



リービッヒの有機分析用実験装置（リービッヒ博物館（ドイツ、ギーゼン））

リービッヒは、それまでの試料を燃焼して気体体積の測定による成分分析法に代わって、重量測定によって成分分析する実験法を発明した。図の装置は、ガラス球に水酸化カリウムが入っており、それが炭酸ガスを吸収することによる増加重量を秤量する。比較的簡単な操作で精度の高い分析が可能になることで、多種多様な有機物質に学生たちも参加し、研究室は19世紀後半の有機化学研究のメッカになっていった。

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、科学技術はいまや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きた。しかしその一方で、その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よう。

このような理念の下で、本大講座では、内外の諸科学・諸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

- アリストテレスにおける行為の概念について
- プロクロスの『ユークリッド原論注釈』における哲学と数学
- 17世紀における地球論の発生と展開
- 東アジアにおける科学啓蒙思想の形成と展開
- 日本の天然記念物制度の設立と博物学
- デヴィッド・ルイスの規約概念の検討
- フランス生命倫理三法の形成過程

### ▼担当教員と専門分野

今井 知正（科学思想史）  
岡本 拓司（科学史）  
佐々木 力（科学史）

信原 幸弘（科学哲学）  
野矢 茂樹（科学哲学）  
橋本 毅彦（科学技術史）

廣野 喜幸（生命論）  
村田 純一（科学哲学）

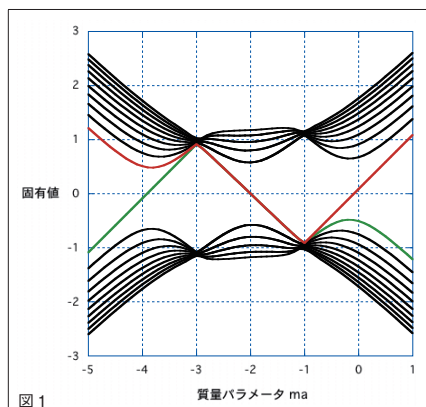


図 1

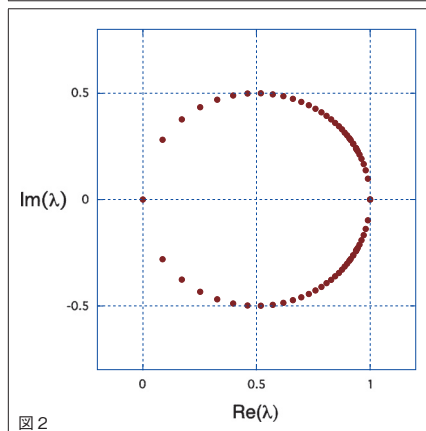


図 2

#### 格子ゲージ理論における指数定理

図 1: トポロジカルチャージ  $Q=1$  をもつゲージ場 (インスタントン) を背景場とするエルミート Wilson-Dirac 演算子  $H_w$  の固有値を、質量パラメータ  $ma$  の関数としてプロットしたもの.  $-2 < ma < 0$  のとき,  $H_w$  のスペクトル非対称性  $-1/2 \text{Tr} [H_w / \sqrt{H_w^2}]$  がトポロジカルチャージ  $Q$  を正しく再現している.

図 2: overlap Dirac 演算子  $D := 1/2a [1 + \gamma_5 H_w / \sqrt{H_w^2}]$  の固有値  $\lambda$  の分布を示す. ゼロ固有値をもつ固有状態 (ゼロモード) が 1 つ現れている. overlap Dirac 演算子は Ginsparg-Wilson 関係式  $D\gamma_5 + \gamma_5 D = 2aD\gamma_5 D$  を満たすため, ゼロモードはカイラル演算子  $\gamma_5$  の固有状態になる. そのため指数  $\text{Index}(D) = n_+ - n_-$  ( $n_{\pm}$  は  $\gamma_5$  固有値  $\pm 1$  のゼロモードの数) が定義可能になる. 一方, カイラルノマリーは,  $H_w$  のスペクトル非対称性に等しく, トポロジカルチャージに等しい:  $\text{Tr}[\gamma_5(1-aD)] = -1/2 \text{Tr} [H_w / \sqrt{H_w^2}] = Q$ . 両者の間には,  $\text{Index}(D) = \text{Tr}[\gamma_5(1-aD)]$  という関係があり, Index 定理が厳密に成立している.

