

常温核融合プロジェクト

北海道大学院工学研究科量子エネルギー

水野忠彦

前書き

1 章、常温核融合のはじまり、1989 年

2 章、試行錯誤

北大

阪大

NTT

岩手大学

名古屋大学

東京工大

3 章、制御可能な核変換、三菱重工 岩村の研究

4 章、流れに逆らうということ

5 章、反応機構、

6 章、新しい展開

文献



水野忠彦

はじめに

常温核融合の研究は、いつまでたっても先の望みのない、苦勞と訳の分からないごたごたの歴史であった。これは良くある話であって、新しい科学のスタートにはつきものだ。内容がまた刺激的であれば仕方のないことかもしれない。世界中で相次ぐ再現成功の報告、またその後の否定的な結果の数々が続いたのだ。それもマスコミや、始まったばかりのインターネットを通じての情報のやり取り、さらに当時、すでに普及していたファクシミリによる文書の送付など、世相を反映した出来事だった。

ほどなくして権威からの否定、公式といわれる、米国 DOE の否定見解、相次ぐマスコミによる興味本位のバッシング、このような流れによって一気に当時の学会、世論は常温核融合をえせ科学であると結論づけた。

しかしそれでも、営々と実験と理論の検証を続けた数少ない研究者たちが世界中にいたのであった。こういう人たちの働きによって、常温核融合の反応機構がわかってきたのである。その反応は以外に明快だった。自然界の仕組みの複雑さと単純さを示すような反応だった。

米国では公式に、再び常温核融合の存在を認めたのだ。また 2003 年の常温核融合の国際会議には、今まで否定派であった研究者が中性子の確認を報告したのだ。

この反応機構を解明した、研究者には多くの国の研究者がかかわっていた。世界的な理工科離れや、大学の影響力の低下、企業のリストラによる研究所の縮小など、今も世界中で、このような困難な、息の長さを必要とする研究に対して、強い逆風が吹いている。多くの独創的な研究を回りの反対や、あるいは無視をついて、続けられた常温核融合がどういうものであったか、お話ししたい。特にこの研究に対し、世界で組織された ICCF の働きと、日本で組織された JCF (Japan Cold Fusion Society) の大きな働きを述べたい。

大学は建前上、社会に対して貢献しなくてはならないといわれてきた。多分研究者はそうしたいし、またそう考えているはずだ。環境問題、エネルギー問題は待ったなしだ。地球の環境問題は明確だ。今、科学者は知性、理性を最大限に出さなければならない。

著者は長年、材料とエネルギーがメインの研究をしてきた。その間、測定ミス、データの見落とし、理論の間違いなど、たくさんの失敗を繰り返してきた。常温核融合研究には、初めからかかわってきたが、新しいテーマだけに相変わらず同じ様な失敗をしてきた。

このテーマは著者の水素研究テーマと一致し、現在も興味深い。しかし、その過程は研究も含めて、苦勞の連続だった。初めはこの反応が核融合として考えられていた。現在でもそう考える研究者はこの分野でも多い。著者がこの現象に注目した理由は、電気化学反応によって生じているらしいこと。また将来のエネルギー源としての可能性もあったことだ。

この現象は単に金属 - 溶液界面の化学だけではなく、金属水素電極反応等の電気化学、中性子、 γ 線やヘリウム、プロトン等の生成にかかわる核物理、金属内の水素挙動等の物性物理などとも深くかかわっていると思われた。そのためにこの現象を追うことによって、その発展は大きく広がるのではないかというのが大きな理由だった。

しかし研究を進めるうちに、多くの説明困難な現象が見つかってきた。核融合が本当に起こっているのであれば、その生成物は簡単に定量的に説明ができる。しかし、本来の核融合からは説明できない、生成物があることがわかった。特に説明が困難だったのは、反応にともなって生ずる、多くのバラエティに富んだ安定な元素であった。また元素の同位体分布が自然のものからは、ずれていたことだった。ようやく全くちがう反応が起こっているのではないかと考えるようになった。そこで、放射線や熱以外の生成物も測定した。これら色々な生成物を詳しく解析して、反応機構は水素核と自由電子が、関わる機構で説明できることがわかったのだ。

この方法は単にエネルギーを得るばかりではなく、反応系内に存在する不安定重元素を核的に分解し、安定元素に変える可能性があることがわかった。これは応用面で大変重要であり、現在その処理に困っている、放射性廃棄物を根本的になくせる可能性がある。

話は変わるが、近年、進学を目指す若い人たちが理工系を敬遠するようになってきた。この理由はいろいろと考えられているが、特に学内で、それほど深刻にとらえられていないのが実状だ。著者も 35 年近く多くの学生とつきあってきたが、いわれているほど彼らが大きく変わってきたとは思えない。どの学生もそれなりに向学心はあり、希望を持っているのは、昔と変わりない。それ以上に学校の方が、その時々状況によって変ぼうが著しいのではないかと思う。内外から大学に対し

て、改革の御旗のもとに、変化の圧力が加わっている。しかし、大学には常に真理の探求という、その時どきで変わってはいけない基本的な理念がある。

教育と研究は大学の大きな二輪だが、教育は大変大きな問題だ。教育と研究は関係がないと思う先生が大学には多い。しかし、教育の動機付けは研究から出てくるものだ。学問的に、また人格的にも優れた先生には優秀な学生が集まるだろう。今は進学を希望する学生がまだ多く、試験で選抜しているが、いずれ立場は逆転するだろう。日本の、教育は物事を関連のない、知識としておぼえさせることに力をつくしていて、物事の根拠となっている原理や原則を理解させようとしないうちに、大きな問題がある。

教育の目的は思考力を養い、判断力を持たせ、さらに創造力をつけさせることだ。大学だけでは解決は困難で、小学生以前から対処しなければだめだ。典型だけを教えるのではなく、それからはずれる思考や、常識とはかけ離れた考えに対しても、否定的な態度をとらず、柔軟な創造性をよしする教育が大切だ。正しい判断力を持たせ、事実について公正な態度をとれる知性をつけることだ。

さてこの常温核融合は科学界だけではなく、マスコミや、経済界までを含む関心事となっていた。これというも反応の機構や、制御性に言及するまでもなく、反応そのものが確認されているのか、データの信頼性や、その処理方法、統計的な扱いまでを含め疑問だらけだというのが科学界の主な考え方だと理解している。現象の本質を追究するのが研究者の態度であり、性急に結論を急ぐのは間違いだ。

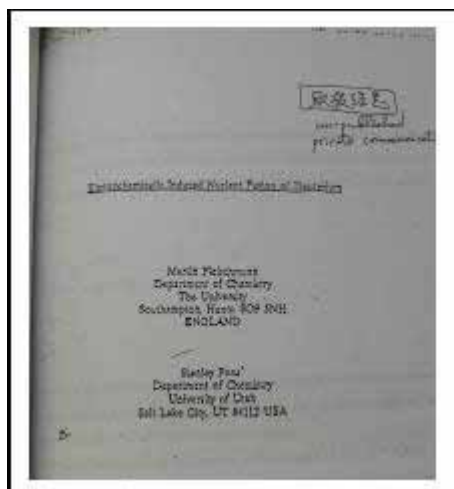
第1章 常温核融合の始まり、1989年3月

研究スタートの問題点

常温核融合の研究はスタートから異常であった。フライシュマンとポンズの核融合、それも室温で起きる反応、という発表が刺激的であった。それに対して、あまりにも非常識であるという、従来の分野の研究者や、評論家からの反発が大きかった。F&P は的確な結果や理論を持ってこたえなかった。そのために常温核融合という研究が、疑われていった。水野はこの経過がすべてだと今でも考えている。

1989年3月24日の朝刊の片隅に、ほんの十数行の小さいが、大ニュースが書かれていた。それは米英二人の電気化学者が「電解によって核融合を起こした。」と記者会見を行ったのであった。英国サウザンプトン大学のマーチン・フライッシュマン(62歳、当時)と、アメリカのスタンレー・ポンズ(48歳、当時)であった。パラジウムを電極に重水溶液中で電解を行ったところ、大量の熱が発生、同時にトリチウム、 γ 線も検出され、核融合反応が裏付けられたとの発表記事であった。実験は本質的には水の電気分解と変わらないにかかわらないにもである。

このニュースを見て、水野は大変に驚いた。まず、自分がほとんど同じ実験を長い間、20年以上も続けてきて、全く気づかなかったこと。次に、もし核融合が起きていれば、多量の放射線を浴びているはずで命にかかわるからだ。



ファックスで流されてきた、取扱注意のある、フライシュマンとポンズの常温核融合論文の表紙

1967 原子力

1967 年 4 月、水野は原子炉材料講座を選び、卒業論文のための研究を始めることにした。この講座は当時、原子共通講座として、他の学科からも自由に入ることができた。応用物理一期生であった水野は、この講座に移行した時、卒論テーマとして選んだものが、重陽子加速器による金属水素吸収過程というものであった。応用物理、原子力の両学科ともできたばかりで、新進気鋭の気風に満ちており、ともかく何が何でも新しいことをやっていこうという意気込みがみなぎっていた。

ここで一度原子力教育の始まりをみてみよう。1960 年代はじめ、日本の原子力教育を立ち上げるため、国立八大学(旧 7 帝大と東工大)に次々と、原子力系学科(学部学生を持つ学科)が作られた。学科の名前は、東大が原子力工学科、京大・名古屋大・東北大が原子核工学科、九大が応用原子核工学科、北大が原子工学科、であった。東工大は大学院のみで、原子核工学専攻であった。阪大では、昭和 37 年に原子力工学科が開設され、第一期生が入学した。阪大には原子核工学専攻の大学院が既にあったが、学部第一期生の大学院進学時点で原子力工学専攻と名称変更された。

八大学の原子力研究・教育の中心装置として、各大学に順次設置されたのが俗称サブクリ、正式には核分裂未臨界実験装置であった。阪大・東北大は、天然ウラン黒鉛減速型装置、京大・東大・東工大は、天然または軽濃縮ウラン軽水減速型装置、であった。当時助手の初任給が一万数千元であった時代の、二億円前後の設置予算は大変な額であった。これは、研究者が自ら申請獲得した装置・予算とは言いがたく、いわゆる原子力中曽根予算による、お上からの授かりものであった。この親方日の丸の極致ともいえる原子力の出発条件が、研究者の真の自発性・自主性をそこね、かわりにパラサイト性を増したのは、間違いない。

1968 北大

新学科新設にともなって、やはり北大工学部の原子炉材料講座にもだれも使っていない中性子発生装置があった。これは水素の同位体である重陽子を加速して、トリチウムや重水素を含んだ金属のターゲットに当てて、単一エネルギーの中性子を得る装置である。水野はこの装置を使って、逆に金属表面の水素の挙動が調べられないかと考えたのであった。装置は、4MeV 直線加速器室内に他の装置と一緒に置かれており、半地下の薄暗い倉庫のような場所に据えられていた。加速器として稼働させようにも 6 年の間、ほとんど使用されていなかったもので、いざ使おうとしても真空漏れや高圧系、プラズマ発振回路などの故障で、やっと重陽子ビームが出るようになったのは、翌年の 1968 年 1 月になっていた。

北大工学部の中性子発生装置



卒論の締め切りは 2 月 15 日ごろであった。何とか重水素を吸収させたチタンに重陽子を打ち込み、BF₃ デテクターからの中性子パルスを手製の発光式計数器で読むことができた。北海道の 1 月は一年中で最も寒い厳冬期であり、夕方から夜にかけ暖房の切れた薄暗いコンクリートむき出しの制御室で何日も運転を続けた。チタンに水素吸収を起こさせるのだが、この金属は今でこそ身の回りに色々使われている。(たとえばゴルフ用具、眼鏡フレーム、さらに医療用品などに多く使われている。)

このチタンもある条件下で簡単に腐食し、チタンがイオンとなって溶解するときに水素が発生し、その一部が金属中に入る。水素がわずかでも入ると金属によっては非常に脆くなり、実用的な強度を保つことができなくなる現象を起こす。これを水素ぜいせいと呼んでいる。この金属の薄板(厚さ 0.3mm)を 3cm の円形に切り抜き、重水と重塩酸(通常の塩酸の水素を重水素にかえたもの)

の溶液の中に数日つけておくと、チタンが腐食し、それによって重水素が発生する。このうちの一部の重水素がいともたやすくチタンに入り込み、重水素化物というものを作る。

さらに腐食だけでなく、電気分解を行うともっと早く水素が吸収され、時間が大幅に短縮されるので、のちには主にこの電解法を主に使って水素の吸収を行った。この電気分解による重水素吸収がはじめに報告された常温核融合を起こす手段と一緒にあった。

このように何とか苦労して、ようやくチタン中へ重水素を入れることが出来た。この金属の表面には、非常に高い濃度の、化学量論比(分子の中の原子比が、整数で表される状態)に近い $TiD_{1.97}$ の重水素化物ができることを確認した。こうしてようやく 1968 年 3 月 13 日に卒論をまとめることができたのであった。

1978 おかしな発熱

水野は実験にチタンばかりではなく、ジルコニウム、パラジウム、鉄、ニッケル等も使用して水素(重水素)を電解で吸収させ、重陽子を加速器で照射し、データーの積み重ねをしていった。

水野が博士課程を終え、助手として水素と金属というテーマで、ほぼ毎年、卒論、修論の学生の研究を指導していた。学生はそれぞれ水素に興味を持ってやってきていたが、学生の中に、倉知隆之(現旭川市役所)がいた。彼は長万部出身、177cm の細身であり、おとなしいがしんの通った学生だった。今では珍しい大変研究熱心で、朝から夜遅くまで連日、実験をしていた。ジルコニウムの水素吸収であった。ジルコニウムは普通なじみのない元素で、周期律表ではチタンのすぐ下にあり、化学的な特性はチタンとよく似ている。中性子を吸収しないので、原子炉の燃料棒被覆材に使われている。しかし水素が入るともろくなるので、水素の影響を研究していた。初めにジルコニウムを酸やアルカリなど、各種の水溶液中で電気分解して、水素を吸収させる。その後、金属を表面からフッ化水素の溶液で溶かし、出てくる水素の量を測る。彼は多くの研究成果を上げていた。

そんな、1978 年の 8 月、その時はパラジウムの直径 3cm が円板を使い、重水に Na_2SO_4 を加えて電気分解を行っていた。この時の目的は中性子発生用ターゲットとして、大量の重水素を吸収させることなので、約 1 週間電気分解させる予定にしていた。

電解を始めて 2 日目の朝、倉知がきた。

「先生、溶液がなくなってるんですが、どうしたんでしょうか？」

と聞くのである。

「えっ、どういうこと？」

と聞き返すと、

「昨日まで電極は溶液に全部漬かっていたのに、今朝きてみたら液の面が電極の下になっているんです。」

と言う。水野も見にゆくと、確かにパラジウムがむき出しになっていて、電流が流れない状態になっていた。セルの中には溶液が 200cc 入っていた。もし 0.7A で 1 日電解しても液は 6cc 位しか無くならないはずだ。すると 1 ヶ月位電解できるはずだ。セルは直径 6cm で深さは 15cm の円筒形、溶液の深さは 7cm、板は底の方に入れてあるので 15 日間は絶対に液が試料の上端より下がることはない。またセルの上部には液が蒸発しないように空冷室が設けてあり、電解した時のジュール発熱だけなら十分冷やせる。そしてセルを詳しく見たがどこにも異常はなく、ひびさえも入っていない。ただし、電解時の水素と酸素は別々の部屋からトラップを通して外部に出る構造になっている。すると、電流が増えて液が計算より速くなくなったか、沸騰するような大きな熱が出たかということになる。しかし、常温核融合現象が報告される 1989 年より 10 年以上前の 1978 年の事であったので、異常な反応を考える事も及ばず、そのまま「謎」としてのこり、現象は解明できなかった。

1981 不思議な γ 線の検出

水野は 1981 年の 5 月、原子工学科の高真空講座の毛利(現 NASDA)と一緒にチタン中へ重水素を吸収させていた時のことを今でもおぼえている。5cm × 10cm のチタンの箔に電解によって $D_2O-D_2SO_4$ 中で 3 日間、重水素を吸収させていった時のことだ。ほぼ 1 日で表面は飽和に近い TiD_2 の層ができる。夕方、セルの横に置いてあった X 線用のデテクターのスイッチをなにげなく入れてみたところ、突然連続的にカウントの音が鳴り出したのであった。この時は回りに放射性物質があるのではないかと、デテクターで探したが、どうもこの放射線は電解中のセルから出ているようにみえた。

しかし、このときもまた、電解などによって X 線が出るようなことがあろうはずがない、雑音で

も検出したのだと考えた。しかし、後日、もしかしたら何らかの核反応があるのだろうかとも考えた。その根拠となったのは、常温核融合の初期の反応モデルとして考えられたもので、金属水素化物中の水素はお互いの距離が液体水素や固体水素以上に接近し、何らかの外乱がトリガーとなって核融合が生じるのではないかといわれていた。これは金属－水素の研究を行っている研究者であれば、考えることであり、それほど奇想天外な考えでもない。しかしこの時、それ以上測定してみようとは考えなかった。

1989 常温核融合の追試実験

水野にとって過去にも実験中に説明のつかない現象をみていたため、常温核融合のニュースは、大きな衝撃であった。ニュースを聞いた次の日、1989年3月25日、土曜日、実験を準備した。昔の半閉鎖型ガラスセルを、蒸留水洗浄し、さらに重水溶液を作る。重水は100gのアンプルを5本ほどもっており、またリチウムの金属単体も10gほどもっていた。これは堅くなったようかんのようで、外側は灰色に酸化されているが、切った面は鮮やかな金属光沢をしている。それを外側の不純物をカッターナイフで取り除き0.7g(1cm角程度の角砂糖の大きさ)に切り出し、200ccの重水が入ったセルに投じる。リチウムはナトリウムと比べると、溶け方はずっと穏やかで、爆発や、飛び散ることもなく、5～6分で溶液作りは終わる。

次に電極を作る作業だ。白金電極は、手持ちがある。問題はパラジウムの電極だ。フライッシュマン等の論文をFAXで入手していたが、どこにも試料や溶液の詳しいことは書かれていない。形状、材質、前処理等の基本的なことは皆目見当がつかない。一応、経験上、多くの重水素を入れることが、大きな要因だと思う。持っている一番大きいもの、太さ3mm、長さ10cmのパラジウム管の一端が閉じたものを使用する。

次に電解用の直流電源だが、手持ちの2A-30Vの小さなものを使用する。さらに核反応が起こるのであれば、当然出てくる放射線の一つでもある、 γ 線を計ろうと、ガイガー計数器の簡単なものをセルのすぐ横に置く。またもし熱が多量に出てくるのであれば、簡単に測定できるはずだ。これにはフッ素樹脂で被覆された、K型という細い熱電対をセルの口からシリコンゴムを通してパラジウム棒のすぐ横に入れる。当然、熱が出ているかどうかの判定にはセルの熱定数というもの、すなわち1ワットで温度が何度上昇するかという測定をしなければいけない。それには液を通常の軽水で作ри、電極には他のパラジウム棒を用意した。

はじめに使った電解セル、周囲は中性子の測定装置



こうして準備を整えて、その日の午後には電気分解をスタートした。初めは、重水素ガスがパラジウム電極から全くみることが出来ない。一方、白金極からは勢いよく酸素が発生するのが見える。これは順調に重水素がパラジウムに吸収されているのだ。この時の電解電流密度は $10\text{mA}/\text{cm}^2$ であり、全部で100mAの電流を流した。また、電圧は5Vであったので、入力としては0.5ワットと計算できる。また系内で発生する重水素と酸素はそれぞれ全く別の室から外部へ放出されるために再結合による熱は全く考えなくて良いことになる。陰極と陽極はガラスフィルターで分けられているために、お互いの混じり合いはないことが確認されている。

10分ほど電解すると徐々にパラジウムの表面から細かい泡が出だし、時間とともに激しくなっていく。熱電対に接続した記録計は0.08mV、すなわち温度が3℃上昇したことを示した。計測した

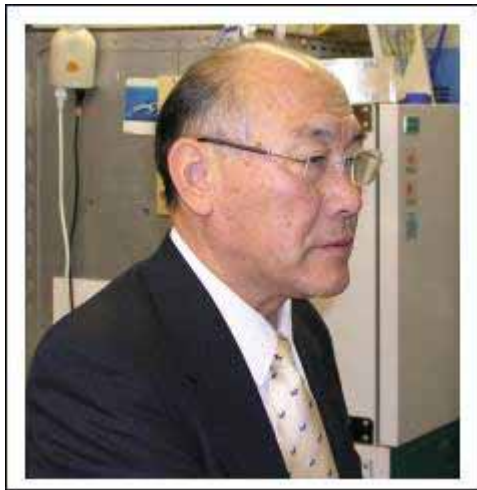
セル定数は7であったので温度上昇は入力によるジュール熱の値3.5 を越えていない。また一番大事な γ 線デテクターはほとんど何も変化はなく、通常のバックグランド値を示し、針がたまたま振れる程度であった。これを見る限りでは何も起こっていない。

1989 中性子の測定

水野は3月29日、原子炉工学の秋本正助手に会い、今行っている実験のことを話題にした。秋本は東京生まれで釧路市の育ちである。若いころから、北海道では珍しく、海に親しんで子供時代を過ごしてきた。当時から帆船に興味を持ち、現在でもヨットを趣味としている人間である。ボランティア活動を良く行い、仲間とともに、自分たちのボートに養護学校の生徒を招いて、海の上を体験させている。

彼は中性子の測定を20年もやっていて、測定技術、データ解析の点で、これ以上はない適任者であった。秋本とは水野が学生時代から親交があり、水野より3年先輩で、苦学して北大の電気工学科を卒業し、新しくできた原子工学科の助手として研究、教育に全力を注いできたのであった。特に中性子計測学を専門として、原子炉中性子スペクトル、微弱中性子測定、中性子計測システム開発等の分野において、幾多の功績を上げてきた強力な共同研究者であった。

彼と討論した結果、もし何らかの核融合反応が起こっているのであれば、当然中性子が発生しているはずであり、またそのエネルギースペクトルを測ればどんな反応なのかわかるはずだということになった。たとえば、d-d 核融合反応であれば2.45MeVの単一のピークを持つはずであり、d-T反応ならば17.4MeVのピークという具合である。中性子のスペクトルを測定するという事は、それほど簡単なことではない。通常のX線や γ 線、あるいは電荷を持った粒子は、簡単だが、中性子という名前からわかるように、中性子は電氣的に中性で、検出するには特殊な方法を使う以外にない。中性子は中性であるため、物質を簡単に通過してしまうが、またそのエネルギーによって、他の物質と、色々な相互作用をする。最も軽い原子である水素とは正面衝突すると、持っているエネルギーを全部水素に渡してしまう。これは質量が同じであるために、中性子が持っている運動量を、水素原子核にわたすことができる。



測定中の秋本正、2004年撮影

たとえばいうと、同じコイン2つを机に置き、1個を指ではじいて、もう一つに正面衝突させると、ぶつかったコインは止まり、ぶつけられたコインが動き出す。それと同じ原理だ。もちろんこのぶつかる時、正面衝突ではなく、ちょっと横にぶつかったら両方とも動くこともあり、そのぶつかる角度によってエネルギーの失い方も違う。この原理を使って、エネルギーが分析できる。すなわち、水素の大量に入った物質の中に電荷を持った水素の原子核の動きによって光を発するものを混ぜて、中性子の検出器を作る。この時出てくる光の強さから間接的に、中性子のエネルギーを分析する方法が液体シンチレーターによる中性子スペクトル測定法だ。

もちろんこれはたとえの話で、正確には、エネルギーを校正したり、感度を補正したり、ほかの雑音を分離したりなど、多くの複雑な工程をこなして、やっと目的とする中性子のエネルギーが決定

できる。また、もし中性子が大量にない場合はスペクトルを正確に求めるため、何週間も安定に動作させる必要があり、機器の感度や特性の保持が大変に面倒なのだ。また、この大気中にはいつも中性子が飛び交い、それがバックグランド中性子として目的とする中性子を隠してしまう。このバックグランド中性子のエネルギーは大変広い範囲に広がっており、場所や時間によっても変化するというやっかいなものだ。この中性子は毎秒、我々の身体を数 10～数 100 個通り抜けていて、たまには体の細胞の原子核と核反応を起こすことがある。このように中性子の測定は大変に面倒であり、経験と測定技術がないとできない。

秋本との話し合いが終わって、すぐに水野は測定系を秋本のいる 4 階の実験室に組み立てた。秋本の手持ちの中性子エネルギー検出器と計測器を設置し、そのすぐ前の小机の上に電解系を置き、回りを外から入ってくる中性子を防ぐために、ほう素の入ったパラフィンで厚さ 30cm 位にすべてを覆った。このほう素は中性子を良く吸収するために、減速材という、水素がたくさんはいったパラフィンやプラスチックに混ぜて使う。このようなものはほかに、カドミニウムもある。この効果は中性子のエネルギーによって大きく違っている。装置は外から見ると、まるで白い四角いちょっとした小屋ようになる。このようにして常温核融合反応の決め手となる、中性子エネルギースペクトルの分析が 1989 年 3 月 31 日の朝からスタートした。

電解電流密度はそれまでは $10\text{mA}/\text{cm}^2$ だったが、何も目立った結果が出ていないので、約 5 倍増やし 50mA とした。すると全電流は 0.5A となり、それによって電圧も 20V と高くなった。この時の入力はずでに 10 ワットであり、そのほとんどが、陰極 - 陽極間のガラスフィルターで消費されていた。温度上昇は熱電対が 3mV を示し、 75°C に達していて、素手では触れることができないほど熱くなっていた。しかし常温核融合による熱でないことは明らかだ。3 日間、電解を続けたが、中性子発生を示すスペクトルは得られない。重水の消費は 1 日に 5g と激しく、3 日に 1 回位の割合で補給を続けなければ、パラジウムの電極が液から頭を出してしまう。

さらに電流密度を 100mA に上げたので、パラジウムの下半分だけについて電解を行うことにした。こうすること、全電流 500mA で 2 倍の電流密度に上げることができる。しかしこのような高い電流密度の条件で電解しても、結局、中性子や過剰熱の発生を示す結果は得られなかった。

もし d, d 核反応が起こっていれば、中性子、ヘリウム 3、プロトン、さらにトリチウムやガンマ線も検出されるはずだ。そこで、中性子以外も測ってみることにした。液中のトリチウムは、北大にある RI センター内の液体シンチレーターを使った分析を行った。しかし誤差を超える、有意なトリチウムの増加もなく、電解前後で全く同じ濃度を示していた。

この実験はすでに始めて 1 週間すぎ、4 月 7 日となっていた。秋本とさらに測定を続けるかどうか相談した。水野は核融合の決め手である中性子、 γ 線、トリチウムさらに熱のいずれかについて肯定的な結果が出ていないために、これ以上続けるには、他の理由が必要だという考えだった。しかし秋本は中性子検出に積極的だった。結論を出すにはまだ測定が少なすぎる。第 1 に試料側の条件、すなわち前処理、形状、不純物、表面、第 2 に電解条件、電流密度、温度、溶液、第 3 に中性子測定条件、第 4 に他の生成物、陽子、ヘリウム、 X 線、など、これらすべての条件をかえて実験をしてみた上で、結論を出すべきだと主張した。中でも中性子は、今までどこの研究チームからも報告がないのは、大量に出ていないからだ、反応が起こっているとしてもごくわずかなはずだという。また、この研究室のような環境ではバックグランド中性子の雑音に埋もれて測定にかからないからだという。結局、測定系をもっと良い条件の所に移して、もう一度測定し直してみようという結論になった。

1989 初の追試実験、地下室での中性子測定

北大原子工学科には幾つかの加速器があり、それを運転すると強い放射線が発生する。もちろんこれをそのまま環境に出せるはずはないので、非常に頑強な防護設備で放射線を防いでいる。通常は地下室に置いてあり、厚い重コンクリートで囲み、上は厚い土の層で覆ってあるのでほとんど全くと言っていいほど放射線は出ないようになっている。逆に言うと、これくらいの設備の中で装置を動かさなければ外界からの放射線の影響を受けずに、感度精度ともよく、反応による放射線が検出できないのである。幸いにして 45MeV の直線加速器の建物は大変広く、多くの部屋があり、そのうち幾つかは長い間ほとんど使われていなかった。

この建物は工学部の実験棟と、北大では有名なポプラ並木との間にあり、すぐ横には農場や牧場があって、鶏やロバ、馬などが悠然と草をはんだりしている、のどかな田園風景の広がる中に建てられている。もうすでにこの時には、出来てから 15 年ほど経っていて、あちらこちらにひび割れの

補修の跡も目立ち、決してきれいな建物ではない。加速器棟は我々がいつもいる実験棟の外階段を下りると、金網のフェンスがあり、入り口から 100m ほど奥にある。入り口を入り大きなポプラの木の横を通り、右手にその建物が見える。建物は入り口横のボックスにカードを入れると電動扉が開き、さらに 20m ほど進むと地下に向かう階段がある。20 段ほど降りると、もう一度自動扉が開き、すぐに大きな制御装置が目に入る。制御器の横を通り、15m も行くとまた扉がある。これは厚さ 4m、幅 4m、高さ 2m の巨大な電動扉である、これを開けるとすぐ目の前に加速管が見える。これは高さが 120cm しかないので腰をかがめながら進み、加速管に沿ってさらに 10m 進むと、いよいよ目指す常温核融合装置を組み立てた中性子飛行時間測定室になる。この室の前にも厚さ 1m ほどの電動扉があり、スイッチを入れると電動音と共にゆっくりと開くのである。中は迷路になっていて、一番奥に薄暗い狭い空間があり、そこに中性子測定系を作った。この位置はコンクリート天井のそのまた上を厚さ 5m 位の土が覆っていて、間には 1m 以上の厚い重コンクリートの天井が圧迫するように低く覆っている。また装置の下の方床も厚いコンクリートで出来ており、その下は二重になっていて深さ 50cm 位の水が常にたまっている。下からの放射線が効果的に防げる最良の条件である。秋本はここに 3 日程で測定体系を組み上げたのであった。

高さ 1m、幅 1.6m、長さ 2m くらいの頑強な机の上にプラスチックの煉瓦のような中性子減速材を数十個ほど使い、さらにそのまわりをボロン(ほう素)入りパラフィンで囲み、徹底的に外からの中性子のしゃへいを行ったのである。中心部に中性子エネルギー検出器 NE213 シンチレーターをおいた。シンチレーターは直径が 20cm、厚さ 20cm のアルミでできた円筒状のもので、すぐ横には光パイプで光電子増倍管がつながっている。シンチレーターから出た光を何億倍にも増幅出来るものである。ここからケーブルが数本出ていて、それぞれ高圧電源、プリアンプ用電源、信号測定器につながっている。



北大工学部加速器室の奥に設置した、中性子スペクトル測定機器、地下 5 メートルにあり、左の白いプラスチック減速材の向こう側に電解セルをおいた。

中性子エネルギーのスペクトルはきわめて複雑で面倒な行程をへて、やっと得られるのである。この原理を簡単にいうと、中性子の測定のところでは書いた十円玉の衝突のたとえと同じで、シンチレーターに中性子が飛び込むとその中のプロトンに衝突し、持っているエネルギーの一部をその原子核に与える。するとそのプロトンが今度は動き出す。プロトンは中性子と違って電荷を持っているために検出器の中の蛍光体と強く電気的に相互作用し、(その外殻の電子を励起する)光を発するのである。この光を検出すれば間接的に中性子が調べられる。この光の数は中性子のエネルギーと対応しているので、それによって中性子のエネルギースペクトルが得られる。中性子のエネルギーが 2.45MeV という d-d-核融合反応によるものあれば、検出器の中のプロトンが得る最大のエネルギーは 2.45MeV であるから、スペクトル上にはそのエネルギーの位置に膨らみが観測されることになる。

もちろん中性子が大量に出ていれば、この膨らみは簡単に見分けられるが、弱い場合には大変面

倒で、また長い時間が必要になる。中性子は前にも書いたように、簡単に物質を通り抜けるので、その遮蔽は容易ではない。測定器を設置した場所では地上に比べれば 1/100 に減っているが、できれば限りなく 0 にしたいところなのである。長時間測定していると色々なエネルギーの中性子が飛び込み、スペクトルは全体として低エネルギーの中性子ほど指数関数的に増加していく。もちろんスペクトルがこのような形状になるのには検出上の問題もあり、中性子とプロトンの衝突の作用により、高いエネルギーを中性子から一度にももらう正面衝突よりは、より低いエネルギーをもらうような衝突の方の確率が高いためである。

このようにして苦労して重い体系を組み上げ、セルを検出器の前に置いて電解電源、温度記録計、電流、電圧、室温、温度さらにバックの γ 線等、すべての計測器のスイッチを入れ、ただちに中性子スペクトルの測定に入ったのは 1989 年の 4 月 10 日であった。

1989 混沌

この頃には世界中で常温核融合の話で大騒ぎという状態であった。それまでも日本でも電気化学の専門家である東京農工大の小山昇教授が実験でトリチウムや γ 線を観測したという学会発表を行っていた。もっともこれはちょっと勇み足であったようで、その後、再現はできていない。このような状況は世界のどこでも同じようで、まだ実験は手探り状態であった。またこれは後の話になるが、当初研究費が NHE から出ていたときに、小山教授は率先して常温核融合を進めていたが、残念ながらその後、手を引き、今注目の燃料電池電極の研究に移ってしまった。

北大でも同じ様な状況が続いていた。この時の工学部長であった佐藤教男教授は、専門分野の電気化学でこのような話題が持ちあがったことを歓迎し、学内の専門家を集めて北大常温核融合研究グループを発足させたのが 4 月の初頭であった。とはいっても、常温核融合の研究を行ってきた者は水野だけで、もっぱら彼の実験結果発表の場を作ってもらったようなものであり、その場で世界中の他の結果と比較するのが目的であった。第 2 回目の会議の席で、水野はこれまでの実験結果を報告したのであるが、その時は中性子、 γ 線、トリチウム、発熱と全くポジティブなデータは得られていなかった。まだたった 1 回しか測定をしていないし、設備の整っていない荒っぽい体系で行っていない旨も合わせて述べたのである。いわばこれはまだ予備実験の段階であった。

ところがこの時のデータがその後、思ってもいない使われ方をしたのであった。退官の近い水野の研究室の諸住教授と大橋教授が他の研究グループが思ってもいなかった、記者発表を行ったのである。二教授がフライッシュマン・ポンズのデータ分析を行い、その計算上の誤りやデータの不備を発表し、合わせて水野の予備実験の結果と一緒に常温核融合否定の会見を行ったのであった。

その日、いつものように水野が講座に来てみると、多くの記者と一緒にテレビカメラも数台来ていて騒然とした雰囲気であった。その中で大橋、諸住教授等自身の見解試料を配り、レポーターに対し「常温核融合には科学的根拠がない。」という否定の見解を示したのであった。前回の会議では研究グループの結論として、常温核融合はまだはっきりとはしていない、さらにもう少し続けることにしよう。また最終的な結論は、佐藤工学部長の判断にまかせようということになっていた。佐藤は 4 月の初頭から海外出張中であったので、その帰国を待って判断しようということであった。記者会見は 4 月の 21 日(金)の朝から大橋教授が単独で行った。



北海道新聞紙に出た 4 月 22 日付けの常温核融合否定見解

ここでこの時に急いでまたデータも十分無く、たった一つの論文だけをもとに、常温核融合を否定してしまったのであろうか。これについては幾つかの理由があろうが、一つはエネルギー問題にあることだ。北大工学部は原子力を研究しているとはいえ、地方の目立たない大学で中央ほど行政、電力会社に強い発言力を持っていない。すなわち原子力の推進にあまり寄与していないことになる。常温核融合は当初すぐにでもクリーンな熱が大量に、しかも無尽蔵に取り出せそうに宣伝された。あまりにも原子力否定派に好都合そうな話であったことにあろう。またさらに核融合と核分裂という研究分野の違いに対する見解の相違が一つ。さらに佐藤教授の独走に対する批判意識などであろう。このようなどこにもあるようなことで、科学研究の場でも例外ではなかろう。

しかし大切なことは研究者としてとるべき態度ではなかろうか。科学的な真理というものは多くのデータ、多くの仮説、さらにそれによる多くの実験と言うことが何度も繰り返されて、初めて明らかになるものである。発表されたものがいかにばかげたもので、科学的な常識に欠けるものであっても、多くの研究や実験があって初めて方向性が見えてくるものなのである。

時としてそれは多大な時間と大きな労力があって初めて明らかにされる場合もある。もちろんそのような発表には間違いや嘘なども多く、その例もまた歴史上に多く残されている。それらの例は他の多くの本などで述べられているので、ここでは触れないが、そこでわかることは科学も多くの試行錯誤を繰り返して現在に至っているのである。それを教訓とすると、大事なことは、再現性であり、いつでも、どこでも、だれがやっても同じ結果が得られるようにすることである。もちろんその再現性が得られるまでに実験の条件を全て明確に決めていかなければならない。一般に物性上の研究では、この条件が多い場合がほとんどで、なかなか容易なものではない。特に表面での反応や界面での反応となるとますます複雑で、研究者を困らせていることが多い。また系を細かく分解していった場合の現象は理解しやすいが、それが組み合わせられてできた系ではなかなか解析するのは難しい。たとえば、天気予測、地震、経済の動き、生体など、今はやりのカオス的な複雑系などといって解き明かそうとしているが、容易ではないのはよく知られていることである。

そのような例も多くあるので、再現性がないといった理由だけで科学的な根拠に欠けるなどとは全く言えない場合も多いのである。

1989 北大工学部の対応

4月21日の発表を知って、研究グループはもちろんのこと、学内の研究者も驚いたのであった。当然水野も事の成り行きがわからなただけに困惑した。研究チームといっても実際に実験を続けているのは水野と秋本であり、他のだれも実験は行っていないのであるから、追試を打ち切るという事は彼らの研究を止めるということなのである。もともとこのテーマは水野が長年行ってきた金属中の水素の挙動とほぼ同じものであり、色々多く実験を積み重ねてきたものであった。ここで研究をする場合、重要なことは本人自身の興味であり、それがあって初めて研究に本格的に取り組める。大学の研究で最も重要なことはテーマであり、それをいかにして見出し、それに集中できるかという事、それを保証する場を作ることであり、その研究を通じていかに社会に還元するかにつきて考える。

ところでこの否定会見を佐藤は帰国後、新聞、テレビ等で知ることになり、急きょ水野は呼び出されて、その詳しい内容について質問された。事の次第を知って佐藤は非常に驚き、特に新しい研究に対する心構えのなさにもまた失望したのであった。佐藤自身も著名な電気化学者であり、フライシュマンやボックリス等とも大変親交が深く、彼等のような研究者達があれほどの重大な発表を行うからにはよほどのことがあり、一応十分な確認実験を自分自身で行ってから結論を出すべきだという考えであった。水野は佐藤に会ってまだ実験を続けていること、秋本の参加を得たこと、装置をより良い環境に移したことを報告した。さらにこの研究は、中性子等の核生成物の検出が決め手であることを特に強調した。その結果、佐藤は研究に対して学内緊急特別経費での援助を申し出てくれたのであった。後日これによって中性子計測系が一新でき、重要な結果を得ることが出来たのである。

1989 中性子検出

秋本は電解が始まってから連日、休暇もなく朝8:00、12:00、16:00、20:00と1日4回測定値の環視、較正、計算と規則正しく、他の研究、教育等の合間に常温核融合測定を続けていた。水野も朝9:00前後に温度、電流値、液、電極等の観察を続けていた。我々は「何か出るかもしれない。」とい

うかすかな期待だけで連日実験を行ったのである。

こうして電解を開始して約 1 ヶ月後の 5 月 15 日の朝、当日は月曜日で朝学校に来ると直ぐに秋本から呼び出しの電話を受けた。

「ちょっと来てくれ。スペクトルにピークが出ている。」とめずらしく大きな声で叫んでいた。

いつも冷静な人間にしてはどうしたことかと思いつつ、水野は地下の測定室に走っていった。薄暗い、狭いコンクリートの壁で囲まれた室の奥で、ちょっと汚れた白衣を着た秋本が少し当惑した表情で手招きをしていた。中性子エネルギー・スペクトルは複雑な処理を経てコンピューターの CRT 上に表示するようになっている。このデータはアンホールディングデータといって、さらにもう一度計算処理がされて明確なピークが表されるが、その一段前の生データといってよい。左側から右にかけて多くの点が滑らかな下り坂を描いているが、その坂の半分からジャンプ台のように膨らんで、中央から右の位置で落ちているのが見て取れた。

「これが何か？」と水野がいうと、秋本がもどかしそうに

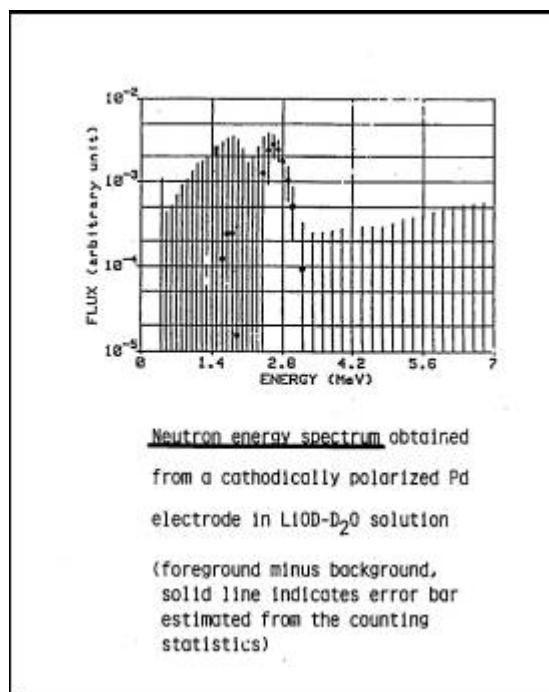
「この膨らみが 2.45MeV の中性子によるものじゃないかと思うんだが・・・・・・」というのである。

「ということは何か、あの d-d 反応の中性子エネルギーと同じということだろうか？」

「そういうことになる。もう一つのスペクトルを見てくれ。」といって秋本はマルチチャンネルアナライザーのメモリーのスイッチを切り換えた。するとこちらの点の分布はなだらかな減少曲線を描いているが、途中にジャンプ台のような膨らみは見えない。これは秋本に言わせると、反応セルを検出器の前から 5m ほど外に持っていったときのもので、バックグラウンドで、この時には 2.45MeV の中性子は認められないということであった。これを二回繰り返したが、いずれもセルがあるときだけ 2.45MeV の膨らみが見えたということであった。

「ということは電解で何か 2.45MeV の所にピークが出るような現象、言ってみれば d-d 反応が起きているということではないかな。」と水野が言う

「そうとも言える。でもまだ二回くらいしか実験をしてないから、もっともっと条件を変えてやってみなければ結論は早い。何か偶然雑音を拾ったということもあるし。」と秋本は慎重な様子だった。



初めて得られた、2.45eV のピークを持つ、中性子スペクトルのデータ、バックグラウンドではこのようなピークは得られない。

「雑音を拾う？それはどういうこと？」と水野は質問した。中性子検出器が雑音を拾うと言うことがよくわからなかったので質問したのであった。水野がこれまでずっと測定してきたのは加速器を使ってのものであり、桁違いに強い中性子を相手にして来たので、雑音について全く無知であったせいである。d-d 反応実験を行っていたときは円筒状の BF₃ デテクターを使い、10⁵~10⁷個/s の

中性子を数え、雑音は問題とならなかったのである。しかし常温核融合では $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ n/s}$ の中性子のスペクトルを求めなくてはならないため、スペクトルとして意味のあるデータを得るには 10^6 秒、すなわち 12~13 日もの間、連続して測定器を安定させて、中性子を取り込まなければならないのである。さすがの秋本も今までにこれほど弱い中性子計測はやったことがなかったのである。それで、機器の安定を見るため 1 日に何度もチェックしていたのであった。

「それに水野君は知らないかもしれないけど、中性子デテクターといっても中性子だけを数えているんじゃないんだ。NE213 には色々なものが入ってくる。中性子はもちろん、X 線、 γ 線、宇宙線、電磁波、それに光や温度、湿度の変化にも影響されるんだ。中性子が強けりゃ苦労はしないさ。でも何日間も安定に動かすのは至難の業なんだ。そうは言っても、そんな雑音を完全に取るのが腕の見せ所というわけさ。中でも特に難しいのが γ 線と中性子の分離だ。これはパルスの立ち上がり方で分けられるが、その間の線引きが面倒なんだ。何度も何度も線源を使って校正さ。そのあたりを毎日見ているんだ。」と秋本は説明してくれたのであった。

「それじゃあ、その線引きによってピークが出たり、出なかったりするのさ。何でそれがちょうど 2.45MeV なんだよ。偶然なのか。どうしてセルがあるときだけピークが現れるんだ」と水野は大声でいった。

「そこがわからないんだよ。いくらでも説明はつけられるんだ。 γ - n 分離が悪いとか、何かのせいで出て来るんだとかさ。」と秋本も大きな声で答えた。

「それじゃまだ測定を続けないとわからないと言うことだな。もう少し反応を強くすればいいという訳だ。今のところ電流密度は 100mA だから 2 倍にしてみよう。それにしてもガラスフィルターがやっかいだからもう一方の陰極室も使おう。」このセルは陰極室に両側 2 室の陽極室がついた構造になっていた。それを 2 つとも使うと電圧をあまり上げなくても電流を増やすことが出来る。ほとんどの電力はフィルター部分で消費されていたからである。ただしその分、重水素の消費は激しくなり、1 日に 10g も蒸発や電解でなくなってしまうことになる。また相変わらず電力は 100 ワット程度だったので温度も 80 と高く、素手で触れることが出来ないほど熱くなっていた。秋本はこの温度や、電解電源の影響を気にしていたが、後ほどこれらはいずれもスペクトルには影響を与えないことが実験によって確認されている。

この日からさらに強く電気分解することにして、秋本はデータをテープに読みとり、計算を行うことにした。

それにしても重水はガラスのアンプルに 100g 入ったものを使っていたが、99.75%の純度のもので 1 万 4000 円もするものであり、1 本が大体 10 日くらいでなくなってしまうのだからとても長時間の測定は出来ない。「どうするか?」「どうもこれは大量に重水素を入れるのが決め手ではないか、反応を加速するには通常、温度と圧力を上げればよい。そのためには加圧できる反応容器を作ればよい。水素と酸素を同じ室で発生させて、触媒を作ってまた重水に戻せばいいのではないか。重水素がパラジウムに入っていくと酸素が取り残される。これは危ないかな爆発する危険性はないだろうか?いや逆に酸素の量からパラジウム中の重水素量が計算できるではないか。これだと汚染の心配もない。」そう考えてただちに閉鎖系セルの設計に取りかかったのであった。

それからさらに 10 日たった 5 月 25 日の朝、秋本の部屋に行った。すると彼は手元の紙を渡して、「これどう思う?」そこには 2 枚のスペクトル図があり、一枚ははっきりと 2.5MeV の部分に強いピークが示されていた。もう一枚の方には全く何のピークもないものであった「これはずいぶんはっきりしてるんじゃないか。2.5MeV というと d-d 反応の中性子と考えていいんじゃないかな。もちろん正確に 2.45MeV だからまあ誤差の範囲だな。これで一応常温核融合があるとして間違いないな。」

「で、測定は何回くらいしたの?」と水野は心の動揺を抑えきれず、少し声がうわずった。

「3 回目だ。どれも電解中だけ、この 2.45MeV のピークが出てくる。バックにはいつも何も出ない。」と秋本はあくまでも冷静に答えた。

「それじゃあ、すぐにでもレポートとして投稿したらどうだろう。もちろん世界で初めてにはならないけど。大体ジョーンズ達の結果に似ているんじゃないかな。彼らも熱については全く観測していないと言っているけど、中性子は報告してるんだから。ただ、論文としてはトリチウムも見てからまとめた方がいいね。これは最も大事な反応機構にかかわるだけに、ちょっと中性子の発生率からも計算してみるよ。大体 1 ワット熱が出れば中性子が 10 日間出ているから、熱としては計算しても問題にならないくらい少ないよ。だから観測に引っかけられないんだ。トリチウムも検出が難しいそ

