

知っておきたいキーワード

両眼立体視

相田 紗織[†][†] 山口大学 大学院創成科学研究科 工学系学域

"Binocular Stereopsis" by Saori Aida (Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University, Yamaguchi)

キーワード：両眼立体視，両眼網膜像差，ステレオグラム，立体視アノマリー，両眼融合，ヴァーチャルリアリティ

奥行き知覚

私たちの住む世界は3次元空間なので，普段の生活において私たちが世界を観察するとき，世界が3次元空間として見えることは当たり前のこととして思うでしょう．なぜ人間はこのような世界を経験できるのでしょうか．今のところ，人間は対象の距離や方向に関するさまざまな情報（手がかり）を

眼の機能を通じて集め，それを大脳皮質において処理分析し，最終的に“見え方”に変換していると考えられています．このような視覚情報を見え方に変換する一連の過程を，視覚系（visual system）と呼びます．

視覚系の空間認識のための手がかりを分類すると，絵画の手がかり，動眼の手がかり，両眼網膜像差手がかりに分類できます．絵画の手がかりは，陰影，

重なり，大気遠近法，透視，遮蔽，エッジ形状，位置があります¹⁾²⁾．動眼の手がかりは，輻輳と調節があります．両眼網膜像差手がかりは，両眼水平網膜像差と両眼垂直網膜像差があります．これらの手がかりを知覚し統合することによって私たちは空間を認識しています．

両眼網膜像差

両眼網膜像差手がかりは，左右二つの眼で見たときにのみ得られるものです．人間の両眼間距離は約6 cmなので，1点を見ていたとしても左右の網膜像は異なるものになります．この左右の網膜像の違いは両眼網膜像差（binocular disparity，両眼視差とも訳す）と呼ばれ，外界の空間構造と幾何学的に対応しています．例えば，図1に示すように，青，緑，黄色の三つの四角形を観察したとしましょう．図を見るとわかるように，両眼に投影される画像は左右が同じではなく，位置や方向のずれが生じます．

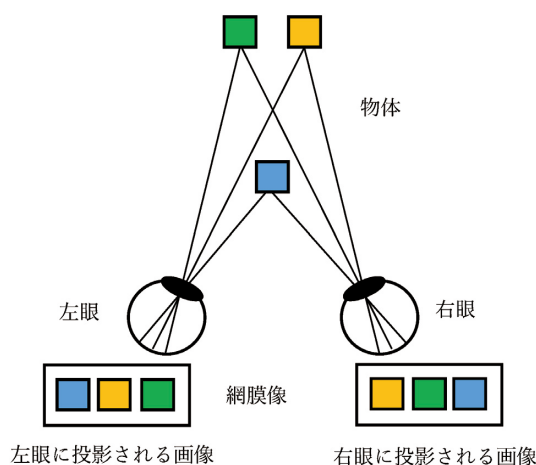


図1 両眼網膜像差の模式図

🔍 このような水平方向のずれのことを両眼水平網膜像差 (binocular horizontal disparity) と呼びます^{1) 3) 4)}。実際に、眼の前で右手の人差し指を立

て、片眼を閉じて観察するとずれがわかります。垂直方向のずれのことを両眼垂直網膜像差 (binocular vertical disparity) と呼びます^{1) 3)}。一般に両

眼垂直網膜像差は面の傾きの手がかりとされています。

ステレオグラムと呈示法

図1に描かれた3次元対象が作り出すような左右眼の網膜像は、必ずしも実際の3次元対象を観察しなくても作り出すことができます。左右の眼のそれぞれに、3次元対象の作り出す網膜像と同じ網膜像を作り出せれば立体的に観察できます。このような2枚1組の画像はステレオグラム (stereogram) と呼ばれます^{1) 2)}。

ステレオグラムは1838年にスコットランドの物理学者 Wheatstone によって発表されました。彼は鏡式実体鏡 (mirror stereoscope, 立体鏡とも訳す) を使用し、ステレオグラムを呈示しました^{3) 5)}。鏡式実体鏡を観察すると、

