

対象認知におけるコンテクストによる特徴への感度変化

近藤武夫・利島 保

(2001年9月28日受理)

Effect of context on changes of sensitivity to objects' features.

Takeo Kondo and Tamotsu Toshima

When recognizing three-dimensional (3-D) objects, interobject similarity and stimulus density affect sensitivity to spatial frequencies (Kondo & Toshima, 2000). However, it has not examined whether effect of interobject similarity and stimulus density available under the condition of 3-D object recognition only or not. We investigated this question by carrying out an experiment that was removed view factor from Kondo & Toshima (2000). From the result, there was no interaction among factors of interobject similarity, stimulus density and spatial frequency, it suggest that interobject similarity and stimulus density do not affect spatial frequency under the condition of two-dimensional object recognition.

Key Words: Three-dimensional object recognition, Spatial frequencies

日常、我々の目に映る様々な光景は、本来、網膜上に投影された光にすぎない。しかしその光は、視覚システムを経由するうちに、視覚刺激として様々に処理を受けることで、やがて何らかの対象として認知される。つまり、単なる光と陰(明暗)の違いにすぎなかったものが、机、本棚、本、さらには文字など、我々にとって有意義な対象として認知されるのである。このような視覚システムの経路における処理についての研究は、古くから数多く行われてきた。視覚システムにおいて、視覚情報は、大域的な特徴の変化についての情報を含む低空間周波数、そして局所的な特徴の変化についての情報を含む高空間周波数、というように、視覚システムにおいて複数の空間周波数チャンネルに分けられて処理される(Singer & Bedworth, 1973; Poggio, Doty, & Talbot, 1977)ことが示唆されている。初期の研究では、このような空間周波数には、低空間周波数がまず処理され、その後高空間周波数が処理される、といった、知覚的に決定された処理順序があると考えられていた。

しかしたとえば、沢山の椅子の中から、ある特定の椅子を探すときを考慮してみよう。そのようなときには「椅子の脚がわずかに湾曲している」などの、対象の局所的な特徴の違いにまずはじめに注目して、効率的な認識を行っていることがある。視覚システムにお

ける空間周波数の処理においても、前述のような「大域から局所へ」といった、あらかじめ決定された処理順序は存在しないことが示唆されている(Parker, Lishman, & Hughes, 1996)。さらにOliva & Schyns, 1997は、シーンの知覚において、被験者に複数の空間周波数成分からなるハイブリッド刺激(それぞれの空間周波数の画像は有意義な刺激)を呈示すると、先行呈示されたハイブリッド刺激(特定の空間周波数からなる有意義な刺激と、それとは異なる空間周波数からなるノイズの複合刺激)のうち、有意義であった方の空間周波数を選択的に知覚するという現象を報告した。Oliva & Schynsは、課題解決の際の課題要求にとって有効であった情報が選択的に知覚されたと説明している。この説明から、課題を解決するために必要な特徴情報を持った空間周波数チャンネルが優先的に知覚されると考えられる。

また、単一の対象の知覚については、同一人物の顔であっても、表情の認識、特に笑顔の認識の際には低空間周波数が主に利用され、既知顔の認識の際には中域の空間周波数が主に利用されることが報告されている(永山・吉田・利島, 1999)。このように、同一人物の顔、すなわち同じ物体についても、課題要求によって利用される空間周波数情報が異なっていることが示唆されている。

