



# 長田研究室



物性研究所C棟111号室 04-7135-1221 osada@issp.u-tokyo.ac.jp

## 有機導体・2次元物質のトポロジカル量子輸送現象

### ●研究手段：輸送現象（量子伝導・熱電効果）

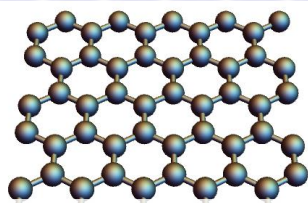
ナノ構造微細加工技術＋強磁場・低温・高圧技術

### ●研究対象：有機導体・2次元物質(グラフェン等)・トポロジカル系

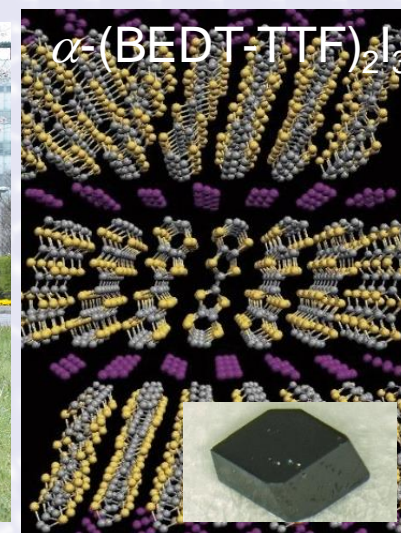
(1) 有機導体における非線形トポロジカル輸送現象

(2) ツイスト積層グラフェンの電子構造と量子輸送現象

(3) 低温強磁場下の量子化された熱電ホール効果



グラフェン





# 微細加工・プロセス・評価装置 ⇒ 原子層作製



電子線(EB)リソグラフィー装置  
ナノ構造の微細加工



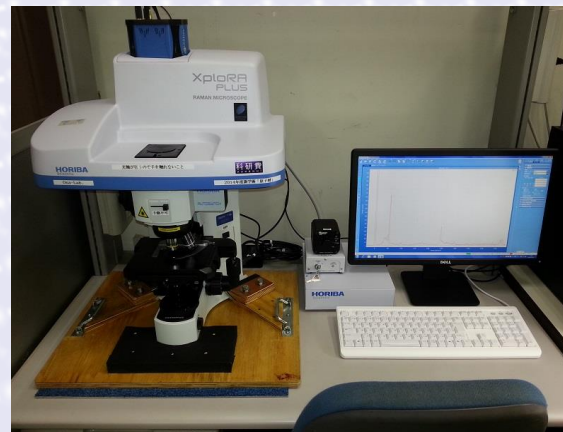
スパッタ/EB蒸着装置  
金属膜・絶縁膜形成



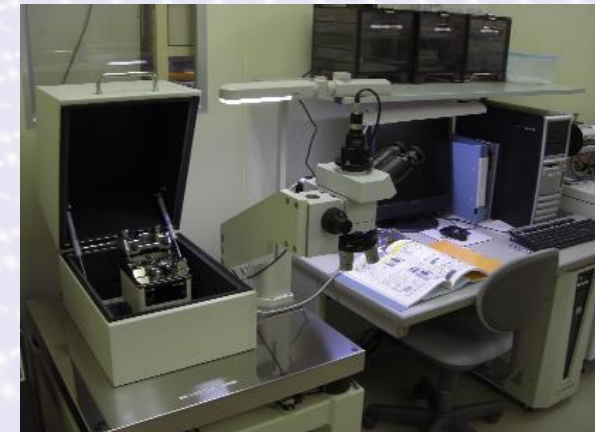
イオンビームエッチング装置  
ナノ構造の微細加工



分子線エピタキシー装置  
GaAs系半導体超薄膜の結晶成長



顕微ラマン分光装置  
原子層数・結晶多型の同定



走査プローブ顕微鏡  
ナノ構造の観察・膜厚測定

その他： 原子層積層装置・有機導体成長装置（電解法）・マスクレス露光装置（フォトリソグラフィー）・真空蒸着装置・熱処理装置・ワイアボンダーなど

# 実験装置：低温強磁場下の電氣的測定

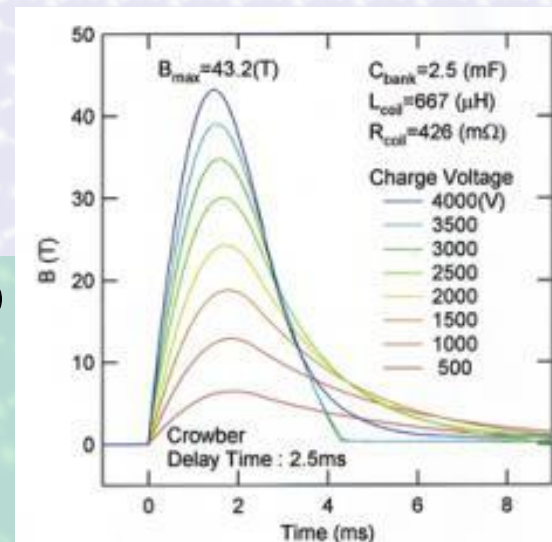


- ① **13T** 定常強磁場システム  
 ソレノイド型超伝導磁石  
 希釈冷凍機 (>50mK)  
<sup>3</sup>He 冷凍機 (>500mK)  
 1 軸試料回転機構  
 クランプ式圧カセル  
 (<2GPa)

- ② **10T** 定常強磁場システム  
 スプリット型超伝導磁石  
 磁場方位変調機構  
<sup>3</sup>He 冷凍機 (>500mK)  
 2 軸試料回転機構  
 クランプ式圧カセル (<2GPa)

