これまでをふりかえり、今後を展望する(熱流動部会)

Made in Japan の熱水力 ～偉大な飛躍を目指して～

Japanese T-H: A Small Step Towards Giant Leap

三輪 修一郎

Shuichiro Miwa

KEYWORDS: *Thermal-Hydraulics Division, Generation IV Reactors, Engineering Education, Knowledge Succession*

サンフランシスコでの環太平洋原子力会議(PBNC)に出席後、Purdue 大学へ向かう機内にて本稿を執筆している。Purdue 大学が所在するインディアナ州は単身渡米した10代後半からPh.D.取得までの期間を過ごした地域であり、神戸生まれ、ソウル育ちの筆者にとっては第三の故郷だ。人類史上初めての月面着陸に成功し“*That's one small step for a man, one giant leap for mankind*”との名言を残したニール・アームストロングもPurdue 大学卒業生だ。婚約祝いと称し、半ば強引に手に入れた筆者の腕時計がアームストロングと同じ手巻き式スピードマスターなものその影響だ(宴会等での良き話題提供役となってくれている)。

Purdue 大学在学期間中、世界における日本の技術的プレゼンスが大きく変化していくのを垣間見た。アナログからデジタルへの移行に乗り遅れ、米国の家電量販店に溢れかえっていた日本製品は次第に姿を消し、胸を張って「日本製」と言えるのはもはやカメラぐらいであろうか。時代の流れは時に残酷で、ヒット商品を生み出したグローバル企業でさえも技術の進化に乗り遅れば過去の会社となってしまう。家電業界とのタイムラグはあるが、日本の原子力分野も過渡期にあるのではないだろうか。

Ishii・Hibiki 研にてPh.D.取得後、2013年3月に23年ぶりに日本に戻り北海道大学で教鞭をとる生活が始まった。日本の大学生と接しながら、新たな拠点での研究活動や、原子力学会等の学会活動にも参加し、様々な逆カルチャーショックを経験した。日本では握手ではなくお辞儀をすること、「私がやります!」ではなく「〇〇させていただきます」と(形だけでも?)了承を得ること、紙媒体の書類を押印提出すること(サインでは駄目なのか?ペーパーレス化は?),宴席では「とりあえずビール」から始めること...等にもようやく慣れてきた。その間、熱流動部会をはじめ原子力学会の皆様に対しては、このアメリカ帰りの太々しい若造による失礼な言動でご迷惑を多々おかけしたことかと思う(この場を借りてお詫び申し上げます)。そのような中でも、寛大にお付き合い頂いた皆様には感謝の気持ちで一杯である。

本稿では、30年後の原子力業界を考える上で、筆者が体験した海外での経験と、日本での逆カルチャーショック等を軸に、現在直面する課題と次世代へ向けての提案等を一若手教員の立場で執筆させて頂ければと思う。

I. 世界の中の日本

米国大学原子力工学科の教材に、2名の日本人が登場する。湯川秀樹先生のYukawa Potential(量子力学)と、抜山四郎先生のBoiling Curve(伝熱工学)である。北大着任後、機械工学科の大学院生が「抜山」の名前を知らなかったのにいささかショックを受けたのが懐かしい(先代の偉業を後世に伝えるのも我々の責務ではないだろうか...)。Purdue 大学院に進学し、熱流動分野の研究活動を本格的に始めた際には日本人研究者のプレゼンスに大変感銘を受けたのを覚えている。二流体モデルのIshii(石井護先生)、流動様式線図のMishima(三島嘉一郎先生)、大口径ドリフトフラックス相関式のKataoka(片岡勲先生)、界面積濃度輸送方程式のHibiki(日引俊詞先生)をはじめ、多数の日本人研究者の偉業が認知されている。世界各国から集まった学生や、熱流動研究者が、慣れない日本名を当然のように連呼している様子を見るのが誇らしかった。これらの研究の特徴として、力学をベースとした機構論的モデルの構築、ユニークな実験を提案する発想力、高精度な実験計測に加え、時代のニーズ、時代の先を見抜く視点、ユニークな独創性等が兼ね備わっており、日本の基礎研究力が世界的に評価されてきた点と重なり合うのではないだろうか。世界トップレベルの研究成果を残された先生方から、若手世代は単に学ぶに留まらず、独自のアイデアでそれらを更に発展させ、次世代へと継承していく責務があると考え。

