

Tangent sphere accessibility にもとづくエイジング効果のレンダリング

江浦 由佳 藤代 一成

お茶の水女子大学 理学部 情報科学科
〒112 東京都 文京区 大塚 2-1-1

近年のコンピュータグラフィクス (CG) の表現力には目を見張るものがあるが、現在のCG画像のほとんどは真新しく見えるものを対象としている。しかしながら、現実の世界を写実的に描写する上で、エイジング効果は避けられない要素である。例えば、CG モンタージュや augmented reality 等で現実世界から獲得した画像とCG画像との違和感のない合成が必須となっている現在、現実世界に存在する汚れと同様な汚れを合成する技術が求められている。そこで本論文では、現実世界に存在する汚れの一種であるハケではいてもはききれない汚れをCG表現することを目的とする。Miller [1] によって化学の分野からCGの分野に導入された accessibility の概念を、どのように汚れの表現に反映させるかを考え、実際にエイジング効果をふまえたCG画像を生成する。さらに、関連パラメータの制御によって汚れ具合をどのように変化させられるかを実験により検証する。

キーワード：画像合成，エイジング，レイトレーシング，到達可能性

Rendering aged objects based on tangent sphere accessibility

Yuka Eura and Issei Fujishiro

Department of Information Sciences, Faculty of Science
Ochanomizu University
2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112, Japan

Although recent Computer Graphics(CG) can produce expressive images, most of them are likely to viewed "new". From the viewpoint of photoreality, it is very important to synthesize aged things as they are in the real world. For instance, in CG montage methods and augmented environments, synthesized objects are required to be superimposed without any sense of incompatibility onto images acquired from the real world. The purpose of this paper is to take advantage of "accessibility" to synthesize aged objects with dusty area which brushes can not reach. The idea of accessibility in chemistry has been applied by Miller[6] to specify such an inaccessible area. The controllability of accessibility-based rendering of dusty objects is proven empirically with a simple geometric object.

Keywords : image synthesis, aging, ray tracing, accessibility

1 はじめに

近年、CMや映画などを筆頭にさまざまな分野で用いられているコンピュータグラフィクス(CG)は、私たちを驚かせるほどの表現力を得ている。しかし、現在のCG画像で表示されるオブジェクトのほとんどは真新しく見える。それに対して、現実世界には、時間の流れというものが存在し、新しいもの以外にも汚れているものが多数存在する。このことから、エイジング効果を受けた、古ぼけたものを、CGでも表現できないかと考える。

CGで表現されるオブジェクトと現実世界の対象との違いは、両者を合成する際に顕著に現れる。一例として、景観シミュレーションにおけるCGモンタージュをとりあげる。この分野については、さまざまな研究がなされていて、違和感のない合成を行なうための方法も既に研究されている。例えば、実写とCGオブジェクトの建物を合成する際に、遠くのオブジェクトほど霞の影響を受け、青みがかかることを利用した空間的な処理の研究[7]が知られている。しかし、この分野で合成に用いられるCGオブジェクトは、通常新しいものに限定されていて、経時変化については加味されていない。建てたばかりの新しい建物とその周囲の環境との調和を見ることは、現在の技術で十分得られるかもしれない。しかし、建物の老化を考慮に入れて評価できるならば、数年経過した後の建物がどのようにそのまわりの環境と調和するかを建てる前から十分検討することができる。また、現実世界と仮想空間の合成である augmented reality[5]においても、エイジング効果を表現することは必要不可欠である。なぜならば、現実世界にある汚れと同じエイジング効果を仮想空間に施すことは、没入感を維持するために重要なファクターであると認識されているからである。以上述べてきたように、エイジング効果を含んだ画像合成は、これから避けられない課題の一つであると言える。

ここで、従来の技術で汚れを表現することを考える。例えば、現実の汚れを写真に撮り、それをテクスチャマッピングすることもできる。この手法を用いることによって、一面に付着した汚れについては容易に表現することができる。しかし、局所的に形状に起因するような汚れ等を表現することは難しい。現実世界の具体例というならば、ハケではいもはききれない、ハケ先が届かない溝の汚れ(ホコリ etc.)がこれに相当する。また同一対象の経時変化を系統的にトレースできるようなテクスチャを複数用意す

ることは至難である。汚れを合成する先行研究としては、物理法則に忠実に従い、シミュレーションすることによって、ホコリの堆積を表現する研究[8]等も知られているが、対話的なCG環境を実装する上で、結果としてもっともらしい表現が得られるならば、物理法則に従う計算よりも、同様の効果が効率的な計算で得られる方が望ましい。

