

視聴覚の持続的注意の特性比較

寺島 裕貴[†] 木原 健^{††} 河原純一郎^{†††} 近藤 洋史^{††††,†}

[†] NTT コミュニケーション科学基礎研究所 〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1

^{††} 産業技術総合研究所 〒305-8566 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第六

^{†††} 北海道大学 〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 7 丁目

^{††††} 中京大学 〒466-8666 名古屋市昭和区八事本町 101-2

E-mail: †hiroki.terashima.cs@hco.ntt.co.jp

あらまし 常に集中し続けることは難しく、注意水準には時間的なゆらぎがある。この変動を客観的に測定するため、視覚研究で gradual-onset continuous performance task (gradCPT) が提案された。しかし、その特性のうち何が他の感覚モダリティと共通かは明らかでない。本研究では、聴覚 gradCPT を新たに提案して視聴覚間の比較を実現し、持続的注意の変動特性の共通性を調べた。この課題では、人間の音声は切れ目なく順に呈示され、参加者は反応の抑制を時折求められる。課題の後半ほど注意の変動は大きくなった。視覚と聴覚課題の抑制失敗率には有意な相関が認められた。また、周波数解析により、視聴覚間での変動周期の相関も明らかになった。これらの結果は、視聴覚の持続的注意には共通の原理が働いていることを示唆する。

キーワード 持続的注意, gradCPT, 視聴覚

A comparison of auditory and visual continuous performance tasks

Hiroki TERASHIMA[†], Ken KIHARA^{††}, Jun-ichiro KAWAHARA^{†††}, and Hirohito M. KONDO^{††††,†}

[†] NTT Communication Science Laboratories 3-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi, Kanagawa, 243-0198 Japan

^{††} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Tsukuba Central 6, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8566 Japan

^{†††} Hokkaido University Kita 10, Nishi 7, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0810 Japan

^{††††} Chukyo University 101-2 Yagoto Honmachi, Showa, Nagoya, Aichi, 466-8666 Japan

E-mail: †hiroki.terashima.cs@hco.ntt.co.jp

Abstract Our attention spontaneously fluctuates. In vision studies, the gradual-onset continuous performance task (gradCPT) has enabled us to objectively measure the fluctuation. However, it is still unclear how we can generalize results obtained by the visual gradCPT. In the present study, to compare attentional fluctuations of vision and audition, we newly designed an auditory gradCPT and investigated common properties. In the auditory task, participants are presented a stream of human voices instead of natural images. Attention more fluctuated in the later stages of the task. We found significant correlations of false alarm rates and fluctuation frequencies between the auditory and visual tasks. The results suggest that fluctuations of visual and auditory attention are underpinned by some common mechanisms.

Key words sustained attention, gradual-onset continuous performance task (gradCPT), audition and vision

1. はじめに

わたしたちは、日常生活の様々な場面で持続的な注意を求められている。例えば、歩道を歩いているとき、前方から迫ってくる車に対して視覚的な注意は欠かせないし、横を歩く友人の言葉にも耳を傾け、あるいは後方から自転車車が迫ってい

ないか聴覚的な注意を向けておく必要もあるだろう [11]。活動に極度に没入して集中している状態は、スポーツ選手や音楽家によって、ゾーン（あるいはフロー）と呼ばれることもある。しかし常に注意し続けることは難しく、注意の水準には時間的ゆらぎがあり、簡単に注意が失われてしまうことも多い。このような注意の時間的ゆらぎはありふれたものだが、客観

的測定は容易でなく、その実態の理解はあまり進んでいない。

視覚に限れば、近年、持続的注意の変動を捉えることが可能になりつつある。持続的注意を捉えようとする試み自体は以前から行われており、さまざまな continuous performance task (CPT) が提案されてきていた [4], [14]。これらの課題は、頻繁に反応を要求しつつ稀に抑制を求め、抑制失敗を誘う課題であった。しかし、従来の CPT には刺激呈示の sudden onset が注意状態に影響を与える可能性があった。Esternan らによる gradual-onset CPT (gradCPT) [6] は、刺激を徐々に出現・消失させて重畳することでこれを解決した。彼らは個々の刺激に対する反応時間 (RT) の変動に着目して課題内で「集中 (“in the zone”）」と「散漫 (“out of the zone”）」状態を定義し、課題後半のほうが変動が大きく、より散漫になる傾向を示した。しかし、この視覚 gradCPT で示された特性のうち、何が他の感覚モダリティにも共通なのか、あるいは視覚特異的なのかは不明だった。