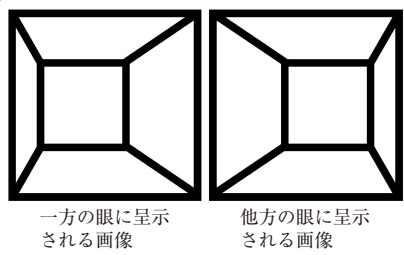


図2 Wheatstoneのステレオグラムの例

右眼と左眼それぞれにステレオグラムの右眼用の画像と左眼用の画像が呈示されます。図2を鏡式実体鏡で観察すると、奥に凹んだような四角錐台、もしくは内側の四角が手前に飛び出したような四角錐台が見えます。2次元画像であるステレオグラムを鏡式実体鏡で観察すると、立体感や3次元感覚が

生まれたことにより、両眼網膜像差は一般に、奥行き手がかりのうちのひとつとしてみなされるようになりました。両眼網膜像差手がかりから得られた立体感のことを、両眼立体視 (binocular stereopsis) と呼びます^{1) 3) 4)}。3Dテレビや3D映画、VRヘッドマウントディスプレイの多くは、両眼に両眼網膜像差をもった画像を呈示することで3次元印象を作りだしています。右眼と左眼のそれぞれに2次元画像 (映像) を呈示する方法 (両眼分離呈示) には、鏡式実体鏡、ヘッドマウントディスプレイ、アナグリフ、偏光フィルタ、液晶シャッターメガネ (時分割方式)、パララックスバリア、レンチキュラなどがあります⁶⁾。

両眼融合

ステレオグラムの画像を観察したとき、左右の眼の網膜像が一つの知覚像に認識されることを融合 (単一視) あるいは両眼融合 (binocular fusion) と呼び

ます^{1) ~ 3)}。ただし、両眼融合は、両眼網膜像差の大きさ次第で融合しないこともあります。両眼立体視において、両眼網膜像差が小さい場合は、左右眼の網膜像が融合した単一像は奥行きをもって知覚されますが、両眼網膜像差

が大きい場合は、左右眼の網膜像は融合せずに二つに見えます (二重視)。二重像を知覚せず、単一像を知覚させる領域のことを、パヌムの融合範囲 (Panum's fusional area) と呼びます^{1) 3)}。

幾何学的予測

観察者の両眼と同一平面上で、両眼から異なる距離にある二つの対象のもつ両眼網膜像差は、それぞれの対象が両眼に対してなす角度の差で近似できます。図3は実際の3次元場面を幾何学的に描いているとも言えますし、ステレオグラムで描いた網膜像が幾何学的に予測する両眼立体視の模式図とも言えます。さらに、図は対象 (あるいはステレオグラム) を観察したときの奥行きと両眼網膜像差と観察距離 (観察者から近対象までの距離) の幾何学的関係も示しています (図3では 🔍

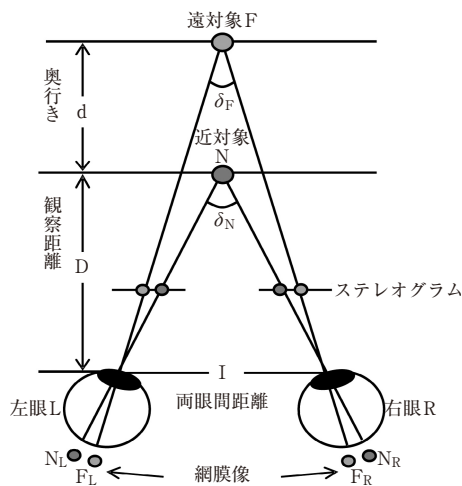


図3 両眼網膜像差の幾何学的な模式図

近対象Nを基準としましたが、遠対象Fを基準としてもいいです。図3において対象NとFは両眼に対してそれぞれ δ_N と δ_F の角度をなします。この δ_N と δ_F の角度差、 $\delta_N - \delta_F$ が両眼網膜像差(δ)に対応します。このとき、Nを基準としたときFは非交差性両眼網膜像差(uncrossed disparity)をもち、Fを基準としたときNは交差性両眼網膜

