

学習に最適な色とは？

－ 英単語の暗記で悩むすべての高校生たちへ －

楠本 晴樹 竹内 悠貴 田中 達宏 田邊 和香菜 新原 茜 松本 瑠子
兵庫県立神戸高等学校 総合理学科2年

高校生が英単語の暗記をするときに最適な英文字の色を、脳波を解析することで明らかにしようと考えた。普段よく使う色（黒、赤、青、緑、橙）で書かれた英単語を暗記するときの高校生の脳波を、簡易脳波測定器（MindWave Mobile）を用いて測った。取得した脳波の α 2波、 β 1波、 β 2波のデータから平均の差、分布の差、時間変化の差を求め、黒色の英単語を暗記したときの場合と比較して分析した。その結果から、5色のうちでは黒と赤が英単語の暗記に適しているということが示唆された。

1. はじめに

1.1. 動機と目的

高校生にとって英単語の暗記は必須事項である。この英単語の暗記をどうすれば効率よくできるかということは、私たちだけでなく、世の高校生にとって興味深いことなのではないだろうか。事実、さまざまな出版社から英単語帳が出版され、より確実にスピーディーに高校生が英単語を覚えられるようにと、日々改訂がなされている。

また、一方で、脳波についても研究が進んでおり、今日では、音楽と脳波の関係を研究したものや、部屋の照明と脳波の関係を研究したものなどさまざまな分野で注目されている。

今回、私たちは英単語の暗記ということに、脳波を測定するという方法で挑もうと考えた。また、高校生が英単語の暗記をするとき、場所の違いや周囲の音環境の違い等、様々な要因が影響を及ぼすと考えられる。その中で、私たちが目をつけたのは、英単語の文字の色である。そして、私たちは、文字の色を普段高校生が学習によく使う色、つまり筆箱の中によく入っているボールペンの色である黒、赤、青、緑、橙の5色にしぼり、その中から英単語の暗記に最適な色を見つけ出すことを目的とした実験を行った。

1.2. 本研究の特徴

脳波とは、「ヒトまたは動物の脳の活動電流による電位の変動を、頭の皮膚から導いて記録した波形」である（八杉貞雄、可知直毅、2003）。このような脳波には、さまざまな周波数のものがあるが、 α 2波の周波数は10～12Hz、 β 1波の周波数は12～20Hz、 β 2波の周波数は20～30Hzとされる。

今回、「英単語の暗記に最適」ということを、私たちは「高校生がリラックスし、かつ集中して学習に臨んでいる状態」と定義した。また、先行研究では、NeuroSky社が独自に定めるattention（集中度）をそのまま基準にして集中度を測っている

ものもあるが、今回私たちは、脳波のうち、 α 2波が高い状態をリラックスしている状態、 β 1、 β 2波が高い状態を集中度が高い状態であると定義し、最適な色を「 α 2波、 β 1波、 β 2波のすべての脳波を高める色」とした。

2. 実験方法

2.1. 実験の概要

1年生の総合理学科の生徒16人に英単語の暗記を黒、赤、青、橙、緑の文字の色でもらい、脳波を測定した。生徒は有志のものであり、男13名、女3名である。なお、暗記用英単語はそれぞれの色によって違ったものを用いた。暗記用英単語は、名詞が4つ、形容詞、副詞、接続詞、動詞、前置詞が2つずつの計14個から成り、英単語は高校生があまり知らないであろうと思われる難しいものにした。

測定には NeuroSky 社の簡易脳波測定器である MindWave Mobile と同社のソフトである neuroexperimenter を用いた。なお、MindWave Mobile では額と耳たぶに電極を付けることで、脳波を測定することができる。

