

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

( 1/1 )

研究テーマ	音楽演奏を活用したシニアドライバーの能力向上：音楽を奏でるメカニズムの脳機能トレーニング、センサー器官の活性化と機能維持向上、視覚聴覚的認知、瞬時の判断能力、動作への変換の連携を促すツールとしての活用	報告書作成者	伊藤 安海
研究従事者	伊藤 安海、榊 弥生、本多 歩		
研究目的	<p>本研究は、高齢者の運転能力向上を目的として、音楽演奏を模擬した認知トレーニングアプリ「Ipsilon」を活用し、視覚探索能力、注意力、脳活性度への影響を多角的に評価するものである。音楽演奏は、聴覚・視覚・運動機能を同時に活用する複合的な活動であり、そのプロセスには瞬時の判断、感覚器官の連携、記憶の活用、空間認知などが含まれる。これらの要素は、運転時に必要とされる認知機能と密接に関連しており、高齢者の認知機能維持・向上に寄与する可能性がある。</p> <p>本研究では、従来の認知機能検査(TMT)と比較して、音楽演奏課題が高齢者の認知機能に与える影響を検証する。特に、音楽演奏による脳の活性化が、注意力の持続性、視覚探索の効率性、判断の迅速性にどのような効果をもたらすかを明らかにする。また、音楽演奏課題の継続的な実施が、感覚器官の機能維持や運動反応の精度向上に寄与するかについても検討する。</p> <p>さらに、音楽演奏を通じた認知トレーニングが、シニアドライバーの安全運転能力の向上に資するかを実証的に評価し、高齢者の社会的自立と生活の質の向上に貢献する新たなアプローチとしての可能性を探る。</p>		

研究内容	<p><b>【演奏模擬課題について】</b></p> <p>本研究で用いた Ipsilon アプリは、ピアニストである榊らによって開発された臨床版デジタル認知評価を基盤とした認知プロファイリング手法を用いて開発されたものである。ピアノ演奏を模したゲーム形式の課題で、自己実施型デジタル認知評価として設計されており、臨床資格を持つ検査者を必要とせず、臨床研究ではアクセスしやすいゲーム化手法として用いることができる。指のタップ反応(タイムスタンプおよび正確性)を主要データとして収集する。実際の操作風景を図 1 に示す。この課題は、実行機能および視空間課題認識に基づくほぼ同時的な意思決定と高い関連性を有し、臨床版と同一のデータポイントを用いつつ、分析手法を変更することで、注意力・処理速度・衝動性・適応能力など多面的な認知特性を評価する。</p> <p>図 2 の上部の 3 本線と黒点二つが楽譜を表しており、楽譜の 3 本の線に対応した色の鍵盤と、それぞれの間に白の鍵盤がある。右手の音階が下から黄白黒白赤となり、楽譜の黒点が配置された線または線の間に対応した鍵盤を左の黒点からタップする。左手の鍵盤も同様に下から青白黒白黄の楽譜の音階に対応する鍵盤でタップする。</p> <p>レベル 1～9 まで 9 つのレベルで構成されている。図 2 のように楽譜に 2 音が配置されたものを 1 フェーズとしてフェーズ 10 まで行った段階でミスが 2 回以下なら次のレベルへ上がる。レベル 1～8 の偶数回は右手、奇数階は左手の楽譜が表示される。レベル 9 はフェーズ毎に使用する手が入替わる。レベル 9 クリア時までの、楽譜が表示されてから鍵盤をタップするまでの平均応答時間と標準偏差、平均ミス率と標準偏差、そしてレベル 9 までのテスト試行回数によって評価をおこなう。</p> <p>評価は Ipsilon テストスコア(IPS)と認知的パーソナリティ分析の 2 種類がある。IPS は表 1 に示す 5 つの項目にそれぞれ点数をつけ、4 or 5 点で健康、0～3 点で主観的認知機能低下(SCD)ライン、それ以下が軽度認知症(MCI)の疑いと認知能力についての評価を行う。認知的パーソナリティ分析は、課題の傾向から 12 個のタイプ別に診断を行う。タイプには学習性の低い低遂行群、中程度の学習性の中間遂行群、高いパフォーマンスを発揮する高遂行群の 3 つに大別されそこからさらに細かく分析される。12 個のタイプの特徴を表 2 に示す。</p>
------	--

