

米国における核融合研究の政治史（抄）

APS Spring Meeting 2008 Report (Appendix-1)

会議で個人的に集めた情報

H. Takabe

4月11日から15日まで、米国物理学会(APS)のApril Meetingに出席しました。APS主催で第1回HEDP/第7回HEDLA国際会議(以下HEDP/HEDLA)を並行して主催しました。会議の内容を随時報告しようとしたのですが、会議がとてもハードスケジュールであるのと、DOEの役人や友人から情報を得るためにLunch Meetingをしたり、宇宙物理の連中と仲良くなるためのDinnerに誘ったりと、ほとんど書く暇がありませんでした。

そこで、会議内容より耳情報に興味がある方が多いと思い、最後の日に、集めた情報をまとめました。下記の情報はDOEの人から聞きました。彼に迷惑がかかるかもしれませんので、名前は出せません。かなり踏み込んだ情報を2回のlunch meetingで聞かせていただきました。重要な情報を箇条書きにします。読む読まない、信じる信じないは貴方の判断に任せます。聞いたことを忠実に文章にし、途中に私の理解なども付け加えながら報告します。

真実を前に研究者の中には「高部は知りたくないことを教えてくれる」とご立腹のナイーブの方もいるでしょう。そういう方に言いたいことは「私たちは自分の思いこみで研究を行う、単なる専門馬鹿の『研究屋』であってはいけない。自分の研究の歴史的意義、社会的責任を常に意識しながら、情報収集をし、自己の行いが正しく社会に反映しながら成果となっていくかを考える『研究者』でなければいけない」と高部の持論を事前に述べさせていただきます。

1. DOEの知り合い(Program Director, Physicist)との議論：特に核兵器研究との関連

1. NIF(national Ignition Facility：米国リバモア研で完成間近の巨大レーザー、建設費4千億円以上)のDefense Program(国防計画)としての役割は①状態方程式、②輻射流体力学の両研究の比重が60%である。水爆部分(secondary)より起爆剤の原爆(primary)の部分に関連した研究の方が大きい。プルトニウムの状態方程式、特に、経年変化をしたプルトニウムや核燃料容器などが長崎型爆縮方式でちゃんと爆縮できて原爆が設計通りのエネルギーやX線を出すかがNIFで得られたデータベースで核兵器の計算コードをテストする。核燃焼に関

連する Defense 絡みの重要性は比重にして 20-30%と考えている。Defense Program である HEDP (高エネルギー密度物理) の課題としては前者に比重がある。そして、残りの 10-20% を基礎科学関連の共同研究の貯めに公開するというのが現在の政策である。

2. HEDP に予算が付いた背景は、核兵器研究所にいかにして優秀な若手をリクルートするかという困難への一つの解決策である。冷戦が終結し、リバモア研究所のような核兵器研究所に優秀な若手が集まらなくなった。やはり誰も今時「核兵器関連の研究をしています」(彼は「Bomb Physics」と表現した)と胸を張って言える若者はいない。特に優秀な学生ほど魅力的な基礎科学に興味を持つ。そこで、HEDP という新しい学問が開けているぞ、と、若者を誘う。彼らが NIF などを使いながら HEDP の学問に興味を持って、リバモア研に就職してくれれば、研究への投資など安いものである。そして、米国の Defense Program も生き残れるし、世界で最先端の核兵器研究能力を維持できる。

3. NIF 計画で、Mike Campbell などを中心とするリバモア研の連中は、当初、点火・燃焼をやるような装置を計画するつもりはなかった。その大きな理由はクライオ燃料技術が困難に直面するだろうという予測があり、燃焼実験に使えるようなクライオ・ターゲットを開発する自信がなかったからだ。ところが、関連する上院議員(いわゆる国防族)達が、点火燃焼をやらないと予算を通過させないと強く主張したため、仕方なく、2MJ で点火燃焼の装置ということになった。90年代半ばの議論では科学者は 1/4~1/2MJ で点火燃焼はやらない、そして、上に書いたように国防研究として状態方程式や輻射流体力学の研究をするレーザー装置を構想していた。しかし、族議員などの後押しで、97~04年頃の間、NIF 計画が認められる過程で、ロスアラモスやサンディアの研究者が「点火燃焼」を強く主張するようになったという経緯がある。(詳しくは後の方で、詳述します)。

