

## 炉物理研究の思い出

東京工業大学名誉教授 関本 博

### 1. はじめに

竹澤先生から「炉物理の研究76号」への寄稿依頼のメールを受け取りました。内容(案)については、SR/TITと現在のSMR開発、炉工学全般に関する展望などについて、私の研究経験も交えながら書いていただけないでしょうか、というものでした。特に問題はないので、すぐに承知しました。しかし、考えてみると、SR/TITはかつて東工大で開催された小型炉の会議であり、随分昔の話です。しかも、報告のような内容は既に文献(1)などで行われています。

竹田敏一先生が昨年度の記事を書かれたサイトを知らされていたので、まずこれを読んでみました。興味深く読ませていただきましたが、特に「はじめに」の部分が非常に面白かったです。原子力研究の始まりの熱気が伝わってきます。ただ、阪大の炉物理にはすごいという印象を持っていましたが、関谷先生のことだけしか書かれていないのが気になりました。私が関わった人物だけでも、能沢正雄さん、大塚益彦さん、住田健二先生がすぐに思い浮かびます。また、柴田俊一先生も京大炉が反射的に出てきますが、様々な経歴を経て阪大を卒業されています。京大炉にはそうした理由で阪大出身の先生方が多くおられました。私の研究経験も書くよう依頼されたので、これらの先生方との思い出も振り返りながら記すことにしました。いずれの先生も違った形で何度もお世話になっています。

研究経緯を書けということです、研究業績だけだと、調べれば判ることが殆どでつまらないので、竹田先生に倣い、原子力との関りで思い出話を書かせていただきます。

### 2. 大学に入るまで

私は終戦の年に生まれたので、原子力という言葉は小さい頃から知っていました。特に小学校上級になると、「子供の科学」という雑誌を取っていたのですが、ここに原子力や人工衛星についての記事が何度も掲載され、そこに分かりやすく説明がなされており、親しみを持っていました。また京都に住んでいたのですが、京都の岡崎美術館で原子力に関する大規模な博覧会がありました。さらに当時はまだ日本人のノーベル賞受賞者は京大の湯川博士だけでしたが、湯川博士が原子力委員を辞めたとかいったニュースは良く憶えています。こんなことがあって、京大の原子核工学教室に入学しました。

### 3. 京大原子核工学教室での学生生活

京大では、1年次は1回生と呼びますが、3回生になって初めて専門の先生に教わります。それまでは教養の先生に教わり、4回生になって初めて研究室に配属されます。こんなわけで原子力について学ぶ期間は少なく、また湯川博士は原子核工学教室では全くお目にかかれず、幻滅したのを憶えています。

新しい原子炉を発明したいという夢を抱いていた私は、炉物理が重要と考え西原研に入りました。新聞の影響で高速炉が面白そうと思えたので、高速炉を研究したいと西原先生に申し出たところ、「直接の指導は大田正男先生が良いのだが、先生は間もなくフランスに行かれるので、私が面倒を見ることにする。但し、読むべき本は大田先生に訊いた方がよいのですすぐに訊きに行きなさい。」と言われ、パーマーとプラットの Fast Reactors を読むことになりました。しかし、読んでいくうちに解からないところがいっぱい出てきたので、西原先生に教えてもらいに行ったところ、先生も解からないところが沢山あり、「この本は解かる人には解かるが、解からない人には解からないように書かれている。」と言われた。それでも、この本は広い範囲にわたって総括的に説明されており、読む価値はあると思えたので、解からないところはそのままにして、一応最後まで読みました。その後、西原先生からドレスナーの Resonance Absorption in Nuclear Reactors を読むように指示されました。これは丁寧に読めば教えてもらう必要がないような分かりやすい本であり、よく理解できました。

修士課程の夏季実習で原研での高速炉設計というのがあったので参加しました。期待通りの研究グループで満足しました。丁度その頃 Pu の  $\alpha (= \sigma_f / \sigma_c)$  値に関する測定結果が従来の値とはかなり異なることが報告され、臨界性、増殖性や安全性に対する影響を調べてみることに私に課されました。コードは原研で作成された拡散計算コードを使い、群定数は ABBN を適当に変化させるということで行いましたが、f 係数はとりあえず固定させることにしました。グループのリーダーは「はじめに」で触れた能沢さんでした。直接の指導はしてもらえませんでした。昼食時等に原子力の現状等について丁寧に説明してくださり、感激し、能沢さんのようになりたいと思いました。使用した拡散コードは JAERI-memo という形で丁寧に説明されていたので、これを読み、私でもコードが作れると思いました。また ABBN は西原先生の本棚にあることも知っていました。大学に戻って西原先生に報告するとともに、拡散コードを作り、ABBN を使って自分なりの高速炉設計を修論としてやりたいと提案しました。すると先生は「原研の計算で f 係数を固定したのは間違っている。君はドレスナーを読んでこれがどのように変化するのか勉強したのではなかったのか？ まだまだ勉強不足だから、熊取でこれからやろうとしている体系内スペクトルの実験に参加しなさい。」ということで、修論は「鉄中の中性子スペクトル」ということになりました。

