



「核融合の歴史を遺す座談会」

—核融合研究と国際交流—

この記事は、核融合研究の50周年を記念して企画した一連の座談会のうち「核融合研究と国際交流」に関する記録である。座談会を始めるにあたり、松田慎三郎会長と藤田順治（「核融合の歴史を遺す座談会」小委員会委員長）から、この座談会の趣旨および経緯などについて説明があった。座談会は、長時間に亘って行われたため、その記録は膨大となり、また、参加者からは配布資料による説明がなされたケースもあった。紙面の都合上、配付資料を含め、担当委員の責任において割愛した箇所も多かったことをお断りする。

日 時：平成20（2008）年4月18日（金）13：30～17：30

場 所：日本原子力研究開発機構東京事務所

出席者（敬称略）：石野 栄、市川芳彦、狐崎晶雄、
住田健二、田中和夫、苦米地顕、松田慎三郎、宮原 昭、
難波忠清

司 会：藤田順治

藤田：今回の座談会は「核融合研究と国際交流」を主題といたしました。私がプラズマ研究所にいたころ、宮原先生は確か船でヨーロッパにいらして、TEXTORをはじめ、中国との協力、日米協力などをやって来られて、いまなお国際交流、国際協力に尽力なさっていらっしゃいます。一体何が宮原先生を駆り立てたのであろうか、そういう熱意というものを、ぜひ若い人、これからの人伝えたいと思います。そういう観点から、まずはファーストスピーカーとしてお願ひいたします。

【TEXTOR国際交流事始め】

宮原：国際協力とか国際交流という意味では、核融合研究は1955年の第1回原子力平和利用国際会議（ジュネーブ会議）のバーバーの演説に始まって、1958年の第2回の会議でそれまで秘密のヴェールに包まれていたアメリカ・ソ連・イギリス・フランスなどの核融合装置が公開され、1960年には現在のSOFT（Symposium on Fusion Technology）の前身である核融合装置の技術についての第1回の国際会議がハーウェルで開催され、その翌1961年には第1回のIAEAプラズマ物理・制御核融合の国際会議がザルツブルグで開催されたことからも明らかなように、本質的に国際協力を前提にして現在に至っています。このような国際会議の創始や、留学生の交換・派遣は、なんといっても国際協力の事始めですが、私にTEXTOR国際協力の話を「国際交流事始め」の立場からせよといふのは、その少し異質なところを強調せよとの意味であると受け取りました。そのような観点から少し述べてみます。



宮原昭氏

TEXTOR（Torus EXperiment Technology Oriented Research）計画は1976年にIEA（International Energy Agency）の国際共同研究の枠組みで、TEXTOR装置を共同利用して核融合研究を行うことを目的として発足しました。加速器の分野では、すでにCERN（欧州原子核研究所）が稼動しているし、日本でも原子核研究所、高エネルギー物理学研究所があつて珍しくはないのですが、核融合の分野では、名古屋大学プラズマ研究所の高温プラズマ発生部門が、多くの研究者に共同利用でき、核融合研究に貢献できる装置を模索している最中でした。TEXTORはドイツ連邦共和国のユーリヒ（Jülich）原子核研究機構のプラズマ研究所で建設されましたが、建設がユーラトム（EURATOM）で認められ、予算化されるまでに至る道筋は苦渋に満ちたものでした。ヨーロッパには、すでにイギリスのカラム（Culham）研究所、フランスのフォンテネ・オ・ローズ（Fontenay-aux-roses）研究センター、ドイツ連邦のマックス・プランク・プラズマ物理研究所・ガルヒング（Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching）という大きな研究所が活発に研究を続けていましたが、オランダ、イス、イタリア、スウェーデン、それにドイツのユーリヒの研究所は小さくはあるが特色ある研究を行っていました。しかしヨーロッパ全体での限られた予算のなかで、一步踏み出すことは容易ではない。そこで頭をしぼったのは、前研究所長で当時はESRIN（European Space Research INstitute）の所長であったH. L. Jordan、所長のF. Waelbroeck、後にJETで活躍したP. Nollの国際派3人でした。そして当時のトカマクより一周り大きい装置をつくり、周辺プラズマの研究に主眼をおいて、国際共同研究の枠で行うことを探しました。まことにタイミングがよかつたことに、1974年1月のIAEA核融合炉設計の問題点に関するワークショップで、ガルヒングチームによってトーラス装置における不純物蓄積の問題が提起され、周辺プラズマの研究が急務であることが強調されました。かくしてTEXTORはユーラトムのお墨付きを得て、国際共同研究の先頭をきって進んでいったのです。協定締結の準備会合に出席した私と日本原子力研究所の鈴木康夫さんは、名古屋のプラズマ研究所が、装置による共同研究の思想にまで達していくながら、よい本尊を発見できなかった不幸を嘆いたものでした。

国際協定は1977年10月16日に発効し, EC, US, カナダ, トルコ, それに当時はECに加盟していなかったスイスとスウェーデンが調印しました。日本の加盟は1978年4月13日にずれこんだのですが, それは装置を参加国の研究者が故意に破壊した場合の保障の方法を, 各国は保険で行うことにしてのを, 日本の大蔵省は, 保険は年度を越えての契約であるので, 予算を約束しなければならず, これは困難であるとしたためです。結局は故意に壊すことはありえないとして, 参加を閣議決定していました。日本が加盟してから今年(2008年)で30年になるが, 日本を始めとして, 各国からの共同研究者の参加も活発で, 数多くの成果を上げることができました。予算の執行では, 為替変動では苦しんだり楽をしたり, ソフトに対する予算を認めてくれない文部・大蔵の頭の固さに閉口してきた年月でした。こんな様々な障害を克服して国際交流・協力を開拓した経験はその後のダブレットIIIの共同研究に生かされ, さらにITER国際共同研究に生かされてくることを考えるとき, まさに国際交流事始めとしてのTEXTORを感じるのです。

【日中協力の始まり】

宮原: TEXTORの国際協力が軌道に乗ったころ, 日中の国際協力も始まりました。組織的に始まったのは, 1977年10月31日に, 高山一男先生を団長として, 長尾重夫, 関口忠, 平野恵一先生と私が北京にある研究所と, 成都郊外の樂山にある西南物理研究所を訪問し, 研究所の見学や日本の核融合研究の状況を紹介したことが始めです。前年には毛沢東が亡くなり, 4人組も逮捕されて, 中国が新しい方向に進みだしたときでしたが, 道路や宿舎も北京以外は整備されてなく, 苦労が多い旅行でした。しかし中国側は大変親切に, 礼儀正しく迎えてくれたので, 気持ちよく過ごすことができました。中国はソ連との蜜月関係が切れた直後でもあったので, 装置の大半はソ連製か, ソ連の装置のコピーが多くなったが, それを乗り越えて世界の主流に乗り出そうという若い研究者の熱意はひしひしと感じられ, 時に討論が長く続き夜ふけに及ぶこともありました。日本側の中国訪問に対し, 翌年は中国研究者・技術者がプラズマ研究所を訪問し, いろいろの装置を見学したり, 高山先生の開放端型装置についての見解を議論したりしました。しかし中国側の関心は, 当時西南物理研究所を訪れたイタリアチームの影響を受けて, トカマク建設に関心を向けていたように思われます。私がTEXTORの話をすると, 根掘り葉掘りの質問になったことがあります。

ずっと後のことになりますが, 西南物理研究所はMPI-GarchingからASDEXのプラズマ容器を貰い受け, 名古屋のプラズマ研からフライホイール発電機を移設したなどの密接な関係はそのころ始まりました。それから数年して, 中国科学院のプラズマ物理研究所が合肥市に建設されました。西南物理研究所が核工業部傘下の研究所であるのとは独立の, 新しい研究所の発足です。新しい研究所は

トカマク・ステラレータに研究の中心を置き, 同時に核融合炉工学にも関心を持ち始めました。この研究所からはTEXTORの共同研究に沢山の研究者が送り込まれましたが, これはIEAの協定の枠外の, ECと中国との協定によったのでしょうか。しかしこの交流は別の大きな成果をもたらしました。TEXTORの年2回の執行委員会の場で, 議長のWaelbroeckはアメリカの代表のOktayや私や合肥研究所のHu Yupingと相談しながら, 当時合肥の研究所が切望していたIBMの電子計算機の導入について模索しました。中国への電子計算機の輸出はCOCOMに引っかかるので, とても考えられない時期でしたが, ヨーラトムの総帥のPalumboは, 合肥の研究所をジュネーブに本拠のあるWorld Laboratoryの分室にすることによって, 合肥の研究所にIBMの電子計算機を持ち込むことに成功しました。当時としては画期的なことでした。それ以来合肥の研究所には, World Laboratoryの看板がかかっています。日中の交流は, 大学関係は問題なく進められたのですが, 科学技術庁の監督下にある原研や電子技術総合研究所の見学はしばらくの間できなかった。北京の原子能研究所はクリプトン・フルオライドレーザーによる慣性核融合研究を促進していたのですが, 電総研との交流は当初大変難しかった。

