

# 超流動固体 (超固体) とは？

1969年に理論予測された物質のまったく新しい状態

A.F. Andreev and I.M. Lifshitz, Sov. Phys. JETP **29**, 1107 (1969)

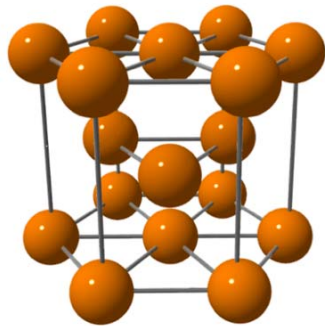
気体、液体、固体、超流体、そして超固体  
(第5の状態)

並進対称性の破れ

+

ゲージ対称性の破れ

= 超固体



(固体)

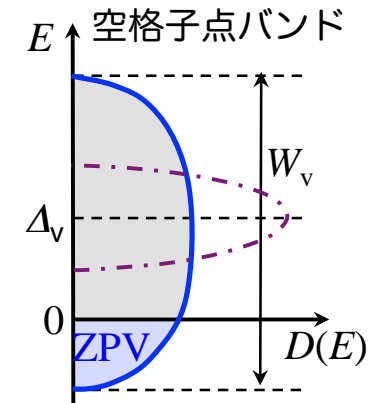
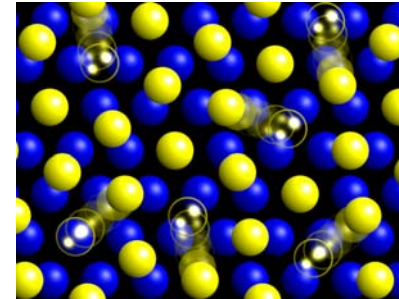


(超流動・超伝導体)

# 超固体のメカニズム

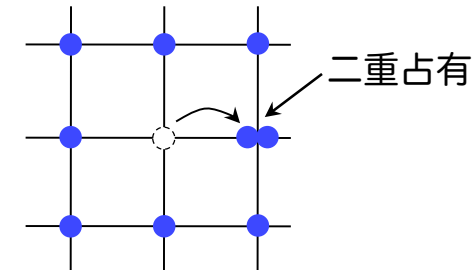
## 1. 零点空格子点のBEC

大きな零点振動で動き回る空格子点が低温でBEC状態になる。 Andreev and Lifshitz (1969)



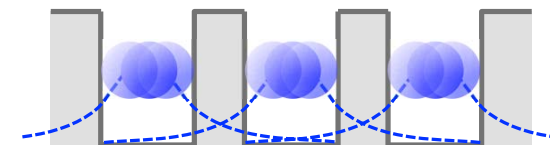
## 2. 完全結晶の超固体性

a) ハバード模型のように格子点を二重占有できる場合。



b) 大きな零点振動のため隣接原子の波動関数が重なる。

Chester (1970), Leggett (1970)



