



TOHOKU  
UNIVERSITY

# 2ビーム同時利用による計測技術 回折 + ? ? ?

東北大 若林裕助

リング性能とか全く考慮に入れていません。  
「2ビーム同時利用」で何ができるかを考えました。

## 2ビーム同時利用による計測技術

- ▶ 誰が、どんな時に新しい計測法を思いつくか
  1. 何かを知りたいと思っている、物質に興味のある人
  2. ある実験法について完全に理解している人が、他の実験法を少し勉強した場合
  3. ある実験法について完全に理解している人が、別の実験法について完全に理解している人と話し合った場合
  4. 1+3のケース

などが考えられる。

私は回折には詳しいので、一人でできるのは2のケースのみ。

今後、3や4の機会を作るべく、各ユーザーグループで合同研究会を開催するなどしていただけることを期待します。

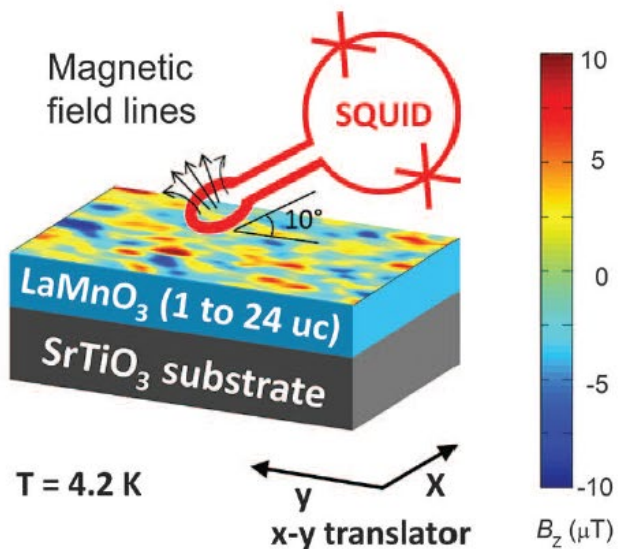
# 測定対象のイメージ

本質的に不均質な物質を、いかに原子スケールの物理で理解するか。

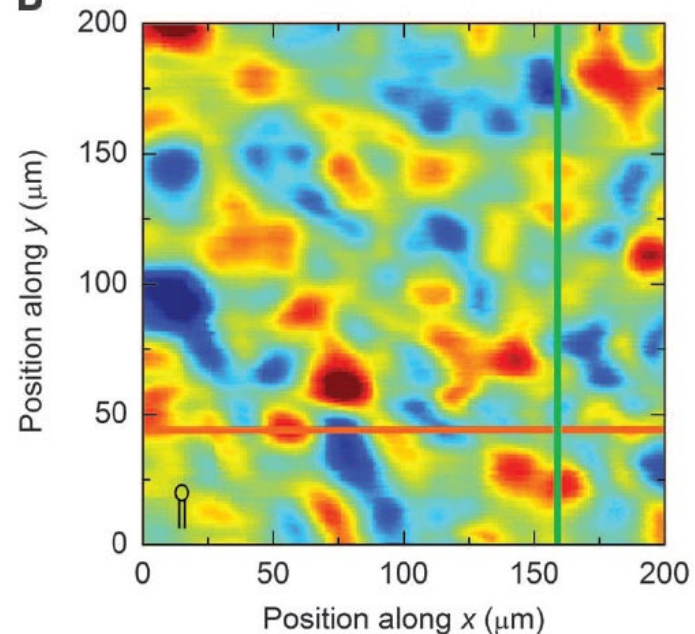
自発的なパターン形成, 反応場, etc.

Imaging and control of ferromagnetism in LaMnO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> heterostructures  
Wang et al., Science (2015).

