

[招待講演] 環境からの感覚情報統合の多様性と錯視の個人差 ～大画面ディスプレイの曲面残効などを例として～

大塚 作一

鹿児島大学 〒890-0054 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-40

E-mail: otsuka@ibe.kagoshima-u.ac.jp

あらまし 錯視は一般的に複数の視覚情報の統合に矛盾が生じる場合に発生する。従来、一部の例外を除き、錯視は個人の能力や環境に依存せず普遍的に生じるものと考えられてきた。しかし、我々の行ったいくつかの心理物理実験（立体手がかりの競合、立体フットステップ錯視、曲面残効、など）の結果によると、個人の能力や生活環境によって外界からの感覚情報の統合方法が大きく異なっている可能性が示唆された。これは、近年の情報ディスプレイやモバイル環境の急速な発達と密接に関係していると考えられる。今後、このような現象を人間の発達との関係で注意深く研究を進めることが必要である。

キーワード 錯視, 個人差, AR, VR, 視覚

[Invited Talk] Variety of Sensory Information Integration from Environments and Individual Differences in Visual Illusion

— Examples as Aftereffect of Viewing Concave Curved Displays in a Large and
Wide-Angle Environment —

Sakuichi OHTSUKA

Kagoshima University 1-21-40 Korimoto, Kagoshima-shi, Kagoshima, 890-0054 Japan

E-mail: otsuka@ibe.kagoshima-u.ac.jp

Abstract Visual illusions typically occur when inconsistencies in the integration of multiple visual information arise. Conventionally, with some exceptions of specific situations, optical illusions have been considered occurring independently from individual skills and/or environments. However, the results of our psychophysical experiments (e.g., conflicts of 3D cues, stereoscopic footsteps illusion, curved-surface aftereffect, etc.) suggest that the integration procedures of sensory information from the external environments could largely depend on individual abilities and environments. One can imagine it closely related to the rapid development of information displays and mobile console environments in recent years. Therefore, it is considered necessary to continue conducting careful studies on such phenomena concerning human developments.

Keywords visual illusion, individual differences, augmented reality, virtual reality, visual perception

1. はじめに

近年 HDR (High-Dynamic-Range) 撮像・表示技術や 4K, 8K といった SHD (Super-High-Definition) 映像技術が急速に進歩している。モバイルやウェアラブル表示技術についても同様である。そして、この両者を複合した新しい VR (Virtual-Reality) / AR (Augmented-Reality) 技術は人類を未だかつて経験したことのない世界に誘おうとしている。

しかし、我々が非常に現実感のある画像や映像に接することが出来るようになったのは人類の進化の歴史として捉えるとほんの一瞬のことである。ルネサンス

期のレオナルド・ダ・ビンチをはじめとした絵画における透視図法と遠近法の確立 (15 世紀～16 世紀) やルーベンスがポッゲンドルフ錯視を知覚していた証拠 (17 世紀初頭) [1] など、静止画の領域でも 500 年程度しか遡ることができない。また、カラー写真の発明から約 150 年、そして、デジタルハイビジョンの普及に至っては未だ 20 年足らずである。

ここで、一般的に最先端の技術を適用する際の弊害を防止するためには人類の進化の歴史を注意深く振り返る必要があることが知られている [2]-[7]。また、最近 (特に昨年の 2016 年以降)、各種の調査 [8][9] や我々

の行った各種検討[10]-[12]においても若年層の認知特性に様々な変化の兆候が表れていることが明らかとなった。したがって、より低次の知覚レベルでも様々な変化が生じている可能性が考えられる。

そこで、今回、スポーツ情報処理とメディア工学の合同研究会の開催に際し、報告者らの錯視の最近の研究結果に基づいて大別して2つの観点から話題を提供する。

まず、個人差とは無関係に脳の情報処理能力が限界に近い場合には、(1) 脳が動きの方向に依存して動的にリソースを振り分けた結果として錯視が生じること (2. 参照) [13][14], また、(2) 情報量が多く取得された各種の情報の信頼度が低下してきた場合に「脳が全体の矛盾を補うような処理を行うことによって、可能な限り全体としての信頼性を向上させるような処理を行った結果」として錯視が生じること (3. 参照) [15]-[17], を示す。これらの知見は、VR / AR などの人工的な情報呈示を行う場合には、様々な種類の環境情報(単に視覚情報に止まらず重力情報等も含まれる)を自然界と同様に付与することの重要性を示唆するものである。

