

平成 13 年度  
学士学位論文

# CRT ディスプレイの色温度が 色の見えに与える影響

Color appearance under different color temperature  
of CRT display.

1020294 清水 泰智

指導教員 篠森 敬三

2月8日

高知工科大学 情報システム工学科

## 要 旨

# CRT ディスプレイの色温度が 色の見えに与える影響

清水 泰智

今まで色恒常性の実験は色々なされてきたが、それらは照明空間を伴うものであった。照明空間をもたずにディスプレイの映像だけを見て実験することにより、色恒常性が抑制されるかどうか検証した。実験装置としては、光を遮断した部屋でディスプレイを2つ設置し、左のディスプレイの色温度を9300K、右のディスプレイを6500Kに設定して実験を行った。映し出す画像は、野外で人が色票を持っているものである。実験では、画像の中の人が持っている色票に人工的操作で色をつけ、左のディスプレイの色票が、右のディスプレイの色票と同じ紙(Paper match)になったと思うまで左の色を調整してもらった。このとき、基準色票の色は、同じ彩度の色を様々な色相より選んだ。色変更をするとき、HSB(色相 彩度 明度)を使用し、マッチング終了後の色を測光した。実験の結果、赤、黄系の色の場合、被験者は基準色表の色と物理的に同じになるように調整した。その一方、青、緑系の色では、基準色表の色セッティングを9300Kのディスプレイにそのまま呈示したときとほぼ同じ色度に調整した。また、赤紫系の色の場合では、どちらにも偏らず両者の間の色度となった。これは、色恒常性が効いている色といない色が両方あることを示唆している。

被験者3人の結果を考察したところ、3人の被験者全員に色恒常性の効果が見られた。また、この結果は、錐体順応を表す von Kries 型順応式で説明可能であった。よって、von Kries の順応式からマッチングの予測が出来るかどうか確かめるために、L-2M、S 空間に予測点をプロットした。予測点は全被験者に大体の予測が可能であった。

キーワード 色恒常性、錐体順応、von Kries

## Abstract

Color appearance under different color temperature of CRT display.

Taichi Shimizu

The experiment of color constant nature has been done various until now those accompany lighting space. I inspected whether or not color constancy is controlled by see the picture of a display and experimenting without having lighting space. I established 2 display in the room where blocked light and did the experiment. The color temperature of a left display was set up to 9300K and the right was set up to 6500K. The image is projected the person has a color vote in the open air. In the experiment, I gave color to the color vote that the person has in the image. The testee adjusted the color of the left until he thinks that the color vote of a left display, became the same paper (Paper match) as the color vote of the display of the right. At this time, the testee chose the color of the same design degree form visible to the naked eye in the color of the standard color vote. When the testee does the color change I did the color after matching completion light by using HSB. As a result of the experiment, in the case of the color of red and yellow, the testee adjusted it as he becomes physically same with the color of a standard color table. In the color of blue and green system, the testee almost adjusted it to the same color degree with when the color setting of the standard color table is presented to the display of 9300K as it is. Also, it became the color degree between both without being incline to which in the case of the color of a red purple system. This is suggesting that there is the color that both color constancy is not with the color

that is working. As I studied the result of 3 testees, the color constancy was effected. Also, this result was possible explain with the von Kries style adaptation ceremony that shows cone adaptation. Therefore, it did the prediction point in L-2M, S space the plot, to confirm whether or not the prediction of matching is possible from the adaptation ceremony of von Kries. As for the prediction point the general prediction was possible in all the testees.

***key words*** color constancy, cone adaptaion, von Kries

# 目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	色恒常性 ( Color constancy )	2
2.1	色覚メカニズム	2
2.2	色恒常性について	3
2.3	色恒常性の疑問点	4
第 3 章	実験方法	5
3.1	実験環境	5
3.2	実験に使用した機材	6
3.2.1	実験内容	6
第 4 章	実験 1 と実験 2 の結果	9
4.1	実験 1 ( 彩度 7 0 )	9
4.1.1	被験者 T.O 彩度 7 0 の場合	9
4.1.2	被験者 S.H 彩度 7 0 の場合	10
4.1.3	被験者 T.S 彩度 7 0 の場合	11
4.2	実験 2 ( 彩度 3 0 )	12
4.2.1	被験者 T.O 彩度 3 0 の場合	12
4.2.2	被験者 S.H 彩度 3 0 の場合	13
4.2.3	被験者 T.S 彩度 3 0 の場合	14
第 5 章	考察	15
5.1	考察 1	15
5.1.1	彩度 7 0 のデータ	15

## 目次

被験者 T.O 彩度 7 0 の場合 . . . . .	16
被験者 S.H 彩度 7 0 の場合 . . . . .	17
被験者 T.S 彩度 7 0 の場合 . . . . .	18
5.1.2 彩度 3 0 のデータ . . . . .	18
被験者 T.O 彩度 3 0 の場合 . . . . .	19
被験者 S.H 彩度 3 0 の場合 . . . . .	20
被験者 T.S 彩度 3 0 の場合 . . . . .	21
5.2 考察 2 . . . . .	21
5.2.1 von Kries 型順応式 . . . . .	22
5.2.2 被験者 T.O(L-2M) の場合 . . . . .	23
5.2.3 被験者 T.O(S) の場合 . . . . .	24
5.2.4 被験者 S.H(L-2M) の場合 . . . . .	25
5.2.5 被験者 S.H(S) の場合 . . . . .	26
5.2.6 被験者 T.S(L-2M) の場合 . . . . .	27
5.2.7 被験者 T.S(S) の場合 . . . . .	28
5.2.8 比例係数 . . . . .	28
5.3 考察 3 . . . . .	30
5.3.1 被験者 T.O 彩度 7 0 の場合 ( 予測 ) . . . . .	30
5.3.2 被験者 S.H 彩度 7 0 の場合 ( 予測 ) . . . . .	31
5.3.3 被験者 T.S 彩度 7 0 の場合 ( 予測 ) . . . . .	32
5.3.4 被験者 T.O 彩度 3 0 の場合 ( 予測 ) . . . . .	33
5.3.5 被験者 S.H 彩度 3 0 の場合 ( 予測 ) . . . . .	34
5.3.6 被験者 T.S 彩度 3 0 の場合 ( 予測 ) . . . . .	35
第 6 章 結論	36
謝辞	37

目次

参考文献

38

# 目次

2.1 錐体分光感度 . . . . .	3
2.2 反対色応答メカニズムのモデル . . . . .	3
3.1 実験環境 . . . . .	6
3.2 実験に使用した画像 . . . . .	7
4.1 T.O(彩度70) . . . . .	9
4.2 S.H(彩度70) . . . . .	10
4.3 T.S(彩度70) . . . . .	11
4.4 T.O(彩度30) . . . . .	12
4.5 S.H(彩度30) . . . . .	13
4.6 S.T(彩度30) . . . . .	14
5.1 T.O(彩度70) . . . . .	16
5.2 S.H(彩度70) . . . . .	17
5.3 S.T(彩度70) . . . . .	18
5.4 T.O(彩度30) . . . . .	19
5.5 S.H(彩度30) . . . . .	20
5.6 T.S(彩度30) . . . . .	21
5.7 T.O(L-2Mの近似直線) . . . . .	23
5.8 T.O(Sの近似直線) . . . . .	24
5.9 S.H(L-2Mの近似直線) . . . . .	25
5.10 S.H(Sの近似直線) . . . . .	26
5.11 T.S(L-2Mの近似直線) . . . . .	27
5.12 T.S(Sの近似直線) . . . . .	28



## 目次

5.13 T.O(予測点彩度70)	30
5.14 S.H(予測点彩度70)	31
5.15 T.S(予測点彩度70)	32
5.16 T.O(予測点彩度30)	33
5.17 S.H(予測点彩度30)	34
5.18 T.S(予測点彩度30)	35

# 第 1 章

## はじめに

近年、情報化が進み、インターネットの普及により、私たちはディスプレイから様々な情報を得ることができるようになった。インターネットを通じてディスプレイから得られる色情報は、私たちに多少なりとも影響を与える。特にインターネットショッピングなどが例にあげられる。自分の希望する色とディスプレイを通して認識した色を少しでも一致させ、思い通りの色の商品を手にするにはディスプレイから得る色情報を正確に視覚で認識しなければならない。しかし、人間が視覚から得る情報はディスプレイの色温度に影響を受け、必ずしも正確な色情報とは限らない。ディスプレイには、色温度という設定があるが、この色温度の設定は、照明光のシュミレートをしたものである。

また、日常の視野の中に存在する物の中で、光源や発光ディスプレイを例外とすると、ほとんどの物体が照明光の光を反射する物体である。物体が人間の視覚に認識されるには、その反射光が観察者の網膜に到達する必要がある。したがって、物体の認識、知覚は照明光の影響を大きく受けている。

本研究では、ディスプレイ上の色温度の変化により、照明空間の変化と同様の色恒常性が起きるかどうか、また、人間の視覚にどのような影響をもたらすのかということについて検証と考察を行う。

## 第 2 章

# 色恒常性 ( Color constancy )

### 2.1 色覚メカニズム

人間の持つ 3 種類の錐体細胞 ( cone photoreceptors ) は、分光感度の異なることから、long-,middle-,short-wavelength に感度のピークを持つことに対応して L-,M-,S- 錐体と呼ばれる。( 図 2-1 ) これらの錐体細胞で発生した信号が、すぐ次のステージで「和の信号」である輝度チャンネル ( L-錐体と M-錐体の出力の和 ) と複数の錐体出力間の「差の信号」である r-g チャンネル ( L-,M-錐体の出力の差 ) と y-b チャンネル ( L-,M-錐体の和と S - 錐体の出力の差 ) に変換される。( 図 2-2 )

これらの色・輝度チャンネルへの信号の再構成は、網膜の中の、光受容器から神経節細胞に至る前の段階で行われている。つまり、人間の視覚系のメカニズムを神経結合的に理解しようとする、「和の信号」である輝度と「差の信号」である色の情報の経路にどのような情報が流れているかを知る必要が生じてくる。「色覚を研究する」ということは、視覚のメカニズムを探る上で最も基礎になる部分から始まる視覚信号処理過程の研究をしている、ということになる。

「色恒常性」は、光受容器の直後で発生する「差の信号」すなわち色の信号に関して、視環境の変化へ適応するメカニズムとその集合体の効果が顕著に現れている複雑な現象である。

本節では、まず色恒常性について説明する。また、それらに対する疑問点についても説明する。

## 2.2 色恒常性について

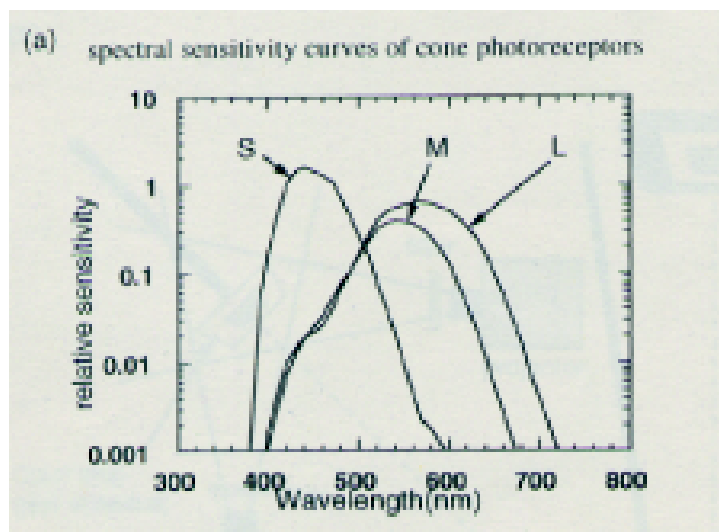


図 2.1 錐体分光感度

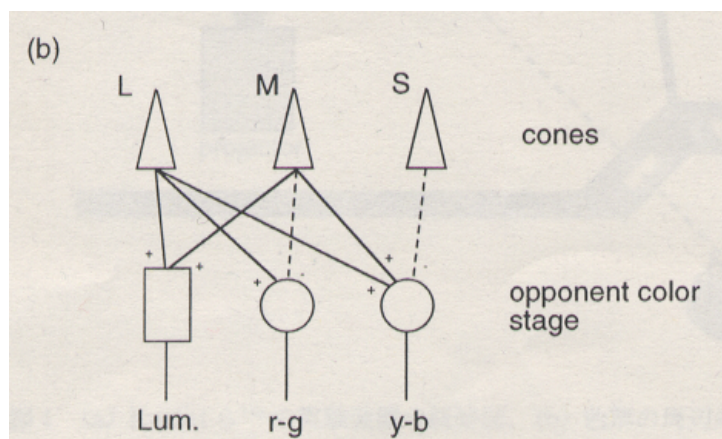


図 2.2 反対色応答メカニズムのモデル

## 2.2 色恒常性について

人間は、一定の環境で生活しているわけではなく、環境照明光は、日中は太陽の光、屋内では蛍光灯や白熱電球と一日の中でも様々に変化する。異なる照明光の下でも、同じ物・色であると知覚することが出来る。なぜ、このようなことができるかという、人間は、照明光の変化と物体の反射率の変化を分離して知覚可能だからである。物理的には不可能なことを視覚系はたやすく可能にしてしまうのである。これを色恒常性という。[1]

