

自己組織化マップを用いた 生体情報に基づく英語能力推定手法

下田明^{†1} 八子亮太^{†1} 土田泰子^{†2} 外山茂浩^{†3} 竹部啓輔^{†3} 村上祐貴^{†4}

概要： 本研究では、英語能力の異なる被験者が英文を読む際の視線と脳波を計測することにより、被験者の英語能力を即時的に推定する手法についての検討を行った。まずは計測した視線、脳波データと英語能力との相関を分析し、次に自己組織化マップを用いた英語能力推定手法を提案している。検証結果から、脳波データ、視線データに関する自己組織化マップによって、TOEIC L&R テストスコアを 7.95%程度の精度で推定できることが分かった。

1. 緒言

我が国でも、様々な分野でのグローバル化が進み、英語能力の向上が必須の課題となっている。英語に限らず言語学習においては、インプット、アウトプット、フィードバックの3要素が重要となる。適正なフィードバックのためには、即時的かつ定量的な言語能力の評価が鍵を握る。一般的には、英語能力の評価手段として実用英語技能検定やTOEIC テスト等があるが、これらは実施から評価結果が明らかになるまでに時間を要するという問題点がある。

そこで本研究では、英文読解の際に計測した視線データ、脳波データを基に、自己組織化マップを用いて被験者の英語能力を即時的に推定する手法の開発を目的とする。まず被験者の英語能力はTOEIC L&R テストスコアと定義し、そのスコアと英文読解における視線データ、脳波データとの関係性を検討する。その結果に基づき、自己組織化マップを用いて英語能力を推定する手法を提案し、その基本的な妥当性を検証した実験結果について報告する。

2. 本研究で扱う生体情報

2.1 視線情報

様々な視線情報の中でも、本研究では英文読解中の停留、逆行、読解速度、瞳孔径、瞬目の各データを分析する。

停留 (Fixation) は、視線移動の合間に視線が一定の場所に留まる状態である。先行研究から、停留と読者の英語能力との間に何らかの関係があることが示されている^[1]。

逆行 (Regression) は、視線移動の際に通常の向きとは逆の向きに視線移動することを言い、文章読解時には一度読んだ箇所に戻りもう一度読み返す状態である。先行研究では、逆行は全停留時間の内約 10~15%で起こっており、英文の理解と何らかの関係がある可能性が示されている^[2]。

読解速度 (Reading speed [wpm]) とは、1 分間あたりの

読解語数を表す。TOEIC を時間内に解き終わる目安が 150[wpm]と言われており、学習者の英語力が高いほど読解速度は速くなるとされている^[3]。

瞳孔径 (Pupil diameter [mm]) は光量又は自律神経の状態によって変化し、ヒトの場合 2~8[mm]程度の間で変化する。ヒトが明所、又は鎮静状態にあるとき縮瞳が生じ瞳孔径は小さくなる。またヒトが暗所、又は興奮状態にあるとき散瞳が生じ瞳孔径は大きくなる^[4]。

瞬目 (瞬き, Blink) は一般に 1 分間 20~30 回程度行われると言われており、ヒトが意識を集中する、又は緊張状態にあると回数が多くなるとされている^[5]。

本研究はこれらの視線データに対して、英語能力との相関性を評価するとともに、自己組織化マップを用いた英語能力の推定材料として用いる。

2.2 脳波情報

脳波には様々な周波数成分が含まれるが、本研究では、 α 波と β 波と呼ばれる周波数帯について主に着目する。 α 波とは、リラックス・閉眼時に出現するとされる周波数帯域 8~13[Hz]の脳波である。読解する英文が難しい、すなわち脳への認知負荷が高い場合には、活性化した脳が沈静化するのに時間がかかり、 α 波の出現が遅れると考えられる。また、 β 波とは、覚醒時に定常的に出現するとされる周波数帯域 13~40[Hz]の脳波である。

通常、脳波を計測する際には国際 10-20 法 (図 1) と呼ばれる電極配置で行うが、本研究では、 α 波が優位に出現するとされる後頭部 (国際 10-20 法における O1, O2) と、脳波計測における主要な位置 (国際 10-20 法における Fp1, Fp2, C3, C4, Cz, A1, A2) の計 9 か所を対象を絞った電極配置 (図 2) で行う。

