

2012年度 卒業論文

倒木に群生するキクラゲの景観の  
自動生成に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師  
三上 浩司 准教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト  
学籍番号 M0109329  
西村 和晃

2012年度 卒業論文概要

論文題目

倒木に群生するキクラゲの景観の  
自動生成に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0109329

氏名

西村 和晃

指導  
教員

渡辺 大地 講師  
三上 浩司 准教授

キーワード

3DCG、キクラゲ、倒木、群生、自動生成

近年、3DCGの技術の発展により、映画やゲームなどの映像コンテンツではよりリアルで精細な自然景観の映像を求められるようになった。それに伴い、さまざまな自然景観の自動生成シミュレーションに関する研究が盛んに行われるようになってきている。その自然景観に影響を与えるもののひとつとして、キノコがある。キノコは森林の景観において重要な役割を持ち、特にキクラゲのような形状が独特なキノコは、景観に与える影響も独特なものになってくる。

本研究では、倒木に群生するキクラゲの景観を表現できる手法を提案した。具体的には、一個体ごとに形状が異なるキクラゲのモデルを大量に生成し、乾燥度合いやシワの密度によるモデルの変形とモデル同士が貫通している問題の解決を実現した。キクラゲのモデル同士が貫通している問題の解決には線文と三角形ポリゴンとの当たり判定を取り、適宜モデルの頂点を移動させることによって実現した。乾燥度合いやシワの密度によるモデルの変形にはPerlin Noiseを使用することによって実現した。また、提案した本手法を用いて、キクラゲの群生景観を自由に表現できるツールを作成した。その結果、乾燥しているキクラゲや湿っているキクラゲ、シワの多いキクラゲといった様々な種類のキクラゲのモデルを生成することができるようになり、本手法はキクラゲの群生景観の表現に有効であることを示した。

なお、本研究ではキクラゲの群生景観を手軽に表現できることを重点に置いているため、キクラゲの一個体ごとの色の違いや厚み、透明感などの質感表現に関しては考慮しなかった。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景および目的	1
1.2	論文構成	2
<b>第2章</b>	<b>キクラゲの生態</b>	<b>3</b>
2.1	キクラゲとは	3
2.2	キクラゲが群生する環境	4
<b>第3章</b>	<b>キクラゲの群生表現</b>	<b>5</b>
3.1	キクラゲのモデルについて	5
3.2	キクラゲの生成	9
3.3	キクラゲの乾燥とシワの表現	10
3.4	キクラゲ同士の当たり判定と変形	14
<b>第4章</b>	<b>実装と検証</b>	<b>17</b>
4.1	実装	17
4.2	検証	19
4.3	考察と課題	25
<b>第5章</b>	<b>まとめ</b>	<b>27</b>
	<b>謝辞</b>	<b>28</b>
	<b>画像について</b>	<b>29</b>
	<b>参考文献</b>	<b>30</b>

# 目次

2.1	乾燥したキクラゲ	4
2.2	湿っているキクラゲ	4
3.1	倒木のモデル	5
3.2	cの値による頂点配置の変化	6
3.3	dの値による頂点配置の変化	7
3.4	頂点の配置図 (真上)	8
3.5	頂点の配置図 (斜め前方)	8
3.6	キクラゲのモデルの基本形	9
3.7	キクラゲの生成	10
3.8	乱数によるノイズ生成と Perlin Noise によるノイズ生成の比較	12
3.9	Perlin Noise の適用による変形	12
3.10	当たり判定の仕組み	16
4.1	ツール起動直後の様子	18
4.2	暫定値パラメータによるモデル生成	20
4.3	最大値パラメータによるモデル生成	21
4.4	含水率 70%	22
4.5	含水率 30%	22
4.6	シワの密度 50	22
4.7	シワの密度 100	22
4.8	変形前	23
4.9	変形後	23
4.10	乾燥しているキクラゲのモデルの出力結果	24
4.11	湿っているキクラゲのモデルの出力結果	25

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景および目的

近年、3次元コンピュータグラフィックス（以下、3DCG）の技術が急速に発展している。それに伴い、ゲームや映画などの映像コンテンツにおいても3DCGを利用する機会は増え、リアルな自然景観を表現する3DCGビジュアルシミュレーションの研究が盛んになった [1][2][3][4]。

その中で、森林の景観に影響を与える要素として、キノコがある。キノコは森林を主な生息地とする菌類であり、森林の景観を表現する上で重要な役割を果たしている。キノコは日本だけでも約4000～5000種類あり、そのうち名称がつけられているものは約2000種類ある [5]。その種類によって、生え方や生育環境、キノコの形状も様々である。キノコに関する研究も行われており、キノコの輪生に関する研究 [6]、キノコのひび割れに関する研究 [7] などがある。

独特な形状を持つキノコとして、キクラゲがある。キクラゲは湿潤時は柔らかく、乾燥時は硬いという性質があり、各個体ごとに異なる形状を作る [8]。それらを3DCG上で違和感なく再現するには、多大な時間を要する。また、キクラゲの画像をテクスチャにして貼り付けるだけでは、任意の視点から見た場合などのカメラワークにおいてキクラゲのテクスチャを貼り付けただけであることがわかってしまい、場合によっては景観を損なう可能性がある。

様々なキノコを自動生成する Brett らの研究 [9] では、回転体を用いてキノコの形状を再現している。また、回転軸となるグラフの値を変えることによって、ある程度柔軟な形状の自動生成を可能としている。しかし、キクラゲのような不規則な形状を持つキノコの自動生成に対しても同じように回転体を用いた表現を適用するのは難しい。また、キクラゲの群生を再現するには大量のモデルが必要であり、ひとつひとつ作成するのでは手間がかかる。

そこで、本研究ではキクラゲの群生に着目した自動生成シミュレーションの手法を提案する。まず、ユーザーがキクラゲを群生させるためのパラメータを設定し、湿潤状態のキクラゲを群生させる。ユーザーが指定できるパラメータには、群生密度、群生範囲、含水率、シワの密度、サイズ、サイズのばらつき幅がある。その後、パラメータに従った乾燥やシワによる変形を行う。最後に、キクラゲ同士で当たり判定を行い、貫通している箇所を変形することによって見た目上違和感のない群生景観をつくる。これにより、キクラゲの群生している様子を表現する時に、時間をかけてモデルを作成する手間を削減しながら手軽に乾燥やシワの表現を行えるようにし、かつユーザーがキクラゲの形状や群生の様子を自由に表現できるようにした。

本研究では、提案した手法が有効かどうかを検証するために、キクラゲの群生景観を表現できるツールを作成した。その結果、一団体ごとに形状の異なるキクラゲのモデルを大量に生成し、手軽に乾燥やシワといった表現を行うことができるようになった。また、作成したツールによって、生成したモデルを利用したキクラゲの群生景観をユーザーの手で自由に表現できることを示した。

## 1.2 論文構成

本論文では、2章でキクラゲの特徴と群生条件や方法について説明する。3章ではシミュレーションを行うためのモデル化、手法、数式を説明する。4章では実際にシミュレーションした結果の検証と今後の課題について説明する。5章では全体のまとめについて述べる。

