

3章 「超」高精細映像による奥行き知覚と脳機能

對馬 淑亮†

キーワード：超高精細映像，奥行き知覚，脳機能

1. まえがき

今日、われわれはかつて経験したことのないような高度なバーチャル世界の中で生きている。とりわけ、映像デバイス技術の発展はめざましく、もはやわれわれの視機能は、スーパーハイビジョンのような「超」高精細映像と実物を容易に見分けることが困難になっている¹⁾。こうした映像に対し、外界の情報を処理し、われわれの心にイメージをつくり出す脳の機能はどのようにはたしているのだろうか？これまで、映像技術の開発と脳科学研究とは別々に行われることが多く、技術は着実に進歩するが、その開発された技術が人間にとって何であるか、あまり検証されることはなかった。本稿ではこうした状況を踏まえ、超高精細映像が人にどのような効果を与えるか、また、そうした画像が脳内でどのように処理されるかを、解像度と立体感の関係について調べた研究を紹介しながら、人のためになる技術、人のニーズに応える技術開発に脳科学がどう活かされるべきかを考えていくこととした。

2. 「超」高精細映像

近年、デジタルディスプレイの市場では、高精細ディスプレイが数多く発表されている。例えば、スーパーハイビジョン(7,680×4,320ピクセル)は現行のハイビジョン(1,920×1,080ピクセル)の16倍の画素数を有し、一般的な視聴環境において、その画素構造を認識することはほぼ不可能に近く、実際に、そうした映像と実物を見分けることは困難である¹⁾。そのような中、こうした「超」高精細映像を観た人々から、実物感や臨場感の向上といったこと以外に、立体感や奥行き感が、従来のディスプレイ以上に感じられるという報告を数多く耳にするようになった。はたして、ディスプレイの精細さと立体感はあるのだろうか？(図1)



図1 高解像度(左)、低解像度(右)の同じ画像
どちらにより強い立体感を感じますか？

3. 奥行き知覚

網膜上に映し出される映像は2次元である。3次元空間に生きるわれわれは、網膜上の2次元情報から、さまざまな方法を使って、奥行き情報を生成し、3次元情報として認識している。奥行き知覚の方法には大きく二つ、すなわち、視覚対象の陰影や重なり具合などの手がかりから奥行き情報を得る単眼奥行き知覚と、両眼の視差を利用した両眼奥行き知覚があり(表1)、普段われわれはこれらの方法で得た情報を総合して、奥行き情報を得ている。

こうした奥行き知覚の中でも、陰影(輝度コントラスト)を手がかりとした単眼奥行き知覚はもっとも原始的な奥行き知覚の一つであり²⁾、これまで多くの研究が行われてきた。筆者らは、そうしたこれまでの脳科学の知見をもとに、また、ディスプレイの解像度とこうした陰影表現は大いに関係があることが推定されることから(図1)、陰影画像の表示解像度と奥行き知覚(立体感)の関係について調べる基礎的な心理物理実験を行った³⁾。加えて、このような課題における画像が脳内でどのように処理されているかを調べるため、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging,

表1 さまざまな奥行き知覚の方法

| | 奥行き知覚 |
|----|-------------------|
| 単眼 | 陰影、重なり、遠近法、運動視差など |
| 両眼 | 視差、輻輳など |

† NHK 放送技術研究所

"Relationship Between Depth Perception and Ultra High Definition Images" by Yoshiaki Tsushima (NHK Science and Technology Research Laboratories, Tokyo)

