

視覚色域の画像と比較して画質差が許容される色域に関する研究

JEITA 講演

09.03.06

静岡大学

下平 美文 市川 慎吾

背景：画像システムにおける課題

現状認識： 従来のs-RGB (HDTV)色域を基準にした画像システムで満たせない画像分野が大きく成長（色再現性に着目）
（電子商取引、工業デザイン、デジタルアーカイブ、遠隔医療）

対策： 画像システムの色管理方式の変革および撮像および表示特性の革新：「測色的色再現」への対応

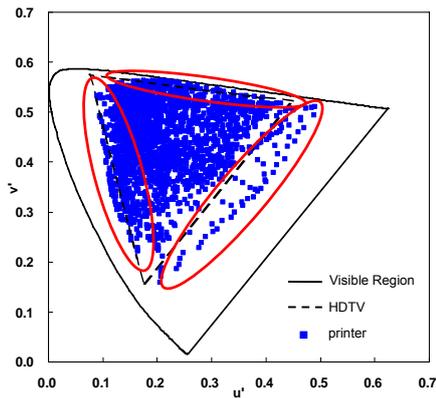
これまでの成果と取組：

- * 視覚色域の色取得可能な動画および静止画カメラの試作(済み)
- * 色管理について基本的な考え方の提案(済み)
- * 表示色域についての検討(本日)

背景: 撮像における課題・物体色

■既存の画像システムの課題

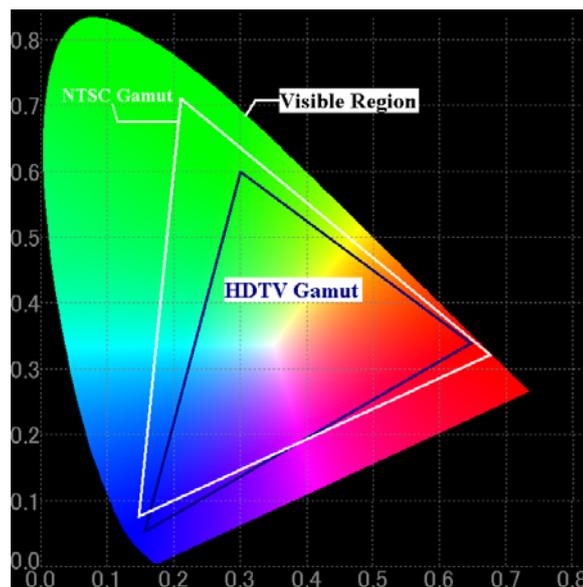
忠実色再現範囲(色域)が可視領域や物体色の範囲より狭く高彩度な色を正確に撮影することが困難



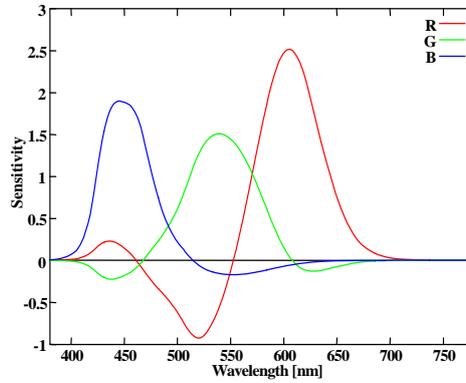
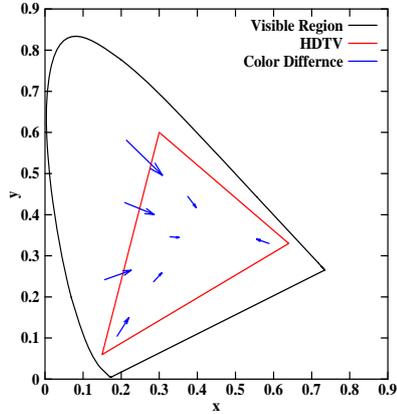
忠実に再現される
色域拡大の要請

