



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	読書時の単語認知過程 : 眼球運動を指標とした研究の概観
Author(s)	懸田, 孝一
Citation	北海道大學文學部紀要, 46(3), 155-192
Issue Date	1998-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/33710
Type	departmental bulletin paper
File Information	46(3)_PL155-192.pdf



読書時の単語認知過程 —— 眼球運動を指標とした研究の概観 ——

懸 田 孝 一

Word recognition process in reading: A review of studies on eye movement recordings

Hokkaido University Koichi Kaketa

1. はじめに

読む(reading)という行為は、書き言葉を理解することである。すなわち、視覚的に呈示されている言語を理解する過程と言い換えることができる。したがって、言語が視覚的に呈示されている以上、読みの過程 (reading processes) には必然的に視覚情報の処理を含むことになる。そして、視覚的な刺激の単純な物理的特徴から言語的単位が特定され、それらを適切に関連づける処理を含んでいる。この処理過程において、最も基本となる処理単位の一つとして単語 (word) を考えることは妥当であろう (阿部・桃内・金子・李, 1994, Balota, 1994; Rayner & Pollatsek, 1989)。単語認知過程の研究は、これまで数多くの成果をあげてきている (たとえば, 阿部ら, 1994; Balota, 1994; 御領, 1987; Henderson, 1987; Rayner & Pollatsek, 1989 を参照)。これらの成果の多くは、単語単独を対象にした研究からの知見であ

る。

しかしながら、日常では、複数の単語から構成されている文や文章を読むことも非常に多い。そこには、単語単独の処理よりも複雑な処理が関与していることは間違いない。本稿では、文や文章を読むときの単語認知過程に関して、視覚情報処理過程ということを意識し、眼球運動 (eye movement) を指標とした実験研究を中心に概観してみたい。なお、単語単独ではなく、文や文章を読むことを、ここでは特に断りがない限り読書と呼ぶことにする。

本稿では、次に述べる2点を理由として、読みの眼球運動を指標とした研究に焦点を当てることにした。第一に、文や文章を読むときには、必ず眼の動きが伴うということである。眼の動きに伴って網膜から次々と入力される視覚情報が脳に伝達され、処理されていく。その視覚情報は非常に高速に処理され、その処理の結果がすぐに眼球運動に反映されていると考えられる。つまり、眼球運動は、読みの過程の実時間的側面を反映していると考えられる。第二に、低次の視覚情報処理と眼球運動の関係に関しては、多くの知見が得られていることである (苧阪・中溝・古賀, 1993 に詳しい)。言うまでもなく、読書時には、視覚情報処理の他に、より高次のさまざまな言語処理が含まれている。したがって、網膜から入力された視覚情報の脳での処理には、低次の視覚情報処理と高次の言語処理が相互作用していると考えられる。高次の言語処理過程に関しても同じ指標によって議論することによって、読みの過程における視覚情報処理と言語処理の相互作用を解明する助けとなると考えられる。

本稿の基本構成は、次の通りである。2節では、読書時に観察される眼球運動の基本的特徴を解説する。3節では、読書時の単語認知過程の時間的、空間的制約に関する研究を概観する。4節では、空間的制約、すなわち、読みにおける有効視野の機能に関する研究を詳しく概観する。5節では、それまでの実験的研究の概説とは趣をかえて、単語認知と眼球運動の関係を説明するモデルをいくつか紹介し、その特徴と問題点を述べる。

2. 読みにおける眼球運動の基本的特徴

我々が文章を読むときには、眼は文章の上を連続的になめらかに移動しているように感じられる。しかしながら、読書時の眼球運動を観察してみると、追従眼球運動 (smooth pursuit) ではなく、実際には、停留 (fixation) と、サッカード (saccade) という飛越運動を繰り返していることがわかる。以下ではまず、読書時に観察される停留とサッカードについて、すでに明らかになっている特徴を述べる。

2.1 停留位置

文章上で眼が停留する位置 (fixation location) は、単語の上になることが多い。逆に、単語と単語の間や文と文の間のスペース、句読点の上に眼が停留することは少ない (Rayner & McConkie, 1976)。単語の中でも、名詞や動詞などの内容語 (content word) が注視されることが多く、逆に、前置詞などの機能語 (function word) はとばされることが多い (Rayner & Pollatsek, 1989)。日本語の場合では、神部 (1986a, b) が、漢字を含む単語、平仮名で書かれた単語、片仮名を含む単語の割合が 61 : 34 : 5 で構成されている文章を読むときの、眼の停留位置を調べた。漢字語および片仮名語には 90% 以上停留するのに対して、平仮名語には 49% しか停留しなかった。漢字や片仮名で書かれた単語は内容語であることが多い。逆に、平仮名は助詞などに代表される機能語に使われることが多い。このように眼は、単語、特に内容語に停留する割合が非常に高いことがわかる。単語内でも、中央やや左に眼は停留することが多いことが知られている。Rayner (1979) は、この位置を “preferred viewing location” と呼んでいる。

これらの傾向からもう一つ気がつく点は、文章中の単語はすべて注視されるわけではないということである。たとえば、Ehrlich and Rayner (1981) は、文脈から予測しやすい単語は、予測しにくい単語よりも読み飛ばされやすいということを確認している。

2.2 停留時間

眼が同じ位置に停留している時間 (fixation duration) はどれくらいであろうか。停留時間とは、2 停留間の時間である。停留時間の範囲は、英語の場合、およそ 100 ミリ秒から 500 ミリ秒の間であり、平均で 200 ミリ秒から 250 ミリ秒となる (Rayner & Pollatsek, 1987, 1989)。日本語の場合も英語の場合と同じ程度の範囲であり、平均もまたほぼ等しいことが示されている (神部, 1986b)。Ikeda and Saida (1978) や Osaka (1992) では、これよりも若干短く、それぞれ平均で 178 ミリ秒 (120 ミリ秒から 230 ミリ秒) と 190 ミリ秒と報告されている。

2.3 サッカード距離

サッカードとは、20 ミリ秒から 35 ミリ秒程度の持続時間をもつ眼球の飛越運動のことである。停留と停留の間に実行されるサッカードはどのくらいの大きさなのであろうか。Keith Rayner をはじめとする数多くの研究者が、サッカード距離 (saccade length) の分布は 1 文字から 15 文字分であることを報告してきた。Rayner and Pollatsek (1987, 1989) は、平均で 7 文字から 9 文字であるとまとめている。Ikeda and Saida (1978) は、日本語の文章を読むときのサッカードを 2 文字から 5 文字の間で、平均で 3.6 文字と報告している。神部 (1986a) は、3 文字から 5 文字の間で、平均 3.5 文字と評価している。Osaka (1992) は、平均 7.8 文字と報告している。読みの研究では、サッカード距離は視角ではなく文字数に依存することが示されており (Morrison & Rayner, 1981; O'Regan, Levy-Schoen, & Jacobs, 1983)、ほとんどの研究でサッカード距離は文字数で表現されている。ただし、視角がまったく無関係とは考えられない。3.2 で解説するが、網膜上の視覚解像度は一定ではなく、周辺部の解像度は急激に低下する。したがって、サッカードの距離には生理学的知見と対応した上限があるであろう。

そこで、文字数で表現した距離を視角 (visual angle) に換算してみる。Rayner and Pollatsek (1989) では、1 文字が 0.25° に相当しているので、約 1.75° から 2.25° となる。日本語の文章を用いた研究では、神部 (1986a)

が 2.1° (1文字あたり 0.61°)、Ikeda and Saida (1978) が 2.3° (1文字あたり 0.64°)、Osaka (1992) が 6.24° (1文字あたり 0.8°)となる。Osakaを除いてほぼ 2° 程度になるようである。

サッカード距離には、文字数の他の言語的単位としての規則性はないのであろうか。そこで、今度はサッカード距離を単語数に換算してみる。1単語を構成している平均文字数は、英語の場合、平均で6文字から7文字程度であり、日本語の場合は、2文字から3文字であることが多いと考えられる。この文字数にしたがうと、いずれも1単語強と推定できる (Crowder & Wagner, 1992 を参照)。

2.4 戻り運動

読みの眼球運動は、文章上を一定方向へ進む運動だけではない。しばしば、戻り運動 (regression) が観察される。Rayner and Pollatsek (1987) によれば、戻り運動の割合は、全体の10%から15%程度である。この割合は、文章の難易度に依存しており、たとえば、比較的易しいフィクションでは全体の3%しか認められないが、難しい生物学の文章では18%も観察される (Rayner & Pollatsek, 1989 を参照)。また、Frazier and Rayner (1982) は、構造的な多義文を読むときに、戻り運動が認められることを確認している。神部 (1986b) は、漢字仮名交じりで書かれた文章を読むときには、戻り運動の割合が6%程度であることを報告している。さらに、神部 (1986a) は、普通、漢字で書かれる単語を平仮名で書いた文章を読むと、戻り運動が多く見られることも確認している。

3. 読書時の単語処理過程：単語認知と眼球運動

読み手は、ほぼ1単語ずつを注視し、その平均注視時間は200ミリ秒から250ミリ秒である。しかしながら、注視時間には範囲があり、注視時間が短い単語や長い単語があることがわかる。ときには読み飛ばされる単語もある。読書時に観察される、以上のような眼球運動の基本的特性からだけでも、次

