

## 大河千弘と核融合研究

## Tihiro Ohkawa's history of nuclear fusion research in the 1960s

雨宮高久<sup>1</sup>\*Takahisa Amemiya<sup>1</sup>

Abstract: Tihiro Ohkawa belongs among the most famous Japanese nuclear fusion researcher. He graduated the University of Tokyo and had Doctor of Science degree in Physics from the same university. After researcher positions at CERN, Midwestern University and others, he moved to General Atomic in the USA in 1960 and started multipole research with D.W.Kerst. In 1965, he demonstrated the effectiveness of average minimum B by the toroidal octopole experiment at Second Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research. His result was called "the milestone of nuclear fusion research" by L.Spitzer Jr. in the summary talk of this conference. On the other hand, he had an influence on the line of nuclear fusion research in Japan. In 1967, Shoichi Yoshikawa and Ohkawa advanced the opinion of future plan for the IPP Nagoya University. Ohkawa advised that Japan would catch up with the world in nuclear fusion research if Japanese researcher started the plasma confinement research immediately. As a result, their advices were one of the causes of the turning point in its research in Japan.

## 1. はじめに

核融合研究が各国で本格的に始まった 1960 年代, 日本人研究者は世界各国の研究機関で活躍を始めた. その中でも, 米国ガルフ・ジェネラル・アトミック(GGA)所属の大河千弘とプリンストン大学所属の吉川庄一は, それぞれの所属した研究機関の中で, 早くから研究を指揮する立場となり, 核融合研究の推進に寄与した. 大河と吉川の活躍は国際会議の席上でも顕著であった様で, 同席した当時名古屋大学プラズマ研究所所長の伏見康治によると, "国際会議の席上では USA と書かれたネームプレートを掲げた日本人(大河と吉川)が流暢な英語で質問をする光景が話題になっていた" という. 核融合分野における日本人研究者の国際進出の先駆けとなった両研究者の研究経歴は, 核融合研究開発の歴史の中で注目すべき事柄である. そこで本発表では, 先ず大河千弘の研究に注目し, 国際原子力機関(IAEA)主催の第2回プラズマ物理と制御核融合に関する国際会議(本稿では第2回IAEA会議と称する)で発表された平均極小磁場配位の実験的証明に至る内部導体型装置の研究および同時期の日本の核融合コミュニティとの関わりについて史実調査を行い, 大河の核融合学界への影響を考察する.

## 2. 大河千弘の米国における内部導体型装置の研究

大河千弘は, 1960年より米国のジェネラル・アトミック(GA, 後のGGA)に所属し, D.W.Kerstと共に核融合研究を始めた. GA所属直後, 大河は非円形断面トーラスの研究<sup>[1]</sup>を始めたが, すぐに内部導体型装置の研究に移り, Kerstと共著で内部導体型装置におけるプラズマ閉じ込めの計算結果を1961年に発表した. 内部導体型装置によるプラズマ閉じ込めは, 同時期にJ.L.TuckやH.Gradらによって議論されていた. 1960年9月, Tuckはプラズマの漏出を防ぐ為に, 開放端系とトーラス系の各装置の中らせん状の導線を挿入した装置によるプラズマの安定性についての論文を雑誌*Nature*に発表した. 大河とKerstは, Tuckのアイディ

アは簡素化できるとして, 内部導体をらせん状から直線状に改めた上でプラズマの平衡と安定性を次の様に論じた: 装置内部に円周状に rod を配置し, 花弁型の磁力線を形成させる. すると, rod と rod の間の領域 I では, 磁力線によってプラズマの表面が凹面となってプラズマが安定して閉じ込められるが, rod の外側の領域 II ではプラズマ面が外側に向かって凸面になる為に不安定になる. このままでは装置内に安定領域と不安定領域が混在する事になるが, 領域 II の磁場を領域 I よりも強く作る事によって, 領域 II の不安定性を小さくする事が出来る. これによって, 装置内にプラズマを安定して閉じ込める事が可能となる.

このような磁場配位でのエネルギー原理に基づく解析の結果, 大河はプラズマ温度  $10^4\text{eV}$  の場合で, 閉じ込め時間は約  $10^{-2}\text{sec}$  程度になると算出した. しかし, この計算結果を発表した 1961年4月のAPS Spring meetingでは, 装置を2次元空間で議論している事やトーラス状にした時の考慮をしていない事, 内部導体を無限長として計算を行っている事から, 同装置によるプラズマ閉じ込めの可能性が疑問視され, 会場にいた伏見の報告には "あまり注目を浴びなかった" と記されている. しかし, 大河らは Multipole 装置によるプラズマ閉じ込めの実現性に対して確信を持っていた様で, 理論実証の為に装置による研究を開始した.

先ず大河ら GA 核融合研究班は, 直線六極内部導体型装置(linear octopolar)の建設に取り掛かり, 1963年に同装置による実験成果を発表した. 実験の目的が装置内に形成された Multipole 磁場にプラズマを注入した際の振る舞いを調べる事であった為に, 装置にはプラズマを閉じこめる為の具体的対策は講じられていなかった. 装置内にプラズマを注入すると, プラズマは入射口付近の磁場を通過し, 反対側の磁場に達して静止した後, 内部導体型装置の軸に沿って拡がり, 装置の末端壁に達する事を大河らは観測した. 観測結果から, 大河らは内部導体型装置にプラズマを注入する事は容易であると結論し, 装置の軸を中心にプラズマが拡散

する事を見出した。同時期には、GA 核融合研究班に大きな変化があった。Kerst が母校の Wisconsin 大学へ転出後、東大宮本梧楼研の後輩吉川允二がメンバーに加わったのである。Kerst の転出に伴い、GA 核融合研究班内での大河の地位と責任はさらに大きくなったと言える。