聴覚についても持続的注意を捉えようとする CPT は以前から提案されていた [2], [5], [8], [12], [16], [17]。しかし視覚と同様に、刺激の sudden onset という問題を抱えていた。視覚と聴覚の注意基盤はある程度共通ではないかと考えられているが、その時間的ゆらぎについても同じ特性が見られるかどうかは不明である。視聴覚間で持続的注意のゆらぎを比較して共通点を議論するためには、新たな聴覚 CPT をデザインする必要があった。

本研究では、持続的注意の変動を視聴覚間で比較し、共通点を見出すことを目的とした。比較を実現するため、聴覚 gradCPT を新規にデザインし、その成績を視覚 gradCPT とあわせて実験参加者から取得した。風景画像の代わりに人間の音声徐徐に出現・消失する聴覚 gradCPT は、視覚 gradCPT と同様に、注意状態の時間的ゆらぎを捉えることができた。課題成績を個人内で比較すると、抑制失敗率が視聴覚間で相関していた。また、時間的ゆらぎの特性を調べるために周波数解析を行い、変動周期が視聴覚間で相関していることを示した。以上の結果は、持続的注意の感覚モダリティ間比較が可能であることを示しており、また、視覚と聴覚における持続的注意の変動が何らかの共通原理を持つことを示唆する。

2. 手 法

2.1 倫理的配慮

本研究の全ての実験手続きは、中京大学倫理委員会の承認を受けた (no. RS17-005)。全ての実験参加者は、実験手続きについて事前に十分な説明を受けた後、同意書を提出した。

2.2 参加者

中京大学の学生 29 名 (男性 14 名, 女性 15 名, 平均年齢 20.7 歳, SD = 1.4) が実験に参加した。参加者全員が正常な視力と聴力を有していた。

2.3 行動課題

刺激呈示と反応の記録は、聴覚 gradCPT には Presentation

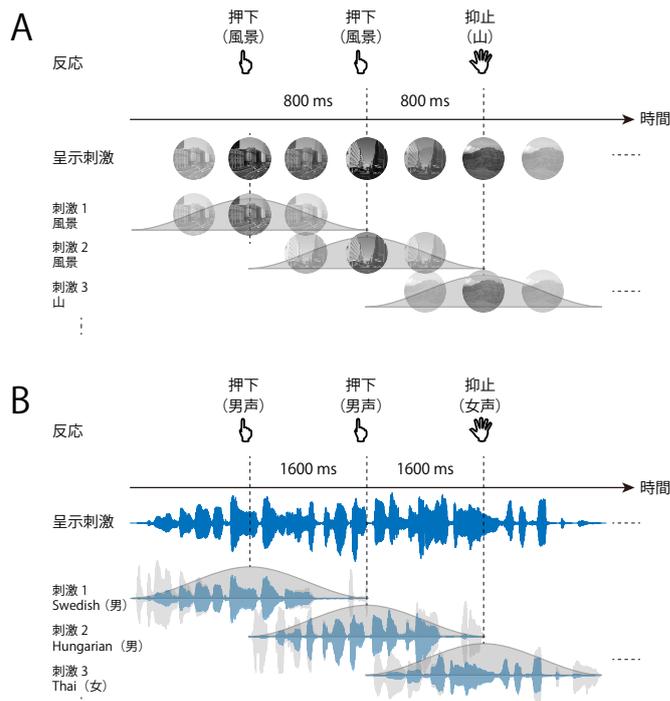


図 1 視聴覚 gradCPT のパラダイム。(A) 視覚 gradCPT. 風景画像が 800 ms 間隔でランダムな順に呈示され、街 (出現率 90%) の場合は速やかなボタン押しを、山 (出現率 10%) の場合はボタン押しの抑制を求めた。突然刺激が出現するのを避けるため、各刺激は徐々に出現・消失し、前刺激の消失と次刺激の出現はクロスオーバーした。(B) 本研究で提案する聴覚 gradCPT. 人間の音声 が 1600 ms 間隔で順に呈示され、男声 (出現率 90%) の場合は速やかなボタン押しを、女声 (出現率 10%) の場合はボタン押しの抑制を求めた。

ソフトウェア (Neurobehavioral Systems) を用いて行った。視覚 gradCPT には、MATLAB (MathWorks) と Psychophysics Toolbox [3] を用いた。