A

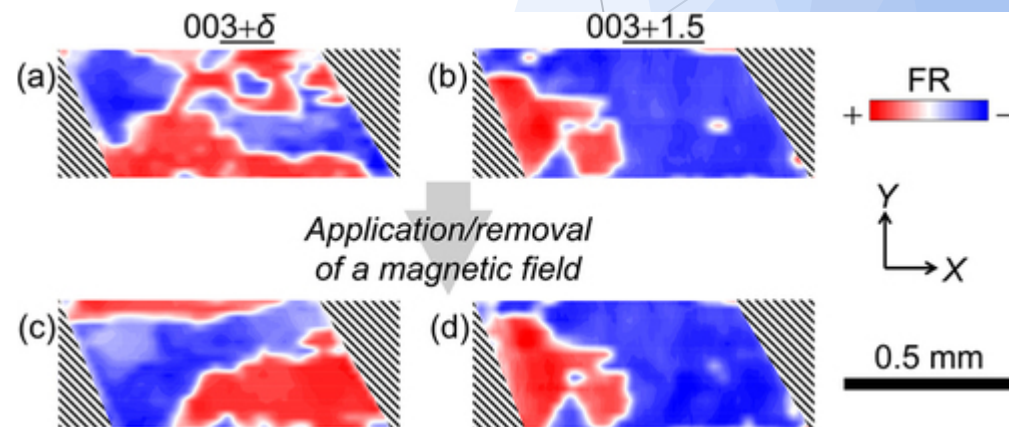


B



円偏光共鳴磁気散乱マッピング

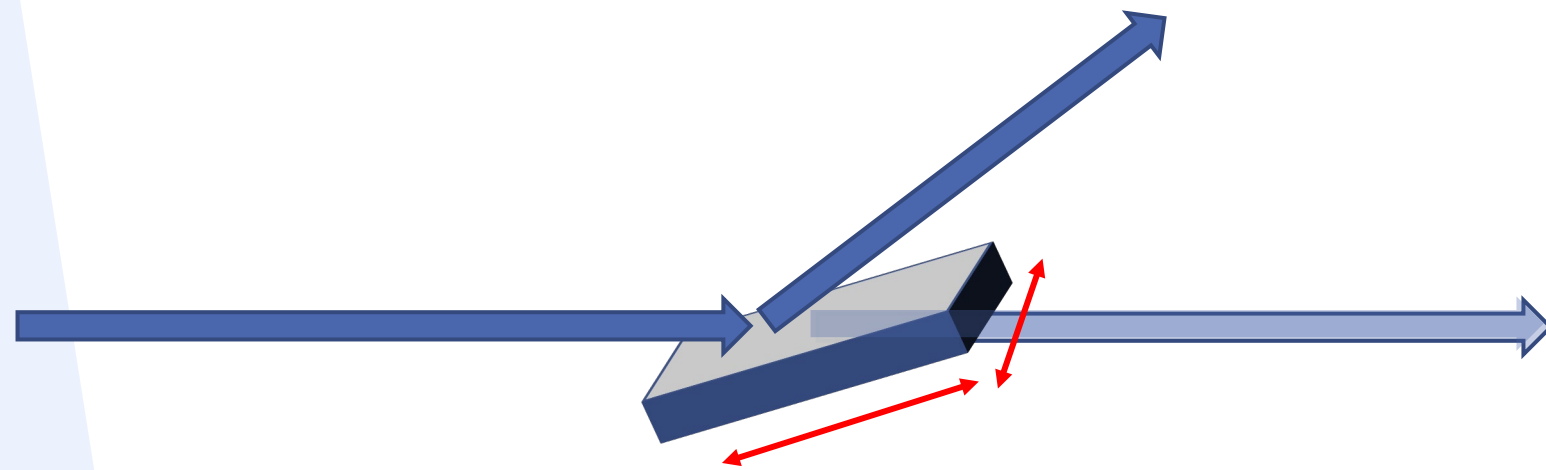
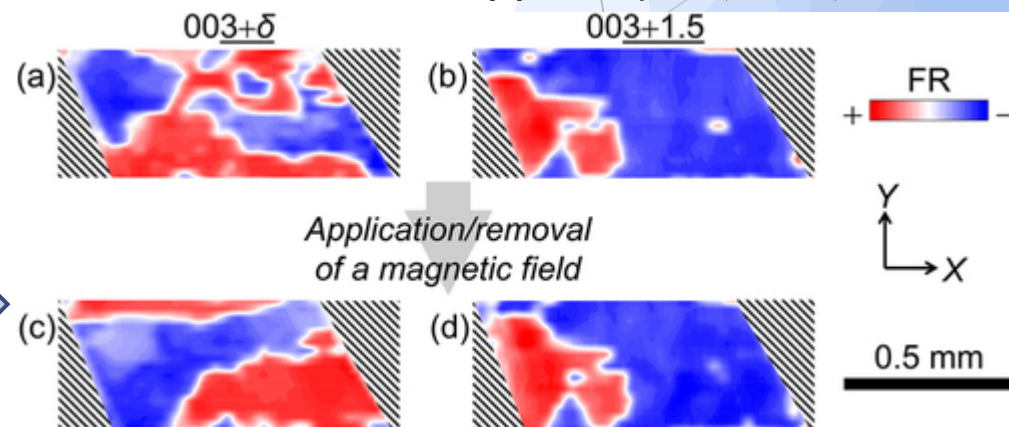
Multiple magnetic order parameters coexisting in multiferroic hexaferrites resolved by soft x rays  
Ueda et al., J. Appl. Phys. (2020)