- ③ **40T** 簡易パルス強磁場システム  
 Cu-Ag 小型パルス磁石  
 20kJ@4kV コンデンサ電源

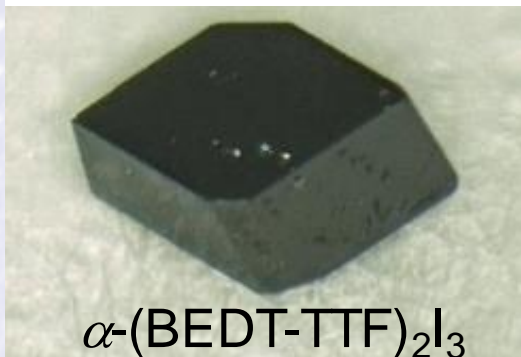
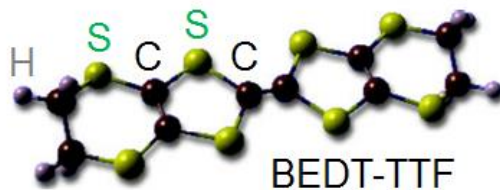
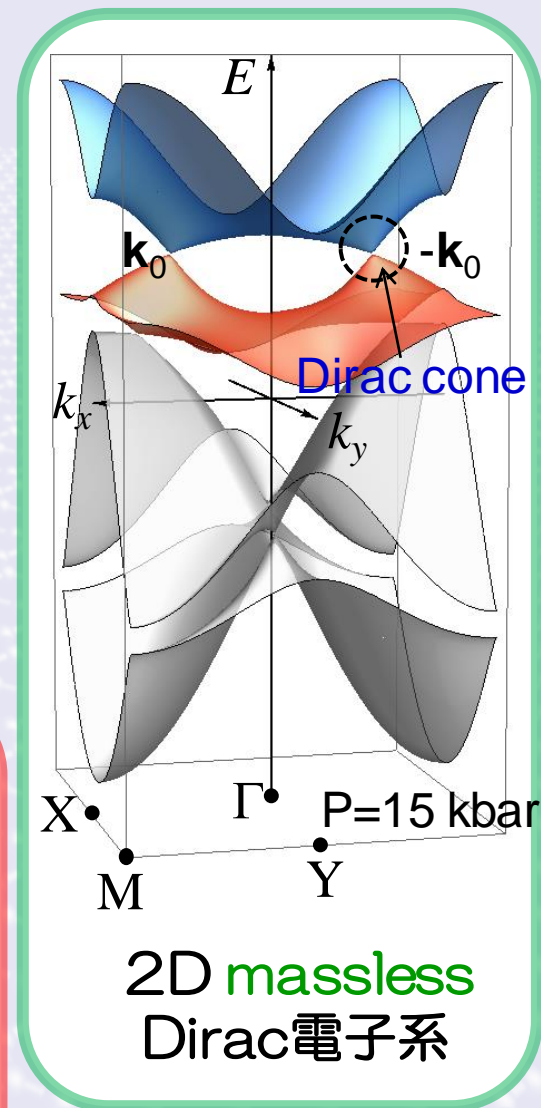
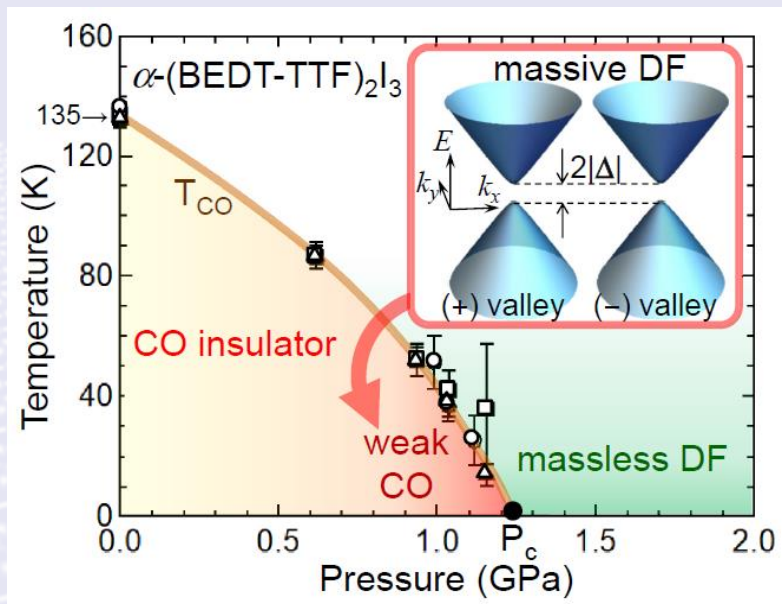
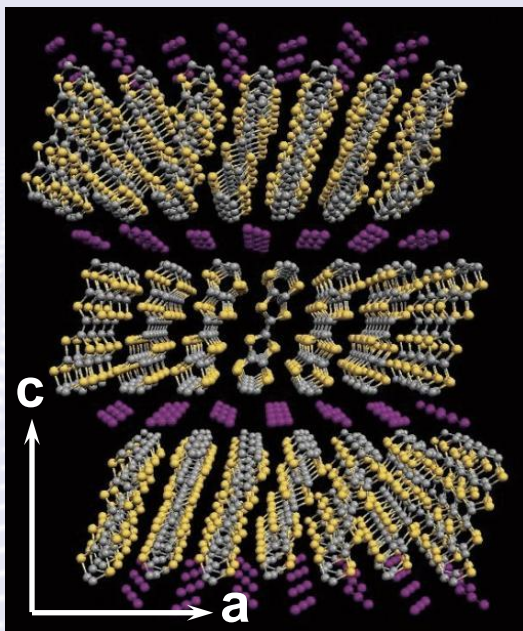
計測装置：電氣的測定（電氣伝導・インピーダンス測定装置）  
 高周波測定（反射法/透過法測定装置・評価装置）  
 磁氣的測定（磁気トルク測定）  
 熱的測定（熱電効果・比熱測定）  
 赤外分光（赤外フーリエ分光器(FTIR)）





# 有機ディラック電子系： $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$

●層状分子性導体  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ ：理想的な2D massless Dirac電子系



弱い電荷秩序状態：

- 反転対称性の自発的破れ
- 単純な2D massive Dirac系？



有限のBerry曲率双極子



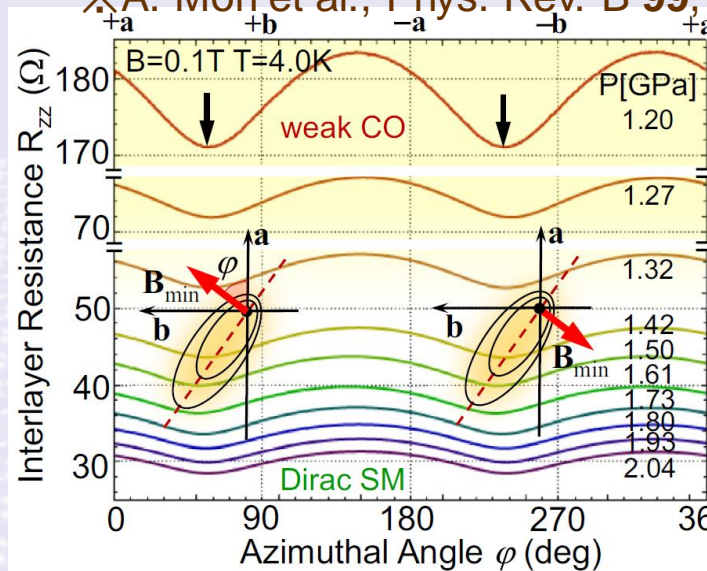
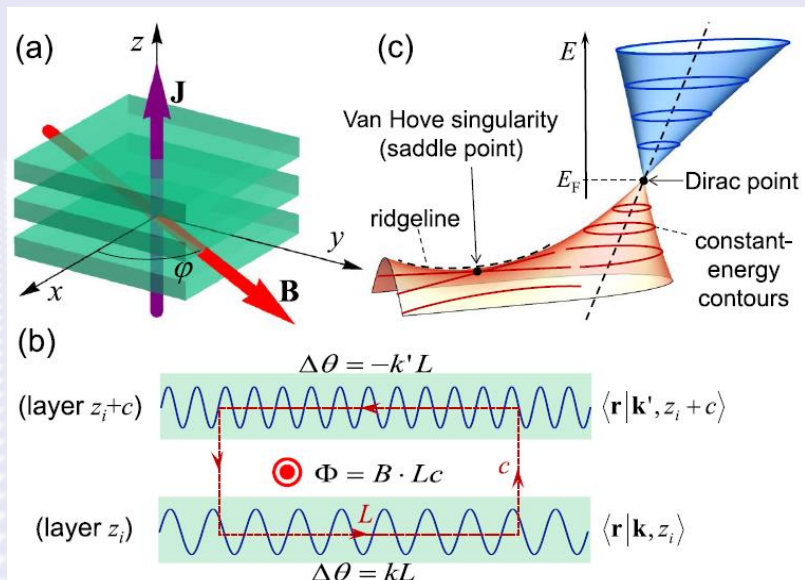
電流誘起トポロジカル現象