近年の業界の動向を少し広い視野で見えてみる。日本が福島第一原子力発電所事故による復興作業や既設炉再稼働に向けた手続きに追われる中、海外勢はせっせと先を進んでいる。我々がアジア勢の研究クオリティが低いと上から目線で評していた間に、中国や韓国では(かつての日本がそうであったように)欧米帰りの若手が中堅となり、研究プログラムをリードしながら着々と改革を進め

ている。筆者のPurdue大学時代の先輩は、中国国内大学に新設された原子力プログラムの学科長に最近抜擢され、海外研究者のリクルートに大忙しだ。熱流動の基礎研究において、日中韓のレベル差は近年では僅差となり、応用研究では日本の先を行く領域も出てきているように感じる。PBNC会議ではSMRやGen IV 炉のパネルセッションが米国、カナダ、中国、韓国で構成され、大いに盛り上がっていた。次世代炉開発やグローバル展開における日本のプレゼンスの低下を感じざるを得なかった(文科省の方が登壇されたのがせめてもの救いか...)。勿論、学会発表・講演だけが全てではないが、国際舞台における情報発信は、自らのプレゼンスや考えを内外に示すのと同等であり、日本人が考えている以上に重要である。建前本音社会で出る杭は打たれ、他者と同調することを美德とする日本人が「何を考えているのか分からない」と国際舞台で評されるのはそのためかもしれない。今後、Gen IV 時代に突入となれば日本の立ち位置は今以上に弱くなるのではないかと危惧している。学会の未来を担う国内大学の情勢も明るくない。人事凍結中の国立大学が多数ある中、世界大学ランキングや論文数、就職率等の数字に必要以上に影響され、場当たり的な改革案に教職員が振り回され、消耗している印象だ。この調子では30年後の原子力業界は一体どうなってしまうのか? ビジョン無き組織に未来は無い。今一度この業界の組織分析を冷静に行い、All Japan で知恵を出し合いながら今置かれているピンチを乗り越え、今後我々が目指すべきビジョンを次世代に提示する必要があるのではないか。

II. 日本が残していくべきもの

原子力熱流動分野における日本の強みを筆者が挙げるとすれば、(1)基礎研究力と、(2)高品質製品の安定供給力の2点だ。独創的なアイデアによる実験方法の発案や、モデル構築に至るまでコツコツと忍耐強く研鑽を積み重ねることが重要な基礎研究と、「匠の技」に表れる伝統的なものづくり文化は日本が世界に誇れるものだ。これに(米国が得意とする)誰もが使いこなせるシステムを作り上げる力とスピーディーで合理的な経営判断力、(韓国が得意とする)現地のニーズを徹底的に分析した上での積極的なマーケティング力とアグレッシブな交渉力等が備わっていれば、前述した家電製品をはじめ、日本製軽水炉は今以上に躍進していたかもしれない。

70~90年代にかけて国内大学にて展開されてきた熱流動の基礎研究の結果は、モデルや実験相関式といった形で安全解析コード等に適用され、ベンチマーク用のデータとして頻繁に引用されたりもしている。筆者がPh.D. 在学期間中、指導教官の指針で複数の研究プロジェクトを平行にこなす訓練を一年目から受けてきた。数々の実験装置を設計・製作したが、まだまだデータが取得できる実験装置を、プロジェクトが終了する理

由のみで泣く泣くバラした事も多々ある。このような中小企業体制に似た米国大学研究室とは異なり、基礎研究に打ち込める土壌が日本にはまだまだ残っている。これは大きな強みであると筆者は考える。ある意味恵まれたこの環境を我々はフルに活かしているだろうか?