のような単語処理過程が推測できる。一度の停留で1単語が同定され、その1単語の同定時間は、平均すると200ミリ秒から250ミリ秒程度である。もちろん、文脈情報などを利用したトップダウン的処理が働くので、読み飛ばされる単語や停留時間が短い単語もある。

しかしながら、読書時の単語処理過程はこれほど単純ではないだろう。ここでは、次にあげる2つの疑問を考えてみる。1) 1単語の処理時間には、どのような処理が含まれ、それぞれどのくらいの処理時間を要するのか。すなわち、単語認知の時間的制約に関する疑問である。2) 一度の停留中では、注視された1単語にしか処理が及ばず、隣接する単語は処理されないのか。すなわち、単語認知の空間的制約に関する疑問である。この2点を中心に、もう少し詳しく読みにおける単語認知過程を検討してみる。まず、これらの疑問を解決するために開発されてきた一つの研究方法を紹介する。

McConkie and Rayner (1975) と Ikeda and Saida (1978) は、ほぼ同じ時期に、眼球運動測定装置と文章呈示装置を同期させるという発想の実験システムを開発した (Figure 1 を参照)。McConkie and Rayner では、眼球運動測定装置とコンピュータがオンラインで接続されている。被験者は、コンピュータで制御されたディスプレイに呈示される文章を読もうとして文章上のある位置を注視する。注視された周辺のあらかじめ決められた範囲にだけ文章の一部が呈示される。被験者は眼を次に見たい場所へ移動させ、ある位置を注視する。その停留位置は眼球運動測定装置によって測定されて、その情報がコンピュータにフィードバックされる。その情報にもとづいて停留位置の周りのあらかじめ決められた範囲の文章がディスプレイ上に呈示される。この繰り返しによって、被験者は制限された視野の中で文章を読むのである (Figure 2 を参照)。彼らは、この制限された視野のことをウィンドウ (window) と呼んでいる。また、ウィンドウの外側の文字列も実験の目的に応じてさまざまに操作することができる (Figure 3 を参照)。このような方法は、ムービング・ウィンドウ法 (moving-window technique) と呼ばれている (Rayner & Pollatsek, 1987)。

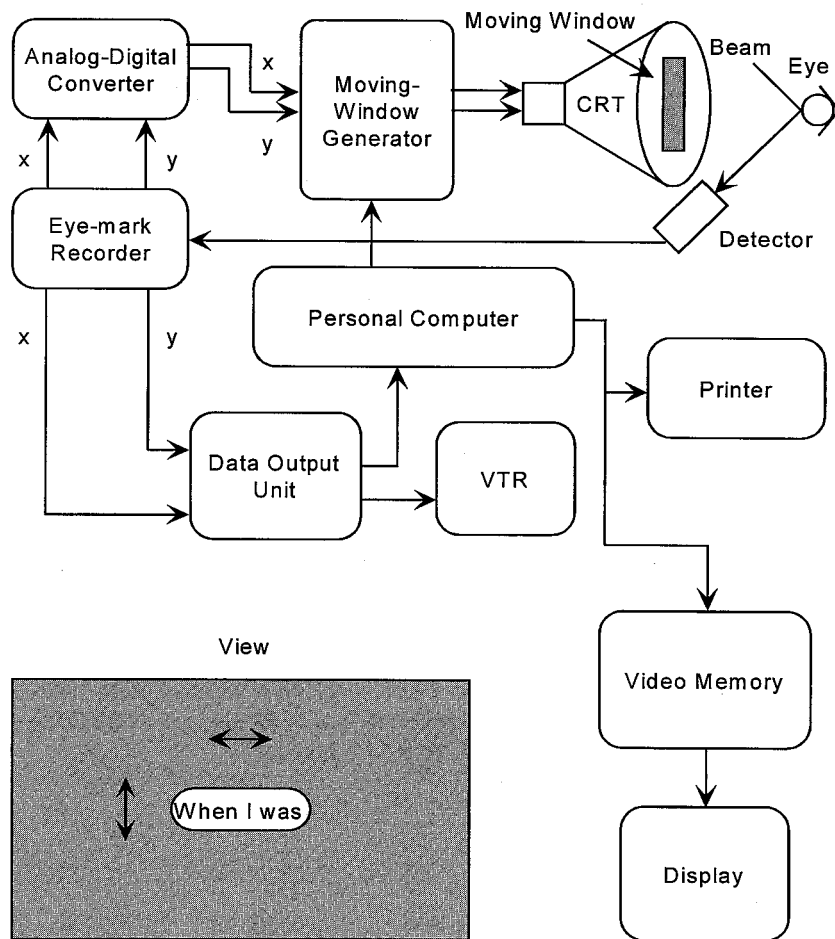


Figure 1. ムーヴィング・ウィンドウ法の模式図。被験者の眼の位置を detector が検出し、その情報を eye-mark recorder へ送る。eye-mark recorder はコンピュータに被験者の眼の位置の情報を送り、コンピュータはその位置に対応する文章を moving-window generator に送る。被験者の眼の位置に文章の一部が呈示される。View は被験者が実際にしている CRT 画面の例である。被験者の眼の動きに応じてウィンドウが移動する (Osaka, 1992)。

By far the single most abundant substance in the biosphere

★

By far the single most abundXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (1)

★

XXXXXXr the single most abundant suXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (2)

★

XXXXXXXXXXXXsingle most abundant substancXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (3)

★

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXbundant substance in the biosXXXXX (4)

★

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXtance in the biosphere (5)

Figure 2. ムーヴィング・ウィンドウ法の画面と眼が停留している位置の例。最初の文は、実験に使われる文章の一文である。次の(1)から(5)は、被験者がこの一文を読んでいくときに見える状態とそのときの眼が停留している位置を表している。文の上のアスタリスクは被験者が注視した位置を示している。ウィンドウの大きさは、注視点の左右それぞれ 14 文字分の条件であり、ウィンドウの外側はすべて X となる (Pollatsek et al., 1992)。

3.1 単語処理時間

単語を同定するのに要する時間はどのくらいであろうか。まず、単独の単語を使用した単語認知研究で見積もられている、単語同定に要する時間を概観してみる。Adams (1979) は、単語を呈示した後で、さまざまな時間間隔 (Stimulus Onset Asynchrony; SOA) をおいて視覚的なマスキング刺激を呈示することによって、呈示時間に関する単語の認知閾を測定した。彼女は、SOA がおよそ 50 ミリ秒から 60 ミリ秒であれば単語を認識することが可能であることを見いだした。御領 (1987) は、漢字単語、平仮名单語、片仮名单語の認知閾はそれぞれ、78 ミリ秒、86 ミリ秒、76 ミリ秒であると報告して

By far the single most abundant substance in the biosphere

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXt abundanXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (a)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXt abundant substancXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (b)

XX XXX XXX XXXXXX XXXt abundant substancX XX XXX XXXXXXXXX (c)

Nw oqm kxe cbwpnd ewlt abundant substancm XX XXX XXXXXXXXX (d)

XX XXX XXX XXXXXX XXXX abundant XXXXXXXXX XX XXX XXXXXXXXX (e)

XX XXX XXX XXXXXX XXXX abundant substance XX XXX XXXXXXXXX (f)

XX XXX XXX XXXXXX XXXX abundant subXXXXXX XX XXX XXXXXXXXX (g)

Figure 3. ムーヴィング・ウィンドウ法によって設定されるウィンドウの大きさとウィンドウの外側の条件例。最初の文は、実験に使われる文章の中の一文である。(a)から(g)までは、abundant の u が注視されているときに、それぞれの条件で被験者が見える様子を表している。(a)は、ウィンドウの大きさが注視点の左右 4 文字分ずつの条件である。(b)は、ウィンドウの大きさが左へ 4 文字分、右へ 14 文字分の条件である。(c)と(d)は、窓の大きさが(b)と同じであるが、ウィンドウの外側の単語境界情報（スペース）は残されている。(c)と(d)の違いは、ウィンドウの外側を埋める文字である。(e),(f),(g)では、ウィンドウの外側の単語境界情報（スペース）は残されている。(e)は、注視された単語だけが見える条件である。(f)は、注視された単語とその次の単語が見える条件である。(g)は、注視された単語とその次の単語の先頭 3 文字が見える条件である (Polatsek et al., 1992)。

いる。これらの知見によれば、単語の単語を同定するのに要する時間は、いずれにしても、200 ミリ秒から 250 ミリ秒という停留時間とはかなり差があることがわかる。停留時間を 250 ミリ秒、単語を同定するのに必要な時間を 70 ミリ秒と仮定すると、残りの 180 ミリ秒の時間は何を実行するために必要なのであろうか。

Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek, and Bertera (1981) は、ムービング・ウィンドウ法を用いて、文章上で読み手が注視した位置の周りを、さまざまな遅延時間 (0, 10, 30, 50, 100, 150 ミリ秒) で視覚的マスキングをするような状況を設定し、読みの眼球運動を調べた。彼らは、視覚的マスキングの遅延時間が 50 ミリ秒よりも短くなると、停留時間が長くなり、サッカード距離が短くなることを見いだした。この結果から、彼らは、単語の符号化に必要な視覚情報が注視の開始から 50 ミリ秒以内で獲得されると結論している。この値は、単語の認知閾を測定した上述の研究から得られたそれと近似している。

