

マルチエージェント・システムによるオーケストラ・シミュレーション —人と人工知能の創造的協働を目指して—

代表研究者 河瀬 諭 大阪大学 大学院人間科学研究科 招へい研究員
共同研究者 Tim Baarslag Centrum Wiskunde & Informatica Scientific Staff
Member

1 はじめに

本研究の目的は、マルチエージェント・システムによって、集団による創造的活動を行う過程を明らかにすることである。これにより、人工知能と人との創造的協働への貢献を目指す。この試みは、従来は人の得意としてきた創造性を、情報技術によって拡張することに寄与する。

本研究はとりわけ、複数の演奏家が協働して創造的活動を行う合奏に注目した。その理由と利点は、主として3点考えられる。第一に、未だ明らかになっていない、個人の創造性（演奏解釈）から集団としての創造性に至る合奏のプロセスを明らかにできる点である。既存の研究は、ソロと合奏の比較が主であり、集団の中のそれぞれの演奏者がインタラクションを経て、合奏になるという変化をとらえようとした研究は少ない。また、この個人の創造性から集団的創造性へ、というプロセスのシミュレーションは、個人のふるまいから、多人数によるアウトプットを予想する色々な日常場面への応用が可能と考えられる。それゆえ、情報技術を利用して、協働的創造性プロセスを追った。第二に、マルチエージェントが集団における交渉を検討するのに適しているにも関わらず、芸術場面でのコミュニケーションではほとんど扱われておらず、新しい知見をもたらすことが予想されたためである。合奏は、演奏家どうしが交渉を通じて、全体として良い演奏にするために、各人の演奏解釈や他の演奏者との対人葛藤を乗り越えて皆で創り上げるものである。これは、他の社会的な共同作業とも通底しているのと同時に、0.1秒のズレも許されないような緻密な協調が必要とされつつ、クリエイティブな芸術作品として仕上げなければならない合奏の特異な点でもある。その点もふまえ、マルチエージェント・シミュレーションという手法によって本研究では芸術場面での協働的創造性に挑んだ。第三に、演奏音の発音時間（や時間長）という定量的なデータとして表現されるタイミングプロファイルを扱うことで、芸術表現である音楽演奏を数量的に表現でき、工学的な応用に貢献できると期待できるためである。以上をふまえ、下記に詳細を示す。

2 研究の背景

芸術活動において創造性や独自性は重要である。音楽演奏においてもそれは同様であり、自らの解釈に基づいた、創造的で独創的な演奏が重要である。実際、ピアニストによるショパンの *Etude in E major* の演奏を対象とした研究では、多くのピアニストが独創的な演奏をしていることが示されている (Repp, 1997)。一方で、演奏家の演奏はまったくバラバラというわけではなく、共通した特徴をもっていることも知られている。前述の研究では、それぞれのピアニストの演奏の時間的変化は異なるものの、いくつかの類似したパターンに分けられることが示されている。また、同じくピアノ演奏を対象とした研究でも、異なるピアニストの演奏には様々な違いがあるものの、楽曲構造にしたがって似たような特徴もあることが示されている (Shaffer, 1995)。

合奏でも個人の演奏と同様、演奏の創造性が求められる。同じ曲を異なるオーケストラや楽団が演奏しても、その演奏はそれぞれ異なることも、これを示している。しかし、合奏には、個人の演奏とは異なる難しさがある。それは、メンバー全員で合わせることに、各演奏者の個々の（異なる）演奏解釈の間で葛藤が生じることである (Young & Colman, 1979)。前述のように、一般に、演奏家には演奏解釈が創造的、独創的であることが求められる。しかし、合奏では、全員で合わせて（協調して）演奏しなければならない。したがって、全ての演奏者が自身の演奏解釈そのまま演奏することはできない。このような演奏解釈の問題は、合奏における演奏者どうしの葛藤の引き金となる (Blank & Davidson, 2007; King, 2004)。Murnighan and Conlon (1991) は、アンサンブルがうまくいかなくなる大きな原因として、このような個性と全体の葛藤があることを示唆している。また、オーケストラにおいては、指揮者の変革型のリーダーシップはオーケスト

