— 原 著 —

速読者の脳波 FFT 解析による読書についての考察

横山 聡

日本医科大学生理学第1教室

Investigation of “reading” with FFT analysis of the beta waves
in EEG during “rapid-reading”

Satoshi Yokoyama

The First Department of Physiology, Nippon Medical School

The beta waves in electroencephalograms (EEGs) during “reading” were investigated by means of the Fast Fourier Transform (FFT) analysis method. The subjects who had mastered a “rapid-reading” method, were classified into two groups according to their rapid-reading achievement level: the “under-trained readers” (male 5, female 2) had already acquired the ability of smooth eye movement, but continued to use the mental phonetic process while reading. The “well-trained readers” (male 6, female 2) could understand the contents of the text without resorting to such phonetic process. All subjects were righthanded.

The tasks were designed to eliminate the artifact of the eye movement and the electromyogram as much as possible. The EEGs were recorded with twelve channels of the international standard 10-20 electrode system. The relative power value (R.P.V.) was calculated as follows:

$$RPV(\%) = \{(X - C)/N\} \times 100(\%)$$

where X is the beta 1 or beta 2 power value by FFT analysis while doing tasks, C is the power value while doing control tasks, and N is the value in the resting state with the eyes open. The results were statistically analyzed by paired *t*-test.

The following results were obtained: In both groups; (a) the left angular gyrus was usually activate during the rapid-reading; (b) the Wernicke's center was activated only during reading with the phonetic process; (c) in the well-trained readers the activation of the right visual cortex was associated with some visual imaging during the rapid-reading; (d) in the under-trained readers, the association between the activation of the central frontal area and the rapid-reading was observed.

Thus, the following model for “reading” was obtained: Two parallel pathways seem important in the processing of the verbal information presented visually; one relates only to the left angular gyrus where the visual-verbal information is processed directly, and the other relates to the interactive pathway between the left angular gyrus and the Wernicke's center. Moreover, the visual cortex of the non-verbal hemisphere seems to play some role in understanding verbal information.

Key words: reading, electroencephalogram (EEG), fast Fourier transform (FFT) analysis, Wernicke's center, angular gyrus

緒 言

読書は、大脳生理学上興味あるテーマである。単語の文字理解については、多くの臨床例から視覚的言語情報処理について議論がなされてきた。また、文章の内容理解については、いくつかの臨床例によって、わ

ずかながら研究されてきた。しかしながら、読書という文字を読んで理解するという高次神経機能の全体像を生理学的に解明する手掛りは少ない。

実験条件としての読書時の脳波は、開眼状態であり alpha 波を指標とできず、また眼球運動に伴う電位変化、筋電図の混入によりアーティファクトの混入が大きく、測定上困難を伴い、ほとんど研究されてこなかった。近年、脳波のコンピューターによる FFT (fast fourier transform) 解析法が進み、直接的に健常人の

Correspondence to Satoshi Yokoyama, The First Department of Physiology, Nippon Medical School, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

大脳機能について研究が可能となってきた。品川らはこれまでに同方法により、beta 波特に beta 2 波 (20.0~29.8 Hz) の増大が大脳皮質の活性化の指標となることを報告してきた^{1~3)}。本実験は、速読法(rapid-reading method)の訓練を受けた者が、速読時の眼球運動が滑らかで一定していること、筋電図も限局し、かつ一定であることに注目し、彼らを研究対象とした。さらに、これらのアーティファクトを、実験系として扱うのに可能な程度に消去可能となるように、脳波測定の実験条件を構築した。また、速読に熟達すると音読時の音声化過程の省略をしても、文章の内容が理解が可能となる。速読の熟達者は「読書」という大脳機能の一部が、機能的に強化されている、という前提で、彼らの脳波解析により、一般の「読書」についての生理学的な手掛かりが得られると考えた。

「読書」の一部分である文字理解についての研究は、従来より臨床病理学的研究がなされてきている。Wernicke は感覚性言語中枢 (Wernicke 野)、運動性言語中枢 (Broca 野) に加え概念としての視覚的言語中枢を想定し、失語、失読などの臨床症状を説明した⁴⁾。さらに Dejerine は優位側角回を失読・失書の責任中枢と考え、同部位が視覚的言語情報処理にかかわる「読書・書字中枢」とした⁵⁾。

Geschwind は症例研究と、系統発生学的、個体発生学的な大脳連合領の結合様式の知見より言語機能について総括した⁶⁾。彼によれば、優位側角回は、Wernicke 野の聴覚パターン、後頭葉の視覚パターン、感覚野の触覚パターンの異種感覚の連係の場であり、さらにまた視覚的言語情報理解に聴覚的言語情報理解の Wernicke 野が深く関わるという。この Geschwind の優位側角回についての推論は、Dejerine が同部位を読書・書字中枢とした概念とは異なる。