単語を同定などの認知的処理を伴わず、眼球運動だけをプログラミングし実行するためには、平均で 175 ミリ秒ほど必要であるという (Rayner, Carlson, & Frazier, 1983; Salthouse & Ellis, 1980)。また、サッカードの持続時間は平均 30 ミリ秒程度である。停留の最初の 50 ミリ秒で単語の符号化に必要な視覚情報が獲得され、その後の 175 ミリ秒が次の眼球運動のプログラミングと実行までの時間である。そして、30 ミリ秒のサッカード潜時があり、合計で 255 ミリ秒となる。以上のように仮定されたこの値は、停留時間の平均 (およそ 250 ミリ秒) とほぼ同じようである。

しかしながら、Ishida and Ikeda (1989) によると、眼の停留直後約 30 ミリ秒までは網膜像の感度の低下、すなわち、サッカディック抑制 (saccadic suppression) があり、30 ミリ秒から 50 ミリ秒でやや回復してくるという。これが正しければ、単語の同定に必要な視覚情報が獲得される時間が、注視開始から 50 ミリ秒以内というのは少し短すぎるかもしれない。

McConkie, Underwood, Zola, and Wolverton (1985) は、次のサッカードが決定される前の、単語の符号化に要する時間をもう少し長く見積もって

いる。彼らは、停留時間の頻度分布を分析することによって、眼球運動に関する研究や神経生理学的研究の知見を考慮しながら、読書時の単語認知過程の一停留中の時間経過を特定しようとした。彼らは、読み手が文章上のある位置を注視してから100ミリ秒より前に、あるいは、後に、元の文章中の文字列とは異なる、正書法的に不規則な (orthographically irregular) 文字列を置き換えて呈示した。2つの条件での停留時間の分布と、コントロール条件 (文字列の置き換えがない条件) のそれを比較することによって、注視の開始から120ミリ秒までに、単語の符号化と次のサッカードに必要な情報の処理が行われると考察した。さらに、視覚刺激情報が網膜から入力され大脳の視覚皮質に伝達され、それに対してサッカードが開始するまでの時間は100ミリ秒程度であると見積もっている。この値は、神経生理学的知見とも対応する (Russo, 1978 を参照)。

以上の先行研究から、単語が注視されてから次のサッカードが開始され、次の位置が注視されるまでの処理の時間経過を仮定してみることにする。なお、いつかの処理段階は、Rayner and Pollatsek (1989) に準じて分けている。

- 1) 単語の視覚情報が網膜から大脳皮質の関連部位へ伝達される：60 ミリ秒。
- 2) 大脳皮質の関連部位で視覚情報としての単語が符号化される：60 ミリ秒。
- 3) 単語の符号化によって次の眼球運動の時期と場所が決定され、眼球運動がプログラミングされる：70 ミリ秒。
- 4) 眼球運動の実行命令が関連する大脳皮質の運動部位へ送られる：30 ミリ秒。
- 5) サッカードが開始し、次の停留点に眼が停留する：30 ミリ秒。

3.2 読みにおける有効視野

文章中の単語に眼が停留している間には、その単語だけが処理され、隣接する単語には処理が及ばないのであろうか。すなわち、単語認知の空間的制

約はどの程度なのであろうか。人間の眼は球形になっており、その特徴の一つとしては、視野 (visual field) が広いということがあげられる。したがって、一度の停留中に網膜 (retina) から入力される情報は1単語分とは限らない。その情報量は、一度の停留での視野の広さと、その範囲にどれくらいの視覚情報が重なっているかによって決まると考えられる。

視野 我々がある物体を見ているとき、視野全体でそれが同じように見えているわけではない。視覚解像度は、網膜の中心にある中心窩 (fovea) で最高であり、周辺にいくにつれて急激に低下することが知られている (c.f. Anstis, 1974)。この中心窩とその周りで見ることを中心視 (central vision) と呼び、それ以外の網膜周辺部で見ることを周辺視 (peripheral vision) という。中心視をさらに、中心窩で見る中心窩視 (foveal vision) とその周りの近中心窩 (parafovea, 半径視角 5° まで) で見る近中心窩視 (parafoveal vision) とに区別することもある。ただし、その範囲は厳密に定義されてはおらず、研究者によって違いがある (詳しくは、苧阪, 1994 を参照)。

中心窩は、およそ水平 5° 、垂直 2.5° の小楕円であり、視細胞 (visual cell)、特に、高い空間解像度をもたらす錐体細胞 (cone) の密度が高い。中心窩の周辺にいくにつれて錐体細胞の密度は急激に減少するのに対して、空間解像度が低い杆体細胞 (rod) の密度が逆に高くなる (周辺約 20° 付近が密度のピークである)。このような生理学的構造の違いに対応して、耳側視野での視力は、 2.5° で 50%、 5° で 30%、 10° で 20% に減少することが知られている。松田 (1990) では、この空間視力の低下するあたりを中心窩視、近中心窩視、周辺視の境界の目安としている。

中心窩視に比べて近中心窩視の空間解像度が低下することは、単語の認知にも大きく影響する。Kevin O'Regan たちは単語内での停留位置が単語の認知に及ぼす影響を、単独の単語を読む場合 (O'Regan & Jacobs, 1992; Vitu, O'Regan, & Mittau, 1990) と文章を読む場合 (Vitu et al., 1990)、それぞれで調べている。O'Regan and Jacobs (1992) は、語彙性判断時間や音読時間が、単語の中心から被験者が最初に注視する位置が離れるにしたがって長くなることを確認した。また、Vitu et al. によれば、文章を読むときにも、

単語の注視位置が眼球運動に影響することが認められた。つまり、単語の中の最適な位置を注視することによって、単語の認知が効果的に行われるのである。最も速く単語が認知される最適な停留位置を “optimal viewing position” と呼ぶ (Vitu, et al., 1990)。

有効視野 視野は、その全体で均一の精度が保証されているわけではないので、視野内の位置によって処理される情報が異なると考えられる。さらに、どのようなものを見ているか、どのような視覚的作業をしているか、によってその大きさは異なってくる。つまり、ある視覚的作業を行うとき、その作業をするのに有効に利用される情報を収集できる範囲が存在し、作業の種類によってその大きさは異なるのである。この視覚情報収集範囲のことを有効視野 (useful visual field) という。有効視野は、視覚的作業の種類によって、さまざまな名称で呼ばれている (たとえば、松田, 1990 を参照)。本稿のテーマである読みにおいては、知覚の範囲 (perceptual span) と呼ばれている (Rayner, 1975)。

読みにおける知覚の範囲 読みにおける有効視野、すなわち知覚の範囲は、いろいろな方法によってこれまで計測されてきた。たとえば、タキストスコープによって文字列や単語を瞬間呈示し、読みとれる範囲から推定するという方法や、眼球運動の記録から1行の文字数を停留数で割ることによって推定するという方法が用いられてきたこともある (知覚の範囲を測定する、さまざまな方法については、Rayner & Pollatsek, 1989 が詳しい)。しかしながら、これらの方法は、あくまでも知覚の範囲を推定しているにすぎず (斎田, 1993)、知覚の範囲は読み手の視野を制限して文章を読ませることによって測定されるのが一般的である (斎田, 1994)。この方法では、制限された視野で文章を読ませ、その視野の大きさをさまざまに変えたときに生じる読みのパフォーマンス (たとえば、読む速度、停留時間、サッカード距離、再生成績) の変化から知覚の範囲を測定しようとする。

たとえば、読み手に文章を読ませ、読む速度を測定したとする。視野を1文字ないし2文字分というように狭く制限すると、読む速度は遅くなる。視野の大きさを少しずつ大きくすると、読む速度は向上してくる。しかしなが

ら、視野がある大きさよりも大きくなると、読む速度がそれ以上速くならなくなる。この視野の大きさが知覚の範囲であるとするのである。このような知覚の範囲の特定方法は、次のような考えにもとづいている。読む速度が一定になり始める視野の大きさよりも外側は、読む速度を向上させるのに何も役に立っていない。言い換えれば、有効に活用されていないと考える。逆に、この大きさよりも内側に制限が加えられると、読む速度が遅くなるので、この視野の大きさまでは読みに有効に活用されていたことになるのである。

制限視野を利用した方法は、読み手が自分のペースで文章を読むことができるか、できないかによって2種類に大別できる。前者は、読み手の眼球運動と連動して制限視野が移動し、その範囲内にだけ文章が見えるという方法である。すなわち、この節の冒頭で説明したムービング・ウィンドウ法である。後者の方法では、制限視野内にのみ文章が見えるのはムービング・ウィンドウ法と同じであるが、その制限視野が一定速度で移動したり、制限視野が固定され、その中を文章が一定速度で移動して見えるという状況が設定される (Bouma & deVoogd, 1974; 中條・納富・石田, 1993; Kaketa & Abe, 1996; Legge, Pelli, & Schleske, 1985; Newman, 1966, Osaka & Oda, 1994 も参照)。本稿では、眼球運動を指標とした研究を中心に概観するので、ムービング・ウィンドウ法を使用した研究を詳しく解説する。