2D massless Dirac電子系

# 有機Dirac電子系 $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の弱電荷秩序相の電子構造

## 2D massless Dirac電子状態と弱い電荷秩序状態の電子構造の類似性

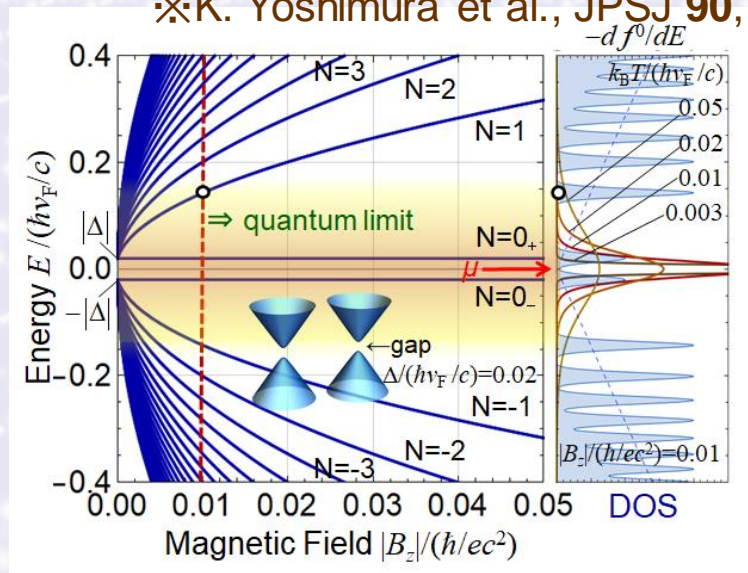
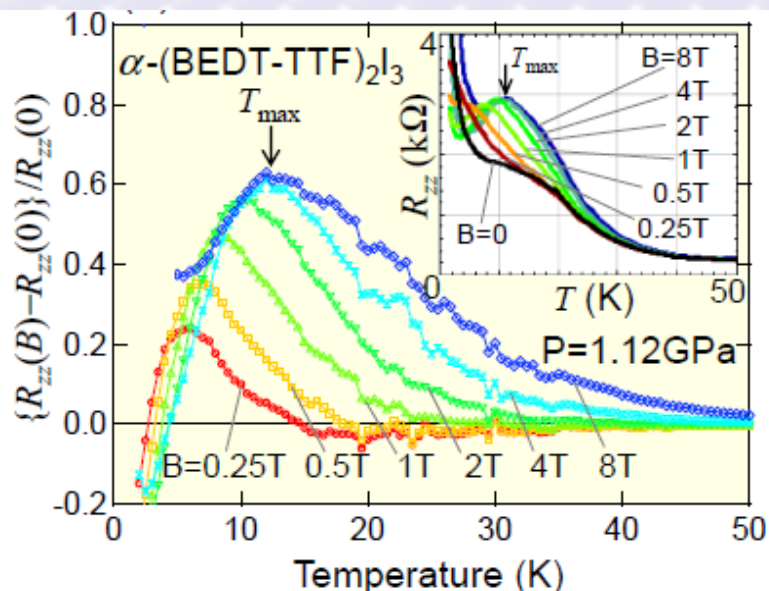
※A. Mori et al., Phys. Rev. B **99**, 035106 (2019).



Ayaka Mori

## 弱い電荷秩序状態における2D massive Dirac電子系の存在

※K. Yoshimura et al., JPSJ **90**, 033701 (2021).



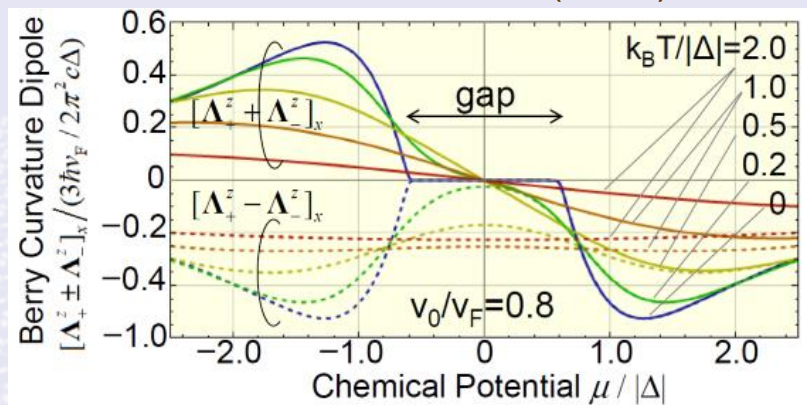
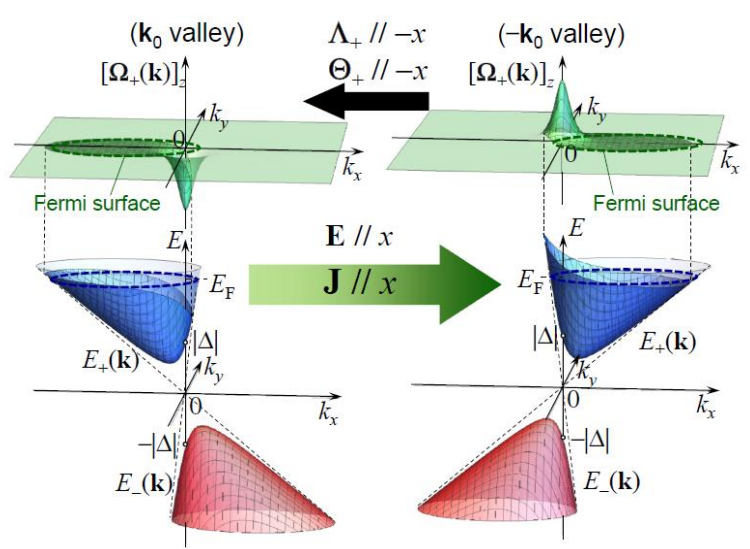
K. Yoshimura



# 弱い電荷秩序状態における非線形トポロジカル輸送現象

傾斜したmassive Diracコーン(理想的) Berry曲率双極子//Diracコーン傾斜軸

※TO et al., JPSJ **89**, 103701 (2020); ibid., 128002 (2020).

