

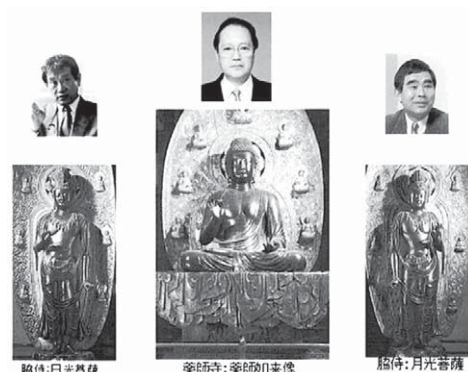
宇宙科学と宇宙太陽発電所

— 宇宙スパコンシミュレータとSPS —

京都大学宙空電波科学研究センター教授 松本 紘



こんばんは、京都大学の松本です。最初にこの絵を見ていただきましょう。この薬師如来さんは私の地元の奈良にありますけれども、脇侍を2人そばにはべらせています。今日は3人の講演ということで、西田先生が薬師如来さん、月光菩薩は上出さん、私は太陽の話もちょっとしなければいけないので、日光菩薩でしょうか？



脇侍:日光菩薩

薬師寺:薬師如来像

脇侍:月光菩薩

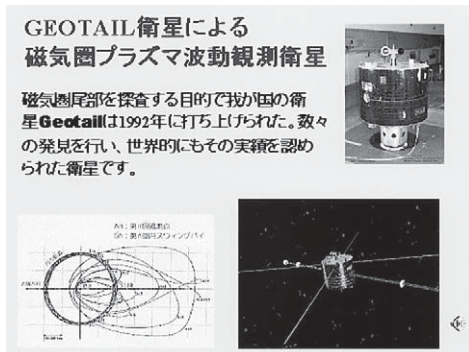
薬師如来と日光・月光菩薩

こういう配列の3人がいろいろな角度から宇宙科学の話をするのがこの講演会の趣旨です。いま聞かえているのはケネディの演説です。ケネディは、月へ人を送ろうと、1960年代の終わりに高らかに宣言いたしました。ああいう格好いいことを言う政治家は最近少ないので、私はちょっとがっかりです。宇宙というのは大変魅力のあるところです。科学的にもおもしろい、実用的にもおもしろい、人間にとっても重要だという話を、私はこれからしたいと思います。私自身は電子工学の

出身ですので、先のお二人の物理学者とはちょっと違いますが、私も研究は物理的なこともやっていますので、脇侍講演ということで頼まれましたので、なるだけ面白い話をしたいと思います。

最初、前半は科学の話をします。西田先生が中心になって、日本が日米一緒になってジオテイルという衛星を上げました。私は電波屋ですから、ジオテイルの中で電波計測の担当をいたしました。ジオテイルの軌道をあらわすところになります。地球がここで、地球の半径の210倍ぐらいの150万キロぐらいの遠くまで地球の後ろ側に飛びました。最近地球の近くを回るように軌道変更をしました。ジオテイルの成果は世界がその実績を認めたわけですが、そのなかで、私が関係した研究を若干、紹介をさせていただきたいと思います。

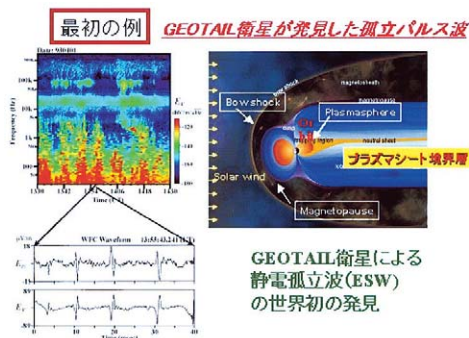
電波で測りますと、宇宙プラズマというのは多彩ですが、今日はその中で二つの例をお話しします。一つ目の話題は、ジオテイルが



GEOTAIL衛星とその軌道

最初に発見したプラズマの世界の中で聞いたことのないような孤立したパルス波です。そういう新発見をしますと、世界中が騒ぎます。ヨーロッパとかアメリカの衛星がすでに追実験をするために次々と実験をしています。そういった意味でジオテイルは先鞭をつけた一つの重要な衛星でした。

西田・上出両先生がお話しになったように、地球というのは磁気圏という領域で囲まれています。われわれが最初に孤立パルス波形を観測したのは太陽とは反対方向に伸びた磁気圏のプラズマシートと呼ばれる領域でした。プラズマの後ろに尻尾を持っているという話は、先ほど西田先生がなさいましたが、この尻尾のところを人工衛星で測っていますと、へんてこな電波が受かったのです。これが発見のきっかけです。ふつう電波屋は周波数スペクトルを測ります。この絵は典型的な周波数スペクトルの時間変化を表すダイナミックスペクトルと呼ばれるもので、周波数が縦軸で横軸が時間です。周波数帯は10ヘルツぐ



GEOTAILで発見された静電孤立パルス波 (ESW)

らいから800キロヘルツまでをカバーしています。スペクトルの強度は色で示されていて、赤いところが強いのです。いたるところに数ヘルツから20キロヘルツくらいに連続して広がる強いプラズマ波がいっぱいあることがわかりますね。この波は広帯域静電ノイズ (BEN: Broadband Electrostatic Noise) として昔から知られていていましたが、これは何だろうということはわかっていませんでし

た。

私どもはたまたまそれをスナップショットでその波形を撮ってみたわけです。すると「広帯域ノイズ」という言葉から想像されるような一定に定まらないいろんな波形が重なり合った雑音波形ではなく、この図にあるようにまるで心電図みたいな波形が見つかったのです。「これは本当かいな」と思う人はずいぶん多かったようです。いまでもそういう人はいますけれども、心電図のようなパルス波形が受かる。こういうものが自然界にあるのだろうか、最初は思ったのですが、実は本当だったのです。だから非常におもしろい物理的研究がこのジオテイルの発見によって進展したわけです。

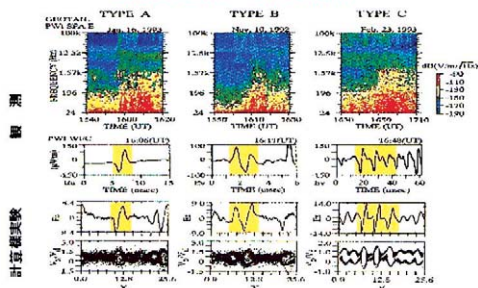
よくわからないときにはふつう頭を使うのですが、頭では追いつかないような非線形の複雑な物理問題が多くあります。そういうときには、最近はスーパーコンピュータを頼ります。宇宙空間で観測された電波をスーパーコンピュータで再現できるかどうかを試みるわけです。こうしますとわれわれが解析的に解けないような方程式もだいたい解けてくることになります。私は科学衛星による観測実験と平行して、「コンピュータの中に宇宙を取り込もう」というキャッチフレーズで、スーパーコンピュータの数値実験を長らくやってきました。それでは好奇心あふれる子供さんに登場してもらって、この研究過程を見てみましょう。これは先ほど見せましたジオテイル衛星ですが、ここに先ほど言いましたBENがみられますね。この他にも太陽から飛んできた電波とか、オーロラ電波と呼ばれるものも受信されます。先ほど上出先生がお話しになったオーロラが出ますと電波が出ます。Aurora Kilometric Radiation (AKR) と呼ばれています。ちょっとコンピュータの音を大きくしてください。受信されるBENの音を音声に変換するとこんな音になります。「これが本当に全部宇宙で観測されるのですか。」画面の子供さんに見せたら、そう言います。宇宙では本当にいろいろな電波が飛び

交っています。「それはなぜだろう」ということを知ることがまず最初に重要です。そういう研究をわれわれは長年やってきました。

とくに青印で示したこれが変な波形をしているということは、先ほど見せました。パルス波形で、まさに人間の心電図に似ています。こんなものが本当に自然波形かと思われるかも知れませんが、自然界に存在する波形ということがわかってきました。この図の中で子供が「宇宙人の心電図と違う？」と疑問を抱いていますね。もちろんそれは違います。ちゃんと自然に出る電波ということがわかってきました。

それは先ほど言いましたスーパーコンピュータを用いた計算機実験で明らかにされたんです。電波の現象を解くには、頭の痛くなるようなマックスウェルの方程式とか、プラズマの運動方程式から構成される非線形方程式を解かなければなりません。プラズマ中には多数の電子やイオンが飛び交っていて、それぞれが作り出す電磁界がお互いに影響を及ぼしあいますから、全部のプラズマ粒子の作る電磁界とそこでのプラズマ粒子の運動を矛盾のないように追跡しないといけないことになります。われわれの頭だけで解析的に解くことはとてもできません。具体的には1000万連立方程式とか1億連立方程式を計算機に解かせるわけです。計算誤差や計算方法の誤りがないことを十分に調べてから、計算結果を物理的に吟味してゆきます。

