

■追悼文

木代純逸博士を偲んで

高山 健 (高エネルギー加速器研究機構)

1986年以來、ずっと共同研究者であった木代純逸氏が五月十一日に急逝された。昨年の秋に体調不良を本人から聞いて僅か7ヶ月余りの事であった。

前日の五月十日は、木代博士と筆者が5年前に提案し、その実証試験がKEK-PSで進んでいる誘導加速シンクロトロンをベースに展開の始まった全種イオン加速器とその応用を考えるワークショップが東京工大の大岡山キャンパスで開催されていた。多くの熱心な参加者を迎え、白熱した議論が交わされていた。ワークショップの翌朝、鈴木敏郎夫人からの連絡で病院に駆けつけた。そして、もう何も聞かえず、安らかに眠る様な木代博士に会議の成功を報告し、最後の別れをした。

1986年はKEKがエネルギーフロンティアの加速器として初めて建設したトリスタンが完成し、コミッションを逐え、本格稼働に入ろうとしていた時期であった。このトリスタンの建設に木代博士と筆者は夫々、モニターグループ、電磁石グループの一員として参加した。しかし、木代博士は完成後直ぐに、古巣の陽子シンクロトロンの部署に戻っていた。このトリスタン完成の数年前から将来のレプトンコライダーとしてリニアコライダーが世界的に取沙汰されていたが、国内では福島靖孝氏の熱心な運動もあって、そのR&Dを開始する機運が熟し始めていた。当時、加速勾配を如何に上げるかが最大の関心事であった。金属表面のブレイクダウンに関する一般論が示唆した「より高い周波数へ」が指導原理となり、Sバンド以上の周波数のマイクロ波源の開発が日、米、欧ではほぼ同時に開始された。KEKでも1985年に木村嘉孝氏の支援で平松成範氏、熊田雅之氏(現放医研)のグループがリニアコライダーのマイクロ波源としての自由電子レーザーの開発を念頭に勉強会を立ち上げた。そして、この自由電子レーザーを駆動する1kAオーダー電子ビームを加速する線形誘導加速器のプロトタイプを実際に作ってみる事になった。このタイプを過去に作った経験を持つスタッフはKEKにいなかったという事情もあり、筆者と木代博士に参加要請の声が掛けられた。

この方面で最も進んだ技術を擁していた米国ローレ

ンスリバモア研究所の磁気圧縮装置による高圧短パルス生成法の習得から始めた。木代博士は論文だけの解説では良く分らないと言い、テーブルトップの回路を組み、実験を行った上で、実機の製作に関与した。平松氏の設計になるスパークギャップスイッチを用いた1号機に続く後続機にはどれも木代博士の手になる工夫が加味されていった。R&D最終段階で導入したGTO (gate turn-off thyristor) 半導体スイッチの安定度はそれまでのギャップスイッチに比較して格段に優れており、マイクロ波増幅実験のデーターの質が向上したのを鮮明に記憶している。1987年から1994年まで8年間に渡ってこの研究は続けられた。この間、他に類の無い試みとして電子銃からウィグラーまで全くビームガイド用の磁場を用いない、イオンチャンネルガイド自由電子レーザーを実現し、1993年に入力70kW、出力100MWの増幅実験に成功した事は特筆出来るだろう。総研大一期生の茂中俊明君(現三菱重工)などもこの研究で博士を取得した。ここに至るまでには紆余曲折があった。KEKで推進する他のR&Dプロジェクトと場所の取り合いになり、他所への移転を余儀なくされた事もあった。移転に納得のゆかない筆者を尻目に、淡々と与えられた状況を受け入れ、次の手を打つ姿勢は木代博士の柔軟性を示す端的な例であったように思う。数百トンのコンクリートシールドを実験の度に移動することなど日常茶飯事的环境下で育った木代博士の言葉は悪いが手配師としての才覚に我々は全面的に頼った。集積回路の中身から実験室のシールド組みに及ぶ全体を把握する木代博士の容量の大きさには何度も感心させられた。今から思うに、後日J-PARC 3 GeV加速器の建設責任者として白羽の矢が立ったのも十分に頷けるように思う。

