

# 複雑ネットワークの基礎知識

増田 直紀

理化学研究所脳科学総合研究センター

masuda@brain.riken.jp

ネットワーク生態学研究会第 1 回サマースクール。  
2005 年 8 月 30 日 @ 能登。

## 1 イン트로ダクション ～ 古典的なネットワーク

- 伝染病を例とした説明。ネットワークを考慮しない場合と考慮する場合の比較。ネットワークを考えることの必要性について。
- 実世界のネットワークが持っている 3 つの要素:
  1. 個々人の不均一性：次数分布の不均一性。特に、ベキ則となることが多い。
  2. 6 次の隔たり：ネットワークの平均距離が小さい。
  3. 内輪つきあいが多い：クラスター性が大きい。
- 古典的なネットワークの例 1：正方格子。クラスター性は大きい、平均距離は大きい。不均一性はない。
- 例 2：木。平均距離は小さい、クラスター性は小さい。不均一性はない。
- 例 3：ランダム・グラフ。平均距離は小さい、クラスター性は小さい。一種の不均一性がある。

## 2 複雑ネットワーク

上記で紹介したような古典的なネットワークでは現実世界のネットワークを記述するのに不十分であることが近年になってわかってきた。そこで、20 世紀も終わろうとする頃、以下のようなネットワークのモデルが提案されて、複雑ネットワーク研究が始まった。

- スモールワールド・ネットワーク。小さい平均距離と高いクラスター性を同時に実現。
- スケールフリー・ネットワーク。ベキ乗則の次数分布の実現。スモールワールド性との関連についても説明する。スケールフリー・ネットワークのモデルについては、以下の例のように色々なものがある。
  - バラバシとアルバートのモデル (BA モデル)
  - 頂点非活性化モデル
  - 階層的モデル
  - Davidsen の友人紹介モデル
  - 閾値モデル

### 3 ネットワーク上で起こること

- contagion processes とその周辺：流行、感染症など。臨界感染力 (臨界確率) の話題などについて紹介する。
  - パーコレーション
  - SIS モデルとコンタクト・プロセス
  - SIR モデル
  - ランダム・ウォーク
  - カスケード
  - パケット輸送
- その他のダイナミクスについても、時間があれば紹介する。
  - スピン・グラス、投票者モデル
  - 振動子、同期発火
  - 経済取り引き過程、マルチ・エージェント・モデル

### 4 ネットワーク研究の展望

- 構造と機能に話をわけるとわかりやすい。
- 最近の研究のトレンドと世界の最先端の動向。
- ネットワークはいたるところにある。自分でデータを集めたり、数値計算をして色々遊んでみることもできる。

## References

### 複雑ネットワークに関する啓蒙書

- [1] アルバート＝ラズロ・バラバシ (青木 薫 訳). 新ネットワーク思考 — 世界のしくみを読み解く. NHK 出版 (2002).
- [2] マーク・ブキャナン (阪本 芳久 訳). 複雑な世界、単純な法則 — ネットワーク科学の最前線. 草思社 (2005).
- [3] ダンカン・ワッツ (辻 竜平, 友知 政樹 訳). スモールワールド・ネットワーク — 世界を知るための新科学的思考法. 阪急コミュニケーションズ (2004).
- [4] スティーヴン・ストロガッツ (蔵本 由紀, 長尾 力 訳). SYNC. 早川書房 (2005).

### 複雑ネットワーク全体についての解説書と総説論文

- [5] 増田直紀, 今野紀雄. 複雑ネットワークの科学, 産業図書 (2005).
- [6] R. Albert, A.-L. Barabási. Statistical mechanics of complex networks. *Review of Modern Physics*, **74**, 47–97 (2002).
- [7] M. E. J. Newman. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, **45**, 167–256 (2003).
- [8] S. N. Dorogovtsev, J. F. F. Mendes. Evolution of networks. *Advances in Physics*, **51(4)**, 1079–1187 (2002).
- [9] S. N. Dorogovtsev, J. F. F. Mendes. *Evolution of networks*. Oxford University Press, Oxford (2003).

### やや話題が特化した本

- [10] R. Pastor-Satorras, A. Vespignani. *Evolution and structure of the Internet*. Cambridge University Press, Cambridge (2004).
- [11] D. J. Watts. *Small Worlds*. Princeton University Press, Princeton (1999).

### 会議の論文を集めた本

- [12] S. Bornholdt, H. G. Schuster (Eds.). *Handbook of graphs and networks — from the genome to the Internet*. Wiley-VCH, Weinheim (2003).

- [13] R. Pastor-Satorras, A. Diaz-Guilera (Eds.). *Statistical Mechanics of Complex Networks (Lecture Notes in Physics)*. Springer-Verlag, Berlin (2003).
- [14] E. Ben-Naim, H. Frauenfelder, Z. Toroczkai (Eds.). *Complex Networks (Lecture Notes in Physics)* Springer Verlag, Berlin (2004).

#### 最近の私個人の研究成果

- [15] N. Masuda, N. Konno and K. Aihara, Transmission of severe acute respiratory syndrome in dynamical small-world networks. *Physical Review E* **69**, 031917 (2004).
- [16] N. Masuda, N. Konno. Return times of random walk on generalized random graphs. *Physical Review E*, **69**, 066113 (2004).
- [17] N. Masuda, H. Miwa, N. Konno. Analysis of scale-free networks based on a threshold graph with intrinsic vertex weights. *Physical Review E* **70**, 036124 (2004).
- [18] N. Masuda, H. Miwa, N. Konno. Geographical threshold graphs with small-world and scale-free properties. *Physical Review E* **71**, 036108 (2005).
- [19] N. Masuda and N. Konno. VIP-club phenomenon: emergence of elites and masterminds in social networks. *Social Networks*, in press (2005). Preprint: cond-mat/0501129
- [20] N. Konno, N. Masuda, Rahul Roy and Anish Sarkar. Rigorous results on the threshold network model. *Journal of Physics A: Math. Gen.* **38**, 6277–6291 (2005).
- [21] N. Masuda and N. Konno, Multi-state epidemic processes on complex networks. Preprint: cond-mat/0504329 (2005).