

## ダーウィンのフィンチ

ダーウィンはビーグル号による世界一周の航海の途上、南米沖のガラパゴス諸島に立ち寄り、その島々で多くの未見の動物を発見した。中でもフィンチと呼ばれる小鳥は、嘴のサイズが図のように微妙に異なり、しかもそれぞれが異なる種であることが、帰国後に動物学者の鑑定で判明する。同じような環境に生息しながら、なぜこれほど多くの種が生まれてきたのか。その謎を探ることで、神が自然界の諸物を創造したとする自然神学的な考え方を棄て、進化論の考え方にたどりつくようになる。

今日の自然科学、そして科学と結びついた現代技術の発展には目覚ましいものがあり、科学技術は現代文明の中心的位置を占めるとともに、人間社会に豊かさをもたらしてくれた。その一方で、豊かさの代償として地球規模の環境問題や資源枯渇問題がもたらされ、また、高度な医療技術の発達により生命倫理の問題も引き起こされている。

このような科学技術の進展も、人間の営みである以上、歴史的、社会的、思想的背景を反映したものであり、それらの背景を考察することは、今日大きな影響力をもつ科学技術の現状と将来を考察していく上で不可欠な知見と視点を提供してくれるだろう。このような理念の下で、本大講座では、内外の科学技術の歴史的遺産を学びながら、その哲学的・社会学的考察を深めていこうとする。専任スタッフの研究内容は、数学・自然科学・技術・医療の歴史、東西文明における古代・中世の科学思想史、近代科学の形成と展開、近世近代日本における科学と技術の歴史的発展、現代社会における科学・技術・医療をめぐる諸問題、科学的技術的活動における理論と実践の役割、人工知能や脳科学に見出される身心問題と倫理問題などである。これらの専任スタッフを中軸に、他大講座の自然科学者、総合文化研究科他専攻の人文科学者・社会科学者、そして学内外の関連専門分野の研究者の協力とともに、学際的な教育と研究がなされている。また本大講座は、科学史・科学哲学・科学社会学・技術論などの専門的研究者を養成するだけでなく、すでに実社会の経験をもつ社会人や、アジアをはじめとする海外からの留学生を採用し教育する、社会に開かれた研究教育の場となっている。

## ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- アッパース朝におけるギリシャの学問の存在意義とは何か—論証科学の展開を中心として—
- 十八世紀パリ王立科学アカデミーと「有用な科学」の追求
- 清末中国と明治期の日本における西洋数学の受容
- マインドリーディングの理論とその経験的テスト
- Searle の生物学的自然主義について
- 電子技術総合研究所における走査型トンネル顕微鏡の開発
- 「リスクガバナンス」の射程—技術モデル・民主モデルを超えるために—

## ▼担当教員と専門分野

今井 知正 (科学思想史)	佐々木 力 (科学史)	橋本 毅彦 (科学技術史)
石原 孝二 (科学技術哲学)	信原 幸弘 (科学哲学)	廣野 喜幸 (生命論)
岡本 拓司 (科学技術史)	野矢 茂樹 (科学哲学) (兼任)	村田 純一 (科学哲学)

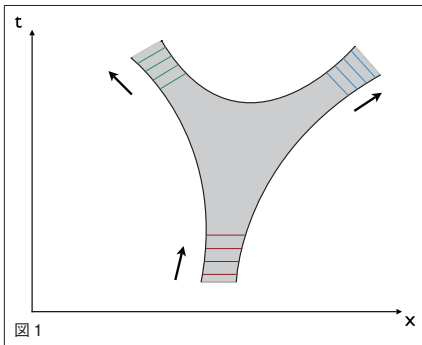


図1

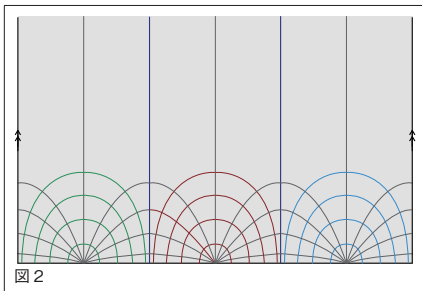


図2

図1：弦理論における3点散乱振幅。場の理論における散乱振幅の摂動論はファインマン図による展開で与えられる。弦理論はファインマン図における粒子を弦に置き換えて得られる散乱振幅の摂動論である。この図は1つの弦（赤）が2つの弦（青と緑）になる過程をあらわしている。

