

# Aperture 問題における 知覚認識とその脳内活動部位の推定†

林 勲\*1・豊島 恒\*2・山ノ井 高洋\*3

脳を一つの数理モデルと仮定すると、表象出力の知覚を分析し脳内の階層構造をモデル化するアプローチがある。その心理実験としてAperture実験がある。仁科らは、人間の知覚は対象物の可視領域の大きさと非可視領域との占有性に依存し、線分の可視時間が長いほど認識されやすいことを示した。

本論文では、新たに線分速度を変化させた場合の知覚認識率について議論し、さらに、脳波 (EEG: Electroencephalograms) 計測実験により、脳内での活動部位を推定する。具体的には、Aperture問題の諸条件を変化させた場合の呈示時間の変化に対する知覚認識率を測定して、線分速度の依存性を議論する。次に、EEG (Electroencephalograms) 解析用のソフトウェアにより、視覚誘発電位 (VEP) の振幅変化から脳内活動部位を推定し、背側経路と腹側経路における推定部位と知覚との関係について議論する。最後に、本実験で得られた2手法の結果から、Aperture知覚の総括的な検証結果について考察する。

キーワード: Aperture 問題, 視知覚, 心理物理計測, 脳波計測

## 1. はじめに

脳は知覚を経て外界から情報を取り込み、知性や知覚を獲得する[1, 2]。脳を一つの数理モデルと仮定すると、モデルの構築には、神経細胞レベルでの電気的かつ化学的特性や細胞のシナプス伝達特性等を解析して、脳より上位層をモデル化するボトムアップ階層型モデル、及び、表象出力としての知覚の実験結果を解析し、下位層の階層構造をモデル化するトップダウン階層型モデルの2種類のアプローチがある。また、それらの両モデルの仲介としてミドルウェア階層型モデルがある[3]。これらの一連のモデルの研究をBiologically Inspired Model (BIM) と呼ぶ。著者らは、これまで、ソフトコンピューティング手法を用いたBIMの研究を行ってきた[4-17]。

表層的な知覚を観測してトップダウン階層型モデルを構築する一つの心理実験としてAperture実験[18-20]がある。コンピュータ画面に一つの円形の小窓を出現させ、その円内を線分が左下から右上方位に移動する。数秒の移動後、新たな2つの円が小窓の両側に表示され、この両円内で別の線分が鉛直上方に移動す

る。3つの異なる線分が連続した一本の線分と知覚された場合には、中央円内の線分の移動方位は、両端の円内の線分と同じ鉛直上方に変更されるように知覚される。このように、人間は、線分の一部が隠されていたとしても、線分の輪郭情報から隠されている部分を推測し補完する。この知覚現象はアモーダル補完と呼ばれ、Aperture知覚もその一例と考えることができる。福島[21, 22]やNeumann[23]は、アモーダル補完の能力を実現した階層型モデルを提案しており、著者らは同類の階層型モデルの構築を目指している。しかし、本論文では、まずは、Aperture実験から得られる結果の解析に焦点を絞り、その議論から得られる考察を今後のモデル構築に活用する。

仁科ら[24, 25]はAperture実験から、人間の知覚は対象物の可視領域の大きさを表す円半径、及び、可視領域と非可視領域の占有性を表す端点間距離に依存し、線分の可視時間が長いほど認識されやすいことを示した。さらに、対象物の視覚認識は、その端点からのバインディング効果による伝搬式で表現できると仮定し、熱伝導方程式の伝搬式を用いた実験でその正当性を論じている。本論文では、この仁科らの実験環境に基づいて、新たに線分速度を変化させた場合の知覚認識率[10-12]について議論し、さらに、脳波 (EEG: Electroencephalograms) 計測実験[13-17]により、Aperture知覚反応の脳内での活動部位を推定する。具体的には、まず開発した計測プログラムを用いてAperture実験の環境を整え、端点間距離及び半径、線分速度の実験パラメータを変化させた場合の呈示時間

† Recognition of Perceptual Grouping and Localization of Brain Activity in Aperture Problems

Isao HAYASHI, Hisashi TOYOSHIMA and Takahiro YAMANOI

\*1 関西大学 総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

\*2 (株) ジャパンテクニカルソフトウェア

Japan Technical Software Co., Ltd.

\*3 北海学園大学 工学部

Faculty of Engineering, Hokkai Gakuen University

の変化に対する知覚認識率を測定して、線分速度の依存性を議論する。次に、EEG(Electroencephalograms)解析用のソフトウェア[26]により、端点間距離、半径、線分速度を変化させた場合の視覚誘発電位(VEP)の振幅変化から脳内活動部位を推定し、背側経路と腹側経路における推定部位と知覚との関係について議論する。最後に、本実験で得られた2手法の結果から、Aperture知覚の総括的な検証結果について考察する。

