

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

Basic Study on the Effect of 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⁶Hongo Takeshi¹, Hanakawa Takashi², Kano Toshiharu³, Yakou Takao⁴, Miyazaki Michiko⁵, and Yoneyama Yasuo⁶¹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: Human, Life, Culture 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目的として, 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の可塑的变化及び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

2-1 実験概要

研究計画に従い, 以下の項目を実施した. 本研究は 2017 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.

(1) 研究協力者の公募と被験者集団の構成

2018 年 6 月 1 日~7 月 1 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, 47 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 12 日)

統制群	23 名 (19 歳~20 歳 女性)
学習群	24 名 (19 歳~20 歳 女性)

(2) 研究実施内容

実験に先立ち, 学習群と統制群の被験者に対して, 同意書の提出を確認した.

被験者は学習群と統制群からなり, 学習群はプログラムを学習した. 統制群は学習群と同じ時期において, プログラムの学習をしない群とした.

学習群で実施された内容を表 2 に示す. 被験者は, 初めてプログラムを学習する集団として募集した. しかし, 実験開始後に一部学生にプログラム言語を既習している学生のいることが明らかになり, データ解析から除外する処理を行った.

学習者群は 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た. コンピュータプログラミング言語は processing である. processing 言語は学習者群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, 昨年度や一昨年度と同じ内容とした. 1 コマ 90 分で構成され, 知識の伝達と共に演習を通して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。

実験群に対する検査項目を表3に示す。

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

表3 検査項目概要

a) 同意取得

- ・人数: 50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 47名
- ・実施日: 9月2日, 3日, 5日, 9日, 10日, 11日, 12日, 13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 24名
- ・実施日: 10月22日, 24日, 25日, 28日, 29日, 11月5日, 6日, 8日, 11日, 12日, 14日, 19日, 25日, 26日, 29日, 12月3日
- ・実施場所: 脳病態統合イメージングセンター-IBIC

③ 第3回 事後 MRI 撮像

- ・人数 57名
- ・実施日: 1月14日, 17日, 21日, 24日, 28日, 30日, 31日, 2月4日, 7日, 10日, 14日, 18日, 20日, 21日, 25日, 26日, 28日, 3月3日, 4日, 5日
- ・実施場所: IBIC 脳病態統合イメージングセンター

c) Raven's 色彩マトリックス検査

- ・人数 47名
- ・実施日: 9月20日～10月11日

d) 事後アンケート・評価テスト

- ・人数 24名
- ・実施日: 1月17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: 「レシピ」

『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, 「技術 (コード)」+「美しさ」又は「楽しさ」とする。』

- ・人数 24名
- ・実施場所: 大妻女子大学

2-2 学習前後の脳画像の分析

今年度収集したデータは現在, 分析を行っている。今年度行った昨年度のデータの解析結果について報告する。分析は昨年度取得した34名の学習群と8名の統制群のデータについて行った。

2-2-1 MRI 画像の分析方法

MRI で測定された画像データの解析は, Matlab 上で動作する SPM12 を利用した脳画像解析手法である VBM (Voxel based morphometry) により行った。取得したすべての画像データは, 画像の前処理として, MRI 画像の分割化→脳灰白質テンプレートの作成→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。

各統計分析のための統計モデルの作成に先立ち, 参加者全員の年齢, 性別, 利き手, 脳灰白質容積 (GMV), 脳白質容積 (WMV), 全脳容積 (TBV), 最終評価テスト成績, を算出した。また, マスキングのための画像を準備した。

(1) 横断解析の方法

統制群 (8名) と学習群 (34名) の学習後の時点における脳灰白質構造の相違の有無について検討するために, 群間比較 (two-sample t-test) を行った。

(2) 縦断解析の方法

学習前後の神経可塑的变化の部位を明らかにするために, 学習群の34名に対して, 縦断解析 (対応のある t 検定) を行った。

縦断解析の手法として、いくつかの方法が提案されている。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、すべての画像を標準脳に合わせ込む方法を採用した。統計モデルとしては、比較する学習前後の2つの画像グループ間に対応関係が存在する条件の元での群間比較法（対応のあるt検定）により分析した。

