

楽器演奏における知識の構築と 実践的な活用

Knowledge Development and Utilization in Musical Instrument Performance

飯野なみ

博士（情報学）



総合研究大学院大学

The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI

2020年9月

本論文は総合研究大学院大学 複合科学研究科 情報学専攻に
博士（情報学）授与の要件として提出した博士論文である

審査委員

- 主査 武田 英明 (TAKEDA Hideaki) 教授
国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学
- 坊農 真弓 (BONO Mayumi) 准教授
国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学
- 大向 一輝 (OHMUKAI Ikki) 准教授
東京大学大学院
- 佐藤 健 (SATO Ken) 教授
国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学
- 山田 誠二 (YAMADA Seiji) 教授
国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学

(主査以外はアルファベット順)

論文概要

本論文は、知識を必要とする指導や学習に関する基盤技術を提供することを目的として、楽器演奏領域における知識の構築と活用の実践を行ったものである。

楽器演奏は個人の経験値や身体性といった様々な情報を含むために、個人に合った楽曲の選定や指導・学習方法の確立が難しい。また奏法が発展しているにもかかわらず、指導者間の情報共有が不足していることによって、学習者が正しい情報を得られていないことがある。個人に適した指導や効率的な学習、分野の変化に応じた深い理解を実現するためには、知識の共有や利活用が必要である。このような背景を共有する学問分野の一つに知識工学がある。知識工学では、知識をどのように獲得し、合意形成しながら構築していくかが大きな課題となっている。知識獲得のためのモデルや枠組みが提案されているが、詳細な実施方法や手順については論じられていない。またオントロジーなどの数多くの知識が構築されているが、実践的に活用するという観点で不足している。

上記の問題に対して、楽器演奏の場合には、言語化、記号化された情報、楽譜情報、さらにそれらを分析した高次の音楽情報という複数のレイヤーがあり、知識を対象とした学術的な研究がしやすいというメリットがある。本研究では、知識ベースによる楽器の指導・学習支援を目指して、以下2つの項目を実施した。

1つ目は、楽器演奏における基礎的な知識の構築と手順化である。他楽器よりも奏法の種類が多いクラシックギターに着目し、演奏時に実行される行為を形式的に記述した。具体的にはまず、(i)人間可読性の高い手続き的知識の構築と、(ii)機械処理可能な形式を持つドメインオントロジー（ギター奏法オントロジー）の構築を行なった。上記2つの「基礎的な知識」を併用して相互に構築を繰り返すことで、知識の最適化や暗黙知の獲得が期待できる。そこで、(iii)演奏者兼指導者によるギター奏法オントロジーに基づく手続き的知識の再構築を行い、併用することの有用性や効果を検証した。さらに、知識の構築を情報システムとして実装するためにシステムを設計・開発し、手続き的知識の記述を通して情報システム化による効果を調査した。

2つ目は、基礎的な知識に基づく実践的な知識の収集と分析である。演奏者や楽曲ごとに異なる「実践的な知識」を収集するために、認知的音楽理論に基づく楽曲分析

によって得られた木構造に対して、基礎的な知識をアノテーションする方法を提案し、音楽構造と知識の関係を調査した。次に、ギター奏法オントロジーの概念を対象とした楽曲分析を行い、楽曲に要求される知識や上級の演奏者における知識の特徴を明らかにすることを試みた。

以上の取り組みによって得られた成果は次の通りである。まず、手続き的知識とギター奏法オントロジーを構築し、クラシックギターの各奏法の実行手順を詳細に記述した。ギター奏法オントロジーでは96の概念と18の属性を定義し、行為の形式的かつ構造的な記述を実現した。オントロジーに基づく手続き的知識の再構築では、オントロジーと併用することで手続き的知識の形式性が高まり、知識の理解が深まることを確認した。さらに、開発したシステムを用いて手続き的知識の記述を行うことで、行為の関係を明示的に記述したり、語彙を統制することができた。知識工学の分野においてオントロジーと手続き的知識を分けることは一般的な方法論であるが、こうした枠組みに基づいて実際に知識を構築した事例や得られた知見については、学術的に多くの事例が整理して報告されている状況ではないため、社会的なニーズが高い。それゆえ、本研究における実践的な知識構築の精密な分析および考察は貴重であり、今後知識を構築する研究者や専門家にとって、有用性の高い学術的な内容を含んでいると考える。

知識のアノテーション方法に関しては、ギター作品4曲を取り上げて2音以上で実行されるギター奏法オントロジーの概念（奏法）をアノテーションした結果、約80%が木構造に対応していることを確認した。楽曲分析では、国際的なギターコンクールで選曲回数が多い6曲を取り上げて、奏法の傾向やパターンについて調査したところ、時代別に奏法が異なること、音響的な効果を実現するために奏法が増加していることが示された。次に、6曲うちで最新の楽曲に対して上級者が実際に行なっている奏法を追加・修正したところ、記譜情報の約2倍の知識を得た。これは、記譜情報よりも要求される奏法が多いことを示唆している。さらに楽曲中の奏法の変遷を調べたところ、演奏者が感じる難しさが奏法の種類の多さや密度と対応していることを確認した。これらギター奏法オントロジーを利用した知識ベースの楽曲および演奏者分析は、音楽学や音楽情報処理の分野において新規性のある方法である。さらに分析によって明示化された「実践的な知識」は、演奏者の理解促進という点においても効果が望めると考える。

楽器演奏を知識処理のアプローチで研究することは、人を起点としてデジタルとフィジカルの知識やデータを同時に扱うことができるという利点がある。知識ベースの研究を行うことで、分野における専門性の高い人材との協業によって合意形成を促し、信頼性の高い知識を構築ができる。この成果は、知識を必要とするあらゆる指導や学習において応用可能であり、知識処理や情報学分野、さらには認知科学等に新たな展開をもたらすことが期待できる。

Abstract

This paper is to practice of knowledge development and utilization in the musical instrument performance field, with the purpose of providing basic technology for teaching and learning that requires knowledge.

Since musical instrument performance includes various information such as individual experience and physicality, it is difficult to select a music piece and establish a learning method suitable for an individual. In addition, although performance techniques have been developed along with the development of musical instruments and the skill improvement of performers, there are few opportunities and conventions for sharing information among teachers. These problems lead to that learners cannot get correct information and learn the techniques efficiently. Therefore, it is necessary to share and utilize knowledge for a deep understanding of a field knowledge. In the field of knowledge engineering, there is a same problem of how to acquire and develop knowledge while consensus building. Researches that proposed models and frameworks for knowledge acquisition did not discuss detailed implementation methods and procedures. In addition, existing studies to develop knowledge such as ontologies there were a lack of viewpoint of practical use.

For these requirements, musical instrument performance is suitable for knowledge-based research, because it can treat multiple information such as verbalized or symbolized information, musical score information, and higher-level information obtained by musical analyzing. In this study, we worked on the following two items to support the musical instrument teaching and learning by the knowledge-based approach.

The first item is the development and process of basic knowledge in musical instrument performance. We focused on a classical guitar, which has more types of techniques (renditions) than other musical instruments, we formalized the performance actions. At first, we developed (i) procedural knowledge with high human readability, and (ii) a domain ontology ("Guitar Rendition Ontology") with a machine-processable. The process by using the above two "basic knowledge" together and repeating the mutual development can be optimized the knowledge and deepen understanding of players. Therefore, (iii) we redeveloped the procedural knowledge

based on the Guitar Rendition Ontology by the three guitarists/teachers and verified the usefulness and effect of the process.

The second item is practical knowledge collection and analysis based on basic knowledge. To acquire "practical knowledge" for each player or music, we proposed a method that annotates the basic knowledge to time-span trees obtained from time-span analysis based on the generative theory of tonal music (GTTM). We investigated the relationship between the knowledge and musical structure through practicing the annotation method using classical guitar pieces. In addition, we analyzed the concepts (guitar renditions) of the guitar playing ontology required for each piece, and tried to clarify the tendency of the music and the know-how of guitarist.

The results of the first item are as follows. We developed procedural knowledge and the Guitar Rendition Ontology that describe the actions and its procedure of classical guitar rendition in detail. In particular, in the Guitar Rendition Ontology, we defined 96 concepts and 18 properties, and realized a formal and structural description of the actions. In the process of redeveloping procedural knowledge using it together with ontology, we confirmed that it is useful for improving the quality of procedural knowledge and deep understanding of knowledge of guitarist/teachers. Furthermore, we developed an information system, to support the process and confirmed the effect on vocabulary control. In the field of knowledge engineering, dividing an ontology and procedural knowledge is a common methodology. However, the practical examples and results of knowledge development based on the methodology haven't less reported. Therefore, this thesis that described detailed analysis and discussion of practical knowledge development are of great value because it includes the high usable academic contributions for researchers and domain experts who will develop their knowledge.

The results of the second item are as follows. In the proposed annotation method of knowledge, we experimented with several bars of four guitar pieces and investigated how much the knowledge, which is executed with more than two notes, can add to time-span trees. Our results showed that about 82% of the ontology knowledge corresponded with the structure of time-span trees. Next, we analyzed the concepts of the Guitar Rendition Ontology for six pieces that have selected frequently at an international guitar competition. The result shows that the guitar rendition increased with change of the period. For the newest piece of the six pieces, we got twice the knowledge of score information by adding or modifying the guitar renditions performed by a guitarist. Furthermore, we found that the difficulty of performance corresponded to the number of guitar renditions and its variety. Such knowledge-based analysis of musical pieces and performers using the guitar rendition ontology is a novel method in the fields of musicology and music information retrieval. Moreover, the practical knowledge acquired by the analysis enables performers to promote the understanding.

Studying musical instrument performance with a knowledge processing field can be treated both digital and physical knowledge and data because of human-driving approach. In this way, knowledge-based research encourages collaboration between researchers and experts in the field to develop reliable knowledge with facilitating consensus-building. Our results can be applied to all kinds of teaching and learning that require knowledge. We hope to bring new innovation in the fields of music, knowledge processing, informatics, and even cognitive science.

目次

図目次	xv
表目次	xvii
1 序論	1
1.1 本研究の背景	2
1.2 本研究の目的	3
1.3 本論文の構成	4
2 研究背景と関連領域	7
2.1 はじめに	8
2.2 知識処理	8
2.2.1 知識の獲得	8
2.2.2 知識の構築	9
2.2.3 知識の表現	11
2.3 音楽情報処理	12
2.3.1 音楽情報検索	12
2.3.2 音楽知識処理	13
2.3.3 身体情報と生理情報	14
2.4 指導と学習	15
2.5 質的研究	17
2.6 楽器と奏法	18
2.6.1 クラシックギター	18
2.6.2 クラシックギターの奏法	18
2.7 おわりに	20
3 理解を促すための基礎的な知識の構築プロセス	21
3.1 はじめに	22

3.2	知識構築プロセスの概要	23
3.3	手続き的知識の構築	24
3.3.1	目的指向による知識構造化の問題	25
3.3.2	目的, 行為, 方法の区別	26
3.4	ギター奏法オントロジーの構築	27
3.4.1	概念の定義	27
3.4.2	属性の定義	28
3.4.3	行為の記述	29
3.4.4	可視化	32
3.5	オントロジーに基づく手続き的知識の再構築	33
3.5.1	実施概要	33
3.5.2	質的变化	34
3.5.3	量的変化	44
3.5.4	アンケート調査	46
3.5.5	ギター奏法オントロジーに基づく手続き的知識の再構築の効果	48
3.6	おわりに	48
4	情報システム化による知識構築プロセスの技術的支援	51
4.1	はじめに	52
4.2	システムの設計	52
4.2.1	従来の知識記述システムの応用可能性	53
4.2.2	システムの概要	54
4.3	システムを用いた手続き的知識の記述	55
4.3.1	記述項目	55
4.3.2	オントロジーの語彙選択と知識の連携	56
4.3.3	検索機能	57
4.3.4	手続き的知識の図的表現	58
4.4	情報システム化による効果	59
4.4.1	手続き的知識における行為関係の明示化	59
4.4.2	オントロジーの語彙選択機能を用いた語彙の統制	62
4.5	おわりに	65
5	音楽構造を利用した実践的な知識の収集	67
5.1	はじめに	68
5.2	音楽構造の応用可能性	68
5.2.1	音楽構造の分析理論	68

5.2.2	認知的音楽理論：A Generative Theory of Tonal Music	69
5.3	音楽構造に対する知識のアノテーション方法の提案	70
5.4	クラシックギター曲のタイムスパン木の獲得	72
5.4.1	クラシックギター曲の特徴	72
5.4.2	タイムスパン木の表現方法	74
5.5	実験	76
5.5.1	アノテーションの手順	76
5.5.2	結果と考察	77
5.5.3	実装への課題	83
5.6	おわりに	85
6	ギター奏法オントロジーに基づく実践的な知識の分析	87
6.1	はじめに	88
6.2	ギター奏法オントロジーの概念に基づく楽曲分析	89
6.2.1	分析する楽曲の選定	89
6.2.2	ギター奏法のデータ化	89
6.2.3	ギター奏法の抽出	90
6.2.4	結果と考察	91
6.3	おわりに	97
7	結論と展望	99
7.1	結論	100
7.2	本研究における学術的貢献	101
7.3	今後の展望	102
	謝辞	105
	本研究に関する発表	107
	参考文献	109

目次

1.1	本論文の構成	4
2.1	オントロジー同士の関係と役割[48]	16
2.2	クラシックギターにおける弦の弾き方の種類	20
3.1	2つの知識表現を併用した専門分野の知識構築プロセス	23
3.2	目的指向知識の一部抜粋	25
3.3	手続き的知識の一例	27
3.4	主概念(左)と属性(右)	29
3.5	行為の記述例	31
3.6	イメージとの対応	31
3.7	可視化したギター奏法オントロジー	32
3.8	専門家Aによって改良された手続き的知識 (目的: 音色を変える)	35
3.9	専門家Bによって改良された手続き的知識 (目的: 音色を変える)	36
3.10	専門家Cによって改良された手続き的知識 (目的: 音色を変える)	37
3.11	専門家Aによって改良された手続き的知識 (目的: 効果音を出す)	38
3.12	専門家Bによって改良された手続き的知識 (目的: 効果音を出す)	39
3.13	専門家Cによって改良された手続き的知識 (目的: 効果音を出す)	40
4.1	本システムの役割	52
4.2	kNeXaRの構成要素	54
4.3	手続き的知識を記述・編集する画面	55
4.4	オントロジーの語彙を用いて手続き的知識を記述した例	56
4.5	kNeXaRで表現された手続き的知識	58
4.6	整理した手続き的知識	61
4.7	kNeXaRのオントロジー語彙選択機能を用いて再記述された手続き的知識	63
5.1	GTTMタイムスパン分析の概要	70

5.2	知識の活用に向けた研究の全体像	71
5.3	アノテーションの一例	72
5.4	クラシックギター譜の一例 (Caprice No.7/L. Legnani)	73
5.5	単旋律のタイムスパン木	75
5.6	声部分けした2つのタイムスパン木	75
5.7	声部を統合した1つのタイムスパン木	76
5.8	Caprice No.7/L. Legnani	79
5.9	Introduction and Rondo/D. Aguado	80
5.10	Variation on a Theme by Mozart/F. Sor	81
5.11	Fandango from Tres piezas espanolas/J. Rodrigo	82
6.1	ギター奏法オントロジーの概念を活用した楽曲分析	88
6.2	MusicXMLのデータ構造：演奏記号が定義されている奏法	91
6.3	MusicXMLのデータ構造：追加した奏法	91
6.4	上級者によって追加・修正された奏法	95
6.5	各楽章の奏法の遷移	96
7.1	概要	103

表目次

3.1	実施者の音楽歴（2019年1月時点）	33
3.2	実施した手続き的知識の再構築の概要	34
3.3	手続き的知識の量的変化	45
3.4	アンケート結果	47
4.1	図4.6における行為の一覧	64
4.2	図4.7における行為の一覧	64
4.3	行為における語彙の変化	64
5.1	各楽曲の諸情報と分析対象となる小節の数	73
5.2	各楽曲の知識の数とタイムスパン木との適合率	83
6.1	分析楽曲の一覧	89
6.2	楽曲別のギター奏法の一覧	93
6.3	Sonataにおける上級者の奏法の一覧	95

1

序論

概要

本章では，本研究の背景と目的，本論文の構成について述べる.

1.1 本研究の背景

テクニックの習得は、楽器を演奏するものにとって最も関心のある事柄である[1]。テクニック（演奏技術）は、音楽を自己表出するための純粋にメカニク的な要素であり、演奏をサポートするという役割に過ぎない。しかしながら、演奏技術には身体性や経験値などの複合的な要素が絡んでいるため、個人に合った学習プロセスや指導方法を客観的・定量的に判断することが難しい。また、音楽の多様化や演奏者の技術レベルの向上に伴い、演奏技術に対する認識が変化したり、新たな技術が生み出されているにもかかわらず、情報共有が不足していることも問題となっている。最新の考え方や正しい情報が得られないことで、誤った弾き方を身につけてしまい、効率的な習得を妨げていることがある。レッスン現場においても、演奏技術を正しく理解し教示できているかといった指導の品質が問われている。

楽器演奏にかかわらず、伝統技能などの芸術文化活動の多くは、これまで師匠から弟子に、口承で伝承されてきたが、人材不足で継承困難になりつつある。芸術文化活動の専門家が持つ独自のノウハウや知識を必要とする指導や学習では、知識を適切に継承していくための基盤技術を構築することが喫緊の課題となっている。また、このような背景を共有する学問分野として、知識工学がある。知識工学分野でも、知識をどのように獲得し、合意形成しながら構築していくかが大きな課題となっている。既に知識獲得の方法が整理されてきたり[2]、知識の構築手順を一般化する取り組み[3, 4]が行われているが、持続的に実施する観点で不足していたり、詳細な実現方法は確立できていない。このような問題に対して、楽器演奏の場合には、楽器演奏の場合には、音楽音響情報、楽譜情報、さらにそれらを分析した高次の音楽情報という複数のレイヤーがあり、あらゆる角度から知識を捉え活用できるというメリットがある。

楽器演奏において持続的かつ合理的に練習を進めていくには、演奏技術を深く理解することが一番重要である。つまり、自身の動きを正しく把握し制御できているかを分析することである。特に初歩の段階では、どの程度まで演奏技術を習得しているかを判断するために各動作を切り離して考える。動作がどのような要素で構成されて、また複合されているかを理解した上で、おのおのの要素を支配する。特に高度なレベルの楽曲では、単純な動作というものはほとんど現れない。プロの演奏家が必要な動作を楽に、無駄なく使いこなすのは、難しい箇所に含まれる構成要素を分解して個別に練習しているからである。また、楽器を持たない状態でもその動作を頭の中で明確にイメージする力を身につけているからでもある[5]。このように、動作を理論的に理解して意識的にコントロールする作業は、演奏技術の効力を最大限に引き出すだけでなく、演奏者に気づきを与えて適切な学習へと導くことに繋がる。

1.2 本研究の目的

本研究では、知識を必要とする指導・学習の基盤技術を構築するために、楽器演奏領域における知識の構築と活用の実践を行う。

まず、本論文では以下のように知識を定義する。

- 基礎的な知識 (basic knowledge) : 領域における基本的な知識。オントロジーのように理論的に表現したものを含む。
- 実践的な知識 (practical knowledge) : 演奏者や楽曲に依存する知識であり、オントロジー理論におけるインスタンスがこれにあたる。

基礎的な知識は、特定の領域において共通認識されている知識をいう。例えば、オントロジーに代表されるような一般的な概念を定義した構造的な知識が該当する。一方、実践的な知識は、演奏者や楽曲ごとにどのような場面で基礎的な知識が選択され、実行されるかを示したものである。つまり、基礎的な知識はそれ自体で成り立つのに対して、実践的な知識は楽譜などの媒体を介して認識されるものと位置付けている。

上記の定義に基づき、本研究では、以下の2つを研究の大項目として実践と詳細な分析を行う。

研究項目① 楽器演奏における基礎的な知識の構築と手順化

研究項目② 基礎的な知識に基づく実践的な知識の収集と分析

研究項目①では、演奏者が当たり前に行っている演奏技術や動きを計算機処理できるように厳密に形式化を図る。この時、プロの演奏者や指導者が主体となって、体系的に知識を構築するための記述形式や手順を検証する。研究項目②では、楽譜を介して得られる実践的な知識についての分析を通して、上級の演奏者のノウハウや楽曲の特徴を明らかにしたり、基礎的な知識の問題点やその解決法を探る。

これら2つの研究項目を実施するにあたり、本研究ではクラシックギターを対象楽器とする。クラシックギターは、60以上の多くの奏法を要する楽器である。近年では打楽器などのあらゆる楽器を模倣するための奏法が創出され、ギター音楽が多様化している。さらにここ15年間は、ギターの構え方や撥弦方法といった基礎的なテクニックに変革が起こり演奏レベルが向上しており、演奏技術に関する知識やノウハウは未知数である。

ピアノやヴァイオリンなどの多くの楽器は、既に長い時間をかけて演奏や指導のメソッドを確立しているため、知識が固定化されている。一方で、クラシックギターのような発展途上の楽器の場合には、従来の方法に捉われず、知識の構築やそのプロ

セスを含めて実践的な研究がしやすい。本論文では、一貫してクラシックギターの知識を対象として演奏技術を追求していく。本研究で実践する知識の構築プロセスや収集方法の効果が検証されれば、他領域にも一定程度の適応が期待ができると考える。

1.3 本論文の構成

図1.1に本論文の構成を示す。点線枠は、前節で述べた研究の大項目である。

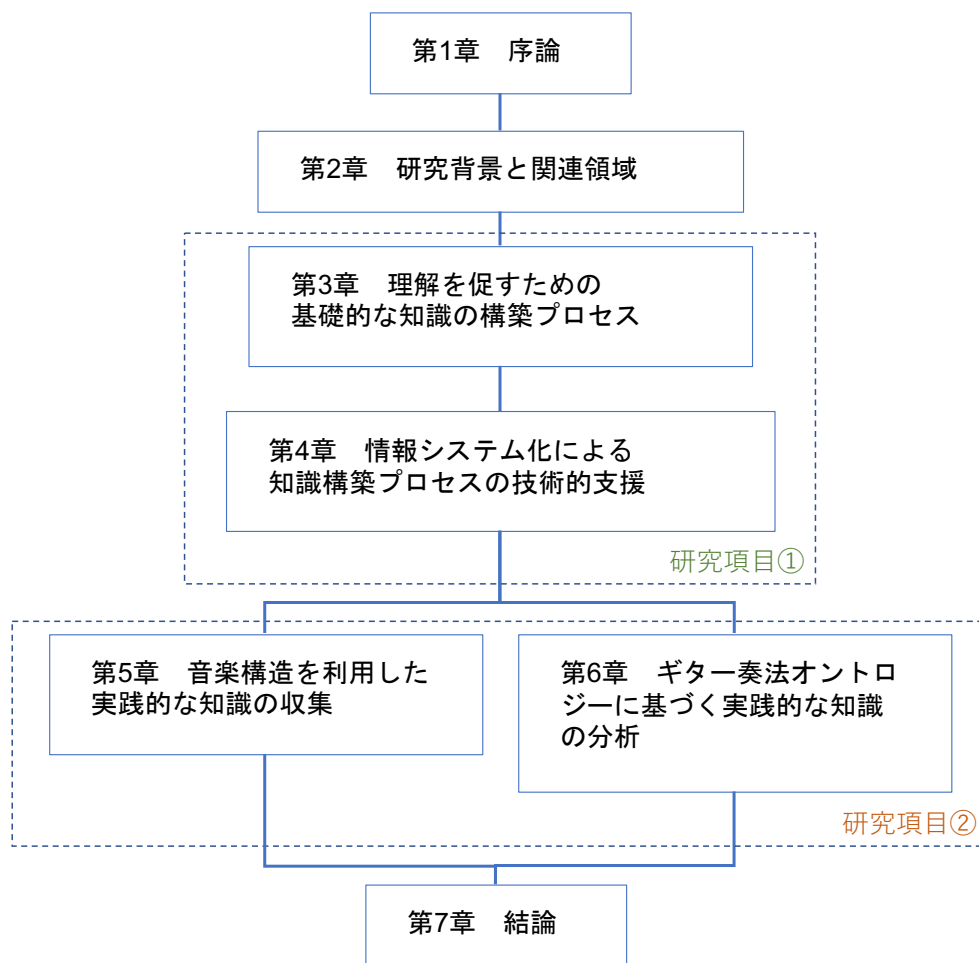


図 1.1: 本論文の構成

第2章 研究背景と関連領域

第2章では、本研究の背景となる関連領域について俯瞰する。まず、知識処理、音楽情報処理の2つの視点で本研究に関わる主要な研究・技術について述べる。次に、

指導と学習に関する関連研究について概観する。さらに、一人称研究などの質的アプローチについても述べる。最後に、本研究の分析対象となる楽器とその奏法について述べる。

第3章 理解を促すための基礎的な知識の構築プロセス

第3章では、本研究の中心である楽器演奏における知識の構築について、構築方法の手順化と実践を通して評価を行う。楽器演奏時に実行される行為を明示的に記述するために、手続き的な記述形式とオントロジーの理論に基づいたより構造的な記述形式を定義し、基礎的な知識の構築を図る。そして、この2つを併用して知識を再構築していくプロセスの有用性や効果について明らかにする。

第4章 情報システム化による知識構築プロセスの技術的支援

第4章では、第3章で実践した知識の構築を支援するために開発したシステムについて述べる。システムの要件を明確にし、実際にシステムを用いた知識の記述を通して、情報システム化による効果を確認する。

第5章 音楽構造を利用した実践的な知識の収集

第5章では、実践的な知識の収集を行うために、楽曲分析から得られる音楽の構造的なデータに対して知識をアノテーションする方法を提案する。前章で構築した基礎的な知識を対象としてアノテーションを行い、提案方法の評価と実装の可能性について考察する。

第6章 ギター奏法オントロジーに基づく実践的な知識の分析

第6章では、第3章で構築したオントロジーを活用した楽曲分析について述べる。オントロジーで定義した概念を対象として、楽曲が要求する実践的な知識の特徴や傾向を分析する。さらに、演奏者がそれらの楽曲を弾く際に行っている、より実践的な知識について明らかにする。

第7章 結論

第7章では、本研究の成果についての考察とまとめ、今後の展望について述べ、本論文を総括する。

2

研究背景と関連領域

概要

本章では，本研究の背景と関連領域について述べる．

2.1 はじめに

本章では、まず本研究に関わる主要な関連領域を、知識処理、音楽情報処理の2つの視点で俯瞰する。次に、指導と学習に関する従来研究や事例、1人称研究などの質的アプローチの関連研究について述べる。最後に、本研究の対象領域である楽器とその奏法について概説する。

2.2 知識処理

社会活動の多様化に伴い、活動の内容や種類に応じた適切な知識処理が求められている。高度な情報技術を活用した社会活動の支援には、知識を処理可能な形式で記述することが不可欠であり、理解と推論を容易にする知識表現の実現が重要な課題となっている[6]。以下の節では、知識処理分野における知識の獲得、構築、表現に関する従来研究を概観する。

2.2.1 知識の獲得

分野の専門家から知識を入手する方法は、その多くがナレッジマネジメント分野で議論されている。知識を獲得する一般的な方法としては、分野にかかわらず直接的に専門家へ調査することが多い[7]。この方法は、データから知識を抽出するよりも多くの暗黙的な知識を取り出すことができる一方で、知識を整理するために研究者やデータサイエンティストも参加しなければならない、コストがかかる。

介護分野では、知識発現と呼ばれる現場の従業員から固有の知識を取り出す方法が提案されている[8]。具体的には、まず記述モデルCHARM（Convincing Human Action Rationalized Model）を用いて、介護マニュアルから共通となる知識を構造化する。CHARMは、暗黙的となっている行為の目的や代替方法を明示化できる表現枠組みである[9, 10]。その後、共通の知識に対して従業員が主体となって現場固有の知識を記述していく。具体的には、共通となる知識を紙に印刷して参加者全員が参照できる状態とし、そこに従業員らが議論を通して付箋に記述した事例を貼り付けることで固有の知識を得るという方法をとっている。既に2つの介護施設で実施しており、従業員からのフィードバックを得ている。その特徴は、共通の知識という基盤知識があることで従業員の中に蓄積されている固有の知識を表出しやすい、現場主体の方法により固有の知識を得られる、といったことが挙げられる。

しかし、知識発現には以下のような問題がある。(1)共通知識の問題：共通の知識の構造化は介護のような広範に使用されているマニュアルがある分野では有効であるが、クラシックギターなどの知識が標準化されていない分野においては適用できない。そのため、分野の専門家が主体となって共通知識の構築を行う必要がある。(2)知

識記述の問題：知識発現では原則としてCHARMに基づく構造化を行っているが、行為以外の情報に関しては、事例として新たな記号を導入し記述している。また、介護行為の順序関係を明示するために矢印を使うなど、記述形式の改良も行われている。対象に適した要素を設定し、機械可読な形式を用いて記述する必要がある。

以上の問題点を克服するために、(1)に対しては、第3章で、分野の専門家と研究者の分業による知識の構築を行う。(2)に対しては、CHARMモデルを情報システムとして実装するために設計された、kNeXaR (kNowledge eXplication augumenter) と呼ばれるシステムを再設計・開発する。詳細は第4章で述べる。

2.2.2 知識の構築

人工知能や認知科学における知識の分類に、宣言的知識と手続き的知識がある。宣言的知識は「それはなんであるか (what)」といった事物の存在や性質、事物間の関係を、手続き的知識は「それはどのように使うのか (how)」といった事物を利用した処理の手順を、それぞれ表現する¹。つまり知識の見え方の違いであり、記述形式も様々である。音楽やスポーツといった技能を伴う分野の専門家は、このhowに関する知識に特化している。ただしhowだけでは共通性が失われやすいため、宣言的知識によってwhatに関する知識を補う必要がある。

宣言的知識の一つに、オントロジーが挙げられる。オントロジーは、知識の共有と再利用を実現するために、対象をできるだけ包括的かつ体系をもって表現することができる[11]。対象を構成する要素やその関係といった、上述のwhatにあたる知識を記述する際の指針を提供する。オントロジーには種類があり、記述する内容によって区別される。本論文では、対象が関連する領域の概念を定義する[6]ドメインオントロジーを扱う。ドメインオントロジーは、専門分野の知識の深い理解を促すだけでなく、横断的なデータ連携を通して活動に適した情報の収集や活用を支援する。

しかしながら、ドメインオントロジーにはいくつかの問題が存在する。まず、ドメインオントロジーの妥当性を検証するためには、分野の専門家の介入が不可欠である。さらに、専門分野の発展に伴いドメインオントロジーの定期的な改良が必要となる。これらにより、オントロジーの専門家と分野の専門家の協働が必要となり、機械可読性のみを求める知識表現分野の表現形式に関する従来研究では対処することができない。このような問題を解決するためには、オントロジーの専門家と分野の専門家を繋ぐためのワークフローの設計や、知識を容易に抽出し構築できる基盤作りが求められる。特に、分野の専門家にとって理解しやすい知識表現とドメインオントロジーを併用することにより、人間可読と機械可読の双方の向上が期待できる。そこで第3章では、2つの知識表現を併用した知識の構築を実践し、そこで得られた知見を通

¹手続き的知識と宣言的知識: 人工知能学会, 知識表現・理論・推論, 人工知能学事典, pp.213-214, 共立出版 (2005)

して効果を検証する。ここで実践する知識の構築プロセスは、オントロジーの専門家と分野の専門家の分業によるものであり、コストの低減や信頼性の高い知識の構築だけでなく、両専門家を繋ぐ枠組みとしてモデル化できる可能性がある。

ドメインオントロジーの構築に関する事例は様々ある。SWEETオントロジーは、主にオントロジーの専門家によって構築された地球科学に関する知識体系である[12]。知識の妥当性を検証するために分野の専門家が介入する必要があるが、オントロジーを理解するのが難しいという問題を抱えている。一方で、Gene Ontologyは生物学の専門家が主体となって作られたオントロジーであり、複雑な構造はもたずis-aとpart-ofの関係を中心に構築されている[13]。農業分野では、オントロジーの専門家と分野の専門家が共同で農作業基本オントロジーを構築している[14]。その他、分野の深い知識をもった研究者が構築している例[15]や、オントロジーの専門家がスキーマを提供し、分野の専門家でない人が知識に相当するものを作っている例[16]もある。このように、多くのオントロジーが構築されているものの、構築時のプロセスについての詳細な分析や考察といった方法論に関する議論は不足している。オントロジーを構築する際に、どのような設計上の決定や活動が行われ、それが成果物である構築したオントロジーに対してどのように貢献しているのかは明確に議論されていない。

オントロジーの構築方法に関しては、汎用的な枠組みは確立されていないものの、ガイドラインといえる方法論はいくつも存在している[17, 18]。例えば、ビジネス分野では企業オントロジー（Enterprise Ontology）の構築手順を一般化したものがある[3, 19]。Uscholdらによれば、以下の手順で行っている：(1)オントロジーの構築目的と領域の同定、(2)オントロジーの構築、(3)評価、(4)ドキュメンテーション。この方法論の特徴は、インフォーマルなオントロジー構築であり、(2)においては自然言語による概念定義を行っている。クラシックギターにおいても、分野の専門家による知識利用を想定しているため、インフォーマルな部分を包含したオントロジー記述を重視している。

The NEON methodology[20]は、従来の方法論的指針を提供するアプローチとは異なり、厳密なワークフローを規定するのではなく、オントロジーを構築するための多様な過程を提案したものである。オントロジーの構築プロセスのさまざまな側面をサポートするシナリオベースの方法論であるが、特定の要件に対応する一般的なユースケースを明確にしなければならない。そのほか、ナレッジグラフの分野でも構築過程のモデル化が試みられている。朱らは、農業分野におけるオントロジーや語彙体系の知識を用いたナレッジグラフを構築し、それらの知識構築の過程を整理している[4]。

オントロジー構築における方法論の確立については、オントロジーの種類が複数あるように、方法論もまた一意に決まるものではないとも考えられる。分野や目的に応じて方法論を選択できるような、あるいはいくつかのアプローチが共存するよう

な、これまでとは異なる体系的な枠組みについての議論も望まれる。ただし、本論文では従来のガイドラインや方法論を取り上げて比較・評価することは行わない。今後取り込まれるであろう合意された方法論の確立に向けて、3章で実践する知識構築プロセスが役立つことを期待する。

2.2.3 知識の表現

オントロジーの表現方法に関しては、理解促進を図るために多くの可視化ツールが開発されている[21]。例えば、Visual Notation for OWL Ontologies (VOWL)は、グラフや図の仕様において管理可能かつ好みに合わせてカスタマイズできる[22]。また、スプレッドシートによるオントロジーの記述も注目されており、Populousはオントロジーへの用語の使用と追加が可能であることから、Kidney and Urinary Pathway Ontology (KUPO)などの構築に使用されている[23]。

しかし、いずれのツールもギター奏法オントロジーのような複雑なオントロジーには適していない。なぜなら、行為の記述に見られるようなブランクノードを介した構造は可視化することができず、たとえ可視化してもその構造を直感的に理解することは難しいからである（詳細は3・4節で述べる）。このことから、オントロジーの可視化とは異なるアプローチによって分野の専門家の理解を促進させる必要がある。その1つとして、手続き的知識のような可読性が高い表現枠組みを用いることで、課題解決に貢献することが期待できる。

特に技能を伴う分野においては、先述したようなhowに関する情報が重要であり、手続き的知識が注目される。手続き的知識は、事物を利用した何らかの処理の手順を記述した知識である¹。例えば、ギターを構える手順や、通常より柔らかい音を出すときの対処方法など、あるタスクを達成するための行為の実行手順をいう。構築した手続き的知識を活用するためには、機械可読な記述が求められる。さらに、共通性を担保するためにもオントロジーなどのwhatに関する知識との併用が望まれる。次章で実践する知識の構築プロセスでは、分野の専門家とオントロジーの専門家が同じ観点をもちながらも異なる知識を構築するため、whatとhowを両立した知識を提供できるという点で有用性が高い。

製品設計の分野において、來村らは製品機能を表現するために機能オントロジーに基づく知識表現枠組みを提案している[24]。その表現枠組みでは、機能（what to achieve）と達成方式（how to achieve）を分離することで、汎用性を失いがちな設計根拠（design rationale）に関する知識を再利用性高く扱うことができる。本論文では、手続き的知識を構築する際に、この達成方式を緩和して利用する。詳細は3・3§2節で述べる。

そのほか、ニーズに応じて分野の専門家が簡易的にオントロジーを改良したり拡

張するためのワークフローの提案やツールの開発が行われている[25, 26]. これらはバージョン管理や可視化などの他の機能も提供しているため有用性が高い. オントロジーのみを対象とした場合であれば, 既存の方法や技術を活用することで効率に知識の構築を行うことができる.

