

色のコントラスト感度特性

池田宏明

国立大学法人千葉大学大学院工学研究科
(名誉教授・グランドフェロー)
<ikeda@faculty.chiba-u.jp>

色のコントラスト感度特性

- 無彩色のコントラスト感度から色のコントラスト感度への拡張
 - コントラスト→
コントラスト感度→
コントラスト感度特性
- 補色対の条件
- 一つの補色対を対象としたコントラスト感度特性を得るための官能試験
 - 試験方法と結果

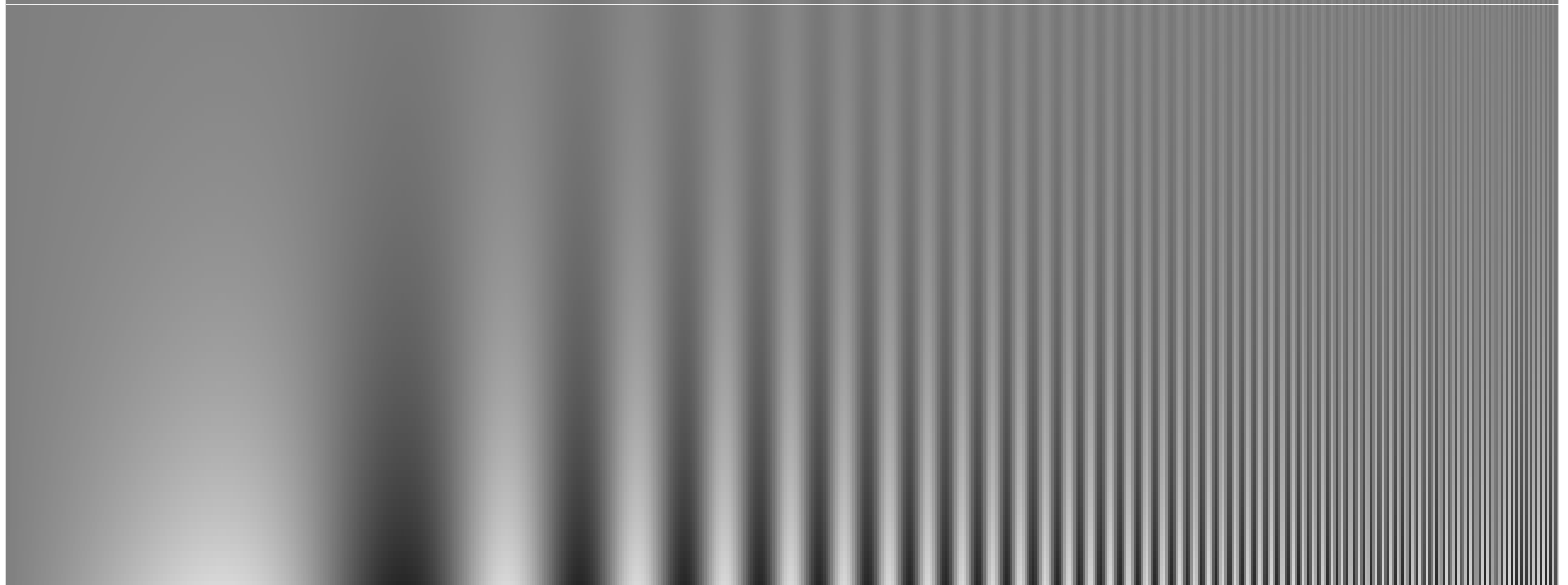
コントラスト感度 (Contrast Sensitivity)

- 視力によって見える限度(範囲)が変化する
 - どの程度の細部が識別できるか
 - 視力1.0の人は, 空間周波数で30 cycle/degreeまで
 - それは次の関数となろう
 - 対象の大きさ
 - 照明のレベル(物体の場合)
 - **コントラスト**

Seeing your own CSF

Spatial Frequency 

Contrast



コントラストの定義（複数ある）

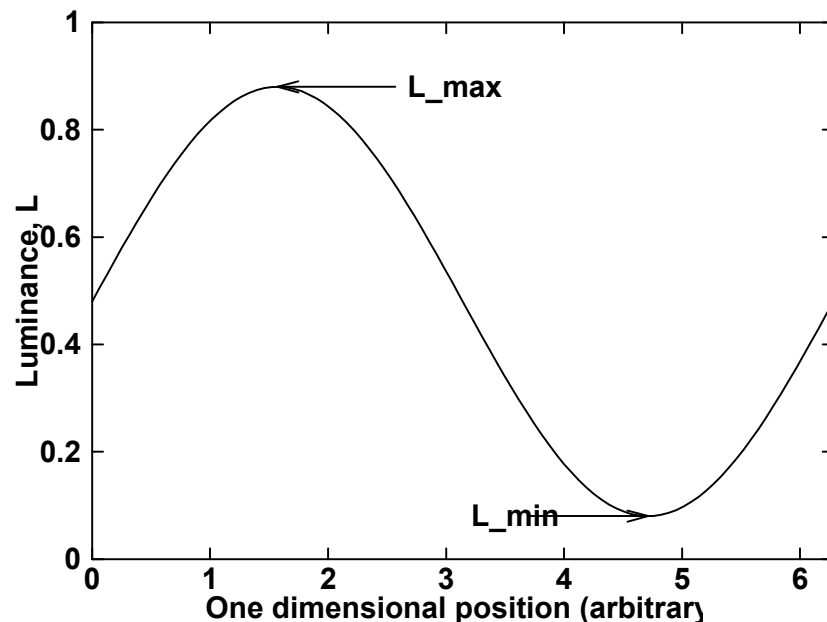
- 均一な背景に対するコントラスト $C_W = \frac{\Delta L}{L}$
- 周期的輝度変化に対するコントラスト $C_M = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}$
- バンドパスエネルギーコントラスト $C_{P_i} = \frac{BP_i}{LP_i}$

コントラスト感度(Contrast Sensitivity)

⇒ コントラストの逆数として定義。

コントラスト感度特性(CSF)の定義

- 濃度又は明度 (luminance; L)を正弦状に変化



- 異なる空間周波数で正弦状に変化する濃度 (sinusoidal grating)を人間が見たときの識別限界コントラスト (Contrast Threshold)の逆数

$$L(x) = a_0 + a_1 \sin 2\pi x = a_0 + a_1 \sin 2\pi \frac{x}{x_0} f$$

コントラスト & コントラスト感度

- 空間周波数 f
(spatial frequency)
=Cycles/視角(度)
[cpd]において,
コントラスト C は, 最大
明度を L_{\max}
最小明度を L_{\min} として
$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} = \frac{a_1}{a_0}$$

