

移動窓法(moving window)による読み(reading)の研究

菅阪直行

京都大学・文学部・心理学研究室

リアルタイムで眼球運動座標をシステムにフィードバックすることにより、眼球運動に同期して動く移動窓(moving window)をフレームバッファ上に切り出し表示した。フレームバッファ上の移動窓の大きさを1から12文字に変化させ、テキスト画面とスーパーインポーズすることにより、読み(reading)に必要な有効視野の範囲を測定した結果、その範囲は約5文字であることが判明した。これは、中心窩とその近傍で同時並列的に処理できる情報量の限界が平均的漢字仮名混じり文で約5文字であることを示唆している。

EFFECTIVE VISUAL FIELD SIZE NECESSARY FOR JAPANESE TEXT READING AS MEASURED BY MOVING WINDOW METHOD

Naoyuki Osaka

Department of Psychology, Faculty of Letters, Kyoto University

Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

E-mail: b52046@tansei.cc.u-tokyo.ac.jp

Effective visual field necessary for Japanese text reading was measured with use of the moving window method in which subject's current eye positions (SCEP) were utilized to generate appropriate window on a frame buffer. The moving window size was changed from 1 to 12 characters. The results indicated an estimated size of the effective field for parallel processing in the parafovea to be approximately 5 characters.

1 まえがき

人間は視覚的動物であり、視覚を介して受けとる外界の意味的情報には多くのものがある。テキストもその一つであり、その処理には読み (reading) という情報処理活動が伴う。眼はテキストから情報を受入れ、文字の形態の検出や単語の意味の抽出をしながら、他方では、それらの情報を手掛りにして直ちにテキストの次の凝視位置や停留時間を決定してゆくという高度な読みの処理系をもっている。

読みの過程を、眼球の運動特性を指標にして検討し、それが読みにおける有効視野 (effective visual field) の範囲と如何なる関連を有するのかについて検討してみた。

2 読みと周辺視

対象を網膜の中心窩 (fovea: 視角直径水平約5度、垂直約2.5度) で注視することを中心視 (foveal vision) といい、それ以外の網膜部位でみることを周辺視 (peripheral vision) という。視覚的認識の基礎となる視力に対応する空間解像度は網膜の中心窩に於いて最も優れており、網膜周辺部に移行するにつれて急激に劣化してゆく [1]。中心窩視力を基準とすると、耳側視野では視力は偏心度2・5度で、50%、10度で25%程度にも低下する。読みに必要とされる視野の範囲は比較的小さいと想像され、しばしば傍中心窩 (parafovea: 視角直径約8度までの範囲) における情報処理が問題となる。

周辺視が次のテキスト上の凝視の移動位置の決定、つまりサッケードの距離を決めるのに重要であることは早くから指摘されてきた [2]。それは、“読み手がある文字を凝視している時、周辺視野から抽出される有効な情報とはどのようなものか [3]”、という問題である。ここで有効な情報とは単語の長さ、形態、初頭文字、終了文字などである。これらの周辺視情報を用いて読み手は効率の良い読みを達成しており、これは有効視野とも係わる問題なのである。

3、読みの有効視野

われわれは読書時にページを埋めつくす多くの語を一瞥して見ることができるよう信じている節があるが、それは誤りである。われわれはサッケード運動と呼ばれる眼球運動と凝視停留を繰返し、つぎつぎと凝視領域を移動させることにより、文字や単語の情報を

抽出し統合し意味を得ているのである。凝視点の逐次的移動によって広い領域内の詳細を知覚することができるのである。有効視野とは、“ある課題の遂行中、凝視時に有用な情報を得ることのできる視野領域”であり、中心窩視野を中心として一定の広がりをもつ範囲をさす。課題を読書等に定した場合には読みの有効視野という。