機能的磁気共鳴画像)装置を用いて実験を行った³⁾。

4. 実験

4.1 心理物理実験

立体感を表現する陰影画像として、片側に光源が存在する際の円筒を想定した陰影画像を用いた(図2)。高解像度で表現されているオリジナルの陰影画像(120 cycle/degree(cpd))と同じ大きさで、解像度の表現が異なる(ダウンコンバートされた)陰影画像を作成した(30, 60 cpd)。実験では、一試行ごとに、作成した3種類の画像から解像度の異なる二つの画像が無作為に選ばれ、コンピュータ画面上に上下に一秒間提示された(図2)。被験者は、二つの画像から、立体感をより強く感じる画像を一つ選んだ(立体課題、図2)。提示された一対の陰影画像において、画素構造が視認され解像度の差異が容易に弁別できる場合は、被験者が陰影からの立体感の判断とは異なる基準で比較して応答する可能性があるため、作成した画像の画素構造が視認できないと想定される視距離や輝度コントラストを設定した。また、そのような可能性を調べるため、統制実験として、別のセッションで、同じ視覚刺激を用いて、より高い解像度の画像を選ぶ実験も行った(解像度課題)。

その結果、解像度課題を行った時には、解像度の変化に対して解像度感に違いはなかったにもかかわらず、立体課題を行った時には、解像度が高くなると、立体感を強く感じるようになった(図3)。

4.2 脳活動計測実験

心理物理実験での立体感や解像度感といった主観評価に加え、使用した視覚刺激が脳内でどのように処理されているかを、客観的な指標を用いて調べるため、fMRI装置を使って脳活動計測を行った。使用した視覚刺激は心理物理実験と同様であった。今回の実験における立体感に特異的な脳活動を検出するため、立体課題を行っている脳活動を計測するとともに、陰影画像の輝度差を評価する輝度課題を行っている時の脳活動も計測し、立体課題遂行時の脳活動と輝度課題遂行時の脳活動の違いを比べることで、立体感特有の脳活動部位を推定することとした。

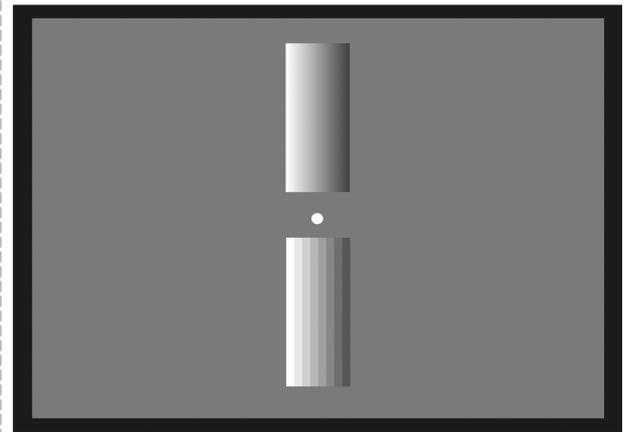
その結果、脳の視覚野の一つであるMT+(Middle Temporal Complex, 第5次視覚野(V5))の活動が、輝度課題遂行時よりも立体課題遂行時の方が有意に活動していることがわかった(図4)。

5. 考察

心理物理実験、脳活動計測実験の結果から、主に以下の三つが考えられる。

(1) 表示画像の解像度が上がると立体感が強く感じられる

これまで、表示画像の解像度と実物感に関する研究などはあったが¹⁾、解像度と立体感の関係を心理物理学的に統制された条件下で調べた研究はほとんどなく、表示解像度



どちらにより強い立体感を感じますか？
上？ それとも、下？

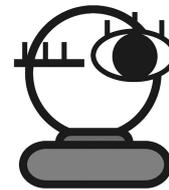


図2 心理物理実験(立体課題)

異なる解像度の陰影画像をみて、被験者は単眼で、立体感をより強く感じた画像を選ぶ。統制実験として行われた解像度課題でも同様の視覚刺激が用いられた(注意：実際の実験で使った画像は上図よりも小さく、また、輝度差も非常に小さい)。