2.3.1 視覚 gradCPT パラダイムと刺激

視覚 gradCPT は、文献 [6] に則って実施した (図 1A)。画面中央には、円形の白黒風景画像がランダムな順に連続呈示される。風景画像は街 (出現率 90%; 10 種) と山 (出現率 10%; 10 種) の 2 種類からなり、もし風景画像が街の風景であればボタンをできるだけ早く押し (go 試行)、山の風景であればボタン押しを抑制するよう求めた (no-go 試行)。刺激は 800 ms 間隔で、合計で 600 試行 (8 分間) 呈示された。刺激の切り替わりに伴う sudden onset を回避するため、刺激交代時にはクロスオーバーして徐々に出現・消失させた。

2.3.2 聴覚 gradCPT パラダイムと刺激

視覚 gradCPT と比較するため、聴覚 gradCPT を新規にデザインした (図 1B)。聴覚 gradCPT では、被験者の両耳にヘッドホン (Sennheiser HD 599) を用いてさまざまな人間の音声順に連続呈示される。音声は男声 (出現率 90%; 10 種) と女声 (出現率 10%; 10 種) の 2 種類からなり、もし音声 が男声であればボタンをできるだけ早く押し、女声であればボ

タン押しを抑制するよう求めた。女声は連続呈示されないように呈示順を定めた。個々の音声は IPA Handbook [7] の日本語以外の narrative から、空白区間をできるだけ含まない区間を抽出した。刺激は 1600 ms 間隔で、合計で 300 試行 (8 分間) 呈示された。刺激の切り替わりに伴う sudden onset を回避するため、刺激交代時にはクロスオーバーして徐々に出現・消失させた。刺激間隔は 800, 1200, 1600 ms を用いて予備実験を行い、視覚 gradCPT と同程度の成績が得られる間隔として 1600 ms を選んだ。

2.4 分析

2.4.1 反応時間

反応時間 (RT) は、各刺激が徐々に出現し始める時点時刻 0 とした相対時間として定義した。単一刺激に対して複数のボタン押しがあった場合などには、視覚 gradCPT [6] に従い、以下のような手順で割当てを行った。まず、各刺激に対する RT の典型的な時間窓を、刺激が 70% 出現してから 100% を経て 60% に至るまでとし、この時間窓内のボタン押しはその刺激に対する反応とした。次に、前述の時間窓におさまらない曖昧なボタン押しは、もし隣接試行に反応が無ければその試行における反応とした。もし両隣の試行が無反応の場合にはより近接している試行への反応としたが、もし片方が no-go 試行の場合にはもう片方の go 試行へ割り当てた。最後に、もし複数のボタン押しが単一試行に割り当てられた場合には、最も短い RT を採用した。

2.4.2 反応精度

ボタン押し抑制刺激に対して実験参加者が正しく反応を抑制した試行は、抑制成功 (correct rejection or correct omission) 試行とした。同刺激に対してボタン押しをしてしまった試行は、抑制失敗 (false alarm or commission error) 試行とした。また、ボタン押し刺激に対して反応できなかった試行は、実行失敗 (miss or omission error) 試行とした。

2.4.3 持続的注意の変動

持続的注意の変動を客観的に測定するため、Esterman ら [6] の視覚 gradCPT に従って、試行間の RT 変動を調べた (以下、VTC: variance time course と呼ぶ)。まず、RT を課題内で z 変換して正規化した。無反応試行の RT は、前後の RT をもとに補間した。早すぎる RT と遅すぎる RT のどちらも注意の低下を表していると考え、RT z -score の絶対値に着目した。Gaussian カーネル (Full-Width at Half Maximum = 7 s) を適用し、平滑化した VTC を得た。

課題の 8 分間を変動が大きい区間 (散漫; out of the zone) と変動が小さい区間 (集中; in the zone) のふたつに分類するため、平滑化 VTC の中央値を閾値として用いた。すなわち、それぞれ合計 4 分間の散漫区間と集中区間が定義され、その区間を移行する時間的な変動を捉えられることになる。

2.4.4 持続的注意の変動周波数

持続的注意の変動を特徴付ける値を得るため、平滑化 VTC の周波数解析を行った。平滑化 VTC を Fourier 変換して周波

数スペクトルを得た後、最もパワーが大きいピーク周波数 (両隣の周波数よりパワーが大きい周波数) を、その課題内の VTC 変動周波数とした。

3. 結果

本研究の目的は、持続的注意の変動を視聴覚で比較可能にし、その共通点を調べることである。そのため、新規に聴覚 gradCPT を提案し、視覚 gradCPT とあわせて成績を取得した。まず聴覚 gradCPT の成績を視覚 gradCPT と比較し、持続的注意の変動を捉えられていることを示す。次に個人内で視聴覚の成績を比較し、共通点を探る。