うだな。もちろん d-d 反応と考えてだよ。」と、水野は一気に話を進めた。すると秋本は「ちょっと待ってよ。そう先走るなよ。計測屋からすると、もっと何回も条件を変えて、じっくりと結論を出したいんだ。いろいろと不安があるんだよ。君は知らないかもしれないが前にも言ったように色々な要素が微妙にピークに影響を与えるんだ。現にセルが熱いじゃないか。その影響も知りたいし。どだい中性子数が少なすぎるよ。水野君の扱ってきた量より 10 桁も 20 桁も違うんだから。何が影響しているかわかりやしれん。」

「それにだ、仮にも北大研究グループの名で常温核融合の否定発表もやっているんだ。それもお宅の上司に当たる教授が二人でだよ。そこにお前さんみたいな助手ごときがそれをひっくり返す発表をやったらどうなると思う。誤解するなよ。もちろん私は君に全力を貸すよ。ただ慎重さが必要ということだ。」とゆっくりかんで含めるように話したのであった。

こういわれると水野としても考えなければならなかった。そして佐藤教授には話をした方がよいのではないだろうかと考えていた。

「わかった。そうしよう。この結果だけでなく好きなだけ確認してよ。でも一応工学部長には報告しておく。きっと彼も喜ぶと思うんでね。」水野はそのとき一旦発表するという考えを示した。そしてその日の午後、水野は佐藤工学部長に連絡を取り、実験の進行状況を報告しに行った。

佐藤にスペクトルの図を渡し、説明を行った。

「これはすごい。非常に明確ではないか。良くわかった。我々研究者の仕事は自身の結果をまとめて論文として発表してこそ意味がある。早速まとめていこう。私も秋本君にあって直接この結果を説明してもらおう。そのあと三人でまた討論しよう。」といくぶんかん高い声で、興奮気味に佐藤は言った。

「またもう一度緊急に学内の研究会を開いて、その場で報告しよう。」と続けた。しかし、水野としてはこの報告を研究会でするのはあまり気乗りがしなかった。すでに学内のプロジェクトとしては打ち切ると発表されており、当然研究グループも解散というのが流れであろう。自分の同じ講座内で二つの矛盾した発表はしにくいのではないかという気持ちであった。それでそのことを直接佐藤に打ち明けた。

「そんなことはない。大橋教授の記者会見でもわかるように、フライッシュマン達の論文の批判ではないか。またジョーンズ達の研究については言及をしていないはずだ。最終的な態度は私と相談して決めることになっている。さらにだ、科学というものは毎日毎日進歩していくものだから、昨日まで常識だったものが、たった 1 日で変わってしまうのは君も知っているだろう。論理的に、すなわち科学的に研究をしているかどうかではないか。」このように言われたのでは水野としては返す言葉はなかった。あとは秋本の意見を聞くばかりである。

「わかりました。でも最終的な発表は秋本の OK を取って頂けませんか。私としては出来るだけ早く発表したいと思います。」と水野。

「わかった。私もすぐ秋本君と話し合ってみよう。」と佐藤が締めくくった。

1989 中性子検出の発表

常温核融合懇談会が佐藤工学部長の指示で北大工学部本館一階の南側の部屋で開かれた。約 35 名の参加で主に水野の中性子測定結果を議題としたものであった。席上水野は 20 分程度の話をした。実験の体系を地下に移したこと、電流密度、時間温度等をそれぞれ増大させたこと、中性子測定を考えられる限り厳密に行ったこと、その結果バックグラウンドの 10~20 倍の中性子を散発的かつ連続的に得たこと、そのエネルギーは d,d 反応に近い 2.45MeV であったこと。そして熱は計測されなかったこと、トリチウムも実験前後で変化がなかったことなどをあまり感情を交えないように冷静に話した。結論として、何らかの核反応が起こっているのではないかとまとめた。さらにこの結果は、佐藤を含めた 3 名の連名で電気化学会誌に投稿中であることも報告した。

この論文は 5 月 26 日から 28 日の夜 3 日間かけて佐藤の自宅二階で書き上げたものである。佐藤と水野は当時、石狩市の同じ団地に住んでおり、連絡が取りやすく、夕食後すぐに討論しつつ一気に仕上げたものであった。投稿した論文の内容は懇談会の報告と全く同じであった。この論文は二週間で受理されたが、レフリーからのコメントは FAX などで行われ、きわめて異例の速さで公表されることになったのであった。

ところでこの懇談会に工学部長の許可を得て、北海道新聞社の永山記者が同席していた。彼は話の内容を知って興奮を隠せなかった。永山は当時まだ 29 歳で、北大理学部の合成化学科を卒業し

て記者になっていたので科学関係には詳しくしたのである。

水野と彼は以前から金属水素系のことなど専門上のことでかわりがあり、討論したり、水野の研究の紹介を道新月刊誌でも記事にしていたので、すでに水野が常温核融合の研究をしていたことは、フライッシュマン等の発表について彼のコメントを取った時点で承知していたのである。北大工学部の研究グループについては佐藤を通じて知っていた。水野の発表は日本国内として、初めての確認実験であり、永山にしても大変なニュースであった。彼は、工学部長の了承を取った後、ただちに記事をまとめたのであった。

6月3日北海道新聞の第一面に5段の記事が出た。「常温核融合の追試成功 - 我が国初、中性子を検出」と、きわめて刺激的な見出しであった。記事の内容は正確なものであったが、中性子にのみ焦点が絞られていた。しかし追試成功はあまりにも強すぎる表現で、これではフライッシュマン・ポンズの実験をそのまま再現したかのように取られるおそれがあった。これは我々の本意とするところではなかったが、永山自身の署名入りの記事であり、彼の責任を示す内容であった。この記事がきっかけとなり、その後、常温核融合と水野が深くかかわることになる。



1989年6月3日、北海道新聞誌上に出た、常温核融合の追試成功の記事

1989 学会の対応

中性子確認の報告をした後のマスコミの取材にはすさまじいものがあった。その対応で、それ以後ほぼ2年間にわたり忙殺されたのである。

テレビ、新聞、雑誌と国内のみならず、海外からも取材の申し込みが相次ぎ、さすがに水野も音を上げた。それに追い打ちをかけるように色々な団体や、研究所、学会からも講演依頼が相次ぎ、研究にも支障を来すほどであった。

ここではその中の幾つかの学会などでの印象を述べてみたいと思う。

常温核融合について最初に発表をした会議は1989年7月31日(月)10時から、電気化学協会的主催で東京経団連会館ホールで開かれた、電気化学協会(現電気化学会)でのことである。この学会は日本原子力学会と共に常温核融合を一つのテーマとして扱っていた数少ない学会の一つであった。その学会に当初から参加しているメンバーは東工大の沼田博雄、阪大工の高橋亮人、横浜国大の太田健一郎など、現在でも常温核融合研究を強力に推進している数少ない研究者達である。彼等は自分の研究の一テーマとしてとらえ、困難な研究を多くの逆風にも負けずに科学的実証の実験を行い、幾多の重要な結果を得ている。

この会議は日本で最初に科学的な研究者自身による発表の場であった点で、エポック的なもので

あった。発表自体にもセンセーショナルなものではなく、主にパラジウムの重水中での電解による反応生成物(熱、 γ 線)や水素とパラジウムの反応等の金属学的なものばかりで大変地味なものであったが、幾分落ち着いた常温核融合を取りまく環境と研究テーマとしての一分野を築いた点で大きく評価できる学会であった。特に高橋による電流密度を変化させて行う実験は、それ以後の常温核融合研究を一変させる貴重なものであった。さらに中性子計測法や、重水素をパラジウムに入れる方法などが明らかにされ意義のあるものであった。

また同じ年の7月22日、京都の国際会議場で、国際電気化学学会が開催された。この時の学会では特別レセプションとして常温核融合が取り扱われたが、これはどちらかというと科学的なテーマというよりは、マスコミ向けの宣伝の場として無理に作り上げた感じのあるもので、あまり印象の良いものではなかった。

日本からは5件、海外からは6件の発表があり、フライッシュマン、ポンズ、ボックリスなどが中心となったものであった。千人収容できる大ホールには、何台ものテレビカメラやたくさんの記者達がつめかけた派手な発表会であり、細かい討論などはとても出来るようなものではなく、一方的に話すだけであった。昼過ぎ12:30から一人30分の予定で話すはずであったが、発表の30分前になって主催者側から、最初に登場するフライッシュマン・ポンズが1時間30分の時間をとりたいたいということで、それ以降の10名の発表時間は一人15分にカットされてしまった。

これには日本からの発表者は大慌てであった。特にこの後すぐ発表するため、順番を待っていた水野は原稿や、OHPなどを急いでそろえ直し、ほとんどアドリブだけで何とか終わったのだった。この会の発表もフライッシュマン等はいかに自分たちの結果が正当であったかを報告するにとどまり、新しい発表はなかった。彼等の立場から見れば、あれほど色々なところで講演をさせられ、記者会見をさせられ、学会や公聴会などで、色々厳しく追求されれば、守りの姿勢になるのは当然だ。水野でさえも、わずかな「中性子を検出した」と発表しただけで、日本最初の常温核融合追試研究者として扱われ、それだけでなく、逆に色々な中傷や、非難にさらされたのである。その影響は現在も続いているのだ。後にも述べるが、高橋や山口等も、マスコミなどによって苦勞を強いられた研究者なのだ。もちろん、あえてセンセーショナルな発表をして注目を集めたり、また金稼ぎを考えたりする研究者もいたものであり、このような反研究者的な人たちの影響で、まじめな研究者が悪い影響を受けているのは事実である。これはまた何度か取り上げよう。

1989年日本物理学会の秋の分科会が10月12日(木)、15:30から始まった。宮崎大学で原子核実験シンポジウムのテーマとして「低温核融合」が取り上げられたのである。この題目からわかるように物理学者の間では当初から、常温核融合はまともなテーマとしては取り扱われておらず、核融合以外ではミューオン触媒核融合が認知されており、その一つとして低温という名でくくりにされたテーマとして取り上げられたのであった。ちょうどこの学会の2ヶ月前、8月中旬ごろのこと、水野は学会から電話を受け、特別セッションを設けたので是非参加してほしいという内容であった。水野は喜んで引き受けた。もちろん会には十分な資金がないとのことで、自費での参加であった。

学会当日その会場で物理学会誌を見ると参加者プログラムのセッションには水野の名前は記載されておらず、講演題目もないことがわかった。また発表者は水野一人しかいなくて、当時すでに幾つかの研究結果が数人から公表されていたにもかかわらず、中性子のみを取り上げた様子であった。発表は30分の持ち時間が与えられていたのだが、結果発表に移る前に、座長を通さずに水野に直接ヤジに近い質問をする人がいたのだ。国立研究機関の若手研究者であった。

「中性子を地下室で計測したと言ったって北大にはあちこちに加速器があるのだから、その雑音じゃないの」とため口であった。これ以後も都合3回も同じ人物から質問がされ、

「なぜもっと実験しないのか」

「理論的にあり得ない」などといった発言がされた。これには水野も「ちょっと失礼ではないか」と気分が悪くなった。通常の学会であれば講演者の発表中に発言するなど、考えられないことであり、また質問にしてもその言い方や作法というものがあるはずである。発表が終わってから質疑に入ったところで「雑音はどのように処理しているのですか。再現性はどうですか。機構はどう考えているのですか。」という質問をすれば良いことである。だがこのような礼を欠いた発言をする人は、どの学会にもいるものであり、また常温核融合について話すと現在でも水野に限らず、他の研究者も悩まされているので、ある種の差別的な扱いであろう。

このような話は物理学会だけではない。学会というのは学術的な内容を議論する場であり、公平な

運営がなにより大切であるべきだ。

1989 10 月 閉鎖セル

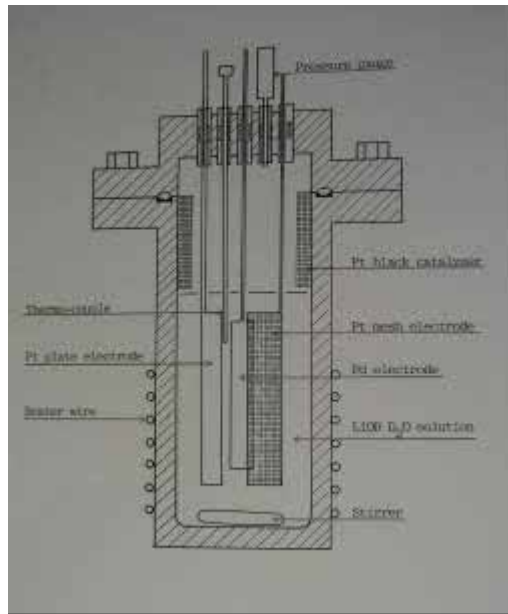
重水の値段は今でも高く、純度によってちがい 100g あたり 99.75%で 1 万円、99.8%で 1 万 2000 円、99.9%では 1 万 5000 円と急に上昇する。しかも大きな試料を使って大電流を流すとそれだけ消費が激しくなる。たとえば 1A で 1 日流すと 8.95g なくなってしまうのである。さらに入力電力のほとんどが熱となるので、液も高温となり、それによる蒸発も問題である。最も重大なことは、液を補給するときにどうしても測定系や、セル内を乱してしまい電解条件を変え、汚染や、もともと重水中にあった不純物がどんどん濃縮されることである。これを解決するために、電解実験の初期から閉鎖型セルの設計を考えたのである。この時注意しなくてはならないことは、発生してきた重水素と酸素を再び重水に戻す触媒であった。通常は白金を使うが、形状、大きさ、配置、表面処理が重要で、設計を間違えると大きな事故につながる危険がある。同じような閉鎖型セルを使用したアメリカのスタンフォード大学の研究所 SRI で 1992 年の 1 月 2 日、セルを開けようとしたとき大爆発が起き、ふたが研究者にぶつかり、その研究者は死亡したのである。このセルはステンレス製でフッ素樹脂の内張り、内部にアルミナの玉の上に白金をコーティングした触媒が入っていたが、玉の表面が電解質で覆われ機能しなくなっていた。どんどん発生した重水素と酸素のため、圧力が数 10 気圧にもなっていたところを急に動かしたのでビーズ表面の付着した不純物の層が落ち、白金面が出てきたところ急に再結合反応が生じ、爆発に至ったのであった。この事故は現在までの常温核融合研究で非常にいたましいことに唯一、犠牲者の出たものである。

水素と酸素はほぼどんな割合でも爆発するのであるが、それでも何も起きない。すなわち触媒や点火源のないところでは、なかなか反応しないものなのである。それで、触媒としては一般に表面をきわめて粗く処理して表面積を増した白金黒触媒を用いるが、活性を保つには常に触媒の表面を清浄にする必要がある。また重水素と酸素が再結合して重水に戻る時に 244KJ/mol の熱を出すので、この除去も考えなければならない。

そこで水野が考えたセルはまず安全を一番に考えて、外側を 130mm のステンレスの棒を使い、内部をすべて削りだし加工して高さ 20cm、外形 9cm、内径 7cm の反応容器を作ったのであった。金属容器の内側には厚さ 10mm のフッ素樹脂製のセルを入れることでほとんどの困難を解決した。上側のふたも同じように、二重構造にして、幾つかの電流導入端子と温度、圧力測定用の端子を取り付けた。この部分も汚染をさけるため、すべてフッ素樹脂で覆い、電力供給部はそれぞれを白金、パラジウムのみで作り、大変値の張る豪華なものとなった。

このセルの製作には昔からこのような加工物を作っているメーカーに依頼することにした。このセルは通常 150 、10 気圧であるが、最高使用条件は 200 、150 気圧となっていて、十分安全である。もちろんさらに安全弁も取り付けられているのは言うまでもない。その詳しい設計図を図に示す。

密閉セルの設計図



このセルが完成したのは1989年の10月のことであった。もちろん設計図通りに作ったからといってすぐにうまく動くわけではない。最初から外側のセルの圧力試験を水素でするわけにも行かないので、窒素ガスで2気圧、5気圧、10気圧、20気圧と小刻みに繰り返し、最終的に135気圧まで試験をした。その方法は、段階ごとに3日ほど圧力を保ち、変化を見た。これは上部から導いた高温水蒸気用の圧電変換器の指示値を読むものである。10気圧までは全く漏れがなかったが、20気圧で非常にわずかであったが3日間で19.8気圧まで0.2気圧漏れ、すなわち体積にして160ccの窒素が漏れることがわかった。セル全体を大きなバケツに入れてみたところ、電流導入端子接続部分から漏れていることが判明した。その後、圧力を上げていくと接続部や導入部の電極線回りにある、テフロンパッキンを中心として、幾つかの箇所に漏れがあり、その漏れ止めの作業にほぼ2ヶ月を要したのである。その結果、セルの周囲にステンレスで被覆したヒーターを取り付けて温度特性、すなわち窒素を入れた場合の温度上昇と、漏れの具合を見た。この時、全体を150℃まで上げ、50気圧を加えるとまた漏れがあり、今度はふたの部分と本体を接続しているテフロンパッキングからのものと判明した。接続部分の構造を変え、もう一度、切削し直してもらい、やっと漏れは止まったのであった。

次に水素による高温での耐压テストであるが、高温の水素は反応性が強いので、フッ素樹脂や、ステンレスの部分が露出していると危険なので、内側のテフロンセルだけのものを初めてテストすることにした。さいわい内側のセルには問題はなく、直接ヒーターを巻いて100℃、10気圧でも全く漏れはなかったので全体の試験を行った。全体というのは、テフロンセルを内側にセットし、ステンレス容器すべての圧力テストである。100℃、50気圧までは漏れはなかったのだが、それ以上にすると徐々に圧電変換器の取り付け部から漏れ出すことがわかった。だが内側セルのどこから漏れるのか、なかなか判明しなかったのである。またテフロン部分だけを取り出し、窒素ガスに変えて漏れの試験をやってみると、容器が膨らみわずかに変形し、ふたとの隙間から漏れることがわかった。再びセル全体の設計を見直すことになったのである。そして考えたのが、ふたの部分の内側にステンレスの中ぶたを入れ、これで強くテフロン容器を押しつけるのと、底の部分の仕上げをより滑らかにすることでやっと解決したのであった。この時すでに1990年3月になっていた。水素試験の段階で電流導入線のパラジウム線が水素を吸収してしまい、線が変形してしまうので、これは下部の重水に浸る部分を残して、白金の棒に変えるという考えもおよばない事件も付いたのである。

次はいよいよ白金触媒の試験である。この動きを見るためには発生した水素、酸素がすべて水に

戻ることを確認する必要があるので、水素を吸収しない白金の網を使ってテストをした。セル内に蒸留水を入れ、LiOH を 0.5mol として温度を 30 で始めたが、電流を 1A 流し、最初の 2 時間で圧力が 2 気圧程度まで上がり、しばらくすると、すなわち数時間でもとの 1 気圧に戻り空気が混入しても触媒が働くことが確認できた。これは温度が重要で、50 位から上で触媒が働き始め、いったん活性になるとその後は安定になるためであった。この時に使った白金の網は巾 5cm、長さ 20cm 位のもので、0.1mm の細い線を編んで作られたものである。値段はこれもまた高価なものであったが、これを二重にしてセルの中の上部に巻き付け、白金の太い線で固定した構造になっている。

このようにして色々な試験をしてようやく本実験にはいることが出来るのである。この反応セルは別にどこにも新しいものはないのであるが、実際に作ってみるとなかなか大変であり、きちんと作動するまでには大変な苦労をさせられた。何でも同じと思うが、初めに何らかの機械をちゃんと動かすまでが大変であるということを何度も思い知らされたのである。だれかが、完成させたものをそのまま持ってきて動かすならだれでも出来ることであり、何事も最初に行ってこそ価値のあることである。

さて、このようにして全てのテストを終え、本実験に入ってしまった。この時はすでに 6 月になっており、テストに 8 ヶ月も費やしたことになる。パラジウムは大きいものを使用することにした。太さ 1cm、重さ約 100g、こうすると設計通り働くとすると、飽和まで重水素が入ると内部の酸素圧力は 10 気圧を超えることはないはずで十分安全は保たれる。

実験の一番初めは容器内の洗浄である。これは超高純度の純水を使い何度も洗った。さらにこの純水に LiOH を 0.5mol の濃度にし、白金だけで電解したのである。約 1 週間、温度も 150 まで上げて行った。その後、中の液をすべて捨て、今度は重水を 400cc 入れ、その中に LiOH を 0.5mol となるように加えた。この時使った試薬もドイツ、メルク社製の高純度のものを使ったので、問題となるような不純物は含まれていないと考えて良い。他の金属不純物はすべて合わせても 0.1% に満たない。すなわち不純物の量としては 10mg と言うことになる。

ここでなぜこんなにも不純物にこだわるかには大きな理由があり、後に述べる大量の何らかの核的な反応の存在を裏付ける析出物とも関連しており、最終的な反応機構の解明を意味するような結果が最後に出てくるためである。研究を進める上でこのような処理手順は化学実験ではごく当たり前のことで、面倒でも多くの前処理をしてからでなければ研究は出来ない。

その後は最も大切なパラジウム棒の処理だ。初めに太い棒に 1mm の太さの端子棒を取り付ける。これはスポット溶接器を使って二つの棒の上下から押しつけて大電流を流してやる。そうすると、接触部が一部溶けて、しっかりと結合する。この処理は他の接続法と比べると不純物の心配が少ない。さらに溶接部の回りと上下のタングステン棒の触れたところを石英ガラスの破片できれいにかき取り、滑らかに仕上げる。それを王水中で処理した後アセトンを入れたビーカーの中に入れ、超音波洗浄器で何回も洗ってやる。その後の取り扱いが大変で、薄いパラジウム板をしきつめたアルミナ製の管に入れ、真空にしながら 200 まで上げ約 1 日、中のガスや表面の吸着ガスを取り除いてやる。これをフッ素樹脂製のピンセットの大きなもので挟み、セルの中にぶら下げるのだが、この作業も面倒だ。白金の電極も取り付けて、初めは全体を十分ガス抜きする。それから前電解にかかる。これは白金電極が二本入っていて、まず溶液の中や、電極、触媒、セルの表面の汚染物を取る作業なのだ。温度は 150 、1A 流し、1 週間電解する。次に、パラジウム極をプラスにして、1~2 時間流してやる。こうしておいて、汚れのたまった白金極を取り出して分析するのだ。

これが終わるとまた系をガス抜きして、それからやっと本電解をすることが出来るのである。この閉鎖型セルは、ここで初めて地下実験室へ運ばれ、それから諸々の実験がスタートしたのであった。時はすでに 1990 年の 6 月に入っていた。



閉鎖電解セル、本体内に白金の触媒が見える。
フタ(下)には白金の陽極と、そのそばに温度測定用の熱電対と中央にパラジウムの棒、長さ 10cm 太さ 1cm の陰極が見える。
さらにフタには安全弁と圧力測定用の変換器がついている。

2 章 試行錯誤

1989 阪大、高橋

阪大の高橋にとっても常温核融合は人ごとではすまなかった。1989 年 3 月、それは最初小さな新聞記事だった。アメリカで試験管のような小さな電気分解装置で核融合に成功したというものである。東海村の原研に出張で、常磐線の車中で東大の中沢正治教授と一緒にになり、

「ちょっと信じられないねー。金属に取りこまれた重水素が核融合できるほど重水素原子二個が近づけるとは思えない。デマじゃないの」と否定する会話をした。ところが、二 - 三日して各新聞の一面に大きく報道されることになり、驚かされる。常温核融合フィーバーの始まりだった。この二人とは、水野は後に知り合いとなるのだ。

米国ユタ大学のフライシュマンとボンズ(F P)の二人の化学者は、重水の電気分解でパラジウム金属の陰極から多量の過剰熱を観測した。過剰熱とは、投入した電力を上回る熱量である。その熱量は、原子一個あたりにすると、化学反応で説明できるエネルギーの上限を 200 倍上回っていた。だから、未知の核反応としか言いようがないと主張した。重水素の核融合(DD 核融合)がすぐ考えられた。DD 反応が起これば、中性子とトリチウムが等量発生するはずだ。少量の中性子とトリチウムは検出されたが、過剰熱反応に比べると 6~8 桁少ない量だ。「常温での未知の核融合反応」と思われる。というアナウンスメントがユタ大学から報道メディアに流された。一方、同じユタ州にあるモルモン教で有名なブリガムヤング大学のジョーンズは、同じような電気分解実験で、DD 核融合の



JCF5 神戸大学で講演する高橋

証拠となる「2.45MeV 中性子」を検出したとして、英国の有名科学誌ネイチャーに論文を発表している。このジョーンズが 2003 年の常温核融合の国際会議に再び登場し、常温核融合を改めて肯定

するのだ。

熱核融合の研究は、ITER などに見られるように、大変大がかりとなり、多くの人と金を必要としている。「常温で卓上の装置で、簡単に核融合ができれば、夢の技術である。しかも、放射線がほとんど出ずクリーンだと言う。」、新聞雑誌が書きたて、テレビは特集番組を流した。おりから阪大で行われていた原子力学会では、臨時特別会合が持たれた。学会の企画委員だった高橋が企画にあたった。追試にいち早く成功したと新聞報道された、東京農工大の小山教授の講演や、阪大原子力の田辺助手やレーザー研からのコメント報告があった。原子力学会を代表して、井上晃東工大教授と東邦夫京大教授が新聞記者会見もしたのだ。その時期、世界中の物理・化学・原子力などの学会で同じような光景が見られたのであった。

1989 追試フィーバー

世界中で FP 実験とジョーンズ実験の追試フィーバーが始まった。パラジウムと重水と中性子検出器があれば、簡単に実験できるはずだ。追試成功に遅れをとってはならない。世界中の数え切れない研究室で、日夜を問わない追試実験が行われた。最初の二週間くらいは、各国から追試成功の報告があり、そのつど新聞・テレビをにぎわせた。しかし、時とともに、追試失敗と FP の主張した現象そのものを否定する報道が目立ち始めた。アメリカエネルギー省の調査委員会(ERAB)が、決定的に否定する報告書を発表した。続いて、各国の政府機関・学会が現象を否定する見解を発表した。追試実験者の数は、数ヶ月で急減した。しかし、完全に追試研究がなくなることはなかった。

高橋は、当初、追試実験に手を出すつもりはなかった。以前、金属中の重水素が核融合するという話は、高橋が枚方時代の学部 4 年生のころ、一度あった。アルゼンチンのドイツ人学者が、簡単な装置で無限のエネルギーを取り出す方法を見つけたというのである。鋭い頭の院生だった三宅寛が、複雑な計算をしていた。量子トンネル効果の確率(バリア因子)を計算していた。しかし、当時の手回し計算機では、大きく桁落ちするこの計算は難しく、簡単には答えがでない。高橋も議論に加わった。「金属の中の重水素は、1 オングストローム間隔の周期的なポテンシャルの底に閉じこめられる。負の電荷をもつ電子が、重陽子間の正電荷同士のクーロン反発力を弱めても、1 オングストロームより近く接近するのは難しい。重水素分子は、二個の電子に囲まれて、重陽子と重陽子の間の距離は 0.7 オングストロームである。よって、核融合は全く起こらない。だから、金属中でも DD 核融合が起こることはない。」と、高橋は主張した。

40 年ほど経って、高橋は新しい「凝集体内核融合の理論」を提案している。学生時代に否定したことを、否定しているのである。このように学生時代の高橋の思い出が、常温核融合現象を否定的にしていた。しかし、吹田研同輩の池谷元伺阪大理学部教授が、追試実験をするので中性子測定を助けてほしいと言ってきたのだ。きゅうきよ、核分裂未臨界実験装置(Sub-critical nuclear reactor equipment: サブクリ)棟東はしの部屋に実験スペースを作り、池谷に提供した。彼が実験するのを見て、「電気分解は意外と簡単だ」と高橋は思った。残念ながら、中性子はバックグラウンドを越えて検出されることはなかった。今から思えば、その実験はあまりにも素朴だった。現在と比較すると、使う機器類、測定精度、解析の深さなど、あらゆる点で原始的であったということだ。

そうこうするうちに 5 月ころとなり、日・中・米三国協力研究の BeLi 実験が開始して、高橋は忙しくそれに没頭する手はずになっていた。ところが、例の天安門事件が北京で発生したのである。三国共同実験は中止となった。高橋は、急にひまになって手持ちぶさたになった。彼は、ずっと中性子実験を生業としてきた。常温核融合生起の可否は、中性子発生にあるとするのが物理学一般の見方だった。「中性子が出ているかどうか、自分の測定技術を生かして試してみるか」と追試実験に手を染めることに決めた。世の中が、常温核融合に否定ムードとなり、皆が次々と追試実験を打ち切っていたころであった。

1989 中性子の検出

中性子検出は、サブクリ棟の伝統技術である液体シンチレーター検出器の波形弁別システムを用いることにした。雑音とガンマ線信号を除いて、中性子のエネルギースペクトルを測定することができる。実は数週間して、同じ手法で、北海道大学の水野・秋本のグループが 2.45MeV の DD 中性子を検出して、常温核融合発生を確認したと、新聞一面とテレビで大きく報道された。日本では、追試の小波がぶり返した。

高橋は枚方学生時代の議論を思い出した。金属中の重水素は周期ポテンシャルに閉じ込められているので、そのままでは核融合しない。「なにか揺さぶりをかけなければならない。動的な非定常状態に持ちこむことが必要である。」と考えた。「電気分解の電流を、大電流から小電流へ、小電流から大電流へと周期的に変化させれば、パラジウム内部の重陽子が動いて反応が増えるのではないか」というのが取っ掛かりのアイデアだった。飯田敏行助手と相談して、電流 L H 運転と中性子計測の相関を測定する実験システムを作成した。土曜・日曜休みなしの実験が開始された。毎日何時間もマルチチャンネルアナライザー(マルチ)の前で中性子計数は増えないか、2.45MeV 中性子は出てないかと、電気分解の条件を変えながら実験を続けた。なかなか、有意のデータは得られなかった。根気との勝負だった。

ある日、中性子計数が増加した。2.45MeV の位置に少し盛り上がりを感じられた。やはり、DD 反応が少しは起こるのかな、と急に引き込まれてきた。データ整理してみると、やはり 2.45MeV に有意な情報が見られた。見なれない男がぬっと高橋の実験室に入ってきた。彼が問いただすと、朝日新聞の記者だと言う。なにか面白いデータがでている研究室がないかとひそかに探索していると言う。高橋はつい、最近出てきた中性子データのことをしゃべってしまった。まだ研究途中だから、新聞には載せないでと頼んだ。しかし、翌日の朝日新聞をみて驚いた。高橋が、常温核融合で中性子検出に成功、という記事が載っているではないか。たちまち方々から電話がかかってきた。他の新聞社もやってきた。フィーバーに巻き込まれてしまったのである。実験は、かくして自分で追試確認しなければならなくなった。チャンとした論文にしてジャーナルに発表しなければならない。高橋が常温核融合実験を止めることは、簡単には出来なくなったのである。結局、10 数年研究を続けることとなり、今も続けている。

1989 NTT、山口中性子を確認

イオン注入装置は、三つの部分からなりたっている。第一は、四畳半ほどの広さをもつ、鉛の厚板でおおわれた高電圧室で、山口と西岡はここを「鏡の間」とよんでいた。ここでは、分厚いドアを開けて一步を踏み入れる前にかならず「電気抜き」をしなければならない。ドアの外に立ったまま、太いアース導線を結んだ二メートルものエポナイト棒で、内部全面にわたって丁寧に触れていく。そうしないと、たまった静電気で感電することがあるのだ。

この過程がすんでやっと、中にはいる。部屋の内部全面にわたってアルミニウムでおおわれ、銀白色にかがやいている。床の中央から目の高さまで、アルミニウム合金製のドーナツ状リングを数個はめた「九輪」がのび、その上に多くの小型ガスボンベと電子回路部品をつなげたプラズマ発生器がのっている。そのプラズマ発生器から、アルミニウム合金リングを数十個はめた加速管が、壁まで水平にのびている。400keV のエネルギーを持った原子は、この加速管にむかって打ち出され、加速管中を通して部屋から出ていく。

「鏡の間」内部には、とがったものがない。すべて角度を持たないように作られている。高電圧による電場が集中して放電するのを防ぐためだ。それでも、湿度が高い時期には、高エネルギー電子が、稲妻のように放電するのだ。「鏡の間」の外から鉛入りの窓をとおしてこの光景を眺めるたびに山口は、幼いころ見たテレビ番組「タイムトンネル」を思い出していた。もっとも、一般相対性理論を学び、タイムトラベルは不可能と知ったときの失望感も、思い出すのであった。

この部屋を出たイオン化原子は、巨大な電磁石の質量分析器を通る。電磁石はイオンの走行に垂直方向に磁場を加えていたので、イオンは磁場に垂直なローレンツ力を受けて円弧をえがき曲がる。磁場を調整すると、軽イオンは大きく曲がり、重原子は小さく曲がる。こうして、選定された質量のイオンだけが走行管にたどりつく。

イオンは、さらに、この内径 10 センチメートルのイオン走行管の中を飛行し、「鏡の間」から 10 メートルほどはなれた真空室に達する。この質量分析器からイオン走行管までが、イオン注入装置の第二の部分だ。「鏡の間」のプラズマ発生器とこの部分との間には巨大な電磁エアバルブがつけられ、万一真空がやぶれてもインタロックが働いて、このバルブが瞬時にとじ、装置をまもるようになっている。ターボ分子ポンプによって真空に保たれているこの長い走行管は、何回もの地震にもずれることなく、分析精度を保ってきた。

そして、第三の部分が試料を取り付ける円筒形の真空室で、山口たちはここを「終着駅」とよんでいた。高エネルギーを得たイオン化原子は、イオン走行管の中を飛行し、この「終着駅」で試料と衝突して、試料中の原子にもぐりこむ。この「終着駅」もまた装置をまもるためのインタロックを

もっていて、真空がやぶれると、イオン走行管との間の電磁エアバルブが大きな音を立てて閉まるようになっている。もっとも二個のターボ分子ポンプと一個の拡散ポンプとを動かして、内部に強力な真空をつくり出しているこの装置のインタロックは、まちがってガスを注入するでもしないかぎり働いたことがなかった。

重水素ガスを吸蔵させたパラジウムの板三枚を「終着駅」にあるステンレス鋼の試料ホルダーにバネで注意深く取り付け、ターボ分子ポンプをまわしてから、かなり時間がたった。「終着駅」の真空度は申し分ない。

このイオン注入装置のある部屋には窓がなく、気温も 20℃ 強に保たれているので、日常感が消失する。時計を見た。午後 6 時をすぎていた。けれども腹はいっこうに減らない。少し前「鏡の間」の高電圧が突然、出なくなってしまい、山口たち二人は必死にその修理をしていたのだ。

コントロール盤からプラスチックのこげるにおいがただよっていた。高電圧発生系の元ブレーカーを遮断し、二人でにおいの出所をかぎまわった。メインアンプからだ。アンプのふたをあけると、特大のコンデンサが煙をあげていた。何とか取り替えなければ実験が継続できない。山口たちは不要なアンプをばらして、かわりとなるコンデンサを探しつづけた。

そのときだった。

ピー。

単一周波数の不快な警報音がなった。中性子カウンタがうなりをあげているのだ。

「あっ、核融合が起きた！」

山口は叫んで、コントロール盤につっこんでいた頭をあげた。したたかに、後頭部をイオン走行管にぶつけた。痛みを味わっている暇がなかった。

ジュボッ、

グワバッ。

装置の二ヵ所で腹にひびく音がした。何だ？ 何の音だ？

「終着駅」とイオン走行管とそして「鏡の間」とを隔絶するための二つのインタロックが作動した瞬間のドスのきいた音を、山口はすっかり忘れてしまっていた。



福岡の小学生時代の山口栄一、



1989 山口常温核融合を知る

山口が常温核融合を初めて知ったのは、大学時代友人の本宮利郎からであった。その時のことを山口はきわめて印象的におぼえている。1989 年春のことであった。ちょうど桜が満開を終えて、散り

始めるころであった。桜の花びらが井の頭公園の池を埋めつくしていた。池のほとりのベンチに座ったとき、利朗は、ふと思い出したように言った。

「コールド・フュージョンって知っているかい」

「なんだい、それ」

「相変わらず、新聞を見てないね。この憂き世でも、すこしは気をひくことがときたまおこるんだぜ。日本語にすると、低温核融合か、それとも常温核融合かな。ユタの二人の電気化学者が『重水の電気分解中に核融合が起きた』と発表したのさ。全くアメリカ人というのはとてつもないことを考えつくもんだよ。もし、本当なら今世紀最大の発見になるんじゃないかな」

「重水の電気分解？重水って、重水素と酸素の化合物の？」

「そう、重水は、海水や飲み水中にも数千分の一ほど含まれている比較的ありふれたものさ」

「確か水素原子には、普通の水素、重水素、三重水素の三つの同位体があって、原子核中の陽子の数はどれも一個だけれど、中性子の数がそれぞれ、0個、一個、二個とちがうだったよな。そうそう、重水素原子は水素元素の二倍の質量をもっていて、水素原子と同じ安定同位体元素だったっけ」

「追々、物理の専門家が、そんなあたりまえのことをきくなよな」

「いや、面目ない。固体物理のたこつぼ世界にどっぷりとつかっていると、その種の知識は、高校時代の知識をまさぐるしかないんだ。それで？」

「その重水を電気分解するわけだ。中学生の時水の電気分解を実験しただろう。あれと同じだよ。重水にほんのちょっと電解液を入れて、電極の二本つつこみ、その間に電圧を数ボルトかける。すると、重水の分子が電気分解されて、プラスの電極からは酸素が発生する。マイナスの電極から、重水素が発生する。かれらのやったのは、この中学生実験で、マイナスの電極としてパラジウムという金属を使っただけさ」

「パラジウム。ああ、水素を吸蔵する貴金属だね。それなら、山口たちも水素を純化するときにしゅっちゅう使っている。あらゆる原子の中でもっとも小さい水素だけを中に吸収し、通過させて、それ以外のガスは中への侵入を拒むんだよな。そうか。もし、パラジウムをマイナスの電極として使えば、電気分解で発生した重水素がどんどん電極の中に吸収されるわけか。なかなかアイデアだね」

利朗は、嘆息しながら、

「そんなことで、感心するなよ。金属中の水素の挙動を研究している物理学者や化学者は、世の中にたくさんいて、電気分解で水素をパラジウム中に貯蔵しようという試みは昔からあたりまえの方法なんだ。なにせ、水素は石油とちがって、燃やしても二酸化炭素を出さないからね。もっともクリーンなエネルギー源というわけだ」といいながら、さらに説明を続けた。

「問題は、そこからだよ。二人の電気化学者、フライシュマンとボンズは、そのあたりまえのことをやっているときに、猛烈な発熱を見た。ついには電極が溶けてしまった、と報告した。そしてこの熱発生が重水素同士の核融合反応によるものではないかと主張したんだ」

「ふーん」と山口は、またもやうっかりあいづちをうってしまった。「なるほど」

利朗は、全くもってあきれた顔をして、こう言った。

「おまえも、しあわせなやつだよ。ばかっているとは思わないかい」

「うん？」

山口の間のぬけた答え方に、利朗がふっとため息をのむのがわかった。

「もういいよ。こんな話題を持ち出したおれが悪かった。あーあ。おまえは、いつまでたっても純だね。この手のほら話というのは、欧米にはいやというほどあるんだ。日本人というのは、全くうぶだからいけない。300年ばかり経験不足なんだよ。おれたちってというのは」

「ほら話って？」

「たとえば、こんな話がある。テスラって知っているだろう」

「もちろん。有名な物理学者だ。磁力の強さの単位にもなっている」

「彼は、今世紀の初めに、無線によって電力を送ることに成功した、と発表した。損失もなしに、だ」

「信じられない」

「ほかにもある。やはり、今世紀の最初、N線という新しい放射線を発見した、とフランス人物理学者のブロンローが発表した」

「N線で何の略だい？」

「ヌーボーのつもりだろう。でも、彼としては自分の大学のある街ナンシーを記念したかったんだ

ろうね。ちょうどX線が発見されたころだ。しかしX線とはちがってこれは、人間からも放射されるという。しかもこの放射は、大きい音を立てると消えるんだ」

「ほんとうかよ」

「ああ、ほかにもまだあるぞ。ソ連人が『発見』し、世界中の研究機関が追試に『成功』した新種の水、ポリウオータ」

「なんだ。それ」

「不凍液のように凍りにくく、油のように沸騰しにくい」

「凝固点降下と、沸点上昇か。単に塩でもはいっているだけじゃないのかい？」

「よくわかったね。そのとおり。結局わずかな不純物がはいっているだけだった。でも、同じ水でもこっちはすごいぞ。フランス人が『発見』した、記憶をもつ水」

「おいおい。人をおちょくるのもいいかげんにしろ」

「おちょくってなんかいないさ。去年、ネイチャー(Nature)誌に出ていたよ。ある生物学的活性物質を水に加える。そして、その物質が絶対に見つからなくなるまで十分にうすめる。ところがそのあと水は、その活性物質を含まないにもかかわらず、生物活性を保持していたんだ。病気の治癒効果をもっていたのさ。この記憶をもつ水にいたっては、今でも真偽論争が続いている」

「...」

「だから、さ。本気で競争しあって、だましあって、経験を積んで、— そうして、大人になんなくちゃダメなんだ。なにせ、やつらは錬金術の時代から出発して、泥沼の中から科学を創りあげてきたんだぜ」

「...」

「もう、おれは帰る。日本にいと根性がくさるよ。じゃあまたな」

そうまくしたてたかと思うと、さっさと本当に山口の前を去って行ってしまった。

ああ、せっかちな奴だと山口は思った。

大学を卒業したときもそうだった。地球物理の大学院に入ったかと思うと、おれはアメリカに行く、— といってあつという間に結婚し、さっさと山口たちの前から去って行った。

池のほとりでは、そこかしこで、花見の宴が始まろうとしていた。

1989 山口、試料の異常発熱

「おーい、どうした。大丈夫かあ」

「鏡の間」のドアから顔を出してどなる西岡の声に、昔を思い出していた山口は現在に引き戻された。試料ホルダーを静かにおろし、実験台の上にのせた。驚くべきことに、三枚の試料とも表面の金の黄金色が消失していた。しかも、いずれも刺身の小皿のようにまがっていた。金の面が縮んだのか、それとも裏面がのびたのか。山口は、ビニロンの手袋を再びつけ、試料ホルダーをつかんだ。

「熱い！」

なんと、ステンレスブロックの試料ホルダー全体が摂氏 100 度以上にまで熱せられていたのだ。山口は、きれいにまがった試料の一枚一枚を注意深くとりはずし、西岡を呼んだ。

「私は大丈夫です。それよりもこちらに急いで来てみてください」

西岡がころげるようにやって来た。そして試料ホルダーをつかんで、

「ヒータのスイッチを入れていたのか？」

「いいえ、入れていません。過剰熱の発生ですよ。この大きなステンレスホルダーを 80 度以上温めてしまうほどのね。ほら、この試料を見てください」

「なんだ、これ。全部きれいにひんまがって。それに金色が消えている ...」

「ええ、熱で金がパラジウムに溶けこんでしまったんです。合金化しちゃってんですよ」 あとで、ただのパラジウムに金を蒸着して温めてみると、およそ摂氏 800 度で同様の合金化反応が起こることを、山口たちは確かめた。したがって、中性子が爆発的に発生して、吸蔵されていた重水素ガスがすべて外に出てしまったとき、それと同時に、試料を三枚とも 800 度以上にまで温めるような熱が発生したのだ。試料がまがったのもそれと同時にだったにちがいない。もしそれが核融合反応によって生じた熱ならば、山口は「常温核融合」でやけどをした、世界ではじめての人間というわけだ。山口たちは、しばらくおし黙っていた。

「もう一度、やってみよう」

ぼつりと西岡が言った。

「そうですね。この『終着駅』で重水素を吸蔵させてみましょう。でも、その前に中性子カウンタが誤作動してないことを確かめなくては」

「そうだね。コンデンサを探そう」

一時間後ようやく、壊れたアンプのものと、ほとんど同じ型のコンデンサを机の奥から見つけ、ハンダでそれを取り付けた。イオン注入装置の高電圧部は復活し、10万ボルトまで可能となった。そこで、山口たちは再び試料ホルダーにセットし、それを「終着駅」に装着してターボ分子ポンプをまわした。

重水素を全部吐き出してしまったパラジウムに、100キロ電子ボルトの重水素イオンを注入した。通常の dd 核融合による、いつもの中性子が発生しはじめた。しかし、その量は先ほどの異常現象のときの 50 分の 1 ほどだった。中性子カウンタはまちがいに壊れていない。そこで、ただちに高電圧系をダウンさせて重水素ガスのバルブを開いた。再度吸蔵開始だ。あとは、一日待つしかない。

すでに 9 時をすぎていた。車で、近くのレストランに出かけた。ウィークデイの夜だというのに、そのステーキレストランは若者でいっぱいだった。

「いったい何が起きたんだろうね」と西岡が口を開いた。山口には、一つの仮説ができあがっていた。

「試料が全部まがっていただでしょう。とてもきれいにね。あれがヒントだと思います」

「確か、金の側が縮んでいたんだよね。金とパラジウムの合金反応のせいかな」

「その可能性もあります。しかしもう一つの可能性の方が説明しやすいですよ」

「もう一つの可能性って」

「パラジウム板の裏面に黄色い汚れがついていただでしょう。ヒータを押しつけたときにヒータの汚れがついたんですよ。あれって、きつとなんらかの金属の酸化物だと思うんです。だから、金の側が縮んだのではなくて、この酸化膜側が伸びたんだと思うんです」

「どうして？」

「この酸化膜は、重水素の逃亡を妨げる障壁の役割をするんじゃないでしょうか。我々がむかし研究していた MOS 電界効果トランジスタのようにね」

「えっ、よくわからない」

山口は、図 4 のような絵を描いた。

「まず重要な事実、試料の中に吸蔵されていた重水素ガスが一挙に噴き出してしまったことです」

「ひさしぶりに、インタロックが作動する轟音を聞いたな」

「ほんとですね。いったいどちらの面から噴き出したのでしょうか」

「どちらの面？そうか。試料の片面は、金のコーティングがつけてある。もう片面は、汚れだけがついている」

「そうです。この金の膜はパラジウム板から出ていこうとする重水素を通すでしょうか」

「いや。金は、完全に重水素の通り抜けをブロックするだろう。ということは、重水素ガスは『汚れ』の面から噴き出したことになるな」

「ね、そうでしょう。するとその爆発的放出の寸前には『汚れ』つまり酸化膜側に重水素原子の強い蓄積が生じていなくてはなりません」

「そうか。あの異常現象の直前には、酸化膜近傍のパラジウム中に、重水素原子がたくさん溜った二次元層ができていたことになるな」

「そうなんです。いったい、どうやってそんな奇妙な重水素の移動が起きたのかは、後から考えることにしましょう。とにかく、その表面近傍が局所的に満員電車ようになってしまったので、酸化膜側が強引に引きのばされたんですよ」

「なるほど、合理的だ。しかし、真空引きした結果おこる重水素の外方拡散では、そんな奇妙な移動は起きないぜ。拡散というのは、あくまで濃度の高い方から低い方に粒子が流れることだ。拡散過程によって、表面に濃度の高い層ができることなどあり得ない」

「その通りです。だから、何らかの外力が作用したにちがいない」

「外力。外からの力かい？」

「ええ。パラジウム中の重水素を輸送させようとするには、三つの方法があるんです。ひとつは、

電場をかけて動かす。重水素原子は、パラジウム原子の隙間にいて、プラスのイオンになっているからです。重水素原子は、プラスの極からマイナスの極にむかって強制的に移動する。ふたつめは、温度の勾配をつけてやる。重水素原子は、温められた方から冷えた方に動こうとする」

