慶應義塾大学経済学部研究プロジェクト

最終成果論文（2017 年度）

カデンツの法則の経済理論と実証分析

コード進行の歴史的発展法則

経済学部４年学籍番号：２１４１０４２５

氏名：齋藤建文

（指導教員：大垣昌夫教授）

目次

1. はじめに..........10

1.1. 問題意識..........10

1.1.1. カデンツの法則..........10

目的..........10

カデンツの法則の立ち位置..........10

トニック，ドミナント，サブドミナント..........10

カデンツの法則とは..........11

1.1.2. データとの不突合..........12

カデンツの法則の統計的検証..........12

データとの矛盾..........12

1.1.3. 矛盾を解消する仮説..........13

1.1.4. 意義..........14

研究の意義..........14

カデンツの法則はクラシックの理論であるという批判..........16

1.2. 方法..........17

1.2.1. 方法..........17

1.2.2. 実証分析..........17

1.2.3. 経済学を応用する目的..........18

1.3. 構成..........18

2. 先行研究..........19

2.1.　はじめに 19
2.2.　音楽学の先行研究 19
2.2.1.　藝大和声 19
原文の記述 19
肯定的な解釈 20
否定的な解釈 21
2.2.2.　新しい理論 21
学界 21
アマチュア 22
2.3.　工学の先行研究 22
2.3.1.　概要 22
2.3.2.　自動作曲 22
2.3.3.　自動演奏 23
2.3.4.　感性に関わるもの 23
2.3.5.　その他 23
2.4.　HARMONY SEARCH ALGORITHM の先行研究 24
2.5.　GENERATIVE THEORY OF TONAL MUSIC の先行研究 24
2.6.　経済学の先行研究 25
2.7.　まとめ 25

3.　理論 26

3.1.　結果の予告 26
3.2.　カデンツの法則の経済学的表現 26
3.2.1.　準備 26

カデンツの番号付け 26

定義 27

3.2.2. 効用関数 28

目標 28

緊張の二面性 29

効用の発生メカニズムの具体例 29

蓄積とカデンツの効用 30

カデンツの効用の計算例 31

3.2.3. ベンチマークモデル 31

長さの定義 31

モデルの性質 32

カデンツの法則 33

効率—時間あたり効用— 34

数値例の選び方 35

3.3. 静学モデル 36

3.3.1. 静学モデル 36

次の目標—より経済学的に— 36

最適化問題の作り方 37

都合の良い性質と多様性選好 37

作曲家の効用最大化問題 39

厳密な議論 39

遵守率 40

3.3.2. 静学モデルの解法 40

モデルの解法 40

有限次元解析として 40

背理法のような議論 41

プログラミングの前の準備 41

Mathematica によるプログラム 42

数値解 43

史実との整合性 43

3.4. 動学モデル 44

3.4.1. 動学モデル 44

動学モデルへ 44

技術進歩指標 44

噪音による割引効果 45

ベンチマークモデルの拡張 46

3.4.2. 動学モデルのシミュレーション 47

需要の変化 47

カデンツの法則遵守率低下の最初の例 47

細分により挙動の概要をつかむ 48

シミュレーション結果 48

図 3 の意味 49

カデンツの法則の動学 50

「究極的」説や二分法的理解と対応させる解釈 51

まとめ 51

4. 実証分析 52

4.1. 調査 52

4.1.1. 実証分析について 52

4.1.2. 必要な情報........52

4.1.3. 楽曲の収集方法........53

4.1.4. カデンツの法則を守っているかの調査方法........54

4.1.5. 判定結果........55

4.2. 相関関係........63

4.2.1. 仮説のテスト........63

4.2.2. 計量モデル........63

4.2.3. 回帰分析の結果........64

4.2.4. 直観的な図........65

4.3. 因果関係........66

4.3.1. 因果関係........66

4.3.2. 楽器の発展........66

4.3.3. 測定方法........67

4.3.4. 割引の計量モデルへの組み込み........68

4.3.5. 重回帰モデル........69

4.3.6. 解釈........70

4.3.7. 楽器ごとの影響力の比較........70

4.3.8. まとめ........71

5. 結論........72

5.1. カデンツの法則の経済理論........72

5.2. カデンツの法則の実証分析........72

5.3. 音楽理論的な意義........72

6. 付録 A 音楽用語 74

6.1. 音楽用語 74

6.2. コード関係 74

和音 74

コードネーム，A,B,C,Am,A7 などの記号 74

和声 75

和音の進行 75

6.3. 機能和声の用語 75

解決 75

力性変化，カデンツの法則，トニック(T)，ドミナント(D)，サブドミナント(S) 76

機能 76

カデンツ(落下) 76

サブドミナントマイナー 77

6.4. その他 77

楽音と噪音(そうおん) 77

無伴奏 77

クラシック音楽とポピュラー音楽 77

古典派 78

Apple Music 78

7. 付録 B 表 12～18 の注釈 79

7.1. 表全体について 79

7.1.1. 表に現れる表現の意味 79

7.1.2. コードネームの表記 79

7.1.3. カデンツの法則を守っているかの判定の詳細な基準 80
7.1.4. その他 81
7.1.5. 楽器の有無の判定の詳細な基準 81
7.1.6. エレキギター 81
7.1.7. 激しいエレキギター 82
7.1.8. シンセサイザー 82
7.1.9. 激しいシンセサイザー 82
7.1.10. ドラム 83
7.2. 曲ごとについて 83
7.2.1. 1930 年代 83
7.2.2. 1950 年代 84
7.2.3. 1960 年代 84
7.2.4. 1970 年代 85
7.2.5. 1980 年代 85
7.2.6. 1990 年代 86
7.2.7. 2000 年代 87

8. 付録 C 頑健性 88

8.1. データの変更に対する頑健性 88
8.1.1. 頑健性について 88
8.1.2. エレキギター→激しいエレキギター 88
8.1.3. 激しいシンセ→シンセ 89
8.1.4. ジャンル別データ 89
8.1.5. 統計 90

8.1.6.　考察 93

8.2.　考え方の変更に対する頑健性 94

8.2.1.　因果モデル 94

8.2.2.　自動的なモデル選択 95

8.2.3.　実行 96

8.2.4.　単純なモデル 96

8.2.5.　評価 98

8.2.6.　複雑なモデル 98

8.2.7.　モデルの意味 100

8.2.8.　頑健性のまとめ 101

9.　付録 D ジャンルごとの楽曲リスト 102

9.1.　クラシック 103

9.2.　カントリー 104

9.3.　ダンス／EDM 105

9.4.　J-POP 106

9.5.　ポップ 107

9.6.　R&B 108

9.7.　レゲエ 109

9.8.　ロック 110

9.9.　注釈 111

10.　付録 E 最適化のプログラム 112

11. 付録 F 楽器の発展史 115

11.1. 技術革新と楽器の発展 115

11.2. エレキギターの歴史と現在 115

11.3. シンセサイザーの歴史と現在 116

11.4. ドラムとエフェクターの歴史と現在 116

文献一覧 118

図表一覧 125

謝辞 128

1. はじめに

1.1. 問題意識

1.1.1. カデンツの法則

目的

本稿は,「カデンツの法則」という音楽理論上の法則を検証し，またその歴史的動態を明らかにしようという論文である．特に経済学の理論と実証の方法を応用して研究を行う.

カデンツの法則の立ち位置

まず，カデンツの法則について説明したい[1].

カデンツの法則とは，作曲法の理論の一つである．作曲の教科書にも載っている[2]，よく知られた理論である．名曲や優れた曲にはある一定の構造上の共通する特徴があり，これから説明するその特徴が名曲のほとんどにあることをカデンツの法則という．転じて，良い曲を作るには過去の良い曲を真似することからという考えからか, 作曲において良い曲が作りたいならば, その特徴をもっている曲になるように作曲するのがよいという規範的な意味合いも持つようになっている.

トニック，ドミナント，サブドミナント

カデンツの法則をきちんと説明するためには, 力性変化の理論を概説したい. これは，音を聞くと人間はその音によって緊張したり弛緩したりし，音には人を緊張させる作用や弛緩させる作用があるという面に着目した理論である．と

[1] 付録 A に音楽用語の予備知識の章を設けた．音楽の基本的概念はそちらをご参照していただきたい.

[2] [林知行, 2006]，48 頁．　[島岡譲, 1964]，38 頁．　[渡辺貞夫, 1987]，18 頁.

くに，和音には三つの種類があるとされている．一つは，聴く人を弛緩させる和音であるトニック(T と略記される)である．これは安定や安らぎをもたらすと言われている．次に人を緊張させる和音を，緊張させる作用の特に強いものと，緊張させはするがその作用が少しで弱いものとに分類する．前者がドミナント(D)で，後者がサブドミナント(S)と呼ばれている．

カデンツの法則とは

カデンツの法則というのは

「ドミナントの直後にサブドミナントが鳴ることはほとんどない」

という法則である[3]．または鳴らしてはいけないという主張である．つまり，一旦聞き手を高く緊張させたなら，そこから弛緩状態に聞き手を持っていくと

[3] 教科書の原文を挙げると，例えば日本におけるクラシック音楽系和声学の最も権威ある教科書である [島岡譲, 1964]には，「カデンツにおける各和音の配列は，機能関係からみてつねに一定している．そこで，すべてのカデンツを，つぎの 3 種の型に分類することができる[…]T→D→T[…]T→S→D→T[…]T→S→T」と書かれている([島岡譲, 1964]，38 頁)．この説明によると D→S は曲中で起こりえないことになる．

また，ポピュラー音楽の教科書である [林知行, 2006]には，例外が「皆無ではありません」(50 頁)しカデンツの法則のような「規則[…]にこだわらず色々試してみましょう」(同頁)と書いてあるものの，「D→S→T と段階的に解決する用例は少ない」(同頁)し，「D は T へ直接解決するのが一般的」(同書，49 頁)と書いてある．やはり D→S は少ないことになる．

さらにジャズの教科書である [渡辺貞夫, 1987]では 18 頁の Progression という図で Dominant から Subdominant に向かう矢印がないことが，カデンツの法則を表している．

ここで [島岡譲, 1964]が「つねに」「すべて」と強い言葉で完全に限定しているのに対し，[林知行, 2006]は「少ない」「するのが一般的」など少数の例外の存在を認めるような表現をしているように，本やジャンルによってカデンツの法則の主張は微妙に異なることがある．そこで本稿ではこれら 2 冊の表現の間を取って D→S が「ほとんどない」とした．

また本によってカデンツの法則に相当する同じ内容の記述に付いている名称が異なっていたり，そもそも名称を付けていなかったりする本も多くあるが，この主張を本稿では「カデンツの法則」という名称で呼ぶことにする．

さらに，内容も細かく異なるバージョンがいくつかあり，例えば S を S と D_2 に細分したり，SM という機能を追加したり([渡辺貞夫, 1987])，C と Am が隣接するときには C が先行すべきであるなどの規則を追加したりするもの([島岡譲, 1964])などがある．しかし，どれもが G に代表されるドミナントの後に F に代表されるサブドミナントが来てはいけないという点では共通しており，このことがこの理論の共通の部分で，重要な部分だと思われる．

きは一気に行かねばならず，途中で低い緊張状態を挟みながらゆっくりと解放させていくのはいけないということである．

1.1.2. データとの不突合

カデンツの法則の統計的検証

さて，カデンツの法則が成り立っているのならば，楽曲のデータを集めて本当にそういう傾向があるかチェックすれば，そのような傾向があるという結果になるはずである．そこで実際の曲のデータと突き合わせてみる．この予備的な調査にはインターネットの Hooktheory というサイト上の，ポピュラー音楽の 5000 曲以上の[4]コード進行のデータを利用した[5]．このサイトには，例えば C の次に G が鳴る確率は 25％であるというように，各和音から他の和音に移る確率を計算する機能が付いている．ここで，どの曲もキーが C になるように移調すれば，音楽理論的に例えば G はドミナント，C はトニック，F はサブドミナント[6]というようにコードネームからそのコードの機能を知ることができる．そこで，例えばドミナントである G の次にサブドミナントである F が来る確率は，カデンツの法則はドミナントの後にサブドミナントはほとんど来ないということなのだから，カデンツの法則が正しいならばかなり低いはずである．

データとの矛盾

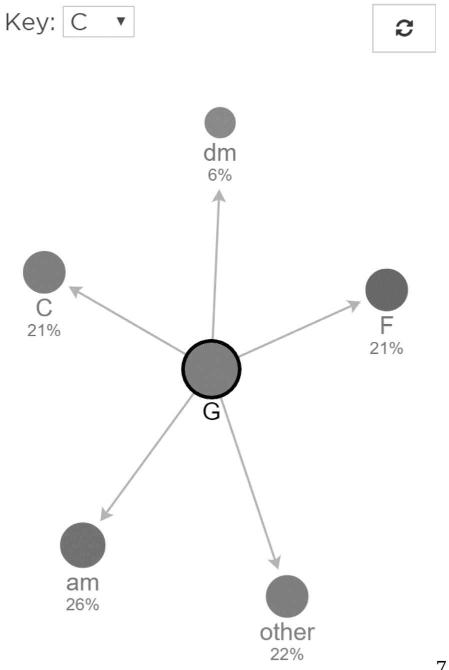
ところが，この G→F の確率をこのサイトの機能を用いて実際に調べてみると，図 1 のように 21％ある．

---

4 The Hooktheory.com database contains analyses of over 5000 songs*. ([Amit, 2015])

5 [Songs with the same chords - Theorytab].

6 [林知行, 2006]，40 頁の説明から I などを C などに，セブンスを三和音に直すとこのようになる．



7

図　1 G→F の確率

また，さらにその上の dm という和音[8]も，サブドミナントの一種であり，それに行く確率も 6%ある．したがって，少なくとも 27%の確率で，カデンツの法則的にいえばほとんど行かないとされている和音に行くことがわかる．これはおかしいのではないか．27%は小さい確率だろうか．例えば統計学においては伝統的に 5%か，多くても 10%をほとんど起こらないようなことの基準としており[9]，それより大きい値を受け入れることはあまりない．したがって，カデンツの法則はデータによって支持されない．

1.1.3.　矛盾を解消する仮説

では，なぜこのような矛盾が起こるのだろうか．カデンツの法則は誤っているのではないか．しかし，もしそうだとすると，音楽学者は誤った法則に誰も気付かずに長年それを教え続けてきたことになってしまう．それはそれで不自

---

7 [Songs with the same chords - Theorytab].

8 つまり Dm である。

9 ただし，ここで話題にしている確率と，例えば仮説検定の p 値とは，やや由来が異なるものであるから，ここは直観的な説明である．

然なことだろう．

この矛盾を解決するための一つの仮説として，カデンツの法則が昔は正しかったが，今の音楽については正しくないという仮説を立ててみよう．すなわち，昔は本当に優れた曲の多くがカデンツの法則に従っていたが，歴史の中で何らかの変化があり，以降優れた曲の多くがカデンツの法則に従うというわけではなくなったという考え方である．そうすれば現代のデータに合わないことを説明できる．さらに，カデンツの法則などの和声理論が作られたのは実に約300 年前であり[10]，かなり時間が経過していることからこの仮説はますます有力でありそうだ．

しかし，何らかの変化というのでは，あまり良い説明になっていない．もし，このようなタイプの仮説を取るのであれば，なぜ，どのような変化があって，守られなくなったのかということが説明できるかにも興味が湧く．

そこで，本稿では，

「カデンツの法則は，時代が下ると，楽器の発展によって聞き手を興奮させるような音色で鳴る和音が増えていくために，だんだん守られなくなっていく」

という仮説を立て，これが正しいといえるかを研究する．そしてこの仮説が今のところ正しいという結論に到達する．

1.1.4. 意義

研究の意義

この研究の意義はいくつかある．まず，もしカデンツの法則をもう守らなくても良い曲が作れるのなら，この法則を守るように意識しながら作曲すること

[10] [今井民子, 1993]，95 頁．

は労力を使うため, 作曲家は無駄な手間を省くことができるようになる. 次に, 規範的な理論で制約されながら作曲するというのは, 作曲家の純粋な感性から発想された音の並びに修正を加えるのだから, 自由な芸術的表現の妨げとなるという側面もある[11].

次に, 本稿ではカデンツの法則に経済モデルとして数学的な形式を与えるが, 数学の言語でこの法則を記述した研究は初めてである[12]. それによって, 自然言語で考えているときには思いつきにくいアイデアを得ることができるようになっており[13], 今までにない角度からの分析によって音楽理論の知見を増やし, 音楽理論の発展に貢献できる.

また, 昔は守られ, 今は守られないという二分法的な形式を超えて, だんだん守られなくなっていくという連続した時間での認識を行っているため, 特に 20 世紀の近傍を中心とする音楽史の法則性を部分的に解明することに成功している.

さらに, そもそも音楽学に経済学の手法が応用できる可能性を示唆している.

そのほかにも, カデンツの法則が古い理論であり, 今の音楽に当てはまらないということを感じていた人はある程度いるのではないかと思うが[14], そのこ

---

11 特に芸術音楽においてこそそのような側面がある.

12 そのような論文や書籍は著者が探した限り発見できなかった. 先行研究の章もご参照されたい.

13 有名な経済学者のクルーグマンによると,「良い経済モデルは問題の理解を大いに助けてくれる」([ポール・クルーグマン, ロビン・ウェルス著, 大山道広他訳, 2017], 38 頁)という. 問題が良く理解できれば, 解決するためのアイデアも浮かびやすくなるだろう.

14 [林知行, 2006]にもカデンツの法則のような「規則[…]にこだわらず色々試してみましょう」([林知行, 2006], 50 頁)と書いてある.
また, 著者の作曲家の友人で, 音楽理論を専攻していない友人 3 名に「音楽理論（和声, 対位法など）を勉強した人は優れた作曲家だと思いますか」と聞いたところ, 1 人ははいと, 2 人はいいえと回答した. ただし, いいえという回答の中にも「勉強した人の方が優れた曲を作れる可能性は高くなるかもしれない」と書いてあるものがあり, 音楽理論が役に立つかや音楽理論で優れた作曲家になれるかについて, 作曲家の中には様々な意見の人が存在することがわかった.

とをきちんとデータを用いて検証したのは初めてである．

最後に，特に人を興奮させるような刺激的な音色の楽器を用いてコードを鳴らすときには，カデンツの法則を守らなくても良い曲が作れるということがわかる．このように楽器の音色が関係していることを述べている論文や書籍はないように思われ，これは音楽理論における新しい知見である．

カデンツの法則はクラシックの理論であるという批判

なお，カデンツの法則は守るべきだとする側からの批判以外に，そもそもカデンツの法則はクラシック音楽のための理論であり，ポピュラー音楽に適用できないのは当たり前であって，わざわざ検証する価値はないという批判があるかもしれない．しかし，カデンツの法則はまずポピュラーの教科書にも載っているし[15]，またクラシックの著名な作曲の教科書には，その理論が適用可能な範囲を明記していないために，一般的な読者であればその内容がすべての音楽に適用可能だと理解しかねないものがある[16]．これらのため，本稿の研究は価値がないものとは言えない．

---

[15] [林知行, 2006]など．

[16] [島岡譲, 1964]には，この本を執筆するにあたって

> J.S.Bach Mozart Beethoven 等によって代表される古典的な西洋音楽[…]の和声[…]の枠の中にとどまることを意図した．それは，対象の限定によってのみ理論の体系化が達成できるのであり，対象を限定するとすれば もっとも普遍的な古典的音楽を扱うほかないからである(1 頁)

とある．「普遍的」というのだから，どんな音楽にでも当てはまることになり，ポピュラー音楽にも当てはまることになってしまう．また藝大和声が「東京芸術大学音楽学部の和声の集団授業のために編纂された教科書である」(同上)ことから，授業で教員が誤解を解けばよいので問題ないと主張することは，「本書は独習者にでも理解できるように書かれている」(同上，2 頁)と書かれていることから難しいのではないか．

1.2. 方法

1.2.1. 方法

次に，この研究の方法を概説する．まず経済理論の立場から，カデンツの法則と等価な命題を，効用関数を用いたモデルで表現する．次に現代のミクロ・マクロ経済学の立場から，合理的な経済主体としての作曲家が，聴く人の効用が最大になるように曲を作った結果，カデンツの法則が守られるというモデルを構築する．このとき多様性の選好に着目し，Dixit-Stiglitz 型効用関数[17]の平方を取った効用関数を用いている．そしてこのモデルを動学モデルに拡張して，技術進歩指標の増大にともなって，カデンツの法則が推奨するようなカデンツへの需要が歴史の中で徐々に減少していくことを表現する．そしてカデンツの法則が時代を下るとともに楽器発展によって守られなくなっていくという仮説を，詳細なメカニズム付きで得る．

1.2.2. 実証分析

次に, 計量経済学的な立場からこの仮説を検証する. 音楽配信サービス Apple Music[18]で取得した 1930 年代から 2000 年代までの年代別の楽曲 210 曲に対し, コード進行を聞き取って, カデンツの法則が守られているかどうかを判定する. そして年代が新しくなるほど守られにくくなるかを検証する．さらに各楽曲についてエレキギターやシンセサイザーのような新しく刺激的な音色の楽器が使われているかを楽器ごとに調べ，それらがカデンツの法則を守るかどうかにどのような影響を及ぼしているのかを，統計的に分析する．

最後にデータの取り方や統計分析の手法を替えることにより，この結果が頑健であることを示す[19].

[17] [Dixit, Avinash K., and Joseph E. Stiglitz., 1977].
[18] このサービスについては[Apple Music - Apple（日本）]を参照されたい．
[19] 付録 C とした．

1.2.3. 経済学を応用する目的

ここで，なぜ経済学を応用するかを説明する．

作曲という行為はそもそも, 聞く人が最も嬉しくなるように音を並べること, に近い行為である. それは経済学の通時的な効用最大化問題とそっくりであり, またその形式で述べられたならば，多様な経済数学の解法を応用することで，今までにないような議論ができることを期待するからである．この方法の利点には, 数学の言語で書くことで論理的な齟齬を避けようという気持ちが生まれ, 「語り手は自らを律するように[20]」なることもある．最後に経済学は長期の動学の研究の歴史があり，例えば経済学の古典であるマルサスの『人口論』[21]やマルクスの『資本論』[22]，フェルプスの『資本蓄積の黄金律』[23]は，どれも成長とそれに関わる社会の変化について述べた研究である．経済学の形式に変換することで，このような研究から着想や論法，考え方などの面において，経済学史上の偉人の優れたアイデアを学び取り，少しでも応用できるかもしれないからである．

1.3. 構成

本稿では，まず先行研究を概観し，理論モデルを構築し，最後に理論の含意となっている仮説を，データを用いて検定するという順に議論を展開する．

---

20 [アリエル・ルービンシュタイン著，村上愛他訳, 2016]，21-22 頁．

21 [マルサス著，斉藤悦則訳, 2011].

22 [マルクス著，資本論翻訳委員会訳, 1997].

23 [Phelps, Edmund S., 1967].

2. 先行研究

2.1. はじめに

まず, 関連する先行研究をまとめる. 本稿の問題意識が新しいものであるため, 直接に本稿の問題に答えを与えたり，議論の核心に深く関わったりするような研究は見当たらなかった．しかし，動的計画法を応用して作曲する自動作曲の研究など，類似の発想で行われた研究をいくつか見つけることができた．先行研究は主に四つの分野にまたがって存在している．

2.2. 音楽学の先行研究

2.2.1. 藝大和声

原文の記述

まず, カデンツの法則が載っていて日本のクラシック教育の正統派の教科書とされる，島岡譲の『和声：理論と実習』[24]を本研究の出発点とする．この教科書には

> カデンツにおける各和音の配列は，機能関係からみてつねに一定している．そこで，すべてのカデンツを，つぎの 3 種の型に分類することができる
> […]T→D→T[…]T→S→D→T[…]T→S→T[25]

と書かれていることから，カデンツの法則はつねに成り立っているし，つねに

24 [島岡譲, 1964]．以下ではこの教科書を日本での通称にしたがって藝大和声と呼ぶ．

25 同上，38 頁，再掲．

守らなければならないものだと考えられる．

また，同じ著者の『総合和声：実技・分析・原理』を参照すると，その中の「原理編」にこれについての記述がある．カデンツの法則が正しいことと等価であるDの次にTに行くことについて，次のように記述されている．

「V→Iの解決進行は唯一の安定点Iへ向けての究極的・必然的な進行である[26]」

究極的，必然的という表現から，カデンツの法則は絶対の法則であるというふうに著者が考えていることがわかる．

肯定的な解釈

確かに，この本の主題や前後の文脈を考慮すると，それは「古典的な西洋音楽[27]」についての話であり，つまり古典的音楽については絶対そうなっているというふうに述べているというように，歴史的文脈の中にあるとしても取れるだろう．また，この部分の前後で本の前半部分と比べると文学的なレトリックがかなり多用され始めていることから，感情が高ぶって一時的に大げさな表現をしただけであり，本当はそう思っていないだろうと推測することもできるかもしれない．さらに，島岡はクリスチャンであり，「島岡にとって『音楽』と『聖書研究』というテーマは『合わせ鏡』[28]」であったことと，カデンツの法則が発見された当時に分析されていたバッハの宗教音楽などが，現在あたかも完全な音楽であるかのように扱われていることから[29]，宗教的情熱によって音楽を神と

26 [島岡譲他, 1998]，432頁．
27 [島岡譲, 1964]，1頁．
28 [今野哲也, 2016]，22頁．
29 例えばバッハはしばしば音楽の父と呼ばれるが，16世紀以前から人類に音楽があったのは明らかである．

を結び付けたいという目的をもって,「頻繁に用いられる」などのニュアンスを表す言葉の中で究極・必然などの神的なものを連想させる言葉を選んだのかもしれない.

否定的な解釈

以上のように表現上の問題であるとして捉えることもできるものの, 実用的な教科書としては書かれている通りに理解すると誤解を生みかねないものとなっている.『総合和声：実技・分析・原理』には否定的な解釈につなげられる記述がさらにある. 例えば「終止(cadence)の語源 cadere(ラテン語)には『落下』の意味がある[30]」という語源的な学殖を用いて, カデンツの法則と類似の主張であるV→I の解決進行の必然性について, それが

「"落下"注(強制的・必然的な運動)と"着地"(安定復帰)を象徴する[31]」

という力学的なアナロジーを展開している. このような表現をするということは, ニュートンの運動の法則と同じくらい普遍的に, どんな曲にもカデンツの法則が適用できると著者が思っているのではないかと思われる. 以上のように, 藝大和声およびそれを直接後継するような和声学は, カデンツの法則を絶対視している.

2.2.2. 新しい理論

学界

では, その他の音楽学者でこれに反対するような説を唱えている人はいるだろうか. 音楽学には歴史音楽学も多いことや, 音楽理論でも個別の楽曲を和声理論で詳細に分析するようなものが多いことなどが相俟って, そのような説を発

---

30 [島岡譲他, 1998], 432 頁.

31 同上.