※SOCSデータベースより(例)
実物でもHDTV色域を超える
もの多数有り

Chromaticity Chart



現在の画像システムの色特性



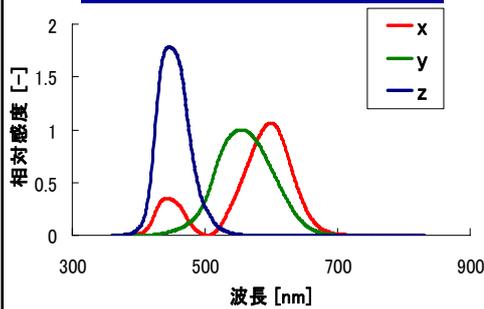
HDTVに対応する分光感度

HDTVのシステムにおいて、対策がないと自然物の全ての色は矢印のように色が変わって撮影される

(現実のカメラでは負部分の影響を目立たなくする対策がとられる。カメラ機器製造各社で色の異なる原因の一つ)

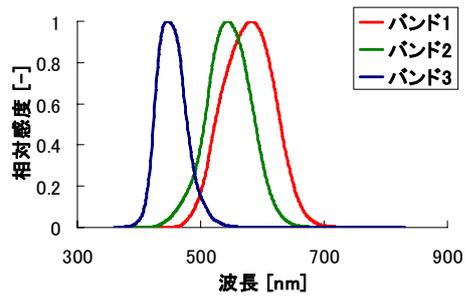
測色的色再現の実現

XYZ三刺激値等色関数



視覚の等色実験により求められたRGB等色関数を座標変換して得られたもの

実装した分光感度



XYZ等色関数をもとに線形変換により得る

フィルタに対応した出力をデジタル化したときに色差が小さくなるようフィルタ特性を決定

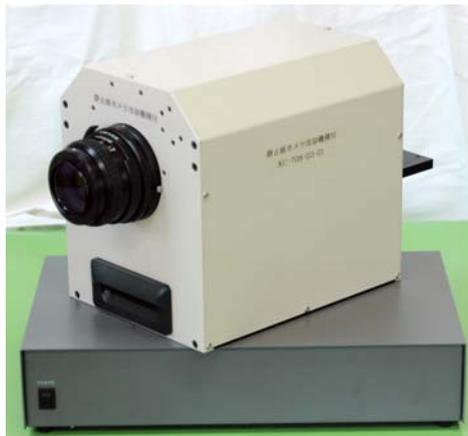
色を忠実に取得する動画カメラ



小型軽量化 の実現

● 撮像素子	2/3型インターラインCCD × 3	● 電子シャッター	1/25、1/50、1/100、 1/120、1/200、1/300 1/400、1/600、1/800 1/1200、1/1600
● 有効画素数	水平1280 × 垂直1024	● ゲイン調整	+6、+9、+12、+15、 +18dB
● レンズマウント	バヨネット方式	● 出力信号	デジタル Camera Link
● 走査方式	順次走査		
● 感度	F5.6 / 2000lx		
● S/N	54dB		

Shizuoka Univ.



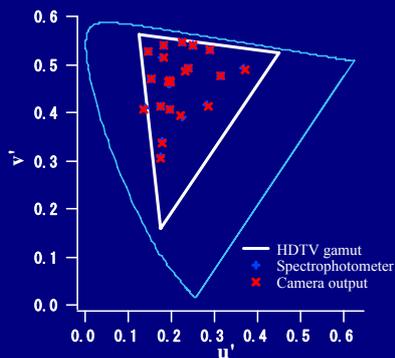
開発中の静止画カメラ

- * 色差1以下
- * ダイナミックレンジの拡大
- * 画素ずらしに基づく高解像度
(使用CCD:4008x2672 画素)