GEOTAILプラズマ波動班が発見した静電孤立波 (ESW)
観測とシミュレーションの比較

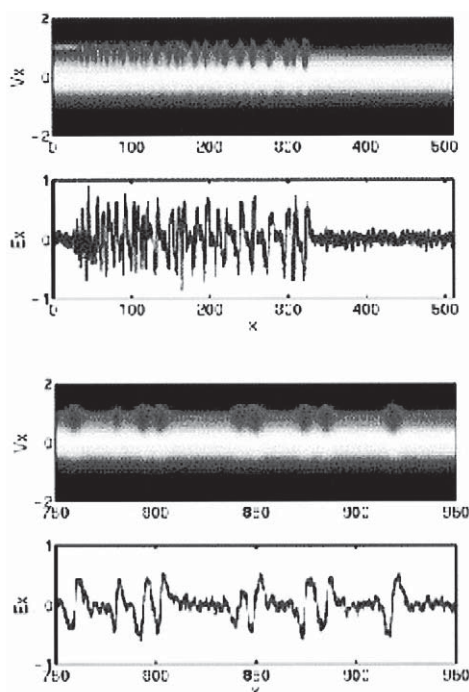


ESWの観測波形と計算機シミュレーションによって再現されたESWの波形
対応する電子の位相ダイアグラムに電子の渦(泡)が見える。

たとえばこれは観測されたジオテイルのBENのスペクトルです。その波形は実はいくうふうにバイポーラーなパルスになっているということは、すでに示しました。この図の上半分がジオテイルの観測波形です。ここから下半分は計算機実験で再現したものです。両者は非常によく似ていますよね。似ているというより、ほとんど一致しています。こういうものが計算機実験で再現できるということは、物理過程が理解できるということです。

もう少し詳しく見てみましょう。右側の絵はスーパーコンピュータで行った計算機実験の結果の一例です。オーロラは、電子ビームが極地方の大気に飛び込んで描かれる自然のパノラマテレビだという話が上出先生からありましたし、地球の尻尾のほうで磁力線がつながり変わる磁気リコネクションでプラズマが猛烈に加速され、電子がビュッと走って電子ビームが発生するという話を西田先生がされましたね。そこで電子ビームを計算機の中で走らせてみます。この図の縦軸はスピードです。横軸は場所を示しています。ゼロが真ん中にありますが、プラスのスピードを持ったのは右へ走ります。マイナスのスピードを持っているのは左へ走ります。こういったような二つをビームが行き交うという条件で計算機実験を行います。

時間が経過すると、こんなふうに電子ビームが団子状になります。初めのうちは電子ビームは素直に走りますが、すぐに不安定になって、波状に変形し、そのうちに団子状の渦巻きが形成されます。電子の渦ですね。この渦と渦は見てもらったらわかるとおり、近接してくると二つが合体します。物理の世界では孤立波、ソリトンというのが知られていますが、二つのソリトンは衝突してもすり抜けるのですが、この電子の渦同士はすり抜けません。合体したらそのまま、強いやつが弱いやつを飲み込んでしまいます。つまり、弱肉強食になっているんですね。それにしたがって作られる電界の波形を見ると、まさに孤立したパルス波形になるのです。



ESWの生成過程を示すシミュレーション

絵だけ見ますと似ているということしかわかりませんが、スーパーコンピュータで解きますと、その中のメモリーに詳細な物理過程の情報が全部入っています。人工衛星で測りますとデータも限られていますから、すべての物理情報はなかなかわかりません。そこでスーパーコンピュータの計算機実験データが大いに役立つのです。西田先生が紹介してくださった電子の速度分布関数とか、ビームがどんなふうに渦状の団子、つまり電子の泡がなぜできるのかなどということなどがよく理解できます。このジオテイルのパルス波形の発見とそれを電子の泡、もう少し学術的に言いますとBGKソリトンでうまく説明できるという計算機実験の結果を合わせて国際舞台で発表したものですから、諸外国の研究者たちは「目からウロコ」と非常に新鮮な驚きを示しました。

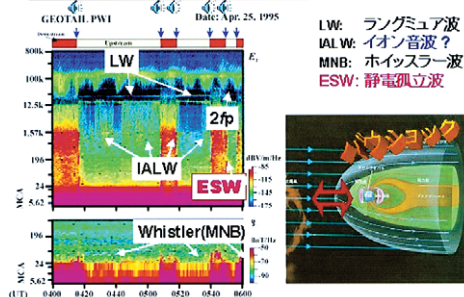
スーパーコンピュータでどんなことができるかという二つ目の例をお話します。太陽風が磁気圏にぶつかりますと磁気圏の太陽側の前面に「バウショック」というショックが作

られます。地球は太陽風が猛烈な勢いで走っている川の中のモーターボートみたいなものですから、触先にショックができるのです。それがバウショック、触先のショックです。ジオテイルはこのバウショックを何回もよぎっています。モーターボートの触先周辺の水面というのはすごく荒れているでしょう。同じように地球の前面のショック付近でもプラズマがいっぱい荒れています。そこを衛星が通過しますと、非常に奇妙な波がいっぱい受信されます。それも一瞬のうちにいろいろ変化します。それを頭と簡単な理論で理解することはほとんど不可能です。そこで、コンピュータ実験が役立つのです。

この図はたとえば先ほどから何回も出ていますプラズマ波動のダイナミックスpekトル図です。真っ赤になった強い波動が突然に現れ、また突然に消えます。それが繰り返されていますね。バウショックのところを通過するたびに、こんなふうにより多彩で強い波が出ます。ドーン、ドーン、ドーン……。これはジオテイルがバウショックに遭遇したときを音で表現したものです。漫画風に音を入ただけですから、本当はこんな音はしません。この時間スケールでは衛星は実質的にほとんど空間的にじっとしているはずなのに、なぜ次々とショックに衛星が遭遇するのでしょうか。実はこのショックの前面が前後に動いているからなんですね。太陽風はそんなにゆったりと静かに流れている大河ではありません。猛烈に変動している激流みたいなもので、先ほど両先生がお話しになったように、地球の磁場と太陽風の圧力とのせめぎ合いをやって、ショックの位置は絶えず変動しているのです。

観測してみますとショック付近で観測されるプラズマ波の波形は、千分の1秒（ミリセカンド）で非常に早く変動しています。この図の横軸はたったの20ミリセカンドです。こんな連続波形が受かっているかと思うと、突然に先ほどの心電図のようなパルス波形を受かります。その間、たったの50分の1秒です。

バウショック付近のプラズマ波

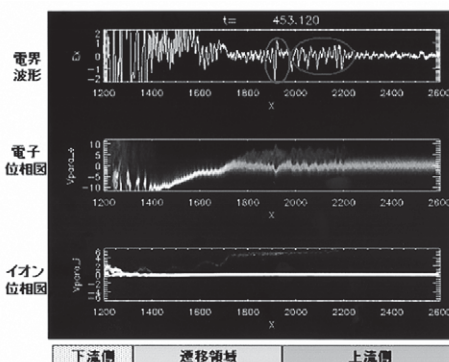


GEOTAILによって観測された地球磁気圏のバウショック近傍のプラズマ波観測

実に高速に変化します。次々に変化するのはなぜだろうということを理解したくなりますよね。それはプラズマの素過程そのもので、磁気圏物理学を研究する上で非常に重要な問題なわけです。太陽風と磁気圏のせめぎあいの際、衝突のほとんどない状態で運動量を交換する役割はプラズマ波が担うからです。つまりバウショックの周辺で起こるマイクロな物理現象を解析し、観測結果を説明するモデルを構築することがこの場合のシミュレーションの役割です。では、そういうシミュレーションの結果をご紹介します。

この図では、バウショックが先ほどの絵とは左右逆さまに向いています。右側に太陽があり、太陽風は右側から吹き込んでいます。この四角の部分拡大してシミュレーションをやってみます。右から太陽風が入って来て、順次ショックの上流側、遷移領域、下流側が形成されます。上流側から太陽風プラズマとして電子とイオンが同じ速度で走ってきますが、バウショックの遷移領域で一部のイオンが上流側にはね返されます。一方、電子は逆に下流側に向けて加速を受け、遷移領域で速度がビューッと早くなります。そして下流側に到着した電子群は突然に速度空間で広がりを見せます。これは電子が熱くなることを意味しています。

