

陰影画像の表示解像度と立体感の関係

小峯一晃 對馬淑亮 澤島康仁 比留間伸行

A Relationship between Image Resolution and Depth Sensation in Shading Image

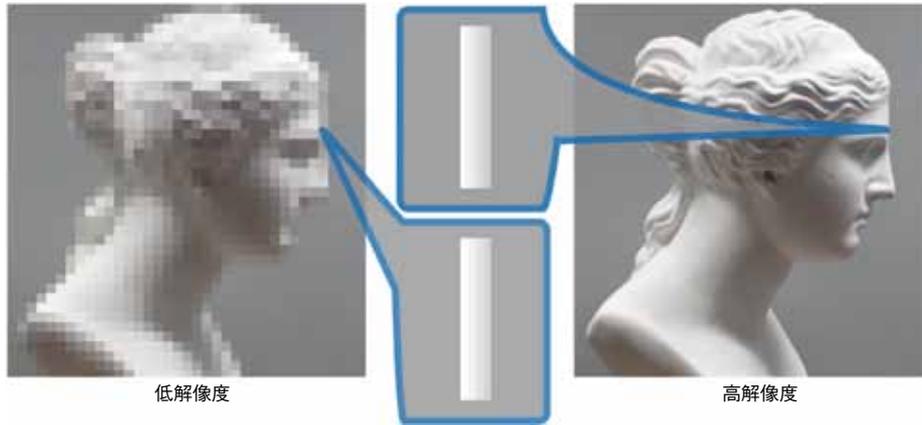
Kazuteru KOMINE, Yoshiaki TSUSHIMA, Yasuhito SAWAHATA and Nobuyuki HIRUMA

要約

8Kスーパーハイビジョン（8K Super Hi-Vision）のような超高精細映像の視聴時により強く感じられる立体感の特性を調べるために、両眼視差のない画像において奥行きを感じさせる手がかりの一つである陰影に着目し、陰影画像の表示解像度と奥行きの知覚との関係を調べる心理実験を行った。円筒を想定した矩形の陰影画像について解像度を変化させ、その際に感じる主観的な奥行きの強さ（奥行き感）を一対比較により評価した。また、同一の画像を用いて解像度感の強さについても評価した。その結果、解像度感についてはその差が判別できないような場合であっても奥行き感には差異が生じており、表示解像度が高いほどより強く奥行き感を感じていることが明らかになった。さらに脳活動の計測を伴う実験を実施し、これらの結果の有効性を支持するデータを得たほか、単眼によって奥行きを評価する際に特有の脳活動が、動きの知覚や両眼視差による奥行き知覚と関連の深い部位であるMT+において見られることを新たに確認した。

ABSTRACT

Viewers of high-quality images presented by the 8K Super Hi-Vision system frequently report strong sensations of depth. However, little is known as to how such high-quality images contribute to the sense of depth. In order to examine the relationship between image resolution and the depth sensation, we conducted a series of psychophysical experiments using a simple image with shading as a monocular depth cue. The results of a paired comparison test show that higher-resolution image facilitates the depth sensation even when the resolution difference is not detectable. Furthermore, an analysis of brain activity measured by functional magnetic resonance imaging shows that a significant activity was found in visual area “MT+”. This result reveals that MT+ plays a significant role in monocular depth perception as well as motion and binocular disparity perception.



1図 解像度による陰影表現の違い

1. はじめに

8Kスーパーハイビジョン（以下、8K）や高解像度の液晶ディスプレイを有するスマートフォンなどの出現により、従来よりも高精細な映像に接する機会が増えている。そして、これらの高精細な映像の視聴者・利用者からは、表示される映像に立体感が感じられるとの声がしばしば聞かれる。8Kの設計視距離（視角1分^{*1}あたり1画素となる視距離）は0.75H（Hは画面の高さ）であり、設計視距離で視聴した際は従来のハイビジョンおよび4Kに比べて広い視野の映像が視聴可能となるため、臨場感の点で有効であることが示されている^{1) 2)}。

一方で、設計視距離より大きな視距離（例えば1.5Hや3H）で8Kの映像を観視した場合、最小分離閾^{いき}*²で捉えた視力との関係からみると、画素構造の弁別という点では、ハイビジョンや4Kと差異がない状況になると考えられるが、そのような視聴環境においても8Kの立体感について評価する声がある。また、近年の多画素化が著しい携帯端末等で画像を表示させた際にもより立体感を感じるとの感想が多く聞かれる。これらの視聴環境はさまざまであるが、画像の表示解像度の向上が立体感に影響を及ぼしている可能性がある。