図2：弦の場の理論における3点相互作用項の共形場の理論を用いた記述。弦の場の理論は、弦理論の摂動展開を再現するように構成された理論である。1986年にWittenが構成した弦の場の理論では、弦の左半分と右半部分を貼り合わせて3点相互作用項が作られている。この図は2次元の共形場の理論を用いた3点相互作用項の記述をあらわしている。共形場の理論は等角写像を対称性として持つ理論であり、図1における3つの伝播する弦（赤、青、緑）は図2でそれぞれ対応する色の曲線であらわされている。ここで使われている座標 $\sigma$ は、複素平面での座標 $\zeta$ と $\sigma = \arctan \zeta$ という等角写像で関係付けられており、3点相互作用はこの等角写像によって縦方向に無限に伸びている半直線であらわされた弦の左半分および右半分の貼り合わせによって記述されている。この記述をもとにして近年弦の場の理論の解析解が構成され、弦の場の理論の研究が大きく進展している。

自然界の基本構造や、相互作用の研究は従来、素粒子・原子核・原子・分子・凝縮系といった異なるスケールごとに別々の分野で研究が進められてきた。これに対して、本大講座においては、個々の対象としての研究と同時に、むしろ異なるスケールの系に共通して現れる普遍的な構造や法則に着目することにより、また様々な分野に研究基盤を持つ研究者どうしの協力を押し進める事によって、自然界の相互作用、対称性やその破れ、相転移のダイナミクス等を、場の量子論や統計物理学の手法を用いて総合的・統一的な観点から解明する事をめざしている。

以下、現在の主な研究テーマの一部を挙げる。

- (1) 自然界のあらゆる素粒子と重力を含む全ての相互作用を統一的に記述する究極の理論としての超弦理論の研究,
- (2) 量子重力理論および量子宇宙論,
- (3) 超対称性や双対性, ゲージ対称性, カイラル対称性等, 弦理論・場の量子論における対称性と非摂動効果の研究,
- (4) クォーク・グルーオンの基本理論としての量子色力学に基づくハドロンの構造や相互作用についての非摂動的な研究,
- (5) 有限温度・密度での量子色力学,
- (6) 格子ゲージ理論にもとづく場の量子論の解析的、数値的な研究
- (7) ヘリウムの多孔質媒質中での超流動転移・二次元超流体の渦のダイナミクスなど量子凝縮系の様々な性質の解明,
- (8) 化学反応における原子の動力学, 特に原子の運動がカオスである場合に現れる「ランダム性」の起源・性質の研究等,

### ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- R 電荷が大きい極限における二点関数のホログラフィー
- 非可換 D-brane の境界状態と動力学
- AdS/CFT Correspondence and BPS Geometries in IIB Supergravity
- Wilson フェルミオンを用いたカイラル凝縮の計算
- Gauge Fixing of Nonpolynomial Open Superstring Field Theory
- ブラックホールの熱力学と Kerr/CFT 対応
- AdS 時空中の弦理論と超対称ゲージ理論における散乱振幅の隠れた対称性

### ▼担当教員と専門分野

大川 祐司 (素粒子論)  
風間 洋一 (素粒子論)  
加藤 光裕 (素粒子論)

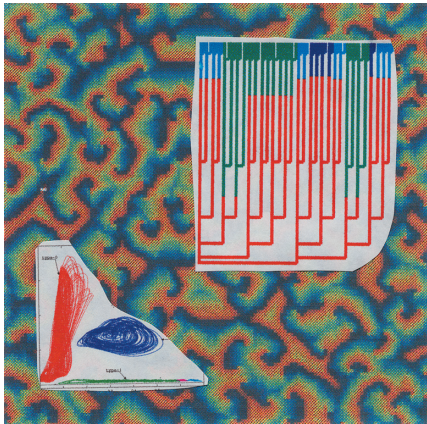
菊川 芳夫 (素粒子論)  
染田 清彦 (理論化学)  
藤井 宏次 (原子核理論)

