

弦楽四重奏におけるアンサンブルの精度の解析

石垣 優弥 横山 真男^{†1}

概要：本研究では、弦楽四重奏での演奏時における各楽器の音量・タイミングの音響解析を行いアンサンブル技術向上のための指針を示すことを目的とする。

Analysis of the precision of the ensemble in the string quartet

1. はじめに

アンサンブルを対象とした研究として、宮宇地ら [1] や堀内ら [2] が挙げられる。前者はお互いの眼球運動や呼吸といった整理計測データと発話という言語データのコミュニケーション手段から解析を行ったもので、後者はリハーサル前後でのタイミングのずれの推移を計測したものであり、両者とも数値的な解析を行っている。他の研究としては、堀内ら [3,4] のような独奏者の演奏に対して伴奏を行うシステムの開発を目的としたものがある。

しかし、冒頭のようなアンサンブルを対象にした数値的な解析を行った研究例は少なく、また演奏者が二人の場合がほとんどである。

そこで、本研究ではクラシック音楽のジャンルにおける基本的な合奏形態である弦楽四重奏を対象にし、アンサンブルを構成する各楽器の音量やタイミングの解析を行った。また、解析結果からアンサンブル技術向上のための特徴量として有意性があるものを発見することを目的とする。

2. 実験

2.1 録音

半無響スタジオにて演奏を行い、奏者は熟達者 4 名 (1 組みの弦楽四重奏) のみである。演奏の際に以下 3 通りの指示を順に出し録音を行った。

指示 1 通常通りに演奏

指示 2 タイミングを意識しての演奏

指示 3 チェロの音量に合わせての演奏

録音にはマイクロフォンとして COUNTRYMAN AS-

SOCIATES INC の I2 INSTRUMENT MICROPHONE 4 本及びミキサーとして TASCAM Model24 を使用した。クリップタイプのコンデンサーマイクはそれぞれの駒とテールピースの間に固定した。

2.2 演奏楽曲

本研究ではアンサンブルにおける和音の精度に着目し、和音のタイミング（いわゆる縦の線）と各パートのバランスを考察する。楽曲はハイドン弦楽四重奏曲第 77 番ハ長調「皇帝」より第一楽章の冒頭の和音的なアンサンブル箇所を対象にした。

ここで、第 1 音から第 5 音を第 1 フレーズ、第 6 音から第 11 音を第 2 フレーズ、再び *f* から始まる 4 つの音を第 3 フレーズとした。

2.3 解析手法

解析にはデジタルオーディオエディタの Audacity と Python のライブラリである Librosa を用いて、RMS 値と dB 値、並びにタイミングの計測を行った。ここで、RMS 値は音響信号の実効値で、音響信号の物理的な強度を表す（式



図 1 ハイドン「皇帝」冒頭

Fig. 1 Haydn, string Quartet No.77, theme from 1st mov.

^{†1} 現在、明星大学
Presently with Meisei University

(1)) .

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i^2} \quad (1)$$

M は分析フレームのサンプル数, x_i は第 i 番目のサンプル値である. また dB 値は式 (2) の通りである.

$$dB = \log_{20} RMS \quad (2)$$

3. 結果

3.1 音量について

図 2~4 にそれぞれの指示における dB 値の時間変化を示す.

全体を通して, 和音部分はそれぞれの指示において各パート似た dB 値の変動となっている. しかし, 第 1 フレーズのチェロの dB 値のみが上がる場所がある. またチェロに関して, 第 1 フレーズから第 2 フレーズに移行する際に dB

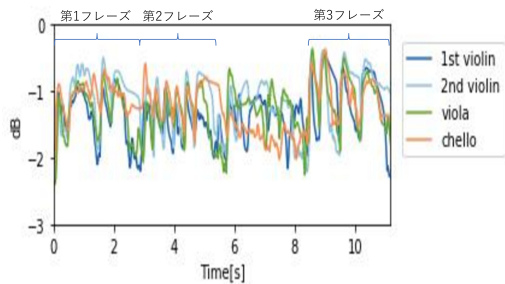


図 2 指示 1 における dB 値の時間変化

Fig. 2 Time change of the dB level in instruction 1.

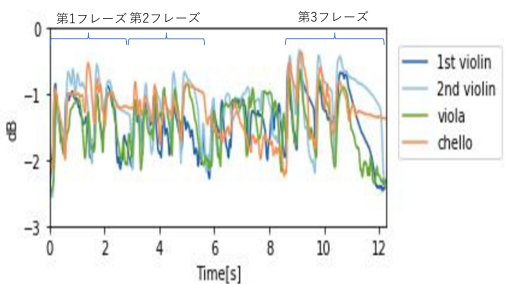


図 3 指示 2 における dB 値の時間変化

Fig. 3 Time change of the dB level in instruction 2.

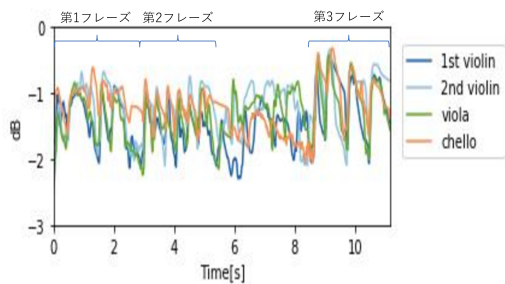


図 4 指示 3 における dB 値の時間変化

Fig. 4 Time change of the dB level in instruction 3.

表 1 指示 1 における各フレーズの平均 dB 値

Table 1 Mean dB level of each phrase in instruction 1.

	第 1 フレーズ [dB]	第 2 フレーズ [dB]	第 3 フレーズ [dB]
1st ヴァイオリン	-1.41	-1.52	-1.03
2nd ヴァイオリン	-1.10	-1.28	-0.939
ヴィオラ	-1.36	-1.41	-1.06
チェロ	-1.10	-1.11	-1.01

表 2 指示 2 における各フレーズの平均 dB 値

Table 2 Mean dB level of each phrase in instruction 2.

	第 1 フレーズ [dB]	第 2 フレーズ [dB]	第 3 フレーズ [dB]
1st ヴァイオリン	-1.46	-1.57	-1.11
2nd ヴァイオリン	-1.21	-1.29	-0.972
ヴィオラ	-1.55	-1.42	-1.32
チェロ	-1.17	-1.15	-1.07

表 3 指示 3 における各フレーズの平均 dB 値

Table 3 Mean dB level of each phrase in instruction 3.

	第 1 フレーズ [ms]	第 2 フレーズ [ms]	第 3 フレーズ [ms]
1st ヴァイオリン	-1.45	-1.58	-1.10
2nd ヴァイオリン	-1.32	-1.25	-0.953
ヴィオラ	-1.48	-1.49	-1.12
チェロ	-1.09	-1.19	-0.945

値の変動が他のパートと比べた際に少なくなっている. そして第 2, 第 3 フレーズでの各パートの音量変化に関して, それぞれ譜面上にスタッカート記号があり, その影響が現れていると考えられる. しかし, 第 1 フレーズの第 3 音から第 5 音にかけてもスタッカート記号があるが, 第 2, 第 3 フレーズ程の変化は見受けられなかった.

次に表 1~3 にそれぞれの指示における各フレーズの平均 dB 値を示す.

それぞれの指示においてフレーズ毎に音量変化を見ていくと, 第 1 フレーズに関しては, 指示 3 においてチェロの音量を意識した結果, チェロの dB 値に対し他のパートの dB 値は 2nd ヴァイオリンでは約 0.2 dB, 1st ヴァイオリンとヴィオラでは約 0.35 dB 小さくなって指示 1, 2 よりも音量差は大きくなっている. 次に第 2 フレーズに関しては, 指示による音量変化は少なく, 第 3 フレーズに関しては, 第 1 フレーズと同様に指示 3 においてチェロと他のパートの音量差が最大となっていたが, チェロの dB 値に対し, ヴィオラが約 0.01 dB, 1st ヴァイオリンとヴィオラが約 0.2 dB と第 1 フレーズほど大きな差とはなっていなかった.

以上の結果から, 指示 3 での音量を意識した際の演奏において, チェロの音量に対し他のパートの音量は小さくなりその差は最大となっていた. また指示 2 では音量に関する指示は行っていないが, 第 1, 第 3 フレーズにおいて指示 1 と比べて各パートの音量は大きくなっていた. よって音量に関する指示ではなくとも, 音量の変化が起こると考えられる.

次にそれぞれの指示内でのフレーズ毎の音量変化についてだが, 指示 1~3 の各パートにおいて指示 2 のチェロの第 2 フレーズを除き, 第 3 フレーズが一番音量が大きく, 第 2 フレーズが一番小さくなっている. 第 2 フレーズの音量が小さいのは p の指示があるためだと考えられるが, 第 1,

第3フレーズでは両方に f の指示があるが第3フレーズの方が高い値であった。これは第3フレーズが冒頭部分の曲の締めくくりであるのが原因である。また各楽器の第2、第3フレーズの音量変化としては1st ヴァイオリンが一番大きく、約0.5 dB程の変化があり、2nd ヴァイオリン、ヴィオラに関しては約0.3 dBの変化がある。チェロに関しては指示1,2において変化量が約0.1 dB、指示3では約0.2 dBの音量変化と他のパートと比較すると一番小さい変化量であった。

そして同フレーズでのパート別音量変化を指示ごとにみていくと、それぞれのパートでの指示による変化は小さく、一番変化が大きかったのは2nd ヴァイオリンの約2 dBであるが、先ほどのフレーズごとの変化に対し低い値となっている。また指示2に関してはタイミングのみを意識しての演奏であるが、音量を意識した場合の演奏と同程度のdB値となっている。

3.2 発音タイミングについて

1st ヴァイオリンの発音時刻を基準とした各パートの発音タイミングのずれについて、フレーズ毎に平均値を集計した結果を表4~6に示す。

タイミングを意識して演奏を行った指示2と指示1,3を比べた際に、各フレーズにおいて指示2の発音タイミングのずれが最小となっている箇所は見受けられなかった。このことから指示ごとのタイミングのずれの変化に関して規則的なものはないと考えられる。また指示2での第1フレーズのヴィオラを除き、1st ヴァイオリンとのずれが全体

表4 指示1における各フレーズの1st ヴァイオリンとの発音時刻のずれ

Table 4 Gap of the pronunciation time with the 1st violin of each phrase in instruction 1.

	第1フレーズ [ms]	第2フレーズ [ms]	第3フレーズ [ms]
2nd ヴァイオリン	18.6	30.0	27.0
ヴィオラ	19.4	30.5	20.0
チェロ	24.4	20.5	6.25

表5 指示2における各フレーズの1st ヴァイオリンとの発音時刻のずれ

Table 5 Gap of the pronunciation time with the 1st violin of each phrase in instruction 2.

	第1フレーズ [ms]	第2フレーズ [ms]	第3フレーズ [ms]
2nd ヴァイオリン	21.0	26.3	36.3
ヴィオラ	70.4	26.0	22.0
チェロ	29.2	19.7	31.0

表6 指示3における各フレーズの1st ヴァイオリンとの発音時刻のずれ

Table 6 Gap of the pronunciation time with the 1st violin of each phrase in instruction 3.

	第1フレーズ [ms]	第2フレーズ [ms]	第3フレーズ [ms]
2nd ヴァイオリン	27.0	21.0	20.3
ヴィオラ	27.6	22.3	26.3
チェロ	30.2	26.3	21.0

表7 指示1の第3フレーズにおける1st ヴァイオリンとの発音時刻のずれ

Table 7 Gap of the pronunciation time with the 1st violin in the third phrase of instruction 1.

	第1音 (ms)	第2音 (ms)	第3音 (ms)	第4音 (ms)
2nd ヴァイオリン	+27	-26	+28	+27
ヴィオラ	+31	+7	+37	+5
チェロ	-7	-15	0	-3

表8 指示2の第3フレーズにおける1st ヴァイオリンとの発音時刻のずれ

Table 8 Gap of the pronunciation time with the 1st violin in the third phrase of instruction 2.

	第1音 (ms)	第2音 (ms)	第3音 (ms)	第4音 (ms)
2nd ヴァイオリン	+33	-60	+6	-46
ヴィオラ	+28	-7	+49	-4
チェロ	+26	-12	+23	-63

表9 指示3の第3フレーズにおける1st ヴァイオリンとの発音時刻のずれ

Table 9 Gap of the pronunciation time with the 1st violin in the third phrase of instruction 1.

	第1音 (ms)	第2音 (ms)	第3音 (ms)	第4音 (ms)
2nd ヴァイオリン	+32	-25	-19	+5
ヴィオラ	+37	-2	-5	+8
チェロ	+15	-29	-16	-24

的に30 ms程度に収まっていた。

次に表7~9は、1st ヴァイオリンの発音タイミングに対しての入りの遅さを第3フレーズのみ集計した結果である。負の値となっている箇所は発音タイミングが1st ヴァイオリンと比べて早いということである。

全体的にチェロの入りが早い傾向にあり、特に指示3においては一番早い値となっている。また、タイミングを意識した指示2に関しては、値のばらつきが最も大きく、その他ではそれぞれの指示において初めの音の入りが遅れる傾向にあり、この傾向は他のフレーズにおいても見受けられた。

4. おわりに

本研究では弦楽四重奏におけるアンサンブルを対象にし、音量とタイミングに関して定量的な解析を行った。音量に関してはアンサンブルの注意に関する指示を出すことによって変化が見受けられたが、タイミングに関しては指示を出しても明確な変化は見受けられなかった。しかし、全体的なずれが30 ms程度であったことに関して、これは一つの特徴量であると考えられる。そして本研究で着目した和音の音量バランスに関しては、音量が小さいものから順に1st ヴァイオリン、ヴィオラ、チェロ、2nd ヴァイオリンとなっている箇所が多くなっていた。

また、本研究では1曲しか扱っていないが他の曲に関しても同様の解析を行うことで和音の音量、発音タイミングのずれの幅に関して共通の特徴量が発見される可能性がある。その他にも各楽器の倍音構造における類似性などに焦点をあてることでより物理的な側面からアンサンブルの解

析を行うことが可能となり,それを今後の課題とする.

また本実験熟達者4名のみでの演奏を解析したが,演奏者を替えての解析を行うことによってもアンサンブルの変化が期待され,これも今後の課題とする.

参考文献

- [1] 宮宇地秀和, 福田忠彦, 諏訪正樹: 合奏という協調活動に関する研究-熟達者ペアの二重層のケーススタディを例として-, 情報処理学会 (2005).
- [2] 堀内晴雄, 三井卓, 井宮淳, 市川熹: 二人の人間による演奏の収録と分析, 音楽情報科学 (1996).
- [3] 堀内晴雄, 坂本圭司, 市川熹: 合奏における人間の発音時刻制御モデルの推定, 情報処理学会論文誌 (2002).
- [4] 堀内晴雄, 坂本圭司, 市川熹: 合奏時の人間の演奏制御の分析・推定, 情報処理学会論文誌 (2004).