

広視野静止画像による臨場感の提示視角依存性と評価指標間の関係

The Viewing Angle Dependency in the Presence of Wide Field Still Image Viewing and its Relationship to the Evaluation Indices

正会員 江本正喜[†], 正会員 正岡顕一郎[†], 正会員 菅原正幸[†], 正会員 野尻裕司[†]
Masaki Emoto[†], Kenichiro Masaoka[†], Masayuki Sugawara[†] and Yuuji Nojiri^{††}

Abstract The presence (i.e. sensation of being there) from a video system is well known to increase as the viewing angle increases. Unfortunately, quantitative evaluation of presence is very difficult. Previous evaluations attempted to determine both subjective and objective assessments. We quantified presence in viewing still images by varying the video system viewing angle along with subjective evaluations using well selected matched words and objective measurements of viewers' body sway. We also examined the correlation between the indices used to quantify presence. The results indicated that the correlation between the evaluation words "presence" and "powerfulness" was comparatively high but that it was almost zero between "presence" and the total distance of viewers' body sway. This suggested that subjective evaluations using the words "presence" and "powerfulness" were both valid to assess presence and that the subjective evaluations of presence did not correlate with the body sway for each experiment trial.

キーワード：広視野映像システム，スーパーハイビジョン，評価指標，主観評価，姿勢制御，重心動揺，視野角

1. ま え が き

近年の映像情報メディアの長足の進歩により，広視野化，高精細化，立体化された新たな映像システムの試みがなされ，実用化されている．これらの映像システム開発の大きな目的は，観視者があたかも映像によって映し出されている空間の中に実在するかのように感じる感覚，すなわち臨場感を高めることである．映像から得られる臨場感を高めるには，観視者が映像を見込む視角を広げることが有効であるため¹⁾．当研究所においても，高い臨場感が得られる放送システムとして，走査線4,000本級のスーパーハイビジョンを研究・開発している²⁾．ところが，映像システムの臨場感の定量的評価は困難である．それは，臨場感が主観的感覚であることに起因し，客観的評価が困難だけでなく，主観評価においても，評価語として「臨場感」そのものを使うことが避けられる傾向にある．その理由として，評価に先立つ被験者への教示や評価トレーニングが評価に影響しやすいこと³⁾，「臨場感」という用語は，評定者にとって意味が明確に捉えられないことが指摘されている⁴⁾．従来の150インチまでの平面画面を想定した主観評価による検討においては，上記を根拠に，「臨場感」は心理因子名と

して不適当であるとの判断が行われている．したがって，評価語として「臨場感」を用いることを避け，因子分析により「力量感」，「快適感」を抽出し，これらの評価語による評価結果を検討している．その結果，「力量感」は観視水平視角に対して単調増加すること，「快適感」は観視水平視角60°程度を越えると低下すること，さらに，撮影画角66°と105°では，広い撮影画角の画像のほうが広い観視水平視角となる視距離でより好ましいと評価されることが報告されている⁵⁾．しかし，評価語として「臨場感」を用いることが，本当に不適当か，もし，「臨場感」の評価語による主観評価が可能であるならば，その結果と「力量感」，「快適感」の評価語による主観評価結果はどのような関係にあるのか，観視水平視角60°程度を越える場合の「快適感」の低下は，撮影画角の影響を反映しているのではないか等の疑問が残る．そこで本論文では，320インチの平面画面を用い，静止画像の提示水平視角を変化させて「臨場感」，「力量感」，「快適感」等の評価語による主観評価を行い，それらの視角依存性と評価語間の相関を求め，評価語間の関連を検討する．さらに，約60°，約100°の水平画角で撮像した画像を用いて，撮像水平画角の影響を検討する．

一方，臨場感の直接的な測定が困難であるため，臨場感を何らかの形で反映すると考えられる客観的指標の探索，検討も行われてきている．例えば，感じられる臨場感が高まることで誘導される生理指標の変化が検討されており，人工現実感による臨場感評価のために心拍，皮膚温度，皮

2005年9月28日受付，2006年4月12日最終受付，2006年5月15日採録

[†] NHK 放送技術研究所

(〒157-8510 世田谷区砦1-10-11, TEL 03-5494-3395)

^{††} NHK Science and Technical Research Laboratories

(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510, Japan)

