

令和元年5月29日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26285162

研究課題名(和文) 環境からの要約的特徴抽出に基づく適応的知覚処理の解明

研究課題名(英文) Investigation of adaptive perceptual processing that relies on summary statistics extracted from environment

研究代表者

木村 英司 (Kimura, Eiji)

千葉大学・大学院人文科学研究院・教授

研究者番号：80214865

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は環境からの要約的特徴抽出に基づく適応的知覚処理に関して検討することを目的とし、研究の結果、以下の4課題について重要な知見を得ることができた。1) 環境から要約的特徴がどのように抽出されるか。2) 環境内の諸特徴に応じて知覚機能がどのように補正されるか。3) 環境と知覚処理がどのように相互作用しているか。4) 運動-感覚間の関係はどのように再校正されているか。得られた知見には、例えば以下のものが挙げられる。多色パターンにおける色の平均化は、色要素のバラツキに依存して行われる。両眼での色知覚の一貫性を維持するために、左右眼の情報を統合する補正過程が関与している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間が複雑でダイナミックな自然環境で適応的に行動するためには、環境内の統計的規則性を利用し、効率よく大量の情報を要約してコンパクトな表象を形成することが重要となる。本研究により、そうした要約的特徴抽出に基づく適応的知覚処理の諸側面が明らかとなった。こうした知見は、人間が環境内で行動する上でどのような特徴が重要であるのか、そして逆に、どのような情報を見落としやすいのかを示すものであり、人間の知覚処理の一般的特性の解明といった学術的意義だけでなく、緊急時、あるいは瞬時の判断が必要とされる際の効率的な情報提示といった応用的・社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：This study investigated adaptive perceptual processing that relies on summary statistics extracted from our environment. We obtained important findings in the following 4 sub-topics. 1) How are summary statistics extracted from the environment? 2) How is perceptual function compensated based on the extracted summary statistics? 3) How do our adaptive perceptual processing and our environment interact each other? 4) How is the relation between our action and perception recalibrated after changes in the environment? Our findings include: a) Averaging of multiple color elements depends on the variability of color elements, and b) Binocular color perception is held consistent by a compensatory process that integrates color signals from the left and right eyes.

研究分野：実験心理学

キーワード：知覚 適応 順応 要約的処理

1. 研究開始当初の背景

人が日常接している外界は、極めて冗長であり、周囲の、あるいは、先行する情報によって対象の特性を予測可能なことが多い。こうした状況で外界を効率よく認識するためには、環境の全体的概要を表す要約的・統計的特徴(平均や分散など)を捉えること、そして、それに応じて入力情報と知覚応答のマッピング(知覚的符号化)を柔軟に調整することが適応的な方略となる。このため、人が外界の要約的特徴をどのように抽出しているか、そして、外界に対して、順応などの働きを通じて、どのように知覚的符号化を調整しているのかを解明することは、知覚処理を理解する上で極めて重要な課題となる。こうした要約に基づく知覚処理の適応的調整により、照明をはじめとする外界の様々な変化が相殺され、短期的・長期的な知覚機能の変動が補正され、一貫して安定した知覚が維持されていると考えられる。

2. 研究の目的

人の知覚系は、外界から要約的・統計的特徴を抽出し、それに基づいて知覚的符号化を調整することによって、冗長性の高い自然環境の中で、素早く、効率的に適応的な知覚処理を行っていると考えられる。本研究の目的は、こうした環境からの要約的特徴抽出に基づく適応的知覚処理を体系的に検討していくことであり、具体的な課題は以下の通りであった。1) 要約的特徴の抽出過程の検討: 特に、照明に対する順応や、色や明度の恒常性を維持するのに重要だと考えられる、明るさと色に関して要約的特徴の抽出過程を解明する。2) 知覚機能の補正処理過程の検討: 個人内、個人間における知覚機能の不均一性を補正する際に、環境内の諸特徴がどのように利用されているのかを明らかにする。3) 環境と知覚処理の相互依存性の検討: 知覚系が処理の対象としてきた自然環境における統計的特徴と知覚処理との相互依存性を検討する。4) 感覚様相間、運動-感覚間の相互作用の検討: 特に、感覚様相間、運動-感覚間での時間的一貫性を再較正する過程を解明する。