ラを良い演奏に導きうるものの、オーケストラ内に葛藤を生じさせることも指摘している (Boerner, & Von Streit, 2005)。

このような葛藤を解決するため、合奏では演奏者どうしのインタラクションが重要になる。河瀬 (2014) は、合奏の協調の側面に関する先行研究をレビューのなかで、演奏者どうしの言語的・非言語的インタラクションの重要性を示した。合奏において演奏者のインタラクションが重要な理由としては、インタラクションを通じて、演奏解釈や (Davidson & King, 2004)、演奏のゴール (Keller & Appel, 2010)、演奏の際に互いの手がかりとなる情報 (Ginsborg, Chaffin, & Nicholson, 2006) の共有が挙げられる。実際にプロの演奏家を対象とした研究でも、演奏家どうしのインタラクションの重要性が示されている。Murnighan and Conlon (1991) は、イギリスの弦楽四重奏団を対象に研究をおこない、成功している楽団には楽団内のコミュニケーションにおいて共通していることがあることを指摘した。具体的には、民主性やリーダーシップ、コミュニケーションに関するルールが存在などである。これらは、楽団内の葛藤がひどくなるのを防ぐ役割もあると考えられる。また、ロンドンのプロオーケストラを対象とした調査では、プロとしてやっていくために必要な要因として、自身の役割の理解や、共演者に注意を向けることが最も重要であると回答された (Dobson & Gaunt, 2015)。音楽専攻生を対象とした調査においても、演奏者の日常的な社会的スキルや、対人葛藤方略スタイル、性格などが合奏の練習での行動に影響し、最終的には合奏の評価の高さに関連することも示唆された (Kawase, 2015; Kawase, 2016)。これらの先行研究は、より良い合奏を行うためには、演奏者間のインタラクションとその内容が重要であることを示唆している。

本研究では、マルチエージェント・シミュレーションを用いて、集団的創造活動の工学的応用への可能性を示す。創造性は芸術場面のみならず、人の社会活動において重要である。特に、近年の情報技術の発達によって、人が人工知能と協働する場面が増えることが予想される。これまで創造性や芸術活動を対象とした情報技術の多くは、人工知能単独での創作活動を対象としたものが多く見られた。一方、人は日常的に協働して創造的活動を行っている。前述の合奏場面以外でも、例えば、グループで互いに意見を出し合いながら新しいアイデアや新製品、新しいプランを生み出すことなどがあげられる。しかし、人工知能と人が集団でどのように創造的活動を行うかについては、まだ課題が多く、両者のインタラクティブな協働は少ない。将来的に、人工知能が人の社会で新しいものを創造していくうえで、人と一緒になって創造的活動を行うことが重要になると考えられる。したがって、人の集団的創造活動をシミュレートすることは、人工知能技術の社会への応用にとって重要であろう。

本研究では、人どうしの協働的創造活動を工学的に実現する際にも、人と同様にインタラクションが重要と考えた。具体的には、複数のエージェントが交渉を通じて最終的な合奏を決定する方法を提案する。マルチエージェント・シミュレーションは、文字通り複数のエージェントが互いにインタラクションすることで様々なシステムをシミュレートすることができ、伝染病の拡散など人の社会的、文化的、生物学的システムなど多くの場面で応用されている (Macal & North, 2014)。したがって、複数の演奏者で構成される合奏にマルチエージェント技術を応用することには妥当性がある。さらに、芸術活動の一つである音楽は、数量的に扱える一方で、正解があるわけではなく、創造的な活動に情報技術を応用する上でもふさわしい。

そこで、本研究では、協働的な創造活動である合奏の特性を活かし、オーケストラへの応用も見据えた合奏のシミュレーションを実施した。

3 方法

3-1 実験参加者

3組のアンサンブルが実験に参加した。以下、便宜上、各アンサンブルをアンサンブルA、B、Cとする。アンサンブルAは、弦楽奏者3名で、平均年齢37.7歳。演奏楽器の構成はバイオリン、ビオラ、チェロであった。アンサンブルBは、木管五重奏で、平均年齢は33.6歳、演奏楽器の構成はフルート、オーボエ、クラリネット、ホルン、バスーンであった。アンサンブルCは弦楽四重奏で、平均年齢は23.8歳、演奏楽器の構成はバイオリン (第一バイオリン、第二バイオリン)、ビオラ、チェロであった。

3-2 素材

研究で使用した楽曲は以下の通りであった。アンサンブルAは、「ハンガリー舞曲 第5番」(Brahms, J. 作曲、126小節)、アンサンブルBは、「愛のあいさつ」(Elgar, E. 作曲、100小節)、アンサンブルCは、「String Quartet No. 2 (II)」(Borodin, A. 作曲、299小節)。これらの曲を使用した理由は、曲中に多様な時間的変

化が含まれるからである。Kawase (2014a) と Kawase (2014b) は、ピアノデュオ演奏での実験で、楽曲中の時間変化を含む箇所では演奏者どうしのインタラクションが多く起こることを報告している。本研究では、演奏者どうしのインタラクションに注目しているため、このような楽曲を用いた。

3-3 手続き

インフォームド・コンセントの後、他の演奏者がいない状況で、各演奏者のソロ演奏を収録した。その後、アンサンブル全員で同室にて練習・打ち合わせを行い、合奏を収録した。収録は全て IC レコーダで行った。ソロ演奏の収録では、IC レコーダと演奏者の距離は同一アンサンブルの全ての演奏者で同じになるよう設置した。ソロ演奏終了後と合奏終了後にインタビューを行った。

3-4 分析

収録した演奏音から、各小節の 1 拍目の音の発音時刻を手作業で計測した。計測には、演奏音を可視化できるソフトウェアを用いて、スペクトログラム等を参考にしながら計測した。1 拍目に音がない小節については、その直前の音と直後の音の発音時刻から 1 拍目の音の発音時刻を算出した。