「熱輸送という現象だな。しかし、どちらもこの場合には考えにくいな。電流を入れたわけでもなければ、試料をヒータで温めたわけでもない」

「そうなんです。だから三番め、つまり歪み場の効果だというのが、もっとも考えやすいと、私は思う」

「歪み場？ なんだい、それは」

「電子物性屋には、あまりなじみのない言葉ですが、ゴルスキー効果というものがあるんです。金属中の水素原子は、歪みの強い場から弱い場にむかって移動する性質があるらしいのです。そんな歪み場が水素の吸蔵中にたまたまできてしまった。そして、その歪み場のせいで重水素が一方方向に移動し、パラジウムの酸化表面側に、重水素の弱いふきだまり層がたまたまできた」

「それで？」

「そこからが重要なポイントです。パラジウム板の一表面だけに重水素の蓄層がおこると、パラジウムのその表面は耐えきれなくなって原子間隔を広げる。つまり伸びるわけです。そして、この図みたいにパラジウムの板は湾曲する。すると、重水素の、この酸化膜面に向かう流れは促進される。ちょうど水を含ませたスポンジを曲げたときのように」

「なるほど。そしてさらにこの表面の重水素濃度が増えるというわけか」

「それだけではない。その表面の重水素濃度が増えると、ますます板は曲がる。板が曲がると、パラジウム中の重水素の流れはさらに加速されて、表面の重水素濃度が増える。いたちごっこです」

「そして、ついにはこの酸化膜面だけ重水素の過飽和状態になって、『常温核融合』を引き起こしたというわけだね。非線形の協同現象だな」と、西岡は下の図の上面を指した。

「やっぱり、『常温核融合』は本当の現象なんですよ。そして、イオン注入というヒョウタンから、全く偶然にそれを実現する新しいコマを見つけたんですね」

山口らは、やっと自身たちの新発見をはじめて自覚し、改めて興奮した。フライシュマンらとは全く別の方法を用いて、新しい現象に到達したのだ。

翌日、眠れなかった目をこすりながら、再現実験に取り組んだ。「終着駅」にためていた重水素を真空引きし、中性子の発生を二度観測した。まちがいない。山口たちは、この発見の詳細を材料物性県研究部長に報告した。今まで正式プロジェクトではなくおこなってきたこの研究の重要性を看破した彼は、ただちにイオン注入装置の「返納」処置の二ヶ月延長を決定した。山口たち二人は、新しいパラジウム板を用いて何度も何度も同じ実験を試みた。

しかし、二度と火神プロメテウスはほほえむことがなかった。

ついにデカブツが取りこわされる日がやってきた。たった一日で産業廃棄物と化した。本来ならば、再現されないかぎり科学ではない。だから論文を出して発表することは、研究者の矜持に反する。しかし、あの7月4日の事実とはとてつもなく異常なことだ。ずいぶん悩んだあげく、「再現されなかった」ということを明記したうえで、これを実験レポートとして1990年春の応用物理学会誌で報告し、JJAP誌上で発表することにした。すでに「フライシュマンらの結果はデマだ」という多数派の意見が学会を占め、この発表に注目する人は一人もいなかった。ついには、尊敬していた原子核物理学者である有馬朗人・東京大学学長がこういった、という記事が雑誌をにぎわし、山口たちを意気消沈させた。

「もし、『常温核融合』が真の科学的現象ならば、私は大学をやめて坊主になる」

以上が1989年7月4日午後6時32分に、山口と西岡の目の前で起きた事象とその発見をめぐる山口自身の記録だ。

山口は、「そのこと」を見た人間として、そしてその異常な熱発生でやけどをしたはじめての人間として、この事象を学会に報告する必要があると思った。そこでそれを、Japanese Journal of Applied physics, Vol. 29, L666(1990)に発表した。しかし、「そのこと」があまりにも科学的常識に反しているため、語り足りない多くのことが残った。

山口には、あの異常な発熱が核反応によるものかどうか、まだ確言できない。けれどもその謎解きには、まぎれもなく「夢」がある。一生のうちに一瞬でもそんな夢と格闘できればよい、山口はそう思うのだ。だからもっと若くて元気にあふれた人々も、勇気を出してこの新しい分野に足を踏み

入れてもらいたい、と山口は願うのである。

その後山口は本意ではなかったが、NTT を出向し、21 世紀研究所に入った。ここでは彼は直接常温核融合の研究から手を引かざるを得なかった。この間彼は NHE 研究に加わり、自身の中性子発生とヘリウムの検出に大変な努力を重ねたのであった。NHE 研究の終了と同時に自身の金を使って実験装置すべてを買い取ったのであった。ただし、装置を設置できるところが無いために、研究をしたくても全く不可能であった。こういうところに常温核融合を取り巻く状況の困難さがはっきり現れる。日本の常温核融合研究の第 1 人者を全く埋もれさせてしまっているのだ。なにをかいわんやである。

山口はそれでも 21 世紀研究所において、持ち前のがんばりとあふれる才能を見せて、多くの実績と、豊富な人脈を築いたのであった。決してこれからの彼の研究にとって無駄にはならないだろう。その後山口は河合、関島、森らと共に POWDEC という会社を設立した。ここは窒化ガリウム(GaN)半導体エピ基板の開発製造を行う会社であった。窒化ガリウム系 (GaN) 半導体は、青色、緑色発光ダイオード、紫色レーザ、紫外線センサ、超高周波パワートランジスタ、高効率電力変換素子、耐環境素子など 21 世紀の高度情報化社会に必須となる半導体材料である。また、窒化ガリウム(GaN)は無毒で、従来の化合物半導体のかわりとなると期待されている。パウデックは、この GaN 系半導体素子基板の開発、および生産を通じて、21 世紀社会のインフラストラクチャ構築に貢献しようと考えている。ここに山口の意気込みが見える。もちろん山口は常温核融合研究を諦めてはいない。いつでも会議には出てくるし、いまだに多くの研究者とは連絡があるのだ。

1989 岩手大学、山田の常温核融合研究

岩手大学の山田にも転機となる 1989 年 3 月がやってきた。「電気分解で核融合、そんなばかな」が、山田が新聞を読んだ第一印象だった。山田は 1947 年 7 月 27 日(昭和 22 年)に仙台市の西部に生まれた。戦災で焼け出された 22 軒が山林を開墾したところだ。ここは現在では仙台市の郊外の住宅地に発展しているが、当時は生田(おいで)村という全くの山村で、周囲を緑に囲まれた素晴らしい田舎だった。よく熊が出た。小学校に入る直前に電気がやっと使えるようになった。ここで山を越えて小・中学校に通った。この時代の田舎は、塾も参考書もない。しかし、ここは仙台の僻地ながら、東北大学教育学部を出たばかりで、やる気に満ちた若手の先生がよく赴任してきていた。そのため、家庭学習はほとんどやらなくても子供の学習意欲は比較的高かった。ここで山田は運良く本が好きになった。内容は一般の子供が好きなアラビアンナイトから岩窟王のようなたわいのないものだ。理系のものも少しは読んだのだが記憶していない。

不思議なことに小学校の初めのころには大人になったら理系に進もうと決めていた。その原因はよくわからない。小学校時代には勉強に追われることなく、学校では本を借り、下校途中では山で遊んだことはその後の生き方の出発点になっている。読書のお陰で子供の頃は物知り少年だった。このようなところでは高校の進学といっても工業高校、商業高校、農業高校に進むのが一般だが、山田は珍しく仙台一高という進学校に進んだ。通学には徒歩、バス、自転車と乗り継いで小 1 時間以上かかったが、そこが普通高校では一番近かったのである。高校受験のためには中学 3 年生の 1 年間だけはまともに勉強した。それでも英語は辞書も使ったこともないうちに高校に入ってしまった。当然、高校ではビリの方で夏休みは強制課外を受講させられた。英語の不出来は今でも克服できていない。

山田が、理系でも実用から離れた、どちらかと言えば自然界の奥をのぞくようなことに興味をもつようになったのは、家庭環境の影響もあるかもしれない。彼が生まれる前後の期間、父は三菱大夕張炭鉱におり、労働運動で世話役をやったことからレッドパージを受けた。そのとき、生田村の家には母だけではなく、父の兄弟姉妹と祖母がいた。そこに職を失い病になった父が戻った。住んでいた家は山田が高校を終えるまで使ったが、質も大きさもとて家といえるようなものではなかった。貧乏と家族の混乱で彼は 1 歳のときに母と生き別れている。物心の付いていなかった山田はその記憶がないし、どこの家も似たように貧しかったので、貧乏は気にならなかった。ただし、どこか他の子供と違い要領が悪い子供になっていることに気づいていた。自然と隠者生活にあこがれる気質が養われていったようだ。

よくないことに高校では勉強しなかった。やる気があったが、都会の受験校のペースに付いていけないで、自分のペース作りに失敗してしまった感じだ。高校卒業後は東京に出て零細企業で働いた。溶鉱炉のそばでガラス器を作る仕事は地獄に近いものだった。学力は落ちて、子供の頃から夢

見た大学はとても遠くに感じた。結果的には北大に進学できた。しかし、大学進学後もこりずに不勉強だったのだから言い訳無用だ。学生寮の典型的悪い学生になっていたのだ。

このように山田は自嘲気味に自身を振り返る。しかし見方を変えればこれは現在の山田の反骨ともいえる精神を養っていったといえる。現在このような学生はほとんどいない。よく言えば物わりの良い争いを好まない素直な人間ばかり。悪くいえば体制順応の気骨のない、学生ばかりが多い大学になってしまっている。

学部の研究室は中谷宇吉郎の流れをくむ雪氷研究の東研究室を選んだ。今となって考えると、氷は工学から遠く、隠者に向けたテーマに思えた。研究室の好みがはっきりしていたわけではない。学部時代の不勉強がたた、大学院は受験負担の少ない電気工学科になってしまった。その頃には少しは理工学がわかり、無理して難しい学科に進まなくても、面白い分野はどの学科でもある、と考えるようになった。電気工学科では博士課程まで進み、絶縁物の電気破壊現象をやった。指導教官が工学にも理学にもあまり熱意がなかったため、独りで勝手に研究を進めなくてはならなかった。独りでゼロからやったことがある、という経験のため研究テーマを固体内核反応に変えるときにはほとんど抵抗がなかった。

博士4年のとき(1年余計かかっていた)フランスの国際会議で会った岩手大学の佐藤淳教授(彼の前任)に「お前はロマンがあり今どき珍しい」という理由で岩手大学に職を得た。佐藤は東北大卒だったが、周囲の似たように出来の良い教員に飽きていたようだ。岩手大学に来てからも大学院時代の研究を続けながら面白いものをねらっていた。

そのうち、それまでの研究を売り込んで、MITに安給料で2年間だけ雇ってもらった。MITの研究室では日本人の研究者と仲良くなってしまったこともあり、英会話は相変わらず上達しなかった。しかし、ノーベル賞をもらう直前の利根川研究室など高名な研究者がいる研究室を何度か訪ねることができた。研究もさることながらMITの講義の素晴らしさが特に印象的だったようだ。発表方法の重要性、人間の知識の限界をよく見極めることの重要性、不可能を安易に認めない、など得るところの多い2年間だったと語っている。MITの滞在経験も少なからず、固体内核反応の研究に踏み込むときの後押しになっていたようだ。

そしてCFの研究者のだれにも転機となった1989年の3月23日のことだ。電気分解で核融合、信じられない、山田が新聞を読んだ第一印象だ。しかし、その数日後に、CFの可能性は否定できないと思うようになっていた。そう思った理由は山田自身良くわからないでいる。この判断は、それまでの経験と、自身の自然観から出てきたようだ。

現在彼のその認識は確信に変わっている。その後、山田が行った情報の収集は、彼自身の直感の確認をするためだった。1989年以前の重水素化パラジウムを空気銃弾で衝撃すると中性子が出た話などは起こりそうに思えた。また、すぐに世界各地で行われた実験結果は、たとえ各々は信頼不足であっても、総合的には山田に何か変だと思わせるのに十分だった。

上司の佐藤教授にCFをやることを宣言した。佐藤教授はすぐに賛成してくれた。もっとも、反対しても止めることはない山田の性格がわかっていたからだ。電気電子工学科の学生を引き込むことには抵抗があった。しかし、電気電子工学全体の研究を見ても夢のあるものはほとんどない。もう電気電子工学という名前にとらわれていては、よい研究ができる時代でないことは明らかだ。この判断は今となって正しいものだった。小さいながらも日本では初めて研究室丸ごと固体内核反応を旗印にする研究室が、しかも電気電子工学科に、できたことは意味があると思う。

核物理の専門家ではないので勉強することが山ほどあるが、近くに専門の先生はいない。研究室丸ごとといってもお金もスペースも満足ではない。無い無いづくしだ。学生がいれば助けにはなるが、多ければテーマ作りも楽ではない。そのため実験手法の多くは他の研究者からの借り物で始めなくてはならなかった。独自に近い手法は唯一ガス放電法だろうか。この手法での研究発表は(もうCF研究を止めた)名古屋大学の和田教授が最初だが、山田は針パラジウムの吸蔵効率を上げる目的で、当初から高電圧を加えて似たような状況で実験を進めていた。

この研究で初めて顔がわかったのが水野だ。以前から名前だけは知っていた。また、MITのHagelsteinはMITにいたことは知っていた。彼のボスがいた隣の教授のところによく顔を出していた。名古屋のICCF3の帰りに地下鉄駅で「MITから来たのか」と聞いて胸のカードを見たら、既に有名になっていたHagelsteinとわかったそうだ。このようなことも、見えない糸でCFに引かれた思いを彼にもたせているようだ。

山田の独自の放電法

当然の事ながら山田には十分な資金や機材もなく、また有り余る人員がいるわけではない。その彼が他のだれにも出来ない、オリジナルな研究で、学生にも十分なテーマを考えるという、大変矛盾した困難な常温核融合に手を出すとすれば、自ら限定されてしまう。山田は見事にその困難な問題を解決していったのだ。

常温核融合で起こる反応はきわめて他種類にわたる。中でも核的な反応の決め手は放射線と生成物である。といってもこれはだれでもできることではない。じゅうぶんな準備と経験が必要な分野である。山田は自分の研究を謙遜して、金と能力がないから、印画紙を使った実験にしたなどといったものが、そんな簡単なものでは決してないのである。

細いパラジウムの線を小さいセルの中にセットする。不純物に神経を使う場面だ。それが終わると真空に引き、重水素ガスを満たす。これまた真空装置と、反応しやすく漏れやすい水素を相手にいやになるほど苦労する。セルの回りに、印画紙を配置するのだが、これもまた、保存と取り扱いに神経をすり減らす。温度を一定にし、よけいな荷電粒子、宇宙線からの影響を取り除かなければならない。やっとそれが終わり、いよいよ放電実験の始まりである。

どの程度の電圧を加えるのか。針電極の間の距離はどうするのか。どのくらい時間をかけるのか。このようなパラメーターをすべてクリアーして始めて望むエックス線のこんせきが得られるのだ。どのような実験でも簡単なものは一つもないのである。

山田は語る。今思い返すと、ポンズ、フライシュマンとジョーンズといった、2グループが並行して別個に研究を進めていたので、信頼できる研究ではないかと考えたのだ。また、何人かの化学者の間では、電解にともなう異常発熱現象が、かなり知られた現象であったのだ。研究継続の支えとなった CFP に関する山田の象徴的な体験を幾つか記してみよう。

多分、多くの CF 研究者は、今でもパラジウムからのバースト状中性子放出を信用していないと思う。放電法を考えた理由は、電界顕微鏡(イオン・ミューラ顕微鏡)の原理にあった。パラジウム針電極を作り、2気圧程度の重水素中で、針を負電極と平板電極の距離を 15mm 程度にして、電圧 4.5kV を加え、1 日程度保つ。電界顕微鏡は、ファインマン物理学の第 3 巻(岩波)に記述しているように、顕微鏡の倍率を高めるために、針側が正電極になっている。

しかし、山田は当初、パラジウムの重水素吸蔵率を高めることが目的だったので、パラジウム針は負にした。こうすると針先端の高電界領域において、重水素は電離して d^+ となり、負のパラジウム電極に引き寄せられ、短時間に吸蔵率が上ると期待したのだ。この手法は、ICCF3 の山田の Proceedings に書いてあるが、重水素の吸蔵率を増すためとは、書いていない。この手法で、はたして吸蔵率が上るのか、あまり自信がなかったためだ。山田は電界中で吸蔵率が上るのは、Preparata effects と同じと考えている。Preparata は、いつそのことに気づいて、彼自身の名前を冠したのか興味を持っている。山田等は 1991 年にすでにこの手法を使い、学生の修士論文としてまとめている。

ところで電界顕微鏡のように、電界効果を出すために、針先端を細くとがらせる必要がある。電界顕微鏡に使うタングステン線では、これが容易である。しかし、山田等が使った直径 0.3 と 0.5mm のパラジウム線では難しかった。それが、この手法で吸蔵率が上るかどうかが疑問に思っていた理由である。針先端を十分に鋭くとがらせることができなかったので、電圧を上げることにしたのだ。電圧をかけていくとある電圧で火花放電が起こり始める。平板電極側に大きい抵抗が入っていると、一時的に火花放電はやむ。放電がやんだら電圧を少し下げ、火花放電直前の電圧を 24 時間かけ続けた。1991 年当時は He-3 中性子計測器しか持っておらず、この時はバックグランドは 1 時間当たり 8 カウント程度だった。

そのようなことを続けていた、ある時、火花放電が起きたので、少し電圧を下げると、とたんに中性子のバーストが起きた。瞬時にその数はバックグランドの 9 万倍まで増えた。山田は、ノイズではないかと、次に重水素を取り除き、軽水素を入れて同じ実験を行ったが、バックグランドを越える中性子は出なかったのである。さらに軽水素のセルでは、観測用の窓から、内部をのぞきながら、火花放電直前のコロナ放電まで起こしてみた。周囲を暗くすると、かなり激しいコロナ放電であったが、中性子が観測されることはなかった。コロナを起こすような放電でもノイズの影響はないことがわかったのだ。ただし、重水素でもバースト状の過剰中性子がみられたのは、1本の特定のパラジウム線から作ったパラジウム針電極を使った場合だけだった。しかし、なぜ、このロットから作ったパラジウム針だけが中性子バーストを起こすのかはいまだに不明なのだ。もとのロットに原

因があるのか、たまたま Pd 針の最適な前処理を運良く行っていたにすぎなかったのか今でも山田にもわからない。

次に低圧力下グロー放によるガンマ線検出実験に移った。ガンマ線は当初 MeV オーダーのエネルギー領域を測定しようとしていたのだが、実際検出したのは 50~230keV の数種類であった。これも現在まで重水素ガス中の実験でしか検出されていない。

苦労と意思

この放電実験をやっていたころは、周囲の主として物理研究者による嫌がらせとも思われるようなことがあった。学生が行っている研究を大学院の講義中に発表させ、回答に窮するような質問を浴びせて、嘲笑するようなことが頻繁に起きたのだ。ガンマ線は再現性良く、必ず検出できた時期でもなく、いわんや、初めから常温核融合に対して、回りから先入観を植え付けられているので、CF 研究の意義に疑問を抱きはじめるのは当然だ。さらに学生同士は、正確な情報もなく、よく話合うので研究室の全員が、研究に対する不信感をつのらせていった。山田は実験によって何とかこの CF 研究が重要で、高い価値をもつことを学生に示したいと考えた。高温超電導体をマイスナー効果で目に見える形で示すように、CF の結果を直接的で簡単に示す方法はないか、と考えたのだ。

山田の結論はオートラジオグラフィーであった。これは放射線を印画紙で感光させる方法である。IS0400 の一般用白黒フィルムを増感現像して使うことにした。レントゲンは一般のフィルムを使って偶然に X 線を発見した。X 線の検出であっても、特殊な X 線フィルムでなくてもできると考えた。しばらく放電後の Pd に印画紙をくっつけて、実験を続けていると、ある時、Pd で放電している最中にかかなり大きなカウント数のガンマ線が観測された。山田はその時 SIMS を使いはじめていたころであった。放電実験終了後、すぐに試料を SIMS で調べようとした。SIMS は計測時に高い真空度が必要である。ガンマ線の検出された Pd は、重水素ガスが残っていて、1 時間以上 SIMS の前室でガス抜きを行っても、真空度が上らなかった。そこで SIMS 測定を切り上げて、オートラジオグラフィーの測定を行った。

池上のレビューには、インドの研究者が電解後のチタン電極でオートラジオグラフィーを行った時、ガンマ線がチタン原子の K 殻電子を刺激し、X 線を放出し、フィルムを感光させたという記述があった。山田はこれを思い出し、Pd をアルミ箔で包み、これを厚さ 0.1mm のチタン板に張り付け、フィルムを入れた厚手の遮光ビニル袋の上に重ねたのだ。チタン板を挟んで Pd とフィルムは互いに反対側にある。Fusion Tech. にはその配置図が載せてある。その結果、チタン板とビニルを貫通する放射線が出たことがわかったのだ。山田は驚き、もう一度同じ配置でオートラジオグラフィーを行ったが、今度はなぜかフィルムに像はなかった。しかし、チタン板を省くと、まだ放射線は印画紙を感光させるほど十分に強く、像が得られたのである。

このような測定を続けていくと、数日すると直接フィルムの上にアルミ箔で包んだ Pd を置いても、像は得られなくなった。山田は数日の半減期をもつ放射性元素が作られたか、揮発性ガスの放射性元素が作られたと予想したのである。ただし、このような貫通力の強い放射線が見られたのはこの Pd だけであった。いずれにせよ、まれにはあっても非常に強い放射性物質が作られることがわかった。運のよいことに、この一連の実験は Pd の履歴を詳しく調べていて、写真現像などの処理は山田自ら行っていた。このようなデータの集積によって、山田は常温核融合現象の存在に大きな確信を得たのであった。

1989 東工大、沼田と常温核融合

沼田が生まれたのは、1948 年、昭和 23 年で、まだ戦争の傷跡があちこちにあり、戦後復興もままならないころであった。彼が育ったのは、企業城下町として有名な茨城県日立市であった。愛知県豊田市、長崎県長崎市、三重県四日市市などと同じく、日本には良くある、典型的な大企業中心として成り立っている街であった。現在では東京からでも小 1 時間程度で行けるが、当時は列車本数も少なく、東京まで行くのは一日仕事であった。企業城下町として、住民はある意味親しみをこめて、日立製作所を日製さんと呼び、親会社に納める部品を夜遅くまで、油まみれになって作る姿を見ることができた工都であった。

沼田方が幼い時代にあった出来事を語ることがある。町内に、通称ごみ焼き場という市営の焼却場があり(昭和 30 年代で人口 19 万都市)、その焼却後の灰や燃え残りの金属、ガラス、未燃焼のプラスチックを低まったところに廃棄していた、崖のようになったところがあった。テレビも普及

していなかった時代だが、学校帰りに、今でいう東京湾夢の島のようなところで遊ぶことが良くあった。時々小規模な自然発火があり、消防車が水をかけたりしていた。

ある年の梅雨時、連続して雨が降るときがあった。この人工的なごみの山が土砂崩れのように大変な規模で一気に下に流れ、不運にも、ふもとに住んでいた2家族のうち、家にいた子供だけが、この土砂に巻き込まれ死亡したのであった。木肌がえぐりとられ、なぎ倒された松の大木を目の当たりにして、土砂崩れの巨大なエネルギーを感じた。事故現場に行き、自分たちが、まかり間違えば巻き込まれたかもしれないことなど思いもしなかったのは単に幼かったせいだろう。今になって自然界の力のすさまじさに身をつまされる思いをするそうである。

ゴミ山の崖のふもとには、田んぼが広がり泉(湧き水)が噴水のようになって湧き出ており、その周りに底の抜けた風呂桶を置き、飲料用井戸として使っていた。井戸端から身を乗り出し、水の中に顔を突っ込むと、地中から泉が吹き出ているので、底の砂が舞うのを飽きもせず見たことや、のどが渴いたらその水を飲んでいてことをいまだに思い出すのである。

当時の子供の日常生活は、遊ぶ中で四季の移り変わりを通して自然がより身近に感じられて、雪の野山、真夏の海が身近であった。そして、当時の子供たちが、幸運であったのは、自然の脅威、美しさ、不思議さをじかに感じる事が出来たということだ。このような環境は、いわば生きた教育であり、それが子供の時期に体験したことに、大きな意味があると思われる。つまり、巨大なエネルギーを実感としてもつことが出来たこと、池の表面に広がる波紋から波の形態をイメージとして持つこと、流体の中に生まれる渦、湧き出しを観察することが出来たことで、不可解なサイエンスの問題に直面した時、さまざまな解決策を発想するもつを持っていることになるからだ。

沼田の育った町は、戦後の高度成長期を支えた2つの大企業の日立製作所と日本鋳業(現ジャパンエナジーと日鋳金属)の発祥の地だ。物心がついて、小学校低学年の時は、銅精錬所の廃棄物のカラミと呼ぶ真っ黒な人口の砂山や遊水池が遊び場であり、大人になったら工場で、菜っ葉服を着て働くことに違和感をおぼえなかった。日製(日立製作所)と呼ぶ親会社に納める部品を夜遅くまで、油まみれになってせっせと作っている後ろ姿を見かける工都だった。ここでは、普通に、新進の気性や、工夫していい仕事をする(報われないのだが)という雰囲気があった。今で言うところの、もの作りの大切さであり、面白さである。

このような企業城下町は日本のどこでも見られ、それなりに多くの国民が生き甲斐を見だし、また自分が日本を支えているのだという、強い自負が持っていたのであった。ごく普通に、街の工員が自分で工夫し、新しいものを作り出す新進の気構えを持ち、戦後日本の経済成長を支えてきたい意味での仕事をする雰囲気がそれらの街にはあったのだ。また逆に日立でも、従順な日本の典型的な工員さんとは反対に、銅鋳山の煙害と戦った住民もいた歴史もあった。

直木賞作家であった新田次郎は、煙突の完成までの苦心惨憺のドラマから、小説「ある町の高い煙突」を書いた。このモデルにもなった工都日立のシンボル「大煙突」は、日立鋳山の銅精錬の煙害を防ぐため1914年(大正3年)に、当時世界一の高さ155.7mで建設された。煙突は企業と市民の共存の象徴として、日立市民の誇りになっていた。大煙突の老朽化を懸念する声が高まり保存運動が展開された。しかし、1993年(平成5年)2月19日、突然の強風により、煙突は上部2/3が折れて壊れてしまった。市民の衝撃が大きかった事件であった。

今現在の日立市はどうなっているか。閑静な住宅街には、荒れた建物が否応なく目に入ってくる。窓ガラスが割れ、壁には穴が開き、部屋の中では鼻を突き刺す油のにおいが立ち込め、電気配線はむき出しになっている。足元には金属片が大量に、うち捨てられている。これが今の日立市の姿であるが、日本どの企業城下町でも一緒の風景が見られる。

日立グループの下請け会社として30年間、業務用受信装置や発電機の部品をつくってきた社長はつぶやく。「だれを恨むわけではない。仕事が減ったのでどうしようもない」。仕事は朝五時から夜十時になることもしょっちゅうであった。工場を休むのは正月の1日だけという、仕事中心の日々だった。その結果が倒産だった。

経済財政担当大臣はいう。「努力したものが報われる社会に」などと。実態を何も知らない。どんなに努力しようが、自分の力では何も変わらないのが企業城下町における今の下請け会社の姿なのだ。

日本の下請け会社は、親会社のもうけを支えるため納期に追われ、工賃は値切られてきたのだ。しかし、あろうことか日立製作所などの、電機大手会社は、加工賃の安い中国や東南アジアで海外生産を推し進めたのだ。高コストだということだけで下請け会社の仕事がなくなった。海外生産で

被害を受けるのは、中小会社だ。下請け中小会社は一切の保証がない。親会社に保証させたくても、契約書もないのだ。親会社に契約を文書で取り交わそうと言ったら次の日から仕事がなくなる。そうでなくてもどんどん、仕事量を減らされているのだ。そればかりではない、親会社から、人員の「首切り」を迫られた。「下請けは親会社の調整弁だ」。社長の弁だ。

日立市かいわいでは今も中小業者の自殺が相次いでいる。不良債権の早期最終処理を強行する小泉構造改革は、「労働者には首切りを、中小業者には首つりを」もたらすものだ。まさに日本政府は国をあげて、一つの企業の枠をこえて、産業全体の人員整理・中小会社の切り捨てを進めている。名目上、産業空洞化対応のためにできた産業競争力戦略会議(経済産業相の私的懇談会である)の報告書には、「競争力のない企業は、市場からの撤退または強い企業への編入させる」、「企業の壁を越えた大胆な事業再編と産業再編、雇用調整」を進めると言うのだ。「競争力」があるかないかを決めるのは、「市場だ」が政府の論だ。

その市場を操作する主役は多国籍企業なのだ。彼らはきわめて高度で、狡猾な金融手法を駆使する投機集団だ。日本政府は、このような多国籍企業の役に立たなければ、強制的に「市場からの追い出す」、つまりつぶすというのだ。日本の首相のいう「骨太の方針」、第二弾は、大企業の人員整理を進めてきた「産業再生」法のさらなる強化などの具体的な方針もはっきりと示している。

このような情景を沼田は首都においても、つぶさに見てきたのであった。こういう体験を通して、沼田のねばり強い、真実を決して曲げようとしない態度が培われてきたのであった。沼田は、小学校低学年になると、銅精錬所から出た廃棄物、カラミと呼ぶ真っ黒な砂山や遊水池を遊び場としたのであった。この経験は彼が後に工場で、菜っ葉服を着て働くのに違和感をおぼえない原体験となったのである。

昔の子供は、四季の移り変わりを肌で感じ、自然を身近に感じながら遊んだものであった。現在の子供と違い、皆勉強した記憶が無いくらい、雪の野山、真夏の海で遊んだものであった。沼田もまた夏には川尻、会瀬、河原子、水木、久慈浜など茨城県の有名な海水浴場で泳ぎ風神山自然公園や助川城跡公園で遊んだものであった。

小学校高学年の時、日本の三大新聞である朝日新聞に“生きている化石”というシリーズ記事があり、沼田も大変な興味を持って切り抜き、それを収集したのであった。彼はこの時期から、一見地味な、シダ、コケ類などに興味を持つようになった。これが高じ、考古学的なメタセコイヤやシーラカンサスが現在でも生きている強い生命力に大きく惹かれたのであった。高校の時に、生物にずっと興味をもっていたのであった。しかし、彼は大学になるとなぜか生物の道には進まなかったものであった。沼田は後日その理由を語っていたが、自身が大学に受かることを優先し、興味を貫くことができなかったということであった。

高校から茨城大学工学部へ進学したが、やはり茨城県で過ごしたが、彼は 1971 年から一度就職している。その後、東工大大学院に入学し、1979 年に博士課程を終えた後、2 年間 Texas A&M 大にポスドクターとして留学した。ここは後に、水野が留学したボックリスの研究室であった。常温核融合が発表されたときに、いち早く研究に着手し、トリチウム発生の先駆的な発表を行った研究室である。こういう縁でも、その後の人間関係に大きな意味が見いだせるのであった。帰国後はただちに東京工業大学の助手になり、現在にいたっている。

Texas 時代は(1980～1982 年)、Bockris に指導されたが、その後、彼自身の進路に大きく係わる経験をしている。留学中の 2 年間の研究費、給料は、アルミニウム会社のアルコア社から出ていた。研究費を外部から受けている米国の大学ではどこでも同じであるが、年に 2 回程度、社から研究進展の調査に来ることがあり、その時は接待でてんでこ舞いの忙しさになる。プロジェクトの内容は、1000 度に達する高温溶融塩中の炭酸ガス溶解度を測定するものだった。アルコア社の依頼主、Haupin 氏が得た実験値と、別チームの値とは 10 倍ちがっていて、その真偽を決めるものだった。その目的から、実験は、信頼性、精度に、十分な検討が行われたが、得られた値は別チームに近い値であった。Haupin 氏は、より真相に近い結論が得られて満足そうな様子であった。研究の結果、現在の新アルミ精錬に科学的な根拠を与える結論を得ている。

さて、テキサス時代彼は日本人として経験した事がある。1 年半英会話を教えて頂いたバーバラさんとその家族、バーバラさんの夫はルーテル教会の牧師であった、と典型的な南部の生活を体験することができたのであった。彼自身特に印象に残ったことは、感謝祭の日、バーバラさんの両親がオハイオから来た時のことであった。沼田が日本との戦争のことについて聞いたが、多くを語らなかった。そのことが気になり、後日改めて、直接バーバラさんに聞くと、彼女は日本に対し、

時間がたったので、もはや日本を恨むという感情は無いが、戦争のことは忘れてはいないという事であった。直接本土が戦場になっていない国民にしてみれば、ましてや、直接日本軍が乗り込んで侵略していった国の国民はいかばかりかと思ったのであった。

日本でも、欧米に習って、なかなか良い教育番組ができるようになったが、沼田には、忘れられないテレビ番組があった。1970 年代後半だったが、最高峰のカルフォルニア工科大学が作ったサイエンス番組が、その年の最優秀に選ばれたことを流していた。物理学のアインシュタインの唱えた特殊相対性理論とローレンツ変換の紹介だった。特殊相対性理論というのは、概念を平たく表すと、光の速度より早い乗り物で宇宙に旅行すると若返るというものだった。そして、理論式はというと、ローレンツ変換が出てくる。しかし、理屈としては、納得しても両者の乖離は初心者にはなかなか受け入れがたいものだ。番組では、ドアをあけた貨車がある速度で走っており、そこで、ある人物が光を発する光景と、それを丘の上から静止して観察する人の光景だった。つまり、運動する物体から発せられる光は、波長が貨車の速度に依存して変化して届くことを、幾何学的に巧妙に説明していた。その時、光がだんだん広がって、観測者まで届く様子と、理論式の形から何となく受け入れてしまった。記憶とか、学習にとって、視覚からの刺激、あるいは運動による刺激が重要なことは、良く知られてきた。

沼田、研究の始まり

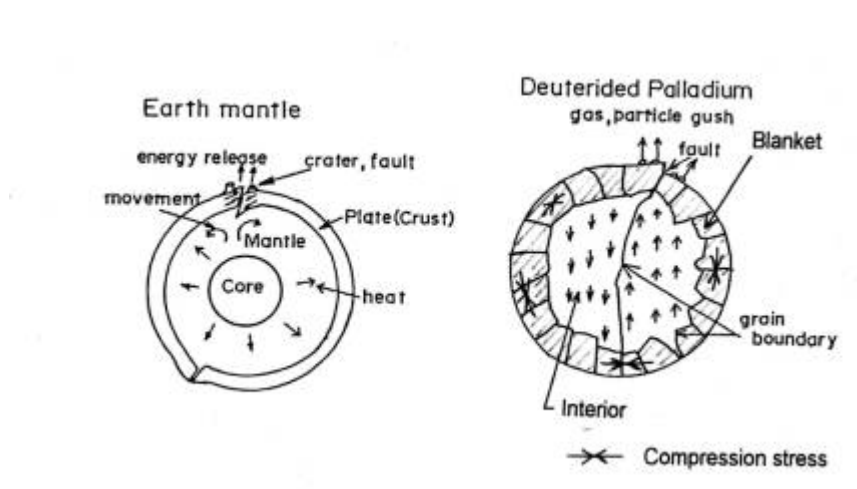
Bockris のところで学んだことを出発点として、1980 年代のひとつの研究テーマであるエネルギー変換プロセスにかかわる分野の仕事をしてきた。常温核融合の研究の報告を見て、エネルギー問題が吹き飛んでしまうほどのさまざまな点で衝撃をおぼえた。(ここで、さらに突っ込むと、ウラン - プルトニウム政策の間違いを道義上しなければならないので残念ながら止めることにする)。

しかし、研究が進展するに従い、大きな発熱を引き起こす実験を再現することが難しいことがわかった。そこで、最初に目をつけたのは、電気分解を行う電流のかけ方、電解を行う容器と電極の形だった。電解は、ステップバイステップに電流を上昇するパターンが、金属は直径 2cm の棒状の太いもので、前処理として鑄造が有効との結論に達した。

常温核融合反応とは、アルカリ性の重水の中で Pd 金属を長時間、マイナスの電流を流し表面上で重水素ガス発生を起こさせ、その 1 部が金属内部へ吸蔵され、その状態が保たれる間に低エネルギー核融合反応が観測されることだ。

沼田は、Pd 表面付近の変形と重水素ガスの気泡が激しく発生している状態を表面観察や電気化学的手法で調査している。最初に、1991 年伊の Como の会議において、反応後の太い Pd 棒の表面が、地殻変動である地震の時現れる断層に形態が似ていることから、反応を起こす金属の表面付近は、地球の地殻変動と相似であると考えた。

この観点からさまざまな実験のアイデアを考えてきた。図 1 は Como で発表した地震による断層と反応後の表面形態の相似性を示す図だ。また、図 2 は中性子計測に用いたシステムと電解装置の写真を示す。



重水素吸蔵 Pd 棒の断面と地球の地震時の断層との相似性



中性子計測に用いたシステムと電解装置の写真

1:年代もの中性子解析用 PC(パソコン)、新しい熱測定解析用 PC(もう1台)、2: マルチチャンネルアナライザー、3:NE-213 中性子カウンターと He3 中性子カウンター、4:中性子計測システム、5:ポテンシオスタット、6:熱測定システム、7:石英製電解セル、8:流量計、9:データ - ロガー

沼田は新水素エネルギープロジェクトに参加し、軽水系の電解法で Pd に水素を吸蔵させながら、電位、抵抗、伸びのその場観察の実験を行い、 PdH_{2-x} の非平衡相の形成とボイドの形成を予想させる結果を得たのだ。

現在、沼田は常温核融合現象について、電解中の Pd 金属表面直下層の特異な形態が地震の発生機構、断層と類似性があると仮定して研究を進めている。しかし、このような着眼は、あくまでも現象を起こす反応が終了した時の姿を見ているので、問題解決には遠回りであるという恐れも感じ

ている。そこで、このように重水素が最大に吸蔵された状態のダイナミックな変化を知るため、伴(東京都産業技術研究所)と共同で、界面付近の仮想粒子の運動に流体モデルを適用し、特異な形態の解明に突破口を見出そうとしている。

1989 三菱重工、岩村のスタート

常温核融合と企業人として深く関わることになった研究者が、三菱重工の岩村である。1961 年生まれで常温核融合の研究者としては若手である。企業人としては、きわめて学究肌の人当たりのいい人物である。平成 2 年に東京大学工学系大学院原子力工学専攻博士課程を卒業し、ただちに三菱重工業(株)の基盤技術研究所(現先進技術研究センター)に勤務した。この間、2 年ほどプラズマ利用技術に関する研究に従事し、平成 5 年から 12 年まで重水素化金属に関する研究に従事している。これから見てもきわめて常温核融合研究に関連していることがわかる。平成 13 年から 14 年まで高砂研究所で原子力研究推進室に出ているが、常温核融合研究と並列に仕事をした。原子力ではバックエンド分野すなわち廃棄物処理に関する研究を行う一方、重水素化金属に関する研究も続けた。平成 15 年からは先進技術研究センターで常温核融合以外の会社にかかわる多くの仕事をこなしている。

1989 名大、鎌田の取り組み

鎌田は今でも自身の実験結果を常温核融合とは考えていない。1989 年、鎌田は名大プラズマ研究所にいた。当然研究の主体は熱核融合を基礎としていた。鎌田が最初この研究に取り掛かったのは 1980 年代後半であった。そのころ、旧名古屋大学プラズマ研究所で R 計画とよんでいた、プラズマ装置で D-T 燃焼という反応をするための計画があった。この反応では大量に中性子が出るが、材料の放射化を少なくするために、装置を Al 合金(Al-Li 系)で作る計画が持ち上がったのだ。

合金を作るのは企業に頼んだが、基本的にアルミを使った。そこで Al 表面に水素同位体のイオンを打ち込み、イオンと Al がどんなふるまいをするかを調べるため、イオンビーム解析と電子顕微鏡を使って研究をしたのだ。初めは Al に水素イオンを入れ、表面近くの分布を(弾性反射法)で調べた。また、試料を電子顕微鏡で微細構造を見て、どの深さで、どのような形で水素が吸収されるか調べたのだ。その結果、水素は注入量が溶解度をこえると、はじめ大きな析出相となって Al 表面全体に広がる事を発見した(1)。

その次に、重水素イオンを入れ、全く同じ実験をしたところ、析出相表面の Al 層が融解するという不思議な現象を発見した。これは思ってもいないことであった。実はこの現象を最初に見つけたのは北大金属工学科(当時)の木下博嗣だった。彼は最初、融解とは気づかず、電子線を照射すると、ほとんど瞬間的に析出相の表面が黒くなり、観察が出来なくなり困っている、と何度か名古屋まで電話してきたのだ。

さらに、実験すると、黒くなるのは Al 表面層が融解、凝固して多結晶化するため黒い斑点状のイメージとして見えることがわかったのだ。それは 1987~1988 年ころで、まだ cold fusion が発表される前のことだ。その間のいきさつについては論文(2)や、その他の文献に詳しく書いた。その後 cold fusion の可能性もあるかと考え、電子線照射をして中性子を測定したが、全く検出できなかったのだ(3)。

また、この現象について、どうして融解が起きるか色々考えたが、いままでの材料および物性物理的な機構からは、どうしても説明できなかった(4)。そこで考えついた事は、重水素原子核の "maser action" であった。Al の電子線照射の実験では、はじめに、電子線による Al 中の 2 次電子の生成過程が起こる。第 2 にその 2 次電子(数 10eV から数 keV 程度のエネルギー)が重水素析出相に流れ込み、析出相の中にフォノンを作る過程(2 次電子の速度が重水素析出相中の音速よりも速くなるとフォノンが作られる)(5)が起こる。第 3 にそのフォノンが重水素原子核の spin-flip を引き起こし、coherent phonon を誘導放射するのである。最終的に第 4 に重水素析出相の温度を上昇させる過程が起こるのだ。このように次々と複雑な経過をするのだ。最初の 2 つの過程は今までの物性論的な研究があり参考に出来る。しかし、最後の過程はレーザと NMR の理論を組み合わせた様なめんどろな理論的検討が必要になったのであった。

上の最終的な過程を確認するため、最近重水に超音波を照射した実験をした。まだ 10 程度だが、確かに phonon-maser 機構で温度が上がる事を確認したのである。温度上昇が低い原因は、この実験では、いわゆる pumping のために超音波を使ったが、spin-flip を引き起こすフォノンは thermal

phonon に頼っているためだ。超音波発振子が足りなく、やむなくである。また、重水の断熱を全くしていない事も理由の1つだ。十分な断熱を行い、spin-flipを引き起こすために超音波を使えば、より高温が得られるはずだ。超音波は量子準位間の遷移確率が、thermal phonon だけの場合に比べて、 10^{10} 倍も大きくできる事はよく知られている。AI 表面層の融解を考えれば、1000 前後の高温が得られても不思議ではない。もっともその際、重水での観察は無理だと考えている。



JCF5,神戸大学で
講演する鎌田

1989 静岡大学、小島のスタート

静岡大学の教授であった小島にとっても大きな転機になる 1989 年の4月中旬の事であった。ウィスコンシン大学の博士課程に学んでいた静岡大学の田中(静岡大学理学研究科卒業生)から、薄れかかった二つの論文コピーが送られてきた。それが当時世界中を駆けめぐったフライシュマン-ポンズ¹⁾とジョーンズ達²⁾の論文のプレプリントだったのだ。彼らが雑誌に投稿した論文の原稿がファクシミリで全米を駆け巡り、田中の目にもとまり、急遽航空便で小島に送られてきたのであった。

少部数のプレプリントが内輪に送られるのはよくあるが、(一年前に高温超伝導体の発見というセンセーションがあったのだ) この過熱ぶりには彼も少し異常と感じたのだ。小島はすでに日本の新聞報道で概略を知っていたが、論文が手に入ったときの興奮はいまだに忘れられない。小島も早速、ここではフライシュマンではなく、ジョーンズ達の方の再試実験にとりかかった。彼のみでは難しかったので、同じ静岡大学の化学科、大江純男(電気化学者)、放射化学研究施設の長谷川紈彦と菅沼英夫(放射化学者)に協力を頼んだ。中性子サーベイメーターは借りて、前に使った残りのパラジウム板を大江のところから持ってきて電極を作った。パラジウムは厚さ 0.3mm の板であり、これを $5 \times 5 \text{ cm}^2$ に切り、ジョーンズ達のサイズに近くした。このあたりは追試の常道である。

重水は 100cc、1 万 5000 円で買った。これは当時としても結構高かった。電解質としては、ジョーンズは重水酸化リチウム LiOD を使ったが、こんなものはないので、手元にあった水酸化リチウム LiOH を使った。手持ちの電源を使って、電圧 20 ~ 30 V、電流 ~ 200 mA ($\sim 4 \text{ mA/cm}^2$) で重水を電気分解すると、ジョーンズ達のデータと符節を合わせるように、電解を始めて数時間の間、バックグラウンド中性子(10 分間に 1, 2 個)の約二倍の中性子が検出された。このことが小島を常温核融合の研究に引きつけて放さないきっかけとなったのだ。

菅沼はケミアブ(Chemical Abstract)を調べて、1926 - 27 年のパネツ達 Paneth et al. の論文(第 2 章参照)を探し出し、コピーを小島に送った。

しかし、他の常温核融合の研究者と同じく、小島も再現性の壁にぶち当たるのであった。パラジウム板は 1 回 8 時間程度の電解でボコボコになって曲がってしまい、大江の加熱による復元作業

もむなく、次からは中性子が全く出なくなった。新しく買ってきたパラジウムの板は、外見も前のとは違うし、電解しても中性子はず、バックグラウンドと同じだった。

1992 年秋に第 3 回の常温核融合国際会議 (ICCF3) が名占屋で開かれた。この会議は、1990 年、第 1 回がアメリカのソルトレイク市、翌年第 2 回がイタリアのコモ市で開かれている。前二回はまだ日本からの参加者が少なく、くわしい情報がなかったが、会議に参加して、新しい科学の胎動に直にふれる思いを小島は受けたのだ。当時 80 歳だった伏見康治が、レセプションでこの新しい科学に対し、情熱的に期待を語った。その精神的若々しさに共感して、小島は一人胸が熱くなった。

核融合科学研究所(当時)の池上英雄の努力で、短期間に発行された、報告集 “ 常温核融合のフロンティア(Frontiers of the Cold Fusion) ” は、常温核融合の情報の宝庫だった。

1989 年に融合確率を計算したことから、常温核融合が起こるなら、何か触媒作用があるにちがいない、と小島はひらめいた。1991 年に、理化学研究所の仁科記念シンポジウム(故仁科芳雄博士の生誕 100 周年を記念して開かれた)で、高温超伝導の解明には現象論からのアプローチが必要である、とソ連のギンズブルグ氏が語っていたことを思い出していた。小島は 1993 年 12 月に第 4 回常温核融合国際会議 ICCF4 がハワイのマウイ島で開かれるのを機に、常温核融合の現象論を考えてみよう、と、まだ腹案の段階だったが、講演申し込みをしたのであった。

小島の頭の中では、原稿締め切りが近づくにつれ、多くのデータが入り乱れ、互いにくっつき合ったり離れたり、目まぐるしい動きをしていた。何か触媒的なものがあるはずだ、という思いが彼を突き動かしていた。1992 年 4 月から 6 月にかけて、神岡鉱山の坑道深くにある地下 1000m の実験室で行われたバックグラウンド中性子のほとんどない状態での精密実験(Kamiokande experiment)によって、常温核融合の否定結果が出た²⁹⁾ことは、新聞で大きく報じられていた。小島はこの事実を思い出して、バックグラウンド中性子に注目した。バックグラウンド中性子のないところでは、常温核融合は起こらないのだと！

さらに、常温核融合現象の再現性の悪さは有名であった。否定論の論拠は、再現性の問題にあった。しかし、条件が決まれば結果かひとつに決まる決定過程と、条件が決まっても結果がいくつかあり得る確率過程とが、この世界には存在している。なんらかの確率過程に支配される条件では、バックグラウンドの低エネルギー中性子が、n-p 反応で水素と、あるいは n-d 反応で重水素と融合してトリガー(引き金)となると考えれば、再現性の悪さは当然のことであると小島は確信した。