他方、同じ物体認識処理でも、顔認識と一般的な物体認識では、異なる処理システムが存在すると言われている (Farah, Wilson, Drain, & Tanaka, 1995)。特に、一般的な物体の認識では、知覚システムにおける空間周波数帯の優先的処理や、知覚的に決定された処理順序などの研究 (例えば、Ginsburg, 1986) や、物体そのもの持つ特性と処理される空間周波数の関係 (例えば物体の複雑性については Hoeger, 1997) が研究されてきたが、課題要求と利用される空間周波数との関係については検討されてこなかった。顔認識では課題要求によって利用される空間周波数が異なることが示唆されているが、一般的な物体の認識においても、課題要求の違いにより、顔認識と同じように利用される特徴情報が変化するか否かは明らかではなかった。これについて、近藤・利島 (2000) は、三次元物体の遅延弁別課題において、標的として記憶する物体の数 (記憶項目数) と、それら標的物体間の類似性という要因を操作すると、記憶項目数と類似性がともに高い条件で、低空間周波数への感度低下が観察され、更に、標的物体間の類似性が低く、記憶項目数が多い条件で、低空間周波数について視点依存性が観察されたことを報告した。これらの結果から、三次元物体認識においては、物体そのもの持つ特性ではなく、記憶項目数と類似性という、課題の持つコンテキストの変化によって、空間周波数への感度変化が起こることが示唆された。

しかし、近藤・利島 (2000) の結果は、① 空間周波数を操作した刺激画像そのものに対して、被験者に弁別判断を下させたことによる課題の困難度の増加によるものではなかったか、という問題と、もしそうであった場合、② 類似性と記憶項目数という要因が、空間周波数への感度変化を起こす (近藤・利島, 2000) という結果は、三次元物体認識に特有の問題ではなく、二次元をも含んだ対象認知全般に関わる問題ではないか、という疑問がある。そこで、本研究では、この疑問に取り組むための実験を実施した。① の問題を回避するため、本実験では、Parker ら (1996) の実験手続きを参考に、空間周波数を操作していない刺激に対して被験者の弁別判断を求めた。具体的には、プライム刺激として空間周波数を操作した刺激を 100 ms 呈示し、弁別判断を行う刺激 (プローブ刺激) には、空間周波数を操作していない通常の画像を呈示した。また、② の疑問を明らかにするため、近藤・利島 (2000) から、刺激物体について、三次元物体認識特有の条件である、視点の変化の要因をのぞいた実験を行った。類似性と刺激項目数という要因の、視覚システムの空間周波数感度への影響が、もしも三次元物体認識特有の問題で

はなく、対象認知全般に関わるものであれば、本実験の結果でも、類似性と記憶項目数の要因と、空間周波数の要因に交互作用が見られるであろう、という仮説を立て、これを検証した。

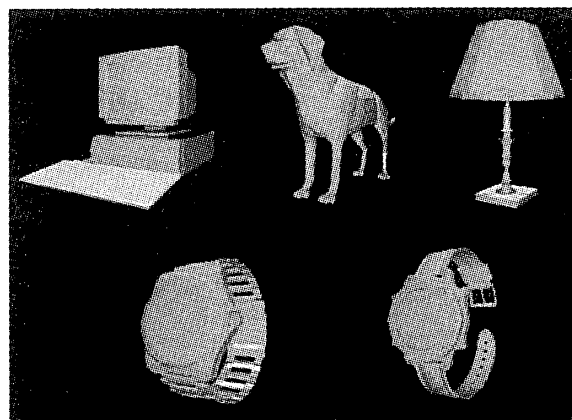


Figure 1. 実験で用いた三次元物体の例.

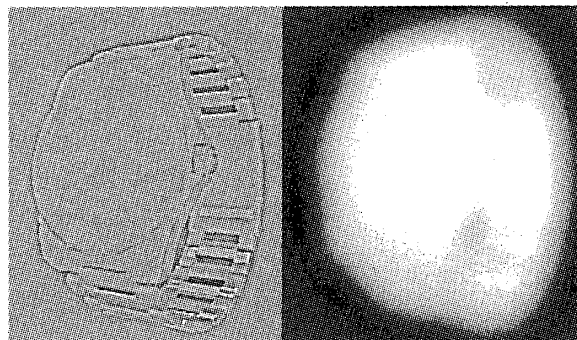


Figure 2. 空間周波数を操作した画像の例.

