

先達からのお便り

大学生生活(研究・教育・運営)50年を振り返って—新物質・新材料開発に向けて—

東北大学特任教授(客員)総長・プロポスト室 岡田 益男

1. ま え が き

編集委員から届いた原稿依頼をみて、まず、先輩先生方がどのように書かれたかをレビューし、どなたも熟慮されており、私がどこまで書けるか自信はありませんでしたが、「後輩、若手研究者を鼓舞するようなメッセージ」ということで、私の体験談が少しでもお役に立てばと思ひ執筆を引き受けることになりました。大学の教員として関わってきました。「新物質・新材料開発について」、「科研費獲得に向けて」、「大学評価文化の熟成」、これからの教育として、「課題解決型学習(Project Based Learning, PBL)から自主探求学習へ」についての私見を述べさせていただきます。

2. 新物質・新材料開発を目指して

(1) 革新的な新材料開発 —その分野の素人であれ

私は1967年東北大学工学部金属材料工学科に入学、卒業研究は特殊材料講座の金子秀夫教授に師事致しました。金子研究室では、世の中に役に立つ新物質・新材料の開発を目標に掲げ、当時は主に新たな永久磁石の開発に取り組んでおりました。1972年からカリフォルニア大学のパークレー校の修士課程に入学し、透過電子顕微鏡(TEM)のGareth Thomas教授に師事しました。Thomas教授はCambridge大学出身で、坂公恭先生が先達からのお便りでご紹介されておりました通り⁽¹⁾、当時はTEMによる新たな材料観察で世界が熱気に溢れた時代でした。パークレー校は全米での透過電子顕微鏡センターであり、最新のTEMが装備され、Thomas研究室は、鉄鋼、非鉄合金、セラミックス材料など様々な材料を対象として、新たな材料組織観察で活気に溢れておりました。修士課程では、「Cu-Mn-Al系規則合金のスピンノーダル変態」について、博士課程では、金子研究室で開発された「Fe-Cr-Co系永久磁石合金のスピンノーダル組織と磁気特性」が研究テーマでした。スピンノーダル変態合金は変調組織を示し、Au-Ni合金で初めて、lattice imaging(格子像)によりlattice modulation(格子変調)を観察した際には大変嬉しかったのを思い出します。坂先生のおっしゃる、まさに「Seeing is believing」です。卒業後、東北大学の本間基文教授の研究室に戻り、再び、新物質・新材料の開発を目指しました。

私が新物質・新材料開発に向けて、心がけてきたことは「その分野の素人であれ」ということです。それは新しい永久磁石材料の発見のほとんどが実は永久磁石の専門家によってなされてきておらず、多くの開発者が他分野の専門家であり⁽²⁾、大胆な発想、情熱と偶然からもたらされたものであることからです。恩師の金子秀夫教授も本間基文教授も革新的な材料は、これまでの常識外にあるとの自説から、できるだけ大胆な発想ができる学生こそ開発の可能性が大であろうと、修士以上の学生には自由に研究テーマを選択させておりました。

金子研究室では、その成果として学生であった中村久三氏(元アルバック会長)がアルニコ磁石を代替できる加工可能なFe-Cr-Co磁石の開発に成功しており、当時の私を含めた学生は、学生でも新たな材料を開発できるということに胸を踊らせたのを覚えております。私も研究室を担当することとなり、学生に自由に研究テーマを選択させるという考え方を引き継ぎました。また、新材料・新物質を発見するには、その分野の“素人”として先入観無しに研究することが重要であるという考え方の基に、永久磁石材料、電子セラミックス、水素関連材料など研究対象分野を意図的、また定期的に変えてきました。幸いにも、電子セラミックス分野では、①PbTiO₃-TiO₂系高温用PTCR(Positive Temperature Coefficient of Resistivity)セラミックヒーターの開発(490°C発熱)、②Bi金属-セラミックス複合型低比抵抗PTCRデバイスの開発、水素関連材料分野では⁽³⁾、③Ti-Cr-(V)系水素吸蔵合金の開発(3 mass%の吸蔵量)、④超高压によるMg-X系、Li-X系の高容量新規水素化合物、新規化合物の合成、⑤水素熱処理によるCu-Ti系、Al-Mg系合金の結晶粒微細化と特性向上などの成果が得られましたが、これらの成果には「セレンディピティ」的な発見が多々あり、常に果敢に挑戦し続けた研究室の多数の学生の努力の結実です。

