

大河千弘先生を懐かしんで

本島 修

長年にわたる核融合エネルギー開発研究の歴史に燦然と輝いておられる偉大な指導者であった大河先生にささやかではありますが、追悼の言葉をささげさせていただきます。

大河先生は、核融合・プラズマ分野におけるパイオニアであり、私とは世代が大きく違うため常に偉大な先達者という畏敬の念をもって接してまいりました。しかし、個人的には実に気さくでお酒も良く嗜まれる先生であり、先輩と後輩として気の置けない仲間のように接していただいた事に本当に感謝しております。

国際会議等でお会いしました時には、私の研究結果について色々な事に興味を示してくださり、いつも励ましていただきました。決して批判的な立場にたたれず否定的な事をおっしゃらない実に建設的な先生でした。先生の講演を数多く拝聴する機会があった事はもちろん、食事にも何度となくお誘いいただきましたし、先生の **after session** のお手伝いをする事もありましたが、今となってはすべて楽しい思い出となりました。

大河先生は、**GA** を退職後は、放射性廃棄物の処理技術の開発に全精力を傾けられたと伺っています。ご自分の創設になるサンディエゴの **DIII** 計画ときっぱりと決別されました事はまことに立派な事です。とかく、責任者クラスが退職後もポストを得て組織に残り影響力を保とうとする事が、**public sector** と **private sector** を問わず散見される世の中ですが、在任中に **best** を尽くすとともに人を育てて人事を全うして後進に道を譲り、後はすべてを託して大所高所からサポートをする立場に自らを置き変えるという先生の **philosophe** が **GA** のご退職に当たって如実に表れていたように思えます。昔東大をやめられてアメリカへ移られた時もおそらくそうだったのだろうと想像いたします。

先生の光り輝く業績は、東大の後輩の皆さんと **GA** の同僚の皆さんが詳しく書かれておられると思います。ですから、私はトカマクの研究者があまりご存じではない事をエピソードとして一つ取り上げさせていただきます。それは **1988** 年から **1998** 年にかけて建設が行われた **LHD(Large Helical Device)** プロジェクトでの一コマです。ここでもまず強調しておきたい事は大河先生は将来競争相手になるかもしれない事は承知の上で、トカマクとは異なる閉じ込め原理に基づくしかも米国外のプロジェクトを **encourage** こそされ足を引っ張る事など決してなさらなかったと言う事です。**1988** 年は、核融合科学研究所の創設準備室による **LHD** の物理設計が完成し、同時に装置の基本スペックがほぼ決まり、技術設計も本格的に進みだしていた時です。まだプロジェクトの立場は弱く、登山に

例えば森林限界以下の胸突き八丁を登っていた時でもありました。当時核融合科学研究所の準備室長であった後の核融合科学研究所の初代所長(現中部大学理事長)の飯吉厚夫先生のおっしゃる 8 人の侍集団という少数精鋭部隊で共同研究者の皆さんの後押しを受けてプロジェクトの推進に当たっていました。

その様な中で、中心が数千万度に達するプラズマと壁との相互作用を制御するための **divertor** の設計が計画の **critical path** として浮上して来ました。LHD は無電流定常プラズマの発生を最大の目的として計画が立案されましたから、1GJoule の蓄積エネルギーを持つ本格的な超伝導装置の製作が必要となる事は勿論、今の ITER でも最大の課題の一つである熱流と粒子束を制御するための **divertor** の装着とそこで使う耐高熱流材料の開発が必須の事でした。定常の高温プラズマの生成のための周辺プラズマの熱・粒子制御とその結果としての閉じ込めの改善方策をいかに確立するかと言う事は、定常高性能プラズマの生成を目指す計画の成否を握る重要なテーマです。トカマクでも F. Wagner 博士による H mode の発見に続き、edge pedestal の研究が急速に進みだしていた頃です。そこで、人材を **head hunting** する必要が生じ、この分野でも最も進んでいた GA の DIII group から有能な研究者を LHD グループに来てもらう事を企画いたしました。

当時、トカマクとヘリカルは違う、LHD はトカマクより 10 年以上遅れている、**risk** がとても高いと考えている人が大変多かった中で（それは日本の中でさえ四面楚歌といってもよい状況でした）の事です。なぜなら我々が推進していた超伝導 LHD 装置は DIII と同じように他に例を見ないアイデアに基づいており、それを実証する実験成果は未だ無い訳でしたから、研究コミュニティーの理解を得る事は並大抵の事ではありませんでした。当然と言えば当然の事なのでしょう。残念な事です、これは、**catch up** 型の研究者の中にとくに多くみられる傾向と言えます。しかし、大河先生のように物事の本質を見抜く力を持った方々の応援があったおかげで今の核融合科学研究所が創設され LHD 装置が完成した事もまた、事実です。

