

視覚的注意の時間的限界

有賀 敦 紀・渡 邊 克 巳

東京大学

Temporal limitations of visual attention

Atsunori ARIGA and Katsumi WATANABE

The University of Tokyo

Attention allows the visual system to extract relevant information from the surrounding environment. Yet, it exhibits severe limitations not only in the spatial domain but also in the temporal domain. In this paper, we focused on temporal limitations of visual attention. First, we reviewed studies on classical vigilance decrement or impairment in performance efficiency over a prolonged period of time. Second, we outlined more transient forms of deficits in attentional processing, namely, the phenomena called the attentional blink and the attentional awakening. In this review, we considered conditions under which deficits in visual attention occur and mechanisms underlying those visual attention deficits.

Key words: visual attention, vigilance, sustained attention, attentional blink, attentional awakening

キーワード: 視覚的注意, ヴィジランス, 持続的注意, 注意の瞬き, 注意の目覚め

1. はじめに

人間の視覚系には絶えず膨大な情報が入力されている。しかし、脳はその処理容量に限りがあるため、入力されたすべての情報を完璧に処理することができない。膨大な情報の中から行動に必要な情報を選択し、それらを優先的に処理する必要がある。このような視覚系における内的な情報選択機構は視覚的注意と呼ばれ、視覚的注意の本質を調べることは、人間の認知過程を明らかにする上で欠かすことのできないトピックである。

これまでの注意研究では、情報処理の促進や干渉の低減など、主に注意の機能に関する検討が行われてきた。しかし、古典的なヴィジランス (vigilance) の研究からもわかるように、そもそも人間の注意には時間的な限界がある。課題開始からの時間経過に伴って人間は注意を維持することができなくなり、必要な情報でさえも見落としてしまうことがある。また、最近盛んに研究されてい

る注意の瞬き (attentional blink) 現象は、注意が時間的限界によって案外容易に機能不全へと陥ることを如実に示している。視覚的注意の本質を明らかにするためには、注意の機能だけでなく、その限界に関しても十分に検討する必要がある。本稿では、視覚的注意の時間的限界に関する一連の研究をレビューした。視覚的注意の限界を知るとは、同時に、人間の情報処理における弱点を知ることであり、臨床医学的、人間工学的にも有用な知見であると考えられる。

本稿の前半では、持続的注意の不全として知られるヴィジランスの低下に関する研究を紹介する。ヴィジランスに影響を与える要因やこれまでに提案された説明モデル、最近の動向などを整理して解説する。後半では、視覚的注意の一時的な不全として知られる注意の瞬き現象と、最近報告されたばかりの注意の目覚め (attentional awakening) 現象について解説する。

2. 持続的注意の不全

2-1 背景

第二次世界大戦中に、英国空軍のレーダー監視員は、わずか30分の時間経過で敵を表す光点の出現を見落とし始めたと言われている。このとき、英国空軍はN. H. Mackworthに、課題遂行成績の低下に影響を与える要因を調査させ、ヴィジランス(vigilance)の研究が始まった(Mackworth, 1948)。ヴィジランスとは、持続的注意(sustained attention)とも呼ばれ、観察者が周囲を持続的に監視し警戒する能力を指す(Davies & Parasuraman, 1982; See et al., 1995; Warm, 1984; Warm & Dember, 1998; Warm & Jerison, 1984)。

時間経過に伴う課題遂行成績の低下は、ヴィジランスの低下(vigilance decrement)と呼ばれる(Mackworth, 1948)。実験手続きとしては、被験者へ逐次的にノイズを呈示し、ある一定の生起頻度で出現する信号を検出させる。時間経過に伴う信号検出率の推移に注目することで、ヴィジランスの低下を調べることができる。例えばGuralnick(1972, 1973)の研究では、一定の長さの線分(ノイズ)が逐次的に呈示され、被験者はそれよりも長い線分(信号)が呈示されたときにボタンを押して報告するよう求められた。また、Binford and Loeb(1966)は聴覚刺激を用い、被験者は逐次的に呈示される60 dbのノイズの中から61.8 dbの信号を検出した。このように、ヴィジランスの研究は観察者の個々の能力が影響しないような単純な課題を用いることが多い。

課題遂行成績の低下には、観察者の知覚能力から意図や期待、判断基準といった認知活動まで様々な要因が影響を与え得るが、知覚能力の低下をヴィジランスの低下として捉えるのが一般的である(See et al., 1995)。したがって、ヴィジランスの研究は信号検出理論(signal detection theory: Green & Swets, 1966; Macmillan & Creelman, 1991)に倣い、観察者の感度(sensitivity)を表すとされる“d'”や“A”を指標として用いることが多い(e.g., Grier, 1971; Pollack & Norman, 1964)。それ以外にも、反応時間をヴィジランスの指標として用いている研究もある

が、知覚能力の低下をヴィジランスの低下として考えている点では一致している(Craig, 1987)。

一般に、課題開始直後の遂行成績と一定時間経過後の遂行成績を比較して有意な低下が認められれば、ヴィジランスの低下が生じたと結論される。これまでの研究から、ヴィジランスは主に課題開始後20-30分で底値に達することがわかっている(See et al., 1995)。したがって、ヴィジランスの研究では、観察者が連続的に行う課題の長さを30分程度に設定することが多い(Matthews et al., 2000)。しかし、それよりもはるかに早く、5分程度でヴィジランスの低下が顕著に認められた例も報告されており(e.g., Nuechterlein, Parasuraman, & Jiang, 1983)、ヴィジランスの低下における時間特性は用いられる刺激や課題によって様々である。

2-2 ヴィジランスに影響を与える要因

See et al. (1995)は、ヴィジランスに影響を与える要因について、42編の研究論文を対象にしたメタ分析を行っている。以下では、See et al. (1995)の考察に基づいて、観察者のヴィジランスを低下させる主な要因について紹介する。