(2) 状態図にはない新物質合成への挑戦 —こらからの材料開発に向けて

私の大学時代、主な新物質・材料開発の開発手段は、溶解鑄造法、粉末冶金法等であり、GPa(ギガパスカル)オーダー(1 GPa≒1万気圧)の超高压合成法は地球物理学や物性物理学分野を中心に、また、当時、無機化学分野での新規超伝導の開発で注目されてきましたが、最密充填結晶構造を有する金属分野での新規化合物の探索への応用例は数少なかった。銅系酸化物超電導材料の研究が活発となり、超高压合成装置が容易に入手できるようになり、新規物質合成のために超高压装置を導入しました。多くの方々から超高压合成装置で合成された新規化合物がたとえ現在の材料特性より優れていても、工業的には高価になり実用材料には不相当だというご指摘を受けますが、ダイヤモンドが良い例で、一度新物質として存在が確認されれば、CVD(Chemical Vapor Deposition)法、スパッタリング法、メカニカルアロイング法など何らかの合成法で作製できる可能性があり、まずは新物質を合成し、新たな物質の存在を示すことが肝要だと考えました。

状態図にはない新たな水素吸蔵合金としての化合物探索として、まず Mg-X 系を選択しました。図 1 に、純金属の融点の圧力依存性を示します。Mg は例えば 5 GPa 超高压下で、約 10% の原子体積の減少、融点が常圧下の 923 K から 1273 K と 350 K も上昇するので、常圧下では液相となる温度領域であっても、超高压下では固相反応が可能となり、新規化合物の合成が期待されます。

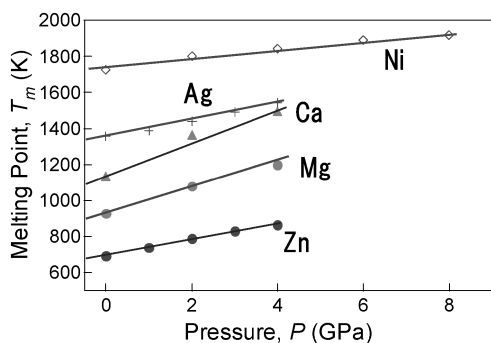


図 1 純金属の融点の圧力依存性。

その結果、Mg-X 系 (X = アルカリ金属, 希土類金属, 遷移金属等) の単純な 2 元系 (水素化物の場合には Mg-X-H の 3 元系) において、状態図に報告のない 33 もの新規化合物や新規水素化物が合成されました。特筆すべき結果は、Mg-Cu, Mg-Ni 系において、それぞれ $Mg_{54}Cu_{17}$, MgCu と、 Mg_6Ni , MgNi 等状態図にはない新規金属間化合物が合成されたことです⁽³⁾。これらの新規化合物は周期律表で Ni や Cu の下に存在する、それぞれ Pd, Pt と Mg 系の二元系状態図と、Ag, Au と Mg の二元系状態図に存在しております。この超高压法で得られた MgNi 化合物は、423~473 K の比較的低温で可逆的に吸放出し、約 2.8 mass% の水素吸蔵量を有する安定な水素吸蔵合金です。Mg-Li-H の単純な系において、水素量 8.3 mass% という高容量を有する Mg_2LiH_5 という立方晶の新水素化物が合成され、また、Li-X 系においても 10 の新規水素化物が合成されております。