画像の解像度と主観的な画像品質との関係については、自然静止画を対象にして実物と比較した評価実験が報告されている。その中で、画像の実物感は、解像度の上昇とともに実物との差が小さくなり、視角あたりの解像度が120cpd (cycles per degree) ^{*3} 程度ではほぼ実物との区別が困難になることが示されている³⁾。立体感は実物感との相関が高いと思われるが、立体感の定義を「映像中の物体の奥行きがよく分かる感じ」として、自然動画を対象とした評価実験が行われている。その結果、映像の種類にもよるが、表示解像度が立体感の要因の一つであることが示唆されている⁴⁾。

解像度の変化に対して立体感の評価がどのように変化する

かを明らかにすることは、より効果的な8Kのコンテンツを制作する際の有用な知見になると考えられる。しかしながら、自然画を対象とした評価実験では、画像中のどのような特徴に注目して判断したかについては評定者によって異なると考えられるため、解像度の変化に応じて立体感に寄与する画像の特徴を判断することは難しく、効果的なコンテンツの特徴を推定する際の課題となる。

両眼視差のない画像に対して立体感を生じさせる奥行き知覚の手がかり^{5) 6)}として、大きさの対比や陰影、テクスチャー（物体の表面の模様）の勾配、運動視差などがあり、これらの表現は表示される解像度によって異なる。例えば、解像度による陰影表現の違いを1図に示す。

今回、奥行き知覚の手がかりの中で、静止画においても適用でき、視覚情報処理の観点から最も単純とされている明暗のコントラスト変化によって表現される陰影^{7) 8)}に着目し、陰影画像の表示解像度と奥行き知覚との関係を心理実験によって調べた。また、主観評価では明確な判断が難しい課題も含まれていたため、併せて脳活動計測実験も行い、実験の有効性を確認した。本稿では、これらの実験結果について報告する。

2. 実験方法

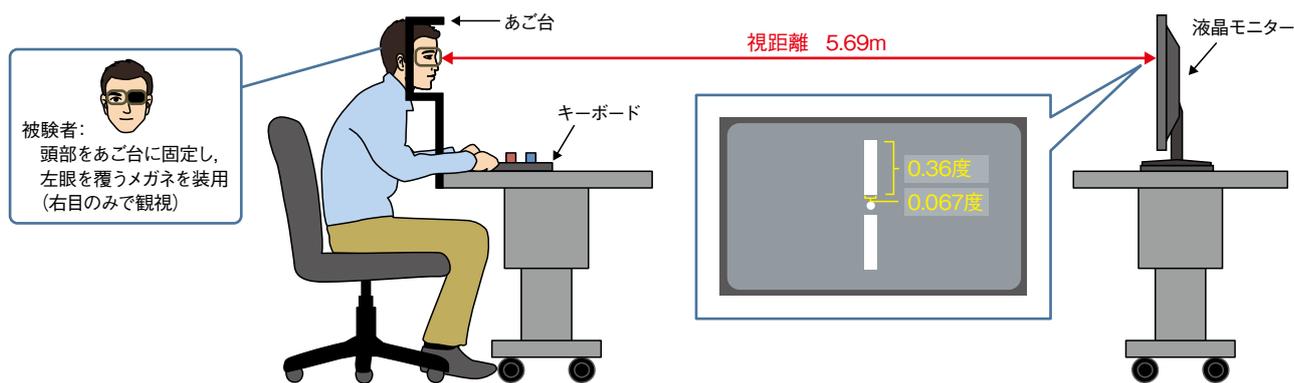
表示解像度の変化が奥行き感（主観的に感じる奥行きの強さ）に及ぼす効果を調べるために、画像の特徴を統制した^{*4}陰影画像を刺激として用いた心理実験を行った。実験では、立体形状を表現する陰影画像に対して、その奥行き感

