

統合複雑系科学国際研究ユニットが発足して丸8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、2017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を探っていく研究分野であり、その様々な現象のダイナミックスが複雑な現象を反映し、それを解き明かしてくれるキーとなります。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。従いまして、本複雑系ユニットは、未来創成学国際研究ユニットなどの未踏科学ユニットとも姉妹関係にあるような研究ユニットであると言えます。また、本ユニットは元々、米国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が、ICAM自体も創立者であり、サンタフェ研究所の創立者の一人でもあるDavid Pines教授が、本年5月3日、93才でご逝去され、新たな局面に立たされると言っても過言ではないと思います。奇しくもPines先生の盟友、Charles P. Slichter先生も本年2月19日に94才でお亡くなりになりました。私自身もPines先生とはたくさん思い出があり、Slichter先生は私の恩師でもあります。この場をお借りしまして、心よりご冥福をお祈り申し上げます。

我が統合複雑系科学国際研究ユニットも、2010年4月に西村和雄先生を中心に（ユニット長として）発足して以来、本年度で9年目を迎えるに当たり、心機一転さらなる展開を目指していく契機を迎えていると思います。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まいりましたが、今年度からさらに新たなメンバーも迎え、本学・研究連携基盤の未来創成学国際研究ユニットや同志社大学のSt. CORE研究会など学際領域研究、分野間研究を目指す研究グループなども密接に協力・連携し、この大きな局面を打破し新たな展開へと向かって行きたく存じます。さらに本統合複雑系国際研究ユニットでは、平成22年（2010年）4月に発足し5年の設置期間と1年の移行期間を経て、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。すなわち、後4年の研究期間をもって、今さらなる発展を目指して行くところであります。“More is different!”というP. W. Anderson (Slichter先生のハーバード大学での同級生であり、1977年、ノーベル物理学賞受賞) の有名な言葉もあります。単純系には無く、複雑系であるからこそ起こる本質もあるのです。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。私ごとですが、本年で60才の還暦を迎え、今後の研究について、心中ひそかに期するところもあります。どうぞ今後とも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 ・ 京都大学環境安全保健機構 副機構長)



目次

ユニット長ご挨拶	1
研究室訪問 #8	2~3
山内 淳教授	
活動の記録	4~5
リレーコラム #8	6~7
『固体中の電子が示す量子現象、超伝導の研究』	
石田 憲二 教授	
ユニットメンバー表	8

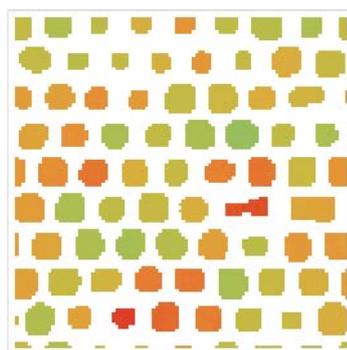
研究室訪問第8回目は、京大生態学研究センターの山内淳先生をお訪ねしました。

Q.山内先生の研究内容についてご紹介下さい。

A.生物の数の変化や性質の進化などを数式やコンピュータを用いて理論的に研究する「数理生態学(もしくは理論生態学)」という分野を専門にしています。生物に関わる諸現象を扱う「数理生物学」の中の一分野ですが、その中でも生き物の生態を扱う数理生態学は歴史があって、大きく成功してきた分野です。特に、進化の理論研究は経済学とも接点のある研究分野で、そこでは経済学で発展してきたゲーム理論を、生物学の立場からアレンジした「進化ゲーム理論」が重要なツールになっ

ただ、元来の希望が実証研究だったこともあり、数学的な基礎が十分にあるわけではないので、現在でもそれに苦しめられています。ただ、私が扱うテーマ自体は基本的に生物学なので、数学の能力が不十分でも何かしら新しいことができる