$$0 \leq C \leq 1$$

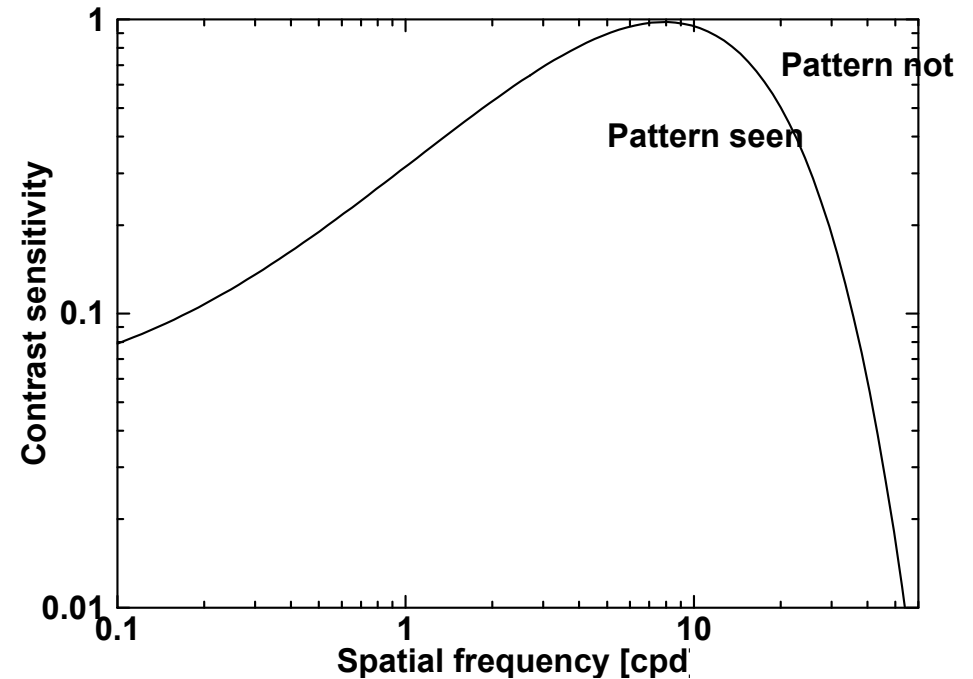
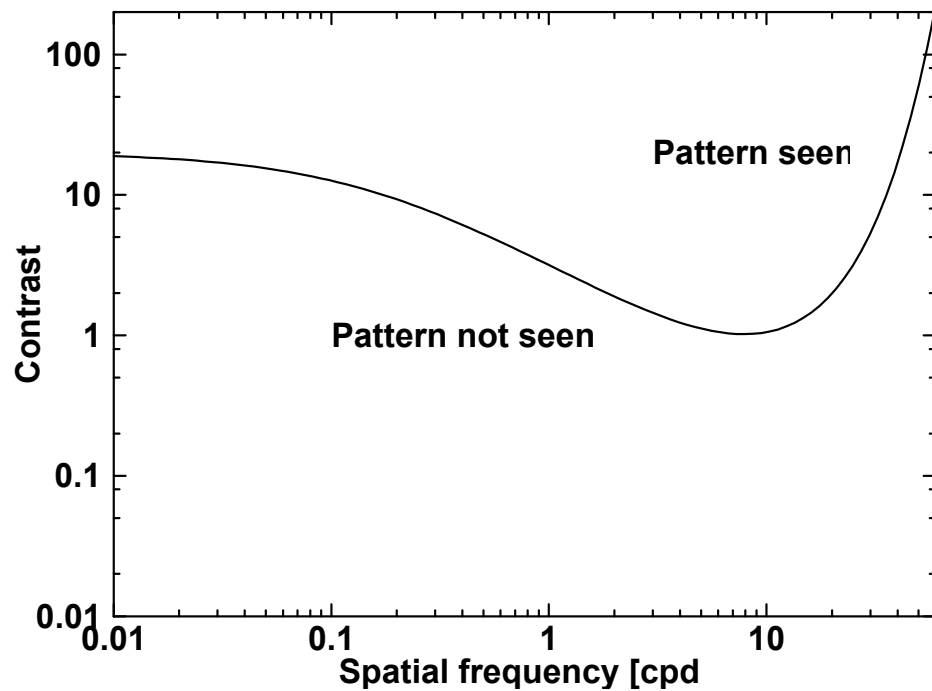
- コントラスト感度 CS
(Contrast sensitivity) f
は, ある空間周波数
で判別できるか否かの
識別限界コントラスト C_C
の逆数

$$CS = \frac{1}{C_C} = \frac{a_{0C}}{a_{1C}}$$

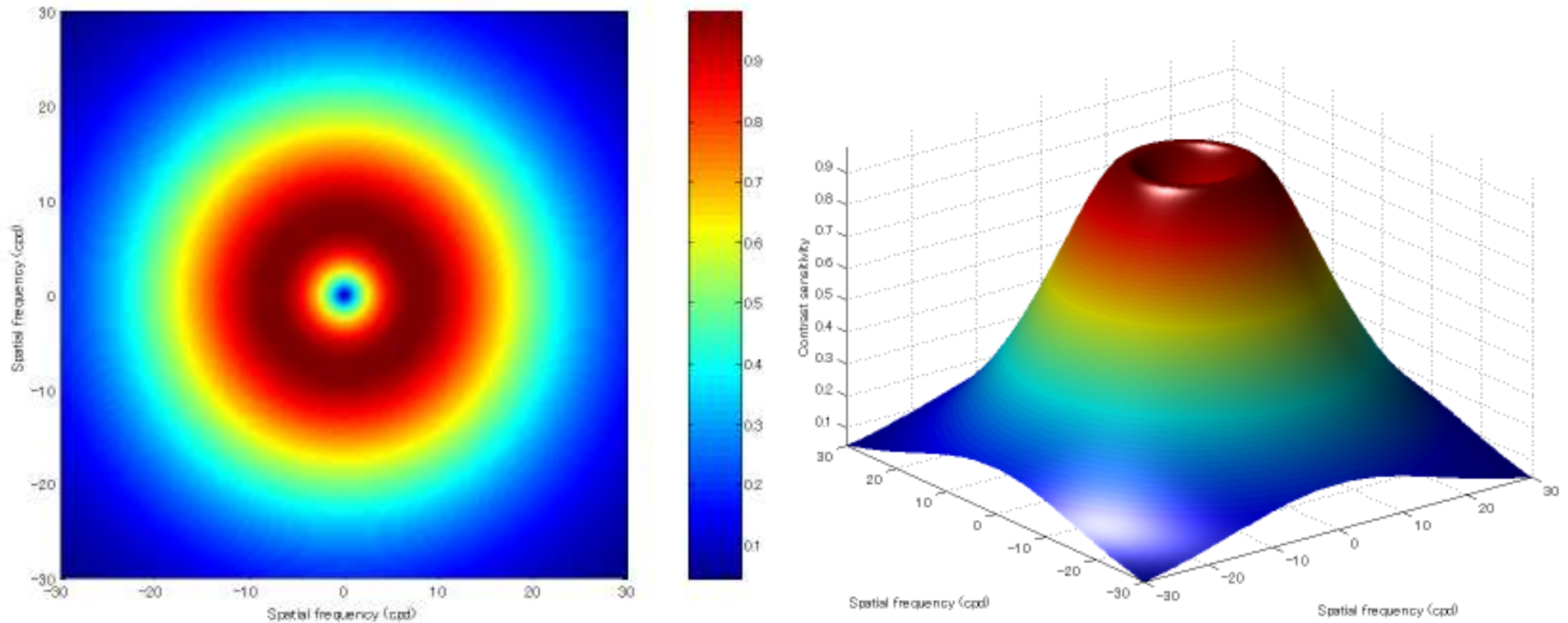
$$1 \leq CS < \infty$$

コントラスト感度特性の数式モデル

$$\begin{aligned} b(f) &= 2.6(0.0192 + 0.114f)e^{-(0.114f)^{1.1}} \\ &= (0.05 + 0.2964f)e^{-(0.114f)^{1.1}} \end{aligned}$$

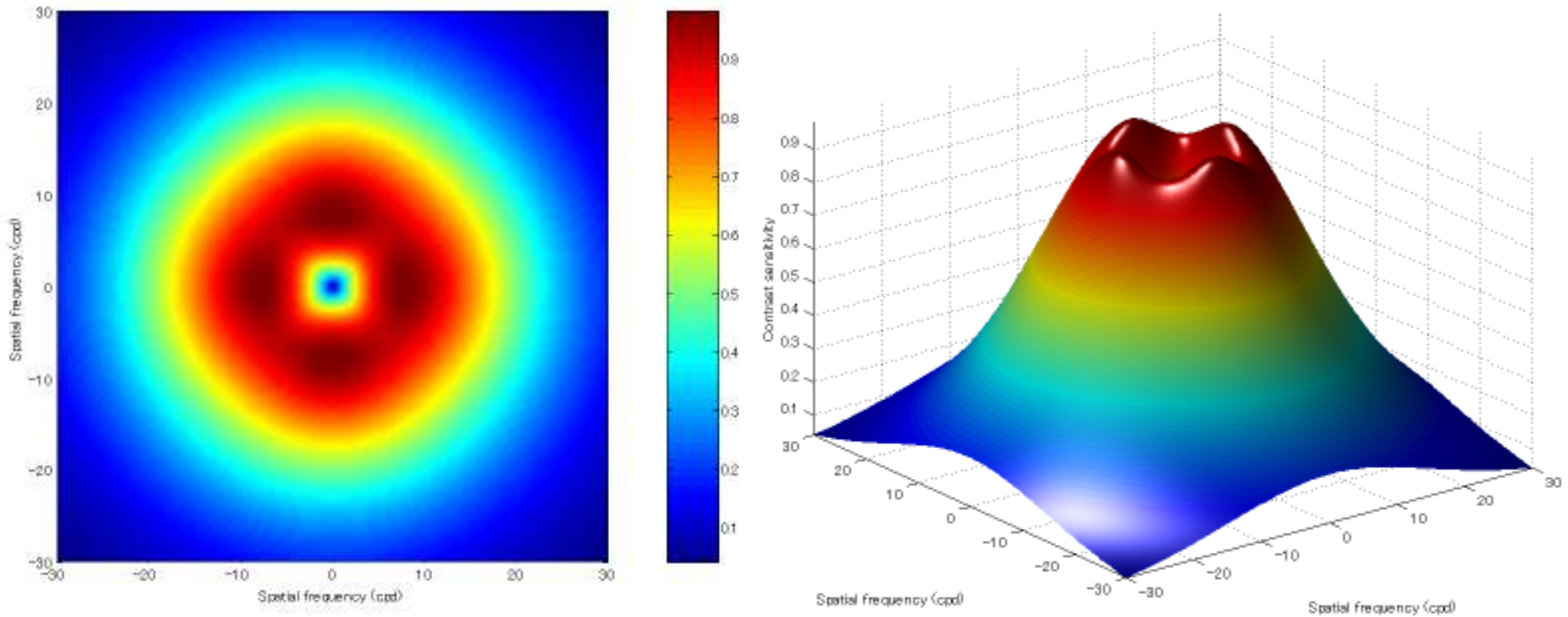


数式モデルの二次元への拡張(1)