^{†1} 長岡工業高等専門学校専攻科

^{†2} 長岡工業高等専門学校一般教育科

^{†3} 長岡工業高等専門学校電子制御工学科

^{†4} 長岡工業高等専門学校環境都市工学科

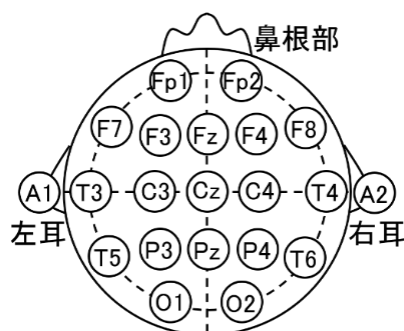


図 1 国際 10-20 法

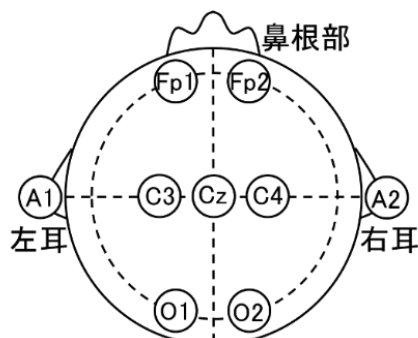


図 2 本研究で用いた後頭部を中心とする電極配置

3. 視線・脳波情報と英語能力の評価実験

3.1 使用機器

視線計測には、ディテクト社の非接触型視線計測システム QG-PLUS（図 3）を用いた。QG-PLUS は据置型の視線計測装置で、本体から赤外線を発し、被験者の瞳孔で反射された赤外線を受け取ることで被験者の眼球運動を計測する装置である。



図 3 非接触型視線計測システム QG-PLUS

脳波計測には、（株）ミュキ技研の生体信号収録装置 Polymate Pro MP600（図 4）を用いた。この装置は、脳波や筋電位、脈波などの生体信号を計測することができる。頭皮に装着した電極をこの装置に接続することにより脳波を計測する。また、PC に接続することによりリアルタイムに計測情報を確認することができる。



図 4 生体信号収録装置 Polymate Pro MP60000

3.2 実験手順

TOEIC L&R テストスコアの異なる 24 名の学生（表 1）を被験者として、以下に述べる実験を行う。被験者に PC のディスプレイに表示した英文を 1 分間読んでもらい、その際の被験者の視線を QG-PLUS によって、その後の脳波を生体信号収録装置 Polymate Pro MP60000 によって計測する。具体的には、表 2 に示すように、読みやすさレベル (YL) がそれぞれ 1.0~1.9, 2.0~2.9, 3.0~3.9 の英語多読本をフィクションとノンフィクションの 2 冊ずつ、TOEIC L&R テストの長文読解問題、英語雑誌をそれぞれ 2 冊ずつ、計 8 種類 10 冊の英文を用意し実験を行う。視線計測については、英文読解中の視線の停留時間、逆行回数、読解速度、瞳孔径、瞬目回数について英語能力との相関係数を算出し検討を行う。脳波計測についても、関連する種々のデータと英語能力との相関係数を算出し検討を行う。

表 1 被験者の TOEIC L&R テストスコア

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H
Total score	940	840	795	685	685	685	685	680
Reading score	445	385	360	275	295	255	315	295

被験者	I	J	K	L	M	N	O	P
Total score	650	585	585	540	520	505	495	470
Reading score	285	235	230	245	205	215	215	155

被験者	Q	R	S	T	U	V	W	X
Total score	450	430	425	420	400	395	380	360
Reading score	200	150	160	220	145	185	200	155

表 2 英文の難易度と ID

ID	英文の難易度
1	YL1.0~1.9[フィクション]
2	YL1.0~1.9[ノンフィクション]
3	YL2.0~2.9[フィクション]
4	YL2.0~2.9[ノンフィクション]
5	YL3.0~3.9[フィクション]
6	YL3.0~3.9[ノンフィクション]
7	TOEIC L&R Test (Reading test, part 7)
8	英語雑誌

3.3 結果・考察

まず視線計測の実験結果を説明し、考察を行う。被験者の各視線データと TOEIC L&R テストスコアとの相関係数を表 3~5 に示す。表 3 からわかるように、停留の中でも 0.20~0.40[s]の停留に相関係数が 0.4~0.7 程度の正の相関が、0.80~1.00[s]の停留に相関係数が-0.2~-0.4 程度の弱い負の相関がそれぞれ見られた。英語能力が高くなるにつれて停留時間が短くなる傾向にある。読解速度については、全体的に相関係数が 0.4~0.7 程度の正の相関が見られたことから、英語能力が高くなるにつれて英文読解が速くなる傾向にある。また、瞳孔径の平均についても相関係数が 0.4~0.7 程度の正の相関が見られた。英語能力が高くなるにつれて文章に対する理解が深まることが予想される。その場合、他の被験者と比べて興奮状態となることで散瞳が起きると考えられる。逆行回数と瞬目回数については、相関係数の絶対値が 0.2 以上の相関がほとんど見られなかった。