4. 私が「でも、この前の Moses (NIF の責任者) の話では NIF を将来的には CERN の様に基礎科学を牽引する世界の研究拠点にしようと言っていたのではないか?」と聞くと。彼は「おまえは米国で純粋科学のために獲得できる予算の上限を知っているか。純粋科学は NSF (全米科学基金) のみが支援しており、NSF の一番大きな Grant でも 10M\$ (約 10 億円) が限界だ。それ以上は、米国の場合①国防研究、②エネルギー関連、③国際的産業競争力を高める研究、のどれかのお題目を唱えないと予算化はされない」。そこで私が「しかし、原子核や素粒子など加速器科学には大きな予算が投入されているのではないか」と、言う。「米国では『核』と名の付く研究は国防研究として重要と見なされる。だから、DOE が大型加速器に投資している。核物理は核兵器のための関連研究であり、その分野で米国は常に世界最先端でないと国家安全保障が危ないと政府は考えているのだ」

5. 実験室宇宙物理でも超新星爆発の物理はとても重要。爆発現象の物理だから国防研究に常に必要とされている。(実はこの会議の後に US-France の超新星爆発に焦点を絞った実験室宇宙物理のワークショップが開催される。これは NIF-LMJ の国防関連の研究協定の範囲で

行われる。Paul Drake が主宰で、当然、日本人の私たちには案内は来ていないし、知らされてもいない。フランス人の友人から聞いた)。

2. Political History of MCF and ICF in USA

1953 年、水爆実験が成功した。そのすぐ後、水爆の平和利用である核融合研究がスタートした。そのパイオニアは宇宙物理学者のライマン・スピッターである。ちなみに、現在、宇宙からきれいな天体観測像を送ってくれる「ハッブル宇宙望遠鏡」はスピッターが提案したものである。彼は核融合装置として「ステラレータ」(「星を実現する装置」の意味) 装置を提案し、その後、スピッターは「この研究は水爆の研究に役に立つ」と主張して予算を獲得し、「マッターホルン」プロジェクト(注意:「マンハッタン」ではない)と呼ばれた研究をスタートさせた(スピッターが山登りが好きでこの名前にしたと聞いている)。一方、第 2 次世界大戦勝利に原爆開発という多大の貢献があった核兵器研究所であるリバモア研(これは、WWII の後に水爆開発のため設立された)ロスアラモス研、サンディア研は予算は潤沢で、それも、Washington からほぼ独立して、研究所が好きな研究に使うことが許されていた。その中で、リバモア研では Jhon Nuckolls は核弾頭設計部長として強力な力を持っていた。レーザーの発明があり、レーザー核融合がスタートした。

リバモア研ではレーザー核融合の立ち上げで、Ray Kidder と Nuckolls の軋轢があったことは有名である。結果として、Nuckolls の力が勝り、Kidder は力を失った。そして、リバモア研ではプラズマ物理があまり問題とならない(プラズマ物理は制御しにくいので)、間接照射型というレーザーのエネルギーを X 線のエネルギーに変換し、X 線で爆縮する方式が主流となった。効率は悪いが、基本的に水爆と同じ概念なので、成功しやすいと判断したようだ。MCF(磁場閉じこめ核融合)では ICF(レーザー核融合など)との対抗という意識があり、スピッターは旧ソ連の TOKAMAK 装置が驚くべき高温を実現していることを認めると、あっさり、ステラレータを捨てて、TOKAMAK に鞍替えした。

リバモア研でもレーザー核融合によるエネルギー発生という、核兵器とは違う、万人に歓迎される貢献をしたいという科学者の声は大きかった。そして、潤沢な研究予算を使って SHIVA や NOVA という大型レーザーを作って研究は急速に進んだ。核兵器の 3 研究所が潤沢な予算を勝手に使えたことは、3 研究所の計画はそれぞれ独立で、互いに激しく競争し合っていたことから頷ける。DOE からの指導などない、無法状態での慣性核融合躍進の時であった。この段階で、MCF と ICF は「プリンストン」と「リバモア」の戦いという様相を呈していた。