その後日中國際交流計画は, アダチケイゾー先生・渡利徹夫先生の大変な努力の許に進展を続け, 今や確固たる関係になっています。

【日米協力: 炉工学関係】

宮原: 日米協力の炉工学では, 文部省関係を私, 科技庁関係を苦米地先生がキーパーソンを務めました。私が推進したのはプラズマ・表面相互作用(PSI)と真空技術です。PSIの方はトップ・トピックスでしたから, 順調に進み, 日米という枠組みをこえて, JETをはじめとするヨーロッパ勢, カナダ・インド・中国の研究者も自費で潜り込んで, 活発なワークショップを10年ほど続け, 世界中へのデータの発信源になりました。真空の方はオークリッジ研のLangleyと一緒に始めたのですが, プリンストンの真空担当者がプラズマ研究を離れたこともあって, 伸び悩みました。そのために舞台を国際真空学会(IUVSTA)に移して, 核融合部会をつくり, ガルビングのPoschenriederやプリンストンのCohenたちと核融合装置や炉で必要になる真空の研究を国際的に活発にする努力を行ないました。真空技術は核融合炉の粒子バランスの実現には本質的な役割を担うのですが, 時期尚早であったのか, その後核融合だけでなく, プラズマプロセスも取り込んだ部会になって, 現在に至っています。

【IAEA-Subcommittee A&M Data for Fusion】

宮原: このSubcommitteeは早川幸男先生がプラズマ研究所の核融合研究企画情報センターの設立とともに, 大変な努力を払われて, IAEAのなかのNuclear Data Sectionのユニットとして発足しました。大学側は趣旨を理解して,

柳和夫先生や鈴木洋先生という原子物理学の専門家を代表にして、大きい役割を果たしました。ただ原研は少し誤解をして、当初は Nuclear Data の専門家を送り込んで、混乱がありましたが、やがて原子・分子データの重要性が認識され、専門家が情報センターの仕事に大きな寄与を行いました。私が日本の代表をしている頃に、また誤解が生じて原研が鹿園直基さんや菊池康之さんを送り込んで、中性子のデータがどうであるかなどの質問をして、皆を驚かせましたが、私が Subcommittee の名前を A&M&PMI (Atomic & Molecular Data, and Plasma Material Interaction) と変更することを提案して、委員会の性格をはつきりさせて現在に至っています。



座談会全景

【何が国際交流に驅り立てたか】

藤田：どうもありがとうございました。国際交流の最初のところから現在までも、ということで、感服している所ですけれども、最初にお聞きした、何が宮原先生をそういうことに驅り立てたんでしょうか。確かに、核融合に対する情熱と言うのでしたら、国際交流だけでなく、いろいろなものがありますが、なんでしょうね。

宮原：なんでしょうね。物好きじゃないでしょうか。そうですね、ユーリッヒの研究所というところがラインランドにあって、色々な意味で快適だった、いい思いをしたからではないでしょうか。

藤田：私も1960年にプリンストンに行ったとき、確かに宮原先生のおっしゃるような文化の違い、というものを強く感じましたね。

市川：宮原さんの言ってる意味を僕はこういうふうに取るんだけどね。ヨーロッパではそうでしょう。日本だってね。藤田さんの質問で、宮原さんに、なぜ国際交流に熱意を燃やしましたかと、僕なんかは、聞かれたとすれば、これは科学者の宿命だと思うんだよ。日本という国において、物理を勉強しようと何をしようと、もっと幅を広げよう、広く海外に、言ってみれば武者修行に出かけたいという、本質的なところがあるのでは？それには当然国際的な交流をしなくては。

宮原：やはりね。プラズマ表面相互作用というのは、当初としては、相棒というか、理解をして一緒にやろうという

のは、国外の人だったんです。

市川：われわれだって、プラズマのkinetic theoryをやろうといえば、ベルギーに行って、PrigogineやBalescuと付き合うとか、自分のやりたいと思うことをどこに求めるかというと、国の内外に関係なく仲間を求めるというのがあるよね。

宮原：そうですね。私なんか、プラズマ壁相互作用で、いちばん先に、やっぱりガルヒングの連中と親しくなって、それから、サンディアやリヴァモアも、Ken Wilsonとか、そういう連中と親しくなって、じゃ一緒にやろうということになって、国内も及ばずながらということで。

【国際会議事始め】

藤田：話題が変わったんですが、市川先生、国際会議、特にICPP (International Conference on Plasma Physics) ですが、それを初めて名古屋でおやりになった時のこととか、その後、日米とか、いろいろとご活躍になったと思うんです。それから、日ソも、確か市川先生はずいぶんご熱心だったと思いますが、少しお話しいただけますでしょうか。

市川：今お配りしたのは、『今後の国際交流の展開と旧ソ連邦の動向』(プラズマ・核融合学会第11回年会予稿集、1994.4)。これ、確かプラズマ・核融合学会の中部大学で開かれたシンポジウムの時の原稿だったと思うんです。ちょっと思い出させていただいて、三つぐらいの話をさせていただきたいと思います。

まず、日米交流のことでは、いちばん最初に始めたのはアメリカのベル研究所にいた長谷川晃さん、名古屋ではプラズマ研究所の池上英雄さん、私は日本大学にて、日米のプラズマのシンポジウムをやろうということになりました。時代はちょうど安保騒動の時で、日米協力をそういう形でやるとは何事か、というので、物理学会などでも反対の声が上がっていたのです。そのころはまだ冷戦のさなかなので、「市川さん、日米日米と言うけどソ連との交流はどうなの？」と聞いたのは佐藤紘一君（当時、日大）。その時はソ連との交流は未だなかったんですけども、「もちろんやるつもりなんだよ」という話を聞いていて、キエフの国際会議、理論物理のキエフ会議というのがあって、そのなかの物理、プラズマの話をするというので、最初に行つたのは1967、8年かな？その時にKarpmanなんかと話をしていると、自分はユダヤ人で、そのころ外国へは絶対出られない。だけど、国際会議でいろんな人に会っているいろいろ話ができるとか、ざっくばらんにそんな話までしたのが印象的でした。その後、「波動と不安定性の国際会議」、スイスが第1回かな？その辺にはプラズマ研究所の理論の人たちも、実験の人たちも参加ってきて。それが進んで、ICPPを始めようということになって、その第1回を1980年に名古屋で開こうという話になったのです。そのころの私の活動は、全部物理学会のなかの活動の一環として、でした。プラズマ物理はその中のサブセクションの活動としてやりました。プラズマの国際会議を開催するには、任意団

体の核融合懇談会では、補助金も申請できないとか、いろいろなことがあったので、学会をという形になったのです。

田中：その時に、プラズマ・核融合学会ではなくて物理学会をベースとされたのはどういう理由ですか？

市川：その時はまだプラズマ・核融合学会ができてなかつた。名前もなかった。プラズマの中の波と不安定性の研究を、非常に限られていたそういうテーマを、少し題目を広くして、プラズマ物理の国際会議にしよう、波の話から広げようということになったのが、このICPPの始まりなのです。

国際純粹・応用物理学連合（IUPAP）の中に、原子核のサブセクションやプラズマ物理のセクションがあつて、第16委員会がプラ

ズマ物理。私がIUPAPのメンバーだったので、物理学会を基礎として、IUPAPで主催する国際会議にと。そんなことがあって、核融合懇談会を進めてこられた渡辺健二さんなどと協力して、学会の設立を始めたのです。その時に、学会の名前にプラズマを入れるか、プラズマ・核融合にするか、核融合にするかというような議論がありました。

【日ソ協力の始まり】

市川：日ソの核融合の交流をどういうふうにするかということでRabinovichに会ったのですが、「この協定は、お前たちの方は政府がやるんだろう？」という質問。「ガバメントだろう？」というので、「そっちもアカデミーといつてもガバメントでしょう」と言ったら、「いや、ロシアアカデミーというのは、ピーター・ザ・グレートが作った組織の中で、唯一革命を生き残った組織である」と。ロシアというのはそういうものを大切にするんだなど、今でも忘れられない言葉の一つです。Rabinovichが、誇らかに、「オレの方は、アカデミー」。そこで理解したのは、アカデミーはアカデミーとして自分のお金をもってるんだな。政府でなくして。だから自由が利く。それに対して、「お前の方は、文部省のお金で動いているから、自由が利かないだろう」というのが印象に残っています。

もうひとつ、科学技術協力協定という、きちんとした政府間の、二国間の協定というと、たくさんあるんですね。そういう中で、核融合はどういう位置付けだったのか、火山とか地震とか、いろいろある中で、どういうふうに評価されているのかということが気になっています。

【一筋縄では行かない国際協力】

市川：国際交流のことで忘れないのは、そのころ日本とアメリカの間で、SSC（Superconducting Super Collider）の計画というのが、科学技術協力のなかの一つの重要な課題だった。そのときぼくはちょうど、イリノイ大学にいて、そこへSSCのリーダーがやってきて、SSCの内容や進め方

