

平成 19 年度  
高質感映像に関する調査研究  
報告書

平成 20 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会  
財団法人 デジタルコンテンツ協会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。  
<http://ringring-keirin.jp/>









## 序

我が国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術・製品開発へと進化し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

しかしながら世界的なメガコンペティションの進展に伴い、中国を始めとするアジア近隣諸国の工業化の進展と技術レベルの向上、さらにはロシア、インドなどBRICs諸国の追い上げがめざましい中で、我が国機械工業は生産拠点の海外移転による空洞化問題が進み、技術・ものづくり立国を標榜する我が国の産業技術力の弱体化など将来に対する懸念が台頭してきております。

これらの国内外の動向に起因する諸課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題も山積しており、この課題の解決に向けて、従来にも増してますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界をあげて取り組む必要に迫られております。

これからのグローバルな技術開発競争の中で、我が国が勝ち残ってゆくためにはこの力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレークスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要があります。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかげりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向調査等の補助事業のテーマの一つとして財団法人 デジタルコンテンツ協会に「高質感映像に関する調査研究」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成20年3月

社団法人 日本機械工業連合会  
会 長 金 井 務



## 序

近年、国からは、経済成長戦略大綱で“10年間でコンテンツ市場を5兆円拡大”するとの方針をはじめ、コンテンツに関する政策が矢継ぎ早に打ち出されています。また、経済産業省においては“Japan 国際コンテンツフェスティバル”と銘打った大きな事業を推進しております。

他方、IT活用によりコンテンツを利用することのできる年代層の拡大、コンテンツを送受信することのできるブロードバンド環境の整備、デジタル機器の進歩による何時でも・何処でもコンテンツを利活用できる環境の整備などが進み、コンテンツの利用が拡大するものと思われます。

当協会は、これらの国の重点政策、コンテンツの利用環境の拡大動向等を踏まえ、市場に受け入れられる魅力的で良質なコンテンツの制作、流通、利活用に関係する諸課題に取り組んでおります。

更には、デジタル機器の高機能化、高性能化、高密度化等の進歩に支えられてコンテンツ利用の多様化が進んでおります。種々の利用場面に相応しいコンテンツについてソフト及びハードと一体で考えることも必要になってきています。

コンテンツ関連産業の一層の拡大に向けて、戦略の立案に必要な内外の基礎情報の拡充・整備、総合的な産業振興プロジェクトの推進、海外市場展開に向けた環境整備など課題が山積しております。これらの課題に対処するための種々の活動の推進を通じて、産業全体の健全な発展、更なる市場規模の拡大に寄与することができると確信しております。

こうした背景に鑑み、当協会では 戦略の立案に必要な内外の基礎情報の拡充・整備の一環として社団法人 日本機械工業連合会より「高質感映像に関する調査研究」を調査受託いたしました。

本調査研究報告書の結果が、我が国の経済全体を牽引することにも貢献できるよう、皆様の一層のご支援とご協力をいただきますと共に、努力を重ね成果をあげて参りたいと思います。

本研究の実施にあたり、ご指導・ご支援をいただいた関係機関の各位に感謝の意を表します。

平成20年3月

財団法人デジタルコンテンツ協会  
会 長 高 島 章





## はじめに

近年、電子映像の利用分野がますます拡大するに伴い、ハイビジョンをベースにさらなる大画面化と解像度の向上を目指すスーパーハイビジョンを初め、立体画像による超臨場感コミュニケーションやデジタルシネマなどの新しい映像システム、色再現の向上を目指すナチュラルビジョン等の研究開発が進められており、改めて視覚的条件の検討が進められつつある。これらの新しい電子画像システムは、今後ますます発展し、高度な電子情報システムを構築するであろう。

最近、その様なシステムを、「質感」をキーワードにして、光沢や色再現、深み、奥行き感、艶、気候（温度、湿度）等が画面から感じられる高度な表現力、即ち画質、を持つ、「高質感映像」なる新しい概念のもとに統一したシステムが提案されている。高質感映像は、物理的な表現能力を向上させるだけでなく、制作者の意図をより忠実に視聴者に伝達する事が可能となる。また、絵画等の平面作品や立体造形作品等の美術・芸術作品を初め、文化財、歴史遺産等の映像アーカイブの手段として、さらには医療等の高度な画像表現力の必要な分野に於いても、極めて有効となるものと期待される。

高質感映像を実現するためには、

(1) 質感に関わる画質要因、

(2) 多原色、超高解像度方式等、CGを含む高質感映像関連技術、等の現状を調査し、

(3) 高質感映像実現のための技術的課題、

を明らかにする事が必要であるだけでなく、

(4) 高質感映像の期待される分野、ニーズ

を検討し、その意義を明らかにすることが必要となる。

本報告は、高質感映像の技術的課題検討のために行った上記の調査検討結果に関するもので、7章からなり、現状から将来展望を含め、記載されている。

「質感」なる言葉は、映像のみならず、これまで一般的に広く用いられており、改めて映像において意味するところを明らかにする必要がある。

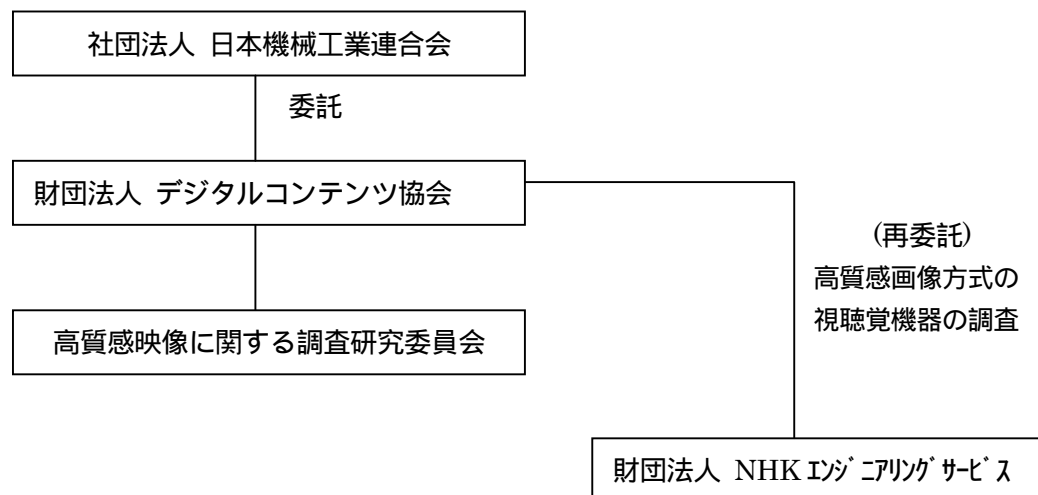
本報告では、技術的面のみならず、これらについても若干の検討を行っている。なお、そのニーズや社会的意味等については、別途さらに詳細な検討を必要とすることは言う迄もない。また、用語として、「映像」は「画像」の一種で「動く画像」(動画像)を意味するが(映像情報メディア学会編, 映像情報メディア用語辞典, コロナ社, 1999年) 本報告書では特に厳密な使い分けはしていない。

報告書の作成にあたってご教示、ご協力頂いた多くの方々に深く感謝するものである。



# 1 実施体制

## 1.1 高質感映像に関する調査研究委員会の推進体制



## 1.2 高質感映像に関する調査研究委員会 委員構成

### 【委員役職】【氏名】 【所属先】

委員長	三橋 哲雄	尚美学園大学
委員	小黒 久史	凸版印刷株式会社
委員	金澤 勝	NHK放送技術研究所
委員	河合 輝男	(財)NHKエンジニアリングサービス
委員	長谷川 敬	聖心女子大学
委員	山口 雅浩	東京工業大学
オブザーバ	大島 義一	デジタルコンテンツ協会
オブザーバ	山本 純	デジタルコンテンツ協会
事務局	田中 誠一	デジタルコンテンツ協会
事務局	大橋 淑郎	デジタルコンテンツ協会
事務局	千葉 祐二	デジタルコンテンツ協会
事務局	土屋 光久	デジタルコンテンツ協会
事務局	須藤 智明	デジタルコンテンツ協会

### 【所属部署名・役職名】

芸術情報学部	教授
総合研究所	情報技術研究所 主席研究員
人間・情報	研究主幹
先端応用開発部	エグゼクティブ・エンジニア
	名誉教授
像情報工学研究施設	准教授
専務理事付	研究主幹
企画調査部	部長代理
常務理事 (兼)事業開発本部長	
事業開発本部先導の事業推進部	部長
事業開発本部先導の事業推進部	研究主幹
事業開発本部先導の事業推進部	研究主幹
事業開発本部	主任

## 2 事業概要

### 2.1 事業の目的

高質感画像のニーズが高まる中、従来のRGB3原色では表現しきれない色空間について、更に1から3の色度ポイントを加えた画像機器の開発が求められている。各メーカーは高質感画像方式の開発に向けた研究を進めているが、更に実用化のためのコストを抑える技術や4から6原色とする際の合理的な色度ポイント等における課題がある。本事業は、高質感画像機器の開発を進めるに当たり、一定の技術的要求の課題解決に向けた方向性を求めることを目的とする。

### 2.2 事業の内容

(財)デジタルコンテンツ協会の中に、学識経験者、協会会員会社等による「高質感映像に関する調査研究委員会」を設置し、以下の項目について調査研究事業を実施した。

#### 現状調査

高質感画像方式、特に多原色方式の視聴機器に関する研究開発の現状動向調査として、多原色方式の視聴機器の研究動向、開発現状を調査し、従来の3原色視聴機器と比較し質感向上の観点から考察を行う。多元色方式の視聴覚機器を開発している現場を訪問し、商品化されている視聴機器の色空間に関する現状動向調査として、質感向上のための色空間に関する意見交換及び考察を行う。また、高質感視聴機器の利用状況および将来の利用ニーズを把握するため、現在の利用状況を調査し、遠隔医療、美術品のアーカイブなど応用分野に合わせた、機能仕様の調査を実施し将来のニーズを検討する。

#### 調査結果分析

質感向上の要素を整理し、実用化を阻害する要因を分析することにより、高質感画像方式の実用化に向けた問題点、課題を抽出する。また、課題解決にむけた検討を行う。

### 2.3 平成19年度の活動状況

本年度は、合計5回の委員会を開催した。本事業と密接に関連する、高質感画像方式、特に多原色方式の視聴機器に関する研究開発の現状動向調査として、多原色方式の視聴機器の研究動向、開発現状を調査予定であったが、調査先都合で変更し、伝統工芸品のデジタルアーカイブなどの側面から光沢の表現などの質感再現の研究及びアーカイブするための装置、視聴覚機器の調査及び質感向上のための色空間に関する意見交換を実施した。

以下に、本事業委員会の活動状況について述べる。

#### 2.3.1 平成19年度 委員会活動

##### (1) 第1回 高質感映像に関する調査研究委員会

日時：平成19年9月26日(水) 15:30~19:00

場所：食糧会館 会議室

議事内容：

委員長選任及び委員自己紹介

事業計画説明(事務局)

今年度事業内容審議

再委託先の承認

(2) 第2回 高質感映像に関する調査研究委員会

日時：平成19年10月17日(水) 13:00～15:00

場所：デジタルコンテンツ協会 会議室

議事内容：

事業内容審議

現地調査先に関する意見交換

新任委員の紹介及び幹事の決定

(3) 第3回 高質感映像に関する調査研究委員会

日時：平成19年11月14日(水) 15:00～20:00

場所：デジタルコンテンツ協会 会議室

議事内容：

報告書に関する審議

検討の進め方に関する意見交換

(4) 第4回 高質感映像に関する調査研究委員会

日時：平成19年12月12日(水) 14:30～16:30

場所：日本電信電話(株)NTT コミュニケーション研究所 会議室

議事内容：

「質感」の解釈に関する意見交換

報告書執筆内容審議

(5) 第1回 現地調査

日時：平成20年2月27日(水)

場所：立命館大学情報理工学部

調査内容：

「高質感映像に関する調査研究」に関する研究の一環とし、立命館大学田中弘美教授(画像理解と認識・復元、バーチャルリアリティコンピュータビジョンとコンピュータグラフィックスの統合法の研究・触覚情報解析の研究者)、その他2名(武田祐樹、Xin YIN)の研究者と面談し、意見交換を行った。

(6) 第5回 高質感映像に関する調査研究委員会

日時：平成20年3月11日(火) 14:00～20:00

場所：食糧会館

議事内容：

報告書に関する審議



# 目次

序.....	i
序.....	iii
はじめに.....	v
1 実施体制.....	vii
1.1 高質感映像に関する調査研究委員会の推進体制.....	vii
1.2 高質感映像に関する調査研究委員会 委員構成.....	vii
2 事業概要.....	viii
2.1 事業の目的.....	viii
2.2 事業の内容.....	viii
2.3 平成19年度の活動状況.....	viii
目次.....	
第1章 はじめに ～今、何故質感か～.....	1
1.1 映像と画質の歴史.....	1
1.2 画質の要因と視覚特性.....	3
1.2.1 画質の要因.....	3
1.2.2 視覚特性と画質.....	5
1.2.3 視覚特性とテレビ方式.....	6
1.2.4 画質の測定法[15].....	8
1.2.4.1 主観評価と客観評価.....	8
1.2.4.2 主観評価法.....	9
1.2.4.3 SD法[15][25].....	12
1.3 質感と画質.....	15
1.3.1 画像における質感～用語としての質感の意味とその用法～.....	15
1.3.1.1 写真、ハードコピーと質感.....	15
1.3.1.2 CGと質感[31]～[34].....	16
1.3.2 テレビ画質の要因分析.....	16
1.3.3 「質感」の意味と性質.....	24
1.3.3.1 「質感」の用語的意味.....	24
1.3.3.2 専門家へのインタビュー.....	24
1.3.4 「艶(ツヤ)」、「光沢」、「肌理(キメ)」.....	27
1.3.5 階調と観視条件.....	28
参考文献.....	30
第2章 現在の映像システムの問題点.....	33
2.1 色域・色再現性.....	33
2.1.1 色域・色再現性の課題.....	33
2.1.2 映像信号の規格.....	38

2.1.2.1	放送関係の規格 .....	38
2.1.2.2	通信関係の規格 .....	38
2.1.2.3	デジタルシネマの規格 .....	39
2.1.2.4	上記以外の規格 .....	39
2.2	ダイナミックレンジの課題 .....	40
	参考文献 .....	42
第3章	高質感映像の構築 .....	44
3.1	広色域表示の方式 .....	44
3.1.1	高彩度3原色による実現 .....	44
	参考文献 .....	46
3.1.2	多原色による実現 .....	47
	参考文献 .....	58
3.2	広ダイナミックレンジの方式 .....	61
3.2.1	広ダイナミックレンジの表示 .....	61
3.2.2	広ダイナミックレンジの撮像 .....	64
3.2.3	広ダイナミックレンジにおける課題 .....	65
	参考文献 .....	65
第4章	ナチュラルビジョンによる広色域・広忠実色再現の研究動向 .....	67
4.1	ナチュラルビジョンの目的 .....	67
4.2	ナチュラルビジョンの現在までの研究成果 .....	67
4.2.1	スペクトルに基づく色再現の考え方[2][3] .....	67
4.2.2	マルチスペクトル画像入力 .....	69
4.2.3	多原色表示技術 .....	72
4.2.4	マルチスペクトル映像システム .....	73
4.2.5	多原色システムと映像のリアリティー .....	75
4.2.6	ナチュラルビジョンにおける応用実験 [1][2][7] .....	76
4.2.7	ナチュラルビジョン・データフォーマット規格[13] .....	81
4.3	今後の動向 .....	83
	参考文献 .....	84
第5章	CGにおける質感再現 .....	86
5.1	はじめに .....	86
5.2	基礎的なCG表現手法 .....	86
5.2.1	形状モデルの作成 .....	86
5.2.2	レンダリング .....	86
5.2.3	単純化されたな照明モデル .....	87
5.2.3.1	拡散反射光 .....	87
5.2.3.2	鏡面反射光 .....	88
5.2.4	シェーディング .....	89
5.2.4.1	フラットシェーディング .....	89
5.2.4.2	グーローシェーディング .....	89
5.2.5	テクスチャマッピング .....	90



5.3	質感表現の改善	91
5.3.1	反射・屈折の再現	91
5.3.2	バンプマッピング	91
5.3.3	BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function)	92
5.3.4	大域照明モデル Global Illumination Model	94
5.3.5	環境マップ	94
5.3.6	HDR 環境マップを用いた大域照明	95
5.3.7	サブサーフェーススキャタリング (Subsurface scattering)	95
5.4	まとめ	96
	参考文献	96
第6章	高質感映像の実施例と期待される分野	97
6.1	立命館大の研究例 (田中弘美研究室)	97
6.1.1	はじめに	97
6.1.2	能装束の質感表現	97
6.1.3	能装束布の可視化手法	97
6.1.4	まとめ	97
6.2	奈良女子大の研究例	98
6.2.1	はじめに	98
6.2.2	布の質感シミュレータの開発	98
6.2.3	布の三次元構造要素と質感の関係分析	98
6.2.4	質感シミュレータとその活用	98
6.2.5	VRによる布の触覚再現	99
6.3	NTTの研究例	99
6.3.1	はじめに	99
6.3.2	光沢・明度の知覚	99
6.3.3	複雑な質感の属性	100
6.3.4	まとめ	100
	参考文献	100
6.4	広色域・高色再現映像が期待される分野	101
6.4.1	医療分野	101
6.4.2	印刷応用	103
6.4.3	電子商取引	104
6.4.4	デジタルアーカイブ	104
6.4.5	映像制作	104
	参考文献	105
6.5	広ダイナミックレンジ映像が期待される分野	107
第7章	あとがき ー今後の課題ー	108
	参考文献	108



## 第1章 はじめに ～今、何故質感か～

19世紀に発明された写真に端を発した「画像」技術は、テレビを代表とする画像技術、電子映像技術、を生み出し、現在では、コンピュータと結びついたデジタル映像技術として、最も重要な情報伝達技術の一つとなっている。それに伴い、映像表現能力も著しく向上し、コンテンツの多様化、高品質化が可能となったが、さらに一層の高度化を目指す「高質感映像」の必要性が提起されている[1]。本章では、コンテンツ表現の基盤となるテレビ画質と質感の関係を検討すると共に、今後のコンテンツ表現における質感の重要性に関して述べる。

### 1.1 映像と画質の歴史

表 1.1-1 にテレビジョンの開発年表を示す。

20世紀前半、世界各国で次々と全電子式テレビジョン放送が開始され始めたが、何れも白

表 1.1-1 テレビジョン開発年表[2][3]

年	事項
1895	エジソン（米）キネトスコープ開発
1897	リュミエール兄弟シネマトグラフ開発 ブラウン（独）ブラウン管発明
1925	ベアード（英）世界初のテレビ実験（機械式）
1926	高柳健次郎（日）「イ」の字の送受信
1937	英標準方式（405本）TV実験放送開始 仏，独実験放送（455本）開始 米，NBC実験放送開始（441本）
1939	日，実験局開設
1941	米，本放送開始（525本）
1951	米カラーテレビ放送開始（CBS方式）
1952	ワイド映画始まる，シネラマ(52)，シネマスコープ(53)，ビスタビジョン(54) 日，テレビ放送開始（525本）
1954	米カラーテレビ方式NTSCに変更，放送開始
1960	日，NTSC方式カラーテレビ放送開始
1964	NHKハイビジョン研究開発開始
1967	英，独PAL方式カラーテレビ放送開始 仏，露SECAM方式カラーテレビ
1985	デジタルシネマ(スターウォーズ・エピソード2)上映
1989	ハイビジョン試験放送開始（日，MUSE方式）
1990	放送開始ハイビジョン国際スタジオ規格成立（ITU）
1998	ハイビジョンデジタル放送規格成立
2000	ハイビジョンデジタル衛星放送開始
2003	地上デジタルハイビジョン放送開始

黒テレビで、走査線数は 100～200 本程度、毎秒像数は 25 枚程度であった。従って、その映像品質（以下画質と呼ぶ）は、当時既に広く実用化されていた映画に比べ不十分であり、ほぼ十分な画質と判断された走査線数 400～600 本による本放送が開始されたのは、第 2 次大戦終了後の 1945 年から 1946 年にかけてであった。その後、若干の修正を経て白黒テレビ放送が確立し、1950～60 年代にはさらなる高画質化としてカラー化が進められた。

このように、テレビの開発はその画質の向上が原動力となって来たが、コンピュータの普及を契機とする電子画像の使用領域の拡大は、さらなる高画質化を要求するようになり、ハイビジョンの開発を導く事となった[4][5]。

ハイビジョンは大画面・高精細度を特長とし、放送のみならず、映画や CG 等、各種映像を統一的に取り扱う事の出来るテレビシステムである。従って、その規格は、映像化社会の中心的メディアに相応しい高度な表現能力を有すると共に、最終的受容者である視聴者の感性も含めた視覚特性に適合していること、が基本となる。ハイビジョンは、大画面に高精細度映像を表示する事により、臨場感で代表される映像の心理効果を高めると共に、テレビジョン放送のみならず映画や印刷を初めとする種々の映像関連産業分野の共通ベースとなる映像システムを目指して開発されたものである。イメージを図 1.1-1 に示す[6]。

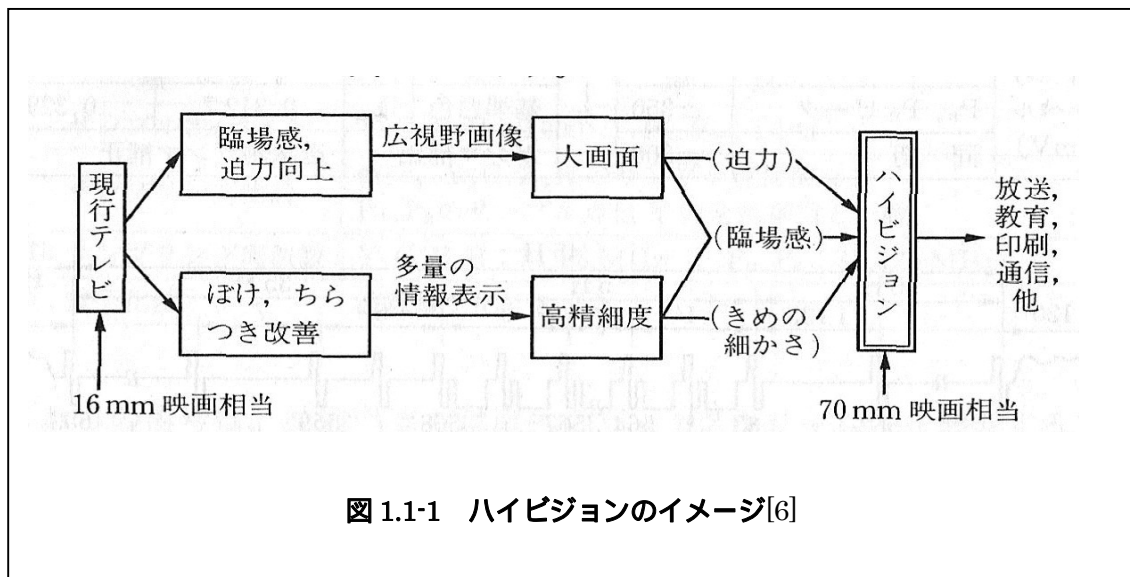


図 1.1-1 ハイビジョンのイメージ[6]

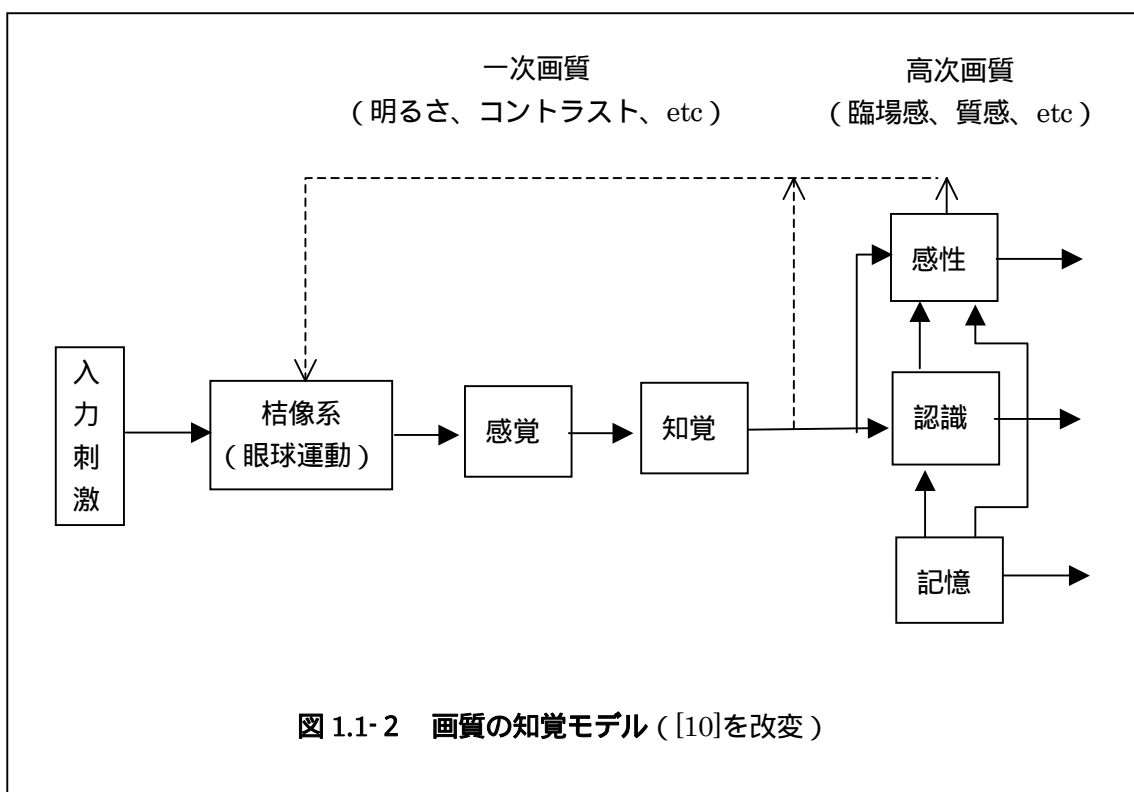
開発にあたっては、画像に対する視覚特性とそれに基づく視覚的要求、即ち画質に対する要求、を視聴者の評価、主観評価、によって求め、合わせて関連産業分野の諸条件を考慮して進められた。

視覚的欲求には、視力や色等の視覚系の直接的な特性、以下「視覚特性」と呼ぶ、から由来するものと、美しさや臨場感等のような、より高度な感性と呼ばれる特性からの由来するものがある。図 1.1-2 は、画質とこれらの視覚的要求との対応を示すモデルである。図に示すように、両者は必ずしも対立するものではなく、前者は後者の前提と考えられる。高画質化、高品質化はこれらの視覚特性や感性に応えることである。以下、感性まで含めて一括して視覚特性と呼ぶ。

近年、電子映像の利用分野がますます拡大するに伴い、ハイビジョンをベースに更なる高画

質化、ハイビジョンファミリーの検討が行われるようになり、改めて視覚的要求の検討が進められつつあり、大画面化と解像度の向上を目指すスーパーハイビジョン[7]を初め、立体画像による超臨場感コミュニケーション[8]、色再現の向上を目指すナチュラルビジョン[9]、等の研究開発が進められている。これらの新しい電子画像システム（あえてテレビジョンという言葉避けて）は、今後ますます発展し、高度な電子情報システムを構築するであろう。

最近、その様なシステムを、「質感」をキーワードにして、光沢や色再現、深み、奥行き感、艶、気候（温度、湿度）等が画面から感じられる高度な表現力、即ち画質、を持つ、「高質感映像」なる新しい概念のもとに統一したシステムが提案されている[1]。



新しいテレビジョン、電子画像システムの開発に際しては、ハイビジョンの例にみられるように、「画質」オリエンテッドなシステムの検討が先ず必要であり、「高質感映像」の実現にあたっては、「質感」に関する視覚心理的な知見が不可欠となる。そして、その知見に基づく視覚心理効果を実現するために必要な視覚特性の検討が、所要の技術的側面と合わせ必要となる。その検討に際しては、「感性」一般に対する配慮も、当然必要となろう。以下、これらについて述べる。

## 1.2 画質の要因と視覚特性

### 1.2.1 画質の要因

画質の要因は、物理要因、心理要因および心理物理要因の3種に分類できる。これを表 1.2-1 に示す。ここで、心理要因は心理反応でしかその効果が計れない要因で、測定は、後述する

心理学的測定法による。物理要因は物理的ディメンションをもち、その効果が物理量で測定可能な要因である。心理物理要因は物理要因との関係が明らかで、その反応の強さが物理量で測定可能な心理要因で、物理量との対応が明らかになった心理要因と考えられる。これらの要因は図 1.2-1 に示す階層構造となって、画質を構成していると考えられる。

表 1.2-1 テレビ画像の画質要因

要因	単位	測定手段	
心理要因	なし	心理学的測定法	立体感, 厚み, 迫力, 質感, 生々しさ, 肌理, 美しさ, 安定感, 臨場感, 違和感, 親近感
心理物理要因	物理量	物理的測定法	鮮鋭度, 最適視距離, 調子, 画面の明るさ, 周囲の効果, パースペクティブ, 艶, 記憶との対比, ボケ味, 動きの自然さ, 残像, 粒状性, チラツキ, 暗さ, 色調, 色歪, 画像の大きさ, スケール歪, 画枠
物理要因	物理量	物理的測定法	コントラスト, 輝度, 残像, スクリーンの質, ガンマ, SN比, 偽信号, 画面サイズ, 幾何学歪, ディスプレイの形, 縦横比, 画角, 視距離, 走査線数, 走査方式, 毎秒像数, インターレース, スペクトル, 三原色, 色再現, 規準白色, 周囲照明の色, カラー方式, シェーディング, 偏光, 画面安定度, 解像度, 焦点深度, ビーム形状, 画素形状

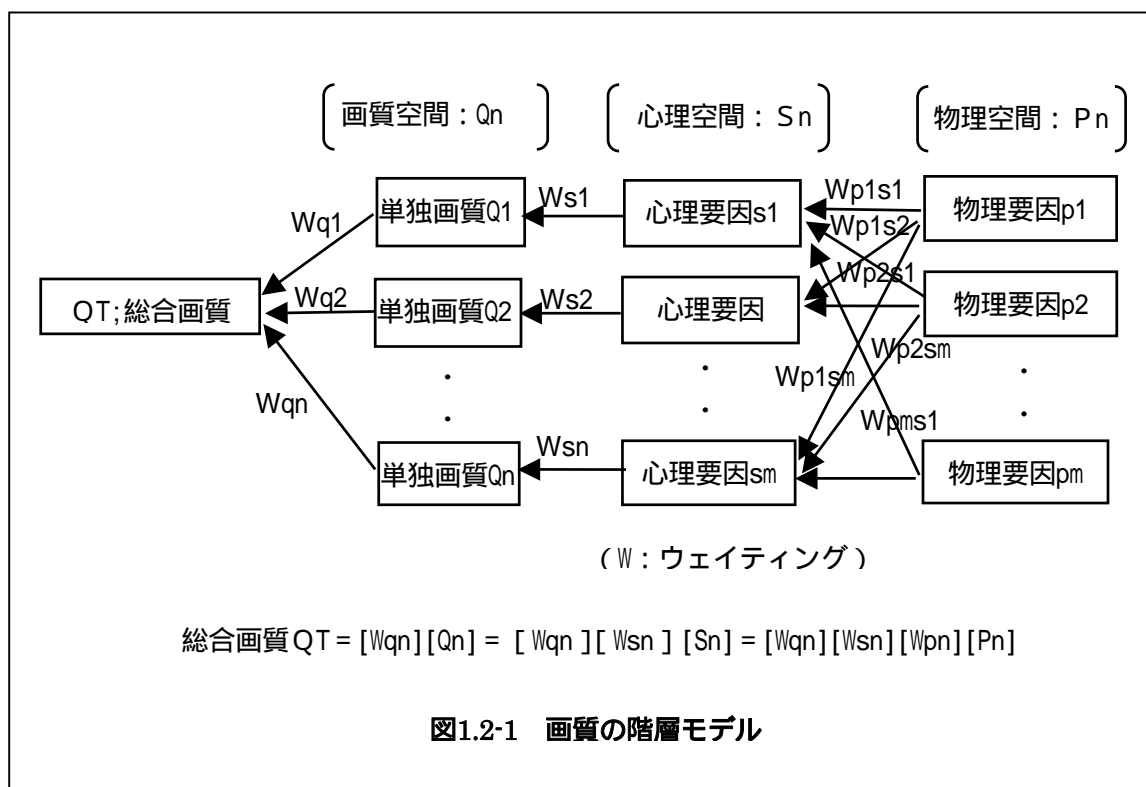


図1.2-1 画質の階層モデル

テレビには視覚特性が巧妙に取り入れられている。従って、その最終的な総合評価は主観評価によってなされる。視聴者の評価は、視聴者の個人的特性以外に、置かれている文化や社会の環境等の影響をも受けるのは当然であり、十分な注意が必要である。

視覚特性のうち、感性に関する検討が SD (Semantic Differential: 意味微分) 法により行われた。その結果、強さ、明るさ、リアリティー、柔らかさ、まとまり、動的、美しさ・質感、安定感、の 8 因子が抽出された。さらに、これらの因子は、テレビ画質に関わる画素数、明るさ、コントラスト等、種々の物理特性 (因子) とそれぞれが関わっており、感性表現力を高めるためにはこれらの物理因子の向上が重要である事が認められた。これらの結果から物理因子検討の重要性が示され、改めて物理因子に対する視覚特性との関連、即ち視覚的要求条件検討の必要性が示された[5]。詳細は後述する。

また、高品位画像システムの評価に用いるため、KJ 法により 34 個の画質評価語を選んだ例では、質感は素材感と組になった質感・素材感として、質感表現の手法、条件についての検討に用いられている[11]。

### 1.2.2 視覚特性と画質

本節では、これ迄述べて来た画質と視覚特性の関わりについて、具体例を挙げながら説明する。

視覚特性と画質の関係は、既に述べたように、テレビジョンの基本であるため、以前から多くの研究があり、最近では映像のデジタル化に伴い国内外で研究が進められている。基本的な視覚特性と画質の基本的な関係を表 1.2-2 に示す。詳細は文献[12]等を参照されたい。視覚心理特性とテレビ画質及びその画質に関わるテレビの方式パラメータとの詳細な関係は次項で述べる。

表 1.2-2 主な視知覚特性と画質要因

視覚特性	関連する画像品質 (画質) 要因		測定法, 手段	画像種類	
	心理要因	物理要因			
1. 視力	鮮明さ, 精細感	MTF*	解像度チャート** 目視, 微小域輝度計	静 止 画	動 画
2. 明暗知覚	調子, 階調	輝度	グレースケール 目視, 輝度計		
3. 色知覚	色再現	色度 (分光分布)	色紙** 色彩輝度計		
4. 動き知覚	動きの滑らかさ, めまぐるしさ	速度, 距離	目視		

\* : 振幅-空間周波数特性、\*\* : 標準画像、JIS 色表等

前述したように、ハイビジョンはこれら画像の表現力を高めることをその主要目的の一つとして開発された。そのためには、テレビ方式パラメータの設定にあたって、画像の心理要因を充分考慮する事が必要であり、多くの心理実験が行われた。これらについては、既に多くの文

献があるため、詳細はそれらを参照されたい[3]～[6]。例として、種々の走査線数のテレビ画像を見た時に、走査線が見える事によって生じる妨害、走査線妨害、を、主観評価試験によって求めた結果を図 1.2-2 に示す[13]。

走査線数が少ない場合は、それに応じて解像度が劣化し画像ボケを生じるが、さらに画面に荒い線構造が見えることにより、これが妨害となって画質を損なう走査線妨害を生じる。走査線妨害を避けるためには、ある程度以上画面から離れる必要があり、興味のある画像内容をもっと良く見ようとしてもある程度以上近づく事が出来なくなる。また、大画面効果を得ようとして画面に近づく事も出来なくなる。走査線の見え自体は、基本的には視力で決まると考えられるが、妨害の感じ方は主観的なものであるため、単に視力からだけでは決定できない。そこで、主観評価により、走査線数の妨害度を調べてみる必要が生じる。

図 1.2-2 の結果を見ると、カテゴリ 5 と 4 の中間である妨害の検知限は、走査線数が 1000 本程度になると画面高・H の 2～3 倍（2～3H）となる。この時画面を見込む角度は走査線数 525 本（現行地上テレビ方式）の約 6～7H に比べ、半分以下となり、相対的な画面サイズも 2～3 倍に広がり、大画面効果が得られる事が期待される。また、これ以上に近づかない理由を考察する事により、所要の解像度や、画像内容の考察等も可能となる。詳細については、文献[3]～[6]等を参照されたい。

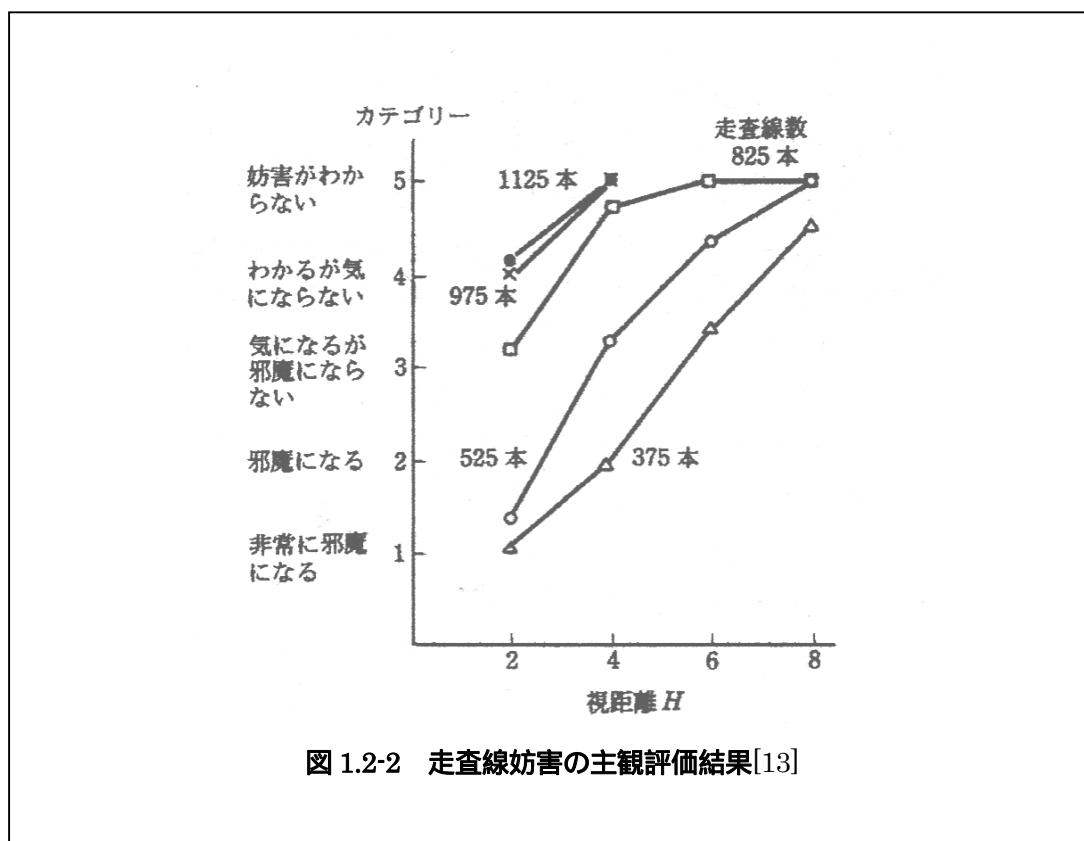


図 1.2-2 走査線妨害の主観評価結果[13]

### 1.2.3 視覚特性とテレビ方式

視覚特性とテレビ方式の関係を表 1.2-3 に示す。心理要因に対応して表中のテレビ方式中に挙げられたパラメータは特に関連が深いものの例で、他のパラメータも無関係でない事は言う



までもない。また、美しさ、質感心理要因はその特性が必ずしも明らかでなく、対応するパラメータが広いと考えられるため、特定の名称を挙げていない。この意味で、全ての心理要因が必ずしも明らかでないとは言え、特にこの両者は今後検討されるべき重要な心理要因であるといえる。

また、ディスプレイの場合、画質は( )明るさとコントラストに関する特性、( )階調の自然さ、現実感に関する特性、( )色表示・色再現の好ましさにに関する特性、( )精細さ・鮮鋭さに関する特性、( )動きの自然さ、( )妨害感、の6つに大別して考えられ、質感は、自然さとともに、( )に含まれ、心理物理量のダイナミックレンジ、物理量の量子化ビット数が関連し、さらに質感、光沢、自然さなどの点から眼に近いダイナミックレンジの実現が重要とされる[14]。

さらに、質感は、テクスチャと共に、テレビ画像では走査線構造に関係し、写真ではフィルムの粒状性、シャープネスに、ハードコピーでは走査線構造やトナーの粒状性、印刷では網点の大きさ、形状に関係するとされる[15]。上記と合わせ、質感は、精細度、階調等、明るさやコントラスト等の明暗知覚及び色知覚と密接に関わる総合的な感覚であるといえよう。

表 1.2-3 視覚心理特性とテレビ方式 ([13]改変)

視覚心理特性			テレビ方式		
名称	測度	心理階層	パラメータ名	サブシステム方式名	
美しさ、質感 臨場感 立体感 色の好み まぶしさ 最適視距離 疲労 動きの滑かさ	心理量	情緒・認識 (認知)、階層	画面サイズ、アスペクト比 色再現、白バランス 最高輝度、コントラスト 観視距離 観視時間 毎秒像数	画面方式	ディスプレイ (表示)方式
				(観視条件)	
仮現運動 CFF (時間周波数特性) 走査線妨害 雑音妨害 波形歪妨害 偽輪郭妨害 むら(色、輝度) 誘導角 対比、(空間、明暗、色) 階調 MTF(空間周波数特性) 鮮鋭度	心理・物理量	知覚階層	毎秒像数 毎秒像数、インタレース 走査線数、インタレース S/N, C/N, 粒状性 遅延・振幅周波数特性 量子化数 シェーディング 画角 コントラスト、最低輝度 ガンマ特性 輝度・色信号帯域 周波数振幅特性	走査方式	伝送・記録・ 処理方式 画面方式 (観視条件) 信号方式 観視条件
				伝送・記録・ 処理方式	
				画面方式 (観視条件)	
				信号方式	
色感覚 (X, Y, Z) 明暗感覚 (明度関数) 順応	心理量 心理物理量	感覚	色再現、3原色、色信号型式 コントラスト、階調 明るさ	観視条件	

## 1.2.4 画質の測定法[15]

### 1.2.4.1 主観評価と客観評価

画質の評価（測定）法は、客観評価（測定）法と主観評価（測定）法に分けられる。それぞれの特徴を表 1.2.4、図 1.2-3 に示す。

客観評価法（工学的測定法）は画質に関係する物理量を計器により測定し、その測定値から画質を判断する方法である。入出力間の電気特性比較のように純粹の物理量だけによる評価以外に、雑音計による雑音電力測定、波形歪みやゴースト、デジタル画像の誤り率等、予め物理量と画質との関係を求めておけば、以後の評価は物理量測定だけで行え、見かけ上、客観評価法となる。測定者による誤差や環境条件の影響を受ける事が少ないので、安定した画質評価が行え、コンピュータと組み合わせ、画質の維持や機器の保守等の他、自動画質調整等も可能となる。最近では日常的に広く用いられている。

しかし、特定の物理的要因との関係が確定、即ち心理物理要因として確立、している心理要因は多くはなく、また、その適用範囲も限られている。従って、通常、客観評価が用いられている場合でも、最終的評価は直接人間によってなされる場合が多々ある。このような、直接観察者による評価を主観評価と呼ぶ。即ち、主観評価は画質に対する人間の心理反応を直接測定する事により行う評価であり、心理要因の効果や、総合画質評価のための唯一の評価法として、全ての画像メディアの画質の最終的評価法である。

