

統合複雑系科学国際研究ユニットが発足して丸6年が経過しました。当研究ユニットは、異分野の研究者が「複雑系」というキーワードのもとに集う学際的な集まりです。本ユニットのメンバーは、この強みを生かして得られた知見を、自らの研究だけではなく社会に還元する活動も行っています。このニュースレターでは、2015年度に私たちがどのような活動を行ったかを皆様にお伝えします。

ご挨拶

複雑系とは、自然や社会経済の中に存在する複雑な現象の背後に存在する共通な構造や秩序であり、そのネットワークのダイナミックスが複雑な現象を説明します。統合複雑系科学国際研究ユニットでは、生物学、物理学、経済学、化学、医学、工学など、従来は独立して研究をしていた学問分野の研究者が参加して、分野横断的な共同研究を行うものです。

2010年4月に発足して以来、本ユニットは州立カリフォルニア大学に本部を置く国際複雑系研究所 (ICAM) の京都支部としても機能しています。ICAMの創業者であり、サンタフェ研究所の創業者の一人であるDavid Pines教授には、ユニットのアドバイザーの一人として参加して頂いています。統合複雑系科学国際研究ユニットでは、例年、ICAMやサンタフェ研究所の研究者を招待して、国際コンファランスやセミナーを開催してきており、またさらにユニットメンバーはそれぞれの専門分野において多くの研究成果を発表するとともに、シンポジウムや公開講義の形で情報発信を行ってきました。それらの今年度の活動をまとめて今回のニュースレターに報告させていただきます。具体的には、公開シンポジウム「学びを科学する」、遍歴磁性国際ワークショップ “International Workshop on Itinerant-Electron Magnetism”、科学教育 in 京都2015、GSEE/Kyoto 2016、International Symposium on Advanced Future Studies などです。

最後になりましたが、本統合複雑系国際研究ユニットは、平成22年（2010年）4月に発足し、5年の設置期間を経て、設置期間延長を学際融合教育研究センターに申請しておりましたが、1年の移行期間（その間も設置は継続）を経て、この度、平成28年（2016年）4月1日より平成34年（2022年）3月31日まで6年間の期間延長が認められました。さらなる本研究ユニットの発展を期するところであります。私自身の専門は物性物理化学、無機物性化学というような研究分野ですが、あまり自然科学系とか人文科学系といった分野にとらわれず、京大らしく自由な発想で、複雑化・多様化する諸問題の解決や新たな未踏領域の研究分野の創生を目指して頑張っていく所存です。どうぞよろしくお願い申し上げます。

ユニット代表
吉村 一良

（京都大学大学院理学研究科 教授
京都大学国際高等教育院 教授）



目次

ユニット長ご挨拶.....	1
研究室訪問 #6.....	2～3
関口格教授	
活動の記録.....	4～5
リレーコラム #6	6～7
『複雑系と力学系の複雑な関係』 國府寛司教授	
ユニットメンバー表	8

研究室訪問第6回目は、京都大学経済研究所の関口格先生をお訪ねしました。

Q. 関口先生の研究内容についてご紹介ください。

A. 本当にひと言でいうと、「ゲーム理論」という数学的な手法を使って、社会における人間の協力行動を分析しています。

人々が協力する姿は美しい。でも多くの場合、協力的行動は面倒で、できればやらずに済ませたい誘惑がチラつきます。では、人はどうして誘惑に負けずに協力することができるのか。ここでゲーム理論の考え方が重視するのが、われわれの人間関係は1回限りでは

Q. 先生が研究者を志されたきっかけを教えてください。

A. 大学3年のとき、根岸隆先生(現・東京大学名誉教授・日本学士院会員)のゼミに入り、先生のお人柄に感銘を受けました。学生のどんな質問にも丁寧に答え、話すことは本質的で的確。まるで神様のように、わたしも研究者になればこのような人生になるかと思い、大学院に進みプロの研究者を目指しました。ただ、「研究者になれば」ではなくて「研究者を極めれば」の間違いだったようで、極めていないわたしの人生はだいぶ違います。

