

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 1日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20700279

研究課題名（和文） 神経科学と画像工学に同時に貢献する初期視覚モデルの研究

研究課題名（英文） A computational study on early vision for scientific contribution and engineering contribution

研究代表者

佐藤俊治 (SATO SHUNJI)

電気通信大学大学院・情報システム学研究科・准教授

研究者番号：50333844

研究成果の概要（和文）：画像の時空間微分を理論的基盤とした視覚数理モデルを提案した。具体的には(i) 両眼視差選択性をもつ V1 細胞受容野，(ii) 速度選択性をもつ V1 細胞の受容野モデルを統一的に記述することに成功した。これらの結果をベースとして，(iii) 速度知覚に重要な役割を担う MT 細胞のモデル化と理論的解釈を行った。その結果，コントラストに依存した複雑な MT 細胞の性質と知覚特性を統一的に記述・説明することに成功した。また，今後の研究の持続性を考慮し，大規模視覚数理モデルが容易に構築できるソフトウェア基盤の調査開発を行った。

研究成果の概要（英文）：Computational models of the early visual system were proposed based on theoretical analysis of spatio-temporal derivatives: (i) receptive fields of V1 neurons selective to binocular disparity, and (ii) selective to speed of moving stimuli. Moreover, (iii) a novel computational theory and a model of MT neurons were also derived from the theoretical analysis of the model (i) and (ii) above. As results of this MT research, complex neural properties of MT neurons and perceptual properties affected by image contrast were successfully accounted for by the single model of MT neurons. Software platform(s) have been developed to make computational research be more sustainable for large scale simulation of vision.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	900,000	270,000	1,170,000
平成21年度	700,000	210,000	910,000
平成22年度	800,000	240,000	1,040,000
平成23年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：統合領域

科研費の分科・細目：生体生命情報学

キーワード：脳型情報処理；視覚情報処理；数理モデル

## 1. 研究開始当初の背景

我々の視覚系は科学的対象として興味深く，計算論研究によって多くの数理モデルが提案されてきた。しかし，視覚計算論モデルは科学的要件だけを満たせば十分だろうか？そうではない。視覚系は大規模高性能画

像処理マシンとみなせば，工学的要件も満たす必要がある。すなわち視覚モデルは次の要件を満たす必要がある：(1) 科学：視覚モデルによって生理実験データを再現し，神経生理学的現象の理論的解釈を与える。(2) 工学：視覚数理モデルは，それ自体が高性能画

像処理アルゴリズムであるべき。

しかしながらこれまでの研究では、上記の(1)または(2)のいずれかに焦点があてられてきた。また、視覚系を正しく理解するためには、複数の数理モデルを結合した全体シミュレーション必要となるが、実際に行われたことはない。

## 2. 研究の目的

視覚系を大規模画像処理アルゴリズムの集合体としてとらえることで、神経科学的妥当性が高く、工学的画像処理アルゴリズムとしても有効性が高い視覚神経回路の数理モデルと理論の構築を目的とする。

具体的には、画像工学的観点から新しい皮質細胞の受容野モデルを構築し、視覚数理モデルの神経生理学的妥当性と工学的有効性を確認する。工学的応用例として、入力画像よりも高い解像度の像を得るためのアルゴリズムやコントラスト変化に頑健な optical flow 計算が挙げられる。また、錯視の原因に関する計算論的検討も行う。

上記目的と並行して、研究成果の sustainability を高めるための基礎基盤技術の検討を行い、大規模数理モデルに必要な技術開発を行う。

## 3. 研究の方法

両眼立体視、盲点補完、固視微動による超解像、運動視にフォーカスを当て、これらの神経生理学的実験や認知心理学的実験を網羅的に調査する。

調査の結果から、これらの減少を記述する数理モデルを構築し、画像学的アルゴリズムとの関係を明らかにする。可能であれば既存の画像処理アルゴリズムの性能を超える新しい処理手法を提案する。

また、大規模数理モデル構築に必要なソフトウェア基盤を調査し、必要な技術開発を行う。

## 4. 研究成果

### (1). V1 野の新しい数理モデル

1.1 Gabor 関数は V1 野の受容野モデルの代表的モデルであるが、このモデルの問題点を指摘し、新しい受容野モデルの構築を行った。具体的には、分数階微分 Gauss 関数を提案した。

1.2 上記の新しい数理モデルは単に数学的な拡張にとどまらず、実験によって得られた実際の受容野の空間的特性を精度よく表現できることを示した。

### (2). 複素数による両眼像の表現

2.1 左目像を実部、右目像を虚部として両眼層を表現する新しい概念を提案した。

2.2 上記 1.1 と 2.1 の結果を融合すること

で「奥行」に対して選択性を持っていると長らく考えられてきた両眼性 V1 細胞の新しい解釈を与えることができた。すなわち、「奥行計算」とも考えられるが本質は、「単に複素関数同士の相関計算」という計算論である。