一方、臨床的に文字の音読と、文字理解の障害が乖離する症例報告がなされ、聴覚的言語情報理解と視覚的言語情報理解とが、互いに必須とは限らないとされている^{7~10)}。それに従えば、現在主流となっている Geschwind の考えた文字理解とは異なる過程が存在する可能性がある。Wernicke は視覚心像の概念を導入した時、文字の初学者は聴覚心像に全面的に依存して書き言葉を理解するが、文字を読むことが習慣化している者は聴覚心像に依存しない、という可能性に既に言及している⁴⁾。一方、Geschwind の考え方は読書・書字中枢の独立性を認めない点で再考の余地がある。

さらに、「読書」他の重要な側面、文章内容理解につ

いて、右大脳半球損傷患者の臨床病理学的研究より、文章の内容理解にいわゆる非言語半球が関与している可能性が報告されている^{11,12)}。

本実験では、前述の実験条件により、いわゆる非言語半球の右大脳半球を含め、読書時における大脳の活性化を脳波学的に調べ Geschwind の説に対し否定的で、読書・書字中枢の独立性を支持する結果を得た。また、読書による内容の理解と右大脳半球視覚野が関係する結果を得たので報告する。

研究材料および方法

(1) 実験対象

1) 速読法

本実験にて対象とした者が受けている速読の訓練は朴¹³⁾により創始され、佐々木¹⁴⁾により日本人向けに改変されたものである。この速読法訓練の最初の段階は、飛ばし読み、斜読みを許さず、逐一文字を追う速さを増加させることにより、文字情報読み込みの速さを増加させる。日本人の読書の速さは、一般的に1分間に500から1,000文字程度であるが、無駄な運動を省き、連続的に文字を読み取る視覚の持久力を身に付けた者の速さは1分間に3,000文字程度となり得る。速読法の次の段階の、読み込んだ文字情報を頭の中で音声化する過程を省いて理解することが可能となった者の速さは1分間に8,000文字を越えるようになる。

速読の訓練に用いられている教材の1例を Fig. 1a, b に示す¹⁴⁾。Fig. 1a は眼球の無駄のない滑らかな運動を得るために、一つ一つの円をはっきり確認しながら矢印に沿って記号を追いかける訓練に用いる。Fig. 1b は、文章の意味を取らずに、文字を単に記号として Fig. 1a の円のように追いかける訓練と、意味を取りながら追いかける訓練、すなわち速読の訓練の2種に用いられる。

2) 被験者

以上の速読法の訓練を受けて、無駄な眼球運動などは少なくなったものの、音声化過程の強く残っている者を初心者群(男性5名、女性2名、平均年齢30.5歳)、さらに音声化過程を省略して読書理解可能な者を熟達者群(男性6名、女性2名、平均年齢25.3歳)とし、被験者とした。全被験者について Edgenbargh 利き手調査¹⁵⁾を日本人向けに改良した調査により右利きであることを確認した。

Fig. 1 Tasks for training rapid-reading ; referred to (14)

(a) In order to get smooth eye movement without unnecessary motions, this task was used to pursue the circles while recognizing each circle clearly, according to the arrows. (b) This task was used for two purposes. One was to pursue the letters, just as in task (a), without trying to understand the contents of the text. The other was to do so with understanding the contents of the text, i.e., rapid-reading.

(2) 実験課題

1) すべての被験者に対し速読訓練用の本¹⁴⁾により以下の課題をあたえた

i) 記号追跡(pursuing the circles), 非言語の記号(Fig. 1a)を矢印に添って目で追う。

ii) 文字追跡(pursuing the letters), 文字(Fig. 1b)を意味を取らずに記号のように追う。

iii) 速読(rapid-reading), 文字(Fig. 1b)を意味を取りながら追う。

2) 熟達者群のみにに対し速読訓練用の本に準じた初見の本により以下の課題をあたえた。

i) 速読(rapid-reading)。

ii) 音声化過程負荷, あえて音黙読する(reading with the mental phonetic process)。

(3) 脳波測定法

国際基準 10—20 法に従い眼球運動, その他の影響を直接受ける前頭部の電極を除き, Fz, F3, F4, C3, C4, Pz, P3, P4, T5, T6, O1, O2より両耳朶を基準電極とし, 接触抵抗値を5 K Ω 以下となるようにして12チャンネル導出し, 脳波計(日本電気三栄製1A97)および, シグナルプロセッサ(日本電気三栄製7T18)にて解析した。パワー・スペクトルは, サンプリングタイム5 msecにて5秒間取り込んだ信号を0.2~80.0 Hz間を0.2 HzステップのFFTによって求め, これを6回加算平均したうえbeta 1 (13.0~19.8 Hz), beta 2 (20.0~29.8 Hz)帯域の値を求めた。各課題は開始後3分経過後をめぐり, 脳波チャート上で定常的になったと思われるところからシグナルプロセッサに取り込みを開始した。課題は安静開眼を間にはさみながら順に2回行い, アーティファクトのより少ない方をデータとして利用した。