## 2. Aperture問題

Aperture実験の概要を図1～図3に示す。被験者は顎乗せ台で固定され、被験者とコンピュータ画面との距離は1.0mに統制される。コンピュータ画面は解像度が1280×960pixelsの17インチCRT(垂直周波数85.0KHz, 水平周波数68.7KHz)を用いた。図1と図3において、実験では、まず被験者に注視点を固視させる。まもなく、画面中央に窓(円)が出現し(図1-(a)), 中央円内で線分が移動する(図1-(b))。この線分を基本線分という。次に、中央円の両端に2つの円が出現し(図1-(c)), その両円内を線分が移動する。この線分を刺激線分という。その後、両端の円が消滅し(図1-(d)), 基本線分が中央円内を終端まで移動する。被験者は、中央円が消滅した後で、基本線分の

移動方位が刺激線分の移動方位と同方位に変化したと知覚したかを回答する(図1-(e))。

ここでの知覚認識とは、被験者が刺激線分の移動方位からの影響を受け、基本線分の移動方位が刺激線分の移動方位と同方位に変化したと知覚することである。実験では、基本線分と刺激線分の方位を変化させ、円半径と刺激線分の端点間距離を変化させた場合の知覚認識の回数を計測し知覚認識率を算出した。

## 3. 心理物理計測実験による知覚の検証

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, 端点間距離:160, 170, 190, 200, 220mm, 基本線分の方位角: $0^{\circ}$  (水平右方位),  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $225^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ ,  $315^{\circ}$ , 刺激線分の挿入角度: $-45^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $+45^{\circ}$ に対して知覚を調べた。20歳～22歳の5名の被験者に対し、各条件を無作為に選択し、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4～図6に呈示時間:1000ms, 刺激線分: $-45^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $+45^{\circ}$ の結果を示す。ただし、各図の右下に、半径と端点間距離を[半径/端点間距離]の形式で示す。

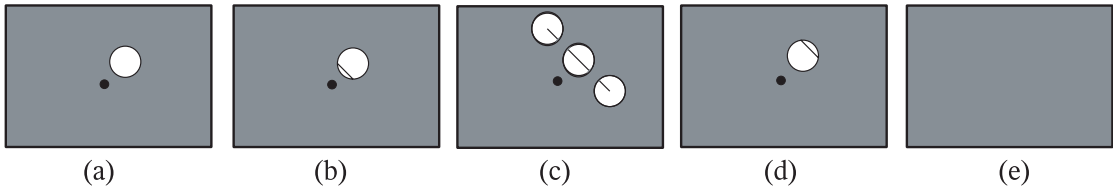


図1 Sequence of Experimental Operation



図2 Subject and Experimental Environment

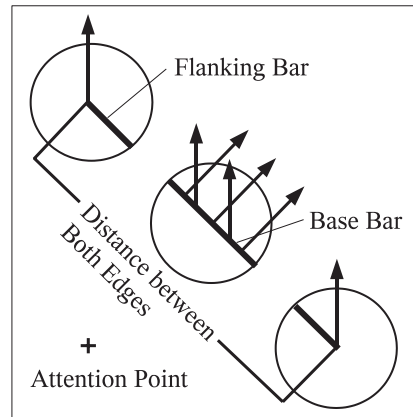


図3 Aperture Problem

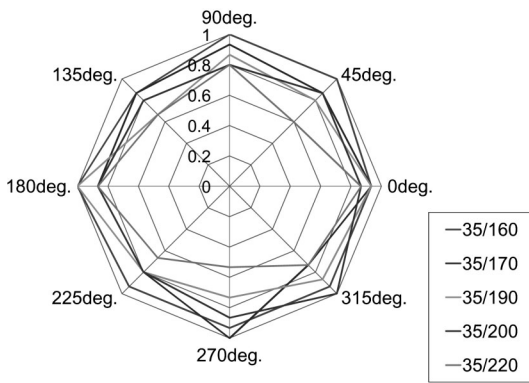


図4 -45 Degrees

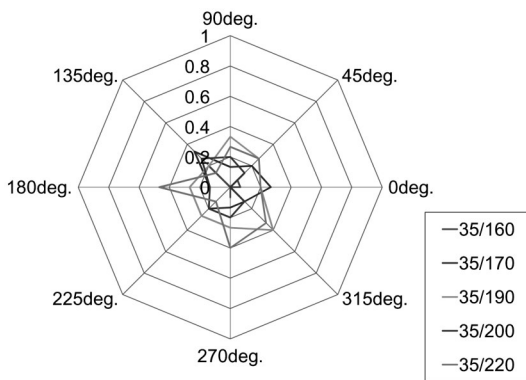


図5 0 Degrees

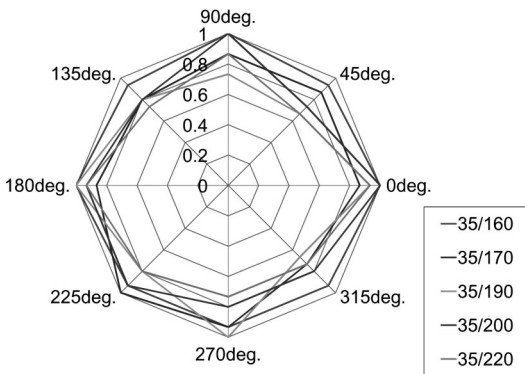


図6 +45 Degrees

図4の $-45^\circ$ と図6の $+45^\circ$ の結果では、被験者は高い認識率で知覚を認識していることがわかる。特に、水平方向( $0^\circ$ ,  $180^\circ$ )および鉛直方向( $90^\circ$ ,  $270^\circ$ )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[27]と合致する。一方、図5の $0^\circ$ の課題はコントロールであり、刺激線分は基本線分