2-2-1 課題の種類

ヴィジランス課題は、主に逐次呈示課題(successive task)と同時呈示課題(simultaneous task)の2種類に分けられる。逐次呈示課題では、一度に呈示される刺激はノイズか信号のどちらか一方であり、被験者はあらかじめ定義された信号の記憶表象に基づいて呈示された刺激の弁別を行う必要がある。一方、同時呈示課題では刺激対が呈示され、信号とノイズは同時に呈示される。この場合、被験者は呈示された刺激同士の差分に基づいて信号を検出することができる。同時呈示課題に比べて逐次呈示課題の方が記憶負荷は高く、ヴィジランスの低下が生じやすい(e.g., Parasuraman, 1979; Parasuraman & Davies, 1977; Williams, 1986)。

最近では、逐次呈示課題の一種であるn-back課題が用いられることもある(e.g., Karatekin, Marcus, & Couperus, 2007; Smit, Eling, & Coenen, 2004)。n-back課題とは、現試行の刺激がn試行前の刺激と同じかどうかを弁別させる課題であり、nの値を操作することで被験者の記憶負

荷を操作することができる (Dobbs & Rule, 1989)。

2-2-2 呈示速度

呈示速度は1分あたりに呈示されるイベント数を指標とする。イベント数は、逐次呈示課題では1つの刺激、同時呈示課題では刺激対が呈示される回数に対応する。Parasuraman and Davies (1977)によれば、呈示速度が24 events/minを超える場合は、速い呈示速度として分類される。一般に、呈示速度が速い方がヴィジランスの低下は生じやすい (e. g., Jerison & Pickett, 1964; Krulowitz, Warm, & Wohl, 1975; Loeb & Binford, 1968; Parasuraman, 1979; Parasuraman & Davies, 1977)。

2-2-3 刺激の複雑性

被験者に線分や光点などの単純な刺激を弁別させるよりも、アルファベットや数字、記号などの比較的複雑な刺激を弁別させた方がヴィジランスの低下は生じにくい (e. g., Deaton & Parasuraman, 1993; Koelega et al., 1989; Loeb et al., 1987)。現在のところ、刺激の複雑性のどのような側面 (例えば、知覚的複雑性、親近性、有意味性) がヴィジランスに影響を与えるのかについては明らかにされていない。

2-2-4 処理方略

人間の認知処理過程には、制御的処理 (controlled processing) と自動的処理 (automatic processing) の2種類の処理方略があるとされている (Schneider & Shiffrin, 1977)。制御的処理は観察者の認知的な制御を必要とし、注意資源を消費する。一方、自動的処理は観察者の認知的な制御を必要とせず、注意資源をそれほど消費しない。Fisk and Schneider (1981)は、被験者が制御的処理を強いられる課題でのみヴィジランスの低下が生じることを示し、処理方略がヴィジランスに影響を与えると提案した。

2-2-5 まとめ

See et al. (1995)はメタ分析の結果、課題や刺激の個々の要因がヴィジランスに影響するわけではなく、結局はそれらの組み合わせによる全体的な課題負荷がヴィジランスを低下させる要因になると主張している。実際、同時呈示課題を用いたり、刺激を遅い呈示速度 (< 24 events/min) で呈示しても、ヴィジランスの低下は生じる (e. g., Nuechterlein et al., 1983; Parasuraman

& Mouloua, 1987; Warm et al., 1987; Williams, 1986)。また、Jacoby (1991)は、自動的処理が生じるとされている課題を用いても、被験者のヴィジランスが低下したことを報告しており、単純な処理方略の違いだけではヴィジランスの低下は説明できないと考えられる。

2-3 説明モデル

ヴィジランスの低下について、これまでにいくつかの説明モデルが提案されている。以下では、それらの理論的説明を概観する。

2-3-1 覚醒説 (arousal theory)

Hebb (1955)は、ヴィジランスの低下は観察者の覚醒水準の低下によって生じると主張した。覚醒説によれば、人間の中枢神経系は、ヴィジランスを維持するために一定量の興奮を必要とする。しかし、古典的なヴィジランス課題は単純な課題 (例えば、光点の検出、線分の長短弁別) であることが多く、信号の出現率も低い (例えば、5%)。このような事態では、中枢神経系は繰り返し入力される外部の刺激に対して知覚的に馴化する。ヴィジランス課題自体が観察者にとって退屈なものになるため、観察者の覚醒水準は徐々に低下する傾向にある。それに伴って、中枢神経系はヴィジランスを維持することが難しくなり、信号検出率は低下すると考えられた (e. g., Ballard, 1996; Eysenck, 1982; Frankmann & Adams, 1962; Robertson et al., 1997; Stroh, 1971)。

実際、ヴィジランス課題中の被験者の EEG (electroencephalography) を測定した研究は、ヴィジランスの低下に伴って θ 波や α 波が増大することを報告している (Berka et al., 2007; Mikulka, Scerbo, & Freeman, 2002)。覚醒説は、刺激が複雑な事態においては、観察者の覚醒水準が高くなり、ヴィジランスの低下が生じにくくなると予測し、この予測は先行研究と一致する (e. g., See et al., 1995; Stroh, 1971)。しかしその一方で、観察者は単純なヴィジランス課題であっても課題負荷が高かったと報告する例が多い (e. g., Grier et al., 2003; Hoffman, Sherrick, & Warm, 1998)。また、ヴィジランス課題の成績が維持されているにも関わらず、観察者の主観的な覚醒水準は課題遂行に伴って低下したという例も報告されている (Smit et al., 2004)。このような

観察者の主観的な課題評価は覚醒説では説明しにくい。

2-3-2 資源説 (resource theory)

人間が認知課題を遂行するためには、注意資源が必要である (Parasuraman, 1998; Wickens & Kessel, 1980)。しかし、利用可能な注意資源には限りがあるため、課題遂行に伴って注意資源は枯渇し、観察者はヴィジランスを維持することができなくなると考えられた (Craig, 1987; Grier et al., 2003; Matthews, 1996; Matthews & Davies, 2001; Matthews et al., 2000; Parasuraman, 1985; See et al., 1995; Temple et al., 2000; Warm & Dember, 1998)。資源説は課題負荷が大きい場合に生じるヴィジランスの低下をうまく説明することができる (e.g., Fisk & Schneider, 1981; Nuechterlein et al., 1983; Parasuraman & Mouloua, 1987; Smit et al., 2004)。しかし、課題負荷が大きい場合、ヴィジランス課題の成績は全体的に高くなることが多く (e.g., See et al., 1995), これらの結果との整合性がとれない。