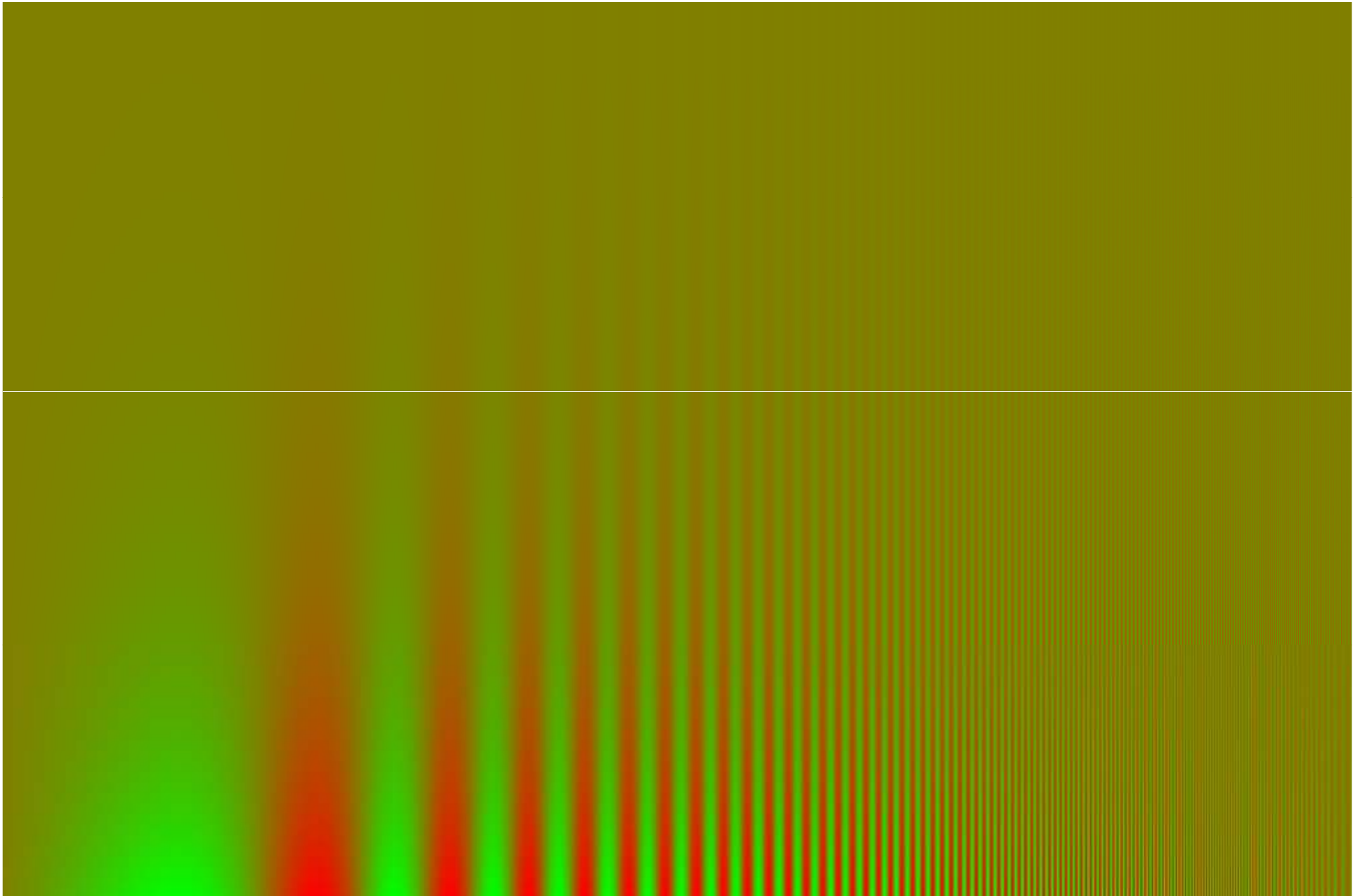


数式モデルの二次元への拡張(2)

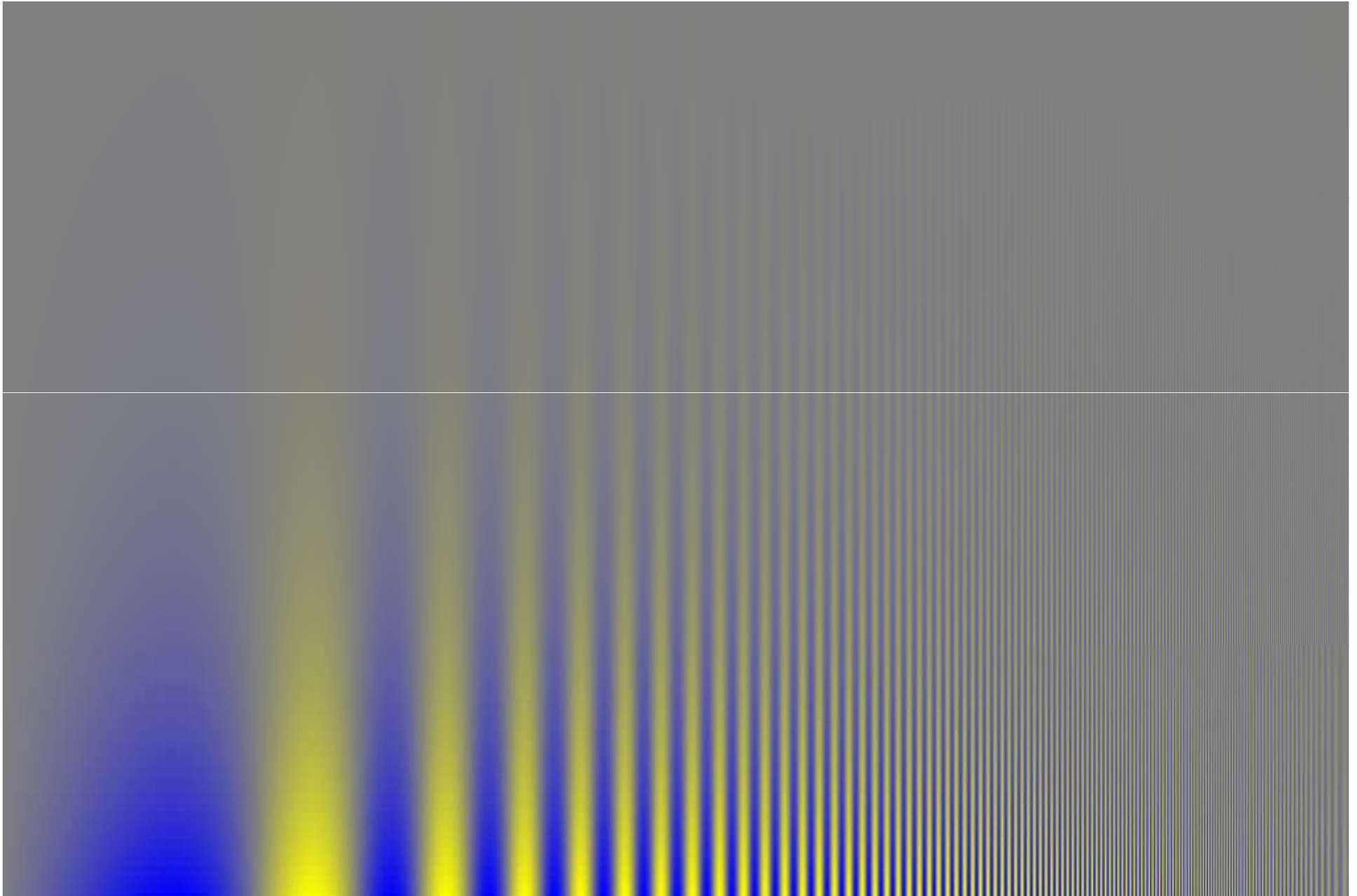
[斜め方向の感度は低下するとするモデルを組み込み]



色コントラスト感度特性の概念(1)



色コントラスト感度特性の概念(2)



補色対(complementary colours)の定義

IEC 60050-845-03-09

complementary colour stimuli:

Two colour stimuli are complementary when it is possible to reproduce the tristimulus values of a specified achromatic stimulus by a suitable additive mixture of these two stimuli.

