

マンドリンの持続的な時間変動音における変動感と主観評価の関係

安井 希子[†], 寄能 雅文[‡], 三浦 雅展[‡]

[†]龍谷大学 大学院 理工学研究科

[‡]龍谷大学 理工学部

純音又は広帯域雑音に対する変動音の変動感に関する研究は過去に報告されている。そして、遅い速度の変動音に対する変動感の評価指標として変動強度(Fluctuation Strength, FS)が過去に提案されており、純音に対するAM音(AM SIN)において変調周波数が約4 Hzの時にFSは最大になると言われている。しかし、減衰楽器の持続的な時間変動音の変動感とそれに対する主観評価に関する調査報告はほとんどないのが現状である。そこで本研究では、減衰楽器の持続的な時間変動音としてマンドリンのトレモロ音を取り上げ、トレモロ音の変動感とそれに対する主観評価の関係を調査している。

A relation between subjective evaluation and hearing sensation concerning modulated sounds for fluctuated continuous sounds using the Mandolin

Nozomiko YASUI[†], Masafumi KINO[‡] and Masanobu MIURA[‡]

[†]Graduate School of Science and Technology, Ryukoku University

[‡]Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

The “Fluctuation Strength (FS)” was suggested as an evaluation index of hearing sensation concerning modulated sounds of low frequency. Past studies had been investigated FS of modulated pure tones and broad-band noise, and clarified that FS for amplitude-modulated pure tone (AM SIN) with a modulation frequency within 4-8 Hz is large compared to the range outside of 4-8 Hz. However, few studies have been reported concerning the relation between FS and subjective evaluations for continuous sounds played by musical instruments. Therefore, the tremolo played by the Mandolin is employed here as harmonic sounds fluctuating of low rate, and investigated here is the relation between FS and subjective evaluations for continuous sounds using the Mandolin.

1 はじめに

マンドリンとは、弦を弾くことによって演奏されるリュート系の撥弦楽器の一つであり、洋ナシ型に膨らんだ木製の胴と完全5度の関係で調弦された金属製の複弦を4対持ち、各対はほぼ同じ高さで調弦された2本の弦から成り立っている[1]。マンドリンは、様々な音楽ジャンルで用いられている。マンドリンの概観をFig.1に示す。マンドリン演奏では主にピックを用いて2種類の奏法を

行なう。それらは、マンドリン奏者間で「ピッキング奏法」及び「トレモロ奏法」と呼ばれている。ピッキング奏法とは、ピックを用いて1対の弦を1回だけ弾く奏法である。トレモロ奏法とは、ピックを用いて1対の弦を上下方向に撥弦させることを繰り返すことで音を持続させる奏法であり、トレモロ音とはその奏法によって奏でられる音である[1]。トレモロ奏法の撥弦操作の頻度は、一般に非共通であると言われている。しかし、トレモ

口音は擬似持続音と考えられるので、トレモロ音が途切れて聴こえる程度の頻度では不適切であり、それは持続的な音としては感じられないため、ある頻度以上で演奏するべきと考えられている。トレモロ奏法はマンドリンによる様々な音楽ジャンルの演奏において用いられ、マンドリン演奏においてトレモロ奏法は主要な奏法である。まとめると、トレモロ奏法は「持続的な音」を奏でる点では一般に共通であるが、その奏法は奏者・音楽文脈・演奏環境などに依存した自由で多様な奏法と言える。

熟達したトレモロ音の特徴に関する統一的な意見はこれまで存在しないが、例えばその一例に「1回の撥弦における音の大きさがほぼ一定で、撥弦操作が均一、すなわち変動が少ないと感じられるもの」という意見がある。この指針は比較的、一般に受け入れられるものではあるが、その特徴を客観的に測定した研究はほとんどないのが現状である。本研究では、熟達度の高いとされるトレモロ音の特徴を音響学的に明らかにし、その結果を練習や指導に行かすことを最終目標とする。それをはっきり定義することは難しいが、その音響的特徴を解析することは熟達したトレモロ音の定義を目指す上では合理的であると言える。トレモロ音は撥弦操作の繰り返しによって奏でられる音であるので、遅い速度の振幅変調音と解釈することができる。また、遅い速度の変動音に対する変動感の評価指標として FS が提案されていることから、トレモロ音の変動感を FS で評価し、それとトレモロ音に対する主観評価の関係を調査する。



Figure 1. An overview of the Mandolin

2 FS に関する先行研究

FS とは、変調周波数に伴って時間的に変化する“変動感”を評価する心理量の指標のひとつであり、Fastl によって提案された。そして、FS は約 20 Hz 以下の変調周波数で生じる変動感、つまり、

