

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2023

課題番号：17K00246

研究課題名（和文）大きな奥行き知覚における両眼網膜像差と絵画的手がかりの相互作用

研究課題名（英文）Interaction between binocular disparity and pictorial depth cues in perception of large depth

研究代表者

佐藤 雅之（Sato, Masayuki）

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：40336938

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）： 日常の視環境での奥行き知覚における両眼網膜像差と絵画的奥行き手がかりの役割について明らかにするために、自然画像に両眼網膜像差を与え、奥行き印象の評定を行った。デスクトップパソコン、本棚、駐輪場、長い廊下などの立体写真を55インチ4K有機ELディスプレイに呈示した。両眼網膜像差量を制御するために、立体写真を撮影する際のカメラ間距離を0～10 cmの範囲で変化させた。両眼網膜像差に対して高い感度を示す被験者がいる一方、多くの被験者は両眼網膜像差によらず自然な奥行きを知覚した。これは、高精細な自然画像がもつ奥行き情報が多くの人にとって両眼網膜像差以上に有効であることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ホイットストーンが19世紀に両眼網膜像差の奥行き手がかりとしての有効性を実証して以来、よりリアルな映像を求めて両眼網膜像差を与える手段の高性能化が進められてきた。

一方、近年、通常の2次元の映像の超高精細化が進み、高精細な映像が立体的に知覚されることが指摘されている。

本研究は、両眼網膜像差の奥行き手がかりとしての効果がこれまで考えられてきたよりも限定的であることを示しており、次世代高臨場感映像表示システムへのこの手がかりの導入の是非についての示唆を与えている。

研究成果の概要（英文）： To clarify the role of binocular disparity and pictorial depth cues in depth perception in everyday visual environments, we applied binocular disparity to natural images and evaluated the impression of depth. Stereoscopic photographs of the following objects were viewed through a mirror stereoscope consisted of two 55-inch 4K OLED displays: 1) a desktop computer, 2) a bookshelf, 3) a bicycle parking area, and 4) a long corridor. To control the amount of binocular disparity, the camera distance when taking the stereoscopic photographs was changed in the range of 0 to 10 cm.

While some observers showed high sensitivity to binocular disparity, most observers perceived natural depth regardless of binocular disparity. This suggests that for many people, the depth information contained in high-resolution natural images is more effective than binocular disparity.

研究分野：視覚心理物理学

キーワード：立体視 両眼網膜像差 両眼視差 絵画的奥行き手がかり 自然画像 奥行き知覚

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人間は、両眼網膜像差、運動視差などの視差情報、遠近法や陰影、遮蔽などの絵画的奥行き手がかり、両眼の輻輳、水晶体の調節などの網膜外情報など、さまざまな奥行き情報を統合することにより、外界を3次元の空間として認識している。

19世紀前半にチャールズ・ホイートストーンがミラー式ステレオスコープを開発し、両眼網膜像差が人間にとって有効な奥行き手がかりであることを実証して以来、さまざまな立体映像表示法が提案され、実用化されてきた。また、時空間分解能の向上や多視点化のための研究開発が今日も続けられている。一方、近年、通常の2次元映像の超高精細化が進み、高精細な映像が立体的に知覚されることが指摘されている。

人間にとって、両眼網膜像差と遠近法的な奥行き手がかりはどちらがより重要なのであろうか。両眼網膜像差情報と遠近法情報の統合の際の重みづけを測定すると、そこには大きな個人差があることが示されている。そもそも両眼網膜像差に対する感度には大きな個人差があることが知られているが、興味深いことに、両眼網膜像差に対して最大限の感度を有する人の中にも、遠近法情報を排他的に信頼する人が珍しくないことが示されている<sup>1)</sup>。

### 2. 研究の目的

ここでは、日常の視環境での奥行き知覚における両眼網膜像差と絵画的奥行き手がかりの役割について検討するために、自然画像に両眼網膜像差を与え、知覚される奥行きに関する心理物理実験を行うことにより、奥行き知覚におけるこれらの手がかりの効果を明らかにする。