ここで、波動の電界成分を表す一番上のパネルを見てほしいのですが、電界成分は時間的に非常に早く変化していますね。計算機実



バウショックのプラズマ波発生メカニズムを明らかにした計算機シミュレーションの例

験の結果をアニメーションで見せますから、よく見ていてください。一瞬のうちに先ほどのパルス波形が出てきますからね。いいですか。「……はい、今 出ました。」そしてすぐに消え去って連続波形に変わってしまいましたね。鴨長明の方丈記の泡沫（うたかた）のようなもので、流れに浮かぶ泡沫はかつ消え、かつ結び……というわけですね。一瞬のうちに次々に波形が変化する過渡現象が起こります。それをもう一度、アニメーションで見ましょう。いちばん上の電界の波形変化と電子ビームの変化とを注意深く見てください。上から二番目のパネルが電子ビームの速度変化を表しています。ほら、電子ビームがここで渦を巻いていますね。その渦巻きが大きくなった瞬間に、パッと孤立波形が出ました。非常に過渡的、刹那的です。また連続波形に戻りました。しばらくすると、ほら、また孤立波が一瞬出ますね。

その物理機構は、計算機実験をやりますとよくわかります。まず太陽風からのイオンがショックの前面ではね返されます。その結果、反対向きに走るイオンができます。反射イオンビームです。反射イオンがあるとビーム不安定性が起こり、不安定になりプラズマ波を作るんです。ここがそうです。こういうプラズマ波をイオンのビームモードとわれわれは呼ぶことにしました。従来はイオン音波「的」波動とあいまいに呼ばれてお

り、その実態がよく解明されていなかったからです。同じく反射イオンは遷移領域では電磁波に近い性格を持った遅波Xモードも作ります。それからホイッスラー波という磁場成分の強い電磁波も出ます。このホイッスラー波はプラズマ中ではもっともポピュラーな電磁波です。なぜホイッスラーと名前がついたかという、もともと雷の放電現象の際に放出される電磁パルスが地上付近から上空の電離層を突き抜け、地球の磁力線に沿って磁気圏内部を伝播し、反対半球に到達したとき、口笛を吹くみたいな高い音から低い音へと変化するヒューウツという音がするためにこんな名前がついたのです。宇宙プラズマの中ではホイッスラーは非常にポピュラーな電磁波です。このシミュレーションに現れたような磁力線をよぎりながら斜めに伝播するホイッスラー波は電場成分を持っていますから、その平均電場成分で電子を加速します。電子加速はショックの遷移領域で生ずるイオンと電子の運動の差異で発生する静電的なポテンシャルによって起こると考えられてきましたが、私たちの計算機実験で明らかになったことは、それ以外にホイッスラー波の静電界成分の時間平均で残る直流電界でも加速されるということがわかりました。その結果、先ほど言いましたように電子は加速されます。一方のイオンは重いので加速を受けずにほとんど走れないので、電子とイオンの速度差ができます。電子とイオンが違った速さで運動すれば、結果として電流が流れます。すると、プラズマはすごく不安定になり、非常に強いイオン音波が発生されるのです。イオン音波ができると、音波によって電子がユサユサ揺られますから、加熱されることになり熱い電子ができます。このようにシミュレーションを行ってみて初めて観測された事実が、絡み合った糸をほぐすように、次第にその実態が明らかにされてゆきました。バウショック付近の複雑なプラズマ力学が計算機シミュレーションのお陰でずいぶんわれわれの考えを助けてくれ、物理を理解できるようになりました。数十億

円から100億円もかけて得られた貴重な、そして高価な科学衛星のデータを生かす上で計算機実験は、大変役立っていることがわかりただけたと思います。

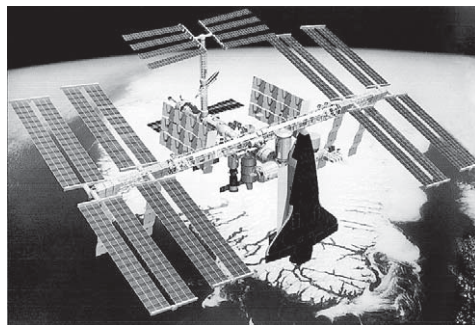
そう言いますと、コンピュータの中で宇宙空間が再現できるのなら、人工衛星などは上げなくていいでしょうと考える人も現れます。それは違います。そうはいかないのです。スーパーコンピュータというのは速そうでも、まだまだ実際の観測に対応する大きな空間の中で起こっている複雑な現象をすべてシミュレーションで再現するにはあまりにも遅く、メモリーも小さいのです。名古屋大学のST研究所や総務省の通信総合研究所でも大きなMHD（電磁流体）シミュレーションを実行しておられます。そのほかにもいろいろな人がいろいろな方法で宇宙現象のシミュレーションを行っていますが、メモリー制限とかスピード制限で、再現できるのはまだ宇宙のほんの一部なのです。それでも、20年前の時代に比べると驚くほどこの研究分野は進歩しました。

ところで、この図の中の難しい顔をしたおじさんは私のつもりです。20年前を思い起こして昔の写真を持ってきました。こんな風に若い私を見つけることができます。実は私は故大林辰蔵先生に校長をお願いして、現在の核融合科学研究所の佐藤哲也教授などと、米国のUCLA大学のAbdalla教授、フランスのGendrin博士などと一緒に計算機実験の国際学校を作りました。20年も前のことです。ISSS（アイエスエスエス）と舌をかみそうな、International School for Space Simulation、つまり宇宙空間の現象をスーパーコンピュータでシミュレーションをやるために計算機ソフトウェアと関係する宇宙空間物理学を教える国際学校を作ったわけです。スパコンがまだあまり速くない時代からわれわれは取り組んできたのですが、そういうもので現在、宇宙プラズマシミュレーション研究を第一線で行っている研究者を育ててきました。日本も結構やるじゃないかと評価され

たわけです。もうすでに7回ぐらい、国際的にいろいろな場所でやっています。先日もドイツのミュンヘンでやってまいりましたし、京都でそのうち3回開催しています。

たとえば宇宙にはまだまだわからないことがあります。これは本当です。われわれ研究者はわかったようなことを言いますけれども、実態はなかなか難しくてわからないところがまだまだ残っています。太陽のことはもちろん太陽物理学者はずいぶん研究していますが、完全にわかったわけではありません。それからオーロラはいま上出先生がおっしゃいました。あの複雑な波形を見て全部説明できるかといったら、なかなかできません。しかしそれを理解したい。もちろん根本原因はだいたいわかっているという話は先ほどされました。それから地球磁気圏の周辺のことで残された問題はたくさんあります。

宇宙科学、宇宙プラズマ物理学以外にも計算機シミュレーションの役割は今後ますます大きくなると思います。たとえば宇宙機器は、これから宇宙にどんどん上がります。宇宙開発も日本は取り組んできましたし、今後はそのスケールもだんだん大がかりになってきます。そういうときにいきなり高い1000億円もするものをポコンと上げて、失敗したというわけにいきませんから、宇宙開発のほうにもスーパーコンピュータを用いたシミュレーションの技術を用いなくてははいけません。開発事業団のほうもシミュレーションのできる人をいまは集めるようになりました。大学ではもちろんそういう研究の基礎作りの役割を



国際宇宙ステーション

しています。たとえば、このアニメーションをみていただきましょう。

「ナレーション：2000年を迎えた人類は、いま宇宙空間に巨大な建造物を作り始めています。国際宇宙ステーション、世界15カ国の協力の下、7兆円という巨費を投じ、2004年の完成を目指しています。その宇宙ステーション建設の技術を生かして宇宙から莫大なクリーンエネルギーを得ようという計画が進んでいます。」

こういう大型の国際ステーションなどのシミュレーションは非常に大規模なシミュレーションをしないとはいけません。われわれがやってきたのは、いろいろな成果があがったといっても、スーパーコンピュータを2台とか3台しか使っていません。100台とか1000台をつないで宇宙シミュレータを作ったとしても、宇宙ステーションを建造するよりははるかに安いのです。そういうものを構築して、宇宙実験と地上のスーパーコンピュータの実験を組み合わせることが重要だと、私は認識しています。

これまではほんの短い時間に西田先生の講演と上出先生の講演で、宇宙空間、科学の一端をご紹介されました。だいたい太陽と地球系の科学の話をされて、私も、スーパーコンピュータで宇宙プラズマ物理学がどのように進んできたかということ話をしました。これらの宇宙科学の大きな原動力は「知りたい、わかりたい」という知的好奇心です。学生さんにしても私どもにしても、なぜだろう、知りたい、わかりたいと思うわけですね。一般に学問のいちばん大きな原動力は知的好奇心なのです。

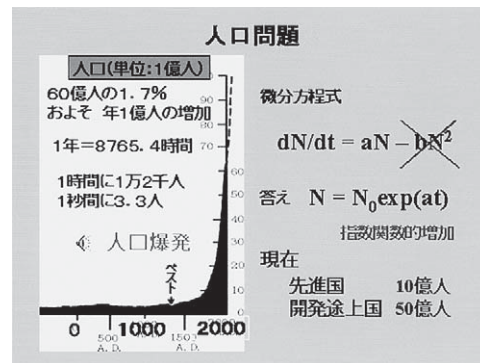
私は先ほど申しましたように理学的研究者であると同時に電子工学者ですので、得られた学術的知識をなんとか実学の世界で使いたい、役立ちたいと考えます。

