

<研究課題> $Fm\theta$ 波に基づく高齢者ドライバーの注意水準が 道路標識の認識能力に及ぼす影響

代表研究者 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 准教授 柏原考爾

【まとめ】

注意や集中力の客観的な評価指標である $Fm\theta$ 波から、高齢者が道路標識を認識する際の脳活動を検討した。注意と脳内の情報処理資源の総量は密接な関係にある。従って、暗記作業の付加による注意水準の変化が、道路標識の認識力に及ぼす影響を調べた。行動実験では、注意水準が少なくなるにつれ、特に、高齢者で大きな応答遅延が生じた。脳波測定では、 θ 波だけでなく α 波の影響も示唆された。

1. 研究の目的

高齢者ドライバーの増加に伴う交通事故が問題¹⁾となっている。その主な要因として、加齢による動体視力や瞬間的な認知・判断力の低下が挙げられる。しかし、注意深く道路標識を認識し、現在の道路状況を正確に把握できれば、未然に事故を防げる可能性が高まる。加齢による認知特性の低下は多く報告されている²⁾が、高齢者の注意に関する高次脳機能と交通事故の関連性については未だ不明な点が多い。

従って、本研究では、注意や集中力の客観的な評価指標となる $Fm\theta$ 波（前頭葉正中部で観測される 4~8 Hz の脳波³⁾）から、高齢者が道路標識を認識する際の脳活動を検討した。特に、注意と脳内の情報処理資源の総量は密接な関係⁴⁾にあるため、ワーキングメモリ（単純な暗記）課題を付加することで、注意水準の変化が通常の作業や脳活動に及ぼす影響を検討した。

2. 研究方法と経過

若年層（20代）及び高齢者層（60代以降）を対象とし、種々の注意水準と道路標識の認識力との関連性を行動及び脳波実験により検討した。

2-1 行動実験

行動実験では、注意資源の配分量を変化させながら、案内板を見て行き先を素早く確認するために要する応答時間を評価した。この行動実験の結果から、実際に案内板の認知判断に費やしていた脳活動の時間を推定できる。

(1) 被験者

被験者は、20代の若年者6名と60歳以上の高齢者6名であった。実験はヘルシンキ宣言に基づき、被験者の安全や個人情報の管理を第一として実施した。全被験者について、重篤な病歴がなく、前日に十分な睡眠を摂り、実験当日の健康状態に問題がないことを事前に確認した。研究内容を十分に説明した後、実験への参加同意を得た。

(2) 課題呈示物

被験者3名により予備実験を実施し、課題の難易度や呈示時間等を調整した。高齢者でもわかり易い様に、行き先の車線を簡単な矢印で示す案内板（図1参照）を実験で用いる道路標識とした。また、案内板に表示する文字の難易度を統一するため、簡単なアルファベット3文字（A・B・C）のみを使用した。

室温 23°C に設定した静かな実験室内で、被験者は目線と同じ高さのスクリーン（3 m の距離）に投影される呈示物を見ながら、各試行への回答を行った。また、眼球運動の影響を低減するため、道路標識や文字等の呈示物の大きさは、スクリーンの中心位置から 5° 以内とした。

(3) 実験手順

行動実験で用いた課題を図1左に示す。最初に、各試行の開始を示す「Start」の文字と注視点を示す「+」の記号が、画面中央に表示される。その後、数字とアルファベットのセットが出現する。被験者は、表記された情報を全て覚えることを求められた。ここで、数字以外の「#」の表記は、無視する様に教示した。全て「#」の表記の場合は、数字の記憶や行き先の選択作業をする必要がなく、

案内板が見えた段階で単純なボタン押しのみを行った(課題1)。また、数字情報だけが全て「#」で表記される場合、案内板の選択反応作業のみを実施した(課題2)。さらに、案内板の選択反応作業における注意水準を変化させるため、暗記する数字を1桁(課題3)・3桁(課題4)・5桁(課題5)の3種類に変化させた。これらの課題1~5の出現順とアルファベットの配列順は、ランダムに入れ替えた。

案内板の選択作業では、直前に呈示されたアルファベットに対応する行き先を、3つボタンマウス(左・中央・右)のいずれかを押すことにより回答した。被験者には、「呈示された数字情報を維持しながら、案内板による選択作業を最優先する」様に教示した。

