

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18300091

研究課題名（和文）「視線」の解析に基づく精神発達メカニズムの解明

研究課題名（英文）Analysis of eye movements: a study of mental development

研究代表者

星 詳子 (HOSHI YOKO)

財団法人東京都医学研究機構・東京都精神医学総合研究所・副参事研究員

研究者番号：50332383

研究成果の概要：認知活動中に生じる“gaze aversion (GA)”の認知脳科学的意義ならびに、脳発達との関係を明らかにするために、成人と小児を対象に眼球運動計測装置を用いて思考中の目の動きを解析し、また GA に関連して活動する脳領域の検出を試みた。得られた所見から GA は cognitive space へのアクセスとそこでの認知プロセスを反映しており、GA のパターンが成人化する 10 歳は認知機能の獲得において重要な時期であることが明らかにされた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	11,700,000	0	11,700,000
2007 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	780,000	15,080,000

研究分野：統合領域

科研費の分科・細目：情報学、認知科学

キーワード：認知心理学、gaze aversion、cognitive space

## 1. 研究開始当初の背景

「目は心の窓」と言われており、目の動きを観察することにより内的状況を知ることができ、視線の解析は言語による意思表示が不完全な小児の心を理解する上で有用な手段と考えられる。比較的難しい認知活動を行っている時、目を瞑ったり、空を見たりする行動は“gaze aversion (GA)”呼ばれており、考えることに集中するために外界からの刺激を遮断する行為と推測されている。また、数少ない小児を対象とした先行研究から、GA を発達の視点から考えるべきであることが示唆されているが、GA の生理学的意義は未

だ不明である。そこで、我々は、様々な目の動きの中で GA に注目して、GA は何らかの認知プロセスを反映しており、脳発達段階を評価する指標になるという仮説をたてた。

## 2. 研究の目的

我々の仮説を検証するために、下記の二点を本研究の目的とした。

- (1) 成人と小児を対象に眼球運動計測装置を用いて思考中の目の動きを解析して GA の特徴を明らかにし、GA のパターン of 発達に伴う変化を明らかにする。
- (2) GA に関連して活動する脳領域を検出す

る。

### 3. 研究の方法

#### (1)被験者

眼球運動計測は、健康成人 19 名 (女性 8 名, 男性 11 名; 22 - 29 歳,  $23.2 \pm 2.3$  歳)、健康小児 5-7 歳 5 名 (女子 4 名, 男子 1 名;  $6 \pm 0.7$  歳)、そして 10-13 歳 5 名 (女子 2 名, 男子 3 名;  $11.2 \pm 1.3$  歳) を対象とした。また、脳活動計測は健康成人 13 名 (女性 6 名, 男性 7 名; 21 - 29 歳,  $23.5 \pm 2.8$  歳) を対象とした。

#### (2) 眼球運動計測

被験者は椅子に座り、約 4 m 前方の壁を向き、11 の認知課題 (計算、語彙流暢課題など) 遂行中の眼球運動を、アイマークトラッカー (Voxer, nac 社製) で計測した。問題は、被験者の背後から読み上げられ、その間は一点注視とした。アイマーク (480 X 640 ピクセルの視野画像内で視線を表示するマーク) が 0.1 秒間 50 ピクセル内に留まっている場合を停留点とし、視野画像を注視点で 45 度ごとに 8 方向 (領域) に分割して (図 1) 停留点の場所と、停留点から次の停留点への移動方向を解析した。図 2 に計測に用いたシステムを示す。

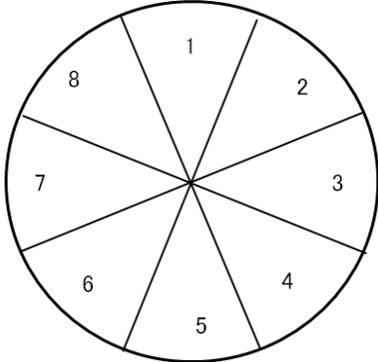


図 1 視野領域



図 2 ボクサーによる眼球運動計測風景

#### (3) 脳活動計測

多チャンネル近赤外線分光装置 (OMM2000, 島津製作所) を用いて、脳活動に連動して変化する局所脳血流変化を酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) を指標として、両側外側前頭前野 (24 箇所, 図 3) と前頭極 (16 箇所) において事象関連デザインで計測し、GA 出現前 0.5 秒間と出現後 1.5 秒間の oxy-Hb 変化量の平均値を 2-way ANOVA で解析した。P < 0.05 を有意水準とした。

