

<研究課題> 高齢ドライバーの注意に関する簡易検査方法の開発

代表研究者 千葉大学フロンティア医工学センター 特任助教 大西 章也

【まとめ】

本研究では加齢に伴う注意機能低下による運転事故を防ぐため、注意の簡易検査方法を検討した。欠円を1~5ヶ所出現させ探索する課題を用意し、ボタン押しの反応や脳波より適切な難易度を検討した。その結果、欠円を3ヶ所以上に出現させた場合、成績は加齢により低下し、一部の被験者に著しい低下が見られた。本研究成果は約5分間のボタン押し課題を用いた廉価な装置で構成される注意機能自動検査器の実現を示唆する。

1. 研究の目的

高齢ドライバーによる自動車運転事故を防ぐことは重大な課題である。高齢ドライバーが引き起こす事故の一因に加齢に伴う認知機能の低下が挙げられる。認知機能の衰えによる事故を防ぐため、今日の高齢ドライバーの免許更新時に時間の見当識、手がかり再生、時計描画といった認知機能検査が導入されている。しかし空間に対する注意を向ける認知機能(空間的注意)の検査は導入されていないため、適性検査方法の改善が必要と思われる。

高齢ドライバーの適性検査方法を見直すにあたり、現実的かつ効果的な方法の提案が必要である。我が国は超高齢社会を迎え、今後も高齢者率が高くなると予想されており、非常に多くの高齢者の適性検査を必要とする。また、免許更新を行う全国の免許センターや警察署等への設置には、場所をとらず安価であり、専門スタッフを要しない検査が望ましい。加えて検査の正確度は装置の規模や金額、検査時間に関係する。以上を考慮すると、健康診断時に用いる視力計のように小型で安価な注意機能の簡易検査方法の提案が必要であると考えられる。

これまでドライバーの注意に関する検査方法が多数提案されている。例えばドライビングシミュレータを用いた運転適性検査法がある。それを用いると実際の運転に近い評価が可能である。しかし装置が高価で大がかりであること、再現性を得るためシナリオを繰り返す時間を要すること、視覚情報等が複合し原因究明を困難とすることを考慮すると免許更新時に導入する適性検査での運用は難しい。一方で竹井

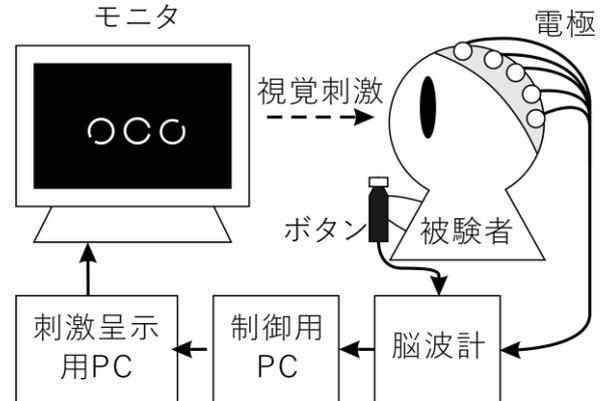


図1. 試作装置の構成

機器工業株式会社の運転適性検査器CG400やSiDSなどはパソコンラックほどの大きさでハンドルやペダルが付いており、単純反応や選択反応、ハンドル操作、注意配分、複数作業などの評価が可能である。これら機器を備えている警察署などもある。しかし注意機能の検査は免許更新時に運用されるに至っていない。免許更新時に注意機能の簡易検査を導入するためには更なる簡易化や低価格化、検査時間短縮、科学的根拠、法整備などが必要と思われる。特にこれまでの注意機能の検査には視覚探索課題が用いられるが、探索する刺激が顕著に特徴的なポップアウト課題となっているなど、探索が容易となっている。

