

電子情報通信学会「著作権規程」の基本方針より

電子的利用については、著作者本人ならびに所属機関が著作者の著作物の全文を著作者の研究室や所属機関のホームページもしくはプレプリントサーバに掲載する場合、一定条件の下で出版社版 PDF もしくは早期公開版 PDF の掲載を許諾します。

※掲載条件等、詳細については「利用申請基準」を御覧ください。

本会出版物に掲載された論文等の著作物の利用申請基準より

条件 A : 権利表示 (例 copyrightc2013 IEICE)

条件 B : 出版社版 PDF(紙版をスキャンで作成したもの含) の掲載。著者最終版は不可。

条件 C : 出所の明示 (例 著作者名、書名 (題号)、雑誌名、巻、号、頁、発行年など)

条件 D : 著作者の了解

条件 E : IEICE Transactions Online トップページへのリンク

上記、公開基準に従い出版社版 PDF を公開いたします。

なお、IEICE Transactions Online トップページは下記になります。

<https://search.ieice.org/>

ビジュアル型言語とテキスト型言語の学習状況の比較

梅澤 克之[†] 石田 崇^{††} 中澤 真^{†††} 平澤 茂一^{††††}

[†] 湘南工科大学 〒251-8511 神奈川県藤沢市辻堂西海岸 1-1-25

^{††} 高崎経済大学 〒370-0801 群馬県高崎市上並榎町 1300 番地

^{†††} 会津大学短期大学部 〒965-0003 福島県会津若松市一箕町大字八幡門田 1-1

^{††††} 早稲田大学 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: †umezawa@info.shonan-it.ac.jp, ††ishida@tcue.ac.jp, †††nakazawa@jc.u-aizu.ac.jp,
††††hira@waseda.jp

あらまし 近年、プログラミングの入門としてビジュアル型のプログラミング言語が使われるようになってきている。その後は C 言語や Java 言語などのテキスト型プログラミング言語に移行していくことになる。しかしビジュアル型言語とテキスト型言語の間には大きな壁がある。ビジュアル型言語からテキスト型言語へのシームレスな移行方法を確立することは重要である。本研究では、ビジュアル型言語とテキスト型言語のそれぞれの学習過程の違いを脳波を計測することによって明らかにする。具体的には、ビジュアル型言語とテキスト型言語の学習について難易度の異なる問題を解く実験を行い、その際の脳波を計測し、 β/α の値を評価する。その結果、ビジュアル型言語に関しては難易度が高くなっても β/α の値が高くなることはなかった。これによりビジュアル型言語とテキスト型言語の学習過程には異なる思考が行われている可能性が示唆された。

キーワード プログラミング, 編集履歴, 学習ログ, デバッグ練習

Comparison of Learning State between Visual Programming Language and Text Programming Language

Katsuyuki UMEZAWA[†], Takashi ISHIDA^{††}, Makoto NAKAZAWA^{†††}, and Shigeichi
HIRASAWA^{††††}

[†] Shonan Institute of Technology Tsujido-Nishikaigan 1-1-25, Fujisawa, Kanagawa 251-8511, Japan

^{††} Takasaki City University of Economics 1300 Kaminamie, Takasaki, Gunma 370-0801, Japan

^{†††} Junior College of Aizu Monden 1-1, Yahata, Ikki-Machi, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

^{††††} Waseda University Okubo 3-4-1, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

E-mail: †umezawa@info.shonan-it.ac.jp, ††ishida@tcue.ac.jp, †††nakazawa@jc.u-aizu.ac.jp,
††††hira@waseda.jp

Abstract In recent years, programming beginners have begun to use visual programming languages such as Scratch. After that, they use text-based programming languages such as C and Java. But there are high walls between visual and text-based languages. It is important to establish a seamless transition from visual to text-based languages. In this study, we clarify the difference in learning process between visual language and text-based language by measuring brain waves. Specifically, we will conduct experiments to solve problems with different difficulty levels for learning visual and text-based languages. The brain waves at that time are measured, and we evaluate the value of β/α . As a result, the value of β/α when solving difficult problems increased in the text-based language, but not in the visual language. This suggests that learners may be thinking differently in the learning process of visual and text-based languages.

Key words Programming, Editing Record, Learning Log, Debugging Practice, Simple EEG, Brain wave, Learning analytics, E-learning.

