

# 情報統計力学の最前線—情報と揺らぎの制御の物理学を目指して

2012年3月21日～2012年3月23日

京都大学 基礎物理学研究所 湯川記念館 パナソニック国際交流ホールにて

## [研究会の目的・趣旨]

本研究会は若手の研究者を中心に、統計力学と情報科学との間の知識・問題意識の融合を図り、物理学と情報科学における新しい方法論・問題設定の発掘することを目的としている。物理学は自然科学を代表する学問であり、現実の様々な現象を解明するために発展してきた。一方、比較的新規な分野である情報科学では、情報という現実の空間・物質の性質からは独立した存在を対象としてきた。一見するとまったく異なる方向性と目的をもったふたつの学問分野に見えるが、実は「確率モデルによるシステムの記述」という方法論を通して数理的に密接につながっている。システムを確率モデルで表現し、そこから何らかの情報を引き出すという戦略は（平衡）統計力学・情報科学の双方で共通しており、その接点を手掛かりに、情報科学と（平衡）統計力学とが近年互いに接近してきているのである。特に、（平衡）統計力学における相転移・臨界現象のパラダイムや平均場近似といった物理的描像・直観に基づいた各種の方法論は、情報科学からは発想しがたい手法であり、情報科学の問題群に対する強力な接近法として注目され、いくつもの画期的な成果が上げられてきた。ただ残念なことに、これまでは物理学から情報科学への知識輸出が多く、逆の寄与は少なかった。結果として、両分野の完全な知識交流は未だ成されていない。

しかしこれは、物理学に情報科学的視点が不要であることを意味しない。物理学は、基本的な物理法則からの演繹的—ボトムアップ的—方法論を得意とするが、対象とするシステムによってはその強みを発揮できないことがある。一方、情報科学は、望む結果を与えるシステムを結果から構成するといったトップダウン的流れを得意とする。このような視点は、出来るだけ客観的な対象を相手にしてきた物理学には不慣れであるが、システムを制御・設計する問題（通信路符号化、アルゴリズム設計など）やシステムの背後に隠された数理構造を抽出・推定する問題（統計的機械学習、生命現象の解析など）を取り扱う場合、必要不可欠な視点であろう。本研究会は、このようなトップダウン的視点—システムを制御・操作するための枠組み・手法の追及—を前面に押し出し、基礎物理学の問題をボトムアップとトップダウンの双方向から検討することで、これまでにない新しい視点や手法を追求するものである。

上記のような物理学と情報科学の間の相互の知識交流という目的のため、早い段階で若手研究者や学生の連携をとることが重要となってくる。そのため、本研究会は各分野にわたる若手の研究者や学生を中心に据えることを主題のひとつとした。またもうひとつの主題として本研究会が掲げるのは、物理学と情報科学との間の連携と相互発展の場のひとつとして「非平衡統計物理学」を視野に入れるということである。非平衡統計物理学は発展途上かつ新しいブレークスルーを必要としている分野であり、また物理学と情報科学の両分野の交流が極めて少ない分野である。この理念的な主題は、決して机上の空論では終わらない可能性を秘めている。時々刻々と変化する状況に応じて適応的な変化の下にダイナミックに処理を行う現代の情報処理のニーズと、自然現象としてきわめて非自明な非平衡環境下での振る舞いの本質を抉り出そうという物理学の舞台は合致しているのだ。

そのユニークな接点をこれまでのシステム科学的な手法を踏襲してきた歴史と新規のアイデアを駆使して、情報科学の問題の中での非平衡物理学、更には情報科学的なトップダウン視点からの非平衡統計物理学の基礎理論の再検討につなげていきたいと考えている。

#### [研究会の内容]

本研究会は全三日間の日程で執り行なわれた。一日目は主に統計的機械学習・最適化問題・圧縮センシング・デジタル画像処理など本研究会の主軸のひとつとなる情報科学の問題を中心として構成されたセッションが設けられ、情報科学分野における最近の問題意識が紹介された。中でも統計的機械学習（物理学分野では逆イジング問題として最近知られるようになってきている）に関する研究報告・レビュー講演が多数みられた。統計的機械学習とは観測からモデルの微視的なダイナミクスを推定する問題であり、問題のトップダウン的解決法の最たるもののひとつである。統計的機械学習の考え方を物理学の問題に応用することにより、問題をボトムアップ的そしてトップダウン的に眺め見る方法論の確立に近づいていくことが期待される。本研究会が掲げる情報と物理の融合という観点から、統計的機械学習の考え方・手法を物理的観点・情報科学的観点の両方面で更に深めていくことにより本研究会の今後の主軸のひとつとなると考えている。

