

## 分光と回折光を考慮した双方向視線探索法の一実装\*

4E-01

小林 哲也†

河合 利幸‡

大阪電気通信大学§

## 1 はじめに

近年、コンピュータグラフィックスは、コンピュータの性能向上により、その用途が多様化し、写実性への要求も高まってきている。特に宝石のような透明物体の描画では、物体内部での光の複雑な相互反射や、光がもつ多彩な特徴をも考慮する必要がある [1] [2]。

光がもつ特徴の一つとして、屈折率の異なる媒質の境界を光が通過したとき、色分散が発生する (分光)。これは、光の波長により屈折角がそれぞれ異なるからである。ダイヤモンド等が虹色に輝くのは、この現象によるものである。

また、もう一つの色分散現象として、回折によるものがある。オパールの虹色の輝き方は回折によって生じるものであると言われている [3]。

本研究では、この回折現象に注目し、画像の生成を行う。これには光源からの探索が必要であることから、双方向視線探索法 [1] [4] を用いた。また、例としてオパールを取り上げる。オパール内部における光の振る舞いを厳密に計算するのは困難なため、今回は、単純化したモデルを用いてオパールの表現を行った。

## 2 回折現象

回折は、物体に開けられた隙間 (開口) を光が通るとき、物体の陰に光が回り込む現象である (図 1)。これは、光が波動の性質をもつために生じる。

ここで、回折光を平面 (投影面) で遮ると、投影面に到達する光が回折光のみである場合には、投影面に像が現れる。この像を回折像といい、開口の大きさ、形状により変化する。開口の大きさによっては、干渉縞や分光現象を観察することができる。

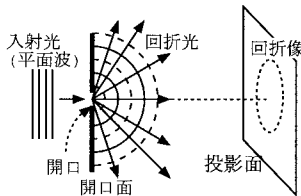


図 1: 回折現象

回折像は、投影面に到達する光波が干渉して生じる。したがって、投影面上での各波長成分の振幅を求めることにより、回折像を生成することができる。

\*An implementation of bidirectional ray tracing taking account of spectrum and diffraction.

†Tetsuya Kobayashi

‡Toshiyuki Kawai

§Osaka Electro-Communication University

投影面上の観測点におけるこの振幅を求める計算式として、フレネル・キルヒホッフ回折積分式がある。しかし、複雑な計算が必要となるため、近似式が導かれている。本研究で用いた、フ라운ホーファ回折式もその一つである。この式は、開口の大きさに比べて、開口から光源、もしくは開口から投影面上の観測点との距離が十分に大きい場合にのみ適用できる。

今回は、開口が等間隔に複数個存在する回折格子を用いる。ただし、開口の形状は長方形のみとする。図 2 のような座標系を用いると、回折格子上的点  $P$  から観測点に届く回折光の振幅  $u(x, y)$  を求めるフ라운ホーファ回折式は、

$$u(x, y) = I_0(\lambda) \left( \frac{\sin \xi}{\xi} \right)^2 \left( \frac{\sin N\eta}{\eta} \right)^2, \quad (1)$$

$$\xi = \frac{1}{2}ka(\sin\theta - \sin\theta_0),$$

$$\eta = \frac{1}{2}kD(\sin\theta - \sin\theta_0),$$

となる。ここで、 $a$  は開口の幅、 $D$  は隣接する開口との間隔、 $N$  は開口の個数を表している。また、 $I_0(\lambda)$  は、開口の個数が 1 つの場合の回折光の振幅を求める関数であり、波長  $\lambda$  を引数にもつ。

式 (1) を使用することにより、光源、視点、開口の位置関係によらず回折光の振幅を計算することができる。

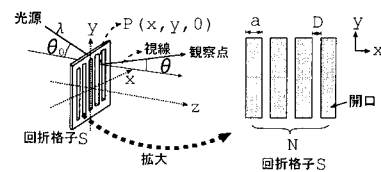


図 2: 回折光の振幅計算のための座標系

## 3 双方向視線探索法の拡張

双方向視線探索法は、光源から光線を出して物体の表面の照度マップ (鏡面拡散反射成分) を作成する光線探索部、視点からスクリーン上の各画素に向かって視線を出してその輝度を計算し、最終的な画像を生成する視線探索部の 2 段階の探索よりなる手法である。視線探索のみでは表現できない、照り返しや集光現象などを表現できる利点をもつ。物体は三角板 (パッチ) で構成し、それをさらに小さな三角板 (エレメント) に分割して照度マップの単位とする。

通常、双方向視線探索法では、分光を扱うことはできない。そこで、光線や視線に波長のデータをも

たせることで、分光分布を表現できるようにした [1]. これにより、波長ごとに計算を行う必要がある回折式の適用が可能となる。

光源の分光分布は、可視波長域において、一定間隔で離散的に標本化することです。分光するまでは 1 本の光 (視) 線に、光源と同じ標本化方法で分光分布のデータ (複数の波長データ) をもたせる。これにより、異なる波長成分の交差判定を 1 回で済ませることができる。分光後の光 (視) 線に対しては、各波長に対応するデータのみをもたせたる。

