



アラカルト

若手研究者・技術者へのメッセージ-22

Fe-C-X 合金の研究

Study of Fe-C-X Alloys

榎本正人

Masato Enomoto

茨城大学
名誉教授



1 はじめに

編集委員会より若手研究者、技術者へのメッセージを執筆するよう依頼がありました。教職に身を置きながら筆者はこれが苦手と思っています。人にアドバイスをするより、どちらかというと自分でやりたいと思うタイプだから、いつまでたっても話がうまくなりません。しかし、長い間やってきた中で聞いたこと感じたことを過不足なしに書けばよいと思い、引き受けることにしました。

筆者がこのシリーズで想定している読者と同じくらいの年齢に差し掛かった頃、我が国は経済の高度成長期にありました。我々は団塊の世代の最年長クラスで、学年人口が一気に前年の1.5倍になり、小学校のときから先生に「君らは数が多くて大変だ、一生苦労するだろう」と言われて大きくなりましたが、大学を卒業するころは、就職にはあまり苦労はしなかったと思います。そういう点は長い就職氷河期を経験した人よりは恵まれていたようです（ただし、この頃にはすでに物理のオーバードクターの問題は顕在化していました）。当時のもう一つの特徴は、学界が企業から研究資金をもらうことに極めて慎重であったことです。別の言い方をすれば、大学で行う基礎研究と企業で行う開発・応用研究とが区別されていたように思います。

研究者としての私の人生を方向付けたのは、多くの同年代の人がそうであったように欧米に憧れ、アメリカのカーネギーメロン大学（以下、カ大と記す）に留学したことでした¹⁾。カ大の全身は鉄鋼王A.Carnegieが創立したカーネギー工科大学であり、物理冶金学（physical Metallurgy）の発展に多大の功績を残したR.F.Mehlのいた大学です。Carnegieは自分より優秀な人を集めることができると言って世を去ったそうです。また、ピッツバーグ郊外にはE.C.Bainが活動したUS Steelの研究所がありました。図1の写真は最近とったものですが、US Steelの本社ビルは今ではピッツバーグ大学

の医学部の建物になっています。また、ピッツバーグから北へ100kmほど行くと、かのロックフェラー（Rockefeller）財閥が形成されるもととなった石油の産出地があり、ここからニューヨーク州にまたがる一帯は全米の100年分は持つといわれるシェールガスで、今また注目を集めています。カ大は当時からコンピューターサイエンスも盛んで、計算センターに面白いソフトがあるというので行ってみると、スペルを間違えて打ち込んでもきちんとした文章になってでてくるワープロのはしりともいえるべきソフトでした。日本ではインベーダーゲームが流行していた頃です。

帰国した後も国際会議や学術訪問などで多くの国へ行くことができ、研究面での日本との違いなどに思いを馳せることが多くありました。それから長い年月が経ち、日本の研究環境はソフト、ハードとも改善されたことは否定できません



図1 モノンガヒラ川（Monongahera River、ミシシッピ河の支流）対岸の丘からみたピッツバーグ（Pittsburgh）のダウンタウン。もとUSスチールの本社ビル（左上）は、ピッツバーグ大学の医療関係のビル（UPMC）になっている。中央やや右寄りに見える学びの塔（Cathedral of learning）の先にカーネギーメロン大学がある

が、本稿はこのような視点から想いつくまにいくつか述べてみようと思います。

2 大学院生の研究

アメリカの大学院は研究資金（以下、グラント）の中に学生の授業料や奨学金（stipend）が含まれているので、学生は先生に雇われる格好になります。この点が授業料を払う日本の大学院と大きく違うところです。日本の先生はグラントを取らなくても学生を確保し、既存の装置と少額の運営交付金（校費）で研究指導ができます。アメリカの先生はこのグラントで是が非でも成果をあげたいと思っているので、指導は熱心です。博士課程の学生ともなれば、学生と一緒に真剣に研究課題に取り組みます。そのため、研究者の業績評価のときに、学位研究は先生の発案で行われたものであるから割り引いて評価されることがありますが、その反面、よいテーマにあたれば、学位取得後もそのテーマを発展させることができ、資金も取りやすくなります。このように、学位研究は研究者としての出発点であり、極めて重要な意味を持っています。筆者は博士課程の学生とポストドクを含めて10名ほどを送り出しましたが（大学7名、研究所1名、企業2名）、そのときに課したテーマがその後の研究にどのように役に立ったかが気になります。

3 研究は英語の世界

英語は単に表現の手段というだけでは済まないと感じます。インターネットは英語の世界と言われますが、研究も英語の世界です。論文は大部分英語で書きますし、国内の学会を除けば、すべて英語の会議です。我々は英語国民ではありませんから、これが非常に辛いことであると感じます。英語を勉強するだけで莫大な時間を費やしますが、それで終わりではなく、その後も論文一つ書くのに日本語で書くより、おそらく3～4倍の時間を使っているでしょう。実験結果などは比較的書きやすいが、緒言や考察、さらにはレビュー論文となると一段高いレベルの英語力が要求されます。講演発表では、発表はうまくいっても質疑応答でうまくいかなかったという人は多くいるでしょう。このようにお粗末で頼りない英語を使って戦い続けなければなりません。以前に比べれば、最近の若い人の英語はうまくなっていると思いますが。