XYZ still camera

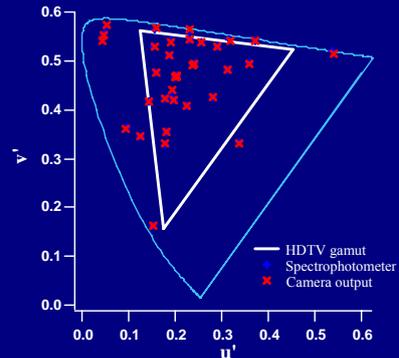
Evaluation results

Color checker
Machbeth ColorChecker™



$$\Delta E_{ave} = 0.92$$

Color checker
LED color generator



$$\Delta E_{ave} = 0.74$$

背景：表示における課題・色域

■ディスプレイの色域拡大に関する研究

デバイスの発光特性や物体色のカバー率による色域の評価



人間の視覚特性に基づいた色域拡大

■色域拡大による問題

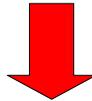
輝度の低下
消費電力の増加など
(高彩度、低発光効率)



効率的な色域の拡大

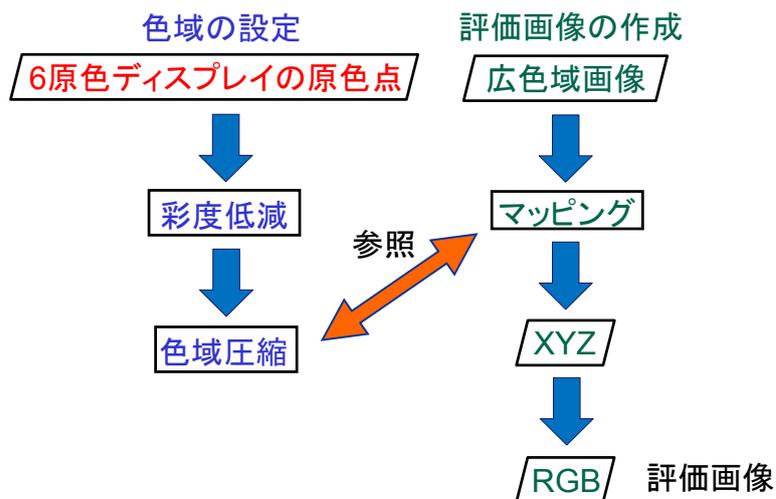
目的

単純に色域の拡大を目指すのではなく
主観的に満足できる色域を求め、表示デバイ
スの効率との調和を図る

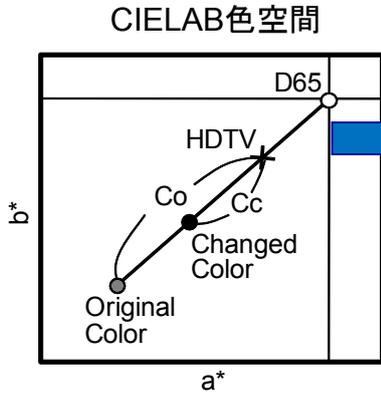


視覚色域の画像と比較して許容される画質の得ら
れる画像の色域を求める

評価画像作成の流れ



彩度低減



$$S(\%) = \frac{C_o - C_c}{C_o} \times 100$$

S: 彩度低減率

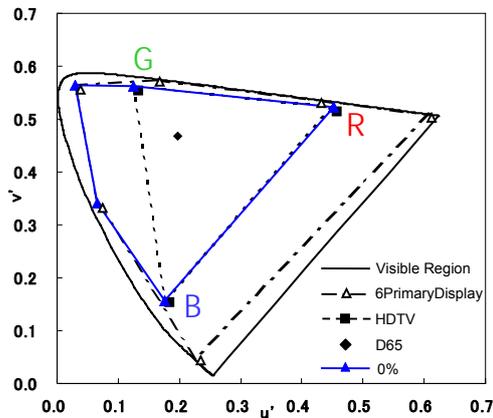
Original Color: 彩度低減前

Changed Color: 彩度低減後

ディスプレイの原色の彩度を無彩色軸 (D65) に向かって低下させる。

色域の圧縮 (Cyan方向)

