

研究ノート | Research Notes

きらめく色の CG 表現

A Study of Expression of Rainbow Gitter by CG

野地 朱真

NOJI Suma

尚美学園大学

情報表現学科 教授

Shobi University

2019 年 10 月

Oct.2019

きらめく色の CG 表現

A Study of Expression of Rainbow Gitter by CG

野地 朱真

NOJI Suma

[抄 録]

シャボン玉や油膜、甲虫のきらめく虹色は魅力的でインパクトが強い。また夜光虫や深海魚が暗闇で銀河のように輝くのものにも心を奪われる。このように光そのもので作られている色は、減法混色である絵具や印刷で表現するより加法混色でディスプレイ上に表示し、入射光を見るデジタル画像が向いている。この研究ノートでは、3DCGによるきらめき表現のための3種類のレンダラーによる描画の試みについて紹介する。

[Abstract]

The iridescent color such as soap bubble, oil thin film and seashell's rainbow glitter is so attractive and impressive. All of us are fascinated by illumination of phosphorescent animalcule or silver deep sea fishes also. It is looks so difficult to present these colors by print ink or painting medium. Because iridescent color is made by light source itself. Therefore the represent method of using display monitor is reasonable. This note will introduce an experimental method of 3DCG expression for iridescent color by using three kinds of renderer.

Keywords

CGRenderer, Ray tracing, Structure color, Thin film shader

1. はじめに

子供の頃から鴉の類に似て、兎に角光り輝く物体にいたく心を奪われた。路に落ちているガラスのかけら、障子に映る鏡の反射。魚屋で横たわる鱈の銀の腹。夏に出掛けた祭りの夜店で売っているガラス製のニセダイヤの髪留め。裸電球の下で青や紫にさざめく輝きは涎がでるほど欲しかったが、質素儉約の家風とて買ってもらえるはずも無い。幼稚園の友がそれをおかっぱ頭に挿しているのを見た。羨ましがる風など女の意地でオクビにも出さないが、その夜は家の物置に巨大かつ色とりどりのニセダイヤが山と積み重ねられている夢を見た。6才。そんな訳でCGを始めてからはきらめく虹色をテーマの一つとしてその表現を様々に試みている。孔雀の羽根、玉虫の厨子、ビーナスの生まれしアコヤ貝の内側。どこか王様や王女様と関わり深そうで尚更ときめく。最近それが構造色だと知った。構造色とは物体それ自体に色素は無いが、表面の微小な襞や複雑な凹凸構造により光の干渉が生じて見える現象をさす。農業や生物学、工業製品における塗装材料などで研究が進んでいる。昨今の汎用CGアプリケーションにも遂にこの構造色をシミュレートするためのシェーダーが登場した。アーティストが作品に利用するための煌めきの表現には3DCGの

光反射モデルであるシェーダーやレンダラーの技術開発が欠かせない。この研究ノートでは、3DCG表示の歴史的開発経過と共に試行錯誤したきらめき色の表示手法について紹介する。

2. 3DCGのレンダリング技術発展と表現

物体を写実的に描写する為には、物体表面に当たった光がどのように反射または透過するかという実際の物理現象を出来るだけ忠実にシミュレーションする。これがシェーダーの役割である。レンダリングはそれに加えて物体間での重なりなど視点からは見えない部分の消去や光源が遮られて生じる影、3D空間での視点となるカメラの画角や焦点距離設定などを加え、透視投影変換を経て表示画面内に投影される2次元の最終画像を算出するプログラムである。従ってシェーダーはレンダラーの中に含まれる。1975年に世界初の白黒3DCGがイリノイ大学のコンピュータ上で作られてから、写実性を向上させるための手法が今日まで様々に開発されている[1]。その中で比較的初期に提案されたレンダリング法として著名な光線追跡法（ray tracing Algorithm）はクリエイターに最も馴染みのあるアルゴリズムである。視点を起点に物体に当たった光の経路を追いかける。鏡のような映り込みやガラスなどの透明物体の屈折が写実的に表現できる点が特徴である。筆者は80年代に大阪大学が開発した唯一の国産ハード&ソフトであるLinks-1[2]というレイトレーシング専用マシンを使用。その後北米で繰り広げられたソフト開発会社の離合集散を経て勝ち残ったAutodesk社のMaya（旧alias）というアプリが提供するmayaソフト・シェーダーを用いて今日に至っている。