つぎに、冒頭にも述べたように、人類の緩やかな視覚利用の進化史と比較すると、戦後から現代に至る50年余りの間に我々の視環境は未曾有の変容を遂げた(テレビジョンの発達による高精細・カラー・ハイダイナミックレンジ(HDR)映像の普及、モバイル環境や激しい動きを伴ったゲームの発達など)ことの影響について、現在我々が得ている知見を述べる。換言すると、人工的なディスプレイ環境の増大によってもたらされた成長過程における視覚情報取得経験の偏りが人間の視覚の発達過程に従来の常識では想像すら出来なかった異変(人工環境への適応; 捉え方によっては進化)が起こりつつあることを例に基づいて紹介する (4. ~6. 参照) [18]-[22]。これらの結果から、脳の高度な情報処理(すなわち仮説に基づく推論[4])に依存している人間は、想像以上に環境の変化を受けやすい生物であることが示唆される。

以上を総括して、最先端技術を適用するにあたっての一般的な知見に沿って、今後、注意深く研究を継続する必要があることを以下に述べる。

2. 脳の情報処理における動的なリソース割り当ての証拠としての速度の錯視

2.1. 背景

LED 技術の進歩に伴って、今から約 20 年前(1990年代半ば頃)から街頭、公共交通機関の内部、そして、個人用にドットマトリックス方式の LED 上にスクロール文字を表示する機器が盛んに用いられるようになった。現在は更にデジタルサイネージと呼ばれる大

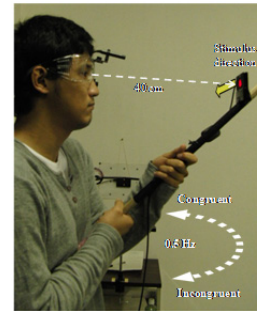


図 1 Body-Sway Display の実験

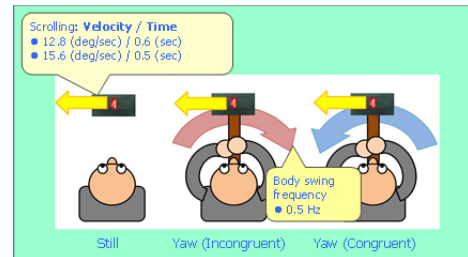


図 2 知覚の模式図

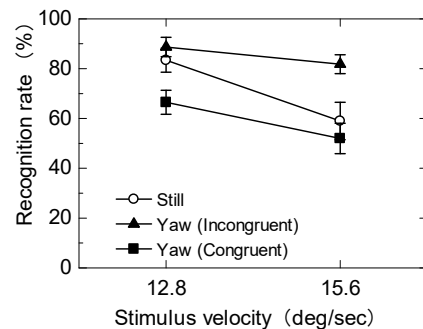


図 3 実験結果

画面 LCD 等を用いた表示に移行しつつあり、長足の技術の進歩に隔世の感もあるが、当時はこの技術の進歩に驚いたものである。

また、2000 年代になってテレビジョン放送においてもハイビジョン映像が容易に提供できる状態となり、情報表示に余裕が生じたことにより通常番組の映像と共にスクロール文字等を用いた付加情報が提供されるようになった。

このような表示技術の進歩によって、観察者と動的に提供される文字情報との関係に従来とは異なった状態が生じた。この状況で相対的な運動方向の違いにより視認性や知覚される文字のスクロール速度が異なることが明らかとなった。

2.2. 観察者が能動的に回転する場合[13]

我々は、まず、図 1 に示す様に観察者が能動的に回転移動する場合に速度知覚と視認性が回転状態に応じて変化することを偶然のきっかけで発見した。この結果は、図 2 および図 3 に示す様に、静止状態と比較して、(1) 文字のスクロール方向に向かって移動する場

合には、知覚される速度は低下し、かつ、視認性が向上すること、逆に、(2) 文字のスクロール方向と同一方向に移動する場合には、知覚される速度は上昇し、かつ、視認性が低下すること、が明らかとなった。