## 第 2 章

# キクラゲの生態

### 2.1 キクラゲとは

キクラゲとは、春から秋にかけてニワトコなどの広葉樹の枯れ木や倒木に生えるキノコの名称であり、異型担子菌綱キクラゲ目キクラゲ科キクラゲ属の分類である。乾燥した状態では縮んで小さくなり硬質になるが、湿っている状態では“にかわ”のように柔らかくなり、大きさも 3~6cm になる。一般的なキノコは、多少の違いはあるが基本的に柄や傘からなる共通の形状を作る。しかし、キクラゲは柄や傘に相当する部位を持たず、円盤やヒトの耳といった独特で変化に富んだ形状を作る。キクラゲをお椀に見立てた時、内側にあたる方が表面、外側にあたる方が裏面となる。この裏面の一部分を利用して、キクラゲは木に付着している [8]。一般的にキクラゲと呼ぶものは、主にキクラゲとアラゲキクラゲの 2 種類に分かれるが、厚さや表面の荒い毛の有無の違いしかないことから、本論文ではキクラゲの群生を想定したシミュレーションを行う。以下、キクラゲの場合もアラゲキクラゲの場合も“キクラゲ”として表記する。

図 2.1 は乾燥したキクラゲ、図 2.2 は湿っているキクラゲの様子である。



図 2.1: 乾燥したキクラゲ



図 2.2: 湿っているキクラゲ

## 2.2 キクラゲが群生する環境

キクラゲは湿った環境を好む。乾燥している状態ではほとんど成長しないが、雨が降るなどして水分を蓄えると爆発的に成長する。キクラゲを栽培する場合、湿度や原木含水率は 65% 以上にするケースが多い [10][11]。

## 第 3 章

# キクラゲの群生表現

本論文では、横軸を  $x$ 、縦軸を  $y$ 、奥行きを表す軸を  $z$  とする 3 次元座標を定義する。

キクラゲを生やす苗床となる倒木のモデルは図 3.1 にあるモデルを使用する。

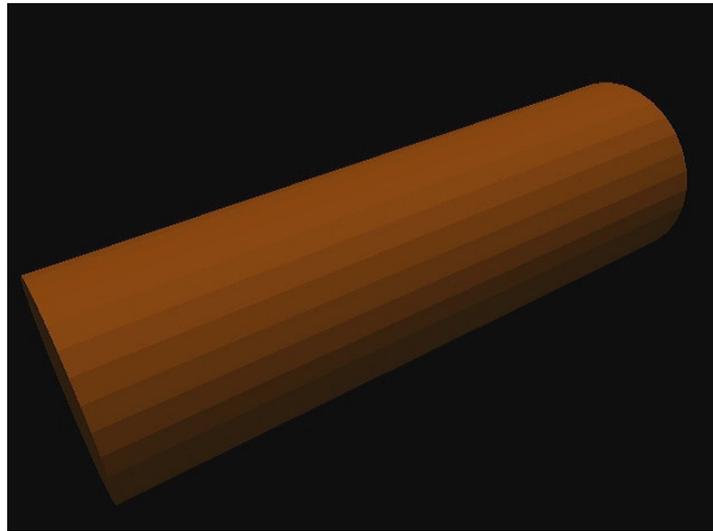


図 3.1: 倒木のモデル

### 3.1 キクラゲのモデルについて

本研究で使用するキクラゲのモデルは、シミュレーション中は形状が徐々に変化していくため、あらかじめ用意されたモデルではなく、プログラム上で生成し

たポリゴンモデルを使用する。ポリゴンとは、3つ以上の頂点の組み合わせによって作られる形状のことである。ポリゴンモデルとは、ポリゴンによって構成されたモデルのことである。ここで使用するキクラゲのモデルは、後述するキクラゲ同士の当たり判定の際に頂点座標のパラメータを大量に参照する必要があるため、頂点データを管理しやすいハーフエッジ構造を用いている。

まず、任意の点を中心とした一定の半径の円周上に均等に頂点を配置する。この時円周上に配置する頂点の個数を  $c$  とする。次に、円周の中心となる点を  $y$  軸の正方向に移動して半径を大きくした新たな円周を作る。この円周上に、再び均等に頂点を配置していく。この操作を繰り返す回数、つまり円周そのものの個数を  $d$  とする。 $c, d$  の値を変化させた場合の頂点の配置の違いを、図 3.2 および図 3.3 に示す。

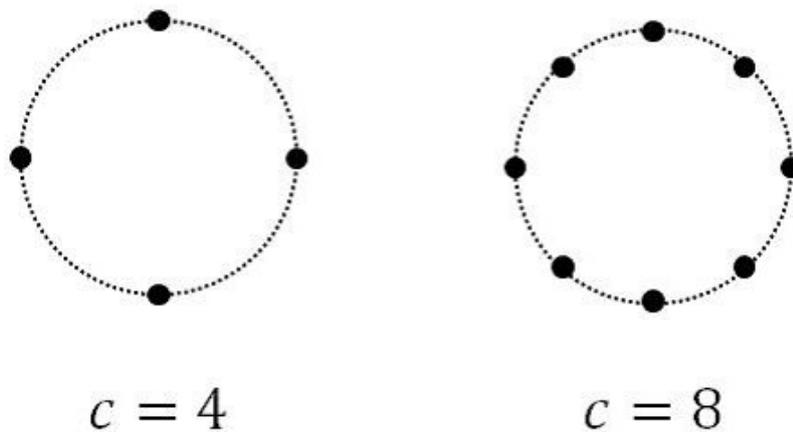


図 3.2:  $c$  の値による頂点配置の変化

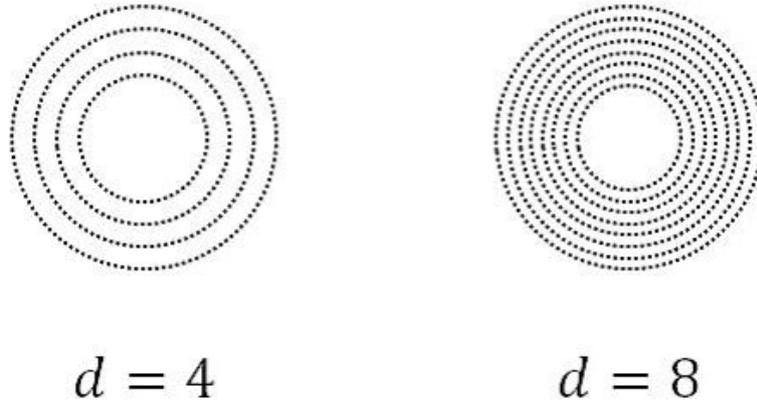


図 3.3:  $d$  の値による頂点配置の変化

キラゲ 1 個体に対して生成する頂点は  $cd$  個となる。

$e$  回目の操作において、円周上に  $f$  個目の頂点を配置する時の位置  $\mathbf{P}$  は、式 (3.1) になる。

$$\mathbf{P} = \left( ed \sin \left( \frac{2(f-1)\pi}{c} \right), (e-1)^2, ed \cos \left( \frac{2(f-1)\pi}{c} \right) \right) \quad (3.1)$$

全ての頂点が配置されるまで、同様の操作を繰り返し行う。また、各頂点には属している円周の番号  $e$  と円周上の配置番号  $f$  を登録しておく。

図 3.4 は配置された頂点を真上から見たもの、図 3.5 は配置された頂点を斜め前方から見たものである。ここでは、円周上に配置する頂点の個数  $c$  を 30, 円周の個数  $d$  を 10 としている。

