

2003年度 卒業論文

ひび割れを考慮した木材の
経年変化のシミュレーションに関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 Web3D プログラミングプロジェクト

学籍番号 00P249

田中 健介

2003年度 卒業論文概要

論文題目

ひび割れを考慮した木材の
経年変化のシミュレーションに関する研究

メディア学部
学籍番号：00P249

氏名

田中 健介

指導
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

木材, 経年変化, ひび割れ, コンピュータグラフィックス

近年のコンピュータ技術の発展にともない、以前のコンピュータの能力では困難とされてきた現象・事象をCG（コンピュータグラフィックス）にて表現するための研究が行われており、中でも自然現象の表現については雪や炎の表現や苔や錆びといった付着物の生成方法などに関する研究が盛んに行われている。

また、そういった自然現象の中で素材の経年変化はよく目にする現象であり、なおかつ一目で変化の様子を把握できるため空間の時間経過を表現する指標として重要な役割を果たしている。様々な素材の中でも木材は建築材やインテリアなど、利用分野が非常に多岐に渡っており優れた科学的性質を有しているために我々に最も近い自然物のひとつである。しかしその構造や性質上の問題から時間経過によって腐敗、虫害、割れなどによりその様子や性質を大きく変化させていく。

本研究では木材の経年変化に焦点を絞り、その経年変化の中でもより顕著にその変化を確認できる割れという現象を含めた新しい木材の経年変化のモデルを提案する。はじめに木材の断面に現れる年輪や心材・辺材などの幾何学的パターンを考慮したモデルの作成手法について述べ、次に割れの生成手法について述べる。最後に検証例によって本研究の独自性、有用性について述べ、最後に問題点、今後の展望について言及する。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	3
1.3	本論文の構成	3
第2章	木材について	4
2.1	木材の種類	4
2.2	本手法でモデル化を行う木材	7
第3章	木材の断面に表われる特徴	8
3.1	早材と晩材	8
3.2	心材と辺材	9
3.3	木材におこる割れ	10
3.3.1	木材の割れのメカニズム	10
3.3.2	木材の割れの種類	10
第4章	ひび割れを考慮した木材のモデル化と割れのプロセス	12
4.1	木材のモデル化	12
4.2	「割れ」	15
4.2.1	ばねモデルによる割れのモデル化	15
4.2.2	割れの発生	16
4.3	割れの表現・プロセス	16
第5章	検証・考察	22
5.1	検証	22
5.2	考察	24
第6章	まとめ	26
6.1	今後の課題と展望	26
	謝辞	27

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景

近年のコンピュータ技術の急激な発展に伴い、今までに処理速度の遅さやグラフィック性能上の問題などの理由から CG (コンピュータグラフィックス) では表現が困難とされてきた様々な現象や事象を表現する研究が盛んに行われている。その中でも素材の経年変化は一目でその変化を確認でき空間の時間経過を表現する重要な因子であり、自然界でよく見られる現象であるため金属の腐食 [1] や石の風化 [2]、コケの表現・生長 [3] といった経年変化のシミュレーションやその表現法が活発に研究されている。経年変化とはあらゆる素材が時間の経過とともにその性質、外観などの状態が変化することをさす。

一般的に CG 分野で素材の経年変化を表現することの有用性としてはリアリティの向上が挙げられる。バーチャルリアリティ [4] やゲームなどの分野ではプレイヤーが仮想空間上でインタラクティブに操作を行うために昼、夜などの空間の色の変化や四季などの表現は時間経過を伝える指標として役に立つ。また長期時間経過によって地形や物質、形状が変化することは空間の時間経過をよりリアルに伝えることができると言える。バーチャルガーデニング [5] や景観シミュレータ [6] などのアプリケーションは公園や自宅の庭などを PC 上で自由にデザインし、その 3D 空間上を歩いたり、空間の時間経過をシミュレートすることができるソフトである。こういった景観シミュレーションソフトはリアリティを向上させるための一機

能として家の外壁の劣化、樹木成長などの経年変化を表現するために天候、季節などを考慮した時間変化の機能を付加している。またこういった自然景観のソフトでは公園やダムなどの公共施設や建築物などを適用分野としているため川、花、草、木など自然物の表現が重要となる。中でも木についてはガーデニングなどの分野では樹木の生長、公園では橋やベンチなどに使用されている木材の経年変化など多種多様な変化をしていくものであり、シミュレーションやCG表現など様々な分野から需要が多い。また木材はその多様な用途や木各々の機能・性質から我々の生活に必須なものといえる。しかし、湿度や日当たりなどの外的要素によっては過剰な水分濃度による腐敗や虫害、乾燥収縮による割れなど、さまざまな経年変化をする物質であるといえる。中でも割れは他の2つの経年変化に比べ外部から変化を確認でき、素材の強度や形状に大きな影響を与えることから経年変化のシミュレーションの中で非常に重要な因子として捉えることができる。しかし、木材の経年変化をCGシミュレーションした例は過去にいくつかあるが、千葉らの手法[7]は形状変化としては収縮のみを表現しており上に記した割れや虫害という現象を実現しておらず今後の課題として挙げている。他に河合らの手法[8]や桃井らの手法[9]は木目を写實的に表現する手法であり、やはり割れという現象は実現していない。

また、割れという自然物でよく見られる現象の表現方法としては割れを幾何学的なパターンとして写實的に表現する方法が多くとられてきた。テクスチャを使用する方法がもっとも一般的でモデル自体の形状を次第に変化させていくものは非常に少ない。さらにテクスチャを使用する方法も含め二次元上での処理を前提としていることが多い。広田らの手法[10]もその一つであり、広田らは二次元上にて割れという現象を収縮率、強度などの物理的なパラメータのみで表現する方法を提案している。ただし、ここでの成果は物体の表層のみにひび割れのパターンを表現し、発生したひび割れを成長させるという点においてであり、リアリティなど表現方法については今後の課題として挙げている。