これらの結果から、被験者の TOEIC L&R テストスコア推定につながるいくつかの視線データが存在することを確認した。

表 3 視線データと TOEIC L&R テストスコアとの相関係数

	停留時間の割合			
	~0.20[s]	0.20[s]~0.40[s]	0.40[s]~0.60[s]	0.60[s]~0.80[s]
ID1	0.043	0.449	0.147	-0.209
ID2	0.015	0.433	0.168	-0.223
ID3	-0.069	0.508	-0.019	-0.334
ID4	-0.062	0.415	0.122	-0.110
ID5	-0.049	0.296	0.059	0.006
ID6	0.000	0.427	0.072	-0.231
ID7	-0.069	0.534	0.189	-0.021
ID8	-0.089	0.475	0.332	-0.136

表 4 視線データと TOEIC L&R テストスコアとの相関係数

	停留時間の割合		逆行回数	読解速度 [wpm]	瞳孔径[mm] の平均
	0.80[s]~1.00[s]	1.00[s]~			
ID1	-0.256	-0.412	0.240	0.671	0.473
ID2	-0.268	-0.370	-0.115	0.579	0.510
ID3	-0.142	-0.260	0.009	0.661	0.355
ID4	-0.350	-0.229	-0.053	0.630	0.318
ID5	-0.155	-0.153	-0.266	0.546	0.550
ID6	-0.293	-0.276	-0.057	0.562	0.639
ID7	-0.458	-0.328	0.062	0.704	0.517
ID8	-0.248	-0.331	0.105	0.678	0.476

表 5 視線データと TOEIC L&R テストスコアとの相関係数

	瞬目回数
最大-平均	-0.056
平均-最小	0.016

次に脳波計測の実験結果を説明し、考察を行う。本研究グループはこれまでに、脳負荷を具体的に評価するための指標として、 α 波、 β 波の比である α/β 値を用い、評価を行ってきた^[6]。 α 波はリラックスしている時に出現するが、ストレスや緊張によって大きく減衰する。しかし、 β 波は α 波ほどの減衰をしないため、 α/β 値を調べることにより被験者への脳負荷の状態をみることができるといえる。

ビッグデータ解析が可能な自己組織化マップを利用する本研究では、これまでに使用してきた α/β 値の他に、脳波の全周波数帯域に対する α 波の割合、全周波数帯域に対する α 波、 β 波それぞれの割合の比率、そして α 波の定義区間内で、8~9[Hz]、9~10[Hz]、10~11[Hz]、11~12[Hz]、12~13[Hz]の 5 つの区間におけるスペクトル面積を用いて解析を行った。

上述のデータ群と、被験者の TOEIC L&R テストスコアとの相関係数を表 6、7 に示す。これらの表からわかるように、脳波に関するデータ群は絶対値が 0.2~0.4 程度の弱い相関がいくつかのケースで見られたが、絶対値が 0.4 以上の強い相関はほとんど見られなかった。

表 6 定義区間内で区切った α 波と TOEIC L&R テストスコアとの相関係数

	α 波の定義域				
	8~9[Hz]	9~10[Hz]	10~11[Hz]	11~12[Hz]	12~13[Hz]
ID1	0.069	0.117	-0.069	-0.085	-0.062
ID2	0.114	0.271	0.247	0.268	0.124
ID3	0.218	0.107	0.22	0.37	0.433
ID4	-0.126	-0.006	-0.041	-0.12	-0.054
ID5	-0.307	-0.138	0.086	0.051	-0.129
ID6	-0.138	-0.14	-0.1	-0.09	-0.012
ID7	0.138	-0.126	-0.172	-0.111	-0.094
ID7'	-0.062	0.026	-0.02	-0.028	-0.024
ID8	0.034	-0.174	-0.108	-0.218	-0.204
ID8'	0.148	0.169	-0.011	-0.093	-0.055

表 7 全周波数帯域に対する α 波と α/β 値の割合と TOEIC L&R テストスコアとの相関係数

	全体に対する α 波の割合	全体に対する α/β の割合
ID1	-0.21	-0.16
ID2	-0.189	-0.151
ID3	-0.106	-0.077
ID4	-0.146	-0.15
ID5	-0.148	-0.159
ID6	-0.156	-0.184
ID7	-0.188	-0.206
ID7'	-0.189	-0.188
ID8	-0.268	-0.22
ID8'	-0.069	-0.023

