

解説

テレビジョン画像の評価

中山 剛

(株)日立製作所中央研究所第8部 〒185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

(1983年4月16日受理)

Evaluation of Television Picture Quality

Takeshi NAKAYAMA

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.,

1-280, Higashikoigakubo, Kokubunji 185

1. はじめに

テレビジョン画像の画質評価の研究は、観視者に少しでもよい画質の画像を提供することを目的として、テレビジョン開発の歴史とともに歩んできた。古くは白黒テレビの方式決定に関して、1画面当りの走査線数、毎秒フレーム数、インタレース比、伝送帯域幅、画面の縦横比および階調性などの画質におよぼす効果の研究が行なわれた。またカラーテレビジョンの開発に際しては、白黒テレビの観視に障害とならずに色彩情報を重畳するための多重化方式や、赤、緑、青の原色の色度点の決定などに画質評価が重要な役割を果たした。

テレビジョン画像の撮像から観視にいたる全過程での視覚と画質の基本的問題に関しては樋渡の名著¹⁾があるのでそれを参照していただくことにして、本解説では、その後の新しい技術開発に関連した画質評価の話題を重点的に紹介する。

2. 画質評価モデルと評価法

2.1 画質評価モデル

テレビジョン画像の画質評価に関する個別的問題に立入る前に、この問題全体の枠組を概観し、問題の所在と相互関係を明らかにしたい。

画質評価の全過程を図式的に示すと図1のようになる²⁾。

一般的には、図示するように、観視者に伝達すべき情報を含む被写体が存在し、これを、撮像系から受像管までの全過程、および観視空間の光学的特性までを含めた

広義の画像伝送系によって、観視者に画像として提示する。観視者は、最終的には画質の良し悪しを判断するが、その前段階の感覚過程で、鮮鋭さ、明るさ、色の再現性など、画質を構成する画像の感覚的要因に着目した評価を行ない、画像がこれらの要因を含む度合いを総合して最終判断を下すものと考えられる。

ここで、図1に示すように、被写体の光学的特性を P_i ($i=1, 2, \dots, N$)、画像伝送系の伝送特性を T_j ($j=1, 2, \dots, m$) で表わし、観視された画像が画質の感覚的要因 k を含む度合いの評価値を D_k ($k=1, 2, \dots, n$) で表わしうものとする。すると、 D_k と P_i , T_j の関係は次のように記述することができる。

$$D_k = f_k(T_j, P_i) \quad (1)$$

画質の総合評価値を Q で表わすと、これは次式のように D_k の関数である。

$$Q = g(D_k) \quad (2)$$

画質評価の課題は形式的には(1)式と(2)式に集約されている。項目だけを列挙すると次のようになる。

- (1) Q の数量的記述法
- (2) D_k の数量的記述法
- (3) 関数 g のモデルの設定
- (4) 評価実験による関数 f_k の決定

P_i , T_j などは画質を決定する物理的要因であり、 D_k は画質の心理的要因である。これらの要因は相互に独立であることが望ましいが、図1に見るように、被写体特性空間、伝送特性空間および心理的要因空間の間で要因が1対1に対応するとは限らず、ある空間内の複数の要因が他の空間における一要因に結合するなど、複雑に関係

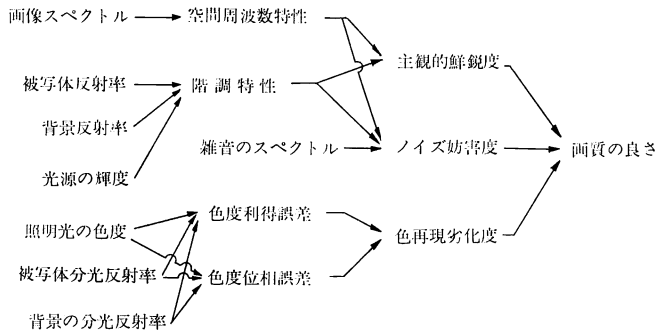
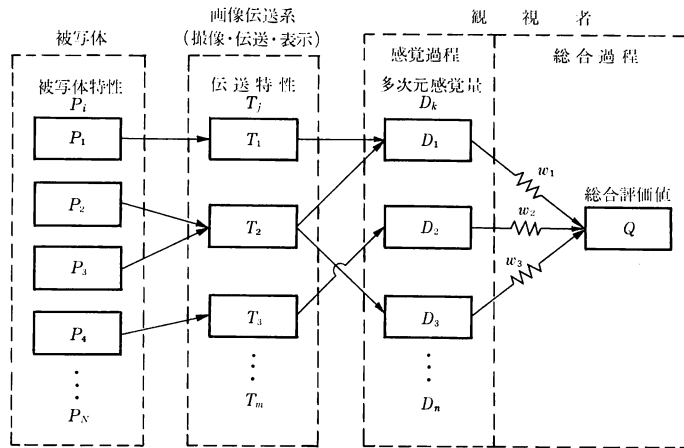