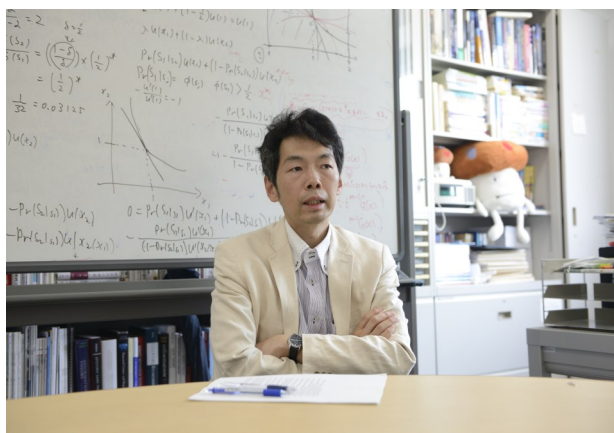
人はなぜ協力するのか？

ゲーム理論の考え方が重視するのは、われわれの人間関係は1回限りではなくて「長期的」だという事実です。

なくて「長期的」だという事実です。長期的関係の下で今日誘惑に負けてしまうと、明日からとても気まずくなり、協力してもらえなくなるかもしれません。それはいやだから協力する。これが、ゲーム理論が説く協力の理論の基本です。

ところでこの理論で、相手がちゃんと協力したかどうか分かるというのは大前提です。しかし現実には、誤解や見間違いがあるかもしれない。このように相手の行動の真意がわかりにくいと協力は達成しにくくなりますが、そんなときでもこうすれば協力できますよ、という協力の新しい方法を提示するのが、わたしの研究のテーマです。

わたしが手掛けている協力の理論は、協力する理由を利他心や道徳心に求めるような麗しい議論ではありません。しかしこの理論は、誘惑に負けやすい利己的な人間ですら協力する可能性を論理的に示しており、協力の理論としてはむしろ深いと思います。





(↑)研究者にとって最高の報酬は引用です。これは、わたしの論文を引用してくれた本・雑誌です。好意的な引用が多く感謝あるのみですが、批判的な引用も引用数1という意味では同じなので、わたしは両方歓迎いたします。緑の表紙は、定評ある学術雑誌がわたしの研究トピックについて組んだ特集号で、掲載された全ての論文がわたしの論文を引用しています

Q. 研究の醍醐味、大変なところを教えてください。

A. 協力行動を数理的に説明するため、繰り返しゲームという数学モデルを使います。しかしこのモデルは数学的構造に乏しいのです。例えば、経済学でよく使われる市場モデル・一般均衡モデルと比較すると、そこでは凸性とか微分可能性とか議論の見通しをよくする構造を足すことができ、すると直観に沿う理論がどんどん展開します。しかし繰り返しゲームにはそういうのが余りなく、直観が作動しないところで一つ一つ泥臭く積み上げていかないと終わぬ間違いを犯します。実際、この分野で大論文とされる論文の中には、結論自体はあっているが証明のやり方を間違えているものがけっこう多いのです。

何というか、わたしにとって繰り返しゲームは高所登山のイメージで、つまり酸素が乏しいのが普通の登山と違います。そんな中で論文を書き切る、すなわち無事に登頂するのは大変なところであり、またうまく行ったときの醍醐味です。

Q. お薦めの本を1冊教えてください。

A. こんなに挙げていいのかな... 最近読んで面白かったのは、サンキュータツオ「ヘンな論文」(角川学芸出版・電子書籍あり)です。題名通り、「どうしてこんなことを研究したのか?」と思わせる論文をあちこちから見つけてきて紹介する本です。著者は芸人兼研究者というべき人で、そのためか論文や研究者を語る言葉が温かいのがよい。わたしはこんな人に、自分の研究のヘンなところをイジってもらいたいです。

