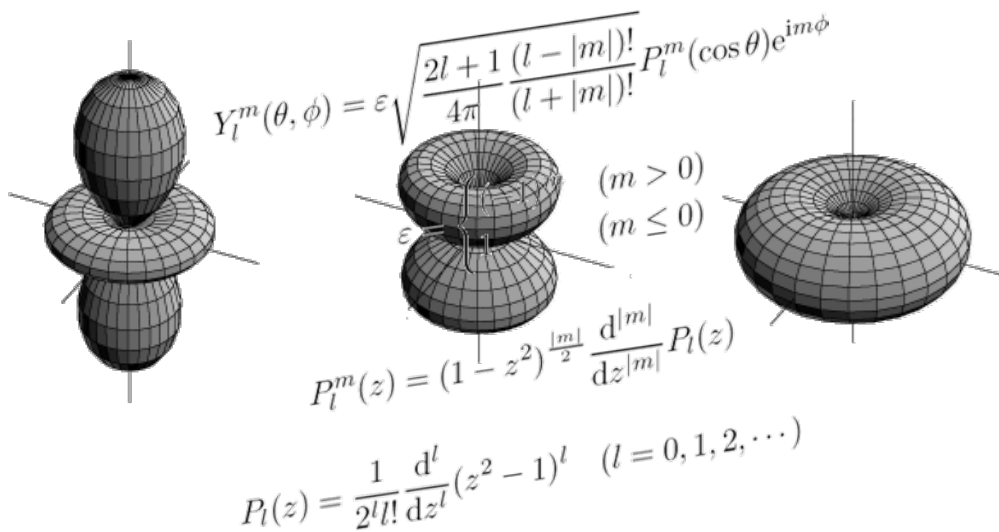


界面スピン軌道・多極子研究会 スライド集



科研費基盤研究(s) (代表：三谷誠司) 2016 - 2021

界面スピン軌道結合の微視的解明と巨大垂直磁気異方性デバイスの創製

豊田理化学研究所 特定課題研究 (代表：岡林潤) 2019 - 2021

先端磁気分光と理論計算の融合研究：「界面多極子相互作用」が拓く新しい学理

界面スピノ軌道・多極子研究会

2019・2020

はしがき

2016年6月から2021年3月まで、三谷さんを代表とした科研費基盤研究(S)が実施されている。「界面スピン軌道結合」をキーワードに、作製、分光、計算の融合による学理構築とデバイス応用を目指してきた。キックオフの際に、三谷さんから「徹底的に楽しみましょう」とおっしゃってくださり、おかげさまでその通りの5年間になりつつある。途中、界面電子状態について軌道状態のみならず、多極子の概念から徹底議論を行うスピノフ(派生的)プロジェクトとして、豊田理化学研究所特定課題研究に採択された。2019年からは理論計算と磁気分光の議論好きな方々と共に、界面多極子研究会にて益々盛り上がってきているところである。このような経緯のもと、このはしがきを僭越ながら岡林が執筆し、あとがきを三谷さんが執筆されることになった。

2019年には、Gerrit van der Laan 博士を招聘し、議論を深められたことが実り多かった。四極子と磁気異方性の関係や、磁気分光について理解を深めることができた。2020年は、残念ながらオンライン開催のみとなり、海外からの招聘は叶わなかった。一方、オンラインの良さを活かし、頻繁に研究会を行って、充実した議論を進められた。議論がマニアックであるほど熱くなる研究会はとても楽しいものであり、これは *curiosity driven* もしくは知的好奇心に基づくものであり、異端は先端ともいえると思っている。

物性物理学とは、「電子の気持ちを理解する」ことである、といえる。外的応答を通して、電子にインタビューしに行っているのである。我々は、界面にて環境が変わった際に電子は何を感じ、どういう特殊な物性を示すかを調べている。電子の応答について本質を逃すことなく直観的に捉えるように考え、腑に落ちて理解できたときは楽しいものである。界面で電子軌道の変形に伴う多極子の形成は自然なことにも思えてくる。多極子の何が面白いか、と問われることがある。その答えとして、異種元素の界面にてプラスマイナスの2極の双極子ができるのみでなく、他の解もあり得ることを示し、それが物性を支配する物質設計に繋がる新しい学理構築ができることである。人間社会にて二極化の答え以外にも多極の解があってもよいことを示唆するものであり、現代の社会問題にも共通するかもしれない。これからも電子の気持ちになって、物性研究を進めていきたい。

これらのプロジェクトに参加していただいている皆さんには、日頃の議論等では大変お世話になっている。何か形に残しておきたいという思いから、このスライド集を作製することとなった。もちろん、投稿論文によって成果とすることは言うまでもない。このプロジェクトは将来へのきっかけであって、今後仲間を増やしてさらに研究展開をしていきたい。また、豊田理研事務局にもお世話になっている。

2020年のテレビドラマからの引用になりますが、日頃から議論いただいている皆様には心から「感謝と恩返し」をしたいと思えます。

岡林 潤 (東京大学大学院理学系研究科)

2021年1月

目次

はしがき (岡林潤)

