

## ビルボードを用いた落雷・雲内放電の表現法

## A Generation Method of Lightning Strike and Intracloud Discharge Based on Billboard Technique

高橋 健太郎† 安 ベヌア 友章† 高橋 時市郎†  
 Kentaro Takahashi Tomoaki Benua Yasu Tokiichiro Takahashi

## 1. まえがき

自然現象の一つである落雷は、印象的な外観と音から、ゲームや映画などで、場面を効果的に見せるためにしばしば用いられる。Kim ら[1]は、物理モデルを用いて稲妻の形状を生成している。実物に近い稲妻の形状を生成することができるが、シミュレーションに長大な時間がかかる弱点がある。Reed ら[2]は、乱数で稲妻の形状を生成している。物理シミュレーションを用いずに様々な形状を得ることができるが、実際の稲妻にはない形状を生成することができる。

土橋ら[4]は、大気散乱を考慮した点光源を用いて、雲内放電を初めてシミュレーションした。しかし、リアルタイムでレンダリングすることができない。

本稿では稲妻の実写画像を基に、リアルタイムで稲妻と雲内放電とを生成する手法を提案する。

まず、稲妻の実写画像から放電経路を抽出した後、閃光処理を行い、最終的な稲妻画像とし、これをビルボードにマッピングする[3]。この手法は、稲妻の実写画像を基に稲妻の形状を生成するため、実物と同じような形状の稲妻の形状を生成できる。また、物理的な計算を省いているため、生成処理が速いという利点がある。この手法はまた、雲内放電を表現するのに応用することも可能である。

次に、雲内放電を表現するために必要な雷雲を、雲のテクスチャをマッピングしたビルボードを多数用いることで表現する。先の稲妻画像の生成過程で得た閃光画像を、雲内放電のビルボードとして用いて、雷雲内の放電と稲妻のアニメーションを生成することができた。

## 2. 稲妻画像の生成

本章では、既に提案した稲妻画像の生成方法[3]について述べる。まず、稲妻の実写画像から放電経路画像を抽出する。放電経路とは、落雷時の電流が流れる経路であり、最も強く発光する主経路と、そこから分岐して弱く細く発光する分岐経路から構成される。次に、放電に伴う閃光を表現するために、実写画像をベースに、閃光現象を分析する。その結果を踏まえて、主経路画像に閃光をレンダリングする。この画像を稲妻画像とし、落雷を表現する。

## 2.1 放電経路画像の抽出

稲妻を撮影した原画像(図1(a))をある閾値で2値化する。2値画像をマスク画像として用い、原画像との積を求めることで、放電経路画像(図1(b))を抽出する。輝度の異なる主経路と分岐経路は、閃光のレンダリング時に分離している必要がある。そこで、放電経路画像で経路幅がある画素以上の経路を主経路(図1(c))、それ以外

を分岐経路(図1(d))と分類する。

## 2.2 閃光のレンダリング

閃光のレンダリング方程式を実写画像から得るために、主経路の閃光の分析を行った。原画像上で、主経路に直交し、かつ分岐経路と交差しないように、直線分を引く。直線分上の画素の輝度値は主経路で最大値をとり、主経路から離れるに連れて値が小さくなる。

各直線分上の輝度値の最大値が255、主経路の中心位置が原点となるように、輝度値の分布を正規化した。画像1枚当たり5本の直線分を引き、30枚の実写画像から、主経路からの距離によって減少する輝度値の平均値を求めた。