のは面白いところですよ。



→二次元空間上での協力の進化のシミュレーション。色のついた部分に個体が存在し暖色なほど協力レベルが高い。

論理の積み重ねによって、生命現象の背景に隠れている思わぬ法則性に触れた時には、やはり気持ちが高揚します

ています。

最近の私の研究内容としては、二次元空間上における協力の進化に関する理論的解析や、植物-植食者-捕食者を巡る情報のやり取りの進化に関する理論、直接に相互作用を持たない生物同士が第三者の生物を介して影響し合う「間接効果」に関する研究などを進めています。

Q2: 先生が研究者を志されたきっかけを教えてください。

私は九州大学理学部の出身で、もともとは野外で行う実証的な生態学の研究を目指していました。しかし学部で取り組んだ研究で、色々な要素を含む(ある意味汚い)データの扱いに窮して行き詰まっていた。その際に、のちに私の指導教官となる巖佐庸という人物の書いた書籍を生協の書籍部で見つけ、生物の生態を理論的に扱う分野があることを知りました。その後、大学院では九州大学理学研究科の数理生物学研究室に進学し、それ以来、数理生態学を専門として研究しています。

Q3: 研究の醍醐味、大変なところを教えてください。

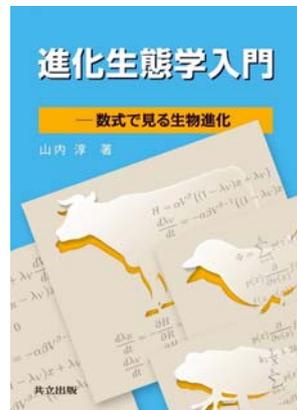
論理の積み重ねによって、生命現象の背景に隠れている思わぬ法則性に触れた時には、やはり気持ちが高揚します。また理論研究という性質上、興味を持った様々な現象をこだわりなく研究対象とできることは、興味が発散傾向にある私には向いていると思います。

しかし一方で、研究はその結果に対して第三者からの評価を受け、その価値を認められた上で何らかの形で公表して完結します。すなわち論文の執筆から査読、出版への一連のプロセスが不可分です。何本も論文を書いてもその過程には慣れることはなく、いつも苦勞が付きまといます。自分の主張を、母国語ではない言語で第三者に正しく理解させるのは、とても難しい作業です。加えて私が感じる困難さの原因の一つには、私自身が色々な現象を「つまみ食い」的に研究しているために一連の研究にあまり継続性がなく、それぞれの論文をいちいち「ゼロから」執筆しているのに近いせいもあるのかもしれませんが。

Q4: お薦めの本を1冊教えてください。

私の研究分野に関連する書籍であれば、巖佐庸著「数理生物学入門」(共立出版)をお薦めします。私の指導教官が1990年に出した本ですが(当初はHBJ出版局からの出版でしたが、その後、共立出版に版が引き継がれました)、30年近く経っても関連分野のバイブル的な教科書です。タイトルには「数理生物学」とありますが、実際の内容は「数理生態学」です。これはその当時、数理生物学の取り組みが生態学で大きく成功していた一方で、生物学全般には現在ほど広がりを持っていなかったこと、さらに著者自身が数理生態学のアプローチが様々な生物学分野の問題の解明に有効であると確信していたこと、などが反映しています。

この本が出た時に私は大学院生で、件の指導教官からは「君みたいな(勉強もしないし知識もない)学生のために書いた本やで、勉強してや」と言われたもので、そうした意味からも思い出深い本です。この本の記述は簡潔で一見分かり易いのですが、その背景にある高度な解析が章末の演習問題に凝縮されているため、読み方によって初学者から第一線の研究者まで学ぶことのある本です。



Q5: 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。

研究者としては、研究に関連することが「至福のひとつとき」であると言えるでしょう。研究には色々な苦労も付きまといまいます。私にとっては、そういった気苦労から離れて、美味しいものを食べながら美味しいお酒を飲む時が一番くつろげる時間で

