



「核融合の歴史を遺す座談会」

— 成長期 —

この記事は、プラズマ・核融合学会が核融合研究の50周年を記念して企画した一連の座談会のうち「成長期」に関する座談会の記録である。座談会を始めるにあたり、「核融合の歴史を遺す座談会」小委員会委員長の藤田から、この座談会を開くに至った趣旨、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、その記録は膨大となった。紙面の都合上、座談会担当委員の責任において割愛した箇所も多くある。また座談会出席者の間では相互に理解できた事項に関しても、広く会員・読者の理解を助ける目的で若干の加筆等を行うなどの編集を行ったことをお断りしておく。

日 時：平成19(2007)年12月22日(水) 13:00～17:00

場 所：東京大学山上会館

出席者(敬称略)：飯吉厚夫、内田岱二郎、河村和孝、
宅間 宏、宮本健郎、山中龍彦、吉川允二、藤田順治、
難波忠清

司 会：小川雄一

小川：今日は年末のお忙しい時期にも拘わらず、お集まりいただきありがとうございます。私は本日の司会を務めます小川です。よろしく願いいたします。それでは、我が国の核融合研究50周年を振り返って、その中の「成長期」についての座談会を始めたいと思います。

【座談会でのテーマ】

小川：まず、本日の議題に関して、簡単に説明させていただきます。今回は成長期の時代を取り上げました。ちなみに核融合50周年記念事業の座談会企画では、黎明期・揺籃期、成長期、青年期、壮年期と区分しております。なお本座談会では、各研究機関や組織などが系統的に編纂するアーカイブズではなくて、その当時の雰囲気を熱く語って頂き、我が国の核融合全体の流れが分かるものであればよいと思っております。したがって、詳しい歴史的な客観的な事実を正確にフォローアップするというのではなくて、その当時のことを思い出しながら、いろいろ、その時代背景、将来に向けてのメッセージ等を語っていただければと思います。

ここで成長期とは、1970年ごろから、1990年ごろまでの、約20年間を想定しております。1970年よりも前というのは、核融合研究の黎明期・揺籃期であり、別の座談会が企画されております。一方、1990年以降は、まさに現在進行形のものが多いですから、ここでは割愛しました。

本日の座談会は、先にも述べましたように、歴史を順々に振り返って検証するというのが目的ではありませんので、ある意味でのエポックメイキング的な課題を中心に議論させていただければと思います。なお、ここで取り上げてみたいと考えた課題を三つに絞ってみました。最初のテーマ

が、「高温プラズマの閉じ込め研究へ向けて」であります。1970年代初頭は、まさにトカマク等が伸びてきた時代で、高温プラズマの閉じ込めが研究の主題となってきた時代かと思っておりますので、この時代のエキサイティングな話題についてお聞かせいただければと思います。続きまして、二番目に、「学官の連携による研究推進」を挙げさせていただきました。ここでは科研費のエネルギー特別研究や日米科学技術協力などがこの時代に始まったこと。それから文部省での委員会として学術審議会における議論、科学技術庁関係では核融合会議での議論などについてお聞かせいただきたいと思って取り上げました。最後の三番目は、「将来へのメッセージ」でありますので、皆様方の忌憚のないご意見をお聞かせいただければと思います。



座談会全景

【プラズマ閉じ込め研究へ】

小川：それでは、本題に入らせていただきます。最初のテーマであります高温プラズマの閉じ込め研究では、やはり大河千弘先生、吉川庄一先生が1967年来日され、当時のプラズマ研究所で、日本の核融合研究について意見を述べられたのが一つのエポックメイキングだと思います。ただしこの話題に入るためには、当時の伏見康治所長のお考えや名古屋大学プラズマ研究所が置かれていた状況から紐解く必要があるかと思っております。そこで、プラズマ研究所の生立ちについて振り返っておきませんと、話の流れがわかりにくいと思っておりますので、内田先生から、その経緯につい

てお話したいかと思います。

○ プラズマ研究所設立の経緯

内田：話の中心は当時、学者・研究者の依り所であった日本学術会議であったし、核融合について既に固有の委員会があったとすれば、そこであったでしょう。有名な A 計画 B 計画論争もそこで行われ、A 計画に合意した後、望まれる研究体制としては、当時既に発足していた東大核研、物性研、宇宙線研に共通する共同利用研究所体制が話題になっていったと記憶します。



内田 岱二郎氏

具体的にはそれをどの大学に置くかについても、当時既に研究先行していた阪大、京大、名大、東大、日大等の中から、名大山本賢三先生が前年設置された一講座を提供しての強い勧誘に依って名大に附置され、昭和 36 年に発足しました。

所長には阪大で理学部長をしておられた伏見先生が就任され、理論 2、基礎 2、高温発生 3 部門の 7 部門で構成され、運営方式としては前述の各共同利用研究所の実態を参考に形式的には教授会を置くとするも、実質的には所員 7 名、所外員 8 名の計 15 名による運営委員会が決定してゆくものとし、初代運営委員長には当時東大教授で、名古屋の土地にも縁がある嵯峨根達吉先生だったと思います。（注：プラズマ研究所運営委員会には、運営委員長はおかれていなかった。「プラズマ研運営委員会規程」によれば、同所長が議長を務めることとされている。ただし、第 1 回運営委員会（1961 年 8 月 12 日）については、学術会議核融合特別委員会プラズマ研究所小委員会の委員長であった嵯峨根達吉が、運営委員候補者を召集した）。

そしてその運営委員会の下で実質的な活動機関として、理論、基礎実験、高温発生 3 専門委員会が発足しました。たしか基礎実験専門委員会長には山本賢三先生、高温発生同委員長には吹田徳雄先生がなられたと思います。そして直ちに相次いで教授に就任される先生方を中心にグループが結成され、理論以外は、基礎の 2 部門を軸とした TP (Test Plasma) グループ、高温発生 3 部門のうち 1.5 部門分をまとめた QP (Quiescent Plasma) グループが発足しました。TP のヘッドに高山一男先生、QP には長尾重夫先生が東北大学教授併任のまま就任されました。この中で、QP 計画への要望事項には、前述の学術会議核融合特別委員会からの、完全電離定常プラズマをめざせとの意見が大きく影響していたように思います。

問題は高温発生の残り 1.5 部門に何をやらせるかで、運営委員会は吹田専門委員長にその選定作業を依頼し、吹田先生は広く世界に公募し、外国からの応募を含めた確か 6 件について順次、説明・討論の場を設けて審議の結果、2 件を採用し、一つは当時日大理工物理から提案者：濱田繁雄、内田の名で出されていた俗称 BSG 計画（後日 Multistage Adiabatic Compression and Equi-Temperature Irreversible Expansion: MACETIE 計画に改名。IAEA の雑誌 JFE に掲載）

と、京大より共同計画の前提で出されていたヘリオトロン計画に予算を与え、人員構成は 1.5 部門 6 名全員を BSG 計画用に用意したのです。つまり、今日用語でいえば、加熱には BSG による多段圧縮、閉じ込めにヘリオトロンを配したのです。1963 年秋のことでした。

しかしながら、世界は大型計画を実施又は立ち上げ中で、英国の ZETA 装置でデータを出しつつあり、米国のシャワード計画ではステラレータ装置は建設中であって、ソ連ではトカマク装置が 3 号機まで運転しつつありました。

飯吉：今の内田先生のお話に関連した話をしたいと思います。昭和 40 年、伏見先生がカラム研究所にいらしたとき、1965 年ですよ、私もちょうどプリンストンにいたんです。確か伏見先生は、帰りにプリンストンにもお寄りになったんです。それで、講演をされたんです。日本の核融合研究について。その時、私が非常に衝撃というか、びっくりしたのは、第一声が、「日本の核融合の研究は、ストーンエイジである」と、言われたんですね。私はそういう認識はなかった。もうちょっと良いのではないかと。だから、伏見先生はかなり日本の核融合をなんとかしなくてはいけないという認識を、回られてずっとお持ちになったのではないですか、ということですね。それからもう一つは、先ほど、山本賢三先生が 1 部門を出してプラズマ研究所ができたという。これは大事なところで、実は、私が核融合科学研究所を作るときに名古屋大学へお返ししました。そのときまで、そんな歴史的な話があることを知らなかったのです。プラズマ研究所から核融合科学研究所に移るときにその話が出たんです。それで初めて知ったんです。だから、そういう大事な事実であればと考え、お返ししました。

共同研究が、その頃はまだ、あまり大学人には理解されていなかった、そういうことまでしないと、なかなか認められないというか、認知されなかった時代でした。山本先生がやはり大きかったのではないですかね。

