

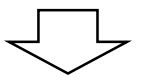
～センター報告～

# 機械学習を利用した 磁気パラメータの推定

情報記録工学研究室  
田辺 賢士

## スピントロニクスにおける研究開発の流れ

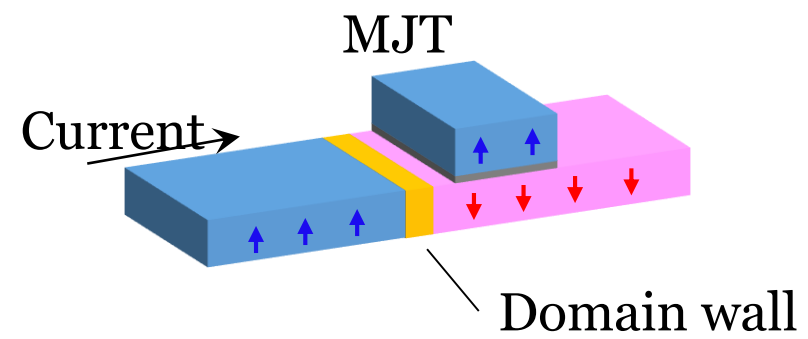
① 磁性薄膜の作製



② 磁気特性の評価  
(磁気パラメータの計測)

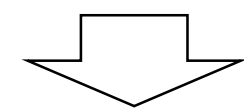


③ デバイス作製



- ✓ 飽和磁化  $M_S$
- ✓ 磁気異方性定数  $K_u$  ( $K_{\text{eff}}$ )
- ✓ 交換スティフネス定数  $A_{\text{ex}}$
- ✓ ジャロシンスキー守谷 (DMI) 定数  $D$
- ✓ 磁気異方性の分散  $\sigma = \Delta K_u / K_u$
- ⋮

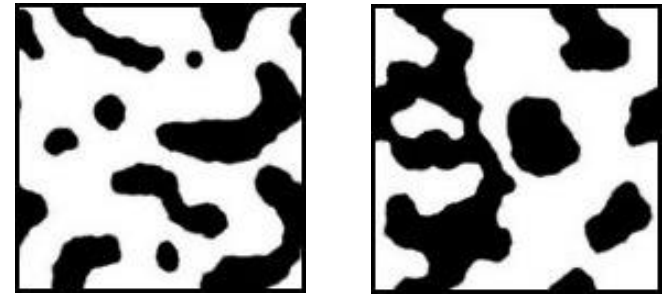
計測が難しいパラメータや、  
計測に時間がかかるパラメータも存在する



短時間でかつ容易にパラメータを  
推定する手法が必要

## 磁石の中の磁区構造

磁区構造は、人間の眼ではランダムに見えるが、磁区構造は全磁気エネルギーが最小になるように決定される。

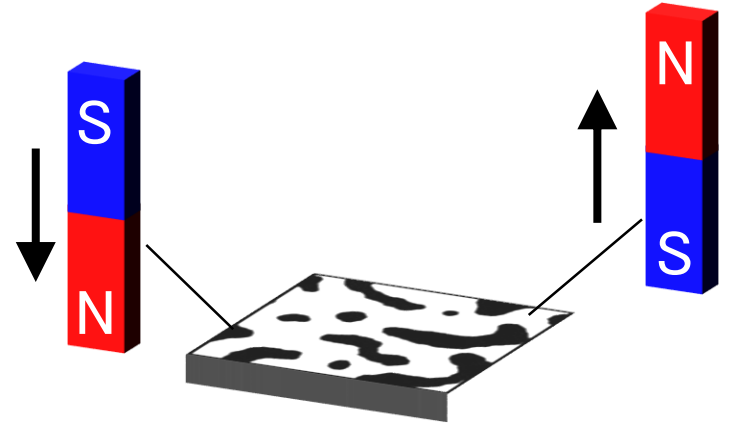


磁区構造

$$E_{\text{total}} = E_{\text{static}} + E_{\text{exch}} + E_{\text{aniso}} + E_{\text{DMI}} + \dots$$

