

# 霧中における電光文字のCG化と可読性の解析

交通システム研究領域

青木義郎 豊福芳典 塚田由紀

## 1. はじめに

増大する航空交通需要に対応するため、低視程時において安全かつ効率的な運航を実現するA-SMG-Cシステムの導入が望まれている。そのための誘導システムとして、空港の運用状況に合わせた情報を提供する必要があり、現在の内照式の誘導案内灯によって可変型の電光文字表示板により情報提供する必要が高まってきている。

しかしながら、この群灯火で形成される電光文字表示板は、霧などの低視程時により見え方が悪化するが、その視認性・可読性について十分な解析はなされていない。一般的には点光源の視認性の解析方法として光減衰の影響を考慮したallardの式が用いられ、反射型指標の視認性の解析方法としては光散乱を考慮したKoschmiederの式が良く用いられる。今回のような点光源と面光源の特徴を合わせもつ複合光源については光の散乱及び減衰の影響を考慮した解析が必要である。

筆者らは、以前にMie理論によって求められる散乱特性に基づき、散乱光の解析及びCG化を行う数値シミュレーションプログラムを開発した。

本研究では数値解析により、散乱を考慮した電光文字の輝度分布が霧の濃度や文字パターンによりどの様に変化するのかを明らかにし、そのCG化を行った。そして、それにより視認性・可読性について評価を行ったのでその結果について報告する。

## 2. 解析方法

大気中での光散乱を解析および可視化する数値シミュレーション手法を以下に示す。

### 2.1. Mie 散乱方程式

Mie 理論によると、球粒子に平面波の光が入射する時の散乱強度分布  $I(\theta, \phi)$  及び散乱効率  $K(\theta, \phi)$  (散乱断面積 / 幾何断面積) は、散乱角  $\theta$  (入射と散乱の相

対角) 屈折率  $m$ 、サイズパラメータ  $x = 2\pi r / \lambda$  ( $r$  は粒径、 $\lambda$  は光波長) の関数となる。

$$I(\theta, \phi) = \frac{1}{4} \{ i_1 + i_2 \} / 8 \quad (1)$$

$$K(\theta, \phi) = \frac{2}{\pi} \sum_{v=1}^{\infty} (2v+1) (|a_v|^2 + |b_v|^2) \quad (2)$$

### 2.2. 散乱光空間分布解析

Mie 理論により求められる微粒子 1 個当りの散乱特性 (散乱効率や散乱強度角度分布) に基づき、モンテカルロ法により空間に微粒子が複数個存在するときの散乱光の空間分布特性を求めることができる。その基本フローチャート<sup>1)</sup>を図1に示す。この光散乱解析手法により、大気中光散乱の解析及びその可視化を行う。なお、最大散乱次数は60とした。

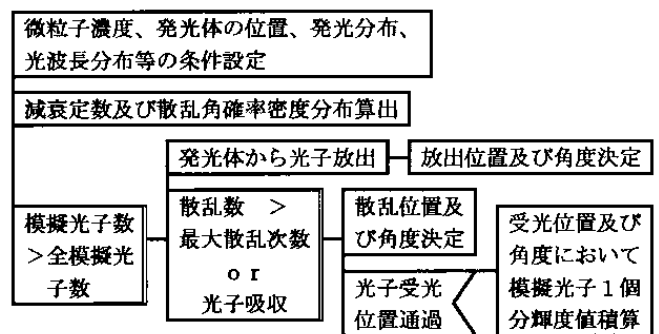


図1 光散乱解析手法

### 2.3. 解析条件

解析に用いた計算パラメータ (視標、大気条件等) 表1に示す。電光表示板を形成する電光ランプの配光は図2の通りである。

なお、過去の調査結果に基づき各平均粒径  $r$  における粒径分布の関数を次のように仮定する。

(1) 粒径分布平均値が  $1 \mu\text{m}$  以下の時:

Young 分布関数<sup>2)3)</sup>

$$n_a(r) \sim r^{-4} (r_1 - r - r_2; r_1 = r_2/100) \quad (3)$$

この時  $r = r_1 \times 1.5$  となる。

(2) 粒径分布平均値が 1 ~ 100  $\mu\text{m}$  の時 :

Deirmenjian 分布関数<sup>2)3)</sup>

$$n_a(r) \sim ((r/q)e^{1-r/q})^b \quad (b = 6.0) \quad (4)$$

この時  $r = q \times 1.167$  となる。

表 1 計算パラメータ

大気微粒子平均粒径	0.3 ~ 30 $\mu\text{m}$
光学深さ	0 ~ 16
視標パターン	64 × 64 ドットマトリクス、 A, B 電光文字
指標サイズ	2.5 ~ 10 度

