

簡易脳波計によるピアノ演奏技能の上達評価に向けた予備的研究：キーボードの違いと演奏音の有無が脳波と反応時間に与える影響

Preliminary research for the evaluation of improvement in piano performance by a cost-effective EEG device: Effects of keyboard difference and playing sound on EEG and reaction times

秋元 頼孝

AKIMOTO Yoritaka

石野 未沙

ISHINO Misa

三宅 圭音

MIYAKE Keito

宮澤 志保

MIYAZAWA Shiho

落合 純

OCHIAI Jun

中平 勝子

NAKAHIRA Katsuko T.

キーワード：ピアノ演奏、楽器、技能評価、脳波、反応時間

Keywords : piano playing, music instrument, skill evaluation, electroencephalography, reaction time

We conducted preliminary electroencephalography (EEG) experiments in which five musical notes were presented and which required participants to press the corresponding keys on a MIDI-keyboard or PC-keyboard with or without immediate piano sound feedback. Participants performed the same experiment over multiple days. Results showed that reaction time was improved during the first few experiments. We also found that event-related potential (ERP) waveforms on the F8 channel differed depending on the type of keyboard used. In addition, increases in theta power were observed during piano playing, irrespective of the keyboard type used or the presence of feedback.

1. はじめに

ピアノ演奏は、それを仕事とするプロや保育士・幼稚園教諭だけでなく、定年退職後の趣味として、また自己表現、集中力を高める目的でも始められる、最もポピュラーな習い事の一つである。

楽器の演奏は巧緻性の運動学習であり、その上達には継続的な練習が必要である。初心者にとっては、譜面上の音符を読み、鍵盤上の打鍵位置を確認し、実際に弾くという一連の流れが最初の難関となる。しかし、演奏技術の向上には多大な時間を要することから、モチベーションの維持が難しく、途中で挫折してしまうことも多い。もし、ピアノ演奏上達過程を、客観的な方法でフィードバックができれば、練習の効率性やモチベーションの維持に配慮した学習支援システムを確立できる可能性がある。

ピアノを演奏するためには視覚・運動・聴覚を連携させる必要があるため脳の様々な領域が同時に活性化し、それゆえ脳のトレーニングに適していると考えられている。ピアノ演奏にはリラクセス効果があることが知られているが、実際に、演奏時にはリラクセスした状態と関連付けられるシータ波が生じる¹⁾ことが知られている。

近年は、比較的安価ながらも研究用途にも使用可能なモバイル型簡易脳波計が登場しており、自然な環境でのピアノ演奏時の脳波測定が可能となっている。脳波を用いた先行研究では、音楽の処理が右半球優位であること²⁾、統語処理を反映しているとされる P600 と呼ばれる Event-Related Potential (ERP) が、音楽規則の違反時にも生じること³⁾、また P600 の振幅はピアノ熟達者では大きいこと⁴⁾などが知られている。

本研究では、モバイル型簡易脳波計を用いてピアノ演奏技能の上達を評価する手法の確立に向け、ピアノ演奏時の脳活動についての基礎的データを得ることを目的とした。具体的には、ピアノ演奏に用いるキーボードの違い、キーを押したときの即時フィードバック（演奏音）の有無、演奏する楽譜がランダムな音の並びか定番の（以前に演奏したことのある）音の並びかといった要因を操作したうえで同一実験参加者に対して複数回の脳波計測実験を行い、これらの要因が脳波や反応時間に与える影響について探索的に検討した。

キーボードの違いに着目したのは、演奏に特化した道具（MIDI キーボード）と汎用的な道具（PC キーボード）によって上達に違いが生じる可能性があると考えたためである。また、運動学習にはフィードバックが重要な役割を果たすと考えられるため、ピアノ演奏音の有無についても操作して実験を行った。

2. 方法

実験 1

参加者

20代女性、20代男性、40代男性の3名が実験に参加した。ただし、20代女性は同様の実験をすでに1回経験していた。また、20代男性はピアノを正式に学んだ経験はなかったが、ピアノ演奏を独学したとの報告があった。被験者の全員が右利きで、いずれも楽譜は読めないと自己認識していた。

装置

演奏器具としてPC用キーボードとMIDIキーボードKORG社製MICROKEY25を用いた(図1)。キーボードには、実験に使用する白鍵に対応するキーにシールを貼った。また、PC用キーボードに関して、実験に使用しない黒鍵に対応するキーについてもシールを貼ることで、キーの対応を把握しやすくした。

脳波計測装置にはEmotiv社製のEPOC+を用いた。本装置には国際10-10法におけるAF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, T7, T8, P7, P8, O1, O2の14箇所に電極が配置されており、生理食塩水を用いて短時間で装着が可能であるという特徴を持つ。脳波測定プログラムにはTestBench3.1.21を用い、刺激呈示プログラムはPsychoPy Builderを用いて作成した。また、試行開始時にピアノ音を呈示するタイミングで刺激呈示プログラムからシリアル信号を出力し、脳波データにトリガとして記録した。スピーカから出るピアノ音の大きさは約60dBであった。

