

# SMART

SMARTプログラム

## 複雑ネットワーク・サマースクール

日時:2012年9月10日(月)–12日(水)

場所:東北大学情報科学研究科棟大講義室

“平成24年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ”

CMRU研究会

## ネットワーク科学の数理と展開

日時:2012年9月13日(木)–14日(金)

場所:東北大学青葉記念会館4階大研修室

# CMRU

# プログラム&概要集

SMART プログラム“複雑ネットワーク・サマースクール”  
/CMRU 研究会“ネットワーク科学の数理と展開”

日時：

- ・2012年9月10日(月)～12日(水) (サマースクール)
- ・2012年9月13日(木)～14日(金) (研究会)

会場：

- ・東北大学情報科学研究科棟大講義室 (サマースクール)
- ・東北大学青葉記念会館 4F 大研修室 (研究会)

主催：

- ・文部科学省(研究会)
- ・東北大学重点戦略支援プログラム「数学をコアとするスマート・イノベーション融合研究共通基盤の構築と展開」
- ・東北大学大学院情報科学研究科数学連携推進室

共催：

- ・東北大学大学院情報科学研究科

組織委員：

- ・長谷川雄央、三浦佳二、尾畑伸明  
(東北大学大学院情報科学研究科数学連携推進室)

## SMARTプログラム “複雑ネットワーク・サマースクール”

プログラム

	9月10日	9月11日	9月12日
9:00-10:30	連続講義 A-1	連続講義 A-4	連続講義 B-3
11:00-12:30	連続講義 A-2	連続講義 B-1	連続講義 A-5
14:00-15:30	連続講義 A-3	連続講義 B-2	連続講義 A-6
16:00-17:30	トピック講演 1	トピック講演 2	トピック講演 3

講義の概要

## 連続講義 A

【題目】 ネットワーク科学（複雑ネットワーク）総論

【講師】 増田直紀（東京大学大学院情報理工学系研究科）

【要旨】 ネットワークの生成モデル、データ解析の方法、現象モデルなどについて、以下の項目リストに沿って解説する。

1. 小さな世界
2. スケールフリー・ネットワーク
3. 中心性
4. コミュニティ構造
5. パーコレーション
6. 感染ダイナミクス、ネットワークを扱うフリーソフト

## 【参考図書】

「複雑ネットワーク—基礎から応用まで」著：増田直紀、今野紀雄(近代科学社)

「なぜ3人いると噂が広まるのか」著：増田直紀(日本経済新聞出版社)

## 連続講義 B

【題目】 確率論からみる優先的選択モデル

【講師】 竹居正登（大阪電気通信大学工学部基礎理工学科）

【要旨】 Barabási と Albert によって提案された優先的選択モデルは、新しい頂点が既存の頂点

のうち次数の高いものに結びつきやすいというルールで成長するネットワークのモデルである。ネットワークの成長過程がその後の成長に影響を及ぼすことが、このモデルの挙動を面白くしており、またその数学的な解析を難しくしている。この講義では、優先的選択モデルの解析において力を発揮する確率論の道具のいくつかについて解説する。なお、確率論に関する予備知識はほぼ仮定せず、シンプルな問題からはじめて丁寧にお話する予定である。

**【参考図書】**

「ランダムグラフダイナミクス—確率論からみた複雑ネットワーク」 著：リック・デュレット、翻訳：竹居正登、井手勇介、今野紀雄(産業図書) \*特に第4章と関連する話題を中心にする

トピック講演 1

**【題目】** Random Walks and Diffusions on Graphs and Databases

**【講師】** Dimitri Volchenkov (Bielefeld University)

**【要旨】** Most networks and databases that humans have to deal with contain large, albeit finite number of units. Their structure, for maintaining functional consistency of the components, is essentially not random and calls for a precise quantitative description of relations between nodes (or data units) and all network components. Classical graph theory has been developed in regard to its applications in urban planning, transport, energetics, and many other fields. The general optimization mindset dominating these researches had addressed to graph theory the questions which were often related to finding the shortest path between nodes, as being of the minimum time delay for information transmission and of the minimum cost for connection maintenance. Not surprisingly, the very definition of distance between two vertices in a graph is given as the geodesic distance, i. e., the shortest path connecting them. In contrast to classical graph theory paying attention to the shortest paths of least cost, in our approach all possible paths between the two vertices in a connected graph are taken into account, although some paths shall be more preferable than others. Such a formulation of graph theory can be called as of a "path integral". Random walks respecting all graph symmetries assign a probability to each path in the graph to be traversed by a random walker. Perhaps, the most interesting fact about such a "path integral" approach to graphs is that the probabilistic distance naturally induces a Euclidean metric on a graph (sometimes called the 'diffusion

metric’ , or the ‘effective resistance metric’ ) allowing for a geometric representation of the relationships between vertices in a graph, in terms of distances and angles, as in Euclidean geometry of everyday intuition. The probabilistic geometry provides us with the necessary basis for consistently discussing a number of applications such diverse as electric resistance networks, estimation of land prices, urban planning, linguistic databases, music, and gene expression regulatory networks.

