

アメリカでの博士課程 1 年目を日本で終えて

Yuto Katsuyama*¹

Received 29th June 2021

Accepted 30th June 2021

「ごめん！ロサンゼルスに入国できない！」渡米予定日の 2 日前に UCLA から連絡があり、私のリモート留学は期せずして幕を開けました。気づけばあれから 10 カ月が経ち、様々な人に支えられ無事に Ph.D. 課程の 1 年目を終えることができました。今回の報告書では、博士 1 年目での学びや自身の変化などを記したいと思います。

Outline

1. アメリカ博士課程の授業（コースワーク）はやっぱり大変？
2. 日本からでも順調に進んだ研究生生活
3. 私がやりたいことって何？
4. 浮き彫りになった私の弱点
5. 逆に、私の強み
6. 頑張りたいこと・理想の研究者像

1. アメリカ博士課程の授業（コースワーク）

はやっぱり大変？

「アメリカの大学院の授業は大変だよ！覚悟した方が良い」と、留学前の私は幾度となく脅されてきました。本当に大変なのはこれからかもしれませんが、最初の 1 年を過ごしてみた感想は「あれ？東北大学の学部と比べたらそこまで大変じゃないな？」です。東北大学の学部では、1 学期に 12-15 科目履修しているため試験期間は睡眠時間を削りながら苦しんでいました。しかし UCLA の博士課程では 1 学期に 4 科目（うち重いのは 2 科目）のみの履修でした。1 科目当たりの重さは UCLA の方が遥かにズッシリですが、2 科目でするので睡眠時間を削ったりすることなく、時間と心の余裕をもって伸び伸びと学習することができました。入学前は「成績不良で kick out されたら嫌だな」と心配していましたが、実際に終えてみると GPA 4.0 を取ることができました。日本の学部で鍛えられている人は、アメリカの大学院での授業はあまり心配する必要はないように私は思います。

秋学期は以下の 4 つの授業を取りました。それぞれの授業の説明は前回の報告書に記載しました。

- Electrochemical Systems
- Nanoscale Materials
- Teaching College Chemistry
- Inorganic Chemistry Student Seminar

今回の報告書では冬学期と春学期に履修した授業について書きたいと思います。以下の授業を履修しました。

- 249A Methods of Materials Chemistry
- Safety in Chemical and Biochemical Research
- Structure and Mechanism in Organic Chemistry
- Ethics in Chemical Research
- Solid-State Chemistry

1 つ 1 つ簡単に説明していきます。

249A Methods of Materials Chemistry（冬学期）

この科目は UCLA Chemistry の Materials 専攻特有の授業で、**学術論文の読み方を学ぶ授業**でした。授業が 4 parts に分かれており、最初の 3 parts では全員で 1 つの論文を細部まで読み込み、ディスカッションをし、毎回最後に**理解度を測るテスト**を行いました。あるテストの例を載せておきます。

C249A Final Exam
Yuto Katsuyama

1. Consider parts of a potential energy surface (PES) where the Born-Oppenheimer approximation holds true, e.g. B2 being deep in one of the minima with respect to the Sm cation, in SmB2+. What are those energy values corresponding to every nuclear geometry, which define the PES? In other words, where do they come from?
(...)

2. Suppose B2 crosses over from one minimum to the other with respect to the Sm cation, via vibrational motion, i.e. goes through the part of the PES where the Born-Oppenheimer approximation breaks down. Write down the full Hamiltonian for the SmB2+ system for this situation (you can leave the atomic numbers and masses of the Sm and B nuclei as parameters).
(...)

3. In Figure 1A, the B2 bond distance remains relatively constant across the “left” local minimum but changes sharply when the system goes to the “right” local minimum. Rationalize this change using Figure 1B.

When the Sm-B2 bond is short (less than 2.2 Å), the electrons reside in the 3a1 and 1b1 orbitals (these are the molecular orbitals between Sm and B2). Therefore, the Sm-B2 bond is covalent at this time.