ひと頃、一般の活字離れが話題になりましたが、私は日本の研究者は論文をあまり読まないと思っています。原因の一つは、講演大会をはじめ、フォーラムや研究会が頻繁に開催されていて、交通も極めて便利ですから全国どこからでも参加できるということが考えられます。苦労して論文を読むよ

り、直接会って質問した方が随分と楽です。これが軽薄短小を好むと言われる一般の風潮に助長されているようにも見えますが、海外の研究者は少し違うようです。ワークショップなどで発表すると、必ず今の話は論文にしたのかとか、論文にしたら知らせてくれとか聞かれます。口頭発表と論文とは異なる発表形態であり、伝わり方も違ってきます。他国でやっている研究は論文を読むしかないということもあるかもしれませんが、やはり、その人の考えを知るには論文がベストと考えているためと思われます。日本で開かれた国際会議でわが国の主催者が外国から来た人に向かってもっと日本人の論文を引用して欲しいと言っていました。私としては、日本人は日本人のも含め、もっと多くの論文を読むべきと思っています。

最近では日本で開催される鉄鋼関連の国際会議が減っているように感じます。日本はアメリカからみてもヨーロッパから見ても遠い国ですから来るだけでも大変です。もっとも近隣の国との間で開催する研究集会が増えているので私の思いすごしかも知れませんが。

4 海外からみた我が国の研究体制

滞在先で、「日本はいくつかの小さなグループがばらばらに活動している」と言っているのを聞いたことがあります。小さなグループとは、教授、准教授（当時は助教授）、および助教（助手）を単位とする研究室のことで、グループ間で人事や研究の交流が乏しいことを海外の人もそのように感じていることを示しています。アメリカの研究室は指導教員（通常は1名）と学生だけです。規模としてはこちらの方が小さい。若い先生が採用されるとまず Assistant Professor になりますが、Assistant Professor でもグラントがあれば、Ph.D 学生を採用して指導できます。我が国では教授、准教授といった職位の他に、合、マル合といった位付けがあり、これによって、指導教員や学位審査員になれたりなれなかったりします。我が国では研究者としての能力は経験年数と論文の数、個々の研究の質（あるいはレベル）は使うお金の額によって測っています。グループ内の研究では職位によって暗黙のうちに役割分担ができ、どちらかと言えば、准教授や助教といった若い先生が多数の学生を傘下において、研究の主力になっています。これに対し、海外では Ph.D 学生やポストドクが研究の主力と言ってよいでしょう。国内の地方大学では、運営交付金と定員削減のあおりを受けて若い先生が採用できず、好むと好まざるに拘わらず海外型の研究室になっているところもあります。

もう一つ思い出せるのは、「日本の先生は定年後、消えてしまうのが早い」というのも聞きました。大先生でも定年を過

ぎると急に学会や国際会議に姿を見せなくなると思われていたようです。アメリカではtenure（終身在職権）の資格を取った先生は、定年は自分で決めることができ、私の先生であったH.I. Aaronson教授（故人）も「そろそろ若い人に道をゆずりたい」といって退官され、しばらく海軍の研究所に籍を置きましたが、その後、カ大に戻り、亡くなる年まで論文執筆、シンポジウムの主催、国際会議の発表など精力的に活動が続けていました。

5 巨人の肩

では日本の強みは何か。私見では、わが国には、一部の大学や研究所に限られているとはいえ、実験装置はよく揃っていて、それを使って、精密で偏りのない測定データがとれるというのが特徴ではないかと思っています。これには異なる意見もあるでしょうが、少なくともそのように努めることはできます。しかし、データとしてすぐれていてもそれに意味のある解釈を与えなければ注目されません。また、市販ソフトを使ったシミュレーションが盛んに行われていますが、これまでに蓄積された知見をもとにして、それに何かを付け加えるものでなければなりません。こういうところがあまり得意ではないと思います。逆に、海外では考察が重視されますから、少数のデータであれこれと議論したり、昂じて、論文の査読にも自分の説を押しつけることが珍しくないようです。ここまで行っでは行きすぎですが、上に述べたような弱点を克服するためには、これまでにどのような解釈や理論が提示されてきたか、多くの事例を知る必要があります。最近では鉄鋼の研究を志す若い人が少なくなり、長年にわたって蓄積された膨大な鉄鋼研究の成果がうまく継承されていくのか心配です。そこで、新しいテーマで研究を始める際には、最近の論文だけでなく、古い論文も読んでその問題に関する理論や解釈の変遷も理解して欲しいものです。今、多くの方に執筆をお願いしている「鉄鋼材料と合金元素」がそのような点で、役に立つものであるよう願っています。よく「巨人の肩に立つ」と言いますが、巨人の肩に乗っていたおかげで、険しい道も苦勞せずに渡ることができた。振り返ると、自分より大きな足跡が見えます。すなわち、今ある研究は、すぐれた先人の業績の上に立っているという意味です。