### (3). 動画像知覚に関する実験とモデル構築

3.1 速度知覚に関して、ヒトの知覚特性の測定（心理物理実験）をおこなった。その結果、ヒトの速度知覚はエッジ強度に強く影響されることが分かった。

（これまではコントラストと空間周波数が主要因であると考えられてきた）

3.2 上記 3.1 の結果を基にして、画像工学的応用のためには必要な処理について考察した。その結果、視覚細胞はエッジ強度のゲインコントロールに伴う副作用（ノイズの増強）を緩和する必要があるという結論に達した。

3.3 3.2 で指摘した副作用を緩和するためには、V1 細胞が時間的フィルタリングを実行する必要があると考え、1.1 を基盤とした数理モデルを構築した。得られた数理モデルの性質は、神経生理学データと定性的に一致することが分かった。

3.4 optical flow 計算の工学的手法である Lucas-Kanade 法や、視覚計算論モデルである Simoncelli-Heeger モデルはいずれも、逆数計算を必要とする。本研究では、ノイズに弱い逆数計算を統計的に意味のある関数で置き換えることを提案した。この置き換えによって工学的な性能が向上しただけではなく、コントラスト依存性の速度知覚を説明することができた。

### (4). 視覚系数数理モデル構築のための基盤整備

4.1 これまでに提案された多数の計算プラットフォームやミドルウェアを調査し、それぞれの長所や問題点を詳細に調査した。

4.2 その結果、OpenRTM を基盤とした視覚系数数理モデル構築が最も適していると判断し、実際に視覚数理モデルを OpenRTM 上で構築した。具体的には、網膜・V1 野・MT 野・MST 野の計算論研究の基盤となっている Simoncelli と Heeger による数理モデルを実装した。

4.3 OpenRTM が対応する言語は C/C++, Java, Python であるが、視覚数理モデル研究では Matlab と呼ばれる言語が多用されている。そこで、OpenRTM を Matlab に対応させるための手段を確立した。これは複数の視覚数理モデ

ルを結合させ、大規模なシミュレーションをするためには非常に重要な結果であると考えている。

#### 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 6 件)

- ① Shunji Satoh, Computational identity between digital image inpainting and filling-in process at the blind spot, *Neural Computing and Applications*, 21/4, 613-621, 2012 (査読有)  
DOI: 10.1007/s00521-011-0646-y
- ② Tadashi Yamazaki, Hidetoshi Ikeno, Yoshihiro Okumura, Shunji Satoh, Yoshimi Kamiyama, Yutaka Hirata, Keiichiro Inagaki, Akito Ishihara, Takayuki Kannon, Shiro Usui, Simulation Platform: A Cloud-Based Online Simulation Environment, *Neural Networks*, 24/7, 693-698, 2011 (査読有)  
DOI:10.1016/j.neunet.2011.06.010
- ③ Hiroaki Sasaki, Shunji Satoh, Shiro Usui, Neural implementation of coarse-to-fine processing in V1 simple neurons, *Neurocomputing*, 73, 867-873, 2010 (査読有)  
DOI:10.1016/j.neucom.2009.10.004
- ④ Shunji Satoh and Shiro Usui, Engineering-approach accelerates computational understanding of V1-V2 neural properties, *Cognitive Neurodynamics*, 3/1, 1-8, 2009 (査読有)  
DOI:10.1016/j.neucom.2009.10.004
- ⑤ Shunji Satoh and Shiro Usui, Computational theory and applications of a filling-in process at the blind spot, *Neural Networks*, 21, 1261-1271, 2008 (査読有)  
DOI:10.1016/j.neunet.2008.05.001
- ⑥ Hiroaki Sasaki and Shunji Satoh, Super resolution: another computational role of short-range horizontal connection in the primary visual cortex, *Neural Networks*, 22/4, 362-372, 2008. (査読有)  
DOI:10.1016/j.neunet.2008.12.001

[学会発表] (計 26 件)