### 3. 研究の方法

デジタル一眼レフカメラと広角レンズを用いて2眼式の立体写真を撮影し、55インチ4K有機ELディスプレイに呈示した。観察距離は84cm(実験1)または88cm(実験2)またはであった。あご台により被験者の頭部を固定した。写真の視野角が実物のそれと一致するようにディスプレイ上での写真の大きさを調整した。

両眼視差の大きさを操作するために、右目用と左目用の写真を撮影する際のカメラ間の距離を0~10cmの範囲で変えた。レンズを前方に向けた状態でカメラをステージに固定し、ステージを横方向に動かしながら写真を撮影した。

(1) 実験1では、立体写真に知覚される奥行きの印象を評定した。

(2) 実験2では、3D写真と2D写真の弁別を行った。

### 4. 研究成果

(1) 実験1: 奥行き印象の評定

図1に示すような、(A) デスクトップパソコン、(B) 本棚、(C) 長い廊下、(D) 駐輪場、の立体写真を刺激として用いた。被験者の課題は、写真に知覚される奥行きの印象を、「奥行き方向に縮んで見える( )」、自然な奥行きが感じられる( )、「奥行き方向に伸びて見える( )」、融像が困難で二重に見える(×)、その他、の五つの選択肢から一つを選択することにより評定することであった。

図2に被験者11名の実験結果を示す。横軸はカメラ間距離を表す。0は通常の2次元の写真に相当する。被験者の両眼間距離が例えば6cmの場合、カメラ間距離が6cmのときに立体写真は実物と幾何学的に等価になる。カメラ間距離がそれより大きくなると両眼網膜像差が過剰になり、奥行き方向に伸びて見えることが幾何学的に予想される。縦軸はそれぞれの選択肢が選択された確率を表す。

カメラ間距離が大きいときに「自然な奥行きが感じられる( )」が選択される確率が少し低下し、「奥行き方向に伸びて見える( )」および「融像できない(×)」の応答が若干増加する傾向が見られるが、実験を行ったどのカメラ間距離においても高い確率で自然な奥行きが知覚されたことがわかる。特に、カメラ間距離が0と6cmの条件間で応答にほとんど差がない点は興味深い。これは、次に実験2で検討するように、単純に両眼網膜像差の効果が皆無で両者の区別がまったくつかないことを意味しているとは限らないが、少なくとも効果が限定的であることを示している。

55インチの4Kディスプレイを84cmの距離から見た場合、画面全体の視野角は約72°×44°、画素一つ分の視野角は約1'に相当する。人間の視野の広さや空間分解能に匹敵するとまでは言えないが、それに近い水準にある。有機ELディスプレイは色域が広く、ダイナミックレンジも広い。ここに画角を調整した写真を呈示すると結構な臨場感が得られる。実験結果は、自然な奥行きが知覚されるためには高精細な2次元画像があれば十分で、そこに両眼網膜像差を加えることは、映像表示の目的や用途にも依存するが、費用対効果の観点からデメリットが大きいことを示しているのかもしれない。

(A) Personal computer



(B) Bookshelf



(C) Corridor



(D) Parking lot



図1 . テスト刺激 .

