

低視程用視環境シミュレータの開発

交通システム研究領域

青木義郎

1. はじめに

航空機事故の多くは霧などの低視程時に発生している。またヘリコプター等の運航(図1)では架空線などの航空障害物件による衝突事故も多く発生しており視界の悪い状況でのこれらの見え方について検討していく必要がある。

我が国においては、高光度航空障害灯が設置されない場合、幅の細い視認しづらい地上高60m以上の物件については、安全色である黄赤と白の交互塗色による昼間障害標識の設置が原則義務づけられている。しかし景観との調和からこの塗色が好まれない場合もあり、ウィンドタービンなどについては白一色などの提案も諸外国でなされている。こうした航空障害物件の見え方を評価する場合、四季による景観の変化が大きい我が国においてはその背景色の変化も考慮する必要がある。

筆者らは低視程時での灯火の見え方を解析できる数値シミュレーション¹⁾の開発を行ってきた。この研究では、そのシミュレーションを反射体について活用し、背景色の変化も考慮できる低視程用視環境シミュレータの開発を行った。それにより航空障害物件の見え方について評価解析を行ったので、その結果について報告する。

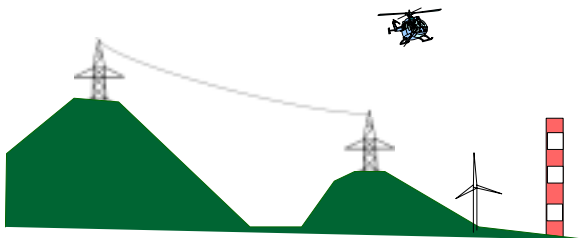


図1 航空障害物件に接近するヘリコプター

2. 解析方法

大気中微粒子の光散乱により黄赤 - 白の交互塗色である昼間障害標識と背景との輝度及び色度のコントラストは変化し、それにより見え方も変化する。

本研究では大気中での光散乱を考慮した昼間障害標識の各色の見え方を数値シミュレーションにより解析する。またその可視化を行う。

その数値解析手法を以下に示す。

2.1. 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、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モンテカルロ法により求めることができる。その基本フローチャート¹⁾を図2に示す。この光散乱解析手法により、昼間障害標識の輝度および色度が光散乱によりどの様に変化するのかを解析し可視化を行う。なお、大気中微粒子による最大散乱次数は とする。

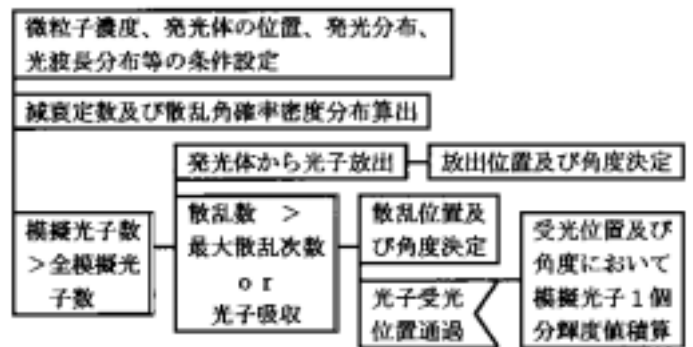


図2 光散乱解析手法

2.2. 設定条件

数値解析において設定を行う航空障害物件の背景色(地表面の色)は、過去の調査データ²⁾⁻⁴⁾に基づき以下の色度を用いる。なおこれらの値は平均値であり、この解析では単色として用いる。

- ・ 緑地²⁾ : 2.5GY 4 / 3
- ・ 土地²⁾ : 10YR 5 / 3
- ・ 紅葉⁴⁾ : 5.0R 2.9 / 4.9
- ・ 曇天(雪面)³⁾ : (x, y) = (0.320, 0.340)

これらの色度値は図3に示されるような色となる。

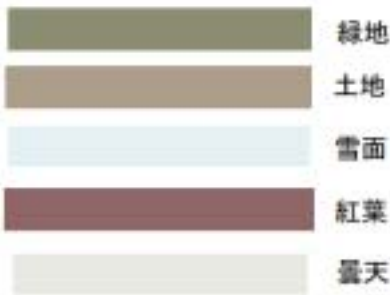


図3 背景色

障害物件に塗色される昼間障害標識の色としては安全色として一般に用いられる

黄赤³⁾ : (x, y) = (0.581, 0.365) Y = 23.8

白 : 無彩色、反射率 80%

を用いるものとする。

なお、設定する混濁大気中での平均粒子半径は 0.3 μm または 3 μm とし、その粒径分布は過去の調査結果に基づきの次のように設定する。

(1) 平均粒子半径 0.3 μm 以下の時 :