膚抵抗反応が臨場感と相関を有する客観的指標として用いられている⁶⁾。また、テレビ観視時の臨場感評価を目的とした検討では、客観評価に準ずるものとして、ドームスクリーンに視角を変化させた傾いた誘導画像を15秒間提示し、観視後の主観的垂直軸の誘導量を臨場感の定量的指標とした検討が行われている¹⁾。これは、空間認知の順応を臨場感と関連づけたものである。さらに、直立時における姿勢制御系応答を臨場感の客観的評価指標とした検討が行われてきている。2本足で直立する人間の姿勢制御系は、平衡を保つことを目的とした動的制御系であり、大別して体性感覚系、耳前庭感覚系、視覚系の3種類のフィードバック入力を持つ⁷⁾。視覚入力をさまざまに変化させた時、提示画像から感じられる臨場感が高いほど、視覚フィードバック入力を通じて姿勢制御に及ぼす影響も大きいと考えられるため、姿勢制御系の応答である重心動揺などを測定することによって、その影響を定量化することができるという考えに基づいて、多くの研究がなされている。特に、画像の動きに誘導される視覚誘導自己運動感覚(Vection)の大きさを指標として、視角や網膜部位との関係を論じたものが多い。Brandtらは周辺視野が視覚誘導自己運動感覚生起に重要であることを指摘した。これは、周辺視野を含む広視野画像が、観視者の臨場感に大きな寄与を示唆するものである⁸⁾。また、往復回転運動する動画像を用いて、立体画像を含む広視野画像の重心動揺に及ぼす影響がドームスクリーンを用いて検討されており、視角約90°で誘導効果が飽和すること、立体画像で効果が大きいことが報告されている⁹⁾¹⁰⁾。これらの検討結果は、周辺視野で捉えられる画像の動きの視覚誘導自己運動感覚への寄与が大きいことを共通して示しており、周辺視は中心視に比較して解像度は低い、動きに対する感度が高いこととも良く一致する¹¹⁾。しかし、周辺視野は中心視野に比較して面積が大きい。そこで、同じ面積の中心視野と周辺視野を比較した場合、75°までの範囲内では視覚誘導自己運動感覚の大きさは視野の位置によらないこと¹²⁾、中心視野の方が身体動揺の安定化に大きな役割を演じていることも示されている¹³⁾。さらに、静止視対象に対する重心動揺が視野分離ゴーグルを用いて閉眼時、中心視野5°、30°、開眼時に測定されている。その結果、視野が広くなるにつれて、重心動揺総軌跡長が短縮し、重心動揺面積が減少するが、中心視野30°提示時に全減少量の70%前後の減少が認められることから、視標注視条件下では中心視の寄与が大きいことが報告されている¹⁴⁾。これらの結果は、静止した視対象に対しては、周辺視優位の視覚誘導自己運動感覚とは異なる機序によって、身体の安定化が達成されている可能性を示唆している。それは同時に、従来から視角と臨場感の客観的評価指標として視覚誘導自己運動感覚が用いられてきたが、それだけでは評価指標として不十分である可能性を示唆する。また、一般のテレビ放送を想定した場合、視覚誘導自己運動感覚が生起されるような番組内容は希であ

ると考えられる。このため、まず安定した画像を観視している際の評価を行う必要がある。静止した視対象を用いた和田らの検討¹⁴⁾はまさにこれにあたり、その結果は、以下のように捉えることができる。すなわち、視覚誘導自己運動感覚が生起されない場合においても、観視視角の変化は立位姿勢制御系に対する視覚フィードバック量の差を生じ、広い観視視角が得られるほど現実世界における視覚フィードバック量に近づき、姿勢制御は安定すると考えられる。ただし、平面画像観視時には両眼視差や運動視差によるフィードバックが得られない点において現実世界とは異なる状態にある。

以上より、本論文では、視覚誘導自己運動感覚と視差による視覚フィードバックがない平面静止画を用い、観視視角と平衡機能の安定性の関係を検討する。これにより、観視視角が広くなり、現実世界を見ている状態に近くなるにつれて、姿勢制御応答も安定するかどうかを検証する。また、主観評価実験と同一の実験装置、実験条件によって、6通りの提示水平視角で静止画像に対する重心動揺を測定し、姿勢制御応答の安定性と、上述した臨場感の主観評価との相関から、臨場感の客観評価指標としての姿勢制御応答の妥当性を検討する。

なお、今回測定したのは床反力作用点であり、厳密には重心点の足底面に対する投影点と一致しないとされている¹⁵⁾¹⁶⁾、比較的動きの少ない立位姿勢に関してはその差が小さいことから、一般的な重心動揺という用語を用いる。

2. 実験方法

本実験では走査線数約1,000本のハイビジョンを想定した水平視角33.2°から、走査線数4,000本級のスーパーハイビジョンの水平視角100°まで、さまざまなテレビシステムを想定して静止画像を提示し、重心動揺を測定した後、主観評価を行った。水平視角を変化させる場合、提示画像は同一で、観視距離を変化させる方法も考えられるが、単位視角あたりの画素数が変化するなど、観視距離による影響が含まれることとなる。さらに、重心動揺に関しては、壁との距離によって重心動揺総軌跡長が変化することが知られているため¹⁷⁾、視距離を変えて視角を変化させることは避けた。したがって、今回の検討では視距離は3.1mで一定とし、画像を順次縮小することで提示水平視角を変化させた。この値は視力1.0の被験者が走査線構造を知覚することができない視距離として決定した。

2.1 実験画像

提示画像の撮像は、2種類の焦点距離のレンズ($f=47\text{mm}$, 90mm)を用い、4×5インチリバーサルフィルム(FUJIFILM FUJICHRROME Velvia100F ISO100)上に行った。被写体は3種類の風景「母の像」、「煉瓦倉庫」、「海」であり、それぞれに対して2種類のレンズで撮像し、図1に示す計6種類の風景画を撮像した。撮像時のカメラの高さは地面から150cm、光軸は水平とした。現像後にドラムスキャナ



撮像水平画角100度



撮像水平画角60度

母の像

煉瓦倉庫

海

図1 実験画像

Test images.

表1 観視距離3.15mにおける提示水平視角と有効走査線数, 有効水平画素数

Field of view at a viewing distance 3.15m and resolution.

提示水平視角(度)	100	93.3	87.3	76.9	61.6	33.2
有効走査線数(line)	4000	3555	3200	2666	2000	1000
有効水平画素数(pel)	7110	6320	5688	4740	3555	1777

表2 表示システムの主な諸元 Specifications.

