

プログラミングの学習が神経可塑的变化に与える基礎的研究

A basic study on the effect of a programming learning on neuronal plasticity

本郷 健¹, 花川 隆², 鹿野 利春³, 八高 隆雄⁴, 宮崎 美智子⁵, 米山 泰夫⁶

Hongo Takeshi¹, Hanakawa Takashi², Kano Toshiharu³, Yakou Takao⁴, Miyazaki Michiko⁵, Yoneyama Yasuo⁶.

¹大妻女子大学社会情報学部,

²国立精神・神経医療研究センター脳病態統合イメージングセンター先進脳画像研究部,

³国立教育政策研究所, ⁴横浜国立大学, ⁵大妻女子大学社会情報学部,

⁶大妻女子大学教職総合支援センター

キーワード：プログラミング教育, 神経可塑性, 脳情報の可視化

Key words : Programming learning, Neural plasticity, Visualization of brain information

1. 研究目的

プログラミング教育が推進される根拠として、①創造力, 問題解決力, 表現力の向上, ②合理性, 論理的思考力の向上, ③意欲の向上 (内発的な動機付け効果), などが一般的に主張される。しかし, このような効果が客観的なデータによって確認された例は少なく, 多くの事例は被験者の自己評価や指導者の観察を通して推測された場合がほとんどである。

近年, 脳活動の可視化技術が向上し, 自然言語 (英語) の習得過程とそれに伴う脳活動の分析が進んでいる。本研究は, プログラミングの学習が脳の神経可塑的变化に及ぼす影響及びプログラミングの学習過程が脳活動に与える影響を, MRI 等により測定し, プログラミング学習と脳活動との関係について検討を加える。

これら一連の研究成果を通して, プログラミング教育の指導法や教育的意義を考察するための基礎資料の収集を目的とする。

2. 研究実施内容

研究計画に従い, 以下の項目を実施した。本研究は昨年度からの継続研究であることから, 大妻女子大学生命科学研究倫理委員会の倫理審査及び共同研究機関である国立精神・神経医療研究センター (NCNP) の倫理審査会の承認を得て進められている。

2017年4月の実施計画の手順等について再度検討を行う。

(1) 研究協力者の公募と被験者集団の構成

2018年6月中旬～7月20日: 研究協力者 (被験者) の募集とインフォームドコンセント及び同意書等の提出により研究協力者を決定する。

当初の研究協力者数は, 30名であった。研究協力者の内訳は, 以下の通りである。

表1 研究協力者の内訳

(被験者確定日: 7月6日)

統制群	8名 (19歳～20歳 女性)
実験群	22名 (19歳～20歳 女性)

(3) 研究実施内容

実験群と統制群を対象に実験を行った。

実験群で実施された内容を表1に示す。被験者は, 初めてプログラムを学習する集団である。9月から1月にかけて, 11回プログラミング講習会を受ける。コンピュータプログラミング言語は **processing** とする。processing 言語は被験者が所属する大学の専攻で, 同時期に学習する唯一のプログラミング言語である。講習会の概要を表2に示す。講習会は1コマ90分で構成され, 知識の伝達と共に演習を通じたプログラムの思考の育成を意図して進められた。

利用する資料や課題等は, 専用の Web サイトからダウンロードする。作成した課題はサイトへ提出する。授業や講習会以外での自主的な学習時間を講習会ごとに回答する。

実験に先立ち, 実験群と統制群の被験者に対して, 同意書の提出を確認する。

表2 講習会の概要

・座標系, 基本的な図形の描き方, 演習問題
・整数, 実数の使い方, ランダム値, 演習問題
・繰り返し構造 中間試験
・分岐構造, アニメーションの基本, 演習問題
・配列, 演習問題
・関数, 引数,
・再帰処理, 演習問題
・期末テスト

実験群に対する検査項目を表3に示す.