手続き

実験の流れを図2に示す。実験が始まると、まず、どちらのキーボードを使用するかが画面上に表示された。次に、注視点が1000ms視覚呈示され、その直後に合計5つのピアノ音が500msの等間隔で呈示された(課題音)。その後(刺激呈示の3000ms後)、課題音に対応する楽譜が呈示され、被験者は対応するキーボードのキーを押すように指示された。フィードバック有りの条件では、キーが押されると対応するピアノ音声が再生された。全ての入力完了したら、エンターキーを押すことで正しく入力できたかどうか視覚表示された。

使用するキーボードの種類(MIDI vs. PC)とフィードバック(有り vs. 無し)の要因を組み合わせた4つの条件を設定し、それぞれの条件ごとに連続で40試行を行った。その後、どちらのキーボードを使用するかが再び画面上に表示され、全ての条件が終わるまで繰り返された。4つの条件の順番は被験者ごとにランダムであった。



図1 実験に使用したキーボード(上はPCキーボード、下はMIDIキーボード)

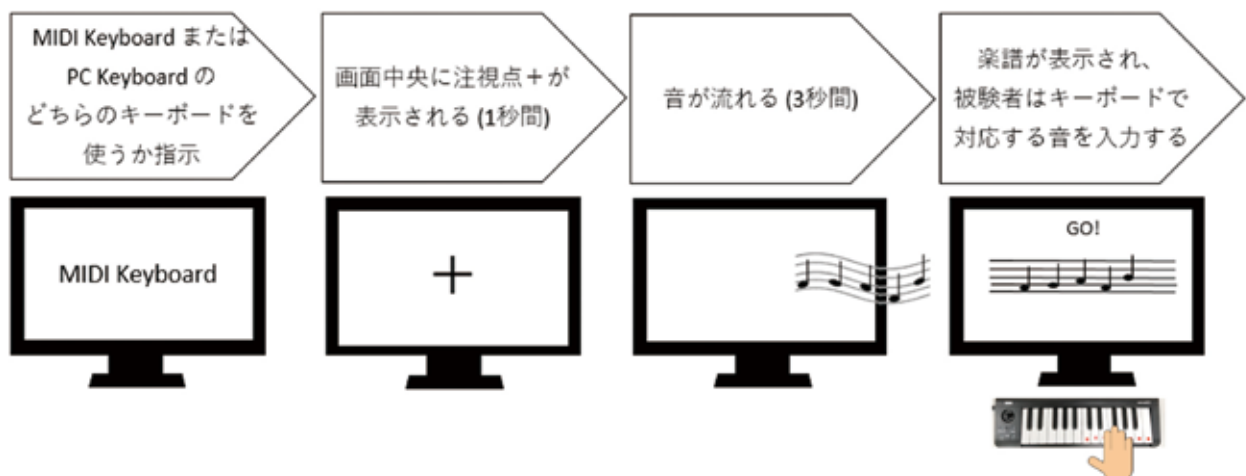


図2 実験の流れ

課題音は、「ド（低）・レ・ミ・ファ・ソ・ラ・シ・ド（高）」の8種類からランダムで5つの音が選ばれた。ただし50%の確率で、それぞれの条件ごとに事前に決められた音列（繰り返し刺激）5種類のうちいずれかが呈示された。3回の実験を通して、条件に対する繰り返し刺激の割り当ては変更しなかった。また、どの条件にどの繰り返し刺激を割り当てるかについては、被験者ごとに変更した。

各被験者について、合計3回それぞれ異なる日に実験を実施したが、プログラムのバグが初回の実験終了後に発覚したためそのデータは解析に使わないこととした。

実験2

参加者

右利きの40代女性1名が実験に参加した。小学生のころに1年間だけピアノ教室に通った経験があるが、楽譜は読めないと自己認識していた。

装置・手続き

合計6回実験を繰り返した点を除き、実験1と同じ装置・手続きで実験を行った。

3. 結果

行動データ

正しくキーが押された割合（正答率）の全実験データの平均は、「ド(低)」が99.6%、「レ」が98.6%、「ミ」が98.7%、「ファ」が98.2%、「ソ」が97.7%、「ラ」が97.2%、「シ」が97.7%、「ド（高）」が97.2%であった。

また、1音目および5音目の入力に要した時間（反応時間）についての解析も行った。最初に、5つのキー入力のうち一つでも間違っている試行と5音目の入力に10秒以上要した試行を除外した。次に、それぞれの被験者の実験日ごとのデータにおいて5音目の反応時間の平均値から2.5標準偏差以上離れた試行を除外した。条件ごとの1音目および5音目の反応時間の平均値を図3（実験1）および図4（実験2）に示す。図から確認できるように、1音目の入力には約2秒、5音目の入力には約4.5～5秒の時間を要していた。また、キー入力に要した時間（秒）について、前回の実験からの変化量を表1に示す。

