

平成 12 年度

学士学位論文

# 周辺光による色弁別の影響

The effect of a surrounding light to color  
discrimination

1010425 西村有加

指導教員 篠森敬三 助教授

2001 年 2 月 5 日

高知工科大学 情報システム工学科

# 要 旨

## 周辺光による色弁別の影響

西村有加

最近、NotePC や携帯電話を屋外などの周辺が明るい場所で使用することが多い。このとき、屋外での使用は室内に比べて液晶ディスプレイが暗く見えるために、インターフェイスに使用する色によっては見やすさが異なるかもしれない。ここでは、そのような環境で人間の色弁別能力はどのように変化するかを調べ、インターフェイスの色彩設計に配慮すべき点を探す。また、周辺光があると色は黒みを帯びるがその量は色によって異なるため、色弁別には黒みの影響があるかを探ってみる。

実験は、等エネルギー白色から 8 方向に色を変えて色弁別閾値を測定した。実験方法は、ディスプレイを 4 分割してその内の一ヶ所にランダムにテスト刺激を提示し、被験者は刺激の見た場所をボタンで応答するという手法をとった。テスト刺激は視覚 3 °の正方形であり、テスト刺激・背景の輝度は  $10\text{cd}/\text{m}^2$ 、周辺光は  $965\text{cd}/\text{m}^2$  である。また、刺激提示時間は 1.2 秒である。

結果は、周辺光により色弁別は悪化し、どの色方向も色弁別の悪化の程度はほぼ同じであった。ただし、この周辺光の効果は単純な色信号抑制効果では説明がつかなかった。また、今回の白を中心とする条件では色弁別には黒みによる影響はなかった。したがって、Note-PC 用のインターフェイスなどにおいて、特に色彩設計に配慮すべき点は今のところ見つかっていない。

キーワード 色弁別 周辺光 色信号 輝度 黒み Weber 則 ノイズ L,M,S 錐体

# Abstract

## The effect of a surrounding light to color discrimination

Ynka Nishimura

Recently, we often use a notebook personal computer and a cellular phone at a place where the surrounding is bright as the outdoors. At this time, so that we see a display darkly than the interior of a room, the ways to see it may change by a color of an interface. Here, I investigate how to change color discrimination in such an environment, and I look for a point whereby I should take a color design of an interface into consideration. And, So that color has blackness with surrounding light and its amount depends on a color, I try to investigate to whether or not color discrimination is affected by blackness.

Experiment was done to changed a color into 8 directions from white, and I measured color discrimination threshold. Experiment methods are as follows: It did of the display divides 4, and the test stimulus was presented on 1 spot out of them at random, and the subject pushes a button that show the place where he saw the stimulus. The size of test stimulus is the visual angle 3 degrees, and the luminance of test stimulus and background is  $10cd/m^2$ , and the surrounding area light is  $965cd/m^2$ . And, the stimulus presentation times are 12 seconds.

The results are as follows: Color discrimination is aggravated by the surrounding area light, and the level of aggravation of color discrimination is almost same any color direction. However, it was not explicable in single color signal restraint to this surrounding light. And there is no effect by the blackness in color discrimination. Therefore a point

whereby we take a color design into consideration in the interface of notePC has not specially been found.

**key words** color discrimination, surrounding light, color signal, luminance, blackness, Weber law, Noise, LMS-cone

# 目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	実験の目的	1
1.1.1	周辺が明るいところでの色弁別	1
1.1.2	色弁別に対する黒み誘導の影響	1
1.2	予想	3
1.2.1	予想される結果	3
1.2.2	ウェーバーの法則について	3
第 2 章	実験手法	5
2.1	実験ブース	5
2.2	実験条件	6
2.3	被験者	8
2.4	実験手順	8
第 3 章	実験結果	9
3.1	実験結果	9
3.1.1	実験結果データ	10
3.1.2	被験者 MH の実験結果	13
3.1.3	被験者 YN の実験結果	13
3.1.4	被験者 TT の実験結果	13
3.2	L,M,S 錐体の応答量	14
3.2.1	被験者 MH の実験結果	14
3.2.2	被験者 YN の実験結果	14
3.2.3	被験者 TT の実験結果	14

3.2.4	錐体空間上の閾値データ	15
<b>第 4 章</b>	<b>考察</b>	<b>18</b>
4.1	低輝色弁別実験	18
4.1.1	実験及び実験結果	18
4.1.2	被験者 MH の低輝度での色弁別結果	19
4.1.3	被験者 YN の低輝度での色弁別結果	20
4.1.4	被験者 TT の低輝度での色弁別結果	21
4.1.5	被験者 3 人の比較	22
4.1.6	低輝度実験の考察	23
4.2	色方向と色弁別の悪化	23
<b>第 5 章</b>	<b>まとめ</b>	<b>25</b>
	謝辞	26
	参考文献	27
付録 A	Weber の法則	28
A.1	Weber 則	28
A.2	Noise	28
付録 B	混同色線	29
付録 C	低輝度での色弁別実験の結果データ	30
C.1	MH の低輝度での実験結果データ	31
C.2	YN の低輝度での実験結果データ	32
C.3	TT の低輝度での実験結果データ	33

# 目次

1.1	周辺光による黒み量の変化	2
1.2	中心光の波長による 100%を作るのに必要なコントラストの変化	2
1.3	Weber 則	4
2.1	実験ブース	5
2.2	刺激の提示方法	6
2.3	u'v' 色度図上の色方向	7
2.4	刺激の時間的变化	7
3.1	被験者 MH の実験結果	10
3.2	被験者 YN の実験結果	11
3.3	被験者 TT の実験結果	12
3.4	被験者 MH の錐体空間上の閾値データ	15
3.5	被験者 YN の錐体空間上の閾値データ	16
3.6	被験者 TT の錐体空間上の閾値データ	17
4.1	MH の低輝度での錐体空間上の閾値データ	19
4.2	YN の低輝度での錐体空間上の閾値データ	20
4.3	TT の低輝度での錐体空間上の閾値データ	21
4.4	3人の低輝度での実験結果(錐体空間上)	22
4.5	被験者 MH	23
4.6	被験者 YN	23
4.7	被験者 TT	23
B.1	混同色線	29

C.1 MH の低輝度での色弁別 . . . . .	31
C.2 YN の低輝度での色弁別 . . . . .	32
C.3 TT の低輝度での色弁別 . . . . .	33

# 第1章

## はじめに

### 1.1 実験の目的

#### 1.1.1 周辺が明るいところでの色弁別

最近、ノート型パソコンや携帯電話などを屋外などの周辺が明るいところで使用することが多くなっている。屋外での使用は室内に比べて、周辺光が明るいぶん液晶ディスプレイが暗く見えることから、インターフェイスに使用する色によってはディスプレイの見易さが異なるかもしれない。そこで、周辺光の明るい場合と暗い場合、すなわち周辺光が有る場合と無い場合では人間の色弁別<sup>\*1</sup>能力がどのように変化するかを調べ、インターフェイスの色彩設計に配慮すべき点を探った。もし、周辺光が有る場合に色の方向によって色弁別閾値が極端に悪くなっていれば、その色は液晶ディスプレイのインターフェイスとしては向いていないだろうと考えられる。

#### 1.1.2 色弁別に対する黒み誘導の影響

色はもともと黒みを持っており、その周辺の輝度を上げていくとやがてその色自体が黒に見えてくる。このとき、黄色は周辺の輝度を少し変化させるだけで黒になるが、青や赤のような色はさらに輝度を上げていく必要がある。つまり、黄色が黒に見える輝度レベルで青・赤を見るとまだ色が残っており少し黒みがかって見える程度である。これは、色によって周辺光に誘導される黒み量が異なっているためである。

---

<sup>\*1</sup> ある色ともう1つの色が違って見えるかどうかの色覚特性

図 1.1 は、横軸が周辺の輝度、縦軸が黒み量(%)、曲線の横の数字は波長を表しており、曲線は各波長における黒み量の変化率を示している。ここでは、グラフが見やすいように各波長をずらして表記している。グラフを見ると、周辺の輝度をあげると各波長とも黒み量が増加していることがわかる。また、黒み量の増加の仕方はどの波長でも同じである。

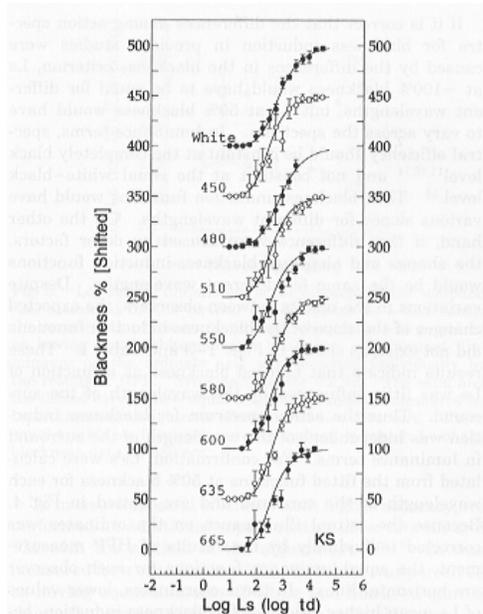


図 1.1 周辺光による黒み量の変化

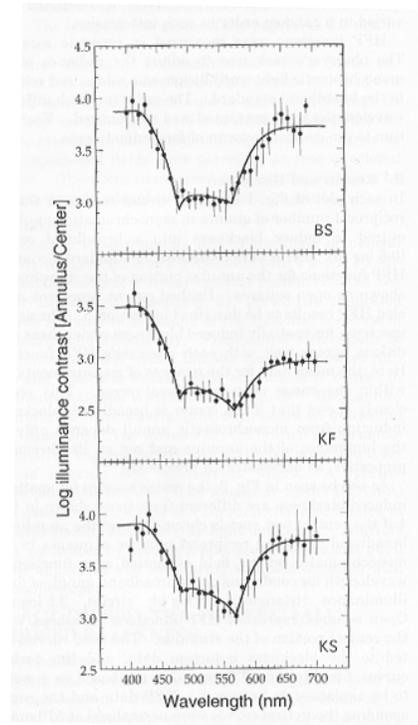


図 1.2 中心光の波長による 100% を作るのに必要なコントラストの変化

図 1.2 のグラフは、周辺の輝度をどこまで上げたら黒み量が 100 % になるか、すなわちその波長の色が真っ黒に見えるかを表している。横軸が波長、縦軸が周辺の輝度を表しており、対数を取っている。グラフの違いは、被験者の違いである。570nm(黄色)の波長は周辺の輝度を少し上げるだけで黒に見えるが 400nm,700nm といった青や赤に近い色は黄の 10 倍以上の輝度を上げる必要があることがわかる。もし、570nm(黄色)が黒になるような周辺輝度で先ほどの 400nm,700nm の波長を見れば、それらの波長はまだ完全な黒ではなく色が残っているだろう。これは、色によって誘導される黒みの量が違うことを意味している。

以上は Shinomori et al. (1994) と Shinomori et al. (1997) らの論文で明らかになっている。そこで、色によって黒みの量が違うのならば、色弁別には黒みの影響があるのかもしれないと考え実験を行った。