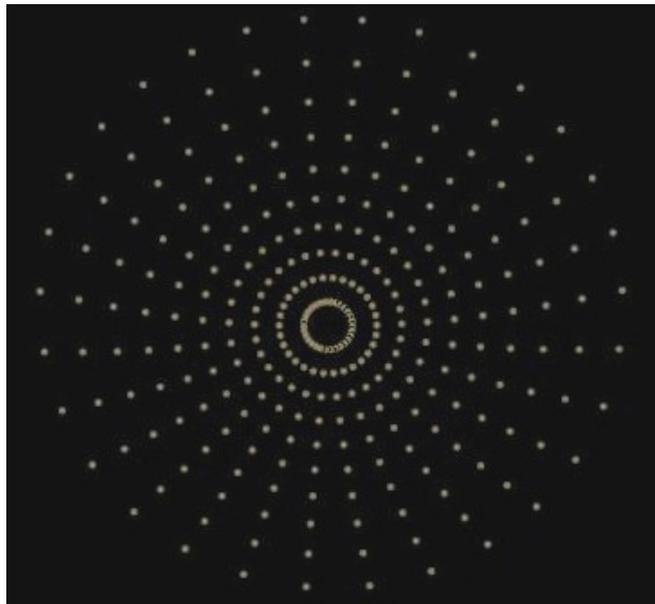


図 3.4: 頂点の配置図 (真上)

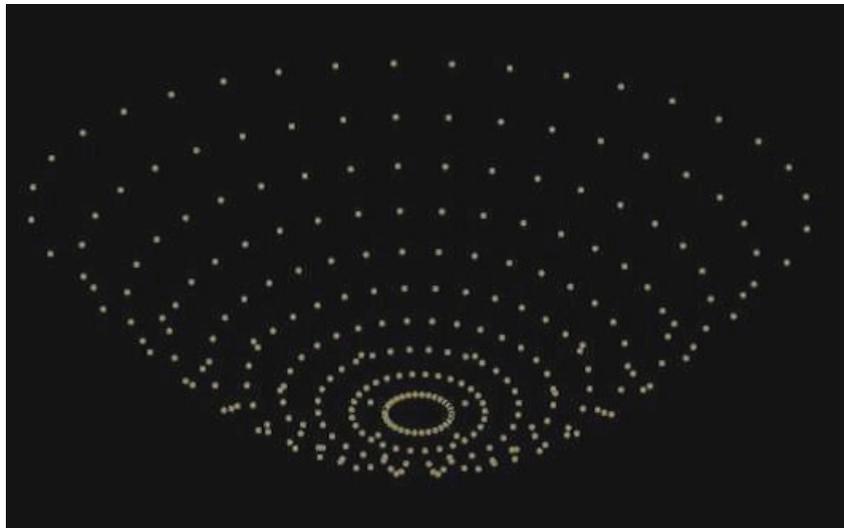


図 3.5: 頂点の配置図 (斜め前方)

キクラゲの基本形はお椀のような形状になる。

図 3.6 はキクラゲのモデルの基本形を表したものである。ここでは、円周上に配置する頂点の個数  $c$  を 30, 円周の個数  $d$  を 10 としている。



図 3.6: キクラゲのモデルの基本形

これをキクラゲの1個体として扱い、シミュレーションを行う。

## 3.2 キクラゲの生成

本研究ではキクラゲが群生している景観を手軽に作成できることを重点に置いているため、キクラゲの個体ごとの色の違いや透明感などの質感表現に関しては考慮しない。また、キクラゲの厚さも群生のシミュレーションに大きな影響を及ぼす要素ではないため考慮しない。ユーザーの意図したキクラゲの群生景観を再現するため、どこにどれくらいの密度で群生させるか、どれくらい乾燥した状態か、大きさはどれくらいかといった要素はユーザーが自由に設定する。

表(3.1)に、ユーザーが設定できる群生パラメータを示す。

まず、キクラゲのモデルの生成位置を定める。生成位置は、倒木のモデルのいずれかの頂点の位置ベクトルとする。また、選んだ頂点の法線ベクトルを算出し、キクラゲのモデルを倒木のモデルの外側に向くように回転する。この時サイズおよびサイズのばらつき幅の値を参照し、キクラゲのモデルのサイズを決定する。

表 3.1: キクラゲの群生パラメータ一覧

	最小値	最大値
群生密度	0.0	100.0
群生範囲	20.0	200.0
含水率 (%)	0.0	100.0
シワの密度	0.0	100.0
サイズ	1.0	3.0
サイズのばらつき幅	1.0	2.0

図 3.7 はキクラゲのモデルの生成を終えた直後の様子である。ここでは、キクラゲの群生密度を 25.0、群生範囲を 200.0、サイズを 2.0、サイズのばらつき幅を 1.5 としている。

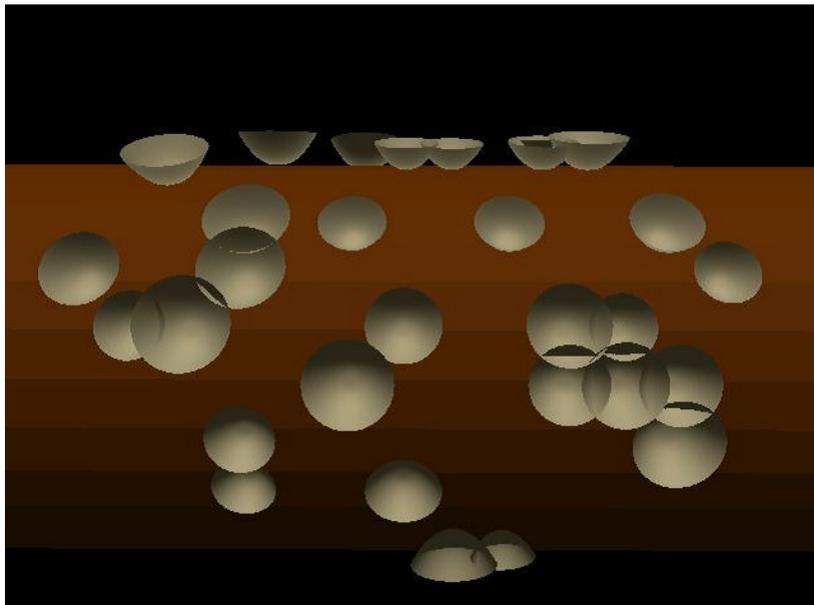


図 3.7: キクラゲの生成

### 3.3 キクラゲの乾燥とシワの表現

次に、キクラゲの乾燥やシワを表現する。2.1 項で述べたとおり、キクラゲは乾燥すると硬くなり、丸まって小さくなる性質を持つ。この乾燥による変形はキク

ラゲ本体の含水量が不足することによって起こるものであり、雨が降るなどして湿潤状態に戻ると、キクラゲの形状も湿潤時のものに戻る。また、キクラゲは表面に耳のようなシワができる。これは一団体ごとにそれぞれ異なる形をしており、中には全くシワを作らない団体もある。

キクラゲの乾燥やシワの表現には、Perlin Noise [12][13][14] を使用する。Perlin Noise とは、Ken Perlin 氏が開発した乱数生成法である。通常の乱数はある一定の範囲から適当な数値を算出するだけのものであり、山脈の輪郭や海岸線などといったフラクタルな変化を表現するのには向いていない。一方、Perlin Noise は異なる範囲をとるノイズ関数を加算していくことで、上記のようなフラクタルな変化も表現できる擬似乱数である [15]。Perlin Noise を利用した研究例として、紙のしわの表現 [16] やセル画調の煙のリアルタイムレンダリング [17] がある。

