

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730097

研究課題名(和文)断片文字の認知における心理学的・神経生理学的モデルの構築および応用

研究課題名(英文)Cognitive and Neural Mechanism for the Recognition of Fragmented Visual Information

研究代表者

姜 銀来(Jiang, Yinlai)

電気通信大学・学内共同利用施設等・准教授

研究者番号：70508340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：断片的視覚情報を脳内で補い、再構成する視覚補間は、視覚認知において重要な役割を果たしている。本研究は、(1)視覚補間の心理学的メカニズムを解明するため、断片文字の各部分の重要性を定量的に評価し、最短距離接続モデルを構築した。また断片情報接続の傾向も調べた。(2)断片文字認知の神経生理学的メカニズムを解明するため、断片率に脳活動の変化をfMRIで測定した。(3)断片文字の認知力の簡易計測システムを開発し、断片文字の認知力と加齢および認知症の危険因子との関連性を調べて、その関連性を影響する計測条件を検討した。

研究成果の概要(英文)：The interpolation and reconstruction of fragmented visual information during the cognitive process is a very important feature of visual cognition. To elucidate the mechanism of visual interpolation, this study evaluated the importance of residual information for the fragmented-letter recognition, and proposed a least-distance connection model. The preference of connecting scattered information was also investigated. An fMRI experiment was conducted to locate the brain areas involved in the visual interpolation. A simple measurement system using touch panels or tablets was developed to easily measure the recognition ability for fragmented letters. The relation between visual interpolation ability and aging was also studied to explore the possibility of early detection of cognitive impairments.

研究分野：認知科学、人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：視覚認知 断片文字

1. 研究開始当初の背景

断片的視覚情報を脳内で補い、再構成する視覚補間は、視覚認知において重要な役割を果たしている。現在、視覚補間の心理学的および神経生理学的メカニズムはまだ確立されておらず、補間能力の定量的評価方法はない。本研究は、視覚補間能力を定量化することにより、認知力の新たな指標として提案する。視覚補間のメカニズムを解明し、加齢および認知症の危険因子との相関を明らかにすることで、簡便に実施できる認知症の早期発見法への展開を図る。

2. 研究の目的

ヒトは、一部が欠けた図形や文字から元の図形や文字を認知できる能力を持っている。このような断片的視覚情報の認知は“視覚補間”と呼ばれ、脳内の視覚情報処理の重要な特徴である。本研究は、(1) 視覚補間の心理学的メカニズムを解明するため、断片文字の認知における文字部分の重要さを定量的に評価し、最短距離接続モデルを構築する。(2) 視覚補間の神経生理学的メカニズムを解明するため、断片文字の断片率による認知に関わる脳活動の変化をfMRIを用いて測定する。

(3) 断片文字の認知力と加齢および認知症の危険因子との関連性を調べることで、断片文字の認知力に基づく認知症の早期発見法を開発する可能性を探る。

3. 研究の方法

(1). 心理学的実験

断片文字の認知における心理学的メカニズムを解明するため、高速視点追跡装置ViewPoint EyeTracker (90 Hz, Arrington Research, USA) を用いて、断片文字の認知におけるヒトの視点変化を測定した。図1に示すように、全画面に表示した断片文字を被験者に認識させ、その時の視点変化を調べることで、断片文字を識別する際の情報探索パターンを調べた。

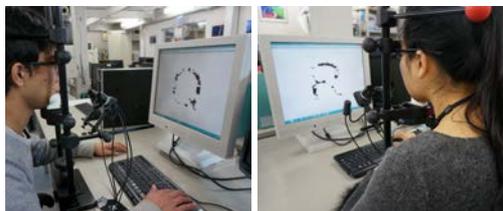


図1 断片文字認知における視点計測

また、本研究で提案した最短距離接続モデルを改善するため、視覚認知における断片情報接続の幾何学的傾向を実験で調べた。実験の時、刺激提示画面に図2に示すような3点か4点を一瞬(200ms)で表示される。被験者は、表示された間に頭の中で、その3点または4点を折れ線で結ぶ。その後の回答画面に表示される選択肢から、自分の結び方を選ぶ。3点の位置関係は、被験者は45名(男35, 女