## 1.2 予想

### 1.2.1 予想される結果

予想される結果としては、以下の3つが上げられる。

1. 周辺光有りでは、Weber 則成立 (1.2.2 参照) により、周辺光無しの場合と比較しても色弁別自体にはほとんど影響はないだろう。色信号が減少しても、弁別には影響しないと考えられる。(図 1.3 )
2. もしくは、周辺光有りでは低輝度での色弁別と同様に、自発自火などの Noise 要因が利いてくるため色弁別が悪化するだろう。色信号が減少してノイズレベル近くになると色弁別は悪化すると考えられる。(図 1.3 )
3. 1.1.2 で述べたとおり、色によって黒み量が異なるため、色弁別の影響もまた色により異なる可能性がある (非対称性)。つまり、色方向により色弁別の悪化の程度が異なると考えられる。

### 1.2.2 ウェーバーの法則について

図 1.3 は、横軸に周辺光の輝度  $C$ 、縦軸に色弁別閾値<sup>\*2</sup>  $\Delta C$  をとり対数で表したグラフである。図中の式

$$\frac{\Delta C}{C + Noise}$$

をウェーバー比と呼び、

$$\frac{\Delta C}{C + Noise} = W (W \text{ は一定}) \quad (1.1)$$

<sup>\*2</sup> ある色から少しずつ色を変えていくとやがて色の違いがわかる。そのときの差を色弁別閾値という。

となることをウェーバーの法則と呼ぶ。(付録 A.1 参照)

図中の ② の場所では、Noise (付録 A.2 参照) が無視できるほど (Noise よりも) C の方が大きいために式 1.1 は次のようになる。

$$\frac{\Delta C}{C + 0} = W$$

$$\frac{\Delta C}{C} = W$$

よって、ウェーバ則が成立する。このとき、

$$\Delta C = W * C$$

となるので、信号量自体が減少しても色弁別は変化しない。

逆に ① のように、C が無視できるほど (C よりも) Noise の方が大きい場合には式 1.1 は次のようになる。

$$\frac{\Delta C}{0 + Noise} = W$$

$$\frac{\Delta C}{Noise} = W$$

$$\Delta C = W * Noise = \text{定数}$$

このように、C が無視できるほど小さいときに  $\Delta C$  は一定値になると考えられるために傾きは 0 となる。よって、ウェーバー則が成立しない。このとき、色弁別は図 1.3 からわかるようにウェーバー則が成立する場合と比べて悪化する。

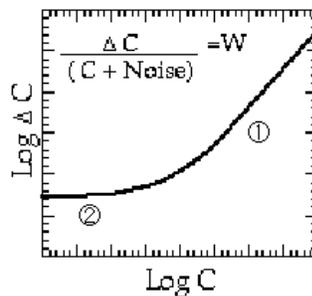


図 1.3 Weber 則

## 第2章

# 実験手法

### 2.1 実験ブース

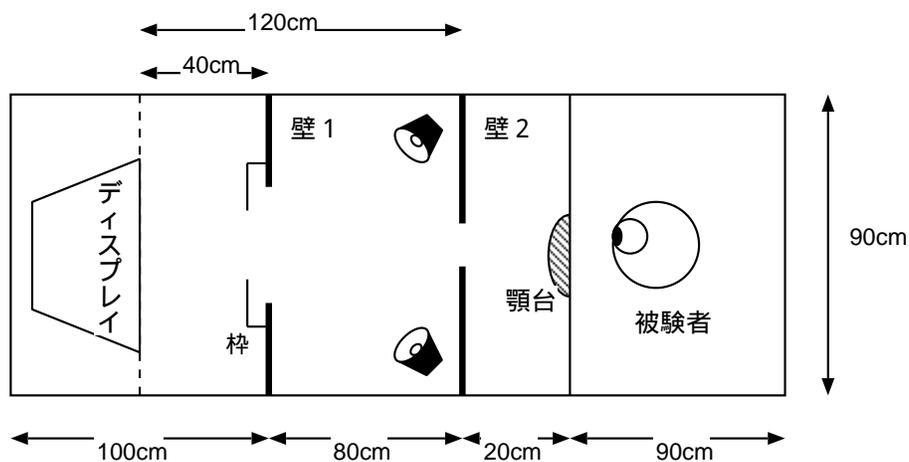


図 2.1 実験ブース

実験ブースの大きさは、縦 90cm、横 290cm、高さ 180cm で、ディスプレイから被験者の眼までの距離は 133.86cm である。ディスプレイから 40cm 離れた場所に中央をくりぬいた壁 (24.7 × 31.5cm) を作り、周辺光有り無し環境をつくるためディスプレイの刺激提示場所以外が隠れるように枠 (周辺光が無い場合は黒枠、周辺光が有る場合は白枠) を貼った (図 2.1 壁 1)。この枠の空洞部は 10.5 × 10.5cm である。周辺光有りの場合は、白枠だけでは明るい状況を作れないためさらにランプを 2 個使用した。ランプは壁 1 と壁 2 の間に設置した。また、被験者の目に余計な光が入ってくるのを防ぐために、ディスプレイから 120cm 離れた場所に、中央を 9 × 10.6cm くりぬいた壁を作った (図 2.1 壁 2)。顎台はディスプレイから 140cm 離れた場所に設置している。

## 2.2 実験条件

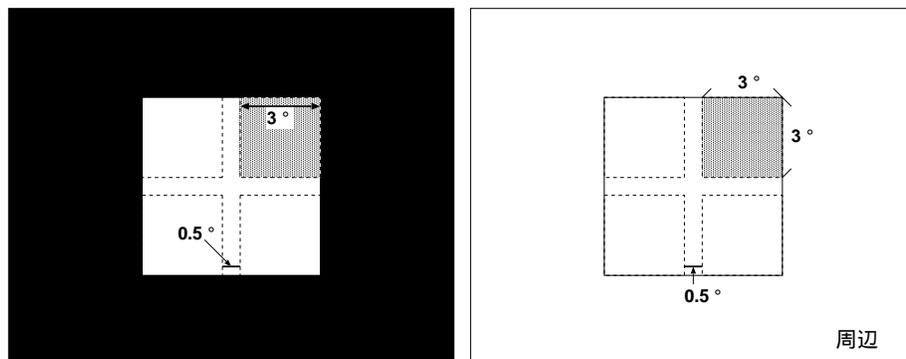


図 2.2 刺激の提示方法

実験は右目のみの自然視で、被験者の頭を顎台で固定して行った。テスト刺激・背景の輝度は  $10\text{cd}/\text{m}^2$  で全て等輝度で色度のみが変化する。刺激サイズは図 2.2 にあるような視角 3 度、ギャップ 0.5 度である。図 2.2 は、テスト刺激の提示方法を表しており、(左)は周辺光が無い場合を、(右)は周辺光が有る場合を示している。(右)の周辺輝度は、 $965\text{cd}/\text{m}^2$  である。また、刺激の方向は等エネルギー白色から次の 8 方向をとった。(表 2.1 参照)

表 2.1 色の 8 方向

	色方向	角度	x	y
1	WB	64.59	0.230	0.116
2	WY	64.59	0.415	0.506
3	WR	-26.53	0.478	0.261
4	WG	-26.53	0.282	0.383
5	WR	19.03	0.542	0.405
6	WG	19.03	0.209	0.290
7	WG	-70.97	0.268	0.523
8	WR	-70.97	0.378	0.203

WB は白から青、WY は白から黄、WR は白から赤、WG は白から緑へ変化させることを表している。角度は、 $x,y$  色度図上の White から真横(右)に引いた線を 0 度として詳しい色方向を示している。また、わかりやすくするために同一直線上(反対方向)のものは同じ角度で表記した。赤・黄方向は S 錐体混同色線上を、赤・緑方向は M,L 錐体混同色線上(S 錐体一定線上)をとり、その他 4 方向についてはそれらの間を任意に取った(付録 B 参照)。以下に  $u',v'$  色度図上での色の 8 方向を示す。

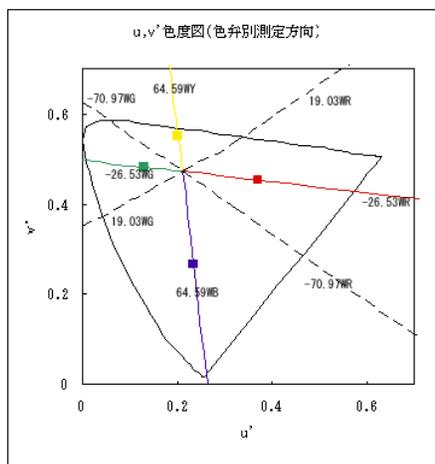


図 2.3  $u',v'$  色度図上の色方向

図 2.4 は刺激の時間的变化を示す。立ち上がり 400msec、立ち下り 400msec で提示時間はトータル 1200msec である。

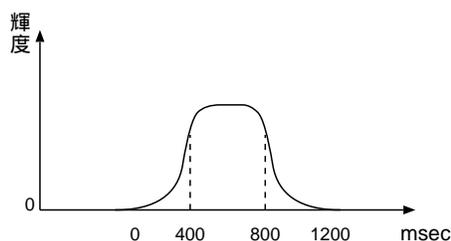


図 2.4 刺激の時間的变化

閾値は、階段法(two down-one up 法)により、6 回の変化点のうち 3 ~ 6 回目の変化点における値の平均値により決定した。実験は、周辺光無しの場合は  $u',v'$  色度図上の White から 0.02、周辺光有りの場合は 0.035 離れた地点からスタートする。また、1 ステップは

u'v' 色度図上の直線距離 0.001 とする。ただし、最初の 2 回の変化点までは 5 倍の距離で行った。実験は、周辺のある場合とない場合それぞれ 3 回ずつ行い、テスト刺激の提示には Barco monitor ( CCID 121 ) & VSG2/3 ( Cambridge Research Systems ) を使用した。

## 2.3 被験者

被験者のうち MH, TT はこの実験の目的に対してナイーブであり、YN はナイーブでない。TT と MH は 22 歳の男性で、YN は 21 歳の女性 ( 著者 ) である。いずれも、色覚正常者であり石原式 Plate, D-15 をパスしている。

## 2.4 実験手順

実験手順は以下のとおりである。

1. 5 分間、暗順応をする。
2. 暗順応終了のブザーが鳴る。
3. 5 分間、全順応をする。
4. 全順応終了のブザーが鳴る。
5. 被験者が A ボタンを押して実験が開始される。
6. テスト刺激提示の合図であるブザーが鳴る。
7. テスト刺激がディスプレイに表示される。このとき、テスト刺激はディスプレイを 4 分割してその内の 1 箇所にランダムで提示される。( 図 2.2 参照 )
8. 応答ボタンを押す合図のブザーが鳴る。
9. 被験者が応答ボタンを押す。( 被験者は、テスト刺激の現われた場所を確認しその場所を示すボタンを押す。もし、4 箇所のうちどこに刺激が現われたのかわからなければ適当にボタンを押す。)
10. 6. ~ 9. を繰り返し行う。
11. 実験終了のブザーが鳴る。
12. 実験終了。

実験時間は初めの暗・全順応を除いて約 25 分程度である。

# 第 3 章

## 実験結果

### 3.1 実験結果

3.1.1 の図 3.1 ~ 図 3.3 は、被験者 3 人の周辺光有り・無しそれぞれの実験結果を示している。(図 3.1 は被験者 MH、図 3.2 は被験者 YN、図 3.3 は被験者 TT のものである。) 結果は  $u'v'$  色度図上で示され、縦軸は  $u'$ 、横軸は  $v'$ 、グラフ内の直線は実験を行った色方向を表している。シンボルの違いは色方向の違いであり(凡例参照)、中心は White である。