図 3.8 は、A と B という、生成法の異なる 2 種類のノイズを生成したものである。A のノイズはプログラムに含まれる乱数ジェネレータを直接利用して生成している。そのため、値に大きなばらつきがあり、キクラゲの乾燥やシワの表現には向いていない。一方、B のノイズは Perlin Noise の値を利用して生成している。そのため、値が大きくばらつく事がなく、キクラゲの乾燥やシワの表現に向いている。



図 3.8: 乱数によるノイズ生成と Perlin Noise によるノイズ生成の比較

図 3.9 はキクラゲのモデルに対して Perlin Noise を適用させる箇所を示したものである。シワの表現には、Perlin Noise を図 3.9 の赤線部分および緑線部分に適用する。乾燥の表現には、Perlin Noise を図 3.9 の赤線部分のみに適用する。

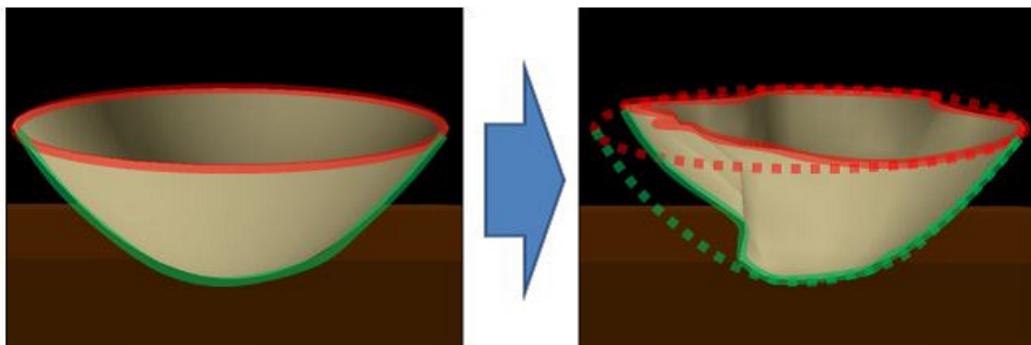


図 3.9: Perlin Noise の適用による変形

キクラゲのモデルの各頂点に対して、Perlin Noise の値によって移動量を決定する。移動方向は乾燥の表現、シワの表現ともにキクラゲのモデルの内側である。

キクラゲの乾燥による変形は、円周上に並んだ軸の変形という形でとらえることができる。3.1 項で各頂点には円周の番号  $e$  と円周上の配置番号  $f$  を登録していると述べたが、乾燥の表現ではこの  $e, f$  の値を使用する。具体的には、 $f$  が同じ値である頂点の集まりをひとつの単位としてとらえ、これらのスケールを変更することによって乾燥の丸まりや縮みを表現する。丸まりを表現するには、キクラゲの先端に近い頂点、つまり  $e$  の値が大きい頂点の移動量を大きくする。

あらかじめ Perlin Noise によって算出された値を  $n$  とする。また、ユーザーが設定できる群生パラメータのひとつである含水率を  $m$  とする。キクラゲの乾燥による各頂点の移動度合い  $o$  を表す式 (3.2) と頂点の移動後の位置  $\mathbf{X}$  は円周の番号  $e$  を用いて式 (3.3) になる。

$$o = \left| \frac{enm}{d} \right| \quad (3.2)$$

$$\mathbf{X} = (1 - o, 1 - o, 1 - o) \quad (3.3)$$

キクラゲの乾燥による変形の表現では  $f$  が同じ値である頂点は全て同じ Perlin Noise の値  $n$  を適用していたが、キクラゲのシワによる変形では、 $f$  が同じ値である頂点に対しても Perlin Noise の値  $n$  は異なる値を適用する。この移動量が大きい頂点が連結している部分がシワとして浮き上がっているように見える。

Perlin Noise によって算出された値  $n$  は、ここでは正数のみとし、負数だった場合は  $n = 0$  として扱う。また、ユーザーが設定できる群生パラメータのひとつであるシワの密度を  $s$  とする。キクラゲのシワによる各頂点の移動度合い  $p$  を表す式 (3.4) と頂点の移動後の位置  $\mathbf{Y}$  は式 (3.5) になる。

$$p = ns \text{ (ただし、} 0 \leq n \text{)} \quad (3.4)$$

$$\mathbf{Y} = (1 - p, 1, 1 - p) \quad (3.5)$$

### 3.4 キクラゲ同士の当たり判定と変形

次に、キクラゲ同士が衝突している問題を解決する。まず、配置されたキクラゲの中から任意の2つを選択する。片方をキクラゲモデル  $a$  とし、他方をキクラゲモデル  $b$  とする。キクラゲモデル  $a$  とキクラゲモデル  $b$  が衝突しているかどうかは、キクラゲモデル  $a$  に属する2つの頂点を結んでできた線分とキクラゲモデル  $b$  に属する3つの頂点を結んでできた三角形ポリゴンとが衝突あるいは貫通しているかどうかで判定する。

線分を構成する2つの頂点のうち、モデルの位置に近い頂点を  $P$ 、遠い頂点を  $Q$  とする。また、三角形ポリゴンを構成する3つの頂点のうち、モデルの座標から最も遠い頂点を  $A$ 、他の頂点を  $B$ 、 $C$  とする。この時、線分  $PQ$  上の任意の点 は実数  $t$  を用いて、式 (3.6) のように表すことができる。

$$(1-t)\mathbf{P} + t\mathbf{Q} \quad (\text{ただし, } 0 \leq t \leq 1) \quad (3.6)$$

また、三角形ポリゴン  $ABC$  上の任意の点 は実数  $u, v$  を用いて、式 (3.7) のように表すことができる。

$$\mathbf{A} + u\mathbf{L} + v\mathbf{M} \quad (\text{ただし, } 0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1, \mathbf{L} = \mathbf{B} - \mathbf{A}, \mathbf{M} = \mathbf{C} - \mathbf{A}) \quad (3.7)$$

式 (3.6) と式 (3.7) から、ベクトル方程式 (3.8) が導ける。

$$\begin{aligned} (1-t)\mathbf{P} + t\mathbf{Q} &= \mathbf{A} + u\mathbf{L} + v\mathbf{M} \\ \therefore u\mathbf{L} + v\mathbf{M} + t(\mathbf{P} - \mathbf{Q}) &= \mathbf{P} - \mathbf{A} \end{aligned} \quad (3.8)$$

これを行列式 (3.9) で表す。

$$\begin{pmatrix} l_x & m_x & P_x - Q_x & 0 \\ l_y & m_y & P_y - Q_y & 0 \\ l_z & m_z & P_z - Q_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ t \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_x - A_x \\ P_y - A_y \\ P_z - A_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

この行列式 (3.9) が正則でない場合、線分  $PQ$  と三角形ポリゴン  $ABC$  は平行である。正則である場合、逆行列を求めてから  $u, v, t$  を求める。 $u, v, t$  が次の条件を全

て満たす場合、線分  $PQ$  と三角形ポリゴン  $ABC$  は衝突あるいは貫通しているとみなす。

$$\begin{cases} 0 \leq t \leq 1 \\ u > 0 \\ v > 0 \\ u + v < 1 \end{cases}$$

衝突していると判定された場合、キクラゲモデル  $a$  とキクラゲモデル  $b$  がお互いのモデルを貫通していない状態にするために、それぞれのキクラゲのモデルの頂点を移動する。具体的には、前述した頂点  $Q, A$  を移動する。移動させる頂点の座標を  $(i, j, k)$  とすると、頂点  $Q, A$  の移動後座標  $V$  は式 (3.10) になる。

$$V = \left( i - \sin\left(\frac{2(f-1)\pi}{c}\right), j, k - \cos\left(\frac{2(f-1)\pi}{c}\right) \right) \quad (3.10)$$