ただし、使用メモリ量の削減と実装の容易さを考慮して、照度マップの作成と輝度計算は RGB ベースで行っている。

以下に、回折光に関する処理の概要を述べる。

### 3.1 光線探索時の処理

本手法では、回折格子は空洞やくりぬきによるものではなく、回折格子の開口部のパターンをテクスチャで作成し、これを物体に貼り付けることにより、仮想的に表現している。これにより、回折格子との交差判定は、通常の物体との交差判定と同様に扱える。

光源からの光線探索の際、物体との交点が開口部内部であるかどうかを調べる。もし開口部内部であれば、入射光線の強度、交点、入射方向  $\theta_0$  を、その点を含むエレメントに波長成分ごとに保存する。これらのパラメータは入射した光線の最終的な本数で平均化を行い、視線探索部における輝度計算時に用いる。

### 3.2 視線探索時の処理

視線探索時には、回折光による輝度を求める。まず、スクリーン上のある画素  $P_0$  に対して視線を出し、物体との交差判定を行う (図 3)。交差した物体が回折格子の場合、点  $P_0$  を仮想的な観測点と考え、開口からの回折光による輝度への寄与を求める。他の物体と交差した場合は、回折光に関する処理を打ち切る。

点  $P_0$  から可視である回折格子からの回折光の寄与は、次のようにして求める。まず、視線と回折格子の法線とがなす角度  $\theta$  を求める。角度  $\theta$  が求まれば、光線探索時に求めておいた  $\theta_0$ 、別途用意した回折格子の形状を表すパラメータをもとに回折光の強度を式 (1) により求める。

最後に、求めた回折光の波長ごとの強度より、点  $P_0$  での輝度を求める。回折光による寄与分は、直接光による成分の一部として、他の直接光や間接光による寄与分と加算される。

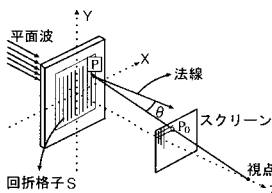


図 3: 点  $P_0$  における回折光の寄与

## 4 画像生成例

光源と視点の間に回折格子を配置し (図 3)、回折格子を通過してきた回折光を直接観察した場合を取り上げ、実際に画像生成を行った。使用した光源は点光

源であり、一様な分光分布をもつ。400nm ~ 700nm までを 5nm 間隔で標本化した。図 4 は、光源から回折格子  $S$  に  $10^\circ$  の角度で入射した場合の生成画像である。

次に、単純なモデルによるオパール映像化を試みた。オパールはシリカ球が層状に配置されており、球間には隙間が存在する [3]。この構造が規則正しければ、オパールは虹色に輝き、不規則であれば、オパールは濁った色となる。そこで今回は、規則正しい構造のオパールを取り上げる。

球間の隙間が可視波長域付近になると、回折をおこす開口となる。配置が規則正しい場合、開口とみなせる隙間は等間隔に配置されていることになる。すなわち、オパールの表面は回折格子で構成されていると仮定できる。

まず、オパールの形状を三角板近似で作成する。各三角板に回折格子のパターンを向きが一定になるように貼り付ける (図 4)。図 4 は、このモデルにより生成された画像である。オパールの表面が虹色に輝いている様子を表現できた。

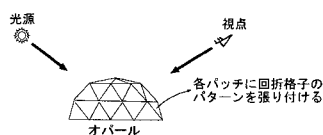


図 4: オパールのモデル

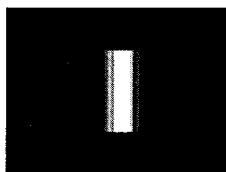


図 5: 回折格子による回折光

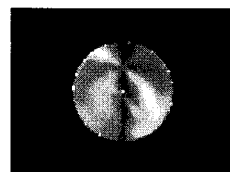


図 6: オパールの生成画像例

## 5 おわりに

本手法により、光源、視点、開口の位置関係によらず回折光を表現することが可能となった。また、単純なモデルながら、回折によるオパールの虹色の遊色を表現することができた。しかし、まだ不十分な点が多い。今後は、より精密なモデル構築に取り組む必要がある。

## 参考文献

- [1] 大塚, 河合, “双方向視線探索法による透明物体の表現”, 情報処理学会第 56 回全国大会論文集, Vol.4, 2T-6, pp.174, 1998.
- [2] 伊藤, 牧野, 齋藤, 大石, “コンピュータグラフィックスにおける分光モデルに関する検討”, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J75-D-II, No.11, pp.1986-1989, 1992.
- [3] 秋月, “虹の結晶”, 裳華房, 1995.
- [4] J.Arvo, D.Kirk, “Backward ray tracing”, SIG-GRAPH'86 course notes, 1986.