Aperture問題における輪郭運動方位と速度に対する知覚について
On the Perceptual Grouping to Motion Direction and Speed in Apertures

林　勲
Isao Hayashi
阪南大学 大学院
Hannan University

親泊 元太郎
Gentaro Shinpaku
阪南大学
Hannan University

Abstract The physical data in the aperture experiments is significant to analyze human visual system and formulate visual neural networks. In this paper, we analyze the perception under changing radius, distance between circles, movement direction, and the display time in the aperture experiment.

1．はじめに

人間の網膜では，入力情報は局所的な視覚範囲内だけを処理する受容野を持つ個々の細胞で並列的に処理される．対象全般の視覚情報は，細胞を多層的に組織化した外側膝状体や視覚野で知覚グルーピングとして認識される．しかし，一般に，各細胞から全体像を処理するメカニズムは解明されていない [1]．視覚構造を解析する実験の一つに Aperture 実験がある (図 1 参照)．モニター中央部に 1 個の円形の小窓が表示されており，円内を基本線分が右下から左上方向に移動する．この線分の移動途中で，2 つの円が両側に表示され，両円内の刺激線分が鉛直上方に移動する．3 つの直線が連続していると知覚された場合には，基本線分の運動方向は知覚グルーピング化され，鉛直上方に方位を変更したように知覚される．仁科ら [2] は，線分の呈示時間が長いほど知覚されやすいことを示し，線分上の各点の速度が局所的相互作用によって線分全体に拡散するモデルを提案している．

本研究では，同様の実験を行い，仁科らの結果を追認するとともに，全方位角と呈示時間に対する知覚を検証した．全方位角の実験は，Castet ら [3] の方位知覚性を確認するために行ない，呈示時間の実験は呈示時間が長い場合でも知覚が低下する仮説 [4] を確認するためである．ここでは，結果の有意性を確認するとともに，ニューラルネットワーク構築の条件についても議論する．

2．Aperture 実験

実験は，富士通製 PC(FMV-6550DX4e) と 17CRT の FMV-DP9713(垂直周波数 85.0KHz, 水平周波数 68.7KHz) を用いた．ここでは，被験者を支持装置で緩やかに固定し，被験者とディスプレイ間距離の剰余変数を 50cm に統制した．まず，全方位角に対する知覚実験を行なった．実験では，円の半径を 35mm と固定し，呈示時間：50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200ms，円の中心間距離：80, 85, 95, 100, 110mm，基本線分の方位角：0°(水平右方)，45°，90°，135°，180°，225°，270°，315°，刺激線分の挿入角度：-45°，0°，+45° に対して知覚を調べた．20 歳代前半の 5 名の被験者に対し，各条件を無作為に選び，一人当たり 3 回の知覚の有無の回答を得て知覚認識率を計算した．図 2 ~ 図 4 に呈示時間：1000ms，刺激線分：-45°，0°，+45° の結果を示す．

結果では，0° を除き，円間距離が短くなるほど知覚が上昇し，長い場合に低下する仁科らの依存性を支持した．また，水平方向 (0 度，180 度) および鉛直方向 (90 度，270 度) では知覚認識率が高く，それ以外の方位角では知覚が低い．この結果は，Castet らの主張 [3] と合致する．これらの結果から，本実験が有意であると言える．

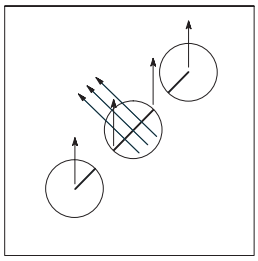

Fig. 1: Aperture Experiment

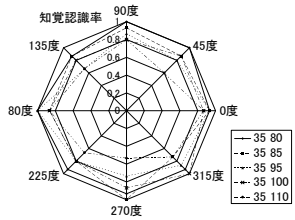

Fig. 2: -45 Degrees

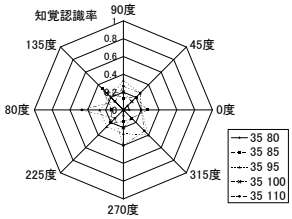

Fig. 3: 0 Degrees

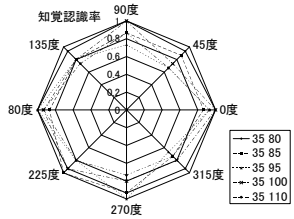

Fig. 4: +45 Degrees

次に，呈示時間に対する知覚実験を行なった．基本線分の方位角：135°，刺激線分の方位角：-45° (鉛直上方) に固定した．円間距離：95mm，半径：30, 35, 40, 45mm，呈示時間：100, 250, 400, 550, 700, 850, 1000, 1150ms に対して知覚を調べた．20 歳代の 3 名の被験者に対し，各条件を無作為に選択し，一人当たり 10 回の知覚の有無の回答を得て知覚認識率を計算した．結果を図 5 に示す．また，ギャップ比：円の半径 (mm)/中心間距離 (mm)=0.37 とした (円の半径，中心間距離)=(30, 81.4), (35, 95), (40, 108.6), (45, 122.1) に対する知覚認識率を図 6 に示す．

ギャップ比率が一定の場合には，知覚認識率がほぼ同じ挙動を示している．また，両結果とも，100 ~ 550ms で呈示時間が短くなると，知覚が低下している．呈示時間の知覚認識率に対する有意性を検証するため，ギャップ比率が一定の場合の分散分析表を計算した (表 1)．条件