On the other hand, when the Sm-B2 bond is long (more than 2.2 Å), the electrons in the 3a1 and 1b1 orbitals are transferred to the 1a1 orbital; the 1a1 orbital is the molecular orbital between B and B, and this shortens the B-B distance. In this case, the Sm-B2 bond becomes a more ionic system.

4. Explain the Raman spectral response to isotope substitution of B (focus specifically on the A1g line). What is it about this line that suggests that this phonon couples to the electronic background? Why does it agree with what was predicted from the bonding model? The line widths of the Eg and T1g phonons increase when the isotopes are mixed, due to increased disorder in the crystal structure. On the other hand, the line width of A1g does not change after isotopes are mixed. The shape of A1g is asymmetric and is called “Fano-shaped,” which is typical of the coupling of continuum phonons with interband excitation of electrons in underlying Sm.

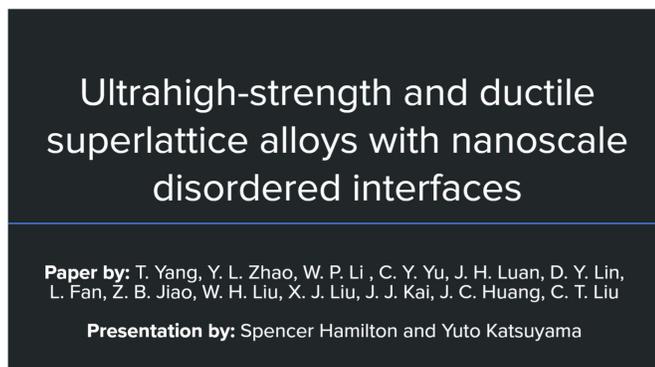
This is consistent with the proposed bonding model, since the stretching of the B-B bond is linked to the electronic interaction between Sm and B2, which determines the valence of Sm.

醜態を晒しますが、設問 1,2 が全く分からず顔文字(;)で提出せざるを得ませんでした。ただこのように回答しても笑ってくれる先生でしたので、それくらい先生との距離感が近かったのはアメリカ特有で新鮮でした。テストの次の週に行う復習の回では「この問題は Yuto が良い回答だったね！ Yuto,なんて書いたかみんなに共有して！」って感じで授業中に名指して発言の機会を与えてくださったのも有難かったです。

Part 4 はグループワークで「Journal の editor になりきって Special Issue を発行する」というものでした。私たちのグループは Superhard Materials に関する Special Issue をアメリカ化学会 (ACS) から発行する、というロールプレイングをしました。2019-2021 に出版された Superhard Materials に関する論文を全て読み込み、技術進歩に大きく寄与した論文をまとめて、最後に簡単な Review を書き、クラスで発表しました。Editor の視点で論文を読み漁ることは私にとって初めての経験で「このような論文が Editor の目に留まって、Feature されるんだな」という感覚を少しだけ学べたような気がします。この視点は確実に今の研究テーマの選定に活かされているように感じます。

249A Methods of Materials Chemistry (春学期)

上と同じ授業名ですが、春学期は担当の先生が変わりました。スタイルはガラッと変わり、2人1組でバディを組み、毎週それぞれの組が1時間で1つの論文を発表し、全員でディスカッションする授業でした。自分は研究室の同期とバディを組み、Science に掲載された論文を紹介しました。



Ultrahigh-strength and ductile superlattice alloys with nanoscale disordered interfaces

Paper by: T. Yang, Y. L. Zhao, W. P. Li, C. Y. Yu, J. H. Luan, D. Y. Lin, L. Fan, Z. B. Jiao, W. H. Liu, X. J. Liu, J. J. Kai, J. C. Huang, C. T. Liu

Presentation by: Spencer Hamilton and Yuto Katsuyama

この授業で特徴的だったのは、論文に書いてあることだけではなく、Author についても調べることでした。この Author は過去にどこの機関に所属していてどんな研究を行っていたのか、なぜ今回の研究の着想を得たのか、について調べることが要求されました。恥ずかしながらこれまで論文を読み漁る時にこのような視点は持っていませんでした。また一つ博士になるために必要な視点・能力を身に付ける機会を得ることができて嬉しかったです。

