

AMCoR

Asahikawa Medical University Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

旭川医科大学研究フォーラム (2015.2) 15,1:83-86.

平成24・25年度「独創性のある生命科学研究」個別研究課題 22)断片文字認知メカニズムのモデル化

高橋 龍尚

22) 断片文字認知メカニズムのモデル化

研究代表者 高橋 龍尚

【研究の背景と目的】

ヒトは、図形の一部が他の物の陰になっていたり、図形の一部が欠けていたりした場合でも、その図形や文字を認知・識別する能力を有する。このような断片的な視覚情報の認知を“視覚補間”と呼ぶことにする。この視覚補間能力は、脳の視覚情報処理の重要な特徴と考えられる (Changizi, 2009)。

断片的な視覚情報の認知、本研究では断片文字の認知、は図形の情報量だけではなく断片化の様式 (モー

ド)にも影響されることを先行研究で報告した (Jiang ら, 2010)。断片文字は、完全文字を構成している要素 (ピクセル) からドットや長方形型のピクセルをランダムに削り、コンピュータディスプレイに表示される。消去率を段階的に変化させ被験者の正解率を調べたところ、情報の削除量 (断片化率)が増すに従い正解率は低下した。図1には、一例を示す。断片化の際、ドットあるいは長方形のモード (形状) で情報を削除していくと、ピクセル (情報) 消去量が同じでもドットモードに比べ長方形モードによるピクセル消去の場合に文字の読み取りが困難になることがわかる。長方形モードの消去による文字読み取りの困難さは、文字を構成しているピクセルが根こそぎ奪われ特定の文字として成立し得なくなるからである。図1の長方形モードによる0.92断片化の“R”は、“K”や“B”のようにも見える。

このように断片化された文字や図形を読み取る際には、失われた情報を補完し本来の文字や図形を構築し記憶から想起される文字や図形との一致をみなければならぬと考えられる。これらのプロセスを網膜の視細胞以後の視覚系機構、一次視覚野、視覚連合野および高次視覚野を通してどのようになされるかについての十分な理解は得られていない。

先行研究において、断片文字の消去モードと消去率と正解率の関係を示す実験データから、断片文字を読む際の視覚補間、言い換えると文字構成ピクセル間の補間には何らかの規則があるのではないかと考察に至った。そこで我々は視覚補間のメカニズムとして次の仮説を設け、文字構成ピクセル間の補間には最短距離

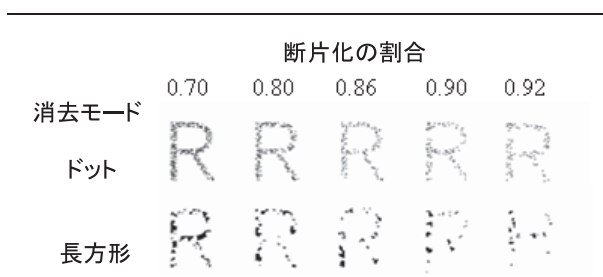


図1 ピクセル表示による文字 (アルファベット) からピクセルをランダムに消去し文字を断片化する。ランダムに消去されたピクセル量に比例して文字を読むことの難易度は増加する (情報理論に基づく [Jiang ら, 2010])。消去の形状 (モード) はドットと長方形による。断片化の割合が進むとドットモードに比べ長方形モードは難しくなる。

離のピクセルを連結するモデル——最短距離連結モデル——の妥当性について検討した。このモデルを証明するための実験として、三点を提示された被験者がどのような線の結び方をイメージしたか調査した。また、このモデルの妥当性を示す実験としてコンピュータシミュレーションも行った。

【実験方法】

被験者

Y大学の健常男子大学生 (年齢21歳—23歳) 10名。彼らの視力は正常であった。実験実施者は被験者に対してタスクの手続き、危険性、利益などについて十分な説明を行い、全員から同意書を得た後に実験が実施された。また、本実験は、大学倫理委員会の承認を得て行われた。