### トピック講演 2

【題目】フラクタル複雑ネットワーク

【講師】矢久保考介（北海道大学大学院工学研究院）

【要旨】スケールフリー性やスモールワールド性に加えて、複雑ネットワークにはフラクタル性という特別な対称性が見られる場合がしばしばある。本講演では、ネットワークがフラクタルであるとはどういうことか、他の構造的性質とどのような関係にあるのかについて説明する。特に、共存し得ないと考えられてきたスモールワールド性とフラクタル性が、現実ネットワークにおいてどのように両立しているのかについても解説する。また、スケールフリー指数とフラクタル次元の関係や、フラクタル複雑ネットワークの数理モデル、さらにはマルチフラクタル性についても言及する。

### トピック講演 3

【題目】ネットワークが見せる生物システムの新たな様相

【講師】竹本和広（九州工業大学情報工学部生命情報工学科、JST さきがけ）

【要旨】生物システムにおいては様々な生体分子が複雑に相互作用しており、種々の生命現象はその相互作用の結果として起きている。近年の生物データの蓄積や観測技術の発展に伴い、生物システムの全貌が徐々に明らかにされている。更に複雑ネットワーク理論の浸透も加わって、このような相互作用をネットワークとして表現し、様々な側面から解析されている。本講演では、生物ネットワーク（遺伝子制御、タンパク質相互作用、代謝ネットワークなど）の解析やモデル研究から得られてきた知見について紹介する。特に、進化イベントが生物ネットワーク構造に与える影響や環境変動に対する影響について言及する。これに加え、近年、生物ネットワークにおいては疾病や薬剤標的との関連や、生態系との関連についても精力的に研究されている。これらについても紹介したい。

## CMRU 研究会 “ネットワーク科学の数理と展開”

### プログラム

	9月13日	9月14日
9:40-12:00	セッションA[非線形/複雑系]	セッションC[生命]
12:00-14:20	ポスターセッション	ポスターセッション
14:20-17:40	セッションB[物理]	セッションD[社会]

### 9月13日

9:30-9:40 開会挨拶 亀山充隆(東北大学大学院情報科学研究科長)  
小田沙織(文部科学省研究振興局基礎研究振興課専門職)

#### セッションA[非線形/複雑系]

- (A-1) 9:40-10:20 郡宏(お茶の水大学情報科学科)  
“振動子集団ダイナミクスのネットワーク構造依存性”
- (A-2) 10:30-11:10 中尾裕也(東京工業大学情報理工学研究科)  
“複雑ネットワーク上の拡散誘起不安定性によるパターン形成とダイナミクス”
- (A-3) 11:20-12:00 青木高明(香川大学教育学部)  
“反応拡散系ダイナミクスに基づくネットワーク構造の形成過程”

12:00-14:20 ポスターセッション&昼食

#### セッションB[物理]

- (B-1) 14:20-15:00 谷澤俊弘(高知工業高等専門学校電気情報工学科)  
“次数相関はネットワークの構造と機能にどのような影響をもたらすか”
- (B-2) 15:00-15:40 長谷川雄央(東北大学大学院情報科学研究科)  
“複雑ネットワーク上の数理モデルの臨界点の単一性/非単一性”

-休憩-

- (B-3) 16:10-16:50 矢久保考介(北海道大学大学院工学研究院)

“過負荷によるノード損傷とネットワークの頑強性”

(B-4) 16:50-17:15 三浦航(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

“凝集効果を考慮した複雑ネットワークの優先的成長モデル”

(B-5) 17:15-17:40 川本達郎(東京大学大学院理学系研究科)

“ツイッター上の情報拡散と炎上現象”

9月14日

セッションC[生命]

(C-1) 9:40-10:20 竹本和広(九州工業大学情報工学部生命情報工学科、JST さきがけ)

“代謝ネットワークのモジュール性はどのように獲得されるのか”

(C-2) 10:30-11:10 増田直紀(東京大学大学院情報理工学系研究科)

“2値素子ネットワークのダイナミクスにおける状態集中度”

(C-3) 11:20-12:00 山西芳裕(九州大学生体防御医学研究所)

“オミックスデータの融合に基づく分子間相互作用ネットワークの予測”

12:00-14:20 ポスターセッション&昼食

セッションD[社会]

(D-1) 14:20-15:00 吉井伸一郎(サイジニア株式会社)

“Web上のユーザビヘイビアに基づく複雑ネットワークを応用した事業展開”

(D-2) 15:00-15:40 脇田建(東京工業大学大学院数理・計算科学専攻)

“大規模社会ネットワークのクラスタリングと可視化への応用”

-休憩-

(D-3) 16:10-16:35 大成弘子(株式会社リクルート)

“個人の繋がり と 転職の実態調査(supported by CodeIQ)”

(D-4) 16:35-17:00 高口太朗(東京大学大学院情報理工学系研究科)

“感染率が接触履歴に依存する伝播モデル:バースト的な行動パターンの効果”

(D-5) 17:00-17:40 小頭秀行(株式会社KDDI 研究所)

“携帯電話の通信トラヒックに現れる通信先次数特性と相互関係”

17:30-17:40 閉会挨拶 尾畑伸明(東北大学大学院情報科学研究科)

## 講演概要(口頭発表)

### セッション A-1

【題目】振動子集団ダイナミクスのネットワーク構造依存性

【講演者】郡宏（お茶の水大学情報科学科）

【要旨】振動現象，すなわち自発的に起こる周期的活動は，心拍や生物時計などの生命現象や化学反応系，さらにはメトロノームといった機械など，様々な対象で重要な役割を担っている。特に，振動子集団が相互作用するとき同期現象や時空カオスなどの複雑な秩序化現象が起こる。このような秩序化現象には興味深い問題が山積しており，非線形・非平衡物理学において，歴史的にも現在も重要な研究対象である。この講演では，振動子集団の関わる様々な現象を紹介し，その背後にある理論の探究や，理論を活用した応用研究を解説する。特に，複雑なネットワークで接続する振動子集団の動的性質を解析的に取り扱った研究をいくつか紹介する。

### セッション A-2

【題目】複雑ネットワーク上の拡散誘起不安定性によるパターン形成とダイナミクス

【講演者】中尾裕也（東京工業大学情報理工学研究科）

【要旨】反応拡散系媒質における拡散誘起不安定性は，非線形非平衡系における時空パターンの自己組織化の基本メカニズムであり，その代表例は無論 Turing パターンである。本講演ではスケールフリーネットワーク上の反応拡散系における Turing パターン形成と関連する話題について述べる。スケールフリーネットワーク上では，従来の空間連続な媒質において典型的な縞模様で代表される時空パターンとは異質なパターンが生成されるが，そのようなパターンがネットワークの平均場近似と各ノードにおける反応拡散要素の低次元ダイナミクスを組み合わせることによりある程度は理解できること，また，このことがスケールフリーネットワークにおける顕著な性質であるラプラシアン固有ベクトルの局在性と関係することなどを説明する。

### セッション A-3

【題目】反応拡散系ダイナミクスに基づくネットワーク構造の形成過程

【講演者】青木高明（香川大学教育学部）

【要旨】ネットワークを介した物質や情報・ヒトなどの流れを理解することは，大規模ネットワークシステムの設計・運用のため不可欠である。その基礎となる物理過程として，ネットワーク上の拡散過程がある。本研究では，流通関係が資源や人口に応じて変化するように，ネットワーク上を拡散する資源(物質や情報・ヒトや資金)に依存したネットワーク更新を新たに導



入する。このようなネットワーク結合の動的変化と共に、資源の拡散ダイナミクスが同時に進行することで、結果として如何なるネットワーク構造が形成され資源配分が行われるか。そのプロセスを力学モデルとして定式化し、ネットワーク構造の形成過程を解明する。

#### セッション B-1

【題目】次数相関はネットワークの構造と機能にどのような影響をもたらすか

【講演者】谷澤俊弘（高知工業高等専門学校電気情報工学科）

【要旨】友人関係・研究における協働関係・神経回路網・WWW等の現実のネットワークにおいては、ノード間結合に無視することのできない次数相関が見られることがわかっている。しかし、なぜ、あるネットワークは同程度の次数のノード同士が結合する (assortative な) 傾向を持ち、また、あるネットワークは大きさの異なるノード同士が結合する (disassortative な) 傾向を持つのかについて、満足のできる理論的な説明はまだ無いようである。複雑ネットワーク理論においては、これまで、次数分布のみを用いた平均場の考察が多かったが、近年、ノード間結合の次数相関を取り入れたより詳細な理論解析が行われはじめている。本講演では、次数相関が複雑ネットワークの構造的頑強性やネットワーク上のダイナミクスに与える影響について、できる限り解析的手法を用いて考察し、現実のネットワークがなぜさまざまな次数相関をもって現われるのかについてより深く理解していきたい。

#### セッション B-2

【題目】複雑ネットワーク上の数理モデルの臨界点の単一性/非単一性

【講演者】長谷川雄央（東北大学大学院情報科学研究科）

【要旨】複雑ネットワーク上の数理モデルの相転移現象は盛んに研究されている。通常相転移というと、ある単一の臨界“点”を境に無秩序相から秩序相へ転移することをイメージする。しかし幾つかの複雑ネットワークモデルでは臨界“点”は単一ではなく、臨界“点”の集合(臨界“相”)が存在することが明らかになってきた。これはあるパラメータ領域において、系が常に臨界状態にあることを意味する。このような臨界“相”の存在は特殊なグラフで数学的に証明されている。しかし、ネットワーク上の数理モデルの臨界点の単一性/非単一性を決定するネットワーク構造の条件はまだ明らかにはなっていない。この講演ではパーコレーションモデルを用いて、臨界“相”を伴う新奇相転移の詳細と臨界点の単一性/非単一性を決定するネットワークの構造的性質について議論する。

#### セッション B-3

【題目】過負荷によるノード損傷とネットワークの頑強性

【講演者】矢久保考介(北海道大学大学院工学研究院)

【要旨】複雑ネットワークの頑強性・脆弱性の問題は、ネットワーク上のパーコレーション問題として以前から精力的に研究されてきた。これまでは、ランダムに一定割合だけ選んだノードを削除するランダム故障か、次数の高い一定数のノードを選択的に削除する選択攻撃のどちらかに対する耐久性だけが議論されてきた。しかしながら、インターネットや送電線網など、何等かの負荷揺らぎにより、はじめに設定された負荷よりも高い負荷がかかることでノードが損傷を受けるような現実的な状況下での頑強性については、あまり研究されてこなかった。本講演では、そのような過負荷故障によるノード削除に対して、どのようなネットワークが頑強であるかについて研究した結果を述べる。

セッション B-4

【題目】凝集効果を考慮した複雑ネットワークの優先的成長モデル

【講演者】三浦航(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

【要旨】複雑ネットワークのスケールフリー性を再現する成長モデルとして、BA モデルがよく知られている。本研究ではノードの生成に加え、ノードの消滅や合体の効果を導入して、ノード数は揺らぐが、リンク数の分布や平均次数は定常となるモデルを導入する。このモデルは非平衡定常系であり、ノードの消滅確率が小さく合体が主に起こる状況下において、粒子の凝集などが見せる振る舞いと、近い性質を持つことが分かった。この性質について凝集や消滅を考慮したマスター方程式を導入し、その解析結果について説明する。

セッション B-5

【題目】ツイッター上の情報拡散と炎上現象

【講演者】川本達郎(東京大学大学院理学系研究科)

【要旨】マイクロブログとして有名なツイッターでは、リツイートと呼ばれる機能によって、フォロワー間のネットワーク上で情報拡散が生じる。そのような拡散のなかで、リツイートが1000を超えるような爆発的な拡散が存在し、一般に「炎上」(もしくはバズる)という現象として知られている。このような現象は、フォロワー数の多いユーザーによってリツイートされることが原因と安易には想像される。しかし、フォロワー数が100万を超えるようなアカウントでもリツイートが1000以上となることは大変珍しく、それだけでは理解できない。本講演では、ツイッター上での情報拡散がランダム乗算過程としてよくモデル化でき、その拡散過程にリツイート率の相関を考慮すると拡散が発散的となる(すなわち「炎上」する)転移点が下がること

を示す。

#### セッション C-1

【題目】代謝ネットワークのモジュール性はどのように獲得されるのか

【講演者】竹本和広(九州工業大学情報工学部生命情報工学科、JST さきがけ)

【要旨】代謝ネットワークを含む生物ネットワークは高度にモジュール化されているが、このような特性はどのように獲得されたのだろうか。古典的な理論や部分的なデータ解析の結果はこのようなモジュール性の獲得については生育環境の幅（システムが実現すべき目的の変化）が重要であると指摘している。しかしながら、近年のいくつかデータ解析からはその説明とは食い違う結果が得られており、モジュール性の獲得には別のシナリオの存在が濃厚になってきた。本講演では、代謝ネットワーク形成における数理モデルを提案することで、代謝ネットワークのモジュール性が単純な形成過程から獲得されるうることを定量的に示す。この結果は、モジュール性の獲得は、生育環境の幅というよりも、進化イベントを通して出現した新規代謝反応の選択によって説明されることを意味する。

#### セッション C-2

【題目】2値素子ネットワークのダイナミクスにおける状態集中度

【講演者】増田直紀(東京大学大学院情報理工学系研究科)

【要旨】2値のブーリアン素子または多数決素子からなるランダムなネットワークの解析について紹介する。ブーリアン素子の場合はカウフマン・ネットワークとも呼ばれる。各素子が1または-1のどちらかの値をとるので、ネットワークの状態は、素子数の次元をもつ2値ベクトルに対応する。ネットワークのダイナミクスは、離散時間の状態から状態への遷移から成るので、状態をノードとし、出次数が1であるような有向グラフとして表される。その有向グラフの性質を調べることにより、ネットワークのダイナミクスについての理解が得られることが期待される。本発表では、「状態の集中度(state concentration)」という概念を導入することにより、ダイナミクスが収束するまでの速さ（解析的にとり扱うことが難しいと考えられる）について、一定の解析的な示唆が得られることを示す。ブーリアンと多数決、および、結合の疎密、の $2 \times 2 = 4$ つの場合を区別する。このとき、状態をノードとする有向グラフについて、疎または密な多数決素子のネットワークと、疎なブーリアン素子のネットワークでは、入次数がべき則（スケールフリー）になることを示す。また、4つの場合のうち、密な多数決素子のネットワークのみが、ダイナミクスの速さと頑健性を兼ね備えていることを議論する。本研究は、甘利俊一氏、安東弘泰氏、豊泉太郎氏との共同研究である(arXiv:1202.6526)。

## セッション C-3

【題目】オミックスデータの融合に基づく分子間相互作用ネットワークの予測

【講演者】山西芳裕(九州大学生体防御医学研究所)

【要旨】ポストゲノム研究では、様々な分子（遺伝子、タンパク質、化合物など）に対するゲノム、トランスクリプトーム、プロテオーム、メタボロームなどの網羅的なデータが得られるようになってきた。これらの様々な情報を融合し、生命システムを表す分子間相互作用ネットワーク（タンパク質間相互作用ネットワーク、代謝ネットワーク、薬・標的タンパク質間相互作用ネットワークなど）を予測するための統計手法を紹介する。

## セッション D-1

【題目】Web上のユーザビヘイビアに基づく複雑ネットワークを応用した事業展開

【講演者】吉井伸一郎(サイジニア株式会社)

【要旨】日常生活がますますITインフラに依存する現在、我々の消費活動や創造的活動、あるいはコミュニケーションなどの社会的活動は、さまざまな形で行動履歴としてデータベースに蓄積されるようになった。人々の意思決定の結果として生じる行動履歴には、局所的な構成要素だけを見ては分からなかった巨視的パターンや組織的構造が関連している。これらを要素と要素の関係性に注目したネットワーク科学の視点から紐解き、レコメンデーションサービスやターゲティング広告など、得られた知見を応用展開した弊社のWebサービスを紹介する。

## セッション D-2

【題目】大規模社会ネットワークのクラスタリングと可視化への応用

【講演者】脇田建(東京工業大学大学院数理・計算科学専攻)

【要旨】クラスタリングは複雑かつ、グラフとして表現される大規模な社会ネットワークを、濃密に結合した小集団に分割する手段である。クラスタリングは、社会学者が集団のなかからコミュニティを同定するための綿密な努力を、グラフを用いて社会を模した構造から機械的に発見することと見做すことができる。本講演では、社会ネットワークのためのクラスタリング手法として著名なNewmanのモジュール性に基づいた方式を中心に、その手法と応用などを紹介するとともに、既存のグラフ可視化手法と組み合わせた大規模ネットワークの可視化手法に応用した例を紹介する。

## セッション D-3

【題目】個人の繋がりと転職の実態調査 (supported by CodeIQ)

【講演者】大成弘子 (株式会社リクルート)

【要旨】個人の繋がりが転職の満足度にどのような影響を与えるのかアンケートによる実態調査を行った。友達の数、転職におけるツテ、また転職は伝染するのかなど、エゴネットワークで観測したとき、不満足な転職に繋がりがやすいネットワークのパターンが統計的に解析された。

#### セッション D-4

【題目】感染率が接触履歴に依存する伝播モデル：バースト的な行動パターンの効果

【講演者】高口太朗 (東京大学大学院情報理工学系研究科)

【要旨】電子メールの送受信や対面での会話などのコミュニケーション行動の記録は、ノード間のリンクにイベント発生時刻の付加されたテンポラル・ネットワークと見なすことができる。テンポラル・ネットワーク上での感染症や情報伝播のシミュレーションにより、現実の行動特性が伝播現象に与える影響が、これまでに研究されている。そのような行動特性の代表例は、接触イベント時間間隔が裾野の長い分布に従うバースト性である。バースト性の伝播現象への影響については、先行研究において未だ結論が出ておらず、理解のためにはさらなる研究が必要である。本発表では、感染のしやすさが接触イベント履歴に依存する伝播ダイナミクスのモデルを導入する。提案モデルをテンポラル・ネットワークの実データ上でシミュレーションし、その結果について報告する。なお、本研究は増田直紀 (東京大学大学院情報理工学系研究科)、Petter Holme (Umea University) との共同研究である。

#### セッション D-5

【題目】携帯電話の通信トラフィックに現れる通信先次数特性と相互関係

【講演者】小頭秀行 (株式会社 KDDI 研究所)

【要旨】携帯電話の急速な普及に伴い、ユーザが個人で情報通信端末を保有する環境になっている。その結果、トラフィック量やユーザ数など情報通信サービスの各種データには、人の繋がりを表す社会ネットワーク構造など人間社会の特性が反映されていると考えられる。このような状況において、筆者らはこれまで、異なる情報通信サービスのデータを分析することで、データの背後にある一般の社会ネットワーク構造の解明を目指してきた。本講演では、携帯電話による音声通話とEメールの通信トラフィックを分析し、通信手段の違いにより異なる通信先次数分布が観測されることを示す。加えて、異なる次数分布が現れる要因及び特性間の相互関係について分析する。また、明らかにした関係の整合性について、実測データの結果を基に検証を行う。

## 講演概要(ポスターセッション)

### セッション P-1

【タイトル】グラフ上の量子ウォークの固有値分布とその挙動

【講演者】瀬川悦生(東北大学情報科学研究科)

【要旨】固有値分布の一部が、対応するランダムウォークの固有値分布から求まる量子ウォークのクラスについて紹介する。このクラスは、次数と辺のユークリッド長さの等しい量子グラフも含む。さらに対応するランダムウォークの再帰性、非再帰性から、量子ウォークの特徴的な性質の一つである局在化が示せることを報告する。

### セッション P-2

【タイトル】圏論的双対性と生物ネットワーク上のトレードオフ関係

【講演者】春名太一(神戸大学大学院理学研究科)

【要旨】生物のネットワークに対しては一般に二つの在り方が考えられる。第一の静的在り方では、ネットワークはその上を流れる何かの輸送経路である。第二の動的在り方では、ネットワークはシステムの構成要素の活動を貼り合わせて構成されるパターンである。これら二つの在り方は圏論的双対性(随伴関係)と関係づけられ、それぞれに対応する自然なネットワーク構造=経路概念が圏論における普遍性から導出できる。それぞれの経路概念に対する矢印の媒介中心性を神経、遺伝子転写制御、生態系などの様々な生物ネットワークで調べたところ、両者の間に一方が高ければ他方が低いというトレードオフ関係があることが見出された。そこで、このようなトレードオフ関係がどのようにして生み出されるのかを調べるためにネットワークの最適化モデルを提案する。そして、提案する最適化モデルにおいては、進化の駆動力という観点からは第二の動的在り方がトレードオフ関係の生成に寄与していることを数値シミュレーションにより示す。また、モデルで得られたネットワークが実際の生物ネットワークに広くみられる定性的性質を持つことをも示す。

### セッション P-3

【タイトル】タンパク質-低分子化合物間における物理化学的相互作用様式ネットワークの解析

【講演者】笠原浩太(東北大学大学院情報科学研究科)

【要旨】多くのタンパク質は低分子化合物と物理化学的に相互作用することで、その機能を発揮、または制御する。創薬とは標的とするタンパク質に適切な効果をもたらす低分子化合物を設計する営みであるが、理論的に創出可能な化合物のバリエーションは  $10^{60}$  種以上とも見積



もられており、この中から良い性質をもつ化合物を探す事は困難を極める。そこで現在分かっているタンパク質と低分子化合物の相互作用を網羅的に解析することで帰納的にその相互作用の原理を理解し、創薬に役立てることが重要となる。本研究ではひとつのタンパク質-化合物複合体における物理化学的な相互作用をネットワークとして表現し、さらにそのネットワーク同士の種類性ネットワークを構築した。これを用いて俯瞰的な解析を行うことで、これまでに知られていなかったタンパク質と化合物の新たな関連性、相互作用の規則性を見出すことに成功した。

#### セッション P-4

【タイトル】 スペクトラルクラスタリング改良法のタンパク質相互作用ネットワークへの適用

【講演者】 井上健太郎(九州工業大学大学院情報工学研究院)、倉田博之(九州工業大学大学院情報工学研究院、バイオメディカルインフォマティクス研究開発センター)

【要旨】 タンパク質はほとんどが単独で機能するのではなく、複数が相互作用して機能していることが知られており、それはタンパク質相互作用ネットワーク中では密な領域となると考えられる。ネットワークから生体機能モジュールを探索するための方法として、スペクトラルクラスタリングの改良法を提案した。提案法はクラスタサイズの偏りが小さいクラスタを探索し、探索されたクラスタと既知の生体機能との相関が従来法と比べて高かった。

#### セッション P-5

【タイトル】 グラフ上の流れの Hodge 分解の考察と金属ガラス時系列への応用

【講演者】 三浦佳二(東北大学大学院情報科学研究科)、藤田武志(東北大学原子分子材料科学高等研究機構)

【要旨】 まず「グラフ上の流れの Hodge 分解」は、従来知られている、「曲面上の流れの Hodge 分解を三角分割により離散化した定式化」とは異なることを示す。すなわち、グラフには面がないために、連続的な面の存在を仮定した従来の定式化とは異なる定式化が必要となる。次に計算量を考察する。局所渦の計算のために、ノード 3 点の組みを全て選ぶ必要があり、最低でも  $N^3$  程度のメモリと計算時間がかかる。ビッグデータでなければかろうじて計算できる程度の複雑さであるとも言える。最後に、金属ガラスのシアフロー数値計算をマルコフ過程に縮約したグラフに対して Hodge 分解を行い、状態遷移のループ等を検出する。

#### セッション P-6

【題目】 ネットワーク上の SIR モデルの初期状態依存性

【講演者】岩井淳哉(東京大学大学院総合文化研究科)

【要旨】ネットワーク上の SIR モデルは、S を「健康な状態」、I を「感染した状態」、R を「治って2度と感染しない状態」とし、隣接ノード間で感染を伝搬させるネットワーク上のダイナミクスモデルである。N ノードからなるレギュラーランダムグラフに対して、感染率等のパラメータを固定し、初期感染者数だけを変えて最終状態での R ノード数を数値実験で調べると、初期感染者数が  $\varepsilon N$  ( $\varepsilon > 0$ ) の場合と N によらない有限数  $c$  (例えば  $c=1$ ) の場合とでは、熱力学極限 ( $N \rightarrow \infty$ ) において、質的に異なる振る舞いが生じることを見出した。対応する平均場模型を理論的に解析し、観測された振る舞いを理解したい。

セッション P-7

【題目】カオスに埋め込まれているネットワーク構造

【講演者】小林幹(東北大学 WPI-AIMR)

【要旨】カオス的な振る舞いは、軌道がアトラクタの中に埋め込まれた不安定周期軌道間を不規則に遷移するために起こると考えられている。この考えを数理的な視点でとらえるために、不安定周期軌道をネットワーク上のノードと見なしたネットワークモデルを構成する。本ポスター発表では、ローレンツカオスを用いて具体的なネットワークの構成法を示す。そして、構成されたネットワークの観点からローレンツカオスの性質を特徴づける。

セッション P-8

【題目】遺伝子発現プロファイルを用いたアルツハイマー病のネットワーク解析

【講演者】菊地正隆(東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科)

【要旨】あるタンパク質がいつどのタンパク質と相互作用するかによって、示す細胞の状態は異なる(タンパク質複合体やシグナリングパスウェイなど)。例えば疾患状態というのは正常状態におけるタンパク質同士のつながりが破綻することによって導かれると考えることが出来る。そこで我々はアルツハイマー病をモデルに、異なる疾患進行ステージの遺伝子発現情報を組み合わせることで各ステージでのタンパク質間相互作用ネットワークを同定した。それらが時系列とともにどのように変化するかをネットワークレベル、モジュールレベルで解析を行い、さらに疾患特異的なモジュールの同定を行った。

セッション P-9

【題目】Discontinuous transition of an extended SIR model in complex networks

【講演者】根本幸児(北海道大学大学院理学研究院)、長谷川雄央(東北大学大学院情報科学研究



科)

**【要旨】** Recently an extended SIR model having more than one S state (a. k. a. the fad model) has been shown to have a discontinuous transition to epidemic phase within a mean field approximation by using the rate equations. We propose a bond percolation model onto which the fad model can be mapped, and apply a tree approximation to our model in complex networks to show that there are a region of transmissibility parameters where the model indeed exhibits a discontinuous transition. Numerical simulations also support the present result.

セッション P-10

**【題目】** 企業間取引ネットワーク上のパーコレーション相転移

**【講演者】** 河本弘和(東京工業大学大学院総合理工学研究科)、高安秀樹(ソニー CSLA、明治大学先端数理科学インスティテュート)、高安美佐子(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

**【要旨】** これまで企業間取引ネットワークについて連鎖倒産などを題材としてたくさんの研究が行われてきた。特に、企業間取引ネットワークにおいてサイトパーコレーション相転移が起こることが確かめられている。そこで、今回、ボンドパーコレーションについて基本的な統計量を観測した。また、平均場理論によるとパーコレーション閾値を理論的に計算することができるが、不自然な仮定を前提としている。そこで、平均場理論との関係についても触れる。

セッション P-11

**【題目】** 非線形輸送現象における相転移現象に関する理論的解析

**【講演者】** 田村光太郎(東京工業大学大学院総合理工学研究科)、高安秀樹(ソニー CSLA)、高安美佐子(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

**【要旨】** 企業間ネットワーク上のお金の輸送モデルとして空間構造を考慮した非線形輸送方程式を構築した。この輸送は、非線形性が増すにつれて拡散する性質が弱まっていき、輸送によって到達できる距離が、無限から有限になる転移が起きる。これによって、輸送の定常解は一樣解から局在する解へと振舞いを変える。相互作用の非線形性からくるこの転移が系の空間構造にどのように依存するかを調べた。

セッション P-12

**【題目】** 次数相関のある相互依存型ネットワークの Cavity 解析

**【講演者】** 渡辺駿介(東京工業大学大学院総合理工学研究科)、樺島祥介(東京工業大学大学院)

総合理工学研究科)

**【要旨】** 相互依存型ネットワークは2つのネットワークの各サイトが互いに依存結合した系であり、相互に影響しあう異種ネットワークを表すモデルである。そのような系に対してランダムまたは選択的にサイトを取り除いたときの最大クラスターの大きさを解析的、実験的に評価する。解析手法として統計力学的手法である Cavity 法を用いる。定式化の際、ネットワーク内およびネットワーク間におけるサイトの次数相関を考慮し、相転移点に与える影響について考察する。

セッション P-13

**【題目】** 無限次元グラフ上の臨界-秩序転移の多様性

**【講演者】** 能川知昭 (東北大学大学院理学研究科)、長谷川雄央 (東北大学大学院情報科学研究科)、根本幸児 (北海道大学大学院理学研究院)

**【要旨】** 複雑ネットワークなど指数関数的に広がる無限次元グラフ上での協力現象に特徴的な性質として、臨界点があるパラメータ領域に広がった臨界相の存在がある。我々は自己相似性を持つスモールワールドネットワーク上の Potts モデルで、臨界相と秩序相の間の転移をくりこみ群の方法で解析した。その結果、臨界性を支配する固定点の分岐が、状態数  $q=2$  を境に変化し、 $q < 2$  または  $q=2$  では連続、 $q > 2$  では saddle-node 型になることを見出した。この分類は無限次元グラフにおける臨界現象の典型的クラスに対応すると考えられる。それぞれの分岐に対応する物理量の特異性についても議論する。

セッション P-14

**【題目】** ネットワーク上の fad model における相転移の数値解析

**【講演者】** 木下直人 (北海道大学大学院理学院)、長谷川雄央 (東北大学大学院情報科学研究科)、根本幸児 (北海道大学大学院理学研究院)

**【要旨】** 病気や情報の伝播を記述する数理モデルとして SIR model が良く知られているが、近年、流行を表すモデルとして、この SIR model を多状態に発展させた fad model が提案された。このモデルは平均場近似において解析が為されていて、SIR model と全く異なる転移を示すことがわかっている。だが、格子系やネットワーク上ではどのような振る舞いを示すかまだわかっていない。本研究では regular random network 上の fad model をモンテカルロシミュレーションにより数値解析する。次数 3 と次数 6 の regular random network 上でシミュレーションを行なうと、このとき転移の様子に違いが見られ、次数 3 のときは連続に、次数 6 のときは不連続に転移するよう見られる。本講演ではその詳細について述べる。

## セッション P-15

【題目】 ネットワーク構造に頑健な近似計算アルゴリズム

【講演者】 安田宗樹(東北大学大学院情報科学研究科)

【要旨】 ネットワーク上に定義される確率的グラフィカルモデル上での近似計算アルゴリズムに対するニーズは、確率を基礎とした情報処理システムの利用の増加と共に大きくなってきている。確率伝搬法（ビリーフ・プロパゲーション、サムプロダクト・アルゴリズム）は現在もっとも広く利用されている近似計算アルゴリズムのひとつである。しかし、確率伝搬法の性能はネットワークの構造に強く依存（スパースな構造上では非常に高い性能を示すが、デンスなシステムでは大きくその性能を落とす）してしまいうため、利用には多少の注意が必要となる。そこで、線形応答法と対格マッチングという手法を確率伝搬法と組み合わせて、ネットワーク構造に対して頑健な新しい近似計算アルゴリズムを提案する。

## セッション P-16

【題目】 腸内細菌の細菌叢分布と相関ネットワーク

【講演者】 高安伶奈(東京大学大学院新領域創成科学研究科)、大野博司(理化学研究所免疫アレルギー科学総合研究センター)、福田真嗣(理化学研究所免疫アレルギー科学総合研究センター)、高安美佐子(東京工業大学大学院総合理工学研究科)、高安秀樹(ソニーコンピュータサイエンス研究所)、服部正平(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

【要旨】 ヒトやネズミの腸内には、常時、数百種類の腸内細菌がおり、その数は、体を構成する細胞の総数を上回ると考えられている。この腸内細菌叢(intestinal microbiota)は、環境に適合しながら栄養を吸収して増加し、種同士で互いに共生・競合し、複雑な相関関係を作っている。最近、腸内細菌はアレルギーや肥満、癌などの生活習慣病と密接な関係があることが報告されており、腸内細菌の生態系を解明することで、新しい視点から医療に対しても寄与できるものと期待されている。本研究では、腸内の部位ごとの腸内細菌の個体数の分布の変化を観測することで、相関ネットワークの時間変化を解析した。その結果、腸内細菌叢を構成する細菌種の個体数がベキ分布に従っていること、さらにホストの個体差や食べ物により各細菌種の頻度のランクが大きく変化することを明らかにした。また、数百種類の細菌が腸内の餌を奪い合う数理モデルに基づく生態系のシミュレーションを行い、実際の分布との比較を行った。

## 講演者一覧

講師(サマースクール) :

- ・ 増田直紀(東京大学大学院情報理工学系研究科)
- ・ 竹居正登(大阪電気通信大学工学部基礎理工学科)
- ・ 竹本和広(九州工業大学情報工学部生命情報工学科、JST さきがけ)
- ・ 矢久保考介(北海道大学大学院工学研究院)
- ・ Dimitri Volchenkov(Bielefeld University)

招待講演者(研究会) :

- ・ 青木高明(香川大学教育学部)
- ・ 大成弘子(株式会社リクルート)
- ・ 川本達郎(東京大学大学院理学系研究科)
- ・ 郡宏(お茶の水大学情報科学科)
- ・ 小頭秀行(KDDI 研究所)
- ・ 高口太郎(東京大学大学院情報理工学系研究科)
- ・ 竹本和広(九州工業大学情報工学部生命情報工学科、JST さきがけ)
- ・ 谷澤俊弘(高知工業高等専門学校電気情報工学科)
- ・ 中尾裕也(東京工業大学情報理工学研究科)
- ・ 長谷川雄央(東北大学大学院情報科学研究科)
- ・ 増田直紀(東京大学大学院情報理工学系研究科)
- ・ 三浦航(東京工業大学大学院総合理工学研究科)
- ・ 矢久保考介(北海道大学大学院工学研究院)
- ・ 山西芳裕(九州大学生体防御医学研究所)
- ・ 吉井伸一郎(サイジニア株式会社)
- ・ 脇田建(東京工業大学大学院数理・計算科学専攻)

ポスター講演者(研究会) :

- ・ 井上健太郎(九州工業大学大学院情報工学研究院)
- ・ 岩井淳哉(東京大学大学院総合文化研究科)
- ・ 笠原浩太(東北大学大学院情報科学研究科)
- ・ 河本弘和(東京工業大学大学院総合理工学研究科)
- ・ 菊地正隆(東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科)

- 木下直人(北海道大学大学院理学院)
- 小林幹(東北大学 WPI-AIMR)
- 瀬川悦生(東北大学大学院情報科学研究科)
- 田村光太郎(東京工業大学大学院総合理工学研究科)
- 能川知昭(東北大学大学院理学研究科)
- 春名太一(神戸大学大学院理学研究科)
- 安田宗樹(東北大学大学院情報科学研究科)
- 三浦佳二(東北大学大学院情報科学研究科)
- 渡辺駿介(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

## 各種リンク



### 研究会 HP

<http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~smart/forum/index.html>

### 会場までの移動

情報科学研究科棟までの道のり：<http://www.is.tohoku.ac.jp/access/index.html>

青葉記念会館までの道のり：<http://www.anal.chem.tohoku.ac.jp/ionex/busmap.html>

仙台市営バスの HP：<http://www.kotsu.city.sendai.jp/>

### 食堂・生協

工学部店舗：<http://www.coop.org.tohoku.ac.jp/store/kogakubu/>

理薬店舗：<http://www.coop.org.tohoku.ac.jp/store/riyaku/>

## 東北大学における数学連携の取り組み

- 1) 応用数学連携フォーラム (平成 19 年 9 月～)  
代表：尾畑伸明、副代表：小谷元子、事務局：数学連携推進室  
<http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~amf/>
- 2) CREST 「離散幾何学から提案する新物質創成と物性発現の解明」  
(平成 20～25 年度、研究代表者：小谷元子)  
<http://www.mathmate.tohoku.ac.jp/>  
  
科学技術振興機構 CREST 研究領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」  
(領域総括：西浦廉政)  
<http://www.math.jst.go.jp/>
- 3) 東北大学重点戦略支援プログラム「数学をコアとするスマート・イノベーション融合研究共通基盤の構築と展開」 (平成 22～26 年度、代表：尾畑伸明)  
<http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~smart>
- 4) 東北大学原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR) 数学ユニット (平成 23 年度～)  
<http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/>
- 5) 東北大学大学院理学研究科数学専攻数学連携推進室 (平成 23 年 1 月～)
- 6) 東北大学大学院情報科学研究科数学連携推進室 (平成 23 年 1 月～)  
<http://www.is.tohoku.ac.jp/introduction/cmru/>

応用数学連携フォーラム (AMF) へようこそ！フォーラムメンバー募集中！

数学は諸科学に共通する言語とも道具とも言われます。

数学は実にさまざま研究分野でいろいろな形で使われています。

応用数学連携フォーラムでは、数学と諸分野との連携に興味のある研究者たちが気軽に情報交換したり、研究交流したりするための場を提供しています。ちょっとのぞいてみたいという方は、随時開催しているワークショップなどはいかがでしょう。院生や学部生の方も含めて、興味のある方はどなたでも自由にご参加いただけます。事前登録など必要ありませんので、どうぞお気軽にお越しください。詳しくは HP を見てください。

数学を学ぶにフォーラムで楽しく勉強してみませんか？

### 応用数学連携フォーラム 第29回ワークショップ

2012年 7月10日(火) 15:00～17:00  
青葉山キャンパス・情報科学研究科棟2階中講義室

**プログラム**  
今年夏は自由討論ワークショップ、テーマは「ブレイン」です。

15:00-15:50 尾畑伸明氏 (東北大学大学院理学研究科) 講演  
「非線形ミックス結合型下位システム」

15:50-16:30 自由討論

16:30-17:00 大村英宏氏 (東北大学理学部) 講演  
「トポロジカルな量子状態」

【募集要項はホームページをご覧ください】  
応用数学連携フォーラム <http://www.dais.tohoku.ac.jp/~amf/>  
連絡先: 事務局 <http://www.dais.tohoku.ac.jp/~amf/faq.html>  
〒980-8578 仙台市青葉区南六丁目1番1号 東北大学 情報科学研究科 数学連携推進室 (AMF)  
amf@dais.tohoku.ac.jp