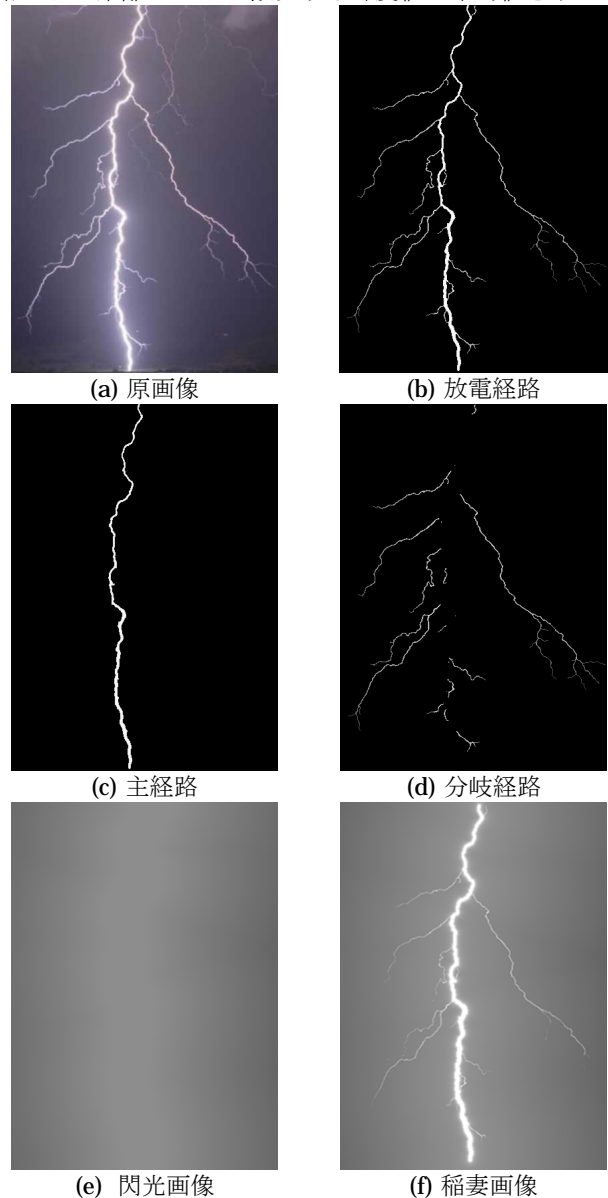


図1. 稲妻画像の生成

†東京電機大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University

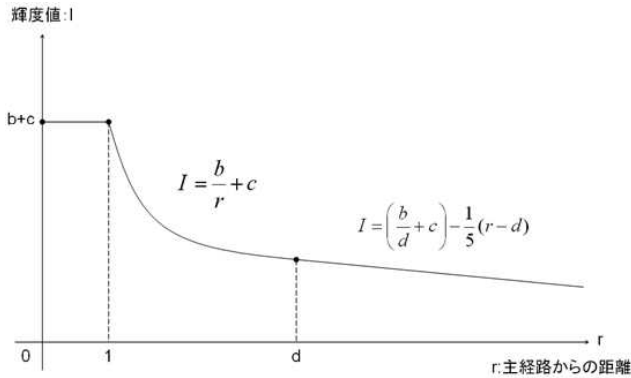


図 2. 主経路からの距離による輝度値の分布

輝度値の変化を図 2 に示す. この図から, 閃光がその主経路から距離  $r$  離れた点の輝度値  $I(r)$  は式(1)で与えられることがわかった. ここで, 定数  $b \sim d$  は図 2 から求めた.

$$I(r) = \begin{cases} \frac{b}{r} + c & (1 < r < d) \\ \left(\frac{b}{d} + c\right) - \frac{1}{5}(r-d) & (d \leq r) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)にしたがって, 閃光をレンダリングした結果を図 1(e)に示す. 閃光のレンダリング結果に, 主経路画像と分岐経路画像とを合成し, 図 1(f)のような稲妻画像を得る. 最終的に 30 枚の実写画像から稲妻画像を生成した.

### 3. 雷雲と雲内放電画像の生成

#### 3.1 雷雲の表現

実写画像から, 雲部分を手動で抽出し, これを雲テクスチャとする. 雲テクスチャをマッピングしたビルボード (雲ビルボード) を複数枚配置し, 雷雲を構成する. 図 3 は 15 枚の雲ビルボードを奥行きが重ならないように配置して生成した雷雲の例である. ブレンディングを行う際に, 奥行きが重ならないように配置した.