す。私の勤務先の生態学研究センターは滋賀県の大津に所在していることもあり、私自身も大津に在住しています。京滋エリアはなかなか良い魚に出会えませんが、私の住んでいる地域には今は少なくなった対面営業の魚屋さんがあり、大津に移って17年間ずっとお世話になっています(その間に代変わりもして、最近、店も移転しましたが)。週末に、そのお店の魚を嗜むのが特別な時間です。

Q6: 今後の研究計画についてお聞かせください。

これからも「面白ければ何でもやる」を信条に、生物の様々な興味深い生態や進化に関わる現象をピックアップして、それらの本質に迫る理論研究を行っていきたくと思っています。また、ユニットの活動などを軸にして、他分野の研究者とも様々なコラボレーションができればと考えています。私も今年55歳を迎え、研究に取り組む時間がとりあえずあと10年という区切りに達しました。次世代に数理生態学の面白さと有用性を伝える責任を、今まで以上に感じています。昨今の学生の大学院離れや、所在地が遠隔地であるがゆえの進学率の低さもあって、必ずしも学生を指導できる機会が多いわけではありませんが、与えられた機会の中で研究のバトンをしっかり次世代につなげていきたいとの思いを新たにしています。



山内 淳 略歴

1993年(平成5年)10月29日 九州大学大学院理学研究科生物学専攻博士後期課程修了(理学博士)
 1994年(同6年)7月~1995年(同7年)9月
 東京大学海洋研究所助手
 1995年(同7年)10月~2001年(同13年)3月
 長崎大学水産学部助教授
 2001年(同13年)4月~2001年(同13年)9月
 長崎大学大学院生産科学研究科助教授
 2001年(同13年)10月~2007年(同19年)11月
 京都大学生態学研究センター助教授
 2007年(同19年)12月~
 京都大学生態学研究センター教授

●京都大学国際文化フォーラム2017

2017年10月28日(土)–29日(日)

京都大学百周年記念館大ホール

京都大学未来創成学国際研究ユニットおよび統合複雑系科学国際研究ユニットの共催

28日は、ジュニアキャンパスで中学生と保護者向け

29日は、一般向けの公開フォーラム

ツトム・ヤマシタ(音楽家)、森悠子(ヴァイオリン奏者)、塩田浩平(滋賀医科大学)

石上真由子(ヴァイオリン奏者)、田辺明生(東京大学大学院総合文化研究科)

宮川 繁(マサチューセッツ工科大学、東京大学)、八木 匡(同志社大学経済学部)

広瀬浩二郎(国立民族学博物館)、辰巳明久(京都市立芸術大学美術学部)など多彩な方にご登壇いただきました

●Cosmology with the Cosmic Microwave Background Light: then and now.

2018年2月7日(水)

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

●国際ワークショップ2018

2018年2月15日(木)– 2月16日(金)

京都大学時計台国際交流ホールⅢ

京都大学未来創成学国際研究ユニットおよび統合複雑系科学国際研究ユニットの共催



●遷移金属元素の固体化合物に関する第21回国際会議

2018年3月25日～29日

ウィーン工科大学(TUW)

吉村一良ユニット代表が3月28日招待講演を行いました

第8回『固体中の電子が示す量子現象、超伝導の研究』

石田 憲二 教授 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

物理学第一分野 固体量子物性研究室

物性物理学分野でノーベル賞を受賞したアンダーソン (PW. Anderson)教授は、論文の中で`More is different.`という文章を記しています。これは「粒子が多く集まれば、個々の粒子からでは予測できない新しい性質が創発される」ことを意味し、物性物理学研究者の精神的支柱になっています。物理学第一分野は物性物理学(物質が示す物理的性質)を研究している部門です。因みに、物理学第二分野では、「物質は何から出来ているのか?」に代表される要素還元論に基づき原子核物理、素粒子物理や宇宙論の研究を行っています。