1. ま え が き

近年、プログラミングの入門としてビジュアル型のプログラミング言語（以降、ビジュアル型言語と呼ぶ）が使われるようになってきている。その後は C 言語や Java 言語などのテキスト型プログラミング言語（以降、テキスト型言語と呼ぶ）に移行していくことになる。しかしシームレスな移行方法は確立されていない。本研究では、ビジュアル型言語からテキスト型言語への移行の方法論を確立することを目的とする。本研究が確立されると、プログラミング言語の初学者がビジュアル型言語による学習から始めて、その後、シームレスかつ自発的にテキスト型言語の学習に遷移できるようになる。プログラミング教育関係者が今後かならず直面する課題を先回りして解決する大変重要な研究であると考えられる。

我々は、学習時の脳波を計測する既存研究において、ビジュアル型言語 (Scratch) の学習における脳波測定およびテキスト型言語 (C 言語) の学習における脳波測定を行った。この実験の結果、ビジュアル型とテキスト型の言語の学習時には使っている脳が異なるのではないかという疑問が湧いた。

本研究では、ビジュアル型言語とテキスト型言語のそれぞれの学習過程の違いを脳波を計測することによって明らかにする。具体的には、ビジュアル型言語とテキスト型言語の学習について難易度の異なる問題を解く実験を行い、その際の脳波を計測し、 β/α の値を評価する。

2 章で従来研究について述べる。3 章で実験の参加者や用いた課題、実験方法について述べる。4 章で実験結果を示し、5 章で考察を述べる。最後に 6 章で結論を述べる。

2. 従 来 研 究

2.1 閲覧履歴・編集履歴システム

Web 上の PDF 形式の教育コンテンツを閲覧する際に PDF の閲覧アクションが記録されないため、「教育コンテンツのどのページを何回閲覧したか」を正確に知ることは困難である。従来研究 [1] において、PDF コンテンツの閲覧履歴を収集する Web ベースの閲覧履歴システムを提案した。このシステムは、学習者 ID、コンテンツ番号、ページ番号、オープン時間とクローズ時間、ページが表示された秒数などのログ情報を保存することができる。また、閲覧履歴だけでなく、プログラミングの編集履歴も収集する編集履歴システムを開発した [2]。これは、コーディング中にすべてのプログラムコードを収集し、プログラムコードの変更された部分を可視化できる Web ベースのシステムである。このシステムを使用して、プログラミング初心者にとって間違いやすいプログラミング構造を特定できる。このシステムを英語学習 [3] とプログラミング学習 [4] の分析に適用した。

その他にも、プログラミングの編集プロセスを分析することにより、開発者のコーディングスキルを向上させるために多くの研究が行われてきた。[5][6] では、クラウドベースのプログラミング開発環境を使用したプログラミング中にイベントログを使用して 40 人の学生のコーディングプロセスを分析した。彼

らは、提案された方法を分析することによって、開発者のコーディングスキルを向上させる方法がよく理解される得ると主張している。

2.2 脳波の学習への応用

従来研究 [7] では、脳波を離散フーリエ変換を行って得られる α 波と β 波を測定することによって学習者の学習状態を推定することが行われている。ここでは、知的作業中に低 β 波が増加することを発見した。

また別の研究 [8] では、 α 波と β 波の比率が、学習者の学習状態を効果的に推定できることを発見している。さらに吉田らは、学習者の学習状態は、 α 波と β 波の比率を測定することで推定できることを示している [9]。

我々の以前の実験では、学習教材の難易度を変更できるタイミングソフトウェアを使用して、難しいタスクの実行中に β/α の比率が増加し、さらに、低 β /低 α の比率が難易度に影響することを確かめた [10][11]。

プログラミング学習時の脳波を計測して、学習者の特徴を把握しようとする研究がいくつか行われている。文献 [12] では、EEG を用いてプログラマーの専門知識を直接計測することを行っている。プログラミング言語の理解における専門知識の役割を調査するための基本的なアプローチを提案している。また文献 [13] では、EEG を用いてプログラミングの初心者とエキスパートの違いを観察している。プログラム理解能力に明らかな違いを発見している。プログラミングのエキスパートはプログラムの理解に関連する優れた能力を持っていることを EEG データより発見している。