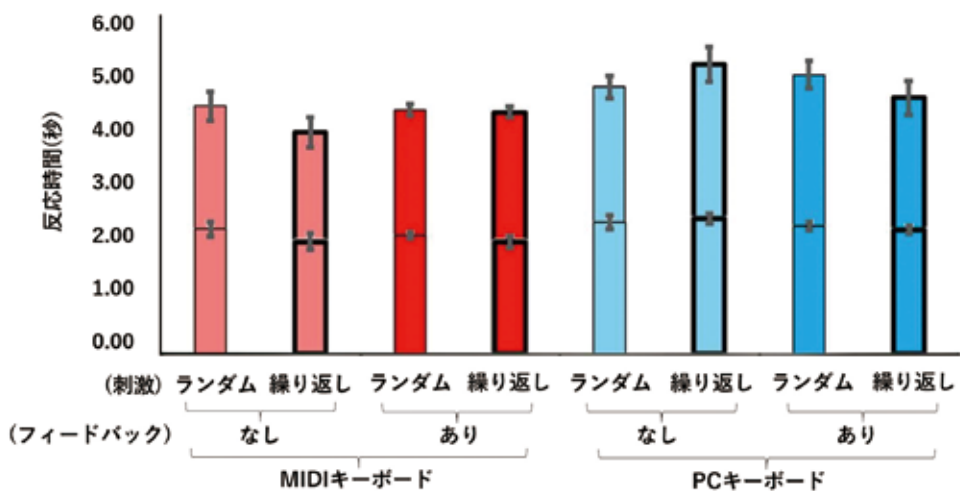


図3 1音目（下線）および5音目（上線）の入力に要した時間（実験1）
エラーバーは標準誤差を示す。

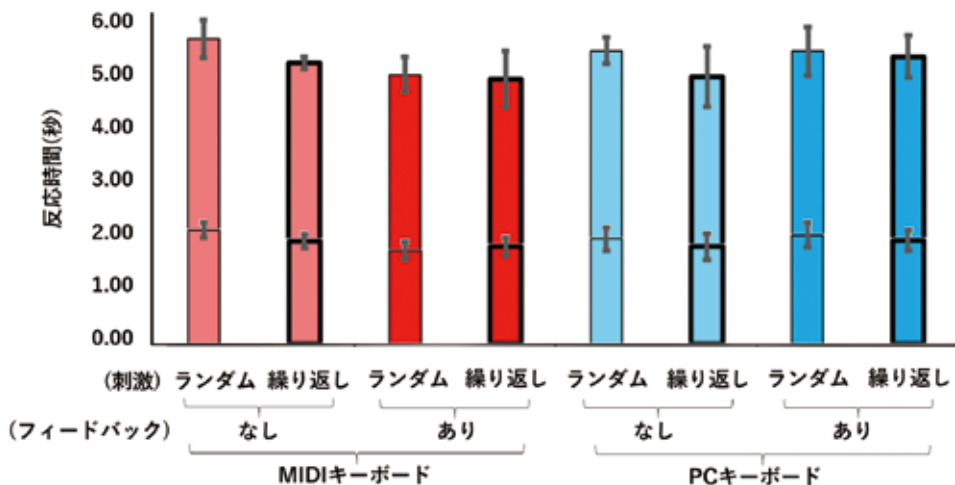


図4 1音目（下線）および5音目（上線）の入力に要した時間（実験2）
エラーバーは標準誤差を示す。

表1 前回の実験と比べたキー入力に要した時間(秒)の変化量
赤はキー入力時間の短縮を、青はキー入力時間の増加を示す。

	MIDIキーボード				PCキーボード			
	フィードバックなし		フィードバックあり		フィードバックなし		フィードバックあり	
	ランダム	繰り返し	ランダム	繰り返し	ランダム	繰り返し	ランダム	繰り返し
1音目の入力に要した時間の実験回数による変化								
実験1								
2→3	-0.05	-0.37	-0.31	-0.34	-0.25	0.05	-0.28	-0.15
実験2								
1→2	-0.78	-0.76	-0.06	-0.36	-0.41	-0.19	0.09	-0.05
2→3	0.23	0.24	0.02	0.37	-0.36	-0.25	-0.38	-0.07
3→4	-0.13	-0.20	0.19	0.19	0.62	0.27	-0.01	-0.16
4→5	0.04	-0.26	0.04	-0.60	-0.50	-0.07	0.10	0.16
5→6	-0.13	0.25	-0.26	0.19	0.19	-0.31	0.20	-0.29
5音目の入力に要した時間の実験回数による変化								
実験1								
2→3	0.31	-0.30	-0.63	-0.98	-0.53	0.10	-0.77	-0.73
実験2								
1→2	-1.12	-1.19	-0.04	-0.54	-0.74	-0.98	-0.96	-1.10
2→3	-0.13	-0.06	-0.31	-0.04	-0.44	-0.07	-0.29	-0.12
3→4	-0.19	-0.22	0.12	0.15	0.39	-0.26	-0.07	-0.27
4→5	-0.17	-0.33	0.06	-0.13	-0.51	-0.22	-0.07	-0.24
5→6	0.10	0.24	-0.45	0.01	0.18	-0.67	-0.17	-0.36

次に、1音目もしくは5音目の反応時間(秒)を目的変数とした強制投入法による重回帰分析を行った。説明変数には、それぞれの音高の出現回数に加えて、フィードバックの有無、キーボードの種類(MIDIキーボード/PCキーボード)、刺激の種類(繰り返し譜面/ランダム譜面)、実験回数のそれぞれの要因をダミー変数として用いた。実験1に関しては、被験者要因についてもダミー変数としてモデルに投入した。偏回帰係数の標準化は行わなかった。

重回帰分析の結果をそれぞれ表2(実験1)・表3(実験2)に示す。1音目・5音目の反応時間をそれぞれ目的変数とした重回帰分析における調整済みR2値は、実験1がそれぞれ0.32、0.17、実験2がそれぞれ0.33、0.41だった。