宇宙空間を調べて、それがわかったというだけでは物足りない、感じるのです。だから身近な宇宙、最初は地球周辺空間、ついで惑星間空間や月や小惑星資源の利用、そして

現在科学的観測計画がNASAやESAや日本の宇宙科学研究所が観測を進めている太陽系惑星などを順次人類が利用できるようにしたい訳です。当面は地球の近傍空間の利用ですが、いずれは太陽系全部を使いたいと思います。

先ほど1000年後に磁場がなくなるという話をされましたけれども、1000年間は宇宙科学は常に実利用の先端を走るでしょう。科学先発隊でわれわれが使うところを調べていかないと、宇宙開発はドン・キホーテになってしまいます。そうならないように科学はいつもやる必要があります。しかし宇宙開拓は宇宙の科学研究にとどまらずに、新しい宇宙文化とか宇宙文明を作るといふ意気込みで、私はやりたいと思っています。賛成される方も反対される方もいるわけですが、太陽系空間の資源とか場所を利用することが、今後日本人にとってとくに重要だろうと思います。

いま宇宙船地球号という言葉をよく耳にしますね。この地球は大変危なっかしい綱渡りをした生き様をしているのだと上出先生がおっしゃいましたけれども、これは何も太陽が荒れて地球が危ないというだけではありません。地球の上で生きている生物全体が、自分たちの増殖で危なくなっています。人間もそうです。そういうことも考えないといけません。日本国は非常に豊かな生活をしています、よく考えてみると小さな島国で、食糧を買って、エネルギーを買って、物を買って人々の豊かな生活が成立しています。買えるからいいのです。買えなくなったらどうなりますか。札束でビンを張っても、買えないという深刻な事態を私たちは考えないといけません。現在日本の食糧自給率は35%しかありません。エネルギーの自給率に至っては15%以下です。ほとんど全部外国に頼っているのです。世界全体が足りなくなったらどこに頼るのかと考えたら、やはり宇宙空間に頼らざるを得ない。こういうことがあるので、うかうかすると日本は滅びるかもしれません。滅びないまでも非常に弱い国になるかもしれません。



地球の人口問題

しかし、世界中が日本をあざけ笑っても、同じことはやがて世界中に起こります。

たとえば人口ですが、皆さんがご存じのようにイエス・キリストが磔になった頃は、世界の人口は数億人しかいなかった。平安の都、京都に都があったころでも、やはり同じくらいの人間しかいなかった。世界全体で数億人です。ところが産業革命からピューッと上がっています。このカーブを近似してみますとほとんど指数関数です。いまは人間がなかなか死にませんから、人口が N として、増える率 dN/dt はそのときの人口に比例するという単純な式になっています。そうすると答えは指数関数になります。まさに実際の世界の人口は指数関数で上がっている。この図では、現在先進国は10億人、途上国に50億人、合計60億になっていますが、実は今年はまだ62億です。指数関数というのはこういう関数です。ピューッとウナギ昇りに上がっています。

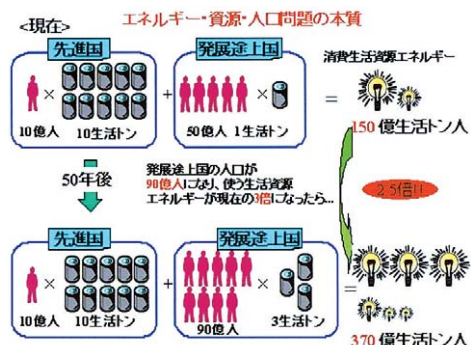
62億人が年率1.7%でまだ現在増えています。しかし、人口はいずれ減るだろう、先進国は減っているのではないかという話をよく耳にします。しかし、それは必ずしも真実ではありません。世界の総計で年間およそ1億人増加しています。1年間は時間に直しますと8765.4時間ですから1時間に換算しますと1万2000人が増えています。1秒間にする、なんと3.3人も増えているんです。いま音楽を流しましたが、人間は地球上で、この

指揮棒の一振りに1人が増えています。つまり人口増というのはすごい。人口爆発というのはまさに適当な言葉で、もう少し大げさに言いますと、人間はゴキブリみたいに増殖していると言っても言い過ぎではないと思います。

しかし人間は一人ひとり尊厳がありますから、食べる権利はあるでしょう。エネルギーも使うでしょう。衣服も着なくてははいけません。そしてそれぞれが豊かな生活をしたいと願いますよね。だから物の必要量は増加の一途を辿らないといけないのです。たとえば石油です。日本の文化もヨーロッパの文化もアメリカの文化も石油に大きく頼っています。地質学者の評価によりますと安い原油は165兆リットルぐらしか残っていません。一升瓶ならわかりますけれど、兆リッターがどのぐらいの量か、誰にもわかりません。簡単にわかる方法はないでしょうか。大きなバケツで測ったら便利で、わかりがいいでしょう。大きいバケツなら富士山を逆さまにすると巨大バケツができます。これで測ったら何杯ぐらい原油が残っているでしょうか？富士山の体積はインターネットで調べると1060兆リットルと書いてあります。そうすると富士山のたったの6分の1しかない。原油はそれだけしか残っていないのです。しかし富士山の体積というのは怪しいもので、コニーデですからずっと裾野があります。あまりバケツとしての役割を果たしませんから、せめて雪の積もった白いところ、つまり2合目から上だけのバケツで測ってみます、それでもなんとたったの2杯分しか原油はありません。

石油というのはものすごい勢いで使われています。日本人はバケツに1.5杯以上を毎日一人ひとりが掻き出しています。アメリカ人はたぶん3杯ぐらい掻き出している。そのぐらいの勢いで使っていますから、なくなるのは当たり前です。三、四十年で大変大きなパニックが来ると思います。それをもう少し考えてみますと、エネルギーとか資源とか人口問題の本質は何かというと、人間が増えてい

るということです。先進国に10億人、途上国にいま50億人います。先進国の生活水準は、途上国のおよそ10倍です。10倍豊かな生活を、われわれはしています。生活に必要な消費財、エネルギーとか食べ物、衣服、いろいろなものをひっくるめて「生活トン」という単位を使って表してみましよう。ここでは発展途上国の平均の生活水準に必要な「生活トン」を1生活トンとします。そうすると全世界で必要な物資、エネルギー、食糧などの総



エネルギー・資源・人口問題と危機の本質

計は、「10億人×10生活トン」プラス「50億人×1生活トン」で150億生活トン・人になりますね。全地球で、現在150億生活トン・人の物資、エネルギー、食糧が、何らかのかたちで回っていることになります。これでこの地球上の人類の生活が成り立っています。50年たったら、発展途上国の人々は90億人になります。先進国は人口も生活水準もそんなに増えませんが、途上国の生活水準もいまのままということはありません。中国大陆に行かれた方がいると思いますが、私が20年ぐらい前に行ったときには、私が子供の頃の日本人の生活水準と同じぐらいと感じ、大変懐かしい思いをしたことを覚えています。いま行ったらもう人民服を着ている人はほとんどいなくて、われわれと変わらない背広を着ています。テレビに映る中国の要人も、昔は人民服を着ていましたけれど、いまは背広です。あれは沿岸部だけでしょうけれど、文化レベルがグッと上がっている。ですから50年もた

てば全土の平均生活水準は低く見積もっても、3倍ぐらいに上がるだろうということは想像できます。そうしますと3倍の生活水準で90億人になったら、全世界で必要となる物資、エネルギー、食糧は370億生活トン人に達し、現在の2.5倍も必要になります。150%も50年間でわれわれは増やせられるでしょうか？

いまでも地球環境問題で「いかんいかん」ということはいっぱい言われていますが、もっとも深刻な問題、つまり絶対的な物、エネルギー、食糧の不足には全くと言っていいほど楽天的すぎます。では、どうするか。われわれのようにいい生活をしているところは、いつまでもいい生活をする、途上国はできるだけ伸びないでおいてくれ。そういうことが言えますかという話です。南北問題というやつです。これは非常に難しいと、私は思います。日本人もいずれ決心しないといけません。

日本は先ほど言ったように、いろいろなものを輸入に頼っています。たとえば石油もいっぱい輸入しています。この間もサウジアラビアでアラ石が長期契約を断られました。インドネシアからも石油を15%輸入していますが、15年前にスポット契約しかしませんでした、日本は言われてしまいました。つまり札束でビンタ張っても売ってもらえない。そういうことが次々に起こると思います。そうすると日本は非常に苦しいのですが、いま言いましたように世界中がそうなりますから、結局今手に入れている場所以外のどこかに資源とかエネルギーを求めないといけないだろうと思います。