評価画像の色度分布に応じて、HDTVの色域の1辺を変化させ他の2辺はHDTVの色域に等しくした

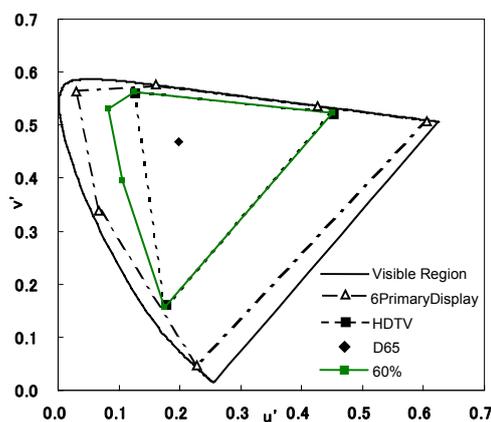


C方向の変化

彩度低減率0%場合

色域の圧縮(Cyan方向)

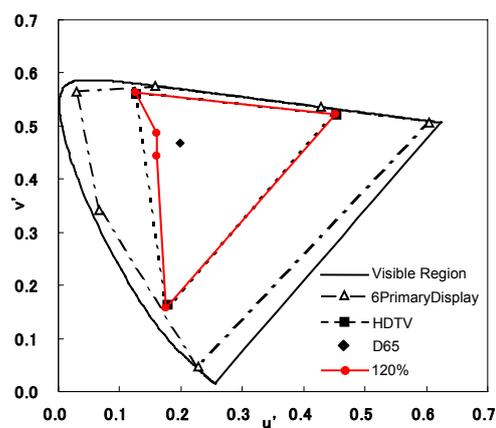
最大(0%)からHDTV(100%)までを20%ごとに変化させ
HDTV付近では10%ごとに変化



彩度低減率60%場合

色域の圧縮(Cyan方向)

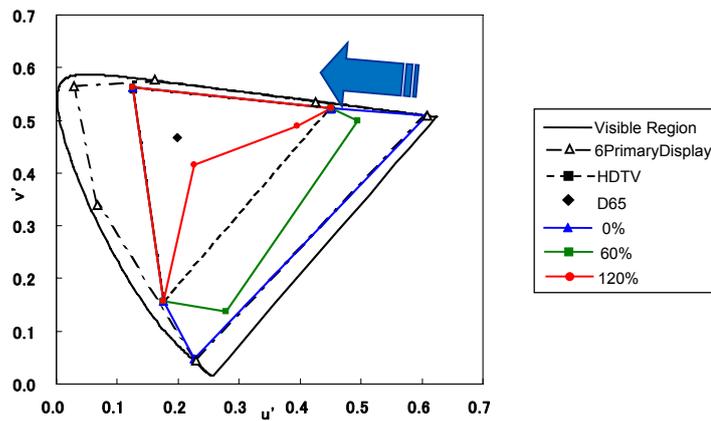
HDTVの内側へも変化



彩度低減率120%
(最小)

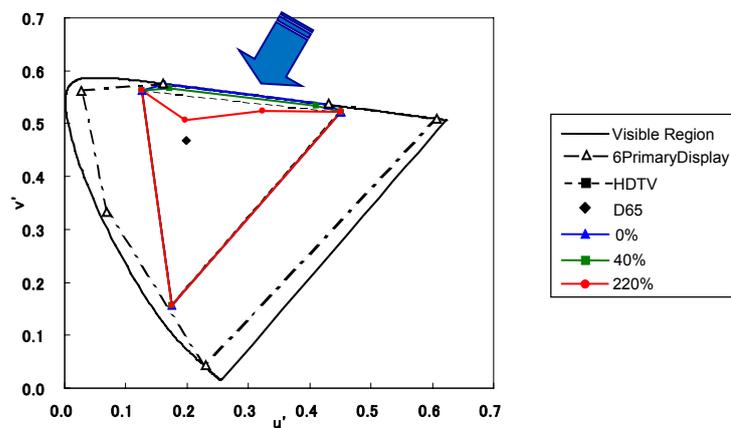
色域の圧縮（Magenta方向）

最大(0%)からHDTV(100%)までを20%ごとに変化させ
HDTV付近では10%ごとに変化



色域の圧縮（Yellow方向）

最大(0%)からHDTV(100%)までを40%ごとに変化させ
HDTV付近では20%ごとに変化



広色域画像

(広色域画像を3原色疑似カラー表示した画像)