見することはできなかった．また古典的な和声理論の内容の如何は，理論が一通り完成されていると思われすでに疑って議論をする対象からも離れているところがあり[32]，シェンカーの理論[33]などの新しい音楽理論体系も，カデンツの法則を批判しているわけではない．

アマチュア

一方，インターネット上のアマチュアの作曲家が書いているブログなどには，カデンツの法則などを含む音楽理論を批判しているものが見受けられる．これらの中には音楽理論を守るべきだという言説から全く守る必要がないという言説まで，またそれらの中立的な意見も含めて様々な記事を発見することができる[34]．このようなことを書いている人々は実際に作曲を行ってはいると思われ，かえって音楽学者よりも学者ではないが実際に作曲をしている人の方がカデンツの法則に批判的であると言えるだろう．

2.3. 工学の先行研究

2.3.1. 概要

工学の立場からの音楽に関する先行研究は，主に三種類のアプローチから存在する．

2.3.2. 自動作曲

まず，本稿に最も近い考え方をしているのは，自動作曲の研究者である．例えば『動的計画法と音列出現確率を用いた対位法の対旋律の自動生成』[35]では経済学でも用いられる動的計画法を用いて，コード進行上の旋律のある種の「コス

32 ここは著者の友人の小島広之君との議論を参考にした．
33 [ハインリヒ・シェンカー著，野口剛夫訳, 2000]など．
34 例えば[JUN, 2015] [AZU, 2017]などがある．
35 [中潟昌平，西本卓也，嵯峨山茂樹, 2004]．

ト」を最小化することで,良い旋律を得ようとしている.その他に川上他(2000)[36]や青井他(2005)[37]も和声的な関心から工学を応用して自動作曲に役立てている.

2.3.3. 自動演奏

次に，自動演奏，またはDTM[38]における打ち込みのベロシティーを弄るなどの細かい表情付けの作業を人間に代わって代行するような自動化の研究が挙げられる．この分野は清水他(2007)[39]，平田・青柳(2001)[40]，劉他(1999)[41]などの研究がある.

2.3.4. 感性に関わるもの

『四音体和音の音楽美を評価するシステム "MAESTRO"』[42]は，古典的な和声理論が「良い」音の並べ方をある範囲に絞るのに対し，その中で特に良い並べ方をさらに絞ろうという研究である．これを機械的に行う方法を考え，実際に音楽大学の学生の直観的な美意識とほとんど同じ精度で気持ち良い曲とそうでない曲を判定することに成功している．この研究は，本稿の観点からするとカデンツの法則などの古典的な和声理論を前提として疑うことなく利用しているため関心が異なっている.

2.3.5. その他

その他にも,例えば三浦･柳田(2004)[43]のような作曲の教科書についている問題集を解くアルゴリズムなどの研究もあるが，これももちろんカデンツの法則を前提としている．このように，工学の中でもカデンツの法則を積極的に批判し

---

36 [川上隆，中井満，下平博，嵯峨山茂樹, 2000].

37 [青井昭博，尾花充，柳田益造，三浦雅展，青山容子，谷口光, 2005].

38 パソコンで作曲すること.

39 [清水厚志, 2007].

40 [平田圭二，青柳龍也, 2001].

41 [劉剣利，平賀瑠美，五十嵐滋，関口由浩, 1999].

42 [三浦雅展，山田真司，柳田益造, 2003].

43 [三浦雅展，柳田益造, 2004].

ているものは見つからない．

2.4. Harmony Search Algorithm の先行研究

Harmony Search Algorithm は 2018 年現在新しい分野で，オペレーションズ・リサーチと音楽学の学際分野である．今年には 4 回目の国際学会が開かれ，音楽理論研究の中心がアメリカにあるのと対照的に，アジアの研究者が参加している[44]．

研究例には初期の論文である『A new heuristic optimization algorithm: harmony search』[45]が挙げられる．またこの種類のメタヒューリスティックスへの定式化と解き方の数学的・工学的な応用上の価値からか，李(2004)[46]のように建築への応用なども行われている．この分野の論文はカデンツの法則に関しての主張をしているわけではないようである．

2.5. Generative Theory of Tonal Music の先行研究

Generative Theory of Tonal Music はチョムスキアンの言語学と音楽学の学際分野である．例えば Lerdahl and Jackendoff(1983)[47]，藤井・古川(2009)[48]，浜中他(2017)[49]のような研究がある．これは生成文法と同様に人間が音楽をどう認識しているかに注目した音楽理論である．日本では北陸先端大の東条敏教授が多数の論文を書いている．

---

44 [ICHSA].

45 [Geem, Zong Woo, Joong Hoon Kim and G. V. Loganathan., 2001].

46 [李康碩, 2004].

47 [Fred Lerdahl and Ray Jackendoff, 1983].

48 [藤井晴行，古川聖, 2009].

49 [浜中雅俊，平田圭二，東条敏, 2017].

2.6.　経済学の先行研究

本稿と同じく経済学の立場から音楽に関する研究をしている論文は数少ないものの，有馬(2002)[50]にまとめられているような成果がある．これによると，文化・芸術に対する政府の補助金はどのくらいが望ましいかや，文化・芸術の価値を，支払意思額を聞くことで測るなどの研究がなされたことがある．これらは本稿と比べてより経済との関わりが深い研究であり，やや関心事が異なっている．また技術的な先行研究として，本稿のモデルの中で効用関数の形を考えるときに，Dixit and Stiglitz.(1977)[51]を参考にした．

2.7.　まとめ

以上の音楽学，工学，HSA，GTTM が四つの主な分野である．「カデンツの法則」をインターネットで検索するとこの他に音楽科教育法（教育学）の論文なども見つかる[52]が，これらは本稿と関係がない．『動的計画法と音列出現確率を用いた対位法の対旋律の自動生成』[53]は方法が似ているものの，以上のどの論文にもカデンツの法則という既存の一理論にターゲットを絞って研究したものは見受けられない．そこで，本稿の問題に答えるためにはこれらの先行文献に直接依らずに研究を行わなければならない．

---

50 [有馬昌宏, 2002].

51 [Dixit, Avinash K., and Joseph E. Stiglitz., 1977].

52 例えば[松井みさ, 2013].

53 [中潟昌平，西本卓也，嵯峨山茂樹, 2004].

3. 理論

3.1. 結果の予告

本章ではカデンツの法則の経済理論を述べる．本章で作る経済モデルによって，理論的な予測として図 2 のようなシミュレーション結果が得られる．この図は，時代が下るほど作曲家はカデンツの法則を守らなくなることを意味している．それでは，具体的な議論に入る．

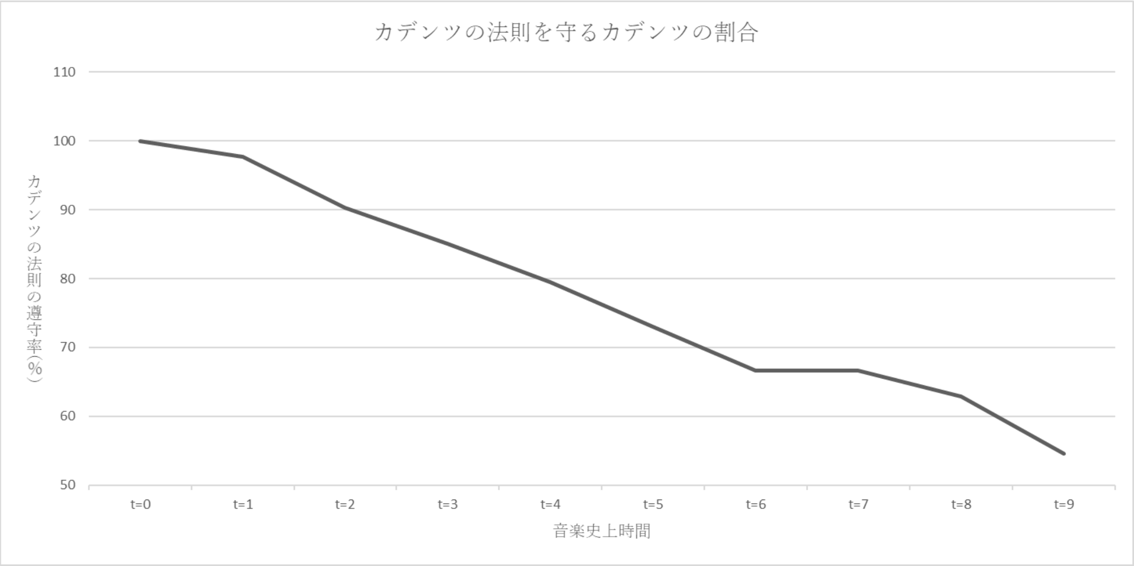


図 2 カデンツの法則の動学

3.2. カデンツの法則の経済学的表現

3.2.1. 準備

カデンツの番号付け

本稿では簡単のためにサブドミナント・マイナーなどの近代的な理論に登場する[54]機能を認めず，トニック(T)，サブドミナント(S)，ドミナント(D)のみの 3

[54] [林知行, 2006]には登場する．

種からなる単純な機能分類を利用する．

藝大和声では望ましいカデンツを K_1,K_2,K_3 に分類している．

K_1 T-D-T

K_2 T-S-D-T

K_3 T-S-T

である[55]．

この番号の振り方を一般化し，古典和声で望ましくないとされるカデンツにも全て番号を付けられるようにしたい．

カデンツは可算無限種類ある．すべてのカデンツの種類を自然数の添字によって網羅するにはどのようにすればよいだろうか．まず，T-S-T-D-T のように最初と最後の T の間に T が挟まることはない．なぜならば，そのようなものは T-S-T と T-D-T の二つのカデンツに分けられてしまうからである．次に T-S-S-D-T のようなものもありえない．同じ機能の和音が連続するときはそれらをまとめて一つの機能とみなすことになっていて，T-S-D-T の一種とみなされてしまうからである．ゆえに，K_4 を T-D-S-T とすると，任意のカデンツは以下の 4 種のどれかに当てはまることがわかる．

(K_1 の親類) T-D-S-D-S-D-S-……-S-D-T

(K_2 の親類) T-S-D-S-D-S-D-……-S-D-T

(K_3 の親類) T-S-D-S-D-S-D-……-D-S-T

(K_4 の親類) T-D-S-D-S-D-S-……-D-S-T

定義

そこで，K_5,K_9,K_{13} など 4 で割って 1 余る番号の付いたカデンツが K_1 の親類の中に入るように考えて番号を割り振る．

55 [島岡譲, 1964]，38 頁．なお，藝大和声では K1 などと表記しているが本稿では K_1 などと右下付き文字で表す．

例えば

K_1 T-D-T

K_5 T-D-S-D-T

K_9 T-D-S-D-S-D-T

K_{13} T-D-S-D-S-D-S-D-T

とする．

一般に非負整数jに対して K_{4j+1} を T-D(-S-D)^j-T とする．ただし(-S-D)^j とは，-S-D を j 個連続して付けることを表す. (-S-D)^0 は何も付けないことを意味する.

同様にして K_{4j+2},K_{4j+3},K_{4j+4} を定義することを試みる.

カデンツの番号の定義

K_{4j+1} T-D(-S-D)^j-T

K_{4j+2} T-S(-D-S)^j-D-T

K_{4j+3} T-S(-D-S)^j-T

K_{4j+4} T-D(-S-D)^j-S-T

例えば K_6 は T-S-D-S-D-T である．$6 = 4j + 2\ (j = 1)$であり，K_{4j+2} の定義のjに 1 を代入するとそのようになるからである[56].

以上のようにして，すべてのカデンツに対して整合的に番号を付与することができた．以後このカデンツの番号iを用いる.

3.2.2. 効用関数

目標

さて，それではまず技術進歩の進んでいない，クラシック音楽の時代を考え

[56] 任意の自然数iは非負整数のjを用いて$i = 4j + 1$の形で一意的に表せる．そのためすべての番号iに対してカデンツが定義できた．さらにこの方法で表せない，つまり網羅できていないカデンツは存在しない.

る．この時代の議論を他の時代の議論のベンチマークとしたい．

この時代ではカデンツの法則が成り立っていると仮定する．すなわち K_1,K_2,K_3 の「好ましさ」は，K_4 以降のカデンツよりも大きいとする．

好ましさに数学的な形式を与えて，カデンツの法則が，合理的に行動する経済主体である作曲家の，曲を聴いた人の効用が最大になるように音を並び替えた結果として現れるような経済モデルを作ろう．

緊張の二面性

ここでドミナント性の本質である「緊張」ということについて考える．緊張とは嬉しいことだろうか．聴いた人を音楽に集中させ，興奮を与えるという意味では嬉しいものである．しかし，緊張させる和音を聴き続けていると，早く次の解決される展開に行きたいという待ち遠しさによる不効用も感じるだろう．そこで，このモデルでは緊張感が効用と不効用の両方を与えるものとする．

効用の発生メカニズムの具体例

まず，表 1 のような具体例を示す．これは K_2 **T-S-D-T** を聴いた人の効用の測り方である．表の数値は今のところ例である．

表　1 K_2 の効用

		T	-S	-D	-T
和声的興奮(+)	h	0	3	4	0
待ち遠しさ	w	0	1	2	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	1	3	0
和音の効用	y	0	2	1	0
カデンツの効用	k	3			
カデンツの長さ	l	3			

表の読み方を説明する．まず和声的興奮はその和音を聴いたときの興奮（好ましいもの，効用）を表している．これは機能によって異なり，大いに緊張するドミナントでは 4，やや緊張するサブドミナントでは 3，全く緊張しないトニックでは 0 とする．これはゲーム理論の利得のようなものである．

次に，待ち遠しさはその和音を聴いたことによる待ち遠しさ（いやなもの，不効用）を表している．これも機能によって異なり，大いに緊張するドミナントでは 2，やや緊張するサブドミナントでは 1，全く緊張しないトニックでは 0 とする．

しかし，以上の設定では S を鳴らすと$3-1=2$だけ，D を鳴らすと$4-2=2$だけ，T を鳴らすと$0-0=0$だけの利得が得られ，例えば和音を 10 回まで鳴らせる範囲内で最適な曲を作ろうとすると S と D を合わせて 10 回鳴らし，T を 1 回も鳴らさないのが良いということになってしまう．これは現実の曲と異なる．

蓄積とカデンツの効用

そこで，不効用のほうは待ち遠しさなのであるから，トニックが鳴るまで蓄積していくことにする．表 1 は右に行くほど時間が進んでいて，右の列が次の和音を表している．カデンツ内での和音に 1 個目から順に番号bを付けると，b個目の和音を聴いたときに感じる蓄積された待ち遠しさ$g(b)$は, β個目の和音を聴いたときに感じる待ち遠しさ$w(\beta)$を用いると，

$$g(b)=\sum_{\beta=1}^{b} w(\beta)$$

とする．つまりトニックに解決されていないサブドミナントやドミナントがカデンツ内で以前に鳴っていた場合は，そのもやもや感が残っていることを表している. ただし, T が鳴ったときには蓄積された待ち遠しさはリセットされ，0 となる．

和音の効用yを考える際は，待ち遠しさwのほうではなく蓄積された待ち遠しさgのほうを用いて，$y=h-g$とする．さらにこれをカデンツ内のすべての和音について合計したものがカデンツの効用kであり

$$k = \sum_{カデンツ内} y$$

である．

カデンツの効用の計算例

表1の例に即して説明する．まず初めにTが鳴り，Tなので和声的興奮も待ち遠しさも蓄積された待ち遠しさも得られず，和音の効用は0となる．次にSが鳴ることにより，3の和声的興奮と1の待ち遠しさを得る．すると蓄積された待ち遠しさは1つ前のTの待ち遠しさ0と，今鳴っている和音Sの待ち遠しさ1の和となり，1となる．するとこのSの和音の効用は結局和声的興奮$3 -$蓄積された待ち遠しさ$1 = 2$となる．その次にDが鳴ると，4の和声的興奮と2の待ち遠しさを得て，蓄積された待ち遠しさが$0 + 1 + 2 = 3$となる．結局和音の効用は$4 - 3 = 1$である．最後にTが鳴る．Tが鳴ると和声的興奮が0になる代償に，待ち遠しさの蓄積が止まり蓄積された待ち遠しさが0となる．結局このカデンツ全体での効用は，和音の効用を足し，$0 + 2 + 1 + 0 = 3$となる[57]．このような離散時間の動学モデルでカデンツの効用を測ることにする[58]．

3.2.3. ベンチマークモデル

長さの定義

また，K_2の長さを考える．和音の個数で測ればT,S,D,Tの4個分であるが，例えば慣例的にT-D-T-S-D-T-S-Tという曲はT-D-T,T-S-D-T,T-S-Tの3つのカデンツに分けることを考えると，実は古典和声理論はTを重複して数えている．そのため各カデンツの最初か最後のTを除きたい．緊張からの「解決」や終止

57 このモデルでは時間割引などは考えない．

58 なお，このモデルにおいて効用は経済学でしばしば$u_t + \delta u_{t+1}$などと足し算を行うように，足し算ができるものとしている．

がクラシックで重要であること，語源が落下であることなどから後ろの T をカデンツの一部として残したい．そこで最初の T を落として考える．すなわち先ほどの T-D-T-S-D-T-S-T という曲は, D-T,S-D-T,S-T の 3 つのカデンツとみなす．こうすることで重複の問題がない．そこで，T-S-D-T の K_2 の長さは 4 ではなく 3 と定める．これは，のちに和音の個数がある個数以内という範囲でカデンツを並べるという理論を展開するために必要なことである．

一般に最初の T を除いた文字の数をカデンツの長さlと定義する．

すると，「K_2 を鳴らすという行為は，曲の中で新たに長さ 3 を消費して，それによって効用 3 を得る行為」だとみなすことができる．

モデルの性質

このカデンツのモデルの性質を，具体例から考えよう．

例えば K_8 はどのようになっているだろうか．

表 2 K_8 の効用

		T	-D	-S	-D	-S	-T
和声的興奮(+)	h	0	4	3	4	3	0
待ち遠しさ	w	0	2	1	2	1	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	2	3	5	6	0
和音の効用	y	0	2	0	-1	-3	0
カデンツの効用	k	-2					
カデンツの長さ	l	5					

K_8 では$k=-2, l=5$となっている．5 も時間を消費したのに，大量の効用を得られるどころか，むしろずっとトニックだけを鳴らしてコード進行をしないほうがまし[59]な-2だけの効用を得る結果となっている．この例からこのモデルの特性に関する一つの考察が得られる．和音を付加することによってカデンツをあまりにも長くしていくと，カデンツの効用kは低下していくということであ

[59] T 1 個のみからなるカデンツとみなせばその効用は 0 である．

る[60]．したがって作曲家は K_1,K_3 のような短めのカデンツを好んで用いることが予想される．

カデンツの法則

次に，カデンツの法則はどうなっているだろうか．K_1,K_2,K_3,K_4 の表は順に表3～6 のようである[61]．

表 3 K_1 の効用

		T	-D	-T
和声的興奮(+)	h	0	4	0
待ち遠しさ	w	0	2	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	2	0
和音の効用	y	0	2	0
カデンツの効用	k	2		
カデンツの長さ	l	2		

表 4 K_2 の効用(再掲)

		T	-S	-D	-T
和声的興奮(+)	h	0	3	4	0
待ち遠しさ	w	0	1	2	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	1	3	0
和音の効用	y	0	2	1	0
カデンツの効用	k	3			
カデンツの長さ	l	3			

表 5 K_3 の効用

		T	-S	-T
和声的興奮(+)	h	0	3	0
待ち遠しさ	w	0	1	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	1	0
和音の効用	y	0	2	0
カデンツの効用	k	2		
カデンツの長さ	l	2		

[60] 和音の効用の行を見ると，マイナスになっている和音があることがわかる．

[61] K_2 の表は表 1 の再掲．

表 6 K_4 の効用

		T	-D	-S	-T
和声的興奮(+)	h	0	4	3	0
待ち遠しさ	w	0	2	1	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	2	3	0
和音の効用	y	0	2	0	0
カデンツの効用	k	2			
カデンツの長さ	l	3			

K_1,K_3 はともに 2 だけ時間をかけて，2 だけの効用を得ている．それに比べて K_2 は 3 とより時間をかけているが，その分に見合うように 3 だけの効用が得られている．一方 K_4 は，3 と時間をかけたものの，効用の水準は 2 から上昇していない．したがって，K_1,K_2,K_3 に比べて K_4 は効率―時間あたり効用―が悪く，カデンツの法則と整合的である[62].

効率―時間あたり効用―

そして同様に時間あたりの効用$\frac{k}{l}$の基準で各カデンツを比べるために，

$$\dot{k} = \frac{k}{l}$$

とする. Microsoft Excel 2016 を用いて各カデンツの$\dot{k}$を機械的に計算すると，表 7 のようになる．

表 7 時間あたり効用

dotk(1)	dotk(2)	dotk(3)	dotk(4)	dotk(5)	dotk(7)	dotk(その他)
1	1	1	2/3	1/4	1/2	非正

ただし，dotk(i)とは K_i の時間あたり効用$\dot{k}(i)$を表すとする

このモデルの言葉で言うならば，カデンツの法則とは「時間あたり効用が 1 以上のカデンツのみを用いて作曲せよ」という主張と捉えることができる．このようにして，カデンツの法則に対して数学的・経済学的な表現を与えること

[62] また，このモデルでは早めに強い緊張を与える D を出してしまうと不利になることも推察される．

に成功した．

数値例の選び方

ここで，実は上の例の D の効用 4，S の効用 3，D の不効用 2，S の不効用 1 という数値例は，上手く選んだ例である．

カデンツの法則は K_1,K_2,K_3 間の優劣については何も述べておらず，また著者は直観的にどれかが他のものより優れているとは思わないので，その 3 種のカデンツの時間あたり効用$\dot{k}$が同じになる状況を考えた．D の効用をo，S の効用をp, D の不効用をq, S の不効用をrとして, 同じようになる行列$\begin{pmatrix} o & p \\ q & r \end{pmatrix}$を選ぶ．$\begin{pmatrix} o & p \\ q & r \end{pmatrix}$の文字を用いて K_1 の効用を形式的に求めると表 8 のようになる．

表 8 文字で表した効用

		T	-D	-T
和声的興奮(+)	h	0	o	0
待ち遠しさ	w	0	q	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	q	0
和音の効用	y	0	q	0
カデンツの効用	k	o-q		
カデンツの長さ	l	2		

したがって K_1 の効用は$o-q$となり，時間あたり効用$\dot{k}(1)$は

$$\dot{k}(1)=\frac{o-q}{2}$$

となる．

同様に

$$\dot{k}(2)=\frac{o+p-q-2r}{3}$$
$$\dot{k}(3)=\frac{p-r}{2}$$

となる．

これらが無差別になる，すなわち$\dot{k}(1)=\dot{k}(2)=\dot{k}(3)$であるように行列$o,p,q,r$を定めたい．しかしこの条件では解不定となるため，整数行列を 1 つだけ得るには 2 つのパラメーターの値を与えねばならず，$r=1$と基準化し，$q=2$と仮定

して以下の連立方程式を解く

$$r = 1, q = 2$$

$$o > 0, p > 0, q > 0, r > 0$$

$$\frac{o-q}{2} = \frac{o+p-q-2r}{3}$$

$$\frac{o-q}{2} = \frac{p-r}{2}$$

$$\frac{o+p-q-2r}{3} = \frac{p-r}{2}$$

すると

$$\begin{pmatrix} o & p \\ q & r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

となり行列が一意に定まる.

この数値例できちんとカデンツの法則が満たされている, すなわち K_1～K_3が他のカデンツより$\dot{k}$の基準で言って厳密に好ましいかを調べると，そのようになっている．上記の数値例はこのようにして求められたものである.

3.3. 静学モデル

3.3.1. 静学モデル

次の目標―より経済学的に―

さて，本稿では以上のようなモデルを参考として，ルーカス批判後のマクロ経済学のようなミクロ的基礎付けを持つモデルを構築したい．時間あたり効用$\dot{k} = \frac{k}{l}$の基準は直観的な基準であり, 再びkとlとに分解してlに関する制約付きの効用最大化問題を解く経済主体を考える. このモデルの唯一の経済主体として，作曲家を導入する．彼は財であるすべての種類のカデンツと，それらのそれぞれから得られる効用の水準，およびそれぞれの長さを完全に知っている．現代の DSGE と呼ばれるような経済学のフレームワークなどでは市場の均衡を考えるが，このモデルでは均衡を考えない．なぜならばカデンツという財は，作曲家が鍵盤を叩くなどすればほとんどいくらでも好きなだけ簡単に手に入れるこ

とができるものであり，自由財に近いものだからだ．したがって供給や生産，価格のメカニズムを議論することは似つかわしくないだろう．しかしながら，代わりに作曲家の直面する制約として曲の長さの制約を用意する．すなわち，一般的にポップスは 4 分くらいの曲が多いが，あまりに長い曲はレコード会社に持ち込んでも取り合ってもらえなかったり，あるいは聴衆の飽きを生じさせたりするために, ある程度の長さまでに曲をまとめなければならないと考える．作曲家は曲の中でm個の和音までしか使うことができないという曲の長さの制約を受けてカデンツを選択する．すると，限りある希少な時間の中で聴く人の効用を最大にするという経済学らしい定式化を行うことができる[63].

最適化問題の作り方

具体的に，作曲家の直面する最適化問題を定式化しよう．

各カデンツを鳴らす回数をx_iとする．K_1 を曲中で 3 回鳴らした場合は，$x_1 = 3$であると表現する．$x = {}^t(x_1, x_2, x_3, \dots) \in \boldsymbol{N}^{\infty}$とする．$t$は転置を表している．$K_i$ は可算無限種類あったのだから，ベクトルxは無限次元のベクトルである．このxが作曲家の制御変数[64]である．

次に目的関数[65]として曲の効用を表す効用関数の形状を考える．もちろんこれは今までに登場した和音の効用と不効用を表すh, w, gやカデンツの効用を表すkとは異なる関数である．曲中のすべてのカデンツの効用の総和のような関数にしたいが，ここで経済学の伝統または先行研究に依拠しながら，より都合の良い関数形を模索する．

都合の良い性質と多様性選好

[63] 以上のように，作曲家はどちらかというと生産者より消費者に近い存在である．「聴く人」は選好を持っているが，何も行動しないので主体ではない．作曲家が聴く人の選好を知っていて，聴く人の効用が最大になるように曲を作る．

[64] 最適になるように作曲家が調整する変数.

[65] 最大にしたい関数.

まず，限界効用逓減の性質を持っていると都合が良い．例えば，K_1を 1 個から 2 個に増やすのと，100 個から 101 個に増やすのとでは追加的な効用の増え方が異なるというものである．

次に，カデンツの効用が高いカデンツほど，曲の効用を最大化するときに多く使われそうな形であると都合が良い．

最後に，例えばK_1のみを 100 個，他を 0 個用いるのが最適であるというような解が出来てしまうと現実の楽曲から乖離してしまうので，ある程度多様性を選好するような形であると都合が良い．

以上のような性質に近い性質を持っている効用関数として，経済学では Dixit-Stiglitz 型効用関数が知られている．そこでこの関数を利用したいが，関数形は必要以上に複雑でないほうがよく，今回のモデルでは特に代替の弾力性が変数になっていることは必要ではないので Dixit-Stiglitz 型効用関数[66]

$$u = U\left(x_0, \left(\sum_i x_i^{\rho}\right)^{\frac{1}{\rho}}\right)$$

$$(0 < \rho < 1)$$

のρに$\rho = \frac{1}{2}$を代入し，さらに 2 乗になっている必要もないので平方根を取り，また関係ないx_0を引数から除く．さらにベンチマークモデルで得られたカデンツの効用を反映するためにx_iを係数k_iで重みづけして，結局曲の効用を次のような関数形として定式化する．

$$u(x) = \sum_{i=1}^{\infty} k_i \sqrt{x_i}$$

この効用関数は上記のような都合の良い性質をすべてもっている．また，表現しているものは，カデンツは曲の中での時間の経過とともに鳴ることから通

[66] [Dixit, Avinash K., and Joseph E. Stiglitz, 1977].