像差(crossed disparity)をもっています^{1)~4)}。このような網膜像と対象の間の幾何学的関係は以下になります。図3において、奥行きdは、両眼網膜像差 δ (単位はラジアン)、両眼間距離I、観察距離Dの関数となり、近似的に次式で表すことができます。

$$d \approx \frac{\delta D^2}{I} \quad (1)$$

ただし、奥行きdが観察距離Dに較べて十分に短いと仮定しての近似です。式(1)から、両眼網膜像差(δ)は、奥行き(d)に比例し、観察距離(D)の二乗に反比例することがわかります(上記の式(1)はラジアン表記ですが、一般には両眼網膜像差は角度で表記されます)。

立体視アノマリー

両眼立体視は、左右の眼の網膜像を利用するために、両眼視(binocular vision)が機能する必要があります。両眼視機能は、生後3~6ヶ月の間に発達し、6~8歳くらいではほぼ完成します。ステレオグラムを観察するときには、左右の眼のそれぞれに両眼網膜像差をもつ画像を呈示しますので、片

眼の機能の失われた者は両眼立体視ができません。また、斜視(strabismus)、弱視(amblyopia)の者の中にも、両眼立体視の困難な者がいます。両眼視機能に問題がなくても、両眼網膜像差手がかりからの奥行きを感じない者も報告されています。両眼網膜像差をもったステレオグラムを呈示したときに、奥行きを感じない者のことを立体視アノマリー(stereo anomalous)と呼び

ます⁷⁾。成人のうち少なくとも数%は両眼網膜像差の奥行きを感じることが困難です。立体視アノマリーの人たちは日常生活において奥行きがわからないわけではありません。日常生活では両眼網膜像差以外のさまざまな奥行きの手がかりを使って奥行き判断を行っているためだと考えられます。

むすび

両眼立体視について簡単に説明しました。両眼立体視の研究は、現象の記述、数理モデル、脳機能計測など多岐

に渡ります。3Dに関する安全性については、3Dコンソーシアムが公開した3次元映像に関するガイドラインである「人に優しい3D普及のための3DC安全ガイドライン」がありますので、

そちらを参考にしてください⁸⁾。両眼立体視に興味をもたれた方は、視覚や知覚に関する書籍を手にとられてみてください¹⁾⁵⁾⁹⁾。(2021年8月2日受付)

参考文献

- 1) 内川恵二・塩入論(編)：“講座感覚・知覚の科学 視覚Ⅱ 視覚系の中期・高次機能”，朝倉書店(2007)
- 2) 日本視覚学会(編)：“視覚情報処理ハンドブック”，朝倉書店(2000)
- 3) I.P. Howard and B.J. Rogers: "Perceiving in depth, volume 2: Stereoscopic vision", Oxford University Press (2012)
- 4) 日本心理学会認定心理士資格認定委員会教科書作成小委員会(編)：“〈認定心理士資格準拠〉実験・実習で学ぶ心理学の基礎”，金子書房(2015)
- 5) 下條信輔：“視覚の冒険：イリュージョンから認知科学へ”，産業図書(1995)
- 6) 河合，森川，大田，阿部：“3D立体映像表現の基礎－基礎原理から製作技術まで－”，オーム社(2010)
- 7) 相田紗織，下野孝一：“立体視アノマリー研究小史－立体視の下位機構，両眼性課題の成績，立体視アノマリーの分布－”，心理学評論，55，2，pp.264-283(2012)
- 8) 3Dコンソーシアム安全ガイドライン部会：“人に優しい3D普及のための3DC安全ガイドライン”(2010)
- 9) 梅本堯夫，大山正(編)：“新心理学ライブラリー18 視覚心理学への招待 見えの世界へのアプローチ”，サイエンス社(2000)



あいだ さおり
相田 紗織

2014年，東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員(DC2-PD)，(国研)産業技術総合研究所産総研特別研究員，東京工科大学助手，同大学助教を経て，2020年より，山口大学大学院創成科学研究科助教。専門は，視覚心理物理学。主に，両眼立体視，数量認知に関する研究に従事。博士(工学)。