詳細な検討過程は省略するが、実験結果を総合的に考察すると、この錯視は、観察者に対する相対的な情報の移動方向によって脳が情報の重要性を無意識に判断して重要な（即ち向かって来る）方向に対してリソースを多く割り当て処理のクロックを上昇させた結果であることが示唆された。情報の一貫性について完全な補正を行うことが出来ないために錯視が生じることとなっているが、脳が極限状態で極めて理にかなった処理を行っていることを示す好例であろう。

2.3. 観察者が受動的に移動する外界情報と文字情報を受容する場合[14]

2.2 では観察者が能動的に移動する場合について述べたが、実験の結果、図4および図5に示すような列車に乗車中の場合やテレビのスクロール文字と番組中の映像の移動方向との相対関係でも2.2と同様の結果が得られた。

2.4. 考察

これらの結果をまとめると、自然界で移動する物体を観察している状態では錯視に気付くことは稀であるが、移動する文字情報を能動的に取得する構えを持った状態の出現によって、人間の脳が極めて理にかなった動的リソース配分を行っていることが示された。

3. 低速回転時のベンハムのコマの色と長さの複合錯視：複雑な情報統合の一例として[15]-[17]

3.1. 背景

一般に、「ベンハムのコマ」は無彩色の模様を付加したコマを高速回転させると帯状に着色して見える錯視であり、Y-B（錐体レベルの表現では、(M+L) 錐体-S 錐体）の反対色を知覚するメカニズムが関与していること知られている[23][24]。

ここで、我々はその知覚メカニズムを詳細に解析するために低速回転するベンハムのコマの実験装置を製作して検討を行ったところ、(1) 着色については広範囲な領域で色知覚の整合性を担保する目的で知覚の補正機構が関与した結果であること、(2) 特定の白黒模様の変化条件で着色以外にも線分の長さが伸長して知覚され、これは色知覚メカニズムとは独立に明るさ知覚のメカニズムに起因していること、を発見した。この複合錯視について以下に述べる。

3.2. 色の錯視

まず、色知覚については、統合処理の範囲について2つの部分を考えることが出来る（図6参照）[17]。詳細な過程は省略するが、錐体の応答速度に関する仮



図4 電車の車内表示の例

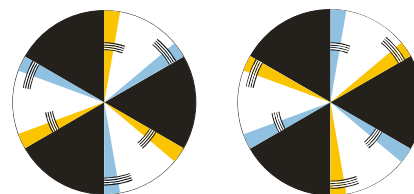


図5 災害情報のスクロール表示の例

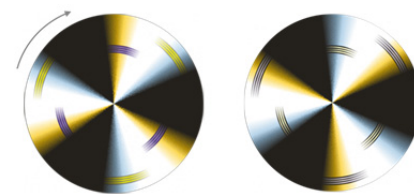


(a1) 全体の領域 (a2) 線部以外の領域

図6 統合処理領域



主観色実験 刺激例



増強効果

相殺効果

図7 刺激の例(上)と回転時の知覚の模式図(下)

説を検討するために線部以外に黄色もしくは青色を着色した刺激を用いて種々の実験を行った（図7にその例を示す）。その結果、明るさの知覚の場合とは逆に「S 錐体の反応が (M+L 錐体) の反応よりも速い」と仮定するとうまく説明ができることが明らかとなった（表1参照）。

3.3. 長さの錯視

つぎに、我々が発見した長さの錯視について、簡単に概要を述べる（図8参照）。

低速で回転する線分が回転方向に伸縮する「長さの

錯視」について詳細な検討を行うため、3 条件（線の種類、線の位置、線の背景色）を変化させた円盤を用いて、比率測定法と位置測定法で実験を行った。

その結果、位置測定法では、若干の誤差(最大 2.6°) は認められたものの、概ね変化点が正しく知覚されていたのに対し、比率測定法では、rear / white 条件のみ顕著に線分が伸長していることが明らかとなった（最大伸長 11° ，約 1.5 倍）。これより、長さの錯視は(1) 位置ではなく長さを判断する知覚レベルで生じ、(2) 白黒変化に接する黒線分の伸長知覚は、自然の摂理に反して時間的な矛盾を含む現象であることが示唆された。