遅い速度の変動音に対する変動感を対象としていると言える。なお、変動感を評価する心理量の指標として、FS 以外にラフネスが提案されている。ラフネスは変調周波数が約 20 Hz 以上の変調周波数で生じる変動感を対象としている。つまり、ラフネスは速い速度の変動音に対する変動感を対象としていると言える。先行研究より、AM SIN において変調周波数が約 4-8 Hz の時に FS は最大になり、主観的変動感が最も高いといわれている[2-3]。また、FS に関する研究は過去にもあり、いくつか報告されている[2-5]。Andreas らは、楽曲の音響信号に含まれる周波数帯域の FS より、楽曲間のリズムパターンの特徴を抽出している[4]。また、Kurakata らは、ピアノ演奏における音の強さの変動が FS と関係すると述べている[5]。FS ではなく、ラフネスを用いてダミ声の周波数揺らぎを調査している研究もある[6]。

3 調査方法

本研究では、トレモロ音の主観評価に影響を与えと考えられる主な要因を列挙した。これらの要因の内、実験環境をある程度統制することによって、奏者間で「共通とすることができる要因群」と「奏者固有とならざるを得ない要因群」の2つに分けることができる。その基準は調査環境に依存するが、本研究における分割の例を Table 1 に示す。共通とする要因の内、撥弦操作の頻度はトレモロ音の変動感及び主観評価に強く影響を与える主な要因と考え、撥弦操作の頻度に着目することにした。また、演奏音の音色も主観評価に影響を与えと考えられるが、その音色は奏者固有となる要因群をはじめとする様々な要因が関与するために、奏者間で音色を統一させることは困難であると考えられる。そのため、本調査においては奏者固有となる要因群を排除するために、奏者間での比較を行わず、奏者ごとに調査することにした。本稿では、7通りの音色に対して3通りの撥弦操作の頻度のトレモロ音を用いて主観評価実験を行ない、トレモロ音の演奏熟達度を調査した。また、トレモロ音の変動感を調査するために、トレモロ音の物理的な変動について調査した。具体的には、過去の研究より AM SIN において変調周波数が約 4-8 Hz の時に FS は最大になると報告さ

Table 1. Main factors affected subjective evaluations of the performance proficiency for tremolo using a Mandolin

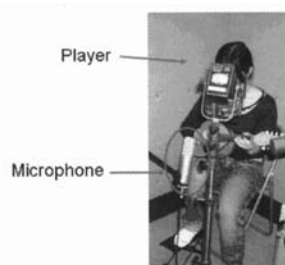
Common factors	Individual factors
Shape of the instrument	Relative position to the instrument
Type of the strings	Acoustic property when plucking a pair strings
Materials, thickness and size of the pick	Position and angle of pick for strings
Reverberation of recording environment	Holding style of pick
Subjective strength of pressing strings	Average speed in a single plucking
Plucking rate	

れているので[2], 本研究では約 4-8 Hz の変動成分が, 人が感じる変動感に影響を与え, 主観評価に影響していると考え, 記録したトレモロ音の音響データに対して約 4-8 Hz の変動成分を抽出し, それを「物理的 FS」と呼ぶことにする。また, Fastl によって提案された心理的な変動感を表す FS を「心理的 FS」と呼ぶことにする。最後に, トレモロ音の物理的 FS と主観評価の関係を調査する。