3. 実 験

3.1 実験参加者

新潟県立松代高校の高校生を中心に、近隣の高校生を対象に「まつだいサイエンス講座」を開催し、サイエンス講座内で実験を行った [14]。ビジュアル型言語として Scratch を用いた実験に 7 名、テキスト型言語として C 言語を用いた実験に 9 名の生徒が参加した。なお C 言語の実験は、易しい問題と難しい問題のセットを 2 セットを用いて実験を行った。

3.2 課 題

実験に用いたビジュアル型言語 (Scratch) の課題を図 1~2 に示す。また、テキスト型言語 (C 言語) の課題を図 3~6 に示す。

次の条件を満たすプログラムを作成しましょう。上矢印キーを押したときに、「さるくん」がステージの上方向に移動する。逆に下矢印キーを押したときに、「さるくん」がステージの下方向に移動する。どちらも座標値で 10 に相当する移動量とします。

図 1 ビジュアル型言語 (Scratch) の簡単な問題
Fig. 1 Easy Question of Visual Language (Scratch)

3.3 脳波の計測方法

脳波の測定は、NeuroSky 社製脳波コントロール Mind-

前述の問題のプログラムに以下の機能を追加しましょう。旗をクリックすると、「ねこちゃん」が左右方向（水平方向）にずっと動き続ける。「ねこちゃん」は、左右の「はし」まで到達したらはね返って戻る。「ねこちゃん」は、歩いているように見える動きをする。「さるくん」が「ねこちゃん」にぶつかると「やられた」と言う「さるくん」が無事に「バナナ」触れることができたときは、バナナを見えなくする（隠す）。

図 2 ビジュアル型言語 (Scratch) の難しい問題
Fig. 2 Difficult Question of Visual Language (Scratch)

(5 回繰り返す例題を示した後で) 例題の for 文を修正して 10 回繰り返すようにプログラムを作って実行してください。

図 3 テキスト型言語 (C 言語) の簡単な問題 1
Fig. 3 Easy Question 1 of Text-based Language (C Language)

「1 回目の繰り返し」「2 回目の繰り返し」…「10 回目の繰り返し」と表示されるプログラムを「10 回目の繰り返し」「20 回目の繰り返し」…「100 回目の繰り返し」と表示するように修正したプログラムを作って実行してください。

図 4 テキスト型言語 (C 言語) の難しい問題 1
Fig. 4 Difficult Question 1 of Text-based Language (C Language)

(10 までの総和を求める例題を示した後で) 1~100 までの総和を計算して、計算結果を表示するプログラムを作って実行してください。

図 5 テキスト型言語 (C 言語) の簡単な問題 2
Fig. 5 Easy Question 2 of Text-based Language (C Language)

$i \% 2 == 1$ という式は、「i を 2 で割った余りが 1 に等しい」を意味します。つまり、「i は奇数である」ということです。この事実を使って、1~100 までの奇数の値だけの総和を計算して表示するプログラムを作り実行してください。

図 6 テキスト型言語 (C 言語) の難しい問題 2
Fig. 6 Difficult Question 2 of Text-based Language (C Language)

Wave(R) Mobile ヘッドセットを利用した。このヘッドセットと ThinkGear Connector 間を Bluetooth で接続した上で、ログ収集アプリが ThinkGear Connector と TCP/IP 通信を行うことにより脳波のログを収集する。ここで、ThinkGear Connector とは、NeuroSky 社が提供する MindWave Mobile との通信機能を提供するドライバである。また、取得できる脳波の種類は表 1 に示す 8 種類であり、各値は単位のない 4 バイトの浮動小数値である [15]。

表 1 に示した通り、今回計測に用いた簡易脳波計では α 波

と β 波はそれぞれ高周波と低周波の 2 種類の脳波を計測可能である。つまり、 α 波と β 波の比である β/α を考える際に、 β_l/α_l , β_h/α_h , β_l/α_h , β_h/α_l の 4 種類の組み合わせが考えられる。さらに低周波と高周波の平均の比 $(\beta_l+\beta_h)/(\alpha_l+\alpha_h)$ (以降 β_{l+h}/α_{l+h} と表す) も加え全 5 種類の β/α に着目する。

表 1 取得できる脳波の種類 [15]