認知的負荷によってもある遂行水準に達し得る視野の領域は異なることが知られている。たとえば、中心窩に高度な負荷作業を課した時に測定された有効視野は、低い負荷作業を課した時の半分近くに狭小化するとが報告されている [4]。つまり、ある遂行水準の維持に必要なとされる視野領域の広さは処理課題に依存して変化するのである。たとえば、車を運転中に用いている有効視野の範囲は読書に要する有効視野よりずっと広い。

われわれが実際に読み用に用いている視野領域は意外に狭いと推定されるのであるが、我々自身はそれに気付くことは稀である。その視野領域は移動窓を用いた視野制限法を用いることにより正確に測定できる。視野を制限して読書する、というのは聊か自然な読みから遠ざかるようではあるが、読みの過程に於いて有効視野や周辺視が担っている役割を吟味するために必要なアプローチなのである。安定した読みに最低必要とされる視野の範囲を知ることは読みの基礎過程を研究する上でも重要である。

4、固定窓による実験

有効視野の領域を推定する最も簡単な方法は、観察者に注視点を凝視させておいた上で、注視点近傍領域に単語や文などを瞬間呈示し、観察者に報告を求める固定窓の方法である。固定窓法では、微妙な調整を要する眼球運動測定器は併用しないので方法的には簡単である。これにはタキストスコープ (瞬間露出器) が用いられ、呈示時間は眼球運動が生じない約250ミリ秒以下とするのが普通である。また、計算機画面を用いた固定窓法の場合は、固定窓の中に移動テキスト提示する方法と、固定窓が静止テキストを一定速度で走査する方法とがある。固定窓による方法は、発想としては凝視点や瞬間呈示法の導入により自由な眼球運動を排除するところに着眼点があるが、簡便法であるだけに問題も多い。たとえば、自然な読みの場合の有効視野は凝視点の移動に伴い重なり合い時間的ズレを持ちながら移動してゆくのであり、また眼球の運動についての制約は全くないのである。つまり、固定窓法

は自ら眼を動かしつつ読むごく自然な読みの状況とはかけ離れているのである。

自然な読みの過程で、次の凝視位置と停留時間の決定が何によって制御されているのか等を検討するには、次の移動窓法が適している。

5、移動窓による実験

移動窓(moving window)をCRT上に生成するには計算機システムとシステムに実時間で眼球位置がフィードバックできる眼球運動の測定装置が必要である。ここでは、日本語での読みの研究に適した移動窓生成装置を試作し、これによって実験を試みたので、本報告では移動窓を用いた有効視野測定を中心に述べる。図1に測定装置の概念図を、図2に流れ図を示す。まず、細い赤外線ビームを観察者の眼の角膜に反射させ、その反射光の位置(凝視位置と対応する)を二次元(x-y座標上) 受光素子(Detector)で受けとり、受像器(EMR)に入力する。x,y出力信号は変換器(Data Process Unit)と高速アナログ・デジタル変換器(ADC)でデジタル信号に変えられ、計算機(PC)にフィードバック入力される。計算機はプログラムにより、次々と送られてくる観察者の眼球の位置信号(SCEP)をフレームメモリ(Frame Memory)上の移動窓生成器(Moving Window Generator)に書込んでゆく。テキストは移動窓の”裏側”に表示されているので、スーパーインポーズ機能を用いて、移動窓を通してのみ読むことが可能である。観察者は計算機画面(CRT)の上に移動窓を通してテキストを見ることができる。移動窓の形は矩形で、その大きさは縦横方向に変えることができる。移動窓は観察者の眼の動きと同期して移動するので、窓の大きさが小さくなるほどテキストが読みづらくなる。窓の大きさは観察され得る文字数で表現する。眼球の運動は一フレームで処理されるので、眼球の移動位置は毎秒30(または600)回次々と更新されることになる。観察者からみると自分の視線が動くにつれて移動窓も同じ様に移動することになる(NACのEMRV型を用いた場合は平均遅れ18ms、EMR-600型を用いた場合は平均遅れ2msとなる)。移動窓は矩形でその大きさはプログラムにより変えることができる。窓はフレームメモリ内の任意の2点(左上と右下)で定義されるので、窓を大きくしても移動速度は変わらない。観察者から見た移動窓(4文字窓の例)は図の下のようなものであり、上下左右いずれの方向へ視線を移動させてもそれに伴って移動する(テキストは静止)。図のAは普通の移動窓、Bはマスク窓(マスク窓については別の機会に報告したい)の例である。移動窓の中