画素数	緑 7680 × 4096	青, 赤 3840 × 2048
走査	順次走査	
プロジェクタ光出力	約5000ルーメン	
スクリーン大きさ	320インチ (約7m × 約4m)	
スクリーン利得	約0.85	
信号源	フレームメモリー	

(ハイデルベルグDC3900)を用いて解像度(14,220pel × 8,000line)で2倍オーバーサンプリングし, 焦点距離47mm撮像分は水平画角100°に, 焦点距離90mm撮像分は水平画角60°に, アスペクト比16:9でトリミングを行った. その後, 画像提示時の視角を変化させるため, 画像処理によって6通りに縮小した. その際, 観視時の被験者の目の高さを150cmと想定し, 被験者の視野に占める上下, 左右画像の割合が画像縮小率によらず常に一定になるように縮小中心を決定した. これは, 視覚情報処理が上下半視野で異なり, 空間視は下半視野と関連づけて議論されることがあること¹⁸⁾, 上下半視野に提示された画像の重心動揺に与える影響が上下で異なるため¹⁹⁾, それらの差を最小限にするためである. また, 画像縮小に伴う画質劣化を最小限にとどめるため, 縮小率が整数比になるよう決定した. 提示水平視角と走査線, 水平画素数の関係を表1に示す.

2.2 実験装置と重心動揺データ処理

画像提示には十分な解像度と明るさでほぼ平面であるスクリーンに画像提示可能なスーパーハイビジョンシステムを用いた. この表示システムの主な諸元を表2に示す. また, 重心動揺の測定には平衡機能計(日本電気三栄1G06)を用いた. 平衡機能計からは重心動揺の横方向成分がX出力, 前後方向成分がY出力として動揺の1.0cmが0.1Vのアナログ電圧で出力される. これをプリフィルタ(エヌエフ回路設計ブロックマルチファンクションフィルタ3611)を通した後, 12ビット, 2チャンネルA/D変換器(インタフェースCBI-3133A)により, サンプリング周波数120Hzで計算機に取り込んだ. 被験者は両足内側縁を接したいわゆる

Rombergの足位置で直立し, 120秒間の重心動揺測定を行った後, 主観評価を行った. 重心動揺測定の開始, 終了に伴う不安定性を避けるため, 30秒から90秒までの重心動揺総軌跡長を算出し, 各被験者の身長で正規化した.

2.3 主観評価とデータ処理

重心動揺測定の後, 「臨場感」, 「力量感」, 「快適感」, 「奥行感」の評価語による主観評価と, 「臨場感」の劣化尺度による主観評価を行った. 「臨場感」の主観評価は, 「非常に臨場感がない」, 「かなり臨場感がない」, 「やや臨場感がない」, 「どちらでもない」, 「やや臨場感がある」, 「かなり臨場感がある」, 「非常に臨場感がある」の7段階尺度で評定した. 「力量感」, 「快適感」, 「奥行感」についても「臨場感」をそれぞれの評価語に置き換えた7段階尺度で評定した. その際, 成田らの検討⁵⁾のなかで因子分析により抽出された「力量感」, 「快適感」については, 因子負荷量の絶対値の大きい形容詞対を被験者に提示し, 各評価語による主観評価の際の参考とした. これらの形容詞対を表3に示す. また, 「奥行感」に関しては, 前後方向の重心動揺との関係を検討するために評価を行った. さらに, 「臨場感劣化」の評価は, 最大水平視角100°の画像から感じられる臨場感に比較して, その時に観視している画像から感じられる臨場感の劣化の度合いを, 「わからない」, 「わかるが気にならない」, 「気になるが邪魔にならない」, 「邪魔になる」, 「非常に邪魔になる」の5段階劣化尺度によって評価した. 得られた評価値は間隔尺度に変換し²⁰⁾, 統計処理や相関の算出を行った.

表3 主観評価の際に参考とした形容詞対

Pairs of adjectives.	
力量感の因子負荷量の絶対値の大きい形容詞対	
迫力のない	迫力のある
弱々しい	力強い
まとまった	散らばった
狭まった	ひろがった
狭い	広い
快適感の因子負荷量の絶対値の大きい形容詞対	
見づらい	見やすい
疲れる	楽な
違和感のある	違和感のない
圧迫感のある	圧迫感のない
不快な	快適な
ゆがんだ	ゆがみのない
印象が薄い	印象深い

2.4 被験者

年齢25才から39才までの平均年齢32.6才、標準偏差5.3才の男性5名、女性16名、計21名の視力、視野、平衡機能に明らかな異常のない、画像評価に関しては非専門家の被験者が実験に参加した。画像観視に先立って、身長、矯正視力等を記入する簡単なアンケートを行った。画像観視時の重心動揺測定の際には、被験者に体の力を抜いて(リラックスして)目の高さの画像中心を自然に見るように指示した。これは、眼位によって重心動揺に及ぼす影響が異なることが報告されており、その影響を排除するためである²¹⁾。各被験者は6種類の風景画の6通りの水平視角の画像を無作為な順序で観視し、計36回の実験を行った。

3. 実験結果

3.1 重心動揺総軌跡長

本実験で得られた、重心動揺波形の例を図2に示す。X方向は重心動揺の左右方向成分、Y方向は前後方向成分を示す。各被験者の身長によって正規化した重心動揺総軌跡長データに対して、絵柄(3水準)、撮像水平画角(2水準)、提示水平視角(6水準)を要因とする重複測定分散分析を行った。その結果、絵柄($F(2,40)=1.769, p=0.184$)、撮像水平画角($F(1,20)=4.136, p=0.055$)の主効果とすべての交互作用、撮像水平画角×絵柄($F(2,40)=0.423, p=0.658$)、撮像水平画角×提示水平視角($F(5, 100)=0.442, p=0.818$)、絵柄×提示水平視角($\epsilon=0.443, F(4.431, 88.624)=1.139, p=0.345$)、撮像水平画角×絵柄×提示水平視角($\epsilon=0.419, F(4.194, 83.882)=1.019, p=0.404$)は有意ではなく、提示水平視角($\epsilon=0.615, F(3.077, 61.53)=4.234, p=0.008$)の主効果のみに有意差が認められた。Mauchlyの球面性検定が成立しない場合の自由度の修正にはHuynh-Feldtのイプシロンを用いた。提示水平視角の主効果のみに有意差が認めら