二日目は前半が口頭講演のセッションで後半がポスターセッションという構成で執り行なわれた。前半の口頭講演のセッションは主に非平衡統計力学の揺らぎの定理や Jarzynski 等式を駆使した理論、そしてそのひとつの応用としてのモンテカルロ法へのアプローチなどについての議論があった。Jarzynski 等式とは言うまでもなく非平衡の系において仕事と自由エネルギーを関係付ける等式であり、これを利用することにより自由エネルギーというもっとも重要な量を見積もることができる。ポピュレーション型の新規のモンテカルロ法は Jarzynski 等式をいち早く導入して誕生し、成功を修めたもののひとつである。これの実際的に運用をして成功させた講演者自身からこれについての丁寧な解説がなされた。また更にカルマン・フィルタと Jarzynski 等式の関係についての講演もあり、系のフィードバック制御という観点での非平衡物理の展開を期待させるものであった。カルマン・フィルタは情報科学でも馴染みのフィードバック制御系であり、非平衡統計力学と情報科学とのつながりの重要な基点に成り得ると期待される。ポスターセッションは平行統計力学・スピングラス理論・情報統計力学・生命現象の中の統計力学・確率過程・非平衡統計力学・揺らぎの定理・量子エンタングルメント等、多種多様なポスター発表が行なわれた。

最終日は、脳や生物の統計力学的・情報論的視点からの解析や、新奇な揺らぎによる相転移の制御や最適化手法の探索に関する発表があった。特に、新奇な揺らぎの導入による相転移の性質を操作するという研究は、情報科学やその他工学分野における最適化問題への波及が見込まれる。よくある最適化問題（基底状態探索問題）において、対象の系の相転移の性質は大きな影響を与える。最適化問題の解を変えずに相転移の物理的性質を制御するというこの研究は、最適化問題に対して従来とは異なった新たな方法論を与える可能性を秘めていると考えられる。

本研究会は総参加者 58 名、口頭講演 23 件、ポスター発表 21 件であり、そのほとんどは学生や若手の研究者であった。これは本研究会のテーマが学生や若手の研究者達からの多くの賛同を得られた証であろう。その意味では若手を中心に据えた流れを組織していきたいという本研究会の主旨に対して、期待以上の成功を修めたと言える。

[世話人]

安田宗樹（東北大学情報学研究科）

大関真之（京都大学情報学研究科）

小渕智之（大阪大学理学研究科）

研究会プログラムを次ページ以降掲載する。個々の講演のアブストラクトを含めた、研究会の詳細な情報は

<http://www-adsys.sys.i.kyoto-u.ac.jp/mohzeki/YSMSPIP/>

に掲載されているので、そちらを参照されたい。

基礎物理学研究所研究会

情報統計力学の最前線—情報と揺らぎの制御の物理学を目指して—

Frontier of Statistical Physics and Information Processing (FSPIP: YSM-SPIP2012)

期間 : 2012 年 3 月 21 日~23 日

場所 : 京都大学基礎物理学研究所パナソニックホール

### 3 月 21 日

10:00-10:15 Opening Address 小淵 智之

**10:15-12:00 Morning Session I 座長 : 小淵 智之**

---

10:15-11:15 樺島 祥介

"システム科学としての不規則系の統計力学"

11:15-11:30 Coffee break

11:30-12:00 樋口 三郎

"Susceptibility Propagation と組み合わせ最適化"

12:00 13:00 昼休み

**13:00-14:00 Afternoon Session I 座長 : 前田 新一**

---

13:00 13:30 坂田 綾香

"Dictionary Learning への統計力学的アプローチ"

13:30-14:00 片岡 駿

"圧縮センシングによる画像補修"

14:00-14:15 休憩

**14:15-15:30 Afternoon Session II 座長 : 坂田 綾香**

---

14:15-14:45 安田 宗樹

"ボルツマンマシン~データからのモデル発掘法~"

14:45-15:30 清水 昌平

"構造方程式モデルによる因果構造探索: 非ガウス性の利用"

15:30-16:00 Coffee break

**16:00-17:15 Afternoon Session III 座長 : 安田 宗樹**

---

16:00-16:45 前田 新一

"マルコフ連鎖における定常分布の学習法としての Contrastive Divergence アルゴリズム"

16:45-17:15 加藤 紳也

"時空間的相互作用を含む逆イジング問題の近似解法"

17:15-17:30 休憩

**17:30-18:45 Afternoon Session IV 座長 : 諏訪 秀磨**

---

17:30-18:15 田中 宗

"量子ビット間の相互作用推定手法"