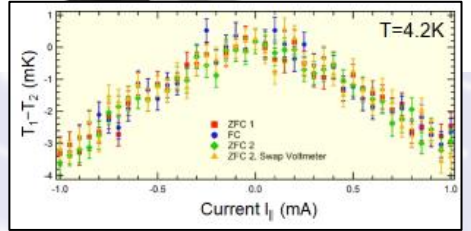
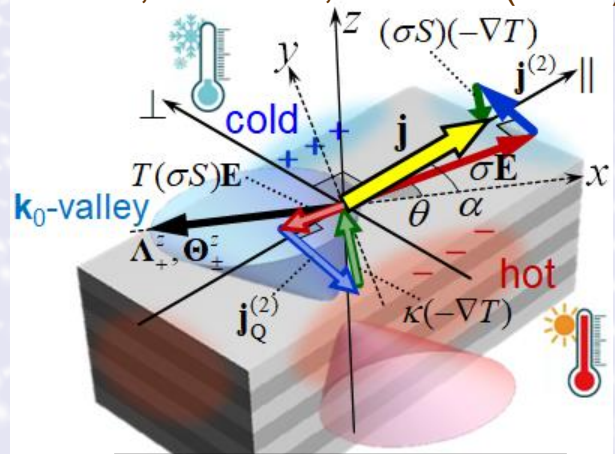
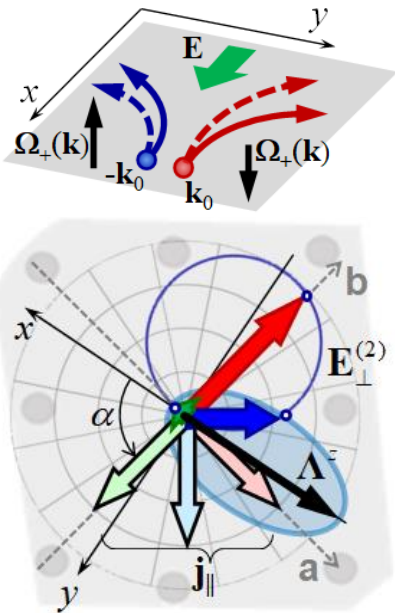
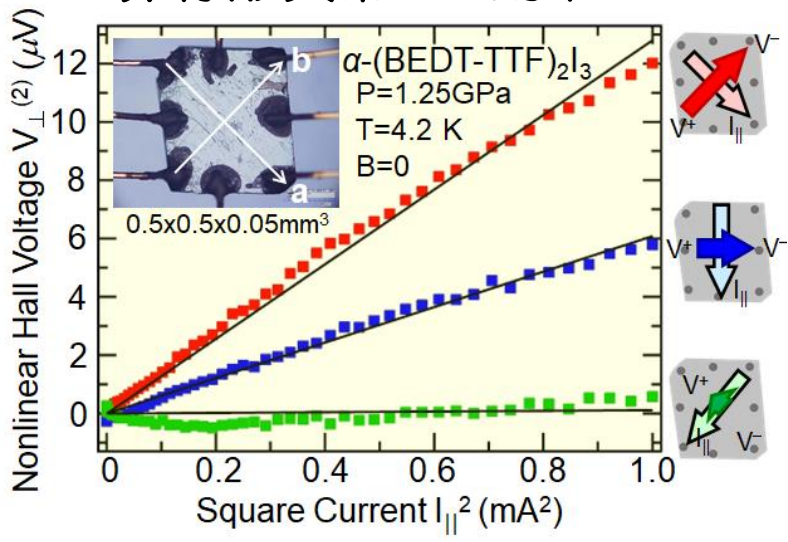


A. Kiswandhi

## 非線形異常Ettingshausen効果

※TO et al., JPSJ **90**, 053704 (2021).

## 非線形異常Hall効果



※A. Kiswandhi et al., J. Phys.: Condens. Matter **34**, 105602 (2022).

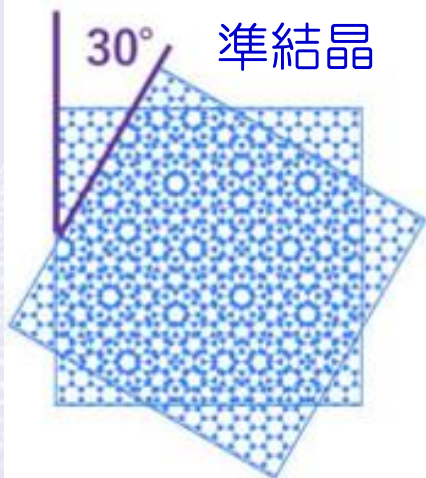
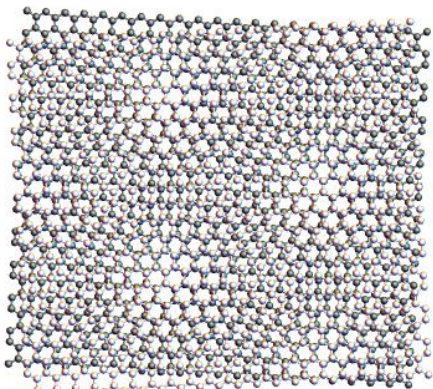


# 換れ積層グラフェンのモアレ超格子/準結晶における電子局在

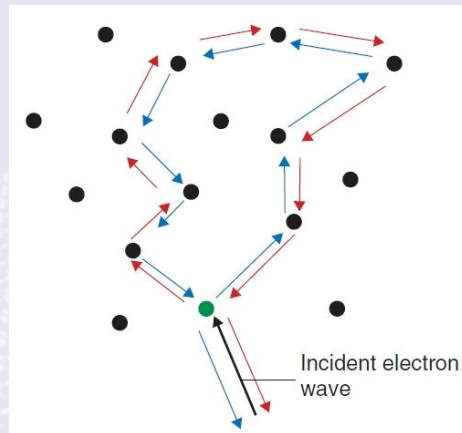
## ツイスト積層グラフェン

## 弱局在 = 乱れによる電子定在波

### モアレ超格子



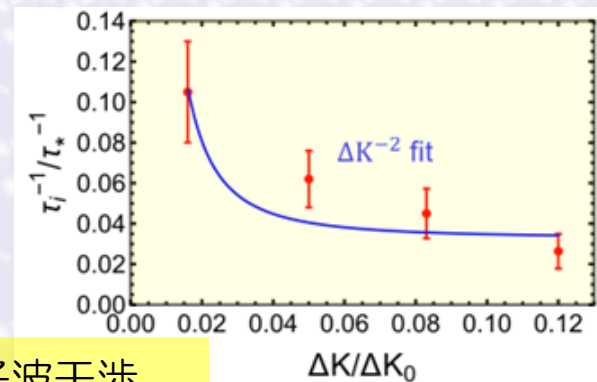
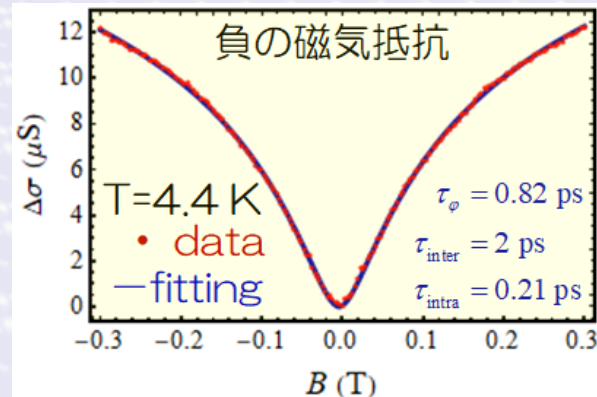
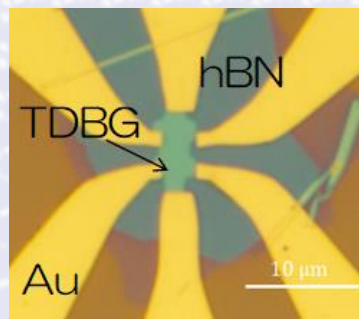
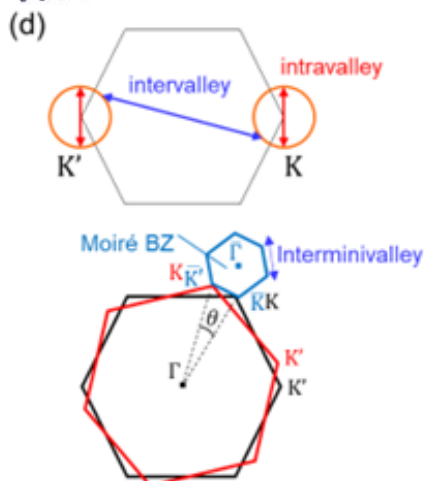
M. Koshino