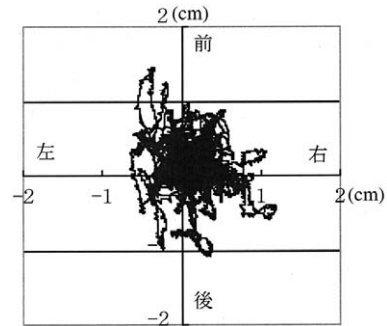


図2 重心動揺波形
Body sway excursion.

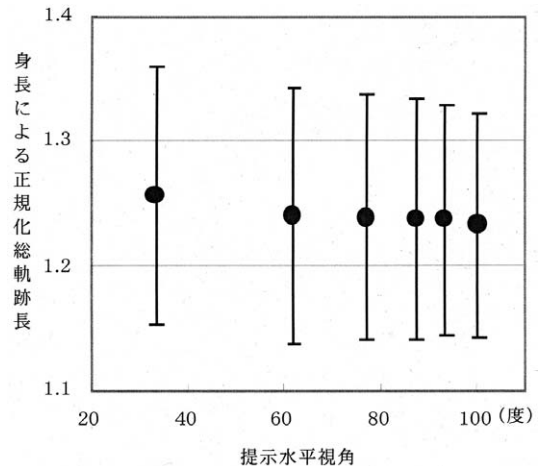


図3 重心動揺総軌跡長と提示水平視角
Ratio of total body sway to subject's height.

れたことから、各被験者の身長によって正規化した重心動揺総軌跡長の被験者21名の平均値、標準偏差と提示水平視角との関係を図3に示す。提示水平視角が広くなるにしたがって、身長によって正規化した重心動揺総軌跡長が短縮する傾向が認められる。次に、提示水平視角についてHelmert対比を行った結果、 33.2° と 61.6° 以降の間でのみ有意差が認められ($F(1,20)=12.292, p=0.002$)、観視水平視角が広くなり、現実世界を見ている状態に近くなるにつれて、姿勢制御応答も安定するが、 61.6° 以上の提示水平視角では姿勢制御の安定性に与える影響が飽和傾向であることが明らかとなった。

3.2 主観評価

間隔尺度に変換した評価値を用いて、絵柄(3水準)、撮像水平画角(2水準)、提示水平視角(6水準)、評価語(4水準)を要因とする重複測定分散分析を行った。その結果、4次の交互作用は認められなかったが、3次以下の交互作用が認められたため、各評価語ごとに検討することとした。図4～図7に、「臨場感」、「力量感」、「快適感」、「興行感」の間隔尺度に変換した主観評価平均値、標準偏差、および、後述の多重比較による最小有意差を示す5%ヤードスティックをそれぞれ示す。撮像水平画角を含めた絵柄(6水準)、提示水平視角(6水準)を要因とする分散分析と最小有意差による多重比較を行った結果、すべての評価語で提示水平

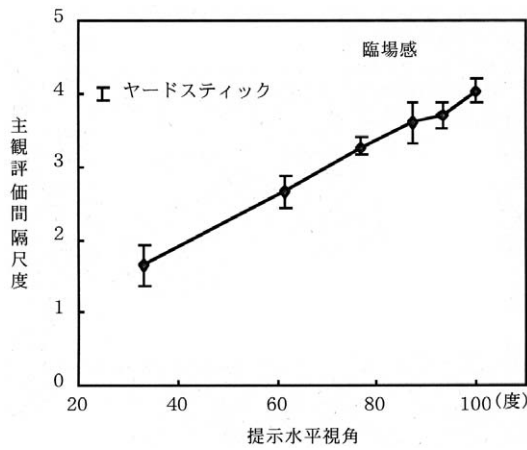


図4 「臨場感」主観評価結果
Assessment results for "presence".

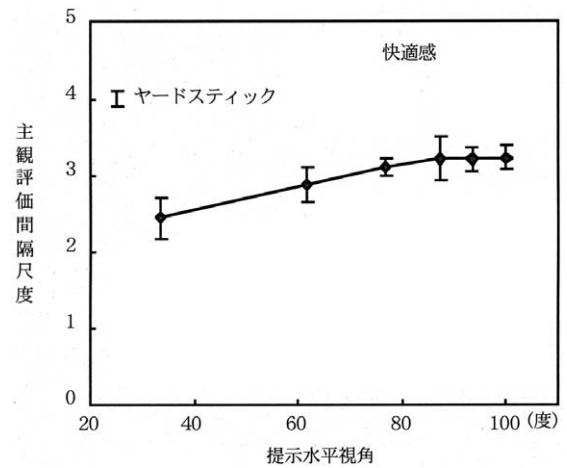


図6 「快適感」主観評価結果
Assessment result for "comfortableness".