#### 3.2 雲内放電

雲内放電を表現するために, 前節 3.1 で用意した雷雲に, 2.2 節の閃光画像 (図 1(e)) を組み合わせて用いる. つまり, 閃光のみの画像を雲内放電画像とする. これは, 雲内放電と稲妻の発生原理が似ていること, 雲内放電自体を撮影した画像を得ることが困難であるためである.

雲内放電画像をマッピングしたビルボード (雲内放電ビルボード) を, 図 3 に示すように, 雷雲内に, ランダムに, しかし奥行きが重ならないように配置する.

### 4. 稲妻と雲内放電のアニメーション

稲妻画像をマッピングしたビルボード (稲妻ビルボード) と雲内放電ビルボードに, 発生時の点滅や, 消滅時のフェードアウトなどのアニメーション機能を付加し, 稲妻と雲内放電のアニメーションを作成した(図 4). 点滅はビルボードが 0.1 秒間ずつ表示と非表示が繰り返される. フェードアウトは 0.14 秒間で行われるように設定した. これらのアニメーションの設定は, 映画やゲームなどの演出を参考に定めた.

アニメーション表示は, Intel Core2 Duo (2.66GHz) CPU, メモリ 2 GB, NVIDIA GeForce 8800 GTX の PC を使用した. 描画速度は約 60FPS であった.

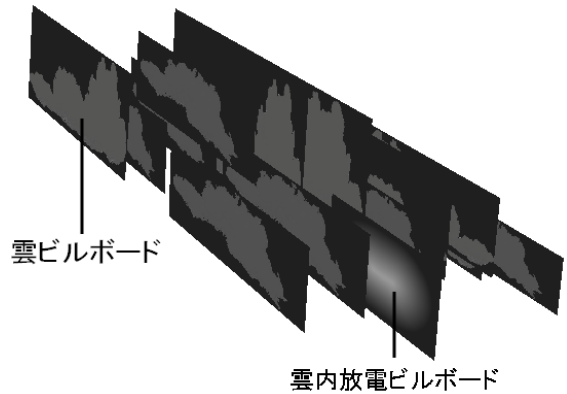


図 3. 雲ビルボードと雲内放電ビルボードの配置

## 5. むすび

稲妻の実写画像から, 3DCG アニメーションで用いる稲妻画像と雲内放電画像を生成した. 生成した各画像をビルボードにマッピングし, 稲妻と雲内放電のリアルタイムアニメーションを実現可能とした. 雲内放電の発生源である雷雲は, 雲の実写画像からテクスチャを作成し, これをマッピングしたビルボードを複数枚配置することで表現した. ビルボードを用いた本手法は, リアルな稲妻と雲内放電をリアルタイムでレンダリングすることができる.

今回は, 稲妻や雲内放電の発光による, 周囲の物体への輻射を考慮していない. 今後, 稲妻と雲内放電に光源としての機能の追加を行う. また, 雷鳴についての検討も進めていく.

## 参考文献

- [1] T. Kim, M. C. Lin, "Physically Based Animation and Rendering of Lightning", Proc. of Pacific Graphics 2004, pp.267-275 (2004).
- [2] T. Reed, B. Wyvill, "Visual Simulation of Lightning", Proc. of ACM SIGGRAPH94, pp.359-364 (1994).
- [3] 高橋健太郎, 高橋時市郎, "実写画像に基づく稲妻画像の生成", 第十三回電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会講演論文集, 講演番号 D-11-157, p.157 (2008).
- [4] Y. Dobashi, T. Yamamoto, T. Nishita, "Efficient Rendering of Lightning Taking into Account Scattering Effects due to Clouds and Atmospheric Particles", Proc. of Pacific Graphics, pp.390-399 (2001).



図 4. 稲妻と雲内放電の生成画像