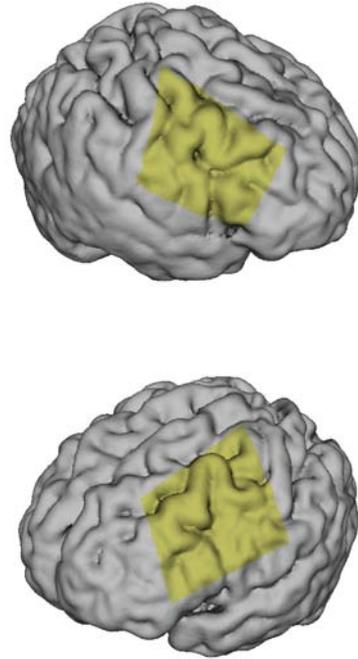


図 3 NIRS 計測領域 (黄色で示した領域)  
右 (上) 左 (下) 外側前頭前野

### 4. 研究成果

#### (1) 成人における眼球運動

GA に個人特有のパターンが認められ、19 名中 12 名は課題に関係なく一定の方向 (領域) に視線をむけ、4 名は課題によって GA の方向は異なり、残りの 3 名に GA は認められなかった。19 名中 12 名は半年前にも同様の計測を行ったが、その時と同じ GA パターンを示した。また、問題の難易度が増すと一定の領域内で様々な方向に視線を向けた。表 1 に結果のまとめを示す。

表 1 GA のまとめ

被験者	今回の計測	半年前の計測
1	2	2
2	1, 1-2	1, 1-2
3	2, 3, 7	3, 7
4	7, 2, 3	7, 3
5	2	注視
6	8-1-2	—
7	3, 7	—
8	2, 8	—
9	1	—
10	1, 5	—
11	1, 7	—
12	8-1-2	—
13	注視	注視
14	注視	注視
15	注視	注視
16	方向性なし	方向性なし
17	方向性なし	方向性なし
18	方向性なし	方向性なし
19	方向性なし	方向性なし

数字は図 1 に示す領域番号、—は未計測

(2) 小児における眼球運動

10 歳未満の小児では GA に一定のパターンが認められず、注視点から大きく離れ視野画像外の複数領域に視線を向けたが、10 歳から成人パターンを示し始め、13 歳では成人パターンを認めた。

(3) GA 関連脳活動

成人では、GA を示さなかった 1 例を除いて全例で GA に関連して両側または一側の外側前頭前野、前運動野で活動増加が認められたが(表 2)、前頭極においては有意の活動変化は認められなかった。

(4) 考察

GA は 1964 年に Day によって報告された conjugate lateral eye movements (cLEMs) と基本的には同じ現象と考えられるが、cLEMs は眼球の左右への動きが注目され、cLEMs は左右大脳半球の機能の違いを反映していると考えられた。つまり、視空間性機能で右半球が活性化した時は左を見、言語性機能で左半球が活性化した時は右を見ると

表 2 GA 関連-脳活性化部位

被験者	活動脳部位
1	L dorsolateral prefrontal cortex (BA 9/46)
2	R inferior premotor area (BA 6)
3	L inferior premotor area (BA6)
4	R inferior premotor area (BA6)
5	L inferior premotor area (BA 6) R inferior premotor area (BA 6)
6	L dorsolateral prefrontal cortex (BA 46)
7	L inferior premotor area (BA 6)
8	L dorsolateral prefrontal cortex (BA 46) L inferior premotor area (BA6) R dorsolateral prefrontal cortex (BA9/46) R inferior premotor area (BA 6)
9	R superior premotor area (BA 6)
10	L ventrolateral prefrontal cortex (BA45)
11	L inferior premotor area(BA6)
12	L dorsolateral prefrontal cortex (BA46) R dorsolateral prefrontal cortex (BA 9/46) R ventrolateral prefrontal cortex (BA 45/47)

L, left; R, right; BA, Brodmann Area

説明され、cLEMs は脳機能の laterality を検出する指標として有望視され集中的に研究された。しかし、その後必ずしも言語性の問題を考えている時に右方向を見るわけではなく、上下方向の眼球運動も多いことなどが報告され、1978 年に Ehrlichman & Weiberger によって cLEMs の概念に異議が唱えられた。以後、この現象は GA として捉えられており、cLEMs に比べ GA の研究は少ないが、1990 年代後半になって GA は問題の難易度が増すと増加し、記憶想起に対して促進効果があることが明らかにされ、GA は外界からの刺激を遮断して内的情報に注意をむけ、効率良く認知活動を遂行するのに寄与しているという考えが一般に受け入れられている。Doherty-Sneddon らは、小児の GA について調べ、8 歳から成人のように問題の難易度に従って GA の出現が増加することを報告しているが、アイマークトラッカーを用いて眼球運動を計測し、GA のパターンと発達との関係を検討した研究は今までに