(4) データ処理法

1) 全被験者, 速読訓練用本による実験

安静開眼時, 記号追跡時, 文字追跡時と速読時におけるbeta 1, beta 2帯域各々のパワー値をFFTによって求め, 課題間のこのパワー値の差を知るために非言語課題である記号追跡時を対照とし, さらに, 個人差を除くため安静開眼時の値によって以下のように規格化した値をRelative Power Value (R.P.V.)とした。

文字追跡時 R.P.V. (%) = { (文字追跡時 - 記号追跡時) / 安静開眼時 } $\times$ 100 (%)

速読法 R.P.V. (%) = { (速読法 - 記号追跡時) / 安静開眼時 } $\times$ 100 (%)

統計的処理は各被験者について各課題の R.P.V. の差を取り t 値検定を行った。

2) 熟達者群, 初見の本による実験

ここでは前実験処理とは異なり rapid-reading Relative Power Value (r-R.P.V.) を以下のようにして課題間の差を求めた。統計処理は前実験と同様である。

熟達者速読 R.P.V. (r-R.P.V.) (%) = { (音声化過程負荷時 - 速読時) / 安静開眼時 } $\times$ 100 (%)

3) 本実験では眼球運動, 表情筋などによる

EEG へのアーティファクトの影響を比較的小さく見積ることができる。さらに, 記号追跡時, 文字追跡時, 速読時, 音声化過程負荷時各々のアーティファクトの混入量は, ほぼ等しいとみなすことができる。従って, 課題間の R.P.V. に統計的に差があればそれは脳波に由来するとみなせる。

結 果

1. 全被験者に対する速読訓練用の本による実験結果

初心者者の安静開眼時, 記号追跡時, 文字追跡時および速読時における脳波チャートの1例を Fig. 2a, b, c, d に示す。課題実行時には前頭部を中心に眼球運動による大きな振幅の0.8~1.2 Hz程の波の混入が見られるが, 筋電図の混入は小さく, 各課題間でアーティファクトの混入の際だった差異を認めない。

(1) 初心者群の結果

Table 1a に対照とした記号追跡時に対する文字追跡時, 速読時の R.P.V. を示す。また, Fig. 3a に記号追跡時を基線として文字追跡時と速読法の R.P.V. を比較して示す。基線とした記号追跡時に対し文字追跡時の R.P.V. は, すべてのチャンネルで統計的に有意の差が認められなかった。記号追跡時に対して速読時は Fz にて beta 1 帯域 R.P.V. の有意の増加 ($p < 0.05$), P3, C3 にて beta 2 帯域 R.P.V. の有意の増加 ($p < 0.01$, $p < 0.01$) が認められた。速読時は文字追跡時と比べ, P3 にて beta 1 帯域 R.P.V. の有意の増加 ($p < 0.01$), C3, T5, P3, にて beta 2 帯域 R.P.V. の有意の増加 ($p < 0.05$, $p < 0.02$, $p < 0.02$) が認められた。従って, 速読時は, 記号追跡時または文字追跡時と比べ, Fz, C3, T5, P3 にて beta 1 波もしくは beta 2 波の増加が認められ, 電極相当部位の大脳皮質の活性化が示された。

(2) 熟達者群の結果

Table 1b に対照とした記号追跡時に対する文字追

Fig. 2 Typical EEG recordings in the under-trained readers. Waves of large amplitude and low frequency of 0.8~1.2 Hz, presumably due to eye movements, were observed mainly in the frontal area leads while doing tasks. The artifact of EMG was minimal in all the leads. The artifact did not significantly differ between the tasks.

(a) Resting state with eyes open, (b) Pursuing the circles, (c) Pursuing the letters, (d) Rapid-reading.

Table 1-a, b Relative Power Value (R.P.V.) in tasks

a		n=7		mean±S.E.	
Beta 1	R.P.V.		Beta 2	R.P.V.	
P. letters	Rapid-R.	Ch.	P. letters	Rapid-R.	
-1.1±1.9	0.1±2.2	F 3	5.3±2.3	6.6±4.1	
4.2±3.4	4.4±4.3	F 4	8.6±5.7	6.2±5.6	
-1.2±2.3	4.8±2.4	C 3	10.4±6.5	19.7±5.3	
3.2±4.1	3.8±4.8	C 4	7.3±5.8	5.3±4.0	
1.0±3.8	5.2±3.8	P 3	2.6±3.0	12.0±3.5	
2.0±3.8	1.7±3.8	P 4	5.0±4.5	1.2±3.5	
-3.0±4.0	-0.3±3.8	O 1	1.2±4.5	-3.3±5.3	
4.3±3.2	0.8±2.9	O 2	4.6±3.0	-1.8±2.1	
2.1±2.0	4.3±1.4	Fz	2.2±4.5	-3.8±5.6	
-0.6±6.9	1.0±5.4	Pz	6.8±4.5	-0.5±4.7	
2.3±4.1	15.5±7.4	T 5	0.7±4.8	22.5±11.1	
-5.0±6.8	-5.7±5.5	T 6	-2.1±6.3	-2.2±5.1	