時的な効用であるにも関わらず，有限期間であるうえ今回の問題にとって重要でない時間選好も考えていないので，数学的に動的計画法などを用いずにあたかも通常の静学的な効用最大化問題であるかのように解くことができそうであり，さらに都合が良い．

作曲家の効用最大化問題

最後に制約条件を数式で表現すると，和音を曲中で長さの関係でm回までしか鳴らしていけないということは，カデンツに含まれる和音の数はl個であることをふまえると，

$$\sum_{i=1}^{\infty} l(i)x_i \leq m$$

と表現できる．

以上をまとめると，作曲家の直面している最大化問題は次のようになる．

制御変数x

目的関数u

$$\max_{x} u(x)\ s.t. \sum_{i=1}^{\infty} l(i)x_i \leq m$$

なおxは整数ベクトルであり，通常の経済学と異なり整数計画問題である．

この問題の解集合を

$$\underset{x}{argmax}\ u(x)\ s.t. \sum_{i=1}^{\infty} l(i)x_i \leq m$$

とする．

需要dを$argmax$の要素とする． d_iを$d =^t (d_1, d_2, d_3, \ldots) \in \boldsymbol{N}^{\infty}$とする．

厳密な議論

なお，本稿ではこの最適化問題の解の存在性・一意性について数学的な議論は行わない．しかし，本稿で解いた数値的な解法は，研究中に試したすべての

例に対して一つだけ値[67]を返した．そこでdは実際的にはこの返ってきた値である．

遵守率

ここで，カデンツの法則の遵守率fを，

$$f = \frac{\sum_{i=1}^{3} d_i}{\sum_{i=1}^{\infty} d_i}$$

とする．これは出来上がった最適な曲の中で，どのくらいの割合のカデンツがカデンツの法則によると良いものとされているものかを表している．

3.3.2. 静学モデルの解法

モデルの解法

さて，このモデルを解くことを考える．

初めの和声的興奮や待ち遠しさを，o, p, q, rのように変数として，また曲の長さmも変数とした状態でこのモデルを解析的に解くのは困難である．なぜならば，この問題の制御変数は無限次元ベクトルで，かつどの成分も整数値の範囲に制約されていなければならない．このような無限に関する整数計画問題は，現代の経済学で用いられるような数学で解ける範疇を超えている．

そこで，モデルを数値的に解くことを考える．モデルを数値的に解くべきでないという意見もあるかもしれないが，モデルの本質が「物語[68]」であることや，近年のマクロ経済学の論文では解析的に解けないようなモデルを作ってはカリブレーションと呼ばれるような数値最適化を頻繁に行っている[69]ことなどから，本稿も数値最適化を用いることにする．

有限次元解析として

---

[67] ベクトル値である．

[68] [アリエル・ルービンシュタイン著，村上愛他訳, 2016]，20 頁．

[69] 例えば経済学の教科書である [ジュセッペ・アルビア著，堤盛人監訳, 2016]，157 頁にもこの手の方法が載っている．

しかしながら，それでもまだカデンツの種類が無限にあるという側面から困難が生じる．そこで以下のような制約条件を追加する．

「カデンツの効用が非正のカデンツを曲に使ってはいけない．」

背理法のような議論

この制約は，以下のような議論に由来する．もし，カデンツの効用が負のカデンツが最適な曲に使用されているとすると, そのカデンツを取り除くことで, 曲の効用を向上させることができる．この向上によって制約条件に抵触することもない．したがってその曲は最適ではなく，矛盾する．ゆえにカデンツの効用が負のカデンツは，最適な曲に使用されることはない．

また，もし効用が 0 なら，そのカデンツを取り除いて同じ長さ以下の長さの別の正の効用をもつカデンツで置き換えることで効用を上昇させることができる．同じ長さ以下の長さの別のカデンツがどんなカデンツに対しても存在するかという問題があるが，例えば K_1 は任意のカデンツに対して，より短いか，同じ長さのカデンツである．また K_1 の効用は 2 であり，K_1 の効用は正である．したがって同じ長さ以下の長さの効用が正のカデンツは存在する．したがって最適ではない．

ただし, 以上の議論はやや直観的なものであるかもしれないので[70], この新たな制約条件はモデルの新たな仮定と見なす．これによって，問題が実質的に有限次元の問題になり，数値解法が行えるようになる．

プログラミングの前の準備

それでは実際に計算を行う．まず和音の数で測った曲の長さ$m = 100$とする．つまりこの作曲家が作る曲は最大 100 個の和音からなる．次にカデンツの効用が正であるすべてのカデンツの効用を求める．定義に従って K_{12} までのすべて

[70] 無限個あるものに関する議論は難しい．

のカデンツの効用と長さを計算すると，カデンツ K_i の効用をk_i，長さをl_iとして，以下の表のようになった[71].

表 9 各カデンツの効用と長さ

i	1	2	3	4	5	7
k_i	2	3	2	2	1	2
*l*_i	2	3	2	3	4	4

他のk_iは非正

ただし表 9 中の k_i はk_iを，*l*_i はl_iを表している．例えば K_4 の効用$k_4 = 2$で，K_4 の長さ$l_4 = 3$である．

効用が非正のカデンツの後ろに(-S-D)や(-D-S)を付加してカデンツを長くしていっても，効用が正になることはないので，以上 6 種で効用が正のカデンツはすべてである[72].

Mathematica によるプログラム

そしてこれらのk, lの数値を用いて作曲家の最適化問題を解く.

ソフトとして Wolfram Mathematica 10.4 を使用し，以下のようなプログラムで解く.

$$NArgMin[-(2\,Sqrt[x1] + 3\,Sqrt[x2] + 2\,Sqrt[x3] + 2\,Sqrt[x4] + 1\,Sqrt[x5] + 2\,Sqrt[x7]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 4\,x7 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x7, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

これは制御変数$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7)$を上手く調整することにより，制約条件 $2x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 4x_5 + 4x_7 \leq 100, x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0, x_7 \geq 0$ の下で，目的関数$-\left(2\sqrt{x_1} + 3\sqrt{x_2} + 2\sqrt{x_3} + 2\sqrt{x_4} + 1\sqrt{x_5} + 2\sqrt{x_7}\right)$を，整数領域で，数値最適化の最大反復回数 4000 回以内で，数値的に最小化せよという意味で

[71] 実際には簡単にこれらを計算できる Excel のファイルを作って計算を行った.
[72] ここで，k_6は非正であった.

ある．

数値解

出力結果は以下のようになる．

$$\{11,10,10,4,1,3\}$$

これは

$$(d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_7) = (11,10,10,4,1,3)$$

を表している．ただし，dとは最適な各カデンツの消費量xであった[73]．

これを経済学の言葉から音楽理論の言葉に再翻訳すると，100 個の和音を並べたコード進行を作る時は，T-D-T を 10 回，T-S-D-T を 10 回，T-S-T を 11 回，T-D-S-T を 4 回，T-D-S-D-T を 1 回，T-S-D-S-T を 3 回用いて曲を作るのが良いという意味になる．

ここで，カデンツの法則の遵守率fは

$$f = \frac{11 + 10 + 10}{11 + 10 + 10 + 4 + 1 + 3} = \text{約 8 割}$$

となる．

史実との整合性

もし優れた作曲家たちがこのくらいのバランスで曲を作っていたとすると，当時の音楽理論家の目には，曲を作るときには K_1,K_2,K_3 を主に用いるのが良いとか，良い曲では主にそれらが用いられるとかいうふうに映るのは自然だと思われる．すなわち(11,10,10,4,1,3)という並びから傾向を見出そうとすれば，普通の人間は前 3 者が多く，後 3 者が少ないという傾向や法則性を見出すだろう．以上のようにこの結果はカデンツの法則がクラシックの時代に支持されていて，教科書にも載ったという史実と整合的である．以上をもってクラシック時代の

[73] このxは経済学風に表記するならx^*と書いてもよいかもしれない．また，lの K_1 から K_7 までの総和は数値設定や数値最適化の誤差の発生の仕方によっては 99 や 101 などになるかもしれないが，この例ではきちんと 100 になった．

カデンツの法則に関する状況の数理モデル化の議論を終える.

3.4.　動学モデル

3.4.1.　動学モデル

動学モデルへ

さて，本章の最終的な目的はカデンツの法則に数理的な形式を与えることではなく，それを用いて音楽史におけるカデンツの法則の遵守率の動学経路を，その経路を辿らせる原因とともに明らかにすることである．そこで，前節のカデンツの法則の経済モデルを音楽史上時間に沿って変化する動学モデルに拡張したい.

なお，本稿では時間の概念が２通り現れていて，既に現れた曲中時間を表すbと，音楽史上時間を表すtがある．これらはこの理論上は別の軸として取られている異なった概念である. 前節のモデルは音楽史上時間tの意味では未だ静学的なモデルである.

技術進歩指標

前節では, カデンツの効用水準kは, そのカデンツに含まれる和音の和声的興奮と待ち遠しさの二つのパラメーターによって決定された．ここに効用の決定に関わる第三の要因として音色的興奮Aを追加する．これは音色による興奮であり，例えばエレキギターのやかましい音色は，ハープの大人しい音色に比べて聴く人を興奮させるといった作用を表している．このAの発生機構を説明する.

まず，tは音楽史上時間を表していて，これは例えば作曲家が曲を作っている時期が 1700 年であるとか，2018 年であるとかを表している.

次に，A_cは楽音による音色的興奮を表す．これはコードを担当していたり，ハーモニーの一部になっていたりするような，音程のある楽器の音色から聞く

人が得る興奮である．例えばピアノの伴奏がコードを担当しているときより，ハードロックのギターがコードを担当しているときのほうがA_cは大きい．ここで，A_cは音楽史上時間tの増加関数であることを仮定する．つまり，時代が新しくなるほど，より刺激的な音を出せる楽器が増え，作曲家がより人々を興奮させるような音色で伴奏をつけることを意味する．ここでそのような関数として，$A_c = \alpha t + \beta$を考える．数値例として$\alpha = 0.22, \beta = -0.88$を代入する．なおこれらの値は$\alpha > 0$である限りなんでもよい．

<u>噪音による割引効果</u>

一方，A_dは噪音による音色的興奮を表す．これはコードを担当していない，音程のない楽器，典型的にはドラムの音色の，かっこよさから人々が得ている興奮とする．これも$A_d = \alpha t + \beta = 0.22t - 0.88$とする．

さて，ヴァイオリンの無伴奏の曲を演奏しているのを聴くと，我々はヴァイオリンの音色には様々な表情があることや，そもそもヴァイオリンが実は思っていたより人を興奮させる音色であることに改めて気づいたりする．しかし，仮にヴァイオリンとヒップホップに用いられるような刺激的な音の出るドラムマシンだけの曲があったとすると，ヴァイオリンはドラムマシンの音色に負けてしまう．隣でよりかっこいい音が鳴っていると，相対的にダサいものに感じられ，その音色に興奮を感じなくなるということである．この，同時により刺激的な音が鳴っていると刺激が弱く感じられるようになるという効果をモデルに組み込む．そのため，和音を演奏している楽器がA_cだけの音色的興奮をもたらしていたとしても，ドラムやエフェクト音がかっこいいために$-\delta A_d$だけ興奮が割り引かれてしまうというモデルを考える．δは$0 < \delta < 1$をみたす実数である．すると結局和音から感じられる音色的興奮の総量Aは，$A = A_c - \delta A_d = (\alpha t + \beta) - \delta(\alpha t + \beta) = (1 - \delta)(\alpha t + \beta)$となる．以上のようなメカニズムで音色的興奮$A(t)$は決定される．この音色的興奮$A$はまた，時間とともに楽器を作る技術

の向上によって増加していくことから，ある種の技術進歩指標でもある．

ベンチマークモデルの拡張

この音色的興奮Aをカデンツの法則の経済モデルに組み込む．数値的に解くために$\delta = \frac{1}{11}$とする．例えば$t = 5$のとき，$A = 0.2$となるため，K_2の効用の測り方は以下のようになる．

表 10 K_2の効用(動学モデル)

		T	-S	-D	-T
音色的興奮(+)	A	0	0.2	0.2	0.2
和声的興奮(+)	h	0	3	4	0
待ち遠しさ	w	0	1	2	0
蓄積された待ち遠しさ(-)	g	0	1	3	0
和音の効用	y	0	2.2	1.2	0.2
カデンツの効用	k	3.6			
カデンツの長さ	l	3			

$2.2 = 0.2 + 3 - 1, 1.2 = 0.2 + 4 - 3$というふうになっている．

音色的興奮は和声的興奮と同じように和音の効用に対して正の作用をもたらす．ただし，和声的な事情に構わず音が鳴っている限り得られることから，トニックでもこの興奮は得られる．ただし，カデンツの最初のトニックに関しては前のトニックのものと重複して数えてしまうことになるのでカウントせず，0としておく．

ここで，元のモデルはこの歴史的なモデルの$A = 0$の場合の特殊ケースということになる．なお今回の数値例では$t = 4$のときに$A = 0$となる．元のモデルと比較すると，$t = 4$から$t = 5$までの人類の技術進歩によりAが 0 から 0.2 に増加したことで，長さlは変わらないまま，人類はkを 3 から 3.6 に増加させることに成功している．

このAはマクロ経済学の新古典派生産関数において全要素生産性などを表すAを参考に作ったが，今回のモデルでは作曲家の行動の影響を受けず，tについ

て線形に増加する外生的な技術進歩とし，外生成長モデルの構築を目指す．

3.4.2. 動学モデルのシミュレーション

需要の変化

さて，tが 4 から 5 に増加すると，K_2以外のカデンツの効用も変わる．このとき，最適な曲を作るにあたって作曲家に需要される各カデンツの消費量は変化するだろうか．

$t = 5, A = 0.2$のときの需要関数を実際に求めてみよう．

正のkとそれに対応するlは表 11 のようになる．

表 11 各カデンツの効用と長さ(動学モデル)

i	1	2	3	4	5	6	7
k_i	2.6	3.9	2.6	2.9	2.2	1.5	3.2
*l*_i	2	3	2	3	4	5	4

まず，$t = 4$時点では正でなかったk_6が正になっており，この時点で結果が変わりそうである．実際に最適化を実行する．

カデンツの法則遵守率低下の最初の例

プログラムは以下のようである．

$$NArgMin[-(2.6\,Sqrt[x1] + 3.9\,Sqrt[x2] + 2.6\,Sqrt[x3] + 2.9\,Sqrt[x4] + 2.2\,Sqrt[x5] + 1.5\,Sqrt[x6] + 3.2\,Sqrt[x7]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 5\,x6 + 4\,x7 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x6 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

$$\{9,10,8,5,1,1,3\}$$

したがって

$$(d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7) = (9,10,8,5,1,1,3)$$

$t = 0$のときの結果は，$d_6 = 0$であったことを考えると

$$(d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7) = (11,10,10,4,1,0,3)$$

であった．これと比べるとカデンツの法則で望ましいとされている K_1～K_3 が少し減少していて，望ましくないとされている K_4～K_7 の一部が少し増加している．カデンツの法則の遵守率fは

$$f = \frac{27}{37} = \text{約 7 割}$$

になっている．$t = 0$のときには約 8 割だったものが低下している．

細分により挙動の概要をつかむ

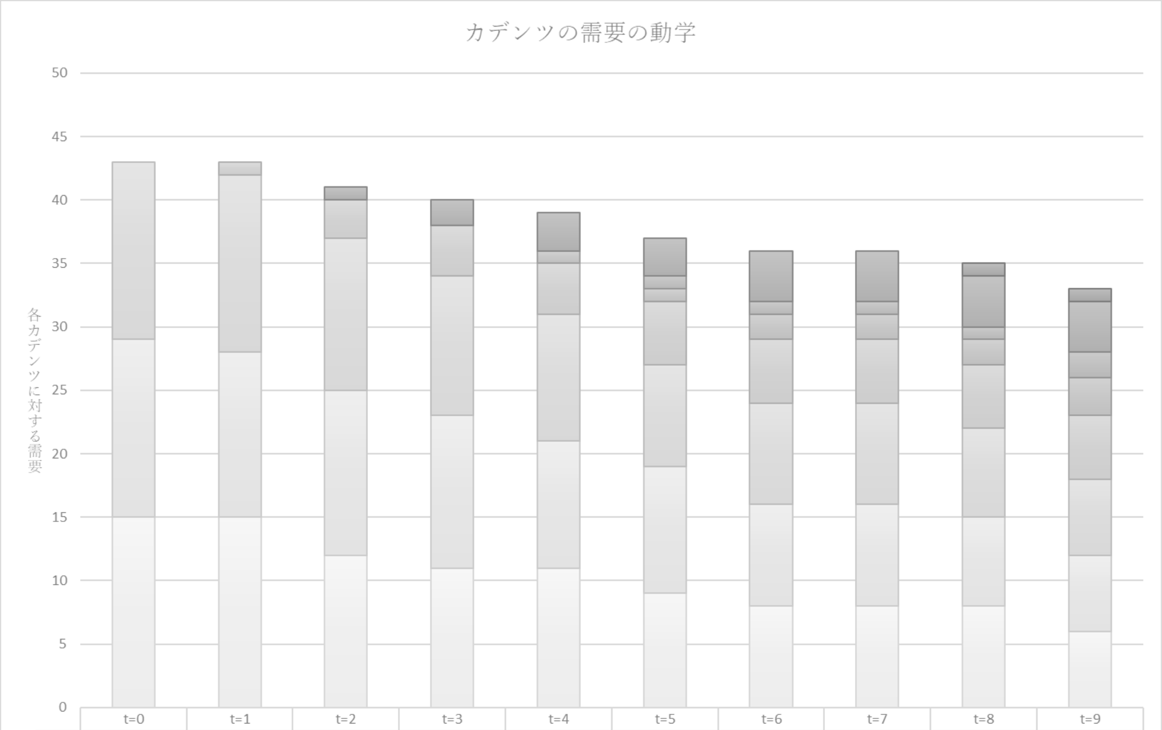
この$t = 4$と$t = 5$の 2 時点の比較から，歴史上の時間が経過し，人類が科学技術などによってより興奮させるような楽器を作るようになると，カデンツの法則はその影響で守られなくなっていくという特性をこのモデルが持っていることが予想できる．そこで他の時点を調べてもこのような特性があるかを調べる．残念ながら，tを連続的に変化させてfの変化のグラフを作ったり，微分積分的な手段を用いてtを限界的に変化させたときのfの限界的な変化を測ったりするのは，元のモデルが解析的に解けていないので難しい．そこで，$t = 0, 1, 2, \ldots, 9$の 10 時点におけるdおよびfの様子を調べることによって，カデンツの法則の動学の大勢を明らかにする．

すなわち，10 通りのtの値の下で今までと同様に 10 回数値最適化を行う．この最適化のプログラムの全文は付録 E に載せた．

シミュレーション結果

その結果は図 3 のようになった[74]．

[74] なお，K_9 の需要の計算においては 4000 回程度の試行回数では精度が悪かったため，これを 16000 回に増加させた．iが増加すると制御するベクトルの次元が上がる傾向にあるため，数値計算は大変になりそうである．



	t=0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8	t=9
K11									0	0
K8									1	1
K7			1	2	3	3	4	4	4	4
K6						1	1	1	1	2
K5				0	1	1	2	2	2	3
K4		1	3	4	4	5	5	5	5	5
K3	14	14	12	11	10	8	8	8	7	6
K2	14	13	13	12	10	10	8	8	7	6
K1	15	15	12	11	11	9	8	8	8	6

図 3 カデンツの需要の動学

図 3 の意味

図 3 は各カデンツが使われる回数を表している．横が年代である．例えば一番左の棒は$t = 0$の時代の様子を表しており，棒が三つに分割されているうち一番下の部分の長さがこの時代の K_1 に対する需要量を表している．また下から２番目の部分が K_2 に対する需要量を，下から 3 番目の部分が K_3 に対する需要量 14 を表している. 図 3 の下部に添えられている表には K_1 の需要量が 15 だったこと，K_2 の需要が 14 だったこと，K_3 の需要が 14 だったことなど具体的な数値の情報が記されている．また，例えばその右の棒の下から 3 番目の部分は，$\mathrm{t} = 1$の時代における K_3 への需要を表している. このグラフは K_1～K_8 および K_{11} の需要のみを表示していて，$i = 1, 2, 3, \ldots, 8$について各棒の下からi個目の部分が K_i の需要を表している．この 10 時点すべてにおいて，K_{12} 以降のすべてのカデ

ンツの需要は 0 となっている[75].

カデンツの法則の動学

図 3 から，このモデルの動的な傾向として，次のようなことがわかる．まずカデンツの法則で望ましいとされている K_1〜K_3 に対する需要は，傾向的に低下している．反対に，時間が進むごとに，望ましくないとされている K_4 以降のカデンツの需要が徐々に湧出していることがわかる．これによって曲で使われたカデンツの総数に占めるカデンツの法則で推奨されるカデンツの割合が相対的に減少していっている．

本稿の最大の関心はこのカデンツの法則の遵守率の動向であるから，これをグラフに描くと第 3 章冒頭で示した図 2 のようになり，同じ図をここに再掲する．

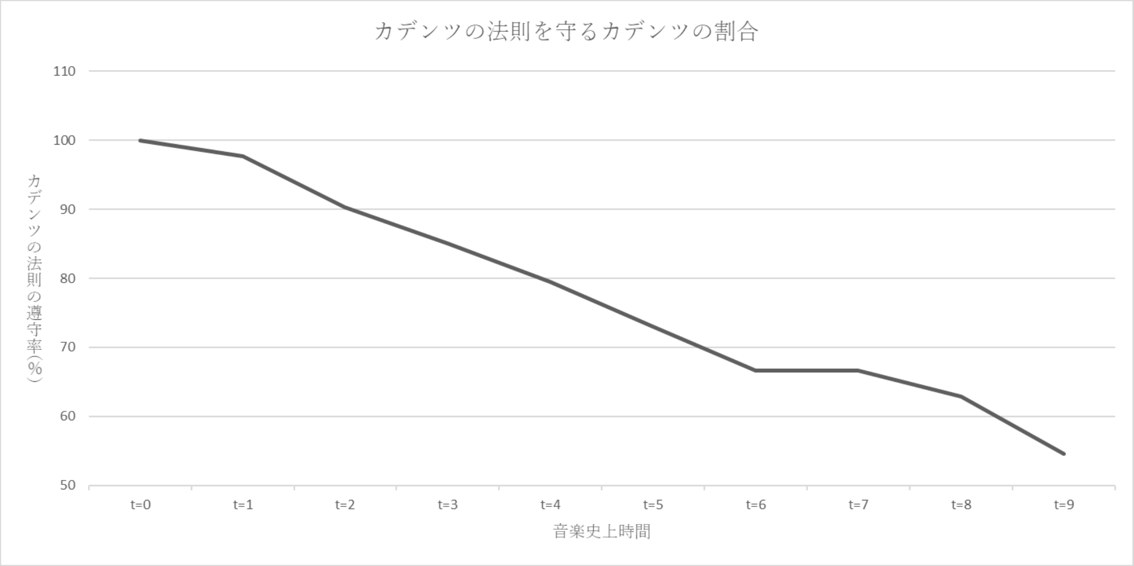


図 4 カデンツの法則の動学(再掲)

やはりこの率が歴史の中で傾向的に低下していることが視覚的にも確認される.つまり,このモデルは歴史が進むとカデンツの法則が徐々に守られなくなっていくというというモデルになっている.

75 効用が非正なので，制約よりそのカデンツを使うことができないため.

「究極的」[76]説や二分法的理解と対応させる解釈

また，図 4 の$t=0$では遵守率が 100%となっており，これはカデンツの法則という観点から見れば理想的な状態であり，すべてのカデンツがカデンツの法則を守っている理論的な原始状態となる．なお，右に行くほど棒の高さが低くなってきているのは，より長いカデンツに対する需要が増えたため，一曲の時間の中で使えるカデンツの数が減ってきているからである．ここで例えば，カデンツの法則が「成り立っている」という文を，その遵守率が 80%以上[77]であるというふうに定量的に定義したならば，$t=4$までの時代においてはカデンツの法則は成り立っており，$t=5$以降では成り立たなくなる．

まとめ

以上のように，カデンツの法則に効用関数を用いた経済学的・数学的な形式を与えることで，経済学的な最適化問題を作り，また自然言語によっては得にくい発想を用いて歴史的な議論への拡張を行った．そしてこのモデルからカデンツの法則が技術革新によってだんだん守られなくなっていくという仮説が得られた．以上でカデンツの法則の経済理論を終える．

[76] [島岡譲他, 1998]の表現．

[77] 適当な数値例である．

4. 実証分析

4.1. 調査

4.1.1. 実証分析について

計量経済学の立場からすれば，理論が作られ仮説が得られたならば，その仮説をデータによってテストしたい[78]．すなわち，過去の統計を入手し，回帰分析などの統計学の手段を用いるなどしてそれを分析し，仮説の内容と整合的であるかどうかを確かめることをしたい．もし整合的であれば，仮説は消極的に支持されたことになり，とりあえず採用しておかれることになる．

本章では前章での理論を用いた議論によって得られた仮説「カデンツの法則は時代が下るほど，楽器の発展によって守られなくなっていく」をデータと突き合わせて，整合的かどうかを調べることを目標とする．

ここで，この仮説は分析的に見ると，以下の二つの主張が含まれていることがわかる．

①カデンツの法則は時代が下るほど守られなくなっていく．

②この変化の原因は楽器の発展である．

このうち①は時代と遵守率の相関関係に関する主張であり，②は因果関係に関する主張である．

まずは①のほうを検証する．

4.1.2. 必要な情報

データを用いて検証するためには，まずはデータを得なければならない．本稿では商業音楽として使えるかということに関心をおいて，「良い曲」とはヒット

[78] 例えば[秋山裕, 2009]，第 1 章．

曲のことであるとすることにする．すると，時代ごとのヒット曲を比較して，例えば 1950 年代のヒット曲上位 100 曲の中に出てくるすべてのカデンツについて，カデンツの法則で好ましいとされている割合が，2000 年代のヒット曲のそれより大きい，というようなことを知りたい．ところが，カデンツの法則という観点からポピュラー音楽を大量に分析したデータは存在しない．冒頭で用いた Hooktheory のコード進行のデータ[79]でも，リリース年ごとの比較は行うことができない．そこで，著者が自分で実際に過去のヒット曲を聞き取って，カデンツの法則を守っているかどうかを判定してデータを得た．

4.1.3.　楽曲の収集方法

以下のような方法でデータを取得した．

インターネット上の音楽配信サービスである Apple Music のリストの中から，『洋楽ヒッツ：1970 年代』[80],『洋楽ヒッツ：1980 年代』[81],『洋楽ヒッツ：1990 年代』[82],『洋楽ヒッツ：2000 年代』[83]という名前のリストを見つけた[84]．また『ベストオブ 1950 年代ポップス』[85]と『ベストオブ 1960 年代ポップス』[86]という名前のリストも見つけたが，これらは本研究のためには曲数が少なく十分にたくさんのデータが得られなかったので，足りない分の曲数を 1950 年代については同じく Apple Music で見つけた『U.S. Chart No.1 Songs 1950's』[87]というアルバ

79 [Songs with the same chords - Theorytab].