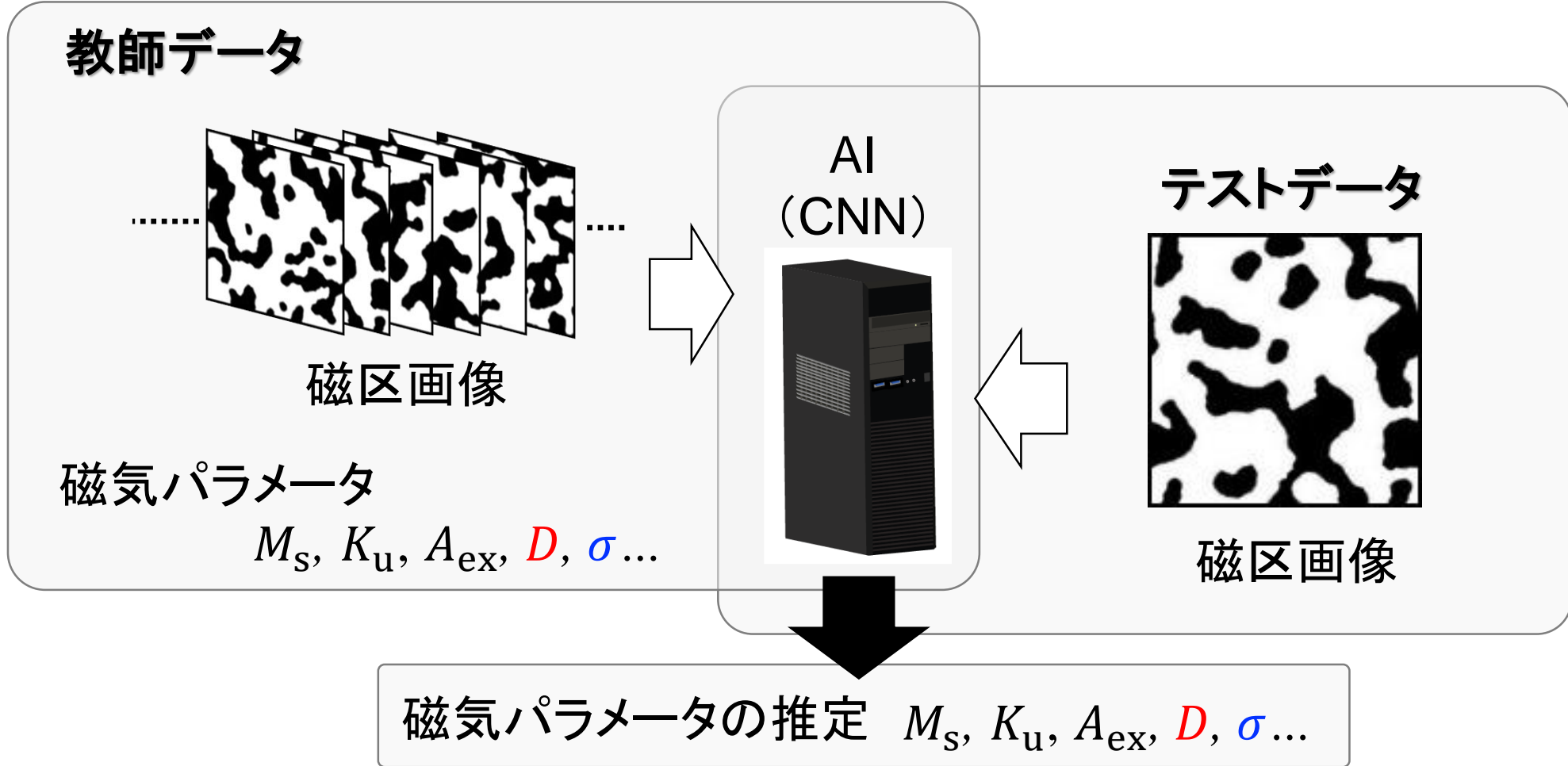
$\uparrow$                      $\uparrow$                      $\uparrow$                      $\uparrow$   
 $M_S$                      $A_{\text{ex}}$                      $K_u$                      $D$