4. 自己組織化マップを用いた推定手法

4.1 推定手法

第3章の実験で得られた視線データ、脳波データを基に英語能力の推定モデルを構築するため、本研究では自己組織化マップ（Self-Organizing Map: SOM）を適用する。自己組織化マップは教師なし学習の一つで、高次元データを2次元平面上に表現し部分集合に分割（クラスタリング）することで、データの分析が容易になるデータ解析方法である。本研究では、まずデータ分析用ソフトウェア Viscovery SOMine（マインドウェア総研）を使用して、標本と考える表1の被験者24名と、推定対象者の視線データ、脳波データから自己組織化マップを作成する。次に、そのマップ上で推定対象者の近傍3名の標本スコアの平均値を算出し、英語能力の推定値と考える。

4.2 検証手順

TOEIC L&R テストスコアの推定精度検証のため、表1で示した被験者とは別の被験者4名を用意した（表8）。計28名の被験者に対して、前章で述べたように視線データ、脳波データを測定した。得られたデータに対しては、重み付けを3パターン設定し、自己組織化マップを作成した。具体的なデータの重み付けを以下に説明する。視線データについては3パターン共通で、表6の指標に則り英語能力との間に相関係数の絶対値が0.4以上の相関が見られる視線データに対する重みを1.5、相関係数の絶対値が0.2~0.4程度の弱い相関が見られるものを1.2、相関係数の絶対値が0.2以下のほとんど相関が見られないものを0.7とする。脳波については、第3章の結果から、強い相関が見受けられなかったため、3パターンでの検証を行い、より精度の高いマップの作成を目指した。パターン1では、α波を定義区間内でさらに区切ったデータ群の重みを1.5、それ以外を0.7とした。パターン2では全体に対するα波の割合に関する重みを1.5、それ以外を0.7とした。パターン3では、全体に対するα波、β波それぞれの割合の比率に関する重みを1.5、それ以外を0.7とした。

表8 検証用被験者のTOEIC L&R テストスコア

被験者	a	b	c	d
Total score	705	555	535	505
Reading score	340	235	255	210

4.3 検証結果・考察

作成した自己組織化マップを図5~7に示す。図中のラベルは、被験者ID（トータルスコア/リーディングスコア）となっている。これらの図からわかるように、同程度のスコアの被験者同士であっても、属性が異なることで同一クラスタ内に分類されるとは限らないことが特徴的である。

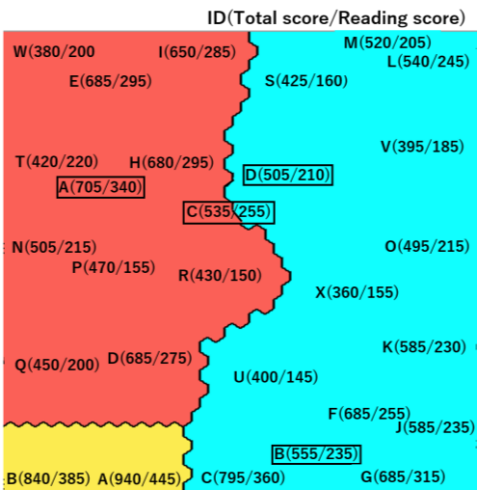


図5 クラスタリング結果（パターン1）

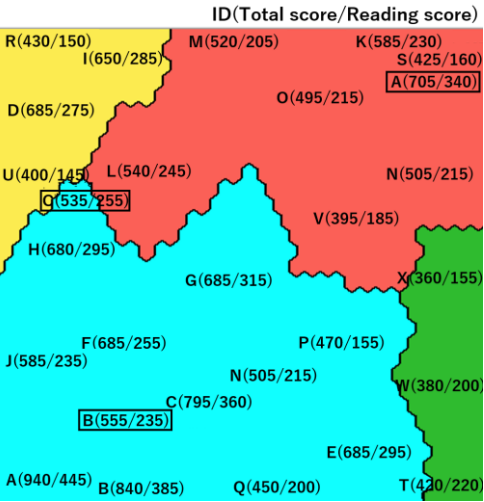


図6 クラスタリング結果（パターン2）

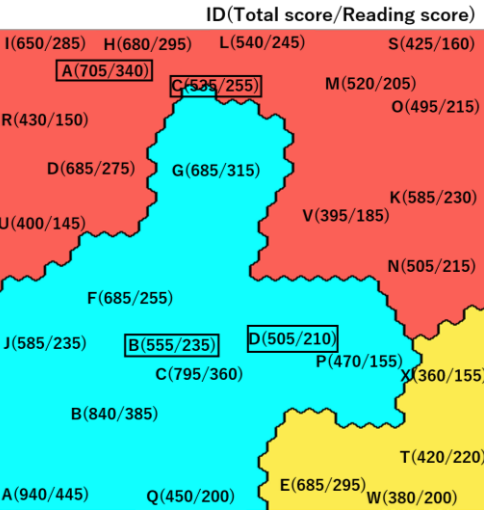


図7 クラスタリング結果（パターン3）

表9~11に、TOEIC L&R テストスコア推定精度の検証結果を示す。表10内にある誤差率[%]とは、TOEIC L&R テストの満点である990点に対する平均誤差の割合を表したも