以前は基礎研究と開発研究を分けて考えることが多かったと書きましたが、時代は移り、今では産学の共同研究が大いに推奨されています。企業との共同研究の件数は大学評価の基準にもなっています。我が国の鉄鋼企業は大学でやるような基礎的な問題にも興味を示していますし、大学でも研究の波及効果や社会的意義が強く求められるようになっていきますから、企業と大学で研究内容にあまり違いがなくなっている

ように見えます。これには、もちろん副作用もあります。アメリカや中国では企業の人あまり学会に出てきませんが、我が国では大学や企業メンバーからなるフォーラムや研究会が活発に活動していることなど、双方の関係が良好であるように見受けられます。大学側からみるとテーマの探索、理論の実践など企業との連携は望むところですから、この良好な関係を維持、発展させていくべきでしょう。ただ、研究は個人の発想を最大限に尊重しなければなりませんから、研究会のように大勢でやる研究は広範なデータ収集などが向いていると思います。

6 おわりに

最後になりましたが、私の研究分野は金属材料の相変態、特に鉄合金の変態核生成・成長です²⁹⁾。35年前、アメリカでフェライト核生成の研究をはじめて以来、ずっとこの分野に身をおいてきました。図2にあるようなフェライト粒子の数、サイズ、および、形状 (morphology) がどのようなメカニズムで決まり、合金元素がそれらにどのような影響を及ぼすかを解明することが私の研究の原点です。タイトルのXはMnやSiのような合金元素を表しています（もとはといえば、熱力学的な性質に影響を及ぼす程度に添加される合金元素のことですが、ここでは拡大解釈をして、NbやBのように微量添加で界面偏析などによってカインエティクスに影響を及ぼす元素を含めています）。「何のためにやっているの」、「もっと簡単な合金系の研究からやりなさい」、「そういう研究は○大学でやっている」などと言われたりしましたが、多くの方々のご指導、ご鞭撻により、ずっとこの分野で研究を続けていくことができました。どこから「日本の先生は一つのテーマを長く続ける人が多い」という声が聞こえてきそうですが、今も先が丸くなったノミで、コツコツと岩をつついて

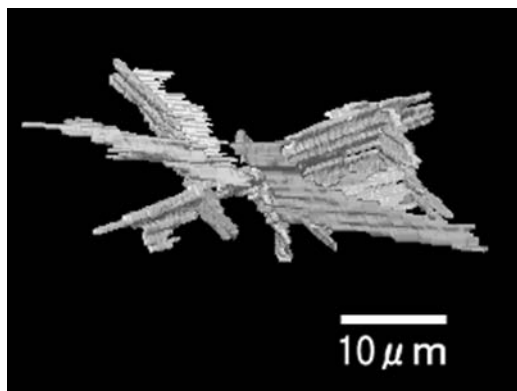


図2 溶接金属 (Fe-0.11C-2.2Mn-0.9Si-0.26Ti) の介在物 (中央付近) に生成したウイドマンステッテンスター (Widmanstätten star)。シリアルセクションニングによる3次元合成画像

います*。

* カーネギーメロン大学では、金属の研究者のことを‘saltminer’と呼んでいました。

参考文献

- 1) 榎本正人：カーネギーメロン大学における相変態の研究 (海外便り), 鉄と鋼, 68 (1982), 2059.
- 2) 榎本正人：Fe-CおよびFe-C-X合金における初析フェライトの核生成と成長 (解説), 鉄と鋼, 70 (1984), 1648.
- 3) 榎本正人, 椿野晴繁：拡散変態としてみたベイナイト変態 (最近の研究), 日本金属学会会報, 28 (1989), 732.
- 4) 榎本正人：鉄合金の初析フェライト変態 (最近の研究), まてりあ, 33 (1994), 147.
- 5) 榎本正人：金属の相変態-材料組織の科学入門, 内田老鶴圃, 東京, (2000)
- 6) 榎本正人：シリアルセクションングによる鉄鋼組織の3次元可視化と解析 (レビュー), 鉄と鋼, 90 (2004), 183.
- 7) 榎本正人：界面エネルギーと核生成理論への応用 (入門講座), ふえらむ, 11 (2006), 294.
- 8) 榎本正人：鋼中介在物による変態核発生のメカニズム (解説), ふえらむ, 14 (2009), 587.
- 9) H.I.Aaronson, M.Enomoto and J.K.Lee : Mechanisms of Diffusional Phase Transformations in Metals and Alloys, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, (2010)

(2014年8月27日受付)