

読みの精神物理学

——有効視野の役割を中心に——

芋 阪 直 行

はじめに

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。文(テキスト)もその一つであり、その処理には読み(reading)という知的な情報処理活動が伴う。読みには文字などの初期刺激パタンの特徴抽出過程と、それに続く(或いは並列的に進行する)言語処理過程が想定される。読みにとって言語処理過程の核となる意味制約性⁽¹⁾や文脈依存性の研究も重要な研究課題ではあるが、一方では初期の文字認知過程の研究もなおざりにされるべきではない。ここでは、特に読みの初期視覚情報処理の過程に問題を限定して考えてみたい。

他の感覚器官にはなく、眼のみが有する固有の特徴は、外界を網膜上に写し取る受容器官としての働きと、外界への能動的な探索器官としての働きの二重性にある⁽²⁾。この二重性に於て受容と探索の機制が相矛盾せず適応的・調和的に機能することができるのは、洗練された眼球運動機構が介在するためである。心の働きが、眼球の運動軌跡に含意されるとき、目は心の窓といひ得るであろう。従って、目の動きと情報処理が読みの過程で表裏一体の対応関係にあると仮定すれば、観察した眼球運動(eye movements)の時空間的軌跡が情報処理の時空間的パターンとある種の対応関係をもっていると考えてよいであろう。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。

以上のように考えると、読みの心理機制は眼球運動の時空間軌跡の解析と、精神物理学的分析によって検討可能であるように思われる。この小論では、まず、典型的な読みの初期視覚情報処理の過程がどのような生理光学的制約のなかで達成され安定的に維持されているのかを、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視野の範囲 (span of reading) と如何なる関連を有するのかについて検討してみたい。ここでは評価測度として、眼球運動の凝視時間 (fixation duration) やサッケード運動の距離 (saccade length) 用いることにしたい。⁽³⁾ 次に、日本語テキストを構成する文字の読みやすさ (legibility) を精神物理学的手続を通して再検討してみたい。

一 制限視野

さて、全視野の九割以上を占める周辺視野では、モノは明瞭には見えないなどという記述を、例えばヘルムホルツの論文などで見出す時、我々は不思議な気持ちを抱くであろう。というのは、目を開ければ眼前の対象はリアルな実在として、ほぼ全視野を埋め尽くしており、しかも安定した確実な視世界を現出しているように思われるからである。また、見る人の意識作用の上でも、世界がハッキリと見えていることは疑問の余地がない。しかし、ある一点を凝視して、視野周辺に散在する対象を改めて周辺視で観察しようとする時、とたんに安定した世界は崩壊してしまふ。さらに、エンピツの先で紙に小孔を穿ち、そこから制限視野のもとで世界を観察してみると、そして、室内を歩き回ってみると、思いがけず壁や机にぶつかり、行動に著しい障害を感じるだろう。けれども、机上のテキストは何とか読むことができるだろう。これらの経験的事実は、周辺視や眼球運動が行動空間の安定的維持に寄与していることを示唆している。⁽⁴⁾ つまり、周辺視野は眼球運動によって、時空間的にサンプリングされることにより、中心視野の時空間的重なりとして表現されるのである。

制限視野下の認識と行動の変容に関する観察では、視野を狭めたとき最初に失われるのは、遠近、前後などの区別と共に凝視点近傍での微妙な空間定位であるといわれる。

二 周辺視と読み

対象を網膜の中心窩 (fovea: 視角直径水平約五度、垂直約二・五度) 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。⁽⁵⁾ 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(平阪・一九八三)。中心窩視力を基準とすると、耳側視野では視力は偏心度二・五度で、五〇%、一〇度で二五%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 (paratovea: 視角直径約八度までの範囲) における情報処理が問題となる。本稿では空間解像度の点からも、中心窩視力に対し五〇%以下の視力を与える視野領域を全て周辺視機能をもつと考えるので、傍中心窩視野も周辺視野に含まれることになる。さて、周辺視は読みにどのような役割を果しているものであろうか。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 (Hochberg, 1970; Poulton, 1962; Rayner, 1975)。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」(Rayner, 1975) という問題提起にまとめられる。ここで有効な情報とは単語の長さ、形態、初頭文字、終了文字などであり、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維持するのである (Gibson & Levin, 1975)。また、改行運動時の初頭文字へのスムーズな移動には、サッケード運動の距離が長いだけに、周辺視による方向定位が重要な手掛りとなる。

三 読みの有効視野

本邦に於て国語文の読みを眼球運動との連関に於て検討した報告は多くみられるが、(年代順に、元良(一八九五)、田中(一九一六)、松尾(一九一九)、久保(一九二五)、大伴(一九二七、一九二八)、山本(一九三五)、武政(一九三九)、草島(一九四九、一九五五―五六、一九五六)、坂本(一九七一)、岡田(一九七三)など)、なかでも一九五〇年代までの田中、武政や草島の包括的な読書心理の研究は特筆に値しよう。報告の中には、一停留で何文字見えるかを間接推定したものも散見されるが、有効視野の概念やその範囲に言及しているものは見当らないようである。視野は中心から視野縁に渡って連続的な広がりをもつが、生理学的にも心理学的にも非等質であり、中心窩から周辺視野に渡ってある機能勾配をもつて広がっている。有効視野 (effective visual field) 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。知覚の範囲 (perceptual span) と言われることもあり、その領域は想像以上に小さい場合が多い。課題を読書に限定した場合には読みの有効視野という。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。われわれはサックード運動という高速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。