熊取では木村逸郎助教授が直接指導に当たってくださいました。木村先生には 3 回生のとき、学生実習(BF<sub>3</sub> カウンターバンクの制作)でお世話になっており、慣れた実験場に戻ってきたという感じでした。但し、対象は熱中性子から高速中性子に変わっており、検出器も BF<sub>3</sub> から Li グラスシンチレータに変わっていました。先生は忙しくて測定室にはあまり来られなかったが、測定系は既に組み立てられており、助手の方が近くにおられて助けてもらえたので、マニュアル片手になんとかできました。鉄集合体を助手の方達と組み立てるのは重労働でしたが、私たちは同じ年代であり、楽しく作業することができました。LINAC は藤田助手が慣れた様子で運転してくださいました。得られた TOF スペクトルからエネルギースペクトルへの変換は木村先生にやっていただくことになっていた。私は吉田に帰り、ディスクリット SN 法を使ってスペクトルを求めました。京大に入ったばかりの大型計算機 HITAC を使えるようになっており、最先端の仕事をしている気分になり楽しかったです。いろんな講習会があり、これらに参加するのも楽しかったです。大型計

算機が日本で本格的に使われだしたところで、私の作った SN コードは日本で最初の SN コードだといわれ、嬉しくなったのを憶えています。

修論研究はうまくいっているようでしたが、現実には新しい原子炉を発明したいといった当初の夢からはどんどん離れていくように思えました。鉄の中性子スペクトルではいさか離れすぎのような気がしていました。就職探しの時期になったので、夏季実習で素晴らしい経験のできた原研に行こうと思ったのですが、高速炉の開発は出来たばかりの動燃に移っていました。しかも動燃では革新的な原子炉の開発はしないということが分かりました。どうしようもないので西原先生に相談したところアメリカ留学を薦められました。私は英語が苦手であり、会話も全くできませんでしたが、何とかなるだろうと考え、行先の大学を探しました。大変なことになるだろうから気候の良いところに行くのが良いという助言はそのとおりで思ったので、最終的にカリフォルニア大学バークレー校に行くことにしました。

京大炉はマンパワーもあり、日本の炉物理をリードしていました。私が M2 の年、京大炉が幹事校となって秋神温泉で第 1 回の炉物理夏の学校が開催されました。私も学友をさそって参加しました。今でも憶えているのは「はじめに」で触れた大塚さんの講演です。「最近の炉物理数学は難しく理解できない。」という言葉には驚きました。大塚さんは誰もが知っているグラストン・エドランドの翻訳者であり、「最近の炉物理数学が理解できない」というのは理解できませんでした。後になって考えてみると、当時の炉物理数学は線形数学理論で遊んでいるようなところがあり、戒めの言葉を発せられたのかなと思っています。

柴田先生はその頃、京大炉の所長をしておられたかもしれませんが、学生と話をするのが好きで(それが貯まって、「新原子炉お節介学入門」なる本を書いておられる)、私も色々聞かされました。その中で印象深い言葉があります。「近年の原子炉研究者は研究テーマを見つけるために図書館に赴くと言うが、それは愚かなことだ。真に優れたテーマは、原子炉の設計や建設、運転の実践の中で見出されるものだ。」とのことでした。この言葉は、まるで西原研のことを指しているようで、私は胸が高鳴りました。

西原研の思い出は活発な研究会の議論です。それを可能にしているのは助手の小林啓祐さんの頻繁になされる発言と、議論が膠着したときの西原先生の分かりやすい説明でした。小林さんの発言は些末で素人臭いと一瞬思うことが多いのですが、本質を突いたものが多く勉強になりました。

あるとき同期の若谷誠宏君(後に京大ヘリオトロン教授)から鵜飼正二さん(後に東工大数学科教授)に指導してもらう形で数学書の読書会をやらないかという提案を受けました。鵜飼さんは我々の先輩で天才と呼ばれた人ですが、当時は原子核工学教室とは別の教室の助手をしておられました。この読書会には小林さんも参加されました。やり方は若谷、関本、小林が順に読み、練習問題を解き、鵜飼さんが必要に応じて解説するというものです。小林さんに失礼なのではないかと思っていたのですが、皆なんとも思っていないようでした。そもそも小林さんがなんとも思っていないのに感心しました。内容は  $\delta - \epsilon$  法で議論を進めるのが中心で、その後の私の研究には殆ど役にたちませんでした。しかし数学の違った面を見て新鮮な気がしました。読書会の噂を聞か