界面スピン軌道結合の微視的解明と巨大垂直磁気異方性デバイスの創製
(三谷誠司) p. 1

先端磁気分光と理論計算の融合研究：「界面多極子相互作用」が拓く新しい学理
(岡林潤) p. 25

多極子と結晶磁気異方性の物理
(三浦良雄) p. 43

いまさら Fe/MgO/Fe !? -巨大 TMR 比とその振動効果-
(介川裕章) p. 53

スピン反転項と界面電子状態の相関探索
(増田啓介) p. 67

ヘマタイト (α -Fe₂O₃) の交換相互作用と磁気異方性
(小田洋平) p. 77

ARPES による軌道分解電子状態測定と UVSOR におけるスピン分解 ARPES
(田中清尚) p. 91

Observation of preferential orbital occupation in magnetic thin films by angle-dependent XMCD (芝田悟朗) p. 107

Appendix (研究会フライヤー、写真、報告書)
. p. 127

あとがき (三谷誠司)

あとがき

まだまだ終わらないが、5年間にわたって有益な研究会を数多く行うことができた。実質第1回の京都での会議は、その後の方向付けとなるものであり、三浦氏の尽力による。豊田理研のサポートによる多極子研究会との合同化は、研究会を一層発展させる原動力になった。岡林氏による貢献が多岐である。

その準備に疲れて、不謹慎ながら早く終わらないかと思ってしまうプロジェクト報告会的な研究会も少なくない中、本研究会は自発的に時間を忘れて常に大幅延長してしまう。研究が「苦」ではなく、「楽」であると実感しているからに他ならない。これに関連して少し脱線するが、「研究の目的は何か？」という問いに対して、「役に立つこと」が挙げられることが多い。研究成果が工業製品などにおいて実用化されれば、まさに役に立つことになる。顕著な社会還元であり、納税者に対する説明責任を果たすことができる。このとき同時に、基礎研究、特に実用化に結びつくことが想像できないような基礎研究については、「役に立つ」はちょっと違うのではないかという話になる。そして、私が東北大学奉職時における「ちょっと違うのではないか？」に対する一つの回答が、「基礎研究は、エンターテイメントである」であった。しかし、本研究会に参加するようになって、エンターテイメントという回答は100%の正解ではないと気づき始めていた。現在の自身の理解としては、「研究の目的は、知恵を得ること」という至ってフラットに聞こえる表現に落ち着いているが、知恵を授かることに「楽」を覚えることは、DNAに書き込まれた本能のひとつであろう。知恵があれば、もちろんエンターテイメントもできるし、教科書を書き換えることもできる。新たな実用化の背後には新たな知恵がある。

教科書の書き換えについては、スピン軌道相互作用に基づく結晶磁気異方性の説明図について言及したい。Fig.1(a)は、しばしば目にする $\lambda L \cdot S$ 項による説明図である。ドーナツ形状の電子雲が有限の軌道角運動量の存在を示しており、ドーナツの軸方向が L ベクトルの向きである。 $\lambda L \cdot S$ 項によって、スピン（図中の矢印）も L ベクトルと同方向になる。これは比較的大きなスピン分裂があり、majority spinのDOSがほぼ埋まることでBruno modelが使える状況に相当する。一方、Fig.1(b)は四極子項（スピンドイポール項）が支配的になる場合である。ドーナツ形状にスピンドイポールが空間分布すると、古典的静磁エネルギーによる形状磁気異方性との類推から、スピンはドーナツの軸方向には向かない。Feよりもd電子数の少ないMnを含む磁性体において、この状況が生じやすいようである。一見して分かるように、(a)と(b)は真逆のポンチ絵であり、教科書に(a)だけを例示するのは正しい知恵を授けたと言えず不適切であるように思われる。少なくとも、結晶磁気異方性のある程度真面目に教えようとする教科書では(a)と(b)の両方が必要であろう。なお、この直感的理解は、岡林氏、三浦氏らによるところが大きく、詳細については両氏それぞれによる記述を参照頂きたい。

あとがきに引用文献は似合わないので省略させて頂いているが、実はパロディめいた部分や若干の引用を含ませて頂いている。すでに Fig.1 を含む時点で通例をかなり逸脱しているが、あとがきが長すぎたはいけないので、これで文末とし、細かすぎて原典が分からないパロディを繰り返してみる ----- みなさんの「楽」を求める旅路は、まだまだ終わりません。

令和3年1月 三谷誠司

(a) Bruno 機構が支配的なケース



(b) 四極子 (スピンドイポール) 機構が支配的なケース



Fig. 1. 教科書でしばしば用いられる結晶磁気異方性の説明図について. (a)は $\lambda L \cdot S$ 項で直感的に理解しやすい Bruno 機構であり、教科書等で散見される. (b)は古典的なスピンドイポールの空間分布で理解可能な四極子機構であり、教科書等で見ることはないと思われる. 真逆のポンチ絵であるので、(a)と(b)の両方を示すことが望まれる. 単に異なるというだけでなく、ポンチ絵から類推されるとおり両者は互いに打ち消しあうことが多い. (a)(b)を並べて示すことは、結晶磁気異方性が微妙なエネルギー差に起因するという物理の中身を深く理解する上でも有用である。(詳細は、岡林氏、三浦氏らによる記述を参照のこと.)

Note in proof:

Fig. 1 の四極子が支配的なケースにおいて、電荷の四極子とスピンの空間分布をやや詳しく描いてみた。