と同じ方位に移動しているため、被験者が知覚をほとんど認識していないことから、この結果は理解できる。

次に、呈示時間の変化に対する知覚認識の実験を行った。被験者は18~22歳の10名とし、開発した計測プログラムにより知覚認識の回答を得て、知覚認識率を算出した。以下に、本実験の概要を示す。

**実験1**：線分速度： $14.28\text{mm}/\text{sec}$ 、円半径： $8.7\text{mm}$ として、端点間距離： $40.4$ ,  $80.8$ ,  $121.2$ ,  $161.6\text{mm}$ および、呈示時間： $100$ ,  $200$ ,  $300$ ,  $400$ ,  $500$ ,  $600\text{ms}$ を変化させた場合の知覚認識率を算出する。

**実験2**：線分速度： $14.28\text{mm}/\text{sec}$ 、端点間距離： $121.2\text{mm}$ として、円半径： $8.7$ ,  $11.4$ ,  $14.3$ ,  $17.1\text{mm}$ および、呈示時間を変化させた場合の知覚認識率を算出する。ただし、呈示時間は実験1と同じとする。

**実験3**：端点間距離： $80.8\text{mm}$ 、円半径： $8.7\text{mm}$ として、移動距離： $5.7$ ,  $7.1$ ,  $14.3\text{mm}$ および、呈示時間： $100$ ,  $200$ ,  $300$ ,  $400$ ,  $500$ ,  $600$ ,  $800$ ,  $1000$ ,  $1200\text{ms}$ を変化させた場合の知覚認識率を算出する。

なお、知覚認識率の1~3の実験では、基本線分の角度を $90^\circ$ とし、刺激線分の移動方位を $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ として、知覚認識率は5回の繰り返しによる全被験者の全回答150個の平均値として得た。

実験1の結果を図7に示す。どの端点間距離の場合でも、呈示時間が長くなるほど知覚認識率が上昇している。また、同じ呈示時間では、端点間距離が短いほど知覚認識率が高い。つまり、知覚認識率は、端点間距離の短さに依存し、また、呈示時間の長さに依存して単調的に上昇することがわかる。

実験2では、半径の長さを変化させた場合の知覚認識率を計測した。結果を図8に示す。どの半径の場合でも、呈示時間が長くなるほど知覚認識率が上昇している。また、同じ呈示時間では、半径が長いほど知覚認識率が高い。つまり、知覚認識率は、半径の長さ依存し、また、呈示時間の長さに依存して単調的に上昇することがわかる。これらの結果は、仁科ら[24, 25]の結果を追認するものである。つまり、知覚認識の端点間距離と円半径による依存性から、知覚は可視領域と非可視領域のバランスに依存すること、また、呈示時間の依存性から、知覚の認識過程が端点からのバイディング効果による伝搬性で表現できることを示している。

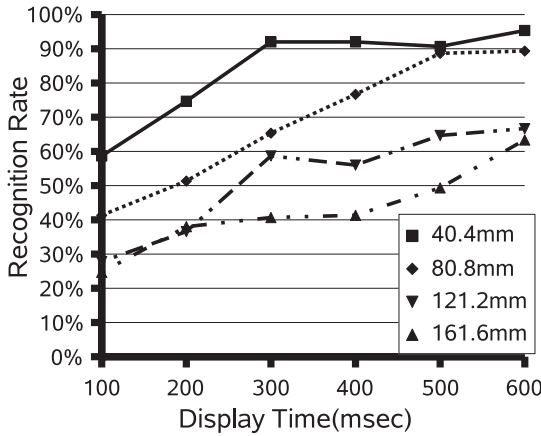


図7 Perception for Changing Distance of Bar

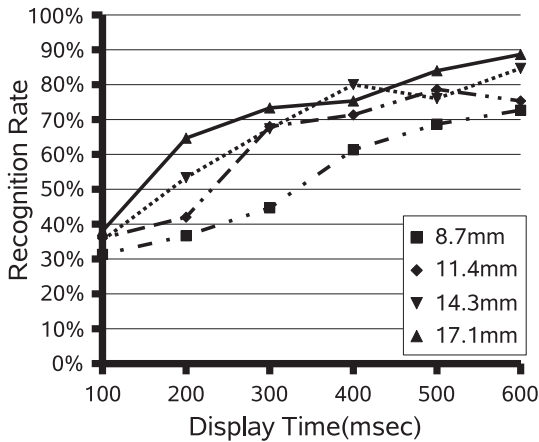


図8 Perception for Changing Radius

一方、実験3の結果を図9に示す。図9での線分速度が遅い領域で、知覚認識率が単調的に上昇せず減少している。一般的に、被験者は線分速度が遅い方が知覚しやすいと考えられるが、結果は異なっている。そこで、線分速度に対する知覚認識の非単調性を検証するため傾向検定を行った。移動距離を5.7mmに固定した場合の傾向検定の結果を表1に示す。線分速度の2次関数、3次関数、4次関数に対する知覚認識のF値は、自由度(1, 72)での有意水準 $p = 1.0\%$ の臨界値7.00よりも大きい。すなわち、知覚認識率の2次関数、3次関数、4次関数の傾向性が1.0%水準で認められ、線分速度に対して知覚認識の非単調性の傾向が現れているといえる。

