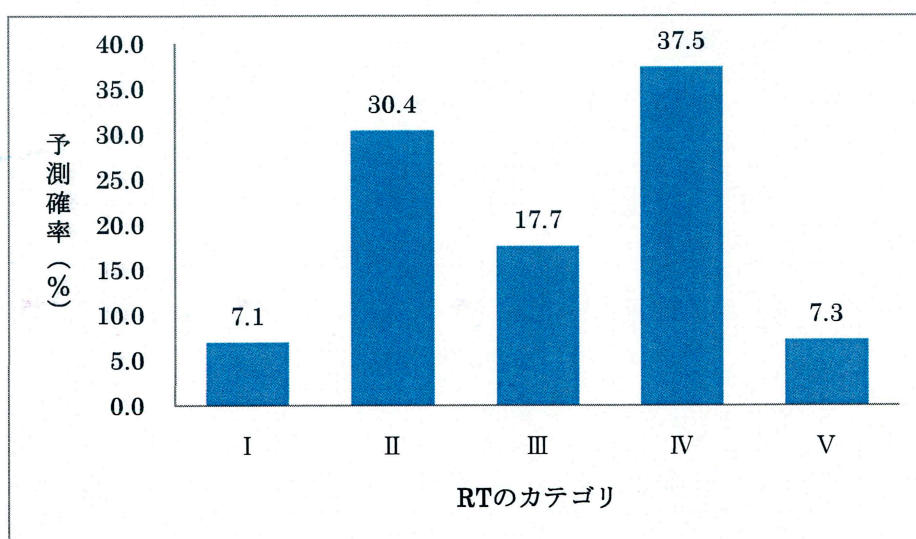


図 7.8 C80 のカテゴリを III とした時の計算結果

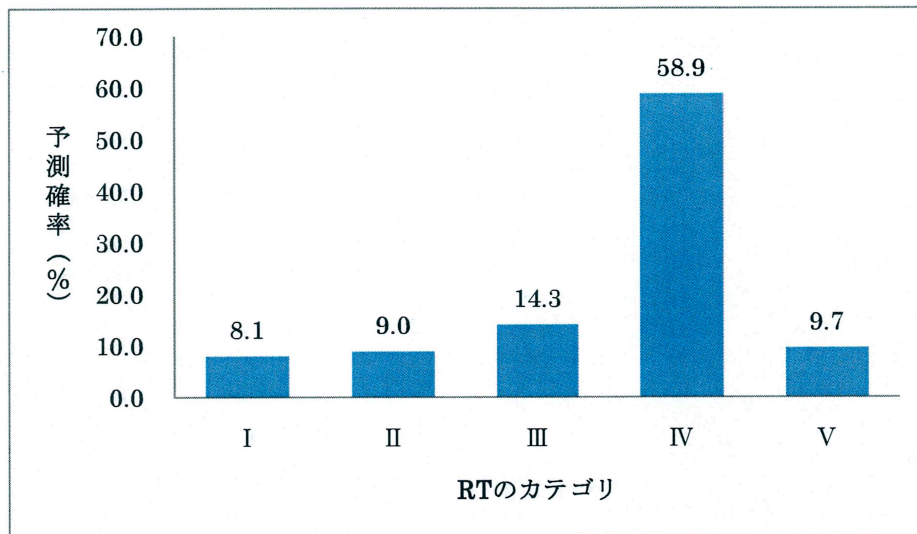


図 7.9 C80 のカテゴリをIVとした時の計算結果

これらの結果より、RT、C80、LPE の最適な組み合わせは、(RT, C80, LPE)=(II, II, I)、(II, III, I)、(IV, III, I)、(IV, IV, I)であると言える。つまり、RT の最適値は 0.8 秒～1.2 秒、1.5 秒～1.9 秒であり RT が長くなれば C80 は高い値が好まれ、RT と C80 の値にかかわらず、LPE は無し、もしくはごくわずかなものが良いということである。