頂点  $Q, A$  の位置を、式 (3.10) で算出した座標  $V$  の位置に移動する。

線分と三角形ポリゴンの衝突判定を行うだけでは、全ての衝突問題を解決することができないケースがある。そのため、上記の操作を行った後は円周上の配置番号が同じ値のものを全て“衝突”しているとみなし、同様の操作を行う。

キクラゲモデル  $a$  または  $b$  に属する頂点のうち1つでも移動した頂点があった場合、もう一度同じキクラゲモデル  $a$  とキクラゲモデル  $b$  で同様の当たり判定を行う。移動した頂点が1つも無かった場合、当たり判定の処理を終了する。

図 3.10 は当たり判定の仕組みを図式化したものである。図の左側では当たり判定を行っている。その結果、緑色の線分が衝突しているとみなされ、赤い頂点が移動する頂点になる。赤い頂点はモデルの内側に少しだけ移動し、再び衝突しているかどうかの判定を行う。図の右側のように衝突していない状態になると、当たり判定の処理を終了する。

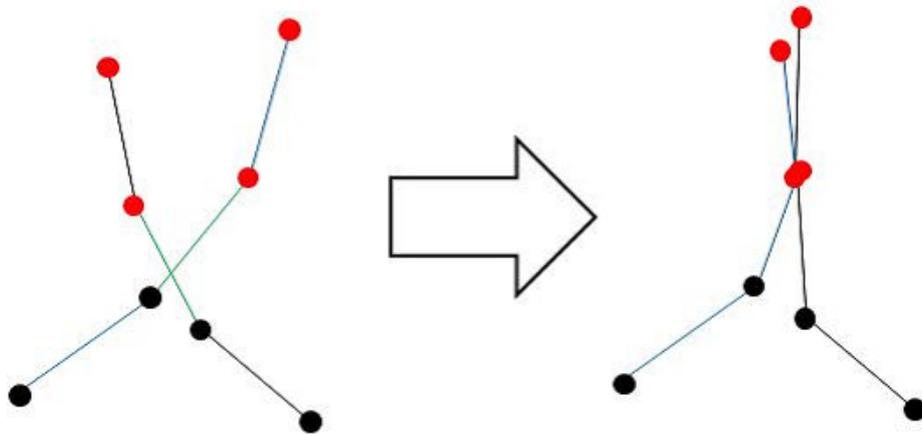


図 3.10: 当たり判定の仕組み

# 第 4 章

## 実装と検証

### 4.1 実装

キラゲの群生シミュレーションは、Fine Kernel Tool Kit System (以下、FK) [18][19] を用いて実装を行った。FK とは、OpenGL[20] をベースにした 3DCG ツールキットである。

実装時の環境は表 (4.1) のとおりである。

表 4.1: 実装環境

OS	Windows 7 Enterprise 64bit
GPU	GeForce GTX 560 Ti
CPU	Intel <sup>R</sup> Core <sup>TM</sup> i7-2600 CPU @ 3.40GHz
メモリ	8.00GB

図 4.1 はツール起動直後の画面である。

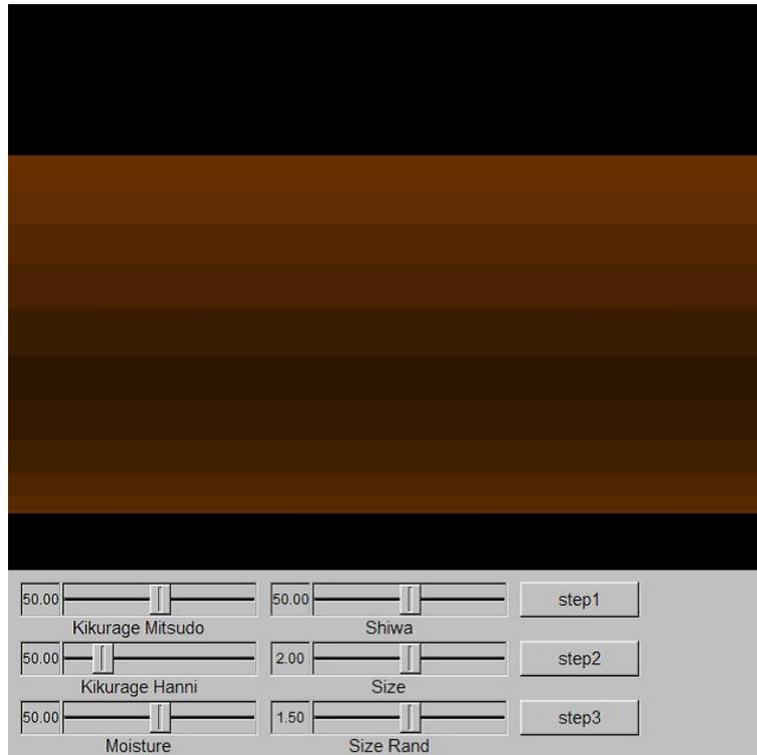


図 4.1: ツール起動直後の様子

ユーザーは6つのパラメータを設定することができる。群生密度は、キクラゲをどれだけ密生させるかを表すパラメータである。この値が大きいほど、局地的にキクラゲを生成することができる。群生範囲は、キクラゲを生成できる範囲を表すパラメータである。この値が大きいほど、キクラゲは倒木のモデルの広い範囲に生成される。含水率は、キクラゲの乾燥度合いを表すパラメータである。この値が大きいほど、キクラゲのモデルに対する乾燥による変形の度合いが小さくなる。シワの密度は、キクラゲにどれだけシワがあるかを表すパラメータである。この値が大きいほど、キクラゲのモデルに対するシワによる変形の度合いが大きくなる。サイズは、キクラゲを生成する際の初期サイズを表すパラメータである。この値が大きいほど、生成されるキクラゲのモデルのサイズが大きくなる。サイズのばらつき幅は、キクラゲのモデルの初期サイズをどれだけ変動させるかを表すパラメータである。この値が大きいほど、生成されるキクラゲのモデルのサイ

ズにばらつきが出るようになる。1.0の場合は全てのきくらげが同じサイズで生成される。ツール画面下部のスライダーをドラッグすることで、各パラメータの値を調節することができる。できるだけ自由にキクラゲの群生景観を表現できるようにするため、最小値と最大値の幅は広く設定されている。そのため、各パラメータの値によっては極端な特徴を持つキクラゲの群生景観を表現することができる。表(4.2)に、ユーザーが設定できるパラメータの詳細を示す。

表 4.2: ユーザーが設定できるパラメータ

パラメータ名	意味	最小値	初期値	最大値
Kikurage Mitsudo	群生密度	0.0	50.0	100.0
Kikurage Hanni	群生範囲	20.0	50.0	200.0
Moisture	含水率	0.0	50.0	100.0
Shiwa	シワの密度	0.0	50.0	100.0
Size	サイズ	1.0	2.0	3.0
Size Rand	サイズのばらつき幅	1.0	1.5	2.0

## 4.2 検証

今回の検証では、キクラゲのモデルの1個体に存在する円周の数を10、ひとつの円周に属する頂点の数を30とした。

キクラゲのモデルは、発生位置の基点をユーザーが自由に選択できるようになっている。また、表(3.1)に示した群生パラメータにより、群生範囲や群生密度などを設定することができる。生成するのにかかる時間は、表(4.3)のとおりである。