3. 研究の方法

研究目的で上げた検討課題に沿って研究を進めた。紙面が限られるため、以下ではその一端を示す。

1) 要約的特徴の抽出過程の検討

(a) 平均色抽出過程: 平均色の処理に関しては、小さな要素(視角 $3.3'$)から成るモザイク刺激の平均色抽出過程に関して検討した。実験では、多色モザイク刺激を構成する要素の分布や頻度を操作した刺激を用意し、その平均色を、空間的に一樣な刺激の色を調整しマッチングさせることにより測定した。

(b) 平均的明るさと明るさの分散を処理する過程: 複数要素の明るさの要約処理に関して、要素の明るさを統合して平均する処理と、要素の明るさの分散(バラツキ)を捉える処理のそれぞれに関して検討した。平均的明るさ処理に関しては、要素数の異なる刺激間で平均的明るさの比較判断を行わせ、総光量を使用したり、あるいは、最大輝度(もしくは最小輝度)を用いたりして課題を遂行することが難しい課題を設定して検討した(刺激提示時間は200ミリ秒)。要素の明るさの分散処理に関しては、特定の指標を指定することなしに輝度分布の弁別を行わせる課題や、バラツキを用いることを指定した条件での刺激弁別課題を用いて検討を進めた(刺激提示時間は47ミリ秒)。

2) 知覚機能の補正処理過程の検討

(a) 左右眼での色知覚の一貫性の維持: 片眼の色情報を操作しその状況に順応させた状況下で、異眼間での色知覚の一貫性を維持する過程に関して検討を進めた。実験では、黄または青、あるいは、赤または緑のカラーフィルタを片眼に装着し、生活空間で両眼視順応を行った後、フィルタ眼・非フィルタ眼・両眼のそれぞれで、無彩色に見える色度を測定し、両眼での色補正メカニズムを検討した。

(b) 色順応が異眼間色差閾に及ぼす効果: 左右眼に異なる色刺激を提示した際に、それら色刺激間での色差の検出は、単眼性色処理過程では行うことができず、両眼性色処理過程によってなされると考えられる。さらに、左右眼の網膜上での対応部位における色差処理は、左右眼での色知覚の一貫性の維持に寄与していると考えられる。そこで、左右眼の対応部位と非対応部位における色差閾を検討するとともに、色差閾に対する色順応の効果を調べることで、両眼性色処理過程の特性に関して検討した。

(c) 視界のかすみに対する補正過程: 人間の視覚は加齢に伴い変化し、特に高齢者に多い白内障を発症すると、視界にかすみが生じ、結果として視界の彩度が低下する。こうした彩度変化の補正過程に関して検討するため、フォギーフィルターを用いて視界をかすませた条件と通常の観察条件のそれぞれにおいて、自然画像に対する彩度知覚を検討した。

3) 環境と知覚処理の相互依存性の検討

(a) 照明の色と拡散性が物体の色認識や質感に与える影響: 近年、新たな光源の開発が活発であり、これまでにない光源が照明として利用されることにより、物体の見えやその質感が大きく変化すると考えられる。そのため照明の色(分光特性)や拡散性を操作し、それが照明下の物体の認識や質感(主として光沢感と凹凸感)に及ぼす効果を検討した。

(b) 自然画像における色欠損の見落とし：短時間提示された自然画像（70 ミリ秒）を認識する際には、その一部から色情報を取り除いたとしても、その欠損に気づかずに全面フルカラーだと知覚されることがある。これは、人が視野内の全ての詳細を綿密に捉えているわけではなく、概要を抽出し活用していることによると考えられる。本研究では、こうした色欠損の見落とし現象に関して、色識別性（情景と色との統計的な結びつきの強さ。例えば、「森林」は緑色と強く結びついている一方で、「居間」は特定の色との結びつきが弱い）の効果や、画像の色操作の効果を検討した。

(c) 環境内の確率的特性が時間の長さ知覚に及ぼす効果：環境の統計的特徴が知覚処理に及ぼす効果に関して、本来は、特定の知覚属性の処理には無関係な事象の確率的特性が、知覚処理のための手がかりとして利用され影響を及ぼすことがある。本研究では、視覚刺激が提示される視野位置の確率的偏りが、その刺激の持続時間の知覚に及ぼす効果を検討した。