実験は周辺光有り と 周辺光無し それぞれで 3 回ずつ行われ、結果データを周辺光無しは  $u'v'$  で、周辺光有りは  $u'v'$  でプロットした。また、グラフ内の楕円はそれぞれの平均を示しており、内側が周辺光無し、外側が周辺光有りの平均である。

図 3.1 の MH のデータは周辺光有りの緑方向 (-26.53WB) で、一点だけ明らかにおかしい結果が得られたため、その一点のみ 3 回の平均には入れていない。また、YN についてのみデータのばらつきが大きいため 2 回追加実験を行い 5 回の平均を取った。TT に関しては、周辺光有りの 1 回目のデータが他 2 回と比べて極端に違っていたので、2 回分の結果で平均を取っている。

3.1.1 実験結果データ

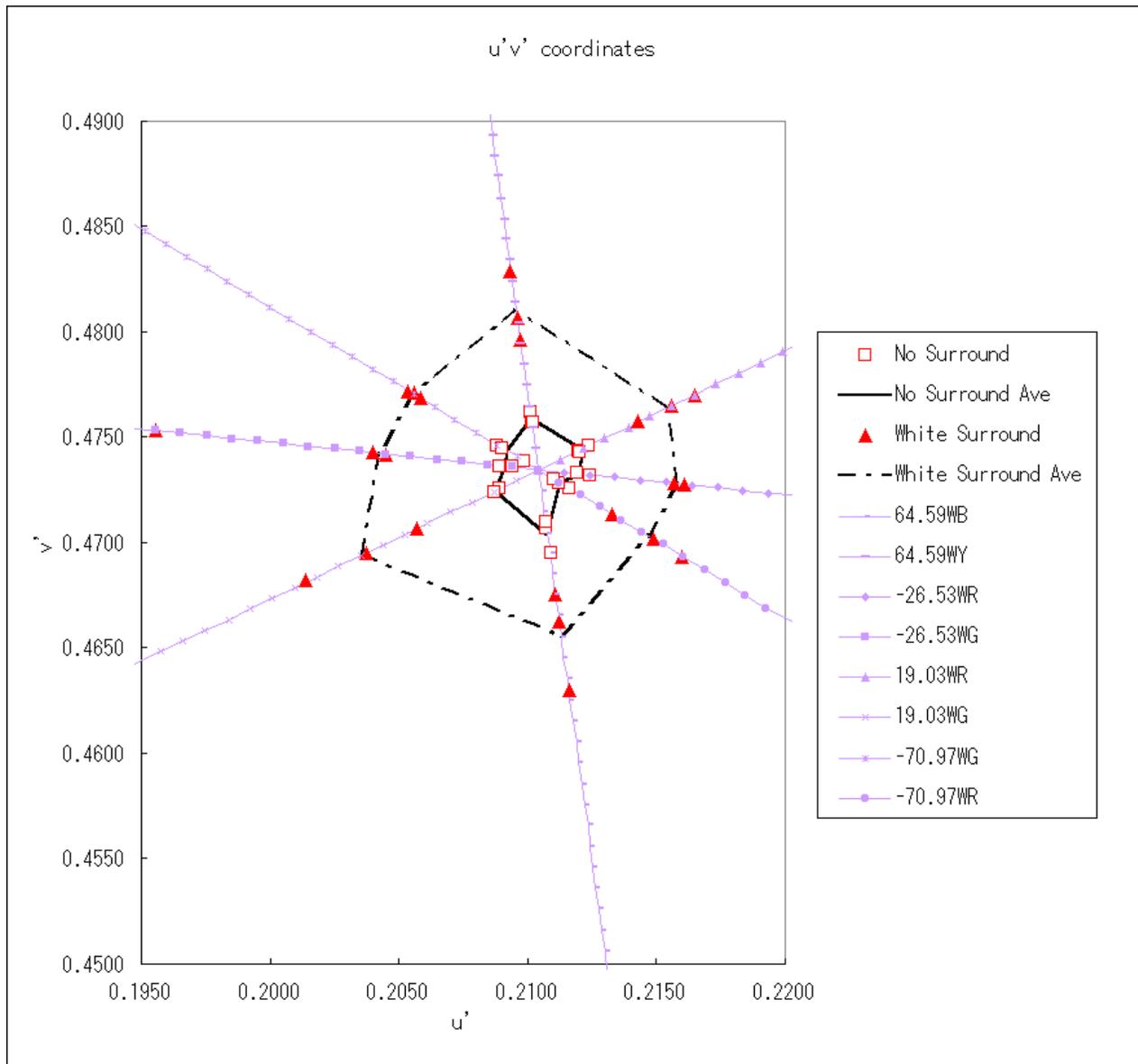


図 3.1 被験者 MH の実験結果

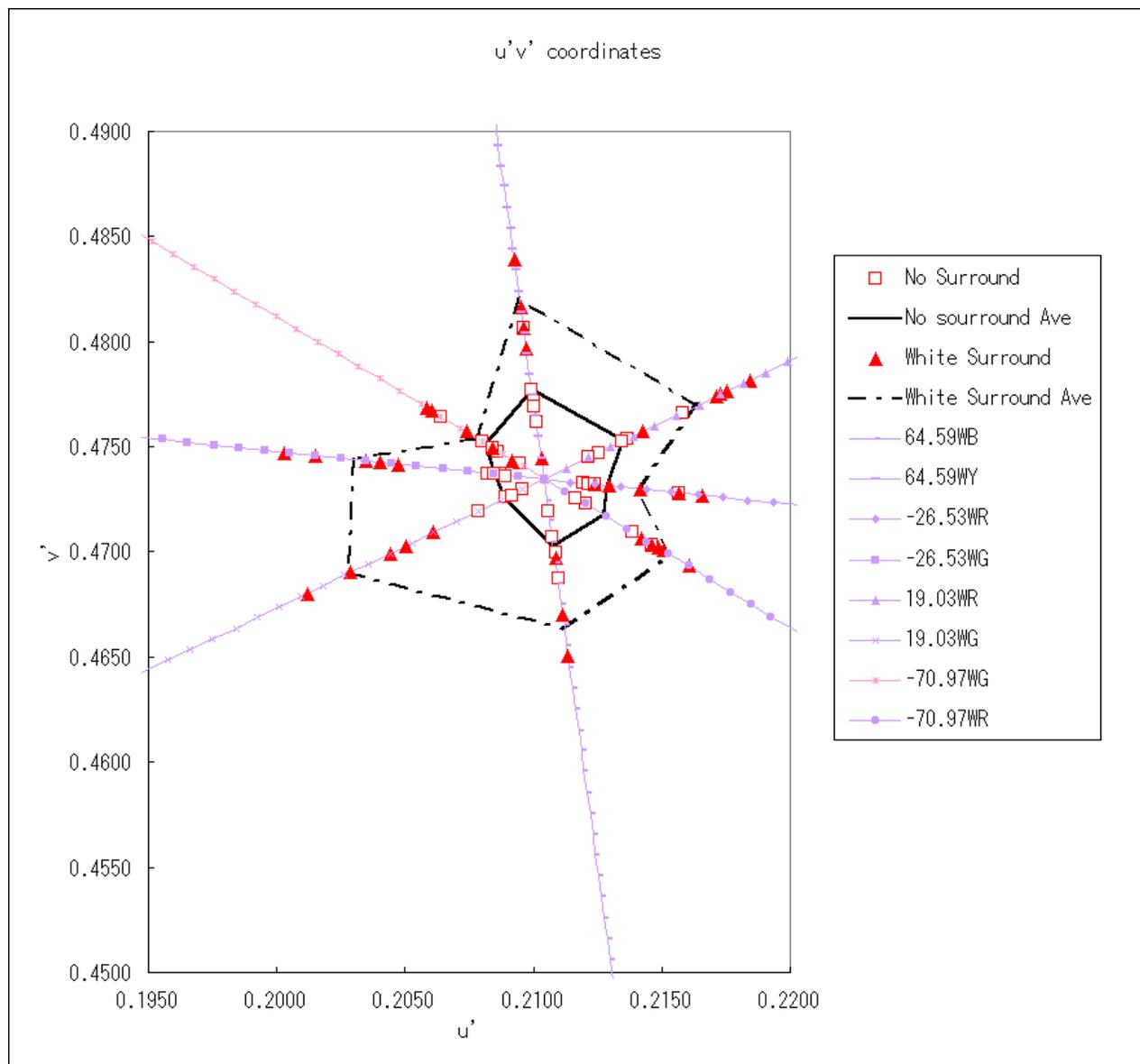


図 3.2 被験者 YN の実験結果

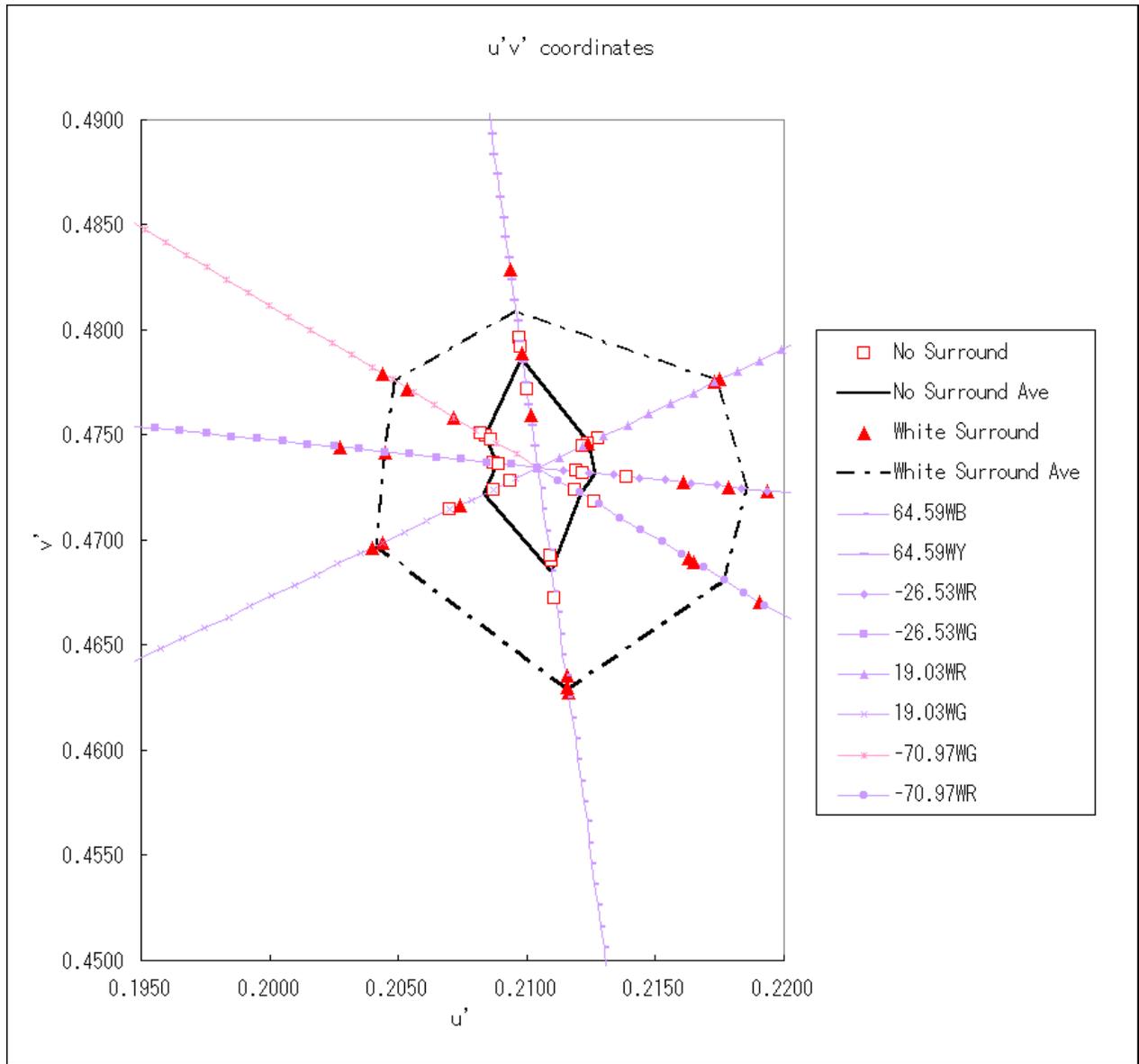


図 3.3 被験者 TT の実験結果

### 3.1.2 被験者 MH の実験結果

MH の周辺光無しの平均を見てみると、色方向によって極端に弁別が良い悪いということではなく、どの方向もほぼ同じ色弁別となった。

周辺光有りでも、特に目立った点はなくどの方向もほぼ同じ色弁別となっている。

両者を比較してみると、周辺光有りの方が明らかに色弁別が悪いという結果になった。また、周辺光有りはちょうど周辺光無しの楕円を拡大したような形となり、どの方向もまんべんなく悪くなっていることがわかる。

### 3.1.3 被験者 YN の実験結果

YN の周辺光無しでも、色方向による大きな色弁別の違いはみられなかった。周辺光有りの場合では-70.97WG (黄緑) 方向で極端に弁別が良くなっており、-26.53WR (赤) 方向についても-70.97WG ほどではないが弁別が良くなったという結果が得られた。

以上のように、両者を比較するところでも周辺光有りでは色弁別が悪くなっている。しかし、周辺光無しでは各色方向においての色弁別閾はほぼ同じであるのにもかかわらず、周辺有りでは一部弁別の良くなる方向が見られた。

### 3.1.4 被験者 TT の実験結果

TT の周辺光無しの色弁別は、64.59WB (青) と 64.59WY (黄) 方向で少し悪く菱形のような楕円になっている。周辺光有りでも、周辺光無しの様に 64.59WB (青) と 64.59WY (黄) 方向で少し悪い楕円となった。

両者を比較するとやはり、周辺光有りの方が色弁別が悪い。また、YN のような極端に弁別の良くなる方向は無く、MH 同様どの方向もまんべんなく悪くなった。

## 3.2 L,M,S 錐体の応答量

ここでは、さらに L,M,S 錐体レベルで影響があるかどうかを調べるために、3.2.4 に先ほどの実験結果を L,M,S 錐体の応答量に変換したグラフを示す。図 3.4 は被験者 MH、図 3.5 は YN、図 3.6 は TT の結果である。横軸は L,M 錐体の応答量 (L-2M)、縦軸は S 錐体の応答量 (S) を示している。グラフは White が 0 となるように正規化している。直線は実験を行った色方向を表しており、シンボルの違いは色方向の違いである (凡例参照)。また、周辺光無しは  $\square$  で、周辺光有りは  $\circ$  でプロットしている。グラフ内の楕円はそれぞれの平均を示しており、内側が周辺光無し、外側が周辺光有りの平均である。

### 3.2.1 被験者 MH の実験結果

MH のグラフを見てみると、周辺光有り・無し両者ともきれいな平行四辺形となっており、どの方向でも S,L,M 錐体が関与していることがわかる。

### 3.2.2 被験者 YN の実験結果

YN に関しては、周辺光有りの実験データの方で一部、弁別が極端に良くなる方向があったが、L,M,S 錐体の応答量で見るとそれほど大きな変化は見られなく、多少の歪みはあるが平行四辺形と言える。

### 3.2.3 被験者 TT の実験結果

TT でも、MH ほどきれいな形ではないが周辺光有り・無し両者とも平行四辺形の形となり、どの方向でも S,L,M 錐体が関与していることがわかる。

若干の形の違いはあるけれども、L,M,S 錐体空間では 3 人とも色弁別閾は平行四辺形の形となり、どの色方向でも S,L,M 錐体全てが関与している。また、どの色方向でもまんべんなく閾値が悪くなっていることから、色方向による色弁別の影響は無いと言える。

