

外国語としての英語の読みにおける眼球運動：日本人英語学習者に対する予備的研究

(Measuring Basic Data on the Eye Movements in Reading English: A Preliminary Study for Japanese EFL Learners)

西山 正秋 (神戸市立高専) 門田 修平 (関西学院大)

1. はじめに

これまでの、読書中の実際の眼球運動 (eye movements) についての観察から、人の眼球は行の上を連続的に1字1字なめらかに進んでいくのでは決してなく、ある点から別の点まで飛び越して移動 (この跳躍運動をサッカド (saccade) と呼ぶが、この間の知覚能力は皆無であると言われる)・停留 (fixation: 固視と訳す場合もある) し、またしばしば逆戻り (regression) するといったダイナミックな動き (これを総称して、サッカド運動 (saccadic movements) と呼ぶ) をすることが広く知られている。眼球のこのような動きの中で、全読書時間の90パーセント以上を占める停留の間に視覚刺激が受容される。

一般に、人の視野には次の3領域があることが知られている。

(1)中心渦 (fovea) とは、視野の中心部分で、知覚能力が最も鋭敏であるといわれ、いわゆる眼球の焦点を形成する。そこで捕らえられる範囲は、通常のサイズの文字数にして約7~8文字程度で、中心から視角2度位である。

(2)傍中心渦 (parafovea) は、中心渦の回りに位置し (停留点から視角5度程度まで) 次の停留箇所を読み手に示唆する働きをするものである。中心渦には入っていないが、傍中心渦内にある語を変えると、次の停留点での停留時間が長くなったり、傍中心渦内で視覚的に類似した語を知覚すると次の停留において語の認知が素速くなったりすることから、傍中心渦でも、文字入力形態レベルでの大ざっぱな特徴の知覚は行われていると考えることができる。つまり、読解中の眼球運動は、傍中心渦で得た大ざっぱな情報を次の停留の際に詳細まで確認する過程であると言えよう。例えば、点字の読み手の場合、かなり熟達した人であってもその読速度は平均1分間100語程度であるのに対し、通常の読み手 (sighted readers) の場合、1分間300語程度で読める人は多いが、これには傍中心渦内の情報の利用が関係していると思われる (Taylor and Taylor, 1983)。

(3)周辺視野 (Periphery) とは、感覚受容器がほとんど詰まっていらない周辺視野である。

移動窓法 (Moving Windows) の手法 (Pollatsek and Rayner, 1989; 吉田, 2001 参照) により、中心渦の知覚領域がマスクされると、1分間に12語程度の読みのスピードになるという報告があるが、それでも読みは不可能ではないが、中心渦と傍中心渦の両方がマスクされると、一切の読書はできない (Rayner and Bertera, 1979)。

次の図1は、一般的な英語母語話者による読書の際の眼球の停留点と停留時間を例示したものである (Rayner and Pollatsek, 1989)。

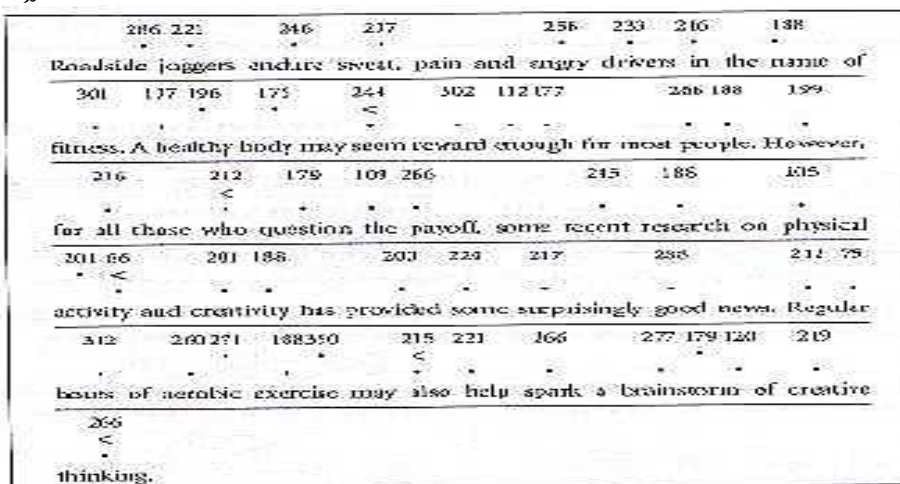


図1 平均的英語母語話者による読書の際の眼球の停留点と停留時間 (Rayner and Pollatsek, 1989)