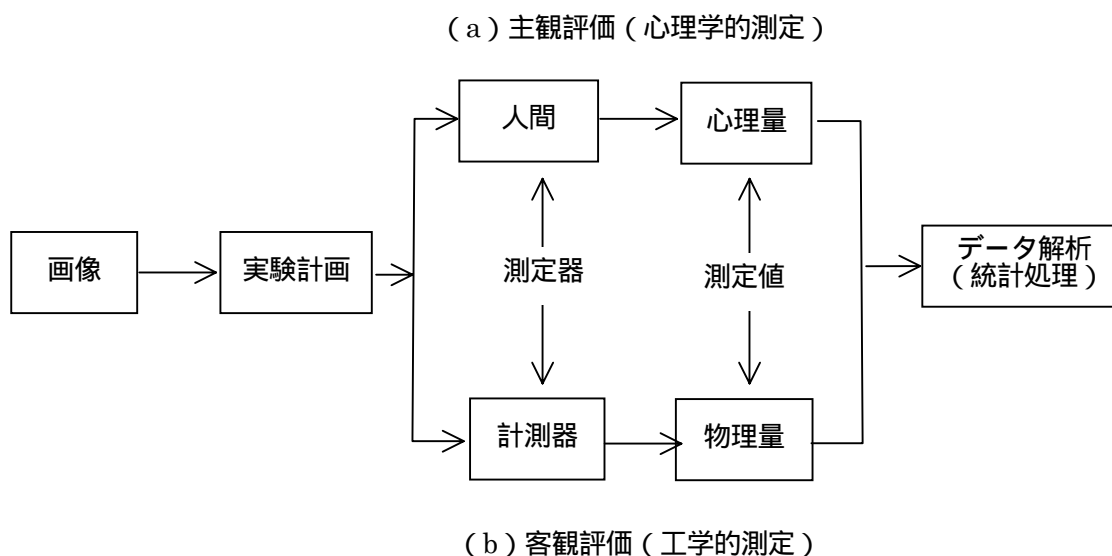


図 1.2-3 画質の評価法

ハイビジョンのような新しい心理要因を対象とする場合、改めてその効果を知るためには、当然、主観評価に頼らざるを得ない。本稿の主題である質感の特性や画像の物理的要因との関係の多くは経験的に知られているところもあるとは言え、その詳細の多く、特に映像との関係は不明なところが多く、その評価は主観評価にたよらざるを得ない。そこで、本節では、以下、

主観評価法について述べる。

表 1.2-4 主観評価と客観評価

評価法	測定対象	測定量	測定法	規定
客観評価	物理要因 MTF, ガンマ特性, 輝度, コントラスト, 色再現性 etc	物理量	光学測定器 輝度計 色彩輝度計	JIS ANSI IEC 他
主観評価	心理要因 美しさ, 質感, キメの細かさ, 迫力, 臨場感	心理量	心理学的測定法 人間	ITU-R ARIB 他

( ARIB : 電波産業会 )

#### 1.2.4.2 主観評価法

主観評価は、味や香り、織物の手触り、質感（風合い）さらにはデザインや使いやすさ等の分野では、以前から、「官能検査」と呼ばれて広く用いられており、検査法も確立されている [16][17]。感性工学の分野においても重要な測定法として広く用いられている。また、画像の分野でも、写真や印刷等、その性質に応じて評価法が検討されて来ている。本稿では、テレビ画像の主観評価法について述べる。

主観評価法の構成を図 1.2-4 に示す。

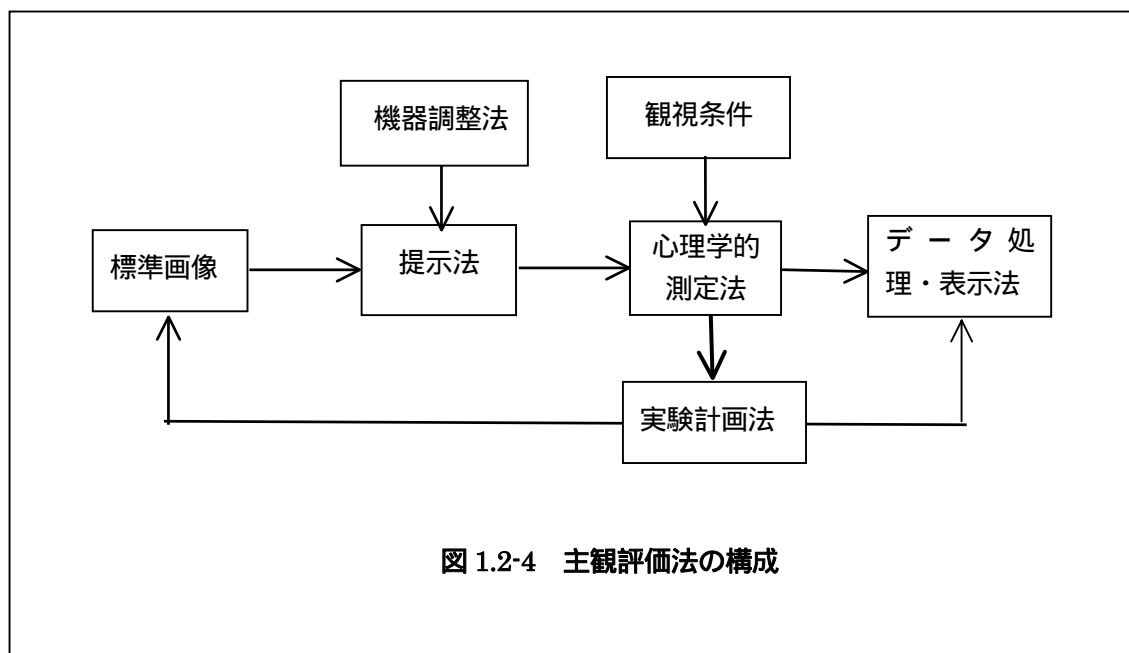


図 1.2-4 主観評価法の構成

前節で述べたように、主観評価は画質研究上極めて重要であるところから、ARIB (Association of Radio Industries and Businesses, 電波産業会) や ITU (International Telecommunication Union, 国際電気通信連合) 等、国内外で手法の統一が図られている [18][19][20]。そこで、本節では、実験の中心となる心理学的測定法と、実施に際する留意点を文献 [15][21][22] を中心に述べる。観視条件や機器調整法等、その他の事項については、文

献を参照されたい。

主観評価法の中心となるのは、観察者（評定者）の心理反応を測定するための心理学的測定法である。心理学的測定法には極限法、恒常法、PSE法、カテゴリー法など、種々の具体的手法がある。また、評定者の判断は、評定者が持つ心理的尺度（スケール）に基づいてなされる。以下、これらについて述べる[21]。

#### 心理尺度

人の心理反応の測定、即ち心理学的測定、は、人が計器であるから、その応答として何を求めるかは実験者が決めるのであり、評定者（評価者、被験者）にどのような判断をするかを指示しなければならない。

心理的尺度は、( )名義尺度記号：背番号のように数字を記号の代わりに使用して行った場合で数量的意味は無い、( )順序尺度（序数尺度）：スポーツ競技における順位のように大小関係はあるが、四則演算は不可で数量的意味は無い、( )距離尺度：（間隔尺度）前2者と異なり、与えられた対象間の差を表しており加減算可能、( )比例尺度：四則演算可能で、尺度上の原点（ゼロ点）がある、の4種がある。

#### 画質評価で用いられる心理尺度構成法

画質評価では、通常、対象間の差を知りたい事が多く、( )の距離尺度を求められる事が望ましい。心理尺度構成法には、(a)順位法、(b)分割法、(c)量推定法、(d)jnd法、(e)単一刺激法、(f)評定尺度法、(g)系列範疇法、(h)一対比較法、(i)多次元尺度法、等がある。その選択に際しては、評価実験や処理の難しさや複雑さ、測定精度や信頼性等を考慮する必要がある。

単一刺激法は、評価対象一つだけを提示して評価させ、予め1、2、3等の数値（正負の符号を含む）を与えてあるカテゴリー（評価語）を選択させて評価とする。各カテゴリーは等間隔であり、その出現頻度は正規分布するとの仮定の下に、カテゴリーの数値を用いて尺度値を得る。

評定尺度法は、一般には、等間隔に目盛りされた5～7段階のカテゴリー（数値や言葉）が付されたスケール（グラフ尺度）に判断結果をマークさせる。十分な数の測定度数を乗じて平均化し、距離尺度とする。前記のARIBやITUで標準化された主観評価法は、単一刺激または評定尺度法に属する。これについては、次項で具体的に紹介する。

また、画像の心理効果のように多数の要因（因子）が影響する場合、どのような因子がどのように影響しているかを知る必要が生じる。多次元尺度法[23]は、このような場合に用いられる手法で、対で示した刺激に対する主観的差異をデータとし、主成分分析や因子分析を用いて、因子の探索と対象の位置づけを行うものである。後述のSD法と処理的には共通するところが多いが、データの形式と尺度化を行うところが異なる。

#### 心理学的測定法～評定尺度法と二重刺激法～

テレビ画像の画質評価で最も良く用いられるのは評定尺度法であり、ITU-Rにより評価語（カテゴリー）の国際的な標準化が図られている。対応する日本語と共に表1.2-5に示す。

近年、映像のデジタル圧縮が急速に進み、MPEG2を始めとする各種の方式が実用化され、さらに開発が進められている。その際、微妙な変化や、特に動画像に対する評価が重要となり、二重刺激連続品質尺度法（DSCQS：Double-Stimulus Continuous Quality Scale Method）が開発され、広く用いられている。評価用紙の例を図1.2-5に示す。図中、数字は絵柄（画像）番号を示し、A、Bは原画または評価画で両者は対にして提示される。評定者は、該当する尺度上に、評価結果をマークする。評点は尺度の全体長を100とし、尺度の下端からの距離を換算

して表す。

	画質	妨害
5 段 階 評 価	5 Excellent (非常によい)	5 Imperceptible (妨害が分からない)
	4 Good (良い)	4 Perceptible, but not annoying (分かるが気にならない)
	3 Fair (普通)	3 Slightly annoying (気になるが邪魔にならない)
	2 Poor (悪い)	2 Annoying (邪魔になる)
	1 Bad (非常に悪い)	1 Very annoying (非常に邪魔になる)
比 較 評 価	+3 Much better (非常に良い)	
	+2 Better (良い)	
	+1 Slightly better (やや良い)	
	0 The same (同じ)	
	-1 Slightly worse (やや悪い)	
	-2 Worse (悪い)	
	-3 Much Worse (非常に悪い)	

		12		13		14		15
		A	B	A	B	A	B	A
Excellent								
Good								
Fair								
Poor								
Bad								

図 1.2-5 DSCQS で用いられる画質評価尺度と評価用紙の例  
(A、B は画像の種類、数字は画像の番号)

質感の評価も各種の方法で可能であるが、標準画像には、質感の測定が可能なものも準備されているので、必要に応じて使用可能である[24]。例を表 1.2-6 に示す。また、動画についても同様であり、詳細は上記文献を参照されたい。

表 1.2-6 ハイビジョン標準画像の主要評価項目 [13]

画像 評価項目	食 物	セット A					セット B				
		ト 肌 色 チャ ー	バ イ ヨ ット ハ ー	カ セ ー タ ー と カ バ ン	塔 エ ッ フ ェ ル	帽 子 屋	人 雪 の 中 の 恋	観 光 案 内 板	ガ ー デ ン	チ ユ ー リ ッ プ	ヤ ー ト ク ロ マ キ ー チ
解像度											
波形歪み											
階調											
色調											
幾何学歪み											
折り返し歪											
テント処理											
雑音											
一様性											
心理的要因 可読性 記憶色(肌色) 鮮鋭さ 質感 臨場感											

非常に評価に適する  
評価に適する

#### 1.2.4.3 SD 法[15] [25]

SD 法 (Semantic Differential Method : 意味微分法) は、言語の類似性を測定するために、イリノイ大のオスグッド (Osgood, C.E.) により開発された。それによれば、言語のイメージは 3 つの独立な因子からなり、それぞれは、

- ( ) 評価性 (Evaluation)
- ( ) 力量性 (Potency)
- ( ) 活動性 (Activity)

と呼ばれる。SD 法は、形容詞で表される心理空間の構造解析法として、広く用いられている。

具体的手続きは、以下のようになされる。

- ( ) 画像を評価する形容詞を選ぶ
- ( ) 反対の意味を持つ形容詞を選んで対を作る。
- ( ) 対の評価尺度を作る。

- ( ) 評価尺度により画像を評価する。
- ( ) 評価尺度を変数とする主成分分析 / 因子分析を行う。
- ( ) 主成分 / 因子に含まれる得点の高い評価尺度から軸の意味を考える。
- ( ) 主成分 / 因子得点の大きさから要因の効果を見る

SD法のイメージを図1.2-6に、評価尺度の例を図1.2-7に示す。

SD法は、感性の測定法として広く用いられており、標準的な感性評価語も提案されている[26]。

画質空間：n個の心理要因を軸とするn次元心理空間、

$$Q_T: \text{画像の総合画質} = \vec{w}_1 + \vec{w}_2 + \vec{w}_3 + \dots + \vec{w}_n$$

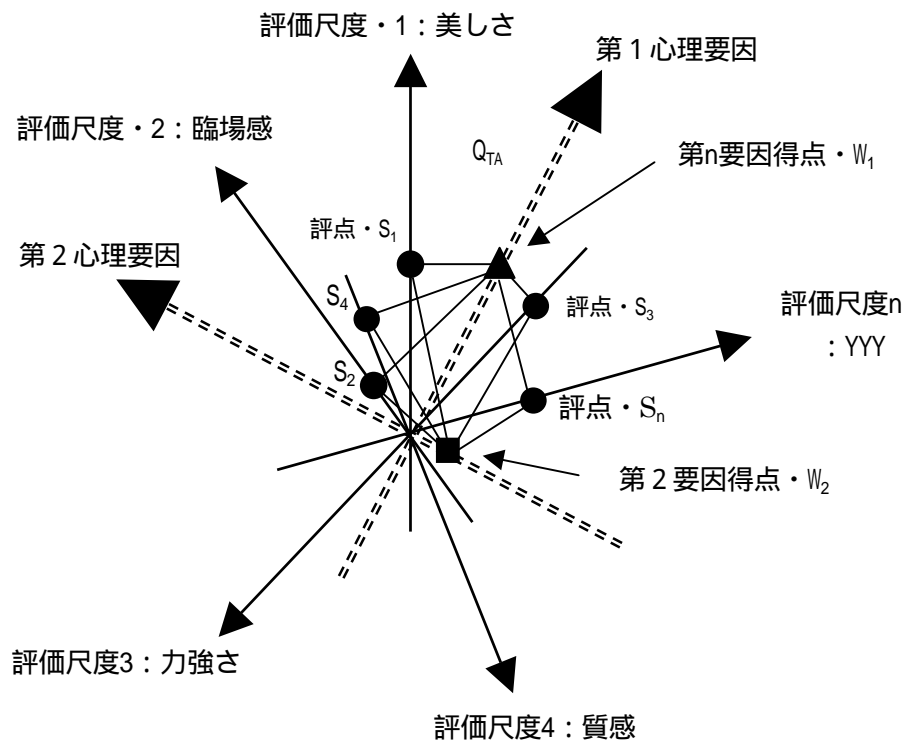


図1.2-6 SD法のイメージ

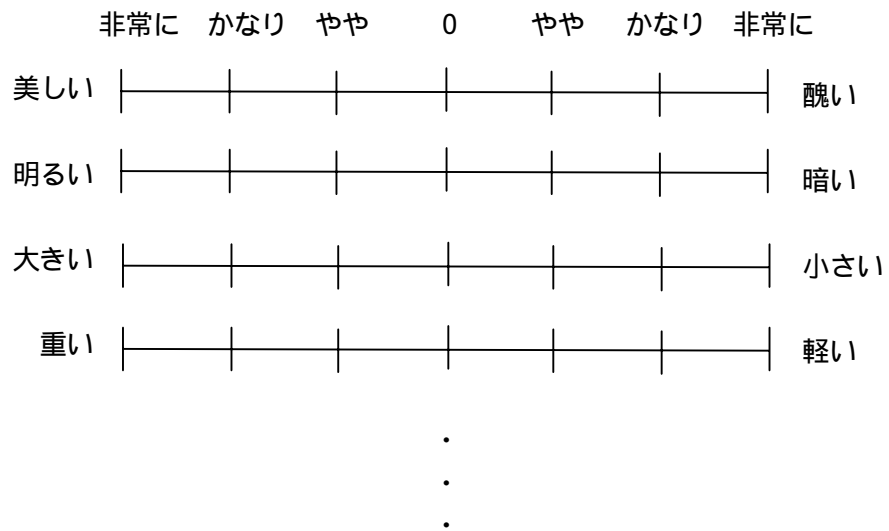


図 1.2-7 SD 法の評価尺度の例

#### 1.2.4.3 主観表実験の段取り

主観評価を行うにあたっての一般手続きを図 1.2-8 に示す。評価実験を円滑に行うためには、流れの各段階を予め良く検討して、初期の目的を達成できるよう準備が重要である。

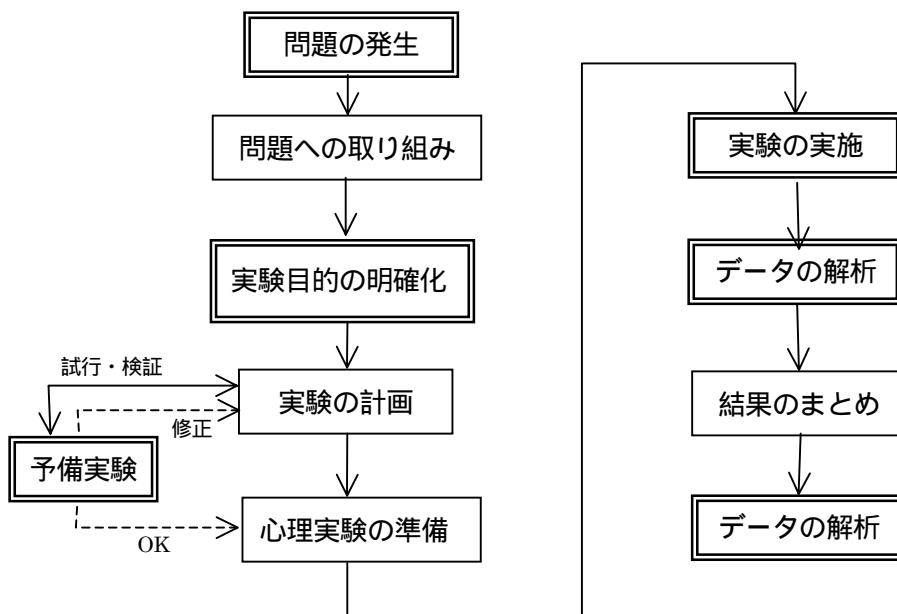


図 1.2-8 主観評価の手順[15]



## 1.3 質感と画質

テレビジョン画像を中心に、これ迄画質に関わる事項について述べて来たが、「質感」なる用語は総合的な心理的感覚であり、他の画像においても使われる画像一般に共通する感覚であると考えられる。そこで、本節ではその意味するところをより明らかにすることを試みる。

### 1.3.1 画像における質感ー用語としての質感の意味とその用法ー

テレビ画像以外の代表的画像である写真、CG について、改めて、用語としての「質感」の用法を調べた。また、本稿の主題であるテレビにおける画質と質感の関係について行われた検討について、紹介する。

#### 1.3.1.1 写真、ハードコピーと質感

写真はテレビよりも古く、最も早く開発、実用化された画像メディアである。従って、その人に与える影響、効果に関しては文化、文明から個人の私的領域に至るあらゆるレベルで、多くの研究がある。特に動画の再現を可能とした映画はそれまでになかった「映像文化」を生み出し、さらにテレビは、即時性や経済性、さらには機器の操作の容易さや廉価化などにより、映像文化を新しい段階へと進めた。

画質に関しても、写真、映画、テレビに関し多くの研究が行われているが、本節では、主として写真における質感の表現に関して述べる。なお、映画に関しては、その媒体の同一性から、動きに関わる事項を除き、画質に関しては写真における議論が共通するものとする。質感と動きの関係に関しては、先に述べたように、動きの再現性がテレビにおいて検討されているが、質感との関連はテレビも含め、今後の課題である。

写真/映画の画質論は、後発の画像媒体であるテレビジョンの画質論に大きな影響を与え、共通の概念が多く、表 1.2-2、1.2-3 に示したテレビジョンの画質項目や物理的パラメータ名など、多くが共通に用いられているので、ここでは再掲しない。しかし、写真/映画は基本的に発色が減法混色であるので、加法混色を用いるテレビジョンとは、色再現に関わる特性が異なるので、注意が必要である。これら一般的な特性については、例えばテレビジョン画像との比較が論じられている文献[15]等を参照されたい。

本文の主題である「質感」に関しても、上述のように、テレビと写真はほぼ同様と考えられる。例えば、既にかかなり以前に、写真の画質表現語に関する検討が等が行われている。

絵柄の異なるポートレートを3種(2、3、4号)の印画紙に3種の焼度(適度、不足、過度)で引き延ばし、写真の美しさについて評価を行った。評定者は専門家18名、非専門家9名である。その結果、2つの因子が抽出され、第一因子は調子と焼き度、第二因子は質感因子であった[27]。

写真の評価においても、「質感」という用語は広く用いられている。アルミを用いた造形物写真に対する「メタリックな質感」、ガラス等の写真に対する「ガラスの質感」等、材質との関わりを表す言葉として使われている[28]。これらの質感は、「材質感」「素材感」と読み替える事が出来よう。また、関連して、照明の分野でも、材質感を伴う色に対しては、光源の選定に際して、光りの量と質の考慮が必要であることが言われている[29]。

ハードコピーも同様であるが、SD法による画質要因の検討結果では、文字パターンでは「画像の明瞭さ」、「濃さ」、「下地のきれいさ」が、ハーフトーンパターンでは「シャープさ」、「濃さ」、「明るさ」、「粒状さ」が、カラーハードコピーでは「質感」、「カラーバランス」、「ザ

ラツキ感」が抽出されている[30]。

#### 1.3.1.2 CGと質感[31]～[34]。

CGにおいては、質感は一般にテクスチャと呼ばれることが多い。しかしテクスチャは、質感以外に表面状態に関わる見え全てを含んで用いられる事もあり、必ずしも「質感」のみを表すとは限らない事に注意が必要である。金属は、ハイライトが少なく、周囲の写り込みが強くコントラストが高い、ガラス玉は硬質な質感で表面が滑らかなので、ハイライトはかなり小さい等々、CGにおける質感の表現は、光りの反射や拡散度合いの表現が先ず重要となる、とされる。また、テクスチャには視覚的なものと触覚的なものがあり、堅さや柔らかさ、触ったときの感触など、材質的特徴を画面上に生かす表現が望まれる[34]。

CGソフトでは、後述のレンダリングに関するメニュー中に表面材質、光源など、質感に関わる透明度、屈折率、鏡面反射等の設定が可能となっている。

CGは、良く知られているように、自然物から人工物まで全ての可視情報はもとより、不可視物体、対象の可視化まで、あらゆる画像を表現対象とする。自然物や現象のCG表現技法はモデリングとレンダリングに分類されるが、質感の表現は微細構造のモデリング、色彩分布のモデリング、反射モデルにより実現される。また、空想の情景を生成（ファンタスティックな画像生成）においては、景況、色、質感などのデザインのセンスが重要となる、とされる。

忠実性あるいは質感を得るための色再現に関わる項目は[31]、

照明、光源の特性

物体の色決定（記憶色、配色、etc）

レンダリング手法（レイトレーシング、シェーディング、マッピング）

色デザインとインタフェース（視覚的インタフェース）

階調性（カラービットマップ、カラーパレット）

空間解像度（エリアシング）

カラーディスプレイの特性（キャリブレーション）

等が挙げられる。

また、階調数が少なくなると、シェーディングが不自然となり、物体の質感が失われてしまい、ディザ処理によって擬似的に階調数を増やしても、量子化誤差によって、偽輪郭やテクスチャが知覚されるため効果は少ない。現在、フルカラーと呼ばれる1670万色（R、G、B、各8ビット、計24ビット）が用いられているが、視覚的に検知源以下にするためには均等色空間（例えばHVCカラーモデル）で考えると約48万色、RGBカラーモデルで表すとRGBそれぞれに対し14、16、12ビットとなる[31]。

#### 1.3.2 テレビ画質の要因分析

前節で述べたように、テレビ画像の画質は最終的に視聴者の主観による。しかし、現在のテレビは種々の制約のため、その画質もまた制約を受けている。このため、ハイビジョンの検討に際して、SD法による画質の心理要因に関する検討が行われた[35][36]。

用いた画像は表1.3-1に示す8x10インチスライド画像及び21型NTSCカラーテレビ画像各2種である。評価用語は、(1)写真雑誌30冊(2)美術全集23冊、一般女子6人の画像印象表現語、国語、類語、英語辞典から36個を選定し評価尺度とした。評価尺度の例を図1.3-1に示す。

表 1.3-1 要因分析実験条件

メディア	画像内容	縦横比	画面サイズ	画像最高輝度	周囲輝度
スライド	室内人物	3:4,1:2	2m <sup>2</sup>	約 9cd/m <sup>2</sup>	0.1cd/m <sup>2</sup> (暗室)
	風景	3:4			
テレビ	SMPTE スライド (NO.9,NO.1)	3:4	21 型	約 30 cd/m <sup>2</sup>	

(評定者：男子テレビ技術者 20 名)

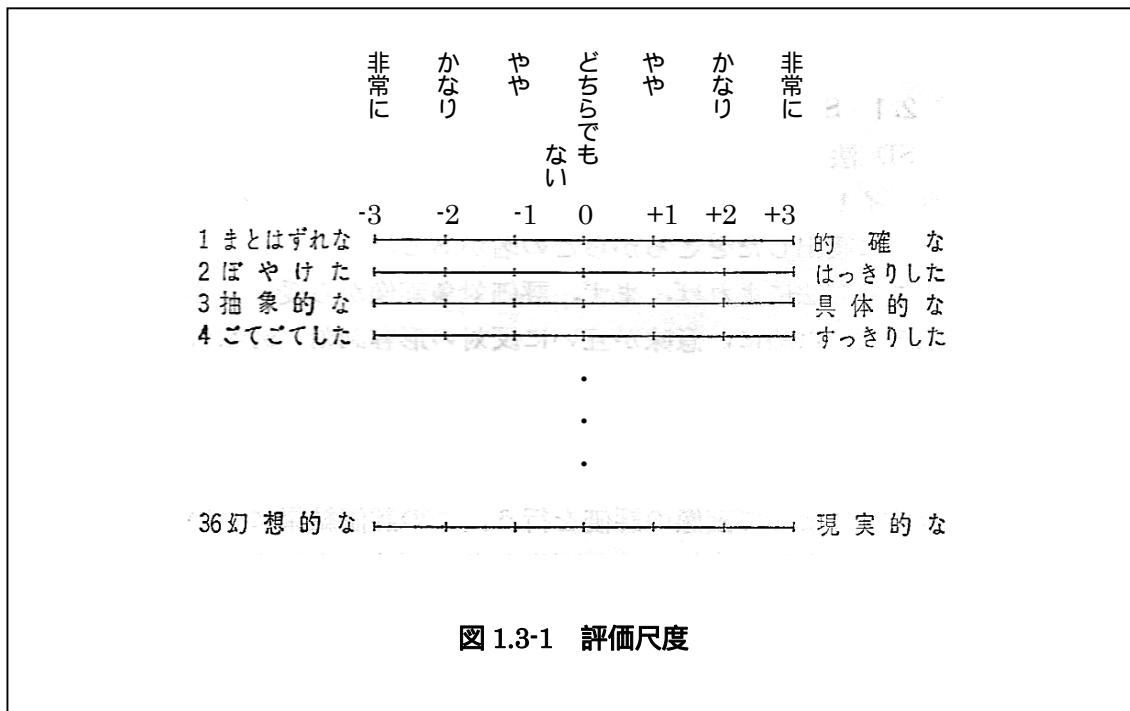


図 1.3-1 評価尺度

評定者は、図 1.3-1 の評価尺度により提示された画像を評価する。スライドに対する結果を、全ての評価尺度と共に表 1.3-2 に示す。

この結果から、

(1) 8 個の心理因子が抽出され、その累積寄与率は約 75%であり、因子の個数としてほぼ妥当と考えられる、

(2) 因子負荷量が 0.5 以上のものに着目すると、どの因子にも属さない意味不明の尺度および二つ以上の因子に属する複合尺度のどちらも極めて少なく、純粹尺度が殆どであることから、尺度の選択は一応適切である、

と考えられる。

表 1.3-2 スライド画像に関する評価結果[35][36]

評価尺度	因子負荷量							
1 まとはずれな- 的確な	.259	-.144	.469	-.155	.501	-.081	-.243	-.197
2 ぼやけた- はっきりした	.233	.132	.655	-.236	.147	.031	-.318	.090
3 抽象的な- 具体的な	.254	.117	.756	.155	.098	-.062	-.298	.026
4 ごてごてした- すっきりした	.140	.324	.257	-.185	.594	-.267	-.273	-.124
5 冷たい- あたためかい	.268	.450	.435	-.046	.320	-.061	.053	.100
6 どろくさい- 優雅な	.499	.333	.035	-.071	.312	-.275	-.293	-.373
7 つまらない- おもしろい	.344	.021	.222	.022	.432	-.678	-.079	.076
8 弱弱しい- 強烈な	.738	-.081	.198	.108	.262	-.157	-.222	.193
9 みにくい- 美しい	.229	.045	.229	-.078	.079	-.132	-.837	-.178
10 いじけた- 大胆な	.544	.073	.083	-.092	.191	-.546	-.158	.101
11 散漫な- まとまりのある	.159	.211	.228	.100	.792	-.131	-.178	-.050
12 暗い- 明るい	.164	.617	.307	-.239	.255	-.284	-.004	-.020
13 くすんだ- 華やかな	.399	.666	.196	-.310	-.054	-.133	-.153	-.087
14 ゆるんだ- ひきしまった	.610	.024	.176	0.126	.395	-.261	-.108	-.055
15 小さい- 大きい	.591	-.094	.083	.221	.306	-.079	-.021	-.501
16 人工的な- 生々し	.247	.113	.395	.307	-.060	-.629	-.243	-.171
17 きたない- きれい	.222	.016	.224	-.020	.200	-.279	-.815	-.008
18 ざらざらした- なめらかな	.340	.163	.110	.346	.107	-.111	-.700	.005
19 粗野な- 繊細な	.557	.115	.194	.218	.082	-.295	-.326	-.340
20 鈍重な- 軽快な	-.050	.713	-.050	.075	.100	-.234	-.243	-.097
21 かたい- 柔らかい	-.049	-.014	-.040	.811	.040	.010	-.057	0.017
22 ぎこちない- 流麗な	.261	.176	.061	.145	.155	-.728	-.260	-.255
23 とげとげしい- なごやかな	.139	.414	.000	.252	.565	-.248	.017	-.191
24 弱い- 強い	.778	-.035	.187	-.108	.043	-.158	-.157	-.082
25 平面的な- 立体的な	.169	.232	-.125	-.172	-.095	-.810	-.198	-.104
26 単調な- 変化のある	.178	.021	.043	.102	.223	-.865	.039	.010
27 重い- 軽い	-.210	.784	.052	.122	.065	.020	.074	.047
28 粗雑な- 精巧な	.687	.109	.314	-.008	.007	-.161	-.131	-.144
29 落ちつかない- 落ちついた	.162	.062	.259	-.116	.176	-.286	-.180	-.664
30 とつき難い- 親しみやすい	.043	.196	.308	-.331	.138	-.645	-.224	-.214
31 迫力のない- 迫力のある	.654	.061	.100	-.109	-.008	-.314	-.411	-.237
32 せせこましい- ゆったりした	.185	.276	.108	-.168	.331	-.506	-.035	-.262
33 大まかな- 克明な	.404	.111	.682	.002	-.213	.104	-.211	-.285
34 しずんだ- 生き生きした	.454	.399	.321	-.329	.250	-.222	-.026	-.039
35 ひねくれた- 素直な	.003	.231	.624	-.237	.258	-.184	.092	-.219
36 幻想的な- 現実的な	.144	-.041	.778	.115	.243	-.260	-.070	-.096
累積寄与率	.384	.467	.541	.591	.639	.680	.713	.742

さらに、表 1.3-2 から、因子毎に因子負荷量の絶対値が大きい尺度をまとめると、

第一因子：弱いー強い、弱々しいー強烈な、粗雑なー精巧な、迫力のないー迫力のある、ゆるんだーひきしまった、小さいー大きい、粗野なー精細な、いじけたー大胆な、どろくさいー優雅な、しずんだー生き生きした

第二因子：重いー軽い、鈍重なー軽快な、くすんだー華やかな、暗いー明るい、冷たいーあたたかい

第三因子：幻想的なー現実的な、抽象的なー具体的な、大まかなー克明な、ぼやけたーはっきりした、ひねくれたー素直な

第四因子：かたいー柔らかい

第五因子：散漫なーまとまりのある、ごてごてしたーすっきりした、とげとげしいーなごやかな、まとはずれなー的確な

第六因子：単調なー変化のある、平面的なー立体的な、ぎこちないー流麗な、つまらないーおもしろい、とっつき難いー親しみやすい、人工的なー生々しい、いじけたー大胆な、大まかなー克明な

第七因子：みにくいー美しい、きたないーきれい、ざらざらしたーなめらかな

第八因子：落ち着かないー落ち着いた

となる。

さらに、テレビ画像についても同様な実験を行った。結果は 10 個の因子が抽出されたが、各因子に含まれる評価語からその内容を詳細に検討すると、スライド画像との主な違いはスライド画像の第 1 および第 3 因子がさらに細かく分かれたためであり、基本的にはスライド画像に示す 8 個の因子と同じ因子で構成されていると考えられた。さらに因子構造も安定している等の事から、上記 8 個が基本的な因子と考えられる。従って、各因子に含まれる尺度を表す形容詞からその名称は下記のようになり、これらの 8 個が画像印象の形成に寄与する心理因子となる。

第一因子：強さの因子

第二因子：明るさの因子

第三因子：リアリティーの因子

第四因子：柔らかさの因子

第五因子：まとまりの因子

第六因子：動的因子

第七因子：美しさ、質感の因子

第八因子：安定感の因子

上記以外にも、同様な検討が臨場感の評価の一環として風景スライド画像に対して行われている[37]。それによれば抽出された因子は 5 個であり、

第一因子「まとまりの因子」：すっきりした-ごてごてした、面白い-つまらない、なごやかな-とげとげしい、変化のある-単調な、すなおな-ひねくれた、興行きのある-平面的な、やわらかい-硬い、有機的な-無機的な、あたたかい-つめたい、

第二因子「臨場感の因子」：臨場感のある-臨場感のない、まとまりのある-散漫な、大きい-小さい、繊細な-粗野な、実態感のある-実態感のない、立体的な-平べったい、軽い-重い、ゆったりした-せせこましい、迫力のある-迫力のない、落ち着いた-落ち着かない、こまやかな-おおまかな、堂々とした-いじけた、軽快な-鈍重な、興行きのある-平面的

な、広がりのある-狭い、ひきしまった-ゆるんだ

第三因子「鮮明さの因子」: はっきりした-ぼやけた、新鮮な-陳腐な、優雅な-泥臭い、強烈な-弱々しい、美しい-醜い、明るい-暗い、繊細な-粗野な、鮮やかな-くすんだ、ひきしまった-ゆるんだ、きれいな-きたない、精巧な-粗雑な、生き生きした-沈んだ、あたたかい-冷たい

第四因子「リアリティーの因子」: 的確な-まとはずれな、疲れる-疲れぬ、親しみやすい-とつきにくい、現実的な-幻想的な、

第五因子「質感の因子」: なめらかな-ざらざらした、

の5つであった。

上記スライド/テレビ画像の場合と比べ、因子数が少なく因子もやや異なるものの、まとまり、リアリティーは一致し、臨場感は前記スライド/テレビ画像における強さの因子及び動的因子と共通するところが多く、鮮明さは同じく明るさと美しさの一部を含み、柔かさの因子がまとまりの因子に含まれるなど、評定者や画像内容、提示法や教示などの実験条件条件の違いを考えると、全体として共通するところも多いと思われる。また、全体的に因子数が少なくなっているにもかかわらず、スライド/テレビ画像では美しさの一つになっていた質感の因子が、独立している事が注目される。

SD 法によるテレビ画質要因の検討の例として、表 1.3-3 と表 1.3-4 にハイビジョンおよび立体テレビ画像に対し行われた結果を示す[38]。これらの場合、質感は因子として表れていないが、上述の2例で質感とほぼ同一のグループに含まれている美しい、きれい等が表 1.3-3、1.3-4 の場合も同一のグループに含まれており、質感という評価語が使われていないことによるのではないと思われるが、実験条件の違い等もあり、さらに検討が必要であろう。

また、最近、ハイビジョンファミリーの一つとして、より心理効果を高め、大型映画等の大画面等に対応出来るだけでなく、より多量の情報表示に対する要求に応えるため、ハイビジョンの倍からそれ以上の多画素数に対応した超高精細・大画面テレビ(UDTV: Ultra high-Definition TV)の開発が進められている[7]。その詳細については、別項に述べられているのでそちらを参照頂くとして、ここでは、SD 法により行われたその心理効果に対する結果について紹介する。

表 1.3-5 に結果を示す[39]。因子負荷量最大の要因についての結果であり、さらに詳細な結果が望まれるが、心理因子として( )力量感、( )快適感、( )大小・遠近感の3つが挙げられている。これについても、上記のハイビジョンおよび3DTV の場合と同様に考えられる。

質感は、明るさやコントラスト等とともに、ディスプレイの主な画質要因の一つとして、自然さ、光沢感などと合わせて挙げられており[14]。また、心理要因としても、肌理の細かさや美しさとともにあげられている[13]。また、写真画質の要因として、顔の焼度や調子とともに質感が挙げられているところからも[27]、上記幾つかのSDの諸結果と合わせ考えると、画質の要因の一つとして考える必要があると言えよう。

以下、改めて質感についてその意味を考えてみる。

表 1.3-3 ハイビジョンの要因分析結果[38]

美しさ・精細感 (x <sub>1</sub> )		寄与率 19.6%
形容詞対		因子負荷量
鮮やかな—くすんだ		-0.94
地味な—華やかな		0.84
綺麗な—汚い		-0.83
粗い—細かい		0.82
大まかな—詳細な		0.77
醜い—美しい		0.74
繊細な—粗野な		-0.72
力量感 (x <sub>2</sub> )		寄与率 18.6%
形容詞対		因子負荷量
力強い—弱々しい		-0.91
静かな—騒々しい		0.89
やわらかい—かたい		0.86
すべすべした—ざらざらした		0.83
調和感 (x <sub>3</sub> )		寄与率 16.4%
形容詞対		因子負荷量
平面的な—立体的な		0.95
複雑な—単純な		-0.89
奥行きのある—平板な		-0.88
まとまった—散らばった		0.78
印象が薄い—印象深い		0.77
快適感 (x <sub>4</sub> )		寄与率 15.4%
形容詞対		因子負荷量
不自然な—自然な		0.93
違和感のある—違和感のない		0.86
見やすい—見づらい		-0.82
快適な—不快な		-0.73
大小・遠近感 (x <sub>5</sub> )		寄与率 8.8%
形容詞対		因子負荷量
小さい—大きい		0.85
遠い—近い		0.85
くっきりとした—ぼやけた		-0.71
濃淡感 (x <sub>6</sub> )		寄与率 6.5%
形容詞対		因子負荷量
白っぽい—黒っぽい		-0.84
連続感 (x <sub>7</sub> )		寄与率 4.6%
形容詞対		因子負荷量
ぎくしゃくした—滑らかな		0.77
清新さ (x <sub>8</sub> )		寄与率 4.0%
形容詞対		因子負荷量
すっきりした—ごちゃごちゃした		-0.50
ゆがんだ—ゆがみのない		0.47
面白い—つまらない		-0.41

表 1.3-4 立体ハイビジョンの要因分析結果[38]

美しさ・精細感 ( $x_1$ )		寄与率 21.9%
形容詞対	因子負荷量	
綺麗な—汚い	-0.92	
醜い—美しい	0.90	
繊細な—粗野な	-0.89	
粗い—細かい	0.79	
鮮やかな—くすんだ	-0.78	
大まかな—詳細な	0.75	
自然感 ( $x_2$ )		寄与率 19.2%
形容詞対	因子負荷量	
違和感のある—違和感のない	0.91	
疲れる—楽な	0.84	
見やすい—見づらい	-0.82	
奥行きのある—平板な	0.76	
力強い—弱々しい	-0.75	
不自然な—自然な	0.73	
生命感 ( $x_3$ )		寄与率 13.3%
形容詞対	因子負荷量	
生き生きした—沈んだ	-0.94	
面白い—つまらない	-0.86	
印象が薄い—印象深い	0.81	
安定感 ( $x_4$ )		寄与率 10.9%
形容詞対	因子負荷量	
まとまった—散らばった	-0.93	
すっきりした—ごちゃごちゃした	-0.89	
すべすべした—ざらざらした	-0.78	
濃淡感 ( $x_5$ )		寄与率 8.2%
形容詞対	因子負荷量	
白っぽい—黒っぽい	-0.82	
濃い—薄い	0.82	
大小・遠近感 ( $x_6$ )		寄与率 7.9%
形容詞対	因子負荷量	
小さい—大きい	0.87	
遠い—近い	0.80	
くっきりとした—ぼやけた	-0.75	
現実感 ( $x_7$ )		寄与率 5.8%
形容詞対	因子負荷量	
現実的な—幻想的な	-0.65	
透き通った—濁った	0.59	
落ち着いた—落ち着かない	0.56	
明るい—暗い	-0.54	
連続感 ( $x_8$ )		寄与率 5.4%
形容詞対	因子負荷量	
ぎくしゃくした—滑らかな	0.91	



表 1.3-5 UDTV の因子[39]

グループ名	形容詞対	因子負荷量
力量感	迫力のない- 迫力のある	-0.7776
	弱々し- 力強い	-0.8887
	まとまった- 散らばった	-0.8825
	狭まった- 広がった	-0.8539
	狭い- 広い	-0.8255
快適感	見づらい- 見やすい	0.9587
	疲れる- 楽な	0.9563
	違和感のある- 違和感のない	0.9314
	圧迫感のある- 圧迫感のない	0.9290
	不快な- 快適な	0.8263
	ゆがんだ- ゆがみのない	0.8087
	印象が薄い- 印象深い	0.8077
大小・遠近感	小さい- 大きい	-0.9641
	遠い- 近い	-0.8819

使用評価尺度：上記を含み 39

### 1.3.3 「質感」の意味と性質

#### 1.3.3.1 「質感」の用語的意味

名詞に「感」をつけた「感」という言葉は数多くあり、日常的に広く用いられている。本報告の主題である「質感」もまた、その一つであり、布の手触りなどを表す表現として日常生活においては勿論、工業製品分野から芸術まで、幅広く用いられている。従って、質感と言う言葉の意味や用法は、用いられる分野、状況等によって異なるのではないか、と思われる。そこで、ここでは、本報告の主題である映像分野における「質感」の検討に先立って、広く種々の分野における「質感」の用法と意味について調査、検討した結果について述べる。

先ず、一般的な国語辞典2種について記述を見てみる。なお、本報告の意図と明らかに異なる意味の用例については省略してある。

広辞苑[40]によれば、

しつ【質】とは、生まれつき、天性、内容、中味、価値に加え、物がそれとして存在するあり方、性質であり、量に対する言葉で、対象を他の対象と区別する特色となっているものであり、非感覚的な面も含み、「どのような」という問いに対する事物のあり方、とされる。

また、しつかん【質感】は、材料の性質の違いから受ける感じ、または、その材料が本来持っている感じで、「この絵は服のーが良く出ている」というように用いられる、と記述されている。

大辞林[41]では、

しつ【質】とは、広辞苑と同様、生まれつき、たちの意味で、悪質・気質・性質・美質・・・本質・体質・・・等の使い方に加え、物体を構成するものとして、質量・物質・蛋白質等の使い方、飾りけのないことの意味で、質実・質素・質朴等の用法、さらに内容・中味の意味で、実質・本質が例として記述されている。

また、同じくしつかん【質感】は、材料から受ける感じ、とされ、「木のーを生かした彫刻」「肌のーが良く出ている」等の用例が記載されている。

さらに、一般的に「質感」と関わると考えられる分野のハンドブック、用語辞典についても、記述を調査した。調査した対象は、平凡社版・「心理学事典」、大山、和田他編「新編感覚知覚ハンドブック」、色彩学会編「色彩用語辞典」、電子情報通信学会編「電子情報通信ハンドブック」、映像情報メディア学会編「映像情報メディアハンドブック」、「映像情報メディア用語辞典」、音響学会編「音響用語辞典」、建築用語辞典等である。何れにも「質感」という項目は見当たらなかったが、インテリアデザイン辞典編集委員会編「インテリア辞典(第2版)」[42]では、質感(テクスチャ)として織物のテクスタイルをさす用語として記載されていた。なお、美術専門書は今回の調査対象に含まれておらず、今後の検討事項である。

#### 1.3.3.2 専門家へのインタビュー

辞書と合わせ、芸術及び映像、音響分野の専門家へのインタビューも試みた。インタビューに際しては、自由な発想と表現を得るため、特に解答用紙等は用意せず、「質感という言葉を使うか」、「使うとすればその用法」についての自由会話により、回答を得た。従って、以下の記述は、回答者の発言に対する筆者の解釈を含んでおり、責任は全て筆者にある。なお、回答者は著者が日常的に接触できる大学の教員に限ったため、年齢、分野等も限られている。従って、必ずしも普遍的な結果とは言えないが、今後質感を考えるに際して有益な示唆を与えるも

のと考えるので、あえて生の形を残して記してある。

( ) 立体造形 (彫刻) 分野

質感という言葉は無い。材質感 (素材) という表現はある。

彫刻の3大要素は ムーブマン、 バランス、 マッサ (ボリューム、重量感)

( ) CG 分野

「質感」を使う。

CGの3大要素は 形、 質感、 ライティング (雰囲気を出す)

「質感」: 物体が何で出来ているか表面の見え方。ゲームは特に重要。素材として物理的に存在しないものの質感も対象。

クリエイターの判断、個人、記憶、印象による。ハイライトをどう決めるか (強さ、輝度分布) で大まか決まる。光りの散乱、反射モデルによる。

環境光 (Ambient Light) を変えると変わる。空気感」とも関わる。

動画ではコマ数も影響。現在のTVには質感期待していない。

「ライティング」は雰囲気を出す。

( ) 映像演出、制作分野

「質感」使う。

2つの使い方、

黒近辺のトーン: 主として編集技術者分野で使用

雰囲気/らしさ (全体的な作者の意図、作者らしさ): 主として演出/制作者使用、

( ) 映像制作技術分野

「質感」使う。

制作者、作家の「意図」の意味、雰囲気 (例)「モノクロ画像でも (作家の) 質感が良く出ている」

( ) 映像分野 (フィルムカメラマン)

「質感」使う。

物 (素材) の表面の見え、周囲状況により変化、皮膚感覚は逆光では出ない

手触り (触覚) を映像でどう表現するか課題。形容詞関連 (ツルツル、ザラザラ)。見る人の経験、記憶関係。

( ) 音響技術者 (レコーディングエンジニア)・1

「質感」使う。

「そこに楽器が存在するかのような、音の大きさ、音のバランスがそのまま良くイメージとして捉えられる」こと。生々しさと同義。音響エンジニアの感性を表現する言葉。まとも良く聞かせる (ない) = 質感がある (ない)、良い/悪いは使わない。

総合評価的、良い/悪いとほぼ同義乃至やや下。クラシックの制作者 (PD) は使う。

記憶質感あり (名器、名オーケストラの音のイメージ)、音質の要因 (例・透明感等)。

( ) 音響技術者 (レコーディングエンジニア)・2

「質感」使う。定義無い。

音の良さを表す。質感 = 物理特性 + ( : 感性)。記憶されたコンテンツに対する忠実度。演奏家レベルでは「もう少し質感があると良い」= 「良い音になる」、エンジニアレベルでは「周波数レンジ狭い」「歪みがある」等の具体的表現対応。制作者の意図が伝わる音。

- ( ) 作曲家 (現代音楽)・1  
「質感」使わない。  
音色」は使う。楽器ではある。
- ( ) 作曲家 (現代音楽)・2  
「質感」使わない。  
英語の Texture」 = 譜面ズラ (音符の配置、音楽を聴きながら頭に描く音符の配置、譜面)
- ( ) 管楽器奏者  
「質感」使わない  
トーン (音色)、トーンクオリティ (音質) 使う。
- ( xi ) 指揮者  
「質感」使う。  
オーケストラメンバーへの音作り時 (その曲が持っている質感を重い、軽い等の形容詞で表現も)、演奏技法にも使用、音を出すポイントのスピードと関連、身体的動作にも関連 (大きくな動作、ユツタリした動作等)、良い演奏は立体的で区切り重要。
- ( xii ) 平面作品作家  
「質感」はよく使う。  
美術では一般的。意味は、画のテクスチャ 画の見た目の素材感 (見かけの肌合い、表情)、作品の人間臭。作者の作る物に出てしまうもの。作品作りの時出る言葉。  
使用例: この人が作るとこういう質感 / 表情になるよね。その人の色 / 質感 (= 特色、触覚的意味合いもある) が出ているね。  
良い作品の要素は色、形、質感。作者の空気感  
デッサンの質感 = 物の質感 (対象自体の表現 + 画面の質感、全体としてのクセも含む)
- ( xiii ) マルチメディア作家  
「質感」使う。  
完成品に対するマクロな言葉、最終の良い悪いの要素の一つ。視覚イメージの触覚、感性的リアリティ。  
音の響き、伝わり方 (例: ホールの音の質感は堅い / 柔らかい)、デジタル音楽でのドライ / ウェット等。
- ( ) アートマネジメント分野  
「質感」良く使う。一般的用語。  
作品の評価要素の一つ。英語では「texture」
- ( ) ピアニスト  
「質感」使わない。  
演奏指導時は視覚イメージの言葉 (小川のサラサラ流れるように、霧氷がキラキラ輝くように等) を用いる。

全体として、「質感」は広く用いられており、対象の善し悪し、評価に使われる事が多く、特に視覚関連分野では顕著である。

質感は、回答者(V)が指摘しているように、ツルツル、ザラザラなど、本来触覚との関連が深い感覚と思われる。それが、視覚や聴覚等の他の感覚でも用いられるのは、共感覚の現れと

も思われる。共感覚としては、色や明るさと重さの関係をはじめ、種々の感覚分野において検討が行われており[43][44]、質感と映像（視覚）との共感覚についても今後の検討課題の一つとなろう。また、「質感」自体の感性効果も充分明らかになっているとは言えず、合わせて今後の検討が望まれる。最近、表面の光学的情報からザラザラ、ツルツルなどの表面の質感を知覚する脳科学的メカニズムが提案されており[45]、この面からの今後の発展も期待される。

以上の結果から、前章で述べた画像要因分析で得られた「質感」要因は、ほぼ一般的な意味での「質感」と共通するところが多いことが推察されるものの、必ずしも同一の意味を有しているかどうかは不明である。そこで、現在のところ、映像における質感の一般的な意味、用法として、

「質感」とは

材料の持つ性質に対して生じる、

人間の心理的感覚、

である、

と考えるのが妥当と思われる。従って、今後「質感」を工学的見地から取り上げるに際しては、用語の定義とその特性の解明が重要となると考えられる。なお、辞典[41]によれば、「材料」は素材と同様な意味であり、「素材」には“ もとになる材料。原料。 芸術作品の題材となる自然や人事 ”、と記述されている。

しかし、「質感」もまた、冒頭で述べたような、我々の心理的感覚としての「～感」であるところから、他の「～感」と同様な基本的性質を持ち、同様な研究手法の適用[46]が、特に支障のない限り、基本的には可能と考えられる。従って、既述の映像の心理効果の測定法は、基本的には質感を含む、テレビ映像の全ての心理効果の測定に用いられると考えられる。質感の心理評価の具体的手法、手続きを含む詳細は、今後の重要な検討課題である。

#### 1.3.4 「艶（ツヤ）」、「光沢」、「肌理（キメ）」

質感と並んで良く用いられる言葉として、艶（ツヤ）、光沢、肌理（キメ）等がある。そこで、これらについても合わせて述べておく。

まず「艶」については、前出の大辞林[41]によれば、なめらかな物の表面に表れる、うるおいのある美しい光であり、「顔に～がある」「塗り物を磨いて～を出す」等の用法がある。また、声が若々しくはりがあること、声がひきしまつてよく通ること、等の意味では、「～のある声」（以下略）と記されている。

また、「キメ（木目・肌理）」については、「～の通った木材の他、」皮膚や物の表面の細かいあやとして、「～の細かな肌」と記されている。また、「光沢」は、なめらかな表面が光りを受けて発する輝き、つや、で、「～がある」と記載されており、「キメ」と同様な意味を持っており、物体の見えに関する表現としては、艶ともほぼ同様な意味であるといえる。

光沢は、表 1.3-6 の Z5011 の定義およびそこに示された Z8105 「色に関する用語」[47]中に定義があるので参照されたい。同じく、Z8741 「鏡面光沢度-測定方法」では鏡面光沢度の測定・表現法が規定されている。詳細は、上記文献を参照されたい。

色の見えに関しては、肌理（texture）と光沢（glossiness）は異なり、何れも表面色の重要な属性とされる[43]。また、色の異なる塗膜表面では鏡面光沢度の値が同じであっても、「つや」が異なり、暗い色の方が「つや」があると感じる、とされ、塗膜面では「つや」の評価は鏡面光沢度の値だけでは充分とは言えない、とされる[44]。質感の再現は物体表面の凹凸成分、

光沢成分、テクスチャ等に依存するので、物体の双方向反射分布関数を測定する事が必要であると指摘されている。[48]。

これらの性質は、外部の1次光源と塗膜面である2次光源との関係が関わるとも考えられる。一方、映像、特にテレビ映像、では自発光型のディスプレイが広く用いられるところから、必ずしも全て適用されるとは言えないとも考えられるが、基本的には同様な現象が生ずる可能性は充分考慮する必要があると思われ、今後の課題の一つである。

なお、心理評価についての規定である「JIS Z8144 官能評価分析—用語」[47]には、質感に関する既述は無いが、3005 風味（ふうみ）、フレーバー、4006（表面の）テクスチャー、4007（食品の）テクスチャー、及び 5011 光沢、5012（視覚の）テクスチャー、は上記の辞典に於ける「質感」の意味と関連が深いと思われ、前述の各種分野の専門家へのインタビュー中でも使用された用語を含むので、用語と定義検討の参考とされたい。

### 1.3.5 階調と観視条件

映像について、黒の再現性を改善する事により、ツヤの再現性を向上させた高品質画像を表示する試みも報告されている[49]。それによれば、物理要因として 白色の色温度、CRT のガンマ特性、粒状性ノイズ、インターレース妨害、輝度、コントラスト、フレア・黒の再現性、ポイントスプレッド関数とその微細構造、照明の方法による照り・反射分布曲線、等が関係する。これらは、用語から推察されるように、質感の表現の条件と共通するところが非常に多いと考えられる。また、これらの延長として、質感向上のためには「黒」の再現性が重要であると指摘しており、階調が質感再現の重要な物理要因であることを示しているものと考えられる。

階調再現は、観視条件、なかんずく周囲光による画像の背景輝度の影響を大きく受ける。例を図 1.3-2 に示す[50]。今、周囲光による周囲輝度が  $3.14\text{cd/m}^2$  の場合を考えてみると、画像の黒レベル（最低輝度）が  $2\text{cd/m}^2$  時に知覚される主観的な明るさは左側の縦軸の値であるほぼ 1 となり、十分な黒を感じる事が出来る。さらに、この時の映像の最高輝度を  $200\text{cd/m}^2$  とすれば主観的な明るさは同じく 8 程度となり、ほぼ十分な白を感じる事が出来、全体に白から黒までのほぼ十分な階調を得ることが出来る。また、画像の白の輝度を  $500\text{cd/m}^2$  に上昇させても、知覚される白はあまり上昇せず、輝度上昇の効果はあまりない。

一方、背景輝度が  $3.14\text{cd/m}^2$  の場合、同じ主観的な白を感じるのに必要な輝度は約  $20\text{cd/m}^2$  となるのに対し、同じく  $315\text{cd/m}^2$  の場合の輝度は  $1000\text{cd/m}^2$  以上となり、実現は極めて難しくなる。従って、妥当な輝度範囲で十分な映像の白と黒の主観的な感覚を得るためには、周囲輝度を適切に保つ事が重要である[51]。なお、図の点線は、周囲輝度に対する眼の順応レベルである。

従って、十分な階調を得る、即ち映像の質感の向上のためには、ディスプレイ表面の外光反射率の低減だけでなく、ディスプレイを取り巻く周囲の反射率と照明環境がディスプレイ自体と同様、場合に寄ってはそれ以上に重要となる。業務用途では、暗室乃至それに近い条件は可能であるが、テレビは一般家庭用を想定しており、生活に快適な周囲照明下で使用されるのが基本である。近年、ホームシアター等、家庭に於いても業務用乃至それに準じた映像観視用照明条件を実現する事はあながち不可能ではなくなったとは言え、適切な周囲照明は今後も重要と思われる。色も同様な順応現象が以前から知られており[43][44]、同様な配慮が必要である。今回は、これらについて詳述する事は出来なかったが、今後調査検討すべき大きな課題の

一つである。

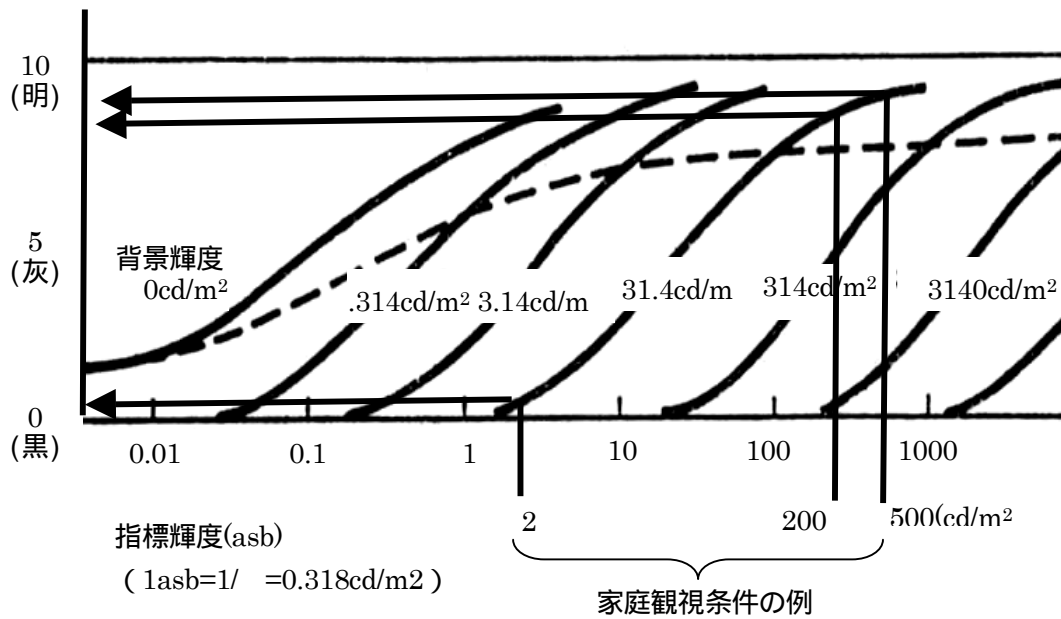


図1.3-2 輝度と主観的明るさの関係  
( [50]を改変 )

階調再現に関しては、調子再現等の名称で、テレビ開始以来非常に多数の研究があるが、これ迄本稿で述べて来た意味での「質感」との関係を取り上げて論じたものは見当たらない。しかし、良い調子再現は高度な「質感」表現の重要な条件となると、当然、考えられる。従って、今回は立ち入る事は出来なかったが、従来の調子再現論を「質感」再現の見地から改めて見直すことは非常に有益と考えられる。今後の課題の一つとしたい。なお、調子再現論、観視条件等の研究の概要は、文献[3]の他[6][12][14][15]等に述べられているので、参照されたい。

## 参考文献

- [1]田中誠一,“我が国のデジタルコンテンツの将来展望”,映像情報メディア学会メディア工学研究会資料 ME2006-213,平成 16 年 10 月 30 日
- [2]テレビジョン技術史編集委員会編,“テレビジョン技術史”,テレビジョン学会,昭和 46 年
- [3]映像情報メディア学会編,“テレビジョン・画像情報工学ハンドブック”,オーム社,1990
- [4]日本放送協会放送技術研究所編,“ハイビジョン技術”,日本放送出版協会,昭和 63 年
- [5]“講座 HDTV (ハイビジョン) 第 1 回～第 12 回”,テレビジョン学会誌 Vol.42, No.6(1988)～Vol.43, No4(1989).
- [6]映像情報メディア学会編,三橋哲雄、友田克明編著,“ハイビジョンディスプレイ技術”,コロナ社,1997 年
- [7]E.Nakasu, Y.Nishida, M.Maeda, M.Kanzawa, S.Yano, M.Sugawara, K.Mitani, “Technical Development Toward Implementation of Ultra High-Definition TV System”, SMPTE Motion Imaging Journal, July/August, 2007
- [8]榎並和雅,“我が国に於ける超高臨場感システムに関する研究”,映像情報メディア学会技術報告, 3DIT2007-1, IDY2007-54, Vol.31, No.31, pp.1-6, 2007
- [9]山口雅浩, 羽石秀昭, “感性を刺激する自然な色再現を目指して- ナチュラルビジョンプロジェクトの活動-”, 信学誌, Vol.88, No.6, pp.456-476, 2005
- [10]樋渡涸二, “画像工学”, テレビジョン, VOL.25, No.9, pp.674-680, 1972
- [11]宮原誠, “感性のテクノロジー入門”, アスキー出版, 2005
- [12]渡部勲, 坂田晴夫, 長谷川敬, 吉田辰夫, 畑田豊彦, “視覚の科学”, 写真工業出版社, 昭和 50 年
- [13]三橋哲雄, “テレビジョンにおけるヒューマンインタフェース”, テレビジョン学会誌, Vol.44, No.8, pp.986- 992, 1990
- [14]大石巖, 畑田豊彦, 田村徹編著, “ディスプレイの基礎”, 共立出版, 2001
- [15]テレビジョン学会編, 宮川洋監修, “テレビジョン画像の評価技術”, 昭和 61 年, コロナ社
- [16]日科技連官能検査委員会, “官能検査ハンドブック”, 日科技連, 1973
- [17]日本規格協会編, “JIS ハンドブック 57 品質管理”, 日本規格協会, 2005
- [18] Recommendation ITU -R BT.500-6, “Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures”, ITU, 1994
- [19]“画質評価マニュアル HDTV の画質評価を中心として”, 社団法人電波産業会, 平成 8 年
- [20]“デジタル映像評価法調査報告書”, 社団法人電波産業会, 平成 12 年
- [21]長谷川敬, “講座マルチメディアのための品質評価第 9 回心理評価技術”, 映情学誌, Vol.54, No.9, pp.1259-1264, 2000
- [22]三橋哲雄, “画像の主観評価技術”, 映情学誌, Vol.53, No.9, pp.1195-1198, 1999
- [23]テレビジョン学会編, 大串健吾, 中山正, 福田忠彦, “画質と音質の評価技術”, 昭晃堂, 1991
- [24]熊田純二, 金澤勝, 村上仁己, “評価に用いるテストチャート- ハイビジョンテストチャートおよび標準テレビ用動画像”, テレビ誌, Vol.46, No.2, pp.134-138, 1992
- [25]岩下豊彦, “SD 法によるイメージの測定”, 川島書店, 1983
- [26]長町三生, “感性工学のお話”, 日本規格協会, 1995 年
- [27]藤村郁夫, 画像情報と画質評価, 光学技術コンタクト, Vol.8, No.5, pp.17-20, 1970



- [28]吉岡達夫編,“新・ライティングの構成”,玄光社,平成10年
- [29]中島龍興,近田玲子,面出薫,“照明デザイン入門”,彰国社,1995
- [30]金澤勝,小宮山撰,稲垣敏彦,森本一成,講座マルチメディアのための品質評価第6回「マルチメディアの評価-映像・音声・印刷の主観評価の基礎とヒューマンインタフェース-」,映情学誌,Vol.54,No.6,pp.802-811,2000
- [31]映像情報メディア学会編,日下秀夫監修,カラー画像工学,オーム社,1997
- [32]今間俊宏,“CG入門セミナー”,日経BP社,1998
- [33]竹田哲也,“テクスチャ教科書”,株式会社ポーンデジタル,2004年
- [34]川口吾妻監修,川口我妻,大寺聡他著,“デジタルデッサン-CGの技法を使ってデッサンに挑戦-”,CG-ARTS協会,平成13年
- [35]大谷禎夫,三橋哲雄,高品位テレビの心理要因分析,テレビジョン学会視覚研究委員会,昭和46年5月
- [36]大谷禎夫,三橋哲雄,“画質要因の評価と心理的要因”,NHK技研月報,Vol.18,No.12,pp.463-469,1975
- [37]杉原美範,渡部叡,吉田千秋,“主観的空間周波数と画質評価関数I・主観的空間周波数”,テレビジョン学会誌,Vol.41,No.12,pp.1173-1182,1987
- [38]成田長人,金澤勝,“2D/3DHDTV画像の心理因子分析と総合評価法に関する考察”,映情学誌,Vol.57,No.4,pp.501-506,2003,2003
- [39]成田長人,金澤勝,岡野文男,“超高精細・大画面映像の鑑賞に適した画面サイズと観視距離に関する考察”,映情学誌,Vol.55,No.5,pp.773-780,2001
- [40]新村出編著,“広辞苑”,第6版,岩波書店,2008
- [41]松村明編著,“大辞林”,三省堂,1988
- [42]インテリアデザイン辞典編集委員会編,“インテリアデザイン辞典(第2版)”,理工学社,1998
- [43]大山正,今井省吾,和気典二編著,“新編・感覚知覚心理学ハンドブック”,誠心書房,1994
- [44]日本色彩学会編,“新編・色彩科学ハンドブック”,東京大学出版会,昭和57年
- [45]本吉勇,“質感のメカニズム”,日本色彩学会誌,Vol.31,No.3,pp.197-200,2007
- [46]北村,“質感の構造”,日本色彩学会誌,Vol.31,No.3,pp.201-205,2007
- [47]日本規格協会編,“JISハンドブック57品質管理”,日本規格協会,2005年
- [48]三宅洋一,“1.色再現技術-最近の動向”,映情学誌,Vol.58,No.12,pp.1715-1721,2004
- [49]宮原誠,中川匡弘,向真喜男,羽山均,“テレビ画像の高品質化に関する重要な物理要因-つや(かがやき)感-”,テレビ誌,Vol.40,No.11,1986
- [50]Grosskopf,H.,“DER EINFLUSS DER HELLIGKEITSEMPFINDUNG AUF DIE BILDUBERTRAGUNG IM FERNSEHEN”,RUNDFUNKTECHNISCHE MITTEILUNGEN,Vol.7,No.4,1963
- [51]長谷川敬,“テレビジョン画像の観視条件”,テレビ誌,Vol.22,No.5,pp.347-356,1968
- [52]原島宏監修,井口征士他編,感性情報処理,第3章カラーデザインと感性,オーム社,平成6年
- [53]武末直也,青木尚和,小林裕幸,“画像の好ましい粒状感に与える記憶質感の影響”,映像情報メディア学会研究報告,IDY2007-93,HI-2007-100,3DIT-21,2007
- [54]例えば上田祥行,斎木潤,“触覚刺激が視知覚に与える影響”,映情学技報,Vol.31,No.55,pp.33-37,2007

- [55]例えば大橋力,仁科エミ,不破本義孝,河合徳枝,田中基寛,前川督雄,“脳波を指標とする映像情報の生体計測”,テレビ誌,Vol.50,No.12,pp.1921- 1934,1996
- [56]前川督雄,中津良平,河合徳枝,仁科エミ,大橋力,“メディア視覚像の精細度感性評価”,映情学誌,Vo.55,No.8/9,2001
- [57]内川恵二,“画像の質感表現と視覚特性”,シンポジウム「これだ!究極の画像表現技術」  
- 質感表現への挑戦- 講演予稿集,日本画像学会,2008
- [58]“特集・色と質感”,日本色彩学会誌,Vol.31,No.3,2007

## 第2章 現在の映像システムの問題点

### 2.1 色域・色再現性

#### 2.1.1 色域・色再現性の課題

カラー映像機器は基本的に赤(R)・緑(G)・青(B)の3原色で色を表現しており、RGBの色信号を基本として色の表示を行っている。しかし、RGBにはいくつかの定義があって一意ではない。図2.1-1は、NTSC RGB(1953)、sRGB、CIE-RGBの三原色をxy色度図上に図示したものである。これらは全て赤・緑・青の三原色を表しており、互いに関係を持っているが、その意味は異なる。NTSC-RGBに代表されるような映像の色空間は、ブラウン管ディスプレイの発光特性に合わせて決められており、RGBの蛍光体をどれだけ光らせればよいか、を信号として表している。カメラなどの映像入力系の特性が、いわゆる理想撮像特性(図2.1-2)と同等であれば正確な色を取得することが可能であるが、そのようなカメラはほとんど存在しない。このため現行の多くの映像システムでは、ディスプレイ上に表示された映像の色が実物と一致しないが、実物の色を忠実に再現できなくても、視聴者にとって好ましい色を再現することを主眼としてシステムが設計されてきた。しかし、デジタル映像は広く利用され、遠隔医療、電子商取引、電子美術館などへの応用も進んでいる。このとき、映像が単に鑑賞されるだけでなく診断や商取引等に利用されるので、映像情報自体の価値が重要な意味を持つ。映像システムが実物の色を忠実に再現する能力に欠けていれば、リアリティーを失うだけでなく、映像情報の活用を制約することになる。実物の色を忠実に再現するために解決すべき課題とそれに対する技術の現状を述べる。

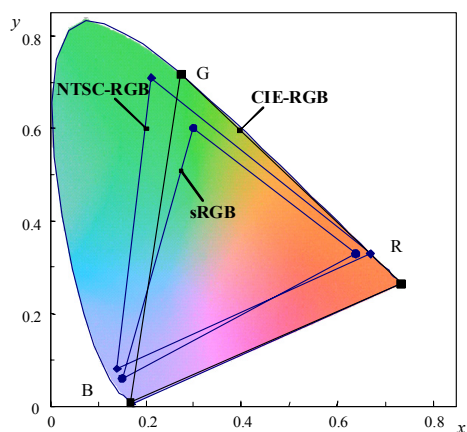


図 2.1-1 NTSC RGB、sRGB、CIE RGB の原色点 (CIE xy 色度図)

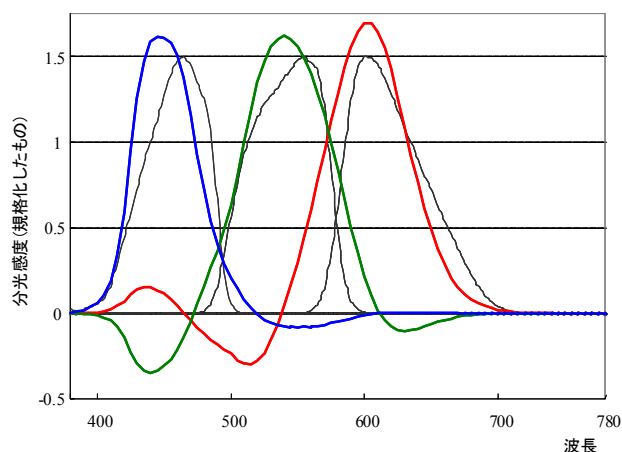


図 2.1-2 NTSC 方式の理想撮像特性 (赤、緑、青の太線) と、実際のカメラの分光感度の例 (黒細線)

#### (1) 機器による色再現特性の違い

カメラやディスプレイ、プリンターなどの特性は機器によって異なるため、同じ物体でも RGB 信号が同じ値にならない、また、同じ RGB 信号でも表示される色が機器によって

異なる。これに対して、機器による色再現特性の違いを補正する色管理（カラーマネージメントシステム：CMS）技術が印刷分野を中心として進展し、近年はデジタルカメラやビデオなどにも導入されつつある。カラーマネージメントの方式としては2種類あり、全ての機器を標準的な RGB 信号に対応させて色情報をやり取りする仕組みと、機器に依存する色信号と標準的な色空間との間の相互の変換関数をプロファイル（ICC プロファイル）として保存し、色変換モジュールで機器依存の色信号間で直接変換する方式である。前者では処理が軽いのが、色域や階調などが RGB 規格に制約される。後者は機器の持つ能力を最大限活用できるが処理の負担が大きい。なお後者の方式でも標準的な RGB 規格をサポートしており、より上位の方式と位置づけることができる。

しかし実際には、ディスプレイとプリンターなど、機器によって色域が異なるため、機器によっては完全に三刺激値を一致させることができない。このためカラーマネージメントでは異なる色域を持つ機器間での色域の変換（ガマットマッピング）に大きな労力が払われており、差別化技術になっている。測色的に色を一致させると色域外で画像がつぶれることになるので、色域の広い範囲にわたって色域を縮小・拡大する方式が用いられている。このため知覚的に色を一致させることが主眼となり、色を正確に一致させることはできない。また、同様の理由で CMS の使い方が複雑な場合も多く、正しい使い方がされていない場合もある。

## (2) ディスプレイの色域が狭い

一般的なカラーディスプレイの色域は、図 2.1-1 の sRGB とほぼ同等である。前述のように、日本では規格上は図 2.1-1 NTSC の原色点が採用されているが、実際のディスプレイの色域はこれより狭く、しかし、様々な被写体の中には、この色域外のものも多く存在する。

実世界に存在する物体の色域については、Pointer によるデータ（M. R. Pointer, "The gamut of real surface colours," Color Res. and Appl., 5, 3, 145-155 (1980)、Pointer Gamut と呼ばれる）がよく参照されるが、実際には Pointer Gamut よりも外側にも物体色が存在するため、後述のナチュラルビジョンプロジェクトでは、Pointer Gamut に物体色の分光反射率データベース（"Standard Object Colour Spectra Database for Colour Reproduction Evaluation (SOCS)," JIS TR X0012:98, Japanese Standards Association (1998)）から得られた色域を加えたものを物体色の色域（以下、Pointer+SOCS）として参照している。なお蛍光色は特殊な性質を持つため外してある。

図 2.1-3 は NTSC(2)の原色点と Pointer+SOCS の色域を xy 色度図上で比較したものである。多くの物体がモニタの色域外となり、表示できないことがわかる。

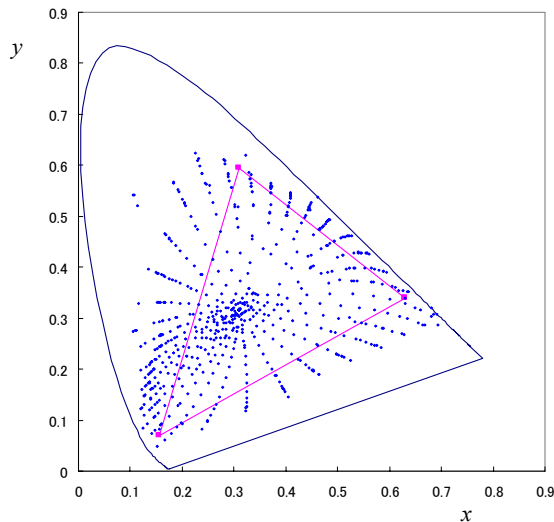


図 2.1-3 Pointer+SOCs による物体色の色域（点のプロット）と、NTSC(2)の原色点（CIE xy 色度図）

### (3) カメラの感度特性の問題

図 2.1-2 に示したように画像入力装置の理想撮像特性には負の部分が存在し、実際のカメラの分光感度特性は理想撮像特性と一致しない。画像入力装置より得られる信号値に対してマトリクスを作用させることで色再現特性を改善することは可能であるが、その場合でも画像入力装置の分光感度特性がある条件（Luther 条件と呼ばれる。視覚系の等色関数がカメラの分光感度の線形結合によって表せること。）を満たしていなければ、全ての色に対して正確な色を取得することはできない。一般に用いられているカメラは Luther 条件を満たさないため、人間には異なる色として知覚される物体が、画像入力装置の信号値では同じ値になってしまう場合や、人間にとっては同じ色でも画像の信号値としては異なる値になる場合がある。特に、彩度の高い色は狭帯域のスペクトルを持つためこの影響を受けやすく、カメラから得られる色信号の色域は限定されたものになる。

さらに、マトリクスを作用させると色再現特性が改善されるが、マトリクスに負の値があるとノイズを増幅する傾向があるため、実際には S/N を優先して色再現特性を犠牲にしている場合も多い。

図 2.1-4 は、図 2-1.2 の黒線の分光感度を持つ 3 バンドカメラの出力から得られる色の精度（シミュレーション）を示している。縦軸は CIELAB 色差を示しており、人間が見分けられる色の差はおおよそ色差 2~3 程度である。3B HDTV と 3B NTSC はそれぞれカメラの出力を理想的な HDTV RGB、NTSC RGB のモニタに表示した場合の色差、3B Least Mean Sq. は正確な分光感度が得られているものとして、分光感度と等色関数から最小二乗法により算出されるマトリクスを乗算したもの、3B Wiener は照明スペクトルと分光感度、等色関数からウィナー推定により得られる色推定マトリクスを用いたものである。適切なマトリクスを作用させることにより色再現精度が向上することがわかるが、対象物によっては大きな色差を生じる場合もある。

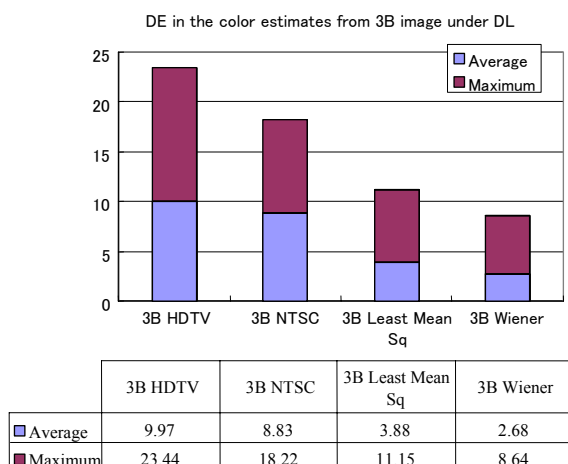


図 2.1-4 一般的なカメラ (図 2.1-2) から得られる色の精度 (シミュレーション)

被写体は GretagMacbeth ColorChecker 24色、撮影時照明、色推定時照明は共に CIE D65 と同等な特性をもつデライト照明。棒グラフは平均および最大の CIELAB 色差を示している。

#### (4) ホワイトバランスの問題

RGB に基づく映像システムでは、色空間は標準光源下での白色点に基づいて決められており、撮影された色信号は標準光源下での色に変換されて扱われる。これはいわゆるホワイトバランスの処理であり、人間の視覚における色順応の性質と同様な処理を行っている。しかし、照明光のスペクトルを考慮していないので、撮影時と異なる照明光源下での色を再現する場合には誤差を生じる。図 2-1.2 の黒線の分光感度を持つ 3 バンドカメラで 3 バンドカメラにスペクトルベース色再現を適用する場合の効果を検証するために、異なる照明環境下での色再現において生じる誤差をシミュレーションによって評価した結果を図 2.1-5 に示す。図において CIE A 光源は白熱灯、F2 光源は蛍光灯の一例に対応している。異なる照明の下での色を再現する場合にホワイトバランス処理では大きな色差が生じる場合があることがわかる。

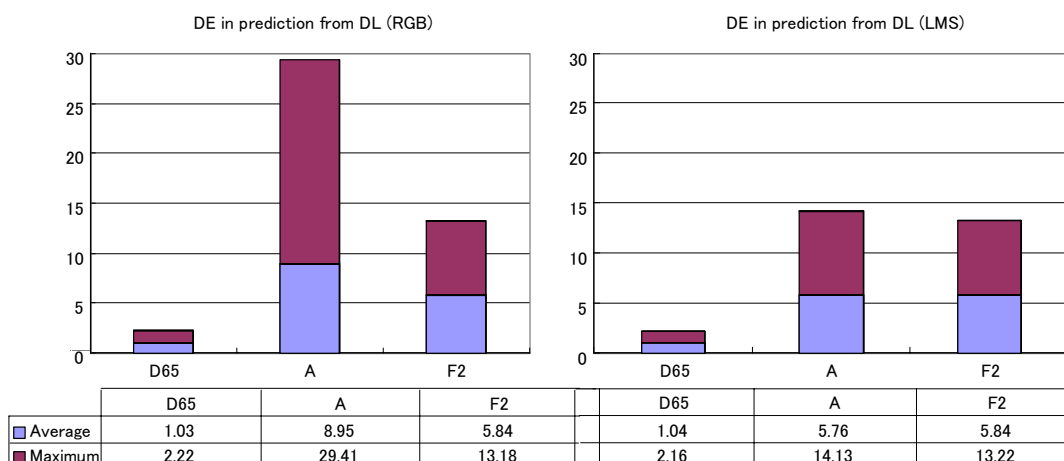


図 2.1-5 ホワイトバランス処理により生じる色差

デライト (D65 相当) 光源下での三刺激値から CIE D65、CIE A、CIE F2 標準光源下での色をホワイトバランス処理 (色順応) によって予測したときの誤差 (CIELAB 色差)、被写体は ColorChecker 24 色。左は RGB 色空間で係数を掛けたもの、右は LMS 色空間 (CIECAM02 で用いられているマトリクスを使用) で係数を掛けたもの。

(5) 視覚特性の個人差の問題

人間の目の特性は CIE XYZ 等色関数として標準化されているが、実際には個人差がある。このため、ある観察者が同じ色と知覚する 2 つの物体が、別の観察者にとっては異なる色に見えるという現象が発生することがある。これは観察者メタメリズムと言われている。CIE (国際照明委員会) で定めた CIE 1931 XYZ 等色関数などは人間の視覚の分光感度特性を表すもので、色を計測する機器はこれに基づいて数値を算出しているが、これは多数の観察者の平均から決めた「標準観察者」の特性である。実際には個人毎に分光感度に違いがあるため、測色機で計測した数値は同じでも色が違って見えることがある。これは、印刷物とディスプレイで色が合わない原因の一つと考えられている。

分光感度の個人差は、加齢による水晶体の黄化が最大の原因と考えられるが、視細胞内の色素の特性が個人毎に異なる点も影響している可能性がある。また、個人内でも網膜上の位置によって分光感度特性は異なる。網膜の中心窩近くには黄斑色素があり、黄色のフィルタを通して受光しているため中心部と周辺部で異なる特性となり、物体のサイズにより色の知覚が異なる。

観察者メタメリズムの影響が無視できない場合、ディスプレイ上に測色的に正しく色を再現しても、視覚的に実物の色と一致しないという問題が起きる。

RGB を拡張した 3 原色を用いることでもこれらの問題の一部に対処することは可能であるが、原理的にすべてを解決することはできない。特に(2)~(5)の問題は、光のスペクトルを扱わなければ解決が難しい。これに対して、従来の RGB 3 原色の限界を超えた、スペクトルと多原色に基づく映像色再現技術が研究開発されており、それによって実物が目の前にあるときに限りなく近い色を再現することが可能になり、従来よりもリアリティーの高い光沢・質感等を持つ映像再現を行えることが示されている。その詳細については 4 章に紹介する。

## 2.1.2 映像信号の規格

映像に関する国際的な規格としては、放送関係の ITU ( International Telecommunication Union ) 規格、コンピュータモニタ関係の VESA ( Video Electronics Standard Association ) 規格など様々なものがあるが、ここでは色空間に関する規格を列挙する。

### 2.1.2.1 放送関係の規格

- ITU-R BT.1700 "Characteristics of composite video signals for conventional analogue television systems"、SMPTE Standard, SMPTE 170M-1999 "for Television - Composite Analog Video Signal - NTSC for Studio Applications"

現在の標準テレビジョン ( NTSC ) の規格である ( BT.1700 は、PAL 等も含んでいるが、ここでは日本の NTSC を中心に説明する )。NTSC 規格は RGB の色度点を当初(1953 年)(1)式で規定していたが、モニタの蛍光体の変化に伴い(2)式に変更された。この規格では RGB の映像信号の値としては正の値だけを定義しているため、再現可能な色の範囲は 3 原色点で囲まれた 3 角形の内側のみとなる。ただし、日本では(1)式の 3 原色点をそのまま使用している。

3 原色点の座標だけを見ると(1)式の 3 原色点は(2)式よりも彩度が高いため、日本では他の国々での放送よりも広い色度での色再現が可能であると間違えて受けとられる可能性もある。しかし、日本でもモニタとしては(2)式の 3 原色点のモニタを使用し色再現はモニタに合わせているため、実際の色再現範囲は他の国と同様に(2)式の 3 角形の内側である。

$$R(0.67, 0.33), G(0.21, 0.71), B(0.14, 0.08) \quad (1)$$

$$R(0.630, 0.340), G(0.310, 0.595), B(0.155, 0.070) \quad (2)$$

- ITU-R BT.709 "Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange"

ハイビジョンの規格である。この規格の 3 原色点は(3)式で、(2)式とほぼ等しく、RGB の映像信号の値としては正の値だけを定義しているため、色再現範囲は ITU-R BT.1700 とほぼ同じである。

$$R(0.640, 0.330), G(0.300, 0.600), B(0.150, 0.060) \quad (3)$$

- ITU-R BT.1361 "Worldwide unified colorimetry and related characteristics of future television and imaging systems"

将来のテレビ用の色空間を定義した規格である。3 原色点自体の座標は(3)式だが、RGB 映像信号の値で負信号も認めているため、広い色再現範囲に対応できる。ただし、現在この規格を使用した放送サービスは存在していない。

### 2.1.2.2 通信関係の規格

- ITU-T Recommendation T.42 "Continuous-tone colour representation method for facsimile"

カラーファクシミリの規格で、L\*a\*b\*での伝送と、IEC 61966-2 ( 後述 ) の sYCC 規格での伝送を規定している。このため、ITU-R BT.1700, ITU-R BT.709 よりも広い色再現範囲を有している。



### 2.1.2.3 デジタルシネマの規格

- SMPTE Standard, SMPTE 428-1-2006 "D-Cinema Distribution Master Characteristics"  
デジタルシネマの規格である。XYZ にガンマ補正して伝送するので、実在する全ての色を再現可能である。

### 2.1.2.4 上記以外の規格

- IEC 61966-2 "Multimedia systems and equipment -Colour measurement and management-"

いくつかの色空間をサポートしているが、良く使用されるものは sRGB, sYCC, xvYCC である。sRGB は ITU-R BT.709 と同じ3原色点で負信号を用いないため、色再現範囲は ITU-R BT.709 と同じである。sYCC と xvYCC は、RGB 信号における負信号をサポートするのでより広い色再現範囲を有する。特に xvYCC は、信号レベルの取り扱いにより sYCC よりも広い色再現範囲を有し、ほぼ ITU-R BT.1361 と同等である。xvYCC は民生での動画機器用として、対応する機器が市場に出てきている。

- ISO 22028 "Photography and graphic technology -Extended colour encodings for digital image storage, manipulation and interchange -"