以上のように状態図にはない新規化合物や新規水素化物が合成され、日々研究室が湧き立ったことが鮮明に思い出されます。今後は革新的な特性を有する新材料の発見は益々困難になると予想されますが、超高压法によれば、状態図にはない新規化合物の合成はまだ開発の余地があり、将来が期待されます。

3. 科研費獲得へ向けて

(1) 採択される科研費の申請書とは

国立大学が法人化され運営交付金が削減される中で教員の研究費も削減され、大学や教員も外部の競争的資金の獲得が必須となっています。我が国の研究者にとって科学研究費は誰にでも公平に応募できる主たる競争的研究資金であり、私も東北大学工学研究科に 30 年余り在籍し、科研費獲得に一喜一憂してきました。平成 23 年 (2011) に高専に赴任し、教

員の科研費申請についての講演や、申請書のアドバイスをしている中で、多くの教員が科研費の申請書のノウハウを熟知していないことに気づき、アグネ技術センター社から「採択される科研費申請ノウハウ」と題する本を出版することとしました。本の出版を契機に大学や高専から、科研費に関する講演の依頼があり、大学によって、①教員が科研費を申請するように動機付けして欲しい、②基盤 C や若手研究の採択率を上げて欲しい、③基盤 B 以上に積極的に申請し、かつ採択率を上げて欲しいなど、依頼事項は様々であり、これまで過去 6 年間で、延べ 17 大学、8 高専などで講演を行いました。その結果、科研費の応募数や採択数が増える大学や高専がほとんどで、科研費の講演は励みとなっております。その経験から、採択される科研費の申請書として下記の点がキーポイントとして挙げられます。

①新規性、重要性をアピールできる題目とする：採択されている基盤 S や新学術領域研究の題目を参考として、題目をいかに sounds new にできるか。講演中に演習として、5 名程度の申請題目の修正案を提示し、それだけで採択に至る場合が多いことから題目の重要性が示唆されます。

②申請区分を工夫する：自分の所属学会関係の区分で採択にならなかった場合には別な申請区分に申請する。申請区分を変え、題目を変えるだけで、採択に至ることが多々ありますのでご一考下さい。

③研究の社会的意義を強調する：申請書では、「研究の学術的背景や学術的問い」を記述することになっていますが、多くの申請者が「学術的」という言葉を学会的と解釈し、科学論文的な記述になる傾向があります。しかし、「学術研究」とは「研究者の自由な発想に基づく研究」であり、総合審査で他研究分野の審査委員に研究の重要性をアピールするためにも、学会的な記述ではなく、研究の成果の社会的意義を強調することが重要です。

(2) 中区分「材料工学」の 1 課題当たりの平均配分金額 —平成 30 年 (2018) 度第 1 位

私は、科研費の講演会を依頼されるようになってから、中区分の「材料工学」の採択状況を注視するようになり、毎年度文科省から発表になる「科学研究費助成事業の配分について」に掲載される「大区分・中区分別の配分状況 (新規採択分)」から中区分毎の一課題当たりの採択金額のデータを集計しております。各専門分野の配分額は下記で決定されます。

$$\text{各専門分野の配分額} = (B - A) \times (a + b) / 2$$

A: 継続研究課題の本年度分内約額, B: 本年度配分予定額, a: 当該専門分野の応募額が全応募額に占める構成比, b: 当該専門分野の応募件数が全応募件数に占める構成比。

(B-A) は新規分に配分できる予算額で、配分額は上記の式により応募額と応募件数に応じて算出され、応募額と応募件数が増えれば、その専門分野の配分額が増加することになります。

表 1 に平成 26 年 (2014) 度から令和元年度の「材料工学」の一課題当たりの採択金額の順位の推移と応募件数、採択件

数、配分額、1 課題当たりの平均配分額を示します。「材料工学」の1 課題当たりの平均配分額は過去6年間の順位は10位以内で、平成30年(2018)度は1位となっており、これも材料工学関連者の努力の賜物であり、特に、金属学会では科研費委員会から、関係する専門分野にできるだけ多く、応募するように呼びかけている結果だと解釈されます。これからも継続して、個々の研究者が最低2件以上、申請することが期待されます。

