

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700234
 研究課題名（和文） 透明視の知覚コストを指標とした視覚情報の脳内符号化様式の研究
 研究課題名（英文） A Study on Neural Representation of Visual Information
 Evaluated by Perceptual Costs for Transparency
 研究代表者
 渡部 修 (WATANABE OSAMU)
 室蘭工業大学・大学院工学研究科・講師
 研究者番号：50343017

研究成果の概要（和文）：

透明視とは、重ね合わせた複数の表面を同時に知覚できる現象である。この透明視知覚は、脳の視覚情報処理メカニズムを解明する上で、重要な手がかりを与えられている。これは、透明視が、視覚情報が脳内でどのように表現（符号化）されるかという、脳の情報処理において本質的な問題を提起するためである。本研究では、透明視の知覚コストを測定する系統的な視覚心理実験を実施し、視覚情報の脳内表現様式を検証した。

研究成果の概要（英文）：

Observers can perceive two overlapping surfaces simultaneously in the same region of the visual field. This transparency perception raises a fundamental issue of how visual information is encoded in the brain, and this perception is recognized as one of the important phenomena to understand the computational mechanism of early visual system. In the present research project, we carried out systematic experiments to examine the perceptual costs for transparency and investigated the neural representation of visual information.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：脳科学, 視覚, 心理物理学, 透明視, 知覚コスト, 検出閾, 精度

1. 研究開始当初の背景

近年、脳の視覚情報処理メカニズムを探る上で、透明視と呼ばれる知覚現象が注目を集

めている。透明視とは、視野の同一領域に複数の表面が重なり合ったときの知覚を指す。この知覚は、例えばガラス越しに遠方の物体

を観察したとき等で生じる。このとき、脳内では、重畳された複数の奥行（視差）情報を同時に表現しなければならない。

現在、初期視覚の計算論的研究は高度に進展しており、様々な視知覚現象をその計算論的意味とともに説明することを可能にしている。初期視覚の計算論的枠組みとしては、正則化理論(regularization theory)が代表的なものとして挙げられる。しかし、正則化理論は、視覚情報（視差など）の一価の場を再構成する理論であるため、原理的に透明視状況を扱うことはできない。

従って、透明視は、そもそも「視覚情報が脳内でどのように表現（符号化）されているのか」という、脳の情報処理を考える上で本質的な問題を提起している。このため、透明視は、脳の視覚メカニズムを明らかにする上で重要な知覚現象であると位置づけられている。

2. 研究の目的

透明視における知覚のパフォーマンスは、単一面の知覚から期待されるレベルを下回ることが知られている。この透明視知覚に要する「コスト」は、透明視状況の脳内符号化様式の制約を反映していると考えられる。このため、この知覚コストの特性は、その脳内表現を探る上で重要な手掛りとなり得る。

本研究では、この知覚コストに注目し、視覚情報の脳内表現様式を、そのパフォーマンスの側面から検討することを目的とした。ここでは、大きく分けて以下の二つの研究を行った。

- (1) 知覚コストの特性を明らかにするための系統的な視覚心理実験を実施した。特に、知覚のパフォーマンスとして複数の指標（検出閾と精度）を用いることで、刺激条件に依存した知覚コストの変化特性を多面的に評価した。
- (2) 実験的に得られた知覚コストの特性を基に、これを引き起こす脳内の符号化様式を具体的に検討した。検討にはポピュレーション符号化モデルを用い、符号化されている情報量の解析等を行うことで、実験データとの定量的な比較を行った。

3. 研究の方法

本課題では、透明視の知覚コストを手掛りとして、視覚情報の脳内符号化様式を検討することを目的としている。このため、データを収集するための系統的な視覚心理実験と、このデータと定量比較可能なモデルの構築を行った。具体的な方法とその手順を以下に

示す。

(1) ポピュレーション符号化モデルの構築

脳の多くのモジュールで細胞集団（ポピュレーション）による情報の符号化が行われている。視覚心理実験との対比を行うため、最も単純なポピュレーション符号化モデルを構築し、そのモデルパフォーマンスを数値シミュレーション等により算出した。

(2) 視覚心理実験による知覚コストの測定

透明視状況における知覚コストの特性を明らかにするため、心理実験により系統的なデータ収集を行った。これにより、刺激パラメータに依存した知覚コストの変化特性を、定量的に明らかにした。

(3) 透明視の脳内符号化様式の検討

(1)で構築したポピュレーション符号化モデルのパフォーマンスと、(2)で測定した実験データを比較し、様々な刺激条件で生じる知覚コストを定量的に説明する符号化様式を検討した。

4. 研究成果

前項の研究方法に対応させて、本研究で得られた主な成果を以下に挙げる。

- (1) ニューロンの応答特性に関する知見を取り入れ、生物学的に妥当なポピュレーション符号化モデルを構築し、その符号化能力を理論的に検証した。この結果、透明視状況におけるモデルの符号化コストはパフォーマンス指標（検出閾や精度）によらず定性的に同じ特性を持つことを明らかにした。
- (2) 透明視の知覚コストを検証する心理物理実験を行った。特に、運動透明視においては、重畳面間の
 - ① 運動方向差
 - ② 視差
 - ③ ドット密度を段階的に変化させたときの知覚コストの変化特性を測定した。また、立体透明視については、重畳面間の
 - ④ 相関を変化したときの知覚特性を検証した。このような系統的な透明視知覚の実験はこれまでに例を見ないものであり、パフォーマンス指標によって知覚コストの特性が異なること等、多くの新規な知見を得ることができた。

- (3) (1)で構築したモデル特性, および(2)で測定した心理実験データを比較し, 透明視の脳内表現を検討した.