2-3-3 ハイブリッドモデル (hybrid model)

Matthews and Davies (2001) は、覚醒説を資源説に組み込むことで、それぞれの説における問題点を克服した。彼らは、覚醒水準の高低が注意資源の量を調節するという仮説を立てた。すなわち、刺激が複雑な事態では観察者の覚醒水準が高くなり、より多くの注意資源が利用可能な状態になるとしている (Humphreys & Revelle, 1984; Laurie-Rose et al., 2005; St. John & Risser, 2007)。この場合、ヴィジランスが維持されるか否かは、観察者の覚醒水準とヴィジランス課題の負荷との関係によって決定される。ハイブリッドモデルによれば、観察者の覚醒水準が低ければ利用可能な注意資源の量が少なくなるため、課題負荷に関わらずヴィジランスは低下しやすい。しかし、観察者の覚醒水準が高ければ利用可能な注意資源の量が増え、課題負荷が大きいときのみヴィジランスの低下が生じ得る。

これまでの知見を概観すると、現時点ではハイブリッドモデルが仮説としては最も妥当であるように思われる。観察者のヴィジランスを低下させる決定要因を課題負荷であると考えれば、覚醒水準はそれを回避させる要因の1つとして捉えることもできる。実際、ヴィジランス課題中

にアラームや音楽などの聴覚刺激を呈示したり (e.g., Corhan & Gounard, 1976; Fontaing & Schwalm, 1979), フィードバックを与えると (See et al., 1995; Warm & Jerison, 1984), 観察者の覚醒水準は維持され、ヴィジランスの低下は生じにくくなることが報告されている。しかし、覚醒水準と注意資源の関係は実験的に明らかにされておらず、さらなる検討、検証が必要である。

2-4 最近の動向

Caggiano and Parasuraman (2004) は、ワーキングメモリ (working memory: Baddeley & Hitch, 1994) とヴィジランスの関係性に着目した実験を行うことで、新たな興味深い知見を得た。被験者は、ヴィジランス課題とワーキングメモリ課題の二重課題を行った。画面の中央には直交して重ねられた2つのレンチがそれぞれ緑色と紫色で呈示され、レンチの脇にはドットが呈示された (図1)。被験者は、ドットとレンチの距離があらかじめ設定された距離よりも遠い場合のみ、ボタンを押して報告することが求められた (ヴィジランス課題)。ワーキングメモリ課題では、空間条件と非空間条件の2条件がブロック間で操作された。空間条件では、被験者はN試行におけるレンチの口の位置が、N-2試行における口の位置と一致しているかどうかの判断をした。非空間条件では、被験者はN施行における口の空いたレンチの色が、N-2試行における口の開いたレンチの色と一致しているかどうかを判断した。その結果、ヴィジランス課題の成績は、空間条件でのみ時間経過に伴って有意に低下し、ヴィジランスの低下が認められた。ワーキングメモリ課題の成績は非空間条件で空間条件よりも有意に低かった。彼らの結果は、記憶表象の干渉によってヴィジランスの低下が生じたことを示唆している。

Caggiano and Parasuraman (2004) の結果を上述したハイブリッドモデルに当てはめて考えると、注意資源は単一のバッファとして存在しているわけではなく、課題ごとに複数のバッファに分かれて存在していることが予測される。ヴィジランス課題と副課題が同じバッファの資源を奪い合う場合は、ヴィジランスの低下が生じやすい。しかし、ヴィジランス課題と副課題が別々のバッファの資源を消費する場合は、ヴィジランスは維

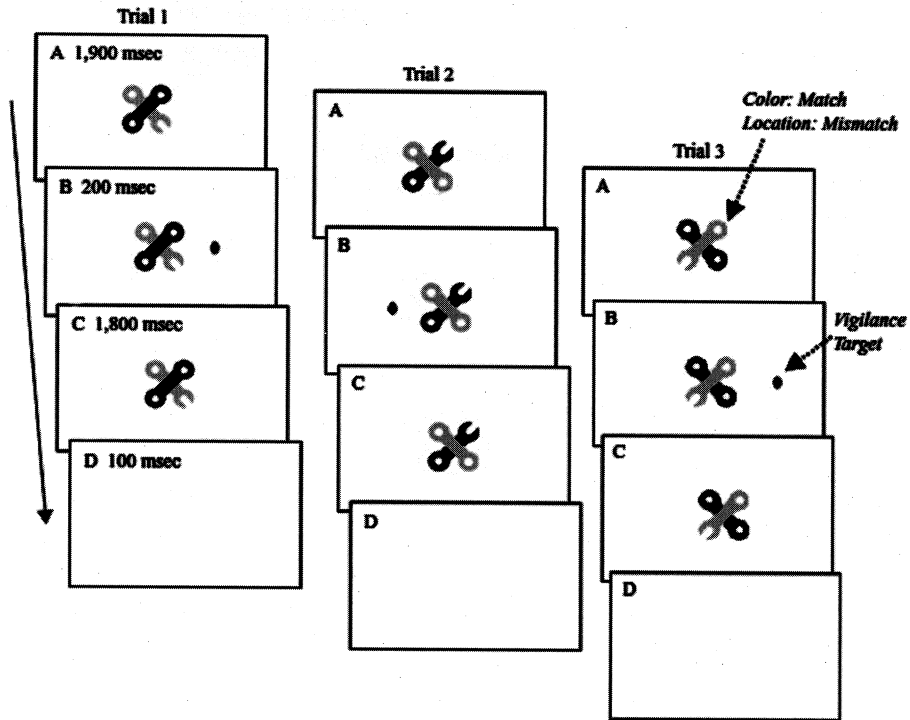


図1 Caggiano and Parasuraman (2004) が用いた刺激と試行系列の例 (Caggiano & Parasuraman, 2004 より抜粋)

持される可能性が高くなる。これらの予測は、ワーキングメモリにおける音韻ループ (articulatory loop) や視空間スケッチパッド (visuo-spatial sketch pad) などのスレーブシステム (slave system) の概念 (Baddeley & Hitch, 1994) と一致する。