*1 1分は1/60度。

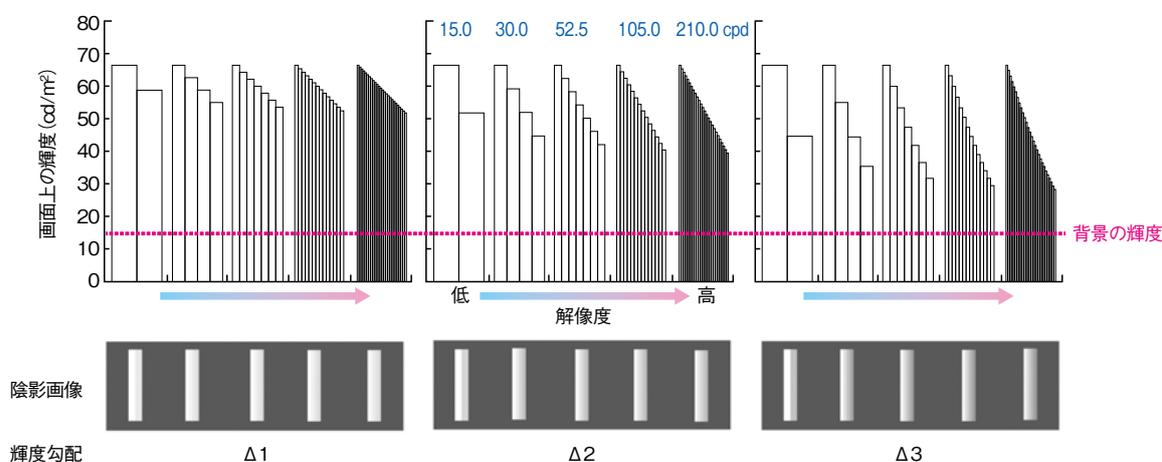
*2 2つの点または線を見分けることのできる最小の視角。

*3 cpdは視角1度あたりで表現できる縞^{しま}の数を表す単位。8Kの設計視距離では、視角1度あたり60画素が含まれるので、解像度は30cpdとなる。

*4 注目の要因以外の変動をできるだけ減らし、条件をそろえること。



2図 刺激画像と実験環境



3図 実験で用いた陰影画像の解像度と輝度勾配

を判断させる課題（実験1）のほか、解像度を判断させる課題（実験2）、明るさを判断させる課題（実験3）を実施した。実験3については、実験時に併せて脳活動計測も行った。以下では各実験の詳細について述べる。

なお、これらの実験は当所の心理・生理実験審査委員会*5の承認を得て実施したものである。

2.1 実験1（奥行き感を判断させる課題）

円筒状の立体形状を表現する陰影画像から円筒の奥行き感を判断する実験を行った。実験参加者は、正常な視機能を有する20歳から39歳の男女10名であり、事前に後述する実験環境において視力測定用の視標を提示し、正常な視力を有することを確認した。

実験で提示する刺激画像としては、側方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。高解像度に表現されているオリジナルの陰影画像と、大きさが同じで解像度の表現が異なる（ダウンコンバートされた）陰影画像を一对として、両画像を2図に示すように上下に並べて提示した。各陰影画像のサイズは横28ピクセル（画素）×縦150ピクセルの

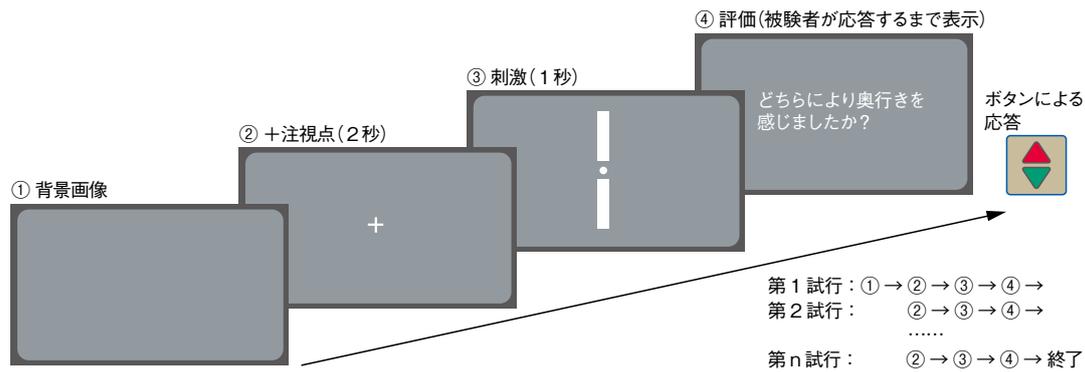
矩形とした。

3図は実験で用いた各陰影画像の輝度変化を示したものである。縦軸は画面上での輝度、横軸は陰影画像の種類である。図中の $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ は陰影の明暗コントラストをパラメータとした刺激画像のセットであり、それぞれのセットで輝度の勾配が異なっている。各セットの中ではピーク輝度（ $66.3\text{cd}/\text{m}^2$ ）*6を固定し、輝度勾配ができるだけ等しくなるように解像度を変化させ、それぞれ解像度の異なる画像を5種類用意した。なお、図中の赤点線は背景の輝度（ $14.4\text{cd}/\text{m}^2$ ）である。

提示される刺激画像は同じ画像セット中の5種の陰影画像から任意の組み合わせの一对を抽出して上下に並べて表示しており、各試行でその組み合わせや上下の配置、陰影の向き（光源の方向）が異なる。複数の試行で構成される1セッションの中で、配置や陰影の向きの違いも含めたすべての組み合

*5 人を対象とした実験の計画について、安全性や倫理的な配慮の適正さを審査する委員会。

*6 cdは光度の単位（カンデラ）。



4図 実験1,2における刺激提示シーケンス

わせについて各1回提示し、実験参加者1人あたり8セッション（全960試行）の実験を行った。各刺激画像が提示される順序はランダムとした。

1試行のシーケンスを4図に示す。開始時に背景画像(①)が提示され、参加者がボタンを押すことで注視点が2秒間提示される(②)。その後、刺激画像が1秒間提示され(③)、次に背景画像と応答を促すメッセージが表示される(④)。参加者が任意のタイミングでボタンを押して応答した後は次の試行に進み、注視点の表示から応答まで(②~④)を試行の数だけ繰り返す。

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、陰影からの奥行き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、両画像の画素構造が視認できないと想定される視距離を設定した。視力1.0の観視者が画素構造を弁別できない視距離は、視角1分あたり1画素以上、すなわち空間周波数では30cpd以上となる視距離とされている。今回の実験では、視角1分あたり7画素(210cpd)となる視距離に刺激提示用の27インチ液晶モニター(NANA製CG275W、画素数2,560×1,440、画素ピッチ0.2331mm)を設置した。このとき、視距離は5.69m、提示した円筒陰影画像の大きさは縦0.36度、横0.067度(2図)、5種の陰影画像の表示解像度は、それぞれ210、105、52.5、30、15cpdとなった。

参加者は左目を覆うメガネを装着し、右目のみで刺激画像を見て課題を遂行した。提示された前述の刺激画像に対し、上下に配置された陰影画像のうち「どちらの画像により奥行きを感じるか」を回答させた。なお、参加者には実験開始前に陰影を手がかりとした奥行き知覚について説明するとともに練習を行わせ、課題を正確に理解していることを確認した。

2.2 実験2 (解像度を判断させる課題)

統制条件^{*7}として、解像度の違いを判断させる解像度課題の実験を行った。実験1では十分な視距離を設定し、画素構造が視認できていないことを想定して実験を行っている

が、実際に各陰影画像について画素構造が見えていないかどうかは、実験参加者からの内省報告^{*8}以外では確認できない。そのため、解像度課題を実施して、想定した実験条件を満たしているかを確認した。

実験参加者は正常な視機能を有し、実験1の参加者とは異なる20歳から39歳の男女10名である。実験1と同様に、事前に画面上に視標を提示し、正常な視力を有することを確認した。刺激画像および実験環境は実験1と同一の条件とした。

参加者には、提示された刺激画像の解像度の違いを弁別させ、「どちらの画像がより高解像度に感じるか」を回答させた。実験1と同様に事前に教示・練習を行い、解像度課題を正解に理解していることを確認した。

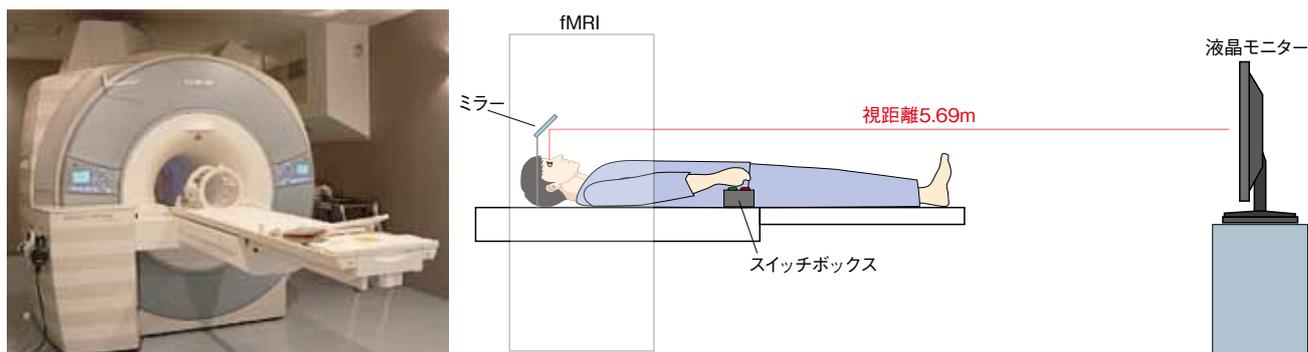
2.3 実験3 (明るさを判断させる課題, および脳活動計測)

実験1, 2では各参加者に対して事前に練習課題を実施し、課題が正確に理解されていることを確認しているが、提示した刺激は主観的には微小な差異であるため、解像度以外の部分的なコントラストや画像全体の明るさなどの別の差異を手がかりとして判別する可能性は否定できない。今回用いた刺激では、各刺激におけるピーク輝度を同一にして陰影の輝度勾配を一定としたため、解像度を変化させる際に、陰影画像の全体的な明るさ(画像を構成する画素値の総和)も僅かに変化しており、奥行き課題を遂行する際に輝度の差異を判断して奥行きの違いとして応答している可能性もある。