宮本：『プラズマ研究所 10 年の歩み』に、山本先生が一文書いていらっしゃる。それを拝見して、そこに直接的には書いてないけれども、プラズマ研設立に際して 1 講座提供したことが推察でき、世の中には希有な先生もおられるもんだなと感銘を受けました。

○ 伏見所長の危機意識

小川：それで、ぜひ伺いたいのは、伏見先生がその時に持たれたという危機意識、またプリンストンに寄られて衝撃を受けられたとのこと、その辺の話をもっとお聞かせください。

内田：1965 年に英国カラム研究所で行われた IAEA 主催第 2 回プラズマ物理・核融合国際会議に出席された伏見所長は、プラズマ研で進行中の諸実験計画に改訂が必要と思われるようでした。そのため、第 3 回の同会議が当時ソビエト連邦のノボシビルスクで 1968 年に開かれ、日本からも何人かの方が出席されたが、この時伏見康治先生は出席されず、プラズマ研で閉じ込め研究を如何に進めるかを検討されていたようでした。

中でも最も遅く発足させた BSG 計画については、当初か

ら多段圧縮の実施よりも、この計画の基礎となる非可逆等温膨張の研究に集中するよう指示され、幸い実験の方もミラー磁場によって膨張流プラズマ内に惹起した衝撃波による熱化プロセスの解明に谷内俊弥教授の指導を受けたり、ヨッフ配位磁場によって膨張プラズマの安定化を確認できたが、いかんせん、研究開発の方向が、磁場閉じ込め性能で優劣を競いあっている世の趨勢から遠く離れており、他の実験計画を含めて実験内容の変更と体制変換等について、大河・吉川両教授等の意見を参考にされて、昭和44年、1969年3月を以て旧計画を中断し、高山教授の下、横一列の体制に組み直されました。

実はこの再編成が比較的うまくいったのには、二つの要因があるかと思っています。一つは極めて内容的なこと、国際的に進行しているいわゆる閉じ込めの研究を、QPもBSGも直接の目的にはしていないことから、閉じ込めについての関心や興味、構想やアイデア等が既に芽生えていたことで、このことは再編成直後に多くの論文となって出たことでそれを証明しています。一例が小職の場合、BSG中断の翌年の1970年には予て考えていたCCT (Caulked Cusp Torus) 配位の先駆的予備実験結果をPRL (Physical Review Letters) に出して載りました*。宮本先生や鈴木康夫氏、生田一成君も同順だったでしょう。二つ目は、この時期諸大学で行われた大学紛争の余波、というより雰囲気、主としてプラズマ研の若い助手陣を中心とする要求に合致し、速やかに対応できたことでした。

一言で云えば新体制の下で、新計画が次々と誕生してゆき、その中心となったのがJIPPステラレータでした。

*ソ連の学者ボリス・カドムツェフにより後日、同氏の著した教科書に載りました。

飯吉：その前ですね。プリンストンのCステラレータというのがあって、一世を風靡していたんですよ。あれがもう妒になるんだなんていうぐらいのつもりでやりましたでしょう。それがどうしてもボーム拡散があって、非常にグルーミーになってきて、何か考えなくてはいけない、ということで、多分マルチポールを。吉川さんはそのころGAにおられましたよね？そういうのが背景にあったのではないですか？



飯吉厚夫氏

吉川：そうですね。マルチポールは、平均ミニマムBのように閉じ込めに影響を及ぼし得るかというところに狙いがあったのです。まさにボーム拡散が本質的な限界になるのではないかという不安が高まって来たとき、マルチポールから、いや大丈夫という結果がタイミングよく出て来たわけです。

飯吉：大河さんのところは、それだからというのではなくて、パラレルにちょっとやっていた。

吉川：私は国際会議に向かう飛行機に乗りながら、低温・低密度のマルチポールをやって核融合に対して、何の役に立つだろうかと思って、悩みながら行ったんですよ。と

ころが、ぴったりタイミングがあったので私としては驚きました。

○ 大河千弘・吉川庄一先生の来日

小川：私自身、この座談会のために調べていて衝撃的だったのは、大河千弘、吉川庄一先生が閉じ込め研究の重要性を研究所員に訴えたのは、伏見先生自身が実質的には仕掛人だったということですね。それは初めて知りました。

飯吉：私は、日本はもうちょっと進んでいると思っていた。私はそのころ、慶応大学で、ほとんど核融合のこと知らなくて、プラズマ研究所とか、京都大学でいろいろやってたでしょ。だから、さっきのストーンエイジより、もうちょっと、アイアンエイジくらいかなと思っていた。ただね、外野にいましたからね。

小川：そのまっただ中にいらした宮本先生、いかがでしょうか。

宮本：はい。プラズマ研究所ではほとんどリニアマシンだったですね。閉じ込め実験という課題からは程遠い状況でした。閉じ込め実験は、当時ボーム拡散で悪戦苦闘していた時代でしたから、まずそういう現象の少ない直線プラズマで研究を始めようということだったかも知れません。伏見先生は1965年IAEAカラム会議に出席された折、当時のプラズマ研究所の研究計画が世界の趨勢からずれているとの危惧をもたれたと推察しています。カラム会議のハイライトは、閉じ込め特性における平均ミニマムBの重要性を実証した大河千弘氏のトロイダルオクタポールの実験結果でした。1967年先生は大河氏とプリンストンプラズマ研究所で活躍されていた吉川(庄一)氏を日本に招聘されました。おかげで所員は、お二人の講演を聴き、質疑応答ができ、おおいに啓発されました。伏見先生はプラズマ研究所の再編成をするためにさまざまな心配りをされました。所員の有志を集めて閉じ込め研究の論文紹介の研究会を立ち上げ、みずからも平均ミニマムBの理論の紹介をされました。1968年IAEAノボシビルスク会議でトカマクT-3の実験結果が発表されましたが、プラズマ電気伝導度から推定した電子温度に対してまだ疑念がもたれていました。プラズマ研究所ではさまざまな議論を経た結果、1969年初めに「平均ミニマムBによる外部導体系トラス」の研究計画の公募が行われる運びとなりました。その結果、JIPPステラレータと「(興味ある平均ミニマムB配位を機動的にテストできる) 共通真空容器」の提案が採用され、新体制への第一歩が始まりました。所員らは生き残りをかけて閉じ込め研究に没頭し、世界の仲間入りをめざしました。1969年カラム研究所のロビンソン等がレーザー散乱装置をクルチャトフ研究所に持ち込んで電子温度を計測し、T-3実験結果を追認してからは、いわゆるトカマク旋風が起きました。1971年にIAEAマジソン会議、1973年に伏見所長の御退官があり



小川雄一氏

ました。1974年には東京でIAEA会議が開催され、日本は世界の仲間入りを果たしたと実感しました。

○ レーザー核融合研究の生い立ち

小川：ところで伏見先生はレーザー核融合に興味を持って、レーザーの方がシンプルだから、レーザーをやりなさいと。山中千代衛先生を、このころ呼んで来ていますね。

山中：そんな単純な話ではなくて、プラズマ計測にレーザーを使おうということで、吉永弘先生がプラズマ研の客員教授になられて、計測用のレーザー、遠赤外レーザーを開発されて、それがうまく行ったんですね。その後の客員部門をどうするか議論が運営委員会でなされたわけです。その時の議論では、相当反対意見が強かったという話を聞いています。しかし、高山先生の強い推挙があり、それでなんとか考えようかということになり、伏見先生の決断で「テストプラズマ」として進めることが決まり、1969年5月からスタートしました。山中千代衛先生から聞いたそのときの様子は、みなさん、「レーザーで核融合なんかできるか!」という雰囲気だったようです。進めるにあたって「レーザーで核融合中性子を発生させる!」という約束をさせられた、ということです。

宅間：そして立派に約束を果たされた。

山中：客員部門のスタートにあたり、山中先生は客員研究に全力投球するために阪大の評議員を辞任され、私と一緒に来るように声をかけていただいたわけです。プラズマ研に設置した「激光1号」ガラスレーザーは、それまで阪大と三菱電機、大阪工業試験所、旭硝子、指月電機とで大出力レーザー開発研究会を作って研究開発した成果を基に製作したものです。当時、レーザーガラスは大出力を出すと白金の混入でガラス中に損傷が入るので、白金フリーにするためにクレイの坩堝で旭硝子が作りました。客員のスタートから3年目の71年7月に核融合中性子の発生に成功し、レーザーによるプラズマの異常吸収現象を発見したわけです。