ワーキングメモリとヴィジランスの関係については、神経科学的な検討も行われている。脳損傷者を対象とした研究 (e. g., Rueckert & Grafman, 1998) や、イメージングによる研究 (e. g., Paus et al., 1997) は、右前頭前皮質や右後頭頂皮質がヴィジランスの神経基盤であることを示唆している。これらの領域は、ワーキングメモリを制御していると考えられている領域である (Smith & Jonides, 1998)。また、Baddeley et al. (1999) は、アルツハイマー患者は健常者よりも逐次呈示課題でヴィジランスの低下が早く生じ、低下量も大きいこと報告している。アルツハイマー患者はワーキングメモリにおける中央実行系 (executive control) に欠損があるとされており (Baddeley et al., 1991; Baddeley et al., 1986; Cossa, Della

Sala, & Spinnler, 1989), 時間経過に伴って刺激の記憶表象を保持することが難しくなると予測される。

神経科学的な知見は、ヴィジランスの低下に関わる認知的なメカニズムの謎に迫るだけでなく、高齢者や脳損傷者、さらには発達障害の子供の認知機能を測る際にも有効であると考えられる。そのためには、様々な認知課題を用いたヴィジランスの研究が期待されるが、その場合、用いられた課題が観察者にどのような認知処理を要求し、どのようなタイプの注意資源を消費させるのかを慎重に見極める必要がある。これまでに蓄積された注意の機能に関する膨大な知見は、それらの理解を促進させるだろう。

3. 視覚的注意の一時的不全

これまでは、20-30分の比較的長いスパンで生じる視覚的注意の不全に関する研究をレビューしてきた。本章では、1秒未満のより短いスパンで観察される視覚的注意の一時的不全に注目し、

その代表的な現象を紹介する。

3-1 注意の瞬き

2つの標的を短い時間間隔 (200-500 ms) で逐次的に呈示すると、被験者は1つ目の標的は正しく報告できるにも関わらず、2つ目の標的を正しく報告することができなくなる。この現象は注意の瞬き (attentional blink: Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992) と呼ばれ、一般に高速逐次視覚呈示 (rapid serial visual presentation) 法を用いて調べられる [詳細なレビューとして、河原 (2003) を参照されたい]。高速逐次視覚呈示法とは、画面の中心にフィラー刺激 (例えば、数字) を逐次的に呈示し、被験者はその中に挿入された標的 (例えば、アルファベット) を報告する課題である。高速逐次視覚呈示法では1秒間に10個程度の刺激が高速に呈示されるため、個々の刺激が互いのマスク刺激として作用する。そのため、標的の同定が難しく、標的検出率や標的的同定率などの正答率を指標として用いることが多い。2つの標的が時間的に近接して系列内に挿入されると、第二標的の正答率は低下し、注意の瞬きが観察される (図2)。

注意の瞬きの生起は第一標的の処理負荷に依存することがわかっている。例えば、Raymond et al. (1992) は、被験者に第一標的を無視させると注意の瞬きは消失することを報告している。さらに、彼女らは、第一標的の逆向マスク刺激を排除すると注意の瞬きが消失することも報告している。これらの結果から、被験者に第一標的へ注意を向けさせること、第一標的の処理負荷を高めることが、注意の瞬きの生起には必要である。実際、第一標的の処理負荷と注意の瞬きによる見落とし量との間には高い相関が報告されている (e. g., Chua, Goh, & Hon, 2001; Seiffert & Di Lollo, 1997; Visser, 2007)。

注意の瞬きの生起メカニズムに関して、これまでに様々なモデルが提案されている。現在のところその決定的なメカニズムは明らかにされていない。しかし、どのモデルも被験者が第一標的に注意を向けることで視覚システムに負荷がかかり、その結果として第二標的の見落としが引き起こされると考えている点で一致している (e. g., Chun & Potter, 1995; Di Lollo et al., 2005; Duncan,

Ward, & Shapiro, 1994; Enns & Di Lollo, 2000; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998; Raymond et al., 1992; Shapiro, Raymond, & Arnell, 1994; Ward, Duncan, & Shapiro, 1996)。最近、Olivers and Nieuwenhuis (2005, 2006) は、被験者が音楽を聞きながら注意の瞬き課題を行うと、注意の瞬きによる見落とし量が減少することを報告している。彼らは、被験者が音楽を聴くと注意が時間的に拡散すると考え、一般的な注意の瞬きは被験者が第一標的に注意を過剰投資 (overinvestment) するために生じると主張している。同様に、Arend, Johnston, and Shapiro (2006) は、被験者が注意の瞬き課題を行っている最中に課題非関連なドットの運動を背景画面に呈示すると、注

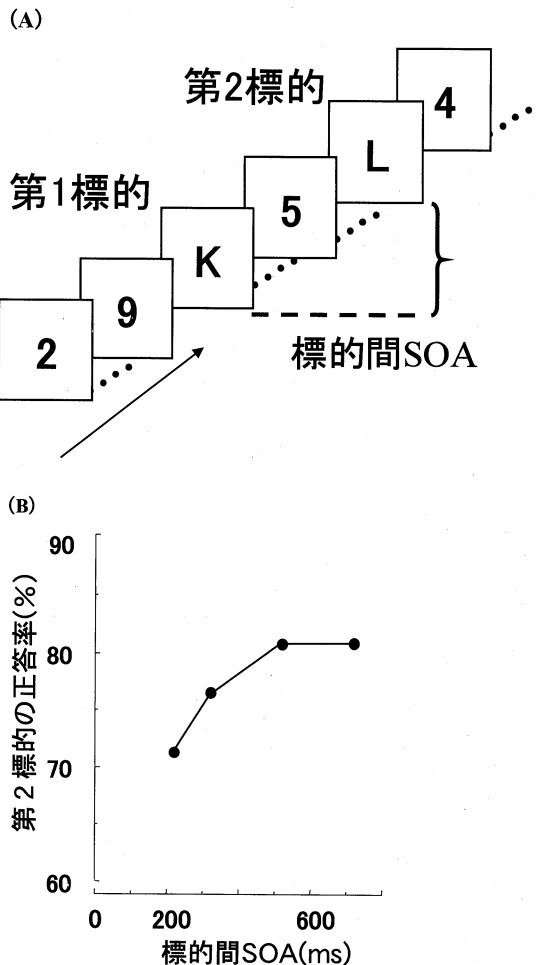


図2 注意の瞬き研究で用いられる典型的な刺激系列 (A) と典型的な結果 (B)