Safety in Chemical and Biochemical Research

化学の博士たるもの、安全に化学薬品を扱い、事故を可能な限り減らして実験を遂行することが要求されます。その基礎を冬学期を通して学びました。具体的に学んだことは、化学薬品への曝露を如何に減らすか、化学薬品の保存方法、化学薬品をこぼした時の対処法、レーザー等の使い方、適切な防護具の着用などでした。当たり前のことですが、使用する化学薬品によってゴム手袋の素材を変える必要がありますし、着用する白衣の種類も変わります。化学薬品を使用する前には必ず SDS

(化学薬品の安全データシート)を読むこと、薬品を混ぜる前には発生する可能性がある化学物質などを事前に調べること等、基本的なことが最も記憶に残っています。ただこの基本的なことができておらず大きな事故に繋がっているケースが多々報告されていますので、基本を怠らない事の大事さを過去の事故を紹介してもらうことで学びました。

Structure and Mechanism in Organic Chemistry

構造・反応有機化学の授業です。有機化学を最後に履修したのは3年以上前で「そろそろ学び直さないとなあ」と思っていたので(苦手意識がありました)履修することにしました。結果として眠っていた有機化学の知識が呼び起され、さらには大学院レベルの有機化学についても学ぶことができ、苦手が得意に変わりました(まるで進研ゼミ!)。印象深いのが教授との距離の近さです。クラスの Slack があり、教授がそこで宿題や handout を upload します。質問があれば Slack の個人 Chat で聞いてよく、近い距離感で教授と Chat することができました。少し話が逸れますが、UCLA ではどの教授も教育にかなり熱心であるように感じます。週に3回 Office Hour を開いてそれぞれ1時間みっちり生徒の質問に回答してくれたりします。UCLA に進学して良かったと思う点の一つです。授業の内容は以下の通りでした。この授業で学んだことが、実際に現在の研究で役に立っており、他分野の授業も履修することで自分の研究の幅が広がることを実感しました。

- Introduction
- Stereochemical Principles
- Conformational and Stereoelectronic Effects
- Study of Organic Reaction Mechanisms
- Chemical Bonding and Structure
- Aromaticity
- The torture of molecules: Strain in the eye of a rebel chemist
- Solvolysis and Carbocations
- Carbenes
- Free-Radical Reactions
- Electronic Organic Materials

Ethics in Chemical Research

倫理について学期を通して深く学びました。履修前は「倫理って答えがないから、その場その場で深く考える必要がありそう」と思っていたのですが、いざ履修してみると科学倫理には答えがあることが多いことに気づきました。

例えば Authorship に関しては、知的貢献をした人が author list に含まれる必要があります。研究設備や Fund を提供しただけでは list に含まれません。知的貢献をしていないのに author list に入ることはダメだし、逆に知的貢献をしたのに Author list から不当に除くことも許されていません。Corresponding author については論文に書かれた内容を把握し、問い合わせなどがあつた際に適切に対処できる人でなければいけません。また過去に自分が使用した文章表現であっても、それ以降に他の場所で同じ表現を使用することは自己剽窃に繋がるのでダメです。1つの論文にまとめられる内容を2つの論文に分けて発表することも Slicing と呼ばれる行為であり禁止されています。また、大学関係者(例えば学生)が起業する際の利益相反についても明確にルールがあります。大学から Research assistant として雇用されている場合は、当たり前ですがその時間内に起業に関わる業

務を行うことは許されておりません。また企業により今まで通り研究に集中できなくなってしまう場合も厳密にはダメです。

科学倫理の教科書を毎週 1-2chapter 読み、2 つの具体的なケースでロールプレイングをしました。科学倫理に対する知識を体系的に身に付けることができました。