4) 感覚様相間、運動 - 感覚間の相互作用の検討

(a) 身体運動 - 視覚時間再較正における注意と気付きの効果：運動 - 感覚間で時間的一貫性を維持するためになされる時間的再較正過程に関して、身体運動であるキー押しとそれに対する視覚的フィードバック刺激との間に遅延を設けた状況において、繰り返し曝露されることにより生じる時間再較正に関して検討した。特に、フィードバック刺激の遅延に対する注意と気付きの効果を検討した。

(b) 視覚的運動の同化 / 対比的処理の決定要因：静止刺激が運動刺激と同方向に動いて見える運動捕捉と、逆方向に動いて見える誘導運動という2通りの運動錯視の成立原理の特定を試みた。

4. 研究成果

方法のセクションで述べた研究に関して、研究成果の概要を報告する。

1) 要約的特徴の抽出過程の検討

(a) 平均色抽出過程：モザイク刺激の平均色抽出過程に関しては、要素の分布や頻度を操作して平均処理しやすい条件を設定しても、平均色は測色平均とは一致せず、より鮮やかな方向にシフトすること、そして、そのシフト量は要素色の分散に規定されており、分散が大きい時にシフトが大きいことを示した。その一方、平均色の色相は測色平均からの予測とよく一致していた。これらの結果は、色相と彩度が異なる様式で平均化されている可能性を示唆している。

また、分散の効果に関しては、感覚情報にノイズが多いときに、視覚系は、より鮮やかでコントラストの高い要素を重視して効率的に対象の特徴を表象する方略をとっていると考えられる。

(b) 平均的明るさと明るさの分散を処理する過程：明るさ平均処理に関しては、人は複数要素の平均的明るさを効率よく抽出しており、輝度の異なる複数要素の平均的な明るさの弁別判断をさせると、その成績は、単一要素に対する判断と同程度、あるいはそれ以上に優れていることが明らかとなった。ただし、判断される平均的明るさは、算術平均からずれていた。刺激や課題を変えながらさらに検討を進めたところ、こうした平均的明るさ判断に見られるバイアスは固定されたものではなく、課題や教示に応じて柔軟に調整されることが明らかとなった。例えば、2つの刺激のうち平均的明るさが明るい方を選ばせると、刺激に含まれる最大輝度を重視する形で判断が行われ、その結果、より明るい方向へと平均判断がシフトした。これに対して、2つの刺激のうち暗い方を選ばせると、今度は最小輝度を重視した判断が行われ、より暗い方向へと平均判断がシフトした。

明るさのバラツキ判断に関しては、まず、平均輝度を揃えた刺激間で、特定の指標を指定せずに輝度分布の弁別を行わせたところ、2つの刺激の輝度分布の標準偏差（バラツキ）の差により実験結果をうまく記述できることが示唆された。このため、バラツキの違いに基づいて刺激を弁別させたところ、極めて効率よく正確に判断できること、そして、その弁別成績は標準刺激の分散の大きさによらず変わらない（輝度のバラツキ弁別に関しては、Weber の法則が成立しない）ことも明らかとなった。輝度の平均処理では課題に応じた柔軟性が認められたのに対して、分散処理では認められなかったことから、平均と分散では質的に異なる処理がなされていると考えられる。

2) 知覚機能の補正処理過程の検討

(a) 左右眼での色知覚の一貫性の維持：まず、黄または青のカラーフィルタを片眼に装着した条件では、全被験者において両眼の無彩色知覚点は各眼の知覚点の間となった。この結果は、各眼の色情報を統合・補正する両眼色処理過程の存在を示唆するものである。さらに、この両眼での補正メカニズムに関しては、色相による特異性も観察された。続いて、赤または緑のカラーフィルタを片眼に装着した条件も加えて検討した結果、色相に関わらず両眼の無彩色知覚点は各眼の間となることが明らかとなり、各眼の情報を統合して両眼色知覚を形成していることが示された。また、フィルタ装着後の両眼視による無彩色知覚点は、いずれも黄赤方向にシフトしていたことから、各眼の色情報が異なる条件特有の補正メカニズムの存在が示唆された。

(b) 色順応が異眼間色差閾に及ぼす効果：左右眼の対応部位と非対応部位における色差閾を検討したところ、対応部位では、非対応部位と比較して色差閾が大きく、また、色順応の影響が強く認められた。非対応部位では、色順応の効果はほとんど認められなかった。単眼性の色順応と両眼性の色順応の効果に関して検討したが、両者には大きな違いが認められなかった。