線分速度が30mm/sec以上の高速領域では、仁科らが指摘しているように、線分速度の上昇に伴い知覚認識率は低下する。一方、線分が静止している場合に

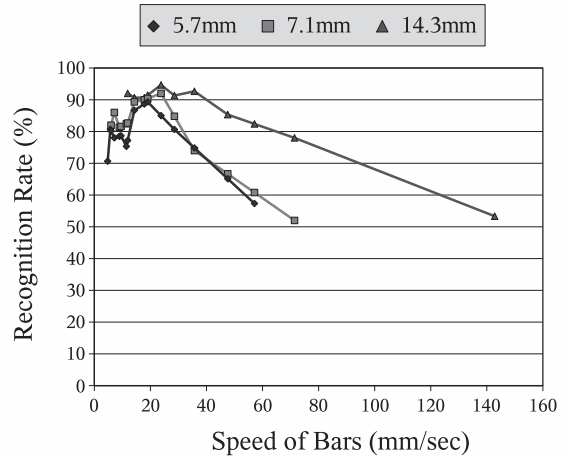


図9 Perception for Changing Speed of Bars

表1 Influence of Speed of Bar to Perceptual Rate

Elements	Sq. Sum	Free Deg.	Ave. Sq. Val.	F Val.	p Val.	
Bar Speed	158.4	8	19.8	5.6	< 0.01	
Order	1	1.9	1	19.3	5.5	n.s.
	2	72.1	1	72.1	20.4	< 0.01
	3	37.5	1	37.5	10.3	< 0.01
	4	39.5	1	39.5	11.2	< 0.01
	5	2.0	1	2.0	0.6	n.s.
Error	254.1	72	3.5			
Total		85				

は、基本線分は刺激線分にバイディングされなくなるため、知覚認識されない。すなわち、ある線分速度付近で単調性が崩れ、上に凸の単峰性となり、知覚が最も認識される線分速度が存在することを示している。これらの結果から、アモダル補完を実現する階層型モデルを構築する場合には、可視領域と非可視領域の占有性だけでなく、時間属性のダイナミクスに基づく多重性の構造が必要であることを示唆している。Hawken[28]は低速度と高速度の運動刺激では色と輝度情報を処理するメカニズムが異なると述べている。また、Cropper[29]は短い刺激信号の呈示に対して通常と異なる視覚メカニズムが存在すると述べている。これらの報告によれば、視覚機構は呈示刺激の速度に依存してその処理過程を切り替えている可能性を示しており、本論文の結果と比較して非常に興味深い。

#### 4. 脳波計測による脳内部位の推定

前章において、Aperture知覚を認識する規則性を心理物理計測実験と検定手法から検証した。そこで、次に、計測した脳波(EEG)を加算平均し得られた視覚誘発電位(VEP)から、この知覚認識の脳内活動部位を



推定する。具体的には、1名の被験者に対し、開発した計測プログラムとEEG用の解析用ソフトウェアを用いて被験者の脳波を測定し部位を推定する。実験過程では、図1に示すように、(a)~(e)のAperture知覚の心理物理計測を行うが、引き続いて、(f)として脳波を測定する。以下に、本実験の概要を示す。

**実験4**：線分速度：14.28mm/sec，円半径：8.7mm，  
呈示時間：500msecとして，端点間距離：  
28.6，57.2，85.7mmを変化させた場合の脳  
内活動部位をEEG計測実験により推定す  
る。

**実験5**：線分速度：14.28mm/sec，端点間距離：  
85.7mm，呈示時間：500msecとして，円半  
径：8.7，11.5，14.3mmを変化させた場合の  
脳内活動部位をEEG計測実験により推定す  
る。

**実験6**：端点間距離：57.1mm，円半径：11.4mm，  
呈示時間：500msecとして，線分速度：  
2.9,5.7mm/secを変化させた場合の脳内活  
動部位をEEG計測実験により推定する。

**実験7**：端点間距離：57.1mm，円半径：11.4mm，  
呈示時間：500msec，線分速度：14.28mm/  
secとして，背側経路と腹側経路における活  
動部位をEEG計測実験により推定する。

なお、計測では、3種類の刺激線分の方位の変化と線分が出現しない場合の合計4種類を乱数的に発生させ、試行実験により得られたEEGに対し4種類それぞれの加算平均を求め、全体で60回の試行実験により活動部位を推定した。

