HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	環境問題と宇宙技術との関わりについて
Author(s)	倉前, 正志
Description	第9回衛生工学シンポジウム（平成13年11月1日（木）-2日（金） 北海道大学学術交流会館） . 3 計画・事例 . 3-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 179-184
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7166
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-3-7_p179-184.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

3－7

環境問題と宇宙技術との関わりについて

倉前　正志（北海道大学）

1　はじめに

21世紀は宇宙の時代であると言われている。かねてから懸案のあった国際宇宙ステーション計画も遅れ馳せながら実現されようとしてきており、また放送衛星・気象衛星等の利用や最近における日本人の有人宇宙飛行等が契機となって、かっては夢の世界であった宇宙というものが現実的でより身近な存在として認識されるようになってきている[8)]。また、一方においては地球環境の破壊や資源・エネルギーの枯渇、人口の増大等人類の存続に関わる問題が深刻化してきており、早急な対応が迫られている。ここではこのような状況に鑑み、地球環境問題・資源エネルギー問題・人口問題などの観点から環境問題と宇宙技術との関わりについて考察しようとするものである。

宇宙技術が環境問題の解決に寄与し得る形態としては次のようなものが考えられる。

(1)　宇宙という位置を利用して地球の環境を観測したり、診断したりすること。
(2)　地球外にある資源を採取したり、効率的に利用したりすること。
(3)　人間の活動圏を地球外に拡大すること。
(4)　宇宙開発によって培われた技術を地球上の環境改善に応用すること。

などである。

これらを実現するための新しい技術として、(1)については人工衛星によるリモートセンシングが代表的である。(2)については宇宙太陽光発電や月面基地におけるヘリウム3の採取などが考えられる。(3)は月面基地の建設やスペースコロニー構想、火星のテラフォーミングなどがある。(4)は宇宙技術のスピンオフとしてたとえばヒートパイプや太陽電池などの技術の応用、人工閉鎖系生命維持システム技術の応用などがある。一方、今後の宇宙開発に対して地上の環境技術が役立つと考えられるものとしては、宇宙ステーションや月面基地の建設技術、宇宙空間における環境制御技術、宇宙服の技術などをあげることができる。図1はこれまでの宇宙開発の歴史をふまえて、今後の環境問題の解決に役立つことが期待される宇宙技術の課題と重要な宇宙インフラストラクチャー、およびこれらの宇宙活動を行なううえで必須な技術との関係について示したものである。

本稿では以上に述べたような環境問題との関わりという観点から見て重要であると考えられる宇宙技術を取り上げ、環境問題のなかでの位置付け、技術開発の現状、今後の可能性と問題点、今後の技術的課題などについて概観する。

2　環境問題に貢献し得る宇宙技術

2.1 リモートセンシングによる地球観測

約1万年前に地球上に芽生え進歩してきた人類の文明は、産業革命以後約200年の間に発展した工業文明により、地球そのものを破壊するまでになってきている。すなわち、CO_2ガスの増加による異常気象の多発、フロンガスによるオゾンホールの発生、砂漠化の拡大など地球規模での環境問題が人類生存の基盤に関わる重要な問題としてクローズアップされてきた。

地球観測の目的は破壊されつつある地球を診断してそれを救うための適切な方策を与えるためのデータを提供することにある。人工衛星によるリモートセンシングは短時間で地球全体をカバーするデータが得られること、長期にわたり継続的に観測が可能であることが特徴であり，