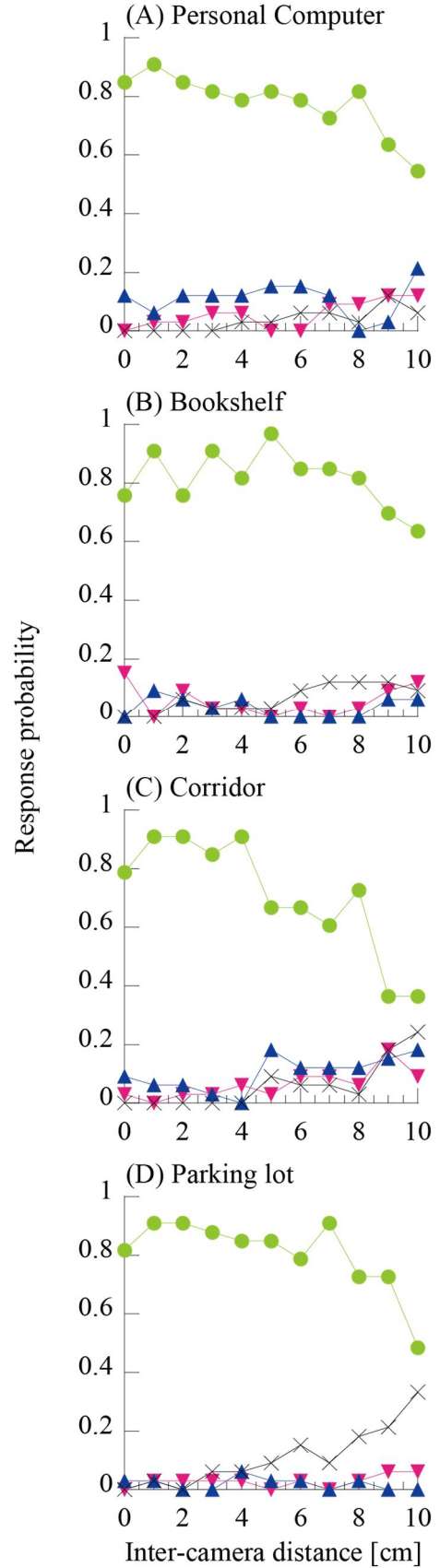
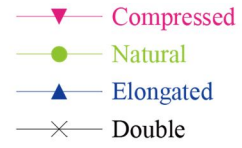


図2 . 奥行き印象の評定結果 .

(2) 実験2：両眼網膜像差の弁別

実験1の結果から、通常の2次元の写真であっても条件によっては立体写真と遜色のない奥行き感が得られることが明らかになった。しかし、これは単純に両眼網膜像差の効果が皆無で両者の区別がまったくつかないことを意味しているわけではない。両眼網膜像差は奥行き感にしかるべき貢献をしていて、両者の区別自体はできるが、自然画像が十分に豊かな奥行き感を与えるために応答に差が見られないのかもしれない。あるいは、私たちが2次元の映像に慣れ親しんでいるために、絵画的手がかりを重視し両眼網膜像差を無視し、その存在に気付くことすらなっているのかもしれない。この点について検討するために、実験2では自然画像における両眼網膜像差の弁別能力を測定した。

実験1で使用した長い廊下の写真を刺激として用いた。被験者の課題は、2D写真(カメラ間距離0)と3D写真(カメラ間距離1.6, 3.2, 6.4または10 cm)を比較し、深い奥行きが知覚される方を選択することであった。両者は被験者がボタンを押すことによって切り替えることができ、応答するまで何度でも見比べることができた。

図3に実験結果を示す。横軸は、3D写真を撮影した際のカメラ間の距離を表す。縦軸は、より深い奥行きが知覚される方として、3D写真が選択された確率を表す。ランドット立体視力検査により16名の被験者を三つのグループに分けて、心理測定関数をプロットした。(A)は立体視閾が30 arcsec以下の両眼網膜像差に対する感度が比較的高いグループである。(B)は立体視閾が40 arcsecの感度がやや低いグループである。(C)は70もしくは140 arcsecのさらに感度が低いグループである。

カメラ間距離によって操作した、自然画像における両眼網膜像差に対する感度には大きな個人差が見られた。MS(筆者とイニシャルが同じであるが、筆者ではないナイーブな被験者)やKKのようにカメラ間距離が小さい条件でも容易に3Dと2Dの写真を弁別できる被験者もいる一方で、カメラ間距離を大きくしても3D写真を選択する確率がチャンスレベルの0.5から最大でも0.75程度にとどまる被験者も珍しくなかった。さらには、高い頻度で2D写真を選択する被験者もいた。2D写真を選択する傾向を示した被験者STに内観を確認したところ、「3D写真の場合、2D写真に比べて、遠くにあるものが大きく見えるため、かえって近くに感じられる」とのことであった。以前からときどき報告されている奥行き知覚の反転現象が自然画像でも確認されたと言える。

