

## 高齢者における日中の注意喚起と認知失敗傾向<sup>1)</sup>

櫻井美由紀\*・岩崎 祥一\*\*

### Influence of Time of Day on Alerting and Cognitive Dysfunction in the Older Adults

Miyuki SAKURAI\* and Shoichi IWASAKI\*\*

In this study we explored how aging affects the effect of day time variation of arousal rhythm on error proneness by comparing the male aged participants with the young ones with alerting and mental calculation tasks. The participants were tested three times at 11, 14 and 16 o'clock during day time. The aged group showed increased errors in the mental calculation task and in the alerting task they tended to show increased errors when a warning signal preceded a response commanding signal. These results suggest that aging increases errors in attention-demanding task in the early afternoon when the arousal level temporarily declines.

**key words:** older adults, cognitive failure tendency, error, alerting, circadian rhythm

#### 目 的

通常、目が覚めている日中の人間の作業効率の変化は、課題の遂行速度で調べられ、一般的には、一日のうちどの時間帯が最も課題のパフォーマンス(遂行成績)がよいかは覚醒と関係して変化するとされている(Monk & Leng, 1982)。

覚醒が低下する原因の一つとして、概日リズムによる覚醒の日内変動による影響があげられる。生物時計は多くの行動に関する変数(たとえば深部体温、血圧、睡眠・覚醒、メラトニンやコルチゾール、成長ホルモン等の分泌、など)において観測され、概日リズムと呼ばれている(Rajaratnam & Arendt, 2001)。概日リズムにおいて、睡眠と覚醒のリズムには体温リズムが関与する。一般的に体温は夕方6~8時頃に最高となり、その後は徐々に下がっていく。体温が下がるにつれ、眠気が増大する。体温は早朝3~

5時頃に最低となった後、徐々に上昇し、最低体温から2~3時間経過したところで起床するというリズムを日々繰り返している。これだけではなく、午後の昼下がりの時間(14~16時)頃にも眠気が生じることがわかっている(Clodore, Benoit, Foret, & Bouard, 1990; Hayashi, Morikawa, & Hori, 2002)。

自動車運転事故は、交通量とも関連して、朝と夕方時間帯に多く発生しているが、居眠り運転のような睡眠に関連した事故が最も多い時間帯は、夜半から早朝にかけてと、昼下がりの午後の時間(14~16時)であり、その有力な理由の一つとして、この時間帯は、眠気が増大する時間帯だということが考えられている(Garbarino, Nobili, Beelke, De Carli, & Ferrillo, 2001; Horne & Reyner, 1999)。眠気に関連した交通事故以外にも、Monk, Folkard, & Wedderburn (1996)は、夜間の交代制勤務での作業では、覚醒の維持が困難であることに加え、交代制の勤務は時差

<sup>1)</sup> 本研究は、2009年度財団法人三井住友海上福祉財団の研究助成を受けて行われた。

\* 東北大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, 6-3-09 Aramaki-aza, Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8579, Japan

現所属: 東北大学東北メディカル・メガバンク

Tohoku Medical Megabank Organization, Tohoku University, 2-1 Seiryō-machi, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8573, Japan

\*\* 東北大学大学院情報科学研究科

ぼけが続いた状態であり、エラーや事故を起こしやすくなることを指摘している。このように、覚醒は概日リズムの影響を受けて変化し、それがヒューマンエラーの原因となっている可能性がこれまでの多くの研究から示唆される (e.g. Lenne, Triggs, & Redman 1997; Rajaratnam & Arendt, 2001)。

覚醒の日内変動には、生活時間によって朝型/夜型の個人差があり、例えば、朝型の人では覚醒から10時間以上時間が経つと、睡眠圧力 (sleep pressure: 眠気を多く感じる) を感じ、注意を必要とする課題の効率が遅くなる傾向がある (Schmidt, Collette, Leclercq, Sterpenich, Vandewalle, Berthomier, Berthomier, Phillips, Tinguely, Darsaud, Gais, Schabus, Desseilles, Thanh Dang-Vu, Salmon, Balteau, Degueldre, Luxen, Maquet, Cajochen, & Peigneux, 2009), というように、朝型と夜型の人では内在する生物時計リズムの位相が異なることがわかっている (Kerkhof & Van Dongen, 1996)。朝方は夜型と比較して、就寝、起床時刻が早く、睡眠覚醒のタイミングが前方にシフトする。特に高齢者では朝型指向性が強まり、夕方以降早い時間帯から覚醒水準が低下し、就床・入眠および覚醒時刻が早まる (Bliwise, Bevier, Bliwise, Edgar, & Dement, 1990)。一般に、総睡眠時間および睡眠効率は加齢とともに減少し、40代以降でその傾向は特に顕著である。さらに中途覚醒回数の増加、脳波に現れる短時間覚醒反応数の増加、中途覚醒後の再入眠の困難と、加齢によって睡眠特性に変化が起こる (Ohayon, Carskadon, Guilleminault, & Vitiello, 2004)。これらのことから、高齢者では、覚醒や眠気に関連した事故の起こりやすい時間帯が、変化している可能性が考えられる。