脳波データ

脳波データの解析には、EEGLAB 2019.0およびEEGLAB 2021.0を用いた。脳波データの記録に用いたTestBench 3.1.21ではリアルトリガと脳波データの間に平均して100ms程度のずれが生じるため、その補正を行った。1Hzのハイパスフィルタをかけた後、Artifact Subspace Reconstruction(ASR)によりノイズの大きいデータの補正を行った。次に、課題音提示の時点を基準として、その1秒前から7秒後までの区間を切り出した上でIndependent Component

Analysis(ICA)を行い、眼球運動等のノイズ成分を目視により削除した。以上の前処理を全データに対して行った後、課題音提示の時点からその1秒前までの区間をベースラインとして、集団レベルでのERP解析およびEvent related spectral perturbation(ERSP)解析を行った。なお、ERP解析の際には15Hzのローパスフィルタを適用した。

ERPに関して、実験で操作した要因間で違いが認められるかを探索的に調べた結果、F8チャンネル(右下前頭回付近)においてキー入力を開始する時間帯で、キーボードの種類によって異なるERP波形を、実験1と実験2の両方で認めた。使用したキーボードごとの、全チャンネルのERP波形およびF8・F7チャンネルのERP波形を拡大表示したものを図5(実験1)・図6(実験2)に示す。

ERSPに関して、実験で操作した要因間で違いが認められるかを探索的に調べたが、特に違いは認められなかったため、全条件を平均したもの(およびF8・F7チャンネルのERSPを拡大表示したもの)を図7(実験1)・図8(実験2)に示す。楽譜提示後のキー入力期間において、特に前頭のチャンネルにおいて顕著なシータパワー(3~7Hz)の増加を認めた。

表2 1音目の反応時間の重回帰分析の結果
Bは偏回帰係数を、SEは標準誤差を、95%CIは95%信頼区間を示す

	実験1				実験2			
	B	SE	p	95%CI	B	SE	p	95%CI
切片	2.05	0.08	< 0.001	[1.88 2.21]	2.42	0.07	< 0.001	[2.28 2.56]
「レ」の数 (0~1)	0.21	0.12	0.083	[-0.03 0.44]	0.17	0.09	0.071	[-0.01 0.35]
「ミ」の数 (0~1)	0.29	0.08	< 0.001	[0.13 0.45]	0.21	0.07	0.002	[0.08 0.35]
「ファ」の数 (0~1)	0.37	0.08	< 0.001	[0.21 0.52]	0.42	0.07	< 0.001	[0.29 0.55]
「ソ」の数 (0~1)	0.68	0.10	< 0.001	[0.48 0.88]	0.19	0.08	0.024	[0.03 0.36]
「ラ」の数 (0~1)	0.89	0.09	< 0.001	[0.73 1.06]	0.55	0.07	< 0.001	[0.41 0.69]
「シ」の数 (0~1)	0.66	0.10	< 0.001	[0.46 0.86]	0.33	0.08	< 0.001	[0.17 0.49]
「ド(高)」の数 (0~1)	0.19	0.09	< 0.001	[0.00 0.37]	0.07	0.08	0.383	[-0.08 0.22]
フィードバック(有=1, 無=0)	-0.08	0.05	0.071	[-0.17 0.01]	-0.09	0.04	0.013	[-0.17 -0.02]
キーボード(MIDI=1, PC=0)	-0.06	0.05	0.225	[-0.15 0.03]	-0.25	0.04	< 0.001	[-0.32 -0.17]
刺激の種類(繰り返し=1, ランダム=0)	-0.05	0.05	0.279	[-0.15 0.04]	-0.14	0.04	0.001	[-0.22 -0.06]
実験2回目(Yes=1, No=0)					-0.35	0.07	< 0.001	[-0.48 -0.22]
実験3回目(Yes=1, No=0)	-0.23	0.05	< 0.001	[-0.32 -0.14]	-0.36	0.07	< 0.001	[-0.49 -0.23]
実験4回目(Yes=1, No=0)					-0.28	0.07	< 0.001	[-0.41 -0.15]
実験5回目(Yes=1, No=0)					-0.44	0.07	< 0.001	[-0.57 -0.31]
実験6回目(Yes=1, No=0)					-0.42	0.07	< 0.001	[-0.55 -0.29]
被験者1(Yes=1, No=0)	-0.85	0.06	< 0.001	[-0.96 -0.74]				
被験者2(Yes=1, No=0)	-0.17	0.06	< 0.001	[-0.28 -0.06]				
調整済みR ²			0.32				0.17	