Table 1 The kind of brain waves which can be acquired

種類	周波数 (Hz)
δ 波	0.5-2.75
θ 波	3.5-6.75
低 α 波 (α_l)	7.5-9.25
高 α 波 (α_h)	10-11.75
低 β 波 (β_l)	13-16.75
高 β 波 (β_h)	18-29.75
低 γ 波	31-39.75
中 γ 波	41-49.75

4. 実験結果

実験ではまず、各 ID の実験参加者が課題を解いている際の 1 秒間隔の脳波を測り、1 秒ごとの各種 β/α 、つまり 5 種類の β_l/α_l , β_h/α_h , β_l/α_h , β_h/α_l , β_{l+h}/α_{l+h} を計算する。そして課題を解き終わるまでの各種 β/α 値の平均値を求める。求められた平均値は付録の表 A.1~A.6 に示す。

簡単な問題を解いている際の各種 β/α の値と、難しい問題を解いている際の各種 β/α の値との比率をまとめた結果を表 2, 3, 4 に示す。例えば表 2 の数値は、付録の表 A.1 と表 A.2 の同じ個所のセルの数値どうして割り算を行った結果を表示している。灰色に網掛けしたセルの値が 1.00 以上を示している。また、*印のついた数値は、 t 検定 (平均値の差の検定) において有意水準 5% で有意 (p 値が 0.05 以下) となった、つまり平均値は異なると判定されたことを示す。つまり、灰色の網掛けの箇所 * 印が付いたものは統計的にも難しい問題を解いている時の方が β/α 値の平均値が高くなったことを示している。逆に、網掛けがなく * 印が付いている箇所は統計的にも難しい問題を解いている時の方が β/α 値の平均値が低くなったことを示している。なお、 p 値の具体的な値は付録の表 A.7~A.9 に示す。

表 2 ビジュアル型言語の「難しい」/「簡単」

Table 2 The Ratio of "Difficult" to "Easy" in Visual Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	1.051	1.041	1.069	1.040	1.047
ma004	0.814	1.047	1.007	0.877	0.976
ma006	0.932	0.739*	1.020	0.759*	0.909
ma008	0.822	0.886	1.016	0.703*	0.869*
ma011	0.852	0.771*	0.983	0.651*	0.805*
ma013	0.832	0.875	1.081	0.691*	0.879
ma016	0.861	0.943	1.021	0.791	0.924

表3 テキスト型言語1の「難しい」/「簡単」

Table 3 The Ratio of “Difficult” to “Easy” in Text-based Language 1

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	1.938*	0.895	1.049	1.558	1.264*
ma005	0.519*	1.382	1.020	0.693	1.153
ma006	1.740	0.859	1.171	1.171	1.046
ma007	0.850	1.029	0.992	1.074	1.026
ma011	1.264	1.592*	1.092	1.945*	1.466*
ma013	1.272	1.560*	1.195	2.119*	1.505*
ma015	0.805	1.119	1.153	0.892	1.021
ma021	1.150	1.361*	1.120	1.344	1.224*
ma024	1.468	1.637	1.611	1.384	1.108
ma026	0.971	1.113	1.072	0.983	1.053

表4 テキスト型言語2の「難しい」/「簡単」

Table 4 The Ratio of “Difficult” to “Easy” in Text-based Language 2

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma001	0.972	0.885	0.600	1.292	0.961
ma003	0.683	1.072	0.875	1.025	0.969
ma004	0.916	1.769*	1.113	1.468	1.354*
ma007	1.293	1.067	1.217	1.154	1.320*
ma009	1.111	1.051	0.922	1.077	0.966
ma014	1.146	1.394*	1.199	1.214	1.225*
ma016	0.830	0.965	0.836	0.927	0.916
ma022	1.115	1.164	1.194*	1.195	1.233*
ma023	1.653*	1.403*	1.106	1.990*	1.302*

5. 考察

ビジュアル型言語の実験結果である表2と、テキスト型言語の実験結果である表3、表4を見比べてみると、ビジュアル型言語の方は、灰色の網掛けが少ないのに対して、テキスト型の方が明らかに灰色の網掛けが多い。つまりこれは、今回の実験ではテキスト型言語の学習時には、難しい問題を解いている時の方が各種 β/α の値が高くなり、ビジュアル型言語の方はそうはならなかったことを示している。