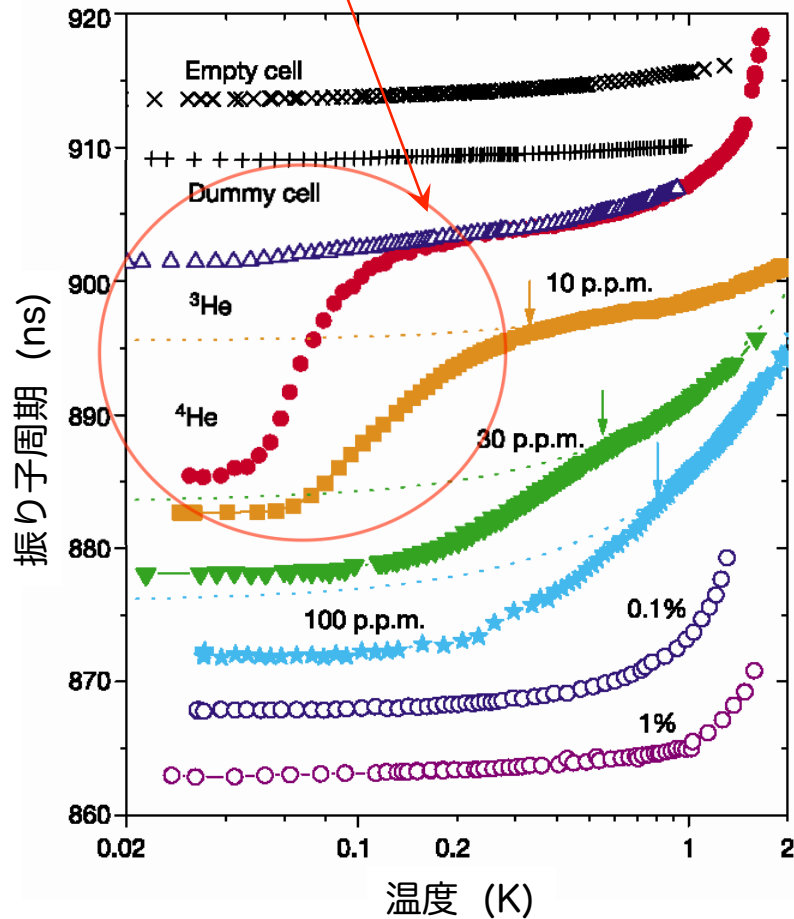
固体<sup>4</sup>Heは超固体の最有力候補だが、長年の探索にも係わらず見つからなかった。

# 2004年、固体 $^4\text{He}$ で超固体が発見される (?!)

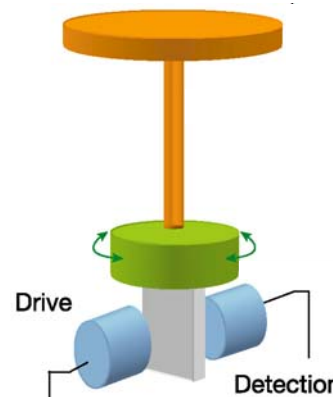
E. Kim and M.H.W. Chan, Nature **427**, 225 (2004);  
Science **305**, 1941 (2004)

200 mK以下で振り子の慣性能率が減少

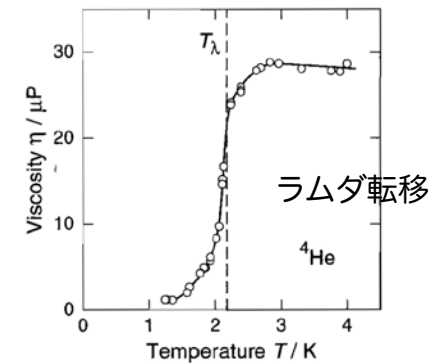
➤超流動性か ?!



ねじり振り子



慣性能率の精密測定



$f_0 = 10^3 \text{ Hz}$ ,  $Q$ 値  $\approx 10^6$   
 $\Delta f / f_0 \approx 10^{-8}$

