

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20500108

研究課題名（和文） 超大規模シミュレーションデータの写實的可視化

研究課題名（英文） Photo-realistic visualization of large-scale simulation dataset

研究代表者

荒木 文明 (ARAKI FUMIAKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・グループリーダー

研究者番号：90359224

研究成果の概要（和文）：

自然現象をターゲットとするシミュレーションにおいて、的確な物理的考察と精密な計算処理に基づくデータ可視化は、単にデータ解析の観点だけでなくそのシミュレーションのリアリティを直感的に把握する上で興味深い方法である。本研究では、地球シミュレータを用いた超大規模雲形成シミュレーションの結果を用い写實的に可視化する方法を開発した。これによって一連の積雲の成長衰退の様子をリアルに捉えることに成功した。

研究成果の概要（英文）：

In simulation researches targeting at natural phenomena, data visualization based on proper physical considerations and precise calculations is an interesting way in order to intuitively understand the reality of the simulation, not just in terms of data analysis. In this study, we developed several programs to photo-realistically visualize the large-scale simulation results for cloud formation on the Earth Simulator. Using these programs, we successfully captured a realistic appearance of a series of cumulus growth and decay.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：大規模データ可視化

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：可視化, 並列処理, 大規模シミュレーション, 雲形成, 超水滴法, 大気放射

1. 研究開始当初の背景

水滴による光の散乱は、その光の波長と水滴の大きさ（粒径）によって極めて複雑に変化することが知られている。それゆえ、水滴に比べて極めて大規模な雲のような気象要

素あっても、その見え方は膨大な数のミクロな雲粒（水滴）の粒径分布に依存している。

本研究開始の前に、雲の微物理過程を計算するための超水滴という計算概念が提案され、それと大気の流れ力学過程を結合させた雲形成シミュレーション手法が海洋研究開

発機構において開発された。本手法では、雲を形成する大気中の水の分布を、シミュレーション格子近傍の単位体積当たりの水分量としてではなく、さまざまな粒径をもちそれぞれに自由に空間を漂う無数の雲粒（超水滴粒子）として取り扱うことを可能にした。

この雲形成シミュレーションの結果の水滴データを用いれば、水滴の粒径の空間分布が正確にわかるため、精密な光の多重散乱計算を通して実際の雲のようなリアルな姿を描き出せると期待できる。

問題は、雲を構成するほどの莫大な数の超水滴粒子（データサイズにして1ステップあたり約100ギガバイト）と光の複雑な相互作用の過程を、どのように有限の時間で計算し、リアルな雲の様子を可視化を実現させるかである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大規模な超水滴データを用いて光の多重散乱過程を考慮した雲の可視化を実現するための計算手法を開発すること、そしてそれを用いて雲の様子を写実的に捉えることである。

3. 研究の方法

- (1) 大規模な超水滴（粒子）データを処理し効率よくメモリへ格納したり個別に取り出して利用したりするための方法を研究する。
- (2) 超水滴と光の相互作用について考察し、超水滴が備えるべき光学的性質を定義する。
- (3) 光の多重散乱過程を追跡しデータを可視化するための計算プログラムを開発する。
- (4) 光の多重散乱過程の様子を3次元的に捉える手法を開発する。

4. 研究成果

- (1) 本研究における問題は、直接には可視化が困難な超大規模データ（容量にして1時刻ステップあたり100ギガバイト程度）をいかに可視化可能にするかである。そこで最初に、可視化に必要とされるべきデータのみをオリジナルのデータから抽出する。そこで本可視化研究のターゲットとなるべき、雲を構成する水滴の性質に着目する。大気中に存在する水滴の粒径は、10のマイナス8乗メートル程度から1ミリメートル以上におよび、

100000倍程度の大きさの違いが存在する。しかしその大半はエアロゾル程度の大きさと考えられ、雲を構成するには至らない微小な水滴と考えられる。そこで水滴の凝結成長の様子を捉えた超水滴データの粒径分布を解析した。その結果、10のマイナス7乗メートル（図1の緑色の線）付近で雲粒ととらえることができる水滴とそうでないものと分離することが分かった。そこで、オリジナルの超水滴データのうち、10のマイナス7乗メートルより小さい粒径の超水滴データを削除することにより、可視化すべき超水滴データのサイズをオリジナルのデータの1~数%（核時間ステップについて比率にばらつきが存在する。平均約1.3%）程度に押さえることができた。

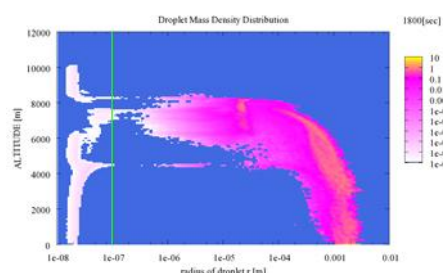


図1 超水滴の質量密度分布のプロット図。縦軸は高度。横軸は超水滴の半径(r)をログスケールで表す。領域($r, r+dr$)での密度を色で表す。

- (2) 1ステップあたり数百ファイルにのぼる超水滴データを一度に管理し、計算領域全体を細分したボクセルに超水滴を格納し選択的に取り出せるデータ読込・管理ルーチンを開発した。また本研究における光散乱計算プログラム開発のみならず、他の複数の可視化プログラム（図2）にも実装して超水滴データの解析にも応用した。