**パラメータの情報が磁区構造の中に隠れているはず**



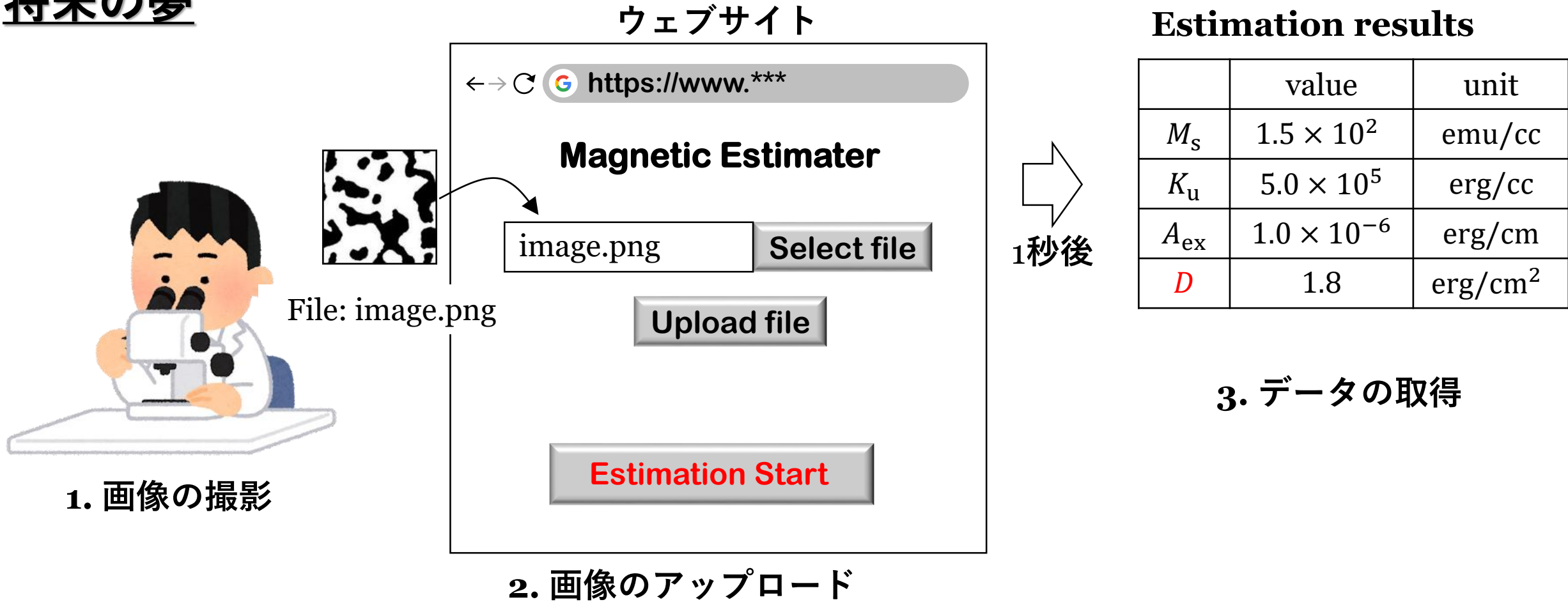
磁性薄膜

## 概要



**1枚の磁区画像から、すべての磁気パラメータの推定ができるか？**

## 将来の夢



パラメータを推定できるウェブサイトが生まれる

3-1. 機械学習を利用したDMIパラメータの推定

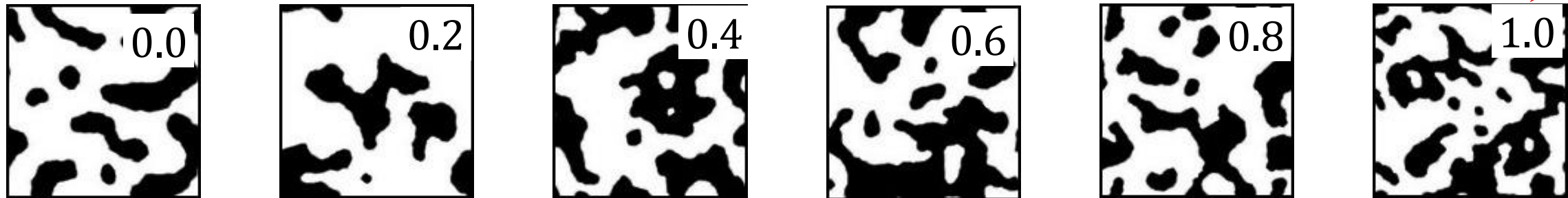