以上の結果は、左右眼で色情報を比較する両眼性色処理過程における色差検出は、左右眼の対応部位と非対応部位とは異なっており、特に対応部位においては、おそらくは異眼間で色知覚の整合性を維持するために、独特の色差処理が行われていることを示唆している。

(c) 視界のかすみに対する補正過程：自然画像に対して自然な彩度範囲を求めたところ、フォギーフィルターを通した観察条件では、視界の彩度が低下するにもかかわらず、彩度知覚は通常条件とほぼ同等であった。これは、かすみによる視界の変化に対する瞬間的で強力な補正機能の関与を示唆するものである。

3) 環境と知覚処理の相互依存性の検討

(a) 照明の色と拡散性が物体の色認識や質感に与える影響：照明の拡散性に関しては、拡散性が増加するほど光沢感と凹凸感は減少するという関係を明らかにした。一方、色認識への影響は小さいことが示唆された。また、物体表面の光沢感と凹凸感の知覚が測光量及び画像統計量の組み合わせにより予測できる可能性と、物体の忠実な質感再現に適した照明条件を設定できる可能性が示された。照明の色に関しては、実空間では物体の光沢度に関わらず高い色恒常性を得られること、また、鮮やかさの知覚は順応条件と周囲条件に適応して変化することが示された。画像の場合には、実空間と比較して全体的に色の恒常性が低下するが、観察条件によっては向上することもあることを示した。さらに、分光画像を用いた色の見えのシミュレーションモデルも提案した。

(b) 自然画像における色欠損の見落とし：色欠損の見落とし現象の生起頻度に関して色識別性の効果は認められず、色識別性の強い情景でも低い情景でも大きな違いはなかった。その一方で、自然画像の色を全体として補色に変換したところ、色の欠損に気づきやすくなることが明らかとなった。信号検出理論に基づく分析により、画像の配色が自然で、生態学的環境の統計的特徴と一貫した刺激では、本来存在するはずの情報の欠損に気づきにくく、それにより見落としが生じていることが示唆された。

(c) 環境内の確率的特性が時間の長さ知覚に及ぼす効果：視覚刺激の持続時間の知覚に関して、特定視野位置による偏りがある場合、繰り返し提示が視野位置を手がかりとする学習を可能にするのかを検討した。その結果、視野位置による偏りの学習はなされず、むしろ視野位置に関係なく直前に提示された刺激との差を強調することによって時間の長さについての判断を行うという戦略を視覚系がとっていることが見出された。

4) 感覚様相間、運動 - 感覚間の相互作用の検討

(a) 身体運動 - 視覚間時間再較正における注意と気付きの効果：フィードバック刺激の遅延に対する注意と気付きの効果については、まず、注意容量に制約を行っても時間的再較正にはほとんど影響が認められなかったのに対し、フィードバックの遅延への気付きがないと、明確な再較正が認められないことが見出された。通常、注意と意識とは同様の効果が認められることが多いが、身体運動 - 視覚間時間再較正については、注意と意識のそれぞれが異なる仕方での時間的再較正に寄与していることが示唆された。また、遅延への気付きの効果についてさらに検討を進めたところ、遅延への気づきは身体運動と視覚刺激との間の時間順序判断における再較正には必要であったが、同時性判断における再較正には不必要であった。身体運動と知覚刺激間の時間的關係に関する要約的処理の基礎が課題によって異なることが示された。

(b) 視覚的運動の同化 / 対比的処理の決定要因：要素間の共通運命要因があると静止刺激が運動刺激と同方向に動いて見える運動捕捉が生じ、要素間に共通運命要因がないと、静止画像が運動刺激と逆方向に動いて見える誘導運動が成立することを確認し、運動捕捉と誘導運動の分岐が要素間の共通運命要因の有無であることを見出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 22 件)

Yamazoe, T., Funaki, T., Kiyasu, Y., & Mizokami, Y. (2019). Evaluation of material appearance under different spotlight distributions compared to natural illumination. *Journal of Imaging* 5(2), 31. doi: 10.3390/jimaging5020031 (査読有)

Kimura, E. (2018). Averaging colors of multicolor mosaics. *Journal of the Optical Society of America A*, 35(4), B43-B54. doi: 10.1364/JOSAA.35.000B43. (査読有)

Chang, C.-K., Mizokami, Y. & Yaguchi, H. (2018). Computational design of simulated multi-primary display spectral bands for spectral colour reproduction. *Journal of the International Colour Association*, 21, 52-73.

https://aic-color.org/resources/Documents/jaic_v21_04.pdf (査読有)

Sakuma, N., Goryo, K. & Kimura, E. (2017) Rapid proportion comparison with spatial

arrays of frequently-used meaningful visual symbols. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(11), 2371-2385. doi: 10.1080/17470218.2016.1239747.

