

## 読書に関わる視覚情報処理

光藤宏行

動物および人間は、外界に関する情報を得るさい、その多くを視覚からの入力に頼っている。動物と人間で共通する視覚情報処理の目的は、2次元網膜像から外界の3次元構造を復元することである(例えば総説として、Howard & Rogers, 1995)。それに対し、たいていの動物は本や雑誌を読むことはできないので、読書は人間がもつ能力の中でも特徴的なものであるといえる。つまり、人間の場合は、網膜像を外界の3次元環境を認識するために使うだけでなく、文章や文字も同じ視覚情報として取り入れ、その後複雑な概念を構成するために利用することができる。本講義では、読書時の眼球運動および読書のための脳内情報処理に関する基礎的な知見を概観することを目的とする。具体的には、人間が文章や文字情報を取り入れる際にどのような眼球運動を行っているかを紹介し、取り入れた情報を有効に利用するために人間の脳がどのような情報処理をどのような場所で行っているかについて、心理学的および神経科学的知見を中心に紹介する。

### 1. 眼球運動の基本特性

眼はさまざまな方向を向くことができる。大雑把に言えば、視線方向を変えらるということは、ピンポン玉程度の大きさの球(眼球の直径は約24mm)が位置を変えずにその場で回転するということである。回転方向は、厳密には3種類の成分があり、一般的には水平、垂直、回旋(視線方向周りの回転)という3方向を考える(可動範囲はそれぞれおよそ $\pm 45^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$ )。読書と特に関わりが深いのは、横方向と縦方向の動き、すなわち水平および垂直眼球運動である(眼球の光学的・解剖学的特性の解説として、魚里、2000などがある)。

### 2. サッカードと停留

文章を読む時、眼がどのように動いているかは通常意識できない。滑らかに文章を読んでいると読書者が感じることは、眼は滑らかに動いているということなのだろうか。眼球運動の物理的な測定に基づく実験心理学の知見によれば、文章を滑らかに読んでいるつもりであっても、実際には眼は滑らかに動いていない。具体的には、典型的な読書の眼球運動は、高速な動きであるサッカー

ド (saccade) と、視野中の一点を注視する停留 (fixation) を繰り返すことが知られている (図 1 参照)。機能的に言えば、停留によってある範囲の文字情報を取り入れ、高速なサッカード (速度は最大  $500^\circ/\text{s}$  程度、持続時間は最大 150ms 程度) によって固視点を変え、別の範囲の文字情報を取得するということを繰り返している (サッカードに関する概説として、本田、2000)。この特徴的な眼の動きは、平均して一秒間に数回生じる。付け加えて、人間の場合サッカードは両眼間でほぼ同じ大きさで、同方向に同時に生じることが挙げられる。

停留中は、眼は基本的に静止しているものとみなすことができる。眼の注視位置に同期させて視覚刺激を移動させる技術によって (例えば齋田, 1993)、人間は視野中のどの範囲の情報を利用しているかを調べる方法がある。この手法を用いた実験の結果によると (Findlay & Gilchrist, 2003)、固視点から進行方向 (右向きの文章であれば、右方向) に呈示する 15 文字以内の範囲の文字に変化を加えると読書速度は低下するが、文章の方向と逆の場合は 3-4 文字程度残すだけで通常の読書速度を保つことができると報告されている。言い換えると、この窓の外にある情報は、見えてはいるけれども、利用できない状況にある。このような、特定の情報を有効に取り入れるために使われると考えられる視野は、一般的には有効視野 (functional visual field) と呼ばれる。縦読みに習熟している日本人の場合は、縦読みの場合の有効視野は進行方向に広がることが知られている (Osaka, 1993)。

### 3. 文章と読書者による読書速度の違い

文章の内容により、読書の速度は異なることが知られている。例えば、エッセイは読みやすいが物理学の本は読みにくいことは、直感的には明らかである。実験の結果は、この予想を支持するものであり、Findlay & Gilchrist (2003) は英文の場合、平均停留時間は 231ms、サッカードの大きさは平均 7.8 文字であるという実験結果を報告している。読書の速度は、通常は一分間に読むことができる平均文字数を指標とすることが多い。読む速度は内容により大きく異なり、英文の場合、一分間で読める文字数は小説で 365 文字、新聞で 321 文字、心理学で 308 文字、英語文学で 305 文字、物理学で 238 文字、生物学で 233 文字であるという測定結果がある (Findlay & Gilchrist, 2003)。

