

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02725

研究課題名(和文)立体視個人差の類型化とメカニズムの解明

研究課題名(英文)Classification and mechanism for individual difference in stereopsis

研究代表者

金子 寛彦 (Kaneko, Hirohiko)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：60323804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：両眼視差は、奥行き知覚のための重要な手がかりの一つである。本研究の目的は、立体視(両眼視差による奥行き知覚)における個人差を類型化し、その生起メカニズムを明らかにすることであった。そのため、奥行き知覚における、両眼視差検出感度、検出可能最大両眼視差、両眼視差とテクスチャ手がかりの相対的寄与度などを多くの観察者に対して計測し、眼屈折状態や過去の視覚経験などと比較し、考察を行った。立体視の計測手法に関する検討を行った。その結果、立体視において、いろいろな側面の個人差の存在が明らかになった。そしてその個人差の原因の一つとして、過去の視覚経験の違いが重要な役割を持つことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Binocular disparity, the differences between the images on two eyes, is one of the important cues for depth perception. In this study, we aimed to classify the individual differences in stereopsis which is the depth perception from binocular disparity and to identify the causes for the individual differences. We measured disparity threshold, upper limit to detect disparity and relative contribution of binocular disparity and texture cues for depth perception and compared them to the state of eye refraction and personal past experience of visual space for each participant. We also examined the methods to measure stereopsis efficiently. Results showed that there was a significant difference in stereopsis and suggest that the difference in the experience of space environment would be one of the causes for the individual difference in stereopsis.

研究分野：視覚情報処理

キーワード：立体視 両眼視差 奥行き知覚 個人差 立体視力 視力

1. 研究開始当初の背景

左右眼網膜像の違い(両眼視差)が人間の奥行き知覚に寄与することは古くから知られており、その特性やメカニズムに関する研究は数多くなされている。人間のこの特性を応用した立体表示システムも古くから開発されており、特に近年は家庭用3Dテレビや3D映画も広く普及しコンテンツも多く作られるようになった。しかしその一方で、それら3Dシステムにおいて、予想したような奥行き感が得られない、違和感や疲労がある、などの問題も残っている。そのような問題の原因の一つが立体視における個人差であり、それが、3D映像の一般的な普及の大きな障壁の一つになっていると考えられる。

立体視の個人差には、これまでの研究により報告されているいわゆる立体盲(stereo blind)だけではなく、様々な側面があると推測される。例えば、提案者の一人である佐藤ら(2008)は、奥行き変化の方向による感度の違い(奥行きの異方性)における個人差の存在を報告している。またもう一人の提案者である金子らは、両眼視差による奥行き知覚閾値において大きな個人差があることを見出している。また両提案者は、空間知覚における両眼視差と他の手がかりの寄与度の違いに大きな個人差があることも報告している(佐藤ら 2008;坂野ら 2004)。これらの個人差については、多くの場合、統計的なばらつきとして処理されており、前述した立体盲とは異なり、一般的にはほとんど認識されていないため、類型化はなされておらず、メカニズムについても全く明らかではない。

ヒトの立体視については多くの研究がなされており、その特性を利用した3Dディスプレイの開発も盛んである反面、ヒトの立体視における個人差に関しては未知の部分が多い。この点を明らかにすることは、立体映像の安全性および臨場感の向上のためには必要不可欠であり、また、空間知覚メカニズム全体の理解についても大きく寄与することが期待される。本研究は、このように、応用的有用性と基礎的意義を持つ、先駆的

な研究である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ヒトの立体視(両眼像の違いによる立体感)における個人差を類型化し、その生起メカニズムを明らかにすることである。そのため、立体視における個人差を三つの観点から実験データに基づいて定量的な類型化を行うことを目指した。三つの観点とは、奥行き感度、面知覚感度、奥行き情報統合である。

本研究では、それらの知覚を正確に計測することが重要である。そのため、奥行き知覚を精密に計測する立体画像呈示装置を設計、構築し、奥行き知覚を精密に計測する手法における検討も行う。その上で奥行き知覚に関するデータを多数の実験参加者を用いて収集する。そして得られたデータからヒトの立体視個人差の生起メカニズムを推定し、そのモデル化を行う。その際、特に各個人の経験の違いの観点に基づき考慮する。