そこで本研究では高齢ドライバーの認知機能低下による運転事故を防ぐため、免許更新時に検査されていない注意機能に着目し、その簡易検査方法を開発することを目的とした。本研究では図1のようにコンピュータとモニター、ボタンを用い、指示された図形が出現した際にボタンを押す簡易検査方法を提案する。開発にあたり、適切な難易度に調整し、その神経科学的知見を深める必要がある。そのため3種類の刺激条件を用意し、課題時のボタン押しの反応と脳波を計測した。本研究の特徴は、ポップアウトしない逐次探索を要求する課題を用いていること、ボタンを押すタイミングを予測しにくいよう工夫していること、課題を短時間で連続して呈示するため再現性が得られること、検査時の脳波加算平均が得られる課題であることなどが挙げられる。

2. 研究方法と経過

2-1. 被験者

本実験には 15 名の高齢被験者 (68.7 ± 3.0 歳, 男性 8 名, 運転免許有効), 10 名の若年被験者 (23.1 ± 2.9 歳, 男性 8 名) が参加した. 本実験は千葉大学の倫理審査委員会の承諾を得て実施した. 被験者には書面と口頭により実験の流れや危険等を説明し, 書面による同意を得た後に実施した.

2-2. 試作装置

本実験の試作装置は図 1 のように制御用 PC (HP ProBook 430 G3), 刺激呈示用 PC (ga-g31m-es2l), モニタ (DELL E178FPc), 脳波計 (AP108), 押しボタン (自作) から成る. 制御用 PC で実験条件を指定し, 刺激呈示用 PC が低遅延の視覚刺激を被験者に呈示する. その際の脳波, 刺激タイミング, ボタン押しを脳波計により同期して計測し, 制御用 PC が記録する.

2-3. 刺激呈示方法と課題

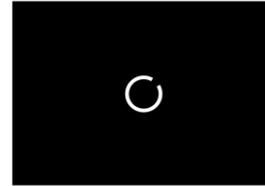
視覚刺激には欠円刺激を用いた. 欠円は上下左右斜め 8 方向のうち一ヶ所が 15° 欠けており, 内部が塗りつぶされていない白い線図であり, 黒地のモニタに出現する. 被験者はモニタ前方の椅子に腰かけ, 眼前 60cm にモニタが位置する状態で実験を行った. 本注意課題は 図 2 のように 8 種類の欠円のうちのいずれか (標的刺激) が出現した際にできる限り素早くボタンを押すよう指示される. 次に欠円が複数同時に呈示されるので, その中に指示された図形が含まれていれば素早くボタンを押す. その際, 指示されていない図形 (妨害刺激) が出現する場合があるが, 標的刺激が含まれていない場合はボタンを押さない.

課題の難易度を調整するため, 図 3 のように欠円が一ヶ所 (P1), 三ヶ所 (P3), 五ヶ所 (P5) に出現する 3 条件を用意した. 欠円刺激は画面上で幅 2cm, 高さ 2cm であり, 刺激は水平に 5.2 cm 間隔で中央揃えされて並んでいる. 刺激呈示時間は 500ms, 刺激間隔 (ISI) は 500~1300ms とした. 標的刺激は 5 回に 1 回だけ出現するよう調整されており, これを 1 試行の間に 8 回繰り返す. 1 セットの間 3 試行を実施するが, 各試行で異なる欠円を標的とした. これを各刺激条件 (P1, P3, P5), ボタンを持つ手 (左右) それぞれにつき 2 セットずつランダムな順序で行った. したがって各刺激条件における提示回数は合計 480 回であり, うち標的刺激回数は 96 回であった.

2-4. 脳波計測

脳波は国際 10-20 法に従い Fpz, Fz, Cz,

1. 注目する図形の指示



2. 注目する図形が出現したらボタン押し

押さない場合の一例

押す場合の一例

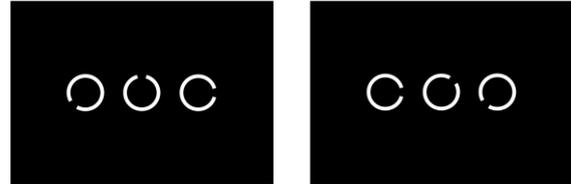


図 2. 実験の流れ



図 3. 刺激条件

Pz, Oz より計測した (参照電極: A2, 設置電極: Afz). 脳波計測時の際のローパスフィルタのカットオフ周波数は 30Hz, ハイパスフィルタの時定数は 1.5s, 感度は $20 \mu V$, ノッチフィルタは 50Hz とした.