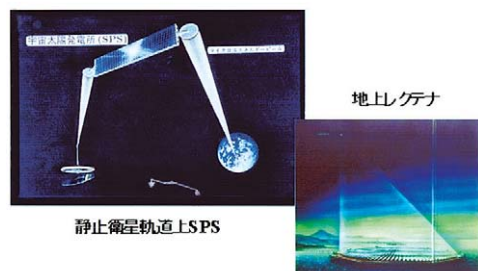
あるいは人間を増やさないようにしようという意見もあります。これは非常に難しい。途上国の人は人口を労働力や戦力だと思いますから、しばらくはなかなか難しい。アメリカだって人口は増えます。いま2億5000万人しかいませんが、100年後に3億5000万になるという推計もあります。ヨーロッパ諸国はいずれ減るだろうと思っているかもしれませんが、人口が減るのは日本とドイツとイタ

リア、聞いたことのある国です。(笑)それからロシア圏です。これは経済戦争に負けましたよね。なんらかの形で戦争に敗れた国の人口は減るのでしょうか？ほかはみんな、先進国といえどもその人口は増えます。

ここで何とかしなくては、日本は人口は減るわ、労働力はなくなるわ、資源は入ってこないわ、などの長期的下落傾向で、私たちの未来は決して明るくはありません。そこで、先取りできる科学技術で孫子の時代を明るくしたいと思うわけです。せっかく宇宙科学が世界の先端を走っているわけですから、それを技術に生かそう。地球上の人類の生活は今工夫と決意をしなければ無茶苦茶になると私は思います。ちょうどその時期にロケットも進歩し、科学衛星の知識も得て、宇宙空間というものがわかってきたので、それを利用しようと思います。まずエネルギー問題は太陽発電所が今日のテーマになっています。太陽は無料のエネルギー源です。しかもクリーンです。炭酸ガスも出しません。

「ナレーション：宇宙太陽光発電所（SPS）、高度3万6000キロの静止軌道に縦5キロ、横10キロの巨大発電所を建設すると、出力は一般的な原子力発電所10基分の1000万キロワット。これをマイクロ波で地球に送電すると、半分がロスになって500万キロワットが利用できます。地上側のマイクロ波受信施設は数キロ四方の巨大な面積が必要になりますが、だれもが疑問に思うマイクロ波の影響は、携帯電話の電波並みの強さだそうです。」

宇宙太陽発電システムのイメージ



宇宙太陽発電所 (SPS) の概念図

そういうことでマイクロ波を使って電気エネルギーを宇宙から持って帰ろうというわけです。太陽光はそのまま地上で使っていますが、太陽電池を地上に並べますと昼間しか使えません。日本の晴天率は30%ぐらいです。そのほか諸々の要因を考えますと、10倍ぐらい宇宙で太陽電池を使う方が有利です。宇宙空間に太陽電池を広げたら、24時間、365日、現実には1年間に春分と秋分をはさんで一日に最大68分ぐらい、真夜中に発電できない時期が40日ぐらいありますが、それ以外は四六時中発電してくれます。それを利用すれば領土も領海も小さい日本でも、技術だけで十分たくさんエネルギーを入手できるのです。

ところがマイクロ波ビームでエネルギーが宇宙から降りてきたら、ビームの中に入った鳥たちが焼き鳥になって落ちてきませんか、飛行機は落ちませんか、とか電子レンジのイメージで人々だって危ないんじゃないかという心配をなさるむきもおられます。そういうことは断じてありません。そんなに強い電波では送りません。マイクロ波に限りませんが、電波の安全基準は各国でちゃんと検討されています。日本の郵政省、いまは総務省ですが、1平方センチメートルあたり1ミリワット以下にしないと決めていますし、米国の標準機構ANSIは日本よりもちょっと強い1平方センチメートルあたり1.6ミリワット以下ならよろしいと決めています。ヨーロッパでは日本とほぼ同じ、1ミリワット／平方センチメートルまでよろしいとしています。これはどういう基準で計算をしているかというと、人間は1人100ワットぐらいの発熱体です。その熱放出ができる以上にエネルギーが入ってくると、人間というのは体温を維持できなくなります。そういうことを考えて、さらに安全率を100倍ぐらい掛けて今述べた安全基準が決まっています。さらにマイクロ波は周波数が高いために、表皮効果で体の奥には電磁界は入りません。ですから専門家の結論は、防護指針以下であればマイクロ波でエネ

ルギーを送っても問題はまったくないということになっています。ですからイメージとしては太陽電池を大きく宇宙で広げ、それをマイクロ波に変換して、マイクロ波ビームで地上にエネルギーを降ろして、地上に広げたマイクロ波受電アンテナ基地で電気に戻すということを考えています。これが宇宙太陽発電所、SPSの基本概念です。地上の受電にはアンテナと整流素子を組み合わせたレクテナという整流アンテナを幅2～3キロメートル、奥行き3～4キロメートルぐらいの広い場所が必要です。その場所をいろいろ選定しないといけません、たとえば沿岸部の大陸棚、あるいは潰れたゴルフ場のような遊休地を考えています。また、別の考え方として沖の鳥島のような日本最南端国土の無人島におろして、そこで電気を使って水を電気分解して水素をえて、エネルギー源にするということも検討しています。

SPSの特徴は、まず太陽エネルギーがただであることです。太陽エネルギーは無尽蔵です。太陽が死滅すれば、われわれも死ぬわけですが、それまでは大丈夫です。しかも、発電衛星で一挙にかなりの発電が可能ですので安定して大量のエネルギーが得られます。地上太陽電池発電は、家々の屋根などに設置して家庭用には使えますけれども、なかなか大規模な地上太陽発電はむづかしいのです。また、風力発電や地熱発電でも安定供給できて、しかも大量発電はできません。つまり基幹エネルギー源にならない。SPSですと原子力発電とか火力発電と同等、もしくは同等以上の電力を安定供給することができます。さらに、大きな特徴としては、火力発電のように石油・石炭・天然ガスを必要としないので今、大問題になってきている地球温暖化ガスの炭酸ガスはまったく出しません。つまり、無公害なクリーンエネルギー源というのです。また、既存の技術の延長線上で建造が可能なことも特徴です。核融合発電の研究も頑張っておられますが、既存の技術でできるという断言はまだできません。是非成功してほしいと

はと思いますが、既存技術の延長線上というわけにはゆきません。

それから無線エネルギー伝送の技術は、すでに開発がずいぶん進んでいます。私ももその一翼を担ってやってきました。今からもうかれこれ27年前になるでしょうか、私が米国のNASAエームズ研究所で、カニ星雲からのX線発生機構を研究したところに、アメリカがSPSの概念設計研究を進めていました。横目でこれはおもしろい、さすがにアメリカの

われわれは実験ができなかった。それで3回目にわれわれはロケットを全部もらって成功しました。世界で最初にわれわれがやったということが今の若い人たちの頑張るバネになっています。当時のビデオをお見せしましょう。



MINIX後のテレビ出演 (TBS ザ・センサー)

マイクロ波エネルギー伝送の歴史(1)

1864	マックスウェルによる電磁波の存在の予言	●
1888	ヘルツによる電波の証明実験	■
1901	マルコーニによる無線通信の大西洋横断	■
1904	テスラによる無線電力伝送実験(150kHz, 1MW)	■
1940頃	日本軍によるマグネトロンの研究	■
1968	模型ヘリコプターへの送電実験(アメリカ)	●
	SPS概念の提唱(P.E. Glaser)	■
1975	30kW電力の地上2地点間無線電力伝送実験(アメリカ)	■
1978-80	SPSの詳細な調査研究と概念設計(NASA/DOE、アメリカ)	■
1983	電離層中でのマイクロ波送電ロケット実験MINIX(日本)	●
1987	マイクロ波給電(1kWパラボラ)飛行機実験SHARP(カナダ)	■
1992	マイクロ波給電 フェイズドアレイ飛行機実験ILLAX(日本)	●
1993	電離層中でのマイクロ波送電ロケット実験ISY-METS(日本)	●

やることはでかいなと思って帰ってきたのです。それで日本の宇宙科学研究所にお世話になりましてマイクロ波送電と関連するプラズマ物理のロケット実験をやってやろうと思って提案をさせてもらいました。2度失敗が続き、3年を無駄にしました。やっと3回目に成功しましたが、それでも世界で最初のマイクロ波送電の宇宙実験だったのです。1回目は私どものチョンボで失敗しました。2回目は宇宙研のほかの実験装置がしくじって、わ