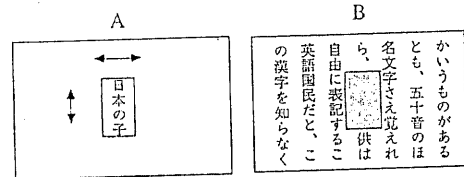
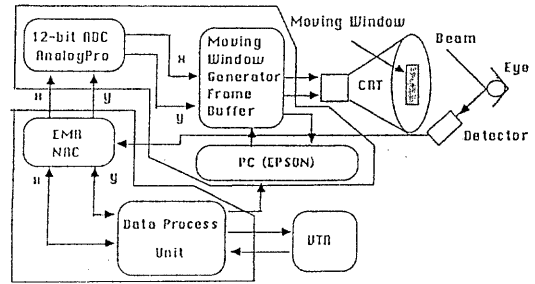


図1：移動窓生成システム(上)と窓の一例(A：移動窓、B：マスク窓)

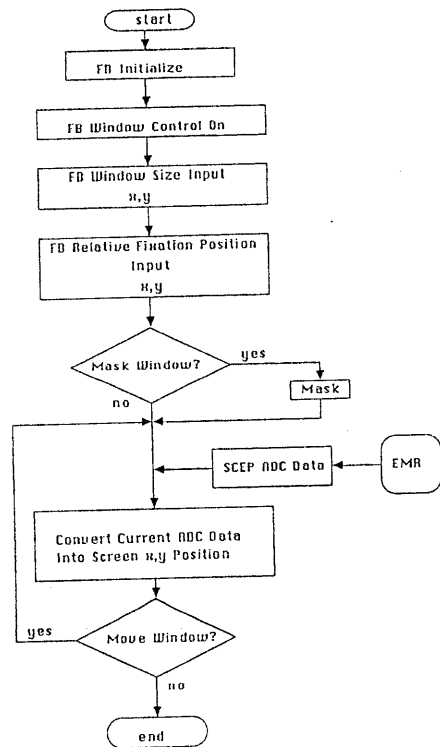


図2：移動窓生成の流れ図

中心座標も任意に設定できるが、本条件では矩形窓の中心点を凝視点と対応させた。

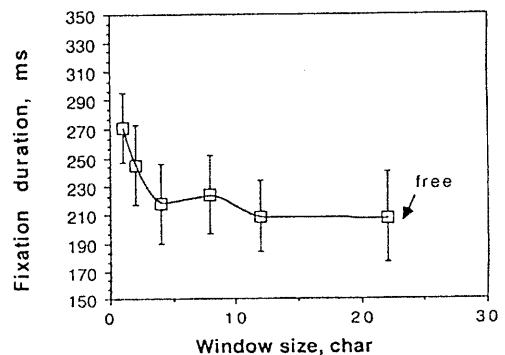
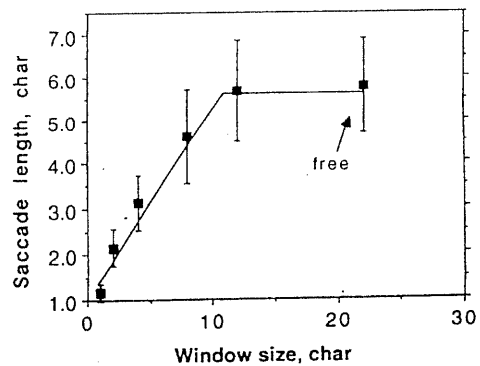
ここでは、縦書きの漢字仮名混じり文のテキストを画面に16行（各行での文字数は22字）提示し、これに移動窓を重ねて有効視野の広さ（縦方向）を測定した。用いたテキストの難易度や漢字含有率は全テキストについて吟味したものを使った。移動窓の大きさは、縦方向に1、2、4、8、12文字の長さをもつもの、および視野制限のない条件の計6種であった。行間および文字間の空白はそれぞれ30と1ドット幅とした。1文字の張る視角は約0.7度である。異なる窓条件で、観察者は4名の学生毎に3セッション繰返し、視角1度以内の範囲で132ミリ秒以上の停留時間をもつ点を凝視点とし、サッケード運動の距離を文字数単位で評価したところ、1から8字までの移動窓ではサッケード運動の距離は直線的に増加し、12字以上の窓では5-6字で頭打ちとなることがわかった（図3上）[5]。また、凝視時間も4文字以上で頭打ちになることがわかった（図3下）。つまり縦読み漢字仮名混じり文の場合有効視野の長さは約5-6文字であることがわかった。