そこで木材の経年変化において割れという現象を木材の経年変化のモデルに付

加し表現する方法を提案する。

1.2 研究目的

本研究では木材の経年変化に焦点を絞り、その経年変化の中でもより顕著にその変化を確認できる割れという現象を含めた新しい木材の経年変化のモデルを提案することを目的とした。

また、今回は木材の中でもマツやヒノキなどの針葉樹と呼ばれる樹木を対象とした。なぜなら針葉樹はその性質から先に挙げた木材として使用されるケースが多く、我々の身近にある木材といえるからである。針葉樹の丸太が屋外に放置された状態を想定し経年変化のビジュアルシミュレーションを行った。その際に木材に割れという現象を付加することにより空間の時間経過をよりの確に伝え、リアリティを向上させるとともに意図したひび割れパターンをCGを目的として発生させることを目的とした。

1.3 本論文の構成

本論文では第二章で実際の木材の種類と本研究で使用する木材について述べ、第三章で使用する木材の断面に表われる特徴や名称とその性質、実際の木材におこる「割れ」の種類について述べる。第四章で本論文で採用する手法について木材のモデル化の方法、割れの表現方法、シミュレーション方法などについて述べる。その結果を第五章で検証、考察を行い、第六章にて今後の課題・展望について述べ、結論をまとめる。

第 2 章

木材について

本章では木材の種類や性質を述べ、本研究で使用する木材の種類について述べる。

2.1 木材の種類

自然界に存在する木々は大きく針葉樹と広葉樹の 2 種類に分けることができる。樹種については針葉樹には 540 種、広葉樹には約 20 万種存在し、広葉樹の方が針葉樹よりも進化した複雑な構造を持っている [11][12]。まず針葉樹と広葉樹の材質、性質について違いを以下に記す。

- 針葉樹
 - － 葉が針のように細かく、多くは先端がとがっている
 - － ほとんど常緑樹である
 - － 年輪がはっきりしている
 - － 樹液を運ぶ導管がなく、木の繊維がその役割を果たす
 - － 木目が比較的まっすぐに通っている
 - － 材質が軽くて、柔らかい
 - － 一般に加工しやすい

- 広葉樹
 - － 葉は広くて平たい
 - － 落葉樹と常緑樹がある
 - － 年輪がはっきりしていない場合がある
 - － 幹は導管と木繊維からできている
 - － 木目は複雑に変化して美しいものが多い
 - － 材質は硬くて重い
 - － 一般に加工しにくいが丈夫である

以上のような違いがある針葉樹と広葉樹だが、幹が真っ直ぐに成長し、木目も真っ直ぐで加工しやすい面から一般に建築材や集成材などによく用いられるのは針葉樹の方でヒノキ、スギ、アカマツ、アスナロなどが挙げられる [13]。これらは両樹の細胞的な違いからくるもので針葉樹は導管がないこともあり、ほぼ均一に細胞が並びその大きさも大差はない。図 2.1はヒノキ(針葉樹)の細胞を拡大した図を表している。ほぼ均一に並んだ細胞群を確認できる。

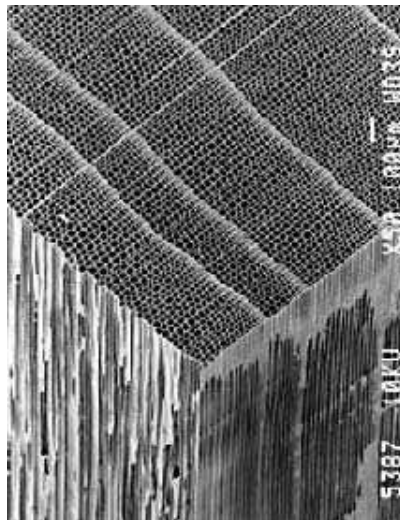


図 2.1: ヒノキ (針葉樹) の断面の拡大図

(©森林総合研究所日本産木材データベース [14])

一方広葉樹は木目も不均一で材質的に硬く、加工がしにくいことから針葉樹ほど建築材で使用されていないが木目が美しいことから内装材として使用されるケースが多い[15]。そして広葉樹では幹も分かれることがあり、真っ直ぐでないケースが多い。また、細胞レベルでも導管と木繊維が分化していることから均一に細胞が並んでおらず、大きさもばらつきが見られる。図 2.2はケヤキ(広葉樹)の細胞を拡大した図を表している。大きく開いている穴が導管である。

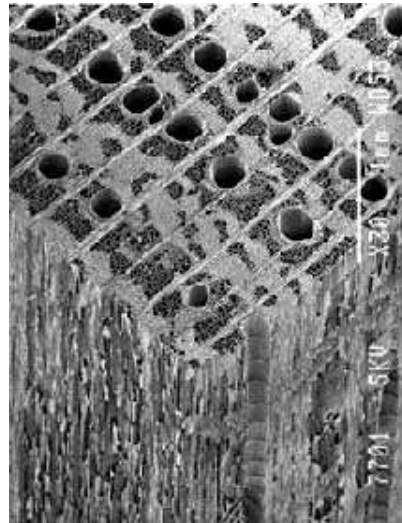


図 2.2: ケヤキ (広葉樹) の断面の拡大図

(©森林総合研究所日本産木材データベース)

2.2 本手法でモデル化を行う木材

針葉樹、広葉樹には上記に記した特徴や性質があるが、丸太や角材として使用されるケースが多いのは細胞が均等に並び加工がしやすい針葉樹である [16]。広葉樹は硬く加工がしにくいので、まとまった材が取れない点や構造が複雑であるために木目が非常に美しく、表面だけに使用したり局部に使用したりするケースが多い。しかし丸太や角材といった大きい材として使用されることは非常に少ない。