実験4では、すべての条件で視覚刺激の変化に伴う視覚誘発電位の振幅の変化がみられた。特に、推定される潜時340ms以後では、基本線分の呈示に伴って刺激線分の移動方位が45°以外の方位で視覚誘発電位の振幅に変化がみられた。また、刺激線分移動方位が水平(0°)及び垂直(90°)において、下前頭回(1,160ms~1,170ms)と中前頭回(1,230ms~1,250ms)に推定される潜時に偏りが見られた。下前頭回と中前頭回での脳活動部位を図10に示す。一方、斜め方位(45°)では、推定される潜時での偏りは見られなかった。これらの結果から、刺激線分の水平と垂直方位では、空間認知に差異を生じるので、より活発な視覚誘発電位が空間認知に関わる下前頭回と中前頭回に見られたと考えられる。

実験5では、すべての条件で視覚刺激の変化に伴う視覚誘発電位の振幅の変化がみられた。刺激線分移動

方位が水平(0°)及び垂直(90°)において、上前頭回(1,640ms~1,650ms)と中前頭回(2,040ms~2,050ms)に推定される潜時に偏りが見られた。下前頭回と中前頭回での脳活動部位を図11に示す。一方、斜め方位(45°)では、推定される潜時での偏りは見られなかった。これらの結果から、刺激線分の水平と垂直方位では、空間認知に差異を生じるので、より活発な視覚誘発電位が空間認知に関わる上前頭回と中前頭回に見られたと考えられる。

実験6では、すべての条件で、視覚刺激の変化に伴った視覚誘発電位の振幅の変化が見られた。前頭前野で推定された潜時に偏りが見られたが、刺激線分の移動方位の変化に関して、空間認知活動の視覚誘発電位には変化は見られなかった。実験では、線分速度の変化を2種類のみで設定したので、確実な考察は困難であるが、前頭前野で推定された潜時に偏りが見られることから、速度変化に関わるAperture知覚の部位として前頭前野が関与していると考えられる。

最後に、実験7では、実験開始から終了までの時間的経過による脳波を計測して刺激線分の移動方位に対する脳内活動部位の変化の経路を推定した。その結果、推定される潜時100ms~400ms，500ms~700ms，1,000ms~1,300msにおいて、視覚誘発電位の振幅に

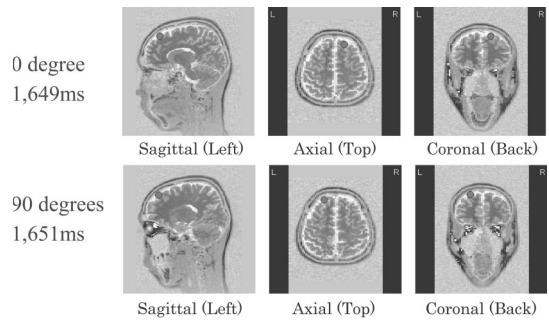


図10 Localization of ECD in the Fourth Experiment

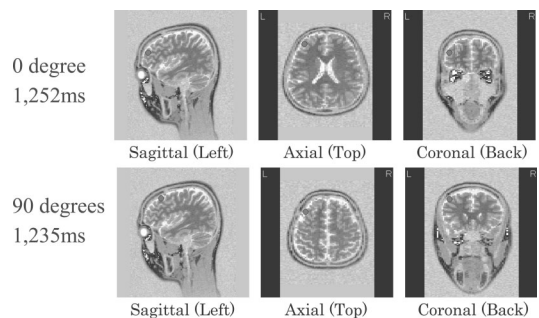


図11 Localization of ECD in the Fifth Experiment

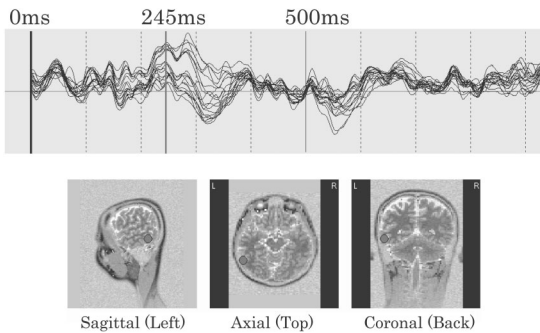


図12 VEP and ECD in V4

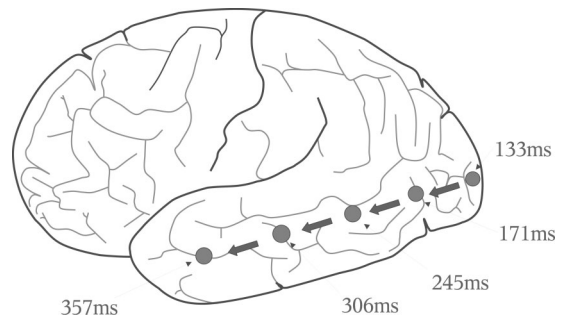


図14 Localization of ECD in Ventral Pathway

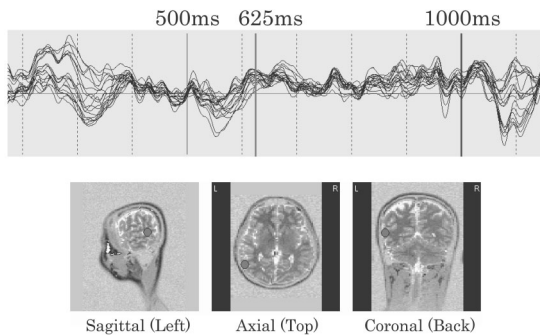


図13 ERP and ECD in V5

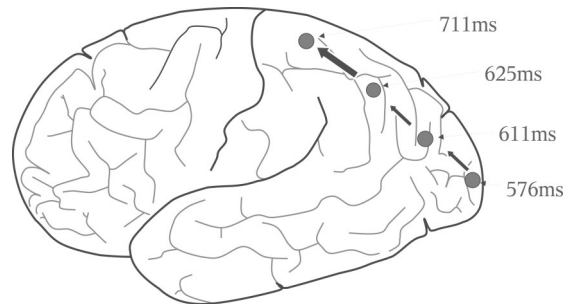


図15 Localization of ECD in Dorsal Pathway

変化がみられた。潜時245msにおけるV4での視覚誘発電位の変化を図12に示す。また、潜時625ms(線分呈示後285ms)におけるV5での視覚誘発電位の変化を図13に示す。

一般に、眼球から入力された視覚刺激は、網膜→視交叉→外側膝状体→第一次視覚野の経路を経て、側頭葉から前頭前野に至る形状認識の腹側経路および頭頂葉から前頭前野に至る動き認識の背側経路とに分割して処理される。これらの知見と実験7の結果から、次のような腹側経路と背側経路が確認された(図14と図15を参照)。

**腹側経路:** V1(133ms)→V2(171ms)→V4(245ms)→TEO野(306ms)→TE野(357ms)

**背側経路:** V1(576ms)→V2(611ms)→V5(625ms)→後頭頂葉皮質(711ms)

実験7では、実験開始後0msで円が呈示され、340msで基本線分が呈示される。したがって、潜時0ms以後で観察される腹側経路での脳活動は呈示されている円に対する視覚誘発電位と考えられ、潜時340ms以後で観察される背側経路での脳活動は基本線分の動きに対する視覚誘発電位と考えられる。

これらの結果から、円の呈示では、腹側経路での脳活動が観測された潜時と脳波の振幅に変化が現れた潜時とが一致した。また、基本線分呈示では、背側経路での脳活動が観測された潜時と脳波の振幅に変化が現れた潜時とが一致した。円呈示では、脳活動は形状認識に対する反応として腹側経路に検出され、基本線分呈示では、脳活動は動き認識に対する反応として背側経路に検出されたと推定される。

一方、刺激線分の呈示では、刺激線分の移動方位が水平と垂直である場合、右下前頭回(1,165ms～1,172ms)と左中前頭回(1,235ms～1,252ms)で共通の潜時に脳活動が観測された。しかし、斜め方位では、脳活動は観測されなかった。左中前頭回は空間認知の一時記憶の領野であり、右下前頭回は動き変化の一時記憶の領野であるので、前頭連合野におけるこれらの部位はAperture知覚に大きく関与していると考えられる。

## 5. 考察

著者らはアモーダル補完の能力を実現する階層型モデルの提案を目指している。ここでのAperture実験の心理物理計測実験から、円半径や端点間距離の長さが

人間の知覚に影響を与えることが明らかとなった。これは、仁科らが伝搬式によって指摘しているように、非可視領域でのバインディングは可視領域の外挿によって実現されるべきであり、しかも、伝搬式が外挿の繰り返し処理から成立していることから、階層型モデルの構築には、外挿を実現する処理ループの連続性が重要であることがいえる。同様な指摘は論文[21]にも記述されており、福島は、階層モデルの出力から、隠されている輪郭の曲率と位置を予測する外挿処理を繰り返すことによって補完が達成できるとしている。また、線分速度の変化の実験では、ある線分速度付近で単調性が崩れ、知覚が最も認識される線分速度が存在することを示している。これは、階層型モデルを構築する場合に、可視領域と非可視領域の占有性だけでなく、時間属性のダイナミクスに基づく多重性の構造も必要であることを示唆している。

一方、EEGの視覚誘発電位の結果では、改めて腹側経路と背側経路がAperture知覚に関与していることが確認され、階層型モデルの構築には、これらの2経路の階層構造が必要であることがわかる。前頭連合野において、空間認知の一時記憶である左中前頭回と動き変化の一時記憶である右下前頭回の両部位がAperture知覚に関与していると考えられ、階層型モデルでは、少なくとも左中前頭回や右下前頭回の機能を実現する必要がある。さらに、外挿性を引き起こすためには、これらの前頭連合野の上位構造と腹側経路と背側経路を実現する下部構造との間でフィードバック型の注意信号が必要であると考えられる。アモダル補完を実現するモデルではないが、同様な指摘がGrossberg[30]によって議論されており、本論文での結果と比較するととても興味深い。

## 6. おわりに

本論文では、アモダル補完を実現する階層型モデルを提案するため、Aperture実験において、心理物理計測実験から円半径、端点間距離、呈示時間、線分速度に対する知覚の依存性について検証し、EEGの視覚誘発電位から知覚の脳内活動部位を推定した。今後、より詳細な実験と測定により、さらに本論文の実験結果の確度を高める必要がある。

なお、本研究の一部は、文部科学省科学研究助成金「基盤研究(A)課題番号19200018」及び関西大学先端科学技術推進機構社会基盤情報学応用研究グループ「社会基盤情報学に基づくメンテナンス技術開発」、北海学園大学私立大学学術研究高度化事業「視覚・画像・音声・言語情報の高度化と知的計測制御技術への応用」の助成を得た。

## 参考文献

- [1] 銅谷賢治: 脳の情報表現ニューロン・ネットワーク・数理モデル, 朝倉書店 (2002)
- [2] 田中靖人: 視覚の神経科学を概観する: 20世紀を中心に, 知能と情報, Vol.18, No. 3, pp.347-361 (2006)
- [3] 臼井支朗: 脳・神経システムの数理モデル-視覚系を中心に, 共立出版 (1997)
- [4] S.N.Kudoh, T.Taguchi, and I.Hayashi: Interaction and intelligence in living neuronal networks connected to moving robot, *Proc. Of 2006 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE2006) in 2006 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2006)*, pp.6271-6275 (2006).
- [5] I.Hayashi, T.Taguchi, and S.N.Kudoh: Biomodeling system by living neuronal network connected to moving robot, *Proc. of International Symposium on Artificial Brain with Emotion and Learning (ISABEL2006)*, pp.164-165 (2006).
- [6] 林勲, 田口隆久, 工藤卓: ラット海馬の培養神経細胞による小型ロボットとの生体表現システム, 第22回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.561-562 (2006)
- [7] I.Hayashi, T.Taguchi, and S.N.Kudoh: Learning and memory in living neuronal networks connected to moving robot, *Proc. of 8th International Symposium on advanced Intelligent Systems (ISIS2007)*, pp.79-81 (2007).
- [8] 林勲, 徳田農, 清原藍, 田口隆久, 工藤卓: 生体表現システム: ファジィ推論を用いた培養神経細胞における適応学習の解析, 第23回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.565-570 (2007)
- [9] S.N.Kudoh, C.Hosokawa, A.Kiyohara, T.Taguchi, and I.Hayashi: Biomodeling system-Interaction between living neuronal network and outer world, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.19, No.5, pp.592-600 (2007).
- [10] 親泊元太郎, 林勲: 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, 第18回ファジィシステムシンポジウム講義論文集, pp.513-514 (2002)
- [11] I.Hayashi and J.R.Williamson: An analysis of aperture problem using fuzzy rules acquired from TAM network, *Proc. of 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE2002) in 2002 World Congress on Computational Intelligence (WCCI2002)*, pp.914-919 (2002).
- [12] I.Hayashi, and G.Shinpaku: Structuralization of early vision for perceptual grouping in Apertures, *Proc. of the International Workshop on Fuzzy Systems and Innovational Computing 2004 (FIC2004)*, pp.254-258 (2004).
- [13] 山ノ井高洋, 豊島恒, 山崎敏正: 円の直線移動知覚に関する脳内処理部位の等価電流双極子推定, 第21回ファジィシステムシンポジウム講義論文集, pp.481-484 (2005)
- [14] H.Toyoshima, T.Yamanoi, T.Yamazaki, and S.Ohnishi: Human recognition of symbols and words having the same meaning: An EEG and eye movement study, *Proc. of 13th European Conference on Eye Movement*, No.PA-172 (2005).

- [15] T.Yamanoi, H.Toyoshima, and T.Yamazaki : Spatio-temporal dipole modeling of EEGs during perception of straight movements, *Proc. of 13th European Conference on Eye Movement*, pp.PA-178 (2005).
- [16] 林 勲, 豊島恒, 山ノ井高洋 : Aperture 問題に対する知覚認識計測と脳内活動部位の推定, 第22回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.537-540 (2006)
- [17] I.Hayashi, H.Toyoshima, and T.Yamanoi : Recognition of perception and the localization for aperture problem in visual pathway of brain, *Proc. of 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (SMC2007), pp.1872-1877 (2007).
- [18] M.B.Ben-av, and M.Shiffrar : Disambiguating Velocity estimates across image space, *Vision Research*, Vol.35, No.20, pp.2889-2895 (1995).
- [19] J.Chey, S.Grossberg and E.Mingolla : Neural dynamics of motion grouping : from aperture ambiguity to object speed and direction, *Optical Society of America A*, Vol.14, No.10, pp.2570-2594 (1997).
- [20] C.C.Pack and R.T.Born : Temporal dynamics of a neural solution to the aperture problem in visual area MT of macaque brain, *Nature*, Vol.409, pp.1040-1042 (2001).
- [21] 福島邦彦 : アモーダル補完を行う神経回路, 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, No.NC2007-189 (2008)
- [22] K.Fukushima : Neural network model for completing occluded contours, *Neural Networks*, Vol.23, pp.528-540 (2010).
- [23] H.Neumann and W.Sepp : Recurrent V1-V2 interaction in early visual boundary processing, *Biological Cybernetics*, Vol.81, pp.425-444 (1999).
- [24] 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, No.NC98-65 (1998)
- [25] M.Okada, S.Nishina and M.Kawato : The neural computation of the aperture problem : an iterative process, *Neuro Report*, Vol.14, No.14, pp.1767-1771 (2003).
- [26] T.Yamazaki, K.Kamijo, A.Kenmochi, S.Fukuzumi, T.Kiyuna, Y.Takaki, and Y.Kuroiwa : Multiple Equivalent current dipole source localization of visual event-related potential during oddball paradigm with motor response, *Brain Topography*, Vol.12, No.3, pp.159-175 (2000).
- [27] E.Castet, J.Lorenceanu, M.Shiffrar, and C.Bonnet : Perceived speed of moving lines depends on orientation, length, speed and luminance, *Vision Research*, pp.1921-1936, Vol.33 (1993).
- [28] M.J.Hawken, K.R.Gegenfurtner, and C.Tang : Contrast dependence of colour and luminance motion mechanisms in human vision, *Nature*, pp.268-270, Vol.367 (1994).
- [29] S.J.Cropper and A.M.Derrington : Motion of chromatic stimuli : First-order or second-order?, *Vision Research*, pp.49-58, Vol.34 (1994).
- [30] S.Grossberg : How does the cerebral cortex work? Learning, attention, and grouping by the laminar circuits of visual cortex, *Spatial Vision*, Vol.12, No.2, pp.163-185 (1999).