図 1 画質評価過程のモデルと各ステップにおけるパラメータの例

している。

2.2 画質の心理評価法

2.2.1 総合評価尺度値Q

画質の総合評価には表 1 に示す品質尺度がよく用いられる。これは心理尺度構成法では評定法と呼ばれる方法で、5段階あるいは7段階の段階的カテゴリ上に評価対象を位置づける。

表に示すカテゴリ間の心理的距離は厳密には等間隔でなく、したがって表中の単極尺度と両極尺度はたんに品質の序列を示す尺度(順序尺度)でしかないが、系列範疇法³⁾と呼ばれる方法で求めた等間隔尺度との間に、両

端部を除くと直線的関係が認められることが多いため、実用上はカテゴリ間の等距離性を仮定した距離尺度に準じて扱われることが多い。

表 1 の品質尺度をオピニオン尺度と呼び、この尺度上での評価対象の分布の平均値を平均オピニオン評点(mean opinion score; MOS)と呼ぶこともある⁴⁾。

ある基準状態からの画質劣化の総合評価には表 2 に示す妨害度尺度が用いられることがある⁵⁾。この場合には表中に示すように各カテゴリ間の境界で定義した各種限界

表 2 妨害度尺度と各種限界

カテゴリ番号	評価カテゴリ	単極尺度	両極尺度
1	非常に良い	4	+2
2	良い	3	+1
3	普通	2	0
4	悪い	1	-1
5	非常に悪い	0	-2

妨害度尺度	各種限界
妨害がまったくわからない	検知限
妨害がわかるが気にならない	許容限
妨害が気になるが邪魔にならない	我慢限
妨害が邪魔になる	受信限
受信不能	