80 [AppleMusic の curator, 洋楽ヒッツ：1970 年代].

81 [AppleMusic の curator, 洋楽ヒッツ：1980 年代].

82 [AppleMusic の curator, 洋楽ヒッツ：1990 年代].

83 [AppleMusic の curator, 洋楽ヒッツ：2000 年代].

84 これらのプレイリストはすべて curator(ここでは，おすすめの曲を集めて順番を考えて並べ，プレイリストを作ってそれをインターネットで公開する Apple の人)が作ったものである．

85 [AppleMusic の curator, ベストオブ 1950 年代ポップス].

86 [AppleMusic の curator, ベストオブ 1960 年代ポップス].

87 [U.S. Chart No.1 Songs 1950's(全米チャート 1 位名曲集-オリジナル・レコーディング編)].

ムから，60年代については『Pop Hits:1960』[88]というプレイリストから元のプレイリストと重複する曲を除いて取得した．また 1940 年代のヒット曲のリストは，大戦の影響か見つけることができなかった．1930年代のヒット曲は Apple Music で発見した『The Best of the 1930's』[89]というアルバムをデータとして用いた．1920年代以前のヒット曲は得られなかった．これらのうちプレイリストは，ユーザーではなく Apple の curator が編集したものである．これらは例えば実質売上高の基準で一位から順に並べたようなヒットチャートそのものではないが，どのデータも有名な曲が入っているように思われ[90]，ヒット曲ではあると思われる．また Apple Music のプレイリストの曲目は変化することがあるが，年代別のプレイリストとアルバムのうちどのデータも 2017 年 10 月 28 日に取得した．これらを調査に用いる楽曲として用いる．

4.1.4. カデンツの法則を守っているかの調査方法

次に，カデンツの法則を守っているかを各曲について判定したい．現在のところそれをプログラムなどによって自動的に判定できず，人間が判定を行わなければならない．そのためあまり大量の楽曲を分析することはできず，今回は 210 曲を分析対象とした．

各楽曲の最初の G の次の和音[91]の機能がカデンツの法則的に適切かのみを調べる．これは，楽曲の中にはコード進行の反復がしばしば含まれることなどから，一つの楽曲の中で最後まで分析するよりも，曲数を多くして各楽曲から少しずつデータを取った方が偏りのないデータが得られそうだからである．ただし，

---

88 [AppleMusic の curator, Pop Hits:1960].

89 [The Best of the 1930's].

90 さほど昔の音楽に詳しくない著者でも聞いたことのあった曲が入っていた．

91 これは相対 G を意味していて，クラシックや藝大和声でいう V の意である．また，これは初めもう 1 つのダイアトニックなドミナントである Bdim の後も調べようとしていたが，Bdim は調査中めったに現れなかったことからである．

4 曲程度しかなかったものの G より先に E が出てくる曲があり，これらの E も並行短調という密接に関わっている調のドミナントであることから，このような場合には E の後がカデンツの法則に照らして「正しく」解決しているかを調べた[92]．リストの 1 曲目から順に最初の G の次の和音によってカデンツの法則を守っているかを判定していく．このときコード進行がよくわからない楽曲などは判定せずに除外した．各年代について判定できた楽曲が 30 曲になるまで調査を行った．50 年代などについては前述のように 30 曲に達する前にすべての曲を分析しおわってしまったので，その場合は同時代のヒット曲が集まっている他のプレイリストやアルバムの曲で分析を続けた．このようにして 7 つの年代についてそれぞれ 30 曲分のデータを得た．

4.1.5. 判定結果

判定の結果は，表 12～18 の各 1 列目から 4 列目までのようになった．2 列目に曲名が，3 列目に最初の G の次のコードが，4 列目に 3 列目のコードがカデンツの法則的に好ましいものなら○を，そうでないなら×が書かれている．このうち守っていない×の曲は太字で記した．細かい判定の基準について表に注釈を付けたが，長くなり非常に細かいことも含むため大筋の理解をかえって妨げるように思われ，付録 B として本文の後に載せた．その他の列に*と書いてあるものは，必要があれば付録 B の対応する注釈を見ていただきたい．

[92] その付近を短調として見たときに機能的に「正しい」かを判断した．

表 12 1930 年代の判定結果

1930年代のヒット曲									
曲番号	曲名	曲中で最初に鳴った相対Gの和音の次の和音（相対表記）	その和音はカデンツの法則に従うと相対Gの次に来て良いとされている和音か	曲中にエレキギターが使われているか	曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか	曲中にシンセサイザーが使われているか	曲中にEDMのような激しいシンセサイザーが使われているか	曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか	その他
1930-01	Brother, Can You Spare a Dime	Am	○	すべて×					*1930-01
1930-02	Any Old Time	C	○						
1930-03	Over the Rainbow	C	○						
1930-04	Night and Day	不明	除外						
1930-05	**Begin the Beguine**	**F**	×						**ただし、Dm7などかもしれず、やや判定しがたい。**
1930-06	What a Little Mooonlight Can Do	C	○						
1930-07	Between the Devil and the Deep Blue Sea	C/E	○						他のコードである可能性がある。
1930-08	Falling in Love Again	C	○						
1930-09	I Ain't Got Nobody	C7	○						Cかもしれない。
1930-10	It Ain't What You Do (It's the Way That You Do It)	C	○						
1930-11	Alexander's Ragtime Band	C	○						
1930-12	I Wonder Who's Kissing Her Now	C	○						
1930-13	Little Brown Jug	C	○						ファミレは経過音だとみなした。
1930-14	**Boogie Woogie**	**Fm**	×						
1930-15	The Trail of the Lonesome Pine	C	○						
1930-16	You're Driving Me Crazy (What Did I Do)	C	○						
1930-17	Sweet Leilani	C	○						
1930-18	A-Tisket, A-Tasket	C	○						
1930-19	You Always Hurt the One You Love	C	○						
1930-20	Let's Face the Music and Dance	C	○						
1930-21	Blue Skies	C	○						
1930-22	You're the Top	C	○						
1930-23	Strange Fruit	Am	○						
1930-24	Blue Moon	C	○						
1930-25	In the Mood	C	○						
1930-26	Cheek to Cheek	C	○						
1930-27	Love for Sale	A	○						ピカルディの三度である。
1930-28	Fascinatin' Rhythm	Am	○						*1930-28
1930-29	Goodnight Sweetheart	Am	○						
1930-30	Summertime (From "Porgy and Bess")	Am	○						
1930-31	Two Sleepy People	C	○						

表 13 1950 年代の判定結果

1950年代のヒット曲

曲番号	曲名	曲中で最初に鳴った相対Gの和音の次の和音(相対表記)	その和音はカデンツの法則に従うと相対Gの次に来て良いとされている和音か	曲中にエレキギターが使われているか	曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか	曲中にシンセサイザーが使われているか	曲中にEDMのような激しいシンセサイザーが使われているか	曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか	その他
1950-01	Chances Are (Single Version)	C	○						
1950-02	Put Your Head On My Shoulder	C	○						
1950-03	You Send Me	C	○						
1950-04	That Doggie in the Window	D	除外						
1950-05	Beyond the Sea	C	○						
1950-06	Love and Marriage	C	○						
1950-07	(Get Your Kicks On) Route 66	不明	除外						
1950-08	Whatever Lola Wants (Lola Gets)	Gなし	除外						
1950-09	Donna	C	○						
1950-10	Day-O (The Banana Boat Song)	C	○						
1950-11	Rags to Riches	C	○						
1950-12	Love Letters in the Sand	D	除外						
1950-13	Theme from "A Summer Place"	C	○						
1950-14	Play a Simple Melody	C	○						
1950-15	Wheel of Fortune	C	○						
1950-16	Love Me or Leave Me	C	○						
1950-17	I Want You, I Need You, I Love You	C	○	○					
1950-18	Jezebel	Gなし	除外						
1950-19	I Love You, Yes I Do	不明	除外	○					Eb/Bbのような気がするがよく分からない和音
1950-20	Butterfly	C	○						
1950-21	Sincerely	C	○						
1950-22	**Bewitched**	**Dm**	×						
1950-23	Spring Is Here	不明	除外	○					*1950-23
1950-24	Kookie Kookie (Lend Me Your Comb)	C	○	○					
1950-25	When You're Smiling (The Whole World Smiles With You)	C	○						
1950-26	ドント・ビー・クルーエル(冷たくしないで)	C	○	○					以下は別のアルバムから補った曲である
1950-27	アット・ザ・ホップ	C	○						
1950-28	キャッチ・ア・フォーリング・スター(流れ星をつかもう)	C	○						
1950-29	オー・マイ・パパ	C	○						
1950-30	**監獄ロック(Jailhouse Rock)**	**F**	×						***1950-30**
1950-31	ヤング・ラヴ	C	○	○					
1950-32	慕情(Love Is A Many-Splendored Thing)	C	○						*1950-32
1950-33	ウェイワード・ウインド(風来坊)	不明	除外						*1950-33
1950-34	四月の恋(April Love)	不明	除外						何かコードはあるが聞き取るには速すぎる
1950-35	ラーニング・ザ・ブルース	CM7	○						
1950-36	シンシアリー	重複	除外						上のリストと重複する
1950-37	**ハウンド・ドッグ**	**F**	×	○	○				***1950-37**
1950-38	ロックンロール・ワルツ	C	○						
1950-39	貧者から富者へ(心は王様)[Rags To Riches]	重複	除外						上のリストと重複する
1950-40	テキサスの黄色いバラ(The Yellow Rose of Texas)	C	○						
1950-41	ユー・ユー・ユー	C	○						

表 14 1960 年代の判定結果

1960年代のヒット曲								
曲番号	曲名	曲中で最初に鳴った相対Gの和音の次の和音(相対表記)	その和音はカデンツの法則に従うと相対Gの次に来て良いとされている和音か	曲中にエレキギターが使われているか	曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか	曲中にシンセサイザーが使われているか	曲中にEDMのような激しいシンセサイザーが使われているか	曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか	その他
1960-01	**The Twist**	**F**	×						
1960-02	I'm a Believer (2006 Remastered Original Stereo Version)	C	○	○					
1960-03	Brown Eyed Girl	C	○	○					
1960-04	I Got You Babe (Single Version)	C	○	○					
1960-05	I Want to Hold Your Hand	C	○	○					
1960-06	**Happy Together**	**F**	×	○					
1960-07	Groovin'	C	○						
1960-08	Son of a Preacher Man	C	○						
1960-09	**Hang On Sloopy**	**F**	×	○					
1960-10	Mrs. Robinson	C7	○						
1960-11	These Boots Are Made for Walkin'	Gなし	除外	○					
1960-12	For What It's Worth	Gなし	除外	○					
1960-13	**Mr. Tambourine Man**	**F**	×	○	○				
1960-14	Sweet Caroline (Single Version)	C	○					○	
1960-15	**Wooly Bully (Alternate)**	**F**	×						**この進行が流行っていた**
1960-16	Surfin' U.S.A.	C	○	○					
1960-17	Mony Mony	C	○	○					
1960-18	Oh, Pretty Woman	C	○	○					
1960-19	Sherry	C	○	○					
1960-20	You've Lost That Lovin' Feelin'	C	○	○					
1960-21	**California Dreamin' (Single Version)**	**F**	×	○					**先駆的**
1960-22	Windy	Am	○	○					
1960-23	Surfin' Safari	E→Am	○	○	○				
1960-24	My Way (Remastered 2008)	C	○	○					
1960-25	The Twist	前リストと	除外						以下は別のプレイリストから補った曲である
1960-26	(What A) Wonderful World	C	○						
1960-27	**When Will I Be Loved**	**F**	×	○					
1960-28	Only the Lonely	C	○						
1960-29	Save the Last Dance for Me	C	○						
1960-30	It's Now or Never	C	○	○					
1960-31	Money and Me	C	○	○				○	
1960-32	Stay	C	○						
1960-33	Beyond the Sea	重複	除外						*1960-33
1960-34	Theme from "A Summer Place" (Single Version)	重複	除外						*1960-34
1960-35	He Will Break Your Heart	C	○	○				○	

表 15 1970 年代の判定結果

1970年代のヒット曲									
曲番号	曲名	曲中で最初に鳴った相対Gの和音の次の和音(相対表記)	その和音はカデンツの法則に従うと相対Gの次に来て良いとされている和音か	曲中にエレキギターが使われているか	曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか	曲中にシンセサイザーが使われているか	曲中にEDMのような激しいシンセサイザーが使われているか	曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか	その他
1970-01	ステイン・アライヴ	Am	○						
1970-02	Let's Stay Together	C	○						
1970-03	**Livin' Thing**	**Dm**	×						
1970-04	ベニーとジェッツ(やつらの演奏は最高) [Remastered 2014]	E/G#→Am	○						
1970-05	I Will Survive	C	○						
1970-06	**The Chain**	**F**	×	○				○	
1970-07	Joy to the World	E/G#→A	○	○					マイナーからの借用が多いメジャーと解釈した
1970-08	Dancing Queen	E→Am	○						
1970-09	I Can See Clearly Now	C	○	○					
1970-10	Take It Easy	C	○	○	○				*1970-10
1970-11	**Brandy (You're A Fine Girl)**	**F**	×						
1970-12	I Am Woman	C	○	○					
1970-13	**Fox On the Run**	**F**	×	○	○				
1970-14	Come and Get Your Love	Gなし	除外	○					
1970-15	I Wanna Be Your Lover	Gなし	除外	○				○	先駆的進行
1970-16	Hooked on a Feeling	Am	○						*1970-16
1970-17	December, 1963 (Oh, What a Night)	C	○					○	
1970-18	All By Myself	C	○						
1970-19	Lake Shore Drive	Gなし	除外	○					
1970-20	Midnight Train to Georgia	C	○					○	
1970-21	Flash Light	Gなし	除外			○			
1970-22	I Want You Back	C	○	○					
1970-23	Get Down Tonight	Gなし	除外						加工したギターなのか他の民族楽器なのかわからない
1970-24	Evil Woman	C9	○						
1970-25	Saturday In the Park	C	○					○	*1970-25
1970-26	I'm Not In Love	E/G#	○					○	*1970-26
1970-27	Get It On	Gなし	除外	○				○	
1970-28	**You Sexy Thing**	**F**	×	○				○	
1970-29	Let's Get It On	C	○						
1970-30	**Go Your Own Way**	**F**	×	○	○			○	
1970-31	You Ain't Seen Nothing Yet	C	○	○	○				
1970-32	**Good Times**	**Dm**	×	○	○			○	
1970-33	You're the One That I Want (From "Grease" Soundtrack)	Am	○					○	
1970-34	**Sister Golden Hair**	**F**	×	○	○				
1970-35	You Are the Sunshine of My Life (Single Version With Horns)	C	○			○		○	*1970-35
1970-36	Play That Funky Music	Gなし	除外	○					
1970-37	The Hustle	C	○					○	

表 16 1980 年代の判定結果

1980年代のヒット曲									
曲番号	曲名	曲中で最初に鳴った相対Gの和音の次の和音(相対表記)	その和音はカデンツの法則に従うと相対Gの次に来て良いとされている和音か	曲中にエレキギターが使われているか	曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか	曲中にシンセサイザーが使われているか	曲中にEDMのような激しいシンセサイザーが使われているか	曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか	その他
1980-01	Take On Me	C	○	○		○		○	
1980-02	Wake Me Up Before You Go-Go	C	○	○		○		○	
1980-03	Billie Jean	Gなし	除外					○	
1980-04	Karma Chameleon	C	○	○					
1980-05	Like a Virgin	C	○	○		○		○	
1980-06	1999	Gなし	除外			○		○	
1980-07	Sweet Dreams (Are Made of This)	Am	○			○		○	
1980-08	I Can't Go for That (No Can Do)	Gなし	除外			○		○	
1980-09	Hungry Like the Wolf (2009 Remastered Version)	A	○	○	○	○			*1980-09
1980-10	Super Freak	不明	除外	○		○		○	
1980-11	Eye of the Tiger	Gなし	除外	○	○				*1980-11
1980-12	Jessie's Girl	Am	○	○					
1980-13	Let's Go Crazy	C	○			○			
1980-14	She Blinded Me With Science	Gなし	除外	○		○		○	
1980-15	Old Time Rock & Roll	C	○	○		○			*1980-15
1980-16	**Dancing in the Dark**	**F**	×	○		○		○	
1980-17	Faith (2010 Remastered Version)	C	○						
1980-18	Call Me	Am	○	○	○			○	
1980-19	Caribbean Queen (No More Love On the Run)	Em	○			○		○	
1980-20	Africa	Ab	除外			○			
1980-21	**Walking on Sunshine (2004 Version)**	**F**	×	○				○	
1980-22	Sunglasses At Night	Am	○			○		○	
1980-23	Footloose	C	○	○	○	○		○	*1980-23
1980-24	Ghostbusters	Gなし	除外			○			
1980-25	The Power of Love	C	○	○	○	○		○	
1980-26	Voices Carry (Single Mix)	Gなし	除外	○	○	○		○	
1980-27	**The Bird**	**F**	×						
1980-28	**Jack & Diane**	**F**	×	○	○			○	**冒頭はC(音程)が通奏してるのでCとみなした**
1980-29	Gloria (Single Version)	C	○	○	○	○		○	*1980-29
1980-30	Little Red Corvette	Am	○			○		○	
1980-31	Shout (7" Edit)	Gなし	除外	○	○	○		○	
1980-32	Venus	Am	○	○		○		○	和音判定にやや自信がない
1980-33	**Dancing With Myself**	**F**	×	○				○	
1980-34	Down Under	Am	○	○		○		○	
1980-35	Careless Whisper	Gなし	除外			○			
1980-36	Don't You Want Me	Am	○	○		○		○	
1980-37	**Whip It**	**F**	×	○		○		○	
1980-38	You Might Think	C	○	○	○	○		○	
1980-39	Electric Avenue	Gなし	除外	○	○	○	○	○	
1980-40	Centerfold	C	○	○	○	○		○	*1980-42
1980-41	Come On Eileen	C7	○					○	
1980-42	Major Tom	Gなし	除外	○	○	○			
1980-43	Tainted Love/Where Did Our Love Go (Extended)	C	○			○		○	*1980-43

表 17 1990 年代の判定結果

1990年代のヒット曲								
曲番号	曲名	曲中で最初に鳴った相対Gの和音の次の和音(相対表記)	その和音はカデンツの法則に従うと相対Gの次に来て良いとされている和音か	曲中にエレキギターが使われているか	曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか	曲中にシンセサイザーが使われているか	曲中にEDMのような激しいシンセサイザーが使われているか	曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか	その他
1990-01	Just a Girl	C	○	○	○				
1990-02	No Scrubs	Am	○	○				○	*1990-02
1990-03	Livin' la Vida Loca	E→Am	○						
1990-04	The Sign (Remastered)	A	○			○		○	
1990-05	**Wonderwall (Remastered)**	**F**	×	○					
1990-06	Vogue (Edit Version)	Gなし	除外			○			
1990-07	Mr. Jones	Am	○	○				○	
1990-08	Fantasy	Gなし	除外			○			
1990-09	Lovefool	C	○	○		○		○	
1990-10	**Juicy**	**FM7**	×					○	
1990-11	Wannabe (Radio Edit)	A	○	○					
1990-12	No Diggity (feat. Dr. Dre & Queen Pen)	Gなし	除外	○				○	*1990-12
1990-13	Back & Forth	E	○					○	*1990-13
1990-14	Say My Name	E/G#→Am	○						
1990-15	7	Bb	除外						0:20を最初のVとみなした
1990-16	Waterfalls	Gなし	除外	○		○		○	
1990-17	**Pony**	**F**	×			○	○	○	***1990-17**
1990-18	Gonna Make You Sweat (Everybody Dance Now)	Gなし	除外			○	○	○	*1990-18
1990-19	Don't Speak	Em	○						
1990-20	The Boy Is Mine	Gなし	除外						
1990-21	Nuthin' but a G thang (feat. Snoop Dogg)	Am	○					○	
1990-22	**MMMBop**	**F**	×					○	
1990-23	Poison	Gなし	除外			○		○	そもそもコードがない
1990-24	Real Love	Gなし	除外					○	
1990-25	**Whoomp! There It Is**	**F**	×					○	
1990-26	Walking In Memphis	C	○			○			
1990-27	Thieves In the Temple	Am	○			○			
1990-28	The Power	Gなし	除外	○	○			○	ただし本当にギターなのかは疑わしい
1990-29	Remember the Time	Gなし	除外			○		○	
1990-30	ホールド・オン	C	○			○			*1990-30
1990-31	My Boo	Amadd9	○						
1990-32	**Missing (Todd Terry Club Mix US Radio Edit)**	**Dm**	×						
1990-33	Intergalactic	Am	○			○		○	*1990-33
1990-34	Summertime	Am	○			○		○	
1990-35	Hold On	C	○						
1990-36	**Freedom! '90 (Remastered)**	**F**	×			○		○	
1990-37	C'mon N' Ride It (The Train) [Dance Remix]	A	○			○		○	
1990-38	Hey Jealousy	Am	○	○	○			○	
1990-39	Regulate (feat. Nate Dogg) [Destructo & Wax Motif Remix]	Am	○			○	○	○	
1990-40	What Is Love (7" Mix)	Am	○			○	○	○	
1990-41	I'll Be Missing You (feat. Faith Evans & 112)	F	○						*1990-41

表 18 2000 年代の判定結果

2000年代のヒット曲

曲番号	曲名	曲中で最初に鳴った相対Gの和音の次の和音(相対表記)	その和音はカデンツの法則に従うと相対Gの次に来て良いとされている和音か	曲中にエレキギターが使われているか	曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか	曲中にシンセサイザーが使われているか	曲中にEDMのような激しいシンセサイザーが使われているか	曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか	その他
2000-01	Crazy In Love	Gなし	除外					○	
2000-02	Rock Your Body	Gなし	除外	○		○		○	
2000-03	Empire State of Mind (feat. Alicia Keys)	F	○			○		○	GではなくEからである
2000-04	**Just Dance (feat. Colby O'Donis)**	**Dm**	×			○	○	○	
2000-05	Party In the U.S.A.	C	○	○				○	
2000-06	Teenage Dream	Am	○	○				○	*2000-06
2000-07	The Sweet Escape	Am	○	○				○	直接関係ないことだがC G/B Amと導音は下降
2000-08	**Paper Planes**	**F**	×	○		○		○	
2000-09	Viva La Vida	C	○						GでなくGsus4か何かかもしれない
2000-10	Umbrella (feat. JAY Z)	Gなし	除外					○	
2000-11	**Since U Been Gone**	**Dm**	×	○				○	
2000-12	TiK ToK	Am	○			○	○		
2000-13	Hey Ya! (Radio Mix / Club Mix)	A	○	○				○	
2000-14	Gold Digger (feat. Jamie Foxx)	Gなし	除外					○	
2000-15	Toxic	Am	○	○		○		○	*2000-15
2000-16	Work It (Promo Version)	Gなし	除外					○	コードなし
2000-17	**1901**	**F**	×	○	○	○	○	○	
2000-18	**Rolling in the Deep**	**F**	×	○					
2000-19	Beautiful	Gなし	除外						
2000-20	**Dancing On My Own**	**F**	×			○	○	○	**これは太いシンセに含めない**
2000-21	I Just Wanna Love U (Give It 2 Me)	Gなし	除外	○				○	
2000-22	Don't Cha	Gなし	除外			○	○	○	
2000-23	The Way I Are (Bonus Track) [feat. Keri Hilson & D.O.E.]	Am	○			○	○	○	ゲートだがリードっぽので
2000-24	Hips Don't Lie (feat. Wyclef Jean)	CM7	○					○	*2000-24
2000-25	Harder To Breathe	Gなし	除外	○	○				
2000-26	Love Story	Am	○	○					
2000-27	Crazy	Am	○			○		○	これは太いシンセに含めない
2000-28	**Irreplaceable**	**Dm**	×	○				○	***2000-28**
2000-29	Promiscuous	Gなし	除外			○		○	これだけ進行してドミナントがない珍しい曲
2000-30	Cry Me a River	F	○	○		○	○		GではなくEからである
2000-31	Always On Time (feat. Ashanti)	Gなし	除外	○		○	○	○	
2000-32	Lady Marmalade	不明	除外			○	○	○	
2000-33	Apologize	Am	○					○	
2000-34	We Belong Together	Em7(→F)	○					○	Em7はそもそもTなので○
2000-35	SexyBack (feat. Timbaland)	Gなし	除外			○	○	○	コードなし
2000-36	**In da Club**	**Dm**	×			○	○	○	***2000-36**
2000-37	Bad Romance	Am7	○			○	○	○	Amとみなしてもよい
2000-38	This Love	Am	○	○				○	ハードロックまでは行かないとする
2000-39	Unwritten	Gなし	除外	○				○	
2000-40	Get Right (feat. Fabolous)	Gなし	除外					○	コードなし
2000-41	**The Middle (Demo Version)**	**F**	×	○	○			○	
2000-42	Ms. Jackson	Am	○			○		○	
2000-43	Unfoolish	C	○						
2000-44	Glamorous (feat. Ludacris)	Am7	○			○		○	
2000-45	**Nothin' On You (feat. Bruno Mars)**	**F**	×			○			

表 12～18 のデータの記述統計量は表 19 のようである.