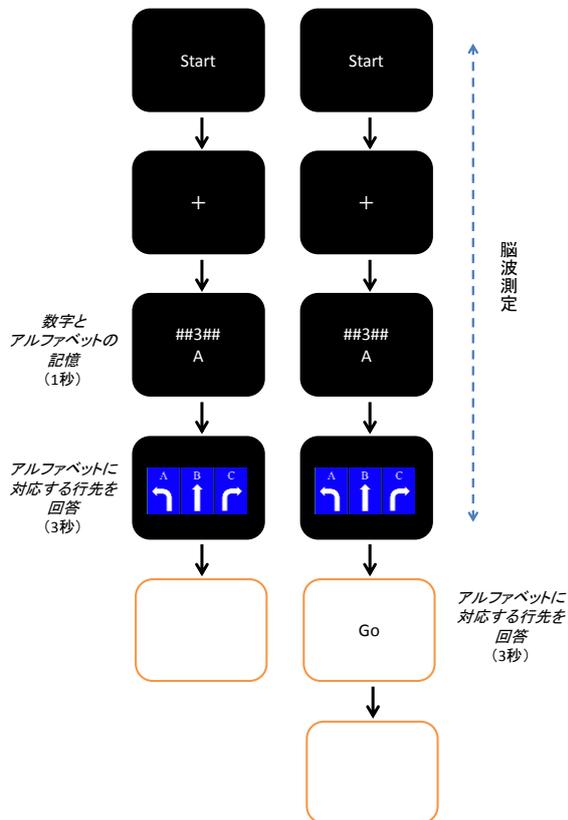


図1. 行動(左)及び脳波(右)実験で用いた課題

各被験者は最低でも4ブロック(10試行/1ブロック)以上の練習課題を実施した。特に、高齢者は十分な練習が必要となるため、3つボタンマウスのボタン押しの練習から開始した。その後、数字の暗記は行わず、選択反応課題のみを練習(2ブロック以上)した。課題に十分慣れた後、数字

の暗記を付加した選択反応課題を練習(最低でも2ブロック以上)した。また、高齢者と同様の方法で、若年者の課題練習を実施した。

本実験は1ブロック30試行(各課題6試行分)とし、課題の最初の1試行分は練習用とした。被験者には、「課題中は、スクリーン中心部を見る」様に教示した。また、「できるだけ正確かつ素早くボタン押し作業を行い、その後、記憶している数字を口頭で答える」様に指示した。ボタン押しによる反応時間はPCに連続記録した。

(4) データ解析

反応時間について、2要因(被験者群と課題の種類)の分散分析を行った。 $p < 0.05$ のとき、統計的有意とした。

2-2 脳波実験

道路標識を認識する際の注意力を客観的に評価することを目的として、脳波実験を行った。注意や集中力の定量化には、前頭葉正中部(F_z 領域)の $Fm\theta$ 波を用いた。注意水準の違いを作り出すため、行動実験と同じ2重課題(ワーキングメモリ課題と案内板の認識)を実施した。

(1) 実験手順

行動実験の実施後、同一被験者により脳波実験を行った(図1右)。各課題とその呈示物は、行動実験と同じである。ただし、脳波実験では、「スクリーン上に”Go”刺激が出てから、ボタン押しと口頭による回答を行う」様に教示した。これは、ボタン押し等の動作による筋電図の混入を防ぐためである。

BIOPAC Systems社製の生体計測用アンプ(MP150及びEEG100C)により脳波測定を実施した。測定部位は、前頭葉正中部の F_z 領域(10/20法)とし、電極の抵抗値は20k Ω 以下となる様に設定した。また、 Fpz 領域をボディアースとし、左耳朶をリファレンスとした。脳波測定では、1~35Hzのアナログバンドパスフィルターを掛け、サンプリング周波数を500Hzに設定してデータを取得した。外部ノイズを低減するため、被験者には、「脳波測定中、瞬きや体の動きをなるべくしない」様に教示した。

(2) データ解析

各課題における事象関連電位(ERP応答)を求めるため、ベースライン修正後、試行回数分の脳波データを加算平均した。ただし、 $\pm 80 \mu V$ の範囲を超える試行は、瞬目や体動等の大きなノイズを

含んでいる可能性が高いため、脳波解析から除外した。

F₂領域における脳波の wavelet 解析により、課題遂行中の注意や集中力の変化を定量化した。wavelet 解析に用いる周波数は、 θ (4~8 Hz) 及び α (8~12 Hz) 帯域とした。また、試行ごとに wavelet 変換したデータを、各課題で加算平均 (Induced θ or α) した。脳波実験で実際に回答を考えている時間は、行動実験の結果 (反応時間) から推定した。

