

和音性についての定量的評価モデル

藤澤 隆史¹, Norman D. Cook², 長田 典子¹, 片寄 晴弘¹

¹ 関西学院大学 理工学研究科/ヒューマンメディア研究センター

² 関西大学 総合情報学部

概要

和音/和声 (chord/harmony) は、メロディ (melody), リズム (rhythm) とともに音楽を形作る重要な要素である。音楽の物理的な音響の特徴とその心理的な印象や感性との関連性について定量的に評価するために、本研究では和音性についての評価モデルを構築した。和音性は、(1) 協和度 (心地よい-わるい, 澄んだ-濁った), (2) 緊張度 (緊張した-落ちついた), さらに長調か短調かといった性質を決定する(3)モダリティ (明るい-暗い, うれしい-悲しい) から構成される。本研究において提案されたモデルと、これまで経験的に知られている様々な和音タイプおよび得られた実験データとの整合性を確認し、妥当性の検討を行なった。

A Quantitative Model of Harmony Perception

Takashi X. Fujisawa¹, Norman D. Cook², Noriko Nagata¹ and Haruhiro Katayose¹

¹ Research Center for Human Media, Kwansei Gakuin University

² Department of Informatics, Kansai University

Abstract

A psychophysical model designed to explain the phenomena of resolved/unresolved harmonies and the major/minor modalities in traditional Western diatonic music is presented. The model uses solely the acoustical features of the pitch combinations for calculation of the total "dissonance", "tension" and "modality" of chords. Dissonance is defined as a 2-tone effect, similar to the model of Plomp & Levelt. Tension is defined as a 3-tone effect due to the relative size of intervals, following the idea of "intervallic equivalence" by Leonard Meyer. The total sonority of any number of tonal combinations can be computed on the basis of these two concepts.

1. はじめに

音楽のエンタテインメント性を明らかにする上で、その感性情報を定量的に扱った評価することは重要なプロセスである。音楽が何を表現し、また何を感じ取るかについては多くの

議論がなされてきたが[1], その最も重要なものとしては感情 (affect/feeling) や気分 (mood) が挙げられるだろう。メロディ (melody) やリズム (rhythm) とともに、和音/和声 (chord/harmony) は音楽構成を担う重要な要

素であるとされているが、例えば、長調の和音から“喜び”や“楽しさ”，短調の和音から“悲しみ”や“寂しさ”といった印象を受けるように、和声・旋法と感情・感性との関連性を指摘する研究は数多い[2]。さらに学童期以前の子どもであっても長調と短調の和音やメロディを区別するという知見[3][4]も考え合わせると和音／和声という音楽的要素は人間として日常生活において深く根ざしているものであると言える。なぜ長調の和音やメロディが楽しく聴こえ、反対に短調は寂しく聴こえるのか、さらにある和音はその他の和音に比べてどの程度楽しさの印象を伴って聴こえるのかということについて十分な説明がなされているとは言いがたい。そこで本研究はそれらの諸問題を解決するために、“和音性”についての定量的評価モデルを構築することを試みた。

2. これまでの和音知覚モデル(協和性)

2.1 倍音と協和性

和音／和声に関わるこれまでの先行研究において、その心理物理の対応関係がほぼ明らかにされているのは、和音が心地よく響くか否かという“協和性”についてである。協和性は主に2音のピッチ距離(例：音程)から決定される性質である。ある2つの純音において、そのピッチ間の距離が小さい(1-2半音程度)場合、それらの音は知覚的に明確に2音として分離ができないので濁って聴こえるが、逆に距離が大きい場合、その濁りは消失するという仮定に基づいてモデルが構成されている[5] (Fig.1の F_0)。

和音の構成音が複合音である場合、その協和性(不協和度)はそれぞれ倍音の影響を受ける。例えばCとF#の場合、その F_0 間の音程は6半音であるから不協和度の値は低いものとなるが、Cの F_2 (G)とF#の F_1 (F#)の音程が1

半音であることから、その総体的な不協和度の値は高くなる (Fig.1の F_0 - F_2)。本研究では特に3和音を取りあげて議論するが、その不協和度は3音によって構成される3つの音程からそれぞれの不協和度を算出し、その平均値をその3和音の不協和度とした。