3-5 マルチエージェント・シミュレーション

各演奏者のソロ演奏のデータを用いて、合奏をシミュレートした。各エージェントをそれぞれの演奏者とみなし、各エージェントに実際の演奏者のソロ演奏のデータを初期値として設定した。すなわち、各エージェントは、それぞれの演奏者の独自の演奏解釈と同じタイミングプロファイルを持った状態で、他のエージェントと各小節の時間長に関する交渉を開始し、最終的に合奏として曲全体の一つのタイミングプロファイルを決定した。

3-6 マルチエージェント・シミュレーションの実装

m 小節から構成される曲を n 人のエージェントが合奏する場合を考える。それぞれのエージェントは自身の持つ最初のタイミングプロファイル（ソロ演奏時のデータ）を最も好むと仮定した。そして、各エージェントはなるべく自身のソロ演奏時のデータに近い値で合意しようとする仮定した。どのような演奏解釈で演奏するように調整するかは、人のアンサンブルでも問題となるため、本仮定には妥当性があると考えられる。

人の合奏においては、各演奏者がすべての小節について各小節の時間長を詳細に交渉するとは考えにくい。実際には、自身の評価に大きな影響を与える箇所に関して大きな労力を割き、そうではない部分についてはあまりこだわらない（労力を割かない）と考えるのが自然である。また合奏においては、他の演奏者とずれた状態で練習演奏することは考えにくいので、交渉の各段階の評価においては、その時点での暫定的な合意値を得る必要がある。そこで本シミュレーションにおいてはエージェントの交渉に関して以下の仮定を置いた。(1)各エージェントが他のエージェントとの交渉に割くことができる労力の総和は一定。(2)各エージェントの労力の総和は等しい。(3)エージェントの戦略とは各エージェントは自身の労力をどのように m 小節に配分するかということ。(4) 各小節の時間長の暫定的な合意値は、各エージェントが配分した労力を重みとして、ソロ演奏時の小節の時間長の重み付き平均とする。これにより、常に暫定的な合奏が存在した状態で交渉を進めることができる。

暫定的な合奏のタイミングプロファイルから、各エージェントが独立に評価値を求めた。評価値は、各小節の時間長と暫定的な合意値の差に負の符号をつけたものとして定義した。総合的な評価は、全ての小節の評価の和として定義した。したがって、もし暫定的な合意値が、いずれかのエージェントの値と等しい場合（あるエージェントのタイミングプロファイルと、シミュレートした合奏のタイミングプロファイルが一致する場合）、評価値が最大となる。

シミュレーションにおいて、それぞれのエージェントは自身の労力の配分を、暫定的な合意値から算出される評価に基づいて、時々刻々と変化させ、最終合意を目指した。エージェントの労力の配分において、以下の 2 つの方略を設定した：(1)それぞれのエージェントが自身の評価値の増加のみを目的とする「利己的交渉」；(2)シミュレーションに参加しているすべてのエージェントの評価値の合計（総評価）の増加を目的とする「総評価最大化」。それぞれのエージェントは各小節に対する労力の配分をわずかに変化させる。その際、利己的交渉においては、自身の評価値の増加率を知ることができ、これを各小節への労力配分を増加させることに対する利得と考え、それぞれのエージェントの労力配分の時間変化をレプリケータダイナミクスとして知られる微分方程式でモデル化した (Sandholm, 2010)。レプリケータダイナミクスは、試行錯誤的な戦略（ここでは労力の配分）更新のモデルとしてよく用いられるものである。暫定合意値について、平均より増加率が高い小節への労力配分を増加させ、低い小節への配分を減少させることで、労力の総和を一定に保つ

たままその配分を変化させるエージェントの振る舞いを記述することができる。総評価最大化の場合は、各エージェントは総評価の増加率を知ることができるとした。なお、本方法では、総評価最大化の場合、暫定的な合意値の周辺情報しか用いないにもかかわらず、総評価が常に増加し（局所）最大化されることが知られている。

全てのエージェントについて、配分の変化率が十分に小さくなった時点で、最終的な合意に達したみなし、その時点での各小節の時間長（タイミングプロファイル）をシミュレートされた合奏での演奏表現とした。なお、本研究でのシミュレーションにおける最終合意案は、各エージェントの労力配分の初期値ではなく、上記の2つの方略（「利己的交渉」「総評価最大化」）にのみ依存するとした。よって、初期値は、それぞれのエージェントが全ての小節に均等に労力を配分する状態とした。