## 研究内容

## 【研究方法】

実験の参加者は山梨県甲府市在住でシルバー人材センターに登録している 66 歳から 85 歳までの高齢者 8 名（男性 4 名、女性 4 名）を被験者とした。参加者からは事前にインフォームドコンセントを得た。本実験で扱うデータは山梨大学の定める倫理審査委員会にて審議し承認を得て行われた実験により得られたものである。

すべての被験者に TMT とタブレットで TMT を再現した視覚探索処理能力検査アプリケーション（以下、VSPAT）、そして Ipsilon を実施した。VSPAT と Ipsilon 検査中に生理指標を測定した。また比較データとするために閉眼安静時、100 マス計算時、リラックス動画視聴時の脈波を 3 分間計測した。VSPAT と 3 つの比較データは利き手と逆の手に測定装置を付け指尖脈波装置にて測定し、Ipsilon では耳朶脈波装置を使用した。

指尖脈波装置と耳朶脈波装置の間で測定値に大きな誤差がないことは確認されている。また、各実験の間に十分なインターバルを設けて影響が出ないようにした。

## 【実験結果】

実験被験者 8 名の属性と演奏模擬課題のスコア IPS と認知的パーソナリティ分析結果、テストの平均応答時間と標準偏差、平均正解率（ミス率）と標準偏差、最大レベルまでの試行回数を表 3 に示す。なお、被験者 D の認知的パーソナリティ分析結果は E2 に近い性質を持つ S であることを表す。表 4 には TMT-A と TMT-B、VSPAT-A と VSPAT-B の試験所要時間と間違えた回数、鉛筆を離れた回数をそれぞれ示す。閉眼安静時、計算課題時、リラックス動画視聴時、視覚探索課題時、演奏模擬課題時それぞれの脈波から解析した LF/HF とリアペノフ指数 (LE) の平均値を表 5 に示す。なお、テスト時間の長い演奏模擬課題については開始直後と終了直前の生理変動を除外した中央 60% の区間における分析結果となる。また、被験者 E については、データ不備につき生理指標の分析対象から除外した。

この結果について、被験者個人にフォーカスした演奏模擬課題と TMT による視覚探索処理能力の間にある関係、表 2 の認知的パーソナリティ分析が同じ被験者の生理指標の比較、演奏模擬課題と視覚探索課題の間の相関分析、この 3 つを軸に考察をする。

## 研究内容

## 【考察】

被験者 D を分析すると、脳活性度について演奏模擬課題が他の課題に比べて高い LE (リアプノフ指数) を示し賦活していることが確認できた。TMT-B、VSPAT-B ではテスト時間が 300 秒を超えて MCI の疑いがある結果となった。一方で演奏模擬課題では中間遂行群に位置しており、2 つの課題間で感度の異なる結果となった。TMT-B のような比較的難易度の高い課題において認知的処理ができず脳が活性化しないと考えられる。演奏模擬課題は、課題遂行に対する主観的な楽しさや操作のしやすさ、相対的な課題の易しさといった情動的・認知的要因の影響を受け、顕著な脳賦活を誘発した可能性がある。

次に被験者 B について、この被験者は演奏模擬課題中、交感神経指標 LF/HF が他課題中と比べて大きく低下しており、閉眼安静やリラックス動画視聴と大きな差を示さなかった。脈波の解析から眠気も感知され、課題後の本人からも眠くなったと感想を得た。この被験者はピアノの演奏経験があり、学習過程が重要視される演奏模擬課題において、これが演奏模擬課題に影響を与えたと考えられ、演奏経験の有無が成績に影響を及ぼすことが示唆された。被験者の演奏経験が本課題には有利に働き、経験のない被験者と比較した際に、課題の遂行結果が本来の認知特性を正確に反映しない可能性があることが分かった。