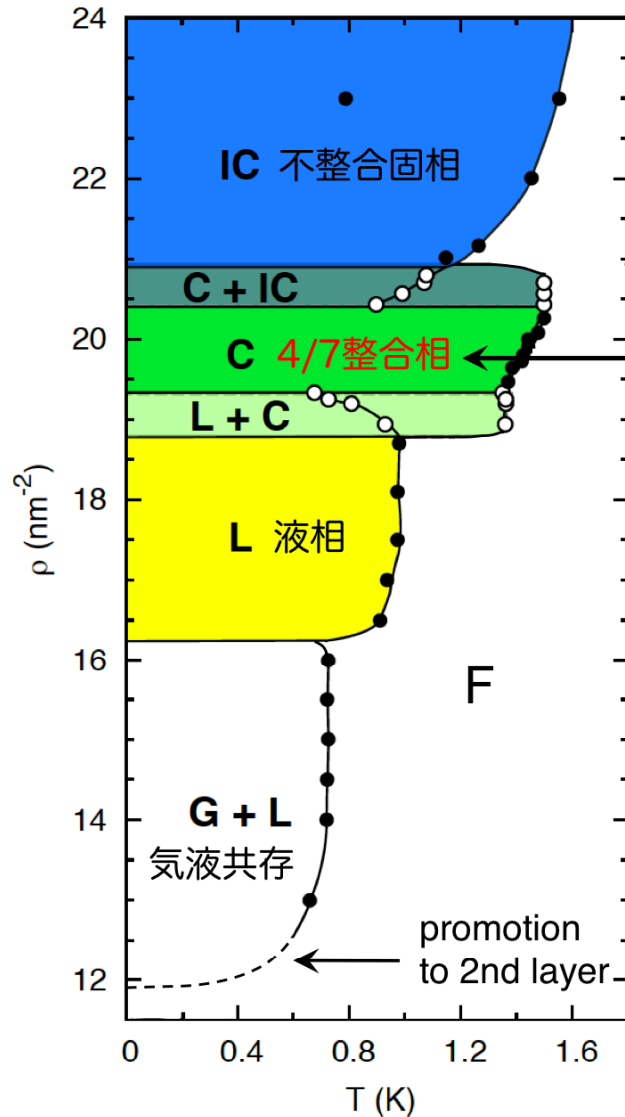
しかし、

- ・ 観測される超流動密度は全粒子数の数%に止まり、実験グループで大きく異なる。
- ・ 転位の量子運動？
- ・ 格子欠陥や結晶粒界に付随した“通常”の超流動性の可能性？

# 我々のアプローチ：2次元固体<sup>4</sup>Heでの超固体相探索

吸着2層目<sup>4</sup>Heの相図 (ZYXグラファイト基板)

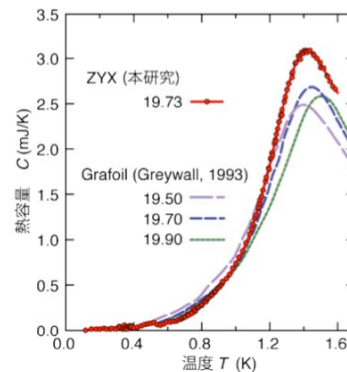
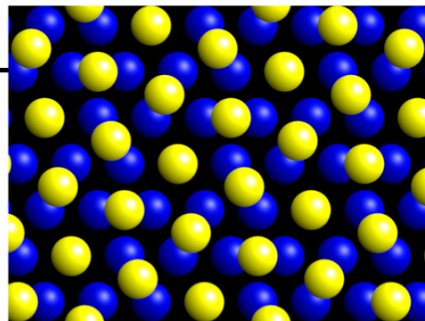
S. Nakamura et al. (2013) to appear



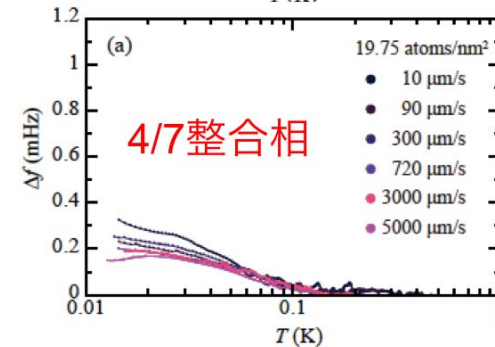
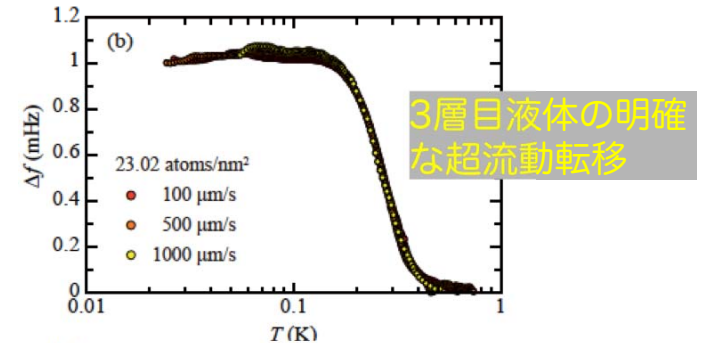
## 4/7整合相

