E 204

物理ベースレンダリング手法を用いた超水滴データの可視化

荒木 文明[○], 島 伸一郎, 川原 慎太郎, 草野 完也 (海洋研究開発機構)

Visualization of Super-Droplet Data with Physically-Based Rendering

Fumiaki ARAKI, Shin-ichiro SHIMA, Shintaro KAWAHARA and Kanya KUSANO

ABSTRACT

This paper reports an attempt to visualize realistically data of super-droplets, which are conceptual particles for our novel cloud microphysics model. Realistic image synthesis for the visualization requires a kind of optical model calculations for the super-droplets. The combined method, which includes multiple-scattering calculations of photons by the Monte-Carlo method and a numerical integration for the final gathering, via the volume photon map is applied on our calculations. Realistic features of the cumulus cloud simulated by the cloud formation simulation using the super-droplet method have been successfully captured in the resulting image. Finally significance of the photo-realistic visualization is discussed.

Keywords: Super-droplet method, Physically-based rendering, Volume photon mapping

1. 緒 論

雲や霧など大気中の水滴に太陽光が差し込むとき、虹、グローリー、光冠、彩雲など、さまざまな光学現象が見られることがある。そもそも雲がそれを構成する水滴の大きさの分布によって白や黒に見えたりすること自体、こうした大気光学現象の一つとして同様に捉えることができる。このような日常見ることのできる身近な自然現象が、なぜ、どのようにして起こるか、あるいは、微小な水滴による光の散乱を考慮すればこのような大気光学現象を再現できるのではないかと、という発想は、おそらく誰もが素直に思いつくところであろう。

こうした大気中の光学現象を再現する研究はさまざまな分野で盛んに進められている。コンピュータグラフィックス (CG) の分野では、雲や霧は自然景観を描写する上でもっとも重要な役割を果たす要素の一つであり、コンピュータゲームなどにも広く応用されている。雲を写実的に表現するために、大気や雲のようないわゆる関与媒質中での光の多重散乱を考慮したさまざまな手法の研究や関連研究がなされている。

また、気象・気候学の分野においても、大気光学現象はさまざまな側面で重要な研究対象となっている。例えば雲については、太陽光を遮断し地球を冷却する一方、地面からの熱赤外線のため込み地球を保温するなど、地球規模の熱、放射収支に重要な役割を果たしている。これらを評価するための一つの手段として、精密な大気放射シミュレーションモデルの開発が進められている²⁾。このシミュレーションを転用しある観測点で得られる放射輝度を計算して直接可視化すれば、雲などを含む大気の様子を可視化することもできる。

CG 分野での写実的な描画手法と気象・気候分野での大気放射モデルとは、多くの場合本質的には同じ考え方に基づいて設計ないし構成されていると見なすことができる。しかし、CG 分野では、物理的な厳密さよりも見た目のそれらしさを担保しつつできるだけ手軽に描画できることが重要であり、そのため大胆な近似が多用される場合が多い。一方、気象・気候分野では、目的は気候システム内での熱、エネルギー収支の定量的評価が主であるため、写実的な可視化にはこれまであまり注力されてこなかったと言える。それゆえ、本研究ではこれらの点に着目し、大気シミュレーションのデータをもとに、物理的性質をできるだけ忠実に反映させて写実的に表現するデータ可視化を試みることにした。

ここでもう一点考慮すべきは、大気や雲中に存在する無数の水滴の粒径ないしはその空間分布をどのように決めるかである。(液体の) 水滴の光学特性はその粒径と光の波長によって決まるため、はじめに粒径の空間分布を得る必要がある。大気流体シミュレーションの場合、水滴の粒径分布は適当な雲物理モデルを用い雲水量などの場の量から近似的に決められることが一般的である。それゆえ、どのような雲物理モデルを採用するかによって粒径の分布は大きく異なってくる。

近年我々は超水滴という新しい計算概念を用い比較的現実的な計算コストで雲微物理過程を第1原理から精密に計算する画期的な方法を開発し、またこの方法をマクロな大気場の流体モデルに連結し雲の形成、降雨現象を精密に再現する大規模雲形成シミュレーションのテスト計算に成功している³⁾。この超水滴データを用いれば、空間中を漂う(超)水滴の粒径が容易に得られるので、精密な大気光学計算が可能になると考えられる。