Q. 先生にとって至福のひとつときというのは、どんな時でしょうか。

A. 家族と過ごす時間ですね。研究の現場にも嬉しいことはありますが、研究の場合はもっと上のレベルにはもっと大きい喜びがあるはずで、またそれを目指さなければならないという思いが先に立ち、至福という気分ではありません。

Q. 今後の研究計画についてお聞かせください。

A. 当面のテーマの中で一つだけ述べると、観測がプレイヤーの意思決定の一部となる長期的関係での協力の理論です。相手をちゃんと観測するには注意力が必要ですが、注意力散漫に陥らないためにどうすればよいか、みたいな話です。観測を無意識の行為のようにとらえる既存研究の一段上を行く論点といえ、観測ネタで飯を食ってきたわたしとしては、自分の手で高いレベルの理論を作りたいと力が入ります。

関口先生、ありがとうございました。

関口格教授～略歴～

1992年 東京大学経済学部卒業。1997年 東京大学大学院経済学研究科にて博士(経済学)取得。日本学術振興会特別研究員、神戸大学経済学研究科講師・助教授、京都大学経済研究所助教授・准教授を経て、2013年より現職。専門はゲーム理論、ミクロ経済学。動学ゲーム理論・繰り返しゲーム理論についての論文複数。2014年度日本学術振興会賞受賞。

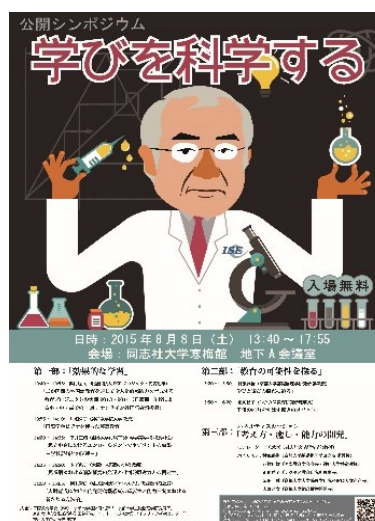
活動の記録（2015年7月～2016年3月）

シンポジウム・ワークショップ・セミナー等主催されたメンバーに下記の多彩な活動報告を頂きました。

●公開シンポジウム「学びを科学する」

2015年8月8日(土) 同志社大学寒梅館地下A会議室

本シンポジウムは、第一部「効果的な学習」で理数科学教育を中心に、小中高の現場の教員と大学の教員による、効果的な教育の提言と報告がなされました。第二部「教育の可能性を探る」では、「学びと遊びの原点に迫る」と「子供の能力を伸ばす驚きの方法」で幼児教育の重要性と可能性について報告されました。第三部パネルディスカッション「考え方・癒し・能力の開発」では、第一部、第二部の内容を踏まえ、正司昌子(レクタス教育研究所理事長)による学習障害児の能力開発の実践報告に参加者は感銘を受けて同感していました。



●遍歴磁性国際ワークショップ

“International Workshop on Itinerant-Electron Magnetism”

2015年9月25日(金)～9月27日(日) 理学研究科セミナーハウス

本国際ワークショップは、金属における遍歴電子の示す磁性がどのようなものであるか、またそれに関連してどのような新しい現象が現れるかを議論した。口頭発表は全て招待講演者によるもので、海外からはアメリカ、中国、香港、ドイツ、フランスの研究者が新しい研究成果を披露した。参加者数はポスター発表も含めて計80名にのぼり、研究者、大学院生の枠を超えて活発な議論がなされた。



(1) 5カ国から大学院生や若手研究者を含む80名の研究者が参加した。

●科学教育 in 京都2015

2015年12月2日(水)

京都大学基礎物理学研究所湯川記念館

小学校、中学校、高等学校の理科の内容、教授法について、大学教員、現場の教員のそれぞれの立場から、改善の提案と実践の報告がされ、教育委員会と大学が連携した取り組みの紹介、日本の大企業の技術者への調査の報告もなされました。