についてコロキウムをやろうと。それはCERNに対抗して、アメリカの中での加速器の地位を高めようという意識があったというように僕は理解しているのですが。いろいろな話の中で一言も日本との協力を説明しないわけですよ。私が理解していたのは、SSCの中で、例えば計測器関係は日本が協力する、というような形になっていたと思っていたのです。それで皆と一緒に食事をしたときに、「日米協力で、日本の役割を一言も喋らないのはけしからん」といった。その後、今度その人たちが日本に来て、西川哲治さんとかと文部省に行って、SSCの国際協力を認めてもらおうと。結局は潰れましたね。そういうときの使い分けというのは、アメリカ人らしいところかも知れません。

藤田：石野先生もだいぶご苦労があったようですが、議会での証言であるとか、炉工学関係の日米協力についてお話しいただきたいと思います。

石野：私は炉工学というよりも、やはり材料が専門なので、その面で関わってきたと思います。核融合に深く関わるようになったのは、やはりトカマクがよいデータを出した1968年頃からでしょうか。実は、ほとんどそれと同期して、材料が非常に大量の中性子照射を受けると、ボイドができる膨れ（エリング）が生じるという話が、1967年に‘Nature’に発表され

て、ちょうどそれと核融合炉では材料が大量の中性子照射を受けるという話とが結びついて、だいたい1970年頃を境に、全世界的に核融合材料の研究が急速に発展してきた。1970年代は、どちらかというと、初期的な概念設計的な段階で、この時期は科学研究費の役割が非常に大きくて、科研費を通して、炉工学各分野のいわゆる組織化が進められたと感じています。何期間かにわたって科研費があったと思いますが、最終的に大きく結集したのが核融合特別研究。これは10年間続いた訳ですが、そこでの非常に大きな目玉はやはり炉工学だったと思います。予算は核融合全体から見ると、それほど大きな枠とは言えなかった。年間7億位だったでしょうか。材料とプラズマ壁相互作用については、両方で年間、大雑把に1億円。これで相当多数の大学を結集することができた。

それから、1977年の福田首相とカーター大統領の合意を受けて、1979年ですか、日米政府間で科学技術協力協定ができた。これは確か、いくつかの専門分野が指定されていたと思います。石炭液化など、その三つの中に、核融合が入っていました、それを実施するために、政府間レベルから、各省レベルにブレイクダウンしていく。あるテーマについては、当時の原研が日本の窓口になる。（実際には科学技術庁が窓口機関になって、原研が実施機関として指定される。）文部省は Implementing Agent の一つとして、米国エネルギー省との間に交換公文を交わし、実際には当時の名古屋大学プラズマ研究所が研究計画立案と実施を

担当するという形で進められたわけです。そこで最初に取り上げられたプロジェクトが、住田健二先生、河村和孝先生のRTNS-II（Rotating Target Neutron Source-II）計画。これは、ローレンス・リヴァモア研究所にある世界最強の14MeVの中性子源RTNS-IIを使って照射研究をするという計画で、1982年、RTNS-II協力だけのアグリーメントを作つて始められました。これは住田先生にお話しいただいた方が良いですね。スタートは1981年だったですか？

住田：一般協定ができる前だったから非常に苦労しました。

石野：RTNS-II計画を実施部隊として中心的に推進されたのは、亡くなりましたけど、桐谷道雄先生でした。計画はRTNS-IIの利用全般ということで、材料以外の、例えば超伝導とか、そういうテーマももちろん含められたのですけれども、ほとんどのアクティヴィティは材料照射研究だったと思います。DT中性子の照射の効果に関しては、きわめて貴重なデータが沢山出ました。少し勝手な見解かもしませんけれども、この頃まで核融合がどういうふうに進展してきたかというと、最初はプラズマ物理で、閉じ込めに関心がシフトして行ったと思いますが、一方で、炉工学と言うのは、核融合が、本当にエネルギーを作るためならば、DT核融合の場合は、エネルギーの運び屋は、中性子なんですね。ですから中性子の運動エネルギーを如何にして我々の使いやすい形に変えるかが中心課題です。放射線のエネルギーを、簡単に熱エネルギーに変えることができれば万々歳ですが、これは非常に難しい問題です。核融合の実用を考えた時には中性子の関わりを無視することはできない。中性子が関わる材料研究というのは重要だと思います。

RTNS-II計画は結局のところ、アメリカが装置を維持できなくなり、1987年に終了しました。アメリカ側は、照射研究の次の発展段階として、割に新しい炉ですが、ワシントン州のリッチランドにあるFFTF（Fast Flux Test Facility）という原子炉を使わないかという提案を持って来ました。相当詳細に検討して、このFFTFという原子炉は、14MeVではないのですけれども、高速中性子の世界で最も高いフラックスが得られる原子炉であるということで、ポストRTNS-IIのプロジェクトとして、FFTFの利用を決めました。当初は宮原昭先生が中心になって、やっていただいたわけですが、正式に日米政府間協定の下にある、文部省-DOE交換公文の付属書（アネックス）を作つて、そのもとで正式に計画を進めていこうとした訳です。アネックス-IというFFTF協力に関する協定書を、だいたい1年ぐらいかかって作り、日米で合意しました。宮原先生とご一緒に度々アメリカ側と交渉したわけですが、アメリカ側からは国際関係の部局の人たちと、弁護士なんかが沢山出てくる。こちらは素人で、その辺は大分違うんだけど、とにかく国際的な仕事を進めていく上では、先手必勝が原則だなと思って、まず日本側からアネックス原案を提案しまして、大筋は良かったんですが、1年間の交渉で揉めた中の非常に大きなところがエスコートの問題でした。これは研究者がアメリ

カの装置を使って実験をやるときに、必ずエスコートをつけるというのがアメリカ側の要求で、これは、やはり研究者の意識として、研究というのは精神的な自由が必要ですから、これには断固反対した。「エスコートの条項を削れ！」と。スタートした時にはまだこの条項は入っていたのですが、しばらくして、1年足らずでこの条項は取れました。

【FFTFシャットダウン騒動】

石野：それで、FFTFを使った研究というのが、1987年にスタートしました。アネックスに盛り込んだ計画期間というのは8年間。道半ばにして1989年の12月に、DOE長官（Jim Watkins）が何の事前の予告も無しに、いきなりFFTFを止めると言い出した。アメリカの言い分は、“Revenue”という言葉を使いましたが、要するに日本からの収入は1億円程度にしかならないので、この装置を運転し続けることを正当化できない。私たちは、「それは話が違うよ。国際的に約束しているのだからね」と主張しまして、それで、1990年の3月に、ワシントン州から出ている下院議員の方（Sid Morrison氏）の紹介で、その方は、実は下院の科学技術委員会の「エネルギー研究開発」小委員会の筆頭共和党委員なのですが、FFTF問題で議会で証言しないかという招請がありまして下院の小委員会にでかけました。要するに、アメリカがこれだけ国際的な約束をして、こんなすばらしい実験設備を使うプロジェクトを日米協力でスタートさせたのだから約束をちゃんと守ってください。FFTFはテクノロジーの上からも非常に優れたマシンなので、ぜひ協力を続けさせてもらいたい。他の実験設備だと、やはり出来ることは限られる、と言う話をしまして、どれだけ効果があったかは、わかりませんが、FFTFはその後2年間1992年まで生き延びました。1992年の春にFFTFがシャットダウンされた後、アメリカが提案したのは、アイダホにある遙かに古いEBR-2（Experimental Breeder Reactor-2）という原子炉の利用です。FFTFは400 MW、EBR-2は60 MW。高速炉の開発の初期に作られてから、その後いろいろ変更されてはきましたが、材料試験については、FFTF/MOTA（Materials Open Test Assembly）のようなオープンテストアセンブリーはなく、照射体積も遙かに減ってしまいました。実験条件についてもFFTF/MOTAは非常に優れた実験設備で、温度をプラスマイナス5度にコントロールできて、これは今日でもなかなか実現が難しい程の技術です。そのような訳で、FFTF/MOTAプロジェクトの最後の2年間は、1994年まで、EBR-2を使って照射し、それでFFTF/MOTAを終了しました。

先ほど、国際交流を何故やるかという話題が出ましたが、やっぱり日本人が日本の国内だけで、付き合っている限り、やはり日本人は日本人なりの類型化された考え方からなかなか抜け出せないと思いますね。その辺を打ち壊してくれるのが海外との付き合いですね。それに、やはり優れた人が多いと思います。それぞれの人はそれぞれの長所を持

っていて、それを認めて付き合って行くことが非常にメリットになる。僕の感覚としては、尊敬をもって相手と付き合うということ、これがメリット。ですから、実験設備はシャットダウンされましたけど、日米協力を続けていくということが非常に有意義であるということで、1994年からは、私は定年になりましたので、身を引きましたが、JUPITER計画というのにつながって行きました。JUPITER計画というのは、メインは、オークリッジ研究所の高中性子束同位体炉HFIR (High Flux Isotope Reactor) を使うという計画でしたね。