2.3 音楽情報処理

音楽研究の基礎となる音楽学の分野では, 音楽の一般的な構造や普遍的な原理や概念を明らかにするために, 人間の認知的な要素を定性的かつ分析的に追及してきた[5]. そして記譜法や演奏法を含めて, 自然言語によって直感的なレベルで議論され表現されてきた. しかしながら, 音楽学によって得られた成果を理解しようとする, 厳密性や形式性の欠如が問題となった. このような背景から, 音楽学の研究成果を記号や信号の一つとして捉えて, 音楽を科学的に分析する「音楽情報処理」という研究分野が生まれた.

音楽情報処理といっても関連する分野は幅広い. 文献[27]では, 以下12の分野と音楽の関わりについて紹介している. まず基礎分野として信号処理, 言語, 音声情報処理, コンテンツ生成, 機械学習を, 次に応用分野として情報検索, ヒューマン・コンピュータ・インタラクション (HCI), ヴィジュアライゼーション, Web, エンターテインメントコンピューティング (EC), ロボットを, そして最後に脳科学を取り上げている. 本節ではまず, これらの研究分野を踏まえながら音楽情報処理における主要な取り組みについて概観する. 次に, 知識処理の技術に基づいた音楽研究について述べる. 最後に, 身体情報と生理情報の視点から楽器演奏を追及していく研究について述べる.

2.3.1 音楽情報検索

音楽情報検索 (music information retrieval, MIR) [28]は, 先述した12の分野などの方法論や技術を包括した学術的な研究分野である. 音楽の検索と特徴抽出をはじめとして, 現在は研究テーマが多様化している. 検索の周辺技術に関する研究では, Webマイニングの技術を活用した楽曲推薦[29]などがある. 特徴抽出に関しては音声情報も対象となり, 音響的特徴解析の技術を活用して多くの音声特徴抽出ツールが開発されている[30]. 音声情報処理に関わる音楽研究では, 「音声」を認識・合成するための計算モデルや機械学習技術を「音」に適用させてコード認識や自動採譜などを可能にしている[31]. また, 機械学習を基盤としてマルチメディアやEC領域に展開させた研究もある. 浜中らは, 音楽をコントロールする体験を提供するために, Melody Slot Machineというシステムを開発した. このシステムでは, ディープラーニングを用い

てスロットマシンのようなランダムな組み合わせのメロディ生成や、メロディとホログラフィ表示された演奏者との同期を実現している[32, 33].

音声情報処理や機械学習に見られるような音響「信号」を対象とした研究は、高度な音楽分析や新たな音楽生成に寄与する。しかし一方で、人間が音楽を理解する時には、やはり楽譜などの「記号」化された情報を対象した研究が不可欠である。さらに言えば、話し言葉や書き言葉といったインフォーマルな言語情報も扱えることが望ましい。

2.3.2 音楽知識処理

音楽に関連するオントロジーは多数構築されている。The Music ontology[34]は、音楽に関するメタデータを詳細に記述するためのオントロジーであり、以下3つの体系化された複数の知識を連携するための知識表現を提供している。1つ目はThe Timeline Ontology¹で、タイムライン（時間の流れ）を追加の概念として定義し、時刻や時間間隔を表現するためのオントロジーである。2つ目はThe Event Ontology²で、場所と時間、人物、楽器といった音楽のイベント関係の情報を比較的広い概念として定義し、記述するためのオントロジーである。3つ目はFRBE（Functional Requirements for Bibliographic Records ontology）³と呼ばれる書誌記述のためのオントロジーで、知的・芸術的な創作であるエンティティ-著作（work）、表現形（expression）、体現形（manifestation）、個別資料（item）-を対象としている。楽器演奏のような時系列表現の知識を構築する際には、The Timeline Ontologyのように時間変化という観点では重要であるが、一方で、時間を厳密に規定することが難しいという側面もある。特に奏法に関しては、楽曲や演奏者、演奏環境によって同一の動きであっても誤差が生じる。そのため、本論文の3・4節「ギター奏法オントロジーの構築」では時刻や時間間隔の概念は取り入れず、行為自体を概念として定義し、楽器演奏における「行為」を処理可能な形式で記述することに主眼を置いている。

その他、The Music Ontologyに基づいて、特定の音楽領域のための拡張機能が開発されている。例えば、Chord Ontology⁴やTemperament Ontology⁵などがある。近年では、楽器に関連する知識を整理したMusical Instrument Ontology[35]や、楽譜に記載される音楽記号や演奏記号の概念化を行ったMusic Theory Ontology[36]も構築されている。音楽教育に関連するオントロジーについては、2・4節で述べる。より高度な研究になると、セマンティック・ウェブの技術を活用した多言語の相互リンクが実現され

¹<http://motools.sourceforge.net/timeline/timeline.html>

²<http://motools.sourceforge.net/event/event.html>

³<http://vocab.org/frbr/core>

⁴<http://purl.org/ontology/chord/>

⁵<http://purl.org/ontology/temperament/>

ている[37]. 本研究では既存の音楽関連のオントロジーは扱わないが、将来的には複数のオントロジーとの連携を考えている.

ところで文献[5]では、音楽情報を「データ化」という視点で以下のように分けている.

音楽データベースとしては、2つのタイプが考えられる. 1つは、鳴り響く音楽そのものを直接データ化して扱うタイプである. すなわち、録音された音響データ、演奏情報をもつ記号化された楽譜データ、MIDI等の演奏データなどである.

もう1つは、音楽の背後にある様々な属性情報（歌詞、楽器、地域、歴史民俗資料、演奏状況等）を整理分類してデータベース化するタイプである. 音楽研究では、鳴り響く音楽そのものだけではなく、このような属性情報も重要であり-（コンピュータと音楽の世界 1998, pp.241）

このような考え方に基づいて音楽分野における知識処理を考えた場合、上記2つのタイプを両立した研究が可能であることがわかる. 知識処理技術の導入によって、多量な音楽情報の適切な検索や情報抽出を可能にし、音楽情報処理の飛躍的な発展が期待できる.

2.3.3 身体情報と生理情報

楽器演奏は芸術である以外にスポーツの一形態という側面をもっている. これを弾きこなすには、スポーツ選手と同じように長時間の特別な訓練が必要である[38]. そこでの問題は、最適な動きを選択しその動作を常に再現するためのスキルを身につけることである. 運動解析は生体工学、スポーツ科学、ロボット工学などの諸分野での研究、教育を支える主要な技術であり、楽器演奏時の身体活動の客観的な情報収集を可能にする. 古屋らは、モーションキャプチャや、筋活動、力量計測を同時に用いて演奏の運動解析を行い、ピアノ熟練者と初心者の異なる運動過程を明らかにした[39, 40, 41]. このように、IoTの目覚ましい発展によって大量のデータが得られているが、人の技などの未だにデジタル化できない部分は多い. また技能に着目した研究は、個人の身体的特徴や経験に依存しているため、統計的なアプローチでは解決できない場合もある. 従って、言語化、記号化によるアプローチによって楽器演奏を学術的に追求していくことが有効である.

身体感覚をことばで表現しようとする取り組みとして、身体知の研究がある. 身体知とは、身体に根ざした知、より広義にいうならば、身体と心と社会のすべてに根ざして存立する知を指す[42]. 身体知研究は、スキルサイエンス、力学モデル、データマイニング、機械学習などの技術を用いて行われる. 倒立振り子やエアホッケーな

どの技を獲得し、それをシミュレーションプログラムやロボットで実現することを主眼とする研究の流れと、スポーツやダンス、楽器演奏などで発揮する人の技を抽出することを主眼とする研究の流れとがある[43]。楽器演奏に関する身体知の研究[44]では、バイオリンやチェロの右手による運弓動作に着目し、力学モデルの検証や時系列データの分析によって演奏の技を明らかにすることを試みている。ここでは、実験結果の考察と力学モデルに基づく内省、あるいはメタ認知によって、演奏者にとって有用な演奏ルールを獲得することの重要性が謳われている。人工知能の分野では、このような個人の知を対象とした研究が注目されつつある。詳細は2・5節で述べる。

2.4 指導と学習

楽器演奏では、学習支援を目的とした取り組みが多い。特にHCIを活用した事例が多数ある。Piano Tutor[45]は、演奏追跡認識による自動譜めくり機能や、演奏データを解析しミスの箇所や改善点を提示する機能を持つ。文献[46]では、ギターの運指を表示するためにモバイル・プロジェクターを用いている。また近年では、タブレット端末を使用して楽譜を見ながら演奏したり、書き込みを行う演奏者が増加しており、楽器の練習スタイルが変化しつつある。Wikivatoire⁶は、芸術的な演奏を目指す楽器演奏者を対象とした、演奏解釈の共有・蓄積プラットフォームである。学習者の楽譜への書き込みに加えて、Socialな書き込みの蓄積と共有によって、演奏者の表現力の向上やオーケストラ奏者間の解釈の統一を促す。ピアノの学習支援では、打鍵情報をもとに練習状況を可視化した楽譜面上に気づきをアノテーションする機能を持つシステムが提案されている[47]。このシステムは成人のピアノ初心者の効率的な練習を実現するために設計されたものであり、使用実験を通してその効果が実証されている。いずれも楽譜を媒体として知識をデータ化できるという利点がある一方で、書き込まれた内容に対して知識処理分野の観点による高度な分析はなされていない。

知識処理の分野に関連する研究では、Sébastienらが楽器の指導現場においてタブレット上でデジタルの楽譜に知識やノウハウのアノテーションを行うために、The Music Ontology (2・3§2節)を拡張させる形でMusical Forms and Structures Ontology (MFSO)とMusical Performance Ontology (MPO)を提案した[48]。MFSOは楽曲の形式(ソナタ形式、変奏曲形式など)とその形式の構成要素(序奏、提示部、展開部など)を、MPOは個人が持つ主観的な解釈やアドバイス(感情、表現、運指)を、それぞれ扱う。これにより、The Music Ontologyのように音楽作品、アーティスト、コンサートなどの事実のみを対象とした知識に加えて、音楽学分野の知識や個々の演奏者の解釈といった主観的なノウハウも関連づけて記述することが可能となる(図2.1)。また、MPOには演奏行為に関するInstrumentTechniqueという概念が定義されており、目的の

⁶Social college of music “Wikivatoire” : <http://wikivatoire.org/>

音楽表現を実現するために必要な動きや運指などを扱うことができる。ただし、本論文において重要な要素である奏法や行為は規定されておらず、実践的な活用事例や成果についても議論が不足している。

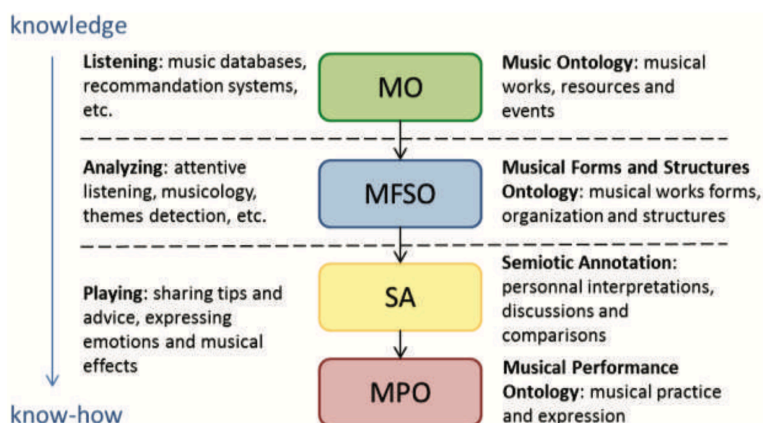


図 2.1: オントロジー同士の関係と役割[48]

音楽教育におけるフィードバックに着目した研究もある。Matthewらは、フィードバックの性質をより体系的に理解することを目指して、次の2つのオントロジーを構築した[49]：(1) 楽器の授業におけるフィードバックに関連するカテゴリの階層を記述したTeacher's Ontology, (2) 演奏録音に対する生徒や教師の一連のコメントを説明するためのGrounded Ontology. 加えて、Music Ontologyを含む複数のオントロジーと連携して指導記録を行うためのPlatform Ontologyも構築している。この研究の強みは、フィードバックの相互作用のタイプなどの概念を指定するカテゴリによって、指導の文脈におけるフィードバックプロセスを適切に分類し提供することができることである。本論文では、フィードバックや生徒と指導者のインタラクションは対象外の領域であるため議論しないが、オントロジーの実践的な活用事例として、非常に有用性の高い研究であるといえる。

広義での学習においては、指導者と学習者のインタラクションに関する研究も重要である。特に「教える行為における知識」とは何かを議論することが有効である。社会学の分野では、教える行為や知識の流れについて、会話の分析を通じてアプローチしている研究[50]や、教える・教えられるの相互行為を扱っている研究がある[51]. これらの研究の良くない点は教える側が知識を持っていることを前提としていることである。しかし、教える側の知識がいかにして受け入れられていくのかについて深く議論されており、楽器指導の高品質化の糸口となりうる。その第一段階として、教える側が持っている知識をオントロジーなどの形式性の高い方法で表現し、それらを目

に見える形で継承していくことは、多様な教育現場に役に立つアプローチといえる。

2.5 質的研究

クラシックギターのような限られた狭い領域を対象とした知識の研究では、相当数による量的アプローチが難しい。さらに楽器演奏という身体情報を含む場合には、動作を行う者の主観的な知識が対象となるため、客観性に欠けるという問題がある。そこで本論文では、振り返りやメタ認知に類似した取り組みを行う。自身がどのような動きを行っているのかを改めて認識し、それを言語化する。このような一人称視点に起因する情報を本人に提示することで、一人称視点を自らメタ認知する手助けができる[52]。

一人称視点による研究は、学問や方法論としての明確な確立には至っていないが、その客観性や普遍性を前提とする従来科学の方法論だけでは、人間の知を十全に扱うことができないのではないかという問題意識を共有し、知能にまつわる研究や学問の新しい方法論が議論されている[53]。この研究観の中で、からだで学びを達成するためには、内から感じる現実と、外から見た現実の両方を本人が意識できる必要があるとして、からだメタ認知[54]が提唱された。提唱者である諏訪によれば、「からだメタ認知が促す学びは、それが他者に与えたことばや概念からスタートしていても、それに“自分なりの意味を見いだし醸成すること”である」。

陸上男子400メートルリレー銅メダリストの朝原宣治氏は、小学生にはあえて走り方は教えず、体の『センサー』を磨くことが必要であると述べている⁷。歩幅や腕の振りを変えることで、走る感覚がどう変わるか、足を上げたときの自分の筋感覚はどうだったか、といった体感を意識し、理解していくトレーニングを行う。一流のトップ選手になるためには、自分にあったフォームを感覚的に身につけていくことが重要であると主張している。楽器演奏においても同様で、できるかぎりミスが少ない合理的な動きを実現するために、運指などの動きを頭で理解しながらコントロールする術を身につけていく。

ただし、このような個人が体得した動きを伝承する場合には、言語が大きな役割を担う。特に指導者はどのような意図でその動きを行っているか、どのように制御して動かしているかなど、体現すると同時に適切に言語化する能力が求められる。しかし、一人称視点を自分で把握し説明するには一定程度の慣れとトレーニングが必要である。この問題に対する解決策の一つとして、一人称視点を記述するフォーマットを用意する方法が考えられる。このようなフォーマットがあることで、一人称視点に気づき、自ら作り替えることもやりやすくなる[52]。3・3節の「手続き的知識の構築」では、分野の専門家（演奏家）が理解しやすい記述形式を定める。

⁷ 「朝日新聞」2015年1月8日朝刊を参照

インタビューや観察を通して得られる口頭データなどを扱う質的研究では、発話の内容や特徴をテキストとして記述し、分析する。もっとも、「聞く・聴く」手法は汎用性が高いが、聴き手の経験則に依存することや、実証的な検証が難しいという課題がある。しかし一方で、一人称研究の動向にみられるように、ある固有名詞のひとつの、ある状況下で得られたケースステディ的知見のなかに、従来研究ではみつからなかった有望な仮説が見出せることもある[55]。本論文でも、一人称の視点から見える世界の言葉で記述することも重要であるとして、分野の専門家ごとの感覚や語彙表現を重視して質的アプローチによる分析に取り組む。

2.6 楽器と奏法

楽器演奏における知識の構築や収集を行うにあたり、対象となる楽器の基礎知識を理解しておく必要がある。そこで本節では、対象領域であるクラシックギターの歴史的背景や奏法の特徴について解説する。

2.6.1 クラシックギター

クラシックギターの特徴は、ピアノのように一台で和音や複数の旋律を演奏できることである。また、一般に演奏者の自爪を使って弦を弾く方法をとっており、爪の形状や弾く角度によって多彩な音色を表現することができる。主に独奏楽器として扱われ、「小さなオーケストラ」と呼ばれるほどバラエティに富む表現が可能である。特に、演奏技術の優れた演奏家たちはいくつもの音色を使い分けることができる。

現在主流の20世紀ギターと呼ばれるクラシックギターのモデルは、1900年頃に確立されたものである。それ以前は19世紀ギター、さらに遡るとバロックギターと呼ばれ、楽器の形状も弦の素材も現在とは異なる。端的に言えば、楽器の大型化や、ガット弦からナイロン弦への移行によって大音量化が推進された経緯がある。このように、クラシックギターは他楽器に比べて歴史が浅い楽器であり、今なお改良・開発が行われている。しかしこのことは、楽器とその奏法がまだ発展段階であり、特に奏法面で多くの可能性を秘めた楽器であることを示唆している。

2.6.2 クラシックギターの奏法

ギターの歴史を広い視野を持って振り返ると、楽器とともに奏法が発展してきたことがわかる。楽器ならではの長がある一方で、弾き方も多様に発展しており、他楽器と比べて多くの演奏技術を要する。現在60以上のギター奏法が存在するが、それらは未だに体系化されておらず、演奏者による理解に大きな差が生まれている。

クラシックギターを学ぶにあたり、教本はその指針となる重要な存在である。現在、定評のある古典的な者から、近年発売された新しいタイプのものまで、多種多様のギター教本が市販されており、独習者およびギターの再開を考えている人たちにとっては、選択が難しい[56]。クラシックギター教本の問題点は、その多くが1950年頃のギターブームから2000年頃までに出版されたもので、ここ数年の新しい情報や革新的な演奏法などが書かれていないことである。そのため、独習者のみならず指導者も新しい知識や適切な情報を得られていないことがある。

教本に限らず、指導者同士で情報共有する機会や慣習がないことも問題として挙げられる。実際に、従来の方法に固執してしまったり、音楽表現ばかりを求めた指導が行われるケースがある。このような問題を解決するには、適切な弾き方を理論的に理解していくプロセスや場を提供することが重要であり、さらにはその土台となる知識の構築が望まれる。

「奏法」とは、楽器の演奏の仕方のことであるが、一般には、楽器の音の出し方がいくつかある時にそのそれぞれを指していう。なお、一般に、異なる高さの音を出すため、また、異なる強さを出すための音の出し方の違いは、奏法の違いと言わず、奏法が違うというときには音色の違いを目的とするのが普通である⁸。しかしクラシックギターの場合には、音色以外にも、音程を変化させるため、打楽器を模倣するため、安定して演奏するためなど、その目的は多様である。そこで本論文では奏法を「目的を持って制御された演奏の仕方」と定義する。例えば、弦の弾き方といった最も基本的な奏法においても、次の3種類それぞれに目的や特徴がある(図2.2)。

1. アル・アイレ (Al aire) : スペイン語で「空中へ」を意味し (英語では, the air と訳す), 弦を弾いた後に指が空中に向かう弾き方を指す。現在最も主流の弾き方であり, 弾く方向や爪の状態によって様々な音色を作り出すことができる。
2. アポヤンド (Apoyando) : 直訳すると「寄りかかる」の意味で, 弦を弾いた後に指が隣の弦にもたれかかるように弾く方法。この奏法は弦に指圧がかかるため, アル・アイレよりも容易に音量を出すことができる[57]。
3. セミ・アポヤンド (Semi-apoyando) : アポヤンドに類似した奏法であるが, 明確な定義はない。一般的には, 隣接する弦の上に親指を置いた状態で弦を弾き, 親指の腹にもたれかかる弾き方を指す。この奏法では, 撥弦時の動作が最小限で済むため, 高速かつ連続して弦を弾くことができる。

⁸2020年4月時点の引用。 <https://ja.wikipedia.org/wiki/奏法>

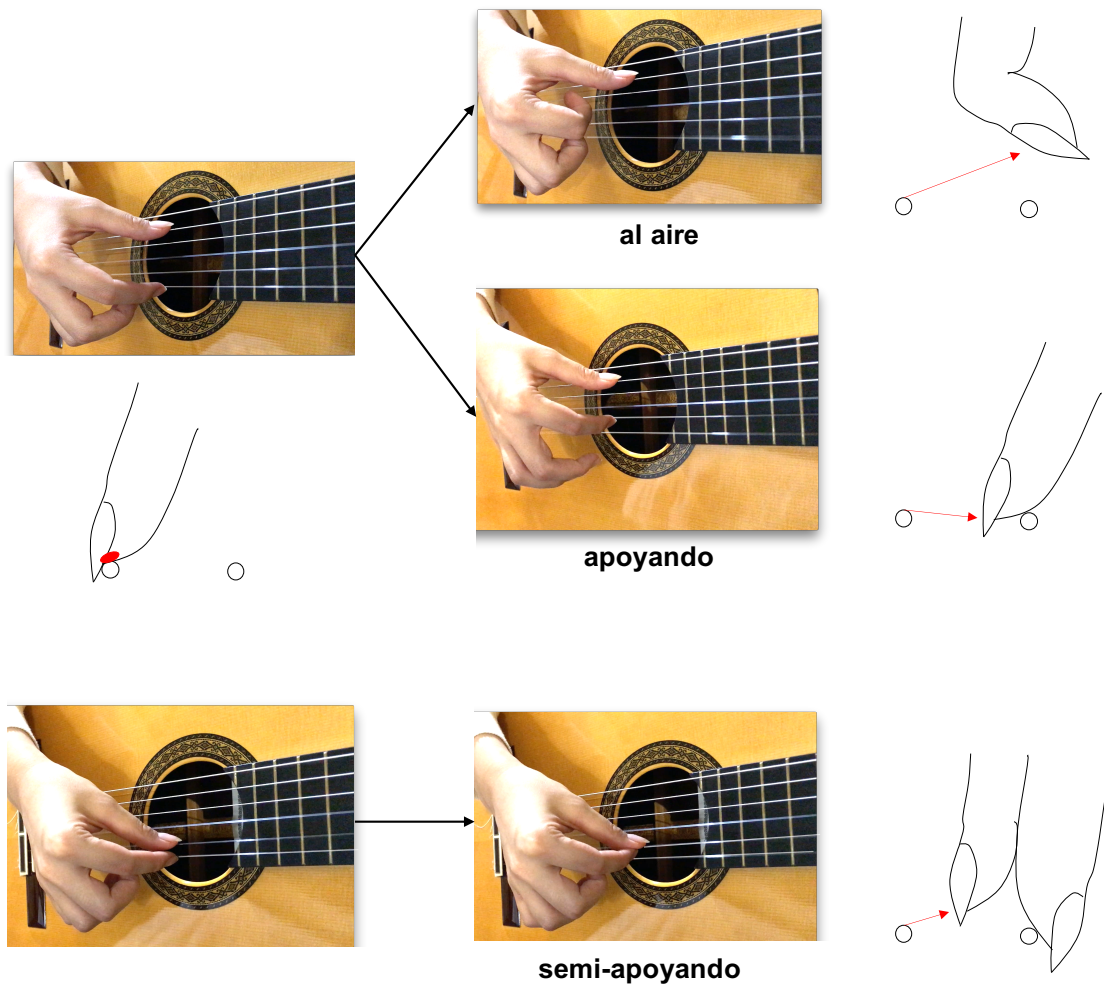


図 2.2: クラシックギターにおける弦の弾き方の種類

2.7 おわりに

本章ではまず、本研究に関わる関連領域を、知識処理、音楽情報処理の2つの視点で俯瞰した。次に、指導と学習に関する従来研究や、一人称研究といった質的アプローチによる取り組みについて概観した。最後に、知識の構築や活用を実践する際に対象となるクラシックギターの特徴や奏法について概説した。

3

理解を促すための基礎的な知識の 構築プロセス

概要

本章では、楽器演奏における知識の構築について、構築方法の手順化と実践を通して評価を行う。楽器演奏時に実行される行為に着目し、手続き的な表現形式とオントロジーの理論に基づく精密な構造的な形式によって記述し、基礎的な知識の構築を図る。そして、この2つを併用して知識を再構築することの有用性や効果について述べる。

3.1 はじめに

楽器演奏のような身体性に関わる知識を記述・表現することは容易ではない。演奏に関する知識を表現する枠組みには、まず記述の普遍性が求められる。つまり、演奏のすべての作業において共通に認められる性質を基礎としていなければならない。どんな種類の動作においても共通に認められる性質を基礎として、特定の演奏における事象・概念・原理等を仮定しない。このような方向性を持って知識を記述する場合、知識表現の立場からは宣言的知識であることが望ましいが、動作の手順といった時系列の要素を宣言的知識のみで記述するには制約が多い。

上記の問題に対処する方法として、手続き的知識と宣言的知識の併用が挙げられる。手続き的知識は、様々な認知的活動を実行するための手順を記述した知識であり、知識に基づいてどのように処理を行ったのかを客観的に理解することができる。両者は相互に補完し合うため、これらの役割を明確にすることで演奏者が理解しやすく、かつ機械が処理可能な知識を構築できる。特にドメインオントロジーを用いることで固有の領域に特化した記述が可能となり、普遍性も担保できる。つまり、演奏家や指導者（以下、分野の専門家と呼ぶ）にとって直感的に理解しやすい手続き的知識と、コンピュータが処理可能なドメインオントロジーを、相互に構築する方法や手順を定義する。このような、人間可読かつ機械可読な知識表現の両立によって分野の専門家が主体的に知識を記述できれば、知識の共有や深い理解を促進することが可能となる。

そこで本研究では、楽器演奏における異なる2つの知識表現（手続き的知識とドメインオントロジー）を併用した知識の構築を実践し、その効果についての精密な分析と考察を行う。クラシックギターを対象として、分野の専門家が手続き的知識を、研究者（以下、オントロジーの専門家と呼ぶ）がドメインオントロジーを、それぞれ構築する。具体的には、(1) まず、筆者の先行研究で構造化した知識を改良し、手続き的知識を構築する。クラシックギターの各奏法で実行される行為やその手順を記述する。(2) 次に、構築した手続き的知識に基づいてオントロジーの専門家がドメインオントロジーを構築する。ここでは、クラシックギターの奏法を主要な概念とした「ギター奏法オントロジー」を構築する。その後、(3) ギター奏法オントロジーに基づいて分野の専門家が手続き的知識の再構築を行う。加えて、分野の専門家に対して理解度などに関するアンケート調査を実施する。以上のプロセスを通して、2つの知識表現を併用した知識構築の効果や有用性を明らかにする。このようなオントロジーの専門家と分野の専門家の分業による知識の構築プロセスは、合意形成を促しながら信頼性の高い知識の構築を可能にし、両専門家を繋ぐ枠組みづくりとしても期待できる。

3.2 知識構築プロセスの概要

楽器演奏における異なる2つの知識表現を併用した知識構築プロセスについて述べる。なお、以降では知識表現を、記述形式を含めた知識の表現方法として用いる。知識構築プロセスの特徴は、以下の3点である。

- ① 1つ目の知識表現を、手続き的知識とする。分野の専門家が構築することで知識の拡張や理解を容易にする。
- ② 2つ目の知識表現を、ドメインオントロジーとする。手続き的知識と同様の観点を持ち、オントロジーの専門家が構築することで知識処理を可能にする。
- ③ 構築された2つの知識はスパイラルの関係をもつ。併用しながら再構築を繰り返すことで、知識の拡張や暗黙知の獲得を可能にする。

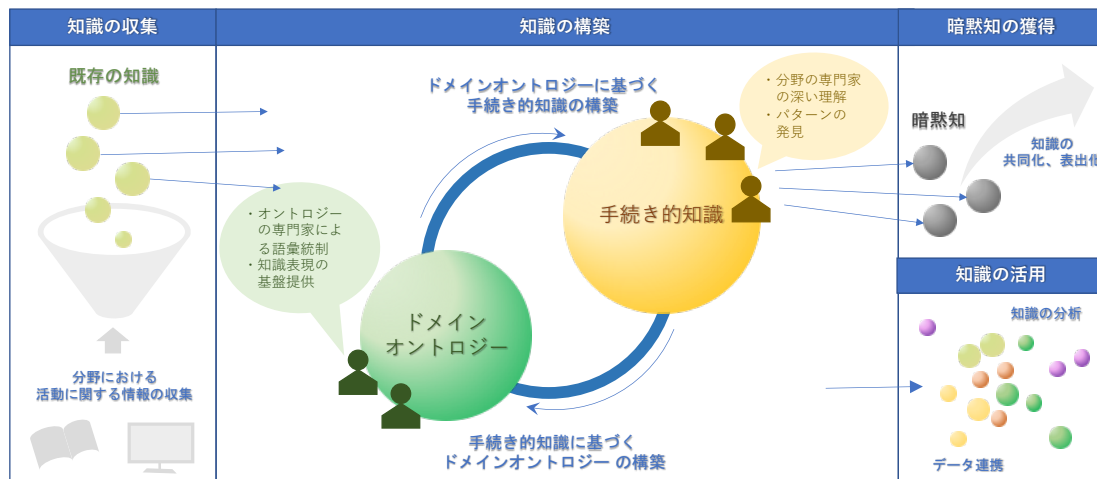


図 3.1: 2つの知識表現を併用した専門分野の知識構築プロセス

図3.1に、プロセスの全体像を示す。まず、分野の専門家とオントロジーの専門家の両者が知識の収集を行う。クラシックギターのような標準化されたマニュアルをもたない場合は、既存の教材や雑誌といった表出化されている知識を扱う。次に、分野の専門家が手続き的知識を構築し、オントロジーの専門家がドメインオントロジーを構築、可視化する。ここでの手続き的知識は、クラシックギターにおける奏法の実行手順を中心として記述したものを指し、ドメインオントロジーは特定の専門分野の知識を特定の観点をもって概念化、階層化したものをいう。その後、手続き的知識とドメインオントロジーの再構築を繰り返して、分野の専門家による暗黙知の獲得を目指す。