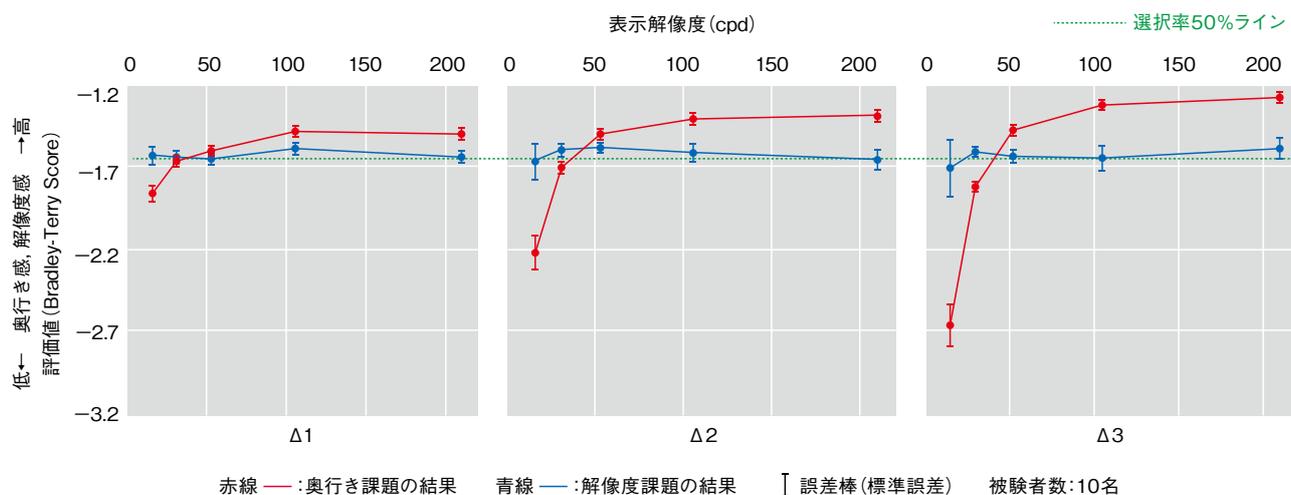
この可能性について検証するために、同一の参加者で、全体的な明るさを比較する輝度課題および奥行き課題の両課題を遂行する実験を実施した。併せて、異なる課題を実施していたことを判別する際に有効な生体指標として脳活動計測を行った。計測した脳活動データを両課題間で比較することにより、奥行き課題遂行時に特有の脳活動が抽出できれば、先行研究と比較することによって奥行き弁別をしていたこと

*7 注目する要因以外の条件を一致させ、その要因以外の影響がないことを保証するための実験条件。

*8 自分自身の心的な状況を振り返って報告すること。



5図 fMRIによる脳活動計測の実験環境



6図 奥行き課題および解像度課題の結果 (実験1,2)

が裏付けられるほか、単眼による奥行き知覚の神経科学的な意味合いの解明が期待できる。実験参加者は、正常な視機能を有する20歳から39歳の男女10名である。

脳活動は機能的磁気共鳴画像装置（以下、fMRI：functional Magnetic Resonance Imaging）^{*9}で計測した。実験参加者はfMRIの装置内でおおむけになり、足元方向に設置された液晶ディスプレイ上の刺激画像を眼前に設置されたミラーを通して観視し、手元に設置されたスイッチによって課題に対する応答を行った（5図）。液晶ディスプレイは実験1, 2と同じものを使用し、視距離についてもミラーを経た距離が実験1, 2と同一となる位置に設置した。

提示した刺激は、実験1の $\Delta 1$ 、 $\Delta 3$ の刺激群のうち15、30、210cpdの陰影画像を用いた。刺激群内で解像度、陰影の方向、上下の配置の全ての組み合わせについての一対比較となるように提示し、参加者1人あたり360試行を実施した。1試行のシーケンスは実験1, 2とほぼ同じであるが、刺激提示のタイミングとfMRIによる計測タイミング（繰り返し時間：2秒）を合わせるために、評価・応答時間を一定時間（5秒）として時間内に応答させた。また、文字表示が脳活動に及ぼ

す影響を考慮し、応答を促すメッセージは表示しなかった。

課題は、実験1で実施した「どちらの画像により奥行きを感じるか」を回答させる奥行き課題のほか、「どちらの画像がより暗く感じるか」を回答させる輝度課題を実施した。両課題とも実験前に教示・練習を行い、それぞれの課題について正確に理解していることを確認した。

fMRIによって計測した脳活動データは統計解析用ソフトウェアSPM（Statistical Parametric Mapping）^{*10}を利用して分析し、両課題を実施しているときの脳活動に統計的な差異がある領域を抽出した。