10)であった。一人当たり、3点の刺激画像4種類を1回ずつ識別し、4点の刺激画像を8回識別した。

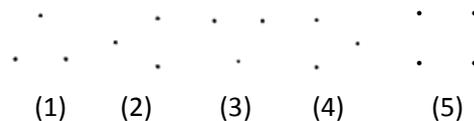


図2 接続傾向実験の刺激画像

(2). 神経生理学的実験

断片文字の認知を通して、視覚補間の神経生理学的メカニズムを解明するため、高知工科大学脳コミュニケーション fMRI (3.0T, Siemens, Germany)を用いて、断片文字の認知に関わる脳部位を特定する実験を実施した。実験では、図3に示すように20秒のレストを挟んだタスクを10回行った。タスクでは図4に示している5種類の断片文字をプロジェクターを介して被験者に呈示して、識別してもらった。10回のタスクを前5回と後5回に分けて、其々において5種類の断片文字を1セットずつ呈示した。1セットでは、26文字を1文字1.5秒でランダムで呈示した。被験者は、20代男性10名であった。

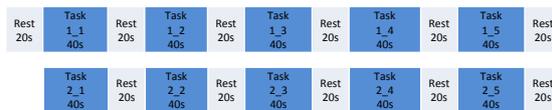


図3 fMRI 実験のデザイン

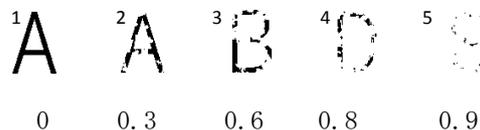


図4 刺激信号の例 (下の数字は断片率)

難易度の順番による影響を抑えるために、被験者別に表1に示すような順番で5種類の断片文字を呈示した。

表1 被験者別のタスク順番

	1_1	1_2	1_3	1_4	1_5	2_1	2_2	2_3	2_4	2_5
S1	3	1	4	2	5	2	4	1	5	3
S2	2	4	1	5	3	1	3	5	2	4
S3	1	3	5	2	4	3	1	4	2	5
S4	3	1	4	2	5	2	4	1	5	3
S5	2	4	1	5	3	1	3	5	2	4
S6	1	3	5	2	4	3	1	4	2	5
S7	3	1	4	2	5	2	4	1	5	3
S8	2	4	1	5	3	1	3	5	2	4
S9	1	3	5	2	4	3	1	4	2	5
S10	3	1	4	2	5	2	4	1	5	3

### (3). 断片文字の認知力と脳健康

タッチパネルおよびタブレットを使った計測システムを開発した。被験者1人で測定できるように、画面上に説明文書と図を設けるようにした。断片文字の正答率と加齢および認知症の危険因子との関連性を更に詳しく調べるために、断片文字を生成する際のパラメータ（断片率と生成パターン）と白質病変のグレードとの相関を解析した。MRIによる白質病変の分類は、深部皮質下での広がりに応じて3段階（G0:なし、G1:片側性、G2:両側性）にグレード分類した。更に、断片文字別に白質病変のグレードとの相関も解析した。断片文字を生成する際の抹消方法の影響も検討した。

## 4. 研究成果

### (1). 心理学的実験

断片文字の認知におけるヒトの視点変化を計測した結果の例を図5に示す。2値画像の断片文字の各部分における視線の停留時間を統計した結果、残された部分だけではなく、欠けている部分の停留時間も相対的に長いことがわかった。欠けている部分を見て、脳内で補うことが示唆された。欠けている部分、つまり背景となる部分の情報量も定量的に評価する必要があることが示された。

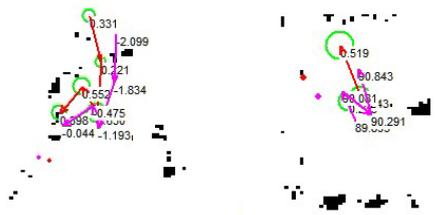


図5 注視点計測結果の例

実験で示された背景の重要性を考慮して、背景の情報量も断片文字の認知力の計算に取り入れことで、新たな計算モデルを構築した。同じサイズの文字画像において、同じ位置の背景を共通する文字数が多いほど背景の情報量が低く評価することで、背景の重要性を定量的に定義した。背景と文字が総合情報量で認知力を評価することで、より妥当であることが確認された。

