

氏名	おう せき 王 石
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	富理工博甲第 97 号
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 23 日
専攻名	理工学教育部 (数理・ヒューマンシステム科学専攻)
学位授与の要件	富山大学学位規則第 3 条第 3 項該当
学位論文題目	<b>Fusion Limit of Binocular Color Vision in Cataract Visions</b> (白内障視環境下における色の両眼融合限界)
論文審査委員 (主査)	長谷川 英之 高松 衛 大路 貴久

# Abstract

Since Wheatstone invented the stereoscope, it has been known that the different views projected to our two eyes contain information that is used to recover depth. It also has been realized that the two eyes which have slightly different views of the world contribute to the perception of depth. Many of the organisms, including humans, perceive the outside world with both eyes, grasping a two-dimensional retinal image which is captured by each eye as a common single image. This phenomenon is known as binocular fusion which means that similar images presented to the two eyes appear as one and are processed simultaneously rather than successively.

Fusion limit (i.e. diplopia threshold) denotes the largest retinal disparity between two images for which the impression of a single fused image can be maintained. It has pronounced influence on the generation of the percepts of 3D because goods are sterically recognized by the deviation of the retinal image generated in the position of the two eyes (i.e. binocular parallax). In contrast, viewing dissimilar images yields perceptual alternations competing for dominance, and this is known as binocular rivalry. Although various techniques have recently received much attention in the broadcast research community as a promising technology for three-dimensional television systems, the dominant problem associated with binocular vision still is that of explaining how a single unified visual percept is formed from the inputs from two eyes since any optical instrument, especially 3D displays, should be designed to avoid the unpleasant and annoying binocular rivalry. When we view a stereogram whose left and right images are of different, but uniform, colors, we perceive a stereoscopic image whose color differs from the color of either image. This property is explained by the theory of binocular color mixing. Then, one of the fundamental problems in understanding the color rivalry process was to measure how much difference of color is permitted before the visual field turns inhomogeneous. Many experiments have already been performed. Therefore, previous works concerning the fusion limit of binocular vision are all based on normal visions. Few works are reported upon the cataract vision.

Along with the arrival of the aging society, the optical instruments design for elders has become an earnest demand. It is necessary to measure the vision difference that can be permitted before the rivalry occurs for elderly people. In this study, a cataract experiencing goggle is used to provide the vision as close appearance of age-related (senile) cataract as possible. It is evident that the main cause of visually significant cataracts is ageing, and age-related cataracts are the focus of many seminars. In this thesis, we measure the limit of binocular color fusion in the normal vision and the cataract experiencing vision, which is used to simulate the elderly vision using a 3D display connected to a computer to present experimental stimuli conveniently. The results show that the color fusion limit curves in the cataract experiencing vision are very similar with those in the normal vision. Compared with the binocular color fusion limit in the normal vision  $\Delta\lambda_{dn}$ , the binocular color fusion limit in cataract experiencing vision  $\Delta\lambda_{dc}$  is approximately 3~39 nm increased on the central vision, 4~22 nm on the retinal eccentricity of  $3^\circ$ , 5~23nm on the retinal eccentricity of  $6^\circ$ , and 5~24 nm on the retinal eccentricity of  $9^\circ$ . The results also reveal that a similar limit is observed in the range of 520~560 nm in both normal and cataract experiencing visions, and the minimum value of the binocular color fusion limit exists at 590 nm either in the normal vision or in the cataract experiencing vision during all retinal eccentricities, which might give some potential evidences for designing 3D equipments.