写真データ伝送用の規格である。ROMM-RGB や RIMM-RGB という名称を持っている。負信号はサポートしていないが、3原色点は(4)式に示すように虚色(現実には存在しない色)であり、広い色再現範囲を有している。

$$R(0.7347, 0.2653), G(0.1596, 0.8404), B(0.036, 0.0001) \quad (4)$$

- Adobe RGB(1998) Color Image Encoding; Adobe Systems Incorporated

ADOBE によるデファクト規格である。3原色点は(1)式で、実際にこの規格に準じたモニタも出てきているので、(2)式よりは広い色再現範囲を有する。

## 2.2 ダイナミックレンジの課題

ここでは、輝度の明暗の比に対し、視覚が対応できる範囲と、現在の映像システムや映像機器で対応できる範囲について述べる。以下の用語であるが、映像システムが対応できる最低輝度と最高輝度の比を「ダイナミックレンジ」と称する。これは、一般的に用いられる「コントラスト比」は、厳密には決められた信号を表示した場合の明部と暗部の輝度の比で定義されるもので、これとの混同を避けるためである。

明暗に対する人間の視覚は、暗所視 (scotopic vision : または杆体視 rod vision) 、薄明視 (mesopic vision) 、明所視 (photopic vision : または錐体視 cone vision) に分けられる[1]。

ここで、暗所視は  $10^{-4}\text{cd/m}^2$  以下の明るさに対するもので、杆体のみによる視覚であるため、明暗はわかるが色は感じられない。明所視は、 $10^2\text{cd/m}^2$  以上の明るさに対するもので、杆体が飽和するため錐体のみによる視覚である。薄明視は暗所視と明所視の間で、杆体と錐体の両方が働いている。

一般的な室内の照明は数 100ルクスであり、この照明の条件下では完全拡散面上の輝度は  $100\text{cd/m}^2$  程度である。屋内でのカラー画像表示を対象とするのであれば、ピーク輝度はこの程度から、最低輝度は薄明視まで、従って  $10^{-4}\text{cd/m}^2$  までと考えられるので、対象とする輝度の範囲は  $10^6$  程度である。

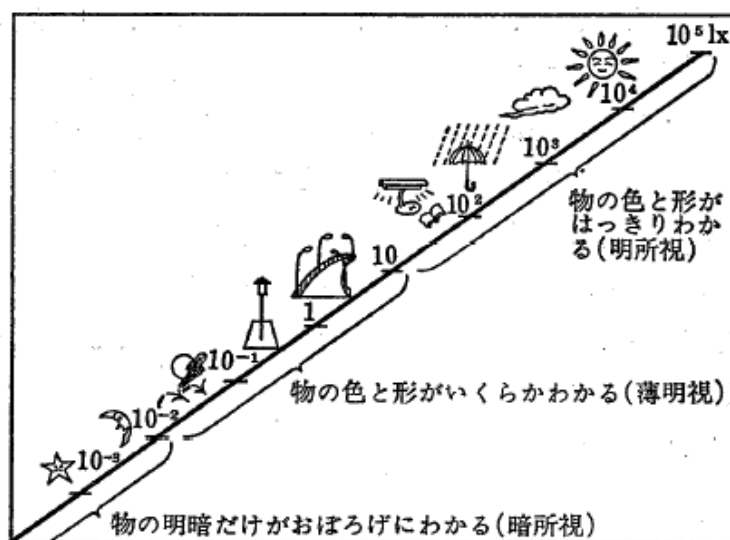


図 2.2-1 照度と視覚の関係  
(参考文献[2]より)

撮像の場合は、被写体の輝度を対象とするため、もっと広い範囲となる。例えば、日中での外の照度は 100000 ルクス程度になるし、月明かりでは 0.01 ルクス程度なので、輝度範囲は  $10^7$  以上になる[2]。図 2.2-1 に参考文献[2]にある照度と視覚の関係を示す。

日中だけでも、実際に日のあたっている場所と日陰では  $10^2$  程度は照度が異なるため、図 2.2-2 のような何の変哲もない画像でも、日のあたっているところと日陰での階調を再現するためには  $10^4$  以上の輝度範囲を扱う必要がある。

一方、この輝度の範囲でウェーバーの定理がほぼ成立するとして、ウェーバー比を 0.01[3]で計算すると、表示の  $10^6$  の輝度範囲では(1)式より、視覚では 1388 レベルを判別できることがわかる。従って、映像信号でこの範囲を対象とするのであれば、11 ビット以上必要ということになる。なおこの計算は、輝度の対数値を均等に分割した場合のもので、実際の映像信号はガンマがかかっているため、これよりは大きな数字が必要となる。



図 2.2-2 一般的な外の風景

$$\frac{1}{10^6} \cdot (1 + 0.01)^N = 1.0 \quad \text{とおくと、} \quad (1)$$

$$N = \frac{\log(10^6)}{\log(1.01)} = 1388$$

これに対し、現在の映像システム及び映像機器は上記の範囲までは対応できていない。

表示装置の暗室におけるダイナミックレンジは、CRT が数万:1 程度だが、通常の直視型 LCD や PDP ではせいぜい数 1000:1 程度である。ただし、最近では黒の再現の重要性が認識され、ダイナミックレンジが 20000:1 程度の PDP[4]や、LED バックライトの LCD でダイナミックレンジが 10 万:1[5]などが発表されている。この広ダイナミックレンジの表示装置に関しては、別な章で紹介する。

撮影装置のダイナミックレンジは、通常では 1000:1 と言われている[6]。フィルムも 10000:1 程度とされており[7]、撮影に関しても視覚で対象としているダイナミックレンジには及ばないのが現状である。

以上のように、現状の映像機器では広ダイナミックレンジを取り扱うことが出来ないため、例えば礼服などの黒の質感や金属の光沢などを再現できないため、質感が制限されていると言える。

一方、映像信号では、現在の放送信号の規格では1色につき8ビットまたは10ビットであるが[8][9]、次世代の超高精細映像信号の規格では10または12ビットとされている[10]。またデジタルシネマの規格においても12ビットとされている[11]。このように、映像信号自体では現状の放送規格ではまだ広ダイナミックレンジには対応し切れていないものの、将来の規格やデジタルシネマでは広ダイナミックレンジの映像を取り扱うことが出来ていると考えられる。

以上のように、現状の映像機器では広ダイナミックレンジを十分には取り扱うことが出来ず、視覚の性能には及ばない。このための研究開発が撮像、表示ともに行われている。広ダイナミックレンジの画像に対する取り組みは、古くは絵画の世界から始まり、写真では多重露光などによる作品が多く作られている[12]。最近では、映像においても黒再現の重要性が認識され、広ダイナミックレンジへの取り組みが増えている。例えばディスプレイ関係の学会の研究会である2007年のIDWでは1セッションを広ダイナミックレンジの表示に割り振っており、そこでは4件の発表が予定されている[13]。また、本報告の主題からは多少ずれるかもしれないが、視覚では明るい色を見たときはより彩度が高く感じられるという性質を応用し、広ダイナミックレンジの表示装置を用いるとスペクトル軌跡よりも広いと感じられる色を表現できる、という研究もある[14]。このように広ダイナミックレンジの撮像・映像表示に対する研究開発は近年盛んになってきており、今後大きく発展する可能性もあると考えられる。

映像における広ダイナミックレンジへの取り組みについては、別な章で詳細に述べる。

#### 参考文献

- [1]平凡社 心理学事典 pp.281
- [2]森北出版 池田光男著「視覚の心理物理学」 pp.102
- [3]オーム社 カラー画像工学 pp.19
- [4]パイオニア報道発表資料 2007.8.2 新世代ハイビジョンプラズマテレビ「KURO」
- [5]シャープ報道発表資料 2007.8.22
- [6]豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.30, No.2 (1995.6) 山田他、「広ダイナミックレンジ視覚センサ」  
[http://www.tytlabs.co.jp/japanese/review/rev302pdf/302\\_035yamada.pdf](http://www.tytlabs.co.jp/japanese/review/rev302pdf/302_035yamada.pdf)
- [7]John J.McCann 他"Camera and visual veiling glare in HDR images" Journal of SID Vol.15, No.9  
pp.721-pp.730 (2007)
- [8]ITU-R BT.601 STUDIO ENCODING PARAMETERS OF DIGITAL TELEVISION FOR STANDARD 4:3 AND WIDE-SCREEN 16:9 ASPECT RATIOS
- [9]ITU-R BT.709 PARAMETER VALUES FOR THE HDTV STANDARDS FOR PRODUCTION AND INTERNATIONAL PROGRAMME EXCHANGE
- [10]ITU-R BT.1769 Parameter values for an expanded hierarchy of LSDI1 image formats for production and international programme exchange
- [11]SMPTE 428-1 Digital Cinema Distribution Master (DCDM) Image Characteristics
- [12]John J.McCann, "Art, science, and appearance in HDR" Journal of SID Vol.15, No.9  
pp.709-pp.719 (2007)

[13]IDW'07 (The 14th International Display Workshop) program

[14]Rodney L.Heckman, Mark D.Fairchild "Expanding Display Color Gamut Beyond the Spectrum Locus" Color research and application Vol. 31, No.6, Dec. 2006 pp.475-pp.482

## 第3章 高質感映像の構築

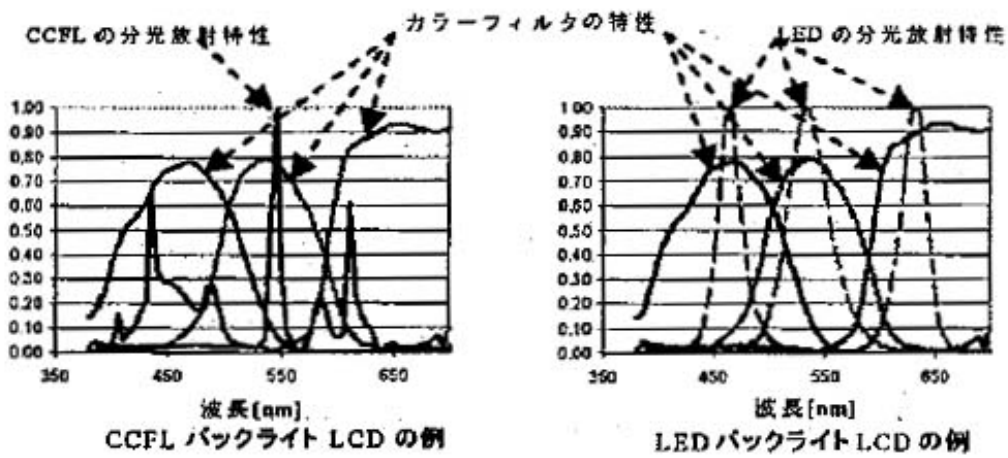
### 3.1 広色域表示の方式

#### 3.1.1 高彩度3原色による実現

3原色による表示であっても、彩度が高い原色であれば広い色再現を実現することは出来る。ただ、色度図上では原色点で囲まれた3角形の内側が色再現範囲になるため、原理的には多色による表示の方がより色再現範囲を広くすることができる。ここでは、例として2つを紹介する。

3原色で原色点の彩度を高める方法として、例えば直視型液晶であれば色フィルタの特性を制御することで大きく改善できるが、通常は輝度とのトレードオフとなる。このため、液晶直視型で輝度を落とさずに彩度を高めるには、色フィルタの特性を調整するほかにバックライトの特性も変える必要がある。従来の液晶表示装置ではバックライトとしてCCFL（冷陰極蛍光管）が用いられる、これを3色LEDに替えることにより、色再現範囲を広くすることが出来る。これは、図3.1-1（参考文献[1]より）(a)に示すように、CCFLは白色での発光で多くのサイドバンドでの発光成分を持っているのに対し、色フィルタは製作する都合で波長選択範囲がある程度広いので、その組み合わせとして高い彩度を得ることが困難である。これに対し(b)のようにバックライトとして3原色のLEDを使用した場合は、LED自体の彩度が高いため広い色再現範囲を得ることが出来る。参考文献[1]は、バックライトにLEDを使用した直視型LCDによりADOBE RGBの色再現範囲を得たことを報告している。バックライトにLEDを用いることにより、ダイナミックレンジを広げることにも容易にできるため、今後LEDバックライトのLCDモニタが増えてくるものと予想される。

より彩度が高い3原色を使用した表示装置としてレーザーディスプレイがある。参考文献[2]はソニーのGxLと呼ばれるレーザーの回折を用いた表示装置で、3原色点の彩度はレーザーの発振波長となるため非常に高くなる。図3.1-2に3原色点を示す。レーザーディスプレイは3原色点であっても非常に彩度の高い色を再現可能であるが、まだレーザーの効率、高出力の場合の安全基準の課題があるため、当分は大画面シアターなどの限定的な使用になるものと思われる。

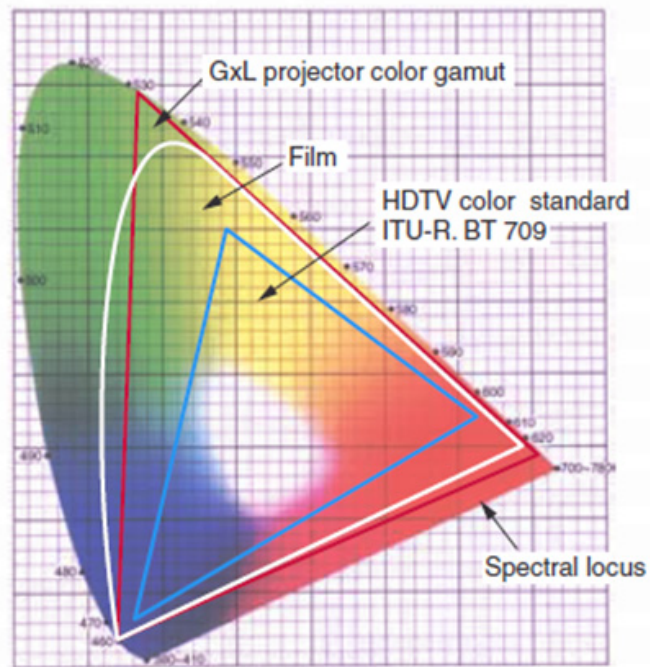


注: 上図は模式図であり、具体的な製品の特性を示すものではありません。

(a) バックライト CCFL

(b) バックライト LED

図 3.1-1 LCD でのバックライトと色純度の関係  
(参考文献[1]より)



CIE 1931 chromaticity diagram (xy chromaticity diagram)

図 3.1-2 レーザーディスプレイの3原色点の例

参考文献

- [1] 香川周一、金子英之、染谷潤、杉浦博明、谷添秀樹、「広色域液晶モニタの開発と色再現の評価」電子情報通信学会 信学技報 EID2005-86(2006-02), pp.33-36
- [2] 妹尾直、大場省介、「GxL 技術を用いたレーザードリームシアター」 特集「愛・地球博における最新映像技術 2-3」映像情報メディア学会誌 Vo.59, No.4 pp.19-22, 2005



### 3.1.2 多原色による実現

#### (1) 多原色表示の基本的な考え方

赤、緑、青の3原色の光を混色して色を表示しているこれまでのカラーディスプレイとは異なる、4以上の原色を用いたディスプレイの開発も行われている。これらは多原色ディスプレイまたはマルチチャンネルディスプレイなどと呼ばれている[1]-[6]。多原色ディスプレイの第一の目的は表示できる色再現範囲（色域、カラーガマットまたは単にガマットとも呼ばれる）を拡大することである。また、ディスプレイの構成方法によっては、色再現性を向上しながら光利用効率を改善し、消費電力の低減にも繋がる場合もある。さらに、人間の視覚感度の個人差による観察者メタメリズムの問題を解決するために、分光画像と組み合わせてスペクトルを再現するディスプレイを実現する試みもある。

図 3.1-3 は多原色による色域拡大の概念図である。ディスプレイにおいて広い色域を得る方法としては、できるだけ彩度の高い3原色を用いることが考えられるが、3角形で全ての色をカバーすることはできない。また、スペクトル幅が狭く、輝度の高い原色を使用しなければならない。多原色ディスプレイでは、M 個の原色を用いて加法混色により画像を表示することにより色域は M 角形となり、色域を飛躍的に拡大することができる。実際には色域は色空間内における立体で考える必要がある。3原色表示では6面体であるが、多原色表示を用いることにより多面体になる。このため図 3.1-3 ではあまり広がっていないように見える領域（例えば黄色など）でも、多原色表示での色域拡大の効果はある。

多原色による映像表示は NHK による4原色表示のデモ[1][2]が最初の試みと考えられるが、4章に述べるナチュラルビジョンの研究開発において、色域の評価や映像信号処理などを含む本格的な検討[3]-[8]が行われ、その後各社から試作発表、商用化が行われている。

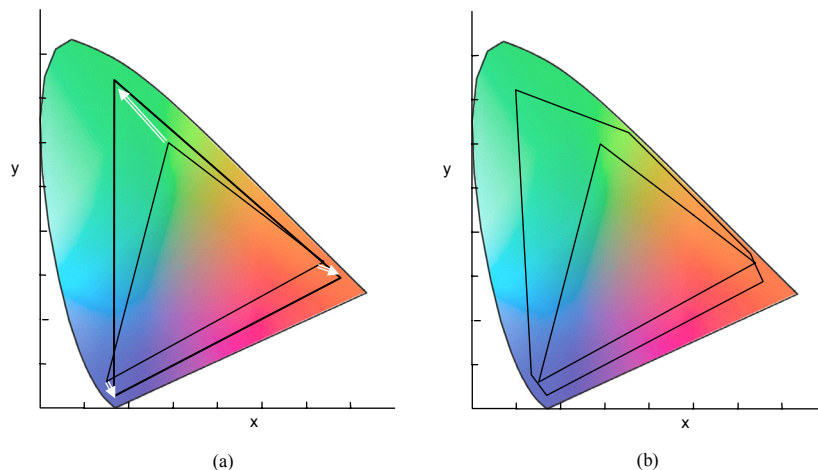


図 3.1-3 ディスプレイの色域の拡大

(a) 彩度の高い3原色を用いる方法

(b) 多数の原色を用いる方法

人間が知覚できる色は、図 3.1-3 にもあるような馬蹄形のスペクトル軌跡の内側なので、加法混色でこの領域の全ての色を作るには、全波長の単色光が必要になり、原色数は無限に必要ということになるが、人間が知覚できる色の差には限界があり、これを考慮すると限られた原

色数で全ての色を表現できるとして差し支えないと考えられる。例えば MacAdam による色弁別楕円の 3 倍が一般的に色の弁別閾値と言われているので、これに基づいて図 3.1-3 のスペクトル軌跡の内側を覆うように原色をとることを考えると、最小で 11 種類の単色光（例えば、780nm, 551nm, 525nm, 513nm, 492nm, 482nm, 472nm, 463nm, 438nm, 380nm）を用いれば、MacAdam による色弁別楕円の 3 倍の範囲内で全ての色を表示することができる[5]。430nm から 550nm の範囲で多数の原色が必要になっているのは、この波長範囲で視覚系の等色関数の変化が大きく、また互いに重なり合っているためである。ただし、この議論はディスプレイの輝度及び色空間の明度方向の色域変化を無視したものであり、またレーザー光のような単色光を用いた場合の議論である。例えば、光源が等エネルギー白色（分光放射輝度が全ての可視領域波長範囲で一定）で、そのエネルギーを失わないように多原色に分割する場合には、上述の単色光よりも多くの原色が必要で、18 原色を用いることによって、3 次元色空間内で人間が知覚するほぼ全ての領域を表現可能であることが示されている[5]。

現実には、11 個の単色光や 18 原色の色フィルタを用いたディスプレイを構成するのは効率的ではない。自然界に存在するほとんどの物体の色は、ある程度限られた彩度の範囲内に収まっているため、ディスプレイの原色を適切に設計すれば、5 ~ 6 原色で物体色のほぼ全てを再現することができる[6][7]。

## (2) 多原色ディスプレイの方式[4]

多原色ディスプレイを実現する方式としては、従来の 3 原色によるカラー表示方法を M 原色に拡張し、M 個の原色の画素を合成するカラーピクセルを構成すればよい。カラーピクセルの構成方法としては、

- ・ 時分割で各原色の画像を表示する方法
- ・ 多色の色フィルタや発光体を用いた空間画素配列による方法
- ・ ダイクロイックプリズムなどを用いて原色数分の表示パネルの画像を合成する方法

などが考えられる。また、これらの方法はそれぞれ一長一短があることから、これらを組み合わせさせたシステムも考えられる。以下に多原色ディスプレイの構成方式の例を示す。

### 多板式多原色プロジェクタ

ダイクロイックプリズム等により光源からの光を分光すれば、原色数を増やしても光の損失は少ない。光源からの光を分光して多原色を構成すれば、白色点の輝度は原色数に依存せずほぼ一定となる。したがって白色点の値をほとんど変化させずに色域を拡大することができる。多板式多原色プロジェクタを実現するには、3 板式液晶プロジェクタ等と同様にして M 枚の空間光変調素子のそれぞれにおいて各原色を表示すればよいが、ダイクロイックプリズムなどを用いて M 色に分光する光学系を構築しなければならない。

これに対し、2 台のプロジェクタを用いて投影された画像を重ね合わせることで 6 原色を表示するシステムが試作されている（4 章に述べるナチュラルビジョンの研究開発によるもの）[6,8,9]。市販の液晶プロジェクタに特注の色フィルタを挿入して原色光のスペクトルを狭帯域化し、2 台のそれぞれのプロジェクタで異なる 3 原色が表示されるようにしている。図 3.1-4 に示すように、一方のプロジェクタによって R1、G1、B1 の 3 原色を、他方のプロジェクタで R2、G2、B2 の 3 原色を表示し、2 台のプロジェクタから投影された画像を重ね合わせることによって、6 原色の画像が表示される。色フィルタの分光透過特性を図

3.1-5 に、また、その結果得られる 6 原色のスペクトルを図 3.1-6(a)に示す。このようにして得られる 6 原色投射型ディスプレイの色域を図 3.1-6(b)に示す。通常の CRT や液晶プロジェクタよりも広い色域が得られており、特に彩度の高い、青緑、赤、紫等の表示が可能である。

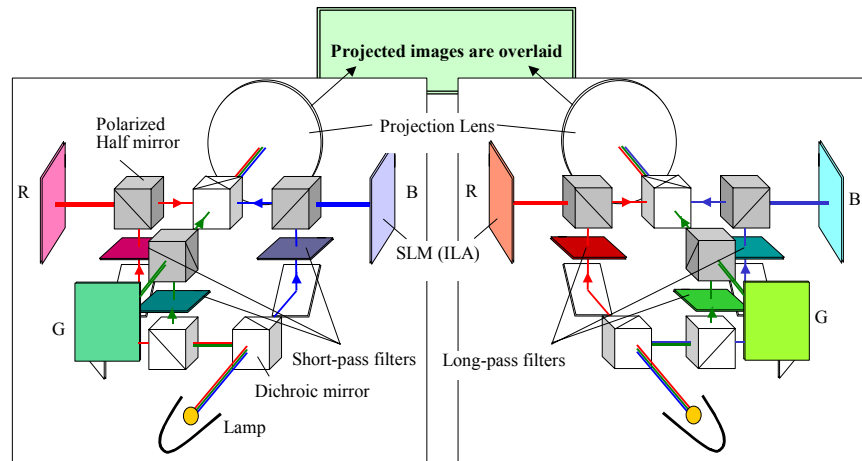


図 3.1-4 2 台のプロジェクタを用いた 6 原色表示システムの光学系

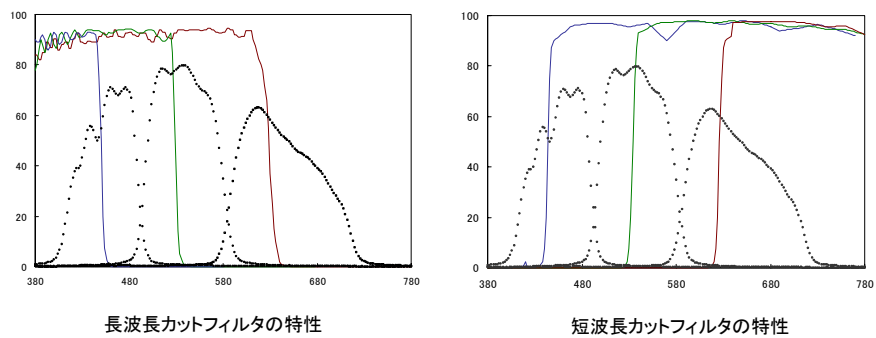


図 3.1-5 挿入された色フィルタの分光透過率特性

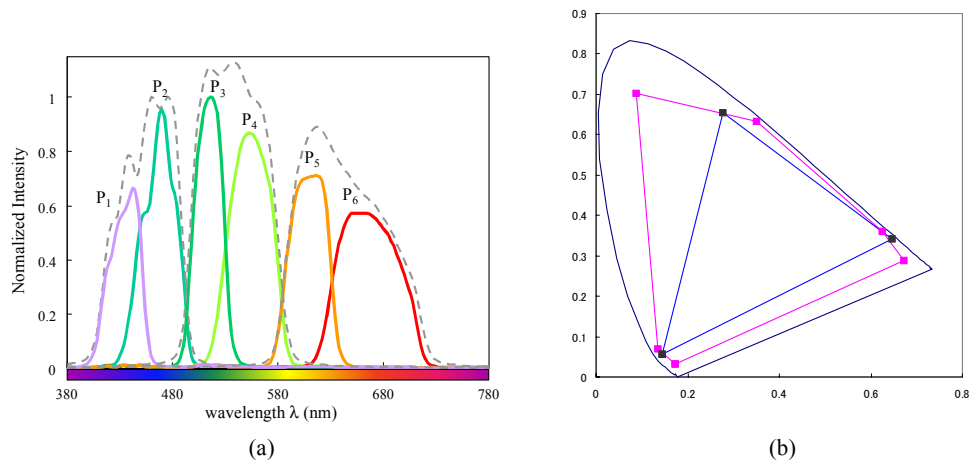


図 3.1-6 (a) 6 原色のスペクトル、(b)実験的に得られた色域

### 時分割による単板式多原色プロジェクタ

図 3.1-7 に示すように、回転する円盤に各原色に対する分光透過率を持つ色フィルタを取り付け、時分割で各原色の画像を表示する多原色表示システムが開発されている。DLP(Digital Light Processing)や LCoS( Liquid Crystal on Silicon)技術による単板プロジェクタに使われているフィルタホイールに多原色のフィルタを装着すればよい。この方法では、各原色のスペクトルの設計における自由度が高い点が特徴である。時分割で表示される各原色の画像の色が融合して観察できるように、高速なフレームの更新が必要であるが、ハードウェアとしてはフィルタホイールのみを変更すればよいので実現は容易である。また、原色のスペクトルを適切に選ぶことで、光源からの光の利用効率を改善することができる。

オランダ Royal Philips Electronics 社では、イスラエルの Genoa Color Technologies 社と共同で、この方式の 5 原色リア投影方式液晶プロジェクタを開発している[9,10]。表示素子として LCoS を使い、フィルタホイールには赤、緑、青に加えてシアンと黄色の 5 種類の色フィルタが装着されている。図 3.1-8 に、この 5 原色によって再現される色域を示す。Texas Instruments Japan、韓国の Samsung Electronics 社でも同様にフィルタホイールを多原色化した DLP 方式の 5 原色プロジェクタを開発している [11]。Samsung からは ITU-R Rec.709 における 3 原色表示と比較して、色域体積は約 1.5 倍になると報告されている。他に多色 LED の時分割照明による多原色表示の提案もなされている[12]。

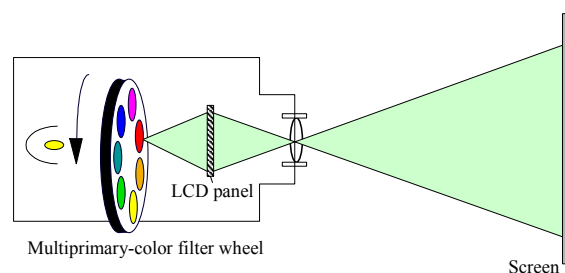


図 3.1-7 時分割方式による多原色表示の光学系

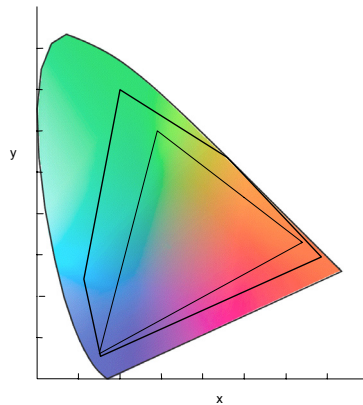


図 3.1-8 Phillips の 5 原色 LCoS リア型プロジェクタの色域 (CIE xy 色度図)

#### 空間画素配列による単板式多原色プロジェクタ

単板式液晶プロジェクタ等と同様に一枚の空間光変調素子の各画素に異なる原色を割り当ててカラーピクセルを構成する方法である。各原色に対応する画素に対して狭帯域の色フィルタを付加すると、光の利用効率が低下してしまう。これを避けるためには、各原色の光を分光してカラーピクセルを構成することが望ましい。このために、ホログラフィック光学素子 (HOE : Holographic Optical Element) を用いて多原色表示を行う方法が開発されている[13]。回折格子により分散された光を、M 画素分の大きさを持つレンズアレイで液晶パネル上に集光すると、液晶パネル上に虹状の光の帯ができるので、液晶パネルの各画素をそれぞれの原色に対応する位置に配置する。これにより、液晶パネルの M 画素で一つのカラーピクセルを構成できる。

#### 時分割照明を利用した多原色フラットパネル液晶ディスプレイ

フラットパネルディスプレイ (FPD) において多原色表示を行うには、カラーフィルタを多色化する方法が考えられるが、3 原色の場合に比べて解像度が落ちる、バックライトの光利用効率が低下する、などの問題がある。多色フィルタを用いた方式については次項に述べるが、時分割方式と 3 原色表示を組み合わせた FPD の開発も行われている。

時分割による照明光変調を用いた多原色表示手法の概念図を図 3.1-9 に示す[14]。この図では、液晶パネルは一般的な 3 色のカラーフィルタがついたものを想定している。まず、スペクトルの異なる 2 種類のバックライト照明光  $W_1, W_2$  を用意する。次に  $W_1, W_2$  を高速に切り替え、交互に 3 色のカラーフィルタに通すことで、原理的には時分割により 6 つの原色が作られる。予め作成しておいた 6 原色画像は、2 枚の 3 原色画像に分け、バックライトの高速切り替えに同期して表示することで、6 原色によるカラー表示が実現される。

この方式による開発例としては、LED バックライトの交互点滅を用いた日立による 4 原色ディスプレイ[15]や三菱電機による 6 原色ディスプレイ[16]、蛍光管バックライトの交互点滅による 6 原色ディスプレイが三菱電機、フィリップス[17]により発表されている。図 3.1-10 は日立により開発された 4 原色 FPD の色域であり、XGA (1024 × 768 画素) の解像度で、対 NTSC 比 122% の広色域の表示に成功している。

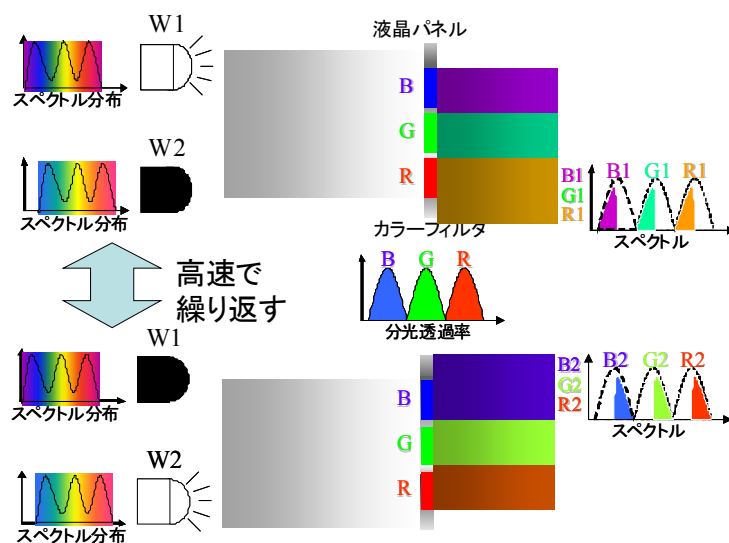


図 3.1-9 バックライトの時分割切り替えによる多原色表示方法の概念図

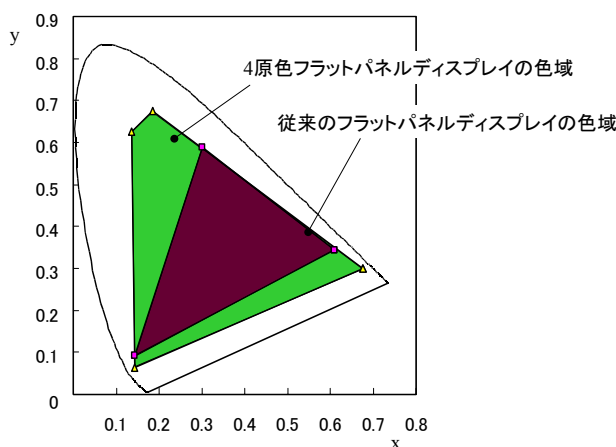


図 3.1-10 4原色液晶フラットパネルディスプレイの色域。

#### 多色フィルタを用いた方式

ディスプレイの各画素に異なる原色を割り当ててカラーピクセルを構成することで、多原色表示を行う方式も発表されている。大日本印刷により RGB+イエロー、RGB+イエロー+シアンの4色、5色の色フィルタの発表、サムソンによる6原色 LCD[18]などがある。また、エプソンは緑を2色（エメラルドグリーンとイエローグリーン）用いて4原色のFPDを開発した[19]。赤や青の領域の色域は従来と変わらないが、青緑領域に色域が拡張されている。この4原色FPDを搭載したフォトビューワが同社から市販されている。

#### (3) 多原色ディスプレイの色域

多原色ディスプレイによる色域拡大の評価を行うには、図 3.1-6 などに示した色度図上での評価だけでは十分ではない。3次元の色空間で明度や色相ごとに見ることで、どれだけ高い彩度を表示できるかを評価することができる。

図 3.1-11 と図 3.1-12 は、4章に述べるナチュラルビジョンで開発された6原色 DLP[10]と、

市販 3 原色 DLP ディスプレイ及び自然反射物体の色域を、5 種類の等明度面と 4 種類の等色相面で提示した結果である[20]。6 原色表示では、暗い部分での色域が特に青緑や紫の方向に広がっており、明るい部分では青緑と橙から赤、紫にかけての領域に拡大している。これらは、Pointer + SOCS の色域を 3 原色表示によってカバーできていなかった部分であり、多原色を用いることの効果を確認することができる。また CIE  $L^*a^*b^*$ 空間で色域の体積を評価した結果を表 3.1-1 に示す。3 原色 DLP に対して 6 原色 DLP は体積比約 1.8 倍となり、自然反射物体の色域をほぼカバーしている。

表 3.1-1 3 原色 DLP、6 原色 DLP ディスプレイの色域体積及び Pointer + SOCS 色域包含率の比較

	Pointer+SOCS	3 原色 DLP	6 原色 DLP
体積 ( $\times 10^6$ )	0.890	0.908	1.647
体積比率	1.00	1.02	1.85
包含率	100.00	78.81	99.22

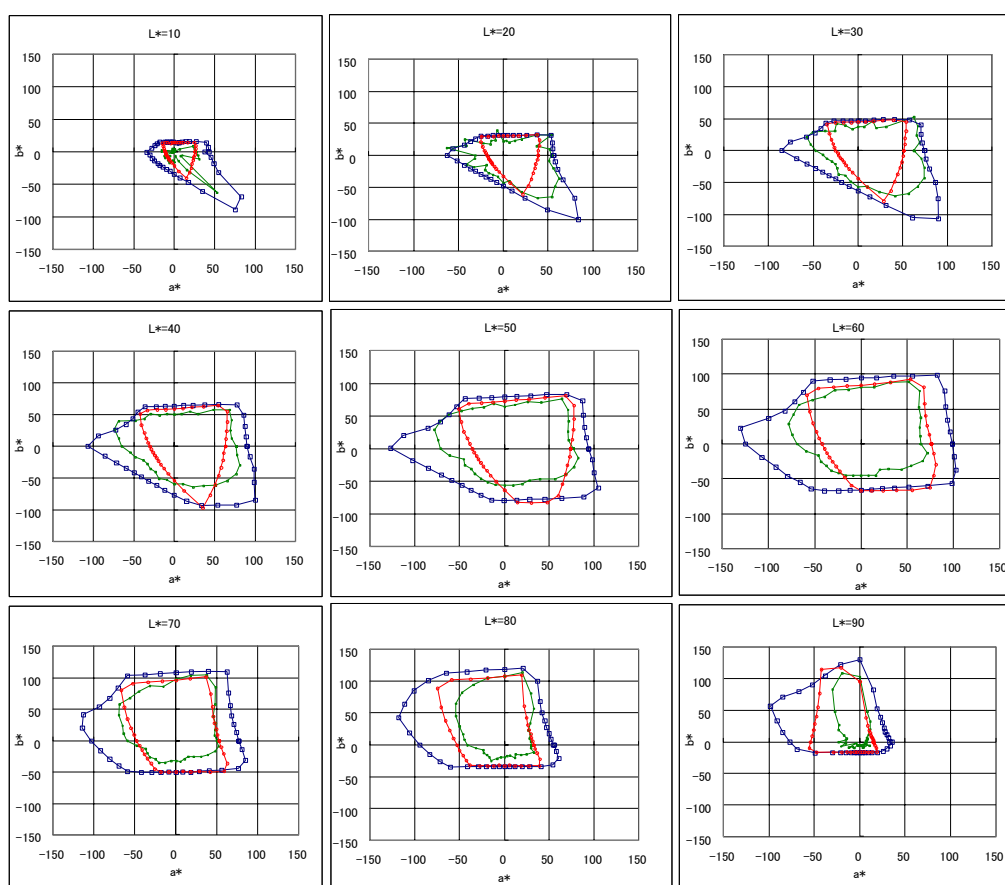


図 3.1-11 6 原色 DLP、3 原色 DLP ディスプレイと、自然反射物体の色域の等明度スライス面での表示結果

(青：6 原色 DLP、赤：3 原色 DLP、緑：Pointer + SOCS 色域)

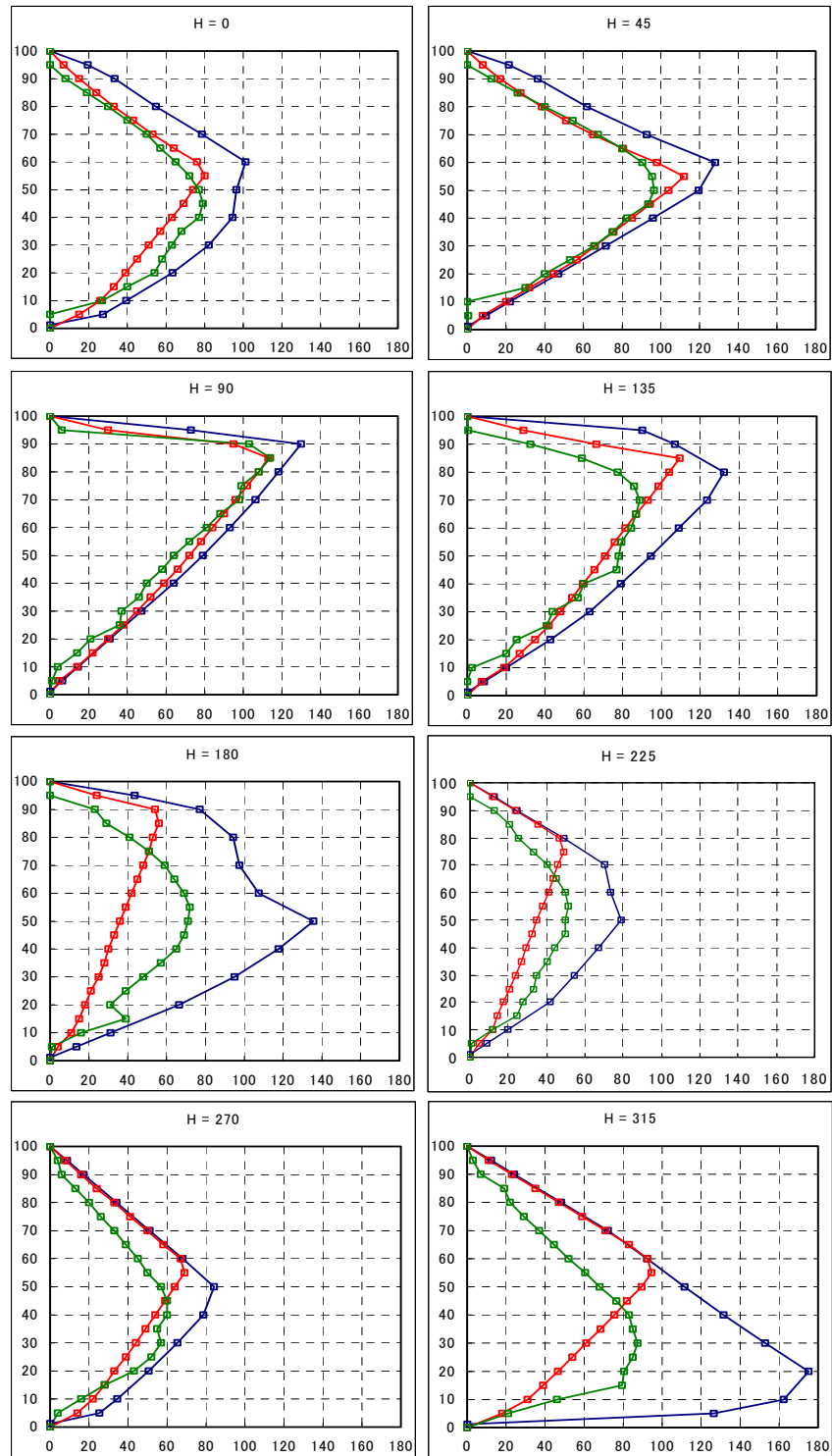


図 3.1-12 6原色 DLP、3原色 DLP ディスプレイと、自然反射物体の色域の等色相スライス面での表示結果

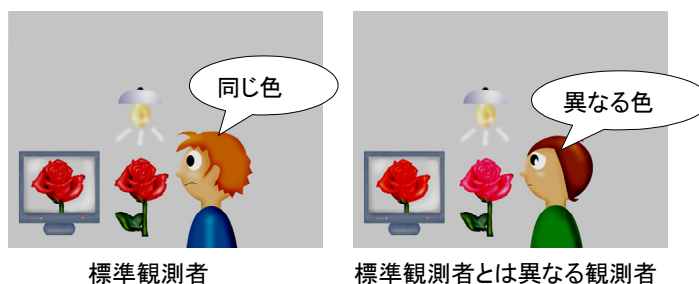
(青：6原色 DLP、赤：3原色 DLP、緑：Pointer + SOCS 色域)



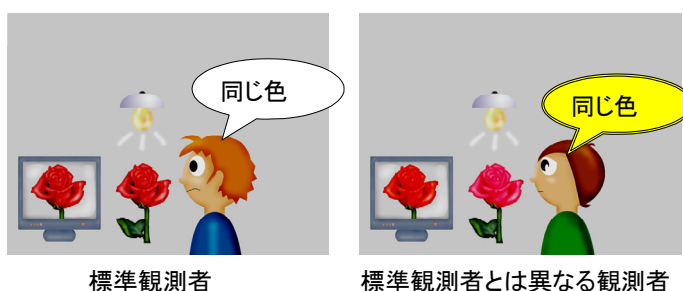
#### (4) 多原色表示による分光色再現

人間の視覚系は3種類のセンサ（錐体）で色を知覚しているため、異なるスペクトルでも同じ色として知覚される組み合わせがある（条件等色）。従来の色再現技術は、CIE（国際照明委員会）が定めた等色関数を用いた条件等色の原理に基づいているが、CIEの等色関数は標準観察者と呼ばれる仮想的な観察者の特性であり、実際には各個人は異なる特性を持つ。等色関数のバリエーションの要因としては、遺伝子に起因する違いや瞳の色の違い、加齢による水晶体の黄化、視野角の違い等がある。等色関数の個人差が無視できない場合、人によって実物と表示色が同じ色に見えない現象が発生する（観察者メタメリズム）。実際に6原色ディスプレイを用いて実験した結果、標準観察者と被験者の間や被験者間に有意な差がみられている。このような問題は、ディスプレイと印刷物などの色が合わないといった現象を引き起こす。