英語テキストの場合の有効視野の測定は既に McConkie & Rayner [6] などが行なっている。上述の移動窓と原理は同じである。彼等は窓の長さを種々の範囲で変化させ、理解を損わないで普通で読める限界を求め、有効視野を割り出したところ、それは凝視点の左右に約15文字となった。英語の場合は、漢字仮名混じり文には無い単語間空白があったり、単語構成の平均字数単位が大きいため日本語より文字数が多くなる。この問題について詳しくは[7]を参照のこと。

その他の主な実験結果についても、以下に簡単にまとめてみた。

6、読みの有効視野の非対称性

読みに必要とされる有効視野が凝視点を中心として対称な空間的広がりをもつかどうかは興味のあるところである。McConkie & Rayner [6] は対称性の問題を検討するため、移動窓を凝視位置から左右に非対称に切出して設定した実験を行なっている。読みがどの程度損われるかを吟味した結果、左から右への横書きの場合（英語など）、凝視点から読みの方向（右）に向かって有意に延びていることを報告している。即ち、凝視点の左に4字、右に14文字テキストが提示されている条件（非対称性比=3・5）で、最も良い結果が得られ、それは凝視点の左右に各14文字提示した



条件と差がなかった。逆に、右に4字、左に14文字提示の移動窓条件（非対称性比=0・29）では読みの成績は著しく悪くなるという結果となった。さらに、移動窓部分ではテキストが見えず、窓外で見えるというマスク窓法[8]でも類似した結果が得られている。

今回の移動窓を用いた実験で、日本語についてもこの種の非対称性が確認された。

7、漢字と仮名の空間周波数特性

日常的な読書活動の中でも、漢字と仮名が心理的にどのように処理されているのか、あるいは漢字仮名混じり文と平仮名で読みに難易の差があるのは何故か、など実験的に吟味されていない問題が多い。

英語を初めとして、アルファベットを用いる言語は単語間に空白が入るのが一般的であり、空白スペースが読みの容易さに寄与する影響は大きい。有効視野の少し外側に広がる周辺プレビュー領域でも、この単語の切れ目である空白の存在は検出できるのである。従って、次の凝視点の移動でこの部分のテキストが中心決定領域にもたらされる以前に予め単語同定の下準備ができるのである。他方、日本語の特徴の一つは、

分かち書きをしない限り、この単語間の切れ目（空白）がないことである。従って、仮名のみで書かれた文を読む場合は切れ目に準じる句読点を手掛かりとして読むしかない。しかも、同音異義語が多いため仮名のみでの文の読みは大変困難となる。一方、漢字仮名混じり文では、同音異義の問題が解消されると共に、漢字という字画の複雑な文字が一種の文の切れ目の役割を果し、読みやすくなると推測されるのである。漢字は仮名より平均ストローク数は多くボタンとしても仮名より複雑である。この単純で基本的な事実を視覚情報処理の立場から量的に評価するために、空間周波数による分析法を適用した。具体的には、漢字と平仮名の文字認知に要する空間周波数特性を周波数の幅で推定する訳である。