物理学第一分野にある我々の研究室では、固体中の電子が示す巨視的量子現象である超伝導の研究を行っています。超伝導とは、物質の電気抵抗が低温で突然ゼロになる現象で、強磁場の発生や、電力の貯蔵、送電から量子コンピューターまで多彩な革新的な応用が期待されている物理現象です。我々の研究室では、特に今まで知られている超伝導体とは質的に異なる、新奇な超伝導体の探索や新しい超伝導状態の発見を目指した、超伝導の基礎研究を行っています。

超伝導は、フェルミ粒子である電子が2個でボース粒子とみなせる対状態を作り、その対の量子凝縮状態と理解されます。量子力学では粒子はフェルミ粒子とボース粒子に分類され、フェルミ粒子はスピン角運動量が半整数の粒子、ボース粒子はスピン角運動量が整数の粒子です。わかりやすく言えば、フェルミ粒子は一つ一つ区別がつく粒子、ボース粒子は区別つかない粒子で、偶数のフェルミ粒子は、ボース粒子的な性質を持ちます。また、量子凝縮状態とは一つの波動関数で記述される均一な状態のことで、この状態になると粒子は摩擦を受けることなくいつまでも流れ続けることが出来るようになります。しかし1つのフェルミ粒子だけではこの状態を取ることはできず、電子が超伝導を示すためには2個の電子で対状態を作る必要があり、そのためには電子間のクーロン反発力にうちかつ引力相互作用が必要です。従来の超伝導体では、固体を構成している原子の量子力学的な振動(フォノン)を媒介として電子対が形成されます。また電子はスピンの自由度を持ちますが、従来の超伝導体では反対方向のスピンをもつ2電子(スピン一重項状態)で対が形成されるとしていました。この時、電子対のスピンはゼロとなっています。ところが、原理的には同方向のスピンをもつ2電子(スピン三重項状態)も対を形成することも

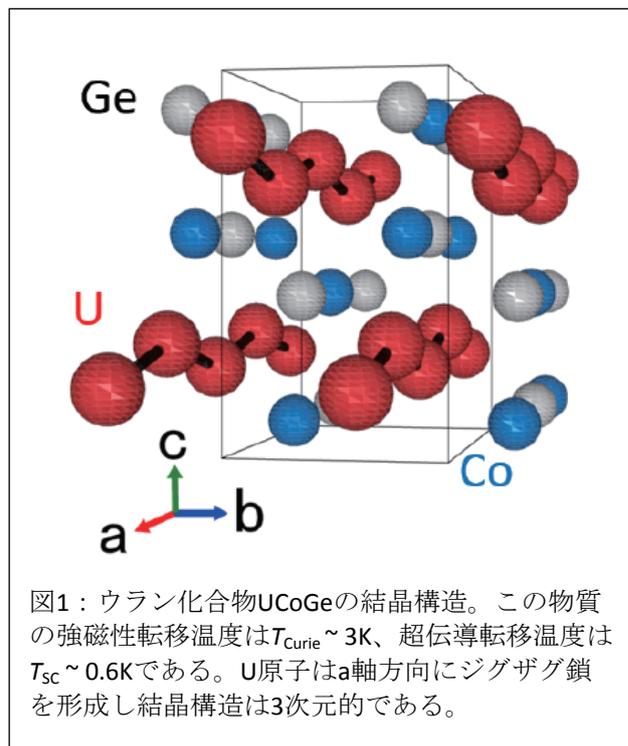


図1：ウラン化合物UCoGeの結晶構造。この物質の強磁性転移温度は $T_{\text{Curie}} \sim 3\text{K}$ 、超伝導転移温度は $T_{\text{SC}} \sim 0.6\text{K}$ である。U原子はa軸方向にジグザグ鎖を形成し結晶構造は3次元的である。

可能で、このスピン三重項対による超伝導状態ではスピンの自由度を持った超伝導状態が期待されます。我々の研究室では、従来の発現機構であるフォノン以外の引力相互作用を媒介とする新奇超伝導体や、スピンの自由度を持ったスピン三重項超伝導体の探索、実験的検証を行ってきています。フォノンは熱振動で壊されてしまうため、一般的には40Kを超える転移温度を持つ超伝導体は実現不可能と考えられてきましたが、フォノン以外の相互作用の場合、相互作用によっては室温超伝導体の可能性も出てきます。またスピン三重項超伝導ではスピンをもつ超伝導体が発見されており、スピン状態を取り扱うことが出来れば、量子コンピューターへの応用も広がります。