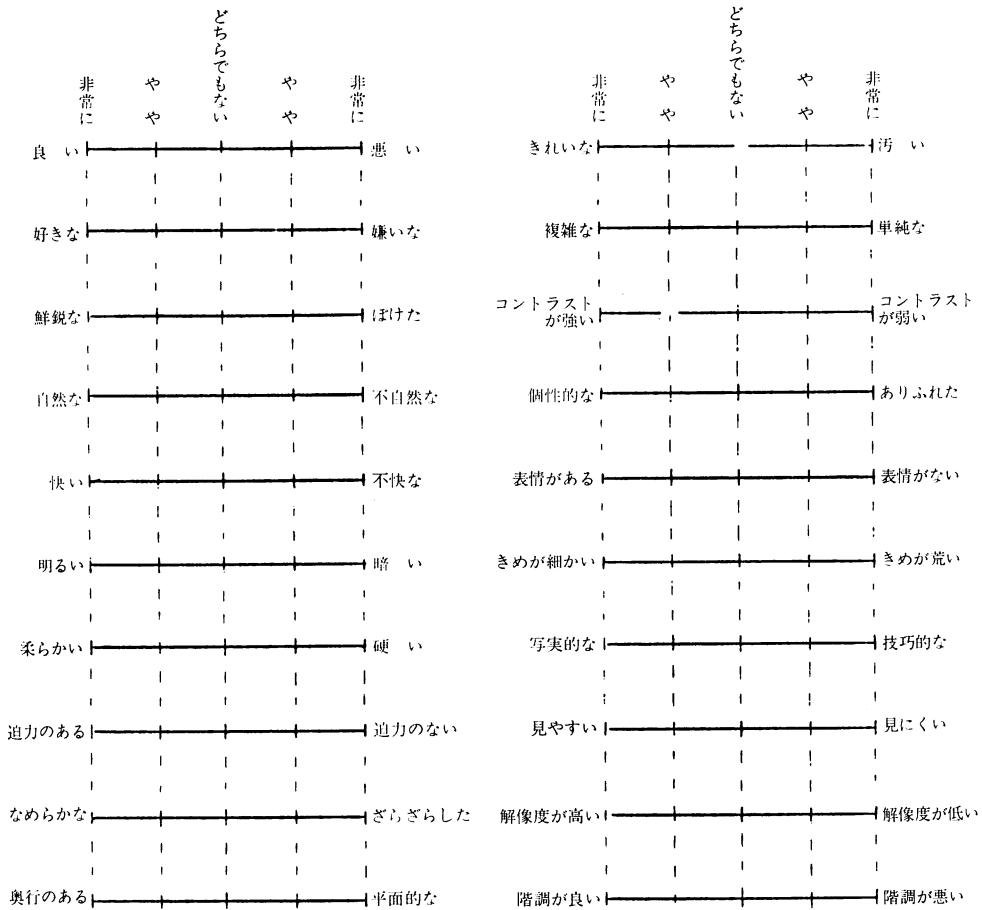


図 2 SD 法に使用する両極尺度群の例

界をもってサービス品質の目安とすることが多い。

2.2.2 画質要因の評価尺度 D_k

図1の感覚過程における n 次元の画質評価尺度値 D_k を求める方法としては多次元尺度構成法⁶⁻⁸⁾と呼ばれる方法があるが、評価手続と解析の複雑さのためか画質評価に用いられた例^{9,10)}はあまり多くない。画質の要因分析にはSD(semantic differential)^{11,12)}法がポピュラーである。この方法は言語の意味構造の分析に用いられたためにこの名がある¹³⁾。この方法では図2に示すように、画質を表現する形容詞対を網羅的に集め、画質変動範囲をカバーすると思われる20~30対の両極尺度を用意する。

この両極尺度群上に評価対象を位置づけるという形で評価を行なうが、この個々の尺度は必ずしも相互に独立な画質の心理的特性を測定しているとはいえない。そこで因子分析法¹⁴⁾と呼ばれる方法で全尺度間の相関分析を行なう。その結果、図2の両極尺度は群内では相関が大で、群間では相関が小さいいくつかの下位尺度群に分類

される。これらの下位尺度群が相互に独立な画質要因の心理的特性を記述するものとなる。多次元評価尺度値 D_k はこれらの下位尺度群中の代表的な尺度上での評価対象の尺度値または因子分析の結果得られる因子得点と呼ばれる値として求められる。

3. 画質要因と機器特性

本項では被写体特性 P_i と画像伝送系の物理特性 T_j が図1の感覚過程における多次元評価尺度値 D_k に与える影響を具体的に説明する。形式的には、これは(1)式における f_k の問題である。

3.1 空間周波数特性と鮮鋭さ

画像の鮮鋭さ(主観的鮮鋭度)は現行のテレビジョン画質を決定する最も重要な要因である。鮮鋭さは画像がはっきりと鮮やかに見える度合であるが、図3に示すように、物理的な解像度とは必ずしも対応しない。

鮮鋭さの予測式としては、写真画質から導入された鮮

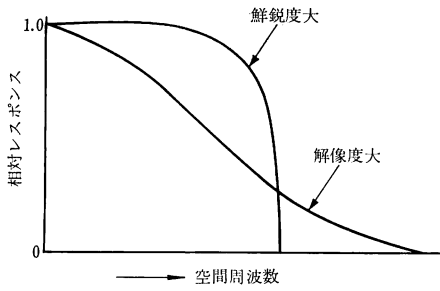


図3 鮮鋭度と解像度の関係

鋭度係数が、次式で表わされる¹⁵⁾。

$$S = \frac{\int_0^{\infty} R(\nu)E(\nu)d\nu}{\int_0^{\infty} E(\nu)d\nu} \quad (3)$$

- ここで、 S : 鮮鋭度係数
- $R(\nu)$: 系の空間周波数特性
- $E(\nu)$: 視覚系の空間周波数特性
- ν : 空間周波数

主観量である鮮鋭さは鮮鋭度係数¹⁶⁾あるいはその対数¹⁷⁾と線形な関係にあることが知られている。

(3)式の鮮鋭度係数は、系の空間周波数応答が、空間周波数の増加に対して単調に低下する受像管などの場合にはよいが、中域周波数にピークがある映像増幅回路の周波数特性の効果が説明できない。現在のテレビジョンカメラや受像機には、アパーチャ補償回路の名で、中域特性を増強する回路が設けられている。これは、本来、撮像管や受像管のスポットの拡がりによる開口特性を補償し、系全体の特性を平坦にする目的で設けられたもの

である。しかしこれとは別に、最近の受像機では、鮮鋭さ改善の目的で、系のステップレスポンスにプレシュートとオーバーシュートを付加しており、これが周波数特性上では1~2 MHzにピークをもつ特性となる。この効果を狙った場合は、系全体の空間周波数特性は平坦でなく、やはり中域にピークをもつ特性となる。

この特性の鮮鋭さ増強効果を説明する仮説として、佐々木ら¹⁸⁾は眼の網膜上の興奮と抑制作用を基礎とした説明を行なった。いま、図4(a)に示すように、網膜上の一点に光刺激が与えられると、刺激点には興奮が生じるが、その周辺には抑制作用が生じる。この抑制作用は興奮の分布の裾をおさえ込み、興奮の立上りをシャープにすることによって、人間が対象を見る場合の鮮鋭さを向上させる効果があると考えられる。