簗口 友紀 (低次元量子流体)  
米谷 民明 (素粒子論)  
和田 純夫 (素粒子論)

# 大講座紹介

## 複雑系解析学大講座

関連基礎科学系



### 力学系から細胞システムへ

背景：時空カオスのパターン。左下：化学反応の組であらわされる細胞が相互作用した時の化学成分の軌跡がいくつかのタイプへと分化する例。右上：そのようなモデルからあらわされる細胞系譜。

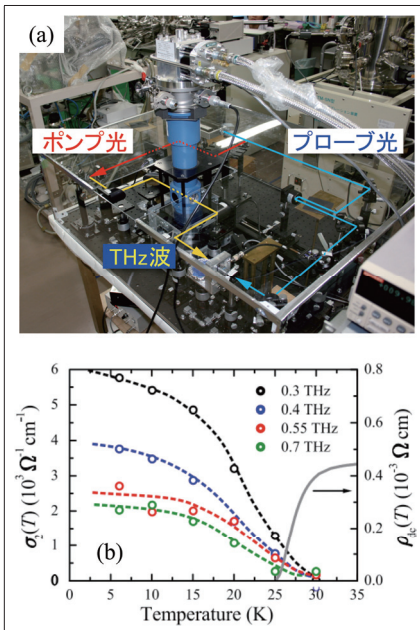
自然の示す複雑さの起源を探り、記述し、これを理解することを目指し研究と教育を行っている。原子核から固体物理、流体、生命系、社会現象までの幅広い分野を対象としているが「複雑な運動や要素間の複雑な関係性をいかに記述し理解するか？」などの問題意識を持って、非線形動力学、統計力学等の手法をふまえて複雑系の諸現象の解明に挑んでいる。非線形系でのカオスについては、特に大自由度のカオスや時空カオスの研究が行われている。分子機械、粉体、乱流、破壊現象等を例にして、現象論的にモデル化し、共通する普遍的な性質を抜きだし解析している。関連して、熱力学というマクロ現象論の古典的理論を操作論的な観点から再定式し広げていく研究も進められている。また、力学系の研究をふまえて脳、進化、発生の構成的理論化がシミュレーションとともに行われており、これは駒場における生命システムをつくる実験と共同して進行中である。一方、量子力学と古典的カオスをつなぐ「量子カオス」の研究についてはランダム行列の理論との関係でも進められており、これは乱雑さを含んだ系の相転移といった物性物理、統計力学研究とも関連している。また、よりミクロなレベルでは原子核やハドロンも有限量子多体系としての量子性と非線形性が顕著に現れる研究対象であり、高エネルギー原子核反応におけるハドロン物質からクォーク物質への相転移などの研究が展開されている。また、非線形系やランダム系でも解ける場合が宝石のように埋まっており、その数理的な構造を統計力学、場の理論、組み合わせ論、表現論等を用いて探ることも活発になされている。

### ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- ハドロン・原子核のカラーガラス凝縮体模型とその非線形量子発展
- クォーク・グルーオンプラズマの輸送理論
- 量子群の結晶基底とソリトンセルオートマトン
- 非対称排他過程のマルコフ行列のスペクトル
- 動的ネットワークにおける自発的構造形成
- 分化、進化、記号化：多成分反応拡散系による構成
- 定常状態熱力学のダイナミクスからの構成
- 細胞分化の動的モデル
- 分子スペクトルからダイナミクスへ：振動波動関数の構築と解釈
- 速いスケールから遅いスケールへの統計的性質の伝搬
- 小さい非平衡系における新しい普遍的関係式
- 非線形レオロジーの微視的理論

### ▼担当教員と専門分野

石原 秀至 (生物物理)	小林未知数 (量子流体理論)	澤井 哲 (生命物理学)
金子 邦彦 (非線形・複雑系現象論)	堺 和光 (統計力学)	氷上 忍 (統計力学)
國場 敦夫 (可積分系)	佐々 真一 (非平衡基礎論)	松井 哲男 (原子核理論)