表3 検査項目概要

- a) 同意取得
- ・人数: 30名
 - ・実施日: 6月中旬~7月28日
 - ・実施場所: 大妻女子大学
- b) MRI 撮像
- ① 第1回 MRI 撮像
- ・人数 30名
 - ・実施日: 8月21日, 28日, 29日, 9月4日, 5日, 10日, 11日
 - ・実施場所: 脳病態統合イメージングセンター (IBIC)
- ② 第2回 中間 MRI 撮像
- ・人数 22名
 - ・実施日: 10月23日, 24日, 26日, 29日, 30日, 31日, 11月1日
 - ・実施場所: IBIC
- ③ 第3回 事後 MRI 撮像
- ・人数 30名
 - ・実施日: 1月22日, 23日, 24日, 29日, 30日, 31日, 2月5日
 - ・実施場所: IBIC
- c) Raven's 色彩マトリックス検査
- ・人数 30名
 - ・実施日: 9月14日~10月11日
- d) 事後アンケート・評価テスト
- ・人数 22名
 - ・実施日: 1月18日
 - ・実施場所: 大妻女子大学

e) 課題プログラムの提出

課題テーマ: 「過去・現在・未来」

『サンプルコードを示して, 課題の意味するところを紹介する. ネット上のサンプルプログラムを参考にするのは構わないが, その場合は出典をコメントに明記する. 評価の観点は, 「技術 (コード)」 + 「美しさ」又は「楽しさ」とする.』

- ・人数 22名
- ・実施場所: 大妻女子大学

2-2 データの分析

2-2-1. 学習に取り組む事前意識 (得意と興味)

プログラミング学習に取り組む被験者の自己に対する評価が, その後の学習に影響する可能性が考えられる. そこで学習に取り組む前の事前アンケートによって国語, 英語, 数学および図形処理などのプログラミング学習との関連が予測される教科に対して, 被験者はどのように自己判断をしているかを調査した. その結果が図1から図4である. いずれの場合にもほぼ直線関係にあり, 一義的には得意な教科ほど興味も高いことが分かる. 国語や図形処理に対する興味と得意意識の関係は比較的相関が高く, 英語, 数学はやや相関が下がり, 数学は関連があるもののばらつきも大きい. 国語は小学生から学習しており, 教科内容の理解と自己の立場を比較的正確に認識しているためか, 得意と興味の相関が比較的高い. 図形処理は, 本専攻の学びに興味を持つ学生の特性を示したものと推察できる. これに対して数学は相関が低いように見受けられる.

