

報 告

2012年度時限研究会
「次世代情報処理における揺らぎと確率」研究会 実施報告

坪 泰 宏, 寺 前 順 之 介

理化学研究所脳科学総合研究センター

Yasuhiro Tsubo and Jun-nosuke Teramae

Brain Science Institute, RIKEN

2012年6月19日, 20日(火, 水曜日)に, 坪泰宏(理化学研究所)を代表世話人, 寺前順之介(理化学研究所, JST)を共同世話人として, 2012年度神経回路学会時限研究会「次世代情報処理における揺らぎと確率」を理化学研究所和光キャンパス大河内記念ホールにて開催致しました. 近年, 神経情報処理における確率的要因や揺らぎの重要性が様々な研究から強く示唆されており, 一方で揺らぎや確率を情報処理に積極的に取り入れようとする動きが通信, 物性, 生物学等の広い分野で高まりつつあります. 本研究会は, このような昨今の動向を踏まえ, 各分野で個別に発展しつつある最新の研究成果と, 理論神経科学における最新の知見を有機的に結びつける事を目的としています. その為, 「生物学」, 「人間工学」, 「物性」, 「数学」, 「生理学」, 「社会科学」など幅広い分野の方々に最先端の話題を提供して頂き, 揺らぎやノイズの意義と新しい情報処理の可能性について議論しました. 本研究会の初日である6月19日は, 日本列島に台風4号が上陸し, 関東地方では交通網に支障がでる程の悪天候の中, 約50名の御参加を頂きました.

本研究会では, 普段交流の少ない分野の研究者同士がリアルタイムで活発な議論を通して, お互いの問題意識を共有し, 長期的には分野を超えた共同研究に発展させていく, 積極参加型の新しい形の研究会を目指しています. 講演者の先生方には, 研究分野の背景や基礎知識から非常に噛み砕いて御説明頂き, また問題意識とそれに対するアプローチを広い分野の参加者の皆さんが理解できるような形でお話頂きました. そして参加者の皆様にも, 非常に活発な質問と議論を頂きました. 世話人一同, 心より御礼申し上げます.

最初の御講演は, 基礎生物学研究所の渡辺英治先生で, 「メダカの捕食行動と被食者の揺らぎ」という題目でお話頂きました. メダカはミジンコを捕食する際に,



図1 悪天候の中お集り頂いた参加者の方々

如何にエサとゴミを見極めているのか. 渡辺先生はこの問題に対し, ミジンコの特徴的な動き(ピンクノイズ($1 = f$ ノイズ)的な速度揺らぎをもつ動き)に注目され, 「メダカはピンク揺らぎで動く物体に対し捕食行動を示す」という仮説を提案されました. この仮説を, 水槽の横に用意したディスプレイ上でバーチャルミジンコをピンク揺らぎによって動かす実験を行うことにより検証されました. 結果として, 見事にメダカの捕食行動が誘引されました. 更に「理論の実践」として, この原理を釣り具の浮きに応用するお話で, 「釣り名人の浮きの軌道はピンク揺らぎに近い」, という興味深い結果を示されました(会場笑). 講演の後, メダカの生態を講義して下さいました. 不思議なことにメダカ自体もピンク揺らぎで動くそうです. 補食されやすい動きを敢えてするには, 何か別のメリットがあるのでしょうか. 不思議です.

次の御講演は, 「離散的に観測された時系列データからのモデル再構成」というタイトルで, 京都大学大学

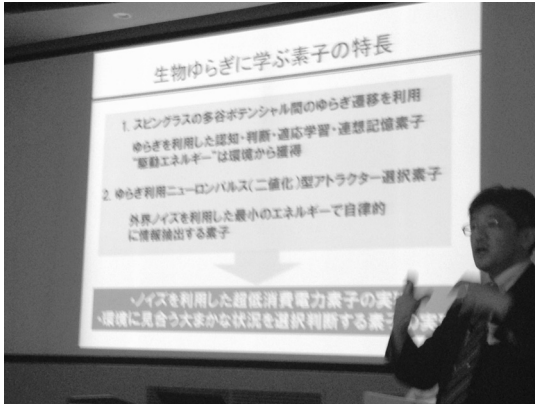


図2 バイオインスパイアードマテリアル, 田畑先生

院情報学研究科の大久保潤先生にお話頂きました。複雑なモデルのパラメータを現実的な時間で決定する方法に関し、大久保先生はカーネル密度推定と確率微分方程式の局所線形化を応用した手法を御提案されました。細胞内タンパク質の挙動は、最近では1分子レベルで計測できるようになり、これまで平均に埋もれていた少数分子の挙動に関する揺らぎを含むデータが得られるようになりました。しかし、このデータを記述する確率微分方程式の形を決めるには膨大な時間がかかります。そこで、局所線形化法により計算時間を節約する方法を応用し、二峰性の定常分布を示すデータ時系列の生成元が、乗法ノイズと加法ノイズかを決定する方法を提案されました。普段数理に馴染みのない参加者の皆さんにも、使用手法のエッセンスを簡明に御説明下さり、良い勉強になりました。