本研究は、照明空間を持たないディスプレイ上の画像だけを見た場合には、視覚系の色恒

## 2.3 色恒常性の疑問点

常性が照明空間を伴ったときと同様に起こるかどうかが、また、錐体や網膜の順応をきちんと制御しなければ、それらレベルの順応に依存している色恒常性メカニズムは計算通り働かないのかということを検討した。

## 2.3 色恒常性の疑問点

以上のように、色恒常性に対して以下の3つの疑問点が出てきた。

- 照明空間の問題

現在まで色恒常性の実験は、数多くなされてきた。しかし、これらのほとんどが、照明空間を伴った実験であった。では、照明空間を持たないCRTディスプレイ上の画像だけを見た場合には、視覚系の色恒常性が同様に起こるかどうかが。

- 錐体や網膜順応の問題

過去の研究では、Hoploscopicなどの手法を用いてある特定の照明に対する錐体や網膜の順応状態をきちんと制御されていた。では、錐体や網膜の順応をきちんと制御しなければ、それらレベルの順応に依存している色恒常性メカニズム(の一部)は計算どおり働かないのではないかと。

- CRT上に色を表示する際の実用上の問題

一般的なコンピュータシステムでは、画像の色と光度はRGBの階調( $K_{Red}, K_{Green}, K_{Blue}$ )で表現される。では、異なる色温度に設定されたディスプレイに表示された場合でも、RGB階調値が同じであれば、同じ色票(Paper Match)として知覚されるのか。

これらの3つの疑問点を解決するために、ディスプレイの色温度が色の見えに与える影響と、それに伴う色恒常性の効果の度合を検証し、また、異なる色温度のディスプレイ上で色恒常性の効果は生じているのか、錐体順応を表す von Kries 型順応式で説明可能か、Matching 色の予測は可能かを検証した。

# 第3章

## 実験方法

### 3.1 実験環境

実験をするにあたって、ブースを製作した。ファンゲル材で組んだフレームに黒い板を張り合わせ、接合部分は、黒の画用紙で遮光した暗室を作成した。暗室は、270cm × 240cm × 180cm (奥行き × 幅 × 高さ) の大きさで、その中に机を置き、その上にディスプレイ等の機材を設置した。

被験者は暗室内の椅子に自然な姿勢で座ってもらい実験を行った。椅子は、被験者が自然に座ってディスプレイから頭の位置まで 0.6M となるように固定した。これは、ディスプレイと被験者との間を固定することによって、被験者間での視距離の差を無くし、実験条件の統一化を図った。ただし、被験者があまりにも不自然な体勢で実験をしているようなら注意し、正しい姿勢で座らせた。また、ディスプレイ等のその他実験設備は固定とする。顎台は、使用せず自然両眼視の状態で行った。実験者も同時に暗室内に入り被験者の観察をした。

被験者が見えるものは、ディスプレイ上の画像のみとした。そのために、ディスプレイの画像の周りは、黒の画用紙で囲った。これにより、ディスプレイ上にあるバーや、メニュー、電源ランプ等からの影響を防いだ。また、実験者の操作や、実験者が視界に入らないように、実験者と被験者の間には、黒の遮断板を設置した。これは、被験者が実験をする上で、他のものに気が散ってしまい、結果に影響が出ないためであり、被験者3人に対して全て同じ環境で行った。

これらの処置を行うことによって、実験中に被験者の見ることの出来るものは、遮断板

## 3.2 実験に使用した機材

や、黒の色画用紙に覆われていないディスプレイ上中央部の自然画像のみとなった。(図 3.1 参照)

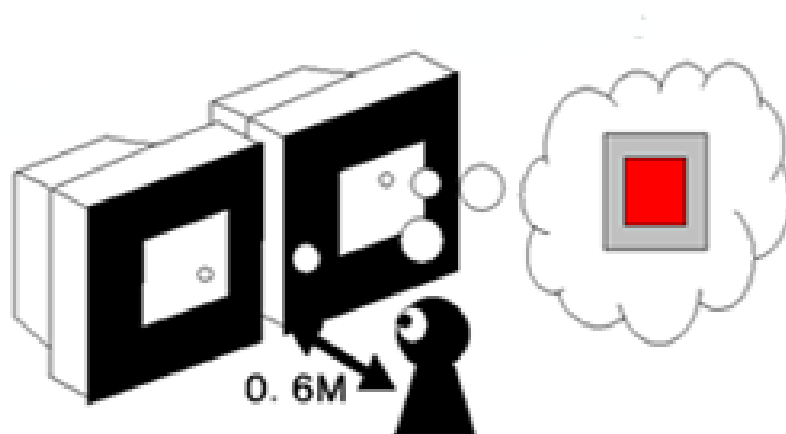


図 3.1 実験環境

## 3.2 実験に使用した機材

実験時に使用する画像の色票上に刺激色を出すために、「Adobe Illustrator8.0J」を使用した。実験用のコンピュータとして Fujitsu「FMV 6350PX2」、実験刺激を呈示するためのディスプレイは、三菱「Diamondtron RD17GX」「Diamondtron RD17V」を使用した。自然画像を撮影するため、CASIO「XV-3(334万画素)」のデジタルカメラを使用した。また、6500Kの基準色票と、その基準色票の値を9300Kのディスプレイに表示した色、マッチング結果の色票部分について、分光放射輝度計CS-1000で $L_v$ (輝度)、 $x$ 、 $y$ を測定した。

### 3.2.1 実験内容

照明の無い暗室内に1台のPCに接続されたディスプレイを2つ設置し、左のディスプレイの色温度を9300K(マッチング色票用)、右のCRTを6500K(基準色票用)に設定した。これら2つのディスプレイは、主ディスプレイ出力とビデオボードのディスプレイ出力

### 3.2 実験に使用した機材

を OS 上 (Windows95) で同じセッティングしたものでドライブされている。また、ディスプレイの明るさとコントラストは工場設定値に合わせた。

両方のディスプレイに同じ画像を呈示した。この画像は、14時に撮影したものである。画像は、人が野外で灰色枠付きの色票を持っている写真である。これは、自然画像を使用することによって、被験者が色票の色をマッチングするときのヒントとなる。画像の背景には、紅葉や芝生を入れた。(図 3.2 参照)



図 3.2 実験に使用した画像

右のディスプレイ上で画像内の色票上に人工的操作で任意の基準色を作り、左のディスプレイの色票が右のディスプレイの色票と同じ紙 (Paper Match) になったと思うまで、左の色票の色を HSB (色相-彩度-明度) の全てを調整することでマッチングを行った。

- 彩度

実験 1 ... 色温度 6500K (右) のディスプレイに呈示する色票の彩度 70

実験 2 ... 色温度 6500K (右) のディスプレイに呈示する色票の彩度 30

- 明度

色温度 6500K (右) のディスプレイにおいて 90 に統一



### 3.2 実験に使用した機材

- 色相

10,30,50...350 まで 18 色をランダムに表示

実験の被験者として、色覚正常な 22 歳の男性 2 名 ( S.H,T.S ) 女性 1 名 ( T.O ) の計 3 名で行った。T.S は著者であり、実験内容や実験の仕組みを知っている者である。S.H,T.O は、実験目的に対してナイーブな被験者である。

被験者に実験ブースに入ってもらった後、実験についての説明と判断条件の説明を行った。説明内容は、HSB ( 色相-彩度-明度 )、また、それらの変更の仕方を説明した。次に、判断条件として、何度繰り返しても良いので、同じ紙になったと思うまで変更するように、また、見た目が同じ色になるように変更する ( Apparent match ) ではなく、同じ色票になったと思うまで変更する ( Paper match ) ように注意した。

実験前に、ブース内の照明を落とし、暗室にして実験を行った。実験では、1 セット約 50 分かかり、それを 3 セット行うため、セット間には 5 分の休憩をとった。これは、日によって体調の変化があると思い、体調の良い日に 1 日で 3 セット行った。実験は、1 人に付き 3 セットを実験 1 と実験 2 の 2 回行ったが、これは別の日に行った。

## 第 4 章

# 実験 1 と実験 2 の結果

### 4.1 実験 1 ( 彩度 7 0 )

実験 1 において得られたデータについて、3 回の平均を出し、CIE 色度座標上に  $x$ 、 $y$  でプロットした。

#### 4.1.1 被験者 T.O 彩度 7 0 の場合

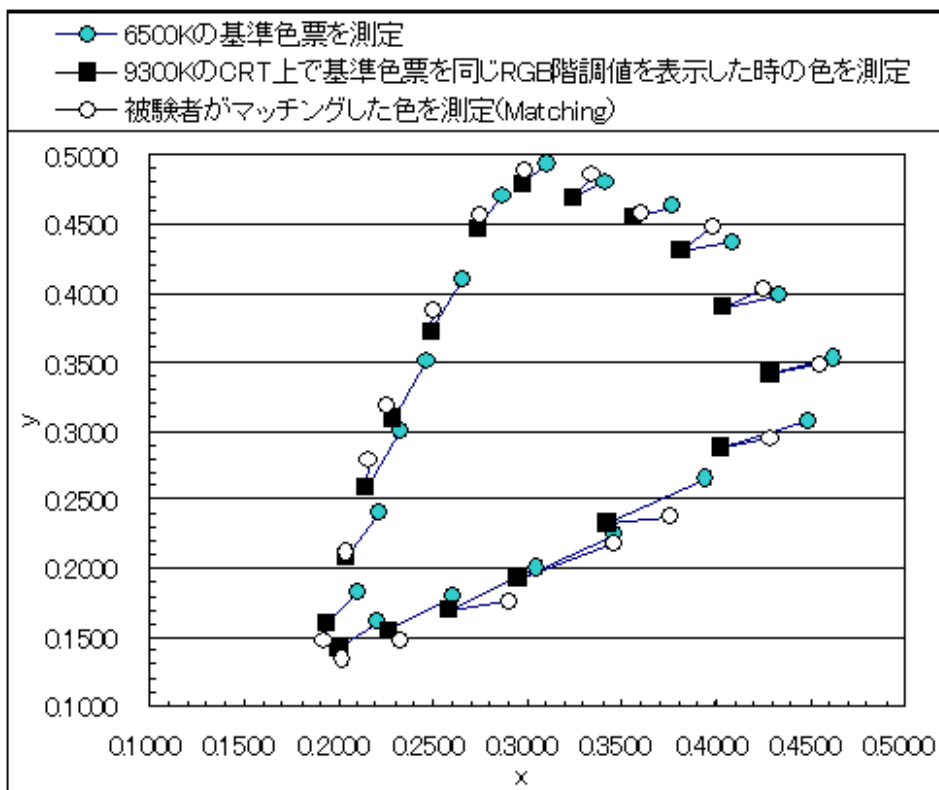


図 4.1 T.O(彩度 7 0)

#### 4.1 実験1 (彩度70)

被験者 T.O の場合 6500 K の基準色票に近くマッチングした色 (赤から緑) と、9300 K のディスプレイで基準色表と同じ RGB 階調値を表示した色に近くマッチングした色 (緑から青) それぞれの中間に合わした色 (青から赤) にはっきりと分かれた。

##### 4.1.2 被験者 S.H 彩度70の場合

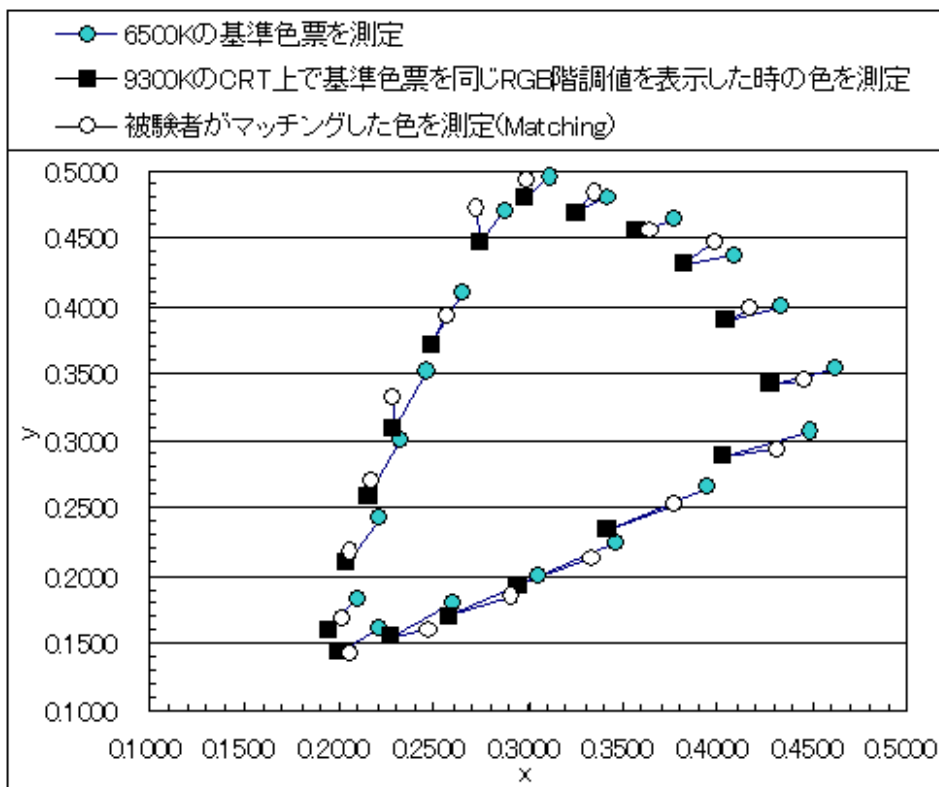


図 4.2 S.H(彩度70)