このマイクロ波源の研究では、全く同じコンセプトの下、装置構成の僅かな変更だけで、xバンドから数百GHzのマイクロ波を生成し得るマイクロ波自由電子レーザーの特徴を活かし、一つの駆動電子ビームを使って、一段当りピークパワー1GWの出力、原理的には100%近い効率を保証する多段構成された壮大なシステムの実現を最終目標とした。木代博士も筆者もこの頃はまだ若かった。実際の開発予算の確保は木村、平松の二氏におまかせをし、この野心的計画の段階的実現のため戦略を立てた。恐れを知らず、ほぼ技術蓄積0から始めたと言える。

このR&Dプロジェクト推進中は総研大や全国各大

学からの院生や、米国からのポストドクが参加した。扱う対象が大電流パルス機器であるので、計測装置に乗るノイズレベルは尋常では無かった。木代博士はこれら機器のアースの引き回し、測定信号に乗るノイズの落とし方など、学生等の抱えた問題を懇切につき合っただけで一緒に解決する姿勢に学生等の信頼は極めて厚かった。それまで実験の経験が浅かった筆者なども教えてもらう事が多かった。マイクロ波自由電子レーザー自身はその後、当時総研大の院生であった斎藤一義君(現日立)や尾崎俊幸氏等が更に進化させた。ウィグラー入射前のビームをx-バンド空洞でバンチさせ、Prebunched FELとして76 dB/mという増幅ゲイン、増幅出力150 MWを実証した。これは今でも世界記録だろう。

その後KEKBの計画が認知され、某大な建設予算の捻出、この計画のための実験・測定スペースの確保が急がれたこともあり、リニアコライダー用マイクロ波源のR&Dはクライストロンだけを残し、我々のR&Dは店仕舞いの事態に至った。木代博士と筆者は何とか外部資金を導入して研究の続行を考えた。あらゆる可能性と加速器以外の応用を含め模索した。連日我々は議論をした。しかし、外部資金の目処は立たず万事窮した。結局時代の流れに流される事になった。間もなく、木代博士はPS部門に戻ってK2K実験のための12 GeVPSのビーム増強の試みを佐藤皓氏とともに主宰し、新たな活路を求めた。そしてそこに筆者を誘ってくれた。当初余り乗り気ではなかったが、木代博士の強い勧めもありフェルミ研究所在職時以来10年ぶりにハドロン加速器との付き合いを再開する事になった。こうして木代博士との二人三脚は持続した。

ミッション研究所でのR&D研究はその兵糧が断たれると惨めなものである。世に「技術のスピンオフ」という言葉があるが、システムとして開発している物の民生転用などそう簡単な事ではない。日々の開発研究の中では研究目的以外に何も考えないで研究を遂行している。明日から他の目的に応用すると言っても直ぐアイデアが出てくるわけではない。日頃、その様に訓練もされていない。それでも将来の応用展開を考えて、開発した機器、エキシマレーザー、マイクロ波コンポーネント、多種類の電源等を東京工大(小川研、堀岡研)と東北大に分散し、小規模ながら大学の研究室で出来るオリジナルな研究テーマはその研究室で開始して頂いた。前者ではイオンの誘導加速や、レーザープラズマ生成のドライバーとして利用された。後者では飯沼恒一博士(現東北工大)を中心に大学院生

の須藤洋志君(現環境研)等がマイクロ波で大気ブレークダウンを起させ、生成したプラズマ電子との衝突で励起された不純分子からの発光のスペクトロスコピーによって不純分子の濃度等を同定する手法を実証した。又、大型装置は日本原子力研究所那珂研究所に持ち込んだ。志甫諒博士が主宰していたミリ波自由電子レーザーの駆動装置とドッキングし、前原直博士や大学院生の頑張りで4 MeV, 3 kAの線形誘導加速器として再生した。何れも共同研究の体裁を取ったので木代博士も筆者も度々これらの研究室を訪問し、院生を交えての議論を楽しんだ。しかし、新しい事をやるという意味では、木代博士と筆者にとって1994年から2000年までの6年間は雌伏の時でもあった。