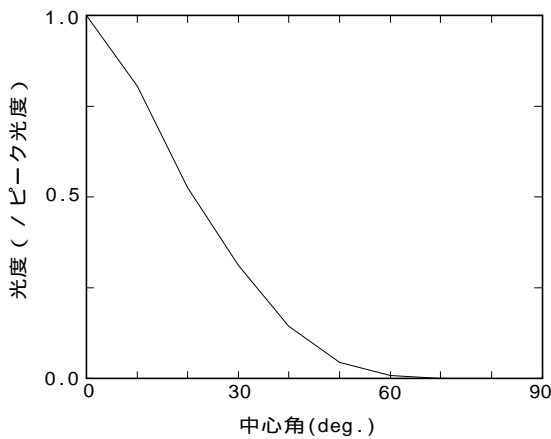


図 2 電光ランプの配光

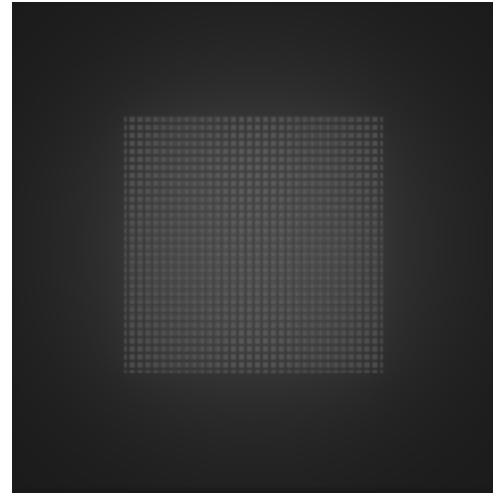
### 3. 解析結果

#### 3.1. マトリクス電光表示板の CG 解析

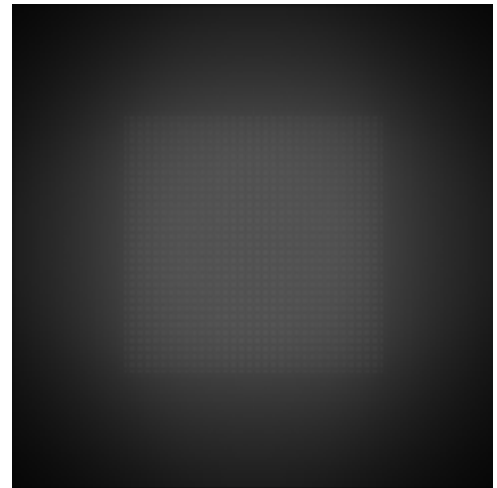
低視程時におけるマトリクス電光表示板の見かけ上の輝度分布を図 1 の手法に基づき解析を行った。その CG 画像を図 3 に示す。なお解析は、64 × 64 の電光ランプ全点灯の条件で行っている。外光の影響は無いものとした。

マトリクス電光表示板の見え方には、視標と観測位置との間の光学深さ (減衰定数 × 観測距離。大気混濁度を示す数値であり、この値が 2.996 の時、対象物の視認限界値として視距離が求められる。) だけでなく粒径分布も影響を及ぼす。これは図 4 に示される

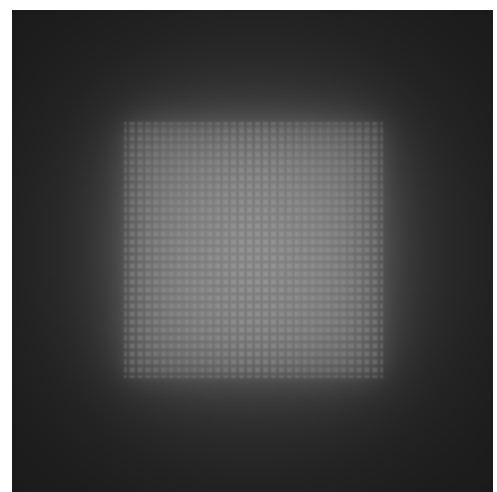
ように粒径により前方散乱光成分が変化するため、粒径が大きくなるほどその散乱成分は増え、前方からの視認性にも影響もする。