また被験者 C について、演奏模擬課題と視覚探索能力のどちらにおいても高い成績を示した。演奏模擬課題のパーソナリティ分析では慎重な姿勢で、時間をかけて正確な結果を出すと評価されたが、TMT や VSPAT では複数回のミスをしており、これら課題においては正確性を重視した姿勢で臨んでいないと考えられる。計算課題についても 100 マスの 1 番初めの回答を計算ミスしておりこちらについても正確性は見られない。生理指標の変動については計算課題や視覚探索課題では高い LF/HF が測定された一方、演奏模擬課題ではその値は低くある。これらの課題間でストレス負荷に大きな違いがあり、異なるモチベーションで各課題に取り組んでいたことが示唆される。

これは課題の所要時間が影響しており、前者は 3 分程度の短い課題である一方、後者は早くとも 20 分前後かかる長時間の課題であることが原因と考えられる。計算課題や視覚探索課題はいかに早く多くできるかを重視して課題に取り組み、その結果高いストレスを受けた。長時間の演奏模擬課題では速度を捨てて正確性を求め、その結果ストレスも小さくなったと考えられる。図 3、図 4 にて示した模擬演奏中の LF/HF の変動からその様相を確認できる。

被演奏模擬課題の認知的パーソナリティ分析が同じ結果となった、A と D (多少のミスは見られるが、習得スピードは速いタイプ)、B と H (習得が早く、常に安定した好成績を維持しているタイプ)、C と G (慎重な姿勢で、時間をかけて正確な成果を出すタイプ) の被験者間の分析を行う。図 3 に各被験者の LF/HF と LE の 5 分ごとの変動係数 CV を示す。図 4 には 300 秒移動平均をそれぞれ示す。

習得が早く、常に安定した好成績を維持しているタイプ (B、H) では両被験者共に LF/HF に顕著な変動は認められず、比較的低下水準

## 研究内容

で安定して推移していた。

脳活性度 LE については、被験者 H において上下動が認められるが、全体としては中程度の安定性を示した。これらの結果から、本テストにおいては、習得が早い特性を有する参加者に対して過度なストレス負荷が生じなかった可能性が示唆され、結果、交感神経活動を示す LF/HF も低値で安定していたと考えられる。

次に慎重な姿勢で、時間をかけて正確な成果を出すタイプ (C、G) について、被験者 C は LF/HF および脳活性度 LE がいずれも高値で推移しつつ一定の変動を示したのに対し、被験者 G は両指標ともに低値で安定していた。LE の傾向については両者ともに共通しており、視覚探索課題と比べ低い値を示したことから、演奏模擬課題においては脳活性度が相対的に低く、落ち着いた状態で取り組んでいたことが生理指標から推察される。

A と D は類似する多少のミスは見られるが習得スピードは速いタイプとして解析した。脳活性度 LE の変動は両被験者ともに共通して少なく、安定した推移を示した。被験者 A は他の検査においても一貫して LE が低値であること、TMT の成績からも、脳賦活を伴わずに優れた認知遂行が可能な高い能力を有する被験者であると考えられる。一方、被験者 D は TMT にて MCI 疑いが見られた被験者であるが、優秀な被験者と類似した傾向が表れることが分かった。以上、3 タイプについてテストの平均応答時間と標準偏差、平均正解率 (ミス率) と標準偏差、最大レベルまでの試行回数の数値から評価された認知的パーソナリティ分析結果が、脈波から解析された生理指標からも同様の傾向を見ることができた。