表3 5音目の反応時間の重回帰分析の結果
Bは偏回帰係数を、SEは標準誤差を、95%CIは95%信頼区間を示す

	実験1				実験2			
	B	SE	p	95%CI	B	SE	p	95%CI
切片	5.57	0.30	< 0.001	[4.98 6.17]	4.84	0.18	< 0.001	[4.48 5.19]
「レ」の数 (0~5)	-0.20	0.07	0.008	[-0.34 -0.05]	0.02	0.04	0.672	[-0.07 0.10]
「ミ」の数 (0~5)	-0.24	0.08	0.004	[-0.40 -0.08]	0.10	0.05	0.053	[0.00 0.20]
「ファ」の数 (0~5)	-0.11	0.09	0.190	[-0.29 0.06]	0.11	0.05	0.034	[0.01 0.20]
「ソ」の数 (0~5)	0.19	0.09	0.031	[0.02 0.36]	0.23	0.05	< 0.001	[0.14 0.33]
「ラ」の数 (0~5)	0.33	0.09	< 0.001	[0.15 0.51]	0.44	0.05	< 0.001	[0.34 0.54]
「シ」の数 (0~5)	0.14	0.08	0.080	[-0.02 0.30]	0.13	0.05	0.007	[0.04 0.22]
「ド(高)」の数 (0~5)	0.13	0.08	0.110	[-0.03 0.30]	0.16	0.05	0.002	[0.06 0.26]
フィードバック(有=1, 無=0)	-0.25	0.08	0.003	[-0.41 -0.08]	0.11	0.05	0.046	[0.00 0.21]
キーボード(MIDI=1, PC=0)	-0.17	0.08	0.048	[-0.33 0.00]	-0.52	0.05	< 0.001	[-0.62 -0.42]
刺激の種類(繰り返し=1, ランダム=0)	-0.21	0.09	0.019	[-0.38 -0.03]	-0.17	0.05	0.001	[-0.27 -0.08]
実験2回目(Yes=1, No=0)					-0.81	0.08	< 0.001	[-0.98 -0.64]
実験3回目(Yes=1, No=0)	-0.49	0.08	< 0.001	[-0.65 -0.33]	-0.97	0.09	< 0.001	[-1.14 -0.80]
実験4回目(Yes=1, No=0)					-1.05	0.09	< 0.001	[-1.22 -0.88]
実験5回目(Yes=1, No=0)					-1.24	0.09	< 0.001	[-1.41 -1.08]
実験6回目(Yes=1, No=0)					-1.39	0.09	< 0.001	[-1.55 -1.22]
被験者1(Yes=1, No=0)	-0.78	0.10	< 0.001	[-0.98 -0.58]				
被験者2(Yes=1, No=0)	0.94	0.10	< 0.001	[0.74 1.14]				
調整済みR ²			0.33				0.41	