のである。これらの表からわかるように、3 種類用意した自己組織化マップの中では、パターン 1 が実際の TOEIC L&R テストスコアと推定結果との誤差率がトータルスコアについては 7.95%, リーディングスコアについては 4.76% と最も小さく、本研究で構築した推定モデルの中では最も推定精度が高いモデルであると言える。これは、今回マップ作成に用いている生体信号に関する各種データが英文読解中のものであるために、リスニング能力にも影響を受けるトータルスコアと比べてリーディングスコアの推定精度が高くなったと考えられる。それゆえ、英語能力の更なる推定精度の向上のためには、英語音声リスニング中の生体情報を計測し、併せて分析を行うことが有効と示唆される。また、パターン 1 では、 α 波、 β 波を具体的に求めず、単なる脳波のスペクトルデータを基に自己組織化マップを作成している。本研究では、 α 波、 β 波に着目したがそれ以外の周波数帯域信号、例えば、 γ 波、 θ 波等との関連性も推定精度向上に関係があると推察される。

表 9 自己組織化マップに対する
トータルスコアの検証結果

Total score	パターン1		パターン2		パターン3	
	評価値	推定誤差	評価値	推定誤差	評価値	推定誤差
705	523.33	181.67	505	200	586.67	118.33
555	626.67	71.67	773.33	218.33	773.33	218.33
535	538.33	3.33	540	5	635	100
505	446.67	58.33	650	145	553.33	48.33

表 10 自己組織化マップに対する
リーディングスコアの検証結果

Reading score	パターン1		パターン2		パターン3	
	評価値	推定誤差	評価値	推定誤差	評価値	推定誤差
150	223.33	116.67	201.67	138.33	243.33	96.67
235	253.33	18.33	333.33	98.33	333.33	98.33
255	220	35	228.33	26.67	285	30
210	191.67	18.33	276.67	66.67	233.33	23.33

表 11 3 パターンの推定誤差率

	Total score			Reading score		
	パターン1	パターン2	パターン3	パターン1	パターン2	パターン3
平均誤差	78.75	142.10	123.75	47.08	82.50	62.08
誤差率[%]	7.95	14.35	12.50	4.76	8.33	6.27

5. 結言

本研究では、英語能力と視線、脳波との関係性について調査し、自己組織化マップを用いた推定手法を提案して検証を行った。実験結果から、一部の視線情報と TOEIC L&R テストスコアとの間に相関関係があることを確認した。本研究の検証条件では、自己組織化マップを用いた TOEIC L&R テストスコアの推定モデルによって、推定誤差率が

7.95%程度となることが明らかとなった。今後は、自己組織化マップの重み付けパターンや、標本とする被験者の在り方、英語音声リスニング中の生体情報と併せた分析を検討し、更なる推定精度の向上を試みる予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 17k18683 の助成を受けて行われた。ここに謝意を表する。

参考文献

- [1] 林田賢二, 井村誠考, 視線の動きに基づく英語多読支援, 情報処理学会 インタラクシオン 2017, 944-946, 2017
- [2] 釣井千恵, 山科美和子, 日本人英語学習者のリーディングプロセス, 英米評論第 22 号, 桃山学院大学英語英米文学会, pp.61-101, 2008
- [3] 山科美和子, 釣井千恵, 第 2 言語の語彙処理能力とリーディング力: 単語認知と読書量・読解速度との関連を探る, 英米評論第 24 号, 桃山学院大学英語英米文学会, pp.237-260, 2010
- [4] SGS 総合栄養学院, 交感神経と副交感神経, <https://sgs.liranet.jp/sgs-blog/2199>
- [5] 坪田智子, ヒューマンインタフェースのための顔情報の計測に基づくユーザの心理状態推定, 奈良先端科学技術大学院大学学術リポジトリ, 2001
- [6] Ryota Yako, Yasuko Tsuchida, Shigehiro Toyama, Yuki Murakami, Keisuke Takebe, EEG Trend Analysis for English Language Ability Estimation, 4th STI-Gigaku 2019, 2019