Young 分布関数⁵⁾⁶⁾

$$n_a(r) \sim r^{-4} (r_1 - r \quad r_2 : r_1 = r_2 / 100) \quad (1)$$

(2) 3 μm 時 : Deirmenjian 分布関数⁵⁾⁶⁾

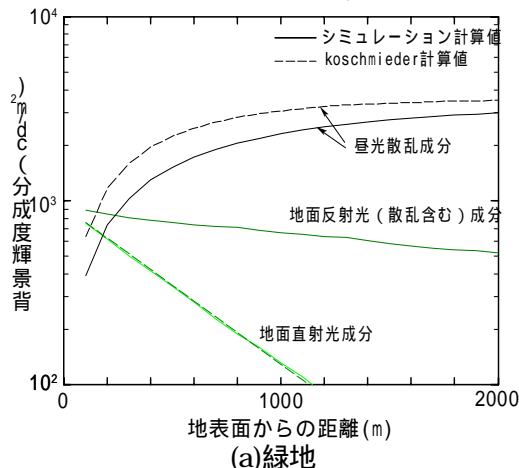
$$n_a(r) \sim ((r/q) e^{1-r/q})^b (b = 6.0) \quad (2)$$

3. 解析結果

3.1 地表面と障害標識のコントラスト変化

図2の解析手法により求められた地表面の見かけ上の輝度変化を図4に示す。なお、地面からの距離は斜め3度上方から地表面を見下ろした場合の観測距離を表示しており、視程は1500mとして大気の混濁度を設定する。クリア時の昼光照度は25,000lxである。

図中のKoschmieder計算値は、(1)式により求められた見かけ上の輝度の近似値である。



(a)緑地

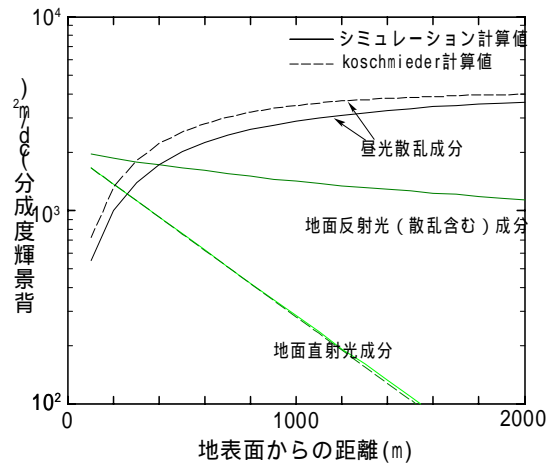
$$L_r = L_0 e^{-R} + L_h (1 - e^{-R}) \quad (3)$$

地面直射光成分 昼光散乱光成分

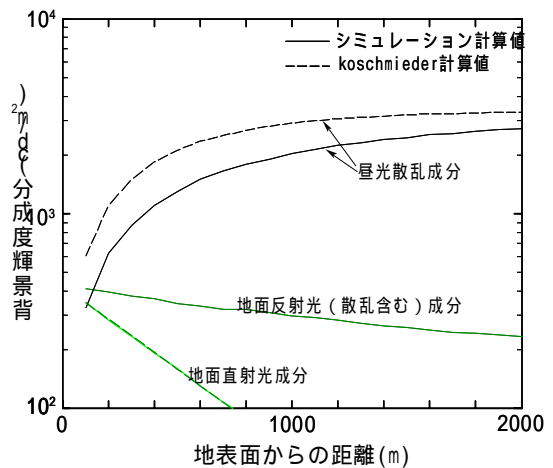
ただし、: 減衰定数 R: 観測距離

L_0 : クリア時の目標物輝度

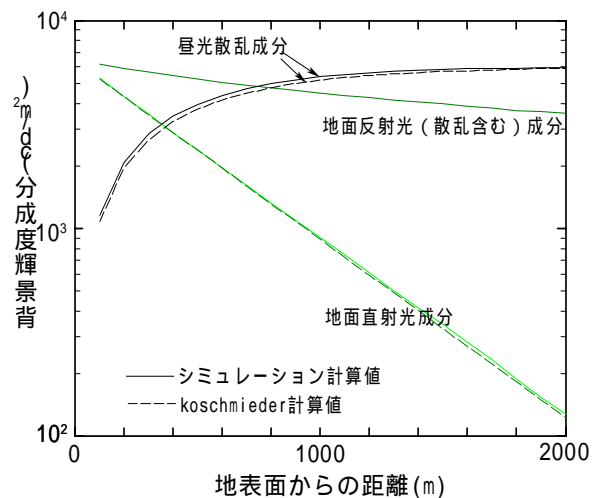
L_h : 観測方向の水平線上の天空輝度



(b)土地



(c)紅葉



(d)雪面

図4 見かけ上の地表面輝度の変化

地面直射光成分はシミュレーション計算値とKoschmieder計算値が一致する。散乱光成分については、シミュレーション計算値はKoschmieder計算値と比べて、背景輝度が雪面の場合を除いて低めの値になることが図4に示されている。