●GSEE/Kyoto 2016

2016年2月11日(木) 京都大学基礎物理学研究所湯川記念館

国内外から教育に熱心な研究者および日本国内の高校教員が集まり、教育問題に対する講演および議論を行いました。教職員及び学生、教育に興味をお持ちの一般の方々も参加し、山極寿一京都大学総長、有馬朗人元文部大臣、海外から5人の科学者を含めた13人の講演がおこなわれ、パネルディスカッションが行われました。



●International Symposium on Advanced Future Studies

2016年2月12日(金)

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

As the twenty-first century unfolds, it has become clear that the major problems of our age—energy, the environment, financial security, education and even science—cannot be understood in isolation. Because these problems are all interrelated and interdependent, they are referred to as systemic problems (Fritjof Capra and Pier Luigi Luisi, 2015). It is now clear that a full understanding of our present-day problems requires nothing less than a precisely new conception of life itself. In the present symposium, we are inviting multidisciplinary researchers from many different kinds of departments. On the basis of complex system science, we are beginning to understand that there are simple solutions to many complex problems.

「リレーコラム」:

第6回『複雑系と力学系の複雑な関係』

國府 寛司 教授(京都大学理学研究科)

私の専門は力学系理論（正確にはその分岐理論）です。力学系とは、決定論的法則に従って時間発展するシステムを数学的に定式化したものであり、要するに微分方程式とか差分方程式（高校では漸化式と呼ばれますが）のように、初期値が決まればそこから先の時間発展が一意的に決まるようなシステムです。

複雑系と呼ばれるシステムのダイナミクスは基本的には力学系の問題と考えられます。従って、力学系理論は複雑系科学の基礎といえますが、もちろんすべての力学系が複雑系というわけではありません。また、力学系理論の基礎は複雑系科学のためにあるわけでもありません。その意味で、複雑系科学と力学系理論は、お互いに影響を与えつつ、つかず離れずの精妙な関係を保って発展してきたといえるのではないかと思います。このコラムでは、私が学生のときの体験やこれまでの研究の中から、自分自身が経験した複雑系との関わりをいくつか拾い上げてみようと思います。

私が大学に入学した1970年代の後半は、カタストロフ理論のブームが下火になり、（力学系の）カオスが一般に知られるようになった頃でした。ルネ・トムが創始したカタストロフ理論は、破局の科学などと呼ばれて一般向けの科学啓蒙書も書かれていましたが、その数学的内容はあまりきちんとは紹介されず、主に3次元関数に基づくカusp型の分岐曲面を用いて、たとえ話のようなカタストロフの説明がほとんどでしたが、あるきっかけで私はそれに惹かれ、大学でそれを学びたいと思い京都大学に入学しました。その後、トムの著書「構造安定性と形態形成」（邦訳：岩波書店）を（これはなかなか「読める」本ではないので）パラパラと眺め、良く紹介されている関数の（あるいは勾配力学系の）カタストロフ理論ではなく、トムの目指した「一般カタストロフ理論」というのが、より一般の力学系の分岐理論のことなのだろうと思うようになったのは大学院に進む頃で、結果としてはそれが私の専門を決めることになりました。

した。分岐というのは力学系の定性的な構造の変化のことで、平衡点（定常解）や周期解のまわりの局所的な分岐から、より大域的な構造の分岐まで、対象は広く、その研究手法も様々ですが、私は局所的な分岐理論の研究から入り、現在は、計算機も援用して、力学系の大域的構造の分岐を調べる研究をしています。

私が大学院に入る頃から日本でもカオスやフラクタルが広く知られるようになり、やがてそれが複雑系という言葉に変わっていきました。力学系研究者としては、カオスとは決定論的な時間発展法則としての微分方程式や差分方程式に現れる予測不可能な振る舞いとして、まさに「複雑な」ダイナミクスを指し、フラクタルはそのある意味での双対としての複雑な空間構造を指すので、なるほど複雑系というのはカオスやフラクタルのことなのだなと思っていたら、よく聞いてみるとそれだけではないらしく、では複雑系とは一体、何なのだろうと思ったことを覚えています。実際、それを数学的にきちんと捉えることは難しく、カオスやフラクタルの数学的な定義は（1つに定まらないとしても）存在するのに対し、複雑系の数学的定義は聞いたことがありません。定義がないということは研究対象にならないということで、物理などの他の自然科学に比べて、数学者には複雑系の研究は取っ付きにくく、せいぜい複雑系といわれる対象の持つさまざまな側面を切り出して数学の問題として取り上げるしか、研究のしようがないのではないかと思います。