2-5. 解析方法

注意の簡易検査法に適切な難易度を明らかにするため, 標的刺激が呈示されてから 1s 以内にボタンを押された数, すなわち真陽性 (True-positive: TP) を各刺激条件ごとに求めた. 本研究では群の差異でなく, 注意機能が低下している可能性がある個人を検出することが目的のため, 個人の結果そのものの吟味を重視した. 脳波は Pz より計測した脳波を標的出現時と非出現時それぞれで加算平均し, その差を計算した際に見られる顕著な正のピークを指標とした. さらに年齢と TP, 脳波の関係を相関分析により調べた.

3. 研究の成果

3-1. 課題時の真陽性

図 4 に各若年者の TP を刺激条件ごとに示す. 各条件の TP 上限は 96 回である. P1 条件では 10 名中 9 名の TP が 90 回以上であった. P3 条件では TP が減少したが, 9 名の TP が 70 回以上, 4 名の TP が 90 回以上であった. P5 条件では TP がさらに減少し, 4 名のみ TP が 70 回以上を維持した. 若年被験者 2 については P3 条件で TP が 70 回を下回った.

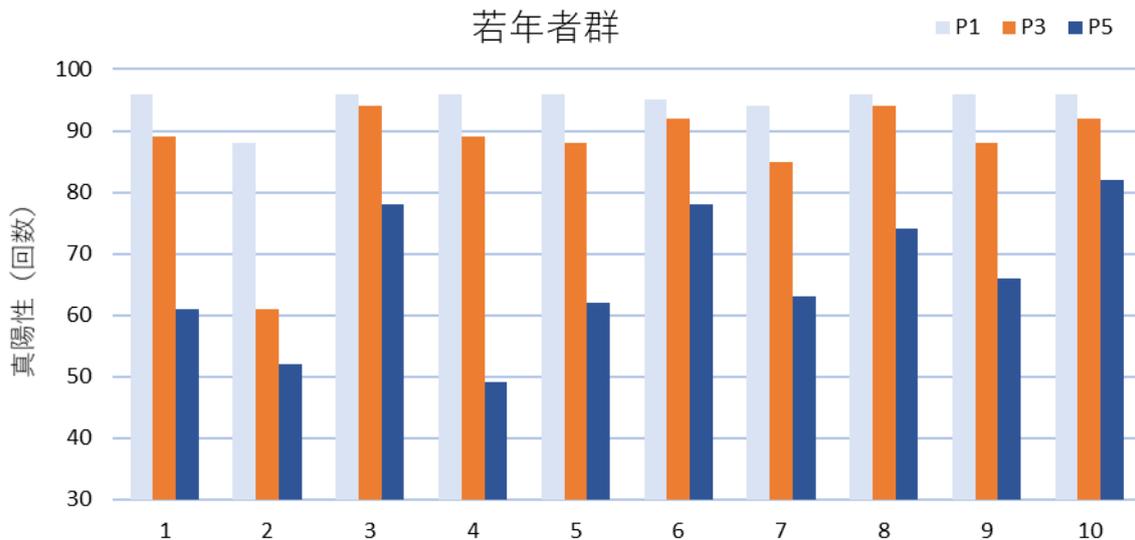


図 4. 若年者の真陽性

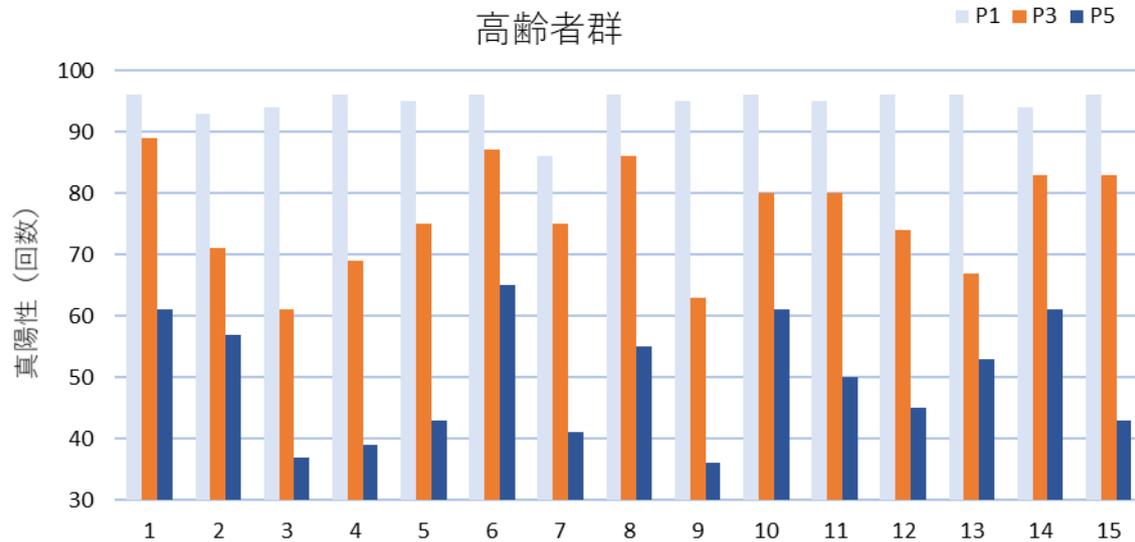


図 5. 高齢者の真陽性

図 5 に各高齢者の TP を刺激条件ごとに示す。P1 条件では若年者同様の成績を示した。P3 条件では多くの高齢者に著しい TP の低下が見られ、15 名中 0 名の TP が 90 回以上、11 名が 70 回以上であった。P5 条件では TP が 70 回以上の被験者は見られなかった。P3 条件で 4 名の TP が 70 回を下回った。