3. 研究の方法

本研究の目的である立体視における個人差を類型化、その生起メカニズムの解明、それらの知見を基にした立体映像の安全性および臨場感向上へつなげるため、以下の点において研究を進めた。

立体視における個人差を明確に示す知覚測定を行うための実験方法に関する検討を行った。まず実験装置について、既存の装置では立体視感度を精密に測定することが難しいため、ディスプレイの解像度や性能、位置決めをする各箇所に必要な微調整機構などを精査して今回の目的にかなうステレオスコープを設計し、外注により作成した。また、立体視特性の測定手順、刺激などに関して、過去の検査法の詳細な検討を行った(研究成果、項目1, 2, 3)。

立体視感度に関するデータを多くの研究参加者を用いて取得した。このとき、アコモドメータを用いて各個人の眼屈折状態を測定し、立体視

閾値との関連性について検討した。ここでは、他の多くの研究では調べられていない大視差に対する検出感度の個人差についても測定した。大視差に対する奥行き感度の個人差に着目した研究は、過去にほとんど例がなく、オリジナリティが高いと言え、立体視個人差の生起メカニズムを明らかにする上で非常に大きな貢献である(研究成果, 項目4)。

面知覚感度, 奥行き情報統合特性を測定する実験を行いそれらに関する知見を得た(研究成果, 項目5)。

そしてこれらの実験結果より, ヒトの立体視における個人差の生起メカニズムに関して考察し, 立体視個人差を考慮した立体画像, 映像作成の指針に関して検討した。

4. 研究成果

(1) 立体視の精度と確度

目的: 我々の研究室ではこれまでヘキサゴンドット立体視力テスト(Coutant & Westheimer, 1993)を用いて個人の立体視能を測定してきた。このテストでは, 被験者は6つのドットに囲まれた中央のドットが周囲のドットに対して手前か, 奥かを応答する。この方法では, 例えばある被験者について大きな立体視閾が得られた場合, この被験者が立体視の精度が低いのか確度が低いのかを区別することができない。

方法: ここでは, 確度の影響を排し, 精度を測定する方法として, これらのドット群を二組並置する方法を提案した(図1)。30名の被験者について, 立体視閾, 立体視の精度および確度を測定し, この方法の有効性を検証した。

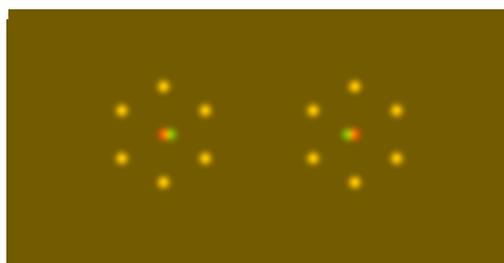


図1 刺激図.

結果: 心理測定関数を累積正規分布で近似し, μ と σ を確度と精度の指標とした。図2に μ および σ と立体視閾の関係を示す。

精度が高いが確度が低い被験者や精度が低くても確度が高い被験者など, 様々な被験者がいることがわかる。また, 二組並置法によって得られた立体視閾が立体視の精度 (σ) と相関することがわかる。

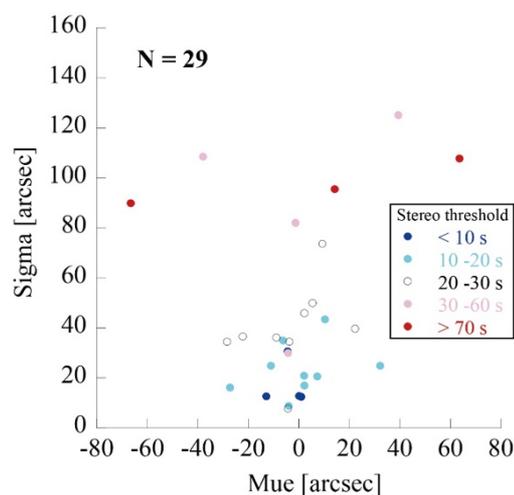


図2 立体視の精度, 確度, 閾の関係

(2)ヘキサゴンドット立体視力テストにおける空間要因

目的: オリジナルのヘキサゴンドット立体視力テスト(Coutant & Westheimer, 1993)では, ドットの間隔は 12 min であった。刺激呈示にはオシロスコープが用いられ, 観察距離は 3 m であった。この小さいテスト刺激は立体視閾を精密に測定する上で利点があるかもしれないが, 実現するのは容易ではない。ここでは, 刺激の空間要因が立体視力に及ぼす効果を測定した。