見かけ上の背景色は、地面反射光からの散乱光成分も背景の元の色として上乘せされる。そのため、見かけ上の背景色の解析には、(1)式に示される地面直射光成分と昼光散乱光成分の混色ではなく、図4の昼光散乱光成分と地面反射光(散乱含む)成分との混色によって求める必要がある。

図4の地表面の見かけ上輝度計算結果に基づき、地表面上部に昼間障害標識(黄赤または白)がある場合の視認限界距離を求める。その結果を図5に示す。比較対象となる視程 V_5 の値は、観測間の透過率が0.05(識別限界値)となる距離を求めたものである。また昼間障害標識は垂直面を想定し、混濁大気中での地表面近くの鉛直面照度により見かけ上の輝度を求め、地表面輝度との対比をとる。

各背景色により黄赤色と白色では視認距離が変化し、それぞれ単独では視認距離が著しく低下する可能性があることが図に示されている。すなわち、黄赤・白の両色の利用により昼間障害標識の視認距離は視程 V_5 に近づけることが可能となる。また大気中微粒子の粒径分布は発光体の場合⁷⁾と異なり、反射体である標識の視認性にほとんど影響しないことが図5に示されている。

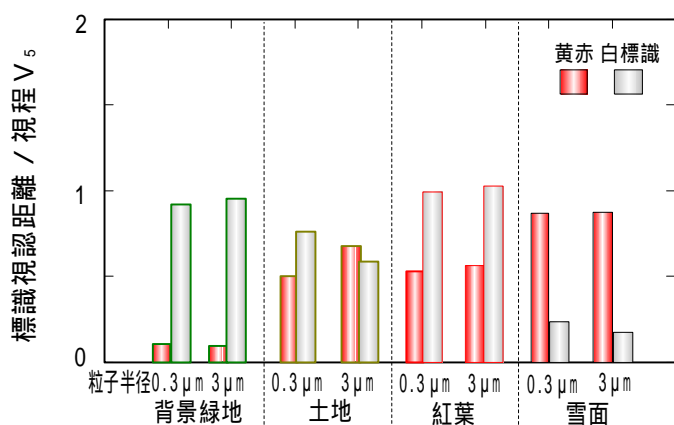


図5 大気中光散乱を考慮した標識各色の視認距離

3.2 色度変化

大気中での光散乱により各背景色の見かけ上の色度がどのように変化するか解析した結果を図6に示す。平均粒子半径は $3\mu\text{m}$ 、視程は1500mである。

見かけ上の地表面の色度は遠方から見るほど昼光散乱の影響により彩度が低下し白色に近づいていくことが示されている。なお、これらの色度変化は(1)のKoschmieder式に基づいて求めた値よりは色度の変化が緩やかになる。

