

室内音響条件に応じたピアノ演奏表現の調整に関する実験的検討

Experimental study on musicians' adjustment of piano performance to room acoustics

学籍番号 096776

氏名 村田 義明 (Murata, Yoshiaki)

指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1 はじめに

ホールの響きに応じた音楽演奏の調整について、Ueno ら[1]は3次元音場シミュレーションシステムを用いてプロの演奏家(管・弦楽器、声楽)による試奏実験を行い、演奏家は意識的に演奏表現を調整し、その演奏音には聴覚的に検出可能な差異があることを確認している。また、Bolzinger ら[2]はホールの残響時間とピアノ演奏との関係性について基礎的検討を行っている。

本研究ではピアノ演奏表現と室内音響条件との関係を定量的に示すことを目的とし、模擬残響音場および複数の実音場に対してどのように演奏を調整するのかについて、MIDI (Musical Instrument Digital Interface)信号分析および演奏者の音場に対する主観印象を通して考察を行う。特に演奏表現に関連するテンポ・音量・タッチ・ペダリングへの室内音響条件の影響を検証する。

2 試奏実験

試奏音場は表1に示すスタジオ内3条件、小ホール、小部屋の計5条件とした。吸音性の比較的高い実験スタジオ(7.6 m×6.2 m×3.0 m H)ではピアノと演奏者を取り囲むように残響付加用のスピーカー4本を配置した。演奏者には各音場条件で表2に示す3種類の楽曲を数分間の練習後3回ずつ演奏してもらい、演奏情報記録装置(Yamaha

Disklavier)を用いてMIDI信号を記録した。演奏終了後、演奏の調整についてアンケートを行った。演奏者はピアノ講師12名である。

Table 1 Conditions of sound fields for experiment.

| 音場 | 室容積[m ³] | T ₃₀ [s] | ST _{Early} [dB] | ST _{Late} [dB] | 室仕様 |
|----|----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|
| S0 | 141 | 0.3 | -8.0 | -24.1 | スタジオ |
| S1 | 141 | 1.1 | -6.7 | -12.2 | 小ホール程度の残響付加 |
| S2 | 141 | 2.5 | -7.1 | -14.2 | 大ホール程度の残響付加 |
| H | 630 | 1.0 | -4.4 | -8.9 | 小ホール |
| R | 22 | 0.5 | 3.6 | -6.0 | 小部屋 |

Table 2 Musical pieces for test performance.

| 楽曲 | 分析範囲 |
|-------------------------------------|--------|
| Bach: 平均律クラヴィーア曲集第1巻第1番ハ長調BWV846前奏曲 | 冒頭8小節 |
| Beethoven: ピアノソナタ第8番ハ短調「悲愴」作品13第1楽章 | 冒頭4小節 |
| Chopin: ワルツ第9番イ長調「告別」作品69の1 | 冒頭16小節 |

3 演奏の分析対象

ピアノ演奏の分析では、MIDI信号に含まれる打鍵および離鍵速度(各128段階)、打鍵時間長(鍵盤を押している時間)、ペダル変位(踏み込みの深さ、128段階)を用い、各曲の分析範囲における演奏時間、平均打鍵速度、平均離鍵速度、打鍵時間比(打鍵時間長の総和/演奏時間)、平均ペダル変位、ノンおよびフルペダル時間比(ノン・フルペダル時間長の総和/演奏時間)を演奏の特徴量として算出する。ここで演奏時間はテンポ、平均打鍵速度は音量に対応し、平均離鍵速度、打鍵時間比はテンポの影響を除いたタッチの特徴量として取り上げる。ペダルに関しては変位によってノン(0~51)/ハーフ(52~69)/フル(70~127)の3つの状態に分けられることを事前に確認し、完全

開放弦となるフルペダルの時間長を別途算出した。平均ペダル変位は演奏者の予備動作も含めた運動に対応するのに対し、フルペダル時間比はピアノのペダル効果に対応するものと考えられる。

4 調整された演奏特微量とその傾向

各演奏特微量について楽曲毎に音場と演奏者を要因とした二元配置分散分析（繰り返しあり）および多重比較（Tukey's HSD 検定）を行った。表 3 に音場の主効果の検定結果を示す（演奏者の主効果は全ての特微量で 1% 有意となった）。

Table 3 Significance of the main effect of sound filed condition by ANOVA.