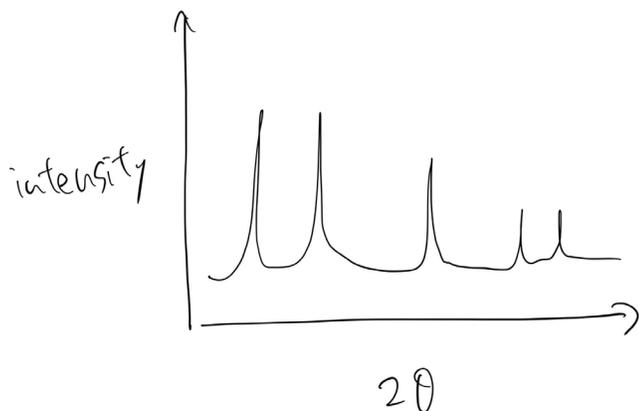
Solid-State Chemistry

専門である固体化学の授業を履修しました。担当教授は自分の指導教授でした。研究ディスカッションは何度もしてきましたが、指導教授の授業を受けるのは初めてで楽しみでした。学期が終わるころには、教授の知識量の多さ・世界の化学界への多大なる貢献度・化学への愛情・生徒への教育熱心さ、などを感じることができ、普段から何気なく会話している教授の偉大さを知りました。彼のような研究者になりたい！と思えるような教授のもとで学べる事ができ、幸せです。

授業に関してですが、毎週宿題があり、試験は範囲が広く、特に期末試験では信じられない量の暗記量があり泣きそうになりました。

COURSE OUTLINE		
WEEK	TOPICS	CHAPTERS
I.	Materials Synthesis	Handouts
II.	Crystal Growth	4
III.	Crystal Structures, Bonding & Crystal Defects	1, 2, 3 (pp. 126-161)
IV.	Characterization	
	a. X-Ray Diffraction	5
	b. Thermal Methods	6
V.	Band Theory	3 (pg. 173-185)
VI.	Electrical Properties	8
VII.	Magnetic & Optical Properties	9, 10
VIII.	Charge Transfer Complexes & Conducting Polymers	8 (pg. 361-366), Handouts
IX.	Layered Materials	Handouts
X.	Fullerenes & Superconductivity	8 (pg. 366-381), Handouts

例えば XRD について一つ学んだことを紹介します。材料を扱う人は必ず使用するであろう XRD ですが、自分の XRD パターンの読み方の浅さを痛感しました。以下のピークが得られたらあなたは何を考えますか？



これを見た瞬間に「FCC (Face centered cubic) !」と答えられないようではまだまだらしいです (笑) 自分は分からなかったのですが、学び終わった後には「自分こんなことも知らなかったのか...」となりました (お恥ずかしい...)。教科書レベルの内容をしっかり学ぶことが普段やっている研究を見る解像度を上げるから、疎かにしてはいけないと感じました。(良いこと言った！)

2. 日本からでも順調に進んだ研究生活

私は東北大学の研究設備を拝借させていただき、UCLA の研究を進めることができました。入学直後の半年間は、まったく研究成果が得られず、焦るばかりでした。(私が所属する UCLA の Kaner lab. は基本的にテーマが与えられることはなく、学生が発案し研究を進めます。なので、自分で発案した研究が全く思うように上手くいかず、研究のセンスないのかなあ、と思うことが何度ありました。) ただ、前回の報告書を書いた年末年始頃から少しずつ芽が出てきて、そこから半年経った現在ではこそこの成果を複数得ることができました。

これまでは先生方からテーマをいただいて研究をしてきましたが、この 1 年間にはじめて自分で研究を発案・遂行してみて、色々と感じることがありましたので列挙します。(博士 1 年目で感じたことなので、今後コロコロと言うことが変わるとは思いますのでご注意ください。未来の自分が読んだら恥ずかしいんだろうなあ。)

