

ヴァイオリン合奏における奏者間のリード関係とその要因 Influence and Factors Between Players in Violin Ensemble

板垣 寧々[†], 谷貝 祐介[†], 古山 宣洋[‡]
Nene Itagaki, Yusuke Yagai, Nobuhiro Furuyama

[†]早稲田大学大学院人間科学研究科, [‡]早稲田大学人間科学学術院

[†]Graduate School of Human Sciences, Waseda University

[‡]Faculty of Human Sciences, Waseda University

nene64kt1214@akane.waseda.jp

概要

本研究では、ヴァイオリン演奏経験者6組12名の頭部動作を用いてグレンジャー因果性分析を行い、演奏中のリード関係の有無と、その決定要因を検討した。その結果、統計的因果性が有意になったデータは、計36データのうち10データであった。また、ペア内のソーシャルスキル得点の高低と関連がみられたデータが7データあった。以上より、同パートの演奏においてもリード関係が存在し、その要因としてソーシャルスキルが影響を及ぼす可能性が示唆された。

キーワード: ヴァイオリン演奏, グレンジャー因果性, 個人間協応, ソーシャルスキル, リーダーシップ

1. はじめに

本研究は、ヴァイオリン合奏場面において、奏者間の身体動作におけるリード関係の有無と、その決定要因を明らかにすることを目的とする。先行研究では、弦楽四重奏において、奏者の頭部動作データをグレンジャー因果性分析にかけると、主旋律を担当する1stヴァイオリンが最も演奏をリードしていることが明らかになっている^[1]。しかし、ヴァイオリンは同パートを複数人で担当する場合もあるため、同パートの奏者同士でも、リード関係を構築しながら演奏を調整している可能性がある。さらに、演奏のリード関係を決定づける要因には、奏者の心理的な要因も含まれている可能性もある。

上記の問いに対する示唆的な研究として、Schmidt et al.^[2]がある。同研究では、2者による振り子運動の安定性とソーシャルスキルの関連を検討し、ソーシャルスキルに差があるペアの方が、ソーシャルスキルが同程度のペアよりも、教示された逆位相の振り子運動を速い周期での課題でも維持しやすいことが明らかになっている^[2]。ヴァイオリン演奏においても、奏者間のソーシャルスキル差が演奏に何らかの形で影響しているのだろうか。

本研究では、ヴァイオリン演奏の経験者6組12名に課題曲の同パートを演奏させ、それぞれの頭頂部およびペアの中心に固定された譜面台の変位について時系

列データを計測した。この変位データに、グレンジャー因果性分析を適用することで、演奏の構築過程を分析した。また、ペア分けを各奏者のソーシャルスキル差に基づいて行うことで、奏者間のリード関係の決定要因についても検討した。

2. 方法

2.1 実験参加者

ヴァイオリン演奏経験のある大学生・大学院生12名を対象に実験を行った。奏者は、事前に実施したソーシャルスキルを評価するための質問紙（成人用ソーシャルスキル自己評定尺度^[3]）の調査結果に基づき、男女別で2名毎のペアに分けた。当該質問紙^[3]では得点が高いほどソーシャルスキルが高いことを表すが、本研究では「感情統制」因子を除いたため、得点の範囲は31点から124点となる。実験参加者の得点は63点から104点であり、平均は82.67点であった。実験参加者の詳細は、表1の通りである。なお、6ペアのうち、初対面であったペアが4組（ペア2・3・4・5）、相手を知っているが一緒に演奏をしたことはほとんどなかったペアが2組（ペア1・6）であった。

表1 実験参加者の詳細

ペア番号	1		2		3		4		5		6	
参加者	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
性別	女性		女性		女性		男性		男性		女性	
年齢(歳)	22	21	21	21	21	21	22	22	22	24	21	24
得点(点)	104	63	81	72	86	73	95	87	85	81	88	77
経験歴(年)	17	12	16	14	2.5	5	15	16	20	14	16	9

2.2 課題

実験参加者には、それぞれペアで練習後に、課題曲を3試行演奏させた。課題曲として、E. H. Grieg 作曲、「組曲『ホルベアの時代から』作品40」^[4]より第5楽章1stヴァイオリンを指定し、事前に練習させた。この曲を課題とした理由は、1曲の中で多様な音楽表現・