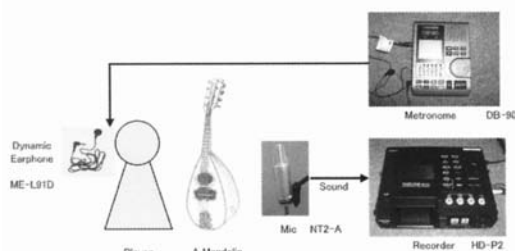
3.1 トレモロ音の記録実験

防音室にて 3 年以上の演奏経験を持つマンドリンの熟達者 7 名(P₁~P₇)に, 6,8 及び 9 Hz の 3 通りの撥弦操作の頻度で 5 秒間のトレモロ演奏を計 5 回行なってもらい, マイクロフォンを用いて演奏音を録音した。この時, 演奏者に 90,120 及び 135 bpm(6,8 及び 9 Hz に相当)において 32 分音符で撥弦操作を行なうように指示し, メトロノームから演奏者の左の耳のみにダイナミックイヤホンを用いて指定テンポの音を呈示した。それは, 両耳に呈示した場合, 演奏者が自分の演奏音を聴くことができず, 演奏に影響を及ぼすと考えたためである。演奏音は第 3 対の開放音 D₄(約 295 Hz)とした。音の大きさは一定とし, 「*p* (ピアノ)」とした。このようにした理由は, 「音の大きさが比較的小さい方が, 熟達したトレモロ音と熟達していないトレモロ音の差がつきやすい」という熟達者の意見によるものである。用いた楽器は鈴木バイオリン社のマンドリン M-150, ピックはヤマハ社のナイロン製で, 色は黒, 厚さは 0.635mm(演奏しやすいように加工したもの)のピックである。また, 用いたメトロノームはローランド社の DB-90, ダイナミックイヤホンはソニー社の ME-L91D, マイクロフォンは RODE Microphones 社の NT2-A, 録音機は

ティアック社の HD-P2 であり, 量子化ビット数 16 bit, サンプリング周波数 48 kHz で録音した。Figure 2 に記録環境を示す。具体的には, (a)は記録環境の状況, (b)は記録環境の構成を表す。



(a) An allocation of the player and the microphone in the recording environment



(b) Outline of recording environment

Figure 2. Recording environment

3.2 主観評価実験

防音室にて半年以上の演奏経験を持つマンドリン奏者 6 名に, 録音したトレモロ音の主観評価を行なった。この 6 名は演奏者とは異なる評価者である。用いた刺激音は, 7 名の演奏者におけるそ

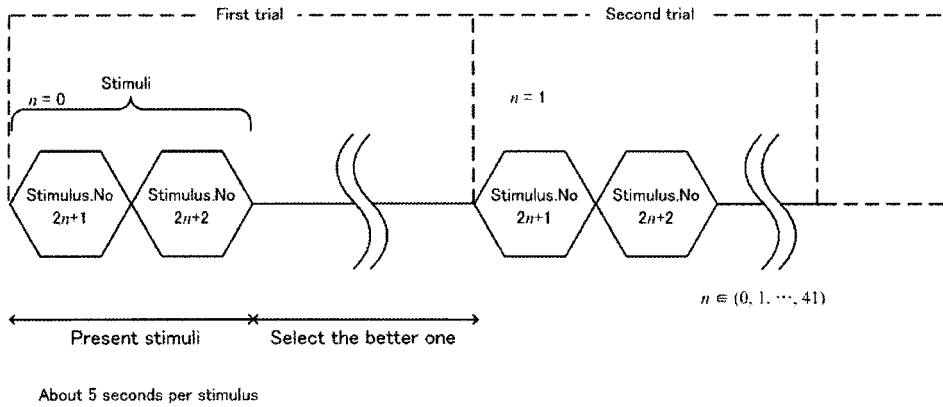


Figure 3. Presenting scheme of stimuli

れぞれが3通りの撥弦操作の頻度で演奏したトレモロ音、計21個である。具体的には、各演奏者において、撥弦操作の頻度が異なる演奏音3個から2個ずつの組み合わせを作り、それらの組み合わせの両方の順序の対を作成した。つまり、呈示する刺激の対は、計42対である。呈示方法は2AFC法を用いた。具体的には、各対を1回ずつ主観評価するように刺激音を呈示し、評価者には2個の刺激音を呈示順序通りに聴き、上手な演奏音を選択するように指示した。刺激の呈示方法を Fig.3 に示す。各評価者にはヘッドホン経由で刺激音を呈示した。呈示レベルは各評価者にとって聴きやすいレベルに、ラウドネスマッチングによって調節させた。その結果、各評価者への呈示レベルの平均は 62.5 dBA となった。用いたヘッドホンは STAX 社の SR-303、アンプは STAX 社の SRM-313 である。

3.3 物理的 FS の算出方法

Figure 4 に算出方法を示す。具体的には、録音したトレモロ音($S_{1,1} \sim S_{7,3}$)はそれぞれレベルが異なるため、それらの音響パワーをそろえた後に、定長 1 sec、シフト幅 0.5 sec によって N 個の波形に分割し(Fig.4 内の $f_1(t) \sim f_N(t)$)、それぞれに対して絶対値処理を行ってから FFT を行なう。そして、4-8 Hz を通す帯域通過フィルタに通し、そのフィルタに通した波形に対して IFFT を行ない、IFFT をされた波形の RMS 値の平均($F_{1,1} \sim F_{7,3}$)を求める。