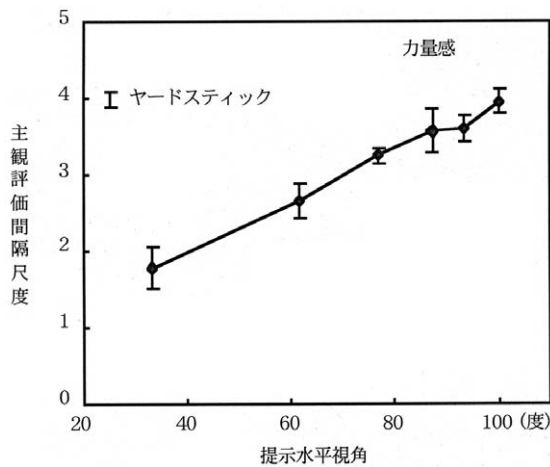


図5 「力量感」主観評価結果
Assessment result for "powerfulness".

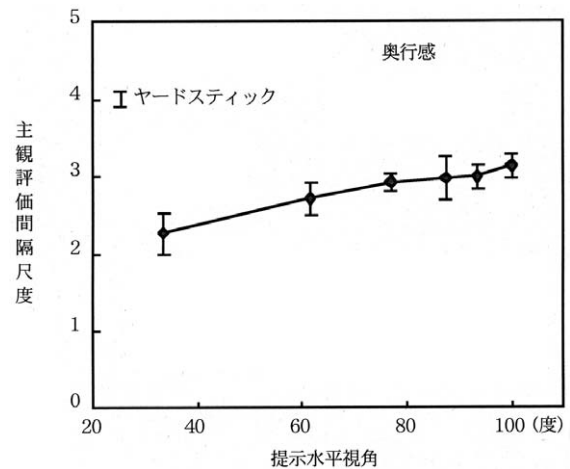


図7 「奥行感」主観評価結果
Assessment result for "depth".

視角の主効果が認められた(それぞれ, $F(5,25) = 166.4$, $p = 2.39E-18$, $F(5,25) = 120.3$, $p = 1.18E-16$, $F(5,25) = 10.6$, $p = 1.46E-05$, $F(5,25) = 12.1$, $p = 5.16E-06$). 多重比較の結果, 「臨場感」, 「力量感」を評価語とした場合, 隣り合う提示水平視角間では87.3°と93.3°の間にのみ有意差が認められなかった. また, 「快適感」, 「奥行感」を評価語とした場合, 隣り合う提示水平視角間では33.2°と61.6°の間にのみ有意差が認められた. これらの結果より, 「臨場感」, 「力量感」に対する評価値は提示水平視角が広くなるとともにほぼ単調増加するが, 「奥行感」, 「快適感」については提示水平視角が広くなると飽和する傾向があることがわかる. また, すべての評価語で撮像水平画角を含めた絵柄の主効果が認められた(それぞれ, $F(5,25) = 4.69$, $p = 0.000001$, $F(5,25) = 14.2$, $p = 0.0001$, $F(5,25) = 8.25$, $p = 0.004$, $F(5,25) = 12.4$, $p = 0.000004$). 多重比較の結果, 撮像水平画角の異なる同じ絵柄間で有意差が認められたのは, 「臨場感」では「母の像」($p = 0.0004$), 「力量感」では「母の像」($p = 0.000001$), 「煉瓦倉庫」($p = 0.002$), 「海」($p = 0.018$), 「快適感」では「母の像」($p = 0.002$), 「煉瓦倉庫」($p = 0.0002$), 「奥行感」では「母の像」($p = 0.021$), 「煉瓦倉庫」($p = 0.0000008$)であった.

これらより, 各評価語で撮像水平画角による影響があること, その影響は「海」では差が検出されにくいことから, 絵柄により差があることが確認された.

次に, 図8に最大提示水平視角100°の臨場感を基準として, 提示水平視角が減少したときの臨場感劣化の許容限に相当する提示水平視角を示す. 平均値に付加した誤差棒は標準偏差を示す. 対応のあるt検定の結果, 撮像水平画角100°の許容限が60°に比較して有意に広い提示水平視角となっていることが明らかになった($t(2) = 3.45$, $p = 0.0374$). これより, 臨場感劣化は提示水平視角だけでなく, 撮像水平画角にも影響され, 広い撮像水平画角で撮像された画像は広い提示水平視角で提示されたときに臨場感劣化が少ないことが示唆された.

また, 表4に絵柄(3水準)×撮像水平画角(2水準)×提示水平視角(6水準)×被験者(21水準), 計756点のデータから求めた各主観評価語相互の同順位補正後のSpearman相関係数を示す. 検定の結果, すべての組で同順位補正P値(両側確率)は0.001%以下であった. 表中, 「臨場感」, 「力量感」間の相関が0.795と比較的高い. 図4, 図5からも両者間の相関の高さが推測される. 高い相関値は必ずしも因果

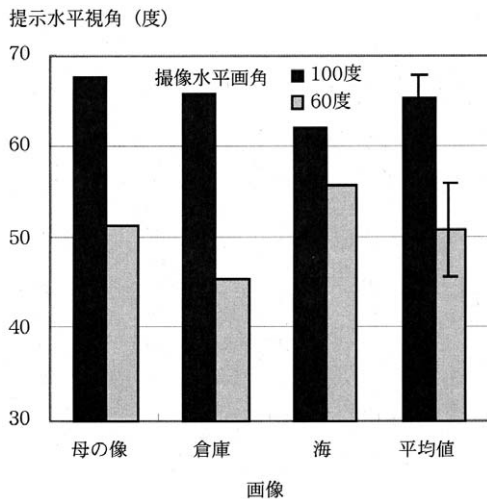


図8 「臨場感」の許容限
Acceptable horizontal field of view limits.

表4 各主観評価語相互の同順位補正相関係数
Spearman's rank correlation coefficient.