ヴァイオリン演奏技術が必要であり、様々な場面における奏者が演奏を構築する過程を検証できるためである。課題曲における音楽表現に関しては、大きく前半と後半の二つに分けられる。前半は、生き生きと速く^[5]（音楽用語では *Allegro con brio*）演奏される。後半は、前半までより遅く^[5]（音楽用語では *Poco meno moso*）演奏され、特に終盤では静かに^[5]（音楽用語では *più tranquillo*）演奏される。前半と後半で、テンポを含め適切に切り替えができなければならない。課題曲におけるヴァイオリン演奏技術に関しては、ピッチカート・速いテンポでの移弦・ポジション移動など、多岐に渡る。

2.3 計測

演奏は立奏で行い、演奏時の実験参加者の全身の3次元動作を計測した。計測には、光学式の動作計測装置（Opti track, Natural Point 社）を用いて、標本周波数100Hzで計測した。反射マーカは全身（頭頂部・側頭部左右・頸椎7番・胸椎10番・腰椎3番・肩峰左右・肘関節左右・尺骨形状突起左右・上前腸骨棘左右・膝蓋骨左右・足首の外果左右・足の甲左右の計20箇所）・楽器・弓・譜面台に貼り付けたが、本研究では2者の頭頂部とペアの中心に位置する譜面台との変位データを分析対象とした。楽器は、電子ヴァイオリン（YAMAHA 社, YSV-104s）を用いた。実験状況は図1に示した。

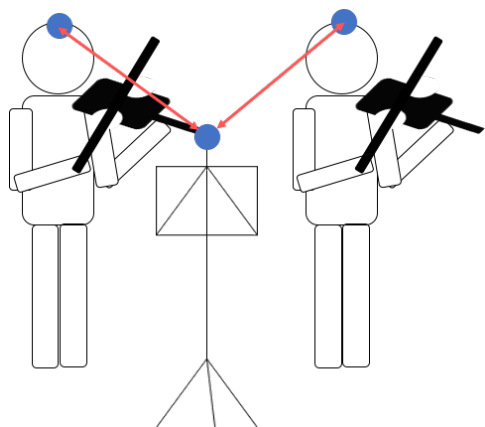


図 1. 分析対象とした頭頂部とペアの中心に位置する譜面台の変位

2.4 解析

2.4.1 事前処理

解析には、課題曲の49小節目1拍目を開始点とし、開始点から3秒間を使用した。この3秒間を解析に用いた理由は、テンポ変化が無く、技術的な負担が少な

い、奏者の自然な動作が見られる部分であるからである。奏者が意図的にタイミングを合わせようとする（合図を出す）部分ではなく、合わせようとしなくても曲が進んでいく部分からリード関係が抽出できれば、演奏におけるリード関係が意図的な合図動作がなくても構築されたことになると想定される。

具体的な解析手順は、以下の通りであった。まず、3次元動作データのアニメーションをもとに各ペア・各試行の開始点を特定し、データを分割した。次に、ペアごとに頭頂部と譜面台の3次元動作データを取り出し、バンドパスフィルターを適用した（2次, 0.1-10Hz, 双方向）。その後、Badino et al.^[1]に則り、頭頂部とアンサンブルの中心に位置する譜面台のユークリッド距離を求めた。同研究では、弦楽四重奏におけるアンサンブルの中心点（同研究では、“ear”と呼ばれている）と頭部のユークリッド距離の加速度データに対し、グレンジャー因果性分析を適用することで、メンバー間のリード関係を抽出していた。本研究においても、アンサンブルの中心に位置する譜面台の中央点と各奏者の頭頂部のユークリッド距離を求めることで、1軸の指標にして分析を行った。変位データは、二階微分から加速度データに変換した後、z得点化した。その後、変換したデータに対し、グレンジャー因果性分析を適用し、統計的因果性を求めた（解析方法は次項にて記述）。