ムービング・ウィンドウ法を、知覚の範囲を測定するために最初に利用したのは、McConkie and Rayner (1975) である。また、同じ方法を用いて同じ時期に、Ikeda and Saida (1978) が日本語の読みにおける知覚の範囲を測定している。

ムービング・ウィンドウ法を用いて測定された知覚の範囲はどのくらい大ききなのだろうか。英語の場合、注視された位置から左側の範囲は、およそ3文字から4文字分であり (McConkie & Rayner, 1976; Rayner, Well, & Pollatsek, 1980), 右側の範囲は、およそ15文字分であると考えられる (McConkie & Rayner, 1975; Rayner & Bertera, 1979; Rayner et al., 1980)。漢字仮名交じりで書かれている日本語の文章を読む場合、Ikeda

and Saida (1978) は、ウィンドウの大きさと読みの速度の関数関係から、10文字から17文字分を読みにおける知覚の範囲とした。Osaka (1992) は、7文字分と評価している。また、彼は漢字仮名交じり文章の他に、平仮名だけで書かれた文章を読むときの知覚の範囲も測定しており、その大きさは漢字仮名交じり文章のそれよりもやや小さい（5文字分）ことを確認している。

知覚の範囲の特徴として、注視位置を中心にとすると非対称の広がりをもつということがわかる。英語の場合は右側にかなり大きい。この非対称性は、言語の表記形式に依存している。たとえば、右から左へと表記されるヘブライ語を読むときの知覚の範囲は、左側に大きく (Pollatsek, Bolozky, Well, Rayner, 1981)、日本語の縦書き文章を読むときの知覚の範囲は、下方向に大きい (Osaka & Oda, 1991) という非対称性が確認されている。

知覚の範囲の大きさとサッカード距離を比べてみると、一般的に、知覚の範囲の方が大きいようである (c.f. Osaka, 1992)。この事実は、文章のほとんどの部分が二度以上有効視野の中に入っていることを意味する。上述の研究によって報告されている知覚の範囲の大きさは、視角に換算すると、およそ4°から10°であるので、その範囲内の大部分は近中心窩視によって見られていると考えられる。したがって、注視されている単語の次の単語は、近中心窩視（あるいは周辺視）によって何らかの前処理を受けていると推測できるであろう。

4. 読みにおける知覚の範囲で行われる情報処理

読みにおける知覚の範囲、すなわち有効視野の大きさは以上のように見積もられている。この大きさと、3.2で述べたような、生理学的構造の違いや心理物理学実験によって明らかとなっている視野内の視覚解像度の違いを考えると、読みにおける知覚の範囲に入る情報は、すべてが視覚解像度の高い中心窩視で処理されているわけではなく、視覚解像度が低い近中心窩視による処理も受けていることになる。したがって、知覚の範囲内のどこでも、等質な処理が行われているわけではない。では、この範囲内ではどのような

情報処理が行われているのであろうか。この節では、知覚の範囲で行われている情報処理について解説する。

4.1 中心窩視と近中心窩視による情報処理

中心窩視による情報処理は、停留位置の周囲 2.5° (片側) 程度の範囲内で行われる。眼が単語の中心やや左側に停留することが多いこと、中心窩視は視覚解像度が高いこと、サッカード距離が視角にすると平均 2° 程度であり、単語数ではほぼ1単語分になることから考えると、中心窩視による処理は、主に注視されている単語の同定に関わっていることが推測できる。一方、中心窩視の周りの近中心窩視はどうであろうか。知覚の範囲内では近中心窩視がカバーする部分の方が大きい。この近中心窩視が利用できないと読みのパフォーマンスが低下することを数多くの研究が示唆している (たとえば, Balota, Pollatsek, & Rayner, 1985; Blanchard, Pollatsek, & Rayner, 1989; Henderson & Ferreira, 1990; Ikeda & Saida, 1978; Inhoff, 1989; Lima, 1987; Osaka, 1992; Rayner, 1975; Rayner, Balota, & Pollatsek, 1986)。3.2 でも述べたように、近中心窩視によって、次の停留中に行われる処理に影響する何らかの前処理が行われている可能性が非常に高いと考えられる。また、中心窩視にある単語の同定が困難であると、近中心窩視での処理に対して抑制的な影響があることも知られている (Henderson & Ferreira, 1990)。つまり、近中心窩視が処理できる範囲は、中心窩視の情報処理の状態に依存していると考えられる。では、知覚の範囲における近中心窩視による情報処理とはいかなるものなのであろうか。すなわち、近中心窩視によって、どのような情報が獲得されているのであろうか。

4.2 眼球運動を決定する情報の処理：境界情報

読みにおける眼球運動の性質から、読み手は文章の中から単語をうまく見つけだし、そこに眼を移動させているようである。単語に眼をうまく移動させるには、次に移動する場所を適切に決めなければならない、このために必要な視覚情報を眼を移動させる前に獲得しておかなければならないはずであ

る。なぜなら、サッカード中にはサッカディック抑制という網膜像の感度の低下が起こるので、その間は視覚情報を獲得することができないと考えられるからである。単語を同定するために最適な位置は単語の中心付近であり、眼が次の単語の中心付近にうまく停留するためには、その単語の長さがわからなければならないであろう。実際に、次に注視される単語の長さがサッカード距離に関与していることも示されている (O'Regan, 1979; Rayner & Morris, 1992)。これらの研究では、次にある単語の長さが長ければ、その単語へのサッカード距離は長くなるということが確認されており、次の単語の長さが何らかの形で事前にわかっていることが考えられる。そして、単語の長さを知るための手がかりとしては、単語間にあるスペースの情報が考えられている。

Pollatsek and Rayner (1982) は、単語の境界に入るスペースの情報が読みには重要な役割を果たしていることを確認した。彼らは、被験者が注視した単語の右側にあるスペースに、無関係な文字を埋めて（つまり、単語の視覚的な境界情報をなくして）文章を呈示したときの読みの眼球運動を測定した。同時に、スペースを埋める時期をさまざまに遅延させた。彼らは、本来スペースがあるはずの単語の間に文字が埋められると、読む速度が遅くなるが、スペースを埋める遅延時間が 50 ミリ秒以上になると、読む速度は統制条件と同じになることを見いだした。また、単語間のスペースを埋める刺激の視覚的特徴を変えて（数字、文字、格子 (grating)）、同様の実験を行った。結果は、空白部分を多く含んだ格子で単語間が埋められたときには、読む速度が遅くならないことを示した。以上の結果は、注視されている単語の次にある空白の情報は、近中心窩視によって、単語の注視が始まってから 50 ミリ秒以内に獲得され、この情報が獲得されないと、効率よく読むことができないということを示唆している。また、単語間を埋める視覚刺激が文字や格子のときには読む速度が遅くなるが、空白部分を多く含んだ格子では読む速度は遅くならないという事実から、単語の境界情報として獲得される視覚的情報は、空間周波数成分の高低のような低次の視覚情報であるということが考えられる。したがって、視覚解像度が低い近中心窩視によっても十分に処理

できる視覚情報であろう。

Morris, Rayner, and Pollatsek (1990) もほぼ同様の結果を確認している。さらに、彼らは、埋め込み刺激の呈示遅延時間と停留時間の関係は、遅延時間とサッカード距離の関係とは異なる関数関係であることを報告している。停留時間は注視の 50 ミリ秒以内に獲得される情報にしか影響を受けないが、サッカード距離は、停留時間のどの段階でも影響を受けるようである。彼らはこの結果を、停留時間とサッカード距離を決めるメカニズムは独立に働いており、停留時間、すなわち、“いつ”眼を動かすかという決定が中心窩視で獲得される単語の語彙的情報にもとづき、サッカード距離、すなわち、“どこへ”眼を動かすかという決定が近中心窩視で獲得された低次の視覚情報で特定できる単語の境界にもとづいていることを示す証拠であると結論している (Rayner & Pollatsek, 1989 も参照)。

単語の長さの情報に乏しい日本語の場合は、英語のような単語の視覚的境界情報がどのように獲得されているのであろうか。2.1 で述べたように、日本語では、平仮名語に比べて漢字語に対する注視が多く起こることが知られている (神部, 1986a, b; Osaka, 1989)。神部 (1986a, b) は、次の注視点の位置を決定するために、漢字、片仮名、平仮名部分の存在とその位置を、サッカードを起す前に知覚すると述べている。また、斎田 (1990) は、知覚の範囲内で漢字を明確に捉えている範囲と漢字の存在位置のみを検出している領域とを分離する実験を行った。彼は、知覚の範囲の大きさは 12 文字であり、この範囲が少なくとも漢字を明確に読み取っている 7 文字分の領域と漢字の位置情報を検出している 5 文字分の領域の 2 つに分類することができることを見いだしている。

