

大気中の微粒子の影響を考慮した
光跡表示法

4Q-11

西田友是 (福山大学工学部) 名原健治 (松下電器) 中前栄八郎 (広島大学工学部)

1. はじめに コンピュータグラフィックスの分野において、光の反射、透過、屈折の表現法の研究が盛んに行われるようになった。これまでは、金属やガラス等の物体に対する反射・透過光の表現法が主に開発されてきた。本稿では空気中の微粒子による光の散乱・吸収を考慮した表現法について提案する。光の照射空間は、大気中の粒子によって明るく照らされる。この効果を表現することにより、照明効果の予測や自然光下での事物の可視性および見え方の予測が可能になる。すなわち、1)霧のある夜での自動車のヘッドライト、街灯、投光器等による光跡を含めた照明効果(走行シミュレーションにも適用可)、2)スタジオ、舞台照明におけるスポットライトの光跡効果、3)窓からの侵入光の光跡、4)霧あるいは霞中での信号や標識の見え方、等の表現が可能になる。

2. 基本的な考え方と仮定 ライトによって照射された空間は、大気中の粒子による光の散乱により明るくなる。一方、光は観察者に到達するまでに大気中の粒子による吸収により減衰する。これらの現象を次のようにモデル化する。前者は粒子を無数の点光源と仮定する。後者は、大気を半透明と考え、光の吸収効果を考慮する。以下に点光源で粒子の濃度が一樣な場合について説明する。図1に示すように、 $P_i P_v$ (以下視線とよぶ)上の光が視点 P_v に到達した光の強度 I は、物体上のある点 P_i の光の強さ I_i が $P_i P_v$ に沿って距離 L だけ進む間に減衰した光の成分と、 $P_i P_v$ 間に存在する粒子(例えば点 P)に光源 Q による光が当って生じた発散光が減衰して P_v に到達する光の成分からなる。減衰係数(濃度に比例)を τ とすると I は次式で表される。

$$I = I_i e^{-\tau L} + \int_0^L I_p e^{-\tau s} \tau ds \quad (1)$$

配光特性 $I(\theta, \phi)$ をもつ点光源[1]と一樣な環境光 I_0 を考えると、 I_p は次式で表される。

$$I_p = I(\theta, \phi) \rho e^{-\tau r} F(\gamma) / r^2 + I_0$$

ここで、 $F(\gamma)$ は散乱光の配光を示す角度関数で、粒子の性質や粒径によって異なる。本稿では、霧の場合は $F(\gamma) = (1+k \cos^2(\gamma/2))$ を用いた[2]。 ρ は反射係数である。したがって、 I は次式となる。

$$I = I_i e^{-\tau L} + I_0 (1 - e^{-\tau L}) + \int_0^L \rho I(\theta, \phi) e^{-\tau(r+s)} F(\gamma) / r^2 ds \quad (2)$$

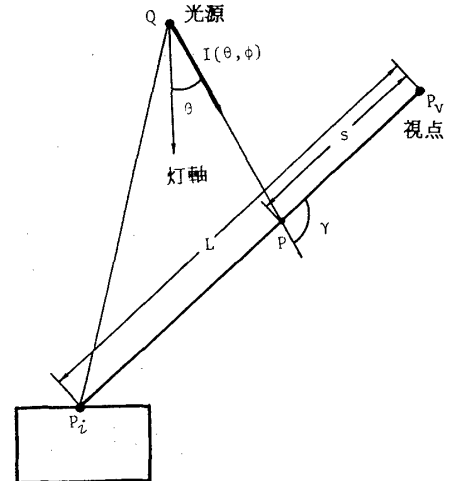


図1 粒子を考慮した輝度計算

なお、検討をするに当って、次の仮定を設けた。1)光源は点光源(配光特性を考慮)

