

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：32657

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26880019

研究課題名(和文) 図領域統合による頑健な注意選択と物体位置知覚アルゴリズムの研究

研究課題名(英文) A model of attentional selection based on surrounding Border-Ownership

## 研究代表者

我妻 伸彦 (Wagatsuma, Nobuhiko)

東京電機大学・理工学部・助教

研究者番号：60632958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：人間は、複雑な自然画像中から最も注目すべき情報を選択し、視覚的注意を向ける事で実環境に適応する。また、コンピュータ・ビジョンで重要な問題は、画像中の物体位置を理解する事である。これらの能力を実現するため、図領域を統合し、注意選択を行う大脳視覚領野のメカニズムについて研究した。具体的には、低次視覚野V2が背景から分離した図領域を、高次視覚野V4で統合する過程を大脳生理学的知見に基づきモデル化した。V4の活動が注意選択を仲介する。モデルに視覚野の特性である反応多様性を導入し、自然画像を含む多種多様な画像を用いたシミュレーションを行った。モデルは、ヒトの注意選択特性を定性的・定量的に良く再現した。

研究成果の概要(英文)：Visual attention is a function that boosts our perception, enabling us to attend the most important information at the moment. For understanding the attention mechanism, I developed the computational model based on the physiological and psychophysical knowledge. In my proposed model, grouping cells in V4 integrated the figural regions which were separated in V2 from the background for representing where the object exists. Furthermore, I introduced a huge variety of synaptic connections from V2 to V4, which were reported by previous works as the characteristics of the visual system. I assumed that the population of grouping cells mediated where attention was directed. In order to test whether our model reproduced human attention selection, I compared the responses of our model with the eye fixation data collected from human subjects during a free viewing task. My model qualitatively and quantitatively showed good agreement with the characteristics of human attention.

研究分野：計算神経科学

キーワード：視覚的注意 Saliency Map 計算論的モデル 図地領域分離 大脳視覚皮質 図領域統合 Border-Ownership

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 人間は視野内にある全ての情報を均等に処理しているわけではない。最も注目すべき情報に焦点を当て、それを重点的に処理している。この機能が視覚的注意である。人間の視覚情報処理における最大の特徴がこの視覚的注意である。視覚的注意は、中低次の視覚領野(V2)で行われると考えられる図地分離にも大きな影響を与える事が知られている。しかし、同一物体上の輪郭に対して決定した図領域を高次視覚野が統合し、物体へと再構成する図領域統合の視覚メカニズムはまだ明らかになっていない。

(2) 大脳視覚領野 V2 が視覚情報から分離した図領域を統合するメカニズムを検討する計算論的モデルが発表された[1]。この計算モデルは、大脳視覚野が図領域に対して注意を向ける bottom-up 的な物体位置知覚など、V2 よりも高次の視覚野が行う情報処理過程の理解を試みている。しかし、このモデルは限定された少数のモデル神経細胞が、単一のシナプス結合を通して図領域を統合している。固有の反応特性を持つ神経細胞が多数集まる事で実現する神経細胞反応の多様性[2]を説明しない。視覚野の多様性と神経細胞集団による情報処理は、生体が複雑な自然画像へと適応するための極めて重要な機能である。

## 2. 研究の目的

(1) 低次の大脳視覚領野 V2 が背景から分離した図領域を、大脳が統合し、画像中の物体位置の理解と、そこへ選択的注意が向けられる皮質メカニズムを明らかにする。生理・心理物理実験や理論的研究により得られた知見に基づき、計算モデルを構築する事で、大脳処理系の図領域統合と注意選択のメカニズムの解明を目指した。

(2) 複雑な自然画像に適応する頑健な人間の注意選択の皮質メカニズムを理解する。提案する注意選択の計算モデルに、大脳視覚皮質の特性である神経細胞結合の多様性を組み込み、それが注意選択に果たす役割を明らかにする。特に、図領域統合により活性化される高次視覚野の細胞集団が、注意選択に果たす役割を計算論的に検討した。