【ITERと材料研究】

石野：JUPITER計画も、私もそばから見ていると、アメリカの考え方はずいぶん変わりましたですね。アメリカは当初、ITER、すべての材料研究はITERのためにというのが最初にあって、誰がJUPITERとつけたんだっただけかな、JUPITERというのは、綴りを見ますと、Japanese University, Plus, アメリカのITERとつなぎ合わせたようになってますね。<笑>

難波：“JUPITER”というのは、“Japan – USA Program of Irradiation Test for Fusion Research”から取ったものですが、“Japan – USA Program for ITER”と揶揄されたこともあります。また、JUPITER-II の時（2001 年度 – 2006 年度）には、“Japan – USA Program for Integration of Technology and Engineering for Fusion Research”と読み替えたりもしました。

石野：JUPITER計画も最初の頃はそういう感じだった。日本の方が、かなり基礎的なことをテーマにしていたのですね。それが途中から変わりまして、アメリカがITERから手を引いたんですか。そうすると、アメリカが、基礎指向になった。日本の方が、むしろエンジニアリング指向が強くなりました。

苦米地：核融合はサイエンスだとDOEは指定しましたからね。

石野：やはり当時のJUPITERを進めていったころの考え方には、材料というのは、「ITERのために材料開発をするんだ」、では間に合わない。ITERの設計は、既存の材料で、既存のデータベースでやらなくてはならない。そうすると、材料研究というのは、ポストITERのため、ITERの後の実験装置を作るためのデータベースを提供する必要があるということで、先進的な材料とか、いわばデザインウインドウを広げる。そういうテーマがかなり中心だった。それで、JUPITER計画のメインのテーマは、複合条件下の材料挙動。そういうテーマになる。それなりの成果が出たと思います。私自身はあまり関係していませんが、難波先生はずっと関係してこられた。

住田：複合条件下、というのは、例えば中性子照射がある、強い磁場がある、それ以外には、高温とか？

石野：そうですね、やはり応力下とか、温度勾配下とか、二次応力って凄いですからね。そういう条件下で中性子照射を行ったらどうなるかということなどに关心があつた

と思います。

宮原：材料照射の方はね、松田さん、Broader Approachの方で、IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) がありますね。私は加速器の出身だったけど、一番最初は原研の塚田甲子男さんあたりが言い出して、それから高エネ研の石丸肇君がやり出して、それでその後ずっとつながっていったと思うんですけどね。あれは、これからやっぱりBroader Approachとして、設計、予備研究は日本で、建設はヨーロッパで、なんですか？

松田：これは日欧のジョイントなんですよ。日欧で分担するんですけど、たまたまR&Dのかなりの部分はヨーロッパで作って日本へ持ってくるという形で、IFMIFの建設場所はまだ決めていません。

石野：前段階での加速器は六ヶ所村？

松田：R&Dとはいえ、加速の四重極高周波加速器とドリフトチューブライナック (DTL) の初段までは作るんです。実機と同じものを。だから、相当のレベルのR&Dができる。

石野：そのIFMIFに関連してはですね、だいたいこれも、70年代おしまいあたりですね。アメリカが、1979年頃ですか、FMIT (Fusion Material Irradiation Test) 計画というのを出した。あれは敷地も、ハンフォードに決まっていたんですよ。

住田：あとでその話をしましょうか？文部省から頼まれて国際評議委員会へ参加したので。あれは本当に残念だった。

石野：いいところまで行ったんですけども、FMITの計画というのは、その後IEAの枠で議論されるようになった。

苦米地：日本がもうちょっと支えていたら進んだかも知れない。

石野：ただその後、IEAでCottrell 先生のパネル、さらにAmelinckx 先生のパネルが開かれ、いずれのパネルでもやはりFMITのようなものは必要であるという結論を出しました。私も後者のパネルに原研からの近藤達男氏、村上義夫氏と3人で参加し、強力中性子源が必要であることを強調した報告書を書きました。その後も、IEAのもとで強力中性子源を作るという活動が続けられました。1989年にサンディエゴで、強力中性子源の会合が開かれて、議長のDonald Doran (Donald Doran) がIFMIFという言葉を言い出したんですね。私はちょっと揶揄をして、“If Money Is Funded”と。<笑>

住田：僕はそうだとばかり思っていました。

石野：それから後、ずいぶんIEAなどで議論がなされて、その辺は、宮原先生が詳しいと思います。基本的には、やはり国際エネルギー機関の枠組みで、国際協力を進めいく。設計に関しても、かなりのレベルまで進んでいた。やはりいちばん難しいところは、オンビームで、リチウムのターゲットの挙動がどうなるか。こここのところは本当に実験してみないとわからないことです。その辺のところまでをつめて、議論しましたが、その後、とにかく細々と続いていたんですけども、最近のBroader Approachの関連で、実現の小さな芽がでてきた。

藤田：どうもありがとうございました。今の話題に関連して、住田先生、お願ひします。

【RTNS-II：日米協力の発端】

住田：米国の核融合研究の中心的な場所であるローレンス・リヴァモア研究所が、14 MeVのエネルギーの中性子源として、世界最強の約 10^{14} n/sくらいの加速器型のものを計画していました。それも同じ規模のものを二つ同時に設置して、交互に使う計画でした。勿論、自分たちの方で両方使うつもりで、建設にもかかったのでしょうか、途中でそんなもので材料の基礎研究なんかをやっていても仕方がないという声、たぶんプラズマの方からでしょうが、それが大きくなってきて、維持管理の予算の見込みがつかなくなってしまった。そこで、逃げ道としてはアメリカ単独でやるより、国際協力で使うことでどうかと考えて、日本へ提案してきた。装置の完成が近くなつてからです。ヨーロッパからの参加の扉も開けておいたが、無視されましたね。

たまたま、私たちの大坂大学は1978年からですが、同じリヴァモア研に既設の、それより1ケタ位下の出力のRTNS-Iというコッククロフト型中性子源と類似のものの建設に着手していました。当時はリヴァモアでもまだRTNS-IIは完成していなくて、建設途上でしたから、当然それも見に行って、かなり親しい関係がありました。研究者ベースで、色々なデータをもらったり、図面をもらったりして、その経験を教えてもらっていたのです。日本では、東海村の原研がほぼ同時にFNS (Fast-Neutron Source) というほとんど同じ規模のものの建設を計画しておられたので、原研の方もリヴァモア研へ調査に行ったと思うのですが、何故文部省側に話がきたのか、多分材料照射の基礎研究との関連からではないかと思うのですけれども。

ただ、その前に日米の核融合協力の一般協定ができるればよかったのですが、できる前だったので、外交事務的な手続き面で前例がないために、ひどく手間取った面があります。投資効果や技術的では、もうすでに完成に近い装置を、建設・開発費を負担しないで、ランニングコストなどを半分ずつ負担し、マシンタイムも半分分けにしましょうという話ですから、確実性は高いし、決して悪い話ではない。正確な金額を覚えていませんが、年間、5億か6億ぐらいの総額だったと思うのですが、日本側が用意したのは、先方に渡した金額はもっと少ない、4億ぐらいですかね。プラズマ研究所を通してお金を払った。

それから、文部省では、年間に何億というお金を払って、しかも多数の人を派遣しなくていい国際協力の前例もなかった。その運用の組織的な裏付けがない。たまたまプラズマ研究所が共同利用施設で、各大学の共同利用に色々と便宜を提供していましたし、中性子源の利用に関する放射線管理面では、我々のOKTAVIANも経験を持っている。いろいろ段取りをして、結局今見ますと、延べ31名派遣したことになっています。名前を見られたら、みんなあとで偉くなった人たちばかりで、当時の若手の優秀な研究

者が短期間3カ月ずつ行って使うということで交互に送り込み、各大学にオープンにした。その競争のような感じで皆さんのが努力してくださった。残念ながらもう亡くなられた桐谷道雄先生が一つの良い例ですけど、基本的な高エネルギー中性子の放射損傷の基礎研究を、しかも、短時間で集中的に大きな仕事をしていただけた。

【文部省対DOE、材料研究も基礎過程から】

住田：それからもう一つ、忘れてはいけないことは、サンプルを照射して、その結果を先方の実験室の電子顕微鏡（電顕）で観察したいが、放射化していてそう簡単には手が出せないものもある。日本に持って帰ってやれない。文部省はそれに対して理解があって、狭い意味での共同利用の費用を向こうに払うだけではなくて、そういう電顕をポンと買ってRTNS-IIのそばに置いた。要するに、放射線管理エリアにです。サンプルは簡単に持ち出せないからです。そういう電顕をもう一台、東北大学の金材研大洗分室にも置かせてもらう。向こうで、液体窒素で冷凍した状態でのサンプルを日本へ持って帰ってきて、大洗まで持ってきて、観察することもできるようにした。