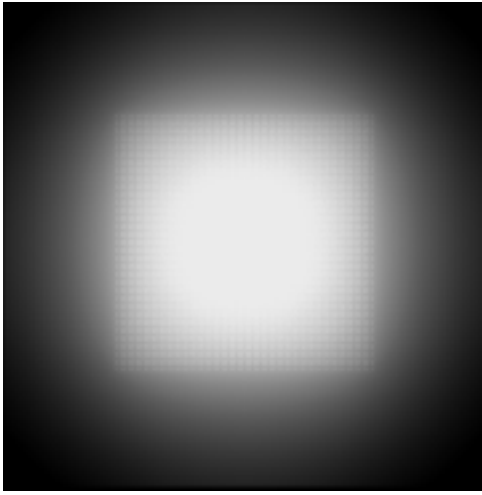
(a) 光学深さ : 3、平均粒径 : 0.3  $\mu\text{m}$



(b) 光学深さ : 8、平均粒径 : 0.3  $\mu\text{m}$



(c) 光学深さ : 3、平均粒径 : 3  $\mu\text{m}$



(d) 光学深さ：8、平均粒径：3 μm

図3 光散乱を考慮したマトリクス電光表示板のCG画像

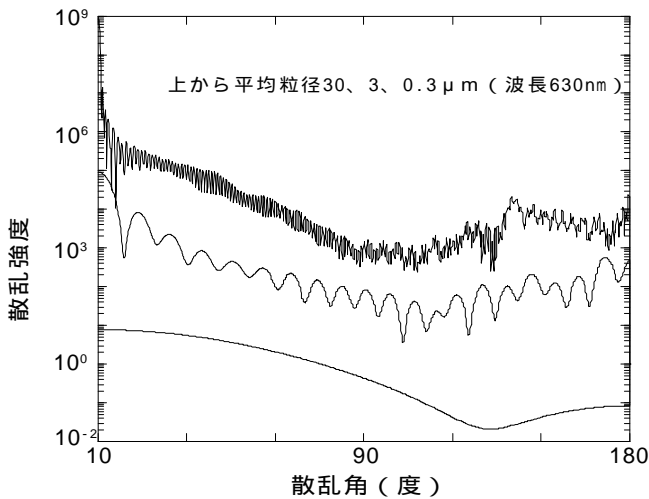


図4 散乱強度角度分布特性

### 3.2. マトリクス電光表示板の視認性

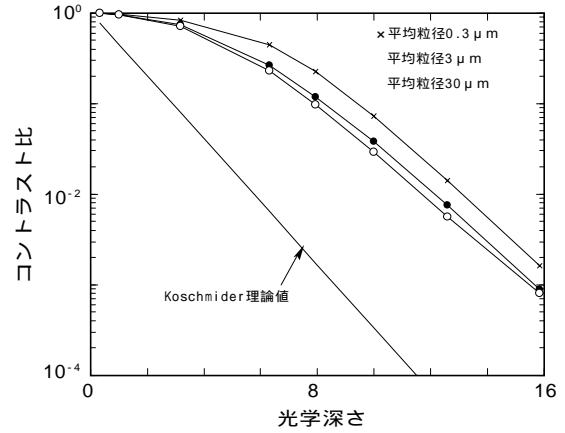
マトリクス電光表示板の視認性を評価するため、電光表示板の点灯部分における平均輝度とその背景部分における平均輝度のコントラスト比の算出を行った。その結果を図5に示す。なお、背景部分における平均輝度は散乱光による付加輝度であり、その範囲は指標中心から左右上下10度の範囲とした。

図に示されるように、大気混濁による視標とその背景とのコントラスト比の低下は Koschmieder 式、

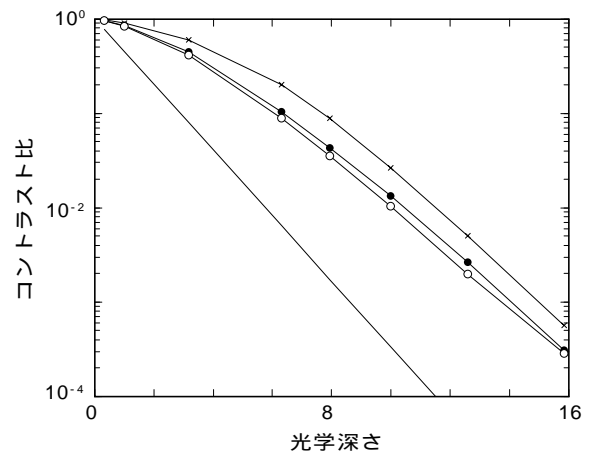
$$C_t = e^{-b \times t} \quad (5)$$

$C_t$  : 混濁大気中でのコントラスト  $t$  : 光学深さ  
 による結果よりもその割合は小さく、発光強度が十分に高く外光の影響がない条件では Koschmieder 式により求められる視認限界よりも3倍程度の視距離が