4 結果

はじめに、人のソロ演奏と合奏の計測結果を表す（図1）に示す。いずれのアンサンブルにおいても、ソロ演奏と合奏には共通点と相違点が見られた。共通点は、大まかなタイミングプロファイルである。アンサンブルAでは、16、32、45、60、77-92、110、120 小節付近など、大きな時間変化がある箇所では各演奏者のソロ演奏と合奏に共通の変化が見られた。アンサンブルBでも同様に、49、82 小節付近、曲の終わり付近でソロ演奏と合奏に共通した時間変化が観察された。アンサンブルCでも、28、190 小節付近などでの時間変化に共通点が見られ、30-90、100-185、225-270 小節付近にかけての全体的なテンポについても共通点が見られた。

一方で、ソロ演奏と合奏には相違点もみられた。アンサンブルAでは、65 小節付近や77-92 小節などでは、個人の演奏と合奏には大きな差異が見られた。アンサンブルBにおいても、18、42、56 小節付近では個人の演奏解釈と合奏に違いが見られた。42、56 小節付近では、個人の演奏者のソロ演奏とは大きく異なる急激な減速が観察された。また、18 小節付近では、特定の演奏者が減速しているが、合奏になるとその特徴が見られない箇所もあった。アンサンブルCでは、101-120 小節にかけて特定の演奏者が遅いテンポで演奏していたが、合奏では他の演奏者の演奏に似たテンポで演奏されている。同様のことは270-285 小節付近でも見られた。また、229 小節の前後については、時間変化のパターンはソロ演奏と合奏で共通するものの、変化には大きな幅が見られた。これは、アンサンブルAの77-92 小節付近の変化と同様の特徴である。

次にアンサンブルAとアンサンブルBについて、シミュレーションの結果を図2に示す。人の合奏とシミュレーションの結果には共通する点と相違点が見られた。まず、共通する点は、大まかなタイミングプロファイルである。アンサンブルAにおいては、45、60、77-92、120 小節付近に代表される、非常に大きく減速する箇所について、シミュレーションも同様の傾向を見せた。また、92-99 小節付近の加速する箇所についても、非常に似た加速の仕方をしていることが観察された。さらに、62-75 小節付近のようにテンポが一定の箇所では、そのテンポ自体も似通っていることが見て取れる。アンサンブルBにおいても同様であり、49、82 小節付近の大きな減速の存在は共通しており、60-75 小節付近のテンポが一定の箇所では、そのテンポも同程度であった。

しかし、人の合奏とシミュレーションの結果には、相違点もみられた。アンサンブルAでは、17、33、109 小節付近では、人の合奏はシミュレーションの予想よりも大きく減速していた。また、アンサンブルBにおいては、34、42、56 付近でシミュレーションの予想よりも大きく減速し、曲の終わりにかけての減速の仕方も、シミュレーションよりも大きかった。これらの箇所はいずれも楽曲構造上の区切りにあたる箇所であった。