テラヘルツスペクトロスコピーを利用した高温超伝導体のダイナミックゆらぎの研究  
マイクロ波と可視光の間にあるテラヘルツ領域の電磁波 (0.1-10THz) は、最近基礎・応用両面から非常に注目されており、新しい物質の姿が次々と明らかにされつつある。(a) のような独自に構築した測定系を用いて高温超伝導体の複素電気伝導度の虚部の温度依存性を調べた結果が、(b) である。この結果は、超伝導の前兆現象 (ダイナミックゆらぎ) おこり始める温度が、超伝導転移温度の高々2倍程度であることと明確に示すものである。独自の測定システムでの精密な測定により、初めてこのような物理が解き明かされていくのである。

本大講座では、実験と理論との緊密な連携により物質の構造と物性との関係を明らかにし、そこから新しい機能を引き出すことを目標としている。分子から固体レベルに至る物質の階層に応じて特異的に現れる機能について、その発現機構を解明していくことを目指している。

物質の特異な性質は主に電子のおかれた環境の多様性・複雑性を反映している。特に固体凝縮系を形成したときの機能は、しばしば我々の予測をはるかに越えたものがある。高温超伝導、量子ホール効果などがその典型例である。これらの現象の起源を広い視点から説き明かし、新たな物性科学のパラダイムを見いだすための研究が行われている。具体的には、人工原子による単電子トランジスタ等のメソスコピック系量子現象、低次元伝導物質の特異な輸送現象、酸化物等による高温超伝導やその応用、さらには遷移金属錯体での光による磁性の変化に注目した新しいタイプの記憶素子の研究などがなされている。

また、単核とクラスターの機能を結び付ける新規錯体を合成し、その構造や性質を明らかにすることを通じて原子、分子クラスターの生成、構造さらにその解離機構を明らかにする研究、分子間相互作用の本質の解明に基づき、分子クラスターレベルの機能を解析する研究、反応速度理論の研究、反応に対する磁場効果などから、分子間相互作用の顕著に現れる場合としての化学反応の本質を解明していく研究なども行われている。

### ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- 強磁場中二次元電子系の位相干渉性に関する実験的研究
- Protein G の Unfolding Pathway について
- 梯子型ハイゼンベルグ反強磁性スピン系の不純物と格子変位の効果
- 量子ホール効果状態の崩壊と熱活性化型伝導度
- 熱浴中における調和振動子のポテンシャル揺らぎ
- 高温超伝導体磁束格子系のダイナミクスの研究
- 高周波電磁応答をプローブとした銅酸化物高温超伝導体の混合状態における電子状態の研究
- レニウム担特メソポーラスアルミナを触媒とするオレフィンメタセシス反応の研究

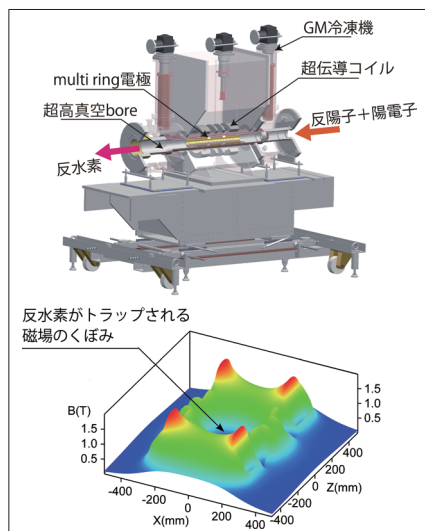
### ▼担当教員と専門分野

今井 良宗 (物性物理学)	小宮山 進 (物性物理学)	前田 京剛 (物性物理学)
榎本 真哉 (物性化学)	酒井 邦嘉 (脳機能解析学)	増井 洋一 (触媒化学)
岡澤 厚 (無機物性化学)	下井 守 (錯体の合成・構造)	村田 滋 (有機光化学)
尾中 篤 (触媒化学)	滝沢 進也 (有機光化学)	森田 昭雄 (理論統計物理化学)
加藤 雄介 (物性物理学)	中島 峻 (半導体量子物性物理学)	吉岡大二郎 (物性物理学)
河野 泰朗 (錯体合成化学)	永田 敬 (クラスター物理化学)	若本 祐一 (生物物理学)
小島 憲道 (無機物性化学)	中西 隆造 (クラスター物理化学)	