本研究では、技能を伴う分野において現場で遂行される手続き的な知識を対象としている。分野の専門家とオントロジーの専門家の分業による知識の構築を通して知識の共有と理解促進、さらには情報システム化を目指す。分野の専門家とオントロジーの専門家が協業で知識を構築する方法をとるため、必然的に分野の専門家同士の知識の共有と理解促進が図れる。

また、このプロセスにおいて注目したいことは、手続き的知識とドメインオントロジーの構築の単なる循環プロセスではなく、スパイラルであるという点である。つまり、どちらの知識を先に作るかということではなく、併用によって領域と観点を共有することで知識の拡張や改良を促進する。以上のプロセスを踏まえて、分野の専門家とオントロジーの専門家それぞれの役割を次のように定める。

- ・ 分野の専門家は、手続き的知識の構築と暗黙知の獲得を行う。
- ・ オントロジーの専門家は、オントロジーの構築と可視化を行う。

既に表出されている知識を効果的に活用するためには、知識の内容を明示的に記述する必要がある。特に、楽器演奏のような身体スキルの獲得が必要な分野においては、分野の専門家がもつ技術やテクニック（以下、方式と呼ぶ）は重要な要素である。詳細は3・3§2節以降で述べるが、手続き的知識では、知識の内容を「目的」、「方式」、「行為」、「詳細情報」に分けて記述する。ドメインオントロジーでは、「目的」と「方式」を参照して方式の概念化と再分類を行い、次いで「行為」と「詳細情報（の項目名）」を参照して概念や属性の定義を行い、各方式の構造化に用いる。このように、記述する知識の内容と構造化方法を定義することで、分野の専門家とオントロジーの専門家が正しく知識を共有できるようにする。それによって、手続き的知識はドメインオントロジーに対して、各領域における知識の特徴を発見・提供し（パターンの発見）、ドメインオントロジーは手続き的知識に対して、知識の構造や語彙表現の指針を提供する（知識表現の基盤提供）。

以降では、知識の構築プロセスの実践に向けて構築した知識について述べる。3・3節では手続き的知識の構築について、3・4節では手続き的知識に基づいて構築したギター奏法オントロジーについて、3・5節ではギター奏法オントロジーに基づいて手続き的知識を再構築した結果について、それぞれ述べる。

3.3 手続き的知識の構築

手続き的知識の構築にあたり、まず我々の先行研究で構造化した目的指向による知識の問題点を明らかにする。次に、問題解決のために知識の内容を区別し、記述形式を定義する。

3.3.1 目的指向による知識構造化の問題

先行研究[58]では、クラシックギターの指導支援を目的として、目的指向による知識の構造化を行った。まず、研究者が既存の教本や雑誌からクラシックギターの奏法の名前や演奏行為に関する知識を収集した。次に、21の目的（押弦する、撥弦する、消音する、音色を変えるなど）に分類し、達成するための行為の手順を目的指向で構造化した。最後に、分野の専門家であるプロギタリスト兼指導者によって、構造化した知識を修正、追加し(図3.2)、目的の使用頻度に着目して学習ステップを7つに分けた。

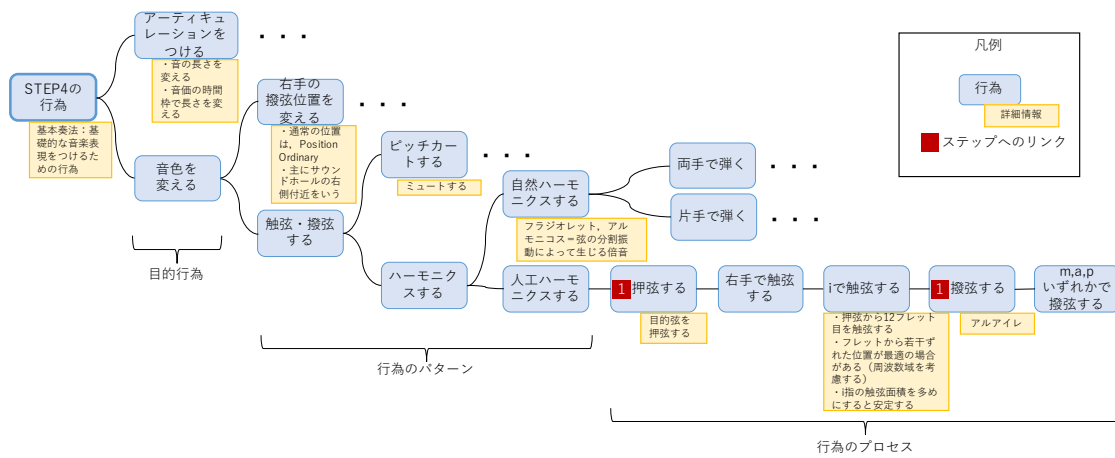


図 3.2: 目的指向知識の一部抜粋

この知識には、次の2つの大きな問題がある。(i) 語彙表現の曖昧さ：使用する語彙が概念化されていないことから、宣言的知識と手続き的知識を混同しており、表現に一貫性がない。例えば「人工ハーモニクスする」は、「人工ハーモニクス」という名詞としてのギター奏法と「する」という動詞を掛け合わせたものであり、行為の表現としては相応しくない。また、「触弦する」の触弦も一般的な用語でないため見直す必要がある。このように分野の専門家にとっては直感的に理解できる内容でも、知識を広く共有、活用するためには、語彙の品詞などを含めた見直しが必要である。(ii) 記述形式の曖昧さ：目的行為、行為のパターン、行為のプロセスといった要素が曖昧で理解しにくい。実際に行われる行為、ギター奏法の名前、抽象的な目的、などの知識内容を明確に区別する必要がある。また、図2の最下階層の「右手で触弦する」と「iで触弦する」（クラシックギターでは、iは右手の人差し指のことを示す）は、同じ行為を指しているにもかかわらず分離しているために時系列的に不自然である。

3.3.2 目的, 行為, 方法の区別

目的指向で構造化した知識の問題解決に向けて, CHARMモデルを参考に知識の内容を整理した. ここでの作業は研究者が行った.

CHARMの基本となる構成要素は, 行為, 行為に付随する凡例, 実行する人, 追加情報, やり方である. 上位には目的となる行為が, 下位にはより詳細な部分行為が提示される. ここでの行為は状態変化を指しており, 例えば「気道確保する」という行為を気道が閉じた状態から開いた状態への状態変化であると捉え, その目的を「気道確保する」と表現している[59]. つまり「気道確保する」という用語には, 行為, 目的, 暗黙的な状態変化といった複数の意味が内在している. しかし, 我々の手続き的知識では行為の記述を重視していることから, 行為とその他の要素を切り分ける. そこで, 「目的」では状態変化を含む包括的あるいは抽象的な内容を記述し, 「行為」では目的を達成するために必要な動作を記述することとした.

また, CHARMの行為階層の間には「達成方式」と呼ばれる根拠となるような物理法則などの原理を概念化したものが記述される[24]. 先に挙げた例では, 気道確保するための達成方式として「気道切開法」と「管挿入法」が定義されている. ただし, 本研究ではこのような厳密な形式は設けず, 達成方式を「目的を達成するための方法, 技法の総称 (以下, 「方式」と呼ぶ)」と位置付けた. さらに, 「目的」, 「方式」, 「行為」ではより詳しい記述が必要な場合があるため, 「詳細情報」を設けて項目別に記述できるようにした. 項目については, 分野に応じてカスタマイズできることが望ましい.

以上の条件で構築した知識 (以下, 手続き的知識と称す) を図3.3に示す. ここで, 方式にあたるものをクラシックギターの奏法とした. 緑色の長方形は目的を, 黒色の正方形と青色文字は方式を, 青色の長方形は行為を, それぞれ示している. 詳細情報は, 必要に応じて項目を設定し, オレンジの長方形内に全て記述している. 図3.3では, 「音色を変える」という目的を達成するために, 「人工ハーモニクス」方式が存在することを表現している. そして実行する行為は, 「押弦する」, 「右手で弦に触れる」, 「撥弦する」という矢印の順に従うことが示されている. 「右手で弦に触れる」では, 詳細情報として「使用する指」はi指 (右手の人差し指) であることを示している. このように, 知識内容や形式を明示することで, 分野の専門家が直感的に知識を構築できるようにした. しかしながら, 語彙表現には課題が残る. 知識を記述する際には, 概念の統一や一貫性が保持されることが望ましく, オントロジーはその性質をもった共通概念や規約を提供できるという点で有用である.

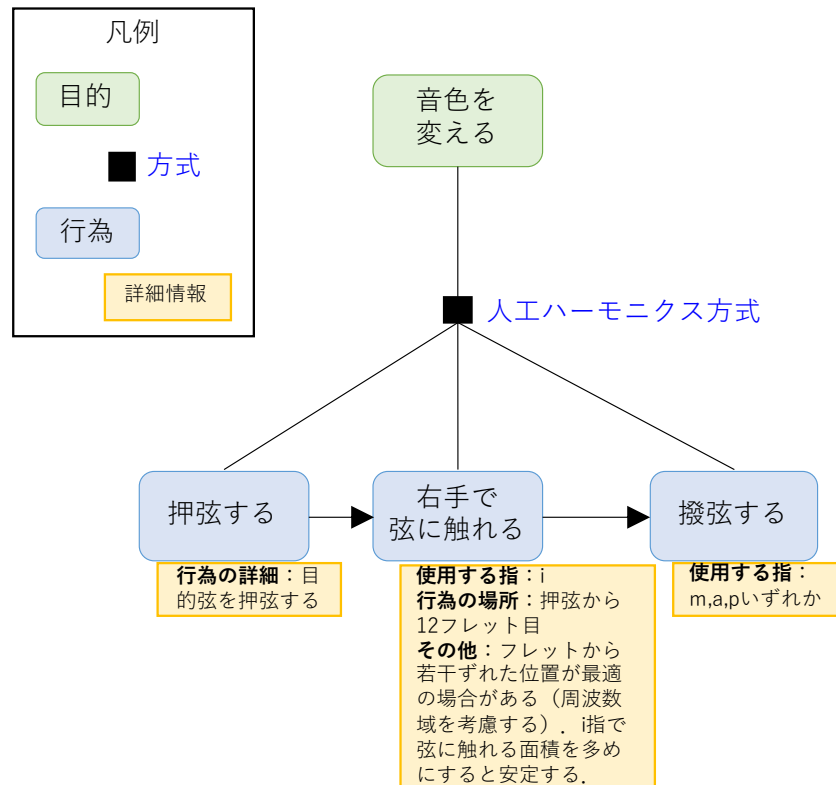


図 3.3: 手続き的知識の一例

3.4 ギター奏法オントロジーの構築

前節の手続き的知識に基づいて構築したドメインオントロジー「ギター奏法オントロジー²」について述べる。

3.4.1 概念の定義

まず、ギター奏法を主要な概念として定義するために、上位概念には手続き的知識の「目的」を参照して概念化したものを、下位概念には「方式（ギター奏法）」を、それぞれ用いて階層化した。上位概念は、音に関する目的をもつ7つの奏法（効果音奏法、和音変化奏法、装飾奏法、音価変化奏法、音節変化奏法、音色変化奏法、音響変化奏法）と身体に関する目的をもつ奏法（基本奏法、固定奏法、押弦奏法、撥弦奏法）に大別している。図3.4の左側は、階層化された「ギター奏法」概念の一部である。図3.3の手続き的知識の「音色を変える」は「音色変化奏法」に、「人工ハーモニ

²本研究では、日本語版のver.2.2を使用: <https://github.com/guitar-san/Guitar-Rendition-Ontology/>

クス方式」は「人工ハーモニクス」に、それぞれ対応している。結果として「ギター奏法」の概念数は96となった。

次に、各下位概念を詳細に定義するために必要な語彙を概念化・階層化した。図3.4の「ギター奏者行為」概念は、各下位概念の行為を記述するために手続き的知識の「行為」を参照して概念化したもので、「弦を弾く」「弦を押す」などがある。行為の記述については3・4§3節で述べるが、例えば図3.5の「弦を弾く(胴)」、「a指」、「m指」、「p指」などもすべて概念として定義した。以上の結果、「ギター奏法」概念を含めた263の概念を定義した。

3.4.2 属性の定義

下位概念であるギター奏法（方式）を説明するために、以下の主要な3つの属性を定義した。

1. 目的音：どのような音を理想とするのかを示す属性である。「具体物」概念内の「ギター音」概念で21種類の値を定義している。例えば、「打楽器音」、「滑走音」、「倍音」がある。
2. 表現形態：楽譜に記述される記号の種類を定義するための属性である。値は、「演奏記号」概念で定義した次の3つである：楽器に依存しない音の扱い方を示す「アーティキュレーション記号」、バロック時代に頻繁に見られるような即興的に音を追加する「装飾記号」、楽器独自の特殊奏法を表す「楽器固有記号」。
3. 行為に関する属性：各奏法を実現するための具体的な行為や手順を定義する属性である。行為の値には手続き的知識の「行為」を、各行為に対する追加の説明には手続き的知識の「詳細情報」における項目名を、それぞれ参照して定義した。詳細については、次項で述べる。

その他、装飾奏法では装飾する音の音程関係を示す「発音」、「開始音」を、音価変化奏法では音の長さを示す「音価」を定義した。以上の結果、属性数は18となった(図3.4の右側)。

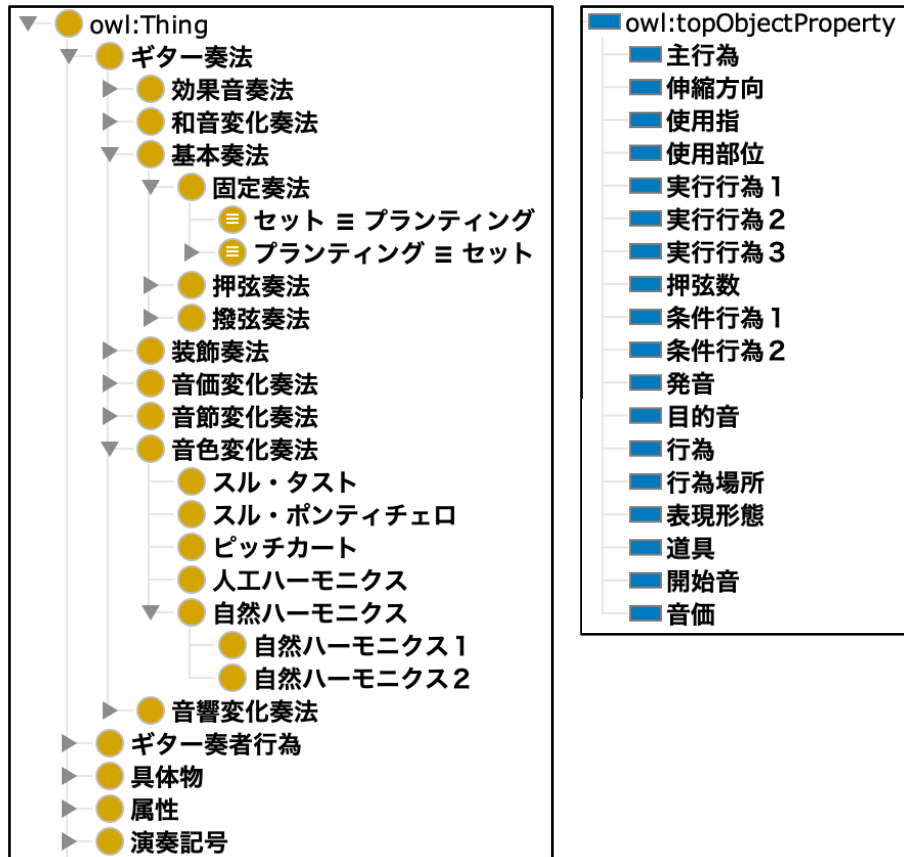


図 3.4: 主概念(左)と属性(右)

3.4.3 行為の記述

クラシックギター奏法は、複数の行為の組合せや制約をもつ。そこでギター奏法オントロジーでは、各下位概念であるギター奏法（方式）の行為を記述するために以下のルールを設けた。

動詞による表現： 行為は、属性の“行為”を用いて定義する。値は、手続き的知識の「行為」を参照して動詞で表現する。例えば、「弦を弾く」、「弦を押す」、「弦を叩く」など。

行為と身体部位の結合表現： クラシックギターは身体に楽器を固定した状態で演奏するため、奏法の記述に必要な身体部位は左右の手指に限定できる。ただしその行為が左右のどちらの手指で行うかは利き手を考慮しなければならないため、ギターの部位を用いて「指板側の手指」と「胴板側の手指」と分類する。そし

て動詞の直後に明記することで行為と手指を同時に定義する。記述例は次のとおりである。「弦を弾く（胴）」、「弦を押す（指）」。

行為の順序定義： 行為の順序は，“実行行為1”，“実行行為2”というように数を含む属性によって表現する。例えば，撥弦奏法の下位概念であるアポヤンドは，胴板側の指で撥弦した後に隣の弦にもたれかかることによって実現される。この場合，実行行為1に「弦を弾く（胴）」，実行行為2に「隣の弦にもたれかかる（胴）」と記述する。

行為の並列定義： 「行為Aをしながら行為Bをする」といった同時進行をもつ奏法については，Aを“条件行為”，Bを“主行為”として記述する。これらの属性は，ブランクノードを介して上記の“実行行為”の中に位置付ける。例えば，音色変化奏法のピッチカートは，胴板側の手の側面で弦に触れながら弦を弾くことで実現される。この場合，実行行為1の主行為を「弦を弾く（胴）」，条件行為を「弦に触れる（胴）」と記述する。

行為の具体化： 各行為に対する具体的な情報は，手続き的知識の「詳細情報」における項目名の一部を参照して定義した属性を用いて記述する。例えば，“使用指”，“行為場所”など。

上記のルールに従い，全ての下位概念について概念の記述を行った。図3.5に，音色変化奏法の下位概念である人工ハーモニクスの例を示す。人工ハーモニクスは，様々な音程の倍音を鳴らすために，押弦，撥弦，弦に触れるという3つの行為を駆使する。実行行為1では，指板側の指で弦を押しながら（条件行為1），かつ押弦フレットから12フレット目を胴板側のi指で弦に触れながら（条件行為2），胴板側のa, m, p指のいずれかで弦を弾く（主行為）。その後，実行行為2では，指板側の指で弦を押しながら（条件行為1），胴板側のi指で弦から指を離す（主行為）。なお，クラシックギターでは共通の知識として胴板側の指の名称が決まっている。pは親指，iは人差し指，mは中指，aは薬指を示す。以上の構造を，実際のイメージと対応させた結果が図3.6である。手続き的知識に基づいて記述方法を定義することで，効率的にドメインオントロジーを構築できることを確認した。

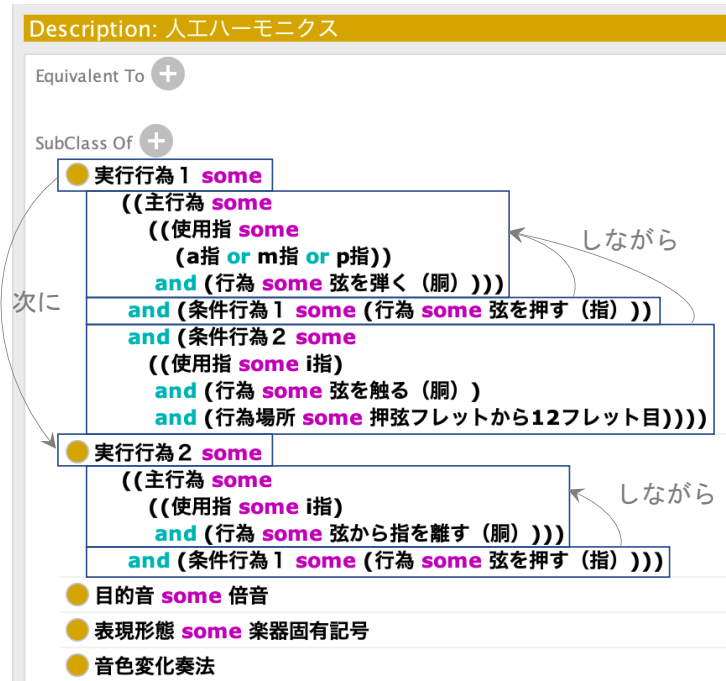


図 3.5: 行為の記述例

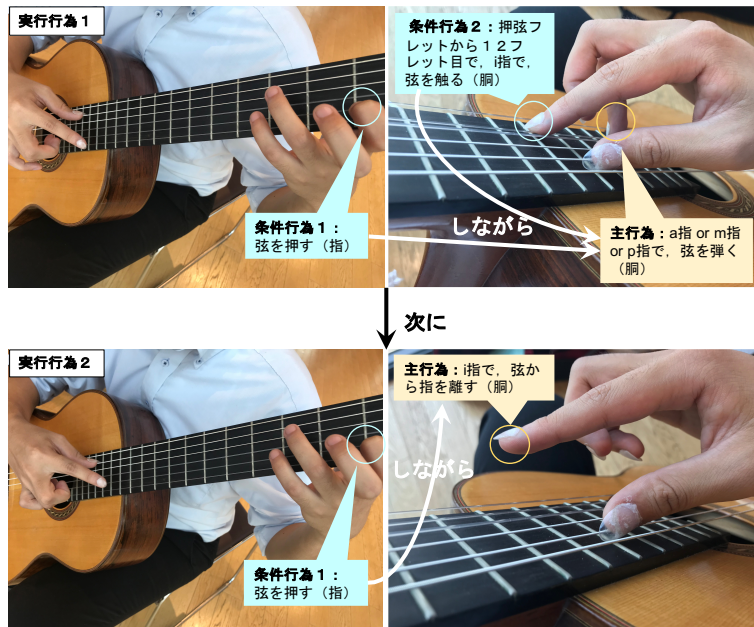


図 3.6: イメージとの対応

構築した手続き的知識とギター奏法オントロジーの知識を比較する。図3.3と図3.5からもわかるように、基本的には手続き的知識がギター奏法オントロジーを包含する関係にある。その理由として、手続き的知識では分野の専門家向けのインフォーマルな記述が可能であるために、オントロジーでは扱えない内容を含んでいることが挙げられる。例えば、図3.3の手続き的知識に記述されている「行為の詳細」や「その他」の内容は記述できていない。ただし、オントロジーを構築する上でより構造的な記述を実現するために、結果として手続き的知識では記述されなかった知識が追加されたこともあった。行為に関する属性はその代表例である。

3.4.4 可視化

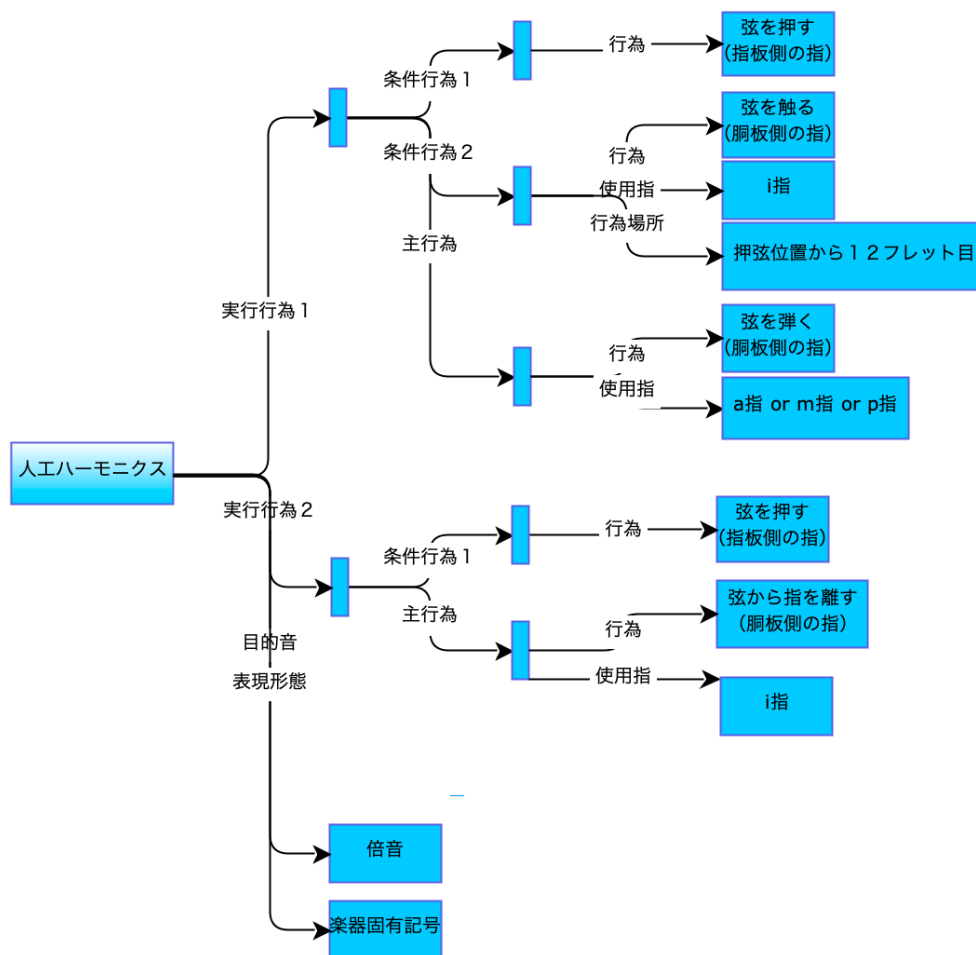


図 3.7: 可視化したギター奏法オントロジー

分野の専門家に対してギター奏法オントロジーを提示するために、オントロジーを可視化する。2・2§3節で述べたように、既存の可視化ツールはギター奏法オントロジーがもつ複雑な構造を読み込むことができない。そこで、OWL_{Ax}を用いて手動で可視化した(図3.7)。青い長方形が概念を、矢印上の文字が属性を、それぞれ示す。また、文字の書かれていない青い長方形はブランクノードとして表現している。OWL_{Ax}は、オントロジー構築ツールであるProtégéのプラグインであり、作成した図から公理を自動的に生成できる[60]。ただし2つの概念間のみ生成可能のため、空白の概念も含めて、全ての公理が正しく生成されているかを確認しながら可視化した。

3.5 オントロジーに基づく手続き的知識の再構築

本節では、構築した手続き的知識とギター奏法オントロジーを取り上げて、分野の専門家によるオントロジーに基づく手続き的知識の再構築を行う。なお、本節で述べる取組みは、2つの知識表現の併用による効果に焦点を当てるため、最終的な成果物に対して十分な知識量を求めるものではない。

3.5.1 実施概要

実施者は、プロギタリスト兼指導者として活動している分野の専門家3名である。表3.1に、専門家3名の音楽歴を示す。専門家Aは最も演奏歴と指導歴が長く、音楽留学経験や国際ギターコンクールでの優勝実績がある。また、専門家Aが指導した多くの生徒が国内外のギターコンクールで優勝するなど、極めて高度な演奏技術と指導能力を保有している。専門家BとCはほぼ同等の音楽歴であるが、実績の傾向が異なる。専門家Bは国際ギターコンクールでの優勝実績を持っており、ソロでの演奏活動を活発に行っている。対して専門家Cは、ギターデュオなどのアンサンブル活動に積極的であり、指導においては生徒がコンクールで優勝した実績がある。

表 3.1: 実施者の音楽歴 (2019年1月時点)

	専門家A	専門家B	専門家C
演奏歴	40年	20年	20年
指導歴	20年	9年	8年

以上の3名を対象として、個別に手続き的知識の再構築を実施した。実施概要を表3.2に示す。まず、分野の専門家に対して本研究の概要を説明した。次に、手続き的知識とギター奏法オントロジーの読み方について具体例を交えて説明した。その後、

次の3つを提示し、手続き的知識に対して手書きで修正するように教示を行った：(a) 手続き的知識，(b) 手続き的知識と同じ範囲の可視化したオントロジー，(c) 手続き的知識における詳細情報の一覧。 (a) では、次の2つを目的とする手続き的知識を対象とし、それぞれ1時間程度の修正を行った：「効果を出す」と「音色を変える」（ギター奏法オントロジーの概念である「効果音奏法」と「音色変化奏法」にあたる）。 (c) 詳細情報については、3・3節の手続き的知識の構築時に使用した次の11の項目を提示し、必要に応じて追加、修正するよう教示を行った：行為の詳細，方式の詳細，別名，用途，意味，記譜法，使用する指，左右の手指の名称，行為の場所，使用する弦，その他。

なお、本研究では暗黙知の獲得は行わないため、共通の知識のみを記述するように注意した。そして最後に、可読性を上げる目的で、研究者が修正された手続き的知識を清書した。

表 3.2: 実施した手続き的知識の再構築の概要

実施時間	3時間
実施内容	1. 研究概要の説明（研究者） 2. 手続き的知識とギター奏法オントロジーの説明（研究者） 3. ギター奏法オントロジーを見ながら手続き的知識の改良（専門家） 4. アンケート調査
提示物	(a) 手続き的知識 (b) 手続き的知識と同じ範囲の可視化したギター奏法オントロジー (c) 詳細情報の項目の一覧
記述対象	手続き的知識
対象知識	以下2種類の目的における手続き的知識 ・ 音色を変える ・ 効果音を出す

3.5.2 質的变化

本節では、分野の専門家3名が個別に再構築した手続き的知識の質的な変化に着目し分析する。以下に分野の専門家が改良した6つの手続き的知識を提示する。図3.8から図3.10は、「音色を変える」を目的とした手続き的知識の、図3.11から図3.13は、「効果音を出す」を目的とした手続き的知識の、それぞれ全体図である。追加、修正された箇所を赤字や枠線で示している。

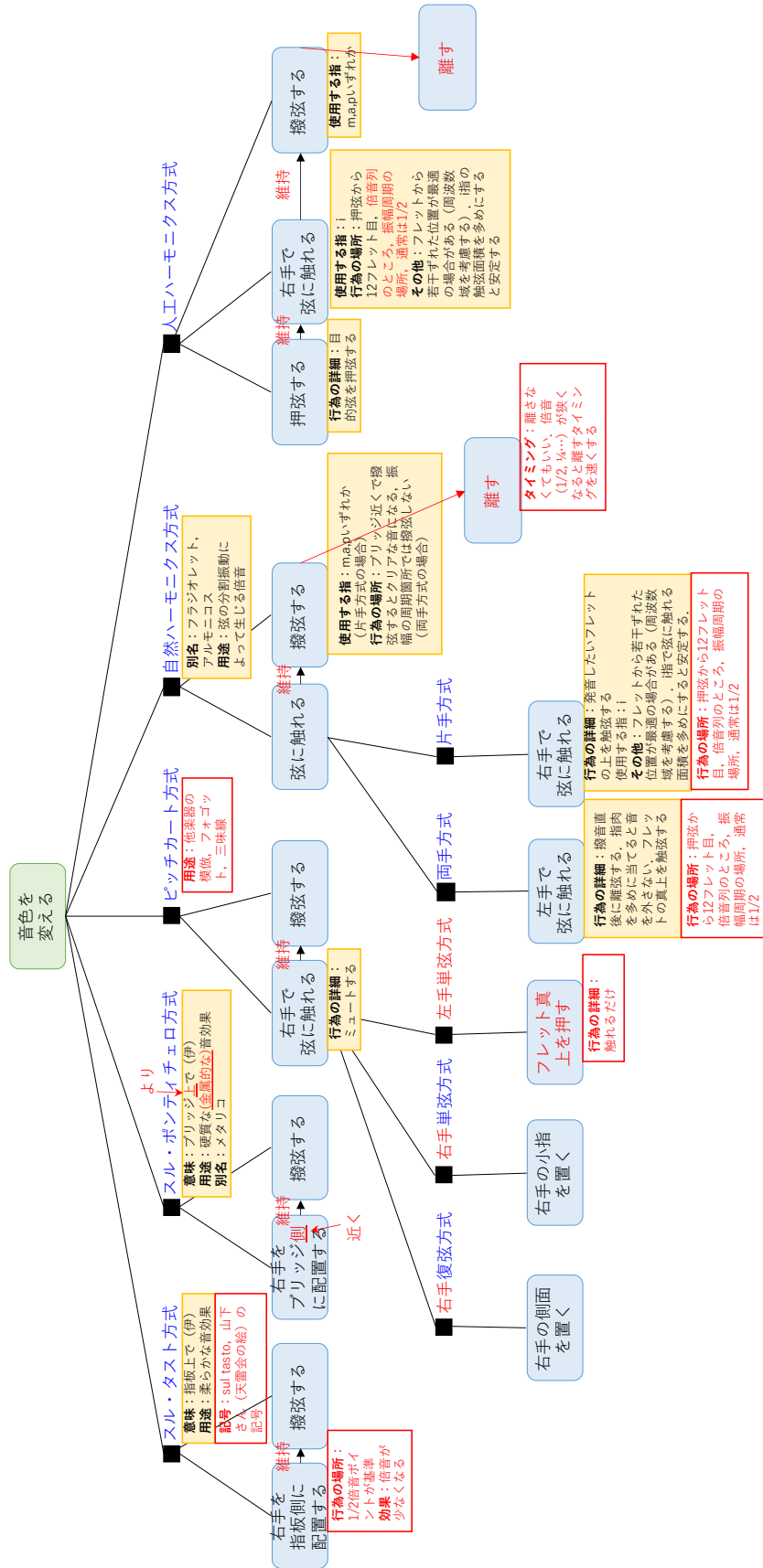


図 3.8: 専門家Aによって改良された手続き的知識 (目的: 音色を変える)

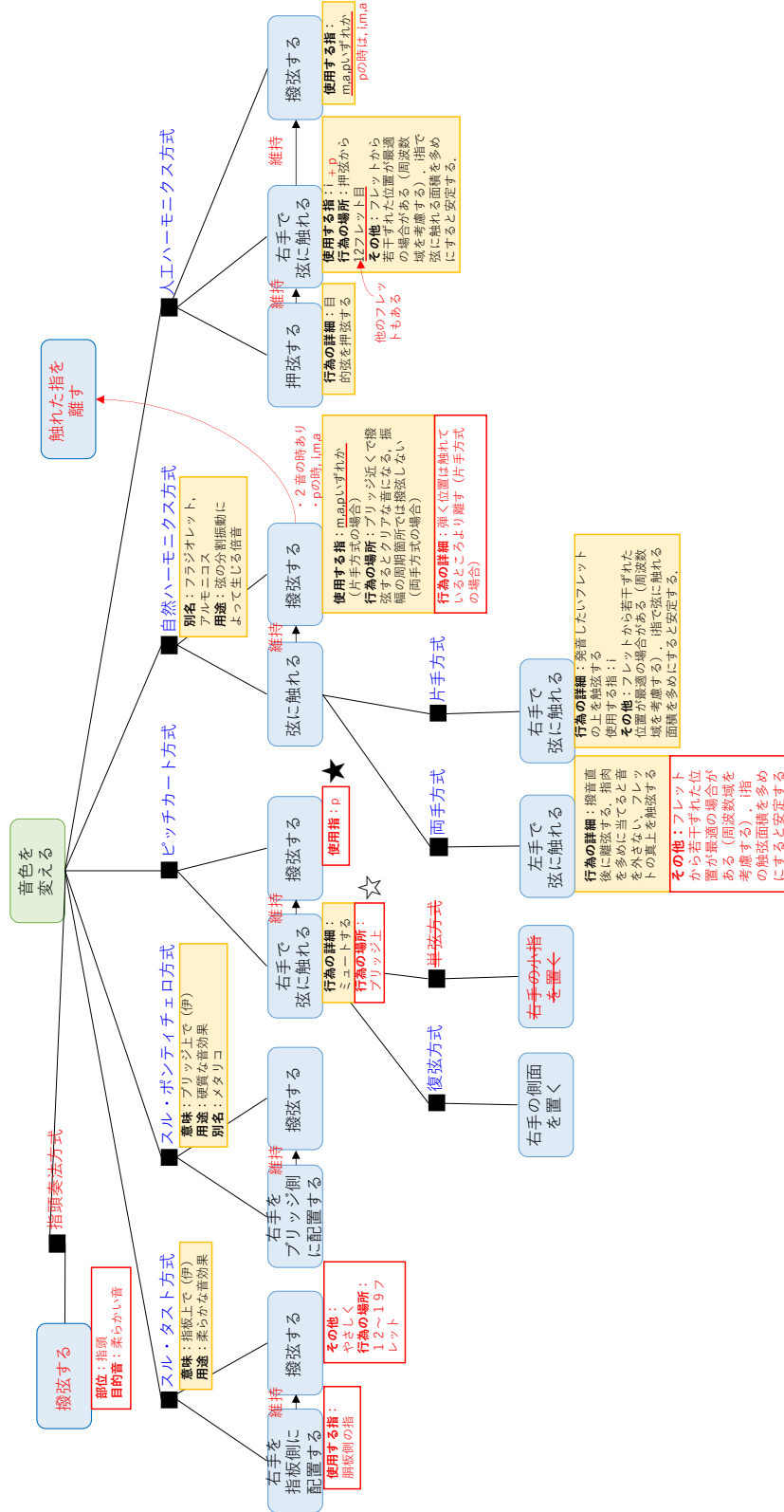


図 3.9: 専門家Bによって改良された手続き的知識 (目的: 音色を変える)

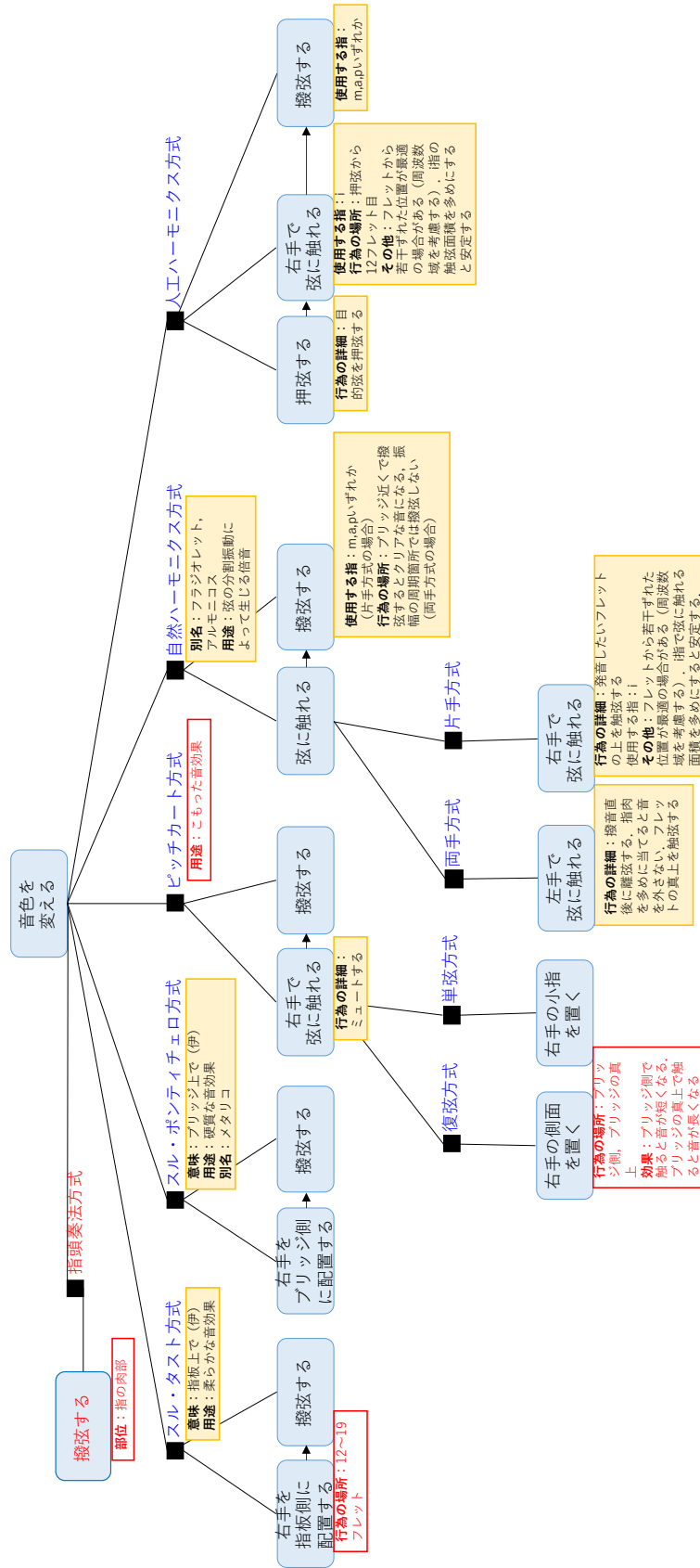


図 3.10: 専門家Cによって改良された手続き的知識 (目的: 音色を変える)

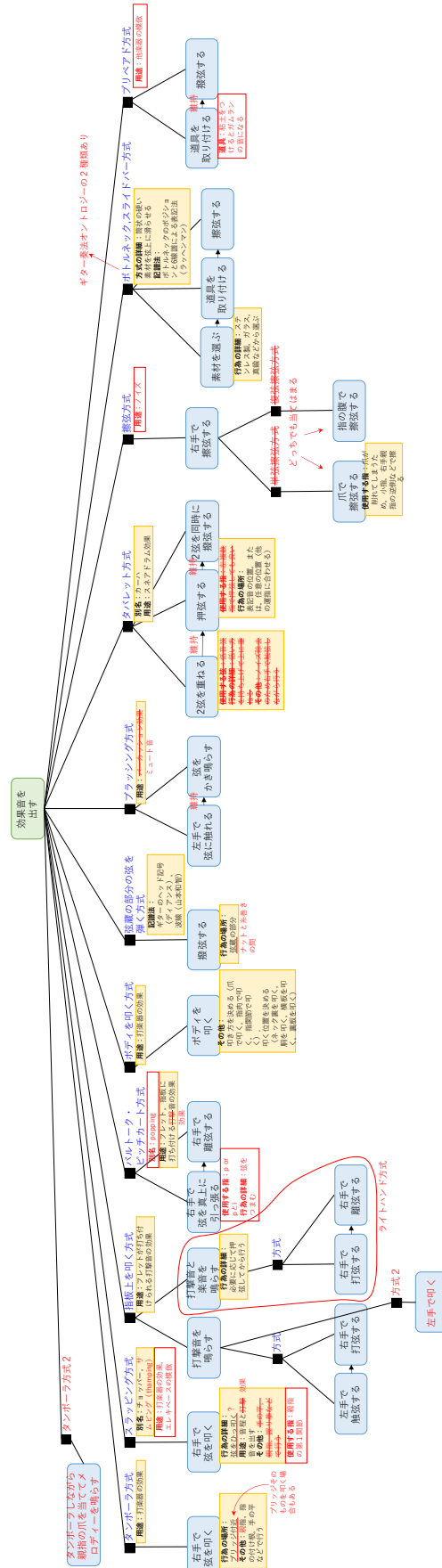


図 3.11: 専門家Aによって改良された手続き的知識 (目的 : 効果音を出す)

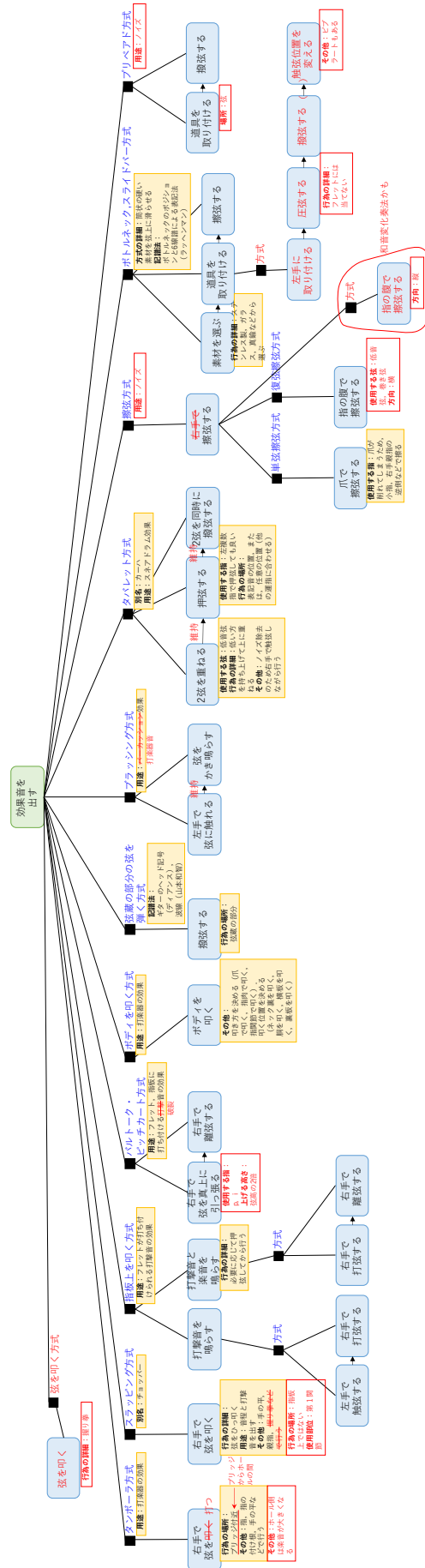


図 3.12: 専門家Bによって改良された手続き的知識 (目的: 効果音を出す)

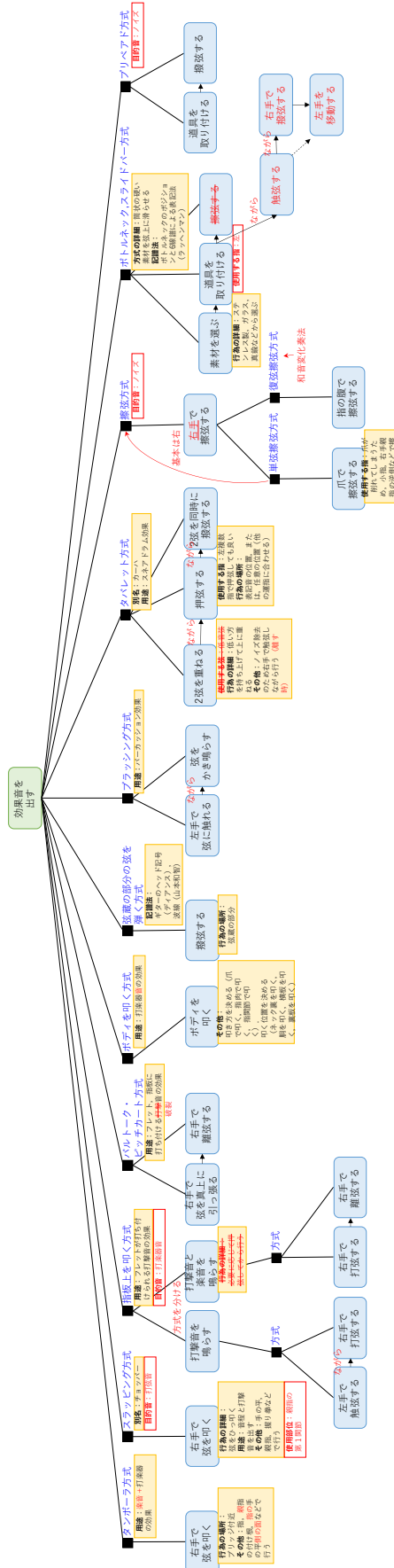


図 3.13: 専門家Cによって改良された手続き的知識 (目的：効果音を出す)

A. 類似点

分野の専門家3名のそれぞれの結果を比較したところ、同じあるいは類似した改良がなされていた箇所が複数あった。個別に実施したにもかかわらず類似の変化が見られたものは、分野の専門家同士が共通の認識を持った重要な知識であり、今後ギター奏法オントロジーを再構築する際に優先的に考慮していく。ただし、専門家1名による改良箇所の重要度が低いということではない。改良内容の違いも個人の知識として重要であるため、次節で述べる。

「音色を変える」を目的とする手続き的知識において追加された知識の中で、方式に関しては、専門家BとCによって指頭奏法方式が追加された。指頭奏法は、リュートというギターの祖先とされる古楽器で常用される、爪を使わず指の先の肉の部分だけで弾く奏法である。手続き的知識の再構築の過程で、両専門家は研究者に対して「音色を変えるという目的では、爪を使った場合の方式（ギター奏法）だけを対象としているのか？」という質問をしていた。クラシックギターは演奏者の爪を用いて撥弦することが常識となっているが、柔らかい音を出すためにあえて爪を使用せずに指頭部分で撥弦することがある。上記の質問に対しては、手続き的知識やギター奏法オントロジーの方式においては爪の有無といった前提条件は設けていないため、指頭奏法方式を含めて自由に追加するよう指示した。このように目的を意識することで、方式を分類する際の前提条件といった定義が必要であることがわかった。

行為に関しては、専門家AとBによって自然ハーモニクス方式の“撥弦する”という行為の後に新たな行為が追加された。表現は異なるが、いずれも最初に行った“弦に触れる”を行っていた指を“弦から離す”という意図で追加された知識である。専門家Aは人工ハーモニクスでも同様の追加を行っており、専門家Bは単純に記述忘れであったと思われる。自然ハーモニクスも人工ハーモニクスも、ギター奏法オントロジーでは実行行為1に“弦に触る”と“弦を弾く”を記述し（正確には、“弦を押す”という行為もあるが）、実行行為2に“弦から指を離す”という行為を記述している。このことから、今回の専門家AとBによる行為の追加は、オントロジーの行為記述に影響を受けた結果であることが示唆された。

詳細情報に関しては、専門家AとCによってスル・タスト方式の“右手を指板側に配置する”行為に「行為の場所」という詳細情報の項目が追加された。ただしその内容は異なっており、専門家Aは「1/2倍音ポイントが基準」と、弦振動の物理的な要素を考慮した書き方を行っていたのに対して、専門家Cは「12～19フレット」と具体的な場所を記述していた。人工ハーモニクス方式の“右手で弦に触れる”行為の「行為の場所」については、専門家AとBから「押弦から12フレット目、とは限らない」という指摘がなされた。

「効果音を出す」を目的とする手続き的知識においても、詳細情報において類似

した改良が多く発見された。バルトーク・ピッチカート方式の“右手で弦を真上に引っ張る”行為では、専門家AとBによって「使用する指」という項目が追加され、その内容は専門家Aの方が細かい指定がなされていた。スラッピング方式の“右手で弦を叩く”行為の詳細情報では、専門家3名によって「親指の第1関節」という記述が行われた。ただし、使用する項目は「使用部位」あるいは「使用する指」に分かれていた。

「音色を変える」と「効果音を出す」のどちらにおいても同じ改良が行われたのは、記述形式に関する知識であった。具体的には、行為間の矢印の上に「維持」あるいは「ながら」という用語が追加された。これは、ギター奏法オントロジーの条件行為と主行為の関係に影響を受けたものであり、ある行為を実行する時にその直前の行為が維持された状態であることを示している。例えば、自然ハーモニクスの「弦に触れる」と「撥弦する」の間にある維持は、ギター奏法オントロジーにおける「“弦を触る”をしながら（条件行為），“弦を弾く”（主行為）」という行為を表現している。

B. 相違点

先述した類似点では、修正する方向性は同じであるものの、語彙表現、使用する詳細情報の項目、詳細情報の内容に違いが見られた。「効果音を出す」における擦弦方式とプリペアド方式の詳細情報では、方式をどのような意図で用いるかを定義するために、「目的音」あるいは「用途」という項目を用いて記述していた。「目的音」は、専門家Cが「用途」をオントロジーの属性名を引用し修正したものである。今後、詳細情報の項目に対して使用する際の規則を定める必要がある。またこれらの項目の内容を比較すると、専門家によってその方式（ギター奏法）が何のために行われるのかといった認識が異なることがわかった。例えばプリペアド方式では、他楽器の模倣と捉えている場合（専門家A）と、ノイズと捉えている場合（専門家BとC）に分かれた。個別に実施することで分野の専門家の認識の違いを把握でき、専門家間の知識共有に繋げることができる。

「音色を変える」のピッチカート方式のさらに下位の2方式に関して、3名の結果に違いが見られた。専門家Aは、方式を1つ追加してより細かい分類を行ったのに対して、専門家Bは「右手の小指を置くパターンのピッチカートは通常ほとんど使用しない」という理由から、方式の1つを削除した。専門家Cは、分類を変えずに詳細情報を追記しただけであった。このように、改良の方向性が異なる知識については、オントロジーの再構築時にどのように統合するかが課題となる。解決策の一つとしては、知識が共通であるか、あるいは固有（他者が知らない個別の知識）であるかによって判断する。ピッチカートの下位方式においては、すべて共通の知識であることから、削除せずに専門家Aの分類を採用する。

「効果音を出す」の擦弦方式では、下位の単弦擦弦方式と複弦擦弦方式について異なる指摘が得られた。専門家Aはどちらも擦弦方式であり、方式として細かく分類する必要はないとしたのに対して、専門家Bは新たに1つの方式と、“指の腹で擦弦する”という行為を追加した。専門家Cは、複弦擦弦方式のみが和音変化奏法であると記述していた。これら方式は、擦弦を行う使用部位の違いと使用する弦の数の違いによって分類されているが、それ以上に、擦弦の仕方に大きな違いがある。“爪で擦弦する”では、弦に沿ってノイズを出すのに対して、“指の腹で擦弦する”では、弦に沿って行う場合と、弦長に対して垂直に行い複数の弦を擦る場合の2つが考えられる。よって、上記に対処する方法としては、専門家Bが最も適していると考えられる。

そのほか、ボトルネック方式（スライドバー方式）でも大きな変化があった。専門家Aは、方式がギター奏法オントロジーと同様に2種類あると指摘しており、専門家BとCは行為の記述が不十分であると指摘し、改良を行った。なお、ピッチカート方式や擦弦方式で述べた対応方法は、あくまで筆者による主観的な判断によるものである。相違点を適切に統合していく方法については、今後、より多くの分野の専門家とオントロジーの専門家を交えて議論していく必要がある。

提示した詳細情報の11の項目の一覧（行為の詳細、方式の詳細、別名、用途、意味、記譜法、使用する指、左右の手指の名称、行為の場所、使用する弦、その他）の改良結果にも違いが見られた。専門家Aは、基準、タイミング、通常といった、方式の分類やデフォルトに着目した情報を追加し、また用途を効果（音響）に修正した。専門家Bは、力の強さ、引き上げる高さ、（行為の）方向といった具体的な行為の説明をするための情報を追加した。専門家Cは、効果、使用部位を追加し、用途を目的音に修正するなど、他の専門家よりもオントロジーを強く意識して再構築を行っていた。以上から、専門家がどの観点から方式（ギター奏法）を説明しようとしているかある程度伺うことができた。

C. オントロジーとの関係

オントロジーに着目して手続き的知識で追加された知識について傾向を調べたところ、以下のように知識を分類できることがわかった。以降に各々に該当する例を挙げる。

1. 手続き的知識の構築時には記述されなかったが、オントロジーで整理した際に補われた知識で、手続き的知識の再構築によって発見されたもの。
2. 手続き的知識の再構築の際に、該当する方式のオントロジーの定義には記述されていなかったが、他の方式の定義の記述を参考にして補われた知識。今後のオントロジーの再構築で定義されるべきもの。

3. 手続き的知識の再構築で初めて追加された知識で、オントロジーの再構築において詳細化や構造の拡張に貢献すると考えられるもの。

(1) では、専門家Bの結果（図3.9）におけるピッチカート方式の「右手で弦に触れる」行為に、「行為の場所：ブリッジ上」が記述された（☆）。これは、ギター奏法オントロジーの構築の際に補われたもので、それを参照して追加された詳細項目である。また、「音色を変える」を目的とする手続き的知識の自然ハーモニクス方式に関して、専門家AとBがギター奏法オントロジーの記述を反映させて、“撥弦する”の後に“離す”という行為の追加を行っており、これも(1)に該当する。

3・5§2節で述べた行為間の矢印の上に追記された「維持」や「ながら」という知識も、オントロジーで整理した際にの属性の関係に影響を受けたものである。機械可読性を考慮して手続き的知識よりも厳密な記述形式を持ったギター奏法オントロジーを併用することで、手続き的知識における記述形式の問題点や改良方法についての知見を得た。

(2) において、専門家Bの結果（図3.9）では、同じ方式の「撥弦する」行為に「使用指：p」が記述された（★）。これは、該当する方式のオントロジーでの定義には記述されなかったが、他の方式で記述されていたために、それを参考に追加されたものである。その他、「使用部位」や「目的音」がある。

(3) では、「効果音を出す」を目的とする手続き的知識に対して、専門家AとBによって新たに方式が追加された。専門家Aは、タンポーラ方式はもう一つの方法があるとして、タンポーラ方式2を追加した。専門家Bは、指板上を叩く方式とボディを叩く方式以外に、弦を叩く方式もあるとして、追加を行った。いずれもギター奏法オントロジーでは定義していなかった新しいギター奏法である。

上述した内容は、手続き的知識を再構築するというプロセスにおいて、オントロジーを併用した場合の効果として主張できるものといえる。今後、異なる2つの知識表現の再構築を繰り返していくことで、専門分野の知識を適切に拡張ないしは拡充していく方法論として確立できる可能性がある。

3.5.3 量的変化

再構築された手続き的知識の量的な変化を見る。表3.3に、手続き的知識の再構築の実施前と実施後における方式、行為、詳細情報の数の変化を示す。専門家3名（A, B, C）それぞれが改良した結果において、最終的に記述された知識の数をカウントした値である。詳細情報は項目の数（重複を含む）を示している。

手続き的知識の記述においては、1つの方式に対して単一あるいは複数の行為を記述し、次にそれらの行為に対して単一あるいは複数の詳細情報を記述する、という関係があるため、方式、行為、詳細情報の項目の順に数が増える傾向にある。従っ

て、「音色を変える」を目的とする手続き的知識では、実施前は詳細情報が18と最も多く、実施後も同様の傾向であった。「効果音を出す」を目的とする手続き的知識では、実施前は行為の数が25と一番多く、次いで詳細情報の項目数が24であったが、実施後には詳細情報の項目数が最も多くなったことから、行為を説明するには不十分であった知識が専門家によって補われたといえる。

また、専門家3名の変化を比較すると、全体的に増加傾向にあるが増加率にはばらつきがあった。共通していた点は、詳細情報の項目の増加率が最も大きかったことである。先述と同様に、増加率からも実施前の手続き的知識において行為の説明が不足していたことがわかった。特に専門家Bにおいては増加率が50%と大きかった。これは専門家Bが国際的に幅広く活動しており最新の情報を得やすいことや、行為を説明するための実践的な知識を豊富に持っていることが関係していると考えられる。方式においても、「効果音を出す」では他の専門家よりも増加率が大きかった。

専門家Cにおいては、専門家Bよりも大きな変化は見られなかった。再構築時の研究者とのやりとりや改良結果の図からも、元の手続き的知識をなるべく保持したまま改良しようという意向が伺えた。専門家Aは、方式、行為、詳細情報の項目すべてに対して変化が見られた。特に「効果音を出す」では、方式の追加と削除、また他の方式への再分類を行うなど、知識を俯瞰して整理していく傾向が見られた。

表 3.3: 手続き的知識の量的変化

(a) 目的：音色を変える

	実施前	実施後					
		専門家A	増加率	専門家B	増加率	専門家C	増加率
方式の数	9	10	11%	9	0%	10	11%
行為の数	15	18	20%	17	13%	16	7%
詳細情報の項目数	18	26	44%	27	50%	23	25%

(b) 目的：効果音を出す

	実施前	実施後					
		専門家A	増加率	専門家B	増加率	専門家C	増加率
方式の数	15	14	-7%	18	20%	15	0%
行為の数	25	27	8%	31	24%	28	12%
詳細情報の項目数	24	32	33%	36	50%	30	25%

以上から、質的な変化だけでなく量的な変化からも専門家による違いが見られた。本結果は、分野の専門家3名分のみの結果であるため、統計的、客観的な指標として提示するものではない。しかしながら、あらゆる角度から知識の変化を見ていくこと

で、個別の事象から他の事象にも通じる普遍的要素の抽出[61]が期待できる。

3.5.4 アンケート調査

本提案方法の効果を検討するために専門家全員に対してアンケート調査を行った。表3.4の(a)は手続き的知識に関しての、表3.4の(b)はギター奏法オントロジーに関しての、それぞれ質問内容と評価結果である。どちらも同じ構成で、質問1は可読性について、質問2は適切性について、質問3は有用性について、それぞれ質問した。評価は、1が「そう思わない」から5が「そう思う」の5段階からの択一形式で行った。また最後に、今回の取組みや知識に対する自由記述を求めた。

両者のアンケートの結果では、すべての項目に関して“5”と“4”の割合が多く肯定的な回答が得られた。手続き的知識においては、質問1の可読性に関する質問で特に良い評価を得られ、分野の専門家にとって理解しやすい形式であったことがうかがえた。また、質問3.2“手続き的知識は、指導する際に役立つと思いますか”に対しては、全員が“5”を選択していた。手続き的知識における自由記述でも、「普段から自分がやっている奏法や知識を分析しているが、ここまで細かく考えることはないの、とても勉強になった」、「初心者に教える感覚で、自分がどうやっていたかを見直すことができた」など、手続き的知識を再構築することによって知識の理解が深まったことが示唆された。ただ一方で、「爪を使う奏法の時に、どこまで情報を入れたらいいのかわからない」、「手や爪、指の角度なども必要か」、「固有と共通の境目が難しいと感じた」などの知識の範囲に関する問題点も指摘された。今後、上記の問題解決に取り組む。

ギター奏法オントロジーにおいては、手続き的知識よりも質問2の適切性に関する回答の評価が高かった。これは記述する項目や形式が明確であったことが影響していると考えられる。また質問3.1と3.2の回答から、ギター奏法オントロジーを併用することで知識の理解が深まったり、用語の整理ができたりすることが示唆された。ただし、質問1の理解度に関しては、手続き的知識の方が高い評価であった。アンケート調査の自由記述でも、実施者全員から「手続き的知識の方が理解し易い」という回答を得た。その理由として、「プロパティの名前が分かりにくかった」、「行為プロセスの記述が見にくかった」という意見を得た。このことから、手続き的知識が分野の専門家が直感的に構築しやすい知識表現であることが示唆された。

表 3.4: アンケート結果

質問項目		分野の専門家		
		A	B	C
(a) 手続き的知識				
可読性について				
1.1	手続き的知識の概要を理解できましたか.	5	4	4
1.2	行為と方式の違いについて理解できましたか.	5	5	5
1.3	「人工ハーモニクス方式」の目的行為を理解できましたか.	5	5	5
1.4	「人工ハーモニクス方式」の行為のプロセスを理解できましたか.	5	5	5
適切性について				
2.1	目的行為は適切でしたか.	3	4	5
2.2	方式の分類は適切でしたか.	4	4	4
2.3	行為のプロセスは適切でしたか.	5	4	4
2.4	サブ情報（オレンジ枠内）の分類は適切でしたか.	4	3	4
有用性について				
3.1	手続き的知識によって、専門家同士の知識共有ができると思いますか.	4	4	5
3.2	手続き的知識は、指導する際に役に立つと思いますか.	5	5	5
3.3	手続き的知識は、行為やそのプロセスに対する意識や認識を高めるのに役に立つと思いますか.	4	5	5
3.4	手続き的知識に対して、ご自身が行っている独自の行為や付加できると思いますか.	5	3	5
(b) ギター奏法オントロジー				
質問項目		分野の専門家		
		A	B	C
可読性について				
1.1	ギター奏法オントロジーの概要を理解できましたか.	5	4	5
1.2	クラスとプロパティについて理解できましたか.	5	5	4
1.3	「人工ハーモニクス」の分類について理解できましたか.	5	5	5
1.4	「人工ハーモニクス」の行為のプロセスを理解できましたか.	5	5	4
適切性について				
2.1	上位の概念は適切でしたか.	5	4	5
2.2	奏法の分類は適切でしたか.	5	4	5
2.3	行為のプロセスの記述は適切でしたか.	4	4	5
2.4	行為以外のプロパティは適切でしたか.	4	5	5
有用性について				
3.1	ギター奏法オントロジーによって、手続き的知識の理解が深まりましたか.	4	5	4
3.2	手続き的知識の構造化において、ギター奏法オントロジーの用語が役に立ちましたか.	4	5	4
3.3	手続き的知識の方式（奏法）が、ギター奏法オントロジーで適切に分類されていましたか.	5	4	5
3.4	ギター奏法オントロジーは、ギター奏法に対する意識や認識を高めるのに役に立つと思いますか.	5	5	4

3.5.5 ギター奏法オントロジーに基づく手続き的知識の再構築の効果

3・5§2節以降の結果と考察を踏まえて、「ギター奏法オントロジーに基づく手続き的知識の再構築」の効果について整理する。

効果には2つの側面がある。1つは、「手続き的知識の再構築」自体がもたらす効果である。オントロジーの存在の有無に限らず、分野の専門家が手続き的知識を再構築することで、領域固有の知識を発見したり、専門家自身のより深い理解を促すことができる。実際に、手続き的知識の再構築時に各専門家がギターを弾いて自身の動きを確認している場面が見られた。このような振り返りのプロセスこそ、普段意識せずに使用しているギター奏法や細かな動作の再認識につながる。もう1つの側面は、オントロジーを併用することによる効果である。本研究では、ギター奏法オントロジーを見ることで、各ギター奏法における行為やその手順を構造的に理解し、手続き的知識に反映させる場面が見られた。手続き的知識の記述形式は自由度が高く理論性に欠けるため、オントロジーは知識記述の指針を提供するものとして有用である。以上から、オントロジーに基づく手続き的知識の再構築の効果として、以下の3点が挙げられる。

- ・ 領域に適した記述項目の発見
- ・ ドメインオントロジーによる知識の整備
- ・ 分野の専門家の理解促進

具体的な成果としては、1点目は、前節で述べた詳細情報の項目についてである。技能を伴う分野において、本研究で設定した手続き的知識の基本要素（目的、方式、行為）は共通であるが、詳細情報の項目は領域に依存する。従って、本研究の取組みの中でクラシックギターにおける固有の項目を得られたことは、図3.1における分野の専門家の吹出し内の「パターンの発見」に貢献していると言える。2点目は、知識の改良やアンケート結果で示したように、ギター奏法オントロジーを併用したことで、手続き的知識にそれらの用語や構造を活用できたことである。これは図3.1におけるオントロジーの専門家の吹出し内の「知識表現の基盤提供」にあたり、整合性の向上や知識処理に貢献する。3点目は、アンケート結果で示された通り、手続き的知識の再構築を通して分野の専門家の理解が深まったことである。

3.6 おわりに

本稿では、専門分野における異なる2つの知識表現を併用した知識の構築を実践し、その効果を分析した。楽器演奏領域としてクラシックギターを取り上げ、手続き的知

識とドメインオントロジーの構築，ドメインオントロジーに基づく手続き的知識の再構築という知識の構築プロセスを行った結果，以下の効果を確認した．

- 分野の専門家は，記述内容や形式を定義することで直感的に手続き的知識を構築できる．
- オントロジーの専門家は，手続き的知識に基づいて効率的にドメインオントロジーを構築できる．
- 分野の専門家は，ドメインオントロジーを併用することで知識の理解を深め，より整合性が高く知識処理可能な手続き的知識を構築できる．