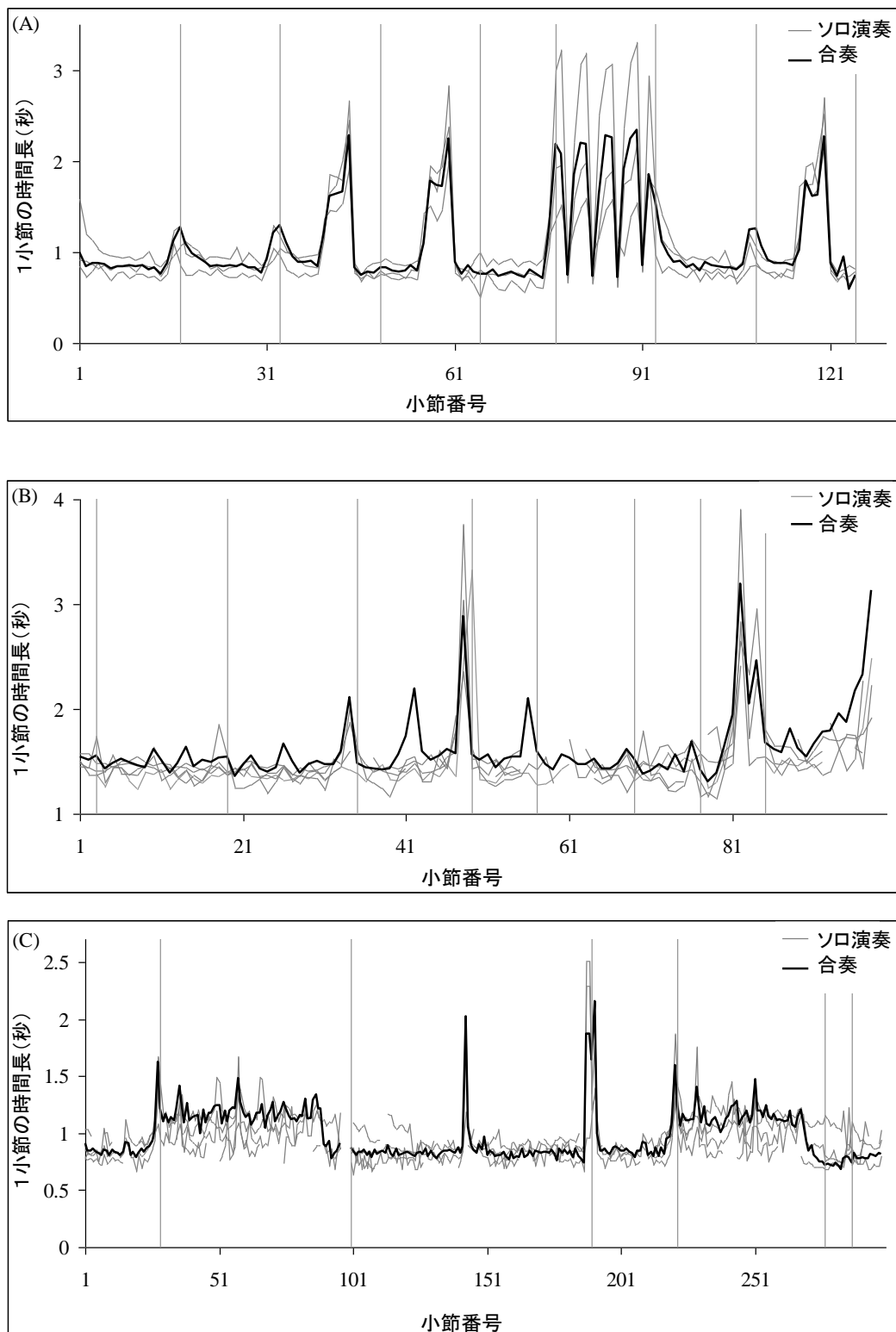
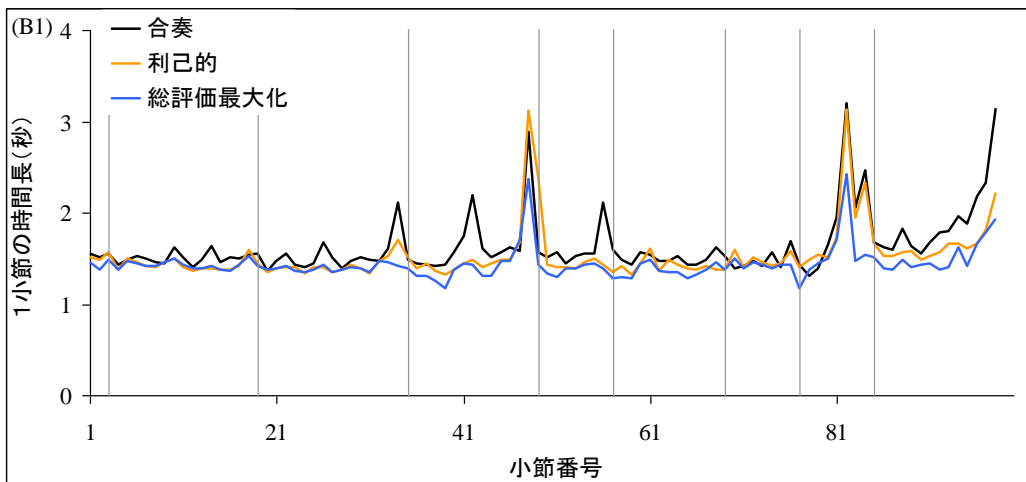
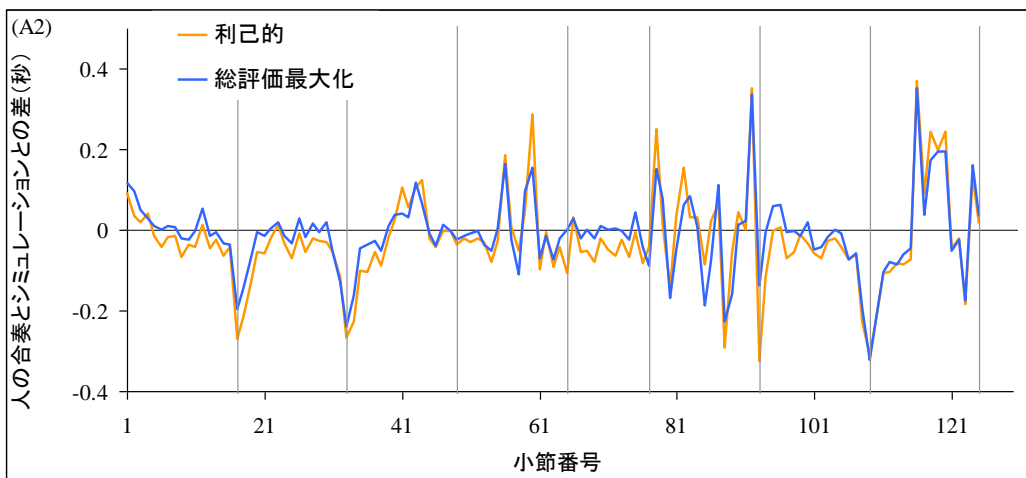
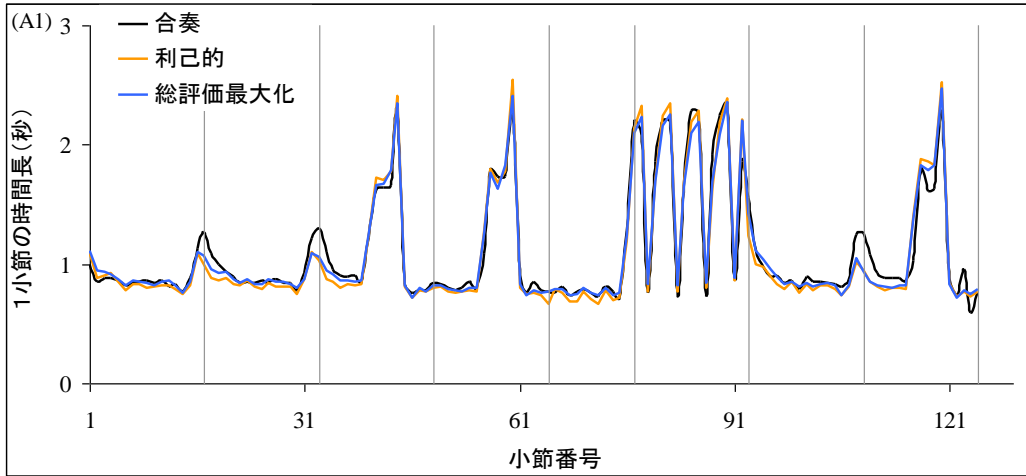