4.3 次に注視される単語の認知への影響

知覚の範囲内の近中心窩視では、単語の境界情報のような比較的低次の視覚情報だけではなく、それよりもより高次の情報は獲得されているのであろうか。

知覚の範囲で処理されている情報について調べるための方法の一つに境界

法(boundary technique)がある(Figure 4を参照)。この方法でも、ムーヴィング・ウィンドウ法と同様に、眼球運動の測定装置と文章を呈示するディスプレイとの同期がとられており、読み手の眼球運動に応じて文章が呈示される仕組みになっている。文中の特定位置の語を基本語(base word, たとえば, chest)としておく。この基本語を他の単語や文字列(プレビュー項目, preview item, たとえば, chart)にあらかじめ入れ換えておく。被験者がこの文を読んでいく途中で、プレビュー項目の左側の境界(仮想的に設定されているだけで実際に見えるわけではない。たとえば, heavy の v の位置)をサッカードして通過すると、それを眼球運動測定装置が検知して、サッカード中にプレビュー項目が基本語に戻される。サッカード中はサッカディック抑制が働くので、被験者はその変化に気づくことはない。プレビュー項目と基本語の関係を操作することによって、基本語に対する停留時間に変化が認められれば、被験者が近中心窩視でプレビュー項目から何らかの情報を獲得していると考える。また、仮想的境界とプレビュー項目(あるいは、基本語)の位置関係を操作することによって、知覚の範囲のどのあたりでどのような情報が獲得されているかを調べることもできる。

この方法を考案した Rayner (1975) は、近中心窩視から獲得される情報として文字情報、語形情報、語彙情報を想定し、それらを確認するための実験を行った。基本語の語形を保つか否か、および、最初と最後の文字を一致させるか否かによって基本語を変形させた単語および非単語を作成し、基本語(あるいはプレビュー項目)の位置と仮想的境界位置をさまざまに変えることによって、近中心窩視の位置による情報処理の違いを検討した。彼は、語形情報や文字情報という視覚的情報が注視点の右側 7 文字から 12 文字の範囲であれば獲得され、6 文字以内であれば単語と非単語の区別が可能であると結論した。つまり、知覚の範囲では、その空間的位置によって処理されている情報が異なっている。単語と非単語が区別されている可能性が示唆されているので、語彙的情報の関与が考えられるが、その区別が具体的にどのような情報にもとづいているかは不明である。彼の見解では、語彙的情報のうちの意味情報が処理されているわけではないとしている。

Rayner(1975)の結果は、読みにおける知覚の範囲では、近中心窩視によって、次の単語の語形情報や文字情報といった視覚的情報と何らかの語彙的情報(単語と非単語の区別)が獲得されている可能性を示している。そして、獲得された情報は、次の単語の処理に利用されていると考えられる。次に、処理される情報の種類別に研究を紹介する。

文字情報 Rayner (1975) で示唆されたように、近中心窩視で文字情報が処理され次に注視される単語の処理に利用されるということを示した研究は数多くある。たとえば、Rayner, McConkie and Zola (1980) は、被験者に、近中心窩に呈示された単語(プレビュー語)にサッカードさせ、そのサッカード中にプレビュー語に代わって呈示される単語(基本語)を音読させるという実験を行った。彼らは、プレビュー語と基本語の最初の2, 3文字が同じ場合、音読潜時が短くなるということを見いだした。また、この促進効果は、プレビュー語と基本語で共有される文字の種類(大文字と小文字)が異なっても保持されることを確認した。これらの結果をもとに、彼らは、近中心窩視では単語の先頭2, 3文字の情報が、単なる視覚的情報ではなく、より抽象的な文字情報として獲得され、次に注視される単語処理に利用されると結論している(McConkie & Zola, 1979 も参照)。同様の結果が、より通常の読みに近い状況においても確認されている。すなわち、ムーヴィング・ウィンドウ法(Rayner, Well, Pollatsek, & Bertera, 1982)や境界法(Balota, Pollatsek, & Rayner, 1985)によって得られた眼球運動データも、近中心窩視では次の単語の2, 3文字の情報が獲得されるということを示している。

音韻情報 視覚的に呈示された単語の認知に音韻情報が関与しているか、という議論はこれまでに数多く見られる。この議論のもとになる研究の多くは、単独の単語を用いて行われている。視覚的単語の認知に音韻情報がどのように関与しているかを説明する仮説には、大きく分けて3種類がある。第一に、音韻情報は全く関与しないとする立場、すなわち、単語の形態情報のみによって語彙アクセスが起こるという仮説である(たとえば、Humphreys & Evett, 1985)。第二は、音韻情報が必ず関与し、それをもとにして語彙アクセスが起こると考える立場である(たとえば、Lukatera &

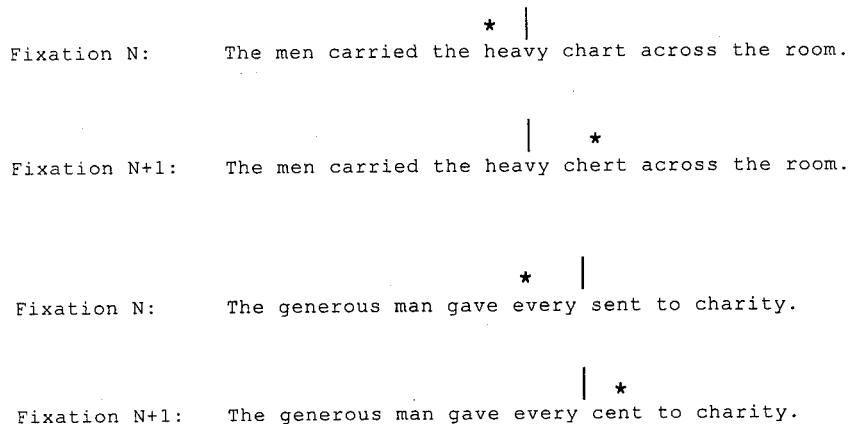


Figure 4. 境界法の例。上段の2文は heavy の v に仮想的な境界がある。アスタリスクは、被験者の注視している位置を示している。縦線は仮想的な境界を示している。Fixation Nにおいて被験者の眼は heavy の h 上にある。サッカードが起こり、眼が仮想的境界の上を越えると、プレビュー語である chart は元の単語（基本語）chert に置き換えられる。Fixation N+1 では、chert 上の e に停留している。プレビュー語と基本語は、先頭の2文字が同じで、かつ発音も同じ条件である。下段の2文は every とプレビュー語あるいは基本語の間に仮想的な境界がある。Fixation Nにおいて被験者の眼は every の e 上にある。サッカードが起こり、仮想的境界を越えると、プレビュー語である sent は基本語 cent に置き換えられる。Fixation N+1 では、cent 上の n に停留している。プレビュー語と基本語は先頭の文字は同じであるが、発音が同じ条件である (Pollatsek et al., 1992)。

Turvey, 1991 ; Perfetti, Bell, & Delaney, 1988 ; Van Orden, Pennington, & Stone, 1990)。この考えにしたがえば、文字と音との対応規則を利用してまず単語の音韻表象がつくられ、それをもとに語彙アクセスが起こる。第三は、形態情報と音韻情報の両方が関与するという二重経路仮説 (dual-route theory) である (たとえば, Carr & Pollatsek, 1985 ; Coltheart, 1978 ; Coltheart, Curtis, Atkins, & Haller, 1993)。この考えにしたがえば、単語は主に形態情報をもとに語彙アクセスが実行される処理経路 (addressed rote と呼ばれる) を経て処理されるが、単語の音韻表象が一度つくられ、そ

れをもとに語彙アクセスが実行される処理過程 (assembled route と呼ばれる) を経て処理されることもある。これらのどの仮説が最も妥当かは議論がなされているところであるが (たとえば, Patterson, 1990; Patterson & Coltheart, 1987 を参照), 視覚的に呈示された単語の認知に何らかの形で音韻情報が関わっていることを示唆する証拠は数多く報告されている。たとえば, 漢字は, その綴りと音とが必ずしも一対一に対応していない文字である。すなわち, 一つの漢字に複数の発音があり, 文脈によって発音が変わることもある。したがって, 文字と音との対応規則を利用して文字を音に変換するような処理過程が働くとは考えにくく, 漢字処理過程での音韻情報は, 一度語彙アクセスが起こってから関与すると考えられてきた (たとえば, 野村, 1981; 斎藤, 1981)。しかしながら, 最近では, 漢字の処理にも形態情報とは独立に音韻情報が関与していることを示唆するデータが報告されてきている (Sasanuma, Sakuma, & Kitao, 1992; Wydell, Patterson, & Humphreys, 1993)。したがって, 視覚的単語の認知過程にも, 何らかの音韻情報の関与があることは間違いないであろう。

読書時には, 音韻情報が文字情報の他に, 近中心窩視で同時に獲得されているのではないかという議論もある。たとえば, Rayner McConke, and Zola (1980) で使われた基本語とプレビュー語で共通の文字は, 同時に共通の音韻も含んでいるので, 彼らの結果には, 文字情報という視覚的情報だけではなく, 音韻情報も関与している可能性がある。Pollatsek, Lesch, Morris, and Rayner (1992) は, 音読課題と境界法を用いて, プレビュー語と基本語の音韻的類似性と視覚的類似性を操作し, プレビュー語による基本語に対する促進効果を検討した。音韻的類似性はプレビュー語と基本語に同音語を使用することによって, 視覚的類似性はプレビュー語と基本語で共通している文字数によって操作した。彼らは, プレビュー語の音韻情報が基本語の音読潜時や停留時間に対して促進的效果をもつことを確認したが, この効果は, プレビュー語と基本語の先頭の数字文字が同じときに限られていた。彼らは, プレビュー語と基本語が視覚的に類似している場合であれば音韻情報の効果が認められることを示したわけである。したがって, 近中心窩視によって獲得さ