In the CIE 1931 xy chromaticity diagram two complementary colour stimuli lay on the opposite sides of achromatic stimulus and three stimuli pass through the same straight line as in Figure 1.

$$\begin{aligned} X_0 &= X_1 + X_2 \\ Y_0 &= Y_1 + Y_2 \\ Z_0 &= Z_1 + Z_2 \end{aligned} \quad (1)$$

where achromatic stimuli is $W = (X_0, Y_0, Z_0)$, and $P = (X_1, Y_1, Z_1)$ and $Q = (X_2, Y_2, Z_2)$ are a pair of complementary colours.

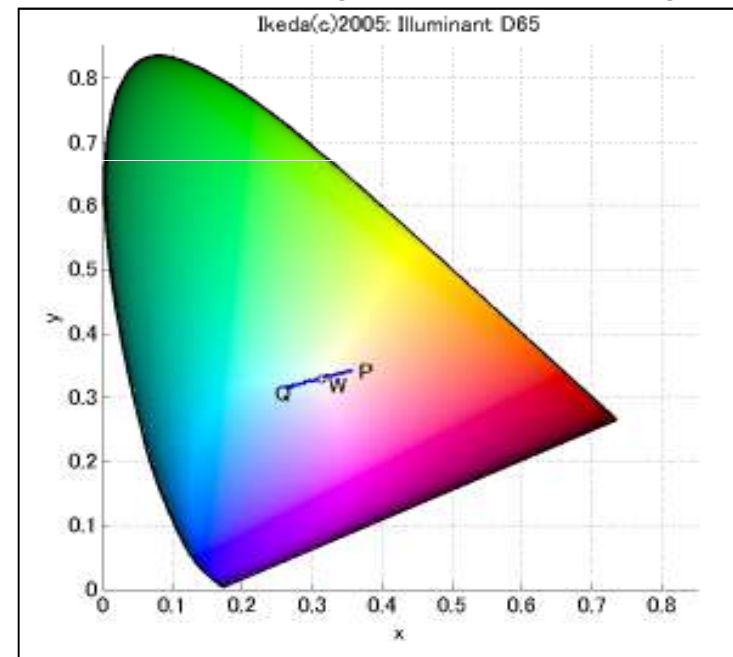


Figure1. Complementary colours in the CIE 1931 xy chromaticity diagram

CIELAB色空間における補色対の定義

With additive colour mixture equation and (2), the corresponding values $W(L_0^*, a_0^*, b_0^*)$ become $L_0^* = 100, a_0^* = 0, b_0^* = 0$, we marked two colors $i = 1, 2$, A pair of complementary colours in the CIELAB Space become (3):

$$\begin{aligned} L^* &= 116Y' - 16 \\ a^* &= 500(X' - Y') \\ b^* &= 200(Y' - Z') \end{aligned}$$

(2)

Additive
mixture
equation



$$\begin{aligned} \left(\frac{L_1^* + 16}{116} + \frac{a_1^*}{500} \right)^3 + \left(\frac{L_2^* + 16}{116} + \frac{a_2^*}{500} \right)^3 &= 1 \\ \left(\frac{L_1^* + 16}{116} \right)^3 + \left(\frac{L_2^* + 16}{116} \right)^3 &= 1 \\ \left(\frac{L_1^* + 16}{116} - \frac{b_1^*}{200} \right)^3 + \left(\frac{L_2^* + 16}{116} - \frac{b_2^*}{200} \right)^3 &= 1 \end{aligned}$$

(3)

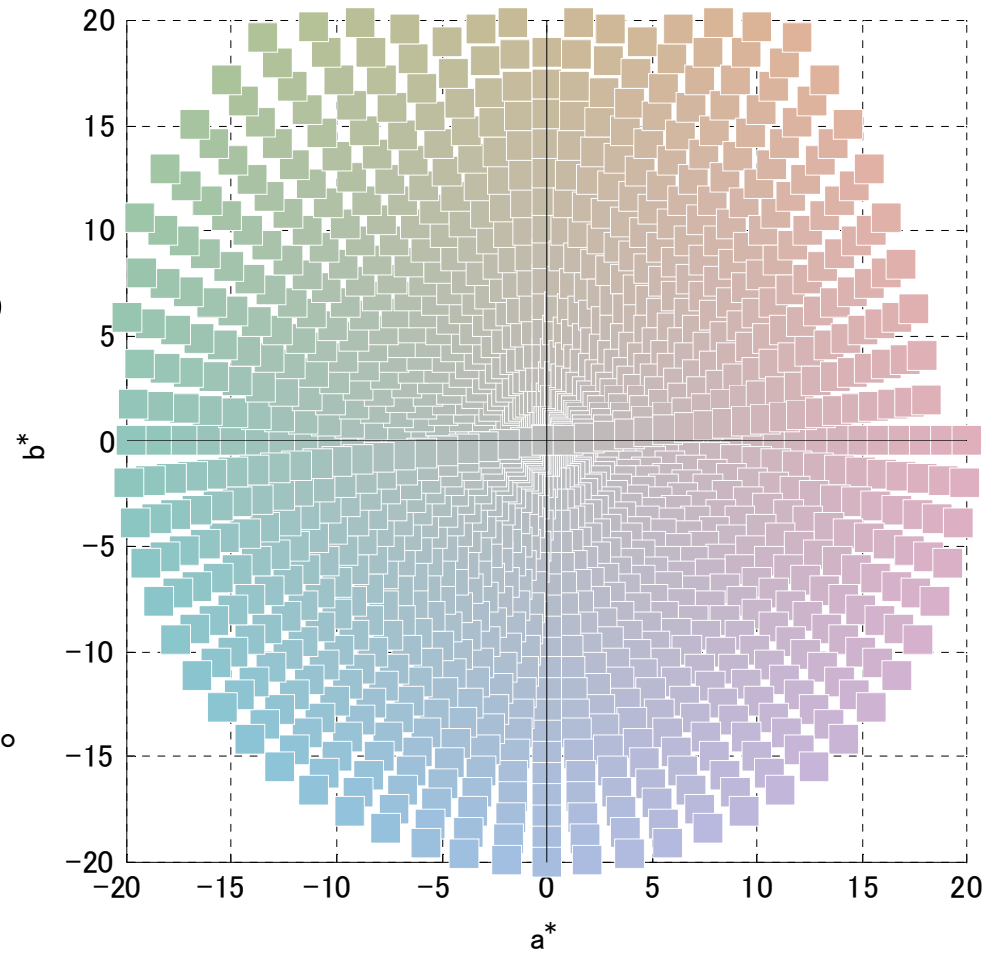
The condition of being complementary colours is $L_1^* = L_2^* = 76.0693$ and with the luminance value, it is $Y=50$.

CIELAB色空間での補色対の例

白色: D65

$$L^* = 76.0693$$

多数の補色対が存在する。



Colour contrast between two colors

Colour contrast (C) between two colour vectors P and Q is defined as in expression (4).

$$C = \frac{|Q - P|}{|Q| + |P|} \quad (4)$$

changing (4) to CIELAB colour space and used it for a pair of complementary colours; one colour vector is $P(L_1^*, a_1^*, b_1^*)$ and its complementary colour vector is $Q(L_2^*, a_2^*, b_2^*)$:

$$C = \frac{\sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}}{\sqrt{L_1^{*2} + a_1^{*2} + b_1^{*2}} + \sqrt{L_2^{*2} + a_2^{*2} + b_2^{*2}}} \quad (5)$$

色のコントラスト感度

- 官能試験方法
 - 表示システムのキャリブレーション

Calibration of colour display system – Measured results –

By using colour luminance meter (TOPCON BM-5) at ambient temperature 24° C, tristimulus values xyY are measured. They were converted to CIELAB as follows.