小島がまだ大学院生のとき、指導教官は武藤俊之助教授であった。核物理学と物性物理学の両分野で研究成果を上げるという、日本ではまれな学者だった。武藤の研究室の कोरोキウムは、核と物性の研究者が入り交じって論文を紹介していた。両分野の論文紹介を聞きながら物性物理学に進んだ小島も、物理学はひとつだということを自然に感得していたのだろう。常温核融合は固体-核物理学(Solid State-Nuclear Physics)だ、という言葉を目にしながら、すんなりとその特異な研究分野に入ったのだ。

中性子物理学や核反応論を学び直していたのでは間に合わない。小島は友人に声をかけ、知りを頼りにした。中性子物理学に関しては、日本原子力研究所の佐々木健に、核反応に関しては、東大原子核研究所の小池正宏に助力を頼んだ。また、彼の所属する物理学科の嘉規香織(核物理学)や、他の何人かにも議論に加わるよう頼んだ。

捕獲中性子が触媒となる核融合を考えて、実験データをもう一度見直した。面白いように小島の持っていたナゾが解けていった。チタンも同じく水素を大量に吸収するが、この金属で熱が出ないのは、チタン中でのガンマ線(γ)の減衰距離が 8cm と長いからだ(パラジウムはチタンより比重が大きいために約 2 cm になる)。熱の発生に対して中性子が異常に少ないのは、中性子触媒機構で説明が出来て、中性子が捕獲されるためではないか。発生の機構を説明するのが難しかった ^4He の発生は、n- ^6Li 反応や t-d 反応で発生すると考えれば良いのだ。

すると、n-d 反応によって重水素で起こることは、n-p 反応を考えれば水素(軽水素)でも起きるのではないかと考えたのだ。当時はまだ疑いの目で見られていた軽水素での異常現象は、そのようにして起こる反応の結果ではないか。そして再現性の悪さは、中性子捕獲の条件⁴⁰⁾が確率的なものだからだろう。このモデルのカギを握る、中性子捕獲機構としてヒントになったのは、溶質(水素あるいは重水素)の濃度のちがった境界でおこる中性子の全反射やブラッグ反射という反応だった。

1993 年 12 月のハワイでの国際会議の講演会場で、カリフォルニアのグオカス、Dr. Guokas が、イタリアのチェロフォリニ達の双核原子による中性子捕獲の実験は小島のモデルと関係があるの

ではないかと話したのだ。さらに、小島の大学院生時代(1958 年)に発見されたメスバウアー効果は、大きなヒントになった。中性子がメスバウアー効果をおこし、捕獲されるという機構で説明できると気がついたのは、1994 年の 4 月だった。

さらに、1995 年 4 月にモンテカルロで開かれた第 5 回国際会議(1CCF5)で発表する内容を考えているうちに、固体中で規則的にならんだパラジウムの原子核(格子核)と中性子が作用して、中性子バンドをつくるという可能性に気がついた。電解法で必要なリチウム Li は、電解すると電極面に析出してリチウム金属層をつくる。さらに進んでパラジウムやチタンと合金層をつくり、表面の結晶構造が内部と違ったものになる。表面と内部の構造の違いは、中性子バンドの構造も変える。すると中性子はその境界で通過するのを妨げ、低エネルギー中性子の捕獲条件を満たすにちがいない。電解質のリチウムが必要なわけは、このためだ。同じアルカリ金属なのに、カリウム K やナトリウム Na は、パラジウムに入りずらく、表面の合金層もできにくい。すると中性子捕獲条件は満たされないだろう。

こう考えると、今までたいして注目されなかった低エネルギー中性子の固体中でのふるまいの結果、初めてわかってきた現象が常温核融合だ、ということになる。まさしく、固体 - 核物理学の新展開ではないか。

ジョーンズ達が初めからいっていた、多くの実験家が体験していた、常温核融合が不均質・非平衡な系で起こりやすいという指摘は、その後、実験するとき意識的にパラメータを変えると、反応の再現性がよくなることで当たっていた。中性子捕獲の機構は、不均一に分布した物質の構造によって変わり、不均質系で現象が起こりやすいという事実を説明することができるのであった。捕獲機構が解決し、また新たな疑問が出てきた。中性子の寿命である。自由な(原子核外の)中性子は、約 900 秒(987.4 ± 1.7 s)でベータ崩壊し、陽子と電子になってしまう。せっかく捕獲された中性子が 900 秒で消えるのでは、常温核融合反応は起きないのではないか？

この答えは、1995 年の暮れになって、仮説として理論に組み入れた。固体中に捕獲された中性子は、その固体を構成する整列した原子核(格子核)と、核力で相互作用している。重陽子の中の中性子が陽子と相互作用して安定なように、固林中の捕獲中性子が格子核と核力で相互作用して安定化することもあるだろうと。

中性子の安定化を説明するために、固体中の原子核に中性子親和力と新しい考えを入れると、今までの実験事実をきれいに説明できた。1996 年直前だった。小島のオリジナルである、捕獲中性子触媒機構(TNCF)モデルかほぼ完成したのは、1996 年の初めである。

これまでの膨大な実験結果から、典型的で理論的に解明しやすいものを選んで解析する仕事をはじめた。電解実験の過剰熱と、ヘリウム ^4He 発生量の間にある強い相関を解析して、電解質に使った Li のなかで、同位元素 ^6Li が熱中性子と融合してヘリウム ^4He とトリチウム t をつくる反応が重要なことを指摘した。小島はこれらの反応を考慮にいれ、核物理データを使って解析を進めた。得られた結果は、予想通りだった。常温核融合現象の種々のデータが矛盾なく説明され、さらに、これまでわかっていなかったいくつかの点が明らかになった。

天然のリチウムに 7.4%含まれる同位元素 ^6Li は、熱中性子と核融合をおこす確率が高い(融合断面積が大きい)ので、捕獲された中性子と ^6Li が表面の PdLi 合金層で融合して常温核融合の引き金(トリガー)になるのである。このトリガー反応で出てくる、高エネルギーのヘリウム ^4He と、トリチウム核(トリトン) $^3\text{H}(=t)$ が吸収された重水素との間に次々と反応(増殖反応)を起こす。こうして、最初に考えた単純な反応から、より現実的なトリガー反応と増殖反応の組み合わせへと、小島はモデルを進化させていった。



静岡大学教授時代の小島、2004年4月イタリア Celani の研究室

1996年10月初旬に第6回常温核融合国際会議(ICCF6)が、北海道洞爺湖畔にある山頂のホテルで開かれた。これまでの実験事実を裏付ける多くのデータが発表され、再現性を高める方法が提案された。その結果はTNCFモデルで見事に説明された。また、1996年11月にワシントンD.C.(USA)で開かれたアメリカ原子力学会の会議(Meeting)では、パターソンのエネルギーセルが展示され、研究用キットが3750ドルで発売された。売れ行きは良好とのことであり、過剰熱の発生は手軽に検証できる段階に達した。

こうして、捕獲中性子触媒機構モデル(TNCFモデル)は、得られた常温核融合現象のすべての実験事実を、定性的ないしは半定量的に説明できたのだった。その上、いくつかの予測も可能になった。残されているのは、このモデルの定量化と、基礎となる中性子親和力の理論的裏付けである。複雑で多岐にわたる実験事実をもとに、常温核融合の科学、すなわち固体-核物理学を創りあげるといふ希有の機会に出会い、その研究に全力を尽くしたのは彼にとって本当に幸せなことであった。

もう一度、実験事実を見てみよう。固体-核物理学の一現象としての常温核融合は、水素同位体を含む固体結晶で起こり、多量の熱と核反応生成物が発生する。その現象を観測するには、(1)個々の核反応によって出てくる核反応生成物を、直接検出する方法と、(2)核反応の結果生じた核反応生成物が固体中で起こす2次的な効果を検出する方法がある。

(1)の核反応生成物を検出する方法のうち、もっとも直接的なものはガンマ線エネルギーを調べることだ。次に中性子エネルギーの測定であり、この二つは大きな成果を出している。資料的に価値が高いのは、核変換によって生まれた原子核(変換核)の試料中の分布データで、いくつかの優れたデータがある。陽子、アルファ粒子、電子(または陽電子)を直接はかる試みもあるが、残念ながら成功例は少ない。

(2)の核反応の結果として生ずる二次的な効果を検出するものでは、過剰熱、トリチウムあるいはヘリウム量の測定が成功している。過剰熱は核反応の結果生じた核反応生成物のエネルギーが、固体を構成する原子や電子のエネルギーに変化した結果である。トリチウムやヘリウムの場合は、発生時のエネルギーを失って、系内で安定した量の量を測定することになる。ガンマ線測定は陽電子消滅による0.511MeVの光子が観測されている。この場合の陽電子は核反応で生じたものだが、固体内の原子と相互作用し、電子と合体して消滅するときに光子が生まれるので、個別の核反応の結果を直接観測しているわけではなく、二次的な効果に分類できる。しかし、核反応の直接的証拠であり、価値が高い。

常温核融合の研究は、このような見取り図が描けるまでに進展した。21世紀にはエネルギー源として実用化されることはほぼ確実だろう。

小島はよくいう。科学に関心を持つ人々が常温核融合についての正しい認識を持つことは、これからのエネルギー問題を考える選択肢を一つ増やすことになるだろうと。物理学を志す若い人々

が、ジャーナリスティックに書かれた本などの偏見にとらわれて、新しい現象から目をそらすことの無いことを彼は願っている。虚心に実験事実を見つめ、論理の道を自由に歩んでいただきたいと。

小島が常温核融合にひかれた理由は、やはり他の研究者と同じく、子供時代にあるようだ。ニュートンがペストの流行していたロンドンを逃れて、故郷の農場に滞在していたのは1665年のことだ。リンゴの実が地面に落ちるのを見たことが契機となって、重力の法則を発見したという伝説の舞台となった所である。それから1世紀たって、ワットが蒸気機関についての最初の特許を得たのは1769年であった。彼は、やかんのフタが蒸気の力で押し上げられてカタカタと音を立てるのに気づいて、蒸気機関の着想を得たのだという伝説もある。偉大な発明や発見にまつわるエピソードには、日常の小さな体験が主役を演ずることになっている場合が多い。



院生時代の小島、登山が好きであった。南アルプス十枚山

このような歴史に残るようなエピソードではなくても、人生の小さな岐路のいくつかに関連して起こった思い出の数々はだれにでもあるだろう。小島の場合も例外ではなかった。1945年の敗戦を関東平野の北辺の農村で迎えたのは、小学校4年生の時だった。ラジオの「玉音放送」は、雑音の中で途切れがちにしか聞こえず、内容はほとんどわからなかったが、戦争に負けたのだということは大人の口から知らされた。子どもなりの空漠としたところを抱いて、しかしながらいつもと同じように、裏のたんぼを流れる川へ水浴びに行った。8月15日の暑い夏の太陽が照りつけていた。人口わずか6千人の村である。1学年3クラスのこじんまりとした唯一の中学校は、毎年150人の生徒を卒業させていた。そのうち、30人くらいが高校へ進学していた。

そのような時期に、そのような村の農家で育った小島が、大学へ入り、物理学を学ぶようになった契機には、ささやかながら、しかし忘れられないいくつかのエピソードがあるのだ。

中学2年生の国語の時間に、小島は俳句を作っていた。

赤い花 ちょうちょうがとまる 白い蝶

というのがその句である。“らしい”というのは、つくって提出した後は小島はその事を一切忘れてしまっており、つくった時の状況も思い出せないからである。文集に載っていたこの句を、卒業式の後で話題にした数学の先生の言葉にとまどいをおぼえたのが、この句を記憶に刻みつける契機となっている。

三好達治の、教科書にでていた次の句が、あるいはヒントになったのかもしれない。

蟻が蝶の羽根をひいていく

ああ ヨットのようだ

この詩の蝶の羽根は、白くなくてはならないと、今でも思い込んでいる小島である。しかし、この句の色彩感覚には別に思いあたることがある。中学1年生の3月のことであるが、“なぜ花はあんなに色鮮やかに美しいのか”と疑問に思い、眠れない幾夜かをすごした。今考えると、科学的とはいえない思索を重ねていたのである。小島の入っていた郷土研究部の若い教師が心配

して、しかし、疑問を引き出し方向づけしてくれる代わりに、“つまらないこと”から気持ちを引き離すように忠告してくれた。いき詰まっていた小島の思索は、それをきっかけにその問題から離れてしまったが、最近になって“花の色”が化学的にも生物学的にも非常に興味のあるテーマであることを知ったのだ。

科学する心の芽ばえ

次の思い出は、物理学に深く関係する。当時の農家の多くがそうだったが、雨樋のない屋根の軒から落ちる雨だれが、小さな水たまりの列を軒にそってつくっていた。小島が高校2年生の夏のことだった。夕立がすぎて大粒の雨だれが落ちていた。縁側に腰かけて水たまりを見ていた時、水玉が映った。水面上に球形の水滴が生まれ、転がるように移動していき、次第に小さくなってフッと消えてしまうことに初めて気づいたのである。その時の驚きはいまも鮮やかに思い出せる。水面上に水滴が存在する！私の好奇心はかき立てられた。ガラス板の上をビー玉が転がるように水面上を水滴が移動するのである。なぜ、水滴は下の水と一体化して平らな水面になってしまわないのか？

身近な体験が物質の性質の不思議に眼を開かせ、物理学への興味をおぼえさせてくれた。寺田寅彦の随筆を読んで“墨流し”を実験し、水流のつくり出す墨の紋様を紙に写し取って見たのもその頃のことだった。だれにでもあるこのような小さな経験が、科学する心の芽ばえなのであろうか。知的好奇心に目覚めた子どもの疑問に方向づけをすること、そして一層興味を持って学ぶ意欲がわき出すように手助けすること、これが大人にできる最良の教育であろう。子どもの個性にこたえる教育を真剣に考えなくてはならないと小島は自省する昨今である。

水面上に水滴が存在し得ることを解明するには、水と空気の境界面の問題を考えなくてはならない。界面の問題は、今後物理学的に研究が進む余地を残している分野であるが、機会を見つけて高校時代以来の疑問に取り組みたいと小島は今でも考えている。

問題にぶちあたった時の態度が、天才と凡人との差をつくっているようだ。問題をいつまでも心にとどめておき、機会を見つけてそこへ戻っていくこと、解決の可能性を考えたら、とことんまで追求して逃さないことなどである。「99%の perspiration (汗、努力)と 1%の inspiration (ひらめき)」(エジソンの言葉)が発明や発見の条件なのである。inspiration は偶然に(by chance)起こるものである。

チャンスの神様の後頭部ははげてツルツルなのだという。いつでも捕まえられるように気をくばっていて、チャンスがきたら、通り過ぎる前にその前髪をひっつかまえてしまわなければならないのだそうである。今の小島の心がけだ。

1990 3月 第一回常温核融合会議

さて、このような状況下で、第一回目の常温核融合会議が1990年3月29日から3日間にわたり、米国ユタ州ソルトレークシティで開かれている。これは国立常温核融合研究所の主催によって、主に肯定的な成果だけを取り上げたものであった。米国が主になっており、その他日本、インド、イタリアなど現在も研究を続けているチームが参加していた。さらに今ではあまり報告がされなくなったイギリス、スイス、スペイン、台湾や韓国からもその時は報告があった。1989年からの1年間で変わったものとして、研究の中心が、かつてはユタ大学であったものが、テキサス A&M 大学(これはボックリスのチーム)、スタンフォード大学、ロスアラモス国立研究所、オークリッジ国立研究所等と広がり、実験精度も大きく上がったことである。このような研究チームが実験を行っているにもかかわらず、再現性は50%程度であるが、世界中の数10チームが現象を確認しているということで大きな意義のあるものであった。

この会議は肯定的なチームが主体になっているのであるが、しかしそれよりも多くの否定的な結果を報告しているチームもあることも忘れてはならない。重水素による核融合は常温では、たとえ固体中といえども理論的に全く可能性はないことである。重水素の核融合反応には二つのものがあり、重水素のエネルギーが数 keV まで、それらの反応の割合は等しいのである。すなわち中性子1個が生ずればヘリウム3、トリチウム、陽子がそれぞれ1個ずつ生じるのである。

しかしこの会議での結果を総合すると、熱は 10^{12} 倍も多く、トリチウムも 10^8 倍も多いというものであった。特に目立った発表として熱についてオークリッジ国立研究所が実験を行っており、重水の電解を続けると発熱が始まり、通常の水に変えらなくなると、さらにまた重水に変えらると除々に熱が出て来るというものであった。大事なことは電解を止めると熱は全く出てこなくなる

ことであり、出力はパラジウム 1cm^3 あたり 20 ワットという原子炉の燃料棒にも相当する値であったのである。トリチウムについてはインドのバーバー原子力研究所のスリニバサンとスタンフォード研究所から同じように電解後のパラジウム内に多量に存在することが報告されたのであった。この会議では常温核融合現象が、もはや否定できないものであることが確認されたことで意義のあるものであった。

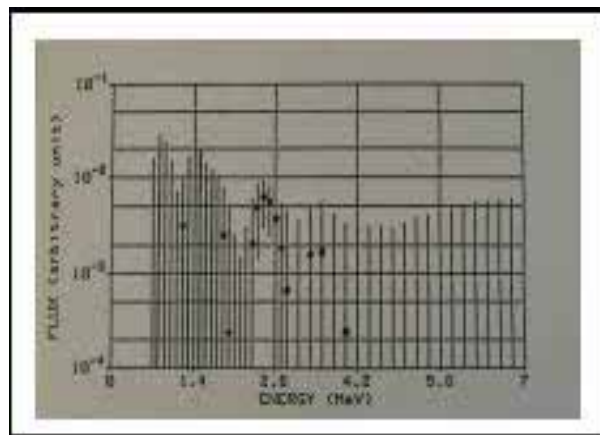
1990 6月 水野の閉鎖セル

水野の閉鎖系のセルを使った実験もやっとスタートした。まず、ヒーターで温度を 130 まで上げてやり、温度が一定になったら電解の開始である。開始と同時に徐々に圧力が上がっていった。10 日ほどたった時点で 10 気圧、15 日くらいで 13 気圧まで上がり、その後、気圧はそれ以上には上がらなかった。これは順調に電解が行われ、重水素がパラジウム内に吸収されていき、酸素が取り残されていることが明白で、これは当初から我々の考えていた予定通りに実験が進行していることであった。こうして約 3 週間がたった。しかし期待通りには中性子が増加しなかった。だがスペクトル上には明瞭に 2.45MeV 部分の膨らみが確かに見えるようになったのである。

温度を測ると 140 とほとんど安定しており、電圧や圧力も一定で、何も変化していないようであった。ここで電流密度は 45mA、これが全表面積 33cm^2 をかけると 1.5A となる。この時、入力電圧は大体 5、6V であったので、電力としては 8. ワット位であった。135 でのセル常数は 0.3 /ワット位なので電解による温度上昇はわずかに 2.5 である。

ここで実験の全過程を図(data30)に示す。これらは温度、圧力、それとパラジウム中の重水素の濃度を描いている。電気分解は 3 回行っている。大体 3 週間電解し、6 週間止めるというようにしている。こうすることで重水素がだんだん入りやすくなるだろうし、温度も 140 、105 、75 と変えているので、それらについてのパラメーターに関する情報も得られる。こうして測定すると幾つかの重要なことがわかったのである。まず(1)重水素濃度は電流密度と温度の関数で、どんなに長時間、電解してもある値以上にはならないこと、(2)予測されるよりはるかに遅い吸収や脱離の過程があること、(3)中性子の発生は散発的で温度、圧力、重水素濃度によらないこと、などが初めてわかったのであった。

閉鎖セル実験による中性子スペクトル



さらに 2 回目の電解以後、発熱があるように見えることと、それは電解を止めてもきわめて長時間すなわち 5~6 週間か、それ以上も続くことであった。これは驚くべきことであるが、熱の較正がこの系では不十分であったので正確には求められていなかったのである。さらにもう一つ不思議なことが起こっていた。入力やヒーター電源には安定電源を使っているため加熱、電解ともに非常に安定しているはずであるが、電解をスタートして重水素が入っていくと、ほぼ 24 時間の周期があり、その変化は 10 にもおよぶことがあったのである。安定化する前の電圧も確かに 100~103V の間で変化しており、大体昼の 14 時には極小となり、夜中の 2 時には極大となっている。この変化とは全く逆になっているのが温度で、昼に極大となるのである。これには幾つかの原因が考えられた。(1)電源電圧が安定化後も変化している。(2)温度や室温の変化、(3)他のノイズの影響、(4)パラジウム - 重水素系の吸脱作用、(5)宇宙線の日変化、等などである。しかし(1)はすぐに否定されたし、(2)についても一年を通して地下室のため全く変化がなかったのであった。(3)のノイ

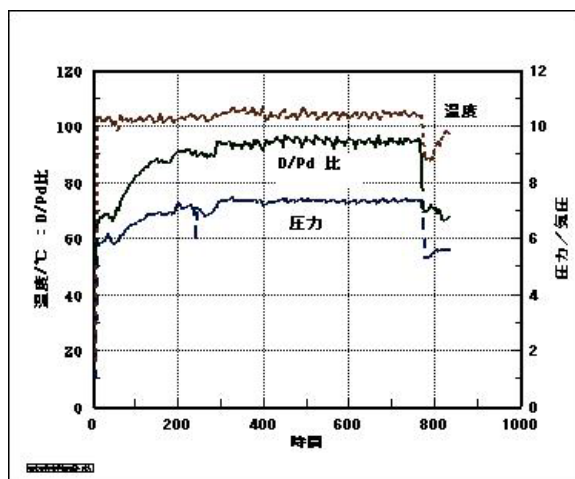
ズもその変化と相関が全くなく、(4)の重水素の吸脱作用、すなわち一種の呼吸作用も重水素濃度の変化とは全く対応しないことがわかった。(5)の宇宙線について最後に残ったのであるが、よく知られているようにその種類も多く、また色々な周期で変動していることがわかっている。ここで全宇宙線強度の1日周期についてみると、昼には極大、夜中には極小となることが系の温度の変動と良く対応していることが確認できる。概算ではあるが、10 もの温度変動というのは10 ワット以上にもおよぶ熱の変動があることを意味していることであった。

それではどのような宇宙線が作用しているのだろうか。地下の深い、厚い金属のセルで覆われた電極面まで達するのはある程度限られているのだから、エネルギーの大きな荷電粒子か、あるいは電荷を持たない中性のものと思われる。中でも中間子や中性子の可能性が高い。この両者は特にパラジウム中の重水素と反応を起こし、さらにそれが引き金となってなだれ的に反応が加速されるのではないかと推測できる。これらの事実は後の反応機構を考える上で大変良いヒントを与えてくれた。

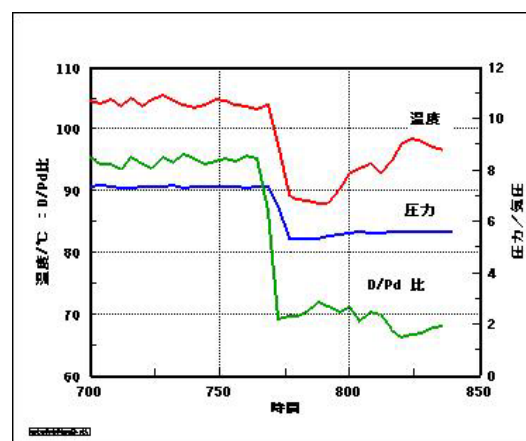
1991 年 3 月 水野の閉鎖セルから出た異常発熱

1991 年 3 月 24 日のことである。この日はちょうどこの実験をはじめてから二年がたっていた。実験の条件を前と変えて、電流密度を 4 倍上げることにし、 $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ としたのである。この時も単に反応を加速することが念頭にあったのである。電流密度が 6A、入力電圧が 4 ボルトとなり、電力としては 24 ワットということになる。この時に使用していた電源は、かつて重陽子加速器のイオン分離用の大電流が流せる 40V、50A のものであり、安定性もきわめて優れた機種であった。電解はあらかじめ、ヒーター電源でセル温度を 75 にしてから電解を始めた。この時のセル常数は 1 /ワット程度であったので、電解開始と同時に温度は 100 まで上昇していったのである。最初のうちは、なぜか触媒がうまく働かず、2 分間に 1 回くらい、爆発を起こし、そのたびに急激に圧力が 30 気圧くらいまで上昇したのである。この状態が 3 日続いた後、安定になり、徐々にパラジウム中に重水素が吸収されていき、圧力も 7 気圧前後に達し、95%(D/Pd=0.95)まで重水素が吸収されたことを示していた。12 日後、すなわち 4 月 6 日頃から温度が緩やかに上昇し 105 から 110 に達し、相変わらず 10 位の変化をするようになっていた。この時すでに異常な発熱が生じていたのである。しかしこの変化はごくわずかであったため、全く気づくことなく測定が続けられていた。

異常な温度変化を示すデータ



その拡大図



そうして4月22日の朝、電気分解を止めて後はパラジウム中に入っていた重水素の放出を待った。普通、電気分解をストップするとすぐに重水素が放出され、系内の酸素と結びついて熱を出す、大体10時間でその反応が終わることもわかっていた。用いたパラジウムは100g位でほぼ1モル当量と考えてよい。これに飽和まで水素が入っても0.5モル当量だから出てくる総熱量は、151Kジュールが最大である。すると、時間で割って4.2ワットとなる。しかし実際には重水素の放出量は

この半分であり、2 ワットと計算されるのである。この値は電解に要したエネルギーの 10 分の 1 位なので温度上昇は 2 程度にしかない。だが、セルの温度は重水素の放出が収まった後でも 75 には下がらずに 90 を示していたのである。このことに気がついたのは 4 月 25 日の朝になって再び記録計を見た時である。驚いたことに温度が 100 を示している。しかもゆっくりと上昇していつている。この時は朝の 9 時すぎで、秋本も中性子の検定を横で行っていた。

「秋本さん、温度が上がっていつているよ。ちょっと変だ。設定より 30 も高い。目盛りがずれているのだろうか。中性子はどうか。」すると秋本が

「温度が上がっていつているって。ちょっと見せてみて。本当だ、確かに上がっている。」と記録紙を見ながら言った。

「中性子をチェックしてみよう。」と言いながらマルチチャンネルアナライザーのメモリーを切り換えた。

「いや、特別大きな変化はないよ。相変わらず 2.45MeV のピークは見えるけど。格別増えてはいない。どれも同じにみえる。」とスペクトルをみながらいった。

水野は本当に温度が高いのか気になって、手前にある、中性子減速プラスチックのブロックをいくつか取り除いた。電源の電圧、電流ともに安定しており、電解前の 20V、3.0A と一定で、これも 1 ヶ月の間全く変わっていなかったのである。もちろんこれは安定電源を使っているのであるから当たり前のことである。ヒーターにはステンレスで被覆したシースヒーターと言うものを用いており、この抵抗値が 6.67 オームとなっているのであるから、1 ヶ月間 60 ワットであったのである。すると 75 度を示していなければならない。しかも電解を止めて 3 日もたっているのだから、重水素も大体出てしまっているはずである。ただこの時に直接わかるデータは温度と圧力、それとヒーター、電解の電流、電圧である。パラジウム内の重水素濃度は計算しないとわからないのであるが、大体の値は圧力、温度から見当がつくのである。

ちょっとセルの表面に手を伸ばしてみた。

「かなり熱い。70 度なんてものではない。明らかに 100 度以上ある。手で触れるようなものではないよ。」と水野。

「何が起きているんだ。」秋本が叫ぶ。

「わからない。でも重水素もほとんど出てないし、再結合による熱じゃない。ヒーター電源も 60 ワットのままだ。」水野

「もしかしたらこれが常温核融合というものじゃないか。」秋本が興奮気味につぶやく。

「まさか。電解も止めているのに。3 日もたっているんだ。こんな話は常温核融合でも聞いたことがない。いずれにせよヒーターも切った方が良さそうだ。このままほおっておけばどこまで温度が上がるかわからない。何かあったらこの研究も続けられなくなってしまう。それにこの実験の初めに起きていた爆発も気になるし、あの時の圧力は優に 100 気圧をこえていた。それも何百回も起こっていた。事故でも起きたら大変だ。」とうわずりながら、水野は急に不安をおぼえた。

「いや、これは良い機会じゃないか。今まで二年以上も実験をやっていて、やっと熱らしい熱が出てきたんだ、このまましばらく様子を見よう。」と秋本が冷静にいう。

「わかった。でももしここで何か起こるとまずいからセルは移そう。そこで温度を見てみよう。」と水野は何とか結論を出した。

そして一度自分の部屋に戻り、雑巾やタオルを持って来て、それでセルをぐるぐる巻きにした。金属部分に触れないように気をつけて地下の実験室から 3 階の自分の研究室まで運び、大きな厚い金属パネルの後ろに置いた。こうしておけば何か起こってもパネルで囲まれているので危険はないはずだ。設計耐圧は 250 気圧、フッ素樹脂は別としてステンレス部分は 500 以上になっても壊れないはずだ。もちろん上部には安全弁が付いていて、100 気圧以上になれば自動的にガスが放出されるはずだ。ただし、急激な爆発が起こった場合には耐えられるかどうかは自信がなかった。長い年月、高温高压下の水素吸収を研究していたので、どのような容器設計が安全か、経験上からわかっているつもりではあったが、このような予想もつかない現象には、今までの知識から対応できない恐ろしさを感じていたのが事実だ。

このようにして容器を鉄の台の上に置いたのであるが、次の日になってもいっこうに温度は下がる様子はなかった。この日は金曜日であり、連休が近かった。このままでは不安であったので、思い切って冷却することにした。大きな 12 l のポリエチレン製のバケツに水を半分、約 8 l 位入れセルを漬けたのである。この時の温度はセル上部につけている熱電対の出力を見ると 4.0mV にな

っており、温度に換算すると相変わらず 100 のままであった。すなわちヒーターを切り、電解を止めているのに熱出力としては 120 ワットを維持しているのである。すると電解を止めた後の総熱量は 1.2×10^7 ジュールという熱になる。このようにして水の中にセルを漬けると温度は急に下がっていき、1 時間程で 60 までになっていった。この状態にしておけば温度は下がっていくものと考え、そのままにしておいたのである。次の日の朝、気になって研究室に来てバケツを見て驚いた。八分目位入っていた水がほとんど蒸発して無くなっており、再び温度は 80 前後で変化しているのである。さすがにこうなってくると異常を感じないわけにはいかなかった。8l もの水を全て蒸発させる熱量は約 2×10^7 ジュール、燃焼熱や相変態等では説明がつかない熱量である。大体それらの熱は大きく見積もっても 10^5 ジュールのオーダーであるから、すでに二桁も多くなるのである。そこで、より大きな 20 リットルのバケツに入れセルが完全に浸かるまで水を入れた。そのようにして 3 日後の 4 月 30 日に再び来てみるとまたもや水が完全に蒸発しており、セルの温度は 50 で変化をしているのである。再度水を 15 リットルほど入れ、そのままにして熱電対を記録計に接続し、5 月の 1、2 日とそれぞれ水を 5 リットルづつ足した。そして、連休が終わった 5 月 7 日の朝には水は半分ほど残っており、温度も 35 にまで低下し、変動もなくなっていたのである。この時は正確な熱データーを取ることは初めから考えていなかったのも、どの程度の熱が出たのかは水の蒸発量などから推論する以外にはない。

水の蒸発熱は全て合わせると 4 月 30 日以後には 8.2×10^7 ジュールとなる。これまでの総発熱量を合わせると、少なくとも 1.14×10^8 ジュールというとても量のない量の発熱があったことになるのである。これを電解やヒーターに使ったエネルギー 2.6×10^8 ジュールと比較すると 40% となり、電解だけに使ったエネルギーはそれまでにほとんど全て熱として生じているので、この計算は非常に低く見積もった値である。

このような異常な発熱を見たことで、水野はさすがに予想も付かない自然界の奥深さに今さらながら驚かされ、思い知らされたのであった。そして、自分の常識からのがれられないこともあきれてしまった。弱いながらも中性子を自分で確認し、また数が合わないまでもトリチウムさえも検出していながら、熱についてはまさかという気持ちが心の底にあったために、測定の準備も、それが起きたときの対応も全く出来なかったのである。このいつ起こるかわからない熱についてはこの後も何度となく経験するのである。

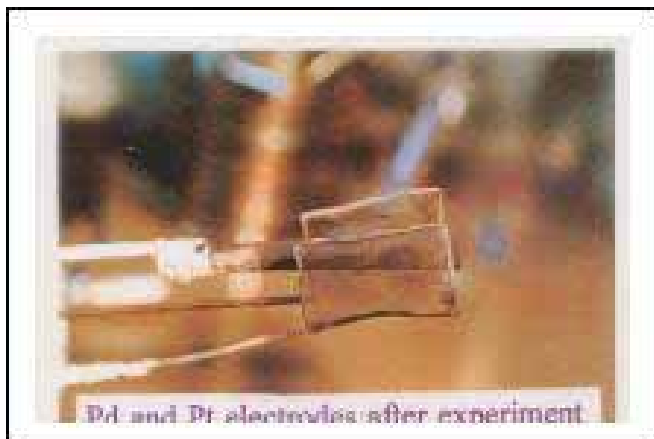


謎の発熱を続ける水野の閉鎖セル。

第二回の常温核融合の会議は1991年5月、イタリアのモナコで開かれている。この時も前年と大きな違いはなく、あまり新しいことは出ていない状況であった。しかし水野の方では実験に予想もつかないことが起きたときである。

実験をいったん止めて閉鎖セルを開けた後、試料を取り出してみた。するとその表面には黒い析出物が電極の全面を覆っていたのである。この時にはなぜこんなに汚染されているのか、また表面がこんなに変化しているのか、全く理解できなかった。目的はあくまでも通常のd,d核融合反応の確認であったし、またすぐに実験を開始したかったので、電極の分析には思いがおよばなかったのが事実であった。空気中から炭素が入り表面に析出したくらいの認識しかなく、後に反応機構の新解釈に至ったときに、宝を捨て去ったに等しいことがわかったのであった。

もう一度試料の表面をエメリー紙で磨き、黒い析出物を完全に取り除いた後、王水で完全に溶解し、清浄な面にした。また液の方も作り直し、新しいものと交換し、対極の白金、上部につけた白金触媒ともに清浄し直して、再び電解実験を始めたのであった。



発熱を続けた後の
パラジウム電極、全
体が黒い析出物で
覆われている。

1992 2月 水野、閉鎖セルからのトリチウム発生

新たに強力な共同研究者として安住和久が加わった。彼は佐藤工学部長の講座、理学第二の若い大変研究熱心な助手であった。彼もフライシュマンらの常温核融合のアナウンスを知って、大きなショックを受けた一人であった。水野とは前からいつも研究上のことでコンタクトを取っていたこともあり、常温核融合研究にもいつも討論に加わるようになっていた。特に、閉鎖セルの設計では触媒の選定で多くのアイデアを寄せてくれたのであった。1990年の6月から開始した閉鎖型セルでの一連の実験が終了して、中の溶液の分析を行った。今回はガスと液中の各種イオンやトリチウムの分析が主である。

1991年2月22日の4時頃、安住から電話を受けた。「水野さん、今からそっちへ行ってもいい？ 大変なデータが出たのです。」と明らかに興奮しているのがわかった。ものの5分とたたないうちに2枚のデータを持って、勢いよく走り込んできた。「まだ10回しか測定していないから良くわからないけど、2桁以上もトリチウム濃度が上がっているんだ。」と言いながら液体シンチレーターによる測定結果を見せてくれた。そこにはバックグランドが545カウントに対して56124カウントという数値が示されていた。「これは異常に多い値だね。これから見るとトリチウム濃度はずいぶん上がっているな。」すると安住は「いや、最初の測定だから色々補正しないと正確な値は出ないですよ。」「そうだな。もう少し色々やってから結論を出そう。もしd,d反応が起こっていたとしても中性子数から見る限り、トリチウムも測定にかかるものとは思わなかったからな。」と水野。それからは二人ともかなり慎重な口振りになっていったのであった。

これは常温核融合を取りまく環境がスタート当初とは比較にならないくらい悪くなっていたからである。我々の中性子の発表以後、多くの研究チームからも報告があり、中性子に関してはほとんど我々の測定と同レベルの発生率しか出てこないことが示され、熱については、ほとんどが否定的な結果なのであった。だから我々もますます慎重にならざるを得なかった。また他の多くの常温核融合研究をしている人達はデータが出ても口を閉ざしてしまうのであった。

トリチウムに関していえば、この測定も大変やっかいなものである。まずトリチウムは水素の同位体で中性子がよけいに2個入っていて不安定である。このため半減期は12.6年でβ線を出して、ヘリウムの同位体に変化していくのである。このβ線を測定すればいいのであるが、このエネルギーが大変低く、また特別に明確なピークも持っていないのでやっかいなのである。さらに次のように幾つかの問題もある。それらは(1)重水やパラジウム、セル等に初めからトリチウムが入っている可能性があること、(2)液体シンチレーターには化学発光しやすく、わずかの不純物や容器物質等と反応してトリチウムの発光だと思ふことなどである。さらに測定作業中の思わぬ汚染なども考えることが出来るのである。現にこれまでに世界中でそれらの原因による間違った報告が数多くあったのである。そこで徹底的な確認実験と正確なトリチウム濃度とを計算するというところで安住との討論を終えたのである。

その計算方法とは、(1)サンプル原液を蒸留し、不純物を除去すること、バックグランドに用いた液も同様の処理をすること、(2)測定器を変えて行うこと、(3)シンチレーターを各種用いること、(4)スペクトルを測ること、(5)半減期を測定すること、の5点であった。

パラジウムの中やセルの中のトリチウム濃度は前電解液の測定で全くないことはすぐにわかった。そこですぐに試験液すべてを石英製の蒸留器で生成した。そうして得られた液と残渣の分析も行った。その結果、液中には多くの金属イオンが存在し、特にパラジウムや白金が数 ppm も含まれていて、それらの化学発光が強いこともわかったのである。しかし、生成した液を用いていると、測定器を変えても、シンチレーターを変えても、やはり大量にとリチウムが検出され、そのスペクトルも半減期もトリチウムであることを示していたのであった。

さて、それではトリチウムの濃度はどのくらいであろうか。どの程度の量が生成されていたのだろうか。電解実験前の液と、電解後の液とではどのくらいの差からそれらは計算でき、その値は 3×10^{11} 個のトリチウム原子数となる。この間の中性子の総数はこれより4桁ほど低い値で、すなわち $10^6 \sim 10^7$ 程度であった。この間には目立った発熱としては数ワットから10ワット程度が出ていたとすると、全体の過剰熱が熱エネルギーとして $10^6 \sim 10^7$ ジュールの値となる。これらの数値をすべてについてみると、通常の d-d 反応ならば大体の値として中性子、トリチウム、熱の割合は1:1:10 $\cdot 10^{-12}$ となる。しかし得られた値は1:10 $^{4-5}$:10 $\cdot 10^{-1-2}$ というものになり、トリチウムの発生は4~5桁、熱は12~13桁も多い結果が出てきた。これには全く戸惑ってしまった。この値については、世界中の常温核融合の結果として報告されているものに、ほとんど共通したものであった。どの測定を見ても中性子の発生はきわめてわずかなのに、トリチウムは5桁以上多く、熱にいたっては10桁以上も多いものであった。

1992 高橋とマスコミ

常温核融合との出会いは、マスコミとの出会いでもある。高橋はサブクリとオクタビアンの研究で、マスコミに報道されるような事はなかった。タイで新聞・テレビに出たらしいが、言葉の壁で高橋の記憶にない。常温核融合ほど、マスコミにもみくちゃんにされた研究は少ないのだ。

1992年の名古屋での第三回常温核融合国際会議の前後から、高橋もマスコミの記事の対象となることが多くなった。朝日、読売、毎日、日経、などの新聞報道、科学朝日、日経サイエンス、などの科学雑誌から、週刊誌、月刊誌、さらにアエラ、プレイボーイまで、色々なものに写真入りで書かれた。テレビ取材も来た。また外国からも、ニューヨークタイムズ、ウォールストリートジャーナル、ニューズウィーク、ビジネスウィーク、サイエンス、などの新聞・週刊誌、さらに英国BBCなどのテレビ取材を受けた。ほとんどが、記事となって掲載されたり報道されたりした。ニューヨークタイムズには、科学蘭のページをとって、日本の常温核融合研究状況について、高橋と核融合研、池上英雄教授の写真入りで、長い紹介記事が載った。

最近では、2002年秋、ニューズウィークに顔写真入りの記事が載った。MITなどのアメリカ講演旅行の時は、ボストングローブ、ウォールストリートジャーナルなどに評論つきの記事が出た。辻篤子記者(現朝日新聞科学部)が、アエラにMITで講演した彼をもじった「アテネの学校」の絵をつけた記事を書いたりした。なお、アテネの学校は、ラファエロによる有名なルネッサンス絵画である。ソクラテス、プラトン、アリストテレスにはさまれて青ひょうたん科学者の彼の絵が書いてあった。フライシュマンとボンズが混じった市民達が困んでみている絵だった。

高橋は次第にわかってきた。新聞・マスコミは、「真実を報道する」といわれ、信じられている。しかし、正しくは、「真実の一部を脚色し、報道するのである」。シェアを拡大するためには、ゴシッ

ブを自ら作ることもいとわない。大衆はゴシップが大好きなのである。ゴシップになれば、良く売れる。常温核融合は、エセ科学ではないかとロチェスター大教授のホイジンガー (ERAB の調査委員長だった) が、著書「常温核融合の真実」に書いた。幻想を信じるエセ科学者達が、ありもしない夢を追っている。大予算を消費する高温熱核融合研究と対比して書けば、面白いゴシップ記事ができる。マスコミの動きの本質は、このあたりにあったと高橋は今でも信じている。

「マスコミの良心」を過信してはいけない。有名なピュリツァーは、ゴシップを作り上げることで大成功した。彼はしかし、マスコミの良心、すなわち「真実の報道」で浄化されるプロセスの必要性を痛感して、ピュリツァー賞を真実報道の記者に与えることを考えたと言われる。1992 年、名古屋 ICCF3 国際会議のときの、NHK のやり口は、ヤラセのゴシップ造りを通りこした、モラルのないものだった。抗議すると、「そのような発言が録音に残っているから、真実だと言う。」確かにその発言はしたのである。しかし、報道されずカットされた発言を総合すれば、180 度違った結論の意見になる。マスコミは、あらかじめシナリオを作っておき、シナリオに合致する発言の部分をつなぎ合わせて、記事を作り報道する。真実をねじまげるのは御手の物である。官営テレビだからと NHK を信じていると、とんでもない落とし穴にはまる。

1992 高橋のセルからの過剰熱

長い常温核融合実験で、高橋は少数回だけ FP の主張に似た大きな過剰熱を観測したことがある。1992 年二月のことである。1991 年、教授に昇進して、少したったころだった。飯田敏行が助教授に昇任した。飯田と相談して、常温核融合実験に本格的に乗り出すことにした。

ある日電気分解セルの温度が異常に上がっているのに気がついた。熱量校正カーブと比べると、大きな過剰熱が出ている。二週間ほど様子を見たが、依然として不安定な発熱状態であった。重水消費も異常に多い。中性子も少し増加している。データを急いで整理して、ちょうど名古屋で開かれることになっていた「電磁気材料国際会議」の常温核融合特別セッションで報告することにした。ピークで 160 ワットの発熱があり、過剰熱の出力は大きく変化する。この間、中性子はごくわずかに増加するが、発熱量に比べると 10~12 けたも少ない反応率で、過剰熱の発生とは逆の関係がある、という結果であった。

名古屋の国際会議で、この報告は、朝日新聞と日経新聞で報道された。米国の科学誌「サイエンス」が、高橋の実験結果について紹介のコラム記事を書いた。また、サイエンティフィックアメリカンの日本語版「日経サイエンス」が 2 ページの紹介記事を載せた。そのため広く知れ渡ることになり、国内各機関から色々な人が実験室に見に来た。また、アメリカやイタリアからも視察団が来た。新聞、雑誌、テレビと取材が続いた。説明資料作りとコピー、FAX に追われたのであった。

高橋のところに、アメリカ・ロスアラモス研究所のストームズ、MIT のマロ・ブ、イタリア・フラスカチ核物理研究所のチェラーニ、などから、追試実験をするので使ったのと同じバッチのパラジウム板を送ってほしいとやってきた。田中貴金属製造の冷間加工によるパラジウム板を用いていた。手持ちと、田中貴金属にあったバッチの残りから、彼らに提供した。ロスアラモスとフラスカチからは、過剰熱発生が再現したとの報告が来た。高橋のところでも、熱量は減ったが再現した。しかし、このあとが大変だった。別のバッチのパラジウム板での再現実験では、過剰熱は観測されなかった。最初のバッチの板で未使用の物はもうない。さらに別のバッチを試したが、すべてだめだった。材料に秘密があるという感触となった。田中貴金属によると、過剰熱の出たバッチの板は、普通より硬度が高く金属顕微鏡観察でストライプ(しま模様)が目立ったという。

FP の 1989 年のクレームと同じようなことが高橋にも起こったのである。発熱現象を見てしまったのだが、再現できない。ジレンマであった。しかし、やはり常温核融合はあるのではないかという見方が、世間に広がったのは確かである。高橋はしばらく、国内やアメリカ、ヨーロッパ、中国などで講演をしてまわる事となった。

1992 岩村と常温核融合への取り組み

平成 4 年(1992)、岩村が常温核融合をはじめのきっかけとなったのは、もと通産省の新水素エネルギープロジェクトと大きな関係がある。NHE 発足が決定したことを受け、会社として常温核融合関係の研究を開始したのだ。当時三菱重工業(株)基盤技術研究所(H14 年度から先進技術研究センター)で研究を行っていた岩村が担当となった。基盤研究所は特に新しい分野での研究開発を目指して作られたものであった。上司に良い理解者がいたことが、良いスタートをきれた岩村のアドバ

ンテージであろう。しかし、彼も研究を進めるにしたがって、多くの苦労を重ねることになるのだ。岩村が直接他の研究者と論議できたのは ICCF-3 に参加してからである。この時、水野の発表に対し質問をしている。それもかなり詳しい内容で、水野もこの時のことをよくおぼえているのである。試料の作り方、分析方法特にバックグラウンドとの関係、熱測定法など、発表の後にも尋ねたものであった。この時の会議は当時 NTT にいた、山口の Pd 電極からのヘリウム発生が、最大のトピックスであった。岩村も山口の発表には大いに興味を持ち、常温核融合現象の不思議さにうたれたのであった。この会議に参加して、岩村はこの現象は本物ではないかと思いはじめたのであった。

1992 10 月 ICCF3

名古屋の国際会議場で第三回目の常温核融合会議が 1992 年 10 月 21 日から 5 日間開かれた。この会議でのトピックは NTT の山口による発表につきる。

この研究は今までの重水の電気分解によるものとは違い、全く別の見地から研究の進展を見たもので出色のものである。パラジウムの板 ($3 \times 3 \times 0.1$, cm) にマンガン酸化物を片面に被覆し、重水素ガスを吸収させ、その後冷却する。そうしておいてもう一方の面に金を 200 まで被覆し、重水素が抜け出ないように処理し、電流を試料に流すと突然発熱し、サンプルが曲がり、ヘリウムが検出され、4.5 ~ 6MeV と 3MeV の陽子が放出されたのであった。またこの試験を水素中で行っても何も生じないと言う。明らかに核融合反応の存在を証明したもので画期的なものであった。この間の山口の研究については是非、彼の論文を一読することをおすすめしたい。

またその他の発表については特にパラジウム中の重水素濃度と発熱との関係、さらには電気分解によらないプロトン導電体などを用いた研究が何点か目についたのが印象的であった。水野もこの会議では、重水素濃度と発熱量との関係を温度や電流密度を変えたものについて詳しい報告を行った。

1991 年 5 月の電解を止めてからの発熱については、正確なデータがないため発表は行わず、その後の再現実験の結果についてポスターで示したのだが、同じような電解後の発熱の報告が出ていたことは、再現性を示す上で大変重要なことと思われたのであった。