3.2.4 錐体空間上の閾値データ

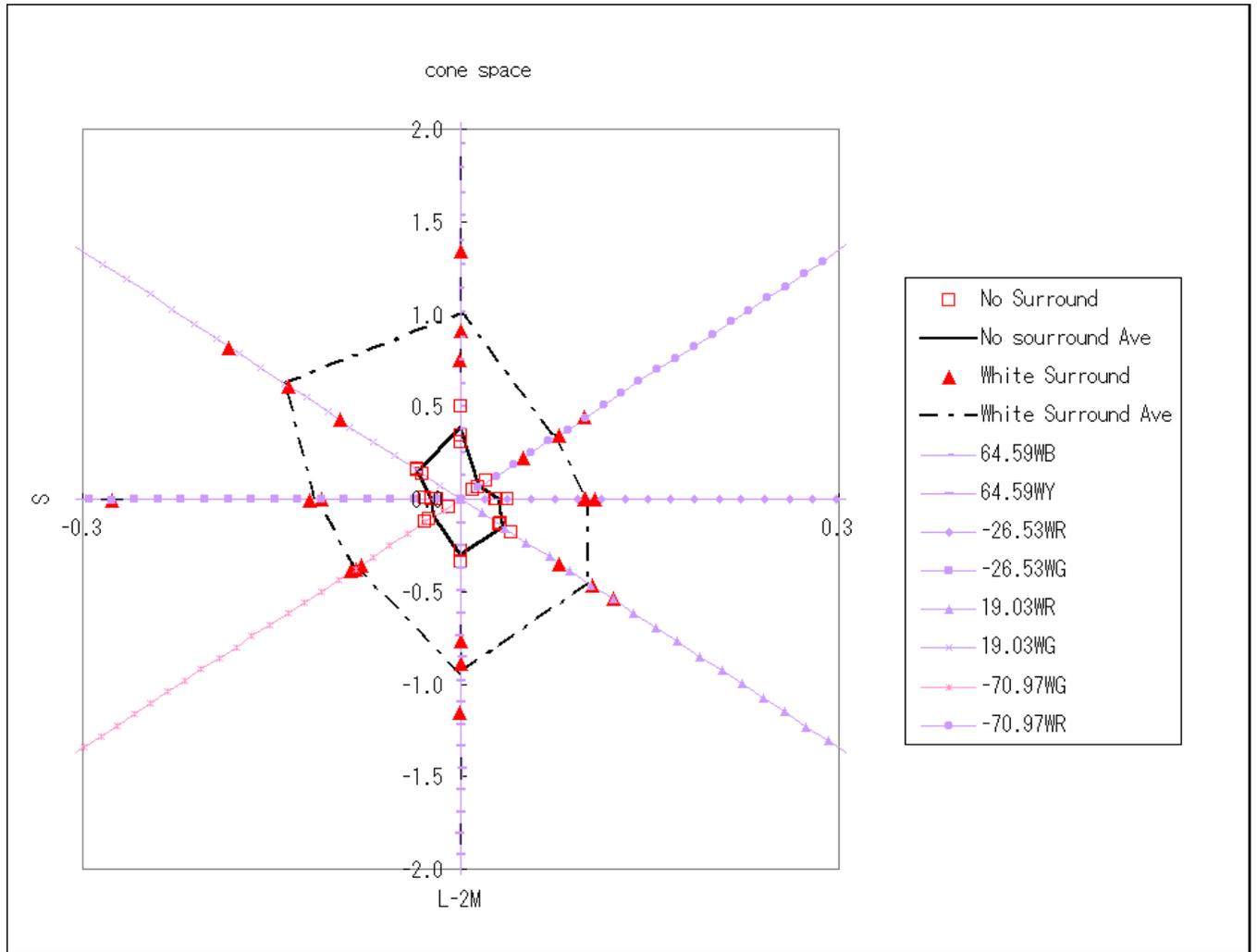


図 3.4 被験者 MH の錐体空間上の閾値データ

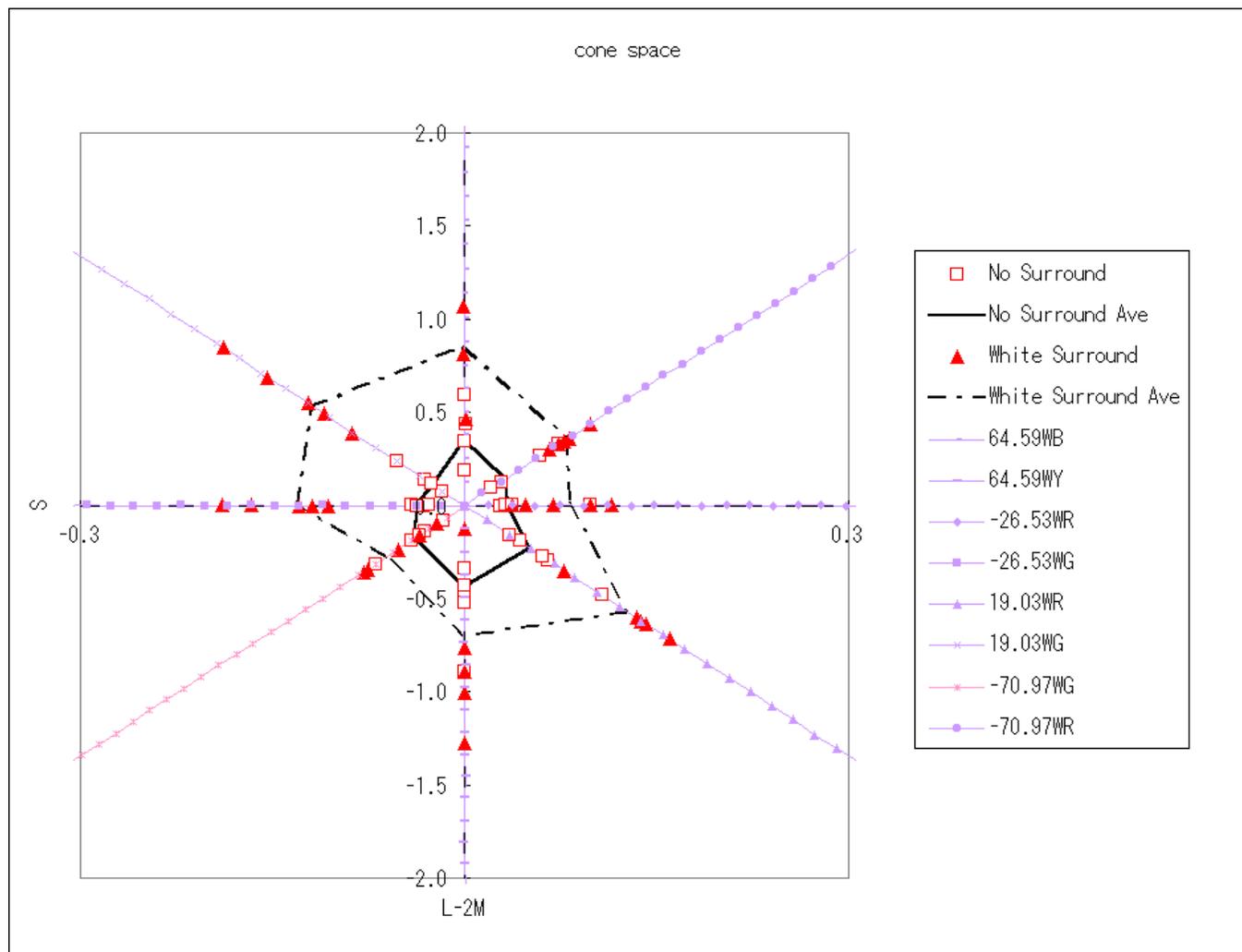


図 3.5 被験者 YN の錐体空間上の閾値データ

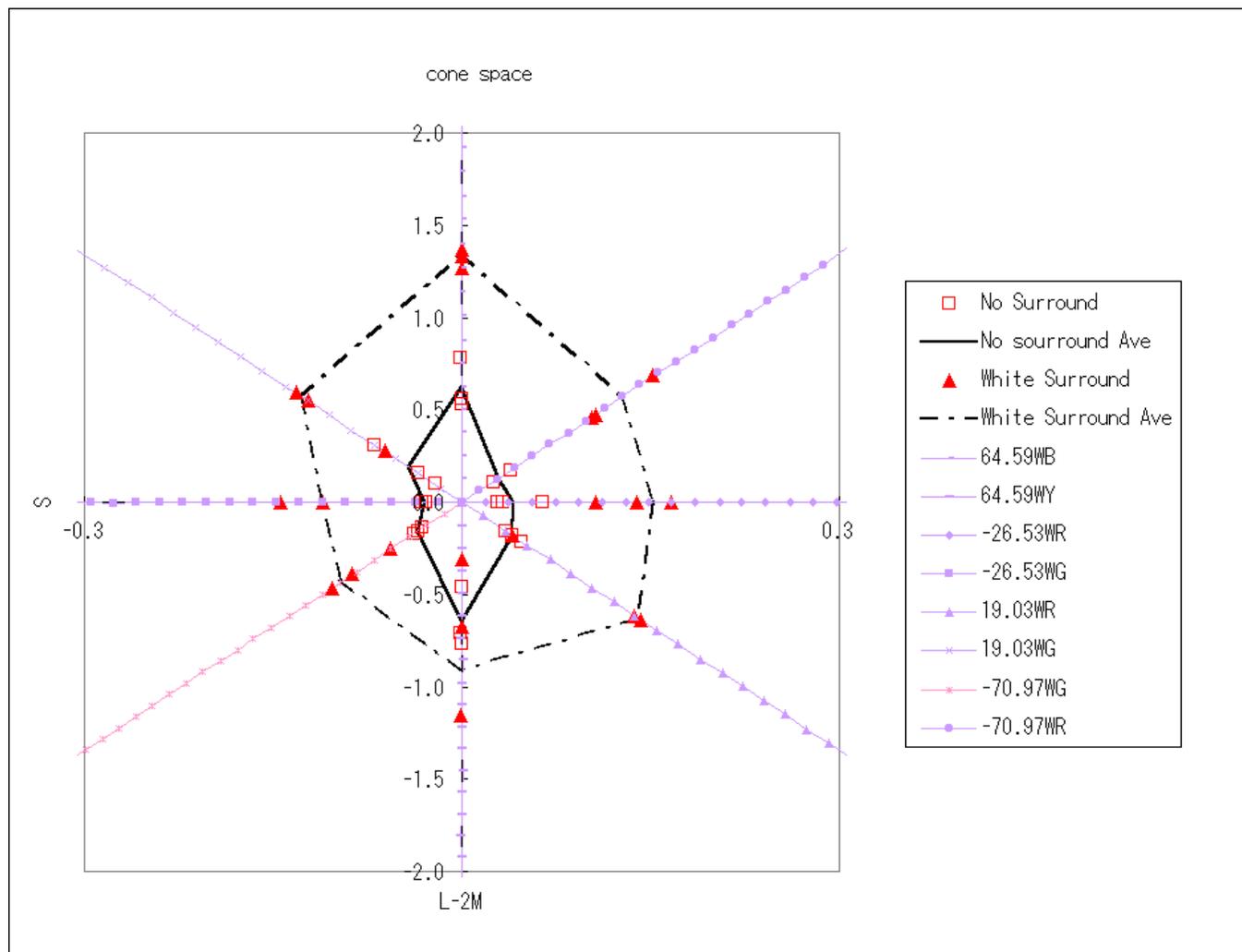


図 3.6 被験者 TT の錐体空間上の閾値データ

# 第 4 章

## 考察

### 4.1 低輝色弁別実験

これまでの実験結果により、色弁別は周辺光により悪化するという事がわかった。また、色弁別への影響はどの色方向もほぼ同じであると考えられる(対称性が見られる)。では、この原因は、第 1 章の予想される結果(1.2.1)の 2. で述べたように、低輝度での色弁別と同様に色信号が減少したことによって Noise の影響が出たからだと考えてよいのだろうか。これを解明するために我々は、周辺光無しでテスト刺激が低輝度( $1\text{cd}/\text{m}^2$ )での色弁別実験を行った。結果を L,M,S 錐体の応答量に変換したものを図 4.1 ~ 図 4.3 に示す。なお、変換前の実験データを参考までに巻末の付録に収録する。