2.2 不協和度曲線

ある構成音の不協和度を決定する式は、これまでの先行研究で用いられたものとほぼ同様のものであり、モデルから得られる不協和度の値のパターンはほぼ一致している[5][6][7]。ある2つの純音の周波数 f_1, f_2 から構成される音程を x_{12} とし、それぞれの音量を v_1, v_2 とした場合、その不協和度(d)は以下の式によって定義される。

$$d = v_{12} \alpha_3 \left[\exp(-\alpha_1 x_{12}^\beta) - \exp(-\alpha_2 x_{12}^\beta) \right] \quad (1)$$

ここで、 v_{12} は2音の音量 v_1, v_2 から定義される値であり、本研究では先行研究[7][8]に従い v_1, v_2 の積とした。

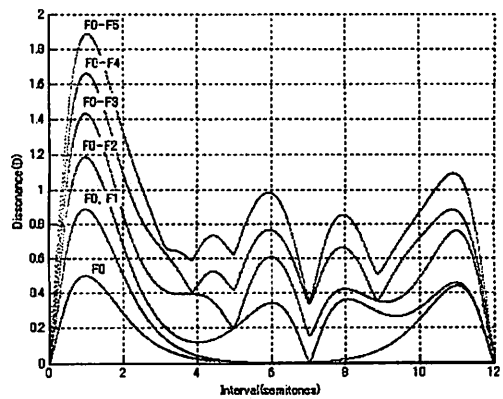


Fig.1 不協和度曲線

さらに構成音が複合音である場合、音1の i 倍音の周波数を f_{i1} と音2の j 倍音の周波数を f_{j2} から構成される音程を x_{12} とし、またそれぞれの音量を v_{i1}, v_{j2} とした場合、その不協和度(D)

は以下のように定式化できる。

$$D = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} d(x_{ij}, v_{ij}) \quad (2)$$

3. 和音性モデル(緊張度・モダリティ)

3.1 協和性と和音性

長調や短調など各種の和音がもつ印象や感性は、協和性理論に基づいた音の音響学的特性から説明可能だとする立場は存在するが[9][10]、その予測と経験もしくは実験データ[11]との整合性があるとは言いがたい[12][13]

(Table.1を参照)。そこで本研究では、Mayerの古典的知見[14]に基づくことで、新たな2つの和音性について仮定した。それらは“音程の等しさ (intervallic equivalence)”に基づいた性質であり、例えば、ある3つの純音がそれぞれ等しい音程で離れている場合、その3和音は“緊張的”で“未解決的”な響きをもつ。反対にそれぞれの音程が等しくない場合には、“落ち着いた”もしくは“解決的”な響きをもつ(Fig.2)。この和音性を本研究では“緊張性”とする。

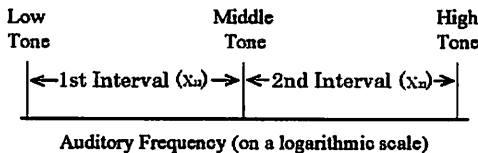


Fig.2 第1音程 (x_{12}) と第2音程 (x_{23})

さらに“解決的”な響きには、長調的に明るさや楽しさの印象を伴う場合と、短調的に暗さや寂しさの印象を伴う場合に2通りがあり、それぞれも同様に3音から構成される相対的な音程構造から定義されると仮定した。この和音性を本研究では“モダリティ”とする。従来の音楽理論に基づかない、“緊張性”の概念を中心とした枠組み (Fig.3) から長調や短調の和

音を捉えなおすことで、その定量的な評価モデルを構築することが可能となった。

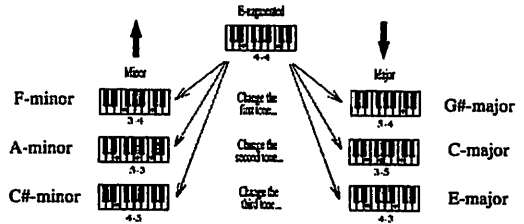


Fig.3 解決的和音と長調/短調の関連性[12]

3.2 緊張度の定義

ある3つの純音について、それぞれの周波数を f_1, f_2, f_3 ($f_1 < f_2 < f_3$) とした場合、 f_1 と f_2 から定義される音程を x_{12} 、 f_2 と f_3 から定義される音程を x_{23} とし、またそれぞれの音量を v_1, v_2, v_3 とした場合、緊張度(t)以下のように定式化される。

$$t = v_{123} \exp \left[- \left(\frac{x_{23} - x_{12}}{\gamma} \right)^2 \right] \quad (3)$$