Just and Carpenter (1980) は、典型的には、英語母語話者は1回の停留によってほぼ1.12から1.2語を知覚し、それぞれの停留地点の右側であれば、4~6文字分程度知覚するというデータを出しており、またRayner (1978) によれば、10人の米国人大学生の眼球運動を調べた結果、停留から次の停留までのサッカドの長さが、ほぼ6.7~9.5文字であることがわかったという。Rayner (2001) に従って、英語母語話者の英文読解の際の眼球運動に関して、これまで分かっている事実をまとめると次のようになる (図2のサンプルもほぼこれに近い様相を呈していると言える)。

平均停留時間---200から250ミリ秒

平均のサッカドの長さ---平均約30~40ミリ秒で、ほぼ8文字スペース (letter spaces)

逆戻りの割合---全体の約10から15%程度の時間

次の図2は、すぐれた読み手と劣った読み手（ともに英語母語話者）の眼球運動を記録したものであるが、明らかに、停留回数、停留時間、逆戻りの数で、両者の間には大きな差があることが分かる（Tinker, 1965）。

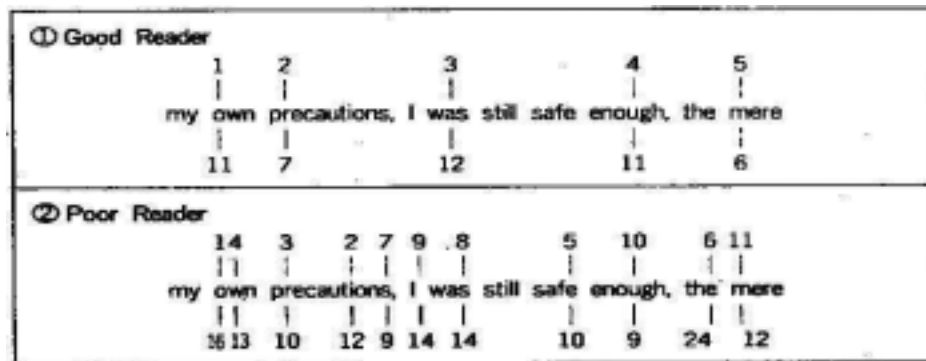


図2 すぐれた読み手と劣った読み手（英語母語話者）の眼球運動（Tinker, 1965）

すぐれた読み手は一般に、眼球の停留回数が少ない（サッカードの幅が長い）、停留時間が短い、逆戻りの数が少ない、劣った読み手に比べて、傍中心渦内の情報の活用が上手であるなどの特徴があるが、そのような眼球運動上の進歩がみられるのは、英語母語話者の場合ほぼ小学5年生位までで、それ以後大人になるまで眼球運動の測定値には目立った変化は見られなくなるという研究結果がある。ただし、1分間の読速度が1000語を越えるといった特別の訓練を受けた大人の場合には、260語のテキストを14回の停留回数で読むというように極端に少ない例もないことはないという（Taylor and Taylor, 1983）。

2. 研究の目的

外国語として英語を学ぶ日本人英語学習者（大学生および大学院生）に対し、次のような研究目的をもって実験を行った。

- (1) 外国語としての英語の読みの実態に関する基礎データとして、読みの速度（秒単位の処理語数・文字数）や読みにおける眼球運動データ（語・文字あたりの平均停留回数、平均停留時間、サッカード幅、語・文字あたりの平均逆行回数）を測定する。
- (2) 英文パッセージの長短によって、(1)の読みの速度および眼球運動データにいかなる差がみられるか検討する。
- (3) 英文の読みの理解度を測る多肢選択問題が、英文の読解開始後一定時間経過すると自動的に表示されるシステム（オート）と、被験者自身が英文を読み終えた時点で多肢選択問題を表示させるシステム（マニュアル）で、(1)の読みの速度および眼球運動データにいかなる差がみられるか検討する。