学習の程度により読む速さが異なることは、一般的には明らかである。例えば同じ文章を読む場合、文字を習い始めた学習者であれば読む時間は長く、熟

練していれば短い。基本的には、読む速さはサッカードの大きさ、方向、停留時間の量的な差によるものであり、学習によって質的に何か異なるモードに移行する、という訳ではないと考えられている。前出の Findlay & Gilchrist (2003) には、小学生から大学生までの読書速度を測定した実験結果も紹介されている。

#### 4. 読書障害と読書のための脳内情報処理

脳は、人間のもつ（広い意味での）機能（例えば、身体の動き、思考、感情など）によって活動部位が異なることは広く知られている。言語の意味理解および発話に関しては、大脳皮質のウェルニッケ野およびブローカ野が関与していることはよく知られているが、脳血流量の時間変化を測定する方法である機能的磁気共鳴画像法（functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI）を用いた神経科学的研究によれば、単語を読む時には少なくとも 9 つの部位が比較的安定して活動すると報告されている（Fiez & Petersen, 1998）。しかし、それぞれの部位がどのような役割を果たしているかは議論が多い。

読書障害（dyslexia）は、一般的知能は正常であるにも関わらず、単語・文字などを読んだり解釈したりすることに障害があることをいう。読書障害者の読書時の眼球運動は、健常者とほとんど変わらない。読書障害者の眼球運動を測定する実験はいくつか行われており、読書障害者はまれに、通常みられない眼球運動を示すことがある（Findlay & Gilchrist, 2003）。しかしたいていの場合、眼球運動は正常であり、文字を読む際の脳の情報処理過程に障害があると考えられている。

拡散テンソル画像法（Diffusion Tensor Imaging, DTI）を用いた神経科学的研究によれば、読書能力は、白質（神経線維のみからなる脳部位）の違いと関係しているという指摘がある。具体的には、読書能力の異なる被験者の白質の構造は、側頭頭頂野および背側梁路において異なることが知られている（Ben-Shachar, Dougherty, & Wandell, 2007）。また、読書障害者ではないが、子どものもつ音韻に関する知識と、（一般的に視覚的運動を処理すると考えられている）MT+という部位の脳活動の間に相関があることが報告されている（Ben-Shachar, Dougherty, Deutsch, & Wandell, 2007）。これらの研究は、読書に関わる脳の部位は非常に多く、また相互のつながりが強いことを示している。通常は容易に行っている読書であるが、そのためにどのような情報処理を脳が行っているかを詳細に調べることは今のところ困難であると同時に、挑戦しがいのある問題で

もある。

## 引用文献

- Ben-Shachar, M., Dougherty, R. F., Deutsch, G. K., & Wandell, B. A. (2007). Contrast responsivity in MT+ correlates with phonological awareness and reading measures in children. *Neuroimage*, 37, 1396-1406.
- Ben-Shachar, M., Dougherty, R. F., & Wandell, B. A. (2007). *Current Opinion in Neurobiology*, 17, 258-270.
- Fiez J.A., & Petersen, S. E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 914-921.
- Findlay, J. M. & Gilchrist, I. D. (2003). Visual sampling during text reading. In *Active vision: the psychology of looking and seeing*. New York: Oxford University Press. pp. 83-103.
- 本田仁視 (2000). 視線移動 日本視覚学会 (編) 視覚情報処理ハンドブック 朝倉出版 pp. 393-397.
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. (1995). *Binocular Vision and Stereopsis*. New York: Oxford University Press.
- Osaka, N. (1993). Asymmetry of the effective visual field in vertical reading as measured with a moving window. In G. d'Ydewalle & J. Van Rensbergen (Eds.), *Perception and cognition: Advances in eye movement research*. Amsterdam: North-Holland. pp. 275-283.
- 齋田真也 (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 名古屋大学出版会 pp. 167-197.
- 魚里 博 (2000). 眼球光学系の構造 日本視覚学会 (編) 視覚情報処理ハンドブック 朝倉出版 pp. 1-5.