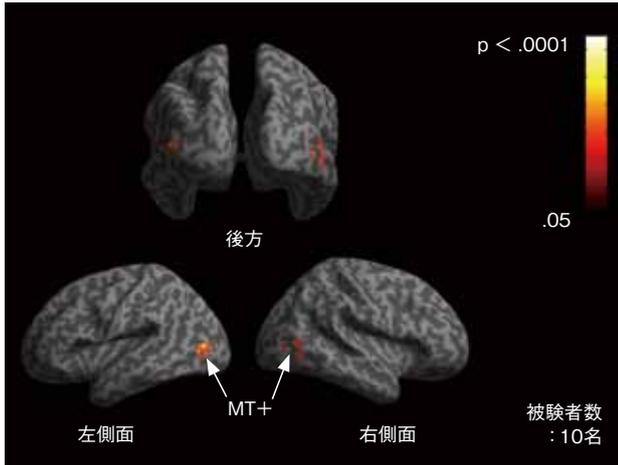
3. 実験結果

3.1 実験1および実験2

奥行き課題と解像度課題の結果を6図に示す。横軸は表示解像度、縦軸は一対比較の選択率から算出されるBradley-

*9 神経活動に関連した血流反応を、3次元画像として可視化する装置。

*10 脳活動データを統計的に解析するための標準的なソフトウェア。



7図 脳活動計測の結果 (実験3)

Terryスコア⁹⁾*¹¹ (以下, BTS) である。BTSは値が大きいほど立体図形の奥行き感または解像度の高さを強く感じていることを示している。図中の赤線は奥行き課題の結果, 青線は解像度課題の結果, 緑点線は選択率が50%の場合のBTS, 誤差棒は標準誤差^{*12}を表している。Δ 1, Δ 2, Δ 3は前述した陰影のコントラストであり, それぞれ同じコントラスト内で比較した結果である。

奥行き課題の結果では, 陰影のコントラストが変化することでBTSの変化の幅は変わるが, 表示解像度が高くなると奥行き感が大きくなる傾向は共通している。

一方, 解像度課題の結果では, 各グラフにおいて各表示解像度間でBTSに有意差が見られなかった。これは, 各刺激画像間で画素構造の違いが判別できない程度に視距離が設定できていることを示しており, 想定した条件が満たされていることを裏付けている。

3.2 実験3

奥行き課題の結果については, 実験1の結果と同様に, 表示解像度の上昇に伴って奥行き感が向上していた。輝度課題については, 解像度の上昇に伴い, より暗いと判断する率が上がっており, 表示解像度の変化に対する課題成績の変化については, 両課題間に明確な差は見られなかった。

一方, 課題遂行中に測定した脳活動データを分析した結果を7図に示す。この結果は課題遂行中の刺激提示シーケンスで刺激が提示されてから2秒間(1スキャン分)の測定データについて, 奥行き課題の場合と輝度課題の場合とを各参加者内で比較した結果(10人の平均)である。

図中の色が付いている部分は奥行き課題実施時の脳活動が輝度課題実施時の脳活動に比べて大きいことを示しており, 図中のカラーバーで統計的検定のp値^{*13}との関係を表示しているように, 白色に近づくにつれて差が大きいことを意味している。今回の実験では, MT+ (Middle Temporal

Complex) と呼ばれる動きや両眼視差の処理に関わる部分で奥行き課題実施時に活動が大きくなっていることが明らかになった。

以上の結果では, 課題成績のみでは, 奥行き課題を実施しているときに輝度差を判断している可能性は否定できないが, 脳活動において課題間に明確な差が見られたことにより, 奥行き課題と輝度課題で視覚の情報処理過程が異なっていることを示している。両課題間で刺激が同一であることを考慮すると, 脳活動の差異は課題実施時の判断に関わる活動と推定され, 奥行き課題実施時に輝度課題と同じ判断をしている可能性は低いと考えられる。

4. 考察

今回行った一連の実験の結果からは, 次の2点が明らかになった。すなわち, 高解像度画像では主観的には解像度差が視認できない場合でも奥行き感は促進されること, および, 単眼の奥行き知覚に関わる脳活動が抽出されたことである。

4.1 解像度感と立体感の関係

実験1, 実験2の結果からは, 表示解像度が十分に高く解像度差が弁別できない場合でも奥行き感には差が生じることがあり, 解像度が高い陰影画像により強く奥行きを感じていることが明らかになった。

今回実験に用いた陰影画像のように明暗の変化が緩やかで解像度差が顕著にならないような画像においても, 視覚情報を処理する過程で奥行き知覚には差が生じており, より解像度の高い画像に立体感を感じている可能性を示唆している。これは, 8Kとハイビジョンの映像を両者とも画素構造が視認できない十分に大きな視距離から同じ画角で視聴した際に, 8Kの映像にはより強い奥行き知覚を生じる場合があることを示す結果であり, 立体感上昇の要因の一つとなり得る事実である。

今回の実験では, 陰影画像として円筒状の画像のみを用いており, 3.2節で示したように, 表示解像度の変化に伴って平均輝度が微小に変化していたため, 要因の明確な分離という点で課題が残る。また, さまざまな特徴を有する画像について表示解像度と立体感の関係を示すためには, 自然画への適用可能性なども課題となる。今後, 視覚情報処理の観点から, より基本的な刺激(例えばガボールパッチ^{*14}など)