演奏模擬課題と視覚探索課題の間に相関関係があるか調査する。Ipsilon の IPS と平均応答時間、応答時間の標準偏差平、平均ミス率、ミス率の標準偏差、レベル 9 までのテスト試行回数と年齢、性別、TMT-A と TMT-B の所要時間、ペンを離した回数、間違えた回数それぞれの関係について、性別は点双列相関、それ以外はピアソンの相関係数を用いて線形関係の評価をした ( $p < 0.05$ 「\*」  $p < 0.01$ 「\*\*」)。その結果、演奏模擬課題の平均応答時間と年齢の間に高度に有意な正の相関 ( $r = 0.87^{**}$ )。演奏模擬課題の平均応答時間と TMT-B の所要時間の間に正の相関 ( $r = 0.76^*$ )。演奏模擬課題の平均ミス率と TMT-B のペンを離した回数に高度に有意な正の相関 ( $r = 0.86^{**}$ )。の 3 つの関係について有意な相関がみられた。TMT と年齢の関係では TMT-A のみで高度に有意な相関がみられた ( $r = 0.85^{**}$ )。TMT-B で相関認められないことは被験者が高い労働意欲を有する選抜的な集団であり、一般的な高齢者群とは異なる特性を有していたことに起因する可能性がある。一方で、加齢に伴う感覚器官の機能低下や瞬時の判断能力の衰退については、演奏模擬課題から明確に認められ、加齢が認知処理の一部に影響を及ぼすことが示唆された。

外れ値の影響も考慮して、今回唯一のピアノ演奏経験者の被験者 B と TMT にて MCI の疑いが確認された被験者 D の 2 名を除外して

研究内容	<p>           相関を求めた結果でも演奏模擬課題の平均応答時間と年齢の間に高度に有意な正の相関(<math>r=0.83^{**}</math>)、TMT と年齢の関係では TMT-A のみで高度に有意な相関(<math>r=0.89^{**}</math>)がみられ同様の結果を示した。         </p> <p>           年齢による影響を排除するため、偏相関を求めた結果、演奏模擬課題の平均ミス率と TMT-B のペンを離した回数でのみ高度に有意な正の相関(<math>r=0.90^{**}</math>)がみられた。これは TMT 課題におけるペンを離す行為は遂行機能・注意制御・身体機能などの複数の認知常体を反映し、特にワーキングメモリや柔軟性と関連しており、次の手順を認識・判断するまでの認知的停滞が演奏模擬課題では楽譜からの視覚情報から運動(演奏)の連続的な処理の中で不利に働くことで、一時的な迷いがミスとして現れやすくなったと推察できる。一方で有意な関係が見られなかった TMT-B の誤接続についてはルール保持やセットの切替能力が求められるがこれは演奏に求められる連続的な注意・感覚・運動制御とは異なる機能と考えられる。         </p> <p>           TMT-B は、運転能力との関連が報告されている代表的な認知機能検査であり、特に「視覚探索」「注意制御」「複雑な情報処理の遂行」などが必要とされる。今回の結果では、音楽演奏模擬課題は TMT-B の遂行過程的な困難さ、すなわち「次に進むべき目標の選定に迷い、遂行が中断される」といった認知的負荷と強い関連があり、運転中における視野内の複数対象の探索、注意の維持と分配、運動操作への即応といった実践的な認知活動との共通性が高い。これより、音楽演奏模擬課題をトレーニングとして導入することで、特に運転時における視覚探索の柔軟性や注意の転換能力、連続するタスクの遂行の強化が期待でき、高齢ドライバーの運転能力向上に寄与する可能性がある。         </p> <p> <b>【まとめ】</b>            本研究により、以下の①から④の知見が得られた。         </p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① Ipsilon にて時間をもとに判定される認知パーソナリティの評価の傾向は生理測定による交感神経指標と脳活性化からも同様の傾向があること。ただし、今回の被験者のタイプには偏りがあるため、今後他タイプでも同様の調査が必要となる。</li> <li>② 課題の全体所要時間によって回答の性格に変化が生じることが分かった。TMT などの短い課題では高負荷で速度を求めることに對して、演奏のような時間を要する課題においては正確性を重視する傾向が表れること。</li> <li>③ MCI の疑いのある被験者の場合であっても、演奏によるトレーニングはその楽しさや適度な難易度が脳を活性化させ、能力向上につながる可能性があること。</li> <li>④ TMT-B のペンを離した回数と強い相関がみられ、演奏をトレーニングとして導入することで運転時の視覚探索能力や注意力、遂行の連続性の観点からドライバーの運転能力の向上につながる。</li> </ol>
------	--