直線型装置の結果を踏まえて、GAでは大河、A.A.Schupp、吉川(允)、H.G.Voorhies らによってtoroidal octopolar 装置の研究が始まった。同装置による実験結果は、1965年9月に英国Culham研究所で行われた第2回IAEA会議で発表され、不安定性を伴わずに1ミリ秒単位でのプラズマ閉じ込めに成功した事が大河によって報告された。大河らの成果は、目立った不安定性を伴わずに、それまで突破する事が出来なかったBohm時間を超えてプラズマを閉じ込める事を示した為に、同会議のサマリーを担当したL.Spitzer, Jr.は“核融合研究における重要な一里塚である”と称賛し、会議に出席した森茂も会議報告の中で“本会議の金メダル”と記している。これが、トーラス装置による平均極小磁場配位を実験的に示した初の成果であった。

### 3. 日本の核融合研究に対する大河の関与

次に大河の日本の核融合研究体制への関わりを見ていく。大河は1950年に東京大学を卒業した後、宮本梧楼研の助手となり、核物理や加速器研究に従事していた<sup>[2]</sup>。これらの研究の一環として行ったCERNや米国への留学の際に、大河は世界で始まった核融合反応の平和利用を知り、宮本研への書簡の中で欧州諸国のプラズマ・核融合研究の現状を報告している。

大河が留学から帰国した1958年頃、日本国内では研究体制を議論するAB論争が白熱しており、大河は宮本や森茂とともに閉じ込め研究を重視するB計画の立場を取っていた。この時の結論は基礎研究を重視する立場のA計画が優先され、その結果、1961年に名古屋大学プラズマ研究所が設立された。先に記した様に、大河は1960年にGAに移った為、当時、プラ研設立に落ち着いたAB論争の結果をどの様に見ていたかを断定する事は難しい。しかし、伏見は当時の日記に、“大河や森といった宮本研出身者がプラ研から距離を取っている様に感じる”と記しており、伏見から見れば、少なからず大河の中に不満があると感じていた様である。その後、伏見は大河の活躍を見ていく中で、次期プラ研所長として大河を推し、日本への帰国を促している。しかし結局、大河がプラ研所長になる事は無かった。

その後、第2回IAEA会議に出席した日本人研究者の会議報告から、各国の研究動向や日本との研究規模や資金等の格差が明らかになり、この事をきっかけとして、基礎研究重視からの方針転換に関する議論が起きた。その一環として、日本学術会議原子力特別委員会核融合部会は、1967年12月に核融合研究の将来計画作成の為の参考として、世界で活躍している大河・吉川(庄)両氏に日本の核融合研究の方針に関して意見を求

めた。大河は自身の意見をまとめた報告書の中で、日本が核融合研究の本格的始動に際して、“大型装置という考え方を止めて基礎実験と中型装置を選んだことは正しかったと思われる”と述べ、プラ研を中心とした研究体制を肯定し、日本の基礎研究の成果を称賛している。しかし、中型以上の装置によるプラズマ保持の研究に関しては、日本の遅れを指摘し、“日本が核融合をやるつもりなら、直ちに低ベータ・トーラスの実験を始め、その後大型装置の研究に進むべきで、そうすれば世界の水準に追いつき追いこす事も可能である”と述べている。吉川(庄)もほぼ同じ様な内容の報告を提出しており、両者とも基礎研究重視で来たプラ研中心の研究体制に転換期が来た事を示唆し、今後の日本の核融合研究に期待を込めた。両者のコメントは、プラ研における装置の大型化、さらに日本の研究をプラズマ閉じ込め重視の方向にシフトさせる一因となった。

### 4. まとめと今後の課題

内部導体型装置に関する研究は、1970年代に入ると徐々に核融合研究の主流ではなくなったが、その研究が平均極小磁場を実験的に証明した事などを考えれば、黎明期に同研究を先導して、成果を出した大河の寄与は大きい。さらに、大河は日本の核融合研究体制にも多大な影響を与え、基礎研究重視からプラズマ閉じ込め研究重視へと移行する上で大きな役割を果たしたと言える。

大河は、プラ研以外に原研からも帰国を要請されるが、結局1994年までGGAに所属していた。1974年の朝日新聞による取材の中で、記者から日本帰国の可能性について問われると、大河は“やりたい仕事ができる場所なら、どこへでも喜んで行く。とくに日本は、老人学者に住みやすいところだから、いずれトシをとったら...”と語り、GGA内で責任ある立場にある自身が帰国する可能性の低さを述べている。しかし、日本に度々帰国していた事や『核融合研究』にほぼ毎年論文を投稿していた事から、日本の核融合研究にも関心を示していた事が伺える。

その後、GGAの内部導体型装置の研究は、toroidal quadrupole(四極磁場装置)や直流toroidal octopole(dc octopole)といった装置が製作され、直流octopole装置は1969年に閉じ込めが古典拡散で決まるプラズマの生成に成功し、1971年には新古典拡散を実験的に証明している。1960年代後半のGGAやWisconsin大学での内部導体型装置の研究や原研のJFT-1との関係については今後の課題としたい。

### 5. 参考文献(一次史料を除く)

- [1] 西尾成子, 植松英穂, 竹田辰興: 大河千弘氏インタビュー, 於ホテルオークラ(1995)
- [2] 大河千弘: 加速器, 核融合と放射光 Accelerator, Fusion and SOR 私の研究史とGAでの研究, 核融合研究60,1 (1988) 6-12