b		n=8		mean±S.E.	
Beta 1	R.P.V.		Beta 2	R.P.V.	
P. letters	Rapid-R.	Ch.	P. letters	Rapid-R.	
-5.1±2.8	-3.4±3.0	F 3	3.4±2.2	-1.3±3.5	
-3.2±5.2	-1.4±3.7	F 4	0.7±5.3	-0.9±8.0	
-1.3±2.1	-3.3±2.0	C 3	-3.9±5.5	-0.7±6.3	
-0.9±3.3	-3.0±3.5	C 4	-7.2±6.9	1.7±3.3	
1.2±2.1	1.4±2.1	P 3	3.8±2.8	6.1±3.8	
0.2±3.2	2.4±2.5	P 4	-2.9±5.6	0.7±2.2	
1.5±4.6	3.2±3.1	O 1	-0.1±6.1	-2.5±5.2	
-0.2±5.2	-3.4±3.3	O 2	0.4±5.1	0.9±2.8	
-2.0±5.0	-1.2±5.2	Fz	-6.8±6.1	-5.5±6.5	
0.9±4.0	-2.4±2.2	Pz	-3.1±5.8	-5.1±4.6	
-3.6±4.4	-5.3±4.2	T 5	1.5±4.9	-4.8±4.0	
-2.1±4.3	-3.1±4.6	T 6	0.8±8.8	-4.1±5.1	

The Table 1-a is for the under-trained readers and Table 1-b for well-trained readers. The subjects were asked to pursue the circles as in Fig. 1-a, to pursue letters without trying to understand the contents of the text which is shown in Fig. 1-b, or to rapid-read the same text. The results from the latter two tasks were analyzed as the former as control. The relative power value (R.P.V.) was calculated as follows:

$$RPV(\%) = \{(X-C)/N\} \times 100(\%)$$

where X is the beta 1 (13.0~19.8 Hz) or the beta 2 (20.0~29.8 Hz) bands power value by FFT analysis while doing either one of the tasks, C is that while pursuing circles, and N is that in the resting state with eyes open.

In the left column of the table, the task is to pursue the letters, in the right column, the task is to rapid-read the text.

跡時, 速読時 R.P.V.(R.P.V.)を示す。また, Fig. 3b に記号追跡時を基線として文字追跡時と速読時の R.

Table 2 Rapid-reading Relative Power Value (r-R.P.V.) for the well-trained readers

mean±S.E.		n=8	
r-R.P.V.			
Beta 1	Ch.	Beta 2	
8.2±8.4	F 3	14.4±13.0	
-2.6±5.8	F 4	11.1±12.3	
4.6±4.7	C 3	13.5±8.0	
-4.9±3.1	C 4	5.5±7.3	
-7.1±2.7	P 3	-9.6±3.8	
3.1±2.1	P 4	1.4±2.7	
-4.9±6.1	O 1	-7.4±3.7	
-19.8±8.6	O 2	-14.7±4.1	
-6.7±4.4	Fz	1.4±5.2	
-6.1±4.7	Pz	-3.6±7.9	
0.1±5.4	T 5	13.8±7.8	
-7.6±9.3	T 6	-1.0±10.1	

The well-trained readers were asked to read with mental phonetic process, or just rapid-read a previously unknown text. The results were analyzed by introducing a new index, i.e., r-R.P.V. It was calculated as follows:

$$r-RPV(\%) = \{(X-C)/N\} \times 100(\%)$$

where X is the beta 1 (13.0~19.8 Hz) or the beta 2 (20.0~29.8 Hz) bands power value by FFT analysis while reading with mental phonetic process, C is that while rapid-reading, and N is that in the resting state with eyes open.

In the left column of the table represents beta 1 r-R.P.V., and the right column, beta 2 r-R.P.V.

