

平成17-21年度 文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」

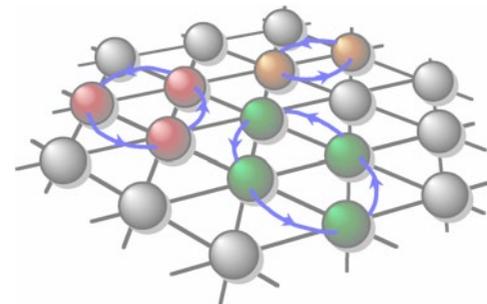
# スーパークリーン物質で実現する 新しい量子相の物理

研究目的:

超純粋(スーパークリーン)物質の低温極限における  
新奇的な量子相を探求し、それらの背後にある普遍的な  
新しい物理概念を創出する。

領域代表者

東大院理 福山 寛



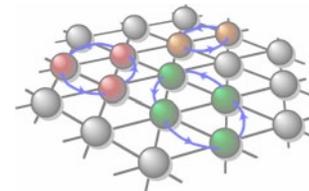
# 20世紀の低温物理学 新概念創出型の基礎科学

- 1930—超流動 $^4\text{He}$ ・超伝導の研究 → 巨視的量子現象 (量子渦, ジョセフソン効果) → 応用
- 1972—超流動 $^3\text{He}$ の発見 → p波スピン3重項BCS状態 → 高温超伝導
- 1978— $^4\text{He}$ 薄膜の超流動 → コスタリッツ・サウレス転移
- 1995—中性原子気体BEC → ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC)

## 低温物理学に関連したノーベル物理学賞

- 1913 H. Kamerlingh Onnes **25名／177名 (2005年まで)**
- 1962 L.D. Landau
- 1972 J. Bardeen, L.N. Cooper and J.R. Schrieffer
- 1973 I. Giaever and B.D. Josephson
- 1978 P.L. Kapitza
- 1996 D.M. Lee, **D.D. Osheroff\*** and R.C. Richardson
- 2001 E.A. Cornell, W. Ketterle and C.E. Wieman
- 2003 A.A. Abrikosov, V.L. Ginzburg and **A.J. Leggett\***

\*) 本領域評価者



# 本領域発足の基礎となった最近の研究

1994— $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ の超伝導の発見

Y. Maeno et al., Nature **372**, 532

1997—2次元 $^3\text{He}$ の量子スピン液体状態の発見

K. Ishida, H. Fukuyama et al., Phys. Rev. Lett. **79**, 3451

2004—世界最高速の回転核断熱消磁冷凍機の完成

R. Ishiguro, O. Ishikawa, Y. Sasaki, M. Kubota, H. Ishimoto et al., Phys. Rev. Lett. **93**, 125301

2004—内部自由度をもつBECの実現

T. Kuwamoto, T. Hirano et al., Phys. Rev. A **69**, 063604

2004—ナノHeの実現

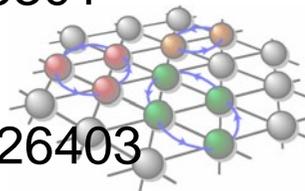
K. Yamamoto, K. Shirahama et al., Phys. Rev. Lett. **93**, 075302