3.1 視覚 gradCPT と聴覚 gradCPT

まず、視覚の持続的注意の変動を捉えるため、先行研究 [6] で提案された視覚 gradCPT 課題を行った。第 2 節に記したように、徐々に変化していく風景画像を参加者に呈示し、街画像 (90%) にはボタン押しを、また山画像 (10%) にはボタン押しの抑制を求めた。参加者の平均成績は、抑制失敗 (false alarm) が 24%, 実行失敗 (miss) が 1.2% であった。これらの成績は、視覚 gradCPT の先行研究の報告に概ね合致した (それぞれ 26%, 3%)。

次に、聴覚の持続的注意の変動を捉えるため、新規にデザインした聴覚 gradCPT 課題を行った。第 2 節に記したように、徐々に変化しつつ順に呈示される人間の音声を参加者に呈示し、男声 (90%) にはボタン押しを、また女声 (10%) にはボタン押しの抑制を求めた。参加者の平均成績は、抑制失敗 (false alarm) が 15%, 実行失敗 (miss) が 7% であり、視覚 gradCPT の結果と同程度の成績であった。

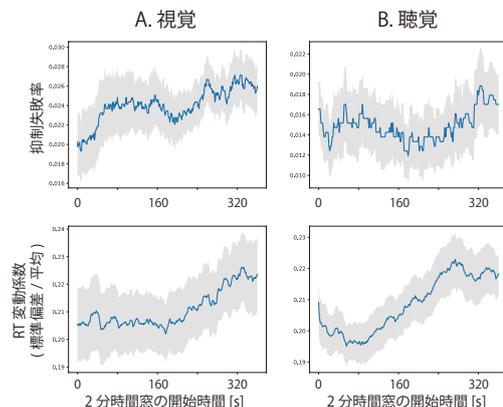


図 2 視聴覚 gradCPT 抑制失敗率と RT 変動係数の時間変化。(A) 視覚 gradCPT における時間変化。抑制失敗率と RT 変動係数 (CV = 標準偏差/平均) は徐々に大きくなる傾向にあった (いずれも $p < 0.001$)。 (B) 聴覚 gradCPT における時間変化。抑制失敗率と RT 変動係数は徐々に大きくなる傾向にあった (それぞれ $p = 0.047, p < 0.001$)。灰色は標準誤差。

持続的注意への負荷を確認するため、抑制失敗率と RT 変動係数 (CV = 標準偏差/平均) の課題内の時間変化を調べた。2 分間の時間窓を徐々にずらして算出した抑制失敗率と RT 変

動係数を図 2 に示す。先行研究 [6] で示されていた通り、視覚 gradCPT では抑制失敗率と RT 変動係数は徐々に大きくなる傾向にあった（いずれも $p < 0.001$, Jonckheere-Terpstra test; 図 2A）。また、聴覚 gradCPT についても、抑制失敗率と RT 変動係数は徐々に大きくなる傾向を示した（それぞれ $p = 0.047, p < 0.001$; 図 2B）。

3.2 持続的注意の変動

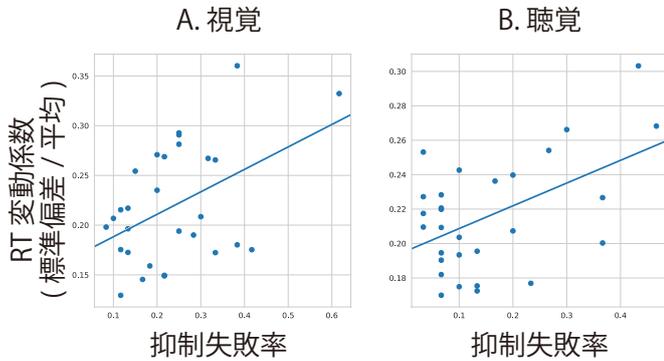


図 3 抑制失敗率と RT 変動係数の分布。(A) 視覚 gradCPT における抑制失敗率と RT 変動係数 ($CV = \text{標準偏差} / \text{平均}$) の相関 ($p = 0.014, R^2 = 0.203$)。 (B) 聴覚 gradCPT における抑制失敗率と RT 変動係数の相関 ($p = 0.005, R^2 = 0.254$)。

