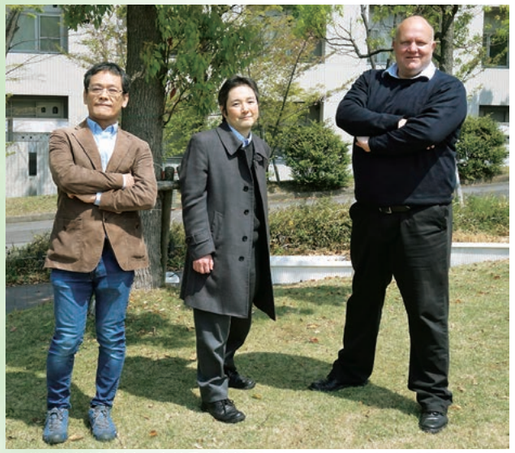
Sc 研究室

物性理論研究室
凝縮系理論グループ



紺谷浩教授（左），小林晃人准教授（中），John Wojdylo G30教授（右）

*紺谷　浩　教授　*Hiroshi KONTANI, Prof.*
小林晃人　准教授　*Akito KOBAYASHI, Assoc. Prof.*
大成誠一郎　准教授　*Seiichiro ONARI, Assoc. Prof.*
山川洋一　講師　*Youichi YAMAKAWA, Lecturer*
John Wojdylo G30教授　*John WOJDYLO, G30 Prof.*

凝縮系物理とは？

我々の身の回りの物質は，無数の原子や電子から構成される多粒子系です．物質が織りなす豊かな物理現象は，少数粒子の運動を詳しく調べても理解できません．量子力学に従う“無数の粒子”が相互作用するとき，予想を超えた”物質固有の新たな物理現象”が発現するからです．典型例として，超伝導現象や磁性秩序などの多彩な相転移現象や自己組織化が挙げられます．これらの研究は“凝縮系物理”と呼ばれ，世界中で活発に研究されている広大な研究分野です．私たちは，続々と発見される物質固有の非自明な物理法則を，理論的に解明する研究に取り組んでいます．ダイヤグラムの理論や繰り込み群理論など様々な場の理論を駆使し，物質の普遍性と多様性の両面を追求する研究を推進しています．現在私たちが興味を持って取り組んでいる研究テーマの一部を紹介します．

http://www.s.phys.nagoya-u.ac.jp/

*連絡先　kon@s.phys.nagoya-u.ac.jp

教授：1／G30教授：1／准教授：2／講師：1／DC：2／MC：9

山川洋一講師（左），大成誠一郎准教授（右）

非従来型超伝導

我々の身の回りでは摩擦は必ず有限ですが，金属中の電子が超伝導状態になると，電子が摩擦なく運動して電気抵抗が完全にゼロになります．超伝導現象は1911年に発見されて以来一世紀以上に渡って研究者を魅了し続けています．超伝導は2つの電子が対状態（クーパー対）を組むことで発現します．電子間のクーロン斥力によりクーパー対が生じる非従来型超伝導体では，バラエティー豊かな超伝導が実現し，現代物理学の中心課題の一つになっています．

私たちの研究室では，銅酸化物高温超伝導体（Tc<160K）や鉄系高温超伝導体（Tc＝60K ～100K）などの高温超伝導体の理論研究に取り組んでいます．私たちは遷移金属が有するd電子の軌道の自由度に着目し，軌道自由度の量子力学的な揺らぎが発達するとき超伝導が起きることを明らかにしました．この理論は鉄系高温超伝導体をはじめ，多くの超伝導体に適用されています．また高温超伝導体では，超伝導に拮抗するように「電子液晶」と呼ばれる量子効果が本質のエキゾティックな秩序状態が出現し，新たに注目を集めていますが，その理論研究を先導しています．

強相関電子系の理論

鉄系および銅酸化物高温超伝導体などの遷移金属化合物では，伝導電子間に強いクーロン相互作用が働くことから，強相関電子系と呼ばれます．強い量子効果とクーロン相互作用が協奏する強相関電子系は，高温超伝導をはじめ新規物性現象や新機能創発の宝庫ですが，その理論的解明は容易ではありません．そこで私たちの研究室では，場の理論に基づく計算手法を積極的に開発しています．例えば，電気抵抗やホール係数などの輸送現象の理論を，線形応答理論（中野・久保公式）に基づき研究しています．最近では，K. G. Wilson（1982年ノーベル賞）

