

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19530671
 研究課題名（和文） 視覚制限メガネを用いた視覚機能発達の研究
 研究課題名（英文） Development of visual function with visual experience restricted goggles
 研究代表者
 谷 利樹（TANI TOSHIKI）
 独立行政法人理化学研究所 視覚神経回路モデル研究チーム 研究員
 研究者番号：60392031

研究成果の概要：

本研究提案では発達期の視体験が視覚野の方位選択性マップの構造と機能に及ぼす影響と動物の行動との関係を調べ、物体の認識における大脳皮質視覚野の方位選択性マップの働きを解明することを目的とする。視体験制限メガネを用いて、発達期の動物の視体験を制限することにより、正常な方位選択性及び、眼優位性の発達を妨げ、これらの機能マップの成熟に重要な影響を及ぼすことが示唆された。また、正常な方位選択性マップの発達が妨げられた動物には、その機能を代償するメカニズムがあることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：(1) 大脳皮質視覚野 (2) 方位マップ (3) 方位選択性 (4) 視体験
 (5) 形状視制限メガネ (6) 発達期 (7) 内因性光計測 (8) 行動解析

1. 研究開始当初の背景

発達期に両眼を縫合することにより外界からの視覚入力を制限されたネコやイタチでは正常な視覚環境で飼育された動物の大脳皮質の視覚野に見られる特定の線分の傾きに応答するニューロンが集まった領域が連続的に表現された方位マップの構造が消失することが内因性の光計測法を用いた実験により確認されている。また、これらの動物では正常な視覚環境で飼育された動物で見られる同じ方位に選択性をもつコラム間で多く見られる水平結合が短くなることも報告されている。(Godecke et al. Eur. J. Neurosci. 9, 1754-1762, 1997, Crair et al. Science 23, 566-570, 1998, White et al. Nature 411, 1049-1052, 2001) 正常な環境下で飼育されたこれらの動物で見られる方位マップは物の形を認識するため重要な役割をはたしていると考えられており、方位マップの構造が壊れることや方位コラム間の水平結合が短くなることは物体の認識に大きな影響を及ぼすと思われる。我々の研究室において発達期に暗室飼育したネコの視覚野から光計測を行なったところ、暗室飼育の期間が短い場合は17野、18野共に方位マップの構造が見られたが、暗室飼育の期間が長くなると17野では方位マップの構造が消失し、18野でも方位マップの構造が明瞭でなくなった。(Tani et al. SFN34th, abstract; 66.8, 2004) また、暗室飼育から正常な視覚環境にもどした後のネコの行動は、暗室飼育の期間が短い場合は正常な視体験を受けたネコと違いがないように見られたが、暗室飼育の期間が長い場合は反応が鈍いように見られた。以上の結果から正常な視覚機能を獲得するためには正常な視体験で得られた方位マップの構造が重要であることが示唆された。そこでこれらの関係を明らかにするた

めに発達期に視体験を制限された動物において大脳皮質視覚野の方位マップの構造の変化が動物の行動に及ぼす影響について詳細な検討を行うこととした。

2. 研究の目的

外界の物体の認識はどのように獲得されるのであろうか？ヒトの新生児が目にする世界は非常にぼやけたものであるが、視力は生後半年までは急速に、その後ゆるやかに発達するとされている。また、乳幼児期の一定期間に角膜や水晶体の混濁などの病気にかかるとその後の治療でこれらの混濁がなくなったあとでも物の形を正確に認識することが困難であることが知られている。このことは正常な視覚機能を獲得するためには視覚体験が重要であることを示している。この視覚機能の獲得には眼球から大脳皮質視覚野までの正常な発達が不可欠である。なかでも大脳皮質視覚野は物体の認識に大きく関与していると考えられる。大脳皮質視覚野の重要な性質のひとつとして、類似した特徴を持つ刺激に選択的に反応するニューロンが集まって存在することがあげられる。この類似した反応選択性を持つニューロンの集団はコラムと呼ばれ、コラムが皮質で配列することによって機能マップを構成している。特に視覚野の機能マップの研究は、ネコまたはサルを用いたヒューベルとウィーゼルの先駆的研究以来、主に眼優位マップと方位マップに関して多くの研究がなされてきた。眼優位マップは、右目と左目のそれぞれからの視覚入力に選択的に反応する領域が皮質上で縞状に棲み分けた構造である。また方位マップは、物体の輪郭線の傾き(方位)に対して選択的に反応するニューロンがパッチ状