被験者 S.H の場合では、T.O の実験結果程ではないが、大体同じように、6500 K に近くマッチングした色と9300 K CRT 上で基準色表と同じ RGB 階調値を表示した色に分けられた。

#### 4.1 実験1 ( 彩度 7 0 )

##### 4.1.3 被験者 T.S 彩度 7 0 の場合

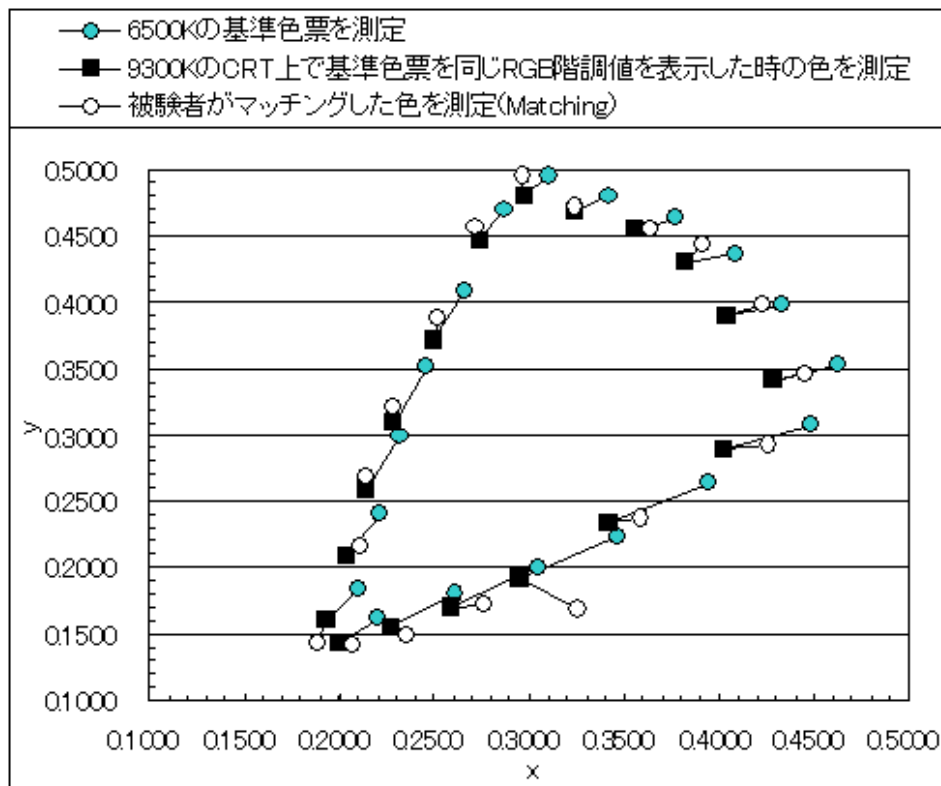


図 4.3 T.S(彩度 7 0)

被験者 T.S の実験結果でも、被験者 T.S,S.H と同じような結果となった。これらの相違が彩度によって起こるのか調べるために、次の実験 2 において彩度 3 0 でも実験を行った。その結果を次に述べる。

## 4.2 実験2 (彩度30)

### 4.2 実験2 (彩度30)

先に出したグラフと同様に、彩度30で3回実験し、その結果の平均を出し、色度座標上のx、yでプロットした。

#### 4.2.1 被験者 T.O 彩度30の場合

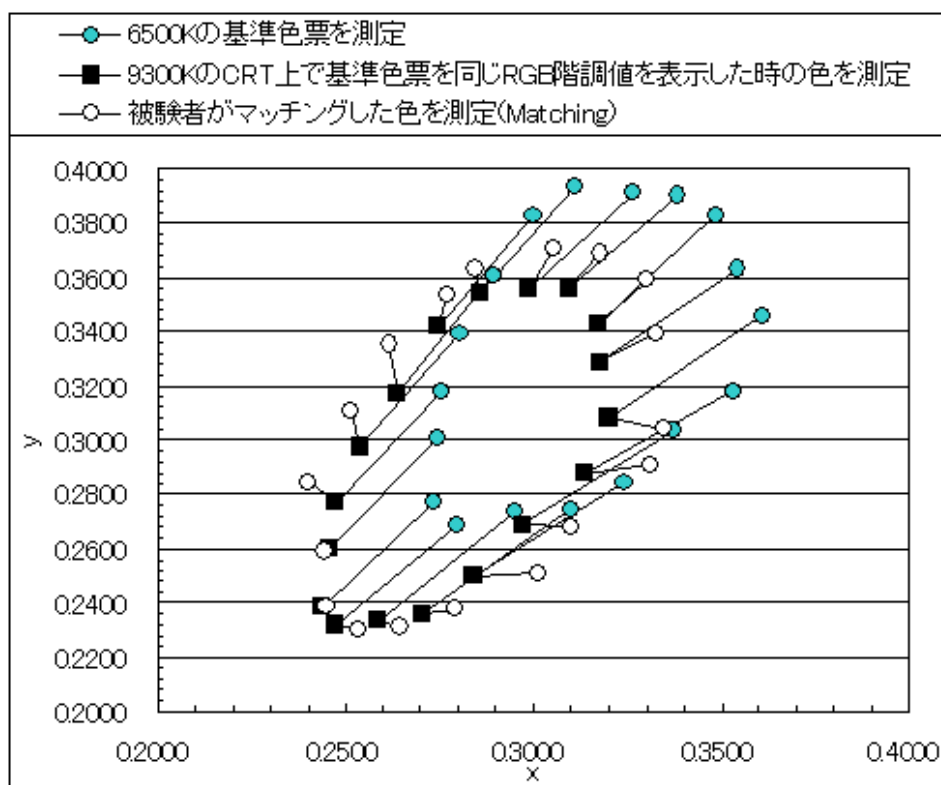


図 4.4 T.O(彩度30)

彩度70のときと同様に、6500Kに近くマッチングした色と9300KCRT上で基準色表と同じRGB階調値を表示した色に分けられた。しかし、(apparent match)になる、6500K上にマッチングすることは、無かった。ほぼ、両者の中間に合わせるが目立つ。

## 4.2 実験2 ( 彩度 3 0 )

### 4.2.2 被験者 S.H 彩度 3 0 の場合

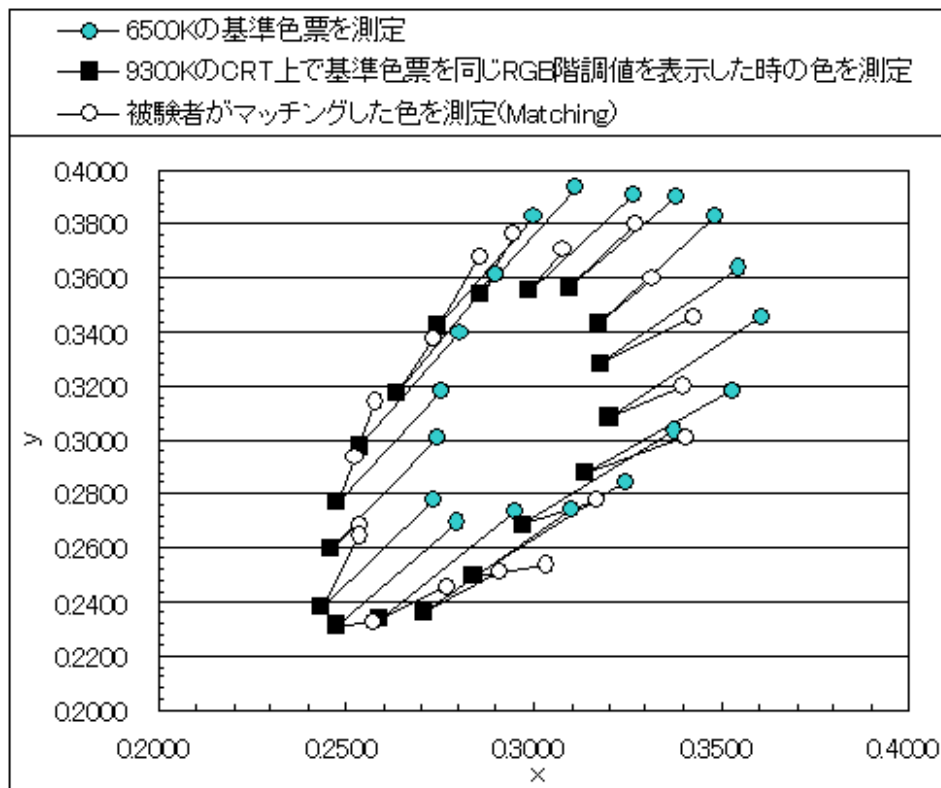


図 4.5 S.H(彩度 3 0)

被験者 S.H の場合も、彩度 7 0 の結果と大体同じであった。

## 4.2 実験2 ( 彩度 3 0 )

### 4.2.3 被験者 T.S 彩度 3 0 の場合

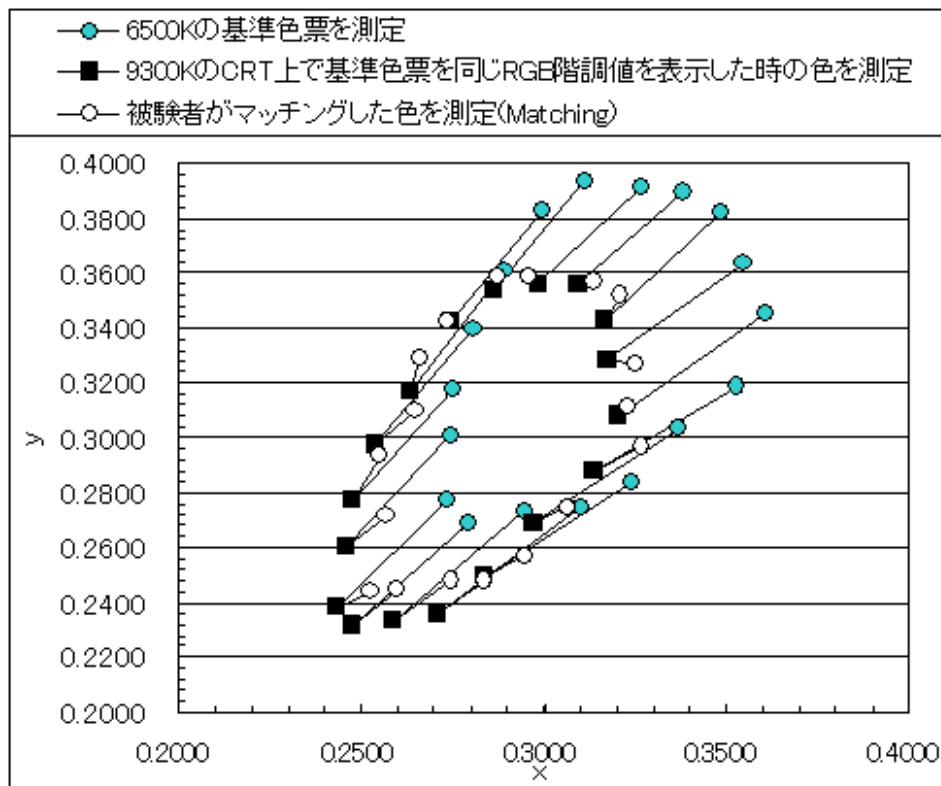


図 4.6 S.T(彩度 3 0)

被験者 T.S の場合、どの色も 9 3 0 0 K CRT 上で基準色表と同じ RGB 階調値を表示したときの色に近くマッチングしていた。彩度 7 0 の場合とは逆に、青、紫について、両者の中間に合わせることが目立つ。

これらの相違は、彩度によって起こるものではないと考えられる。

# 第 5 章

## 考察

本章では、実験結果を元にし、異なる色温度の CRT 上で色恒常性の効果は生じているか。また、錐体順応を表す von Kries 型順応式で説明可能か。最後に、Matching 色の予測は可能かの 3 つの検証をした。