ここで、 v_{123} は2音の音量 v_1, v_2, v_3 の積であり、 γ は定数で0.60である。式(3)によって定義される緊張度(t)の基本曲線を Fig.4 に示す(ただし、 $v_1 = v_2 = v_3$)。

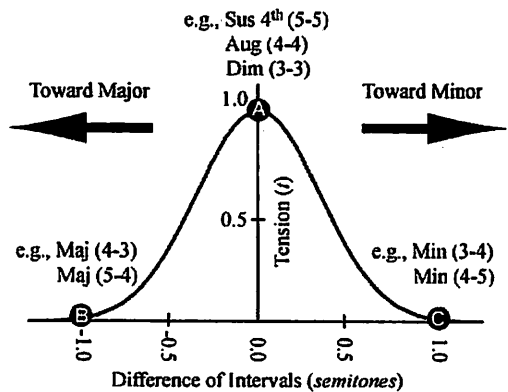


Fig.4 緊張度(t)の基本曲線

3和音の構成音が倍音成分を含む複合音であ

る場合の緊張度 (T) は、音 1 の i 次周波数を f_{1i} 、音 2 の j 次周波数を f_{2j} 、音 3 の k 次周波数を f_{3k} とし、またそれぞれの音量を v_{1i} 、 v_{2j} 、 v_{3k} とした場合、以下のように定式化できる。

$$T = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} t(x_{ij}, y_{jk}, v_{ijk}) \quad (4)$$

式(4)によって定義された緊張度 (T) の理論曲線を、第 1 音程が 3 半音 ($x_{12}=3.0$) である場合を例として Fig.5 に示す。

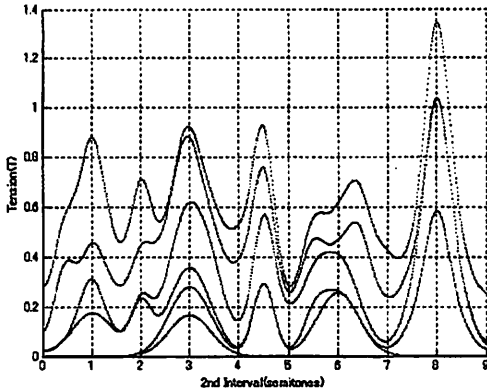


Fig.5 緊張度(T)の理論曲線

3.3 モダリティの定義

モダリティはある 3 和音が長調的か短調的かを示す指標値であり、値が正である場合は長調的、負である場合は短調的となる。緊張度(t)と同様に、ある 3 つの純音の周波数 f_1 、 f_2 、 f_3 ($f_1 < f_2 < f_3$) から構成されるそれぞれの音程を x_{12} 、 x_{23} とした場合、モダリティ(m)は以下のように定式化される。

$$m = -v_{123} \left[\frac{2(x_{23} - x_{12})}{\varepsilon} \right] \exp \left\{ - \left[\frac{-(x_{23} - x_{12})^4}{4} \right] \right\} \quad (5)$$

e は定数で $e = 1.214$ である。式 (5) によって定義されるモダリティ(m)の基本曲線を Fig.6 に示す(ただし、 $v_1 = v_2 = v_3$)。構成音が倍音成分

を含む複合音である場合のモダリティ (M) は、緊張度(T)の定義時と同じ要領で以下のように定式化される。

$$M = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} m(x_{ij}, y_{jk}, v_{123}) \quad (6)$$

