

## ゴルフボールの飛距離シミュレーション 4

### 8. 結果をひとつのグラフにまとめる

ここでは、いままでに行ってきたいくつかのシミュレーション結果をひとつのグラフにまとめる方法について説明します。なお、各シミュレーションのデータはすでに Excel のファイル (ブック) として保存されているものとします。

#### 8.1 複数のブックをひとつのブックのまとめる

- (1) 各シミュレーションごとに保存している Excel のデータを開く。以下では、「ディンプルなし」のブック (以後「wodim.xls」と呼ぶ) 内にすべてのデータを移すことにする。
- (2) 「ディンプルあり」のブック (これを「wdim.xls」と呼ぶ) でデータのあるシートを選択する。
- (3) ツールバーから「編集」、「シートの移動またはコピー」を選択し、「移動先ブック名」に「wodim.xls」を指定、「挿入先」で (末尾へ移動) を選択し、「OK」をクリックする。
- (4) 「ディンプルあり」のデータシートが「ディンプルなし」のデータシートの次に挿入されたことを確認。
- (5) 同様にして、空気抵抗のない場合の結果 («k=0.xls») も移動する。

#### 8.2 複数のシートにあるデータをひとつのグラフに描く

- (1) 3 ケースのシミュレーション結果のシートをまとめたブックで「グラフ・ウィザード」を起動。
- (2) 「散布図」で「折れ線マーカーなし」を選択し、「次へ」をクリック。
- (3) 「グラフの元データ」にある「系列」タグをクリックし、まずは「系列」にあるデータを「削除」ボタンを使ってすべて削除する。
- (4) 次に「追加」ボタンをクリックすると系列 1 が追加されるので、「X の値」に対して「ディンプルなし」のデータシート内の「B 列」にあるデータを指定し、「Y の値」には「C 列」のデータを指定する。また、「名前」には「ディンプルなし」と入力する。
- (5) さらに「系列」の「追加」ボタンをクリックして系列 2 を追加し、「ディンプルあり」のシートにある「B 列」と「C 列」をそれぞれ「X の値」、「Y の値」として指定する。また、「名前」には「ディンプルあり」と入力する。
- (6) 同様にして、系列 3 (空気抵抗なし、名前は「抵抗なし」) を追加する。すべての系列が追加されたら「次へ」ボタンをクリック。
- (7) 「タイトルとラベル」で「グラフタイトル」に「ゴルフボールの軌道」、「X / 数値軸」に「x(m)」、「Y / 数値軸」に「y(m)」と入力し、「次へ」をクリック。
- (8) 「グラフの場所」で「新しいシート」にチェックをつけ、「ゴルフボールの軌道」と入力した後、「完了」をクリックすると、新しいシートにグラフが表示される。

#### 8.3 グラフの成形

- (1) 表示されたグラフで、「x / 数値軸」の最大値を「200」、「y / 数値軸」の最小値を「-60」に設定する。
- (2) グラフタイトル、x、y 軸ラベル、目盛等の大きさやフォント、線の太さなどを自由に設定する。
- (3) 全体のバランスを考えて、グラフタイトル、グラフ、凡例等をレイアウトして完成。

**課題 11.** 3 つのシミュレーション結果をひとつのグラフに描いてみよう。

**課題 12.** 求めた結果から飛距離とディンプルの関係について考察してみよう。

### 9. 最大投射角

放物運動で初速度を一定にした場合に最も遠くまで飛ばすことのできる角度を「最大投射角」という。例えば、空気抵抗がない場合の最大投射角は初速度の大きさに関係なく 45 度となることはよく知られている。それでは、空気抵抗がある場合の最大投射角はどうなるだろうか。一般的には、空気抵抗がある場合の最大投射角は 45 度より小さくなるという程度のことしか分かっていない。すでに見たように、ゴルフボールの飛距離を考える場合には空気抵抗は無視できないくらいに影響する。したがって、ボールをより遠くへ飛ばすために

は、その最大投射角に関する知識も重要になってくる。

**課題 13.** 空気抵抗がない場合の最大投射角が 45 度となることを証明してみよう。

**課題 14.** 今回使用したプログラムを使って、ゴルフボールの最大投射角を求めてみよう。特に、ディンプルの有無で最大投射角はどのように変わるだろうか。

10. おわりに

コンピュータ・シミュレーションによってゴルフボールの飛距離を求めてみた。すでに述べたように、ここで扱ったモデルは現実のゴルフボールに比べるとたいへん簡単なモデルである。それでも、ボールの飛距離に空気抵抗が大きな影響をもつことが理解できたと思う。実は、ゴルフボールのディンプルの影響というのは現在でも十分解明されていない。特に、今回は考慮しなかったボールの回転とその空気抵抗への影響についてはまだよくわかっていない。(だから、モデルからはずしたというのが実は本音。) 科学万能といわれる現代においても、われわれの身のまわりにはまだまだわかっていないことが沢山あるのです。

今回のゼミナールを通して、空気抵抗の影響というのが以外に大きいことがわかってもらえただろうか。今日、われわれが何気なく使っているコンピュータの原型が作られたのは 1946 年のことです。この世界初のコンピュータ (電子計算機) は ENIAC と呼ばれていますが、実はこのコンピュータの作られた目的のひとつが大砲の弾道計算だったのです。大砲の弾を敵陣内に正確に打ち込むためには空気抵抗を考えた弾道計算が不可欠でした。われわれが高校の物理で習った放物運動の知識だけでは誤差が大きすぎてとても弾を命中させられないのです。(この点については、今回のゼミナールでわかってもらえたと思う。)

ここで考えたモデルと基本的には同じモデルを使って、今日では、例えば、人工衛星や航空機、スペースシャトルなどの軌道計算が行われています。そして、その際には時々刻々変化する状況に応じてコンピュータによる軌道制御が行われているのです。

**応用問題 1.** 空気抵抗と飛距離の関係について調べてみよう。

**応用問題 2.** 風の影響を考えるとボールの運動方程式はどのように変わるだろうか。

**応用問題 3.** 回転の影響を考えるとボールのモデルはどうなるだろうか。

**応用問題 4.** 以下の手順で雨粒の落下速度について考えてみよう。

(1) 雨粒に働く力を考えてみよう。

(2) 鉛直に降る雨粒の運動方程式を導いてみよう。雨粒くらいの大きさの物体に働く空気抵抗は速度に比例することが知られている (ストークスの抵抗法則)。すなわち、

$$D = 3\pi\mu Vd,$$

ここで、 $\mu$  は粘性係数で空気の場合には  $1.8 \times 10^{-5}$  [Pa・s] 程度である。

(3) 得られた運動方程式を解いて雨粒の速度について考察してみよう。雨粒の大きさを 1mm とすると最終的な速度はどのくらいになるだろう。

**応用問題 5.** 今回使ったプログラムを理解してみよう。ただし、このプログラムを理解するためには、C 言語と数値計算法の知識が必要になります。3 年の終わり頃にはこのプログラムが理解できるようになっておくこと。

この資料は坪井が作成したものです。内容等については直接「システム工学科東棟 5 F 508 号室」に来室するか電子メール (tsuboi@dse.ibaraki.ac.jp) で問い合わせてください。