### 5.1 考察 1

まず、考察 1 では色恒常性の効果は生じているか調べるために色度座標  $x, y, L$  (輝度) より 3 種の錐体応答量  $L, M, S$  を計算し、横軸  $L-2M$ 、縦軸  $S$  のグラフを作った。

#### 5.1.1 彩度 70 のデータ

横軸  $L-2M$ 、縦軸  $S$  のグラフでも、彩度による差、個人差を調べるため彩度 70、30 両方のデータをとった。



## 5.1 考察1

### 被験者 T.O 彩度70の場合

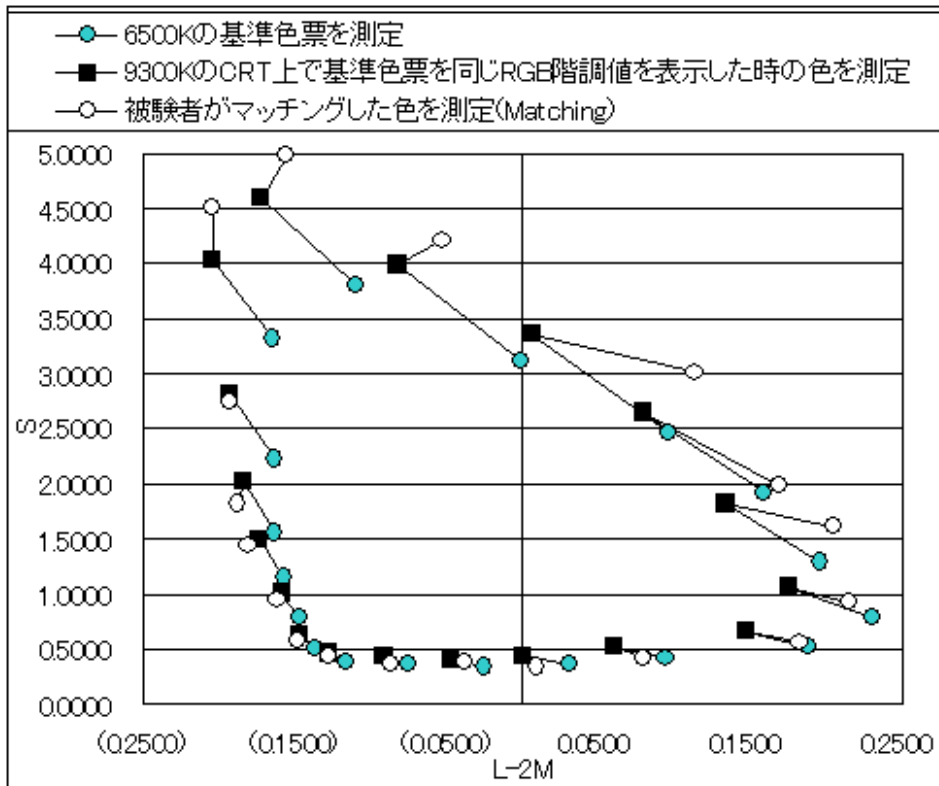


図 5.1 T.O(彩度70)

被験者 T.O の L-2M、S 空間でプロットした場合、 $x, y$  座標上に表したグラフと同様に、6500K に近くマッチングした色と9300K CRT 上で基準色表と同じ RGB 階調値を表示した色に分けられた。よって、被験者のマッチングした色は、物理的なマッチングとも同じ階調値を9300K CRT 上に出した点とも異なっている。

## 5.1 考察1

### 被験者 S.H 彩度 7.0 の場合

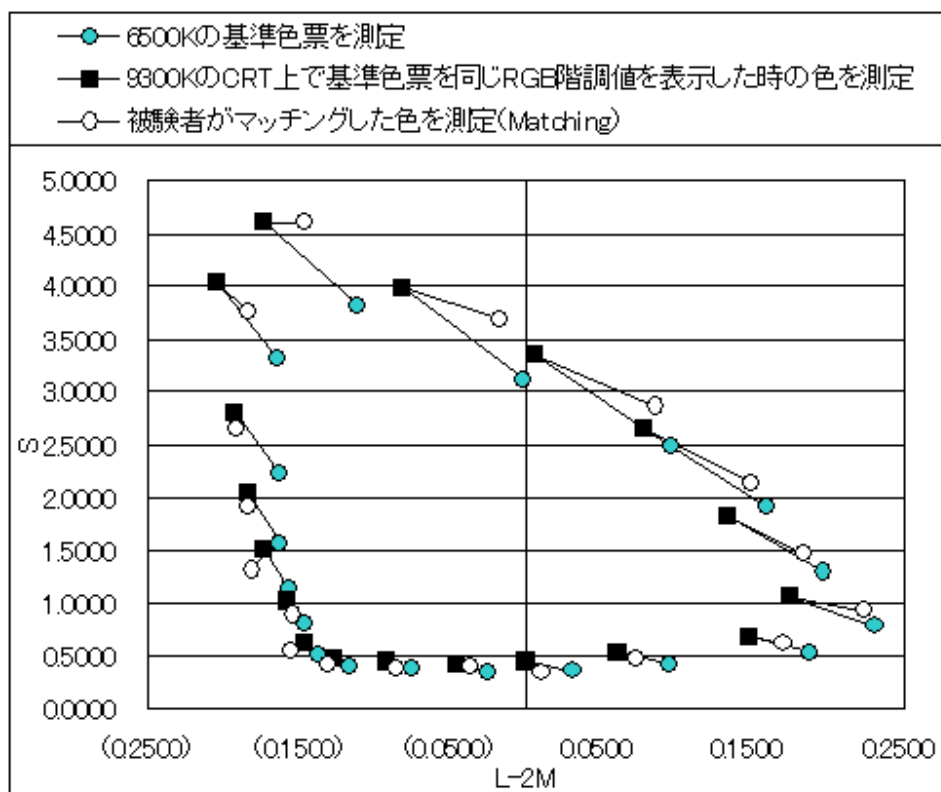


図 5.2 S.H(彩度 7.0)

被験者 S.H も T.O と同様に被験者のマッチングした色は、物理的なマッチングとも同じ階調値を 9.3.0.0 KCRT 上に出した点とも異なっている。

## 5.1 考察1

### 被験者 T.S 彩度 70 の場合

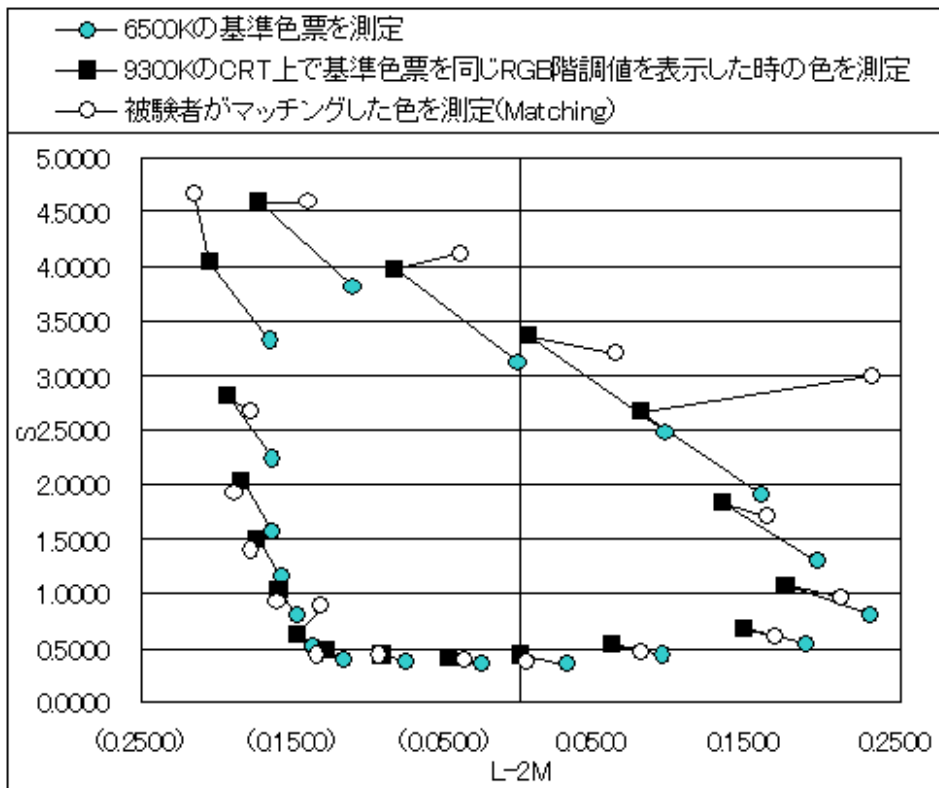


図 5.3 S.T(彩度 70)

被験者 T.S も T.O、S.H と同様に被験者のマッチングした色は、物理的なマッチングとも同じ階調値を 9300 KCRT 上に出した点とも異なっている。

### 5.1.2 彩度 30 のデータ

彩度 30 の場合も調べるために、彩度 70 のときと同様の手法で、グラフを作った。

## 5.1 考察1

### 被験者 T.O 彩度30の場合

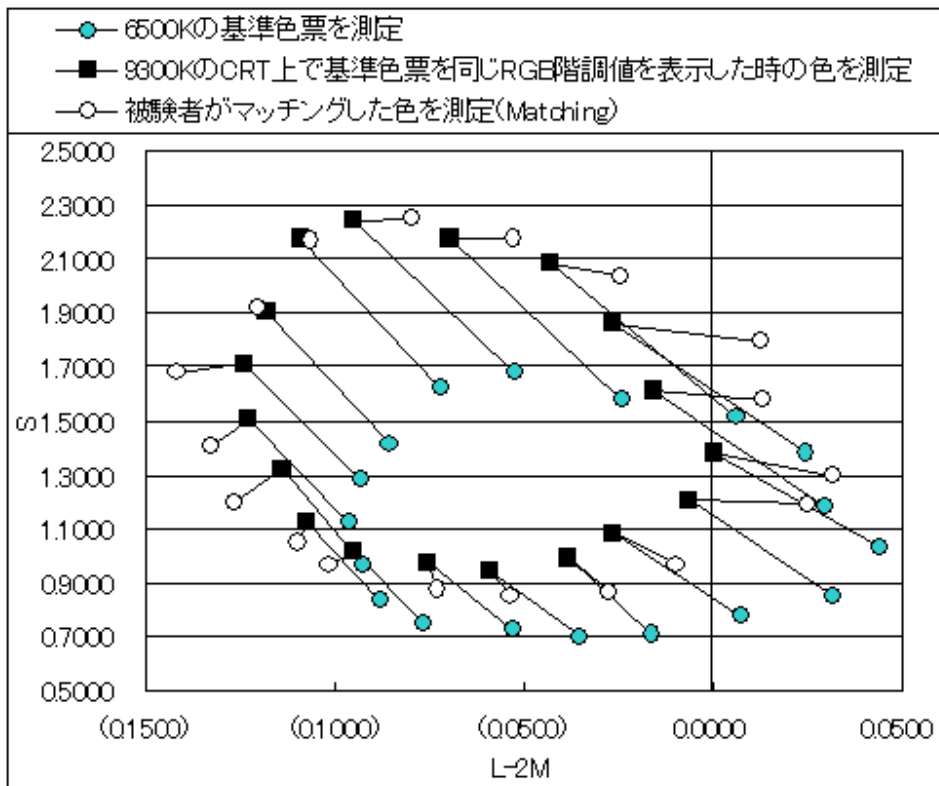


図 5.4 T.O(彩度30)

被験者 T.O の彩度30での結果を L-2M、S 空間でプロットした場合でも  $x,y$  座標上に表したグラフと同様に、被験者のマッチングした色は、物理的なマッチングとも同じ階調値を 9300 KCRT 上に出した点とも異なっている。さらに、S が高くなるにつれて、物理的なマッチングからの S の距離が大きくなっている。