※M. Kashiwagi et al.,  
arXiv: 2203.05223.



M. Kashiwagi



$$\frac{\Delta\rho(B,T)}{\rho^2} = -\Delta\sigma = -\frac{e^2}{\pi h} \left\{ F\left(\frac{B}{B_\phi}\right) - F\left(\frac{B}{B_\phi + 2B_{\text{inter}}}\right) \pm 2F\left(\frac{B}{B_\phi + B_{\text{inter}} + B_*}\right) \right\}$$

$$B_{\phi,\text{inter},*} \equiv \frac{\hbar}{4De\tau_{\phi,\text{inter},*}} \quad \tau_*^{-1} \equiv \tau_{\text{trigonal}}^{-1} + \tau_{\text{intra}}^{-1} \quad F(z) \equiv \ln(z) + \psi\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{z}\right)$$

+ : 弱局在    - : 弱反局在

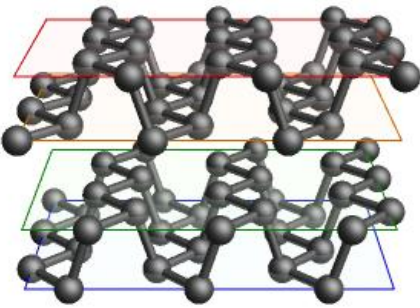
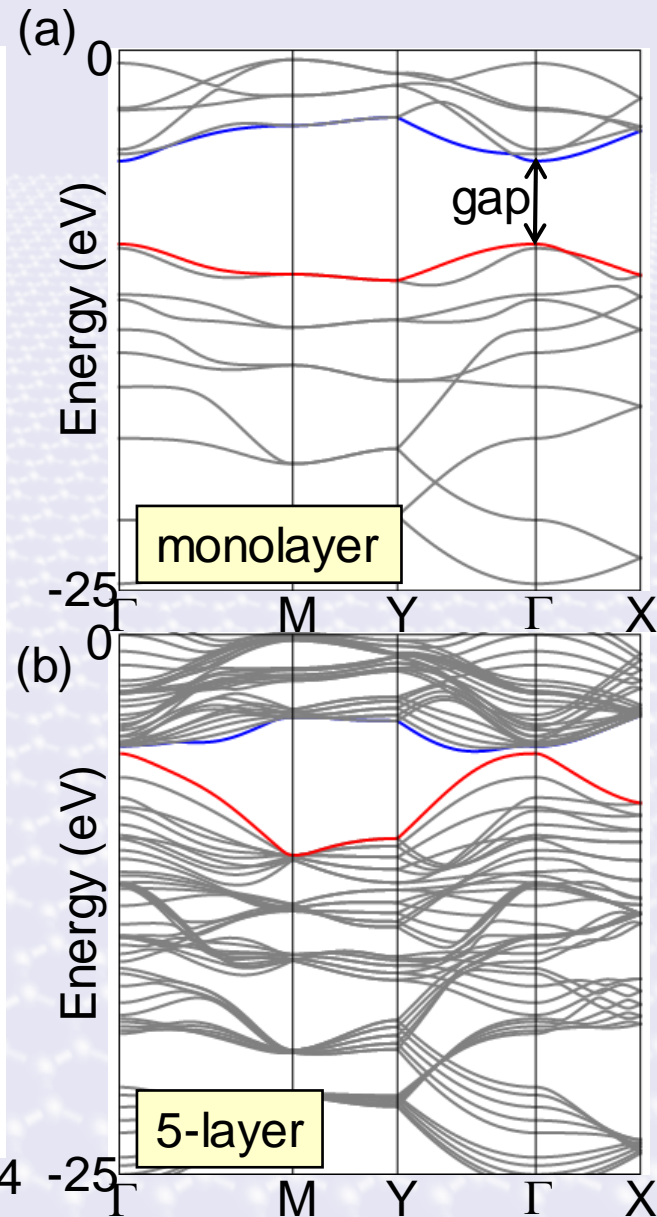
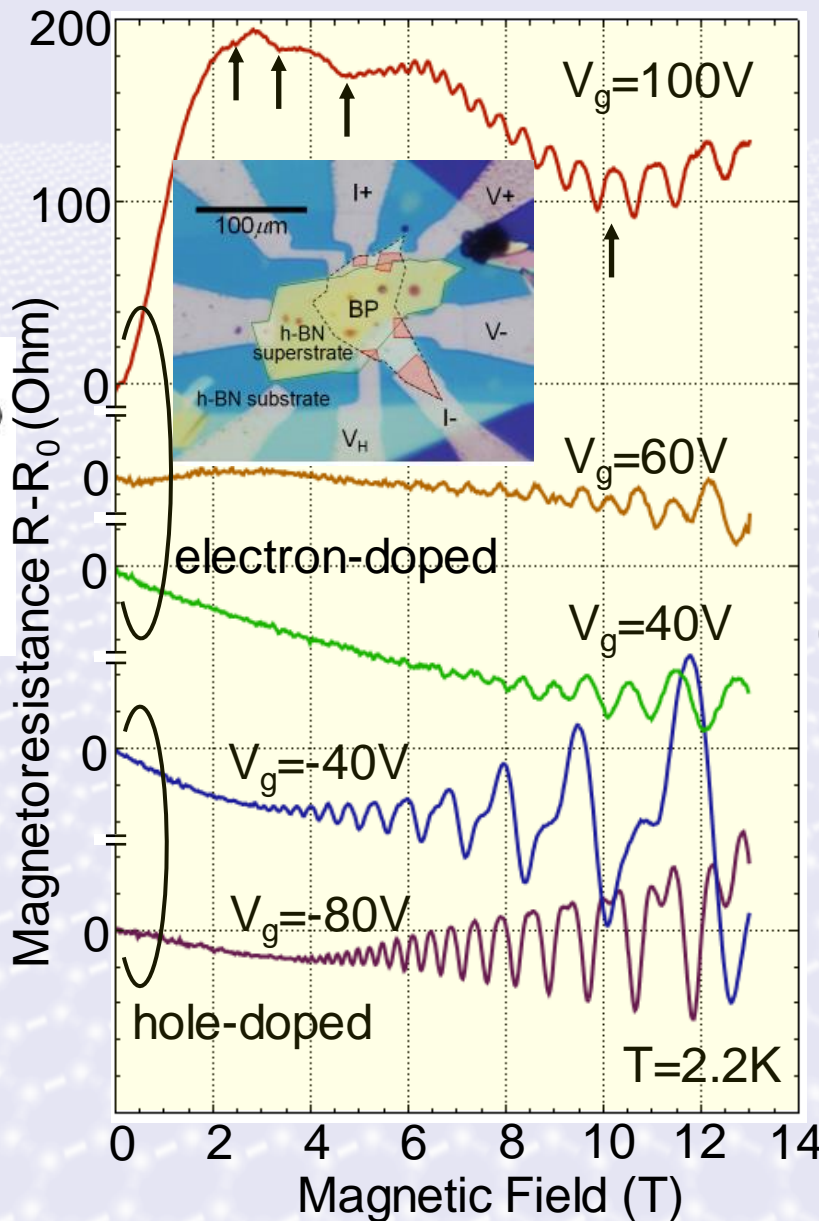
valley間散乱頻度のツイスト角依存性⇒モアレ超格子における電子波干涉