れる音韻情報は、単語認知過程では補足的に働いているのかもしれない。最近では、Henderson, Dixon, Petersen, Twilley, and Ferreira (1995) が語彙性判断課題を使用して、近中心窩視による音韻情報の獲得を示唆する実験データを報告している。彼らは、音韻情報は低頻度語の処理で利用され、高頻度語については、音韻情報よりもむしろ正書法的情報が利用され、その情報の獲得が近中心窩視で自動的に行われているようであると考察している。また、単語認知過程においては、音韻情報が語彙アクセスの後に影響を及ぼすということが、同音異義語を含んだ文章を読むときの眼球運動のパターンを分析することによって示唆されている (Daneman, Reingold, & Davidson, 1995)。

これらの知見から、音韻情報が読書時の単語認知過程に何らかの形で関与していることは間違いないであろう。一つの可能性として、音韻情報が近中心窩視で獲得されるとしても、単語認知過程には補足的に働いたり、その作用には時間的な遅延があるということが推測できる。

意味情報 近中心窩視において、注視されている単語の次にくる単語の意味的な情報が前処理されているか、という議論がある。

4.2 では、次の単語で眼が停留する位置は次の単語の長さをもとにして計算されているようであり、その計算は、低次の視覚情報を近中心窩視で獲得することによって実現されるという実験的証拠をいくつか紹介した。一方で、視覚情報とは異なる情報の処理によって停留位置を決定するメカニズムを考えている研究者たちもいる (たとえば、Hyönä, Niemi, & Underwood, 1989; Underwood, Clews, & Everatt, 1990)。彼らは、単語の中の中央やや左 (preferred viewing location) に眼が停留しやすいという知見とは異なる実験データを報告している。Underwood et al. (1990) は、単語を構成する前半部分と後半部分の文字列の情報量に違いがあることに注目した。ここで情報量が多い文字列とは、たとえば、injunction の injunc のように、その文字列から単語の候補を絞り込むことができる文字列のことである。つまり、その文字列をもつ単語の数が非常に少ない。一方、情報量の少ない文字列とは、たとえば、injunction の tion のように、その文字列からだけでは単語の候補

を絞り込むことができない文字列のことである。つまり、その文字列をもつ単語の数は非常に多い。彼らは、情報量の多い文字列が単語の前半あるいは後半部分にある単語を用意した。そして、その単語が含まれている文を被験者に読ませ、その単語内の停留位置を分析した。彼らの結果は、後半部分に情報量が多い文字列がある単語での停留位置は、通常よりも右側になる傾向があることを示していた。彼らは、この結果を、被験者が意味的に情報量が多い部分へサッカードしようとした結果と考えた。そして、近中心窩視では意味的な情報が獲得され、その情報をもとにサッカード距離が決定されると解釈している。

しかしながら、Keith Rayner と彼の共同研究者たちによる研究では、近中心窩視による意味情報の前処理は否定されている。Rayner and Morris (1992) は、Underwood et al. (1990) と全く同じ材料と手続きによって実験を行ったが、Underwood et al. の結果を再現することはできなかった。逆に、“preferred viewing location” に眼が停留しやすいという結果が再現された。また、Rayner, Balota and Pollatsek (1986) は、境界法で、プレビュー語と基本語の意味的関連性を操作したが、やはり、近中心窩視での意味情報処理を支持する結果は得られなかった(たとえば、基本語 song と意味的関連があるプレビュー語として tune を呈示しても、基本語に対する停留時間に促進効果は認められなかった)。したがって、眼が停留する単語上の位置は、近中心窩視によって獲得される情報によって決まるが、その決定は、意味情報のような高次の情報ではなく、低次の視覚情報に依存していると結論している。

近中心窩視による意味情報処理に否定的な見解は、近中心窩視において意味的最小単位である形態素の処理が関与していないことを示した研究にも見られる。たとえば、Lima (1987) は、近中心窩視での接頭辞 (prefix) の処理を、境界法を用いて検証した。プレビュー語として基本語と同じ接頭辞をもつ単語と擬接頭辞 (pseudoprefix) をもつ単語を用意し、プレビュー語の接頭辞の効果を調べたが、その効果は認められなかった。また、Inhoff (1989) は、ムーヴィング・ウィンドウ法によって、複合語 (compound word) を構成する単語が近中心窩視では処理されないということを報告している。

近中心窩視による意味情報の関与に関する最近の研究の中には、Underwood たちの見解と Rayner たちの見解の折衷案的見解を示すものがある。Hyönä (1995) は、Underwood et al. (1990) や Rayner and Morris (1992) で使用されたような単語を使用して眼球運動を分析した。単語の前半部分に情報量の多い文字列があるときには、停留位置は preferred viewing location よりも前になるが、後半部分に情報量の多い文字列があっても停留位置は単語の後半に偏らないことを確認している。Doré and Beauvillain (1997) も同様の結果を報告している。彼女はこの結果から、近中心窩視で正書法的に不規則な文字列を見つけたときだけ、preferred viewing location よりも前方にサッカードが修正されると考察している。つまり、近中心窩視では意味情報までは獲得されないが、文字情報をもとにした正書法的規則性までは処理されている可能性があると考えている研究者もいるわけである。

5. 読書時の単語認知と眼球運動のモデル

読みが効率よく進むためには、眼が単語に順々に停留していく必要がある。このためには単語認知のメカニズムと眼球運動をコントロールするメカニズムがダイナミックに相互作用している必要がある。眼球運動をコントロールするメカニズムは少なくとも2つのことを決定しなければならない。すなわち、“いつ” 次の単語へサッカードするのか、“どこへ” サッカードするのかということを決定しなければならないのである。前者は、停留時間に、後者はサッカード距離に反映されると考えられる（詳しくは、Rayner & Pollatsek, 1987, 1989 を参照）。

Morrison (1984) は、読みにおける単語認知と眼球運動の停留時間を決めるメカニズムの関係についてのモデルを提案した。このモデルは、単語への停留時間を説明している。特に、平均停留時間よりも非常に短い停留が起きることや単語がとばされるという現象も説明できる。彼のモデルには、単語ごとに注意の移動 (attentional shift) が起こり、その場所に眼が移動することが仮定されている。注視されている単語の処理が終了すると、注意が基本

的には次の単語に移動し、これにしたがってサッカードが起こる。したがって、“いつ” サッカードを開始するかは説明できるが、“どこへ” 移動するかを説明してはいない。また、モデルの問題点として、戻り運動や同じ単語へ再び停留するという現象を説明できないことが指摘されている (Henderson & Ferreira, 1990; Rayner & Pollatsek, 1989)。

Henderson and Ferreira (1990) は、中心窩視での処理が困難になると、近中心窩視から得られる情報による促進効果が減少することを報告している。彼らは、この結果を Morrison (1984) のモデルでは説明できないことを指摘している。つまり、Morrison のモデルにしたがえば、近中心窩視で獲得される情報量は常に一定なのである。この場合、同じ単語の上に二度停留が起こることがあることをうまく説明できない。彼らは、処理時間に上限を設けることによって、注視されている単語の処理が困難であるときに一度その処理が中止され、再び同じ単語の処理が実行されるというメカニズムを付加し、同じ単語へ再び停留する現象を説明した。

Morrison (1984) および Henderson and Ferreira (1990) のモデルは、注意という高次の認知的メカニズムを仮定して単語への停留時間を説明している。しかしながら、このような認知的メカニズムを仮定せずに同じ現象を説明するモデルもある。O'Regan (1990) は、“strategy-tactics model” を提案した。このモデルでは、次のような方略が眼球運動をコントロールしていると説明している。すなわち、眼は低次の視覚情報（低空間周波数）を手がかりとして、次の単語の “optimal viewing location” に向かって移動し、もし、“optimal viewing location” に停留できなかったら、その単語の終わりの付近に再度停留するという方略である。彼のモデルは、注意という認知的メカニズムを仮定していない点が特徴といえる。

Reilly (1993) は、Henderson and Ferreira (1990) が修正を加えた Morrison (1984) のモデルをコネクションストモデルとして計算機上に実装した。彼のモデルは、隠れ層 (hidden layer) をもつ 3 層構造のフィードフォワードネットワークを構成しており、逆活性伝播学習 (back propagation learning) の学習アルゴリズムをもっている。このモデルでは、網膜から入力される視覚