ところが、80 年に Ronald Regan が大統領に就任し、いわゆる SDI(Star War : 宇宙防衛計画)を発表してから徐々に状況は変わってきた。SDI が予算をどんどん食い始めたため、MCF も ICF もだんだん予算的に苦しくなってきた。70 年代のオイルショックの時代をピークに、

その当時提案され採択された装置（MCF ではプリンストンの TFTR, ICF ではリバモア研の NOVA に象徴される）が 80 年代中頃に完成し、実験成果を上げていったが、それを最後に大型装置計画は予算的に困難な時期を迎えることになった。

90 年初めには冷戦が米国の勝利で集結したが、予算構造を元に戻すことは難しかった。それは構造だけの問題でなく、核融合研究者が「すぐにでも核融合エネルギーは実現する」と言ってきたのに、なかなか実現しないことによる信用の失墜も背景にあった。特に、連邦議員（上院議員、下院議員）の信用を失ったことが大きかった。

そこで、96 年には米国は、MCF では ITER からの撤退、大型装置路線から核融合基礎科学路線への変更の決断をし、MCF の予算母体である DOE の Office of Fusion Energy(OFE)も Office of Fusion Energy Science(OFES)へと名称変更をした。同時に ICF へも大きな転機があった。国連での包括的核実験禁止条約(CTBT)の批准が採択されたことである。96 年のことである。これは、地下核実験の全面禁止であり、核兵器の性能テストや開発実験などが地下核実験できなくなることを意味した。

そんな状況で ICF は NOVA の後の計画をどのように進めるか大きな判断を迫られた。Mike Campbell を中心とするリバモア研は、CTBT 時代の核兵器の維持管理としてレーザー核融合による核兵器の物理の模擬実験を計画し、国防研究での大型予算獲得を目指した。ドイツのビュルツブルグで IAEA 国際会議があった際、Mike が中井先生に立ち話で「鄧小平が言っているではないか。『白い猫でも黒い猫でもネズミを捕る猫は良い猫だ』とね」と、国防予算に依存したレーザー核融合研究を正当化していた発言を良く覚えている。しかし、当時、核燃焼をするにはクライオ・ターゲットの技術に全く自信がなく、展望も開けていなかったため、Mike 達の計画は 500kJ で、点火燃焼はやらないという方針であった。

同時に、レーザー核融合の核兵器関連研究の重要さは、核燃焼の物理は 20-30%の重要性程度であり、むしろ、重要な要素は、①状態方程式研究、②輻射流体力学、であり比重にして全体の 60%程度を占める。これも、国防へ貢献する核融合として点火燃焼をしなくても良いという判断の背景にあった（この割合は NIF の役割でも変わっていない。100-(60+25)=15%であり、これが、基礎科学の共同研究の割合の根拠である）。

ところが、議会がそれでは納得しなかった。点火燃焼をしない計画に予算はつけないとはっきり言った。同時に、ロスアラモス、サンディアも 2MJ 装置にすべきだと言うようになった（たぶん、議会の要望に応えられる燃焼装置は我々が計画するというメッセージだったと考えられる）。このような状況で、NOVA の次期装置計画は 2MJ で点火燃焼というシナリオにならざるを得なかった。

そして NIF は 1.2B\$（12 億ドル）で点火燃焼というシナリオになっていく。しかし、リバモア研の Lindl 達が示した点火燃焼のターゲット設計自身、大変幅のある（予測誤差の大きい）

信頼に足るものではなかった。それでも Mike のロビー活動などのおかげで、NIF の予算化が決定した。しかし、その後、NIF の建設予算が膨大にふくれあがることを、当時の責任者 Mike Campbell が隠蔽していたことに関連して、いわゆる「Mike の学位未取得隠蔽の不誠実」による、99 年秋の Mike Campbell 更迭劇というリバモア研内部の権力闘争が起こる。結局、NIF は当初の予算を大きく上回り、4B\$ (40 億ドル) 以上という装置に変貌していく。そして、NIF へ投入する予算の年度の最高額抑制という議会からの注文で、装置完成は 4 年ほど遅れることになった。