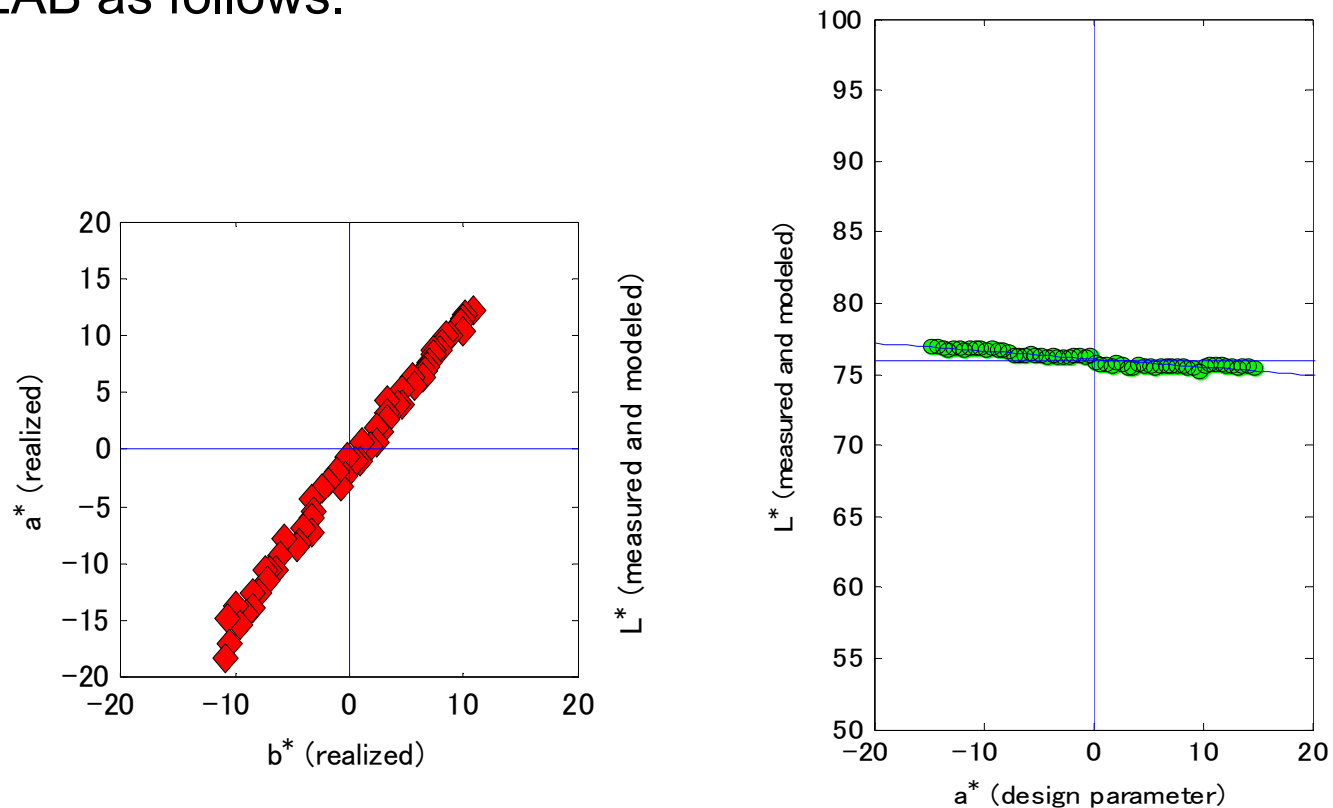
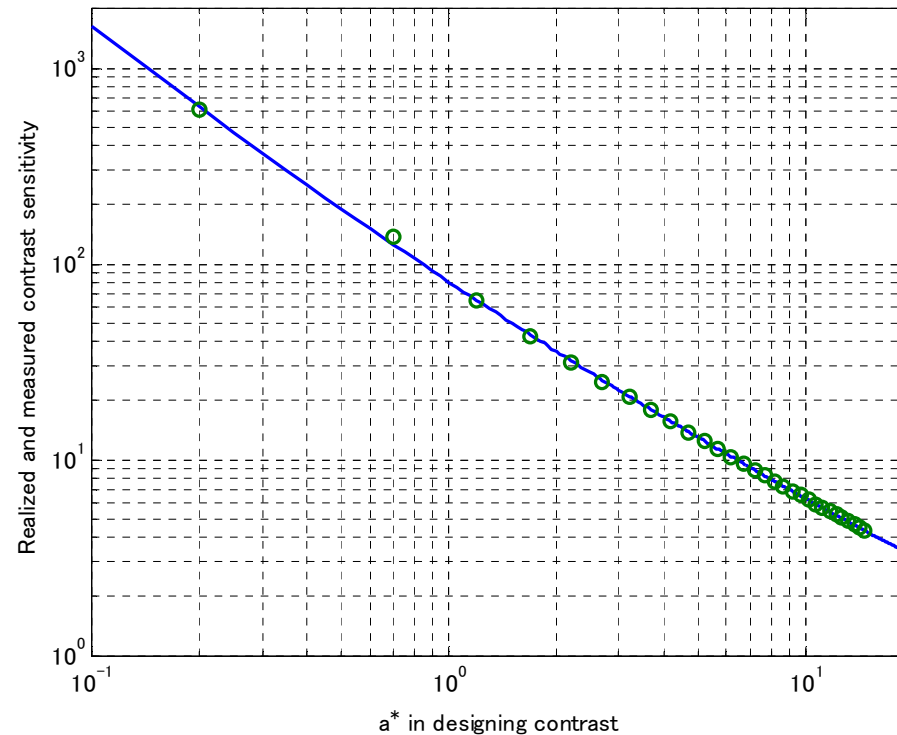


Figure2. Complementary colours (design) in a^*b^* chromatic plane

Characteristics of colour display system

For calibration of the colour display system, colour patches were measured. Measurement data range of a^* is (0.2:0.5:14.7).



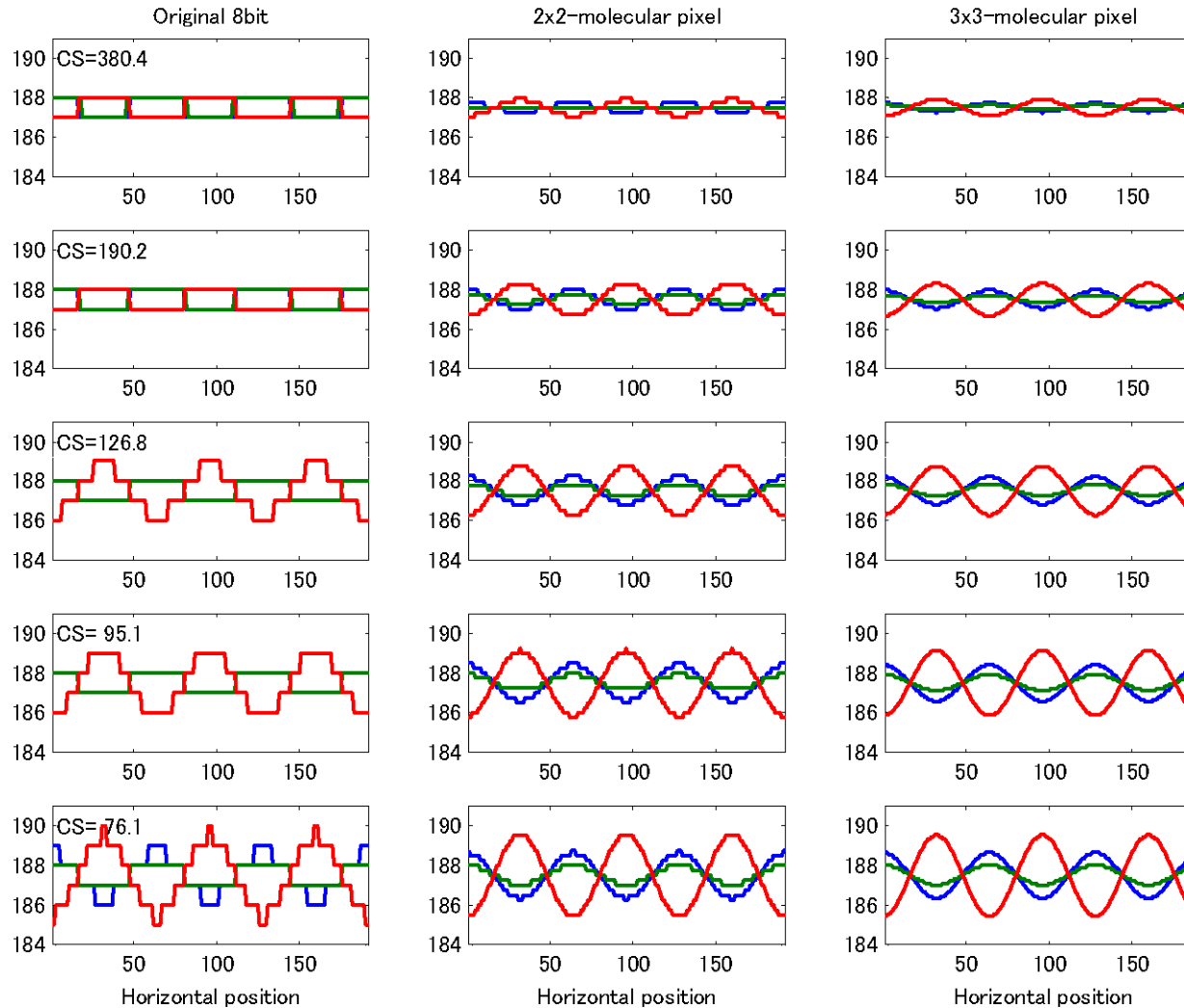
As a result of regression of the figure above, the colour display system used in this study was modelled as follows in terms of contrast sensitivity:

$$C_s(a^*) = \exp(0.044256 \log^2 a^* - 1.206722 \log a^* + 4.394185) \quad (6)$$