3.4. 考察：複雑な統合の結果の証左

上述の 2 つの結果をまとめて模式図を描くと図 9 に示す通りとなる。目に入った視覚情報は脳における処理の過程で形や色などの要素に分解された後に再構成されていることが知られており[4]，ここで取り上げた錯視はそれらが統合された状態で複合して生起していることを示しており、非常に興味深い。

4. 錯視と個人差(1): 立体手がかりの矛盾[18][19]

ここでは、我々人間の脳が両眼視差と陰影の情報の重要性についてどのように解釈をしているかに述べる。一般には人の顔などの特殊な例（Hollow-Face / Hollow-mask 錯視[4]）以外は両眼視差が優位であると考えられてきた。しかし、図 10 に示すよう刺激を用いて両眼視差情報と陰影情報を矛盾する形で提示すると、立体視力は正常であるにも拘らず、視差を全く無視して陰影の情報のみで判断する被験者が存在することが明らかとなった（図 11 (b) 参照）。ただし、これらの被験者においても訓練の結果一旦両眼視差情報に気付くとそちらを優先する結果となることも追加実験で確かめられた。

この結果から、現代人においては視環境の変化によって視差情報の重要性が低下している可能性が示唆される。なお、ごく最近同様な事例が黒川らによって報告されている[25]。

5. 錯視と個人差(2): S3D フットステップ錯視[20]

フットステップ錯視 (Footsteps illusion; 以下 FI) とは、Anstis によって発見された、白黒の縦縞模様の背景上で輝度が異なる 2 つの灰色の矩形を同一方向に等速運動させると、2 つの矩形が足のように交互に進むように知覚される現象である[26]。

ここでは両眼視差を付けた立体 (S3D) フットステップ錯視の知覚の個人差について述べる(図 12 参照)。

まず、予備検討として被験者の動的な立体視力を確認した結果から、簡易な立体視検査において正常な立体視力があると判定された被験者の約半数が、動的な状況においては矩形の輪郭の視差を正確に知覚できないという結果が得られた（刺激図形は図 13 を参照）。

表 1 仮説に従って予想される結果

領域	条件		予想	
	着色	誘導色の知覚	無着色に対する変化	
黒白 (KW)	青(B)	黄	増強	
	黄(Y)	青	相殺	
白黒 (WK)	青(B)	黄	相殺	
	黄(Y)	青	増強	

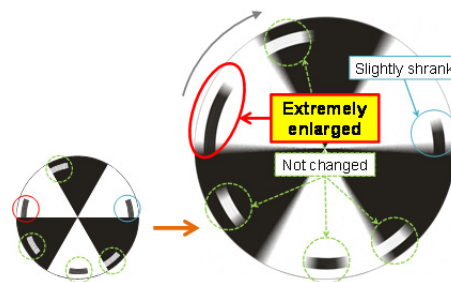


図 8 線長錯視の回転時の知覚の模式図



図 9 複合錯視生起の模式図

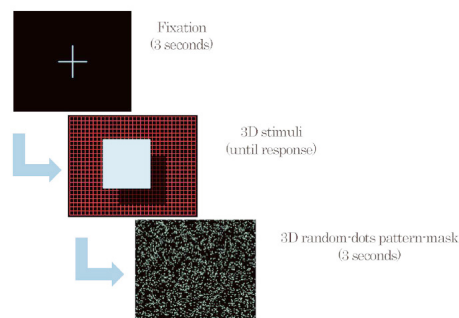


図 10 実験刺激

図 14 に示す様に、この中には予想外の面の分離の例も観察された。これについては、今後更に検討を要するが、現代人の両眼視差重視から運動視差重視への情報受容構造の変容が示唆される。

つぎに、本実験として正常な立体視力を有する被験者(判別可能群) 10 名を対象として、立体視に基づく主観的輪郭生成時の FI の生起時間を計測した結果から、(1) 両眼統合以降の統合処理によって生成・保持された輪郭情報によって FI 生起までの時間が遅れることが明らかとなり、(2) この輪郭情報が、人間が剛物体の速度を正しく推定するための重要な手がかりと