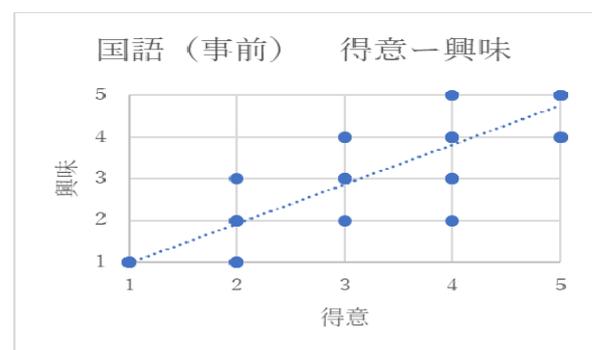


図1 国語の事前アンケート

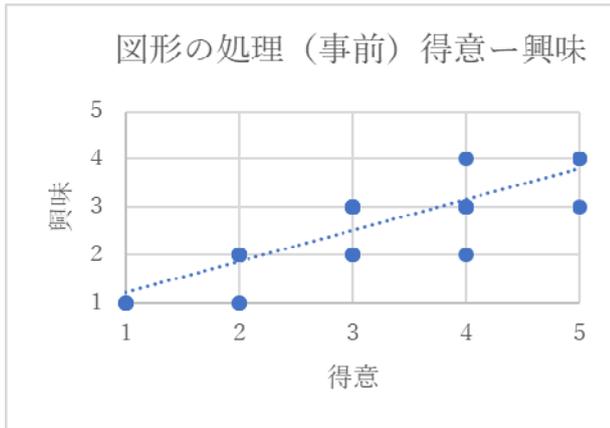


図2 図形処理事前アンケート

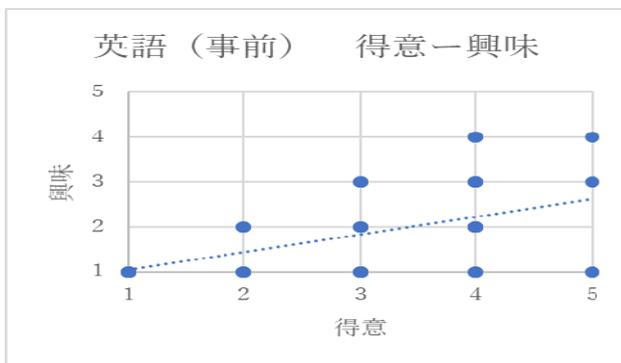


図3 英語事前アンケート

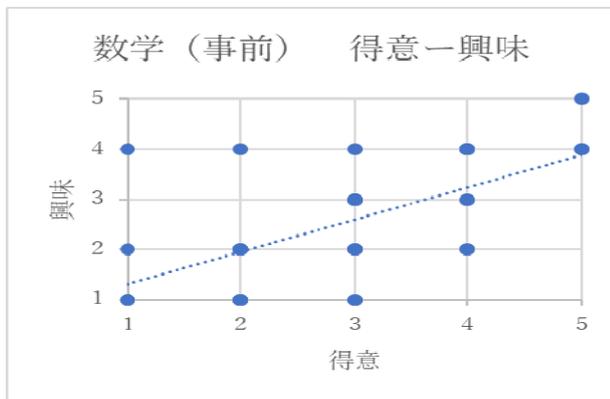


図4 数学事前アンケート

ばらつきが大きく、両者の関係は認められない。これらの結果は、今回のようなアニメーションや図形処理を題材とした入門段階のプログラミング学習の獲得には、これまでに学んだ教科とは直接結びつかないことを示していると推測される。

今後、数学的な演算が要求される段階になるとその傾向が変化する可能性は十分に考えられるが、この段階では影響が少ないようである。

一方、図9はプログラミング学習終了後の事後アンケートによるプログラミングが得意と最終試験の結果である。この場合には、わずかながら、得意と認識している被験者ほど最終試験が高い傾向が認められる。(2はどちらともいえない、3はどちらかといえばそう思う)