住田健二氏

そういう連携プレーのようなことを、文部省の研究助成課が嫌がらずして面倒みて下さった。それで、大きな成果が出せた。

一例を挙げると、当時のRTNS-IIの利用者達が先方の低温照射の研究者グループと組んでやった一連の仕事です。D-T中性子がさっきの話のようにボイドを作るかどうかの基礎研究から手をつけた。そのためにはまず、いきなり核融合に使う材料をやるのでなく、いちばん損傷が出やすい金を使って素過程を観察した。覚えているんですけども、そういうときでも、金なんかは核融合で使うはずがない、なんでそんなことやるんだとは言わないで、素過程の研究から積み上げていくという説明を、文部省側は非常によく理解してくれた。このサイエンスからやるという基本姿勢。勿論、エンジニアリングデータも少しは出ましたが。アメリカ側は、その点で非常に日本の姿勢を高く評価してくれた。アメリカでもそういうことをやるべきだという意見は研究者間にはあったけど、実現できなかった。またお金も付かなかった。アメリカの研究者は、金が付かないと全然やりませんから。日本では、どこからか工面てきて細々とでもやろうとしますが。

RTNSでは、日本側は、文部省が正面に出て予算化して、基礎研究からやらせた。その意味では、アメリカ側の評価が高くなった。日本が、そういう基礎実験に対して、思い切って、当時としては、思い切った金をかけた。しかも、グループを作って、大量に優秀な研究者達が交互に来て、どんどんと仕事した。大量の照射サンプルも飛行機で持ってきて帰って、大洗で観察させてもらえた。これは東北

大や原研・大洗研の人たちの影での応援があったのですが。とにかく、皆さんがよく理解してくださって、上手くいってたんです。

勿論、損傷の素過程だけをやっていたんではなくて、例えば光ファイバや半導体素子とかが壊れやすいですが、OKTAVIANでやって1年かかるところが、1桁上のもので炙れば、1か月でできてしましますし、そういうエンジニアリングデータ的な意味のものも、ずいぶんサービスしました。あまり学問的には評価されていませんが、実際日本のメーカーさんからは随分と感謝された。基礎研究的なデータだけでなく。

FFTF/MOTAの例もありますが、やはりアメリカ側の政府筋の計画の突然の豹変には非常に困る。国際協力で研究している場合には相手のこととも考えてほしい。正直に言いますと、アメリカ相手で、5年計画とか10年計画というのはとんでもない話です。大統領の任期が4年だから、4年まではと言いたいんだけど、実はそうではない、まあ有力な議員さんがついていても、個人的に責任持ってやれるのは最大で2年、それから先は政治家の世界で、だれも分からぬ。これは大きな教訓でしたね。

僕は若い頃にアメリカに留学していますから、その頃にすでに体験した筈ですけれども、それでも「うわー」と叫びたい感じでした。日本では我々は政府の仕事というものは、いったん決ると、何か非常に安定な長期的な展望があり、それに乗っかっているのだと思っていますから、ついいつ惰性で動く面がある。それを、実際に思い切ってばっさりやってくるアメリカ人というのは、あんな条件でよく長期的な仕事ができると思いました。正直なところ、怖いですね。核分裂炉関連の場合には、まだしもそんなに不安定な感じはしなかったんですけども。核融合の場合は、日本側の確たる姿勢がより大切だと思います。

【OKTAVIANにまつわる話】

住田：別の面ですからOKTAVIANの役割を少しだけ話させてください。文部省が大きな予算を付けてくれたのでRTNS-IIが加わり、原研でやっているNFSと私達のOKTAVIANの3つの強力な14 MeV中性子源が使えるようになった。その利用は当事者同士でうまく相談してやれて、材料損傷のようなものはRTNS-IIに頼む、核融合炉設計のようなエンジニアリングデータは主にFNSで出す。たとえば遮へい材の試験とか、基礎設計の確認のようなものです。大学の方は、核融合炉に使う基礎的な物質の核データの二重微分断面積（DDX）を次々測定してまとめるような基礎的なことをやりましょうとシェアをしました。ただ、そうした共同利用面ではひとつ大きな壁があった。私達の設備はいわゆる学外共同利用の研究施設として公的に認知されたものではなかったのです。これは、私達の学内の都合で高い予算順位がもらえなかつたことによります。それで、研究費や旅費は科研費の核融合特別研究の援助を仰ぎ、なんとか全国的な規模での関連大学の研究グループの共同

実験で、LiブランケットにBeブリーダーを組み合わせた体系での、T増倍の可能性の確証実験まで遂行できました。

その成果を海外で発表できたのが、私の大学定年退官の半年前の1992年秋であったことは今でもよく覚えていました。

それで、もう一つの大切な仕事は、当時の政治体制の壁を越えた交流をするのは、まだ原研は東側との交流が難しかったので、より自由度の高い大学の方が引き受けた。原研の人は簡単にソ連に行って、向こうの研究所を訪問したりできなかったわけです。我々は大丈夫ですから、かなり積極的に先方にも訪問したし、向こうからもやってきました。中国や東独の人を短期滞在でしたが受け入れたりしたものでした。その点では、核分裂炉での世界より、よりアカデミックな段階にあった核融合研究のほうがかなり開放的で、色々と交流が容易だったように思います。

【国際協力の難しさ】

藤田：ありがとうございます。その点では、日米とか限られた国だけではなく、ずいぶんご苦労なさったと思います。



藤田順治氏

照射の話でお二人にちょっとお聞きしたいことがあるんですが、アメリカの都合でもって、突然シャットダウンとかありますね。そういう時に、せっかくのそういう国際交流でもって築かれたものが、そこで止まってしまう。それを何とかしようというお気持ちちはあったと思うんですが、それはどうしようもなかつたんでしょうか。アメリカとが駄目だったら、国内でそれに代わることをもっとやつたら、あるいは、ヨーロッパとやつたらどうなるだろうとか、そんなことは考えられなかつたんですか？

住田：アメリカのRTNS-IIの例で言いますとね、アメリカしか持っていないんですね。同時にヨーロッパにもRTNS-IIを貸すという話もましたが、結局どこからも申し込みがなかつた。それから一つ言い忘れましたが、形の上では、時間をシェアして、半分を日本が使えるから、マシンタイムを半分くださいといったのですが。蓋を開けてみると、アメリカ国内では、RTNS-IIを使って核融合関係のいろんなマテリアル研究をする予算がさっさと切られていた。結果的には日本が8割くらい自由に使っていました。アメリカとしては日本にサービスするために運転していた感じで、特に最後の半年間の独占実験なんかはひどかったです。アメリカの現場の人たちはそういう最大限のサービスをして、アメリカとしてのメンツを保ってくれた。しかし、残念ながらアメリカ国内で全体での研究費のことは、政治面での判断が反映していたと感じます。

石野：やはり長いものには巻かれろというのは、日本だけかと思ったらそうではないですね。

住田：DOEの担当者、元研究者ですが、にもかかわらず、大きな権限を持っていて、日本の文部省のお役人というのにはやっぱり遠慮していますよね。先生方の無理も一応は聞いてくれるわけです。とにもかくにも、陳情に行つたら聞いてくれますよね。向こうでは、君達が口出しをすることではない。だから、お金をつけてやった仕事を忠実にやってください。契約の観念ですね。

苦米地：アメリカでひっくり返すためには、議員を動かさなくては駄目ですね。

住田：だから、セネターが落選したらもう潰れるという。

石野：日本を凄くサポートしてくれたのは、ドン・ドランではないですか。彼は、FFTFのシャットダウンの時に、非常に早く、素早く、例えは議会に手紙を出すとか、アクションを取ってくれた。

住田：RTNS-IIのときにも、ローレンス・リヴァモアの研究所の情報網ではなくて、別のある議員さんの情報、極秘情報でカットされるというというのをつかんだんです。それで日本を頼ってきた。それは僕も、どこからとは言いませんが、やはり情報をちゃんと持っていますから。それはやっぱり議会筋から情報をもらって、対応して、そしたら、やがてやってきた。

松田：日本も、装置や施設を持っていて、対等な立場になって、それで、できるんだったら答えが見つかるかもしれないけれども、そうでもない今までの話だと、どちらかというと、一方的に使わせてもらっているわけですよね。

石野：それはそうなんですけどね。14 MeV中性子源というのは非常にピュアな条件ですから、実際の核融合炉の条件とは違うんです。ですから我々のやり方としては、可能な中性子源は、それぞれの特性をよく考えた上で使い分ける。お互いに関連が付けられるような形で。だから、試料は全く同一にしておいて、それをRTNS-IIにも入れるし、たとえば日本のJMTR (Japan Materials Testing Reactor、材料試験炉) にも入れる。それで、実は、FFTFのプロジェクトが始まる1年前に、諸住正太郎先生にやっていただいたんですが、高速実験炉JOYOにも同じ試料が入れられた。

松田：研究目的はそれでわかるんですけども、基本的にはアメリカの善意でオペレーションをキープしてもらっているという形じゃないかと思うんです。マシンタイムを求める場合、要するに日本が運転費を全部出してまで運転してくれとは言えなかったわけですね。

