

立体映像の歪み原因の解析と解決
Analysis and Solution about Distortion of Stereoscopic Image

岡本正昭* 志水英二**
Masaaki Okamoto and Eiji Shimizu

1. まえがき

立体映像表示では、平面画像には見られない特有の歪みとして、箱庭効果(puppet theater effect), 書き割り効果(cardboard effect)などが、見易さや映像品質の面で問題になる[1][2]. これらの歪みに関する研究は古くからなされているが[3]-[8], まだ統一的な解釈ができていない. 一方で、撮影時と観察時の間で距離関係を厳しく制約して自然に近い映像を復元する方法が試みられている[9]. Kutkaは大画面映像を縮小表示した場合の幾何学的関係から箱庭効果を説明し、視差量の追加による解決を提案している[10]. これに関する追試実験が行われ効果も確認されている[11].

本研究では、Kutkaの幾何学的方法をより一般的な条件に拡張し、箱庭効果、書き割り効果の主要な原因を明らかにする。これにより、撮影時と観察時の組合せ条件が緩和され、多様な立体映像製作場面に対応可能となる。

2. 幾何学モデル

Fig. 1に、本研究で検討する立体映像の撮影/観察時における幾何学モデルを示す。検討対象の点はすべて同一水平面内に存在するものとし、Fig.1ではx軸が横方向の座標、y軸が奥行き方向の座標を表す。原点Oは両眼(E, E')の中央に位置し、両眼距離をeとする。カメラ(C, C')間距離をcとしその中点も原点Oに位置する。実空間における対象点をベクトル $r_0(r_{0x}, r_{0y})$ で表す。 r_0 を画面 $D_1D'_1$ に表示した場合の視認位置 $r_1(r_{1x}, r_{1y})$ を考える。表示画面 $D_1D'_1$ の視差を p_1 とし、撮影時には視差 p_0 の画面 $D_0D'_0$ であったと仮定する。画面はOを頂点とする相似三角形で大きさが変化する。すなわち画面はOからの画角 α が一定になる。 $D_0D'_0$ と $D_1D'_1$ のx軸からの距離をそれぞれ m_0, m_1 とする。

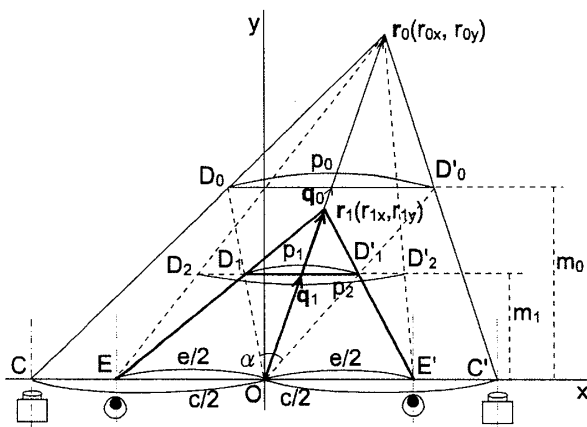


Fig.1 Geometry between real space and display space.

* (財)イメージ情報科学研究所, Labs. of Image Information Science and Technology

** 大阪市立大学, Osaka City University

$D_0D'_0$ と r_0 の交点をベクトル q_0 で表し、 $D_1D'_1$ と r_1 の交点を q_1 で表す。相似関係から

$$q_0 = (m_0/r_{0y}) r_0 \tag{1}$$

$$q_1 = (m_1/m_0) q_0 \tag{2}$$

$$r_1 = \{e/(e-p_1)\} q_1 \tag{3}$$

が成立する。3つの式をまとめると

$$r_1 = \frac{e}{e-p_1} \frac{m_1}{m_0} \frac{m_0}{r_{0y}} r_0 = k r_0 \tag{4}$$

が得られる。kを歪み係数と呼ぶ。ここで(4)式中の p_1 は、

$$p_1 = (m_1/m_0) p_0 \tag{5}$$

$$p_0 = \{(r_{0y} - m_0)/r_{0y}\} c \tag{6}$$

から

$$p_1 = \frac{m_1}{m_0} (1 - \frac{m_0}{r_{0y}}) \frac{c}{e} e = j e \tag{7}$$

となる。jを視差係数と呼ぶ。(7)式を(4)式に代入して、3つの正規化量(モニタ比 $M=m_1/m_0$; 奥行き度 $R=r_{0y}/m_0$; カメラ比 $G=c/e$)を導入すると、歪み係数kと視差係数jは