または平行光線とする。2) 粒子からの散乱光は極めて弱いので多重散乱および散乱光による物体への照射光は無視できるものとする。

3. 照射空間および積分区間 式(2)の積分区間をできるだけ小さくするために、光の照射空間を以下のように限定する。点光源の場合、一般に光の配光はレンズや反射笠のため照射方向は限定される。したがって、軸対称の配光の場合は、光源を頂点とし灯軸を回転軸とする円錐、ヘッドライトのように非軸対称のものには楕円錐の光空間を用いる。一方、平行光線の場合には、窓からの侵入光を考え、窓を底面とし光線の方向に掃引した多角柱を用いる。このようにすることによって、式(2)の積分は視線と光空間との交差点のみについて行えばよい。なお、この積分にはシンプソンの公式を用いた。

4. 遮蔽物体の影響 照射空間内に物体が存在する場合、本来の光空間内でも光の当たらない空間が存在する。この空間は、影の領域を求めるために用いられる shadow volume [1]を利用して求め、式(2)の積分区間は次のようにして求める。i) 予め光空間と交差する物体を求めておき、ii) 光空間と視線との交点を求め(交差しない場合は積分不要)、iii) 交差する場合には光空間内のすべての shadow volume との交点を求め、iv) 光の当る区間(図中 s_1s_2, s_3s_4)を求め積分する。この区間は光源から見て可視となる区間であるから、隠線消去法により求めることができる。

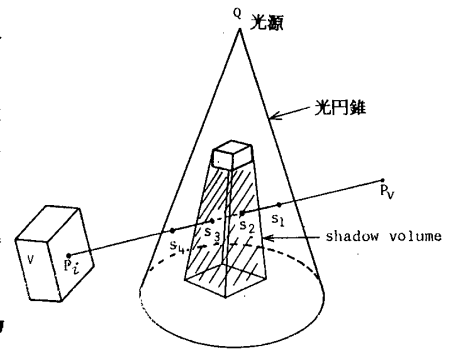


図2 遮蔽物体の影響

5. 粒子の濃度分布 スタジオ照明等では、ドライアイスを発生させスポットライトの効果を高めている。霧や霞においても上層部と下層部では濃度が異なることがある。そこで、図3のように上部と下部の濃度が異なるものについて検討した。上部と下部の減衰係数がそれぞれ τ および τ' とすると、視線 $P_i P_v$ と濃度の境界を示す曲面 g との交点を求め、計算点 P が g より下の場合には、式(2)の被積分項の $\tau \cdot e^{-\tau(r+s)}$ を $\tau' e^{-\tau(r+s) - (\tau' - \tau)(r_1 + s_1)}$ に変更すればよい (r_1, s_1 は図参照)。ここで、 g は平面に高さ関数をバンプマッピングする方法で表現した

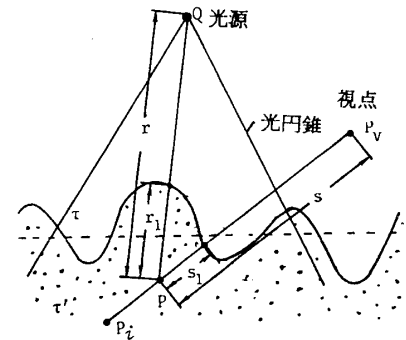


図3 粒子の濃度の影響

6. おわりに 提案手法による計算例を図4、5に示す。図4は夜霧のヘッドライトおよび街灯を示している。図5はスタジオ照明の例で、ドライアイスを考慮している。これらの例でわかるように、大気中の粒子の影響を考慮することにより、かなり現実感のある画像が得られた。



図4 夜霧でのヘッドライトの表示例

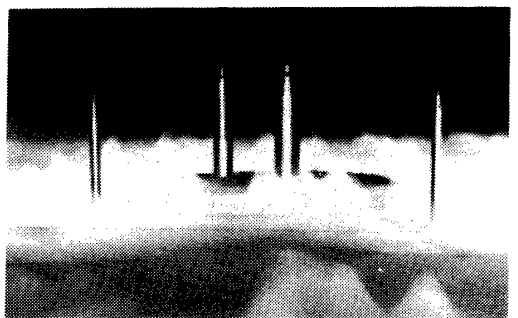


図5 ドライアイスの表示例

[文献] 1) T.Nishita, I.Okamura and E.Nakamae, ACM Trans. on Graphics, Vol.4, No.2, pp.124(1986)
 2) M.G. Gibbons, J. Opt. Soc. of America, Vol.48, No.8, pp.550(1958).