- ・いきなり Breakthrough を狙いすぎない
- ・大学院生なんて視野が虫の目ほどしかないのだから、「自分はこの分野で頑張るんだ！」とわざわざ将来を狭める必要はない？
- ・常に他分野の論文を読み続け、他分野の研究者との交流を続ける
- ・めっちゃ論文を読む。興味のある分野だったら、過去 2-3 年間の論文は全部読む。それでほしい trend や課題がわかる。
- ・その上で自分の研究アイデアが rational なものなのか、奇想天外なものなのか判断する。Rational なものであれば、実現可能性は高いだろうし良い雑誌に載る可能性も高い。奇想天外なものならば、全く上手くいかない可能性もあるけど、もし上手くいったら新しい道を提唱することになる。

Nature を目指すんだったら奇想天外なアイデアを沢山持つ必要があるけど、それが全部上手くいかなかったら良い雑誌に論文が載らずに今後苦しみかもしれない... Rational で技術の進歩が見込める研究であれば良い雑誌に載る可能性も高いけど、そんな研究自分以外の誰でもできるんじゃない？楽しいの？となってしまふ。この塩梅が難しい。

3. 私がやりたいことって何だろう？

東日本大震災の被災経験からエネルギー問題を解決したい、ずっとそう思って研究をしてきましたが、最近自分がやっている研究が直接その問題を解決する姿を想像できず、とても苦しんでいます。先生方は「50 年後、100 年後に使われる技術のための基礎研究」と言いますが、先すぎて「なんだかなあ」とも思っています。ただ、すぐにでも世界を変える可能性がある研究というのは世の中にはあって、例えばリチウムイオン電池の開発は世界をがらりと変えました。もしかしたら自分が発見した材料がポストリチウムイオン電池となり、災害現場や再エネ貯蔵・医療現場などで利用され、世界をより良くする可能性もあります。ただそのような研究者は一握りであることも事実で、もしかしたら自分がやってきた研究が社会に使われることなく研究人生を終える人だって多いと思います。もちろんそういう研究が積み重なって Breakthrough が生まれていることは承知していますが、やっぱり「なんだかなあ」と思っています。

あと、電池の研究してる人なんて世界中にめちゃくちゃたくさんいるので、その人たちに任せておけばいつか作ってくれるのではないかな、とも思います。

自分にすべきことって何だろう、って考えた時に、それって自分の生活の中からしか生まれてこないんじゃないか、って、例えば弟は消防士なのですが、最近手袋が破けてしまったらしいです。もし火災の時に手袋が破けたら救護や消火活動に支障が出てしまいます。そういう人のためにより耐久性のある防火性グローブの素材を開発することが、自分のすべきことなのだろうか。もしくは、消火活動中は本当に熱いらしいのですが、より断熱性の高い防護服の素材を開発すること、瞬時に防護服内を冷却できるナニカを開発すること、とかが自分がすべきことなのではないだろうか。もしくは、身近な人の病気が相次いで判明したのですが、腫瘍マーカーを常時記録してがんが発生した時にすぐに通知をくれる究極的ながん予防策のようなものを開発することが、自分がすべきことなのだろうか。

人生は時間が限られているから、最短ルートで進まないで全部は解決できないだろうし、そのために今この研究をやっているの良いのだろうか？もっと色んな人と話して問題を聞き出し、自分ならどうアプローチできるか常に考え続ける必要があると思う。それともその分野はその分野の人たちに任せて、自分は一つの問題の解決だけに集中した方が良いのだろうか。欲張りすぎなのだろうか。

ほんとうに難しい問題だし、恐らく答えは一生出ないのかもしれないけど、もし上で書いたような問題が研究人生を終えるまでに全て解決されているのなら、それはとても嬉しいことであるのは間違いない。しかも材料化学者なら、できなくもないかもしれない。そのためには、今たくさん学んで視野を広げて引き出しを増やしておくことが重要だから、結局は今たくさん勉強した方が良いのかな、という身も蓋もない話でした。