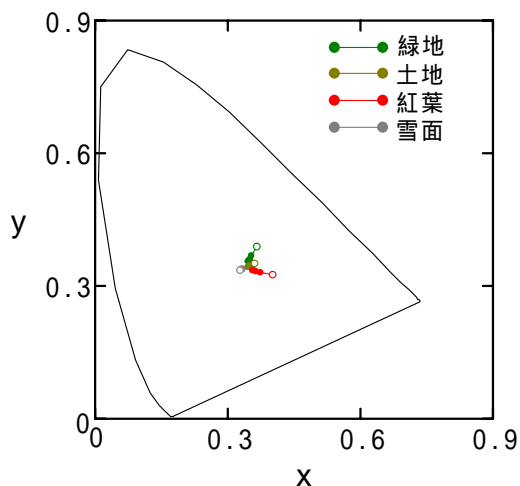


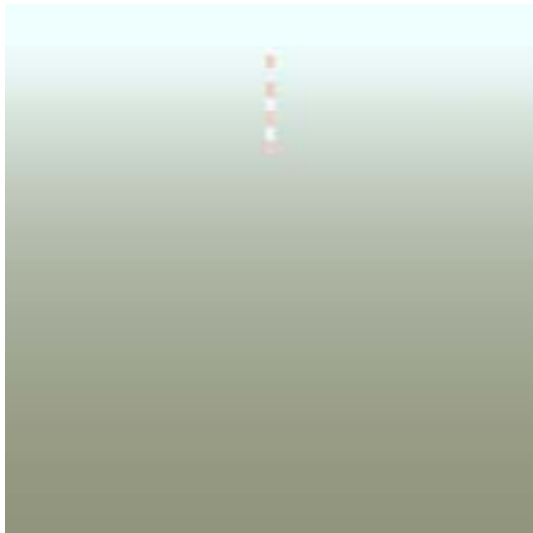
図6 昼光散乱による色度変化

注)白抜きの点が元の背景の色。観測距離が500m離れるごとにプロット

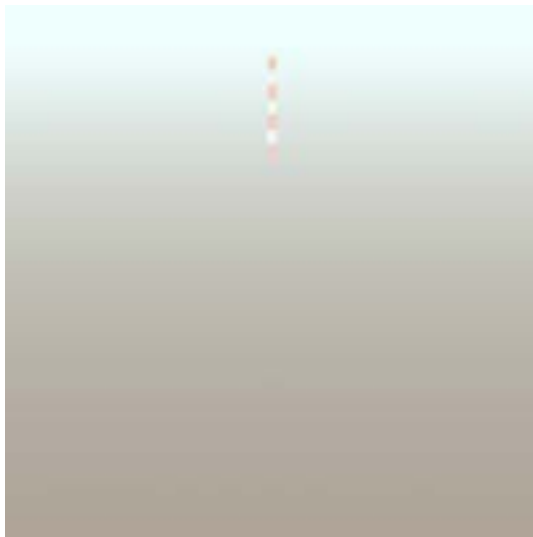
3.3 光散乱を考慮したCG解析

各背景色における昼間障害標識のCG画像を図7に示す。視程は3,333m、クリア時の昼光照度は $25,000lx$ である。観測高は地上150m、障害標識物件までの観測距離は500mとする。障害物件は、高さ100m、幅10mの塔状構造物である。混濁粒子の平均粒子半径は $3\mu\text{m}$ とする。地表面は平坦として表示しており画角は20度(上下-20~0度、左右-10~10度)に設定している。

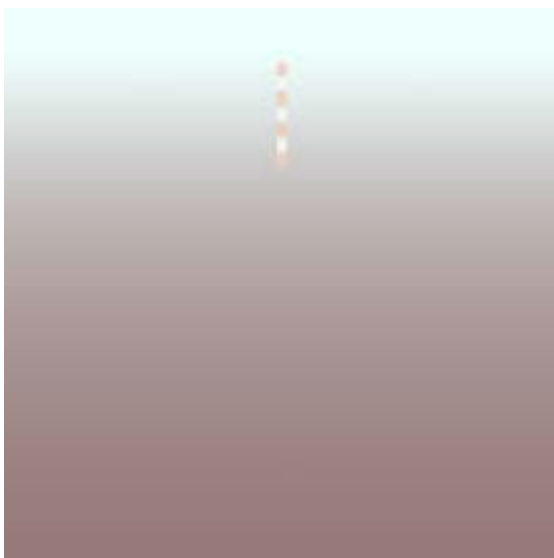
図に示されるように、上空から塔上構造物を見た場合、その背景の観測距離は構造物よりも遠方になるため、その大気中光散乱による霞み効果も構造物上部に比べて強まる。このため背景色が紅葉のような場合でも上部の黄赤色は背景に対して目立ちやすくなることが示されている。この効果により構造物上部の黄赤塗色部の視認距離は、図5で求められた値よりも相対的に伸びるものと思われる。



(a)緑地



(b)土地



(c)紅葉



(d)雪面

図7 各背景色における昼間障害標識CG画像

4. むすび

本研究では、数値シミュレーションにより昼間障害標識とその背景の見え方を可視化しその評価を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 背景輝度の散乱光成分については、シミュレーション計算値はKoschmieder計算値と比べて、雪面の場合を除いて低めの値になる。
- (2) 各背景色により黄赤色と白色では視認距離が変化し単独では視認距離が著しく低下する場合がある。両色の利用により昼間障害標識の視認距離は視程 V_5 に近づけることが可能となる。
- (3) 上空から塔上構造物を見た場合、霞み効果により黄赤色は白色よりも目立ちやすくなる。

今後もこのシミュレータなどを利用しウィンドタービンなどの航空障害物件についての見え方の解析を行い適切な視環境について検討を行う。

<参考文献>

- (1)青木義郎ほか：照明学会誌 79-2 (1996) pp.28-35
- (2)航空障害標識灯及び昼光障害標識の見え方に関する調査、平成13年報告書,p23
- (3)テレビのための色彩の基礎 NHK演出研究選書
- (4)COLOR (日本色彩研究所) No.78
- (5) Deirmendjian,D. : Applied Optics 3-2 (1964) pp.187-196
- (6)Harrison,H., Herbert,J. and Waggoner,P. : Applied Optics 11-12 (1972) pp.2880-2885
- (7)青木義郎：交通研研究発表会(2004)pp165-168