高齢者は、加齢による機能低下を一定程度自覚しており、特に老化に伴う視覚機能の低下を考慮して、見通しが悪くなる夜間や雨の日の運転を控えるなどの防衛策をとっているが、高齢者のそうした自己防衛策は、覚醒の日内変動および日中の眠気の起こりやすさを考慮した時、日常生活での事故防止のための自衛策として十分とは言えない。

Posner & Petersen (1990) は注意システムを、異なる働きをするが相互に関係のある機能を実行する下位機能として、orienting (定位), detecting (検出), alerting (警告・注意維持) の3つに分類した。このうち、alerting は優先度の高い出来事の処理に備え、

予測される刺激に対して反応準備性<sup>2)</sup>を高め、それを維持しておく能力を指す。alert (注意喚起) の状態では反応の選択はより速く起こるが、これに伴ってエラーが発生する割合も高まる。また alert は、感覚システムまたは記憶システムにおける情報の蓄積には影響を与えないが、その刺激にどの程度反応できるかに影響を与えている。このことは、警告刺激を提示することで反応の促進が起こるが、これは反応制御に必要な情報の収集効率が高まるためではなく、情報の収集を早期に打ち切ることで反応を速めることによると論じている。したがって、警告刺激により注意喚起を行った場合、エラーが発生しやすくなる。

Matchock & Mordkoff (2009) は、このような alerting を含む注意機能の日内変動に関する実験を行っている。彼らは alerting, orienting (注意の定位), executive control (執行制御) という3つの注意の下位機能を測定する Attention Network Test (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002) を用いて alerting を含む注意機能の日内変動が朝型と夜型でどのように異なるかを検討した。ここで得られた alerting の得点 (反応時間の差分) は、警告刺激呈示に反応して注意喚起し、覚醒度を上昇させる能力の指標としての“警告の効果”と考えられる。つまり、覚醒レベルを直接反映したのではなく、警告刺激によって一時的に反応傾向が上昇する程度を反映しているものと解釈された。したがってこの値が大きい場合は、反応刺激そのものに対する反応しようとする傾向あるいは構えは逆に低下していることを意味する。この実験では、朝型の人のみ alerting の得点が12時及びそれ以前よりも16時以降で有意に増加したことから、朝型の人では16時以降、刺激に反応しようとする構えが低下しており、そのために警告刺激による反応時間の促進効果がより大きくなったと解釈された。これに対し、執行制御を反映する干渉の効果では、朝型か夜型かによらず12時でその前後の時間帯に比べ干渉量が増加しており、この時間帯では執行制御機能が低下していることをうかがわ

<sup>2)</sup> alert の状態では優先度の高い視覚情報が更なる処理を選択できる割合を増加させるため、後部の頭頂葉、視床枕、上丘と関連すると考えられる posterior attention system によってノルアドレナリンの活性化が起こり、反応の選択はより速く起こる。

せる結果となった。

本研究では、加齢により日中の活動時間の中で覚醒を含む認知機能がどのように変化するかを、若齢者と比較することにより検証した。特に、課題遂行時における警告の効果が、どの程度エラー増加に結びつくのかも検討した。このことによって、特に高齢者での覚醒の低下によって生ずる自動車運転事故の防止につながる示唆が得られることが期待された。

## 方 法

**実験参加者** 実験参加者は、健康に問題のない男性42名（18～23歳までの若齢者22名、65～78歳までの高齢者：20名）であった。性ホルモンとその分泌には性差があり、性周期が認知機能に関係することがわかっていることや（Komnenich, Lane, Dickey, & Stone, 1978）、睡眠と覚醒のリズムには男女差があり、女性の方が変動しやすいことから（Duffy, Cain, Chang, Phillips, Munch, Gronfier, Wyatt, Dijk, Wright, & Czeisler, 2011）、本研究の実験参加者は、全員男性に限定した。18～23歳までの若齢者は全員大学生・大学院生であり、65歳以上の実験参加者は、地域のシルバー人材センターに、視力<sup>3)</sup>、聴力、日常の会話に問題を抱えていないこと、脳卒中などの脳に関係のある病歴がないことなどを条件として参加者を選んでもらったうえで、実験に参加してもらった。便宜上、ここでは30歳未満の実験参加者のグループを“若齢者群”、65歳以上の実験参加者のグループを“高齢者群”と呼ぶこととする。