2-2-2 MRI 画像の解析

脳画像解析では、脳灰白質構造の相違について分析を行った。

2-3-1 学習群と統制群の脳灰白質の横断解析

学習群34名および統制群8名の各自の脳画像を標準脳に合わせて、34名の平均画像と8名の平均

と Cluster-level とともに、多重比較補正を行った結果では有意な差とならず、全ての箇所について差が生じていないことが分かった。すなわち、統制群と学習群の間に学習後の脳灰白質の構造に差は認められなかった。

その要因としては、統制群が8名であり、学習横断研究として標準的なサンプル数である一群30名程度に比べて、極めて少なかったことが考えられる。今後、横断解析の精度を上げるためには、サンプル数を増やす必要があると考えられる。

2-3-2 学習前後の脳灰白質の縦断解析

学習前後の脳灰白質の相違を分析した。学習群の34名の学習前の脳画像を標準脳に合わせた平均画像と同じ34名の学習後の平均画像との脳灰白質構造の差に対して、対応のあるt検定を行った。検定の分析表を図2に示す。

Statistics: p-values adjusted for search volume											
set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm
p	c	p _{FWE-corr}	q _{FDR-corr}	k _E	p _{uncorr}	p _{FWE-corr}	q _{FDR-corr}	T	(Z _≡)	p _{uncorr}	
0.831	5	0.987	0.764	22	0.613	0.950	0.787	3.72	3.42	0.000	-5 21 -24
		0.978	0.764	31	0.541	0.960	0.787	3.69	3.39	0.000	-62 -3 -21
		0.995	0.764	9	0.764	0.986	0.787	3.56	3.29	0.001	-44 -8 -35
		0.993	0.764	14	0.697	0.987	0.787	3.55	3.28	0.001	39 17 -12
		0.995	0.764	10	0.749	0.989	0.787	3.53	3.27	0.001	-26 -56 -6

図1 横断解析の分析表

Statistics: p-values adjusted for search volume											
cluster-level					peak-level					mm mm mm	
p _{FWE-corr}	q _{FDR-corr}	k _E	p _{uncorr}		p _{FWE-corr}	q _{FDR-corr}	T	(Z _≡)	p _{uncorr}		
0.044	0.101	659	0.006		0.491	0.360	4.20	3.93	0.000	18	63 -3
					0.984	0.727	3.51	3.34	0.000	11	71 3
					0.986	0.727	3.49	3.33	0.000	35	63 -8

table shows 3 local maxima more than 6.0mm apart

Height threshold: T = 3.22, p = 0.001 (1.000)	Degrees of freedom = [1.0, 65.0]
Extent threshold: k = 659 voxels, p = 0.006 (0.044)	FWHM = 13.6 13.1 13.3 mm mm mm; 9.0 8.8 8.9 (voxels)
Expected voxels per cluster, <k> = 74.233	Volume: 1425560 = 422388 voxels = 535.6 resels
Expected number of clusters, <c> = 0.04	Voxel size: 1.5 1.5 1.5 mm mm mm; (resel = 700.77 voxels)

図2 縦断解析の分析表

画像を得て、脳灰白質の差に対してt検定を行った。検定の結果を図1に示す。Thresholdは0.001とし、Extent thresholdは0を指定した。Peak-level

初期のThresholdは0.001とし、Extent thresholdは0を指定した。Cluster-levelの多重比較補正を行った分析表を図2に示す。

Cluster-level では、 $P_{\text{FWE-corr}}=0.044$ （多重比較補正）となり、有意な差となる部位が1ヶ所存在した。SPM12 に対応した Anatomy Toolbox により解剖学的位置の同定を行った結果、右前頭極（眼窩前頭皮質）（ $x,y,z=18,63,-3$ ）であることが明らかになった。