2005—1次元量子流体の実現

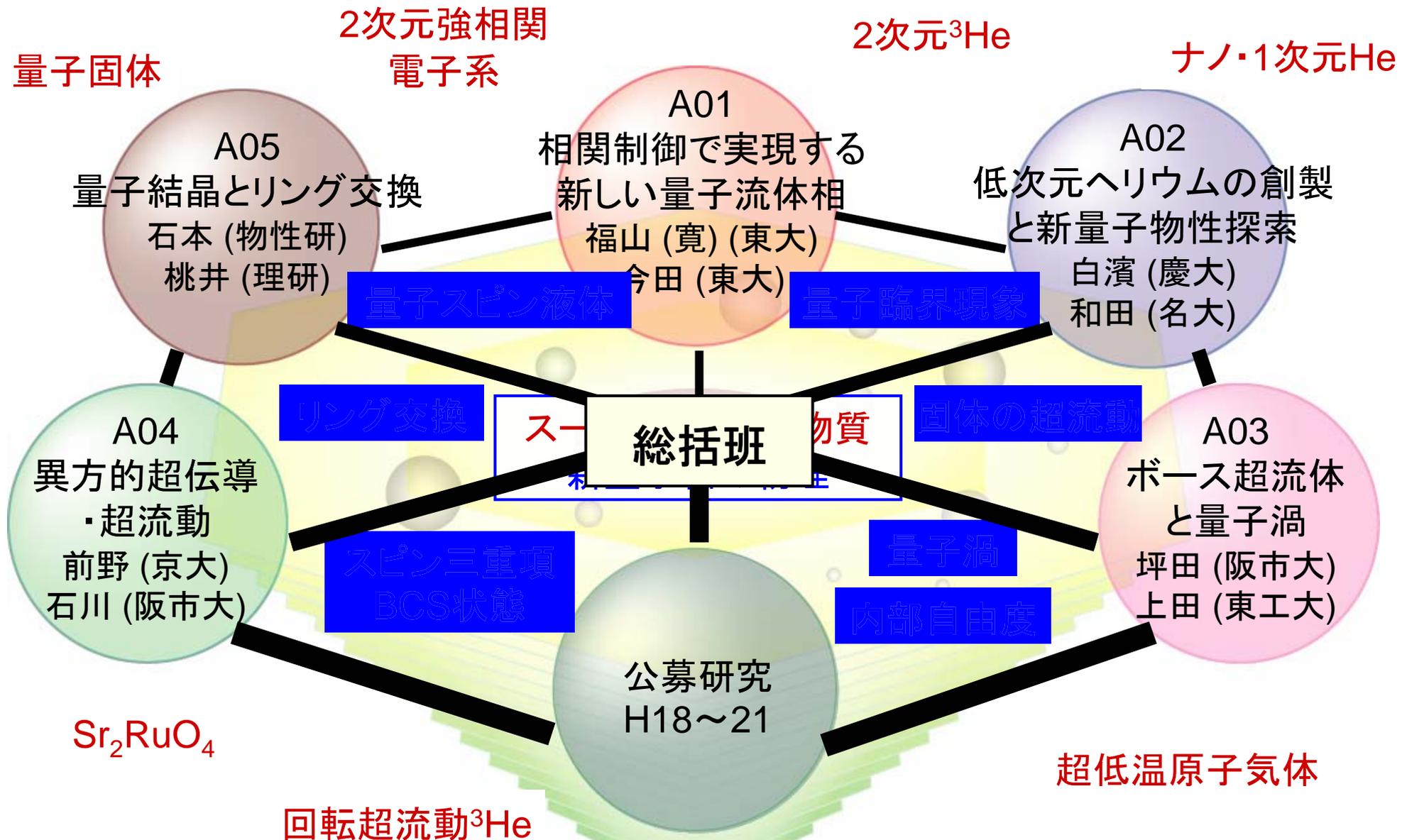
J. Taniguchi, N. Wada et al., Phys. Rev. Lett. **94**, 065301

2005—超低温走査トンネル顕微鏡の完成

T. Matsui, H. Fukuyama et al., Phys. Rev. Lett. **94**, 226403



# 分野を横断した研究組織



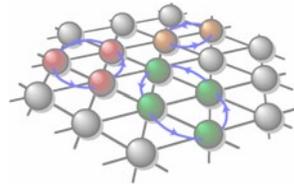
# 本領域で創出をめざす新概念の例

2005年

## 21世紀の スーパークリーン物質

- 新奇な量子相が実現
- 粒子相関・次元性の精密制御性

- 2次元 $^3\text{He}$
- ナノHe
- $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ , 超流動 $^3\text{He}$
- 内部自由度をもつBEC



本  
特  
定  
領  
域  
研  
究

2008年

- スピンの量子液体状態 (A01,A05)
- 超流体の空間制御が生む新量子相 (A01,A02)
- 量子渦が解き明かす乱流メカニズム (A03,A04)
- スピン3重項超流体 (A03,A04,A05)
- 3・4粒子束縛がつくる超流体 (A01,A03,A04)