私の頭の中には国際会議等で交流のあった大藪修義博士の名前がありました。そこで私たちは大河先生先生にお願いしたわけです。直接には準備室長であった飯吉先生に電話をかけてもらいました。まずは、大河先生の腹心の部下をいただくわけですから、大河先生に理解をいただく事とご本人がその気になってもらわないといけないからです。しかし、大河先生のトカマク・ヘリカルにこだわらない広いお考えのおかげで大藪先生も助教授として帰国して準備室のメンバーとなる事がスムーズに決まりました。先生のヘリカル研究に対するご期待の念のおかげです。この事は今でも忘れられない思い出の一つです。

その結果について一言書きたいと思います。大藪先生は、大河先生の大学の後輩でもある関係と思いますが先生の薫陶を十分に受けておられ物理を直感的に

とらえる力を備えておられました。私は、彼の DIII-D における著名な研究成果である electron temperature pedestal による閉じ込め改善にかける決断をして、この事象が divertor effect によって発現するだけの空間を真空容器に確保するため、真空容器の断面を楕円からレーストラック上にして divertor magnetic configuration を可能とするための十分なスペースを作りました。技術的には非常に厳しい design change request であり、コストも相応にアップいたしました。私はこの大藪さんの insight と理論的な組み立てに共鳴し、彼の理論に掛ける決断をしました。この事も間接的な大河効果と言えるかもしれません。この決断の背景には彼が理論プロパーでなく実験データにも精通していた事が理由の一つとなっています。

結果は見事に的中しました。temperature pedestal は実現しなかったものの本来の divertor function は十分に機能し、density pedestal が通常的に生成されるころまで研究が進み、トカマクの密度限界をはるかに超える高密度プラズマと高 $n_e T$ プラズマの生成に成功する事ができました。現在この追加の空間は、divertor panel と cryopump を装着するために大変役立っています。

大河先生は、何が重要かという事を見抜く洞察力を十分に備えられ、核融合エネルギー研究の推進のためには戦略的に何を為すべきかという事を常に考えておられました。先生の LHD に対する深い理解が今の LHD の成功を支えているのです。私も初代飯吉所長の指導のもと LHD の建設と実験の責任者の任に当たり、飯吉先生の退官後の 2003 年から 2009 年間にかけて所長を務め、2010 年から 2015 年の間、ITER 機構長という重責を果たせましたのも先生のこの考え方を学ぶ機会があったからと思っています。

そういえば大河先生は 1981 年に Moscow で開かれた EPS 後の stellarator workshop にも出席されておりました。この年は前年夏の Moscow Olympics の西側諸国の boycott の後であり、直前の Moscow での EPS の参加者も限定的であったにも拘らず大河先生は Moscow まで来られていた事を良く覚えています。大河先生の大所高所から物事の組み立て方をするという生き方の表れの一つだった様に思います。この時 Velikhov 先生とは間違いなく話をされているでしょうから、その直後の 1985 年の Reagan・Gorbachyov による ITER 国際計画の立ち上げに繋がったものと推察しています。この年の EPS では大河先生の活躍を初めてまじかに見る機会が多くありました。

大河先生とは分野の先輩後輩としての公私に渡る楽しい思い出が他にもたくさんあります。でもそれらは、私の心の中に大事な思い出として静かにしまっておきたいと思います。

大河先生、ありがとうございました。どうぞ、安らかにお休みください。

未来エネルギー研究協会 会長

中部大学理事長学事顧問
ITER 機構 名誉機構長

本島 修

PS: この追悼文は私の気持ちを正確に表現をする必要があると考えたため、敢えて日本語で書きました。必要であれば関係の方に英訳していただけますと大変ありがたく思います。また、大藪名誉教授のお名前を出させていただきましたが、今身体の調子が余り良くないと聞いております。DIII時代に先生に薫陶を受けた大河 family の多くの研究者の中で彼が成し遂げた LHD のに繋がる貢献をここに先生に関わる大事な **episord** として書かせていただきました事にご理解を頂ければ幸甚です。