表 4.3: パラメータ設定と生成時間の比較

	最小値	暫定値	最大値
群生密度	0.0	50.0	100.0
群生範囲	20.0	50.0	200.0
サイズ	1.0	2.0	3.0
サイズのばらつき幅	1.0	1.5	2.0
生成速度(ミリ秒)	0	15	436

また、パラメータの設定値が表(4.3)の暫定値であるときにキクラゲのモデルを生成した直後の様子を図4.2に、最大値であるときにキクラゲのモデルを生成した直後の様子を図4.3に示す。

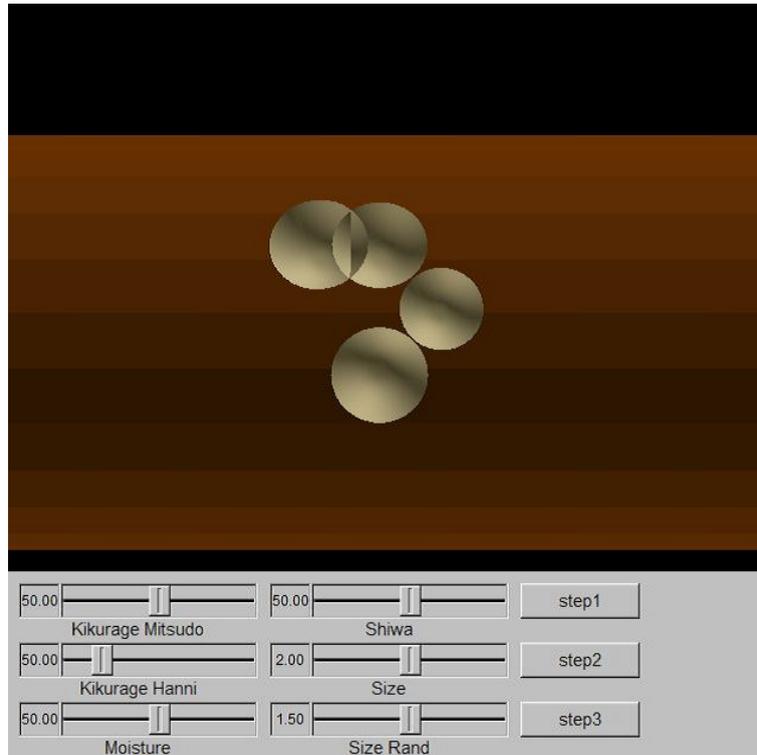


図 4.2: 暫定値パラメータによるモデル生成

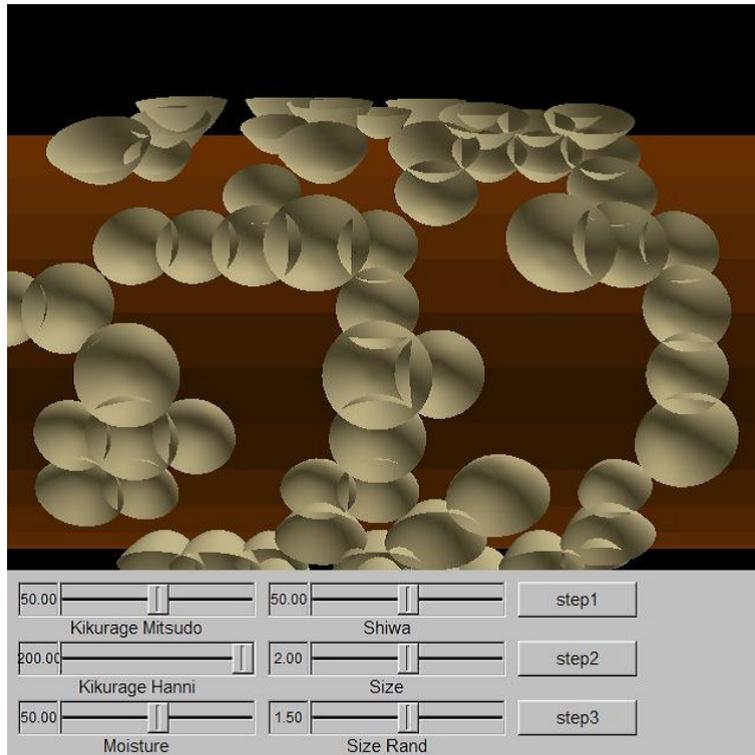


図 4.3: 最大値パラメータによるモデル生成

キクラゲの乾燥による変形の表現を次に示す。図 4.4 は含水率を 70%としたキクラゲのモデルの様子、図 4.5 は含水率を 30%としたキクラゲのモデルの様子を示したものである。

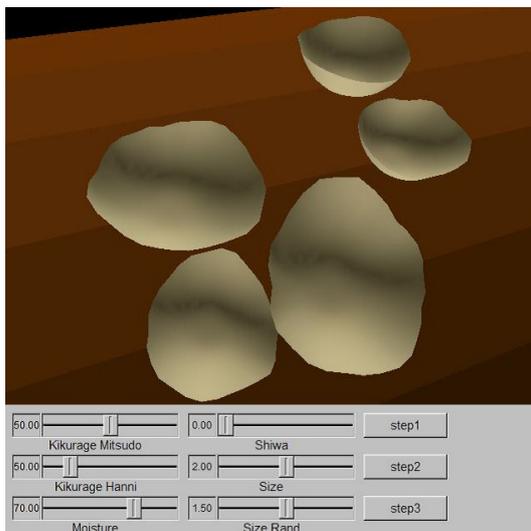


図 4.4: 含水率 70%

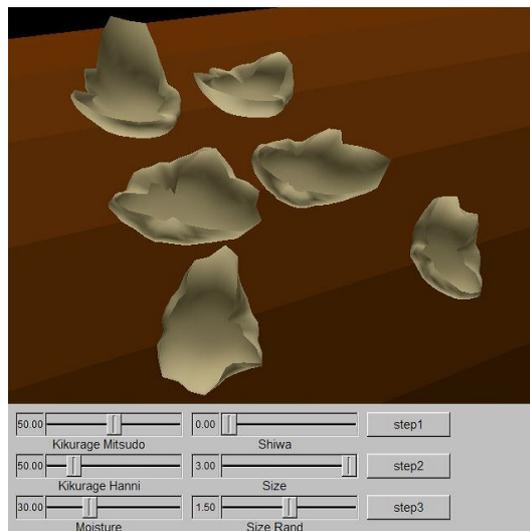


図 4.5: 含水率 30%

キクラゲのシワによる変形の表現を次に示す。図 4.6 はシワの密度を 50 としたキクラゲのモデルの様子、図 4.7 はシワの密度を 100 としたキクラゲのモデルの様子を示したものである。