3-2. 異方性定数に分散がある中でのDMIパラメータの推定

3-3. パラメータ推定のために注目している受容野の長さスケールの決定

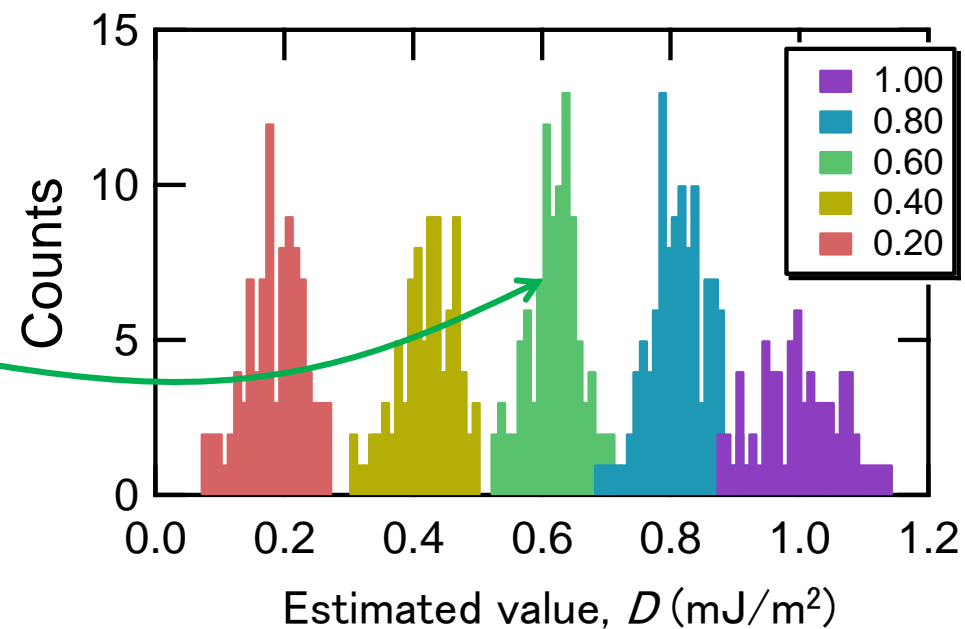
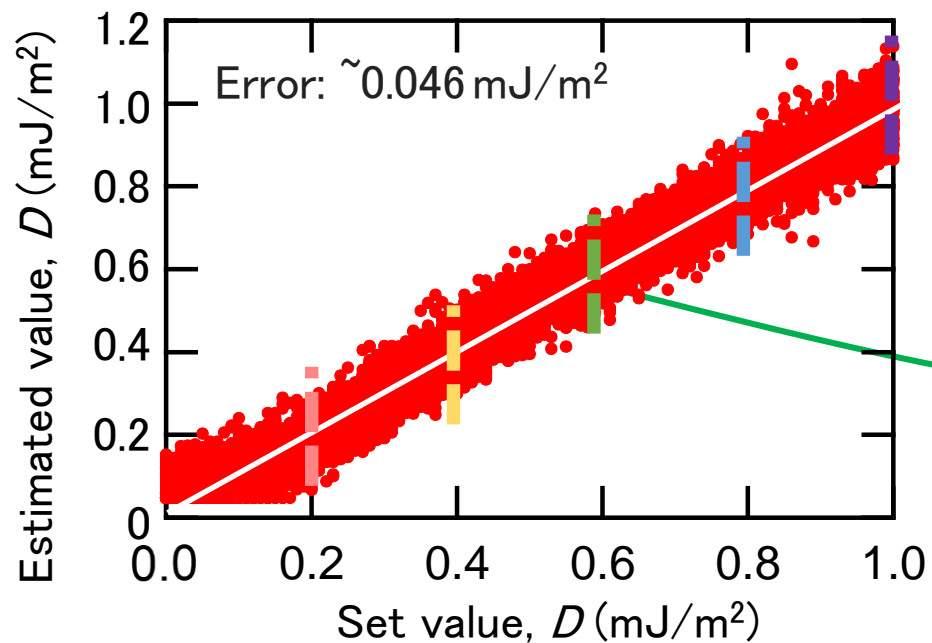
# 3-1. 実験1 (DMI定数の推定)

## DMI定数の推定

DMI定数 [mJ/m<sup>2</sup>]