「楠田 (VTR) こんにちは、楠田枝里子です。文部省の宇宙科学研究所で先月の末に行われたばかりの実験をご覧いただきました。今日の「ザ・センサー」は夢の宇宙発電についてお送りしようと思います。スタジオにお越しただいておりますのは京都大学超高層電波研究センターの松本紘さんです。」

(松本 20年前の私です。若いですね (笑い))

楠田 (VTR) どうぞよろしくお願いいたします。宇宙太陽発電といいますが、巨大な太陽電池を宇宙空間に持ち上げて、そこで蓄えた電気を地球に送ろうというものなのですね。

松本 (VTR) そう考えられています。

楠田 (VTR) そのような大変な規模になりますと、国際的にプロジェクトを組む必要も出てきますね。

松本 (VTR) これは当然国際プロジェクトになると思います。このような国際共同プロジェクトが始まりますと、日本がそれに参加して、大きな貢献をしなくてははいけない。そのためにはいまから少しずつ実験を積み重ねて、そのときにわが国が参加していけると



MINIXロケット実験の概念図

いうことをしなくてははいけないと考えました。そういう目的で今回のロケット実験は第一歩を踏み出すという意味で始めたわけです。

楠田（VTR）それで8月29日の実験になったわけですが、こういった宇宙太陽発電に関係するロケット実験というのは世界でも例のない、初めての試みだそうですね。

松本（VTR）宇宙空間でこういう実験をしたのは初めてだと考えています。

楠田（VTR）どういった目的で打ち上げられたのでしょうか。

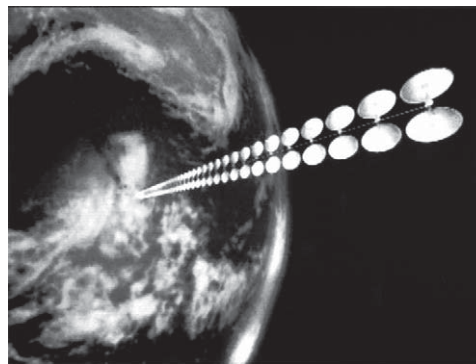
松本（VTR）SPS、宇宙太陽発電を実現するためにはいくつか解決しなくてははいけない問題があります。私たちはその中でもマイクロ波を使った無線エネルギー伝送という点に着目しました。」

これがきっかけで、私はマイクロ波エネルギー送電の研究を始め、ジオテイル観測や宇宙プラズマの計算機シミュレーション研究と平行して、次々と新しい技術開発などを進めてきました。具体的な話はあとでしましょう。さらに私たち京都大学だけでなく、宇宙科学研究所の長友教授のグループや他大学の個々の研究者たちもSPS関連の研究をすすめました。一方、アメリカはSPSのアイデアを出し、概念設計研究をただけで、全然具体的実験や研究はやらなかったわけです。過去20年以上、アメリカという巨人が眠っている間に日本ばかりがいろいろマイクロ波送電の基礎実験を地道にやってきたんですね。最近のアメリカはそれを見ていて、やはり世界ナンバーワンでないとはいけないと思っている国ですし、科学技術も米国の政策としての位置付けがしっかりしていますから、1996年からSPSフレッシュルック研究というプログラムを立てました。

基礎実験から始めるのに最初そろっとNASAが1億円の予算要求をしたら、上院議員が、なに？ほかの国に負けている？それはいけません。金をつけましょう（笑）と要求額の3倍、3億円がついたのです。日本では

1億円の予算要求をしたら、たぶん5000万円ぐらいしかつかない。それに気をよくして、このグループはその次の年に5億円を要求した。なかなか調子いいですね。そうしたら18億円ついた（笑）。アメリカという国は、こういうことが起こるのですね。とにかく追い越されるのは気に入らない。私どもは必死で逃げているわけですが、日本というのはなかなか金が見つからない。京大でも今まで数億円くらいの金をもらいましたけれど、20年間努力してもそんなのはふっ飛んでしまう恐れがあります。そういう意味でアメリカはこんなことになっています。ビデオを見てみましょう。

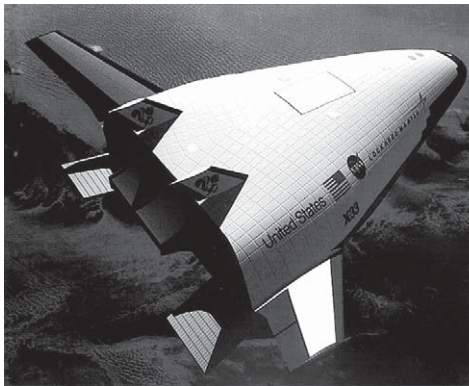
「ナレーション：NASAが一昨年10月にまとめた新たなプロジェクト、直径50～60メートルの樹脂製の膜をいくつも重ねたサントワーです。円形の膜が集光レンズとなり、太陽光を屈折させ、中心部の太陽電池に光を集める仕組みです。これ一つで2000キロワット、50個重ねれば10万キロワットにもなります。得られた電力はマイクロ波に変換されて地上に送られ、さらに交流電流となって各家庭に送られます。このサントワーの最大の特徴は、発電を続けながら同時に規模をいくらかでも大きくしていける点です。宇宙空間に運ばれた建設資材はロボットを用いて組み上げられていきます。その後、資材を順次運搬することでいくらかでも数を増やしていくことが可能です。」



サントワーモデル（TBS「宇宙船地球号」より）

SPSを打ち上げるためのロケットのほうも、アメリカもいろいろ考えています。

「ナレーション：建設費で大きな部分を占めるのが、宇宙への資材の運搬費です。そこでコスト削減のため期待されているロケットがX-33です。エアロスパイクエンジンという新型エンジンを積み、補助ロケットなしに何回も宇宙と往復可能で、今年にも試験フライトが行われる予定です。これが実用化されれば、運搬コストは約10分の1に抑えられます。さらに進んだロケットがこのArgus、離陸にはリニアモーターとジェットエンジンを使い、上空で初めてロケットエンジンを点火させ、軌道上へ運びます。実現すれば運搬コストを100分の1にという目標も夢ではありません。」



X-33ロケット (提供：NASA)

アメリカは先ほど、X-33の予算を打ち切りました。これは第三世代のロケットということで打ち切ったのです。打ち切った理由は、第四世代のロケット開発をやらなければいけない。10分の1では駄目だ。100分の1にコストを抑えないと駄目だという強い考えがあって、10分の1のものは民間で競争してくれということですね。民間はずいぶん投資をしてきましたから、研究を続けると思います。100分の1ぐらいになったら、太陽発電衛星みたいな重たい、何万トンのものも非常に安く上がるようになります。それは何を意味す

るかということ、宇宙が一般の国民にも非常に近くなるということです。誰でも宇宙へ気軽に行けるようになることを意味します。

われわれは宇宙飛行士というと、特別の訓練をした特殊な人という目で見ます。しかし実際には去年、アメリカの大富豪がちょっと訓練して、何億円か払って宇宙へ行きましたよね。その前にもTBSの秋山豊寛さんがちょっとだけトレーニングを受けて宇宙へ行きました。だから腹さえくれば、つまり、失敗の際には死んでもいいと思ったら、わりあい簡単に行けます。私は学生に、宇宙飛行士に応募しろといつも言うのですが、卒業生の中に実際に何人かは応募しています。しかし、残念ながら落ちています。(笑)。いちばん優秀な人で、3回目で最後の10人くらい候補の中に残った。しかし目に網膜の傷があって駄目だと言われたと言っていました。何がいかということ、宇宙飛行士はもう六、七人いますからあまり意味がないかもしれませんが、まだ幸いみんな生きています。最初に頑張って新しい仕事をして、事故で死んだら名前が歴史に残る。だから行けと言っているのですが、(笑)とにかく最初というのはいいことです。

SPSの研究も同じことです。アメリカは電源やエネルギー源がいっぱいあり、石油の備蓄もきちっとしています。それでもSPSのような新しいエネルギー源の研究開発をしようとしています。日本は電源のすごく乏しい国で、あらゆるエネルギーを外国に頼っています。つまり、エネルギーや食糧などの国民生活の安全保障に関して、首根っこを諸外国に抑えつけられている国です。だから日本こそが、SPSのような新しい研究開発を率先してやらないといけなく、私は強く信じています。日本では、実際の実験などの研究開発ではありませんが、いろいろな役所や関連団体がSPSの調査研究活動を数多く行なってきました。この図はそれを示しています。

現在は文部科学省傘下のNASDAが研究検討委員会を作って検討を進めています。私は

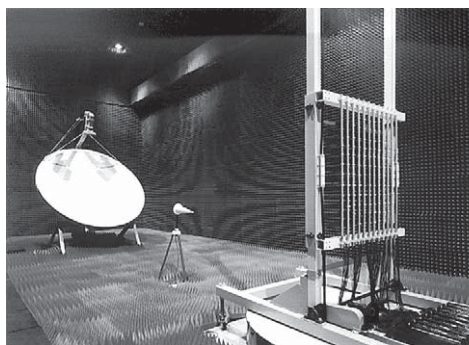
その委員長を務めています。経済産業省もエネルギー業や宇宙産業に責任がありますから、やや遅れてUSEFという団体でSPS調査研究委員会を作って検討を進めています。そちらでも同じようなグループで検討を進めています。私はそちらにも参加しています。

マイクロ波エネルギー伝送の歴史(2)

1983	電線屋中でのマイクロ波送電ロケット実験MINIX (世界初)	●
1987	マイクロ波飛行機実験SHARP (1kW・A ² 棒状アンテナ)	●
1992	マイクロ波給電飛行機実験MILAX (アクティブフェイズドアレイ方式)	●
1993	マイクロ波送電ロケット実験ISY-METS	●
1994-95	5kW電力の地上2点間無線電力伝送実験	●
1996	リトロディレクティブマイクロ波送電システムの開発	●
1994	METLAB導入(京大)	●
1995-97	SPSのフラッシュ・ルックスタディ(NASA、アメリカ)	●
1998	文部科学省(NASDA) SPS 検討委員会	●
2000	経済産業省 SPS 検討委員会	●
2001-02	SPORTS(京大), SPRITZ (京大・NASDA)実験装置完成	●

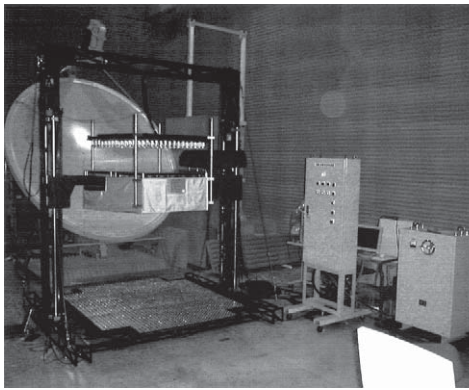
一方、大学では基礎研究として実験や開発を進めてきました。私ども京都大学が中心となって、宇宙科学研究所のロケットで世界初の宇宙空間でマイクロ波送電の実験を1983

年に成功して以来、この図の日の丸の旗に示しますように、マイクロ波エネルギー伝送の研究ではアメリカをリードしてきました。細かいことは時間がないから言いませんが、マイクロ波の送電技術を使いますと無燃料の飛行機を飛ばせることができるということをデモンストレーションするためにMILAXと呼ぶ実験とか、マイクロ波エネルギービームの制御技術などに関して基礎開発実験を行いました。最近では、京都大学に世界でただ一つのマイクロ波エネルギー伝送実験設備であるMETLAB (Microwave Energy Transmission LABoratory) を1996年に導入しま



京都大学マイクロ波エネルギー伝送実験装置 (METLAB)

した。さらに、ここ2年間では太陽光で発電して、METLABの中でマイクロ波に変換し、アンテナから送電して、大型レクテナで受電し、直流電力に戻してキロワット級の電力を得るシステムを作っています。2.45GHzのマイクロ波を使う「SPRORTS2.45」と5.8GHzの、マイクロ波を使う「SPORTS5.8」というシステムです。SPORTS (スポーツ) というのは Solar POver Radio Transmission Systemの頭文字をとったものです。また、SPSの重要要素を市民にわかってもらえるデモ機としてNASDAと協力してSPRITS (スプリッツ) というのを作りました。これはSPRITSの写真です。METLABの中に持ち込んで実験したのですが、一番上が擬似太陽光源です。SPRITZの上面に太陽電池が張っており、そのすぐ下に太陽電池の直流出力を



SPRITZマイクロ波送受電ユニット

5.8GHzのマイクロ波に変換する装置が入っています。さらに装置の下面にアレイアンテナがあり、電波を下向きに打ちます。ここまでは宇宙に浮かぶSPSに相当し、床面のレクテナが地球上の受電所にあたります。宇宙太陽発電所と見立てたSPRITZからビームが降ります。このビームが自由自在に動き回ります。コンピュータで制御してマイクロ波ビームをどこへでも動かすことができます。ただし出力は5ワットです。これはどこへ持っていてもデモできないといけませんから、出力を絞っているわけです。

最近新聞でもご覧になった方は多いと思いますが、このSPRITSを公開したときに、朝日新聞や英文読売新聞などいろいろな新聞でとりあげられました。また、最近ではまた朝日新聞夕刊の科学欄で取り上げていましたが、いろいろな新聞で少しずつ世の中が宇宙太陽発電ということに対して関心を持ち始めたという気がしています。20年かかりましたね。しかし、国としてやると決まったわけでもありません。関係者が少しずつ予算をお取りになって、われわれ大学人が長年やってきた基礎研究の成果を使っていただきたいと思っています。

将来の展望をお話しします。今世紀は将来への布石として、国民にとって必要な新産業創出という観点からSPSを基盤技術ととらえないといけないと思っています。宇宙は人類

にとって陸海空に続く第4の領域ですから、戦略的インフラと位置づけて、それをやらないといけない。純粋科学は非常に重要ですが、純粋科学だけでは駄目で、やはり得られた知識を生かして、新しいインフラや技術を開発するというのが、われわれ工学者の希望です。しかも国際競争力を持たないといけない。日本の宇宙科学は国際競争力がものすごくあります。一流の成果をわれわれは出しています。私もその宇宙科学者集団の端くれに座っていますが、それ以外に宇宙技術でもそういえないといけないと思っています。そうでないとすぐにアメリカが、人工衛星を上げるのだったらうちのを使ってちょうだい。いわゆるスーパー301を振りかざして、すでに商業化しているものは国が応援してはいけませんと追ってきました。その結果通信衛星はいまほとんど全部アメリカの企業に取られています。だから非常にわれわれは腹立たしい。宇宙産業が育たない。スーパー301を持ってくるのだったら、日本はウルトラ103というのを作ってくれ。(笑)それで対外交渉をやってくれと、僕らはいつも言っているのですが、いろいろな産業のバランスがあります。車が売れなくなったら困るとか、日本の国防力は弱いからアメリカに守ってもらわなければいけないとか、弱みをいっぱい持っていますから、つい腰砕けになる。こんなことを言うと怒られるかもしれませんが、そんな印象を私は持っています。

ですから太陽系の中にエネルギー基地を作ることが、私の究極の目的でも何でもありません。ほんのワンステップでありまして、究極の目的は人類が争うことなく、宇宙に展開して繁栄できるようにすることです。宇宙科学の研究をやっているのはそこを使いたいから、まずそこを理解したい。理解を十分した上で、そこを利用してゆくというシナリオです。SPSに関しても、宇宙プラズマ科学者にとってもやるべき研究テーマはまだたくさんあります。SPSのような巨大な構造物を宇宙に上げたらいろいろなことが起こります。

地球磁場をよぎることで、両端に高電圧が発生し放電しないようにプラズマ対策も必要です。大規模なオーロラ電流が流れたらどうなるかとか。静止軌道に上げたら、ときどき磁気嵐があり、磁気圏が荒れその影響を受けます。どうなりますか。大型の電気推進ロケットから排出される重イオンが磁気圏をどう変えますか？そういう研究をSPS開発と一緒に進めていかないといけないと思っています。

予測では、地球周辺には1000年間いろいろ人口建造物が上がるでしょう。この図にあるようにすでにたくさん上がっています。通信衛星、気象衛星、放送衛星、資源探査衛星などがそうです。ところで資源探査衛星なんて、よその国の資源探査をするわけです。ここにあるよ、あそこにあるよというデータをみんなただで公開しています。それはお人好しいところですよ。公開するのだったら、見つかったら日本に採掘権なり購買の優先権を認めてちょうだいよと言ってからデータを公開しないと、国民の税金で見つけておいて、どこの国でも勝手に使っていていいですよ、というのは愚の骨頂だといつも思っています。戦略的に宇宙開発をとらえるべきです。

それからデータリレー衛星、それから宇宙観光というのは100年もかからないうちに行われると思います。それから宇宙都市、宇宙工場というのは狙い目です。宇宙ステーションはもう間もなく上がります。それから太陽発電衛星はこのへんに書いてありますね。このように今後は我が国は、まず地球周辺をそしてやがて太陽系をうまく使わないといけない。日本は領土が非常に狭いわけですから、資源も乏しいわけです。従って、宇宙に投資すべきではないでしょうか。しかし、今はお金持ち日本ですけど、それがなくなってしまううちにこれを実行しなければ手遅れになります。なぜなら、お金だってヘッジファンドなどがワットと値を吊り上げて、個人々がインターネットで株をどんどん買ったとします。彼らはボカンと株価を落とします。落としたときに「売り売り売り」とキーボードを必死

