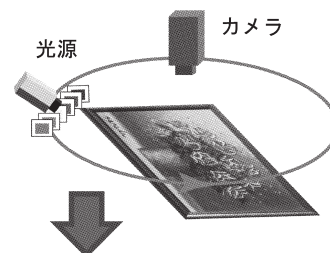


近年、貴重な文化遺産や芸術作品、文献等が劣化や損傷により滅失の危機に瀕していることが指摘されています。この問題を解決するひとつの手段として、デジタルアーカイブに注目が集まっています。デジタルアーカイブとは、近年のコンピューターテクノロジーの急速な発展を背景に、工芸品や美術品の保護や保存、復元等を目的としてこれらをデジタルデータとして記録、再現を行うものです。「デジタルアーカイブ」と一言に言っても、その対象や技術は非常に数多く存在します。それゆえ、ここでは対象を絵画に絞って、関連技術を紹介したいと思います。

1. 絵画のデジタルアーカイブ

絵画のデジタルアーカイブを生成する技法のひとつに、絵画の物理的特性に基づきデータの記録や再現を行う技法¹⁾があり、現在も研究開発が進められています。この手法では、計測から画像生成までのフローは図1に示すように、3つのフェーズから構成されます。まず対象とする油彩画を画像として取得します。画像取得には6枚のカラーフィルターで構成されたマルチバンドイメージングシステムを使用します。また照明方向を垂直方向と周囲8方向の合計9方向に変化させながら画像を計測します。次に取得した絵画の画像から表面特性の解析と推定を行います。推定する情報は分光反射率、法線ベクトル、反射モデルの3つです。分光反射率は物体固有の物理情報であり、物体の色を表します。高い精度で分光反射率を推定できれば、環境光や計測機器の分光特性に影響されずに、所望の視環境下での映像を生成することが可能になります。しかし、分光反射率のみを基にした映像では写実的映像を再現することはできません。とくに油彩画の場合は、絵具のタッチによる凹凸や油膜層などにより陰影や光沢が表面に現れるためです。そのため絵画表面は二次元平面ではなく、微少な凹凸面が連続的に分布している三次元物体として扱います。つまり油彩画表面の形状を法線ベクトルの集合として推定を行います。ここでは法線ベクトルを推定するために、照度

1. 画像取得



2. 画像解析

- ・ 色情報（分光反射率推定）
- ・ 表面形状情報（法線ベクトル推定）
- ・ 質感・光沢（反射モデル推定）

3. 画像再現

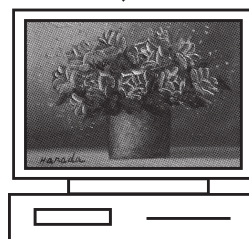


図1 絵画の計測から画像生成までの流れ。

差ステレオ法を用いています。さらに絵画表面の質感や光沢を表現するために、反射モデルを推定します。反射モデルについては次章で説明し、具体的なモデルを紹介します。最後に推定した絵画の表面特性を映像化します。その際は任意の照明と観察環境下における絵画がコンピューターグラフィクス画像として映像化されます。さらに順応効果も考慮に入れた映像化も検討しています。

2. 反射モデル

さて絵画のデジタルアーカイブにおいて反射モデルは重要な役割を担っています。絵画表面の見えは表面を形成する材質のみならず、観測の幾何学的条件に依存します。そのため反射モデルは物体表面の多様な反射を数学的に記述していなければなりません。自然界に存在する多くの物体表面は、図2に示すように不均質誘電体の構造で近似できます。絵画表面を構成する絵具も同様な構造となります²⁾。不均質誘電体から視覚系に到達する光は、拡散反射