そこで本研究では針葉樹に焦点を絞り、丸太や角材として使用される針葉樹の木材が屋外に放置されたことを想定し、経年変化のビジュアルシミュレーションを行う。この際に経年変化に伴う色の変化、収縮、割れなどを木材のモデルに付加し、リアリティを向上させる。

第 3 章

木材の断面に表われる特徴

本章では針葉樹の断面に表われる木材の外見的特長、および断面に表われる木材の「割れ」の種類について述べる。

3.1 早材と晩材

日本に存在する多くの樹木の木材の断面を見ると同心円状の年輪を目にすることができる [13]。これは樹木の成長速度の違いが生む模様である。早材（別名 春材）は春から夏にかけて日の光を浴び、活発に成長した部分である。一方夏材、秋材とも呼ばれる晩材は、活動が遅くなる夏から秋にかけての成長部分である [17]。どちらも樹皮のすぐ内側にある形成層でつくられ、同一年に形成された早材と晩材を合わせた部分が年輪と呼ばれる。また年輪幅は若くて成長が早いものほど目幅が広い。一般に細胞壁の薄い早材部分は色が薄く、性質も軽くて柔らかい。細胞壁が厚い晩材部分は逆に色が濃く、重くて硬いのが特徴であり、強度があるのは目幅が狭い晩材部分が多いものである。樹種によって年輪の見分けがつきやすいものとなつきにくいものがあり、針葉樹に関しては細胞構造が単純でかつ導管がなく、大きさにも大差はないため早材、晩材の違いが見分けやすいために年輪がはっきりと表われる。

3.2 心材と辺材

丸太を輪切りにした断面をよく見ると外側に近い部分は白っぽく、中心に近い部分は赤みがかかった色をしていることを確認できる。外側の白い部分を辺材（別名 白太 シラタ）、中心に近い赤い部分を心材（別名 赤身 アカミ）と呼ぶ。組織構造上では辺材と心材に違いはなく、含水率や栄養分、不純物の有無などの違いにより色や化学的性質が異なっている。辺材は樹液の流動や栄養分の貯蔵など植物が生長する上で必要な機能を持った細胞があり、含水率が心材に比べて高くなっている。心材は一般的に赤や褐色などの濃色をしている。これは細胞としての機能が停止しその際に残っていた樹液などが変化し色素や樹脂になり、たまっているからである。このような違いにより心材部分は辺材部分に比べ養分があまりないので虫害を受けにくく、含水率も低いため腐りにくいので耐久性が高い。次ページのはカラマツの年輪を示している。中心に近い部分（心材）が赤くなっており、外側（辺材）は白っぽくなっていることが確認できる。



図 3.1: カラマツの断面（©木精舎 [18]）

3.3 木材におこる割れ

3.3.1 木材の割れのメカニズム

本節では木材の断面におこる割れについて論述する。木材の断面におこる割れは収縮による引張応力が原因でおこる [19]。引張応力とは木材の水分が減少し、近隣の細胞が収縮し、引っ張り合うことにより生じる力である。通常、収縮をするのであれば物体が小さく縮んで行くが木材の場合、収縮率が場所によって異なっているために単純に縮むわけではない。放射方向（丸太の中心から外側に向かう方向）と接線方向（年輪に沿った方向）で収縮率に 1:2 程の違いがありこの差が木材の割れに影響している [11]。放射方向よりも接線方向に大きく縮んでいくためそこからひずみが生まれ、割れとなる。また中心側よりも外側の方が円周が長い分収縮する量が多いため割れが外側に行くにつれて大きくなっていく。

3.3.2 木材の割れの種類

丸太の断面に表われる割れには 2 種類あり、どちらも収縮による引張応力が原因でおこる [20]。2 種類の「割れ」について以下に記す。

- 目まわり
 - － 年輪に沿った弧状の割れのこと
 - － 環裂とも呼ばれる
- 心割れ
 - － 年輪の中心から放射組織に沿って放射状に外側に進む割れ
 - － 複数の細胞にわたって大きく割れる事が多い



図 3.2: 木材におこる心割れ、目まわり (©(有) 栗駒建業 [21])

前ページの図 3.2は木材の断面におこった「心割れ」、および中心部で「目まわり」が起こっている様子を表したものである。先に挙げた「早材と晩材」、「心材と辺材」の性質の違いが割れに与える影響は大きい。目まわりは早材と晩材の硬さの違いにより起こる。また心材は辺材に比べ含水率が低いため割れにくいという特徴がある。本研究では針葉樹の丸太が屋外に放置された状態を想定し、早材と晩材、心材と辺材という木材の断面での性質的、外見的特長を考慮して経年変化のCG表現を行う。木材の断面に表われる割れは目まわりと心割れの二つに大別される。次章で紹介する既存の手法に付加し、実装を行う。

第 4 章

ひび割れを考慮した木材のモデル化と 割れのプロセス

本章ではひび割れの表現を目的とした木材モデルの表現方法、割れの定義と表現、そして経年変化のシミュレーション手法について述べる。

4.1 木材のモデル化

木材モデルでは木目を写実的に表現する手法 [9] が提案されているが本研究では木材の経年変化の表現を目的とした平面格子を利用したシンプルなモデルを使用する。図 4.1 は木材モデルの概念図を表したものである。早材、晩材の格子の密度の差異については格子間隔を操作することで表現する。格子間隔 $D(n)$ は次式に示す周期関数とした。