	力量感	快適感	奥行感
臨場感	0.795	0.541	0.542
力量感		0.439	0.447
快適感			0.698

関係を示すものではないが、因子分析により抽出された「力量感」を評価語とする主観評価と、「臨場感」を直接評価語とする主観評価の類似性が示された。したがって、「力量感」を評価語とする主観評価の妥当性があること、「臨場感」を直接評価語とする主観評価も可能であることが示唆される。

3.3 重心動揺総軌跡長と各主観評価語による主観評価結果の相関

各主観評価語相互の相関と同様に計756点のデータから、身長による正規化を行った重心動揺総軌跡長と、「臨場感」主観評価の同順位補正後のSpearman相関係数は -0.0274 、同順位補正 p 値 0.451 (両側確率)であり、両者の間に相関があるとはいえないことが明らかとなった。これより、主観的に感じられる臨場感と、視覚入力フィードバック情報を利用して安定化する立位平衡機能の反応は、個々の実験試行毎で一致しているのではないことが示された。

また、身長による正規化を行った前後方向の重心動揺総軌跡長と、「奥行感」主観評価のSpearman相関係数は -0.0534 、同順位補正 p 値 0.143 (両側確率)であり、両者の間に相関があるとはいえないことが明らかとなった。これより、主観的に感じられる奥行感と、前後方向の重心動揺も、個々の実験試行毎には関連が薄いことが示された。

4. 考察

4.1 撮像水平画角の影響

成田らの検討⁵⁾では、画像の撮像画角が好ましい視距離

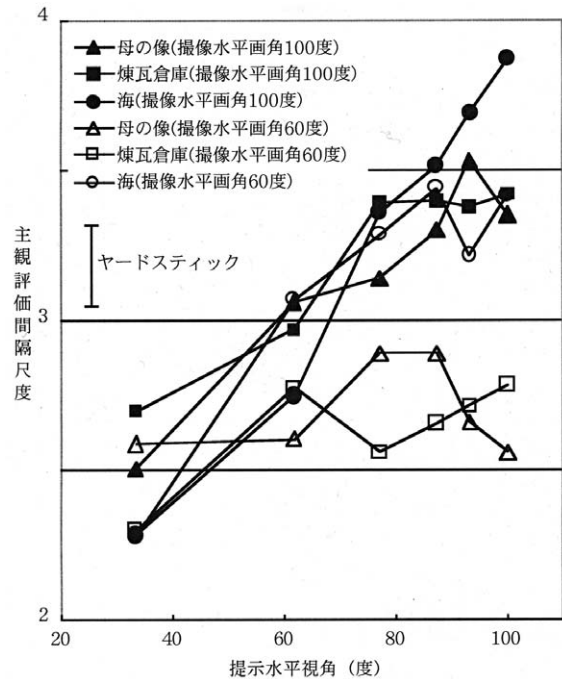


図9 画像別「快適感」主観評価結果
Assessment result of each image for "comfortableness".

に影響を与えること、撮像画角 66° の画像では観視水平画角 60° 程度を越えると「快適感」の低下をもたらすことが報告されている。そこで、「快適感」に対する撮像水平画角の影響を画像別に検討した。図9に、画像別の「快適感」主観評価平均値とヤードスティックを示す。図より、撮像水平画角 100° の画像に対する「快適感」評価値は提示水平視角が広くなるとともにほぼ単調増加するが、撮像水平画角 60° の画像に対しては、上に凸、または飽和する傾向があることがわかる。さらに、「海」では撮像水平画角による差が小さい。これより、「快適感」は提示水平視角だけでなく、撮像水平画角にも影響されること、それは絵柄による差があることが示唆される。「海」については絵画キャンバスのアスペクト比も通常の風景とは異なり、海の知覚における特殊性を経験的に反映していると考えられる²²⁾。今回の実験で提示した画像内容は、臨場感の評価を行うために選択したものであり、画像内容の特殊性が今回の評価結果に影響を与えている可能性が示唆される。

4.2 重心動揺総軌跡長の従来研究との比較

従来¹⁴⁾の静止した視対象に対する姿勢制御の検討では、閉眼時、中心視野 5° 、中心視野 30° 、および、開眼時の検討が行われており、視野が広がるにつれて、重心動揺総軌跡長の短縮、重心動揺面積の減少、パワースペクトルの視覚入力に関係するとされている低周波成分の減少が認められている。今回も同様の結果が得られたが、重心動揺総軌跡長に関しては、視野角 61.6° を超えると、重心動揺総軌跡長が短縮する効果が飽和することが新たに明らかとなった。この値は、主観的垂直軸の誘導量が飽和する $80^\circ \sim 100^\circ$ ¹⁾や、視覚誘導自己運動感覚による重心動揺を指標とした検討により誘導効果が飽和する約 90° ⁹⁾よりも若干小さ

い。これら従来の検討結果は、スクリーン形状がドーム状であるか、平面に近いのか、また提示画像や観視距離などの実験条件や評価指標が異なるため、本実験結果との直接的な比較は困難であるが、以下では、いくつかの項目について定性的な比較を試みる。

まず、スクリーン形状の影響に関して、ドームスクリーンでは被験者と画像提示位置までの距離と画面を見込む角度が中心視野と周辺視野で一定である。一方、平面スクリーンでは中心視野から周辺視野に広がるにつれて、被験者と画像提示位置までの距離が延長する。同時に画面を見込む角度も浅くなるため、視覚刺激強度としては弱くなると推測される。姿勢制御においては、姿勢の変化に伴う像の網膜上のぶれが視覚系からの重要なフィードバック情報になっていることが、中心視に提示されたレーザ光を用いた実験で示されている²³⁾。像の動きに敏感な周辺視野では、中心視と同様かそれ以上のフィードバック情報が得られると考えられるため、周辺視野からの視覚フィードバック情報が少ないと、周辺視野の姿勢制御への影響がドームスクリーンに比較して小さくなり、相対的に中心視野の影響が大きくなると推測される。