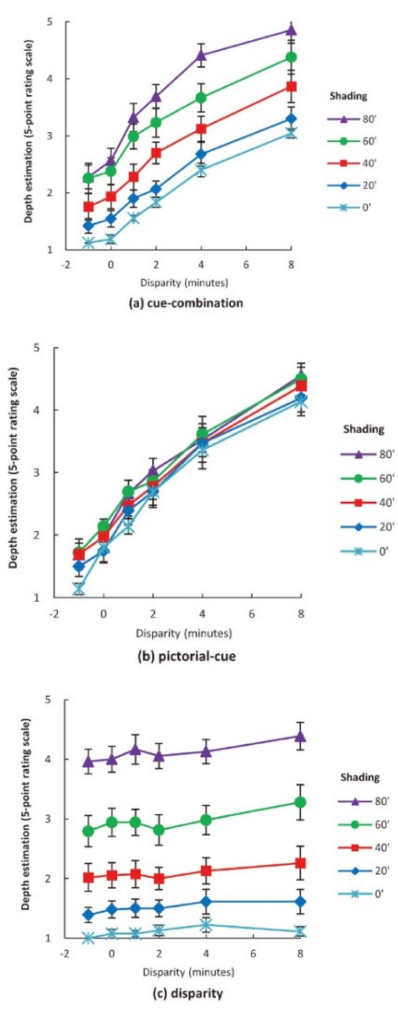


図 11 矛盾する 3D 刺激に対する 3 種類の反応

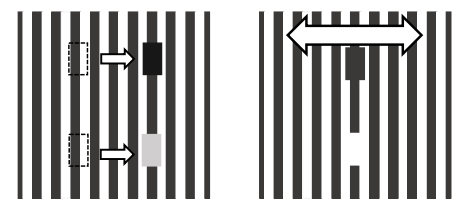


図 12 フットステップ錯視 (FI) の刺激呈示方法の違い: Anstis の方法 (左) と報告者らの検討 (右)

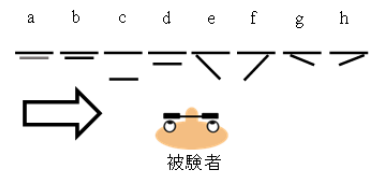
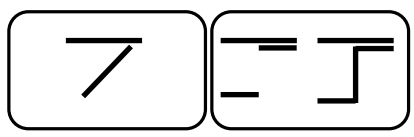


図 13 予備実験で用いた 3D 刺激の傾き



(a) 予想 (b) 2面に分離する例

図 14 刺激見え方の個人差の例

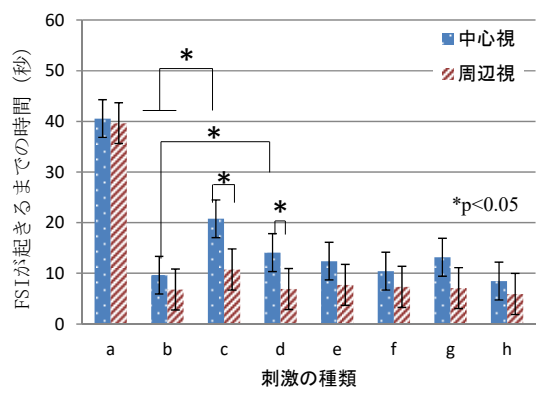


図 15 判別可能群の結果

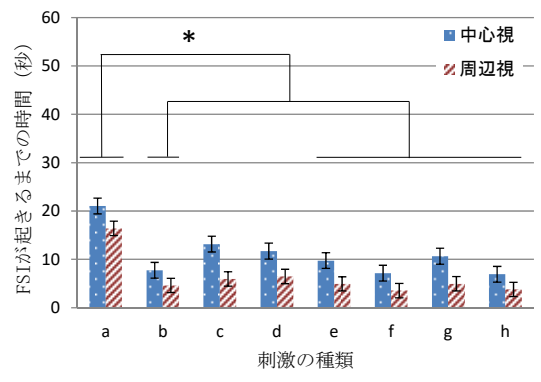


図 16 判別不能群の結果

して用いられていることが示唆された. 図 15 に判別可能群の実験結果を, また, 図 16 にこれとは対照的な判別不能群の結果を各々示す.

したがって, 本来人間は運動物体観察時においても両眼視差を重要な情報として利用していることが示唆された.