図4(a)の眼の点拡がり関数は、分解すると図4(b)に示すような興奮と抑制の分布によって形成されると考えられるが、この両分布をフーリエ変換し、その和をとったものが図4(c)の視覚系の空間周波数特性を形成する。したがって眼の空間周波数特性の低周波数域での応答の低下は、たんなる活動性の低下を意味するものでなく、側抑制による視覚系の鮮鋭さの改善効果の表われであると解釈される。後述するように、テレビ画面上における画像の時間周波数と観視眼における空間周波数は(7)式で関係づけられる。この関係を利用して眼の空間周波数特性を視距離4H(Hは画面の高さ)を仮定してテレビ画面上での時間周波数スケールで表わすと、応答が20 MHz付近まで伸びているのに対し、テレビジョンの輝度信号は4 MHzで帯域制限されているため、テレビジョンと眼の縦列接続系の総合点拡がり関数は、裸

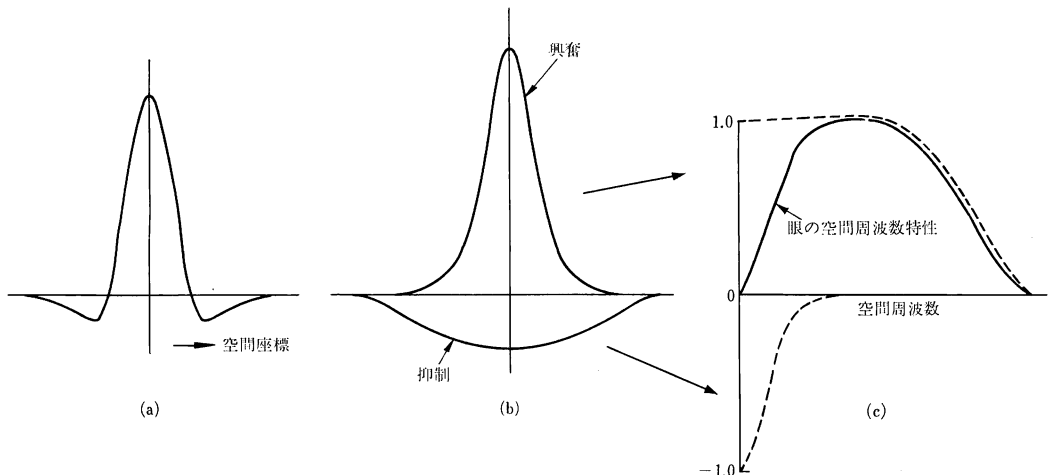


図4 網膜上での光刺激に対する点拡がり関数(a), 点拡がり関数の興奮と抑制作用への分解(b), 点拡がり関数のフーリエ変換と眼の空間周波数特性の生成(c)

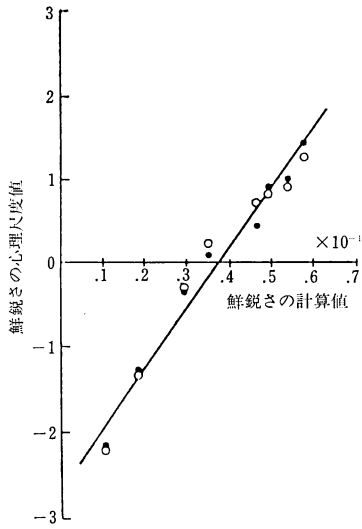


図5 鮮鋭さの計算値と実測値の関係

画像; ○: 人物, ●: ステップ, 視距離 $d=4h$,
画面平均輝度 $\bar{L}=30 \text{ cd/m}^2$, 相関係数 $r=0.985$

眼で直接に対象を見た場合の視覚系出力の点拡がり関数よりも分布の幅が広がったものとならざるをえない。そこでテレビジョン系の低周波数域での応答を低下させる(見かけ上中域ブースト特性となる)ことにより、視覚系が本来有している側抑制作用による鮮鋭さ向上効果を助長し、低域での応答の低下がない場合に比較して鮮鋭さを改善できるとする。

佐々木らは画像伝送系と視覚系を縦列接続した系の出力におけるステップ波応答の勾配が裸眼のそれと等しくなる場合が、もっとも自然な画像を得られる条件とした。これに対して磯野¹⁹⁾はたんにステップ波応答の勾配をとったものが鮮鋭さの予測値として妥当であることを見ている。彼は福島⁴⁶⁾の shunt 形抑制機構をもつ神経素子モデルを視覚系のモデルとして使用し、画像伝送系の周波数特性に対して、縦列接続された視覚系の出力におけるステップ波応答の勾配を計算できる鮮鋭さ評価モデルを開発した。