*11 一対比較の判断結果から得られる各対象の心理的な評価値を表す指標。

*12 母集団から抽出した標本の違いによって生じるばらつき標準偏差。

*13 2つの確率分布間に偶然でない差(有意差)があるとする仮説が誤りである確率。小さいほど両分布間の差が明確であることを示す。

*14 正弦波の縞に2次元ガウス関数を掛けあわせた画像。視覚科学の心理実験で使われる基本的な刺激パターンの一つ。

や一般画像においても、同様の傾向が得られることを検証する必要がある。

4.2 単眼奥行き知覚に関わる脳活動

実験3の結果では、奥行き課題に特有の脳活動がMT+で認められた。MT+は主に動き情報の処理を行う部位として広く知られているが^{10) 11) 12)}、そのほかにも奥行き知覚と関わりの深い両眼視差の処理に重要な役割を果たしていることも報告されている^{13) 14)}。今回の実験では、単眼での奥行き判断を行っている際に、単純な明暗の判断に比べて活動が大きくなっていることが明らかになったが、これは従来にない新しい知見である。両眼視差による奥行き知覚と単眼による奥行き知覚の両者で有意な活動を示していることは、MT+が単に感覚入力の処理を行うだけではなく、特定の特徴に注意を向けることによって知覚の処理を促進するなど、より汎用性の高い高次認知処理の機能を有していることを示す従来の知見^{15) 16) 17)}を支持する結果となっている。

4.3 閾下知覚^{いさか}

種々の視覚刺激を用いた心理実験において、主観的には明確に認知できなくても神経科学的には感覚情報が処理される場合があることが知られている^{18) 19) 20)}。例えば、意識に上らないような視覚刺激が無意識のうちに処理されており、後の課題遂行に影響を与えていることが数多く報告されている(これを「プライミング効果」と呼ぶ)。さらに、そうした意識には上らないような視覚刺激においても、脳の可塑性^{*15}に影響を与えることが知られ、これにより知覚の感度が高くなるという現象も報告されている(これを「閾下の知覚学習」と呼ぶ)^{21) 22)}。

これらの事実に照らし合わせれば、8Kなどの超高精細映像を一定の視距離以上で視聴する条件では、主観的にはハイビジョンや4Kと解像度に明瞭な差が見られない場合においても、解像度の微小な差異を捉えた感覚入力からの情報は処理されている可能性がある。また、このような超高精細映像を見続けることにより、閾下で解像度弁別の知覚学習が生じ、

学習が進捗することによってその差を主観的にも弁別できるようになることが期待される。

今回の実験では、刺激の提示方法が刺激由来の脳活動を抽出することを目的とした方法ではなかったため、知覚学習に貢献するような脳活動は抽出されていないが、適切な実験デザインで脳活動計測を行うことにより、このような脳活動も確認できると考えられる。その際、表示解像度に応じた脳活動が抽出され、知覚学習の可能性が裏付けられれば、超高精細映像の有効性が視覚の受容特性からも支持されることになる。

5. おわりに

本稿では、高精細映像を観視したときに感じる立体感の特性について、単眼による奥行きの手がかりとしての陰影に着目し、陰影画像の表示解像度と奥行き知覚との関係を心理実験により調べた。その結果、画素構造が判別できない条件においても、陰影画像から生じる主観的な奥行き感を、解像度の向上とともに強く感じていることが明らかになった。

また、陰影画像の奥行きを判断している際の脳活動をfMRIで計測した結果、単眼奥行き知覚に特有の脳活動が視覚野の一部(MT+)で抽出された。これは従来にない新しい知見であり、今後、立体感を感じるシーンを脳活動計測によって抽出する技術などへの活用が期待される。

本稿は、Scientific Reports (Nature Publishing Group) に掲載された以下の論文を元に加筆・修正したものである。

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, Vol.4, No.6687, DOI: 10.1038/srep06687 (2014)

*15 外界の刺激などによって機能的、構造的な変化を起こすこと。

参考文献

- 1) K. Masaoka, M. Emoto, M. Sugawara and Y. Nojiri: "Contrast Effect in Evaluating the Sense of Presence for Wide Displays," J. SID, Vol.14, pp.785-791 (2006)
- 2) M. Emoto, K. Masaoka, M. Sugawara and F. Okano: "Viewing Angle Effects from Wide Field Video Projection Images on the Human Equilibrium," Displays, Vol.26, No.1, pp.9-14 (2005)
- 3) K. Masaoka, Y. Nishida, M. Sugawara, E. Nakasu and Y. Nojiri: "Sensation of Realness from High-Resolution Images of Real Objects," IEEE Trans. Broadcast., Vol.59, pp.72-83 (2013)
- 4) K. Komine, Y. Tsushima and N. Hiruma: "Higher-resolution Image Enhances Subjective Depth Sensation in Natural Scenes," Perception, Vol.42 ECVF Abstract Supplement, p.119 (2013)
- 5) 塩入: "3次元空間の知覚," 日写誌, Vol.54, pp.49-58 (1991)
- 6) R. Sekuler and R. Blake: "Perception," Alfred A. Knopf, New York, pp.216-250 (1980)
- 7) R. O' Shea, S. Blackburn and H. Ono: "Contrast as a Depth Cue," Vision Res., Vol.34, pp.1595-1604 (1994)