手続き的知識は分野の専門家にとって有用である一方で，それのみを用いた場合にはインフォーマルな部分によって機械可読のみならず人間可読においても不十分な知識が構築されてしまう可能性がある．厳密な構造を要求するドメインオントロジーと併用する方法は，手続き的知識に対しても形式化を促し，専門分野に応じた適切な知識処理を実現できる．今回実践した知識構築プロセスが，今後多くの事例によって確立されることを期待する．

4

情報システム化による知識構築プロセスの 技術的支援

概要

本章では、第3章で実践した知識の構築を支援するために設計、開発したシステムkNeXaR (kNowledge eXplication augumenterR) について述べる。システムの要件を明確にし、開発したシステムを用いた手続き的知識の記述を通して、情報システム化による効果を確認する。

4.1 はじめに

前章の知識構築プロセスの効果検証では、手続き的知識の人間可読性が高いことが明らかとなった一方で、記述形式においては自由度が高くギター奏法オントロジーの方が適切な記述が行われていることが分かった。また前章では述べていないが、ギター奏法オントロジーに基づく手続き的知識の再構築を手書きで行ったため、研究者が清書したり手動で知識をカウントするなど、時間的、空間的なコストがかかるという問題があった。このような課題に対する解決法として、知識構築を情報システムとして実装することが挙げられる。情報システム化によって、可読性を担保しながら手続き的知識の再構築を効率的に行うことが期待できる。

そこで本研究では、知識構築プロセスを支援するために再設計、開発したシステムkNeXaR (kNowledge eXplication augumentER) について述べる。図4.1に、図3.1における本研究の位置づけを表す。桃色の菱形が、本研究でkNeXaRがカバーする内容であり、「ドメインオントロジーに基づく手続き的知識の構築」を支援する。その特徴は、オントロジーで定義した語彙を用いて手続き的知識を記述するという操作によって、語彙の統制や正確性の向上が図れる点である。システムの効果に関する調査では、3章で再構築した手続き的知識をkNeXaR上で記述し、行為記述の明示化や語彙の統制における有用性を検証する。

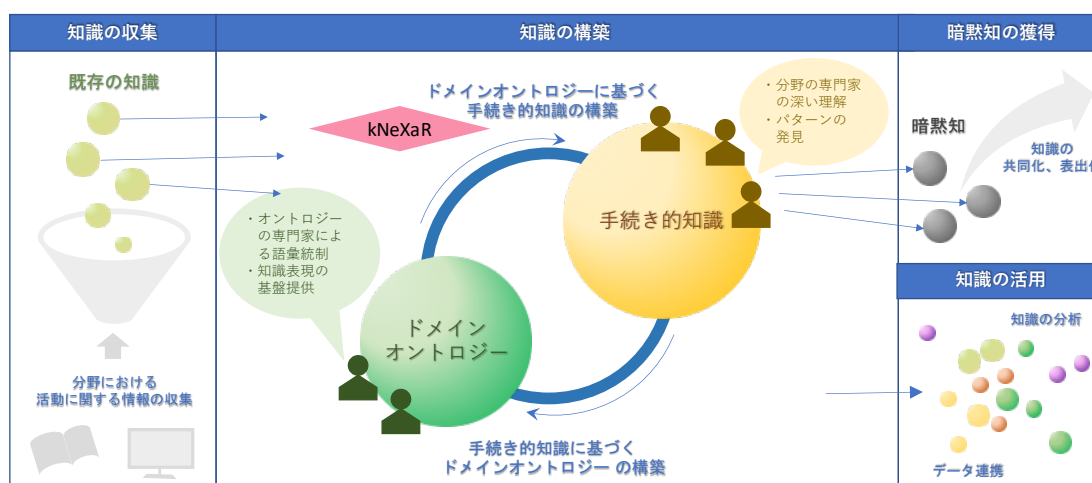


図 4.1: 本システムの役割

4.2 システムの設計

本節では、まず、知識の構築を情報システムとして支援するために要求される事項を

整理する。次に、開発したシステム kNeXaR (kNoWledge eXplication augumenteR) の概要を述べる。

4.2.1 従来の知識記述システムの応用可能性

知識発現（2・2§1節）では、介護現場でワークショップで知識発現する際に、現場の従業員を中心として知識発現を実施できるように次の2つの課題が挙げられた。(1)ワークショップの洗練：事例とプロセス知識との関連性を直感的に表現しやすいように教示を行うなどの工夫を検討する。記述される知識の距離や内容から、知識の関係性を提示する。(2)知識モデルの改良：可読性を向上させ、より想起しやすい刺激を与えたりできるような知識モデルの改良を行う。特に、知識の順序関係といった目的達成以外の観点での刺激を与える[8]。

上記の問題を解決するために、西村らは情報システム化に向けた取り組みを行った[62]。当初のシステムは、知識発現における固有プロセス知識の発現を支援することを想定して設計され、kNeXaR (kNoWledge eXplication AugmenteR) と名付けられた。この段階では、知識を構造化するために最低限の機能のみを提供していたが、入力時の推薦機能などを実装することで、知識発現の支援を目指していた。また、介護現場の特性に合わせてCHARMモデルの「方式」を排除したり、より自由度の高い記述ができるように設定されていた。しかし、直感的に書きやすい仕様を求めたために、記述する語彙の表現にばらつきがあるなどの問題が生じていた。

楽器演奏に関する知識は、現場で活躍している演奏家が熟知しており、彼らによって改良されたり新たに生み出されていることを考慮すると、簡易的に知識を共有しながら主体的に知識を構築できる枠組みが必要である。そこで本研究では、前章で実践した「オントロジーに基づく手続き的知識の再構築」をさらに一歩推し進めることを目指して、kNeXaRの再設計と開発を行う。具体的には、kNeXaRにオントロジーを導入し、オントロジーで予め定義された語彙に基づいて手続き知識を記述できるような機能を持たせることで、語彙の一貫性を図る。また手続き的知識の図的表現では、3章の記述項目を適用させて方式の入力を可能にしたり、構築する専門家に応じてデザインをカスタマイズできるようにする必要もある。以上を踏まえて、システムの要件を以下のように整理した。これらの要件を満たすシステムは、手続き的知識の再構築のみならず、機器の性能、教育、製造業へと領域を広げることができる。

1. オントロジーの語彙や構造を参照しながら手続き的知識を記述できる。
2. 専門領域に適した記述項目や形式が設定できる。
3. ユーザの好みに合わせて手続き的知識のデザインをカスタマイズできる。

4.2.2 システムの概要

前述した要件に基づいて開発したkNeXaRについて述べる。図4.2は、kNeXaRの構成要素である。kNeXaRは、オントロジー、宣言的知識、手続き的知識の3つで構成している。オントロジーはWebオントロジー言語であるOWLで管理され、Protégéなどのオントロジーエディタを用いて構築されたオントロジーを容易に取り込むことができる。基本となる概念と属性だけでなく、SubClass下の構造も反映される。また、kNeXaR上で記述したオントロジーを他のエディタで開くことの可能である。現在、より高度な知識処理と推論を可能にするために、RDFやSPARQLなどの対応も検討している。

ここでの宣言的知識は、あらゆる種類の情報（専門知識、個人のノウハウ、ビデオなど）を追加またはリンクするためのプラットフォームである。宣言知識の編集画面では、ontologyで定義したデータを拡張する形で内容を登録する。基本的な使い方はオントロジーと同じであるが、オントロジーで登録された部分は編集不可とし、複製と下位要素の追加のみ可能である。ただし、本研究では宣言的知識は使用しない。

オントロジーと宣言的知識が唯一であるのに対して、手続き的知識は、分野の専門家、施設、コミュニティなどに応じて複数作成することができる。これによって、オントロジーで定義したベースとなる知識を共有しながら、現場固有の手続き的知識を構築することが可能となり、知識を適切に管理できる。これら3つの知識を適切に管理し、共有するために、ユーザが属するプロジェクトや施設などの設定と、編集や閲覧の権限を付与することができる。これにより、例えば、ギター指導者が持つ固有の知識やノウハウなどを保護することができる。

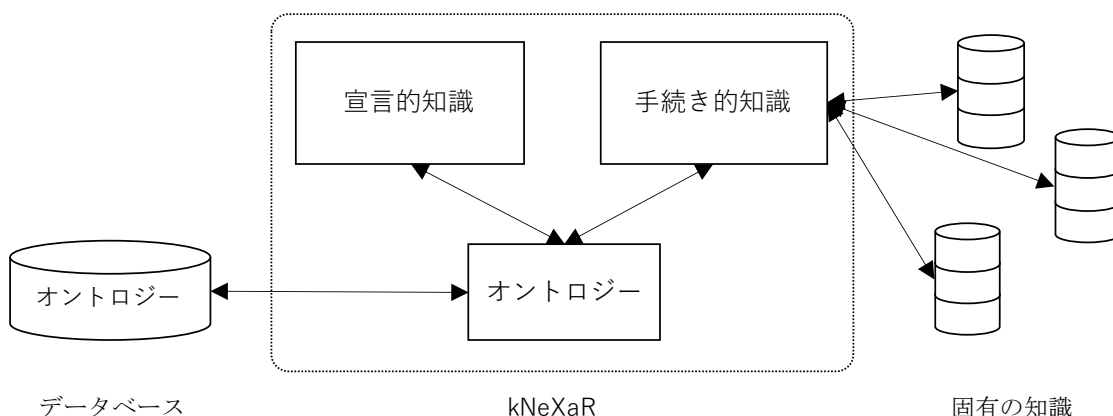


図 4.2: kNeXaRの構成要素

4.3 システムを用いた手続き的知識の記述

kNeXaRを用いた手続き的知識の記述方法と機能について概説する。

4.3.1 記述項目

図4.3に手続き的知識を記述・編集する画面を示す。kNeXaRでは、リスト形式で記述・編集する方法をとっており、「音色を変える」以下の黒色で書かれた文字は行為に関する情報を、赤色で書かれた文字は方式に関する情報を、それぞれ示す。方式は行為の階層の中間に位置するため、赤字で書かれた「分岐」の名前を変更することで設定できる。介護のように方式を用いない場合には、方式の有無を選択できるようにしている。

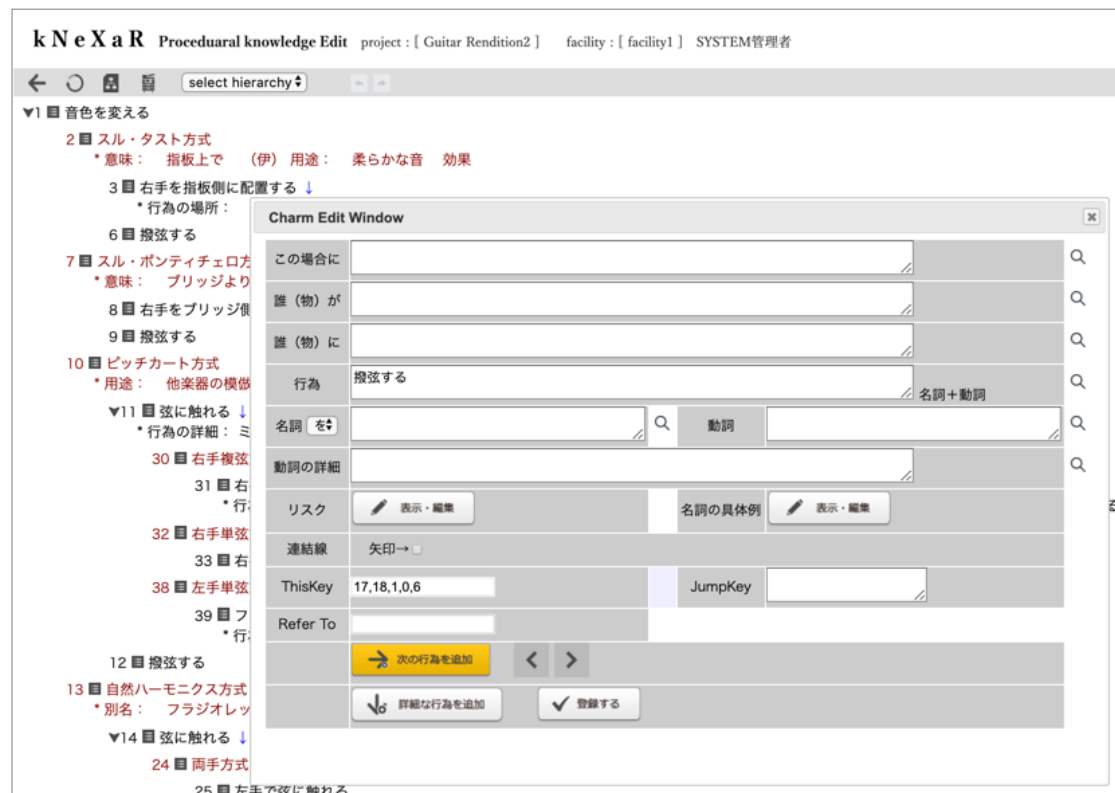


図 4.3: 手続き的知識を記述・編集する画面

kNeXaRの記述項目はCHARMに基づいているため、編集ダイアログはCharm Edit Windowと名付けている。記述項目は、次の通りである。「行為」、行為が実行される際の制約を指す「この場合に」、行為を実行する主体を指す「誰(物)が」、行為を受

ける対象を指す「誰（物）に」、行為の「名詞」と「動詞」、「名詞の具体例」、「動詞の詳細」、行為を実行する際に想定される「リスク」、その他、連結線を矢印に変更する機能や、行為と行為を紐付けるための「ThisKey」と「JumpKey」、「Refer To」を設けている。「リスク」と「名詞の具体例」は、段落を伴う長い文章の記述や、PDFやJPEGなどのデータを添付することができる。

4.3.2 オントロジーの語彙選択と知識の連携

オントロジーの語彙選択を行う操作方法を説明する。まず、ユーザはオントロジーをインポートまたは記述する。次に、ユーザはCharm Edit Window上の各項目の右側にある虫眼鏡アイコンをクリックして、Select Ontology画面に表示されたオントロジーの概念または属性を選択する。図4.4では、ギター奏法オントロジーに基づいて「行為」を記述する際に実行した一連の流れを示している。Select Ontology内の「弦を弾く（胴）」を選択すると、Charm Edit Windowの「行為」に転記され、最後に「登録」ボタンを押すと知識が記述される。

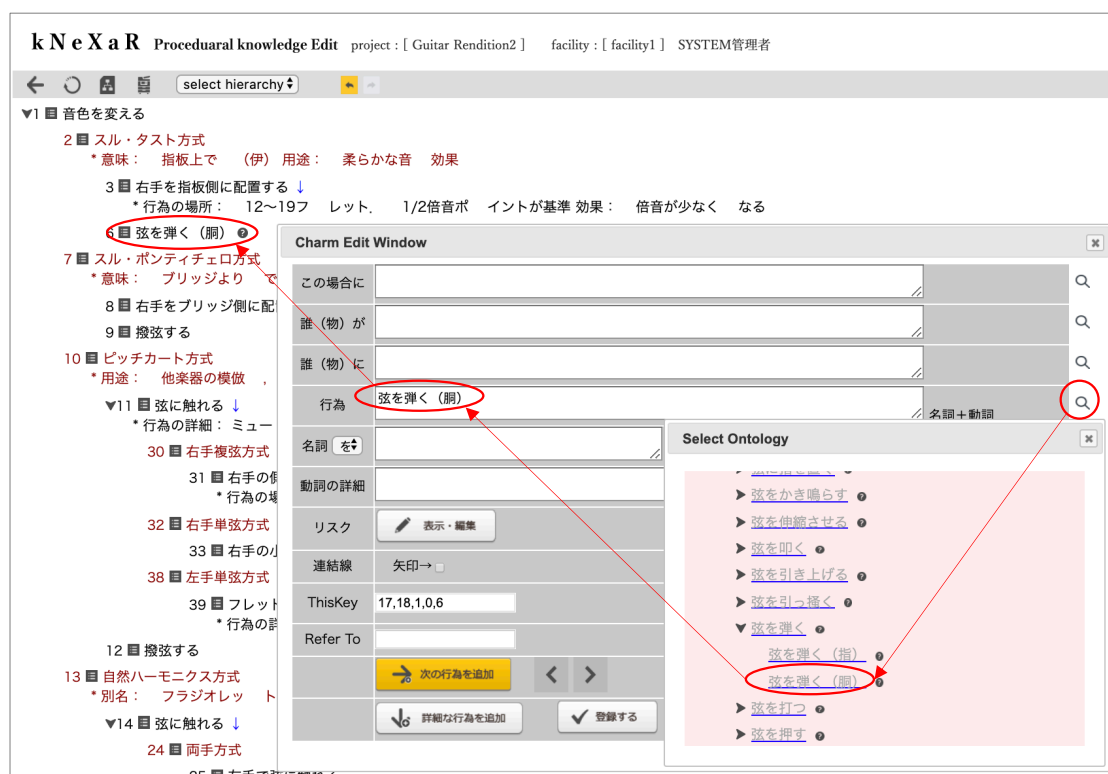


図 4.4: オントロジーの語彙を用いて手続き的知識を記述した例

以上の操作によって、語彙の一貫性を担保しながらオントロジーに基づく手続き的知識の構築を可能にし、さらには知識の連携も実現する。ただし、オントロジーで記述された語彙だけでは手続き的知識の記述を満たせない場合がある。例えば、指導者や流派によって同じ行為に対して異なる言い方、言い回しをすることがある。そのような場合は、オントロジーの語彙と紐付けた状態で表示される語彙のみを変更することができるように設計している。つまり、ユーザが理解しやすい表現を用いながら、内部で知識が連携していることになる。

また、一般にオントロジーに登録されている知識は多く、一つひとつを検索しながら登録するという操作は不便である。そこでkNeXaRでは、手続き的知識の編集時に、記述項目に応じてオントロジーの階層を制約できるように設計している。例えば、手続き的に知識の「行為」項目に対してギター奏法オントロジーの「ギター演奏者行為」という概念を指定すると、「ギター演奏者行為」の下位概念のみが表示され、効率的に語彙を選択できる。なお、既に構築されたOWLデータをインポートした場合は、「AllProperty」という機能をチェックすることで、各概念の付加情報（SubClassで記述された概念や属性）も選択肢として選ぶことができる。

そのほか、手続き的知識の記述項目において、オントロジー内の複数の知識が当てはまる可能性がある。kNeXaRは、オントロジーの語彙選択時に複数登録ができるようにしている。そして、それらがどちらにも当てはまる場合（AND）と、どちらか一方のみが当てはまる場合（OR）を設定することができる。

4.3.3 検索機能

手続き的知識から語彙を検索するための方法として、下記の3種類がある。

- ① 語句で検索
- ② ontologyを選んで検索
- ③ 連続性を考慮して検索

①では、検索を実行すると、該当した語句を含む要素が、手続き的知識における最上位の順に表示される。各要素をクリックすると、手続き的知識上で該当する箇所を示す。②では、オントロジーの要素を検索条件に指定することができる。オントロジーの上位概念を検索した場合、選択したオントロジーの下位概念も検索条件結果に出力される。③では、より詳細な検索をするために、手続き的知識における行為の順番を考慮した検索が可能となっている。

4.3.4 手続き的知識の図的表現

情報システムの使いやすさは、機能面だけではなくデザインなどの視覚情報にも依存する。kNeXaRでは、手続き的知識を記述・編集した結果を図3.3と同様に樹形図で表現する。この樹形図においては、kNeXaRのカスタマイズ機能を用いることで、ユーザやグループの好みに合わせて文字サイズ、文字色、背景色などのデザインを変更することができる。

図4.5は、前章の手続き的知識（再構築する前）をkNeXaRに転記した結果の一部である。最上部の白い四角形は目的を、赤い文字は方式（ギター奏法）を、目的以外の白い四角形は行為を、オレンジ色の四角形は詳細情報を、それぞれ表している。目的や行為に関しては、影を表示することで直感的に認識しやすい表現を可能にしている。このように、カスタマイズ機能を使うことで、各要素を分別し理解しやすくなることができる。

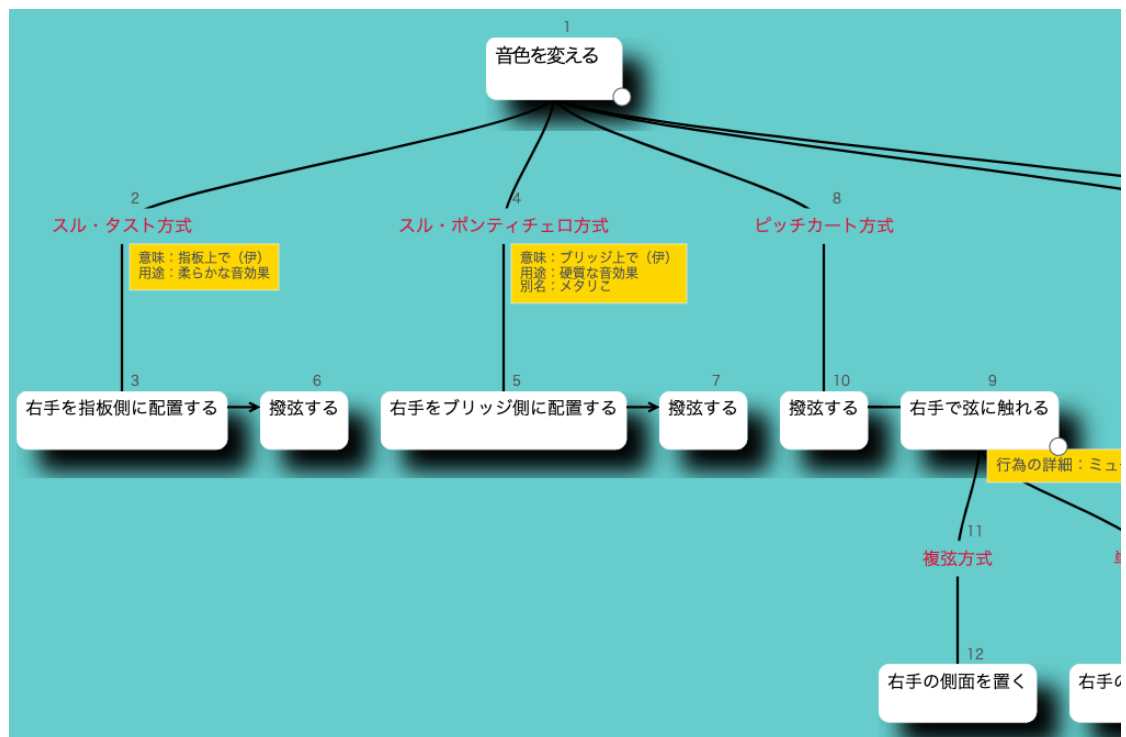


図 4.5: kNeXaRで表現された手続き的知識

4.4 情報システム化による効果

本節では、kNeXaR上で手続き的知識の記述を行い、情報システム化による効果を調査する。まず、3章で再構築した手続き的知識を対象として、kNeXaRの記述項目を活用して整理する。次に、kNeXaRのオントロジー語彙選択機能を用いて行為を記述し直し、語彙表現の前後比較を行う。

4.4.1 手続き的知識における行為関係の明示化

3.5節のオントロジーに基づく手続き的知識の再構築において、分野の専門家3名が追加・修正した結果を統合し整理した。2名以上が記述した箇所を優先的に修正し、1名の変更箇所に関してはクラシックギターを熟知している筆者が分野の専門家として取捨選択し、kNeXaR上で記述した。図4.6は、「音色を変える」を目的とする手続き的知識の全体図である。追加・修正された箇所を赤線の枠で示す。なお、ここでは比較しやすいように図3.3と類似した表現を用いている。

手続き的知識の再構築では、分野の専門家2名が行為間の矢印の上に「維持」という用語を追加した（図3.8，図3.9）。これはギター奏法オントロジーで行為を記述する際に定義した次の2つの属性に影響を受けたものである：条件行為，主行為。つまり、矢印の前の行為を「維持」した状態で（条件行為），次の行為を実行する（主行為）という関係を表している。このような記述形式に係る箇所をkNeXaR上で反映させるために、以下の方法で整理を行った。

- 各行為に対して、ギター奏法オントロジーの属性である“条件行為”，“主行為”を明記する。その際に、kNeXaRの記述項目の一つである「この場合に」の欄に記述する。
- 実行行為1，2のような行為の順序に関しては、行為同士を繋ぐ連結線の矢印の有無で区別する。矢印が有る場合のみ、次の行為に移る（例えば、実行行為1から実行行為2へ）ことを示す。

このように、kNeXaRの記述項目を活用することで、前章の手続き的知識よりも行為間の関係を明示的に記述することができた。しかし、記述された文章や単語といった語彙表現に関しては、インフォーマルな部分に課題が残る。行為に着目すると、例えばスル・タスト方式では「右手を指板側に配置する」と「撥弦する」が記述されているが、「撥弦する」ではどちらの手で実行するのかが定義されていない。自然ハーモニクス方式と人工ハーモニクス方式で追加された「触れた指を離す」については、

何から指を離すのかが明記されていない。品詞においても、～に、～で、～を、などと様々な表現が混在している。このような曖昧さは、知識処理や推論において重大な問題となるため、一貫性を持った記述が必要である。

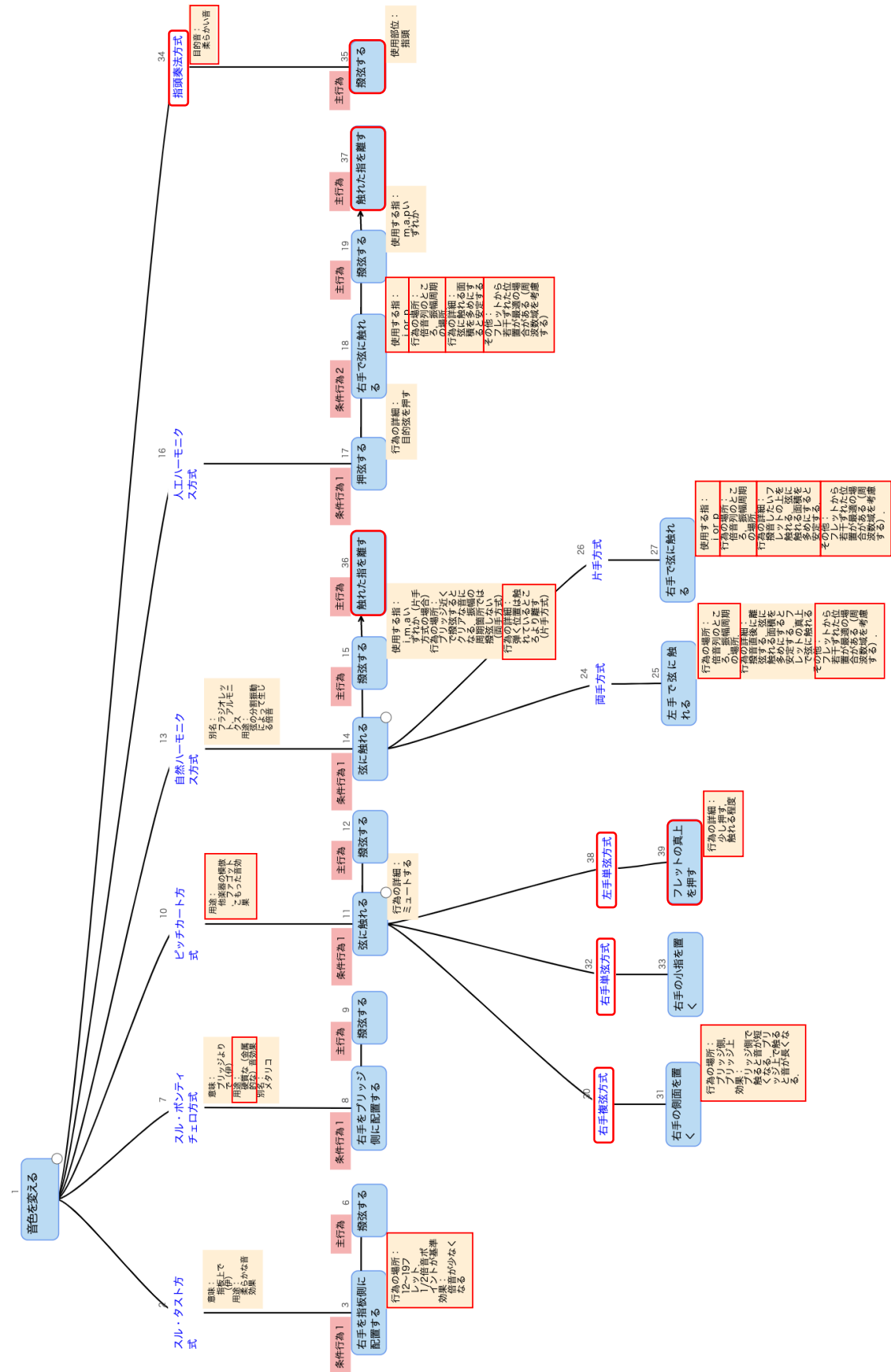


図 4.6: 整理した手続き的知識

4.4.2 オントロジーの語彙選択機能を用いた語彙の統制

前節では、手続き的知識における語彙の曖昧性が浮き彫りになった。そこでオントロジーの語彙選択機能を用いて行為の書き直しを行い、語彙の統制を図った結果、すべての行為が図4.7のように変化した。表4.1は語彙選択機能を使用する前の手続き的知識（図4.6）における行為を、表4.2はオントロジー選択機能を用いて書き直した手続き的知識（図4.7）の行為を、それぞれをカウントした結果である。19の行為があるのに対して、書き直し後は、すべての行為がギター奏法オントロジーの語彙でカバーされ、行為のバリエーションが10から8に減少した。これは行為の語彙表現にばらつきがあったが、オントロジーの語彙選択機能によって統制されたことを示唆している。

表4.3は、実際に行為の語彙表現がどのように変化したのかを比較した表である。例えば、「撥弦する」は「弦を弾く（胴）」に、「押弦する」では「弦を押す（指）」に、それぞれ変わった。ギター奏法オントロジーでは、行為を定義する際に、撥弦や押弦といった専門用語ではなく、「弦を弾く」などより一般的で理解しやすい表現を採用している。また、行為の直後に明記された（胴）と（指）は、“胴板側の指”、“指板側の指”という行為を実行する手指の情報を定義したものであり、各行為の下位階層に位置する。このように、オントロジーによって語彙表現の改良だけでなく、行為の詳細な分類も行うことができることがわかった。同様に、「左手で弦に触れる」は「弦に触る（指）」に、「右手で弦に触れる」は「弦に触る（胴）」に変わり、行為を簡潔にかつ詳細に記述できた。

複数の情報を含む行為に関しては、要素を分解して記述することができた。例えば、「右手を指板側に配置する」は、行為を示す「配置する」、使用する手指を示す「右手を」、行為の場所を示す「指板側に」、という複数の要素が混在している。そこでまず、行為を「ポジションを移動する（胴）」に変更し、手指の情報も同時に記述した。そして、詳細情報には「行為場所：指板側」と記述することで、すべての語彙をオントロジーで表現することができた。その他、「右手の側面を置く」や「右手の小指を置く」は、「弦に触れる」と同じ状態であることから、後者に表現を統一して詳細情報で補った。

以上から、kNeXaRが語彙が統制において有用であることを確認した。このことは、オントロジーに基づく手続き的知識の再構築を支援するシステムであることを示唆している。

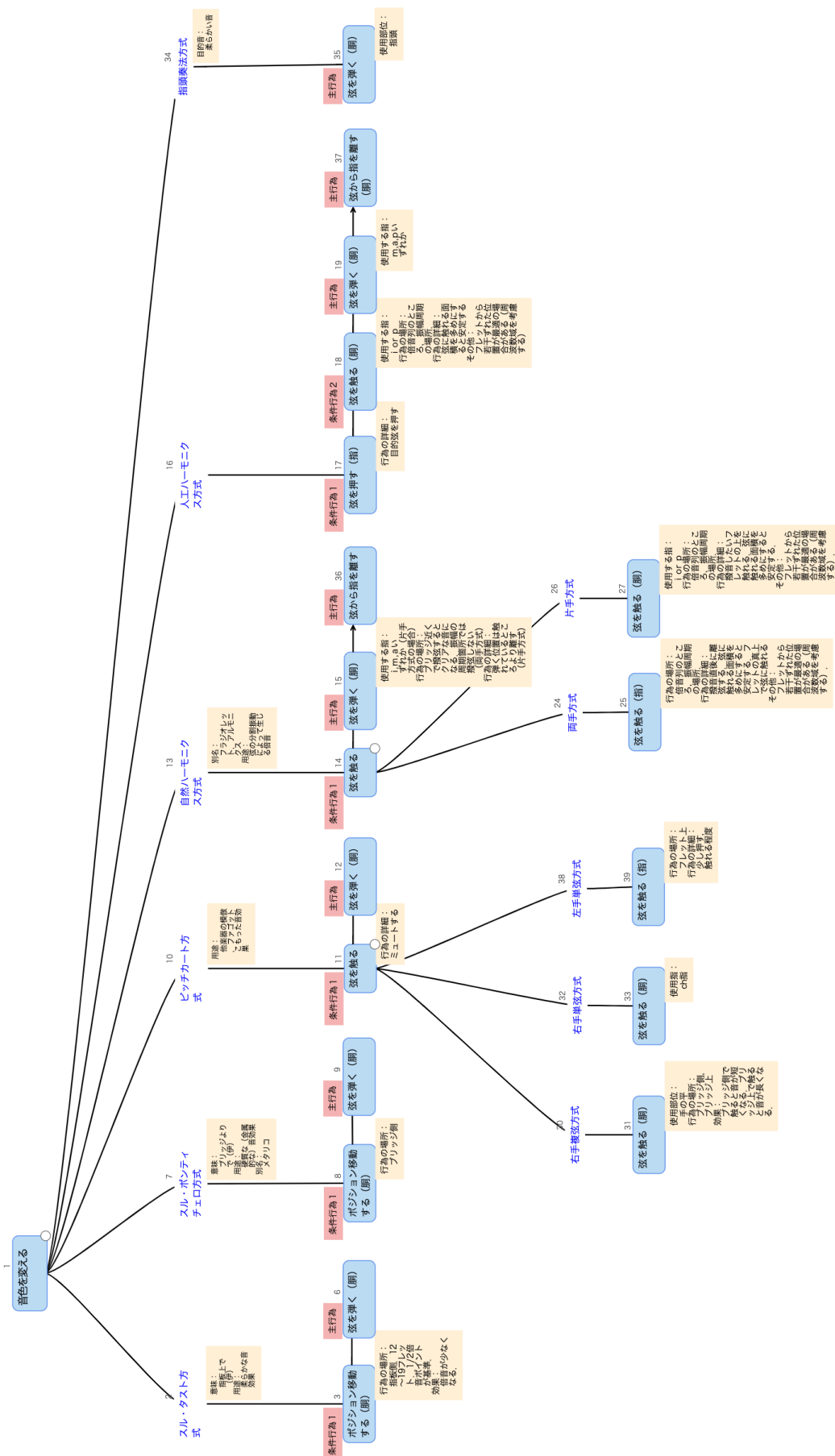


図 4.7: kNeXaRのオントロジー語彙選択機能を用いて再記述された手続き的知識

表 4.1: 図4.6における行為の一覧

行為	個数
1 フレットの真上を押す	1
2 右手で弦に触れる	2
3 右手の小指を置く	1
4 右手の側面を置く	1
5 右手をブリッジ側に配置する	1
6 右手を指板側に配置する	1
7 押弦する	1
8 弦に触れる	2
9 左手で弦に触れる	1
10 触れた指を離す	2
11 撥弦する	6
総計	19

表 4.2: 図4.7における行為の一覧

行為	個数
1 ポジション移動する (胴)	2
2 弦から指を離す	1
3 弦から指を離す (胴)	1
4 弦を押す (指)	1
5 弦に触る	2
6 弦に触る (指)	2
7 弦に触る (胴)	4
8 弦を弾く (胴)	6
総計	19

表 4.3: 行為における語彙の変化

前 行為	後	
	行為	行為の詳細情報
撥弦する	弦を弾く (胴)	
押弦する	弦を押す (指)	
右手を指板側に配置する	ポジションを移動する (胴)	行為の場所：指板側
右手をブリッジ側に配置する	ポジションを移動する (胴)	行為場所：ブリッジ側
弦に触れる	弦に触る	
左手で弦に触れる	弦に触る (指)	
右手で弦に触れる	弦に触る (胴)	
右手の側面を置く	弦に触る (胴)	使用部位：手の平
右手の小指を置く	弦に触る (胴)	使用指：ch指
フレットの真上を押す	弦に触る (胴)	行為の場所：フレット上
触れた指を離す	弦から指を離す ／弦から指を離す (胴)	

4.5 おわりに

本研究では、オントロジーに基づく手続き的知識の再構築を支援するために開発したシステムkNeXaR (kNnowledge eXplication AugmenteR)について述べた。情報システム化による効果を調べるために、まず、3章で再構築した3名分の手続き的知識をkNeXaRの記述項目を活用して整理した結果、行為の関係性を明示的に記述することができた。さらに、オントロジーの語彙選択機能を用いて手続き的知識の再記述を行った結果、語彙の統制に貢献できることを確認した。今後は、知識の連携に着目して、手続き的知識に基づくギター奏法オントロジーの再構築に取り組む。将来的には、kNeXaRとあらゆる情報を連携させて学習することを目指している。例えば、記述された知識とレッスン記録、音声データ、計測データなどのさまざまなデータを連携する。そのようなデータを構築した知識と一緒に提示することで、学習の振り返りや効率的な理解に役立つ。また、ここでの知識はデータのラベルとして有用であるため、機械学習アプローチも期待できると考える。

5

音楽構造を利用した実践的な知識の収集

概要

3章や4章で構築したギター奏法オントロジーや手続き的知識は一般化された「基礎的な知識」であり、演奏者や楽曲に対応した情報は持っていない。そこで本章では、「実践的な知識」の収集を行うために、楽曲分析から得られる音楽の構造的なデータに対して知識のアノテーションを行う方法を提案する。そして実際にアノテーションを行った結果を通して提案方法の評価と実装の可能性について考察する。

5.1 はじめに

楽器演奏は、楽譜から読み取られた動作によって引き起こされた、あるいは表出化された結果である。その結果において基礎的な知識がどの場面でどのように選択され、実践されているかを体系的に理解することは演奏技術を高める上で重要な作業である。このような楽曲あるいは演奏者固有の知識（実践的な知識）を捉える際の出発点となるのが「楽譜」であり、さらに言えば楽譜に記載されている音楽情報である。楽譜と紐付けることによって、前後を自由に参照し、曲の時間進行に関わらない実践的な知識の収集や分析が可能となる。

楽譜情報は、一般には個々の音符をはじめとして調号、拍子、小節線などを意味するが、さらにそれらを分析した高次の音楽情報というレイヤーも含まれる。高次の音楽情報には、音符情報を理論的に捉えた「音楽構造」が挙げられる。音楽構造は、音楽を組み立てている構成を詳細に分析する音楽理論に基づいて獲得される。ただし音楽理論は一通りではなく、観点や分析方法によって様々な結果を与える。中でも、音楽構造を計算機が理解できる形式で分析したり記述するのに適した音楽理論が存在しており、音楽構造をデータとして扱う（記号化している）という点で知識処理も可能となる。従って、そのような音楽理論に基づいて獲得された構造データを用いることは、知識を直接アノテートしたり音符情報と対応づけた処理や分析ができるというメリットがある。

そこで本研究では、楽譜を介して実践的な知識を収集するために、認知的音楽理論 A Generative Theory of Tonal Music (GTTM) を採用し、GTTMのタイムスパン分析から得られた木構造に対して知識のアノテーションを行う方法を提案する。実験では、クラシックギターの4曲から個別に数小節を取り上げ、2音以上で実行される知識のアノテーションを行い、音楽構造と知識の対応関係について明らかにする。

5.2 音楽構造の応用可能性

本節では、はじめに音楽の構造を分析するための音楽理論を概観し、次に本研究で用いる認知的音楽理論GTTMについて概説する。

5.2.1 音楽構造の分析理論

音楽を分析する場合、一般には伝統的な音楽学に基づく楽曲分析、その背景としての音楽理論などを念頭に置いている。音楽理論は、その歴史的経緯において、もともと作曲するための分析方法論であったと言える。作曲法も音楽理論も、書物や身体動作の模倣を通じて人から人へと伝わる知識や技芸の一種である[5]。特に楽譜は、音や動

作に関する知識を記号化，言語化し，人が直感的に理解しやすい形式で表現され蓄積され伝達されてきた画期的な発明である。

音楽の構造というと，あらゆる局面・レベルにわたる。音楽認知科学の分野では，人間が音楽を聴いた時に感じる心理的，感覚的な変化が頭の中でどのように処理・認識されているのかを追求する。文献[5]によれば，音楽分析や認知の革新は，「音楽構造の認識」であり，音楽を聴くというのは，音楽がもつ「構造」を見出す（聞き取る）作業である。他方，音楽情報処理の分野で扱われる音楽構造は，楽譜を媒体として，どういった音楽構造が存在するのか，どの程度厳密に記述・定義されているのか，計算機上の適切な知識表現形式が与えられているかなどに関心が向けられる。音楽理論に豊富に含まれている知識をプログラムとして表現し実装できれば，音楽構造を音楽認知科学の視点から客観的にとらえて処理できる可能性がある。

このような流れを汲んで，認知や情報処理の観点を取り入れて展開したのが認知的音楽理論である。代表的な認知的音楽理論には，Meyerの「暗意-実現モデル」[63]を受けて構築されたクロージャ解析理論[64]と，Schenkerの音楽分析理論を受けて構築された生成音楽理論（A Generative Theory of Tonal Music）[65]がある。本研究では，後者を取り上げて，音楽構造の階層的な分析を行う。

5.2.2 認知的音楽理論：A Generative Theory of Tonal Music

A Generative Theory of Tonal Music (GTTM) は，作曲家・音楽学者のFred Lerdahlと言語学者のRay Jackendoffによって提唱された音楽分析・認知理論の一つである。この理論の基盤は，Schenkerの音楽分析理論とChomskyの生成言語文法理論にある。GTTMの目的は，人間の音楽知覚・認知過程をもとに，上位レベルから下位レベルまで音楽を階層的な構造に分析することである[66]。旋律，拍節，和声の3つの側面から楽曲の階層的な構造を分析し，それらの関係をつリー（樹木）によって表記することができる。

GTTMによる音楽の構造分析は，以下4つのサブ理論から成る。

- (i) グルーピング構造分析
- (ii) 拍節構造分析
- (iii) タイムスパン分析
- (iv) 延長的簡約分析

グルーピング構造分析は，楽曲中の動機や楽節といった単位のグループに分節し，分節された各グループの階層構造を定める。ここでいうグループとは，時間的に隣接したいくつかの音のまとまりを指す。拍節構造分析では，各拍の乗る位置と強さを推定し，階層的に強拍と弱拍を定める。タイムスパン分析は，上記のグルーピング構造

分析と拍節構造分析を用いて各音の重要度を階層的に整理するものであり、楽曲のリズミ的な側面を重視している (図5.1). タイムスパン分析によって得られる木構造をタイムスパン木と呼ぶ. 他方, 和声的な側面から別の木構造を生成する理論として延長的簡約分析がある.

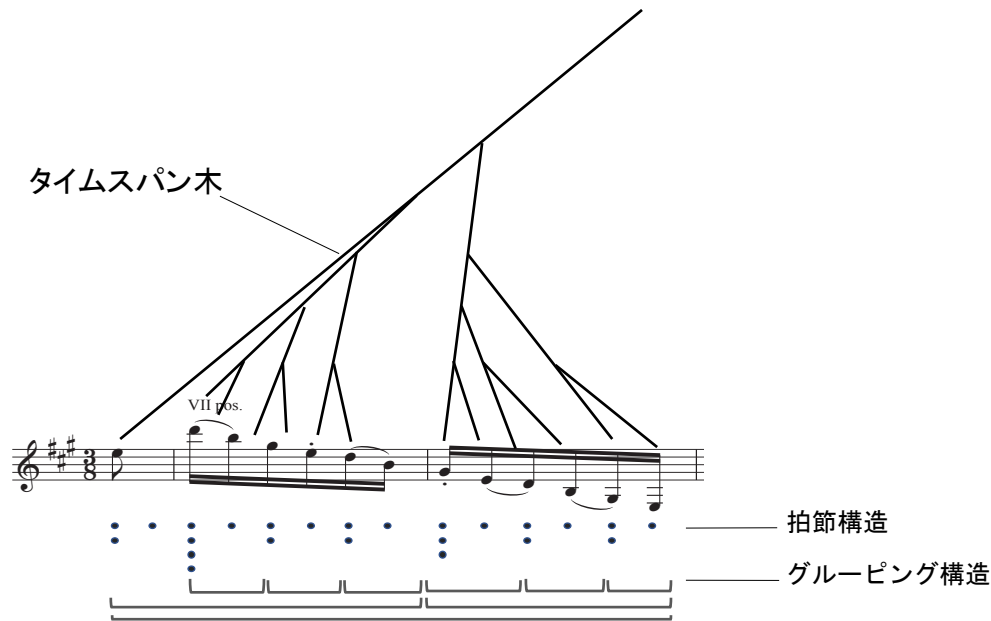


図 5.1: GTTMタイムスパン分析の概要

5.3 音楽構造に対する知識のアノテーション方法の提案

GTTMによって得られた音楽構造を利用して、楽器固有の演奏時の行為に関する知識 (以下, 知識) と楽譜情報を関連づけることができれば, 従来の楽譜以上に豊富な情報を提供できる可能性がある. また, 知識と音楽構造の組み合わせデータを機械学習的アプローチによって分析することで, 楽曲に対して自動的に奏法を付与できるシステムを構築できる可能性もある.

そこで本研究では, その第一歩として, GTTMの木構造へのアノテーション手法を提案する. 図5.2に, 知識の活用に向けた研究の全体像を示す. まず既存の教材や演奏家から知識を収集し, 知識を構築する (①). 次にGTTMの楽曲分析から得られたタイムスパン木 (②) に対して知識をアノテートする (③). これらの知識や音楽構造はすべてXML形式で管理できるため, データ連携を行う (④). 将来的には, 演奏家の持つ専門的な知識と楽譜情報を連携したシステムを構築し, 楽器学習や指導を支援することを目指す. 本研究では, 3章で構築したギター奏法オントロジーの知識を対

象として、図5.2における②と③を実践する。

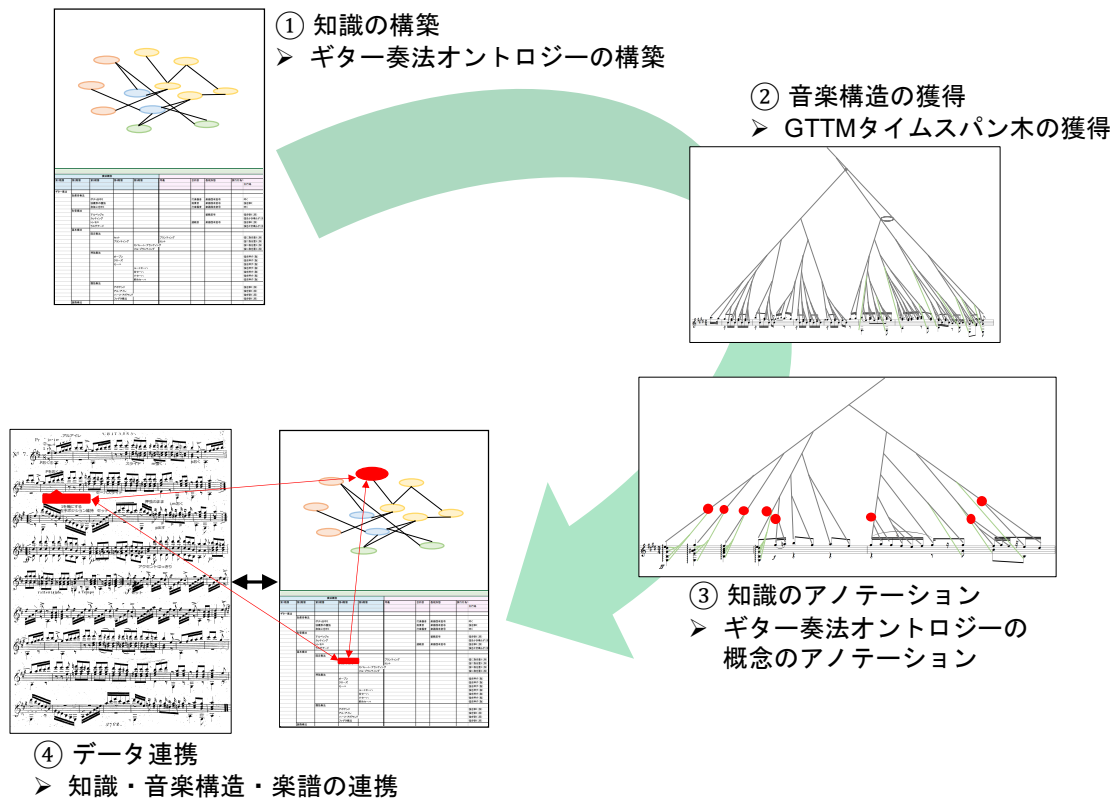


図 5.2: 知識の活用に向けた研究の全体像

まず、タイムスパン木にアノテーションを行う際のルールを定義する。

ルール1 2音以上で適用される知識で行う

ルール2 アノテートする場所は、タイムスパン木の枝の交点とする

ルール3 アノテートする場所から下に繋がる音すべてに知識が伝播する

図5.3は、アノテーションの一例を示している。スラーは、楽譜に書かれる演奏記号のひとつであり、連続する2音を滑らかに演奏することを表す。ただし、クラシックギターの場合は奏法として特殊な行為を指している。具体的にはスラーには上行スラーと下行スラーがあり、右手で弦を弾いたその後に左手指で叩いたり弾いたりし

て音を出す奏法である。このように2音で行われる知識を、枝の交点にアノテートする（ルール1と2）。「セット」とは、狙った音を確実に出すために、弦を弾く準備として事前に胴板側の指で弦を捉えておく奏法であり、プランティングとも言う[57]。図5.3の場合、ラの音とドの音から出ている枝の交点を選択することで、ミの音を含む3音にアノテートする（ルール3）。

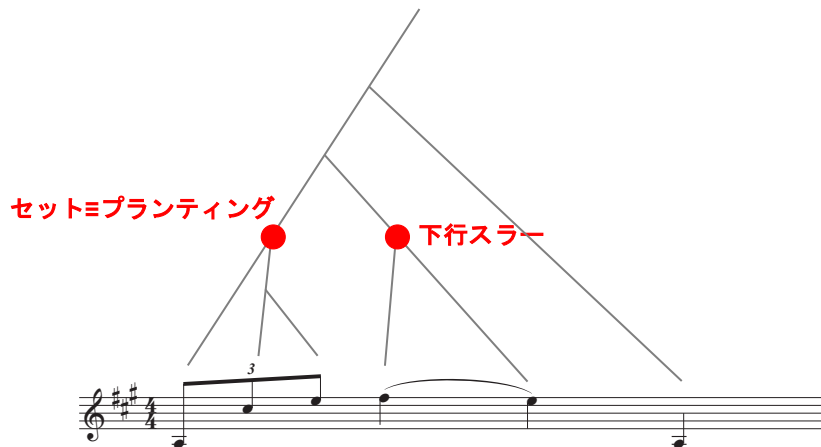


図 5.3: アノテーションの一例

5.4 クラシックギター曲のタイムスパン木の獲得

本節では、クラシックギターに適したタイムスパン木の獲得・表現方法について述べる。

5.4.1 クラシックギター曲の特徴

表5.1に、分析する楽曲と対象となる小節の数を示す。楽曲選定では、コンサートやコンクールで演奏されることの多い有名な楽曲を対象として、ギタリストである筆者が任意に選んだ。時代は、西洋音楽史における時代別の名称であり、一般的には次の4つに分類される：ルネサンスは1450年～1600年、バロックは1600年～1750年、古典・ロマン派は1750年～1900年、現代は1900年以降¹。ただし、クラシックギターでは古典・ロマン派に作曲された楽曲が基礎となっているため、本研究では、古典・ロマン派の3曲と現代の1曲を取り上げることとした。

¹[67]を参考しているが、正確には、より詳細な分類がなされており、明確な区切りはなくそれぞれの時代が重なって変化している。また、書籍や音楽学者によって分類に多少の違いがあることを留意しておきたい。

表 5.1: 各楽曲の諸情報と分析対象となる小節の数

楽曲	作曲家	時代	小節数
Caprice No.7	L. Legnani	古典・ロマン派	8
Introduction and Rondo	D. Aguado	古典・ロマン派	8
Variations on a Theme by Mozart	F. Sor	古典・ロマン派	8
Fandango from Tres piezas espanolas	J. Rodrigo	現代	3

The image shows a page of a classical guitar score for "Caprice No. 7" by L. Legnani. The piece is marked "Prestissimo" and is in 3/8 time. The score consists of eight staves of music. The first staff is the melody, and the subsequent staves are accompaniment. The score includes various guitar techniques such as "IX pos." (ninth position), "VII pos." (seventh position), and "IX pos." (ninth position). Dynamic markings include *ff*, *p*, and *f*. Tempo markings include *rall.* and *a tempo*. The score is written in G major and 3/8 time.

図 5.4: クラシックギター譜の一例 (Caprice No.7/L. Legnani)

クラシックギターはピアノに類似しており、単旋律、複旋律、和音などを一人で演奏することができる。図5.4は、分析する楽曲（Caprice No.7/L. Legnani）の一部である。このように、ギター曲の多くは単旋律ではなく、(i) 複数の声部がそれぞれの旋律的な独自性を保持していたり、(ii) 1つの声部が旋律を受け持ち、他の声部が和音を中心とした伴奏を行うという構成を成している[68]。このような音楽形態は、一般に(i)をポリフォニー（polyphony）、(ii)をホモフォニー（homophony）と呼ぶ。

しかし、GTTMは基本的に単旋律を対象としており、複旋律を扱うことは想定されていない。そこで、ポリフォニック音楽のタイムスパン木を獲得することを可能にするために考案された新たなルール[69, 70]を適用する。まずホモフォニーとして声部を分離する。このプロセスはタイムスパン簡約と呼ばれる理論に類似しており、装飾音などを省略して簡素化された旋律を取得することでタイムスパン木を獲得できる。省略された音符の枝を接続する音符は、以下のいずれかの方法で抽出する。(a) 省略された音符を含む最小時間幅のヘッド、(b) 省略された音符を含むタイムスパンと同じまたは類似の別の音声タイムスパンのヘッド。

5.4.2 タイムスパン木の表現方法

本作業は、音楽理論GTTMを熟知している作曲家が行った。まず楽曲をホモフォニーとして上声部、下声部に分離した。図5.5は、L. Legnani作曲の「Caprice No.7」の上声部のみを抽出し、単旋律のタイムスパン分析を行った結果である。図5.6では下声部の分析を加え、上声部とは別にタイムスパン木を描いた。下向きの緑線のタイムスパン木が下声部を表している。また、点線は上声部の音が下声部も担っている音を示している。

クラシックギターの特徴は、声部を明確に分けることが難しい点である。そのため、図5.7ではポリフォニック音楽のタイムスパン分析を行い、1つのタイムスパン木で表現した。前述したクラシックギターの特徴から演奏行為を考慮すると、声部分けした場合よりも統合した1つのタイムスパン木の方が知識に対応している可能性が高い。従って、本研究では図5.7による表現を用いてアノテーションを行うこととした。

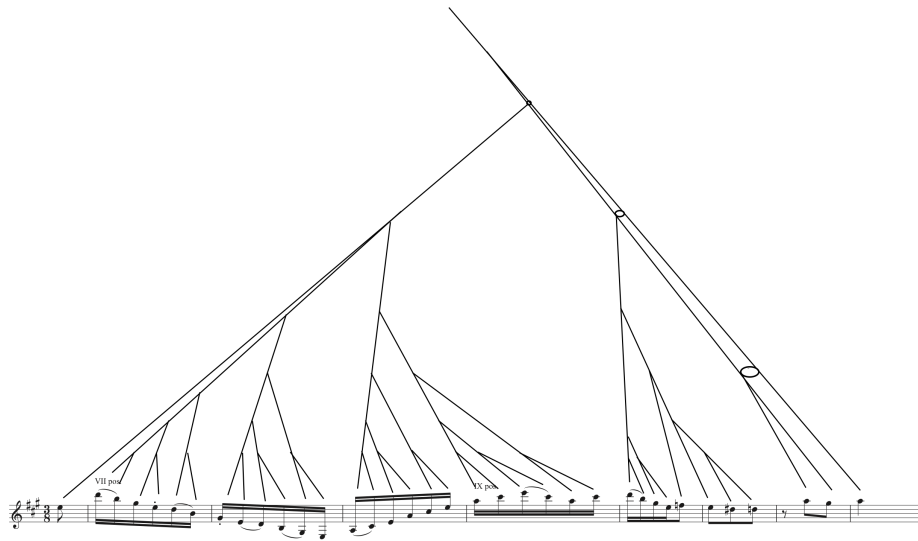


図 5.5: 単旋律のタイムスパン木

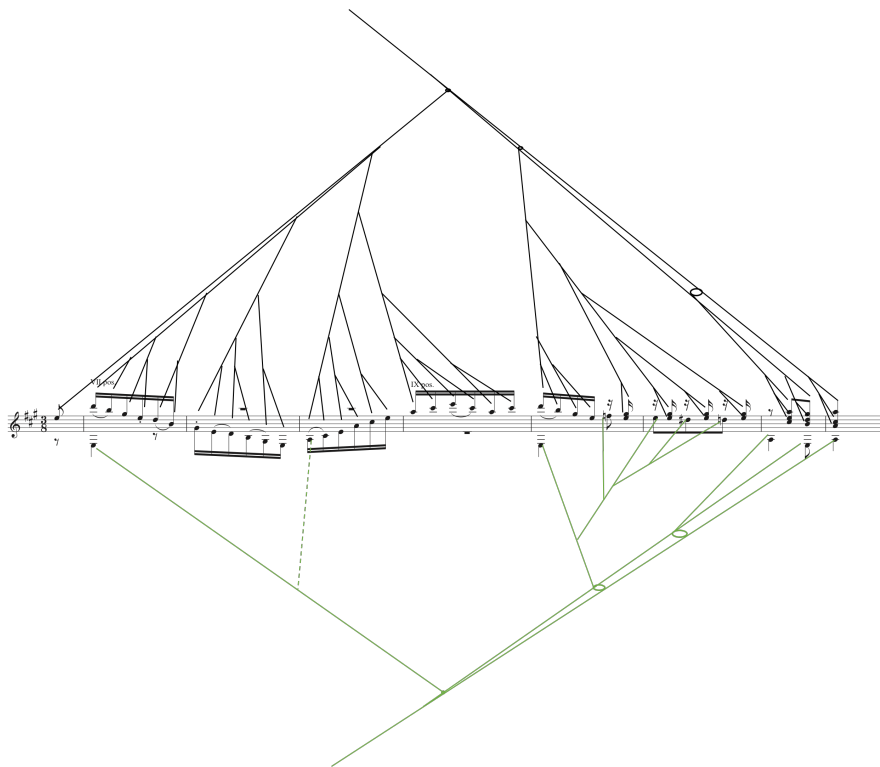


図 5.6: 声部分けした2つのタイムスパン木

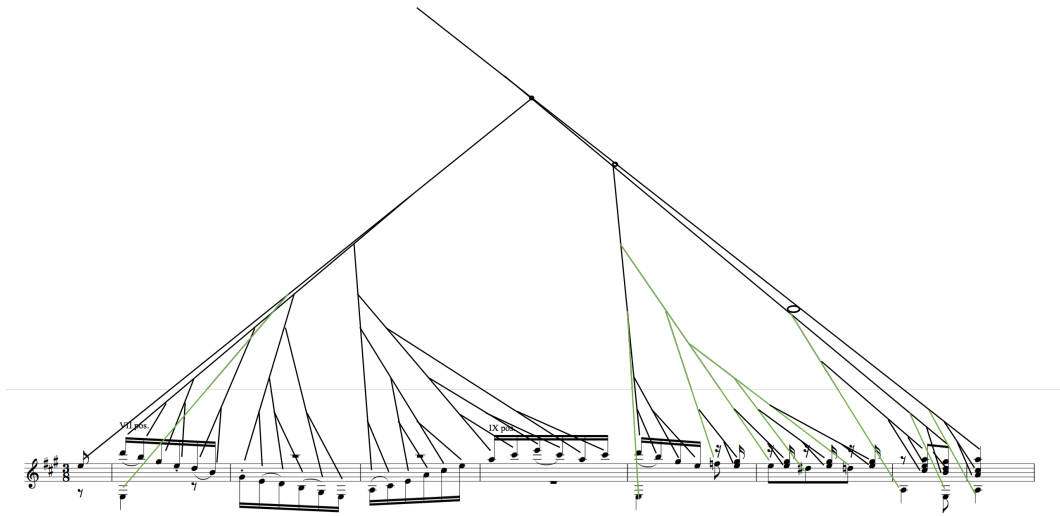


図 5.7: 声部を統合した1つのタイムスパン木

5.5 実験

本節では、前節でタイムスパン分析した4つのギター曲のタイムスパン木に対して知識のアノテーションを行い、その結果について考察する。

5.5.1 アノテーションの手順

以下の手順で知識のアノテーションを行った。なお本実験では、ギタリストである筆者の知識を取り上げた。

プロセス① 楽譜指定の知識の収集

プロセス② 運指情報の収集

プロセス③ 演奏の観察から得られた知識の収集

プロセス④ 用語の整理とタイムスパン木へのアノテーション

まず、楽譜に指定された知識を取り出した（プロセス①）。しかし実際には、演奏者が自身の音楽表現や運指によって指定されているアーティキュレーションを変更し

ていることが多い。そこでプロセス②では、演奏者の運指情報を収集した。プロセス③では、運指情報をもとに、演奏動作を観察して得られたプロセス①以外の知識を書き出した。最後に、ギター奏法オントロジーの概念（ギター奏法）と照らし合わせて用語を整理し、タイムスパン木にアノテーションを行った（プロセス④）。ギター奏法オントロジーに含まれない知識があった場合は、プロセス③の表現のままアノテーションを行った。

5.5.2 結果と考察

ポリフォニーのタイムスパン分析によって得られたクラシックギター曲のタイムスパン木に対して、知識のアノテーションを行った結果を述べる。選定した4つのギター曲から各数小節を取り出してタイムスパン分析を行い、タイムスパン木の交点に知識を付与した。図5.8から図5.11に、4曲分の結果を示す。青色の数字は運指を、五線譜の上にかかれた赤丸と文字がアノテーション箇所と知識を、五線譜の下にかかれた赤線と文字がアノテーションできなかった知識を、それぞれ示している。

すべての楽曲において、アノテーションできた知識とできなかった知識を含めて多くの知識が記述された。Caprice No.7（図5.8）では、8小節内にアノテーションできた知識が15つ、できなかった知識が6つと、合計で21つの知識を演奏者が行っていることがわかった。Variation on a Theme by Mozart（図5.10）もほぼ同様の結果で、アノテーションできた知識が14つ、できなかった知識が6つであった。Introduction and Rondo（図5.9）は、アノテーションできた知識が11つ、できなかった知識が7つとなり、できなかった知識が目立った。Fandango（図5.11）においては、3小節しかなくにもかかわらず、アノテーションできた知識が10つ、できなかった知識が2つと、全体では12つもの知識が行われていることがわかった。タイムスパン木を用いることで、楽譜情報のみでは瞬時に把握することが難しかったギター奏法や演奏時の動きを、直感的かつ体系的に捉えることができた。

ギター奏法オントロジーで定義されている概念のうち、アノテーションされた割合の高かった知識は「スラー」と「セット」であった。特に「スラー」はすべての楽曲でアノテーションされた。「スラー」はギター奏法オントロジーの音節変化奏法の一つで、図5.3のように“ \frown ”という演奏記号で表現される。胴板側の指で発音した直後に指板側の指で弦を弾いたり叩いたりする動作を行うことから、「スラー」では最初の音が強調される。しかし音楽構造においては、(a) Caprice No.7のように最初の音が主要な音として階層化される場合と、(b) Introduction and Rondoのように後続の音が重要な音として階層化される場合の2つがある。(a)は和音に含まれる主要な音を強調するもので、(b)は和音に含まれない非和音が強調されるものである。このように、クラシックギターにおいて「スラー」と音楽構造との対応は一所に定まらないことが

分かった。楽譜から自動的に奏法を推定したりアノテートするためには、記譜情報や演奏記号と照らし合わせる必要がある。

また、ギター奏法オントロジーの階層を利用することで、従来の演奏記号では区別されない詳細な知識をアノテートすることができた。例えば「スラー」は、先に述べたように1つの演奏記号で表現されるが、ギター奏法オントロジーで分類されているように、実際には「上行スラー」と下行スラー」の2通りがある。そのため、FandangoやVariation on a Theme by Mozartのように3、4音で実行される「スラー」に対しては、タイムスパン木の上位階層に「スラー」が、その下位階層に「上行スラー」が、それぞれアノテーションされた。このように、オントロジーの概念の階層関係を用いることで、従来の楽譜情報では同じ記号で表現されていた奏法を詳細に分類できることを確認した。ただし、「下行スラー」は音楽構造に対応しておらずアノテーションがつけられなかったため、アノテーション・ルールを改良する必要がある。

本実験では、演奏時の動作を分析したことで、ギター奏法オントロジーの概念に含まれない暗黙的な知識も獲得することができた。例えば、Caprice No.7では、ギター奏法オントロジーに含まれない暗黙知として「開放弦の消音」と「触れた状態でスライド」が獲得された。なお、「開放弦の消音」の具体的な動作として「p指（右手親指）裏で触れる」「3指（左手薬指）で触れる」といった詳細情報も獲得した。特徴としては、これら暗黙知の多くがアノテーションできなかつたことである。「開放弦の消音」においては、Caprice No.7では3つのうち1つ、Introduction and Rondoでは8つのうち3つしかアノテーションできず、さらに「触れた状態でスライド」においては1つもアノテーションできなかつた。「開放弦の消音」は、撥弦楽器に課されるテクニックの一つである。押弦した状態で鳴らした音は、押弦していた指を離すことで弦の振動が止まり消音されるが、開放弦の場合は弦に触れないと弦が振動したままとなり音が残ってしまう。楽譜には発音された音の処理方法については記述されていないため、演奏者が楽譜や耳から判断して対処しなければならない。つまり、この暗黙知は音の処理に関するものであり、音楽構造に対応しているケースが少ないのである。さらに「触れた状態でスライド」は、指板側の指のポジション移動を容易にするためのものであり、音楽構造とは直接関係がないため、音楽構造に対応しなかつた。

The image displays a musical score for Caprice No. 7 by L. Legnani, featuring a complex sequence of notes and slurs. The score is annotated with various technical instructions in Japanese:

- 触れた状態でスライド** (Slide in contact): Annotated at the beginning of the piece and at the start of the IX pos. section.
- 開放弦の消音** (Mute open string):
 - 2指(左手中指)で触れる (Touch with 2nd finger, left middle finger)
 - 3指(左手薬指)で触れる (Touch with 3rd finger, left ring finger)
 - 1指(右手親指)裏で触れる (Touch with back of 1st finger, right thumb)
- 下行スラー** (Downward slur): Multiple instances throughout the score.
- 上行スラー** (Upward slur): One instance in the IX pos. section.
- 小セーハ** (Pizzicato): Marked at the end of the piece.
- セット** (Set): Marked at several points, indicating specific fingerings or techniques.