実際の画像伝送系を用いた鮮鋭さの主観評価実験結果と、評価モデルによる計算値とは図5に示すように線形な対応関係が見られた。

また日野²⁰⁾はブースト中心周波数とブースト量が異なる数枚の画像をSD法で評価させ、画質要因を求めた。その結果、「きめの細かさ」、「鮮鋭さ」、「明暗対比」の3要因を抽出し、図6に示すように、「きめの細かさ」は周波数軸上で高域に、「鮮鋭さ」は中域に、「明暗対比」は低域に重みを有することを見ている。図6の重み関数

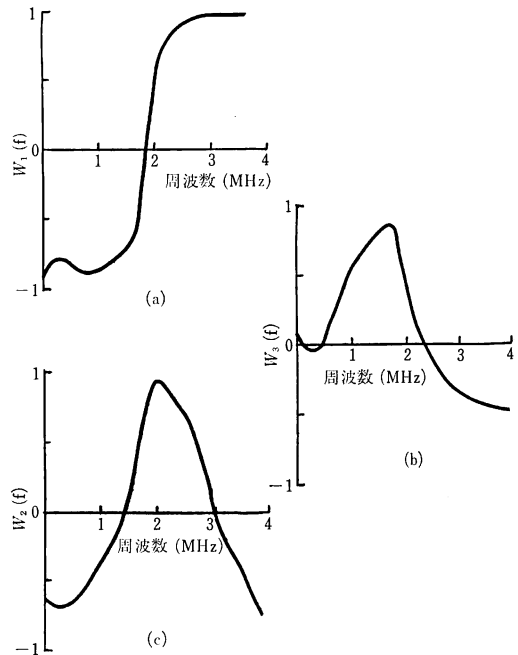


図6 画質要因軸への周波数重み関数

(a)きめのこまかさ軸への重み関数, (b)明暗対比軸への重み関数, (c)鮮鋭さ軸への重み関数

を $w_1(f), w_2(f), w_3(f)$ で表わすと、上記の3要因の評価値は次式で予測される。

$$D_k = a_k \int_0^{f_c} w_k(f) R(f) E(f) df \quad (4)$$

($k=1, 2, 3$)

ここで、

- D_1 : きめのこまかさの評価値
- D_2 : 鮮鋭さの評価値
- D_3 : 明暗対比効果の評価値
- $R(f)$: 画像伝送系の空間周波数特性
- $E(f)$: 眼の空間周波数特性
- a_k : 係数
- f_c : 伝送上限周波数

ただし $R(f), E(f)$ はテレビ系の時間周波数特性との対応がわかりやすいよう時間周波数で表現してある。

3.2 明るさとコントラストの効果

テレビ受像管の歴史は、フォーカスの改善と明るさ向上の歴史である。しかし画質の観点から見ると、明るさの増大がそのまま画像の視覚的明るさ増大として画質改善に直結する要素の比重は少なく、明るい外光条件下でも適正な画像のコントラスト比(40:1といわれる²¹⁾)を保ちうることによる画像表現能力の増大という形での画質改善効果が主体となる。

周知のように、受像管面上に表示される画像の黒の知覚は、管面上での発光部と非発光部との視覚系での輝度対比効果によって形成されるものであり、物理的な光の吸収によるものではない。表示画像のコントラストを C で表わし、最高輝度を L_{max} 、最低輝度を L_{min} で表わすと、

$$C = L_{max}/L_{min} \quad (5)$$

で定義されるが、 L_{min} は管面に入射する外光の反射輝度できまる。したがって、明るい外光条件下でコントラストを大にするためには L_{max} を大にしなければならない。これが受像管の明るさ増大競争の原因である。しかし最近ではブラックマトリクスあるいは着色蛍光体の採用により L_{min} を減少させる工夫も行なわれている。

コントラストは画面上での大面積輝度情報表現能力を表わす尺度であるが、これに対応する画質の主観的評価要因としては、前記の視覚的明度対比効果のほかに、鮮鋭さへの影響も大きい。中山ら^{2,22)}は画像伝送系の空間周波数特性、明るさ、コントラストが次式の形で鮮鋭さに影響することを見ている。

$$Q_s = 0.776 \log S + 0.354 \log C + 0.113 \log L_0 + 0.396 \log S \log C + 0.278 \log S \log L_0 + 0.159 \log C \log L_0 \quad (6)$$

ここで、

Q_s : 鮮鋭さの評価値

S : 鮮鋭度係数

C : コントラスト

L_0 : 実効輝度 ($L_{max} - L_{min}$)