| 演奏特微量 | 楽曲 | | |
|----------|------|-----------|--------|
| | Bach | Beethoven | Chopin |
| 演奏時間 | ** | * | |
| 打鍵速度 | ** | ** | ** |
| 離鍵速度 | ** | ** | ** |
| 打鍵時間比 | ** | * | ** |
| 平均ペダル変位 | ** | ** | ** |
| ノンペダル時間比 | ** | ** | ** |
| フルペダル時間比 | ** | ** | ** |

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

- ・演奏時間：Bach 演奏時に音場 R のみテンポが遅くなっているが、Beethoven 演奏時には音場 R でテンポが速くなっており、残響時間との相関は認められない。
- ・平均打鍵速度：3 曲に共通して音場 R では打鍵速度が明確に小さくなった。音場 R では残響エネルギーが著しく大きいため、演奏者が音量を抑制したものと考えられる。
- ・平均離鍵速度：Bach、Chopin 演奏時に音場 R で離鍵速度が小さくなった。これも残響エネルギーが影響していると考えられる。
- ・打鍵時間比：音場 R で打鍵時間比が減少する傾向がみられるが変化は非常に小さい。
- ・フルペダル時間比：全楽曲を通して、音場 S0、S1、S2 では残響時間が長くなるにつれフルペダル時間比は減少しており、ペダルの効果を抑制する傾向がみられる。一方、

音場 H では残響時間が同程度の音場 S1 に比べてペダルが抑制されており、やや大きい残響エネルギーが影響したものと考えられる。音場 R でも残響エネルギーの影響としてペダル抑制の傾向が現れている。平均ペダル変位も同様の傾向を示していた。

次に各演奏者の異なる音場における演奏調整傾向を把握するために、演奏特微量と室内音響指標を変数として主成分分析を行った。図 1 に例として Beethoven 演奏時の第 1、第 2 主成分得点の散布図と第 1、第 3 主成分得点の散布図を示す。

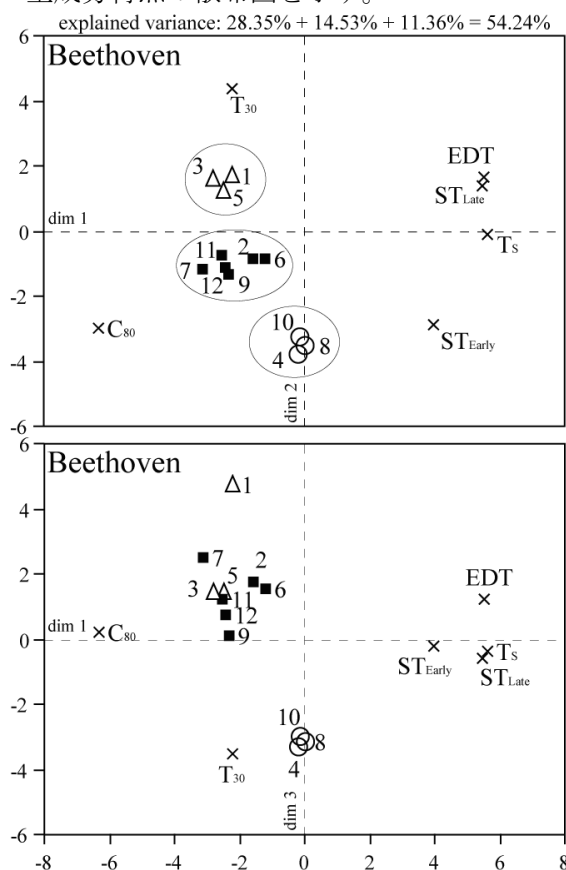


Fig. 1 Principal component analysis (Beethoven).

図中の 1 ~ 12 までの番号は演奏者を表しており、マーカが同じならば似た演奏傾向を示している（累積寄与率が 50% 以上になる第 3 主成分を考慮して分類した）。結果として、演奏の調整傾向は楽曲によって演奏

者間・演奏者内で異なるが、演奏者は3つから4つのグループに分けられ、残響条件として主に残響時間と残響エネルギーの影響度合いも異なることがわかった。

5 室内音響条件と演奏特徴量の関係

室内音響指標 (T_{30} , EDT, ST_{Early} , ST_{Late} , C_{80} , T_S) と演奏特徴量の関係を把握するため、両者を変数として主成分分析を行った。図2に第1、第2主成分得点の散布図と第1、第3主成分得点の散布図を示す。傾向として、 T_{30} とノンペダル時間比が正の相関、 T_{30} とフルペダル時間比、EDT・ ST_{Early} ・ ST_{Late} ・ T_S と打鍵速度・離鍵速度が負の相関であることが確認できる。一方、演奏時間と打鍵時間比は室内音響指標の影響が比較的小さい結果となった。