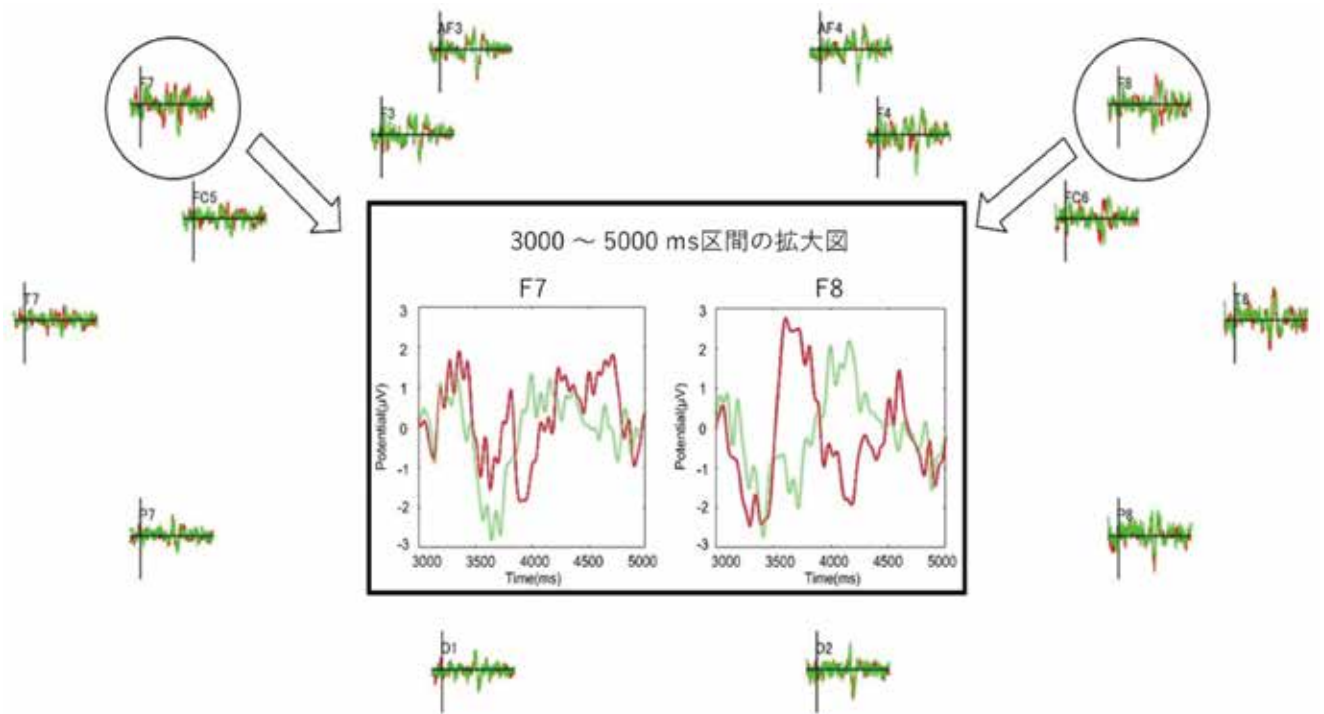


図5 実験1のキーボードの違いごとのERPの結果
赤がMIDIキーボード、緑がPCキーボードを示す。

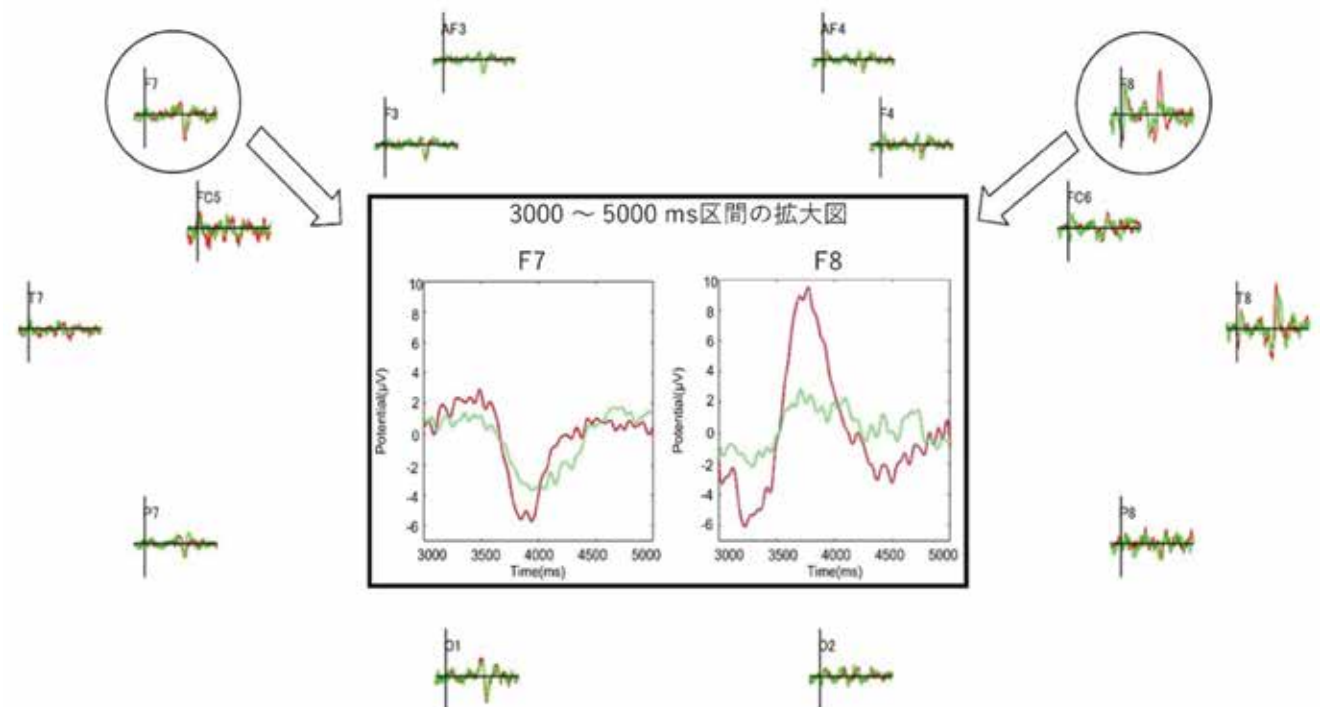


図6 実験2のキーボードの違いごとのERPの結果
赤がMIDIキーボード、緑がPCキーボードを示す。

4. 考察

本研究では、ピアノ演奏課題を遂行中に脳波計測を行い、使用するキーボードの違い、演奏音フィードバックの有無、演奏する楽譜の繰り返しといった要因が、反応時間や脳波に影響を与えるかを探索的に検討した。その結果、いずれの要因も反応時間に影響を与えること、さらに、キーボー

ドの違いが脳波に影響を与えることが確認された。

正答率は、「ド（低）」から離れるほど低下するという傾向が見られた。このことは、読譜に慣れていない実験参加者が、「ド（低）」を基準に音高を判断していたことを示唆する。また、実験を何回か繰り返すことによる反応時間の短縮が、特に最初の数回の実験の間で顕著であった。