方 法

被験者 広島大学の大学生および広島大学大学院の大学院生、計8名。平均年齢は23歳であった。視力は全員正常 (もしくは矯正) であった。

刺激 24カテゴリ (ボトル、自動車、椅子、デスクトップコンピュータ、犬、腕時計、ドラムセット、ギター、拳銃、砂時計、ランプ、電話機、顔、蜂、金槌、ライター、カメラ、ティーカップ、マイク、ピアノ、豚、飛行機、ストール、ドア) に属する三次元 (3-D) 物体モデル (<http://www.3dcafe.com/> で配布されている著作権フリー素材を使用) を刺激の材料とした。24カテゴリのうち12種類 (ボトル、自動車、椅子、デスクトップコンピュータ、犬、腕時計、ドラムセット、ギター、拳銃、砂時計、ランプ、電話機) には、類似性の高い物体として、同じカテゴリに属する別の物体 (同名異例物体) を用意したため、合計で36種類の3-D物体モデルを使用した。これら3-D物体モ

デルの例を Figure 1 に示す。図中、上段はカテゴリーの異なる三次元物体の例、下段は同じカテゴリーの三次元物体の例である。次に、この 3-D 物体モデルを正立正面の角度から40度回転した視点から観察した256×256ピクセルの256色グレースケール画像を作成した。正立正面よりも比較的可視表面が大きいことから、この回転角度を選択した。このグレースケール画像から、ハイパス刺激(34 cycles / pw 以上の空間周波数成分を通過するフィルタリングを行った画像)、ローパス刺激(6 cycles / pw 以下の空間周波数成分を通過するフィルタリングを行った画像)を作成した。これら空間周波数を操作した刺激画像の例を Figure 2 に示す。図中、左がハイパス画像、右がローパス画像である。また空間周波数を操作していない画像を標準刺激とした。これらの画像のサイズは、モニタに呈示し、観察距離54 cm で観察した際に5度の視角を張る大きさとした。

装置 刺激画像の呈示には、Cedrus 社製知覚実験用ソフトウェア、SuperLab for Windows を用いた。また、被験者が反応を行ったボタンには自作のスイッチボックスを使用した。被験者の観察位置を固定するために、顔面固定器を用いた。

実験計画 実験は、標的物体および非標的物体間の類似性(高/低)×記憶セッションで記憶する標的物体の数、つまり記憶項目数(多/少)×先行呈示される刺激の空間周波数(ハイパス刺激 Highpass filtered image、HIGHPASS /ローパス刺激 Lowpass filtered image、LOWPASS /空間周波数を操作していない標準刺激、FULLBAND) からなる 2×2×3 の被験者内要因計画として行った。

手続き 実験は、記憶セッションと弁別セッションに分かれていた。記憶セッションでは、標的物体が奥行回転する動画を観察し、その三次元形状を記憶した。またこのセッションでは、表示される三次元物体の形状をよく観察して記憶するだけで、他には何も行わなかった。呈示された三次元物体のアニメーションの数は、記憶項目数少条件では1つ、記憶項目数多条件では4つであった。記憶セッションの直後に実施する弁別セッションでは、標的または非標的物体の静止画像(弁別刺激)が200 ms 呈示され、呈示された画像が記憶セッションで記憶したものがどうかをボタン押しで判断した。非標的物体の静止画像は、類似性高条件では、標的と同じカテゴリーに属する物体の画像(類似性が高い画像)、類似性低条件では、標的とは異なるカテゴリーに属する物体の画像(類似性が低い画像)とした。また、弁別刺激に先行して100 ms 間、空間周波数を操作した刺激(ハイパス刺激/ローパス刺激)、もしくは空間周波数を操作していない刺激(標準刺激)を、そ

れぞれプライム刺激として呈示する条件を組み込んだ。

結果

各条件におけるプローブ刺激に対する平均反応時間を Figure 3 に示す。類似性、記憶項目数、空間周波数の3要因分散分析の結果、全ての要因の主効果に有意差が見られた。類似性の主効果($F = 55.575, p < .001$)、記憶項目数の主効果($F = 11.182, p < .01$)、空間周波数の主効果($F = 23.472, p < .001$)。しかし、すべての要因の主効果は有意であったが、交互作用はいずれの要因でも有意でなかった。つまり、空間周波数と他の2つの要因との交互作用も有意ではなかった。

