

一般相対論用汎用CGプログラムの開発

7 P - 5

山下 義行 (筑波大学電子・情報工学系)

yaman@is.tsukuba.ac.jp

1 はじめに

著者は、これまで一般相対論に基づく4次元時空の可視化、特にブラックホールの可視化を研究してきた[1][2][3]。

十年前に研究を始めた当初は計算機の速度も遅く、1枚の画像作成に数日を費やしていた。その後、ベクトル計算機を用いることで作成時間は1枚当たり1分以下まで短縮し、ようやくアニメーション作成が可能となった。1Tflops以上の計算能力があれば、ブラックホールの実時間画像生成も夢ではないと予想している。

本研究はこれまで計算機の能力を最大限に活かすことを第一目標としてきた。しかし1Tflopsは目前に迫っており、今後は汎用性や拡張性、つまり様々な映像を低コストで作成できることが、より重要となるであろう。

そこで今回、以下のような事項を考慮した汎用プログラム・パッケージを開発した。

- (1) 任意の4次元時空を容易に扱う。
- (2) 一般相対論的光学現象を可能な限り忠実に映像化する。
- (3) C++を用いて、オブジェクト指向的プログラム開発を行う。
- (4) 並列計算に適したプログラム構成とする。ここでは紙面の都合もあり、(3)、(4)を中心に研究の現状を報告する。(1)、(2)は4次元時空に一般化された交差判定や陰影付け等の問題を含むが、それらは別途報告する予定である。

2 オブジェクト指向の利用

まず以下に、本プログラムで定義した代表的なクラスを示す。

Screen … 画像解像度、視野角、立体視の有無、画像圧縮、並列計算方法などの計算環境全体を管理する。

Shape … 時空内に配置、表示する物体形状の共通性質を記述した抽象クラス。

Space … 時空の相対論的な性質をまとめて記述した抽象クラス。

Ray … 光線ベクトル。Spaceオブジェクトを用いて軌跡の湾曲を計算したり、Shapeオブジェクト群を管理し、それらとの交差判定を行う。

Color … 物体の色(光線スペクトル)を表す抽象クラス。高速運動や重力による光線スペクトルの変化にも対応。

Point, Vector, Direcion, Matrix, …
… 4次元時空内の基本クラス群。

これらの中でScreenクラスは通常の3次元グラフィックス・ライブラリに見られるものと同様である。Shapeクラスも通常とほぼ同様である。つまり球、円柱、多面体などの具体的な形状は全てShapeのサブクラスとして定義する。我々の場合には光線が重力によって湾曲するため、物体と光線の交差判定は通常の3次元グラフィックスよりも煩雑であるが、交点

Developing a General Purpose Computer Graphics Program for the General Relativity
Yoshiyuki YAMASHITA
Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba,
Tukuba-shi, Ibaraki 305, JAPAN.

近傍では光線の湾曲は無視できるから、本質的には通常の方法と大差はない。

Spaceクラスは、我々独自のものである。一般相対論では、時空の構造を決める計量テンソル(4次元時空を変域とする10個の実関数)が与えられれば、それをもとに全ての相対論的現象が計算できる。そこで、Spaceクラスには相対論的現象の最も標準的な計算方法を全て記述しておく。ユーザーは、Spaceのサブクラスを作り、そこに映像化したい時空の計量テンソルを記述さえすれば、その他の複雑な計算は全て親クラスが肩代わりしてくれる。この方法では種々多様な時空がきわめて容易に映像化できる。以下は、これまでに筆者が映像化した時空の例である。

- (a) 平坦な時空(つまり特殊相対論の世界)
- (b) 球対称なブラックホール
- (c) 回転する球対称なブラックホール
- (d) 閉じた宇宙(いわゆる4次元超球の表面)
- (e) 膨張/収縮する宇宙の中の複数のブラックホール[4](図1に画像生成例を示す)

この方法の欠点は計算効率の悪さである。しかしSpaceクラスの関数をサブクラスにおいて上書きすることで、クラス構造を変更することなく、ユーザー独自の最適化が可能である。

3 並列計算および画像編集環境

今回のプログラム開発では、ベクトル計算機による画像生成は全く念頭においていない。オブジェクト指向を利用する今回の方法には全く適さないと判断したためである。

現在、本研究の計算は、筑波大学計算物理学研究センターのWS(日立3500/540)8台をソケット通信で結んだマスタ・スレーブ型並列計算で行っている。図1の映像の作成時間は約4分である。作成された画像は一旦圧縮してファイルに格納し、同センターのシリコングラフィックス indigo2 および β -cam ベースの画像編集

装置を用い、コマ撮り、編集を行っている。

4 今後の計画

上記研究センターでは現在、1024 プロセッサの超並列計算機 CP-PACS[5]が稼働している。本研究も CP-PACS 上で計算させる計画である。そうなると、実時間(に近い速度)での画像生成が実現するものと期待している。

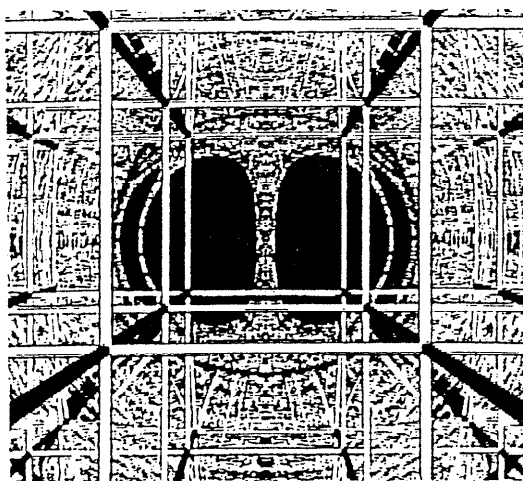


図1 二つのブラックホールの衝突

時空に立方格子を配置し、その歪みを映像化する。二つのブラックホールとそれらの重力レンズ効果による二つの影(合計四つの黒い領域)が見える。

参考文献

- [1] 山下義行：ブラック・ホールのコンピュータグラフィックス、情報処理学会第35回全国大会(1987) pp.2601-2602.
- [2] 山下義行：ブラック・ホールのコンピュータグラフィックス：光線追跡法の曲がった4次元時空への拡張、情報処理学会論文誌、30-5(1989) pp.642-651.
- [3] 山下義行：ブラック・ホール近傍におけるデブスバッファ・アルゴリズム、情報処理学会第43回全国大会論文集(1991)(分冊2) pp487-488.
- [4] Kastor, D. and Traschen, J.: Cosmological Multi-Black-Hole Solutions, Physical Review D, 47-12(1993) pp.5370-5375.
- [5] 中澤ほか：特集 計算物理学と超並列計算機 CP-PACS 計画、情報処理、37-1(1996)pp.11-42.