- 8) V. S. Ramachandran : "Perception of Shape from Shading," Nature, Vol.331, pp.163-166 (1988)
- 9) R. A. Bradley : "Paired Comparisons : Some Basic Procedures and Examples," Handbook of Statistics, Vol.4, Krishnaiah, P. R. & Sen, P. K. Eds. Amsterdam, The Netherlands : Elsevier, pp.299-326 (1984)
- 10) W. T. Newsome and E. B. Pare : "A Selective Impairment of Motion Perception Following Lesions of the Middle Temporal Visual Area (MT)," J. Neurosci., Vol.8, pp.2201-2211 (1988)
- 11) J. A. Movshon and W. T. Newsome : "Visual Response Properties of Striate Cortical Neurons Projecting to Area MT in Macaque Monkeys," J. Neurosci., Vol.16, pp.7733-7741 (1996)
- 12) G. Rees, K. Friston and C. Koch : "A Direct Quantitative Relationship between the Functional Properties of Human and Macaque V5," Nat. Neurosci., Vol.3, pp.716-723 (2000)
- 13) G. C. DeAngelis, B. G. Cumming and W. T. Newsome : "Cortical Area MT and the Perception of Stereoscopic Depth," Nature, Vol.394, pp.677-680 (1998)
- 14) T. Uka and G. C. DeAngelis : "Contribution of Area MT to Stereoscopic Depth Perception : Choice-Related Response Modulation Reflect Task Strategy," Neuron, Vol.42, pp.297-310 (2004)
- 15) T. Uka and G. C. DeAngelis : "Linking Neural Representation to Function in Stereoscopic Depth Perception : Roles of the Middle Temporal Area in Coarse versus Fine Disparity Discrimination," J. Neurosci., Vol.26, pp.6791-6802 (2006)
- 16) S. Treue and J. H. R. Maunsell : "Attentional Modulation of Visual Motion Processing in Cortical Area MT and MST," Nature, Vol.382, pp.539-554 (1996)
- 17) E. Seidemann and W. T. Newsome : "Effect of Spatial Attention on the Responses of Area MT Neurons," J. Neurophysiol., Vol.81, pp.1783-1794 (1999)
- 18) F. Tong : "Primary Visual Cortex and Visual Awareness," Nat. RevNeurosci., Vol.4, pp.219-229 (2003)
- 19) N. Block : "Consciousness, Accessibility, and the Mesh between Psychology and Neuroscience," Behav. Brain Sci., Vol.30, pp.481-548 (2007)
- 20) N. Block : "Perceptual Consciousness Overflows Cognitive Access," Trends Cogn. Sci., Vol.15, No.12, pp.567-575 (2011)
- 21) Y. Tsushima, Y. Sasaki and T. Watanabe : "Greater Disruption due to Failure of Inhibitory Control on an Ambiguous Distractor," Science, Vol.314, pp.1786-1788 (2006)
- 22) Y. Tsushima, A. Seitz and T. Watanabe : "Task-irrelevant Learning Occurs only when the Irrelevant Feature is Weak," Current Biology, Vol.18, No.12, pp.516-517 (2008)



こみね かずひろ
小峯 一晃

1992年入局。放送技術局を経て、1994年から放送技術研究所において、文字画像の受容特性、立体映像視聴時の疲労、テレビ用ユーザーインターフェース、視線や脳活動による心理状態推定技術の研究に従事。現在、放送技術研究所立体映像研究部副部長。博士（工学）。



つしま よしあき
對馬 淑亮

2009年ボストン大学大学院博士課程修了（PhD）。国際電気通信基礎技術研究所、ハーバード大学（米）、レーゲンスブルク大学（独）を経て、2012年から放送技術研究所において、高精度映像の認知特性、閾下知覚の研究に従事。現在、放送技術研究所立体映像研究部ポスドク研究員。



さわはた やすひと
澤畠 康仁

2003年入局。同年より放送技術研究所において、視線や脳活動による心理状態推定技術の研究に従事。2006年から2008年まで情報通信研究機構に。2008年から2010年まで国際電気通信基礎技術研究所脳情報研究所に。現在、放送技術研究所立体映像研究部に所属。博士（情報理工学）。



ひるま のぶゆき
比留間 伸行

1984年入局。長野放送局、放送技術研究所視覚情報研究部、名古屋放送局、放送技術研究所研究企画部などを経て、現在、放送技術研究所ヒューマンインターフェース研究部上級研究員。人間の情報受容特性、知識情報処理の研究に従事。博士（工学）。