情報から単語を同定し、注意を次の単語へ移動させるネットワークと、同じく網膜から入力される視覚情報からサッカードをプログラミングし、停留点を移動させるネットワークがダイナミックに相互作用するような構造になっている。前者のネットワークは、入力ユニット (input unit) が 26×20 の行列で表現されており、それぞれ文字の視覚情報と網膜位置での解像度の高低に対応している。入力ユニットからの情報は語彙的符号化を行う隠れユニットに結合している。ここから出力ユニット (output unit) への出力が単語の同定に対応する。単語の同定によって注意の移動が可能な状態となる。後者のネットワークは、網膜位置に対応する 20 ユニットから比較的低次の情報だけが入力される。この情報をもとにサッカード距離が隠れユニットで計算され、停留点の移動位置が出力される。注意と停留点の移動に伴って新しい視覚情報が入力ユニットに入力される。注意のメカニズムは、注意の向いていないユニットの活性値に 0.25 の重みをかけることによって実現されている。さらに、処理の時間的特性も考慮されている。このモデルは、停留時間とサッカード距離がダイナミックに相互作用をもちながら決定されていくという、読みにおける単語認知と眼球運動の関係が計算機上に実装されたことが特徴といえる。

計算機上に実装された他のモデルに、Legge, Klitz, and Tjan (1997) が提案した Mr. Chips がある。彼らは、読みの過程を、視覚情報を語彙的知識と眼球運動制御に統合する過程であると考え、この統合過程のモデル化を試みた。このモデルは、文章をできるだけ少ない停留数で読むように動作する。この基本アルゴリズムは、知覚の範囲¹から入力される視覚情報と、Mr. Chips がもっている語彙的知識、すなわち、辞書 (lexicon) の情報から、次の単語を同定するのに最も確実性が高くなるようなサッカードを実行する、というものである。視覚情報の入力、中心窩視と近中心窩視に対応するように、視覚解像度の違いで 2 種類に区別されている。中心窩視の部分では、文字が同定されるが、近中心窩視の部分では、文字の有無と空白の有無だけ

1 彼らは visual span と呼び、厳密には知覚の範囲とは区別している。

が弁別されるようになっており、文字は同定されない。ここで獲得される視覚的情報は、主に、注視されている単語の文字と次の単語の長さについてである。これらの情報と、語彙的知識を参照することによって、注視されている単語を同定し、また、次の単語を同定するのに最も有効な長さのサッカード距離を決定する。つまり、単語の長さという視覚情報だけを手がかりとしてサッカードが決まるのではなく、常に、語彙的知識からの情報も利用され、それらの相互作用によってサッカード距離が決定されている。

Mr. Chips は、網膜から得られる視覚情報の特性を考慮し、上述した単純なアルゴリズムによって、さまざまな実験データのシミュレーションに成功している。具体的には、単語内での停留位置の分布、停留されない単語の割合、読みにおける近中心窩視の役割を説明できている。また、低視力 (low vision) の患者の読みにおける眼球運動² もシミュレートしている。低視力者は網膜上の暗点 (scotoma) によって視力が低下している。Mr. Chips では、この状態を知覚の範囲に解像度の低い部分をつくることで実現しただけで、実験データと同じ振る舞いが確認されている。したがって、視覚情報処理能力の低下が読みにはかなり大きな障害をもたらしていることが証明されたと考えられる。もちろん、モデルのパフォーマンスは、視覚情報だけに依存しているわけではない。文脈情報が多いほど、視覚情報への依存度は相対的に低くなるという文脈効果も確認されている。

Mr. Chips の問題点は、Legge et al. (1997) 自身も指摘しているように、処理の時間的側面が実現されていない点である。したがって、サッカードの方向や距離、頻度などはシミュレートできるが、停留時間はうまくシミュレートできない。

しかしながら、彼らのモデルは、単純なアルゴリズムだけでかなりの実験データを説明でき、読みの過程を網膜上から得られる視覚情報を語彙的知識と眼球運動制御に統合する過程として表現していると考えられる。また、実際に被験者として実験に参加してもらうことが難しい低視力の患者の振る舞

2 低視力者の眼球運動に関しては、柿沢 (1993) が詳しい。

いを予測することができるので、モデルにおいて障害のパターンを変えることによって、予測した読みのメカニズムを確認することが可能となると考えられる。

6. おわりに

本稿では、読書時の単語認知過程について、眼球運動を指標とした研究を中心に概観し、主に読書時の単語認知過程における時間的特性と空間的特性に関する知見を整理した。読書時には、単語は平均 250 ミリ秒程度の時間、注視されている。注視された単語を同定するのに必要な視覚情報は、主に網膜中心付近の中心窩視によって獲得され、その単語が符号化される。これに要する時間はおよそ 100 ミリ秒ほどであり、他の時間は次のサッカードをプログラミングする時間やサッカードの実行命令を伝達する時間であると考えられる。同時に、中心窩視の周りの近中心窩視でも重要な処理が行われている。たとえば、空間周波数の高低によって弁別が可能な、単語の境界情報といった低次の視覚情報が獲得され、この情報によってサッカード距離が決定される。また、視覚情報だけではなく、文字情報や音韻情報が獲得されていることも示唆されている。語彙的信息も眼球運動にダイナミックに関与していると考えられる。たとえば、文脈から予測しやすい単語は読み飛ばされやすいという知見は、語彙的信息が眼球運動に影響する一例であり、必ずしも視覚情報だけがサッカード距離を決定しているわけではないことを示唆している。本稿では詳しく取り上げなかったが、単語の出現頻度といった語彙的信息 (Inhoff & Rayner, 1986)、統語的信息 (Frazier & Rayner, 1982)、文脈効果 (Balota et al., 1985) と眼球運動の関係を調べた研究もある。

しかしながら、これらの研究は、本稿で概観した成果に比べると、十分とはいえないのが現状である。また、これまでに解明された知見を統合的に説明しようという試みはほとんどない。読みの過程を構成する主要なメカニズムを、視覚情報処理過程と、語彙的知識、統語規則、語用論的知識などが関与する言語処理過程と、眼球運動制御過程の 3 つであると考えてみる。この

3つのメカニズムに関する研究成果は、それぞれ数多くある。しかしながら、Legge et al. (1997) が指摘しているように、読みの過程を、視覚情報を語彙的知識と眼球運動制御に統合する過程ととらえるのであれば、これまで得られてきた知見を統合的に説明する必要がある。この読みの過程の統合的な説明する一つの試みとして、5節で紹介した、読みの過程のモデル化を位置づけることができるであろう。

今後は、実験的研究によって、低次の視覚情報処理過程と高次の認知過程とのダイナミックな相互作用を明らかにし、読みの過程を構成する主要な3つのメカニズム、すなわち、視覚情報処理過程、高次の言語処理過程、眼球運動制御過程を統合的に説明できるモデルを提案し、さらに、そのモデルを計算機上で実装することが望まれる。

文 献

- 阿部純一・桃内佳雄・金子康朗・李 光五 (1994) 人間の言語情報処理 —— 言語理解の認知科学 —— サイエンス社。
- Adams, M. J. (1979). Models of word recognition. *Cognitive Psychology*, 11, 133-176.
- Anstis, S. M. (1974). A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. *Vision Research*, 14, 589-592.
- Balota, D. A. (1994). Visual word recognition: The journey from features to meaning. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp.303-358). London: Academic Press.
- Balota, D. A., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology*, 17, 364-390.
- Blanchard, H. E., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1989). The acquisition of parafoveal word information in reading. *Perception and Psychophysics*, 46, 85-94.

- Bouma, H., & deVoogd, A. H. (1974). On the control of eye saccades in reading. *Vision Research*, 14, 273-284.
- Carr, T. H., & Pollatsek, A. (1985). Recognizing preprinted words: A look at current model. In D. Besner, T. G. Waller, & E. MacKinnon (Eds.), *Reading research: Advances in theory and practice* (Vol.5, pp.1-82). London: Academic Press.
- 中條和光・納富一宏・石田敏郎 (1993) 横スクロール表示の読みの速度に及ぼす文字数の効果 心理学研究, 64, 360-368.
- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Ed.), *Strategies of information processing* (pp.151-216). London: Academic Press.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed processing approaches. *Psychological Review*, 100, 589-608.
- Crowder, R. G., & Wagner, R. K. (1992). *The psychology of reading: An introduction* (2nd Ed.). New York: Oxford University Press.
- Daneman, M., Reingold, E. M., & Davidson, M. (1995). Time course of phonological activation during reading: Evidence from eye fixations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 884-898.
- Doré, K., & Beauvillain, C. (1997). Latency dependence of word-initial letter integration by the saccadic system. *Perception and Psychophysics*, 59, 523-533.
- Ehrlich, S. F., & Rayner, K. (1981). Contextual effects on word perception and eye movements during reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20, 641-655.
- Frazier, L., & Rayner, K. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: Eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, 14, 178-210.

御領 謙 (1987) 読むということ 東京大学出版会.

Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 417-429.

Henderson, J. M., Dixon, P., Petersen, A., Twilley, L. C., & Ferreira, F. (1995). Evidence for use of phonological representations during transsaccadic word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 82-97.

Henderson, L. (1987). Word recognition: A tutorial review. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp.171-200). Hove: Lawrence Erlbaum Associates.

Humphreys, G. W., & Evett, L. J. (1985). Are there independent lexical and nonlexical routes to word processing? *Behavioral and Brain Sciences*, 8, 689-740.

Hyönä, J. (1995). Do irregular letter combinations attract readers' attention? Evidence from fixation locations in words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 68-81.

Hyönä, J., Niemi, P., & Underwood, G. (1989). Reading long words embedded in sentences: Informativeness of word halves affects eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 142-152.