$$D(n) = \beta(\cos \alpha n + 1.0) \quad (4.1)$$

α の値により格子の周期を変動でき、 β の値により格子間隔を変動することができる。このようにして早材、晩材を考慮したモデルを作成する。

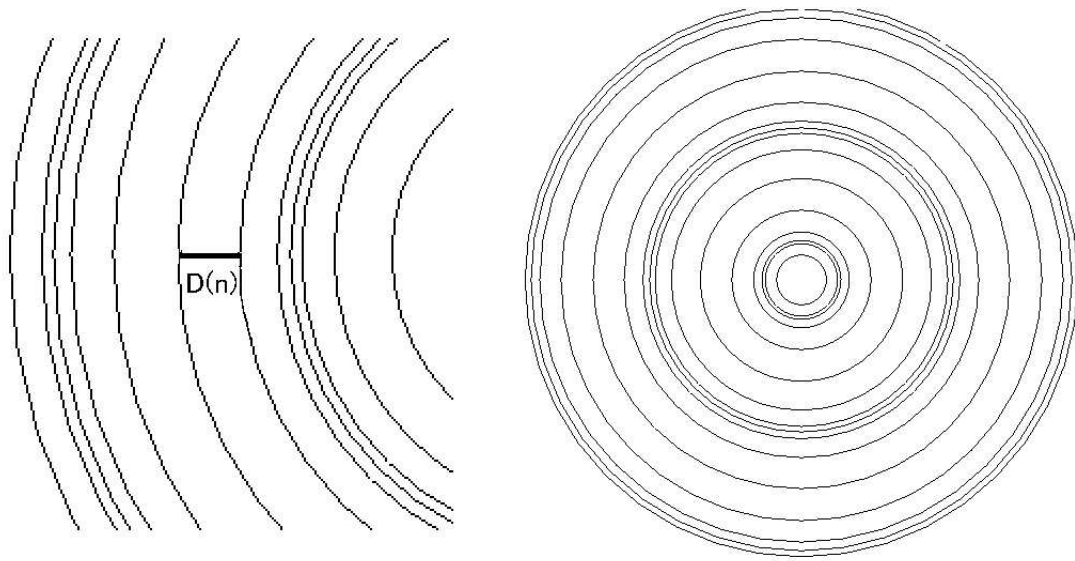


図 4.1: 木材モデル 概念図

これにより晩材部に近づくにつれ、格子は小さく、早材部に近づくにつれ格子を大きくすることにより表現する。図 4.2, 図 4.3は実際に作成した早材、晩材を考慮した丸太の断面の格子構造を表している。格子の大きさ・密度の違いが確認できる。

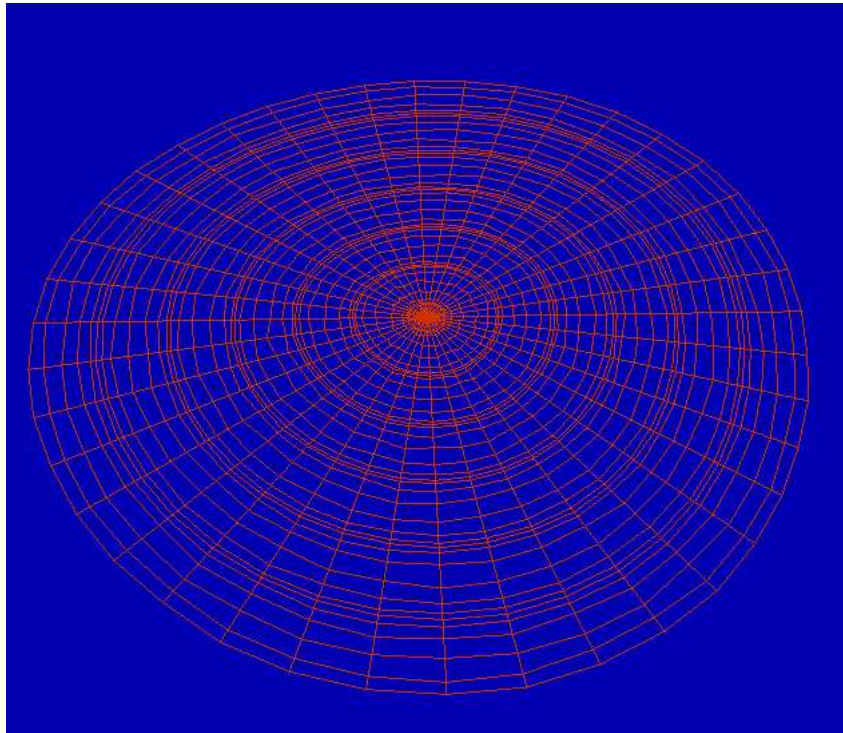


図 4.2: 早材、晩材を考慮した格子構造

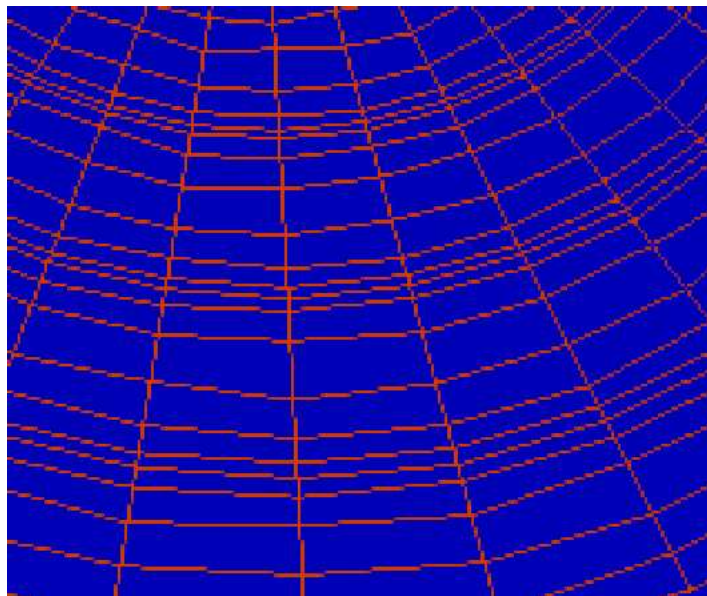


図 4.3: 早材、晩材を考慮した格子構造 (拡大図)