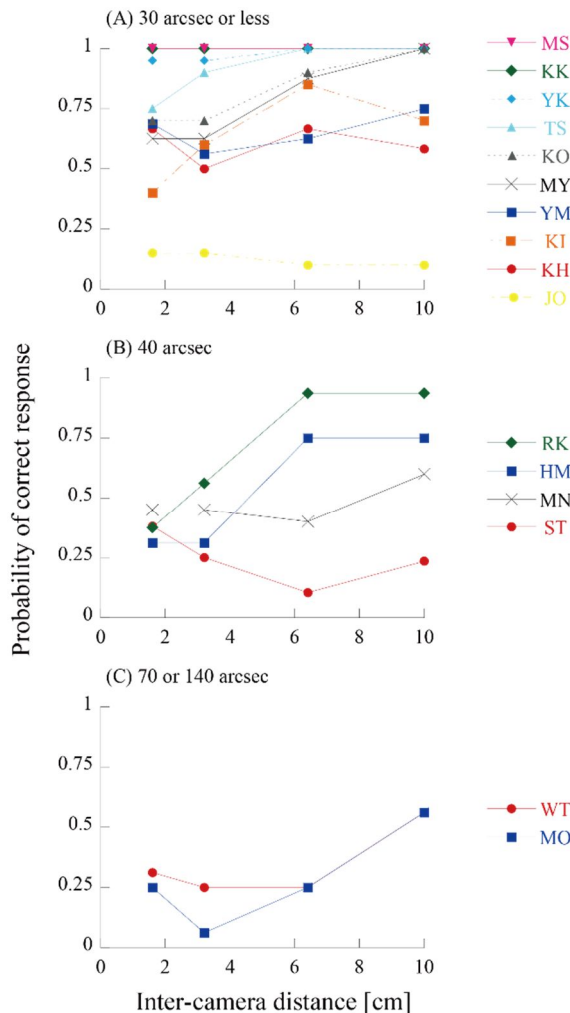


図3. 奥行き弁別実験の結果.

### (3) 研究成果のまとめ

両眼網膜像差に対する感度には大きな個人差があり，両眼網膜像差に対してほとんど感度を示さない被験者もある程度存在することは以前からよく知られている．しかし，ここで示した実験結果は，これまでの研究から予想される以上に，両眼網膜像差の効果が限定的であることを示している．

ホイートストーンがミラー式ステレオスコープを開発して以来，立体映像は何度かブームになっているが，いずれも一過性のもので終わるのはこのあたりに原因があるのかもしれない．映像表示システムに両眼網膜像差を導入する際は目的と効果をよく吟味する必要があると思われる．

また，自然画像の奥行き知覚における両眼網膜像差の効果の個人差が立体視力では予想できない点も興味深い．個人差がどのような要因で決まるのかを明らかにすることは学術的にも工学的にも意義がある研究課題であると考えられる．

#### <引用文献>

1) 佐藤雅之：立体視における個人差．視覚の科学，35，33-37 (2014)．

#### 5．主な発表論文等

〔学会発表〕 計3件

- 1) 佐藤雅之・利光信太郎・村上義明・玉田靖明：両眼網膜像差が自然画像における大きな奥行き知覚におよぼす効果．映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会(2020/11/27-28)．オンライン
- 2) 稲富一貴・玉田靖明・佐藤雅之：自然画像の奥行き知覚における両眼視差の効果～球体の刺激～．3次元画像コンファレンス(2022/7/15-16)．長崎大学
- 3) 中川颯人・玉田靖明・佐藤雅之：自然画像の奥行き知覚における両眼網膜像差の効果～自分自身の顔画像は特別か？～．日本視覚学会冬季大会(2024/1/17-19)．工学院大学