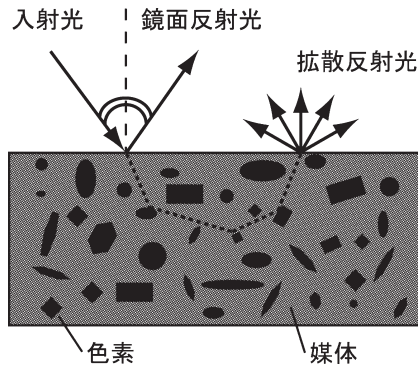


図2 不均質誘電体における反射のモデル化。

と鏡面反射からなる二色性反射の特性をもち、全体の反射光はこの2つの反射光の線形結合で表現されます³⁾。拡散反射は、物体表面を通過した光が物体内部の色素によって散乱し、再び物体表面から空気中に戻った光です。このため、拡散反射は指向性をもち、観測位置に依存しません。鏡面反射は物体表面と空気層の境界で起こる反射であり、狭い視野角内で観測されます。つまり、拡散反射は物体固有の色を生成し、鏡面反射はハイライトとして観測されます。この反射モデルは例えばプラスチック物体や塗料、革製品など多くの物体に適用することができます⁴⁾。

ところで二色性反射モデルは反射光を線形結合で表したモデルであり、幾何学的パラメーターが含まれていないため、カラー反射モデルともいえます。一方、私たちの観測環境は三次元空間であるため、物体の写実的映像を生成するにはカラー反射モデルのみでは不十分です。つまり、拡散反射や鏡面反射を、幾何パラメーターを含んだ表現によって三次元的な反射として記述するモデル、いわゆる三次元光反射モデルが必要となります。これまでに数多くの三次元光反射モデルが提案されていますが、代表的モデルとしてCook-Torranceモデル⁵⁾を紹介します。

Cook-Torranceモデルは実用的かつ代表的な三次元光反射モデルのひとつであり、二色性反射モデルに幾何学パラメーターを追加した三次元光反射モデルです。このモデルは特に鏡面反射に関して物理

的に詳細な記述がなされており、鏡面反射の鋭さや、フレネルの式による微小面の分光反射率、隣接する微小面による入射光または反射光の幾何的減衰効果など、3種類の関数で記述されています。それゆえ対象物体も不均質誘電体のみならず、金属物体の表面反射にも適用することができます。一方で、詳細な記述ゆえにモデル構造が複雑になり、多数のパラメーターが必要とされる点が問題となります。それらのパラメーターには屈折率や吸収係数など値が未知であるものも含まれており、厳密に現実の物体の反射特性に適合させることは容易ではありません。しかし何らかの方法によりパラメーターを適切に設定できれば、実際の反射現象をより正確に表現することができます。前述の絵画のデジタルアーカイブにもこの反射モデルが適用されています。

今回はデジタルアーカイブにおける反射モデルの重要性について紹介しました。デジタルアーカイブのような写実的な映像表現を実現するためには、物体表面の光の挙動をいかにして忠実に再現するかが重要であり、三次元光反射モデルを適切に用いることで、実物体と遜色のない映像表現が可能になります。今後の進展が非常に注目される分野といえるでしょう。(大阪電気通信大学 西 省吾)

文 献

- 1) S. Tominaga, M. Nakagawa and N. Tanaka: "Image rendering of art paintings: Total archives considering surface properties and chromatic adaptation," *Proc. of the 12th Color Imaging Conference*, Arizona (2004) 70-75.
- 2) S. Nishi and S. Tominaga: "Measurement and analysis of reflection properties of art paints," *Proc. of 2007 Midterm Meeting of International Color Association*, Hangzhou (2007) 170-173.
- 3) S. A. Shafer: "Using color to separate reflection components," *Color Res. Appl.*, **10** (1985) 210-218.
- 4) S. Tominaga and B. A. Wandell: "The standard surface reflectance model illuminant estimation," *J. Opt. Soc. Am. A*, **6** (1989) 576-584.
- 5) R. L. Cook and K. E. Torrance: "A reflectance model for computer graphics," *ACM Trans. Gr.*, **1** (1982) 7-24.