

IIIIII 巻頭言 IIIIII

高品質タンパク質結晶生成宇宙実験
立ち上げの思い出

白木 邦明



国際宇宙ステーション計画における我が国の参加要素「きぼう」の利用が2008年9月に始まって8年経過しました。この間、利用テーマの一つとして、「宇宙における高品質タンパク質結晶生成実験」が定着した事はその立ち上げに係わったものの一人として、大変喜ばしい限りです。

私自身、JAXA 在職中は「きぼう」開発担当者として、宇宙実験利用者ができるだけ早期に利用が開始できるように尽力してまいりましたが、中々打ち上げに到らず、ようやく2008年3月に最初の要素である船内保管室が打ち上がり、6月の船内実験室打ち上げに続いて船内実験が開始できたことは、忘れがたい事です。

また、宇宙環境利用に関しては、1997年4月より、2年半に渡り「きぼう」の「応用化研究利用」を立ち上げるべく奔走したことが懐かしく思い出されます。御存じの方もいらっしゃると思いますが、米国は宇宙ステーション計画立ち上げに当たり、宇宙での創薬により難病の治療薬が開発できると広報しておりました。その時のビデオに登場したのはスペースシャトルで宇宙実験を行っていたアラバマ大学のゲルーカス博士でした。

NASA は宇宙ステーション計画が立ち上がる1985年以来、米国の宇宙民間利用促進策の一つとして、応用化研究利用の拠点である「商業宇宙センターCSC（当初はCCDSと呼んだ）」を作り、そのうちの 하나가ゲルーカス博士の所属するアラバマ大学バーミングハム校の拠点でした。当時の謳い文句は宇宙ではタンパク質の大型単結晶ができるという事だったと思います。

「応用化研究利用」とは“宇宙実験の成果が社会に直接役立つような研究利用”と定義すると、最初はどのようなテーマを選ぶか模索の時代でした。CSC の状況調査の一環として、1997年9月にアラバマ州バーミングハムまでゲルーカス博士に会いに行った事も昨日のような気がします。その時の印象として日本に比べ随分立派

なシャトル搭載用の実験装置（蒸気拡散法）を使っているとの記憶があります。

これら調査活動を通じて、「応用化研究利用」の候補テーマの一つとしてタンパク質結晶生成実験が浮かび上がって来ました。そこで、過去にスペースシャトル利用実験に参加された研究者や当時のタンパク質研究者を訪問し、宇宙ステーションでの利用について意見を聞くことから始めました。しかし、いずれも芳しくない応答が返ってきた記憶があります。そのような状況の中で、播磨科学公園都市内の高輝度光科学研究センターに大阪大学名誉教授の勝部幸輝先生（故人）を訪ねる機会がありました。

山の上におられた勝部先生は、当時SPring-8を利用したタンパク質の結晶構造解析をやられていたのですが、開口一番力説された事は、「宇宙で良質なタンパク質結晶を作り、SPring-8で解析すべし」という事でした。現在、この一連のプロセスが確立しておりますが、まさにその発想は勝部先生の一言だったのです。JAXA は「きぼう」の最初の船内実験装置の一つとして、タンパク質結晶生成装置を開発・打ち上げ、結晶化のメカニズムを観察し、研究する事を目標にしておりました。しかしながら、その装置では「応用化研究利用」の要求に応えられる程、多くのタンパク質試料を一度に結晶化させることはできませんでした。また、この時期「きぼう」の打ち上げも遅れており、利用できる宇宙実験の手段はスペースシャトルのみでした。そこで「応用化研究利用」の具体策第一弾として、1999年4月から「先導的応用化研究制度」が開始され、ここでタンパク質結晶生成実験が最初の宇宙実験として計画されました。5つのタンパク質実験テーマが選定され、2003年1月にSTS-107「コロンビア号」で打ち上げられましたが、「コロンビア号」は帰還時に分解するという悲劇に見舞われました。

JAXA は「先導的応用化研究制度」の教訓を踏まえて、

定期的かつ確実に実施できる宇宙実験機会の確保と、少ない試料でも実験できる簡易な実験装置の利用が宇宙実験には必須の要件と考えました。当時でもタンパク質試料をたくさん集めるのは大変な事でした。この時期、ロシアは ISS への物資補給と有人輸送を着実に実施していたことから、この機会を利用してサービス・モジュール内でのタンパク質結晶生成実験を計画・実施しました。2003 年から 2008 年までに合計 9 回、延べで約 330 種類、約 2,400 本キャピラリーのタンパク質の結晶生成実験を行い、これを通じて結晶生成技術と宇宙実験のプロセスを確立しました。サービス・モジュールは ISS に取り付けられた実験棟ですが、タンパク質試料の打ち上げにはプログレス貨物輸送船を、回収はソユーズ有人宇宙船を使っています。この事は後にスペースシャトルが退役し、タンパク質結晶の回収手段はソユーズ宇宙船のみになったので、その為の予備の実験という役割も十分果たせたと考えています（現在は米国 Space-X 社のカプセル型宇宙船ドラゴンも打ち上げと回収に使われているようです）。

2009 年度からは、「きぼう」を使った利用が始まったことから、試料の打ち上げ・回収を含めた年間 2 回の宇宙実験機会を確保して、現在に到っています。

結晶生成実験装置に関して言えば、サービス・モジュールでの実験当初はスペインのグラナダ大学で開発したカウンターディフュージョン法による装置の利用から始めました。その後、JAXA は自ら装置の改良を継続的に行って性能向上を図り、一度に多くの結晶化実験が行える現在の装置として完成、1 回のフライトで 288 本キャピラリーまでのタンパク質溶液（1 キャピラリー当たり 8 μ l）が搭載できるようになりました。

また、良好な結晶を得るためのノウハウを獲得し、地

上で事前に試料を結晶化最適条件に調整すれば、宇宙で有用なタンパク質の結晶化率が 80 パーセント近くまで向上すること、さらに宇宙実験で得られた結晶のうち約 6 割は、地上で生成した結晶よりも分解能が上がっている事がわかりました。これは飛躍的な技術の進歩と言ってよいでしょう。実験を繰り返していくうちに、宇宙で生成したタンパク質結晶の中にはサブÅの分解能までの回折データが得られる高品質の結晶ができるということも明らかになりました。これは研究者にとっては大変満足できる成果だと思います。

宇宙のタンパク質結晶生成実験の先駆者だった欧米が一時中断しても、日本は 10 数年に渡り継続する事で、「きぼう」利用テーマの目玉の一つとしてタンパク質結晶生成実験を育成してきました。この実験には JAXA の利用ユーザーのみならず商業ユーザー、及びロシアも参加しており、ISS 利用の中ではうまくいっている宇宙実験の一つと言えます。

宇宙実験の積み重ねと、その評価を踏まえて改善された装置と実験プロセスは今や完成の域に達しつつあります。宇宙実験も地上の実験と同様、多くの失敗の積み重ねの上に、洗練され優れた成果が出るものだと今更ながら思い知らされた次第です。それにしても、タンパク質結晶生成宇宙実験を辛抱強く見守り、支援して頂いた政府や利用ユーザーの方々にはお礼の言葉もありません。

ここで開発した技術（装置やノウハウ）は世界に誇れるもので、もっと広く世界の ISS ユーザーに使っていただけると良いのではないかと思います。

これにより、今後世界の実験テーマの中から学術、或いは社会実装面で素晴らしい成果が出ることを期待しております。