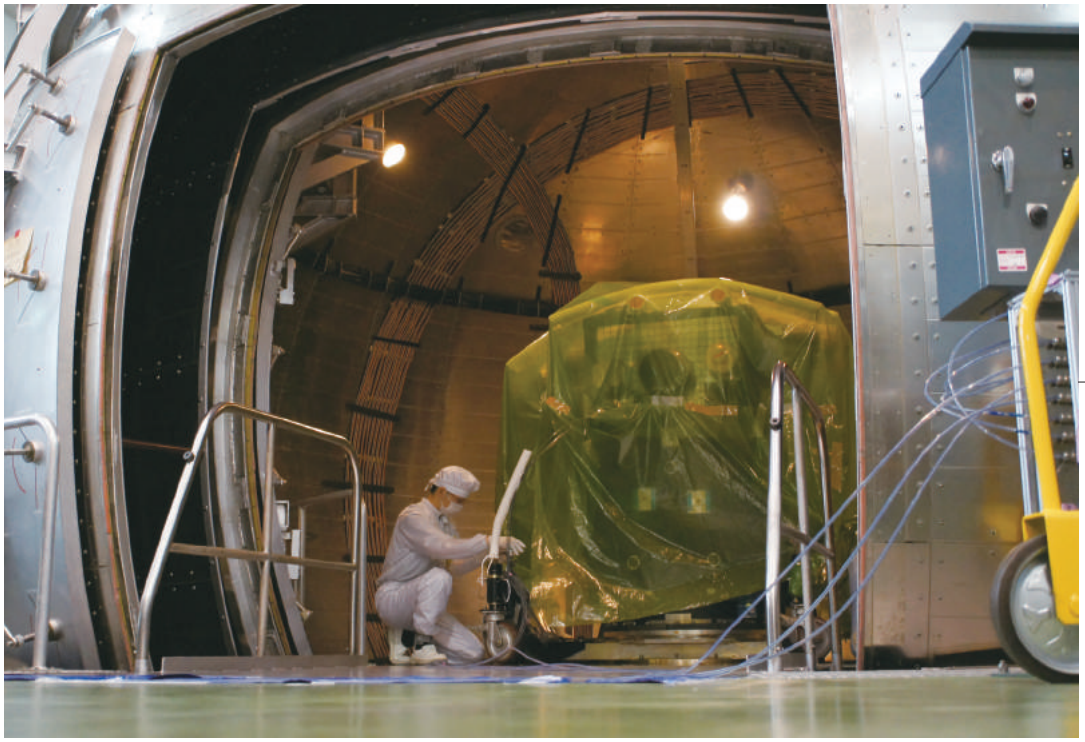
ISSN 0285-2861

ISASニュース

JAXA宇宙科学研究所

2016
7
No.424



磁気シールド室に入るERG

2016年度打上げ予定のジオスペース探査衛星ERGは、磁気圏の微弱な電磁場を計測するため、自らが発生する電磁場を十分に抑制する必要がある（電磁環境適合性と呼ばれる）。この適合性を検証する試験では、逆に地球磁場および外来電磁場を遮蔽する必要があり、宇宙研の飛翔体環境試験棟に設けられた磁気シールド室内で測定を行う。写真中、緑のベールをまとっているのがERG。

宇宙科学最前線

大気球実験で明らかにする大気の年齢

北海道大学 大学院地球環境科学研究院
長谷部 文雄（はせべ ふみお）

大気の年齢という見出しに何を思い浮かべますか？地球史46億年における大気形成後の時間ならハズレです。ここで議論する年齢は、大気が高度15km付近より上空の成層圏に流入してからの経過時間を指します。紛らわしい！と叱られるかもしれませんが、サイエンスの世界でも呼び方は結構重要です。うまい命名をすれば（もちろん中身が伴わなくてはいけませんが）、面倒な説明がなくても記憶に残ります。成層圏流入後の経過時間を誰が最初に年齢（age）と呼んだのか確かなことはいえませんが、成層圏物質循環を黎明期の大気大循環モデルで論じた木田秀次先生[(1)]がその一人であることは間違いありません。木田さんの急逝から今年で10年。その研究の先見性を今頃になって認識しながら、以下、年齢の研究の紹介をさせて頂こうと思います。「成層圏の泉」とか「大気のテープレコーダ」という単語も登場します。何でしょう？まずは、成層圏と地球規模の大気の流れから見てゆきましょう。

成層圏の大気環境とBrewer-Dobson循環

成層圏（図1）は高度とともに気温（等値線と背景色）が下がる対流圏の上に位置し、両者の境界（破線）が対流圏界面です。対流圏では放射による地表面加熱が対流を駆動し、大気の上下混合が盛んです。雲が湧き雨が降るのは、大気中の水蒸気が上空で冷却され凝結するためです。一方、上空ほど気温が高い成層圏では対流は起こりません。気温上昇は高度50km付近まで続き、その上で再び減少に転じます。この構造はオゾンによる太陽紫外線吸収により形成され、地球自転軸の傾きに起因する加熱の南北非対称性は、夏半球の高温・冬半球の低温のみならず、温度風の関係[(2)]を通して夏半球の東風・冬半球の西風という構造を形作ります。温度や風の空間分布を天気図のように表示する方法をオイラー的記述と呼びますが、「大陸から黄砂が飛来した」というように流体の運動を移動経路で表す方法をラグランジュ的記述と呼び、その目印になるものをトレーサーといいます。

（1）Kida, H.(1983), General circulation of air parcels and transport characteristics derived from a hemispheric GCM. Part 2. Very long-term motions of air parcels in the troposphere and stratosphere, J. Meteorol. Soc. Japan, 61, 510-523.

（2）温度の水平勾配が風の鉛直シアに比例するという気象学の法則。静水圧平衡と地衡風の関係から導かれる。

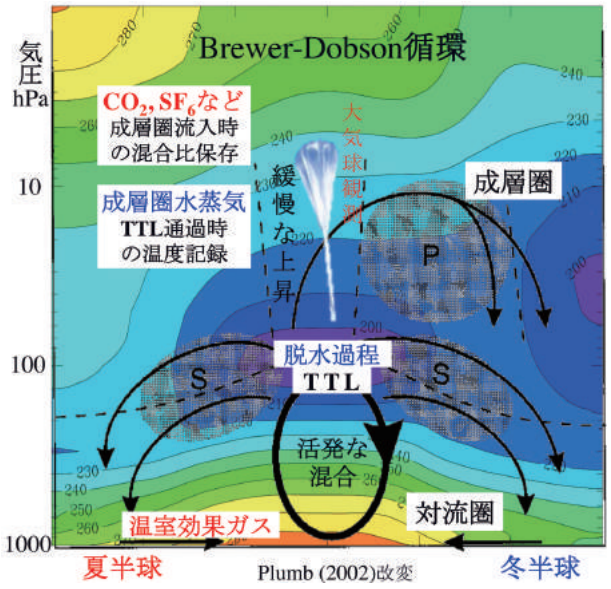


図１　Brewer-Dobson 循環の模式図と大気球実験の狙い。背景は気温（K）の緯度―高度分布。影の付された領域で砕波に伴った極向き流が駆動される。Plumb（2002）の図を改変。

成層圏大気大循環の記述は、オゾンと水蒸気をトレーサーとしたラグランジュ的記述により始まりました。成層圏オゾンは太陽紫外線の豊富な熱帯中部成層圏で極大をもちますが、世界各地でオゾン全量 (3) を測定していた Dobson は、その値が熱帯で極小・春季の中高緯度で極大になることを発見しました。なぜ、オゾン生成域の熱帯より春季中高緯度の方が多いのか？ 理由は、オゾン全量の変動が輸送過程に支配されるためでした。同じ頃、成層圏水蒸気を研究していた Brewer は別の面白いことに気付きました。低温の対流圏界面で水蒸気を失った（脱水）大気の流入する成層圏は乾燥しているのですが、英国上空の対流圏界面温度はそれに見合うほど低温でなかったのです。もっと低温の対流圏界面はどこにある？ Brewer は、対流圏界面が最も低温の熱帯を経由して大気が成層圏へ流入し、全球へ広がっていることを見抜きました。この循環像は Dobson によるオゾン観測とも整合的で、Brewer-Dobson 循環（以下 BD 循環と略記）と呼ばれています。データの蓄積につれ、この描像は「成層圏の泉」仮説 (4) へと発展しました。成層圏への流入が、冬季熱帯西部太平洋など、局在する低温域である「泉」に限定されるという仮説で、成層圏への流入が対流圏からの湧き出しというイメージで捉えられていたことを端的に表す興味深い命名です。

熱帯成層圏流入後の大気が実際に上昇している様子を初めて可視化したのは、成層圏水蒸気の人工衛星観測 (5) でした。「泉」仮説の根拠にもなった北半球冬季に低温・夏季に高温となる熱帯対流圏界面の季節変動が成層圏水蒸気の濃淡として記録され、そのまま縞模様のように上昇している様子が描き出されたのです（図２（a））。これが「大気のテープレコーダ」です。スマホ世代の若者にはピンと来ないかもしれませんが、磁気ヘッド（対流圏界面）で磁性体（水蒸気量）に記録された磁場情報（冬季の低温・夏季の高温）がテープ上（大気中）を移動してゆくことに例えた絶妙な命名です。

新しい成層圏像

大気微量成分を手がかりに描き出された大循環像が、このまま確立したわけではありません。大気大循環モデルでシミュレーションされた循環像は BD 循環とずいぶん異なって見えました。この相違は、主としてオイラー的記述とラグランジュ的記述の違いにあったのですが、それが理論的に克服される過程で２つのパラダイムシフトがありました。一つは成層圏大気大循環の駆動メカニズムで、対流圏で励起された大気の波が上方へ伝播し成層圏の中で崩れる「砕波」という現象に注目します。海岸に打ち寄せる波が浜辺で砕ける様子に例えられる砕波は図１の影の付された領域で起こり、砕波に伴って極向きの流れが駆動されます。この極向き流により熱帯成層圏の空気がなくなってしまわないように、対流圏からの上昇流が生じます。こうして、熱帯の上昇流は対流圏からの涌き出しではなく、成層圏の極向き流が要請する「吸上げ」で生じるという理解に変わったのです。

もう一つは成層圏流入大気に働く脱水メカニズムです。Brewer 以来、脱水を起こす冷却が対流活動に伴う上昇・断熱膨張に起因することは自明でした。自明の理だったこの常識を 180 度転換したのが水平移流 cold trap 仮説 (6) です。その呼び水になったのが熱帯対流圏界層（Tropical Tropopause Layer; TTL）の導入でした。熱帯には成層圏まで達する深い対流が存在しますが、大部分の対流が到達せず成層圏からの吸上げのあまり効かない遷移領域（TTL）が存在し、成層圏水蒸気を支配す

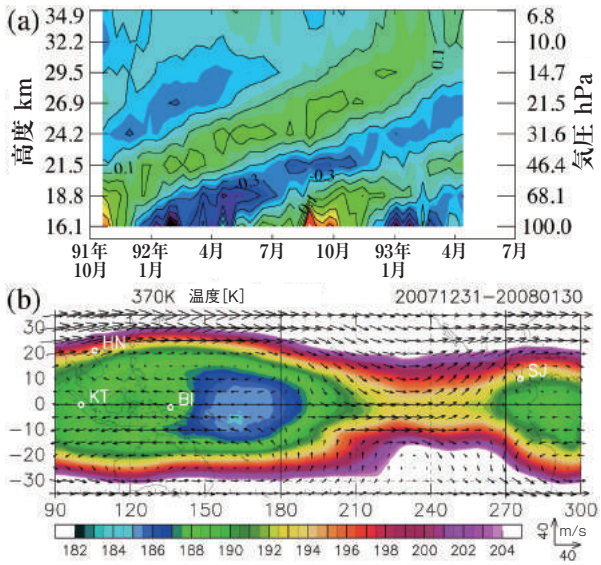


図２　(a) 熱帯下部成層圏における水蒸気混合比の時間―高度分布。平均値からの偏差（ppm）で暖色系が正偏差、寒色系が負偏差。Mote et al.（1996）から引用。(b) 2008 年１月頃の 370K 等温位面（およそ 100hPa、高度 16km）における温度（カラー）と風（矢印）の緯度―経度分布。Hasebe et al.（2013）から引用。

(3) 地表から大気上端までに存在するオゾンを鉛直積算した量
(4) Newell, R. E. and S. Gould-Stewart (1981), A stratospheric fountain?, J. Atmos. Sci., 38, 2789-2796.
(5) Mote, P. W., K. H. Rosenlof, M. E. McIntyre, E. S. Carr, J. C. Gille, J. R. Holton, J. S. Kinnersley, H. C. Pumphrey, and J. M. Russell (1996), An atmospheric tape recorder: The imprint of tropical tropopause temperatures on stratospheric water vapor, J. Geophys. Res., 101, 3989-4006.
(6) Holton, J. R., and A. Gettelman (2001), Horizontal transport and the dehydration of the stratosphere, Geophys. Res. Lett., 28, 2799-2802.

る脱水を起こす冷却が、大気塊の TTL 内水平運動に伴う低温域通過に起因すると Holton らは論じたのです。このメカニズムによる脱水は、海面水温の高い熱帯西部太平洋上に形成される図２(b)のような気象場において効率的に進行します。

成層圏変動

強力な温室効果ガスであり全球地上気温に影響を与える成層圏水蒸気の長期増加傾向の発見[7]は、成層圏水蒸気と BD 循環の長期変動に光を当てる契機となりました。その原因はまだ特定されていません。成層圏水蒸気をシミュレーションするには対流圏界面温度の再現という困難の克服が必要ですが、同時に、TTL 脱水過程の理解が不可欠です。そう考えた我々は、オゾン・水蒸気現場観測（SOWER プロジェクト）の拠点を熱帯西部太平洋に移し、脱水過程の現場観測を継続してきました。

BD 循環の変調は、オゾン破壊物質や一部の温室効果ガスを光化学的に分解する浄化作用の効率に影響します。東北大学を中心とするクライオジェニックサンプリンググループは、地球温暖化や BD 循環変動の解明を目的に、大気球による成層圏大気採取実験を続けてきました。温暖化に伴って大気中の波が活発になれば砕波で駆動される BD 循環が強化され、最初にご紹介した大気の年齢が短くなる可能性があります。実際、化学輸送モデルは年齢の短縮傾向（図３のカラーの折れ線）を示唆しています。ところが、クロックトレーサー（今月のキーワード参照）の観測に基づいて評価した年齢（●と▲）にそのような傾向は認められません。大きな不確実性（縦のバー）を伴うものの、年齢は延びているようにも見えます。この矛盾をどう理解したらよいのか？

熱帯域におけるクライオジェニックサンプリング

図３で比較した年齢、実は古い時代と新しい時代の大気が混合した大気塊の平均年齢でした。大気塊を構成する大気の年齢分布を年齢スペクトル（age spectrum）と呼びます。試験の成績を得点分布で表した棒グラフのようなものです。この分布が左右対称ならよいのですが、中高緯度の年齢スペクトルは高齢側に長い裾をもち、高齢大気の比率のわずかな違いにより平均値が大きく変化します。その上、年齢スペクトルは評価の困難な物理量なのです。複雑な現象の解明には、素過程の分離された理想的環境、すなわち、熱帯成層圏を上昇中で混合の影響を受けていない大気の理解を確立することが近道です。しかも、熱帯なら「テープレコーダ」の併用が可能です。相互に整合的な結果が得られれば信頼性は格段に高まります。クライオジェニックサンプリングと成層圏水蒸気観測をリンクし、世界に先駆けた熱帯域での統合観測を実現すれば、それを突破口に年齢の理解が深まるはずです！

この計画は、インドネシア航空宇宙庁（LAPAN）との協同観測としてインドネシア東部の Biak 観測所（図２

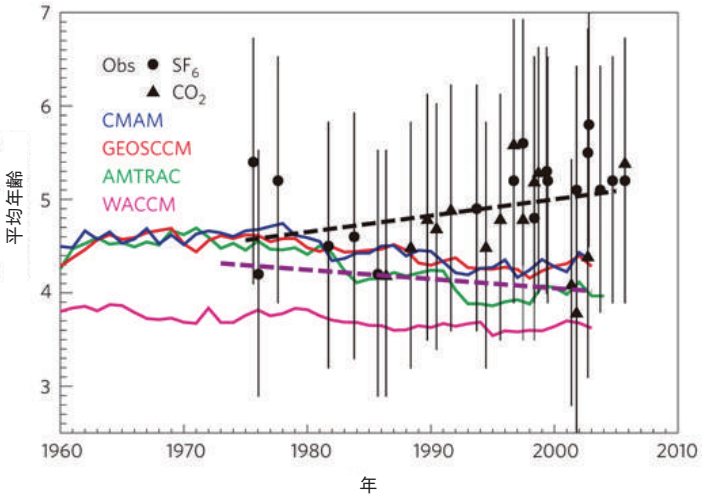


図３　成層圏大気の年齢（年）の経年変動。●と▲は Engel et al.（2009）によりまとめられた観測値で、縦のバーは誤差の見積り。カラーの実線はシミュレーションの結果。Waugh（2009）から引用。

(b) の BI）で 2015 年２月に実現しました。大樹町で使うような放球設備がないため、遠隔地での観測用に開発された JT サンプラー[8] ２台搭載の小型の大気球４機（FB5B と FB9B 各２機）が利用されました。LAPAN との協定締結の遅れやヘリウムガスの急騰に加え、液体窒素の容器１本が空で届いたり、航空管制当局から過大な要求を突きつけられたりと、現地入り後も多くの難題に見舞われましたが、両グループの連携と LAPAN 協同研究者の努力により無事に乗り越えることができました。海上にパラシュート降下させた採取容器はインドネシア海上警察の高速艇により全て回収され、日本へ輸送されたサンプルは東北大学などで精密に分析されました。

こうして待望のデータを得ることができましたが、解析結果から現実の厳しさが浮かび上がってきました。その第１は他の研究者による衛星観測値（したがって、それに基づいて評価された年齢）との大きな相違、第２はクロックトレーサーとテープレコーダとの不整合です。前者は検証の不十分性、後者は孤立性の比較的高い熱帯成層圏でさえも混合過程の影響が無視できないことを示唆しています。自然界は秘密のベールをなかなか外してくれませんが、我々の方針が間違っているわけではありません。鍵になるのは年齢スペクトルへの混合の影響を知ることで、それが中高緯度より容易であることは確かです。研究グループでは、大気の重力分離というもう一つの独立した手法も手がかりに加え、年齢問題の解決に鋭意取り組んでいるところです。忘れてならないことは、今回の観測が、大気球技術の蓄積に加え、長い時間をかけてインドネシアとの間で培ってきた信頼関係なしには実現しなかったことです。いわゆる途上国の地球環境問題に占める役割を見据え、その学術レベル向上への貢献に気を配りつつ、新しいサイエンスを切り開く努力を今後も続けたいと考えています。最後になりましたが、インドネシアでの実験実施に関しては宇宙科学研究所の関係各位に大変お世話になりました。ここに謝意を表します。

(7) Oltmans, S. J., and D. J. Hofmann (1995), Increase in lower-stratospheric water vapour at a mid-latitude Northern Hemisphere site from 1981 to 1994, Nature, 374, 146-149.
(8) Joule-Thomson 効果を利用して成層圏大気を固化採取する装置。Morimoto, S., T. Yamanouchi, H. Honda, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Sugawara, S. Ishidoya, I Iijima, and T. Yoshida (2009), A new compact cryogenic air sampler and its application in stratospheric greenhouse gas observation at Syowa station, Antarctica, J. Atmos. Ocean. Tech., 26, 2182-2191.

７ページ「今月のキーワード」もご覧ください。

X線天文衛星ASTRO-Hの喪失を超えて

宇宙科学研究所 所長　常田 佐久

4月28日にASTRO-Hの運用断念の決定を行いました。一度も本格的に観測を行わないまま運用断念に至ったことは、この衛星の開発を長年にわたって行ってきた日米の方々とASTRO-Hに期待していた世界の研究者にとって、痛恨の極みです。国民や政府の宇宙科学・探査への期待に応えられなかったことも含め、宇宙科学研究所の責任は大変重いものであり、所長として責任を痛感し組織をあげて要因の分析と対策に全力を傾注しているところです。

ASTRO-Hの運用異常を受けて、私が行おうと考えたことは、以下の4点です。

（1）痛みを伴っても、技術的・プログラム的原因を自らすべて解明すること
（2）宇宙研の科学衛星探査機の開発体制の改善
（3）ASTRO-Hが目指したサイエンスの復活
（4）NASA・ESAとのパートナーシップの維持

難航すると思われた原因究明は、急速に進みました。これには2つのことが貢献しています。宇宙研とJAXA他部門のチームワーク、そしてプロジェクトチームおよび支援メーカーから自らが不利になることについて自発的な情報開示があったことです。『X線天文衛星ASTRO-H「ひとみ」異常事象調査報告書 平成28年6月14日 宇宙航空研究開発機構』は、関係者のチームワークと技術力そしてモラルの高さを示しており、私はここに復活の芽を見ています。

報告書では、以下の4つの改善事項が提案されました。

① 宇宙研におけるプロジェクトマネジメント体制の刷新
② 企業との役割責任分担の明確化
③ 文書化と品質記録の徹底
④ 審査の徹底

改めて報告書を見て分かるのは、「当たり前のことができていなかった」ということです。ですから、これらの改善事項は「当たり前のことをきちんと実行する」アクションアイテムだということを強調したいと思います。

日米共同開発の軟X線分光器（SXS）に加えて国内で新規開発された硬X線観測器と軟ガンマ線検出器はすべて正常に動作し、素晴らしいデータが取れ始めていました。不具合は衛星本体の標準的な部分や不適切な運用の結果起きており、宇宙研の先端性が劣化しているのではなく、基本動作ができていませんでした。このことは、すでにISASニュースの2015年新年号で指摘していることで、報告書の改善事項は充分実現可能です。報告書の内容をいかに具体化するかについて、所内のプロジェクトマネージャ経験者を中心に議論を重ね、『ひとみ事故を受けた宇宙科学研究所改革アクションプラン』を作成中です（2016年6月末現在）。アクションプランをSLIMなど実際のプロジェクトに適用して、PDCAサイクルを回し、さらに良いものに磨いていくつもりです。

> ISASニュース2015年1月号「新年を迎えて」
>
> *しかし、宇宙研の未来を楽観的にばかり考えることはできません。これまでの十数年間の我々の活動を振り返ると、失敗もあったからです。*
>
> *LUNAR-A（月探査機）とASTRO-G（電波天文衛星）は開発中止に追い込まれました。「のぞみ」（火星）と「あかつき」（金星）は惑星周回軌道への投入ができていません。推進系・電気系の不具合が原因でしたが、それらは必ずしもチャレンジングな箇所ではありませんでした。また、最近の開発中のミッションでは、コストの増大やスケジュールの遅延が発生しています。*
>
> *これらのことから我々が学ぶべきことは、これまでのやり方に改善すべき課題が潜んでいるということです。逆に言えば、課題を解決し、自己変革すれば、宇宙研はさらなる飛躍ができるのです。*

さて、NASAはX線天文学を重要な分野と位置づけていますが、高いエネルギー分解能の観測に特化した衛星計画を持たず、JAXAとの国際協力により米国のX線天文学分野を発展させることを基本戦略としていました。この戦略に基づき米日が共同開発したSXSへの国際的期待は、非常に高いものがありました。また、ESAは、超大型X線天文衛星ATHENA（2028年頃打上げ予定）の学術的・技術的先導役を、ASTRO-Hが果たすことを強く期待している状況でした。このように、宇宙研の戦略的中型ミッションは、世界の宇宙機関の科学ロードマップに完全に組み込まれています。これは、X線天文学だけに限ったことではありません。

ASTRO-H搭載のSXSによる初期観測結果は素晴らしく、上記の改革を実施した上で、X線天文学コミュニティと宇宙研が一体となってASTRO-Hが目指したサイエンスを速やかに復活させることが、国際協力における信頼関係を回復する唯一の道です。その際、新宇宙基本計画にある宇宙科学予算一定枠のもと、他の宇宙科学・探査ミッションへの影響を最小限とせねばなりません。このため、後継ミッションの立案にあたっては、（改革案に対応した予算の増額は考慮した上で）最小の予算で最大の学術成果を実現する一方、実行中および計画中のミッションには、その影響を最小にするため、宇宙科学コミュニティと連携したきめ細かい対応を行っていく必要があると考えています。

NASAは、「我々は、JAXAの同僚たちが示してくれた開放性と透明性に感謝する。NASAは、JAXAと今後の科学衛星探査計画について引き続き共同で検討することを楽しみにしている。これまでの、そして今後のJAXAとのパートナーシップを高く評価している」（NASAグランスフェルド前科学局長、ヨーダー現科学局長代理）と再三にわたり発言しています。我々は、今回の不具合に怯むことなく、果敢に実行中および計画中のミッションを進めるべきです。その際、宇宙研はJAXA内で孤立して宇宙科学を行うのではなく、JAXAの宇宙科学、JAXAの探査を推進し、不具合調査で示されたJAXA全体の総合力とチームワークを活用したいと思います。今回のアクションプランで、所内外の宇宙科学に携わる人たちと共に、革新的な宇宙科学プロジェクトの実行方法と運用体制を築き、世界の学界とつながり魅力的なサイエンスを実行するミッションコンセプトを提示してきた宇宙研の良さを残しつつ、信頼性や安全性が高い体制を構築していく所存です。

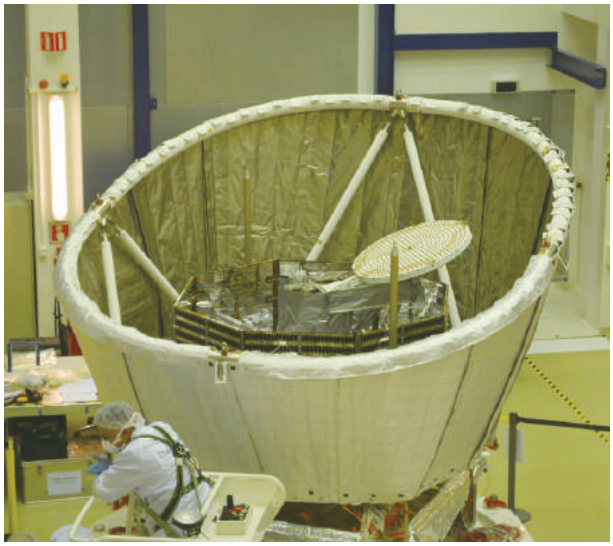
BepiColomboの現況

2017年の打上げを目指して開発を続けていたBepiColomboですが、ESA側の開発に遅れが生じたため、新たに2018年4月の打上げを目指すこととなりました。新たな水星到着時期は2024年の12月を予定しています。

今後の予定は本年末頃から日本が開発した水星磁気圏探査機（MMO:Mercury Magnetospheric Orbiter）とESAが開発した水星表面探査機（MPO:Mercury Planetary Orbiter）、巡航軌道中に使用する電気推進モジュール（MTM:Mercury Transfer Module）、MMOのためのサンシールド（MOSIF:MMO Sunshield Interface）とを組み合わせた母船（MCS:Mercury Cruise System; 右写真）総合試験をESA/ESTECにて来年秋口まで行い、その後射場である仏領ギアナのギアナ宇宙センター（CSG）へと輸送し打上げに備えることとなっています。

電気モデル（EM）を用いた接続試験の様子

MMOは水星周回軌道に投入されMPOから分離されるまではMPOを経由してコマンド・テレメトリデータを地上とやり取りすることになります。この電気的な結合部分に関して問題がないことを早目に確認するために、6月上旬にESA側開発分のプライムメーカーであるドイツのAirbus社にて電気モデル（EM）を用いた試験が行われました。左の写真はこの試験の最中のものです。右端に見えるラックがMMO用の電源並びにDMC（データマネージメントコントローラ）のBBM（ブレッドボードモデル）で、その左の机上の右端にある黒い筐体がDMCのEMです。この試験でMMO-MPO間の信号のやり取りを確認しました。


MMOと日除け（MOSIFサンシールド）が結合されているところ

また、この試験結果を基に6月末から7月初頭にかけてMMOとMPOのフライトモデルを用いた電気接続試験をESA/ESTECにて行うこととなっています。

様々な問題から何度も打上げ時期が延期されてきたBepiColomboですが、いよいよ開発・試験の最終コーナーが近づいてきました。（早川 基）

平成28年度第一次気球実験

平成28年度第一次気球実験は、5月26日から連携協力拠点大樹航空宇宙実験場において実施されました。

5月28日に測風ゴム気球を放球したのち実験準備に若干の時間を要しましたが、6月8日に、中層大気中の微生物の形態と高度分布を観測することを目的とした「成層圏における微生物捕獲実験」を実施しました。地上微生物の混入可能性を劇的に減らす降下式インパクター型試料採集装置を新規に開発し、高度28kmを飛翔する気球からパラシュートで降下する間に試料採集を行いました。試料採取装置は損傷なく回収され、採取した試料については、千葉工業大学を中心とした実験グループにより蛍光顕微鏡と走査型電子顕微鏡による観察、非培養DNA分析、培養を組み合わせた多角的な分析を行い、成層圏中の浮遊微生物の種類と物理状態を調査していきます。

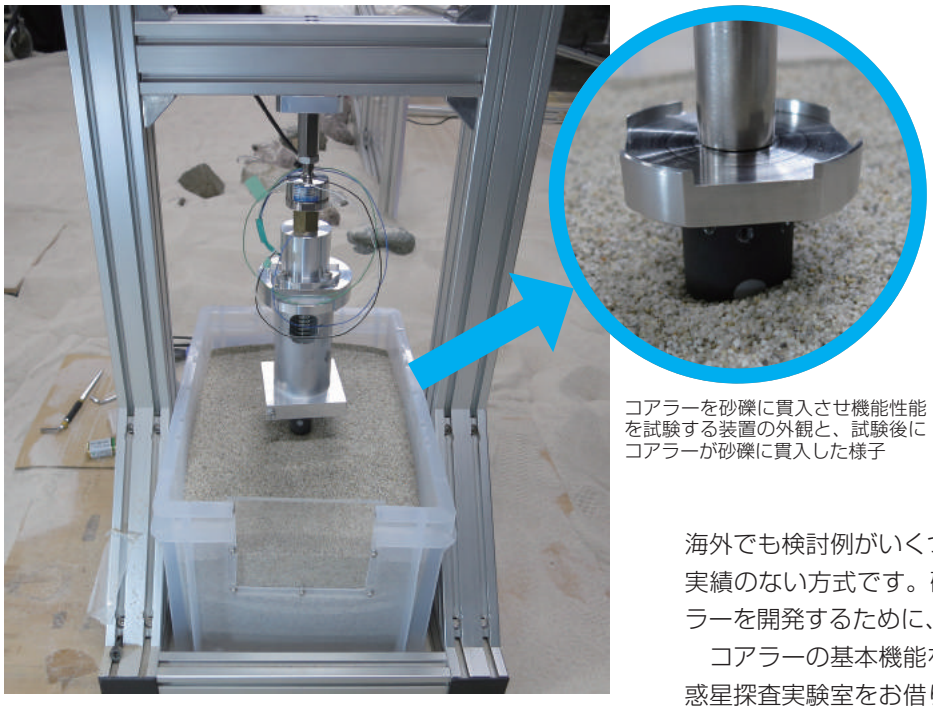
大樹航空宇宙実験場東方約30kmの海上に着水する成層圏微生物捕獲実験の搭載機器

続いて6月12日には、火星探査用飛行機研究での重要な開発要素である機体の空力設計に不可欠な空力データを取得することを目的とした「火星探査用飛行機の高高度飛行試験」を実施しました。こうした空力データは、火星の飛行環境を模擬した風洞試験や、数値流体力学シミュレーションでの取得が困難であるため、100分の1気圧、零下50度という火星大気環境を模擬できる地球の成層圏でスパン幅2.6m、機体長2m、機体重量5kg程度の火星飛行機の飛行実験を行ったものです。試験機は高度36kmから飛行試験を開始しましたが、予定の飛行経路を逸脱し、また当初予定飛行時間の半分程度までの飛行データ取得となってしまいました。今後、JAXA宇宙科学研究所などの実験グループにより取得できたデータから所期の飛行を実現できなかった原因を調査していきます。

予定されていた2実験を実施し、平成28年度第一次気球実験を終了しました。ご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝いたします。なお、平成28年度第二次気球実験につきましては、7月下旬からの実施を予定しています。

（吉田 哲也）

火星衛星のサンプルを採ってこい



コアラーを砂礫に貫入させ機能性能を試験する装置の外観と、試験後にコアラーが砂礫に貫入した様子

今、火星衛星表面からサンプルをリターンするシステムを検討しています。はやぶさ2の「サンプラ」開発では、採ったサンプルをいかにきれいなまま密閉して地球に持ち帰ってくるか、新たなシール技術を苦労して開発しました。

今回もその技術は引き継ぎますが、要求されるサンプル量が10g以上であり、はやぶさ2と比べたらゼロが2つも多いため開発要素がまた増えました。さらに、将来の探査にも適用可能な「高度なサンプリング技術の獲得」という目標を掲げ、少し複雑なシステムにチャンレンジすることにしたため、検討課題が山積みでした。（高度な技術の話は次の機会に）。

検討は工学チームの4名でスタートしました。最初は「さて…どうしたものか？」とかなり悩みましたが、いろいろなアイデアを出し合い、あーでもない、こーでもない、と議論を重ね、いわゆるトレードオフを何度も実施しました。その結果、見込みの高い方法として、筒を短時間で表面に貫入させ、筒の中に入ったサンプルを取り出す「コアラー」と呼ばれる方式を検討することにしました。この方式は、過去にISASや大学でも研究がされており、海外でも検討例がいくつかありますが、探査機ではまだ実績のない方式です。確実に10g以上採取できるコアラーを開発するために、要素試験からスタートしました。

コアラーの基本機能を確かめるための装置を作り、月惑星探査実験室をお借りして試験を実施しました。貫入させる砂の粒子サイズ、コアラーの寸法やそれを撃ち出すバネの強さを変更しながら何度も試験を繰り返した結果、設計解が見えてきました。試験前は、本当にこのコアラーが砂に刺さるのか心配もありましたが（試験前に砂遊びしてみると、思ったより締め固まって硬い！）、我々の事前検討や解析が妥当であったことが分かりました。φ30mmのコアラーでは、10cmはなかなか厳しくても、7～8cmであればサクサク刺さります。今後は砂ではなく砂利のようなターゲットに対する性能や微小重力での貫入試験など、いろいろやることは多いのですが、少し安心して次の開発ステップに進めそうです。

（澤田 弘崇）

勝浦アンテナの活躍

東京駅から京葉線、外房線を乗り継いで2時間ほど揺られると、潮の香りと少し湿った風が心地よい勝浦の町に到着する。勝浦駅から内陸へ向かって車を走らせ約15分、数件の勝浦タンタンメン屋さんを通り過ぎた頃、遠くの山間に白いお碗を空にかざしたようなアンテナが見えてくる。本稿では、千葉県南部、房総半島の東海岸に位置するこの港町にある、衛星の追跡・管制を担う重要な宇宙通信所について紹介する。

「勝浦宇宙通信所」は、1968年に科学技術庁宇宙開発推進本部の勝浦電波追跡所として発足し、現在の

追跡管制棟から第３受信局（左奥）と第４送受信局（右手前）をのぞむ

宇宙通信所になるまでに、SOLAR-A「ようこう」やASTRO-D「あすか」、MOS-1「もも１号」など、日本の宇宙開発史上の数々の衛星と通信を行ってきた。敷地内には追跡管制棟、電力棟、４基のアンテナ（可搬局や送受信局）があるが、各アンテナは機能も外観も四者四様である。Ｓ帯電波の送受信を行う第１可搬局と第２可搬局、Ｘ帯電波の受信のみ行う第３受信局、Ｓ帯電波の送受信及びＸ帯電波の受信を行う第４送受信局は、それぞれの役割に合わせて日夜さまざまな衛星と通信している。この４基のアンテナの中で最も大きく新しいのが第４送受信局、通称 KTU4（かつよん）だ。

KTU4 は 2013 年に整備された直径 20 mの大型パラボラアンテナであり、勝浦宇宙通信所では唯一Ｓ帯の送受信とＸ帯受信を同時に行えるアンテナである。これについては「電波の受信時にはＳ帯とＸ帯をどのように分離しているのか？」といった質問をしばしば受けるが、KTU4 ではＳ帯を反射し、Ｘ帯を透過する周波数選択反射鏡（Frequency Selective Reflector：FSR）を用いて主反射鏡から入射した電波をＳ帯とＸ帯に分けた後、アンテナ中央部に設置されたＳ帯、Ｘ帯それぞれのホーンアンテナに電波を導いている。現在 KTU4 が通信している衛星は ALOS-2「だいち２号」、SOLAR-B「ひので」の計２機だが、今年イプシロンロケットの２号機で打上がる予定の ERG（ジオスペース探査衛星）とも通信を行うことが決まっている。地球観測衛星のみならず、科学衛星にとっても必要不可欠なアンテナとしてこれからも活躍する KTU4 に、乞うご期待！

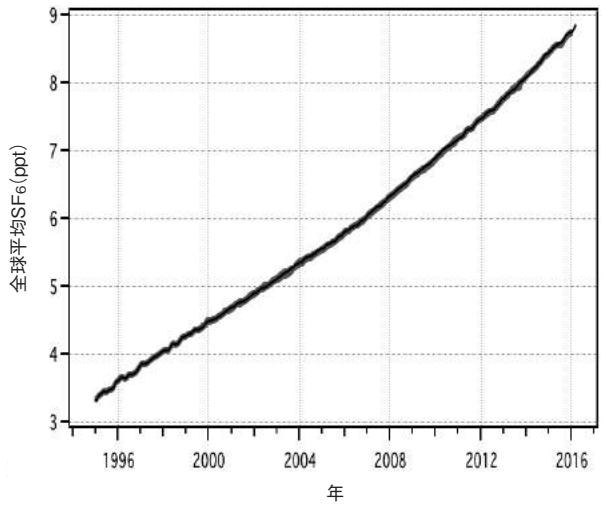
（追跡ネットワーク技術センター　小川 新、米倉 克英）

Keyword 今月のキーワード

クロックトレーサー (clock tracer)

右図は NOAA（アメリカ海洋大気庁）により全球平均値としてまとめられた地表付近の六フッ化硫黄（SF_6）混合比の時系列です。混合比は大気組成を分子数の比で表したもので、ppt は parts per trillion、すなわち、10^{12} 個の分子中に何分子あるかの割合を示します。ちなみに、現在の CO_2 混合比は 400ppm（parts per million; 10^6 個の分子に対する割合）ですから、CO_2 に比べても SF_6 がいかに微量であるかがわかります。大気中の SF_6 は人間活動の影響で単調に増加しているため、SF_6 混合比を測定すればその試料の採取時期を特定することができます。例えば、採取された試料の混合比が８ppt なら、図の曲線上で８ppt となる時期を探し、読み取られる 2013 年 10 月がその試料の採取時期になります。

混合比は分子数の比なので、上空へ流れていって気圧が低下してもその値は変化せず、混合が活発な対流圏でほぼ一様な値を示します。さらに、SF_6 は化学的に分解されないため、成層圏内を大気が循環してゆく過程で一定に保たれます。したがって、仮に 2015 年 10 月に採取した成層圏試料から８ppt という混合比が得られれば、この大気塊は２年前の 2013 年 10 月まで対流圏にあったと推定され、成層圏へ流入後、混合比を保存しながら循環し２年たって採取されたことがわかります。この成層圏流入後の経過時間が大気の年齢です。年齢の評価に用いられる代表的成分には SF_6 の他に CO_2 があり、これらはクロックトレーサーと呼ばれます。



NOAA によりまとめられた地表付近の全球平均 SF_6 混合比 (ppt) の時系列。http://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/combined/SF6.html から取得。

（長谷部 文雄）

宇宙研の強みは「人」。開発への情熱はJAXAでもピカイチだと思う。

小林 亮二（こばやし りょうじ）

1965年滋賀県生まれ。89年、早稲田大学理工学部電気工学科卒。91年、東京工業大学総合理工学研究科電子システム専攻修了、宇宙開発事業団（NASDA）入社。筑波宇宙センターの中央追跡管制所、有人本部、安全･信頼性推進部に勤務。2014年、宇宙科学研究所へ異動。宇宙科学プロジェクト全体の安全・信頼性・品質保証業務に従事。現在に至る。

「きぼう」搭載の多目的実験ラックを開発

――小林さんは20年以上在籍された筑波から、2014年4月に相模原に異動になりました。

NASDAでは、最初の2年間は地球観測衛星の追跡管制を、その後有人本部に異動して「国際宇宙ステーション（ISS）日本実験棟」と「こうのとり（HTV）」の有人宇宙安全業務などを担当しました。この10年余りはISSで使用する実験装置・実験ラックの開発、機構全体のシステム安全・信頼性管理などを手がけてきました。これまで筑波宇宙センターを一歩も出たことがなかったので、相模原に来た当初はすべてが新鮮で刺激的でした。いちばん驚いたのは、メーカーと宇宙研の先生方が混然一体となって仕事をしていることですね。それと、旧NASDAに比べ圧倒的に文書類が存在しないこと。これでどうして開発できるんだろうと不思議に思い、きっと何か目に見えない太い幹のようなものがあるのではと、好奇心と同時にワクワク感を抱いたことを思い出します。

――現在はどんなミッションを担当されていますか。

S&MA（Safety & Mission Assurance）、すなわち宇宙科学プロジェクトの安全や信頼性、品質管理のとりまとめ業務を担当しています。たとえば、科学衛星やロケット開発のプロジェクトの安全性・信頼性を検証したり、品質管理ががきちんと行われているかどうかを評価する。また、それらに関して宇宙研に適応した実施要領を作成し、設計基準類の利用を促進するといった仕事です。

――「きぼう」日本実験棟の船内実験室に設置された「多目的実験ラック」の開発を手がけられました。

多目的実験ラックは、ユーザー（実験提案者）が持ち込む実験装置を組み込んで、簡単に宇宙実験をできるようにするための実験環境を提供するラックです。多目的実験ラックはスペース(空間)、電源(28VDC等)、通信(USB､イーサーネット等)を提供します。私は多目的実験ラックに限らず、JAXAが開発した実験ラックのすべてに関わってきました。宇宙ステーションでは、無重力という条件下での魚類の生態の観察、タンパク質の生成や創薬の基礎実験などが行われています。宇宙に定常的に人が滞在することが、人類にとって大きな意味をもつと考えており、非常にやりがいがありました。

6等星まで見える山里に生まれて

――宇宙に関心をもったのはいつですか。

私は滋賀県の鈴鹿山脈のふもとで生まれ育ちました。夜になると肉眼で6等星ぐらいまで見えるほど、星空がきれいなところです。小学校2・3年のときに天体望遠鏡を買ってもらい、毎晩のように星空をのぞいていた。それが一番のきっかけでしょうね。子どものころは天文学者への憧れがありましたが、いつしか変わり、大学では電気工学を学びました。でも就職する段になって、「一生続けられる仕事」がしたいと思いNASDAを選びました。宇宙関連の仕事なら生涯続けられる自信があったし、中でも宇宙ステーション開発がやりたかったので。

――休日はどのように過ごしていますか。

土・日には茨城の家に帰ります。基本は、芝生を刈ったり花を植えたりの庭いじりですね。これといった趣味はありませんが、映画は好きで、宇宙ものやアクションものなどをよく観ます。最近では『オデッセイ』が面白かった。宇宙飛行士が火星に取り残されてしまう話ですが、実写とCGの区別がつかないほど迫力がありました。もちろん専門家としては言いたいことがいくつもありますが、とてもよくできた映画だと思います。

――最後に、宇宙研の魅力 について一言。

年を経るごとに、宇宙研は「人」でもっている組織だという思いを強くしています。特に宇宙開発への意欲・情熱にかけては、JAXAの中でもピカイチだと思います。ここではみなさん個室にいるので、なんだかプロジェクトの体をなしていないように感じますが、実際はネットワークと情熱で緊密につながっている。文書類が極端に少ない秘密もここにあるのだと思います。

JAXA ISASニュース No.424 2016年7月号
ISSN 0285-2861
発　　行／国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
発行責任者／宇宙科学広報・普及主幹 稲谷 芳文
編集責任者／ISAS ニュース編集委員長 山村 一誠
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008
本ニュースは、インターネット(http://www.isas.jaxa.jp/)でもご覧になれます。
デザイン制作協力／株式会社アドマス

編集後記

世界が大きく変わりつつあります。大きな災害や事件も発生しています。宇宙研にも大きな出来事がありました。これを乗り越えより良い方向に向かって前進していきたいと思います。

（小川 博之）

＊本誌は再生紙（古 70%）、植物油インキを使用しています。
R70 古紙パルプ配合率70%再生紙を使用
VEGETABLE OIL INK