れた西原先生から「関本君まで鵜飼さんのようになってもらっては困る。」と言われたのはよく覚えています。

## 4. カリフォルニア大学バークレー校

### 4.1. 入学

結局英会話は上達しなかったが、内申書のようなものだけしか要求されなかったのでアメリカの大学に入学することができた。ビザをもらうためにアメリカ大使館に行ったが、担当官から、アメリカに行ったら英語をちゃんと勉強しなければだめだと言われた。

西原先生も私の英語能力を心配され、バークレーに桜井先生がおられるから面倒を見ていただくよう頼んでおくと言っていた。桜井先生には空港への迎えから、銀行手続きにいたるまですっかりお世話になってしまった。

大学からのお知らせで、夏semesterから大学に行き英語の授業をとるよう奨められていたが、もったいない気がして、9月の入学式ぎりぎりまで渡航した。早く渡航しておくべきだったと反省した。

当時の為替レートは 360 円/ドルという極端な円安時代でしかも生活水準も大きく違っていた。奨学金が無ければとても留学を続けていくことができない状況であったが、フルブライト等は打ち切られ、そのようなものは無かった。向こうへ行けば大学が奨学金を出してくれるのではないかという西原先生の甘い考えを信じて向こうに着いたのだが、原子核工学科のセクレタリーに尋ねたら、この学科(100人位学生がいる)ではフェローシップやスカラシップを貰えるのは毎年1~3人だが、今年は誰もいないようだという答えが返ってきた。これにはびっくりで、その後わが人生で一番勉強に励むことになった。このような話に興味のある方は「アメリカで学び働くについて」という記事を炉物理連絡会誌に載せているので参考にされると良いと思います。(2)

### 4.2. 授業選択

上記のようなこともあって、最初に選んだ科目は炉物理と数学であった。炉物理の教科書はラマーシュであった。授業は半分も聞き取れなかったが、なにを言っているのかは理解でき、家でラマーシュを読めば全く問題なかった。毎週ホームワーク問題が出された。採点された回答を返してもらうのは点数の上位からで、いつも私から返してくれるので、私が良くできるのが皆に判ってしまった。部屋で回答に取り組んでいると、TAもやってきて質問され、いつしか教える立場になってしまった。

数学は担当のウォルフ先生が分厚い講義録を配ってくれたので、これまた勉強しやすかった。最初の授業でホームワークの問題も配られた。かなりの量があったが、アメリカの大学ではこんなものかなと思い、良い成績をとらねば大変なことになるというプレッシャーがあったので、とにかく全部解いて、次回の講義で提出した。ところがウォルフ先生が「このホームワークの解答はsemesterの終わりでよいんだよ」と言われたので、取り下げようとしたら、一応内容を見たいと言ってご覧になった。やがて少しびっぴりした様子になり、私に今何か奨学金のようなものを貰っているかと聞かれた。私が何ももらっていないと答えたところ、「私が良い先生を知っている。これから連れて行ってあげよう。」と言われ、加藤敏夫先生のところに連れて行ってもらった。

加藤先生は関数解析の権威であることは知っていたが、加藤先生がバークレーの教授で TA を探しておられ、こんな形でお会いするとは考えてもみなかった。少し話していて加藤先生は「君は秀才のようだが、とても天才とはいえない。僕は天才を探している。」と言われた。尤もな話で、私も天才しか活躍できないような数学で働くのは無理とわかっていたし、秀才とっていただけただけでうれしかった。私との話が面白かったのか、色々聞いて下さるので、「今から研究アドバイザーを決めねばならないが、今までやった来た専門で決めるのがよいか、有名な先生になってもらうのがよいか？」と質問してみた。すると間髪をいれず「有名な先生がよい」と言ってくださった。私がピグフォード先生にアドバイザーになっていたいただいたのはこのような理由である。

ピグフォード先生は原子力化学工学の権威として有名なだけでなく、人格者であり、かつ愉快な人であった。アメリカの大学では研究費の一部は研究者の収入になるようだが、お金を稼ぐのもうまく、大きなヨットを所有しておられた。しかし間違ったことは大嫌いで、企業からの仕事をよくしておられたが、太鼓持ちのようなことは絶対されなかった。私が仕事の途中経過をしに行くと why の質問攻めで閉口することもあった。

加藤先生には可愛がっていただき、その後も何度もファカルティクラブで昼食をごちそうになるとか色々お世話になった。アメリカにいる間はしばしばお手紙をもらったりしていたのだが、日本に帰ってからは音信不通になってしまった。日本に帰るのに反対しておられたので、帰国が気に障ったのではないかと心配している。

以上のようなことで、炉物理も数学も A+ をいただくことになり、フェローシップもいただけた。安心して成績が下がったこともあったが、卒業まで奨学金をもらいつづけることができた。このようなことでお金が貯まり、元は取れたのだが、せっかくなので帰国するまでもっと稼ごうとアメリカで働くことにした。この頃、高温ガス炉が話題になっており、原研の能沢さんから高温ガス炉が将来炉として有望だということで、ご自身で書かれた解説記事を送っていただいていたこともあって、ゼネラルアトミックス(GA)が良いかなと思っていたのだが、ピグフォード先生も GA が良いと賛成された。実は先生はバークレーに来る前は GA のディレクターをしておられて、高温ガス炉が良いということだけでなく、場所ラホヤ(サンディエゴの北にある)が素晴らしいということで推薦いただいた。書くのに必要な時間が無くなってきた。このあたりの話は文献(3)に書いてあるので省略する。

#### 4.3. 有名人との出会い

マンハッタン計画ではバークレーはオープンハイマーやローレンスを出し、重要な役割を演じたので、原子力関連では多くの有名人がいるはずである。こちらに来る前にはそのことも気になっていたのだが、京大の場合と同じで、原子核工学教室にはそのような人はいなかった。しかし、偶然から何人かの人にお会いすることができた。失敗談に属するが、めったにないことなので記しておく。

既に述べたように成績が非常によかったので、ΦBK-key というオナラリ・ソサエティに入会が認められ、金でできた時計のねじ回しをもらった。入会式でノーベル賞受賞者のセグレが講演をされた。相変わらず英語がだめで、十分理解できなかったが、その後、入会者とひとりずつ話をさ

れた。ところが、せっかくの機会であったのに実のある話はず、どんなことを話したか忘れてしまった。

1989年バークレーでピグフォード先生の退職を記念してシンポジウムが開催され、私も招かれ講演した。最初の講演者はシーボーク先生で、カリフォルニア大学バークレー校に原子核工学科を作った時、GAのディレクターであったピグフォード先生をチェアマンとして招くことになったいきさつ等を、面白く話して下さった。立食パーティーがあったが、たまたまシーボーク先生の横に立つことができたので、話しかけてみた。ところが緊張してしまい、つまらない話しかできなくて、残念な思いをした。

既に述べたような日本人の立派な方からは色んな知恵をいただけた。ノーベル賞受賞者のような立派な方なら外人でもすごい知恵が得られるかなと期待したのですが、せっかくの機会があっても、英語がだめで、しかも専門バカになっていると、このような機会を実のあるものにするのは難しいということを経験しました。

## 5. GA

GAに関する話は時間が無いので省略するはずだったが、時間の許す範囲で書いてほしいと言われたので、主要と思われることだけ簡単に書かせてもらいます。

GAは戦後になって軍需産業で大きな利益をあげたジェネラル・ダイナミクスが自社のショウ・ウインドウの形で建てたディビジョンである(3)。初代プレジデントのド・ホフマンについてはは文献(3)にも書いているとおり、楽しい若者といった感じであるが、マンハッタン計画に参加し、テラーの水爆開発にも参加した。炉物理屋にはCaseやPlaczekと書いたIntroduction to the Theory of Neutron Diffusionでおなじみではないかと思う。

文献(3)に書いたように、それまでの興味のおもむくままの仕事ではやっていけなくなり、高温ガス炉に注力して再起を期した。多くの研究者が去ったわけであるが、炉物理関係では、共鳴吸収で有名なノルドハイムや熱中性子断面性で有名なネルキンといった人達は残っていたようである。私はこれらの人達に会えなかったが、ピグフォード先生に言ったら、紹介してやったのと言われて残念であった。

私は高温ガス炉の核設計グループに配属された。会社は既に小型や中型炉は設計を終え販売の段階になっており、主力は大型炉に取り組んでいた。私は炉物理的空間不安定性に関する問題に取り組むこととなった。制御棒パターンに関しては、余りスマートな方法を思いつかなかったもので、まずはキセノン振動に取り組んだ。当時、GAでは多くの炉物理解析コードが作成され使われていたが、随伴計算ができなかった。それでコード管理者のところへ行ってスペクトル計算をしている部分はどこか訊ねた。コード管理者は年配の人であり、アウトプットの山の中で一人で作業をしていた。彼は何をするのか訊ねて、「自分でするのか、私に頼むのか?」と聞いてきた。自分でやるとこたえたら、ソースのプリントアウトでその場所を示すとともに余っていたカードデッキを渡してくれた。ものの数分もかからなかったような気がする。彼は多くの論文を書いていたようだが、われわれの集会には参加しなかった。