7.3 客席部における最適音響条件との比較

一般的なコンサートホール等の客席部における RT の最適値は図 7.10 の通りである。本研究の実験ではオーケストラを想定しているので、一般的な大ホール（室容積 20,000 m³）の値を採用すると、最適残響時間は 1.7 秒～2.2 秒程度である。また、オーケストラ演奏における C80 の最適値は+1dB～+5dB 程度であるとされている。作成したモデルにより得られた予測値と、一般的な客席部での最適値をまとめたものを表 7.3 に示す。予測から得られた値によると、オーケストラ指揮者・演奏者は残響時間が短めかつクラリティが小さめを好む場合（パターン①、②）と残響時間が長めかつクラリティが大きめを好む場合（パターン③、④）があることが分かった。

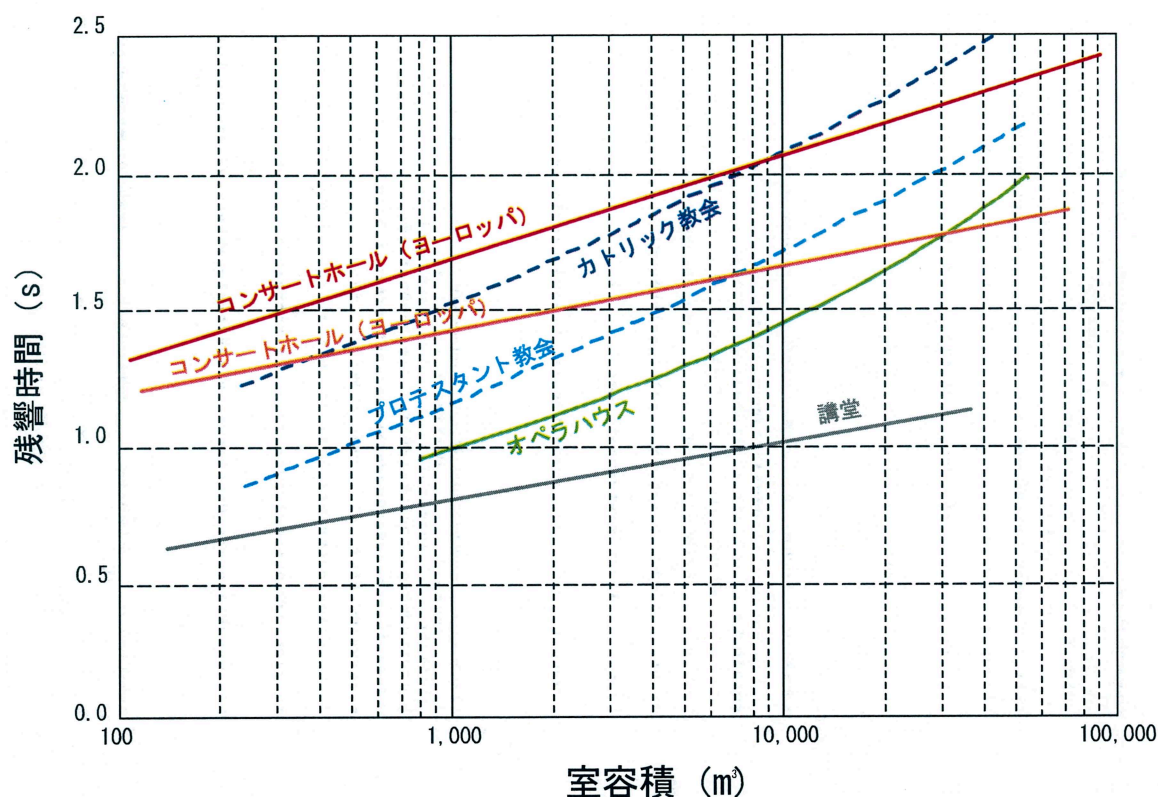


図 7.10 一般的な最適残響時間

表 7.3 最適残響時間の比較

	一般的な客席部での最適値	最終モデルから予測された最適値			
		パターン①	パターン②	パターン③	パターン④
残響時間(RT)	1.7秒～2.2秒	0.8秒～1.2秒	0.8秒～1.2秒	1.5秒～1.9秒	1.5秒～1.9秒
クラリティ(C ₈₀)	+1.0dB～+5.0dB	+1.0dB～+5.6dB	+5.6dB～+10.0dB	+5.6dB～+10.0dB	+10.0dB～+16.5dB
ロングパスエコー(LPE)	なし	なし	なし	なし	なし