なく、本研究において GA のパターンが発達によって変化し、成人パターンへの移行は 10 才ころに始めることが初めて明らかにされた。

幼児期には思考中頭部の動きも伴って広い範囲を頻繁に見渡すが、成人ではより限局した狭い範囲に視線を向け、課題の種類に関係なく一定の方向(領域)を見る傾向があった。さらに、成人では課題が難しい場合には、GA の頻度が増加し一定領域内で様々な方向に視線を向ける一方、全く GA を伴わずに課題を遂行する被験者も存在した。これらの結果から、GA は単に外界からの刺激を遮断して認知活動に集中する行為ではなく、cognitive space あるいは global workspace などと呼ばれる認知活動を行うスペースへのアクセスと、そこでの情報探索(ワーキングメモリや長期記憶など)や思考のリセットを反映しているのではないかと考えられる。成人ではそのようなスペースが確立していてすみやかにアクセスすることができるが、小児では未完成でアクセス先が定まらないため、より広い範囲に視線を向けるのではないかとと思われる。これらの行為は、cognitive space へ注意を向ける、あるいはそのスペース内である思考プロセスから別の思考プロセスへ注意をシフトさせる行為と見なせる。GA 出現に一致して認知活動に関与する外側前頭野と注意機能に関連する前運動野で脳活動の増加が認められたことは、GA が注意定位と注意シフトに関連した行為であるという解釈を支持している。

#### (5) 結論

今回の結果は、10 歳ころから成人と同じような認知活動を行うようになることを示唆しており、GA のパターンは認知機能発達の指標になりうると考える。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Shimada M, Chie S, Hoshi Y, Yamada Y. Estimation of the absorption coefficients of two-layered media by a simple algorithm using spatially and time-resolved reflectances. *Phys Med Biol* 2009 (in press) (査読あり)
2. Kohno S, Sawamoto N, Urayama S, Aso T, Aso K, Seiyama A, Fukuyama H, Le Bihan D. Water-diffusion slowdown in the human visual cortex on visual stimulation precedes vascular responses. *J Cereb Blood*

3. Flow Metab, 2009 (in press) (査読有)
3. 常田美穂・陳省仁. 乳児の共同注意行動の発達に寄与する養育者の行動特徴: モノから交渉相手への注意のシフトに焦点を当てて. *北海道大学大学院教育学研究院紀要* 106, 135-147, 2009. (査読有)
4. Hoshi Y. Functional near-infrared spectroscopy: current status and feature prospects. *J Biomed Opt* 12, 062106, 2007 (査読有)
5. Kohno S, Miyai I, Seiyama A, Oda I, Ishikawa A, Tsuneishi S, Amita T, Shimizu K. Removal of the skin blood flow artifact in functional near-infrared spectroscopic imaging data through independent component analysis. *J Biomed Opt* 12, 062111, 2007 (査読有)
6. Chen S-J. The changes in developmental niche: Nurture formation in young people in Japan. *Annual Report, RCCCD, Graduate School of Education, Hokkaido University* 29, 23-25, 2007 (査読無)

[学会発表] (計 5 件)

1. Hoshi Y. The accuracy and reliability of near-infrared spectroscopy in measuring neuronal activity-related cerebral oxygenation changes. *International Society on Oxygen Transport to Tissue (ISOTT2008)*, Sapporo, [2008/08/04]
2. 陳省仁. 輸入学問から創新へ: 日本の心理学の未来. 第 72 回日本心理学会, 札幌 [2008/09/21]
3. Hoshi Y. Frontiers of cognitive neuroscience with near-infrared spectroscopy: applications to developmental psychology and psychiatry. *Organization for Human Brain Mapping 13th Annual Meeting, Chicago, USA*, [2007/06/14]
4. Hoshi Y, Chen S-J. Development of gaze aversion: an index of cognitive development? 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Florence, Italy, [2006/06/12]
5. 星詳子, 陳省仁. Gaze aversion の発達とその神経メカニズム. 第 48 回日本小児神経学会総会, 舞浜, [2006/06/02]

[図書] (計 2 件)

1. Hoshi Y. 2008. *Near Infrared Spectroscopy for Studying Higher*

Cognition. Eduard K, Balázs G, Ernst P. eds. Book Series of Thinking. Vol. I Neural Correlates of Thinking. Springer, Heidelberg pp.83-93.

2. Hoshi Y, Chen S-J. 2006. New dimension of cognitive neuroscience research with near-infrared spectroscopy: free-motion neuroimaging studies. Chen FJ, ed. Progress in Brain Mapping Research. Nova Science, New York, pp205-229.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

星 詳子 (HOSHI YOKO)

財団法人東京都医学研究機構・東京都精神  
医学総合研究所・副参事研究員

研究者番号：50332383

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

陳 省仁 (CHEN SHING-JEN)

北海道大学・教育学研究科・教授

研究者番号：20171960

精山 明敏 (SEIYAMA AKITOSHI)

京都大学大学院・医学研究科・教授

研究者番号：70206605