# 大講座紹介

## 物質計測学大講座

関連基礎科学系



なぜ私たちの身の回りには反物質がないのだろうか？この謎を解くために反水素原子の精密分光を行うべく、実験装置を整えつつある。CERN（ヨーロッパ原子核研究機構）に建設した CUSP トラップの中には超伝導コイルと multi ring 電極があり、これらが作る強磁場と電場によって反陽子と陽電子を同じ場所に閉じ込めることができる。合成された反水素は、磁場がもっとも弱いトラップの中心付近に閉じ込められる。

計測技術の開発は新しい科学的知見の獲得を可能にし、ひいては新しい自然観をも生み出してきた。本大講座では、計測の基礎から応用に至るまでの実践的な教育・研究を行い、様々な自然現象の底流にある真理を探究するための新しい測定法を開拓・開発することをめざしている。特に、様々なプローブ（光、多価イオン、励起原子、冷却原子、陽電子、反陽子など）を用いた新しい計測法の開発、および極限的な物質状態の計測を行う。また、コンピューターを最大限に活用することにより従来の測定法では生かされなかった情報を引き出す新しい測定法、さらに環境計測の基礎となる概念や技術の創成も行う。具体的な研究内容の一部を以下に挙げる。

- (1) 中性原子気体のレーザー冷却およびボーズ・アインシュタイン凝縮、光共振器による単一原子の観測および制御
- (2) 反応中間体として存在するフリーラジカルやラジカル錯体の分子構造およびそのダイナミクス
- (3) 超高速化学反応の非断熱電子ダイナミクス、分子のダイナミクスに付随するカオスとその量子化の理論および半古典力学の展開、クラスターの集団運動と量子動力学
- (4) 陽電子と固体の電子や格子欠陥の相互作用、ポジトロニウムと気体分子の反応
- (5) 超低速反陽子ビームによる反水素原子・反陽子原子の生成と高分解能分光による CPT 対称性の研究、低速不安定原子核ビーム生成と核構造研究、各種荷電粒子のナノビーム化とその微細加工、生細胞研究等への応用
- (6) 特異な機能を有するナノ物質系の合成と高速解析

### ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- パルス放電ノズルにより超音速ジェット中に生成される不安定分子種の分光学的研究
- C<sub>3</sub>N および SiNSi ラジカルの電子構造および振電相互作用に関する分光学的研究
- コンビナトリアルケミストリーによる反応活性を有する多元素クラスターの超高速解析
- 構造転移を伴う原子クラスターからの蒸発過程に関する統計理論
- 集団的コヒーレント相互作用によるニューラルネットワーク
- 超放射ラマン散乱を用いた光と物質波のコヒーレント制御
- 高性能ボーズ凝縮体生成装置の開発
- 単一原子検出に向けたフォトリック結晶微小共振器の開発
- ハロゲン化メタン気体中におけるオルソ・ポジトロニウムの消滅率
- 高周波イオンガイドを用いた不安定ベリリウム同位体の精密レーザー分光
- 超低速反陽子の操作と原子衝突への適用

### ▼担当教員と専門分野

青木 貴稔 (原子物理学)	住吉 吉英 (分子分光)	松田 恭幸 (エキゾチック原子物理)
遠藤 泰樹 (分子分光)	高塚 和夫 (理論分子科学)	真船 文隆 (分子物理化学)
久我 隆弘 (量子光学)	高橋 聡 (理論分子科学)	宮島 謙 (分子物理化学)
黒田 直史 (原子物理学・原子衝突)	鳥井 寿夫 (原子物理学)	山崎 泰規 (粒子線物理学)
齋藤 文修 (物性物理学)	鳥居 寛之 (原子衝突)	吉川 豊 (量子エレクトロニクス)
澁谷 憲悟 (陽電子物理学)	兵頭 俊夫 (物性物理学)	