6. 錯視と個人差 (3): 曲面残効[21][22]

最後に報告者らが近年発見した曲面残効と名付けた錯視とその個人差について述べる. 本錯視は, 近年高精度・大画面の曲面ディスプレイが開発されたのに伴って報告者らがその没入感を調査していた過程で偶然発見したものである. 図 17 に実験に用いた模擬曲面ディスプレイの写真を示, 図 18 に曲面残効の模式図を示す.

まず, 没入感については錯視の生起に関らず全ての被験者が平面ディスプレイよりも曲面ディスプレイの方を好む結果が得られた.

しかし, この過程で平面を見ると凸面にみえる残効が起こる被験者と起こらない被験者に分かれた. どちらの被験者が自然の摂理にかなった情報受容をしているのかについて追加の検討を行ったところ, 残効群の被験者は, 図 19 に示す実験装置を用いて回転画像観察時の重心動揺を測定した結果から, (1) 普段は視覚優位の環境情報の受容を行っていると考えられるが, (2)

視覚と重力を統合した平衡感覚を持ち合わせており、環境適応能力に優れていること(図 20 参照),さらに、(3) 一度経験した状況には数週間経っても適応を維持していること, が明らかとなった。一方で、非残効群の被験者は、(1) 普段から視覚優位の環境情報の受容を行っていないこと、(2) 状況の変化に殆ど対応できないこと、が明らかとなった。

この結果から、普段から残効群の被験者が自然の摂理に対して忠実な生活を行っているものと推定でき、非残効群の被験者の様態は、人工の生活環境に慣れ親しんだ結果、本来生起すべき錯視が喪失した可能性示唆したと推測できる。

7. 考察: 発達に応じた適切なリアリティの提供の重要性[10]

従来の常識に従えば、産業革命以降の他の発明、例えば高速に移動する自動車、さらには飛行機を子供に運転・操縦させることを勧める大人は誰一人としていないであろう(最近ついに例外となる事例も報告されている[27])。これは、高速移動に対する恐怖を実世界中で共有出来ているからである。この意味で遊園地にあるゴーカートはよく制御された状態で子供にスリルを与えることができるツールとなっている。

一方で、白黒テレビジョンに始まる受動的動画視聴から始まって、最近の VR に至る膨大な非現実視覚情報の提供は、人間を「超高速移動」という体感なしに現実の世界から仮想の世界に移動させると同時に、本質的には「自分はずっと絶対に安全な状況にいる」という安心感(錯覚)を抱かせるツールになる。それ故に多くの大人はカーレーシングやフライトのシミュレーションゲームには寛容になり、子供が楽しむことをいとも簡単に許すことになってしまうと考えられる。

これまで述べてきたように、子供たちが、VR/AR の世界を体験したり非常に高精細な SHD テレビジョンを体験したりする前に、幅広い実世界の体験を積んでおくべきであることを強く示唆する。さもなければ、彼らは VR/AR の世界から誤った体験を身に付けてしまうであろう。具体的には、危険に満ち溢れた実世界環境とは正反対にどんな事象も常に安全(つまり他人事)と錯覚することになる。

しかし、まずその前に、人間の成長には実世界での経験(特に自然に対する畏怖や安全に関する事象)が最初に必要であることを銘記し、これらの最先端技術を弊害なく利用するには人類の進化の歴史を注意深く考慮する必要があることも忘れてはいけない。そして、人間は一旦実環境において正しい体験を獲得すれば、恐怖を連想しながら VR/AR 技術を利用することができるので先端技術も初めて有用になるであろう。