# 回折 + ? ? ?

- ▶ 細い光のHXで回折（構造）を見つつ，同じ場所の分光を，太い光を細く切り出して測定する。
- ▶ メリット：構造と電子状態の完全な相関が取れる（XRD+XANESもしくはMCD，その他）
  - ▶ XANESはそれほど強いX線を必要としないであろう，という心積もり。
  - ▶ 回折，分光両方とも細い光にする事になる。
- ▶ 回折を細い光で実施して，そのマッピングを行うのはよく行われているが，どうしても計測時間が嵩む。結晶質の物質であれば入射角を変えた測定を各照射域ごとに行う必要が出てしまうため。

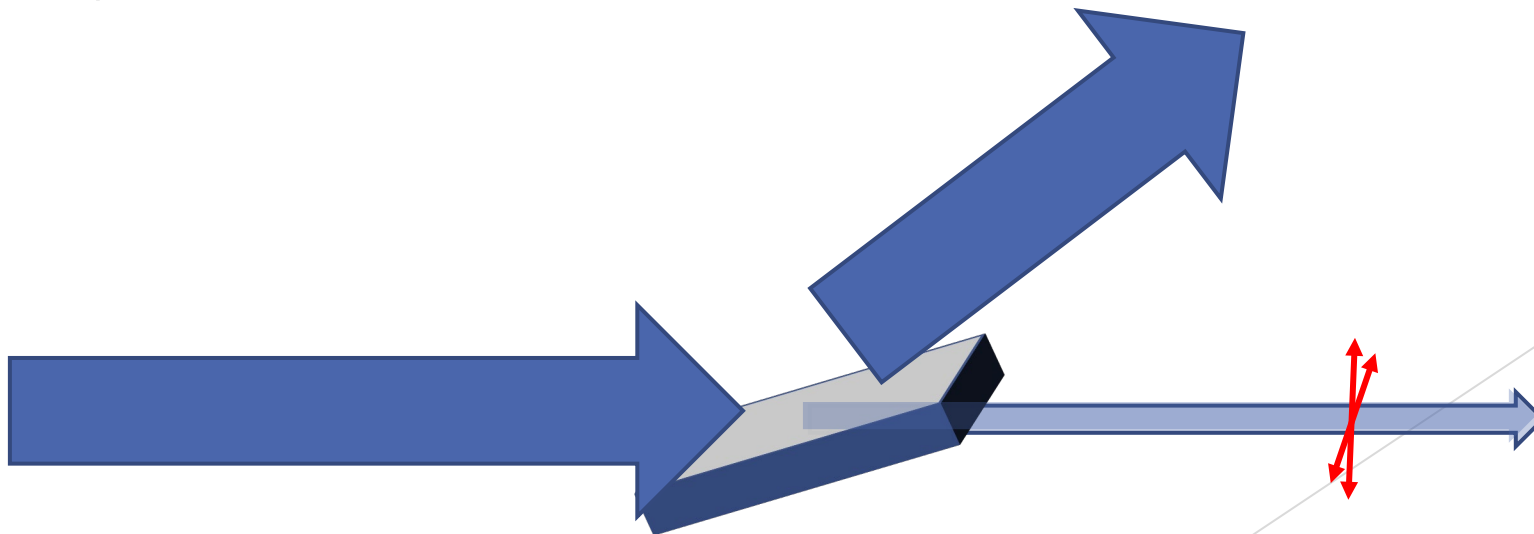
Ueda et al., J. Appl. Phys. (2020)



- ▶ 太い光のHXで回折（構造）を見つつ，その中の狭い場所の分光を細い光でマッピングする。

メリット：

- ▶ 分光側で内部に（ $\sim\mu\text{m}$ スケールの）不均一性があるか検証できる。
- ▶ 不均一性があるのであれば，そのつもりで回折（平均構造）側の解釈ができる。
- ▶ 短距離の乱れを含む場合，EXAFSによる短距離構造とX線散漫散乱による乱れの情報と同時に計測できる。これを組み合わせた情報科学的な処理をすれば，乱れを含む系に対する良い情報を与えるはず。普及するのはEXAFS + PDFになるかも。結晶性の試料に対する3D-PDFも有望。
- ▶ 同一時刻，同一環境での計測ができるので，複雑な試料環境の計測にメリットが有る。電池や化学反応，高圧など。