藤田：伏見先生は、レーザーがシンプルだから、とおっしゃったのではなくて、磁場核融合の方は、とにかく材料の問題にせよ、閉じ込めにせよ、積み重ねて行かなくてはならない。その点レーザーの方、慣性核融合は、まだ物理が何か解決につながる可能性がある、というふうに信じていらした。

宅間：慣性核融合は、エドワード・テラーの「レーザーで作動するミニ水爆によって核融合エネルギーを発生する」という講演に刺激されて始まった。現実に存在するものに基づくから説得力があって、軍事研究との関連の深いリヴァモアとロスアラモスを中心に始まった。

山中：レーザー核融合がその後世界的に伸びたのは、我々がプラズマ研で、異常吸収で高温のプラズマでもエネルギーが入るよということを見出したこと、それと、翌年の72年に、今言われたエドワード・テラーがレーザーの国際会議であるIQEC (International Quantum Electronics Conference) で発表した爆縮の概念ですね。これらがうまくマッチングして伸びたんです。

宅間：それ以前にいわば「神代」の時代がある。西川恭治

さんがプラズマとレーザーの相互作用を理論的に取り扱って、非線形相互作用による異常吸収が起きることを発見して、レーザーエネルギーを効率よくプラズマに注入する可能性があることを示して研究に弾みをつけたことも大きかった。

山中：その時、阪大の渡辺健二先生や池地弘行さん(当時、プラズマ研)とかが音頭をとられて、非線形プラズマの研究を進めていて、レーザーも、異常吸収、非線形の問題がいっぱい出てきた。そしてレーザー核融合の分野では異常吸収の国際会議ができた。そういう時代でした。

【大学における研究の推進】

○ 核融合の戦国時代

飯吉：今の話と関連するんですけども、皆さんにお聞きしたいのですが、1970年から90年というのは、成長期と言うよりも、私は、戦国時代だと思うんですよ。プラズマ研究所があって、ヘリオトロンがあって、大阪大学にレーザー研究センターがあって、そして筑波のミラーがあって、その終わりごろに九州大が参加してきました。とにかく戦国時代。それが日本の核融合を非常に活性化したんだと思いますね。そこは是非再認識していただきたい。プラズマ研究所だけでは、ある程度限界があったのではないかと思います。なぜ戦国時代というかといいますと、私が、あの頃、某国際学術局長のところに行ったとき、局長室でどんと構えていて、「私は京都のお公家さんでして」と言うんですね。それで、「今、核融合は戦国時代みたいなもので、誰が一番最初に馳せ参じるか、待ってんですよ」とはっきり言われたんです。だから、そういう状況のなかで、なるほどそういう見方で、文部省も見てたんだなというふうに思っているんです。それぞれに、大将がいたでしょう。宇尾光治先生と、山中千代衛先生と、三好昭一先生と、それから、プラズマ研究所には高山、垣花秀武、内田と三人が。やっぱり競争して、それを支える予算もあの頃はあったんですね。非常に恵まれた時代だったですね。

もちろん原研は別格だった。大学の中が戦国時代。

山中：戦国時代という話ですけどね。私は戦国時代と思ってなかった。戦国時代は切った張ったやるんだけど。

飯吉：切った張ったやりましたよ。

山中：やられたのは、うちの方で。〈笑〉

全員：冗談ではない。〈笑〉

山中：山中先生はね、そういったことをほとんどされなかった。

宮本：なさらなかったかも知れないけれど、山中軍団というのはすごかった。〈笑〉

山中：それよりもね、みんながこれやりたい、というのがあったから、プラズマ研と、ヘリオトロンと、レーザーと、筑波が一生懸命競ったから、あれだけ文部省も予算をつけてくれた。小川先生の議題のところ、なぜレーザー核融合をプラズマ研で発展させなかったか、と書いてあるんだけど、もし、全部プラズマ研に持っていったとしたら、核融合全体、こんなになってなかった。そのへんが全部おかしくなって、全部集中しようという話になっているわけ

ですね。核融合だけが、こないだの学術審議会の議論で、原研のトカマクと、ヘリオトロンと、レーザーと、まあやりましょうというふうになったんですね。

宅間: 今では、核融合研でも慣性核融合の流れは作らなければならないという意識を十分に持っていると思います。その意味で、慣性核融合の立場は一時より非常に良くなっていると思います。

山中: 飯吉所長や藤原正巳所長からはサポートしていただきましたけど、組織の関係で核融合研では取り上げていただくことはできなかった。学術審議会の議論で双方向共同研究の推進が重要で推進するということになり、核融合研で取り上げていただけるようになった。

【学官の連携による研究の推進】

○ 科学研究費特別研究*

*【註】1980年度—1989年度までの10年間実施された文部省科学研究費補助金特別研究のこと。当初の7年間は「エネルギー特別研究（核融合）」として、残りの3年間は「核融合特別研究」の名称で実施された。

宅間: 内田先生が研究代表者を務められた核融合特別研究。非常に重要な役割を果たしました。あれで、いろんな大学の核融合の研究が、ものすごく進展しましたね。

内田: もし私が日本の核融合研究開発に多少とも貢献したとすれば、特別研究だったと思う。河村さんもそうだけど、本当に橋口隆吉先生が材料関係をうまくまとめてくれたし、それから、田島弥太郎先生。あの方がトリチウムでしょう。その後、河村先生に垣花さんもいらっしゃる。安河内昂さん、超伝導ですね。それから、早川幸男先生が、なんと、最後に炉工学をやった時期がありました。あの10年は、非常に大きかったですね。大きな財産でした。最後の2年前にプラズマ研究所を辞めたんで、池上英雄氏にお願いして、あと2年纏めていただいた。報告書（池上英雄他編、核融合研究Ⅰ（核融合プラズマ）及びⅡ（核融合炉工学）、名古屋大学出版会、1996）になって残っているはずですよ。

宅間: 核融合特別研究は、大学等の核融合研究のために非常に良かったけれど、唯一の問題は、10年間研究費が自動的に来たために、その後魅力と迫力に富む科研費の申請が少なくなってしまうように感じました。

飯吉: それはちょっとね。補足させていただきますと、特別研究があったからではなくて、大きな予算が、それぞれの大学の方に来たし、それで、もう科研費みたいな小さなお金は、核融合には要らないでしょうという。もっとお金のない分野に配って下さいという趣旨で。

宅間: あの10年間は確かに大学の核融合研究のためには非常に良い時代だったと思いますが、一方で新しい発想を売り込んで何とか研究費を獲得するという覇気が薄れてしまったように個人的には感じました。結局最終状態を見ると、核融合炉心の研究活動の中心は4大研究センターが残りましたね。

山中: 2期目にセンターでの共同研究的なものも発展させないかんとということで、内田先生が決断されて、共同研究旅費をなんぼかつけていただいた。それまでは、プラズマ

研、センターはお金があるだろう。そこへつけるよりも、周りを伸ばすことが大事だということで、プラズマ研、センターの研究者は研究代表者としては提案させていただけなかったのです。3期目から慣性核融合の診断技術の開発研究が採択され、世界記録となった 10^{13} 個の中性子発生や固体密度の600倍圧縮の成果の確認の基となった計測技術を発展させることができたわけです。

小川: この特別研究では、炉工関係で、河村先生も頑張られてましたよね。そのあと炉工学関係の人が、少し核融合から離れた方もおられましたけど、メリット、デメリットはどうだったんでしょうか。

河村: とにかく特別研究が走っているときは、まともには非常に良かったと思うんですがね。スタートの頃は少しわからないことがあるんですが、安成弘先生の報告書を見ると、よく書いてあって。原子力学会と、電気学会がありましてね。電気学会の方は分かりませんが、原子力学会の方に、吹田徳雄先生、垣花秀武先生、安成弘先生などがおられて、膨大な報告書を、我々は、バイブルと呼んだんですけど、報告書（日本原子力学会：核融合炉設計及び研究開発の現状と課題、1983.4）が出されたんですね。それに、かなり魅かれて研究者が集まってきた。

宅間: エネルギー特別研究の中での炉工学の研究が大学で立ち上がったのは特筆すべきだと思います。

河村: そのへんのことは、安先生がよくお書きになっていて、原子力学会の調査研究というんですか。パンフレットを作ったときに、いくつか分類されているんですが、それが結局、大元の分類で、それが後、ずっと引きずっているようですね。そこに書かれてあるのは、トリチウム工学、材料工学、超伝導マグネット、システム工学、中性子源、それから、生物影響、中性子工学、熱工学、炉心工学。9分野に分けて書いてある。実際にはそれらを6分野にまとめ、それでスタートしたようですね。