## 5.1 考察1

### 被験者 S.H 彩度 30 の場合

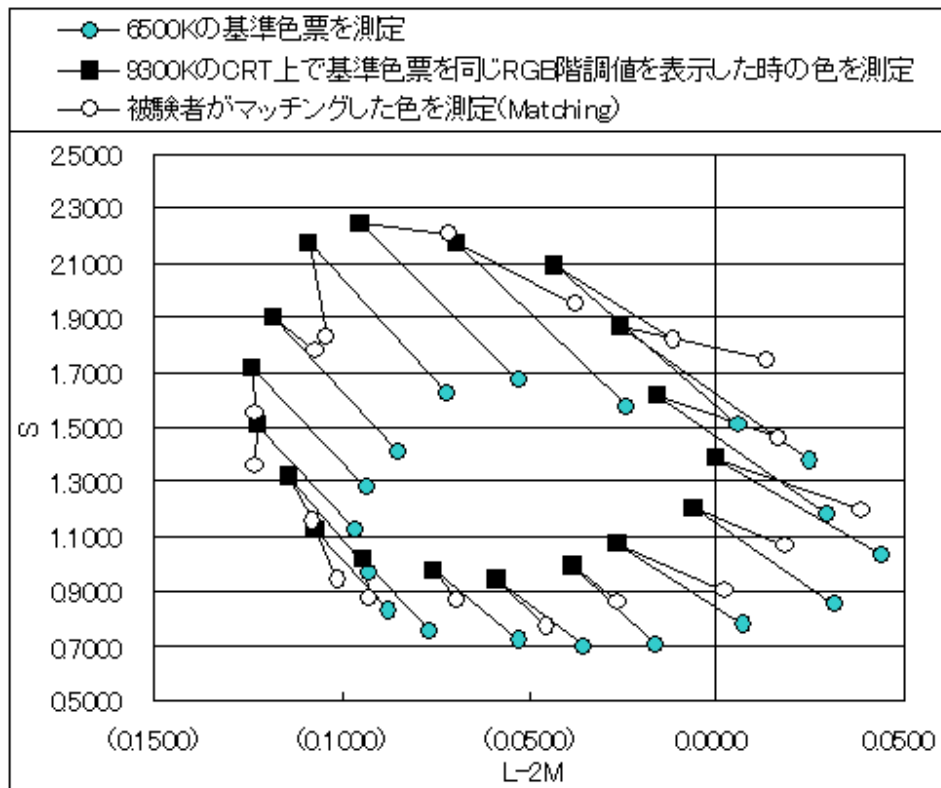


図 5.5 S.H(彩度 30)

被験者 S.H も T.O のグラフと同様に、被験者のマッチングした色は、物理的なマッチングとも同じ階調値を 9300 KCRT 上に出した点とも異なっている。

## 5.2 考察2

被験者 T.S 彩度 3.0 の場合

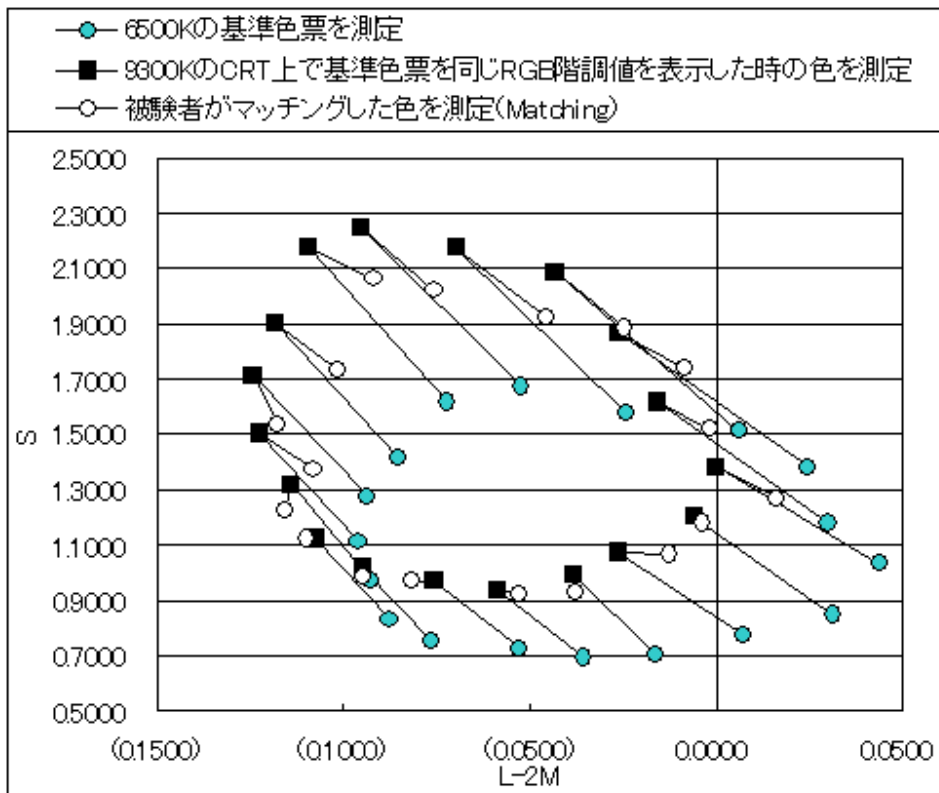


図 5.6 T.S(彩度 3.0)

被験者 T.S も T.O、S.H のグラフと同様に、被験者のマッチングした色は、物理的なマッチングとも同じ階調値を 9300 KCRT 上に出した点とも異なっている。ただし、被験者 T.S だけは、6500 KCRT 基準色表の S が小さくなるにつれて、マッチングの点は同じ階調値を 9300 KCRT 上に出した点に近くマッチングしていることが分かった。これらをまとめると、先に出した、 $x,y$  のグラフも兼ねて、高次レベルで元の色を推測していると考えられ、色恒常性的な効果が生じていることを示している。

## 5.2 考察2

考察2では、von Kries 型の順応式で説明可能か検討した。

## 5.2 考察2

### 5.2.1 von Kries 型順応式

von Kries は、人間の眼の光受容器が 3 種類であったとすると、照明光に対する各光受容器の応答に逆比例する係数を各受容器の出力に掛けるように感度調整すれば、照明光の変化に伴う視覚系の応答の変化が小さくなるというモデルで、式の形で表せば、

$$R'_i = k_i * R_i \quad (5.1)$$

ただし、 $k_i = 1/R_i^{illum}$ ,  $i=L,M,S$  ( $R_i^{illum}$  は照明光に対する  $i$  錐体 ( $i=L, M, S$ ) の応答を示す。)

もし、本実験が von Kries 型順応式が起きているとするなら、

$$R'_{i,6500} = R_{i,6500} / R_{i6500}^{illum} \quad (5.2)$$

$$R'_{i,9300Matching} = R_{i,9300Matching} / R_{i9300}^{illum} \quad (5.3)$$

で、且つ Matching が成立しているので、

$$R'_{i,6500} = R'_{i,9300Matching} \quad (5.4)$$

である。これより

$$R_{i,9300Matching} / R_{i,6500} = R_{i9300}^{illum} / R_{i6500}^{illum} = C \quad (5.5)$$

よって、6500 K の基準色票の錐体刺激量  $S_{1,(L-2M)_1}$  と Paper Matching の結果の錐体刺激応答量  $S_{3,(L-2M)_3}$  の間には

$$S_3 / S_1 = C_s \quad (5.6)$$

$$(L-2M)_3 / (L-2M)_1 = C_{(L-2M)} \quad (5.7)$$

が成立することになるので、

$$S_3 = C_s * S_1 \quad (5.8)$$

$$(L-2M)_3 = C_{(L-2M)} * (L-2M)_1 \quad (5.9)$$

## 5.2 考察2

である。但し、錐体刺激量のゼロレベルに一定のずれがあるとする

$$S_3 = C_S * S_1 + C_{S2} \quad (5.10)$$

$$(L - 2M)_3 = C_{(L-2M)} * (L - 2M)_1 + C_{(L-2M)2} \quad (5.11)$$

$C_{S2}, C_{(L-2M)2}$  は定数である。

以下では、 $S_1$  vs.  $S_3, (L - 2M)_1$  vs.  $(L - 2M)_3$  のプロットを行って、この式が成立しているか検討した。

### 5.2.2 被験者 T.O(L-2M) の場合

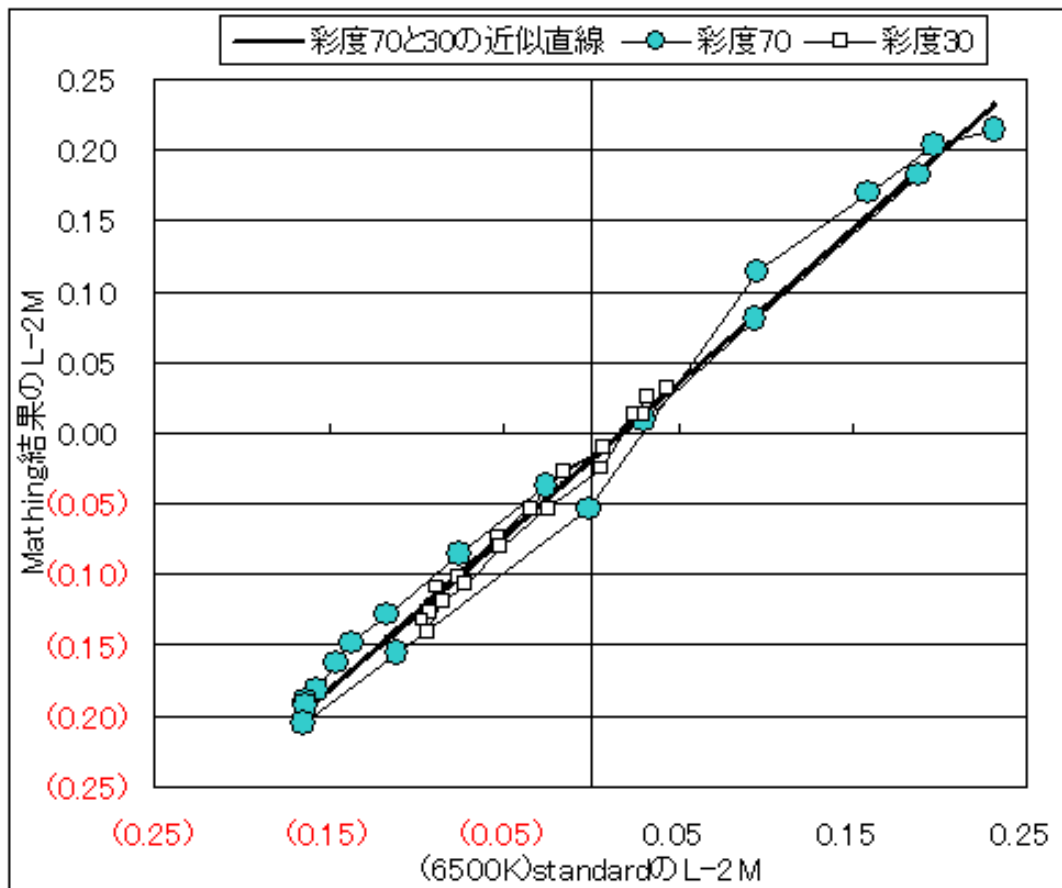


図 5.7 T.O(L-2M) の近似直線

被験者 T.O の彩度 70 と彩度 30 の L-2M の直線近似を比べたところ、有意差が無かった



## 5.2 考察2

ため、両方のデータに対して1本の近似直線を得た。最小2乗法より、 $(L-2M)_3=1.08*(L-2M)_1-0.02$  の式を得た。

### 5.2.3 被験者 T.O(S) の場合

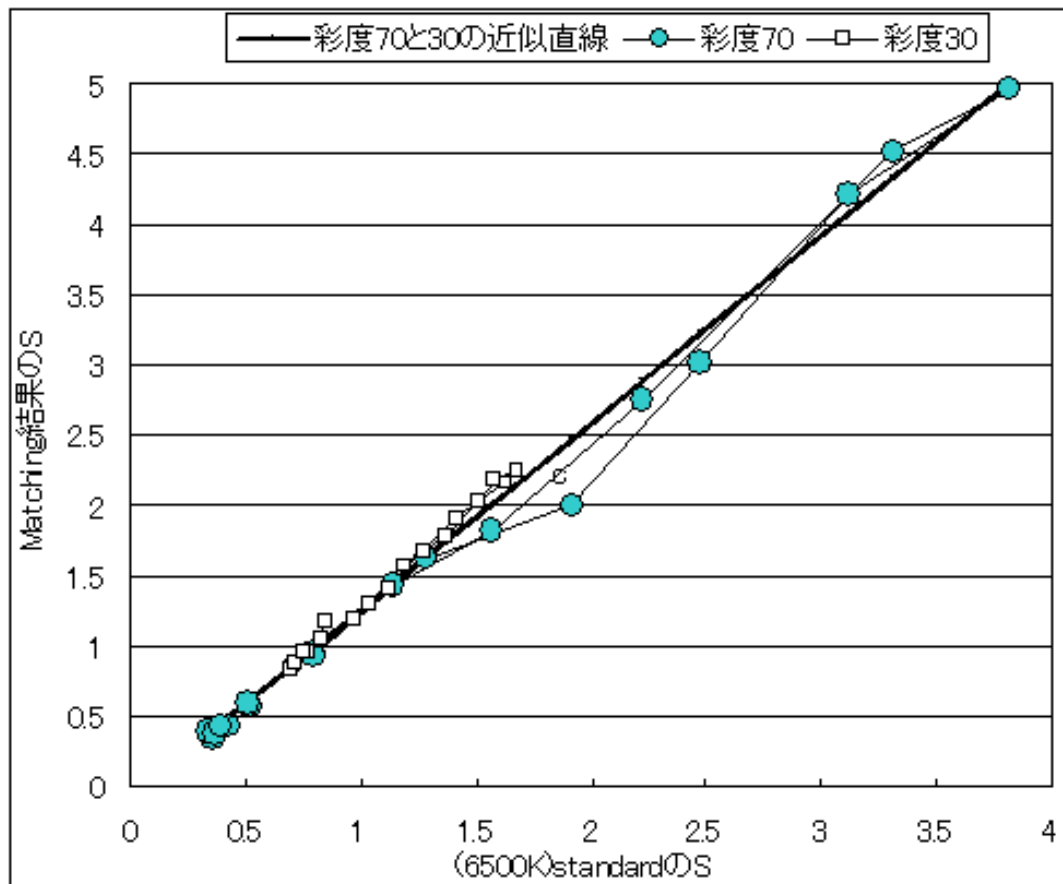


図 5.8 T.O(S)の近似直線

被験者 T.O の彩度 70 と彩度 30 の S の直線近似を比べたところ、有意差が無かったため、両方のデータに対して1本の近似直線を得た。最小2乗法より、 $S_3=1.34*S_1-0.09$  の式を得た。