レイトレーシングは、鏡のような映り込みや透明物体の表示に素晴らしい効果を上げる画期的なアルゴリズムで1980年にベル・テレフォン研究所のターナー・ウィットドによって提案された[2]。その後1990年代以降に汎用3DCGソフトのほぼすべてで採用されることとなる。

2.1 レイトレーシング・アルゴリズム（mayaソフト・シェーダー）

mayaソフト・シェーダーにより煌めく虹色を表現するために、質感に多重のテクスチャマッピングを適用し更に反射マッピングを利用した。実験したマッピングの種類は、カラーおよび細かい凹凸を表現するバンプ、環境光アンビエント、そして白熱光を用いた。図1に実験結果の画像と使用したテクスチャを示す。レイトレーシング・アルゴリズムは金属やガラスの表現に優れているにも関わらず、光源を代表光線のみで近似し、間接光については計算しないため壁面などの輻射によって生ずる柔らかい陰などは表現できない欠点があった。虹色のようなカラーテクスチャと白熱光パラメータを強調し、発光させるためにグロー効果を用いた。図2、3は「自然遊戯」（2006）というアニメーション作品からの抜粋で、先述の手法によりきらめく色の表現を試した結果である。また図4はイルミネーション効果のために白熱光の他グローエフェクトで発光させている。静止画ではそれらしく見えるが、視点が移動しても色に変化することは無い。

2.2 グローバル・イルミネーション（フォトン・マッピング） mental ray

2008年にmayaのプラグインとしてmental rayという直接光だけでなく間接光もシミュレーションできるレンダラーが開発された[3]。グローバル・イルミネーションとよばれるレンダリング・モデルでは直接光が当たっていなくても周囲の物体や壁面から輻射される無数の拡散光もシミュレーションする。それによって例えば部屋の壁の隅や床との隙間などでぼんやり暗くなる現象が再現される。レイトレーシング・アルゴリズムでは出来なかった表現である。またグローバル・イルミネーションの機能として光線ではなく、光子（フォトン）を空間に放射しマッピングするシミュレーションを行う。これによって水中で見かける光紋のゆらめきやワインが注がれたグラスの赤い集光コースティクスなどの描写が可能になった。そこでこのmental rayにより様々な水の表現を試みた。図5はレイトレーシングでレンダリングした海面の表現である。1枚の平面に波の模様を計算式で表してマッピングしている。水面の斜め上方の視点からはそれらしく見えるものの真上から見るとマグマのような粘性物体に見えてしまう。一方、図6はフォトンが発生させて水中の透過光のゆらぎを表現するためのプールのモデルである。プールの底にラインの模様をマッピングし、いくつかの立方体とトーラスを置いた。図7は点光源からフォトンを徐々に数を増やしながらレンダリングした結果の画像である。フォトンの数は1cm³に100,000個では少なすぎて光の粒が見えてしまい、1000,000に増やしたところからうじてそれらしく見えたがあまりにも計算時間がかかったため、プールではなくもっと小さい領域を想定してモデリングを行った。図8左は水面と想定する平面にも波上の変形を与え、かつ水中に当たったスポットライトからフォトンが発生させたシーンのレンダリング結果である。また図8右はINTER BEEという機器展示会で高解像度ディスプレイの画質検証のために作成した4K画像、すなわちハイビジョンテレビ画面の4倍のサイズの水中を表現するアニメーションである。1枚の画像をレンダリングするのに2時間かかってしまい、1秒の動画に2日半を要する結果となった。