# 黒リン少数層超薄膜の2キャリア伝導と電子構造

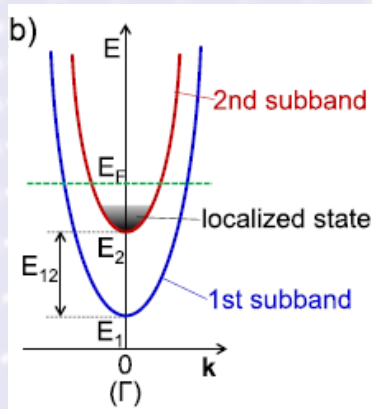
※K. Hirose et al., Appl. Phys. Lett. **113**, 193101 (2018). ※TO, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 013703 (2015).



Kohei Hirose



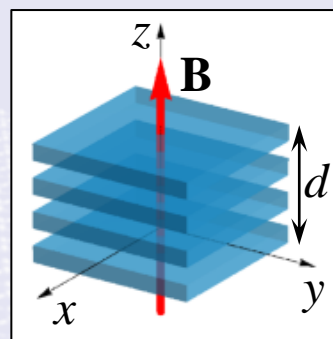
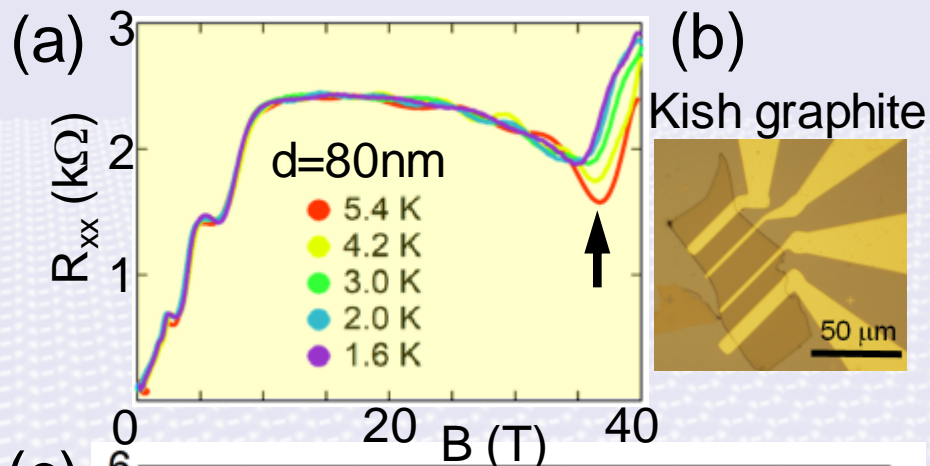
黒リン(BP)



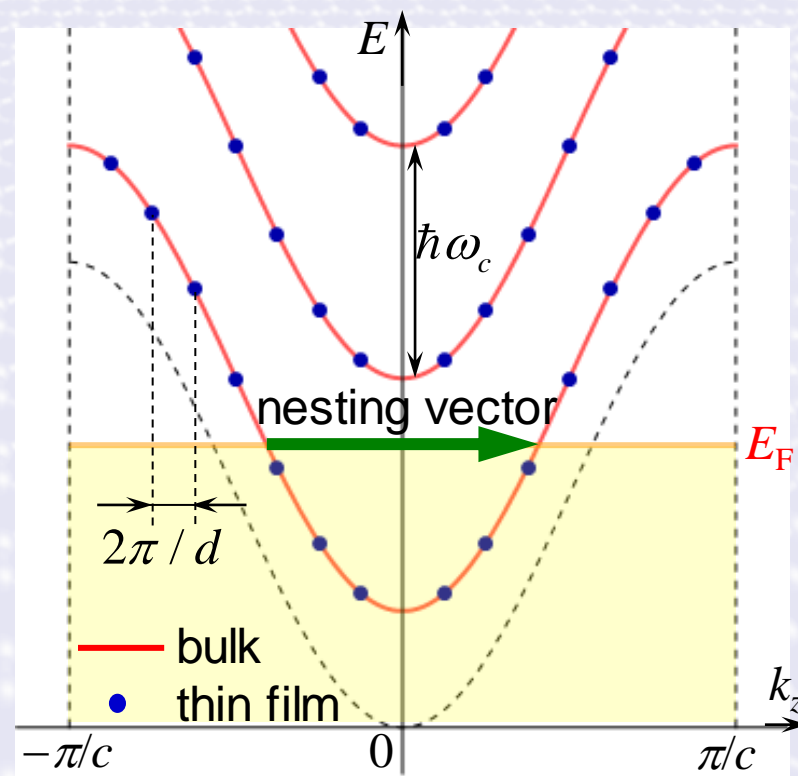
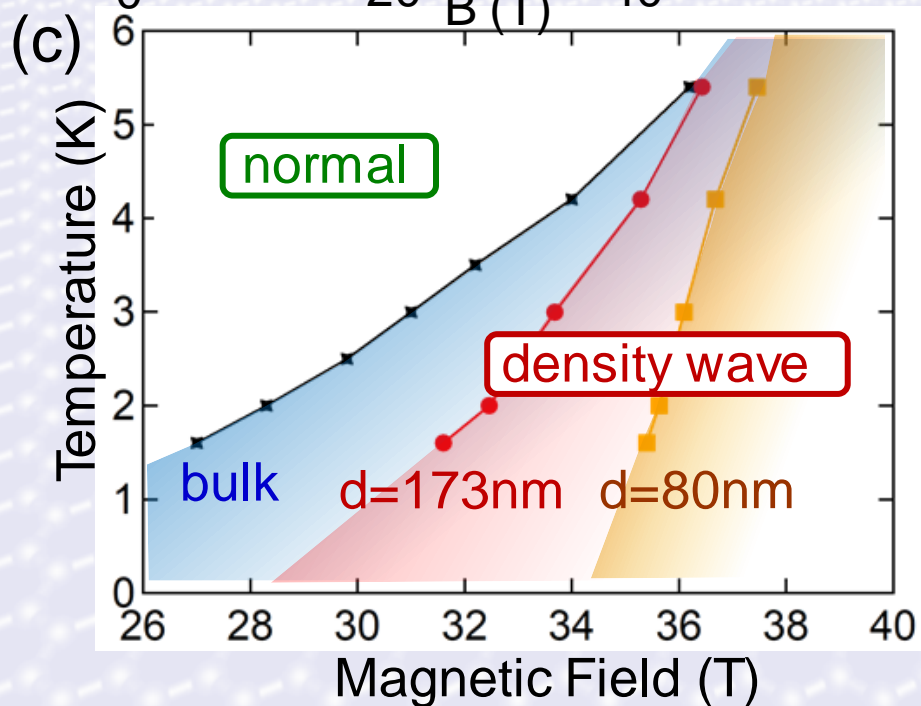