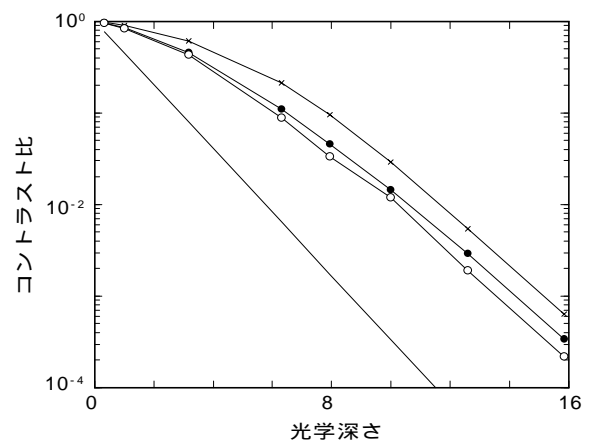
得られる可能性がある。また粒径が大きくなるほど散乱光の影響が大きく、コントラスト低下の割合も大きくなること示されている。視標サイズについては発光ランプ密度の向上もあり、小さい方が相対的に散乱光の影響が少なくなることが示されている。



(a) 視標サイズ 2.5 度



(b) 視標サイズ 5 度



(c) 視標サイズ 10 度

図5 発光部とその周辺部とのコントラスト比 (視標とその背景)

### 3.3. 電光文字のCG解析と可読性

数値解析により求められた電光文字のCG画像を図6に示す。なお文字パターンはA, Bの2種類で、文字部分を点灯させるケースとその背景部分を点灯させるケースの2種類について解析を行った。

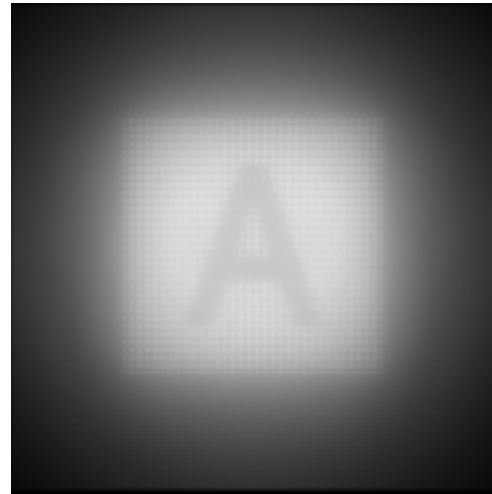
図に示されるように大気混濁だけでなく点灯パターンによっても、散乱光が見え方に及ぼす影響は変化する。点灯部分の面積の大きい背景点灯のケースの方が同じ大気混濁度(光学深さ)であっても散乱光の影響は強く、文字と背景とのコントラストに影響する割合が大きい。



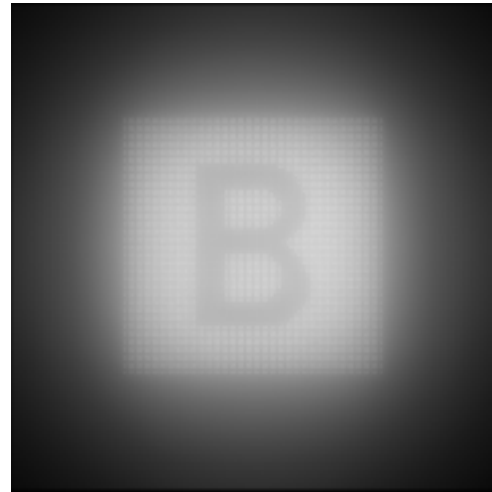
(a) 光学深さ3, 平均粒径3 μm  
文字パターンA (文字点灯)



(b) 光学深さ8, 平均粒径3 μm  
文字パターンA (文字点灯)



(c) 光学深さ8, 平均粒径3 μm  
文字パターンA (文字消灯)



(d) 光学深さ8, 平均粒径3 μm  
文字パターンB (文字消灯)