GA に関しては、仕事もさることながら、それ以外のことを書いておくのがよいと思うので、雰囲気を知ってもらえるようなエピソードを少しかかせていただく。GA をおとずれた石油メジャーの人達は、会社の建物やそこで働く人たちを見て、「まるでクラブハウスのようだ。」といったそうである。建物はまさにそのようである。建物以外は芝生で覆われ、南国風の花の咲く木が適度に植わっている。プールもあり、昼休みには泳いでいる者も多かった。

私は会社のダイビングクラブに入った。会社が 5 時に終わるとその後、講義室で授業があった。夏時間で時間は十分あった。授業がある程度進むと、プールで実習があり、最終的には試験があって、合格すると公認のライセンスが与えられた。ライセンスを取った後、指導員につれられて、いくつもある近所のダイビング・スポットに行き楽しんで。

## 6. 東工大、助手時代

### 6.1. 東工大で

GA から東工大に移ったことに関しては文献(3)に書かれているので省略する。

東工大に招かれたのは、当時日本の文部省は核融合炉に非常に力を入れようとしていて、東工大もこれに参加しようとしていたからだった。実際にはリチウム体系内の中性子スペクトルを測定し計算値との比較をしようということであった。

ペルトロン実験室が出来つつあったのでそこで TOF 実験をするのが普通のやり方であったが、真新しいペルトロン実験室で14MeV 中性子を出し、放射化物を大量生産することは憚られたので、中性子源は核分裂実験室に転がっていた封じ込めパルス中性子発生装置を使うこととした。フィリップスが医療用に製造した可搬型の14MeV 中性子発生装置であり、トリチウムは完全に封じ込められていて、密封線源として扱うことができる。放射化も殆ど考えられない。使いやすい装置だった。

中性子測定器は M2 の矢橋君が作成してくれていた NE213 スペクトロメータであった。波高分布から中性子のエネルギー分布への変換は面白い研究テーマになった。体系はフッ化リチウム粉末を購入しこれを業者にセラミックペレットに加工してもらって、集合体に組み立てた。中性子輸送計算は既に原研から取り寄せられていた ANISN を M1 の山根君が使えるようにしていた。

久しぶりの実験で心配だったが、学生さん達がしっかりやってくれ、なんとか期日までに修論を作成することができ、グループを無事船出させることができた。後は検出器を小型化したり、計算をモンテカルロに変えたり、体系を別物にしたりして仕事を続けていった。

### 6.2. 核融合工学仲間

下っ端の教官であったが、大学では自由な立場にあったためか、核融合では全国レベルの仕事を頼まれることが多かった。科研費エネルギー特別研究(核融合)というのが 10 年計画で始まった。いつのことか忘れたが、学生会館で盛大なキックオフミーティングが開催され、私も招待された。会議室は複数使用していたのだが、立錐の余地のない状態で、総合総括班班長の内田袋二郎先生は緊急に用意された台の上で挨拶された。そこで「今日は沢山お集まりいただいたが、金

の切れ目が縁の切れ目」とおっしゃったので皆笑ったが、それでよいのかと思ったのを今でも覚えている。科研費としては贅沢で、私もいくつかいい加減なものを申請したが、いずれも通ってしまった。後で融合を離れ分裂で申請したときには殆ど通らなかった。

総合総括班の書記を長い間やらされた。雑用であったが、予算申請等の内側が見られて面白かった。総合総括班には内田先生以外に、中性子工学グループとしては兵頭先生(京大)や住田先生がメンバーとして加わっておられたし、柴田先生も監査役のような形で参加しておられた。これ以外に学術会議の末端組織になる核融合研連にも書記のような形でメンバーとなった。この他、学術審議会にも似たような委員会があるそうで、これら3つの組織をうまく使うことで予算を付けることができると年配の先生に説明していただいた。研連としては、もう少し後になって原子力基礎研連や原子力工学研連のメンバーになったが、このような利益誘導と疑われるようなことはやらなかった。