P.V. を比較して示す。記号追跡時に対し文字追跡時および速読時の R.P.V. は beta 1, beta 2 両帯域ですべてのチャンネルで統計的に有意の差が認められなかった。ただし, P 3 の beta 2 帯域 R.P.V. は速読時と文字追跡時を比べた時, 比較的大きな増加が認められ, P 3 電極相当部位の脳皮質の活性化傾向が示された。

2. 熟達者に対する初見の本による実験結果

Table 2 および Fig. 4 に示すように音声化課程負荷時は速読時に比べ, O 2 にて beta 2 帯域 r-R.P.V. の有意の減少 ($p < 0.02$), P 3 にて beta 1, beta 2 両帯域 r-R.P.V. の減少傾向が認められた。T 5 にて beta 2 帯域 r-R.P.V. は逆に増加傾向が認められた。従って, 音声化過程負荷時に比べて, 速読時は, O 2 がより活性化し, P 3 では活性化の傾向が示された。T 5 では, 逆に, 速読時と比べ音声化過程負荷時に活性化傾向が示された。Fig. 5 に熟達者の(a) 安静開眼時, (b) 音声化過程負荷時, (c) 速読時の beta 帯域パワー値によるトポグラフの 1 例を示す(トポグラフ作成には本実験

で扱わなかった Fp 1, Fp 2, F 7, F 8 を加えた)。音声化過程負荷時、速読時ともに眼球運動に伴う筋電図の混入を認めたが、前頭部に限極し本実験系に影響はないとみなせる。速読時に右後頭部 O 2 を中心に beta 帯域パワー値の著明な増加が観察される。

考 察

1. 各電極についての考察

初心者、熟達者両群ともに記号追跡時と文字追跡時とで beta 1, beta 2 両帯域 R.P.V. の統計的な有意差

を認めなかったことは、2つの課題について beta 1, beta 2 両帯域脳波パワー値に統計的に差異がないことを示す。従って、非言語的情報の記号を追跡する時と、言語的情報ではあっても文字の意味を取らないで追跡する時とは脳波測定上差異がないと見なせる。記号追跡時あるいは文字追跡時と速読時との間の統計的な差異は視覚的言語情報である文字を意味を取りながら読んだことによって生じたものであり、速読に伴う大脳皮質の電極相当部位近辺の活性化を示すと考えられる。

Fig. 3a, b R.P.V. of the beta 1 and the beta 2 bands in the under-trained readers and that in the well-trained readers, the same as in Tab. 1 a, b are graphically shown above. The left pair of bars in each site represents the beta 1 R.P.V., the right pair the beta 2 R.P.V. The baseline in each bar graph represents the statistically analyzed value in the task of pursuing the letters. The hatched column represents the R.P.V. while pursuing the letters. The open column represents that while rapid-reading.

Fig. 3a In the under-trained readers, there was no statistically significant difference between the R.P.V. of pursuing the circles and pursuing the letters. On the other hand, the difference between the R.P.V. of pursuing the circles and that of rapid-reading was significant, in Fz in the beta 1 band, and in C 3 and P 3 in the beta 2 band. The difference between the R.P.V. for pursuing the letters and for the rapid-reading was also significant, in P 3 in the beta 1 and 2 bands, and in C 3 and T 5 in the beta 2 band.

Fig. 3b In the well-trained readers, there was no statically significant difference of R.P.V. in any channel among pursuing the circles, pursuing the letters or rapid-reading. However, in rapid-reading, the R.P.V. in P3, in the beta 2 band showed an increasing trend, in contrast to other channels where the R.P.V. was decreased.

(1) C3, T5

C3, T5 電極は、ほぼ Wernicke 野に相当する。初心者群と熟達者群とは主に速読時の音声化過程の有無が異なっていることから、初心者群の速読時に認められた Wernicke 野近辺の活性化 (Fig. 3a) は、初心者群が速読時に残している音声化過程と関係すると考えられる。熟達者群に対する初見の本を用いた実験で、T5 にて音声化過程負荷時の活性化傾向 (Fig. 3b) を認めたことは、初心者群での Wernicke 野の活性化に対応するものと考えられるので、視覚的言語情報の意味を取る時に伴う音声化過程と、聴覚的言語情報の中枢である Wernicke 野近辺の活性化は関係があると結論づけられる。

熟達者群に対する初見の本を用いた実験で Wernicke 野の活性化が統計的に有意とならず傾向のみにとどまった。この理由として、ひとつは、初見本を用いた実験系では、眼球運動が課題間ではほぼ同一であったのに比べると、速読訓練の本を用いた実験系では速

読時と音声化過程負荷時とで眼球運動にやや差が生じ、眼球運動に伴い混入したアーティファクトを完全にキャンセルしなかったこと。もう一つは、熟達者に音声化過程を負荷させても読書スピードは1分間に2,000~3,000文字程度までにしか低下せず、無意識的な音声化過程の省略を完全に避けえないため、速読時との差を取っても同野の活性化がはっきり出難いためと考えられる。

(2) P3

P3 電極は、ほぼ優位側角回に相当する。速読訓練用の本を用いた実験における初心者群での活性化、熟達者群での活性化傾向は、初見の本を用いた熟達者群での活性化傾向に対応していると考えられる。優位側角回は音声化過程の有無にかかわらず視覚的言語情報処理に関係していると結論づけられる。