18:15-18:45 中島 千尋

"結び目の彩色問題"

**3月22日**

**9:45-12:00 Morning Session I 座長 : 大関 真之**

---

9:45-10:30 杉山 友規

"揺らぎ定理に基づく熱力学の構成"

10:30-10:45 Coffee break

10:45-11:30 藤谷 洋平

"線形フィードバック系における情報熱力学"

11:30-12:00 泉田 勇輝

"有限時間熱機関の効率論による非平衡物理学へのアプローチ"

12:00 13:00 昼休み

**13:00-14:30 Afternoon Session I 座長 : 田村 亮**

---

13:00 13:30 福島 孝治

"モンテカルロ法に関する近年の話題について"

13:30-14:15 諏訪 秀麿

"エルゴード的マルコフ鎖の一般的改良"

14:15-14:45 Coffee break

**14:45-15:30 Afternoon Session II 座長 : 中島 千尋**

---

14:45-15:30 大久保 潤

"非平衡系, 生命, 情報の関係: 計数統計の視点から"

15:30-16:45 Poster Preview

16:45-18:30 Poster Presentation

## ポスターレビュー順番及びポスター番号表

### 古典統計力学・スピングラス

P-1:大関 真之"有限次元スピングラスの理解に向けて：ベータ近似とその発展"

P-2:小淵 智之"スピングラスの零点とカオス"

P-3:原田 健自"臨界現象に対するベイズ推定を用いたスケーリング解析手法"

### スピングラス理論ベースの情報処理

P-4:雑賀 洋平"情報統計力学による光計測技術へのアプローチ"

P-5:渡辺 駿介"Cavity 法による相互依存型ネットワークの解析"

P-6: Xu Yingying "1-Bit 圧縮センシングの統計力学的解析"

P-7:大谷 遙"反学習項を入れた Hopfield model の統計力学的研究"

### 統計力学ベースの生命解析

P-8:齊藤 稔"表現型ゆらぎによる進化の促進"

P-9:白井 伸宙"格子ガスモデルを用いたタンパク質結合プロセスの熱力学的解析"

P-10:松下 勝義"結合と折りたたみの共起におけるタンパク質構造安定化"

### 確率過程を用いた生命データ解析

P-11:上村 淳"細胞内反応における情報伝達と分子の離散性"

P-12:小山 慎介"神経スパイク発火の非ポアソン性を用いた情報伝達"

P-13:長谷川 禎彦"ランジュバンモデルにおける階層的ノイズ強度ゆらぎ"

### エントロピーとマクスウェルデーモン

P-14:鹿野 豊"Cleverest Maxwell's demon"

P-15:森田 正亮"宇宙の非一様性を測る KL 情報量"

P-16:伊藤 創祐"緩和と情報による冷却限界"

### 揺らぎ (レアイベント) の観測・制御

P-17:根本 孝裕"Zon-Cohen 特異性の物理的起源"

P-18:松井 克仁"射影演算子法による大偏差統計関数の近似計算手法"

P-19:一木 輝久"周期的ランダムテレグラフノイズによる同時エスケープ"

### 量子エンタングルメントの制御と利用

P-20:橋爪 洋一郎"熱場ダイナミクスを用いた量子エンタングルメントの研究"

P-21:山中 雅則"彩色問題に関する量子アルゴリズム"

3月23日

**10:00-12:00 Morning Session I 座長：杉山 友規**

---

10:00-10:30 兼村 厚範

"MEG 電流源のオンライン変分ベイズ推定"

10:30-11:00 石原 秀至

"Mechanical control of hexagonal cell packing in Drosophila wing"

11:00-11:15 Coffee break

11:15-12:00 豊泉 太郎

"Beyond the edge of chaos: Amplification and temporal integration by recurrent networks in the chaotic regime"

12:00 13:00 昼休み

**13:00-14:30 Afternoon Session I 座長：田中 宗**

---

13:00 13:45 佐藤 一誠

"統計的機械学習における量子アニーリング"

13:45-14:30 杉浦 祥

"有限温度における熱的な量子純粋状態"

14:30-15:00 Coffee break

**15:00-16:15 Afternoon Session II 座長：大久保 潤**

---

15:00-15:45 田村 亮

"新奇揺らぎの導入による相転移現象の制御"

15:45-16:15 川本 達郎

"ツイッターの確率モデル"

16:15-16:30 Closing 大関 真之

---

物理学と情報科学はもっとお互いの事を良く知るべきである

Next Generations of DEX-SMI