## 7. 東工大、助教授時代

山室先生が退官する直前に助教授になった。この年、所長だった青木先生も退官し、東工大原子炉研の第1世代(?)が全て退官したことになる。私と青木研の有富さんが新しく助教授になった。何かを感じさせる人事だった。昇任通知を貰ったので先輩の先生に挨拶に行ったら、「炉物理等を大学の研究所で研究するのは間違っている。お前はいずれ追い出すから覚悟しておけ。」と言われて驚いた。

4月になり初めての教授会に出席したら、新所長が文部省に挨拶に行った時の報告があった。所長から「担当官から『原子炉研の見直しはどうなっていますか』と質問された。私は全くわからないのですが、どなたかご存じの方はおられますか。」ということを言われた。誰もよく知った人はいなかった。見直しというのは名前と研究内容等を検討してまずいところがあれば変更することかなと思っていたら、これは既に悪いと判断されている部署を改善するときに用いられる役所言葉で、いったん始まると役所が満足するまで指導されるということであった。

私は上がいなかったためか、所長から色々見直しに関する仕事を頼まれた。このため、自由電子レーザーの概算要求まで作成したものである。これに関しては素人なので、阪大のレーザー研の研究会に出席して勉強したりした。そうこうしているうちに、研究所の新部門の内容作りに駆り出された。私には高密度エネルギー部門なる部門の説明が回ってきた。高密度というと高密度プラズマといったことがすぐ頭に浮かび上がる時代であった。誰がこの名前を考えて私に押し付けたのかは知らないが、私は核エネルギーこそ高密度エネルギーであるという論理で部門内容を書き上げた。理屈が通っていたためか誰からも文句は出てこなかった。

原子炉研改組に関しては長い年月にわたり議論が続いた。所長も3人も代わった。この原稿は炉物理部会報のためのものなので、いろんなことはあったが、この話はこれ以上書かない。ともかく藤家所長の時に、名前は変えず、大部門制にしてメンバーを適当に入れ替えることで決着をみた。但し、文部省はまだ不満なところがあるらしく、将来更に改革を期待していて、その時、研究所名も変えるというようなことを考えているようであった。



## 8. 東工大、教授時代

### 8.1. 核平衡社会

改組とともに教授に昇進した。同時に藤家所長から色々頼まれた。所長は「自ら整合性を有する原子力システム」を研究所の看板にしようとしていたが、特に放射性廃棄物が注目されていた。私は核平衡社会というテーマで研究を行っており、方々へ行ってこれについて講演をするよう言われた。炉心燃料サイクルは特別難しいものではないので、当時色々なシミュレーションが行われており、本質が何か解かり難くしていた。私は未来の行きつく先のシステムは時間微分をゼロにしたシステムがよい近似となると考え、時間微分をゼロにした核変換方程式を使って色々議論した。学生の高木君(現在都市大教授)が良く意を汲んで優れた博士論文を書いてくれたのが大いに助けになった。

原子炉研の改組の宣伝は大切な仕事となっていき、色々なところで講演会や会議をやった。原子力への関わりのある地方で「自ら整合性を有する原子力システム」を掲げ大々的な集会をやっていたところ、高名な名誉教授が私のところにやってきて、「こんなもので改組といえるのか。私がつぶしてやる。私は政治家だからね。」とすごまれたのには驚いた。これはある意味で、後にそのとおりになってしまった。

### 8.2. 小型炉

原子炉研の飲み会をやっていて、雑談ついでに、藤家所長から国際会議をやってくれと頼まれた。話の勢いで承知してしまった。タイトルも何もかも私に任せるということであった。色々なアイデアを出す人もいたが、私は小型炉の会議がよいと思った。本原稿でも小型炉について依頼されているので、少し詳しく書くことにする。

助手時代は先にも書いたように核融合をやっていた。しかし、核融合時代は私の目の黒いうちにやってくるようには思えなかった。しかも炉物理研究としては臨界現象がなく、遮蔽と変わらなかった。助教授になって自由にテーマが決められるのなら、核融合は止め核分裂をやろうと決めていた。助教授になったとき、学生も特別な予算も与えられていなかった。ベンチマーク実験はばかばかしいと思っていたので、実験もやめてしまった。

最初、高速炉の設計研究をしようと思ったのだが、この分野には細かいことの好きな人や厳密すぎる話の好きな人が多く、全体的な粗っぽい議論のできる人が少ないのが判っていたので、まずは高温ガス炉の研究をして核分裂の研究グループに入っていくことにした。それも原研でやっているブロック型燃料の炉ではなくペブルベッド炉とした。それまでは燃料の流れを炉心をブロックに分けてそのディスクリートな流れでシミュレーションしていたが、メッシュで直接流れをシミュレーションするコードを作成した。これは極めてスムーズに投稿受理され、無事核分裂グループの一員になることができた。