図1 人の演奏者のソロ演奏と合奏のタイミングプロファイル。横軸は小節番号、縦軸は1小節の時間長を表す。図中の灰色の垂直の線は楽曲構造上の区切りを表す。(A) アンサンブルAの結果 (B) アンサンブルBの結果 (C) アンサンブルCの結果。



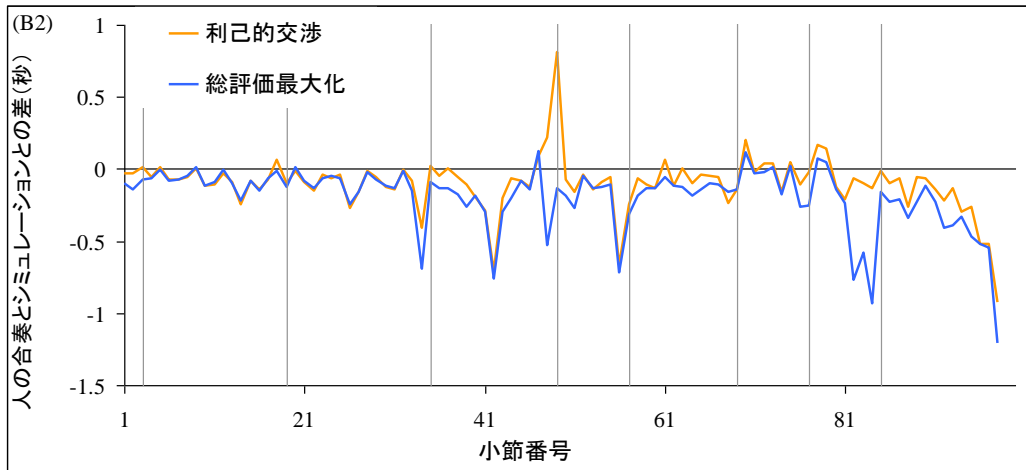


図2 人の合奏とシミュレーションによるタイミングプロファイル。横軸は小節番号、図中の灰色の垂直の線は楽曲構造上の区切りを表す。(A1) アンサンブルAの合奏とシミュレーションの結果。縦軸は1小節の時間長。(A2) アンサンブルAの人の合奏とシミュレーション結果の差。縦軸は小節の時間長の差を表し、正の値はシミュレーション結果が人の演奏よりも長く、負の値は人の演奏よりも短いことを意味する。(B1) アンサンブルBの合奏とシミュレーションの結果。縦軸は1小節の時間長。(B2) アンサンブルBの人の合奏とシミュレーション結果の差。縦軸の見方はA2と同様。

最後に、人の合奏と、シミュレーションの結果、各演奏者のソロ演奏との、各小節での時間長の差の平均値について検討する。アンサンブルAでは、分散分析の結果は有意であった ($F(2, 020, 250.474) = 17.310$, $p < .001$, $partial \eta^2 = .122$ with Greenhouse-Geisser correction)。多重比較の結果、総評価最大化が他と比べて有意に小さく ($ps < .01$)、利己的交渉は全てのソロ演奏よりも有意に小さかった ($ps < .01$)。