## 3. 研究の方法

(1) 視覚野 V2 が背景から分離した図領域に基づき、高次視覚野 V4 がそれを統合し、物体領域へと注意を誘導する皮質メカニズムをモデル化した。モデルに視覚野の処理特性であるシナプス結合の多様性を導入した。

(2) 構築した注意選択の計算モデルを評価するため、自然画像を含むシミュレーション実験を行った。特に、視線追跡装置を用いて観測された人間の注視点を指標とする定量的なモデルの評価を行った。

## 4. 研究成果

(1) ヒトの頑健な注意選択特性を再現する図領域統合のシナプス結合パターン選定

大脳視覚皮質における神経細胞活動の多様性が、ヒトの注意選択特性に重要であると考えられる。神経細胞が示す多様性を実現するため、注意選択を仲介する V4 モデル神経細胞集団を作成した。個々の V4 モデル細胞は固有のシナプス結合パターンに基づき、図領域を統合した。提案モデルの注意選択は、図領域統合に基づき決定される。先行研究[2]と同様に、ランダムに生成したガウシアンを組み合わせることで、個々の V4 モデル細胞が異なる反応特性を示し、多様性に富む注意選択を仲介する神経細胞集団を構築した。ここでは 60000 の V4 モデル細胞を生成した。各 V4 モデル細胞は、それぞれ異なる V2-V4 間のシナプス結合を持つ。

生成した V4 モデル細胞それぞれに対して、最も基本的な形状である正方形等を与え、各モデル細胞が決定する注意選択領域を評価した。呈示された刺激領域を正しく検出した頑健かつ一貫性を持つ 100 種類の図領域統合のシナプス結合領域を図 1 に示す。

(2) 選定した V4 モデル細胞集団が決定する注意選択領域の定性的評価

(1) で選定した 100 種類の図領域統合のシナプス結合領域(図 1)に基づく V4 モデル細胞集団に対し、心理物理実験等で使用された刺激画像を与え、提案モデルが決定する注意選択特性を定性的に検証した。シミュレーションに用いた刺激画像を図 2 に示す。図 2(A)の Singleton は、画像中に含まれる周囲とは異なる視覚特徴(例:色、形など)を持つ物体へとヒトは注意を向ける事が知られている。図 2(B, C)の画像は、心理物理実験[3]で用い