Ikeda, M., & Saida, S. (1978). Span of recognition in reading. *Vision Research*, 18, 83-88.

Inhoff, A. W. (1989). Lexical access during eye fixations in reading: Are word access codes used to integrate lexical information across inter-word fixations? *Journal of Memory and Language*, 28, 444-461.

Inhoff, A. W., & Rayner, K. (1986). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: Effects of word frequency. *Perception and*

Psychophysics, 40, 431-439.

Ishida, T., & Ikeda, M. (1989). Temporal properties of information extraction in reading studied by a text-mask replacement technique. *Journal of Optical Society of America A*, 6, 1624-1632.

Kaketa, K., & Abe, J. (1996). The rate and the span in reading. *International Journal of Psychology*, 31 (3/4) *Abstracts of the XXVI International Congress of Psychology*, 87.

柿沢敏文 (1993) 低視力と眼球運動 苧阪良二・中溝幸夫・古賀一男 (編) 眼球運動の実験心理学 (pp.263-284) 名古屋大学出版会.

神部尚武 (1986a) 読みの眼球運動と読みの過程 国立国語研究所報告 85, 研究報告集, 7, 29-66.

神部尚武 (1986b) 漢字仮名まじり文の読みの過程 日本語学, 5, 58-71.

Legge, G. E., Klitz, T. S., & Tjan, B. S. (1997). Mr. Chips: An ideal-observer model of reading. *Psychological Review*, 104, 524-553.

Legge, G. E., Pelli, D. G., Rubin, G. S., & Schleske, M. M. (1985). Psychophysics of reading-I: Normal vision. *Vision Research*, 25, 239-252.

Lima, S. D. (1987). Morphological analysis in sentence reading. *Journal of Memory and Language*, 26, 84-99.

Lukatara, G., & Turvey, M. T. (1991). Phonological access of the lexicon: Evidence from associative priming with pseudohomophones. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 951-966.

松田真幸 (1990) 有効視野の視点からみた近中心窩視情報処理 心理学評論, 33, 159-180.

McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception and Psychophysics*, 17, 578-586.

McConkie, G. W., & Rayner, K. (1976). Asymmetry of the perceptual span in reading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 8, 365-368.

- McConkie, G. W., Underwood, N. R., Zola, D., & Wolverton, G. S. (1985). Some temporal characteristics of processing during reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 168-186.
- McConkie, G. W. & Zola, D. (1979). Is visual information integrated across successive fixations in reading? *Perception and Psychophysics*, 25, 221-224.
- Morris, R. K., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1990). Eye movement guidance in reading: The role of parafoveal letter and space information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 268-281.
- Morrison, R. E. (1984). Manipulation of stimulus onset delay in reading: Evidence for parallel programming of saccades. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 667-682.
- Morrison, R. E., & Rayner, K. (1981). Saccade size in reading depends upon character spaces and not visual angle. *Perception and Psychophysics*, 30, 395-396.
- Newman, E. B. (1966). Speed of reading when the span of letters is restricted. *American Journal of Psychology*, 79, 272-278.
- 野村幸正 (1981) 漢字, 仮名表記語の情報処理 — 読みに及ぼすデータ駆動型処理と概念駆動型処理の効果 — 心理学研究, 51, 327-334.
- O'Regan, J. K. (1979). Eye guidance in reading: Evidence for the linguistic control hypothesis. *Perception and Psychophysics*, 25, 501-509.
- O'Regan, J. K., & Jacobs, A. M. (1992). Optimal viewing position effect in word recognition: A challenge to current theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 185-197.
- O'Regan, J. K., Levy-Schoen, A., & Jacobs, A. M. (1983). The effect of visibility on eye-movement parameters in reading. *Perception and Psychophysics*, 34, 457-464.

- Osaka, N. (1989). Eye fixation and saccade during kana and kanji text reading: Comparison of English and Japanese text processing. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 27, 548-550.
- Osaka, N. (1992). Size of saccade and fixation duration of eye movements during reading: psychophysics of Japanese text processing. *Journal of Optical Society of America A*, 9, 5-13.
- 荻阪直行 (1994) 周辺視 大山 正・今井省吾・和気典二 (編) 新編感覚知覚ハンドブック (pp.923-930) 誠信書房.
- Osaka, N., & Oda, K. (1991). Effective visual field size necessary for vertical reading during Japanese text processing. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29, 345-347.
- Osaka, N., & Oda, K. (1994). Moving window generator for reading experiments. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 26, 49-53.
- 荻阪良二・中溝幸夫・古賀一男 (編) (1993) 眼球運動の実験心理学. 名古屋大学出版会.
- Patterson, K. E. (1990). Basic processes of reading: Do they differ in Japanese and English? *Japanese Journal of neuropsychology*, 6, 4-14.
- Patterson, K., & Coltheart, V. (1987). Phonological processes in reading: A tutorial review. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp.421-447). Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Perfetti, C. A., Bell, L., & Delaney, S. (1988). Automatic phonetic activation in silent word reading: Evidence from backward masking. *Journal of Memory and Language*, 27, 59-70.
- Pollatsek, A., & Rayner, K. (1982). Eye movement control in reading: The role of word boundaries. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 817-833.
- Pollatsek, A., Bolozky, S., Well, A. D., Rayner, K. (1981). Asymmetries

- in the perceptual span for Israeli readers. *Brain and Language*, 14, 174-180.
- Pollatsek, A., Lesch, M., Morris, R. K., & Rayner, K. (1992). Phonological codes are used in integrating information across saccades in word identification and reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 148-162.
- Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7, 65-81.
- Rayner, K. (1979). Eye guidance in reading: Fixation locations within words. *Perception*, 8, 21-30.
- Rayner, K., Balota, D. A., & Pollatsek, A. (1986). Against parafoveal semantic preprocessing during eye fixations in reading. *Canadian Journal of Psychology*, 40, 473-483.
- Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science*, 206, 468-469.
- Rayner, K., Carlson, M., & Frazier, L. (1983). The interaction of syntax and semantics during sentence processing: Eye movements in the analysis of semantically biased sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 358-374.
- Rayner, K., Inhoff, A. W., Morrison, R. E., Slowiaczek, M. L., & Bertera, J. H. (1981). Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 167-179.
- Rayner, K., & McConkie, G. W. (1976). What guides a reader's eye movements? *Vision Research*, 16, 829-837.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Zola, D. (1980). Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology*, 12, 206-226.
- Rayner, K., & Morris, R. K. (1992). Eye movement control in reading: Evidence against semantic preprocessing. *Journal of Experimental*

- Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 163-172.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1987). Eye movements in reading: A tutorial review. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp.327-362). Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The Psychology of Reading*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Rayner, K., Well, A. D., & Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the effective visual field in reading. *Perception and Psychophysics*, 27, 537-544.
- Rayner, K., Well, A. D., Pollatsek, A., & Bertera, J. H. (1982). The availability of useful information to the right of fixation in reading. *Perception and Psychophysics*, 31, 537-550.
- Reilly, R. (1993). A connectionist framework for modeling eye-movement control in reading. In G. d'Ydewalle, J. Van Rensbergen (Eds.), *Perception and cognition: Advances in eye movement research* (pp.193-212). Amsterdam: North-Holland.
- Russo, J. E. (1978). Adaptation of cognitive processes to the eye movement system. In J. W. Senders, D. F. Fisher, & R. A. Monty (Eds.), *Eye movements and the higher psychological functions* (pp.89-112). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- 斎田真也 (1990) 読書時の周辺視野の役割 — 漢字位置情報 — 日本人間工学会誌特別号 (第 31 回大会講演集), 26, 238-239.
- 斎田真也 (1993) 読みと眼球運動 苧阪良二・中溝幸夫・古賀一男 (編) 眼球運動の実験心理学 (pp.168-197) 名古屋大学出版会.
- 斎田真也 (1994) 視野 大山 正・今井省吾・和気典二 (編) 新編感覚知覚ハンドブック (pp.918-923) 誠信書房.
- 斎藤洋典 (1981) 漢字と仮名の読みにおける形態的符号化及び音韻的符号化の検討 心理学研究, 52, 266-273.

- Salthouse, T. A., & Ellis, C. L. (1980). Determinants of eye-fixation duration. *American Journal of Psychology*, 93, 207-234.
- Sasanuma, S., Sakuma, N., & Kitao, K. (1992). Reading kanji without semantics: Evidence from a longitudinal study of dementia. *Cognitive Neuropsychology*, 9, 465-486.
- Underwood, G., Clews, S., & Evarett, J. (1990). How do readers know where to look next? Local information distributions influence eye fixations. *The quarterly Journal of Experimental Psychology*, 42A, 39-65.
- Van Orden, G. C., Pennington, B. F., & Stone, G. O. (1990). Word identification in reading and the promise of subsymbolic psycholinguistics. *Psychological Review*, 97, 488-522.
- Vitu, F., O'Regan, J. K., & Mittau, M. (1990). Optimal landing position in reading isolated words and continuous text. *Perception and Psychophysics*, 47, 583-600.
- Wydell, T. N., Patterson, K. E., & Humphreys, G. W. (1993). Phonologically mediated access to meaning for Kanji: Is a rows still a rose in Japanese Kanji? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 491-514.