# 回折・散乱とEXAFSの見るもの

## スピン軌道液体物質Ba<sub>3</sub>CuSb<sub>2</sub>O<sub>9</sub>の例

- ▶ EXAFS : 局所的な二体相関関数
- ▶ ブラッグ反射 (単結晶/粉末構造解析) 平均構造
- ▶ 散漫散乱 平均構造からのズレ

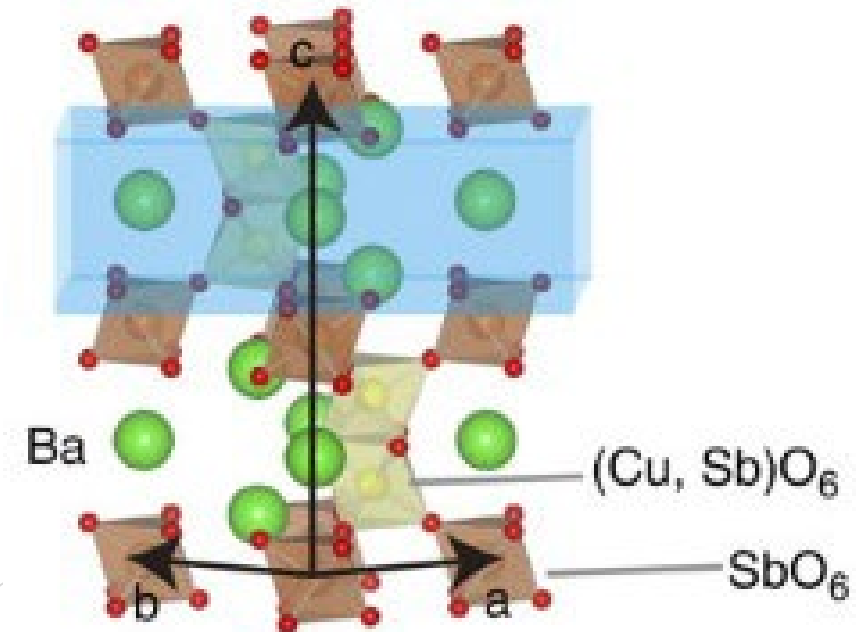
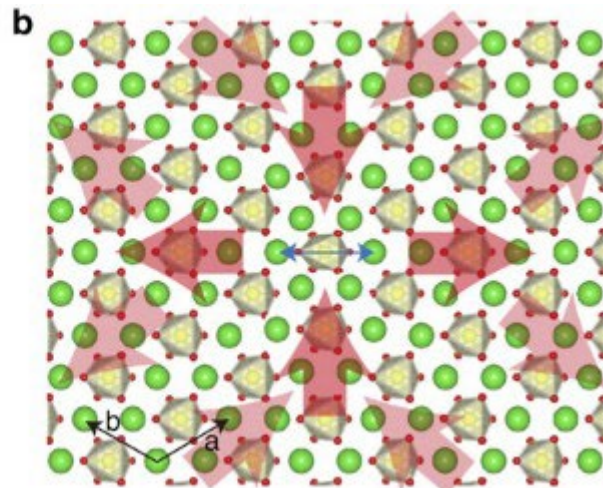
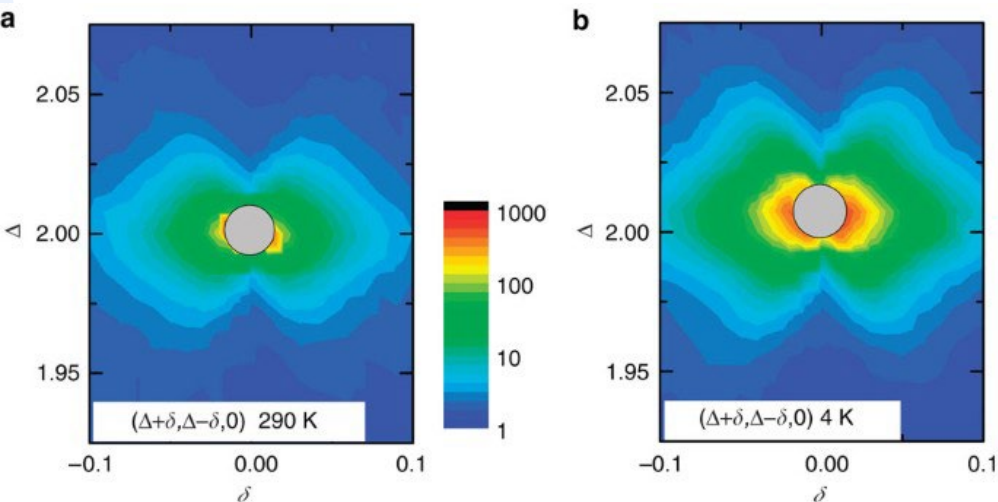
Nakatsuji et al. Science **336**, 559–563 (2012).  
EXAFS