2.2. 実験の手順

- ① 被験者は、事前注意（暗記時は黙って、あまり体を動かさない等）を聞くとともに、5色の中で最も好きな色をアンケートに記入する。
- ② MindWave Mobile の ヘッドセットの電極と、被験者の額と左耳の耳たぶを、アルコール消毒液をつけたティッシュで拭く。
- ③ 暗記の前に、10秒間目をつぶる。
- ④ 3分間英単語を暗記する。
※今回データ分析に用いたのは、この間の脳波データである



図1 実験風景

- ⑤ 英単語テストに取り組む(制限時間2分)。
※この結果は今回の分析には用いていない
- ⑥ 2分間休憩した後、異なる色で③以降を繰り返す。

3. 実験結果

今回の実験では、1秒ごとに各脳波のデータを得ることができる。この値はパワースペクトルで、単位は電圧の2乗(振幅の2乗)である。ただし、脳波の振幅については、大よそ数十 μV であるため、ソフト上で係数をかけて算出していると考えられる。今回はこれらをパワーとし、単位を μV^2 として扱うことにする。

以下の表1にデータの一部を示す。

表1 取得した脳波データ(一部)

time(s)	$\alpha 2(\mu V^2)$	$\beta 1(\mu V^2)$	$\beta 2(\mu V^2)$
22	1170	2797	1383
22	3156	5117	4885
23	22239	11599	5291
25	2316	2775	2842
25	15774	10092	7098
26	16313	5665	8860
27	1375	7441	1568
28	12013	8587	4167
29	2516	1114	1528

以上のようなデータを生徒16名の5色それぞれで取得し、以下の3点で分析を進めた。

- ① 各色での脳波の平均に差があるか
- ② 各色での脳波の分布に差があるか
- ③ 各色での脳波の時間変化の差があるか

3.1. 各色での脳波の平均の差について

3.1.1. 手順

被験者一人ひとりについて、黒色の英単語を覚えているときの脳波の平均値と、その他の色の英単語を覚えているときの脳波の平均値の差について、対応のないt検定を行った(有意水準は5%、両側検定)。以下の表2は今回の分析でt値を求める際に用いた式である。

表2 t検定(対応なし)

$$t = \frac{|\text{平均A} - \text{平均B}|}{\sqrt{\frac{SD_A^2 \cdot N_A + SD_B^2 \cdot N_B}{N_A + N_B - 2} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B} \right)}}$$

SD; 標準偏差、N; データ数

3.1.2. 結果

t検定を行った結果を以下の表3に示す。なお、表中の記号及び数値については、以下のように解釈することができる。

- ・⊕は有意差ありと出たうち、黒と比べて脳波の平均値が高くなったことを表す。
- ・⊖は有意差ありと出たうち、黒と比べて脳波の

- 平均値が低くなったことを表す。
- ・×は有意差がなかったことを表す。
- ・表中の数字はその人数を表す。

表3 検定結果別の人数の合計を色で比較

	有意差	赤	青	橙	緑
$\alpha 2$	⊕	2	3	3	3
	⊖	4	5	6	4
	×	10	8	7	9
$\beta 1$	⊕	5	3	4	4
	⊖	4	6	6	5
	×	7	7	6	7
$\beta 2$	⊕	6	3	3	3
	⊖	4	7	7	6
	×	6	6	6	7

$\alpha 2$ 波では、赤、青、緑、橙のいずれも、黒と有意差がないという結果が最も多く、それに次いで脳波の平均値を下げたという結果が多かった。よって、黒色の英単語が最も $\alpha 2$ 波の平均値を上げるといえることがわかる。

次に $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波についても、 $\alpha 2$ 波と同様に黒と有意差がないという結果が多いが、注目すべきは赤の結果である。

赤以外の青、橙、緑は脳波の平均値を下げるという結果も、差をなさないという結果も、脳波の平均値を上げるという結果を上回った。しかし赤は若干ではあるが、脳波の平均値を上げたという結果が脳波の平均値を下げるという結果を上回った。このことから、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波では赤色の英単語が最も脳波の平均値を上げ、黒色の英単語がそれに次ぐといえる。