Cloth



Wine



Food_Chart



Man_Flower



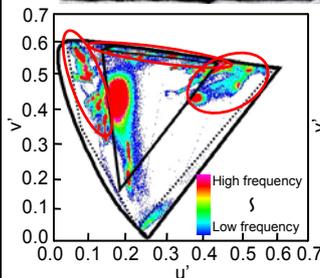
Xmas_Box



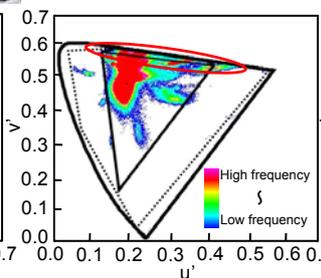
Lagoon

Lagoon提供：インフォーツ(株)笠井亨氏

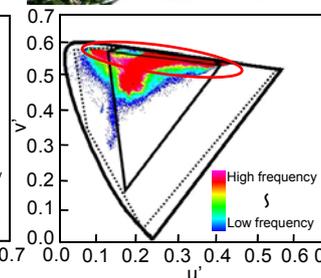
HDTV色域外表示



Cloth



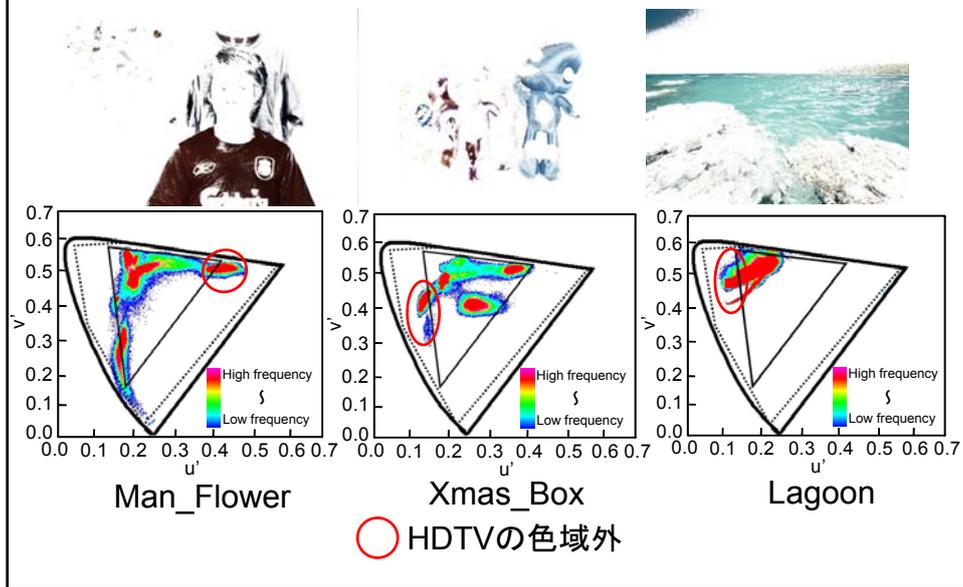
Wine



Food_Chart

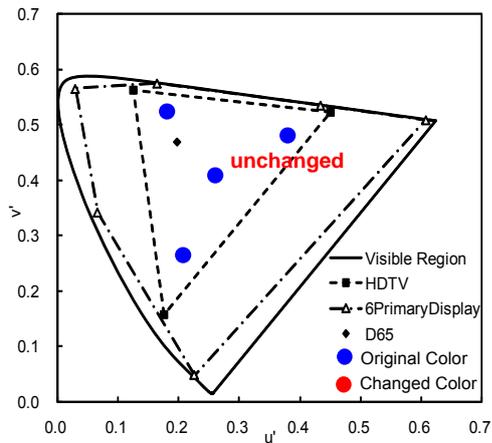
○ HDTVの色域外

HDTV色域外表示



マッピング

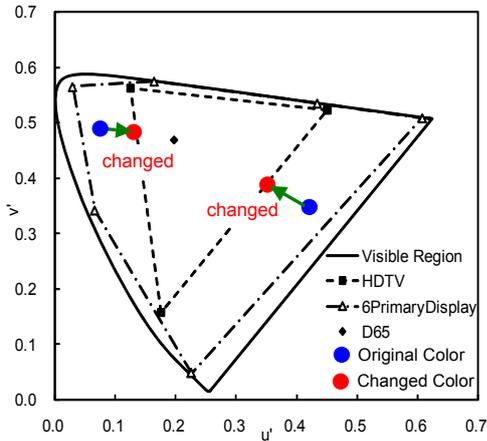
HDTVの色域を基準とした場合



色域内の色に対しては
測色的に忠実な色再現

マッピング

HDTVの色域を基準とした場合(任意の色域に容易に対応可)

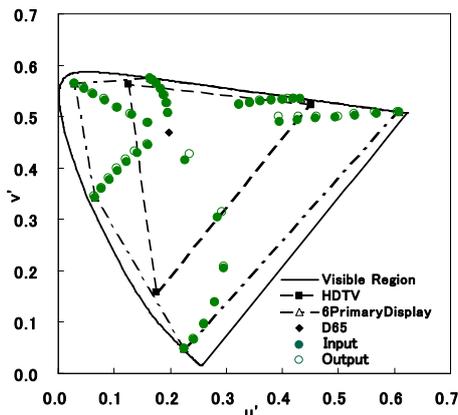


色域外に対しては
色域境界へ圧縮

変換の前後で輝度が
変化していないことを確認

色再現精度確認

入力値(理論値)と出力値(実測値)の関係



XYZ三刺激値 v.s. 6原色色変換 ※

色域内における任意の30色の
色再現精度

$\Delta E_{2000} = 0.57$

色域内の色を測色的に
忠実に再現可能