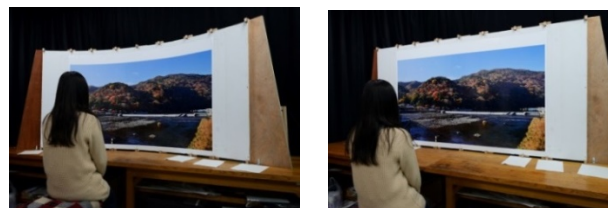


図 17 模擬曲面ディスプレイと平面に戻した状態

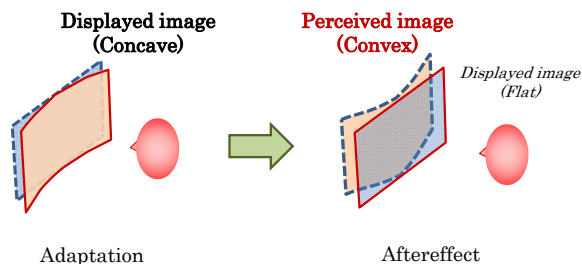


図 18 曲面残効の模式図



図 19 重心動揺実験の様子

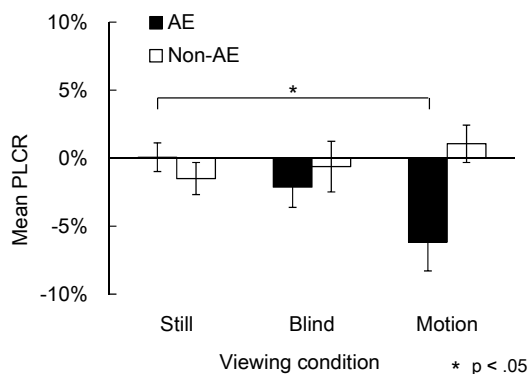


図 20 平均 PLCR (Path Length Change Rate) 計測による計測結果: Motion 条件で残効群が有意に減少しているのに対し非残効群では変化が認められなかった。

8. むすび

今回、スポーツ情報処理とメディア工学の合同研究会の開催に際し、報告者らの錯視の最近の研究結果に基づいて、(1) 何気ない人間の視覚情報処理における複雑な処理の結果として生起する新しい錯視の紹介、(2) 若い世代において人工的な視環境に育った結果として錯視の知覚に由来想像もつかなかったような個人差が生じつつある事実の紹介、という 2 つの観点から話題を提供した。

これらの議論を踏まえると、現在活発な研究開発が行われている AR/VR 技術について、今後はこれらの革新的な新技術が人間の発達に対して与える影響を広範囲に考慮して実用化に取り組むことが肝要であると考えられる。