Atom pair	Hexagonal		Orthorhombic	
	10K	300K	10K	300K
Four Cu-O	2.025	2.026	2.025	2.026
Two Cu-O	2.256	2.261	2.267	2.263

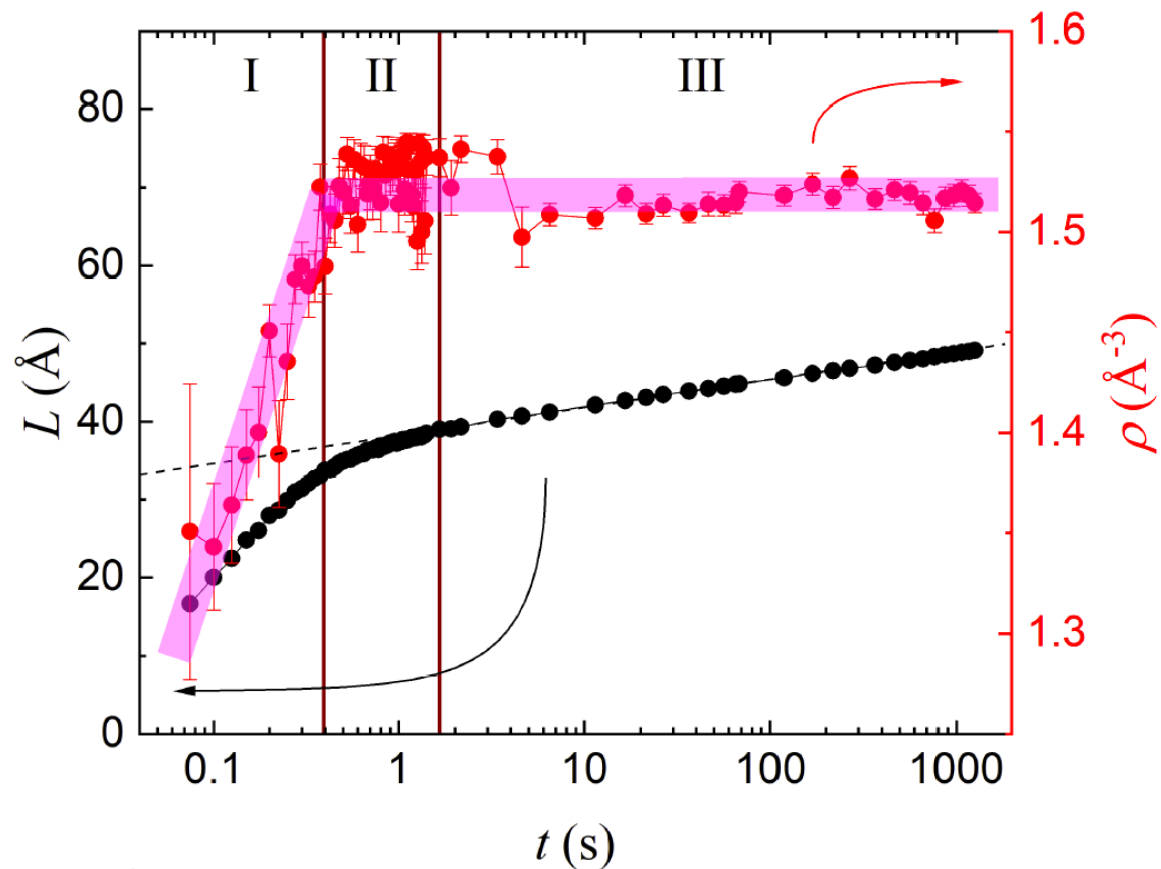
Katayama, YW et al. PNAS **112**, 9305 (2015)  
Single crystal structure analysis at RT  
Three Cu-O 2.004 Another three Cu-O 2.077

EXAFSと散漫散乱から作った  
乱れを含む構造モデル

Ishiguro, YW et al. Nature Commun. **4**, 2022 (2013).



# 化学反応の時間発展追跡



平均が見えている。  
狭い領域の分光情報が同時計測できれば、どの  
ように反応が進行しているかが読み取れる

Fujii, YW, and Doi, *Phys. Rev. Materials* 4, 033401 (2020).