2. 描画手法

雲などの関与媒質の写実的な描画には、各ボクセル中の関与媒質の光学特性（消散係数および散乱角を与える位相関数など）を求め、光の放射伝達に基づくボリュームレンダリング方程式⁴⁾を解くことが必要である。しかしこの方程式は再帰的な積分方程式であり数値積分における計算コストは極めて膨大である。特に雲のレンダリングに不可欠な多重散乱計算はほとんどの場合困難である。そのため、多重散乱を含むこのような計算では数値積分を解く代わりにモンテカルロ法（フォントレーシング法）を用いることが多い。

また観測点を適宜変更して何度も可視化を実行する場合には、多重散乱計算と画像合成のための最後の1回分の数値積分計算を分離して行う2段階手法が効率的である。これにはボリュームフォトンマッピング法⁴⁾が有効である。フォントレーシング計算の各散乱点でフォトンマップと呼ばれる記憶領域またはファイルにフォトンデータを格納し、画像合成の際にフォトンマップに格納されたフォトンを利用して描画を実行する（Fig. 1）。

Fig. 1 Two-step approach using volume photon map

3. 実験とその結果

本研究で使用する超水滴データは、海洋上の浅い孤立積雲を想定した雲形成シミュレーションの結果の一つを使用する。シミュレーションの計算領域は、 x および y 方向にそれぞれ6.4km、 z 方向に約5kmの直方体領域である。雲力学過程の流体計算はこの計算領域中512×512×312のグリッド上で行われる。また雲微物理過程の計算はこの計算領域全体に超水滴を配置して実行される。

この超水滴データを用いて、2章の手法で描画を実行する。光の波長は、画像の赤、緑、青の色に対応させて、それぞれ700nm、546nmおよび436nmを選ぶ。より精密な光学計算のために散乱過程はMie散乱であるとして、消散係数および位相関数の計算にMie散乱計算コードMIEV⁵⁾を利用する。

こうして超水滴データの可視化実験を実施した。得られた可視化結果の一例をFig. 2に示す。さらに動画を用いて積雲の成長と衰退、降雨の様子、また関連する他の大気光学現象も含めて本発表において紹介する予定である。

Fig. 2 A sample of physically-based rendering results of a cumulus by the cloud formation simulation using Super-Droplet Method

4. 写実的可視化の実用性について

本研究における写実的可視化は、光学的な観測結果との直接対比という特殊な場合を除けば、データ解析における実用性は少ないかもしれない。しかしこのような可視化の他の側面として、(1)講演や展示、メディア等での成果の伝達、(2)社会、産業での応用、(3)サイエンティフィックアート、など、いくつかの方向性が考えられる。(1)については、特に一般の人々を対象にするとき抽象的な図形やグラフよりもわかりやすくアピーリングに成果を伝えることができる。(2)については、例えば天気予報で人の視点から捉えた明日の空模様を具体的に提示するなどの応用が期待できる。(3)については、そもそも雲の造形はそれ自身が自然美であり、その再現は純粋に興味深いのではないだろうか。またグローリーや光冠、彩雲のような微弱で繊細な大気光学現象を再現するには、光の回折効果を含めた精密な光学計算が必要不可欠なところである。本手法を用いれば、原理的にはこれらの幻想的な大気光学現象の再現も可能である。

ここにあげた項目についてはいずれも有効性の程は定かではない。今後このような写実的可視化の事例を増やしていくことで、それぞれの有効性を検証していく必要があるだろう。

参考文献

- 1) Cerezo, E. et al., The Visual Computer, Vol. 21, pp. 303-328, 2005.
- 2) Iwabuchi, H., J. Atmos. Sci., Vol. 63, No. 9, pp. 2324-2339, 2006.
- 3) Shima, S. et al., arXiv:physics/0701103.
- 4) Jensen, H. W., Realistic image synthesis using photon mapping, A K Peters Ltd, 2001.
- 5) Wiscombe, W. J., NCAR/TN-140+STR, NCAR TECHNICAL NOTE June 1979; Wiscombe, W. J., Applied Optics, Vol. 19, pp. 1505-1509, 1980.