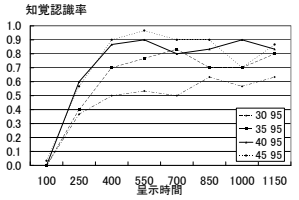

Fig. 5: Unconstant Gap Ratio

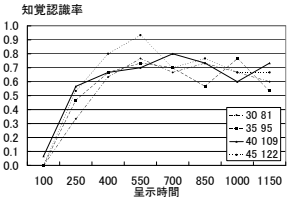

Fig. 6: Constant Gap Ratio

(呈示時間) の F 値は自由度 (7,14) の有意水準 1%の臨界値 4.28 よりも大きい．したがって，呈示時間によって知覚グルーピングに 1%水準で有意な差があったと結論することができる．また，個人差の F 値は臨界値 6.51 よりも大きいので，個人差を条件の効果と切り離すべきと結論できる．

Table 1: Influence of Display Time to Perceptural Grouping

変動因	平方和	自由度	平均平方	F 値	臨界値
条件 (時間)	1.270	7	0.181	13.364	4.28
個人	0.869	2	0.434	31.996	6.51
残差	0.190	14	0.014		
全体	2.329	28			

一方，呈示時間：550 ~ 1150ms において知覚が低下する傾向にある．550ms の知覚認識率から 700 ~ 1150ms の知覚認識率の下げ幅を計算し，その結果を表 2 に示す．図 5 の場合には，概ね知覚認識率はマイナス傾向にある．図 6 の場合には，明らかに呈示時間の増加とともに知覚が低下している．なお，呈示時間を昇順と降順で与えた実験，および被験者に呈示時間を告知した上での実験もあわせて行なった．しかし，通常の実験結果と同様に，呈示時間：550 ~ 1150ms において知覚認識率は下がったことにより，この低下には規則性があると言える．

Table 2: Deviation of Perceptural Rate between 550-1150ms

図番号		700	850	1000	1150
Fig.5	30 mm	-0.033	+0.1	+0.033	+0.1
	35 mm	+0.067	-0.067	-0.067	+0.033
	40 mm	-0.1	-0.067	0.0	-0.067
	45 mm	-0.067	-0.067	-0.267	-0.1
	平均	-0.033	-0.025	-0.075	-0.009
Fig.6		-0.063	-0.083	-0.106	-0.149

3 ．考察

今回の実験では，まず，半径と円間距離に対する知覚認識率を確認した．また，全方位角に対して水平方向および鉛直方向の知覚認識率が高いと言う Castet らの主張 [3] を確認した．さらに，ギャップ比が一定の場合には，知覚の認識率が同じ挙動を示すことを確認した．

一方，呈示時間の知覚認識率に対する有意性を確認した．また，短い呈示時間だけでなく，呈示時間：550ms ~ 1150ms においても知覚が低下する結果を得た．これは次のように考察できる．人間の視覚系において，視覚情報は，網膜から神経節細胞，LGN, V1，V2 へと伝達する処理経路と V1 と V2 レベルにおける水平細胞間での興奮性・抑制性経路によって総合的に処理される．中心円の基本線分速度が速い場合には，網膜→ V2 への経路はその処理速度が速く，V1, V2 での水平細胞間処理が間に合わない．したがって，中心円の基本線分だけが強調され，運動方向が変化する知覚グルーピングは認識できない．逆に，線分速度が非常に遅い場合，網膜→ V2 への経路の処理時間が遅く，V1 や V2 での細胞のシナプスがより活性化され，水平細胞間での処理を相殺する．したがって，中心円の基本線分のみが強調され，知覚が認識できない．この仮説は，網膜→ V2 への情報処理速度と水平細胞間での情報処理速度とが異なることを仮定しており，時間属性のダイナミクスが視覚系構造上の大きな要因の一つであることを示唆している．この議論は，Grossberg[5]，西田 [6] などの結果とも関連する．これらの考察から，視覚系ニューラルネットワークを構築する場合には，水平ノード間の結合機能が必須であり，処理プロセス間の非同期性が重要な要素であると結論できる．

4 ．おわりに

Aperture 実験における知覚の確認実験を行った．しかし，呈示時間：550 ~ 1150ms における知覚低下は，テューキーの *HSD* 法や傾向検定でも確認できなかった．今後，この知覚低下の現象をより詳細に検証する必要がある．本研究の一部は，文部科学省科学研究補助金 (基盤研究 C) 課題番号 14580433 の一環として行われた．

参考文献

[1] D.Marr and S.Ullman. Directional selectivity and its use in early visual processing. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 211:151–180, 1981.

[2] 仁科 繁明，岡田 真人，川人 光男. 輪郭運動方向の計算における充填過程と大局的バインディング. 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会予稿集, 1998.

[3] E.Castet, J.Lorenceau, M.Shiffrar, and C.Bonnet. Perceived speed of moving lines depends on orientation, length, speed and luminance. *Vision Research*, 33:1921–1936, 1993.

[4] 林 勲. Aperture 問題のルール抽出による一解析法. 第 *17* 回インテリジェント・システム・シンポジウム予稿集, pages 435–440, 2001.

[5] S.Grossberg. How does the cerebral cortex work? Learning, attention, and grouping by the laminar circuits of visual cortex. *Spatial Vision*, 12(2):163–185, 1999.

[6] I.Motoyoshi and S.Nishida. Temporal resolution of orientation-based texture segregation. *Vision Research*, 41:2089–2105, 2001.

[連絡先]

Isao Hayashi, Hannan University
5-4-33, Amami-higashi, Matsubara, Osaka 580-8502
e.mail ihaya@hannan-u.ac.jp
http://www.hannan-u.ac.jp/~ihaya/