3.3 画面サイズと視距離

この問題には視覚的には画像の鮮鋭さと画像内容の認知度および迫力、臨場感といった心理的効果が関係する。鮮鋭さに関しては、物理的には、伝送上限周波数 f_c の画像信号を画面幅 W なる表示面に表示したとき、表示面から法線方向に距離 d だけ離れた位置にある観視眼から見た画像の空間周波数上限値 ν_c を考えると問題がほぼ理解できる。すなわち、

$$\nu_c = \frac{\eta_h f_c}{2 f_h \tan^{-1}(W/2d)} \quad (7)$$

ここで、 f_h は水平走査周波数であり、 η_h は水平走査有効率である。上式で f_c に対応する ν_c が大であれば、観視眼における画像の空間周波数スペクトルは高域まで伸びて画像は鮮鋭に見え、逆に ν_c が小となる条件では観視眼から見て画像の空間周波数スペクトルは低域に圧縮されるのでぼけて見える。方式一定の条件下では f_c と f_h は固定されるから、画面サイズが大となると観視

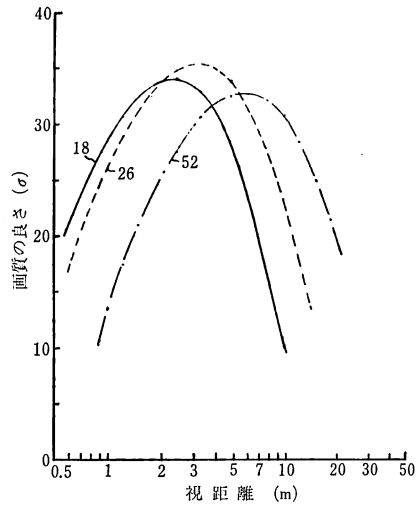


図7 画面サイズと視距離の効果

条件; カソード電流: 1 mA, スポット径: 1.4 mm

画面サイズ	輝度 (ft·L)
18型	168
26型	109
52型	48

距離 d 一定ならばけて見え、逆に画面サイズを固定すると視距離が大となるほど、画像は鮮鋭に見える。ただし、視距離があまり大となると、画像の空間周波数スペクトルが眼の空間周波数特性の応答低下部に移行し、画像内容の認知度が低下する²²⁾。

画面サイズと迫力との関係については次式の関係が成立するというデータがある²²⁾。

$$Q_p = 7.7 \log A + C \quad (8)$$

ここで、 Q_p は心理的な迫力の評価値、 A は画面の対角長 (インチサイズで表わす)、 C は尺度の原点をきめる定数である。こうしたすべての効果を加味して画面サイズと視距離の効果を現行の標準方式について求めた画質の良さの推定値を図7に示す。

図7の52型は投射型大画面テレビを想定したものであるが、画質の良さが最大となる横軸の値をもって最適視距離とすると、このときの画質の良さの推定値が小型のものに比較して低下している。これは標準方式テレビジョンの走査線数と伝送帯域幅の制約による鮮鋭さの低下のためである。迫力あるいは臨場感を得るためには観視眼から見た画面の見込角を大にする必要がある²³⁾。画面の表示空間と観視者の視覚空間が融合して、観視者が画面に引き込まれる効果を生むためには、画面が視角で $20^\circ \sim 30^\circ$ となる必要があるといわれている²⁴⁾。このため

には画面サイズを大にし、視距離を小にした条件で良好な画質の画像が得られなければならない。図7に見るように、標準方式では52型で最良画質を与える視距離6mの点では画面の視角が約10°となり、これより近づくと画質は急激に低下する。これを解決する手段として走査線数1,125本、帯域幅20MHzという高品位テレビジョンの開発が行なわれる^{25,26)}。

3.4 雑音およびゴーストによる画質劣化

テレビジョン画像に混入する雑音としてはランダム雑音、パルス性雑音、周期性雑音などに分類され、それぞれ視覚的效果が異なるが、ここでは一般的なランダム雑音による画質劣化について述べる。

ランダム雑音による視覚的な画質劣化度はdB表示したSN比とほぼ直線関係にあるが、周波数軸上での視覚的重み関数 $W(f)$ は次式で表わされる²⁷⁾。

$$W(f) = -20 \log \{1 + (f/f_c)^2\} \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

f_c は標準テレビ方式の画像を4H(Hは画面の高さ)の距離で見るとき、水平方向に対して2.0MHz、垂直方向で2.5MHzである。平坦スペクトルのランダム雑音の検知限はSN比で47dB、許容限は40dBである²⁸⁾といわれている。