ICCF3 参加者



1992 5 月 水野の固体電解質による実験

プロトン導電体

電解を止めてからの大量の発熱を何とか再現しようと試みた。その具体的な方法としてパラジウム中に各種の元素を合金化して行おうと考えたのである。熱を出すには、とにかく重水素濃度を上げることだという思いがあったため、話は難しくなるが、水素の過電圧を上げることに没頭していたのである。水素過電圧というのは、水溶液中の水素を発生させるために必要な理論的なエネルギーに加えて、さらによけいなエネルギーのことである。このよけいなエネルギーが大きいほど、水素発生の圧力が大きくなるのである。この圧力と水素過電圧は対数的な関係があるので、もし大きい過電圧が得られれば強大な圧力も発生出来ると考えられている。この関係は電気化学では有名なネルンストの公式によって与えられることになっている。しかし、この公式を単純に適用する

のは実は正しくない。この間の話は我々の論文に詳しく書いてある。

この水素の発生圧力を高めるのには、第一に電流密度を大きくすることであり、これはすでに多くの研究者が行っている。第二に重水素液中に添加物を加え、反応機構を変えてやることである。その他の方法としては金属中に何か他の元素を加えることで、水野はしばらくこの研究を行っていたのである。しかし、思ったような結果は得られないでいた。もう一つ金属側の条件を変えるのには表面の処理の方法があり、これは後に大変重要なことだということがわかってくる。

このようにして熱の再現実験に明け暮れていた。1992年5月、あるカタログを手に入れそのあるページに興味をおぼえた。プロトン導電体という固体電解質の一種に、1000℃以上もの温度域で利用できるセラミックスがあり、その内部を水素イオンが電場により拡散していくというものであった。

今までの実験では、パラジウムと白金をそれぞれ陰極、陽極として使い、イオンが通る電解液には重水溶液を使った。固体電解質も原理は同じで、これ自身が電解液の役割をする。これに金属を両面に着けて電圧をかければ同じようにその中をイオンが動く。プロトン導電体は水素のイオンが動くもので多くの種類が研究されている。

これを使えば、もし熱が生ずるのならば使用する温度が高いために実用上、効率が良くなり、また色々な種類があるので機構の解明にはもってこいといえる。それに最も良いことに、パラジウムの電解では内部に重水素を入れるのに何日も、何週間も必要であるが、これを使えば温度が高いために、拡散が速くなり数分から数十分で反応が起こせらるだろうと考えられることだ。パラジウムの場合、重水素を原子比で1近くまで入れてやると反応が起こるといわれていたが、温度、圧力、電流密度、さらには添加物を加えてまで試験をして、明らかに飽和まで重水素を入れたにもかかわらず、出てきた熱は微々たるものであった。このような訳で、どうも重水素濃度は反応の決め手にではなくて、全く別の機構が働いているのではないかと、この頃には考えるようになっていた。すなわち、通常の d, d 反応とはあまりにも中性子やトリチウム、熱の発生量がつり合わないことと、どんなにパラジウム中に重水素を入れても、重水素原子核の間の距離は核融合を起こすほど接近しないことなどである。それではどうすれば良いのか。出てきた中性子、トリチウム、熱などは何であったのか。これは実験をしていていつも頭の中にあったものである。少なくとも何らかの機構を考えなければならない。単にやみくもに電解を続けて、うまく肯定的な結果が出れば良いという、賭みtainな実験では研究のやり方としてなんとしてもお粗末すぎる。何か制御できるものを実験してみよう。そのためにはまず水素そのものの動きを変えてみよう。この考えはプロトン導電体には最適だと思えたのであった。

それではどのような実験をするのか。基本的には、重水の電解系から延長して考えよう。プロトン導電体も出来るだけ単純な形が良く、また水素も容易に入るような形状がふさわしい。実験体系には、手持ちの物を使えば金はかからない。まず予備実験からだ、と考えた。

初めにサンプルの調査から行った。その結果、ストロンチウム、セリウム系がちょうど適温範囲にあって、しかも水素中で安定なことが注目された。

材料を入手し、その次は試料の作成方法である。原料はもともと細かい粉末のために、型取り、焼き固めとも試行錯誤の連続であった。大きさはちょうど一円玉くらいの形状の物を作るのであるが、粉末を型に入れて上下から圧力をかけて整形する。これを電気炉に入れ1400℃で約1日程度焼結する。炉から出した試料の両面にさらに白金を薄く被膜するとサンプルができあがる。こう書くとも簡単であるが、型から抜いたり、焼結したりする過程で試料が壊れたり、表面が凸凹になったり何回も失敗を繰り返し、やっとうまくできるようになるのに一年もかかった。実験体系は図に示すように、かつて重陽子照射実験に使っていた試料の冷却装置をもとに改良したのを使った。この銅製の試料台の中にヒーターを入れ、加熱することにした。サンプルはこの架台に白金板でサンドイッチ状に取り付け、その上から直接、熱電対を接触させて、温度変化を測ることにした。これに外部から白金板に電圧を加え、水素をプロトン導電体に流すわけである。その時に加える電圧、周波数、温度といったファクターを変えれば、もし反応が生ずればそれらによって制御できると考えたのである。このようにして実験に取りかかった時は、すでに1993年になっていた。

それから数十回の測定を繰り返し、そのなかの幾つかのサンプルから明らかな発熱が確認されるようになっていった。



使用した後の
プロトン
導電体

3 章 制御可能な核変換、三菱重工 岩村の研究

1993 年 岩村の本格的な参入

岩村は 1993 年になって NHE プロジェクトの一環で、この年の初めに高橋亮人や笠木治郎太と共に常温核融合関係者の研究所を視察した。この時の経験が契機となって、岩村は常温核融合研究を本格的に開始した。中性子の検出や質量数 5 番のガスの異常発生などを観測し、常温核融合現象の発生を確信したのだ。ただ、このときから単純な DD 核融合ではないと感じていた。この年の終わりに、実験結果を ICCF-4(ハワイ)ではじめて発表することになった。

1994 年には、重水素を電解で Pd に吸蔵させ、真空容器内で急速に加熱し、発生する異常現象を中心に研究を変えたのであった。ICCF3 での山口の発表が大きな影響を与えていたのである。この時に質量数 5 のガスの増大や、X 線・中性子の発生などを観測している。また、同時に電気分解も手がけ、実験後 Pd 表面に不純物起源では説明できない Pb と Pb の特性 X 線を検出したのであった。これが後の核変換実験の要因になっている。

1994 年 4 月に ICCF-5(モナコ)があり、平成 6 年度分の研究内容を発表した。このときの基盤研所長だった坂田取締役(現：西日本工業大学学長)も同伴していた。この所長が岩村の良い理解者であり、研究が続けやすかったのであるが、残念ながら同年、坂田は退任してしまうのである。強力な後ろ盾を失った岩村にとって、その後の研究は残念ながら順調とはいえない。常温核融合研究にかかわらず、一研究者が研究に専念出来るためには、研究費、地位、機器類といったもの以上に、理解者の存在がその正否の大きな決め手である。

1995 日本の新水素エネルギーの取り組み

名古屋での ICCF3(第三回常温核融合国際会議)以後、通産省エネルギー庁が常温核融合実証試験プロジェクトをスタートさせた。新エネルギー開発機構(NEDO)が事業団体となり、エネルギー総研(IAE)が実施機関を勤めた。IAE の松井一秋氏がプロジェクトリーダーに、北海道の札幌郊外に出来た実証試験研究室の室長に、三菱重工から浅見直人氏が就任した。実証研究チームは、アイシン精機、日立、東芝、三菱重工、住友、等からの出向者で編成された。4 年間で約 20 億円が投入された。NHE プロジェクトの目的は、「過剰熱発生現象を実証して、エネルギー源への応用の可能性を探る」ことにあった。FP の電気分解セルの方式をメインの実証実験装置として、イムラ日本(株)国松らの燃料電池方式が従の実験装置と位置付けられた。また、過剰熱を生む材料の条件を徹底的に究明することを第一目標とした。核反応検出には、力点が置かれなかった。

しかし、NHE プロジェクトには、裏番組があった。民間からの研究費を IAE が集め、大学側研究者を組織して、「NHE 基礎研究プロジェクト」が実施された。年間約一億円の研究費が、基礎研究プロジェクトに投入された。岡本真実東工大教授をプロジェクトリーダーとして 4 版編成だった。横浜国大の太田健一郎教授が、過剰熱研究グループの班長をつとめた。太田は、燃料電池研究の第一人者である。阪大の高橋亮人教授は、第二班班長として、過剰熱と核反応の相関の研究グループを引き受けた。東北大学の笠木治郎太教授は、第三班の核反応物理研究グループの班長であった。また、第四班は、材料研究班であった。

大学の基礎研究班は、常温核融合にポジティブなデータを着実に集積していった。しかし、大量の過剰熱と核生成物の明りょうな発生を示すデータは、なかなか提供できなかった。むしろ、正確な熱測定の手法、熱と放射線相関の追及、低エネルギー DD 核反応の異常増加と物理、種々の材料の可能性、と地道な努力であった。

一方メインの札幌ラボの研究は、苦節を続けた。フライシュマン自身の滞在指導、米海軍研のマイルズ、ロシアのリブソン、イタリアのトリポディ、など外人の助っ人も滞在して研究した。しかし、松井・浅見の最終報告では、「過剰熱現象は確認できなかった」とある。マスメディアからは、NHE プロジェクトは失敗したと取られた。また、常温核融合現象は、無かったと理解され報道された。松井・浅見の最終報告には、「このことは、常温核融合現象そのものを否定するものではない」と書かれていて、最終時点で少し行われたヘリウムや中性子発生実験にはポジティブなデータがあったと書かれていた。しかし、この部分は、NHE 評価委員会やマスコミから無視された。

後に、マイルズ、トリポディ、リブソンらは、NHE プロジェクトの失敗原因を分析している。「まず、研究者が、エンジニアに偏りすぎていて研究の独創的アイディアが欠けていた。FP のシステムにこだわりすぎた。材料問題に偏りすぎた。静的システムにこだわり、現象を動的にトリガーする発想が無かった。マイルズが出した過剰熱データがなぜか無視された(これには、松井さんの反論がなされた)。核反応検出を軽視したのは良くない。原理のわからない研究であるから、大きな自由度で大胆な試みが必要だった。」かなり同感できるところのあるコメントである。特に、最初と最後のコメントは、日本の体質として気になるところである。

なぜ NHE が完全に否定できなかったのか。それはすでに大学の研究者などが、はっきりした核変換現象や、多くの反応による生成物を確認していたからだ。よく報告書を読めば、常温核融合を否定しなかったのだ。しかしなぜか、当時のマスコミのニュースは常温核融合を否定するものだった。その理由は、日本の当時の東大総長経験者だった、原子核物理学者、有馬教授の 1989 年の否定見解が、日本の常温核融合研究に大きく影響していた。常温核融合などありえないというのが、世間と多くの学会主流派の常識だ。

しかし、このような反応があり得ないと主張するだけではなく、実験的な手法によって検証するのが、科学者としての役割ではないだろうか。

もしたとえの話として、霊の存在をいう人がいたとする。これに対する人の反応は幾つかに分かれる。1 に頭から否定する人。2 に無関心な人。3 に関心があり、信じる人。4 に関心があり、調べようとする人。この程度に分けられる。

ここで科学者ならば、どうしても 4 の立場を取りたいものである。

常温核融合のアナウンスがあったとき、多くの科学者はそんなことがあるのだろうか、初めは不審だった。それでも一部の科学者は自分で実験をはじめたものであった。しかし、初めてすぐに熱や中性子が出ないことに気づいたはずである。それでほとんどの研究者は実験を止めていった。問題はこのときどういう態度を取ったれば良いかである。初めから常温核融合などないと否定するような科学者は論外である。これかかなり難しい問題となるだろう。

ここでなぜ実験しても何も出なかったかの理由を考えてみよう。1 初めからこのような現象はなかった。2 測定条件が悪くて現象を起こせなかった。3 現象を起こしていても気づかなかった。常温核融合の場合には、ほとんどの研究者が現象を起こせなかったことが不幸の始まりであった。するとほとんどの科学者は 1 の初めから現象がなかったと思いこみやすい。実際には 2 や 3 で合ったにもかかわらずである。

かくして、NHE プロジェクトは 1998 年終了した。わたしは、NHE は未知の基礎研究に世界に率先して日本国が取り組んだ画期的なプロジェクトであったとその文化的意義を高く評価している。高度成長バブル最後の出来事といえ、世界中から日本が注目されたのである。NHE の精神遺産と物的遺産は、確実にその後の常温核融合、いや固体内核反応と呼ばれるようになったが、JCF に引き継が

れている。

1996 年 岩村、独自の重水素透過制御法

1996 年、岩村は、今の核変換反応の制御方法となる、片側真空で片側電解液の実験手法をはじめて考案したのだ。この方法は大変ユニークなもので、今まで他の研究者が考えもつかなかったものだ。こうすることによって、連続的に重水素ガスを制御性良く、連続的に電極材料内部を動かすことができた。

今までは単に長時間電解を続けて重水素ガスを電極内にためていくだけであったのだから、電極内部の重水素ガスを能動的に動かすという発想は大変優れたものであった。どんなに長時間電解を続けても、中性子もエックス線もましてや過剰熱などの観測は大変難しかった。その結果、電解を続けるだけではだめで、何かトリガーとなるものが要だというのが、常温核融合を研究しているものにとって、共通した認識になっていたのであった。しかし、具体的にどうしたら良いのかという、決め手が今まで無かったのだ。それを岩村は見事に解決して見せたのであった。この重水素透過電解法はこの後大きな成果を出すのである。結果の幾つかを年末の ICCF-6(北海道洞爺)で発表している。この頃から、核変換が起きていることを岩村自身、確信し始めていた。

NHE ラボへは三菱から 3 人(浅見(本社)、角(高砂研究所)、島田(本社))が出向していた。実験法や解析法についていろいろ意見を言ったが、熱の再現実験から方針を変えさせることはできなかった。彼らが目指していたのはなんといっても新しいエネルギー源としてこの反応が使えるかというただ一点にあったのだ。

1997 年には、片側を電気分解し、もう片側を真空とする方法(現在の重水素の透過法)による結果をまとめて FUSION TECHNOLOGY に初めて投稿した。1998 年に出版されて大きな注目を集めたのであった。Pd/CaO/Pd の多層膜にすると、再現性がきわめて高い反応が起きることを見出し、岩村の現在の制御法となる基本となった。この中で電極表面に Ti が大量に発生することを報告している。

岩村の研究は平成 10 年(1998)にさらに、大きく進展し、重水素透過法によって、多くの核変換生成物が発生することを確認したのであった。この時、生成物と同時に過剰熱も観測しその相関を示すことに成功した。また、水野らが報告していたように、Fe の同位体比が自然界と異なっていることを観測したのだ。この結果はその年の 4 月 ICCF-7、カナダのバンクーバーで報告した。このころには世界的によく核変換という過程が常温核融合研究にも認められるようになってきたのであった。

1999 年になると日本の景気がさらに低迷し、三菱重工においても岩村は研究を続けることが難しくなっていた。そこで研究は一つか二つの目的に集中させることが必要になった。彼は核変換の正体をはっきりさせるために、真空で重水素を透過させる方法を開発したのであった。すなわち電気分解に振り向ける余裕が無くなってしまったということだ。しかし幸いにこれがさらに C や Li からの核変換を観測するという新しい結果を得ることにつながるのであった。

2000 年には ICCF-8(Lerici)で電解と真空の重水素透過法について発表することができた。岩村は不純物と間違わない元素の検出ということで、Cs を使って実験したのだ。この時決定的といえる Pr を検出する。この元素は自然界ではきわめてまれで、他の元素と違って、不純物ということがない。さらにまた、Sr を使った場合には同位対比の違う Mo を検出することができた。この結果は論文にして Nature に投稿するが、他の研究者が、皆経験させられた、レフェリーとの果てしない戦いになるのであった。結局 Nature は査読に入る前に拒否したのであった。また Physics Letter は、いい線まで行ったが、一人のレフリーが拒否し、結局掲載不可となり、発表の機会を奪われることになる。

2001 年になると、もはや岩村も自身の研究だけを続けるということが不可能になった。とうとう彼は高砂研究所の原子力研究推進室に異動した。姫路市にあり、横浜からは新幹線を使っても 5 時間ほどかかってしまう。この時は家族を横浜に残し、自身だけの赴任であった。高砂製作所は、三菱重工のなかでも大型回転機械専門工場としての事業所である。電力用ガスタービン、火力、原子力用蒸気タービン、発電用水車やポンプなどを生産している。ほとんど常温核融合研究と結びつかない部門だ。しかし、それでも、彼は核変換研究を横浜に週に 1 回程度戻って基盤技術研究所の伊藤・坂野達と続けたのであった。このように苦労して論文をまとめ、JJAP に投稿することができたのであった。それでもこの論文は簡単には受理されなかった。数度にわたり、レフェリーから、

修正意見と、コメントが繰り返された。論文修正は岩村が主体的に行い、2002 年になってようやく受理されたのであった。

2002 年、基盤技術研究所から先進技術研究センターとして組織は変わることになる。日本の会社の多くが基礎研究に向ける資金の余裕がなくなり、同じく製品志向の研究所となっていくのであった。このために、岩村にとってもますます研究環境は厳しくなった。しかし彼は、核変換研究だけはどうしても続けたい一心で、週に一回は横浜へ通う毎日であった。実際の研究より研究を認めさせる方向に重点を置かざるをえないのであった。

苦労して投稿した論文が二年越しでようやく JJAP、7 月号に発表され、NRL から共同研究の依頼があったのである。また海外からは多くの研究機関から問い合わせや、別刷り請求などの反響があったが、何故か日本からはあまりなかったのであった。

岩村はこの発表を契機として、核変換現象を確信し、その認知を推進するために、積極的に行動する事を決めたのであった。そのために、他の研究所、たとえば理研との連携をはかり、さらに原子力学会の専門委員会の設立などに動いたのだ。この核変換の結果は、ICCF-9(北京)で発表し、その後大きな反響を呼ぶことになる。

2003 年になって、2 年間の高砂での仕事をようやく終え、横浜の研究所へ戻った。もちろんそれでもまだ高砂との兼務は続いている。帰ってきてても、日本の景気は相も変わらず低迷状態であり、研究費はさらに少なくなるという状況が続いている。このため岩村としても核変換の研究を続けるためには他研究機関との連携や、資金を他財団や公的な資金への応募以外に得る方法がなくなっていた。また彼自身、2003 年から主席研究員という管理職待遇になったために、利益を上げる仕事に移らざるを得ないのであった。ただし核変換の再現実験では日本の理化学研究所で Pr が検出され、同じころ NRL でも Pr が検出が確実となっていた。また、特にこのころになって東大生産研の研究者が興味を持つようになり、共同研究を進めることができる方向になってきたのである。今頃になったが、それでも常温核融合の研究者以外に岩村の研究に興味を持つ人が増えてきたのが救いである。2003 年の ICCF-10(ボストン)でも発表したけど、もはやこの時には旅費や参加費についても、全く会社には望むべくもなく、自費で参加することになったのであった。幸いにしていおうか、この後いくつかの反響があり、これからの発展が大いに期待できるようになってきたのである。



JCF5 で講演する岩村

1997 日本常温核融合会議の設立、山田の強い意思力

NHE の研究が終了した後、日本の常温核融合の研究者達は、求心力を失った。そういう事態を憂慮して、何とか日本の常温核融合研究をまとめお互いに情報を交換し、研究を進めていこうと考えた

のが、岩手大学の山田であった。持ち前の行動力でもって、山田は日本の研究者達に相談を持ちかけた。山田の考えはこうであった。研究会を組織し、発表会を通じ、お互いの連絡を緊密にしよう。また山田が強く主張したのは、発表だけではそのまま何も残らないので、必ず印刷物の形で論文として残そうと。

山田がそう考えて、初めの研究会を組織したのは、1997 年 6 月のことであった。岩手大学工学部で本当に小さな、手作りといっても良い、第 1 回目の研究会が開かれた。

東北盛岡市はかつて江戸時代は南部藩といい、江戸時代盛岡を中心とした藩であった。南部藩は、南部信直が 1590 年に豊臣秀吉の小田原攻撃に参戦した功績によって、南部 7 を本領とすることをゆるされたことに始まる。城下町は、1633 年、三戸から盛岡に移っている。この藩は良質の金山を持ち、収入は年貢米収入をはるかに上回っていた。1642 年の全国的大飢饉でも餓死者はいなかった。しかし金山は 1660 年代には衰退し、以降たびたび凶作・飢饉に襲われた。東北地方は米の栽培では北限に近かったこともある。

日本中から発表が 12 件あり、実験、理論と活発な議論が 1 日だけであったが、続けられたのであった。この会議には高橋、小島、鎌田、山口、太田、沼田、秋本、大森といった、今後の研究の中心をなす研究者が集まった。会議の時より、終わった後の懇親会の方が、より具体的な、今後の方針について、忌憚の無い意見が交わされたのであった。



JCF5 で
講演する
山田

1993 6 月 水野、固体電解質からの異常発熱

実験が順調に進行しだした 1993 年 6 月 4 日のことである。この実験をするまでにはストロンチウムや、セリウム、イットリウム、ニオブ等を厚さ、組成、白金の膜厚などを細かく変えて、やっと安定なものが出来るようになった。何枚か作ったサンプルのうちの一枚を実験していたのであるが、サンプルを電気炉の中に入れ、1400 まで空気中で加熱し、下地のセラミックに白金膜を十分なじませ、その後徐々に温度を 400 まで下げていった時のことである。ここで重水素ガスを入れ、セラミックの重水素に対する安定性を見ようとしていた時、突然サンプルが暗赤色から、赤、黄色と変色して明らかに温度が上昇しだしたのである。さらに白っぽく加熱されていき、ほんの数秒で溶けだしたのであった。これは重水素と反応したのかと、またもや大慌てで重水素を真空引きしていったところ、温度は徐々に低下していった。さすがにこのような急激な反応が起こることに、水野もこの研究の危険さを感じないわけには行かなくなっていたのである。

すっかり温度が下がったサンプルを見ると、サンプルの下に置いてあったアルミナの板も一部

溶解して、水飴の固まったようなサンプルと一部混ざり合っていた。サンプル、アルミナともに融点は 1500 以上であるから、実に数十秒で千度以上も温度が上昇していったことになるのである。これ以後の実験はよほど慎重に研究を進めなければならないと思い、ともかく、容易に制御できる課題でないことだけは心に刻んだのであった。その後も、何度か局部的に溶解する現象を経験するのである。

この発熱のあった組成、形状のサンプルをもとにして、その後の実験を進めていった。それでも明らかな発熱を認めることができるのは 20 個の試料のうち、3 個程度であった。問題は熱の出る物と、出ない物との違いがどこにあるかを見つけることで、これ以後の研究は主に試料の分析に変わっていくのである。



プロトン導電体実験装置の内部

1993 12 月 ICCF4

これまでの固体電解質による実験結果をまとめて、第四回 ICCF の会議で発表することにした。会場となったのはハワイのマウイ島、ラハイナのハイアット・リージェンシーホテルで、典型的なリゾートホテルである。この会場で 1993 年 12 月 6 日から 9 日までの 4 日間開かれた。ほぼ 13 ケ国から 250 名が参加し、それなりに盛大なものであった。だが印象としては、それほど目だったものではなく、前回までの内容と大きな変化はないようであった。この会議では、常温核融合現象が、いわゆる主流派の学者から、強い否定意見が出ていたところである。

ICCF4 会議の行われたハワイのマウイ島、ラハイナのハイアット・リージェンシーホテル



それでもおもだった講演については聞く機会があった。今まで明確に CF を主張してきたグルー

プたとえば、F-P、Jones、F・Will、Bockris については新しい発表はなく、ICCF-2、3 の内容を繰り返しているようであった。特に Jones についてはまともに研究をしているのかどうか疑わざるを得ない内容であった。観光案内のようなスライドを使うかと思えば、旧来の自分の主張であった微弱中性子の発生を退け、それはサンプル内の放射性物質によるものであったと 180 度方向を変えていた。中性子については多くの研究者から、きわめて弱いという結論が出ているので、時流に乗ったのか、または何らかの思惑があったのかは明らかではないが奇異に感じたものである。

それでも水野の発表と同じように、固体電解質(solid state electrolyte)によって中性子、熱の発生を見たという報告がいくつかあったのだ。研究を続けていくと同じ結論にたどりつくのは自然なことなのかもしれない。

全般に発表は玉石混合であり、なかには不真面目なものもあり、真剣に研究をやっている者からは困ったものと感じたようだ。しかし、あまり事前に審査を厳しくすると、独創的な研究を排除してしまうおそれもあるのだ。これもある分野で科学が発展していく過程では仕方のないことなのであろう。試行錯誤を繰り返し、徐々に先が明らかになるだろう。

今回の発表をまとめると熱計測 38 件、核計測 43 件、材料に関するもの 23 件、理論が一番多くて 45 件であった。その中でも過剰熱を検出したというものが 35 件、中性子 19 件、トリチウム 10 件、ヘリウム 7 件であり、従来の核融合に基づくものが主である。しかし明らかに新しい流れを感じさせるものが出てきており、主にロシア、ウクライナなどから核変換に関するものが 10 件もあったのは驚きであった。

水野にはそれらのグループの発表は、これからの常温核融合研究の方向を探る上で大変大きなヒントを与えてくれるものであった。確かに彼等の発表は通訳付きであったり、自分で発表する場合も英語には大きな困難があるようだったり、さらに OHP やスライドもつたないものであったが、独創的で今までの常温核融合研究からは想像もつかないもので、今後の大切な方向を示していたのである。

さらにこの時、後に共同研究を行うことになる、同じ北大触媒科学研究センターの大森忠義の研究を知ることになったのであった。

さてこの会議で水野は7日の午後4時から発表を行ったのであるが、いつものように話していると時間の経つのは速く、20分の持ち時間はすぐ終わってしまった。発表がパラジウム電解によらない新しさのためか、そのあと質問が集中し、都合やっと 5 人ほどに答えることができたのである。質問の中で、どのような試料ならば熱が出せるのかというものが代表的なものであったが、これには常温核融合の発表に多々あるように明快な答えはできないのであった。

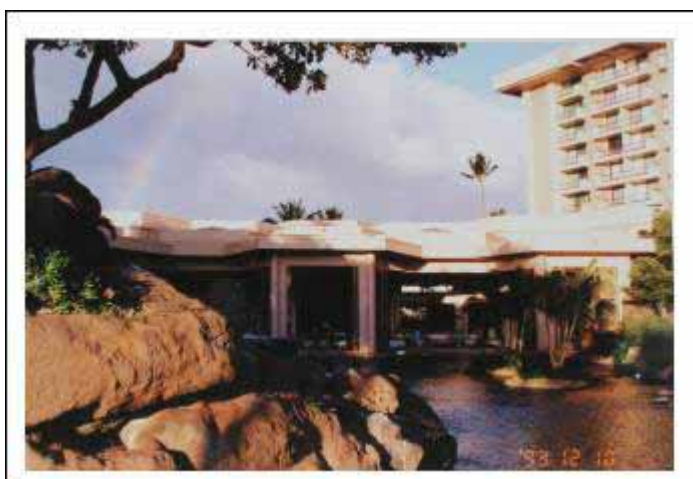
ミネソタ大学の名誉教授 リチャード・オリアニ



この会場は 50 人ほど入るといっばいになるような狭い部屋で、立ち見ができたほど混んでいたのが印象的であり、まだ常温核融合研究の興味が薄れていないことを実感できたのであった。水野のセッションの座長はボックリスであり、久しぶりに会った彼はまだ若々しく、相変わらず精力的な勢いに満ちていた。またこの会場で熱心に発表を聞いていた著名な電気化学の研究者、リチャー

ド・オリアニが水野の話にいちいちうなずいていたのが大変印象深く思い起こされるのである。彼は金属水素系、腐食等の分野でボックリスとも並ぶ有名な研究者で、当時はすでにミネソタ大学の名誉教授ともいう立場で、同大学の腐食研究所を作り、全くの現役といっても良いような研究を続けていたのである。常温核融合にも当初から関心が深く、多くの再現実験を試みていたが、肯定的な結果よりは否定的な結果を発表していた。もちろんきわめて厳密な実験を行っており、当時の状況ではこういった否定的な結果が出るのは当然であり、今でも大きな変化はないと思う。もちろんこれは d, d 反応生成物に的を絞った場合であり、中性子、トリチウム、熱、ヘリウム測定だけに関わっているのはあまり多くのものが得られないのは良くわかることである。これについて生成物は大きな変化をしていくのである。

この会議の帰国後、オリアニからはすぐに手紙が届き、その後の水野の実験と大きく関わって行くことになるのである。



1994 年 12 月、
ICCF4 の会場
となったハワイ
マウイ島ハ
イアットリー
ジェンシーホ
テル

1994 水野とオリアニの共同研究

年があけて 1994 年になり、ハワイの会議で受けた印象と、その時の多くの質問から d, d 反応以外の生成物に興味が出てきた。だがその実験をするには使うセルの外部や内部の汚染を徹底的に排除する必要があった。反応系、測定系を大幅に変更するということだ。特に試料と接触する部分は高温になるため、融点が高く、酸化されることのない、また水素に対しても変質しない安定なもので作らなければならなかった。さらに全体も 7~800 の高温に耐え得るような材質で設計することを必要とした。基本的にはステンレス製でいいのだが、内部の仕上げ、不純物ガスの放出、酸化、還元作用に気を配ることにしたのである。

新しい反応体系ができ上がったのは 1994 年の 4 月のことであった。以前使用していたものと今度の体系の大きな違いは、特にデータの取り込みが自動化され、きわめて詳細な分析が可能になり、著しく(今までの手動入力に比べるとおよそ二桁も)スピードアップされたことである。それだけ試料の分析量も多くなり、1 日でサンプルの測定ができるようになった。これは非常に大きな意味があり、パラメーターをいくらかでも変えることができるので、目的とする現象の絞り込みが十分行えるということだ。この自動化には同じ学科の北市の力が必要であった。彼は電気回路、コンピュータープログラムに優れており、その協力によって水野の研究は質的な変化が可能となったのである。

またミネソタ大学のオリアニは ICCF-4 の会議の後、何度となく水野と連絡を取り水素電導体の再現実験に取りかかっていった。

新しい体系での実験は重水素ガス、水素ガス、他の不活性ガス、さらには酸素や窒素ガス等と色々変えたり、混合するなどして測定を行った。さらにサンプル組成、形状、被覆金属等といったファクターを細かく変えることができるようになった。この測定により、どのサンプルがもっとも発熱が大きいか判かるようになっていった。またサンプルによっては電圧、周波数などを変化させると徐々に、あるいは突然、大きな電流が流れはじめ、サンプル温度が急に上昇し、局部的に溶解したり、または全体が破損してしまうことが何度かあった。この時は電流が集中するせいで溶解し

てしまうのだろうかと考えたのだが、実際にはそればかりではなかった。後にこの溶解部分を分析することにより、多くの異常現象が確認されることになる。特に非常に弱いながらも低いエネルギーの X 線が電解後のサンプルから検出されたり、存在していないはずの元素の集積があったりと大変興味のあることが起こっていたのであった。

ところがミネソタ大学のオリアニは、水野とは全く異なった測定手段を採用していた。水野のような測定方法、単純な入力に対する温度変化では、色々な要因が影響することが彼にはわかっていて、たとえばステンレスのシリンダーの中に反応容器を組み、サンプルの上に熱電対をつけて温度を測る手段では、まず局所的な温度しか測ることができないことや系内への空気の漏れが影響することなどだ。またさらにサンプル自体の厚さや組成の変化も影響を受けることである。しかし水野の測定でも、これらの要因に対してはすべて校正を行ってあるので、現在では全く問題はないのであるが、もし他の研究者がこの方法で測定するには多くの経験を積み重ねなければうまく行かず、一般的ではない。

その点でオリアニの採った方法は、多くの熱検出部 700 個を反応容器全体に取り付け、すべてを総和して多数の値を積分値として取ったことと、常に校正用のヒーターを試料の横に置いて補正をしていた。この方法だと誤差の原因となるものがすべて除去できて、熱の絶対測定も可能となる。これだけの準備をするのに一年以上もの時間を要し、本実験に取りかかることができたのは 1995 年の 1 月からだった。水野が作ってオリアニに送ったサンプルから発熱を観測したという連絡が入ったのは、それからさらに一年以上経った 1996 年 2 月 20 日のことであった。

その年の第六回常温核融合国際会議では、その結果をまとめた論文を発表することになるのである。

1994 5 月 固体電解質からの反応生成物

プロトン導電体を試験すると、発熱するものがいくつかあったため、発熱しないものとの違いが最も問題であった。ハワイの会議に行く前から、答えを出すために分析を行っていた。特に構造、材質などの違いを求めようと思っていたのである。1994 年の実験は熱だけではなく、元素分布の違いに焦点を絞っていた。その年の 5 月にエネルギー分散型の X 線スペクトル分析(EDX)を高温化学部門の黒川に依頼していた。そんなある日、これから測定するというので水野自身も立ち会うことにしたのである。

ここで EDX という分析器は一般にはあまりなじみのないものであるが、分析の研究者にはなじみのもので、これは試料の表面に電子をぶつけると試料の中の元素によって特徴的な X 線を出すので、そのスペクトルから中に何があるかを分析するものである。それほど感度は良くないが簡単で定量もできる方法である。

サンプルを試料台に取り付け、下の試料入り口に台を固定し、横の真空切り換えレバーを回し真空にする。数分すると、十分高真空になるので、電子銃のスイッチを入れると操作電子顕微鏡が動き出す。画像を切り換えると画面にサンプルの表面が凸凹した月の表面のように映し出される。倍率を上げていく。100、200、500、1000、2000、見る見るうちに月着陸船が月の表面に接近するように迫ってくる。ここで分析器の高圧ボタンを押し、データ集録ボタンを押すと EDX 画面に勢いよく、多くのピークが立ち上がってくるのである。このピークはそれぞれの元素に対応しているので、エネルギーの値からすぐに何であるかがわかるのだ。

2.08KeV、これは白金のピークだ。9.46、11.16、12.96、これも全部白金だ。ずっと弱いけど、4.86、5.3、5.66 これらはセリウムである。「この部分は何も変化していないから表面の白金被膜がほとんどだね。」「そうですね」と黒川が相づちをうった。「じゃあ、ちょっと違う部分を見てみよう。」といって下のつまみを回した。画面が連続的に動いていく。何か噴火口みたいな部分が迫ってくる。「この部分を見てみよう。」といってスペクトルのリセットボタンを押し、再びデータ収録が始まった。「白金がなくなっている。セリウムとストロンチウムがずいぶん強くなっているみたいだ。」と黒川。「何か 6.4 と 8.0KeV に膨らみがあるぞ。もっと時間をかけてみよう。ほら段々はっきりしてきた。これは鉄と銅じゃないだろうか。」と水野。「そうですね。ずいぶんほかにも色々あるようですよ。ほかの分析にかけた方がいいですね。私の所に EPMA があるのでそれで分布を見てみましょう。」「そうしてもらえるとありがたい。私の所にも EDX はあるので、もっと多くの試料についても測定してみよう。」

このようにして初めて水野は、元素分析の重要性を認識していったのであった。ただこの時、

頭にあったのは、熱の出る、出ない、という試料の構造や、不純物等の違いであり、まだまだこの後に続くわけて重要な結論、電解によって引き起こされる核反応にまでは思い及ばなかったばかりでなく、そのような可能性さえ、どちらかという否定していた。

1994 年はこうしてプロトン電導体の熱の測定、試料の分析と連日追われていった。明らかに急に温度上昇を示したサンプルでは反応の起こった部分には鉄、クロム、ニッケル等の元素の異常な集積が EPMA や、EDX などの観測によって確認されたのである。この結果を持って翌 1995 年 6 月、テキサス A&M 大学で行われた第一回低エネルギー核反応での発表となったのであった。

そしてこの年の初めからは、以前から気になっていた電解後のサンプルの放射能についてであった。もし核反応が起こっているのであれば、放射性生成物は常識といってもよい。パラジウム電極については 1993 年に原子工学科の技官である猪田耕市によって測定され、何も検出されなかったのがあった。ただ、この時に測定したサンプルは電解してから一年以上もたっており、水野にはそれが、何も検出されなかった理由ではないかと心に引っかかっていたのである。猪田はゲルマニウム検出器を用い、ガンマ線スペクトルを見た。彼は水野が学生時代に直接、加速器運転を指導してくれた人であり、放射線測定の専門家であり、大気中の微弱放射性物質の検出を研究課題としている。

もしプロトン導電体であれば、すぐに測定できるので何か検出されないかと思ったのである。結果はあまりはっきりしないものであったが、電解直後のセラミックスやパラジウムから非常に低エネルギーの弱い X 線が出るという現象が、たまに起こることがわかったのである。

ところで、水野と大森はテキサスの会議からの帰り、ミネソタ大学のオリアニの研究室を訪問した。ミネアポリスはカナダに近く、かつては氷河が覆っていたことで、多くの湖がある美しい都市であり、ミシシッピー川上流が大学の横を深く流れていて、古い歴史的な部分と、新しい都市が混在しているのが印象的であった。

オリアニは固体電解質の装置を自分で組み立てて実験をしているのだが、これは水野にとっては驚きであった。なんといっても 70 歳近い教授がまだ現役と全く変わらないというのは日本では考えられないことだからである。オリアニからの質問は測定方法や多くの補正方法、さらにはデータの解釈についてであり、それらは自分で測定していなければできないものを射たものばかりであった。

ミネソタに着いて 2 日目に水野と大森が講演を行い、また多くの質問を受けたのだった。この出張期間中、大森と研究について多くの打ち合わせができた。大森は水野より 6 年も先輩であり、同じ北大出身で、触媒科学研究センターの助手である。彼のテーマも水野と近く、主に水素電極反応を研究してきたのであった。

講座の教授は延與三知夫であり、現在は函館工業専門学校の校長であるが、延與も当初から深く常温核融合研究に尽力してきたのである。大森も延與からこのテーマをやってみないかといわれ、1989 年から始めたのであった。最初、大森は常温核融合に対し全く逆の否定的見解を持っていたのだが、実験をしてみると異常な発熱を観測し、完全に見方を変えたのであった。しかし彼は出てくる熱の量の少なさや、ばらつきの大きさに今のままではこの研究はしぼんでしまう、何とかしようと考えていた。

北大触媒化学研究センター時代の延與三知夫

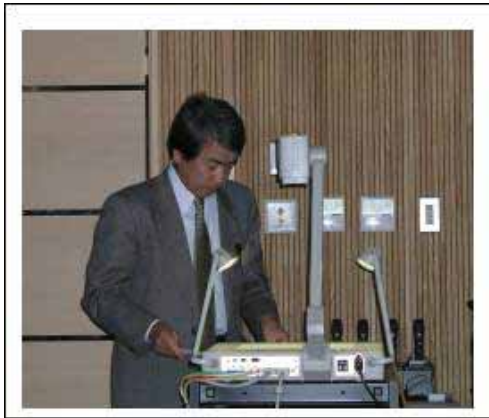


そんなある時ガラスセルを使い、通常の軽水中で金を電解し終わって、セルを見るとそこに多くの黒いゴミのようなものが貯まっていた。それを見て、大森は自分の実験にこんな不純物が入って

いたことになった。だが、実はこれはゴミなどではなかった。彼はまずこの混入経路をつかむための分析を行った。自分の持っているオージェ分光分析器にかけて見ると、それは鉄であったことに驚嘆した。実験前には鉄などはどこにもなかった。それなのに電解後にはこんなに多く出てくるのはなぜだろうか。使っている水、電極、セルも清浄なはずである。とすると何らかの反応によって出現したものとししか考えられない。もしその何らかの反応が核的なものならばどうだろうか。同位体分布が影響されるかもしれない。それならば、熱や他の核生成物もあるはずだと彼は考えたのだ。ただちに生成物の質量分析を行い、その結果を計算して彼は唖然とした。同位体分布が違っている。ここで天然の鉄ならば同位体は 54、56、57、58 と四つあり、それぞれの割合は 5.8、91.72、2.2、0.28% なのである。この割合は天然のものであればどんなものでも同じで 0.1% も変わらないのだ。それが 57 が 50% もあり、56 が 50% 以下になっていたのであった。鉄以外の元素はほとんどなかったのだ。他の元素の影響は全く考えられなかったのである。もう一度やってみよう。だが何度実験してみても、常に鉄は検出され、そのたびに同位体分布は違っていた。しかし、これは故意に鉄を入れて電解しても表面にできた鉄の層の同位体分布は全く天然のままであり、清浄な液で電解したときのみ、それも表面を加工し、大きな電流密度で 7 日間以上電解して初めてできることまでわかったのであった。彼はこの結果をまとめ、発表した。どこでも全く相手にされなかった。そういうときにテキサスでの会議が開かれたのである。ここでは多くの発表者が、それぞれ異常な核的な変化について報告していたのであるが、彼の発表はそのデータの正確さと再現性の良さにおいて、最も注目されたのであった。

オリアニとの打ち合わせの後ミネソタを発って、我々はサンフランシスコに向かった。目的はスタンフォード大学の SRI 研究所である。ここは常温核融合実験中に事故を起こしたところであるが、マクブリ等 4 名の研究者が、それにもめげずに精力的に実験を続けているのである。ここは 1993 年 12 月 11 日にすでに一度来たことがあったが、残念ながらその時マクブリには会えなかった。前回は北大で研究を手伝ってくれていた安住が、スタンフォード大学に留学中であり、彼の案内によって場所は良く知っていた。6 月のカリフォルニアの太陽はすでに夏のように暑かった。

美しい SRI の研究所に入り、自分たちとの環境の違いに戸惑った。室数は 10 数室もあり、セルは何十個となく動いており、データは全てコンピューターによって、制御およびデータ入力されていた。部屋全体も恒温に保たれているが、さらにその中に恒温室があり、恒温室の中に恒温槽がいくつも据えられていた。そして多数のセルがセットされていたのである。研究室を見学した後、我々の報告を行った。マクブリ等は大変興味を持って聞いていたのであるが、質問は主に熱との関連にあったようだ。ただ終わりに彼が言ったことが印象的であった。「自分も生成物に大いに興味がある。しかしスポンサーの意向は熱にあるためにそれを中心に据えざるを得ないのだ。そのためには重水素を多く入れようと考えている。」だが水野はこの考えには納得できなかった。熱を出したいのはわかる。確かに重水素を入れれば入れるほど重水素の核間は狭まるだろう。しかしそれでも自動的に反応が起こるためには重水素濃度は何桁も低い。そもそも d,d 核融合反応だけで説明はできなくなっているのではないかと考えた。もしかしたら全く違う反応なのではないかと考え出していたときであった。



JCF5 で講演する
大森

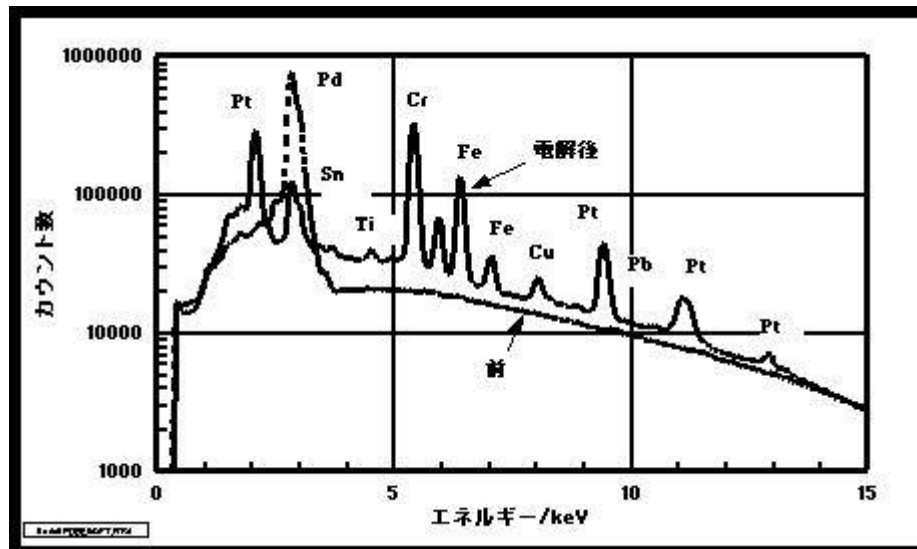
テキサスから帰国してからは、本格的に生成物の分析をやりだした。水野の講座には走査電子顕微鏡があり、それに EDX 分析器もついている。もちろん古いもので、20 年以上も経っている。分析の方法はフロッピーディスクで立ち上げるものだが、それも今時 8 インチのディスクである。高電圧、プリアンプ電源等を調整し、さらにエネルギー較正が終わり、やっと動き出したのは 1995 年の 11 月になっていた。

11 月 27 日、発熱は計算できなかったが、急に温度が上昇し一部分溶解してしまったプロトン電導体の穴が開いた部分を EDX で分析してみた。当然存在しているストロンチウム、セリウム、白金以外に鉄、銅、亜鉛などのピークが鮮明に出現していたのである。もちろんこの鉄などの元素は試料、サンプルホルダー、ガス中などには一切存在していない。これは変だと思い、それからすぐ今まで保存しておいたサンプル、さらにはセルの材質、シリンダー、原料材料、熱電対や、白金電極に至るまで一つ一つ全てを分析した。その結果、このような鉄などの元素が検出されたサンプルは全て異常な溶解や、過剰な熱の発生を見せたものに共通することがわかった。ただし、その反応はきわめて局部的で元素の全体の濃度は推定する以外にはなかった。このようになると、今まで重水や軽水で行ったパラジウムやニッケル、金、白金の電極のことが大変気になってきた。大森にすぐ連絡を取った。彼の電極の結果も気になったのである。大森は主に鉄についての結果を報告し、またその同位体分布を質量分析で調べていた。

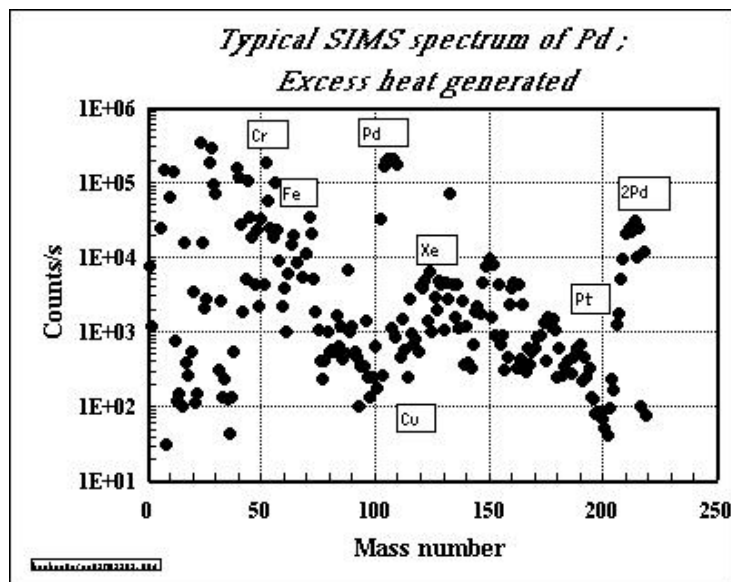
ここで、これまでずっと継続していたパラジウムの合金について分析をしたのであった。1996 年 1 月、まだ正月気分もぬけない 7 日にパラジウム電極から、思いもよらない元素が大量に出てきたのである。硅素、カルシウム、チタン、クロム、鉄、マンガン、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、白金、鉛などである。また大森の金電極からも鉄、銅、ニッケル、白金、オスミウム、水銀、鉛などがはっきりと検出されたのである。

そして 2 月、外注で質量分析を依頼していたパラジウム棒の分析結果が送られてきた。それは 2 月 14 日の朝のことであった。めずらしく大森の興奮した声が電話から流れてきた。「水野さん、分析結果出たよ。大変なことが起こっている。たくさん元素が出ている。鉄、銅、クロム、白金、リチウム、チタン、カドミウム、まだまだある。それに、同位体分布が非常にかわっている。こんなデータ見たことない。銅 65 がゼロだよ。63 しかない。いずれにしろ今すぐそっちに行きます。」5 分もしないうちに大森が息を弾ませて分厚いデータシートを抱えてやってきた。それを広げながら「この値を見て。」と 10 枚にもおよぶグラフを示した。

