

## メタボールを利用した陽炎生成手法の提案 A Heat Haze Generation Method Using Metaball

藤塚 省吾<sup>†</sup>  
Shogo Fujitsuka

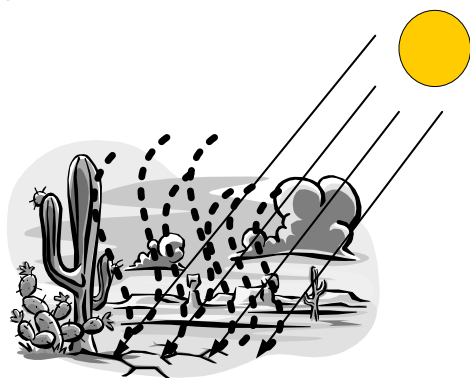
平山 亮<sup>‡</sup>  
Makoto J. Hirayama

### 1. はじめに

コンピュータグラフィックス (以下 CG) により風景を作成するとき、リアルな表現を実現するためには、自然現象を表現できる CG 手法が必要である。本研究では、陽炎 (かげろう) が発生している風景を表現するための手法の提案を行う。

陽炎は日光に強く熱せられた地面の上の空気がさかんに動き、その中を通る光が絶えずいろいろな向きに曲げられ、その向こうにある物が揺らめいて見える現象である (図 1)。熱せられた空気が動く方向は一定ではないので陽炎が起こる範囲は絶えず変化している。

この陽炎の現象を表現するため、背景にある 3 次元物体の前に、複数のメタボールを融合させて作った空気層を配置し、各メタボールの中心点・濃度・引力の各パラメータを制御して連続的に動かした状態で、太陽光を表す平行光線を入射し、レイトレーシングによりレンダリングするという方法を提案する。メタボールで作られた空気層により、光が不規則に屈折し、背景にある物体がゆらゆらゆれて見える動画及び静止画の作成を行うことができる。



地面が熱せられ、空気が動き、  
風景が揺らめいて見える

図 1. 陽炎 (かげろう) のしくみ

## 2. メタボールによる陽炎生成手法

### 2.1 提案手法とその手順

メタボール (metaball) は、立体を球の集まりのような形状で表すモデリング手法で、中心となる点からの距離とともに減衰する影響力 (引力) の和が一定値となるような点によって形成される曲面である<sup>[1]</sup>。人体や雲などの滑

らかな曲面を表現するのに使われる。ここでは、熱せられた空気層をメタボールで表現することを提案する。以下に、陽炎が発生している風景の CG を作成するための手順を示す。

① 3 次元 CG で対象物を含む風景を作成し、配置する。

② 複数のメタボールからなる空気層、例えば、6 列 2 行からなるメタボール 12 個が滑らかに繋がった空気の塊を作り、対象物と視点の間に配置する。同時に、メタボールに対して屈折率などの物質のパラメータを設定する。

③ 太陽光を表すものとして、平行光線の光源を配置して照明し、②で設定した物質のパラメータを使って、レイトレーシング法によりレンダリングする。この時点で陽炎によってゆがんだ風景の静止画 CG が 1 枚できる。

④ メタボールによる空気層を少し揺り動かし、再びレンダリングを行って、次の時刻の静止画 CG を作る。空気層を少しずつ揺り動かしながら、各時刻の静止画 CG を作ることを繰り返し行う。

⑤ 所望の時間の静止画 CG のレンダリングが完了したら、全ての静止画を時間軸上に配置して、アニメーションを行う。尚、本手法は、陽炎が発生している風景の静止画 CG を作る場合と動画 CG を作る場合の両方に適用可能である。

### 2.2 空気層の物質パラメータ

メタボールによる空気層の物質に関するパラメータは、基本的に空気であるから、無色・透明なものとしてモデリングした。表面の反射率はゼロ (すなわち光が透過) とし、屈折率のみを変更した。すなわち、空気が熱せられることによって空気密度が不均一になり、密度の異なる空気間で光の屈折が起こるのが陽炎であるから、その部分をメタボールの空気層としてモデル化するには、屈折率を設定して光の屈折を起こさせればよい。屈折率をいくつにするのがよいかの評価実験の結果については、3. で述べる。