<p>研究のポイント</p>	<p>本研究では、音楽演奏を模擬した認知トレーニングアプリ「Ipsilon」を活用し、高齢者の運転能力向上に寄与する要素を多角的に検討した。音楽演奏に伴う視覚探索、聴覚刺激、瞬時の判断と動作への変換といった複合的な認知活動が、脳機能の活性化やセンサー器官の維持向上に効果的であると仮定し、従来の認知機能検査との比較を通じてその有効性を検証した。</p>
<p>研究結果</p>	<p>本研究では、従来の認知機能検査(例:TMT)において低い成績を示した高齢者でも、音楽演奏を模擬した Ipsilon アプリの実行時には脳活性が顕著に向上する傾向が確認された。特に、ピアノの鍵盤に似たインターフェースを用いることで、ゲーミフィケーション要素や達成感が得られやすく、認知症の兆候がある参加者でも積極的に取り組む姿勢が見られた。このような感情的・視覚的な刺激は、従来の検査では得られにくいモチベーションを引き出す可能性がある。一方、TMT のような従来型の検査は形式的で堅苦しい印象を与え、脳機能が低下している者にとっては緊張や不安を誘発し、本来の能力を発揮しづらい可能性がある。Ipsilon のようなツールは、楽しさや達成感を通じて認知機能の活性化を促す点で、高齢者の認知トレーニングにおいて有効な手段となり得ることが示唆された。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>本研究では、音楽演奏模擬課題が高齢者の認知機能向上に寄与する可能性が示されたが、今後の課題として以下の点が挙げられる。</p> <p>まず、ピアノ演奏経験のある被験者においては、Ipsilon 課題が容易すぎるため、脳活性の向上が見られないケースがあった。これは、既習スキルに対する認知的負荷が低いためと考えられる。したがって、今後は個人の経験に応じて課題の難易度を柔軟に調整できる機能の導入が必要である。具体的には、テンポの変化、音数の増加、両手操作への拡張など、より複雑な操作を求める課題設計が求められる。</p> <p>また、難易度を調整した場合、従来の認知機能検査(例:TMT)との比較評価をどのように行うかという課題もある。Ipsilon のような情動的・動的な課題と、TMT のような静的・形式的な検査では、評価軸が異なるため、共通の認知指標(注意持続性、視覚探索能力、反応時間、ミス率など)を抽出し、比較可能なパラメータ設計を行う必要がある。さらに、年齢や経験などの影響を除外するための生理指標(脳波、交感神経指標)などとの連携による客観的評価も重要となる。</p> <p>これらの課題に取り組むことで、より精度の高い認知トレーニングツールの開発と、個別最適化された介入方法の確立が期待される。</p>



図 1 検査風景

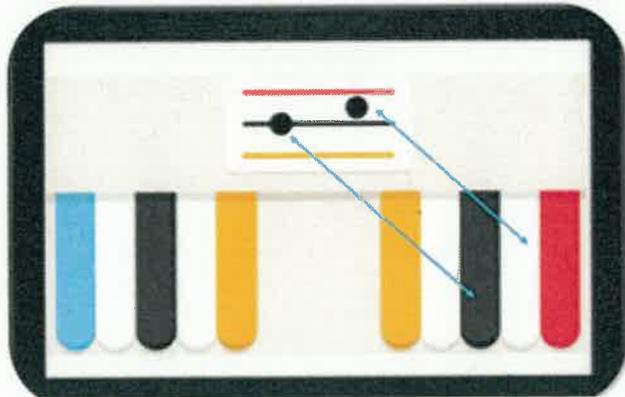


図 2 Ipsilon 操作画面

表 1 Ipsilon スコア換算表

	健康	SCD範囲	MCI範囲
平均応答時間[ms]	<6000		
応答時間の標準偏差[ms]	<3000		
平均ミス率	<0.2	0.2≤0.5	>0.5
ミス率の標準偏差	<0.2	0.2≤0.25	>0.25
レベル9までのテスト試行回数	9≤15	16≤30	not reached
IPSスコア	1	0	-1