#### 4.1.1 実験及び実験結果

図 4.1 は被験者 MH、図 4.2 は被験者 YN、図 4.3 は被験者 TT の低輝度( $1\text{cd}/\text{m}^2$ )での色弁別実験結果である。横軸は L,M 錐体の応答量(L-2M)、縦軸は S 錐体の応答量(S)を示している。また、グラフは White が 0 となるように正規化している。グラフ内の直線は実験を行った色方向を表しており、シンボルの違いは色方向の違いを示している(凡例参照)。

実験は 3 回ずつ行われ、結果データを でプロットした。楕円は、3 回の実験の平均を示す。低輝度は実線で、他 2 つ(周辺光無し・有り)は点線で示している。

## 4.1.2 被験者 MH の低輝度での色弁別結果

図 4.1 は被験者 MH の結果である。低輝度での L,M 錐体の応答量は周辺光無しの場合とほとんど変わらないにもかかわらず、S 錐体の応答量は大きな変化を示している。また、その変化量も周辺光有りの場合を超えている。

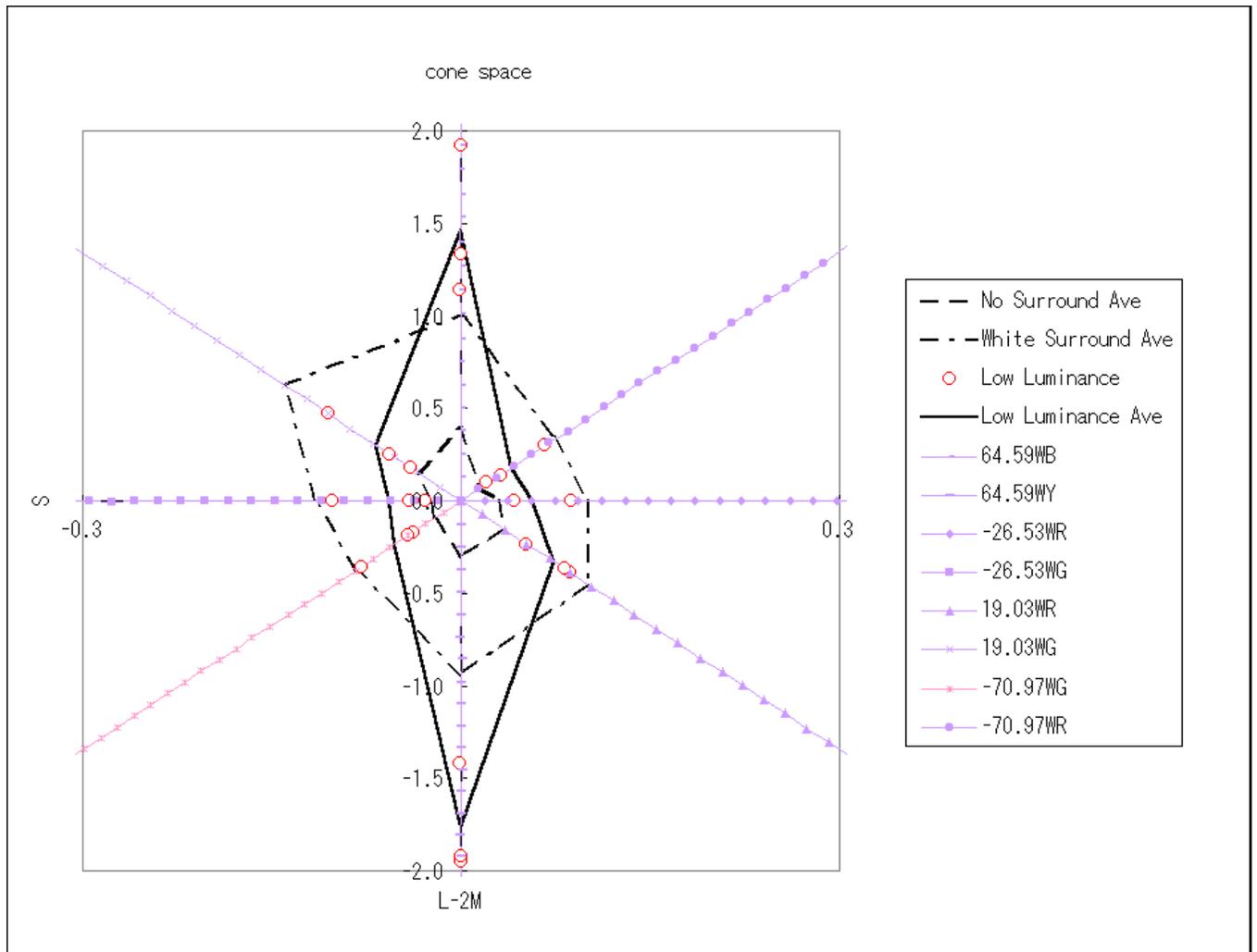


図 4.1 MH の低輝度での錐体空間上の閾値データ

## 4.1.3 被験者 YN の低輝度での色弁別結果

図 4.2 は被験者 YN の結果である。YN でも、L,M 錐体の応答量は周辺光無しの場合とあまり変わらず、S 錐体の応答量のみに変化が見られた。しかし、YN の場合は 64.59WY (黄) 方向のみに変化があり、64.59WB (青) の方向では周辺光無しの場合と変わらなかった。また、64.59WY (黄) 方向においては、S 錐体の応答量は周辺光有りの場合と同じ結果になり、それを超えることはなかった。