ここで相関が高いことが予想される演奏特徴量と室内音響指標との組み合わせの間に線形関係を仮定し、演奏特徴量を目的変数、室内音響指標を説明変数として演奏者毎に単回帰分析および重回帰分析を行った。

- ・平均打鍵速度： ST_{Early} に対して回帰精度の高い演奏者が最も多く、その傾向は各曲に共通していた。表4に相関性の認められる演奏者（寄与率 0.25 以上）の割合、寄与率と標準回帰係数の分布範囲を示す。

Bach 演奏時に標準回帰係数 -0.11 の演奏者もみられたが、概ね演奏者は -0.03 ~ -0.05 の値を示していた。従って、大半の演奏者は ST_{Early} の 1 dB 増加に対して打鍵速度を 3~5%程度低下させ、音量を抑える調整を行っていることがわかる。

- ・フルペダル時間比： T_{30} に対して回帰精度が最も高い結果となった。さらに T_{30} と相関の低い室内音響指標を用いて重回帰分析を行うと、 T_{30} と ST_{Late} の組でより回帰精度が

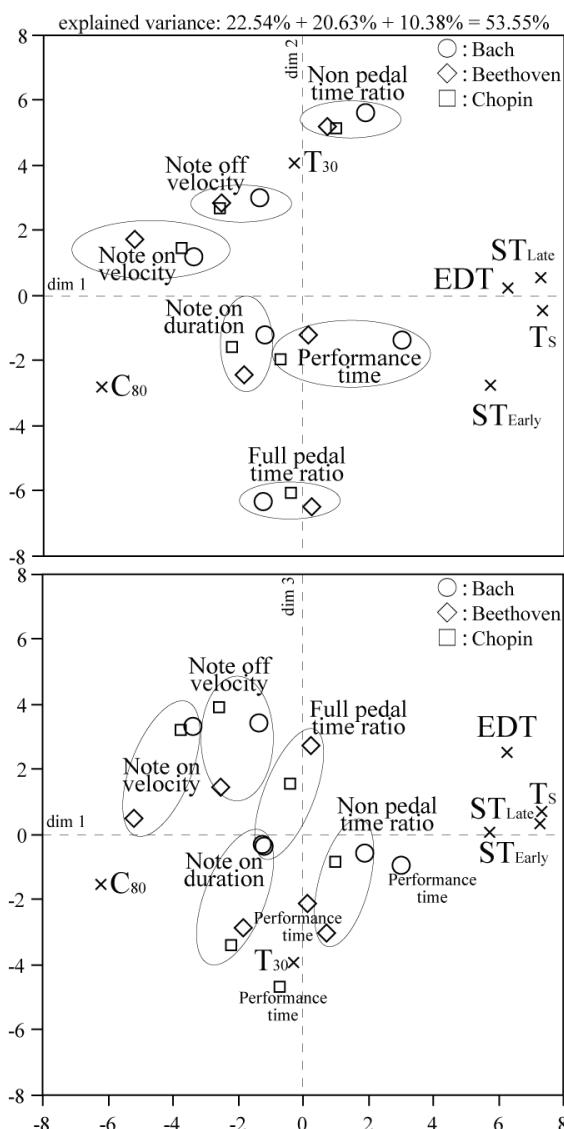


Fig. 2 Principal component analysis.

Table 4 Simple linear regression analysis between note on velocity and ST_{Early} .

| Objective variable | Explanatory variable | Musical pieces | Performer | Contribution Ratio | Standardized regression coefficients |
|--------------------|----------------------|----------------|-----------|--------------------|--------------------------------------|
| Note on velocity | ST_{Early} | Bach | 8 / 12人 | 0.29 ~ 0.91 | -0.110 ~ -0.020 |
| | | Beethoven | 10 / 12人 | 0.25 ~ 0.89 | -0.061 ~ -0.017 |
| | | Chopin | 10 / 12人 | 0.33 ~ 0.84 | -0.048 ~ -0.019 |

向上した。表5に相関性の認められる演奏者の割合、自由度調整済寄与率と標準偏回帰係数を示す。 T_{30} の標準偏回帰係数が -0.442 と極端な値を示した演奏者もみられるが、負の相関は共通する。一方、 ST_{Late} の標準偏回帰係数では演奏者によって正負