補色対の臨界コントラスト官能試験諸元

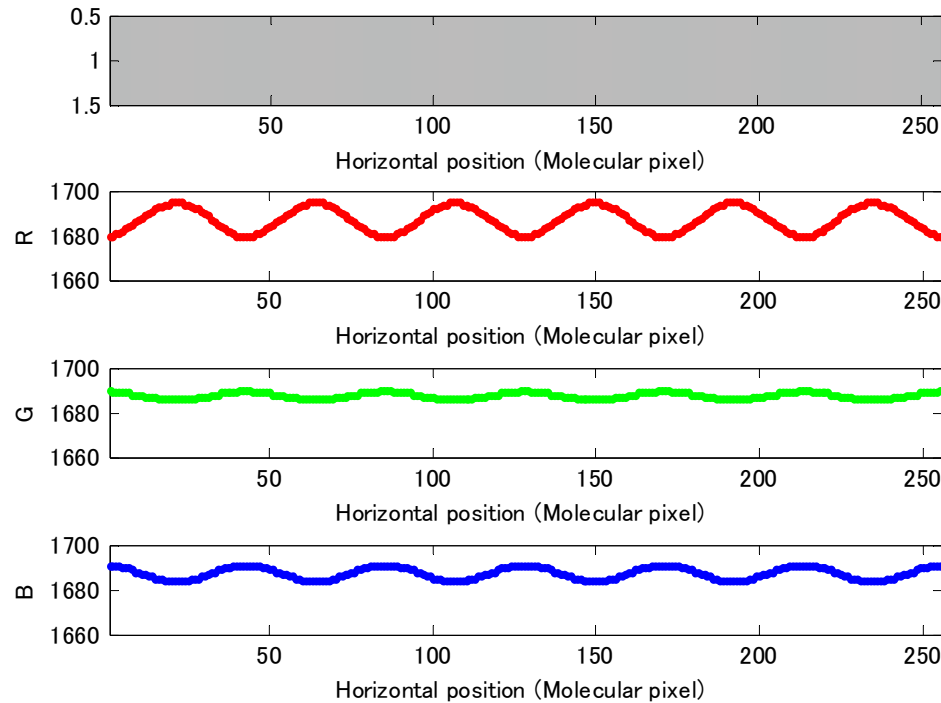
諸 元	条 件
対象色	PALの赤 ($x = 0.640$, $y = 0.330$ at CIE 1931 xy) とその補色
正弦パターンの提示	Matlab/MS Windows XP により, 特定の校正済LCDモニターで表示
正弦パターンのデータ	3x3分子ピクセルを単位として, 256 x 256 分子ピクセル (768 x 768原子ピクセル相当) で表現, 非圧縮BMPファイルとした
色指定方法	CIELABの a^* による。 $0.05 \leq a_0^* \leq 14.7$
LCDモニター	正弦パターン方向に1024ハードウェアピクセル グラフィックアダプターにより768(原子)ピクセルモードで使用。 パターン寸法 $W = 28.5$ cm
無彩色の色度	D65に近似
無彩色輝度レベル	97.6 (cd/m ²)
評定距離	$L = 500$ cm
評定環境	擬似暗室 (完全な暗室ではない)
評定者数	37 名