(2010年1月6日 受付)

(2010年7月25日 採録)

[問い合わせ先]

〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1

関西大学 総合情報学部

林 勲

TEL : 072-690-2448

FAX : 072-690-2491

E-mail : ihaya@cbl.kutc.kansai-u.ac.jp



## 著者紹介



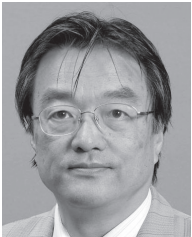
はやし いきお  
林 勲 [正会員]

1981年大阪府立大学工学部経営工学科卒業後、シャープ(株)入社。1985年大阪府立大学大学院工学研究科経営工学専攻博士前期課程修了。松下電器産業(株)(現パナソニック(株))中央研究所を経て、1993年阪南大学商学部経営情報学科講師。1997年経営情報学部教授。1997年度南オーストラリア州立大学 KES 客員研究員。1999年度米国ボストン大学大学院 CNS 客員研究員。2004年より関西大学総合情報学部総合情報学科教授。現在に至る。神経回路モデルを用いた視覚モデル、ファジィインタフェースによる脳とロボットとの相互結合モデルの研究に従事。工学博士(大阪府立大学)。日本知能情報ファジィ学会、日本神経回路学会、日本視覚学会、日本基礎心理学会、システム制御情報学会等の会員。



とよしま ひさし  
豊島 恒 [正会員]

2006年北海学園大学大学院工学研究科電子情報工学専攻博士課程修了。1997年(株)ジャパンテクニカルソフトウェア入社。同社の研究部配属。所属部署の分社化に伴い(株)情報科学センター入社。2008年(株)ジャパンテクニカルソフトウェア入社。現在に至る。画像処理による品質検査等に関する研究および視覚情報処理と脳活動に関する研究に従事。工学博士(北海学園大学)。日本知能情報ファジィ学会、情報処理学会等の会員。



やまの い たかひろ  
山ノ井 高洋 [正会員]

1976年北海道大学大学院工学研究科修士課程情報工学専攻修了。1979年同博士課程情報工学専攻修了。同年北海道大学工学部助手。1984年～1985年フランス国ボルドー第1大学GRAI研究所にて在外研修。1987年北海学園大学工学部電子情報工学助教授。同教授。1999年～2000年フランス国エクス・マルセイユ第2大学医学部医用情報研究所客員教授。視覚の脳内処理過程、眼球運動解析、下肢のバイオメカニクスの研究に従事。工学博士(北海道大学)。日本知能情報ファジィ学会、生体医工学会、計測自動制御学会、電子情報通信学会、情報処理学会、日本行動計量学会、形の科学会等の会員。

## Recognition of Perceptual Grouping and Localization of Brain Activity in Aperture Problems

by

Isao HAYASHI , Hisashi TOYOSHIMA and Takahiro YAMANOI

### Abstract :

Aperture problem is a psychological experiment for analyzing binding mechanism of the spatial recognition in an early stage of visual pathway. In this paper, we measure perceptual rate in the aperture experiments, and discuss the dependency between the perception and various parameters in the experiments. We also record Electroencephalograms (EEG) of subjects who are recognizing the perception. By the electroencephalograms (EEG) analysis, we measure reaction latency of visual evoked potential (VEP) and event related potential (ERP) related to visual pathway, and estimate the localized equivalent current dipole (ECD) in the visual pathway.

**Keywords** : Aperture Problem, Visual Perception, Psychophysical Measurement, Electroencephalograms Measurement

Contact Address : **Isao HAYASHI**

*Faculty of Informatics, Kansai University*  
2-1-1, Ryozenji-cho, Takatsuki, Osaka 569-1095, JAPAN  
TEL : +81-72-690-2448  
E-mail : ihaya@cbii.kutc.kansai-u.ac.jp