速読訓練用の本を用いた実験で熟達者群で活性化の傾向にとどまったのは、熟達者群は十分にこの訓練課題に慣れていて、意味を取る作業を怠りがちなため

significant difference: *: $p < 0.02$

Fig. 4 r-R.P.V. of the beta 1 and beta 2 in the well-trained readers, the same as in Tab. 2 are graphically shown above. The subjects were asked to read with mental phonetic process, or just rapid-read a book which they had not known previously. The left bar in each site represents the beta 1 r-R.P.V., the right bar the beta 2. The baseline in each bar graph represents the statistically analyzed value for the rapid-reading. A statistically significant difference of r-R.P.V. was observable in O2 in the beta 2 band, but not any other leads. In P3, r-R.P.V. of the beta 1 and 2 bands showed a decreasing trend, in contrast to that in T5 or C3, where r-R.P.V. of the beta 2 band showed an increasing trend.

あろう。また、初見の本を用いた実験で熟達者が活性化の傾向にとどまったのは速読、音声化過程負荷いずれの課題も視覚的言語情報処理にかかわるため差として出にくいこと、それにもかかわらず速読時の方がより活性化の傾向を示したのは、速読による単位時間内の情報処理量が多いことを反映したためと考えられる。

(3) O2

O2電極は、ほぼ右大脳半球視覚的に相当する。被験者は速読により「多彩な視覚的なイメージを情景のように浮かべる」と報告することが多かった。品川、河野ら^{1,2)}は既に、閉眼時に視覚的要素の強いイメージを浮かべた時、右大脳半球視覚野の活性化が認められたと報告し、福田ら³⁾は催眠時の夢と同野の活性化の関

Fig. 5 Typical EEG topographic mapping of the beta 1 (13.0~19.8 Hz) and the beta 2 (20.0~29.8 Hz) bands in the well-trained readers. (The mapping was produced from 16 channel lead recordings, by addition of Fp 1, Fp 2, F 7 and F 8 to the conventional 12 channel leads.)

While the rapid-reading, a remarkable activation of the right occipital region, i.e., the visual cortex of the non-verbal hemisphere, was observed.

(a) Resting state with eyes open, (b) Reading with mental phonetic process, (c) Repid-reading.

係を報告している。従って、速読時の右大脳半球視覚野の活性化(**Fig. 4, 5**)は、読書に伴う視覚的なイメージと関係があると考えられる。速読による文章内容理解はきわめて多様であることが推測され、何らかの視覚的イメージを描くばかりとはいえない。しかし、少なくとも本実験結果は、視覚的言語情報による理解とは必ずしも言語的ではなく、非言語的なあるイメージであり、速読法による言語情報理解にいわゆる非言語大脳半球が関わっていることを示す。

熟達者が本実験後のインタビューで「速読時の一つ一つの文章ではなく、例えばある情景の中で登場人物があたかも実際に動く様子が浮かぶ」と述べるのに比べ、音声化過程負荷時は「自分の声(頭の中の声)」に気を取られ、そういった視覚的なイメージが浮かびにくく、かえって話の筋が読み取り難い」と述べるが多かった。音声化過程負荷によりかえってイメージが浮かびにくい、ということは、負荷により音声化過程とそれに伴うイメージ化が必ずしも並列して行われるものではなく、むしろイメージ化が、音声化過程を伴うことで中断されてしまうためであろう。従って、音声化過程を伴わない速読時の方が、脳波測定上は右大脳半球の活性化がはっきりと示された、と考えられる。

初見の本を用いた実験で両群ともに右視覚野の活性化が認められなかったのは、初心者群ではイメージが断続的で少ないこと、また熟達者群ではP3と同様慣れのためと考えられる。

(4) Fz

Fz電極は、ほぼ前頭葉正中部に相当する。速読訓練用の本を用いた実験で初心者群は速読時にbeta 1帯域パワー値が増加し(**Fig. 3a**)活性化を示した。逆に、熟達者群両帯域(**Fig. 4, 5**)では、増加または増加傾向は認められなかった。精神作業時に頭頂部、前頭正中部theta波にいわゆるFm θ が出現することがある、とされているが、脳波視察により本実験ではFm θ の出現は確認されなかった。これまで、精神作業負荷による前頭部のbeta波の増加、同部位の活性化が報告されたことはない。品川ら¹⁰⁾は一般の者に比較し、珠算有段者などの精神の集中時に前頭葉のalpha波の増大、後頭葉alpha波との同期性の増大が認められることを報告している。alpha波は、beta波とは逆に、大脳皮質神経活動の抑制系の指標と見なされている。彼らの報告からすると、一般の者は、ある作業負荷に伴い、負荷された作業に必要な大脳皮質部位のみならず

全般的に活性化し、従ってalpha波が全般的に減少するが、対照的にその作業に熟達した者は、精神の集中に伴い負荷された作業に必要な大脳皮質部位のみが活性化し、他の部位は不必要な活性化を伴わないため、alpha波が前頭葉に出現することが考えられる。本実験で得られた速読時の前頭葉beta波は、上述の前頭葉機能と関連があるかも知れない。