原子ピクセルの限界と分子ピクセル

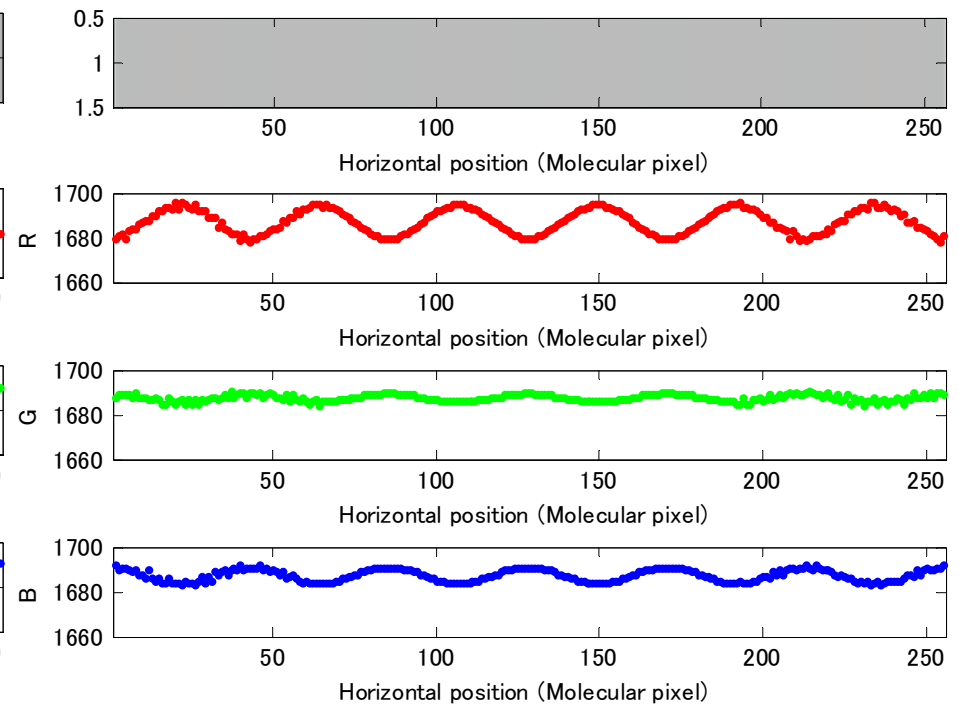


原子ピクセル→分子ピクセル

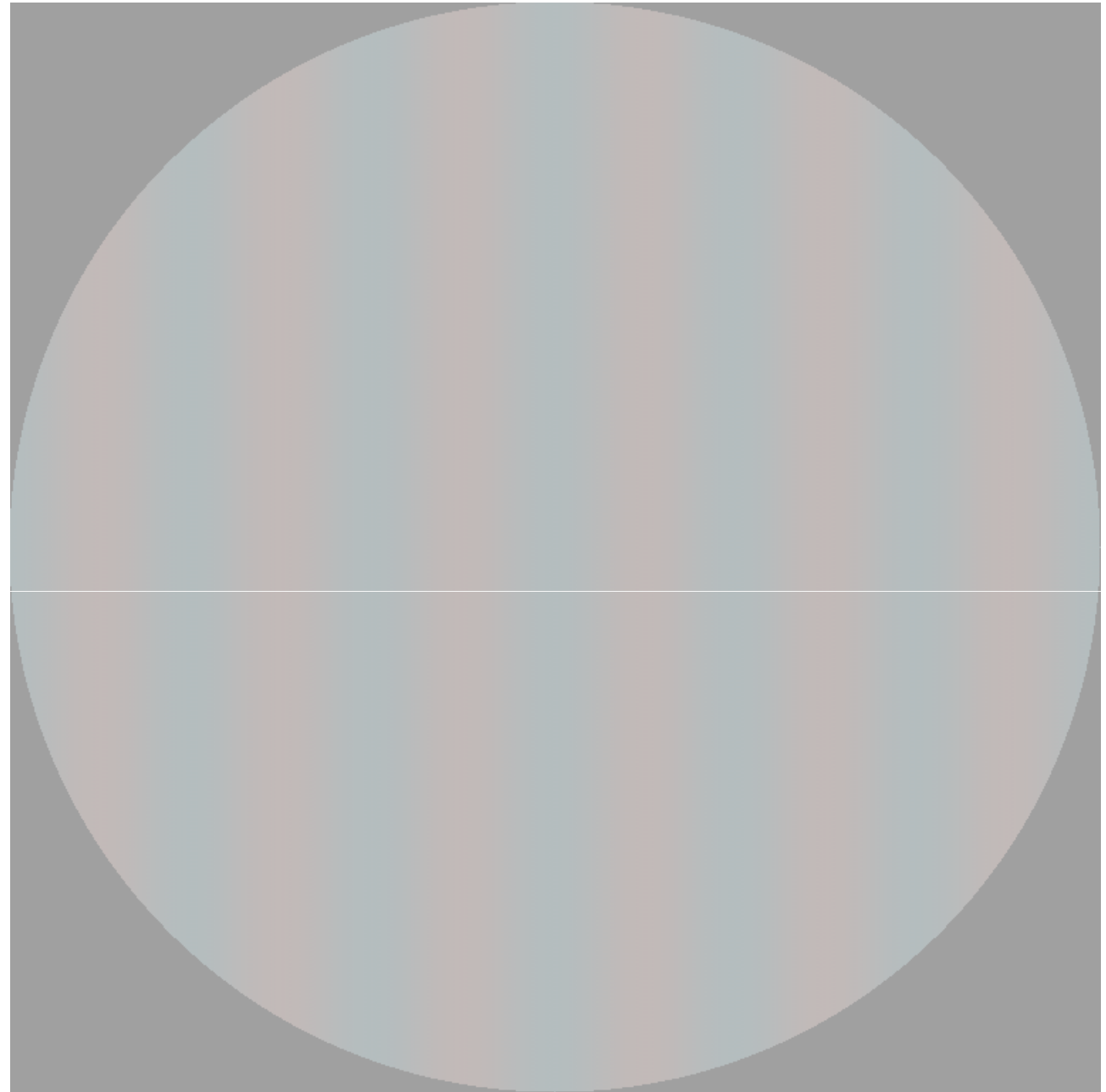
- 分子ピクセル値の横方向変化



- モニター画面のキャプチャーデータ変化

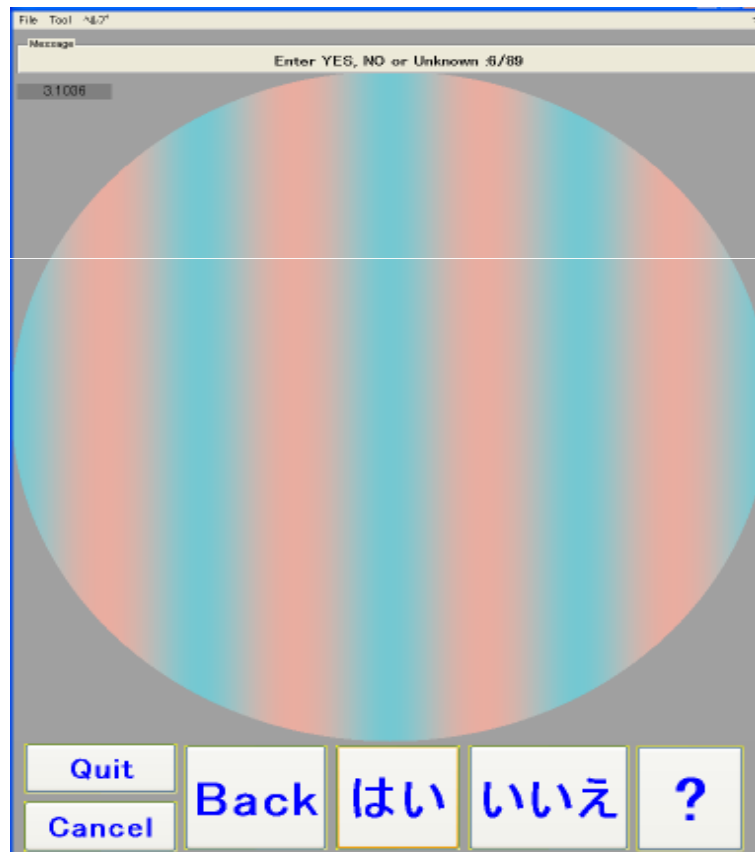


余弦パターン の例



Cosine wave charts used in the test

Cosine wave patterns of red and its complementary colour of several different spatial frequencies and contrast are made to perform the experiment. They were in uncompressed **BMP format**. Each pattern was **randomly** presented to 37 subjects.



Three options were selected at the specified viewing distance for each of the patterns. The options are:

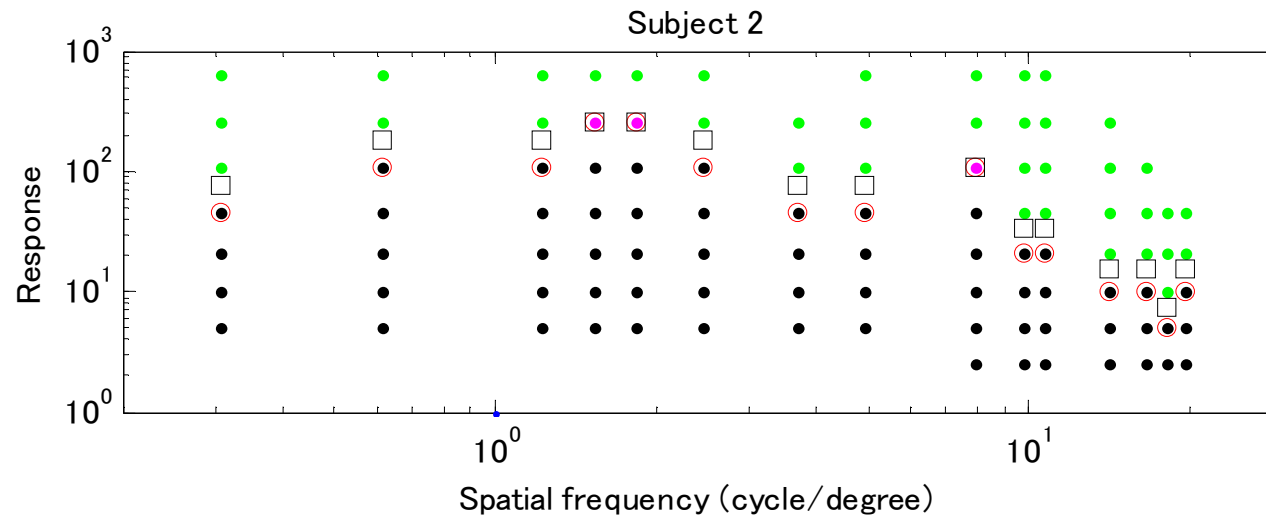
- | | |
|-------------------------------|-------|
| (1) Wave can be recognized | (はい) |
| (2) Wave cannot be recognized | (いいえ) |
| (3) Neither of the above. | (?) |

[Example](#)

色のコントラスト感度特性

- 官能試験結果

Response of a typical subject



Conversion from the wave numbers in the pattern to spatial frequency f (cpd) was formulated as (7).

$$f = \frac{\pi}{360 \tan^{-1} \frac{D}{2L}} n \quad (7)$$

Where in the (7):

D=28.5 cm;

L=500 cm;