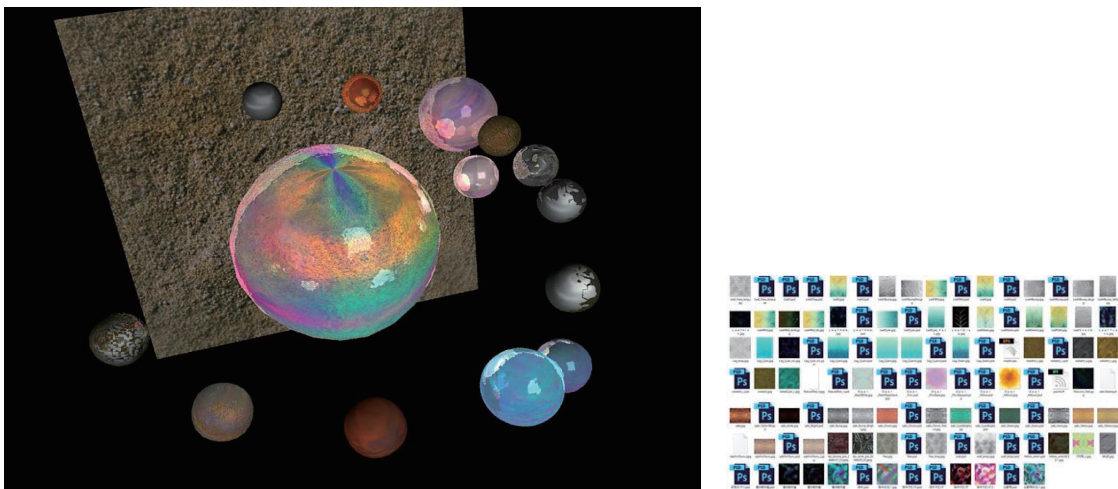


図1 レイトレーシングによる映り込みを利用した多重マッピングによるきらめき色の実験

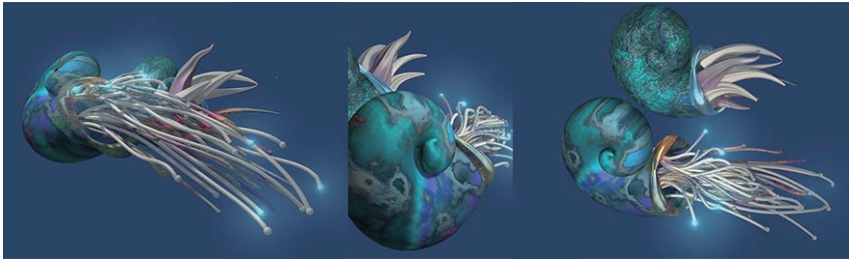


図2 「自然遊戯」より層になったマッピングにより貝殻の虹色を表現することを試みた



図3 「自然遊戯」より。図2の貝殻に金属的な反射を加えた

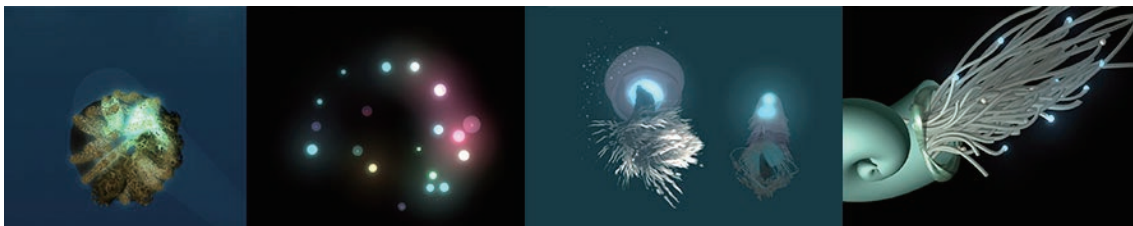


図4 グロー効果による発光を用いた例

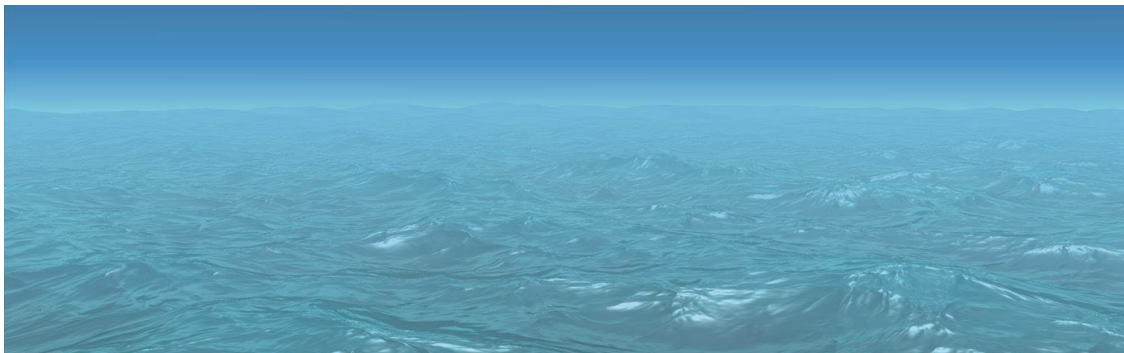


図5 形状マッピングによる海面

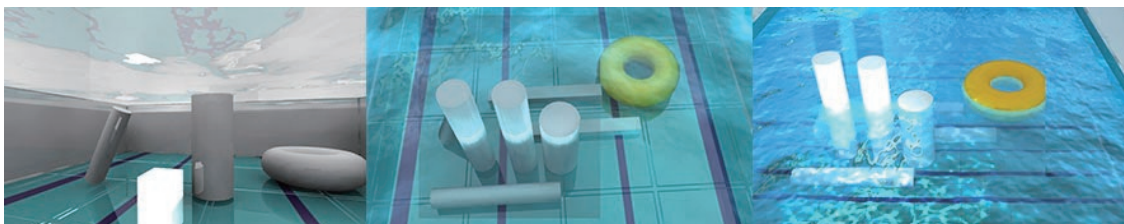


図6 プールのモデリングとmental rayのフォトンによる水中コースティクスの実験画像

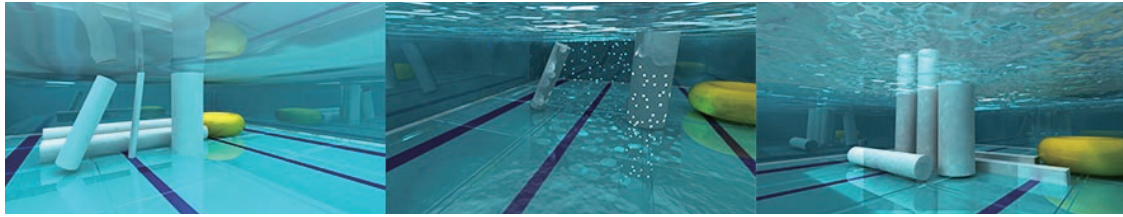


図7 左はフォトン数0.0。中央から右にフォトン数を増やす

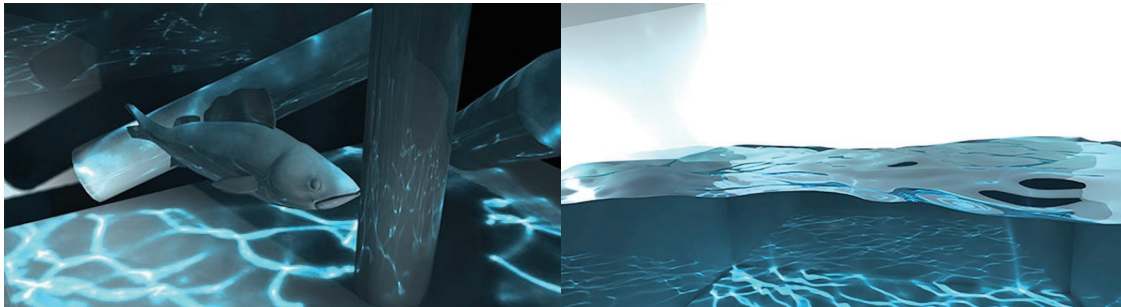


図8 水中のコースティクス。右は4K画像のアニメーションより

3. 構造色のためのシェーダー（Arnold for maya）

1章で述べた虹色のきらめきの中で最も魅力的である、貝殻の内側やモルフォ蝶の羽根、シャボン玉の薄膜の色は構造色とよばれている。構造色はその複雑な微細構造によって異なる光の波長が干渉し生じる。今までに述べた3 DCGのレンダラーは光の物理的な現象をシミュレーションしようとするものの、最終的に色をディスプレイ上のRGB（赤緑青）で表示しなければならないため、光反射モデルをRGBに分解して計算を行ってきた。ところが構造色では従来のモデルでは表すことの出来ない波長の差によって引き起こされるため、これまでのシェーダーでは取り扱うことが出来なかった。しかし2000年頃にH.Hirayamaらが[4]で提案する光の光路に注目した薄膜構造のシェーダーを開発したことなどを契機に[5][6]のように光路差を用いた画期的な手法が提案されてきた。そして2017年にmayaのプラグインとして登場したArnoldレンダラーの中に薄膜の色を実現するThin film シェーダーが追加された。このシェーダーでは構造色は間接光のみに影響され、直接照明を当てても何も見えない仕様となっている。図9はThin film シェーダーを使用し、環境にHDRI画像をマッピングしてシーンをレンダリングした実験動画よりの抜粋である。薄膜の厚さは588nm、フラネル反射係数は1.8に設定した。