## 5.2 考察2

### 5.2.4 被験者 S.H(L-2M) の場合

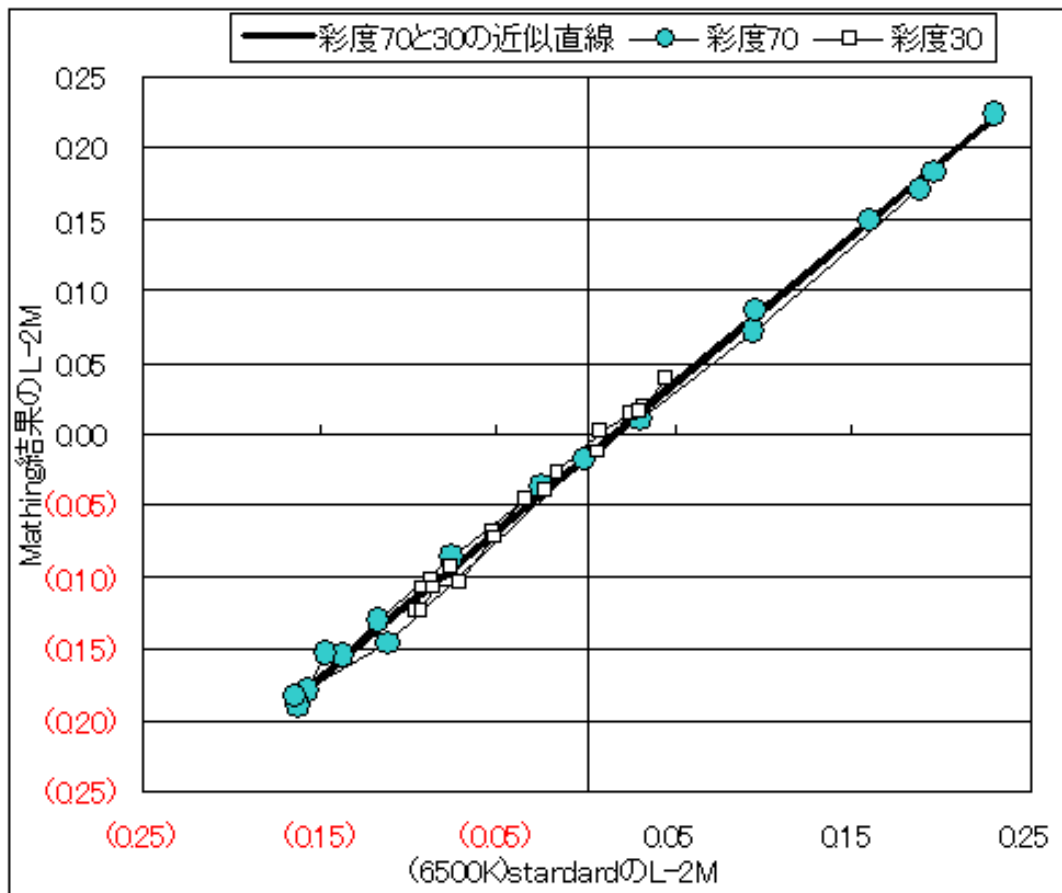


図 5.9 S.H(L-2M) の近似直線

被験者 S.H の L-2M も同様に直線と言えたので、最小 2 乗法より、 $(L-2M)_3=1.03*(L-2M)_1-0.02$  の式を得た。

## 5.2 考察2

### 5.2.5 被験者 S.H(S) の場合

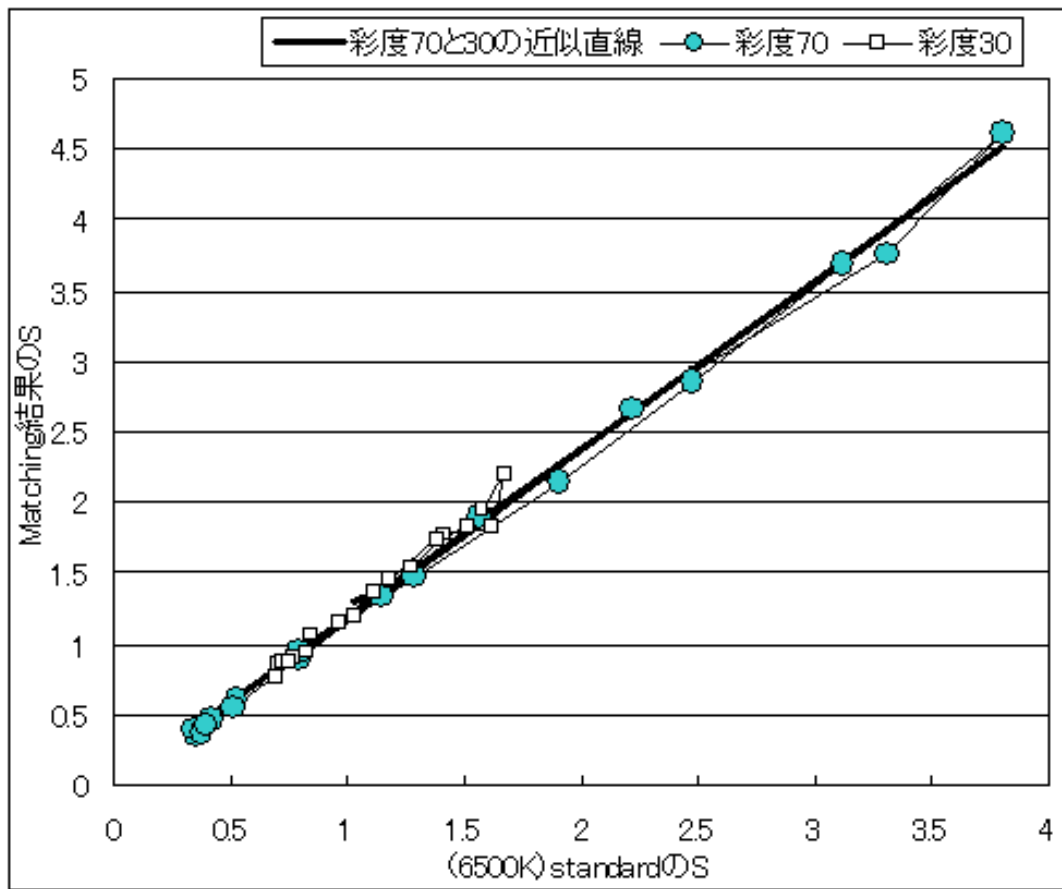


図 5.10 S.H(S の近似直線)

被験者 S.H の S も同様に直線と言えたので、最小 2 乗法より、 $S_3=1.19*S_1-0.01$  の式を得た。

## 5.2 考察2

### 5.2.6 被験者 T.S(L-2M) の場合

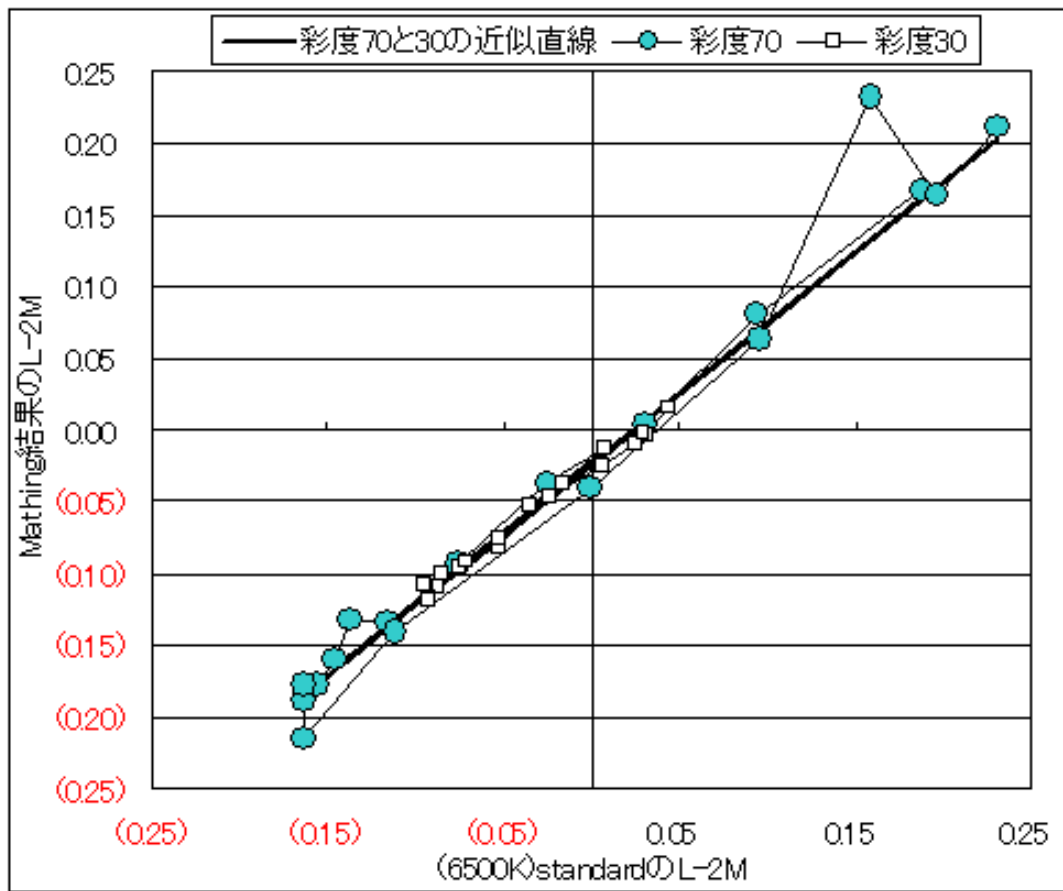


図 5.11 T.S(L-2M) の近似直線

被験者 T.S の L-2M も同様に直線と言えたので、最小 2 乗法より、 $(L-2M)_3=0.98*(L-2M)_1-0.02$  の式を得た。

## 5.2 考察2

### 5.2.7 被験者 T.S(S) の場合

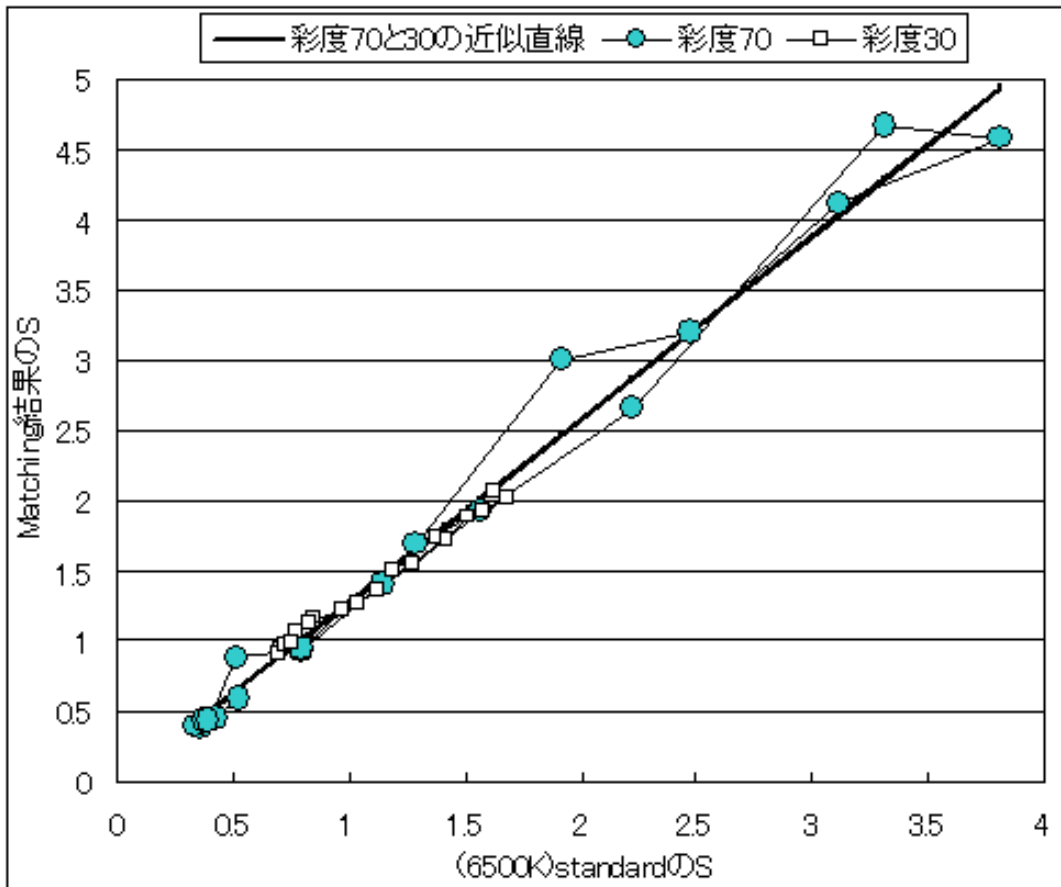


図 5.12 T.S(S) の近似直線

被験者 S.H の S も同様に直線と言えたので、最小 2 乗法より、 $S_3=1.3*S_1-0.03$  の式を得た。

### 5.2.8 比例係数

S と L-2M の係数を調べると S の方の比例係数が大きくなっている。これは、

6500K の基準色票  $(x,y)=(0.316,0.329)174cd/m^2$

$L_{6500}, M_{6500}, S_{6500}=(1436.2, 751.6, 2358.5)$

9300K の基準色票  $(x,y)=(0.281,0.292)196cd/m^2$

## 5.2 考察2

$$L_{9300}, M_{9300}, S_{9300} = (1584.5, 874.7, 3602.5)$$

$$(L - 2M)/(L + M)_{6500} = (L - 2M)_{9300} - (L - 2M)_{6500}/(L + M)_{6500} \quad (5.12)$$