方法: ドットの間隔は 20 分とし, ドットの大きさに関するパラメータすなわちガウシアンプロップの空間定数 σ を 1~4.7 分の範囲で変えた。次に, ドットの間隔の効果について検討した。

結果: ドットの大きさは立体視閾にあまり影響しなかったが, ドットが小さいときに顕著に高い立体視力を示す被験者も存在した。こ

これは最大のパフォーマンスを引き出すためには細かいターゲットが必要であることを示唆している。

ドット間隔（横軸）と視差閾値（縦軸）の関係に関する結果の一例を図3に示す。ドットの間隔を12～154分の範囲で変えたところ、20～30分の付近で最大の立体視力が得られることが明らかになった。これは、ランダムドットなどを刺激とした従来の研究から予測される値よりも小さい値であり、興味深い問題を提起している。

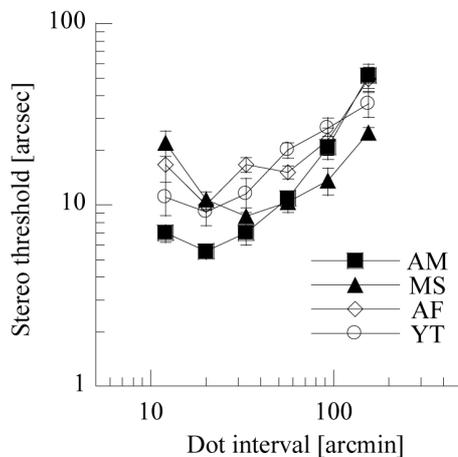


図3 刺激の大きさの効果

(3)ヘキサゴンドット立体視力テストとランダムドット立体視力テストの比較

目的:ヘキサゴンドット立体視力テストではまったく奥行きが知覚できない被験者でもランダムドットの傾斜に対しては鮮明な奥行きが知覚される場合がある。これは、ランダムドットに滑らかな視差変調を与えたほうが、より多くの被験者で安定して立体視力を測定できる可能性を示唆している。この点について検討した。

方法:ランダムドット(図4)とヘキサゴンドットで立体視力を測定し、比較した。

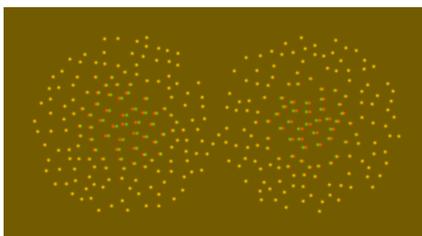


図4 ランダムドットテスト

結果:36名の被験者のうち、31名について両方の検査で閾値を測定することができた。ただし、31名のうち5名については、ヘキサゴンドット検査において、3回の閾値測定のうち1回、閾値が定まらない回があった。これは、ランダムドットを用いるほうが検査として安定していることを示している。ただし、ヘキサゴンドット検査でのみ閾値が測定できない被験者が1名いる一方でランダムドット検査でのみ閾値が測定できない被験者も1名いた。また、両方の検査で閾値が測定できない被験者は3名いた。これらの被験者は両眼の視力に顕著な差が見られた。

(4)立体視可能視差範囲の個人差

目的:単眼の立体手がかりを含まず、視差量を精度よく調整できる方法を用いて、立体視閾値および上限を精密に測定した上で立体視感度の個人差の実態を明らかにし、裸眼時の眼屈折状態との比較を行うことにより、個人差の原因を検討した。

方法:立体視感度の測定には、六角形状の各頂点6点と、その中央に視差をもつ1点を配置した計7つの点からなる刺激(ヘキサゴンドットステレオテスト)を、今回作成したホイートストーン型ステレオスコープに呈示し、刺激条件を厳密に統制した環境で行った。測定は、視力を矯正した状態で行った。眼屈折状態は、アコモドメータを用いて球面度数、乱視度数、乱視軸を測定し、眼屈折状態の左右差や水平、垂直成分などの指標を求めて評価した。また、眼屈折状態の変化履歴についてもアンケートにより取得した。