異なるストローク数をもつ仮名・漢字に刺激に3種の空間フィルタ処理（低域通過型、ガウス型、及びラプラス・ガウス型）を施してカットオフ周波数と空間定数（ σ ）に対して読みの正答率を計算した結果、漢字の認識には最低4-6 c/char空間周波数が必要なものに対し、平仮名の認識は2 c/char程度で十分であることが分った。平仮名は漢字よりボケに対して強いのである。英語の読みに要するアルファベット文字の空間周波数帯域幅はおよそ2 c/charであり、読書時に視覚系が要する空間周波数チャンネルは1つで十分であるとされている[9]。仮名文字は2サイクル程度で全て識別できるので、アルファベットと同じに考えてよいだろう。しかし、漢字を読むには4-6 c/charまで延びたもう1つの空間周波数チャンネル帯が必要となる。このように、初期の文字の視覚情報処理の視点からは、漢字仮名混じり文が読みやすい一つの原因は、単純な事実ながら、漢字や仮名の識別に要する空間周波数帯域幅の相違にあるのである。ここでは、漢字が区切りの働きをしており、次の凝視位置と停留時間の決定の手掛りとされているのである。詳しくは[10]を参照のこと。

8、横読みと縦読み

日本語の表記方向は、伝統的に縦書きであった。しかし、戦後、横書き表記が推奨、採用するようになってからは、一般的には、横書きが主流を占めるに至っている。しかし、その推奨の心理学的根拠は明らかではないように思われる。横書きが読みに有利であることの心理・生理的根拠として、両眼が水平に並ぶことや眼瞼が横に長いこと、運動機能上、垂直より水平方向の眼球運動が容易であること、さらに眼の生理機構上、視力も横方向に良いことなどがあげられている。

横読みの理論上の有利性について最初に言及した心理学者は元良（1895）である。彼は上下方向より左右水平方向への知覚機能の優位性を主張し、片仮名を用いた簡単な実験結果でも『横讀ノ方縦讀ニ比シテ少シク易キモノ』との結論を得ている。しかし、両者の差はごく小さいものであり、優劣を決定するには至っていない。田中（1916）も読み易さの規定諸要因の実験的研究から、横読みが縦読みより優れているとは言えないとし、読みの習慣がより大きい影響をもつことを示唆している。この問題については、移動窓を用いた今回の実験でも、両者間で特に有意な差は認められなかった[5]。

この他、表記された日本語テキストの読み易さの規定要因には言語的、意味的要因を除くと、字形、字体、字の大きさ、色、コントラスト比、字間、行間、行長など文字と文字間の隣接関係、さらに、漢字含有率、句読点、括弧、その他の切れ目に係わる記号等がある。これらが読みの方向に如何なる影響を及ぼすのか今後検討する必要がある[ここで報告した実験の一部は小田浩一（東京女子大学）との共同研究に基づいている。実験の一部は文部省科研費及び学術振興会国際共同研究 “読みの国際比較”（代表、宇阪）からの助成を受けた]。

引用文献

- [1] 宇阪:1983,周辺視機能の精神物理学的研究, 風間書房.
- [2] J.Hochberg:1970,In H.Levin & J.P.Williams(Eds.) Basic studies in reading, New York:Basic Books.
- [3] K.Rayner:1975, Cog.Psychol.7,65.
- [4] L.Williams:1982, Hum.Fact.24,683.
- [5] N.Osaka & K.Oda:1991, Bull.Psychon.Soc.29, 345.
- [6] G.W.McConkie & K.Rayner:1975, Percept.Psychophys.17,578.
- [7] 宇阪:1992,読みの精神物理学,哲学研究,印刷中.
- [8] K.Rayner & J.Bertera:1979, Science,206, 468.
- [9] G.Legge D.Pelli,G. Rubin & M.Schleske:1985, Vis.Res.25, 239.
- [10] N.Osaka:1992, J.Opt.Soc.Am. A, 9, 5.