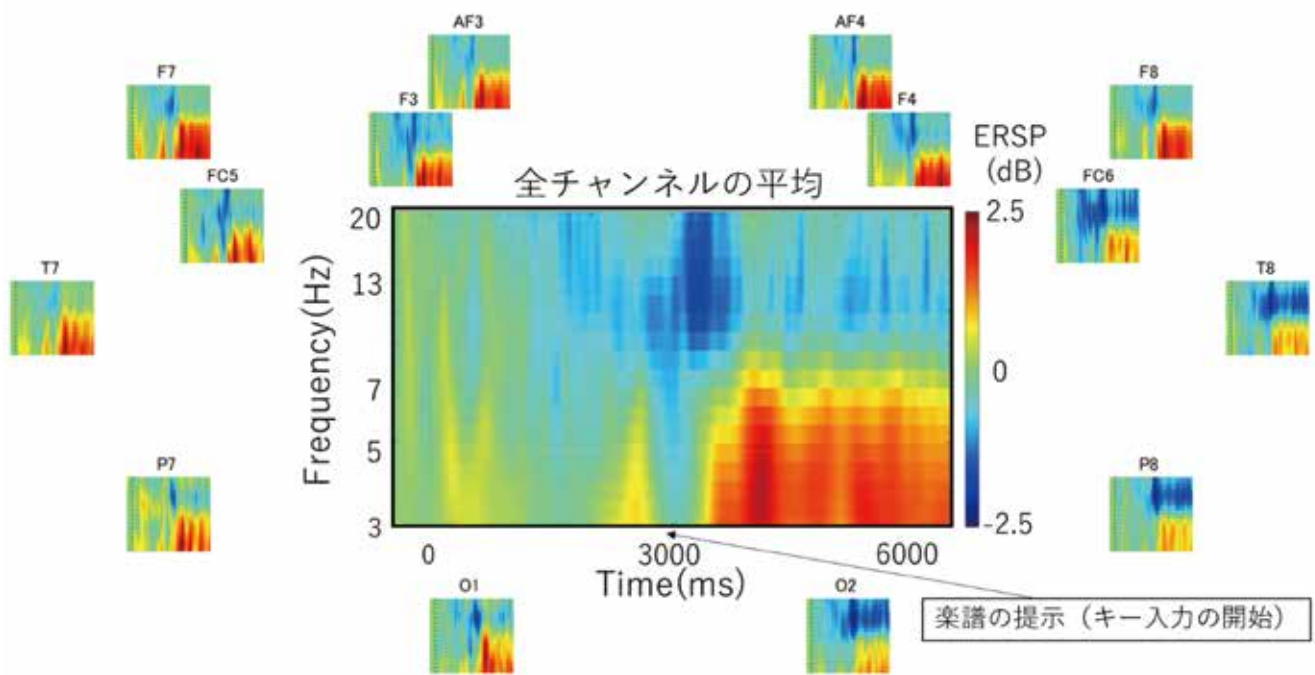


図7 実験1のERSPの結果(全条件の平均)
図の色彩はベースラインと比較したパワースペクトル密度の変化(増加は赤、減少は青)を示す。

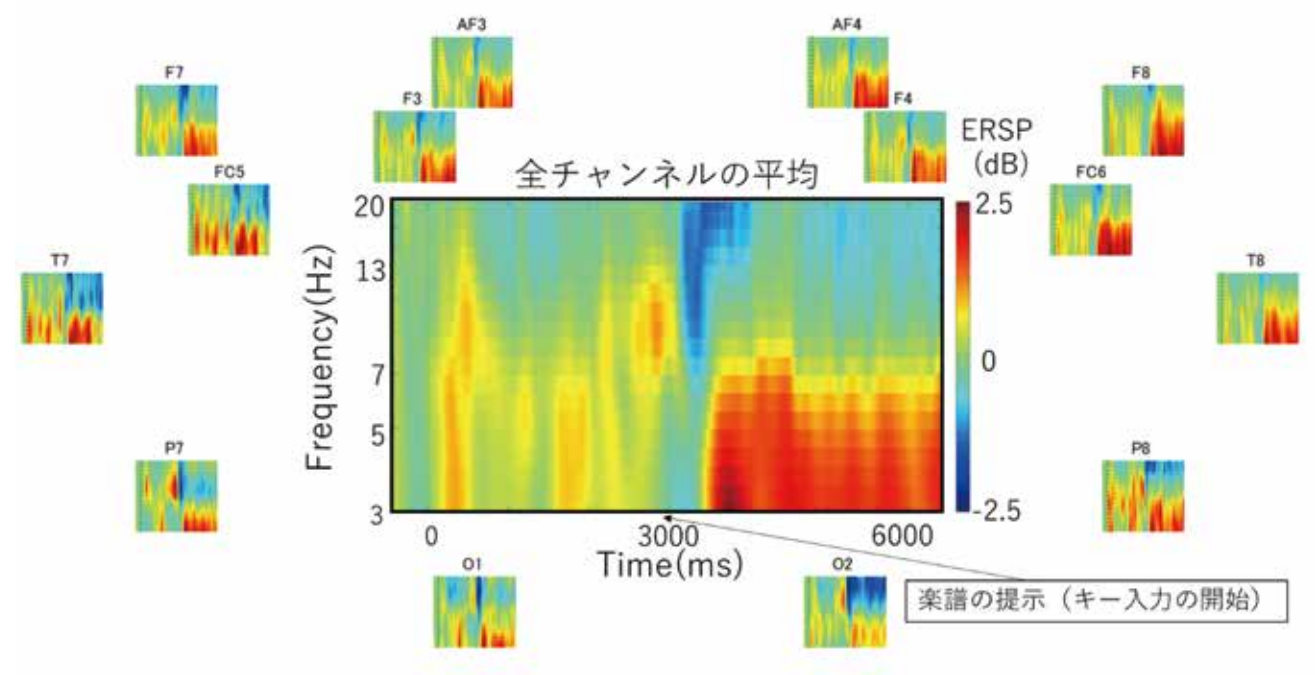


図8 実験2のERSPの結果(全条件の平均)
図の色彩はベースラインと比較したパワースペクトル密度の変化(増加は赤、減少は青)を示す。

重回帰分析の結果についても、上記とおおむね整合的な結果が得られた。まず、1音目の入力に要した時間に関する重回帰分析の結果、1音目が「レ」「ミ」「ファ」「ソ」「ラ」「シ」「ド(高)」であったかどうかについての偏重回帰係数は実験1・実験2とも全て正の値であった。このことは、「ド