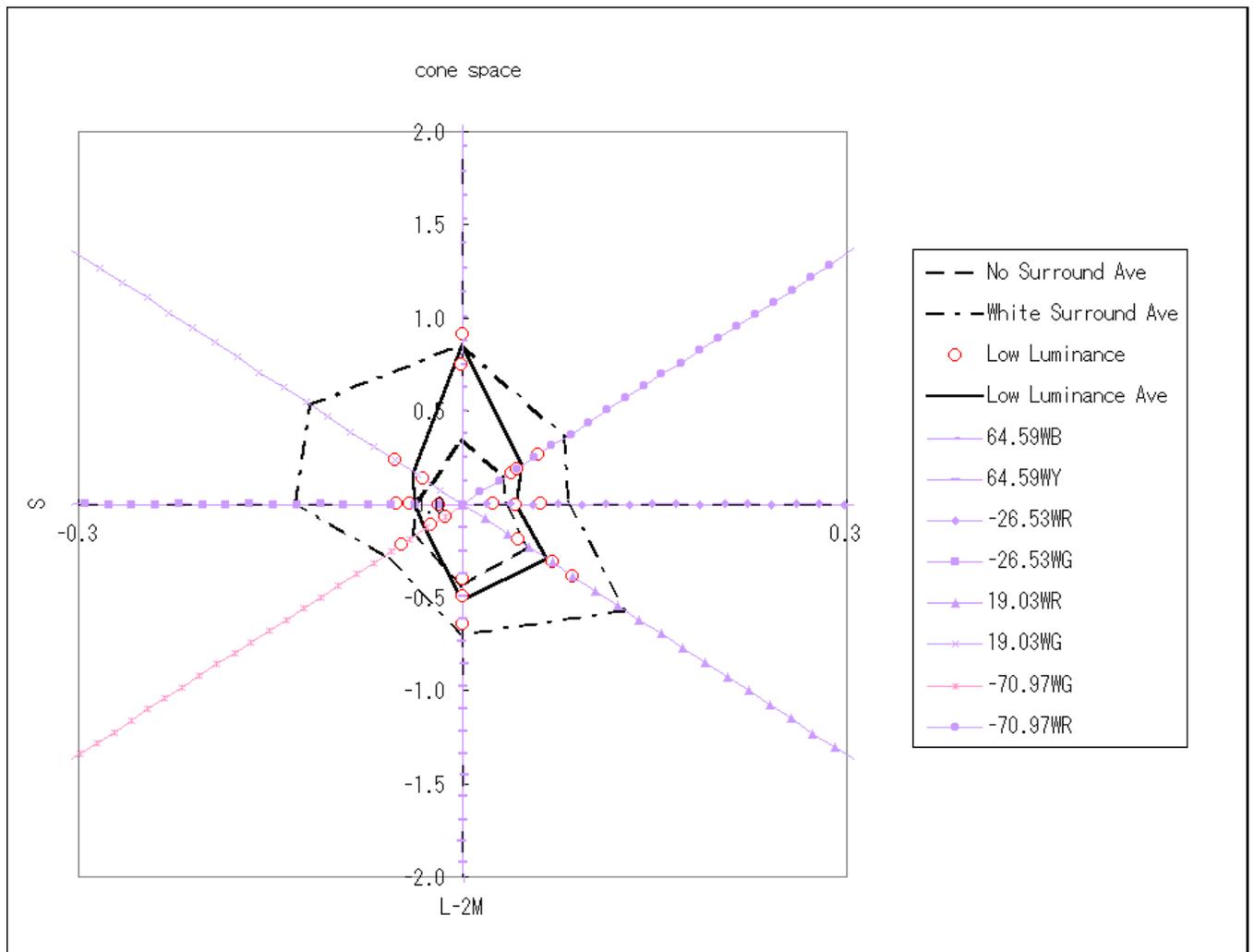


図 4.2 YN の低輝度での錐体空間上の閾値データ

## 4.1.4 被験者 TT の低輝度での色弁別結果

図 4.3 は被験者 TT の結果である。TT もやはり L,M 錐体の応答量は周辺光無しの場合と変わらなかった。S 錐体の応答量については、YN と違い、64.59WY (黄) と 64.59WB (青) 両方向で変化が見られた。また、MH のように周辺光有りの場合を超えることはなかった。

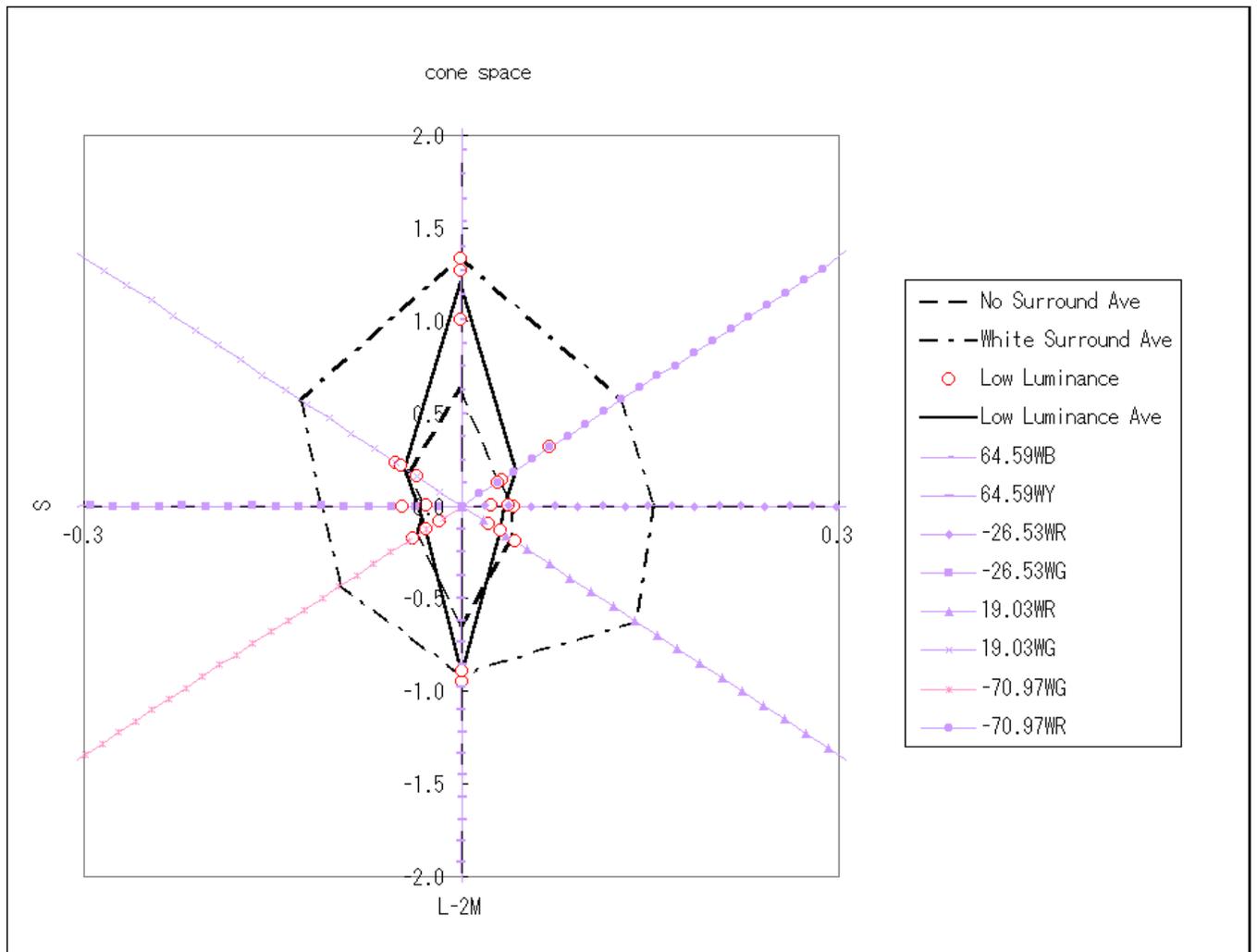


図 4.3 TT の低輝度での錐体空間上の閾値データ

## 4.1.5 被験者 3 人の比較

図 4.4 は先ほどの被験者 MH, YN, TT の低輝度での色弁別結果のみを 1 つのグラフにまとめたものである。3 人の実験結果を比較してみると、L, M 錐体の応答量はあまり差がない。しかし S 錐体の応答量は被験者間で大きな差が見られる。

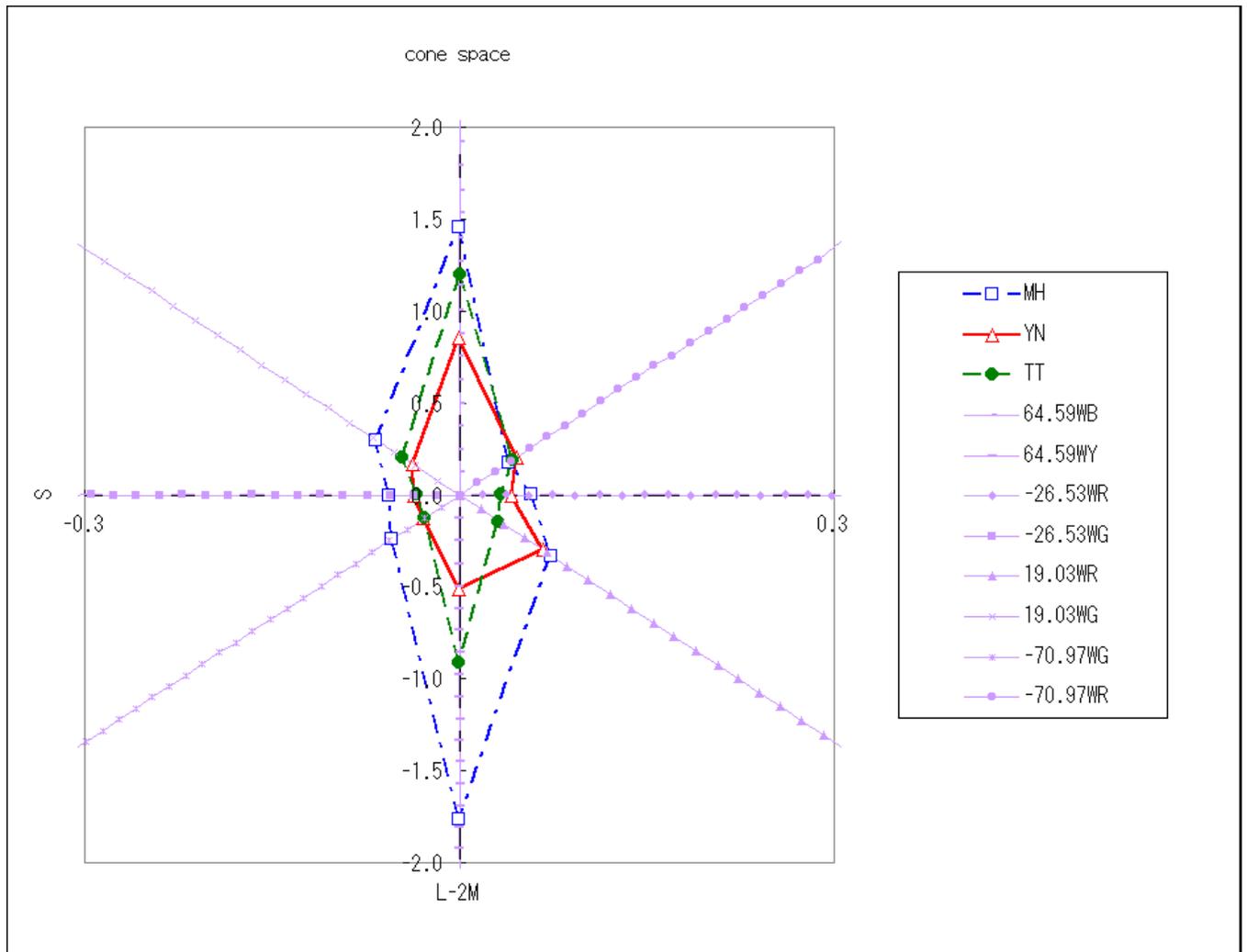


図 4.4 3 人の低輝度での実験結果 (錐体空間上)