持続的注意の変動を試行毎に評価するため、RT の変動に注目した。まず、持続的注意と RT 変動の関係を見るため、抑制失敗率と RT 変動係数の散布図を視聴覚それぞれについて図 3 に示す。視覚 gradCPT については、先行研究 [6] が報告したように相関が見られた（図 3A; $p = 0.014, R^2 = 0.203$ ）。聴覚 gradCPT についても、抑制失敗率と RT 変動係数は相関していた（図 3B; $p = 0.005, R^2 = 0.254$ ）。これらの結果は、視覚 gradCPT のみならず聴覚 gradCPT においても、RT の安定性が持続的注意と結びついていることを示唆している。

次に、RT 変動を個人内で詳しく調べる見るため、第 2 節に記したように、課題毎に VTC を計算した。図 4 に、ある参加者の視覚 gradCPT と聴覚 gradCPT の VTC を示す。早すぎる RT と遅すぎる RT のいずれも注意の欠如と捉え、8 分間の課題内で z 変換した RT を平滑化して VTC を求めた。そして、その中央値を閾値としてそれぞれ 4 分間の「集中 (in the zone)」と「散漫 (out of the zone)」の 2 種類に分類した。

持続的注意の変動に伴う gradCPT の成績変化を調べるため、zone 内外で抑制失敗率と実行失敗率を比較した。先行研究 [6] が指摘したように、視覚 gradCPT においては「散漫」のほうが、抑制失敗率と実行失敗率ともに上昇していた（図 5A）。また、聴覚 gradCPT においても、「散漫」のほうが抑制失敗率と実行失敗率ともに上昇するという弱い傾向がみられた（図 5B）。視覚のみならず聴覚においても、「散漫」は RT 変動の上昇と、エラー率上昇で特徴づけられると考えられる。

持続的注意の変動の仕方が課題内でどのように変化するか見するため、「注意」と「散漫」の割合の時間変化を調べた（図 6）。

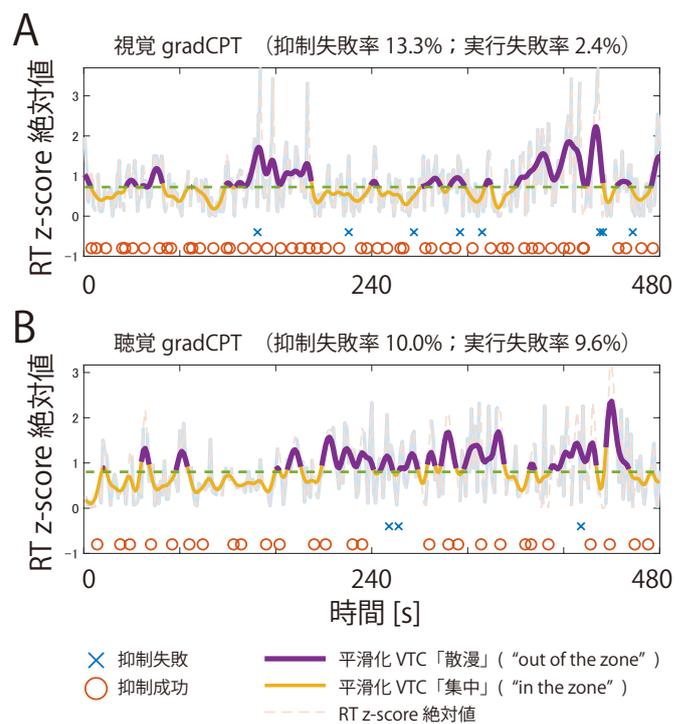


図 4 視聴覚 gradCPT における注意の変動の例。(A) 視覚 gradCPT における注意の変動。 z 変換した RT の変動を点線で、平滑化して得られた VTC を太線で示す。VTC は、その中央値を閾値として「集中」(閾値下)と「散漫」(閾値上)というふたつ状態に分けられる。(B) 聴覚 gradCPT における注意の変動。