断片情報接続の幾何学的傾向を調べる実験の結果を図6と図7に示す。図2に示した3点画像の刺激に対して、回答に三つの選択肢があり、其々選ばれた回数と選ばれた時の平均反応時間を図6の選択肢の下にある数値で示している。図6の結果より、下記の傾向が纏められる。

- ①一番多く選ばれた選択肢：水平か垂直の線がない接続が多い。つまり、選ばれた選択肢はの対称軸は、水平か垂直である。
- ②二番目に多く選ばれた選択肢：斜めの線分は、右肩上がりである。
- ③二番目に多く選ばれた選択肢：斜めの線分は、右肩下がりである。

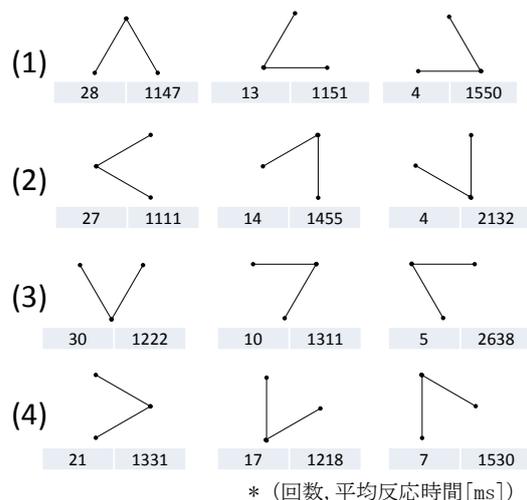


図6 等辺3角形配置の実験結果

図2に示した4点画像の刺激に対して、回答に八つの選択肢がある。図7の結果より、下記の傾向が纏められる。

- ①左の縦線は、一番優先に接続される。
- ②左の縦線が優先に決まった場合、上の横線、下の横線、右肩上がりの斜線、右肩下がり斜線の順に接続される。
- ③左の縦線が優先に決まらなかった場合、上下の横線を繋ぐには右の縦線、右肩上がりの斜線、右肩下がり斜線の順に接続される。

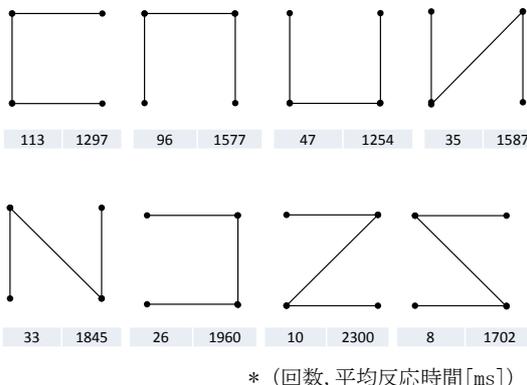


図7 四方形配置の実験結果

また、最短距離連結モデルにおける連結閾値を検討した結果、閾値は30-50ピクセルの場合に連結した断片文字と、元の断片文字の認知率と関連性があることが示された。

### (2). 神経生理学的実験

fMRIを用いた断片文字の認知に関わる脳部位特定実験のデータを解析した結果、断片率により断片文字の認知に関わる脳部位が異なることを明らかにした。完全文字の認知に比べて、断片率が0.3、0.6、0.8である時に、断片率が高いほど、脳賦活領域が広がるが、断片率が0.9である時に、有意に賦活した部位がなかった。SPMを用いた一般線型モデルの解析結果の例を図8に示す。完全文字の認知に比べて、断片率が0.3と0.9の時は、統計的に有意に活動した脳部位はなかった。断

片率が0.6と0.8の場合に有意に活動した脳部位があり、0.8の場合に広範囲に広がっている。断片文字を用いて、脳の認知機能を評価する際に、適切な難易度設定が非常に重要であることが示唆された。