4.2 「割れ」

4.2.1 ばねモデルによる割れのモデル化

ひび割れは木材を構成する材料内部の結合が破断することで発生すると言える。現実の材料では応力集中などの効果もあるため単純ではないが、本研究では木材を微小領域の集合とみなし、この微小領域は各格子によって表現した。そしてこの各格子間の結合力は格子をつなぐバネで表現するものとし、あらかじめすべてのバネに伸び率を定めておき、伸び率の限界を超えた場合に破断とみなすこととした。これをバネモデルとする。図 4.4 はひび割れの発生に必要な格子構造とバネの配置を示した図である。すべての隣接する格子間をバネでつないでいる様子を確認できる。木材断面を上述のような格子とバネの二次元メッシュで表現し、変形による格子点の移動はその面内にて起こることとした。

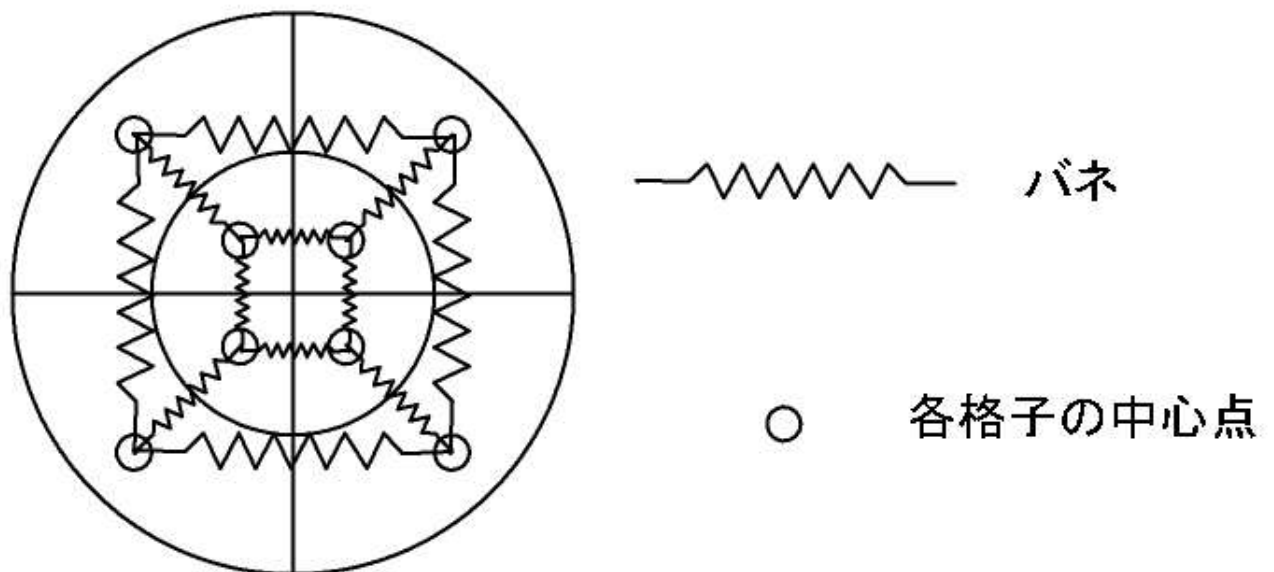


図 4.4: 格子構造とバネ

4.2.2 割れの発生

割れの発生については隣接する各格子の破断を意味し、これはバネモデルにおいてはバネの破断として表現する。また今回は対象となる素材が木材であるため、木材の箇所によって生じる性質の不均一性について考慮する。木材断面に現れる早材と晩材については早材は晩材よりも収縮率は高いが強度が低い点について、心材と辺材については心材は辺材よりも強度が高い点についてそれぞれ考慮する。これらの要素を物理的パラメータとしてシミュレーションに組み入れる。パラメータについての詳細は後述する。