3次元固体<sup>4</sup>Heに比べ10%  
低密度の固相(4/7整合相)

超固体相の最有力候補



Y. Shibayama, HF and K. Shirahama,  
J. Phys. conf. ser. 150, 032096 (2009); to be published



Grafoil基板を使った予備実験  
では4/7相で超流動性を観測!

しかし、基板表面の不完全性のため、  
超流動成分全体の2%しか観測にか  
からない



より良質なZYX基板を使ったねじれ振り子実験が急務

# より良質なグラファイト基板 (ZYX) の使用

Y. Niimi et al., Phys. Rev. B. 73, 085421 (2006)

## Grafoil

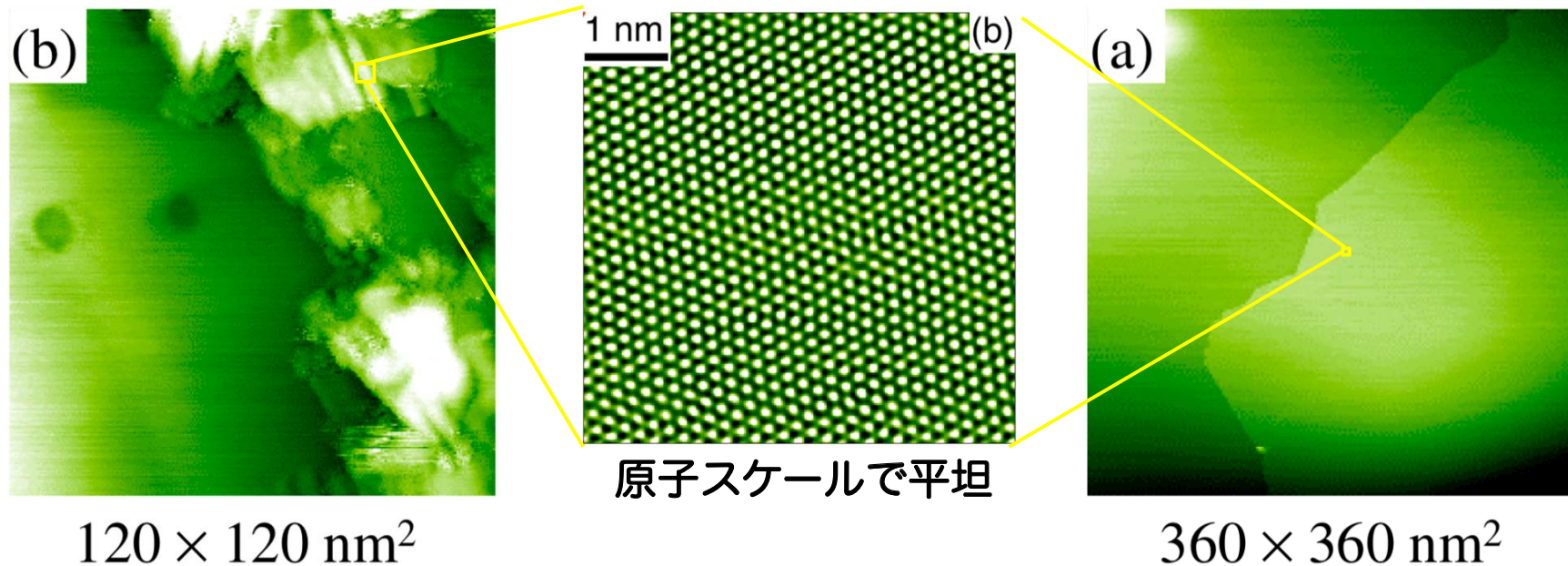
(これまでの実験)