ビジュアル型言語の問題の難易度の設定が適切でなかったという可能性もあるが、ビジュアル型言語とテキスト型言語での脳の使い方、あるいは思考の方法が異なることも示唆される。

6. まとめと今後の課題

ビジュアル型言語とテキスト型言語の学習について難易度の異なる問題を解く実験を行い、その際の脳波を計測した。従来研究に従い課題の難易度を表す β/α の値を分析した結果、テキスト型言語に関しては、難易度が高くなると β/α の値が高くなることが確認できたが、ビジュアル型言語に関しては難易度が高くなっても β/α の値が高くなることはなかった。これによりビジュアル型言語とテキスト型言語の学習過程には異なる思考が行われている可能性が示唆された。

今後は、更なる詳細かつ厳密な実験を通して分析を進めると

ともに、両言語の差異を埋めるような教育コンテンツ（中間型言語）を開発することで、最終的にはテキスト型言語の学習での挫折者の減少や、学習の効率化、理解の深化などを達成を目指す。

研究倫理について

今回の実験は湘南工科大学研究倫理委員会の承認を得ている。また実験参加者と実験参加者の保護者から実験参加に関する署名を得ている。

謝辞

本実験の実施にあたり新潟県立松代高等学校・長谷川雅一先生には多大なるご協力を頂いた。また、(有)早稲田松代協力会代表木戸一之氏には、現地と大学の間の調整、講座の運営など数々の支援を頂いた。本研究の一部は、独立行政法人日本学術振興会学術研究助成基金助成金基盤研究(C)20K03082(B)19H01721, (C)19K04914, (C)JP17K01101, 早稲田理工総研特別勘定1010000175806 NTT包括協定共同研究、および、経営情報学会「ICTと教育」研究部会の助成による。本研究成果の一部は早稲田大学理工総研プロジェクト研究「次世代e-learningに関する研究」の一環として行われたものである。

文献

- [1] 荒本道隆, 小泉大城, 須子統太, 平澤茂一, “PDF ファイルをベースとした電子教材作成支援システム,” 情報処理学会第76回全国大会, 講演論文集, pp.4-359-360. (2014)
- [2] 荒本道隆, 小林学, 中澤真, 中野美知子, 後藤正幸, 平澤茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~システム構成と実装,” 情報処理学会第78回全国大会, pp.4-527-528. (2016)
- [3] 中野美知子, 荒本道隆, 吉田諭史, 刑紅涛, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~英文ライティング教育への適応: 文法エラーの難度と訂正時間の関係~, ” 情報処理学会第78回全国大会, pp.4-531-532. (2016)
- [4] 後藤正幸, 三川健太, 雲居玄道, 小林学, 荒本道隆, 平澤茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~C プログラミング科目における編集履歴と評価得点データを統合した分析モデル,” 情報処理学会第78回全国大会, pp.4-533-534. (2016)
- [5] Ardimento, P., Cimitile, M., Bernardi, M. L., Maggi, F. M.: Evaluating Coding Behavior in Software Development Processes: A Process Mining Approach. In: 2019 IEEE/ACM International Conference on Software and System Processes (ICSSP), pp. 84-93. (2019)
- [6] Ardimento, P., Bernardi, M. L., Cimitile, M., Ruvo, G. D.: Mining Developer’s Behavior from Web-Based IDE Logs. In: 2019 IEEE 28th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE), pp. 277-282. (2019)
- [7] Giannitrapani, D.: The role of 13-hz activity in mentation. In: The EEG of Mental Activities, pp. 149-152. (1988)
- [8] 上野秀剛, 石田響子, 松田侑子, 福嶋祥太, 中道上, 大平雅雄, 松本健一, 岡田保紀, “脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価: 異なるバージョン間における周波数成分の比較,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol. 10(2), pp. 233-242. (2008)
- [9] Yoshida, K., Sakamoto, Y., Miyaji, I., Yamada, K.: Analysis comparison of brain waves at the learning status by simple electroencephalography. In: Proceedings, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES’2012), pp. 1817-1826. (2012)