こんな折、電中研の山地憲治さん(現東大名誉教授)が来られて、「アメリカで小型炉が注目されているが、どう思うか？」と質問された。私は博士論文で原子炉の経済性を少し勉強したが、大型化と経済性には強い正の相関があることを式を介して理解していた。また GA で高温ガス炉をやっていたとき、経済性を考えると大型化が必然であった。そういうわけで、小型炉は望ましいと

はいえないと返事した。しかしアメリカでは TMI 事故のあと、固有安全炉の研究が活発になり、その中で小型炉は非常に力を得て来ていた。GA も小型炉を宣伝するようになっていた。山地さんの書かれたものや、海外の文献を読んでみて、小型炉は安全性や多目的・機動性といったことから非常に魅力的な原子炉であると思うようになった。私は核分裂炉は高速炉を本命と考えていたので、まずは小型高速炉の研究でスタートすることにした。当時、電中研の服部さんがナトリウム冷却の小型高速炉の開発研究をしておられたので、こちらは鉛あるいは鉛ビスマスを冷却材として使う高速炉にした。

このようなことでやっと SR/TIT の話に辿り着いたが、いかんせん時間が無い。会議の内容は文献(1)に書いており、プロシーディング(4)も出ているので、裏話のようなことを書かせていただくことにします。但し時間が無くなってきたので、極少しだけにしておきます。

外国からの参加者を呼ぶのが大変だったので、そのことについて 2 件ほど書いておきます。助手の頃は研究室のお金を自由にできなかったのが海外には出られませんでしたが、助教授になっても私の使える予算にそのような費目はないので諦めていました。しかし所長から委任経理金を使えばよいということを教えてもらい、やっと海外に出るようになったのですが、かなり後のこととなり、殆ど海外出張の経験がありませんでした。このようなことから、ことに小型炉といったことでは、海外に知人が殆どいませんでした。

さてどうしたものかと思案していた頃、エドランドから電話がかかってきた。ビジネスでの航空運賃の面倒をみてくれるなら参加するとのことであった。厚かましい要求とは思ったが、原子力を始めた日本人で知らない人は無い有名人だと思ったので、何とかしようと思ひ要求をのむことにした。小型炉は途上国で必要だと思っていたし、途上国は金が無く援助しなければならぬと思っていたので、いくつかのところに財政援助を頼みこんでいた。多くはないが、可哀そうと思われたのか少し援助してもらっていた。

エドランドは会議が退屈になると、私の部屋に入りびたりになって私の論文を読んでいたのが、たっぷり話をすることができた。彼とグラストンが書いた本は初期の最も有名な原子炉入門書である。彼に書くのは大変だったろうと訊ねたところ、「いや簡単なことだった。」という返事が返ってきた。「当時オークリッジ研究所では原子力の教室が開かれていて、ウィグナーの書いたものがいっぱいあって、あの本はそれをまとめただけだ。」ということであった。「本当ならウィグナーが講師に最適なのだが、彼は英語の発音がひどくて何を言っているのか分からない。それで私が講師をやっていた。そんなわけであの本は私が書くことになった。」全てをそのまま信じてよいのかよくわからないが、面白く聞いた。当時エドランドは新しい原子炉に関心をもっていた。それで彼に原子力特許について聞いた。かれの返事は「原子炉の特許はウィグナーが殆どとってしまっている。それでも、自分もひとついいのをとった。次の軽水炉では採用されることになっている。多分自分は歳なので特許料をもらうことはないだろうが、自分の子孫がもらって億万長者になれるはずだ。」ということであった。エドランドはその時ニトログリセリンを常備していたが、帰国後まもなく亡くなった。その後アメリカで軽水炉が再建されるようになってきたが、ご子孫は億万長者になられたのだろうか？

当時私は NSE に掲載されていた高温ガス炉の燃料集合体の臨界実験の論文を読んだ。将来ヒートパイプで熱を取り出し小型炉を作るというものであった。著者はパーマーとなっていたが、私が 4 回生のとき読んだあの本の著者であった。ロスアラモスでの実験であった。学会の帰り立ち寄って色々聞いた。この少し前まで、長期に亘ってソ連とアメリカは冷戦状態になっていた。アメリカにとって一つの問題は、シベリアから ICBM がアメリカに向かって飛んでくるのを、どのようにしてできるだけ早く検知し撃退するかということであった。このためにはカナダの北端に検知システムを構築しなければならないということになった。これは北極圏であり、人を張り付けるのは困難であった。このために核エネルギー基地を建設することが提案された。これが North Warning System であり、このために開発しようとしているのが、ここで取り組んでいる小型炉ということであった。軍事研究というのはすごい勢いで進む。臨界実験が終わったので、次はヘリコプターでカナダに運び、そこで徐熱装置をつけて実験を続けることになっていたそうである。ところがカナダは核兵器は持ち込まないと宣言していてこれができない。この炉は核兵器ではないと主張すると、ミサイル迎撃システムのエネルギー源になるのなら敵の攻撃を受け、やはり核惨事が起こりうると反論される。こういった議論をしているうちに、冷戦は終結し、このプロジェクトも打ち切りになったということであった。