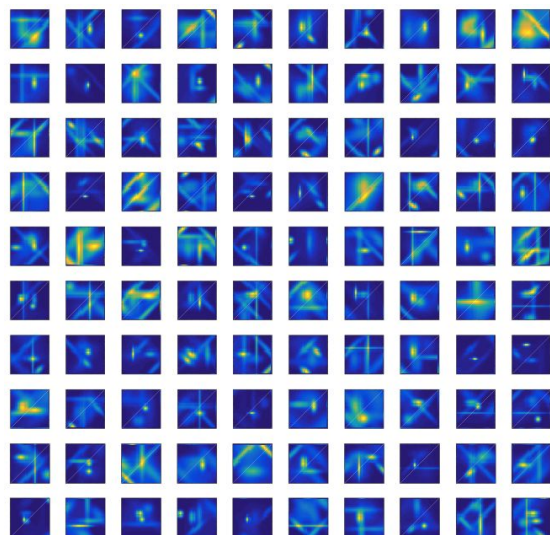


図 1 選定された図領域統合のシナプス結合パターン。

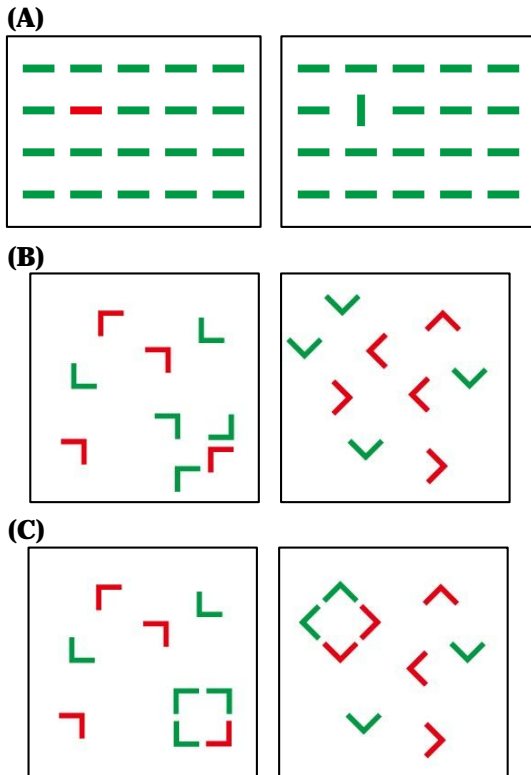


図2 使用した刺激画像。

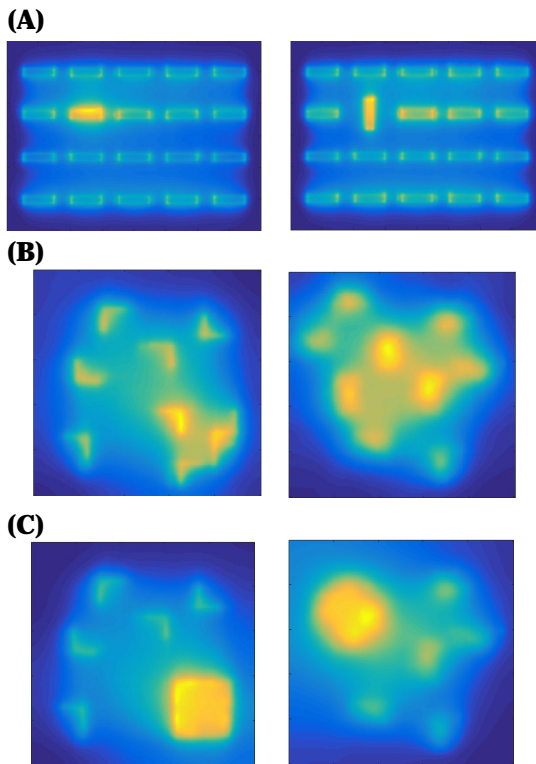


図3 刺激画像(図2)に対する提案モデルの反応。

られた刺激と同等のものである。図2(B)と(C)の画像が持つ視覚特徴量は、同等である。しかし、図2(C)では、L字型のパーツが組み合わさり、図領域が形成される。この時、ヒト被験者は形成された図領域へと注意を向ける事が報告されている。

図2の刺激群を注意選択のV4モデル細胞集団に適用したシミュレーション結果を図3にまとめる。図3(A)にSingletonに対するモデルの注意選択結果、図3(B)に明確な図領域が存在しない心理物理実験刺激画像、図3(C)に図領域が存在する心理物理実験刺激を与えたシミュレーション結果となる。Singleton(図3(A))に対して、提案モデルは、周囲とは異なる特徴を持つ物体が配置された領域へ最大の反応を示した。また、図領域が存在しない心理物理実験の刺激画像(図3(B))に対して、モデル細胞の反応強度が広く分布する傾向が確認された。対照的に、L字型の物体の組み合わせによって図領域が構築された刺激(図3(C))を与えると、V4モデル細胞集団は形成された図領域に対して高い活動を示した。これらの結果は、心理物理実験で確認されたヒトの注意選択特性と定性的に一致する。

(3)ヒトの注視点追跡データとモデルが示す注意選択領域の定量的比較

図領域統合に基づき注意選択領域を決定するV4モデル細胞集団の計算モデルの性能を定量的に検証するため、ヒト被験者から計測した注視点追跡データ[4, 5]を指標として、モデルが示す注意選択領域を定量的に解析した。具体的には、ヒトの注視点データはMIT data set [4](自然画像1003枚, free viewing 3秒)とToronto data set [5](自然画像120枚, free viewing 4秒)を用いた。これらのデータセットは自然画像に対するヒトの注意視点移動と使用された画像を提供している。これら画像を用いたシミュレーション実験を行った。シミュレーションから得られたV4モデル細胞集団の活動に対して、ヒトの注視点データを指標とする評価・解析を行った。