最近では都市構造の複雑化によって、アンテナ設置場所周辺の構築物からの反射によるゴースト妨害が問題になっている。山崎ら^{29,30)}は希望波とゴースト波の高周波レベル比(DU比)、それらの高周波位相差(φ)、ゴースト波の遅延時間(τ)、ゴースト波の数(n)などの物理的測定に、視覚心理効果にもとづいた重みを加えて合成した基本評価DU比(perceived DU ratio: PDUR)を定義し、これと画質劣化の5段階評価値との関係にロジスティック曲線をあてはめることができるを見た。この関係を利用してPDURから画質劣化度を求めることができる。

3.5 色再現

色再現全体に関連する問題として白色点の問題がある。わが国では白色の基準として色温度9,300K+27MPCDをとっているのに対し、欧米では6,500Kを基準とする方向を打ち出して以来、これが論議のまとなっている。この問題を解決するために、白色の色温度を6,500Kから20,000Kまで5段階に変えたカラー受像機を、周囲光の光源の色温度が2,850Kから10,000Kまでの4段階に変えた条件下で観視し、白の白らしさを評価する実験が行なわれた³¹⁾。その結果、白らしいと感じる色温度はかなり広い範囲にわたっているが、もっとも白らしいと感じる色温度は周囲光の色温度によって影響さ

れ、周囲光の光源の色温度より約3,000K高い色温度がもっとも白らしいと評価された。このことから、欧米とわが国における好みの白色の色温度の差が、白熱灯照明と蛍光灯主体の照明との差に起因するのではないかと考えられている。

4. 画質の総合評価

前節では、(1)式の T_j と D_k との関係の具体例について紹介したが、次の問題として(2)式に示す D_k と総合評価値 Q との関係、すなわち関数 g について概観する。

4.1 重回帰モデル

未知の関数のモデルを設定する最も一般的な方法は重回帰モデルによる方法である。いま n 個の説明変数 x_1, x_2, \dots, x_n があって、目的変数 y を、

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon' \quad (10)$$

で記述しようとするとき、 x_1, x_2, \dots, x_n がある基準値 m_1, m_2, \dots, m_n のまわりで変動し、変域があまり大でないこと、関数 f の形がなめらかなことを仮定し、 f を m_1, m_2, \dots, m_n のまわりにテイラー展開して1次の項のみをとったものが重回帰モデルである³²⁾。すなわち、

$$\alpha_0 = m_y - \sum_{i=1}^n \alpha_i m_i \quad (11)$$

と定義すると、

$$\begin{aligned} y &= m_y + \alpha_1(x_1 - m_1) + \alpha_2(x_2 - m_2) + \dots \\ &\quad + \alpha_n(x_n - m_n) + \varepsilon \\ &= \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n + \varepsilon \end{aligned} \quad (12)$$

の形となる。(12)式の ε には(10)式の ε' のほかに2次以上の項が全部含まれる。このモデルは $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ に関して1次式であればよく、 x_1, x_2, \dots, x_n はどのような形でも差し支えない。

このモデルによれば(2)式は、

$$Q = \sum_{k=1}^n \alpha_k D_k + \varepsilon \quad (13)$$

で表わせる^{9,10)}。定数項 α_0 を省いたのは Q が距離尺度で原点が任意に定められるためである。

4.2 ロジスティック関数モデル

このモデルは英国郵政省研究所のLewisが発案し、後継者のProsser, Allnattらが発展させたモデル³³⁾である。これは画像機器の個々の特性を単独に変えたときの画質評価値から、この特性が複数組み合わせられたときの総合評価値をロジスティック関数モデルにもとづいて推定するものである。

いま、前記の5段階の基準化尺度(尺度値を0, 0.25,

0.5, 0.75, 1.0としたもの) を P で表わし, ある特性を表わす物理量の対数 x を横軸に, それに対応する尺度値 P を縦軸にとったロジステック (成長) 曲線上で, $P = 0.5$ に対応する x の値を M で表わす. また, 曲線上で対応する点の勾配の逆数を S とする. このとき,

$$Q = (M - x) / S \quad (14)$$

なるパラメータをとり, 個々の物理特性の単独評価から求めたこのパラメータを Q_1, Q_2, \dots, Q_n とすると, 総合評価の平均評点 P_T は,

$$P_T = \frac{1}{1 + \exp(Q_1) + \exp(Q_2) + \dots + \exp(Q_n)} \quad (15)$$

で与えられる. このモデルは Weaver³⁴⁾, Sicos³⁵⁾, 小林^{36, 37)}ら多数の研究者がさまざまな問題に適用してよい結果を得ている.