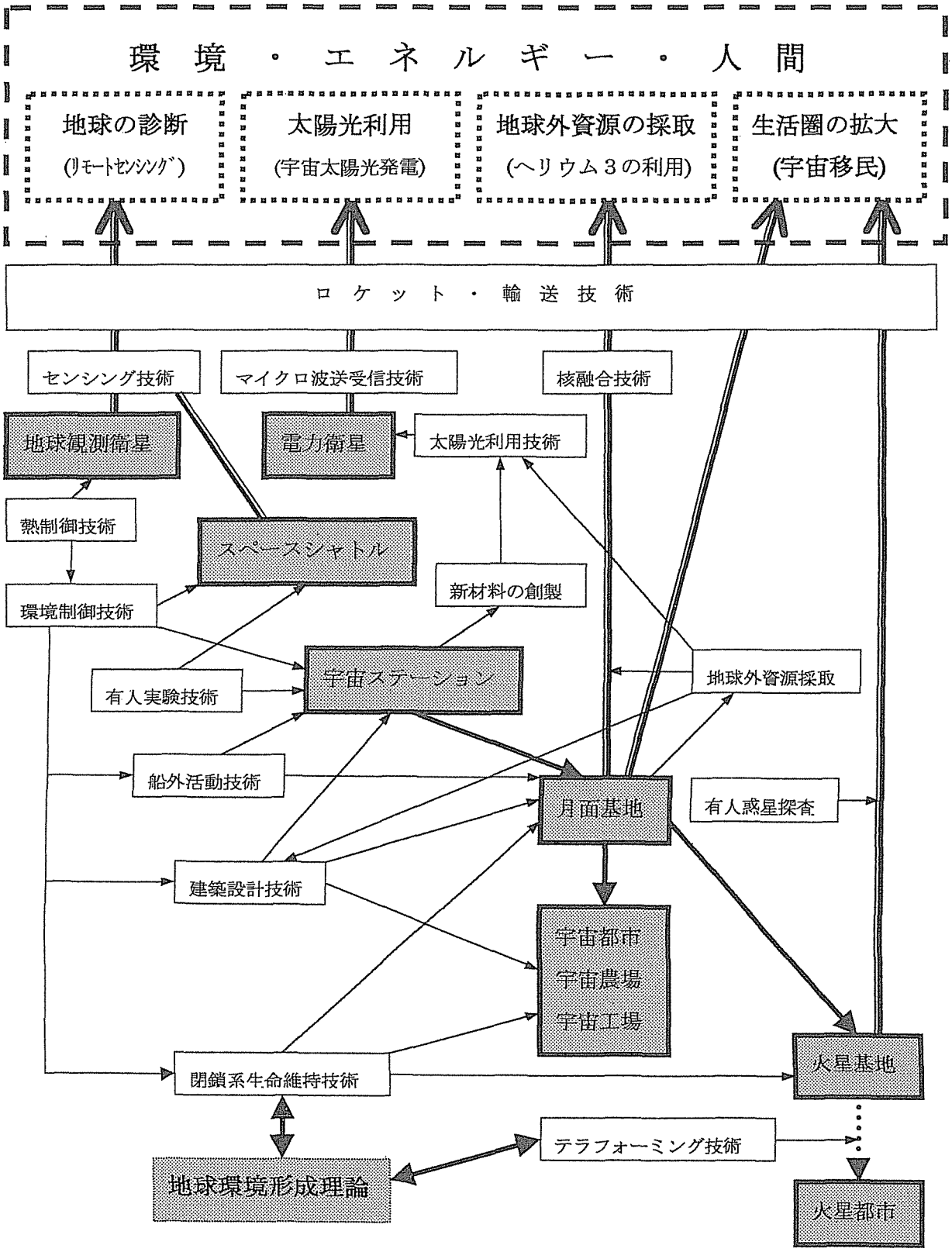

図１　環境問題と宇宙技術との関わり

地球環境をグローバルな視点からとらえた現象の把握、解明に最適な手段である。今後、このような地球観測衛星のデータを用いて、大気化学、海洋循環、気候、雪氷、海洋生物、植生などのグローバルな環境科学に関する研究が進められていくであろう。また、さらに高感度なセンサが衛星に搭載され、現在問題になっているフロンガスによるオゾン層の破壊やCO_2ガスによる地球温暖化のメカニズムなども解明されていくことが期待される[6]。