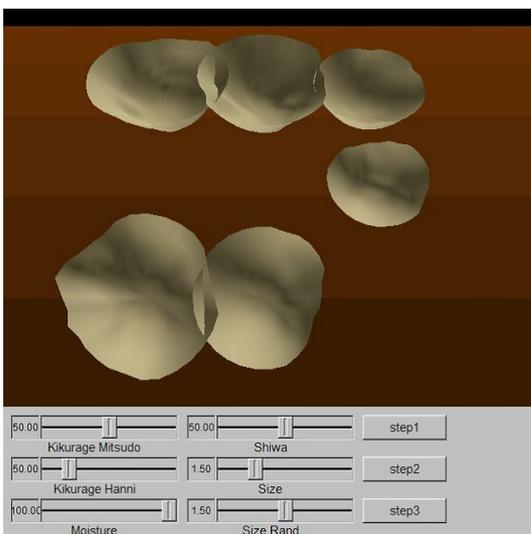


図 4.6: シワの密度 50

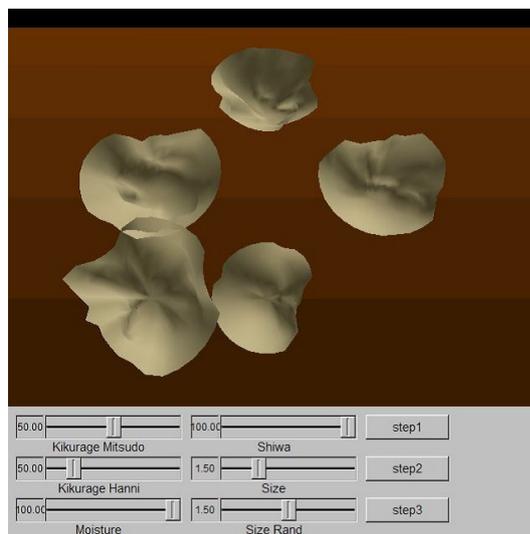


図 4.7: シワの密度 100

衝突していた 2 つのキクラゲのモデルを、衝突していない状態に変形する。図

4.8は変形前のキクラゲのモデルの様子、図4.9は変形後のキクラゲのモデルの様子を示したものである。

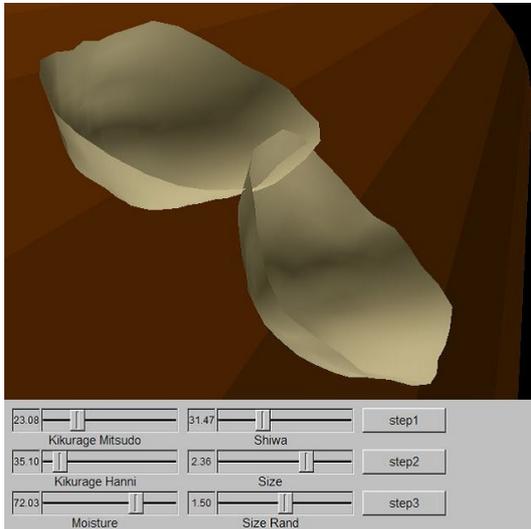


図 4.8: 変形前

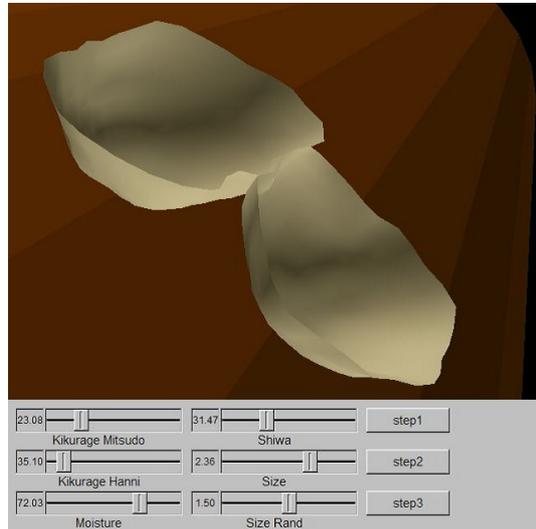


図 4.9: 変形後

当たり判定、乾燥、シワの全ての表現を反映した最終的な出力結果を次に示す。図4.10は乾燥しているキクラゲの表現を目指した出力結果、図4.11は湿っているキクラゲの表現を目指した出力結果である。