1 μm

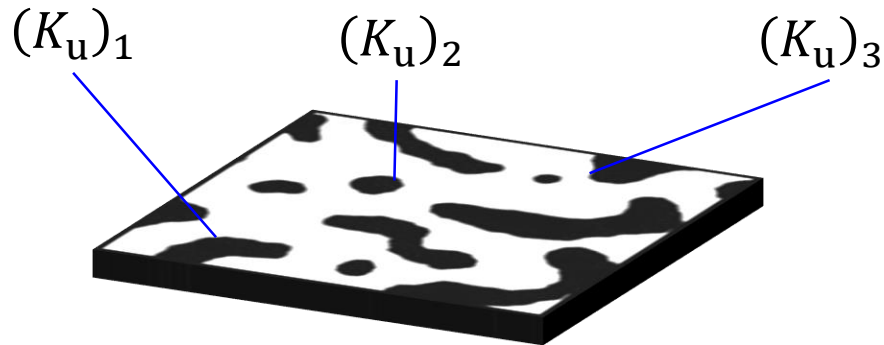


**DMI定数の推定に成功した**

# 3-2. 実験2(磁気異方性分散の影響)

## 磁気異方性定数の分散 $\sigma$

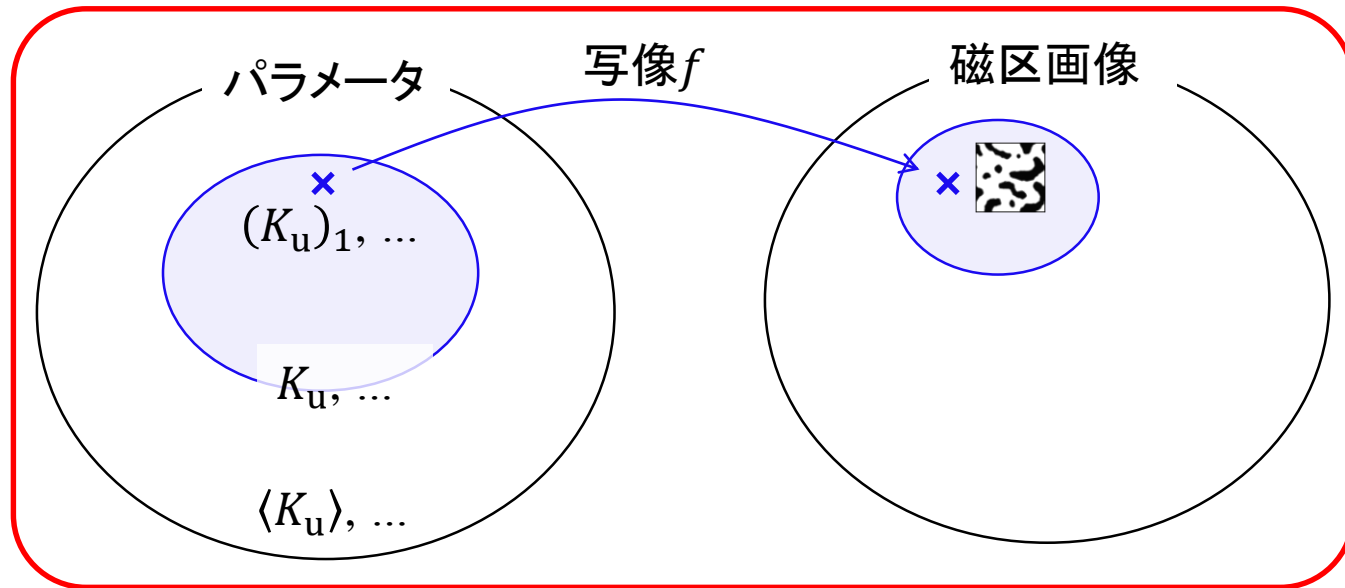
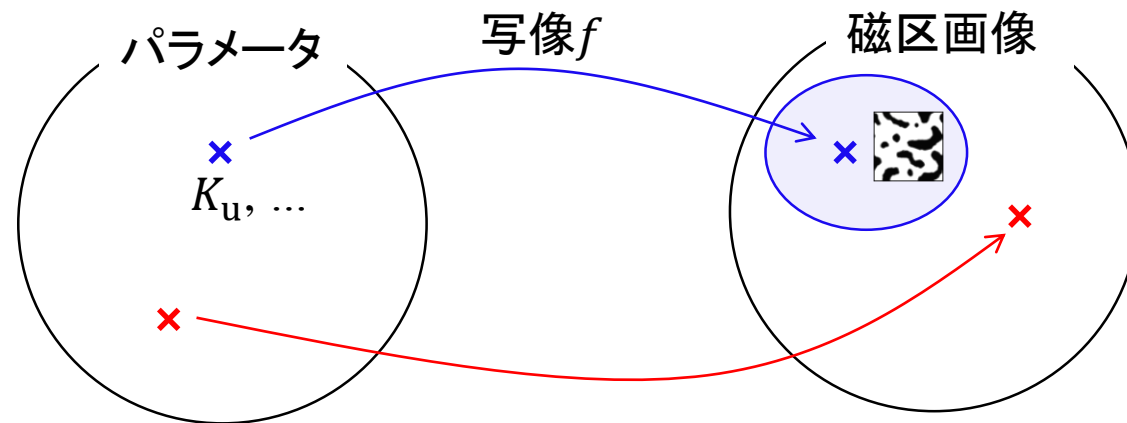
磁気異方性定数の値は場所に依存する  
(ラフネス、不純物、格子欠陥等の影響)