In addition, the brain wave research related to vision is remarkable recently, to give more certification on the fusion limit, we carried out EEG based experiments to find out the relationship between the binocular fusion and the brainwave rhythm. In EEG based experiments, we analyze the fast and middle alpha-variant rhythms on the front of the brain (locations Fp1, Fp2 and Fpz). The EEG-based experimental results show that the middle alpha-variant rhythm is bigger than the fast alpha-variant rhythm when binocular fusion appears, while it becomes smaller when binocular rivalry appears either in normal vision or in experiencing cataract vision. In addition, the values of energy variation diagram of EEG when the binocular color fusion occurs were depicted, which the peaks (i.e. the middle alpha-variant rhythm) were located at 9 Hz ~11 Hz, suggesting that the subject was under relaxation. Furthermore, the difference of the

wavelength between two eyes becomes larger, the ratio of  $\alpha/\beta$  decreases, suggesting that it is more difficult to view fusional images in the two visions.

## 【論文審査の結果の要旨】

当学位論文審査委員会は、当該論文を詳細に査読し、また論文発表会を平成 28 年 2 月 18 日(木)に公開で開催し、詳細な質疑を行って論文の審査を行った。以下に審査結果の要旨を記す。

本論文は我々人間の視覚系の両眼立体視システムについて、特に高齢者に多い白内障視環境条件下での視覚特性と生理学的反応について明らかにしようとしたものである。

まず研究全体について要約したアブストラクトから始まり、第 1 章では導入として、本研究の背景並びに両眼視に関するこれまでの研究史について述べている。

第 2 章では知覚と色彩理論について述べている。すなわち我々の視覚系が機能するためには、まず光が存在することが必要であり、その光についての説明から始まる。次に視覚系の機序について述べた後、本論文のキーワードでもある高齢者の視覚の問題点である「白内障」について、さらに色彩理論について述べている。

第 3 章では両眼立体視について詳細に説明している。我々は左右の眼からのわずかに異なる映像を融合することにより立体感・奥行き感を感じているが、その原理についての説明、さらには人工的に左右差の大きい画像が提示された場合に見られる視野闘争についても詳細に説明している。

第 4 章より実験に関する詳細な説明に入る。すなわち実験で使用した機器、並びに画面の色表示制御に関するシステムについて述べている。

続く第 5 章では、白内障視環境条件下における両眼融合限界について、実験方法及び実験結果について述べている。用いたテスト刺激の視角サイズは 2 度であり、裸眼で立体像を知覚可能な 3D ディスプレイを用いて刺激を呈示する。被験者は呈示された左右の目の刺激が融合しているか否かを応答する。この時、白内障視環境を再現した条件とそうでない若年者の視環境条件下それぞれの場合において、融合か非融合かを判定する。被験者は視覚正常者 5 名であり、測定はそれぞれの視環境条件下で各被験者 10 回ずつ行い試行回数に対する融合の回答割合を融合確率として算出する。

結果より、両眼に呈示される刺激の波長差が大きくなるに従い、融合確率は減少した。これは若年者視環境、高齢者視環境いずれの場合も同様であった。一方、高齢者視環境条件では、若年者と比較して融合する色の波長差の範囲が広がる傾向が示された。若年者より最大でプラス 39 nm の波長差でも融合することを明らかにしている。

第 6 章では生理学的反応実験として、脳波計を用いた実験方法及び結果について述べている。すなわち融合状態と非融合状態における脳波をもとに、特に反応が顕著に現れる脳の部位と脳波の種類を明らかにしている。被験者は若年者 3 名であり、白内障視環境条件下と若年者視環境条件下の両条件下において測定している。

結果より、両眼に呈示される刺激の波長差が存在しない、すなわち同じ色が両眼に呈示されている場合(融合状態)では、前頭葉部での脳波(電極では Fp1, Fp2, Fpz の 3 極)はミッド  $\alpha$  波にピークを持つ分布と

なる。しかしながら両眼に呈示される刺激の波長差が大きくなり非融合状態においては、脳波はファスト  $\alpha$  波にピークを持つ分布となることを明らかにした。さらに  $\alpha/\beta$  値をもとに両眼の映像の融合レベルとの相関をも明らかにしている。

第7章では全体のまとめについて述べている。

以上の内容について審査した結果、当審査委員会は本論文が博士学位論文としてふさわしいものであると判定した。