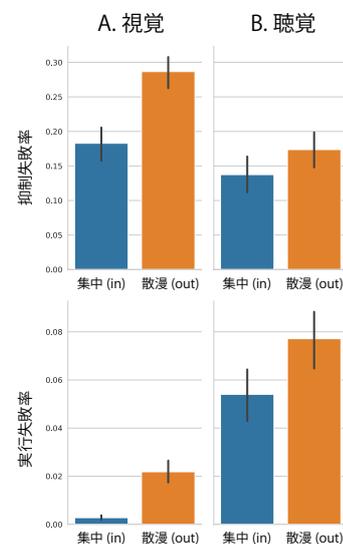


図 5 視聴覚 gradCPT における「集中 (in the zone)」と「散漫 (out of the zone)」の成績比較。(A) 視覚 gradCPT における抑制失敗率と実行失敗率の zone 内外比較。(B) 聴覚 gradCPT における抑制失敗率と実行失敗率の zone 内外比較。

先行研究 [6] で報告されているように、視覚 gradCPT においては「注意」状態の割合は課題内で単調減少する傾向にあった（図 6A; $p = 0.013$, Jonckheere-Terpstra test）。一方の聴覚 gradCPT においても、「注意」状態の割合は課題内で減少

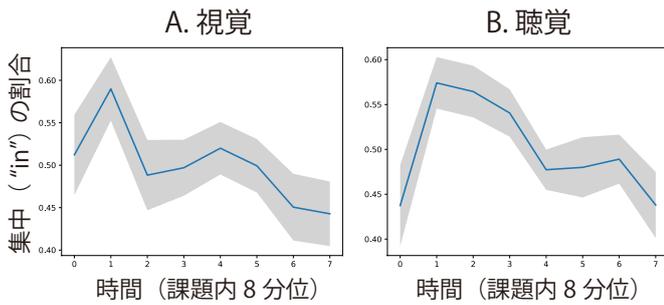


図 6 課題中の「集中 (in the zone)」割合の時間変化。(A) 視覚 gradCPT を 8 分割した区間 (各 1 分) の「集中」の割合。後半ほど「集中」よりも「散漫」の割合が増える傾向にある ($p = 0.013$) (B) 聴覚 gradCPT を 8 分割した区間の「集中」の割合。視覚と同様に、「散漫」が増える傾向にある ($p = 0.028$)。

していた (図 6B ; $p = 0.028$, Jonckheere-Terpstra test). 視聴覚ともに後半で「散漫」の割合が上昇していることは、注意資源の枯渇を示唆している。以上の結果はいずれも、聴覚 gradCPT が、視覚 gradCPT と比較可能な持続的注意の変動を捉えられる課題になっていることを示している。

3.3 視聴覚 gradCPT の個人内比較

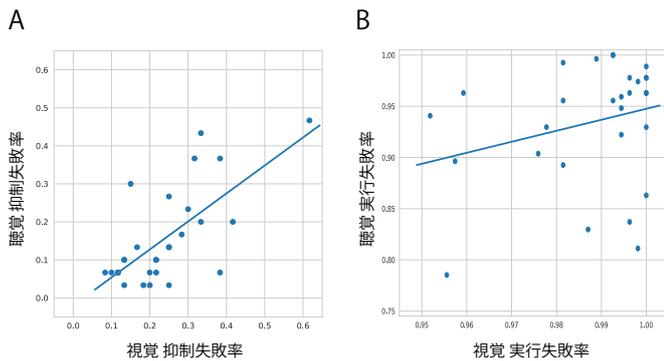


図 7 視覚 gradCPT と聴覚 gradCPT の個人内成績比較。(A) 視聴覚 gradCPT における抑制失敗率は相関した ($p < 0.001, R^2 = 0.475$)。 (B) 視聴覚 gradCPT における実行成功率は無相関だった ($p = 0.160, R^2 = 0.072$)。

前節では、視覚 gradCPT と比較可能な聴覚 gradCPT を新規に提案した。同一参加者に両課題を課しているため、視覚と聴覚の成績の関係を調べることができる。図 7A に示すように、視覚 gradCPT と聴覚 gradCPT の抑制失敗率は相関していた ($p < 0.001, R^2 = 0.475$)。すなわち、視覚 gradCPT でしばしば抑制失敗する参加者は、聴覚 gradCPT でも多く抑制失敗する傾向にあった。一方で、実行成功率は視聴覚間で無相関だった (図 7B ; $p = 0.160, R^2 = 0.072$)。この結果は、視聴覚 gradCPT が典型的な心理課題とは異なり、実行成功ではなく抑制失敗を通して持続的注意の特性を捉えていることを示唆する。