$$k = \frac{1}{1 - (1 - 1/R)GM} \frac{M}{R} \tag{8}$$

$$j = (1 - \frac{1}{R}) GM \tag{9}$$

となる。正規化視認距離として $S=kR$ を導入すると

$$S = kR = \frac{M}{1 - (1 - 1/R)GM} \tag{10}$$

がベクトル r_1 の奥行き距離を表すことになる。

3. 箱庭効果と書き割り効果の定量化

幾何学モデルを使い、箱庭効果と書き割り効果を定量的に明らかにする。(10)式を奥行き度Rで微分すると

$$\frac{dS}{dR} = \frac{d}{dR} (kR) = \frac{GM}{\{(1 - GM)R + GM\}^2} M \tag{11}$$

となる。 dS/dR は奥行き度Rの対象点が、画面 $D_1D'_1$ に表示された場合に視認距離Sがどの程度短縮傾向(あるいは伸張傾向)にあるかを示す標識となる。そこでGMの大きさ別($GM=0.9, GM=1, GM=1.1$)に、 dS/dR の振る舞いをFig.2に示し、奥行き変化を調べる。

Fig.2(a)の $GM=1$ の場合は、 dS/dR が一定値Mになる。すなわちSはRに対して傾きMで線形に変化する。従って $M=1$ では表示空間は実空間に一致する。 $M<1$ では実空間の相似縮小となり、箱庭効果が発生する。 $M>1$ では実空間の相似拡大となり、逆箱庭効果と呼ぶべき状態になる。

Fig.2(b)の $GM=0.9$ の場合は、 $M<1$ の時 dS/dR がRの全区間で1を大きく割り込むようになり、特にRが大きい遠景で奥行き縮小が顕著になることがわかる。GMが小さくなるほどその傾向が強くなり、Fig.2(c)の $GM=0.5$ では遠景の奥行きが全く無くなる。

$M>1$ でも同様であるが、近景では逆箱庭効果で辛うじて奥行きが認められる。結局、Mの値にかかわらず、 $GM<1$ の場合に書き割り効果が発生すると言える。その影響具合は(11)式の分数項で表示される。

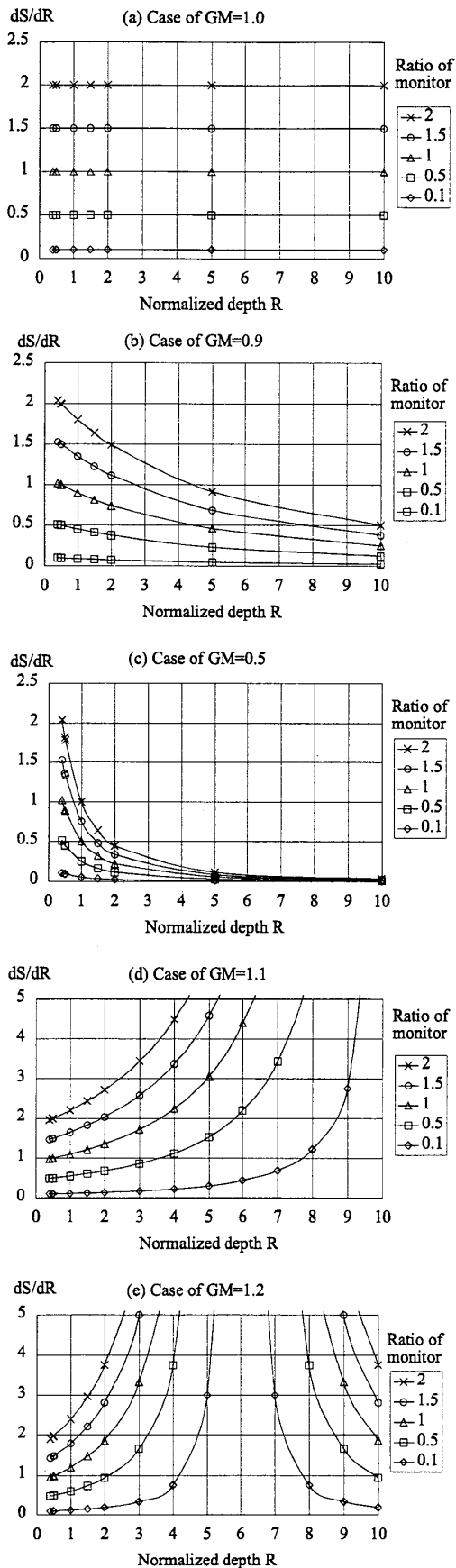


Fig.2 Differential of recognized depth.