解析では、シミュレーションから得られた注意選択領域内に、ヒトの注視点データが含まれる割合(ヒット率)を算出した。ここで用いた注意選択領域は、上位 $\theta\%$ 以上の反応強度を示したV4モデル細胞集団の空間的な位置と領域とした( $10^\circ \theta 90^\circ$ )。さらに、提案モデルが決定する注意選択領域の性能を比較するため、先行研究の注意選択の計算モデル(Russellのモデル[1]とIttiのモデル[6])にも同様の解析を行った。

ヒトの注視点位置を指標として用いた注意選択の計算モデルの反応解析結果を図4に示す。図4(A)にMIT data set [4]、図4(B)にToronto data set [5]に対する解析結果を示す。赤線は本研究が提案する注意選択のモデル、青線がRussellのモデル[1]、黒線がIttiのモデルに対するヒト注視点の再現力を意味する。横軸に注意選択領域の閾値 $\theta$ 、縦軸はヒット率(ヒト注視点との一致率)を示す。本研究が提案する図領域統合に基づくV4モデル細胞集団が決定する注意選択の計算モデルは、先行研究のモデル[1,6]よりも、



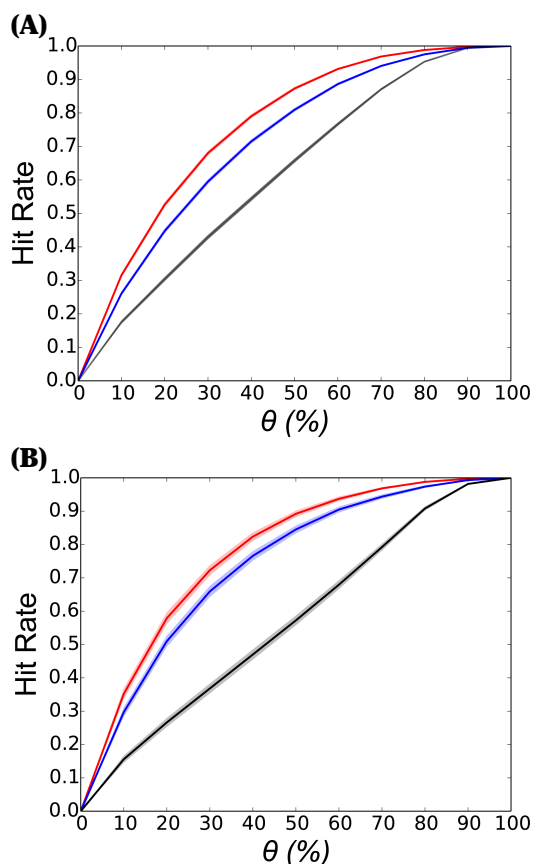


図 4 ヒトの視線データを指標とした提案モデルの評価。赤線：提案モデル、青線：Russell のモデル[1]、黒線：Itti のモデル[6]

ヒトの注視特性を定量的に良く再現することが示された。また、2つのデータセットにおいて同様の結果が確認された。さらに、これらのモデル間のヒット率に対して、統計的な比較 (*t-test*) を行ったところ、本研究の提案モデルが、他のモデルよりも有意に高い精度でヒト注視位置の再現を可能とすることが示された。

これらの結果は、視覚領野 V2 により背景から分離された図領域が、ヒトの注意選択決定に重要な役割を果たしている可能性を示唆する点で重要である。また、モデルのシミュレーションから、図領域統合を仲介する多様な反応特性を持つ V4 モデル細胞の集団によって決定される注意選択領域が、ヒトの注視特性を良く予測することが示された。これは、単一細胞よりも、細胞集団が連携する情報処理表現により、ヒトの知覚が形成される可能性を示唆するものである。

#### < 引用文献 >

- [1] Russell AF, Mihalas S, von der Heydt R, Niebur E, Etienne-Cummings R. A model of proto-object based saliency. *Vis Res*, 94: 1-15, 2014.
- [2] Sakai K, Nishimura H. Surrounding suppression and facilitation in the determination of border ownership. *J Cog Neurosci*, 18: 562-579, 2006.