続けて、持続的注意の時間的なゆらぎを個人内で調べるため、VTC の周波数解析を行った (図 8A)。まず、課題毎に

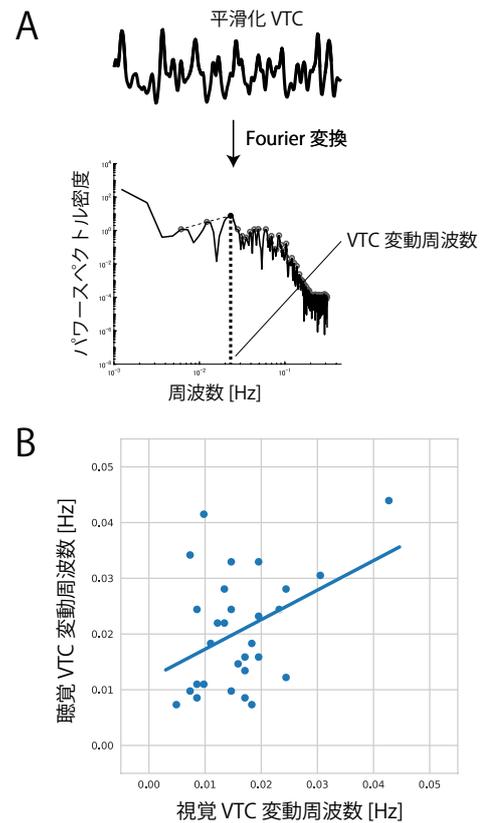


図 8 個人内における VTC 変動周波数の比較。(A) VTC 変動周波数の算出方法。平滑化した VTC の周波数スペクトルのピーク周波数のうち、パワーが最大のを当該課題の VTC 変動周波数とした。(B) 各個人の視覚 gradCPT と聴覚 gradCPT の VTC 変動周波数は相関した ($p = 0.030, R^2 = 0.163$)。

VTC を Fourier 変換して周波数スペクトルを作成した。周波数スペクトルのピーク周波数のうち、パワーが最大の周波数を当該課題の VTC 変動周波数とした。

各個人について視覚 gradCPT と聴覚 gradCPT それぞれの VTC 変動周波数を計算し、得られた分布を図 8B に示す。視覚と聴覚の VTC 変動周波数は相関を示した ($p = 0.030, R^2 = 0.163$)。視覚と聴覚の gradCPT は刺激呈示時間が異なるにもかかわらず、VTC の変動周波数は同程度であった。この課題非依存性は、視聴覚の持続的注意の変動が何らかの共通原理を有することを示唆している。

4. 考 察

本研究の目的は、持続的注意の変動を視聴覚間で比較し、共通点を見出すことであった。比較を実現するため、既存研究で提案された視覚 gradCPT に加え、新規に聴覚 gradCPT をデザインした (図 1)。実験参加者の成績から、聴覚 gradCPT も視覚 gradCPT と比較可能な形で、持続的注意の変動を捉えられることがわかった (図 2, 3, 4, 5, 6)。各個人の視聴覚の成績を比較したところ、視覚と聴覚の抑制失敗率が相関していた (図 7A)。また、変動の時間的特性を調べるため周波数

解析を行うと、視覚と聴覚の VTC 変動周波数が相関していた (図 8B)。視聴覚タスクは刺激呈示の時間スケールが異なるにもかかわらずこれらの共通性が見られることから、視覚と聴覚の持続的注意の変動には何らかの共通原理が存在することが示唆された。

本研究で我々は、刺激呈示時の sudden onset という問題を解決した聴覚 gradCPT を提案したが、すべての点で視覚 gradCPT と同じ傾向を示すわけではない。予備実験では複数の刺激間隔 (800, 1200, 1600 ms) を用いて難易度の調整を行ったが、最終的に選択した 1600 ms でもなお、課題遂行がスムーズでない参加者が見受けられた。例えば、課題中の「注意」の割合の時間変化 (図 6B) を調べる際、最初の 1 分間の成績が極端に悪い参加者が 2 名いたが、このように極端に悪い成績は視覚 gradCPT では見られなかった。また、聴覚における抑制失敗率が視覚よりも低いのは、聴覚のほうが逸脱刺激を容易に検出できるという特性を持っていることを示している可能性がある [1]。タスクデザインの改善で視覚 gradCPT と同様の傾向を実現することが可能かもしれない一方で、視覚と聴覚の持続的注意の本質的な機能的差異が影響している可能性もあり、今後のさらなる研究が必要である。