- 比表面積: **20 m<sup>2</sup>/g**
- 単結晶子サイズ: **10 nm**

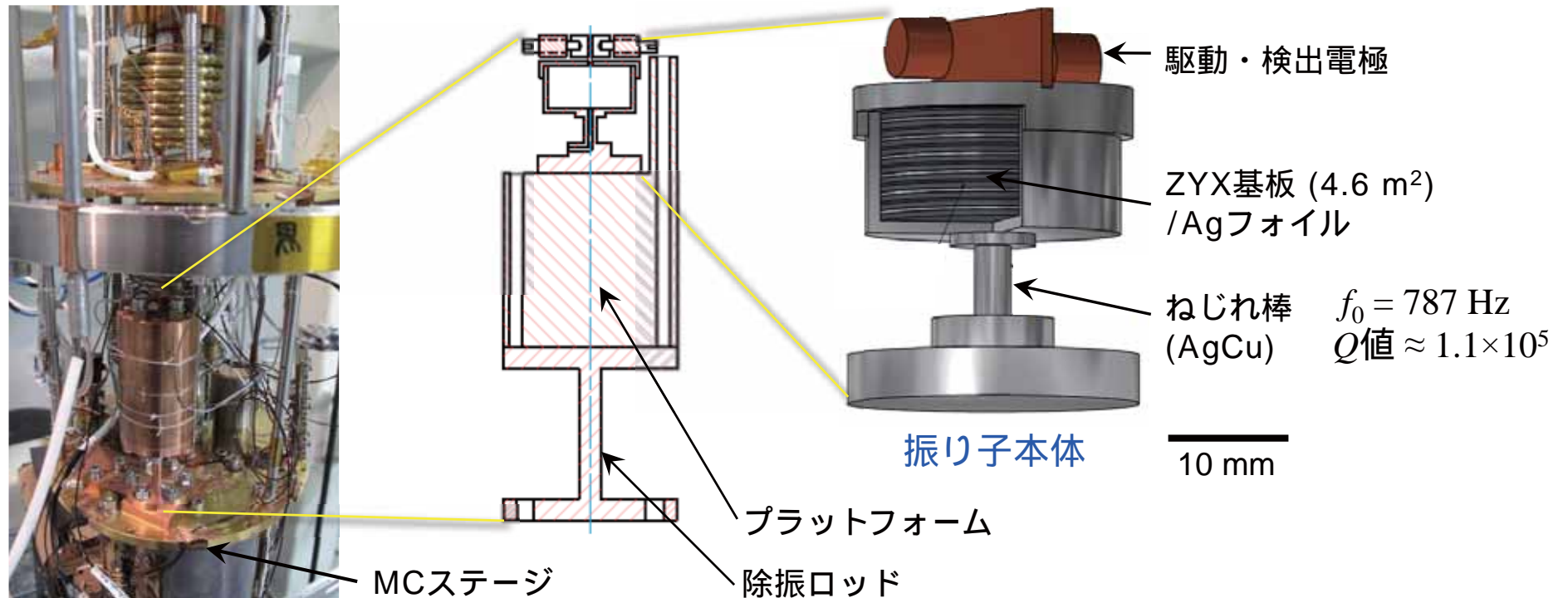
## ZYXグラファイト

(本研究)

- 比表面積: **2 m<sup>2</sup>/g**
- 単結晶子サイズ: **100 - 500 nm**



# ZYX基板を使ったねじれ振り子実験 (進行中)



核断熱消磁冷凍機に搭載し、現在、10 mKの温度まで予備実験を遂行中  
超流動成分全体の**数十%以上の観測**が期待できる ZYX基板の優位性

超固体性の観測に成功したら、次にどんな追実験を行うのか？

第二音波測定、回転実験 (超流動性の証明)

X線・中性子散乱実験 (固体の証明)