

# レポート提出票

科目名: 情報工学実験3

実験課題名: 課題1 複雑ネットワーク入門

実施日: 2021年 5月 27日

学籍番号: 4619055

氏名: 辰川力駆

共同実験者:

_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

# 1 実験内容

## 1.1 課題 1

次のネットワーク例において、何が頂点で何が枝かを考える。また、このネットワーク例以外で実世界におけるネットワークの例を考える。

1. インターネット
2. WWW
3. 神経回路網
4. 航空網、鉄道網、道路網
5. 電力輸送網

## 1.2 課題 2

1. 図 1 に示したネットワークの隣接行列を求める。
2. 図 2 に示したネットワークの隣接行列を求める。

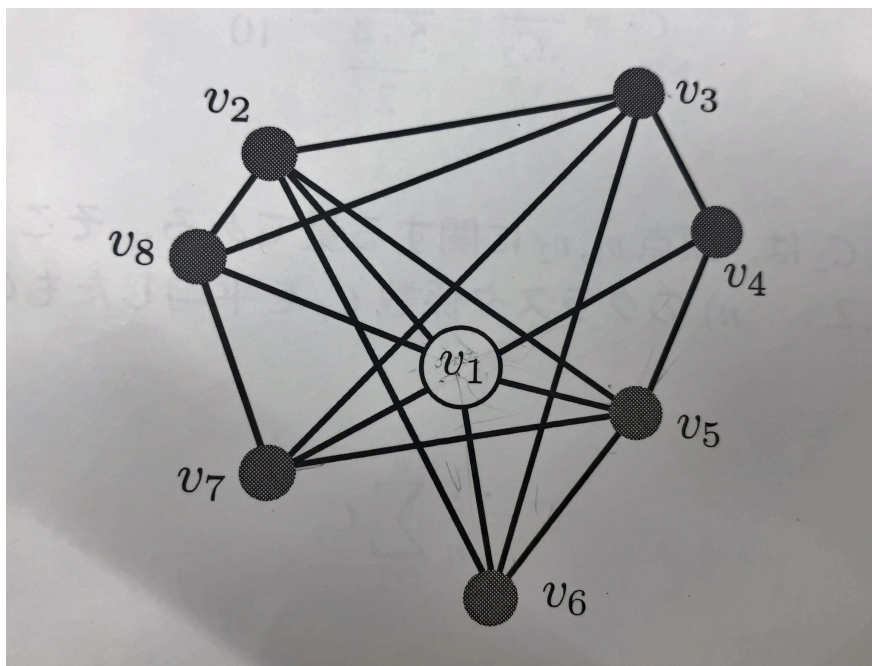


図 1: ネットワーク例 1

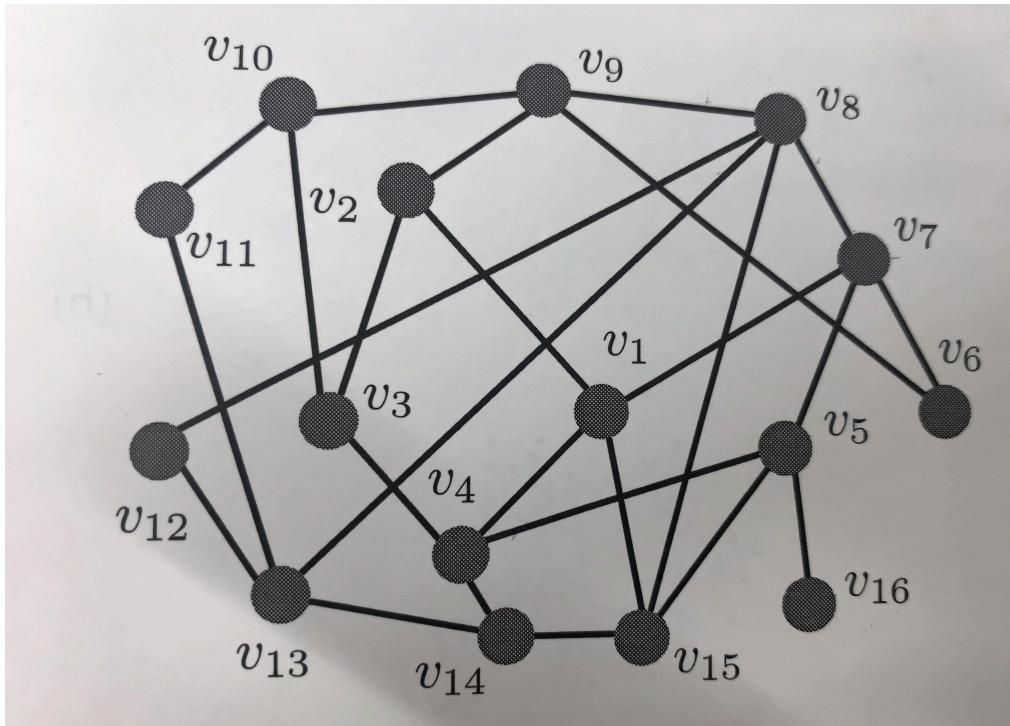


図 2: ネットワーク例 2

### 1.3 課題 3

1. 図 1 に示したネットワークの隣接リストを求める。
2. 図 2 に示したネットワークの隣接リストを求める。

### 1.4 課題 4

1. 図 1 に示したネットワークの次数分布を求める。
2. 図 2 に示したネットワークの次数分布を求める。

### 1.5 課題 5

1. 図 1 のネットワークにおいて、 $C_i (i = 3, 4, \dots, 8)$  を求める。
2. 図 1 のネットワークのクラスタ係数  $C$  を求める。

### 1.6 課題 6

1. 図 2 のネットワークにおいて、 $d_{i,j} (i, j = 1, 2, \dots, 16)$  を求める。
2. 図 2 のネットワークにおいて、平均頂点間距離  $L$  を求める。

## 1.7 課題 7

1. あるネットワークに対して、平均頂点間距離、クラスタ係数を求めるコードを作成する。  
ただし、本実験でのネットワークデータは、枝リスト形式で与えられているとする。
2. 1で作成したコードを用いて、次の3つのネットワークの平均頂点間距離とクラスタ係数を求める。