初日最後の御講演は、東京大学大学院工学系研究科の田畑仁先生で「双極子ガラスによる生体ゆらぎ模倣情報処理」という題目でお話頂きました。田畑先生は、これまで大きなエネルギーをかけて押さえ込んでいた無機物質の物性ノイズ(揺らぎ)を信号と同程度にして積極的に活かすことで、新しい超低消費電力デバイスの実現を目指し、既存の正確かつ高消費電力デバイスと相補的な新デバイスの創出を目指されています。先生には物性やデバイスに関する基本知識から御説明頂きました。無機素材の複雑な物性を上手に活かすと、例えば29個の素子で構築されていたオペアンプがたった3種類の材料の組合せで構築できるお話などは、最近の技術に驚かされました。また、通常低温でしか存在しないスピングラス状態が常温で存在する物質を開発され、その磁性を光で制御して電気抵抗で読み取る事が可能である事も御紹介下さいました。このような興

味深い物性を示す無機材料と、今後の進展してく脳科学の知見が融合していくと、従来と全く異なる新しい情報処理デバイスやそれに付随するアーキテクチャーが産出されるのではと、夢が大きく膨らみました。

2日目の最初の御講演は、東京大学大学院総合文化研究科の石原秀至先生で「Estimating reaction diffusion equations for signaling dynamics in Dictyostelium」という題目でお話頂きました。Dictyosteliumという細胞性粘菌は、自発運動中に細胞内リン脂質系シグナルがスパイラルを示し、2次元反応拡散方程式で表現されるような挙動を示します。石原先生は、この挙動の背後に存在する反応スキームを推定するために、観測データに状態空間法を応用した方法を適用し、力学的モデルの相構造を推定する手法を御説明されました。2次元の連続な非線形力学系のパラメータ推定という難しい問題に対するこのアプローチは、細胞性粘菌の細胞内シグナルのみならず、様々なデータに適用できる可能性があると感じました。

次の御講演は、関西学院大学理工学部の巳波弘佳先生で、「人の移動パターンが持つ性質と蓄積搬送型通信への応用」という題目でお話頂きました。巳波先生にはまず、自分の保持・蓄積している情報を出会った人に伝達していく蓄積搬送型通信が、災害時などの劣通信環境においても一定の性能を確保できる基盤技術の一つであることを御紹介頂きました。そしてこの蓄積搬送型通信において効率の良いプロトコルを開発するには、人間の動きの分析が重要になります。そこで先生は、人間の出会いのログを記録していくスマートフォンのアプリを開発し、実際に学生の皆さんと数年間実験を行ったそうです。その実験データを分析した結果、人間の出会いイベントは単純な酔歩モデルでは説明できず、「レビー歩(多くの短ステップと稀な長ステップを特徴とする酔歩)を行いながらある確率で「自宅」に直帰する」新規の酔歩モデルで説明することに成功されました。渡辺先生の御講演を思い出しながら、「自宅に帰らなければ人間もメダカもミジンコも一緒!？」と、妙に納得してしまいました。更に上述の特徴を考慮した蓄積搬送型通信の性能向上法を、東日本震災直後の東北地方の道路網データに適用してシミュレーションし、実用的な性能が期待できることを示されました。このような有効なアプリケーションを多くの人に導入してもらうためには、ゲームと組み合わせるなどの工夫や、セキュリティの強化が必要となるそうです。また巳波先生には、蓄積搬送型通信のお話だけでなく、楽譜を入力するとCGアニメーション上のピアニストがピアノを弾く、というトピック