になってたたいでもう遅い。みんなが売りにかかったら、インターネットはすぐパンクします。うまいこと日本人の金を取られます。貯蓄が1400兆円もあるというけれども、700兆円はすでに借金でパアですよ。残る虎の子の700兆円を取られてしまうじゃないですか。だからやはり注意しないとイケない。

だから何で立国するか。どうやってわれわれは生きていくかということを若い世代に伝えないとイケない。宇宙は科学も世界の先端ですし、電子技術もまだ世界の最先端にいるでしょう。ロケット技術はまだまだ世界最先端とはいきませんが、頑張っていますから、やはり太陽発電みたいに大きなものをちゃんと打ち上げるという目標を決めてやらないといけないと私は思っています。

この図に100キロワットの宇宙太陽発電衛星は2010年と書きましたが、実は100キロワットはちょっと難しいと思っています。50キロワットでもいい。アメリカがやる前に日本がやりたいのです。これまでのあらゆる衛星はだいたい二番煎じか三番煎じです。安全運転、安全運転で日本は来ましたから、そのほうが失敗しませんし、いいのですが、諸外国は失敗を覚悟してやってきたわけですよ。エネルギーの分野は日本がいちばん弱いところですから、せめてエネルギーは自国で作るのだから、政府が金を出して開発すると言っても、アメリカはスーパー301を持ち込みませんよね。そういう分野で小さくてもいいから最初にやりたい。いちばん先に唾をつきたいというのが私の希望です。

アメリカは有人火星基地とか言っていますが、有人火星基地はずいぶん金がかかります。そんなことをやるぐらいだったら科学衛星をやったほうが良いという意見はもちろんあります。私はもちろん科学衛星とかエネルギー衛星に注ぎ込んだほうが、有人火星よりはいいと思っています。いまの段階では、火星だったら無人探査ができます。日本にとってはもし、人の行き来をするのだったら、月のほうがまだ実用的ですね。明日は有人火星の委

員会がありますから、そんなことを言ったら怒られますが、私はそういうふうに言っています。

2050年には宇宙の小さい町ができればいい。私はそんなふうに思っています。そうでなければ地球は先ほど危ういというふうに上出先生がおっしゃいましたが、外からも危ういですが、人間活動で中から崩壊する。そういうことは火を見るより明らかなだと思います。それをくい止めるためにも太陽発電衛星ができるといいなと思います。

今言いましたような長期的展望以外に、なぜいま太陽発電衛星が必要かというと、クリーンエネルギーです。地球温暖化対策で日本がはじめられました。100年間いじめられるでしょう。もうすでにいじめられています。京都議定書は、日本がずいぶん煮え湯を飲まされた。90年の排出量よりも6%減らすという約束に近いことをさせられました。アメリカはそのとき8%減らしますと言った。アメリカのほうが8%も減らして、えらいじゃないか。日本はたったの6%だと思いませんか、日本はそれまでにすでにずいぶん努力をやっていた。アメリカは日本ほど努力はやっていなかった。だからアメリカにとって8%は、実質的に日本の4%以下の値です。アメリカの外交使節団が京都議定書で、京都で記者会見をしてボロッと本音を言いましたが、今回の最大の成果は、日本に6%という数字を飲ませたことであると、新聞に出ました。

非常に腹立たしいとは思いましたが、でも、われわれは考えないといけない。1つの温暖化ガス対策を達成しても次々と新しい要求が突きつけられます。一方、途上国に規制をかけない京都プロトコルは有効ではないとしてアメリカは脱落しようとしています。地球全体の問題ですから、それもわからないわけではありません。化石燃料はいずれなくなります。だから電気エネルギーを輸出して、途上国で電気のないところはずいぶんあります。そういうところにSPS電力などでちょっ

とでも応援すれば、日本の立場は強くなって、その代わり食糧を売ってねという話と言えるでしょう。そういうふうを狙えるなと思います。

科学技術立国政策と言って、特定の分野には金を出そうと言います。宇宙は非常に重要だと私は思うのです。エネルギーとか食糧も重要だと思いますが、そういう分野には金は減らしましょう。ほかの新しい分野に回しましょうと言う。そんな愚かなことをしてはいけません。日本というのはエネルギーがあつてなんぼ、食糧があつてなんぼの国ですから、宇宙科学も宇宙技術もちゃんとやらないといけないと思います。それでこそ科学技術立国だと、私は思います。経済的にもずいぶんと日本の産業界は喜ぶ、活気づく。そうするとわれわれは元気が出ます。

それからいずれ最終的には太陽文明を作るということを考えないといけない。100億人というのは、たぶん地球で許容できる限界ではないか。200億という人もいます。100億人というと、あと50年で達成しますから、50年というと、この中の若い人はまだ生きています。ですから何とか考えなければいけない。

最後のビデオです。

ユキエ（VTR）宇宙太陽発電所というのは、先生にとっては最終目標ということになりますか。

松本（VTR）そんなことはありません。こういう研究を始めたきっかけは、このまま行くと地球上の人間生活というのが危ないという危機感が僕の中にあります。つまりどうということかという、地球の環境問題ですね。こういうものを打破するにはどうしたらいいだろうか。これはローマクラブが最初に言ったように、地球が閉鎖型であるために起こる問題です。

ですからそこは発想の転換で、閉鎖型が悪ければ開放型にすればいいじゃないか。われわれは太陽系の中にいるのだから、ちゃんと調べた結果その空間を使って、太陽系の中で人間生活が豊かになるように工夫すればいい

のではない。そうするといま問題になっている地球の環境の問題も、資源の問題も、エネルギーの問題もだいたい解決するのではないかと思います。これを私は、太陽系を食べたいと言っているのです。つまり人間が太陽系をうまく使うことによって共存共栄していくことは可能だろうと思っています。

ユキエ（VTR）そのためには足掛かり、第一歩ということですね。

松本（VTR）第一歩を踏み出す非常にいきっかけだと思います。みんなエネルギー問題は深刻に考えるし、太陽発電衛星は私が死んでからかもしれませんが、もしできれば、それは21世紀のモニュメントとして残ると思います。ちょうどエジプトのピラミッドみたいなものです。これはやはり世界中の人が力を合わせて実現してほしいと思っています。

ユキエ（VTR）それではこの宇宙太陽発電所が現実のものとなれば、人類の寿命は延びると言い切れませんか。

松本（VTR）そういうふう願っています。また、そうなるだろうと思っています。いまあちこちで議論されているのは、100年をどうしようかという話でしょう。その100年の先の紀元3000年まで、30世紀ぐらいまでいけるようなシナリオを立てて、その中に宇宙太陽発電所を位置づけるべきではないかと思っています。

ナレーション：地球の、そして人類の1000年先を見据えて宇宙太陽発電所を作ろうとしている松本さんのお話、いかがでしたかユキエさん。

ユキエ（VTR）食料問題やエネルギー問題などを考えると、私は将来に対してとても強い不安感を抱いていました。しかし今日松本先生のお話を伺って将来に対して少し希望が持てるような気がいたしました。宇宙太陽発電所がぜひ現実のものとなってほしいと思います。それまではとりあえず省エネ、リサイクルに努めましょう。

宇宙科学というのは宇宙開拓の先を走ります。これは非常に重要です。ですから宇宙開

当面1000年間は 太陽系の開拓

そのためには
科学的調査・
学術研究としての
宇宙科学も必要



エネルギー小国の日本は宇宙技術、とくに
宇宙太陽発電所に早急に取り組むべきである。

太陽系の開拓の必要性

発の予算の15%ぐらいは科学に保証すべきだと、私は思っています。とにかく科学は科学で予算要求をする。開発は開発で予算要求をする。そうすると開発が大きくなると科学が縮む。科学が大きくなると開発ができない。そんなことをしては駄目です。両方がちゃんと進み、日本国というものの先行きを考えて、科学技術がフルに使える宇宙空間の技術が発展してほしい。

シミュレーションの話にもう一度、戻りますと、シミュレーションもいろいろ努力してやっていますが、たとえば太陽発電所が静止軌道に上がっても、いざ大きなフレアが来て、あるいは上出先生が言われるように磁場が弱くなる。そこまできたらどうということが起こるのか。これはちゃんとやっておかないといけません。これはプラズマの世界ですから、そういった分野の知識を出せるのはわれわれだけです。つまり宇宙空間科学、つまり太陽系科学の守備範囲です。そういったこともあって、西田先生を筆頭にわれわれも頑張っています。このような基礎科学は大変重要です。しかし基礎科学だけで止まってもいけない。いいバランスが必要なので、できれば宇宙予算全体の15%の基礎科学研究費を保証し、国民に、宇宙は何をやるのかという話を理解していただかないといけない。こんなふうに思います。

以上をもちまして私の話とします。どうもご清聴ありがとうございました。