2.2　宇宙太陽光発電

21世紀において現在の主要エネルギー源である石油の枯渇は時間の問題であり、この解決のための代替エネルギー源として石炭の見直し、原子力発電の普及、熱核融合発電の開発などが行なわれている。しかし、石炭は石油と同様にCO_2を大量に発生すること、原子力は立地問題や放射性廃棄物の問題を抱えていること、熱核融合も未解決の技術的課題が多いなどの問題がある[6]。

宇宙太陽光発電は大型の太陽電池を静止軌道上に打ち上げ、太陽光発電で得られる直流電力をマイクロ波に変換し、マイクロ波ビームで地球に電力を伝送するものであり、(1) エネルギー源は無尽蔵・無公害・無料である、(2) 一年中昼夜の区別なく太陽光が利用できる、(3) 超大電力を供給でき基幹電力システムとして使えるなどの特徴をもっている[4]。

宇宙太陽光発電を実現するためには宇宙への大量輸送、宇宙での大型構造物の建造、発電・送電に関して新しい技術の開発が必要である。電力コストに関しては、発電所本体の低コスト化だけでなく、革新的な低コストのロケット開発が不可欠である。また、発電・送電に関しては発電に用いる太陽電池の宇宙放射線による劣化対策や発電効率向上のための研究、宇宙からのマイクロ波電力を地上で損失なく受電しかつ生態系に大きな影響を与えないようなアンテナの研究が重要となっている。さらに、度重なるロケットの打ち上げにともなう排煙がオゾン層の破壊につながる可能性やマイクロ波送電が人間や生物に及ぼす影響についてはまだわかっていないことが多く、今後の研究が必要である。

2.3　地球外資源の採取

月や火星などにはいろいろな資源があると考えられるが、このような地球外資源のなかでもとりわけ重要なのはヘリウム3であろう。現在、エネルギー源として考えられる核融合反応の中で最も研究がすすんでいるのは重水素とトリチウムを用いた反応であるが、この反応の生成物においては中性子が大部分のエネルギーをもち、炉外に出て周囲の物質を放射性物質にしてしまう。これに対して、重水素とヘリウム3を用いた反応では荷電粒子にエネルギーの大部分が与えられるので直接発電可能であり、また放射性廃棄物の発生の低減も可能であり、クリーンなエネルギーとして期待できる。ただし、炉心プラズマの高温化という技術的問題がある。

ヘリウム3は太陽風によって運ばれてくるもので、大気に阻止されて地表まで達しないために地球上にはごくわずかしかないが、月面には大量（約100万t）にある。月面の砂を10万t処理すると1kgのヘリウム3が得られ、これを核融合に用いると1万kWの電力を1年間発電できるという[6]。したがって、現在の日本の電力需要80GWを賄うためには年間約8tあればよく、当面のエネルギー問題の解決に多大な貢献ができることになる。このためには、月面でのヘリウム3の回収技術の研究も重要な課題となるであろう。

2.4　宇宙技術のスピンオフ

宇宙への挑戦、宇宙開発の過程で必然的に対応しなければならない極限環境から生まれた先端技術の数々は私たちの生活に大きなインパクトをあたえ、あるものは新しい産業の創出にも貢献している。このような宇宙技術のスピンオフの中で環境問題に貢献できるものとしては、たとえば2.1に示した人工衛星による地球観測もその1つであるが、そのほかにもヒートパイ

プや多層断熱材などの熱技術や汚物の再利用技術などがあり、身近なエネルギー問題や我々の身の回りの環境浄化に役立つものも多い[1)]。また、最近では宇宙の微小重力環境を利用した高品質半導体材料創製の研究なども行なわれており[3)]、これらは太陽電池の改良などにも役立つであろう。

3　宇宙開発に役立つ環境技術

3.1　宇宙船内の環境制御と宇宙服

スペースシャトルや宇宙ステーション内で人間が活動する閉鎖空間においては、室内の温度制御や環境内の物質の分布を一定に保つためのリサイクルが必要となる。このうち、温度制御などの空調についてはヒートポンプなどの地上の技術がほぼそのまま利用できるが、熱除去に関しては放熱板を用いて宇宙空間に輻射で熱を捨てるやりかたが用いられている。またリサイクル技術に関しては、人間の放出するCO_2を大気中から分離し、そのCO_2からO_2を回収したり、有害物質を除去したり、尿や汗などから人間が必要とする水などを回収する技術が重要である。