- [10] 梅澤克之, 中澤真, 石田崇, 齋藤友彦, 平澤茂一, “高校生を対象とした学習時の閲覧編集履歴と生体情報の収集とその分析,” 経営情報学会秋季全国研究発表大会予稿集, D2-1, pp. 1-6. (2016)
- [11] 梅澤克之, 石田崇, 齋藤友彦, 中澤真, 平澤茂一, “簡易脳波計測を用いた学習者にとっての課題難易度の判定方法,” 情報処理学会研究報告 CE-137, pp. 1-6. (2016)
- [12] Crk, I., Kluthe, T., Steflk, A.: Understanding Programming Expertise: An Empirical Study of Phasic Brain Wave Changes. In: ACM Transactions on Computer-Human Interaction, pp. 1-29. (2015)
- [13] Lee, S., Matteson, A., Hooshyar, D., Kim, S., Jung, J., Nam, G., Lim, H.: Comparing Programming Language Comprehension between Novice and Expert Programmers Using EEG Analysis. In: IEEE 16th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), pp. 350-355. (2016)
- [14] 梅澤克之, 石田崇, 小林学, 平澤茂一, “大学教育のための電子教材の試作と授業への活用方法の評価,” 経営情報学会秋季全国研究発表大会予稿集, pp. 45-48. (2013)
- [15] ThinkGear Serial Stream Guide, http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol. Last accessed 12 November 2020.

付 録

A.1 実験結果

A.1.1 実験中の脳波の平均値

ビジュアル型言語およびテキスト型言語に関して、難易度の異なる問題を解き終わるまでの各種 β/α 値 (β_l/α_l , β_h/α_h , β_l/α_h , β_h/α_l , β_{l+h}/α_{l+h}) の平均値を表 A.1~A.6 に示す。

表 A.1 ビジュアル型言語の簡単な問題を解答中の脳波の平均値

Table A.1 Average of β/α when Solving an Easy Question in Visual Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	1.181	1.117	1.218	1.082	0.835
ma004	1.546	3.623	1.576	3.290	1.863
ma006	1.351	2.179	1.410	1.982	1.224
ma008	1.825	2.242	1.569	2.482	1.436
ma011	1.322	1.694	1.283	1.952	1.167
ma013	1.411	1.319	1.189	1.398	0.971
ma016	1.611	1.404	1.455	1.687	1.100

表 A.2 ビジュアル型言語の難しい問題を解答中の脳波の平均値

Table A.2 Average of β/α when Solving a Difficult Question in Visual Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	1.242	1.163	1.302	1.126	0.874
ma004	1.258	3.794	1.587	2.887	1.819
ma006	1.259	1.610	1.437	1.504	1.113
ma008	1.500	1.985	1.594	1.746	1.249
ma011	1.127	1.306	1.260	1.271	0.939
ma013	1.174	1.154	1.286	0.966	0.854
ma016	1.386	1.325	1.486	1.334	1.016

表 A.3 テキスト型言語の簡単な問題 1 を解答中の脳波の平均値

Table A.3 Average of β/α when Solving an Easy Question 1 in Text-based Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	1.078	1.243	1.300	1.062	0.881
ma005	1.406	1.738	1.096	2.346	0.993
ma006	1.169	2.389	1.185	2.420	1.328
ma007	1.307	1.346	1.449	1.015	0.915
ma011	1.057	1.484	1.222	1.065	0.922
ma013	0.989	1.083	1.146	0.856	0.748
ma015	1.536	1.347	1.347	1.147	0.952
ma021	1.130	0.994	1.301	0.939	0.824
ma024	0.887	0.923	0.988	0.896	0.724
ma026	1.233	1.326	1.226	1.408	0.953

表 A.4 テキスト型言語の難しい問題 1 を解答中の脳波の平均値

Table A.4 Average of β/α when Solving a Difficult Question 1 in Text-based Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	2.089	1.113	1.363	1.655	1.113
ma005	0.730	2.401	1.118	1.626	1.144
ma006	2.034	2.053	1.387	2.835	1.390
ma007	1.111	1.386	1.437	1.091	0.939
ma011	1.336	2.362	1.335	2.070	1.352
ma013	1.258	1.689	1.369	1.814	1.125
ma015	1.237	1.507	1.553	1.024	0.971
ma021	1.299	1.353	1.457	1.262	1.008
ma024	1.302	1.510	1.593	1.241	0.803
ma026	1.198	1.476	1.314	1.383	1.003

