

## プラズマ・核融合研究とともに40年

—皆様に感謝しつつ—

須藤 滋



修士課程で霜田光一先生にレーザーの勉強をさせていただいた時に初めて、学問の深さや研究がどうあるべきかを目の当たりにさせていただきました。その頃、プラズマ・核融合に興味を持っておりましたので、博士課程ではその勉強をしたいと思い、関口忠先生にお願いしに行ったところ、快諾いただきました。そして、ベレットにレーザーを当ててできたプラズマをカスプ磁場中に閉じ込める実験研究に参加させていただきました。その際に水素ベレットを間近にすることができ、後の研究に生きてくることになりました。私の博士論文のテーマのために、電子温度・密度をトムソン散乱法で計測することになりました。そこで、MACH IIで既にトムソン散乱計測をされていた井口春和氏にトムソン散乱計測のノウハウを懇切丁寧にご教示いただきました。このトムソン散乱計測の経験が、後のヘリオトロンE装置での無電流プラズマの温度計測に大いに役立つこととなり、研究のつながりというものを感じます。

博士号を取得した後、ドイツのマックスプランクプラズマ物理研究所で研究をすることになり、2年ほど貴重な体験をすることができました。マックスプランク研究所の正規の職員にもしていただきましたし、もう少しドイツで研究を続ける予定でしたが、ミュンヘン近郊のリングベルク城でのワークショップで宇尾光治先生にお会いし、温度計測のスタッフを探しているのと京都大学へ呼んでいただきました。この御縁で、ヘリカル系プラズマの研究をスタートすることになりました。

ヘリオトロンE装置ではトムソン散乱計測を担当しました。それまでオーム電流でプラズマを生成していたものを、電子サイクロトロン波だけでプラズマ生成・加熱が実現した際に、その無電流プラズマの電子温度をトムソン散乱法で計測し、確かに500 eV程度のプラズマができていたことを初めて観測し、閉じ込めも良好であることを確認しました。この時の震えるような感動は今でも覚えております。調査団がわざわざヘリオトロン核融合研究センターへお越しになったほど、皆さんへの衝撃が大きかったのだと思います。

センターではスタッフ数が限られているので、各

人が複数のテーマを担当しなければいけないということで、飯吉厚夫先生からお勧めいただいて、固体水素ベレット入射装置の開発も担当することになりました。馬場智澄氏の協力を得て、日本で初めてプラズマ中への固体水素ベレット入射実験を行うことができました。その後、6連の固体水素ベレット入射装置を製作し、6連発入射にも成功しました。このベレット入射等によりプラズマパラメータの範囲が広がり、これがプラズマ閉じ込めスケールリングや密度限界スケールリングを導出することにもつながりました。このスケールリングは大型ヘリカル装置(LHD)設計に役立ちましたし、密度限界スケールリングは25年経った今も時々リファースされています。

核融合科学研究所に移ってからは、プラズマにおける粒子の輸送を高い精度で計測するために、プラズマ中に元々存在しない粒子を局所的に注入するレーザー内蔵極低温ベレット(TECPEL)を開発しました。さらに、I.Vinyar氏との共同研究で、より高性能のTECPEL装置に発展させました。一方で、扱いがより簡易な常温で運転できるTESPEL装置も考案し、LHDではもっぱらこちらを用いて実験を行いました。総合研究大学院大学院生であったK.Khlopenkov君が日本人顔負けの器用さでポリスチレン球の加工を見事に行い、作業工程が確立しました。そして、同じく大学院生であった田村直樹君がこれを引き継いで、2000年からLHDにおいてTESPEL実験を開始し、現在も大活躍です。重水素実験という新しいフェーズでの発展が楽しみです。

また、飯吉厚夫初代所長のもとでのLHD立ち上げや本島修元所長のもとで法人化などに取り組んだことも懐かしく思い出されます。

振り返ると、国内外の多くの研究者との共同研究や助言・ご指導をいただいた結果として研究が行えたものであり、ここに一人一人のお名前を挙げることはできませんが、関係する先輩方、同僚の方々、学生諸君、技術部の方々に始め皆様に感謝申し上げます。

(核融合科学研究所 フェロー  
高温プラズマ物理研究系 教授)

## 「第一の物質の状態」のまわりで40有余年

Miloš M.Škorić (スコーリック ミロス)