これに対し、実物からの反射光のスペクトルをディスプレイで再現（分光色再現）すれば、どのような観察者にも実物とディスプレイ上の表示色を同じ色として知覚させることが可能になる〔図 3.1-13〕[7][20][21]。マルチスペクトル画像入力と多原色表示を用いることにより、表示される分光分布を多次元で制御できるので、実物からの反射光のスペクトルを近似して再現することが可能になる。このような技術は、テキスタイルや印刷の色調整など高精度な色再現が必要な分野への応用が期待される。



(a) 測色値の正確な再現を行った場合



(b) 分光的な色再現（多原色ディスプレイなどにより）を行った場合

図 3.1-13 異なる視感特性を持つ観察者に対する色再現

#### (5) 多原色映像信号の色変換処理

多原色表示を行うには、表示装置の原色数を  $M$  とすると、 $M$  個の各原色の画素を変調する信号値を求める必要がある。測色的な色再現を行う場合には、色度値は3次元色空間上での値として与えられるので、 $M$  原色信号値を求める変換は3次元から  $M$  次元への変換となる。こ

のため、 $M > 3$  の場合、変換に自由度があり、同じ色を表示するのに複数の原色の組み合わせが存在する。このため、3次元の色空間上で与えられた色信号から多原色の信号値を求める必要がある、このような変換を「多原色分解」と呼ぶ。なお、このときの変換は  $3 \times M$  次元の多原色分解となる。

また、(4)に述べたように、多原色表示における自由度の範囲内で、分光の色再現を行うことで、等色関数のバリエーションを考慮した色再現を行うことも可能である。この場合には、色度値ではなく分光放射輝度またはマルチバンドカメラなどのマルチスペクトル信号値が与えられ、そこから多原色信号値を求めることになる。分光放射輝度またはマルチスペクトル信号値が  $N$  次元で与えられる場合、この変換は  $N \times M$  の多原色分解ということになる。

このような問題は3原色のディスプレイでは存在しなかったものである。これまでに以下に挙げるような多原色分解の手法が提案されている。

行列切り替え法 (MS) [22]

$M$  原色ディスプレイの色域は3次元色空間内で  $M(M-1)$  面体になるが、MS法ではこの多面体を4角錐に分割し、各4角錐において異なる  $3 \times 3$  行列により色変換を行う。

等輝度面線形補間法 (LIQUID) [23]

測色値から多原色信号値を決定するために、色空間内の等輝度面上で線形補間を行う。

メタメリックブラック法 (MB) [24]

後述の色調再現の滑らかさを考慮した多原色分解方法であり、多原色信号値のうち人間の視覚系に知覚される成分と、それに直交する成分 (MB成分) に分け、測色値が連続であれば信号値も連続であるように MB成分を定める。

球面平均法 (SA) [25]

これも階調再現の滑らかさを改善するための手法で、色空間内の全方向について色域表面の信号値による線形補間の積分値を解析的に求める。

$N \times M$  次元の多原色分解としては、これまでに

スペクトル近似法[21]

標準観測者に対する三刺激値を一致させた上で、再現されるスペクトルの誤差を最小にするように多原色信号値を定める、

刺激値近似法[21]

複数の観察者から決まる多次元の等色関数を用いて多次元の刺激値を一致させる、などが提案されている。 $N \times M$  次元の多原色分解は、前節に述べたより高精度な色再現を目的としたもので、処理量が多く計算に時間を要する。これを3バンドの映像と3バンドからスペクトルを推定するマトリクスを用いてリアルタイム処理により近似的に実現する方法の報告もある。

#### (6) 多原色ディスプレイにおける階調再現の滑らかさ

多原色ディスプレイに滑らかな色調変化をもつ画像を表示したとき、実際には存在しない偽の輪郭線状の様相が観察される場合がある。多原色分解において、わずかに色が変化したときに多原色信号値が大きく変化することがあり、これは理想的な条件下では知覚されないはずだが、実際にはディスプレイ特性のモデル化誤差や、観察者の等色関数が標準観察者と異なるために、予期しない色の差が偽の輪郭として知覚されるのである。

擬似輪郭の発生の様相は多原色分解アルゴリズムによって異なる。MS法は、色空間内の領

域ごとに行列を切り替えるため、行列切り替えの境界で信号値の不連続性が発生してしまう。LIQUID 法は、色相方向のグラデーションに対して信号値の不連続性が多く存在するが、彩度方向のグラデーションに対しては良好な滑らかさを示す。また、明度方向については彩度方向と色相方向の中間的な性能を示す。MB 法や SA 法では、全ての方向に対して信号値がほぼ滑らかに変化し、擬似輪郭は発生しにくい。このため、滑らかな色調変化を持つ画像を表示する際には、メタメリックブラック法が最も優れた画質となる。以上のように、多原色分解では測色的制御の精度だけでなく、階調変化の滑らかさも重要な評価項目である[26]。

#### (7) 映像入力系の色域

以上のように色域の拡大されたディスプレイの開発は進んでおり、xvYCC に代表されるような映像色信号の規格も採用されつつある。しかし、映像入力系についての検討は十分とはいえない。映像入力システムでは、2.1.2 節に示したようにマトリクスを作用させるか否かにより出力される色信号の範囲や精度が変わるので、ディスプレイの色域とは設計の考え方が異なる。カメラの映像信号からの色推定の精度、色推定で得られる色の範囲（これを映像入力システムの色域とする）、ノイズ特性が主な評価基準となる。RGB 3バンドのカメラでは、正確な色を取得できないだけでなく、色域も限られている。これまではディスプレイの色域が限られていたため問題とならなかったが、より広い色域の映像を優れた画質で収集可能なカメラの必要性が高まりつつある。色推定精度の向上、広色域の映像信号の取得、良好なノイズ特性を得るためには、4章で詳しく述べるように、映像入力系についても多バンドカメラ（マルチスペクトルカメラとも呼ぶ）の利用、すなわち多原色化も有効である。

例として、色フィルターを多色化し、R、G、B に加えて E（エメラルド）を加えたデジタルカメラがソニーにより開発されている。RGBE から三刺激値への変換はノイズ伝播特性において優れており、同等のノイズレベルにおいて RGB よりも RGBE のフィルターの方が良好な色再現性が得られると報告されている[28]。

映像入力系でマトリクスなどを用いて色推定を行う場合、カメラと色推定処理を含むシステムの色域を見ることが妥当である。その一つの方法として、カメラに対して可視域の各波長の単色光を入力したときに、色推定処理の結果得られる色の軌跡（スペクトル軌跡）を色度図上にプロットする方法がある。カメラと色推定処理を決めた場合、この軌跡で囲まれる領域外の色を得ることはできない。カメラの出力に対してマトリクスを作用させない場合には、このスペクトル軌跡は原色点を結ぶ3角形の辺上に並び、すなわちこの3角形の外側の色を得ることはできない。

図 3.1-14 は、このような方法で、3バンドカメラと2種類の6バンドカメラ[27]におけるスペクトル軌跡をプロットしたものである。ここでは、色推定処理に、精度が高いことが知られている方法として、照明光のスペクトルやカメラの分光感度特性を用いたウィナー推定を用いている。3バンドでもウィナー推定を用いることによってマトリクスを作用させない場合よりも色域は広がっているが、濃い赤やエメラルドグリーンなどを得ることはできない。また、プロットの間隔が詰まっている部分と疎な部分があり、これは虹状のスペクトルが与えられたとき、滑らかな色の変化が再現されないことを示している。6バンドでは十分広い色域の色を取得できること、3バンドよりもプロットの間隔の粗密が改善されていることがわかる。なお、色域内の色に関しても、6バンドによって得られる色の忠実性は改善される。

多バンドのカメラはリモートセンシングや医療バイオ分野でのイメージングには使われてい

るが、映像入力に応用した例は少ない。しかし今後色再現の忠実性の向上や、広色域の映像取得などのために、開発が期待される技術である。なおナチュラルビジョンにおいて開発された6バンドカメラについては4章で紹介する。

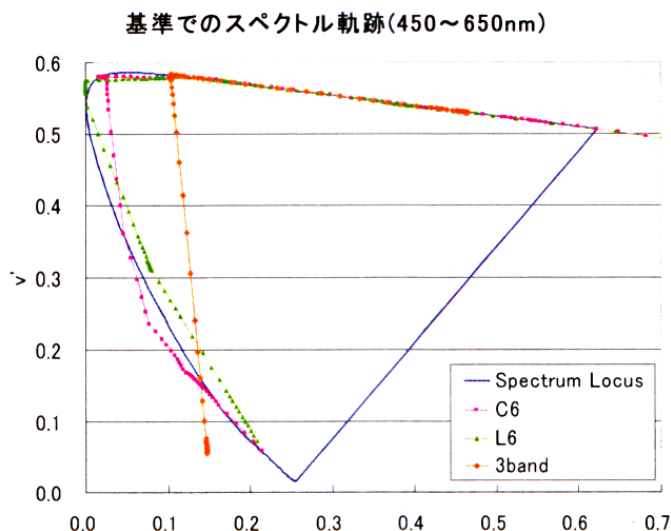


図 3.1-14 3バンドカメラと2種類の6バンドカメラ(C6、L6)を用いた映像入力系のスペクトル軌跡。  
(色推定処理としてはウィナー推定を用いている)

#### 参考文献

- [1] 矢島亮一、金澤勝、境田慎一、"テレビジョンの色再現範囲拡大に関する検討"、1994年テレビジョン学会年次大会予稿集、355-356(1994)
- [2] 矢島亮一、「広色域テレビシステム」、NHK技研だより、8-13(1995)
- [3] 味戸剛幸、小尾高史、山口雅浩、大山永昭、"色域の改善を目的とした多数の原色によるカラー表示法"、光学連合シンポジウム'96講演予稿集、219-220(1996)
- [4] 山口雅浩、"多原色ディスプレイ"、カラーフォーラムJAPAN'99論文集、73-79(1999)
- [5] 味戸剛幸 博士論文、"多原色投射型ディスプレイを用いた広色域画像再現に関する研究"、(2001)
- [6] T. Ajito, T. Obi, M. Yamaguchi, and N. Ohya, "Expanded color gamut reproduced by six-primary projection display," Projection display 2000, Proc. SPIE, 3954, 130-137 (2000)
- [7] M. Yamaguchi, T. Teraji, K. Ohsawa, T. Uchiyama, H. Motomura, Y. Murakami, and N. Ohya, "Color image reproduction based on the multispectral and multiprimary imaging: Experimental evaluation," Proc. SPIE 4663, 15-26, (2002)
- [8] M. Yamaguchi, Y. Murakami, T. Uchiyama, K. Ohsawa, N. Ohya, "Natural Vision: Visual Telecommunication based on Multispectral Technology," Proc. IDW'00, 1115-1118 (2000)
- [9] H. Motomura, N. Ohya, M. Yamaguchi, H. Haneishi, K. Kanamori, S. Sannohe, "Development of Six-Primary HDTV display system," Proc. Int. Display Research Conference, Eurodisplay, 563-566 (2002)

- [10] S. Roth, I. Ben-David, M. Ben-Chorin, D. Eliav, and O. Ben-David, "Wide gamut, high-brightness multiple primaries single panel projection displays," *SID 03 Digest*, 34, 1, 118-121 (2003)
- [11] M-C. Kim, Y-C. Shin, Y-R. Song, S-J. Lee, and I-D. Kim, "Wide gamut multi-primary display for HDTV," *Proceedings of CGIV 2004: The second European Conference on Colour Graphics, Imaging and Vision (Aachen, Germany)* 248-253 (2004)
- [12] G. Harbers, M. Keuper, and S. Paolini, "Performance of High Power LED Illuminators in Color Sequential Projection Displays," *IDW 03* (2003)
- [13] M. Yamaguchi, T. Ajito, and N. Ohyama, "Multiprimary color display using holographic optical element," *Practical Holography XII, Proc. SPIE 3293*, 70-77 (1998).
- [14] 石井順一郎、村上百合、小尾高史、山口雅浩、大山永昭、"LED光源を用いた時分割式多原色表示方法の開発"、*カラーフォーラム 2001*
- [15] I. Hiyama, M. Tsumura, T. Inuzuka, H. Haneishi, M. Yamaguchi, and N. Ohyama, "Four-primary color 15-in. XGA TFT-LCD with wide color gamut," *Eurodisplay 2002*, 827-830 (2002)
- [16] H. Sugiura, H. Kaneko, S. Kagawa, M. Ozawa, H. Takizoe, H. Katou, T. Kimura and H. Ueno, "Six-primary color 23-in WXGA LCD using six-color LEDs," *SID 05 Digest*, 1124-1127 (2005)
- [17] M. J. J. Jak, G. J. Hekstra, J. J. L. Hoppenbrouwers, F. J. Vossen, N. Raman, and O. Belik, "Spectrum Sequential Liquid Crystal Display," *SID 05 Digest*, 1120-1123 (2005)
- [18] Young-Chol Yang, Keunkyu Song, SooGuy Rho, Nam-Seok Rho, SungJin Hong, Kang Beo Deul, Munpyo Hong, Kyuha Chung, WonHee Choe, Sungdeok Lee, and Chang Yong Kim, Sung-Hee Lee and Hyong-Rae Kim, "Development of Six Primary-Color LCD," *SID 05 Digest*, 1210-1213 (2005)
- [19] E. Chino, "Development of Wide-Color-Gamut Mobile Displays with Four-Primary-Color LCDs," *SID 06 Digest*, 1221-1224 (2006)
- [20] Y. Murakami, J. Ishii, T. Obi, M. Yamaguchi, and N. Ohyama, "Color conversion method for multi-primary display for spectral color reproduction," *Journal of Electronic Imaging*, (2004)
- [21] T. Uchiyama, M. Yamaguchi, H. Haneishi, and N. Ohyama, "A visual evaluation of the image reproduced by color decomposition based on spectral approximation for multiprimary display," *Proc. CGIV 2004* 281-285 (2004)
- [22] T. Ajito, K. Ohsawa, T. Obi, M. Yamaguchi, and N. Ohyama, "Color conversion method for multiprimary display using matrix switching," *Optical Review*, 8, 3, 191-197(2001)
- [23] H. Motomura, "Color conversion for a multi-primary display using linear interpolation on equi-luminance plane method (LIQUID)," *Journal of the SID*, 11, 2, 371-378 (2003)
- [24] F. König, K. Ohsawa, M. Yamaguchi, N. Ohayama and B. Hill, "A multiprimary display: optimized control values for displaying tristimulus values," *Proc. of PICS*, 215-220 (2002)
- [25] H. Kanazawa, M. Mitsui, M. Yamaguchi, H. Haneishi, N. Ohyama, "Color Conversion for Multi-primary Displays Using a Spherical Average Method," *IS&T / SID 12th Color*

Imaging Conference, 65-69 (2004)

[26] Y. Murakami, N. Hatano, J. Takiue, M. Yamaguchi, and N. Ohya, "Evaluation of smooth tonal change reproduction on multi-primary display: comparison of color conversion algorithms," Proc. SPIE, 5289, 275-283, (2004)

[27] K. Ohsawa, T. Ajito, H. Fukuda, Y. Komiya, H. Haneishi, M. Yamaguchi, and N. Ohya, "Six-band HDTV camera system for spectrum-based color reproduction," J. Imaging Science and Technology, vol.48, no.2, (2004) 85-92

[28] 加藤直哉, "4色 CCD カメラおよびその色再現・色管理技術", 2004 年写真学会年次大会、日本写真学会誌 67, 別冊 1, 14-16 (2004)

## 3.2 広ダイナミックレンジの方式

### 3.2.1 広ダイナミックレンジの表示

表示装置は直視型と投射型に分けられる。

はじめに直視型表示における広ダイナミックレンジの流れを概観する。

直視型表示として従来主に用いられていた CRT は自己発光型であることから、数万対 1 以上のダイナミックレンジを有していたが、すでに薄型ディスプレイに市場を奪われており、これからもこの状況は変わらないと思われる。

このことから、ここでは直視型表示としては PDP や液晶などの薄型ディスプレイに焦点を当てる。

自己発光型である PDP は、高速な動画表示をするためには種火放電が必要なため、従来ではダイナミックレンジはあまり高くなかった。しかし最近ではこの種火放電を抑えた構造が可能になり、ダイナミックレンジが 2 万 : 1 程度のもも市場に出てきている[1]。今後とも、広ダイナミックレンジを強調した PDP が発表されてくるものと期待される。PDP で広ダイナミックレンジを実現する場合の課題としては、階調再現がある。これは、PDP での階調再現はサブフィールドの組み合わせによるリニア階調（備考 1）を用いており、現在のサブフィールド数では暗部での階調再現をディザでおこなうにしても、まだ偽輪郭などが生じやすいことである。ただ、この課題も黒再現の進展につれて徐々に改善されていくものと期待される。

直視型液晶の場合は、自己発光型ではなく背面からのバックライトの光を液晶で完全に遮断することが困難であるため、あまりダイナミックレンジを高くすることができなかった。しか

## Dolby Acquires BrightSide

Home > Dolby Acquires BrightSide

### IN THIS SECTION

- HDR Technology
- HDR Experience

### RELATED LINKS

Contact Us

### High-Dynamic-Range Displays



The DR37-P is a spectacular breakthrough in display technology. It uses an array of individually modulated [LED backlights](#) to provide 10 times the brightness and 100 times the contrast of existing television and computer monitors. The [Extreme Dynamic Range](#) display delivers more vibrant images, enabling you to see information onscreen in vivid detail.

- ◆ Extreme Dynamic Range
- ◆ Over 3,000 cd/m<sup>2</sup> brightness
- ◆ 0.015 cd/m<sup>2</sup> black level
- ◆ Contrast ratio > 200,000:1
- ◆ High-definition 1,920 x 1,080
- ◆ 37-inch screen
- ◆ 16 bits per color
- ◆ Array of individually modulated LED (IMLED) backlights

図 3-1 LED バックライトの液晶表示装置の例

し、液晶についてもバックライトを LED にして LED の発光を制御することで広ダイナミックレンジを実現するものがでてきた[2][3][4]（備考 2）。特に参考文献[3]については、詳細が発表されていないものの、ダイナミックレンジ 100 万 : 1 を実現したとのニュースが大きく報道された。また 2007 年の CEATEC では液晶パネルのバックライトにプロジェクターを使用してダイナミックレンジ 800 万 : 1 を実現したのも展示されている[5]。2007 年の FPD International では、台湾のメーカーでも広ダイナミックレンジを特徴としたものが発表されている[6][7]。これらの中で一番先に広ダイナミックレンジを特徴として市場に現われたのが参考文献[2]で、当時（2005 年頃）としては最高レベルのダイナミックレンジ 20 万 : 1 を有している。この外観を図 3-1 に示す。このような LED バックライトの液晶の課題としては、まだ LED 自体のサイズが大きいため、液晶の画素数よりもはるかに少ない数になっていることである。この結果として、LED の発光制御は画面上でかなり大きな領域単位でしかできず、LED と液晶パネルの輝度の細かな合成まではできていない。ただ、この問題はバックライトに適した LED の開発が進むに従って解決していくものと考えられる。

このほかの直視型表示としては次世代のディスプレイといわれる有機 EL があり、ダイナミックレンジで 100 万 : 1 以上のものが市場に出る予定であるが[8]、大型表示はまだ先の見込みである。

プロジェクターにおいても広ダイナミックレンジに向けた取り組みが行われている。ここでは参考文献[9]の例を紹介する。光学構成を図 3-2 に示すように、通常の RGB プロジェクターの出力光をモノクロ液晶パネルに投射し、そこでさらなる変調を行うことで約 100 万 : 1 のダイナミックレンジを実現している。先に説明した直視型表示とは違い、最終段のモノクロ液晶素子だけの高解像度化で高精細カラー表示が可能になることから、今後の進展が期待される。

以上、表示装置においては広ダイナミックレンジへの研究開発が大きく進んでおり、一部は既に市販されている。この流れは高画質化に沿うものなので、さらに加速されて続いていくものと考えられる。

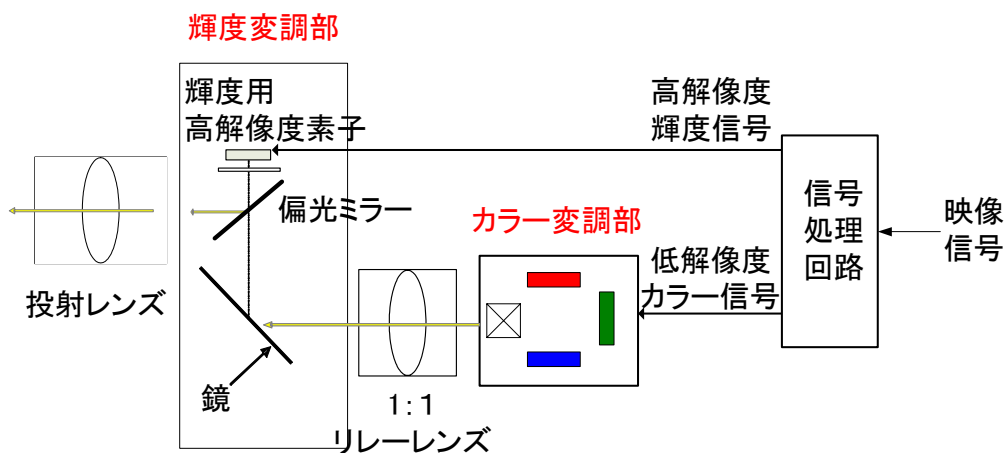


図 3-2 プロジェクターによる広ダイナミックレンジ表示の例

備考 1 : PDP では、ON-OFF の時間で階調を作り出すため、ON-OFF 時間の異なるサブフィールドを用いる。この説明を図 3-3 に示す[10]。



この図はサブフィールド8個の例であり、1レベル単位で0～255レベルまで再現できる。これよりも微小な輝度変化を再現するときは空間および時間でのディザに対応するしかない。リニア階調なので、サブフィールド8個は、映像信号の6ビット程度の細かさに対応するため、映像信号12ビットに対応しようとすると、サブフィールドで14個必要になるが、現時点ではそこまで細かなサブフィールドを実現するのは困難と考えられる。

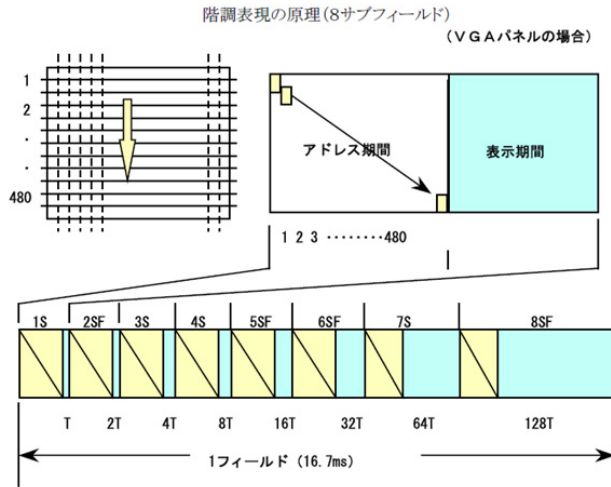


図 3-3 PDP のサブフィールドによる階調再現[10]

**備考 2：**従来の直視型液晶のバックライトは CCFL (冷陰極蛍光管) などが用いられており、これは常時点灯し続けているのでダイナミックレンジは液晶素子単体の性能で決まる。これに対し、バックライトを LED 自体も輝度を変化させることができるので、飛躍的にダイナミッ

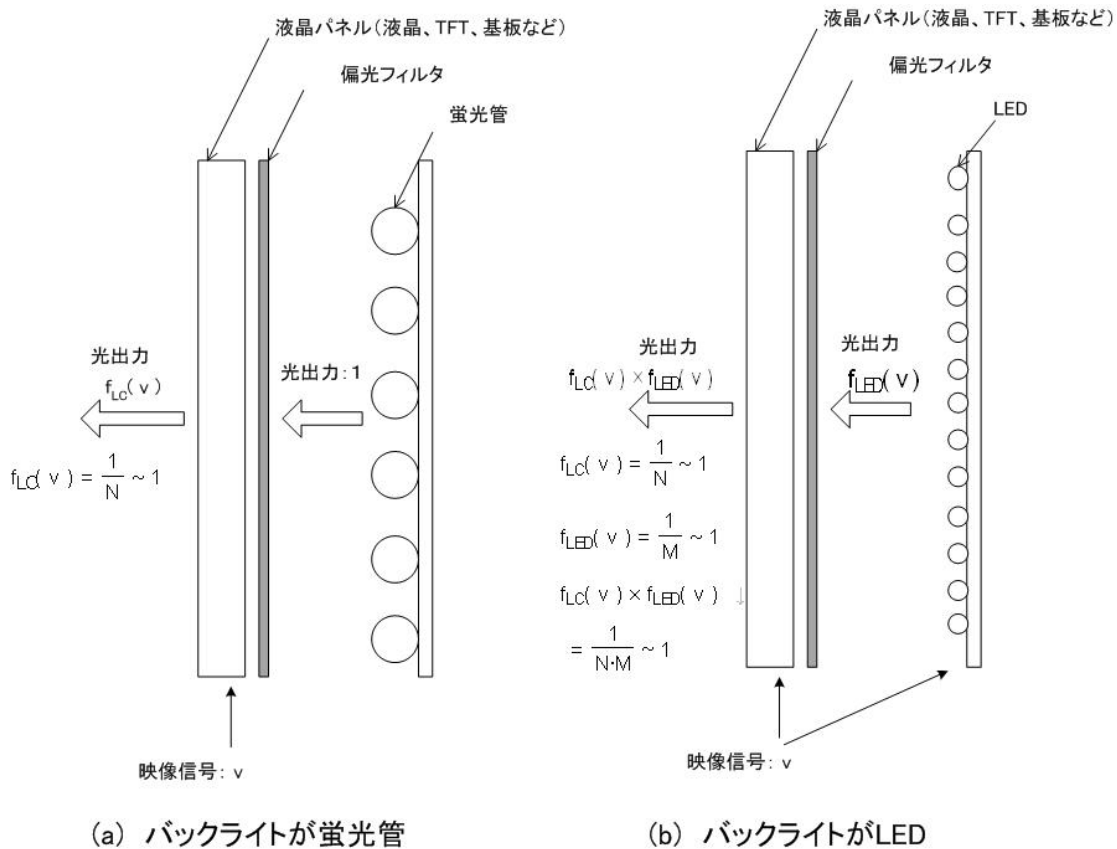


図 3-4 LCD のバックライトと光出力の関係

クレンジを改善することができる。例えば、LED のダイナミックレンジが N : 1、液晶が M : 1 とすると、黒を表示したいときは LED も黒にし、白を表示したいときはどちらも白にすれば良いので、全体のダイナミックレンジは N \* M : 1 とすることができる。この概念説明を図 3-4 に示す。(a)は従来の CCFL をバックライトとした構成、(b)は LED バックライトでさらに LED の輝度を入力映像信号によって変化させる構成である。(a)の場合は CCFL が常時点灯なので、画面上の輝度は液晶のみによる(3-1)式となるが、(b)の場合は LED の輝度と液晶の透過率の組み合わせで(3-2)式となる。

$$f(v) = f_{LD}(v) = \frac{1}{N} \sim 1 \quad (3-1)$$

$$f(v) = f_{LD}(v) \times f_{LED}(v) = \frac{1}{N \cdot M} \sim 1 \quad (3-2)$$

### 3.2.2 広ダイナミックレンジの撮像

フィルムでの撮影の場合、図 3-5 に参考文献[11]のスライドフィルムの特性例を示すように、濃度 (Density) の最大値が 4.0 以下である (濃度 1.0 がダイナミックレンジで 10 に対応する) ことからダイナミックレンジはせいぜい数 1000 である。一方、現在の電子撮像装置では CCD や CMOS が用いられているが、これらのダイナミックレンジも通常は 1000 程度と言われている[12]。

ダイナミックレンジを改善する方法としては、いくつかの方法が提案、および実用化されている。これらのほとんどのものでの原理は、低感度の撮像と高感度の撮像の画像を組み合わせるといったものである。参考文献[13]は、富士

フィルムによる「スーパー CCD ハニカム」TM で、高感度の素子と低感度の素子が 1 組になった構造を作ることによりダイナミックレンジを 4 倍にした、と公表している。参考文献[11]には、一つの素子でシャッター速度を変化して複数回撮影することで広ダイナミックレンジ画像を撮像する手法について述べている。この処理の流れを図 3-6 で説明する。まず 1 フレーム期間に短い露光 (a1,a2,a3 と表記) と長時間の露光 (b1,b2,b3 と表記) を行い、図に示すようなタイミングで素子から信号を読み出し、信号処理装置で短時間露光と長時間露光の画像を合成して出力する。このように 2 つの異なる露光時間の画面を合成することで、広ダイナミックレンジを実現している。また参考文献[14]には、低輝度部は線形だが高輝度部では対数で出力する線形 / 対数型 CMOS イメージセンサが紹介されており、この素子では通常の 100 倍

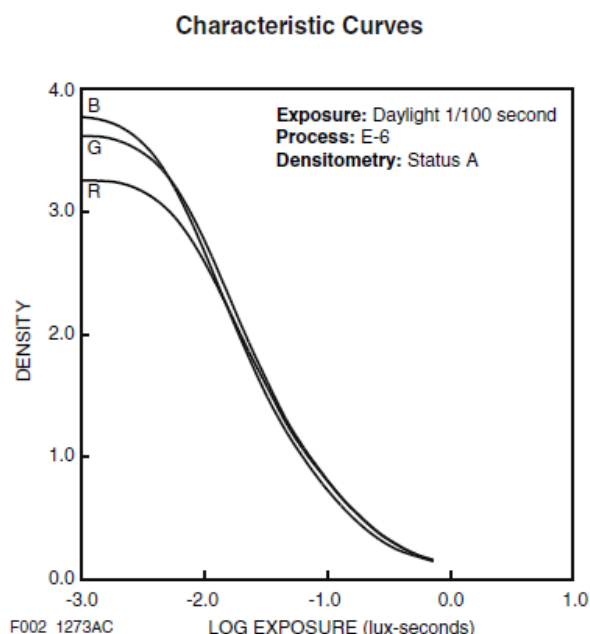


図 3-5 スライドフィルムの階調特性の例

程度のダイナミックレンジに対応とされているが、これも長時間露光での線形出力と短時間露光での対数出力を組み合わせたもので、前述の複数回撮影と原理的には同じである。このように、撮像においても高ダイナミックレンジ化の流れができており、今後とも高画質化の流れの中でダイナミックレンジ向上が期待されている。

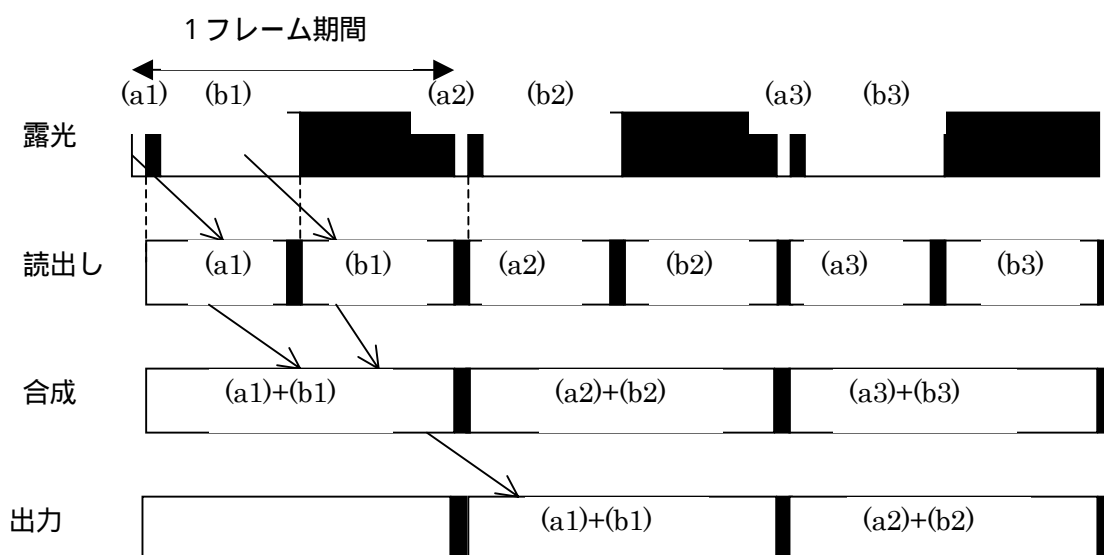


図 3-6 広ダイナミック撮影の動作例

### 3.2.3 広ダイナミックレンジにおける課題

以上示したように、表示・撮像ともに広ダイナミックレンジの流れが広がっているが、以下の課題があると考えられる。

- ・撮像、表示ともに独立に取り組みがされており、まだ統一的な動きになっていない。
- ・表示に関してはダイナミックレンジより黒の輝度に重きがおかれることが多く、階調再現がまだ不十分である場合が多い。
- ・撮像に関しては、いくつかの輝度の異なる画像を組み合わせることが多いが、この手法がまだ確立されていない。
- ・表示よりはダイナミックレンジが狭い。

今後の研究開発で、これらの課題が解決されていくことを期待する。

#### 参考文献

- [1]パイオニア 2007.8.2 新聞発表 <http://pioneer.jp/press/release594-j.html>  
 [2]Brightside (現在 Dolby 社) <http://www.dolby.com/promo/hdr/technology.html>  
 [3]シャープ株式会社 2005.10.3 新聞発表  
[http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2\\_5\\_1.html](http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2_5_1.html)  
 [4]シャープ株式会社 2007.8.22 新聞発表  
<http://www.sharp.co.jp/corporate/news/070822-a.html>

- [5]日立 2007.9.27 新聞発表  
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2007/09/0927a.html>
- [6]Chunghwa Picture Tubes Ltd.(CPT) 紹介資料  
[http://www.cptt.com.tw/index.php?option=com\\_content&task=view&id=324&Itemid=106](http://www.cptt.com.tw/index.php?option=com_content&task=view&id=324&Itemid=106)
- [7]AUO 紹介資料  
<http://auo.com/auoDEV/pressroom.php?sec=newsReleases&intTempId=18initNewsID=511>
- [8]ソニー 2007.10.1 新聞発表  
<http://www.sony.jp/CorporateCruise/Press/200710/07-1001/>
- [9]Yuichi Kusakabe, Masaru Kanazawa, Yuji Nojiri, Masato Furuya, Makoto Yoshimura.  
"YC-separation Type Projector with Double Modulation", LAD3-3, pp.1959~1963, IDW (2006)
- [10]「FPD ガイドブック」( 社団法人 電子技術産業協会)
- [11]スライドフィルム Kodak Professional Elite Chrome 100 の特性表  
<http://www.kodak.com/eknec/documents/bf/0900688a80316bbf/E7014e.pdf>
- [12]豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.30, No.2 (1995.6) 山田啓一、中野倫明、山本新「広ダイナミックレンジ視覚センサ」 pp.34-pp.44  
[http://www.tytlabs.co.jp/japanese/review/rev302pdf/302\\_035yamada.pdf](http://www.tytlabs.co.jp/japanese/review/rev302pdf/302_035yamada.pdf)
- [13]富士フィルム紹介資料  
<http://www.fujifilm.co.jp/corporate/tech/fronttech002/>
- [14]佐藤一睦,片桐哲也、掃部幸一、芹田保明「広ダイナミックレンジ画像の高コントラスト化画像処理」 Konica Minolta Technology Report Vol.4 (2007)  
[http://konicaminolta.jp/about/research/technology\\_report/2007/pdf/introduce\\_011.pdf](http://konicaminolta.jp/about/research/technology_report/2007/pdf/introduce_011.pdf)

## 第4章 ナチュラルビジョンによる広色域・広忠実色再現の研究動向

### 4.1 ナチュラルビジョンの目的

ナチュラルビジョンは、RGBの3原色の制約を超えて、新しい多原色に基づく映像通信システムを開発し、実物が目の前にあるときに限りなく近い色・光沢・質感等を持つ映像を再現することを目的としたプロジェクトの名称である。このプロジェクトは、通信・放送機構の直轄研究（2004年4月から独立行政法人情報通信研究機構（NICT）の拠点研究）として、赤坂ナチュラルビジョンリサーチセンター（以下、NV-RC）において実施された。マルチスペクトルカメラ（MSC）や多原色ディスプレイなどを用い、忠実な色表示や広色域映像再現を可能とするシステムを開発している。1999年～2002年度末までが静止画を対象とした研究期間であり、2001年度～2006年3月までに動画に関する研究開発の項目を追加し「静止画と動画を統合したナチュラルビジョン」の開発を行っている[1]。その後、2007年4月からは、NICTの委託研究「マルチスペクトル映像収集・伝送技術の研究開発」において、より実用的なシステムを実現するための研究開発が引き続き進められている。また、ナチュラルビジョンのプロジェクト参加メンバーを中心としたコンソーシアム「ナチュラルビジョン普及促進協議会（<http://www.nvision.jp/>）」も組織されている。

ナチュラルビジョンは、色管理の仕組み自体をRGBの3原色にとらわれず、光のスペクトルに立ち返って扱う、「スペクトルに基づく色再現」の考え方に基づいている。これまでに、ナチュラルビジョンの技術に基づくことで実物が目の前にあるときに限りなく近い色を再現することが可能になり、これによって従来よりもリアリティーの高い光沢・質感等を持つ映像再現を行えることが示されている。

### 4.2 ナチュラルビジョンの現在までの研究成果

#### 4.2.1 スペクトルに基づく色再現の考え方[2][3]

実世界を観察する場合に目へ入射する光の分光分布を映像として計測し、忠実に再現すれば、実物を見る場合と同様の色を知覚できる。スペクトルに基づく色再現では、この基本的な考え方に基づき、カメラから入力された画像の各点で、物体から目に入射する光のスペクトルを推定する[1,2]。出力側では、映像を見る人の目に入射する光のスペクトルまたは三刺激値が、実物を見たときと同等になるように色変換する。

映像通信システムを介して、忠実な色再現性を有する映像を再現するためには、図4.2-1に示すように、(a)観察者があたかもその場に行ったかのように再現することや、(b)被写体があたかも観察者の目の前にあるかのように再現することが必要である。(b)のように、実物を観察者の目の前に置いた時と同じ色を観察できるようにするためには、撮影環境と表示環境の照明環境の違いを補正して色を再現する。

このように異なる照明下での色を再現する場合、RGBに基づく色管理ではホワイトバランスを取った後の色空間を基にしており、これは知覚的な色空間に基づく色再現といえる。これに対してスペクトルに基づく色再現では、図4.2-2に示すように、任意照明下でのXYZ三刺激値、分光反射率（もしくは透過率）または分光放射輝度が入出力系に共通の色空間となる。言い換えれば物理的に色やスペクトルを計測して色再現を行うものである。これによって測色的に正確な色再現だけでなく、分光的な色再現も行える。

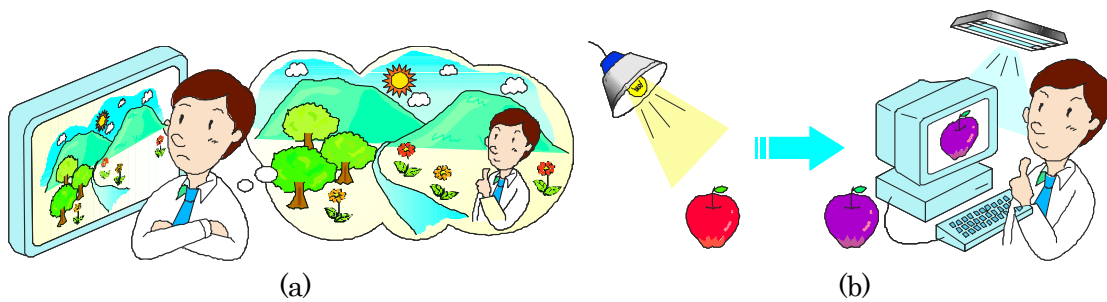


図 4.2-1 忠実な色再現の考え方

- (a) あたかもその場に行ったかのように色を再現する。
- (b) 実物を目の前に持ってきたかのように色を再現する。

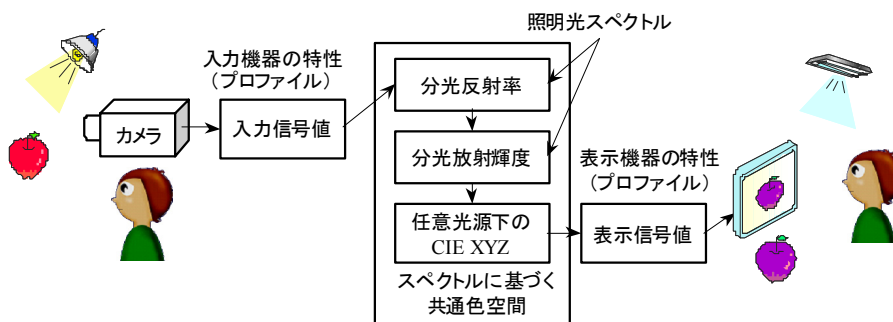


図 4.2-2 スペクトルに基づく色再現システムの概念図

実物を直接見る場合とディスプレイを見る場合で目に入射する光を一致させることで、実物に忠実な色再現を行うことができる。

スペクトルを推定するには、可視光の各波長での光強度などの値を求める必要があるが、自然に存在する多くの物体の反射率は、波長に対してあまり細かい構造を持っていないので、比較的少ない変数で表すことができる。しかし3バンドでは高い精度が得られない。バンド数を増やすことで、スペクトルの推定精度を向上できるため、次節に述べるような4以上のバンドを用いたマルチスペクトルカメラの開発が行われている。

また、図 4.2-2 の方式を用いれば、撮影時と異なる照明光下に被写体を置いたときの色を正確に再現できる。ホワイトバランス処理と異なり、スペクトルを精度良く得られれば、異なる照明の下でも全ての色を正確に求めることができる。スペクトルに基づく処理を行った場合でも、線形な推定手法を用いる場合、入力系のバンド数×3要素のマトリクス演算で済むので、演算のコストはそれほど多い訳ではない。

ディスプレイなどの出力系では、共通色空間上の値をできるだけ正確に再現するように、表示機器の特性を補正するための信号変換を行う。多原色ディスプレイの場合には、三刺激値または分光放射輝度から多原色映像信号への変換（多原色分解と呼ばれる）を行う。本システムでは映像入力のバンド数と表示の原色数は独立であり、入出力とも任意の原色数（ $\geq 3$ ）の機器を適用できる。なお、3原色の映像機器も機能や精度の点で制約はあるが、その特性を正確にモデル化すれば利用可能である。

この仕組みを実現するには、映像入力系の分光感度、映像表示系の原色点、階調特性、照明光のスペクトルなどを用いて色信号処理を行う。照明光のスペクトルは小型の分光センサなど

を用いて計測し、装置の特性などと共にメタデータ（プロファイル）として管理する。プロファイルの詳細については4.2.7節に述べる。

#### 4.2.2 マルチスペクトル画像入力

##### (1) マルチスペクトル画像入力的方式

スペクトルに基づく色再現では、光の波長帯域を多チャンネルに分割して画像を収集するマルチスペクトル画像入力技術を適用することで、画像の色を高精度に求めることができる。マルチスペクトル画像はリモートセンシングの分野で長い実績があり、その技術を応用した入力システムが開発されている。これを画像の色再現へ応用する研究は特に印刷などの分野を中心に行われている。