そこで本論文では、次節でMiller[6]によって化学の研究から導入され、ハケが届かない領域を特定する accessibility の考え方を導入する。3節でこの概念をもとに、現実世界に存在する形状に依存した汚れをCGで表現することを試みる。さらに4節で同じ形状に対しても、汚れ具合を制御できないか実験により検証する。最後に5節で本論文をまとめ、今後の課題にふれる。

2 Accessibility shading

2.1 accessibility とは

本研究で用いる accessibility は、CG分野で初めて導入されたものではなく、70年代から化学の分野で既に利用されていた考え方である[3][4]。化学反応は、分子同士が接近することによって起こるため、この accessibility を用いてある分子に溶媒分子が届く領域の境界面をモデリングすることが提案された。この化学分野における accessibility の概念は、94年にMiller[6]によって、ハケではらってもはききれない汚れの表現のために、CG分野に適用された。以下に文献[6]で提案された2つの定義方法を示す。

2.2 Tangent sphere accessibility

図1のように、ハケ先を球状の probe とする。固定された大きさの probe が、オブジェクトの間に入り込めるかどうかを判断する。

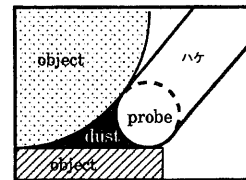


図1: ハケ先 (probe) と汚れが残る領域の関係

ここで、Tangent Sphere Accessibility(TSA)を、接することはあるが、いかなるオブジェクト面とも交差しな球の最大半径と定義する(図2)。現実世界における TSA は、その点に届くことのできる最大のハケ先の大きさを与えていると考えられる。

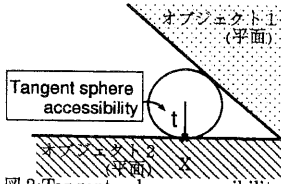


図2:Tangent sphere accessibility

accessibility の計算対象は、三種類の幾何学的プリミティブ(球, 円柱, 平面)について考えられており, 簡単な解析的アルゴリズムで計算することができる [6].

例えば, 図3のオブジェクト3上の点Xにおけるオブジェクト4 (球) に対する TSA は, 次のように計算される:

まず, tangent sphere の中心 C は

$$C = X + tN \quad (1)$$

と表すことができる。また, tangent sphere がオブジェクト4と接していることより, 次式が得られる:

$$(C - P) \cdot (C - P) = (R + t)^2 \quad (2)$$

ただし, ここで \cdot はベクトルの内積を示す。式(1), (2)より, t は次のように求められる:

$$t = \frac{R^2 - (X - P) \cdot (X - P)}{2\{N \cdot (X - P) - R\}}$$

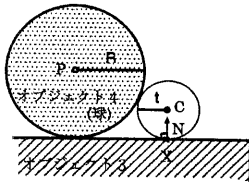


図3: 球に対する accessibility

- X : TSA を計算する点
- C : X における tangent sphere の中心
- N : X における単位法線ベクトル
- t : X における TSA
- P : 球の中心
- R : 球の半径

次に t の符号による解釈を示す。 $t \geq 0$ のとき, 計算対象となっているオブジェクトは図4(a) のようになり, TSA は t そのものである。また $t < 0$ のとき, 計算対象となっているオブジェクトは図4(b) のようになり, TSA は無限大と考えられるので, t を無限大に再設定することにする。

シーンは通常複数のオブジェクトから構成される。よって, ある点では隣接するオブジェクトごとに複数の TSA

が計算される。この場合, その点における accessibility は, これらの中の最小値と定義される。

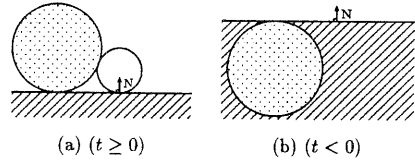


図4: t の値による幾何学的な解釈

2.3 Offset distance accessibility

もう一つの accessibility, Offset Distance Accessibility(ODA) は, TSA と同様にハケ先を球状の probe とし, オブジェクトの面上に沿って転がした probe の中心の軌跡を offset 面とし, オブジェクト面と offset 面との最短距離から, offset 半径分を引いた長さとして定義される (図5)。 ODA は, 現実世界におけるオブジェクトの元の面からそこに付着した汚れの表面までの最短距離と考えられる。計算する際には, height field を用いるか, または, ボクセル表現を用いることが考案されている [6]。計算量は TSA よりも多く必要となるが, 扱えるオブジェクトのクラスは, より広範になる。