意の瞬きによる見落とし量が減少することを報告し、Olivers and Nieuwenhuis (2005, 2006) の主張を支持している。このように、注意の瞬きの説明モデルに関して新たな議論が展開されている。今後は、注意の過剰投資についての神経科学的な知見が期待される。

3-2 注意の捕捉と注意の瞬き

近年、被験者の報告すべき標的が1つだけであるにも関わらず、注意の瞬きは生じることが報告されている (Ariga & Watanabe, in press; Ariga & Yokosawa, in press; Barnard et al., 2004; Folk, Leber, & Egeth, 2002, in press; Maki & Mebane, 2006; Spalek, Falcon, & Di Lollo, 2006)。例えば、Folk et al. (in press) は、被験者に高速逐次系列内に挿入された赤色のアルファベット (標的) を報告するよう求めた。高速逐次系列は灰色の枠内に呈示され、標的の呈示に先行して枠の色が赤色か緑色に一瞬だけ変化した (妨害刺激)。妨害刺激が赤色で呈示されると、妨害刺激と標的の時間間隔が短いときに標的の同定率が低下した。しかし、妨害刺激が緑色で呈示されると、標的の同定率の低下は見られなかった。Folk et al. (in press) は、被験者の注意が標的色を検出するよう設定されていたために、標的色を有する妨害刺激は標的候補として検出され、注意を捕捉したと主張している (随伴性注意捕捉, contingent attentional capture)。すなわち、標的色を有する妨害刺激が注意の瞬きにおける第一標的と同様に注意資源を消費し、後続する標的の見落としを引き起こした。

このように、注意の瞬きを方法として用いることで、被験者の注意が時間的側面でどのように捕捉され、どのような状況下で機能不全に陥るのかを調べることができる。これまでの研究では、妨害刺激と標的の物理的特徴が一致している場合 (e. g., Folk et al., 2002, in press; Spalek et al., 2006), 妨害刺激と標的が意味的に類似している場合 (Barnard et al., 2004), さらに妨害刺激と標的の概念的表象が一致している場合 (Ariga & Yokosawa, in press) に妨害刺激に対して注意の捕捉が生じることがわかっている。また、Ariga and Watanabe (in press) は、被験者が無視すべき妨害刺激の特徴をあらかじめ知ってい

ても、妨害刺激に対して注意の捕捉は生じ、一時的な処理不全が引き起こされることを報告している。これらの研究は、標的と類似した妨害刺激は注意資源を自動的に奪い、注意の機能は案外容易に機能不全に陥ることを明らかにしている。

3-3 注意の目覚め

Ariga and Yokosawa (2008) は、被験者が何も課題を行っていないにも関わらず、注意は機能不全に陥ることがあると主張している。彼らは、水色で描かれたアルファベット (フィラー) を高速逐次視覚呈示し、その中に白色で描かれたアルファベット (標的) を1つだけ挿入した (図3A)。被験者は系列終了後に標的の文字を報告することが求められた。標的の呈示タイミングを系列内の2

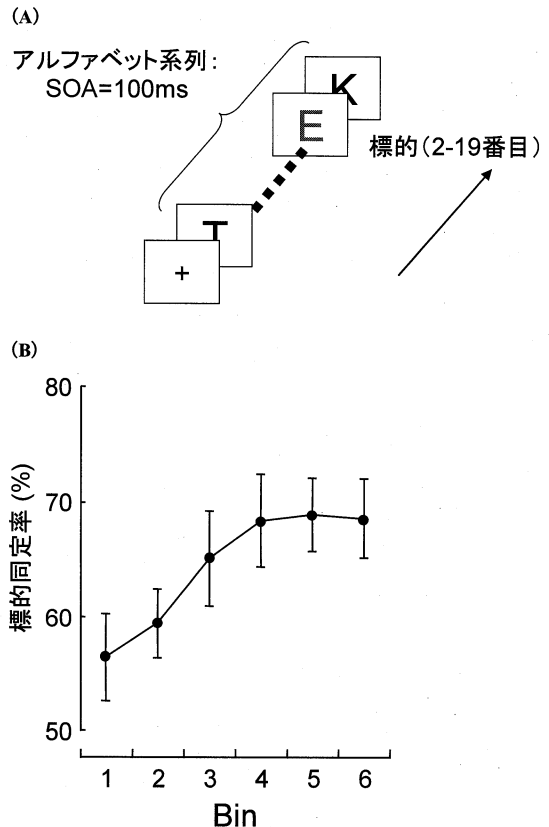


図3 Ariga and Yokosawa (2008) が用いた刺激系列の例 (A) と結果 (B) 標的の呈示タイミングが2-4番目のときを第1 Bin, 5-7番目のときを第2 Bin とし、計6 Bin が設定されている (Ariga & Yokosawa, 2008 を元に作図)。

番目から 19 番目の間で操作したところ、系列の呈示開始後約 600 ms の間、被験者は標的を有意に見落とすことがわかった (図 3 B)。被験者の報告すべき標的は 1 つであり、標的に先行して被験者の注意資源を消費するような刺激は呈示されなかったため、標的の呈示タイミングに関わらず注意資源は一定に保たれていたと考えられる。それにも関わらず、系列の初頭部分では注意がうまく機能せず、標的の同定率は低下した。Ariga and Yokosawa (2008) はこの現象を、あたかも注意が眠りから覚めてその機能を取り戻す様子になぞらえて、注意の目覚め (attentional awakening) と名付けた。