2. 読書についての考察

以上の電極各々に関する結果についての考察をまとめると、速読という条件下では視覚的言語情報を処理するうえで、音声化過程と関わるWernicke野の活性化は必須でなく、優位側角回の活性化が必須であり、さらに右半球視覚野が文章全体の内容理解と関係しているという結論に導かれる。さらに、前頭葉がなんらかの関わりを持つことが示唆された。

緒言で触れた「文字理解」もしくは「内容理解」についての研究は、脳血管障害あるいは外傷などによる臨床的な欠落症状と、病理解剖あるいはCT、MRIなどによる解剖学的所見による大脳機能についての間接的な研究である。本実験は速読という訓練を受けた者によって得た結果が、欠落症状とは逆に、一般的な「読書」という行為の本質を強く反映していると考えられる。一般に、人の文字理解は音声化過程が大きく関わっている。実際この速読の訓練過程で、音声化過程を省いて文章を理解してゆく段階は初心者には困難なものとされている。また、臨床報告例で、いわゆる感覚性失語症患者のほとんどが著しい難読症を示すことは⁷⁻⁹⁾、言語活動のうち視覚的側面と聴覚的側面がきわめて密接な関係にある、ということを裏付ける。Wernicke⁹⁾が既に指摘しているように、文字の学習過程初期に声に出して読む過程、いわゆる音読により文字を修得する過程で、この二つの側面の密接な関係は獲得・強化される、と考えられる。速読訓練により音声化過程が漸次消失してゆくこと、緒言で触れた文字の音読みと理解の障害が乖離する臨床例とを考慮すると、速読の訓練を受けていない一般の人においても、音声化過程を経てWernicke野が関与する経路だけではなく、音声化過程を伴わない経路が元々並立し、日常的にはWernicke野での音声化過程を伴う経路が前景にでている、と考えるのが妥当である。速読の訓練は、Wernicke野の関係を伴わず、優位側角回の読書・書字中枢で理解する過程を強化している、と考えることができる。

さらに、読書理解については、速読熟達者では読書による内容理解の一断面が強調されているのであって、一般人の読書による内容理解においても右大脳半球が大きく関与している、と考えられる。これは、右大脳半球損傷者が文の背後にあるユーモアや皮肉を理解しなかったという報告^{11,12)}と矛盾しない。以上のように、読書という行為の全体についての大脳機能のモデルを示すことができる。

緒言で触れた Geschwind の考え方に基づく読書のモデル⁶⁾を考えてみると、彼のモデルは聴覚的パターンに強く依存し、文字をそのまま視覚的言語情報として処理する経路を考え難く、読書・書字中枢の独立性を認めない点で、われわれの得た結果は彼のモデルに対し否定的である。Petersen ら¹⁷⁾は PET を用いた言語負荷実験で、被験者に視覚的に単語を提示した時には、一次視覚野、後頭葉視覚連合野の賦活を認め、聴覚的に提示した時には、両側第一次視覚野、Wernicke 野、優位側角回、内側帯状回前方が賦活することを報告している。彼らの実験結果は視覚的に提示された文字情報と、聴覚的に提示されたものとで二つの並列した経路が存在する、という点では本実験から得たモデルと矛盾しないが、視覚的言語情報の処理に Wernicke 野、優位側角回の関わりを積極的に認めていない点では異なる。さらに、これらのモデルと比べ本実験結果は、読書による内容理解が右大脳半球と関わることを明示している点が特徴的である。

結 語

速読の初心者群 7 名、熟達者群 7 名の記号追跡、文字追跡、速読、各々の課題実行時の脳波測定を行い、FFT による周波数解析を行い、以下の結果を得た。

1) 速読訓練課題にて、初心者群では記号追跡時と文字追跡時にはすべてのチャンネルで beta 帯域パワー値に有意の差を認めなかった。記号追跡時と比べ速読時は、beta 1 帯域パワー値が Fz にて有意の増加 ($p < 0.05$)、beta 2 帯域パワー値が C3、P3 にて有意の増加 ($p < 0.01$, $p < 0.01$) が認められ、文字追跡時と比べ速読時は beta 1 帯域パワー値が P3 にて有意の増加 ($p < 0.01$)、beta 2 帯域パワー値が C3、T5、P3 にて有意の増加 ($p < 0.05$, $p < 0.02$, $p < 0.02$) が認められた。従って、初心者群の速読時には優位側角回、Wernicke 野、前頭葉正中部の活性化が認められた。