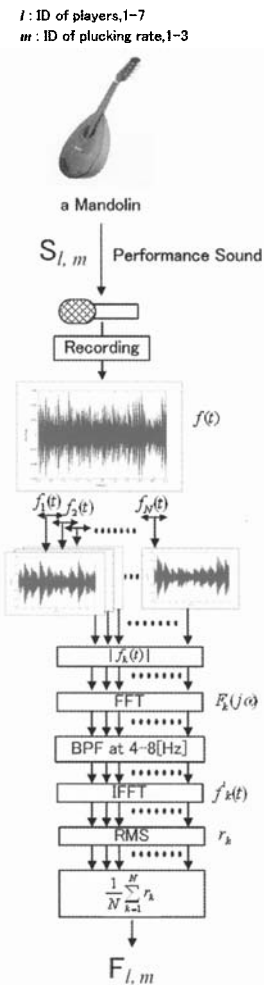


Figure 4. Procedure of calculating physical FS

Table 2. Results of evaluating subjectively the performance proficiency for tremolo performed by each player

Player	Plucking rate		
	6 Hz	8 Hz	9 Hz
P ₁	4* (11 %)	10* (28 %)	22* (61 %)
P ₂	2* (6 %)	18* (50 %)	16* (44 %)
P ₃	0* (0 %)	14* (39 %)	22* (61 %)
P ₄	5* (14 %)	11* (30 %)	20* (56 %)
P ₅	3* (7 %)	14* (39 %)	19* (54 %)
P ₆	6* (16 %)	10* (28 %)	20* (56 %)

The number of cases evaluated as good (%)

* : $p < .05$

4 実験結果

各演奏者のトレモロ音に対する主観評価の結果を Table 2 に示す。Table 2 より、撥弦操作の頻度が8又は9 Hzの演奏音が上手な演奏音と評価されたことが確認できる。撥弦操作の頻度間における偏りの有無を調査するために、Table 2 のデータに対して χ^2 適合度検定を行ない、有意水準5%においていずれの演奏者についても撥弦操作の頻度間に偏りが無いとは言えないという結果が得られた。

また、各演奏者のトレモロ音に対する物理的 FS の値を Fig 5 に示す。Figure 5 より、どの演奏者においても撥弦操作の頻度が多くなるにつれて物理的 FS の値が小さくなる様子を確認できる。ただし、撥弦操作の頻度が少ないにも関わらず、物理的 FS の値が小さい様子が確認できる(例えば、P₇の8 HzとP₂の6 Hz)。これは、音色や撥弦操作の不規則性に起因するものである。不規則性によるFSの影響については過去に指摘されているが[5]、その以後に調査例はないため、今後の検討事項と言える。

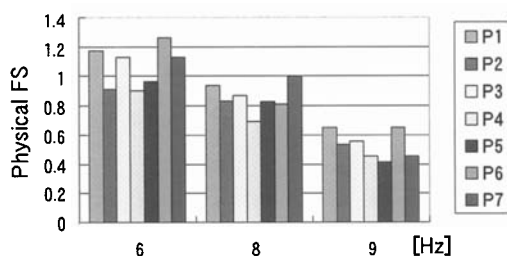


Figure5. Amount of physical FS for tremolo played by each player calculated by original procedure

5 考察

Table 2 及び Fig.5 より、上手と評価された演奏音は物理的 FS の値が小さい様子が確認された。また、主観評価結果と物理的 FS の相関を調査した結果、強い負の相関($r = -.75(n=21)$)が確認された。よって、マンドリンのトレモロ音に対する評価指標として、物理的 FS が提案できると考えられる。そこで、本研究の物理的 FS の算出システムと既存の音質評価システムの整合性を確認するために、市販の音質評価ソフトウェア(小野測器社の WS-5160)を用いて心理的 FS の値を求め、物理的 FS と心理的 FS の相関を調査した。各演奏者のトレモロ音に対する心理的 FS の値を Fig.6 に示す。Figure 6 より、物理的 FS の場合と同様に、どの演奏者においても撥弦操作の頻度が多くなるにつれて心理的 FS の値が小さくなる様子を確認できる。また、物理的 FS と心理的 FS の値の相関を調査した結果、強い正の相関($r = .87(n=21)$)が確認された。よって、本研究の物理的 FS の算出システムは既存のシステムとの整合性があると考えられる。