Pd 電極に生じた元素の EDX スペクトル

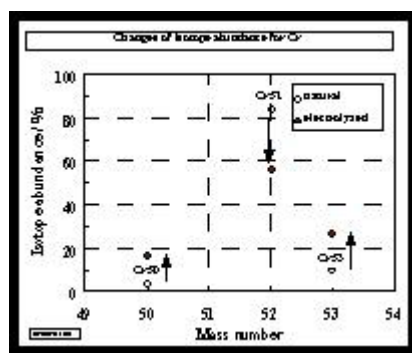


Pd 電極に生じた種々の生成物の SIMS スペクトル



それは、色々な元素についての計算結果であった。ほう素、カリウム、カルシウム、チタン、クロム、銅、亜鉛、臭素、パラジウム、カドミウム、キセノン、ハフニウム、レニウム、オスニウム、イリジウム、白金、水銀、鉛であった。「一応これだけ計算してみた。もっとあるけどはっきりしているのはこんなものだ。どれも同位体分布が変化している。特にクロム、銅の変化が大きい。」とパラパラとページをめくって示した。そこには多くのグラフが書かれ、それぞれの元素の同位体量の自然の値と、分析した値のものがわかりやすく実線と点線で示されていた。そのどれ一つとして二つのものが重なっていないのであった。「これはすごいね。電解前のは不純物も全然変化してないし、量も少ない。深いところに行くと自然の値になっていくね。これはどうしてだろう。それにしても表面の変化は大きいね。他の元素の重なりもあるんじゃないだろうか。」と水野。「いや、その恐れのあるものはここに入れてない。たとえばアルゴンやネオンなどは他の酸化物なんかと重なるので除外してある。」「感度補正はどうだろうか。これは酸素イオンで測定しているんですね。するとアルカリ類がやたら感度が高いのじゃないかな。確か希ガスに比べると6桁以上大きいはずですね。」「そうなんだ。酸素でたたいたのも炭化物のせいだ。セシウムを使うと炭素化合物で他のものが全部マスキングされてしまう。」「なかなか面倒だね。場所を変えたのと、違うサンプルも見てみよう。」「もう計算してある。こちらは熱の出ないサンプルだけど、概して変化は大きくはない。でも重い元素が多いのが目立っている。これは熱の出た同じサンプルの違う場所だけど、元素の分布はよく似ているし、同位体分布の変化も同じようだね。」「それにしてもすごいデータだ。測定器は大丈夫だろうか。」「問題ない。何もなしサンプルもたくさんある。較正も大丈夫、色々な元素や合金、それと電解前のサンプルも測定してある。」「良くわかりました。最終的な結論は、他の分析結果をまぢましょう。」「と水野は締めくくった。

Pd 電極に生じたクロムの同位体変化



その後、同じ試料をただちにほかの二カ所の測定会社に依頼した。その時幾つかの標準サンプルも混ぜて一緒に依頼した。その結果は、元素の分布や、同位体変化は試料の場所により、違いがあり、電気化学的な反応の違いを暗示していたのであった。EPMA 分析は他の会社と黒川に依頼し、正確な分布を求めたのである。自分自身は連日 EDX 分析を行い、元素の濃度を分析していった。この頃には EDX 分析器のデータ処理も北市の力によってコンピューターに取り込むことができるようになり、きわめて正確な分析ができた。そして水野の持っているコンピューターシステムもこの時一新され、研究環境も大きく変化した。すなわちインターネット上で世界中と通信ができるようになり、Eメールを通じて我々のデータを世界中の研究者に送ることができるようになったのである。

ボックリス、トムパーセル、ハルフォックス、ブッシュ等から、興奮したメールが続々と届いた。またそれ以外の研究者からも生のデータが送られ、自分たちのところでもこんな同位体変化の観測があると連絡がいくつか入ってきたのであった。それらを見ると、パラジウムの分析結果などは水野のものと同じ変化を示していた。

早速結果をまとめ、論文にして幾つかのジャーナルに送ったが、海外に送ったものについては、ほとんど採用できない旨のレフリーの判断文と共に送り返されてきたのである。その理由として

第1に、このような化学的な反応による核的な変化は採用できないと言うものであり、第2は理論的な記述がない。第3に文がおかしいというものであった。その後、再び書き直して送ったが、またも受理はされなかったのである。今度の理由としては前記のものを学会誌によってそれぞれ違うものを理由として上げていたのであった。特に理論の記述がないと言うものに対しては推論であるとの但し書きをつけて理論を書いたら、その理論がおかしいから受理できないと言う判定であった。要するに、常温核融合関係は一切受理しない方針だということが良くわかったのであった。

さて、こういったやりとりをしているとき、フュージョンテクノロジー誌の編集長のジョージ・マイリーから連絡が入った。その内容は衝撃的なものであった。自分たちのところで実験している軽水中でのニッケルビーズの電解で、電極の40%が他の元素に変わったという内容の論文であった。彼はイリノイ大学の研究チームのチーフであり、パターンソン、パワーセルとして常温核融合の測定キットなどを実用品として開発している大変積極的なチームである。その反応系は通常の電極ではなく、ガラス玉にニッケルを被覆したものを使用しているのである。その電解後の電極の分析データは水野の使っているパラジウムのそれとほとんど同じといってよかった。ついに米国の研究者も認めだしたのであった。

米国の研究者はある程度ものになりそうだと判断すると、ただちに特許の取得に向かう。常温核融合でももちろん例外ではない。すでに多くの特許が申請されており、事実幾つかについてはそれが認められて、アイデアや材料、方法さらには装置そのものも対象になっており、この部分では日本の立ち後れが目立っているようである。やはり常温核融合を利用したエネルギーでもアメリカが独占していくのだろうかとちょっと危惧している。

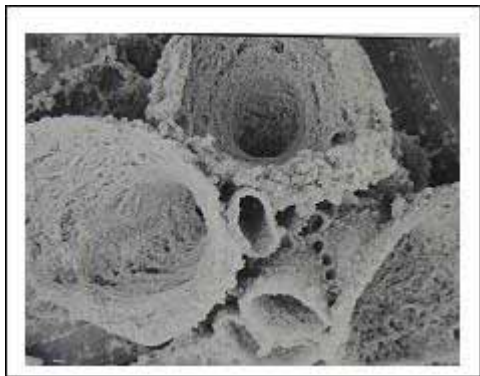
パターンソン パワーセルのアイデアは非常に古く、特許としては US. Patent Office から 1972 年 1 月 4 日に 3632496 の特許番号で認められている。また電極材料としては、ガラスビーズ電極が同じく、1990 年 7 月 24 日に 4943355 の番号で、その改良が、1991 年 6 月 30 日に 5036031 の番号で認められている。反応装置そのものが、1994 年 6 月 7 日と 12 月 13 日にそれぞれ 5318675、5372688 の番号で認められており、最終的には、1997 年 3 月 4 かに 5607563 の番号で認められているのである。もちろんこの装置が動くかどうかは別としても、米国の動きの早さは我々も見習うべきであろう。

閉鎖セルの陽極に析出した黒い生成物



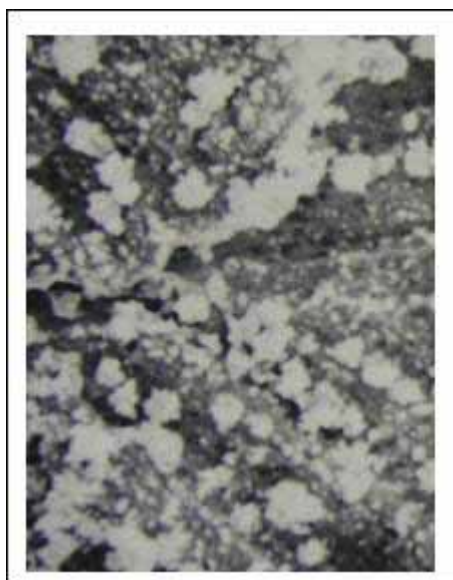
1995 11 月 大森、電極に使った後の金属の表面

1995 年の 11 月のこと、大森の金電極を走査電子顕微鏡で調べていた。100 倍程度の低倍率で表面を見ていると、ところどころに白く見える部分が点在しているのである。この部分を拡大していったら驚いたのである。2000 倍にするとなんと百合の花のようなものがいくつも連なっており、それをさらに拡大すると、絹織物のような繊維質で全体が出来ているのであった。さらに中心にはカルデラ状の穴が深く開いており、その内部付近は六角状の結晶が多数、折り重なっているのである。中心は金の内部に向かって丸い穴があいており、周囲がオーバーハング状に広く削られているのである。この百合の花は特に強く加工した周囲にのみ発達し、それ以外の部分では全く無いのであった。



電界によって金電極表面に生じた百合の花状の生成物

これと全く同じことが重水中で電解したパラジウムにも起こっていた。特に何度も電解を繰り返し行ったものに、百合の花が多く形成されていたのである。パラジウムの太い棒はそれがあまりにも多量であったため、全体がただ黒くなって見えていたのである。このように反応はパラジウム内部ではなく、明らかに表面付近で起きていたのである。それも全体ではなく、局所的な特定の部分でのみ生ずるのである。このことは何を意味しているのだろうか。今までの水素電極反応は表面全体のことについて話を進めており、場所による違いは考えには入れていなかった。また先に記した水素の過電圧についても、場所ごとに正確に測定することはできない。たとえば、表面のある部分で、再結合による過電圧の値がいくらで、放電による過電圧の値がいくらだという測定はまだできていないのである。全体的にみてポテンシャルの変化から議論をしているのである。平均的に放電と再結合部分の割合が測定されている。



電界によって生じた Pd 電極上の析出物

表面が均一でない場合、これは實際上あたりまえなのだが、金属表面はミクロで見ると一様ではない。そして前にも書いたように色々な結晶面や、欠陥、突起、不純物などがある。これに水素

発生反応を行うと場所によって当然反応は違っている。たとえば突起の部分では電子が集中しやすく、反応が起こりやすいと考えられる。またこういう部分では反応が通常の金属表面とは違って、ある反応は進みやすいが逆にそれ以外の反応は起こりにくいことが考えられる。水素発生で考えると、そのような部分で放電は起こりやすいが、再結合は遅れる。すると当然、全過電圧に占める割合は変わってくる。全過電圧が今の $0.2\text{A}/\text{cm}^2$ の電流密度で 1.2V とする。このうち通常表面ならば、放電と再結合による過電圧はそれぞれ 1.5V と 0.15V であるが、放電が起こりやすいためにそれが、 0.7V と 0.5V となったと仮定すると、計算で得られる水素圧力は 10^{17} 気圧に達することになる。これは太陽中心の圧力 10^{11} 気圧をはるかに越えるものとなる。

このようにわずかに放電と再結合の過電圧の割合が変わるだけで、その圧力は大きく変化する計算になる。もし、さらに再結合の過電圧が 0.7V と逆転すると 10^{23} 気圧に達し、優に中性子星の中心圧力にもなる。この過電圧は、Ti では実に 1.2V すなわち 10^{10} 気圧にも達することになる。こうなると陽子と電子は水素原子として存在するよりは中性子として存在することになる。

このような中性子はそのエネルギーにもよるが、電極金属の構成原子核内に進入する可能性を持つようになる。この時、軽水の電気分解ならば $1\sim 2$ 個の中性子が入り、重水素の場合では $2\sim 4$ 個の中性子が入り込むことになる。このように実際に中性子が入り込むことが本当に出来れば、後は核の安定性や、中性子エネルギーによって反応の進行は決まってしまう。パラジウムより重い元素ができるばかりではなく、逆に中性子が入ることによって、核が不安定になり、核分裂反応を起こすという仮定的な機構があった。



触媒化学研究所時代の大森

1996 3月 水野、核変換の論文

水野は1996年の3月に海外雑誌だけではなく、日本の電気化学誌にも同位体分布の変化についてまとめ投稿していたのである。二人のレフリーからの判定は異なっていた。一人は細かい実験条件を加えてくれればOKであり、他の一人は、水野の論文は学問体系を根拠からくつがえすことになるので再現性、不純物などについて詳しく書いてもらい、その結果によって判断するというものであった。水野はただちに書き直して再提出した。そしてそれは受理されたと連絡が来た。1996年4月4日のことである。

1996 4月 第二回低エネルギー核反応国際会議

ボックリスから前年に引き続き、会議を開きたいと手紙が送られてきたのが1996年4月のことであった。日時は9月頃、すなわち10月には第六回常温核融合国際会議があるので、それ以前に開きたい旨であった。水野は今回話することがたくさんあるので喜んで参加すると返事を出した。しばらくしてボックリスから手紙が届き、会議は大学ではなくそばのホテルで開くとのことであった。会議のための部屋の使用を大学に申請したところ、常温核融合は存在しない、よってそれをテーマにしたものはジョークであるから部屋は貸せないと言うとんでもない理由で、会議の開催を大

学の化学委員会が妨害したのであった。前年の会議の時にも参加者が暴行を受けるという事件があったばかりである。このような卑劣な行為が学問の世界で、それも自由の国アメリカでも起こることなのであろうか。何度も言うが、このテーマはまだはっきりした結論は出ていないのである。無理やり結論づけたのはわずか半年間の実験で、それもだれが行ったかわからないような結果で、簡単に否定したのはアメリカのエネルギー省であったことが思い出される。そのために世界中のこの分野の多くの研究者が言われもない、はっきりしない差別と非難の的になっているのはその時からのことである。

1996年9月11日、テキサスへ出発した。サンフランシスコに着いたのは関西空港を経て9時間45分後のことである。当初我々が予定していた便が、1時間も遅れて出発し、ダラス経由の便を一つ遅らせたのである。サンフランシスコではトランジットの時間が1時間あるが、ダラスでは25分しかないことになる。それにしてもこのサンフランシスコの街とは縁が深い。1985年3月テキサスから日本への帰国のとき、はじめて訪れたその町の美しさに心動かされ、1993年12月に第四回の会議の帰り二度目に訪れたときは、その汚れに落胆した。そして昨年1995年6月、タクシーの中から見た地震の後のすさまじさに驚かされたことと、来る度ごとに変わる印象であり、今回で4度目、もちろんこれは中継だけのはずであったが、結局帰りに飛行機に乗り遅れて、またもこの町に泊まる羽目になったのであるが、とにかく今回はあまりにも時間がなさすぎた。ダラスでも約10分間の移動時間しか残されておらず、違うターミナルビルから電気自動車でもらい、カレッジステーション行きの小型飛行機にやっとの思いで乗り込むことができた時は、すでに夜の8時30分になっていた。真っ暗なテキサスの上空、わずかに地平線の暗い赤い帯と、点々と見える高速道路の車のライトが人の住んでいる証のように見える中を、小型飛行機は進んでいった。10年の間に三度もテキサスに来るとは、よほど深い因縁があるのであろう。

テキサスのカレッジステーションに9時45分に到着。日本を発つ2、3日前に来たファックスにはボックリスが迎えに来ると書いてあったが、本当にボックリス本人が待っていたのには驚いた。これは大変異例なことである。よほどボックリスも期するところがあるのであろう。ホテルまでの車の中で久しぶりに話ができた。仕事は積極的にやっているのだが相変わらず苦労の連続であり、ポスドクも今では4~5名で一時期の5分の1に減っていること、またボックリスも来年にはリタイアということに、いよいよ来るべきものが来たのだと深く思ったのであった。これからはボックリスなしで常温核融合を進めなければならない。日本でも、佐藤教男や延與三知夫、池上英雄といった中心になっていた研究者がみんな定年で去っていった。これ以上中心になる人物がいなくなれば、この研究はどうなってしまうのか、大きな不安が生じてきた。

会議は9月13、14の二日間ホリディンホテルで開かれた。今回の大きなテーマは、電解などの操作によって生成物が生じるということが、前回以上に明らかになってきたことである。はじめにジョージ・マイリーが物静かな口調で、一見自信なさそうに語りはじめた。内容はすでにレポートでも知っていたが、こうして本人の口から細かい実験や測定方法が語られると言うことは全く別の意味があり、その人自身が見えてきて研究の内容までうかがえるところに良さがある。近年、インターネットが発達してきたので情報のやり取りも大変良くなったが、やはり人の息吹やその体温をじかに感じるということが大切なことなのだとつくづくわかる。

水野の発表はジョージ・マイリーのすぐ後で、相変わらずいつもどおり原稿を読むのであるが、どうしても英語での発表はアドリブというわけにはいかない。一瞬でもつかえると頭が真っ白になるというのは、思考と発表の言語が違っていて、切り替えが難しいためだ。発表が終わり、質問に入った。前回と違って質問も、ごくありきたりの同位体元素の深さ分布に関するものや、不純物の量など基本的なもので、驚くべき内容の真偽を問うものは一つもなかったのがちょっと拍子抜けであった。

全部で21件の発表があり、そのほとんどが反応生成物の測定結果や、理論に関するものであり、まさしく本当にこのような核変換が起こっているものであろうかと、その話のあまり自然な展開ぶりにちょっと不安もあった。話の幾つかは測定条件もはっきりせず、またはたして不純物の処理はどうなっているのだろうかという疑問も感じられたからである。特に大量の生成物が現れていなければ、電解中に電極表面に付着してくる不純物が大変問題になってくるからで、それも単に生成物ができたと主張するのは不可である。もし何らかの核反応が生じていれば、生成物の同位体分布が自然のものとは違って当たり前であるし、また放射性生成物も生じていると考えるのが普通である。この会議でもそのような放射性生成物に関して、いくつか報告はあったが大体に

において再現性の悪さが目につくのである。同位体分布が変化していると報告したのは、マイリー、ボックリス、大森そして水野であった。いずれも EDX、EPMA、SIMS、放射化分析のうち幾つかを採用し、正確に求めたものであった。このような研究はきわめて面倒で、複雑、そして他を納得させるのが難しいものである。

この会議での発表件数は 21 件、参加者は 40 名ほどで、ほぼ前回並であった。しかし、まとめの曖昧な何件かの発表を除けば、内容については前回より非常に確度の上がったものが多く、着実な進展を感じ取れるものだった。最後の討論も世界各地の研究の実状に触れるものであり、特に日本の研究について興味を持った研究者が多かった。この研究は現実は何年もの間、大きな進展が見えないものであった。しかしこの会議はもっとも積極的で、また新しい研究で満ちていたのである。

1996 10 月 ICCF6

テキサスでの会議が終わり、帰国後すぐに六回目の常温核融合国際会議が始まった。期間は 10 月 13 日から 18 日までの 6 日間、北海道、洞爺湖のそばの山頂、エイペックスホテルが会場であった。日本の NHE が総力を挙げて開いた会議であった。場所は北海道の洞爺湖と噴火湾の間に位置する、山の頂上にあるエイペックス洞爺ホテルで開かれたのであった。このホテルはその後北海道拓殖銀行の破綻によって、現在ではザウインザー洞爺と名前が変わっている。洞爺湖温泉街から 5 km ほど離れていて、典型的なリゾートホテルであった。

この会議の 1 週間前の 10 月 8 日、ミネソタ大学のオリアニ夫妻を札幌に招いていた。彼は水野の送ったセラミックでの発熱を証明し、その結果を今回の会議で発表するのである。その前に細かい打ち合わせと、水野の再々現実験の結果を議論する目的であった。

彼の実験方法は完全であり、測定方法はほとんどフローカロリーメトリー法と同じで、ここで熱が検出されれば間違いのないものであった。それをさらに完璧を期するために熱の出たサンプルと出なかったサンプルを、いくつもまぜて水野に再現実験をするようにとの指示があった。その測定と分析は今年はじめから取りかかり、ほぼ 1 ヶ月でデータを取った。二つのサンプルから発熱を観測し、他のサンプルからは熱は出なかったのである。その結果をオリアニへ送った。この二つのサンプルの内、一つはオリアニのところでは熱が認められていないもので、もう一つは明らかに発熱があった。さらに分析の結果ではこの熱の出たものからはカリウム、カルシウム、鉄、鉛、チタンなどが検出されたのである。しかし、慎重なオリアニとしてはこの結果に満足していなかった。だが、水野としては再現性の悪さは表面や界面での複雑な核反応であり、処理方法や測定条件によって変わることがあるのだと考えていた。また両方の測定で熱が生じたサンプルから検出された多くの元素にもオリアニは納得していなかったのである。それで、最終的なチェックのために水野はオリアニを招待したのであった。

10 月 8 日午後 9 時すぎ、最終便の到着を待つばかりの広くて薄暗い人影もまばらな千歳空港のターミナルでオリアニの到着を待った。一階の待合室には出迎えの人が数人座って、関西空港からの便を待っている。15 分の遅れの表示が出たが、それより 5 分早く到着したようだ。急ぎ足の人が 14、5 名出てくるとその後ろからオリアニ夫妻の姿がゆっくりと階段を下りてくるのが見えた。手を振るとすぐ水野を見つけ、ほっとしたようにニコニコしながら手を挙げた。手荷物と、ほかに大きなトランク四つを持って出てきた。千歳に着くまでの途中、疲れはしたが元気だということで、車の中では日本の感想、日本語、実験のことなど矢継ぎ早に質問を浴びせるのであった。夜の車の途絶えた黒々とした高速道路を札幌の北大のすぐ横のホテルまで送った。

オリアニは特に日本が好きで、以前からミネソタ大学に行った日本人は大変世話になっていた。今回も佐藤教男を初めとして多くの北大の研究者が彼の訪日を心待ちしていた。

思い起こすと水野の研究室を、これまでも世界中から多くの研究者が訪問してくれている。インドのスリニバッサン初め、イタリアからチェラーニ、スカラムッチ、アメリカからはマックブル、トムパーセル、ブッシュ、日本でも池上英雄、山口栄一、高橋亮人、ほかにも大勢いた。これらの研究者は科学で特に異端扱いされてきた常温核融合を今まで支えてきた仲間であり、どこか強い連帯意識とでも言う絆がある。この研究者達は、ほとんど援助もなく、強い逆風の中で実験、研究に尽力し、ゆっくりと、しかし着実に新しい発見をしてきたのであった。これは水野にとっては今までの中でも何事にも代え難い貴重な財産となっていた。もちろん上記以外の研究者にも多くの素晴らしい人々がいて、ここでその人達のこと全てを書くことは不可能であるが、大事

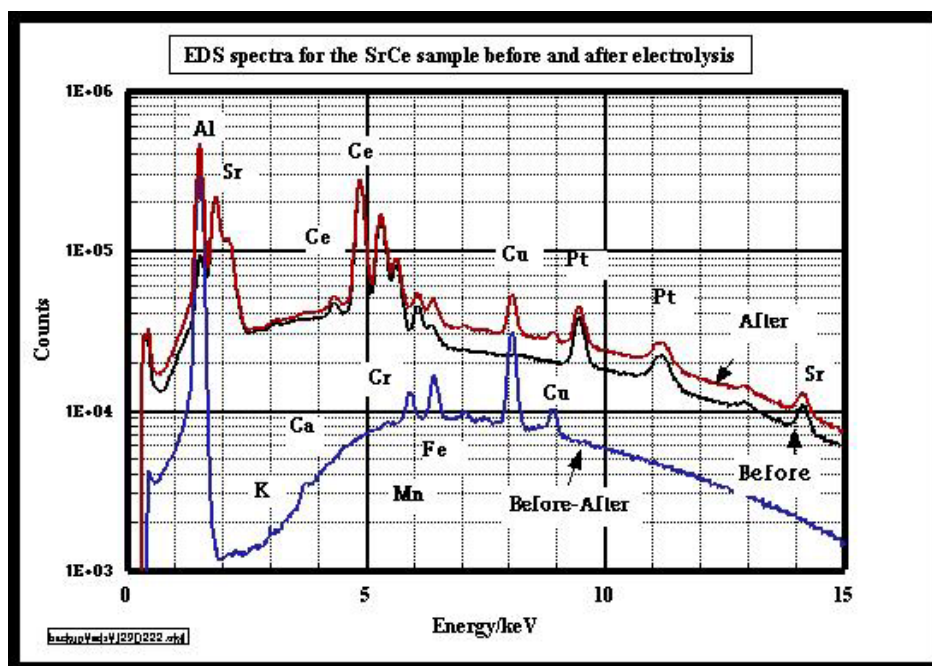
なことは研究を一人で進めることは絶対といっても良いほど不可能であるということだ。

話を戻して、水野はオリアニと連日討論を繰り返し、やっと双方の意見の一致を見たのは会議の前日であった。意見が一致しなかった原因は、水野が彼に送った図面の番号違いだったということが判明し、最大の疑問点はあっけなく解消し、オリアニも反応生成物には大きな興味を持ったようであった。ここでオリアニはやっと口を開いてくれたのである。すなわち自分も 1992 年頃、電解後の熱の出たパラジウムを SIMS で調べたところ、その同位体分布が表面だけ大きく、自然のものからずれていたということであった。ただし、それは水野の結果とは少し違っていて、Pd104、Pd105 が減少し、Pd106、Pd110 が増加しているというものであった。水野の方は Pd104、Pd102 Pd110 で増えており、Pd105、Pd106、Pd110 で減少するという結果であった。オリアニの結果は水野の方で言えば、熱の出ているものと同じ結果なのであった。ただオリアニの電解条件は $D_2O-LiSO_4$ であり、水野の D_2O 、 $LiOD$ とも違っている。そのためこれだけでは結論が出せず、またオリアニもそのサンプルを保存していなかったためにそれ以上の分析は不可能であった。

第六回目の常温核融合国際会議が始まった。参加者は 180 名、17 カ国におよび発表は 120 件であった。今回の会議で特に目立ったのが核変換に関するもので 7 件あり、これ以外にもいくつか口頭で核変換に関わるデータの発表も見られた。特にロシアのカラブート、サバティモア、サムギンからの発表は強く核変換の存在を示唆するものであった。ただ、会議の主題は相変わらず熱が中心で、それ以外のものは片隅に追いやられている印象があった。水野自身の研究結果もポスターに回されており、あまり多くは話すことができず残念であった。それでもマローブ、ホラー、ストルムズ等と話し合うことができたのが大きな収穫であった。

会議が終わってからすぐホラー、マイリーと実験内容について詳しく討論を行った。そのなかで最も大切だと意見が一致したのは、不純物の処理であり、それをいかに取り除き、その影響を評価するかであった。また我々の同位体分布の変化と、軽元素の起源についての詳細であった。すなわち、以前から主張していたように必ずしも熱が出るから反応しているのではなく、熱が出ないばかりか吸熱反応もあるのではないかということの意味についてである。これは反応機構にも関わる重要なことで、今までの研究では熱が出ないからといって試料を分析せずに、大切なデータを見落としていた可能性もあったのではないかということである。

プロトン導電体の電解によって生じた元素のスペクトル



1996 反応生成物とその発生機構

ICCF-6 の会議が終わって、1996 年も終わろうとしていた 12 月末に、E メールが送られてきた。それはイタリアの物理学者、コンテからのものであった。水野の反応生成物の結果を見て、それ以外の

核生成物、たとえば中性子、荷電粒子について詳しいことが知りたいという内容であった。彼の理論に基づくと、常温核融合は説明がつくというのである。

今までこの常温核融合の機構や理論について多くの理論が提案されてきたが、いずれも十分ではなかった。初めは普通の d-d 反応、クラック説、ミューオン触媒核融合、多体核融合、中性子触媒核融合など、いずれも全ての現象を定性的にでも説明するのは困難であった。彼の理論は今までのもものと比べると、きわめて普通で何ら特別なものではなく、あくまでも従来の量子力学にのっとった波動関数の一般化とでもいうものであった。量子力学と聞くと、難解な数式と物理の理論がごちゃごちゃと出てきて、それだけで拒絶反応を示す人が多いと思う。しかしこの学問は何ら特殊なものではなく、実験的な事実と合うように記述した合理的な理論で、それも突然出てきたものではなく、古典的な物理の理論をもとに組み立てられたものである。古い材料だけでは新しい建物ができないように、そこには当然新しい理論が組み込まれているのである。その一つが、粒子と波の一体化なのである。ここで粒子というのは我々の目にする物質であり、波というのはエネルギーそのものであって、昔はこれらは全く別のものであり、お互いに波から粒子へ、粒子から波へと変わることはないと言われていたのであった。確かに私たちが目で見ることができる現象からは、それは疑いようもない事実であった。しかし、それが人間の目では見ることができない原子、分子、素粒子の世界では全く事態は変わってしまうのだ。では、我々の目にする世界はどのようなか、古典力学で成り立っており、ある狭い範囲だけで量子力学が成り立つのではないだろうか。いやそうではなく、我々が目にする世界も量子力学が成立しているのである。ただその効果があまりにも小さくて目に見えないだけなのであって、近似的に古典力学で説明できるだけなのである。

1997 年 7 月プラズマ電解

7 月 1 日、昼頃の事であった。大森が顔色を変えて水野の部屋に飛び込んできた。

「水野君、大変だ。水の中で火がついている。」と大森

「え、なに？」

「電解していたら、電極が火の玉みたいになった。」大森が興奮して叫ぶ。

「え、どういう事？」

「ともかく見に来てくれ。」

「分かった。すぐ行こう。」

二人であわてて、大森の実験室に向かった。

この時、大森の講座では彼を支持してくれていた延与が退官し、大森より若い教授が北大の外から着任していた。この人事によって大森は常温核融合研究を自分の講座では全く出来なくなっていたのだ。そこで水野が協力し、一部の部屋を大森のための実験室として確保していたのであった。もちろん今までの大森の実験室とは及ぶべくもなく、窓のない 10m² ほどの倉庫のような狭いものであった。それでも大森は一日のうち数時間は、ここに来て実験を続けていたのであった。もちろん、自分自身の触媒での仕事を行ってのことだ。大森の新任教授の仕事もいやな顔をせず黙々と引き受けていたのである。

大森の実験室に行くと冷蔵庫を横に広げたような恒温室があり、その中に 200cc のコーラビン程度のガラスセルがあり、すでに反応は終わっていて、中には緑色の溶液が入っていた。これはタングステンの溶けたものだということがすぐに分かった。

「もう一度反応を起こしてみせる。」と大森が溶液を交換し、新しいタングステンの電極をセットした。電極は厚さが 0.3mm で 1cm 角の大きさであり、リード線がついていた。陽極には白金の網状のものが使われていて、これは今までに使っていたものと一緒であった。また溶液には炭酸ナトリウムが使われていたのであった。

なぜ大森がこのような実験を思い立ったのかというと、今まで常温核融合実験は電流密度があまり大きくない。温度も低すぎる。これを全く変えてみたらどうなるだろうか。と考えたのであった。すると思いもかけない結果になったというのだ。

またなぜタングステンなのかというと、彼自身金を電解したところそれより重い元素が核変換によって見いだされたので、もしかすると金より少し軽い元素を電解すると、金が出るのではという野望もあったのである。

「セットが終わった。これから電流を上げていく。」といいながら大森は定電流電解をスタートさせた。電流が 1 アンペアを越えたころから、電圧が 120V を中心として変動幅が大きくなっていっ

た。この時溶液の温度は 85℃ に達していた。同時に電極からは勢いよく水素と水蒸気の泡が吹き出し、ゴウゴウと異様な音が出始めていた。



プラズマ状態のタングステン電極

さらにわずかに電流を増やし 1.2 アンペアにしたときの事だ。突然、電極が火がついたように輝きだしたのだ。同時に電圧は 90 ~ 140V と大きく変動し、しゅーしゅーという音が連続的に出だしたのだ。大森と水野は驚きと恐怖を同時に感じていた。

しかし、すぐに用意していたカメラでプラズマの様子を撮っていった。同時に電流、電圧、温度などのデーターもチェックした。さらに持っていった、エックス線検出器も動作させた。しかしエックス線は出てはいなかった。

溶液は沸騰し、水素と水蒸気がどんどん吹き出し、少なくなっていく。またはじめ透明だったものが、緑に変わっていくのであった。

「すごいな、これがフライシュマンの見た常温核融合だったのだろうか。」水野

「いや、少し違うかもしれない。」大森

「彼らはこんな光を見たとは言っていない。ただ急に沸騰が始まり溶液がなくなって電極が溶けていたと言っていた。」

「それじゃ、この緑色のものを調べてみよう。」水野

後日水野は EDX でこの沈殿物を調べたところやはり、多くの元素が入っている事を見いだしている。このプラズマ電解は後の重水中でのプラズマ電解による中性子放出や、過剰水素、過剰熱の発見につながっていく重要な研究であったのだ。これもやはり大森の深い経験と考察力によるものであった。

1998 4月・ICCF7、Vancouver, Canada、April、

常温核融合の会議もすでに回を重ねること7回目になった。今回はカナダバンクーバーの国際会議場(写真1)で4月20から25日までの日程で開かれた。前回は1996年の10月に北海道の洞爺で行われ、それから1年半の時間が経っている。バンクーバーは緯度的には北海道の稚内市より北にあるが、気候はずっと温暖で住み良い観光の街である。季節はちょうど春で、至るところ花と緑の自然豊かな大都市であり、日本からの観光客も大変多い。会場はカナダバンクーバーの中心にあり、湖に面したホテルを併設した帆船を思わせる会議場であった。

今回の参加者は200名ぐらい、発表件数は80件程度であった。もちろん一番多く参加していた国はアメリカであり、96名、次が日本で30名であった。後はイタリア、カナダ、中国、ロシアが目立っていた。今回の会議で大きくちがっていたのは、いままでなかった核変換のセッションが新たにもうけられ、まるまる1日の日程がもたれたことであった。この核変換に関する発表は全体の30%に達していて、すでに無視できない数となっていることであった。もちろんそれ以外でもいくつか目についた発表があったのでそれについても話をしたいと思う。従来の重水を使ったパラジウム電極からの発熱に関しては、以前から続いているマックブル、ストルムズ、および、フライシュマンから、何年も続いた研究についての発表があった。内容は特に目を引くものではなく、

従来の発表を相変わらず繰り返しているな、という感想であった。もちろん、新しいブレークスルーについても発表しており、注目に値する発表もあったことは事実である。

しかしもっと目を引く発表は、ケイン、ケース、岩村、大森、シルバー、ストリンハム、等の発表であった。これらについて話そうと思う。

1. ブルース ケイン(ミシシッピ州立大学、米国)の発表

真空中で蒸着したパラジウム膜を高温、高濃度の水酸化リチウムの重水の電解液で電解を行い、100 ワット以上の入力を越える発熱を 20 時間以上にわたって観測したというもの。(図 1：通常の電解装置)ケインは、高温での実験を行った。6つのセルの内6つ全てから 50～100 ワットまで(これは薄い膜ではきわめて高密度である)の高い出力密度の熱を産出した。彼は、電解質を多く使用している。この発表を聞いていくつもの問題点がある。特に大きなものは出てきた熱は化学反応によるものではないかということである。それらは以下の点である。

第 1：電解後にはセルの中には多くのリチウム炭酸塩があったが、これは電解質から析出したのではないか。

第 2：一つのセルからは電解を始める前から、発熱があったということであるがこれは化学反応ではないか。

第 3：過剰熱発生は、比較的短時間であったこと。また、観測された熱は化学的な反応によるものではないか。さらに、泡や蒸気などの影響をどう考えるか。

第 4：複雑な化学反応が起こると、過剰熱の算定にとっては大変面倒であるということ。その一つに次の事実が観察されている。リチウム塩が容器内部の上の部分の覆うと、熱が出ず、覆ってなければ過剰熱が観測されるということ、これなどは化学反応による熱があたかも常温核融合のように見せているのではないかということである。

このような疑念をはらすために、化学的手段で沈殿物および電解質、陰極、他の構成要素、サンプルなどの分析をし、さらに容器の底のまだ湿っているスラリー状の沈殿物も分析をしたということである。その結果、電解質中のリチウムのほぼ 5%が炭酸塩となっていた。もしセル内のリチウムの全てが炭酸塩に変化していたならばこれは、過剰熱を説明するために、十分な熱を出していたと考えられる。開放したセル構造では、炭酸塩は、空気中の二酸化炭素から形成されることが考えられる。セルにはこのようなことが起こらないようにガストラップを使うことが必要である。これによって、炭酸塩の生成を妨げることができる。

第 2 の点、電解前から発熱が認められたという点については問題があるように見えるが、この減少によく似た事実はわたし自身も経験している。1991 年の 3 月末のことである。直径 1cm 長さ 10cm、重さ 100g のパラジウムを何ヶ月も電解した後に測定を止めたのであるが、電源を切ったにもかかわらずいつまでも発熱が続いたことがある。それと同じことがその後フライシュマンによっても報告がされている。彼は以前から化学的な方法を使って水素化物をつくったほうが電気化学的に水素をパラジウムに入れるよりうまくいくかもしれないと言うことを述べている。

2. ケース(核融合エネルギー研究所、米国)

活発化された炭素の上に 1%程度のパラジウム混ぜた触媒を使用し、重水素を反応させた結果、ヘリウムの生成を認めたというもの。ここで反応容器は、150～200 温度に保たれている。その後、水素を使用して触媒を清浄にし、酸素ガスを取り除く。その後、重水素ガスを入れると温度は上昇し、比較のための軽水の時より 5～30 高い値を示し、過剰熱が出ていることが認められたというものである。その過剰熱は何週間も継続しその実験は 10 回以上再現された。

ここで問題は、この観測された温度のちがいは重水素と水素の熱伝導係数によってもたらされたものではないかということである。そのような問題は、すでにわたし自身や、オリアニ(ミネソタ大学教授)、および他の研究者によって報告されている。試料の測定場所、熱電対の問題、ガス圧力、測定方法、および、セルの内壁の構成、測定温度などの諸条件を校正した結果、間違いなく過剰熱の発生があったことを意味している。

3. 岩村(三菱重工、日本)の報告

前の 2 つの ICCF 会議で報告された仕事の続きであり、大きな進展を示している。実験装置は、クリーンルームで測定が行われ、測定は 6 回繰り返されその全てから、過剰熱、X 線の発生と核変換を観

測している。電極はパラジウムの箔を使用し、厚さは 1mm くらいで表面は酸化カルシウムの薄い膜で覆われている(図 2)。セルは特殊な構造をしており、底のほうには 1 cm の直径の丸い穴があいており、ここに試料がふたをするように固定されている(図 3)。そこに電解液が入れられ、液の上部におかれた陽極との間で電解がなされる。すると重水素は、電極の液に面した表面から入り込み箔を通り抜けるようになっている。その後、水素は、箔のもう一方の面、すなわち真空室へと引き抜かれるのである。

この方法は、重水素の移動性を増加する効果が期待できる。温度は、40℃、前後で測定が行われている。核変換の測定は、分光学的な方法で行われている。すなわち EDS、XPS、および WDS である。また定量的にも測定されている。実験前のセル内にあるチタンの量は 23 マイクログラム、生成したチタンは 22 マイクログラムであり、この量は陰極の水素発生面の側で得られたものである。チタンの全てが、陽極と電解質から選択的に溶解したことは、ほとんど考えられない。不純物の一つである銅が、チタンより大量に存在しているのにもかかわらず、他の不純物と同様に、陽極の上では見いだされてはいない。なお、銅はチタンより、はるかに電析しやすい。また観測されたチタンの同位体分布は、通常のものとは異なっていた。また同じように検出された鉄の同位体分布は、さらに大きく通常のものとはちがっていたのだ。

X 線の結果がまた大変注目される。エックス線検出器は上部に二つ、下部に 1 つある。この時、上部の二つからだけ、同時に観測されていたのだ。しかし、陰極の下においてあるエックス線検出器は、何も検出していなかった。

過剰熱の結果は、入力 40 ワットの時、出力は 42 ワットであり、過剰熱としては 2 ワットであった。これは小さいようであるが、測定誤差を考慮すると、偏差を 3 倍以上越えているのだ。

4. 大森(北大触媒化学研究所、日本)の発表

タングステンを電極として使用し 85~100℃の温度で電解したとき、過剰熱、核変換を観測したのだ。この結果については、論文誌を読んで欲しい。この方法には、電極にタングステンを使い、軽水の硫酸ナトリウム中で 100 ボルト以上かけて電解し、発熱と発光をおこすのだ。そうすると、入力を遙かに上回る 150 ワット程度の過剰熱を得ることが出来るのだ。また電解後の表面を分析すると各種の元素が析出しており、特に鉄やクロムなどの同位体比が自然のものとは大きくずれていて、何らかの核的な反応を裏付けていた。

5. デビッド シルバー(ポートランド州立大学、米国)

冷間加工したパラジウムについて、水素中と重水素中で電解した後の表面の変化について報告している。表面の分析は原子間力顕微鏡や質量分析によって調べ、その結果重水素で電解した場合のみパラジウムの表面が大きく変化することがわかった。

6. ストリンハム(E-クエスト サイエンス、米国)

超音波による常温核融合反応、キャビテーションによる重水中での発熱現象。この方法は比較的新しい常温核融合の技術であり、日本でも研究者がいる。超音波を重水中で発生させ、パラジウムなどの金属表面に照射すると微少な泡が消滅するときに大きなエネルギーが発生し、重水素原子を金属表面に押し込め、その時に核融合反応が起こるというものである。彼の報告では超音波の入力に対して三倍を超える発熱が観測されたというものであった。この技術についてはこの後の号で詳しく述べる機会もあるう。

7. 李(中華人民共和国)

パラジウムへ重水素、軽水素を吸収させた後の生成物の分析、分析には放射化分析やその他の精密な分析法を行っている。パラジウム中へガスを吸収させて反応を起こさせた後、容器内のガスや金属表面の分析を行ったところ特に重水素で反応を起こさせた場合にはヘリウム 4 が大量に観測されている。また水素で反応させた場合の金属表面からは特に目立って亜鉛が多いことが発見されている。またそれ以外にも各種の元素が見いだされており、その同位体比も自然界のものとは大きく変化していたのであった。特に興味のあるのは自然界にはほとんど存在しない、希土類であるテルビウムが見いだされたことがきわめて目立つことである。(図 4)

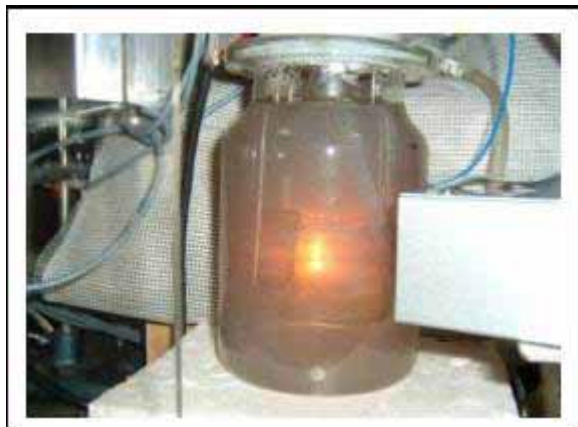
8. 高橋 (大阪大学、日本)

低エネルギーの重陽子ビームを重水素を入れたチタンに照射し、出てきた荷電粒子とそのエネルギーを調べることにより、三体の核反応の存在を報告した。この研究は高橋独自のものであり、きわめて重要なものである。チタンの中に重水素を含ませ、それに 100 ~ 200keV のエネルギーの重水素をぶつける。すると重水素原子核同士の間で核融合反応が起こるが、その時ヘリウム 3 とトリトン(トリチウムの原子核)が生じてくる。このエネルギーを検出器によってスペクトルを調べた結果、その反応率は通常の核反応理論より予測されるものより 26 桁以上も多かった。また同時に 4 体反応と思われるアルファ粒子も検出されておりこれも通常予想されるよりきわめて反応率が高いのである。この反応は主に金属の内部で生じており、高いエネルギーの重陽子が金属内部でほとんど静止するあたりで反応が生じていることを裏付けている。高橋の測定は他の不純物の存在や考えられるパイプアップの影響を厳密に考慮しているために、きわめて信頼性が高い。(図 5)

9. 笠木 (東北大学 日本)

高橋の研究と同じようにエネルギーの高い重水素の原子核を重水素を含ませたチタンやイットリビウムに照射し出てくる荷電粒子のエネルギーを測定するものである。この結果特に重水素のエネルギーが 10keV 以下の低い領域で核反応率が 10 倍以上も高くなることが見いだされている。この測定も高橋の実験と同じように、金属内部で核反応率が測定されており、通常的气体で行われた測定の結果より、反応率がちがっていることが確認されており、そのもつ意義はきわめて大きいものである。(図 6)

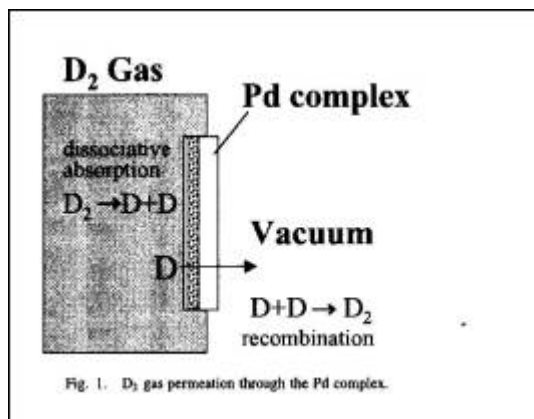
以上のように今回の会議ではいままであまり目立たなかった、核変換に関するものが大変目立っていたのであった。しかも報告されている結果はお互いに大変よく似ており、実験方法がちがうにもかかわらず、生成する元素はカルシウム、チタン、クロム、鉄、銅、亜鉛、さらに各種の希ガス類であった。もちろんこれ以外の元素についてもいくつかあるが、特に共通するものはこれらに限られていることが大切なのである。すなわち、特に安定な元素が電解などの処理の後に観測され



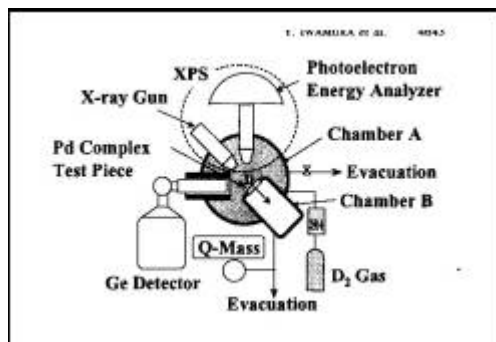
プラズマ電解

る例が多いということなのである。またいずれの研究例でも反応は金属内部や、その表面で起こっており、こういう部分での反応の解明が急がれるところである。

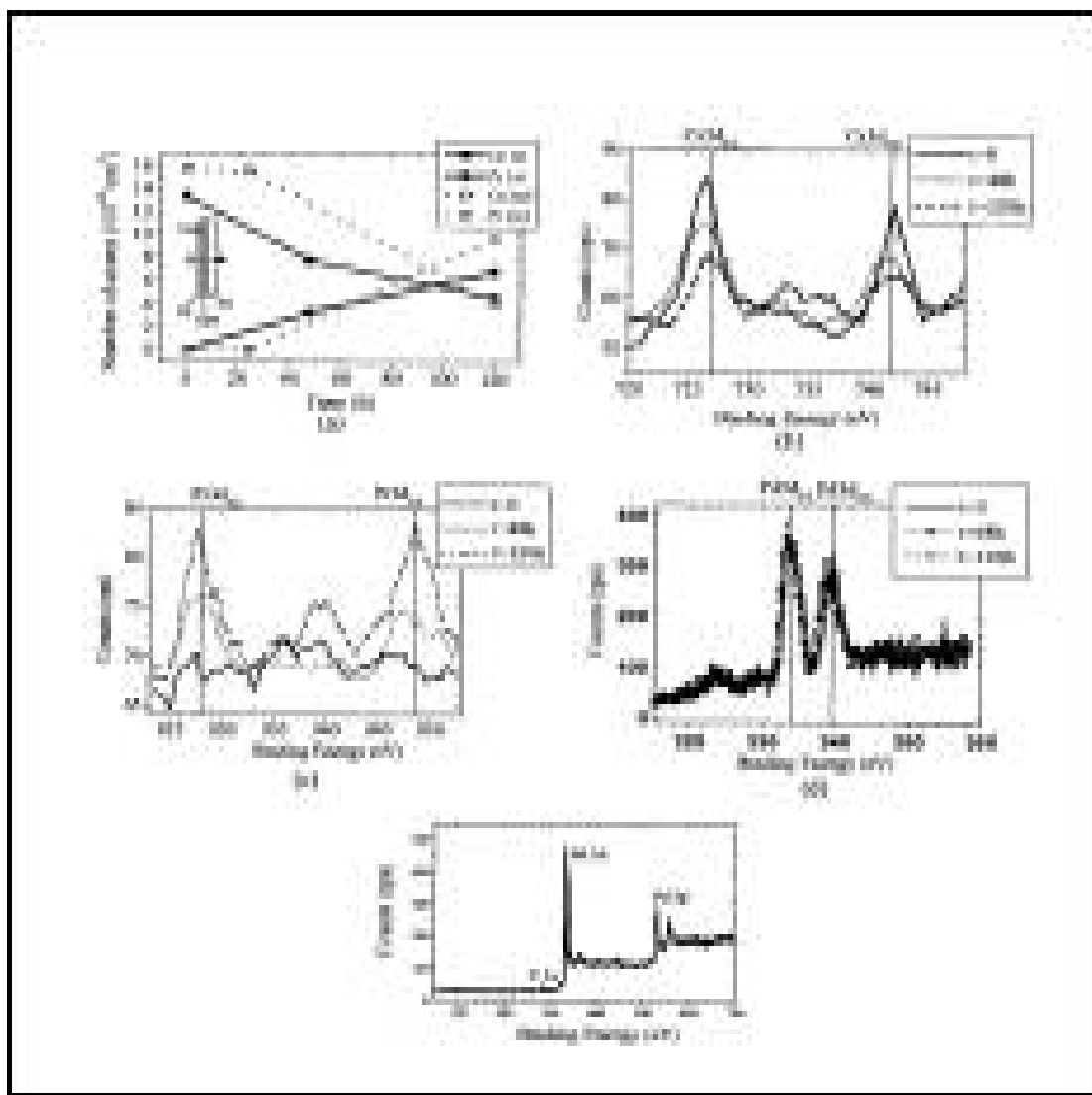
岩村の使用している電極の形状、3層になっている。



岩村の実験系。上部の溶液のはいる部屋とタブの水素を引き抜く真空の部屋とに分かれた特別な構造をしている。二つの部屋の間には試料が固定され、白金を陽極としてパラジウムが陰極として電解される。エックス線の検出器が3本用意されていて上部に2つ、下部には1本が設置されている。中性子測定用にヘリウム3検出器もセットされている。