2番目に挙げた高品質製品の安定供給には、日本文化が誇る次世代への技術伝承がリンクしていると考えられる。日本文化に疎い筆者は、昨年から妻の影響で週末に茶道を習い始めた。出だしから袱紗捌きで挫折しかけ、「道」の深さに気が遠くなりかけた筆者は、お稽古をビデオ撮影しても良いか思わず尋ねてしまった。古くから伝わるこの伝統にはHow Toを書き記した教科書もノートも存在しない。師匠のフォームを見よう見まねで覚え、何度も何度も歳月をかけて繰り返しながらマスターしていき、次世代へと引き継がれていくものだ聞いた。1300年近くの歴史を誇る伊勢神宮も同様だ。20年毎に社殿を作り替え、次世代へと技術を確実に継承する。当時の平均寿命でも「復習」することができるよう、20年の周期となったそうだ。原子力分野においても、これまで蓄積してきたMade in Japanのノウハウを次世代へ確実に継承していくことは喫緊の課題であると考えられる。国公立大学への運営交付金の減少が昨今話題となっているが、日本の大学院には米国のようなTA,RA (Teaching/Research Assistantship)制度は無く、毎年決まった数の学生が研究室に配属される。米国大学の莫大な研究費に圧倒されがちだが、その内訳はかなりシビアだ。Purdue大学では高額のオーバーヘッドに加え、大学院生一人あたりの人件費が年間600万円近く(学費+生活費援助)かかり、全てを研究費から賄う必要がある。予算をほぼ全額研究に投資できる上、次世代人材が毎年配属される日本の大学は、この業界の将来を担う人材への教育に注力できているだろうか?

III. まずはOne Small Stepから

北大に着任した当初、内向き志向と聞いていた日本人学生があまりにも海外に出たがらないのを目の当たりにし、ショックを受けた。日本での生活は快適であると同時に、ある意味ぬるま湯に浸かる感覚にも近い。熾烈なグローバル競争が展開される原子力業界のみならず、これからの時代を技術者・研究者として生き抜く上で、現状のままでは先行き真暗だ。そのためにも英語力はマストである(プログラミング力も付け加えておく)。北大工学部では、社会人であれば授業料を払ってでも受講したくなるような英語・英文講座が頻繁に開催されるが、そのようなリソースを活用しているのはごく一部の学生のみ。内向き志向のみならず、知的好奇心そのものが米国大学学生に比べて欠落している。それもそのはず、単位さえ取れば卒業出来てしまう「就職予備校」が国内大学の実態。平均的な学生の関心はエントリーシートや面

接対策、インターンシップと称した青田刈り&お小遣い稼ぎにせっせと参加することのように映る。その結果、レイノルズ数の定義も怪しい大学院生が熱流動の研究室に配属できてしまうという(米国の大学では有り得ない)事例もしばしば生じている。本質的な解決策は卒業要件を厳しくし、米国同様、成果主義による評価を導入することだが、日本における既存システム改革、マクロ的变化は(黒船来襲でもない限り)難しいのかもしれない。現状での効果的な解決策の一つとしては、海外に出て世界との温度差を学生に肌で感じてもらうことだ。研究室間の海外インターンシップでも良い。米国機械学会、日本機械学会、中国核学会の3極の主催により、運営されている原子力工学国際会議(ICONE)では、学生達による Student Paper Competition が毎年開催されており、筆者も Track Co-chair として 2016 年より携わっている。日本機械学会の動力エネルギーシステム部門より選拔され、経済的支援を受ける 15 名程の国内学生は、海外学生と寝食を共にしながら口頭発表、ポスター発表を通して相互評価を行う。中には人生初の海外渡航の学生もいるが、この 1 週間で国内学生の目つきは明らかに変わる。会議が終わればいつもの日常生活に戻るのかもしれないが、その中の一人が変わるきっかけとなれば、業界としても意味があるのではないだろうか。学生は学会の将来であり、最優先されるべき投資先だ。日本原子力学会においても機械学会同様の取り組みがあっても良いのではないか? 熱流動部会であれば比較的レベルの高い原子炉熱流動国際会議(NURETH)にチャレンジさせてみるのも一案だ。学生時代はとにかく背伸びをし、厳しくレベルの高い環境に身を置くことが大切だ。