4. 浮き彫りになった私の弱点

①ガツガツさ

これは本当にアメリカ話ですが、やっぱりガツガツと自分の成果・Contribution を主張していかないと、本当に何もしてないと思われるし、自分の成果まで他人に奪われてしまうんだなあ、と実感しました。例えば自分が作ったスライドも、発表する人が別なら、クラスみんなは「その人がすごい」となるし、論文の著者リストもみんなできるだけ前に載せてもらおうとする。日本人の自分はこういうのが嫌いだし、第三者に客観的に contribution の大きさから Author list の順番を決めてもらいたいと思うけど、そんなことも言ってもらえないので、積極的にアピールできるようになるために頑張ります。

②英語力

1年間を通して英語で言いたいことが言えない経験が多々あり、その度に悔しい思いをしました。こればかりは英語をたくさん話して読んで聞いて書かないと成長しないので、嫌でもそうせざるを得ないアメリカの大学院という環境に身を置けていることに嬉しく思います。環境を最大限活かしてペラペラになれるように頑張ります。

③「やらない」勇氣

1年間を通して限られた時間の中に色々詰め込みすぎてしまい、結局大変な思いをしてしまうことがよくありました。例えば直近の半年間は3つの研究テーマに手を出してしまい（しかも装置の都合上渡米までに終わらせなければいけない）、論文執筆・実験・授業などなど、時間がいくらあっても足りませんでした。も

っとTaskを減らせば1つ1つに割ける時間が増えて、より深みのある研究ができるかもしれないのに、と何度も思いました。なので2年生の目標は「あまり色んなことに手を出しすぎないこと」です。時間的余裕をもって1本の深い論文を書きたいと思います。

5. 逆に、強み

①体力はある

客観的に見て現時点では同期よりも研究成果があるので、授業をやりながら実験を進める体力と精神力だけはあるのかな、と思いました。恐らく日本の高校受験・大学受験を乗り越えた人たちは、勉強などに対する耐性がかなりついているように思います。

②アイデアはある

研究アイデアを発表する授業とかでは、私は発言自体は少なかったですが、アイデアが採用されることはよくありました。研究アイデアに限らず、グループ内でのTaskの振り分け方なども自分の意見が通ることがよくありました。ここは自信を持つと思います。

③色んなことをやっている・考えている

これは自分というより研究室の特徴ですが、研究テーマを与えられないため、自分で分野の流れを読んで、自分で研究テーマを設定しなければいけません。一方でほとんどの同期は与えられたテーマを一生懸命やっています。どっちが良いかはわかりませんが、少なくとも私のいる研究室の方針では学生が常にアンテナを張り「自分なら何ができるか」を問い続ける必要があります。また、これまでに研究室からスタートアップが複数立ち上がっており、「実際に社会に使われる研究とは？」を重視しているようにも思います。先生も、原材料やプロセスに対してビジネス的観点から質問することも多いです。例えば「その原材料は大量に入手可能？そのプロセスは大規模化しやすい？」などです。現実に私も現在スタートアップを立ち上げている最中であり、よく聞かれるビジネス的質問は役に立っています。研究以外のことにもかかわることができているのは、自分の強みになのではないかなと思います。

5. 頑張りたいこと・理想の研究者像

今まで私は、研究者は「めちゃくちゃすごい研究ができればよい」とだけ思っていました。しかしアメリカのPh.D.課程に来てからは、「研究も大事だが、十分な知識を持って安全に研究が遂行でき、様々な人が科学に携わることができる環境を作ることも重要だ」と思うようになりました。そのためには幅広い化学の知識を身に付けることはもちろんですが、世界の化学Communityにあらゆる人がaccessできるように世界の現状を知り行動することも重要だと思うようになりました。最近では、UCLAの先輩がBlack in chemという活動を精力的に行っています。誰もが活動しやすい環境を構築することはChemistry communityの多様性を高め、科学技術が更に発展するだけでなく、世界のあらゆる格差問題の是正にも繋がる重要なことです。こういった視点を持つことができたのはUCLAの博士課程に進学したからだだと思いますので、UCLAでの留学を実現してくださった皆様に心から感謝申し上げます。