本研究で得られた結果と心理的 FS の関係を Fig.7 に示す。“playable region” は、トレモロ演奏可能な範囲を示している。それは、8 名のマンドリン奏者に対して行なったアンケート調査により得られた。具体的には、演奏可能な撥弦操作の最大頻度を回答してもらい、メトロノームを用いて確認させた。アンケート結果を Table 3 に示す。Figure 7 より、算出した物理的 FS と主観評価結果、心理的 FS の間に 2 つの強い関係の存在が確認された。よって、マンドリンのトレモロ音は playable

region における FS が最大となる範囲を避けて演奏していると考えられる。しかし、本研究では、3通りの撥弦操作の頻度しか調査していないので、他の撥弦操作の頻度におけるそれぞれの関係を確認する必要がある。

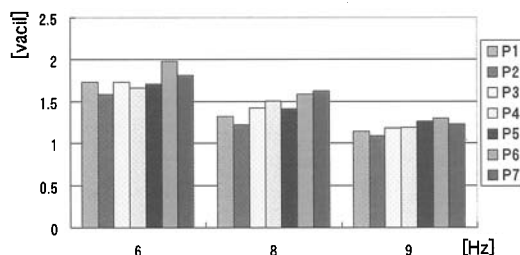


Figure 6. Amount of psychological FS for tremolo performed by each player obtained by a commercially-sold system

Table 3. Results of questionnaire

	Plucking rate			
	10 Hz	11 Hz	12 Hz	13 Hz
# of answers	3	2	1	2

6 まとめと今後の課題

調査結果より、上手と評価された演奏音は物理的 FS の値が小さい様子が確認されたため、マンドリンのトレモロ音に対する評価指標として物理的 FS が提案できると考えられる。

今後、実験条件の拡充を行ない、playable region 内全ての撥弦操作の頻度における主観評価と物理的 FS の関係やトレモロ音の不規則性を調査し、トレモロ音の熟達度と物理的 FS の関係を明確に

することを目指す。

謝辞

本研究を進める上で貴重なご意見をいただきました本学理工学部杉田繁治教授、同志社大学工学部柳田益造教授及び金沢工業大学情報フロンティア学部山田真司准教授に感謝致します。また、本研究にご協力いただいた本学のマンドリンオーケストラの OB/OG、現役生諸氏に感謝致します。本研究の一部は、龍谷大学 HRC プロジェクトの援助を受けた。

参考文献

- [1] 藤田 修, “図で解る 正しいマンドリンの弾き方”, 全音楽譜出版社, 2005
- [2] H. Fastl and E. Zwicker, “Psychoacoustics Facts and Models”, pp.247-256, Springer-Verlag (1990).
- [3] H. Fastl, “Fluctuation Strength and temporal masking patterns of amplitude-modulated broadband noise”, *Hearing Research*, 8, pp.56-69 (1982)
- [4] Andreas Rauber, Elias Pampalk and Dieter Merkl, “Using Psycho-Acoustic Models and Self-Organizing Maps to Create a Hierarchical Structuring of Music by Sound Similarity”, Proc. of ISMIR 2002, Paris, France, October 13-17 (2002)
- [5] K. Kurakata, S. Kuwano and S. Namba, “Factors determining the impression of the equality of intensity in piano performance”, *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 14, 6, pp.441-447 (1993)
- [6] N. Fujisawa, M. Yamada and I. Nakayama, “Fluctuation in frequency of Japanese pressed voice, Dami-Goe”, *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 21, 6, pp.365-367 (2000)

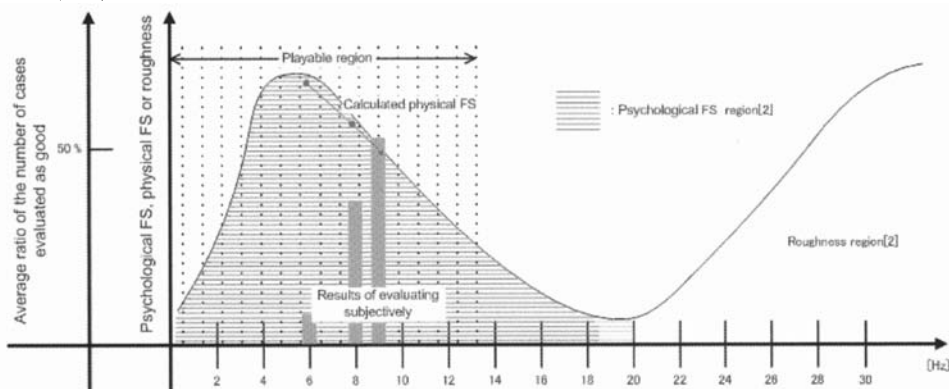


Figure 7. Relation between results obtained in this study and psychological FS