# グラファイト超薄膜の磁場誘起電子相転移と量子サイズ効果

※T. Taen et al., Phys. Rev. B **97**, 115122 (2018); Phys. Rev. B **98**, 155136 (2018).



Dr. Toshihiro Taen



# 強磁場量子極限下 $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の量子熱電ホール効果

2次元massless Dirac電子系の  
強磁場下量子化熱電Hall効果

$$\alpha_{xy}^{(2D)} = (4 \log 2) \frac{k_B e}{h}$$

※TO, JPSJ **90**, 113703 (2021).

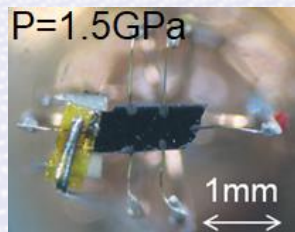
※T. Konoike et al., JPSJ **82**, 073601 (2013).



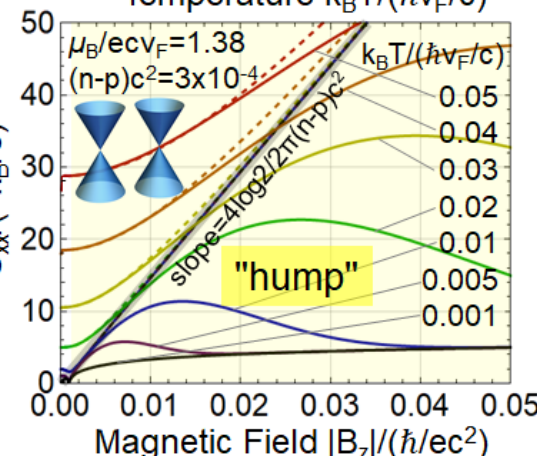
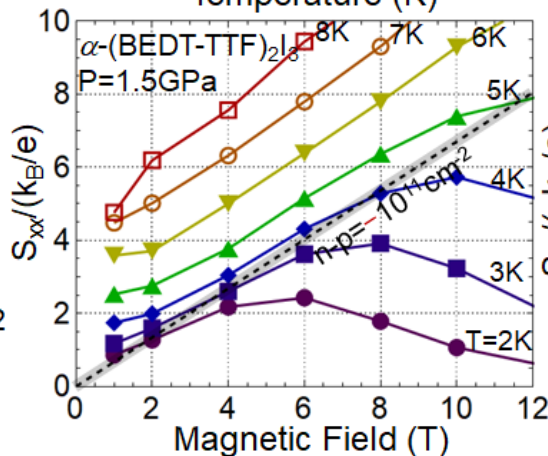
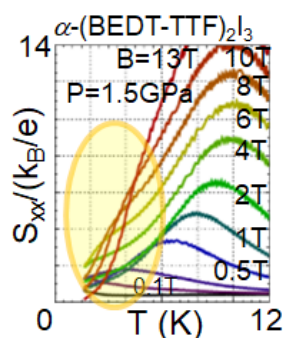
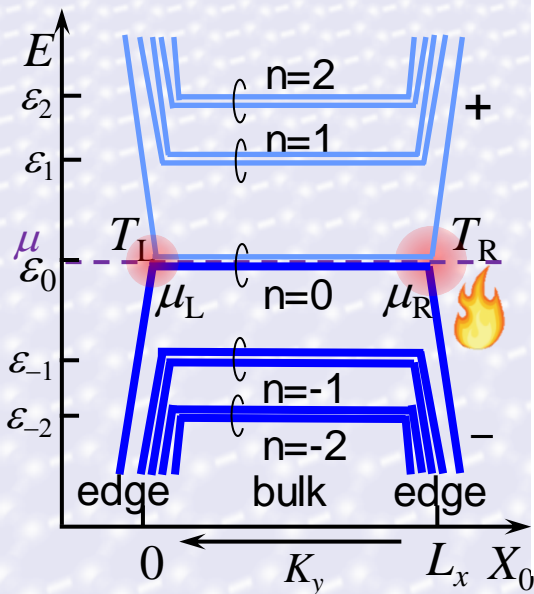
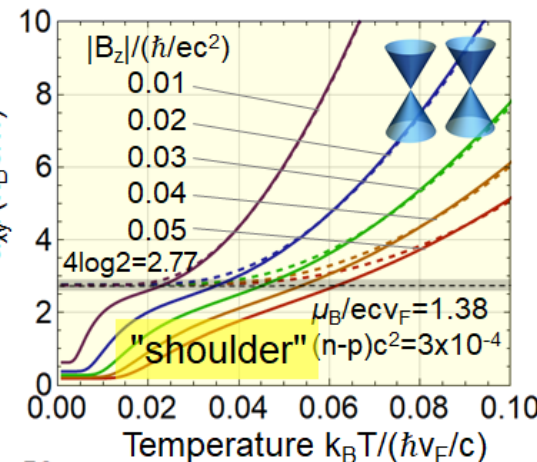
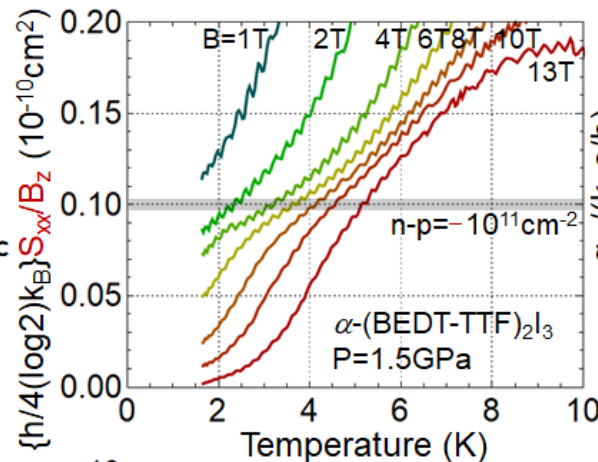
Dr. Takako Konoike