※Masanori Takaya, Ken ITO, Gosuke OHASHI, Yoshifumi SHIMODAIRA,
"Color Conversion Method for a Multi-Primary Display to Reduce Power Consumption
and Conversion Time", The Journal of the SID, Vol.13, Iss.8, pp.685-690, (2005).

画像の提示方法・評価語

二重刺激妨害尺度法(DSIS法)

- 画像の提示はランダム
- 同じ画像の連続提示無し

本実験に適するよう5段階妨害尺度の一部を変更

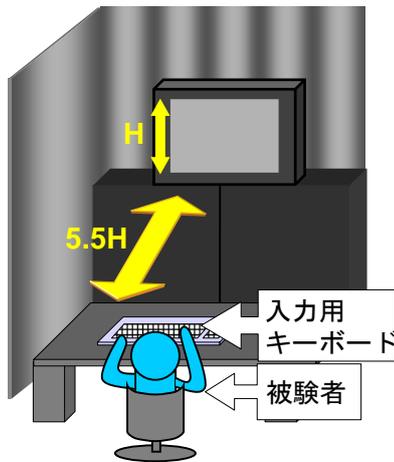
変更前

変更後

評点	評価語	評点	評価語
5	わからない	5	わからない
4	わかるが気にならない	4	わかるが気にならない
3	気になるが邪魔にならない	3	気になるが目立たない
2	邪魔になる	2	目立つ
1	非常に邪魔になる	1	非常に目立つ

実験環境

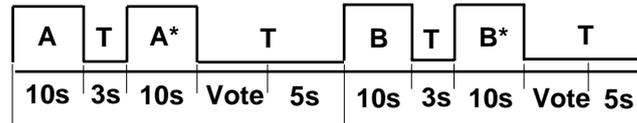
ITU-R勧告に準拠した環境



ディスプレイ	6原色リア投射型
画面解像度	SXGA(1280×1024)
画面最高輝度	25.3[cd/m ²]
画面最低輝度	0.16[cd/m ²]
コントラスト比	159:1
白色	D65
画面照度	0.01[lx]
視距離	5.5H(H:画面の高さ)
被験者	20代の男性14名 矯正視力を含む正常視