4.3 割れの表現・プロセス

本節では木材の経年変化に割れをプラスしたシミュレーション方法について述べる。表現に至るまでの過程を以下の図 4.5 に示す。

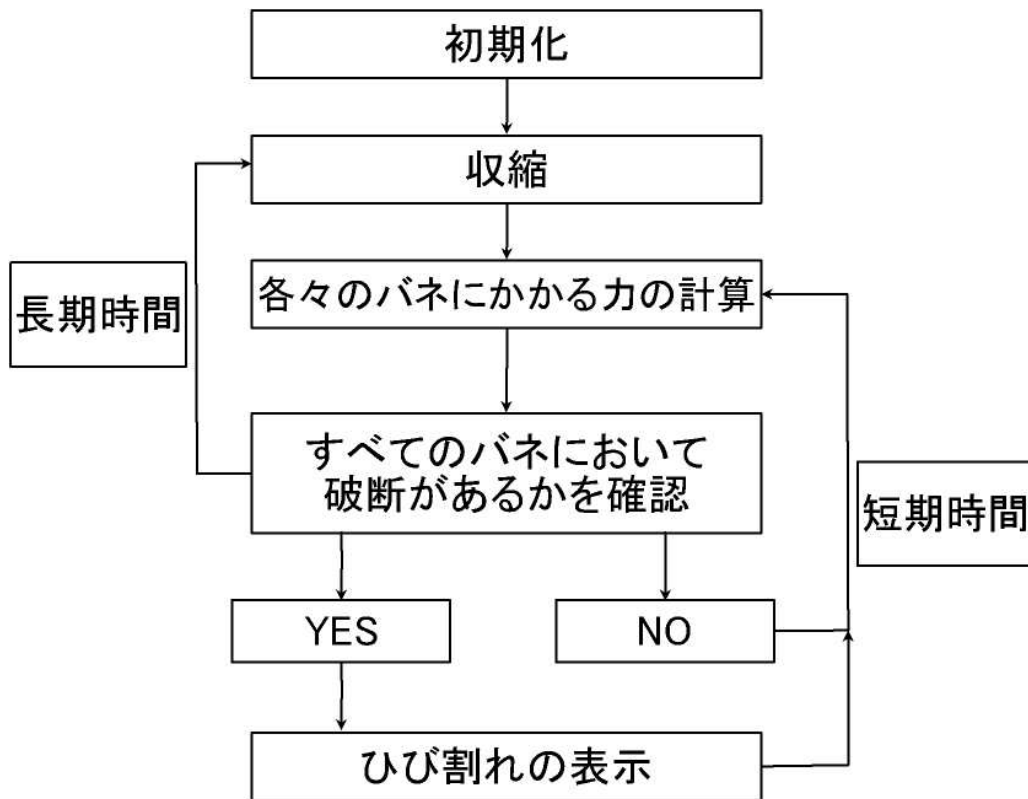


図 4.5: シミュレーションの手順

1. 初期化

はじめに木材の物理的性質をモデルに付加する。割れの発生条件として与えられるものは長期の時間間隔 $T[s]$ 、短期の時間間隔 $t[s]$ 、収縮率 $r[-]$ 、バネの結合面の断面積 $A[cm^2]$ 、許容される誤差 $\delta x[cm]$ である。

また、物体の性質を決定するパラメータとしては密度 $p[g/cm^3]$ 、ヤング率 $E[g/s^2 \cdot cm]$ 、バネの最大伸び率 $k[-]$ 、バネの自然状態 (0 Section 時) での間隔 $l_i(0)[cm]$ ので決定する。

またバネの安定については各バネが受ける力の総和を観察することにより判断できる。すなわち完全に安定した状態ではバネにかかる力は 0 となる。本研究ではこの許容される力 δF を変異に許される誤差 δx から下のよう

める。

$$\delta F = k \cdot \delta x \quad (4.2)$$

2. 収縮

木材の収縮については丸太の断面における割れ発生のための収縮として $x - y$ 平面上のバネの自然長を収縮させることによって表現する。時間 t における木材の初期状態に対する収縮率 $r(t)$ を次に示す。ここで T は長期の時間間隔、 R は長期の単位時間に対する収縮率である。

$$r(t) = R^{\frac{t}{T}} \quad (4.3)$$

3. 力の計算

丸太表面の各々のバネが受ける力 F は次のようにして求められる。

$$F_i = k_i \frac{r_i - r_j}{|r_i - r_j|} (|r_i - r_j| - l_i(0)) \quad (4.4)$$

右辺は1本のバネにかかる力を示しており、 r_i 、 r_j はそれぞれバネの両端の平面における位置である。

4. 安定/破断の判断

シミュレーション中ではすべてのバネに発生している力の大きさを毎回計算し、その値が δF より小さくなった場合に安定したものと見なす。モデルが安定状態に入っていれば、現在の収縮率ではバネの切断がないと判断されるので長期時間を進め、収縮を進めていく。

$$F_i < \delta F \quad \text{Stable(安定)} \quad (4.5)$$

5. バネの切断

与えられた k_i に基づくバネ i の切断条件は次に示す。

$$l_i(t) = k_i \cdot l_i(0) \quad (4.6)$$

(4.6) 式で $l_i(t)$ は現在のバネの長さ、 $l_i(0)$ はバネの自然長である。バネの切断はバネ定数を 0 とすることで表現する。割れの幅は切断された時 (t Section) のバネの長さ $l_i(t)$ を求め、その長さから切断されたバネの自然長 $l_i(0)$ を差し引いたものである。また切り口はバネの中央部に発生するものとする。ただし、本研究では木材の割れという特殊な形状変化を考慮した割れを表現するために、バネが切れた際の表現方法を 3 パターンに分けた。単一のバネが同時に切れたとき、2 本のバネが切れたとき、3 本以上のバネが切れたときの 3 パターンに分け、多様な形状変化を実現した。3 パターンの割れについては次ページに記す。

- 1本のバネが切れた際の表現

単一のバネが切れた際の表現に関してはバネの両端と中点から割れの幅の1/2の値を足した点、割れの幅の1/2の値を引いた点の計4点で割れの領域を作成する。図4.6は1本のバネが切れたときの割れの作成方法を示している。

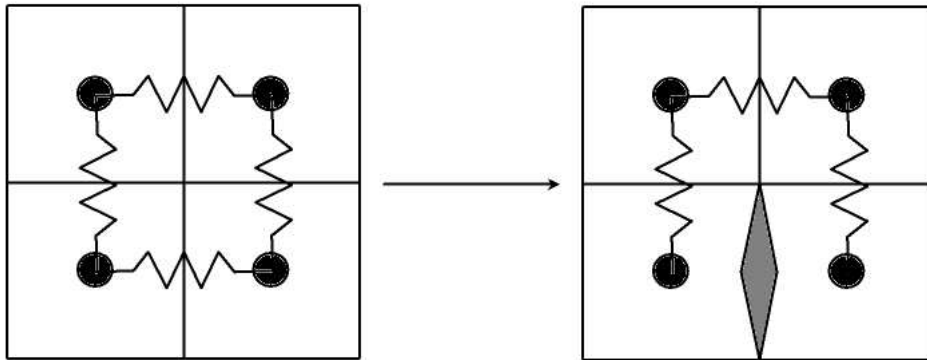


図 4.6: 1本のバネが切れた際の表現

- 隣接する2本のバネが切れた際の表現

隣接する2本のバネが切れた際には切り口を相互に直線で結ぶことで表現する。図4.7に2本のバネが切れたときの様子を示す。

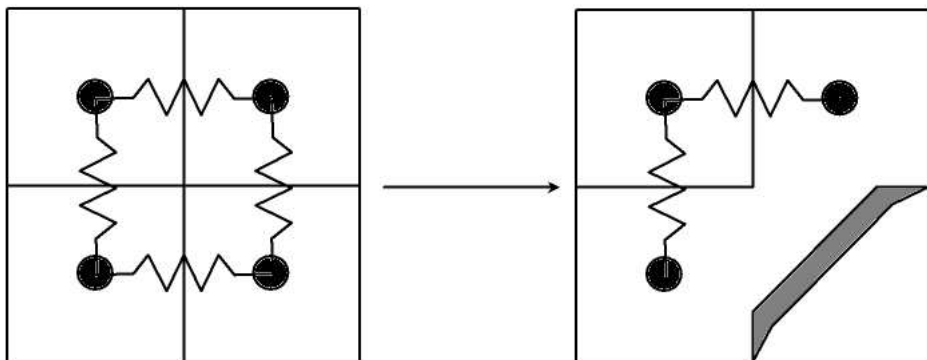


図 4.7: 2本のバネが切れた際の表現

- 隣接する3本以上のバネが切れた際の表現

3本以上のバネが切断された場合には1本のバネが切れた際と2本のバネが切れた際の表現方法を組み合わせることで表現できるが3本の中央部が微妙な窪み方をしてしまい、適切な表現とは言えない。そこで割れを組み合わせる際に中央部では割れは収束せず、切れたバネの中心点にて収束すること表現する。図4.8は3本のバネが切れたときに表現方法を示したものである。中心部にて割れが収束していないことが確認できる。

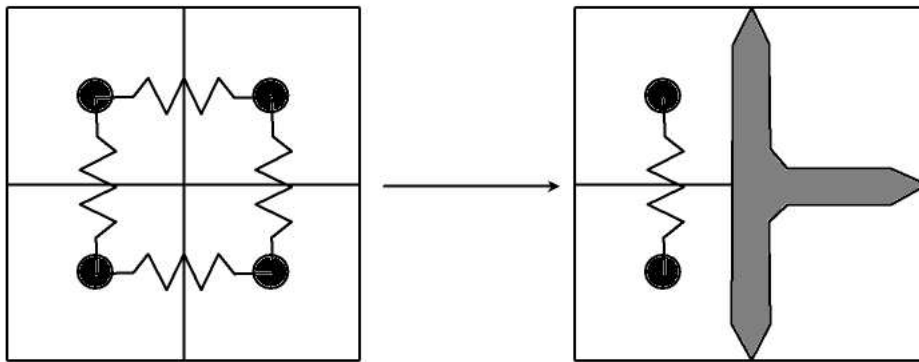


図4.8: 3本のバネが切れた際の表現

以上の描画アルゴリズムを用いて経年変化による木材の割れを表現する。

第 5 章

検証・考察

本章では 4 章で述べた手法を用いて割れを付加した木材の経年変化のシミュレーション例を示し、その有用性について検討、考察を行う。

5.1 検証

本研究では 3D グラフィック ツールキットである FK System[22] を用いて実装を行った。まず 4 章で述べた手法を用いて木材のモデルを作成し、経年変化のシミュレーションを行った。実行の様子を図 5.1-図 5.4 に記す。

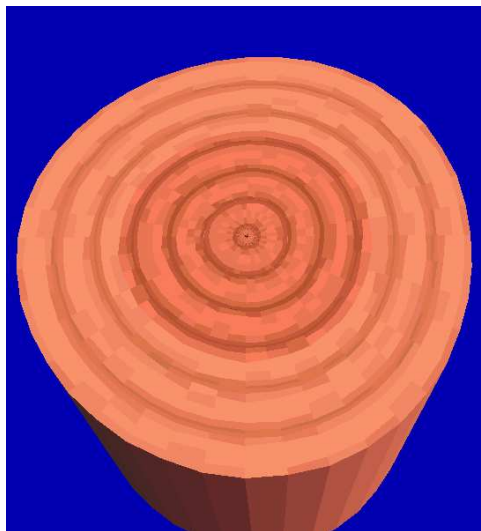


図 5.1: 実行の様子 その 1 (0 Section)



図 5.2: 実行の様子 その 2 (60 Section)

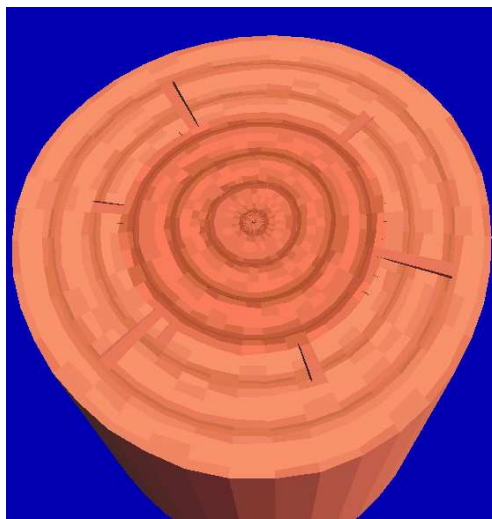


図 5.3: 実行の様子 その 3 (100 Section)

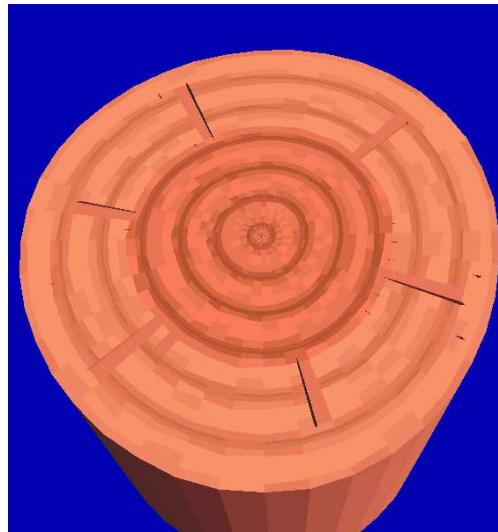


図 5.4: 実行の様子 その 4 (150 Section)

図 5.1-図 5.4になるにつれて徐々に心割れが発生し、成長していく様子が確認できた。また木材外周部である辺材では割れが発生しているが木材中央部（心材）にはその性質の違いからまだ割れが発生していない点についても確認することができた。

また、図 5.4では外側にまで割れが至っているのが確認できるが割れが外側に進むにつれ、広く割れていることも実現できた。

5.2 考察

今回、木材の断面における割れという現象に着目し、経年変化のシミュレーションを行った。時間経過によりその形状が変化することにより、高速に長期時間の経過が必要な自然景観シミュレーションやテレビなどの動画像にて有効であるといえる。しかし、次のような問題点が挙げられる。

- 木材のデータ量と計算コスト

木材のモデルを作成するために今回は約 2000 の点群を用意し、モデルの作成を行った。これだけでも十分データ量として多く、計算コストが高くなっている。そして割れなどを付加するために点群を追加したためにさらにデータ量が大きくなり、同時にそのデータ量の多さから計算コストについても膨大になってしまったことが今回の問題点として挙げることができる。

- 外的要因による生成物の付着

木材の経年変化には割れ以外にも苔・カビなどの外的生成物の付着といった現象が起こる。今回ではこれらについては考慮しなかったが、より木材らしい経年変化をするための因子として考慮する必要がある。

第 6 章

まとめ

6.1 今後の課題と展望

本研究では木材の経年変化のシミュレーション法として木材の断面に現れる「割れ」という現象を付加し、物理的なパラメータによってその挙動を操作できる形状の経年変化法を提案した。また、シミュレーション例によりその有用性を示した。

今後の課題としては木材表面に起こる苔・カビの生成や外部の環境におけるほかの生物の付着（キノコなどの菌類等）を付加することや、木材定義のデータ量の削減、計算コストの削減などが挙げられる。データ量の削減、計算コストの削減については今後のハードウェアの進歩や新しいアルゴリズムの構築により改善できるものと思われる。ただし、現状では経年変化のビジュアルシミュレーションにおいて長期時間を必要とすることからリアルタイム性は不必要であるが、今後テレビなどで自然景観や植物の生長などを高速で表現する必要がある場面が出てくる可能性もあり経年変化の経緯を表現することはリアリティの向上以外にも重要である。

今後は以上に挙げた問題点を課題とし、より完成度が高く効率的な表現方法が確立されることを期待したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、温かいご指導、適切なアドバイスをしていただいた本校メディア学部 渡辺 大地 講師、和田 篤 講師に心より感謝の意を表します。

そして、本論文を執筆するにあたり木材の画像の転載を許可していただきました木精舎様、(有) 栗駒建業様、森林総合研究所様に深く感謝を致します。

また、研究生生活において様々な指示・アドバイスをいただいた本校メディア学部渡辺研究室の皆様方に感謝致します。

さらにこれまで温かく見守ってくださった家族に感謝致します。

最後に本研究に協力していただいたすべての方々に感謝致します。

参考文献

- [1] Julie Dorsey 「Modeling and Rendering of Metallic Patinas」, SIG-GRAPH, pp. 387-396, 1996.
- [2] Julie Dorsey 「Modeling and Rendering of Weathered Stone」, SIG-GRAPH, pp. 225-234, 1999.
- [3] 小笠原 祐治, 村岡 一信, 千葉 則茂「温度や湿度の局所的な条件を考慮した苔のビジュアルシミュレーション」, 芸術科学会論文誌, Vol2 No.1 pp.31-39, 2003.
- [4] バーチャルリアリティ,
<http://ew.hitachi-system.co.jp/w/VR.html>.
- [5] バーチャルガーデニング,
<http://www.jfp.co.jp/garden/index1-2.htm>.
- [6] 景観シミュレータ,
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/urban/keikan/simula/panel.htm>.
- [7] 千葉 則茂 「木材の経年変化のビジュアルシミュレーション法」, 芸術科学会論文誌, Vol.1, No.3, pp.108-110, 2002.

- [8] 河合 直樹 「樹木内部の繊維配向性モデルと木目テクスチャ生成における質感表現」, 情報処理学会論文誌, Vol41, No.3, pp.586-593, 2000.
- [9] 桃井 貞美 「枝分かれを考慮した木目の表現手法」,
情報処理学会論文誌, Vol.35, No.3, pp.461-467, 1994.
- [10] 広田 光一 「物理的モデルに基づくひび割れパターンの発生」,
情報処理学会論文誌, Vol37, No.12, pp.2235-2242, 1996.
- [11] 木のはなし, <http://www.d8.dion.ne.jp/~log/kinohanasi.htm>.
- [12] 知っておきたい木材の基礎知識 Part2,
http://www.powerstage.com/~kenmokuju/dictio/cisiki/default_2.html.
- [13] 木の特質, <http://dougukan.jp/bunka/B11.html>.
- [14] 森林総合研究所 日本産木材データベース,
<http://f030091.ffpri.affrc.go.jp/index1.html>.
- [15] 木材の性質を理解する ~ミノルホーム~,
<http://www.tokusen.info/minoru/material/01.html>.
- [16] 樹木学, ピータートーマス著, 熊崎 実 浅川 澄彦 須藤彰司 訳, 築地書館, 2001.
- [17] 資産評価システム研究センター
家屋評価用語集 木材・木質材料・竹材,
http://www.recpas.or.jp/jigyo/report_web/html_0023/hon023_020.htm.
- [18] 木と年輪,
http://homepage2.nifty.com/mokuseisha/ki_nenrin.htm.
- [19] 材 - 樹木のかたちの謎 -, C. マテック, 青空計画研究所, 1999.

[20] 木材の特性について,

[http://www.pref.ehime.jp/060nourinsuisan/080ringyou/
00001461021016/3_rinsan/18.19.htm](http://www.pref.ehime.jp/060nourinsuisan/080ringyou/00001461021016/3_rinsan/18.19.htm).

[21] 木材の基礎知識 ~ 背割れ ~ ,

<http://www.ad.wakwak.com/~za-daiku/yomoyama7-3.htm>.

[22] FK Toolkit System,

<http://www.teu.ac.jp/media/earth/FK/>.