結果:図5に結果の一例を示す。横軸は各被験者、縦軸は立体視閾値である。黒で示されるデータは裸眼時の眼屈折状態が近視、白は正視もしくは遠視の被験者である。結果、近視の被験者は非近視の被験者より立体視感度が高い傾向がみられた。さらに、近視となった年齢が低いほど、立体視感度が高い傾向も見られた。乱視度数の水平成分が大きいほど、またその左右差が

大きいほど立体視閾値が大きい傾向が見られた。これらの結果は、網膜像の質に加えて、各個人固有の眼屈折状態とその履歴が立体視能力に影響する可能性を示している。この原因として、両眼視差の信頼性が相対的に高くなる近距離において対象を観察する経験を長く持つことにより、適応的に両眼手がかりの感度が高くなる可能性が考えられる。

検出される視差の上限に関しては、非常に大きな視差に対しても幾何学的に予測される方向の奥行きを知覚できる観察者も存在したが、奥行き知覚予測と反対方向となる観察者も存在するなど、様々な応答が見られた。そのため、奥行き応答の個人差をいくつかのグループに分類し考察を行った。

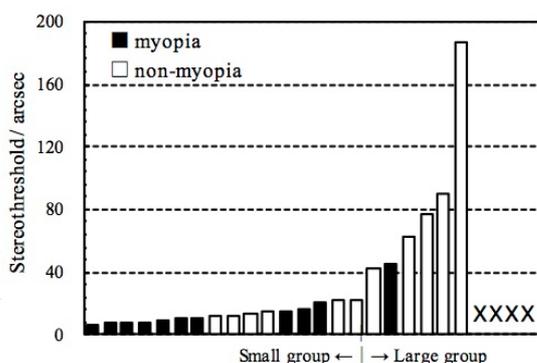


図5. 視差閾値と眼屈折状態

(5) 面の傾き知覚のための奥行き手がかり統合過程における時間特性

目的: 両眼視差による面の傾き知覚に関する特性、特にテクスチャ手がかりなど他の奥行き手がかりとの統合過程の時間特性、およびその個人差を明らかにすることを目的とした。

方法: 各奥行き手がかりが時間的に変化する刺激を用いて手がかり統合過程の時間特性を調べた。ランダムドットからなる面刺激の垂直軸周りの傾きを -30° から 30° に変化させ、その刺激が含むテクスチャと両眼視差手がかりを矛盾あるいは一致させて呈示し、観察者が知覚した面の傾きを記録した。

結果: 手がかり変化の周波数が高いときは、すべての観察者はほぼテクスチャ手がかりに基づ

いて面の傾きを知覚したが、周波数が減少するにつれて両眼視差の重みが上昇し、最終的に静止の状態では両眼視差手がかりに基づいて面の傾きを知覚する観察者が多くいることが明らかになった。この結果は、手がかりの時間的変動が手がかりの統合過程に影響を与えること、そしてその特性には個人差があることが明らかになった。

<引用文献>

- (1) 佐藤雅之，北崎加代子，“両眼網膜像差で定義された曲面における知覚された奥行きの変換”光学, 37(5), 2008.
- (2) 坂野雄一，金子寛彦，松宮一道，“偏った奥行き手がかり環境下での学習が面の傾き知覚のための両眼視差と遠近法情報の統合課程に与える影響”，光学, 33 (8), 490-502, 2004.
- (3) Ben E. Coutant, Gerald Westheimer, “Population distribution of stereoscopic ability”, Ophthalmic Physiol Opt. 3(1), 3-7, 1993.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- (1) 佐藤雅之, 三木彩香, 玉田靖明, 金子寛彦, ヘキサゴンドットステレオテストの拡張: 立体視の精度と確度, 視覚の科学, 査読有, 38, 2017, 122-127, DOI:10.11432/jpnjvissci.38.122
- (2) 宮西雄太, 久方瑠美, 金子寛彦, 垂直大きな視差の平均化処理において要素群間の輝度差が傾き知覚に与える影響, 信学技報, 査読無, 117(375), 2017, 1-4.
- (3) 佐藤雅之・三木彩香・玉田靖明・金子寛彦, ヘキサゴンドット立体視力テストにおけるドット間距離の効果, 映像情報メディア学会技術報告 査読無, 41(40), 2017, 51-53.
- (4) 玉田靖明, 池邊匠, 小澤勇太, 佐藤雅之, 奥行き知覚における運動視差と大きな手がかりの相互作用, 視覚の科学, 査読有, 37, 2016, 1-6. DOI: 10.11432/jpnjvissci.37.18
- (5) 百瀬淳美, 佐藤雅之, 金成 慧, 金子寛