### 4.1.6 低輝度実験の考察

4.1 の周辺光無しで低輝度 ( $1\text{cd}/\text{m}^2$ ) での色弁別実験の結果は、周辺光がある場合での色弁別悪化とは全く違った傾向を示している。このことより、周辺光有りでの色弁別は、単純に色信号が減少したために Noise の影響が出たというだけでは説明できず、錐体レベル以降での相互作用があるのかもしれない。よって、今後、他のいろいろな条件や被験者で実験を行う必要がある。

## 4.2 色方向と色弁別の悪化

図 4.5 は被験者 MH、図 4.6 は YN、図 4.7 は TT の周辺光有りと周辺光無しの比率を色方向別に求めたものである。横軸は色方向、縦軸は比率を示している。グラフ内の点は比率を、直線は 8 方向の比率の平均を表している。

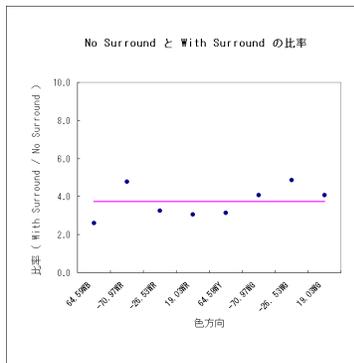


図 4.5 被験者 MH

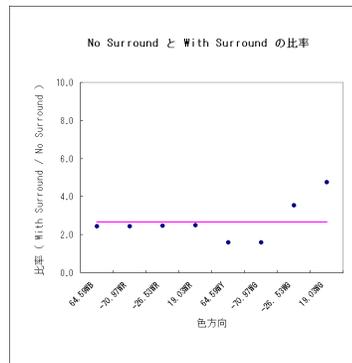


図 4.6 被験者 YN

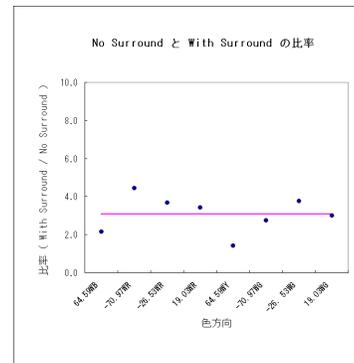


図 4.7 被験者 TT

まず、被験者 MH の結果を見てみると多少のばらつきはあるが、特に平均線から離れている点はない。これより、各方向まんべんなく色弁別が悪化していると言える。被験者 YN については、19.03WG 方向で平均線より少し離れているように見えるが、このくらいの誤差は許容範囲であり、YN でも各方向まんべんなく色弁別が悪化していると言える。被験者 TT についても YN と同じ事が言える。64.59WY 方向でやや離れているが、やはり誤差の範囲内であると考えられる。TT もやはり、各方向まんべんなく色弁別が悪化している。

多少のばらつきや誤差はあるが、被験者 3 人とも方向による色弁別の大きな差は見られな

かった。これより、色弁別はどの方向も同じ程度悪化することが判明した。このように、各方向で色弁別悪化の程度が同じであるということは、黒みによる色弁別の影響はないと言える。

これは、白という色の量がない色度点を中心に色弁別を調べたことによるのかもしれない。この点については、赤や青を中心に色弁別を調べた場合には、黒みの影響が出る可能性もある。

## 第5章

### まとめ

周辺光により色弁別は悪化する。また、色方向によって極端な弁別閾の差は無く、どの方向もまんべんなく色弁別が悪化する。ただし、周辺光のある場合と低輝度との錐体の応答は全く異なることから、周辺光の効果は単純な色信号抑制効果では説明がつけられない。

また、周辺光の色弁別への影響は、どの色方向もほぼ同じであることから（対称性がある）、今回の白を中心とする条件では色弁別には黒みの影響はないと考えられる。したがって、Note-PC用のインターフェイスなどにおいて、特に色彩設計に配慮すべき点は今のところ見つかっていない。

# 謝辞

この研究をするにあたって、被験者の MH さんと TT さんには自分の卒業研究で忙しいにもかかわらず何回もの実験に付き合ってくださいました。ご指導くださった篠森助教授には、沢山のアドバイスをいただきました。また、篠森研究室のみんなにもいろいろな事で助けてもらうことが多かったです。みなさんに深く感謝します。ありがとうございました。

この研究は、高知工科大学・情報システム工学科プロジェクト研究費（平成 12 ～ 13 年）の支援を受けました。

# 参考文献

- [1] 大山正 「色彩心理学入門」 中公新書 1169 (中央公論社, 1994)
- [2] 金子隆芳 「色彩の心理学」 岩波新書 134 (岩波書店, 1990)
- [3] 池田光男・芹澤昌子 「どうして色は見えるのか」 自然叢書 17 (平凡社, 1992)
- [4] 内川恵二 「色覚のメカニズム」 (朝倉書店, 1998)
- [5] 池田光男 「視覚の心理物理学」 (森北出版株式会社, 1975)
- [6] 中野靖久 「信号検出理論」「視覚情報処理ハンドブック 日本視覚学会 編(第14章2節 P575)」 (朝倉書店, 2000)
- [7] Keizo Shinomori, Ynsuhisa Nakano, and Keiji Uchikawa "Influence of the illuminance and spectral composition of surround fields on spatially induced blackness" (1994.9)
- [8] Keizo Shinomori, Brooke E. Schefrin, and John S. Werner "Spectral mechanisms of spatially induced blackness: data and quantitative model" (1997.2)

# 付録 A

## Weber の法則

### A.1 Weber 則

人間が感覚的に区別できる二つの物理量の最小の差異（弁別閾）は、その差異の絶対値ではきまらず、その際の物理量の水準に比例的に変化するというのがウェーバーの法則である。

たとえば、三十グラムと三グラムの重さの一グラムの差異が感覚的にやっと区別できる人でも、六十グラムと六グラムの一グラムの差異の区別はできない、六十グラムと六二グラムの差異なら区別できる、ということが実験的に見出された。そこで一グラム、二グラムという差異の絶対値よりも三十グラムに対する一グラム、六十グラムに対する二グラムという関係、つまり  $1/30$  という比率が大事であると考えられた。このような比率が、それぞれの感覚次元において一定しているというのがウェーバーの法則である。その際に基準となる刺激の物理量を  $I$ 、それとやっと区別できるもう一つの刺激の物理量を  $I+\Delta I$ （ $\Delta I$  が弁別閾に相当する）

$$\frac{\Delta I}{I} = \text{一定}$$

という関係がウェーバーの法則である。  
（「色彩心理学入門」より引用）

### A.2 Noise

光が眼球に入り網膜に届くと、網膜内の神経細胞（L,M,S 錐体）が光として得た情報を電氣的信号に変換する。このとき、錐体は刺激を与られていないにもかかわらず、勝手（自発自火）に信号を出してしまうことがある。勝手に出されてしまった信号をノイズと呼び、ノイズが実際の刺激による信号量よりも大きい場合、本来提示されていない刺激に対して、“見えた”と錯覚してしまうことがある。これをフォールス・アラーム（false-alarm）という。

# 付録 B

## 混同色線

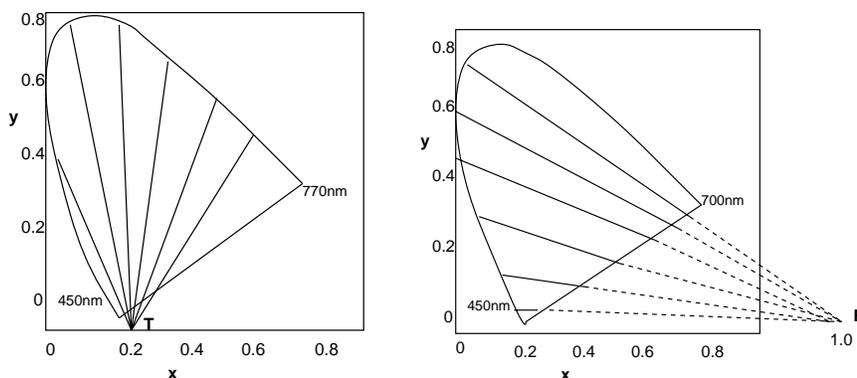


図 B.1 混同色線

図 B.1(左)は S 錐体混同色線を示している。S 錐体混同色線は、S 錐体がないとその線上では色の区別が出来ないことを示している。言いかえると、この線上では S 錐体だけによって色弁別がなされていることになる。ちょうど、S 錐体を欠く第 3 色覚異常 (tritanope) がそれにあたる。また、混同色線の集まる点のことを混同色中心と呼び、ここでは T 点のことを指している。

図 B.1(右)は L,M 錐体混同色線である。L,M 錐体混同色線は、L,M 錐体がないとその線上では色の区別が出来ないことを示している。言いかえると、この線上では L,M 錐体だけによって色弁別がなされていることになる。また、ここでの混同色中心は F 点となる。

今回の実験は青・黄方向は S 錐体混同色線上、赤・緑方向は L,M 錐体混同色線上を取っており、他の 4 方向はそれらの間を任意に取った。

## 付録 C

# 低輝度での色弁別実験の結果データ

次ページからの図 C.1 は被験者 MH、図 C.2 は被験者 YN、図 C.3 は被験者 TT の低輝度 ( $1\text{cd}/\text{m}^2$ ) での色弁別実験結果である。結果は  $u'v'$  色度図上で示され、縦軸は  $u'$ 、横軸は  $v'$ 、グラフ内の直線は実験を行った色方向を表している。また、シンボルの違いは色方向の違いであり ( 凡例参照 )、中心は White である。

実験は 3 回ずつ行われ、結果データを でプロットした。楕円は、3 回の実験の平均を示す。低輝度は実線で、他 2 つ ( 周辺光無し・有り ) は点線で示している。