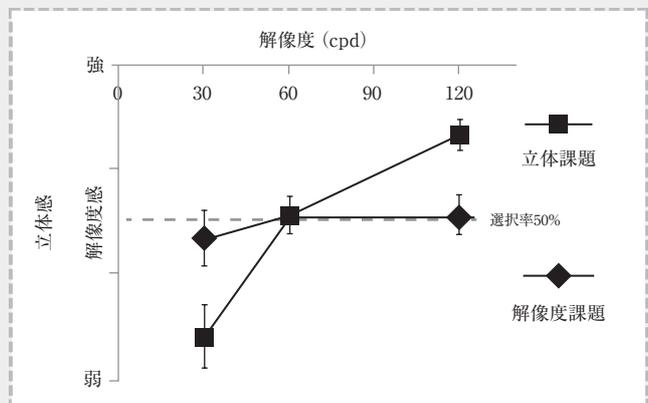


図3 立体課題と解像度課題の結果

解像度に対して立体感・解像度感の値の変化をグラフで示した(立体感、解像度感の値は一対比較法の一つであるBradley-Terry Modelを用いて算出した)。誤差棒は標準誤差を表す(被験者10名)。今回使用した視覚刺激では、解像度が上がると立体感を強く感じるが、解像度感に差はみられなかった(破線は選択率50%を示す)。

の向上が、単に映像の精細さや表現力を上げるだけでなく、立体感にも影響を与えることがわかったことは興味深い結果といえる。筆者は本稿で紹介した円筒状の陰影画像以外にも、より視覚情報処理を調べるために適していると思われるGabor patchを用いた陰影画像や、モノクロ自然画を用いた画像でも同様の結果を得ている。表示画像がカラー

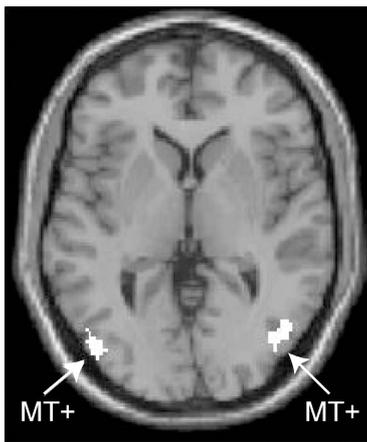


図4 陰影を手がかりとした単眼奥行き知覚に関係すると思われる脳活動部位。視覚野の一つであるMT+に有意な活動がみられた。

や動画になると、実験統制上、さまざまな制限がでてくることも想定されるが、今後は、この知見がより多くの種類の画像でも得られ、堅固な心理物理現象として広く認識されることが望まれる。

(2) 立体感と解像度感の受容特性には差がある

今回の実験では、視覚刺激は同じであったにもかかわらず、立体感と解像度感の受容特性に違いがあることがわかった。結果として、表示画像の解像度を上げることで、立体感には変化がみられるが、解像度感には変化がみられなかった。つまり、ある側面からは弁別できない刺激（閾下刺激）が、その閾下情報によって、他の感覚に変化をもたらしたのである。このような現象は、脳科学や認知心理学の現場ではよくみられる。例えば、Tsushimaらの実験によると、閾下刺激が閾上刺激よりも課題の遂行に大きな影響を与えることや⁴⁾、そうした閾下刺激が脳の可塑性に少なからぬ影響を与えることが報告されている⁵⁾⁶⁾。また、日常生活でもこうした現象はよく見受けられることである。例えば、「誰だかわからないけど、知っている人（確かに会ったことのある人）」に出くわすことが、大きな国際会議や社交の場ではよくある。この場合、具体的に○○さんの目、○○さんの鼻、○○さんの声、というようなことは認識できていないにもかかわらず、そうした閾下情報が相まって、「知っている人」という感覚になるのである。先の例とは話の次元に多少差があるかもしれないが、こうした閾下刺激も確かに脳内で処理され、知覚や感覚に少なからぬ影響を与えていることは、脳科学の世界ではよく見受けられる現象であり、今回のような実験結果は脳科学的に多分にあり得る結果なのである。

(3) 単眼の陰影手がかりによる立体感に関する脳活動がMT+にみられる

これまで主に、MT+は視覚刺激の動きに関する部位で

あるという報告が数多くなされ⁷⁾⁸⁾、また、両眼による奥行き知覚に大きく関与する部位であると言われてきた⁹⁾¹⁰⁾。それらに加え、今回の実験から、MT+は単眼奥行き知覚にも関係する部位であるということがわかった。このことは、MT+が担う神経学的な役割として新たな知見であり、また、MT+の根本的な役割を考える上で、たいへん重要な発見であると思われる。今回の脳活動計測実験は、あくまでも立体課題遂行時における特定の脳活動を検出したことにすぎないかもしれないが、今後は、MT+を軸として、あつめられた2次元の視覚情報がどのように統合され、処理されていくかを、他の脳部位との関連も調べながら、より詳細な神経メカニズムを解明していくことが望まれる。