が異なる傾向を示した。従って、大半の演奏者は T_{30} の増加に対してペダル時間を短くして残響を抑えるが、 ST_{Late} に対しては演奏者によってペダルの調整が異なるものと考えられる。なお、ノンペダル時間比の傾向はフルペダル時間比とほぼ対応していた。

Table 5 Multiple regression analyses between full pedal time ratio and two acoustic quantities.

| Objective variable | Explanatory variable | Musical pieces | Performer | Adjusted contribution ratio | Standardized partial regression coefficients | |
|-----------------------|----------------------|----------------|-----------|-----------------------------|--|-----------------|
| | | | | | T_{30} | ST_{Late} |
| Full pedal time ratio | T_{30} ST_{Late} | Bach | 10 / 12人 | 0.29 ~ 0.93 | -0.442 ~ -0.006 | -0.056 ~ -0.063 |
| | | Beethoven | 11 / 12人 | 0.43 ~ 0.88 | -0.081 ~ -0.010 | -0.044 ~ -0.031 |
| | | Chopin | 11 / 12人 | 0.27 ~ 0.96 | -0.053 ~ -0.003 | -0.059 ~ -0.030 |

・その他：上記以外の演奏特徴量と室内音響指標では回帰精度は低く、両者の間には単純な相関は認められない。

6 演奏者の意識

演奏終了後に、音響条件に応じて調整を意識的に行なった項目の有無についてアンケートを行った。アンケートは予め設定した演奏調整項目と自由記述欄を設けた。

演奏者の意識が演奏の実態に反映されているかどうかを確認するため、アンケート項目別に調整を意識した演奏者群と意識しなかった群に分け、その2群の中でさらに MIDI 信号上の演奏特徴量に変化した群と変化していない群に分けた。図3に例として Chopin 演奏時の上記4つの群に該当した演奏者の割合を示す。

この結果から、音量に関連する平均打鍵速度、ペダリングに関連するフルペダル時間比、平均ペダル変位に関しては、各楽曲において大半の演奏者が調整を意識しており、演奏特徴量にも変化が生じていた。一方でテンポやタッチに関連する演奏時間や打鍵時間比では、演奏者はほぼ均等に4つの群に分かれる結果となった。従って、音量やペダリングでは演奏者の調整意識は実

際の演奏に反映されているが、テンポやタッチでは演奏者によって、演奏調整の意識と演奏動作に差異があることがわかった。これは Bach, Beethoven のときも同様だった。

7 まとめ

本研究は、模擬残響音場および実音場におけるピアノ試奏実験で得られた MIDI 信号と演奏者の主観印象を通じて、室内音響条件がピアノ演奏に与える影響について調べた。その結果、大半の演奏者について、打鍵速度は ST_{Early} の増加に対して低下し、ペダル時間は T_{30} の増加に対して減少することが確認された。また、演奏者は音量やペダリングの項目で演奏の調整を意識的に行っており、演奏動作に反映されていることがわかった。

本研究では演奏の動作を表す MIDI 信号を対象としたが、演奏者が実際に聴く音の分析も必要である。この両者の対応関係を調べることは、より詳細なピアノ演奏の調整について考察できると考える。

参考文献

[1] K. Ueno, K. Kato and K. Kawai, *Acustica/acta acustica* Vol. 96, pp. 505- 515, 2010.
 [2] S. Bolzinger and J. C. Risset: A Preliminary Study on the Influence of Room Acoustics on Piano Performance, *Journal de Physique III*, Volume 2, C1-91 -C1-96, 1992.

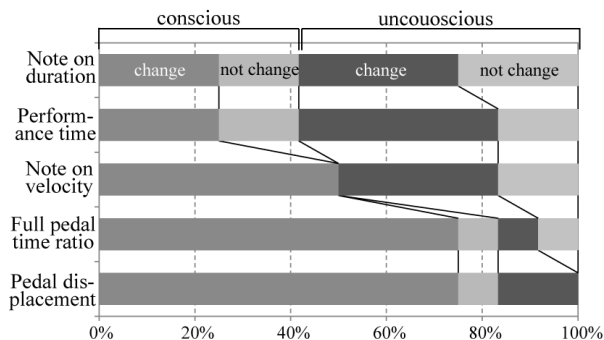


Fig. 3 Result of a questionnaire (Chopin).