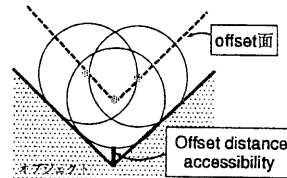


図5: Offset distance accessibility

TSA と ODA の値域の解釈は表1のように異なることに注意してほしい。

表1: TSA と ODA の範囲 (t :accessibility, r :probe の半径)

	ハケの不到達領域	ハケの到達領域
TSA	$0 < t < r$	$r \leq t$
ODA	$t > 0$	$t=0$

2.4 Transfer function

前述のように計算すれば, ハケで届かない領域を特定する accessibility の値 (数式では t) を得ることができる。その値域は, 0 から無限大 (正数) であり, これを計算機内で表示できる範囲に表現する必要がある [6]。そこで, 本研究では, 色の混合に用いられる正規化された optical level に変換する transfer function を導入する。transfer function によって accessibility をどのように汚れの表現に反映させるかを定めることができ, accessibility とは独立に,

同じ値からも、異なる汚れ方が表現できる。TSA を例にとって、optical level に変換する transfer function, g を次のように考える。ただし、ここで r は probe の半径である。

$$g(t) = \begin{cases} 1 & t \geq r & (4-1) \\ \frac{1-b}{r}t + b & 0 \leq t < r & (4-2) \end{cases}$$

$b : (0 \leq b \leq 1)$

式 (4) に示した通り、accessibility が probe 半径よりも大きい小さいかによって、optical level に変換する関数が異なる (図 6)。

式 (4-1) は、ある点の accessibility が、probe の半径よりも大きければその点にハケ先が届くことを表しているの、ホコリははきとられ、オブジェクト表面には残らないことを示している。よって、ホコリの色の影響を全く受けずに元の色がそのまま表示されることとなる。

また、式 (4-2) は、ある点の accessibility が、probe の半径よりも小さければその点にはハケが届かないことを表しているの、ホコリが取り切れずに残るとみなされる。よってホコリの色を考慮する。この区間では、元の色 (その点におけるオブジェクトの色) が、そのまま表示されるわけではなく、probe の半径に対する accessibility の割合によって元の色を割合を決めることとする。accessibility が 0 に近づくにつれて元の色は薄れ、汚れの色が強く現れる。

なお b は、accessibility が 0 の場合に (理論上、最も狭い溝)、どの程度元の色を残すかを定める定数である。 b の値を 0 にすると、accessibility が 0 であるところでは、ホコリの色そのものとなる。1 ならば、どこにもホコリは残らないことを示し、全くホコリの影響は受けない。

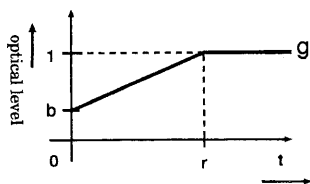


図 6: transfer function

3 Accessibility rendering の手順

Miller によって定義された TSA [6] を用いて実際にレンダリングを行なう手順を設計する。より写実的に合成する

ためには、レイトレーシング法を用いることがよいと考えられる。本論文では、ファーストヒットレイトレーシング [2] を用いて、不透明オブジェクトの可視面に対する accessibility を計算する。さらに材質感も現実と同じようにするためにテクスチャマッピングも用いることにした。

具体的な処理は、以下の Step を各ピクセルに対して繰り返す:

Step1 視点からピクセルに対し、ray をとばしオブジェクトとの交点計算を行なう。

Step2 テクスチャをマッピングする。

Step3 拡散反射光、環境光の影響を計算する。

Step4 交点における TSA, t を計算する。

Step5 以上の結果を考慮してシェーディングを行なう。なおピクセルの値は、次の式で求められる。

$$\begin{aligned} \text{pixel}(r, g, b) \\ = x(r, g, b) \times g(t) + \text{dust}(r, g, b) \times (1 - g(t)) \end{aligned}$$

$\text{pixel}(r, g, b)$: ピクセルの RGB 値
 $x(r, g, b)$: 視線との交点 x における RGB 値
 $\text{dust}(r, g, b)$: ホコリの RGB 値
 $g(t)$: transfer function ($0 \leq g(t) \leq 1$)

