

長時間両眼に異なる色刺激を呈示した際に得られる 順応効果の傾向

Effects of adaptation obtained by presenting a long time different color stimuli to both eyes

渡邊智章	Tomoaki Watanabe	山形大学大学院 理工学研究科	Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University
川島祐貴	Yuki Kawashima	山形大学大学院 理工学研究科	Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University
永井岳広	Takehiro Nagai	山形大学大学院 理工学研究科	Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University
山内泰樹	Yasuki Yamauchi	山形大学大学院 理工学研究科	Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

Keywords: 色順応, 眼間転移, 色覚メカニズム, 高次メカニズム, ユニークイエロー.

1. はじめに

私たちの色覚は3つのレベルに分けられている。1つ目が錐体のレベル。2つ目が錐体から送られた信号を統合する反対色メカニズムのレベル。3つ目がその先にある脳の高次部位によるレベルである。

色順応はその中でも初期のレベルである錐体によって引き起こされていると言われており、単眼性を有するものであるとされてきた。しかし、Neitzらの研究¹⁾および島倉らの研究²⁾によって長時間または長期間片眼で色順応を行うことによる色残効の眼間転移性が報告された。これらの結果は色順応には両眼性を有する効果があるとともに、色順応の生起に視覚における高次過程が関与していることを示唆する。

この報告の通り、色順応に高次過程が関与し、両眼性を有しているならば、左右眼で反対色となる色刺激を長時間呈示することで左右眼それぞれに色順応による残効が眼間転移し、色順応の効果が減少する(打ち消される)結果が予想される。

先行研究では非順応眼は眼帯などで覆われていた。そのため、両眼視レベルの作用だけではなく、左右眼で異なる見えの状態において作用するような左右眼それぞれ単独の高次過程の存在を仮定した。また、島倉らの研究では残効が眼間転移した際に残効の色相が反転したという結果も報告された。この結果も考慮すると、左右眼で異なる色刺激を呈示した場合と左右眼で同じ色刺激を呈示した場合の結果を比較した際に予想さ

れる結果は減少、変化なし、増加の3つである。

この仮説が正しいものかどうか調べるために、予備実験を行った。実験は赤と緑のカラーシートを用い、両眼に異なる色情報を与えた時の順応効果を調べた。実験は、赤と緑のカラーシートを貼り付けたゴーグルを用い、左眼：右眼で赤：赤、緑：緑、緑：赤、赤：緑となる4つの異なる順応条件を用いた。

各順応条件の結果を比較すると、両眼同じ色刺激で順応した場合と比べ、減少した被験者、変化がなかった被験者、増加した被験者がみられ、予想と同じく3つの結果が得られ、色順応の生起には高次過程が関与しているという報告を支持する結果となったとともに、各眼の見えに影響を与えるような高次過程が存在する可能性も示した。

しかし、予備実験では各被験者が1セットしか実験を行っておらず、さらに実験を追加し、その傾向を調べる必要があった。

そのため、本研究では各被験者に対して3セットの実験を行い、両眼に異なる色刺激を呈示した際にどのような順応効果の傾向が各被験者でみられるかを調べ、色順応と高次メカニズムの関連性について調べることを目的とする。

2. 実験

今回の実験では両眼に異なる色情報を与え、色順応することでどのような順応効果が得られるのかとともに、複数回実験を行うことによって実際にどのような傾向がみられるのかを両眼に同じ色情報を与えた場合のユニークイエローのシフト量と比較することで調べた。

2. 1 順応装置

被験者には図 1 に示すようなゴーグルに赤 ($x=0.62, y=0.33$) または緑 ($x=0.28, y=0.56$) のカラーシートを貼り付けたものを装着してもらい、色順応を行った。

左眼：右眼で赤：赤，緑：緑，緑：赤，赤：緑の順番に全 4 パターンのゴーグルを装着した。



図 1. 順応用ゴーグルの例(赤：緑)

2. 2 実験方法

まず被験者は順応を行う前にプログラマブル光源を用いて、ユニークイエローの測定を右眼で行った。その後、ゴーグルを装着し、机上に照明が設置された空間で 4 時間過ごし（順応状態）、その後再びユニークイエローを右眼で測定した。

各被験者の順応前後のユニークイエローのシフト量を各順応条件（赤：赤，緑：赤，緑：緑，赤：緑のゴーグル）で比較し、両眼に同じ色を呈示した場合と両眼に異なる色を呈示した場合の順応効果の違いを調べた。

また、毎日連続でゴーグルを使って色順応することで Neitz らの研究で報告された長期色順応の効果が結果に影響を及ぼす可能性を考慮し、各眼に反対色が順番に呈示されるように装着するとともに、各順応条件の実験には 1 日以上の間隔を設けた。

2. 3 測定方法

ユニークイエローの測定は図 2 に示すような暗幕で覆われたブース内で行われた。

被験者は各測定において、3 分間の暗順応を行った後、ブース外に設置されたプログラマブル光源から呈示されるテスト刺激をユニークイエローになるように 10 回調整した。

測定時のテスト刺激の網膜照度は約 150td に設定された。また、測定時のテストの刺激の開始波長は約 550nm と約 620nm を 5 回ずつ交互に呈示した。