## 磁気異方性定数の分散

$$\sigma = \frac{\Delta K_u}{\langle K_u \rangle} = \frac{1}{\langle K_u \rangle} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((K_u)_i - \langle K_u \rangle)^2}$$

磁気異方性定数の平均値  
(実験的に計測可能なパラメータ)



**磁気パラメータには分散がある**

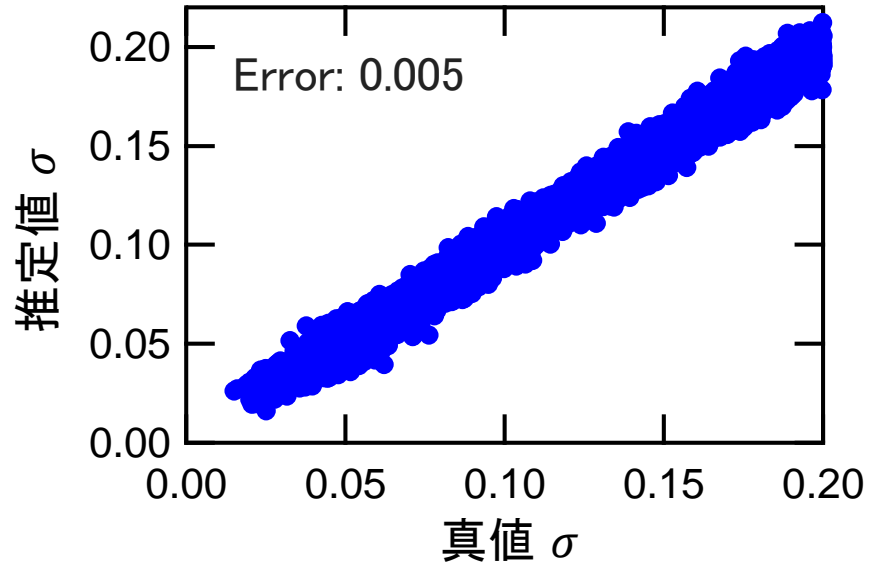
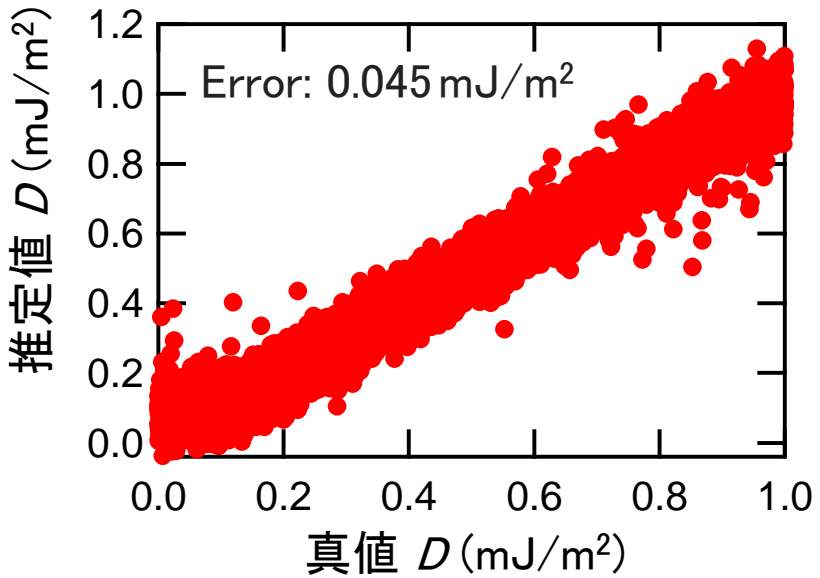


## DMI定数および異方性分散の推定

$\sigma$ はランダムに変化



→ DMI定数 [mJ/m<sup>2</sup>]



**DMI定数と異方性分散の推定に成功**

非公開

非公開

1. 機械学習を用いて、**磁区画像からDMI定数の推定**に成功した
2. 機械学習を用いて、**異方性分散**がある中での推定に成功した
3. 推定のために注目している受容野の**長さスケールの決定**に成功した

<sup>1, 2</sup> M. Kawaguchi, KT et al., npj Computational Materials 7, 20 (2021).

<sup>3</sup> KT, the 68<sup>th</sup> MMM conference (2023) tutorial.