実験開始に当たっては、別途日にちを設けて個別に実験室に来てもらい、練習用に作成した課題を使って練習を行った。その際、実験の趣旨を口頭と書面で十分説明し、実験は実験参加者本人の意思でいつでもやめることができることなどのほか、実験の前日にはアルコールをとらない（酒類を飲まない）こと、実験の当日は、実験時間の2時間前からはカフェインと食事をとらないことをお願いし、その旨をご理解頂いた。このことを確認したうえで、インフォームドコンセントを得た。

その後、朝型-夜型の生活時間型による個人差を

<sup>3)</sup> 視力は両目で0.7以上であり、乱視がないこと（必要に応じて眼鏡使用）を参加の条件とした。

考慮し、Horne & Ostberg (1976) の morningness-eveningness questionnaire を日本語訳した、日本語版朝型-夜型質問紙（質問項目数：19項目）（都研式生活習慣調査；宮下，1994）に回答してもらった。後日、実験者がその得点により、実験参加者を朝型-夜型の生活時間に分類した。若齢者群では、「ほぼ朝型：1名」「中間型：20名」「ほぼ夜型：1名」であった。高齢者群では、「明らかな朝型：6名」「ほぼ朝型：11名」「中間型：3名」に属し、夜型はいなかった。

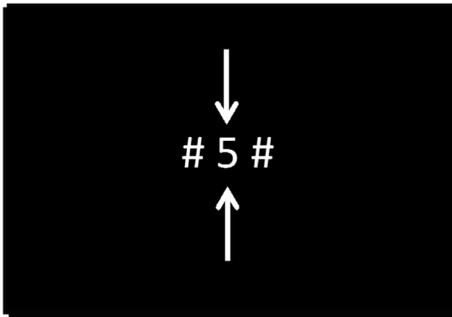
実験参加者への謝礼は、拘束時間1時間あたり1,000円として、若齢者には実験終了後に5,000円をお支払いした。また、高齢者は練習や十分な休息時間を確保したために拘束時間が若齢者よりも長くなり、謝礼の金額に加えて、シルバー人材センターから実験室までの交通費と事務手数料を含めて、1人あたり11,232円を、実験終了後に受託料としてシルバー人材センターに一括してお支払いした。

実験の分析は、実験の前日に徹夜をしたことを申告した若齢者1名、朝型/夜型質問紙で「ほぼ夜型」となった1名、75歳以上の1名を分析の対象から除いた。また、高齢者の中核および末梢の機能異常の可能性を考え、反応時間が、群の平均値から2SDを超えた人を除いた。若齢者についても、これに合わせて平均値と標準偏差値を求め、その2SDを超えた実験参加者を除外した。その結果、実際の実験参加者は、若齢者15名（18～23歳、平均20.3歳：SD 1.7）、高齢者15名（65～74歳、平均年齢69.5歳：SD 2.8）となった。

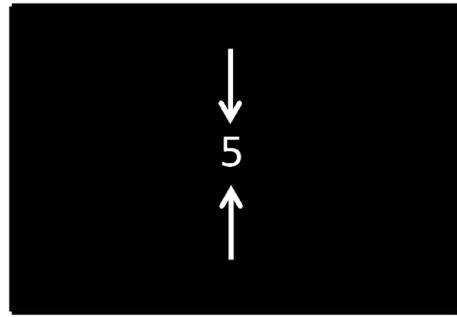
**実験課題**<sup>4)</sup> 課題は、画面の中央の位置に数字（刺激）が提示され、その数字が偶数か奇数かを判断し、左（奇数）右（偶数）のボタンを押して反応することであった。

**刺激** 刺激の条件は2種類あり、1) 警告あり条件：刺激（判断の対象となる真ん中の数字）に先行

<sup>4)</sup> 本研究で行った課題遂行時の警告の効果（alerting）の測定について、課題はPosnerらのグループ（Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002）が考案したANT（Attentional Network Test）をもとにして実験をデザインし測定した。この課題は、cueが出されたときの反応時間と、flanker課題を組み合わせた実験課題である。ここでは警告の効果（alerting）の結果について述べることで、flanker干渉については別途詳細を述べることでここでは省略する。



**Figure 1-1** 刺激の条件  
警告あり条件: 提示確率 60%  
警告信号として“#”がターゲットの両脇に 100 ms 表示され、続いて 100 ms 後にターゲットとなる数字が真ん中に 100 ms 表示された。



**Figure 1-2** 刺激の条件 (数字のみ単独提示)  
警告なし条件: 提示確率 40%

してその両側に # 印が警告として表示される (# 数字 #) 条件と、2) 警告なし条件: 数字のみが単独提示される (単数数字) 条件であった。Figure 1-1, 2 に実験画面の例を示す。

数字の大きさは、7.0 mm × 10.9 mm (0.70° × 1.09°)、警告あり条件時の # と数字間の距離は数字の中央から隣の # の中央まですべて 8.26 mm (0.83°) の等間隔であり、画面までの距離は 80 cm であった。刺激の条件については、ランダムに各条件を設定した。

刺激の提示時間は、注視点を表示する上下の矢印が一定時間 (後述) 表示された後で、1) の警告あり条件の場合、ターゲットの両脇に “#” が警告信号として、100 ms 表示され、続いて 100 ms 後にターゲットとなる数字が、真ん中に 100 ms 表示された。2) 警告なし条件の場合、ターゲットの数字が 100 ms 表示された。刺激が表示されてから 1500 ms 過ぎると反応がなくても画面からすべての表示が消え、終了となった。次の試行までの試行間の待ち時間は 2000 ms であった。実験画面の様子を Figure 1-1, 2 に示す。なお、総試行数は、プログラムのミスがあり、警告あり条件は奇数 24 試行 + 偶数 48 試行 (60%)、警告なし条件は、(ターゲットが) 奇数 24 試行 + 偶数 24 試行 (40%)、合計試行数は 120 試行であり、実験の所要時間は約 20 分程度であった。

**装置** 実験では、パーソナルコンピューター 1 台が用いられた。また、課題の提示には画面の大きさが縦 320 mm、横 565 mm の 26 型液晶マルチメディア

アモニター (SHARP: IT-26M1) が用いられた。ディスプレイまでの距離を一定に保つためにあご台を用いた。

**手続き** 実験は実験参加者ごとに個別に行った。各試行の開始とともに、まず画面中央に上下に向き合った矢印が現れ、(1) の警告あり条件の場合は、矢印提示後ランダムな時間間隔 (1000–1400 ms を 100 ms 刻み) 後に<sup>5)</sup> 矢印の間に数字が提示された。実験参加者には、中央に表示された数字が偶数か奇数かを判断し、素早くキーボードのキを偶数の場合は右手で “/ (スラッシュ)” のキを、奇数の場合は左手で “Z” のキを押すように教示した。実験参加者が高齢者のため、ボタンの位置をわかりやすくするために、“/ (スラッシュ)” のキの上に赤色のシールと、“Z” のキの上に緑色のシールを張った。そして、なるべく早くボタンを押すこと、さらに間違わないように努力することを教示し、エラーを起こしにくくしてもらうため、ボタンの押し間違い (エラー) をした場合は、“間違いです” と画面に表示し、反応に対するフィードバックを行った。

実験は日内変動 (時刻の影響) を調べるために、一人の実験参加者につき 11 時、14 時、16 時の計 3 回、疲労の影響を考慮して日にちを変えて行い (時刻の順番は実験参加者間で相殺した。また、各実験参加者内で、実験に来てもらう日にちの間隔が、な

<sup>5)</sup> 刺激に対して素早くかつ正確に応答するためには、刺激に対する準備状態を事前に形成する必要がある。このための警告信号と刺激との時間間隔 (先行間隔: foreperiod) は 500 ms から 1500 ms の間に設定することが多いが、本研究では反応の準備が十分行えるよう長めに設定を行った。

るべく間が空かないようにした)、時刻による違いが見られるかどうかを調査した。

課題の練習は、十分な練習時間を確保するため、実験の前に事前に練習日を設け、30分間程度の練習を行った後、日本語版朝型-夜型質問紙に記入してもらった。また、実験当日は、実験開始時間よりも15分早く実験室に来てもらい、毎回の実験の前にも練習を行った。この他に基本的な認知能力を測定するため、計算課題として2桁+1桁の足し算が20問書かれた簡単なテスト(加算問題)を実験の前に毎回行った。その際、実験参加者に対してなるべく早く問題を解くよう教示し、実験者は解答が終了するまでの時間をストップウォッチで測定した。

**分析と要因計画** エラーは、数字の判断の間違いによるボタンの押し間違いと定義し、エラー率は、エラーの個数/試行数とした。数字が提示されてからボタンを押すまでの時間を反応時間とし、エラーの試行とエラーの次の試行は分析から全て除き<sup>6)</sup>、正確に反応した試行のみを反応時間としての分析の対象とした。警告あり条件の平均反応時間から、それに対応する警告なし条件の平均反応時間を引いた差分を、警告の効果(alerting)として分析した。先行研究(Matchock & Mordkoff, 2009)と同様に、この値が大きき場合は、警告信号による一時的な覚醒の上昇が大きかったと解釈された。したがってここで用いられた「警告の効果(alerting得点)」とは、課題に特化した、一過性の覚醒であり、その時点での「反応を促進する力」が低下していることを反映すると考えた。

警告の効果の分析は、2(年齢グループ: 高齢者群, 若齢者群)×3(時刻: 11時, 14時, 16時)の2要因の分散分析を行った。エラー率の分析は、2(年齢グループ: 高齢者群, 若齢者群)×2(警告あり, 警告なし)×3(時刻: 11時, 14時, 16時)の3要因の分散分析を行った。計算課題の分析は、群ごとに計算課題の誤答数の平均を算出し、これをエラーの割合として群間(2)×時刻(3)の分散分析を行った。これらの場合、年齢グループは、被験者間要因であり、その他は被験者内要因であった。

## 結 果

**警告の効果** 反応時間について、年齢グループ: 高齢者群, 若齢者群×警告あり, 警告なし×時刻: 11時, 14時, 16時の3要因の分散分析を行った。その結果、年齢, 警告の有無, 時刻の交互作用が有意であり( $F(2, 56)=3.384, p<.05$ ), 年齢( $F(1, 28)=56.194, p<.001$ )および警告の有無( $F(1, 28)=160.870, p<.001$ )の主効果が有意であった(高齢者平均反応時間・警告あり: 690.8 ms, 警告なし: 716.2 ms; 若齢者平均反応時間・警告あり: 507.0 ms, 警告なし: 536.6 ms)。警告の有無による反応時間の違いは、高齢者群( $F(1, 14)=51.689, p<.001$ ), 若齢者群( $F(1, 14)=126.212, p<.001$ )ともに有意であり、これにより、両方のグループで警告を与えることにより、反応が速くなることが示された。反応時間をFigure 2-1, 2に示す。時刻による反応時間の違いが見られたのは、高齢者での警告なしの場合の11時と16時であり、11時と比較して、16時に反応時間が速くなる傾向が見られた( $F(1, 14)=3.968, p=.06$ )。

alerting得点(警告なし反応時間-警告あり反応時間の差分)の2要因分散分析の結果、年齢群と時刻

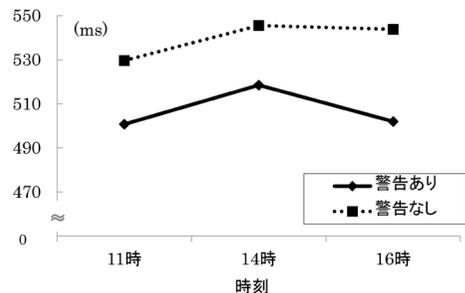


Figure 2-1 若齢者の反応時間

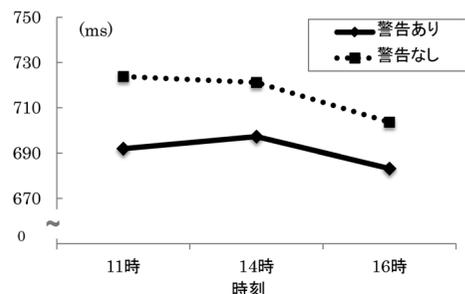


Figure 2-2 高齢者の反応時間

<sup>6)</sup> エラー後の反応時間は、時間と精度(正確さ)の“trade-off”により、一般に補償が起こって長くなるため(櫻井・岩崎 2012)、分析から除いた。

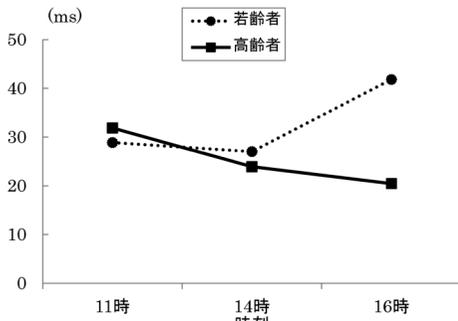


Figure 3 警告の効果 (alerting)

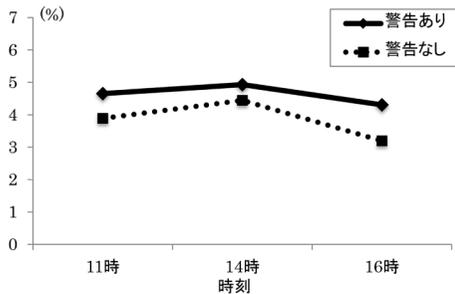


Figure 4-1 若齢者のエラー率

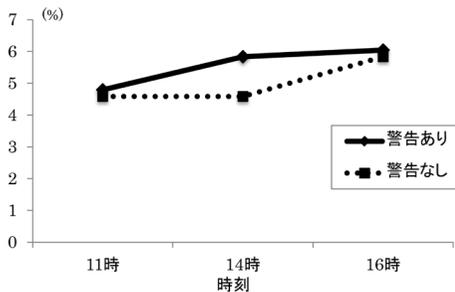


Figure 4-2 高齢者のエラー率

の交互作用が有意であり ( $F(2, 56)=3.384, p<.05$ ), 16時でのみ年齢群間に有意な違いが見られた ( $F(1, 28)=10.409, p<.01$ )。また, 時刻による違いは, 若齢者でのみ有意傾向 ( $F(2, 28)=3.022, p=.06$ ) だった。このことから, 若齢者は, 16時に警告の効果が大きくなり, 覚醒が他の11時, 14時と比較して, 下がっていることが示唆された。しかし, 高齢者では時刻による警告の効果に有意な違いは見られなかった ( $F(2, 28)=1.319, p=.28$ ) (Figure 3)。

**エラー率** Figure 4-1, 2 に, 年齢群別にエラー率を示した。警告の有無に違いがある傾向が見られ ( $F(1, 28)=3.282, p<.08$ ), 警告ありの方が, 警

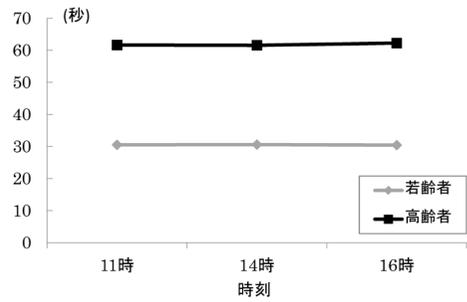


Figure 5-1 計算課題にかかった時間

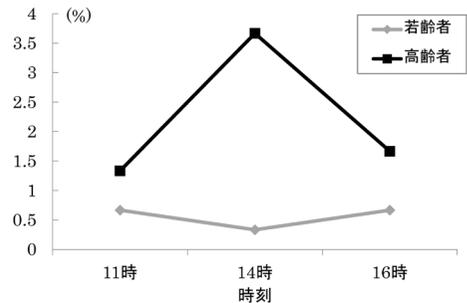


Figure 5-2 計算課題のミスの割合

告なしの場合よりも, エラー率が高くなる傾向が見られた。その傾向は, 高齢者での14時の場合に, 統計的に有意な傾向であった ( $F(1, 14)=3.203, p<.095$ )。

**計算課題** 計算 (20問の加算問題) にかかった平均時間は, 高齢者が61.8秒, 若齢者が30.5秒であり, 年齢により計算速度に違いが見られたが ( $F(1, 28)=24.428, p<.001$ ), 時刻による違いは, 高齢者, 若齢者とも見られなかった ( $p=.97$ )。

若齢者および高齢者群ごとに計算課題の一人当たりの誤答数を問題数 (20問) で割ったものの平均を算出し, これをエラーの割合として, 時刻によって違いが見られるかどうかの分析を行った。若齢者の全エラー数は5個であり (高齢者の全エラー数は20個), 分析はできないが, 比較の参考として割合を算出した。高齢者では, 時刻の効果が有意傾向であり ( $F(2, 28)=3.056, p=.06$ ), 11時や16時よりも14時にエラーが多くなることが確認された (11時と14時;  $p<.05$ , 14時と16時;  $p=.11$ )。Figure 5-1, 2 に計算にかかった時間とエラー率 (誤答率) を示す。

### 考 察

本研究の目的は, 加齢により日中の活動時間帯で

alerting を含む認知機能がどのように変化するのかわ、高齢者と若齢者を比較することにより検証することであった。活動時間帯での変化を調べるために、日中、3回にわたり alert 実験と計算課題を実験参加者に課した。はじめに調査した、朝型-夜型の生活時間型の質問紙の回答の結果、「朝型」に属した人は、若齢者では調査対象者の4.5%だったのに対し、高齢者では調査対象者の85%であり、高齢者の多くは、明らかに生活時間が「朝型」にシフトしていることが確認された。また、alert 実験では、警告あり条件と警告なし条件では、高齢者および若齢者の両群とも有意な違いが見られ、警告なし条件よりも、警告あり条件のときに反応時間が短くなった。このことから、年齢に関係なく、警告あり条件では、反応の促進が起きていることが示された。

警告の効果は、16時で、年齢間に有意な違いがあり、若齢者は他の時刻と比較して16時に警告の効果が大きくなる傾向が見られた。この若齢者の結果は、Matchcock & Mordkoff (2009) による朝型の人は16時以降に警告の効果が大きくなるという報告と同様の結果であった。一方、高齢者では、観測した日中の時間帯では、ほとんど変化が見られなかった。つまり、警告刺激は、先行研究 (e.g. Oken, Salinsky, & Elsas, 2006; Posner & Petersen, 1990; Raz & Buhle, 2006) でいわれているように、一次的に反応しようとする傾向を促進するよう作用しており、この効果は覚醒が上がる夕方には若齢者では高くなるが、高齢者ではその程度が弱いために、結果に反映しない（高齢者はやればもっと早く反応できるのかもしれないが、反応しようとする傾向が全体に衰えており、警告の効果弱い）ことが考えられる。このことから、高齢者での夕方（16時）の警告の効果は、反応性の変化を反映していると考えられた。