  - (a) Zachary の空手クラブの友人関係
  - (b) イルカのネットワーク
  - (c) 線虫の神経回路網
3. 上記の3つのネットワークについて、各々をランダム化したネットワークを作成し、それらの平均頂点間距離、クラスタ係数を求め、元のネットワークの平均頂点間距離、クラスタ係数と比較する。

## 2 実験結果

### 2.1 課題 1

表 1: 現実のネットワーク例

	頂点	枝
インターネット	コンピュータ	回線
WWW	ウェブサイト	ハイパーリンク
神経回路網	神経細胞	シナプス
航空網、鉄道網、道路網	空港、駅、建物	路線、線路、道
電力輸送網	建物	電線
人間の交友関係	人	人間関係

### 2.2 課題 2

図 1 のネットワークの隣接行列を  $A$ 、図 2 のネットワークの隣接行列を  $B$  とすると、次のようになる。

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

## 2.3 課題3

表 2: 図1のネットワークの隣接リスト

頂点番号	接続先の頂点番号
1	2,4,5,6,7,8
2	1,3,5,6,8
3	2,4,6,7,8
4	1,3,5
5	1,2,4,6,7
6	1,2,3,5
7	1,3,5,8
8	1,2,3,7

表 3: 図 2 のネットワークの隣接リスト

頂点番号	接続先の頂点番号
1	2,4,7,15
2	1,3,9
3	2,4,10
4	1,3,5,14
5	4,7,15,16
6	7,9
7	1,5,6,8
8	7,9,12,13,15
9	2,6,8,10
10	3,9,11
11	10,13
12	8,13
13	8,11,12,14
14	4,13,15
15	1,5,8,14
16	5

## 2.4 課題 4

1. 図 1 に示したネットワークの次数分布は、表 2 より、

$$p(0) = 0, p(1) = 0, p(2) = 0, p(3) = \frac{1}{8}, p(4) = \frac{3}{8}, p(5) = \frac{3}{8}, p(6) = \frac{1}{8}, p(k) = 0 (k > 6)$$

となった。

2. 図 2 に示したネットワークの次数分布は、表 3 より、

$$p(0) = 0, p(1) = \frac{1}{16}, p(2) = \frac{3}{16}, p(3) = \frac{1}{4}, p(4) = \frac{7}{16}, p(5) = \frac{1}{16}, p(k) = 0 (k > 5)$$

となった。

## 2.5 課題5

1. 図1のネットワークにおいて  $C_i (i = 3, 4, \dots, 8)$  は、

$$C_3 = \frac{3}{10}, C_4 = \frac{1}{3}, C_5 = \frac{1}{2}, C_6 = \frac{2}{3}, C_7 = \frac{1}{2}, C_8 = \frac{2}{3}$$

である。

2. 図1のネットワークのクラスタ係数  $C$  は、

$$C = \frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 C_i = 0.5042$$

である。

## 2.6 課題6

1. 図2のネットワークにおいて、 $d_{i,j}$  は、

$$d_{i,j} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 3 & 4 & 3 & 3 & 2 & 1 & 3 \\ & 0 & 1 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 2 & 4 \\ & & 0 & 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 2 & 1 & 2 & 4 & 3 & 2 & 3 & 3 \\ & & & 0 & 1 & 3 & 2 & 3 & 3 & 2 & 3 & 3 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ & & & & 0 & 2 & 1 & 2 & 3 & 3 & 4 & 3 & 3 & 2 & 1 & 1 \\ & & & & & 0 & 1 & 2 & 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 4 & 3 & 3 \\ & & & & & & 0 & 1 & 2 & 3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2 \\ & & & & & & & 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ & & & & & & & & 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 4 \\ & & & & & & & & & 0 & 1 & 3 & 2 & 3 & 3 & 4 \\ & & & & & & & & & & 0 & 2 & 1 & 2 & 3 & 5 \\ & & & & & & & & & & & 0 & 1 & 2 & 2 & 4 \\ & & & & & & & & & & & & 0 & 1 & 2 & 4 \\ & & & & & & & & & & & & & 0 & 1 & 3 \\ & & & & & & & & & & & & & & 0 & 2 \\ & & & & & & & & & & & & & & & 0 \end{pmatrix}$$

2. 図2のネットワークの平均頂点間距離は

$$L = \frac{1}{16C_2} \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1, j>i}^{16} d_{i,j} = 2.283$$

である。

## 2.7 課題7

1. 作成したコードは zip ファイルに添付した。
2. 1で作成したコードを用いて、次の3つのネットワークの平均頂点間距離とクラスタ係数を求めると、表4のようになった。

表 4: 3つのネットワークの平均頂点間距離とクラスタ係数

ネットワーク	$L_{\text{org}}$	$C_{\text{org}}$
Zachary の空手クラブの友人関係	2.4082	0.5706
イルカのネットワーク	3.3570	0.2590
線虫の神経回路網	2.4356	0.3371

3. 各々をランダムイズしたネットワークの平均頂点間距離、クラスタ係数は、表5のようになった。

表 5: ランダムイズした3つのネットワークの平均頂点間距離とクラスタ係数

ネットワーク	$\bar{L}_R$	$\bar{C}_R$
Zachary の空手クラブの友人関係	2.0926	0.3520
イルカのネットワーク	2.3408	0.1161
線虫の神経回路網	2.2678	0.1426



### 3 考察

配布された3つのネットワークについて、スモールワールド構造を有するかを考える。

表 6: 平均頂点間距離とクラスタ係数の比

ネットワーク	$\frac{L_{\text{org}}}{L_R}$	$\frac{C_{\text{org}}}{C_R}$
Zachary の空手クラブの友人関係	1.1508	1.6210
イルカのネットワーク	1.4341	2.2308
線虫の神経回路網	1.0740	2.3640

表 6 より、Zachary の空手クラブの友人関係、イルカのネットワーク、線虫の神経回路網のすべてが、 $\frac{L_{\text{org}}}{L_R} \approx 1$  となった。さらに、すべてが、 $\frac{C_{\text{org}}}{C_R} \gg 1$  となった。

よって、これらのネットワークについて、すべてスモールワールド構造を有することが分かる。