何か他に日本の持っている施設があれば、そういうものと取り引きして、というものもありうるかなという気がするんですけど。RTNS-IIの場合も、FFTFの場合も、結局向こうがお金がないから仕方がないという形で、ある程度延長してくれたけど、それ以上は難しかったとい



松田慎三郎氏

う、国際交流上のバランスが取れてなかつた、日本が投資していなかつたという意味ですけどね。

住田：特定の局面の各分野の中だけではバーターできないから、核融合全体でやらなくてはならない。自分たちの専門分野だけでは駄目で、サブ分野ですから。

藤田：ありがとうございます。アメリカの続きで、GAのダブルエットIIIのお話を聞きましょうか。狐崎さん、お願ひします。

【日米協力：ダブルエットIII】

狐崎：今までの皆さんのお話を伺っていて、相手がころころ変わって困った、という点は基本的にまるつきり同じだなと思いました。タブルエットIII計画では、5年間に大体150億円くらい、現在で考えてもすごいお金を払ってマシンタイムを半分もらうというものでした。そのもらい方は、原研の実験チームと、GAの物理チームとが、1週間交替でそれぞれの実験をするというやり方です。



狐崎晶雄氏

原研の方は、ずっと続けて5年間サンディエゴにいた人は、調べてみると意外に少なくて3人しかいない。でも、多くの方が次々と来られて、合計52人年にもなります。平均すると常時10人いたという勘定です。お蔭様で成果もたくさん出ました。計画の発端の科学技術的な面ですが、JFT-2aで、トカマクにポロイダル・ダイバータをつけるという実験を始めたんですが、それをもう少し大きいのでやりたい、というのが基本的な発想でした。将来はD形でダイバータ付き、ということを考えていましたし。実は、ダブルエットIIIが始まる前に、JT-4という装置の設計をやっていました。これも、建設はしなかつたんですが、私がグループリーダーで4年近くやりましたから、建設直前で発注できるところまで、設計書もできていました。また、日米協力の話が出る前に2年にわたって、JT-4の設計のためにGA社から年に一人ずつ来てもらって、技術的な情報をもらっていたという前置きがあります。

我々はJT-4の経験があったので、ダブルエットを行ったときには、ダブルエットIIIのハードウェアで、コイルの結線をこうしたらこういうプラズマができるだろうとか、そういう技術的なことは、たぶんGAの物理チームよりも、我々の方がよく知っていたと思います。それも、うまくいった理由のひとつだと思います。この協力の元々の発想は、アメリカのチームはダブルエット形のプラズマで研究を進め、日本の方は装置の上半分だけでD形のプラズマを作って研究することがベースになっていました。だから、二つのチームが研究面で衝突することなく、うまくいくんだろうというので、協定もそのつもりでできているわけです。ところが我々が行ってから、半年位たった時点では、ダブルエット形はなかなかできない。プラズマが上下に二つに分かれてしま

まう。ドロップレットになってしまいました。我々のD形の方が、どんどん成果を出し始めて、世界で初めてプラズマ電流を1 MA流したとかニュースにもなって、GA側からすれば、かわいそうだったと思います。ついに、GAの方もD形実験をやると言い出しました。日米の運営委員会（ステアリング・コミッティ）でも相当の議論をした上で、結局GAの方でも、D型の実験をすることになりました。現場としては、まったくの競争になるわけですから、それは嫌だっただけれど、仕方がありました。

藤田：そういう厳しい競争状態では、そうでなくてもぎすぎすしがちな人間関係にずいぶん気を遣われたでしょうね。

狐崎：そうですね、競争で厳しかったとも思うし、一方、個人的には両チームのメンバー同士は、そういう状況のもとでも非常に仲良しでした。向こうも我々の所に来るし、我々も向こうの家に呼ばれて遊びに行ったり、個人的には非常にうまくやっていたと思います。おかげでGAの物理チームの多くの人は、マージャンを覚えました。厳しいところもあるけれども、うまくやっていたと、私は思います。そのときのグループの構成は、運転グループ、計測グループ、加熱グループ、これはほとんどアメリカ人。それが二つの実験チームをサポートして、隔週に違う実験をするという形をとっています。面白いのは、GA社にはもともと大河さんがいますから、GAの物理チームの中にも日本人が、3、4人いて、かつ、彼らは優秀ですから、結構GAの物理チームの中でリーダーシップを取っている人です。その人たちも、もちろん我々と仲良くやってました。米国の一般的風潮として研究成果を盗むというようなことも聞いていたので、ちょっとは心配していましたが、結果的にはそんなことはなくて、GAのみなさんもきちんと紳士的に対応してくれていたと思います。その一人が、今核融合研にいらっしゃる大蔵修義さんです。それから人の派遣ですが、原研以外の方では、ほとんどは日立さん、東芝さん、三菱さんが派遣してくださった研究者です。メーカーさんがたくさん出してくれたし、特に1~2年という長期派遣の人を出してくださったことがたかった。メーカーさんからの参加者の中には、伊尾木公裕さんがいますが、彼はITERの開始直後からエンジニアリングのリーダーを務めてこられたし、ほかにも、あとでITERで活躍する人がたくさん出ています。ダブレットIII計画（の第1フェーズ）が終わってから半年後にJT-60の運転が始まりました。私も含めてダブレットIIIの全員が帰国後すぐにJT-60に入ったんですけども、JT-60の運転がうまく立ち上がったのも、この人たちの貢献が大きいと思います。計画が始まる前に言っていた予定では、我々がGAに行って数ヶ月後の1980年の春からはNBIが使えるという事だったんですが、行ってみたら話がぜんぜん違っていて、実際NBIが使えたのは、行ってから2年後ですね。5年間の最後でも、NBIのパワーは、21 MWになるはずが結局 8 MWしかいきませんでした。思っていたこととは全然状況が違っちゃつ

たわけで、それに対応しながら実験計画を考えることが結構大変でした。NBIの前の段階のジュール実験の期間が増えましたが、でもできるだけ早い時期に、「ここに原研、日本チームがいるぞ！」という、何でもいいから、何かアピールすることをしたいと思いました。そこで、それだけでは、ほとんど科学的な意味はないんですけども、プラズマ電流 1 MAというのをまず出しました。幸い、日本の新聞は全部記事を出してくれました。アメリカの中でも、それで、おお！という感じがあった。1 MAと同じ週に、ダイバータ形状を作りました。ダブルレットでダイバータの実験ができるなんて誰も思っていなかったと思います。この形は実は1年前、まだ日本にいたときから検討し始めました。我々のメンバーはとっくに知っていたんですけども、チーム外のひとには一言も言わなかつたんです。GAの運転グループの人も、今日は妙なコイル結線を言われたな、と思ったでしょう。ダイバータ配位を作ったことは、たぶん大河さんもびっくりして喜んでくださったと思います。これは我々日本チームにとって大きな弾みになりました。そして、この形状は、暗黙のうちに日本チームの形状ということになって、これはGAチームも手を出しませんでした。

いい成果が出たのは、チーム全員の努力が第一の理由ですが、GAのみなさんや、DOE、そしてプリンストンやオークリッジなどの研究者みなさんが親切に応援してくださいましたからだと思っています。文化の違う日米が協力していい結果が出たということは、表には出ていませんが、ITER計画の一つのベースになったと思います。良い結果が出たのは、いまお話ししました周到な準備をしていましたからということです。そして、結果的に見るとITERのような、その後の国際協力で活躍する人がダブルレットIII計画から沢山出ました。それから、5年間に、70.1 M\$.。これはJT-4を建設するとしたらたぶん300 億円というふうに見積もっていたんですけども、たまたま半分。これは、1978年ころにアメリカがダブルレットIIIを作ったけれども運転費が困るので、半分持ってくれという話があつたようです。だから、JT-4を作るより予算の面では助かったという面もあります。それからこの協定は、私も最初の交渉に参加して、私の文章がこの協定に入っていることは嬉しいことです。当時は5年間もてば良いと思って協定を作ったのですが、予想外もひどいことに、まだ続いています。ですから今でも、ステアリング・コミッティというのは続いている、ダブルレットIIIの計画に日本側が意見や希望を堂々と言えます。ダブルレットIIIは良かったと、自分で言うのは変ですが、本当に良かったと思います。でも、それを下手に言うと誤解されることを、帰国した時から心配していました。それは、外部の人から「何でも国際協力をやれば、いいじゃないか」と言わってしまうことです。誤解を避けるためにぜひ言いたいことは、いい成果を出すことは大事なんだけれども、日本の国内の装置でやることがもっと大事であると思うし、安上がりになるなんていうのを

狙っていたのでは駄目だと思います。日本が、世界のため優秀な人と資金を出す、ということが大事なんだと思います。

苦米地:一つコメントしたい。すばらしい成果をあげたというのは珍しいと思います。高 β のプラズマを作つて面白い実験をやれそなのはダブレットIIIなんですね。だから、十分に高 β のプラズマを早く作つてよ。