3. 研究の成果

(1) 行動実験

各課題における反応時間の解析結果を図2に示す。2要因の分散分析の結果、被験者群と課題の種類ともに、主効果 ($p < 0.01$) が認められた。多重比較の結果、若年層に比べて、高齢者層の反応時間が有意に遅延 ($p < 0.01$) した。また、両群の課題5では、その他の課題よりも反応時間が大きく遅延 ($p < 0.01$) した。これは、付加されたワーキングメモリ (数字の暗記) 課題の難易度が、選択反応作業に影響していたことを示す。本課題では、高齢者においても、刺激呈示から、概ね2秒以内に反応できていた。

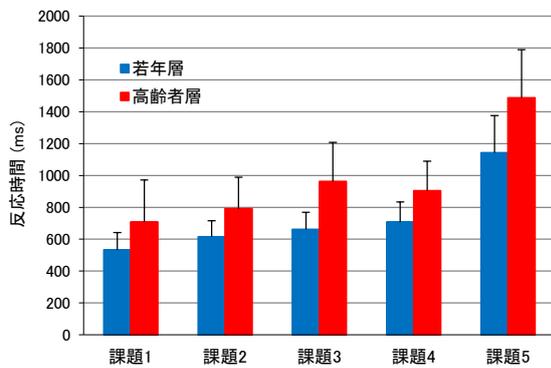
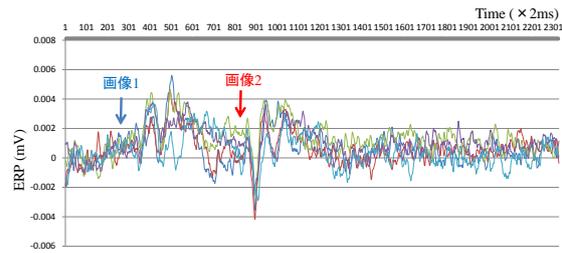


図2. 各課題における反応時間

(2) 脳波実験

若年層と高齢者層における ERP 応答 (各課題で平均) の結果を図3に示す。両群とも、各呈示物の出現による ERP 応答が見られ、特に、課題5において、応答の分散が大きくなった。また、高齢者層では、全課題で振幅の変化が大きくなる傾向があった。

(a) 若年層



(b) 高齢者層

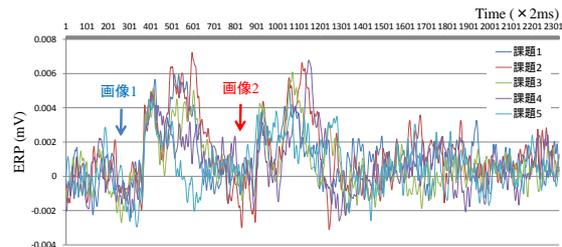
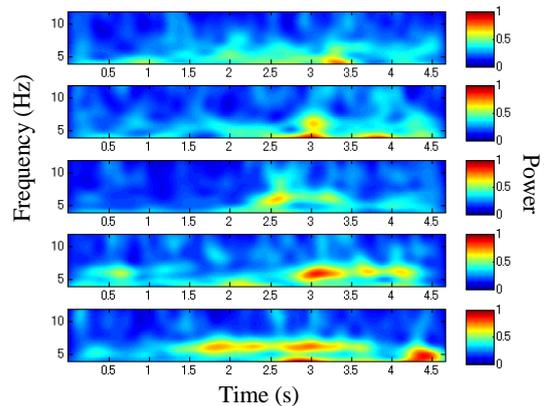


図3. 各課題における事象関連電位 (ERP 応答)

(a) 若年者



(b) 高齢者

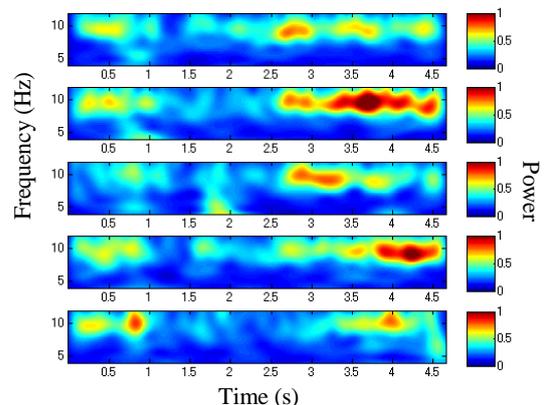


図4. θ 及び α 帯域での wavelet 変換 (上から順に課題1~5)