このような中、2007年に磁石の性質を持った(強磁性)ウラン化合物の超伝導体(UCoGe)が発見されました(図1参照)。

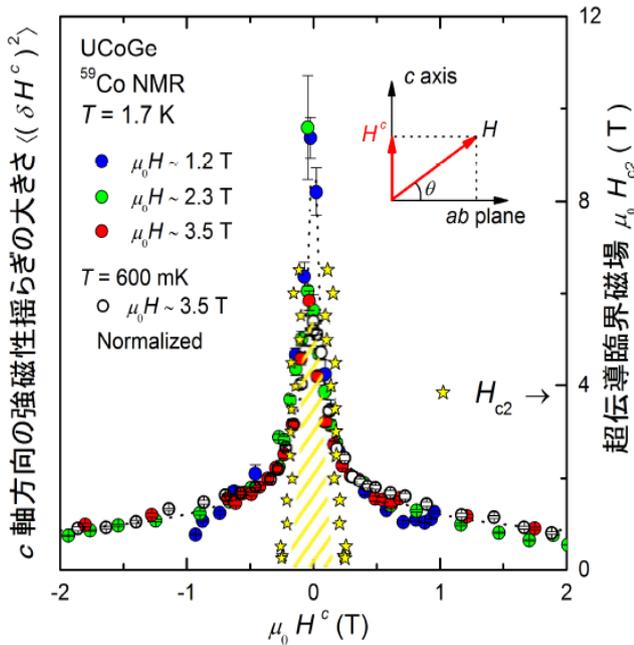


図2：常伝導状態におけるc軸方向の強磁性ゆらぎと超伝導臨界磁場のc軸磁場依存性。強磁性ゆらぎはc軸方向の磁場により抑制されるが、超伝導もこの強磁性ゆらぎが増大している磁場領域でのみ現れている。(T. Hattori, K. Ishida *et al*, Phys. Rev. Lett. 108, 066403 (2012))