表1 「材料工学」科研費1 課題当たりの配分額順位(新規)。

| 年度 | 順位 | 応募件数 | 採択件数 | 配分額(単位:千円) | 1課題当たりの平均配分額(千円) |
|--------|-----|---------|-------|------------|------------------|
| 平成26年度 | 9位 | 1,614.5 | 389.0 | 1,455,400 | 3,741 |
| 平成27年度 | 10位 | 1,552.0 | 364.0 | 1,427,550 | 3,922 |
| 平成28年度 | 4位 | 1,545.0 | 357.0 | 1,623,600 | 4,548 |
| 平成29年度 | 6位 | 1,191.5 | 278.5 | 1,501,200 | 5,390 |
| 平成30年度 | 1位 | 1,552.0 | 350.0 | 2,150,900 | 6,145 |
| 令和元年度 | 4位 | 1,591.0 | 388.0 | 1,713,000 | 4,415 |

(3) 大型科研費へ積極的に申請しよう—若手研究者への期待

特に、令和2年(2020)度から科研費改革がなされ、若手研究者への重点支援、例えば①「若手研究(2回目)」と「基盤研究(S),(A),(B)」との重複応募制限の緩和、②「研究活動スタート支援」の他研究種目との重複受給制限の緩和などが実施されています。特に基盤Bでは若手優先枠組み採択率30%、基盤C採択率30%、若手採択率30%としており、実際、令和元年度の39歳以下の基盤A採択率は34.5%(全体25.1%)、基盤B採択率34.6%(全体29.2%)、基盤C採択率40.9%(全体28.2%)と若手が優遇されており、また、令和2年から新学術領域研究が改訂され、「学術変革領域研究(A),(B)」が新設され、「学術変革領域研究(B)」代表者45歳以下と定められており、若手研究者には是非、積極的に申請していただきたい。

著者は幸いにも、平成17年(2005)から5年間、特定領域研究「サブナノ格子物質におけるプロチウム新機能」(「材料中の水素新機能」を①に従って sounds new した題目)と題する特定領域研究の代表者を務めることになり、それも申請・運営に際して、増本健先生、佐久間健人先生、山口正治先生から適切なアドバイスを頂いたおかげであり、あらためて感謝申し上げます。特定領域研究には公募研究があり、材料系以外から物理系、化学系の研究者から応募があり、水素が有する機能について、多様な観点から研究が飛躍的に推進することができ、他分野の研究者との共同での研究がいかに重要であるかを再認識しました。現在、平成30年度(2018)採択の新学術領域研究として、ハイドロジェノム(代表者:折茂慎一先生)、MFS材料科学(代表者:阿部英治先生)、ハイエントロピー(代表者:乾晴行先生)が推進されており、若手研究者の皆様を含め材料関連の方々には是非、継続的な材料系の新学術領域研究(現在、学術変革領域研究)への応募、採択が待望されます。