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, 相転移のダイナミックス等を, 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) 超対称性や双対性等, 場の量子論・弦理論における非摂動効果や対称性の研究,
- (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構造や相互作用についての非摂動論的研究,
- (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ッ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的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

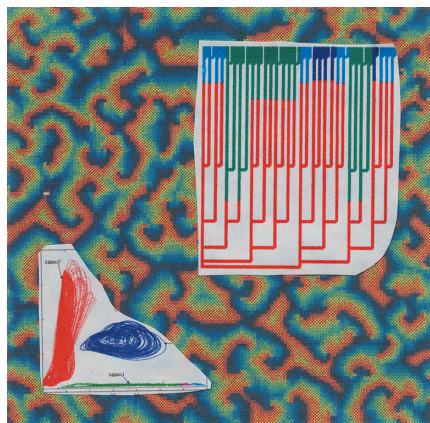
- 非可換 D-brane の境界状態と動力学
- 超弦理論のピュアスピノール形式
- AdS/CFT 対応とその PP-wave 極限におけるホログラフィー
- pp-wave 近似による AdS/CFT 対応のホログラフィー: 近似に依らない解析を目指した枠組みによる場の再定義不変な結果
- 弦の場の理論の解析解に基づくタキオン凝縮の解析
- トポロジカルストリングとそのブラックホール物理への応用
- ゲージ/重力対応における 1/2 BPS セクターの構造

#### ▼担当教員と専門分野

太田 浩一 (原子核理論)  
 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)  
 橋本 幸士 (素粒子論)  
 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)



## 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。

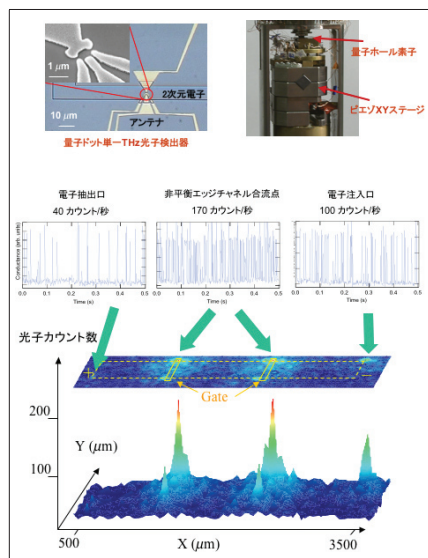
## ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- 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
- 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

猪野 和住（物性理論）	堺 和光（統計力学）	松井 哲男（原子核理論）
金子 邦彦（非線形・複雑系現象論）	佐々 真一（非平衡基礎論）	
國場 敦夫（非線形解析学）	氷上 忍（統計力学）	





単一テラヘルツ光子計測で見る量子ホール素子中の非平衡電子分布

強磁場中2次元電子は低温でその運動エネルギーが量子化され、さらにある条件が整えば縦抵抗ゼロでかつホール抵抗が量子化される（量子ホール効果）。光子検出器を使って量子ホール素子を高感度に顕微鏡観察すると、ある状況下では局所的にテラヘルツ光子が放出されることがわかった。この単一テラヘルツ光子計測により、電気抵抗測定では得られない多彩な非平衡電子ダイナミクス（電流端子における電子注入や非平衡エッジチャネルによる反転分布形成）などを明らかにしている。

本大講座では、理論と実験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ー等のメゾ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、酸化物による高温超伝導、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

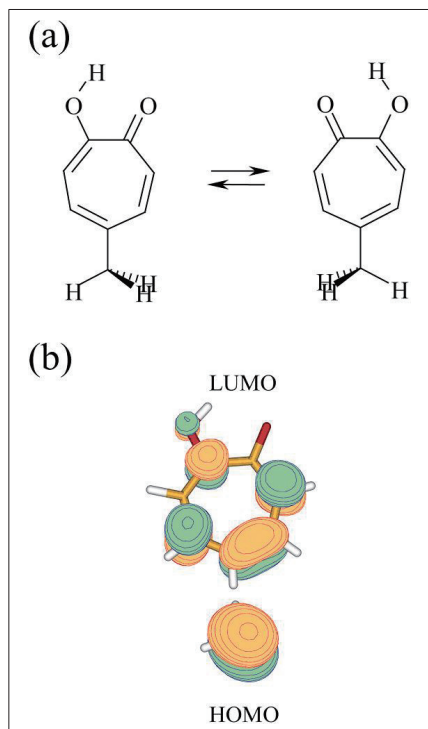
## ▼担当教員と専門分野

生嶋 健司 (物性物理学)	北野 晴久 (物性物理学)	中西 隆造 (クラスター物理化学)
伊藤 健吾 (物理化学)	小島 憲道 (無機物性化学)	前田 京剛 (物性物理学)
植田 直志 (分子物理学)	小宮山 進 (物性物理学)	増井 洋一 (触媒化学)
榎本 真哉 (物性化学)	酒井 邦嘉 (脳機能解析学)	武藤 牧子 (脳機能解析学)
尾中 篤 (触媒化学)	下井 守 (錯体の合成・構造)	村田 滋 (有機光化学)
加藤 雄介 (物性物理学)	鳥海 弥和 (分子分光學)	森田 昭雄 (理論統計物理化学)
河野 泰朗 (錯体合成化学)	永田 敬 (クラスター物理化学)	吉岡大二郎 (物性物理学)