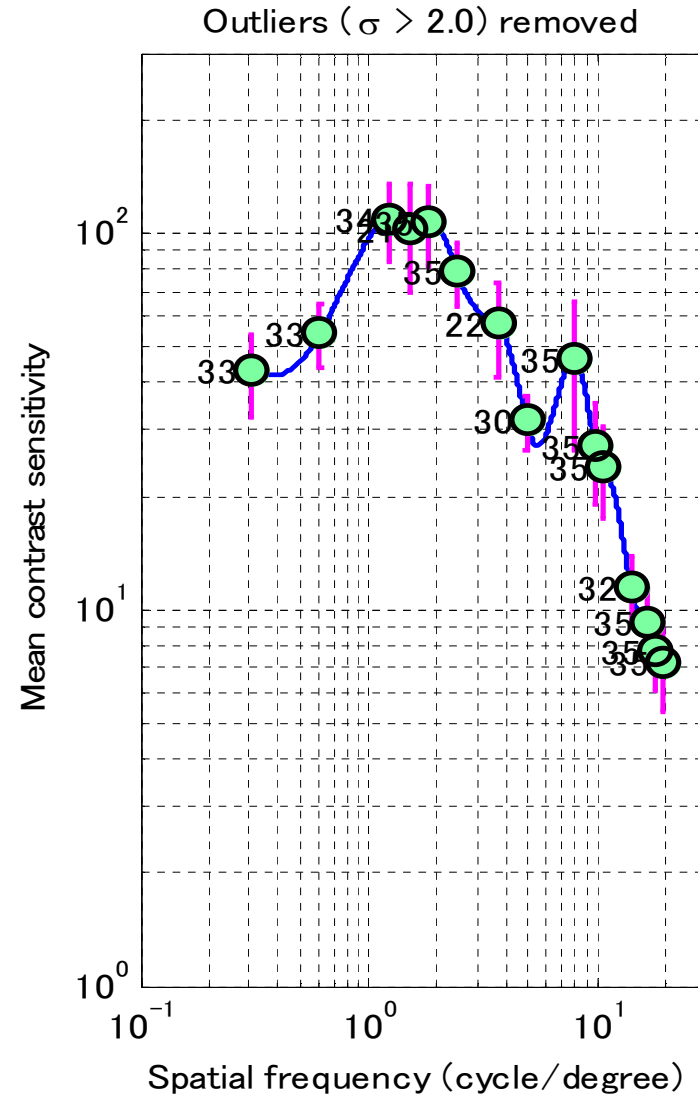
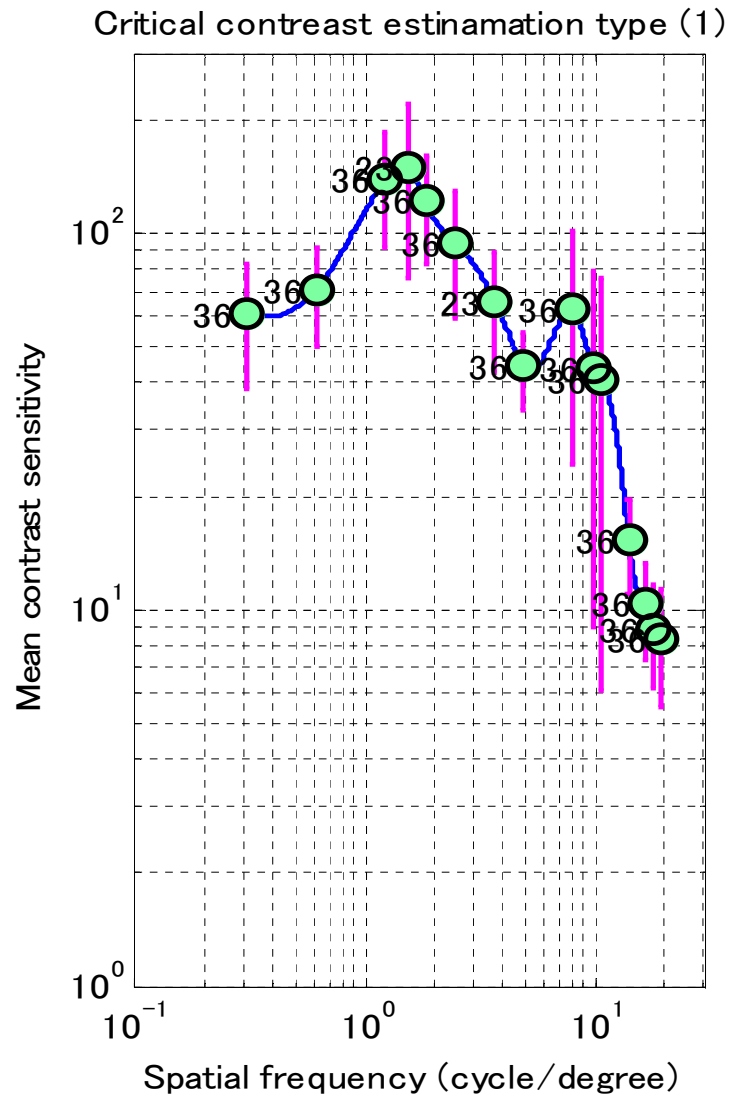
n=[1 2 4 5 6 8 12 16 26 32 35 46 54 59 64].

The result analysis:

Type 1(○): Red circle is the first contrast of the option (1) or the option (3).

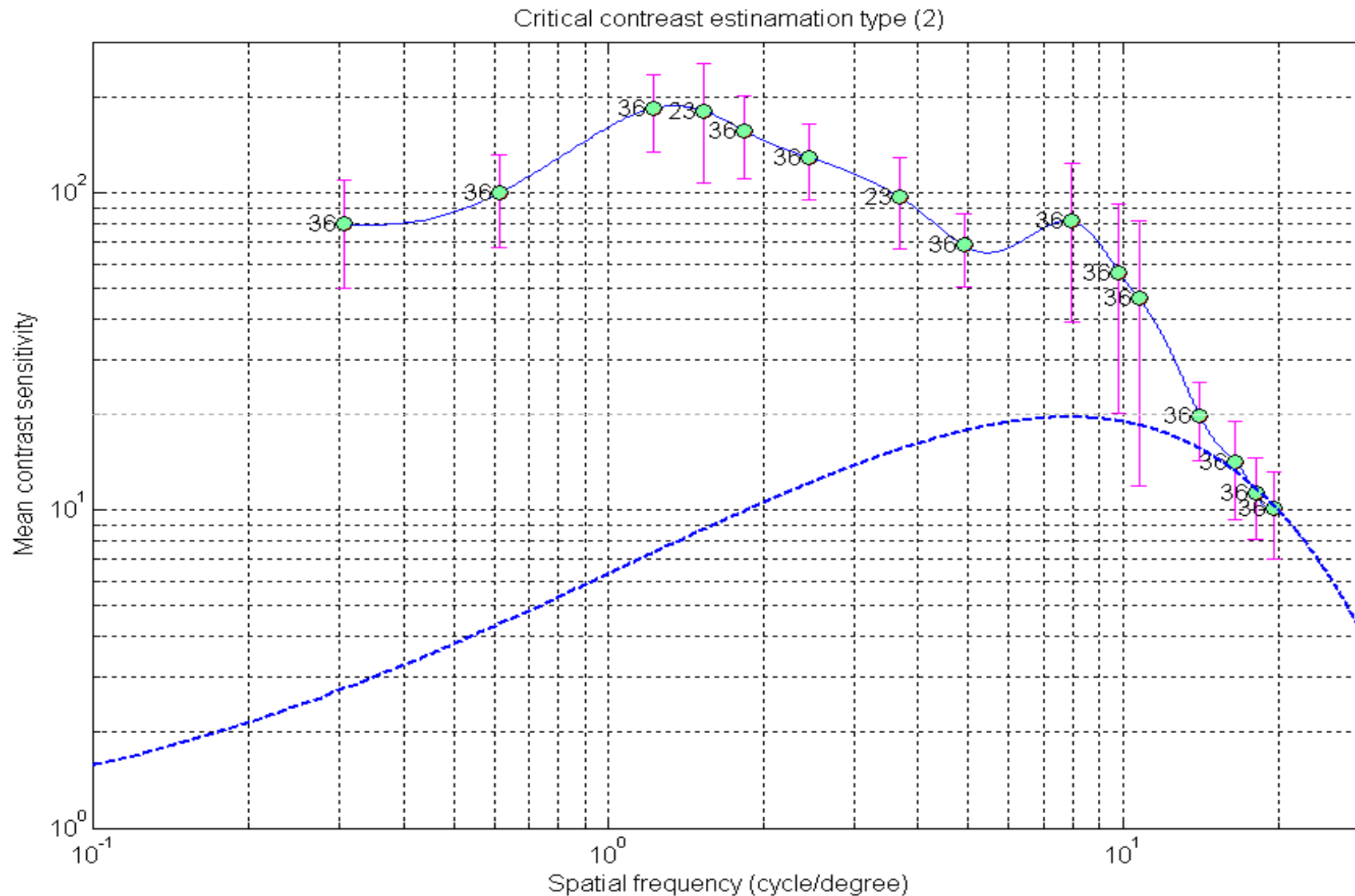
Type 2(□): Mean values of reciprocal contrasts are considered as critical corresponding to the options (1) and (2).

Colour Contrast Sensitivity Function (CCSF)-Type (1)



This type 1 method would be considered as 'wave can be recognized' strictly.

Comparison between LCSF and CCSF



参考文献

- **Gegentana and Hiroaki IKEDA:**
*Colour Contrast Sensitivity Function
between a Pair of Complementary Colours
Red and Cyan,*
Proceedings of the Media Computing
Conference, The Institute of Image
Electronics Engineers of Japan (2008-06)
赤に対する補色のカラーコントラスト感度特
性について, 第36回画像電子学会年次大会