(査読有)

Wan, X., Kobayashi, H., & Ichikawa, M. (2017). Memory texture as an important factor affecting improvement of subjective image sharpness by using noise addition.

Bulletin of the Society of Photography and Imaging of Japan, 27(2), 32-39.

https://www.spij.jp/wp-content/uploads/2019/02/BSPIJ27_032.pdf (査読有)

Ichikawa, M., & Masakura, Y. (2017). Motion capture depends upon the common fate factor among elements. *Perception*, 46(12), 1371-1385. doi: 10.1177/0301006617720123. (査読有)

Morimoto, T., Mizokami, Y., Yaguchi, H., & Buck, S. L. (2017). Color constancy in two-dimensional and three-dimensional scenes: Effects of viewing methods and surface texture. *i-Perception*, 8(6):2041669517743522. doi: 10.1177/2041669517743522 (査読有)

Tsujita, M. & Ichikawa, M. (2016). Awareness of temporal lag is necessary for motor-visual temporal recalibration. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9:64. doi: 10.3389/fnint.2015.00064. (査読有)

Sawayama, M. & Kimura, E. (2015) Stain on texture: perception of a dark spot having a blurred edge on textured background. *Vision Research*, 109 PartB, 209-220. doi: 10.1016/j.visres.2014.11.017. (査読有)

[学会発表] (計 138 件)

喜安 勇貴, 溝上 陽子, 矢口 博久 (2019). 照明の拡散性の変化と物体の表面特性が光沢感と凹凸感に与える影響. 日本視覚学会 2019 年冬季大会, 横浜, January 30, 2019. (ベスト・プレゼンテーション賞受賞)

Masumitsu, T. & Mizokami, Y. (2018). Effect of natural combination of saturation and lightness Contrast on colorfulness adaptation, The 4th Asia Color Association Conference, Chiang Mai, December 6, 2018

Mizokami, Y., Nozaki, W. & Yaguchi, H. (2018). Stable colour appearance among change in the diffuseness of illumination. The CIE 2018 Topical Conference on Smart Lighting in Taipei, Taipei, April 26, 2018

Kimura, E. & Takano, Y. (2018). Task-dependent weighted averaging in mean brightness comparison. Optical Society of America Fall Vision Meeting, Nevada, U.S.A., September 22, 2018.

Tsujita, M., & Ichikawa, M. (2018). Recalibration of audio-visual simultaneity judgment depends upon awareness of temporal lag. European Conference on Visual Perception, Trieste, Italy, August 28, 2018.

Kimura, E. & Takahashi, N. (2017). Blindness to absence of color in natural scene images. The 24th Symposium of the International Colour Vision Society, Erlangen, Germany, August 22, 2017.

Kimura, E. & Takahashi, N. (2017). Does color diagnosticity enhance subjective experience of full-color natural scenes? The 17th Annual Meeting of Vision Sciences

Society, St. Pete Beach, U.S.A., May 21, 2017.

Tsujita, M., Yamada, K., & Ichikawa, M. (2016). The effect of awareness of temporal lag on motor-visual temporal recalibration varies with judgment tasks. European Conference on Visual Perception, Barcelona, Spain, August 31, 2016.

Ichikawa, M. & Masakura, Y. (2016). Illusory rotation and motion capture depend upon common fate factor among elements, The 16th Annual Meeting of Vision Sciences Society, St. Pete Beach, U.S.A, May 16, 2016.

〔図書〕(計6件)

一川誠 (2016) 「時間の使い方」を科学する. PHP 研究所, 221 頁.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：一川 誠

ローマ字氏名：**Makoto Ichikawa**

所属研究機関名：千葉大学

部局名：人文科学研究院

職名：教授

研究者番号 (8桁)：**10294654**

研究分担者氏名：溝上 陽子

ローマ字氏名：**Yoko Mizokami**

所属研究機関名：千葉大学

部局名：工学研究院

職名：教授

研究者番号 (8桁)：**40436340**

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。