The score includes two positions: VII pos. and IX pos., with corresponding fingerings (1-4) indicated for the notes. The annotations are connected to the notes by thin lines, showing the precise placement of fingers and the timing of the slurs.

☒ 5.8: Caprice No.7 / L. Legnani

The image displays a musical score for guitar, specifically the Introduction and Rondo by D. Aguado. The score is written on a single staff in treble clef with a 2/4 time signature. The music is characterized by a series of sixteenth-note patterns. The score is annotated with various techniques in Japanese:

- 上行スラー (Up-bow Slur):** Indicated by red dots and lines above the notes, showing upward slurs.
- 下行スラー (Down-bow Slur):** Indicated by red dots and lines below the notes, showing downward slurs.
- 開放弦の消音 (Silencing of Open Strings):** Indicated by red dots and lines pointing to specific notes, showing techniques to silence open strings.
- セツト (Set):** Indicated by red lines pointing to specific notes, likely referring to string settings or specific fingerings.

The annotations are placed throughout the score, highlighting specific technical elements of the piece. The score itself shows a sequence of notes with stems and beams, typical of a guitar introduction and rondo.

図 5.9: Introduction and Rondo / D. Aguado

The image displays a musical score for 'Variation on a Theme by Mozart' by F. Sor. The score is presented in a complex, branching format, likely representing a performance or analysis of the piece. The notation includes various musical symbols such as notes, rests, and slurs. Red annotations are used to highlight specific features: 'スラー' (slur), '下行スラー' (downward slur), '上行スラー' (upward slur), 'セット' (set), and 'ピグラート' (pigraato). The score is written in a key signature of three sharps (F#, C#, G#) and a 2/4 time signature. The branching structure suggests multiple paths or variations of the theme, with lines connecting different parts of the score to show their relationships.

図 5.10: Variation on a Theme by Mozart / F. Sor

表5.2に、楽曲ごとの知識の数とタイムスパン木との適合率を示す。“オントロジー”はギター奏法オントロジーで定義されている概念（ギター奏法），“暗黙知”は演奏動作の観察から得られたギター奏法オントロジー以外の知識，“全体”は暗黙知を含むすべての知識である。括弧内の数値は、記述された知識のうちタイムスパン木にアノテーションできた知識の数を示している。

適合率においては，“オントロジー”では平均して80.2%の知識が音楽構造に対応していた。この数値は4曲のみの結果であり統計的に有意な指標とは言えないが、コンサートやコンクールで演奏されることが多い楽曲を対象としていることから、ギター一曲の音楽構造と知識が一定程度対応していることを示したと言える。暗黙知を含む“全体”では、平均して69.6%と適合率が低くなったが、先述したように暗黙知の動作が、発音された音を処理するため、安定して指を動かすため、といった音楽構造に関係ない目的によって行われたことが要因となっている。今後、分析楽曲を増やしていく際には、アノテーション・ルールの改良やアノテーションをつける知識の制約といった対応策を講じる必要がある。

表 5.2: 各楽曲の知識の数とタイムスパン木との適合率

楽曲	オントロジー		暗黙知	全体	
	知識数	適合率		知識数	適合率
Caprice No.7	16 (14)	87.5%	5	21 (15)	71.4%
Introduction and Rondo	10 (8)	80.0%	8	18 (11)	61.1%
Variation on a Theme by Mozart	20 (14)	70.0%	0	20 (14)	70.0%
Fandango	12 (10)	83.3%	1	13 (10)	76.0%
平均値	14.5 (11.5)	80.2%	3.5	18.0 (12.5)	69.6%

5.5.3 実装への課題

本研究で提案したアノテーション方法をシステムとして実装する場合、以下4つの項目について課題が挙げられる。

1. GTTMにおける分析対象の制約： GTTMの特徴でもあるが、タイムスパン分析では音符のみを扱うために、休符時に実行される知識をアノテートできない。例えば、Caprice No.7 (図5.8) の5小節目（弱起を含む）では、実際には安定させて弦を弾くために「右手の親指（p）を置く」という動作を行っている。これも演奏者のノウハウであり記すべき知識であるが、現状では休符に対してのアノテーション方法を考慮できていない。
2. アノテーション・ルールの制約： 上記の問題を包含するが、木構造に対応しない

知識をどのようにアノテートするかが問題である。また、「スタッカート」などの1音で実行される知識もあるため、アノテーション・ルールを改良する必要がある。

3. タイムスパン木の獲得に係るコストと表現の制限： タイムスパン木は、拍節構造やグルーピング構造といった細かい分析を経て獲得されるため、時間的と労力がかかる。そこで現在開発されている自動構築システム²の使用が考えられるが、楽曲全体を通してGTTMの木構造を見ることは難しい。なぜなら、実際の楽曲は数十小節～数百小節で構成されており、木構造による表現では視覚的、認知的な面では対処しきれないからである。楽曲全体を分析した上で一部を取り出すような方法やシステムを設計しなければならない。
4. 解釈による木構造の変化： 今回のタイムスパン分析は1名の作曲家が行った。しかし、従来の音楽学における音楽理論がそうであるように、GTTMもまた分析者の解釈によって異なる結果を生む。GTTMには選好ルールというものがあり、複数の解釈ができる場合に分析者がそれを選択して木構造を作っていく。つまり、タイムスパン木は分析者に依存していることになる。文献[66]では、この点について以下のように述べている。

GTTM分析では、ある楽譜や演奏が与えられた時、一般に複数のタイムスパン木が抽出されるので、楽譜・演奏からタイムスパン木へは1:N写像³である[71]。(中略)譜面上全く同じ旋律でも、その旋律が楽曲の先頭に現れた場合と最後に現れた場合では意味が異なる場合があり、その異なる解釈は異なるタイムスパン木として表現することができる。さらに、譜面上まったく同じ旋律を複数の演奏者が互いに異なった解釈をする場合もあり、同様に異なるタイムスパン木として表現することができる(東条 2017, pp.171-172)。

楽器演奏の場合、解釈だけでなく楽器特有の表記方法も影響する。例えばクラシックギターでは、同じ旋律に対して、演奏者の「スラー」のつけ方が異なる場合、そのスラーのつけ方によって2種類のタイムスパン木が生成される。このように、タイムスパン分析をする際には、楽器固有の記譜法や奏法を熟知した者が分析すべきである。さらに言えば、自動生成されたタイムスパン木に対して、指導者や演奏者自身が独自の解釈や弾き方に応じて木構造を作成したり修正できるようなシステムの構築が求められる。

²<http://gttm.jp/gttm/analyzer/>

³写像とは、2つの集合の対応関係を表す概念。1:N写像は、2つの集合の要素が1対Nに対応していることを示す。

5.6 おわりに

本研究では、実践的な知識を収集すべく、音楽理論GTTMのタイムスパン分析から得られた木構造に対して演奏時の知識をアノテーションを行う方法を提案した。クラシックギター4曲のタイムスパン木を獲得し、2音以上で適用される知識を付与した。その結果、ギター奏法オントロジーで定義された奏法の約80%が木構造に対応していることが分かった。また、アノテートできない知識を補うために、記譜情報や演奏記号との対応づけや、アノテーション・ルールの改良が必要であることを確認した。最後に、提案方法をシステムとして実装する場合の課題について整理した。

6

ギター奏法オントロジーに基づく 実践的な知識の分析

概要

本章では、第3章で構築したギター奏法オントロジーを活用した楽曲分析について述べる。まず、楽譜情報をもとに楽曲が要求する実践的な知識の特徴や傾向を分析する。次に、それらの楽曲に対して演奏者が実際に行っている、より実践的な知識について明らかにする。

6.1 はじめに

楽器演奏において、演奏技法を正しく解釈することは重要である。上級の演奏者は、楽譜情報から音楽構造を理解した上で、それを適切に処理するための弾き方を判断し実行することができる。上級者の持つ知識やノウハウを収集することによって、効率的な弾き方や効果的な音楽表現を体系的に捉え、学習者の演奏支援に繋げることができる。

本研究では、上級者の知識やノウハウを取り出すことを目的として、ギター奏法オントロジーの概念（ギター奏法）を対象とした楽曲分析を行う。図6.1に、楽曲分析におけるギター奏法オントロジーの位置付けを示す。一般的には、楽曲分析は楽譜に書かれた楽譜情報をもとに音楽構造を分析し理解するまでをいう。しかし、実際には音楽構造の理解だけでは不十分であり、演奏する際の適切な処理方法も含めて理解する必要がある。そこで本研究では、ギター奏法オントロジーを用いて楽譜情報と奏法を対応づけ、演奏行為の理解を図る。具体的には、ギターコンクールで選曲率の高い楽曲を取り上げて、楽曲が要求する奏法の時代別傾向や、上級者が行う奏法の特徴について調査し、楽曲や演奏者の個性をギター奏法オントロジーから明らかにする。

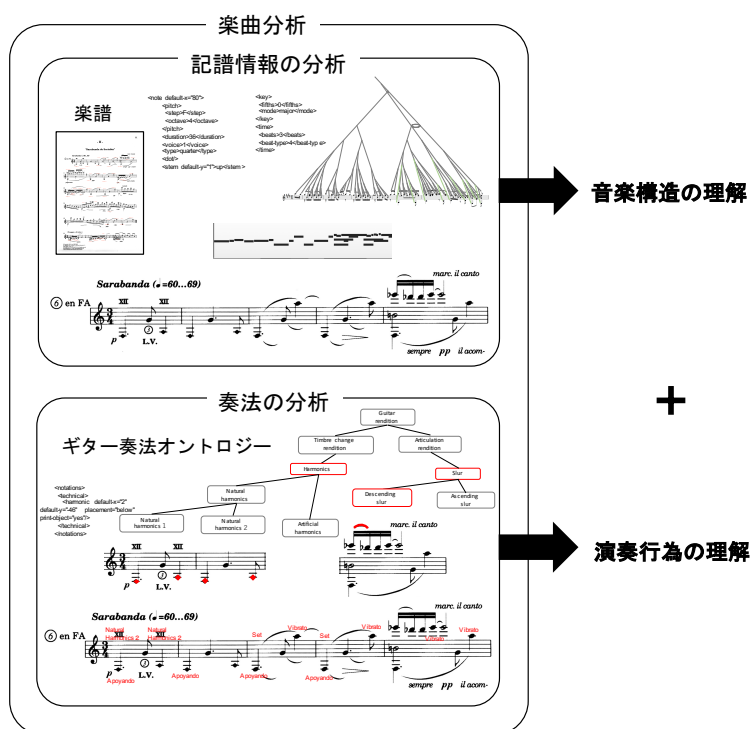


図 6.1: ギター奏法オントロジーの概念を活用した楽曲分析

6.2 ギター奏法オントロジーの概念に基づく楽曲分析

第3章で構築したオントロジーは日本語版のver.2.2であった。筆者らは、これまでの研究を通して得られた不足情報や間違いを修正し、日本語版の2.3を公開している¹。本研究では、ギター奏法オントロジーの日本語版のver.2.3を対象として分析を行った。

6.2.1 分析する楽曲の選定

上級者が演奏する楽曲としては、国際的なギターコンクールで使用される楽曲が考えられる。筆者の先行研究では、東京国際ギターコンクールの過去13年分の選曲傾向を調べた[72]。東京国際ギターコンクールの本選では、ルネッサンス・バロック期の作品、1750年頃より1920年頃の作品、1920年頃以降の作品の3つの時代を含むプログラムが要求される。そこでまず、時代別の奏法の特徴を明らかにするために、先行研究でリストアップされた楽曲の中から、選曲回数が多い6曲を取り上げた(表6.1)。この時、前章で述べた4つの時代を考慮して選定した。次に、上級者の奏法の特徴を調査するために、多くの奏法が含まれている1920年以降の現代曲からL.Brouwer作曲のSonataに焦点を当てて分析した。

表 6.1: 分析楽曲の一覧

選曲回数順位	曲名	作曲家	時代
1	Sonata	L.Brouwer	現代
2	Fantasia No.7	J.Dowland	ルネサンス
4	Invocation y Danza	J.Rodrigo	現代
5	Fantasia Hougroise	J.K.Mertz	古典・ロマン派
6	Introduction and Rondo Op.2 No.2	D.Aguado	古典・ロマン派
8	BWV998 Prelude, Fuga, Allegro	J.S.Bach	バロック

6.2.2 ギター奏法のデータ化

ギター奏法を抽出するにあたり、楽譜作成ソフト「Finale」を使用して、楽譜データの読み込みと奏法の記述を行った。データ化の手順を以下に示す。

¹<https://github.com/guitar-san/Guitar-Rendition-Ontology>

1. ギター奏法オントロジーの概念の中から、楽譜に記されている全ての奏法を記述する。なお、ルネサンスとバロックの2曲は原曲がリュート作品であるため、編曲者の解釈に伴って奏法が影響を受けないように原曲に忠実な版を選定した。
2. ギターコンクールで優勝経験のある上級者にヒアリングし、(1)に対して奏法の追加や修正を行う。この時、ギター奏法オントロジーの概念を見ながら、最下位層の奏法を記述する。

(1)では、楽譜の音型または運指から判断しなければならない奏法が見られた。例えば、フェゲタは、胴板側の親指と人差し指を交互に連続して弾く奏法であり、運指が記されている場合のみ4音で1カウントとなるよう記述した。また、メタリコという金属的な音を出すという演奏記号は、一般的にスル・ポンティチェロという奏法で実現するため、用語を置き換えた。アルペジオは分散和音を示すが、ここでは、同時和音をあえてずらして演奏する場合のみ対象とした。

(2)については、分析結果に大きな偏りが出ないように、上級者が常用しているアル・アイレを除外した。アル・アイレは、弦の弾き方に関する奏法で、弦を弾いた後の指の行き先が空中であることを示す。セット（プランティング）は、予め複数の指を弦上に準備した状態から順次に弦を弾く奏法であり、ここでは3つ以上の音に対して行なった場合に記述を行った。

6.2.3 ギター奏法の抽出

楽曲データの処理が可能な形式としてMmusicXMLがある。MusicXMLは、XML形式で楽譜を表記できるフォーマットであり、様々な音楽記号に対応している。図6.2に、MusicXMLの基本的な構造を示す。measureは小節を、noteは音高や音価などの音符情報を、notationsは音符に指定される演奏記号の種類を、それぞれ示している。例えば、図6.2のnotationsでは、アーティキュレーションに関する記号（articulations）の一つとしてスタッカート（staccato）が定義されている。articulations以外には、ornamentsとtechnicalがある。本研究ではまず、notationsからギター奏法の抽出を行なった。

ただし、Finaleのnotationsで定義されている奏法は限られている。そこで、notationsとして記述できない場合は、図6.3のようにdirectionのwordsの値として記述し、用語を抽出できるようにした。ここでは、ギター奏法オントロジーの一概念であるピッチカート（pizz.）が記述されている。

```

<measure number="2" width="232">
  <note default-x="14">
    <pitch>
      <step>B</step>
      <octave>4</octave>
    </pitch>
    <duration>2</duration>
    <voice>1</voice>
    <type>quarter</type>
    <stem default-y="20.5">up</stem>
    <notations>
      <articulations>
        <staccato default-x="3" default-y="27" placement="above"/>
      </articulations>
    </notations>
  </note>

```

図 6.2: MusicXMLのデータ構造：演奏記号が定義されている奏法

```

<measure number="2" width="232">
  <direction placement="above">
    <direction-type>
      <words default-y="40" font-family="Times New Roman" relative-x="3">pizz.</words>
    </direction-type>
  </direction>
  <note default-x="14">

```

図 6.3: MusicXMLのデータ構造：追加した奏法

6.2.4 結果と考察

前節で抽出したギター奏法の分析結果について述べる。

A. 時代による奏法の変化

表6.2に、各楽曲内に出現するギター奏法別総数と平均情報量を示す。Allは、装飾奏法におけるビブラートとシュライファー以外の奏法を示す。これは、Fintasia No.7において、演奏者が任意に選択できる装飾記号が用いられていたためである。なお、平均

情報量²は、以下の式で算出した。

$$H = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (6.1)$$

抽出した奏法の傾向を見ると、1920年以降の作品では和音変化奏法、効果音奏法、音色変化奏法が増え、平均情報量も大きくなっていった。和音変化奏法のラスゲアードは、元来フラメンコギターの特長奏法であるが、クラシックギターにおいてもスペイン人作曲家の現代曲にこの奏法が登場することが多い。アルペジオは、通常、演奏者が任意で用いるが、現代曲の場合は既に多様な奏法を含んでいることから、作曲家が楽譜上で明示的に記していることが多い。音色変化奏法のハーモニクス、ピッチカート、スル・ポンティチェロ、スル・タストも、現代曲以降に明記される傾向にある。効果音奏法のバルトーク・ピッチカートは、音楽の多様化や楽器や弦の発展に伴って確立された新しい奏法である。

古典・ロマン派以前の楽曲では、Introduction and Rondo Op.2 No.2 (Rondo) の平均情報量が最も小さく、次いでBWV998 Prelude, Fuga, Allegro (BWV998) が小さかった。前者はクラシックギターの基盤が作られている古典時代に書かれた作品であり、和音、効果音、音色に関する奏法がなかったことや、技術的に難しい楽曲でスラーを多用していたことが要因となっている。後者においては、バロック期のギターが現在のものよりも小ぶりで音色や音量の多彩さを求められなかったことから、装飾奏法に偏ったために平均情報量が小さくなったと考えられる。

トレモロは、古典・ロマン派の作曲家であるフランシスコ・タレガ (Francisco Tárrega, 1852年-1909年) の「アルハンブラの思い出」という楽曲で広く知られるようになった。それ以前にも、同じ音型で記された楽曲は存在しているが、トレモロという概念がなく、その音型を主とした楽曲も作曲されていない。表6.2では、Fantasie Hougroise (Hongroise) 以降にトレモロが見られ、Invocation y Danza (Danza) では多用されていることからトレモロを主とした楽曲であることが分かる。以上から、本分析では東京国際ギターコンクールで選曲回数の多い代表的な6つの楽曲を対象とすることで、一般的に論じられている音楽の多様化について、奏法という側面から実証することができた。

ところで、楽譜に記されている奏法の種類に関しては、細かく分類されていないことが分かった。例えば、アーティキュレーション記号であるスラーは、ギター奏法オントロジーでは指先で弦を叩く上行スラー (ハンマリング・オン) と、指で弦を引っ掻く下行スラー (プリング・オフ) に分類されている。しかし、同じ記号で表現さ

²平均情報量は情報理論の1つであり、熱力学における分子の「無秩序さ」の尺度を表すエントロピーに相当する。複数の事象が均等に出現するほど値が大きくなる演算手法により得られる数値尺度である。

表 6.2: 楽曲別のギター奏法の一覧

ギター奏法オントロジーの主概念		ルネサンス		バロック		古典・ロマン派		現代	
		Fantasia	BWV998	Rondo	Hongroise	Danza	Sonata		
音節変化奏法	スラー		22	112	217	136	319		
	スライド				3				
和音変化奏法	アルペジオ					7	8		
	ラスゲアード					10			
	トレモロ				7	237	2		
撥弦奏法	フェゲタ	4							
押弦奏法	セーハ	16	15		8	36	7		
音価変化奏法	スタツカート			6	70		32		
装飾奏法	All	116							
	モルデント			1			3		
	プラルトリラー		2			3			
	シュライフアー	28							
音程変化奏法	グリッサンド			2					
効果音楽法	バルトーク・ピッチカート							5	
	ハーモニクス					82	159		
音色変化奏法	スル・ポンティチェロ(メタリコ)						16		
	スル・タスト						1		
	ピッチカート						22		
合計		164	39	226	210	511	574		
平均情報量		1.247	1.216	0.290	1.414	1.993	1.848		

れるために区別できず、前後の音符情報あるいは運指情報を考慮しなければならない。同様に、ハーモニクスやセーハも最下位層の奏法は抽出できなかった。

B. 上級の演奏者の奏法

現代曲であるL. Brouwer作曲のSonataを対象に、上級者のギター奏法を追加・修正した。表6.3は、Sonataにおける各楽章内に出現するギター奏法別総数と平均情報量の一覧である。表6.2の奏法の数と比較すると、574から1109に増加し、約2倍の奏法が抽出されたことがわかる。その理由の一つは、ギター奏法オントロジーの最下位層の概念を記述したことで、奏法を詳細に分類できたことである。具体的には、スラー、カッティング、セーハ、モルデント、ハーモニクスにおいて下位階層の概念が抽出された。図6.4は奏法のデータ化の際に明記された上級者の知識の一部である。例えば、セーハは1本の指で複数の弦を押さえる奏法であるが、押さえ方の種類が記されていない。そのため、多くの演奏者が6弦全てを押さえてしまい、効率的な指の動きを妨げていることがある。本結果からは、上級者がセーハを行う場合、6本押さえる全セーハは少なく、5本以下を押さえる小セーハを多用していることが分かった。上級者の奏法を記述することで、楽譜情報では曖昧であった部分を補うことができた。

さらに、セット（プランティング）、ビブラート、カーブセーハ、逆アル・アイレといった楽譜情報には含まれていなかったギター奏法が追加された。セット（プランティング）は、演奏者が指を安定して動かすために用いる技法であり、音色などの音楽表現には影響しないことから記譜されることはない。しかし、クラシックギター演奏において動きの安定性は必要不可欠である。上級者が記譜されない奏法をどのくらい使っているのか、どのような場面で使っているのかを知ることは、学習者にとって有用なノウハウであると考えられる。また、カーブセーハ、逆アル・アイレは、追加された奏法の中でギター奏法オントロジーにも属していない新しいギター奏法であることから、本分析方法が暗黙知の獲得にも貢献したといえる。

上級者が用いる奏法の使い方を分析したところ、音楽的な側面と技術的な側面があった。音楽的な側面では、音を強調するために、ビブラートとアポヤンドを併用していた。ビブラートは、音に揺らぎを与え、アポヤンドは弦を弾いた後に隣の弦に寄りかかることで音量を上げることができる。また、和音を強調するために、分散して音を出すアルペジオを使っていた。さらに、音を滑らかに演奏するためにスラーを使っていた。技術的な側面では、指板側の指で弦を押した状態を維持させるために、胴板側の指で倍音を出す奏法である自然ハーモニクス1を使っていた、その他、速いテンポで複数の音を演奏するためにスラーを使っていた。

表 6.3: Sonataにおける上級者の奏法の一覧

楽譜情報	演奏者情報	1楽章	2楽章	3楽章	全楽章
スラー	上行スラー	81	5	69	155
スラー	下行スラー	119	24	70	213
スライド	スライド	4			4
アルペジオ	アルペジオ	2	7		9
カッティング	カッティング 2			8	8
ラスゲアード	ラスゲアード	6		2	8
アポヤンド	アポヤンド	118	45	18	181
フェゲタ	フェゲタ	10		35	45
	逆アル・アイレ			7	7
セーハ	全セーハ	5		3	8
	カーブセーハ	2			2
セーハ	小セーハ	18	6	9	33
セーハ	ルート・セーハ		1		1
	セット (プランティング)	43	17	71	131
(スタッカート)	メゾ・スタッカート	4		2	6
スタッカート	スタッカート	10		20	30
モルデント	モルデント 1		3		3
	ビブラート	21	26	8	55
グリッサンド	グリッサンド	2			2
バルトック・ピッチカート	バルトック・ピッチカート			5	5
ハーモニクス	自然ハーモニクス 1		1	8	9
ハーモニクス	自然ハーモニクス 2	131	16		147
ピッチカート	ピッチカート	22			22
スル・ポンティチェロ	スル・ポンティチェロ	20			20
スル・タスト	スル・タスト	5			5
合計		623	151	335	1109
平均情報量		3.219	2.969	3.108	3.460

"Preámbulo" (1990)

Lento (♩ = 56...60)

Annotations in the score:

- 小セーハ ゼット (Small Bend)
- 下行スラー FG (Downward Slur FG)
- アポヤンド 自然ハーモニクス 2 (Apoyando Natural Harmonic 2)
- meno sonoro (L.V.)
- L.V.
- 小セーハ ゼット (Small Bend)
- 5
- piu sonoro
- riten.

図 6.4: 上級者によって追加・修正された奏法

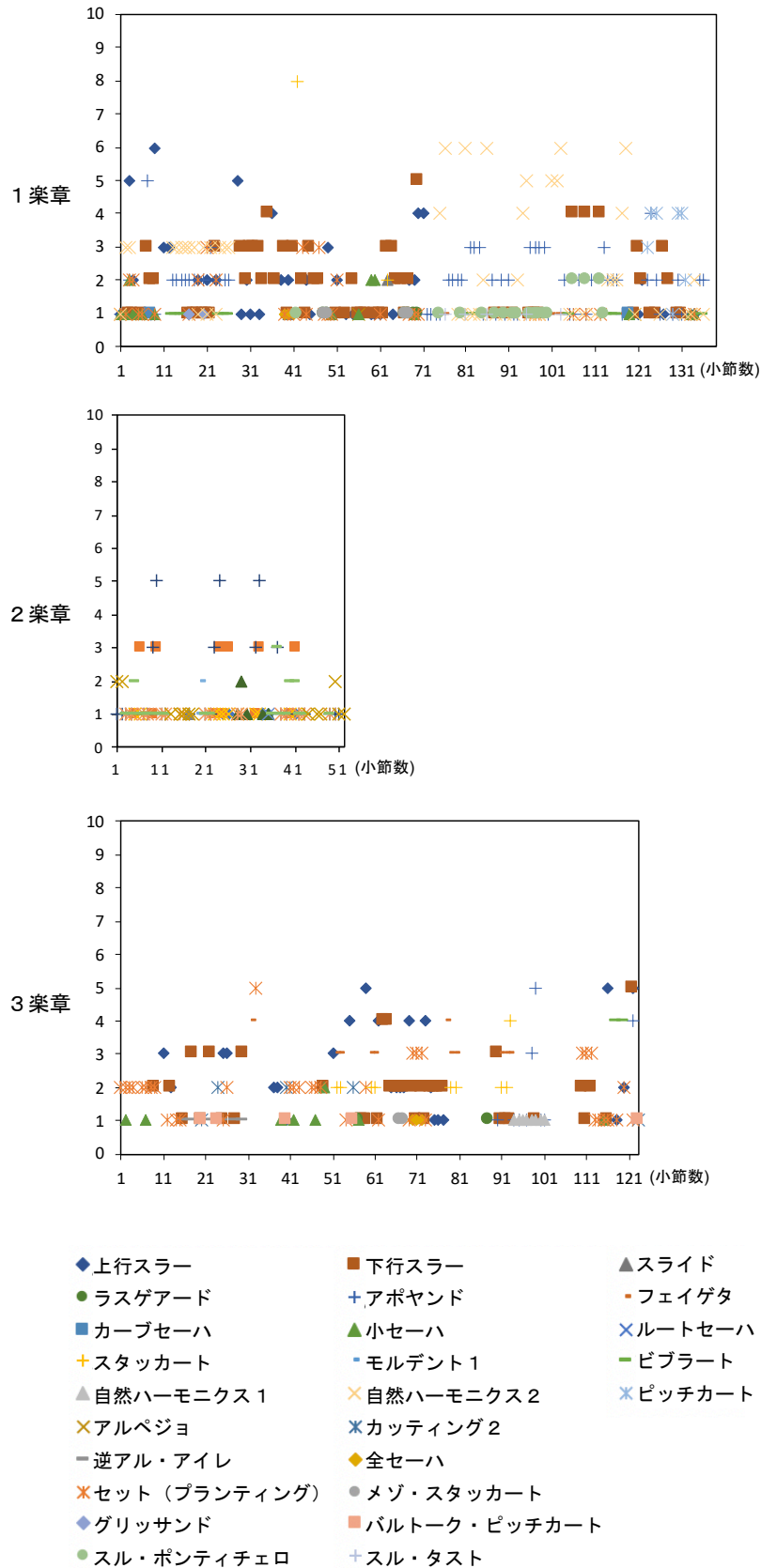


図 6.5: 各楽章の奏法の遷移

C. 難しさとの関係

図6.5は、前節で分析した楽曲における楽章ごとの奏法の変遷である。横軸は小節数を、縦軸は小節ごとの各奏法の数を示している。上級者にヒアリングしたところ、難しいと感じるのは1楽章、3楽章、2楽章の順であることがわかった。1楽章は、小節数や表6.3における奏法の数が最も多いことから、演奏者にとっての負担が大きく難しい楽章であることが示唆された。また、各楽章において難しいと感じる箇所についてヒアリングしたところ、奏法の数（縦軸）よりも種類の密度（横軸）と対応している可能性が高いことがわかった。同じ奏法が連続している場合、数は増加するが、同じ動きの繰り返しであるために難しさは低くなる傾向にある。一方、複数の奏法が密集している場合、それぞれを適切に処理しなければならないため、難しさが高くなると考えられる。ただし、苦手な奏法が連続している場合は難しさが高くなることも考慮しなければならない。

このように、上級の演奏者の実践的な知識を分析することで、楽曲の特徴だけでなく演奏の難しさの指標についても研究対象となり得ることが示唆された。しかし本節では、ギター奏法オントロジーの概念のみを対象とした分析であったため、今後は行為の構造に基づく分析によって楽曲の難しさを定量的に明らかにすることを目指す。

6.3 おわりに

本稿では、楽器演奏で使用される奏法に着目し、ギター奏法オントロジーの概念を対象とした楽曲分析を行なった。上級者のノウハウを取り出すために、国際的なギターコンクールで選曲回数の多い6曲を取り上げて、奏法の傾向やパターンについて調査した。まず、楽譜に記された奏法のみを抽出したところ、時代別に奏法が異なることが分かった。特に、1920年以降の新しい楽曲は奏法が多様化し、中でも音響的な効果を実現するための奏法が増えていた。次に、6曲うちで最も新しい楽曲に対して、上級者が実際に行なっている奏法を追加、修正したところ、約2倍の奏法を抽出した。これは、楽譜情報よりも要求される奏法が多いことを示唆している。また奏法の使い方について、音楽的な側面と技術的な側面があることが分かった。さらに、楽曲中の奏法の変遷を調べたところ、演奏者が感じる難しさが奏法の種類の多さや密度と対応している可能性があることが分かった。今後、ギター奏法オントロジーの行為の構造を活用して難しさの定義を行い、楽曲選定を支援できる枠組みを構築する。

7

結論と展望

概要

本章では，本研究を通しての成果と今後の課題をまとめ，本論文を結びとする．

7.1 結論

本論文では、知識を必要とする指導や学習に関する基盤技術を提供することを目的として、楽器演奏領域における知識の構築と活用を行った。具体的には、以下2つを大項目とした実践的な研究を行った。

研究項目① 楽器演奏における基礎的な知識の構築と手順化

他楽器よりも奏法の種類が多いクラシックギターを取り上げて、演奏時に実行される行為の明示的な記述を行った。具体的には、(i) 人間可読性の高い手続き的知識の構築と、(ii) 機械処理可能な形式を持つドメインオントロジー（ギター奏法オントロジー）の構築を行なった。上記2つの知識表現を「基礎的な知識」とし、併用しながら相互に構築を繰り返すことで、知識の最適化や暗黙知の獲得が期待できる。そこで、(iii) 演奏者兼指導者によるギター奏法オントロジーに基づく手続き的知識の再構築を行い、併用することの有用性や効果を検証した。

さらに、ギター奏法オントロジーに基づく手続き的知識の再構築を支援するためのシステムkNeXaR（kNowledge eXplication augumentedR）を開発し、手続き的知識の記述を通して情報システム化による効果を調査した。

研究項目② 基礎的な知識に基づく実践的な知識の収集と分析

演奏者や楽曲ごとに異なる「実践的な知識」を収集するために、音楽理論GTTM（Generative Theoru of Tonal Music）に基づく楽曲分析によって得られた木構造に対して理論的な知識をアノテーションする方法を提案し、音楽構造と知識の関係を調査した。次に、ギター奏法オントロジーの概念を対象とした楽曲分析を行い、楽曲に要求される知識や上級の演奏者における知識の特徴を明らかにすることを試みた。

以上の研究で得られた成果は以下である。まず、研究項目①について述べる。ギター奏法オントロジーは、クラシックギターの各奏法の実行手順を詳細に記述したものであり、オントロジー理論に基づいて複数の属性を定義し、行為の構造的な記述を実現した。手続き的知識の再構築では、オントロジーと併用することで手続き的知識の形式性が高まり、知識の理解促進に繋がることを確認した。また実施者（演奏者兼指導者）による主観評価から、本取り組みが、人間主体によって合意形成を促しながら信頼性の高い知識を構築するためのプロセスとして、有用であることが示された。知識の構築を情報システムとして実装するために開発したkNeXaRに関しては、手続き的知識の行為関係の明示化や語彙統制において有用であることを確認した。