### 2.3 メタボールの動きのコントロール

提案手法の④の手順では、メタボールを少しずつ揺り動かすことを提案したが、陽炎の揺らめきを途切れさせないために、隙間をなくすよう注意しなければならない。しかし現実での陽炎では熱せられた空気が動く方向は一定ではないのである程度変化をつけなければならない。今回の実験では、左右に振れながら上方に移動するものをいくつか使用した (図 2)。このとき、振れの方角を、右から動かすメタボールと左から動かすメタボールを交互に配置し、揺らめきがうまく表現できるようにした。今回は、メタボールの個数とそれぞれのサイズを一定と

<sup>†</sup> 金沢工業大学 大学院 情報工学専攻

<sup>‡</sup> 金沢工業大学 工学部 情報工学科

し、その動かし方も規則的なものとして、シミュレーションしたが、これらに変化をつけることによってより表現力が高まるかどうかについては今後の検討課題のひとつである。

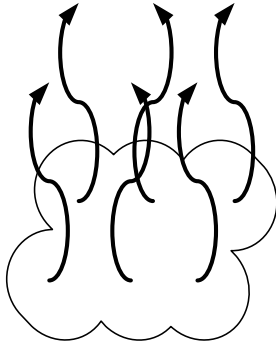


図2. メタボールの動きのコントロール

### 3. メタボールの屈折率の違いによる陽炎表現への影響

図2のようないくつかのメタボールを対象物とカメラ（視点）の間に置き、メタボールの屈折率を様々に設定して対象物に起こる変化の度合いを観察し評価する。この時、屈折率以外のデータはすべて同じものになっている。屈折率は1.10, 1.20, 1.30, 1.50と4段階に分け、CGモデリング&レンダリング&アニメーションソフト（Shade Personal R5, エクスツールズ社）を使ってアニメーションを作りそれぞれ陽炎のような揺らめきを表現できるかを中心として評価した。その評価結果を表1に示す。結果としてメタボールによる空気層の野輪郭部分では1.10～1.20、中心部分では1.20～1.30の屈折率が適当であるという評価を下した。

表1. 屈折率の違いによる陽炎表現への影響

| 屈折率      | 評価結果                                                          |
|----------|---------------------------------------------------------------|
| 1.10     | メタボールの輪郭のあたりはその向こうに見える対象物がゆがんで揺らめいて見えるが、それ以外の場所では揺らめきと感じられない。 |
| 1.20     | メタボールがくっついたり離れたたりすることによって対象物が揺らめいて見えた。                        |
| 1.30     | 揺らめきの強いところと弱いところがあり、強いところは陽炎のように見えなほどのゆがみになっていた。              |
| 1.50     | あちこちで強いゆがみが見られもはや陽炎のように見えな。                                   |
| 1.20 (球) | 球が重なり合う境界でその向こうにある対象物がずれて見え不自然な部分がある。                         |

続いて、メタボールの代わりに球を使って同様に実験し、評価した。この時のデータはメタボールと球という違い以外はすべて統一し、屈折率は1.20を使った。すると球のほうはお互いが重なり合う部分でメタボールにはなかったずれが生じてしまった。これは、球の場合、メタボールのように重なり部分の曲面がなめらかでないた

め、不連続な光の屈折が起こることが原因となっていると考えられる。

結論として、メタボールを使い、屈折率を1.20程度としてレイトレーシングすることによって、陽炎が発生している風景を表現できることがわかった。この設定で作成したCG画像を、メタボールを置かなかった場合の通常の画像と比較して、図3に示す。



図3. メタボールによる陽炎の表現  
(上: 通常のCG, 下: 提案手法)

### 4. まとめ

メタボールを使用した陽炎生成手法の提案をした。又、メタボールの屈折率について評価実験を行って検討した。今後は、メタボールの配置やコントロールの方法をさらに検討し、表現力を高めるために、提案手法を改良していく。

### 参考文献

- [1] 技術編 CG 標準テキストブック編集委員会編, 技術編 CG 標準テキストブック, 1999.