NIF は完成しようとしているが未だにクライオ・ターゲット技術は追いついていない。Moses が初日に「クライオ技術はここまで高度になりました」とトリチウムのベータ崩壊熱で自動的にきれいな DT 固体層（液体層）がカプセル内部にできる動画を見せていた。「たいしたものだ」と、その場では感心していたが、DOE の彼曰く「あのような比較的『薄い層』のターゲット技術はここまで来たが、燃焼実験に使う『厚いベリリウム内に厚い DT の層を作る』ことには成功していない。技術が追いつくか誰も知らない。Rochester の実験でも厚いクライオ層のターゲット実験は行われていない」。

NIF の点火燃焼はターゲット技術だけではない。Lindl 達のターゲット設計に疑問を持つ米国の ICF 研究者は多い。例えば Rochester の私の友人も「NIF の間接照射で、もし点火燃焼が実現しないと、米国のレーザー核融合研究の将来はなくなる。だから、俺たちはその時は直接照射で点火燃焼を実現すべく Polar Irradiation Implosion などの設計をととも真剣に研究し、多次元のシミュレーションをし、模擬実験もしている」と 03 年に話していた。今回、DOE の彼から聞いた話では、それでも心配なので「高速点火」や、Betti 達の提案による「磁場による熱伝導遮蔽爆縮」などへ、積極的に予算投入をしているそうである。

一方、ITER から撤退した MCF の方は、2000 年の Bush 政権の誕生により大きな変化があった。新政権で DOE の Office of Science の局長に MCF をよく知り、MCF 推進派の研究者が指名された。そこで、彼は MCF の巻き返しを開始した。日本の総合科学技術会議に相当し、それ以上に力のある（大統領に直接、献策できる）OSTP(Office of Science and Technology Policy) に、局長は MCF の売り込みを精力的に行った。そして、努力のかいがあり、ITER 計画を Bush 政権の大型科学計画推進の第 1 優先課題にすることができたのである。これは、「DOE の向こう 30 年間の科学政策の優先順位」というタイトルの報告書として発表され、私も PDF をダウンロードして読み、「なぜ、ITER が一番なんだ。2 番の大型計算機計画は理解できるが」と当時思ったことを良く覚えている。

このようにして、MCF は核融合エネルギー研究として DOE の Office of Science が ITER、ICF は国防研究として DOE の National Nuclear Security Agency(NNSA : 国家核安全保障局)が NIF に予算と投入するという「棲み分け」が明確となった。参考までに説明すると、DOE にはこの 2 つの局があり、予算規模はほぼ同額である。OS では加速器科学などの予算もまかな

っている。NNSA は元の名前は Defense Program。予算には年間、数千億円を SBSS(Science Based Stockpile Stewardship : 科学を基礎とした核兵器の維持管理)に投入しており、ICF も SBSS の中に入る。SBSS はリバモア研などの世界最高速コンピュータの予算も ASCI-project としてまかなっている。詳しくは Physics Today の 4 月号か 5 月号の Physics related R&D Budget Report (毎年でる) を読んでほしい。たくさん表があり、項目ごとの予算額が載っている。

思えば、日本ではこの頃、ICF ではなく、核融合研究全体が米国の ICF と同じ国内競争の時代にあった。核融合分野内の自治的調整能力がなく、方式ごとに 1 千億円規模の大型装置提案が出てきて、結局、文部省の調整を促すこととなった。その結果が、西川恭治先生が退官記念パーティーで配布した「多極分散型から一極集中型への核融合研究の推移」となったわけである。その文部省での一極集中が「核融合科学研究所」であり、装置の一極化が「LHD」装置であった。その後、2001 年の省庁統合で文部省と科学技術庁の「財布の一元化」により、さらなる一極集中が図られ、その結論が「日本の ITER への参加と装置の日本誘致」であった。