6. 残されている課題

本稿で紹介した心理物理実験の結果より、解像度が上がると立体感が上昇することがわかった。しかし、なぜ解像度が上がることに伴って画像の立体感が上昇するのか？という問いには、紹介した実験結果からだけでは、その答えを導くことは困難である。一つの有力な仮説として、解像度の変化に伴う視覚刺激の周波数成分の変化がこうした心理物理実験の結果に大きく寄与したことが考えられる。一般に、2次元の知覚的な情報（perception）から得られる解像度感と違い、認知的な情報（cognition）から得られる立体感などは¹¹⁾、視覚刺激の低周波数成分に由来している場合が多く、これらの神経学的な情報処理の過程は異なると言われている¹²⁾¹³⁾。表示画像の解像度を変えることでその周波数成分が変化することは想定されることであり、こうした変化が今回の実験結果を引き起こした可能性は大いにある。この点に関して、周波数成分に着目した新たな心理物理実験を、MT+を含めた神経メカニズムを解明する研究とともに行うことで、この謎は解明に近づくと思われる。

7. むすび

本稿では、高精細映像に対する奥行き知覚と脳機能に関して、表示画像の解像度と立体感について調べた心理物理実験と脳活動計測実験を紹介し、それらをもとに、先端技術とそれを享受するわれわれの脳機能がどのような関係にあるかを考えてきた。紹介した心理物理実験や脳活動計測実験だけでは、解像度と立体感の関係について脳科学的な結論を出すにはまだ不十分な点はあるが、技術開発とそれに関わるわれわれの脳機能を研究することは、これからの「超」高精細技術がもたらす人への影響を知る上で、技術者、脳科学者の双方にとって、たいへん有意義であると思われる。なぜなら、脳科学者にとっては、ブラックボックスである脳に対して、これまででない新たな刺激（「超」高精細刺激）を投げかけることで、新たな認知機能、脳機能を知ることができるという利点がある。一方、技術開発者にとっては、開発した技術が人間にとって何かということ

知ること、ニーズに応えた開発の方向性を見定めることができ、コストや人員の面でも効率のよい開発に勤むことができると思われるからである。また、こうした技術開発研究と脳科学研究の融合が、新たな産業、学術分野を生むことも今後大いに期待される。本稿が、技術と人が共に進化するために、未来の価値ある技術開発とは何かを考える一助となることを切に願う。

(2015年4月6日受付)

〔文 献〕

- 1) K. Masaoka, Y. Nishida, M. Sugawara, E. Nakasu and Y. Nojiri: "Sensation of Realness from High-Resolution Images of Real Objects", Trans. Broadcast., IEEE, 59, pp.72-83 (2013)
- 2) V.S. Ramachandran: "Perception of shape from shading", Nature, 331, pp.163-166 (1988)
- 3) Y. Tsushima, K. Komine, Y. Sawahata and N. Hiruma: "Higher resolution stimulus facilitates depth perception: MT+ plays a significant role in monocular depth perception", Scientific Reports, 4, 6687, DOI: 10.1038/srep06687 (2014)
- 4) Y. Tsushima, Y. Sasaki and T. Watanabe: "Greater disruption due to failure of inhibitory control on an ambiguous distractor", Science, 314, pp.1786-1788 (2006)
- 5) T. Watanabe, J.E. Náñez and Y. Sasaki: "Perceptual learning without perception", Nature, 413, pp.844-848 (2001)
- 6) Y. Tsushima, A.R. Seitz and T. Watanabe: "Task-irrelevant learning occurs only when the irrelevant feature is weak", Curr. Biol. 18, R516-R517 (2008)