1999年頃、K2K実験に向けたPSビーム増強計画がほぼ終了すると平行して、大強度陽子加速器の計画が本格的になりだしていた。既存概念の延長線上での加速器設計に筆者はもの足り無さを感じていた。当時、高周波で作るバリアーバケットの実証試験が日米で盛んになっていたが、木代博士と筆者はほぼ同時にこのバリアー用電圧の生成に誘導加速装置が使える、得られる矩形電圧パルスがこの目的にうってつけの筈だと直感した。一緒に議論して数日で加速と閉じこめを分離した誘導加速シンクロトロン概念は確立した。この加速器でのビーム力学と加速器全体構成を筆者が、必要な誘導加速装置と駆動電源のアウトラインを木代博士が担当して、一週間程度で論文に纏めた。最初に投稿したParticle Accelerator誌が廃刊になったりと曲折はあったが、結局論文はNIM誌で発表されることになった。アイデアとその利点・特長は単純明快であったが、CW1MHzで誘導加速セルを駆動できるスイッチング電源の経験は全くどこにも存在しなかった。このスイッチング電源開発の成功無くして誘導加速シンクロトロンの実証はあり得ないという共通認識の下、木代博士と筆者は所内外を駆けずり回り研究予算の確保に奔走した。幸い当時の菅原機構長、木原加速器施設長、木村物構研所長等の理解を得ることができ、小規模ながら2000年にR&Dを開始した。又、自由電子レーザー開発の時以来我々が培った企業との信頼関係が存在した故、再び協力を得る事が可能であった。それから現在に至るまでも大きな科学研究費を獲得出来る幸運にも恵まれた。KEK-PSを中心とするスタッフに加え、意欲的な大学院生、ポストドク、技術者のプロジェクトへの参加を得、ニチコン草津で2004年春に漸く実機が完成した。装置一式をKEK-PSにインストール後、step by stepで実証試験が進行している。

先に言及した J-PARC への木代博士のコミットは 2001 年頃から本格化していたが、2003 年初頭には、それに専念するため、日本原子力研究所に移籍した。従って、誘導加速シンクロトロンの研究開発の現場からは離れざるをえなくなった。J-PARC 計画への参加も自分の使命だと深く自覚していた様に思われる。2004 年の 10 月、世界で初めての高エネルギー円形加速器での誘導加速実験の際には体の不調を押して徹夜で KEK-PS のコントロールルームで実験に参加している若い大学院生等を鼓舞しつつ同席してくれた。後日、実験成功を祝う会に木代博士を誘ったが出席されなかった。もうそこまでの元気は残っていなかったのだろう。



ありし日の木代博士。KEK 陽子加速器コントロールルームにて。

陽子ビームの誘導加速を報ずる論文は *Physical Review Letter* 誌の 4 月 15 日号で発表された。又、速報も *CERN Courier* の 4 月号に掲載された。これらを入院中の木代博士の元に届けた。薬の副作用なのか必ずしも正常ではない意識の中、背中の痛みを押しながら、上体を少し起し、付き添っている夫人に脇に置いた眼鏡を取って貰い、論文を眺め、数度頷き、大きく息を吐き、再び横になって目を閉じた。その時の心中は計るべくもないが、木代博士の意識のある内に我々が一緒に描いた夢の実現を伝え得たと思っている。

夫人と一人のお嬢さんを残して、木代博士は駆け抜ける様に逝った。そして、我々に大きな置き土産をして去った。人は早すぎたと言う。しかし、研究者としてもっとも充実し、研究の一線に立てる間、木代博士は十二分に働いた。そして、ご自分でも納得できる成果を積んだと思っていることだろう。

ご冥福を祈りたい。



EPAC 2004 出席の際、ルッツェルン市内のレストランにて。J-PARC や KEK の若い研究者との楽しい昼食風景。