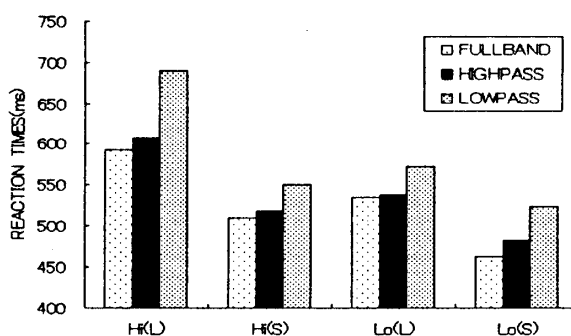


Figure 3. 各条件におけるプローブ刺激に対する平均反応時間。類似性条件(高/低: Hi / Lo), 記憶項目数条件(多/少: L / S)。

考察

本研究では、近藤・利島(2000)の結果が、①空間周波数を操作した刺激画像そのものに対して、被験者に弁別判断を下させたことによる課題の困難度の増加によるものではなかったか、という問題と、もしそうであった場合、②類似性と記憶項目数という要因が、空間周波数への感度変化を起こす(近藤・利島, 2000)という結果は、三次元物体認識に特有の問題ではなく、人次元をも含んだ対象認知全般に関わる問題ではないか、という疑問に取り組むための実験を実施した。①の問題を回避するため、本実験では、空間周波数を操作していない刺激に対して被験者の弁別判断を求めた。また、②の疑問を明らかにするため、近藤・利島(2000)から、刺激物体について、三次元物体認識特有の条件である、視点の変化の要因をのぞいた実験を行った。類似性と刺激項目数という要因の、視覚システムの空間周波数感度への影響が、もしも三次元物体認識特有の問題ではなく、対象認知全般に関わるものであれば、本実験の結果でも、類似性と記憶項目数の要因と、空

間周波数の要因に交互作用が見られるであろう、という仮説を立て、これを検証した。

実験の結果から、3 要因それぞれに有意な主効果は見られたが、記憶項目数と類似性の要因と空間周波数の要因には、交互作用が見られなかった。つまり、類似性、記憶項目数のいずれか、または両者が、特定の空間周波数に対する視覚システムの感度に影響を与えるとはいえず、前述の仮説は棄却された。近藤・利島 (2000) で観察された結果は、二次元をも含んだ対象認知全般の問題であるとは言えない。今後の実験として、本実験で用いた、プライムとして空間周波数を操作した刺激を呈示し、その後、弁別判断そのものには空間周波数を操作していない刺激を用いる、という実験手続きによって、本実験の3要因にさらに視点の要因を加え、近藤・利島 (2000) で得られた視点の変化による空間周波数への感度変化と同様の結果が得られるか否かについても検討する必要がある。

本実験の結果と、近藤・利島 (2000) の結果の比較で興味深い点は、三次元物体認識、すなわち、視点の要因が含まれていた実験においては観察された、空間周波数感度に対して類似性と記憶項目数が与えていた影響が、視点の要因を除去することによって観察されなくなった、という点である。三次元物体認識の条件下では、視点の変化にわたって、網膜上の二次元像が大幅に変化する。このような、単一の三次元物体における視空間座標の変換にかかる認知処理については、Shepard & Metzler (1971) のメンタルローテーション研究をはじめとして、数多く行われてきた。近年、メンタルローテーションのような対象の変換処理は、頭頂後部、下側頭部、前頭 (運動野など) を含んだ、脳内の大規模なネットワークを使用していることが示唆されている (Cohen, Perstein, Braver, Nystrom, Noll, Jonides, & Smith, 1997)。こういった高次脳領域の活性化は、初期視覚過程に対して、空間周波数感度をフレキシブルに変化させるといった形で、三次元物体の視空間座標変換処理に特異的なトップダウンの影響を与えているのかもしれない。