2009年— 新しい「量子相物理学」の誕生

多体系の量子状態

# 計画班 (その1)

## A01班 相関制御で実現する新しい量子流体相

ア: 2次元ヘリウムの量子物性

- \*福山 寛 (東大院理)
- 小形 正男 (東大院理)
- 森下 將史 (筑波大院数理物質科学)

イ: 量子臨界点近傍に現れる新規量子現象の解明

- \*今田 正俊 (東大物性研)
- 鹿野田 一司 (東大院工)
- 中辻 知 (京大院理)
- 求 幸年 (理研)
- 渡辺 真仁 (東大物性研)

\*研究代表者

## A02班 低次元ヘリウムの創製と新量子物性探索

ウ: ヘリウムナノ構造における新しい量子多体現象

- \*白濱 圭也 (慶大理工)
- 鈴木 勝 (電気通信大電気通信)
- 柴山 義行 (慶大理工)

エ: 1次元ボースおよびフェルミ流体の量子物性

- \*和田 信雄 (名大院理)
- 平島 大 (名大院理)
- 松下 琢 (名大院理)
- 檜枝 光憲 (名大院理)

# 計画班 (その2)

## A03班 ボース超流体と量子渦

才: 量子渦の物理と新しい超流動乱流の研究

\*坪田 誠 (阪市大院理)

畑 徹 (阪市大院理)

矢野 英雄 (阪市大院理)

力: 内部自由度を持つ原子気体の超流動性

\*上田 正仁 (東工大院理工)

平野 琢也 (学習院大理)

斎藤 弘樹 (東工大院理工)

桑本 剛 (学習院大理)

## A04班 異方的超伝導・超流動

キ: 異方的超伝導に特有の新量子現象

\*前野 悦輝 (京大国際融合創造セ)

三宅 和正 (阪大院基礎工)

石田 憲二 (京大院理)

田仲 由喜夫 (名大院工)

神原 浩 (東大院理)

ク: 超流動ヘリウム3の異方的秩序変数とその制御

\*石川 修六 (阪市大院理)

久保田 実 (東大物性研)

永井 克彦 (広大総合科学)

# 計画班 (その3) および 公募班

## A05班 量子結晶とリング交換

ケ: 量子固体の磁性と結晶制御

- \*石本 英彦 (東大物性研)
- 奥田 雄一 (東工大院理工)
- 佐々木 豊 (京大低温物質科学研究セ)
- 山口 明 (東大物性研)

コ: リング交換が生む新奇な磁性状態の解明

- \*桃井 勉 (理研)
- 久保 健 (青山学院大理工)
- 宮下 精二 (東大院理)
- 常次 宏一 (京大基研)

## 公募研究

第1期: 平成18-19年度

第2期: 平成20-21年度

それぞれ実験研究8件程度、  
理論研究20件程度

# 審査に係る意見

本研究は、液体・固体ヘリウム、アルカリ原子気体BEC状態、ルテニウム酸化物などを超純粋（スーパークリーン）物質と捉え、新たな量子相を系統的に探求する事を通してその背後にある新規な物理概念を創出することを目的としている。研究組織は、世界をリードする若手研究者により構成されており、その目指すところは先進的かつ挑戦的であり大きな成果が期待できる。

対象とする物質が、ヘリウム、分子性結晶、酸化物と多岐に渡ることから、各研究の発散を危惧するという意見も出たが、「スーパークリーン物質での量子相」という概念を領域全体で明確に共有することにより、従来の枠を乗り越えた新しい有機的な連携が生まれることを期待する。

# 総括班

## 領域代表者

福山 寛(東大院理)

### 実施グループ

白濱圭也(慶應大理工)  
坪田 誠(阪市大院理)  
上田正仁(東工大院理工)  
前野悦輝(京大国際融合創造セ)  
石本英彦(東大物性研)

### 評価グループ

福山秀敏(東北大金材研)  
水崎隆雄(京大院理)  
家 泰弘(東大物性研)  
河野公俊(理研)  
\*ダグラス・オシェロフ  
(スタンフォード大学)  
\*アンソニー・レゲット  
(イリノイ州立大学)  
(\*は研究協力者)