# 大講座紹介

## 物質計測学大講座

関連基礎科学系



5 メチルトロポロンにおける化学的長距離相互作用

5-メチルトロポロン（図 a）を第一原理分子動力学法で調べたところ、上端にあるプロトンが左から右へと移動すると（プロトン移動）、遠く下端にあるメチル基が回転することが分かった。これは、プロトン移動に引き続いて起こる七員環骨格の互変異性化反応によって二重結合の位置が変化するため、超共役でその配向を安定させていたメチル基が不安定になり、その回転が誘発されるためである（図 b）。このような化学的長距離相互作用を利用して、いわゆる分子機械を構成することができるようになるかもしれない。

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しき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
- (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、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物理的、化学的微細加工、生細胞のナノサージェリー等への応用
- (6) レーザー多光子過程を用いたナノ物質系の構造制御と構造解析

### ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

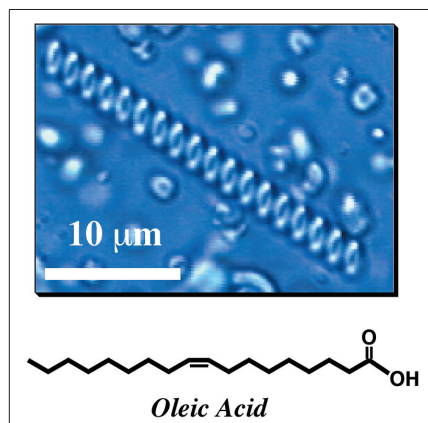
- Precision Laser Spectroscopy of Beryllium Unstable Isotope Using RF Ion Guide System
- 高強度レーザー場による原子の多重イオン化：運動量分光によるアプローチ
- A semiclassical study on the validity range of the Born-Oppenheimer approximation
- Semiclassical Quantization of Chaotic Systems Using Approximate Periodic Orbits
- Spectroscopic studies of Free Radicals with Internal Rotation of a Methyl Group
- 単一原子観測のための高 Q 値光微小共振器の開発
- 陽電子消滅寿命 - 運動量相関測定法による鉛の原子空孔生成エネルギーの測定
- クラスターの蒸発に関する統計反応理論
- 液体表面分子の溶媒和構造と反応の解明

### ▼担当教員と専門分野

牛山 浩 (理論分子科学)  
 遠藤 泰樹 (分子分光学)  
 久我 隆弘 (量子光学)  
 齋藤 晴雄 (物性物理学)  
 齋藤 文修 (物性物理学)

住吉 吉英 (分子分光学)  
 高塚 和夫 (理論分子科学)  
 鳥井 寿夫 (原子物理学)  
 鳥居 寛之 (原子衝突)  
 兵頭 俊夫 (物性物理学)

真船 文隆 (分子物理化学)  
 宮島 謙 (分子物理化学)  
 山崎 泰規 (粒子線物理学)  
 吉川 豊 (量子エレクトロニクス)



天然に存在する長鎖脂肪酸であるオレイン酸は、それ自身分子内にキラリティーを持たないが、特定の pH においてはミクロスケールの螺旋状構造体へ自己集合する。この構造体は可動性を有しており、螺旋の巻き直し等のダイナミクスを示す。

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え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) 物質構造を高压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) 有限マクロ系の異常な量子状態について、一般論を構築し、相転移や量子計算機などで重要な役割を演じていることを解明。
- (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・ジャイアント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

### ▼博士論文・修士論文の主なテーマ

- ノイズ下における Shor のアルゴリズムの安定性
- 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
- メタステーブル原子電子分光による Ni 単結晶上吸着子の電子状態
- 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-ジオキサンの分子運動
- 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
- スピン自由度を導入した格子ガスモデルの相転移

### ▼担当教員と専門分野

青木 優 (固体表面科学)	清水 明 (量子物理学・物性理論)	福島 孝治 (物性理論・統計物理)
小川桂一郎 (有機結晶化学)	菅原 正 (分子機能化学)	増田 茂 (固体表面科学)
鹿児島誠一 (電子物性、超伝導)	錦織 紳一 (包接集合体化学)	松下 信之 (錯体化学・物性化学)
川本 清 (表面物性)	原田 潤 (有機結晶化学)	松下未知雄 (有機物性化学)
近藤 隆祐 (電子物性)	深津 晋 (固体量子物性)	