- 7) W.T. Newsome and E.B. Pare: "A selective impairment of motion perception following lesions of the middle temporal visual area (MT)", J. Neurosci. 8, pp.2201-2211 (1988)
- 8) G. Rees, K. Friston and C. Koch: "A direct quantitative relationship between the functional properties of human and macaque V5", Nat. Neurosci. 3, pp.716-723 (2000)
- 9) G.C. DeAngelis, B.G. Cumming and W.T. Newsome: "Cortical area MT and the perception of stereoscopic depth", Science, 394, pp.677-680 (1998)
- 10) T. Uka and G.C. DeAngelis: "Contribution of Area MT to stereoscopic Depth Perception: Choice-Related Response Modulation Reflect Task Strategy", Neuron, 42, pp.297-310 (2004)
- 11) J.J. Gibson: "The Ecological Approach to Visual Perception", Boston: Houghton Mifflin (1979)
- 12) M. Bar: "A cortical Mechanism for Triggering Top-Down facilitation in Visual Object Recognition", J. Cognit. Neurosci. 15, pp.600-609 (2003)
- 13) Bar et al.: "Top-down facilitation of visual recognition", Proc. Natl Acad. Sci. U.S.A. 103, pp.449-454 (2006)



つしま よしあき
對馬 淑亮 2009年、米・ボストン大学大学院博士課程修了。国際電気通信基礎技術研究所、米・ハーバード大学、独・レーゲンスブルク大学を経て、2012年より、NHK放送技術研究所において、高精細映像の認知特性、閾下知覚の研究に従事。現在、情報通信研究機構研究員、認知心理学者。PhD.



デジタル・アーカイブの最前線

時実象一 著

人類がこれまでに獲得してきた膨大な知的財産の記録・保存・管理が大きく変わろうとしています。

古代より情報はパピルス、粘土板、紙などに物理的・アナログ的に記録され、それらは専門家により博物館や図書館等で適切に保存・管理されてきました。しかし近年では、電子機器の普及とともに、映像・音声・テキストなどを“0”と“1”のデジタルデータ化して記録するデジタル記録技術が爆発的に進歩し、アナログデータはデジタルデータに置き換わりつつあります。また、一般の人たちもデジタルデータを簡単に生成することができるようになり、データを保存・管理する専門家の割合も相対的に減ってきています。これとともに、次々に生まれる情報は技術革新や急激な社会の動きによりどんどん更新され、多くの情報が知らない間に消えてなくなりつつあります。このままでは後世から見て、現代は多くの知的財産が失われた空白の時代になりかねません。

本書のテーマは、知的財産の保存方法であるデジタル・アー

カイブです。大規模災害の記録はもちろん、活字、映像、ウェブサイトなどで流通しているありとあらゆる情報は、すべて未来に残すべき貴重な知的財産です。その保存・管理は、人類がこれからの歩みを見つめ直すために欠くことはできません。この危機を憂い、芸術作品、伝統芸能、少数民族の言語まで、すべての知的財産をデジタル化してアーカイブするための取組みが、いま世界中で始まっています。

本書において、第1章では歴史を記録するアーカイブの例として、東日本大震災に関するアーカイブやテレビニュース、ウェブページの保存についてさまざまな活動が説明されています。第2章では、文化を記録するアーカイブである映画フィルム、家族写真、音や芸術作品の保存について記されています。第3章の活字を記録するアーカイブとしては、本、新聞、議事録や論文の保存について記述されています。第4章ではアーカイブの技術として、データのためのデータとして用いられるメタデータや、アーカイブデータ間に有機的に繋げるネットワーク技術について紹介されています。第5章ではこれからのアーカイブとして、著作権や個人情報・プライバシーなどの課題やデジタル・アーカイブの未来について提言が述べられ、全章を通じてデジタル・アーカイブの現状について俯瞰的に理解することができます。

本書はこれから情報の生産・流通について学ばれる学生や、知的生産に関わるすべての方々にとって、必読の書ではないでしょうか。

紹介 清水直樹 (NHK)

講談社刊 (2015年02月19日発行)、新書判、224頁、定価：860円+税