狐崎:そのうちJT-60が改造に入ると、国内で、なかなか面白いことが出来ないので、ダブレットIIIでやつたらと、先日那珂研に行つたときに話しました。

苦米地:そういう意味で大いに期待しています。いまだに続いていますから。

【ITERの始まり】

苦米地:国際協力ということですけれども、いろんな形の国際協力というのがあると思うんです。たとえば端的に言えば、情報交換を主にして、定期的に会合を開きましょうというのも、一種の国際協力です。そういうこともあるし、全く別な、物を作ろうという、ばかりかい装置を、大型トカマクを作ろうというのもあります。ITERも国際協力と言いますが、国際協力にも、性格によっていろいろあると思います。私はITERに絞つて申し上げようと思います。



苦米地顕氏

さて、ITERが始まるきっかけとなったのは、レーガン・ゴルバチョフの1985年の米ソ東西首脳会談、いわゆるサミットなんです。その時に、珍妙なことがありましたね。この年の4月12日付で、「このサミットでは、核融合の国際的研究を提案したら良い・・」という記事がニューヨークタイムズ紙に載つたのです。そのコピーは今ここに持つてゐるんですけど・・・。その趣旨は、「米ソ東西首脳が、サミットと言う歴史的な会議をする。ゴルバチョフとレーガンが、初めて東西の軍縮の議論をする。それがとても大事なことは分かるけれども、それだけでは世界の人々は全然興味を持たない。それはそれで大変なことなんだけど・・・。そこで、「国際協力で核融合を開発すべきだ・・」と提案する。つまり、ちょっとみんなが、おおっ！と思うようなポジティブなメッセージも発すべきだ・・」と。そしたら、そのアイデアが共同声明の最後に、入つたんです。それがきっかけです。つまりその東西首脳の共同声明の第13条の文章に、「Two leaders emphasize the potential importance of the work in controlled thermonuclear fusion for peaceful purpose, and in this connection, advocate the widest practical development of international cooperation obtaining this source of energy, which is essentially inexhaustible for the benefit of all mankind.」と言う提言がなされたのでした。かなりかっこいい文章で、これがITER活動開始のきっかけとなつたのです。

ところが、当時は米ソが高度な科学技術的知識を伴う作業を共同で行つなど、とても信じられないような東西対立、所謂冷戦の時代でした。しかしその後、John Clarke という、すごく腕力のある DOE の人が、ホワイトハウスにこの件に関する特別な検討グループを作つて、国防省DODも巻き込んで、それで決めたのが、ソ連とアメリカと日本とヨーロッパの 4者で、核融合装置の設計活動をやろうということでした。そして、それを京都で開かれた IAEA の核融合国際会議で正式に提案したのです。

そこで、それら4者から代表者達が集つて、どういう考え方で何をするか、さんざん議論したのですが、たまたま私がその会議の議長をさせられました。つまり、国際協力をやる時には、どういう考え方でどういう仕事をどれだけの時間内にやるかということを、きちんと最初に考えて、その基本政策をみんなが共有する、これが大変大事なことだと思います。

実は、このITERを始めるための会議は合計3回やることにしたのですが、その結果は、トカマク型の実験炉を設計しよう、大体10-20 MA 位流せるトカマクを、3年間位かけて設計をやろうと、それ以上長い年月かけることはないと言ふことで、合意しました。そして、この計画を更に進めるとすれば、建設のための詳細設計をする、また建設に必要なR&Dを行つて確かめることが必要などと、合意したんですが、実は最後の最後までもめたのは、どういう立場で、4者それぞれがどういう権限と責任を持って作業をするかということでした。例えば、ヨーロッパの代表は、D型のプラズマを作つて世界で一番良い成果をあげたのは我々のJETである。だからヨーロッパの我々の経験をベースに、作業すべきである。アメリカの代表は、我々のTFTRでは、DT実験をやって世界最高のDTパワーを出した。ロシアの代表は、超伝導トカマクT-15を作つたのは俺達だ。俺達がイニシアティヴをとるべき、といった具合で、議論が全然纏まらない。そこで、最後の結論のまとめをしなければならない3日目の会議の午前中に色々考えて、みんなが議論にくたびれた頃に、「皆さんのがこれまでの自分たちの研究の歴史を踏まえて主張するのは、科学者として当然である。だけど我々に課せられたのは、きちんとした作業計画についての合意を得ることだから、議長として私が一つ提案したいので、聞いてくれないか・・」と提案したら、「では聞こう・・」と言うことになつたのです。そこで「皆さんのが自分たちのこれまでの核融合研究の歴史を踏まえて主張するのはよくわかる。端的に言えれば、我々4者は、人種も文化も違うし、国も違い、軍事力にいたつてはゼロと無限大くらいの違いがある。しかし私の見たところ、我々4者の間には大きく言って二つの大事な共通点があると思う。その一つは過去30数年、核融合反応でエネルギーを取り出そうということを目的に研究を続けてきた。つまり、その“Mission”使命は同じである。また、そのために最近、それぞれ毎年200 M\$から300 M\$を投資している。つまり我々4者の核融合研究は、目的が同じで、努力が同等

だと言えることが、非常に大事なことだと思う。だから、それ以外の様々なことは、この際全部、脇に置こうではないか。そして、この協力を、対等、平等の原則に基づいた責任と権限、義務ということでやるのが一つの考え方であると思うけど、皆さんどうだろうか？・・・と提案したのです。そしたら、ECの代表が、さっと手を上げて“*Yes! That is a philosophy. We agree with the Chairman's proposal!*”と発言したのです。続いて、アメリカの代表やソ連の代表も賛成して、それでITERの作業計画が纏まつたのでした。

そして、もう一つ言いました。我々に課せられた大事なことは、情報交換とか、よそから何かを学ぼうということをやるなどは言わないけれども、それは我々のやるべき主要なことではない。大事なことは、世界の最先端のサイエンスの知識とテクノロジーの知識をうまく集めて考え得る最良のトカマクをデザインすることである、と合意したのです。こうして、ITERをやるために仕事の枠組み協定を作ったのです。問題は、その4者以外、つまりアメリカ、EC、ソ連、日本以外の、どこかの国がこの活動に参加したいと言い出したときにどうするかでした。それは自明だ。等価だという原則に当てはまらない。だから、そういう国が現れた時には、我々4者の中の誰かの帽子をかぶって、参加するということにし、協定の中にそのための特別な条文を設けたのです。実際、後にチェコが、ソ連の帽子をかぶって参加しましたし、カナダは、ECの帽子をかぶって参加しました。

私が言いたいのは、最初にそういう枠組みを、きちんと決めることです。こうして、ITER活動のための国際協定を作ったのでした。実はそれ以前には、INTORという核融合の活動が、IAEAの活動として行われていたのですけれども、皆から見ると、7年ぐらい続いて、最後の頃は、惰性でだらだら仕事を続けていると見られていたのです。だから、この会議の途中で、「INTORizationだけは避けよう」、そういう言葉が生まれたほどでした。

そして、ITERの概念設計は3年間でやりましょうということで、ドイツのガルヒングに集まって、皆がいろんなことをやってくれました。その時に、私が仕事のやり方で一番心配したのは、ナショナリズム。そういうエゴ、国としてのエゴが出たら困るなということでした。そこで、いろんなグループ、例えば超伝導のグループも、プラズマ物理のグループも、工学関係その他のグループも、すべて4者の混成部隊にしたのです。ところが、半年ぐらい経って、「しまった！」と思いました。簡単なんですね。何のことではない。ナショナリズムではなくグループのエゴが出ちゃったんですよ。例えば、私が装置の寸法縮小の検討を依頼しようとした時のことです。超伝導のグループは「これこれで超伝導の寸法は変えられないから、他の処の寸法を変えるべきだ・・・」だと、そんなことがありました。しかし、ともかく3年間、皆よく仕事をしてくれたと思います。

実は、正直言って私は、ITERが始まった時に、設計責任者、つまりチームの大将をやってくれと非公式に言われたときに、私はなんとなく気が進まなかったというか、一度は辞退したのでした。理由は、当時、このような国際協力ではとても装置を作れっこないと思ったからでした。なぜならソ連と日本は所謂“Cease-fire”「停戦」の状態で平和条約さえもない。また米国はソ連への科学技術情報の流出にすごく神経質である。そんな国同士が集まって20年、30年かけて、共同の仕事をするといつても、とてもやれっこない。それがためには、例えば日ソの平和条約を作るという方が先決だ、などと思ったからでした。ところが、設計作業の途中で大事件が起ったのです。あのベルリンの壁がなくなったのです。そして、それまでアメリカとソ連という東西間にあった、情報管理の問題が大幅に緩和されたのです。実は、ITERの作業中情報のリークというのには、すごく神経を使いました。例えば、マックスプランク研究所のスーパーコンピュータを設計作業に使わせて貰いましたが、研究所は「ソ連人には、コンピュータのパスワードを渡して呉れるな！」というんです。つまり、「ソ連人は、必ずそれ以外の国の人と一緒にコンピュータを使ってくれ・・・」と言うこともありました。それで、ソ連が崩壊して、ITERが作れそうになったのです。