4. 大学評価文化の熟成

(1) 評価との関わり

平成16年(2004)4月から国立大学は法人化され、各国立大学法人は、自らの大学としての属性や個性に応じて、6年間の中期目標・中期計画を策定し、文部科学省の承認を得るとともに、その達成状況について国立大学法人評価委員会の評価を受けることが義務付けられ、教育研究については、大学評価・学位授与機構が評価することになっています。大学評価・学位授与機構は、平成12年(2000)4月学位授与機構が改組され設置されました。私は、たまたま、この設置に関わり、平成10年(1998)からこの大学評価機関に関する研究会幹事、大学評価機関(仮称)創設準備委員会専門委員会委員等を務め、平成12年には英国高等教育質保証機構QAA(Quality Assurance Agency for Higher Education)の研修を受け、大学評価・学位授与機構設置後は、運営委員会委員を仰せつかり、国立大学法人評価についての設計や運営に携わりました。国立大学法人評価の基本的な考え方は、各大学の目標に即して評価する絶対評価であり、法人化当時の遠山文部科学大臣は、「国立大学法人が作成する原案を最大限尊重とする」としています。しかし、第3期の中期目標・中期計画には、文科省の指導の下に、評価の負担を軽減するという意図から、第2期と比べて多くの数値目標が盛り込まれました。どの大学も設定した目標値全てを達成するのは困難であり、この7月末日に締め切られた4年目終了時評価のための達成状況報告書はこれから審査されますが、どの程度達成されているか興味のあるところです。

(2) 評価者の心得 “Don't bring your own baggage”

今後、多くの教員や研究者が評価者や被評価者となるのは避けられない時代であり、英国QAAの研修から評価者の心得をご紹介します(4)。図2に示す通り、教育評価のスピリッツは①公平性を保つために、大学や研究科・研究所の目標に従って評価を行う、決して、自分の価値基準(own baggage)で評価をしてはならないことから、講師は、“Don't bring your own baggage, leave your baggage outside of door!!”と研修の中で何回も強調されていました。評価者はずいつい、他の機関の事例を引用し、比較したがる傾向があり、他の機関と比較して評価すると、機関の個性さえも失われる危険性があります。②評価・判断するためには、推測では行わず、評価の裏づけであるエヴィデンスを収集すること、③評価は、大学、部局、教員、学生などのためであることであり、特に学生は弱い立場であり、学生が苦しんでいることがあるなら、例え評価者がその後、大変な非難やエネルギーを要することが予想されても、敢えて学生のために厳しい評価をすることなどです。

そのためには、機関の目的や目的を達成するための計画をきちんと整理されることが肝要です。また、様々な教育・研究プロジェクトについて、中間評価や事後評価は国民へのアカウンタビリティから必須であり、同様なことが求められま

す。私が、自身の研究生活とは全く異なる評価関連についても、進んで関わってきたのは、恩師の本間基文先教授から「大学の管理・運営を雑用というなかれ、大学人の本務であり、積極的にかかわるように」という教えがあったからだということをお付けさせていただきます。

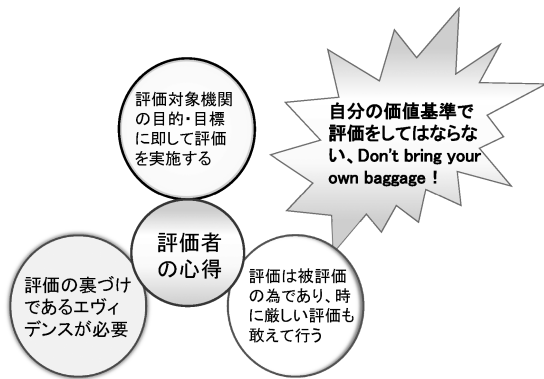


図2 英国 QAA の評価者の心得。

5. 課題解決型学習 (PBL) から自主探求学習へ

(1) education の本来の意味は？ — 留学中に学んだこと

education の本来の意味はラテン語の「educare(エデュカール)」「引き出す」に由来し、学生の優れた素質や個性を引き出し育てることを意味しています。明治維新後、欧米から遅れた文化に追いつくために、education を「教育(教える)と訳してしまっ