代表的なマルチスペクトル画像入力方法の例[4]としては、回折格子を用いる方式、干渉フィルタを用いる方式、モザイク色フィルタを用いる方式、ダイクロイック・プリズムを用いる方式、液晶材料の複屈折性を利用した偏光フーリエ分光による方式などの例がある。ナチュラルビジョンでは、静止画入力用として、回転フィルタホイールに16枚の干渉フィルタを装着した16バンドマルチスペクトルカメラを用いて実験を行っている。図4.2-3にその外観と分光感度特性を示す。

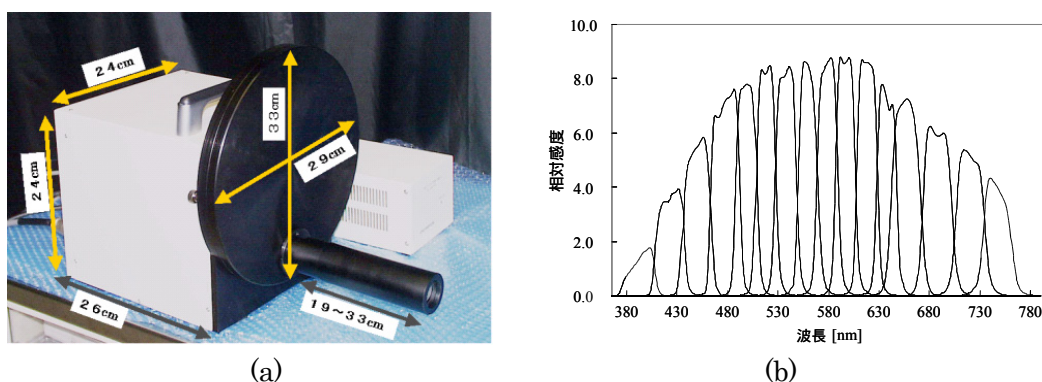


図 4.2-3 (a) 回転フィルタ型 16 バンドマルチスペクトルカメラ。(b)分光感度特性の例。

##### (2) 6 バンド HDTV カメラ[5]

また、動画を入力するマルチスペクトルカメラとして、ナチュラルビジョンにおいて6バンド HDTV カメラが開発されている。この6バンド HDTV カメラシステム[図 4.2-4]は、カメラユニットとカメラ制御装置(CCU)およびメモリ装置で構成される。6バンドカメラユニットは、(a)に示すようにレンズから入射した光を二つの光路に分割し、2セットの HDTV カメラヘッドで撮影する構成になっている。2つの光路中に異なる特性を持つ干渉フィルタが挿入され、これにより2セットの HDTV カメラヘッドから同時に得られる RGB の各信号を、6種類の独立した分光感度を持つセンサからの出力とみなすことができる。実際の6バンドカメラの分光感度特性を図 4.2-4(b)に示す。

6バンドカメラで撮影された画像データは、撮影条件に関する付帯情報と共に、CCU からメモリ装置に転送される。撮影された全ての信号を映像信号として取得するために、色差信号のサブサンプリングを行わず HDTV 1920×1080 画素、10ビットの4:4:4×2の映像信号として、2系統の HD-SDI Dual Link 信号の形式で出力、保存される。

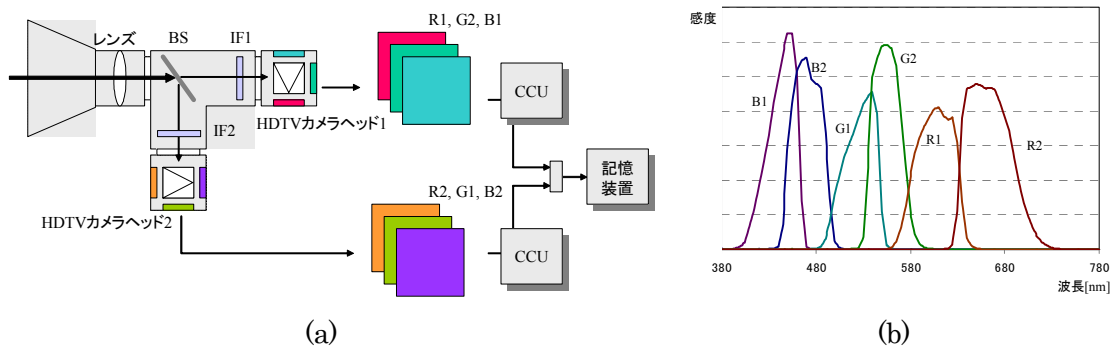


図 4.2-4 ナチュラルビジョンで開発された 6 バンド HDTV カメラ

(a) 試作された 6 バンド HDTV カメラの構成。BS: ビームスプリッタ、IF1、IF2: 干渉フィルタ、CCU: カメラ制御装置。(b) 6 バンドの分光感度特性

### (3) スペクトルと色の推定

マルチスペクトル画像から 2 次元画像上の各点での分光分布を求めることで分光画像が得られる。線形な分光推定手法では、各種の線形逆問題の解法により推定用のマトリクスを求めるが、多くの物体の分光反射率は波長方向の相関が高いので、これを利用したウィナー推定法がよく使われる。色再現を行う場合は、得られた分光分布に等色関数を乗算して積分することで三刺激値が得られる。これらを総合して、マルチスペクトル信号値から分光分布を求めるマトリクスと、分光分布から三刺激値を求めるマトリクスを予め掛け合わせておけば、入力系のバンド数 × 3 要素のマトリクス演算で分光的な色推定処理を行える。

図 4.2-5 に 3 バンド、6 バンド、16 バンドでの色推定精度を、一般的な RGB 方式で用いられている方式と比較した結果を示す。縦軸の色差が 1 以下であれば人間は色の差をほぼ知覚できないが、色差 10 程度の場合には明らかに違う色と知覚される。スペクトルベースの色推定手法を用い、バンド数を増やすことによって色推定の精度が格段に向上されることがわかる。

実物と推定色の色差  
(D65, A, F2の各光源下におけるCIELAB色空間内の距離)

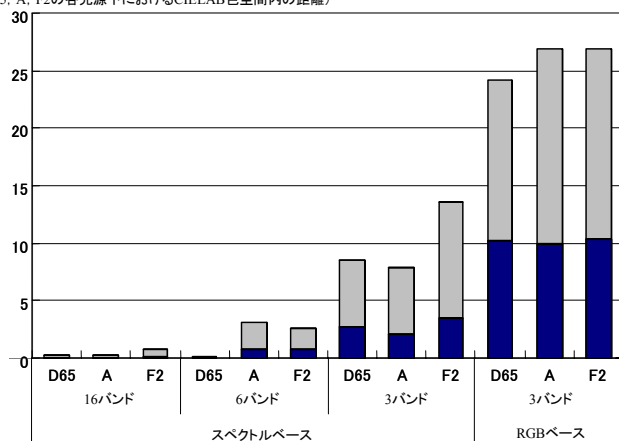


図 4.2-5 スペクトルに基づく色再現 (16 バンド、6 バンド、3 バンド) と RGB に基づく方法による色推定精度の比較 (計算機シミュレーションによる)

24 色の色票に対して、標準光源 D65 の下で撮影して得られた信号値から標準光源 D65、A (白熱灯)、F2 (蛍光灯) の下での色を求め、分光放射輝度計で実測した結果との CIELAB 空間での色差 DE を算出したもの。黒色とグレーのバーはそれぞれ 24 色の平均値と最大値を示している。



#### (4) 広色域の映像収集

図 4.2-5 では色再現性の評価に良く用いられる色票を被写体として用いているが、対象物によっては3原色ではさらに色推定が難しいケースもある。一例として、狭帯域透過特性を持つ干渉フィルタをバックライト照明したものを6バンドカメラで撮影し、スペクトルに基づく色再現の仕組みで色を求めた結果と、先述の6原色ディスプレイの色域を図 4.2-6 に示す。3バンドカメラでは、色域がカメラの特性とマトリクスで決まる三角形内側に制限されるため、彩度の高い色を得ることができないのに対して、6バンドカメラにより6原色ディスプレイと同等の色域の映像信号を取得できることがわかる。

近年、広色域のディスプレイが消費者向けにも広まりつつあるが、RGB の映像信号は彩度の高い色を表すことができないので、テレビジョン用の広色域ディスプレイでは色彩を強調する処理が組み込まれ、受像機内部で彩度の高い色を作り出して表示している。このため、鮮やかな色の表示が可能ではあるが、実物とは異なる色となり、自然さに欠ける。これに対して、xvYCC などのような拡張された色域を扱える色信号の規格が制定され、一部の機器でサポートが進んでいる。しかし、従来のカメラから得られる映像信号では拡張された範囲の色が得られない。広色域の色信号を取得できるカメラシステムを実現するには、3バンドで人間の視覚と同等の感度特性を近似する方法があるが、マトリクス処理の過程でノイズが増幅されやすい。以上のことから、スペクトルに基づく色再現システムは、広色域の映像信号を取得するのにも有効といえる。

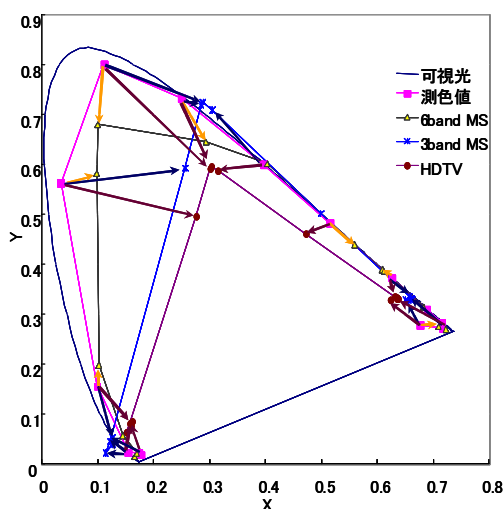


図 4.2-6 バックライト照明による干渉フィルタの色の推定結果

(測色値)は分光放射輝度計で計測した干渉フィルタの色の測色値、(6band MS)は6バンドカメラからウィナー推定で求めた色、(3band MS)は3バンド HDTV カメラからウィナー推定で求めた色、(HDTV)は HDTV (ITU-T BT.709) のマトリクスで求めた色。矢印は本来の色からのずれ分を表している。

図 4.2-7 は、コンパクトディスクの表面に現れる虹状のパターンを撮影し、推定された色信号を xvYCC 色空間上にプロットしたものである。3バンドカメラからマトリクス乗算により色を推定した場合、xvYCC で新たに拡張された領域(平行四辺形の外側)が実際には使われ

ていないことがわかる。また平行四辺形の内側の色も狭い範囲に分布している。すなわち彩度が低下している。これに対して色再現性を犠牲にして色域の拡張を行うようなマトリクスを作  
用させることは可能であるが、彩度の低い色の再現性が低下するなど、不自然な色を持つ画  
像になってしまう。

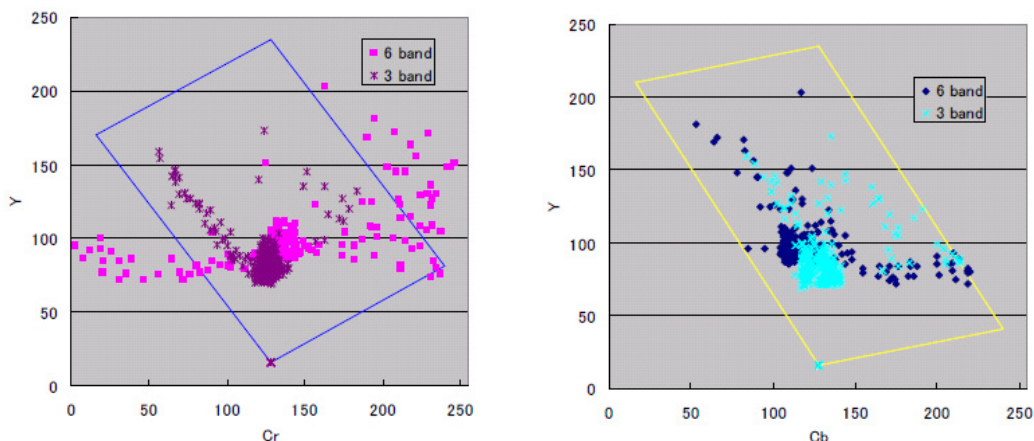


図 4.2-7 コンパクトディスクの回折パターン 3 バンドと 6 バンド撮影して得られた推定色の xvYCC 空間上での分布。左：Y-Cr 平面、右：Y-Cb 平面上へ投影したもの。平行四辺形は sRGB の色域。

### 4.2.3 多原色表示技術

ナチュラルビジョンでは、多原色表示による色域拡大の効果を実証するために、2台のプロジェクタを用いた6原色表示システム[6]を開発し、色域の評価や、多原色映像システムの有効性的実験的検証を行っている。ナチュラルビジョンで開発された多原色ディスプレイの光学系や色域などについては3.1.2節に述べた。図4.2-8(a)は8台の液晶プロジェクタを用い、2×2画面を貼り合わせた約2000×2000画素6原色投射型ディスプレイシステム、同図(b)はSXGAのDLPプロジェクタを2台用いた6原色フロントプロジェクション型表示装置、(c)は2台のフィルタホイール型DLPプロジェクタを用いたリア投影型6原色ディスプレイである。その他に3.1.2節に述べた4原色FPDの開発も行われた。

また、3.1.2節で紹介した多原色分解法の開発、画質評価、観察者メタメリズムの影響を除去した色再現などについてもナチュラルビジョンにおいて行われたものである。なお、忠実な色再現を行うためにはディスプレイの特性を数値化(キャラクタライゼーション)し、それを逆補正した映像信号を算出する必要がある。同プロジェクトでは、3原色ディスプレイや6原色ディスプレイにおいて、原色点とトーンカーブなどを計測することで、実物と再現色のCIELAB色差1~3程度での色再現を可能としている。

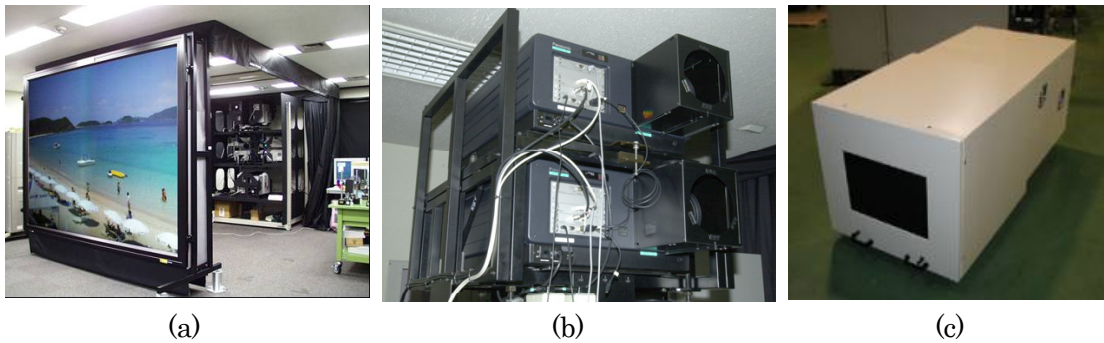


図 4.2-8 ナチュラルビジョンにおいて開発された多原色ディスプレイ

(a) 8 台の液晶プロジェクタによる  $2 \times 2$  画面ブレンディングによる約  $2000 \times 2000$  画素 6 原色投射型ディスプレイシステム、(b) SXGA の 3 板式 DLP プロジェクタを 2 台用いた 6 原色フロントプロジェクション型表示装置、(c) 2 台の XGA フィルタホイール型 DLP プロジェクタを用いたリア投影型 6 原色ディスプレイ。

#### 4.2.4 マルチスペクトル映像システム

4.2.2 節のマルチスペクトル入力系と、前節に述べた表示系を統合したマルチスペクトル映像システム（動画ナチュラルビジョン）が実験的に構築されている。図 4.2-9 にシステムの概要を示す。このシステムは、6 バンド HDTV カメラ（図 4.2-4）による映像収集系、6 原色 DLP を用いた表示系、並列 MPEG2 エンコーダを用いた伝送系と、データベース装置などからなる保存・編集・加工系から構成されている。映像信号は HDTV 規格をベースとしているが、色差信号のサブサンプリングの影響もするため、基本的には 4:4:4 の非圧縮の映像信号を 2 系統用いて 6 原色信号（4:4:4:4:4:4）を構成している。この広帯域の映像信号を記録するために磁気ディスクを並列に動作させてリアルタイムでの記録・再生を行う。

色変換装置のうち、カメラから出力される多原色入力映像信号から測色値映像信号への変換は、1 次元 LUT とマトリクスの組み合わせにより、測色値映像信号から多原色表示映像信号への変換は原色数分の 3 次元 LUT によって実現できる。このような機能を持つ 6-3 色変換装置と 3-6 色変換装置を用いて、リアルタイムで測色的な色再現を行える。

このシステムにより、6 バンド HDTV カメラから出力された 6 原色信号をリアルタイムで処理し、3 原色または 6 原色ディスプレイにライブで再現することができる。照明光のスペクトルは別途分光系を用いて計測し、観察環境の照明の状態に合わせて再現を行うことで、実際に実物を見ているときとほぼ同じように色を知覚することができる。特に、壁の色などが照明の影響なども含めて忠実に再現されていると、あたかも実物を直接観察しているかのようなリアリティーを感じることができる。

動画ナチュラルビジョンの映像伝送システムの実現形態としては、図 4.2-10 に示す方式が考えられる。マルチスペクトルカメラから出力される信号（多原色入力信号映像）は、色変換装置により伝送する信号に変換され、再び色変換装置によって多原色表示映像信号を生成してディスプレイに表示する。なお、これは伝送システムとしての図になっているが、映像データを保存する場合も同様な考え方になる。システムの構成は、伝送する信号に応じて 3 つのケースが考えられる。3 つのケースの特徴を表 4.2-1 に示す。ケース 1 は、伝送データ量は多いが、ナチュラルビジョンの機能を全て受信側で実現できるので、映像データの保存を行う場合に適している。ケース 2 では測色値映像信号を伝送すればよいので比較的伝送データ量は少ないが、

多原色ディスプレイの色域を包含し、色空間の量子化が十分細かい信号形式を用いる必要がある。ケース3では受信側で用いる表示機器は1種類に限定されるが、表示機器での色変換が不要なので受信側のシステムは簡単になる。

これらの方法以外に、マルチスペクトルカメラから得られた高精度な測色値映像信号に加えて色再現処理に利用可能なメタデータ（照明のスペクトルなど）を送ることで、比較的少ない伝送容量で高忠実な色再現性を持つ映像伝送・再現が可能であることも示されている。

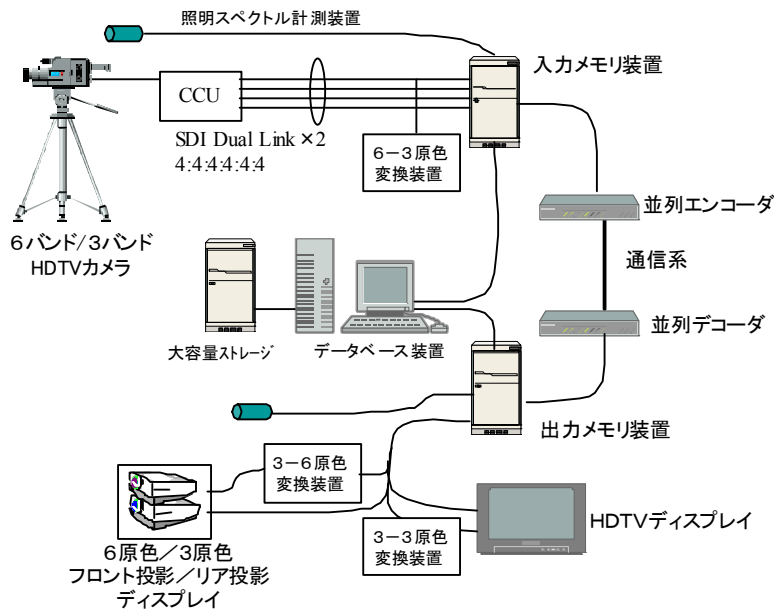


図 4.2-9 マルチスペクトル映像システム (動画ナチュラルビジョン実験システム) の構成

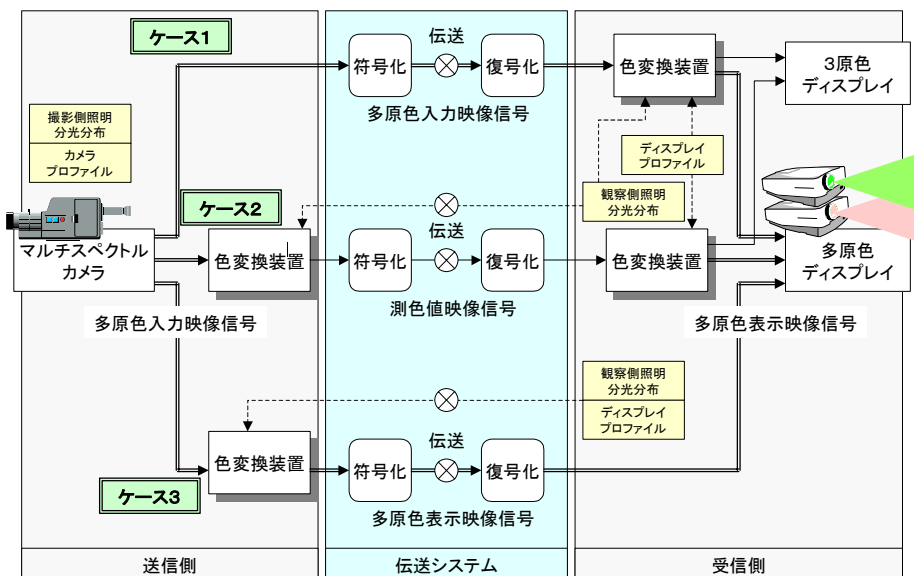


図 4.2-10 マルチスペクトル映像伝送の形態

表 4.2-1 多原色映像信号伝送方式の分類

ケース	伝送信号	実現できる機能	応用例
1	多原色入力映像信号	受信側において任意照明光源下での色を算出可能	映像アーカイブ 1対多映像配信
2	測色値映像信号	観察側照明特性を送信側に伝送、観察側の照明光源下での色を再現	1対1の映像伝送・再現 再現照明光源固定での広色域映像伝送・再現
3	多原色表示映像信号	観察側照明と表示機器特性を送信側に伝送、受信側機器に合わせた信号を送信・再現	クライアント・サーバ方式での映像伝送・再現

また、圧縮・符号化に関しては、色再現を目的としたマルチスペクトル画像の非可逆圧縮技術として、視覚系の特性を考慮した重み付き KL 変換と適応的量子化の手法や、N バンドの映像から可視 3 バンドと不可視 N-3 バンドに分離して符号化することで、色再現性を保ったまま符号化効率を高める方法が複数提案されている。

#### 4.2.5 多原色システムと映像のリアリティー

多原色映像システムによる質感再現に関しては、実物の色の忠実な再現、周囲の照明環境に適応した色の再現、彩度の高い色の再現、高彩度の色の滑らかな階調表現などの効果が期待できる。実際に 6 バンドの動画ナチュラルビジョンシステムで再現される映像を、特に大画面で再現すると、周囲の照明の色と画面内の色がよく一致しているため、ディスプレイの枠の内側に実物があるかのように感じられる。また、4.2.2 節に示したように、3 原色ではスペクトル幅の細かい色が 3 原色付近に集中してしまい、虹のような滑らかな色変化が再現できないのに対して 6 原色システムでは高彩度の色の滑らかな階調表現が改善されており、これらのことは映像における質感再現に寄与するものと考えられる。

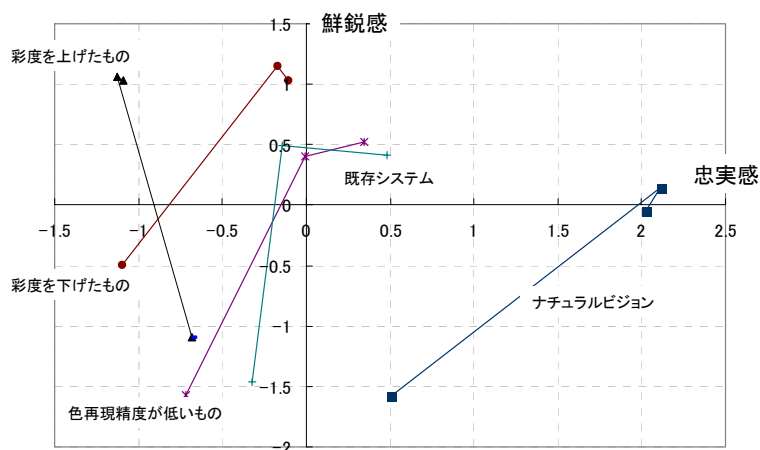


図 4.2-11 ナチュラルビジョン映像の主観評価結果。

16 バンドマルチスペクトル画像と 6 原色ディスプレイを用いて、SD 法により抽出された「忠実感」と「鮮鋭感」の因子に関するプロットを示す。それぞれの折れ線は、各種の異なる再現方法の映像に対して解像度を変化させて (320 × 240 ~ 1280 × 1024 画素) 得られた結果を結んだものである。

ここでは、静止画のナチュラルビジョンシステムを用いてナチュラルビジョン映像の主観評価を行った結果を述べる。図 4.2-11 は 16 バンドマルチスペクトル画像と 6 原色ディスプレイを用いて、SD (Semantic Difference) 法によって主観評価を行った結果を示している。「忠実感」「アピール感」「鮮鋭感」などの因子が抽出され、そのうち忠実感と鮮鋭感に関してプロットしたものである。それぞれの折れ線は、ナチュラルビジョンや従来の RGB システムによる映像など、異なる設定で作成した映像において、解像度を变化させた場合の結果を結んだものである。ナチュラルビジョンによる映像で鮮鋭感があまり高く評価されていないが、これは実験に用いたマルチスペクトルカメラの空間解像特性の問題であり、カメラの設計の見直しにより改善されると見込まれる。ナチュラルビジョンによる映像は、忠実感が高いと評価されており、特に最も解像度が低い場合（鮮鋭感が低い場合）でも、従来のシステムで解像度が高いときと同等の忠実感の評価が得られている。映像のリアリティーを高めるには解像度を増加させるだけでなく、色再現性を向上することが十分に有効であるといえる。

映像再現における質感、リアリティーの向上には、色再現性も一つの重要なファクターであると言える。従来、映像を鑑賞する人には実物の色は正確にわからないので正しい色を再現する必要は無い、という考え方が多かったが、質感やリアリティーを向上するには、再現される映像を実物に近づけることも重要になる。ナチュラルビジョンにおける映像再現の評価を通じて、以下のような点が明らかにされている。

再現される映像がディスプレイの周囲の照明環境に良く一致した場合、極めて高いリアリティーが得られる。

彩度が高く深い色合いまで再現できるために表面の模様やテクスチャーなどの質感再現性が高まる。

映像再現の忠実性の視点からは解像度と同様に色再現性も重要な要因である。

分光的な色再現を適用することで、肌色などの映像再現の忠実性を格段に向上できる。今後、質感やリアリティーなどに着目した映像再現の評価方法を確立していくことが過大と考えられる。

#### 4.2.6 ナチュラルビジョンにおける応用実験 [1][2][7]

ナチュラルビジョンのプロジェクトでは、マルチスペクトルと多原色を用いた映像システムの有効性を示し、その利用分野を開拓することも一つの目的としている。以下にこれまでに行われた評価実験の結果を紹介する。

##### (1) 病理診断支援への応用実験

遠隔病理診断（テレパソロジー）や遠隔画像カンファレンスなどにおいて、病理画像の色は診断に重要な役割を果たす。ところが、画像の色が顕微鏡や撮影装置などの影響を大きく受けるだけでなく、染色の薬剤や精度管理によって色にばらつきが生じる。このため、遠隔診断において他施設から送られてきた画像を観察するとき、病理医は異なる色調を持つ画像を基に診断しなければならないといった問題がある。ナチュラルビジョンでは、ピッツバーグ大学及び東京医科大学と共同で、マルチスペクトル技術を適用することで忠実な色再現や定量的な色情報に基づく診断支援を実現するための実験を行っている。

マルチスペクトル顕微鏡撮影により病理標本の染色状態の違いによる色のばらつきを補正する方法が提案されている。マルチスペクトルの顕微鏡画像から染色色素の量を画素ごとに

推定し、得られた画像に重みをかけることで、色素の濃さやバランスを調整する。さらに、標準的な染色状態の標本の色素量分布を参考にして重みを適切に決めてやれば、ほぼ一定の染色状態の画像を作成することができる。

色素量画像は機器の特性などに依存しない定量的な値を持つので、色素量の分布を詳しく解析することによって、RGB に基づくカラー画像では難しかった処理が可能になる。マルチスペクトル撮影から得られた分光情報を用いることで、病理検査で通常行われる HE 染色では見分けることのできない特徴を画像から抽出して提示することが可能である。例えば、画像処理によって特殊染色の色を持つ画像に変換する「デジタルステイン」の技術の実験が行われ、病理診断プロセスの効率化や定量的な情報に基づく診断に貢献することが期待されている。

## (2) 皮膚科診断支援[8]

ナチュラルビジョンでは、香川大学医学部と共同で MSC を用いて皮膚病変部の撮影を行い、画像の色再現性や診断支援への応用などについて検討を行っている。特に微妙な色の再現性が問題になる炎症性皮膚疾患や自己免疫性皮膚疾患を主な対象とした実験が行われた。

皮膚の色についてはこれまでに多くの研究があり、正常皮膚の分光反射率データベースの解析から、皮膚の分光反射率の統計的な性質を利用すれば 3 バンドカメラでもある程度高い色再現性が得られると言われている。ナチュラルビジョンでは、皮膚病変部を 16 バンドマルチスペクトルカメラで撮影する実験を行い、病変部の色再現性の関係について調べたところ、症例によっては 5 バンド以上が必要であると報告している。

また、得られるスペクトルの情報を皮膚科における診断支援に利用する試みが行なわれている。16 バンドで撮影された画像に対して、正常部の色を変化させずに特定の波長成分のみを強調する処理を適用し、470nm 付近ではメラニン、550nm 付近では皮膚表層の毛細血管、620nm 付近ではやや深い部分の血管に対応した変化を強調できること、また 550nm 付近の波長帯域の画像を用いることで乾癬などの皮疹の定量化や病態の分類、炎症性皮膚疾患と自己免疫性皮膚疾患における色の違いの定量化などを行える可能性を示している。

メラノーマ（悪性黒色腫）の診断などにはマルチスペクトルを用いた機器などが実用化されており、今後皮膚科領域での利用が広がる可能性はある。

## (3) 動画ナチュラルビジョンの医療応用実験[9]

ナチュラルビジョンでは、横浜市立大学病院の皮膚科において、4.2.4 節に述べた動画ナチュラルビジョンシステムを用いた皮膚科応用の実験も行っている。この実験では、皮膚科専門医によりマルチスペクトル映像システムで再現される色を視覚的に評価することで、皮膚科医が実際の皮膚病変と再現された映像を観察したときに同じ色を知覚しているかどうかを調べている。医療分野の中でも皮膚科医は皮膚の色に対して最も敏感であると考えられるので、本実験において皮膚科医により高い色再現性があるとの評価が得られれば、他の様々な分野に対する適用可能性を示すことにつながると考えられる。

実際の病変の代わりに、アレルギー検査で用いられるブリックテストによって人工的に生成した紅斑を対象としている。ブリックテストによる紅斑は、蕁麻疹などの典型的な発赤と同等な色を呈する。映像は、4.2.4 節に述べた 6 バンドカメラ、映像信号変換、リア投射型 6 原色ディスプレイを用いた 6 原色システムと、3 板式 RGB による HDTV カメラと 3 原色

ディスプレイによる3原色システムによるものを比較している。

皮膚科医による視覚的評価では、対象とする皮膚とディスプレイ上に再現された画像の色について、皮膚科医が色票と比較し、最も一致すると思われる色を選択した。その結果、6原色システムの映像から選択された色票は原点を中心として $\Delta E^*_{ab} < 4 \sim 5$ の範囲に収まっているのに対して、3原色システムの映像では中心が原点からシフトし、色差 $\Delta E^*_{ab} = 7 \sim 8$ 程度となっている。色票の間隔が $\Delta E^*_{ab} = 3 \sim 5$ であることを考慮すれば、この実験の範囲で、3原色システム映像では実際の皮膚とは異なる色が知覚されているのに対して、6原色システムの映像ではほぼ同じ色として知覚されていると言える。

さらに、色再現性が診断に与える影響を調べ、3原色システムにおいて60例中8例について直接観察では紅斑があるとして大きさ計測が行われたにもかかわらず見落としが発生した。6原色システムの映像ではそのような見落としは無かったことから、色再現性が向上することにより、色の差の再現性も改善され、診断における見落としを回避できる可能性を示している。

遠隔地間での伝送実験では、横浜市金沢区にある横浜市立大学付属病院で撮影し、約10km離れた横浜市南区にある同大センター病院間で商用のメトロイーサネット回線(100Mbps×2)を通じて伝送し、映像再現を行っている。

以上の実験に参加した医師からの評価として以下のようなコメントが報告されている。

- 3原色システムの映像は赤がかぶっている印象で、淡い紅斑の評価には不十分と考えられる。6原色システムの映像は自然色に近く、特に赤と黄色の違いが識別しやすいため、紅斑の輪郭が明瞭。毛細血管の拡張による色の変化がよく分かる。
- 手術の映像を撮影してモニタリングや記録として用いる場合に、直接観察であれば色の差と触診により腫瘍組織の範囲がわかるが、通常のハイビジョン映像では色の差がわからず、映像を見ている人は、術者がどのような処置を行っているのか伝わらないケースがある。6原色システムは特に赤の色再現性に優れるので、腫瘍組織と正常組織の判別や血行状態の判断に有用と思われる。また、学生や医師の教育に利用する際にも同様。
- 実用に向けてはカメラやディスプレイの操作性向上、小型化などが必要である。

#### (4)文化遺産のデジタルアーカイブに関する実験[10]

メキシコ国立人類歴史図書館(BNAH)及び国立研究所(INAOE)と共同で、アステカ文明時代の絵文字"コーデイス"(Codice)のアーカイブに関して、16バンドマルチスペクトルカメラを用いた撮影実験を行っている。コーデイスは「ピクトリアルドキュメント」と呼ばれるように絵で情報を伝える手段として描かれたもので、その時代の文化を知る上で貴重な資料である。メキシコの国立図書館には、13世紀から16世紀のコーデイスがおよそ100点収集されているが、劣化が進んでしまっているものも少なくない。コーデイスに使用されている媒体や顔料は光による退色や劣化が懸念されており、保管方法、展示方法およびカメラによる撮影方法も厳しく管理されている。これまで、BNAHではコーデイスを銀塩写真で撮影し、そのフィルムをスキャナーで取り込むことでデジタル化して保存している。このような方法では、保存されるデータの正確さは十分とは言えず、担当者にとっても「とりあえずアーカイブしたという状態なので画質には満足していない」という状況である。

退色や劣化の防止のために、写真撮影時の照明としてはタングステンランプのみが許されており、この照明下で撮影しなければならないことが、正しい色の再現を難しくしている。



撮影では露光量を最小限とするためストロボ照明を用い、ストロボ発光に同期させて 16 バンドの画像を撮影した。ナチュラルビジョン技術による撮影は被写体の分光反射率を計測するという概念で行われているため、実際にコーディスを照明している光ではなく任意の照明下（例えば太陽光下）で観察しているように再現することができる。さらに、マルチスペクトル画像から肉眼では認識できないような物が見えてくる可能性があり、情報は顔料などの彩色材料の分析や、修復を行う場合の材料の選定などに役立つのではないかという点も期待されている。

#### (5) オーロラの映像再現

アラスカ大学フェアバンクス校の協力を得て、オーロラの色を忠実に再現することを試みている。オーロラは非常に輝度が低いため、分光感度特性を計測した 3 バンドデジタルカメラで撮影された映像と、分光放射輝度計で測定された分光分布から画像の色再現を行い、6 原色ディスプレイに表示している。なお、プロジェクタの前面に減光フィルタを取り付け、明るさを実際のオーロラに近づけて表示した。オーロラのカラー写真としては、リバーサルフィルムで撮影された大変鮮やかな緑色の写真を良く見かけるが、実際のオーロラは白味があった緑色と暗い赤が主で、その様子が良く再現されている。

オーロラは全天にまたがって現れるため、このような視野角の広い映像を高いリアリティーで再現するには、ドーム状のスクリーンで視野を覆うように投影することが望まれる。そこで、4 台のプロジェクタで半球状のスクリーンに高解像度の映像を投影するシステムの開発も行われ、画像処理技術による歪補正を行い、また、継ぎ目無く貼り合わせを行うブレンディング技術を適用することで、複数台のプロジェクタから投影された映像を歪無く表示することに成功している。

#### (6) 電子商取引

服生地 of 電子商取引への応用として、色に基づく検索や観察側の照明環境、表示装置の特性に合わせた色再現が可能な電子カタログのプロトタイプが開発されている。構築したシステムはクライアント - サーバ型の構成で、WWW インタフェースにより利用することができる。このシステムでは、表 4.2-1 のケース 2 の方式で伝送を行っており、クライアント側の観察環境の情報をサーバ側に送信すると、サーバ側で色再現処理を行って、クライアント側の環境に応じた正確な色調が再現される。また、色を計測値として扱うことができるので、画像として表示されたサンプルの測色値や対応する色票 IDなどを提示する機能や、分光反射率に基づく画像検索機能を持つ。照明光や撮影機器等の特性に依存せず、対象物の色（分光反射率）に基づいて検索などの処理が可能である。

繊維関連でよく用いられている SCOTDIC 色票（研彩館インターナショナル製）の 464 色について 16 バンドマルチスペクトル撮影による色推定精度を評価した結果、平均色差  $\Delta E^*_{ab} = 2.34$  と十分に高い精度が得られた。同じ 464 色のうち、sRGB 規格の表示機器では 6 % 程度の色が色域外となって表示できないのに対して、6 原色表示ではすべての色を表示可能であった。これは暗室における値であるが、通常的环境下でディスプレイにバイアス光がのる場合にはさらにその差が大きい場合もある。

また、色再現が困難であるとされる衣服に対して、繊維分野の現場担当者による主観評価を行い、実物とナチュラルビジョンによる色再現画像とを比較した場合、色の違いはほとん

ど気にならないレベルであるとの評価であった。なお、特に布生地や自動車のメタリック・パール塗装などにおいては反射特性の角度依存性が顕著であるため、実物とディスプレイという異なるメディアを比較する点に多少難しさがあり、「商品色を色々な角度から見たり、動かして見たりできると質感が伝わって良い。」などのコメントが得られている。

#### (7) 印刷応用実験

マルチスペクトル撮影によって実物の色情報を忠実に入力すれば、美術品の図版や次節に述べるカタログ印刷などに役立つと考えられる。青森デジタルアーカイブ推進協議会と共同で、棟方志功の版画をアーカイブするためにマルチスペクトル画像撮影実験を実施している。(8)項に述べるカタログ用商品撮影と同様の方法で、得られたマルチスペクトル画像から標準照明下での三刺激値の画像を算出し、カラーマネージメントを適用したインクジェットプリンタで美術品のレプリカなどが作成されている。

#### (8) カタログ用商品撮影[11]

ナチュラルビジョンは(株)DNPメディアクリエイトとともに商品カタログ用スタジオ撮影の実験を行った。スタジオ内に被写体配置用の撮影ステージを設営し、専門のカメラマンにより標準的な商品撮影を想定したセッティングを行い、16バンドマルチスペクトルカメラと、比較用にプロ用デジタルカメラ(以下RGBカメラ)を使用した。マルチスペクトル撮影では3灯の外部ストロボを用い、シャッターと同期してストロボを発光させて撮影している。

RGBカメラより得られた画像データを校正用インクジェットプリンタで出力し、内校に相当するサンプルを作成した。このサンプルに対し、印刷物の品質チェックを担当するプリントディレクタに、被写体と見比べながら色調修正指示を記入してもらったところ、画像毎の色調修正は、平均4~5箇所であった。

16バンドマルチスペクトルカメラで撮影された画像については、別途測定したストロボ光源の分光エネルギー特性の値を用いて、標準光源下での色を算出し、ICCプロファイルを用いてプリンターの色補正を行ってプリントサンプルを作成している。RGBカメラの場合と同様に、プリントディレクタに色調修正指示を依頼したところ、すべての被写体について、このプリントの色調であれば、色調修正せずに出校して問題ない、との評価が得られた。また、RGBカメラによる色調修正後の出校用プリントと比べても優れた色調である、とのコメントもあった。今後、実用的なマルチスペクトルカメラが利用可能になれば、スタジオ撮影に適した仕様のMSCが実用化されることで、カタログ製作の合理化と品質向上が計られ、「実物を見ているようなカタログ」が消費者の手に届くようになると期待される。

#### (9) コンピュータグラフィックス[12]

多原色表示を用いたCGシステムは、従来よりも格段に広がった色域を利用して、今までのデジタル映像では使うことのできなかつた鮮やかな色のパレットを利用できるCGシステムである。ナチュラルビジョンではそのようなシステムを"IRODORI"と名づけてCG関連の国際会議ACM SIGGRAPH 2004のEmerging Technology部門で展示を行った。3チャンネルの画像データを操作する形態のユーザインタフェースと、6原色の映像信号を直接操作する方式とが試作されている。このシステムを用いて実際に映像を制作し、広い色域

を用いることで以下のような効果があることを示している。

- 華やかな色彩を持つ花や蝶、透き通るような青空、マリンプルーの海、若葉を通した木漏れ日、美しい夕焼けなど、従来のディスプレイの制約を越えたより高いリアリティーを持つ映像表現が可能になる。
- 人間が記憶した色は、時間とともにより典型的な色、特に鮮やかな方向へシフトする。拡張された色域を用いた映像表現は、「記憶色」に基づく誇張されたリアリティーにも利用することができる。
- 我々が普段目にするものない鮮やかな色や、他の色との組み合わせによる強烈なコントラストを利用して、インパクトのある映像を生成できる。また、このような色の使い方によっては、現実離れた仮想世界の雰囲気表現するのにも有効である。
- 表示できる色の範囲が広がったことにより、利用できる色調変化も豊かになる。特に暗い領域での微妙な階調変化によってかすかな光の射す風景に奥行きを感じさせることができるといった効果がある。
- 鮮やかな色を使うことで、発光物体や光沢、例えば自動車のメタリックな光沢などの表現を豊かにする効果がある。

#### 4.2.7 ナチュラルビジョン・データフォーマット規格[13]

ナチュラルビジョンプロジェクトでは、マルチスペクトル画像を色再現や映像分析に活用可能にすることを目的として、ナチュラルビジョンフォーマットを開発し、公開している。そのうち静止画をサポートするプロファイルの部分について、CIE TC8-07 に提案している。静止画を対象とした理由は、現状では他ではマルチスペクトル動画まで扱うことを想定している機関は極めて少ないためである。

ナチュラルビジョンフォーマットとしては、ICC プロファイルを参照した形式のもの、XML 形式メタデータフォーマットが提案されている[1]。これは、表 4.2-2 に示すように、マルチスペクトル画像を扱う場合に必要な情報をメタデータとして記述するものである。これによって様々な異なる特性を持つ映像機器の間でマルチスペクトル・多原色の映像を交換し、正しい色で再現することや、スペクトルを用いた映像処理などが可能になる。また、このようなメタデータフォーマットを策定する過程で、図 4.2-13 に示すようなマルチスペクトル画像の色処理に関するワークフローの概略が整理されている。