次に、研究項目②の研究で得られた成果について述べる。知識のアノテーション

方法において、ギター作品4曲を取り上げて2音以上で実行される知識をアノテーションした結果、ギター奏法オントロジーの概念において約80%が木構造に対応していることを確認した。楽曲分析では、国際的なギターコンクールで選曲回数の多い6曲を取り上げて、奏法の傾向やパターンについて調査した結果、記譜された奏法の分析では、時代別に奏法が異なること、音響的な効果を実現するために奏法が増加していることを明らかにした。次に、6曲うちで最も新しい楽曲に対して、上級者が実際に行なっている奏法を追加・修正したところ、記譜情報の約2倍の知識を抽出した。これは、記譜情報よりも要求される奏法が多いことを示している。さらに、楽曲中の奏法の変遷を調べたところ、演奏者が感じる難しさが奏法の種類の多さや密度と対応していることを確認した。

7.2 本研究における学術的貢献

先に述べた研究項目における本論文の学術的貢献は以下である。

研究項目① 専門知識の構築における有用性の高い実践的な分析と考察

本論文の第3章では、専門分野におけるドメインオントロジーと手続き的知識を併用した知識構築プロセスを提示し、楽器演奏領域での知識構築を例として実践した内容を通して、その有用性を議論した。知識処理の分野においてオントロジーと手続き的知識を分けることは、もともとの広い意味の知識表現からオントロジーという言葉や概念そのものを作り出してくる過程で行われた一般的な方法論であり、これまでも多く議論されてきた内容であることから、新規性の高いものとはいえない。

一方で、こうした枠組みに基づいて実際に知識を構築しようとした時に、これまでに実際にどのような事例があり、どのような知見が実際に得られているのかという点については、学術的に多くの事例が整理して報告されている状況ではないため、社会的なニーズが高い。それゆえ、本研究における実践的な知識の構築プロセスとその事例についての報告は貴重であり、今後知識を構築する研究者や専門家にとって、有用性の高い学術的な内容を含んでいると考える。

また、本研究はこの論文で完結するのではなく、今後、複数の論文によって、その主張点・貢献の評価を行っていくことを想定している。つまり、ここでの知識構築プロセスは、著者らが今後確立していきたいと考える知識の共有や理解促進といった目標を達成するためのものであり、本研究の貢献は、その目標がどの程度実を結びそうかという観点についての実践的な事例報告および考察が1つの分野（クラシックギター）に対して精密に行われたという点にある。

研究項目② ギター奏法オントロジーを利用した新しい楽曲および演奏者分析の提案

本論文の第5章では、楽曲分析から得られる音楽の構造的なデータと知識との対応関係を調査し、第6章では知識に基づく楽曲分析を行った。いずれも第3章で構築したギター奏法オントロジーの知識を分析対象としており、従来の音楽学や音楽情報処理の分野では行われてこなかった演奏技術を加味した知識ベースによる楽曲や演奏者の評価を実現したという点で新規性が高い。

知識処理分野においては、非常に狭い領域でのオントロジーを扱っていることからインパクトは少ないが、ドメインオントロジーの活用方法としては、楽譜という異なる媒体と対応させるというアプローチと実践的な取り組みは新しく学術的貢献の側面を含んでいる考える。さらにこのアプローチの魅力は、奏法の自動化や楽器演奏のモデリング、それらに関連した様々なアプリケーションの開発といった、あらゆる研究テーマを想起させる点であり、学術的研究分野の発展において、多く可能性を秘めている。

以上、本論文では楽器演奏領域における知識の構築と活用の実践を行い、知識処理と音楽情報処理の分野の発展に寄与した。これらの成果は、楽器演奏領域だけに留まらず、身体動作を伴う活動全般に対しても適用可能であると考えている。実技あるいは技能といった機能的な領域の指導や学習において、知識を獲得、構築、活用していくための基盤技術の確立に貢献し得る。本研究が目指す長期的な目標は、人間の「活動」を支援することであり、本論文はその第一歩として楽器演奏に焦点を当てて多くの成果を実証したことに価値がある。今後も、楽器演奏をはじめとする人を起点とした分野に着目し、知識処理のアプローチから研究を進めていく方針である。

7.3 今後の展望

本研究の成果を受けて、今後の展望について述べる。

楽器演奏は、脳を活性化し、集中力の向上や精神の安定性に寄与することが知られている。しかし、テクニックを習得するには、対面で長時間かけて指導を受ける必要があり、時間的、空間的、金銭的なコストが高い。また、個人に応じた指導・学習方法の確立や、分野の変化に応じた深い理解を促進するためには、知識を持続的に獲得・構築・共有していく必要がある。情報工学の分野では、ナレッジマネジメントと呼ばれる知識管理・知識経営のためのモデルや枠組みが提案されているが[73]、持続的に実施する観点で不足していたり、詳細な実現方法については論じられていない。また近年では、知識を体系的に連結・表現したネットワークであるナレッジグラフ[74]への関心が高まっているが、知識を産業的な側面から利活用する研究はほとん

どない。

上述した問題の要請に応えるべく、楽器の指導・学習の支援に向けた持続可能なナレッジマネジメントの基盤構築を目指す。基盤構築により、従来の教材や指導現場では不十分であった知識を補い、適切な弾き方の理解と学習者の上達を促す。具体的には、以下3つの研究項目の達成を目指す（図7.1）。

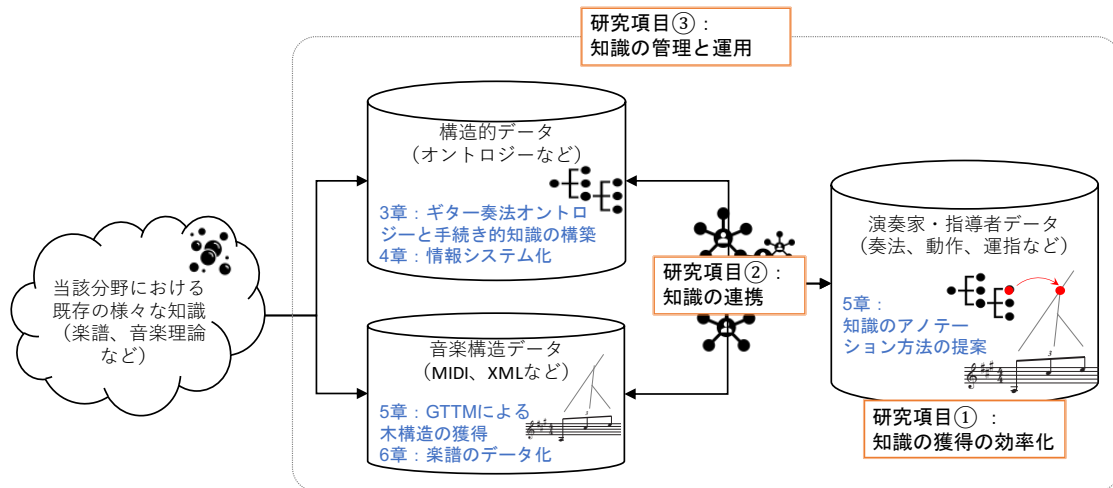


図 7.1: 概要

研究項目①知識獲得の効率化： 本論文の5章を発展させて、各楽曲に必要な奏法をアノテーションするシステムを開発し、上級の演奏者と指導者（以下、専門家と呼ぶ）を対象とした知識の獲得を行う。予め楽曲に指定されている奏法を提示した上で、個人の演奏時の動作に合わせて修正・追加する方法をとる。このような演奏の振り返り作業によって、専門家の理解を深めるだけでなく、新しい気づきを与える（暗黙知の獲得）ことを可能にする。具体的には、楽曲ごとに専門家が実行する奏法、運指、言語化した動作を選択／入力する方法を想定している。

研究項目②知識の連携： 研究項目①で得られた知識に対して、3, 4章で構築した知識や5, 6章で獲得した音楽構造データを対応づけるために、ナレッジグラフを構築する。知識ベースの連携・統合を行うことで、知識を体系的に捉えた上で専門家ごとの特徴を明らかにし、知識の適切な情報検索や可視化を可能にする。

研究項目③知識の管理と運用： 構築したナレッジグラフを管理・運用するために、既存の教材などとの比較を行い、知識の価値に対する客観的指標を明らかにす

る。そして、ここで得られた結果を踏まえてコンテンツを制作し、試用実験を通して持続可能なナレッジマネジメントの実現を目指す。

楽器演奏をはじめ、芸術文化活動には演者、聴衆、指導者、組織団体など関連するステークホルダーも多数存在しており、人間中心の社会を促進する産業として多くの可能性を秘めている。将来的には、研究項目③で制作したコンテンツを展開させて、専門家が持つ独自のノウハウや知識を価値あるものとして見出し、ナレッジグラフの技術を用いて市場化するためのシステムを設計する。このシステムによって知識を適切に継承することが可能となり、高品質で高効率な演奏指導サービスや知識販売サービスが実現できると考える。この成果は、学習者が容易に信頼性の高い知識を得られる場としても有用であり、また専門家の新しい活躍の場を提供するという点においても大きな社会貢献が期待できる。

謝辞

本研究は、多くの方々のご指導とご助力のもとに遂行することができました。以下に特にお世話になったの方々のお名前を記して感謝の意を表します。

まず、総合研究大学院大学入学からご指導を賜りました、主任指導教員である国立情報学研究所 武田英明教授に感謝いたします。武田先生は、情報学とは異なる分野で研究を行ってきた私を快く受け入れてくださいました。「知識と音楽」という挑戦的分野の研究を進め、本論文を完成させられたのも、ひとえに武田先生のご指導の賜物です。心より厚く御礼申し上げます。

本博士論文の審査委員をご快諾くださいました東京大学の大向一輝准教授、国立情報学研究所の山田誠二教授、佐藤健教授、坊農真弓准教授にも深く感謝いたします。大向先生には、研究全体の構成に対して的確なご指導をいただき、本論文を磨き上げることができました。山田先生には、研究成果の主張において不足していた明瞭性についてご指摘いただき、論文の完成度を高めることができました。佐藤先生には、挑戦的な研究に対するたくさんのご示唆をいただき、本研究を発展させることができました。坊農先生には、社会学という視点からご助言いただき、本論文のあり方や今後の応用研究について多角的に捉えることができました。

なお、本論文で取りまとめた研究は、産業技術総合研究所の西村拓一博士のご尽力により実現されたものです。西村先生には、博士課程への進学やその後の研究活動において多大なるご支援と熱心なご指導を賜りました。学術研究の道を進むきっかけを与えてくださっただけでなく、私の音楽活動にも深い理解とご支援をいただき、恵まれた環境の中で研究活動を行うことができました。心より御礼申し上げます。また、本論文の3章を進めるにあたり、知識工学やサービス工学の分野に関して数々のご指導、ご助言をいただきました。同研究所の西村悟史博士、福田賢一郎博士にも深く感謝いたします。そして、博士課程在籍中にリサーチアシスタントとしてお世話になりました。同研究所人工知能研究センター旧サービスインテリジェンス研究チームの皆様のご支援に心より感謝申し上げます。

本論文の5章は、理化学研究所の浜中雅俊博士、島田真弓氏のご指導のもと遂行することができました。浜中先生には、音楽情報処理分野における最新の研究や音楽理

論GTTMに関してだけでなく、論文執筆の基礎に関しても多くのご指導を賜りました。作曲家である島田さんには、音楽分析において詳細かつ丁寧なご助言とご示唆をいただきました。ありがとうございました。また、同研究所の三浦寛也博士との研究議論や、森由美氏のご過分な研究支援によって、研究を円滑に進めることができました。客員研究員としてお世話になりました。同研究所革新知能統合研究センター音楽情報知能チームの皆様には深く感謝いたします。

ギタリストである新井伴典氏、谷辺昌央氏、松田弦氏、谷川英勢氏、飯野健広氏には、本研究を知識の面から支えていただきました。演奏活動でご多忙にもかかわらず、私の研究に賛同し、多くの専門知識をご提供くださいました。皆様のご協力によって多くの気づきが得られ、本論文を書き上げることができました。心より感謝申し上げます。

3年間の博士課程を通して、武田研究室の諸先輩方である、オントロノミー合同会社の小出誠二博士、国立情報学研究所の朱成敏博士、Nguyen Tri Phuc博士には特にお世話になりました。小出さんと朱さんには、入学当初からオントロジーに関してご教授いただき、質を高めることができました。また、朱さんが先導して武田研究室の皆様との交流を深めてくださったおかげで、とても有意義な大学院生活を送ることができました。Phucさんは、半年先輩だったこともあり、研究生活についてたくさんのアドバイスをいただき、とても励みになりました。ありがとうございました。

冒頭にも述べましたとおり、本研究は多くの方々のご助力によって成すことができました。ここに記したのはその一部であり、お名前を記すことのできなかつた多くの皆様に感謝いたします。

最後に、ギタリスト・研究者・教育者として歩んでいきたいという大きな夢を与えてくれた父と、その思いに対して温かく見守りそして辛抱強く支えてくれた母に心から感謝します。そして、いつも明るく元気づけてくれた弟、どのような状況においても応援し続けてくれた祖父母、友人に心から感謝します。本当にありがとうございました。

本研究に関する発表

論文誌

1. 飯野なみ, 西村悟史, 西村拓一, 福田賢一郎, 武田英明: 領域オントロジーと手続き的知識を併用した知識構築の実践と分析-楽器演奏領域における知識構築の実践-, 人工知能学会論文誌, Vol.35, No.1 A, 2020.

国際会議

1. Nami Iino, Mayumi Shimada, Takuichi Nishimura, Hideaki Takeda, Masatoshi Hamanaka: Proposal of an Annotation Method for Integrating Musical Technique Knowledge using a GTTM Time-Span Tree, *25th International Conference on MultiMedia Modeling (MMM)*, pp.616-627, 2019.
2. Nami Iino, Satoshi Nishimura, Takuichi Nishimura, Ken Fukuda and Hideaki Takeda: The Guitar Rendition Ontology for Teaching and Learning Support, *2019 IEEE 13th International Conference on Semantic Computing (ICSC)*, pp.404-411, 2019.
3. Nami Iino, Hideaki Takeda, Takuichi Nishimura: An Ontology-based Development of Activity Knowledge and System Design, *9th Joint International Semantic Technology Conference (JIST)*, pp.369-384, 2019.

その他

1. 飯野なみ, 西村悟史, 西村拓一, 福田賢一郎, 武田英明: 知識共有のためのギター奏法オントロジーの構築, セマンティックウェブとオントロジー研究会, Vol.44, No.9, pp.1-6, 2018.
2. 飯野なみ, 西村悟史, 西村拓一, 福田賢一郎, 武田英明: ギター奏法オントロジーを用いた指導者間の知識共有・獲得, 2018年度人工知能学会全国大会(第32回), No.2K3-NFC-3a-02, 2018.

3. 飯野なみ, 西村悟史, 西村拓一, 鈴木美緒, 福田賢一郎, 武田英明: ギター奏法オントロジーに基づく行為プロセスの図的表現, セマンティックウェブとオントロジー研究会, Vol.45, No.5, pp.1-4, 2018.
4. 飯野なみ, 島田真弓, 西村拓一, 浜中雅俊: GTTMタイムスパン木を用いた楽器演奏知識のアノテーション手法の提案, 研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol.2018-MUS-120, No.22, pp.1-6, 2018.
5. Nami Iino, Mayumi Shimada, Takuichi Nishimura, Masatoshi Hamanaka: An Annotation Method for Integration of Instrument Performance Knowledge and Musical Structure, *19th International Society for Music Information Retrieval conference (ISMIR), Late-Breaking Demo Session*, 2018.
6. 飯野なみ, 西村悟史, 西村拓一, 福田賢一郎, 武田英明: ギター奏法の知識構築におけるオントロジーと手続き知識の併用による構造化プロセスに関する考察, セマンティックウェブとオントロジー研究会, Vol.47, No.14, pp.1-4, 2019.
7. 飯野なみ, 西村拓一, 福田賢一郎, 武田英明: ギター奏法知識におけるオントロジーと手続き的知識の併用による知識の構造化, 2019年度人工知能学会全国大会(第33回), No.1K3-J-4-01, 2019.
8. 飯野なみ, 浜中雅俊, 西村拓一, 武田英明: 演奏技法に着目した楽曲分析-ギター奏法オントロジーを活用して-, 研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol.2019-MUS-124, No.13, pp.1-6, 2019.
9. Nami Iino, Takuichi Nishimura, Hideaki Takeda: An Ontology-based Development of Activity Knowledge and System Design, 研究報告音楽情報科学 (MUS), 第3回音楽情報科学国際会議既発表セッション, Vol.2020-MUS-126, No.3, pp.1-1, 2020.

受賞

1. 第120回音楽情報科学研究会ベストプレゼンテーション賞, 2018.

参考文献

- [1] アベル・カルレバーロ: ギター演奏法の原理 新時代のための合理的なアプローチ. 現代ギター社, 2002.
- [2] Ikujiro Nonaka and Hirotaka Takeuchi: The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation, *Oxford university press*, 1995.
- [3] Michael Grüninger and Mark S. Fox: Methodology for the design and evaluation of ontological issues in knowledge sharing, *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, IJCAI-95*, 1995.
- [4] 朱成敏, 小出誠二, 武田英明, 法隆大輔, 竹崎あかね, 吉田智一: 農業ナレッジグラフの構築に関する考察による領域ナレッジグラフの構築モデルの提案, 人工知能学会研究会資料, セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-047-10, pp.1-10, 2019.
- [5] 長嶋洋一, 橋本周司, 平賀譲, 平田圭二編: コンピュータと音楽の世界-基礎からフロンティアまで-, 共立出版, 1998.
- [6] 青山和浩, 山西健司: 知識システムI: 知識の表現と学習東京大学工学教程システム工学, 丸善出版, 2018.
- [7] Navid Nezafati, Ameneh Khadivar, Ehsan Afarideh, and Seyed Mohammad Javad Jalali: A method for human driven knowledge acquisition (case study in a petrochemical company), *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp.510-514, 2007.
- [8] 西村悟史, 大谷博, 畠山直人, 長谷部希恵子, 福田賢一郎, 來村徳信, 溝口理一郎, 西村拓一: 現場主体の“知識発現”方法の提案, 人工知能学会論文誌, Vol.32, No.4, pp.C-G95_1-15, 2017.
- [9] Satoshi Nishimura, Yoshinobu Kitamura, Munehiko Sasajima, Akiko Williamson, Chikako Kinoshita, Akemi Hirao, Kanetoshi Hattori, and Riichiro Mizoguchi: Charm as activity

- model to share knowledge and transmit procedural knowledge and its application to nursing guidelines integration, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.17, No.2, pp.208–220, 2013.
- [10] 西村悟史, 笹嶋宗彦, 來村徳信, 中村明美, 高橋弘枝, 平尾明美, 服部兼敏, 溝口理一郎: 目的指向の看護手順学習に向けた複数観点からの知識閲覧システムCHARM Padと新人看護師研修への実践的活用, *人工知能学会論文誌*, Vol.30, No.1, pp.22–36, 2015.
- [11] Riichiro Mizoguchi: Knowledge acquisition and ontology, *KB&KS'93*, pp.121–128, 1993.
- [12] Robert G. Raskin and Michael J. Pan: Knowledge representation in the semantic web for earth and environmental terminology (sweet), *Computers & Geosciences*, Vol.31, No.9, pp.1119–1125, 2005.
- [13] Michael Ashburner, Catherine A. Ball, Judith A. Blake, David Botstein, Heather Butler, J. Michael Cherry, Allan P. Davis, Kara Dolinski, Selina S. Dwight, Janan T. Eppig, Midori A. Harris, David P. Hill, Laurie Issel-Tarver, Andrew Kasarskis, Suzanna Lewis, John C. Matese, Joel E. Richardson, Martin Ringwald, Gerald M. Rubin, and Gavin Sherlock: Gene ontology: Tool for the unification of biology, *Nature Genetics*, Vol.25, pp.25–29, 2000.
- [14] 朱成敏, 小出誠二, 武田英明, 法隆大輔, 竹崎あかね, 吉田智一: 記述論理に基づく農作業オントロジーの設計と応用, *人工知能学会研究会資料, セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-038-06*, pp.1–8, 2016.
- [15] Yuki Yamagata, Yoshinobu Igarashi, Noriyuki Nakatsu, and Hiroshi Yamada: Txpo: A toxic process ontology for better understanding of drug-induced liver injury, *10th International Conference on Biomedical Ontology*, 2019.
- [16] 川村隆浩, 江上周作, 田村光太郎, 外園康智, 鷓飼孝典, 小柳佑介, 西野文人, 岡嶋成司, 村上勝彦, 高松邦彦, 杉浦あおい, 白松俊, 張翔宇, 古崎晃司: 第1回ナレッジグラフ推論チャレンジ 2018開催報告-説明性のある人工知能システムを目指して-, *人工知能*, Vol.34, No.3, 2019.
- [17] Mariano Fernández-López and Asuncion Gómez-Pérez: Overview and analysis of methodologies for building ontologies, *The Knowledge Engineering Review*, Vol.17, No.2, pp.129–156, 2002.
- [18] York Sure-Vetter, Steffen Staab, and Rudi Studer: Ontology engineering methodology, *Handbook on Ontologies*, pp.135–152, 2009.

- [19] Mike Uschold and Michael Gruninger: Ontologies: Principles, methods and applications, *Knowledge Engineering Review*, Vol.11, No.2, pp.93–155, 1996.
- [20] Mari Carmen Suárez-Figueroa, Asunción Gómez-Pérez, and Mariano Fernández-López: The neon methodology for ontology engineering, *Ontology engineering in a networked world*, pp.9–34, 2012.
- [21] Andrea Westerinen and Rebecca Tauber: Ontology development by domain experts (without using the “O” word), *Applied Ontology*, Vol.12, No.3–4, pp.299–311, 2017.
- [22] Steffen Lohmann, Stefan Negru, Florian Haag, and Thomas Ertl: Visualizing ontologies with VOWL, *Semantic Web*, Vol.7, No.4, pp.399–419, 2016.
- [23] Simon Jupp, Matthew Horridge, Luigi Iannone, Julie Klein, Stuart Owen, Joost Schanstra, Katy Wolstencroft, and Robert Stevens: Populous: A tool for building owl ontologies from templates, *BMC Bioinformatics*, Vol.13, No.1, 2012.
- [24] Yoshinobu Kitamura, Yusuke Koji, and Riichiro Mizoguchi: An ontological model of device function: Industrial deployment and lessons learned, *Applied Ontology*, Vol.1, No.3–4, pp.237–262, 2006.
- [25] Tania Tudorache, Csongor Nyulas, Natasha Noy, and Mark Alan Musen: WebProtégé: A collaborative ontology editor and knowledge acquisition tool for the web, semantic web, *Semantic web*, Vol.4, No.1, pp.89–99, 2013.
- [26] Lavdim Halilaj, Niklas Petersen, Irlán Grangel-González, Christoph Lange, Sören Auer, Gökhan Coskun, and Steffen Lohmann: VoCol: An integrated environment to support version-controlled vocabulary development, *European Knowledge Acquisition Workshop*, pp.303–319, 2016.
- [27] 北原鉄朗, 永野秀尚, 亀岡弘和, 東条敏, 齋藤大輔, 深山覚, 後藤真孝, 吉井和佳, 帆足啓一郎, 竹川佳成, 伊藤貴之, 濱崎雅弘, 馬場哲晃, 水本武志, 寺島裕貴: 特集 音楽を軸に拡がる情報科学, 情報処理, Vol.57, No.6, pp.504–543, 2016.
- [28] J. Stephen Downie: Music information retrieval, *Annual Review of Information Science and Technology*, Vol.37, No.1, pp.295–340, 2003.
- [29] 山脇淳一, 工藤康生, 村井哲也: 関係性マイニングと協調フィルタリングを用いた情報推薦手法, 日本感性工学会論文誌, Vol.17, No.4, pp.481–488, 2018.
- [30] David Moffat, David Ronan, and Joshua D Reiss: An evaluation of audio feature extraction toolboxes, *International Conference on Digital Audio Effects (DAFx)*, 2016.

- [31] Nicolas Boulanger-Lewandowski, Yoshua Bengio, and Pascal Vincent: Audio chord recognition with recurrent neural networks, *14th International Society for Music Information Retrieval Conference*, pp.335–340, 2013.
- [32] Masatoshi Hamanaka: Melody slot machine: A controllable holographic virtual performer, *27th ACM International Conference on Multimedia (MM'19)*, pp.2468–2477, 2019.
- [33] Masatoshi Hamanaka, Takayuki Nakatsuka, and Shigeo Morishima: Melody slot machine, *ACM Siggraph2019 Emerging Technologies*, pp.1–2, 2019.
- [34] Yves Raimond, Samer A. Abdallah, Mark B. Sandler, and Frederick Giasson: The music ontology, *8th International Conference on Music Information Retrieval*, 2007.
- [35] Sefki Koložali, Mathieu Barthet, György Fazekas, and Mark Sandler: Knowledge representation issues in musical instrument ontology design, *12th International Society for Music Information Retrieval Conference*, pp.465–470, 2011.
- [36] Sabbir M. Rashid, David De Roure, and Deborah L. McGuinness: A music theory ontology, *1st International Workshop on Semantic Applications for Audio and Music*, pp.6–14, 2018.
- [37] Pasquale Lisena, Konstantin Todorov, Cécile Cecconi, Françoise Leresche, Isabelle Canno, Frédéric Puyrenier, and Raphaël Troncy less Martine Voisin, Thierry Le Meur: Controlled vocabularies for music metadata, *19th International Society for Music Information Retrieval Conference*, 2018.
- [38] チャールズ・ローゼン: ピアノ・ノート演奏家と聴き手のために, みすず書房, 朝倉和子訳, 2009.
- [39] Shinichi Furuya and Hiroshi Kinoshita: Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke. *Neuroscience*, Vol.156, No.2, pp.390–402, 2008.
- [40] Shinichi Furuya, Reiko Osu, and Hiroshi Kinoshita: Effective utilization of gravity during arm downswing in keystrokes by expert pianists, *Neuroscience*, Vol.164, No.2, pp.822–831, 2009.
- [41] Shinichi Furuya and Hiroshi Kinoshita: Organization of the upper limb movement for piano key-depression differs between expert pianists and novice players, *Experimental Brain Research*, Vol.185, No.4, pp.581–593, 2008.
- [42] 諏訪正樹: 身体知という研究領域, *人工知能*, Vol.32, No.2, 2017.

- [43] 古川康一, 植野研, 尾崎知伸, 神里志穂子, 川本竜史, 渋谷恒司, 白鳥成彦, 諏訪正樹, 曾我真人, 瀧寛和, 藤波努, 堀聡, 本村陽一, 森田想平: 身体知研究の潮流 –身体知の解明に向けて–, *人工知能学会論文誌*, Vol.20, No.2, pp.117–128, 2005.
- [44] 古川康一: 身体知としての弦楽器演奏のスキル, *バイオメカニズム学会誌*, Vol.30, No.1, pp.17–20, 2017.
- [45] Roger B. Dannenberg, Marta Sanchez, Annabelle Joseph, Peter Capell, Robert Joseph, and Ronald Saul: A computer-based multi-media tutor for beginning piano students, *Journal of New Music Research*, Vol.19, No.2–3, pp.155–173, 1990.
- [46] Markus Löchtefeld, Sven Gehring, Ralf Jung, and Antonio Krüger: Using mobile projection to support guitar learning, *11th international conference on Smart graphics*, Vol.6815, pp.103–114, 2011.
- [47] 上田健太郎, 竹川佳成, 平田圭二: ピアノ練習状況の可視化および気づきのアノテーション機能を持つ学習支援システムの設計と実装, *情報処理学会論文誌*, Vol.57, No.12, pp.2617–2625, 2016.
- [48] Véronique Sébastien, Didier Sébastien, and Noël Conruyt. Annotating works for music education: propositions for a musical forms and structures ontology and a musical performance ontology, *International Conference on Music Information Retrieval*, 2013.
- [49] Matthew John Yee-King, Thomas Wilmering, Maria Teresa Llano Rodriguez, Maria Krivenski, and Mark d’Inverno. Technology enhanced learning: The role of ontologies for feedback in music performance, *Frontiers in Digital Humanities*, Vol.5, No.29, 2019.
- [50] John Heritage: Epistemics in action: Action formation and territories of knowledge, *Research on Language and Social Interaction*, Vol.45, No.1, pp.1–29, 2012.
- [51] Lorenza Mondada: Instructions in the operating room: How the surgeon directs their assistant’s hands, discourse studies, *Discourse Studies*, Vol.16, No.2, pp.131–161, 2014.
- [52] 諏訪正樹, 堀浩一, 中島秀之, 松尾豊, 松原仁, 大武美保子, 藤井晴行, 阿部明典: 特集「一人称研究の勧め」, 一人称研究にまつわるQ&A, 2013.
- [53] 諏訪正樹, 鈴木宏明, 堀浩一: 一人称研究対談: 「一人称研究とはなんぞや」 上篇, 連載「一人称研究」〔第1回〕, *人工知能*, Vol.32, No.3, pp.437–447, 2017.
- [54] 諏訪正樹: 見せて魅せる研究土壌–研究者が学びあうために–, 特集「一人称研究の勧め」, *人工知能学会誌*, Vol.28, No.5, pp.695–701, 2013.

- [55] 清水唯一朗, 諏訪正樹: オーラル・ヒストリーメソッドの再検討: 発話シーケンスによる対話分析, *Keio SFC journal*, Vol.14, No.1, pp.108–132, 2014.
- [56] 現代ギター社, 特集どれを選ぶ? ギター教本, 現代ギター, No.573, pp.16–23, 2011.
- [57] 現代ギター社, ギター奏法のすべて, No.595, 2013.
- [58] Nami Iino, Satoshi Nishimura, Ken Fukuda, Kentaro Watanabe, and Takuichi Nishimura Jokinen Kristiina: Development and use of an activity model based on structured knowledge –a music teaching support system–, *5th International Workshop on the Market of Data, IEEE International Conference on Data Mining*, pp.584–589, 2017.
- [59] 笹嶋宗彦, 西村悟史, 來村徳信, ウィリアムソン彰子, 木下智香子, 服部兼敏, 溝口理一郎: 看護手順知識の習得を支援するタブレット型ツール CHARM Pad の試作, 人工知能学会研究会資料, セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-A1201-06, 2012.
- [60] Md Kamruzzaman Sarker, Adila A. Krisnadhi, and Pascal Hitzler: Owlax: A protégé plugin to support ontology axiomatization through diagramming, *Posters and Demonstrations Track co-located with 15th International Semantic Web Conference, CEUR Workshop*, Vol.1690, 2016.
- [61] 中島秀之: 客観的研究と主観的物語, 特集「一人称研究の勧め」, 人工知能学会誌, Vol.28, No.5, pp.738–744, 2013.
- [62] 西村悟史, 福田賢一郎, 西村拓一: 知識発現の現状と将来展望, 人工知能学会研究会資料, 知識・技術・技能の伝承支援研究会, Vol.31, No3, pp.1–6, 2017.
- [63] Grosvenor Cooper and Leonard B. Meyer: The Rhythmic Structure of Music, *The University of Chicago Press*, 1960.
- [64] Eugene Narmour: The analysis and Cognition of Basic Melodic Structure, *The University of Chicago Press*, 1990.
- [65] Fred Lerdahl and Ray S. Jackendoff: A Generative Theory of Tonal Music, *The MIT Press*, 1983.
- [66] 東条敏, 平田圭二: 音楽・数学・言語-情報科学が拓く音楽の地平-, 近代科学社, 2017.
- [67] J. Peter Burkholder, Donald Jay Grout, and Claude V. Palisca: A history of western music –7th edition–, W.W.Norton & Company Inc., 2006.

- [68] 金澤正剛監修: 新編音楽小辞典, 音楽之友社, 2007.
- [69] Masatoshi Hamanaka, Keiji Hirata, and Satoshi Tojo: Time-span tree analyzer for polyphonic music, *10th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research*, pp.886–893, 2013.
- [70] 平田圭二, 青柳竜也: 音楽理論GTTMに基づく多声音楽の表現手法と基本演算, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.277–286, 2002.
- [71] Alan Marsden, Keiji Hirata, and Satoshi Tojo: Towards computable procedures for deriving tree structures in music: Context dependency in GTTM and Schenkerian theory, *Sound and Music Computing Conference 2013*, pp.360–367, 2013.
- [72] 飯野なみ, 飯塚泰樹, 沖野成紀: クラシックギターコンクールにおける選曲支援のための演奏プログラムに関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3, pp.904–911, 2018.
- [73] Guus Schreiber, Hans Akkermans, Anjo Anjewierden, Robert de Hoog, Nigel Shadbolt, Walter Van de Velde, and Bob Wielinga: Knowledge Engineering and Management: the CommonKADS Methodology, *The MIT Press*, 2000.
- [74] Aidan Hogan, Eva Blomqvist, Michael Cochez, Claudia D’amato, Gerard de Melo, Claudio Gutiérrez, José Emilio Labra Gayo, Sabrina Kirrane, Sebastian Neumaier, Axel Polleres, Roberto Navigli, Axel-Cyrille Ngonga Ngomo, Sabbir M. Rashid, Anisa Rula, Lukas Schmelzeisen, Juan Sequeda, Steffen Staab, and Antoine Zimmermann: Knowledge graphs, *ArXiv*, abs/2003.02320, 2020.