内田: 阪大の住田健二さんは、この特別研究でトリチウムの中性子源、OKTAVIAN、ローテーティングターゲットを作られ、あの仕事が自分にとっては一番のペーパーだったと伏見先生白寿の会のときに言っておられた。たいへんうれしい話です。

飯吉: その炉工学は、日米協力の中の一環として、ずっと続いてきています。それで今年（2007年）から、トリチウムが、また特定領域になりました。

山中: 今、河村先生が炉工学を9分野出したとおっしゃったけど、結局6分野でずっとやってきた。それで、核融合の炉工学に入って来られた方の結束がものすごく強くなりましたね。前は、どうも皆さん、バラバラ。核融合特別研究で、それで結束が大きくなった。それが今もずっと続いている。ところが、炉心の方は、特定のところだけ金が、基礎の方は全然回ってこない、という議論が出まして、それでちょっとギクシ



山中龍彦氏

ヤクしたこともありましたが、核融合科学研究所ができて、再び纏まるようになった。

吉川：評価すべきですね。

○ 慣性核融合研究の国際性

宅間：慣性核融合の話で一言言っておきたい事があります。それは、日本の研究活動が慣性核融合研究の世界的な流れの中で特筆すべき流れを作っていることです。このことは、核融合研究者の方々に認識して欲しいと思います。その一つは‘高速点火’。非常に強い極短レーザーパルスがプラズマ中で、相対論的非線形効果で細いチャンネル状に伝播することを利用して、爆縮したプラズマの中心を効率よく加熱し、通常の爆縮より遥かに高い効率で高密度プラズマの中心に点火するという発想です。これは阪大がリーダーシップをとって、ロチェスター大学を含む世界の主要研究センターで試みられている。



宅間宏氏

山中：それは、日本の核融合ソサエティの中で、いろんなことを勉強させていただいたおかげです。皆さんがおっしゃる戦国時代で競争するのに、いろんなことを議論しても、集まった研究者の90%が磁場閉じ込めの人なので、その中で、きちんと理解していただくためには、世界が注目する成果を出さないといけない、ということで色々努力してきたわけです。

藤田：今の話をちょっとだけセカンドさせていただきますと、成果の面だけではなくて、歴史的に、慣性核融合というと、本当に秘密研究で、IAEAの席ですら、フランスのリメイユの人たちは、「これ以上は喋れません」とか、そういう時代に、阪大であれだけのことをやったから、アメリカでもこれ以上非公開にしておく意味がなくなったという。そういう、世界を動かしたという点は、非常に高く評価すべきだと思います。

宅間：ある国際会議で、リヴァモア研究所の研究者が“*Our national secrets are flooding over the floor!*”と叫んでいるのを実際に耳にしました。彼らは、“defence”というキーワードで国家予算を引き出しているのです、自縄自縛になっている。

山中：そのことですが、アメリカの国務省の役人がキャノンボールターゲットはアメリカが非公開研究としてリヴァモア研究所でやっているホーラムターゲットの研究と同じなので研究発表をやめてくれるように申し入れに来たのです。それで、文部省と相談して、「核融合の研究をわが国の原子力エネルギー開発研究の基本方針である民主、自主、公開の原則に則って、学術研究・エネルギー開発のための基礎研究として進めているんだ。得られた知識は公開するのが研究者にとっての当然の義務である」と申し入れを断った。そうすると、向こうは、子どもの使いではないので何か成果がないと帰れないと泣きついてきたが、最後まで頑張って受け入れなかった。

宅間：レーザー核融合の研究は確かに水爆の保守に役立つと考えられますが、レーザーの実験だけを何度繰り返しても、核実験と対比しない限り水爆の保守に役立つことはできないのです。だからこそ、同じように defence がらみのプログラムとして核融合実験の予算を取っているフランスも駆け込みで核爆発の実験をやる必要があったのです。これは、山中千代衛先生が言っておられるように、事実なのです。

このような意味で、レーザー核融合を兵器研究から切り離して議論できるようにしたのも、阪大レーザーの大きな業績です。

○ トカマク vs ヘリカル

小川：山本先生は、先に話のありました『核融合の40年』（山本賢三、核融合の40年 —日本が進めた巨大科学—、ERC出版、1998）の他に、それを補足する形で『核融合研究開発の余録』という書き物を原研のレポートで出しているらしい（JAERI-Review 2002-023）。それを見ましたら、第二段階計画、つまりJT-60を作る段階の核融合研究開発懇談会の技術分科会の審議のときに、宇尾先生が質問状を出してしまっていて、ヘリカルの方が良いという。

飯吉：それは、一貫しています。

小川：それで、それに対して吉川允二先生が、ていねいに反論の記事をお書きになっており、今も通じるような議論をしておりました。宇尾先生は、ベータとか、定常化の話とか、ダイバータの話とかにおいて、ヘリカルにアドバンテージがあるんだとおっしゃってましたけど、吉川允二先生は、JT-60はダイバータをつけているし、定常の問題は電流駆動をどうするかとか、今の先駆けになるような議論をこのころやられていたんですね。まさに第二段階で。

吉川：宇尾先生は勉強されていたんですね。

小川：宇尾先生は、ヘリカルに対して、すごい情熱をお持ちだったですね。

飯吉：もう宇尾先生の頭には、ヘリオトロンしかなかったんです。核融合というのは、ある程度、そういう人もいないと進まなかったのではないのでしょうか。いろんな可能性があるからです。

私と宇尾先生と共通してたのは、宇尾先生も私の前にプリンストンに行かれてたんです。その前は藤田先生。それで、何故ボーム拡散かというところで、私と宇尾先生とは同じ意見だったのです。Cステラレータは、Uベンドにヘリカルコイルが付いていて、手作りなんです。あれはプリンストンの工場で作ってる。フィーダーがありまして、 $l = 2$ と、 $l = 3$ と、フィーダーがぼぼぼぼと出ているんです。そこでもう完全に誤差磁場が出ていて、CステラレータをST（トカマク）に変える直前に、確かHoseaかHookeが磁気面を測定したんですね。エレクトロンガンで。私が帰るときになって、その結果が出てきたんですけれども、磁気島だらけなんです。僕は、これがボーム拡散の元凶だなと、そう思って帰ってきたので、もしも、誤差磁場の少ないヘリカルシステムを作れば、もっと良い結果が出るはずだという確信みたいなのがありました。宇尾先生も多

分それは同じだったと思います。真円にして、給電部をできるだけ減らして、という。最後は超伝導でというのが、そこは同じ考えです。

ただ、ヘリオトロンは、もうそれ以外はないという考え方は、私はしていません。

宅間：宇尾先生は、LHDに関してもご不満があったようですね。

飯吉：宇尾先生はシアアでなくてはだめだという。あの頃は、スタディグループ、理論のグループも含めて、我々の方は、どっちかという、 $m=10$ のウェルとシアアとのコンビネーションが良いのではないかと考えていました。最後は、ピッチ数を $m=12$ にするか、 10 にするかで、最後にちょっと生き別れになってしまった。〈笑〉。でも今思うと、やっぱりそれで良かったと思うのですよ。シアアだけだと、これほどのLHDの成果は望めなかったでしょう。

吉川：その頃学会の企画担当理事をしていたのですが、LHDの磁場構造について宇尾先生が強く異議を唱えられて、学会レベルでシンポジウムを開いてほしいと要望されたことがありました。必要ないというご意見もありましたが、開かせていただいて、その後は先生も静かになられて納得されたのかと思っていたのですが。

飯吉：いや、宇尾先生は納得してなかったですね。でも、もう、その後のいろんなシミュレーションとか、磁場の計算からいくと、どう考えても、 $m=14$ 位が良いといっておられたんです。ウェルが全然なくなってしまう。でも、大学の次期装置としてLHDが選ばれましたからね。それには満足されていました。

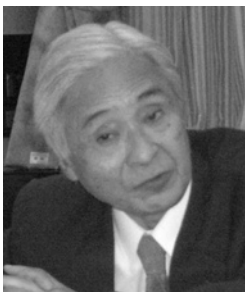
【開発研究と基礎（学術）研究】

○ 原研でのトカマク研究

小川：先ほどの伏見先生の話、私としては非常に勉強になって面白かったです。これまでにプラズマ研究所、大学関係、レーザーも含めさせていただい議論ができましたので、今度はちょっと原子力研究所の話に話題を移らせていただき、まずは吉川先生をお願いいたします。

吉川：科学技術庁のもとでの研究は、将来の核融合炉の実

現に向かって計画性を重視して進めるところに特徴があります。この意味で文部省のもとでの研究と相補うものであったと言えます。研究は、第一段階である原子力特定総合研究（核融合）（1969-74年）から、第二段階核融合研究開発基本計画（1974-92年）へと進みました。第一段階の中で原研は、計画の中核であったトラス装置を担当し、その重点をトカマクに置きました。また、技術や炉工学もできるだけ進めようということで、加熱技術や超伝導工学の開発を始め