技術継承を兼ねた勉強会の開催についても言及したい。筆者は若手交流フォーラムや北海道支部での活動に携わってきた。しかしながら、イベントを企画するも参加者がなかなか集まらない。頑張って集めてようやくボーダーライン。筆者が大学院時代、会議参加は時間の無駄とのポリシーを貫く指導教員に頭を下げて頼み込み、3 年目になってようやく NURETH に参加させてもらった(同僚の研究成果も含め、3 件の口頭発表を行った)。様々な会議に参加できる日本の学生が羨ましい限りだが、蓋を開けてみれば参加者の顔ぶれはほぼ毎回同じ。内輪で研究討議を続けていてもマンネリ化していくだけのように感じる。なぜこのような事態が生じるのか。原因の一つとして考えられるのが膨大な会議の数である。秋・春の全国大会をはじめ、支部大会、部会がスポンサーする数々の共催会議。熱流動分野ではこれと同様の集まりが、日本機械学会、混相流学会、伝熱学会等でも持たれる。これは生産性の高い形態であると言えないのではないか。会議主催の際には損益分岐点の話が持ち出されるが、学生の教育、研究指導に本来従事すべき教員のボランティアによって成り立っているシステム

だ。教員と学生の心の余裕を奪う、本来の趣旨とは逆効果になってしまっているように思える。国内大学には、雑用をこなしてこそ評価されるという古き良き時代の風潮が根付いているようだが、昨今の膨大なメール処理と事務雑用に明け暮れる教員の背中を見ながら、研究者を志す若手が果たしてついてくるだろうか? 定員割れが続く博士後期課程プログラムの実態がそれを物語っているように思える。筆者が考えるに、今の国内若手研究者に必要なのは、スライドを眺める発表会では無く(研究発表はトップレベルの国際会議で年に数回 100% の力で自信作をぶつければ良い)、業種を超えた設定で、机上や実験装置、コンピューターを前に行う徹底的な議論・討議(Discussion)の場だと考える。60 周年の節目に、学会活動に関しても今一度精査が行われ、時代に合った活動形態へと進化できればと考える。

IV. 30 年後の日本の原子力業界

福島第一原子力発電所の事故以降、国内の熱流動基礎研究分野に関してみると、これからのビジョンが見えにくい状況が続いているように見える。特に、大学・研究所・産業の連携が弱まり、力の入れ場所がわからなくなっているようにも感じる。アカデミアの世界に浸っていると、業界で実際に問題となっている情報を耳にする機会が(個人的繋がりを除けば)大変少ない。本来であれば学会がインダストリーとアカデミアの橋渡し役を担うべきかと考えるが、数多くの会議が開催される割に、情報共有の場としての役割が果たせていないように感じる。これだけが原因では無いと思うが、近年の国内大学の研究動向はややガラパゴス化しつつあるような印象さえも受ける。米国エネルギー省ではアイダホ国立研究所を主体に今後の重要研究課題についての Research レビューが定期的に行われる。どのような知見の拡充が必要となるか徹底的に議論され、研究公募に反映されるという。同様な取り組みを日本でも定期的に行えないか。熱水力ロードマップ(RM)はそのための第一歩であると考ええる。まずは、RM のエッセンスを各研究機関が汲み取り、All Japan として数々の難題解決にむけて一歩ずつ取り組んでいくことが、30 年後に向けた大きな躍進("one giant leap")へと繋がるのではないだろうか。

以上、帰国 6 年目の若手による散漫な乱文にお付き合い頂きましたこと、御礼申し上げます。この続きは、学会等の場で建設的な議論を通して行えれば幸いです。

著者紹介

三輪修一郎(みわ・しゅういちろう)
北海道大学