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 佐藤雅之・永井岳大・福田一帆・近藤悟・磯貝愛	4. 巻 73
2. 論文標題 ヒューマンインフォメーションの研究動向	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会誌	6. 最初と最後の頁 925-931
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shuichiro Taya and Masayuki Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Orientation-specific learning of the prior assumption for 3D slant perception	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-29361-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 2件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 稲富一貴・玉田靖明・佐藤雅之
2. 発表標題 自然画像の奥行き知覚における両眼視差の効果～球体の刺激～
3. 学会等名 3次元画像コンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲富一貴・玉田靖明・佐藤雅之
2. 発表標題 自然画像の奥行き知覚における両眼視差の効果～球体の刺激による検討～
3. 学会等名 日本視覚学会夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須長正治・米田睦・佐藤雅之
2. 発表標題 2色覚の赤-緑色応答へのipRGC刺激量の影響
3. 学会等名 日本色彩学会第51回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内川恵二・森本拓馬・福田一帆・佐藤雅之
2. 発表標題 色の見え, 恒常性, 個人差
3. 学会等名 玉川大学共同利用研究会 「視覚における世界と社会の理解」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤雅之・利光信太郎・村上義明・玉田靖明
2. 発表標題 両眼網膜像差が自然画像における大きな奥行き知覚におよぼす効果
3. 学会等名 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuto Araki, Yasuaki Tamada, Masayuki Sato and Keiji Uchikawa
2. 発表標題 An invisible target caused by backward masking induces a saccadic eye movement
3. 学会等名 The 15th Asia-Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉田靖明・倉元祐輔・佐藤雅之
2. 発表標題 サッカーボール変位抑制におけるフリッカー刺激の位相の効果
3. 学会等名 日本視覚学会冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須長正治・清水郁哉・天野夏希・佐藤雅之
2. 発表標題 2色覚の記憶色再生
3. 学会等名 日本色彩学会第50回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤雅之
2. 発表標題 大きな両眼網膜像差による奥行き知覚の時空間特性
3. 学会等名 日本感性工学会第20回大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木拓人・玉田靖明・佐藤雅之・内川恵二
2. 発表標題 見えないターゲットへのサッカーボール眼球運動～知覚系と眼球運動制御系への逆行性マスキングの効果～
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 玉田靖明・北野健・原一矢・佐藤雅之
2. 発表標題 サッカーボール変位抑制におけるブランク効果～ブランクの長さや開始時刻の影響～
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Yoshizawa, Haruyuki Kojima, Tomohisa Matsumoto, Masayuki Sato, Keiji Uchikawa
2. 発表標題 ERP responses to the perception of glossiness of the basic colors
3. 学会等名 The 41st European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiji Uchikawa, Masayuki Sato, Shoji Sunaga and Takuma Morimoto
2. 発表標題 Estimating illuminant color in a shadow
3. 学会等名 OSA Fall Vision Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明・内山直樹・佐藤雅之
2. 発表標題 振動の変化によるベクシヨンの増大
3. 学会等名 日本視覚学会夏季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明・小野匠・藤江龍登・金子弘・佐藤雅之
2. 発表標題 眼鏡レンズによる像の歪みが奥行き知覚と装用感におよぼす影響
3. 学会等名 第54回日本眼光学学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明・倉元祐輔・佐藤雅之
2. 発表標題 サックード変位抑制におけるブランクとフリッカーの効果
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉田靖明・田中佑樹・内山直樹・佐藤雅之
2. 発表標題 振動によるベクシヨンの増大～振動の位相と呈示部位の効果～
3. 学会等名 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Aramaki, Yasuaki Tamada, Masayuki Sato
2. 発表標題 Interaction among binocular disparity, motion parallax, and pictorial depth cues for perceiving large depth
3. 学会等名 CVR International Vision Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荒牧大希・玉田靖明・佐藤雅之
2. 発表標題 大きな奥行きでの知覚における両眼網膜像差，運動視差，絵画の手がかりの相互作用
3. 学会等名 日本視覚学会夏季大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 佐藤雅之（分担）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 550
3. 書名 VR / AR技術の開発動向と最新応用事例	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------