また、本実験での視覚刺激には、正面正立の状態よりも可視表面ができるだけ多い視点として、三次元物体を正面正立の状態から y 軸について40度回転させた視点から観察した際の二次元像を用いた。このような視点は、典型的景観 (Tarr, 1995) に類似していた可能性がある。マルチプルビュー理論 (Tarr, 1995; Tarr & Bulthoff, 1995; Tarr, Williams, Hayward, & Gauthier, 1998) では、三次元物体の内的表象は、複数の視点からその物体を観察した際の二次元像の集合であると考えられており、またそれらの二次元像のうち

で、「もっともその物体らしい見え」を「典型的景観」と呼んでいる。三次元物体の新奇な見えが呈示された際には、典型的景観からの変換という照合処理を行うことにより弁別を行っていると考えられている。本実験で用いた視点の空間周波数には類似性と記憶項目数の影響が見られなかったが、視点の要因が存在した近藤・利島 (2000) ではその影響が見られたのは、典型的視点とその他の視点に対する処理の違いを反映していると考えられる。典型的視点は物体の種類や、個人差によってどのような視点が採用されるかが異なると言われている (Blanz, Tarr, & Bulthoff, 1999) が、このような点から、典型的視点とその他の視点との認知的処理の違いを、今後、実験により検討する必要がある。

引用文献

- Blanz, V., Tarr, M. J. & Bulthoff, H. H. 1999 What object attributes determine canonical views? *Perception*, **28**, 575-599.
- Cohen, J. D., Perstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., & Smith, E., 1997 Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, **386**, 604-608.
- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, H. M., & Tanaka, J. R. 1995 The inverted face inversion effect in prosopagnosia: Evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms. *Vision Research*, **35**, 2089-2093.
- Ginsburg, A. P. 1986 Spatial filtering and visual form perception. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*, Vol. 2, Cognitive Processes and Performance. New York: John Wiley & Sons. Pp.34.1-34.41.
- Hoeger, R. 1997 Speed of processing and stimulus complexity in low-frequency and high-frequency channels. *Perception*, **26**, 1039-1045.
- 近藤武夫・利島 保 2000 三次元物体認識の視点依存性に影響を与える要因について 一空間周波数を用いた検討— 日本心理学会第64回大会発表論文集, 407.
- 永山ルツ子・吉田弘司・利島 保 1995 顔の表情と既知性の相互関連性—顔画像の空間周波数特性の操作と倒立呈示法を用いた分析—心理学研究, **66**, 327-335.

- Oliva, A. & Schyns, P. G. 1997 Coarse blobs or fine edges? Evidence that information diagnosticity changes the perception of complex visual stimuli. *Cognitive Psychology*, **34**, 72-107.
- Parker, D. M., Lishman, J. R., and Hughes, J. 1996 Role of coarse and fine spatial information in face and object processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **22**, 1448-1466.
- Poggio, G. F., Doty, R. W., Jr., & Talbot, W. H. 1977 Foveal striate cortex of behaving monkey: Single-neuron response to square-wave gratings during fixation gaze. *Journal of Neurophysiology*, **40**, 1369-1391.
- Shepard, R. N., & Metzler, L. A. 1971 Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **171**, 701-703.
- Singer, P. H. & Bedworth, N. 1973 Inhibitory interaction between X and Y units in the cat lateral geniculate nucleus. *Brain Research*, **49**, 291-307.
- Tarr, M. J. 1995 Rotating objects to recognize them: A case study on the role of viewpoint dependency in the recognition of three-dimensional objects. *Psychonomic Bulletin & Review*, **2**, 55-82.
- Tarr, M. J. & Bulthoff, H. H. 1995 Is human object recognition better described by geon structural description or by multiple views? Comment on Biederman and Gerhardstein, 1993. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **21**, 1494-1505.
- Tarr, M. J. & Bulthoff, H. H. 1998 Image-based object recognition in man, monkey and machine. *Cognition*, **67**, 1-20.
- Tarr, M. J. & Pinker, S. 1989 Mental rotation and orientation dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, **21**, 233-282.
- Tarr, M. J., Williams, P., Hayward, W. G., & Gauthier, I. 1998 Three-dimensional object recognition is viewpoint dependent. *Nature Neuroscience*, **1**, 275-277.

(指導教官：利島 保)