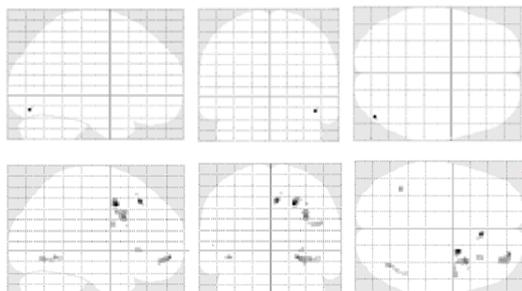


図8 断片率 0.6 vs 0 (上段) と 0.8 vs 0 (下段) の解析結果

### (3) 断片文字の認知力と脳健康

タッチパネルおよびタブレットを使った計測システムを開発した(図9)。画面上に説明文書と図を設けることで被験者1人でも測定できるようにした。開発したシステムを用いて高知検診クリニックにて、実験を行った。実験では、断片率を0.7、0.86、0.9との3段階に設定した。



図9 開発した計測システム

断片文字を生成する際のパラメータ(断片率と生成パターン)と白質病変のグレードとの相関を解析した結果において、断片率による難易度が中程度の場合、白質病変のグレードと関連して正答率が変化する文字が最も多かった。白質病変のグレードに伴い正答率が減った文字画像の例を図10に示す。前述のfMRIによる脳活動解析も、断片率の増加により有意に賦活した脳部位が増え一定の断片率を超えると賦活部位が減るとの結果が得られたため、fMRI実験の解析結果との整合性のある結果であった。適切に断片率を設定することの重要性が示された。

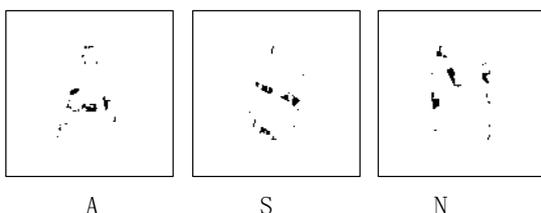


図10 文字画像の例

生成パターンに関しては、文字画像を3段階の抹消単位(1ピクセルずつ、小四方形、大

四方形)で消すことで生成された断片文字において、抹消単位が大きいほど残された情報が離れることがわかった。3段階の抹消単位により生成された断片文字の例を図11に示す。1ピクセルずつ抹消された場合、残された黒いピクセルが、密度の均一に分布している。抹消単位が増加すると、残された黒いピクセルが、より大きなまとまりに集まり、互いに離れて分布している。生成された不完全な文字の識別においては、抹消単位が大きければ大きいほど文字にまとまりがなくなることが判る。脳認知機能との関連性の高い断片文字の生成において、断片率と抹消単位を最適化する必要が示された。

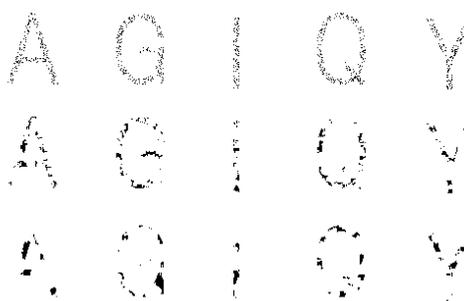


図11 抹消単位(上段:1ピクセルずつ、中段:小四方形、下段:大四方形)別の断片文字

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計3件)

- [1] 姜銀来, 身体機能を代替・補助・拡張するためのロボットの研究開発, 脳と心とライフサポート技術ワークショップ, 東京, 2015年11月.
- [2] Yinlai Jiang, A method to quantitatively evaluate visual cognition ability and its application to early check of dementia, Symposium on frontier technologies for rehabilitation robotics, Shenyang, China, Aug. 2014.
- [3] 姜銀来, 高橋龍尚, 朴啓彰, 柳田裕隆, 王碩玉, 視覚認知における補間能力の定量化計測とその脳機能との関連性, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 大津, 2013年11月.

[その他]

ホームページ等

<http://blsc-uec.net/>

<http://www.lab.kochi-tech.ac.jp/robotics/freesoft.htm>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

姜 銀来 (JIANG, YINLAI)

電気通信大学脳科学ライフサポート

研究センター・特任准教授

研究者番号: 70508340