Fig2(d)の $GM=1.1$ の場合は, R の大きい遠景で奥行き縮小が抑制傾向にある. $GM>1$ にすることで箱庭効果や書き割り効果が防止できそうだが, Fig2(e)の $GM=1.2$ になると $R=6$ で dS/dR が発散し, 視認距離 S が一挙に無限大まで遠ざかる. それ以上の遠景は視差が大きくて立体視困難になる. GM が大きくなるほど dS/dR の発散距離 R が小さくなり 1 に接近して, 映像全体の奥行き観察が難しくなる.

以上から, 書き割り効果の防止条件は $GM=1$ となる. 画面への表示視差係数は $j=1/R$ となる. 実用上は, モニタ比 M の減少に反比例してカメラ比 G を増やせば, 書き割り効果が防げる. 表示視差の目安は, $R=2/3$ で $p_1=e/2$, $R=1$ で $p_1=0$, $R=2$ で $p_1=e/2$, $R=4$ で $p_1=3e/4$ となる.

4. 箱庭効果の是正

箱庭効果は(11)式の M 項に依存するので, レンズ等の光学系による $1/M$ 逆補正で適切に是正可能である. ただし, 拡大虚像の横倍率 (像倍率) はレンズの焦点距離と設置位置が関係しており, 組合せて選定する必要がある.

ところで Kutka は, Fig1 における画面 $D_1D'_1$ の視差 p_1 を, 画面 $D_2D'_2$ の視差 p_2 に拡大する方法を提案している.

$$p_2 = (1-m_1/r_{0y})e = (1-M/R)e = ie \quad (12)$$

と表せる(i : 是正後視差係数)ので, 視差係数の補正量 h は

$$h = i - j = (1-M/R) - (1-1/R)GM \quad (13)$$

となる. Kutka の検討は $G=1$ に限られているので(13)式は $h=1-M$ (一定)となるが, 書き割り防止条件 $GM=1$ 下では

$$h = i - j = (1-M)/R \quad (14)$$

となり R に依存する. つまり遠景では補正は少なく, $R=1$ 付近の近景において画面が縮小するほど補正が大となる. 許容視差量には個人差があるが, 視差が拡大すると調節と輻輳の乖離が大きくなり, Kutka の解決方法はあまり推奨できない.

5. あとがき

箱庭効果の是正条件 $1/M$ と書き割り効果防止条件 $GM=1$ を幾何学的解析により明らかにした. 従来無歪み条件と言われるケース[9]は, 今回の解析方法によれば $M=1, G=1$ なので $k=1, j=i=1-1/R, h=0, S=R$ となり自明な結果が得られる. 今後, 台形歪み(keystone distortion) [12]や前後方向移動などを含めた統一的な立体映像の歪み解析に発展させたい.

参考文献

- [1] 原島(監): "3次元画像と人間の科学", オーム社, (2000).
- [2] 泉(監): "3次元映像の基礎", オーム社, (1995).
- [3] R. Spottiswoode, N. L. Spottiswoode and C. Smith: SMPTE J., **59**, 249-286(1952).
- [4] D. L. MacADAM: SMPTE J., **62**, 271-289(1954).
- [5] S. Herman: SMPTE J., **80**, 539-544(1971).
- [6] 安達, 大和, 宮原: 信学技報, **IE83(73)**, 49-54(1983).
- [7] 安達, 宮原, 大和: テレビ学技報, **8(40)**, 33-40(1983).
- [8] 繁樹, 新館, 佐藤: 信学技報, **98(47)**, 153-160(1998).
- [9] 山之上, 岡野, 奥井, 湯山: 映像情報メディア学会誌, **54(1)**, 101-110(2000).
- [10] R. Kutka: IEEE Trans. Communications, **42(1)**, 29-33(1994).
- [11] 小松, S. Pastoor: テレビ技報, **17(3)**, 39-46(1993).
- [12] A. Woods, T. Docherty and R. Koch: Proc. SPIE, **1915**, 36-48(1993).