吉川允二氏

ました。

1970年、米国ではCステラレータをSTトカマクに改造しました。これに続いて世界各国ではトカマクへの研究投資

が増え、1970年代には20台を超えるトカマクが建設され、さらに1975年には当時としての大型装置PLT（米国）とT-10（ソ連）が完成しました。

この間、世界の核融合先進国は、走りながら次の段階の研究計画をどうするかを考えていました。日本でも、外国で活躍しておられた大河、吉川（庄一）両先生のご意見を伺いながら、世界のトップ集団に加わるべしという積極的な意見が高まってきました。このような国レベルの方向づけを行うには、各界の最もハイレベルの方々に審議していただくことが必要と考えられ、1973年5月に核融合研究開発懇談会が設立されました。報告書は1974年7月に提出され、これを受けた原子力委員会は1975年7月に第二段階核融合研究開発基本計画を策定したのです。

この時代、日本は国自体に勢いがありましたね。山本先生によれば、懇談会の席上、経団連会長の土光敏夫氏は「核融合の開発は原子力委員会だけでは駄目で、経団連でも考え、国民的運動でやるべきである」と発言されたとのこと。また、岡崎嘉平太氏（のちに全日空会長）は、『東洋経済』の巻頭言で日本が核融合の開発を進めるべきと強く提言されました。またこの頃、福田赳夫先生が核融合に関心を持たれ、山本先生のご進講を何回か受けられました。福田先生は後に首相になられ、いわゆる福田イニシアティブが日米核融合協力で結実し、核融合の推進に世界的推進力を及ぼしました。

小川：福田赳夫総理なども含まれており、まさに、財界、政界、すごいサポートでしたね。

吉川：いちばん盛り上がった頃ですね。この計画の審議に当たっては、懇談会の事務局には、森茂さん、関口忠先生、吉川庄一先生が入られて、いろんな企画や方向づけをされました。技術上の審議のためには、伏見先生を会長とする技術分科会という下部組織を作って、これをベースに最終的に懇談会の結論を出されたわけです。どういうことかという、核融合は、トカマクを使って、臨界プラズマを実現する段階に足を踏みいれるべきであり、そのことによって、20世紀の終わりか、21世紀の初めには、核融合による発電の実証ができる、という結論だったんです。懇談会では、計画を進める上での心構えについてご注意を頂きました。座長の井上五郎氏は、「核融合炉は一朝一夕にできるものではない」、また伏見先生は「日本は後追い型から脱すべきで、失敗をよく理解していただきたい」と身が引き締まるご発言がありました。

第二段階は、プラズマから炉工学にわたる総合的な計画ですが、その中で中核であったのは臨界プラズマの実験をめざしたJT-60です。設計上の眼目は、第一にプラズマ断面は円形と決められていたのですが、トロイダルコイルの口径を大きくして、ポロイダルコイルをプラズマごと口径の中に入れてしまう、これによって将来の改造のためのフレキシビリティを確保しておく、第二にプラズマの境界をリミターで決めることは設計上無理と判断し、磁気リミター（ダイバータ）を初めから設置するということでした。このため設計には難しさもあり、不安もあったのですが、順調に動いてくれました。フレキシビリティはJT-60Uへの改

造を可能にしたという意味で成功といえるかと思っています。

小川：その辺は、宇尾先生と吉川先生との議論で、トカマクは、金属リミターなので駄目だと言うのに対して、吉川先生それに果敢に挑戦されたわけですね。ダイバータ研究はJFT-2aの時代からですが、こういう面での競争が良い方向に働いたのですね。

吉川：競争は進歩の源として歓迎なんです。文部省と科技庁と二つのチャンネルがあったということ、さらには文部省の中でいろいろな方式で競争していくということは、日本にとって良かったと思います。

宮本：トカマクだって、ダイバータは、ASDEXが82年に作っているんですよ。だから、むしろダイバータという意味では、トカマクの研究の方が進んでいたのではないかと思います。

吉川：原研はすでに74年に、JFT-2aを作ってたんですね。

飯吉：『余録』に書いてある宇尾先生と吉川先生との論争。へえーと思いながら読みましたけど、それともう一つ吉川先生がJT-60の立ち上げの時のご苦勞の話を読んでいて、この資料で初めて知ったのですが、このころ新しい法人を作ろうと、理研と、電総研と原研で、という話が、だいぶ煮詰まっていたけど、最後できなかったということですね。

吉川：そうなんです。実は第一段階でも議論はされていたのですが、時期尚早ということになりました。第二段階では、この三研の研究の一体化と、文部省で行われている研究を含めての一体化が時間をかけて積極的に審議されました。しかし、最終的に原子力委員会は新研究所を直ちに決定するよりも、研究開発体制については引き続き検討することが適当とし、当面協力参画のための体制整備として、核融合会議を設けるとしたようです。

小川：結果的には、その後、そのような動きは、なかったですね。

吉川：当時、核融合会議が新研の議論をする場でもあるという認識がありました。しかし、残念ながら新研を作るかどうかまで事態が進展しませんでした。第三段階の間に、ITERやその他の計画が成熟すると、核融合学界だけでなく原子力学界や産業界を含めて新しい体制の議論が必要となってくるかもしれませんね。

ところで、JT-60は1985年3月、加熱装置は1987年3月に完成しました。加熱装置を用いた実験の目標は、当初原子力委員会の定めた目標（臨界プラズマ条件目標領域）を予定した時期（1987年9月）に達成することに絞りました。運転はHモードをやったのですが、結局はLモードのままプラズマ電流を最大化することで達成しました（ただし重水素プラズマの閉じ込めに換算するとしてでした）。この勢いをつけて、すぐJT-60Uへの改造計画を提案し、1989年に運転を再開しました。物理的な意味での臨界プラズマ条件の達成は1996年11月、10年近く後のことです。

小川：吉川先生がおっしゃった第二段階のJT-60の立ち上げから成果の話を、大学の方から見ていて、宮本先生としてはどのような意見を持たれていましたか。

宮本：JT-60Uになってから、JETとか、TFTRと匹敵するデ



宮本健郎氏

ータが始めて、それで外から見ても、文字どおり世界をリードするようになったと思います。確かにこれでITERに行く道筋が見えたというふうに思いました。

ITERと関連して、INTORの話に触れたいと思います。INTORは、78年から始まって、約10年続いたんですが、これは森茂先生が、ずっと議長をやってこられたわけです。ITERが非常に華々しく動い

ていますから、INTORの果たした役割が忘れられているのではないかという気がします。実はこの10年間に4極が協力して、曲りなりにも一つの計画を打ち出すことができ、相互信頼ができたという事実は、ITER発足の礎になったと思います。私は最後のフェイズ2aの時期に、約2年間参加しました。まあ大変激しい議論がありましたけれども、最後はまとまりました。森茂さんでなかったらできなかった、という気がするくらいでした。皆さん、自己主張が強くて、でも、それがなぜ10年間続いたかという、それぞれ宿題の検討結果を持ちよって、4極が突き合わせるわけですが、1極が一つの成果を出して、外の3極から三つの成果をもらい、比較検討するわけです。これは、お互いにとってメリットになったと思います。

○ 研究費に対する責任

小川：ありがとうございます。ここで、原研での研究に対して、もう一度大学での研究に話を戻させていただきたいと思います。

飯吉：大学の中のコンペティションがとにかく大変だったですね。核融合会議はいつからだったのでしょうか、「大学は基礎研究」、「原研は開発研究」がはっきりしたんですね。ですから、あまり原研と大学との軋轢がなくなってきたんですね。予算の面もそうだし、開発研究と基礎研究という形で、すみ分けをしたのは、どこでしたかね。それからもう原研は基礎研究という言葉を使わなくなって、大学は開発研究という言葉を使わなくなった。予算要求の時には、そうしないと、大蔵省に行くと、どう違うの？といわれた時に、一番わかりやすい。

小川：今も開発研究、学術研究という二つの車輪で核融合をやっているというので頑張ってきたんですね。

飯吉：そうなんです。総合科学技術会議というのがありませんね、あの中に学術研究という表現が一言も出てこないんです。そこに出てくるのは基礎研究という言葉ですね。大学の先生は学術研究だと言っている。そこで、今、すみ分けしているところがあるんですけど。

文部省系は、大学の研究のことを学術研究と呼ぶ。旧科学技術庁の方は、基礎研究と呼ぶんです。それはたぶんそれの名残があるんです。

山中：総合科学技術会議では学術研究という認識はなくてわが国の産業技術等の国力の進展に繋がる戦略的基礎研究という考え方が中心。

飯吉：学術審議会というのがありましたね。それが今度、科学技術学術審議会になったわけです。旧科学技術庁も入ってきたから、もう実際は二つに分かれている。

河村：私は13年間科学技術庁の金属材料技術研究所にいて、それから文部省所管の大学に行ったものですから、そういう意味で、二つの違いを私の目からみた話なんです。科技庁関係は、予算に対して責任があるな、という感じがしましたね。文部省は、あまり責任感がないのではないかと。



河村和孝氏

宅間：そんなことはありません。学術に関する責任感には旧文部省や大学等では重大なものです。応用に対する責任感はそれに比べると薄かったかも知れないけれども。

河村：とにかく、全体的に見て、片方は一応目的があって、それに対してこういって、確かこの80%までいったか何%いったかという表現にいくわけなんだけど、片方の文部省関係は、お金がどこにいったのか全然わからない。それが当時、僕が、文部省の方に行った時に感じたのは、責任感、責任の所在がどこにあるのか？大学の先生の予算に対する責任の所在は？

宅間：それは重大な責任を感じてやっていますよ。学術研究において、外国に一步も引けをとらないという重大な責任を持っています。その成果が金になるかならないかはまた別な話です。少なくとも、人類の自然に対する理解を深め、正しく理解するということに対する責任は十分に感じている。例えば、現代の医学でも、そのような進展から思いもかけなかったような治療法が発見されたりする。そのような研究の成果によって延命できている人達も決して少なくない。河村先生も、そのお陰で命拾いすることがあるかもしれない。

飯吉：あの科研費というのが、その責任がそう見えるのです。科研費はボトムアップで、個人の自由な発想で研究をする。それで、科学技術庁の方はトップダウンで、プロジェクトで来ますよね。だから当然、それは目的意識が強く指向されてきた。科学研究費は失敗してもいいんですよ。

宅間：科学研究費をもらったら、然るべき一流学術誌に成果を載せる責任は十分に感じています。

吉川：文部省系も、評価制度がずいぶん浸透してきた。かなり厳しくやってるでしょ。

宅間：それぞれの学術雑誌にインパクトファクターを与えて、(インパクトファクター) × (論文数) で業績を評価するのは、誰でもわかる評価法という意味では役に立つかもしれないが、真に学術的な評価がそれでできるとは限らない。本当に新しい優れた仕事で、レフェリーに理解できないものが在ってもおかしくない。インパクトファクターの高い雑誌でも、査読がいい加減で、レフェリーが捏造データを見破れない例も少なくない。このような過度な客観評価とそれに基づく競争は、財務省向けではあっても学術への貢献という意味では甚だ疑問です。本当に研究の評価が

出来るのは、その道の大家だけです。

河村：私の話は、成長期の話ですからね。〈笑〉

小川：今伺っていて、文部省系の学術的な評価の仕方と、科技庁系の評価の仕方を含めて、達成度の話を含めて、ちょっと文化が違うんですね。文化が違う省庁が統合になって、そういう中で、核融合が両方の文化をどういう形で、どう斟酌しながら進めていったらいいのか、そのへんのご意見を是非とも伺えればと思います。文化の違いというものをどうポジティブに受け止めながら、どうやっていったらいいか。

宅間：それはおそらく核融合科学研究所の設立の経緯とか、その中でなぜヘリカル系が選ばれたか、という経緯が非常に関係ありますね。

○ 核融合研設立に向けての議論

宅間：核融合科学研究所ができるときには、そこでどんな大型研究をやるべきかについて、核融合部会の下にワーキンググループが作られた。部会長の早川先生からその主査をやれといわれて、西川さんと二人で4つのサブ・グループ①自己組織系(トカマク型)②外部導体系(ヘリカル系)③直線系(タンデム・ミラー)④慣性系をつくり、必ずしも専門的に研究した人達でなく、学術的に検討できる人で、それぞれのサブ・グループのメンバーを決めました。議論は、あくまでも学術的な立場からポリティクスを排して徹底的に行い、さらには大型装置の建設に少なくとも10年の歳月が必要なことを考えて、諸外国の計画を認識した上で完成時に有意義でユニークな学術研究が可能であることを条件として本格的な議論が行われました。

各サブグループメンバーが他のサブ・グループの検討会にも自由に出席することとして、約半年の期間に100回近い検討会をインテンシブに行いました。私と西川さんはそのほとんどの会合に出席したので、他のことは何もできず、ひたすらこの作業に没頭しました。特に過去の重要なデータに疑問が出された場合には、追実験までやりました。

その結論が現在の核融合研究所のヘリカル系の研究です。基礎領域の研究者として、私にとってのヘリカル系の魅力は、磁場の配位をかなりの自由度で変えて荷電粒子の閉じ込めの特性を実験的・理論的に調べることができることと、世界に類を見ない系だということです。また同じトラス系であることから、トカマク型の閉じ込めについても研究できる点が魅力的でした。トカマクは確かに面白いシステムですが、私には個人的に「自己組織化」という面で、任意に制御し難いのではないかとという抵抗がありました。勝手に安定な配位を取ってしまうというのはどうも不愉快。〈笑〉

直線系も面白いシステムですが、実際に炉のスケールにできるかという問題がありました。

一方で、慣性核融合は当時の研究者数が磁場閉じ込めに比べると、はるかに少なく直ちに国家的な計画にするよりは、しばらくの間隔大で続けたほうが賢明だろうということになりました。

このような経緯で大型ヘリカル計画が取り上げられるこ

とになったのですが、ここで強調したいのは、このワーキンググループの作業で、ポリティックスを排除した純粋に学術的な検討が徹底して出来たことです。このことはわが国の核融合研究者が誇るべきことと思っておりますし、この作業に参加した研究者の方々に対して少なからぬ敬意を持っています。

ところで、この機会に申し上げたいことは、核融合研究者の責任感があまりにもエネルギー生産に集中していることです。核融合プラズマは、宇宙のエネルギーの根源です。現存する知的存在として、その本質を理解することは人類の使命ともいえると思います。エネルギー生産の技術としてだけでなく、核融合プラズマを知ること自体が人類の使命と考えられないでしょうか。

その意味でも、核融合プラズマの研究の意味づけ、重要性が主張できないだろうかと思えます。

内田：それで、「いつ頃エネルギーが出るんですか？」と言われたらなんと答えますか。

宅間：エネルギーを生産する技術を開発するのは違った立場でも核融合プラズマの研究に対する価値づけができるのではないかということです。「宇宙のエネルギーの根源である核融合プラズマを、どのようにすれば地上で閉じ込めることができるか？」というだけで興味ある研究課題です。いろいろな天体で核融合エネルギーがどのようにして生産され、星の一生の中で核融合プラズマはどのように変遷するか？地上で核融合プラズマをどのように閉じ込めることができるだろうか？など多くの人達が知りたいことは多いと思います。そのような立場から核融合研究を位置づける努力も必要だと思います。

【将来へのメッセージ】

内田：今交わされている議論ですけど、考えようによっては、プラズマ・核融合学界人の中の話と言えませんか。つまり今の話では、お互いうまくやっていますので、このまま進めていけばよいのではないかと、というふうに聞こえてきます。

ところが世間には、「核融合からエネルギーを出すと言っているが、結局、いつになったら出してくれるか教えてくれ」という問い掛けが潜在的にあるのです。昨年(2006年)ノーベル平和賞を受けた IPCC 委員会やアル・ゴア氏が指摘する地球の持つ危機に対して誰一人、「核融合があるから大丈夫」という人はいない。内からも外からも。

そんな中で内にいる人達が、物理が大事だ、互いにうまくやっているから良いのだというのは、外へ出すメッセージにならないと思う。

宅間：確かに純粋な研究者としての興味だけで十分ではないと思います。今内田先生が言われたような覚悟は、核融合研究を続けてゆく上に極めて重要だと思います。

内田：一つのソサエティの中で成り立つ議論でも、そのソサエティの存続を認めている社会に対して説得の用意から、なにがしかの発言をしていかなければ、あの連中は何を考えているか、いつしか疑問の目をもち、サポートしてくれなくなってくると思います。