Sc研究室一同

により開発された繰り込み群理論を電子系に適用して，非従来型超伝導の研究や，電子液晶など電子の自己組織化の研究を行っています．

固体中のディラック電子

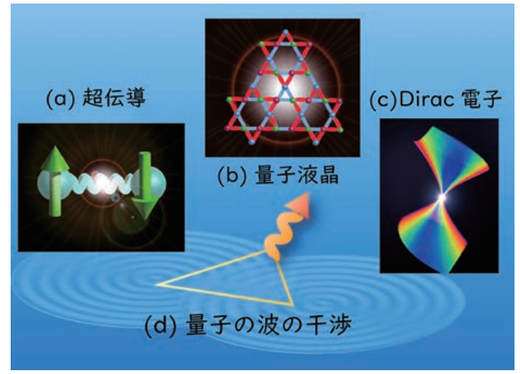
真空中の電子は決まった静止質量を持っています．しかし固体中では量子力学的な干渉効果により，電子は様々な種類の粒子に生まれ変わります（準粒子）．とりわけ，グラフェン（2010年ノーベル賞）・有機導体・ビスマスなどで実現する，質量が殆どゼロの準粒子は「ディラック電子」と呼ばれ，その新奇な物性が世界中で注目を集めています．中でもディラック電子が不純物をすり抜ける量子輸送現象，巨大な反磁性，半整数量子ホール効果，物質の端に現れるエッジ状態などが盛んに研究されてきました．最近では，ディラック電子の間に働くクーロン相互作用の生み出す奇妙なスピン揺らぎが新たな注目を集めています．このような固体中のディラック電子の研究を通して魅力的な物性物理の開拓に取り組みます．

大学院の教育・研究方針

以上説明した研究テーマは互いに密接に関連しています．そのため研究室のセミナーやコロキウム，研究室の夏の学校などの教育・研究活動を，研究室全体で行っています．大学院生は入学後間もなく，各自の希望で研究テーマを決めて，研究室の輪講（凝縮系の場の理論に関する教科書）と並行して，研究活動を開始します．私たちの研究室では博士課程前期から学会等で研究成果を発表することを推奨し，博士課程後期の学生には国際会議への積極的な参加を推奨しています．詳しくは，研究室のウェブページを参照してください．

最近の博士論文

2021年度：「強相関電子系における表面誘起量子臨界現象の理論」



(a) 超伝導：電子がクーパー対を組むことで電気抵抗がゼロになる．
(b) 相転移：電子の自己組織化（量子液晶）であるダビデ星模様．
(c) Dirac電子：有機導体中の質量ゼロの新粒子（運動量空間）．
(d) 量子干渉：量子液晶の普遍原理．高温超伝導の起源にもなる．

「有機ディラック電子系α-(BEDT-TTF)2I3およびα-(BEDT-TSeF)2I3における電子相関と輸送現象」

2020年度：「銅酸化物高温超伝導体における電子相関に由来する電子ネマティック秩序」

2019年度：「多極子揺らぎ誘起の超伝導及び多極子秩序相の理論研究：多体効果及びスピン軌道相互作用の重要性」

2018年度：「鉄系超伝導体における超伝導ギャップ構造及びペアリング機構の理論研究」

2017年度：「有機ディラック電子系のスピン感受率におけるクーロン相互作用の効果」

最近の修士論文

2022年度：「ツイスト二層グラフェンにおける輸送現象の理論」
「カゴメ金属AV3Sb5（A=Cs, Rb, K）における多重相転移の理論：Ginzburg-Landau理論による解析」
「二層系銅酸化物超伝導体の電荷秩序の研究：面間結合および高次多体効果」

メッセージ

Sc研では研究活動において「日々の議論」を最重要視しています．研究室の教員や大学院生間の日常的な議論を通じて，研究の楽しさを実感して下さい．仲間と議論を積み重ねながら，紙と鉛筆とコンピューターを駆使して「真実」の第一発見者となる至福の体験を重ねつつ，皆さんとともに私たち教員も成長したいと願っています．