

# 数値解析

---

## 第4回 連立一次方程式の直接解法 1

# 本日の目標

- ガウスの消去法(数学既習)をプログラムする
  - 部分ピボット選択について理解する

# 連立一次方程式

一個30円のチョコレートと、一個20円の飴がある.

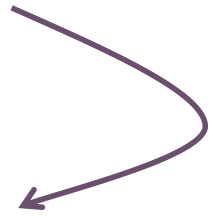
地域の子供30人にほしい方を1つ選ばせ、支払いをしたところ  
合計770円になった.

チョコレートと飴はそれぞれいくつ買ったか？

$$x + y = 30$$

$$30x + 20y = 770$$

$$- \quad 20x + 20y = 600$$



両辺20倍

---

$$10x + 0y = 170$$

$$x = 17$$

$$y = 13$$

# ガウスの消去法

ピボット

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases}$$

消去する

k行目に

$$-\left(\frac{a_{k1}}{a_{11}}a_{11}x_1 + \frac{a_{k1}}{a_{11}}a_{12}x_2 + \cdots + \frac{a_{k1}}{a_{11}}a_{1n}x_n = \frac{a_{k1}}{a_{11}}b_1\right)$$

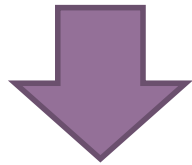
を加える.

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ 0 + a'_{22}x_2 + \cdots + a'_{2n}x_n = b'_2 \\ \vdots \\ 0 + a'_{n2}x_2 + \cdots + a'_{nn}x_n = b'_n \end{cases}$$

# ガウスの消去法

$$\left[ \begin{array}{l} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ 0 + a'_{22}x_2 + \cdots + a'_{2n}x_n = b'_2 \\ \vdots \\ 0 + a'_{n2}x_2 + \cdots + a'_{nn}x_n = b'_n \end{array} \right.$$

消去する



繰り返す

$$\begin{array}{l} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ 0 + a'_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \cdots + a'_{2n}x_n = b'_2 \\ 0 + a''_{33}x_3 + \cdots + a''_{3n}x_n = b''_3 \\ \vdots \\ a_{nn}^{(\beta)}x_n = b_n^{(\beta)} \end{array}$$

前進消去

# ガウスの消去法

$$\begin{aligned}a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \cdots + a_{1n}x_n &= b_1 \\0 + a'_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \cdots + a'_{2n}x_n &= b'_2 \\0 + a''_{33}x_3 + \cdots + a''_{3n}x_n &= b''_3 \\&\vdots\end{aligned}$$

$$a_{nn}^{(\beta)} x_n = b_n^{(\beta)}$$



$$x_n = \frac{b_n^{(\beta)}}{a_{nn}^{(\beta)}}$$

↑ 後退代入

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1n} \\ 0 & c_{22} & c_{23} & \cdots & c_{2n} \\ 0 & 0 & c_{33} & \cdots & c_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix}$$

# 消去例

後退代入

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 3 & 2 & -1 \\ 7 & -1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ 25 \\ 8 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 0 & -10 & -7 \\ 0 & -29 & -11 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ -56 \\ -181 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 0 & -10 & -7 \\ 0 & 0 & 9.3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ -56 \\ -18.6 \end{pmatrix}$$

$$x_3 = -2$$

前進消去

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 0 & -10 & -7 \\ 0 & 0 & 9.3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ -56 \\ -18.6 \end{pmatrix}$$

$$2x_1 + 8 \times 7 + 4(-2) = 54$$

$$2x_1 = 6$$

$$x_1 = 3$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 0 & -10 & -7 \\ 0 & 0 & 9.3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ -56 \\ -18.6 \end{pmatrix}$$

$$-10x_2 - 7(-2) = -56$$

$$-10x_2 = -70$$

$$x_2 = 7$$

# 前進消去失敗

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 3 & 12 & -1 \\ 7 & -1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ 25 \\ 8 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 0 & 0 & -7 \\ 0 & -29 & -11 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ -56 \\ -181 \end{pmatrix}$$

前進消去で対角要素が0になるとうまく計算できない。



# 部分ピボット選択付ガウスの消去法

- k回目の消去において, k行目以下の行をみたとき, k列の最大絶対値(ピボット)がk行目に来るように行を入れ替える.

1回目の消去作業

$$\begin{pmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 3 & 12 & -1 \\ 7 & -1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54 \\ 25 \\ 8 \end{pmatrix}$$

1列目の最大絶対値は7→1行目と3行目を交換

$$\begin{pmatrix} 7 & -1 & 3 \\ 3 & 12 & -1 \\ 2 & 8 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 25 \\ 54 \end{pmatrix}$$

# ピボット選択付前進消去

$$\begin{pmatrix} 7 & -1 & 3 \\ 3 & 12 & -1 \\ 2 & 8 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 25 \\ 54 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 7 & -1 & 3 \\ 0 & 12 + \frac{3}{7} & -1 - \frac{9}{7} \\ 0 & 8 + \frac{2}{7} & 4 - \frac{6}{7} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ 25 - \frac{24}{7} \\ 54 - \frac{16}{7} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 7 & -1 & 3 \\ 0 & \frac{87}{7} & -\frac{16}{7} \\ 0 & \frac{58}{7} & \frac{22}{7} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ \frac{151}{7} \\ \frac{362}{7} \end{pmatrix}$$

# 部分ピボット

2回目の消去作業

$$\begin{pmatrix} 7 & -1 & 3 \\ 0 & \frac{87}{7} & -\frac{16}{7} \\ 0 & \frac{58}{7} & \frac{22}{7} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ \frac{151}{7} \\ \frac{362}{7} \end{pmatrix}$$

すでに終わった行は見ない  
→ 部分ピボット選択

2行以下で2列目の最大絶対値は $\frac{87}{7}$  → 交換不要

$$\begin{pmatrix} 7 & -1 & 3 \\ 0 & \frac{87}{7} & -\frac{16}{7} \\ 0 & 0 & \frac{22}{7} - \frac{58}{87}(-\frac{16}{7}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 \\ \frac{151}{7} \\ \frac{362}{7} - \frac{58}{87} \times \frac{151}{7} \end{pmatrix}$$

$$(22 \times 87 + 58 \times 16)x_3 = 362 \times 87 - 58 \times 151$$

$$x_3 = 8.0$$

$$x_2 = 3.2069$$

$$x_1 = -1.8276$$

# 演習課題4

k4-input1.csvから入力される係数行列Aと, k4-input2.csvから入力されるベクトルyに関して, 以下の連立一次方程式を部分ピボット選択付ガウスの消去法によって解け。

$$Ax = y$$

例: 
$$\begin{pmatrix} 2 & -1 & 5 \\ -4 & 2 & 1 \\ 8 & 2 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 \\ 3 \\ 21 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & -1 & 5 \\ -4 & 2 & 1 \\ 8 & 2 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 32 \\ -9 \\ 17 \end{pmatrix}$$