○ 十分やれなかったこと

小川：内田先生のご指摘のとおりで、将来へのメッセージということで、ぜひ伺いたいと思います。まずは吉川允二先生にお聞きしたいのですが、山本先生に対する本(註:「核融合の人々は語る」と題する「山本賢三先生米寿お祝いの会」に際して出された本)の中で「十分やれなかったこと」ということで、三つのことが書かれています。一つは各界に対する働きかけをもっと強くすべきだった、二つ目は核融合に対する声をもっとまとめる努力を進めるべきだった、三つ目は、核融合実現に関する疑問にどう答えるかに関して工夫すべきだった、ということを指摘されています。この辺を踏まえて、将来へのメッセージをいただければと思います。

吉川：そうですね。第一の点は、核融合が立ち上がったときから山本先生、森先生はじめ第一世代の方々が福田、岡崎、土光というような各界のリーダーやジャーナリズムの信頼を受け、理解と支持を得たという事実です。私などはこれらの方々の遺産の上にやっとならなってきたという感じがしています。やり方は人の個性によって違いますので、次世代の方々が自分のやり方で努力していただければと思います。

第二の点は、研究者が違った意見を持つのは当然でよいことですが、外部に働きかけるときはコミュニティとして一つの意見にまとめていってほしいということです。わずかの不一致が大きな被害につながることもありえますので、次世代の方々がうまく意見をまとめられることを期待しています。

第三の点は、さきほどの議論にもありましたが、社会は「核融合のよい点はわかる、だけれども本当に実現できるの？」と疑問をもっているのです。これに対する「わかりませんが、努力します」という答は不十分であり、責任を果たしていないとさえ思えます。質問する人は、専門家の思考の深さを試してあえて疑問を呈しているのです。いろいろな答え方があります。標準的には、「この計画は、世界各国がハイレベルの第三者委員会の審議を経てきめたものです」でしょう。さらに、「私たちの実績を見てください。コスト、スケジュールを守って目標を達成してきました」とか、プラズマや材料の性能の年ごとの進歩をグラフで示して、「将来のことを予言することはできませんが、過去の実績を延長すれば、2030年には必要とする性能が得られると思います」という答え方もあります。これは人それぞれだと思いますので、ぜひ工夫していただければありがたいと思います。

○ 新しいアイデアへのチャレンジ

飯吉：私は今の吉川先生に大賛成なんですけれども、一つ加えさせていただくと、もう少し、また原点に戻って、若い人たちが、もっとアイデアを出す時期に来ているのではないかと思います。要するに今のITERやヘリオトロンの流れの本当の延長線上に商業炉があるのか、ということを考えてときに、いや、実用になってくるとは思いますけれども、生き残るような実用炉になるのかということ、まだまだ

アイデアが不足していると思います。私どもが核融合研究を始めたころは、‘full of ideas’, いろんなアイデアが出て、いろんな方式が出て、それで、淘汰されてきたことは事実なんですけれども、これだけプラズマのパラメータやいろんな技術が発達して、進んできた中で、可能性として、新しいアイデアがないのか。例えば、とにかく数億度、1億度の温度を出して、そして、タービンを回す、お湯を沸かすというシステムでよいのか。実用炉としてもっと何か魅力のある方式がありうるのではないかと。それは若い人たちが考えてもらわないと、我々は、もうその路線をずっと来ているから。例えば、直接発電とか、D-T核融合以外の可能性とか、まだ研究されていない。当初はいろいろ可能性があって、難しいということが今言われていますけど、本当に現在の技術や物理を駆使しても、前と同じ結論になるかどうか、一度、若者と言うか、また、新しい人が、ITERを作っている間は暇になりますよね、研究者は。その間、本当に、将来のことを考えて、アイデアを出すようなことも含めて、プラスアルファしていただきたいと思えますね。そうすれば、外から見たときに、「ああ、核融合というのは、ひょっとすると、もっと魅力のあるものが出てくる可能性があるな」と。例えば、加速器で言いますと、もうどんどん大きくなって、LHC、リニアコライダーですか、次はまだそれでいけるんですか？となると、そうするとこんどは、プラズマ加速みたいなものができて、もっとコンパクトな加速器を作ろうというアイデアが出てますよね。そういう意味で、核融合も、もう少し何か新しいアイデアはないかなと。これは私が辞めたから言ってるのではなくて、昔からそういう思いがあったもんですから申し上げたんです。

山中: さきほどの宇宙とか、核物理というのは、純粋科学なんです。要するに、芸術みたいなもの。一般の人から見ますとね。そうすると、素晴らしい音楽なり、絵画なりを出してくれればいいわけなんです。核融合は、実用があるわけですね、エネルギーを発生するという必要があるわけですね。それで、ものすごいお金がかかる。5年、10年で済んだら良いわけですが、長期間かかるわけですね。そうしますと、一人の人間が核融合に興味を持って見ていると、そんなに長い時間関心が続かない。5年、まあ10年ぐらいですかね。じゃあどうすればいいかという、違う発想が要すると思うのです。飯吉先生の言われるようにもっと新しいアイデアで、挑戦的な方向を出さなくてはアカンよというのがありますけれども、それでも、そのアイデアを試すためには、10年、20年かかる、ということになるわけですね。私が前から言ってるのは、核融合研究をやって、社会の人が、他分野の人が、あれは役に立つと思えるような波及成果を含めた発表をしないとイケない。どうもそれが見えてないじゃないかと思うんですね。

小川: 他分野への発信が未だ不十分ということですね。

山中: 大学の中でも、「お前らいつまでも研究やってるけど、エネルギーが一つも出えへんな」と言われる。結局、副産物でもいいからちゃんと出して、やっぱり「これをやらしといた方が、いいこともあるわ!」と、そういう認識を持

たせる必要があるのではないですかね。

○ これからの人材育成

宮本: メーカーの人と話したり、出版界の人と話したりしてるんですけども、世の中の目はもっと冷めていますね。つまり、吉川さんもおっしゃったんですが、プラズマ研ができる頃というのは、いろんなところで関心が持たれていて、熱気があったんですね。プラズマ・核融合の良い本を出すといえば、引き受けてくれる雰囲気がありました。しかし今は、「若い人が一体どのくらいこの分野に来るんですか？とても出版できません」という雰囲気です。それからメーカーの人たちが言うのは、例えば、某企業では、「JT-60建設時代の核融合のエンジニアリングスタッフはおりません。まあ核融合室というのがあって、何人かが居るけれども、昔の技術者は一人も残っていません。」というのです。そういう現実をある程度きちっと見据える必要があります。ITERの結果が出てくるまでの期間、若い人たちを引っ張っていくことは難しいんじゃないかという危惧を持っています。面白いアイデアを出すというの必要ですが、やっぱり世の中にインパクトを与えるような結果を出し続けることが重要です。例えばITERが立ち上がるまでに、トカマクのHモードとか、ゾーナルフローとか、いろいろな新しい結果がでてきて、我々も心が踊ったわけです。これからITERの運転が始まるまでの、あと約10年間にどのくらい若い人たちを引きつけて、大学の先生方がどういうふうに優秀な学生を集めていくかということが、非常に重要になってくるのではないかと思います。私が現役でいた頃というのはラッキーな時代で、優秀な人たちがきてくれたんですが、今後は必ずしもそんなふうにはならないのではないかと思います。

核融合および関連する分野で興味のある結果を出して、若い人たちの興味を何とかして引きつけ続ける。優秀な学生が来る限りは、その分野は、生き残っていけると思えます。大学の先生のいちばん重要な役割だと思います。

吉川: 具体的な案があると良いのですがね。ITERに参加する、国際舞台に出て、アメリカで仕事をするとか。

宮本: 原子力機構とか核融合研では、もうあまり人を採用できなくなっているように思われます。学生たちは非常に敏感ですから、ドクターに行っても就職口がないということになると、もうそんなに来てくれない。いまの状態のままでは、原子力機構からITERに派遣するだけの人的余裕は、BA (Broader Approach) のこともあり、あまりないでしょう。原子力機構、核融合研などの大きな組織や、大学の中に、ITERで活躍できる人材の枠を確保することが必須です。

小川: 今おっしゃった人材育成の問題は非常に重要で、大学ではいつも考えています。さっきの飯吉先生の話にもつながるんですけども、大学としては、ITERやBAと連携を取りながら、一方で大学の中で輝いていることが肝要であると。アカデミックに輝いているテーマを大学のなかでキープしながら、それに学生が魅力を感じると共に、育った後はITERなどで活躍する、そういうふう考えているんですよ。

飯吉：‘one of them’ではダメなんです。自分たちで発想したりというのが、大学の中しかできませんよね。大きなプロジェクトの中に入ってしまうと、もう‘one of them’になってしまって、プロジェクトが大きくなればなるほど、与えられた仕事をするということになる。若いうちはそれではちょっと耐えられないでしょうね、優秀な学生は、自分の発想がどんどん取り入れられるような環境にないと。それが大学です。