$$= 0.015 \quad (5.13)$$

$$S/S_{6500} = S_{9300} - S_{6500}/(L + M)_{6500} = 0.5684 \quad (5.14)$$

でS錐体に対する色温度変化の影響がかなり大きいためであると考えられる。

このように、近似直線を引けることから、本実験のマッチング結果が、von Kriesの順応式で説明可能であると考えられる。

### 5.3 考察3

考察3では、von Kriesの順応式からどの程度 Matching する色を予測できるか調べるために、近似直線から求めた予測点を横軸 L-2M、縦軸 S のグラフに再プロットした。

#### 5.3.1 被験者 T.O 彩度70の場合(予測)

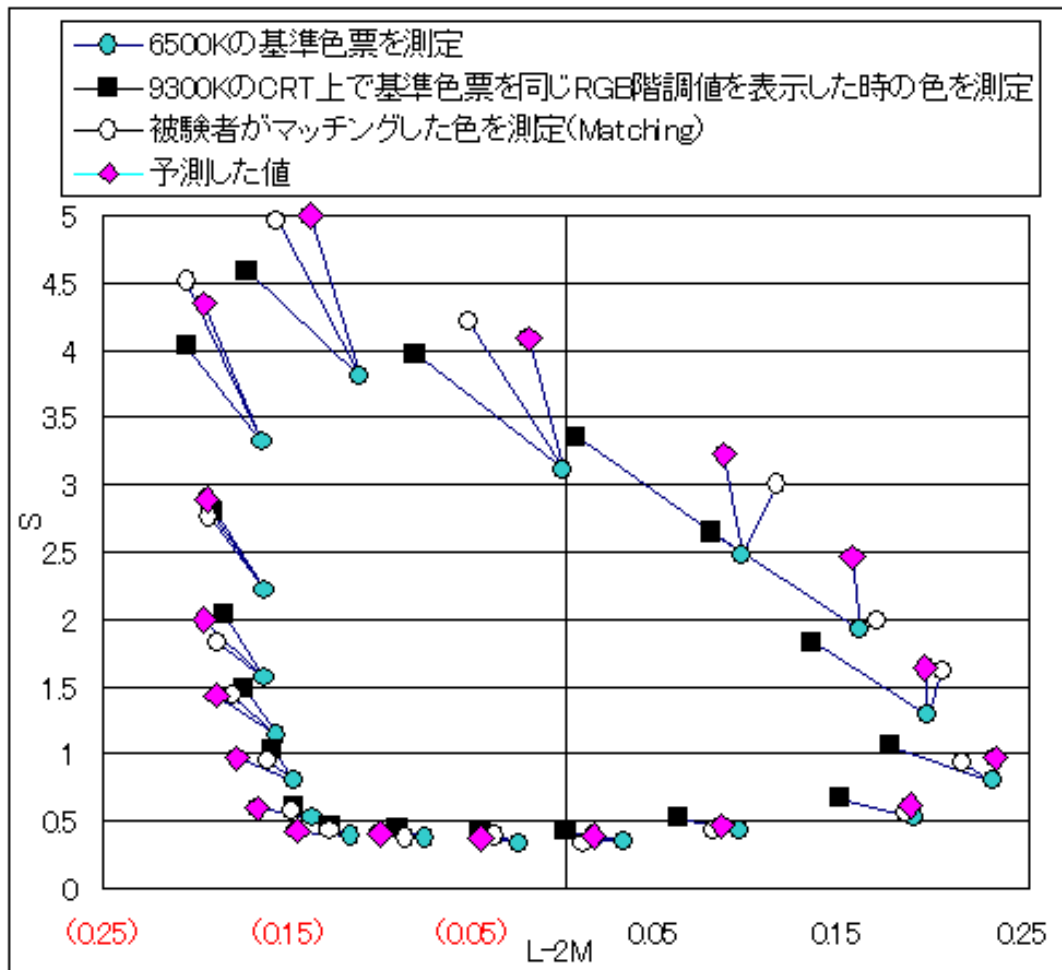


図 5.13 T.O(予測点彩度70)

被験者 T.O については、S が 0 に近づくにつれ、予想可能であり、S が大きくなるにつれて、L-2M にずれが生じている。

5.3 考察3

5.3.2 被験者 S.H 彩度 7.0 の場合 (予測)

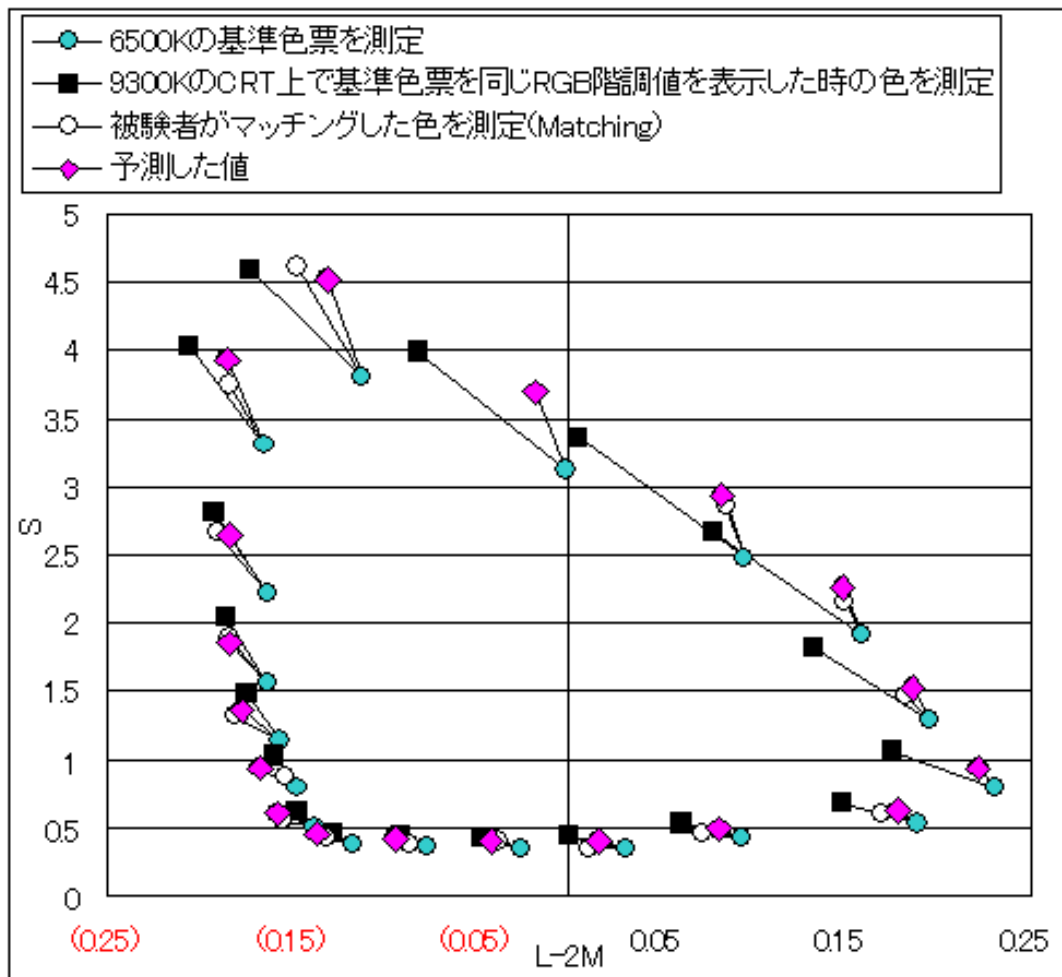


図 5.14 S.H(予測点彩度 7.0)

被験者 S.H については、3 人の中で最も予測出来ている。ほぼ予測点と、マッチングした点は重なっている。



### 5.3 考察3

#### 5.3.3 被験者 T.S 彩度 70 の場合 (予測)

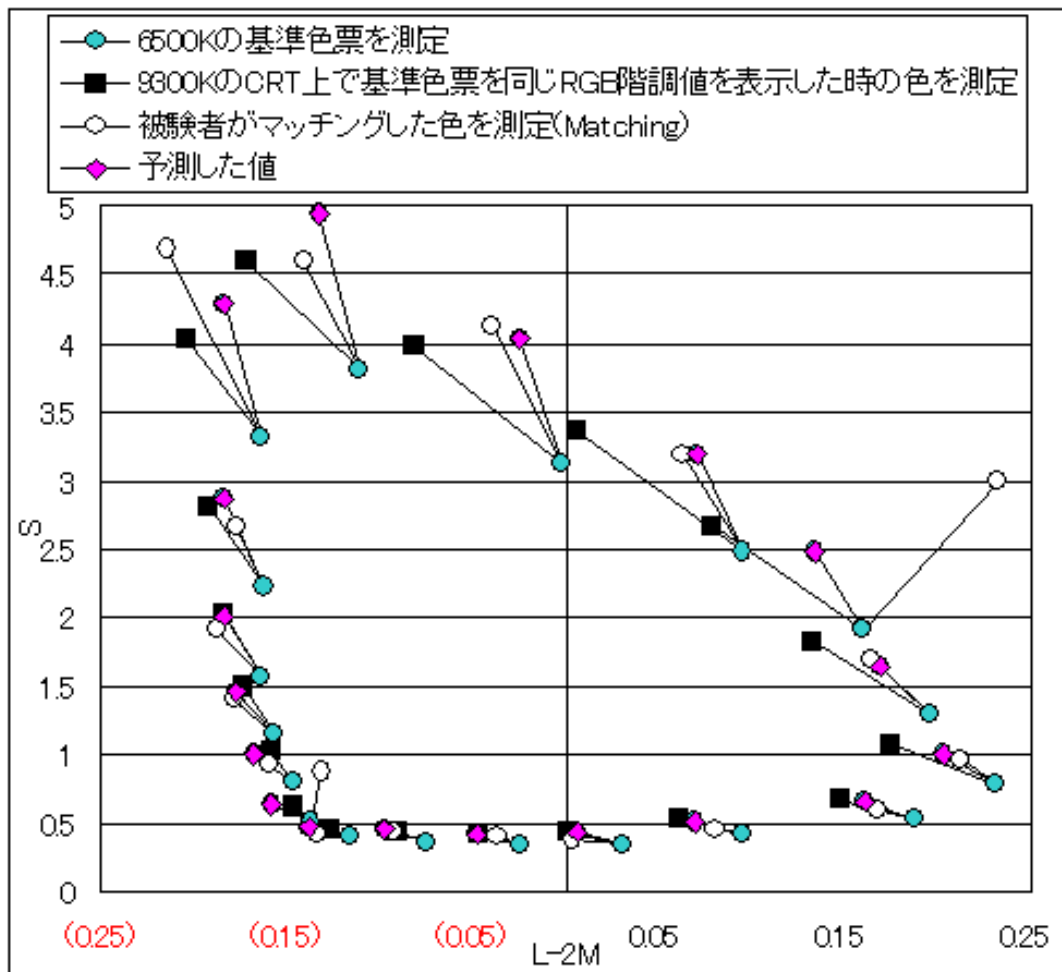


図 5.15 T.S(予測点彩度 70)