ビッグバン宇宙論によれば、物質と反物質のスープである原始のプラズマは、初期宇宙において引き伸ばされて冷やされて、他の三つの物質の状態は正にその後でできたものです(プラズマは通常、固体・液体・気体に続く「第四の物質の状態」と呼ばれる)。プラズマは、ベオグラード大学での電気工学専攻の修士課程においての私の第一の研究対象でした。そのうち、研究対象は核融合へと移り、残りの40年間私の主な研究分野に留まり続けました。最初の理論研究は、過渡的線形電磁プラズマ応答でした。次に私は“The soliton; A new concept in Applied science”(「ソリトン; 応用科学の新概念」)(Proc. IEEE, 1973)という論文に出会い、プラズマソリトンの研究をすることに決めました。1978年に私はオックスフォード大学のD.ter Haar教授の研究室に加わり、3年で強いラングミュア乱流に関する論文で博士号を取得しました。そこで九州大学から客員で来た河野光雄教授(現中央大学)と出会い、その後30年以上に及ぶ有意義な共同研究と親しい友人関係が始まりました。1986年には初来日し、日本学術振興会(JSPS)の研究員として、ボンデロモータリプカの定式化に関する共同研究のため、福岡に滞在することになりました。それは私の家族にとって、楽しく思い出に残る日本の春と暑い梅雨の時期の滞りとなりました。その前の1982年、私は英国からセルビア(旧ユーゴスラヴィア)のヴィンチャ核科学研究所に戻り、母国と海外の両方で専門的なキャリアを積むことに野心をもって取り組みました。80年代は総じて良い年月でした。ヴィンチャで核融合とレーザー応用の大規模プロジェクトの研究代表者であり、ローレンス・バークレー国立研究所との米国エネルギー省(DOE)の助成金の研究代表者でもあり、複数の国際会議での招待講演や、トリエステ(イタリア)の国際理論物理学センターでの講義等を行いました。1988年には、私はドゥブロヴニク(現クロアチア)の近くで開催された欧州物理学会核融合会議の実行委員長を務めました。国際原子力機関(IAEA)とDOEからの訪問を受け、私はベオグラードでの第三世界の国々のためのIAEAトカマク研修センター設立の計画に関わりました。修士課程と博士課程の学生にとって役立つ非線形物理学の試験台として、レーザー・プラズマ理論の研究を始めました。レーザー核融合において重要な、異常誘導ラマン散乱に関する良い結果が得られ、1995年に文部省(現文部科学省)の客員教授として大阪大学レーザー核融合研究センターに三間國興教授との共同研究のために招聘されました。

核融合科学研究所(NIFS)との繋がりは、第一回国際土岐コンファレンスに遡ります。写真は1989年に建設中のNIFSを訪れて撮ったもので、私の大切な記念写真です。非線

形プラズマを研究対象としていた私は、佐藤哲也教授率いるNIFSの理論・シミュレーション研究センターの複雑系の新領域のプロジェクトに自然と惹きつけられ、1996年から2002年までの間、数回客員教授として招聘されました。私の二人の若いセルビアの同僚が、NIFSで総合研究大学院大学(総研大)の博士号を取得しました。

2005年にNIFSの教授となり、翌年には総研大の教授になりました。最初にNIFSで行った、非線形プラズマのための新しいマルチスケールシミュレーション手法に関する先駆的な研究の成果は限定的なものでしたが、周辺プラズマ実験と炉心プラズマシミュレーションにおける構造と乱流の特性評価に関する共同研究の結果は、数多くの論文になりました。非線形力学系の手法により、核融合プラズマ輸送の複雑性は一般的な性質をもっていることが分かりました。私の個人的な相対論的プラズマへの興味から、アト秒の科学において重要な新しい結果が得られました。総研大の基礎プラズマの講義として、最終的に15回、e-ラーニングの講義収録を行いました。

いつも「酒とバラの日々」とはいきませんでした。NIFSでの10年間は私の研究生生活の中で楽しいものでした。一方、統合予測シミュレーションは「聖杯(Holy Grail)」であって、道のりは長く一直線ではないと常に感じていました。そのために、若い研究者は古いモデルの先を行き、革新的なアイデアに挑戦すべきです。

最後に、本島修ITER機構長と小森彰夫所長には10年間NIFSの教授を任せていただき、深く感謝しております。また、研究生生活と岐阜での外国人生活を、有意義でとても快適なものにしてくれた研究主幹の石黒静児教授をはじめ多くの同僚や秘書の方々、そしてその他のNIFS職員の協力と配慮に感謝いたします。

(基礎物理シミュレーション研究系 教授)