表 19 年代別データの記述統計量

曲数(サンプルサイズ)	210	
年代		
1935年が30曲、1955年が30曲、1965年が30曲、……、2005年が30曲		
平均	1973.571	
標本標準偏差	22.315	
最小値	1935	
最大値	2005	
2値変数(そうであれば1、そうでなければ0)	曲数	平均
カデンツの法則を守る	167	0.795
エレキギターが使われている	79	0.376
激しいエレキギターが使われている	21	0.100
シンセサイザーが使われている	77	0.367
激しいシンセサイザーが使われている	11	0.052
ドラムが大幅に加工されている	49	0.233

例えば 1950 年代の表の 2 行目を見ると，1950 年代に発表された Chances Are (Single Version)という曲は曲中最初のドミナントの G が C に解決しており，したがってカデンツの法則を遵守して進行しているということがわかる．

4.2. 相関関係

4.2.1. 仮説のテスト

4.2.2. 計量モデル

取得したこのデータを用いれば，①「カデンツの法則は時代が下るほど守られなくなっていく」という相関関係があるかをテストすることができる．各曲について，年代を説明変数とし，守っているか守っていないかを被説明変数として回帰分析を行えばよい．ここで，例えば 1930 年代の曲は 1930 年から 1939 年の間に発表されていて，すべての曲の発表年を信頼できる情報源を引用しながら調べるのは大変そうだったので，どの曲も 1935 年の曲として分析を行った

[93]．例えば前述の Chances Are は説明変数である年代 $= 1955$ で，被説明変数である守る $= 1\left(\text{守っている}\right)$とした．守っているかいないかは 2 値変数として守っていれば 1，いなければ 0 を割り当てた．2 値の被説明変数に対して確率モデルを構成するために，プロビットの回帰分析を行う[94]．すなわち

$$Probit\left(\text{守る}_i\right) = \alpha\text{年代}_i + \varepsilon_i$$

という計量モデルを推定する．ε_iは誤差である．

推定を統計ソフトの R を用いて行う．次のようなコードを入力する．

$$summary\left(glm\left(\text{守る}\sim\text{年代}, family = binomial(link = probit), data = read.csv(Law\ of\ Cadence.csv, header = T)\right)\right)$$

4.2.3.　回帰分析の結果

すると，結果は表 20 のようになる．

表 20 守る~年代の結果

	係数	有意性	p値	標準誤差
切片	26.2877	**	0.00483	9.32756
年代	-0.01288	**	0.0063	0.00472

なお，本稿のすべての統計分析結果において有意性の記号は

$$0\text{‘} *** \text{’}0.001\text{‘} ** \text{’}0.01\text{‘} * \text{’}0.05\text{‘}.\text{’}0.1\text{‘ ’}1$$

とする．

[93] 1934.5 としないと偏るという意見があるかもしれないが，直観的に $\lim_{a-1940\to -0}\frac{1930+a}{2} = 1935$ のように考えた．このときaは 1930 年代を出ることはなく，実数として 1930 年代の最後までを網羅している．さらに，たとえ 1934.5 や 1930 などの値にしたとしても，定性的な結果が知りたい本稿で必要な回帰分析の係数の符号や有意性は変わらないはずだから，この値は他の年代との距離の比が保存されている限りどのように取っても良い．

[94] 計量経済学の教科書である[山本勲, 2015]，第 7 章に載っているように，プロビット・モデルは経済学ではよく使われる計量モデルである．

この結果は，有意水準 1%で，年代が進むほどカデンツの法則は守られにくくなるという傾向があるということである．言い換えれば，カデンツの法則を破る曲の割合がだんだん増えていっている傾向にあるということである．したがって，①の仮説がこの検定によって棄却されることはなかった．

4.2.4. 直観的な図

またこの傾向の直観的なイメージの把握を容易にするために，表 21 と図 5 を掲載する．これは年代ごとに，調べた 30 曲のうち何曲がカデンツの法則を守っていたかを表している．

表 21 年代ごとの守る曲数

年代	守る曲数
1935	28
1955	27
1965	23
1975	22
1985	24
1995	23
2005	20

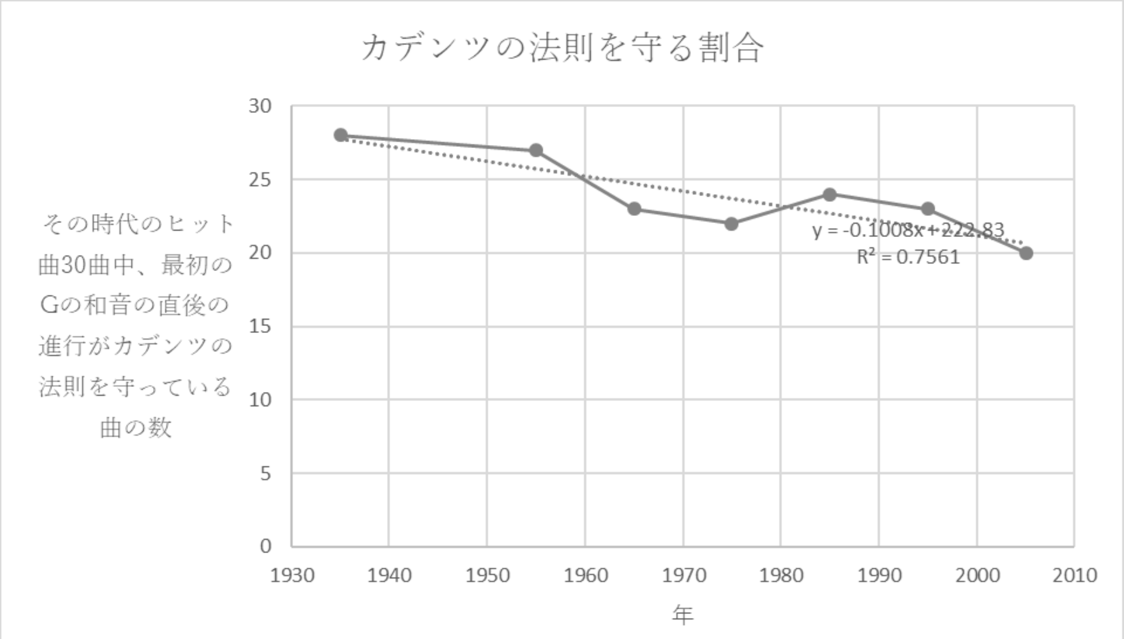


図 5 年代ごとの守る曲数

点線は線形の回帰線である. これによって視覚的にもやはりその割合が低下していることがわかる.

以上のように, ①「カデンツの法則は時代が下るほど守られなくなっていく」という仮説は計量経済学の基準に照らして検定を通過した.

4.3. 因果関係

4.3.1. 因果関係

次に, ②「この変化の原因は楽器の発展である」のほうを検証したい.

そもそも, 因果関係というのは人間の「直感の形式[95]」であり, 確かめるのが難しい[96]が, 本稿ではもし因果関係があるならば少なくとも次のことが成り立ってなければならないと考える.

「年代を統御すると, 人々を興奮させるような刺激的な音色の楽器でコードが演奏されている曲ほど, カデンツの法則が破られやすい」

これは, 仮説によれば現代でも興奮させないような音色の楽器で曲を作れば, カデンツの法則を概ね守るはずだからである.

4.3.2. 楽器の発展

このような分析をするためには, 年代と「楽器の発展度合い」の二つを説明変数, カデンツの法則の守られる頻度を被説明変数とした重回帰分析を行いたい. しかしそのためには, まず楽器の発展度合いを測定する方法を考え, そのデータを取得しなければならない.

楽器の興奮させ方を機械的に測ることは困難だが, 例えばエレキギターは 2018 年現在の多くの人々の感覚からいってうるさくやかましく人々を興奮さ

---

95 [豊田秀樹, 1998], 147 頁.

96 「もっとも[…]信頼に足るエビデンス」である「ランダム化比較試験」([中室牧子, 2015], 163 頁)ですら, 「完全無欠[…]かといえば[…]そうとはいえません」(同上, 178 頁).

せる楽器に入るだろう．またシンセサイザーは，こちらはかなり地味な音や綺麗な音，オルガンのような音などの大人しい音も多用されるものの，やはり新しい楽器であってとりわけ EDM[97]などで使われるリードと呼ばれる音色などは，やはり刺激的で興奮させる印象をもつ人が多いだろう．このような，ある程度現代人の共通見解がありそうな音色に絞れば，エレキギターが使われているか，などは判定することができる．

4.3.3.　測定方法

そこで，楽器の技術進歩指標として，

(a)エレキギターが使われているか

(b)EDM でしばしば使われる種類の音色のシンセサイザーが使われているか

の二つの 2 値変数[98]を説明変数に加える．これらの情報を，カデンツの法則が守られてるかを調査したのと同じ 210 曲について聞き取って調査を行う．ただし，時間と労力の限界から，各曲について開始後 15 秒の間に現れた楽器のみを，その曲で使われた楽器とした[99].

これらの他に，念のため

(c)ハードロックでしばしば使われる種類の音色のエレキギターが使われているか

(d)シンセサイザーが使われているか

も測定しておく．このうち，理論的には(c)は，エレキギターはエレキギターで

97 エレクトロニック・ダンス・ミュージック．「直訳すると『電子の・踊る・音楽』となります．つまり，シンセサイザーなどを使って生み出す音＝”電子音“の音楽ジャンル」であり，「クラブで流れていたらとにかく踊りたくなる音楽」である [EDM MAXX 編集部].

98 そうであれば 1，そうでなければ 0 とした．

99 最初の数十曲の調査で，ポップスに近いジャンルでは，最初の 15 秒ほどで概ねイントロ部分が終わり主要な楽器が現れると感じたため，15 秒とした．この計測方法は不正確さを生み出すが，どの楽器も見逃されうるため，さほど偏りはないだろう．実際に調査中ときどき曲の後半も聴いてみたが，後半になって初めて出てくるような楽器はあまりないように思われた．

あるだけですでにやかましい音色であるのでこれ以上特定化する必要はないと思ったものの，興奮させる音色の指標になってはいるため，例えば守るかを年代と(c)だけで回帰したり，あるいは年代と(c)と(b)で回帰したりすれば相関関係があるかもしれない．一方，(d)はシンセサイザーが使われているというだけでは，確かに新しい楽器ではあるものの，興奮させるような音色でないシンセサイザーの音色がポップスで使われているすべてのシンセサイザーのうち多数を占めるだろうから，興奮に結びついておらず，有意な結果がでないのではないかと予想される[100].

4.3.4.　割引の計量モデルへの組み込み

また，第3章で述べたように，コードを鳴らす楽器以外の楽器で刺激的でかっこいい楽器があると，コードを鳴らす楽器のかっこよさが相対的に霞んでしまうという人間の認識に関する効果をこの理論では考えている．そこで

(e)加工されたドラムが使われている

という説明変数も加えることにして，これのデータも取る．加工されているというのは，コンプレッサーやイコライザーのエフェクター[101]をかけることによって，もはや生の録音だと考えるのは不自然であると思われるくらい大幅に加工されているか，またはドラムマシンの音，明らかにサンプリングやシンセサイザーで作ったと思われる音などであるかを満たしているときに，「加工された」とみなしている．理論的にはこの(e)の変数と守るかとは，負の相関を持つはずである[102].

そして，これらの調査結果が既出の表12～18の5～9列目である．

---

[100] これらについては頑健性の節で述べる．

[101] 音色をかっこよくする装置である．

[102] ただしその効果の大きさは限定的で，たとえば他の説明変数の影響でカデンツの法則を破りやすくなっていってくという傾向を覆し逆の傾向をもたらすというほどの影響力はないと予想される．

4.3.5. 重回帰モデル

以上のように考え, 得られたデータを元に次のような重回帰の統計モデルを推定する.

$$Probit\left(守る_i\right) = \alpha 年代_i + \beta エレギ有_i + \gamma 激しいシンセ有_i + \delta 加工したドラム有_i + \varepsilon_i$$

このうちまずβ,γは負に，δは正に出ることを期待する．次にαは，もしエレギと激しいシンセのみでは技術進歩を測りきれていないという面がある場合には, その他の進歩していっていて興奮させるようになっていってる楽器の効果が反映されると思われることから，非正の値が期待される.

それでは，実際に R を用いて回帰分析してみる．R のコードは次のようである.

$$summary\left(glm\left(formula = 守る \sim 年代 + エレキギター + 激しいシンセ + 加工したドラム, family = binomial(link = probit), data = read.csv(Law\ of\ Cadence.csv, header = T)\right)\right)$$

結果は表 22 のようになる.

表 22 守る~年代+エレキ+激しいシンセ+ドラムの結果

	係数	有意性	p値	標準誤差
切片	25.183501	*	0.0249	11.225263
年代	-0.012248	*	0.0317	0.005703
エレキギター	-0.509313	*	0.0179	0.215177
激しいシンセ	-1.04738	*	0.0284	0.477809
加工したドラム	0.59656	*	0.0496	0.303844[103]

4.3.6. 解釈

以上のように，期待どおりの符号で，すべて5%で有意の結果が得られた．この結果を日本語にすると，年代が新しく，エレキギターが使われていて，激しいシンセが使われていて，ドラムは加工されていない曲ほど，カデンツの法則を破りやすい，ということである．あるいは，年代が古く，エレキギターが使われておらず，激しいシンセが使われておらず，ドラムが加工されている曲ほど，カデンツの法則を守りやすい，ということである．

4.3.7. 楽器ごとの影響力の比較

また，各説明変数の効果の大きさを比較してみたい．標準偏回帰係数を得るために説明変数のデータを標準化した[104]．このデータで回帰分析を行うと，推定値は表23のようになった．

表 23 標準化推定量

	係数	有意性	p値	標準誤差
切片	0.9031	***	<2e-16	11.225263
年代	-0.2733	*	0.0317	0.005703
エレキギター	-0.2467	*	0.0179	0.215177
激しいシンセ	-0.2334	*	0.0284	0.477809
加工したドラム	0.2523	*	0.0496	0.303844

[103] 本稿の統計分析結果において有意性の記号は

0‘ *** ’0.001‘ ** ’0.01‘ * ’0.05‘.’0.1‘ ’1

とする．

[104] 2値変数も含めすべての説明変数を，大小関係がそのままになり，平均が0，分散が1になるように変換した．被説明変数は0,1のままにした．

したがって，年代，エレキギターの有無，激しいシンセの有無，ドラムの加工の四つの説明変数はいずれも同じくらいの影響力をもっていることがわかった．年代の係数が有意に負という結果は, 典型的な最近の楽器であるエレキギターとシンセサイザー以外にも技術進歩によってもたらされた新しい楽器があることを示唆すると解釈できるかもしれない[105]．また，もちろん本稿のモデルで考えたような因果関係以外の経路でも年代が遵守率に影響を及ぼしていると考えることもできる．

4.3.8. まとめ

以上の議論から，②の(カデンツの法則がだんだん守られなくなっていくという)「変化の原因は楽器の発展である」という仮説も，データとよく適合していて棄却されないことがわかった．①と②をまとめると，結局前章での理論から得られた仮説「カデンツの法則は時代が下るほど，楽器の発展によって守られなくなっていく」は，計量経済学的に言って 5%という良い有意水準の下で，あるテストを通過したということが言える．経済学では理論を作ってそれが統計的検定に通れば，理論としては採用しておかれることとなる[106]．

[105] この解釈で「年代」という変数は，今回測定しなかったものの技術進歩していて興奮をもたらすようになっている楽器が，その曲においてどのくらい多く使われているかを表しているとみなしている．文字度通りの年代というより，欠落変数の効果の総量だということである．
標準化について，それでも年代という変数は色々なものが一体となったものを表しており，楽器一つの効果とこれとを比較して解釈するのは難しいと考える人もいるかもしれない．その場合は，少なくとも年代以外の楽器の効果同士を比べると同じくらいであることがわかったとはいえるだろう．

[106] 付録 C で頑健性を確かめ，ある程度頑健であることを明らかにする．

5. 結論

5.1. カデンツの法則の経済理論

本稿では, 音楽の教科書のカデンツの法則と現代の楽曲のデータの不一致の原因を考えた．この矛盾を解決するために，カデンツの法則は時代が下るとともに人類の科学技術の水準が上がっていくため，楽器が刺激的で人々を興奮させるような音色を出せるようになることが原因となって，だんだん守られなくなっていくという仮説を立てた．そして，この仮説が述べているような現象が起こる構造とメカニズムを理論的に考えた．この際，経済学の手法を応用し，効用関数，多様性の選好，技術進歩指標の増大などを使って数学モデルを作った．そのようにして，仮説のような現象が起こることを示す経済理論モデルを作ることに成功した．

5.2. カデンツの法則の実証分析

次に，統計を用いて仮説を検定した．20 世紀を中心として歴史上のヒット曲のデータを集め，著者が聞き取って，カデンツの法則をそれぞれの曲が守っているかと，近代的な楽器をそれぞれの曲が使用しているかのデータを作った．これを重回帰分析にかけ，確かに仮説が正しいならば成り立っていないといけない関係が 5%の有意水準で成り立っていることを示した．

5.3. 音楽理論的な意義

以上のような経済学的な方法によって, カデンツの法則は楽器の発展で守られなくなっていくと考えてあまり問題がないことが分かった．特に、この理論に

従えば,

「特に，噪音の音色が穏やかで楽音の音色が激しい曲を作曲するときは，カデンツの法則を守ることにほとんど意味がない」

ということになり，作曲法・音楽理論的に意義のある新しい結果を得た．すなわち，エレキギターや，EDM のリードのような激しいシンセサイザーがあるほど，またリズムマシンのような激しいドラムがないほど，カデンツの法則は守らなくてよいということである．

6. 付録A 音楽用語

6.1. 音楽用語

この章では，主に経済学系の読者を念頭に置いて，付録を除く本文中に登場する音楽の用語や概念の簡単な説明を行う．経済学の用語の説明は，例えば『ミクロ経済学の力』[107]などを参照されたい．また付録Dの構造方程式モデリングについての説明は，例えば『共分散構造分析:構造方程式モデリング』[108]やIBM SPSS Amosのヘルプなどを参照されたい．

6.2. コード関係

和音

音の高さが異なる複数の音を同時に鳴らすと，その組み合わせによって綺麗なまとまりとして聞こえたり，反対に汚く音同士がぶつかり合うように聞こえたりする．同時に鳴らすと綺麗に鳴るような複数の音を鳴らしているとき，その複数の音を集めたものを和音と呼ぶ．英語ではコードと呼ぶ．

現代の音楽の多くは，メロディーをボーカルなどが担当し，その他の伴奏の楽器はそれぞれが様々な音程の音を出しているが，伴奏の楽器の音をすべて合わせると和音になっているものが多い．これにさらにドラムやエフェクト音などの音程のない楽器が追加されて楽曲になっている．

コードネーム，A,B,C,Am,A7などの記号

様々な和音を分類整理するために設けられた記号．和音の特徴にしたがって一

107 [神取道宏, 2014].
108 [豊田秀樹, 1998].

定の規則の下でアルファベット数文字が割り当てられる．この記号をポピュラー音楽ではコードネームと言っている．

和声

概ね和音の使い方に関する研究を行う音楽理論の分野である．英語ではハーモニーと呼ぶ．

和音の進行

和音が鳴っていて，その次の瞬間にそれぞれの楽器が別の音程を演奏するが，その新しい音程の組もまた和音になっているようなときに，和音が次の和音に「進行する」と表現する．現代の音楽の伴奏は和音が次々と進行していくものが多く，楽曲から各楽器の音程を聞き取ることで和音をはじめのものから順に判定し並べていって得られる和音の列を，和音進行またはコード進行と呼ぶ[109]．コード進行は曲が人間に感じさせる楽しい，悲しいなどの感情に大きく関わっている．また本稿で論じているように和音が聞き手を緊張させたり，弛緩させたりする効果もあるで，コード進行は，例えば緊張させてその次に弛緩させてまた緊張させるというような，緊張感の連続した変化をもたらすともいえる．

6.3. 機能和声の用語

解決

本稿の範囲では，緊張させる音の次に弛緩させる音が鳴ることを指す．一般には和音の機能の話題に限らず，楽曲中の「不安定な」部分の後に「安定した」部分が現れることについて様々に使われる．「声部の独立性」という別の理論とともに，クラシック音楽系の音楽理論において中心的で重要な概念とされている．

109 ただし，経験のある音楽家には頭で分析しなくても感覚でコード進行がわかる人も多い．

力性変化，カデンツの法則，トニック(T)，ドミナント(D)，サブドミナント(S)

本文の「はじめに」を参照されたい．

T-S-D などの表記は，T の機能を持った和音の次に S の機能を持った和音が鳴り，その次に D の機能を持った和音が鳴るという意味である．右に向かって時間が進んでいく．

機能

T,D,S にはそれぞれ人を緊張させたり弛緩させたりする作用がある．この作用があることを緊張させる「機能」をもっているという言葉遣いで表現することがある[110]．

カデンツ(落下)

緊張させる和音が鳴った後に弛緩させる和音が鳴って, 聞き手の精神が安定を取り戻すことである．音楽学ではさらに，前回の弛緩状態から緊張させていく様子がどのようであったかを細かく調べ，例えばこの曲のここは T-S-D-T というカデンツだとか，T-D-T というカデンツだとかいうように落下の様態を機能を用いて表現することがある．

カデンツの法則とは，緊張させる過程に T-S-T か T-D-T か T-S-D-T かしかないということだから，カデンツにはある法則があるということを主張していて，確かにカデンツの法則である．

日本語のこの単語はドイツ語から来ているが, 英語由来のケーデンスという呼び方もある．日本ではクラシック系の人はカデンツの法則と呼び，ジャズやポピュラー系の人はケーデンスの法則と呼んだりカデンツの法則と呼んだりする

[110] この用語はポピュラー音楽の理論でも頻繁に用いられる．ポピュラーではファンクションと呼ぶこともある．

ようである[111].

サブドミナントマイナー

ジャズなどのポピュラー音楽の分析で用いられることがある，第四の機能.

6.4. その他

楽音と噪音(そうおん)

音程がある音を楽音，ない音を噪音と呼ぶ[112]. 例えばピアノ，ギター，トランペットは楽音であり，ドラムは噪音である[113].

無伴奏

バンドやオーケストラのように複数人で同時に演奏（合奏）するのではなく奏者一人でその楽器一つだけで演奏すること．特に通常は合奏に使われることが多いヴァイオリンなどの弦楽器が一人で演奏するときによく使われる言い方である.

クラシック音楽とポピュラー音楽

主にオーケストラの楽器で演奏するヨーロッパの伝統的な音楽をクラシック音楽という．クラシック音楽でない音楽をポピュラー音楽という．例えばロック，ジャズ，ポップ，ヒップホップはどれもポピュラー音楽である．クラシック音楽にも下位分類があり，例えば交響曲やピアノ協奏曲はクラシック音楽の一種である.

---

111 例えば[島岡譲, 1964]はカデンツと， [林知行, 2006]はケーデンスと書いている．なお，著者がクラシックの教育を受けた友人にケーデンスと言ったら通じず，カデンツと言い直したら通じたことがある.

112 音楽学の専門的な読者のため注釈しておきたいが，本稿では楽典でいう純音も楽音の一種に入れることにする．ただし，実際に使われる中で最も純音に近いであろう EDM のサブベースでも，たとえオシレーターではサイン波であったとしてもその後のトラックやマスターに掛かっているエフェクターの影響で，本当に純音であることはほとんどないだろう.

113 メロディーを演奏できない楽器が噪音を出す楽器と考えても差し支えない.

古典派

音楽史のうち 18 世紀頃の音楽家たちおよびその作品を古典派と呼ぶ．バロック時代の次でロマン派時代の前である．モーツァルトが代表的な作曲家とされる．

Apple Music

2018 年現在 Apple 社が提供している音楽配信サービスである．登録して料金を支払うと，インターネットを通じて多数の楽曲を自由に聞くことができる．

7. 付録 B 表 12～18 の注釈

7.1. 表全体について

7.1.1. 表に現れる表現の意味

本付録は，第 4 章の実証分析で用いたデータの表である表 12～18 の注釈を，長いため付録として独立させたものである．各判定条件は，音楽を人間が分析する以上どうしてもある程度恣意的で感覚的にならざるを得ない部分があるが，できる限り基準を明文化することを目指してこの節を書いた．

不明とは，コードがよく分からない曲を指す．

除外とは，本稿で行われた統計分析で用いるデータからその楽曲を除いたことを指す．

G なしとは，開始から一分以内に G がなかったことを表す．

曲番号は同じ曲についての情報を頁をまたいで参照したいときに，それらを見つけやすくするために付けたものである．概ね元のプレイリストの曲順に 01 から順に割り振っている．名義尺度であり，番号の値に意味はない．

7.1.2. コードネームの表記

20 世紀のポピュラー音楽では，例えばクラシックの伝統的な記法で書くと IIIb/VIIb となるような近代的な和音が使用されることがある．このような和音については，Eb/Bb と書いた方が簡明でわかりやすいと思われる．そこで本稿でコードネームは相対表記を用いる．相対表記とは，例えば I を C，V を G，キーが F Major の曲の Dm を Am と書くということである．もしハ長調に移調したら何のコードになるかが書かれているともいえる．

7.1.3. カデンツの法則を守っているかの判定の詳細な基準

G と E およびそれに 7,9,11,13 などが付加されるかまたは変位しているもの[114]は最初の G として認められる．しかし，ドッペルドミナントの D_7 など平行調以外の他の調の G を借用しているものは，最初の G と見なさなかった．このように，その曲最初の G と見なした和音は，その調または平行調の V である和音のみである．1950-08 の Whatever Lola Wants (Lola Gets)などは，このようにルールを統一しておかないと，最初の G として基準によって異なる和音を指す可能性がある．

カデンツの法則は, 連続する複数和音が同じ機能であれば一つの塊と見なす．そこで最初の G の次の和音もまたドミナント[115]であるときには，さらに次の和音を調べていき，ドミナントでない機能の和音が現れるところまで調べ，そこでカデンツの法則の推奨するほう（トニック）に進行しているかを判定した．

C G Ab Bb Cm のように転調や借用が次に来るものは除外した．ドッペルドミナント[116]もある意味借用であるから，ドッペルドミナントが続くものもこれにしたがって除いた．なお，E は並行短調のドミナントで，現代のメジャーかマイナーかわからない曲があるような状況で E を使うことは自然と考えて，転調したというほどには見なさなかった．また，Fm と Dm(b5)およびそれらの変形はある意味借用であるが，サブドミナントマイナー(SM)などとして特別に扱われるくらい現代のポピュラー音楽で調に深く浸透している和音なので，サブドミナントの一種とみなし，例えば G→Fm は違反とみなした．さらに，C G C7 F や C F G A のように，その調の T に付加か変位を施した和音に進行するときは，G→C や G→Am などと類似の解決感が感じられるので，カデンツの法則を

[114] sus4 なども含む．

[115] この文では，その調か平行調の V またはその変形という意味とする．

[116] D と B とそれらの変形をさす．

守っているとみなした．

主に 1990 年代以降の曲で，キックドラムのリリース部分がサイン波などのサブベースでできており，それに音程があるというものがある．その音程は多くの曲でずっと主音であって，バロック以前の音楽の保続する通奏低音と類似のものとみなし，和音判定の際にこの音程を考慮に入れなかった．

7.1.4.　その他

本調査では C Bb F という進行が頻出した．これは A G D ととらえられないこともないが，その曲を聞いて著者が明るい感情になったなど，全体として長調に聞こえたときは C Bb F と解釈し，したがってこの Bb はドミナントではないとした．

F であるか Fadd9 であるかのような問題は作曲者の意図したものと比べると分析が間違っているかもしれないが，これは重要な違いではない．

7.1.5.　楽器の有無の判定の詳細な基準

聴き取り調査の労働上の限界から，最初の 15 秒で登場しなかった楽器が新たに登場することはある程度少ないことをふまえ, 各楽器の有無は最初の 15 秒で判断した．そのため例えば曲開始 30 秒後に初めてエレキギターが使われる曲は，エレキギターが使われていないと判定されている．

7.1.6.　エレキギター

「曲中にエレキギターが使われているか」の基準は以下のようである．

生楽器だとすると不自然であるくらい加工されたギターが入っていること．ギターであるか，プラックなどのギターに近い音色のシンセであるか判別がつかず迷ったものも，エレキギターとみなした．使われている楽器が，シンセであると分かってしまうものの，生楽器の再現を目的として作られたリアル系のギター音源だと思われるものは，エレキギターが使われているとみなした．

7.1.7. 激しいエレキギター

「曲中にハードロックのような激しいエレキギターが使われているか」の基準は以下のすべてを満たしていることである.

ハードロックに典型的な音色に近いこと. 興奮させるような音色であること. 攻撃的な音色であること. ディストーションやオーバードライブ, ファズなどの歪み系のエフェクターが使われているか, あるいは過大入力によりそれらと似たような音色になっていること.

7.1.8. シンセサイザー

「曲中にシンセサイザーが使われているか」の基準は以下のようである.

まずシンセサイザーが鳴っていること. ただし作曲家が自分でシンセを鳴らしたのではなく, サンプリングされた部分に入っていたと思われるものも, 使っているとみなした. ピアノ音源などの, 何らかの楽器を再現するためのリアル系の音源と思われるものはシンセサイザーが鳴っていないとみなした. また, 普通はシンセサイザーというよりエレクトトリックピアノ（エレピ）やオルガンと言うだろうものは含めなかった.

7.1.9. 激しいシンセサイザー

「曲中に EDM のような激しいシンセサイザーが使われているか」の基準は以下のようである.