3.1.3. 好きな色との関連について

さらに、被験者の好きな色が上記の脳波の平均値の差の結果に影響しているかどうかを比率の検定手法であるカイ2乗検定で調べた。しかし結果は有意差なしとなり、関係性は認められなかった。

3.2. 各色での脳波の分布の差について

3.2.1. 手順

各被験者の $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波の75%値、中央値、25%値をとった上で、黒の値を1として各色の相対値をとり、平均した結果を以下の表4に示す。

表4 黒に対する相対値の平均

	値	赤	青	橙	緑
$\alpha 2$	75%値	1.06	1.04	0.90	1.03
	中央値	1.07	1.03	0.97	1.00
	25%値	1.13	1.08	1.04	1.02
$\beta 1$	75%値	1.17	1.00	0.96	0.97
	中央値	1.08	0.99	0.93	0.96
	25%値	1.07	0.99	0.95	0.98
$\beta 2$	75%値	1.33	1.08	1.04	1.03
	中央値	1.27	1.09	1.05	1.05
	25%値	1.23	1.17	1.12	1.09

3.2.2. 結果

特に $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波に注目していただきたい。

$\beta 1$ 波では、赤以外の色は青の75%値を除いてすべて黒より値を下げている。しかし赤だけは75%値、中央値、25%値のいずれにおいても黒より大きな値になっている。よって、赤色の英単語が最も $\beta 1$ 波の値を大きくするということがいえる。

また $\beta 2$ 波では、すべての色の75%値、中央値、25%値が黒の値より大きくなっているが、赤の相対値は大きくなっている。したがって、 $\beta 2$ 波でも赤色の英単語が脳波の値を大きくするのに最も効果があると考えられる。

3.3. 各色での脳波の時間変化の差について

3.3.1. 手順

MindWave Mobile を用いると、1秒ごとの $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波の脳波のデータを得ることができる。しかしそれをそのままグラフにすると、脳波の電位の変動があまりに激しく、グラフが非常に見にくくなるため、脳波のデータを、移動平均を用いて平滑化してグラフにし、その概形に着目した。以下では、4秒間のデータの平均値を用いた。

3.3.2. 結果

以下に示す図2は、被験者aが各色の英単語を暗記しているときの $\alpha 2$ 波の時系列変化を表したものである。

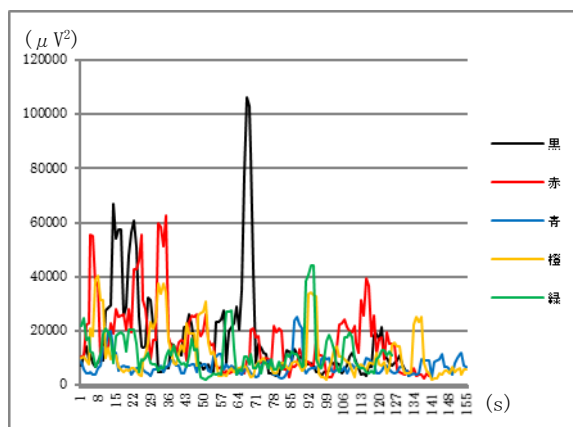


図2 $\alpha 2$ 波の時系列変化 (被験者 a)

同じ被験者が違った色の英単語を覚えるときに、脳波の時系列変化に何かしらのパターンがあるかどうかを調べた。しかし、全ての被験者について、上記の図2のように、赤、青、橙、緑の4色のうち、黒と同じような時系列変化を示す色は見られなかった。よって、被験者が同じならば脳波の時系列変化に規則性があるとは言えない。

4. 結論

平均の差(3.1.)の結果と分布の差(3.2.)の結果の両方に当てはまることとしては、赤色の英単語を暗記するとき $\beta 1$ 波、 $\beta 2$ 波が高い状態になるということである。これはつまり、今回実験で用