現在、前述のナチュラルビジョン普及促進協議会において、XML 版ナチュラルビジョンフォーマットをより実用的なものとするための仕様書策定作業が行われている。

表 4.2-2 NV-XML サンプルデータ ( ..... は中略の意。)

```
<?xml version="1.0" standalone="yes" ?>
- <Nvision xmlns="http://tempuri.org/NvXmlSchema.xsd">
  - <NvisionImage d2p1:Number="1" xmlns:d2p1="http://tempuri.org/NvXmlSchema.xsd">
    - <ImageCreateInfo>
      <Signature>NVXMLPROTOTYPE</Signature>
      <Version>2.00</Version>
      <Creator>a_toga</Creator>
      <CreationDate>20050301</CreationDate>
      <LastUpdate>20050301</LastUpdate>
      <Rights />
      <Comment>test2</Comment>
```

```

</ImageCreateInfo>
- <ImageInfo d2p1:ID="1">
  <ImageType>RAWIMAGE</ImageType>
  <ImageBands>3</ImageBands>
</ImageInfo>
</NvisionImage>
- <NvisionInput d2p1:Number="1" d2p1:InputDate="9999-12-31T00:00:00.0000000+09:00"
  xmlns:d2p1="http://tempuri.org/NvXmlSchema.xsd">
  - <InputDevInfoType>
    <InputDevName>MSC1000</InputDevName>
    <InputDevType>Multispectral Camera</InputDevType>
    <InputDevManufacturer>NTTD</InputDevManufacturer>
  </InputDevInfoType>
  - <InputDevDataList>
    - <DarkCurrentData d2p1:ID="1">
      <DarkCurrentValue>5842.297852 5683.556641 5000.297852 5504.974121
        4849.098145 5113.907715 5113.907715 5113.907715 5113.907715
        5113.907715 5113.907715 5113.907715 5113.907715 5113.907715
        5113.907715 5113.907715</DarkCurrentValue>
      </DarkCurrentData>
    - <ToneCurvesData d2p1:ID="2">
      <CurveValues>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 303 303 303 303 303 303 303
        303
        .....
        65535</CurveValues>
      </ToneCurvesData>
    - <ExposureTimeData d2p1:ID="3">
      <ExposureTimeValue>1.999191 1.999191 ..... 0.322906</ExposureTimeValue>
      </ExposureTimeData>
    - <SpecSensiData d2p1:ID="4">
      <SpecSensiValue>0.000000 0.000000 .....
        4.269989</SpecSensiValue>
      </SpecSensiData>
    - <NoiseData d2p1:ID="5">
      <NoiseValue>0.699997 0.699997 ..... 0.699997</NoiseValue>
      </NoiseData>
  </InputDevDataList>
  - <InputIllu d2p1:ID="6" d2p1:ShortWaveLength="380.000000" d2p1:DataNumber="401"
    d2p1:WaveInterval="1.000000">
    <InputSpecData>0.007034 0.007721 0.008163 0.008469 0.009094 0.009186
      0.009659
      .....
      0.167847</InputSpecData>
    </InputIllu>
  - <ObjectDataList>
    - <AutoCorrelationMatrix d2p1:ID="7">
      .....
    </ObjectDataList>
  </NvisionInput>
- <NvisionConversion d2p1:Number="1" d2p1:ConvDate="9999-12-
  31T00:00:00.0000000+09:00" xmlns:d2p1="http://tempuri.org/NvXmlSchema.xsd">
  - <ColorConvDataList>
    - <XYZConvData d2p1:ID="8">
      <XYZConvValues>0.208511 0.372055 0.204636 0.066437 0.014832 0.008102
        0.107651 0.381470 0.448318 0.950882 1.200302 0.699097 0.510605
        0.196350 0.038345 -0.002808 0.005585 0.028809 0.061447 0.079681
        0.198196 0.551605 0.697708 0.987808 0.706924 0.860077 0.701080
        0.303223 0.203995 0.071304 0.014771 -0.006348 0.998642 1.895752
        1.259720 0.553680 0.360794 0.154800 0.034821 0.010269 0.002045
        0.001450 0.000778 0.000092 0.000031 0.000000 0.000015 -
        0.004578</XYZConvValues>
      </XYZConvData>
    - <SpecReflectData d2p1:ID="9">
      <SpecReflectValues>0.642792 -0.231445 0.105576 0.643433 -0.231674
        0.105682

```

```

.....
0.000366 -0.000168 -0.000061 0.000366</SpecReflectValues>
</SpecReflectData>
- <SpecStimuliData d2p1:ID="10">
  <SpecStimuliValues>0.068008 -0.024475 0.011169 0.033447 -0.012039
  0.005493
  .....
  0.000031</SpecStimuliValues>
  </SpecStimuliData>
- <ColorMatchingFuncData d2p1:ID="11">
  <ColorMatchingFuncValues>0.001358 0.000031 0.006439 0.001495 0.000031
  .....
  0.000000</ColorMatchingFuncValues>
  </ColorMatchingFuncData>
</ColorConvDataList>
- <RenderingIllu d2p1:ID="12" d2p1:ShortWaveLength="380.000000"
  d2p1:DataNumber="401" d2p1:WaveInterval="1.000000">
  <RenderingSpecData>0.007019 0.007721 0.008179 0.008484 0.009094 0.009186
  .....
  0.167328 0.167877 0.167862</RenderingSpecData>
  </RenderingIllu>
</NvisionConversion>
</Nvision>

```

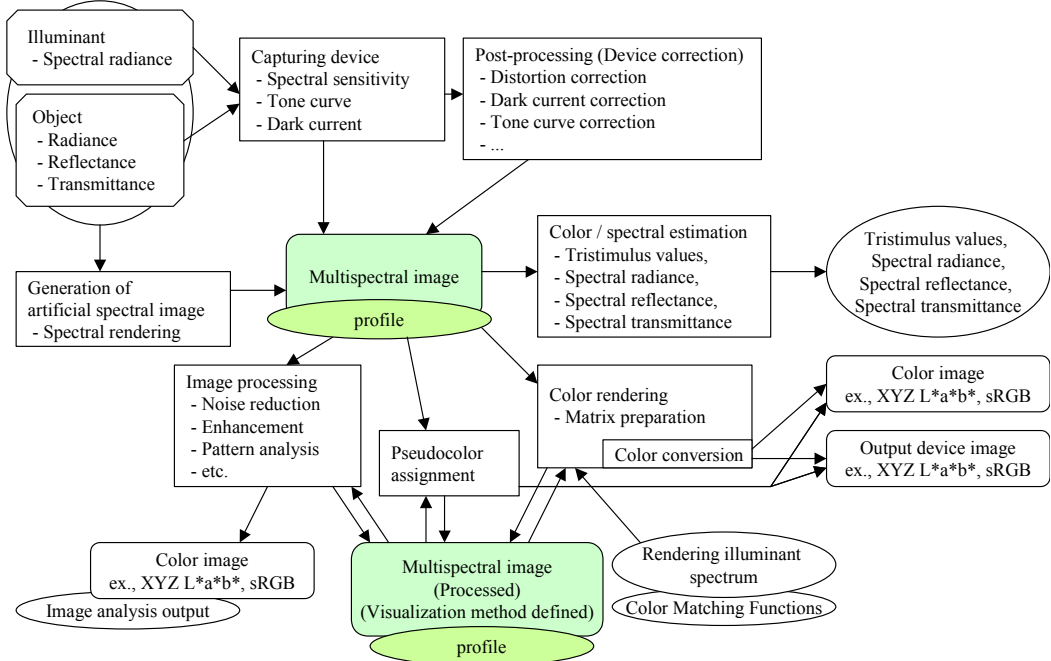


図 4.2-12 マルチスペクトル画像における色処理のワークフローの概要

### 4.3 今後の動向

人間の視覚と直結した色情報をスペクトルに基づいて扱うことで、色再現の忠実性を格段に向上し、質感・光沢感などを含むリアリティーを高めるとともに、色・分光情報を活用した高度な映像処理が可能となる。スペクトルに基づく映像色再現の技術は、商品カタログや美術品などの印刷、アパレル・自動車や各種の工業製品のデザインや試作・電子商取引、美術品や文化遺産などのデジタルアーカイブ、医療関連など、色再現の要求が高い分野から利用が進むと

考えられる。既に、韓国のインターネットショッピングサイトでは、ナチュラルビジョンの成果に基づき、多原色撮影を用いて実物により近い色再現性を持つ Web カタログを運用し始めている。さらに、CG においてもマルチスペクトルに基づくレンダリング機能を持つソフトウェア製品などが登場している[14]。医療分野では、歯科用測色機の実用化、また直接ナチュラルビジョンと関係しているものではないが、電子内視鏡における狭帯域イメージング、顕微鏡を用いた病理診断、ダーモスコピーによるメラノーマ診断などにおいても、マルチスペクトル技術が実用化されている。

今後は、映像コンテンツの価値を高める技術として、さらに映像制作など広い分野への応用が期待される。しかし、質感やリアリティーなどに着目した映像再現の評価方法は確立していると言いがたい。また、光沢や映り込みなどの影響などについても明らかになっていない。

現在、ナチュラルビジョンプロジェクトでは、実用性の高い小型のシステムを実現するための映像収集技術、伝送技術の開発とともに、画質評価、感性的な評価にも取り組んでいる。

## 参考文献

- [1] 本章は赤坂ナチュラルビジョンリサーチセンター(1999-2006) ((独) 情報通信研究機構 (1999年~2004年3月は通信・放送機構)の拠点研究)で研究された内容と、(独) 情報通信研究機構の委託研究「マルチスペクトル映像収集・伝送技術の研究開発」(2006-2009)として実施されている内容を含む。前者の研究内容は、「平成11年度~平成17年度ナチュラルビジョンの研究開発プロジェクト報告書」(2000-2006)、後者については「マルチスペクトル映像収集・伝送技術に関する研究開発」(委託研究) 成果報告書(2007)に報告されている。
- [2] M. Yamaguchi, H. Haneishi, H. Fukuda, J. Kishimoto, H. Kanazawa, M. Tsuchida, R. Iwama, and N. Ohya, "High-fidelity video and still-image communication based on spectral information: Natural Vision system and its applications," Proc. SPIE, 6062, 60620G (2006)
- [3] M. Yamaguchi, T. Teraji, K. Ohsawa, T. Uchiyama, H. Motomura, Y. Murakami, and N. Ohya, "Color image reproduction based on the multispectral and multiprimary imaging: Experimental evaluation," Proc. SPIE, 4663, 15-26 (2002)
- [4] 三宅洋一編, 分光画像処理入門, 東京大学出版会 (2006)
- [5] K. Ohsawa, T. Ajito, H. Fukuda, Y. Komiya, H. Haneishi, M. Yamaguchi, and N. Ohya, "Six-band HDTV camera system for spectrum-based color reproduction," J. Imag. Sci. and Tech., 48, 2, 85-92 (2004)
- [6] T. Ajito, T. Obi, M. Yamaguchi, and N. Ohya, "Expanded color gamut reproduced by six-primary projection display," Proc. SPIE, 3954, 130-137, (2000)
- [7] 山口雅浩、羽石秀昭、"感性を刺激する自然な色再現を目指して: ナチュラルビジョンプロジェクトの活動", 電子情報通信学会誌, 88, 6, 456-476 (2005)
- [8] M. Yamaguchi, M. Mitsui, Y. Murakami, H. Fukuda, N. Ohya, and Y. Kubota, "Multispectral color imaging for dermatology: application in inflammatory and immunologic diseases," IS&T/SID 13th Color Imaging Conference, 52-58 (2005)
- [9] M. Yamaguchi, R. Iwama, H. Kanazawa, N. Fujikawa, H. Fukuda, H. Haneishi, N. Ohya, H. Wada, T. Kambara, M. Aihara, Y. Yamakawa, A. Nemoto, M. Furukawa, and Z.

- Ikezawa, "Color reproducibility of skin lesions in multispectral video: Experimental evaluation," IS&T/SID 14th Color Imaging Conference, 8-13, (2006)
- [10] H. Fukuda, T. Uchiyama, H. Haneishi, M. Yamaguchi, and N. Ohyama, "Development of 16-bands multispectral image archiving system," Proc. SPIE, 5667, 136-145 (2005)
- [11] 内田篤志、大澤健郎、小宮康宏、山口雅浩、羽石秀昭、大山永昭、" マルチスペクトルカメラによるカタログ用商品撮影 ", 日本印刷学会春季研究発表会講演予稿集、131-134 (2003)
- [12] J. Kishimoto, M. Yamaguchi , H. Haneishi, and N. Ohyama, "IRODORI - A Color-rich Palette Based on Natural Vision Technology-," ACM SIGGRAPH 2004 Emerging Technology (2004)
- [13] M. Yamaguchi, H. Haneishi, and N. Ohyama "Beyond Red-Green-Blue (RGB): Spectrum-Based Color Imaging Technology," J. Imag. Sci. and Tech., 48, 2, 85-92 (2004)
- [14] 橋本勝、" リアルタイム・マルチスペクトルCGレンダリングソフト " ColorDesigner " の開発 ", 3次元画像コンファレンス 2007 講演論文集 , 101-104 (2007)

## 第5章 CGにおける質感再現

### 5.1 はじめに

カタログやポスター、映画など、様々なコンテンツ制作にCGが広く用いられている。CGコンテンツのリアリティや正確さなどの品質を向上させるためには、制作対象の形状を適切に表現するだけでなく、対象の色や素材感などの質感表現が非常に重要であり、質感表現の向上のための様々な手法の提案や研究開発が盛んに行われている[1][2]。

広告物や映画の製作など、映像の生成にある程度の時間を費やすことが許される用途では、精細なデータを用いて時間のかかる高精度な映像生成処理を行うことができる。これに対して、対話的な操作に伴うリアルタイムの映像変化を特徴としているゲームやバーチャルリアリティなどでは、極めて高速な映像生成処理が求められる。フレームレートの低下を目立たせないためには、毎秒30回コマ程度以上の映像生成を行う必要があり、処理の負荷を抑えて速度を向上させることが特に重要な課題となっている。このように、用途によっても求められる要件が異なっている。

本稿では、CGで用いられている代表的な質感再現手法を取り上げる。

### 5.2 基礎的なCG表現手法

CG画像の制作過程は、CGモデルを作成記述するモデリングの過程と、CGモデルから二次元の画像を生成するレンダリングに大別できる。

#### 5.2.1 形状モデルの作成

直方体や球などのプリミティブ、メッシュ、関数表現、などを用いてオブジェクトの三次元形状を定義し、これから、ポリゴン(3角形または4角形)の組み合わせ(ポリゴンモデル)を生成して、後段のレンダリング処理に受け渡す方法が広く用いられている。

曲面を表現する場合、面の分割を細かくするほど、滑らかで精緻な形状を表現することができるが、当然ながらデータ量が増大し、計算処理や伝送の負荷も増大する。そのため、記憶容量、要求される品質、ハードウェア性能、などを考慮して精細度を決めることになる。

下図は、生成されたポリゴンの例を示している、左の例は、データ量が少ないが形状の再現精度が低く、右はオブジェクトの形状を精度良く表現しているがデータ量は非常に多い。

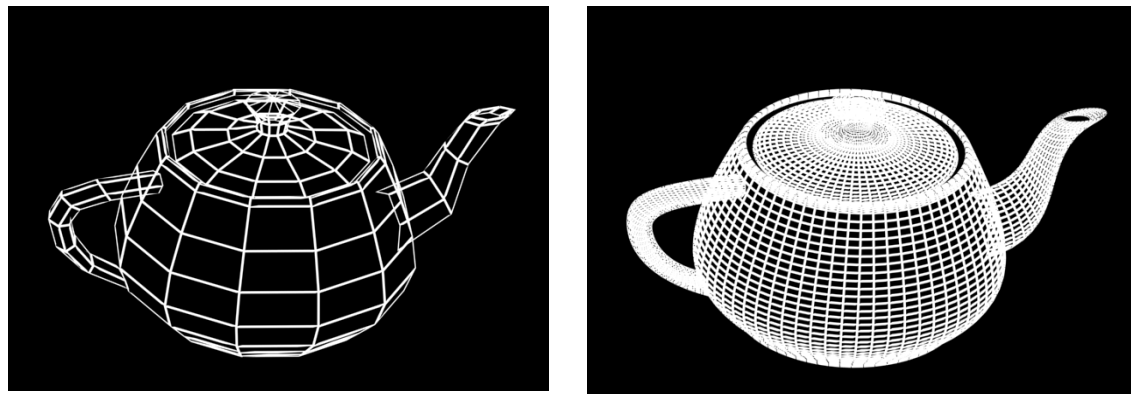


図 5-1 ポリゴンモデル

#### 5.2.2 レンダリング

CGモデルから二次元画像を生成するためには、実写の写真撮影と同様に、モデルを仮想シーンに配置し、照明、カメラパラメータ、各種の効果などを設定する。レンダラーは、これら



の情報に基づいてレンダリング処理を行い、カメラから見たシーンの二次元画像を生成する。

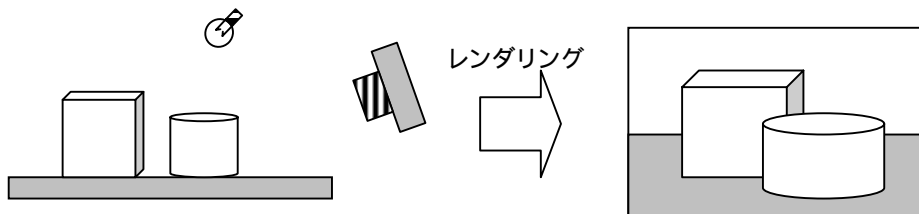


図 5-2 レンダリング

人が物の形状や表面の性状などを認識する際には、光源の存在と観察される面の明るさの関係が重要な手がかりとなっているため、質感や立体感を表現する上で、シェーディングと呼ばれる陰影付けの処理は重要である。

明るさが均一な物体でも輪郭や表面のパターン（テクスチャ）が立体形状を判断するヒントとなるが、照明による明るさの変化や陰影を適切に再現することで、形状や奥行き感がより明瞭に知覚され、自然な表現が得られる。

図 5-3 左は陰影の無い面の明るさが均一の場合、右は陰影を付けた場合の例である。



図 5-3 シェーディング

### 5.2.3 単純化されたな照明モデル

オブジェクトの表面での拡散反射光と鏡面反射光の組み合わせによって面の明るさを決定するという単純化された照明モデルが、様々な材質感を表現するために広く用いられてきた。

#### 5.2.3.1 拡散反射光

強さ  $I_i$  の平行光に照らされた完全な拡散反射面（全ての方向に同じ強度の反射光が生じる）での反射光の強さ  $I$  は、入射角  $\theta_i$  の余弦に比例し、拡散反射率  $k_d$  を用いてランバートの余弦則  $I = k_d I_i \cos \theta_i$  で与えられる。視点には影響されない。（図 5-4）

これは、入射光の単位方向ベクトル  $L$  と、反射面の単位法線ベクトル  $N$  との内積を用いて  $I = -(L \cdot N) k_d I_i$  として算出され、計算負荷は小さい。拡散反射光のみを用いると、立体感はあるが、光沢感のほとんど無い質感表現となる。（図 5-5）

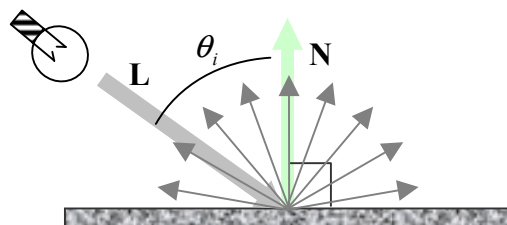


図 5-4 拡散反射

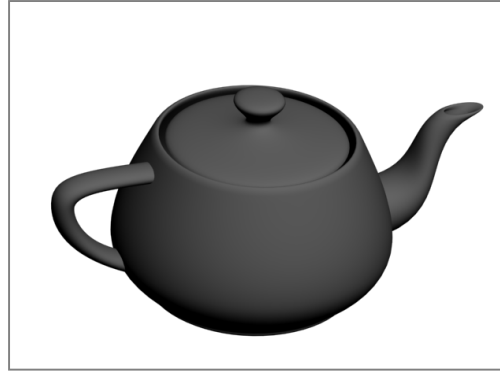


図 5-5 拡散反射のみによる表現

### 5.2.3.2 鏡面反射光

光沢を持つ表面では、照明光の入射角  $\theta_i$  と等しい角  $\theta_r$  をなす鏡面反射光ベクトル  $\mathbf{R}$  方向の反射強度が最大となるが、多くの場合は散乱成分も存在するため、ベクトル  $\mathbf{R}$  となす角度が大きくなるにしたがって徐々に反射光の強度が低下する。

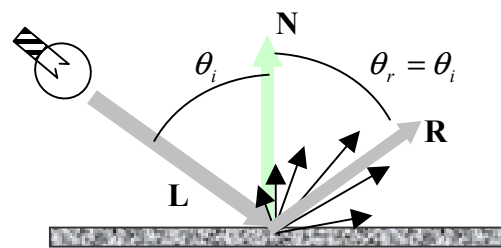


図 5-6 鏡面反射

この際、強度が急峻に低下するほど、散乱光の少ない光沢感の強い面となる。フォンのモデルでは、ベクトル  $\mathbf{R}$  となす角度が  $\gamma$  の方向への反射光の強さ  $I$  は次式で表される、 $I = k_s I_i \cos^n \gamma$  ただし、 $n$  は鏡面強度を決定する係数で、 $n$  が大きいほど鋭い反射が得られ (図 5-7 左)、 $n$  が小さくなるに従って艶消し状の質感となる (図 5-7 右)。



図 5-7 鏡面反射の表現

鏡面反射と拡散反射を組み合わせることで、様々な材質感を作り出すことができる。

例えば、白い陶器からの反射には、図 5-8 のように、釉薬表面からの鏡面反射成分と、下層からの拡散反射成分が含まれると考えられる。そこで拡散反射、鏡面反射それぞれを設定すると図 5-9 (左) に示す様な陶器の質感が表現できる。鏡面反射を弱めると硬質樹脂のような質感が得られる。(図 5-9 右)

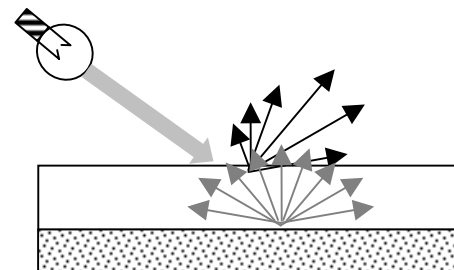


図 5-8 鏡面反射と拡散反射の組み合わせ

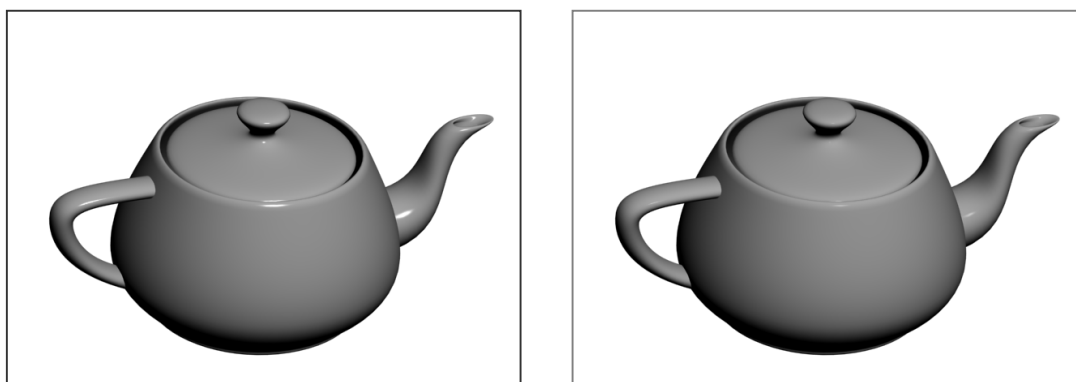


図 5-9 鏡面反射と拡散反射の組み合わせ表現

## 5.2.4 シェーディング

同一の照明モデルを用いる場合でも、使用するシェーディングアルゴリズムによって結果が異なる。ここでは、代表的な 3 種のシェーディング法の特徴を挙げる。

### 5.2.4.1 フラットシェーディング

形状がポリゴンの集合で表現されていることから、最も簡易な方法として、ポリゴンの面法線からポリゴン単位の明るさを求め、一つの面全体に同じ画素値を適用するフラットシェーディングと呼ばれる手法がある。高速な処理が可能であるが、ポリゴンの境界で急に色が変化するために表現品質は低い。(図 5-10)



図 5-10 フラットシェーディング

### 5.2.4.2 グローシェーディング

画素値の変化を滑らかにするために、ポリゴンが接する頂点での頂点法線を用いて頂点色を求め、ポリゴン内部の画素値をそのポリゴンの各頂点色から補間する手法である。

頂点  $V_1$  における頂点法線ベクトル  $N_1$  と、頂点  $V_2$  における頂点法線ベクトル  $N_2$  をそれぞれ用いて、それぞれの頂点色を算出し、線形補間によって中間画素の画素値を求める。(図 5-11)

ポリゴン境界での輝度ジャンプは解消される。

しかし、例えば、図 5-12 のような場合には、頂点  $V_1$  と頂点  $V_2$  の中央部で面の明るさが最大となって輝点が見られるべきであるが、グローシェーディングでは両頂点の間の非線形的な明るさの変化は再現できず、この例では、画素値が均一となってしまい輝点は現れない。

単純な線形補間のため、演算負荷は比較的小さく、リアルタイムレンダリングにおいて多用されてきた方式である[3]。

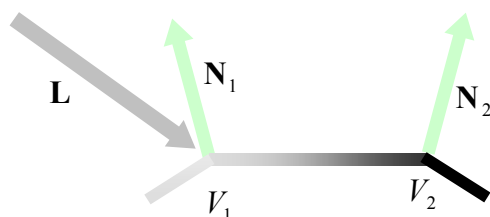


図 5-11 グローシェーディング

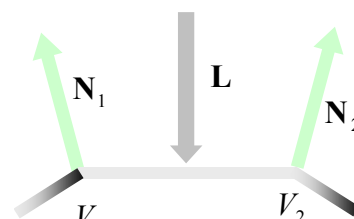


図 5-12 輝点の喪失

### 5.2.4.3 フォンシェーディング

頂点法線ベクトル $N_1$ と、頂点 $V_2$ における頂点法線ベクトル $N_2$ から、中間点での面法線ベクトル $N_i$ を算出し、これに基づいて輝度を算出しようとするものである。グーローシェーディングでは得られない頂点間での非線形的な輝度変化を再現できる。画素毎に反射モデルを用いた画素値の計算が必要であるため計算負荷はやや大きい。(図 5-13)

図 5-14 に、グーローシェーディングとフォンシェーディングの結果を比較する。フォンシェーディングでは、特に光沢部分の再現品質が高いことが分かる。

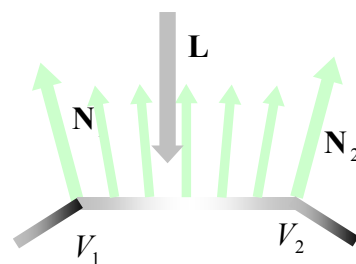


図 5-13 フォンシェーディング



図 5-14 グーローシェーディング(左)  
フォンシェーディング(右)

### 5.2.5 テクスチャマッピング

物体表面の模様(反射率のマップ)を画像データとして作成し、これをポリゴンモデルの表面に貼り付ける(マッピング)ことによって、物体表面の細かいパターンを表現するテクニックであり、CGでリアルな表現を行うために多用される手法である。(図 5-15)

反射率に限らず、同様の手法によって、高低差や透明度などの様々な属性を画像データの形でモデルにマッピングし、ポリゴン数を増加させること無く、幾何学形状や質感などの細かいコントロールを行う手法も広く用いられている。一例として、バンプマップに関して後述する。



図 5-15 テクスチャマッピング

## 5.3 質感表現の改善

### 5.3.1 反射・屈折の再現

金属のような素材の光沢感には、照明効果だけではなく、周囲環境の写りこみが寄与する部分が多い。同様に、ガラスなどの透明感は屈折効果によってもたらされる。観察者がこれらの対象物の形状や質感を正しく認識するには、周囲環境との整合性も重要である。

反射や屈折を最も正確に計算する手法としては、カメラから光源までの光の経路を実際に追跡していくレイトレーシング法がある。

図 5-16 は、レイトレーシング法によって生成したマップをティーポットの表面に適用したものである。周囲の壁や光源の写り込みや屈折が精度良く再現され、金属（左）やガラス（右）の材質感が表現されている。

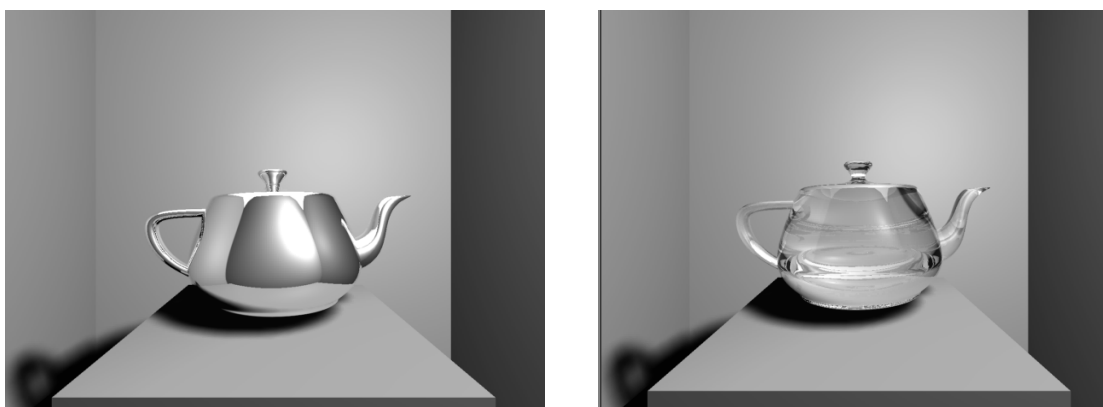


図 5-16 レイトレーシングマップ

しかしながら、レイトレーシング法は計算負荷が極めて大きいため、特にリアルタイム処理が困難であり、これらの効果を効率的に生成するための手法が提案されている。代表的な手法の一つとして、後述する環境マップがある。

### 5.3.2 バンプマッピング

木材や石の質感、レリーフ彫刻や油彩絵画の微妙な立体感などは、その表面の細かな凹凸によって生み出される陰影がもたらしている。さらに、観察する方向や照明条件によって陰影が変化し、細部の見え方が様々に変化する。この変化を再現することでリアリティの高い表現が得られる。この効果は、微細なポリゴンで物体の形状を表現し、シェーディング処理を行えば得られるはずであるが、膨大なポリゴン数が必要となり、特に計算負荷に大きな影響を及ぼす頂点数が増加するためこの方法は実用的ではない。

また、前項のテクスチャマッピングを用いて陰を付けることで、テクスチャ画像の撮影時と同じ観察条件での陰影は表現できるが、陰影の計算に必要な面法線などの情報が無いため、照明条件や観察方向の変化に伴う陰影の変化を再現することはできない。

データ量を抑えつつ何らかの方法で、法線情報を与えることができれば、陰影の再計算が可能となる。その一手法として、モデル表面の各点に、その点の高さを表すマップ画像（ハイトマップ）を対応させるものがバンプマップと呼ばれる手法である。高さの変化から法線ベクトルを求め、前述の照明モデルを適用することによって、ハイトマップの画素単位で陰影の変化を細かく再現できる。

図 5-16(左)は、ハイトマップの一例である。AA'断面での高さの変化を図 5-16(右)に示す。

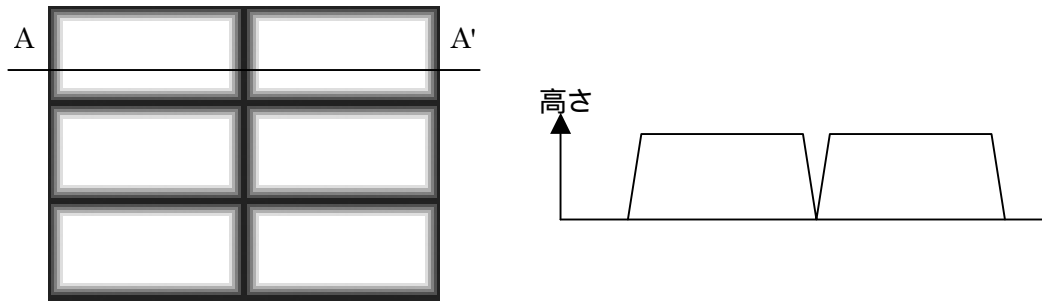


図 5-17 ハイマップ

このハイマップを、図 5-18 の単純な平面モデルに適用して、バンプマッピング処理を行った結果を図 5-19 に示す。白丸は光源の位置を示す。モデルは平面であるにもかかわらず、光源の変化に伴って陰影が変化し、あたかも立体形状であるかのように見える。しかし、エッジ部に着目すると直線であり、実際の形状は平面であることがわかる

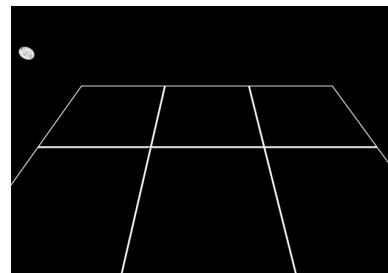


図 5-18 平面モデル

演算負荷は比較的小さいため、リアルタイムレンダリングにも適した手法である。

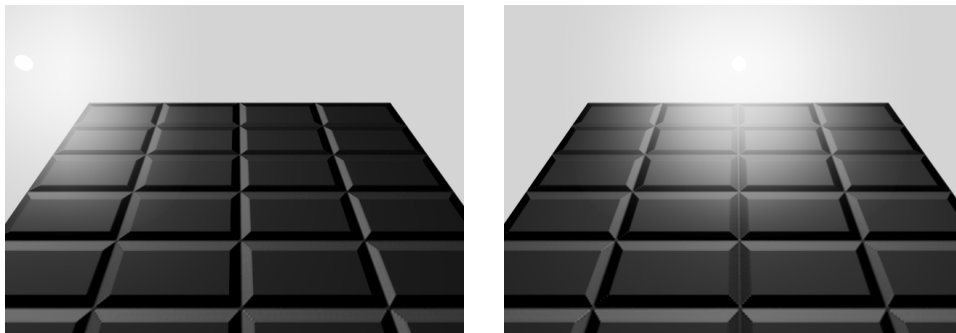


図 5-19 バンプマッピングの効果

### 5.3.3 BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function)

5.2 項で述べた照明モデルは、法線周りの回転に関してはどの方向にも均質な反射率を持つ(等方性)ものと仮定している。しかし、布地や塗装面など、法線周りの方向によって異なる反射特性(異方性反射)を示す素材も多い。

図 5-20 (左) は光学的異方性が無い表面での反射、同図 (右) は散乱光が入射方向に対して直交方向に強く拡散する異方性を示す表面での反射をシミュレーションした例である。

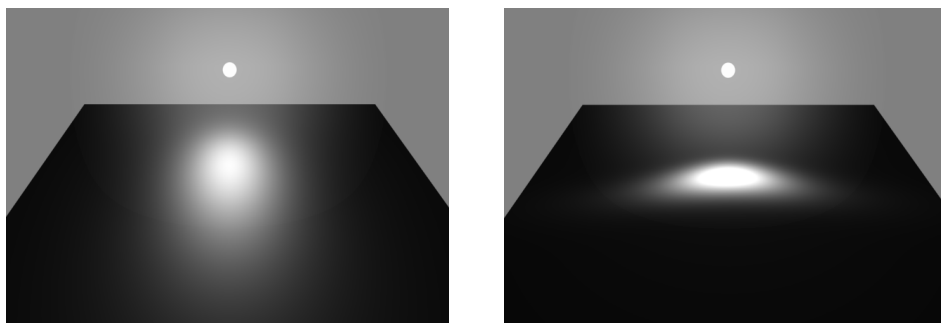


図 5-20 異方性反射

昨今、自動車や衣服など、デリケートな外観デザインに CG シミュレーションが使用される例が増えてきている。わずかな質感の違いによる製品の印象の変化が問題とされるため、非常に高精度な質感再現が求められる。このような用途では、異方性反射を考慮した質感再現が用いられるようになってきた。

異方性を考慮した、双方向反射率分布関数 (BRDF : Bidirectional Reflectance Distribution Function) は、面法線周りの入射方向の回転角  $\theta_i$  と反射方向の回転角  $\theta_r$  の 2 つの変数を加えた 4 次元の関数  $f_r(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r)$  となる。

通常の CG 制作では、実素材を計測せずに、近似モデルとパラメータの組み合わせで必要な質感を得る場合が多いが、異方性反射を用いて高精度な再現を目指すような場合には、実素材の特性を正確に測定することも重要である。

素材に対する、入射方向と反射方向の 4 自由度の組み合わせを様々に変えて反射光の変化を測定する必要があるため、測定負荷が大きいが、このための専用の装置も市販されている。

図 5-21 は市販の BRDF 測定装置の例である。照明を取り付けたアームと、試料台がそれぞれ 2 自由度で回転し、固定されたカメラを用いて反射光を測定して BRDF を得る。

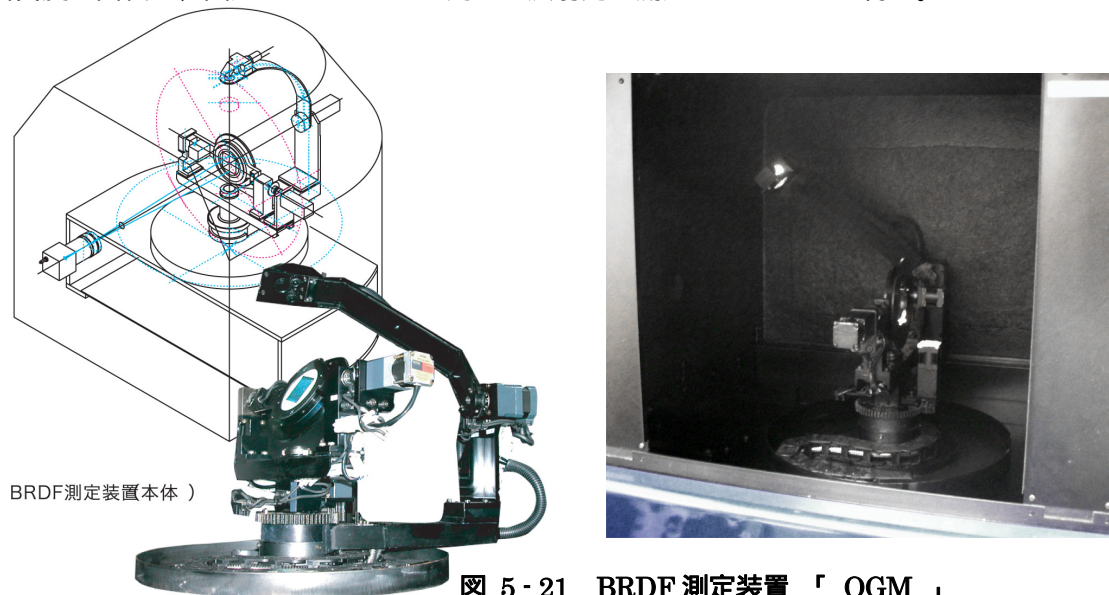
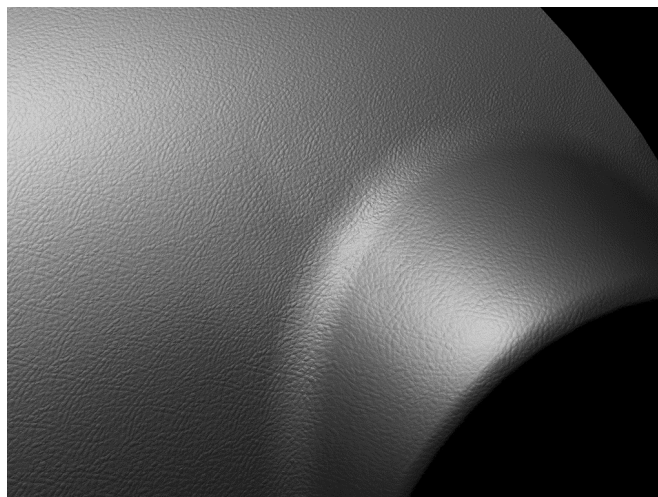


図 5-22 は、実測された BRDF と、実際のシボ加工面をレーザー測定器で測定したハイトマップを用いて再現した画像であり、極めて正確な質感が再現されている。

BRDF のモデル化や GPU を用いたりアルタイムレンダリングなどの研究も盛んに進められており、注目度の高いテーマとなっている。

図 5-22 BRDF の応用例  
(c) Digital Fashion,ltd.



### 5.3.4 大域照明モデル Global Illumination Model

これまでに述べたの照明モデルは、光源とオブジェクトの1対1の関係についての処理を行うものである。このような照明モデルは局所照明モデルと呼ばれる。しかし、日常の環境には、他のオブジェクトによって反射された間接光や、他のオブジェクトの影など、オブジェクト相互間の関係もあり、実環境で物を見たときと同様の正確な見えを再現するには、これらも考慮したシェーディングが必要である。このようなモデルを大域照明モデルと呼ぶ（図 5-23）。計算量が非常に増えるため、ラジオシティやフォトンマッピングなど、処理効率を上げるための手法が各種提案されている。

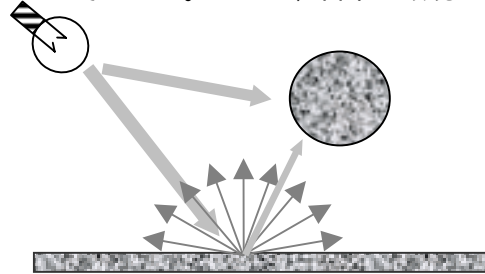


図 5-23 大域照明モデル

図 5-24（左）は局所照明モデルを用いた例であり、ボールの下半分が不自然に暗い。同（右）は、床や壁からの間接光の影響を考慮した大域照明モデルを用いたもので、赤いスポットライトからの間接光がボールや壁面を照らしているなど、リアルな表現が得られる。

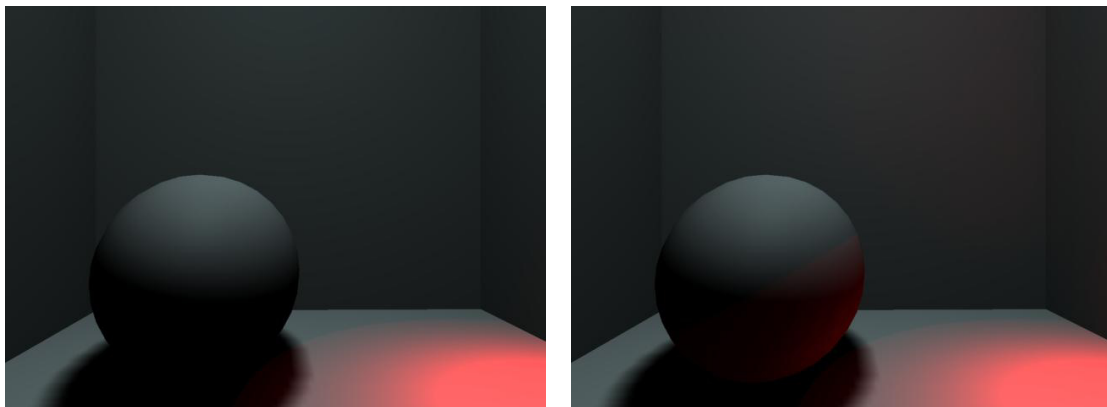


図 5-24 局所照明モデル(左) と大域照明モデル(右)

計算量が多く、リアルタイムレンダリングには向かない処理であったが、PRT（Precomputed Radiance Transfer）などのリアルタイム処理を可能とする手法が考案され注目されている。

### 5.3.5 環境マップ

反射面の再現には、周囲のオブジェクトの配置と矛盾しない写りこみの再現も重要であり、高精度な手法としては前述のレイトレーシングがあるが、計算負荷が膨大なものとなる。

オブジェクトから見た周囲のシーンをマップ画像とし、これをテクスチャとしてオブジェクトに貼り付けることで、厳密ではないもののオブジェクト表面に写りこんで

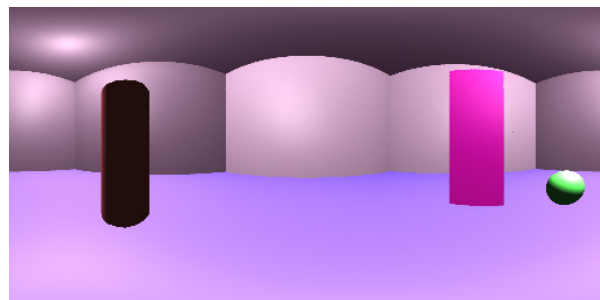


図 5-25 環境マップ



いるかのように見せることができる。計算負荷が小さいためリアルタイムレンダリングにも利用される。

図 5-25 は、図 5-26 の中央に写っているティーポットの位置から周囲を見回したみたパノラマ画像である。ティーポットには、この画像をテクスチャとしてマッピングしてある。

計算負荷を抑えた簡易的な手法であるが、それなりにリアリティのある表現ができる。

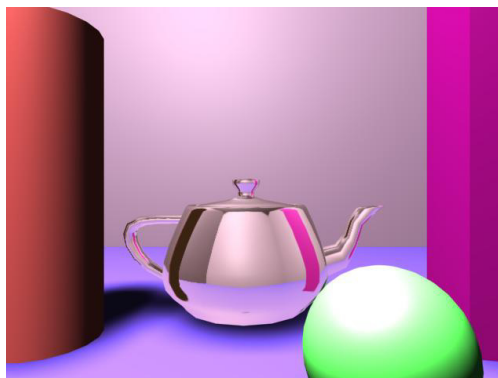


図 5-26 環境マップの適用

### 5.3.6 HDR 環境マップを用いた大域照明

通常の CG 画像は、直射日光の当たった屋外から薄暗い室内など、実際には非常に幅広い輝度分布があるなかで、実際にディスプレイ上に表示する輝度範囲を、8bit (256 階調) 程度の精度で表現することが多い。範囲外のシャドウやハイライト部の情報は捨てられる。

しかしながら、例えば大域照明の計算や光沢面への写り込みの再現などの場合においては、表示輝度域を超える明るさのオブジェクトが、結果として表示輝度域内のオブジェクトの明るさに影響を及ぼす場合がある。

近年、画素のビット数を増やす、実数表現を用いるなどの方法で、輝度情報を切り捨てずに広ダイナミックレンジ (HDR: High Dynamic Range) の画像を扱う試みが増加している。

図 5-27 は、光源情報も含んだ HDR 環境マップを用いた、グローバルイルミネーションの例である。同 (上) の画像は光源 (太陽) を含んだ HDR の全天周画像である。左上の太陽の部分は極めて大きな輝度値を持っている。

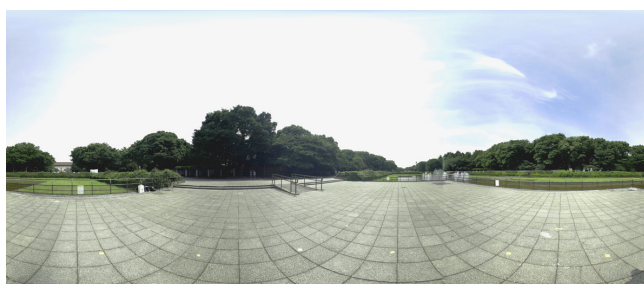


図 5-27 HDR 環境マップを用いた大域照明  
(c) Digital Fashion,ltd.

同 (下) は、実写画像に合成された自動車の CG モデルであるが、BRDF に加えて、実写の HDR 環境マップを用いたライティングと写りこみの処理を行うことにより、風景に完全に溶け込んだ表現が得られている。

### 5.3.7 サブサーフェススキャタリング (Subsurface scattering)

古典的な反射モデルでは、入射光は物体表面で反射するものと仮定していたが、実際には大理石のような半透明の物体の場合では、内部での散乱が生じ、結果として物体表面での入射位置とは異なる位置に射出光が観察される現象が起こる。(図 5-28)

この現象を記述する関数は、双方向散乱面反射率分布関数（BSSRDF：Bidirectional Scattering Surface Reflectance Distribution Function）と呼ばれ各々二次元の入射位置  $x_i$  と射出位置  $x_r$  を含めた 8 次元の関数  $f_r(x_i, \theta_i, \phi_i, x_r, \theta_r, \phi_r)$  となる。

物理法則に基づく厳密な処理は非常に困難で、計算量が膨大なものとなるため、様々な近似モデルの提案がなされている。

図 5-29 は、台上に置かれたオブジェクトの写りこみを再現したものであるが、内部散乱を考慮しない場合（左）に対して、内部散乱の処理を加えることで（右）写り込んだオブジェクトの鏡像に散乱によるにじみが生じ、台が半透明であるかのような材質感が得られる。

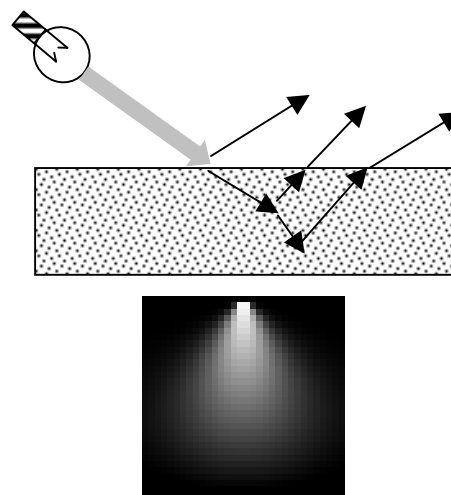


図 5-28 内部散乱

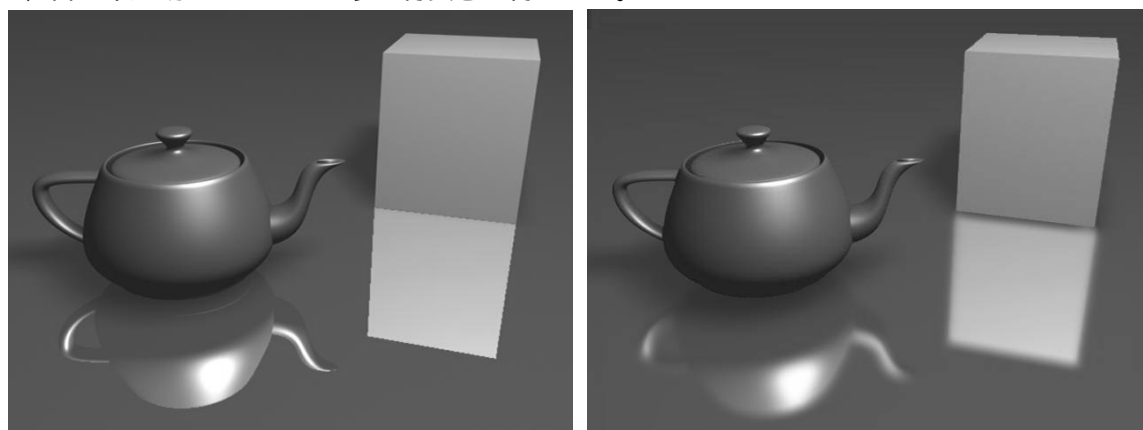


図 5-29 内部散乱の再現

## 5.4 まとめ

本稿では、CG における質感再現における比較的オーソドックスな課題と手法を中心に挙げたが、昨今の GPU（Graphic Processing Unit）の急速な性能向上や、ゲーム市場の拡大によって、リアルタイムレンダリング向けの質感再現手法に関する研究開発が非常に盛んになっている。「正確さ」を要求される商品カタログやデジタルアーカイブなどへの応用では、BRDF や BSSRDF に代表されるような物理モデルの高精度化が引き続き重要な課題であるが、ゲームや映画などのエンタテインメント性や演出性が重視される用途では、物理的に正確さを追及するのみではなく、人の感性や知覚にも焦点を当てたアプローチが重要になるであろうと考えられる。

### 参考文献

- [1] 倉地 紀子：CG Magic: レンダリング，オーム社，(2007)
- [2] アイザック・ビクター・カーロウ：コンプリート 3DCG，ルナテック，(2001)
- [3] OpenGL 策定委員会：OpenGL プログラミングガイド 原著第 5 版，ピアソンエデュケーション，(2006)

## 第6章 高質感映像の実施例と期待される分野

### 6.1 立命館大の研究例（田中弘美研究室）

#### 6.1.1 はじめに

立命館大学情報理工学部を訪問し、質感に関する研究について調査した。

日本の伝統芸能の能で使用される装束をデジタルアーカイブ化する取り組みを草津市の立命館大学情報理工学部の研究グループ（田中弘美研究室ほか）が進めている。装束をデジタルカメラで撮影し、開発したソフトを使って3次元の世界で忠実に再現するものである。高精細な画像計測と分析に基づく効率的な布物体モデリングと可視化法を提案している。

#### 6.1.2 能装束の質感表現

能装束で使われる絹糸はより目がなく、断面が三角形をしているのが特徴で金箔が施された和紙なども織り込まれている。このため舞台でのライトの当たり具合や見る角度によって、光の反射や動いた際の装束の揺れなどが、それぞれ異なって見える。

能装束をデジタル保存するには、様々な角度から見た全体図や糸の縫い目のアップなど、1枚の装束について最低でも約6000枚の写真が必要となる。光の反射を忠実に再現するためには、ミリ単位で能装束の構造を把握することが不可欠である。

#### 6.1.3 能装束布の可視化手法

物体表面の任意の点における反射特性は双方向テクスチャ関数（BTF：Bidirectional Texture Function）で表現できるがBTF画像計測は計測時間・データ量の膨大さが問題となる。今回開発した可視化手法の手順は以下の通りである。

まず、入力画像に対して色差を用いて各色柄領域に分割する。分割後の領域から画像中に占める面積により規則的なテクスチャを持つ地柄領域と不規則なテクスチャを持つ模様柄領域に分類する。

次に、400万画素のデジタルカメラと全方位型光学異方性反射特性測定装置（OGM：Optical Gyro Measuring Machine）を用いて、あらゆる入射方向、視方向からの反射光計測を行いBTFを得る。地柄領域のBTF生成の場合、金糸の含まれる領域は金糸と朱色系の混じった1つのテクスチャ領域として扱う。このテクスチャ領域は能装束布の面積に対して大きく規則的な繰り返しを持つ小面積のテクスチャから生成できる。模様柄領域のBRDF（Bi-Directional Reflectance Distribution Function）の生成の場合、各刺繍領域の反射特性は視点を固定し入射方向を変化させて獲得した反射光の観測画像集合を分析することにより抽出する。これらの反射特性は、当研究グループが提案した固定光源下多視点画像を用いるBRDF生成法を用いて、各刺繍領域のBRDFを自動生成する。

#### 6.1.4 まとめ

当研究グループは光沢の美しいサテン地の能装束を実際に人が着て歩いたときの衣装の動きを再現するソフトも完成させている。これらのソフトを活用し、能装束の色や光の反射特性、生地透過性などを分析しながら、能装束の質感を本物のように表現する技術を開発し、舞台での装束の動きを再現することを目標としている。さらに生地の手触りまでイメージできるように精度を高めることを目指している。

## 6.2 奈良女子大の研究例

### 6.2.1 はじめに

奈良女子大の才脇研究室は立命館大学田中研究室などと協力して、布の質感と触覚の再現・統合・認知に関する研究を行っている。「布の質感シミュレータの開発」や「布の三次元構造要素と質感の関係の分析」を進めると同時に布の触覚再現の研究を進めている。

### 6.2.2 布の質感シミュレータの開発

CG では、肌のしわや皮膚のたるみ、濡れてヌメヌメしたものなどは、金属やプラスチック、ガラスなどの硬い材質に比べて、その質感を表現するには高度な技術が必要となる。布や衣服は軟らかくて複雑な織り構造を持ち、見る角度によって微妙な陰影が生じる材質のため、質感表現がとて難しい。この理由は、布は光の当たる角度によって反射率や拡散具合が変化する「光学異方性」があり、これを数学で表現するのが難しいためである。

現在のコンピュータを用いた織物設計ツールの多くは織物を平面的に扱った CAD であり、色柄はデザインできても布の光沢感や立体感という質感までは再現できておらず見る角度を変えた時の質感の変化も確認できない。研究レベルでは織物の立体構造シミュレーションを扱ったものもあるが、織物内部の糸が織り込まれている様子を角度や大きさを変えて見られる程度で、光沢感などの質感を考慮した高精細表現には至っていない。

才脇研究室では、布の質感表現を研究し、3DCG による「人を魅了する質感の再現」をテーマに、椅子やカーテンの生地、服飾生地などの織り構造や編み構造を繊維 1 本 1 本のレベルでシミュレーションできる「布の質感シミュレータ」の開発に取り組んでいる。ファブリック業界ではメーカー側デザイナーと生地製作職人の間で綿密な打ち合わせを行い、織物設計をして試織を何度も繰り返している。CG で完成品の質感まで確認できれば、試織の必要がなく、時間と予算を大幅に軽減することができる。

### 6.2.3 布の三次元構造要素と質感の関係分析

当研究室では、まず 96 個の無地の織布サンプルを用意し、織りの立体構造を光学顕微鏡と実体顕微鏡を用いて観察した。無地の織布サンプルを用いたのは、プリントや染め柄だとその柄や模様の視覚的効果が大きくなって布の織り構造から生まれる表面効果が判断しづらいからである。

96 個の織布サンプルの織物組織や織り密度、糸の種類や断面形状、太さ、繊維分布、糸の撚りの本数や方向、強さといった三次元構造の要素を観察するわけである。繊維の断面と糸の断面、布地の断面はそのままでは観察できないので樹脂加工してから観察を行った。

この結果、糸の撚りが強いと織った布は光の表面反射が大きく光沢があり、逆に撚りが弱いと柔らかく毛羽が多く、布表面の光沢が減ることがわかった。また紡績糸で織った布は立体感が出て光沢が減り、フィラメント糸で織った布は繊維束の流れが整って滑らかでつややかな質感になる。こうした布の三次元構造の要素と質感の関係をもとに、質感シミュレータを開発した。

### 6.2.4 質感シミュレータとその活用

糸曲線を Sin カーブによって定義し、三次元の糸モデルに糸の断面図を当てはめ繊維束モデルを作成した。そして、糸の太さ、経糸と緯糸それぞれの繊維の本数、糸の断面形状、撚りの強さ・方向・本数・織クリンプの曲率をパラメータ設定すれば、織物の質感を三次元でシミュレーションできるようにした。1 本 1 本の糸から繊維束をつくり三次元の織り構造としてい

るため、見る角度や大きさを変えながら織布の完成状態の質感を立体的に確認できる。シートやカーテンなど見る角度の違いで様々な模様が浮かび上がるが生地にも、今回開発した質感シミュレータは効果を発揮する。また透明感の有無によっても質感が変わるが、このような透明の生地もシミュレートできるので、CGによる平安時代の十二単の質感表現にもトライできる。

#### 6.2.5 VRによる布の触覚再現

視覚や聴覚に対して非常にリアルな仮想現実（VR）を呈示できるようになったが、VRを触覚の領域で実現し、さらにリアリティを高める研究も行っている。高分子ゲルモータによる指先感覚刺激装置およびペルチェ素子による温冷感制御装置などを使って人間の感覚計測を行い、被験者の触運動や感じ方を実際の布の場合と比較しながら分析してモデル化に挑戦している。また分析には近赤外線トポグラフィ（NIRS）などを用いて脳の認知活動の関連性についても研究を進めている。CGとVRを使って“質感を見て、触って、脳で感じる”という世界初の感性情報処理の実現を目指している。

### 6.3 NTTの研究例

#### 6.3.1 はじめに

日本電信電話株式会社（以下、NTT）コミュニケーション科学基礎研究所の本吉勇氏等は、米マサチューセッツ工科大学との協同研究で、人間が物の表面の光沢や明るさを見るときに、画像の明暗の歪みの情報を利用していることを、自然画像の分析や錯視を用いた実験によって世界で初めて明らかにした。これは今までその仕組みが解明されていなかった質感知覚が比較的単純な脳の情報処理に基づくことを示す画期的な発見で、新たな「質感の脳科学」という分野を拓く成果である。

物の質感の物理に関する研究では、質感が複雑な光学現象の産物として認識されると考えられて来た。表面での拡散反射、鏡面反射、表面内部での散乱・屈折など、非常に複雑な光学現象の結果を処理して知覚しているとされて来た。そのため、一枚の画像から反射特性を推定して画像処理することは原理的にほとんど不可能であった。人間の肌のような透明感のある質感は複雑過ぎて、最新のCG技術でも再現が難しい。ところが現実には、一枚の画像から人間は簡単に質感を見分けている。その知覚メカニズムを本吉氏が研究し、「画像の明暗分布の歪みから光沢や明るさを知覚している」という脳の仕組みを解明した。

#### 6.3.2 光沢・明度の知覚

本吉氏等は様々な明るさと光沢を持つ表面に凹凸のある写真を用意して、その画像を分析した。この結果、これらの平均輝度は等しいのに、写真の光沢が強くて暗い表面ほど輝度ヒストグラムが正の方向（輝度の高い方向）に歪み、逆に写真の光沢がない明るい表面は、負の方向（輝度の低い方向）にヒストグラムが歪むことがわかった。

次にこれらの写真を観察者に見せて、見かけの光沢と明るさを評価してもらった。その結果、光沢の評価はヒストグラムが正方向に歪むほど高くなり、明るさの評価は低くなることがわかった。つまり物理的な光沢・明るさと輝度ヒストグラムの歪み、知覚的な光沢・明るさの間に、高い相関があることがわかった。また、任意の表面の画像のヒストグラムを人工的に歪めると、歪みに応じて質感（光沢・明るさ）の知覚が変わることを確認した。

さらに、これまでの生理的な知見から、このヒストグラムの歪みが低次の視覚メカニズムで検出できることを推定した。これは網膜や一次視覚野などの低次脳にたくさんある、明るいパターンに反応するオン中心型ニューロン、暗いパターンに反応するオフ中心型ニューロンが、

ヒストグラムの歪みにうまく対応するというメカニズムが視覚系に存在し、その出力が実際に質感の知覚につながっていることを示す新しい錯視現象（質感残効）を発見した。

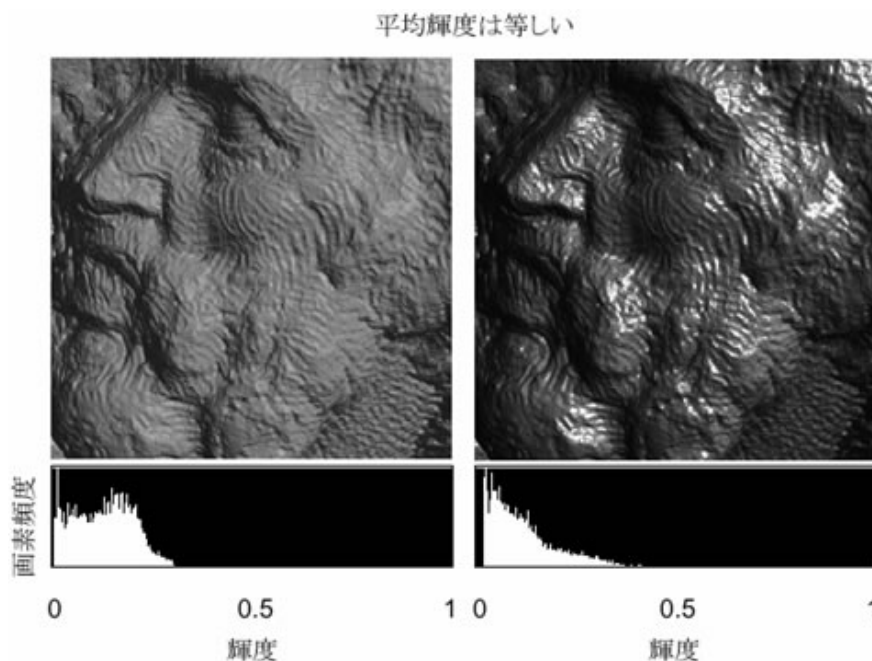


図 6.3-1 異なる光沢・明るさを持つ表面の画像とその輝度ヒストグラム

### 6.3.3 複雑な質感の属性

人間は、光沢感だけでなく、透明感や金属感、肌の柔らかな感じなども見分けることができる。これらの質感は光沢の有無よりもずっと複雑な物理現象に起因し、画像も非常に複雑になるのでハイライトやヒストグラム統計量のように単純な特徴では不可能かも知れない。しかし本吉氏等は二次元画像に単純な操作を加えるだけで透明感や金属感を劇的に変化させる方法を見いだしている。これは、光沢に限らず様々な複雑な質感の知覚が、あまり複雑でない特徴あるいはその組み合わせに依存する可能性を示している。

### 6.3.4 まとめ

質感の知覚メカニズムは高等な複雑な脳の働きに由来すると思われていたが、本吉氏の研究では、実際には非常に低次の神経メカニズムの出力に基づくことを示唆している。質感を見る脳の仕組みをさらに追求し、透明感や金属感、肌などの質感の知覚メカニズムを解明することにより、「質感の脳科学」が益々発展することを期待する。

### 参考文献

- [1] 本吉勇, “質感のメカニズム”, 日本色彩学会誌 特集「色と質感」,  
Vol.31, No.3, pp. 197 - 200, 2007.

## 6.4 広色域・高色再現映像が期待される分野

人間の視覚と直結した色情報をスペクトルに基づいて扱うことで、色再現の忠実性を格段に向上し、質感・光沢感などを含むリアリティーを高めるとともに、色・分光情報を活用した高度な映像処理が可能となる。広色域・高色再現映像技術は、今後色再現の要求が高い分野から利用が進むと考えられるが、映像コンテンツの価値を高める技術としてより広い分野への応用が期待される。以下に現在までの応用例、今後の応用の可能性について述べる。

### 6.4.1 医療分野

従来、色を診断などに利用している分野において、正確性や可視性の向上に加えて、定量的な色情報を取得することで、診断の高度化、定量化を図ることができる。

#### (1) 病理画像

病理診断では、病変部から採取した組織を薄切し、色素によって染色された標本を顕微鏡で観察することによって診断を行う。他の各種の検査を行った後に病態を確定する確定診断として用いられ、これに基づいて適切な治療方針を決定することになるため、極めて重要な位置付けを持っている。近年、遠隔病理診断（テレパソロジー）や遠隔画像カンファレンスなどの技術の導入が進み、病理医の不足への対応や診断の質の向上を図ることなどが期待されている。

病理画像の色は、組織の形態を見分けるために使われるが、色再現性が不十分な場合、病理医が頭の中で色補正をして正しい色を想像しながら診断を行わなければならない。また色再現性などの画質が不十分であると、正しく診断できない対象もあると言われている。忠実な色再現性を持つ映像によって、ネットワークを通じて、また遠隔地からでも、顕微鏡を除いている場合と同等な観察が可能になれば、テレパソロジーなどの技術が信頼され普及が進むものと期待される。

病理画像においてマルチスペクトル撮影を行うことにより、画像上の各点での分光情報が定量的に得られるため、様々な画像解析が可能になる。4章に紹介した染色のばらつきの定量化や補正、一般染色では見ることのできない組織要素の可視化、多重染色の成分分離などの応用が考えられる[1,2]。

最近、顕微鏡でスライドガラス上の標本全体を走査してデジタル化し、デジタル画像上で顕微鏡と同様に倍率や観察位置を操作して観察する「バーチャルスライド（英語では Whole Slide Imaging と呼ばれる）」と呼ばれる技術が進展してきた。これは病理標本のデジタルアーカイブとも言えるが、元の標本の情報を失わずに保存するためには、マルチスペクトルで画像を入力しておくことが望ましい。また、染色のばらつきを含めて色を標準化して管理することで、画像データベースの価値が更に高まる。このため、医用画像に関する標準化団体 DICOM（Digital Image Communications in Medicine）委員会等でもマルチスペクトル画像をどのように扱うかといった話題が俎上に挙がっている[3]。

#### (2) 皮膚科

皮膚科において皮膚の色は診断に重要な役割を果たす。従来、皮膚科では症例の記録として従来から写真撮影を行っているが、管理の便利さからデジタルカメラの利用も進んでいる。しかし皮膚科では通常目視により直接患部を観察して診断しているので、診療に画像が活用され

るには至っていない。また、微妙な色や形態に基づいて診断を行っている皮膚科では、画像では患部の状態を忠実に伝えきれないと考えられている。また、従来のデジタルカメラやディスプレイなどを皮膚科の診断や教材として用いる場合に色が伝えきれないとの問題点も指摘されている[4]。しかし、米国などにおいては皮膚科における遠隔診断も進められている[5]。今後、皮膚科においても診断や教育などに画像を使うことのニーズは高まると予想される。

皮膚がんを対象としたマルチスペクトル画像の応用はいくつかの研究例がある。皮膚がんの診断には多くの場合、皮膚の表面反射を抑えながら拡大観察するダーモスコピーが用いられるが、マルチスペクトル撮影を行うダーモスコピーを用いて、両性の母斑とメラノーマの鑑別を行う際にマルチスペクトルの情報が有用であるとの報告がある[6]。

皮膚の炎症部の周囲との色の差はわずかであり、また、病変の種別によっても色に違いがある。皮膚科では様々な言葉を使って病変特有の色を表現している。皮膚筋炎で眼瞼に生じるヘリオトロープ斑（ヘリオトロープは和名ニオイムラサキの花の名前、眼瞼に紫紅色の皮疹を生じることからこのように呼ばれる）はその代表例である。また、美容治療でも色素斑（しみなど）の治療効果をわかりやすく見るために、治療前と色を比較するなどといった応用が期待されている。マルチスペクトル・多原色などの技術により、皮膚の微妙な色を忠実に再現することが可能になれば、遠隔診断、症例の記録、教材などへの利用が広まるものと考えられる。

### (3) 内視鏡

内視鏡は、ファイバーから CCD を用いた電子内視鏡に代わり、カラー映像が医療の中で最も広く用いられている分野である。生体内腔における病変部の診断にも色は重要な役割を果たす。最近、色を取得する際に狭帯域のスペクトルで画像化し、病変の可視性を向上する技術が実用化され、広く普及しつつある[7]。これは、狭帯域で撮影することによって、粘膜表面近くで散乱された光を得ることと、血液の吸収に合わせた分光感度特性を持たせる。これによって、粘膜表面の毛細血管が明瞭になる、微細構造の可視化のための色素散布が不要になる、などの効果がある。

内視鏡は生態内腔を観察するだけでなく、内視鏡下粘膜切除術など治療にも用いられる。さらに 現在、内視鏡手術が広く使われるようになり、今後も映像を見ながら手術を行うことが増えることは確実である。次項に述べるように、直接目視に限りなく近い高色再現の映像を用いることが望まれている。さらに、マルチスペクトル技術と併用することで、目視では見難い構造などを強調・可視化するといった機能を併用することが期待される。

### (4) 手術映像

手術をハイビジョン撮影して手術室外や遠隔地から参照することや、教材として用いることは珍しくない。ところが、医師からは、腫瘍部と正常部分の血の色の違いが目視では見えないが映像からはわからないため、切除する領域を判断する理由が伝わらない、といったコメントが出されている [8]。内視鏡手術、遠隔地からの手術支援、映像教材などは現在でも高色再現映像のニーズが高い分野である。将来は、ロボット制御による画像誘導下手術も普及していく可能性があり、高精細かつ高色再現な映像が利用可能になれば応用は拡大すると考えられる。

### (5) 歯科

最近、画像として高精度に測色する装置が歯科分野で実用化されている。従来、歯の色に合



わせた補てつ物（いわゆる「かぶせもの」）を作成するためには色見本との照合が行われているが、補てつ物を作成する歯科技工士に正確な色が伝わらず、作り直しが発生していた。実用化された機器は、7原色で画像を取り込みスペクトルに基づく色推定を行うことで、画像の各点で高精度・定量的な色情報を得ることができる [9]。白はわずかな色の違いが目立ちやすい色であるため高精度が要求されると言う側面もある。

#### (6) その他

今後、遠隔診断や在宅医療・介護などを推進するには、患者の皮膚や顔色などを診察している状態を映像として撮影（そのような映像を状況映像と呼ぶ）し、伝送、再現することが必要である。再現される色が正確でないと、誤診につながる危険性があり、システムを信頼して利用することができないので、映像システムを用いた遠隔診断などの導入の大きな阻害要因となる。特に、離島やへき地の医療支援、受診前医療相談などの遠隔医療において、マルチスペクトル画像を応用して皮膚や顔色などを正確に再現することが期待される。子供の容態がおかしい場合などに救急車を呼ぶ前に、テレビ電話のようにして医師に相談できれば、救急車の出勤回数の削減や幼児を持つ親の安心感の向上にも繋がる。

また、従来観察されるのみであった色情報を、計測に基づく定量的な情報として取得することが可能となり、忠実な色再現や画像解析など、医療におけるカラー画像の利用を促進することが期待される。例えば遠隔診断などにおいて画像のみから判断することが困難な症例に、定量的な画像解析結果などを付加的な情報として提供し、診断を支援することも有効と考えられる。撮影環境や装置に依存しない定量的な画像情報をアーカイブし、症例データベースとして活用することも期待される。

#### 6.4.2 印刷応用

印刷分野では、従来から色再現に関するニーズは高く、カラーマネジメントは普及している。しかし今後、デジタルカメラや映像機器の色再現性が向上すれば、印刷文やの品質向上にも寄与すると考えられる。商品カタログや美術品などの印刷物では、現物の色や質感を忠実に再現することが要求される。マルチスペクトル撮影を行うことで、きわめて実物に近い出力が得られることから、従来人手により行われていた色調修正を不要とした上で、印刷品質の向上も期待できる [10]。

また、印刷物のデザインや校正段階において、ディスプレイと印刷物の色が、計測器では高精度に一致していても視覚的に合わないといった問題がしばしば指摘されている。その原因として、人間の視覚系は、発光色（開口色）と物体色とで異なるモードにより色を知覚することが挙げられることが多いが、ディスプレイの輝度を物体に合わせ、また周囲を物体の観察環境に近づけることで、見えのモードを一致させることができる。それでも色が合わない要因として、4章に述べた等色関数の個人差の問題がある [11]。多原色ディスプレイによって分光的な色再現を行えば、印刷物とディスプレイでスペクトルをあわせることができ、印刷物とディスプレイでの色のミスマッチの問題を解決する可能性がある。

近年、印刷技術でも多原色化が進んでおり [12]、また分光反射率を再現してどのような照明光源下でも実物に忠実な色を再現する印刷技術の開発も行われている。マルチスペクトル撮影、分光画像の収集が可能となれば、分光印刷による品質向上の可能性もある。

### 6.4.3 電子商取引

オンラインショッピングやカタログ販売などにおいては、ディスプレイや印刷物で表現された商品の色が実物と異なることが一つの問題になっている。消費者は表示された商品の色を信用することができないために購入を躊躇するケースがあること、送られてきた商品が期待していた色と違うことによるクレームや返品も問題として挙げられる。アパレル、自動車、花、インテリアなどの電子カタログなどにおいて、実物に忠実な色・質感を再現する映像は有効と考えられる。韓国のインターネットショッピングサイト CJMall では、6 バンド撮影による色再現の仕組みを利用して、実物により近い Web カタログを運用し始めている [13]。

一方、いわゆる B2B の電子商取引でも同様である。本社やデザイン部門と海外の工場で部品などの色合わせをする際、素材や試作品の作成や送付など、従来現物ベースで行われている作業を、ネットワークを介して行うことができれば、時間やコストの大幅な削減につながることを期待される。

また、実際に衣服などの試作を行わずに完成イメージを知りたいという要求も強い。布地の反射特性などを考慮した CG による試作シミュレーションシステム [14] が開発されているが、布の動きやそれに伴う反射の様子から製品の風合いは伝わるが、色が合わないという問題点が指摘されている。CG においても、色再現性を高めるためにスペクトルに基づくレンダリングの技術は利用され始めており、特に、視点や照明方向に応じた反射特性（双方向反射率分布関数、BRDF）にマルチスペクトルの考え方を応用することで、実物を作る前に想定される完成品の色、光沢、質感を高いリアリティーで再現することが可能になる [15]。

### 6.4.4 デジタルアーカイブ

美術品や文化遺産などのデジタルアーカイブへの適用も行なわれている。最近、フランスのメーカーが開発したマルチスペクトルのスキャナを用いてモナリザの画像をデジタル化し、表面の劣化の修復をシミュレーションすることのデモなどが行われている [16]。撮影時の照明の種類に依存しない対象物本来の持つ色の特性を画像として取得できること、分光反射率から彩色材料を分析することで研究や修復などにも役立つことなどがメリットである。

また、オーロラなど我々が容易に目にするのでない希少な自然界の映像や観光資源の紹介、リアリティーの高い映像による仮想旅行、電子図鑑など、教育用映像コンテンツなどにおいても、実物の色が正しく表現されることはコンテンツの価値を高めるものと考えられる。

### 6.4.5 映像制作

近年、ディスプレイの性能が高まり、放送の映像信号よりも広い色域が表示可能な受像機も広がっている。広い色域の表示が可能になることにより、実物の質感をより高いリアリティーで表現可能になると考えられる。

しかし、放送などにより配信されるコンテンツは RGB の色域の外側の色を持たないため、広色域のディスプレイの性能が生かされていない。多くの場合受像機の中で色を作り出して表示しており、鮮やかではあるが不自然な色合いの映像になっている。デジタルシネマの規格では CIE XYZ にガンマをかけた色空間が用いられており、広色域をサポートしている。今後、放送の映像信号も xvYCC など色域の広い規格をサポートすることが望まれる。

ところが、従来の RGB に基づくカメラでは広い色域の映像を取得することができない。XYZ 三刺激値を直接取得するカメラの開発も行われているが [17]、光量の問題など課題も多

い。4.2.2 節に示したようにカメラを多原色化し、スペクトルベースの色再現を行うことで広色域・高色再現の映像を取得できることから、ナチュラルビジョンのような多原色技術を応用することも考えられる。また多原色・スペクトルベースの技術を映像制作に利用すれば、撮影時のカメラや照明の状態などをメタデータとして管理できるので、これらの情報を映像の加工や検索などに活用できる。例えば映像合成を行う場合でも、スペクトルに基づいて照明の状態を調整することで、より自然な合成結果を得ることができる。映像制作を従来の RGB から広色域対応、スペクトルベースに改めてゆくには、撮影機器、マスターモニタ、編集機器、記録装置などを含めて基盤システムを更新しなければならない。また、高質感な映像を効果的に表現するための映像表現技術の検討も必要である。

高色再現・広色域の映像を放送により配信するには、放送規格の改定を待たなければならないが、インターネットを通じた映像配信とデジタル放送が融合していくと考えられることから、ネットワークによる映像配信からコンテンツの配信を進めることは有益である。高色再現・広色域の映像制作技術を確立することは、ディスプレイ産業やコンテンツ産業の国際競争力を高めることにつながる。放送やインターネットなどを通じて、ディスプレイの能力を活かす映像コンテンツを供給することは今後一層需要が高まると考えられ、高色再現・広色域の映像制作技術の開発を進めることが強く期待される。

#### 参考文献

- [1] <http://www.cri-inc.com>
- [2] Pinky A. Bautista, Tokiya Abe, Masahiro Yamaguchi, Yukako Yagi, Nagaaki Ohyama, "Digital staining for multispectral images of pathological tissue specimens based on combined classification of spectral transmittance," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 29, 8, 649-657, (2005)
- [3] *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), Strategic Document, Version 7.4, February 4, 2008*, <http://medical.nema.org/dicom/geninfo/Strategy.pdf>
- [4] T. Numahara, "From the standpoint of Dermatology," in *Digital Color Imaging in Biomedicine*, H. Tanaka, Y. Miyake, M. Nishibori, and D. Mukhophadhyay, eds., Digital Biocolor Society, (2001) 67-72, <http://biocolor.umin.ac.jp/book200102/din01022812.pdf>
- [5] S. Tomatis, A. Bono, C. Bartoli, M. Carrara, M. Lualdi, G. Tragni, and R. Marchesini, "Automated melanoma detection: multispectral imaging and neural network approach for classification," *Med Phys.* 30, 2, 212-21 (2003)
- [6] E. A. Krupinski, B. LeSueur, L. Ellsworth, N. Levine, R. Hansen, N. Silvis, P. Sarantopoulos, P. Hite, J. Wurzel, R. S. Weinstein and A. M. Lopez, "Diagnostic accuracy and image quality using a digital camera for teledermatology," *Telemedicine Journal*, 5, 3, 257-263 (1999)
- [7] <http://www.olympus.co.jp/jp/news/2006a/nr060515evisj.cfm>
- [8] M. Yamaguchi, R. Iwama, H. Kanazawa, N. Fujikawa, H. Fukuda, H. Haneishi, N. Ohyama, H. Wada, T. Kambara, M. Aihara, Y. Yamakawa, A. Nemoto, M. Furukawa, and Z. Ikezawa, "Color reproducibility of skin lesions in multispectral video: Experimental evaluation," *IS&T/SID 14th Color Imaging Conference*, 8-13 (2006)
- [9] <http://www.olympus.co.jp/jp/news/2006b/nr061113crystalj.cfm>

- [10] 内田篤志、大澤健郎、小宮康宏、山口雅浩、羽石秀昭、大山永昭、” マルチスペクトルカメラによるカタログ用商品撮影、” 日本印刷学会春季研究発表会講演予稿集、131-134 (2003)
- [11] M. Shaw and M.D. Fairchild: “Evaluating the CIE 1931 color matching functions,” Color Res. Appl., 27 (2002) 316-329.
- [12] L. A. Taplin, R. S. Berns, "Spectral color reproduction based on a six-color inkjet output system," IS&T/SID 9th Color Imaging Conference, 209-213 (2001)
- [13] マイコミジャーナル、商品を忠実に再現、ネットショッピングでのトラブルを防ぐ技術、<http://journal.mycom.co.jp/news/2006/10/26/383.html>
- [14] <http://www.dressingsim.com/>
- [15] M. Tsuchida, Y. Sakaguchi, H. Arai, M. Nishiko, N. Fujikawa, M. Yamaguchi, H. Haneishi, N. Ohyama, High-fidelity color reproduction based on multi-channel BTF/BRDF acquisition, rendering and display," ACM SIGGRAPH 2005 Sketches, 42 (2005)
- [16] <http://www.lumiere-technology.com/>
- [17] T.Ejaz, T.Horiuchi, G.Ohashi, Y.Shimodaira, "Development of a Camera System for the Acquisition of High-Fidelity Colors" IEICE Transactions on Electronics, E89-C, 10, 1441-1447 (2006)

## 6.5 広ダイナミックレンジ映像が期待される分野

広ダイナミックレンジ映像は下記の分野で実用化が期待されているものと考えられる。広ダイナミックレンジ映像技術が一般的になる前は、このような分野から利用が始まると思われる。

### エンターテインメント分野

- プラネタリウムでの利用

星、星座などを表示しながら説明用などで画像を投影する用途が考えられる。表示装置が広ダイナミックレンジであれば、不要の際は単に黒を表示するだけで良い。

- デジタルシネマ

作品によっては暗部の再現を重視するものがある。撮影・表示装置が広ダイナミックレンジであれば、より芸術的な表現が可能になるものと期待される。

### シミュレーション分野

- フライトシミュレータ

夜間を想定したフライトシミュレータでは、暗部の再現が重要となるため、広ダイナミックレンジでの表示が必要とされる。また、画像制作においても広ダイナミックレンジが必要とされる。

- マルチ画面

複数画面をつなげて表示する場合、表示装置が広ダイナミックレンジでなければ画面の暗部において画面のつなぎ目が目立ち画質劣化となる。これを防ぐためには数 10 万 : 1 のダイナミックレンジが必要と言われている。

## 第7章 あとがき ～今後の課題～

本報告では、映像分野を中心に、質感に関わるこれ迄の研究をレビューし、「高質感映像」に関わる諸事項の現状について主として述べるとともに、今後の課題についても合わせて触れた。

質感は、極めて高度な感性に対応する総合的感覚であり、対象により非常に多様な現れ方を  
する。

質感は色と密接な関係があり、濁色にして色相を押さえる事により素材の質感が浮かび上がるとの指摘[1]や、紙について、映像のように視覚だけでなく触覚と嗜好なども合わせ、質感を調べた例もある。また、色再現における記憶色同様、記憶質感に関する研究も始まっており[2]、今後重要な知見を得られるものと期待される。さらに、インタビューでも指摘されたが、視覚的質感と触覚との関連も考えられ、これについても検討が始まっている[3]。今後の課題の一つとして、更なる検討が望まれる。

近年、感性の定量化に際し、脳の高次活動に注目して、映像を対象にした脳派等による検討も行われている [4] [5]。また、脳科学面からの質感知覚モデルも提案されており、この方面からの成果も期待されることは既に述べた。

現在のところ、映像に関する質感は未だ統一的に把握されているとは言えず、工学的検討の対象とするためにはさらに検討が必要と思われる。しかし、織物や塗装等の分野では実用的観点から以前から検討が行われており、これらの分野の知見も導入しながら、上記の諸研究と合わせて映像独自の「質感」の意味、性質を明らかにするとともに、映像への適用を検討することが重要であろう。その際、1.3.5 に述べた階調と観視条件の他、具体的なハードウェア特性との関係は当然として、さらには音響の場合に見られるようなアナログ信号とデジタル信号との関係等、対象とする感性が高度でより深くなる「高質感映像」を考える際には、考慮に入れる必要もあろう。

「質感」は、これ迄述べて来たように、単一の物理要因と対応した単独画質では表現されず、総合画質に相当する総合感覚であると考えられる。従って、UDTV に代表される解像度の向上、ナチュラルビジョンに代表される色再現性の向上、CG に於ける画像表現技術の向上など、本報告中に述べた重要な画質向上技術に加え、立体映像等も含めた上記諸研究の成果を反映した多くの画質、技術的知見が統合され、それを提示する環境的配慮と整合する事により最終的には実現されよう。本報告がそのための一助となれば幸いである。

### 参考文献

- [1]原島宏監修,井口征士他編,感性情報処理,第3章カラーデザインと感性,オーム社,平成6年
- [2]武末直也,青木尚和,小林裕幸,“画像の好ましい粒状感に与える記憶質感の影響,映像情報メディア学会研究報告,IDY2007-93,HI-2007-100,3DIT-21,2007
- [3]例えば上田祥行,斎木潤,“触覚刺激が視知覚に与える影響”,映情学技報, Vol.31, No.55, pp.33-37, 2007

[4]例えば大橋力,仁科エミ,不破本義孝,河合徳枝,田中基寛,前川督雄,“脳波を指標とする映像情報の生体計測”,テレビ誌,Vol.50,N0.12,pp.1921- 1934,1996

[5]前川督雄,中津良平,河合徳枝,仁科エミ,大橋力,“メディア視覚像の精細度感性評価”,映情学誌,Vo.55,No.8/9,2001

#### 謝辞

本報告の作成にあたっては、資料の提供、インタビューなどに関し、多くの方々にご協力頂いた。また、日常的なディスカッションや助言も多くの方々から頂き、直接、間接的に貴重な示唆を頂いた。特に、日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 感覚運動研究グループ 研究主任 本吉勇氏からは氏の視覚認知モデルに関し、直接お話を聞く機会を与えて頂くとともに、質感に関する脳科学的、心理学的知見をご教示頂いた。また、立命館大学 情報理工学部 知能情報学科 田中弘美教授には、研究の現状を直接見学させて頂くとともに、ディスカッションの機会を与えて頂いた。これらの方々に深く感謝する。





非 売 品  
禁無断転載

平 成 1 9 年 度  
高質感映像に関する調査研究報告書

発 行 平成20年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会  
〒105-0011  
東京都港区芝公園三丁目5番8号  
電 話 03 - 3434 - 5384

財団法人 デジタルコンテンツ協会  
〒102-0082  
東京都千代田区一番町23番地3  
電 話 03 - 3512 - 3903