アンサンブルBでも同様に分散分析を行った結果、その結果は有意であった ($F(2, 983, 155.106) = 6.109$, $p < .001$, $partial \eta^2 = .105$ with Greenhouse-Geisser correction)。なお、アンサンブルBでは、ソロ演奏で長い休符が存在する個所などは分散分析の対象から除外した。多重比較の結果、シミュレーションの交渉方略による違いは見られなかった。利己的方略はフルート ($p < .1$) とオーボエ ($p < .05$) よりも小さく、総評価最大化もフルート ($p < .01$) とオーボエ ($p < .05$) よりも有意に小さかった。

5 考察

本研究は、マルチエージェント・シミュレーションを用いて、人が協働して行う集団的創造活動の工学的応用を見据えて実施された。まず、芸術的な集団的創造活動である合奏において、人の集団的創造のプロセスを検討した。具体的には、各演奏者のソロ演奏と打ち合わせ・練習後の合奏を比較することで、個人の演奏解釈と集団での演奏解釈について検討した。続いて、それぞれのエージェントを一人の演奏家とみなしてエージェントどうしが交渉をおこなうマルチエージェント・シミュレーションを行った。各エージェントは人のソロ演奏のデータを出発点として、最終的に合奏のタイミングプロファイルを算出した。この際、エージェントどうしは2つの異なる方略(利己的/総評価最大化)で交渉した。その結果、以下のことが示唆された。(1)人の合奏では、個々の演奏者と合奏において共通する点と相違点が見られた。(2)マルチエージェント・シミュレーションによる結果は、人の合奏と共通する点と相違点が見られた。(3)人の合奏は、それぞれの演奏者の演奏解釈よりもマルチエージェント・シミュレーションの結果に近いことがあることが示唆された。

第一に、人の演奏者によるソロ演奏と合奏のタイミングプロファイルには、共通点と相違点が見られた。共通点、相違点ともに、楽曲構造に依存したものであるという傾向が見られた。先行研究では、異なる演奏者でも演奏解釈が楽曲構造に依存することが示唆されている (Shaffer, 1995)。このことは、演奏家個々人が共通して持っている解釈のなかでも、楽曲構造に依存する部分は、合奏においても維持されることを示唆

している。一方で、個々の演奏者のソロ演奏と合奏には相違点もみられた。すなわち、このような箇所では、詳細に見れば、合奏において、どの演奏者の解釈とも異なる演奏がなされたことを示している。先行研究では、合奏における演奏解釈の違いは、アンサンブル内における対人葛藤の大きな要因になると指摘されている (Murnighan & Conlon, 1991)。また、アンサンブル内のグループダイナミクスの研究からは、民主的なリーダーシップの重要性が示唆されている (Kawase, 2015; Murnighan & Conlon, 1991)。さらに、オーケストラでは、リーダーシップの役割が練習段階ごとに変化することも示唆されている (Kawase, 2017)。本研究の合奏は、繊細な時間表現においては、ソロで演奏されたどの演奏解釈とも異なるものであり、新しいものであった。したがって、本研究で行われた合奏では、集団内での演奏者どうしのインタラクションを通じて、協働的に集団的創造性が発揮されたものと考えられる。

第二に、マルチエージェント・シミュレーションによる交渉結果は人の合奏と共通点と相違点が見られた。人の合奏とシミュレーションの共通点としては、大まかなタイミングプロファイルが挙げられる。本研究では、それぞれのエージェントは各演奏者と同じタイミングプロファイルを持った状態から交渉を開始した。したがって、大きく見れば本研究のシミュレーションは人の合奏と似た結果になっていた。一方で、楽曲構造が変化する箇所においては、シミュレーションの結果と人の合奏の差が大きくなっていった。本研究では、エージェント間の交渉において、楽曲構造は反映していない。したがって、演奏者は、楽曲構造の変化する箇所では、それ以外の箇所とは異なるインタラクションを行っていたと考えられる。したがって、シミュレーションの結果を人に似せようとするのであれば、シミュレーションの際に楽曲構造の要因を考慮する必要がある。一方で、シミュレーションでは、人の演奏を出発点としながらも、最終的には異なる演奏解釈にたどり着いたともいえる。それゆえ、これまでにない演奏解釈の創造という面で見れば、人とエージェントの協働的創造活動によって、人ではなしえない演奏表現の実現が期待できる。

第三に、エージェントによる合奏のシミュレーションの結果は、演奏者個人の演奏解釈よりも人の合奏に近いことがあることが示された。特に、アンサンブルAでは、3人全ての演奏者のソロ演奏よりも、シミュレーションの方が有意に人の演奏に近かった。このことは、人の合奏は、それぞれの演奏者のデータよりも、複数のエージェントの交渉を通じた方が、より小さなずれで人の演奏を予測できることを示唆している。すなわち、合奏をシミュレートする場合には、特定の個人の演奏を参考にするよりも、マルチエージェント・シミュレーションでエージェントどうしの交渉を行った方が、実際の演奏に近くなることがあると考えられる。本研究では、各エージェントは自身の評価もしくは全体の評価の最大化を目指した。これらの交渉方略が、実際の人の演奏に近いということは、人の合奏もこれらと似たインタラクションプロセスで行われている可能性も考えられる。したがって、人とエージェントが協働して創造的な活動を行う際に、これらの方略を用いることで、人とエージェントがインタラクション方略の基盤をある程度共有してやり取りできる可能性が考えられる。