重畳面間の運動方向差や視差等を変化させると, ニューロンのポピュレーション応答も変化すると考えられる. このとき, 知覚のパフォーマンスも変化する. しかし, 実験的に得られた知覚コストの特性は, 従来のポピュレーション符号化モデルの特性とは異なることを明らかにした. ポピュレーション符号の情報量解析, および数値シミュレーションを行った結果, ポピュレーションを構成するニューロン間の相互作用が, その脳内表現に影響を与えていることが示唆された.

これらの結果は, 透明視の脳内表現様式を解明する際の基盤的な知見となると期待でき, その一部はすでに学術論文等で公表している.

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 金浜和広, 渡部修. 視覚特徴間の時間的相互作用の心理物理学的検証. 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J93-D, No. 9, in press.
- ② O. Watanabe. Stereo transparency in ambiguous stereograms generated by overlapping two identical dot patterns. *Journal of Vision*, 査読有, Vol. 9, No. 12, pp. 1-9 (2009).
- ③ 早坂美樹, 渡部修. 音声系列の規則獲得における統計学習の影響. 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, Vol. J92-D, No. 10, pp. 1793-1801 (2009).
- ④ N. Suzuki and O. Watanabe. Perceptual costs for motion transparency evaluated by two performance measures. *Vision Research*, 査読有, Vol. 49, No. 17, pp. 2217-2224 (2009).
- ⑤ O. Watanabe. A neural model for stereo transparency with the population of the disparity energy models. *Neurocomputing*, 査読有, Vol. 71, No. 16-18, pp. 3158-3167 (2008).
- ⑥ 渡部修. 視覚情報の脳内表現と知覚パフォーマンス —モデル予測とその心理物理学的検証のケーススタディー—. 日本神経回路学会誌, 査読有, Vol. 15, No. 3,

pp. 193-202 (2008).

[学会発表] (計14件)

- ① 横山裕樹, 渡部修. 多階層予測符号化モデルに基づく高次パターン認識. 電子情報通信学会技術研究報告, NC2009-169 (2010).
- ② 渡部修. 心理物理学的逆相関法による脳内メカニズムの非線形特性分析手法. 電子情報通信学会技術研究報告, NC2009-118 (2010).
- ③ 渡部修. 逆相関法を用いた視覚メカニズムの非線形特性の推定. 映像情報メディア学会技術研究報告, HI2010-71/3DIT2010-23 (2010).
- ④ O. Watanabe. Correlation effect on stereo transparency. *Proceedings of the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 619-622 (2009).
- ⑤ 豊田有人, 渡部修. 運動検出ニューロンのポピュレーションで窓問題を解決する神経回路モデル. 日本神経回路学会第19回全国大会講演論文集, pp.170-171 (2009).
- ⑥ 広瀬裕樹, 渡部修. 予測符号化モデルに基づく位置ずれに対して頑健な多階層モデルの提案. 日本神経回路学会第19回全国大会講演論文集, pp.104-105 (2009).
- ⑦ 渡部修. 連続音声系列における統計的規則獲得の実験的検証. 日本心理学会第73回大会発表論文集, p. 602 (2009).
- ⑧ 渡部修, 早坂美樹. 音声系列の文法的規則獲得における統計学習の役割. 電子情報通信学会技術研究報告, NC2008-134 (2009).
- ⑨ 渡部修, 早坂美樹. 統計情報による連続音声系列の規則獲得についての一考察. *Sensing and Perception* 16, pp.47-54 (2009).
- ⑩ 金浜和広, 渡部修. 色と運動の組み合わせ実験におけるタスク依存性. 日本神経回路学会第18回全国大会講演論文集, pp. 156-157 (2008).
- ⑪ 広瀬裕樹, 渡部修. 予測符号化モデルの多層化に関する研究. 日本神経回路学会第18回全国大会講演論文集, pp.148-149 (2008).
- ⑫ 大西史訓, 渡部修. テクスチャ手掛りのランダム性が視差との奥行き統合に及ぼす影響. 日本神経回路学会第18回全国大会講演論文集, pp. 58-59 (2008).
- ⑬ O. Watanabe. Stereo transparency in ambiguous stereograms that have potential matches leading to both transparency and non-transparency

perceptions. Perception, Vol.37 ECVF Abstract Supplement, p.16 (2008).

- ⑭ O. Watanabe and N. Suzuki. Perceptual cost for motion transparency depends on the measures of psychophysical performance. Proceedings of the 2008 IEEE Conference on Soft Computing in Industrial Applications, pp.234-239 (2008).

[その他]

ホームページ等

<http://cortex.csse.muroran-it.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡部 修 (WATANABE OSAMU)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：50343017