に棲み分けた構造で、同じ方位に選択的に反応する領域の皮質上での位置は、方位の変化とともに連続的に変化する。この方位マップが基本的な視覚特徴の抽出に關与することはわかっているが、実際の物体の認識にどのように関わっているのかはよくわかっていない。また、発達期に正常な視体験を受けなかった場合、正常な方位マップの構造が維持されないことが知られているが、この方位マップの構造の変化が物体の認識にどのような影響を与えるのかもよくわかっていない。そこで、本研究提案では発達期の視体験が視覚野の方位マップの構造と機能に及ぼす影響と動物の行動との関係を調べ、物体の認識における大脳皮質視覚野の方位マップの働きを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

生後3週齢のネコを麻酔下でステレオに固定し、視体験制限メガネ固定用のヘッドホルダー、光学計測用の金属チャンバーを取り付ける。ヘッドホルダーは前頭部に、金属チャンバーは頭頂部の17野、18野を含む領域に設置する。ネコが麻酔から覚醒後、一様な黒い板あるいは白い板をとりつけた形状視制限メガネ及び円柱レンズを用いて視覚入力を特定の方位に引き伸ばす方位制限メガネをヘッドホルダーに固定し、通常飼育環境下で約10~16週間飼育する。視体験制限メガネをかけて飼育されたネコを麻酔下でメガネをはずし、ステレオに固定後、頭骨及び硬膜を除去し、脳表の17野、18野を含む領域を露出する。ネコの眼から30cmの場所においたディスプレイに2種類の空間周波数0.15、0.5 cycles/degreeにつき6種類の方位(0, 30, 60, 90, 120, 150 degree)の格子縞刺激を5S間提示する。視覚刺激提示は左右眼

に別々に行い、刺激の順番を毎回の試行ごとにランダムにかえ、約30回の試行を繰り返す。このときの17野、18野の格子縞刺激に対する反応をオプティカルイメージング社の内因性の光計測システム(Imager3001)を用いて測定する。測定によって得られたデータを横尾らによって開発された主成分分析に基づく信号検出法を用いて解析し、各刺激に対する反応を抽出する。得られた各刺激に対する反応を用いピクセル毎に各方位に対する反応の強さと選択性の大きさを計算し、各ピクセルの最適な方位を決定する。これらのピクセルを最適方位毎に色分けして空間上の分布を調べる。正常なネコにおいては最適方位が同じピクセルの集団が空間上で連続的に分布した構造(方位マップ)がみられる。視覚体験を制限して飼育したネコにおいて方位マップの構造がどのように変化するかを確認する。

次に視覚体験制限メガネをかけて飼育されたネコをメガネを装着した状態で直径約60cmの透明な円筒形の筒に入れ自由行動下で筒の外に置かれたディスプレイに提示された視覚刺激及び実物の棒に対する反応性を調べる。ディスプレイに提示する視覚刺激は光計測で用いたものと同様のものを用いる。各刺激の方位をランダムに変え、5S間ずつ提示する。視覚刺激に対するネコの行動はビデオカメラで記録する。視体験制限メガネをはずして同様の行動観察を行う。また、同様の行動観察を正常な視覚環境で飼育されたネコについても視体験制限メガネを装着した状態とはずした状態で行い、視覚入力制限メガネで飼育されたネコの結果と比較する。

4. 研究成果

初年度は形状視を制限して育てた各ネコに麻酔下で格子縞刺激を提示し、17野、18野において格子縞刺激に対する皮質の反応性及び方位マップの形成について調べた。形状視を制限するために黒または白のプレートを取り付けたメガネを生後3~4週のネコに装着し、通常飼育環境下で育てた。これらのネコを麻酔下でメガネをはずし、内因性の光計測を用いて17野、18野から格子縞刺激に対する反応を調べたところ、メガネを2週間装着した時点では格子縞刺激に対する反応は見られたが、特定の方位に対する選択性が乏しく、正常な視覚環境で育った同じ週齢のネコでみられる方位マップの構造は確認されなかった。しかし、同じネコにさらに長期間メガネを装着し飼育したところ、方位選択性は弱いながらも、方位マップの形成が確認された。この方位マップは水平または垂直の方位に反応する領域が斜めの方位に比べて広い傾向が見られた。(図2) また、左右の眼に対する反応はどちらかの眼に対して強くなる傾向が見られた。(図6B) 正常な視覚環境で育った場合、発達の初期では水平または垂直の方位に反応する領域が斜めの方位に比べて広い傾向があるが、生後3ヶ月を超えると斜めの方位に対して反応する領域が水平、垂直の方位と比べて広がる傾向がある。また、発達期を通して各眼に対する反応の強さに大きな違いはみられない。(図1、図6A)

以上の結果から生後まもない時期の形状視の剥奪は方位選択性及び、眼優位性の発達を妨げ、機能マップの構築に重要な影響を及ぼすことが示唆された。

次年度は左右眼の視体験の相互作用が方位マップの構造に及ぼす影響を検討するため、

発達期に左右眼に対して異なる視体験の制限を施す視体験制限メガネ(1. 左右眼で異なる方位制限、2. 単眼の視覚入力の遮断、3. 単眼の方位制限)を装着したネコの方位マップの構造について調べた。生後3~4週のネコに左右眼で視覚入力異なるメガネを装着し、通常飼育環境下で育てた。これらのネコを麻酔下でメガネをはずし、内因性の光計測を用いて17野、18野から格子縞刺激に対する反応を調べた。各眼に対する方位マップの構造は、各眼が受けた視体験をよく反映していた。(1. 左右眼で異なる方位制限を受けた場合、左右眼それぞれで制限された方位の過剰表現が見られた。(図3) 2. 単眼の視覚入力の遮断では、遮断された眼に対する方位マップが消失した。(図4) 3. 単眼の方位制限では制限された眼に対して、方位の過剰表現が見られた。(図5)) また、眼優位性マップの構造は、各眼が受けた視覚入力の強さに依存して、それぞれの眼に対する刺激に、よく反応する領域が形成された。(図6C~E) さらに視体験の制限により、変化した方位マップの構造が、動物の行動にどのような影響を与えるのかを検討するために、視覚入力制限メガネを装着して飼育されたネコに、覚醒下で格子縞刺激と実物の棒を各眼に提示して、視覚刺激に対するネコの反応性を確認したところ、方位マップの構造と反応性の間に、はっきりとした相関は見られなかった。

以上の結果から生後まもない時期の左右眼で異なる視体験は、各眼で受けた視体験を反映した方位選択性マップ及び、眼優位性マップの形成を促すことが示唆された。また、方位選択性マップ及び、眼優位性マップの構造が正常な視体験を受けたネコと異なるネコにおいても、その機能を代償する働きがあることが示唆された。

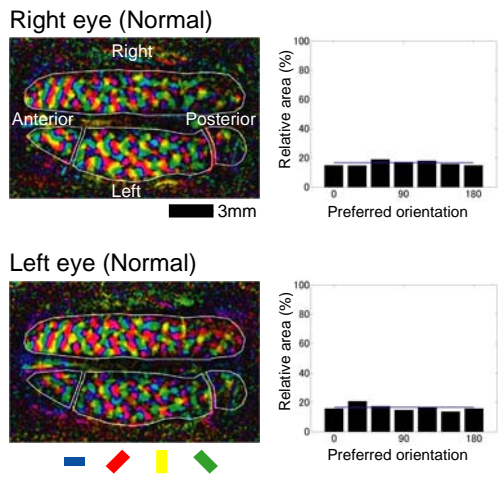


図1 正常な視体験を受けたネコの各眼に対する方位選択性マップ (左) と方位選択性ヒストグラム (右)

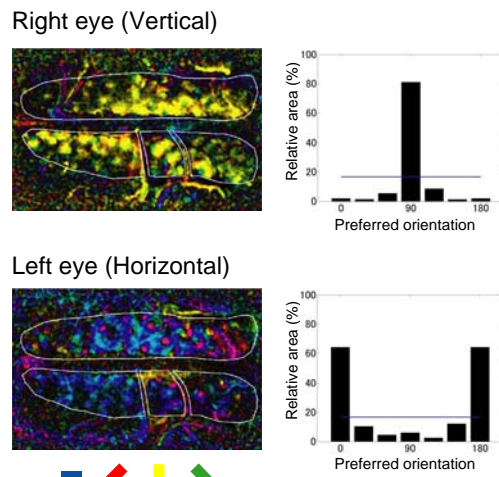


図3 左右眼で異なる方位制限されたネコの各眼に対する方位選択性マップ (左) と方位選択性ヒストグラム (右)

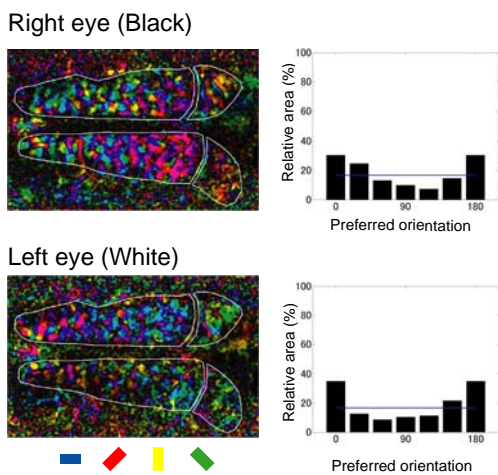


図2 形状視を制限されたネコの各眼に対する方位選択性マップ (左) と方位選択性ヒストグラム (右)