7.4 小括

現段階の最終モデルにより音響条件の最適値を算出することができた。その結果、指揮者に数通りの好まれる音場が存在することがわかった。パターン①、②の場合は一音一音をはっきりと聞こえる音場であり、音楽構築をするうえで有利であると言える。一方パターン③、④はホール全体に豊かな響きが存在するが、指揮行為・演奏行為を行う上で必要である高い明瞭性をも兼ねそろえた音場であると言える。すなわち前者は音楽構築のみを基準に判断した場合（リハーサル等）の最適音場であり、後者は音楽構築とその音楽を客席部へ届ける響きの両者を重視した場合（演奏会本番の演奏）の最適音場であるのではないと思われる。

第 8 章

まとめ

8.1 モデル作成について

因子分析・クラスター分析の結果からは、指揮者・演奏者が 3 つほどの判断軸をもって回答している事がわかった。モデル作成の際には、それらの分析結果を踏まえ、主観評価項目を選定した簡易モデルから全主観評価項目を用いた最終モデルに至るまで様々な改善をする事によりかなり適合度を上昇させることができた。特に、主観評価項目間は適切な手順を踏むことにより、的確なモデルを組むことができたと思われる。音響条件を盛り込んだモデル化に関しては、十分満足のいく結果は得られなかった。これは、音響条件が網羅的に与えられていないことや、離散化して扱ったことが原因ではないかと思われる。今後は、モデル化に使用する音響条件を網羅的に与えた実験を行い、連続値のまま扱う方法を検討する必要がある。

8.2 指揮者の個性に関する分析について

モデルの適合性を高めるため、指揮者のタイプ別モデルを作成する事を目標に、指揮者の個性の検討を行った。分析の結果、各指揮者がそれぞれ違う判断軸を持って回答していることは明らかになったが、指揮者のタイプをグルーピングするまでに至らなかった。指揮者のタイプが明らかにならなかった理由には、実験に参加した指揮者の人数が少なかったことや、指揮者ごとのデータサンプル数が少なかったことなどが挙げられる。今回 8 名の指揮者が実験に参加したが、この 8 名を数グループに分けられるかもしれないし、広い視野で見ればこの 8 名は同じグループに属する指揮者かもしれないということである。指揮者別の検討を行うには本研究で採取したデータでは十分ではないようである。また、指揮者だけではなく指揮者と演奏者の組み合わせ等を考慮する事により、新たな傾向が明らかになるかもしれない。

ただ、被験者のタイプ別モデルの作成に成功したとしても、そのモデルが全被験者のモデルより適合性が上昇するのは当然の結果であり、どの程度細かくグルーピングすることが妥当か等、検討すべき事項は多く残されている。

8.3 モデルの検証・最適音響条件の算出について

本研究の最終モデルの精度を確認すると共に、最適音響条件の算出を行った。検証結果より実験により得られたデータは 30%程度の正解率で予測できることが分かった。この結果はあくまで実験で得られたデータによる検証であるので、今後は実際に数種類のホールで実験を行い、得られたデータをどの程度正確に予測できるかを検証すべきである。

最適音響条件の計算では現段階での最適音響条件を示す事が出来た。ロングパスエコーに関しては、遅れ時間・エコーのレベルがともに小さいほど良いという結果となった。つまり、ロングパスエコーが存在すると、指揮行為・演奏行為の妨げになるということである。また残響時間とクラリティに関しては客席部の最適値と多少異なる値になることを示す事が出来た。少なくとも、ステージ上の指揮者・演奏者は聴衆とは違う判断基準を持っていることが分かった。

本研究のモデルではどのカテゴリが最適かを算出することはできたが、カテゴリの区切りより細かい値を導き出すことはできない。ゆえに、今後は音響条件を更に細かく算出できるモデルを検討する必要がある。