2.4.2 グレンジャー因果性分析と MDF

グレンジャー因果性分析は、自己回帰モデルに基づき、時系列データにおける因果性を特定するための統計的手法である^[6]。グレンジャー因果性分析を適用するためには、データが（弱）定常性を満たしていることが前提となる。（弱）定常なデータとは、平均が一定、分散が一定、自己共分散はラグのみに依存するという条件を満たしたデータである^[7]。本研究では、変位データの二階微分から加速度データを得た後、それらをz得点化することで、データの定常性を確保した。なお、事前に定めたデータ区間においてグレンジャー因果性分析を実行する際に、単位根検定を行うことで、定常性が確保されたデータのみをグレンジャー因果性分析にかけ、統計的因果性を求めた。統計的因果性は、グレンジャー因果性分析で求められた、データの予測の概念に基づく因果性であり、心理学実験における要因統制の結果として特定される直接的な因果関係とは必ずしも一致しない^[6]。

D'Asusilio et al.^[6]はグレンジャー因果性分析について、以下の数式(1)から(3)を用いて表している。

$$x(t) = \sum_{j=1}^l a_j x(t-j) + \varepsilon_R(t) \quad \text{— (1)}$$

(1)式は、グレンジャー因果性分析の基となる自己回帰モデルを表し、時系列データ x の時間 t より過去のデータからの予測と、その残差(予測の誤差)で時間 t の時系列データ x の値を求めることができる。それに基づき、グレンジャー因果性分析に用いられる2つの時系列データの時間 t の値の予測は以下の数式(2)(3)によって算出できる。

$$\begin{aligned} x(t) &= \sum_{j=1}^l a_{U,j} x(t-j) + \sum_{j=1}^l b_{U,j} y(t-j) + \varepsilon_U(t) \\ y(t) &= \sum_{j=1}^l c_{U,j} x(t-j) + \sum_{j=1}^l d_{U,j} y(t-j) + \eta_U(t) \end{aligned} \quad \text{— (2)}$$

$$\begin{aligned} x(t) &= \sum_{j=1}^l a_{R,j} x(t-j) + \varepsilon_R(t) \\ y(t) &= \sum_{j=1}^l d_{R,j} y(t-j) + \eta_R(t) \end{aligned} \quad \text{— (3)}$$

(2)式は、予測の際に、予測したい時系列データと他の時系列データ(この場合はもう一方の時系列データ)を用いる。(3)式は、予測の際に、予測したい時系列データのみ用いる。それぞれの値を算出した際に求められる残差($\varepsilon_U(t)$, $\eta_U(t)$, $\varepsilon_R(t)$, $\eta_R(t)$)の分散を用いて、F検定を行い、予測したい時系列データのみを用いた場合より、他の時系列データも含めて予測したときの方が残差の項が小さい場合、他の時系列データも含めて予測した方が予測の精度が高いということになり、他の時系列データからの影響を受けている(因果性が確認できる)ということになる。

グレンジャー因果性分析の考えに基づき、Badino et al.^[11]は、ある奏者のデータのみでの予測と、他者のデータも含めた場合の予測の精度の違いから奏者のリード関係をみることに使用した。本研究においてもこの考えに基づき、二者間のリード関係をグレンジャー因果性分析の結果から読み解いた。なお、自己回帰モデルのパラメタ推定には、最小二乗法を用いた。統計処理は、F検定を行い、有意性を評価した。なお、有意性の評価は、Benjamini & Hochberg法(BH法)により補正した p 値を用いて行った($\alpha < 0.05$)。単位根検定から統計処理まではすべて、MATLAB toolbox for Granger causal connectivity analysis^[8]で実行した。

さらに、グレンジャー因果性分析の結果に基づいて

Musician Driving Force (以下、MDF)を算出した。MDFとは、ある奏者から他の奏者への影響量を示す指標である^[11]。Badino et al.^[11]は、MDFを以下のように表した(式(4))。

$$MDF_i^{(t)} = \frac{\sum_{j \neq i} DF_{i \rightarrow j}^{(t)}}{N_m - 1} \quad \text{— (4)}$$

分子(driving force, 式(5))は、グレンジャー因果性分析で求めたF値を用いて求めることができる^[11]。

$$DF_{i \rightarrow j}^{(t)} = S(F_{M_i^{(t)} \rightarrow M_j^{(t)}}) - S(F_{M_j^{(t)} \rightarrow M_i^{(t)}}) \quad \text{— (5)}$$