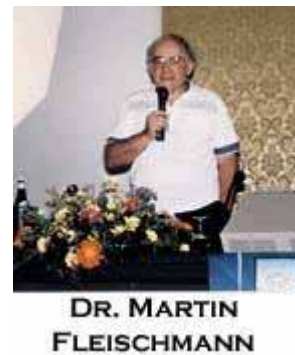
岩村のデーター、反応物と生成物の関係が逆になっている。



2000 5月・ICCF8、Lerici、Italy、May、2000

この年はミレニアムとして記念にイタリアの地中海に面したリグーリア州、レリーチで ICCF5 が開かれた。5 月といってもイタリアンリビエラと呼ばれすでに夏の様な陽気であった。丘の上にある、Villa Marigola コンファレンスセンターで3日間にわたって開かれたのであった。参加者は150名ぐらいであり、やはり会議の中心になったのは核変換であった。

Villa Marigola コンファレンスセンター



M.フライシュマン:コヒーレント核反応の理論へのジュリアーノ Preparata の貢献について講演した。



Scaramuzzi は簡潔に室温核融合におけるイタリアの政府イニシアチブについて説明した。

De Ninno 他):新しい電解質構成によるフライシュマン-ポンズ効果を講演。



Hagelstein:金属重水素化物による速イオン放射のモデル。

Celani:彼は最も長いタイトルで講演した:「薄い Pd の高水素負荷は陰極表面のアルカリ土類炭酸塩沈殿物皮膜により達成」Pd-H 系における新しい相に関する証拠について。

岩村他:「重水素を多層 Pd 層中に連続した拡散によって引き起こされた核生成物と時間依存。

J. J.デュフォー他 (40):「Hydrex 触媒ウラン核変換による鉛生成。」

X.Z.李:「核融合のための核物理学。」強い中性子やガンマ放出のない融合の共鳴メカニズム理論。室温核融合と熱い融合の両方が学ぶことができる理論。



G.G.マイリー:「薄いフィルム電極実験における進歩。」

M.H.マイル:「フライシュマン-Pons セルを使用する Pd 合金陰極の熱量計の研究。」

Y.E.キムと A.L.ズバーレフ:「ボーズ Nuclei による超低エネルギー核融合。」

V. Violante:「Pd 格子の水素同位元素相互作用力学。」

以上のように着実に進歩が見られている。

2002 5月・ICCF9、Beijing、China、May、2002

第9回目の国際会議が北京の清華大学で5月19日より24日まで開催された。集まったのは16ヶ国、100名程度であり、前回のイタリアと同じ程度であった。あらかじめ申し込んでいたにもかかわらず、参加しなかった人も10件ほどあった。口頭発表が30件、ポスターが60件であった。参加者は米国から23、日本22、中華人民共和国19、ロシア15、イタリア10 そのほかはフランス、ルーマニア、スペインなどであった。

全体的な印象は、これは個人的な意見ではなく、各国のイタリア、米国、ロシア、日本、ドイツ、フランスなど 10 名程度の参加者に訪ねた結果では、日本が最も正確で新しい結果を発表していたことで、それ以外ではイタリアなどが、それに準じていた。残念ながら、米国からの発表は精彩を欠いていた。これは新しい結果があるのだが、ここでは発表を控えたものだ。この理由には二つが推定される。一つは米国の研究者、たとえばイリノイ大学のジョージ・マイリー、スタンフォード大学のマックブレ、チャイナレイクのミルズ、マサチューセッツ工科大学のハーゲルシュタインなどは米国ベンチャーから 10 年にわたり一研究所当たり、毎年 10～20 万ドルの資金を受けていたのだ。また、同時に彼らは米国海軍研究所よりからも長年にわたり、資金を得ていたことが、公式文書で報告されている。

報告書の内容によるとそれぞれの研究者は特定の分野で研究を行い、お互いに結果について共同で討議を行い、現象の追求を行うことになっていた。これによって、技術報告書が 2002 年 2 月になされている。報告書には San Diego, Spawar System Center の P. Boss、同じく S. Szpak、Washington, Naval Research Center の Scott Chubb、M. Imam、UA の M. Fleischmann、Middle Tennessee University、M. Miles、が共著者として名を連ねている。ここではきわめて厳密な研究が行われ、明らかな過剰熱とそれを再現する条件について解析が行われている。ただし、ここで報告されていることは、一つの例外を除いて他は、すでに以前から報告されていることの追試や厳密な解析に割かれており、格別目新しいことではない。

それでもこの報告書が目を引きするのは新しい測定結果、すなわち電解中の電極からの発熱の直接観察と、公式の文書であることだ。いまだかつてこのような現象確認の公式報告は世界的にもなく、大変重要と考えることが出来る。このように米国では資金的に大きな援助を受けているために、自由な発表や討論は出来ないことが第 1 に考えられることである。

第 2 の理由としては、日本の発表内容の重要性によるものである。すでに日本では ICCF とは別に JCF が五年前から発足しており、すでに四回の会議を持っている。そこでは ICCF と違って、すべてが口頭発表で、十分な討議の時間もあり、お互いの情報交換が大変順調であることだ。これによって、実験条件の設定がはっきりわかるようになり、無駄な時間と資金、労力の投入を防ぐことが出来ているのである。大阪大学の高橋、三菱重工の岩村、横浜国大の太田、岩手大学の山田、北大の大森と水野は相互に討論を重ねることが出来ていて、共同で研究を進展している。この結果、高橋は加速器を使用した実験を重ねるとともに理論的な面で研究を進めている。また岩村は重水素透過によって、おこる核変換過程を 100%の再現性とともに理論的な説明との整合性を持つ結果を得ている。また岩手大学の山田は放電過程の生成物と放射を 100%の再現性で実現できるまでになっている。太田は電解過程での過剰熱の再現を、やはり 100%の確率で可能としている。大森と水野はすでに核変換過程を世界に先駆けて報告しており、その後、発熱、中性子、と高い確率で現象を再現できるようになっている。

このように日本では共同研究が大変うまく行っており、これに対する、危機感が米国を中心としておこっているのがもう一つの理由であろう。

ICCF9 北京会議での Tomas Passel と George Meily



視点を他の国に移してみると、特に研究を進めているのがイタリアである。この国は公的に研究の認定と資金の援助を得ており、発表も学問的に価値の高いものである。特に細い電極を使用し、過剰熱の発生の確認を繰り返し行っているのが目立つ。ただし国内での共同研究は行っていないのが弱点であり、情報の交換がスムーズではない。このために各個人がそれぞれ独自の研究を行っており、そういう面では研究の進展は遅い。

さらに当初から目立った国としてはロシアがあり、きわめて特殊な研究が多いのが特徴である。ただし、依然研究を取りまく環境、中でも資金面では大変苦労をしており、そのため現在では多くの研究者が米国で研究を行っている。3月にサイエンスから発表のあった、超音波照射による、中性子の報告はこうした研究者の一人であるタリヤーカンからのもので、この研究はもともと、軍事に關したものとして冷戦以前から続けられていたのである。彼は中性子測定の特門家であり、その測定は大変正確なものである。彼自身はこの現象を熱核融合としてとらえているが、他の生成物がわからないこと、入力のエネルギーレベルが熱核融合の発生には困難であるために、常温核融合現象としてとらえるのが正しいと考えている。余談だが ICCF9 では彼への連絡を行っており、今回は申し込み期限が大幅に過ぎていたために、参加を見送ったのであるが、特別に會議に対し、挨拶状をよこしていたのである。

この會議でも特に目立ったのはやはり日本からのものであった。先に述べたように、すでに核変換はその精度、再現性、理論的背景の完全さから、すでに実用化への道を進んでいるのが実情である。これはもし実用となれば、多くの廃棄物や、放射性物質の処理に道を開くものとなり、その発展性は大変大きいものがある。この分野では当初から日本が大きくリードしており、JCF の役割の正しさが証明された例である。また核変換は日本だけではなく各国からも五年ほど前から報告されており、その再現性と理論的背景が確立されてきた分野でもある。

また、オークリッジの発表にもあるように、超音波核融合については米国を中心として進められており、SRI やイリノイ大学が特に重要な反応として、日本の荒田らのサンプルをもとに実験を進めている。この分野では、もちろんすでに日本でも多くの報告があり、日本の産業界でも、注目していたところがあった。この過程でおこる発光現象は、超音波キャビテーションとして知られているが、それにとまって、誘起される反応については全く手つかずの分野であり、これからの発展が期待されるとのことであった。これは余談であるが、今まで参加していた、本田からの研究者が、現象がはっきりし、これから多くの発展がうかがえるという一番大事な時期に参加していないということは、大変奇異に感じられていたようである。聞くところによると本田では独自に超音波発光過程を実験、解析し、多大な成果を上げているという報告が、米国の研究者によってなされていた。これも米国の日本に対する関心の現れと思われる。

2003 8月・ICCF10、Boston、USA、August、2003

この會議は米国のハーゲルシュタインが中心になって進めた。2003 年 8 月、場所はボストンである。

2003 年 8 月 24 から 29 日までの約 1 週間、アメリカ合衆国マサチューセッツ州ケンブリッジ市で、10 回目の常温核融合國際會議(ICCF10:10th International Conference on Cold Fusion)が開かれた。世界各国からといっても主に米国と日本、それと主にイタリアから 100 人以上が集まり、最新の研究報告と活発な議論が行われた。前回中国で行われたのであるが、例によってテロ騒ぎのためにビザが下りず、中国からは李教授一人だけ、またロシアからはだれ一人参加は出来なかったものであった。ここにも科学と政治がいかに切り離せないか、はっきりしている。

1989 年の常温核融合発見の報告から 14 年もたったが、研究はあちこちで何とか続いている。その内容も、固体内低エネルギー核反応(固体内核反応)というより広いテーマになっている。いままでの重水電気分解だけでなく、もっとかわった方法で、核反応の証拠を集めようと知恵を絞っていることがわかる。いつものように過剰熱の検出、ヘリウムなどの核生成物測定、放射線の検出、元素の同定などもずっと続けられている。また、実験から得た多くの現象を説明するために、相変わらず幾多の理論が発表されている。理論と実験は科学の両輪であるが、実験の再現が今ひとつの状況では理論はまだ難しそうであった。

今回もっとも注目を集めた発表の一つが、やはり前回と同じ三菱重工の岩村による核変換の話だ。これは、前にも説明したが、パラジウムと酸化カルシウムを多層構造とした板の片面から重水

素ガスを、もう一方の真空側に通して、試料に重水素ガスを拡散、透過させる方法だ。

はじめに、試料のガス面に塗った ^{133}Cs が、重水素ガスによって ^{141}Pr に変わることが何度も再現できたのだ。さらに $^{88}\text{Sr} \rightarrow ^{96}\text{Mo}$ という元素変換過程も報告された。(結果的にはいずれも原子番号が4、質量が8増える元素変換である)

岩村らの研究の特徴は、ある元素を使って一貫した元素変換を見つけた点と、変換元素の測定を、多くの方法で客観的にしていることだ。(岩村らの実験の詳細については[1]でも述べられている)。引き続き発表された、高橋らによる追実験の結果も、岩村の結果を再現したのだ。となると、核変換は疑いないものとなる。この結果は、会場の参加者に大きな衝撃を与えたのだ。

もう一つ新しい現象があがってきた。これはパラジウム板を電極にして、重水中で電気分解したとき、レーザーを当てると、入力を越える過剰な熱発生があるということが何人かの研究者によって報告された。レーザーで常温核融合反応が起こる可能性は、何度か言われてきたが、その機構は良くわからないでいた。

このとき、照射条件と他の現象の相関が話され、これからの常温核融合研究の可能性の一つがわかったのだ。また、いわゆる板や箔のような単純な試料ではなく、複雑な構造を持つパラジウム合金試料や、多くの金属を組み合わせた多層構造の試料を使った時に常温核融合が何度も確認されたという報告もあった。これらは反応機構解明の大切な決め手だ。

重水素化金属への重陽子ビームを当てる報告では、特定の金属に低エネルギーのビームを当てた時に、原子間の遮へい効果が増えたと考えられる現象で核融合が増える事実や、重水素の多体核融合を証明する話もあった。

ビーム照射実験は、反応を定量的に判断するのに、大変良い方法であり、結果の不確かも判断しやすいのが良い点である。これらビーム照射実験も日本の研究グループが重要な成果をあげているのである。この他にも、チタンやパラジウム等の電極を用いた重水素中放電実験での、D+D 核融合反応促進の可能性や元素変換の可能性など、パラエティに富んだ方法で固体内核反応を示す結果が数多く報告された。これら種々の実験事実を見ると、理論的な研究も、見通しがでてきたようである。

近年の世界的な常温核融合の動向は、(1)固体内での重水素の挙動、(2)低エネルギー固体内核融合での遮蔽効果の増大、(3)反応における元素生成(元素変換)、(4)高エネルギー粒子線放出をともしない反応であること、(5)過剰熱発生量と反応との相関、(6)実用化への展開(過剰熱の利用や元素変換現象を応用した放射性廃棄物処理など。今後の研究はこれら課題を中心に進められていくことになる。

ICCF10での発表全体を見ると、研究報告の質には多少ばらつきがあったものの、これまでと全く第三者の批判対象となってきた再現性の向上と結果に対する客観的評価の必要性という点において、個々の研究者が強い意識をもってその解決に取り組んでいるという印象を受けた。また、今後の研究課題、方向性等が明らかにされるなど、高いレベルでの議論がなされた会議であったと思う。総じて、ICCF10、本研究分野の今後のブレークスルーを予感させる会議であった。なお、会議のプロシーディング論文は[2]から参照することができる。

会議の最終日には、固体内核反応研究をのせた論文誌を作ることの必要性など、今後の会議の方向が話された。固体内核反応研究は、自然科学的観点からも非常に興味深く、将来的にも発展が期待されるテーマであることはもはや疑いがない。しかしながら、実際には、未だ学術研究として広く世間に認知されていないのが現状である。さらに、過去の常温核融合騒動の経緯もあって、研究成果を公表できる場も限られている。この現状を改善するために、研究内容を科学的立場から正当に批判、討論するグローバルな場が必要であるというのが出席者全員の意見であったように思う。そういった観点からであろうが、今回の ICCF10 は、一部セッションを一般向けに開放し、実験装置を展示してのデモンストレーションを行うなど、パブリシティを意識した会議であった。この点に関しては、日本国内でも、数年前から固体内核反応研究会(JCF: Japan CF-research society)[3]が毎年開催され、最新の研究報告が行われており、また、今年度からは原子力学会に「サブ keV エネルギー領域での凝集系核現象」研究委員会が発足し、広い分野からの研究者を集めた客観的議論が行われるなど、研究分野確立のための地道な努力が続けられている。

ICCF10 には、開催地であるアメリカ国内からの参加者が非常に多かったが、興味深いのは、その所属が大学だけでなく、企業など民間の研究機関、さらには軍関連研究機関など多岐に渡っていたことである。彼らはさまざまな考え方を持って研究に取り組んでいるが、そこには共通した意

図として、研究成果の延長線上にある現象の実用化(低温 D+D 核融合→過剰熱の利用)があるように感じられた。それはアメリカ人研究者の発表の多くが、過剰熱発生の議論に絞られていたことからもうかがえる。彼らは、実用的意図を前面に押し出すことで研究費ねんしゅつを図るとともに、ビジネス創生の可能性を持った投資価値のある研究と考えているようである。また、国家機関が国策研究の一つとしてとらえているような印象も受けた。これとも関連して、アメリカの一部(軍関係など)に、アメリカ中心の新研究プロジェクトを立ち上げる動きも見られており、今後日本としてもその動向に注意する必要があるであろう。本来であれば、アメリカ、日本、イタリア、ロシアなど、研究の進展がある国々が協力体制を組んで“国際共同研究プロジェクト”を立ち上げ、その中で基礎から実用までを組織的に研究するような方向が望ましいと考える。もちろんそのためには、日本国内でも、産学官連携など各方面の理解と協力を得て、研究のバックアップ体制を整備していく必要があるだろう。

ICCF10 で憂慮すべき点は、参加者に、中堅、若手研究者の割合が非常に少ないということである。世界的に見て、この研究に携わっている研究者の年齢層を見ると、既に一時代を築いた高齢研究者の割合が比較的多く、逆に若手現役研究者が非常に少ない。多くの研究者にとっては、未知の研究分野に足を踏み入れることは大きなかけであるが、現象が実証され、研究の基礎が築かれつつある今、アクティビティの高い若い研究者がどんどん参加して、研究を発展させていく必要があると強く感じている。上述のように、近年のこの分野における画期的な研究成果の多くには日本の研究者がかかわっており、質的に非常に高い成果をあげている。これは地道な研究の賜物であり、今後この分野を大きく発展させ、世界的に主導的な立場を担っていく可能性をわが国は持っている。多くの研究者の参加を願っている。

今後これから行う研究は核変換のより広い範囲の物質の変換を試験すること、それ以外に熱、中性子の発生強度を高めることである。この中で超音波は新しい手段であり、これから多くの試験を必要とすると考えられる。この会議では今までと大きく違っていった点があった。いわゆる実用化が視野に入ってきた点であり、これをめぐって会議の参加者の間には意見の違いが目立ってきたことである。

4 章 流れに逆らうということ 研究者個人を取りまく状況

研究者は多くの困難に直面したことがある。

昇進に関しては；

常温核融合研究を行っているものは、昇進が認められていない。その結果、多くの研究者が当初の地位に止められている。これは明らかに研究に対する大きな抵抗である。

学会では；

ほとんどの学会で常温核融合は病的科学であると、批判をされて来ている。このような研究は学会に適さないと常に発言を受けている。

論文投稿に際しては；

水野自身に関して 1995 年から 1998 年にかけて、核変換に関する実験的なデータを基礎とした論文を幾つかの学会誌に投稿したが、すべて拒否されている。そのうち主なものについて、具体的に述べる。

Nature はレフェリーに行く前の段階の Editor から、この論文は多くの読者の興味を引かないだろうから、他の論文誌へ出した方がよいという、丁寧な断りがあった。

Bunsenmagazin Deutsche Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie は、初めの査読でレフェリーから、実験結果のみでは十分ではない。理論を付すべきであるといわれ、いったん返された。その後理論的な展開をかき加え、再び審査に回してもらったが、今度は理論が荒唐無稽である、こういう論文はこのジャーナルに適さないといわれ、拒否された。

Physical Review は常温核融合に関するものは初めから受け付けられないという雑誌の方針であるという拒否を受けた。

この核変換に関する論文は最終的に日本語に直し、電気化学会誌に投稿し、3 回の書き直しの結果、

ようやく受理された。その後、水野は何度か上記の雑誌に投稿したが、常に同じような理由によって、論文は受理されなかった。

日本の現状

これ以外にも常温核融合研究は大変進み、多くの論文が次々と発表されている。特に米国での論文や報告書、さらには核変換反応に関する論文の内容は従来の科学を変える可能性を持つ重要なものだ。しかし残念ながら、日本のマスコミや学会には取り上げられる事はない。大学の先生でも常温核融合にかかわる認識は 1989 年当時から全く変わらない。これはその後の常温核融合の進展を知らないためだ。常温核融合を行っている研究者のほとんどが大変いやな思いをしているはずである。彼は CF 研究をしている。あの研究は詐欺のようなものだ。だから彼とはつきあわない方がよいと。こういった話が直接本人にくるのではなく、常温核融合の研究者の親しい友人に対して行われてくるのである。それも相当しつこく繰り返し、行われてきた。こうなると以下に親しい友人であっても、だんだん関係がおかしくなっていき、そうするうちに完全に疎遠になってしまい、研究その他で多くの問題が出てくるのである。これはいかに学者が不勉強であるか、または事実を知ろうとしない姿勢にある。常温核融合の研究者に対して、学会や大学は似非科学者扱いをしている。我々は地道に研究を続け、論文で成果を発表していれば、真実がわかると期待している。

研究資金

日本で固体内核反応研究会を設立した。我々は毎年ミーティングを開き、研究の発表を行っている。研究者相互の情報を密に交換し、研究を進展している。基金については、基本的に自分のポケットマネーを使っている。今まで 4000 万円使用した。次に企業から資金を得ている。これは 2000 万円使用している。さらに財団の資金を得ている。2000 万円使用。すなわち毎年 500 万円の資金が必要だが、半分は自己資金である。

種々の常温核融合実験

データが多すぎるが、その中で信頼できるものはどの程度あるのか。多くの情報を取捨選択、分析、解析を繰り返して、最後に統合すると、機構がみえてくるのではないか。以下にこれまで行われてきた実験の代表的な例を話そう。

1. これははじめにフライシュマンとポンスによって、報告された電解法だ。電極には Pd、Pt、Ti、Ni などを使って溶液中で電気分解するものだ。世界中で最も多く行われている。主に熱やそれ以外の核反応生成物を観測している。
2. 高温、数百 以上に温度を上げた KCl-LiCl-LiD などの混合塩で電気分解するものだ。電極にはいろいろな金属が使われる。
3. 固体電解質という一種のセラミックを加熱し、水素や重水素を流し、電圧を加えて反応を起こすものだ。
4. ガス中での放電反応によるもの。重水素中で、金属の針のような電極を使用し、高電圧をかけて放電させ、中性子や放射線を検出する方法だ。
5. 加速器を使い、ターゲットには重水素を吸収させた、チタンやパラジウムの金属をセットして重水素のイオンをぶつける。すると種々のイオンや放射線が出てくる。それらを分析することによって異常な核反応を見いだす。
6. 特殊な状態下の Ni との反応(H₂); (中性子と核反応生成物を発生する。イタリアで再現されている。)
7. 音場を使用し D₂O と種々の金属を媒体としたキャビテーション反応。(この方法は中性子と核反応生成物を発生するために米国で再現されている。)
8. マイクロ気泡生成による H₂O 中でのキャビテーション反応;(方法をかえたいいくつかの試みが、ロシアで成功しているが、米国ではうまくいっていない。)
9. パラジウム微粉末と重水素ガスの反応;(この方法は手法をかえて米国と日本で中性子と核反応生成物を生じている。)
10. D₂O、H₂O 中のプラズマ放電法;(この方法のバリエーションは米国、イタリア、および日本で行われている。)

11. 重水素化合物の相変化法; (米国とロシアで報告されている)
12. 生物学的方法; (日本、ロシア、およびフランスで報告された。)

5. 反応機構

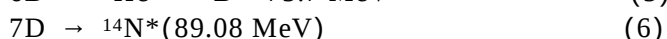
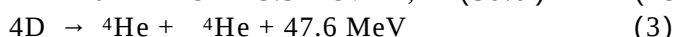
常温核融合反応とは

常温核融合反応は初め、重水素が、金属(代表的にはパラジウムまたはチタン)に、ある濃度以上吸収され、何らかの刺激を受けた結果、重水素同士が融合して起こると考えられていた。重水素を吸収させる手段として、電気分解が利用された。その後、重水でなくても、普通の水でも同様な方法で反応が起きる現象が報告されるようになった。さらに、そのような電気分解によらなくても、金属に重水素や水素を吸収し、それに電圧、熱、機械的ストレスを与えると、同じ現象が起きることがわかった。また現在では当初考えられていた、核融合反応だけではなく、核変換反応や核分裂反応をも生ずることが実験的に証明されている。そしてその方法も電気分解だけではなく、ガス中での水素同位体ガスの吸収 - 脱離過程、放電反応、固体電解質、キャピテーションなどと多くなっている。

多くのデータを総合すると、反応機構は自ずとわかってくるものである。

初めは熱、トリチウム、エックス線、次に中性子、荷電粒子やヘリウム等であった。これらについて総合的に調べた報告はまだ見あたらない。多くの実験データを総合してその傾向を見ると、とても核融合反応とは考えられないのである。

阪大の高橋らは、パラジウムの重水素化物、PdD_xの格子系を取り上げて、動的な過渡現象を考えた。格子中では三体、(DDD が同時に核融合 3D 反応を起こす)や、4D 反応のクラスター核融合の反応率が、大変増えると考えたのだ。高橋は低エネルギーのビームをターゲットに当てる反応系でここ 10 年ほど実験を続けてきた。最近になって、実験に合うデータが出ているので、簡単に話そう。クラスター核融合は、通常の二体 DD 反応から 8D 反応までを扱う。典型的な反応生成粒子のチャンネルは以下の通りだ。



以上のように、いくつかの重陽子クラスター反応が常温核融合に寄与しているとしている。

ロシアのノボシビルスク大の Kirkinskii-Novikov は、Pd の 4d 最外殻電子(Pd あたり 10 個)と重陽子(d⁺)₂ の格子系中の運動を、電子軌道変形ダイナミクスモデル(EODD)と名付けた。一種のモンテカルロ分子動力学計算によって解析した。

K-N によると、dd 核間距離が 0.1 オングストローム以下となる過渡的な dd ペアの割合は 18% となっている。これは、大変大きな値だ。普通電子はパウリ排他律にしたがい、トーマスフェルミガスとして存在する。そのため、d⁺₂ 個の接近では、電子が一個つき、D₂⁺分子イオン状態か、スピン逆向きの電子が、二個ついて D₂ 中性子を過渡的に形成すると考えられる。D₂⁺分子の dd 核間距離 R_{dd} は、1.1 オングストローム、D₂ の 0.7 オングストロームであることが良く知られている。EODD 計算には、D₂⁺と D₂ に対応する分布(波動関数)が 0.4 オングストロームより、上に現れている。過渡的なボソン化した電子対 e*発生を仮定する EQPET 理論では、DDe*、DDe*e*の過渡的な分子状態の波動関数が、R_{dd} < 0.4 オングストロームに分布している。

高橋の EQPET 理論によると、複数の重陽子と複数の電子からなる過渡的な D クラスターの波動関数は、D₂⁺と D₂、DDe*、DDe*e*などの波動関数の線形結合で書けるとしている。すると、クーロン遮蔽ポテンシャルのバリア透過率のガモフ積分は、各分子状態でのバリア透過率のガモフ積分の線形結合で表せる。

具体的な数式は大変面倒なので、文献を見ていただきたい。分子状態のバリア透過率と核融合率は簡単に計算できる。多体同時反応については、非常に早い二体反応のカスケードプロセスとして

近似し、多体系のバリア透過率が粗い近似で求められる。多体の強い相互作用については、きわめて短距離の fm 領域の荷電パイオンレンジで 3D、4D、8D が正多面体配置の時に共鳴的な S 値の増大として考えられる。

ここで、2 この過渡的クーパー対がペアリングした状態になる。2D のバリア透過率は、電子一個で 10^{-125} である。過渡的クーパー対になると、たった一個で 2D のバリア透過率は 10^{-7} まで急上昇する。その時、 $dd \uparrow \downarrow$ あたりの核融合率は、 10^{-20}f/s/pair である。これは、 $dd \uparrow \downarrow$ のマクロ密度を 10^{22}cm^{-3} とすると、 100f/s/cc の DD 核融合率にあたる。常温核融合実験で、たまに観測された弱いレベルの中性子発生は、この過渡的なクーパー対発生で説明できる。

更に、注目すべきは、過渡的なクーパー対の発生により 3D、4D 反応率が 2D 反応率を追い越して逆転していることである。「秩序ある核融合」では、このような逆転が起こり得ることを示している。電子による遮蔽ポテンシャルを D_2 分子とクーパー対分子と比較して図-14 に示す。過渡的クーパー対分子では、 dd は古典力学的に約 4 ピコメートルまで近づくことが分かる。一方 D_2 分子では、20pm である。

このようにして常温核融合現象はかなりきれいに説明が出来るまでになっている。

制御可能な核変換

しかし、14 年前の常温核融合以後に、異常発熱反応や、通常の学説で説明不可能な現象を確認した研究者がいた。彼らは、世間や学会主流派の否定と、多くの差別を受けながらも、諦めることなく、常温核融合研究を続けてきた。そのような日本の学者の間で、固体内核反応研究会が 1998 年 3 月に組織され、その後、毎年秋に研究会を開いている。この研究発表会には大学以外に、企業からも研究者が多く参加する。これらは三菱重工業、トヨタ、ホンダの研究者である。また世界的には、ほぼ 2 年に一度、常温核融合会議が開催されている。

従来の常温核融合研究において、最大の難点は再現性の悪さであり、そのために病的科学とよばれた。しかし、多くの研究者の地道な努力でその再現性は着実に向上してきた。最も再現性が高いのは三菱重工業が研究している方法である。パラジウム膜間に酸化カルシウムをはさんだ素子を用いて、100%の再現性で核変換反応を起こすことが出来る。三菱重工の研究内容は次のようである。直径 2cm 位の多層構造のパラジウム板を使う。上から、厚さ数 100 オングストロームが純パラジウム、次に厚さ 0.1 ミクロン位の CaO の低フェルミエネルギー物質層、最後に厚さ 1mm の純パラジウムという構造だ。この板を上と下二室のセルの間に取り付け、上部には重水素ガスを入れ、下の真空室の方へガスを透過させる。装置は中性子、X 線を検出できる。また同時に試料表面は XPS で連続的に元素分析をする。

この素子の表面には、変換させたい反応元素を付着する。重水素ガスを透過すると、表面の元素は、ほかの元素に変換する。同時に X 線がバースト的に発生する。この場合、電極表面の反応元素が、より重い元素に変化する。質量は 8 増加し、原子番号は 4 大きくなる。反応後の元素の同位体分布は、初めの元素と同じ形をしている。この反応は再現性が 100%である。すでに JJAP 誌に論文として発表された。

2001 1月、アーサー・C・クラークの予告

2001 年 1 月 4 日の『朝日新聞』朝刊に、科学小説界の巨匠、アーサー・C・クラーク博士とのインタビュー記事が掲載された。博士は SF 映画『2001 年宇宙への旅』の原作者であるが、それと同時にロンドン大学で物理学と数学を修め、人工衛星がまだなかった 1945 年に静止通信衛星を提案した科学者でもある。そのインタビューのなかで、博士は 2002 年に、「低温核反応を使う画期的な発電装置が開発され、経済界に激震」が走ると予告していた。

2002 バブル核融合

2002 年 3 月 4 日米国立オークリッジ研究所の R. タリヤーカン博士を中心とする研究グループが重水素を含むアセトン溶液中の気泡を破壊して核融合反応を起こすことに成功したと発表した。この実験装置は図に示すようにコーヒーカップ 3 個分ぐらいの大きさのピーカーに重水素化アセトンを入れ、超音波を当てたところ、液体内にできた気泡が振動して壊れる際に超高温になる「超音波キャビテーション」現象が起こり、泡が壊れる際に 100 万～1000 万度の高温になり、核融合が起こったと推定している。核融合発生の根拠として、重水素同士の核融合反応に伴い発生する特定

のエネルギーを持つ中性子とトリチウムの発生が確認されたと報告している。

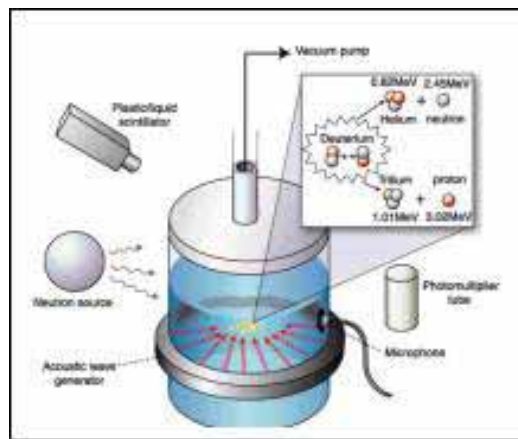
今回のタリヤーカン博士達は、昨年 10 月 31 日に著名な科学誌『サイエンス』 *Science* (Vol. 295, March 2002), に投稿し、レフリーの査読を得た論文が 3 月 8 日発行の『サイエンス』に掲載されることが決まり、しかも『サイエンス』がインターネットで事前に論文を公開したことで、アメリカの核物理学会に騒ぎを起こした。

このような異論の多い論文に掲載することになると『サイエンス』の編集長には熱核融合で巨額の研究費を受けている学会の重鎮から圧力が掛かることになる。そのため D. ケネディ編集長は 3 月 8 日号の「論説」の欄で “掲載すべきか、せざるべきか” と題しその間の経緯を次のように記している。

“ 全部の論文を 100% 保証するなんてできっこない。我々はそれほど利口ではない。だから査読の判断が間違ったときに備えた準備もしている。異論が多ければなおさら、その論文に掲載することが正しい選択である ”

ところでタリヤーカン博士の今回の研究はクラーク博士が予告する経済会を激震させるエネルギー源になりうるのであろうか。残念ながらその答えはノーであると筆者は考える。なぜならこの実験は重水素化アセトン为零 近くに冷やしたときに起きる現象であり、温度が上がると現象が止まってしまうからである。またしても常温核融合の夢は泡と消えてしまうのであろうか？

いやその望みはある。なぜなら今回の発表を契機に、長年無視されてきた常温核融合研究者たちの努力に目が向けられようとしており、その中には人類の夢のエネルギー源が着々と開発されているからである。今回のタリヤーカン博士達の実験は超音波キャビテーションに分類される。



<http://www.sciencemag.org/feature/data/hottopics/bubble/1067589.pdf>

6. 新しい展開

2004 年 3 月 常温核融合の新展開

ここにきて大きな転換がやってきた。ついに次のようなニュースが出てきた。あの DoE がもう一度常温核融合を見直すという事なのだ。遅いという感があるが、それでも過ちを改めるのは大歓迎である。

THE NEW YORK TIMES REPORTS: NEW U.S. DEPARTMENT OF ENERGY REVIEW TAKES COLD FUSION TO BRINK OF ACCEPTANCE

"THE 2004 COLD FUSION REPORT" PROVIDED BACKGROUND INFORMATION TO NEW YORK TIMES REPORTER KENNETH CHANG FOR STORY RESEARCH, LOS ANGELES,

March 25, 2004 -- Investigators Steven Krivit and Nadine Winocur have released the most current work on the history and progress of the science. "The 2004 Cold Fusion Report," the outcome of a four-year investigation, establishes the veracity of cold fusion.

The Department of Energy committed to a second review after meeting on Nov. 6, 2003 with several scientists who requested an evaluation of progress in the field of cold fusion. Dr. James F. Decker, deputy director of the science office in the Energy Department, was quoted

by The New York Times on March 25, 2004 as saying, "The scientists who came to me are from excellent institutions and have excellent credentials." The scientists reported that cold fusion is real, with results that are robust, verifiable and reproducible.

The Energy Department review is expected to decide whether government funding should be applied toward cold fusion research. "For advocates of cold fusion, the new review brings them to the cusp of vindication after years of dismissive ridicule," the New York Times said.

"The 2004 Cold Fusion Report" is based on personal communication with more than 50 scientists from around the world, 28 of whom Krivit interviewed on camera at the 10th International Conference on Cold Fusion in Cambridge, Mass.

The 53-page report includes quotes from such scientists as Dr. Melvin Miles, former senior electrochemist of the Naval Air Warfare Center Weapons Division at China Lake, Calif., who, commenting on an eight-year series of U.S. Navy cold fusion experiments, concluded, "In our opinion, these [findings] provide compelling evidence that the [cold fusion effects] are real. This research area has the potential to provide the human race with a nearly unlimited new source of energy. It is possible that [cold fusion] will prove to be one of the most important scientific discoveries of this century."

It also cites a senior member of the technical staff at the U.S. government's Sandia National Laboratories, James Corey, who expressed at the September 2003 Energetic Materials Intelligence Symposium that "an overdue revolution in science will arrive, [and] the reputations of cold fusion scientists and those who revile them may be reversed."

Although 3,000 scientific papers have been written about cold fusion, progress is underreported in the scientific and popular media because of a rift between cold fusion researchers and the scientific establishment, which has refused in its journals to publish articles relating to cold fusion.

In a September 2003 article, science columnist Sharon Begley of the Wall Street Journal noted of this phenomenon, "the only thing pathological about cold fusion is the way the scientific establishment has treated it."

"The 2004 Cold Fusion Report" includes the following findings: Demographic data showing that more than 150 scientists worldwide, including 60 physicists, hold that cold fusion is a verifiable, reproducible low-temperature nuclear reaction, free of harmful radiation and nuclear waste.

Survey results documenting that the effect is reproducible and has been demonstrated in many laboratories around the world, through a variety of methods. Citations from five scientific papers which report correlation between excess energy and the nuclear by-product helium-4, a key finding which verifies the claims of low-temperature nuclear reactions. Historically, critics of cold fusion erroneously assumed that "cold fusion" should emit the same nuclear products as "hot fusion." Later research demonstrated that the hunt for the "missing neutrons" was misdirected and that the dominant product of cold fusion, instead, is helium-4.

"The 2004 Cold Fusion Report" also includes evidence of the veracity of cold fusion in several previously unreleased documents: A 1993 report to the Pentagon by former JASONS chairman Richard Garwin and by chemistry professor Nathan Lewis of Caltech that supports the findings of "excess heat," providing key evidence for the cold fusion effect. Four years earlier, Lewis tried unsuccessfully to replicate the cold fusion effect and subsequently became one of the most outspoken critics of cold fusion.

A 1991 report by chemistry professor Alan Bard of the University of Texas, a vocal critic of cold fusion who confirmed the presence of "excess heat" in an independent laboratory experiment at SRI International.

Two 1995 papers by scientists from Amoco Production Co. and Shell Research reporting positive, unambiguous evidence from their own cold fusion experiments.

Part 1 of "The 2004 Cold Fusion Report" examines factors that led the scientific community to a premature rejection of the validity of cold fusion and explains why developments in cold fusion have gone virtually unreported. It reviews studies revealing that the early experiments conducted by prominent laboratories that were presumed to have debunked cold fusion were

in fact seriously flawed.

Part 2 of the report discusses the current status of cold fusion research. It reviews advances over the past 15 years and identifies the major unanswered questions. The report concludes with a glimpse of possible future applications for cold fusion technology.

"The 2004 Cold Fusion Report" was reviewed for technical accuracy by two physicists with decades of experience in conventional fusion, one of whom has studied cold fusion, as well. The other, a skeptical plasma physicist who works for a major U.S. fusion research center, described the report as "correct, readable, even and unbiased, suitable for reaching physicists and educated people."

"The 2004 Cold Fusion Report" has garnered the following praise: *"This is very interesting for me, in part because of my continuing interest in neglected science, and in part because I knew Fleischmann & Pons. Several things in the report were new to me and look very promising indeed."*

- Dr. Henry H. Bauer, Editor-in-Chief, Journal of Scientific Exploration *"This is a fine report. It is a work well done, the old-fashioned way, with hard work. I hope the world reads it -- it is well-written and powerful. I hope the world acts on it -- it is clear, concise and concrete."* Dr. Michael Staker, materials scientist and research engineer, U.S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Grounds *"The 2004 Cold Fusion Report' has brought a wide variety of interesting and complex material together. It should be helpful for someone trying to understand what the arguing has been about."* Dr. Michael Melich, senior research professor at the U.S. Naval Postgraduate School and former branch head of the U.S. Naval Research Laboratory Pullquotes and art are available on request. For a copy of "The 2004 Cold Fusion Report," e-mail your request with full contact information to New Energy Times at press@newenergytimes.com.

Steven Krivit
Nadine Winocur

3月25日のNew York Timesで報道されたように、アメリカではDOE(エネルギー省)による、常温核融合研究の見直し再評価が計画されている。今回は、1989年の評価と違い、「ポジティブ」に捉えられているという感触が伝えられている。

2004年 3月 凝集体核科学国際学会の発足

常温核融合がやっと公的な集まりを持てるようになってきた。イタリアを中心として行われてきたAsti会議が常温核融合の研究者の集まりを作って10年近くたつが、ヨーロッパを中心としてまとまっていたのであった。この会議が5回目を迎え、Asti会議が中心となって、国際学会を作り上げたのである。会議の中心になったのはCelaniとWilliam Collisである。

Celani



William Collis



Asti 会議は今回で五回目となっている。報告は大きく分けて三種類になっていた。第一は従来の Pd 電解によるもので、特に熱やヘリウムの検出にかかわるものである。これには検出方法、精度の向上、測定法に関するものと、水素の充填率を高める方法に分けられる。第二には核変換過程による生成物の報告であった。元素の検出、検出方法、電極表面被覆に関するものである。第三に反応の理論的解析に関する報告であった。

核反応生成物に関する報告は Iwamura、Dash、Celani、Monti、Violante などによって行われた。特に電解後の系内の核反応生成物が主である。核変換を主張するには元素の同位体分布変化が決め手であり、その測定精度の向上を目指していた。測定方法も質量分析以外に他の方法を併用して、信頼度も上がっている。

岩村の方法はパラジウム多層膜構造中に重水素ガスを通し、表面の物質を核変換するもので、重水素透過量と核変換速度の対応について示した。そこには明らかな相関が認められており、重水素の透過量が核変換速度の第 1 の要因である。

Celani は、トリウム(Th)と水銀(Hg)塩を、弱酸性重アルコール水溶液中で電解し、細いパラジウムワイヤに被覆する実験をさらに発展させた。Pd 線中の大きな動的水素量について研究した。ストロンチウムの代わりにトリウムを使うと、多量の過剰熱と核変換物質が検出できた。これは、岩村の結果を再現するものであり、また、高橋による重陽子多体共鳴融合仮説を支持している。

Violante は電解法による Pd 中への水素同位体吸収によって生じた表面の元素を主に SIMS などによって分析している。その結果、多くの元素で同位体の変化を認めている。

さらにまた従来からの Pd 電極への水素同位体の充填にかかわる報告もその次に多く、充填率を上げるための手段、表面に種々の材料を被覆するもの、たとえば Celani や Spallone の水銀やトリウム、を使うのが代表的なものである。

従来の Pd 電解による過剰熱に関しては、電極材料の次元を解析し適切な形状を求めるものが多かった。これには De Ninno、Li、Violante などがその代表である。また金属中の水素の流れ測定や解析を詳細に行い、反応率を高める条件を探った研究も多く、McKubre、Scaramuzzi、Arik、Li、Biberian などの報告が代表的である。

De Ninno は電解法による Pd 中への水素同位体吸収によって生じた表面の元素を、主に SIMS によって分析している。その結果、多くの生成元素において同位体の変化が認められている。

Arik は主に細い Pd 線を使い、表面に種々の被覆を施し、電解によって各種の反応生成物を生じさせている。この時、特殊な変調入力電圧を加え、過剰熱、核変換物質、トリチウムなどの生成を行っている。

さらに何とか反応率を上げられないかということで、電解方法にパルス法やレーザー照射を行うという報告があるが、これはすでに ICCF10 でも報告されていた。

固体内での核融合反応の理論的解析は、高橋の多体核融合反応理論、Frisone の微少亀裂近辺での核融合率変化の計算があげられ、測定結果との一致が良い。

高橋は固体内での重水素クラスター核反応についての総合的な説明を行った。多体核融合反応は金属格子内にて反応率が上がることを、すでに理論的かつ実験的に証明してきた。ここでは、特に多くの反応生成物間の関係を詳細に解説した。

Frisone は QED 理論によって重陽子による低温核融合について、微少亀裂内の格子変形が融合過程に与える効果を分析した。通常の融合確率と比較し、微少亀裂は D2 が不純物を含んだ金属内では融合確率が上昇するということである。最終的に、過剰に添加された D2 の影響を分析している。

最後に水野からのものは JCF5 でも報告した、低温、強磁場下における重水素ガスからの中性子放出に関するものであった。会議中日に新しい凝集体核科学国際学会の設立集会が行われたのであった。この中で Jacques Dufour、Scott Chubb、Francesco Celani、Vittorio Violante、William Collis、Xing Zhong Li、Akito Takahashi が委員となり、初代委員長に高橋が選挙によって選ばれたのだ。

この会議の最後の晩餐会で William Collis が演説をした。

今まで常温核融合は大変ひどい扱いを受けてきた。個々の研究者はお金も地位も研究する場所もなかった。ましてや論文を主要な学会誌に送っても受理されることは極めてまれであった。さらに学会で発表することも難しかった。しかし今までの 15 年にわたる努力によって常温核融合がはっきりと確認された。これによってついに凝集体核科学国際会議が英国の公式会議として設立できた。この学会を中心としてさらに発展していこう。もっと多くの会員を集めよう。今まで常温核融合に反対であった科学者でも受け入れていこう。そこにはなんの差別も無いのだ。科学の発展のために民主的に開放的に自由にこれからは進んでいこう。

これからの常温核融合の研究が大きく進展することが予感される感動的な演説であった。またこの会で第 1 回目の授賞式が行われた。与えられたのは岩村、水野、De Ninno の三名であった。いずれも核変換を中心とした研究が評価されたのであった。



第 1 回凝集体核科学会議授賞式、左から岩村、水野、デニンノ

この賞の名称は Giuliano Preparata 賞、2000 年 4 月、志半ばにして逝去したイタリアの理論物理学者であり、有名な常温核融合の研究者でもあった。



Giuliano Preparata 章

これは著者の私事であるが、父が 2001 年 1 月脳梗塞を起こし、入院した。いったんは良くなり、歩

けるようにまでなったが、2002 年末に肺炎を起こし、だんだん悪化していった。その後 2003 年 5 月にとうとう死亡した。父は軍人から、大学の教授となり、多くの学生の研究と教育に携わって来た。誠実を最も大切にした人間で、多くの人に親しまれていたようだ。常温核融合研究に多大な理解があり、常に支持してくれた。常温核融合研究が大きく前進した今の状況を父が知れば大変喜んだことと思う。大きな後ろ盾を失い、残念であるが、これからも、研究を推し進めていくことが父を喜ばせるであろう。

この研究がスタートして実に 15 年が経過している。その間、研究者がずいぶん亡くなった。プレパラータはその代表である。ノーベル物理学賞を受けた J.S.シュウインガー、1991 年実験中に事故でなくなった、SRI の Andrew Reily、東京工業大学の岡本真実、などである。多くの傑出した人材が志を達成せずに去っていったのだ。

彼らの後を受けて何とかこれからの常温核融合研究を発展させていくのが残されたものの義務でもあろう。

論文

- (1) Y. Iwamura, M. Sakano and T. Itoh, "Elemental Analysis of Pd Complexes: Effects of D₂ Gas Permeation", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.41, pp.4642-4650, 2002.
- (2) Y. Iwamura, T. Itoh, N. Gotoh and I. Toyoda, "Detection of Anomalous Elements, X-ray and Excess Heat in a D₂-Pd System and its Interpretation by the Electron-Induced Nuclear Reaction Model", *Fusion Technology*, Vol.33, pp.476-492, 1998.
- (3) Y. Iwamura and K. Miya, "Inverse Analysis of Defect Shapes by the ϕ - ψ Method", *Nuclear Engineering and Design*, Vol.128, pp.91-101, 1991.
- (4) 高橋他、固体内核反応研究 No.1、pp.151-158、工学社、1999.
- (5) K. Miya, Y. Iwamura and M. Hashimoto, "An Application of Electromagnetic Phenomena to Inverse Problem for Defect Shape Recognition", *Applied Electromagnetics in Materials*, (Pergamon Press, Oxford, pp.127-141, 1988
- (6) 鎌田 耕治、相良 明男、真空 30 163 (1987)
- (7) 鎌田 耕治、木下 博嗣、高橋 平七郎、垣花 秀武、日本原子力学会誌 38 143 (1996) その他.
- (8) K. Kamada, Y. Katano, Y. Enokido, N. Ookubo and I. Yoshizawa, Radiation Effect and Defects in Solids, 157 275 (2002).
- (9) K. Kamada, Fusion Engineering and Design, 60, 219 (2002).
- (10) M. Fleischmann, et. al., J. Electroanal. Chem., 261 (1989) 301.
- (11) S. E. Jones, et. al., Nature, 338 (1989) 737.
- (12) H. O. Menlove, et. al., LA - UR - 89 - 1974 (1989).
- (13) N. Wada, et. al., Jpn. J. Appl. Phys., 28 (1989) L2017.
- (14) E. Yamaguchi, et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 29 (1990) L666.
- (15) R. J. Beuhler, et. al., Phys. Rev. Lett., 63 (1989) 1292.
- (16) T. N. Claytor, et. al., LA - UR - 89 - 39 - 46.
- (17) 竹田辰興、原子力工業、4月号(1991).
- (18) T. Braun, J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters 136(1989)1, 137(1989)407, 144(1990)161, 144(1990)323, 145(1990)1, and 145(1990)245.
- (19) M. Gai, et. al., Nature, 340(1989)29; N. S. Lewis, et. al., Nature, 340(1989)525.
- (20) 日本原子力研究所化学部等共同実験チ - ム, JAERI - M 89 - 142(1989); JAERI - M 90 - 134(1990).
- (21) T. Kimura, J. Nucl. Sci. Tech., 27 (1990) 1147.
- (22) 立川圓造ら、“常温核融合反応のすべて”、原子力工業誌、1991年4月号.
- (23) 岸田純之助、“つづく常温核融合への関心”、テクノカレント、No 43, (1990).
- (24) 高橋真理子、“検証に10年かかる? 低温核融合のお疲れさま”、科学朝日、1989年12月号.16)
- (25) 岡本眞實、“常温核融合”日刊工業新聞社(1989).
- (26) 深井有, 日本物理学会誌 48 (1993) 354,464.
- (27) 日本物理学会理事会、日本物理学会誌 48 (1993) 573.
- (28) 池上英雄、同誌 48 (1993) 992.
- (29) W. Broad and N. Wade, "Betrayers of the Truth," Simon and Schuster, New York, 1982.
- (30) M.C.H. McKubre, S. Crouch-Baker, A.M. Riley, S.I. Smedley and F.L. Tanzella, "Frontiers of Cold Fusion" p.5, ed. H. Ikegami, Universal Academic Press (Tokyo), 1993.
- (31) A. Takahashi, T. Iida, F. Maekawa, H. Sugimoto and S. Yoshida, Fusion Technol. 19 (1991) 380 and A. Takahashi, A. Mega, T. Takeuchi, H. Miyamaru and T. Iida, "Frontiers of Cold Fusion" p.79, ed. H. Ikegami, Universal Academic Press (Tokyo), 1993.
- (32) H. Yamaguchi and T. Nishioka, Jpn. J. Appl. Phys. 29 (1992) L666, and "Frontiers of Cold Fusion", p.179, ed. H. Ikegami, Universal Academic Press (Tokyo), 1993.
- (33) NHK 総合テレビ、1993.2.3 放映、プライム 10.
- (34) D.R.O. Morrison; Cold Fusion Update No.7 (1 November - 6 December, 1992)
- (35) 上田良二、日本物理学会誌 48 (1993) 832.