実は、最初に、ITERの概念設計をやった時には、1988、89、90年と概念設計をし、その後、6年間かけて、詳細設計と超伝導なんかの建設に必要なR&Dをやって、1997年に着工というシナリオを描いていたのです。ところが、最近何人かの親しい外国人に「あなたが始めた時のスケジュールでは、もうとっくにITERができていたはずだ。そしてJETとかTFTRとかで、素晴らしいプラズマ物理実験をやった連中が、ITERで更に素晴らしい実験やってくれた筈だ。ところが、あなたがちゃんと後の面倒を見ないから、そのような優秀な連中の大方が既に引退しつつあって、大変残念だ・・・」と、嘆かれました。そうなんです。それは、凄い大きな損失です。心ある人達は、外からITERの現状をそのように見ているんです。今後は出来るだけ早く、ITERが完成することを願っています。

色々なことがあります、こういう大型の装置を作るのにとつて、国際協力は難しいというのは分かるけれども、問題は、プロジェクトというの、時間通りに仕事をしないとダメなんです。プロジェクトと言うのは、予定された時間内に、予定された金額で、使命を達成するというのが大変大事なことなのです。情報交換とか、そういう国際協力には、そういう条件はないのかも知れないけれども、いろんな国際協力をやるときには、どういう考え方で、いつまでに何をするか、しっかり考えてやるということが、私は非常に大事なことだと思います。その意味では、実際やってみると、色々大変な困難があるのは事実です。しかし、世界中の心ある人達に、ITERの現状がそういう風に、見られているのは大変残念に思います。

こうしたITERでの経験が、今後、核融合の国際協力を
行う時にお役に立つことを願います。以上です。

藤田：まさに、未来に対するメッセージをいただきまして、
ありがとうございます。

【慣性核融合の国際協力】



田中和夫氏

田中：私は、山中千代衛先生の代理で出席させていただきました。自分自身も学生・研究者として、アメリカに8年ほどおりました関係で出席いたしました。簡単にレーザー核融合の歴史を振り返ってお話しできたらと思います。慣性核融合のスタートは、1955年の磁場核融合に比べまして、1972年スタートですか。モントリオールで、IQEC (International Quantum Electronics Conference) という会議に、リヴァモアの初代所長の Edward Teller が出席して、1000倍の圧縮をせよ、そしたら核融合が起こる、と宣言した。それがスタートです。それを受け、1972年に大阪大学の山中たちのグループが、異常吸収を発見しました。レーザー光の強度を上げていくと、散乱が起こって、光が反射されて、中にエネルギーが入らなかつたんすけれども、西川恭治先生たちとの共同研究で異常吸収を実際実験で捕まえることに成功しました。ここから、大阪のグループが国際社会で、切り込んでいったということになります。その後、1979年からは国際的に認知されるようになりました。アメリカの方ではこのあたりから、非公開の研究がスタートしております。ただ、国際共同研究ということでやろうとしますと、どうしても共同研究の話が持ち上がってきます。1979年のIAEAの会議では、DOEの G. Caravan という人が、共同研究をしようということを同意しながら、帰国後にトラブルに巻き込まれました。1981年には激光12号の完成間近だったんですけども、どうしても最終段階のミラーマウントは日本で作ることができませんでした。安定なものができなかつたのです。この技術を持っていたのは、アメリカのロックウェルという会社ですけれども、ここはアメリカのロックウェル社の S. V. Gahn が献身的に走り回ってくれて、実に73台というミラーマウントを阪大に納入してくれて、激光12号が完成した経緯があります。こうしたプラスマイナスが、国際の関係で揺動として起こるわけです。

1982年には、DOEのP.Kaharas が、阪大のトリチウムの使用した実験と言うのは核拡散防止条約に違反しているのではないかというクレームをつけて圧力をかけてきました。結果的にはこの話もさばいて、1982年には、阪大のレーザーで、10の8乗個のDT中性子を出す実験を成功させて‘Nature’のカバーを飾りました。さらにマイナスの方の話になるかもしれません、1984年には、激光12号のレーザーの波長を1ミクロン（赤外線の波長）から、グリーンかブルーに変換するための光学結晶が必要となりました。

大型の結晶は、アメリカのクリーブランドクリスタルという会社しか作れませんでした。アメリカに打診しますと、「リヴァモアのクリスタルを作るのに忙しい。」とにかく断られて、結局、山中グループは自前で製作すると決めざるを得なかった。阪大の方でクリスタルを作る技術を、急きょものすごい短期間で開発して会社にその技術をおろして行きました。これは、マイナスをプラスに変えた好例です。

【慣性核融合研究の機密解除に向けて】

田中：この間イギリスのラザフォードとか、カナダのアルバータ大学、米国のロチェスター大学など、との交流協定を結んで、国際協力を進めてきました。それで、1988年に、スペインのマドリードで、IAEAの会議だと思いますけど、レーザー慣性核融合研究の機密解除をやっていこうということに、会議出席者の主立った先生、所長がマニフェストにサインをしました。アメリカのリヴァモアのレーザー部所長もサインしてしまったわけです。これがDOE（エネルギー省）の了解を全く取っていなかつたので、彼の首がとびました。なぜそういうことになるかというと、1988年ぐらいまでに、大阪大学の方では、キャノンボールという、X線放射により球状のターゲットを爆縮する実験をどんどんやって、データを公開していったわけです。アメリカは、このデータは完全に非公開政策をとっており公開はできません。「俺達は、そんなことは昔にやつたよ。俺達はどんどん先行しているよ」と言っていましたが結局ものすごい公開への圧力がアメリカの国内で高まっていきました。さらに輪をかけて1988年に、ドイツのマックスプランク研究所のSiegelたちのチームが阪大に来て、X線放射に関して、いっしょに共同研究、実験を精力的に行いました。これに大阪は、積極的に協力し‘Physical Review Letters’に相当たくさんの論文が公開されて行きました。ついにアメリカの方は、支えきれなくなり、また当時のリヴァモアの所長のMike Campbellからも、DOEに強い働きかけがあって、相当の部分が、レーザー核融合に関して、公開されました。そういう意味で、日本側とアメリカ側とが、相互に強いコミュニケーションのチャンネルが存在するようになってきました。山中千代衛先生が、慣性核融合に対する貢献が偉大であったということで、彼が退官する時に、Emmetが所長だったんですけどもリヴァモアからやってきて、レーザーディスクガラスに、日米への貢献を英語で書いたものを山中千代衛先生に退官記念として渡すというございました。

1980年代には、有名なゴードン会議というものがあり、そこで、レーザー核融合が議論されていたんですけども、公開・非公開の問題があり、ゴードン会議が、自由に話せる会議ではなくなって、廃れてしまいました。逆に、日本の発見による異常吸収の発見を契機に、異常吸収会議が新しく発足して、盛んになって行きました。1986年位に、実際に固体密度の1000倍の爆縮を達成したことを受け、

1991年に山中先生がエドワード・テラー賞というのをEdward Tellerから自ら手渡されて受賞しています。その時、テラーは、「レーザー核融合は第3コーナーを回った」と宣言した。その後、2001年、2002年には、児玉了祐たち大阪大学とイギリスの共同研究グループが高速点火の優位性を実験で証明し、続けて‘Nature’に出しまして、アメリカは、中心点火とX線放射を利用する方式で、3000億円のプロジェクトをフランスとやってきたわけです。さらに、オプションとして、自分たちの3000億円の装置に改良を加えることを決めて、高速点火ができるようにして走っています。そういう現状です。こういうレーザー核融合の簡単な歴史を振り返りますと、日本の貢献というのは、それぞれの研究のマイルストーンのところでは結構きっちりしたものが出せているように思います。それに対して、国際協力では、プラスとマイナスの揺動を伴いながら走ってきたことが明らかだと思います。

藤田：どうもありがとうございます。本当に、短い時間でまとめてくださいまして、今お話しいただいた日本の貢献。それが、アメリカで機密にしていることの意味をなくさせ

たという。そのへんのことは非常に大きい意味を持つと思います。実は、成長期の座談会の時にも、宅間先生もそのことをおっしゃっていました。

【未来へのメッセージ】

藤田：未来へのメッセージというのを一言ずついただこうと思っていたんですが、予定の時間を大幅に超過していますし、皆さんのお話の中に、かなり入っていると思いますので、一応座談会はこれで終わらせていただきたいと思います。

(註) 日米協力：ダブレットIII計画に関連して、当日狐崎氏が配布された『29年後のまとめ』は、国際協力を進める上で不可欠な英語の問題をはじめ、豊富な経験に基づく参考にすべき事項に満ちた、極めて有用な資料であった。そこで、プラズマ・核融合学会誌に改めて投稿していただきたいと考え、準備を進めていることを付記する。