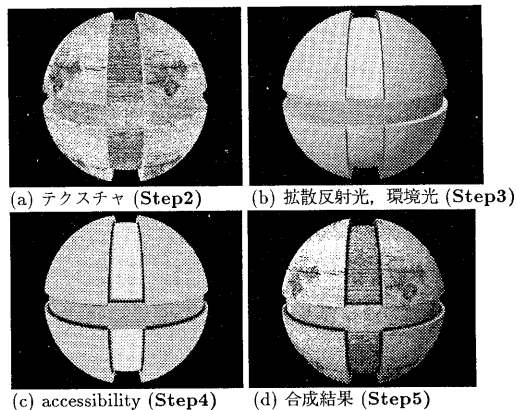


図 7: レンダリングの各要素と結果

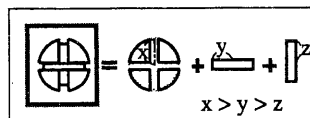


図 8: オブジェクトの構成

図 7 は、図 8 のような構成の組み木を、次節による実験と同じ環境を用いて表現したものである。図 7 の (a), (b), (c) はそれぞれの Step での要素を示し、(d) はすべてを足し

合わせた結果である。現実世界と同様に、半径の違いによってできたオブジェクトのつなぎ目が汚れの残った領域として表示される(図7(c),(d))。

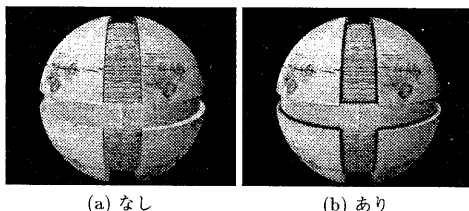
4 実験と評価

本研究の目的としているハケではいともはききれない汚れが、前節で述べたレンダリング手順に沿って実行することにより表現できるかどうかを実験によって検証する。

なお用いる環境は、SGI社Indyシステム(CPU:R4000, 100MHz, RAM:64MB)上でOpenGLを用いて実装した。

4.1 エイジングの効果

図9(b)に見られるように、現実世界において、汚れがとれにくいと思われる領域が黒くなっている。その上、奥の方がより黒く表示され、ホコリがより多く堆積しているかのように表現される。従来の技法にもとづいて得られるCGオブジェクト(図9(a))よりも本研究の技法にもとづいて得られるCGオブジェクト(図9(b))の方が、ハケではいともはききれない汚れによって古めかしく表示されている。



(a) なし (b) あり

図9: エイジング効果

Step4のaccessibilityの計算も含めたケース(図9(b))の実行には、考慮しないケースの実行(図9(a))よりも10%~20%程度しか計算時間が増加していない。このことから、accessibilityの計算による負荷は、その効果に比べてそれほど高くないと考えられる。

4.2 可制御性

以上のように、本研究において、Millerの画像合成法をもとにし、accessibilityによってハケではいともはききれない汚れを表現した。幾何学的計算から得られるTSAを用いることによって形状に依存して残ってしまう汚れを自動的に決めることができる。しかし、現実世界のエイジング効果は、それほど単純なものではなく、一つのオブジェクトに対して汚れ方は一通りではない。CG画像による表現には、現実世界と同様に、汚れ具合を制御できるのかど

うかが非常に重要な点と考えられる。そこで、accessibility renderingによってエイジング効果を表現する上での可制御性(controllability)について次のような二種類の実験を行ない、評価を行なった。

[A] 汚れの拡がり方を制御できるか

図10は、順にprobeを大きくした結果である。probeを小さくするとハケ先が小さくすると同様に、隅の方だけ汚れが残っているかのようになり、probeを大きくするとハケ先が大きくなると同様に、汚れが広い範囲で付着しているかのように表現された。probeが0のとき、エイジング効果は考慮されていないことになる(図9(a))。汚れの拡がり方は、probeの大きさによって制御できる。

[B] ホコリの積もり方を調整できるか

図11では、順にtransfer functionの切片 b (図6)を変化させている。transfer functionの切片 b を0に近づけると、ホコリの色が強くなり、汚れが濃く残っているように表現できる。また、 b を1に近づけるにつれてホコリの色は薄くなり、汚れが薄く残っているかのように表現された。 b が1のとき、エイジング効果を考慮していないことになる(図9(a))。よって、ホコリの積もり方は、transfer functionの切片 b によって調節できる。

さらに、transfer functionを変更するとどのような効果があるか、汚れが黒以外の場合は表現できるかについても実験を行なった。詳細は文献[1]を参照してほしい。

5 まとめと今後の課題

5.1 まとめ

現実世界に存在するエイジングの効果は、現在のCG画像に足りないと感じられる表現、これから必要となると思われる表現である。そこで本研究では、形状に依存したエイジング効果の一種を、Millerによるaccessibilityを用いた画像合成法によって再現した。形状に依存したTSAを用いることにより、現実世界の時の流れとともに必然的に生じる汚れの一種を表現することができたと考えられる。しかも、2節で挙げたようにTSAは比較的簡単に計算することができる。これは大変重要な長所である。なぜならば、accessibility renderingは、本研究会のテーマである「手間のかからない」計算を優先するという考え方に沿っているからである。また、4節で示したこの方法は可制御性を有している。accessibilityに関連するパラメー