また式(6)によって定義されたモダリティ (M) の値を Fig.7 に示す ($x_{12}=3.0$ の場合)。

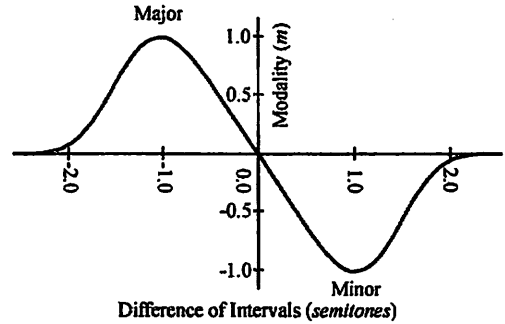


Fig.6 モダリティ(m)の基本曲線

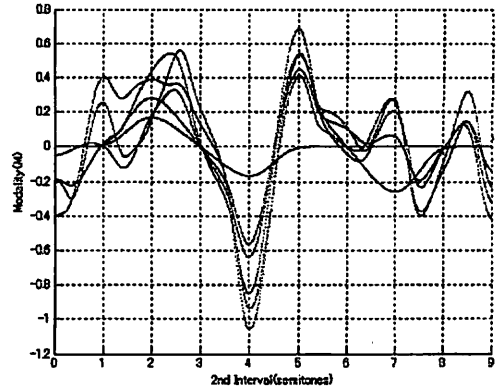


Fig.7 モダリティ(M)の理論曲線

3.4 不安定性の定義

不安定性はある 3 和音がどれほど“不安定”な印象で知覚されるかについての指標である。不安程度 (I) は不協和度(D)と緊張度(T)から算出され、以下の式によって定式化される。

$$I = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 D_i + \delta T \quad (7)$$

ここで、 $\delta=0.207$ であり、不安程度 (I) に対する緊張度 (T) の相対的影響度を決定するものである。

4. 結果と考察

4.1 和音の不安定性についての検討

まず和音の不安定性について、先行研究と本研究のモデルについて比較を行なう。Table.1 に示されたように、主な 3 和音を聴取した実験データでは[11], musician か non-musician かによって判断に多少の違いがあるが、一般的に Major > Minor > Diminished > Augmented のカテゴリー順で“安定的”だと評価される。先行研究における協和性に基づいた 3 和音の安定性についての予測値はその評価と矛盾している(下線部)のに対し、本研究で提案されたモデルの値はより整合的である。

Table.1 不安定性の先行研究との比較

Chord Class	Interval	Exp. Struct.	Theory				
			Roberts	P&L	K&K	Parnett	Sothares
Major	4-3		4	1	1	4	1
	3-5	I	11	11	6	9	5
	5-4		2	6	3	2	4
Minor	3-4		4	1	4	4	2
	4-5	II	2	6	6	2	3
	5-3		11	11	10	8	6
Dim.	3-3		13	6	9	12	12
	3-6	III	8	9	5	10	7
	6-3		8	9	8	10	10
Aug.	4-4	IV	10	13	2	12	13
Sus. 4th	5-2		9	1		9	8
	2-5		9	1		9	11
	5-5		1	1		1	9

4.2 主な 3 和音についての検討

主な 3 和音における、それぞれの指標値について Table.2 に示す。まず前節で検討したように、和音の不安定性では増和音が最も不安定であり、長調の和音が最も安定的であると結果となった。次に、長調か短調かという性質を示すモダリティ(M)の値について検討してみると、まず長調のカテゴリーに当てはまる和音は +3 前後の値、逆に短調のものは -3 前後の値と

なり、それぞれ正しく評価されていることが分かる。さらに増和音、減和音のモダリティの値は 0 前後の値であり、長調・短調の和音ほど楽しさや寂しさ、明るさや暗さといった印象を伴わないという評価の値となった。

Table.2 主な 3 和音の理論値

		D	T	I	M	Rank
Maj	4-3 Root	0.504	0.583	0.624	3.760	1
	3-5 1st Inv.	0.641	0.836	0.814	2.611	5
	5-4 2nd Inv.	0.498	1.366	0.780	3.825	4
Min	3-4 Root	0.504	1.158	0.744	-4.209	2
	4-5 1st Inv.	0.498	1.246	0.756	-3.075	3
	5-3 2nd Inv.	0.641	0.950	0.838	-2.763	6
Dim	3-3 Root	0.784	3.223	1.431	0.361	12
	3-6 1st Inv.	0.695	2.026	1.114	0.176	7
	6-3 2nd Inv.	0.695	2.420	1.196	-0.895	10
Aug	4-4 Root	0.611	6.701	1.998	0.384	13
Sus4	5-2 Root	0.715	2.226	1.175	-0.001	8
	2-5 1st Inv.	0.715	2.438	1.219	-0.061	11
	5-5 2nd Inv.	0.569	3.005	1.191	-0.304	9