5. おわりに

以上, 画質評価の課題をできるだけ体系的に解説した. 紙数の制約から, 当初予定していた高品位テレビジョン^{38, 39)}, 文字放送と文字表示品質^{40, 41)}, および符号化画像伝送と画質^{42, 43)}の問題などは省略せざるをえなかった. また総合評価モデルも上記の2例以外にさまざまなものがある^{44, 45)}. 興味ある読者は文献をあげておいたので参照していただきたい.

文 献

- 1) 樋渡潤二: 視覚とテレビジョン (NHK 出版, 1968).
- 2) T. Nakayama, *et al.*: SID 80 DIGEST (1980) p. 180.
- 3) J. P. Guilford (秋重義治訳): 精神測定法 (培風館, 1959) p. 276.
- 4) 小林幸雄: 電子通信学会画像工学研究会資料, IE 75-1 (1975).
- 5) 樋渡潤二: 視覚とテレビジョン (NHK 出版, 1968) p. 123.
- 6) W. S. Torgerson: *Theory and Methods of Scaling* (Wiley, New York, 1958) p. 247.
- 7) J. B. Kruskal: Psychometrika, **29** (1964) 1.
- 8) J. B. Kruskal: Psychometrika, **29** (1964) 115.
- 9) 中山 剛, ほか: 日立評論, **53** (1971) 684.
- 10) 宮川 洋, ほか: 画像エレクトロニクスの基礎 (コロナ社, 1975) p. 294.
- 11) 阿部泰武, ほか: 電子通信学会画像工学研究会資料, IE 75-87 (1975).
- 12) 中山 剛: テレビ誌, **33** (1979) 1033.
- 13) L. N. Solomon: J. Acoust. Soc. Am., **30** (1958) 421.
- 14) 奥野忠一, ほか: 多変量解析法 (日科技連, 1971) 323.
- 15) 佐柳和男: 応物誌, **25** (1956) 449.
- 16) 長岡良富, ほか: テレビ誌, **27** (1973) 528.
- 17) 中山 剛, ほか: テレビ学技報, VVI 28-1 (1978).
- 18) 佐々木玲一, ほか: テレビ誌, **23** (1969) 529.
- 19) 磯野春雄, ほか: 電子通信学会画像工学研究会資料, IE 81-94 (1982).
- 20) 日野響子, ほか: テレビ学技報, VVI 47-1 (1981).
- 21) 藤井孝孝: テレビ学会視覚情報研究会資料, 14-3 (1975).
- 22) 中山 剛, ほか: テレビ学技報, VVI 39-3 (1980).
- 23) 藤尾 孝: テレビ誌, **36** (1982) 863.
- 24) 畑田豊彦, ほか: テレビ誌, **33** (1979) 407.
- 25) 佐藤昭一, ほか: NHK 技研月報, **22** (1978) 124.
- 26) 石田順一: テレビ学技報, VVI 17-4 (1976).
- 27) 山口幸也: NHK 技研, **18** (1966) 1421.
- 28) 三橋哲雄, ほか: テレビ学会視覚情報研究会資料, 3 (1972).
- 29) 山崎 滋: テレビ誌, **32** (1979) 628.
- 30) 山崎 滋, ほか: テレビ誌, **34** (1980) 414.
- 31) 河口範夫, ほか: テレビ学会視覚情報研究会資料, 13-2 (1975).
- 32) 奥野忠一, ほか: 多変量解析法 (日科技連, 1971) 25.
- 33) R. D. Prosser, *et al.*: Proc. IEE, **111** (1964) 491.
- 34) L. E. Weaver: J. SMPTE, **77** (1968) 610.
- 35) C. A. Sicos, *et al.*: IEEE Trans. Broadcast., **BC-25** (1979) 63.
- 36) 小林幸雄: テレビ誌, **33** (1979) 1046.
- 37) 小林幸雄: 電子通信学会技術報告, IE 78-89 (1979).
- 38) 三橋哲雄: テレビ誌, **33** (1979) 1027.
- 39) 三橋哲雄, ほか: テレビ誌, **36** (1982) 873.
- 40) 前原昭義: テレビ誌, **32** (1978) 744.
- 41) 鎧沢 勇: テレビ学技報, VVI 45-1 (1981).
- 42) 西沢台次: テレビ誌, **33** (1979) 1021.
- 43) 小林幸雄: テレビ学会視覚情報研究会資料, 2-2 (1973).
- 44) 鎧沢 勇, ほか: テレビ学技報, VVI 34-7 (1980).
- 45) 坂田晴夫: テレビ学技報, VVI 55-9 (1983).
- 46) 福島邦彦, ほか: テレビ学会視覚情報研究会資料, 11-2 (1975).