次に、視対象が静止画像であるか、動画であるかの差に関して考察する。動画画像観視時の視覚誘導自己運動感覚による重心動揺に比較して、静止画像観視時の姿勢制御の安定性への影響は、上述の検討結果¹⁴⁾においても、今回の実験結果においても、中心視野の寄与が大きい。これは、視対象が静止している場合、動きに対する感度が高い周辺視への寄与が減少した結果であると考えられる。また、上述の検討結果¹⁴⁾では、開眼時の視野角が明らかではないが、視距離3mという実験条件から推定して、本実験の最大視野角である100°までは達していないと考えられる。このため、本実験は従来の検討をさらに発展させ、100°までの視野角に対する検討を行ったと位置づけることができる。本実験の結果、上述した、静止画像観視時の姿勢制御の安定性への影響は、中心視野の寄与が大きいことが確認され、さらに、姿勢制御へ及ぼす静止画像の提示水平視角の影響が、飽和する視角があることが新たに明らかになった。

以上のような、画像による主観的垂直軸の誘導効果や画像観視による姿勢制御の変化は、主に視覚入力による空間把握の結果を反映する。脳内では、視覚系などを通じて取り込まれた環境空間座標が再構築され、一種の地図を構成しているという仮説が提唱されており、脳内空間地図と呼ばれている²⁴⁾。画像による主観的垂直軸の誘導量が多い、動画画像観視による重心動揺が大きい、および、静止画像観視による重心動揺が小さい場合には、画像情報として取り込まれた環境空間座標が脳内空間地図によく反映されており、観視画像によって提示された空間と、脳内空間地図の一致度が大きい状態であると考えられる。空間把握は意識に上らないことも多く、その意味で、意識下の臨場感とも言えるのではないだろうか。

また本実験では、画像観視時の重心動揺測定の際には、被験者に体の力を抜いて(リラックスして)目の高さの画像中心を自然に見るように指示した。被験者への教示と重心動揺との関係については、十分な検討がされているとは言い難い。今回のように楽な姿勢で立つように教示した場合には、視野制限を行わないときの動揺が大きく、視野制限のような軽い負荷の影響を見るには不適當であり、被験者に安定に立つような努力を要求する必要があることが報告されている²⁵⁾。しかし今回の結果は、最大視角で動揺が大きくなるような傾向は認められなかった。これは視野制限ゴーグルの縁の影響であると推測することができる。すなわち、重心動揺に伴い、ゴーグルの縁により見え隠れする部分が生じ、これが強力な視覚フィードバックとなったため、視野制限時に姿勢制御が安定し、相対的に視野制限を行わないときの動揺が大きく評価されたものと考えられる。一方、本実験では視野制限は行わず、画像の縮小により視覚系に提示する情報を統制した。このため、重心動揺に伴うフィードバック情報がゴーグルを用いたときに比較して少なく、最大視角での相対的な姿勢制御の不安定が認められなかったものと考えられる。以上より、今回の被験者への教示には問題がなかったと推測される。

5. む す び

以上、広視野映像システムの臨場感評価を目的として、さまざまな評価語による主観評価を行うと同時に、人間の空間把握の結果として変動する立位姿勢制御反応を計測し、絵柄、撮像水平画角、提示水平視角の影響を静止画を用いて検討するとともに、指標相互の相関を検討した。

その結果、視覚入力が姿勢制御に与える影響に関しては、提示水平視角が広くなり、現実世界を見ている状態に近くなるにつれて、姿勢制御応答も安定し、提示水平視角が61.6°を超えると飽和する傾向にあることが明らかとなった。これは、従来のドームスクリーンに投影された動画画像による、視覚誘導自己運動感覚による重心動揺を指標とした検討などに比較してやや小さい値であり、平面スクリーンに投影された静止画像では、視覚入力が姿勢制御の安定性に与える影響は、周辺視野の寄与が小さいことが示唆された。

また、主観評価による検討では、「臨場感」、「力量感」に対する評価値は提示水平視角が広くなるとともにほぼ単調増加するが、「奥行感」、「快適感」については提示水平視角が広くなると飽和する傾向があることが明らかとなった。同時に従来の検討で因子分析により抽出された「力量感」は「臨場感」と相関が高いこと、「快適感」は提示水平視角が広くなると飽和する傾向があり、撮像水平画角や絵柄による影響があることが示唆された。

さらに、「臨場感」の主観評価と、重心動揺総軌跡長との間の相関は低く、主観的に感じられる臨場感と、視覚入力のフィードバック情報を利用して安定化する立位平衡機能

の反応は、相関が低いことが示された。

今回の検討は、静止画を用いたものであり、従来の視覚誘導自己運動感覚を生起させるような動画を用いた検討とは一線を画する。しかし、テレビシステムの臨場感評価に動画像を用いることは不可欠であり、今後、検討を進める予定である。