(低)」と比べて、それ以外の音高が出た時にはより反応に時間を要することを示している。ただし、「ド(低)」から離れるほど反応時間が線形的に大きくなるわけではなく、最も反応時間が大きくなる(つまり偏重回帰係数が最も大きい)のは「ラ」であった。本実験において出現する中で最

も高い音高が「ド（高）」であったことから、実験に慣れるうちに「ド（高）」が高音側の認識の基点として働くようになり、そこから少し離れた「ラ」の反応時間が最も大きくなった可能性が考えられる。

次に、5音目の入力に要した時間に関する重回帰分析の結果、「レ」「ミ」「ファ」「ソ」「ラ」「シ」「ド（高）」の出現回数についての偏回帰係数はおおむね正の値であり、同様の結果が得られた。ただし、実験1の「レ」「ミ」「ファ」の偏回帰係数は負であった。これについては5音目のキーを入力する際は、直前に押したキーの場所から指を移動しなければならないことが関係している可能性がある。繰り返し刺激・MIDI キーボード・実験回数については、いずれの解析においても偏回帰係数は負であり、反応時間を減少させるものであった。ただし、実験1の1音目について繰り返し刺激・MIDI キーボードの効果は有意ではなかった。

フィードバックについては、全体的に偏回帰係数の値は小さかった。音のフィードバックはキーが押された後に生じるものなので、キーを押すまでの時間に大きな影響を与えないという結果は不思議ではない。しかし、ピアノ演奏音がない場合は、ピアノ演奏の楽しさが損なわれ、ひいては上達のために必要な継続的に練習を重ねるモチベーションに大きな影響を与える可能性は十分に考えられる。

脳波データのERP解析の結果、文法や音楽規則の処理に関与が示されている下前頭回³⁾付近のF8チャンネルで、楽譜が呈示されてから500ms～1000ms（ERP解析での時間表示上では3500ms～4000ms）の時間帯で使用したキーボードによって異なったERP波形を認めた。具体的には、実験1・実験2の両方でMIDI キーボードにおいて正の電位のピークが認められ、これは先行研究で報告されているP600と対応しているように思われる。しかし今回の実験では、音楽規則の違反ではなく、使用したキーボードの違いによってERP波形に違いが認められており、結果が何を意味するのかは解釈が難しい。

一つの解釈として、PC キーボードでの入力とMIDI キーボードでの入力の間には、運動プログラム（実際の運動の前に行われる運動準備の処理）という点において質的な違いがあった可能性が考えられる。先行研究では、統語的逸脱を含む文に対して生じるP600の波形に、運動の逐次性が影響を与えることが報告されている⁵⁾。本研究においては、MIDI キーボードではキーが連続的に（隙間なく）配置されており運動処理の逐次性が高かった（5音が連続したものとして処理された）のに対して、PC キーボードではキーとキーが離れて（キーとキーの間に隙間を含んで）配置されており、運動プログラムの逐次性は低かった（1音1音がばらばらに処理された）可能性がある。

脳波データのERSP解析の結果、実験1・実験2とも、いずれの条件でも、約3500ms以降でシータパワーの顕著な増加が前頭のチャンネルで特に強く認められた。ピアノ演奏では、楽譜の視覚処理、記憶情報との照合、キーを押すための運動といったプロセスが含まれ、そのうちのどれを強く反映しているのかについては明確ではない。しかし、1音目の入力に要した時間より早い時間からシータパワーの増加が見られていることから、指の運動だけを単に反映

しているわけではないと考えられる。

本研究の制限として、第一に、要因間の交互作用について検討を行っていない点が挙げられる。本研究では設定した要因の数と比べてデータの数が少なく、交互作用について安定的な結果を得るのには十分ではない。今後はデータの数を増やしたうえで、交互作用についても検討する必要がある。第二に、キー押し時に聴覚呈示されたピアノ音の間隔を再現する必要があるかについて、実験参加者に指示しなかった点が挙げられる。その結果、5音目の反応時間のデータには、音の間隔を再現しようとしたものと音の間隔を無視して最速でキーを押したものが混在してしまった可能性がある。実際にはリズムに合わせて演奏することが重要であるから、今後は、実験参加者に音の間隔を再現するように指示しておく必要がある。

引用文献

- 1) Katayama, S., Hori, Y., Inokuchi, S., Hirata, T., & Hayashi, Y. (1992). Electroencephalographic changes during piano playing and related mental tasks. *Acta Medica Okayama*, 46 (1), 23-29.
- 2) Santosa, H., Hong, M. J., & Hong, K. S. (2014). Lateralization of music processing with noises in the auditory cortex: an fNIRS study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 418.
- 3) Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of cognitive neuroscience*, 10 (6), 717-733.
- 4) Besson, M., and Faita, F. (1995). An event-related potential (ERP) study of musical expectancy: comparison of musicians with nonmusicians. *J. Exp. Psychol.* 21, 1278-1296. doi: 10.1037/0096-1523.21.6.1278
- 5) Casado, P., Martín-Loeches, M., León, I., Hernández-Gutiérrez, D., Espuny, J., Muñoz, F., ... & de Vega, M. (2018). When syntax meets action: brain potential evidence of overlapping between language and motor sequencing. *Cortex*, 100, 40-51.

謝辞

本研究は科研費（19K12246, 19K03026）の助成を受けて実施した。