小川：大学でドクターを出た後も、ちゃんとポストがあるようではない。

飯吉：それは大事。この前、ある程度割り出したではないですか。今のITERとか、将来どれだけポストがあって、という。それはどうだったんですか。

小川：その結果を、今はさらにブラッシュアップしています。ロードマップを含めて。第二段階の時の伸びに比べて、第三段階では人員の伸びは少ない。

○ 学術発信に向けて

宅間：核融合研究者の方々には、いつ核融合炉がエネルギーを供給できるかという使命感にこだわり過ぎる所があるように思います。学術的な興味が広く世の中で認識され、多くの人達が興味を持って惹きつけられるものを提供しなければならない。

慣性核融合のグループで盛んになりつつある「実験室天文学」というのがその良い例です。最近大きな望遠鏡で、宇宙のかなたにある星の詳細がきれいに見えるようになった結果、不思議な形の天体が数多く観測されるようになった。それらの説明には、核融合研究が深く関係し得る。核融合研究に関係するそのような多くの人の興味を惹く材料を提供することによって、核融合研究は世の中の理解を別な角度から得ることができる。そのような努力がこれまで不足してきたように思います。

山中：それは非常に大事なんですけどね。核融合はエネルギーとのつながりで始まっているわけですよね。physics が面白い、目に見えて面白いというのが、なかなか出てこないです。我々の言い方が悪いかも知れないけれども、プラズマの乱流をきちんと調べたら、洪水のメカニズムがわかるよとか、そういう発想で、物事を喋る人が誰もいない。

宅間：それが必要なんですよ。例えばね。新しい望遠鏡で星を観測すると、変なのが見えて、いままで見えなかったのが見えてきた。これ一体何だろうという。それは興味もつんですよ。それともう一つ。社会的に応用のことを言うときに、原研のトカマクが立ち上がる頃の社会情勢と、今の社会情勢と比べると、全然違う。国もそうだし、会社も、違うんですよ。会社が、エネルギーが全然ないんですよ。覇気もないんです。会社の中を知っていると余計わかりますけどね。だから、あのような状態を期待してもダメなんです。もし、期待するとすれば、やはり国民全体の興味を引きつけること。どうやって興味を引きつけるかということ。単に学術的な研究は役に立たないからダメだと、我々が言っちゃったら敗北してしまう。学術研究こそ価値のあるものだ。本当に人間の‘raison d'être’（存在理由）を決めるもの

が学術研究だと。そういう意味で、学術研究全体を、我々は重要性を主張しなくてはいけないし、また、それを裏付けなくてはいけないと思うんです。同じ核融合研究でも、まとめ方によってずいぶん違うんじゃないかと思いますがね。

宮本：若い人に、ポストを提供できるような環境を作っていくことが、一番重要でしょう。それで、ITERの組織のなかに、せっかくポストがあるんだから、積極的に応募するようにし、10年あるいはそれ以上活躍し日本に帰ってくる場合は国内に、たとえば核融合研、原子力機構などの中に、ポストの枠が用意されていて、その枠に既にいる新人と入れ替わっていくと良いですね。

吉川：原子力機構には、高速炉とか核融合とか目的指向で息の長い部門があります。例えばITERに長く行っていた人が戻ってくるというようなことは可能ですが、現実的には人事上の不利益を生ずることも考えられますので、長期的に目配りをしている必要があります。一方、研究者の方も、研究のテーマや勤務地にあまりこだわらない気質が育ってきているようですが、こんな気質を組織として評価する文化が必要でしょう。近年、もと核融合という人が結構多く核融合外の重要な地位に就いたりしています。人事の流動性が高まっていることの一つの表れと思っています。

山中：一般国民の科学に対する理解度を上げないと、どうにもならない。だんだん理解度が悪い方へ行ってるんです。技術が役に立つものが科学。基礎的な、非常にファンダメンタルな重要なものは、あんなものは科学ではないと思っているふしがある。そういう認識になっている。これから研究を続けていくためにはその辺を、みんなで一生懸命、教育する必要があると思う。小学校、中学校の先生に基礎科学が大事なんだという教育をしていただけるように働きかけていかないといけないと思います。

河村：一般の人にどうやって知ってもらおうかという話で、僕ならこうやるという、全く個人的な見解なんですけれども。今ある装置で、100のエネルギーをつぎ込んで、1でも2でもいいんだけど、核融合のエネルギーを引っ張りだして、それで電球をつけるとか、何かをしてもらうと。これは、今は100分の1しか使えていません。5年経ったらこれが50分の1になります、なりましたと。やがて10年経ったら、1まで、ブレークイーヴンまでいきましたというのが、一般の人に対してですよ、僕ならそういうことでアピールする、というのが一つあります。

○ 核融合と日本人

小川：では最後に内田先生。

内田：今日これまでに話され、交わされてきた会談の基となる視点とは大きく異なる処から意見を述べたいと思います。

その視点とは、これまで、四十数億年の歴史を持つこの地球上において私達人類が急にチエをつけてそれ迄の生物圏から脱け出し、固有の所謂人間圏を創りあげたのは、たったここ2万年前からだということ。その間、人間族は他の動物にない際立った知的能力をもっていたため、実

に多くの自分達にとって便利なもの、楽なものを創りあげてきました。

しかしながら如何んせん、わずか2万年の間の開発ですから全くの経験不足であり、自分達にとって都合のよいものからさらに楽しいものまで手に入れ、あるいは創り出すのに精一杯でそれがどういう影響を自分達が住むこの地球に与えたか、今頃になってやっと反省の機運が高まってきた処であり、他方、自分達の生きる目的が判然とせぬまま、心に抱いた信心に基づく宗教活動や、相互互恵を願って行ってきた経済活動がどれ程の効果、あるいは災害をもたらしてきたか、わからぬままに来る日に夢を託す日常をみると、これら宗教や経済の二面から示された現実の政治のほとんどが未完成、若しくは間違いであった歴史から言えることは、エネルギーの解放を謳って傾注してきた、傾注しつつある、そして傾注しようとしている人類の核融合制御への努力など、賞讃されればこそすれ、非難されるべき一点もないといえるのです。

問題はただ一つ、この地球上という環境で他の諸条件の交叉する中で人類はそれを実現できるか否かであり、その見極めと実施計画の立案・実施に当たって、周知の様に温暖化現象の時間推移との兼ね合いが、その命運を決めます。この辺、問題は国際認識の及ぶ範囲で事を決める必要があります、2007年のノーベル平和賞をとった国際活動集団 IPCC に伍して議論し、共に *ambiguous* な将来像の飛交う中で、お互いの立場を決するのに何等臆する必要はありません。

その様に今後一層、国際的な同意と協力、国際作業が進んでゆく中で、最後にわが国、日本の存件について述べておきたいことがあります。

それは、私達の日本という国が地球上、地勢的に非常に恵まれていて、両側を黒潮と親潮に洗われ、緯度も適切で

温暖であり、季節の変化に富み、大陸から離れていることで外敵襲来の歴史も少なく、ために情操優れた文治国家を築きあげ、長い間それを保ってきました。武士道をはじめ、茶道や華道、歌仙等、文化的華やかさは正にハンチントンの8番目の文明国家に数えられたのであります。

ところが、ニコラ・マキャベリの言葉：“そのことに依って栄え、そのことに依って衰う”ではありませんが、そのように長い間恵まれた国家環境の下にあったことが、「和を以て尊し」となす美德の陰で、交渉には主張よりも折衝に依って調和を図る傾向が定着し、常に発想が内向きで国際性に乏しいことが、吾が国本来の、又は日本人本来の特徴を曲解させる傾向をもたらし、私達が孤立する恐れがあることは、特にそれが国を代表する立場の人の発言や声明及び態度に見る時は、国として大きな損害を引き起こす可能性があり、この事はソサエティの場合も、個人の場合も同じであって、自らの文化が持つ固有の文化の長所、短所をよく知っておく必要のあることを申し上げたいと思います。
小川：ありがとうございました。まさに核融合研究の50周年ですから、過去50年間の蓄積のもとに、また51年目という新しい節目を迎えて、頑張っていきたいと思います。平成17（2005）年にまとめた原子力委員会の基本問題検討会の報告書でも、核融合が環境問題の解決に貢献するためには、21世紀中葉に実用エネルギー資源の一角を担い得ることが必要であると述べています。それからエネルギー、および科学技術創造立国としての国家的な技術安全保障などの観点で核融合が必要であると述べています。

過去の50年を振り返るとともに、これからの核融合研究に関して、貴重なご意見をお聞かせいただき、本日は本当にありがとうございました。