また、高齢者において16時に警告の効果が大きくならなかった理由の一つとして、高齢者の警告なしの場合の16時の反応時間が、他の時刻と比較して速くなっていることが影響していることも考えられる。これは、速度と正確さのトレードオフが起こったことが原因となった可能性がある。反応時間とエラー率のグラフを見ると、有意差は見られなかったが、若齢者では、14時に他の時刻と比較して反応時間が最も長くなり、また、エラー率も高くなって

いる。その傾向は、警告あり・なしの両方で同様である。一方、高齢者の場合は複雑であり、警告ありの場合の反応時間は若齢者とはほぼ同様に推移しているが、エラー率は時刻とともに増加している。

警告なしの場合では16時に反応時間は最も短くなったが、エラー率は最も高くなった。このことについての考えられる一つの可能性として、覚醒の概日周期は、一般的に体温からうかがえるように夕方18~20時頃に最も上昇することが知られている。高齢者の場合、睡眠覚醒のリズムが前方にシフトしていることが考えられ、その結果、警告なしの場合では覚醒のピークである16時に反応時間が最も速くなったと推測される。一般的に、朝型の人は覚醒から半日程度の時間が経つと、注意を必要とする課題の効率が悪くなる傾向がある (Schmidt et al., 2009) とされ、高齢者は午前の時間帯に比べ覚醒から数時間経過した夕方の時間帯では課題処理の効率が低下し、それを補おうとして反応を急ぐことで、よりエラーが起りやすくなっているとも考えられる。

覚醒を含む認知機能について、高齢者は、14時での alert 実験のエラーが、警告あり条件のときに、警告なし条件と比較して増加していること、また、計算課題でのエラーが増加することから、14時には、認知機能の低下が起っていると考えられる。その一方で、警告の効果は見られなかった。覚醒水準は、日中（14時頃）に一次的に低下することが知られている (Clodore et al., 1990) が、今回の結果からはこの覚醒水準の一時的低下が認知機能の低下を伴うことが明確になった。計算課題は、課題の難易度を高齢者に合わせたため、若齢者では天井効果が見られて分析ができなかったが、alert 効果では若齢者でも午後の14時に1日の中で最もエラーが多くなっており、この時間帯は覚醒の低下に伴う認知機能の低下により年齢にかかわらず、エラーの起りやすい時間帯であることがうかがえた。

本研究のもう一つの目的は、課題遂行時における警告の効果は、どの程度エラー増加に結びつくのかを検討することであった。実験の結果、警告ありの場合の方が、警告なしの場合よりも、エラー率が高くなる傾向が見られ、その傾向は、特に、高齢者での14時の場合に顕著であった。このことから、特に高齢者は、突然の刺激に対する警告の与え方によっては、反応を急がせることでエラーが増加する

可能性が示された。

これらの本研究の結果から、年齢にかかわらず、14時には覚醒水準の一時的低下は、認知機能の低下を伴うことが明確になり、この傾向は、高齢者は統計的に有意となり、より顕著であった。また、夕方の早い時刻(16時)には、警告刺激により注意喚起を行った場合の、反応しようとする傾向を促進する効果(警告の効果)が弱まる可能性が示された。高齢者は、生活時間が朝型にシフトしていることによる覚醒の変化と、情報処理機能の時間帯に応じた低下をある程度自覚しており、それに伴う反応速度の低下を防ぐための努力を行っている可能性がうかがえた。しかし、例えば、日常生活の自動車運転では、午後の早い時間帯で、認知機能の低下を背景とする、信号の見落としや、前方から注意が逸れてしまうことなどに伴う危険性があることが示唆された。また、有意差はなかったが、夕方の早い時間帯では、若齢者とのエラー率の差が最も大きくなったことから、たとえ周囲が明るいとしても警告を与えられると、あわてて対応しようとしてかえってエラーを引き起こすことが危惧される。これは突然の出来事に素早く対応しようとして、ブレーキを踏もうとして誤ってアクセルを踏むなどの事故となって現れるかもしれない。このような事故を防ぐ意味でも、高齢者に対しては、注意・警告の出し方に工夫が必要となるのではないか。本研究が示唆するように、日中の時間帯により高齢者の認知機能がどのように変化するかを明らかにすることで、様々な行動場面での高齢者の注意と安全に関わる問題を改善することに役立つことが期待される。しかし、本研究の実験に参加した高齢者は、認知症の可能性が低く、かつ、末梢の視覚機能異常の可能性が比較的低いと思われる前期高齢者(65~75歳まで)のみを分析対象者とした。最近では、認知症を疑うような高齢者の自動車運転事故の報道も多く、また、長寿化に伴い、75歳以上の後期高齢者が自動車を運転する機会も増えてきている。こうした現状を念頭に置くと、本研究で得られた結果の解釈については一定の限界がある。今後は実験参加者の人数、年齢の範囲を広げ、また女性についても認知機能と警告の効果についての検討を行う必要がある。