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ことが報告されている (Williams, 1982)。つまり、ある遂行水準の維持に必要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。一定水準の

注意を配分し得る領域という意味で注意の範囲とも関連している。

われわれが実際に有効に利用している視野領域は読書で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。その役割というのは、後述するプレビュー領域における読みの前処理などと係わっている。安定した読みに最低必要とされる視野の範囲を知るとは読みの基礎過程を研究する上でも重要である。

小論の目的は、読みにおける初期視覚情報抽出の問題を有効視野の問題を中心として検討することにある。欧米においても読書と眼球運動の研究は古くから行なわれているが (They, 1908)、特に読みの過程を情報処理の視点から実験的に吟味する研究が最近盛んになり、有効視野についても、注目すべき研究が報告されている (Rayner, 1975, 1984; Rayner et al., 1980)。わが国において、国語文の有効視野の測定を通して読みの過程を実験的に検討した試みは極めて少なく (Ikeda & Saida, 1975; 斎藤, 1986a, b; Osaka, 1987, 1989)、漢字や仮名などの混在した日本語テキストの読みの基礎過程を検討することは重要な課題として残されている。

四 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二五〇ミリ秒以下とするのがふつうである。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を提示する方法 (Poulton, 1962) 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 (Bouma & de Voogd, 1974; Legge et al. 1985)。標準的な英語テキストの場合、有効視野はふつう二—三語(一〇—二〇文字に対応) (Feinberg, 1949; Woodworth, 1938) から三—四語(一八—二六文字) (Marcel, 1974) である。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さ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(各凝視点に於いて)、次の凝視位置と停留時間の決定がテキスト成分の何によって制御されているのかなどを検討するには、次の移動窓法が適していると思われる。

五 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⁽⁸⁾し、これによって二、三の実験を試みたので、以下これについてみてみたい。図一に測定装置の概念図を示す。まず、細い赤外線ビーム (RB) 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 (R:EC) で受けとり、受像器 (EMR) に入力する。また、出力信号は変換器 (FD) 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位置信号をフレームメモリ上 (VM) の移動窓生成器に書込んでゆく。テキスト (TW) は移動窓の「裏側」に表示されているので、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

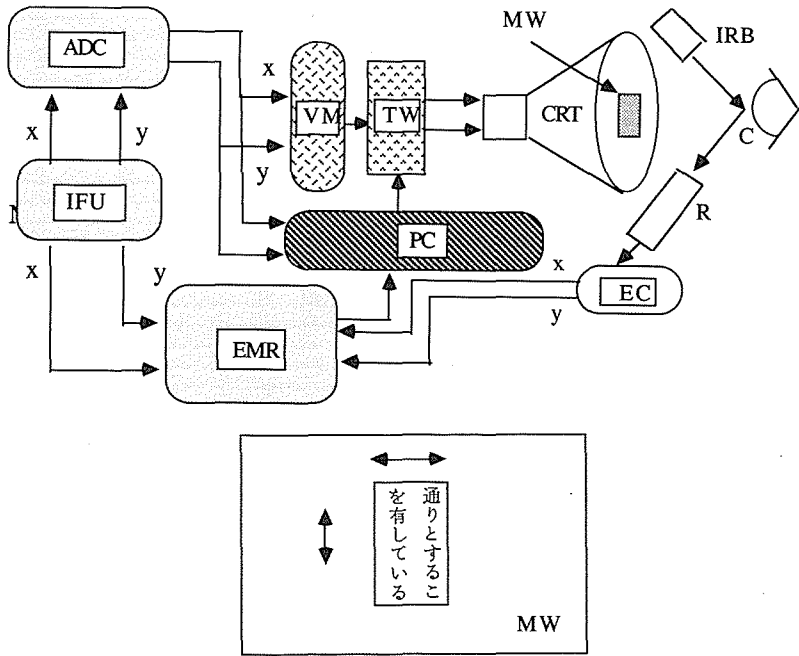


図1 移動窓生成の方法(a)と生成された窓の例(b)

機画面 (CRT) の上に移動窓を通してテキスト (MW) を見ることが出来る。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三三ミリ秒で処理されるので、眼球の移動位置は毎秒三〇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。移動窓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二点 (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。実際の眼球の移動開始とそれに伴う、画面上の移動窓の移動開始時間の遅延時間差は数ミリ秒で十分に小さい。観察者からみた移動窓 (六文字窓の例) 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

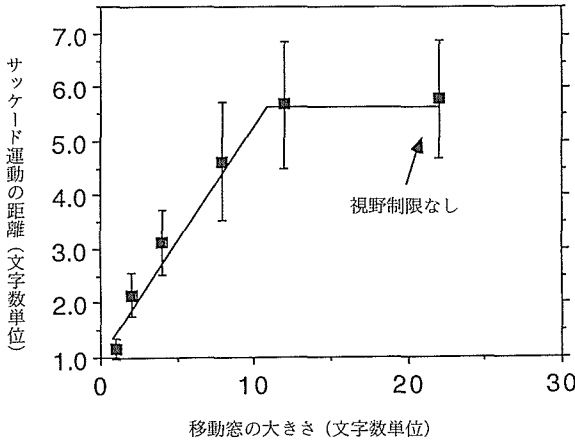


図2 移動窓の大きさとサッケード距離の関係

動させてもそれに伴って移動する(テキストは静止)。移動窓の中心点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擬視点と対応させた。