実験手順

パソコンのモニター上に3点の黒丸 (●) を表示する (図3のA0)。表示時間は200ミリ秒である。次に、図3の下段のようにA1、A2、A3の並びの画面が表示されるので、被験者は黒丸が表示された際に自身がイメージした線の結び方と同じ図形を指示する。同様の実験を図4のB0でも行った。A0とB0における黒丸3点は直角三角形の頂点に位置し、直角を挟む辺の関係は $S_2 = 2 \times S_3$ と定義される (図2)。また、B0はP3を中心にA0を120度回転したものである。

実験を行う前には次のような説明を被験者に行った：『モニター上に点が3つ表示されます。3点が表示されている間に、頭の中でそれらの点を線で結ぶイメージを記憶して下さい。その後に表示される3つの選択肢の中から自分のイメージした結び方と同じもの

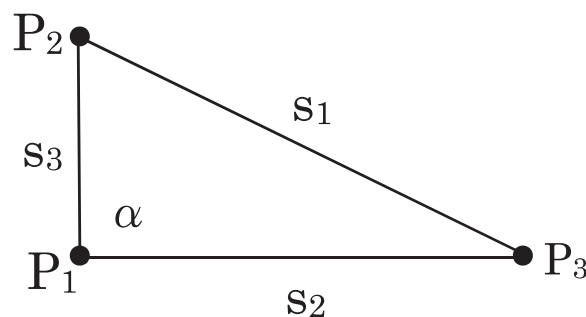


図2 3点の関係を定義する直角三角形

を選んで下さい。深く考えず直観で行って下さい』。

【結果と考察】

図3のn値は、その図形（線の結び方）をイメージした人数を示している。8人がA1を選択した。同様に、図4では7人がB1を選択した。A1とB1の図形は三点の結び方としては最も短い距離と2番目に短い距離を結ぶ線からなる。A2やB2にも最も短い辺S3があるためA3やB3よりも選択者が多くなることを予想したが、結果は、B3はB2よりも1人多くなる結果となった。これは、イメージする線の傾きの影響が考えられる。これらの結果を統計でみると、A1とB1、A2とB2、A3とB3をセットにした3グループの選択される比率を1:1:1と仮定すると、カイ2乗適合度検定の結果は、統計的に有意な差(P<0.05)を検出した。すなわち、統計学的にはA1とB1が75%も選ばれる（イメージ）されるのは、偶然ではないことが示唆される。

コンピュータシミュレーション

人の実験では、複数の点を見た際に最短の点から優先的に線が結ばれる傾向があることを示した。はたして断片化された文字を見た際にも近接の点を結ぶ補間イメージによって正しい文字として読めるだろうか？このモデルは近接の点を結ぶだけの単純なアルゴリズムからなり、これを最短距離連結モデルと呼ぶことにする。コンピュータシミュレーションによって断片化

された文字の近接するピクセルを直線で結んだ結果が正しい文字として再現されるかをテストすることにする。図5に結果の例を示す。例では断片文字AとKが示されている。本来の文字を構成するピクセルから90%のピクセルを消去している。ピクセルの消去は、ドットモード、長方形モード共にランダムに行われた。ドットモードの場合、文字を構成するピクセルが一律に消去されているため残されたピクセルを最短線で結ぶことで、本来の文字が表現されている。一方、長方形モードでは、残されたピクセルの距離が大きいために最短のものを結んでも本来の文字に再構築されていない。

以上より、最短の情報（ピクセル）を結ぶ補間機能によって断片文字を読んでいるという仮説は支持されたことになるが、実際に脳のどの部位で、あるいはどのような細胞の反応によってその補間機能が働くのかを考察してみたい。

視細胞、双極細胞、網膜神経節細胞、外側膝状体、視放線、これら一連の信号伝達系での機能貢献について、研究文献からヒントが見出される。神経節細胞の電気活動記録の研究から、中心 - 周辺拮抗型の受容野特性により白（背景）と黒（文字構成要素）の強調がもたらされる（Schiller, 1992）。一次視覚野（V1）では方位選択性ニューロンのモジュール活動と水平的に連絡する同方位性反応モジュールの相互強化による