Prof. Liang Fu (MIT)  
arXiv:1909.09506



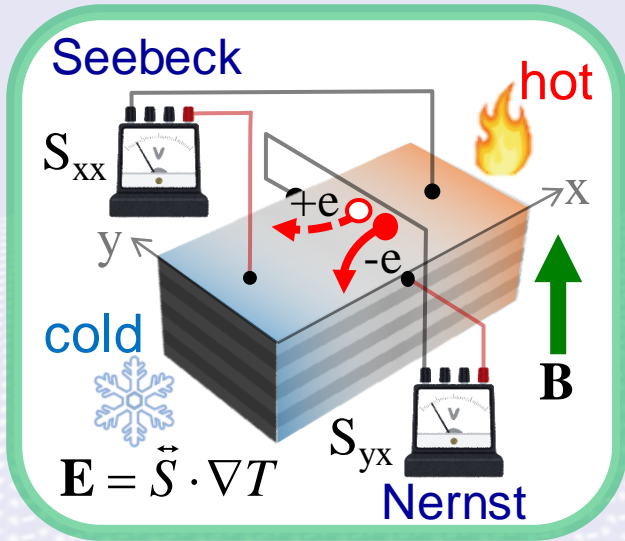
$$\alpha_{xy} \sim \sigma_{xy} S_{xx} \propto S_{xx} S_{xy}$$





# ノードルライン半金属グラファイト超薄膜の量子化熱電Hall効果

※ TO and T. Ochi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 063701 (2022).



$$\mathbf{j} = \vec{\sigma} \mathbf{E} + \vec{\alpha} (-\nabla T)$$

$$\mathbf{E} = \vec{\sigma}^{-1} \mathbf{j} + \vec{S} \nabla T, \quad \vec{S} = \vec{\sigma}^{-1} \vec{\alpha}$$

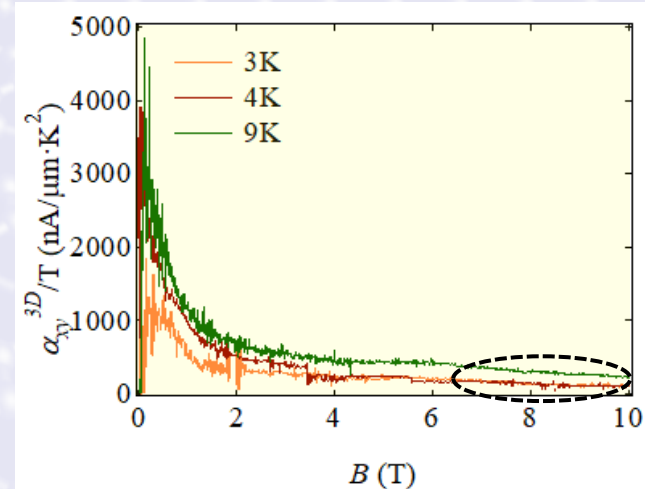
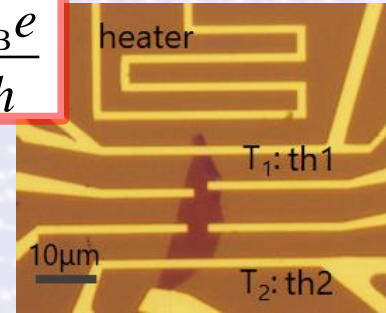
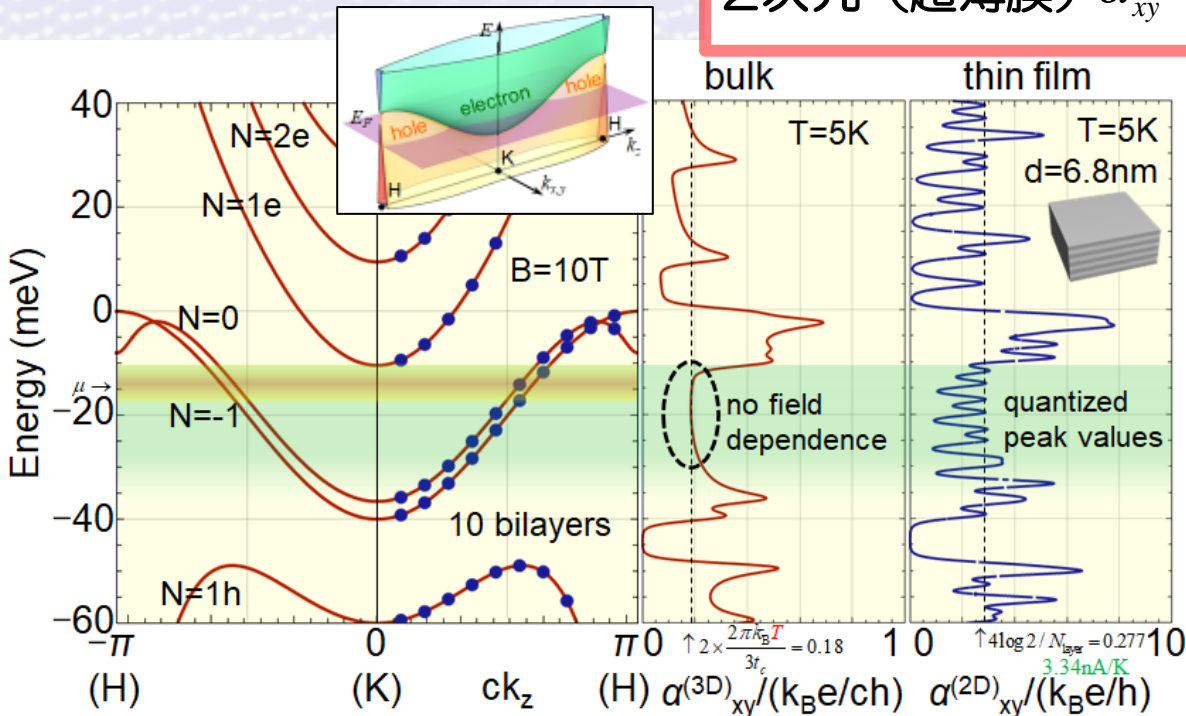
線状ノードルラインを持つ半金属の強磁場における量子化熱電Hall効果

3次元 (バルク)  $\alpha_{xy}^{(3D)} = \frac{2\pi k_B T}{3ct_c} \frac{k_B e}{h}$

2次元 (超薄膜)  $\alpha_{xy}^{(2D)} = (4 \log 2) \frac{k_B e}{h}$



Tomotaka Ochi



# 長田研究室

osada@issp.u-tokyo.ac.jp



有機導体や2次元物質を対象として、新しいトポロジカル量子輸送現象の探索と解明を行う。

## (1) 有機導体 (massiveディラック電子系)

非線形/非平衡トポロジカル輸送現象・ $\tau$ 型格子・軌道Edelstein効果による電荷秩序ドメイン制御

## (2) ツイスト積層グラフェン (モアレ超格子・準結晶)

電子構造と電子局在・バレー輸送・量子ホール伝導

## (3) トポロジカル半金属

低温強磁場下の量子化された熱電ホール効果