本研究が示した抑制失敗率の相関 (図 7A) と VTC 周波数の相関 (図 8B) は視聴覚の持続的注意の共通性を示唆したが、どの程度一般に成立するかは未だ不明である。音声刺激の性差の影響や、音声刺激を用いることそのものが何らかのバイアスをもたらしている可能性もある。本研究の実験参加者は若年層の大学生に限定されており、他の年齢層では別の傾向があらわれるかもしれない。また、二重課題を用いた研究では多重資源モデルが提案されているが [13], [18], 視聴覚の二重課題を用いて干渉を検証することも考えられる。視覚 gradCPT と聴覚 gradCPT の双方で、より幅広いタスクデザインを用いて結果の一般性を検証することが求められる。

本研究は、これまで視覚でのみ行われてきた gradCPT を聴覚に拡張した課題を提案し、異なる感覚モダリティ間での持続的注意の特性比較を実現した。その結果、刺激の呈示時間が異なるにもかかわらず、視聴覚の持続的注意の変動には共通性が示唆された。視覚については、持続的注意の神経基盤について研究が進みつつある。また、視聴覚知覚や注意の神経基盤に関する比較も行われている [9], [10], [15]。近い将来、聴覚においても持続的注意の神経基盤を探求することで、視聴覚の何が共通で何が異なるのかという理解が進むことが期待される。

文 献

- [1] Arrabito GR, Ho G, Aghaei B, Burns C, and Hou M. Sustained attention in auditory and visual monitoring tasks: Evaluation of the administration of a rest break or exogenous vibrotactile signals. *Human Factors*, **57**(8):1403–1416, 2015.
- [2] Aylward GP, Brager P, and Harper DC. Relations between visual and auditory continuous performance tests in a clinical population: A descriptive study. *Developmental Neuropsychology*, **21**(3):285–303, 2002.
- [3] Brainard DH and Vision S. The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, **10**:433–436, 1997.
- [4] Conners CK, Staff M, Connelly V, Campbell S, MacLean M, and Barnes J. *Conners' Continuous Performance Test II (CPT II v. 5)*. Multi-Health Systems, Inc., 2000.
- [5] Earle-Boyer EA, Serper MR, Davidson M, and Harvey PD. Continuous performance tests in schizophrenic patients: Stimulus and medication effects on performance. *Psychiatry Research*, **37**(1):47–56, 1991.
- [6] Esterman M, Noonan SK, Rosenberg M, and DeGutis J. In the zone or zoning out? Tracking behavioral and neural fluctuations during sustained attention. *Cerebral Cortex*, **23**(11):2712–2723, 2012.
- [7] International Phonetic Association. *Handbook of the International Phonetic Association: A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [8] Keith R. *The auditory continuous performance test*. San Antonio, TX: Psychological Corporation, 1994.
- [9] Kondo HM, Kitagawa N, Kitamura MS, Koizumi A, Nomura M, and Kashino M. Separability and commonality of auditory and visual bistable perception. *Cerebral Cortex*, **22**(8):1915–1922, 2012.
- [10] Kondo HM and Kochiyama T. Normal aging slows spontaneous switching in auditory and visual bistability. *Neuroscience*, **389**:152–160, 2018.
- [11] Kondo HM, van Loon AM, Kawahara JI, and Moore BC. Auditory and visual scene analysis: an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **372**:20160099, 2017.
- [12] Mahone EM, Pillion JP, and Hiemenz JR. Initial development of an auditory continuous performance test for preschoolers. *Journal of Attention Disorders*, **5**(2):93–106, 2001.
- [13] Navon D and Gopher D. On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, **86**(3):214–255, 1979.
- [14] Robertson IH, Manly T, Andrade J, Baddeley BT, and Yiend J. 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, **35**(6):747–758, 1997.
- [15] Salmela V, Salo E, Salmi J, and Alho K. Spatiotemporal dynamics of attention networks revealed by representational similarity analysis of EEG and fMRI. *Cerebral Cortex*, **28**(2):549–560, 2016.
- [16] Sandford JA and Turner A. *Manual for the integrated visual and auditory continuous performance test*. Richmond, VA: Braintrain, 1995.
- [17] Tekok-Kilic A, Shucard JL, and Shucard DW. Stimulus modality and Go/NoGo effects on P3 during parallel visual and auditory continuous performance tasks. *Psychophysiology*, **38**(3):578–589, 2001.
- [18] Wickens CD. Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, **50**(3):449–455, 2008.