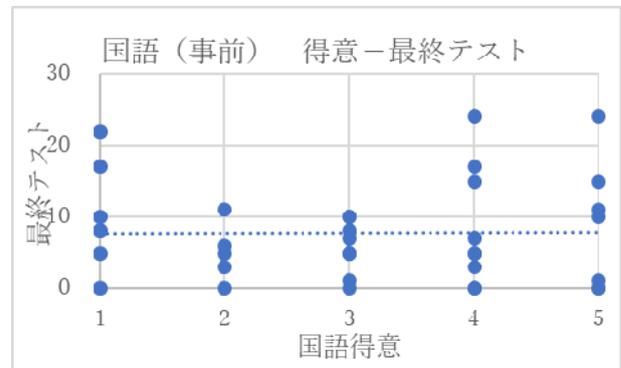


図5 国語 (事前) の得意意識と最終テスト

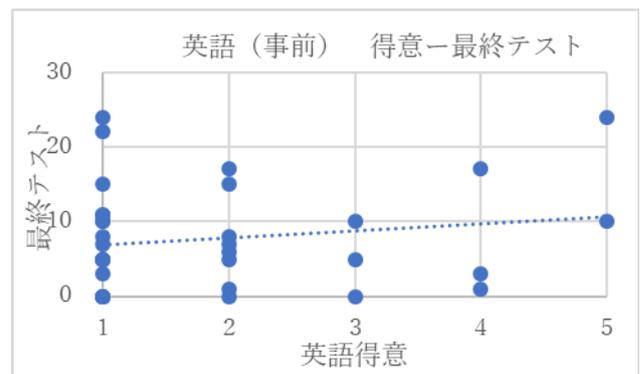


図6 英語 (事前) の得意意識と最終テスト

2-2-2. 学習の成果に及ぼす潜在能力あるいは意識の問題

一連のプログラミング学習の終了後に最終テストを行い、学習の成果を調べた。

図5から図8は事前のアンケートの教科等に対する得意の程度と最終試験の結果との関係である。国語、英語、数学、図形処理のいずれに対しても、

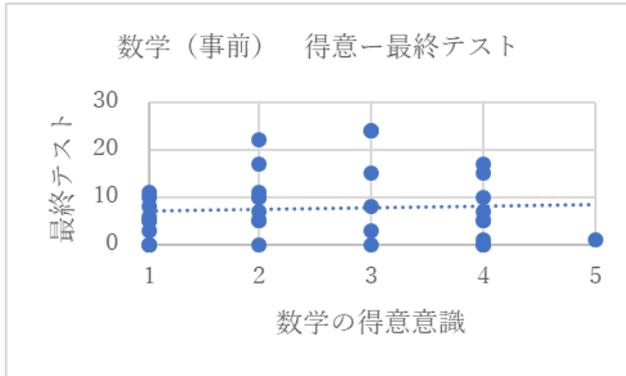


図7 数学（事前）の得意意識と最終テスト

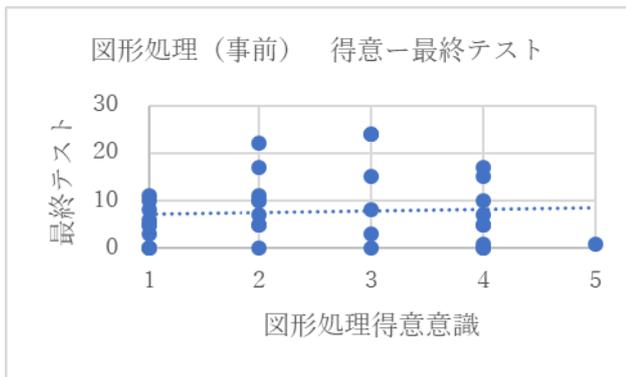


図8 図形処理（事前）の得意意識と最終テスト

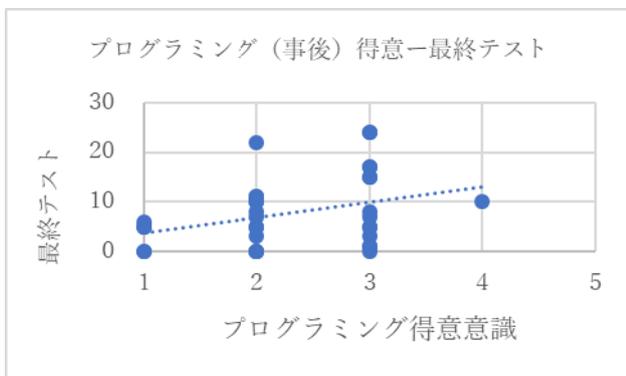


図9 プログラミング(事後アンケート) 得意-最終テスト

学習前後の構造の比較を行うため、画像の前処理として、MRI 画像の分割化→灰白質テンプレートの作成→DARTEL での位置合わせ→MNI 空間への標準化→モジュレーション→平滑化を行った。

統計モデルを作成する過程で、共変量としてプログラミングに関する最終テストの成績を利用した。

縦断分析の前処理の手法として、いくつかの方法が提案されている²⁾。ここでは、概要を把握するため最も基礎的な方法として、横断解析と同様の方法により行った。すなわち、縦断解析であることを意識せずにすべの画像を標準脳に合わせ込む方法で行った。その結果を以下に示す。

統計的推定を行った結果の例を図10に示す。図10は、事前と事後の二条件の下での灰白質画像に対するt検定の結果である。閾値 (threshold) は0.05とし、extent thresholdは0を指定している。多重比較補正を行わない場合で5%の有意水準で有意となる領域をガラス脳に投影した結果を示している。