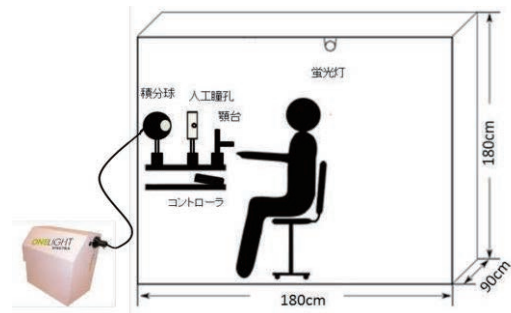


図 2. 測定用ブースのイメージ

2. 4 被験者

被験者は山形大学の 20 代男性 4 名で、うち正常色覚者が 3 名、1 型 3 色覚者が 1 名であった。

3. 結果

各被験者の 3 セットの結果を図 3 に示す。各グラフは左から順に赤：赤，緑：緑，緑：赤，赤：緑のゴーグルの結果を示している。グラフの縦軸は順応前後のユニークイエローのシフトを表しており、上にグラフが伸びていると順応後にユニークイエローが長波長側にシフトしたことを示し、下にグラフが伸びていると短波長側にシフトしたことを示している。各被験者の各セットの比較結果を表 1 にまとめた。

表 1. 各被験者の各セットの比較結果

	減少	変化なし	増加
1セット目	T.W K.H Y.Nの緑：緑と赤：緑 T.Kの緑：緑と赤：緑	Y.Nの赤：赤と緑：赤	K.N T.Kの赤：赤と緑：赤
2セット目	T.Wの緑：緑と赤：緑 K.Hの緑：緑と赤：緑	K.N T.Kの赤：赤と緑：赤	T.Wの赤：赤と緑：赤 K.Hの赤：赤と緑：赤
3セット目	T.Wの赤：赤と緑：赤 K.Nの赤：赤と緑：赤	K.Hの緑：緑と赤：緑 T.K	T.Wの緑：緑と赤：緑 K.Hの赤：赤と緑：赤 K.Nの緑：緑と赤：緑

図 3 と表 1 を見ると K.H の緑：緑と赤：緑を比較した際に緑：緑に比べて赤：緑のシフト量が減少する傾向が見られた。また、K.N の緑：緑と赤：緑を比較した際に緑：緑に比べて赤：緑のシフト量が増加する傾向がみられた。

しかし、K.H は 3 セット目、K.N は 2 セット目の緑：緑と赤：緑の比較結果に有意差が見られなかったため、有意な一貫した傾向を持つ被験者はみられなかった。

※エラーバー $\Rightarrow\sqrt{a^2 + b^2}$ a: 順応前の標準誤差 b: 順応後の標準誤差 * : 5%有意(Permutation test)

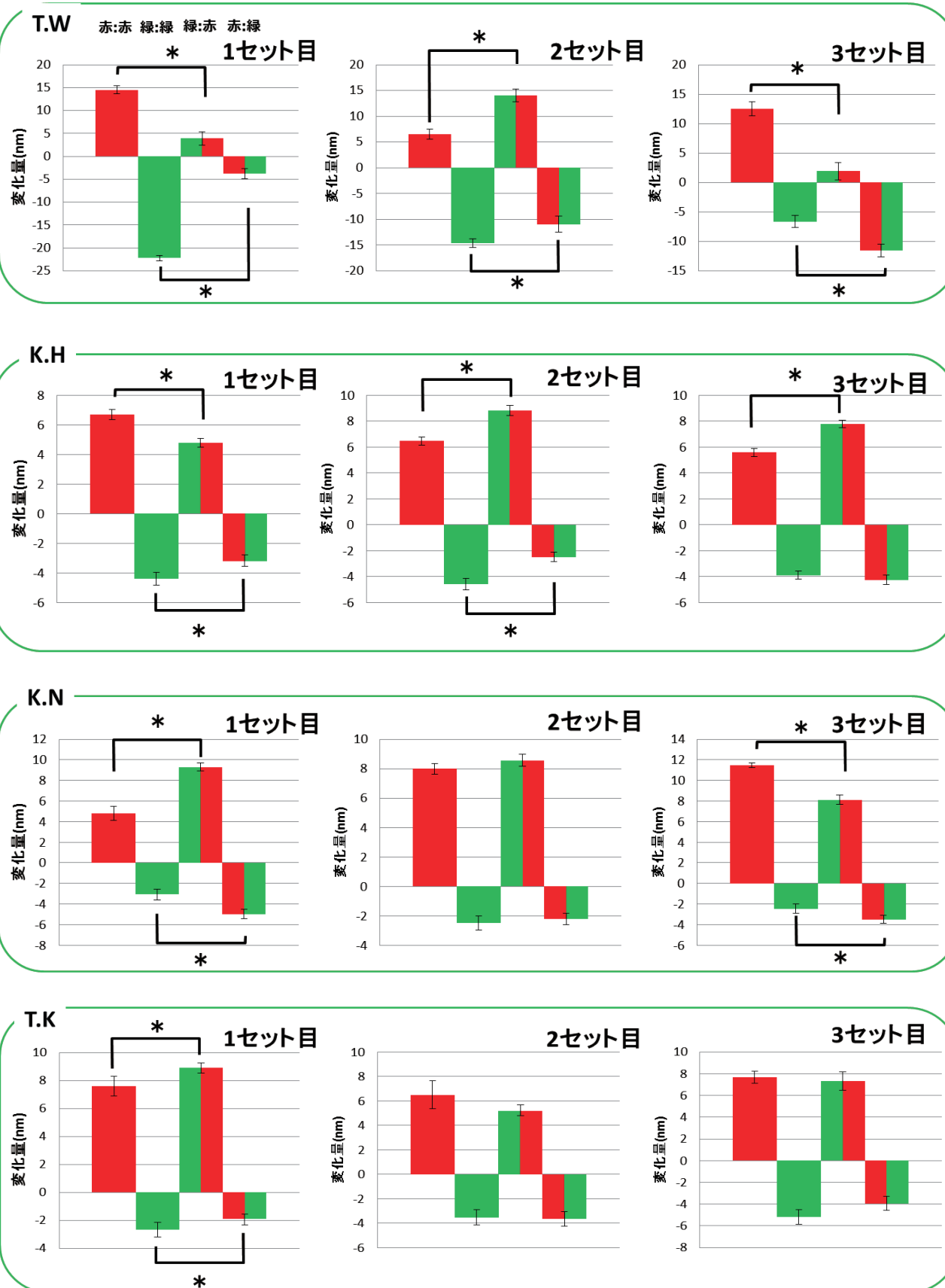


図 3. 各被験者の 3 セットの実験結果

また、一貫した傾向を示した被験者は見られなかったが、1セットから3セット目までを通して徐々に比較結果が逆転していくような被験者がみられた。K.Nの赤：赤と緑：赤について比較すると、1セット目では緑：赤の方がシフト量が多いが、2セット目では有意差なし、3セット目では赤：赤の方がシフト量が多くなっており、実験試行数とともに大小関係が逆転していた。

4. 考察

図3および表1より各被験者の結果を見ると、全セットにおいて有意な一貫した傾向がみられた被験者はいなかったが、予想していた減少、変化なし、増加という結果のうち減少と増加の傾向を示した被験者がみられた。

今回、一貫した傾向がみられなかった要因として考えられるものは2つある。

1つ目は今回の実験では被験者が4時間順応している間のタスクや制限は特に設定しておらず、机上に照明が設置された空間で過ごしてもらうというものであった。そのため、4時間の間の過ごし方に差が生じ、4時間の間に与えられる順応のための輝度刺激の総量が各条件において、同一被験者内においても均一でなかったため、被験者内および被験者間での結果にばらつきが生じたことが考えられる。

2つ目が残効の眼間転移である。今回の実験では、ユニークイエローの測定は順応の前後に右眼でしか行わなかった。そのため、順応後の各測定において、各被験者の結果に残効の眼間転移が実際にはどのように作用していたのかが明らかではない。

今回の実験結果の一貫性の無さおよび結果のばらつきから、各被験者内の結果において、逆の色相の残効が転移していた場合とそうでない場合があったのではないかと考える。もし、そうであったとすると、シフト量の大小関係が徐々に逆転した被験者の結果も含め、各結果は今回仮定していた両眼視レベルの作用だけではなく、左右眼で異なる見えの状態において作用するような左右眼それぞれ単独の高次過程によって予想されるものであったため、結果にばらつきがあったとも考えられる。

その場合、減少、増加傾向を示した被験者の結果も含めて色順応は単眼性のものではなく、単眼での順応効果が他眼に対しても影響を与えるような高次のメカニズムを介する両眼性のもので

あるという仮説を支持する結果であったと考えられる。

今後、各被験者の残効の眼間転移の特性を調べ、その結果とともに今回の実験の結果を再度考察する必要があると考えられる。

5. 結論

両眼に異なる色情報を与えた際の順応効果について実験を3セット行い、その傾向を調べたが、予測していた通りの結果および傾向を示す被験者がみられた。一貫した傾向が見られなかった結果についても、各被験者内で逆の色相の残効が転移していた場合とそうでない場合があったと考えた際に、仮定していた左右眼で異なる見えの状態において作用するような左右眼それぞれ単独の高次過程によって予想される結果であった。そのため、色順応が両眼性のものであるとともに色順応の生起に視覚の高次過程が関与しているという報告を支持する結果であった。

6. 今後の課題

片眼の長時間順応実験を行い、他眼への残効の眼間転移に関する各被験者での残効の特性を調べることで、今回の実験結果との関係を明らかにする必要がある。

また、今後同様の実験を行うにあたって、被験者に対して刺激として入る輝度になるべく統一できるような実験パラダイムを設定することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) J. Neitz, J. Carroll, Y. Yamauchi, M. Neitz, and D. R. Williams. *Neuron*, 35, (2002) 783–792
- 2) 島倉, 坂田. 長時間順応により高次過程で生じる色残効の反対色特性. *日本色彩学会誌*, 33(1), (2011) 14–25.