強い磁場下では、リン脂質からなるベシクルチューブは、磁場に平行に配向する。チューブと拮抗する磁場配向性を持つコラーゲンを封入すると、磁場の効果が抑えられ、チューブの曲げの効果が顕在化し、“エラストイカ”と呼ばれる奇妙な曲線構造が産み出される。

人間社会の高度な発展を支えるには、将来のニーズに応える新物質を常に設計・創造していく必要がある。一方でこれらの物質と自然環境や人間社会との関わりについての深い洞察が求められている。本大講座では、物性理論、物性物理、表面科学、物性化学、有機・無機合成を専門とする研究者が集結し、上記の方向に沿った研究と次世代のマテリアルサイエンスを担いうる人材の育成に努めている。以下に大講座がここ数年間行ってきた主な研究テーマや成果を紹介する。

- (1) 物質構造を高圧によって自由に制御することによる分子性導体の超伝導や特異な電子状態の制御と新規電子物性の解明
- (2) 非平衡定常状態にある量子多体系の応答関数に、普遍的な法則があることを発見。
- (3) 高次機能を示す分子システム・金ナノ粒子と分子ワイヤーからなるネットワーク回路・ベシクルを用いた人工細胞モデル
- (4)  $\text{He}^*(2^3\text{S})$  などの準安定原子を利用した新しい電子放射顕微鏡の開発および新規な表面電子物性・表面反応を探索
- (5) 有機物質の多様な性質を分子レベルで統一的に理解することを目指した結晶中の有機分子の運動および反応機構の解明
- (6) 金属錯体をホストとする包接化合物の研究。新規ホスト開発、機能性物質への展開、ゲスト分子運動とその配向挙動など。
- (7) 半導体中の電子と輻射場の相互作用の設計・制御。Siにおける光増幅、超高効率 Si ベース LED 等。結晶成長ほか量子効果の探索的研究
- (8) 計算機シミュレーション方法の開発とその応用による物質特性の研究（ランダムな磁性体の相転移現象とその非平衡緩和現象の解明等）
- (9) 光、熱、圧力、蒸気等周りの環境・刺激に応答して電子が入りたり配位構造が変化したりして物性や機能を変える金属錯体の創成
- (10) 分子集合体の生命様ダイナミクスの創成とその機構解明。例えば、自己増殖や自律遊走する有機構造体

### ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- Molecular dynamics simulation of nonequilibrium steady states of electrical conductors
- 半導体ナノテクノロジーによる電磁波輻射過程とキャリアダイナミクスの精密制御
- 一軸性ひずみによる擬二次元有機導体  $\alpha\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{MHg(SCN)}_4$  [ $\text{M}=\text{K}, \text{NH}_4$ ] の電子物性制御
- Analysis on Membrane Dynamics of Giant Vesicles
- 準安定原子電子分光による有機-金属界面の局所電子状態の観測
- サリチリデンアニリン類のクロミズム
- Hofmann 型および関連包接体における 1,4-ジオキサゲストの分子運動
- 長鎖アルキル基の導入によるハロゲン架橋一次元混合原子価白金錯体の構造制御と新規物性
- 彩色問題の有限温度への拡張と相転移現象
- TTF 系スピン分極ドナーを用いた有機磁性-導電性共存系
- 内封 DNA の自己複製と連動するベシクル自己生産系

### ▼担当教員と専門分野

青木 優 (固体表面科学)	菅原 正 (分子機能化学)	深津 晋 (固体量子物性)
内田さやか (無機固体化学)	鈴木健太郎 (有機物理化学)	福島 孝治 (物性理論・統計物理)
小川桂一郎 (有機結晶化学)	豊田 太郎 (生命有機化学)	増田 茂 (固体表面科学)
近藤 隆祐 (電子物性)	錦織 紳一 (包接集合体化学)	安武 裕輔 (表面物性)
清水 明 (量子物理学・物性基礎論)	原田 潤 (有機結晶化学)	依光 朋宏 (生化学)