時間経過に伴う課題遂行成績の上昇は、古くから先行期間効果 (foreperiod effect: Niemi & Näätänen, 1981) として知られている。先行期間効果とは、被験者が反応すべき標的に先行して警告信号 (warning signal) を呈示すると、警告信号と標的の SOA (stimulus onset asynchrony) が長いほど、標的に対する反応時間が短くなる現象である。Ariga and Yokosawa (2008) は、文字系列の呈示前に 0-600 ms の時間的な空白 (先行期間) を挿入し、注意の目覚めが先行期間の影響を受けるのかを調べた。その結果、先行期間の影響は見られず、注意の目覚めには先行期間効果とは異なるメカニズムが関与していることが示された。さらに、彼らは、文字系列の呈示前に水色の記号系列 (e.g., “#”, “%”) を 600 ms 間呈示しても、注意の目覚めは生じることを報告している。この結果は、注意の目覚めが、視覚システムにおける色やフリッカへの知覚的な順応を反映しているのではなく、課題関連刺激の逐次的な入力に基づく視覚システムの比較的高次のプロセスを反映していることを示唆している。

Ariga and Yokosawa (2008) は、注意の目覚めが、高速呈示状態に対する視覚的注意の時間的調節過程を反映していると考えた。彼らの説明は以下の通りである。まず、視覚システムは、高速呈示されたすべての刺激について、色や形状、意味などの特徴を符号化し、概念的表象 (conceptual representation) を形成する (Chun & Potter, 1995; Potter, 1976, 1993)。しかし、この段階で形成された表象は短命で脆く、マス킹の影響を受けやすい (e.g., Chun & Potter, 1995;

Giesbrecht & Di Lollo, 1998)。個々の刺激を意識的に同定するためには、注意を向けて表象を固定化 (consolidation) する必要がある (Jolicoeur, 1999; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998)。高速呈示状態では、すべての刺激に対して注意を向けることが不可能であるため、標的に対して選択的に注意を向ける必要がある。Ariga and Yokosawa (2008) は、高速呈示状態に対して注意を調節していれば、標的に対して注意を適切に向けることができると考えた。この考えは、視覚的注意の空間的側面において提案されたズームレンズの概念 (Castiello & Umiltà, 1990; Eriksen & St. James, 1986; Eriksen & Yeh, 1985) に由来する。空間的なズームレンズの概念では、特定の空間に注意を調節することで、その空間内で注意の解像度が上昇する。Ariga and Yokosawa (2008) は、刺激の逐次呈示に基づいて注意を調節することで、視覚的注意の時間的な解像度は上昇し、それに伴って標的の同定率も上昇すると考えた。

注意の目覚めと注意の瞬きの関係について、Ambinder and Lleras (2008) が興味深い実験を行っている。彼らは、注意の瞬きにおいて、第一標的の処理負荷が高いほど注意の瞬きによる見落としが増大するという点 (e.g., Seiffert & Di Lollo, 1997) に着目した。つまり、注意の目覚めにおいて、系列の初頭部分に呈示された標的が何らかの処理負荷の影響を受けて見落とされているのであれば、系列の初頭部分に呈示された第一標的は第二標的の見落としを増大させると予測した。しかし、第一標的の呈示タイミングは注意の瞬きによる見落としに量に影響を与えなかった。この結果から、Ambinder and Lleras (2008) は、注意の目覚めには注意の瞬きにおいて消費される注意資源とは独立のプロセスが関与していると結論した。また、彼らは Ariga and Yokosawa (2008) と同様、注意の目覚めによる系列初頭部分での標的の見落としは、高速逐次系列に対する注意の設定期間 (set-up time) を反映していると同様に主張している。注意の目覚めが視覚システムのどのようなプロセスを反映しているのかについては、明らかに今後の検討が必要である。

4. おわりに

本稿では、視覚的注意の時間的限界を表す現象をレビューした。前半では、持続的注意の不全を表すヴィジランスの低下に関して、古典的な研究から最近の研究までを網羅的に概観し、生起要因や説明モデルなどを整理して解説した。後半では、視覚的注意の一時的不全を表す注意の瞬きや注意の目覚め現象について、最新の研究動向と共に解説した。

今回のレビューから、注意の機能不全が様々な状況下で予期せず起こり得ることは明らかである。長いスパンで見れば、課題開始後の単純な時間経過によって観察者の注意機能は徐々に失われる。短いスパンに注目すれば、観察者は高速に呈示されるすべての項目に対して均等に注意を向けることができない。我々の日常生活における一連の認知活動が、短いスパンの認知課題の連続によって成り立っていると考えれば、時々刻々と変化する我々の認知プロセスとヴィジランスの関係は切り離すことのできない問題である。しかしながら、現段階ではそれらを統合的に理解することは難しい。今後は、視覚的注意の時間的限界について包括的なアプローチが期待される。

視覚的注意は視覚系の内的な情報選択機構であるため、それが機能不全に陥るということは、我々の日常生活において極めて致命的な問題であることは言うまでもない。残念ながら、我々は注意の機能不全を完全に回避することは難しい。しかしながら、注意の過剰投資の考え (Olivers & Nieuwenhuis, 2005, 2006) は、注意の機能不全を最小限にとどめることができると提案している点で非常に興味深い。注意を使うことによる認知処理の促進だけでなく、注意を積極的に使わないことによってもたらされるメリットも、今後の注意研究で検討すべき課題となるであろう。

文 献

- Ambinder, M. S., & Lleras, A. (2008). Preparing to see and preparing to switch: Two distinct attentional limitations on the perception of rapid serial visual events. Manuscript submitted for publication.
- Arend, I., Johnston, S., & Shapiro, K. (2006). Task-irrelevant visual motion and flicker attenuate the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 600-607.
- Ariga, A., & Watanabe, K. (in press). Temporal dissociation between category-based and item-based processes in rejecting distractors. *Psychological Research*.
- Ariga, A., & Yokosawa, K. (2008). Attentional awakening: Gradual modulation of temporal attention in rapid serial visual presentation. *Psychological Research*, 72, 192-202.
- Ariga, A., & Yokosawa, K. (in press). Contingent attentional capture occurs by activated target congruence. *Perception & Psychophysics*.
- Baddeley, A. D., Bressi, S., Della Sala, S., Logie, R. H., & Spinnler, H. (1991). The decline of working memory in Alzheimer's disease: A longitudinal study. *Brain*, 114, 2521-2542.
- Baddeley, A., Cocchini, G., Della Sala, S., Logie, R. H., & Spinnler, H. (1999). Working memory and vigilance: Evidence from normal aging and Alzheimer's disease. *Brain and Cognition*, 41, 87-108.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8, 485-493.
- Baddeley, A. D., Logie, R. H., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1986). Dementia and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 603-618.
- Ballard, J. C. (1996). Computerized assessment of sustained attention: A review of factors affecting vigilance performance. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 18, 843-863.
- Barnard, P. J., Scott, S., Taylor, J., May, J., & Knightley, W. (2004). Paying attention to meaning. *Psychological Science*, 15, 179-186.
- Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T., Olmstead, R. E., Tremoulet, P. D., & Craven, P. L. (2007). EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78 (Section II, Suppl.), B231-B244.
- Binford, J. R., & Loeb, M. (1966). Changes within and over repeated sessions in criterion and effective sensitivity in an auditory vigilance task. *Journal of Experimental Psychology*, 72, 339-345.
- Caggiano, D. M., & Parasuraman, R. (2004). The role of memory representation in the vigilance decrement. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 932-937.