画像の提示方法

二重刺激妨害尺度法(DSIS法)



A, B : 基準画像(広色域画像)

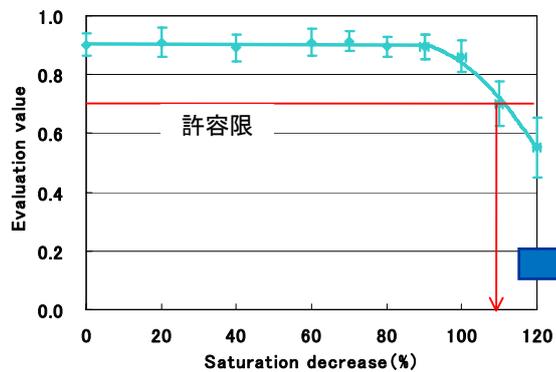
A*, B* : 評価画像 T: 灰色

Vote: 評価(被験者が入力するまで待機状態)

- 画像の提示はランダム
- 同じ画像の連続提示無し

実験結果(C方向)

C方向へ色域を圧縮した画像の平均結果 (Cloth_C, Xmas_Box, Lagoon)



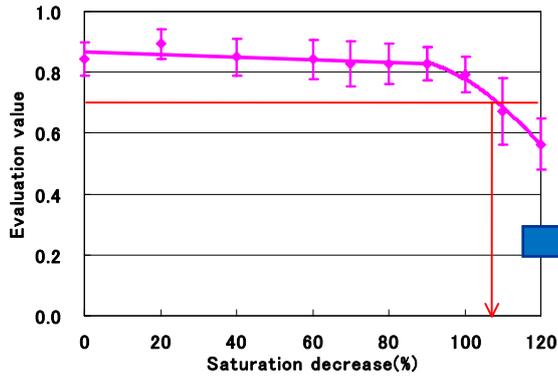
許容限界となる
彩度低減率

C方向110%

横軸: 彩度低減率, 縦軸: 正規化した評点

実験結果(M方向)

M方向へ色域を圧縮した画像の平均結果
(Cloth_M, Man_Flower)



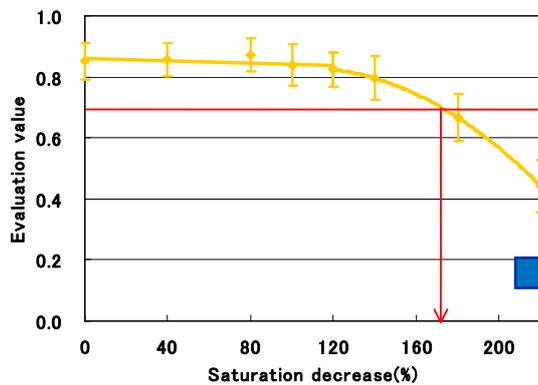
許容限界となる
彩度低減率

M方向105%

横軸: 彩度低減率, 縦軸: 正規化した評点

実験結果(Y方向)

Y方向へ色域を圧縮した画像の平均結果
(Cloth_Y, Wine, Food_Chart)



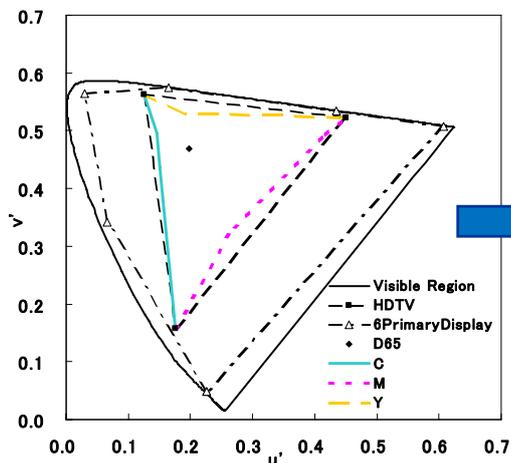
許容限界となる
彩度低減率

Y方向170%

横軸: 彩度低減率, 縦軸: 正規化した評点

実験結果(u'v'色度)