式(5)において M は奏者を、添え字 i, j は2人の奏者を識別するためのラベルを表す。右辺の各項には、奏者間の統計的因果性を評価する際に用いたF値が代入される。ただし、代入する値は、F検定が有意ではなかった場合には0となる。

本研究におけるMDFの算出には、全ペアにおいて課題曲全体で定常性が確保された(単位根検定において定常性が担保された)1試行目を用いた。具体的には、各ペアの1試行目において、欠損を考慮して最後の5秒間をカットし、ウィンドウサイズ3秒とし、それを1秒間隔でスライドさせて、ウィンドウごとにMDFを算出した。その際、全ウィンドウのうちソーシャルスキルの高い奏者からのMDFが大きかったウィンドウの割合、ソーシャルスキルの低い奏者からのMDFが大きかったウィンドウの割合、どちらの奏者からでも統計的因果性が有意にならなかったウィンドウの割合を求めた。

2.4.3 ソーシャルスキル

ソーシャルスキルの得点は、質問紙^[3]の回答結果をもとに「関係開始」、「解説」、「主張性」、「関係維持」、「記号化」に関わる31項目の合計得点を(逆転項目を考慮して)算出した。この質問紙は、大きく分けて2つの能力を評定する。1つ目は、コミュニケーション・スキル、2つ目は、対人スキルである。今回のペア分けは、初対面4ペア・相手を知っているが一緒に演奏をしたことがほとんどない2ペアという形であった。そこで、初めて会った人、あるいは一緒に演奏した経験が少ない人と円滑にコミュニケーションを取り、そ

の後の練習の過程の中で関係を維持していくという部分に焦点を当て、そのようなスキルが測ることができるとして使用した。なお、因子の中で「感情統制」を除いて合計得点を算出した理由は、他の下位尺度と異なり、「孤独感」と有意な相関がみられず、「対人不安」、「抑うつ」との負の相関が弱く、尺度全体や他の下位尺度との相関が低い、あるいは負の相関があり、他の下位尺度と比較して異質であることから、「感情統制」尺度の項目を除いて合計得点を出す方法を採用しても良いことが相川・藤田^[9]の研究によって示されていたためである。

3. 結果

グレンジャー因果性分析の結果は次の通りであった(表2, 図2)。6組3試行2方向(1人目から2人目へ

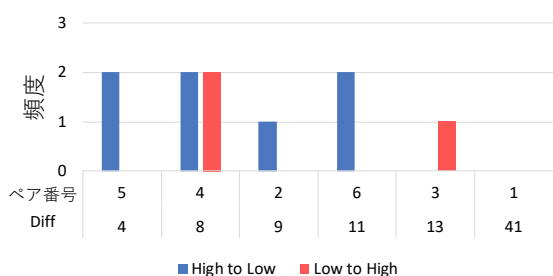


図2. グレンジャー因果性分析で有意になった頻度

縦軸は、統計的因果性が有意になった試行頻度を表す。横軸の上段はペア番号、下段は表2のDiffが示されている。High to Low はペア内のソーシャルスキルが高い奏者からの統計的因果性、Low to High はペア内のソーシャルスキルが低い奏者からの統計的因果性が有意になった試行頻度を示した。

の影響と、2人目から1人目への影響)の計36データのうち、統計的因果性が有意になったデータは10データであった。また、ペア内のソーシャルスキルの得点の高低と統計的因果性の関連をみると、統計的因果性が有意であった10データのうち、ソーシャルスキルが高い奏者からの統計的因果性が有意であったのは、7データであった。しかし、得点の差分が最も大きいペア1では、統計的因果性が双方向で1度も有意にならず、得点の差分が最も小さいペア5では、ソーシャルスキルの得点が高い奏者からの統計的因果性が2度有意になった。

また、グレンジャー因果性分析の結果に基づいて、各ペアの1試行目におけるMDFを算出した結果は次の通りであった(図3)。2者の統計的因果性が有意にならなかったためMDFが算出できなかった部分が多いも