「日本でこの装置を使って実験するというのならあげるよ。」と言われびっくりしたが、面白いと考え、日本に帰ってから科研費を提出した。これを住田先生が見られたようで、あるとき私のところへ飛んでこられ、「関本さん、こんな大量の核燃料を運ぶなんて恐ろしすぎる。やめてくれ。」と言われた。私も尤もだと思えたとし、煩わしいことには関わりたくなかったので、この話はこれで止めた。その後、カナダではこれを利用した原子炉がいくつか提案されニュークリアバッテリーといった名前で宣伝されたりしていた。いったん消えたが、また似たようなニュースが流れたので、電話で問い合わせしてみた。パーマーが関わっていると思っていたら、やっぱりそうだったが、前年に山で遭難して亡くなったと聞いた。ロスアラモスに彼を訪ねたとき、サンタフェの自宅に招待してくれたことがある。とてもきれいな星空だったのを思い出したが、彼がその時言った「自分のいたスコットランドも綺麗だった。ロスアラモスに来たのは有名な科学者といっしょに仕事をしたかったからだが、その頃は既にみんな出て行ってしまった後だった。」というのが忘れられない。

## 9. あとがき

「ページ数などの指定書式は Web 発行のためなし」ということだったので、ゆったりと書き始めたのだが、時間が無くなりそうなので、かなり端折りながら急いで書いてきました。しかしここまで書いてきて、本当に時間が無くなりました。時間系列的には、この後 CANDLE 炉のこと(5, 6)、21世紀 COE プログラム「世界の持続的発展を支える革新的原子力」COE-INES、学会や原子力関係団体の各種委員会等のお世話の話、退職後のバークレーやアモイ大学での生活等の内容豊富なものが結構ありますが省略します。もっとも要求されていることから考えるとあまり価値のない内容になっているので問題ないと思います。

依頼者からは今回の内容(案)として、

- ・SR/TIT と現在の SMR 開発

・炉工学全般に関する先生の展望  
が示されていました。

現在の SMR 開発というのは、もはや炉物理研究者の枠外になっています。色々な会社が色々なメッセージをインターネットに挙げているので参照されるとよいと思います。しかし、やたら綺麗な建物の形が載っているだけで、詳しい炉物理情報は殆ど得られないと思います。既に技術競争の段階というよりはビジネスの段階になっているのでしょう。現状では、これらの動きにはあまり捕らわれず、自分の考えで研究を進めるのが良いと思います。

炉工学全般に関する私の展望に関しては、時間も無いので書くのは省略させていただきます。今まで色々ところで同じようなことを要求され多くの随筆のようなものを書いてきましたが、どれだけ役に立ったか気にしています。何事も時代の流れのままに進んでいるようです。何か述べたからと言って、参考にされる方がどれだけあるか気になります。また正確に理解してもらうのも難しいでしょう。今の時代、人に聞くより、自分でしっかり考え今後の行動を決していくのがよいと思います。

ここまで書いてきて、若い研究者に思うのは、冒険をしてほしいということと、何かうまい話は無いかと探すのではなく、うまい話を自分で創って行っていただきたいということです。この原稿を書いていて、このような気持ちになっているのに気づきました。

## 参考文献

- (1) 関本 博、国際会議の窓:「美しい環境を守り安全な生活を保障するための小型原子炉のポテンシャル」国際専門家会議、日本原子力学会誌, 34[2], pp.37-38(1992)
- (2) 関本 博, アメリカで学び働くについて, 炉物理の研究, 21, 16-18(1976)
- (3) 関本 博, GAより東工大へ、日本原子力学会誌, 18[11], 714-715(1976)
- (4) Sekimoto, H (Edit.), Potential of Small Nuclear Reactors for Future Clean and Safe Energy Sources, Elsevier(1992).
- (5) H. Sekimoto, CANDLE Reactor Concept; Encyclopedia of Nuclear Energy (E. Greenspan, Edit.), Elsevier (2021).
- (6) 関本 博, CANDLE 炉と進行波炉(TWR), 原子力システムニュース, Vol. 27, No. 3, 15-17 (2016).