6 おわりに

本研究は、集団的創造活動として合奏に注目し、人の認知プロセスとマルチエージェント・シミュレーションの両方を検討することで、創造性の領域における情報技術の応用を視野に入れて実施した。さらに、本研究をオーケストラでのコミュニケーション方略 (Kawase, 2017) に合わせて拡大することで、オーケストラへも適用可能である。合奏という芸術表現には最適解があるわけではないが、そこに情報技術を応用することで、新しい視点を提供することができた。本研究は、人の認知プロセスの解明やそのシミュレーションのみならず、エージェントがいかにかに人の認知プロセスを理解したうえで、人とともに新しいものを創造するかについて、新たな方法を開発する可能性を拓くものである。

今後は、本研究で得られたマルチエージェント・シミュレーションによる演奏と人の演奏を用いた心理実験の実施する予定である。協働的に創造性が発揮され、それが芸術的だと感じられるかを、人が評価することを想定している。それは人工物が心理的に社会で受け入れられる素地ともなりうるため、社会貢献ができるようこれからも研究を発展させていく所存である。貴財団より多大なるご支援をいただいたことで、新しい知見が得られ発展性のある研究ができたことを、ここに厚く御礼申し上げる。

【参考文献】

- Blank, M., & Davidson, J. (2007). An exploration of the effects of musical and social factors in piano duo collaborations. *Psychology of Music*, 35, 231-248.
- Boerner, S., & Von Streit, C. F. (2005). Transformational leadership and group climate-empirical results from symphony orchestras. *Journal of Leadership & Organizational Studies*, 12, 31-41.
- Davidson, J. W., & King, E. C. (2004). Strategies for ensemble practice. In A. Williamon (Ed.), *Musical excellence: Strategies and techniques to enhance performance* (pp. 105-122). New York, NY: Oxford University Press.
- Dobson, M. C., & Gaunt, H. F. (2015). Musical and social communication in expert orchestral performance. *Psychology of Music*, 43(1), 24-42.
- Ginsborg, J., Chaffin, R., & Nicholson, G. (2006). Shared performance cues in singing and conducting: A content analysis of talk during practice. *Psychology of Music*, 34, 167-194.
- Goodman, E. (2002). Ensemble performance. In J. Rink (Ed.), *Musical performance : a guide to understanding* (pp. 153-167). New York : Cambridge University Press.
- 河瀬諭 (2014). 合奏における演奏者間コミュニケーション— タイミング調整とその手がかり—. *心理学評論*, 57, 495-510.
- Kawase, S. (2014a). Gazing behavior and coordination during piano duo performance. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(2), 527-540.
- Kawase, S. (2014b). Assignment of leadership role changes performers' gaze during piano duo performances. *Ecological Psychology*, 26(3), 198-215.
- Kawase, S. (2015). Relationships between performers' daily social skills, social behaviors in ensemble practice, and evaluations of ensemble performance. *Musicae Scientiae*, 19(4), 350-365.
- Kawase, S. (2016). Associations among music majors' personality traits, empathy, and aptitude for ensemble performance. *Psychology of Music*, 44(2), 293-302.
- Kawase, S. & Obata, S. (2017). Conflict and collaboration in multiphase orchestra practice. *International Symposium on Performance Science, Abstract book*, p.125-126.
- Keller, P. E., & Appel, M. (2010). Individual differences, auditory imagery, and the coordination of body movements and sounds in musical ensembles. *Music Perception*, 28, 27-46.
- King, E. C. (2004). Collaboration and the study of ensemble rehearsal. *Proceedings of ICMPC8*, 11-16.
- Macal, C., & North, M. (2014, December). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, 6-20.
- Murnighan, J. K., & Conlon, D. E. (1991). The dynamics of intense work groups: A study of British string quartets. *Administrative Science Quarterly*, 165-186.
- Repp, B. H. (1997). The aesthetic quality of a quantitatively average music performance: Two preliminary experiments. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 14, 419-444.
- Sandholm, W. H. (2010). *Population games and evolutionary dynamics*. MIT press.
- Young, V. M., & Colman, A. M. (1979). Some psychological processes in string quartets. *Psychology of Music*, 7(1), 12-18.
- Shaffer, L. H. (1995). Musical performance as interpretation. *Psychology of Music*, 23(1), 17-38.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Conflict and collaboration in multiphase orchestra practice	International Symposium on Performance Science	2017年9月
人の合奏と人工知能の合奏～人工知能オーケストラ実現にむけて～	電子情報通信学会技術研究報告, 119(38), 165-168.	2019年5月
合奏における個性と協創—人と人工知能の比較—	日本音楽知覚認知学会 2019年度春季研究発表会	2019年5月