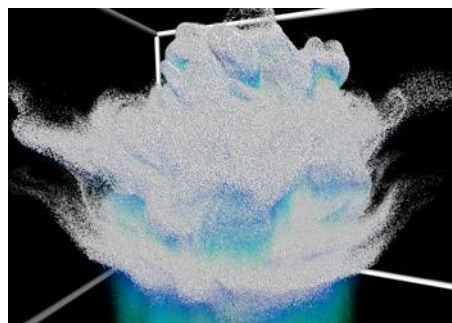


図2 データ読込・管理ルーチンを使用した粒子描画プログラムの描画結果例。粒子（点）はRGBおよびアルファ（不透明度）で色づけされている。アルファブレンディング

グ処理を正確に実行するため、本データ読込・管理ルーチンにより粒子データを視線方向奥側から選び出しプロットするようにしている。

- (3) データ削減処理後も、総データ量は数ギガバイトに及んだため、大型計算機の使用は避けられなかった。これに従い、分散並列処理による光の多重散乱・画像合成プログラムの開発を行った。大気放射研究ではなく画像合成、可視化が目的であるため、光の多重散乱過程を計算しながら画像を合成していくよりも、無数に生じる光の散乱の計算結果だけを記録していき、画像合成の際にその散乱結果のデータを利用して、仮想的なカメラ（画像合成における視点）に飛び込む光の放射輝度を推定する方法が合理的であることが分かった。この考察に基づき、光の多重散乱計算プログラムと画像合成プログラムを分離する2段階構成にした。なお、並列化には OpenMP を用いた。
- (4) 開発したプログラムを用いて時系列の超水滴データを可視化した。計算機は SGI Altix4700 (Intel Itanium2) を使用し、最大 128 コアで並列計算を実行した。本実験では入射光子数を各波長とも 640 万個 (1 プロセスあたり 25000 個) とし、1 回のフォトントレーシングにおける散乱回数の上限を 10 回までとした。光の波長としてそれぞれ 700, 546 および 436 ナノメートルの3種類を選び、得られた放射輝度の値をそれぞれ画像ピクセルの赤、緑および青の色に対応させる。こうして超水滴データの可視化実験を実施した。40 ステップ分の超水滴データを可視化した結果、積雲の成長衰退の様子をリアルに捉えることに成功した (図3)。雲の全体的な形状、分布の様子だけでなく、雲表面の柔らかな質感、濃密な雲に見られるくっきりとした凹凸感、雲の影、さらに降雨の様子も捉えることに成功した。



図3 超水滴データの可視化結果の例。雲表面の質感、凹凸感、雲の影、さらに降雨の様子もうかがえる。

- (5) 開発したプログラムをさらに応用し、CAVE システムと呼ばれるバーチャルリアリティ装置を利用して光の多重散乱を3次的に解析するプログラムを開発した (図4)。光の多重散乱の様子を解析するのに莫大な数の光をすべて追跡するのは極めて効率が悪い。この場合、光の多重散乱の見たい部分にだけピンポイントで光を打ち込み、その様子を直接的に観察するのが特に有効である。そこで、無線コントローラの位置から仮想的な光を数本ずつ雲へ打ち込み、リアルタイムに観察することができるようプログラムを設計し開発した。本プログラムによって積雲内部での3次的に複雑に散乱しながら突き進む光の振る舞いを観察することができた (図5)。

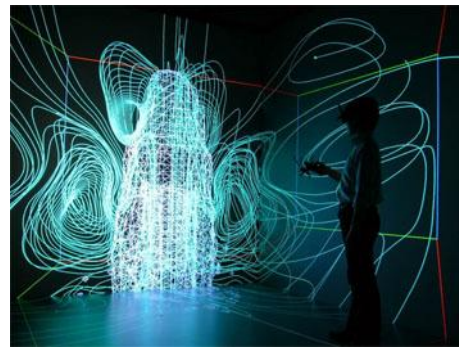


図4 CAVE システム用い、積雲をワイヤーフレームで3次的に表示している。雲の外側の曲線は気流の様子を流線で表している。



図5 積雲内部での3次的な光の多重散乱の様子

- (6) 本研究によって得られた動画成果物については、複数の展示会等において定期的に展示上映を行った (図6)。



図6 動画の上映展示の様子

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 渡邊 國彦, 大淵 濟, 陰山 聡, 高橋 桂子, 荒木 文明, 草野 完也, ・ ・ 他 20 名中の 5 番目, 総説:地球シミュレータセンター, 査読あり, 2009, pp. 75-135
- ② Fumiaki Araki, Shintaro Kawahara, Nobuaki Ohno, Akira Kageyama, Data Visualization Study at Earth Simulator Center, Annual Report of the Earth Simulator Center April 2007 - March 2008, 査読無し, 2008, pp. 297 - 302