いた5色の中では、赤色の英単語が最も集中度を高めるということになる。よって、短時間で集中して英単語を暗記したいときには、赤色で書かれた英単語を見て勉強すればよいと考えられる。

$\alpha 2$ 波では、平均の差(3.1.)の結果と分布の差(3.2.)の結果で食い違いが生じた。

平均の差(3.1.)の結果では、黒色の英単語、それに次いで緑色の英単語、またそれに次いで赤色の英単語という順番で $\alpha 2$ 波が大きかった。

しかし分布の差(3.2.)の結果では、赤色の英単語、それに次いで青色の英単語、またそれに次いで緑色の英単語という順番で $\alpha 2$ 波が大きかった。

したがって、 $\alpha 2$ 波では、この2つの結果を見て、赤色の英単語が良いとか、緑色の英単語が良いとかいったはっきりした結論を出すことはできなかった。今後、被験者の人数(データ数)をもっと増やすことができたならば、著しい傾向が出てくるかもしれないと期待している。

$\alpha 2$ 波については、最適な色を見つけることはできなかったが、 $\beta 1$ 波、 $\beta 2$ 波の分析の結果から、赤色の英単語が集中を最も高めるとということが分かった。はじめに述べた「 $\alpha 2$ 波、 $\beta 1$ 波、 $\beta 2$ 波すべてを高める色が最適な色」という条件をすべて満たすわけではないが、本研究では赤色の英単語が最も暗記学習に適しているという結論を出した。

5. 今後の展望

5.1. 脳波の変動に着目して

以下の図3に、被験者aが黒色の英単語を覚えるときの $\alpha 2$ 波、 $\beta 1$ 波、 $\beta 2$ 波の時系列変化を示す(4秒間の移動平均)。

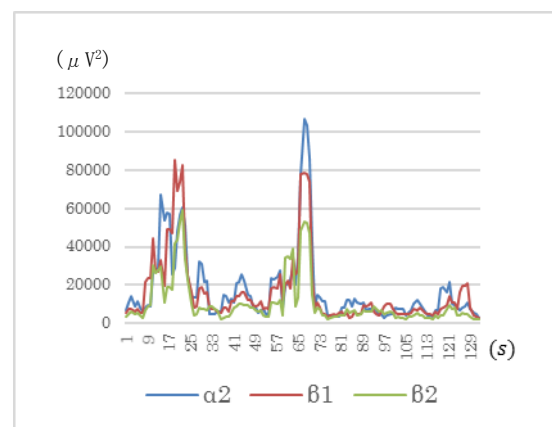


図3 黒色の英単語を覚えるときの脳波 (被験者 a)

$\alpha 2$ 波はリラックスしている時、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波は緊張している時に見られると言われている。私たちは、リラックスする時と緊張する時は一致しないと予想していたので、 $\alpha 2$ 波と $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波の変動は一緒にならないと考えた。しかし、図3を見ると、 $\alpha 2$ 波、 $\beta 1$ 波、 $\beta 2$ 波の電位が変化するタ

イメージが一致していることがわかる。したがって緊張とリラックスは同時に起こりうるといえるが、その理由は今のところ分からない。

5.2. 四分位範囲の形状と好きな色に着目して

全被験者の $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 波それぞれの四分位範囲をグラフに表し、各色のグラフの形状を比較した。

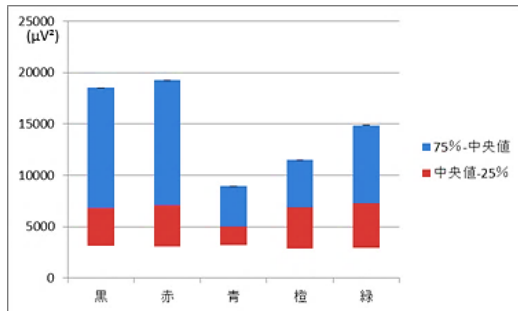


図4 被験者 a の $\alpha 2$ 波の四分位範囲

黒色のグラフの形状と他の色のグラフの形状を比較し、特に四分位範囲が最も大きく異なっている色を記録した。また、記録した色とその被験者が実験前に黒、赤、青、橙、緑の中から選んだ最も好きな色が一致するかどうかを調べた。その結果を、以下の表5にまとめた。

表5 形状が異なる色と好きな色 ($\beta 1$ 波)

$\beta 1$	被験者	好きな色	形状が異なった色			
			赤	青	橙	緑
a	緑			○		
b	青	○				
c	橙		○			
d	橙				◎	
e	橙	○				
f	青					○
g	青					○
h	赤				○	
i	青				○	
j	緑					◎
k	橙					○
l	青				○	
m	橙				◎	
n	緑	○				
o	青				○	
p	橙				◎	
			3	2	7	4

◎ 形状が最も大きく異なり、好きな色と一致した
○ 形状が最も大きく異なった

表5より、 $\beta 1$ 波では橙の○(または◎)の数が最も多い。また、好きな色と実験結果が一致したのは16人中4人だった。同様に、 $\alpha 2$ 波では青、 $\beta 2$ 波では赤の○(または◎)が最も多く、好きな色と一致したのは、ともに16人中4人だった。

これらから、 $\alpha 2$ 波には青、 $\beta 1$ 波には橙、 $\beta 2$ 波には赤が、黒とは異なる影響を与えているとみられる。また、それぞれの色の好みと脳波に与える影響の大きさには関係がないと考えられるが、私たちの予想とは異なり、理由も今のところわかっていない。

5.3. まとめ

以上2つの分析から、脳波を研究するときに、

電位の大きさからアプローチをかける以外の方法でも研究を深めていけそうだと感じた。まだまだ脳波の分野はわかっていないことが多く、今回の研究を通して興味を深めることができた。今後、もっとデータ数を増やすことができれば、新たな発見があるようにも思えるので、それにも取り組んでいきたい。

また、本研究がこれから先の総合理学科の課題研究につながっていくことを願っている。

6. おわりに

今回の研究を進めるにあたって、脳波測定アプリの使用法、脳波測定に関する注意および助言、得たデータの解釈などについてアドバイスを下さった公立ほこだて未来大学の佐藤教授、そして脳波の測定に協力して下さいました総合理学科1、2年生の生徒の皆さんのご協力に深く感謝いたします。また、陰ながら私たちの研究を支え、理解してくれた家族、そして何より、私たちの研究を1年間指導して下さいました長坂賢司神戸高等学校教諭には感謝の言葉もないほどです。

[参考文献・参考URL]

- [1] 市川忠彦 (2006) 「新版 脳波の旅への誘いー楽しく学べるわかりやすい脳波入門」星和書店
- [2] 菅民郎 (2013) 「Excel で学ぶ統計解析入門」オーム社
- [3] 向後千春・富永敦子 (2007) 「統計学が分かる」技術評論社
- [4] 藤本壺 (2014) 「Excel でできるらくらく統計解析」自由国民社
- [5] 福田周・卯月研次 (2009) 「心理・教育統計法特論」放送大学教育振興会
- [6] 八杉 貞雄・可知 直毅「生物事典」(2003) 旺文社
- [7] 神戸市立工業高等専門学校 電気工学科 (2013) 「脳波センサとマイコンを連携させたモバイル端末用教育ツールの開発」
- [8] 統計WEB箱ひげ図の作り方(棒グラフ編)
http://software.ssri.co.jp/statweb2/tips_17.html
- [9] mindwavemobile[NeuroSky Developer-Docs]
<http://mindwavemobile.neurosky.com>
- [10] 公立ほこだて未来大学 2011 年度 システム情報科学実習グループ報告書
www.fun.ac.jp/~sisp/old_report/2011/23/document23_C.pdf