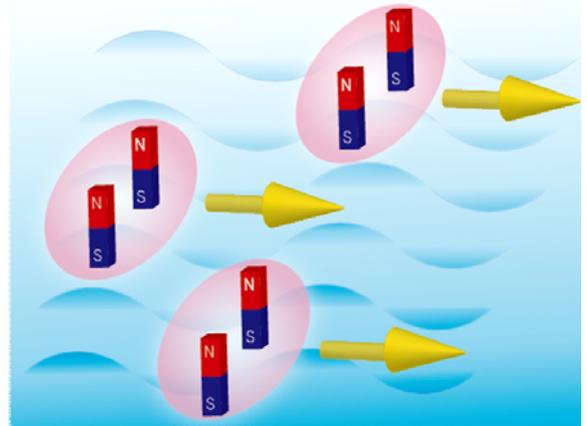


図3：超「磁石」伝導状態の概念図。電子一つ一つが小さな磁石として振る舞い、磁石の向きを揃えながら、超伝導状態になっている。

通常、超伝導体は外からの磁場をその物質の内部に入れない性質があり、したがって超伝導体にある程度強い磁場をかけると超伝導状態は壊れて普通の金属状態に戻ります。つまり通常、超伝導体と磁石は「水」と「油」のように互いを避け合う傾向があります。ところがUCoGeは、それ自体が磁石であるにもかかわらず同時に超伝導も示します。その新奇な超伝導状態の性質と超伝導発現機構の解明が重要な課題となりました。特に、この物質の超伝導と磁石の性質がどのように関わっているのか、つまり磁石の性質は超伝導の邪魔をしているのか否か、磁石の中で起こる超伝導は従来の超伝導とどう違うのか等の興味深い問題が生じました。我々は、角度分解核磁気共鳴という手法を用いて、このウラン化合物に印加した磁場の向きを精密に制御し、この物質の磁気ゆらぎ(電子スピンの向きを自発的に揃えようとする働き)と超伝導が壊れる臨界磁場の大きさとの間に強いプラスの相関があることを見いだしました。磁石としてのUCoGeは、ある方向(c軸方向)に磁化(磁場)が出やすく、それ以外の方向には磁化が出にくい性質があります。我々の実験によると外部磁場がc軸に垂直なときは強い磁気ゆらぎが観測され、これに対して、c軸に平行な方向に磁場を加えると磁気ゆらぎが著しく抑制されることが観測されました(図2参照)。つまりc軸方向の磁場によってこの物質の磁気ゆらぎがコントロールできることを意味しています。さらに超伝導の臨界磁場の測定を行い、まさにこの磁気ゆらぎが強い領域においてのみ臨界磁場の大きな超伝導が実現していることが分かりました(図2参照)。

臨界磁場の大きな超伝導ということは、それだけ超伝導が頑丈であり、電子のペアを結びつける引力が非常に強いことを意味しています。理論研究からは、磁気ゆらぎが

電子ペア形成の引力作用の役割をしているというモデルに基づいた理論計算シミュレーションも行い、得られた実験結果をよく再現することも確認しました。これらの結果は、UCoGeでは、「磁石になろうとする傾向性」が電子対の引力相互作用として働き、超伝導を誘起している重要な証拠を与える結果です。つまり、この物質では「水」と「油」であるはずの磁石と超伝導がマイクロレベルで融和し、磁石の性質によって超伝導が実現しています。磁石と超伝導が共存する物質は、UCoGe以外にもこれまでいくつか発見されていましたが、その磁気ゆらぎと超伝導との積極的な関連について実験的証拠はありませんでした。その意味でウラン化合物UCoGeの研究は、磁石がまさに磁石であるがゆえに超伝導にもなり得るといふ新しい超伝導発現メカニズムを確認したものとと言えます。今回の研究成果は、他の磁石-超伝導共存物質の性質を理解する上でも役に立つばかりではなく、磁気ゆらぎを引力相互作用とする新たな超伝導物質の探索にも重要な指針を与えます。

さらに、この物質では磁石としての性質を担っている電子自体が、その小さな磁石の向きを揃えながらペアを作って超伝導になっていることを示しており超伝導電子対はスピン三重項状態であると考えられます。この状態は小さな磁石の集まりが抵抗なくサラサラと流れる超「磁石」伝導状態ともみなすことが出来(図3参照)、今までのスピン三重項超伝導体では実現されていなかった新しい超伝導状態です。我々のUCoGeの研究によって超伝導の新たな一面が解明され、超伝導が実現する可能性が広がりました。

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: 石田憲二、國府寛司、西村和雄、引原隆士、福山秀直、村瀬雅俊、
 アドバイザー: 上田暁亮(京都大学名誉教授)
 余田 成男(理学研究科教授)

石田 憲二	理学研究科 教授	土居 伸二	工学研究科 教授
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
梶井 厚志	経済研究所 教授	福山 秀直	医学研究科 特任教授
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	矢野 誠	経済研究所 名誉教授
榎木 哲夫	工学研究科 教授	山内 淳	生態学研究センター 教授
杉山 弘	理学研究科 教授	吉村 一良	理学研究科 教授
関口 格	経済研究所 教授	渡辺 宏	化学研究所 教授

* 本年度より 理学研究科の石田憲二先生に新たにご参加いただきました



2018年5月3日に本ユニットのアドバイザーの一人、David Pines先生 (ICAM/Santa Fe 研究所教授) がお亡くなりになりました。謹んでご冥福をお祈りいたします。

→2013年に本ユニットの催しで来日された際の写真です
 (京都大学時計台百周年記念ホールにて)

京都大学学際融合教育研究推進センター

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

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>