（次頁に続く）



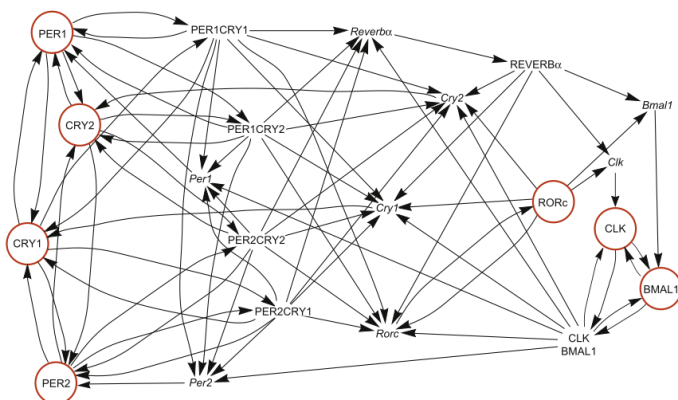
Conley の写真

そういう複雑系の持つ特徴的な側面の1つが、「複雑系は大自由度系」であるということです。力学系理論は、1970年代から2000年代にかけて、カオス力学系を含めて、2次元や3次元などの少数自由度の系のダイナミクスを解明することは大きな成功を収めました。一方で無限次元力学系である偏微分方程式のダイナミクスについても、数値シミュレーションの発展によるパターンダイナミクスの研究の進展により、多くの重要な成果が得られました。しかし、その中間の、有限だが大自由度の力学系のダイナミクスの理解はとらえどころがない部分が多く、力学系理論の研究対象としては取り残された状況が長く続いていました。一方で、結合振動子系に見られる同期現象や結合カオス系のカオス遍歴など、計算機シミュレーションでは有限だが大自由度の力学系についてのたくさんの数値的な研究成果が1990年代から2000年代にかけて次々と得られ、そこに興味深い研究対象があることが急速に認識されるようになりました。このような有限だが大自由度の力学系を数学的に研究するにはどうすれば良いのか、これは現在でもまだ明確な研究の方針が見えていない、大きな問題であると思います。

私は大自由度の力学系に対して、まずその「単純な」側面を捉えようと考えました。極めて広汎な力学系に対して成り立つ Conley による力学系の基本定理は、(大雑把に言って)すべての力学系が「回帰的な部分」の「勾配的な結合」に分解されることを主張しています。与えられた力学系に対してこの分解を正確に求めることは一般には不可能ですが、回帰的な部分を少し大きめに取ることを許せば、計算機を援用して、有限個の回帰

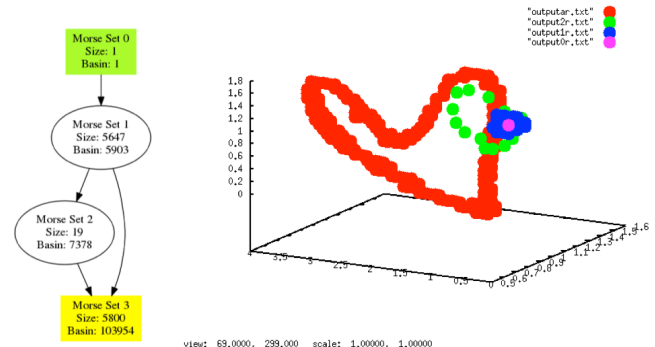
的部分とそれらの間の勾配的な結合への分解を求めることはできる可能性があります。これを力学系のモース分解といいます。これはハミルトン系のような保存力学系では、ポアンカレの再帰定理により相空間全体が回帰的になるので、あまり意味のある情報が得られませんが、散逸系である複雑系も多いことを考えると、そのような場合には意味のある情報を与えるかもしれません。私は何人かの国内外の研究者との共同研究で、大自由度の力学系にも適用可能なモース分解を与える数学的方法を見出して、それを実際の現象を記述する「複雑系」に適用するべく、研究を進めています。