[3] Kimchi R, Yeshurun Y, Cohen-Savransky A. Automatic, stimulus-driven attentional capture by objecthood. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14: 166-172, 2007.

[4] Judd T, Ehinger K, Durand F, Torralba A. Learning to predict where human look. 2009 IEEE 12<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision (ICCV): doi 10.1109/ICCV.2009.5459462, 2009.

[5] Bruce NDB, Tsotsos JK. Saliency, attention, and visual search: an information theoretic approach, *J Vis*, 9(3), 5: 1-24, 2009.

[6] Itti L, Koch C. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vis Res*, 40: 1489-1506, 2000.

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

[1] 我妻伸彦、上村朋弘、矢口博之、中低次視覚皮質の活動に基づく注意選択決定の時間ダイナミクス、第 30 回人工知能学会全国大会論文集、査読有、Vol. 30、pp. 1-4、2016.

[2] 我妻伸彦、視覚皮質の層構造局所回路モデル-大規模シミュレーションが予測した視覚情報処理メカニズム-、日本神経回路学会誌、査読無、Vol. 22、No. 3、pp. 112-124、2015.

[3] 我妻伸彦、酒井宏、視覚皮質の相互作用が決定する Border-Ownership 細胞のダイナミクス、第 25 回日本神経回路学会全国大会講演論文集、査読有、pp. 38-39、2015.

[4] 我妻伸彦、Rudiger von der Heydt、Ernst Niebur、視覚皮質における図方向検出メカニズムの神経回路モデル、第 29 回人工知能学会全国大会論文集、査読有、Vol. 29、pp. 1-4、2015.

〔学会発表〕(計 6 件)

[1]我妻伸彦、酒井宏、視覚皮質の相互作用が決定する Border-Ownership 細胞のダイナミクス、第 25 回日本神経回路学会全国大会、電気通信大学(東京)、2015年9月2日

[2]Nobuhiko Wagatsuma、Rudiger von der Heydt、Ernst Niebur、The Role of Horizontal Connections for the Modulation of Border-Ownership Selective Neurons in Visual Cortex, 24<sup>th</sup> Annual Computational Neuroscience Meeting (CNS\*2015), Prague (Czech Republic), July 20<sup>th</sup>, 2015.

[3]我妻伸彦、Rudiger von der Heydt、Ernst Niebur、視覚皮質における図方向検出メカニズムの神経回路モデル、第 29 回人工知能学会全国大会、はこだて未来大学(函館)、2015年6月1日

[4]Nobuhiko Wagatsuma、Rudiger von der Heydt、Ernst Niebur、Modeling Attention-Induced Reduction of Spike Synchrony in the Visual

Cortex, 14th Japan-China-Korea Joint Workshop on Neurobiology and Neuroinformatics (NBNI 2014), Okazaki (Japan), December 19<sup>th</sup>, 2014.

[5]Nobuhiko Wagatsuma, Rudiger von der Heydt, Ernst Niebur, Modeling Attention-Induced Reduction of Spike Synchrony in the Visual Cortex, Society for Neuroscience 2014 (SfN 2014), Washington (USA), November 16<sup>th</sup>, 2014.

[6]Nobuhiko Wagatsuma, Rudiger von der Heydt, Ernst Niebur, Attention-dependent modulation of spike synchrony and firing rates for border-ownership selective neurons in a network model, The 10th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV 2014), Takamatsu (Japan), July 20<sup>th</sup>, 2014.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
<https://sites.google.com/site/nobuwagatsuma/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

我妻 伸彦 (WAGATSUMA, Nobuhiko)  
東京電機大学・理工学部・情報システムデザイン学系・助教  
研究者番号：60632958

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：