8.4 総括

本研究では、ベイジアンネットワークを応用することにより指揮者・演奏者を一つのシステムととらえたモデルの作成を試みた。実験モデルが指揮者 1 名、演奏者 2 名という非常に小編成であることや、実験のデータサンプル数が 300 足らずであること、使用楽曲が *Eine Kleine Nachtmusik* 第一楽章のみであること等を考えると、まだまだ実務に応用できる段階ではないが、ベイジアンネットワークをステージ音響設計の分野や心理量の分析に活用できるということは十分に示せたのではないだろうか。筆者は本研究がステージ音響のみならず、様々な研究分野において有益なものになることを期待している。

参考文献

- 1) Gade, A.C. : Investigation of Musician's Room Acoustic Conditions in Concert Halls.Part I: Methods and Laboratory Experiments, pp.193-203, Acustica 69,1989
- 2) Gade, A.C. : Investigation of Musician's Room Acoustic Conditions in Concert Halls.Part II: Field Experiments and Synthesis of Results, pp.249-262,Acustica 69,1989
- 3) J.Meyer : Influence of Communication on Stage on the Musical Quality,15th.International Congress on Acoustics, pp.573-576, 1995
- 4) 徳永泰伸 他：ステージ上の反射音構造がオーケストラ指揮者に対して与える影響、日本建築学会環境系論文集、第 622 号、pp.1-8、2007
- 5) 内藤記央 他：共分散構造分析によるオーケストラ演奏システムのモデル化の検討”、日本建築学会東海支部研究報告集、第 47 号、pp.321-324、2009
- 6) 小島徹弥 他：ベイジアンネットワークによるモデル構築と被験者の個性の検討”、日本建築学会東海支部研究報告集、第 47 号、pp.325-328、2009
- 7) 徳永泰伸 他：指揮者と演奏者のステージ音響に対するプリファレンスの差異”、日本建築学会大会（広島）学術講演梗概集 D-1、pp.309-310、2008
- 8) 内藤記央 他：ステージ音響下における指揮者・演奏者心理のモデル化の検討”、日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集 D-1、pp.311-312、2008
- 9) 小島徹弥 他：ベイジアンネットワークによる指揮者・演奏者心理のモデル化の試み”、日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集 D-1、pp.313-314、2008
- 10) 成松孝啓：指揮者・演奏者およびホール音響を含むオーケストラ演奏におけるシステムモデルの検討に関する研究、修士学位論文（三重大学）、2006
- 11) 内藤記央：ステージ音響条件下における指揮者・演奏者心理のモデル化の検討、修士学位論文（三重大学）、2008
- 12) 藤沢偉作：多変量解析法、現代数学社、1985
- 13) 本村陽一 他、：ベイジアンネットワーク技術、東京電機大学出版局、2006
- 14) 繁榊算男 他、：ベイジアンネットワーク概説、培風館、2006

謝辞

本研究にあたって寺島貴根准教授には、研究方法の初歩から、研究の内容、展開、論文の執筆に至るまで丁寧にご指導いただきました。また、研究活動のみならず、各種活動の機会を与えてくださったことで、博士前期課程の2年間を有意義に過ごす事ができました。感謝の意をここに表します。

また、実験及び分析にあたり、協力研究員の徳永泰伸さんには大変丁寧な指導をしていただき、たいへんお世話になりました。心より感謝致します。

昨年まで共同で研究を進めていた内藤記央さんからは多くの事を学び、共に解決することで、研究の在り方を教わる事ができました。4年生の前川里沙さんとは今年1年共同で研究を進め、多くの刺激と示唆を得る事ができました。論文の執筆にあたっては、環境環境設備系研究室の院生、学部生を始め、多くの方々のご協力を頂きました。そして、実験に参加していただいた指揮者・演奏者のみなさんのご協力により、本研究は成り立っています。本当にありがとうございました。

最後に、ここには書ききれなかった方々を含め、学生生活の中でお世話になったすべての人たちに心より感謝いたします。