行動実験の結果より、案内板の刺激呈示後、2秒間は選択反応作業に費やされたと考えられる。

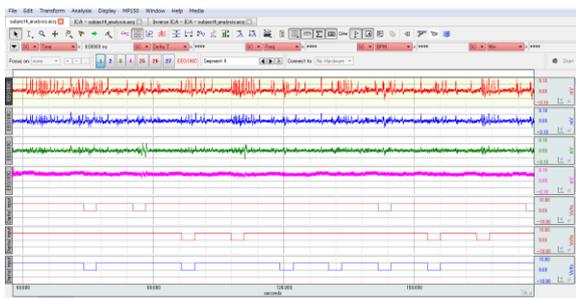
また、その後、回答を保持している時間帯では、呈示物が出現した直後の脳波と比べると、比較的安定した振幅の波形が得られた。しかし、若年層より高齢者層で、波形がややばらつく傾向が見られた。

若年者と高齢者の脳波から得られた wavelet 解析の一例を図4に示す。この若年者の例においては、図4(a)に示す様な課題の難易度に依存した θ 帯域の変化が見られた。一方、高齢者では、 θ 帯域よりも α 帯域に大きなパワーが観測される傾向があった。ただし、wavelet 変換の結果は、被験者間でばらつきが見られるため、更なる検討が必要である。

4. 今後の課題

本実験では、付加したワーキングメモリ（数字の暗記）課題の難易度が注意の資源配分の増減を引き起こし、案内板の選択反応作業に大きく影響した。特に、高齢者では、若年者と比べて有意な反応時間の遅延が起きることが危惧される。従って、実際の運転操作と異なる作業が必要となり、注意の資源配分量が奪われてしまうと、反応に遅延が生じ、重大な事故に繋がる危険性がある。

(a) 瞬目を含む脳波



(b) 瞬目波形の除去後

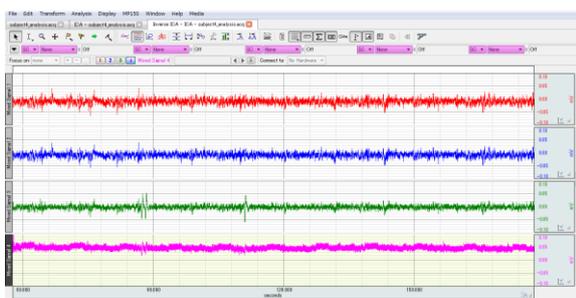


図5. 独立成分分析による瞬目ノイズの除去

若年者の $Fm\theta$ 波の wavelet 変換データでは、課題難易度に依存した変化が見られた。また、若年者と高齢者では、脳波の活動帯域が変化する可能性がある。この $Fm\theta$ 波の発生源は、前部帯状回とされ⁵⁾、 α 帯域への影響も示唆されているが、異なる脳部位や神経リズムも影響する可能性がある。

眼球運動の影響を排除するため、脳波測定中の4~5秒間は、瞬きを我慢する必要があった。しかし、測定中に一度も瞬きを行わないことは困難である。今回の脳波解析では、 $\pm 80 \mu V$ を超える試行データは、瞬目によるノイズと判断して除外した。しかし、独立成分分析を用いれば、本来の脳波データを残しながら、瞬目波形のみを除去することができる(図5)。今後は、この解析法を利用して、瞬目の影響を除去した脳波データについて、より詳細に解析していく予定である。また、 F_2 領域以外の部位（頭頂部・後頭部等）での脳波データとの比較も必要となる。

本研究では、結果に直接寄与する要因を特定し易くするため、認知判断に影響する外部環境の要素をなるべく排除して課題を作成した。しかし、実際の運転環境では、速度変化・案内板の表示位置・天候条件・時刻等による影響を考慮する必要がある。また、注意の資源配分を統制するため、ワーキングメモリ課題として、単純な数字の暗記を用いた。今後は、BGM や車内での会話等、実際の運転環境に即した場面での検討を行う必要がある。

5. 研究成果の公表方法

本研究の成果は、2014年度に開催される国内学会や国際会議等で発表することを予定している。

参考文献

- 1) 国際交通安全学会誌, 35(3), pp.59-68, 2011
- 2) Psychology and aging, 6(3), pp.403-415, 1991.
- 3) Eur. J. Neurosci., 15(8), pp.1395-1399, 2002
- 4) Attention and Effort (Experimental Psychology) by Daniel Kahneman, 1973
- 5) NeuroImage, 27, pp.341-356, 2005

謝辞

ご助成頂いた公益財団法人 三井住友海上福祉財団に心より御礼申し上げます。