図 6 に若年者群と高齢者群それぞれの TP の中央値と標準偏差を示す。各群のフリードマン検定により刺激条件の主効果が見られ、ウィルコクソン符号順位検定 (ボンフェローニ補正) により各条件間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。P1 条件と、若年者の P3 条件では中央値に標準偏差を加えると上限 96 回を超え、天井効果が見られた。これらの条件では課題が簡単で成績が上限に達しているため違いが見られにくいことを意味する。

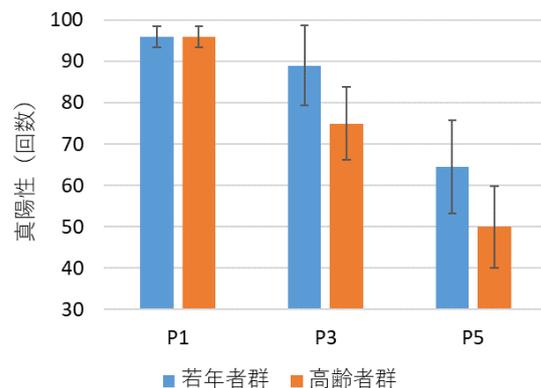


図 6. 真陽性の中央値と標準偏差

3-2. 脳波

図 7 に若年被験者 1 の P1 条件における脳波平均波形を示す。標的波形と標準波形の差を見ると 0.5s に正のピークが見られる。そのピークの振幅の平均値と標準偏差を表 1 に示す。若年者群、高齢者群ともに刺激条件が P1 で最大

の脳波振幅を示した。P3, P5 条件では振幅が小さくなっていることがわかる。

3-3. 相関解析

年齢と TP との相関を表 2 に示す。P3, P5 条件において年齢と TP との間に有意な負の相関が認められた($p < 0.05$)。また、表中の n.s. は有意な相関が認められないことを示す。したがって P3, P5 条件では年齢が上がるにつれ TP が減少することを示唆する。P3, P5 条件は欠円が画面上に広がり出現する条件のため、空間的注意を要求する課題である。P3, P5 条件でのボタン押しにより得られた TP は空間的注意の評価に使用できると期待できる。