EDM[117]の音色は数年で大きく変化するため, いつの時代の EDM にありそうな音色かを固定したい. そこで本調査の対象とする年代で激しいシンセサイザーが頻出するだろう 2000 年代の EDM らしい音色とした. そのうち激しいもの, つまり 2000 年代前半のトランスや, エレクトロハウスに頻出する音色とした. 制作時に使ったシンセサイザーにおいてオシレーター部分でスーパーソー

[117] エレクトロニック・ダンス・ミュージック.

を使っていそうなもの[118]と，汚いベース[119]は EDM らしい激しいシンセサイザーの音色に含めた．シンセサイザーはほとんど無限種類の音色を作ることができるため基準を上手く作るのが難しく，これら以外でも激しく派手でかつ EDM で使われそうな音色だと著者が思えば使用されていると認めることもある．

7.1.10. ドラム

「曲中に生のドラムだとすると不自然なくらい加工されたドラムが使われているか」の基準は以下のようである．

生のドラムだとすると不自然なドラムであること．正確には，録音時の劣化を補正する目的でなく，積極的に元の音と違う音色を作る目的をもって加工されたドラムまたはドラムマシンの音が入っていること．調査中見つけたものの多くはコンプレッサーによる加工であった．クラップやパーカッションは厳密に言えばドラムではないが，現代ではスネアの代替などほとんど同じ役割をもっているためここではドラムに含めた．

7.2. 曲ごとについて

7.2.1. 1930 年代

*1930-01 この曲の 0:12 までは通奏低音が鳴っている．この部分は一つのドミナントとみなした．

*1930-28 E→一瞬 Em→Am の順に鳴っているが，あまりにも Em が短く，カデンツの法則を考えるうえで念頭に置かれる力性変化という観点から，これは緊張感を変える能力を持っていないとみなし，この Em を無視した．

118 オシレーターを複数使って重ねているか用意されたスーパーソーの波形を読み込んでいるかなどのさらに細かい原理は，聴いて判別しがたいので問わない．

119 グロールベース，ワブルベース，ドラムンベースのリースベース，トーキングベースおよびそれらに近い刺激的で少々怖く，『Scary Monsters and Nice Sprites』([Skrillex, 2010])のように，モンスターを連想させるようなおどろおどろしい音色．

7.2.2. 1950年代

*1950-23 15秒あたりにGらしきものが聞こえるがはっきりとはコード進行が分からない.

*1950-30 ブルーノートらしきものの使用が激しく，調を決めるのが難しい. なお楽曲の後ろの方を聞くとギターが使われているが，最初の15秒では鳴らなかった.

*1950-32 ポルタメントのため Cadd9 としてもよいがどちらにしても守っている.

*1950-33 著者の直観では，非和声音が多いもののGのままその上に色々な音が載っただけであるかもしれないが，この曲の作曲者としては何かに進行したつもりかもしれない.

*1950-37 モノラルなので古臭く聞こえるが，0:08 あたりで少し高音を弾くところで相当歪ませていることがわかる. 技術的には現代的なディストーションなどによる歪みではないのかもしれないが，音は近い.

7.2.3. 1960年代

*1960-33 一つ目のリストでは50年代に入っている. この曲インターネットで調べると，発表は1959年10月で，その後ロングヒットしたと書かれているページがあった[120]. 作曲時の意思決定に関心があるので60年代の統計からは除く.

*1960-34 同上. インターネットにはこの曲が1959年11月公開映画の主題歌で 1960 年になっても売れ続けチャートで一位を記録しつづけたことが書かれ

[120] [Beyond the Sea (song) - Wikipedia, 2017]. なお，Wikipedia を情報源として用いることは現代の研究で良くないとされているが，他にこの曲について情報を得る手段がなかったこと(Wikipedia で出典として貼られているリンク先もページを読み込めなかった)，本稿の主題に大きく関わるような論拠でないことから，これを利用した. ただ，誤っている可能性があるのでこの部分を典拠として引用するのは避けていただきたい.

ているページがある[121]. やはり作曲時の意思決定に関心があるので60年代の統計からは除く.

7.2.4. 1970年代

*1970-10 最初のGらしきものはConGかもしれないが，はっきりと強く緊張させる作用を感じたのでGとみなした.

*1970-16 このドミナントはGではなくEである．ただ，メインの音声がうるさくてよく聞き取れないので誤っている可能性がある.

*1970-25 Dm7/Gか何かかもしれないが，ドミナントらしさを感じるのでドミナントとみなした.

*1970-26 (→F/G→G)か何かの繰り返し→E/G#→F. Eなので○としたが，E/G#が短いため緊張を作る十分な時間がなくGから直接Fに行ったような印象があるため×かもしれないとも思われやや判定が難しい．速いパッセージも聞き逃さないように集中して聞いているリスナーに対しては○でよいだろう.

*1970-35 0:04などの形は変位が激しすぎるし音階性も認められるので和音とはみなさなかった．そのため0:39を最初のVとみなした.

7.2.5. 1980年代

*1980-09 これはGではなくBbと解釈できるが，比較的長くてきちんと緊張させるうえ，メロもBbがG(V)になるスケール上に乗って動くのでGとみなした.

*1980-11 Gなしとみなした．分析の目的から，メタルのようなものももちろんハードロックっぽいものに含めた.

*1980-15 わざと60年代風に作った曲のように思われるので，この調査の対象に入れるべきでないかもしれない.

[121] [A Summer Place (film) - Wikipedia, 2017]. 上と同様にこの部分の引用は避けていただきたい.

*1980-23 緊張の開始は曲開始 1 分以内だが，解決は曲開始 1 分を過ぎた後である．

*1980-29 (→C/G→G)を何度か繰り返して→Csus4→C である．

*1980-40 0:37 のほうは経過音に聞こえるが，0:41 のほうは次の和音の関係で G に聞こえるので，同じ形だが後者のみ和音とみなした．ギターの音色はやや密度が薄い感じもあるが，ハードロックっぽいとはいえるだろう．

*1980-43 0:50 くらいからは長くなるので旋律ではなく和音とみなした．

7.2.6.　1990 年代

*1990-02 ディストーションか何かが掛かっている短い音があるが，これがギターの音である可能性があるのでギター有とした．しかし，相当加工していてギターでないように聞こえる短さになっているので典型的なハードロックのエレギとは異なる．

*1990-12 そもそもコード進行がほとんどなく，あるとみなしても G は 1 分以内にない．

*1990-13 Bdim→E→Am と続く．Bdim は G7 の根音省略でもあることを考えるとカデンツの法則的に問題はない．

*1990-17 1990-33 Intergalactic や 1990-37 C'mon N' Ride It (The Train) [Dance Remix]は言葉を言わせており昔のテクノに近いが，1990-17 Pony はただフォルマントフィルターなどでシンセに喋らせてるだけなので現在のエレクトロに近く，これのみ EDM っぽいシンセであるかを○とする．

*1990-18 日本でいうジュリアナテクノのようなものも EDM っぽいに含めることにした．

*1990-30 イントロは通奏高音が目立ってるため, G→F とはみなさなかった．

*1990-33 テクノのような音は EDM っぽいシンセには入れないことにした．前述のジュリアナテクノと違ってもっと昔からあるからである．なお，EDM と

いう語には二つの意味があり，電子音を使う踊るための音楽全般という広義の意味と，2010 年ごろに現れた，DJ の Hardwell がかける音楽に代表されるような音楽のスタイルを指す狭義の意味があり，EDM っぽいシンセの EDM とは狭義のほうの意味である.

*1990-41 クラシック音楽の『弦楽のためのアダージョ』[122]のアレンジまたはサンプリングなので原曲は 90 年代作曲ではない.

7.2.7. 2000 年代

*2000-06 ただし，この G は変位や付加が激しく機能はかなり曖昧である.

*2000-15 E らしきものが聞こえたので D と見なしたが Em かもしれない.

*2000-24 サンプリング的な楽曲であり，元はもっと前の時代に作曲された可能性がある.

*2000-28 理論的にはカデンツの法則や古典和声をとりわけ大幅に破る曲であるにも関わらず，感覚的にはあまり違和感がなく，本稿の主張を裏付けるかのような例である.

*2000-36 フィルターの開き具合が足らないという意見があるかもしれないが，一応 EDM っぽくはあるとみなした.

[122] [サミュエル・バーバー, 1938]. なおこの曲の情報は [弦楽のためのアダージョ バーバー, 2017]から取得した.

8. 付録C 頑健性

8.1. データの変更に対する頑健性

8.1.1. 頑健性について

統計分析において，データを少し変えたり，データ分析の方法を少し変えたりするだけで係数の符号が反対になったり，有意でなくなったりするような仮説は問題があるとみなされることがある．そこで本節では，4.3 での統計分析に近いがやや異なる方法を試みる．

8.1.2. エレキギター→激しいエレキギター

まず，説明変数のエレキギターを，激しいエレキギターに変更してみる．すると表 24 のようになる．なお，分析は標準化されたほうのデータを用いた．

表 24 エレギ→激しいエレギ

	係数	有意性	p値	標準誤差
切片	0.89362	***	<2e-16	0.10527
年代	-0.32728	**	0.00735	0.12210
激しいエレキギター	-0.21612	*	0.01793	0.09131
激しいシンセ	-0.20117	.	0.05391	0.10436
加工したドラム	0.26824	*	0.03666	0.12837

激しいエレキギター自体は 5%有意になるものの，前章のモデルに照らして考えればあまり本質的でない[123]説明変数が入ったために，本来の激しいシンセという説明変数が 10%有意にまで後退していると考えた．($p = 0.054$)

この結果は，エレキギターはアンプにつないだ時点で興奮作用を十分に獲得しているという認識と整合的である．

[123] エレキギターがある曲からハードロックのように激しいエレキギターが使われている曲だけを取り出すことは，興奮させる音色のうちさらに一部だけを取り出したことになる．

8.1.3.　激しいシンセ→シンセ

次に，説明変数の激しいシンセを，ただのシンセに変更してみよう．結果は表25のようになる．

表 25 激しいシンセ→シンセ

	係数	有意性	p値	標準誤差
切片	0.9047	***	<2e-16	0.1076
年代	-0.3847	**	0.00485	0.1366
エレキギター	-0.1871	.	0.06417	0.1011
シンセ	0.1770		0.12206	0.1145
加工したドラム	0.1251		0.26747	0.1128

今度はシンセというほとんど関係のない変数が入ったため，他の楽器も有意でなくなったり，p 値が増加したりして，全体的によく説明できていない計量モデルとなったようだ．調査中に聞き取った限り，使われているシンセサイザーの大半は，パッドなどのほとんど刺激的でない音色の利用であるから，納得できる結果である．またシンセサイザーの係数は$p = 0.12$と有意ではないもの正であるが，これも美しく人を宥めたり落ち着かせたりするような音色が多いことから本稿の理論と整合的である[124]．シンセサイザーの音色は，激しく目立つようなものばかりではない．

8.1.4.　ジャンル別データ

さらに，今度はデータを変更することを考える．Apple Music の年代別のリストで本調査を行ったが，ジャンル別のリストでも調べてみよう．Apple Music の各ジャンルの A リストと呼ばれる流行りの曲が集められているリストの曲を，2017 年の 8 月 7 日から 9 日にかけて取得した[125]．

124 シンセサイザーはパッドやプラックのような穏やかな音色を基調としつつも，その中には激しいものも穏やかなものも両方混ざっているため有意でないと考える．ただし，$p = 0.12$程度であればサンプルをより大きくしたり，測定方法をより正確にしたりした場合には 10%有意になる可能性もある．

125 [AppleMusic の curator, A リスト：クラシック]．[AppleMusic の curator, A リスト：カン

取得したのはクラシック，カントリー，ダンス，J-pop，ポップ[126]，R&B，レゲエおよびロックのリストである．ジャンルごとに 50 曲程度の曲が得られた．取得した楽曲のリストは長いため次の付録 D に載せた．

そして，カデンツの法則を破っているかの判定基準も変更する．楽曲の最初の 30 秒[127]にカデンツの法則を破っている部分を含むかどうかを調べた．最初の G の後の進行を調べる方法と比べて，最初のほうにコード進行が少ないジャンルが破っていないと出やすい，短いコード進行を反復する曲は，その中にドミナントがない場合破っていないと出やすいなどのいくつかのバイアスがあることが予想されるものの，カデンツの法則を守っているかに注意しているのは同じなので，ある程度似たような結果が返ってくるだろうと考えた．

8.1.5. 統計

各ジャンルについて，リスト内の 50 曲程度すべてを分析し，そのうち何曲が破っているかを数え，各リスト内の何％の曲がカデンツの法則を守っているのかを比較する．その結果は表 26～29 の各 1,2 行目のようになった．

表 26 ジャンル別 クラシック

	Classical
守る割合	91
ジャンルができた年	近世
破った曲	3 Latin American Sketches: No. 2, Paisaje Mexicano
	Symphony No. 9 in D Minor, WAB 109 (Original 1894 Version): III. Adagio. Langsam feierlich
	Violin Sonata No. 3 in C Minor, Op. 45: I. Allegro molto ed appassionato
	イングリッシュ・ホルンが聴こえる

トリー]. [AppleMusic の curator, A リスト：ダンス／EDM]. [AppleMusic の curator, A リスト：J-Pop]. [AppleMusic の curator, A リスト：ポップ]. [AppleMusic の curator, A リスト：R&B]. [AppleMusic の curator, A リスト：レゲエ]. [AppleMusic の curator, A リスト：ロック].

126 これの内容はアメリカなどの洋楽が中心である．

127 iTunes の表示上の 0:00 から 0:29 までをさす．

表 27 ジャンル別 カントリー，R&B，ロック

	Country	R&B	Rock
守る割合	91	88	89
ジャンルができた年	1925	1950	1955
破った曲	Five More Minutes	Versace On The Floor	One Night Only
	Losing Sleep	Figures	Run
	All on Me	Privacy	Lights Out
	Yours If You Want It	Chateau	She Said
		Don't Choose	Shine on Me
		Lights On	

表 28 ジャンル別 レゲエ，ダンス

	Reggae	Dance
守る割合	87	73
ジャンルができた年	1960	1975
破った曲	Love Situations	Either Way
	Snakin' Sweet	Drowning
	Can't Believe (feat. Ty Dolla $ign & WizKid)	Sleepy Eyes
	Medication (feat. Stephen Marley)	Love in Ruins
		Adrian
		2U
		Feels
		Lucky
		Parallel Lines
		First Time
		Now Or Never (R3hab Remix)
		There For You
		Idea of You

表 29 ジャンル別 ポップ，J-pop

	Pop	J-pop
守る割合	76	70
ジャンルができた年		
破った曲	Waves	キラキラ feat. カンナ
	Touch Me	逃げ水
	New Rules	True Love
	Why	Love ☆ Queen
	Want You Back	恋す肌
	Moonlight	ワタタリカ
	Hoodie	Time Has Gone
	2U	BANKA
	There For You	ココロハレテ
	Middle of the Night	千%
	There's Nothing Holdin' Me Back	DECIDED
	Something Just Like This	P.B.E feat.今市隆二 (三代目J Soul Brothers from EXILE TRIBE)
		見たこともない景色
		Natural Lips
		道。

確かに，クラシック音楽では 91%も守られていて，ポップでは 76%と微妙な割合となっている[128]．またクラシック音楽で破っている 4 曲はいずれも作曲年代が新しい，ベートーヴェンの時代以後の作曲のものであり，古典派までの楽曲で破っているものは，このリストの中から見つけることができなかった[129]．

128 ただし，クラシックのリストのうち，classical crossover というジャンル表記になっているものは明らかにクラシック音楽ではない楽曲であったため，分析から除いている．

129 なおこのリストに曲が含まれている古典派以前の作曲家は，スカルラッティ，ブクステフーデ，バッハ，ベートーヴェン，アントニオット，モーツァルト，カルボネッリである．ただし，この分析とは別に，なるべく古い曲でカデンツの法則を破っている楽曲を探したところ，わずかではあるが見つけることができた．例えばエアー 変ロ長調 HWV 469([ゲオルク・フリードリヒ・ヘンデル])はバロック時代の楽曲であるが，その冒頭にカデンツの法則に違反していると思われる箇所がある．もちろん，この FonA の F 音を Am の上に載っている E に解決する非和声音とみなすこともでき，その場合にはカデンツの法則は守られていることになる．一方で，聴感上は G から F に進行したように聞こえ，カデンツの法則を破っているように聞こえる．音楽は感性が大事であり聴感のほうを重視するということなら，このバロック音楽はカデンツの法則を守っていないことになるだろう．

8.1.6. 考察

この割合について考察する．ジャンルができた年との関係がありそうである．もしあると言えれば, 本稿の理論は異なるデータとも整合的ということになり，より頑健になる．ジャンルができた年の定義は大変難しいものの，文献を参考としながらだいたいの年を表 26～29 の 3 行目に書き込んだ[130]．ポップや J-pop は楽曲間の音楽性的な同一性に欠けるため除くと，確かにどちらかというと最近できたジャンルほどカデンツの法則が破られやすいという傾向があるように思われる[131]．この関係を図示すると図 6 のようになる．

[130] クラシックが誕生した年を決めるのは難しいので大まかに近世と書いた．カントリーは [山室紘一, 2012]，88 頁．R&B は同 86 頁．ロックは同 87 頁．レゲエは同 22 頁に 1950 年代後半までなかったことが書いてあり，同 110 頁の記述から 1965 年の音楽がレゲエに影響されていることになって当時までにはすでにレゲエがあったことになることから，1960 年とした．ダンスは [Ishkur, 2014]のハウスの系統に関する図から，実際に音を聞いて EDM につながっていそうかを感覚で確かめつつ，最も古い Disco が 70’s と書いてあることから 1975 年とした．ポップは山室，前掲書，第 8 章を参考にしつつ，ポップというジャンルの生年を特定することは難しいと判断し，記入しなかった．J-Pop もやはりポップ・ミュージックという音楽性において渾然一体としたジャンルであるから生年の特定を避けた．原則として 1920 年「代」のような表記なら 1925 年とした．

[131] なおジャンルができた年の特定が数年程度ずれていたとしても，この傾向が変わることはない．

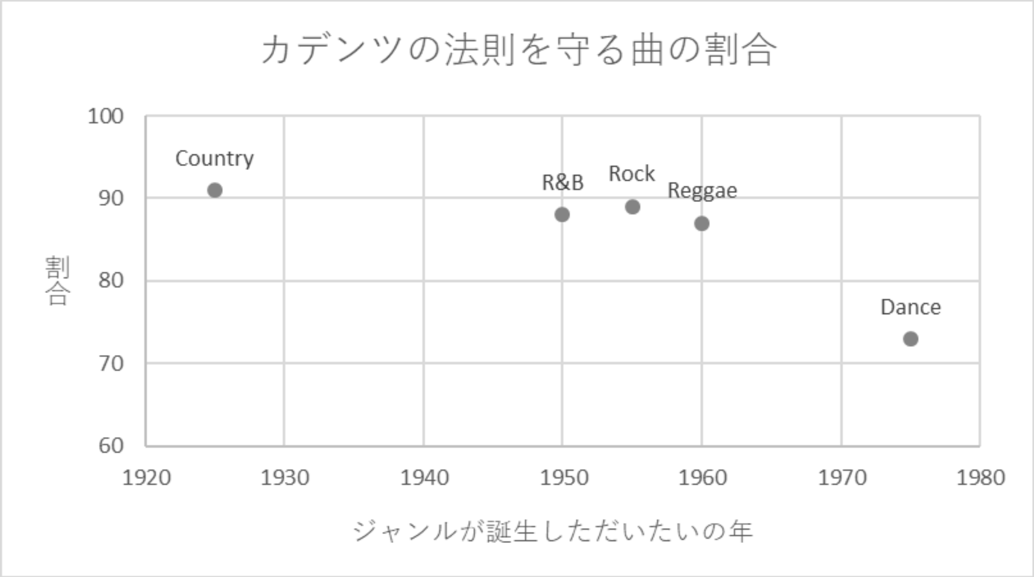


図 6 ジャンルごとの守る割合

このようにジャンルに着目した，本調査と似て非なる調査でも，やはり元の仮説は少なくとも否定されることはなかった．

8.2. 考え方の変更に対する頑健性

8.2.1. 因果モデル

さらに頑健性を高めるため，因果関係の判定方法を少し変えてみる．因果の認識として，年代が下ることで技術が進歩し，技術が進歩することで破られるようになるという二段階の認識を持っているならば，年代と技術で破るかを説明する重回帰というよりは統計的にそのような因果モデルを組むべきであるという意見もあるかもしれない．そこで統計ソフトの IBM SPSS Amos 24 を利用して，パス解析を行ってみる[132].

---

[132] ただし，このような方法は心理学などでは用いられるものの，経済学ではあまり用いられていない．さらに，Amos ではプロビット・モデルなどの一般化線形モデルを簡単に組み込むことができないため，結果をある種の確率と見なしたい場合には線形確率モデルに依拠しなければならないという短所もある．また，Amos は構造方程式モデリングと呼ばれる手法用のソフトであるが，今回の分析はそのうち構成概念が一つもない特殊ケースである．今回の Amos の使い方はやや特別である．

8.2.2. 自動的なモデル選択

Amos には探索的因子分析を行う機能があるため，まずはこれによる自動的なモデル選択を目指す．年代別のリストの 210 曲の調査のデータを Amos に読み込み，第 3 章の理論モデルの構造と整合的になるように，図 7 のような因果の向きで，まずは飽和モデルの因果モデルを構成した．

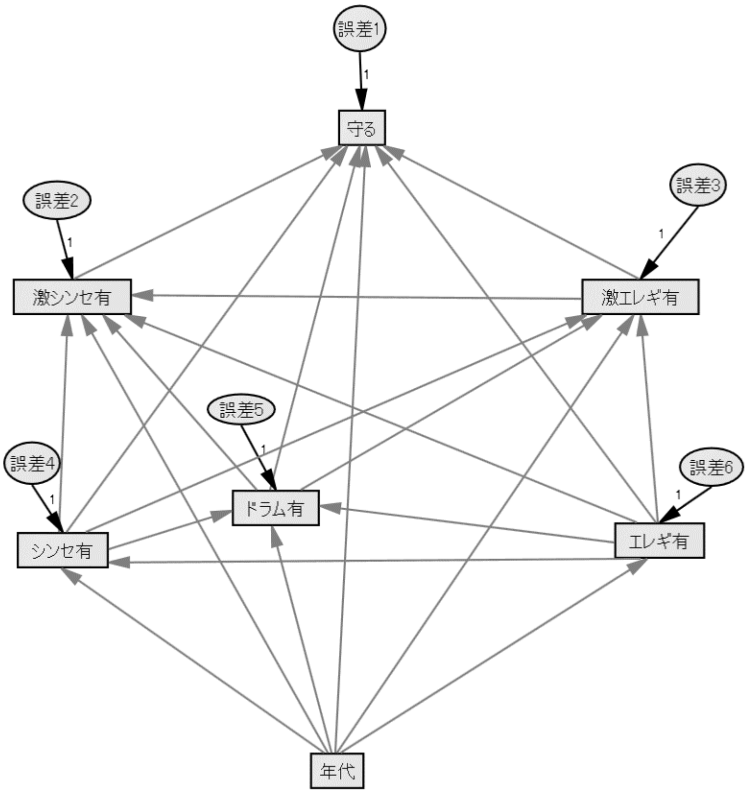


図 7 飽和モデル

このうち楽器間の因果は，例えばシンセサイザーがあると，楽曲がエレクトロニック・ミュージックの色彩を帯び，それに良く似合う音であるドラムマシンが使われやすくなるので，加工したドラム増えるとか，あるいはエレキギターと激しいシンセサイザーの両方を同時に鳴らしたら主張が強い楽器が混在しうるさいので，エレキギターがあるときには激しいシンセサイザーは用いたがられないなどのような，楽器間の代替・補完関係を表現していると解釈することができる．

8.2.3. 実行

これは飽和モデルであり, より単純な認識で真実の要点を理解したいという人間の目的からは離れるものだろう．そこですべての矢印をオプション矢印に設定して，探索的因子分析を行う．それぞれのオプション矢印があるモデルとないモデルの計 2097152 個のモデルが比較された．実行時間は 10 分だった．

最適になっている統計量が存在するようなモデルをいくつか調べ, そのうち著者が直観的に理解できると感じられるもので適合度指標も良いものとして，次の単純なモデルと複雑なモデルの 2 つのモデルを選択し，それぞれのモデルについて推定値を計算したところ，以下の図 8 および図 9 のようになった．

8.2.4. 単純なモデル

最小化されている指標はシュヴァルツ情報量基準(BIC)である[133].

[133] ただし，実際には BIC_0 を最小化した．BIC_0 の最小化と BIC の最小化は同じモデルを選択する．BIC はベイズ情報量基準，シュヴァルツ情報量基準などと呼ばれる．

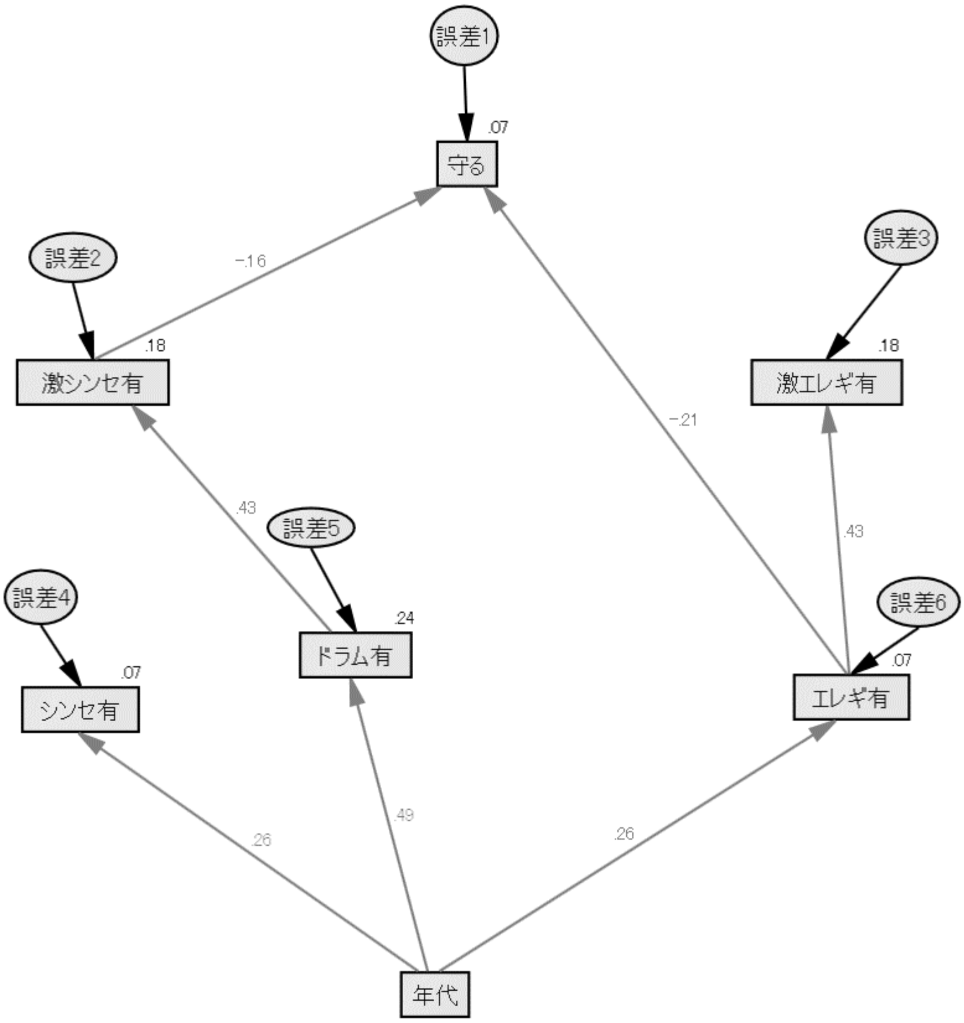


図 8 単純なモデル

自由度および適合度指標は表 30 の 1,2 行目のようになっている.