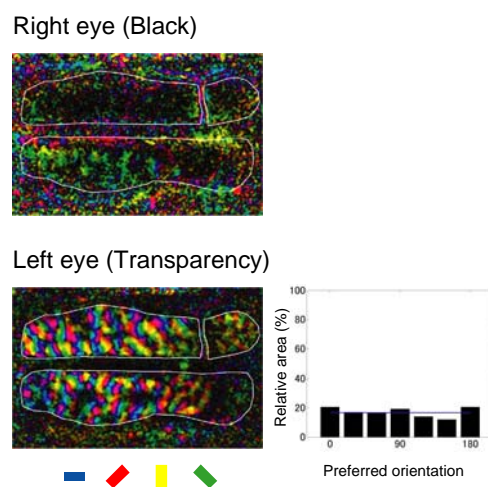
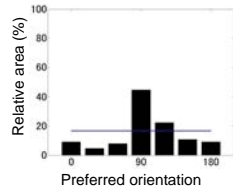
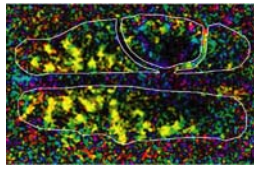
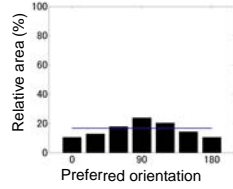
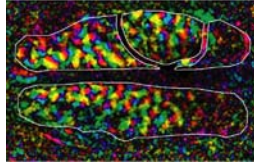


図4 単眼の視覚入力を遮断されたネコの各眼に対する方位選択性マップ (左) と方位選択性ヒストグラム (右)

Right eye (Vertical)



Left eye (Transparency)



■ ■ ■ ■

図5 単眼の方位制限されたネコの各眼に対する方位選択性マップ (左) と方位選択性ヒストグラム (右)

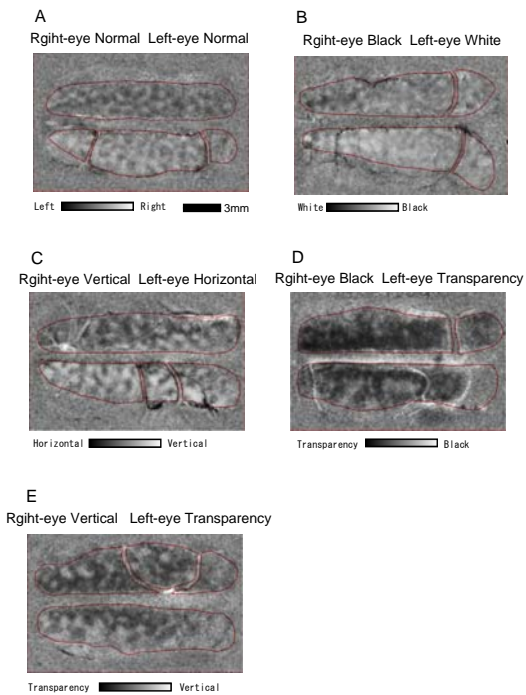


図6 正常な視体験を受けたネコ (A)、形状視を制限されたネコ (B)、左右眼で異なる方位制限されたネコ (C)、単眼の視覚入力を遮断されたネコ (D)、単眼の方位制限されたネコ (E) の眼優位性マップ

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

① 谷 利樹 (代表)、田中 繁

Effect of uniform-luminance experience on orientation map formation in cat visual cortex

7th IBRO World Congress of Neuroscience

平成19年7月15日

Melbourne

② 谷 利樹 (代表) 田中 繁

Visual cortical representation in cats reared under the deprivation of pattern vision

第30回日本神経科学大会

平成19年9月11日

横浜

③ 谷 利樹 (代表) 田中 繁

Discordant pattern vision in the two eyes induces competition of orientation map

formation in kitten visual cortex

6th Forum of European NeuroScience

平成20年7月13日

Geneva

④ 谷 利樹 (代表) 田中 繁

Interocular imbalance in visual experience affects orientation map formation in cat visual cortex

Neuroscience 2008

平成20年11月19日

Washington DC

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷 利樹 (TANI TOSHIKI)

独立行政法人理化学研究所 視覚神経回路モデル研究チーム 研究員

研究者番号: 60392031

(2) 研究分担者

田中 繁 (TANAKA SHIGERU)

独立行政法人理化学研究所 視覚神経回路モデル研究チーム チームリーダー

研究者番号: 70281706