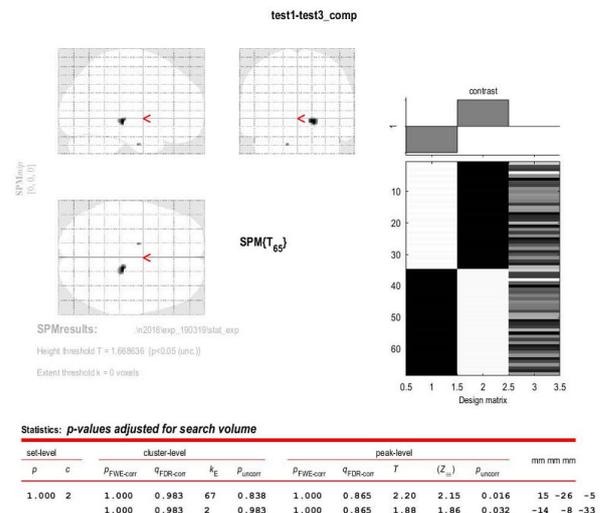


図10 灰白質画像のt検定の結果

2-3-1. 学習前後の脳画像の分析

34名の被験者に対して、プログラミング学習の前、中間、および終了後の脳の形態をMRI画像分析により調べた。

MRI撮像のデータから学習前後の脳構造の比較を試みた。分析はMatlab上で動作するSPM12を利用した脳形態画像解析手法であるVBM (voxel-based morphometry) を利用した。

図 11 は、図 10 と同じ条件における surface rendering による結果の表示である。表面から 20mm の深さまでの結果が表示されている。図 12 は、同じ条件における横断 slice 上の表現である。

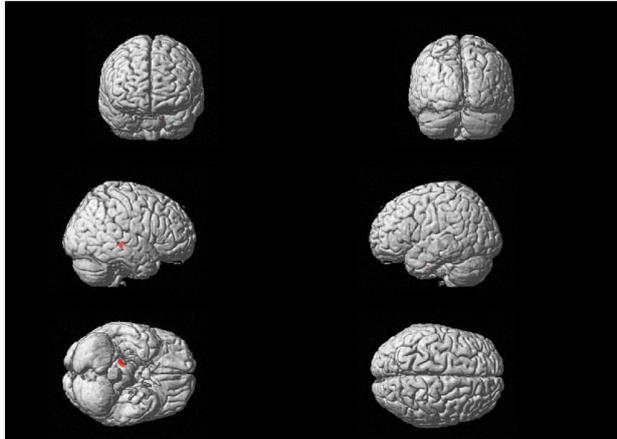


図 11 群間比較 (t 検定) の結果 (ガラス脳と render 表示)

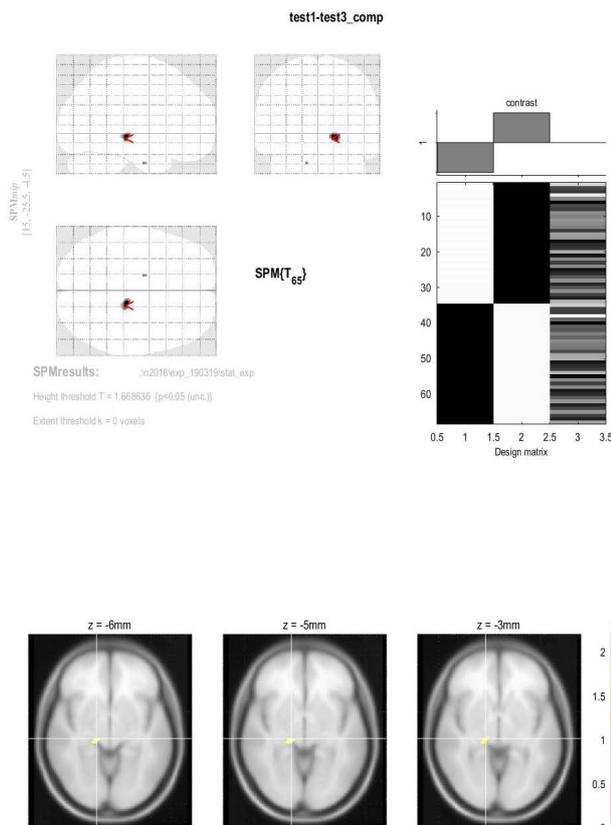


図 12 群間比較 (t 検定) の結果 (ガラス脳と slices 表示)