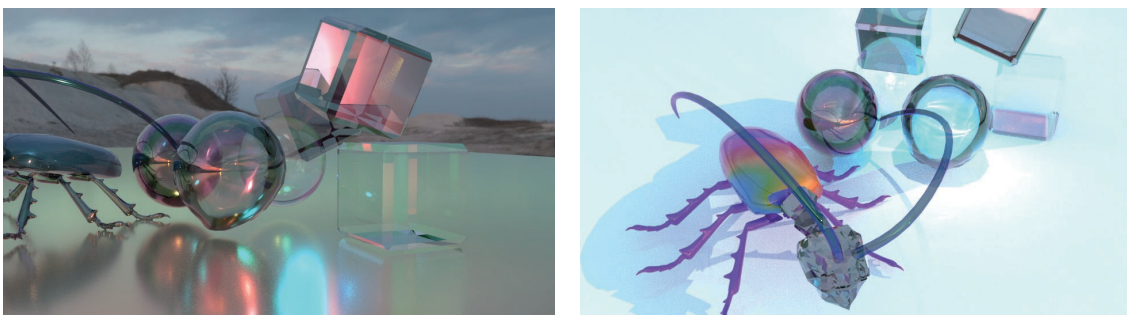


図9 ArnoldレンダラーのThin film シェーダーによる

4. きらめくテクスチャを利用した2次元描画

2章で述べた虹色のガラスや金属の3DCGのレンダリング画像をテクスチャに利用し、その上に重ねた基本色レイヤーを掻き取るように消去する手法、いわゆるスクラッチのデジタル版により2Dの絵画にもきらめく色を取り入れる実験を行った。これは2018、2019年の基礎演習の課題としても試みている。それにより明度の低い背景であれば、有効な手法であると確認することが出来た。図10はスクラッチおよび前面に合成する手法で制作した作品である。

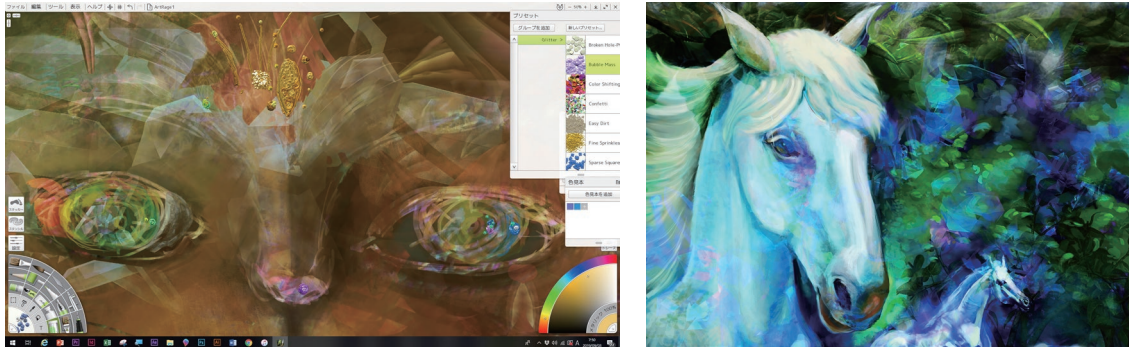


図10 mayaによる3D画像をテクスチャに用いたデジタルスクラッチおよびその合成

おわりに

今回きらめく虹色の表現を目的として3DCGおよび2DCGのアプリケーションを用いて試作した画像についてその手法を紹介した。CGをアート表現に利用するにあたっては、作者の要求に答え得る技術開発が常に求められ、その進歩無くして実現は不可能である。特に3DCGのレンダリング開発は歴史的に見ても表現の多様性および質の向上に密接につながっていることが再認識された。レイトレーシング・アルゴリズム、グローバル・イルミネーション、そして薄膜などの構造色を扱うシェーダーを概観してきたが、今後もますます向上する技術に期待するばかりでなく、制作者も理論を理解し発展を促すムーブメントを起こしてゆくことが重要だと考えている。

謝辞

ここで紹介した構造色および薄膜シェーダーの理解に当たり、多大なご助力を頂いた榎村雅章先生に深い感謝を表します。

参考文献

- [1] 野地朱真, “CGバイブル/CGの20年史” (株) アイ・ジー・ディー・ジャパン 2003
- [2] 大口孝之, 森田修三他 “CG夢博物館—コンピュータグラフィックスで見る未知の世界”, 富士通ブックス, 1992
- [3] <http://me.autodesk.jp/wam/maya/docs/Maya2009/index.html>
- [4] Yinlog Sun, F.David Francchia, et al. “Rendering Iridescent Colors of Optical Disks”
- [5] Masahiko Saeki, et al. “Generic Method for Rendering Structural Color by Focusing on Optical path Difference”, Journal of Information & TV Engineering, vol. 60, No.10, pp.1593-1598, 2006