2) 速読訓練課題にて、熟達者群では記号追跡時と比べ速読時に P3 のみ beta 2 帯域のパワー値の増加傾

向を示し、優位側角回の活性化の傾向が認められた。

3) 初見の本について速読熟達者群に音声化過程を負荷すると、T5 にて beta 2 帯域のパワー値が速読時に比べ増加傾向を示し、Wernicke 野の活性化の傾向が認められた。逆に音声化過程時に比べ、速読時には P3 にて beta 2 帯域のパワー値の増加傾向、O2 にて beta 2 帯域のパワー値の有意の増加が認められ ($p < 0.02$)、優位側角回の活性化の傾向、右大脳半球視覚野の活性化が認められた。

以上の速読者の実験結果より、一般の読書について脳波学的に次のモデルが提示された。

4) 読書という視覚的言語情報の理解には、読書・書字中枢としての優位側角回のみ活性化する経路と、音声化過程と関わる Wernicke 野と優位側角回両者の活性化を伴う経路との二つが存在する。一般には後者の経路が優位であり、これが読書時の音声化（音黙読）に相当する、と考えられる。この結果は、読書・書字中枢の独立性を支持し、文字理解について Geschwind の説に否定的である。

5) 読書による内容理解の側面として視覚的なイメージと、非言語半球である右大脳半球視覚野の活性化が関係する。

6) 速読法の初心者群は速読時に前頭葉正中部位の活性化を認めた。

本研究を直接御指導いただいた日本医科大学生理学第 1 教室、品川嘉也教授に感謝いたします。また、被験者などの便宜をはかっていただいた日本速読教育連盟、佐々木豊文理事長、数々の貴重な御助言をいただいた日本医科大学基礎医学情報処理室各位に感謝いたします。

本研究の一部要旨は第 18 回日本脳波・筋電図学会 (1988 年) にて発表した。

文 献

- 1) 品川嘉也, 河野貴美子, 吉川玲子, 加藤隆吉, 齊藤恵美子: 催眠とイメージの EEG トポグラフによる解析。催眠と科学, 3, 15~25, 1988.
- 2) Kawano, K., Yoshikawa, R. and Shinagawa, Y.: Brain laterality during thinking and topological analysis. J. Physiol. Soc. Jpn., 50, 480, 1988.
- 3) 福田秀樹, 鳥居鎮夫, 宮内 哲, 多喜乃亮介, 加藤洋三, 田中良朗, 神下敏幸, 小菅宜良: 催眠夢の脳波トポグラフィ。臨床脳波, 27, 20~28, 1985.
- 4) Wernicke, C.: Der aphasische Symptomencomplex; Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis. Kohn und Neigert, Breslau, 1874, 日本語抄訳, 秋元波留夫編: 神経心理学の源流: 失語編 (上), p. 109~134, 「新樹会」創造出版, 1982.
- 5) Dejerine, M.J.: Contribution à l'étude anatomopathologique et clinique des différentes variétés de cécité

- verbale. C.R. Soc. Biol., 44, 61~90, 1892, 日本語訳, 秋元波留夫 編: 神経心理学の源流: 失語編(上). p. 331~376, 「新樹会」創造出版, 1982.
- 6) Geschwind, N.: Disconnexion syndromes in animals and man. Brain, 88, 237~294, 585~644, 1965.
- 7) 岩田 誠: 純粹失読症候群の神経心理学的側面. 神経進歩, 21, 930~940, 1977.
- 8) Sugishita, M., Yoshioka, M. and Yamada, R.: Unilateral agraphia after section of the truncus of the corpus callosum. Brain Lang., 9, 215~225, 1980.
- 9) 鳥居方策, 榎戸秀明: 純粹失読の症候学; とくに日本語の特質について. 神経内科, 10, 413~419, 1979.
- 10) Coltheat, M.: Disorders of reading and their implications for models of normal reading. Visible Lang., 15, 245~286, 1981.
- 11) Brownell, H.H., Michel, D., Powelson, J. and Gardner, H.: Surprise but not coherence; Sensitivity of verbal humor in right-hemisphere patients. Brain Lang., 18, 20~27, 1983.
- 12) Gardner, H., Ling, P.K., Flamm, L. and Silverman, J.: Comprehension and application of humorous material following brain damage. Brain, 98, 399~412, 1975.
- 13) Park, H.Y.: An Experimental Study on the Reading Skill Improvement of the Secondary School Children. J. of College of Education (Soul National Univ.), in Korean, 14(12), 53~66, 1976.
- 14) 佐々木豊文, 朴 鍾燮: 科学的速読法. 日本速読教育連盟, 1986.
- 15) Oldfield, R.C.: The assessment and analysis of handedness; The edinburgh inventory. Neuropsychol., 89, 97~113, 1971.
- 16) 品川嘉也, 河野貴美子: 集中力と脳波. 臨床脳波, 34, 101~106, 1992.
- 17) Petersen, S.E., Fox, P.T., Posner, M.I., Mintun, M. and Raichle, M.E.: Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of singleword processing. Nature, 331, 585~589, 1988.

(受付: 1992年4月8日)