年齢と脳波振幅との相関を表 3 に示す。P1 条件において年齢と脳波振幅の間に有意な負の相関が認められた($p < 0.05$)。したがって、P1 条件では年齢が上がるにつれ脳波振幅が減少することを示唆する。TP と脳波振幅の間に相関は認められなかった。これより、TP と脳波振幅はそれぞれ別の注意機能を反映していると考えられる。P1 は空間的な注意ではなく持続的注意を要求すると考える。脳波振幅は P1 との相関が認められることから、脳波振幅は持続的注意と関係する可能性がある。

3-4. 本研究成果より期待される簡易検査法

本研究では P3, P5 条件によるボタン押し課題時の TP が加齢に伴う空間的注意を反映していることを示唆する結果が得られた。したがってシステムを簡素化し、刺激呈示・制御兼用 PC1 台、モニタ、ボタンの約 5 万円程度の構成により簡易検査が可能であることが示唆される。本実験では脳波の加算平均を求めるため合計 480 回もの刺激呈示を行ったが、P3 条件の TP のみの検査であれば回数を例えば 120 回 (標的 14 回出現, 最長 3.6 分) に削減することができる。課題説明を文章や合成音声、顔の固定具を用いて自動化すれば、専門スタッフが立ち会う必要がなくなり、設置した台数分だけ検査を並列して実施できる。課題説明や被験者交代時間を含め検査器 1 台当たり約 5 分で 1 人の注意機能の検査が可能と期待できる。

脳波計測には電極取り付け取り外しや、専門スタッフの配備が必要となるため簡易検査には不向きである。そのため現状では脳波は持続的注意の検査などに用いるのがよいと考える。

4. 今後の課題

注意機能と事故の関係は複雑であり、どの程度の注意能力が必要であるか不明である。例えば注意機能の低下により危険の見落としや発見の遅れが生じると、急な判断を要求すること

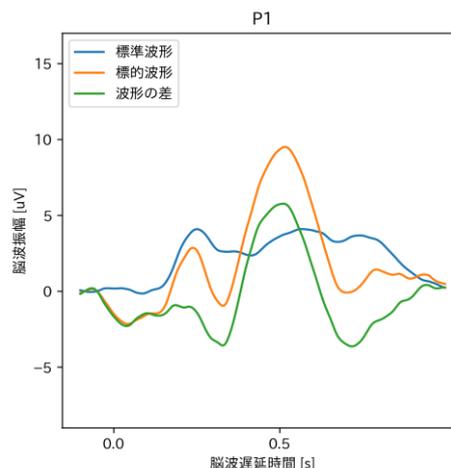


図 7. 脳波平均波形の一例 (若年被験者 1, P1 条件, 位置 Pz)

表 1. 脳波平均波形の振幅 [μV]

	P1	P3	P5
若年者群	11.5 ± 6.5	8.1 ± 4.8	6.4 ± 3.8
高齢者群	6.1 ± 4.9	3.9 ± 6.0	1.3 ± 6.9

表 2. 年齢と真陽性との相関

	P1	P3	P5
年齢	n. s.	-0.43	-0.58

表 3. 年齢と脳波振幅との相関

	P1	P3	P5
年齢	-0.51	n. s.	n. s.

になり、ブレーキ操作のミスが発生しうる。その場合、事故の原因は注意機能の低下であるか、判断力の低下であるか、操作不適であるか区別しがたい。このように事故に至るまでの認知過程は複雑なため、運転に要求される最低限必要な注意機能を線引きするのは難しい。そのため P3 条件における TP は正規分布に従うと仮定し、若年者群の中央値 - $2 \times$ 標準偏差 (本実験の場合 TP が 70 回, 73%) を下回った場合に精密な検査を要求するなど設定することが考えられる。しかしながら本研究では被験者数が限られているため結論付けがたく、今後年齢層ごとに実験するなどの調査が必要である。

5. 研究成果の公表方法

本研究成果の全容をプリプリントとして先行して公表し、迅速に共有できるようにする予定である。さらにプリプリントを受け付ける Science Citation Index 収録査読あり海外論文誌にて公表する予定である。

以上