[学会発表] (計8件)

- ① Fumiaki Araki, Realistic visualization of a cumulus cloud and rainfall based on the cloud formation simulation with the super-droplet method, Japan-Korea CFD Workshop 2009, co-located with CFD2009, 2009年12月16日, 仙台
- ② 荒木 文明, 積雲内部における光の多重散乱過程の3次元的な解析手法, 第14回計算工学講演会, 2009年5月12日, 東京大学生産技術研究所
- ③ 荒木 文明, 大規模データ可視化の現状と今後, ペタスケールコンピューティング検討会 および 太陽地球/惑星系統合型モデル・シミュレータ構築に向けた研究集会, 2008年8月8日, 海洋研究開発機構横浜研究所
- ④ 荒木 文明, 積雲中での光の多重散乱過程の可視化, 第32回CG・可視化研究会(CAVE研究会), 2008年7月3日, 海洋研究開発機構横浜研究所
- ⑤ 荒木 文明, 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, 第36回可視化情報シンポジウム, 2008年7月22日, 工学院大学

- ⑥ 島 伸一郎, (招待講演) 超水滴法による雲形成と降水現象の数値シミュレーション, 北陸Mクラブ・セミナー, 2008年6月20日, 金沢大学
- ⑦ 川原 慎太郎, 超水滴法を用いた雲形成シミュレーションの可視化 -ポイントスプライトを用いた粒子ベース可視化-, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月26日, 幕張メッセ
- ⑧ 荒木 文明, 超水滴法を用いた雲形成シミュレーションにおける雲の物理ベース描画手法, 第13回計算工学講演会, 2008年5月19日, 仙台

[その他]

○特別講義等 (計5件)

- ① 荒木 文明, コンピュータで地球環境をみる(第2回), 科学技術振興機構 サイエンスパートナーシッププロジェクト高大連携事業(主催:埼玉工業大学), 2010年1月21日, 埼玉県立寄居城北高等学校
- ② 荒木 文明, コンピュータで地球環境をみる(第1回), 科学技術振興機構 サイエンスパートナーシッププロジェクト高大連携事業(主催:埼玉工業大学), 2010年1月14日, 埼玉県立寄居城北高等学校
- ③ 荒木 文明, コンピュータで地球環境を視る, 科学技術振興機構 サイエンスパートナーシッププロジェクト高大連携事業「科学におけるシミュレーションと可視化」(主催:埼玉工業大学), 2009年1月14日, 埼玉県立不動岡高等学校
- ④ 荒木 文明, コンピュータで地球環境を視る, 科学技術振興機構 サイエンスパートナーシッププロジェクト高大連携事業「3次元CGによる地学の可視化」(主催:埼玉工業大学), 2008年12月17日, 埼玉県立寄居城北高等学校
- ⑤ 荒木 文明, コンピュータグラフィックスで見るシミュレーションの世界, スーパーサイエンスハイスクール 宇宙・地球科学研修(広島大学附属高等学校), 2008年9月18日, 海洋研究開発機構横浜研究所

○出展 (計6件)

- ① 動画展示, 施設一般公開, 2010年11月27日, 海洋研究開発機構横浜研究所
- ② 動画展示, 第12回ジュニアサイエンスア

- カデミー「気象」(主催：東京電力，テレビ新潟)，2010年8月7-8日，柏崎
- ③ 動画展示，施設一般公開，2009年11月7日，海洋研究開発機構横浜研究所
 - ④ 動画展示，施設一般公開，2008年9月20日，海洋研究開発機構横浜研究所
 - ⑤ ポスター展示，大気と光が織りなす自然の芸術，写真展“天空はドラマ・安曇野”，2008年5月23-27日，礒山公園研成ホール
 - ⑥ パネル展示，積雲の成長と降雨の様子，第49回科学技術週間 科学技術における『美』パネル展，2008年4月14-18日 文部科学省情報ひろばラウンジ，2008年4月19-20日 科学技術館

○新聞掲載 (計3件)

- ① 雲の成長から消えるまでを映像化，少年写真新聞，No. 1800，2009年9月18日
- ② 見えない世界に潜む美，a サロン 科学面によろこそ，2009年8月4日，<https://aspara.asahi.com/blog/science/entry/ejethel5f>
- ③ 見えない世界に潜む美，朝日新聞，2009年8月4日朝刊

○雑誌掲載 (計1件)

- ① パリティ，2009年1月号，丸善

○受賞 (計1件)

- ① 荒木 文明，島 伸一郎，川原 慎太郎，草野 完也，第13回計算工学講演会 グラフィクスアワード 優秀賞，超水滴法を用いた雲形成シミュレーションにおける雲の物理ベース描画手法，2008年5月19日，仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒木 文明 (ARAKI FUMIAKI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・グループリーダー
研究者番号：90359224

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし