まえがき

かつて我々は小さな村に住み，村の住民全員と知り合いで，あらゆる知識や財産を共有してきた．しかし，21 世紀の現在，世界中の人々，組織，価値，利害が有機的に絡み合い，それらが相互に影響を及ぼし合っている複雑でグローバルな「ネットワーク」の中で我々は生きている．もちろん，かつての村社会にもネットワークはあった．絆としてのネットワークは，むしろ今よりも強固で，生きていくために必要不可欠なものであった．人々の気質や性格も，この小さくて強い結びつきのネットワークに大きな影響を受けていたに違いない．現代社会におけるネットワークと当時のネットワークの大きな違いは，その規模と複雑さである．人と人との繋がり合いだけでなく，社会のあらゆる要素から構成される現代社会のネットワークは，我々の生活と深く関わり合っている．21 世紀に入り，グローバル社会におけるネットワークの複雑な構造が World Wide Web (WWW) を介してある程度把握されるようになると，ネットワークの存在を意識し，その性質を理解し，利用することができる者が社会を牽引するようになっている．FORTUNE 誌が発表した 2011 年の「世界で最も賞賛される企業」の上位には，Google（2 位），Amazon.com（7 位），Cisco Systems（28 位），Netflix（40 位），eBay（45 位）などが名を連ねている．これらの会社はいずれも今世紀に入って台頭してきた企業であり，ハードウェアとしてのインターネットを媒体として，人・商品・情報などの複雑な関係性を解析し，そこから生まれる価値を商品とすることにより成功を収めている．また，Facebook や Twitter の例からもわかるように，ネットワークを前提とした社会の中では，個人の生活様式や気質もまた変化を余儀なくされる．そのため，かつての村社会のようにネットワークを強く意識しなければならなくなっているが，その構造があまりにも複雑であるため，複雑ネットワークに対する科学や解析技術が重要な役割を果たすようになっている．複雑ネットワークの構造や機能を理解することで新たな展開が期待できる分野は，社会学や経済学に留まらない．絶

滅種が生態系に与える影響は食物連鎖ネットワークの構造と，交通渋滞の発生は道路網のトポロジーと，脳の機能発現はニューラル・ネットワークの構造と密接に関係している．このようないわゆる複雑系をネットワークとして捉え，解析することにより，これまでの還元論的な方法では知ることができなかった様々な知見が得られるようになってきている．こうした経緯から，複雑で大規模なネットワークの性質を解明する研究が，ここ十数年の間に非常に活発化している．

本書は，複雑ネットワークの性質の一部を解説したものである．「一部」と書いたのには意味がある．ネットワークの性質は，大きく二種類に分類できる．一つはネットワークを構成する要素同士の繋がり方，すなわち構造的な性質であり，もう一つはネットワーク上で起こる様々な現象が示す性質である．どちらの性質の理解も複雑ネットワークの解明や利用に不可欠であることはいうまでもないが，本書の内容は構造的性質にのみ限定して書かれている．紙面の都合や筆者の力不足という単純な理由もあるが，構造的特徴に対する理解が複雑ネットワーク科学全体の基礎をなしているため，テーマを限定することで，この重要な基礎部分を少し丁寧に解説してみたいというのが大きな理由である．また，ネットワーク構造に対する知見はある程度体系化されているため，教科書の内容として相応しいことも理由の一つである．和書・洋書を含め，複雑ネットワークに関する解説書がこれまでに多数出版されているが，構造的性質に関する説明項目は書を選ばずほとんど揺らぎがない．このことは，複雑ネットワークの構造的性質を理解する上で，何が基礎であるかについての一定のコンセンサスが得られていることを意味している．このような理由から本書では構造的性質しか扱わないが，幸い優れた入門書，専門書，総合報告がすでに多数出版されているので，ネットワーク上のダイナミクスや協同現象等を学びたい読者は，そちらを読んでいただきたい．

本書は「連携する数学」というシリーズの中の一巻であるが，いわゆる数学書ではないことをはじめに断っておかなければならない．数学書のような体裁で書かれているわけでもない．とはいえ，内容に論理の飛躍がないようには努めたつもりである．数式を使って議論を展開する際にも，できる限り式の導出を省略しないようにした．導出が本書のレベルを超えている場合や，それを書くことによって話の流れが主題から大きく外れてしまう場合など，結果のみを示すこともあるが，そのような場合も文献を示し，読者自身で導出の過程を確認できるようにしている．本書に出てくる数式を追うのに高度な数学の知識は必要ない．微積分をはじめとする初等的な解析学，線形代数，および “場合の数” や “条件付き確率” などの確率論の

初歩が身についていれば大体事足りる．必須というわけではないが，物理学の基本的な知識をもっていれば，本書に現れる概念のいくつかを理解するのに役立つであろう．概していえば，理系の学部学生程度の基礎学力があれば（そして根気があれば），本書を最後まで読み通すことは十分可能である．

数学者でもない筆者が本シリーズの執筆を引き受けたのは，数学を専門にしようと思っている人や，すでに専門とされている方にも，複雑ネットワークに対するより強い関心をもってもらいたいと考えたのが一つの理由である．そもそも，ネットワークの科学は数学のグラフ理論として産声を上げた分野であり，数学との結びつきは極めて強い．しかし，大規模で不均一な構造を有するネットワークを扱う現在の複雑ネットワーク科学においては，統計物理学的な手法や，現象論的な扱い，数値シミュレーションなど，グラフ理論とは異なるアプローチが主流となりつつある．そのため，複雑ネットワーク科学と数学の結びつきが以前より弱くなっているように思える．本書を読んだ方が，「そんな問題は，こう考えれば簡単に解けるのに」と一蹴してくれることを心から望んでいる．執筆を引き受けたもう一つの理由は，複雑ネットワークに興味をもっている様々な分野の学生が，複雑ネットワーク科学の基礎を手軽にかつ系統的に学習できるような参考書を提供したいと考えたことである．先にも述べたように，複雑ネットワークの科学は，物理学，化学，生物学，生態学，情報科学，社会学，言語学，等々，非常に多くの学問分野と関係している．これらの分野の学生が，自身の抱える問題に対してネットワーク科学の立場からのアプローチを試みる際に，少しでも本書が役に立ってくれれば，筆者にとって望外の喜びである．

最後に，本書を執筆するにあたって，多くの方々の協力を得たので，この場を借りてお礼申し上げたい．執筆当時に研究室のメンバーであった川崎文也氏，水高将吾氏，渡邉章友氏，福原和紀氏，小畠佑介氏には，原稿を辛抱強く読んでいただき，記述の誤りや不明瞭な論理について指摘いただいた．また，増田直紀氏と古谷修平氏には，執筆当初から本書の構成や方向性などに関して相談させていただき，有益なアドバイスをいただいた．共立出版の赤城圭氏には，執筆の細部にわたる助言をいただいた．また，本書を執筆する機会を与えていただいた北海道大学の毛利哲夫氏にも厚くお礼を申し上げたい．

平成 25 年 春

著　者