いま特に興味を持っているのは、生命科学に見られる遺伝子などの制御ネットワーク系のダイナミクスで、多数の遺伝子の間の相互関係を記述する数理モデルは大自由度で複雑な構造を持ちますが、このような系のダイナミクスを大づかみにでも理解するための数学的方法を見出したいと考えて研究を行っています。上に書いた計算機援用解析は、このような遺伝子制御ネットワーク系に適用するには少し力不足なのですが、それを何とか克服できないかといろいろと試行錯誤をしています。そのためにも、皆様からいろいろな「複雑系」のダイナミクスの実例を教えていただければ、とてもありがたいです。興味深いダイナミクスを持つ複雑系の研究に取り組まれている方は、是非、ご教示ください。



↑:Mirsky's model of mammalian circadian rhythm (出典:H. Mirsky et al, PNAS, 106 (27), July 7, 2009, 11107-11112.)

↓:Mirsky model に対する4つの成分からなるモース分解.Mirsky model の丸で囲んだ7つのノードだけから取得した時系列データを用いて求められた.Mirsky model 全体の直接の数値計算から1つの不安定定常解と3つの周期軌道に対応するものとよく一致しており、一部のノードの時系列データから相空間全体の大域的構造の情報が得られることが確認されたと考えられる。



組織構成・メンバー

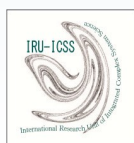
本ユニットは、数理科学、物理科学、生命科学の3つの分野に分かれています。
 連携推進委員：國府寛司、西村和雄、引原隆士、福山秀直、村瀬雅俊、八尾誠
 アドバイザー：David Pines (ICAM/Santa Fe 研究所教授)、上田皖亮 (京都大学名誉教授)、
 余田 成男 (理学研究科教授)
 フェロー：Vajayanthi Thangavel (理学研究科 PD)

梅野 健	情報学研究科 教授	西村 和雄	経済研究所 特任教授
江上 雅彦	経済学研究科 教授	原 千秋	経済研究所 教授
大野 照文	総合博物館 名誉教授	引原 隆士	工学研究科 教授
岡 二三生	工学研究科 名誉教授	福山 秀直	医学研究科 教授
梶井 厚志	経済研究所 教授	舟橋 春彦	国際高等教育院 教授
熊谷 隆	数理解析研究所 教授	馬見塚 拓	化学研究所 教授
國府 寛司	理学研究科 教授	村瀬 雅俊	基礎物理学研究所 准教授
佐々 真一	理学研究科 教授	八尾 誠	理学研究科 教授
榎木 哲夫	工学研究科 教授	矢野 誠	経済研究所 教授
杉山 弘	理学研究科 教授	山内 淳	生態学研究センター 教授
関口 格	経済研究所 教授	吉村 一良	理学研究科 教授
土居 伸二	工学研究科 教授	渡辺 宏	化学研究所 教授
中嶋 智之	経済研究所 教授		

訃報 本ユニットメンバーの八尾誠大学院理学研究科教授が、
 4月14日（木）にご逝去されました。謹んでご冥福をお祈りいたします。

統合複雑系科学国際研究ユニット International Research Unit of Integrated Complex System Science (IRU-ICSS)

編集委員長：矢野誠
 編集委員：村瀬雅俊、中嶋智之
 IRU-ICSS事務局
 〒606-8501
 京都市左京区吉田本町
 京都大学経済研究所内
 電話: 075 (735) 7124
 FAX: 075 (735) 7157
 URL: <http://www.kier.kyoto-u.ac.jp/ICSS/index.htm>



ここに
 切手を
 貼って
 下さい