表 A.5 テキスト型言語の簡単な問題 2 を解答中の脳波の平均値

Table A.5 Average of β/α when Solving an Easy Question 2 in Text-based Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma001	1.509	1.688	2.126	1.258	1.169
ma003	1.521	1.285	1.364	1.111	0.900
ma004	1.279	1.600	1.295	1.443	0.970
ma007	0.950	1.240	1.134	1.008	0.738
ma009	1.683	0.943	1.620	1.089	0.939
ma014	1.192	1.326	1.137	1.259	0.909
ma016	2.164	1.290	1.677	1.818	1.157
ma022	1.108	1.248	0.957	1.158	0.770
ma023	0.766	1.522	1.101	1.083	0.894

表 A.6 テキスト型言語の難しい問題 2 を解答中の脳波の平均値

Table A.6 Average of β/α when Solving a Difficult Question 2 in Text-based Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma001	1.467	1.495	1.276	1.626	1.124
ma003	1.039	1.377	1.194	1.139	0.872
ma004	1.171	2.831	1.441	2.120	1.313
ma007	1.228	1.323	1.380	1.164	0.974
ma009	1.869	0.991	1.494	1.174	0.907
ma014	1.366	1.848	1.363	1.529	1.113
ma016	1.795	1.245	1.401	1.686	1.060
ma022	1.236	1.453	1.143	1.384	0.949
ma023	1.266	2.135	1.218	2.155	1.165

A.1.2 t 検定の結果

表 A・1 と表 A・2 の平均化する前の生データに対して t 検定 (平均値の差の検定) を行った結果 (p 値) を表 A・7 に示す. 同様に表 A・3 と表 A・4 の t 検定の結果を表 A・8 に, 表 A・5 と表 A・6 の t 検定の結果を表 A・9 に示す. なお, 表中の * 印は有意水準 5% で有意となった, つまり平均値に差があると判定されたことを示す.

表 A・7 ビジュアル型言語の t 検定の結果 (p 値)

Table A・7 t -test Result (p -value) in Visual Language

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	0.634883	0.545313	0.322132	0.705520	0.339147
ma004	0.125522	0.611459	0.931893	0.227844	0.724510
ma006	0.598656	0.001288*	0.818535	0.038909*	0.121765
ma008	0.092467	0.156451	0.813730	0.013392*	0.005916*
ma011	0.096757	0.000440*	0.817327	0.015376*	0.000055*
ma013	0.440751	0.175280	0.421831	0.031084*	0.109491
ma016	0.185285	0.470217	0.802335	0.104487	0.121738

表 A・8 テキスト型言語 1 の t 検定の結果 (p 値)

Table A・8 t -test Result (p -value) in Text-based Language 1

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma002	0.005392*	0.458485	0.784792	0.059061	0.038411*
ma005	0.023048*	0.184138	0.923266	0.373443	0.365842
ma006	0.105114	0.339583	0.199367	0.568820	0.728297
ma007	0.361896	0.817342	0.946617	0.579817	0.730354
ma011	0.177854	0.001264*	0.355504	0.000023*	0.000057*
ma013	0.260772	0.011038*	0.255414	0.006023*	0.003613*
ma015	0.457094	0.545623	0.346812	0.529667	0.848399
ma021	0.521512	0.021955*	0.374611	0.120032	0.034931*
ma024	0.212846	0.127854	0.058032	0.470085	0.380936
ma026	0.849875	0.399918	0.558195	0.929348	0.581759

表 A・9 テキスト型言語 2 の t 検定の結果 (p 値)

Table A・9 t -test Result (p -value) in Text-based Language 2

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
ma001	0.896547	0.623422	0.151539	0.176466	0.755684
ma003	0.222387	0.669967	0.328523	0.892585	0.767879
ma004	0.757246	0.000218*	0.519064	0.053904	0.001915*
ma007	0.084254	0.829427	0.418251	0.369240	0.001495*
ma009	0.569347	0.711265	0.687064	0.650284	0.703209
ma014	0.591098	0.000428*	0.080738	0.180132	0.010632*
ma016	0.329402	0.751488	0.177898	0.707091	0.279207
ma022	0.741026	0.217580	0.044875*	0.453410	0.004701*
ma023	0.002532*	0.000871*	0.314160	0.000007*	0.001484*