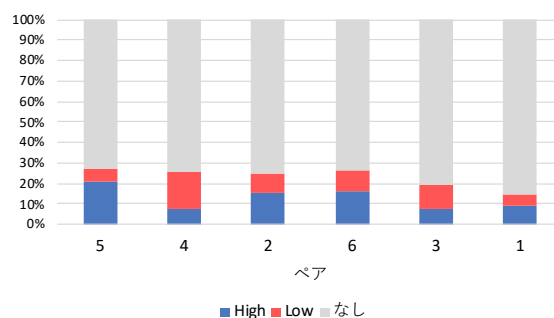


図3. 各ペアにおける1試行目のMDF

課題曲全体において、ウィンドウごとにMDFを算出し、ソーシャルスキルが高い奏者からのMDFが大きい場合はHigh、ソーシャルスキルが低い奏者からのMDFが大きい場合はLow、どちらも有意にならなかった場合はなしとして、比率を示した。

表2. グレンジャー因果関係分析の結果とペア内のソーシャルスキルの結果

ペア番号	High to Low			Low to High			Score (High)	Score (Low)	Diff
	trial1	trial2	trial3	trial1	trial2	trial3			
1	0	0	0	0	0	0	104	63	41
2	1	0	0	0	0	0	81	72	9
3	0	0	0	0	0	1	86	73	13
4	0	1	1	0	1	1	95	87	8
5	1	1	0	0	0	0	85	81	4
6	1	1	0	0	0	0	88	77	11

ペアにおいてソーシャルスキルの得点が高い奏者をHigh、ソーシャルスキルの得点が高い奏者をLowとした。High to Lowはペア内のソーシャルスキルが高い奏者からの統計的因果性、Low to Highはペア内のソーシャルスキルが低い奏者からの統計的因果性が有意になった場合は1を、それ以外は0を表示した。Score (High)はHigh、Score (Low)はLowのソーシャルスキルの得点、DiffはScore (High) - Score (Low)で求めたソーシャルスキルの得点の差分を示した。

の (全 879 ウィンドウ中 681 ウィンドウ), 統計的因果性が有意であった部分は, 全ペアにおいてソーシャルスキルが高い奏者からの影響量が大きい部分もあれば, ソーシャルスキルが低い奏者からの影響量が大きい部分もみられた。

4. 考察

弦楽四重奏において, 主旋律を担当する 1st ヴァイオリンが最も演奏をリードしていることが明らかになっているため¹⁾, パートの違いがあれば明確なリード関係が確認できることはすでに知られている。しかし, 本研究で得られた結果より, 同パートを演奏した 2 者においても, 互いの身体動作によって, リード関係を時々刻々と調整しながら演奏していることが示唆された。そして, テンポ変化が無く, 技術的な負担が少ない, 奏者の自然な動作が見られる部分にて, このようなリード関係を抽出できたことから, 奏者が意図的に合図を出すような場面以外でも, リード関係を構築している可能性が示唆された。

また, ソーシャルスキルの合計得点の差分の大小と, 統計的因果性が有意であると判断できるかどうかに関連はみられなかった。すなわち, 振り子同期課題とソーシャルスキルの関連をみた研究²⁾のような, ペア内のソーシャルスキルの差によるリード関係への影響はそれほど見られなかった。一方, Schmidt et al.³⁾は振り子同期課題の安定性を評価したことによってリード関係の構築を考察したのに対し, 本研究は奏者の身体動作から直接リード関係を抽出したため結果が異なると考えられる。また, 質問紙を作成した先行研究³⁾と比較すると, 先行研究における合計得点の平均値から「感情統制」の得点における平均値を引いた値が, 81.94 (点) に対し, 本研究の「感情統制」の項目を除いた合計得点の平均値は 82.67 (点) と大きな差は見られなかった。しかし, 本研究はヴァイオリンが演奏できる参加者でなければならず, 参加者数が先行研究よりも少なかったことにより, 参加者間でソーシャルスキルに差が出にくかったことも考えられる。しかし, グレンジャー因果性分析の結果が有意であった 10 データのうち, 7 データでペア内のソーシャルスキルの合計得点が高い奏者から低い奏者への統計的因果性が有意であった (図 2, ペア 5・4・2・6)。得点差がそれほど開いていないが, 今後もリード関係の要因としてのソーシャルスキルの可能性を検討していく必要がある。一方, 1 試行全体を 3 秒間のウィンドウをシフトさ