- ① Hidetoshi Ikeno, Tadashi Yamaaki, Yoshihiro Okumura, Shunji Satoh,

Yoshimi Kamiyama, Yutaka Hirata, Keiichiro Inagaki, Akito Ishihara, Takayuki Kannon and Shiro Usui, Simulation Platform: Quick and easy access environment of model simulation in computational neuroscience, INCF Congress of Neuroinformatics, 2011. (04 Sep 2011, Boston)

- ② Keiichiro Inagaki, Takayuki Kannon, Yoshimi Kamiyama, Shunji Satoh, Nilton Kamiiji, Daiki Sone, Kazuki Urabe and Shiro Usui, A large-scale whole visual system model integrated by PLATO and its implementation on high performance computer, INCF Congress of Neuroinformatics, 2011. (04 Sep 2011, Boston)
- ③ Shunji Satoh, Computational Model Resolving a Paradox between Speed Perception and Neural Property of MT Area, *JNNS*, 2011 (16 Dec 2011, Okinawa)
- ④ Junichi Ohmura, Akira Egashira, Shunji Satoh, Takefumi Miyoshi, Hidetsugu Irie and Tsutomu Yoshinaga, Multi-GPU Acceleration of Optical Flow Computation in Visual Functional Simulation, *PDAA*, 2011 (02 Dec 2011, Osaka)
- ⑤ T Yamazaki, H Ikeno, Y Okumura, S Satoh, Y Hirata, A Ishihara, K Kannon, S Usui, Simulation Platform: Cloud-computing meets computational neuroscience, *CNS*, 2011 (27 Jul 2011, Sweden)
- ⑥ Shunji Satoh, Yutaka Sakaguchi, Hiroaki Sasaki, Shiro Usui, Kalman filter model can explain the temporal receptive field of motion selective V1 neurons, *Neuroscience Research*, 68, 379-380, 2010 (04 Sep 2010, Kobe)
- ⑦ Hiroaki Sasaki, Shunji Satoh, Shiro Usui, Efficient Representation by Horizontal Connection in Primary Visual Cortex, *ICONIP*, 2010. (23 Nov 2011, Sydney)
- ⑧ Shiro Usui, Tadashi Yamazaki, Hidetoshi Ikeno, Okumura Yoshihiro, Shunji Satoh, Kamiyama Yoshimi, Hirata Yutaka, Inagaki Keiichiro, Ishihara Akito, Kannon Takayuki, Kamiiji Nilton, Akazawa Fumihiko, Simulation Platform: Model simulation on the cloud, *Neuroinformatics*, 2010 (30 Aug 2010, Kobe)
- ⑨ Keiichiro Inagaki, Takayuki Kannon, Yoshimi Kamiyama, Shunji Satoh, Nilton Kamiiji, Yutaka Hirata, Akito

Ishihara, Hayaru Shouno, Shiro Usui, Environment for an integrative model simulation: PLATO, Neuroinformatics, 2010. (30 Aug 2010, Kobe)

- ⑩ Shiro Usui, Keiichiro Inagaki, Takayuki Kannon, Yoshimi Kamiyama, Shunji Satoh, Nilton L. Kamiiji, Yutaka Hirata, Akito Ishihara, and Hayaru Shouno, A Next Generation Modeling Environment PLATO: Platform for Collaborative Brain System Modeling, ICONIP, 2009. (01 Dec 2009, Thailand)
- ⑪ 外山敬介, 佐藤俊治, 運動知覚特性の画像工学的解釈と計算論モデルに関する研究, Vision, 24, p.16, 2012. (01 Jan 2012, Tokyo)
- ⑫ 齋藤祐典, 佐藤俊治, 大村純一, 三好健文, 入江英嗣, 吉永努, 視覚神経系数理モデルシミュレーションの MPI による並列化, ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 2011. (10 May 2011, Tokyo)
- ⑬ 中畑達雄, 佐藤俊治, 阪口豊, 佐藤好幸, 速度知覚に関する計算論的考察と心理物理実験, Vision, 23, p.71, 2010. (19 Jan 2011, Tokyo)

(他 13 件, 内招待講演 4 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 画像処理装置, 画像処理方法, ならびに, プログラム

発明者: 佐藤俊治, 臼井支朗

権利者: 理化学研究所

種類: 特許

番号: 特願 2008-086210・特開 2009-239829

出願年月日: 2008 年 3 月 28 日 (2009 年 10 月 15 日公開)

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

(構築中)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 俊治 (SATO SHUNJI)

電気通信大学大学院・情報システム学研究科・准教授

研究者番号: 50333844

### (2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし