

教育用物理モデル記述法の検討

高木茂

国立 沖縄工業高等専門学校

1. はじめに

数学や理科など、科学技術の根幹をなす教科の学力低下が懸念されている。この対策として、コンピュータシミュレーションを用いたドライ・ラボ⁽¹⁾の考えが提唱されている。これは、単に本や講義で学び、ノートの上で問題を解くだけではなく、シミュレーションを用いた仮想的な実験を通じて理解を深めるという方法である。この目的で、解説書やプログラム^{(1)~(5)}が開発されている。これらは、対象領域を限定し(例: バネの動き計算用、惑星運動計算用、等)、その対象領域の物理モデルを解くアルゴリズムをプログラム化している。学生は質量、重力加速度など少数のパラメータを指定するだけで使用できる

これらは、使い方が簡単であるという利点を有するものの、学生の創造力の育成の点では不十分である。その原因は、シミュレータに物理モデルが組み込まれているため、学生が独創的なモデルを考えたとしても、模擬できないからである。また、教官の側からすると、自分の教えたいモデルを学生に提示できないという不満がある。

我々は、物理モデルとシミュレーションシステムを分離し、学生あるいは教官が自分の独創的な物理モデルを定義し、模擬する方法を提供することにより、枠にとらわれない自由な発想力を発揮させる道が開くのではないかと考え、その方法を模索している。

本論文では、質点系について物理モデルの記述法の検討経過を報告する。

2. 物理モデルの記述

物理モデルを記述するのに、シミュレータを記述しやすい言語を提供する方法⁽⁶⁾や、オブジェクト指向言語の枠組みで、汎用的なモデル記述言語⁽⁷⁾を提供する方法が報告されている。

Model Description Approach for Physics Education

Shigeru Takagi
National Okinawa College of Technology

この中で(7)は我々の狙いとしていることに、最も近いアプローチをとっているが、高専等の物理教育で使うには、敷居が高い。

我々は、汎用性を極力保ちつつ、物理モデルをなるべく簡潔に記述できる方法を模索している。そのためまずは、最も基本的な質点系の記述法から検討を始めた。

2.1 質点系モデルの記述法

質点系の振る舞いは、質点の性質、各質点の存在する場の情報、質点間の相互作用で決定される。

従って物理モデル記述として必要な項目は、

(1) 模擬を行う空間の次元数

(2) 質点の情報

(3) 質点間の相互作用、および、場の情報

である。質点間の相互作用や場の情報は、力あるいはポテンシャルで表現するのが自然であろう。例えば、重力場の中を自由運動する2つの質点モデルの記述様式を下記に示す。

// 模擬を行う空間の次元数

Dimension = 3;

// 模擬すべき質点の数

NumOfParticles = 2;

// 質点にかかる重力場のポテンシャルの定義

U = M0*g*Y0 + M1*g*Y1;

上の記述では、ポテンシャル表現を使っているが、運動方程式表現では

FY0 = -M0*g;

FY1 = -M1*g;

となる。この例のように、Mi は i 番目の質点の質量、FYi は i 番目の質点の Y 方向の力、U は全ポテンシャル、と名前付け規則を設けておくのも、記述を容易にする一方法であろう。

2.2 表示法の記述

物理モデル記述と初期条件記述を入力として、物理モデルインタープリターが解釈、実行する。模擬の経過や結果をアニメーション等を用いて視覚的に見やすく表示することは重要である。何をどのように表示したいかも、ユーザ

- ーが簡潔に記述できねばならない。このため、
- (1) エネルギー、座標、速度、加速度、力、時間、および、それらの任意の組み合わせを計算し表示する手段。
 - (2) 表示するタイミングを指定する手段。
 - (3) foreground 或いは background を指定する手段。
- を提供する。

3. 物理モデル記述の解釈と模擬

物理モデル記述の解釈と模擬の手順を以下に示す。

- (1) 物理モデル記述を解析し、解釈・模擬のための内部形式に変換する
- (2) 初期条件記述を用いて、時刻 $T=0$ での各物体の速度 V と位置 X を設定する
- (3) 時間の刻みを ΔT として、時刻 0 から ΔT 毎に(4)により各物体の座標,速度を更新する
- (4) 現時刻 T で以下の処理を行った後、 $T=T+\Delta T$ とする

現時刻の速度 V を用いて次時刻の位置 X を計算する ($X = X + V \times \Delta T$)

ポテンシャル関数 U を偏微分して力に変換し、他の力と合算する(F)

加速度を求め ($A = F \div M$)、次時刻の速度を計算する ($V = V + A \times \Delta T$)

- (5) 模擬結果の描画時刻であれば、指定された情報を収集し、指定どおりに描画する

4. 物理モデル記述の例

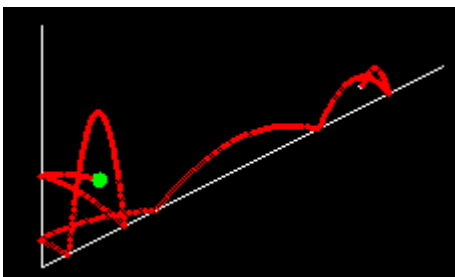
4.1 自由落下と壁や床のモデル

壁や床に物体が衝突すると、跳ね返される。これらをモデル化するのは、様々な方法が考えられるが、ここで非弾性的なバネを使う。自由落下する質点が $Y=0$ の面で跳ね返るモデルは：

$$FX0 = -c*VX0*Step(-Y0);$$

$$FY0 = -M0*g - (k*Y0 + c*VY0)*step(-Y0);$$

ここで $step(x)$ は x が負ならば 0 、さもなければ 1 となる階段関数である。この考えは壁の形状がどうであろうと適用できる。斜めの床と、垂直の壁をモデル化した場合の運動の軌跡を示す。

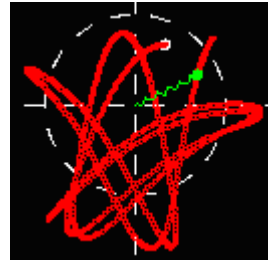


4.2 ゴム紐のモデル

長さ L のゴムひもをモデル化することを考える。ゴム紐は長さが L 以下の場合には力を及ぼさず、 L 以上になった時に、バネ定数 k の伸張バネとして働くとモデル化する。ポテンシャル表現では、ゴム紐は次のように記述できる

$$U = k * \text{pow}(\text{sqrt}(x*x + y*y) - L, 2) * \text{step}(x*x + y*y - L*L) / 2 + m * g * Y0;$$

ここで $\text{pow}(x, y)$ はべき乗 x^y を意味する。



上図で破線の円は半径 L の境界を示す。半径 L 内では質点は自由落下運動をし、 L を超えたところではバネに引かれる運動をする。

5. まとめ

学生に物理をより深く理解させるためには、物理モデルを考えさせ、記述させ、模擬させるという手法が有効ではないかと考え、そのための記述法を検討した。まずは、物理の最も初歩の質点系について着手した。授業で学ぶ運動方程式やポテンシャルをそのまま素直に記述し、模擬できる方法を採用した。モデルを自由に定義できるようにしたことに伴い、表示方法も自由に定義できるよう工夫した。今後、記述法や模擬法の改良を進めるとともに、適用領域を広げる予定である。

「参考文献」

- (1) 平田郁男著、「Basic による物理 - 物理ドライ・ラボ -」 共立出版 1983年
- (2) 酒井幸一著 「物理・制御シミュレーション入門」 CQ 出版社 2002年1月
- (3) 山田盛夫著 「Visual Basic でわかる物理」 CQ 出版社 2003年2月
- (4) 臼田庄司、伊藤敏、井上祥史著 「Excel で学ぶ理工系シミュレーション入門」 CQ 出版社 2003年1月
- (5) 加藤徳吉 「直感的に操作できる物理シミュレーションソフトの開発」物理教育 第52巻 3号 pp.259-261 (2004)
- (6) 土井正男、滝本純一編「物理仮想実験室」名古屋大学出版会 2004年3月
- (7) Modelica, <http://www.modelica.org/>