タ値を変更することにより、ホコリの拡がり方、積もり方を調節することができる。よって、現実世界とCG画像を合成をする際には、現実世界と同様な汚れをCG画像に施す上で、対話的にCGオブジェクトの汚れを調節することができ、非常に有効であると考えられる。

5.2 今後の課題

前述のように、accessibilityは、形状に依存していて、ハケではいてもはききれない領域を比較的簡単に特定することができる。しかし、今後の課題として以下のような3点があげられる。

(1) 複雑な形状のオブジェクトに対する accessibility は定義できるか

複雑な形状をパッチの集合で近似する方法が知られているが、パッチを張り合わせた凹な領域がホコリが残る部分と同等に表示されてしまうことがわかっている [6]。そこで、方針として連続的な法線をもつポリゴンで近似する、または、パッチで近似するのではなく、自由曲面で滑らかに近似するオブジェクトに対する accessibility について考慮する必要がある。後者については、2.3節で示した ODA を用いることによって実現できると考えられる。

(2) 汚れた領域をもっとリアルに表現できないか

現実世界に存在する汚れをよりもっともらしく表現するためには、可制御性を高めるパラメータを増やす、または、オブジェクトの属性を変える（バンプマップピングを行なう、鏡面反射係数を下げる、ホコリのテクスチャをはりつける等）方法が考えられる。

(3) ハケの跡を表現できないか

本論文では、ハケで届く領域の汚れは完全にきれいにはきとられて残らないとしているが、中途半端にはきとった場合も重要な表現の対象である。

謝辞

化学の領域から、多くの貴重なコメントをいただきましたお茶の水女子大学の細矢治夫教授に深謝いたします。

また、適確な御意見をいただいた同大学の市川哲彦助手に心からお礼申し上げます。

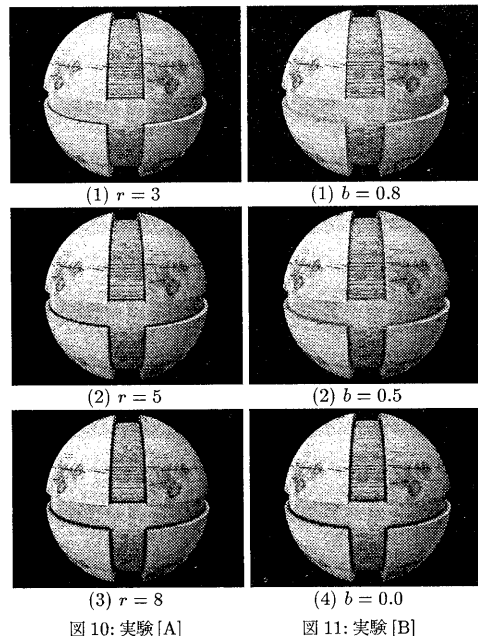


図 10: 実験 [A]

図 11: 実験 [B]

参考文献

- [1] 江浦 由佳, Accessibility rendering によるエイジング効果の表現, お茶の水女子大理学部情報科学科卒業論文, 1996年2月
- [2] 千葉 則茂, 村岡 一信, C による CG レイトレーシング, サイエンス社, 1994年
- [3] Connolly, M., "Solvent-accessible surfaces of protein and nucleic acid," *Science*, vol. 221, no. 4612, pp. 709-713, August 1983.
- [4] Connolly, M., "Measurement of protein surface shape by solid angles," *Journal of Molecular Graphics*, vol. 4, no. 1, pp. 3-6, March 1986.
- [5] Feiner, S. et al., "Knowledge-based augmented reality," *CACM*, vol. 36, no. 7, pp. 52-62, July 1993.
- [6] Miller, G., "Efficient algorithm for local and global accessibility shading," *Computer Graphics, Annual Conference Series (Proc. SIGGRAPH '94)*, pp. 319-326, August 1994.
- [7] Nakamae, E., "A montage method: the overlaying of the computer generated images onto a background photograph," *Computer Graphics, Annual Conference Series (Proc. SIGGRAPH '86)*, pp. 207-214, August 1986.
- [8] Hsu, S.-C., Wong, T.-T. "Simulating dust accumulation," *IEEE, CG&A*, vol. 15, no. 1. pp.18-22, January 1995.