各方向における許容限界をu'v'色度図に写像



許容限界はHDTVの色域より僅か内側となる

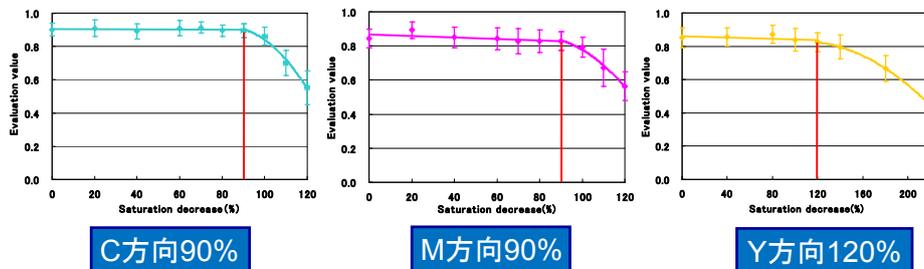
考察

実験結果から得られたHDTVと同等な色域(許容限界)について

- 物体色の範囲をカバーしていない: 物体色について測色的色再現が出来ない
- 得られた結果は許容限界であるため、画質の低下は認識される

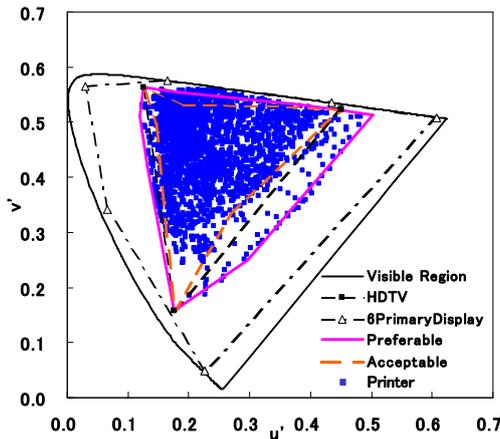
好ましい色域としては狭すぎる

評点に変化し始める彩度低減率に着目



物体色を考慮した色域の提案

物体色の範囲（SOCS）を考慮した色域



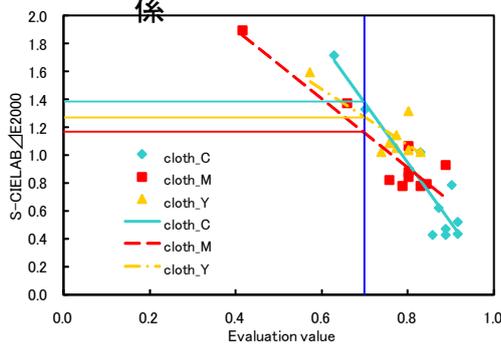
C方向 90%の色域

M方向 物体色の範囲を考慮して90%の色域に対してR方向を拡大

Y方向 実験条件と物体色の範囲を考慮

主観評価値と客観評価値の関係

Clothにおける主観評価値と客観評価値の関係



許容限界値と許容色差の分類との関係



3級色差 (1.2~2.5)

同じ色差ならY方向の変化が認識されやすい

横軸: 正規化した実験結果(主観評価値)

縦軸: 原画像と評価画像における全画素の色差の平均(客観評価値)

まとめ

- 広色域画像の色度分布に応じてHDTVの1辺をC, M, Y方向へ変化させた評価画像の画質の差の許容範囲を主観評価実験より求めた
- HDTVの色域とほぼ同等な色域で画質の差が許容限界に達する
- 主観評価実験結果から物体色の範囲を考慮した好ましい色域について提案した



一般の人がテレビなどを観賞する場合にはHDTVの色域でも良いが、厳しい色管理が必要とされる場合などにおいては、物体色を考慮した色域が必要とされると思われる。(任意の色域の表示装置に対応出来るマッピング方式がよい。)