3. 研究方法

被験者は、外国語として英語を学ぶ日本人学習者（大学生・大学院生）計18名で、全員が裸眼視力0.5以上で、提示された英文の知覚に全く問題がないことを確認した。

共同研究者の所属する勤務先には、すでに眼球運動計測装置として、アイマークレコーダー（Eye-Mark Recorder EMR-8、ナック社製）を導入済みで、この装置は、瞳孔・角膜反射法を採用し、近赤外照明の角膜反射像の位置と瞳孔中心位置の相対的な位置から、視野映像内の視線位置情報を検出するものであった。これに、さらに計測用の顎台、英文提示用ノートパソコンおよびモニターなど必要な若干の器具を導入し、データ処理のための設備を用意した。

提示のための英文テキストおよび設問は、TOEICの予想問題集（速読問題）を利用し、そこから長文パッセージ（約120～130語）および短文パッセージ（約50～70語）をそれぞれ4つずつ選択し、用意した。

提示は、ノートパソコンおよび17インチ液晶ディスプレイを用い、1画面に1つのパッセージおよび設問を表示した。

具体的な実施手順は次の通り。

- (1) 被験者に、眼鏡またはコンタクトなしで十分な視認性が確保できているかどうか、利き目、左右視力差などの確認をとる。
- (2) 英文提示用のノートパソコン、液晶17インチディスプレイのセット、およびアイマークレコーダー（コントローラーおよび野球帽タイプのヘッド検出ユニット）、動画像保存用のビデオレコーダー、眼球運動データ集計用デスクトップパソコン等を起動し、ヘッドユニットを被験者に装着し、キャリブレーション等必要なセッティングを行う。なお、原則として利き目を判定し、左右視力差がひどく異なる場合により視力の方の眼からデータ計測を行ったものの、そのようなことがない限り、利き目をデータ計測の対象とした。
- (3) ディスプレイ上に赤点を表示させ、被験者にその赤点を眼で追跡させ、被験者が見ている箇所と照射ポイントキャラクタとの間にずれがないかどうか確認する。
- (4) 実験開始の合図とともに、ディスプレイ上に英文パッセージを提示し、オートおよびマニュアルのいずれかの方法で内容理解を問う多肢選択型の設問を表示し、マウスを用いて正しい解答をクリックさせた。

なお、実験は、専用の共同研究室にて、個別で実施された。

今回の研究において、収集したデータは次の通りであった。

- (1) 英文の読みの速度データとしての秒単位の処理語数および文字数
- (2) 英文の読みの際の眼球運動データとしての語・文字あたりの平均停留回数、平均停留時間、サッカード幅、語・文字あたりの平均逆行回数
- (3) 英文パッセージが長いものと短いものに分類し、それぞれ場合の上記読みの速度データと眼球運動データ
- (4) 多肢選択問題が自動的に表示されるオートシステムと、被験者自身が表示させるマニュアルシステムに分け、それぞれ場合の上記読みの速度データと眼球運動データ

なお、英文の理解度の分析や、句や単語別の眼球運動データなどさらにつっこんだ分析は、別の機会に報告する予定である。

4. 結果と考察

(1) 読みの速度および眼球運動データ：全被験者を対象にした分析

次の表1に、読みの速度および眼球運動に関する基礎データを被験者全員を対象に集計した結果を示す。

	読了			停留			逆行			平均サッカード幅	
	時間	words/sec	letters/sec	回数	平均回数 (/word)	平均回数 (/letter)	平均停留時間	回数	平均回数 (/word)		平均回数 (/letter)
全体平均	59.308	1.844	9.241	145.278	1.609	0.270	0.333	33.847	0.380	0.064	4.026
標準偏差	32.907	0.793	3.987	73.359	0.454	0.078	0.075	19.923	0.165	0.028	1.004