彦,” 眼屈折状態と立体視閾値の関連性”, 信学技報, 査読無, 116(229),2016, 77-78.

[学会発表] (計 16 件)

- (1) 佐藤雅之, 三木彩香, 玉田靖明, “ヘキサゴンドット立体視力テストにおける空間要因”, 第 50 回知覚コロキウム, 2017.
- (2) 張奇, 久方瑠美, 金子寛彦, “面の傾き知覚のための奥行き手がかり統合過程における時間特性”, 第 13 回「空間認知と運動制御」研究会学術集会, 2018.
- (3) 川端恭平, 久方瑠美, 金子寛彦, “テクスチャによる単眼奥行き手がかりが両眼視差による奥行き弁別に与える影響” 第 13 回「空間認知と運動制御」研究会学術集会, 2018.
- (4) 宮西雄太, 久方瑠美, 金子寛彦, “垂直大きさ視差の平均化処理と網膜像の運動速度との関係”, 日本視覚学会 2018 年冬季大会, 2018.
- (5) 張奇, 久方瑠美, 金子寛彦, “面の傾き知覚のための奥行き手がかり統合過程における時間特性”, 日本視覚学会 2017 年夏季大会, 2017.
- (6) Yuta Miyanishi, Hirohiko Kaneko, “Vertical size disparity processing on elements moving in opposite directions”, The 13th Asia Pacific Conference on Vision, 2017.
- (7) Hirohiko Kaneko, Atsumi Momose, Masayuki Sato, Kei Kanari, “Individual differences in lower and upper limits of disparity detection for depth perception”, The 13th Asia Pacific Conference on Vision, 2017.
- (8) 百瀬淳美, 佐藤雅之, 金成慧, 金子寛彦, “立体視のための視差の上限における個人差”, 日本視覚学会 2017 年冬季大会, 2017.
- (9) 宮西雄太, 金子寛彦, “運動により知覚的奥行きが分離された刺激間の垂直視差統合処理特性”, 日本視覚学会 2016 年夏季大会, 2016.
- (10) Yuta Ozawa, Yasuaki Tamada, Masayuki Sato, “Interaction among binocular disparity, motion parallax, and relative size cues for perceiving large depth” European Conference on

Visual Perception, 2016.

- (11) Yasuaki Tamada, Takumi Ono, Ryuto Fujie, Hirohiko Kaneko, Masayuki Sato, “Adaptation to eyeglasses with fully corrected lenses – Assessment of wearing feeling and depth distortion–”, European Conference on Visual Perception, 2016.
- (12) 佐藤雅之, 玉田靖明, “大きな両眼網膜像差による奥行き知覚における個人差”, 日本眼光学学会総会 2015.
- (13) Longkun Gao, Hirohiko Kaneko, “Perception of moving object in the frame sequential 3D presentation”, The 11th Asia-Pacific Conference on Vision, 2015.
- (14) 百瀬淳美, 金子寛彦, “立体視閾値の個人差要因の検討”, 日本視覚学会 2016 年冬季大会, 工学院大学, 2016.
- (15) 金子寛彦, 百瀬淳美, 佐藤雅之, 金成慧, “立体視機能における個人差とその要因の検討”, 日本視野学会 第 2 回視覚生理学基礎セミナー, 2017. (招待講演)
- (16) 金子寛彦, 百瀬淳美, 金成慧, “立体視機能の個人差とその要因”, 平成 28 年度航空医学実験隊研究発表会, 2016. (招待講演)

6. 研究組織

(1)研究代表者

金子 寛彦 (KANEKO, Hirohiko)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号: 60323804

(2)研究分担者

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