せながらグレンジャー因果性分析を適用し, 時系列的に MDF を算出したところ, リード関係の入れ替わりがみられた (図 3)。したがって, 課題曲の部分ごとに奏者の役割が変わることが予測される。それに伴い, 経験歴などの多様な要因が相互に関連し合い, リード関係の決定要因となっている可能性がある。

5. 展望

複数人での演奏では, 常に意識的に合わせようとしているわけではなく, ある程度テンポなどに馴染むと, 自然と演奏が流れていく場合もある。曲の中で意識的にタイミングを図る部分と, 意識せずとも合わせられている部分では, 演奏を構築する方法が異なることが想定される。そのような違いを奏者がどの程度意識しているかも含め, 曲の特性と奏者同士の合わせ方についても検討の余地がある。

また, 本研究では同パートの奏者同士のリード関係を検証した。その場合, 他者と共に演奏したことによる身体動作の変化もあれば, 各奏者がもともと持っている演奏上の特性によるリード関係も生じている可能性がある。したがって, 3 試行の各奏者の身体動作を切り離し, (例えば 1 試行目の奏者 1 と 2 試行目の奏者 2 というように) virtual pair を作成して, 他者による影響と各奏者がもともと持っている特性の影響を切り離して検討する必要もある。

さらに, MDF の結果が示唆的なように, 演奏場面において, 常に同じ奏者が強く影響を及ぼしているとは限らない。奏者間のリード関係は, 奏者らを取り巻く状況に応じて, 時々刻々と変化する可能性がある。また, その影響が必ずしも演奏を構築する上で良いリード関係とも限らない (相手につられて, テンポが速まってしまう場合などもある)。今後, さらにリード関係のあり方と実態を, 時系列的な変化を含めて検討していく必要がある。

それらをふまえて, 奏者の役割とその決定要因を検討していくことで, さらにヴァイオリン奏者の演奏構築過程が明らかになっていく可能性がある。

参考文献

- [1] Badino, L., D'Ausilio, A., Glowinski, D., Camurri, A., & Fadiga, L. (2014). Sensorimotor communication in professional quartets. *Neuropsychologia*, 55, 98-104. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.11.012
- [2] Schmidt, R.C., Christianson, N., Carello, C., & Baron, R. (1994). Effects of Social and Physical Variables on Between-Person Visual Coordination. *Ecological Psychology*,

- 6(3), 159-183. doi: 10.1207/s15326969eco0603_1
- [3] 相川充・藤田正美 (2005). 成人用ソーシャルスキル自己
評定尺度の構成 東京学芸大学紀要, 第1部門, 教育科学,
56, 87-93.
- [4] Grieg, E. H., (1886). Aus Holberg's Zeit Op.40, FRANK-
FURT: C. F. PETERS. [https://imslp.org/wiki/Holberg_Suite,
Op.40\(Grieg,_Edvard\)](https://imslp.org/wiki/Holberg_Suite,_Op.40_(Grieg,_Edvard))
- [5] 石桁真礼生・丸田昭三・金光威和雄・末吉保雄・飯田隆・
飯沼信義 (2001). 楽典-理論と実習- 音楽之友社
- [6] D'Ausilio, A., Badino, L., Li, Y., Tokay, S., Craighero, L.,
Canto, R., Aloimonos, Y., & Fadiga, L. (2012). Leadership in
Orchestra Emerges from the Causal Relationships of
Movement Kinematics. *PLoS ONE*, 7(5), e35757. doi:
10.1371/journal.pone.0035757
- [7] 島田直希 (2019). 時系列解析-自己回帰型モデル・状態空
間モデル・異常検知- 石田基広監修 共立出版
- [8] Seth, A. K.,(2010). A MATLAB toolbox for Granger causal
connectivity analysis. *Journal of Neuroscience Methods*,
186(2), 262-273. doi: 10.1016/j.jneumeth.2009.11.020