## C.1 MHの低輝度での実験結果データ

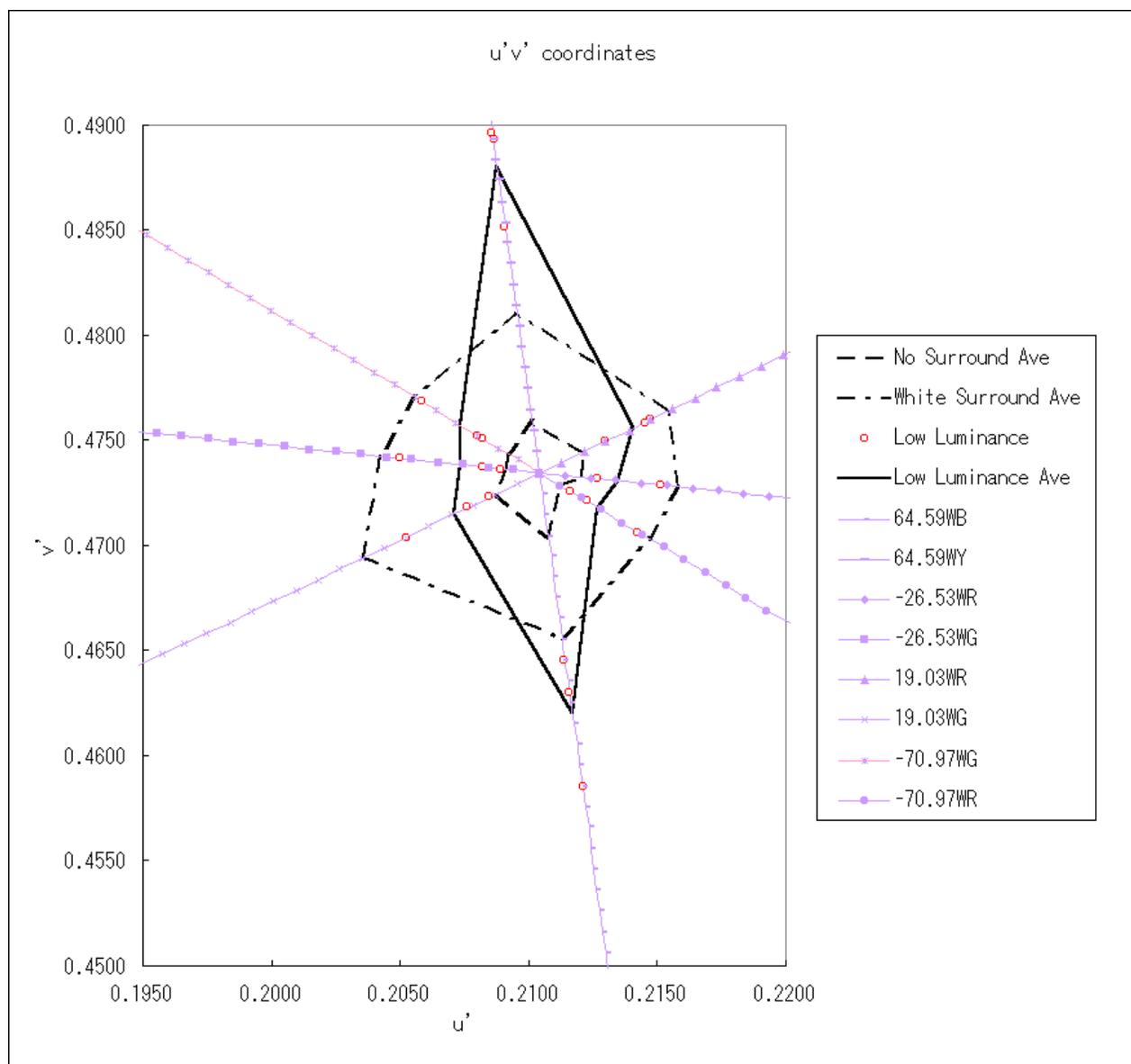


図 C.1 MHの低輝度での色弁別

## C.2 YN の低輝度での実験結果データ

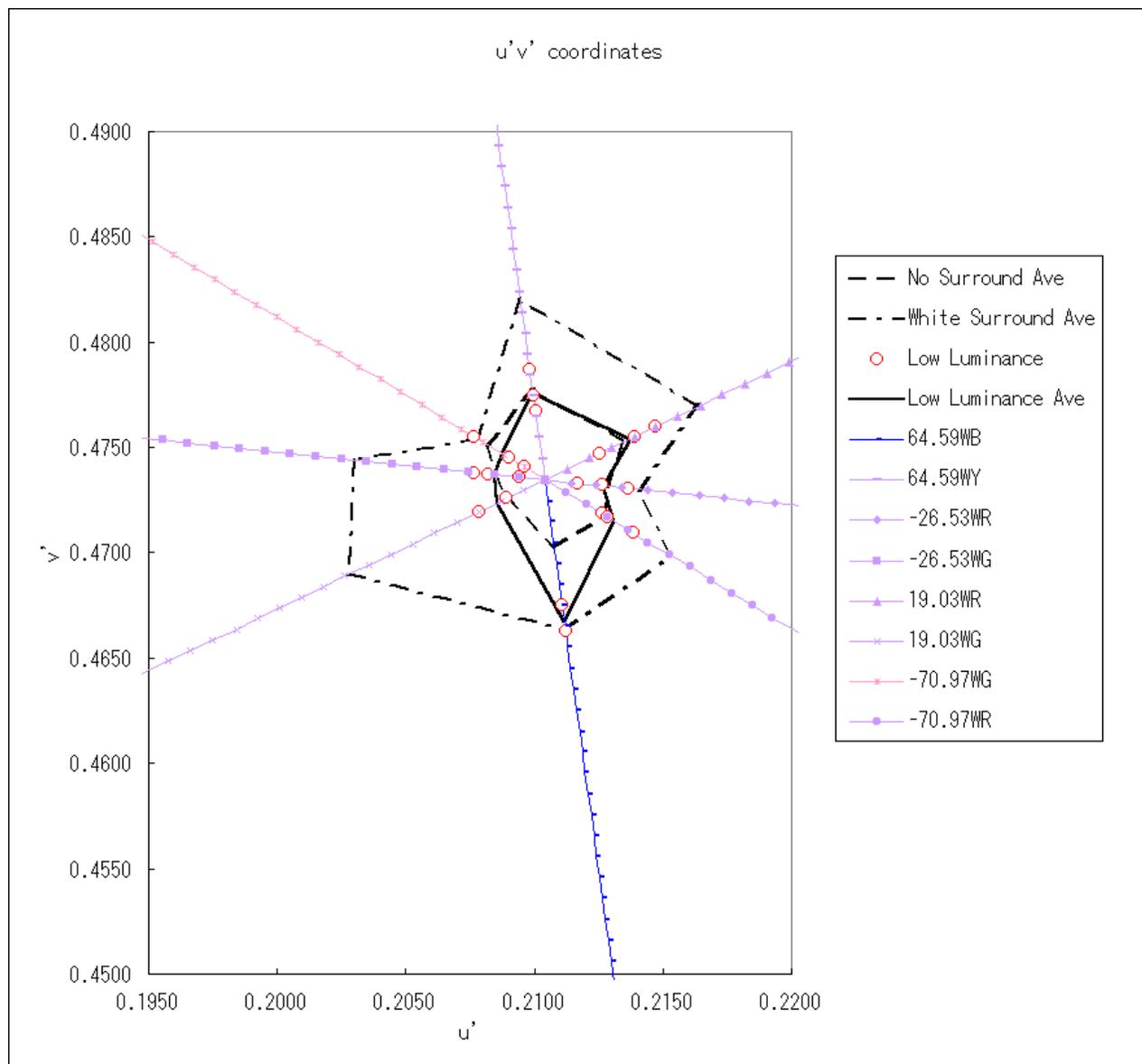


図 C.2 YN の低輝度での色弁別

### C.3 TT の低輝度での実験結果データ

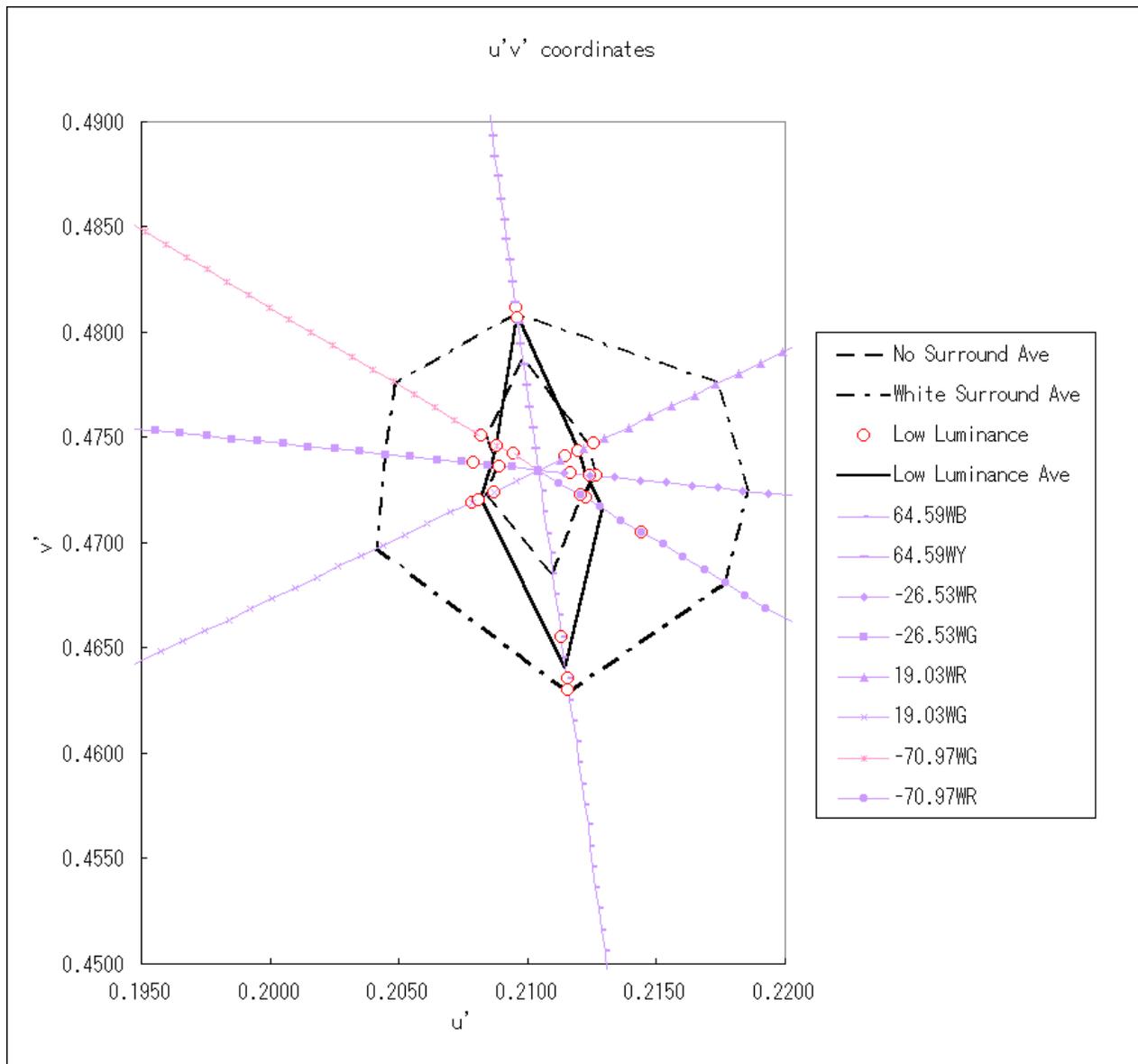


図 C.3 TT の低輝度での色弁別