表 30 適合度指標

	目的関数	自由度	RMSEA	GFI	AGFI	CFI	AIC	有意でないパス
単純なモデル	BIC	14	**0.089**	0.953	0.905	0.884	65.155	
複雑なモデル	BCC	6	**0.000**	0.993	0.97	1	48.853	破る←シンセ有(p=0.087)

134

係数は標準偏回帰係数である.

このモデルの理解は以下のようになる.

[134] なお，パスについての有意水準は 5%である.

「まず年代が進むことで，ドラムが加工されるようになる．ドラムが加工されると，それに合う激しいシンセサイザーが多用されるようになる．激しいシンセサイザーが使われるようになることで, カデンツの法則が守られにくくなる．それに加え，年代が進むことは，エレキギターの使用頻度も高める．エレキギターが使われることで，カデンツの法則が守られなくなる.」

8.2.5. 評価

BIC は Amos で最小化できる他の目的関数と比べてモデルの複雑性に対するペナルティが大きいため，単純な認識を好んで選択すると考えられる[135]．この理解はわかりやすいものの，適合度指標が頻繁に使われている RMSEA[136]は 0.089 であり，0.05～0.1 のグレーゾーン[137]に属している．表 30 のように他の代表的な適合度指標も悪くはないが，これほどまでに認識を単純化しなければもっと高められる余地はありそうだと考える．

各被説明変数の決定係数が低いが, これは 2 値変数を線形確率モデルで回帰しているために下がっているだけである．係数の符号は理論モデルと整合的である．次により複雑なモデルを見る．

8.2.6. 複雑なモデル

最小化されている指標は BCC_0[138]である．このモデルのパス図を図 9 に，パスごとの推定値を表 31 に示す．適合度指標は表 30 の 1,3 行目の通りである．

---

[135] “In comparison to AIC, BCC and CAIC, BIC assigns a greater penalty to model complexity, and so has a greater tendency to pick parsimonious models.”([IBM SPSS Amos 24 のヘルプの BIC の項目].)

[136] Root Mean Square Error of Approximation.

[137] [豊田秀樹編著, 2007]，243 頁.

[138] Zero-based Browne-Cudeck Criterion.

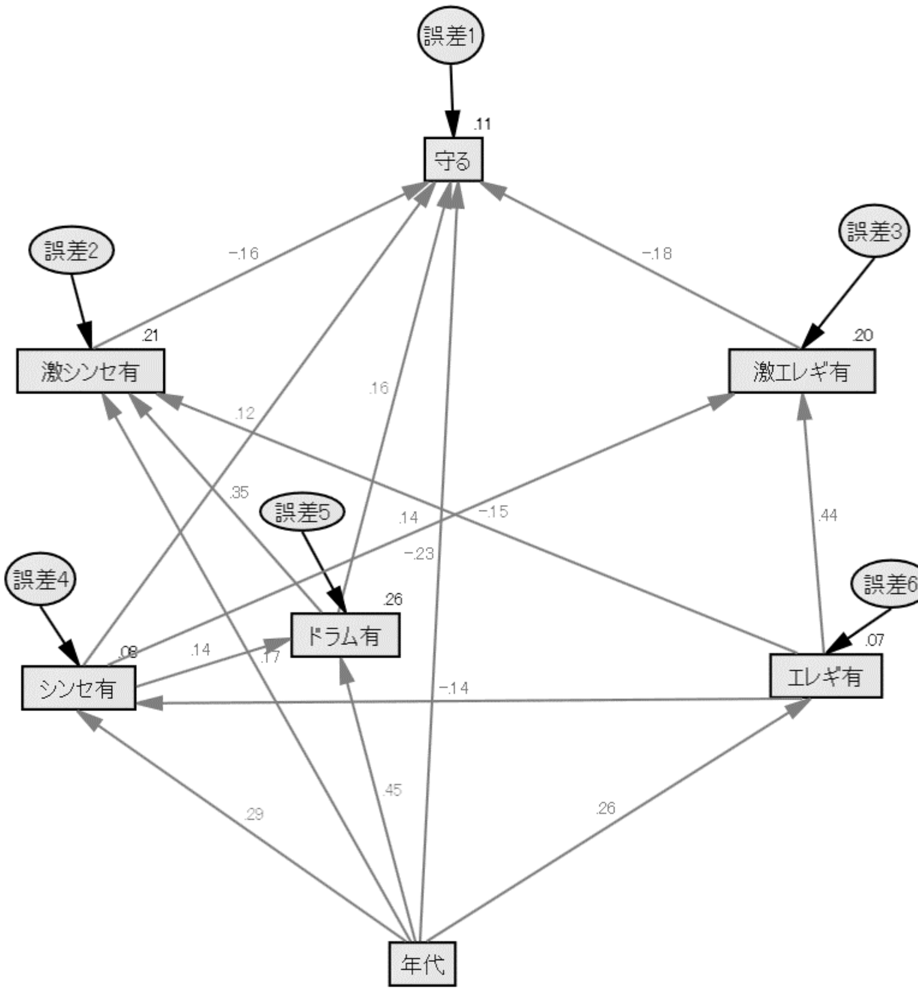

誤差1
.11
守る
誤差2
-.16
-.18
誤差3
.21
激シンセ有
.20
激エレギ有
.12
.16
.35
誤差5
.14
-.15
.44
-.23
誤差4
.26
ドラム有
誤差6
.08
.14
.17
.07
シンセ有
エレギ有
-.14
.45
.29
.26
年代

図 9 複雑なモデル

表 31 複雑なモデルのパスの推定値

説明変数		被説明変数	標準化係数	有意性	p値	標準誤差	楽器間関係
年代	→	エレギ有	0.257	***	<0.001	0.001	
年代	→	シンセ有	0.292	***	<0.001	0.001	
年代	→	ドラム有	0.453	***	<0.001	0.001	
年代	→	激シンセ有	0.171	*	0.02	0.001	
年代	→	守る	-0.226	**	0.003	0.001	
激シンセ有	→	守る	-0.158	*	0.03	0.132	
激エレギ有	→	守る	-0.184	**	0.005	0.089	
ドラム有	→	激シンセ有	0.349	***	<0.001	0.037	補完
ドラム有	→	守る	0.163	*	0.043	0.077	
シンセ有	→	ドラム有	0.141	*	0.022	0.054	補完
シンセ有	→	激エレギ有	0.135	*	0.029	0.039	補完
シンセ有	→	守る	0.118	.	0.087	0.058	
エレギ有	→	シンセ有	-0.135	*	0.048	0.068	代替
エレギ有	→	激エレギ有	0.437	***	<0.001	0.038	
エレギ有	→	激シンセ有	-0.151	*	0.018	0.029	代替

[139]

パス図がやや込み入ってしまっているので見づらい場合には，表 31 も参照されたい．

適合度指標は表 30 の 1,3 行目の通りになっており，どの指標をとってもよく適合している．その代わりパスが増え自由度が 6 と低下し，複雑な認識になっている．また，シンセ有→守るは$p = 0.087$と有意水準 5%では棄却される程度の有意性である．このパスはシンセサイザーの多くは穏やかな音色であるので，カデンツの法則を守らせるほうに作用するという作用を表すパスである[140]．

8.2.7. モデルの意味

この理解の概要をまとめると次のようになる．

[139] 0‘***’0.001‘**’0.01‘*’0.05‘.’0.1‘ ’1
楽器間関係は係数が正のときに補完，負のときに代替と記した．

[140] シンセサイザーには穏やかな音色以外もあるため有意性がやや低いと解釈した．

「時代が進むと，楽器が発展する．エレキギターとシンセサイザーはおおよそ代替的な関係にあり，シンセサイザーとドラムは補完的な関係にある．音程のあるコードを担当する楽器に激しい音色の楽器が多いほどカデンツの法則は破られやすくなり，穏やかな音色の楽器があったり音程のないドラムが激しかったりすると守られやすくなる．さらに年代が下ると破りやすくなるという因果関係には，今回調査した楽器の発展以外の要因を経由した経路もあるが，それも時代が下るほど破りやすくなるという方向のものである．」

この理解は，やや複雑ではあるが，現象を的確に捉えているように思われる．そして，再び理論モデルと整合的な認識である[141].

8.2.8. 頑健性のまとめ

本文での議論と合わせ，以上のようなデータの変更や分析方法の変更を行っても，理論の予測と逆の符号の係数が出るなどのモデルを否定する結果が出ることはなく，本稿の仮説はある程度頑健であることがわかった．

[141] 本稿の理論モデルは個々の楽器間の代替・補完関係を捨象しており，それについて何も言っていないので矛盾しているわけではない．この代替・補完関係を含めればさらに複雑なモデルを作ることも可能だろう．しかし，本研究の関心からずれることと，複雑になりすぎることから本稿に掲載したようなモデルに留めた．

9. 付録 D ジャンルごとの楽曲リスト

付録 C の 8.1 節におけるデータの変更に対する頑健性の調査で用いた，ジャンルごとの楽曲リストを表 32～39 に掲載する.

9.1. クラシック

表 32 楽曲リスト クラシック

Aリスト：クラシック	
2017年8月7日取得	
50曲	
楽曲	アーティスト
Piano Sonata No. 23 In F Minor, Op. 57 - "Appassionata": 2…	Ludvig van Beethoven
6 Sonatinen, Op. 63, Sonatina No. 1 in E Major: I. Tranquillo…	Julius Röntgen
Rêves, Op. 101: No.1, Berceuse	Isaac Albéniz
Pavane pour une infante défunte, M. 19 (version for Orches…	Maurice Ravel
Romance for Viola & Piano	Ralph Vaughan Williams
As Time Goes By	
Le livre des claviers: II. Marimba Duo	Philippe Manoury
Jeux, L. 126	Claude Debussy
Symphony No. 5: IV. Adagietto (Live)	Gustav Mahler
ピアノ協奏曲 第2番 ハ短調 作品18: 第1楽章: Moderato	Sergei Rachmaninoff
4 Impromptus, Op. 90, D. 899: No. 3 in G-Flat Major	Franz Schubert
セクセク	Dai Fujikura
Cinema Paradiso (From "Cinema Paradiso")	
Romance for Violin & Orchestra No. 2 in F Major, Op. 50	Ludwig van Beethoven
Keyboard Sonata in C Majjor, Kk. 200	Domenico Scarlatti
Yun Zhong Jun	
Guitar Sonatina, Op. 52, No 1: I. Allegretto	Lennox Berkeley
Sonata No. 5 en La Majeur: I. Adagio	Giorgio Antoniotto
Dily's Dream	Chris Merrick Hughes
String Trio No. 1, H 136: II. Andante	Bohuslav Martinù
Tota Pulchra Es	David Bednall
献呈	Robert Shumann
Nana de Sevilla	Sharon Isbin
Trio Sonata in G Major, Op. 1 No. 2, BuxWV 253	Dietrich Buxtehude
Nun komm, der Heiden Heiland, BuxWV 211	Dietrich Buxtehude
Violin Sonata No. 18 in G Major, K. 301: II. Allegro	Wolfgang Amadeus Mozart
Nothern Lights: I. Eighth Note = 88	Bright Sheng
Sequence (Three)	Peter Gregson
Symphony No.9 in E Minor, Op. 95 "From the New World": I…	Antonín Dvořák
Piano Concerto No. 1 in C Minor, Op. 33: III. Coda. Allegro m…	Nikolai Karlovich Medtner
フランス組曲 第1番 ニ短調 BWV812: 1. Allemande	Johann Sebastian Bach
ゲロンティアスの夢 作品38 / 第2部: 私は眠った	Sir Edward Elgar
In Schubert's Company' for Viola & Orchestra	Sergey Akhunov
楽劇《ばらの騎士》から〈最後の愛の二重唱によるランブル〉(Live)	Richard Strauss & Percy Grainger
Sonate da camera No. 1 in D Major: I. Adagio	Giovanni Stefano Carbonelli
組曲《展覧会の絵》: プロムナード	Modest Mussorgsky
カンタベリー・コラール	Jan Van der Roost & 対象者なし
パガニーニによる大練習曲第3番「ラ・カンパネラ」	Franz Liszt
3 Latin American Sketches: No. 2, Paisaje Mexicano	Aaron Copland
Cello Sonata No.2 in F Major, Op. 99 (Live): I. Allegro vivace	Johannes Brahms
Symphony No. 9 in D Minor, WAB 109 (Original 1894 Version…	Anton Bruchner
And She Came Home	
Violin Sonata No. 3 in C Minor, Op. 45: I. Allegro molto ed a…	Edvard Grieg
Avi's Song	
Five Am'rous Sighs: II. Finish	Jonathan Dove
ヴァイオリン・ソナタ 第1番 ト長調 作品78《雨の歌》: 第1楽章: Viv…	Johannes Brahms
Prélude de la porte héroïque du ciel	Erik Satie
24 Preludes, Op. 28: No. 6 in B Minor	Frédéric Chopin
Sonata for Piano and Violin in A Major, FW 8: I. Allegro ben…	César Franck
イングリッシュ・ホルンが聴こえる	André Gagnon

9.2. カントリー

表 33 楽曲リスト カントリー

Aリスト：カントリー	
2017年8月9日取得	
47曲	
楽曲	アーティスト
You Look Good	レディ・アンテベラム
Body Like a Back Road	サム・ハント
A Little Dive Bar in Dahlonega	Ashley McBryde
Outta Style	Aaron Watson
Smooth	フロリダ・ジョージア・ライン
Roots	ザック・ブラウン・バンド
Legends	Kelsea Ballerini
Small Town Boy	Dustin Lynch
Reasons	Jillian Jacqueline
You Broke Up with Me	Waljer Hayes
Ain't Always Pretty	Logan Mize
For the First Time	Darius Rucker
All the Pretty Girls	ケニー・チェズニー
Life's About To Get Good	シャナイア・トゥエイン
Five More Minutes	スコット・マクリーリー
Hooked	Dylan Scott
Drinkin' Problem	Midland
California ビッグ&リッチ	
She's with Me	High Valley
Losing Sleep	Chris Young
When It Rains It Pours	Luke Combs
They Don't Know	ジェイソン・アルディーン
When Someone Stops Loving You	リトル・ビッグ・タウン
No Such Thing as a Broken Heart	Old Dominion
What Ifs (feat. Lauren Alaina)	
Love in a Bar	Ryan Hurd
The Fighter (feat. Carrie Underwood)	キース・アーバン
Broken Halos	クリス・ステイプルトン
What the Hell Did I Say	ダークス・ベントリー
Tin Man	ミランダ・ランバート
All on Me	Devin Dawson
Somethin' I'm Good At	Brett Eldredge
I Could Use a Love Song	Maren Morris
Round Here Buzz	エリック・チャーチ
Fix a Drink	Chris Janson
Heartache on the Dance Floor	Jon Pardi
Greatest Love Story	LANCO
Yours If You Want It	RASCAL FLATTS
Flatliner (feat. Dierks Bentley)	Cole Swindell
Good Company	ジェイク・オーウェン
More Girls Like You	キップ・ムーア
Ring on Every Finger	LOCASH
Do I Make You Wanna	ビリー・カリントン
It Ain't My Fault	Brothers Osborne
Somebody Else Will	ジャスティン・ムーア
Every Little Thing	Carly Pearce
Act Like You Don'T	Brooke Eden

9.3. ダンス／EDM

表 34 楽曲リスト ダンス／EDM

Aリスト：ダンス／EDM	
2017年8月7日取得	
49曲	
楽曲	アーティスト
Breaking Kind (feat. Paul Meany)	スティーヴ・アンジェロ
Would You Ever	スクリレックス & Poo Bear
Dreamer (feat. Mimoza)	Thomas Gold
Get Low	ZEDD & リアム・ペイン
Either Way (feat. Joey Bada$$)	Snakehips & Anne-Marie
Obsession (feat. Jon Bellion)	VICE
Sober	Cheat Codes & ニッキー・ロメロ
Drowning	KREAM & Clara Mae
Sleepy Eyes	Elohim & Whethan
Tightrope (feat. Marty Longstaff)	Above & Beyond
I Want Your Attention (feat. Fiora)	Moon Boots
Just Call (feat. Bella Thorne)	プリンス・フォックス
Complicated (feat. Kiiara)	デミトリ・ヴェガス&ライク・マイク & デヴィット・ゲッタ
Love in Ruins (feat. Sinead Harnett)	Gryffin
Adrian	The Mary Nixons
モア・ザン・ユー・ノウ	Axwell Λ Ingrosso
Momentum	ドンディアブロ
Plot Twist (Disciples Remix)	Sigrid
Limitless (feat. Sophie Rose)	Sam F.
2U (feat. Justin Bieber)	デヴィット・ゲッタ
All My Love (feat. Conor Maynard)	キャッシュ・キャッシュ
Wearing Nothing (Cheat Codes X CADE Remix)	Dagny, Cheat Codes & CADE
Sun Comes Up (feat. James Arthur)	ルディメンタル
I Like Me Better (Cheat Codes Remix)	Lauv
Feels (feat. Pharrel Williams, Katy Perry & Big Sean)	カルヴィン・ハリス
Somebody New (feat. Liza Owen)	セドリック・ジェルヴェ
Undercover (Adventure Club Remix)	Kehlani
Beautiful War (feat. Lola Rhodes)	tyDi
Trouble (feat. Talay Riley)	Icarus
True Feeling	Galantis
Here with You	Lost Frequencies & Netsky
Strangers	AOBeats & Annabel Jones
Just a Feeling (feat. Vérité)	Phantoms
We Don't Belong (feat. Haneri)	Dash Berlin
All Stars (feat. Alma)	マーティン・ソルヴェイグ
Truth or Dare (feat. Little Daylight)	R3hab
How You Gon' Do That (feat. Cara Salimando)	Flosstradamus
Lucky (feat. Yade Lauren)	モクシ & Chace
Parallel Lines (feat. Happy Sometimes)	DVBBS & CMC$
First Time (Gryffin Remix)	Kygo & エリー・ゴールディング
Now Or Never (R3hab Remix)	ホールジー
Sunny Days (feat. Josh Cumbee)	Armin van Buuren
Simple (feat. Victoria Zero)	Autograf
We Might Fall	Ghastly & Matthew Koma
Hot Water (feat. Victoria Zero)	オーディエン & ブラウ
There For You	Martin Garrix & トロイ・シヴァン
Real Life (feat. Naations)	デューク・デュモン & ゴーゴン・シティ
Idea of You (feat. Eric Nam)	Arty
High Without Your Love (NAKID Remix)	Loote

9.4. J-Pop

表 35 楽曲リスト J-Pop

Aリスト：J-Pop	
2017年8月8日取得	
50曲	
楽曲	アーティスト
キラキラ feat. カンナ	AI
X-RAY feat. 三代目J Soul Brothers from EXILE TRIBE	PKCZ®
逃げ水	乃木坂46
WASTED LOVE	HIROOMI TOSAKA
True Love	ANTIME
Love ☆ Queen	E-girls
Girls	西野 カナ
恋す肌	Nissy(西島隆弘)
ホップステップLOVE	ONIGAWARA
ワタタリカ	C&K
ピカソ	水曜日のカンパネラ
Goody-Good Girl	SHINJIRO ATAE (from AAA)
Dirty Disco	THE RAMPAGE from EXILE TRIBE
Time Has Gone	w-inds.
BANKA	illion
ココロハレテ	足立 佳奈
月曜日の朝、スカートを切られた	欅坂46
Don't leave me	顔シスト
TAKE MY HAND	夜の本気ダンス
SURELY	never young beach
WIPER	Suchmos
千%	KICK THE CAN CREW
はじまりの予感	ケツメイシ
君のとなり	Dream Ami
空	GENERATIONS from EXILE TRIBE
DECIDED	UVERworld
ロングラン	GLAY
コイセヨワタシ。	Leola
Destiny	シェネル
No Way Back	AAA
perfect summer	lol-エルオーエル-
RAIN	SEKAI NO OWARI
I need your love	Beverly
TT -Japanese ver.-	TWICE
P.B.E feat.今市隆二 (三代目J Soul Brothers from EXILE TRIBE)	
まもりたい～この両手の中～	村上佳佑
Over You	SHE'S
見たこともない景色	菅田 将暉
Dirty Work Blouson Chiemi Remix	ブルゾンちえみ & オースティン・マホーン
Because of you	清水 翔太
RUSH	RIRI
鐘泣く命	indigo la End
Natural Lios	岡崎体育
Story of Our Life	平井 大
だから、ひとりじゃない	Little Glee Monster
道。	ハジ→
CQCQ	神様、僕は気づいてしまった
恋の道	MACO
パッ	西野 カナ
シャイニー	miwa

9.5. ポップ

表 36 楽曲リスト ポップ

Aリスト：ポップ	
2017年8月9日取得	
50曲	
楽曲	アーティスト
Hymn	Kesha
Boys	チャーリー・エックス・シー・エックス
OMG (feat. Olly Murs & Coely)	カミラ・カベロ
More Mess (feat. Olly Murs & Coely)	Kungs
Waves	Dean Lewis
Would You Ever	スクリレックス & Poo Bear
Touch Me	Starley
Back to You (feat. Bebe Rexha & Digital Farm Animals)	ルイ・トムリンソン
Fetish (feat. Gucci Mane)	セレーナ・ゴメス
Would You Mind	PRETTYMUCH
New Rules	Dua Lipa
Interweb	Poppy
Sorry Not Sorry	デミ・ロヴァート
Know No Better (feat. Travis Scott, Camila Cabello & Quavo)	Major Lazer
Goodbye	エコスミス
Heavy (feat. Kiiara)	LINKIN PARK
Versace On The Floor (Bruno Mars vs. David Guetta)	ブルーノ・マーズ & デヴィッド・ゲッタ
More Than You Know	Axwell Λ Ingrosso
Get Low	ZEDD & リアム・ペイン
Why	サブリナ・カーペンター
Want You Back	ハイム
Wild Thoughts (feat. Rihanna & Bryson Tiller)	DJキャレド
Feels (feat. Pharrell Williams, Katy Perry & Big Sean)	カルヴィン・ハリス
Moonlight	グレース・ヴァンダーウォール
Hoodie	Hey Violet
Down (feat. Gucci Mane)	フィフス・ハーモニー
nstruction (feat. Demi Lovato & Stefflon Don)	ジャックス・ジョーンズ
Supercut	ロード
デスパシート (Remix) [feat. ジャスティン・ビーバー]	ルイス・フォンシ & ダディー・ヤンキー
2U (feat. Justin Bieber)	デヴィット・ゲッタ
Yellow Light (Despicable Me 3 Original Motion Picture Soundtrack)	Pharrell Williams
Uh Huh	ジュリア・マイケルズ
I'm the One (feat. Justin Bieber, Quavo, Chance the Rapper & Lil Wayne)	DJキャレド
There For You	Martin Garrix & トロイ・シヴァン
Cut to the Feeling	カーリー・レイ・ジェプセン
Your Song	リタ・オラ
The Way I Are (Dance With Somebody) [feat. Lil Wayne]	ビービー・レクサ
Break a Little	カースティン
Strip That Down (feat. Quavo)	リアム・ペイン
Mama (feat. William Singe)	ジョナス・ブルー
Good Life	G-イージー & Kehlani
Most Girls	ヘイリー・スタインフェルド
Quit (feat. Ariana Grande)	カシミア・キャット
First Time	Kygo & エリー・ゴールディング
Middle of the Night	The Vamps & Martin Jensen
There's Nothing Holdin' Me Back	ショーン・メンデス
No Promises (feat. Demi Lovato)	Cheat Codes
Something Just Like This	ザ・チェインスモーカーズ & コールドプレイ
Shape of You	エド・シーラン
Undercover	Kehlani

9.6. R&B

表 37 楽曲リスト R&B

Aリスト：R&B	
2017年8月9日取得	
49曲	
楽曲	アーティスト
Pills & Automobiles (feat. Yo Gotti, A Boogie wit da Hoodie & Kodak Black)	クリス・ブラウン
Get You (feat. Kali Uchis)	Daniel Caesar
Sticky Situation (feat. Syd)	QUIÑ
Love Galore (feat. Travis Scott)	SZA
Belong To You	Sabrina Claudio
Do Re Mi (feat. Gucci Mane)	blackbear
Young Dumb & Broke (Live)	Khalid
Redbone	Childish Gambino
Biking (Solo)	フランク・オーシャン
We Find Love	Dainel Caesar
Versace On The Floor	ブルーノ・マーズ
Figures	Jessie Reyez
Every Kind of Way	H.E.R.
Unravel Me	Sabrina Claudio
The Weekend	SZA
Wild Thoughts (feat. Rihanna & Bryson Tiller)	DJキャレド
Want More (feat. Kranium)	Rotimi
Come Closer (feat. Drake)	WizKid
Touch the Floor (feat. Masego)	Vanjess
Somethin Tells Me	Bryson Tiller
Privacy	クリス・ブラウン
B.E.D.	Jacquees
Chateau	blackbear
Would You Mind	PRETTYMUCH
One I Want (feat. PARTYNEXTDOOR)	Majid Jordan
Signs	ドレイク
Run Me Dry	Bryson Tiller
What Are You On?	Roy Woods
Anything U Want (feat. Wiz Khalifa, Jeremih & Ty Dolla $ign)	セヴン・ストリーター
Don't Choose	dvsn
That Far	6LACK
Do Re Mi	blackbear
Confidently Lost	Sabrina Claudio
Lights On	H.E.R.
Location	Khalid
Blessed	Daniel Caesar
Doves In the Wind (feat. Kendrick Lamar)	SZA
Naughty Ride (feat. Major Lazer)	WizKid
I Think of You (feat. Chris Brown & Big Sean)	ジェレマイ
Smile	レヴィン・カリ
Nobody Else But You	トレイ・ソングス
Peace of Mind	パーティーネクストドア
While We're Young	ジェネイ・アイコ
Don't Matter	オーガスト・アルシーナ
All There Kisses	Tammy Rivera
Broken Clocks	SZA
Love N Hennenssy	A.CHAL
Think About Me	dvsn
Freak in You	パーティーネクストドア

9.7. レゲエ

表 38 楽曲リスト レゲエ

Aリスト：レゲエ	
2017年8月9日取得	
31曲	
楽曲	アーティスト
Light My Fire (feat. Konshens & J Boog)	インナー・サークル
Turn Your Lights Down Low	キマニ・マーリー & Yanique 'Curvy Diva'
Living It Up	ダミアン・マーリー
Love Situations	Jada Kingdom
Son of David (feat. Samory I)	Rorystonelove & Samory I
Our Law	ASSASSIN
Skankin' Sweet	Chronixx
Mary Jane	Marlon Asher, Izac King, Pressure & SIZZLA
R.O.A.R.	ダミアン・マーリー
Siren (feat. Stick Figure)	The Movement
I'll Be Waiting	Redlight, Liv Dawson & Kojo Funds
Ride Up	Khalia & Tifa
Mash Down Georgetown	Jahdan Blakkamoore
Get Drunk (feat. Miss O)	シャム
Love It (Walshy Fire X Bad Royale Remix)	ヴァイプス・カーテル
Can't Breathe	Kabaka Pyramid
Let Jah Be Praised	Dre Island
Good Life	Collie Buddz
Grown Man Cry	Pressure
Watagwan Yo	Madd Again!
Can't Believe (feat. Ty Dolla $ign & WizKid)	Kranium
Would You Love Me (Remix)	Raging Fyah & Cidade Negra
Untouchable	SIZZLA
Step out into the Light	Matisyahu
Can't Dweet Like We (feat. Vybz Kartel, Lola Monroe & Candy Gloster)	Bulby York
London City 'feat. Ding Dong)	The Heatwave
Body (feat. Migos)	ショーン・ポール
Bacchanal	Wrongtom meets The Ragga Twins
Medication (feat. Stephen Marley)	ダミアン・マーリー
Revolution of the Mind	Kabaka Pyramid
Rude Girl	Tribal Seeds

9.8. ロック

表 39 楽曲リスト ロック

Aリスト：ロック	
2017年8月7日取得	
45曲	
楽曲	アーティスト
Young Lady, You're Scaring Me	Ron Gallo
Owning Your Okayness	Milk Teeth
Highway Tune	Greta Van Fleet
Drained Lake	METZ
The Wanting	J. Roddy Walston & The Business
Golden Dandelions	Barns Courtney
Automatic	Mondo Cozmo
The Way You Used to Do	Queens of the Stone Age
One Night Only	ザ・ストラッツ
Mind Fire	Theo Verney
If Before I Wake	The Districts
Judy French	White Reaper
Driver	Billy Raffoul
Shake	Jet Trash
Less Than	ナイン・インチ・ネイルズ
Go Out Tonight	The Tracks
Legends	Sleeping With Sirens
Leash	Single Mothers
Black Holes (Solid Ground)	The Blue Stones
Heroin (Rock Edit)	Badflower
Whole Wide World (Unpeeled)	Cage the Elephant
Little One	Highly Suspect
Run	フー・ファイターズ
Underneath the Sheets of White Noise	Lee Bains III & The Glory Fires
System of a Gun	Gutxi Bibang
Where Do We Go When We Go	Neck Deep
Living on the 110	Prophets of Rage
Rules	Rafferty
Right On You	Benjamin Booker
Lights Out	Royal Blood
Just Can't Get Enough	Sheer Mag
Daisy	Goodbye June
Amsterdam	Nothing But Thieves
Half Asleep	Korey Dane
Wendy's Trash Can	Rozwell Kid
The System Only Dreams in Total Darkness	The National
Wall of Glass	Liam Gallagher
New Air	Fire In the Radio
She Said	サンダラ・カルマ
Feels Like Summer	ウィーザー
Holding On	The War on Drugs
Shine on Me	ダン・オーバック
Julie's Place	Rolling Blackouts Coastal Fever
Song #3	ストーン・サワー
Get Up	Mount Holly

9.9. 注釈

著者の調査時の楽曲リストのメモ方法の問題で，一部クラシック音楽などの長大な楽曲名で最後の数文字が見切れていて読み返せないものがあった．それらは記録していた文字列のみ表に記入したのち, …を付けた. 例えば『Symphony No.9 in E Minor, Op. 95 "From the New World": I...』のように書いた.