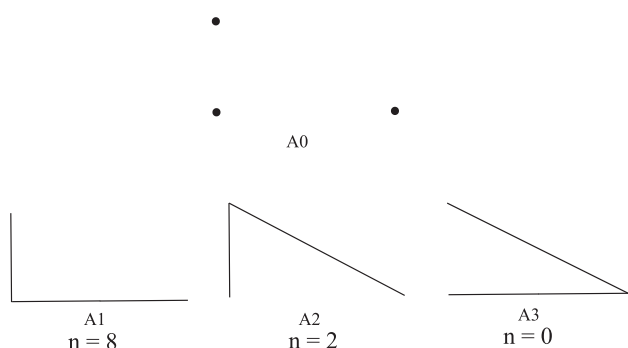


図3 実験とその結果。パソコンによるモニター上の3点の表示（上段A0）。3点表示後のイメージ（A1, A2, A3）と被験者10名による選択結果（nは人数）。A1から順に結合線の合計は長くなる。

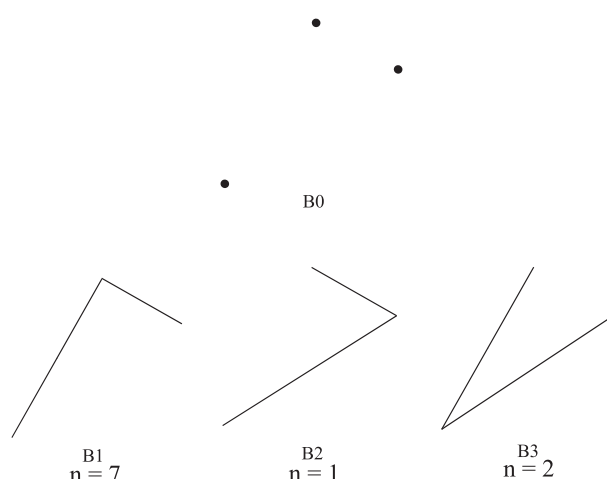


図4 実験とその結果。パソコンによるモニター上の3点の表示（上段B0）。3点表示後のイメージ（B1, B2, B3）と被験者10名による選択結果（nは人数）。B1から順に結合線の合計長さは大きくなる。








消去モード	文字 A (消去率 90%)		文字 K (消去率 90%)	
	ドット			
長方形				

図5 最短距離連結モデルによるシミュレーション結果の例。文字 A と K を断片化した後、各ピクセルについて近接するもの同士を赤線で結んでいる（各右側文字）。最短距離連結モデルによって、ドットモードで断片化された文字は読めるが長方形モードのそれらは読むことが困難である。

効果が考えられる (Stettler ら、2002)。一方、一次視覚野および V1 に隣接し V1 からの出力の先である視覚前野の一部 V2 ニューロンでは、Illusory contours に反応することが電気生理学的にサルで調べられている (von der Heydt と Peterhans, 1989 ; Grosf ら, 1993)。V1 には網膜上の画像に対してモノ (object) の線や面の方向性の処理を担当する方位選択性のニューロンがある (Hubel と Wiesel, 1968)。また、その情報は方位選択性を示す V2 のニューロンに送られる。少なくとも V1 と V2 段階で実際には存在しない Illusory の線がそれらのニューロン活動から存在することの証拠となっている。この Illusory の線の存在は、他ならぬ断片文字を読む際の補間機能なのではないかと推測される。

【謝 辞】

本研究は、平成 25 年度“独創性のある生命科学研究”研究費助成を頂いた。此に心より感謝申し上げます。

【文 献】

Changizi M. The vision revolution. BenBella Books, Inc. Dallas, 2009.
 Grosf DH, Shapley RM, Hawken MJ. Macaque V1 neurons can signal “illusory” contours. Nature 365: 550-552, 1993.

Hubel DH, Wiesel TN. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. J Physiol 195: 215-243, 1968.
 Jiang Y, Ikegami M, Yanagida H, Takahashi T, Wang S. Quantification of the capability of human visual interpolation for identifying fragmented letters. Trans Jpn Soc Med Biol Eng 48: 369-376, 2010.
 Stettler DD, Das A, Bennett J, Gilbert CD. Lateral connectivity and contextual interactions in macaque primary visual cortex. Neuron 36: 739-750, 2002.
 Schiller PH. The ON and OFF channels of the visual system. TINS 15: 86-92, 1992.
 von der Heydt, Peterhan E. Mechanisms of contour perception in monkey visual cortex. I. Lines of pattern discontinuity. J Neurosci 9: 1731-1748, 1989.