

## 鍾乳石のプロシージャルモデリング ～流体シミュレーションを用いたリアリスティック表現の実現～

Procedural modeling of growing stalactites  
～Realistic representation using fluid simulation～

松山 颯  
指導教員：菊池 司

東京工科大学 メディア学部 メディア学科 菊池司研究室

本研究では、3DCG 作成ソフト「Houdini」を使用したプロシージャルモデリングによって鍾乳石を現実の成長メカニズムを基に発生・成長のシミュレーションを行う手法について模索する。実際のメカニズムに近づけることでよりリアルな洞窟内環境の演出及び、鍾乳洞の環境保全への活用が期待できる。

キーワード：鍾乳石、流体シミュレーション、プロシージャル

### 1. 研究背景・目的

鍾乳石は数ある洞窟内生成物の中でも極めて有名であり、その形状の特異さと積み重ねた年月の雄大さから見るものを感動させてくれる。

3DCG においても魅力的な生成物としてゲームやアニメーションなどの作品において洞窟内表現の一環に取り入れられることがある。しかし、3D モデルのコピーや複製による簡易的な手段を取ることがある。その為、本来多種多様な形状を持つはずの鍾乳石がどれも同じような形になり、リアリティの喪失につながってしまうケースが散見される。

このことから、より多様な表現のできる鍾乳石の生成手法を模索しようと考え研究に取り組んだ。

### 2. 鍾乳石の成長メカニズム

鍾乳洞は石灰岩質の地層を持つ地域にできる洞穴であり、鍾乳石はその内部に生成される洞窟内堆積物の一種である。

鍾乳石の主な成分は方解石(炭酸カルシウム)である。その形状は多種多様で、氷柱状のものや柱状もの等がある。成長が非常に遅いことでも知られており、100年に数センチ程度であり肉眼で成長の様子を観察することは不可能である。

代表的な鍾乳石として「つらら石」「石筍」が挙げられるが、これらは洞窟の天井や壁面から滴り

落ちる水溶液によって発生・成長するため「ドリップストーン」と呼ばれる。それ以外では流水や結晶として成長するものなどがある。



図1(左)：石筍

図2(右)：つらら石

### 3. 提案手法

石筍の生成は以下の通りを行う。

石筍がドリップストーンであることに着目し、流体パーティクルを使って滴下水を再現する。その接地面にパーティクルを固定し、物理的な変化を利用して石筍の生成をシミュレーションする。

今回は Houdini にあるパーティクルに温度情報を利用して行う。温度パラメーターが低下すると液体の粘度が増す機能を使い、水滴が落下した後温度を急激に下げることで地表面に固着する様子を再現する。

#### 4. 実装内容

石筍の実装は流体シミュレーションを使用する。

##### ① 滴下水の生成

水滴生成の起点となるオブジェクトの形状を常に変化させて、変則的に生成される水滴を疑似的に再現する。

##### ② 水滴の温度情報処理

水滴生成後から徐々に温度が下がるように設定。設置後しばらくして一定の値まで下がると周囲のパーティクルと固く結合し、固化する。その上から繰り返し水滴を垂らすことで徐々に層が積み重なり、柱のような形状を取るようになる。

#### 5. 結果

##### ① 滴下水の生成

水滴の形状となる球のオブジェクトを作成。X軸・Y軸のサイズをランダムに変化させ滴下後の形状に多様性を持たせる。

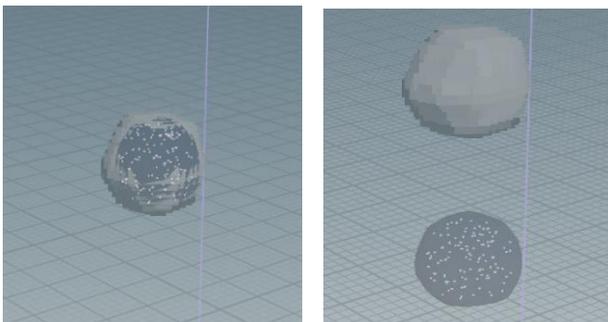


図3 (左)：水滴生成用オブジェクト

図4 (右)：パーティクル流体が落下する様子

##### ② 水滴の接地後処理

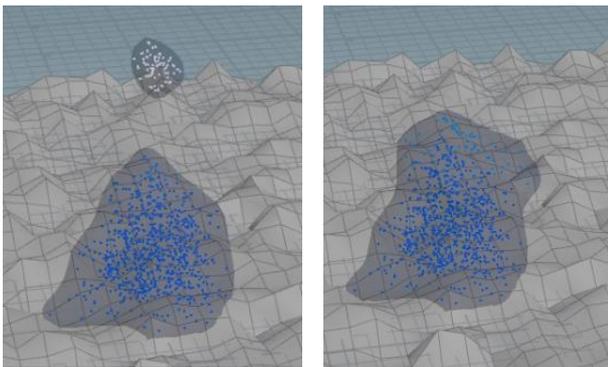


図5-1, 5-2：水滴が固着する様子

落下した水滴が滴下地点の上部を覆うように広がり、そのまま固着することで上向きに成長する。水滴は落下後も多少の時間は固まらずに流下する。その作用によりいびつな形状の再現を可能とした。

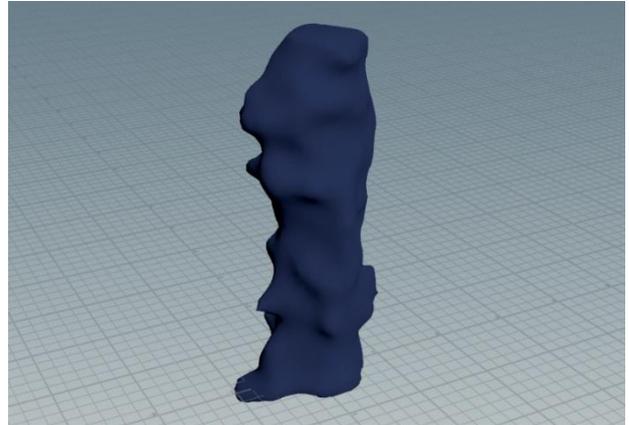


図6：石柱生成結果

ここまで記述した操作を繰り返すことで地面垂直方向に石筍が伸びていく様子を再現できた。綺麗な円筒形ではなく、上部が膨れた不自然さが鍾乳石の個性豊かな形状を表現できている。

#### 6. 終わりに

本研究では石筍を流体パーティクルを用いて自然的なメカニズムに近い方法での生成を実現することが出来た。今後はもう一つのメジャーな鍾乳石である「つらら石」の生成にもできる限り同様の手法を用いてのシミュレーションを目指す。

最終的には鍾乳洞全体を再現できるシミュレーションモデルを作成を目指し、映像制作や実際環境の再現による環境保全などの多方面での活躍を期待したい。

#### 7. 参考文献

[1]リアルタイム3DCGにおける鍾乳石自動生成手法に関する研究,鈴木大祐,2004年東京工科大学メディア学部

[2]鍾乳洞の気象と鍾乳石の成長,大沢信二,2009年12月,京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設,大分地質学会誌15号別刷P1-10