クラシック音楽の楽曲名は，リチャード J.ウィンジェル著(2014)[142]に書かれている正式な方法とは異なり，読者が Apple Music でその楽曲を検索しやすいように，Apple Music の楽曲名の表記をそのままにした.

クラシック音楽のアーティスト名の多くは演奏者の名称が書かれていたため, アーティスト名ではなく作曲家名を記した.

アーティスト名や作曲家名の表記がないものが一部あり，空欄とした.

複数のリストに入っている曲があったが，分析ではどちらのリストのデータにも含めた.

[142] [リチャード J.ウィンジェル著, 2014]，132 頁.

10. 付録 E 最適化のプログラム

3.3.2 において動学モデルの 10 地点での最適化結果の比較に用いた Mathematica のコードは以下のようである.

0

$$NArgMin[-(0.4\,Sqrt[x1] + 0.6\,Sqrt[x2] + 0.4\,Sqrt[x3]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0, x1, x2, x3, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

1

$$NArgMin[-(0.8\,Sqrt[x1] + 1.2\,Sqrt[x2] + 0.8\,Sqrt[x3] + 0.2\,Sqrt[x4]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0, x1, x2, x3, x4, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

2

$$NArgMin[-(1.2\,Sqrt[x1] + 1.8\,Sqrt[x2] + 1.2\,Sqrt[x3] + 0.8\,Sqrt[x4] + 0.4\,Sqrt[x7]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x7 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x7, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

3

$$NArgMin[-(1.6\,Sqrt[x1] + 2.4\,Sqrt[x2] + 1.6\,Sqrt[x3] + 1.4\,Sqrt[x4] + 0.2\,Sqrt[x5] + 1.2\,Sqrt[x7]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 4\,x7 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x7, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

4

$$NArgMin[-(2\,Sqrt[x1] + 3\,Sqrt[x2] + 2\,Sqrt[x3] + 2\,Sqrt[x4] + 1\,Sqrt[x5] + 2\,Sqrt[x7]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 4\,x7 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x7, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

5

$$NArgMin[-(2.4\,Sqrt[x1] + 3.6\,Sqrt[x2] + 2.4\,Sqrt[x3] + 2.6\,Sqrt[x4] + 1.8\,Sqrt[x5] + 1\,Sqrt[x6] + 2.8\,Sqrt[x7]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 5\,x6 + 4\,x7 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x6 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

6

$$NArgMin[-(2.8\,Sqrt[x1] + 4.2\,Sqrt[x2] + 2.8\,Sqrt[x3] + 3.2\,Sqrt[x4] + 2.6\,Sqrt[x5] + 2\,Sqrt[x6] + 3.6\,Sqrt[x7]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 5\,x6 + 4\,x7 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x6 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

7

$$NArgMin[-(3.2\,Sqrt[x1] + 4.8\,Sqrt[x2] + 3.2\,Sqrt[x3] + 3.8\,Sqrt[x4] + 3.4\,Sqrt[x5] + 3\,Sqrt[x6] + 4.4\,Sqrt[x7] + 1\,Sqrt[x8]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 5\,x6 + 4\,x7 + 5\,x8 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x6 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0\ \&\&\ x8 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, Integers, MaxIterations \to 4000]$$

8

$$NArgMin[-(3.6\,Sqrt[x1] + 5.4\,Sqrt[x2] + 3.6\,Sqrt[x3] + 4.4\,Sqrt[x4] + 4.2\,Sqrt[x5] + 4\,Sqrt[x6] + 5.2\,Sqrt[x7] + 2\,Sqrt[x8] + 0.8\,Sqrt[x11]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 5\,x6 + 4\,x7 + 5\,x8 + 6\,x11 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x6 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0\ \&\&\ x8 \geq 0\ \&\&\ x11 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x11, Integers, MaxIterations \rightarrow 4000]$$

9

$$NArgMin[-(4\,Sqrt[x1] + 6\,Sqrt[x2] + 4\,Sqrt[x3] + 5\,Sqrt[x4] + 5\,Sqrt[x5] + 5\,Sqrt[x6] + 6\,Sqrt[x7] + 3\,Sqrt[x8] + 2\,Sqrt[x11]), 2\,x1 + 3\,x2 + 2\,x3 + 3\,x4 + 4\,x5 + 5\,x6 + 4\,x7 + 5\,x8 + 6\,x11 \leq 100\ \&\&\ x1 \geq 0\ \&\&\ x2 \geq 0\ \&\&\ x3 \geq 0\ \&\&\ x4 \geq 0\ \&\&\ x5 \geq 0\ \&\&\ x6 \geq 0\ \&\&\ x7 \geq 0\ \&\&\ x8 \geq 0\ \&\&\ x11 \geq 0, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x11, Integers, MaxIterations \rightarrow 16000]$$

11. 付録 F 楽器の発展史

11.1. 技術革新と楽器の発展

本付録では 20 世紀から 2018 年までを中心として楽器の歴史を簡単に要約する.

特に本文で計測したエレキギター，シンセサイザー，ドラムおよびそれを加工するエフェクターについて述べる.

楽器の発展はもちろん 20 世紀より前からあり, 例えば 17 世紀には名職人として知られるヴァイオリン職人のストラディバリが活躍し，ヴァイオリンの制作において「矢継ぎ早に新しい試みに手を染めていった[143]」という.

11.2. エレキギターの歴史と現在

エレキギターは 1930 年代に発明された[144]. ハウリングを防ぎたい[145]など, 時代ごとに目的があり, それが原動力になって改良が重ねられた. 特に 1950 年代にギブソン社のレスポールとフェンダー社のストラトキャスターが人気のモデルとしてしのぎを削り，この頃に大きな発展が見られた[146]. また 1960 年代ごろに日本でも普及した[147]. 2018 年現在でも新しい試みが続いており，例えば Strandberg の Boden OS 7 EMG 707X/RM[7-stringsmodel][148]は 7 つの弦を備えた革新的なモデルである.

143 [トマス・レヴェンソン著，中島伸子訳, 2004]，254 頁.
144 [椎野秀聰, 2010]，171-172 頁.
145 [湯浅ジョウイチ, 2007]，22-23 頁.
146 同上.
147 [椎野秀聰, 2010]，128 頁.
148 [イケベ楽器店].

11.3. シンセサイザーの歴史と現在

シンセサイザーとは何かを定義することは難しく, いつ発明されたとみなすか決めるのも難しい. 早いものでは 1897 年のテルハーモニウムがその候補の一つであり[149], 遅いものでは 1964 年のモーグが最初のシンセサイザーの候補である[150]. エフェクターを内蔵し, ハードからソフトになるなどコンピューターの変化と伴ってシンセサイザーは技術が高度化していった. 現在では, 例えば Xfer の Serum などが, ダンスミュージック制作などでは人気のモデルと思われる. これはワブルベースなどを三次元のグラフを見ながら作ることができ[151], LFO のパラメーターを数値で入力するのと比べて図形的なイメージが湧きやすいことからユーザビリティーの点で優れている長所などがある.

11.4. ドラムとエフェクターの歴史と現在

ドラムマシンは Roland の TR-808 や TR-909 が往年の名器として知られているほか[152], 現代のヒップホップでもあえてこの古めかしい音を好んで使うアーティストが存在する[153].

エフェクターはかつてはハードのコンプレッサーやイコライザーを用いていて[154], しかも高価なものだったが, 現代ではインターネットを通じて無料でダウンロードできるソフトのプラグインもたくさんある[155]. 最新のエフェクター

---

149 [相原耕治, 2011], 42 頁.

150 モーグ・シンセサイザーが「現在のシンセサイザーの基本になっている」(同上, 49 頁).

151 公式ホームページ[XferRecords.com | Home of the Xfer Records VST Suite, 2018]の図からもわかる. また, 著者はこのシンセサイザーを使っている.

152 TR-808 については[相原耕治, 2011], 285-286 頁を参考にした.

153 例えば [The Chainsmokers, 2016]の 1:05-1:10 のスネアフィルにこの手の音色が使われている.

154 [齋藤和徳, 2016]のような本があることがその証拠である.

155 [KVR: VST Plugins, Audio Units (AU Plugins) & AAX Audio Plugin News, Reviews and Community - plus iOS (iPhone and iPad) and Android Audio App News Too (Virtual Instruments &

としては例えば iZotope の Neutron 2 がある．Neutron シリーズはミキシングの自動化を図るプラグインであり[156][157]，人間のミキシングエンジニアの仕事を機械化で取って代わるような革新的なプラグインである．またエフェクターの老舗として知られる Waves 社の Vocal Rider なども，コンプレッサーとは違って音色の質感を変えずに音量をほぼ一定のレベルに保ち続けることができるという[158]，かつてなかった発想のエフェクターであり，新しいものが次々と現れている．

Virtual Effects)]などにフリーでダウンロードできるエフェクターが多数あることが確認できる．

156 [Neutron 2: A Smarter Way to Mix | iZotope Audio Mixing Toolshttps://www.izotope.com/en/products/mix/neutron.html].

157 [ZAL].

158 “unlike compression, Vocal Rider adds absolutely no coloring to the vocal track”([Vocal Rider Plugin | Waves]).

文献一覧

A Summer Place (film) - Wikipedia. (2017 年 12 月 15 日). 参照日: 2018 年 1 月 12 日，参照先: Wikipedia, the free encyclopedia: https://en.wikipedia.org/wiki/A_Summer_Place_(film)

Amit. (2015 年 3 月 1 日). Chord progressions of 5 000 songs! – AmitKohli.com. 参照日: 2018 年 2 月 9 日，参照先: AmitKohli.com: http://amitkohli.com/chord-progressions-of-5-000-songs/

Apple Music - Apple（日本）. 参照日: 2018 年 1 月 12 日，参照先: Apple（日本）: https://www.apple.com/jp/apple-music/

Apple Music での調査に使われた楽曲(曲名は本文の表を参照).

AppleMusic の curator. A リスト：J-Pop.

AppleMusic の curator. A リスト：R&B.

AppleMusic の curator. A リスト：カントリー.

AppleMusic の curator. A リスト：クラシック.

AppleMusic の curator. A リスト：ダンス／EDM.

AppleMusic の curator. A リスト：ポップ.

AppleMusic の curator. A リスト：レゲエ.

AppleMusic の curator. A リスト：ロック.

AppleMusic の curator. Pop Hits:1960.

AppleMusic の curator. ベストオブ 1950 年代ポップス.

AppleMusic の curator. ベストオブ 1960 年代ポップス.

AppleMusic の curator. 洋楽ヒッツ：1970 年代.

AppleMusic の curator. 洋楽ヒッツ：1980 年代.

AppleMusic の curator. 洋楽ヒッツ：1990 年代.

AppleMusic の curator. 洋楽ヒッツ：2000 年代.

AZU. (2017 年 6 月 4 日). 【作曲】いつまでたっても曲が作れないという人に少しだけアドバイス的なものを | Symphonical Rain. 参照日: 2018 年 1 月 11 日, 参照先: http://symphonical-rain.main.jp/?p=5988

Beyond the Sea (song) - Wikipedia. (2017 年 12 月 29 日). 参照日: 2018 年 1 月 12 日, 参照先: Wikipedia, the free encyclopedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Beyond_the_Sea_(song)

Dixit, Avinash K., and Joseph E. Stiglitz. (1977). Monopolistic competition and optimum product diversity. The American Economic Review 67.3, 297-308.

EDM MAXX 編集部. 超初心者でもわかる！EDM ってなんだろう？ | EDM MAXX. 参照日: 2018 年 1 月 13 日, 参照先: EDM MAXX: http://edmmaxx.com/news/549

Fred Lerdahl and Ray Jackendoff. (1983). A generative theory of tonal music. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Geem, Zong Woo, Joong Hoon Kim and G. V. Loganathan. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. simulation 76.2, 60-68.

IBM SPSS Amos 24 のヘルプの BIC の項目. (IBM) 参照日: 2018 年 1 月 13 日

ICHSA. International Conference on Harmony search, Soft Computing and Applications 2018. 参照日: 2018 年 1 月 12 日, 参照先: https://www.ichsa2018.com/

Ishkur. (2014 年 8 月 17 日). Ishkur's Guide to Electronic Music | New Home on Techno.org. 参照日: 2018 年 1 月 13 日, 参照先: DI.FM - addictive electronic music: http://techno.org/electronic-music-guide/

JUN. (2015 年 7 月 21 日). 曲作りに音楽理論はいらない？それとも必要？ 参照日: 2018 年 1 月 11 日, 参照先: http://hirnes.blog.so-net.ne.jp/2015-07-21

KVR: VST Plugins, Audio Units (AU Plugins) & AAX Audio Plugin News, Reviews and Community - plus iOS (iPhone and iPad) and Android Audio App News Too (Virtual Instruments & Virtual Effects). (KVRAudio) 参照日: 2018 年 1 月 13 日, 参照先: KVR: https://www.kvraudio.com/

Neutron 2: A Smarter Way to Mix | iZotope Audio Mixing Toolshttps://www.izotope.com/en/products/mix/neutron.html. (iZotope) 参照日: 2018 年 1 月 13 日, 参照先: iZotope: https://www.izotope.com/en/products/mix/neutron.html

Phelps, Edmund S. (1967). Golden rules of economic growth: studies of efficient and optimal investment.

Skrillex. (2010). Scary Monsters and Nice Sprites.

Songs with the same chords - Theorytab. 参照日: 2018 年 1 月 10 日

The Best of the 1930's.

The Chainsmokers. (2016). Closer (feat. Halsey).

U.S. Chart No.1 Songs 1950's(全米チャート 1 位名曲集-オリジナル・レコーディング編).

Vocal Rider Plugin | Waves. (Waves) 参照日: 2018 年 1 月 13 日, 参照先: Waves: https://www.waves.com/plugins/vocal-rider

XferRecords.com | Home of the Xfer Records VST Suite. (2018 年 1 月 13 日). (Xfer Records) 参照先: XferRecords.com: https://www.xferrecords.com/products/serum

ZAL (編). 自動 MIX プラグイン？iZotope Neutron の良いところと意外な弱点. 参照日: 2018 年 1 月 13 日, 参照先: ZZ STYLE SOUND BLOG: http://zzstylesound.com/izotope-neutron-track-assistant/

アリエル・ルービンシュタイン著, 村上愛他訳. (2016). ルービンシュタイン

ゲーム理論の力. 東京: 東洋経済新報社.

イケベ楽器店. イケベ楽器店 Website | Strandberg Boden OS 7 EMG 707X/RM [7-strings model] (Red/Birdseye Maple) 【年末年始大激売タイムセール 2017-2018】. 参照日: 2018 年 1 月 12 日, 参照先: イケベ楽器店 Website: https://www.ikebe-gakki.com/ec/pro/disp/1/555824

ゲオルク・フリードリヒ・ヘンデル. エアー 変ロ長調 HWV 469.

サミュエル・バーバー. (1938). 弦楽のためのアダージョ.

ジュセッペ・アルビア著, 堤盛人監訳. (2016). R で学ぶ空間計量経済学入門. 東京: 勁草書房.

トマス・レヴェンソン著, 中島伸子訳. (2004). 錬金術とストラディヴァリ : 歴史のなかの科学と音楽装置. 東京: 白揚社.

ハインリヒ・シェンカー著, 野口剛夫訳. (2000). ベートーヴェン第 5 交響曲の分析. 東京: 音楽之友社.

ポール・クルーグマン, ロビン・ウェルス著, 大山道広他訳. (2017). クルーグマンミクロ経済学. 東京: 東洋経済新報社.

マルクス著, 資本論翻訳委員会訳. (1997). 資本論. 東京: 新日本出版社.

マルサス著, 斉藤悦則訳. (2011). 人口論. 東京: 光文社.

リチャード J.ウィンジェル著, 小倉眞理訳, 宮澤淳一訳,. (2014). 音楽の文章術 : 論文・レポートの執筆から文献表記法まで. 東京: 春秋社.

相原耕治. (2011). シンセサイザーがわかる本 : 予備知識から歴史、方式、音の作り方まで. 国分寺: スタイルノート.

秋山裕. (2009). R による計量経済学. 東京: オーム社.

有馬昌宏. (2002). 文化経済学における実証研究の動向と課題. 文化経済学 2002.3.1, 11-16.

今井民子. (1993). ラモーの和声理論とその展開. 弘前大学教育学部紀要 70,

95-105.
川上隆，中井満，下平博，嵯峨山茂樹. (2000). 隠れマルコフモデルを用いた旋律への自動和声付け. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS) 2000.19, 59-66.
神取道宏. (2014). ミクロ経済学の力. 東京: 日本評論社.
木下是雄. (2004). 理科系の作文技術. 東京: 中央公論新社.
弦楽のためのアダージョ バーバー. (2017 年 8 月 21 日). 参照日: 2018 年 1 月 13 日，参照先: 世界の民謡・童謡 WORLDFOLKSONG.COM: http://www.worldfolksong.com/classical/adagio/samuel-barber.html
河野哲也. (2002). レポート・論文の書き方入門. 東京: 慶應義塾大学出版会.
今野哲也. (2016). 島岡譲研究(1)著作目録. 国立音楽大学研究紀要 51 巻, 21-32.
齋藤和徳. (2016). Soul Power Instruments エフェクターの設計と製作. 東京: ラトルズ.
椎野秀聰. (2010). 僕らが作ったギターの名器. 東京: 文藝春秋.
島岡譲. (1964). 和声 : 理論と実習. 東京: 音楽之友社.
島岡譲他. (1998). 総合和声 : 実技・分析・原理. 東京: 音楽之友社.
清水厚志，鈴木泰山，野池賢二，金子雄介，徳永幸生，杉山清. (2007). 事例に基づく演奏表情生成システムにおける旋律断片自動生成アルゴリズムの改良と評価. 情報処理学会研究報告音楽情報科学（MUS） 102, 7-12.
豊田秀樹. (1998). 共分散構造分析 : 構造方程式モデリング. 東京: 朝倉書店.
豊田秀樹編著. (2007). 共分散構造分析 : 構造方程式モデリング. Amos 編. 東京: 東京図書.
中室牧子. (2015). 「学力」の経済学. 東京: ディスカヴァー・トゥエンティワン.
中潟昌平，西本卓也，嵯峨山茂樹. (2004). 動的計画法と音列出現確率を用いた

対位法の対旋律の自動生成. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS) 84, 65-70.

浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏. (2017). deepGTTM-III: グルーピング構造と拍節構造の自動獲得. 研究報告音楽情報科学 (MUS) 2017.16, 1-6.

林知行. (2006). 標準ポピュラー・コード理論 : ポピュラー音楽におけるコード理論のオーソリティ. 東京: シンコーミュージック·エンタテイメント.

平田圭二, 青柳龍也. (2001). パーピープン: ジャズ和音を生成する創作支援ツール. 情報処理学会論文誌 42.3, 633-641.

藤井晴行, 古川聖. (2009). 機能和声に基づく音楽構造の生成手法の提案. 研究報告音楽情報科学 (MUS) 2009.17, 1-4.

松井みさ. (2013). 伴奏付けの指導方法に関する一考察 (1). 中国学園紀要 12, 43-48.

三浦雅展, 青山容子, 谷口光, 青井昭博, 尾花充, 柳田益造. (2005). ポップス系の旋律に対する和声付与システム: AMOR. 情報処理学会論文誌 46.5, 1176-1187.

三浦雅展, 柳田益造. (2004). ソプラノ課題の全許容解列挙システムの構築. 日本音響学会誌 60.3, 105-114.

三浦雅展, 山田真司, 柳田益造. (2003). 四音体和音の音楽美を評価するシステム "MAESTRO". 日本音響学会誌 59.3, 131-140.

山室紘一. (2012). 世界のポピュラー音楽史 : アーティストでつづるポピュラー音楽の変遷. 東京: トーオン : ヤマハミュージックメディア(発売).

山本勲. (2015). 実証分析のための計量経済学 : 正しい手法と結果の読み方. 東京: 中央経済社.

湯浅ジョウイチ. (2007). 知ってるようで知らないギターおもしろ雑学事典. 東京: ヤマハミュージックメディア.

李康碩. (2004). ハーモニーサーチヒューリスティックスアルゴリズムに基づいた新しい離散断面最適化手法. 日本建築学会構造系論文集 69.585, 101-107.

劉剣利, 平賀瑠美, 五十嵐滋, 関口由浩. (1999). 楽曲分析システム DAPHNE-実際の楽譜上での自動分析. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS) 68, 1-6.

渡辺貞夫. (1987). ジャズ・スタディ. 東京: エー・ティー・エヌ.

図表一覧

図

図 1 G→F の確率 13

図 2 カデンツの法則の動学 26

図 3 カデンツの需要の動学 49

図 4 カデンツの法則の動学(再掲) 50

図 5 年代ごとの守る曲数 65

図 6 ジャンルごとの守る割合 94

図 7 飽和モデル 95

図 8 単純なモデル 97

図 9 複雑なモデル 99

表

表 1 K_2 の効用 29

表 2 K_8 の効用 32

表 3 K_1 の効用 33

表 4 K_2 の効用(再掲) 33

表 5 K_3 の効用 33

表 6 K_4 の効用 34

表 7 時間あたり効用 34

表 8 文字で表した効用 35

表 9 各カデンツの効用と長さ 42

表 10 K_2 の効用(動学モデル) 46

表 11 各カデンツの効用と長さ(動学モデル) 47

表 12 1930 年代の判定結果 56

表 13 1950 年代の判定結果 57

表 14 1960 年代の判定結果 58

表 15 1970 年代の判定結果 59

表 16 1980 年代の判定結果 60

表 17 1990 年代の判定結果 61

表 18 2000 年代の判定結果 62

表 19 年代別データの記述統計量 63

表 20 守る~年代の結果 64

表 21 年代ごとの守る曲数 65

表 22 守る~年代+エレギ+激しいシンセ+ドラムの結果 70

表 23 標準化推定量 70

表 24 エレギ→激しいエレギ 88

表 25 激しいシンセ→シンセ 89

表 26 ジャンル別 クラシック 90

表 27 ジャンル別 カントリー，R&B，ロック 91

表 28 ジャンル別 レゲエ，ダンス 91

表 29 ジャンル別 ポップ，J-pop 92

表 30 適合度指標 97

表 31 複雑なモデルのパスの推定値 100

表 32 楽曲リスト クラシック 103

表 33 楽曲リスト カントリー 104

表 34 楽曲リスト ダンス／EDM 105

表 35 楽曲リスト J-Pop 106

表 36 楽曲リスト ポップ 107

表 37 楽曲リスト R&B 108

表 38 楽曲リスト　レゲエ 109

表 39 楽曲リスト　ロック 110

謝辞

本稿は，慶應義塾大学経済学部経済学科３，４年次設置科目である研究プロジェクトにおける著者の研究成果をまとめたものである．まず，慶應義塾大学経済学部経済学科の大垣昌夫教授には，ミクロ経済学と和声という異例の結びつきでありながら，指導教官となることを承諾していただき，一年間を通じて熱心かつ貴重なご指導を頂いた．ここに深謝の意を表する．次に立教大学文学部教育学科教授の河野哲也先生，慶應義塾大学経済学部経済学科教授の千田大介先生および研究プロジェクトのコーディネーターの先生方には，本科目において基本的な研究の仕方と論文の書き方をご教授いただいた．深く感謝の意を表する．また，研究プロジェクトの中間報告会において，多数の有益なコメントを頂いた．そこで 2017 年度研究プロジェクトの TA，SA，履修生および中間報告会への来場者の皆様に感謝したい．

さらに，クラシック音楽の理論の有効性についてどう思っているかを尋ね，それに回答していただいた匿名の三名の作曲家の友人，エレキギターの歴史と現状について教えていただいた匿名の元ギターテックの友人，一部の最近のクラシック音楽理論について教えていただいた慶應義塾大学文学部人文社会学科美術美学史専攻の小島広之君,「カデンツ」というドイツ語の語源や意味を調べていただいた，同大学法学部法律学科の霜越大海君，論文の書き方について相談に乗っていただいた同大学経済学部経済学科の上西雄太君，以上の方々にここに感謝の意を表明する．