表1 読みの速度および眼球運動基礎データ：全体 (N=18)

以上の結果から、大学・大学院レベルの日本人英語学習者は、1秒間に約1.84語(9.24字)の平均処理スピードを持ち、1語について平均1.61回の停留をし、1回の停留で平均約4文字を知覚することがわかる。また、その平均停留時間は、約333ミリ秒で、1語毎に平均0.38回(約3語に1回)の逆戻り現象がみられること、さらに眼球の平均移動量(サッカード幅とした)は、視野角にして4.03度であった。

(2) 長文と短文の比較

まずは、全体的な傾向をみるために、有効被験者18名全員のデータについて、長い英文パッセージと短い英文パッセージのそれぞれにおける、読みの速度および眼球運動に関する基礎データの集計、および統計検定を行った。その結果を次の表2に示す。

	読了			停留			逆行			平均サッカード幅	
	時間	words/sec	letters/sec	回数	平均回数 (/word)	平均回数 (/letter)	平均停留時間	回数	平均回数 (/word)		平均回数 (/letter)
長文平均	77.905	1.983	9.785	201.972	1.542	0.264	0.329	46.361	0.354	0.061	4.064
標準偏差	31.438	0.797	4.003	54.014	0.404	0.071	0.069	18.138	0.137	0.024	0.975
短文平均	40.711	1.705	8.697	88.583	1.675	0.275	0.338	21.333	0.406	0.067	3.988
標準偏差	22.555	0.787	4.009	36.817	0.502	0.086	0.082	12.515	0.190	0.032	1.059
統計量:t	5.737	1.487	1.177	10.158	1.459	0.703	0.677	7.633	1.629	1.113	1.6291.113
両側P値	0**	0.155	0.255	0**	0.163	0.492	0.508	0**	0.122	0.281	0.1220.281
片側P値	0**	0.078	0.128	0**	0.081	0.246	0.254	0**	0.061	0.141	0.0610.141

表2 長・短英文パッセージ別の読みの速度および眼球運動基礎データ：オート・マニュアルの両提示を含む (N=18)

その結果、読了時間、停留回数、逆行回数のみで統計的に有意な差がみられたが、これは英文パッセージの長さが違うのでいわば当然のことであると言える。また、単語ごと、文字ごとの読解時間、停留回数、逆行回数、平均停留時間、平均サッカード幅などのいずれ指標においても、長短パッセージ間の有意な差はみられなかった。

(3) 長文と短文の比較

上記(2)の分析では、オートとマニュアルの両方の要因を組み込んだまま、データの集計及び検定を行ったが、いわゆるオートの設定では、英文パッセージを読了するまでに時間がきてしまい、設問が表示されることもまま見られた。そこで、この(3)の分析では、すべて自分のペースで最後まで読むことができたマニュアル提示のみを対象に集計を行い、オート提示を分析対象からはずした。そこで、オートとマニュアルという要因がない場合に、長文パッセージと短文パッセージで上記測定値に差があるかどうかの比較を行った。結果を次の表3に示す。

	読了			停留				逆行			平均サッカード幅
	時間	words/sec	letters/sec	回数	平均回数 (/word)	平均回数 (/letter)	平均停留時間	回数	平均回数 (/word)	平均回数 (/letter)	
長文平均	71.351	2.334	11.581	195.143	1.494	0.254	0.306	43.071	0.330	0.056	4.263
標準偏差	41.686	1.004	5.123	59.282	0.448	0.078	0.078	22.773	0.174	0.030	1.162
短文平均	48.256	1.851	9.319	112.643	1.733	0.290	0.323	25.714	0.396	0.066	4.044
標準偏差	30.512	1.078	5.475	50.115	0.771	0.130	0.103	19.352	0.298	0.050	1.531
統計量:t	3.689	1.468	1.411	22.087	1.941	1.789	1.007	8.038	1.298	1.225	1.432
両側P値	0.010*	0.193	0.208	0.000**	0.100	0.124	0.353	0.0002**	0.242	0.266	0.202
片側P値	0.005**	0.096	0.104	0.000**	0.050	0.062	0.176	0.00001**	0.121	0.133	0.101