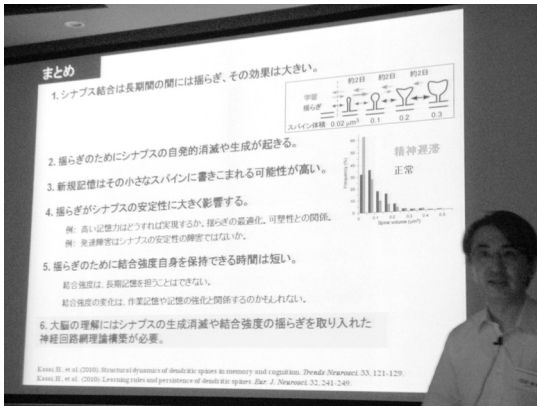


図3 新しい学習則の可能性, 河西先生

ク(実際に「のだめカウンタービル」で先生の技術が利用されているそうです)も御紹介頂きました。指使いを決めるのが難しいそうですが、プロのピアニストの運指をモーションキャプチャーや筋電位データによって分析し、御専門の最適化の手法を用いて決定されたそうです。これは次の栗田先生の御講演にも繋がります、オーガナイザーの予想以上に有機的にリンクした話題を御提供頂きました。

午後の最初の御講演は、広島大学大学院工学研究院の栗田雄一先生に「人間とノイズ: 運動生成におけるノイズの影響と触覚知覚におけるノイズの活用」という題目でお話頂きました。栗田先生は、腕の運動生成におけるノイズの話題と、指先の知覚感覚におけるノイズの話題の2本立てで提供して下さいました。まず腕を動かすリーチング運動において、従来提案されてきた様々な原理を御紹介下さり、その中に終点誤差分散最小規範があり、その規範をうまく説明するノイズモデルを筋収縮モデルに導入して運動生成のシミュレーションを実行した結果を示されました。またこの結果を用いて計算された人間の運動効率評価と、アンケートによる感性評価の結果が一致したことを御説明頂きました。一方、知覚感覚でも指に振動デバイスをつけ弱くランダムに振動させることで、知覚感度が上がる結果が得られ、この現象を手術時の医療用鉗子に応用すると、やはり知覚感度が向上しました。ノイズにより微弱な知覚情報の検出が可能になるという確率共鳴現象が知覚系でも生じている事がわかりました。私は普段、実験など緻密な作業をする際に手先を安定させるのに苦勞をするのですが、ノイズによる人間の機能向

上が、感覚器のみならず運動器でも生じているならば、それを利用する事は非常に有用であると感じました。

最後の御講演は、東京大学医学系研究科の河西春郎先生に「大脳スパインシナプスの形態可塑性と揺らぎ」という題目でお話頂きました。大脳皮質の興奮性錐体細胞には樹状突起にスパインと呼ばれる小さな突起が無数に存在し、この突起では、主に他の興奮性神経細胞からの軸索終末がシナプスを形成しています。まず、スパインサイズとシナプスでの信号伝達の大きさには相関があり、学習によってスパインサイズが変化するという事を御説明頂きました。先生はスパインサイズの保持に関する安定性を調べる為に、2光子顕微鏡とケージドグルタミン酸を用いて、スパインサイズの直接かつ長時間観察をされました。その結果、スパインサイズ自体に比べてサイズ揺らぎはかなり大きく、長期的なシナプス動態に対して、活動依存的な可塑性よりも、むしろ揺らぎの方が与える影響の方が大きいという結果を示されました。そしてこれらの結果から、シナプス強度(アナログ)が記憶の担い手であるという従来の学習モデルに対し、シナプスの有無(バイナリ)が記憶の担い手であり、結合強度は記憶維持の強さに対応することが示唆されるとお話されました。スパインでない部分のシナプスで生じている可塑性はいまだよくわかっておらず、今回のスパインで得られた非常に興味深い知見と併せて、これまでとは全く異なった学習則の提案が必要かもしれません。河西先生はこれらの知見を取り入れた数理モデルはまだ存在しないと、理論家の活躍に期待して下さいました。

閉会后、世話人としても非常に光栄なことに、参加者・講演者の先生方から今回の研究会を機に共同研究の話が立ち上がったという御連絡をいくつか頂きました。今後も本研究会を是非継続させていきたいと考えておりますので、皆様の御参加を心よりお待ち申し上げます。

最後になりましたが、本研究会「次世代情報処理における揺らぎと確率」は、日本神経回路学会時限研究会担当理事の先生方や学会事務局、会長室を始めとする多くの関係者の方々に、多大なるお力添えを頂きました。世話人一同、厚く御礼申し上げます。そして、大変な悪天候の中、御講演下さいました7名の先生方、活発な議論で研究会を盛り上げて下さいました参加者の皆様、運営を御手伝い頂きました理化学研究所深井チームのメンバーに、改めてお礼申し上げます。