昨年と本年の被験者を合計した解析対象者数は 34 名であった。前述したように学習前後の画像解析は縦断解析によるべきであるが、今回の解析方法は横断解析の前処理に従って、すべての画像を標準脳に合わせ込む方法で行った。従って、ここまでの解析は、本来の縦断解析手法による詳細な解析までは至っていない。

脳形態画像解析による詳細な分析は今後の課題としたい。本年度までに得られた限られた被験者数における現在までの分析プロセスを述べるにとどめたい。今後の研究として、前処理として被験者ごとに標準化を行った上で縦断解析を進める必要があるであろう²⁾。また、脳画像解析における共変量を、アンケートの評価値や最終課題の評価値、プログラミング最終テストの評価値などを利用して、多面的な統計的推定を進める必要がある。

2-3-2. 脳の可塑性に及ぼす潜在能力・意識の影響

事前と事後の MRI 画像の脳の大きさを標準化した後で灰白質の体積変化 ΔGMV を求めた。 ΔGMV と各教科に対する得意意識の関連を整理した。整理した事例を図 13 から図 17 に示す。図 13 の最終テストと全灰白質容量の間にはわずかな正の相関が認められる。

一方、教科と ΔGMV の関係を見ると図 14 の数学、図 15 の国語、図 16 の図形処理、は図 13 の最終試験と同じような傾向が見受けられる。図 17 の技術科は逆の傾向が見られた。

いずれも被験者数がまだ十分でないため統計的な検定までは行っていないが、今後被験者数を増やした段階で、先のような観点からの考察も深めたい。

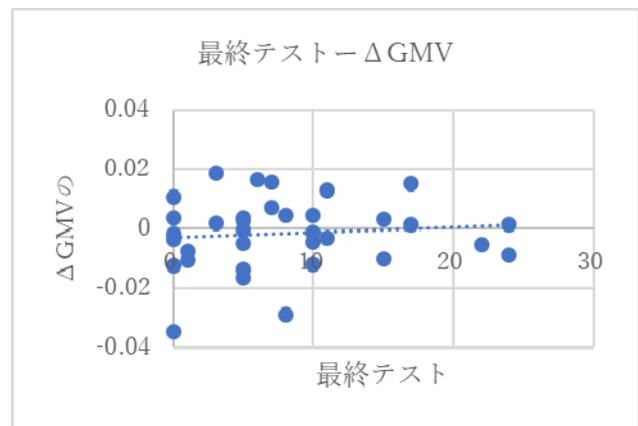


図 13 最終テストと灰白質の変化

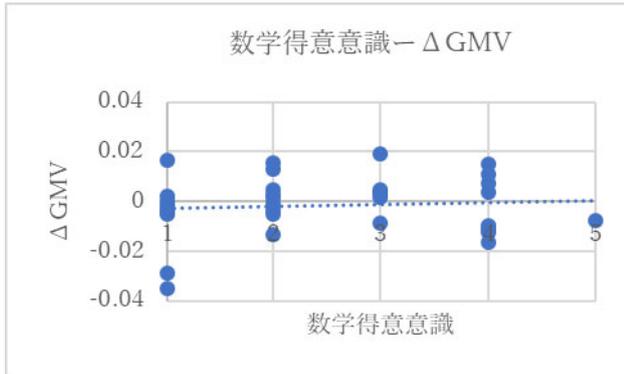


図14 数学の得意意識と灰白質の変化

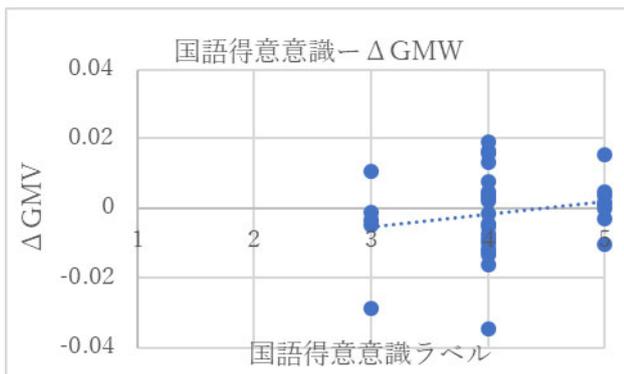


図15 国語の得意意識と灰白質の変化

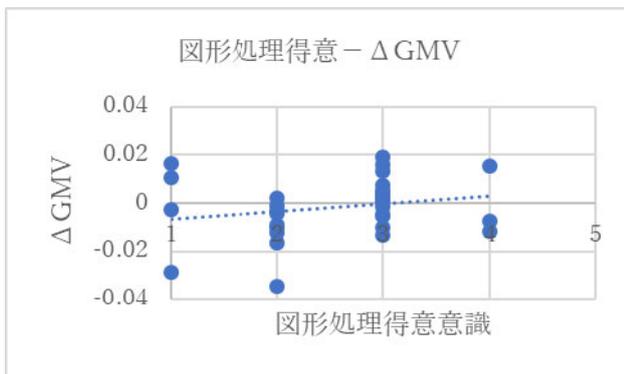


図16 図形処理の得意意識と灰白質の変化

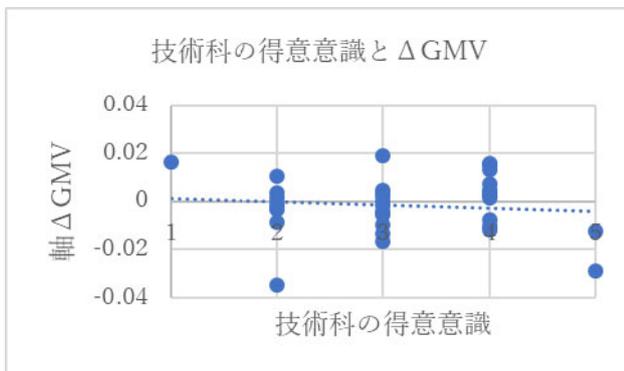


図17 技術科の得意意識と灰白質の変化

3. まとめと今後の課題

以上のように、本研究計画は順調に進んでいる。しかし、研究期間が9月から2月ということもあり、得られたデータを多面的に十分な分析が終了しているわけではない。また、被験者数が34名であり、統計的推定に十分な母数とは言い難い。

一方、概念的な分析でも述べたように、興味深い傾向も様々に見受けられる。

従って、今後の研究の課題として、以下のような点の解明が求められている。

- 1) 統計的推定をかなえる母数として、統制群の被験者数を30名以上にすること。
- 2) 講習会の内容を強化し、学習活動の負荷を掛ける方法を検討すること。例えば、Webを利用した学習方法も検討するなど。
- 3) 学習前後の神経可塑的变化の部位の解剖学的位置を同定すること
- 4) プログラミングの学習の効果を明らかにするために、灰白質の変化量とプログラミング学習効果、例えば、プログラミングの最終テストの成績や最終課題の評価、学習時間、学習意欲、学習に対する自己評価などとの相関解析を行うこと
- 5) 変化部位の解剖学的位置の同定に基づき、課題を解決する場面における脳活動の時間的変化を計測すること。

などである。

以上のような分析を通して、プログラミングの学習とそれを支える神経基盤の有無などを明らかにするとともにプログラミングの学習と脳活動との関係について明らかにする。

4. この助成による発表論文等

①ポスター発表

- [1] コンピュータプログラミング学習の神経基板に関わる基礎的研究, 本郷健, 花川隆, 八高隆雄, 沼澤秀美, 鹿野利春, 宮崎美智子, 米山泰夫, 第7回 IBIC シンポジウム, 2018-12-7

参考文献

- [1] 青木茂樹, 笠井清登: すぐできるVBM精神・神経疾患の脳画像解析 spm12対応, 学研メディカル秀潤社, 2014
- [2] 根本清貴: 縦断ボクセルベース・モルフォメトリ- ,MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol.33, No.1, January, pp.19-23, 2015