- Castiello, U., & Umiltà, C. (1990). Size of the attentional focus and efficiency of processing. *Acta Psychologica*, 73, 195-209.
- Chua, F. K., Goh, J., & Hon, N. (2001). Nature of codes extracted during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 1229-1242.
- Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 109-127.
- Corhan, C. M., & Gounard, B. R. (1976). Types of music, schedules of background stimulation, and visual vigilance performance. *Perceptual and Motor Skills*, 42, 662.
- Cossa, F. M., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1989). Selective visual attention in Alzheimer's and Parkinson's patients: Memory- and data-driven control. *Neuropsychologia*, 27, 887-892.
- Craig, A. (1987). Signal detection theory and probability matching apply to vigilance. *Human Factors*, 29, 645-652.
- Davies, D. R., & Parasuraman, R. (1982). *The psychology of vigilance*. London: Academic Press.
- Deaton, J. E., & Parasuraman, R. (1993). Sensory and cognitive vigilance: Effects of age on performance and subjective workload. *Human Performance*, 6, 71-97.
- Di Lollo, V., Kawahara, J., Ghorashi, S. M., & Enns, J. T. (2005). The attentional blink: Resource depletion or temporary loss of control? *Psychological Research*, 69, 191-200.
- Dobbs, A. R., & Rule, B. G. (1989). Adult age differences in working memory. *Psychology and Aging*, 4, 500-503.
- Duncan, J., Ward, R., & Shapiro, K. (1994). Direct measurement of attentional dwell time in human vision. *Nature*, 369, 313-315.
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 345-352.
- Eriksen, C. W., & St. James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, 40, 225-240.
- Eriksen, C. W., & Yeh, Y. Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 583-597.
- Eysenck, M. W. (1982). *Attention and arousal*. Berlin/ New York: Springer.
- Fisk, A. D., & Schneider, W. (1981). Control and automatic processing during tasks requiring sustained attention: A new approach to vigilance. *Human Factors*, 23, 737-750.
- Folk, C. L., Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2002). Made you blink! Contingent attentional capture produces a spatial blink. *Perception & Psychophysics*, 64, 741-753.
- Folk, C. L., Leber, A. B., & Egeth, H. E. (in press). Top-down control settings and the attentional blink: Evidence for nonspatial contingent capture. *Visual Cognition*.
- Fontaingé, C. W., & Schwalm, N. M. (1979). Effects of familiarity of music on vigilance performance. *Perceptual and Motor Skills*, 49, 71-74.
- Frankmann, J. P., & Adams, J. A. (1962). Theories of vigilance. *Psychological Bulletin*, 59, 257-272.
- Giesbrecht, B. L. & Di Lollo, V. (1998). Beyond the attentional visual masking by object substitution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1454-1466.
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York: Wiley.
- Grier, J. B. (1971). Nonparametric indexes for sensitivity and bias: Computing formulas. *Psychological Bulletin*, 75, 424-429.
- Grier, R. A., Warm, J. S., Dember, W. N., Matthews, G., Galinsky, T. L., & Parasuraman, R. (2003). The vigilance decrement reflects limitations in effortful attention, not mindlessness. *Human Factors*, 45, 349-359.
- Guralnick, M. J. (1972). Observing responses and decision processes in vigilance. *Journal of Experimental Psychology*, 93, 239-244.
- Guralnick, M. J. (1973). Effects of event rate and signal difficulty on observing response and detection measures in vigilance. *Journal of Experimental Psychology*, 99, 261-265.
- Hebb, D. O. (1955). Drives and the CNS (conceptual nervous system). *Psychological Review*, 62, 243-254.
- Hoffman, R. R., Sherrick, M. F., & Warm, J. S. (Eds.). (1998). *Viewing psychology as a whole: The integrative science of William N. Dember*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Humphreys, M. S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: A theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychological Review*, 91, 153-184.

- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30, 513-541.
- Jerison, H. J., & Pickett, R. M. (1964). Vigilance: The importance of the elicited observing rate. *Science*, 143, 970-971.
- Jolicoeur, P. (1999). Concurrent response-selection demands modulate the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1097-1113.
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36, 138-202.
- Karatekin, C., Marcus, D. J., & Couperus, J. W. (2007). Regulation of cognitive resources during sustained attention and working memory in 10-year-olds and adults. *Psychophysiology*, 44, 128-144.
- 河原純一郎 (2003) 注意の瞬き 心理学評論, 46, 501-526.
- Koelega, H. S., Brinkman, J., Hendriks, L., & Verbaten, M. N. (1989). Processing demands, effort, and individual differences in four different vigilance tasks. *Human Factors*, 31, 45-62.
- Krulowitz, J. E., Warm, J. S., & Wohl, T. H. (1975). Effects of shifts in the rate of repetitive stimulation on sustained attention. *Perception & Psychophysics*, 18, 245-249.
- Laurie-Rose, C., Bennett-Murphy, L., Curtindale, L. M., Granger, A. L., & Walker, H. B. (2005). Equating tasks and sustaining attention in children and adults: The methodological and theoretical utility of d' matching. *Perception & Psychophysics*, 67, 254-263.
- Loeb, M., & Binford, J. R. (1968). Variation in performance on auditory and visual monitoring tasks as a function of signal and stimulus frequencies. *Perception & Psychophysics*, 4, 361-367.
- Loeb, M., Nooman, T. K., Ash, D. W., & Holding, D. H. (1987). Limitations of the cognitive vigilance increment. *Human Factors*, 29, 661-674.
- Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1, 6-21.
- Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (1991). *Detection theory: A user's guide*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Maki, W. S., & Mebane, M. W. (2006). Attentional capture triggers an attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 125-131.
- Matthews, G. (1996). Signal probability effects on high-workload vigilance tasks. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 339-343.
- Matthews, G., & Davies, D. R. (2001). Individual differences in energetic arousal and sustained attention: A dual-task study. *Personality and Individual Differences*, 31, 575-589.
- Matthews, G., Davies, D. R., Westerman, S. J., & Stammers, R. B. (2000). *Human performance: Cognition, stress, and individual differences*. East Sussex: Psychology Press.
- Mikulka, P. J., Scerbo, M. W., & Freeman, F. G. (2002). Effects of a biocybernetic system on vigilance performance. *Human Factors*, 44, 654-664.
- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and simple reaction time. *Psychological Bulletin*, 89, 133-162.
- Nuechterlein, K. H., Parasuraman, R., & Jiang, Q. (1983). Visual sustained attention: Image degradation produces rapid sensitivity decrement over time. *Science*, 220, 327-329.
- Olivers, C. N. L., & Nieuwenhuis, S. (2005). The beneficial effect of concurrent task-irrelevant mental activity on temporal attention. *Psychological Science*, 16, 265-269.
- Olivers, C. N. L., & Nieuwenhuis, S. (2006). The beneficial effects of additional task load, positive affect, and instruction on the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 364-379.
- Parasuraman, R. (1979). Memory load and event rate control sensitivity decrements in sustained attention. *Science*, 205, 924-927.
- Parasuraman, R. (1985). Sustained attention: A multifactorial approach. In M. I. Posner & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI* (pp. 492-511). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Parasuraman, R. (1998). *The attentive brain*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Parasuraman, R., & Davies, D. R. (1977). A taxonomic analysis of vigilance performance. In R. R. Mackie (Ed.), *Vigilance: Theory, operational performance, and physiological correlates* (pp. 559-574). New York: Plenum.
- Parasuraman, R., & Mouloua, M. (1987). Interaction of signal discriminability and task type in vigilance decrement. *Perception & Psychophysics*, 41, 17-22.
- Paus, T., Zatorre, R. J., Hofle, N., Caramanos, Z., Gotman, J., Petrides, M., & Evans, A. C. (1997). Time-related changes in neural systems underlying attention and arousal during the per-

- formance of an auditory vigilance task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 392-408.
- Pollack, I., & Norman, D. A. (1964). A nonparametric analysis of recognition experiments. *Psychonomic Science*, 1, 125-126.
- Potter, M. C. (1976). Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2, 509-522.
- Potter, M. C. (1993). Very short-term conceptual memory. *Memory & Cognition*, 21, 156-161.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 849-860.
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!' Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35, 747-758.
- Rueckert, L., & Grafman, J. (1998). Sustained attention deficits in patients with lesions of posterior cortex. *Neuropsychologia*, 36, 653-660.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- See, J. E., Howe, S. R., Warm, J. S., & Dember, W. N. (1995). Meta-analysis of the sensitivity decrement in vigilance. *Psychological Bulletin*, 117, 230-249.
- Seiffert, A. E., & Di Lollo, V. (1997). Low-level masking in the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1061-1073.
- Shapiro, K. L., Raymond, J. E., Arnell, K. M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in RSVP. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 357-371.
- Smit, A. S., Eling, P. A. T. M., & Coenen, A. M. L. (2004). Mental effort causes vigilance decrease due to resource depletion. *Acta Psychologica*, 115, 35-42.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 12061-12068.
- Spalek, T. M., Falcon, L. J., & Di Lollo, V. (2006). Attentional blink and attentional capture: Endogenous versus exogenous control over paying attention to two important events in close succession. *Perception & Psychophysics*, 68, 674-684.
- St. John, M., & Risser, M. R. (2007). Mitigating the vigilance decrement: Perceptual versus cognitive interventions. *Proceedings of the Fourth International Conference on Augmented Cognition*. Baltimore, MD.
- Stroh, C. M. (1971). *Vigilance: The problem of sustained attention*. Oxford: Pergamon Press.
- Temple, J. G., Warm, J. S., Dember, W. N., Jones, K. T. S., LaGrange, C. M., & Matthews, G. (2000). The effects of signal salience and caffeine on performance, workload, and stress in an abbreviated vigilance task. *Human Factors*, 42, 183-194.
- Visser, T. A. (2007). Masking T1 difficulty: Processing time and the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 285-297.
- Ward, R., Duncan, J., & Shapiro, K. (1996). The slow time-course of visual attention. *Cognitive Psychology*, 30, 79-109.
- Warm, J. S. (1984). An introduction to vigilance. In J. S. Warm (Ed.), *Sustained attention in human performance* (pp. 1-14). Chichester, UK: Wiley.
- Warm, J. S., Chin, K., Dittmar, M. L., & Dember, W. N. (1987). Effects of head restraint on signal detectability in simultaneous and successive vigilance tasks. *Journal of General Psychology*, 114, 423-431.
- Warm, J. S., & Dember, W. N. (1998). Tests of vigilance taxonomy. In R. R. Hoffman, M. F. Sherrick, & J. S. Warm (Eds.), *Viewing psychology as a whole: The integrative science of William N. Dember* (pp. 87-112). Washington, DC: American Psychological Association.
- Warm, J. S., & Jerison, H. J. (1984). The psychology of vigilance. In J. S. Warm (Ed.), *Sustained attention in human performance* (pp. 15-60). Chichester, UK: Wiley.
- Wickens, C. D., & Kessel, C. (1980). Processing resource demands of failure detection in dynamic systems. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 564-577.
- Williams, P. S. (1986). Processing demands, training, and the vigilance decrement. *Human Factors*, 28, 567-579.