表3 長・短英文パッセージ別の読みの速度および眼球運動基礎データ：マニュアル提示のみ(N=7)

有効被験者は7名と少なくなったが、上記(2)と同様の分析を、参考までに実施した。結果は上記(2)とまったく同様であった。すなわち、読了時間、停留回数、逆行回数のみで統計的に有意な差がみられ、単語ごと、文字ごとの読解時間、停留回数、逆行回数、平均停留時間、平均サッカード幅などのいずれ指標においても、長短パッセージ間の有意な差はみられないという現象が確認された。オートマニュアルという要因によって、読速度および眼球運動データがまったく左右されないことを示唆するものである。なお、この統計検定は、被験者数が少ないのでノンパラメトリック検定(ウィルコクソンの符号順位検定など)も考えられるが、これは今後の分析に廻したい。

(4) オート提示とマニュアル提示の比較

次の表4に、英文パッセージのオート提示とマニュアル提示毎の、読みの速度および眼球運動に関する基礎データの集計・統計検定の結果を示す。なお、この分析における有効被験者数は11名であった。

	読了			停留				逆行			平均サッカード幅
	時間	words/sec	letters/sec	回数	平均回数 (/word)	平均回数 (/letter)	平均停留時間	回数	平均回数 (/word)	平均回数 (/letter)	
auto 平均	55.027	1.699	8.697	124.682	1.606	0.264	0.337	29.909	0.395	0.065	3.967
標準偏差	22.742	0.616	3.169	46.881	0.295	0.049	0.053	10.632	0.076	0.013	0.761
manual 平均	64.748	1.693	8.362	157.773	1.607	0.274	0.349	37.864	0.392	0.067	3.923
標準偏差	27.843	0.635	3.139	55.167	0.442	0.077	0.067	15.696	0.142	0.025	0.918
統計量:t	1.171	0.022	0.252	1.859	0.007	0.342	1.145	1.592	0.059	0.176	0.130
両側P値	0.269	0.983	0.806	0.093	0.994	0.740	0.279	0.143	0.954	0.864	0.899
片側P値	0.134	0.491	0.403	0.0464*	0.497	0.370	0.139	0.071	0.477	0.432	0.450

表4 オート提示とマニュアル提示別の読みの速度および眼球運動基礎データ:(N=11)

統計検定(t-検定)の結果で、オート提示とマニュアル提示間で有意な差がでたのは、停留回数のみ(片側検定)であった。しかしこの停留回数で有意差がみられたのは、オート提示とマニュアル提示そのものの違いによるとは考えられない。提示された英文パッセージに含まれる単語数が異なっていたためであると考えられる。いずれにしても、オート提示とマニュアル提示では、語・文字あたりの処理時間および停留回数、また一回の停留時間、逆戻り数やサッカード幅を変えるような要因にはならないことが確認できる。

5. おわりに

本研究は、表題にもあるように、日本人英語学習者の英文読解の際の眼球運動を探ろうとしたパイオニア的検討である。これまで、このような研究成果があまりなかった現状を考えると、今回報告した内容からさらに分析を継続し、単語単位の停留時間(ファーストパスおよび gaze duration)、内容語機能語別、品詞別の停留時間、テキストの理解度を変数とした各種眼球運動データ、読みの時間の長短と各種眼球運動データとの相関、英文の難易度(リーダビリティ)を変数とした各種眼球運動データ、Narrative、Expository という英文パッセージタイプによる各種眼球運動データ、質問紙による読みのストラテジー分析と各種眼球運動データとの相関などの検証を行うことの意義は大きい。

主要引用文献

- Just, M. A. and P. A. Carpenter. 1980. A theory of reading: From eye fixation to comprehension. *Psychological Review* 87: 329-354.
- Rayner, K., and A. Pollatsek. 1989. *The psychology of reading*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Tinker, M. A. 1965. *Bases for effective reading*. Minneapolis: University of Minnesota Press.