謝辞

協同研究者や実験に参加頂いた被験者の方々に感謝の意を表します。本研究の一部は科研費 15K00278 の補助を受けて実施された。

<参考文献>

- [1] D. R. Topper: "The Poggendorff Illusion in *Descent from the Cross* by Rubens," *Perception*, Vol. 13, No. 6, pp. 655-658 (Dec. 1984).
- [2] 久保田競: "能力を手で伸ばす," PHP 文庫, PHP 研究所 (Jul. 2010) - 原書は紀伊國屋書店から 1983 に出版.
- [3] 久保田競: "手と脳 増補新装版," 紀伊國屋書店 (Dec. 2010).
- [4] Richard L. Gregory (訳: 近藤倫明, 中溝幸夫, 三浦佳世): "脳と視覚 - グレゴリーの視覚心理学," プレーン出版 (Mar. 2001).
- [5] 三宅なほみ: "インターネットの子どもたち (今ここに生きる子ども)," 岩波書店 (July 1997).
- [6] 金澤治: "デジタル家電が子供の脳を破壊する," 講談社+α 新書 162-2 B, 講談社 (Jan. 2005).
- [7] 小西行郎: "子どもの脳によくはないこと," PHP サイエンス・ワールド新書 038, PHP 研究所 (Apr. 2011).
- [8] 新井紀子: "英語やプログラミングの前に日本語が必要", 日経産業新聞 電子版, <http://www.nikkei.com/article/DGXXZ005615580T00C16A8X12000/> (Aug. 4, 2016) (2017 年 11 月 05 日閲覧).
- [9] B. Donald: "Stanford researchers find students have trouble judging the credibility of information online," <https://ed.stanford.edu/news/stanford-researchers-find-students-have-trouble-judging-credibility-information-online> (Nov. 22, 2016) (2017 年 11 月 05 日閲覧).
- [10] 大塚作一: "(創立 100 周年記念懸賞論文)【優秀賞: 情報・システムソサエティ】「紙」を超える真の ICT ツールの実現にむけて," 電子情報通信学会誌, Vol. 100, No. 12 (Dec. 2017 掲載予定).
- [11] 大塚作一: "(招待講演) 言語および非言語視覚情報統合の重要性 ~両者を活用したノート記録と振り返り~, " 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 41, No. 33, pp.93-99 (Oct. 2017).
- [12] S. Ohtsuka, AU. Rehman, S. Iwaida, S. Hira: "Enhancing Note-Taking and Review Processes Using an Interactive Dual-input and Dual-display Interface," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol. 48, No. 1, pp. 868-871 (May 2017).
- [13] S. Ohtsuka, S. Oka, K. Kihara, T. Tsuruda, M. Seki: "Effect of human-body swing on visibility of scrolled texts with direction dependency," *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol.1, No.4, pp.263-270 (Oct. 2013).
- [14] K. Kihara, M. Seki, S. Ohtsuka: "Deterioration of Visibility of Scrolling Text Presented Nearby Image Moving in the Opposite Direction," *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E96-A, No. 1, pp. 340-344 (Jan. 2013).
- [15] 小路香織, 宮田千恵美, 木原健, 磯俊樹, 大塚作一, H. Ono: "ベンハムのコマで生じる長さの錯視 ~ 白黒変化の白領域に存在する黒線分の特異的伸長の知覚 ~," 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 40, No. 37, pp. 41-44 (Nov. 2016).
- [16] 小路香織, 木原健, 大塚作一, H. Ono: "ベンハムのコマに青もしくは黄色領域を設けた場合の誘導色の変化 ~ 着色部分の明度と彩度を変化させた場合 ~," 電子情報通信学会技術報告, Vol. 115, No. 216, pp. 27-32 (Sep. 2015).
- [17] 宮田千恵美, 小路香織, 木原健, 大塚作一, H. Ono: "ベンハムのコマに青もしくは黄色領域を設けた場合の誘導色の変化," 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 38, No. 43, pp. 13-18 (Nov. 2014).
- [18] K. Kihara, H. Fujisaki, S. Ohtsuka, M. Miyao, J. Shimamura, H. Arai, Y. Taniguchi: "Aging and availability of binocular disparity and pictorial depth cues in 3D-graphics contents," *Journal of the Society for Information Display*, Vol. 22, No. 7, pp. 329-336 (July 2014).
- [19] H. Fujisaki, H. Yamashita, K. Kihara, S. Ohtsuka: "Ratio of Pseudo-Stereoscopic Young Adults and Improvement of Their Stereopsis in 3D-Graphic Environments: Study for Depth Perception Based on the Use of Disparity and Shading," *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, Vol.1, No.3, pp.244-250 (July 2013).
- [20] 隈崎慶子, 木原健, 大塚作一: "立体視環境におけるフットステップ錯視の知覚と個人差に関する検討," 電子情報通信学会技術報告, Vol. 115, No. 216, pp. 33-36 (Sep. 2015).
- [21] S. Ohtsuka, C. Imabayashi, K. Nagata, K. Kihara: "Late-News Poster: Subjective Assessment of Simulated Curved Displays for Ultra-High-Definition TV in a Large Size and Wide Viewing Angle Environment," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol. 46, No. 1, pp. 798-801 (June 2015).
- [22] S. Ohtsuka, Y. Kumagai, S. Yonemoto, K. Kihara: "Aftereffect of Viewing Concave Curved Displays in Large and Wide-angle Environment: Assessment of Individual Differences," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol. 47, No. 1, pp. 907-910 (May 2016).
- [23] J. Schramme, "Changes in Pattern Induced Flicker Colors are Mediated by the Blue-Yellow Opponent Process," *Vision Research*, Vol. 32, No. 11, pp. 2129-2134 (1992).
- [24] C. von Campenhausen and J. Schramme, "100 years of Benham's top in colour science," *Perception*, Vol. 24, No. 6, pp. 695-717 (1995).
- [25] 黒川菜緒, 伊藤秀征, 山本裕紹: "AIRR による空中ディスプレイにおける hollow face 錯視," 日本視覚学会 2017 年夏季大会 抄録集, 2017, p.119 (Sep. 2017).
- [26] S. M. Anstis: "Footsteps and inchworms: Illusions show that contrast affects apparent speed," *Perception*, Vol. 30, No. 7, pp.785-794 (2001).
- [27] 産経ニュース: "子供に運転させ罰金 30 万円 投稿動画の男性、道交法違反教唆罪 茨城," <http://www.sankei.com/affairs/news/170628/afr1706280035-n1.html> (June 6, 2017) (2017 年 11 月 07 日閲覧) .