〔文 献〕

- 1) 畑田, 坂田, 日下: "画面サイズによる方向感覚誘導効果 - 大画面による臨場感の基礎実験 -", テレビ誌, 33, 5, pp.407-413 (1979)
- 2) M. Sugawara, M. Kanazawa, K. Mitani, H. Shimamoto, T. Yamashita, and F. Okano: "Ultra-high-definition Video System with 4000 Scanning Lines", SMPTE Motion Imaging, pp.339-346 (Oct./Nov. 2003)
- 3) J. Freeman, et al.: "Effects of Sensory Information and Prior Experience on Direct Subjective Presence Ratings of Presence", Presence, 8, 1, pp.1-13 (1999)
- 4) 大谷, 藤尾, 浜崎: "高品位テレビジョンの画面方式と主観評価", NHK技術研究, 28, 4, pp.161-179 (1976)
- 5) 成田, 金澤, 岡野: "超高精細・大画面映像の鑑賞に適した画面サイズと観視距離に関する考察", 映情学誌, 55, 5, pp.773-780 (2001)
- 6) M. Meehan, et al.: "Peripheral Responses to a Mental-stress Inducing Virtual Environment Experience. P. M. Sharkey, et al. (Eds.), Proc. of the 3rd International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, pp. 305-310, Reading, UK: University of Reading, (2000)
- 7) 田中勲作: "III. 姿勢の制御", 入来, 外山編 生理学, 文光堂, pp.514-516 (1986)
- 8) T. Brandt, J. Dichgans and E. Koenig: "Differential Effects of Central Verses Peripheral Vision on Egocentric and Exocentric Motion Perception", Exp Brain Res. 16, 5, pp.476-491 (1973)
- 9) 清水, 矢野, 三橋: "広視野立体画像観察時における重心動揺に関する一考察", テレビ誌, 45, 1, pp.108-110 (1991)
- 10) 清水, 江本, 三橋: "人間の姿勢制御における空間認知と広視野立体画像", NHK技術R&D, 26, pp.66-72 (1993)
- 11) 外山: "空間視における役割", 神経眼科, 3, pp.3-15 (1986)
- 12) R.B. Post: "Circular Vection is Independent of Stimulus Eccentricity", Perception, 17, pp.737-744 (1988)
- 13) W.M. Paulus, A. Atrube and T.H. Brandt: "Visual Stabilization of Posture; Physiological Stimulus Characteristics and Clinical Aspects", Brain, 107, pp.1143-1163 (1984)
- 14) 和田, 佐々木: "直立姿勢制御における視野の影響 - 身体の動揺の研究 第32報 -", 耳鼻臨床, 補38, pp.37-46 (1990)
- 15) M.P. Murray, A. Seireg, R.C. Scholz: "Center of Gravity, Center of Pressure, and Supportive Forces During Human Activities", J Appl

Physiol. 23, 6, pp.831-838 (1967)

- 16) E.V. Gurfinkel: "Physical Foundation of Stabilography", Agressologie, 14C, pp.9-14 (1973)
- 17) 鈴木: "視覚的枠組みに対する定位づけが直立姿勢に及ぼす効果", Equilibrium Research, 56, pp.430-435 (1997)
- 18) F.H. Previc: "Functional Specialization in the Lower and Upper Visual Fields in Humans: Its Ecological Origins and Neurophysiological Implications", Behavioral Brain Sciences, 13, pp.519-542 (1990)
- 19) 柳 在鎬, 橋本直己, 佐藤 誠: "没入型ディスプレイの映像提示領域による没入感への影響", 映情学誌, 59, 7, pp.1051-1058 (2005)
- 20) M. Saffir: "A Comparative Study of Scales Constructed by Three Psychophysical Methods", Psychometrika, 2, pp.179-198 (1937)
- 21) 田中: "身体動揺に影響する諸因子の研究", 福岡医誌, 77, 3, pp.194-207 (1986)
- 22) 大中悠起子, 竹澤智美, 松田隆夫: "写真の長短比と大きさが写真の印象評定に与える影響", 立命館人間科学研究, 5, pp.171-185 (2003)
- 23) 河合, 古賀, 間野: "重心動揺と視標の連動時における身体動揺", 環研年報XLII, pp.246-248 (1991)
- 24) 笠井: "脳内空間地図の仮説", 生体の科学, 35, 3, pp.206-214 (1984)
- 25) 羽柴: "視覚による立位姿勢の安定化 - 周波数分析による特徴と視野制限の影響 -", 名市大医誌, 40, 3, pp.589-602 (1989)



えもと まさひろ
江本 正喜 1988年, 京都大学大学院工学研究科修士課程電気工学修了。同年, NHK入局。岡山放送局を経て, 1991年より, 同放送技術研究所に勤務。現在, 同研究所(人間・情報)にて, 広視野映像の効果に関する研究に従事。人間・環境学博士。正会員。



まさおかけんいちろう
正岡顕一郎 1994年, 東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。1996年, 同大学大学院博士前期課程修了。同年, NHK入局。放送技術研究所, 放送技術局を経て, 現在, 放送技術研究所(人間・情報)にて, 高精細映像の研究に従事。正会員。



まがはら まさゆき
菅原 正幸 1983年, 東北大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, NHK入局。神戸放送局を経て, 1987年より, 放送技術研究所に勤務。固体撮像素子, ハイビジョンカメラ, 超高精細撮像技術, 超高精細映像システムの研究に従事。2000年~2004年, 電気通信大学大学院客員助教授。現在, 同所(人間・情報)主任研究員。工学博士。正会員。



のじり ゆうじ
野尻 裕司 1979年, 早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年, NHK入局。福岡放送局を経て, 1982年より, NHK放送技術研究所にて, ハイビジョンの研究開発に従事。現在, 同研究所(人間・情報)研究主幹超高精細映像研究リーダー。博士(工学)。正会員。