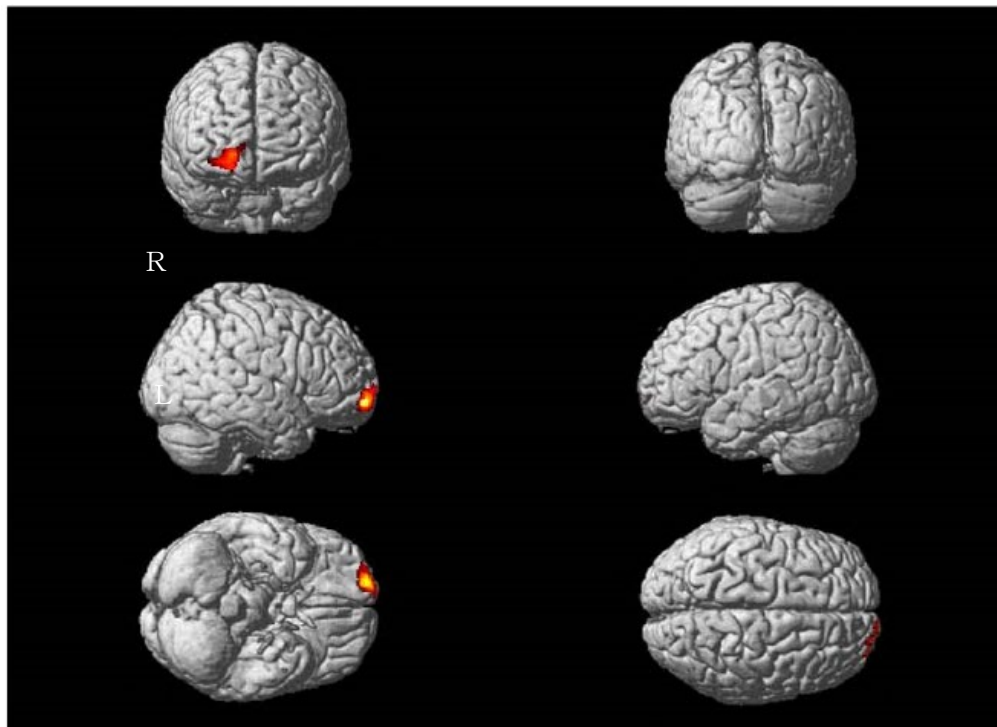


図3 Cluster-level の脳表への表示（有意差が現れた部位）

この縦断解析の結果から、プログラミング学習前後では、右前頭極（眼窩前頭皮質）が有意に変化することが確認された。結果を図3の Render_old の脳表へ表示した。

3. まとめと今後の課題

コンピュータプログラミング学習を支える神経基盤の存在やその基盤が他の学習による効果とは異なる特異的な領域であるかを明らかにすることを目指して実験を進めた。

現状における横断解析の結果からは、学習後に有意な差が生じる部位は見られなかった。

一方、学習群の縦断解析では、半期にわたる学習後の脳灰白質の変化から右前頭極の部位が有意に変化していることが明らかになった。

しかし、有意な差を示した部位がプログラミングの学習の主効果によるものであるとの検証は、さらなる詳細なデータ解析及び追実験による検討が必要である。

今後はプログラミングの学習による先の課題を明らかにする追実験を行うとともに、プログラミングの学習時における脳活動の解析を進める予定である。

なお、本研究はJSPS 科研費 課題番号 18K02589 の助成、および大妻女子大学人間生活文化研究所の研究助成（課題番号 K1922）を受けたものである。

4. この助成による発表論文等

① 学会発表

- [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年1月
- [2] 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, 本郷健, 八高隆雄, 沼澤秀美, 鹿野利春, 宮崎美智子, 米山泰夫, 花川隆, 日本教育情報学会第35回年会論文集, p.84-87, 2019年8月24日
- [3] コンピュータプログラミングの学習と神経可塑的变化, 本郷健, 八高隆雄, 沼澤秀美, 鹿野利春, 宮崎美智子, 米山泰夫, 花川隆, 日本生理学会 第3回ヒト脳イメージング研究会, 2019年9月7日