4.3 実験結果との比較

モダリティにおけるモデルの予測値と実験から得られたデータとともに Fig.8 に示す。実験参加者はそれぞれ順に 18, 20, 66 人の大学生であり、全員が 8 年以下の音楽経験しかもたない。モダリティに関して和音を評価する形容詞対はそれぞれ、うれしい-悲しい、明るい-暗い、強い-弱いを用いられた。転回型を含む 6 種類の長短調和音を様々なピッチ水準で聴取させ、5 段階尺度で評定してもらった。

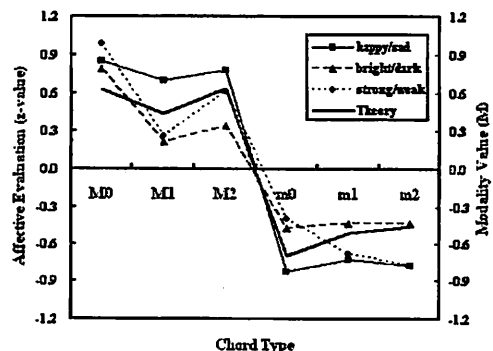


Fig.8 理論値と実験結果の比較

本研究の予測値(太線)は実験値とよく適合するものであった。まず長調と短調を区別するその相対的評価の値は理論値と実験値間で非常に共通した結果となった。さらに興味深い結果として、モデルから、長調の第1転回型は他の長調の和音に比較してモダリティの値が低いと予測されるが、3つの実験それぞれにおいてその傾向が確認された。

5. おわりに

本研究では、和音/和声を定量的に評価するためのモデルとして、音程構造に基づいた“緊張性”および“モダリティ”を提案し、“和音性”という統合的な概念として先行研究との対応を含めその妥当性を検討した。本研究のモデルは和音/和声という側面から、“音楽の愉しさ”という複雑な心理現象を明らかにするための基礎的知見となりうるだろう。従来の音楽理論では和音/和声については定性的にしか把握されてこなかったが、定量的な再定義を行うことで、その諸特徴と“音楽のエンタテインメント性”の関連性について理解がより容易に進むかもしれない。また、他の心理物理データや脳科学との対応を明らかにすることもできよう。さらに本モデルは、音響的特性からわれわれが直接的に受ける印象や感性をモデル化したものあることから、他の音響現象、例えば、音声の音楽性について評価する[15]といった応用可能性についても考えている。

●参考文献

- [1] Cooke, D. (1959). *The language of music*. Oxford: Oxford University Press.
- [2] Juslin, P.N. & Sloboda J.A. (edt.) (2001). *Music and Emotion: Theory and research*. Oxford: Oxford University Press.
- [3] Trehub
- [4] Kastner, M.P., & Crowder, R.G. (1990). Perception of major/minor: IV. Emotional connotations in young children. *Music Perception*, 8, 189-202.
- [5] Plomp, R. & Levelt, W.J.M. (1965). *Journal of the Acoustical Society of America* 38, 548-560.
- [6] Kameoka, A., & Kuriyagawa, M. (1969). Consonance theory: Parts I and II. *Journal of the Acoustical Society of America*, 45, 1451-1469.
- [7] Sethares, W.A. (1999). *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*, Springer, New York.
- [8] Sethares, W.A. (1993). Local consonance and the relationship between timbre and scale. *Journal of the Acoustical Society of America*, 94, 1218-1228.
- [9] Terhardt, E. (1974). Pitch, consonance and harmony. *Journal of the Acoustical Society of America*, 55, 1061-1069.
- [10] Parncutt, R. (1989). *Harmony: A psychoacoustical approach*, Springer, Berlin.
- [11] Roberts, L. (1986). Consonant judgments of musical chords by musicians and untrained listeners. *Acustica*, 62, 163-171.
- [12] Cook, N.D. (2002). *Tone of Voice and Mind*, John Benjamins, Amsterdam.
- [13] Cook, N.D. & Fujisawa, T.X. (in press). The Psychophysics of Hermony Perception: Harmony is a Three-Tone Phenomenon. *Empirical Musicology Review*.
- [14] Meyer, L. (1956). *Emotion and Meaning in Music*, Chicago University Press, Chicago.
- [15] Cook, N.D. Fujisawa, T.X. & Takami, K. (2006). Evaluation of the Affective Valence of Normal Speech Using Pitch Substructure. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 14(1), 142-151.