

# イメージベースドレンダリングにおける虹の表現

菊池愛美 伊藤貴之  
お茶の水女子大学 理学部情報科学科

## 1. 概要

映画やドラマ等の映像で自然現象の表現にCGを用いることがある。その中でもよく用いられるのは、発生条件が厳しい現象、例えば虹である。CGを用いて自然現象を表現する手法は、ハードウェアの発達により高度な計算技術の適用が可能になり、より写実的な表現を様々な手法で実現できるようになってきた。しかし、CGによって表現された自然現象を撮影映像に合成する技術に関しては、まだ議論の余地があると考えられる。

そこで本研究では、実写画像にCGで生成した虹をリアルに合成する表現手法を提案する。本手法では、実写画像に撮影された各物体の奥行きを仮想することで三次元仮想空間を構築する。虹は空気中の水滴内部での光の反射によって起こる現象である。本手法では、実写画像の背景物体よりも前方にある水滴内部で視点に向かって反射する総量を、視点から背景物体までの線積分によって算出する。さらに、その反射光が目が届くまでに空気中で散乱してしまう量を、視点から水滴までの線積分によって算出する。これにより、状況に応じて違った見え方をする虹を表現できると考えられる。例えば雨上がりの虹と噴水の周りに見える虹の違い、近くの建築物にかかる虹と空にかかる虹の違い、などを表現できる。

本手法において実写画像と虹を合成する考え方は、虹に留まらず空気中の浮遊物がもたらす気象現象全般の表現に応用できると考えられる。

## 2. 関連研究

虹は、大気中の水滴内部で反射した光が、波長による屈折率の違いによって分光して目に見える現象である。これをCGで表現した初期の研究に、伊藤ら[1]による研究がある。また最近では芳信ら[2]による研究がある。これは、波動工学を使うことで水滴の半径の変化を可能にしている。文献[2]と違い、本研究は波動工学を考慮せず、かわりに天空以外の物体にかかった虹を表現することを考慮する。

また、虹以外の天空気象現象のCG表現に関する研究もいくつか存在する。岩崎ら[3]の研究では散乱マップを用いて多重散乱の計算と空の色の高速表示法を提案している。虹と同じような発生条件の厳しいオーロラのビジュアルシミュレーション[4]では、発光原理を考慮してオーロラを表示する手法を提案している。

## 3. 提案内容

図1は本手法の処理手順を示したものである。本手法では、まず実写画像から三次元空間を構築し、三次元空間中の水滴分布を入力し、これらを参照して虹を表現し、最後にこれを実写画像と合成する。

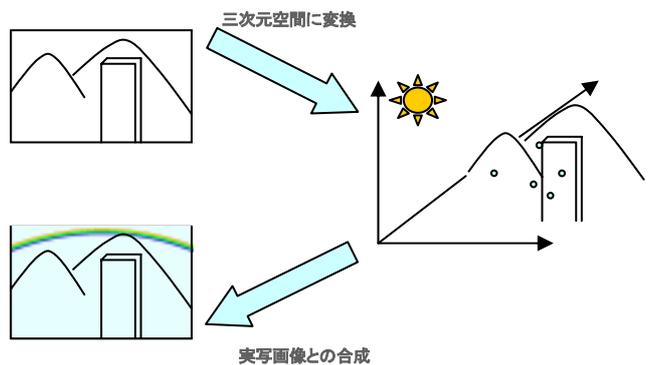


図1: 3次元仮想空間

本手法ではまず、実写画像から三次元空間を構築する。現時点の実装では、まずk-means法を用いて実写画像の画素値をクラスタリングし、代表色を得る。本手法では代表色ごとに奥行き値を入力することで、実写画像から三次元空間を構築する。空や山などの遠くに見えるものと家や人など近くに見えるものなどに区別することで、大まかな奥行きを表現できる。ただし複数の物体の色、あるいは物体色と背景色が同じ代表色で括られて場合には、本手法は上手く動作しない。この点については改良が必要である。これとは別に本手法では、三次元空間における大気中の水滴の分布、および太陽光線の入射方向を入力することを想定する。

これらの情報を用いて本手法は、虹を構成する光の色と強度を算出する。

虹の光と実写画像の合成による輝度 $I$ を求める手順は以下の通りである。空気中の水滴から反射して視点に届く光の輝度を $H$ 、それが大気中で散乱吸収せずに視点に届く割合を $S_H$ とする。また背景光の強度を $B$ 、それが大気中で散乱吸収せずに視点に届く割合を $S_B$ とすると

$$I = HS_H + BS_B \quad (1)$$

とできる。

次に、式(1)の $S_H$ を計算する。図2は、太陽光が水滴内部で反射してできる虹の光線と読み取った実写画像の物体が

らの光線を表したものである。

ここで水滴濃度  $w(x)$ 、光が減衰せずに通過する割合  $G(x)$  を仮定する。  $x$  は視線上の位置を表すものとする。水滴濃度と減衰率は位置の関数で表せるので、  $w(x)$  における水滴による光の強度は(3)に比例する値になる。

$$w(x) \prod G(t) \quad (3)$$

視点に届くのは視線上の各位置における水滴の反射光をの総和になるので、(3)を積分する。

$$S_H = \int_0^d w(x) \prod G(t) dx \quad (4)$$

$d$  は背景物体までの距離、または水滴の反射が視点に届く量が無視できるほど小さくなる距離である。

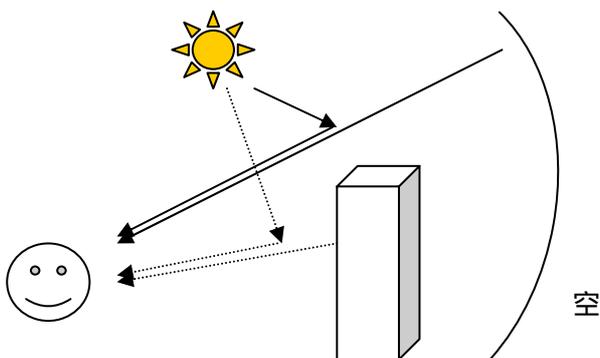


図2：視界に入る光線の種類

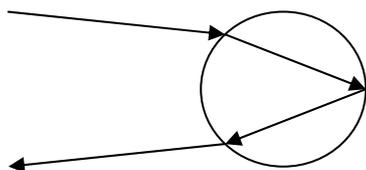


図3：水滴のモデル（主虹）

続いて虹の色を求める方法について述べる。図3は、水滴内部で光が1回のみ反射することで観察される主虹について、大気中の水滴内部の太陽光線の軌跡を現したものである。太陽光線が水滴内部に入射したとき、屈折率が波長によって変化するので、太陽光線と視線の偏角も波長により変化し、結果として分光して見えるのである。よって太陽光線と視線の偏角が与えられると、そこから反射光の波長を逆算し、その色を求めることができる。この仕組みは文献[1]にも示されている。

#### 4．実行結果



図4：実行結果

図4は、視点の後ろから太陽光線が差し込んでいることを想定して、実写画像に虹を合成したものである。虹は手前の木の奥に分布する水滴によって発生しており、木と重なっている部分は木に隠れて見えなくなっている。

#### 5．まとめ

本報告では、実写画像にCGで生成した虹をリアルに合成する表現手法を提案した。

今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- 太陽光線の方向をユーザが指定できるようにすること
- 画像内の様々な状況に対応できるようにすること
- k-menas法を用いて分類する色数や、画像中の物体の奥行き値を、自動設定できるようにすること

#### 参考文献

- [1]伊藤，牧野，斉藤，大石，「レイ・トレーシング法における分光モデルに関する検討」，日本コンピュータ・グラフィックス協会第6回NICOGRAPH論文コンテスト，pp.45-50，1990
- [2]芳信，金田，「波動工学に基づく虹のレンダリングと背景実写画像との合成」，信学技報 ITS2004-77，IE2004-211，pp.65-70，2005
- [3]岩崎，柳田，土橋，西田，「散乱マップを用いた多重散乱の計算と空の色の高速表示法」，Journal of IIEEJ，Vol.33，No.4，pp.515-522，2004
- [4]米山，近藤，「発光原理を考慮したオーロラのビジュアルシミュレーション」，Visual Computing グラフィックスとCAD 合同シンポジウム '05-19，pp.111-116，2005
- [5]師，宮崎，土橋，西田，「グラフィックスハードウェアを用いた空の色と大気散乱の高速レンダリング」，Visual Computing グラフィックスとCAD 合同シンポジウム '05-4，pp.17-22，2005
- [6]P.E.Debevec，J.Malik：“Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs”，Proc.SIGGRAPH '97，pp369-378，1997