た。professor の語源は pro-「前に、前の」fess「言う」-or「～する人 [もの]」であり、「公の前で専門的な内容をはっきり言う人」が由来であるが、professor は「教授(教え授ける人)」と訳された。teach は本来「指し示す」、「明らかにする」のが語源であるが、「教える」と訳された。私の恩師の Thomas 教授から「I'll teach you」とは一度も言われたことはなく、通常は「I'll explain」です。「I'll teach you how to go there」と道を探した際には答えますが、大学では teach という語句をほとんど耳にはしませんでした。村上正紀先生が先達からのお便りでご紹介されておりました通り⁽⁵⁾、米国では、多文化や多様な価値観を受け入れる姿勢、自分の意見を持ち主張できること、個々の個性が輝くように education がなされており、Thomas 教授は、よいと思ったことは、その場で「Excellent」、「Super」など大きな声でほめます。私も含め学生達はその一言を聞きたくて、研究に励んだものです。帰国後、私もそれを見習って研究室でよくほめるよう心掛けました。また、研究室での発表会や Thomas 教授との discussion でいつも私が悩まされたのは、「Why?」「Why?」です。仮に一度目の「Why?」に答えられたとしても、多分その答えが不十分で、また、「Why?」の質問がなされ、最後に「I'm sorry, I don't know.」で終わる。これを繰り返すうちに、何を見ても、自分の中で、「Why?」「Why?」を繰り返すことが習慣となってしまった。この習慣のおかげで、永久磁石、材料の

TEM 観察、セラミックス材料、水素吸蔵合金など様々な材料に取り組む研究姿勢として、Why? という好奇心から挑戦できるようになったことに、あらためて米国の学位 Ph.D (Doctor of Philosophy(哲学))の意味を噛みしめるばかりです。

(2) 課題解決型学習 (PBL) の弊害

私は、平成25年(2013)に八戸高専の校長として赴任し、高専では実践的・創造的技術者の育成を目途に、PBL を多く取り入れた実践的教育がなされていることを目の当たりにしました。高専のロボットコンテストは PBL 教育として有名ですが、ロボットコンテスト参加チームの学生に、予算は準備するので自分で作製したいロボットがあるか聞いてみたら、全員が一度も考えたことがないと即答したことに驚きました。やはり日本の「学校・大学とは課題を与えられ、教えられるところ」であるという学生の認識の強さを再確認した次第です。

日本は「教える・教えられる」文化そのものが「教育」であり、先生も「教えない」、学生や保護者も「教えてほしい」、日本全体が「自ら自律的に学習する」という姿勢に欠けているのは、このような明治維新からの文化の名残でしょうか。しかし、正解のない未来新産業の創出に果敢に挑戦できる人材の育成に向けて、我が国の教育の場がこれまでのように「教える・教えられる」場でよいのでしょうか。

(3) 課題設定能力の涵養 — 高校の探求科目の必須化

education の本来の語源である「引き出す」に立ち戻り、学生が自ら学び、先生は学生の能力を引き出す、新たなカリキュラムとして、どんな取組があるでしょうか。平成30年7月に、新高等学校学習指導要領等が提示され、令和4年度から「総合的な学習の時間」を「総合的な探究の時間」に変更し、新たに、理数探求基礎、理数探求、日本史探求、世界史探求、古典探求などの教科目が必須となり、年次進行で実施されます。平成29年(2017)6月に発表された「大学における工学系教育の在り方について(中間まとめ)」⁽⁶⁾においても、輩出すべき人材として、「社会における工学の価値を理解し、自律的に学ぶ姿勢を具備するとともに、原理・原則を理解する力、構想力、アイデア創出能力、問題発見能力、課題設定能力、モデル化能力、課題解決・遂行能力を持つ人材」を掲げています。私は、工学系教育の在り方に関する調査研究 WG に委員として参画し、産業界の WG 委員から、これからの企業は時代に即した新製品開発が重要であり、PBL 能力より課題設定能力の育成が肝要であることを強調されていたのが印象的です。しかし、多くの大学で PBL 育成科目は整備されているものの、課題設定能力育成科目の整備は遅れており、探究科目を履修した高校生が順次大学に入学するに際し、早急に対応する必要があると考えられます。

(4) 高専における自主探求学習の試み — ニッケル水素電池を冷凍させて復活!!

八戸高専では、自分で考える力を涵養するための一つの試