## 引用文献

- Bliwise, D. L., Bevier, W. C., Bliwise, N. G., Edgar, D. M., & Dement, W. C. 1990 Systematic 24-hr behavioral observations of sleep and wakefulness in a skilled-care nursing facility. *Psychology and Aging*, *5*, 16-24.
- Clodore, M., Benoit, O., Foret, J., & Bouard, G. 1990 The Multiple Sleep Latency Test: Individual variability and time of day effect in normal young adults. *Sleep*, *13*, 385-394.
- Duffy, J. S., Cain, S. W., Chang, A. M., Phillips, A. J. K., Munch, M. Y., Gronfier, C., Wyatt, J. K., Dijk, D. J., Wright, K. P., & Czeisler, C. A. 2011 Sex difference in the near-24-hour intrinsic period of the human circadian timing system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*, 15602-15608.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. 2002 Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*, 340-347.
- Garbarino, S., Nobili, L., Beelke, M., De Carli, F., & Ferrillo, F. 2001 The contributing role of sleepiness in highway vehicle accidents. *Sleep*, *24*, 203-206.
- Hayashi, M., Morikawa, T., & Hori, T. 2002 Circasemidian 12h cycle of slow wave sleep under constant darkness. *Clinical Neurophysiology*, *113*, 1505-1516.
- Horne, J. A., & Ostberg, O. 1976 A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, *4*, 97-110.
- Horne, J., & Reyner, L. 1999 Vehicle accidents related to sleep: A review. *Occupational and Environmental Medicine*, *56*, 289-294.
- Kerkhof, G. A., & Van Dongen, H. P. A. 1996 Morning-type, and evening-type individuals differ in the phase position of their endogenous circadian oscillator. *Neuroscience Letters*, *218*, 153-156.
- Kommenich, P., Lane, D. M., Dickey, R. P., & Stone, S. C. 1978 Gonadal hormones and cognitive performance. *Physiological Psychology*, *6*, 115-120.
- Lenne, M. G., Triggs, T. J., & Redman, J. R. 1997 Time of day variations in driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, *29*, 431-437.
- Matchock, R. L., & Mordkoff, J. T. 2009 Chronotype and time-of-day influences on the alerting, orienting, and executive components of attention. *Experimental Brain Research*, *192*, 189-198.
- 宮下彰夫 1994 東京都神経科学研究所式生活習慣調査第2部 日本睡眠学会(編)睡眠学ハンドブック 朝倉書店

- Monk, T. H., Folkard, S., & Wedderburn, A. I. 1996 Maintaining safety and high performance on shiftwork. *Applied Ergonomics*, **27**, 17-23.
- Monk, T. H., & Leng, V. C. 1982 Time of day effects in simple repetitive tasks: Some possible mechanisms. *Acta Psychologica*, **51**, 207-221.
- Ohayon, M. M., Carskadon, M. A., Guilleminault, C., & Vitiello, M. V. 2004 Meta-analysis of quantitative sleep parameters from childhood to old age in healthy individuals: developing normative sleep values across the human lifespan. *Sleep*, **27**, 1255-1273.
- Oken, B. S., Salinsky, M. C., & Elsas, S. M. 2006 Vigilance, alertness, or sustained attention: Physiological basis and measurement. *Clinical Neurophysiology*, **117**, 1885-1901.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. 1990 The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, **13**, 25-42.
- Rajaratnam, S. M. W., & Arendt, J. 2001 Health in a 24-h society. *Lancet*, **358**, 999-1005.
- Raz, A., & Buhle, J. 2006 Typologies of attentional networks. *Nature Reviews Neuroscience*, **7**, 367-379.
- 櫻井美由紀・岩崎祥一 2012 エラー後の注意集中による干渉抑制効果についての研究 応用心理学研究, **37**, 118-126.
- Schmidt, C., Collette, F., Leclercq, Y., Sterpenich, V., Vandewalle, G., Berthomier, P., Berthomier, C., Phillips, C., Tinguely, G., Darsaud, A., Gais, S., Schabus, M., Desseilles, M., Dang-Vu, T. T., Salmon, E., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Maquet, P., Cajochen, C., & Peigneux, P. 2009 Homeostatic sleep pressure and responses to sustained attention in the suprachiasmatic area. *Science*, **24**, 516-519.

(受稿：2015.12.10；受理：2016.4.18)

---