被験者 T.S についても、大体の予想は可能であった。しかし、被験者 T.O と同様に S が大きくなるにつれて、L-2M にずれが生じている。

### 5.3 考察3

#### 5.3.4 被験者 T.O 彩度 30 の場合 ( 予測 )

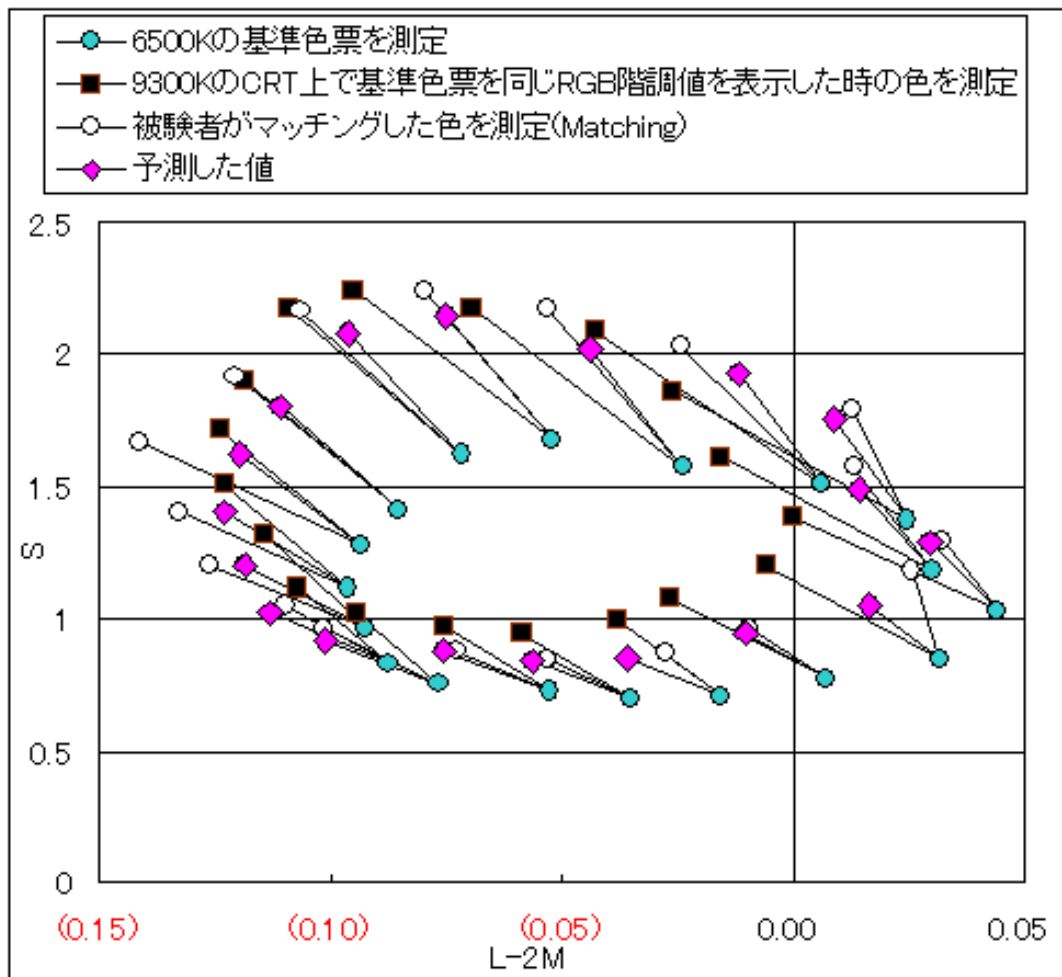


図 5.16 T.O(予測点彩度 30)

彩度 30 の場合の、被験者 T.O は、ほぼ彩度 70 と同じような結果となった。

### 5.3 考察3

#### 5.3.5 被験者 S.H 彩度 30 の場合 ( 予測 )

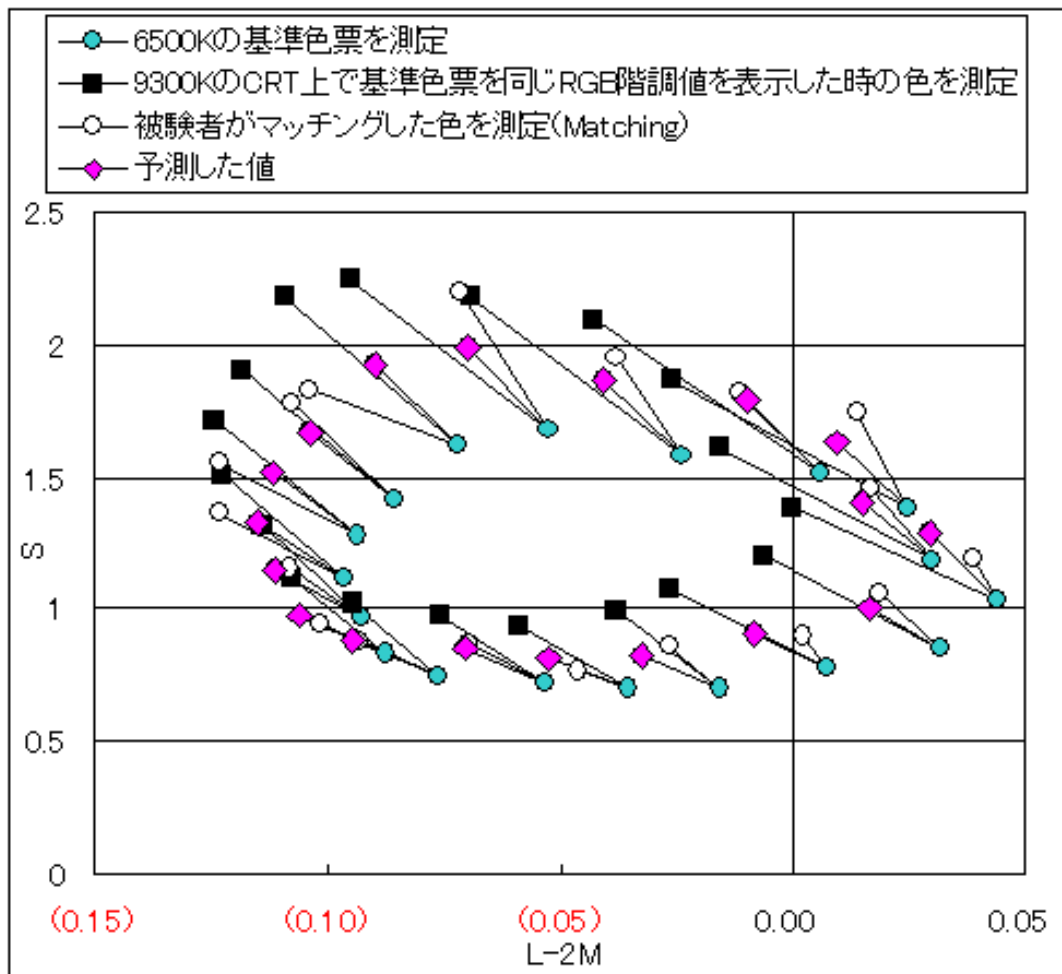


図 5.17 S.H(予測点彩度 30)

彩度 30 の場合の、被験者 S.H は、あまり予測点とマッチングの点にずれは生じていない。被験者 S.H については、彩度に関係なく予測ができた。

### 5.3 考察3

#### 5.3.6 被験者 T.S 彩度30の場合(予測)

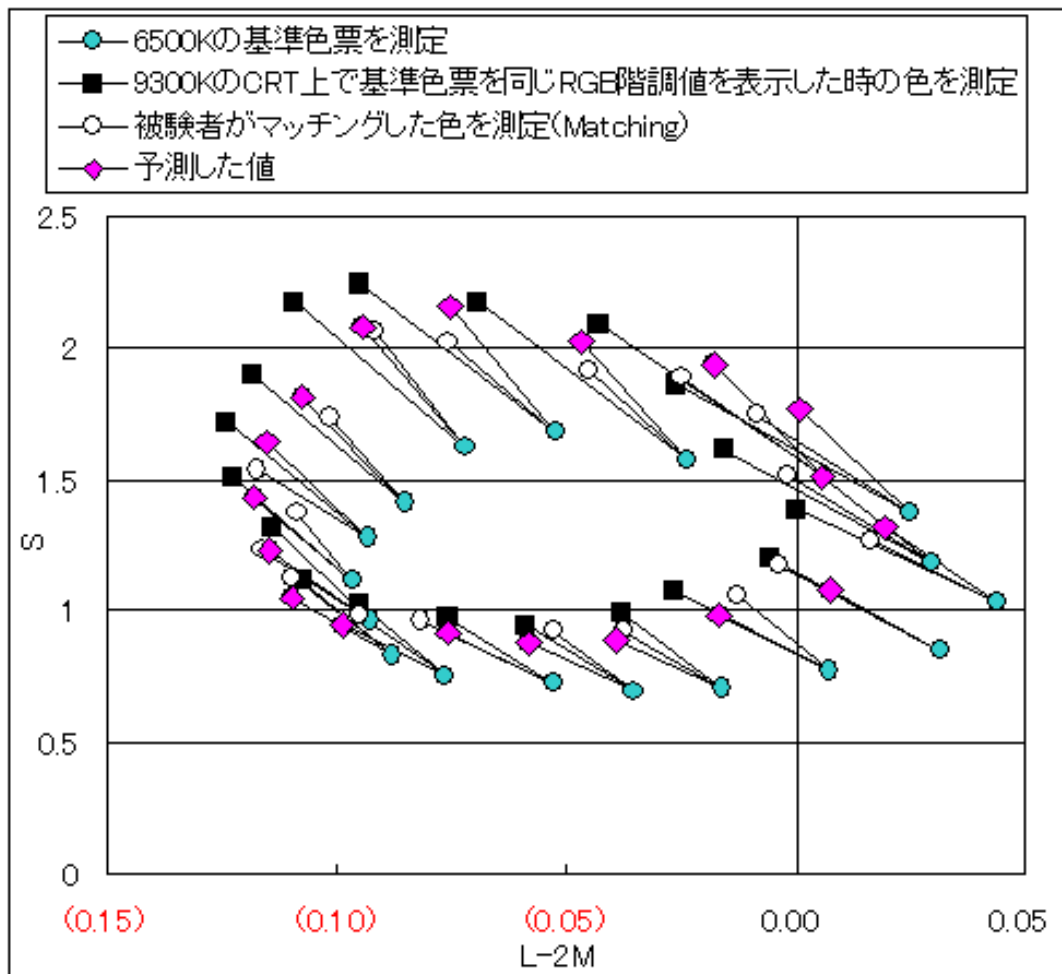


図 5.18 T.S(予測点彩度30)

彩度30の場合の、被験者 S.H も、あまり予測点とマッチングの点にずれは生じていない。被験者 T.S についても、被験者 S.H と同様に彩度に関係なく予測ができた。

全ての被験者において、彩度に関係なく、予測点とマッチング色は大体同じ位置になった。被験者のマッチングの正確さを考えると、大体の予想は可能だと考えられる。

## 第 6 章

# 結論

本実験では、錐体や網膜レベルでの単純な順応効果を最小化するような手法を用いており、今回のディスプレイにおける色恒常性の効果は単純な錐体や網膜レベルへの順応効果ではなく、照明認識視空間 [2][3][4] などの考えに代表される高次の働きによるものだと考えられる。にも関わらず、色恒常性自体は、単純な von Kries 型順応式で説明可能であった。これは、錐体に対する説明であった、von Kries 型順応式で説明されうるということ自体が、必ずしも、色恒常性が錐体や網膜レベルでの単純な順応効果により生じていることを意味するものではないと考えられる。

また、照明空間が与えられず、また錐体や網膜順応が制御されていないような視環境であっても von Kries 型順応式で説明可能なある一定レベルの色恒常性が働いているという結論に達した。

最後に、von Kries 型順応式を用いることにより、限定的ではあるが、異なる色温度に設定されたディスプレイ上において、被験者が同じ紙と思う色 ( Paper Match の色 ) の予測が可能であるとも考えられた。

# 謝辞

研究を行う上でご指導いただいた指導教員の篠森先生、および終始実験データ採取に協力して下さった被験者の皆さん、ブース建築にあたって手伝ってもらった方々、その他、色々助言して下さった皆様には、厚くお礼申し上げます。

初めてながら、日本視覚学会でポスター発表を聞いて下さった方々、質問して下さった皆様には今後の展開を決める上で大変参考になりました。

最後に今回の研究の体験は、これから何かをする上で非常に貴重なものになると思っています。この貴重な経験を今回の研究を通して得られたことを、大変嬉しく思います。

今回協力して下さった皆様、本当にありがとうございました。

## 参考文献

- [1] 栗木一郎, “色恒常性の神経計算理論” 光学, 28 卷 5 号 (1999) pp232-241
- [2] M.Ikeda, H.Shinoda and Y.Mizokami : Optical Review 5(1998)pp200
- [3] Y.Mizokami, M.Ikeda and H.Shinoda : Optical Review 7(2000)pp358-363
- [4] M.Ikeda, A.Kusumi and H.Shinoda: Optical Review 8(2001)pp480-486