- (35) H. Kozima , Proceedings of ICCF4 (1994) (to be published).
- (36) M. Fleischmann and S. Pons , J. Electroanal. Chem. **261**(1989) 301.
- (37) G. F. Cerofolini and A. F. Para , Fusion Technology **23**(1993) 98.

専門的な論文

1. Beaudette, C.G., [Excess Heat. Why Cold Fusion Research Prevailed.](#) 2000, Concord, NH: Oak Grove Press (Infinite Energy, Distributor).
2. Fleischmann, M., S. Pons, and M. Hawkins, Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium. J. Electroanal. Chem., 1989. **261**: p. 301 and errata in Vol. 263.
3. Bush, R.T. and R.D. Eagleton. Calorimetric Studies for Several Light Water Electrolytic Cells With Nickel Fibrex Cathodes and Electrolytes with Alkali Salts of Potassium, Rubidium, and Cesium. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
4. Mills, R.L. and P. Kneizys, Excess heat production by the electrolysis of an aqueous potassium carbonate electrolyte and the implications for cold fusion. Fusion Technol., 1991. **20**: p. 65.
5. Storms, E. [Excess Power Production from Platinum Cathodes Using the Pons-Fleischmann Effect.](#) in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
6. Warner, J., J. Dash, and S. Frantz. [Electrolysis of D2O With Titanium Cathodes: Enhancement of Excess Heat and Further Evidence of Possible Transmutation.](#) in The Ninth International Conference on Cold Fusion. 2002. Beijing, China: Tsinghua University: unpublished.
7. Fleischmann, M. More About Positive Feedback; More About Boiling. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
8. Lonchamp, G., L. Bonnetain, and P. Hieter. [Reproduction of Fleischmann and Pons Experiments.](#) in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
9. Mengoli, G., et al., Calorimetry close to the boiling temperature of the D2O/Pd electrolytic system. J. Electroanal. Chem., 1998. **444**: p. 155.
10. Bockris, J., et al. [Triggering of Heat and Sub-Surface Changes in Pd-D Systems.](#) in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1994. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
11. Castellano, et al. [Nuclear Transmutation in Deuterated Pd Films Irradiated by an UV Laser.](#) in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
12. Di Giulio, M., et al., Analysis of Nuclear Transmutations Observed in D- and H-Loaded Films. J. Hydrogen Eng., 2002. **27**: p. 527.
13. Nassisi, V., Transmutation of elements in saturated palladium hydrides by an XeCl excimer laser. Fusion Technol., 1998. **33**: p. 468.
14. Mizuno, T., et al., [Production of Heat During Plasma Electrolysis.](#) Jpn. J. Appl. Phys. A, 2000. **39**: p. 6055.
15. Ohmori, T., Recent development in solid state nuclear transmutation occurring by the electrolysis. Curr. Topics Electrochem., 2000. **7**: p. 101.
16. Sundaresan, R. and J. Bockris, Anomalous Reactions During Arcing Between Carbon Rods in Water. Fusion Technol., 1994. **26**: p. 261.
17. Miley, G.H., et al. Advances in Thin-Film Electrode Experiments. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
18. Storms, E., [Ways to Initiate a Nuclear Reaction in Solid Environments.](#) Infinite Energy,

2002. **8**(45): p. 45.

19. Miles, M., et al. [*Thermal Behavior of Polarized Pd/D Electrodes Prepared by Co-deposition*](#). in The Ninth International Conference on Cold Fusion. 2002. Beijing, China: Tsinghua University: unpublished.

20. Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and J.J. Smith, [*On the behavior of Pd deposited in the presence of evolving deuterium*](#). J. Electroanal. Chem., 1991. **302**: p. 255.

21. Arata, Y. and Y.C. Zhang. Definite Difference among [DS-D2O], [DS-H2O] and [Bulk-D2O] Cells in the Deuterization and Deuterium-reaction. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.

22. Case, L.C. [*Catalytic Fusion of Deuterium into Helium-4. in The Seventh International Conference on Cold Fusion*](#). 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.

23. Iwamura, Y., M. Sakano, and T. Itoh, [*Elemental Analysis of Pd Complexes: Effects of D2 Gas Permeation*](#). Jpn. J. Appl. Phys. A, 2002. **41**: p. 4642.

24. Claytor, T.N., et al. [*Tritium Production from Palladium Alloys*](#). in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.

25. Dufour, J., et al., Interaction of palladium/hydrogen and palladium/deuterium to measure the excess energy per atom for each isotope. Fusion Technol., 1997. **31**: p. 198.

26. Bae, Y.K., D.D. Lorents, and S.E. Young, Experimental confirmation of cluster-impact fusion. Phys. Rev. A: At. Mol. Opt. Phys., 1991. **44**: p. R4091.

27. Cecil, F.E. and G.M. Hale. [*Measurement of D-D and D-Li6 Nuclear Reactions at Very Low Energies*](#). in Second Annual Conference on Cold Fusion, "The Science of Cold Fusion". 1991. Como, Italy: Societa Italiana di Fisica, Bologna, Italy.

28. Karabut, A. B. [*Analysis of Experimental Results on Excess Heat Power Production, Impurity Nuclides Yield in the Cathode Material and Penetrating Radiation in Experiments with High-Current Glow Discharge*](#). in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.

29. Kasagi, J., et al. Observation of High Energy Protons Emitted in the TiDx+D Reaction at Ed=150 keV and Anomalous Concentration of 3He. in Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion". 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.

30. Kosyakhkov, A.A., et al., Neutron yield in the deuterium ion implantation into titanium. Fiz. Tverd. Tela, 1990. **32**: p. 3672 (in Russian).

31. Savvatimova, I. [*Reproducibility of Experiments in Glow Discharge and Processes Accompanying Deuterium ions Bombardment*](#). in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.

32. Takahashi, A., et al., Detection of three-body deuteron fusion in titanium deuteride under the stimulation by a deuteron beam. Phys. Lett. A, 1999. **255**: p. 89.

33. Wang, T., et al., Investigating the Unknown Nuclear Reaction in a Low-Energy (E<300 keV) p + T2Hx Experiment. Fusion Technol., 2000. **37**: p. 146.

34. Yuki, H., et al., Measurement of the D(d,p) reaction in Ti for 2.5 < Ed < 6.5 keV and electron screening in metal. J. Phys. Soc. Japan, 1997. **66**: p. 73.

35. Beuhler, R.J., et al., Deuteron-Deuteron Fusion by Impact of Heavy-Water Clusters on Deuterated Surfaces. J. Phys. Chem., 1991. **94**: p. 7665.

36. Mizuno, T., et al., Anomalous heat evolution from a solid-state electrolyte under alternating current in high-temperature D2 gas. Fusion Technol., 1996. **29**: p. 385.

37. Oriani, R.A., [*An investigation of anomalous thermal power generation from a proton-conducting oxide*](#). Fusion Technol., 1996. **30**: p. 281.

38. Botta, E., et al. [*Search for 4He Production from Pd/D2 Systems in Gas Phase*](#). in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.

39. Iazzi, F., et al. [*Correlated Measurements of D₂ Loading and 4He Production in Pd Lattice*](#). in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
40. Celani, F., et al. [*The Effect of Gamma-Beta Phase on H\(D\)/Pd Overloading*](#). in ICCF7, Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
41. Manduchi, C., et al., Electric-field effects on the neutron emission from Pd deuteride samples. Nuovo Cimento Soc. Ital. Fis. A, 1995. **108**: p. 1187.
42. Rajan, K.G., et al., Electromigration approach to verify cold fusion effects. Fusion Technol., 1991. **20**: p. 100.
43. Jorne, J., Ultrasonic irradiation of deuterium-loaded palladium particles suspended in heavy water. Fusion Technol., 1996. **29**: p. 83.
44. Stringham, R., et al. Predictable and Reproducible Heat. in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
45. Lipson, A.G., et al., Initiation of nuclear fusion by cavitation action on deuterium-containing media. Zh. Tekh. Fiz., 1992. **62**(12): p. 121 (in Russian).
46. Griggs, J.L. A Brief Introduction to the Hydrosonic Pump and the Associated "Excess Energy" Phenomenon. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
47. Karpov, S.Y., et al., On the possibility of a mechanism of cold nuclear fusion. Pis'ma Zh. Tekh. Fiz., 1990. **16**(5): p. 91 (in Russian).
48. Arzhannikov, A.V. and G.Y. Kezerashvili, First observation of neutron emission from chemical reactions. Phys. Lett., 1991. **A156**: p. 514.
49. Beltyukov, I.L., et al., Laser-induced cold nuclear fusion in Ti-H₂-D₂-T₂ compositions. Fusion Technol., 1991. **20**: p. 234.
50. De Ninno, A., et al., Emission of neutrons as a consequence of titanium-deuterium interaction. Nuovo Cimento Soc. Ital. Fis. A, 1989. **101**: p. 841.
51. Menlove, H.O., et al., The measurement of neutron emission from Ti plus D₂ gas. J. Fusion Energy, 1990. **9**: p. 215.
52. Vysotskii, V., et al. Experimental Observation and Study of Controlled Transmutation of Intermediate Mass Isotopes in Growing Biological Cultures. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
53. Komaki, H. Observations on the Biological Cold Fusion or the Biological Transformation of Elements. in Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion". 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.
54. Kervran, C.L., Biological Transmutation. 1980: Beekman Publishers, Inc.
55. Campari, E.G., et al. Ni-H Systems. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
56. Sankaranarayanan, T.K., et al. [*Evidence for Tritium Generation in Self-Heated Nickel Wires Subjected to Hydrogen Gas Absorption/Desorption Cycles*](#). in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
57. Bush, R.T. and R.D. Eagleton, Evidence for Electrolytically Induced Transmutation and Radioactivity Correlated with Excess Heat in Electrolytic Cells with Light Water Rubidium Salt Electrolytes. Trans. Fusion Technol., 1994. **26**(4T): p. 334.
58. Lonchampt, G., et al. [*Excess Heat Measurement with Patterson Type Cells*](#). in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
59. Miley, G.H. [*On the Reaction Product and Heat Correlation for LENRs*](#). in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society,

Bologna, Italy.

60. Niedra, J.M. and I.T. Myers, Replication of the apparent excess heat effect in light water-potassium carbonate-nickel-electrolytic cell. *Infinite Energy*, 1996. **2**(7): p. 62.
61. Noninski, V.C., Excess heat during the electrolysis of a light water solution of K₂CO₃ with a nickel cathode. *Fusion Technol.*, 1992. **21**: p. 163.
62. Notoya, R. Nuclear Products of Cold Fusion Caused by Electrolysis in Alkali Metallic Ions Solutions. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
63. Ohmori, T. and M. Enyo, Excess heat evolution during electrolysis of H₂O with nickel, gold, silver, and tin cathodes. *Fusion Technol.*, 1993. **24**: p. 293.
64. Rothwell, J., CETI's 1 kilowatt cold fusion device demonstrated. *Infinite Energy*, 1996. **1**(5&6): p. 18.
65. Swartz, M.R. Optimal Operating Point Characteristics of Nickel Light Water Experiments. in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
66. Reifenschweiler, O., [*Some experiments on the decrease of tritium radioactivity.*](#) *Fusion Technol.*, 1996. **30**: p. 261.
67. Storms, E., [*Description of a dual calorimeter.*](#) *Infinite Energy*, 2000. **6**(34): p. 22.
68. Miles, M. and K.B. Johnson. Improved, Open Cell, Heat Conduction, Isoperibolic Calorimetry. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
69. Belzner, A., et al., Two fast mixed-conductor systems: deuterium and hydrogen in palladium - thermal measurements and experimental considerations. *J. Fusion Energy*, 1990. **9**(2): p. 219.
70. Hansen, W.N. and M.E. Melich, [*Pd/D Calorimetry- The Key to the F/P Effect and a Challenge to Science.*](#) *Trans. Fusion Technol.*, 1994. **26**(4T): p. 355.
71. Storms, E., [*Cold Fusion: An Objective Assessment.*](#) 2001.
72. Storms, E., [*The Nature of the Nuclear-Active-Environment Required for Low Energy Nuclear Reactions.*](#) *Infinite Energy*, 2002. **8**(45): p. 32.
73. Oya, Y., et al. [*Material Conditions to Replicate the Generation of Excess Energy and the Emission of Excess Neutrons.*](#) in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
74. Storms, E., [*My life with cold fusion as a reluctant mistress.*](#) *Infinite Energy*, 1999. **4**(24): p. 42.
75. Miles, M., K.B. Johnson, and M.A. Imam. Heat and Helium Measurements Using Palladium and Palladium Alloys in Heavy Water. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
76. Storms, E., [*A critical evaluation of the Pons-Fleischmann effect: Part 1.*](#) *Infinite Energy*, 2000. **6**(31): p. 10.
77. Miles, M., M. Fleischmann, and M.A. Imam, Calorimetric Analysis of a Heavy Water Electrolysis Experiment Using a Pd-B Alloy Cathode. 2001: Washington. p. 154.
78. Arata, Y. and Y.C. Zhang, [*A new energy caused by "Spillover-deuterium".*](#) *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, 1994. **70 ser. B**: p. 106.
79. McKubre, M.C.H., et al. [*The Emergence of a Coherent Explanation for Anomalies Observed in D/Pd and H/Pd System: Evidence for 4He and 3He Production.*](#) in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
80. Clarke, B.W., et al., Search for 3He and 4He in Arata-Style Palladium Cathodes II: Evidence for Tritium Production. *Fusion Sci. & Technol.*, 2001. **40**: p. 152.
81. Iwamura, Y., et al. [*Detection of Anomalous Elements, X-ray and Excess Heat Induced by*](#)

- [Continous Diffusion of Deuterium Through Multi-layer Cathode \(Pd/CaO/Pd\)](#). in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
82. Wipf, H. and V. Erckman, On Permeation Techniques for Electrotransport Studies on Metal-Hydrogen Systems. *Scr. Metall.*, 1976. **10**: p. 813.
83. Tamaki, M. and K. Tasaka. Field Formation of the Condensed Matter Fusion by Electro-Transport of Deuterium in Palladium. in Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion". 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.
84. Wisniewski, R. and A.J. Rostocki, Hall Effect in the Pd-H System. *Phys. Rev. B: Mater. Phys.*, 1971. **3**(2): p. 251.
85. Tsuchida, T., Role of hydrogen atoms in palladium. *J. Phys. Soc. Japan*, 1963. **18**: p. 1016.
86. Bartolomeo, C., et al. Alfred Coehn and After: The Alpha, Beta and Gamma of the Palladium-Hydrogen System. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
87. Del Giudice, E., et al. The Fleischmann-Pons Effect in a Novel Electrolytic Configuration. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
88. Celani, F., et al., [Deuterium overloading of palladium wires by means of high power microsecond pulsed electrolysis and electromigration: suggestions of a "phase transition" and related excess heat](#). *Phys. Lett. A*, 1996. **214**: p. 1.
89. McKubre, M.C.H. [Closing Comments Summerizing the Status and Progress of Experimental Studies](#). in The Ninth International Conference on Cold Fusion. 2002. Beijing, China: Tsinghua University: unpublished.
90. Stringham, R. and R. George, Cavitation induced micro-fusion solid state production of heat, ^3He , and ^4He . 1995.
91. Lipson, A.G., et al., Observation of neutrons from cavitation action on substances containing deuterium. *Pis'ma Zh. Teor. Fiz.*, 1990. **16**(9): p. 89 (in Russian).
92. Taleyarkhan, R.P., et al., Evidence for Nuclear Emissions During Acoustic Cavation. *Science*, 2002. **295**: p. 1868.
93. Mallove, E., Excess heat in cavitation devices: World-wide testing reports. *Infinite Energy*, 1995. **1**(3): p. 16.
94. Kim, Y.E., Cross section for cold deuterium-deuterium fusion. *Fusion Technol.*, 1990. **17**: p. 507.
95. Kasagi, J., et al. Low Energy Nuclear Fusion Reactions in Solids. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
96. Cedzynska, K. and F.G. Will, Closed-system analysis of tritium in palladium. *Fusion Technol.*, 1992. **22**: p. 156.
97. Taubes, G., Cold Fusion Conundrum at Texas A & M. *Science*, 1990. **248**: p. 1299.
98. Anderson, J., et al., Letters and Response about Cold Fusion at Texas A&M. *Science*, 1990. **249**: p. 463-465.
99. Preparata, G., A new look at solid-state fractures, particle emission and 'cold' nuclear fusion. *Nuovo Cimento Soc. Ital. Fis. A*, 1991. **104**: p. 1259.
100. Yasui, K., Fractofusion mechanism. *Fusion Technol.*, 1992. **22**: p. 400.
101. Takeda, T. and T. Takizuka, Fractofusion mechanism. *J. Phys. Soc. Japan*, 1989. **58**(9): p. 3073.
102. Camp, W.J., Helium Detrapping and Release from Metal Tritides. *J. Vac. Sci. Technol. A*, 1977. **14**: p. 514.
103. Storms, E., A Review of the Cold Fusion Effect. *J. Sci. Expl.*, 1996. **10**(2): p. 185.

104. Karabut, A.B., Y.R. Kuchеров, and I.B. Savvatimova, Nuclear product ratio for glow discharge in deuterium. Phys. Lett. A, 1992. **170**: p. 265.
105. Miles, M., B.F. Bush, and J.J. Lagowski, Anomalous effects involving excess power, radiation, and helium production during D2O electrolysis using palladium cathodes. Fusion Technol., 1994. **25**: p. 478.
106. Gozzi, D., et al., [X-ray, heat excess and 4He in the D/Pd system](#). J. Electroanal. Chem., 1998. **452**: p. 251.
107. Bush, B.F. and J.J. Lagowski. [Methods of Generating Excess Heat with the Pons and Fleischmann Effect: Rigorous and Cost Effective Calorimetry, Nuclear Products Analysis of the Cathode and Helium Analysis](#). in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
108. Isobe, Y., et al. [Search for Coherent Deuteron Fusion by Beam and Electrolysis Experiments](#). in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
109. Arata, Y. and Y.C. Zhang, Helium (4He, 3He) within deuterated Pd-black. Proc. Jpn. Acad., Ser. B, 1997. **73**: p. 1.
110. Jordan, K.C., B.C. Blanke, and W.A. Dudley, Half-Life of Tritium. J. Inorg. Nucl. Chem., 1967. **29**: p. 2129.
111. Corrigan, D.A. and E.W. Schneider, Tritium separation effects during heavy water electrolysis: implications for reported observations of cold fusion. J. Electroanal. Chem., 1990. **281**: p. 305.
112. Boucher, G.R., F.E. Collins, and R.L. Matlock, Separation factors for hydrogen isotopes on palladium. Fusion Technol., 1993. **24**: p. 200.
113. Will, F.G., K. Cedzynska, and D.C. Linton, Reproducible tritium generation in electrochemical cells employing palladium cathodes with high deuterium loading. J. Electroanal. Chem., 1993. **360**: p. 161.
114. Storms, E. and C. Talcott-Storms, The effect of hydriding on the physical structure of palladium and on the release of contained tritium. Fusion Technol., 1991. **20**: p. 246.
115. Matsumoto, O., et al. Tritium Production Rate. in Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems, "AIP Conference Proceedings 228". 1990. Brigham Young Univ., Provo, UT: American Institute of Physics, New York.
116. Storms, E. and C.L. Talcott, Electrolytic tritium production. Fusion Technol., 1990. **17**: p. 680.
117. Chien, C.C., et al., On an electrode producing massive quantities of tritium and helium. J. Electroanal. Chem., 1992. **338**: p. 189.
118. Sankaranarayanan, M., et al. Investigation of Low Level Tritium Generation in Ni-H2O Electrolytic Cells. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
119. Itoh, T., et al. Observation of Nuclear Products Under Vacuum Conditions from Deuterated Palladium with High Loading Ratio. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
120. Akimoto, T., et al. Temperature dependency on counting efficiency of NE213 liquid scintillator for low level neutron measurement. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
121. Bruschi, M., U. Marconi, and A. Zocchi. The neutron spectrometer of the cold fusion experiment under the Gran Sasso Laboratory. in Hadronic Phys., Winter Course 8th 1993. 1994: World Sci., Singapore.
122. Menlove, H.O. and M.C. Miller, Neutron-burst detectors for cold-fusion experiments. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 1990. **299**: p. 10.

123. Aoyama, T., et al., Highly reliable low-level neutron detection using ^3He proportional counters. *Radioisot.*, 1991. **40**: p. 188.
124. Cisbani, E., et al., Neutron Detector for CF Experiments. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, 2001. **459**: p. 247.
125. Storms, E., Review of experimental observations about the cold fusion effect. *Fusion Technol.*, 1991. **20**: p. 433.
126. Takahashi, A., et al., Multibody fusion model to explain experimental results. *Fusion Technol.*, 1995. **27**: p. 71.
127. Takahashi, A. Nuclear Products by $\text{D}_2\text{O}/\text{Pd}$ Electrolysis and Multibody Fusion. in *Int. Symp. Nonlinear Phenom. in Electromagnetic Fields*. 1992. ISEM-Nagoya,.
128. De Ninno, A., et al., Evidence of emission of neutrons from a titanium-deuterium system". *Europhys. Lett.*, 1989. **9**: p. 221.
129. Menlove, H.O., et al. Reproducible Neutron Emission Measurements From Ti Metal in Pressurized D_2 Gas. in *Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems*, "AIP Conference Proceedings 228". 1990. Brigham Young Univ., Provo, UT: American Institute of Physics, New York.
130. Kaushik, T.C., et al., Preliminary report on direct measurement of tritium in liquid nitrogen treated TiD_x chips. *Indian J. Technol.*, 1990. **28**: p. 667.
131. Jones, S.E., et al., Observation of cold nuclear fusion in condensed matter. *Nature (London)*, 1989. **338**: p. 737.
132. Bush, R.T. and R.D. Eagleton. Experimental Studies Supporting the Transmission Resonance Model for Cold Fusion in Light Water: II. Correlation of X-Ray Emission With Excess Power. in *Third International Conference on Cold Fusion*, "Frontiers of Cold Fusion". 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.
133. Cellucci, F., et al. X-Ray, Heat Excess and ^4He in the Electrochemical Confinement of Deuterium in Palladium. in *Sixth International Conference on Cold Fusion*, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
134. Chen, S., et al., X-ray diagnostics in gas discharge. *Trends Nucl. Phys.*, 1995. **12**((3)): p. 58 (in Chinese).
135. Isagawa, S., Y. Kanda, and T. Suzuki, Present status of cold fusion experiment at KEK". *Int. J. Soc. Mat. Eng. Resources*, 1998. **65**(1): p. 60.
136. Iwamura, Y., et al. Characteristic X-ray and Neutron Emissions from Electrochemically Deuterated Palladium. in *5th International Conference on Cold Fusion*. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
137. Iyengar, P.K., et al., Bhabha Atomic Research Centre studies on cold fusion. *Fusion Technol.*, 1990. **18**: p. 32.
138. McKubre, M.C.H., et al. Calorimetry and Electrochemistry in the D/Pd System. in *The First Annual Conference on Cold Fusion*. 1990. University of Utah Research Park, Salt Lake City, Utah: National Cold Fusion Institute.
139. Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and J.J. Smith, [*On the behavior of the cathodically polarized Pd/D system: Search for emanating radiation*](#). *Phys. Lett. A*, 1996. **210**: p. 382.
140. Takahashi, A. Results of Experimental Studies of Excess Heat vs Nuclear Products Correlation and Conceivable Reaction Model. in *The Seventh International Conference on Cold Fusion*. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
141. Wang, D.L., et al. Experimental Studies on the Anomalous Phenomenon in Pd Metal Loaded with Deuterium. in *Third International Conference on Cold Fusion*, "Frontiers of Cold Fusion". 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.
142. Miles, M. and B.F. Bush. [*Radiation Measurements at China Lake: Real or Artifacts? in The Seventh International Conference on Cold Fusion*](#). 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.

143. Rout, R.K., et al., Copious low energy emissions from palladium loaded with hydrogen or deuterium. *Indian J. Technol.*, 1991. **29**: p. 571.
144. Savvatimova, I. and A.B. Karabut. Radioactivity of the Cathode Samples after Glow Discharge. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
145. Dong, S.Y., et al., Precursors to 'cold fusion' phenomenon and the detection of energetic charged particles in deuterium/solid systems. *Fusion Technol.*, 1991. **20**: p. 330.
146. Jin, S., et al. Anomalous Nuclear Events in Deuterium Palladium Systems. in Second Annual Conference on Cold Fusion, "The Science of Cold Fusion". 1991. Como, Italy: Societa Italiana di Fisica, Bologna, Italy.
147. Kamada, K., Electron impact H-H and D-D fusions in molecules embedded in Al. 1. Experimental results. *Jpn. J. Appl. Phys. A*, 1992. **31**(9): p. L1287.
148. Li, X.Z., et al., Anomalous nuclear phenomena and solid state nuclear track detector. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 1993. **22**: p. 599.
149. Lipson, A.G., et al. [*In-Situ Charged Particles And X-Ray Detection In Pd Thin Film-Cathodes During Electrolysis In Li2SO4/H2O*](#). in ICCF9, Ninth International Conference on Cold Fusion. 2002. Beijing, China: Tsinghua University: unpublished.
150. Oriani, R.A. and J.C. Fisher, [*Generation of Nuclear Tracks during Electrolysis*](#). *Jpn. J. Appl. Phys. A*, 2002. **41**: p. 6180-6183.
151. Qiao, G.S., et al. Nuclear Products in a Gas-Loading D/Pd and H/Pd System. in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada.
152. Roussetski, A.S. Investigation of Nuclear Emissions in the Process of D(H) Escaping from Deuterized (Hydrogenized) PdO-Pd-PdO and PdO-Ag Samples. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
153. Rout, R.K., et al., Update on observation of low-energy emissions from deuterated and hydrated palladium. *Indian J. Technol.*, 1993. **31**: p. 551.
154. Wang, K.L., et al. Search for Better Material for Cold Fusion Experiment Using CR-39 Detector. in Second Annual Conference on Cold Fusion, "The Science of Cold Fusion". 1991. Como, Italy: Societa Italiana di Fisica, Bologna, Italy.
155. Wu, B., et al., The SEM observation of palladium-deuterium system after the gas discharge process. *Gaojishu Tongxun*, 1991. **1**(9): p. 1 (in Chinese).
156. Miley, G.H., et al. Quantitative observations of transmutation products occurring in thin-film coated microspheres during electrolysis. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
157. Miley, G.H., Possible Evidence of Anomalous Energy Effects in H/D-Loaded Solids-Low Energy Nuclear Reactions (LENRS). *J. New Energy*, 1997. **2**(3/4): p. 6.
158. Mizuno, T. [*Experimental Confirmation of the Nuclear Reaction at Low Energy Caused by Electrolysis in the Electrolyte*](#). in Proceedings for the Symposium on Advanced Research in Energy Technology 2000. 2000. Hokkaido University.
159. Mizuno, T., et al., Formation of ¹⁹⁷Pt radioisotopes in solid state electrolyte treated by high temperature electrolysis in D₂ gas. *Infinite Energy*, 1995. **1**(4): p. 9.
160. Bush, R.T., A light water excess heat reaction suggests that 'cold fusion' may be 'alkali-hydrogen fusion'. *Fusion Technol.*, 1992. **22**: p. 301.
161. Notoya, R. and M. Enyo. Excess Heat Production in Electrolysis of Potassium Carbonate Solution with Nickel Electrodes. in Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion". 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan.
162. Bush, R.T. Evidence for an electrolytically induced shift in the abundance ratio of

- Sr-88 and Sr-86. in International Symposium on Cold Fusion and Advanced Energy Sources. 1994. Belarusian State University, Minsk, Belarus: Fusion Information Center, Salt Lake City.
163. Notoya, R., Cold fusion arising from hydrogen evolution reaction on active metals in alkali metallic ions' solutions. *Environ. Res. Forum*, 1996. **1-2**: p. 127.
164. Ohmori, T., T. Mizuno, and M. Enyo, Isotopic distributions of heavy metal elements produced during the light water electrolysis on gold electrodes. *J. New Energy*, 1996. **1(3)**: p. 90.
165. Singh, M., et al., Verification of the George Oshawa Experiment for Anomalous Production of Iron From Carbon Arc in Water. *Fusion Technol.*, 1994. **26**: p. 266.
166. Jiang, X.L., L.J. Han, and W. Kang. Anomalous Element Production Induced by Carbon Arcing Under Water. in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
167. Ransford, H.E., Non-Stellar nucleosynthesis: Transition metal production by DC plasma-discharge electrolysis using carbon electrodes in a non-metallic cell. *Infinite Energy*, 1999. **4(23)**: p. 16.
168. Ohmori, T. and M. Enyo, Iron Formation in Gold and Palladium Cathodes. *J. New Energy*, 1996. **1(1)**: p. 15.
169. Ohmori, T., et al., Transmutation in the electrolysis of lightwater - excess energy and iron production in a gold electrode. *Fusion Technol.*, 1997. **31**: p. 210.
170. Bush, R.T. and R.D. Eagleton. Evidence for Electrolytically Induced Transmutation and Radioactivity Correlated with Excess Heat in Electrolytic Cells With Light Water Rubidium Salt Electrolytes. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
171. Savvatimova, I. and A. Karabut. Nuclear Reaction Products Registration on the Cathode after Glow Discharge. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
172. Passell, T.O. Charting the Way Forward in the EPRI Research Program on Deuterated Metals. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
173. Kervran, C.L., *Biological Transmutations*. 1972: Swan House Publishing Co.
174. Vysotskii, V.I., A.A. Kornilova, and I.I. Samoyloylenko. Experimental discovery of phenomenon of low-energy nuclear transformation of isotopes ($Mn^{55}=Fe^{57}$) in growing biological cultures. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
175. Vysotskii, V., et al., Observation and mass-spectrometry. Study of controlled transmutation of intermediate mass isotopes in growing biological cultures. *Infinite Energy*, 2001. **6(36)**: p. 64.
176. Anufriev, G.S. and B.S. Boltenkov, Helium isotopes and hydrogen in aluminium and other metals. *Vopr. At. Nauki Tekh. Ser.: Fiz. Radiats. Povr. Radiats. Materialoved.*, 1991. **56(2)**: p. 73 (in Russian).
177. Wang, T., et al. Study of the Deuterated Titanium Ti_2H_x Samples by Using Nuclear Reaction Analysis (NRA) and Materials Analysis Methods. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.
178. Lynch, J.F., J.D. Clewley, and T.B. Flanagan, The Formation of Voids in Palladium Metal by the Introduction and Removal of Interstitial Hydrogen. *Philos. Mag. A*, 1973. **28**: p. 1415.
178. Jiang, X.L., et al. Tip Effect and Nuclear-Active Sites. in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.
180. Huggins, R.A. Fundamental Considerations Relating to the Electrochemical Insertion of Hydrogen and Palladium into Mixed Conductors. in 8th World Hydrogen Energy Conf. 1990.

Honolulu, HI: Hawaii Natural Energy Institute, 2540 Dole St., Holmes Hall 246, Honolulu, HI 96822.

181. Jamieson, H.C., G.C. Weathrely, and F.D. Manchester, The b-a Phase Transformation in Palladium-Hydrogen Alloys. *J. Less-Common Met.*, 1976. **56**: p. 85.

182. Bockris, J., D. Hodko, and Z. Minevski. Fugacity of hydrogen isotopes in metals: degradation, cracking and cold fusion. in *Symp. Hydrogen Storage Materials, Batteries, Electrochemistry* 1991. 1991.

183. De Ninno, A., A. La Barbera, and V. Violant, Deformations induced by high loading ratios in palladium-deuterium compounds. *J. Alloys and Compounds*, 1997. **253-254**: p. 181.

184. Storms, E., A Study of Those Properties of Palladium That Influence Excess Energy Production by the "Pons-Fleischmann" Effect. *Infinite Energy*, 1996. **2(8)**: p. 50.

185. Lewis, F.A., The Palladium-Hydrogen System. *Platinum Met. Rev.*, 1982. **26**: p. 121.

186. Flanagan, T.B. and W.A. Oates, The Palladium-Hydrogen System. *Annu. Rev. Mater. Sci.*, 1991. **21**: p. 269.

187. Oriani, R.A. [*The Physical and Metallurgical Aspects of Hydrogen in Metals*](#). in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.

188. Huggins, R.A. Materials Aspects of the Electrochemical Insertion of Hydrogen and Deuterium into Mixed Conductors. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.

189. Santandrea, R.P. and R.G. Behrens, A review of the thermodynamics and phase relationships in the palladium- hydrogen, palladium-deuterium and palladium-tritium systems. *High Temperature Materials and Processes*, 1986. **7**: p. 149.

190. Gillespie, L.J. and W.R. Downs, The Palladium-Deuterium Equilibrium. *J. Am. Chem. Soc.*, 1937. **61**: p. 2494.

191. Anderson, I.S., D.K. Ross, and C.J. Carlile, The Structure of the g Phase of Palladium Deuteride. *Phys. Lett. A*, 1978. **68**: p. 249.

192. Herrero, C. and F.D. Manchester, Location of the Low Temperature Resistivity Anomaly in Pd-D. *Phys. Lett. A*, 1981. **86**: p. 29.

193. Wei, S.H. and A. Zunger, Instability of diatomic deuterium in fcc palladium. *J. Fusion Energy*, 1990. **9(4)**: p. 367.

194. Celani, F., et al. [*The Effect of g-b Phase on H\(D\)/Pd Overloading*](#). in The Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT.

195. Bennington, S.M., et al., In-situ measurements of deuterium uptake into a palladium electrode using time-of-flight neutron diffractometry. *J. Electroanal. Chem.*, 1990. **281**: p. 323.

196. Dillon, C.T., B.J. Kennedy, and M.M. Elcombe, The electrochemically formed palladium-deuterium system. II. In situ neutron diffraction studies. *Aust. J. Chem.*, 1993. **46**: p. 681.

197. Worsham Jr., J.E., M.K. Wilkinson, and C.G. Shull, Neutron-Diffraction Observations on the Palladium-hydrogen and Palladium-deuterium systems. *J. Phys. Chem. Solids*, 1957. **3**: p. 303.

198. Burger, J.P., et al., Electrical Resistivity of Pd-Hx: Residual Resistivity. *Solid State Commun.*, 1975. **17**: p. 227.

199. Matsuzaki, A., T. Nishina, and I. Uchida, In situ low incident angle XRD technique with electrochemical methods. Application to deuterium charging into palladium cathode. *Hyomen Gijutsu*, 1994. **45**: p. 106.

200. Asami, N., et al. [*Material Behavior of Highly Deuterated Palladium*](#). in The Ninth International Conference on Cold Fusion. 2002. Beijing, China: Tsinghua University: unpublished.

201. Fukai, Y. and N. Okuma, Formation of superabundant vacancies in Pd hydride under high hydrogen pressures. *Phys. Rev. Lett.*, 1994. **73**: p. 1640.
202. Semiletov, S.A., et al., Electron-Diffraction Investigation of Tetragonal PdH. *Kristallografiya*, 1980. **25**: p. 665.
203. Baranova, R.V., et al., Crystal Structure of Pd Hydride with Primitive Cubic Lattice. *Sov. Phys. Crystallogr.*, 1980. **25**: p. 736.
204. Bertalot, L., et al. Deuterium Charging in Palladium by Electrolysis of Heavy Water: Measurement of Lattice Parameter. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
205. Richards, P.M., Molecular-Dynamics Investigation of Deuterium Separation in PdD_{1.1}. *Phys. Rev. B: Mater. Phys.*, 1989. **40**(11): p. 7966.
206. Louis, E., et al., Calculation of hydrogen-hydrogen potential energies and fusion rates in palladium hydride (PdH_x) clusters (x=2,4). *Phys. Rev. B: Mater. Phys.*, 1990. **42**: p. 4996.
207. Ludecki, C.M., G. Deublein, and R.A. Huggins, Thermodynamic Characterization of Metal Hydrogen Systems by Assessment of Phase Diagrams and Electrochemical Measurements. *Int. J. Hydrogen Energy*, 1987. **12**: p. 81.
208. Picard, C., O.J. Kleppa, and G. Boureau, Thermodynamic Study of the Palladium-Hydrogen System at 245-352 C and at Pressures Up To 34 atm. *J. Chem. Phys.*, 1978. **69**: p. 5549.
209. Sakamoto, Y., et al., Calorimetric enthalpies for palladium-hydrogen (deuterium) systems at H(D) contents up to about $[H]([D])/[Pd] = 0.86$. *J. Phys.: Condens. Mater.*, 1996. **8**: p. 3229.
210. Flanagan, T.B., W. Luo, and J.D. Clewley, Calorimetric enthalpies of absorption and desorption of protium and deuterium by palladium. *J. Less-Common Met.*, 1991. **172-174**: p. 42.
211. Godshall, N.A., et al., Calorimetric and thermodynamic analysis of palladium-deuterium electrochemical cells. *J. Fusion Energy*, 1990. **9**: p. 229.
212. Zhang, W.S., Z.F. Zhang, and Z.L. Zhang, Some problems on the resistance method in the in situ measurement of hydrogen content in palladium electrode. *J. Electroanal. Chem.*, 2002. **528**: p. 1.
213. Barton, J.C. and F.A. Lewis, Interface Impedance and the Apparent Electrical Resistance of Palladium Hydrides in Aqueous Solutions. *Trans. Faraday Soc.*, 1962. **58**: p. 103.
214. Baranowski, B., High Pressure Research on Palladium-Hydrogen Systems. *Pt. Met. Rev.*, 1972. **16-17**: p. 10.
215. Lee, M. and R. Glosser, Resistivity of Thin Films of the Palladium-Hydrogen System as a Function of Film Thickness. *Zeitschrift fur Physik. Chemie*, 1986. **147**: p. 27.
216. Frazier, G.A. and R. Glosser, Characterization of Thin Films of the Pd-H System. *J. Less-Common Met.*, 1980. **74**: p. 89.
217. Storms, E., [*How to produce the Pons-Fleischmann effect.*](#) *Fusion Technol.*, 1996. **29**: p. 261.
218. Cravens, D. [*Factors Affecting Success Rate of Heat Generation in CF Cells.*](#) in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.
219. Szpak, S., P.A. Mosier-Boss, and J.J. Smith. [*Reliable Procedure for the Initiation of the Fleischmann-Pons Effect.*](#) in Second Annual Conference on Cold Fusion, "The Science of Cold Fusion". 1991. Como, Italy: Societa Italiana di Fisica, Bologna, Italy.
220. McKubre, M.C.H., et al. Concerning Reproducibility of Excess Power Production. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.
221. Hasegawa, N., et al. Observation of Excess Heat During Electrolysis of 1M LiOD in a Fuel Cell Type Closed Cell. in Fourth International Conference on Cold Fusion. 1993. Lahaina,

Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304.

222. Minato, J., et al. Materials/Surface Aspects of Hydrogen/Deuterium Loading into Pd Cathode. in 5th International Conference on Cold Fusion. 1995. Monte-Carlo, Monac: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France.

223. Kozima, H. and K. Arai, Local coherence, condensation and nuclear reaction of neutrons at crystal boundary of metal hydrides and deuterides. Int. J. Hydrogen Energy, 2000. **25**(9): p. 845.

224. Fisher, J.C., Liquid-drop model for extremely neutron rich nuclei. Fusion Technol., 1998. **34**: p. 66.

225. Oriani, R.A., [*Anomalous heavy atomic masses produced by electrolysis*](#). Fusion Technol., 1998. **34**: p. 76.

226. Mills, R.L. and W.R. Good, Fractional quantum energy levels of hydrogen. Fusion Technol., 1995. **28**: p. 1697.

227. Dufour, J.J., J.H. Foos, and X.J.C. Dufour, Formation and properties of hydrex and deutex. Infinite Energy, 1998. **4**(20): p. 53.

228. Liu, F.S., The phonon mechanism of the cold fusion. Mod. Phys. Lett. B, 1996. **10**: p. 1129.

229. Violante, V. and A. De Ninno. Quantum mechanical description of a lattice ion trap. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.

230. Kucherov, Y. Slow Nuclear Excitation Model. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.

231. Hagelstein, P.L. A Unified Model for Anomalies in Metal Deuterides. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.

232. Chubb, S.R. and T.A. Chubb. Theoretical Framework for Anomalous Heat and 4He in Transition Metal Systems. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.

233. Bazhutov, Y.N. Erzion Discovery in Cosmic Rays and its Possible Great Role in Nature in Framework of Erzion Model of Cold Nuclear Transmutation. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.

234. Matsumoto, T., Mechanisms of cold fusion: Comprehensive explanations by the Nattoh model. Mem. Fac. Eng. Hokkaido Univ., 1995. **19**(2): p. 201.

235. McKibben, J.L., The missed fractionally-charged particles. 1995.

236. Rafelski, J., et al., Nuclear reactions catalyzed by a massive negatively charged particle. How Cold Fusion Can Be Catalyzed. Fusion Technol., 1990. **18**: p. 136.

237. Fisher, J.C., Polyneutrons as agents for cold nuclear reactions. Fusion Technol., 1992. **22**: p. 511.

238. Turner, L., Thoughts Unbottled by Cold Fusion. Phys. Today, 1989. **Sept.**: p. 140.

239. Feng, S., Enhancement of cold fusion rate by electron polarization in palladium deuterium solid. Solid State Commun., 1989. **72**: p. 205.

240. Hora, H., G.H. Miley, and J. Kelly. Low Energy Nuclear Reactions of Protons in Host Metals. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.

241. Hora, H., et al., Proton-metal reactions in thin films with Boltzmann distribution similar to nuclear astrophysics. Fusion Technol., 1999. **36**: p. 331.

242. Hora, H., J.C. Kelly, and G.H. Miley, Energy gain and nuclear transmutation by low-energy p- or d-reaction in metal lattices. Infinite Energy, 1997. **2**(12): p. 48.

243. Takahashi, A., et al., Emission of 2.45 MeV and higher energy neutrons from D₂O-Pd cell under biased-pulse electrolysis. J. Nucl. Sci. Technol., 1990. **27**: p. 663.
244. Isobe, Y., et al., Search for multibody nuclear reactions in metal deuteride induced with ion beam and electrolysis methods. Jpn. J. Appl. Phys. A, 2002. **41**(part 1): p. 1546.
245. Takahashi, A. Tetrahedral And Octahedral Resonance Fusion Under Transient Condensation Of Deuterons At Lattice Focal Points. in ICCF9, Ninth International Conference on Cold Fusion. 2002. Beijing, China: Tsinghua University: Unpublished.
246. Jones, J.E., et al., Faradaic efficiencies less than 100% during electrolysis of water can account for reports of excess heat in 'cold fusion' cells. J. Phys. Chem., 1995. **99**: p. 6973.
247. Miskelly, G.M., et al., Analysis of the published calorimetric evidence for electrochemical fusion of deuterium in palladium. Science, 1989. **246**: p. 793.
248. Fleischmann, M., et al., Calorimetry of the palladium-deuterium-heavy water system. J. Electroanal. Chem., 1990. **287**: p. 293.
249. Shanahan, K., [*A Possible Calorimetric Error in Heavy Water Electrolysis on Platinum.*](#) Thermochim. Acta, 2002. **387**(2): p. 95-101.
250. Nishimiya, N., et al., Hyperstoichiometric Hydrogen Occlusion by Palladium Nanoparticles Included in NaY Zeolite. J. Alloys and Compounds, 2001. **319**: p. 312.
251. Arata, Y. and Y.-C. Zhang, Formation of condensed metallic deuterium lattice and nuclear fusion. Proc. Japan. Acad., 2002. **78 ser. B**: p. 57.
252. Tanzella, F.L., et al. Parameters affecting the loading of hydrogen isotopes into palladium cathodes. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.
253. Celani, F., et al. [*High Hydrogen Loading into Thin Palladium Wires through Precipitate of Alkaline-Earth Carbonate on the Surface of Cathode:*](#) Evidence of New Phases in the Pd-H System and Unexpected Problems Due to Bacteria Contamination in the Heavy-Water. in 8th International Conference on Cold Fusion. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy.