

再使用ロケット実験機 エンジン推力特性試験 撮影：杉山吉昭

AS ニュース
宇宙科学研究所
1998.10 No.211

〈研究紹介〉

地球型惑星の表層環境の安定性

東京大学大学院理学系研究科 阿部 豊

◆はじめに

地球では生き物にとって住みやすい環境が地質学的長時間にわたって保たれてきている。これは地球が太陽から適当な位置にあるから当然である、とも考えられるが、詳しく見てみるとそれほど自明ではない。例えば火星では、表面に残されている流水地形から見て、過去には現在よりもずっと温暖であった可能性がある。少なくとも現在とは異なる環境の時代があったことは確かであろう。火星環境は変動しても地球環境は変動しない何らかの理由がありそうに思われる。

惑星の表層環境は基本的には太陽から受け取る放射と惑星が出す赤外線放射のバランスで決まっているが、太陽放射が一定で、大気量・大気組成が変化しないとしても、大気システム内の様々な要因によって環境変動は起こる。更に、このようないわば内因的な変動を除外したとしても、「太陽放射・大気組成・大気量一定」という条件は満足されていない。太陽放射は太陽

が核融合反応でエネルギーを得ているために、時間とともにゆっくり増大し、46億年間で25～30%増大したと考えられる（たとえば Gilliland, 1989）。

また、大気の散逸や脱ガスによって大気量や組成は変化する。ここでは特に太陽放射の時間変化と惑星のアルベド（反射率）の変化に注目したい。

◆地球環境の安定性とアルベド問題

地球環境の指標として海洋の存在条件を取り上げる。惑星表面に海洋が存在するための条件は放射対流平衡大気モデルを用いて明らかにされている [Abe, 1993]。図1は太陽放射の変化に対して、地球軌道にある地球サイズの惑星上で全球が凍結する条件と暴走温室状態が発生する条件を示した。縦軸は大気中のCO₂分圧、横軸は太陽放射で、現在の値で規格化して示してあるので、現在が1である。太陽放射は時間とともに増大するので、横軸は時間軸と見なしてもよい。曲線に付した数値はアルベドである。海洋が存在できるのは同

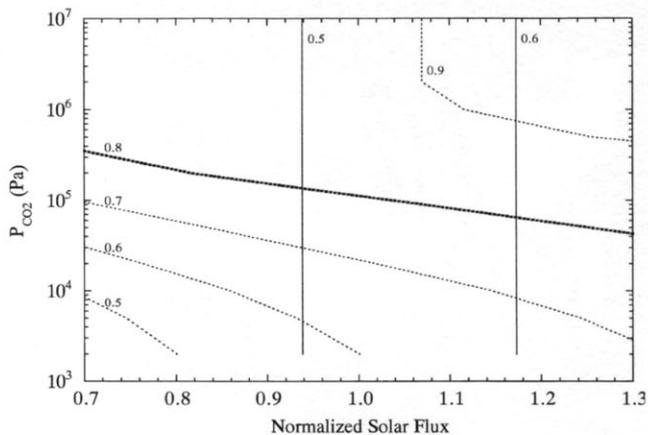


図1 地球軌道での海洋存在条件

地球軌道の地球サイズの惑星がH₂O+CO₂大気を持つ場合の完全凍結の条件(点線)と暴走温室状態になる条件(実線)を示す。縦軸はCO₂量、横軸は規格化した太陽放射で現在が1である。実線より右側では暴走温室状態、点線より左側では凍結状態になる。線に付した数値はアルベドである。

じアルベドの点線より右側、実線よりも左側に限られる。

アルベドが0.2-0.3程度の時には広い範囲のCO₂分圧、太陽放射の値で海洋存在の条件が満たされている。アルベドが0.1以下では過去の暗い太陽の下で少ない二酸化炭素量であっても凍結を免れる代わりに、現在の状況では暴走温室効果が発生し得る。アルベドが0.6以上では暴走温室効果は起きにくい代わりに、現在の太陽放射のもとで10⁵Pa=1barの二酸化炭素大気であっても凍結状態に陥る。

ただし、この図はH₂O-CO₂大気の場合なので、窒素や酸素の効果が含まれていない。窒素や酸素はそれ自体では温室効果を持たないが、大気的全圧を上げることによって、地面温度を高く保つことに寄与している。現在の地球のアルベドは0.3なので、窒素や酸素の効果を考慮に入れると、現在の地球はこの図ではアルベドが0.3でCO₂分圧がだいたい2-3x10⁴Paのところと相当する。

アルベドが0.3であれば、現在の太陽放射の80%ぐらいで凍結する。つまり、数十億年前の地球が現在と同じ大気組成、現在とおなじアルベドであったとすると凍結してしまっていたはずである。しかし、大規模な氷床が発達した時代は示唆されるものの、完全に凍結してしまっただけの状態になった証拠は知られていない。したがって、過去の地球大気は現在とは違っていたはずである。これはSagan and Mullen [1972]によって指摘され、Young Faint Sun問題として知られている。

通常は、過去の大気中の二酸化炭素量が多かったことが、この問題の解決策であると考えられている(例

えばKuhn and Kasting [1983])。大気中の二酸化炭素量はマントルからの脱ガスで供給され、海中で炭酸塩として固定されて、それがプレート運動によってマントル中に戻ることによって調節されている。炭酸塩としての固定は陸上岩石の風化でカルシウムなどの陽イオンが供給されることで律速されており、風化は気温が高いほど速い。その結果、気温が高くなると地上の岩石の風化を介した二酸化炭素の固定が進んで大気中の二酸化炭素は減少し、逆に気温が下がると風化を介した固定が進みにくくなるために脱ガスが卓越して大気中の二酸化炭素量が増大することが期待される。この機構は気温をちょうど二酸化炭素収支がバランスするように調整し、いわばサーモスタットのように働くことが期待される [Walker et al., 1981]。この機構によって地球の気温がほぼ一定に保たれるように大気中の二酸化炭素量が変化するという考えがある [Tajika and Matsui, 1993]。

この機構が有効に働くためには、海洋が存在するだけでなく、陸地=大陸とプレート運動が必要である。さらに、この議論では、アルベドは現在の値0.3で一定であることを仮定している。しかし、現在のアルベド0.3がいかんして維持されているかは不明であって、過去にも同じ値であったという保証はない。地球大気のアアルベドはかなりの程度雲の影響で決まっているが、一つの雲の寿命は数時間程度であって、長期にわたって平均的なアルベドが保たれているということ自体、不思議な現象である。

アルベドの値が数十万年以上の長周期で変化しても、それに応じて二酸化炭素量が変化することによって、上述のサーモスタット効果は働き得る。しかし、図1からも読みとれるように、アルベドの影響は二酸化炭素量の影響よりもどちらかといえば大きく、しかも原理的には短周期で変化し得る。アルベドが短時間で変動した場合には気候状態も安定しない。何かの強力なフィードバック機構が期待されるが、その正体は不明である。

アルベドの時間変化という視点では、過去のアルベドが0.2ほどの値であったとすれば、二酸化炭素量は変化せずとも、Young Faint Sun Paradoxは解決することができる。現在のアルベドを制御している機構がわからない以上、過去のアルベドが小さかった可能性は容易には否定できない。

◆金星アルベドの問題

一般に惑星アルベドの決定機構は大きな問題である。我々のグループでは過去数年にわたって金星のアルベ

ドの決定・維持機構について研究をしてきた。金星は全面が雲に覆われており、金星のアルベドは雲のアルベドで決まっている。雲が関与してアルベドが決まるという点では地球も金星も同様であるが、金星の場合地球よりもやや扱いやすい点がある。

第一には金星の雲が全面をほぼ一様に覆っている点である。地球の場合、雲に覆われているところと、覆われていないところ（晴れているところ）があり、その面積比の変化が全アルベドの変化に大きな影響を及ぼす。金星の場合、雲の面積の変化はとりあえず考えなくて良い。

第二には雲の成因がある。地球の場合、雲は大気の上昇運動に伴って水蒸気が凝結することで生成されている。金星の場合、大循環規模の影響も受けるが、基本的には光化学反応による硫酸生成が雲生成の重要な要因であり、このことがほぼ一様な雲の生成とも結びついている。

つまり、金星の雲は地球と比べれば力学的な影響をあまり受けない点で扱いやすい。

金星雲の問題に対して、我々はまず一次元の雲モデルの構築から始めた [Hashimoto and Abe, 1996a, b]。光化学反応が雲生成の重要な要因であるが、大気上端での硫酸生成量をパラメータとして与えて、生成された硫酸は定常的に大気中を静かに下降するとする。簡単な雲粒子の成長モデルを組み合わせることで、雲粒子の鉛直分布や雲粒子サイズ分布、さらに雲の反射率を計算することができる。得られた反射率は特別な調整パラメータを導入しなくても、金星の反射率を良く再現する。こうして鉛直一次元の化学反応と物質輸送、雲粒の成長を考慮したモデルによって、金星のアルベドは説明することができた。

現在は次の問題として、このアルベドの安定性を検討している。既に述べたように、太陽放射は時間とともに増大しているし、金星大気からは水蒸気が失われ続けていると考えられている。この効果がどのように反映するかが問題である。金星の場合、大気中の SO_2 の量が雲生成に重要な役割を果たしている。 SO_2 は硫酸生成の材料物質であり、多くなれば雲は厚くなるし、少なくなれば薄くなることが期待される。

一方、金星大気中の SO_2 量は地面での磁鉄鉱と黄鉄鉱間の化学平衡で決まる値に近いことが知られている。もし、地面での化学平衡で大気中の SO_2 量が制御されている場合、次のようなフィードバック機構が働くことが予想される。何かの原因で地面温度が上昇すると化学反応によって大気中の SO_2 量が増加する。大気中

の SO_2 量の増加は雲を厚くし、アルベドを上げる。アルベドの上昇で入射太陽放射が小さくなり、地面温度上昇は抑えられる。逆に何らかの原因で地面温度が下がった場合にはこの逆のプロセスが働く。これは地面温度を安定化させる負のフィードバックである。実際には雲自体の温室効果や、 SO_2 による温室効果もあるために状況は複雑であるが、数値モデルによると、金星地面の温度変化は無い場合の半分程度にまで緩和されることが示される (図2) [Hashimoto and Abe, 1998]。これを化学アルベドフィードバックと呼んでいる。

化学アルベドフィードバックは金星の気候を安定化させる機構として興味深いものである。残念ながら、現時点ではこのフィードバックの存在は確認されていない。確認のためには金星表面での磁鉄鉱・黄鉄鉱の存在の確認、大気中の SO_2 量の変動と雲アルベドの連携の確認が必要であり、これは将来の探査を待たねばならない。

◆まとめ

ここでは金星のアルベドが地面での化学アルベドフィードバックで安定化されている可能性を指摘した。他の惑星でも類似のアルベド安定化システムが存在するかもしれない。ただし、それがそのまま地球アルベドの安定性問題の解決になる訳ではあるまい。地球の場合、大気中の SO_2 は人為的な理由でこの100年ほどの間に倍増したと考えられているが、そのことがアルベドにどのような影響を与えたかは必ずしも明らかではない。地球の場合はおそらく力学的なフィードバック機構が重要になることが期待される。アルベド安定化システムの研究は惑星環境の安定性を検討する上で重要な課題である。 (あべ・ゆたか)

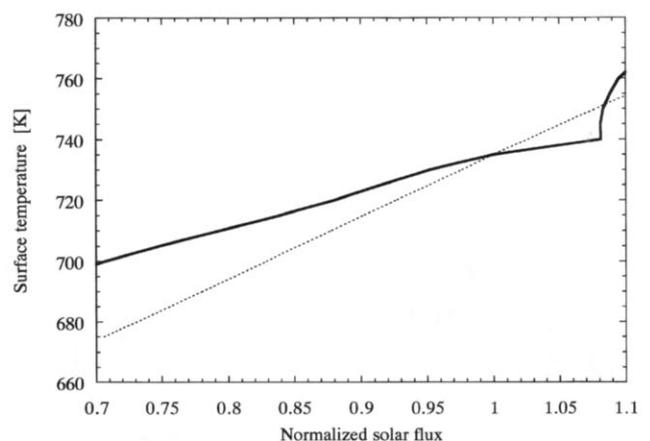


図2 金星大気における化学アルベドフィードバック
横軸に規格化した太陽放射、縦軸に温度を示す。実線が化学アルベドフィードバックを考慮した場合、破線が考慮しない場合である。

お知らせ



★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（11月・12月）

11 月						12 月					
1	5	10	15	20	30	1	5	10	15	20	30
S-310-28 囀合せ						のぞみ (PLANET-B) スイングバイ&火星遷移軌道へ投入 (ISAS)					

★平成10年度「宇宙学校・出雲」開催について

日時 平成10年11月1日（日）
場所 島根県立看護短期大学
校長 的川 泰宣 教授

第1時限 （9時40分～11時30分）

- ・ブラックホール 堂谷 忠靖 助手
 - ・宇宙からの電波天文学 村田 泰宏 助手
- 映画「ブラックホールを探る」

第2時限 （12時10分～14時00分）

- ・小惑星へ行こう 藤原 顕 助教授
 - ・地球の生きものと重力 黒谷 明美 助教授
- 映画「私たちの太陽系」

第3時限（14時30分～16時20分）

- ・ロケットの世界 竹前 俊昭 助手
 - ・ロケットとの交信 橋本 正之 助教授
- 映画「人工衛星」

問合せ先：宇宙科学研究所庶務課企画・広報係

TEL：0427-59-8008（内線6002）

★人事異動（教官）

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		（採 用）	
10. 10. 1	おく いずみ のぶ かつ 奥 泉 信 克	宇宙探査工学研究系助手	
		（所内配置換）	
10. 10. 1	大 西 晃	次世代探査機研究センター助手 （探査機システム分野）	観測部打上管制課機能管制班制御機器係長

★訂 正

98年9月号（No. 210）において一部誤りがありましたので訂正いたします。

7ページ本文8行目 【誤】1989年のアメリカのPhobos 2 衛星や、最近の～

→ 【正】1989年のソ連のPhobos 2 衛星や、最近のアメリカの～



★再使用ロケット実験機・エンジン推力特性試験

8月24日から9月5日まで能代実験場で将来型の宇宙輸送システムの研究の一環として完全な再使用が可能なロケット飛翔体の基礎実験が行われました。これは液体水素を燃料とする小型のロケットエンジンを用いて、繰り返し飛行を行う小型の実験機を作って、効率的な再使用性やロケットエ

ンジンによる地上への帰還のための飛行方法の研究を行おうとするもので、その手始めとして今回の実験が計画されました。エンジンと機体は飛翔実験に供するものをそのまま用いて行われ、推力の制御特性や効率的な運用に関する各種のデータが取得されました。前半の準備期間では折りからの全国的な大雨で、雨天でも実験ができる様にと石井助教授設計による「カッパ」を機体に着せて実験を行いました。幸い期間後半は

天気も回復し作業のじゃまになっただけと言う状態になりました。飛行機のように運用できるロケットを標榜する立場としては多少複雑な心境です。ともあれ推進系としては概ね所期の性能を満たすことが確認され、今後エンジン以外も含めた飛行実験に必要なデータの取得を継続し、早期に繰り返し飛行の実験ができる状態にすべく努力は続きます。(稲谷芳文)

★プリクーラ付ATREXエンジン燃焼試験(ATREX-10)

平成2年から始まったATREXエンジンの試験は、今回の試験で合計49回になった。平成6年度までの燃焼試験では、主にチップタービン/ファン、燃焼器および燃焼器内熱交換器の特性およびエンジン性能の評価を行い、平成7年から特にプリクーラの特性およびこれによるエンジン性能の評価に重点を置いて研究を進めてきた。プリクーラは、ファンの前方に装着され、大気中の空気を取り込み冷却することによって空気の密度を増し、空気流量を増加し(推力の向上)、また、中間冷却効果によるファンの圧縮仕事の低減(比推力の向上)によって、エンジンの性能を向上するためのATREXエンジンで最も重要なコンポーネントである。

今回試験したプリクーラは第三世代のもので、設計は飛行型に近い形態で、高性能でかつ軽量化に主眼が置かれている。また、チューブの接合部からの漏洩を無くすための製作技術にも慎重な配慮が払われた。また、試験設備にもいくつかの改善が施され、液体水素の供給タンク容量を約3倍に増し、推力計測架台を更新し、テストスタンドの操作系統の光ファイバー化による簡素化と安全性の向上が図られた。

試験は、2回の台風の合間を縫って9月14、17、18、21および22日に合計5回行い、プリクーラに関する貴重なデータが得られた。プリクーラにとって最も条件の悪い高温多湿(湿度80~93%)の天候の中で試験を行ったため、プリクーラへの着霜はかなり激しいものであったが、エンジンは予定した時間を運転できた。この着霜に関しては、台風による異常な高温多湿によるものではあったが、今後さらに改善する必要がある。

今回の試験では、台風による悪天候の中、国内外から多数の見学者が、能代ロケット実験場に来場され、ATREXエンジンの燃焼試験を見学を兼ねて、17日には将来のスペースプレーンに関するワークショップが開催された。国内では、航空宇宙技術研究所から8名、宇宙開発事業団から4名、国外では、NASAルイス研究所から2名、フランスONERAおよびSEP社、米国

パーデュー大学からそれぞれ1名の方々が来場され、ATREXエンジンに対する理解を深められたことは有意義であった。

今回のプリクーラの開発研究に当たって、NEDOの受託研究「新規産業創造型提案」経費によるご支援を頂いたことに感謝します。(棚次巨弘)

★MT-135打上げ

成層圏のオゾン密度の観測を主目的とした68号機は9月7日、69号機は8日の11時に、鹿児島宇宙空間観測所から発射された。前線の通過で烈しかった雨も7日の朝には止み、好運にもロケットは雲の切れ間の青空に吸い込まれて行った。両機ともに、飛行は正常で、68号機は高度55kmから、69号機については57kmから5kmまでのオゾン密度、風向、風速および気温の観測データを得ることが出来た。

昨年、同時期に打ち上げられた66号機と67号機では到達高度がそれぞれ50km、52kmと低かったため、その原因を検討した結果、ロケット外壁の赤色フィルムであるとの結論になり今回は赤色塗装に変更した。

昨年MT-135の打上げは観測所の職員に主体的に行ってもらったことになった。そのため、8月4日~6日に相模原で行われたかみ合わせ試験にも参加してもらっている。それ故今年は一回目であり細かい作業に慣れてきたのは心強かった。

平成2年より開始された観測は、平成8年までは高度40~45kmの領域で年2%のオゾンの減少を示している。減少の原因をフロンとするには減少率が予想値よりも大変大きい。昨年の観測ではオゾンが逆に増加していた。一昨年より太陽活動が活発になってきているので、それまでのオゾンの減少分のフロンによる寄与を見積るためには、今後数年の観測が必要であろう。

(中村良治)

★平成10年度第2次大気球実験終了

平成10年度第2次大気球実験は、8月24日より9月12日まで三陸大気球観測所において実施された。実験開始当初は雨が一週間も続き予定期間に全ての気球実験ができるか危ぶまれたが、BT1型1機、BT5型1機、B30型1機、B50型1機及びB120型1機の予定した5機の気球を全て放球することができた。

B30-67号機は、クライオサンプリング法による成層圏大気の高高度での採集に成功し、試料容器は完全な形で回収された。採集された試料を分析することによって、成層圏における大気循環の年々変化や光化学反応

過程の解明が期待される。

B50-4号機は、惑星探査計画の一環としての小型の再突入カプセルを高度38kmより分離、高度10kmでパラシュートを開傘させ緩降下させる実験を行った。降下中のカプセルの運動や空気力学的特性及び開傘特性のデータが取得でき、カプセル開発における重要な工学的課題の検証がなされた。

B120-3号機は、新規に開発された口径50cmの望遠鏡システムと波長150ミクロンの遠赤外線アレイセンサーを搭載して、星間物質及び系外銀河の観測を行ったが、センサー系の不具合で目標の一部の観測に留まった。望遠鏡システムは正常に動作しており、今後観測例の少ないこの波長帯での重要な観測が行われることが期待される。

BT1-2号機は、新開発された軽量・小型の測定器を用い成層圏二酸化窒素の高度分布の観測を行った。二酸化窒素はオゾン破壊物質であると同時にフロンとの関連ではオゾン破壊抑制物質でもあり、今後二酸化窒素の挙動を機動的に観測できる目途が立った。

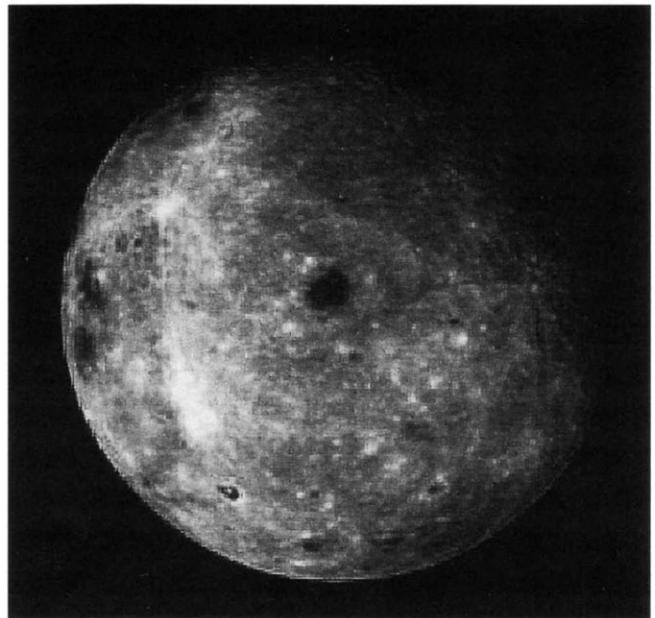
BT5-16号機は、2台の観測器でオゾンの吸収による太陽紫外線強度の観測に成功した。2台の観測器は巻下げ機で100m離し、上部と下部のゴンドラの揺れの違いによる観測精度への影響を調べる実験も合わせて行った。

一昨年より始めたヘリコプターを用いた気球本体の回収も系統的に確立され、今回は大型気球全ての回収に成功した。(山上隆正)

★「のぞみ」の月スイングバイ

7月4日に打ち上げられた「のぞみ」は、スイングバイに備えて、合計9回の軌道制御を行い、遠地点を、月の軌道を越える40～50万km前後、近地点を、800～1700km前後に保ってきた。9月24日の夕方に、第1回目の月スイングバイを成功裏に行い、遠地点、約171万kmの長楕円軌道に載った。スイングバイ時の月への最接近距離は、約4,100kmであった。

月への接近の前後に、搭載カメラの機能試験のために、月面の写真撮影を行った。この画像は、「のぞみ」のホームページ (<http://www.planet-b.isas.ac.jp/>) に公開されている。右上の写真は、そのうちの一枚で、「のぞみ」が、スイングバイ後、約2万4000kmの地点から撮った月の裏側の写真で、地球からは、直接、見ることのできないものである。(中谷一郎)



「のぞみ」の撮った月の裏側の写真

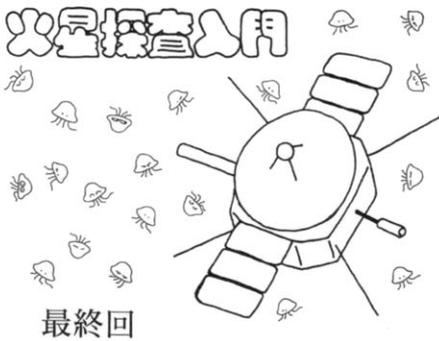
★ASTRO-E一次噛合せ

7月に始まった次期X線天文衛星ASTRO-Eの一次噛合せ試験も、既に2ヵ月半以上が経過しました。間もなく各サブシステムの電気噛合せ試験が終了し、いよいよミッション機器(X線検出器)や伸展式光学ベンチの取り付け、衛星側面パネルの組み付けが行なわれます。この原稿がISASニュースとして皆さんのお手元に届く頃には、衛星らしくなった状態で総合動作試験が行なわれていることでしょう。

「あすか」衛星の時は3ヵ月だった試験期間も、大型化したASTRO-E衛星では4ヵ月強という長丁場です。それでも決して余裕があるわけではなく(重量比からすれば4倍の12ヵ月くらいほしいところです)、土曜日や休日を返上することもしばしばです。またフライト品の初めての噛合せということもあって、様々な不具合や検討事項も生じています。原因究明やスケジュールの遅れを取り戻すために夜遅くまで作業が続く日もありますが、今回の試験ですべての不具合を出し尽くしてしまうように、注意深く作業が進められています。

ASTRO-E衛星の製作は日米国際協力で進められており、試験にはNASAゴダード宇宙飛行センター(GSFC)やマサチューセッツ工科大学(MIT)の科学者、技術者も参加します。現場では日米の文化や生活習慣の違いを越え、衛星を成功させるという共通の目標に向かってともに全力投球しています。

(藤本龍一)



JAPAN, MARS AND THE FUTURE

Bruce Murray

Japan is on the way to Mars, becoming just the third nation to travel to our most interesting planetary

neighbor. Mars is the planet of greatest past and present interest and, I think, will also be the eventual destination of human adventurers.

Mars attracted the attention of early telescope observers with its prominent and sometimes changing markings. Also it rotates with nearly exactly the same period as does earth. What's more, Mars has seasons very similar to Earth with a blanket of white frost covering first one pole and then the other. Mars seemed to be Earth's closest planetary cousin, perhaps even the habitat of alien life!

Indeed, the American astronomer Percival Lowell became convinced by the end of the last century that Mars once had been the home of an intelligent race that perished due to planetary drought, leaving a legacy of dried up canals. His vivid writings inspired H. G. Wells, Edgar Rice Burroughs, Ray Bradbury, Arthur Clarke and other pioneers of science fiction to populate Mars with all manner of beings, hazardous and otherwise. "Martians" became a lasting component of worldwide popular culture.

You can imagine the excitement and anticipation in July 1965 when the primitive spacecraft, Mariner 4, of the United States flew by Mars and collected the first, very poor quality pictures. I was a junior member of that imaging team and still remember how strongly the (then) three main US TV networks pressured us to "Stop hiding the pictures of Mars!" We weren't hiding them. We were simply trying to develop primitive computer techniques to make them comprehensible! And what a shock they were—Mars looked like the Moon with huge barren craters, not the Earth. What's more, neither magnetic field nor radiation belts were detected, and the atmospheric pressure was less than one percent that of Earth. Then, in 1969 Mariner 7 proved that the seasonal white frost at the martian poles was solid carbon dioxide, not water ice. Mars is not the twin of the Earth!

Later, the orbiter Mariner 9 (1971-72) mapped fascinating contradictions, including ancient flood-cut channels winding through a surface environment now so rarefied that liquid water is physically impossible. Mars also is home of the largest volcanic mountains in the Solar System, of canyons far larger and deeper than the Grand Canyon of Arizona, and of vast smooth plains underlain by ice. Finally, in 1976, the Viking landers searched directly for microbial life, pursuing that centuries old popular dream. But a dream is all that it was—the surface of Mars is lifeless, although there still could be

microbes living within ground water deep within the crust similar to recently-discovered terrestrial bacteria living in deep ocean volcanic fumaroles.

Then in 1989, scientists on the Soviet orbiting mission Phobos 2 claimed that a small magnetic field was present after all. Even more surprising, the international team of scientists working with Phobos 2 (including some of those now working with Nozomi) deduced that oxygen atoms from the atmosphere of Mars were being stripped away from Mars by the solar wind.

One calculation indicated that the entire atmosphere of Mars could be stripped away within a geologically short time! Clearly strange thing is going on at Mars!

Puzzling and important Mars's plasma results like those from Phobos 2 attracted the attention of the world-renown expertise of the scientists and engineers at ISAS. Furthermore, ISAS' new M5 launch system could reach Mars with a modest-sized payload—if everything was designed just right, such as getting a little extra push from the gravity of the Moon along the way. Despite its modest size, Planet B carries fourteen complementary scientific instruments, including five proven standbys jointly developed with scientists from Canada, Germany, Sweden and the US. New approaches are included as well—a lightweight spinning camera led by a Kobe University team and a novel radio-probing instrument from Tohoku University that will study the martian surface at night. Promising young Japanese researchers are being given a chance along with seasoned veterans.

Meanwhile, the Mars surprises continue. When the US Mars Global Surveyor (MGS) went into orbit in September 1997 carrying a magnetometer and electrometer (to help map the magnetic lines of force), the lead magnetometer scientist announced that they too had detected a small martian magnetic field. But after several months he changed his interpretation! Mars has no planetary magnetic field after all. Instead, Mars displays very strong, local magnetic anomalies, stronger than anything similar on Earth. Every time MGS dipped down below the martian ionosphere they detected the strong local anomalies, presumably caused by intensely magnetized lava rocks, although we can't tell until the full magnetic map can be compared with the geological features of Mars' surface. The great thing is that Nozomi is designed to map right through that critical altitude, so it should provide an even richer scientific harvest than had been expected. The Nozomi Mars story will start to unfold in October 1999.

I can hardly wait!

(カリフォルニア工科大学教授, 惑星協会理事長)

<「のぞみ」火星到着まであと1年>

Kosice への旅

向井利典

ロシアのインターボール衛星とISTP衛星の共同研究ワークショップを今年の9月初めにスロバキアで行うので、組織委員会に入ってくれという通知が電子メールで来たのは昨年12月初めのことだった。インターボール衛星とジオテイル衛星の共同研究は、IACGのワーキング・グループにおける協議などを通じて推進されてきており、また、ジオテイル衛星はISTP衛星の中で中心的な役割を果たしていることでもあるので、日本から代表を送り込むのは国際的な責務でもある。結局、日本からの参加者は西田所長と国分名大STE研所長という大物二人に私の3人であり、十分にその責任を果たしたといえるだろう。

ロシアの衛星プロジェクトのワークショップを何故スロバキアでやるのかというと、要するに旧ソ連時代に東欧の旧共産圏の国々が参加しており、インターボールの孫衛星をチェコスロバキアが担当していたからと思われる。数年前にチェコとスロバキアに分かれ、スロバキアでは本会議を主催したクデラ教授が孤軍奮闘という感じ。それにしても、今回の会議のスポンサーがNATOとは時代の変化を感じさせる。

ところで、表題のKosiceという地名をご存知ですか。実をいうと、私も今度の出張計画を立てる寸前まで全く知らず、地図を見ると、なんとウクライナとの国境に近い辺鄙そうなところ。日本からは一気に行くのは無理で、どこかで1泊しなければいけないことがわかり、行きも帰りもブダペストで泊まることにした。成田を9月5日の朝に出て、フランクフルトで乗り換えてブダペストの空港に着いたのは同日の夕方、日本時間では真夜中過ぎの時間。ホテルまでタクシーで行くことにして、乗り場まで行くと、最高3900HUFと書いた紙切れを渡される。これが最高かと思いきや、降りるときに4000HUFを渡すと、Thank youといっておつりはくれず。ここの習慣は、乗る前に料金を交渉しておくのがいいようで、帰りのときには、交渉の結果、3500HUF。

Kosiceは、コシツェと発音するようです。ブダペストとの往復は列車だったが、切符を買ったときに初めて知った。列車は収穫の終わったただ広い農村地帯をただひたすらに走るだけ。途中で、牧草地の中の牛の様子が違ってきたかなと感じたら、それが国境らしい。列車が止まって、パスポートの検査官が乗り込んできた。折角10年有効としたのがもたないのではない

かと思われるほど大きなスタンプをページ一杯に押される。それにしても、何故ここが国境なのか、境を示す区切りが一切なかったのはふしぎな感じだ。相模原市と町田市の境界となんら変わらない。

コシツェは、人口24万人、スロバキア第2の都市という。石器時代から青銅器時代までの遺跡や遺物はあるようだが、歴史はいきなり飛んで12世紀頃から始まる。いまでも中世の雰囲気漂わせる古い町。14世紀から15世紀にわたって建てられ、スロバキアで最大のゴチック建築といわれる聖エリザベス教会というのがホテルのすぐ近くにあったので、到着した日曜日の夕方に出かけてみた。おそろおそろ中に入ると、ミサの真っ最中であった。牧師さんの説教が声高く鳴り響き、大勢の人が跪いて頭を垂れている光景に出くわしたのは壮観であったが、異端者が入っていたようで居心地が悪く、退散。

特に名物というものはないようで、敢えていえば、スープだろうか。中にはソーメンのような麺類が入っており、スープの味が店によって違うので、それが食事の唯一の楽しみという程度。ある日の夕食に国分先生と二人でオールドタウンから少し路地を入ったレストランに入った。ワークショップで渡された地図のレストランのマークを頼りに行ったが、入口は木製の小さな扉で鍵がかかっている開かない。横のボタンを押すと、中から人が出てきて、入ると、後ろでガチャリというロックの音。薄暗い階段を地下に降りると、客は誰もおらず、壁には魚の絵がいろいろ。海のないこの国で魚料理かと思ったが、出入口はロックされているし、ままよ、というわけで、せめて川の方が近かろうと思って鯉を注文したが、ほろ苦いビールとも相俟ってこれがなかなかの美味。例のスープもうまく、その内に他の客も入ってきて、一安心。最後に金を払って出て行くと、またガチャリという音。ちょっと異様な経験でした。

この小都市に4つもの大学があり、ワークショップはその一つのコシツェ工科大学で9月7-11日の5日間に亘って行われた。会場はオールドタウンの北端の先にあり、ホテルはその南端にあって、歩いて30分、運動不足解消にはちょうどよい距離で、毎日オールドタウンの中を歩いて往復。タバコの本数もずいぶん減ったが、帰国して宇宙研に出てくると書類が山積み。一気に元に戻ってしまった。(むかい・としふみ)

何を輸送するか？

成尾 芳博

アメリカが月に人類を送った1960年代の後半から1970年代初めにかけて人々の宇宙への夢は大きく広がり、幅広い宇宙の商業化が提唱されました。宇宙工場、宇宙観光旅行、スペースコロニー等々、宇宙に関わる夢のほとんどはこの時代に考え出されたものです。しかしそれらは、20数年の時を経て今なお実現していません。実現したのは通信・放送・気象と言ったいわば情報産業の分野に関するものだけ。その原因はロケットの高い打上げ費用にあり、高い輸送コストを払っても採算の合うのは情報産業の分野だけと言われています。最近話題になっているイリジウム計画でも必要な衛星は66個であり、一般には宇宙輸送のコストを桁違いに下げることの必要性及びそれを必要とする市場は、まだ存在しないと考えられています。

一方、人口増加と人々の生活様式の変化によって地球の環境汚染(破壊)は確実に、しかも加速度的に進んでいます。人類が今後とも繁栄を続け生き延びて行くためには、地球という閉鎖生態系の外、つまり宇宙から手を貸してもらおう方法を真剣に考えてゆかねばなりません。具体的には、現在地上で行われている生産活動の一部を宇宙に置く等が考えられますが、そうなる何万トンという資材を宇宙空間に運ばなくてはなりません。例えば宇宙で太陽光により発電し、その電力を電波にかえて地上に送る太陽発電衛星(SPS)は地球温暖化を防ぐ上で有効ですが、実用規模のSPSは質量が1機当たり数万トンになることが予想されます。宇宙で発電するメリットは、宇宙では夜も昼も天候も関係ないため、地上で同じ面積の太陽電池を広げた場合に比べて約10倍の電力を発生できる事です。従って電力を電波に変え、再び電力に変換する効率をそれぞれ70%とすると、地上で同規模の発電所を作る場合の約5倍の費用がSPSの建設目標価格となります。この時、宇宙輸送のコストは10000円/kg以下が目標となります。これは現在の輸送コストより2桁低い値です。SPSに限らず、将来宇宙空間に建設されることになる大型構造物は、まず地球環境保全の観点か

らそのメリットが検討されることになるでしょう。しかし、それらのシステムが人類社会に受け入れられるかどうかは、製造物が地上の製品と競争できるコストに納まっているかどうかにかかっています。その時、輸送コストは安ければ安い程よいわけで、SPSとほぼ同様な値が輸送コストの目標値になるでしょう。輸送コストをこのように桁違いに安くするには、前号までに紹介されてきた再使用型の機体を航空機のように頻繁に運行するしか方法はありません。地球環境保全の面からも超低コスト宇宙輸送系の実現が待たれている、と言えます。

しかしながら「地球環境を守るためだ」として納税者に高額な負担を期待しても、自ずと限度があり、ましてや米国やロシアの宇宙開発予算さえ減らされている現状では多額の予算を獲得するのは至難の業と言えます。そこには国の予算による宇宙開発の限界が見えてきます。それでは打つ手はないのでしょうか？ いいえ、このような状況を打開する切り札が幸いにして存在します。それが宇宙観光旅行というマーケットです。

数年前に、日本、アメリカ、フランス等で宇宙旅行に関するアンケート調査が実施されました。その結果、人々の関心は非常に高く、宇宙旅行の実現を多くの人が望んでいることが分かりました。しかしその一方で、人々が期待する宇宙旅行料金は100万円から250万円程度であり、この料金は現在の宇宙輸送価格よりも2桁低い値であることも分かりました。そして、この料金は奇しくも、前述の生産活動を宇宙に移すのに必要とされる宇宙輸送コストと同じことが分かったのです。現在の主要旅客機であるB-747と宇宙旅客機のコスト目標の比較を左下表に示します。P.Q.Collinsによれば、新たな宇宙輸送機の製造に例え1機当たり1000億円かかったとしても(現在のH-IIの製造価格は約190億円)、年間300回、10年間飛行することができれば、1人当たりの飛行料金を約160万円に設定することができ、しかも、産業として成り立つとしています。このことは、納税者に高負担を期待せずとも低コスト輸送系が実現できることを意味し、今後の宇宙開発の進むべき方向を示しているとも言えます。

宇宙開発は米ソの国家威信を担う一翼として、軍事と科学という国家が責任を持つ分野で計画され、そのための技術開発は今まで政府の事業として行われてきました。これは我が国においても同様です。しかし、政府によって開発された技術は速やかに民間に委譲応用されてこそ、その後の産業としての発展が望めます。超低コスト輸送系が実現するかどうかは、国家が確かな見通しを持って、従来とは質的に異なる輸送システムの開発に取り組むか、そして国家によって開発された技術を如何にして民間に移譲し、応用して行くかにかかっていると思われま

(なるお・よしひろ)

宇宙旅客機のコスト目標

	P.Q. Collinsによる	
	B747	宇宙旅客機
生産機数	1,000	50
値段/機	400億円	1,000億円
年間飛行便数/機	720便	300便
寿命	20年	10年
減価償却/飛行 (金利 5%)	444万円	4,330万円
燃料費/飛行	200万円	1,600万円
雑費/飛行	200万円	2,000万円
一飛行当たりの総コスト	844万円	7,930万円
旅客数/飛行	300人	50人
旅客一人当たりの経費	~3万円	~160万円
年間旅客数	~2億人	~75万人
年間総売り上げ	6兆円	1兆2千億円



TRANSITIONS

Wesley Huntress

I have been honored by ISAS to receive an invitation to write for the ISAS News on the eve of my departure from NASA Headquarters. I have been in the service of Space Science at NASA Headquarters for the last eight years, since July 1990. This last decade of the 2nd Millennium has seen a major change in NASA's space exploration enterprise in preparation for opening of the 3rd Millennium just a few years away. I have had the privilege to participate making some of the changes that will bridge the transition from this, the 20th Century of Air Travel, to the next, the 21st Century of Space Travel.

At the opening of the 20th Century, humans did not know how to fly through the air. There had been exploration of the sky by a small number of inventors using balloons and unpowered gliders, but the idea of humans flying through the air on powered machines was almost universally unimaginable. Even after the Wright brothers had made their first flight in 1903, they could never have imagined the idea of a huge Boeing 747 routinely carrying hundreds of passengers in perfect comfort from New York to Tokyo in less than half a day.

Now, at the opening of the 21st Century it is equally unimaginable what people will be doing routinely in 2098. Humans do not know to fly routinely through space. A small number of explorers have flown in space, but they are the equivalents of those late 19th Century explorers flying in the air with balloons and gliders. In the late 19th Century, commerce and travel occurred over land and sea. In the late 20th Century, commerce and travel occur through the air. In the late 21st Century, commerce and travel may very well occur through space.

The last 100 years have seen immense technological advance. In the 20th Century we learned to make air travel less expensive, so that it changed from the hobby of the elite to a tool for everyday commerce. The same will occur in the 21st Century for space travel. Technological advance will reach a point sometime in the next 50 years where space travel will become routine for humans. In the meantime, technological advance will allow ever more exciting and capable robotic exploration in our Solar System and beyond. Rather than human colonies, we can expect to be able to deploy robotic, self-sustaining colonies on Solar System bodies to conduct unsupervised exploration based on simple goals provided by humans.

Information technology will allow the whole public to experience the remote, robotic adventure as it unfolds almost as entertainment. This will be necessary in order to gain the public support required for extensive scientific exploration of

space. The public will require some more tangible return for their tax money than just data for their science elite. Rather than waiting on the internet for the next image to be released from Mars Pathfinder, they will be able to watch at video rates through the eyes of the lander as it descends to the surface, and watch through the eyes of the rover as it traverses across Mars.

We are already set on the technological path to developing the technology that will allow us to build spacecraft the same way we now build personal computers. We are currently in the "mainframe" era of spacecraft development where the spacecraft consists of a large number of heavy electronic boxes and hardware connected by bundles of wires. Within ten years we will have transitioned to the new era where all spacecraft systems will be realized in a few microelectronic and micromachine chips with a standard operating system assembled in a day or two by only a few humans. The spacecraft will be outfitted for its intended purpose by an application layer of software and measurement devices, just the way personal computers are today.

The advance of technology and reduction in complexity and cost for space exploration has already allowed the participation by nations other than just the U.S. and Russia—the traditional two competitors over the last 40 years since the dawn of the space age. Japan in this decade has blossomed into a mature space-faring nation of its own, on a par with the United States and with complete capability for spacecraft and instrument development, space launch and operations, including space observatories and scientific missions to the planets. ISAS has just recently launched Nozomi, a full-fledged, comprehensive scientific mission to the planet Mars, to be followed soon with the Lunar-A mission to the Moon with an orbiter and lander/penetrators, and then Muses-C to return a sample of the asteroid Nereus to earth. These are ambitious, audacious missions of which any space-faring nation would be extremely proud.

NASA is proud and delighted to be a partner with ISAS on many of its missions. There is a real sense of admiration in NASA Space Science for the systematic and professional manner in which the ISAS program of the scientific exploration of space is carried out. ISAS has been our most consistent and reliable partner in Space Science. It is my wish for the future that it should continue so. I have taken particular delight during my tenure as the NASA Associate Administrator for Space Science with the developing partnership between us. I have enjoyed a wonderful scientific, cultural and personal relationship with ISAS and its staff. Thank you.

(前NASA宇宙科学応用局長)

ISASニュース

No.211 1998.10

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-59-8009

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話(庶務課法規・出版係)までお願いいたします。(無断転載不可)

*なお、本ニュースは、インターネットでもご覧になれます (<http://www.isas.ac.jp>)。