表 2 認知的パーソナリティ分析 10 タイプ

低遂行群	LD	認知機能の課題が疑われ、再トレーニングや動機づけを重視した支援が求められる
	I1	反応は素早いですが、正確性に課題が残る
中間遂行群	E1	試行錯誤を重ねながら、着実に成長している
	H	意欲や集中力の低下により、ミスが頻発している
	S1	時間とミスを要するものの、徐々に改善が見られる
	S2	習得には時間を要するが、堅実な成長が確認できる
高遂行群	I1	一貫性に欠ける場面もあるが、反応の速さと潜在能力は高い
	E2	多少の誤りは見られるが、習得スピードは速い
	F	習得が早く、常に安定した高成績を維持している
	A	成績は優秀だが、時折注意力の低下によるミスが見られる
	C	慎重な姿勢で、時間をかけて正確な成果を出す
	P	習得が迅速で、常に極めて高精度なパフォーマンスを示す

表 3 各被験者の属性と演奏模擬課題結果

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H
性別	M	F	F	M	M	F	M	F
年齢	70	66	77	85	66	71	83	76
Ipsilonテストスコア(IPS)	4	5	5	4	5	4	4	5
認知的パーソナリティ分析	E2	F	C	S(E2)	F	S2	C	F
平均応答時間[ms]	2397	2854	4867	6895	2533	5525	6159	3820
応答時間の標準偏差[ms]	861	688	2572	2278	540	3016	1840	1100
ミス率の標準偏差	0.20	0.05	0.09	0.12	0.07	0.11	0.73	0.73
平均正解率	81%	96%	93%	87%	93%	86%	96%	96%
レベル9までのテスト試行回数	9	9	9	10	9	11	9	9

表 4 各被験者の視覚探索課題結果

参加者	A	B	C	D	E	F	G	H	
TMT-A	所要時間	29	40	60	82	23	31	50	52
	誤反応	0	0	0	0	0	0	0	0
	鉛筆離し	1	1	1	0	0	1	0	0
TMT-B	所要時間	60	47	57	300	76	118	117	76
	誤反応	0	0	0	1	1	1	0	0
	鉛筆離し	3	0	1	4	1	3	0	1
VSPAT-A	所要時間	24	32	36	90	35	54	49	42
	誤反応	1	0	0	0	0	3	0	1
	鉛筆離し	0	0	0	3	0	6	0	3
VSPAT-B	所要時間	36	41	75	300	45	133	158	88
	誤反応	1	0	2	3	0	3	2	0
	鉛筆離し	0	0	6	18	0	12	2	6

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)

表 5 各被験者の生理指標

		A	B	C	D	F	G	H
LF/HF	閉眼安静	2.29	1.85	8.24	1.32	1.49	0.47	0.42
	計算課題	5.22	2.71	4.37	0.73	3.77	0.86	1.18
	動画視聴	5.01	3.67	3.09	0.20	2.90	2.50	0.41
	視覚探索課題	7.36	1.93	8.88	1.20	3.11	1.66	1.84
	演奏模擬課題	5.46	0.83	3.59	0.26	4.44	1.36	1.42
LE	閉眼安静	1.25	0.61	3.27	0.65	1.04	0.88	0.70
	計算課題	0.46	0.79	4.79	0.31	1.15	0.48	0.48
	動画視聴	1.20	0.85	0.90	0.65	0.72	0.87	0.55
	視覚探索課題	0.91	0.96	3.24	0.43	1.68	0.94	0.69
	演奏模擬課題	0.94	0.92	2.66	1.83	1.28	0.65	1.81

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)

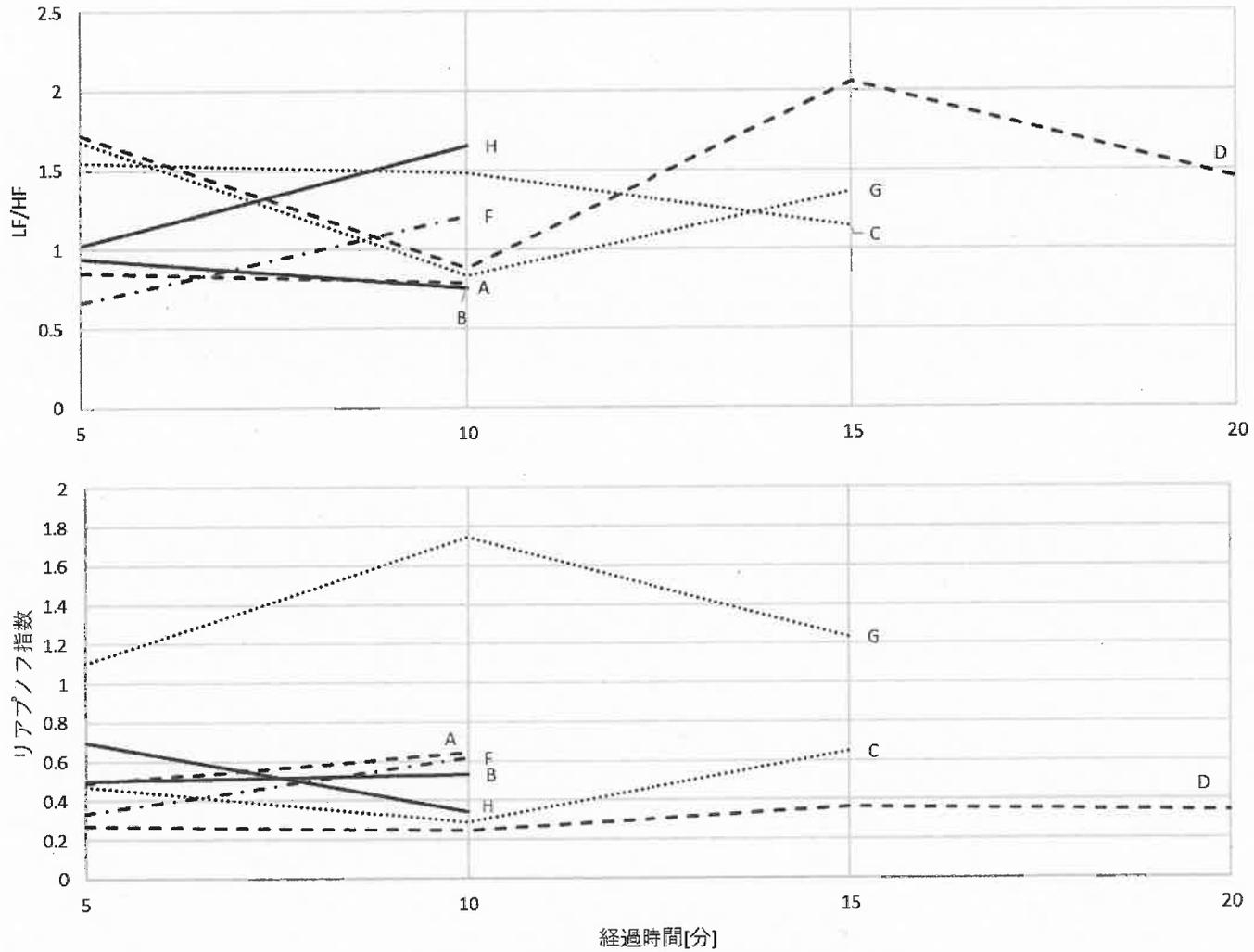


図 3 各被験者の 5 分毎の変動係数 CV

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)

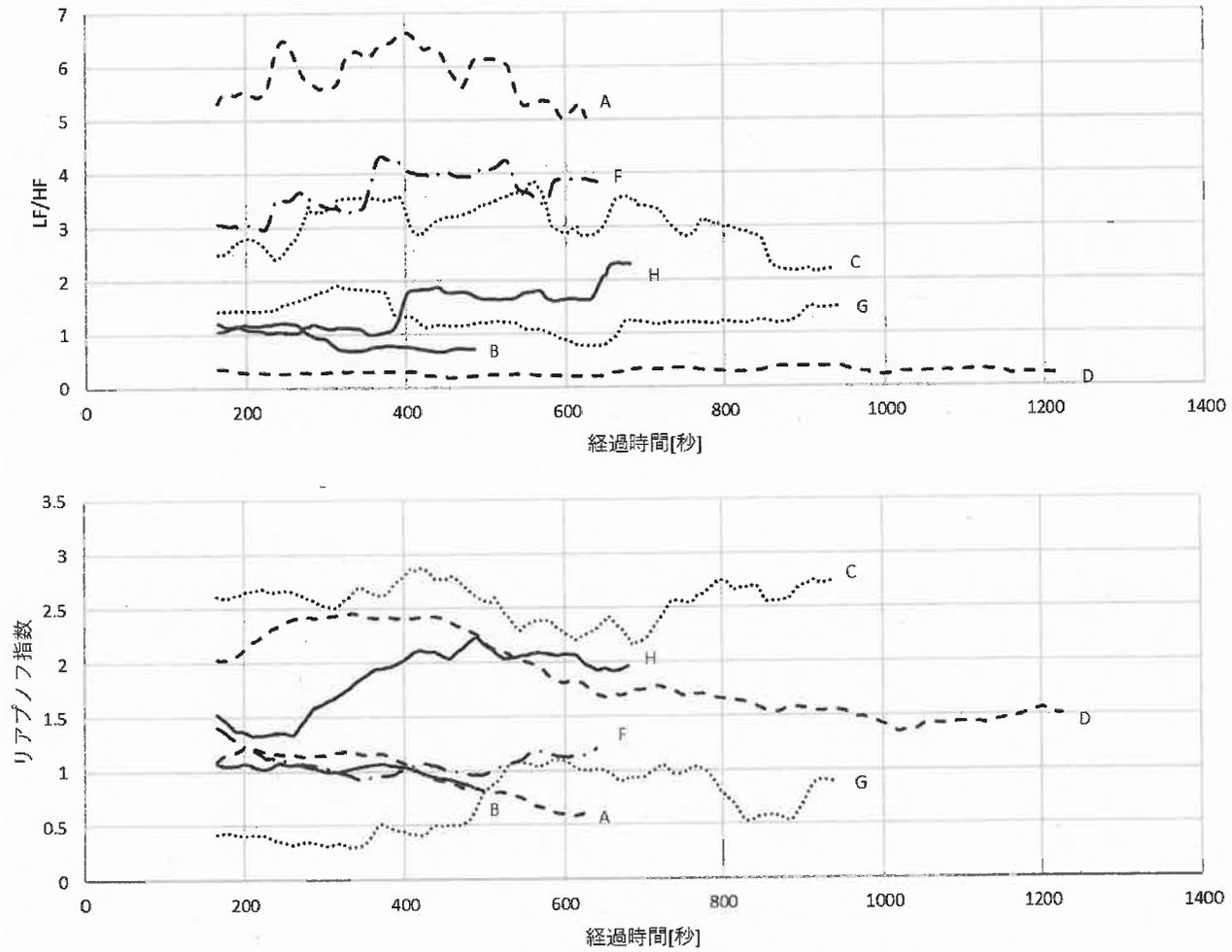


図 4 各被験者の 300 秒ごとの移動平均

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)