70 年から 80 年初頭の核融合予算黄金期は終わり、時代は変わった。冷戦の終結、核融合研究予算の低迷という 90 年代には、ICF でも、かつてのように、リバモア、ロスアラモス、サンディアの 3 核兵器研究所が予算を潤沢に使って、国内で見にくいまでに張り合うという時代は終わった。90 年代の半ばには DOE が 3 研究所の役割の調整に乗り出し、米国における ICF 研究は Rochester 大学の OMEGA レーザーの DOE 管轄下での共同利用。ターゲット製作は General Atomics 社。リバモア研は NIF 建設、サンディアは Z-Pinch による研究で、リバモア、ロスアラモスの研究者も受け入れ、という DOE-NNSA 調整下での研究推進という調和の取れた研究推進体制が整った。当然、NIF が完成すれば 85%の非公開(軍事機密)の実験ではリバモアだけでなく、ロスアラモス、サンディア、ロチェッスター、加えて、同盟関係にある LMJ の CEA (仏) の研究者も実験を行う権利を持つことになる。これには英国も加わるだろう。日本・ドイツは参加できない。残り 15%が外国に開かれれば、この枠内で基礎科学などができる。この点は CERN などと大きな違いである。

3. 最後に

今回、このように長々と話を聞く機会があり、今まで、時々出来事が断片的に頭の中にあっただのが、ジグソーパズルから絵が浮かび上がるように、「あの時の出来事は、あんな政治的背景があったのか。あのような流れの中での判断だったのか」と頷けることがたくさんあった。

人生における自分の各時点での将来計画(と、大げさに言わなくとも「行動方針」でもそうだが)を自ら決めて、それで、将来後悔しないためには、研究の背景を含めた歴史的な流れを正しく知る必要がある。その上で、現状認識を深め、自分の研究課題の現状からの傾き(研究の

方向性の変化。世の中の価値観の変化の速さも含む)をつかんで、10年先へ外挿して計画を策定せよ(過去と現状に加え、今の変化を正しく理解し、10年先に外挿せよ)、というのが私のやり方である。これは私の信念であるが、周りにはまだ、70年代のオイルショックの時点の価値観で行動や発言している人を多く見かける。過去の時点の、さらに、停滞した価値観で行動する人は世に害をなすと考えている(核融合だけでなく日本の科学行政自体が「傾き」を正しくとらえているか時々不安になる)。私は、国際会議など出かけたときは、いろいろな人を捕まえて、ズケズケと質問していく。今回、核融合研究の黎明期から核融合エネルギー研究に情熱を傾けて来た研究者である DOE の友人から、詳しい話を聞くことができた。大変貴重な情報を得ることができたので、今後の自分の研究方針に参考にしたい。

彼がなぜ、ここまで私に語ってくれたかという、私が核融合エネルギー研究への失望感を彼に伝えたため、核融合エネルギーへの情熱さめやらぬ彼としては日本の「同志」を失うことを恐れ、「正しい情報を提供するから、おまえも考え直してくれ。おまえが日本で重要なオピニオン・メーカーだから話すのだ」と、なった。彼が私に一番伝えたかったことは、「リバモアの研究者も国防研究のお金で研究をしているが、必ずしも皆、それで満足しているわけではない。やはり、核融合エネルギー研究がしたいやつばかりなのだ。そこを理解してあげてほしい。そして、点火燃焼がもし実現すれば、議会だって、レーザー核融合エネルギーのために、予算を出す可能性が高くなる。だから、国防研究と共存せざるを得ない現状に理解を示してほしい」ということであった。

米国の ICF 研究戦略への私の理解がほぼ正しいことを、彼との話で確認した。同時に、気持ちの中でモヤモヤとしていた、米国の研究者に対する不満や不信感はずいぶん改善された。従って、私の ICF に対する感情に変化があったことは確かである。やはり、物事の背景をより深く正しく理解することは、研究計画を策定する上で極めて大切であることを確認した。できれば、近い将来、今回まとめた内容だけでなく、その流れを論文や報告書で裏打ちする、慣性核融合研究の歴史をノンフィクションでまとめてみたいもと考えている。