**図6 光散乱を考慮した電光文字のCG画像**

これらのCG画像(図6)などに基づき、文字情報の可読性を評価するため、文字の明暗部分の平均輝度をCG画像により算出し、そのコントラスト比を求めるものとした。その結果を図7に示す。なお、視標の大きさは10度として文字の明部部分の輝度比を計算したものである。

背景点灯のケースの方が大気混濁によるコントラストの低下の割合が大きくなることが示されている。また、明暗部分のコントラストが視認限界値0.05に達する光学深さはKoschmieder式により求められるものよりも3倍程度となり、十分な輝度と外光の影響がなければ視程の3倍程度の視距離が得られる可能性がある。

#### 4. まとめ

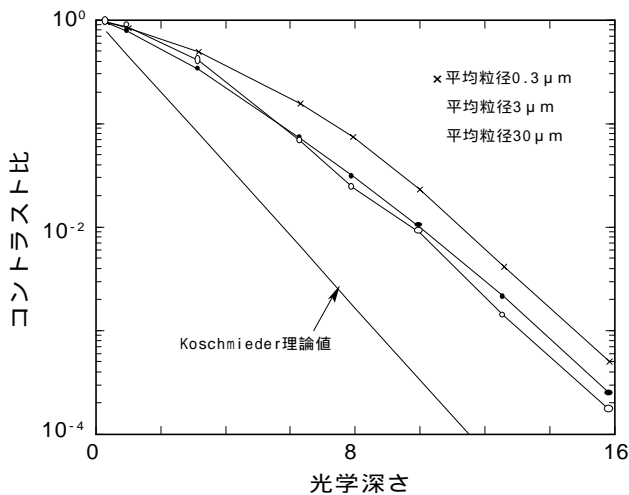
電光文字の輝度分布が霧の濃度や文字パターンによりどのように変化するかを解析し、そのCG化を行った。そして、それにより視認性・可読性について評価を行った。その結果を以下に示す。

- (1) マトリクス電光表示板の視認性やその電光文字の可読性には大気中の混濁度だけでなく粒径分布が影響し、粒径が大きくなるほど視認距離を低下させる要因になりやすい。
- (2) 文字の発光パターンにより散乱光による明暗コントラストも変化し、発光部分の面積が大きいほど可読性を低下させる要因になりうる。
- (3) 発光強度が十分に高く外光の影響がない条件下は、Koschmieder式により求められる視認限界よりも3倍程度の視距離が得られる可能性がある。

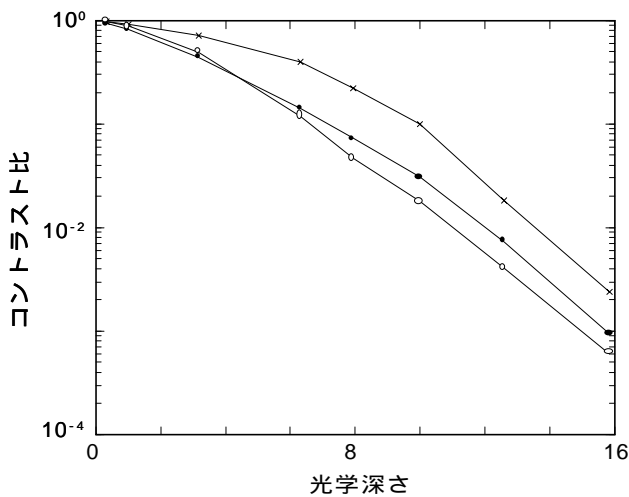
今回は明暗部分の平均輝度から評価を行ったが、今後はCG解析や観測実験によりハレーションによる像のぼやけも考慮できる解析方法を検討し、各種条件下での電光文字の視認性を調べていく。

#### <参考文献>

- (1) 青木義郎ほか：大気中の微粒子による散乱光を考慮したコンピュータグラフィックス（その1）  
照明学会誌 79-2（1996）pp.28-35
- (2) Deirmendjian, D. : Scattering and Polarization Properties Water Clouds Hazes in the Visible and Infrared, Applied Optics 3-2（1964）pp.187-196
- (3) Harrison, H., Herbert, J. and Waggoner, P. : Mie-Theory Computations of Lidar and Nephelometric Scattering Parameters for Power Law Aerosols, Applied Optics 11-12（1972）pp.2880-2885
- (4) Bauer, E. : The Scattering of Infrared Radiation from Clouds, Applied Optics 3-2(1964)pp.197-202



(a) A文字消灯、背景点灯



(b) A文字点灯、背景消灯

図7 発光部とその周辺部とのコントラスト比  
(文字部分の明暗比)