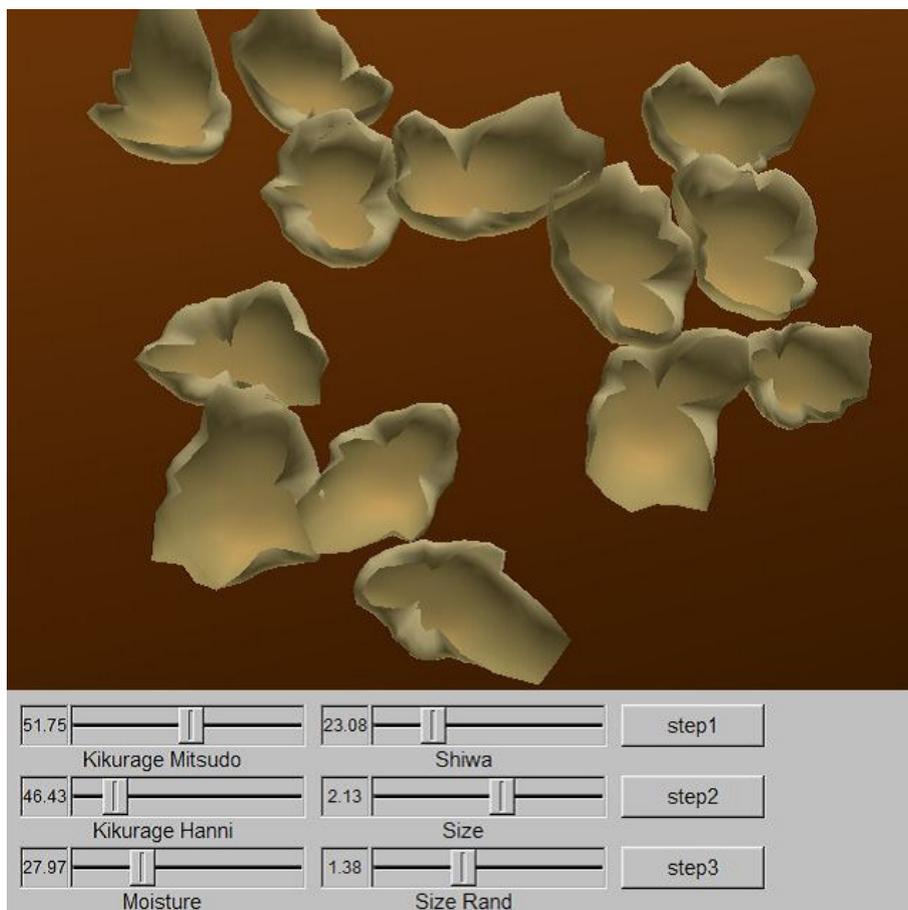


図 4.10: 乾燥しているキクラゲのモデルの出力結果

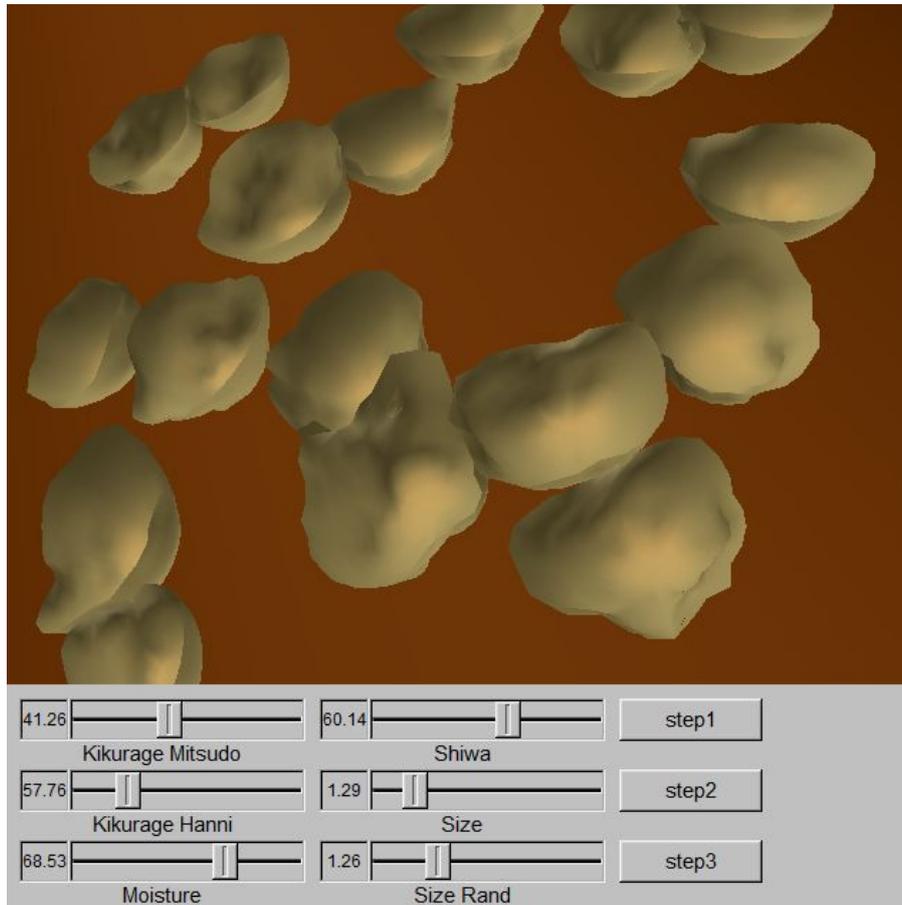


図 4.11: 湿っているキクラゲのモデルの出力結果

### 4.3 考察と課題

4.2項で示したとおり、本研究によって作成したツールは群生密度や群生範囲、サイズを自由に設定した上で、一個体ごとに形状の異なるキクラゲのモデルを大量に生成することができた。また、キクラゲの乾燥度合いやシワの密度を設定することで、キクラゲの乾燥やシワの表現を手軽に行うことができるようになった。そして、生成したキクラゲのモデルを用いてキクラゲの群生景観の表現を行うことができた。

今後の課題として、重力による変形ができていない点が挙げられる。実際のキクラゲは重力によって地面に向かって垂れ下がるが、本手法で生成するキクラゲ

のモデルは倒木の外側以外の方向に設定することができない。今後は重力による垂れ下がりの表現ができるようになることが望まれる。

また、本研究ではキクラゲが群生している景観を手軽に作成できることを重点に置いたため、キクラゲの個体ごとの色の違いや厚み、透明感などの質感表現に関しては考慮しなかった。しかし、よりリアルなキクラゲの群生景観を表現するには、現実に基づく質感表現を行う必要があると考える。

## 第 5 章

### まとめ

本研究ではユーザーがパラメータを指定し、キクラゲの群生を自由に作成できる手法を提案した。また、提案した手法を用いて作成したツールによって、本手法がキクラゲの群生景観の表現に有効であることを示した。これにより、時間をかけてモデルを作成し乾燥やシワの表現を加える手間を削減しつつ、キクラゲが倒木に群生している様子を表現できるようになった。

今後の課題には、重力による垂れ下がりの表現ができないこと、キクラゲの質感表現に関して考慮しなかったことが挙げられる。今後は重力の影響を考慮し、厚みや透明感などの質感表現を行えるようにすることが求められる。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、厳しくも優しいご指導をいただきました三上浩司准教授、渡辺大地講師、竹内亮太様、阿部雅樹様に深く感謝いたします。懇切丁寧にアドバイスしてくださいました各院生の皆様に深く感謝いたします。最後まで苦楽を共にし、時に助け合い、時に楽しく遊んだゲームサイエンスのメンバーの方々に感謝いたします。そして、金銭面や生活面で多くの支援をもらい、今まで暖かく見守ってくださった両親に感謝いたします。本当にありがとうございました。

## 画像について

- 図 2.1 は Wikipedia より引用しました。

<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

- 図 2.2 は「石頭たまきの三日坊主日記」より引用しました。

<http://www.tamaky.com/mt/>

2013年2月20日に最終確認を行っています。以上の画像は、作者から許諾を得ているか、パブリックドメインに属している画像です。

## 参考文献

- [1] 野村 浩毅、桑原 明栄子、渡辺 大地、佐々木 和郎. 環境光を考慮したコケの自動生成シミュレーション. *NICOGRAPH 2011 Autumn*, 2011.
- [2] 溝口 敦士、宮田 一乗. 表面形状を考慮した樹木の形状生成. *NICOGRAPH 2011 Spring*, 2011.
- [3] Silviu S. Andrei, Glen Ellyn. Efficient terrain ocean & rendering for a real size planet. *SIGGRAPH2012*, 2012.
- [4] Xi Wang, Lifeng Wang, Ligang Liu, Shimin Hu, Baining Guo. Interactive modeling of tree bark. *Proceedings of Pacific Graphics 2003*, 2003.
- [5] 大賀 祥治. キノコ博士大賀先生のキノコミュージアム キノコ図鑑.  
<http://www.kenko-shien.com/ohga/mush.html>.
- [6] Angela B., George W. Modeling mushroom fairy rings. *Capital University*, 2003.
- [7] Brett Desbenoit, Eric Galin, Samir Akkouche. Modeling cracks and fractures. *The Visual Computer*, 2005.
- [8] 本郷 次雄、上田 俊穂、伊沢 正名. 山溪フィールドブックス7 きのこと. 山と溪谷社, 2006.

- [9] Brett Desbenoit, David Vanderhaghe, Eric Galin, Jerome Grosjean. Interactive modeling of mushrooms. *EUROGRAPHICS 2004*, 2004.
- [10] 鹿児島県森林技術総合センター. 特用林産.  
<http://www.kpftc-pref-kagoshima.jp/kankoubutu/saka-kiku.pdf>.
- [11] 関東・中部の中山間地域を活性化する特用林産物の生産技術の開発 (1) .  
<http://www.kpftc-pref-kagoshima.jp/kankoubutu/saka-kiku.pdf>.
- [12] Ken Perlin. An image synthesizer. *SIGGRAPH'85*, 1985.
- [13] Tomas Akenine-Möller/Eric Haines、川西 裕幸. リアルタイムレンダリング 第2版. 東京印書館, 2006.
- [14] Perlin ノイズ.  
[http://www.technotype.net/hugo.elias/models/m\\_perlin.html](http://www.technotype.net/hugo.elias/models/m_perlin.html).
- [15] Perlin noise.  
[http://freespace.virgin.net/hugo.elias/models/m\\_perlin.htm](http://freespace.virgin.net/hugo.elias/models/m_perlin.htm).
- [16] 木曾康二 芽暁陽 豊浦正広. 観察に基づく紙の劣化形状モデリングに関する検討. 情報処理学会研究報告, 2009.
- [17] 土橋 宜典、安生 健一、山本 強. セル画調の煙のモデリングおよびレンダリングシステムの開発. 情報処理学会, 2007.
- [18] Fine Kernel Project. Fine kernel tool kit system.  
<http://fktoolkit.sourceforge.jp/>.
- [19] 渡辺 大地. リアルタイムグラフィックスのためのツールキットに関する研究. 1996.
- [20] OpenGL.org. Open gl. <http://opengl.org/>.