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一六行(各行での文字数は二二字)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。⁽¹⁰⁾ 移動窓の大きさは、縦方向に一、二、四、八、一二文字の長さをもつもの、および視野制限のない条件の計六種であった。行間および文字間の空白はそれぞれ三〇と一ドット幅とした。一文字の張る視角は約〇・七度である。

異なる窓条件で、観察者は四名の学生毎に三セッション繰返し、視角一度以内の範囲で一三二ミリ秒以上の停留時間をもつ点を擬視点とし、サッケード運動の距離を文字数単位で評価したところ、一から八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、⁽¹¹⁾ 一二字以上の窓では五―六字で頭打ちとなることがわかった(図二)(Osaka & Oda, 1991)。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五―六文字であることがわかった。⁽¹²⁾ これは、移動窓を使わない横読み条件で得られた資料ともよく一致する。⁽¹³⁾ なお、平仮名のみのテキストを提示した場合は、有効視野は四字程度とやや狭くなった。縦読みと横読みの条件間に著しい相違は認められないことから、横読み(横書き)が縦読み(縦書き)より優れているということは必ずしも言えないようである。

この点については、後述したい。

さて、英語テキストの場合の有効視野の測定は既に McConkie & Rayer (1975) などが行なっている。上述の移動窓と原理は同じであるが、彼等の用いたオリジナルの移動窓は、例えば図三Aの一七文字の移動窓のように、凝視点（*印）の移動（上から下へ四点の移動）に伴い凝視点の左右八文字が次々切出され、それ以外の周辺領域は“X”で置換（mask）される（ここでは置換法による移動窓と呼んでおく）。別の場合には図三Bのように、類似性の異なるアルファベットや空白で置換される。置換法によるものと、拙稿の移動窓との違いは窓外を文字で置換するか、一様なマスキング野で覆うかの点であるが、この相違は有効視野の境界決定と微妙に関連してくる。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一五文字（差し渡し三二文字）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るので、この寄与率を一五—二〇%として三二文字から五—六文字を減ずると、二五文字程度となる。⁽¹⁴⁾一単語が平均六文字程度からなることを考慮すると、これは、四—五単語程度に相当し、本稿での漢字仮名混じり文の実験結果、五—六文字と概ね対応している（一単語平均一・五文字とした場合、四単語程度となる）。さらに移動窓を狭くしてゆくとも理解度は低下しないが読みの速度は遅くなってゆく。七文字の窓では平均的に一語程度しか読めないので、読みの速さは極端に遅くなる（六〇%程度）。これは漢字仮名混じり文で二文字程度の窓に対応する。

読みと係わる情報処理課題として視覚的探索（visual search）がある。視覚的探索の課題では、観察者は異なる長さの意味のないアルファベット列から、特定の文字を探索しなければならないが、背景文字が探索文字と類似していてもぎらわしい場合（例えば、ddddd から探索文字 b を検出する）は探索時間が遅延する。Rayner & Fisher (1987b) は、移動窓（七—三一文字）に、文字列（ひと纏まりの長さ二—八文字）を提示し、背景・探索文字の類似性を変えて探索を行なわせ、その遅延時間から有効視野を一六—一九文字（右横方向探索）と推定している。この値は英語に

於ける読みの有効視野（右へ約一六文字）(McConkie & Rayner, 1975) と概ね一致する。

即ち、視覚的探索と読みの有効視野の大きさが類似していることは、読みが視覚的探索を基礎としていることを示唆している。探索時に乱れが生じやすいのは、改行時の初頭文字近傍である。特に、窓や行間が狭く周辺視が遮られた場合に出現しやすいのは、眼球の運動方向の定位がうまく制御できないためと推定される。

六 読みの有効視野の非対称性

読みに必要とされる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 (1975) は対称性⁽¹⁵⁾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、凝視点の左に四字、右に一四文字テキストが提示されている条件（非対称性比Ⅱ三・五）で、最も良い結果が得られ、それは凝視点の左右に各一四文字提示した条件と差がなかった。逆に、右に四字、左に一四文字提示の移動窓条件（非対称性比Ⅰ〇・二九）では読みの成績は著しく悪くなるという結果となった。同じ横読みでも右から左に読み進むヘブライ語などでは、左方向に有効視野が広がることから、読みの有効視野は凝視点に対して常に非対称であり、それが読みの方向と一致するものであることが推測されるのである。これは、空間的注意の勾配が、読みが進行する方向に向って延びており、反対方向で狭小化していることを示唆している。有効視野が、空間的注意が向いている方向に向って拡大することは、背景視野中に埋め込まれたターゲットの検出作業における空間的手がかりとの関連でも認められている (Engel, 1971)。日本語についても、この種の非対称性が認められるのは興味深い⁽¹⁶⁾。

異なる長さの文字列と移動窓を用いた探索実験（左から右へ）で、Rayner & Fisher (1987a) は、有効処理領域

(region of effective processing) の概念を提案している。彼等によると、この領域は中心窩部の決定領域 (decision region) と中心窩近傍の周辺プレビュー領域 (preview region) の二つの領域に分けられるという。前者は探索文字の有無を決定する領域、後者は単語の大まかな長さ、形や文字の特徴抽出などの前処理を行なう領域で、背景文字との類似条件では狭く、非類似条件では広くなる。また、後者は前者より数文字広い幅をもち、それぞれ凝視点から右に約一〇文字と六文字程度であるという。プレビュー領域は非対称性に於いても、方向に於いても読みの有効視野(右方向)と概ね符合するとみてよいだろう。視覚探索に於ける有効処理領域は機能論の立場からみた有効視野であり、読みの有効視野の基礎となるものであろう。すでに Hochberg (1970) は、読みにとって、周辺視での周辺探索誘導 (PSG: peripheral search guidance) と中心視での認知探索誘導 (OSG: cognitive search guidance) の連携が重要であることに言及し、特に PSG に於ける空白や冗長さの高い機能語などの処理が読みのスキルや有効視野の拡大に重要であるとしている。このような、中心視に決定処理、周辺視に前処理の機能を擬し、両者のダイナミックな相互作用が、読みを常に最適化するという考え方は興味深い。

移動窓法を拡張した方法に境界法 (Boundary method) があるが、この方法では、眼が一定の境界を越えて移動すると、プレビュー領域の文字が入れ替えられる (Rayner, 1975)。プレビュー領域で前処理がされればそれに続く凝視時間に変化が見られることを利用して境界の位置を変えて吟味し、やはり上述の結果を支持する報告をしている。また、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 (Rayner & Bertera, 1979) でも類似した結果が得られている。

七 自由視野による実験

移動窓法や境界法は、眼球運動位置を常にモニターしその情報をリアルタイムで利用している。ここでは、窓を用

いない有効視野の間接推定法についても少し触れたい。この方法では特に視野は制限せず、テキストを読ませ、その間の眼球運動を測定する。測定後、読んだ字数を数え、それを凝視数で除することにより、一凝視当りの読みの字数を算出する。横読みの場合、漢字仮名混じり文で約六一三文字、平仮名、片仮名文で約四一七文字の範囲であった(Osaka, 1989, 1990)。字数の推定範囲が変るのは字・行間、一行の文字数や個人差の影響を受けるためである。⁽¹⁸⁾最も類似した条件下での測定では移動窓法との差はごく小さい範囲に留まる(Osaka, 1989a)。しかし、移動窓と同様に、仮名文では有効視野の狭小化傾向が認められた。この点とも関連して、漢字と仮名の空間周波数特性の観点から以下に多少の検討を試みた。

八 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文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も多い。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。⁽¹⁹⁾さらに、漢字は表意的内容語と関連することが多い一方では、仮名は表音的機能語を表現することも多く、

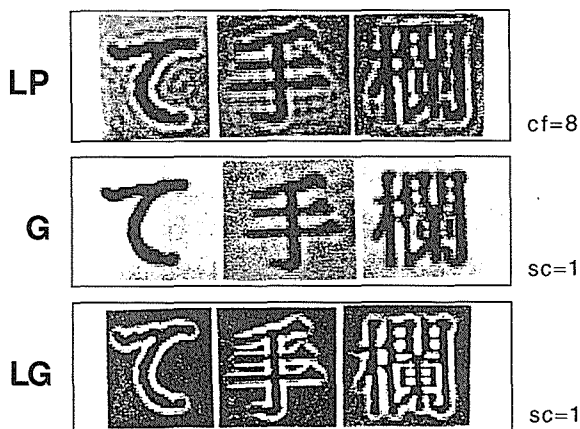


図4 複雑性の異なる漢字と平仮名に3種の空間フィルタ〔低域通過型(LP), ガウス型(G), ラプラス・ガウス型(LG)]を適用した例(ボケの少ない一例)

冗長な前置詞・接続詞などは読み飛ばしても回復可能(Hochberg, 1970)であるなど、役割分担ができる点でも漢字仮名混じり文は仮名文より読み易さにおいて有利なようである。漢字は仮名より平均ストローク数は多くパター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てみた。この評価法では、老眼や近眼の人が不適切な距離で新聞の活字を見た時に生じるボケをデジタル画像上で生成し、それを正常視力者に識別させることにより、活字のボケへの耐性を計量化しようとするものである。これは、プレビュー領域での視力劣化に伴う文字ボケの効果の中心視に於ける吟味ともなっている。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。

図4は異なるストローク数をもつ仮名・漢字刺激に三種の空間フィルタ処理、即ち、低域通過型(LP)、ガウス型(G)、及びラプラス・ガウス型(LG)を施した例である。平均正反応率⁽²²⁾を求めた結果、一般的に、LP型では漢字の認識には最低四―六サイクルの空間周波数が必要なのに対し、平仮名の認識は二サイクル程度で十分であることが分った。漢字については、 σ を用いた小田(一九八九)の試みとも一致する。平仮名は漢字よりボケに対して強いのである。G型、及びLG型でも空間定数が二―二・五以上になると平仮名しか読めなくなり、同様の結果となる(但し、LG型では鮮鋭化処理のため四スト

ローク程度(図中央)の漢字であれば空間定数三程度でも識別可能であった)。

Legge et al. (1985) は普通の健常な成人では読み(英語)に要するアルファベット文字の空間周波数帯域幅はおおよそ二サイクルであり、読書時に視覚系が要する空間周波数チャンネルは一つで十分であるとした。Legge らの実験の結果は英語に限らず、アルファベットを表記の手段とする他の諸言語にも当てはまるものと考えられる。仮名文字は二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、漢字を読むには四—六サイクルまで延びたもう一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と思われるのである。背景刺激と探索刺激が類似しているほど、有効視野(探索時間からの間接推定)が狭小化するという事実 (Engel, 1971) は、漢字仮名混じり文の有効視野が仮名文より広くなることを予測させるのであるが、それは予測通りなのである (Osaka, 1987)。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。事実、仮名より漢字の上に凝視点が落ちる確率が高いのである (Osaka, 1990a)。もっとも、網膜には LG 型の機能が備わっていると考えられている上、読みには文脈効果やカテゴリ効果 (Osaka, 1989) が強く働くので、周波数帯域はもう少し低周波側に延びる可能性もある。

九 表記に係わる諸要因

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、縦・横書き、分かち書きなどの表記法、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がある。以下では、これらのうちのいくつかについて検討してみたい。

字形（主に明朝体）が読みに及ぼす影については、オフサルモグラフを用いた報告がある。永野（一九六四）によると、横書き表記（べた組み）の場合、長体（横長字体・縦横比一、五二）は停留数は少ないが平均停留時間は長くなるのに対し、平体（縦長字体・縦横比〇、六六）はその逆、正体（縦横比の等しい字体・縦横比一、〇〇）ではほぼ中間になるというが、必ずしも明確な差が認められているわけではない。また、分かち書きの⁽²³⁾効果については、漢字・平仮名混じり文の場合、長体分かち書きが平体よりも停留数が多く、停留時間は短くなる傾向が認められるという。

次に縦書きと横書きの問題をみてみる。日本語の表記方向は、伝統的に縦書きであった（文芸分野の印刷方向は、現今でも縦書きが一般的である）。しかし、官公庁文書の表記方向が一九四九年、横書き表記を推奨、採用するようになってからは、一般的には、横書き（左から右）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（一八九五）であろう。元良は、上述諸点は地上生活者たる人間がその生息的環境下で獲得してきたものであるとし、『吾人々類ハ陸上ニ住居スルモノナリ故ニ眼ヲ開クヤ視界中地平線以下ニ整列スル物象ハ其数多シト雖モ地平線以上ニアリテハ日月星辰雲等ノ如キヲ除キテハ殆ソド物象ナキモノノ如シ』（二七九ページ）と述べ、上下方向より左右方向への知覚機能の優位性を主張している。片仮名を用いた簡単な実験結果でも『横読ノ方縦読ニ比シテ少シク易キモノ』（二八六ページ）との結論を得ている。しかし、両者の差は理論的期待を裏切り、ごく小さいものに留まっております、両者の優劣を決定するには至っていない。田中（一九一六）は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、理論的予測から安易に断じることが戒め（四九二―四九八ページ）、⁽²⁴⁾

さらなる吟味を要すると述べるとともに、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。大伴(一九二七)も横読みを推奨しながらも、それが縦読みより著るしく優れているとは言えないとしている(二九〇ページ)。英語でも訓練すれば、短行縦列表記では縦読みが有利な場合もあること(Huey, 1908)⁽²⁵⁾、また、アルファベット文字のリスト検索の実験では、有効視野が下方向に非対称に広がることなども報告されており(Prinz, 1983)さらなる検討を要する問題である。漢字については、漢字の造字構成上での位置情報(偏旁冠脚、さらには、構え、垂れ、繞など)とその意味情報が縦読み横読みの場合どう変るのかを実験的に吟味することも重要であろう。英語ではテキスト中の各文字の下半分を遮蔽しても読めるが(回復可能)、上半分の遮蔽では難読となることから(Huey, 1908)、文字弁別情報には上半分に集中しているといえる。漢字や仮名でも同様のことがいえるかもしれない。

最後に漢字含有率などについてみてみる。普通の問題を、あまり難解でない語で表記した平易な文の読みに限定すると、漢字含有率が三五%程度が最も読みやすと言われるが、五五%以上あるいは二〇%以下になると、それぞれ難しさを分かりにくさが増加するという(堀川、一九五三)。漢字・平仮名混じり文においては、特に切れ目情報が重要で、句読点などを一字として数える場合、これを文字とは別に考慮する必要がある。そこで、文字以外の記号を別個に集計し、これを句読点含有率とする。句読点も一字として数え、全文字数を集計した場合、平易な文章の場合、漢字含有率(漢字数と全文字数の比)は三〇%、仮名含有率(平仮名・片仮名文字数と全文字数の比)は六〇%、句読点含有率(句読点記号などと全文字数の比)一〇%程度、即ち三・六・一の比となるのではないかと考えられる(ちなみに、漱石の草枕では凡そ三・五・六・〇・九の比となる)。この方法では、空白部も句読点記号に準じて計量化可能なので、これを分かち書きの場合に適用すれば、句読点含有率が二五%程度に増加することになる。ちなみに、英語の場合、単語間空白(句読点を含む)の寄与率は全文字数に対し約一五―二〇%である。漢字含有率はサッカード運動の平均距離と関係をもつことを通して、漢字仮名混じり文に於ける有効視野の大きさにも影響をもつ

のである。

最近、文字認識のモデルとして、特徴抽出に基づく単語の活性化モデル (McClelland & Rumelhart, 1981)「文字認識の並列分散処理モデル (McClelland, 1986)」、ロジション・モデル (御領、一九八七、参照) などが提案されているが、有効視野との関連について本稿では触れることができなかった (特に、有効視野は並列分散処理の容量とも関連するので興味深い)。読みの理論やモデルについての検討は別稿に譲りたい。

(一)

〔筆者後記〕本稿は平成二年一月三日、京都哲学会公開講演会に於いて、『読みの精神物理学—周辺視の役割を中心として—』の題下に話した講演内容に加筆したものである。

文献

- Bahill, A. T., Adler, D., & Stark, L. 1975. Most naturally occurring human saccades have magnitude of 15 degrees or less. *Investigative Ophthalmology*, 14, 468-469.
- Bouma, H., & deVoogt, A. H. 1974. On the control of eye saccades in reading. *Vision Research*, 14, 273-284.
- Dolezal, H. 1982. *Living in a world transformed: Perceptual and performatory adaptation to visual distortion*. New York: Academic Press.
- Engel, F. L. 1971. Visual conspicuity, directed attention and retinal locus, *Vision Research*, 11, 563-576.
- Feinberg, R. 1949. A study of some aspects of peripheral visual acuity. *American Journal of Ophthalmology*, 26, 49-56.
- Gibson, E. J. & Levin, H. 1975. *The psychology of reading*. Cambridge: MIT Press.
- 御領謙 一九八七『読むとどうして』認知科学選書五、東京大学出版会。
- Hochberg, J. 1970. Components of literacy: speculations and exploratory research. In H. Levin & J. P. Williams (Eds.) *Basic studies in reading*, New York: Basic Books.

堀川直義、一九五三、読みやすさの一実験、言語生活、昭和二八年一〇月号。

Huey, E. B. 1908. *The psychology and pedagogy of reading*. New York: MacMillan.

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

神部尚武、一九八六 a、読みの眼球運動と読みの過程、国立国語研究所報告八五、研究報告集七、二九一六六。

神部尚武、一九八六 b、漢字仮名まじり文の読みの過程、日本語学、五、五八一七。

神部尚武、一九八九、読みの眼球運動における一つの停留中の情報の受容範囲、国立国語研究所報告九六、研究報告集一〇、五九一八〇。

久保良英、一九二五、実験心理学精義(简单なる行動篇)、中文館。

草島時介、一九四九、読書の科学、日本科学教育協会。

草島時介、一九五五—五六。国語文の読みにおける可動性義眼、Contact lens 及眼球の運動性に関する実験的研究(第一—四級)、

臨床眼科、九卷、一四五七—一四六二、一〇卷、二三、四〇九、八一—。

草島時介、一九五六、読書の科学、明治図書出版、右記とは別の書)

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

Marcel, T. 1974. The effective visual field and the use of the context in fast and slow readers of two ages. *British Journal of Psychology*, 65, 479-492.

McClelland, J. L. 1986. The programmable blackboard model of reading. In J. L. McClelland & E. Rumelhart (Eds.), *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*, Vol. 2: Psychological and biological models. Cambridge: MIT Press.

McClelland, J. L. & Rumelhart, D. E. 1981. An interactive activation model of context effects in letter perception: Part I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.

- McConkie, G. W., & Rayner, K. 1975. The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17, 578-586.
- Morrison, R. E., & Rayner, K. 1981. Saccade size in reading depends upon character spaces and not visual angle. *Perception & Psychophysics*, 30, 395-396.
- 松尾長造、一九一九、読書の心理的研究、心理学研究会、一八七—二二六。
- 元良勇次郎、一八九五、横読縦読ノ利害ニ就テ、東洋学芸雑誌、一二、一六五号。
- 永野賢、一九六四、文章を読む際の眼球運動から見た字形の優劣、国立国語研究所報告二四、七七—一一二。
- 小田浩一、一九八九、人間の視覚情報処理研究のためのマイクロコンピュータの画像処理ツール、日本心理学会第五三回大会発表論文集、五六三。
- 岡田明、一九七三、最新読書の心理学、日本文化科学社
- 大伴茂、一九二七、教育学の諸問題、東洋図書（二四〇—二九三ページ）。
- 大伴茂、一九二八、教育診断学（上巻）、培風館（六一—六一六ページ）。
- 荻阪直行、一九八三、周辺視機能の精神物理学的研究、風間書房。
- Osaka, N. 1987. Effect of peripheral visual field size upon eye movements during Japanese text processing. In J. K. O'Regan & A. Levy-Schoen (Eds.), *Eye movements: From physiology to cognition*, Amsterdam: North Holland, Pp. 421-429.
- Osaka, N. 1989. Eye fixation and saccade during kana and kanji text reading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 27, 548-550.
- Osaka, N. 1990a. Spread of visual attention during fixation while reading Japanese text. In R. Groner, G. d'Ydewalle & R. Parham (Eds.), *From eye to mind: Information acquisition in perception, search, and reading*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, Pp. 167-178.

- Osaka, N. 1990b. Peripheral lower visual field: A neglected factor. *Behavioral & Brain Sciences*, 13, 555.
- 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.
- Poulton, E. C. 1962. Peripheral vision, refraction and eye movements in fast oral reading. *British Journal of Psychology*, 53, 409-419.
- Previc, F. H. 1990. Functional specialization in the lower and upper visual fields in humans: Its ecological origins and neurophysiological implications. *Behavioral & Brain Sciences*, 13, 519-575.
- Prinz, W. 1983. Asymmetric control area in continuous visual search. In R. Groner, C. Menz, D. Fisher & R. Monty (Eds.), *Eye movements and psychological functions*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Rayner, K. 1975. The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7, 65-81.
- Rayner, K. 1984. Visual selection in reading, picture perception, and visual search: A tutorial review. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.) *Attention & Performance X*, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Pp. 67-96.
- Rayner, K., & Bertera, J. H. 1979. Reading without a fovea. *Science*, 206, 468-469.
- Rayner, K., & Fisher, D. L. 1987a. Letter processing during eye fixations in visual search. *Perception & Psychophysics*, 42, 87-100.
- Rayner, K., & Fisher, D. L. 1987b. Eye movements and the perceptual span during visual search. In K. O'Regan & A. Levy-Schoen (Eds.) *Eye movements: From physiology to cognition*, Amsterdam: North Holland, Pp. 193-302.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Zola, D. 1980. Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology*, 12, 206-226.
- Rayner, K. & Pollatsek, A. 1989. *The psychology of reading*. Prentice Hall: Englewood Cliffs.

坂本一郎(編)『一九七一年現代心理學』金千書房。

武政太郎、一九三九、読書の心理、培風館。

田中廣吉、一九一六、言語及読方の基本的研究、目黒書店(四四〇—五九六ページ)。

Williams, L. J. 1982. Cognitive load and the functional field of view. *Human Factors*, 24, 683-692.

Woodworth, R. S. 1938. *Experimental psychology*. New York: Holt.

山本三吾、一九三五、読書と眼球運動に就ての一実験、心理学研究、一〇、七七三—七八七。

注

- (1) 統語的、語彙検索的或いは意味的処理の過程。
- (2) 厳密に言えば二重性は触覚器官などにも認められる。
- (3) 読みの眼球運動は、スムーズで連続的なものではなく、平均1/4秒程度の凝視停留時間とサッケード運動の二つの成分からなり、非連続な運動をその特徴とする。日常生活では、眼球運動の八六％は視角にして一五度以内であるという (Bahill et al., 1975)。
- (4) Dolezal (1982) は長期間制限視野下で生活すると遠近、前後などの奥行情報が失われ、空間定位が不安定になることを報告している。地上歩行生物にとっては、自己の身体の一部(鼻梁、腕など)が下半周辺視野の縁に見えていることが生態学的に重要である (Osaka, 1990; Previc, 1990)。
- (5) 中心視と周辺視は、主体の見方に基づく分類では、直接視 (direct vision)・間接視 (indirect vision) (注意や対象の方) 向に基づく分類では、焦点視 (focal vision)・周囲視 (ambient vision) などと区別される (Osaka, 1990)。
- (6) 網膜の中心部と周辺部では情報検出の時空間特性が異なり、系統発生的にも個体発生的にもそれぞれ異なる機能を担っている。その意味で中心視と周辺視という二つの視覚系は相互に補完的關係にあるということが出来る。錐体細胞の分布密度の高い中心視は視力や色彩弁別に優れ、桿体細胞の多い周辺視は明暗の弁別に優れる。視野と大脳皮質の視覚前野などとの対応関係を神経生理学的に検討した最近の知見からも、中心と周辺視野がそれぞれ、形態視と空間視の二つの視覚系を形成

していることが示唆されている。

- (7) ここでいう固定窓は、眼球運動と連動していない窓の意味である。
- (8) 移動窓のプログラムは小田浩一氏（国立特殊教育総合研究所）、文字カウント・プログラムと縦テキスト表示・プログラムは蘆田宏氏（京都大学大学院文学研究科修士課程）によって作成された。
- (9) 移動窓の大きさは視角ではなく、表示文字数で表現する場合が多い（Morrison & Rayner, 1981）。凝視点（移動中心点）は移動窓の範囲内で自由に設定可能であるので、例えば凝視点から下方向にのみ一〇文字を常に切出して表示するようなことができる。
- (10) テキストは内容の等質性を考慮して、中学第三学年の国語教科書から採用した。用いたテキストの平均漢字（教育漢字）含有率は二六パーセントであった。用いたテキストの数は全部で一八（各三五二文字の大きさ）で、テキスト間の意味的文脈がないように配慮されている。
- (11) 分散分析の結果窓の効果 ($F(5, 696) = 117.74, p < 0.01$) にのみ有意な効果が認められ、個人差は認められなかった。
- (12) 句読点も一文字として扱う。
- (13) 切抜き簡便窓を用いた報告では、三一五文字（神部、一九八九）、視野制限なしの条件を用いた報告では、五・八文字（Osaka, 1989）などの値が得られている。後者では、読み得た文字数を凝視点数で割ることにより、一凝視当りの知覚し得る字数を算出する手続がとられている。
- (14) 読みの速度を指標とした資料では漢字仮名混じり文で約一一七文字（Ikeda & Saida, 1978; Osaka, 1987）（平仮名のみの表記ではその約半分）（Osaka, 1987）であることが報告されている。平仮名と漢字の処理モデルについては Osaka (1990) などを参照のこと。
- (15) 非対称性の量的指標として、ここでは次式による比を考案し、以下これを用いることとする。非対称性比 \parallel （凝視点より右の有効字数）／（凝視点より左の有効字数）、但し単位は文字数。比が一の時是对称、一より小の時は左に、大の時は右にそれぞれ非対称となる。

- (16) 横読み(左から右方向)の場合は左に一一二文字、右に二二三文字、縦読みの場合は下方向にもう少し広がる傾向があり、同様の非対称性が認められた。
- (17) PSG では空白に続く前置詞、接続詞、冠詞など、語長が短く、冗長な品詞は読み飛ばしても、CSG で文脈から意味が回復可能(Recoverable)であるとす(p. 88)。つまり、冗長度の高い機能語は統語的知識に基づく概念駆動型処理により回復可能なのに対し、冗長度が低く語長の長い内容語はデータ駆動型処理により逐次的に処理されねばならない。一般的には、冗長度の高さと有効視野の広さは正の相関をもつ。
- (18) 自由視野の場合、周辺視野が広いいため、特に行頭や行末での眼球の停留特性が移動窓の場合と異なる。また、戻り読みや行間移動にも相違が認められ、おおよその推定値であると考えるのが良いと思われる。
- (19) 句読点などの区切り記号は、文末や文節などの区切りを示す記号であり、これは英語にも日本語にもあるが、単語間に空白を入れる習慣は現代の日本語には存在しない。
- (20) 文字の視覚的複雑性を心理学的に評価するには種々の方法があるが、筆者はストローク数の異なる平仮名や漢字について空間フィルタをかけるという画像処理の方法を用いて評価を試みた。空間周波数は視覚一度当りの正弦波で表現される明暗縞の数で現わされ、空間解像度の指標となる。ここでは、特に一文字当りの空間周波数をサイクルの単位で用いる。明瞭な文字は高い空間周波数成分の寄与が大きいが、徐々に高い周波数成分を減衰させると、文字は低い周波数成分のみが優位になりボケの程度が増加する。
- (21) LP型とG型は画像にボケ(平均化あるいは積分演算)を与えるフィルタでそれぞれカット・オフ周波数(f_c)と空間定数(σ)で定まる(例では、 f_c は八、 σ は一)。LG型は画像の明暗変化部を鮮鋭化(微分演算)するL型にG型を併せたもの。 f_c (視角一度当りの縞周波数単位)は低い程、 σ (標準偏差値、画素単位)は大きい程観察されるボケは増加する。いずれも二次元空間フィルタであり、画像処理には 256×256 の大きさの画素(濃淡二五六レベル)を用い、画像のフーリエ変換像と空間フィルタとを畳み込み積分し、その逆フーリエ変換像を得た。
- (22) 平均正反応率は、ボケの程度を増加させていった場合、観察者が全試行中、五〇%だけ正しく漢字や仮名が識別できる点

に対応する ρ や σ の値をさす。

- (23) 日本語と英語の表記の最も大きな相違は英語では、単語間に空白があることである。ちなみに、分かち書きなどの特殊例を除けば、漢字仮名混じり文は一般に句点は定まるが、読点の打ち方には特に規則がない。そのため、漢字仮名混じり文を全くの仮名で表現すると、非常に読みにくい。

- (24) 田中はまた、横読みの諸利点を云々するならば、縦読みが頭部運動(横より縦方向に運動し易い)で利点をもつことも配慮すべきであるとしている。

- (25) Huey (1908) は日本語の縦読みの利点として、眼が語を縦割りに読める点をあげている。漢字の場合、偏や旁などの左右構成部が縦割りの読みの方向で処理し易いことも考えられる。

(筆者おさか・なおゆき 京都大学文学部〔心理学〕助教援)

Cognitive Psychophysics of Reading: Effective Visual Field Size Necessary for Reading

by Naoyuki Osaka
Associate Professor of Psychology
Faculty of Letters
Kyoto University

Recent reviews of the role of eye movement during text reading indicate that an analysis of saccade length and fixation duration would be a useful tool for understanding cognitive processing during reading.

The effective visual field is the region from which we can obtain useful information during each eye fixation and it is known to be relatively small. In that sense, this small region is called window of consciousness during reading. Many of the printed words and characters are seen during a fixation only in the sense that the reader knows that some wordlike object is in a given location. We take the details extracted from several fixations and integrates them into a perception that the detail from a wide area is seen on each fixation.

The size of the effective field of view was estimated using the moving window technique in which a kind of field restriction technique was used. The moving window technique, as compared with static window technique, involves highly sophisticated real-time feedback, and provide the most definitive information about the size of the effective visual field size during reading. We found that kanji-based text has a wider effective visual field size, i. e., 5 to 6 characters, necessary for reading than hirakana-only text. The wider span is consistent with the longer saccade length for kanji-based text.

We also studied detection of isolated kanji and hirakana using spatial filtering techniques, i.e., Gaussian, Laplacian-Gaussian and low-pass, and

found that the space constant required for detection was larger for hirakana than for kanji. Moreover, the critical spatial frequency bandwidth required for hirakana was found to be lower (2 cycles/character) than for kanji (4-8 c/c).

The results show that kanji and hirakana are detected in different ways in the early stages of visual processing. It is assumed that native Japanese has a character-dependent dual strategy for computing the saccade length and fixation duration to the next word in the parafovea during reading.

As respects reading direction, there is some physiological ground to believe that a horizontal text reading may be better than vertical text reading: visual acuity falls off rapidly in the vertical direction than in the horizontal direction. However, the fact that no directional advantage of horizontal over vertical reading suggests that this physiological ground may have a negligible effect on reading Japanese texts.

Other related issues such as asymmetry of effective visual field, visual search guidance, and linguistic aspects of kanji and hirakana are discussed in terms of cognitive psychophysics of reading.