一方、宇宙空間において船外活動を行なうために必要な宇宙服は高真空・無重力・宇宙放射線などの環境に対応した、人間の生命を守るための高性能スーツとして作られなければならない。宇宙服に要求される事項としては、(1)気体による圧力環境の維持、(2)酸素の供給と二酸化炭素の除去、(3)温度の制御、(4)移動や作業時の機動性、(5)宇宙放射線からの防護などであり、このためには人間の生理に関する深い知識と高度な環境制御の技術が求められる。さらに宇宙服は使用される環境、状態、ミッション期間などによって機能要求が異なってくる。現在の宇宙服の内圧は0.3気圧程度であるが、今後宇宙ステーションにおける活動がさかんになるにしたがい、いまよりもより快適で安価で機動性に優れた宇宙服に工夫・改良されていくであろう[10)]。

3.2　人工閉鎖系生命維持システム

人間が宇宙ステーションや月面基地に進出して活動を行なうためには、酸素や食料など人間が生存するために必要な物資の補給と排泄物などの処理が必要となる。特に宇宙での滞在期間が長期間に及ぶ場合には輸送コストの面からも宇宙における閉ざされた空間内でのこれらの物資の自給自足や処理が必要となる[1)]。

人工閉鎖系生命維持システムとは我々が地球上で生活している環境を技術という手段によって人工の狭い生活空間にまで縮小しようというものであり、青森県六ヶ所村に現在建設中のバイオスフェアJなど世界にもいくつかの地上実験施設の例がある。

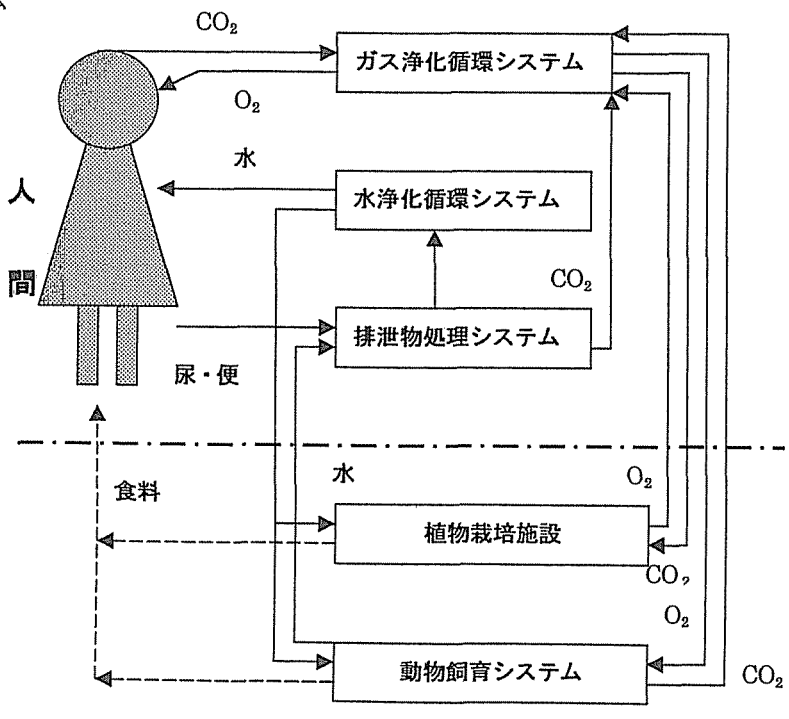

図2　人工閉鎖系生命維持システム

地球上の物質循環は太陽エネルギーをもととする光合成を中心として複雑なネットワークを形成しているが、このような人工の閉鎖生活空間を作り上げるためには、地球上でのいろいろな物質循環過程を単純化し、その過程を工学的に再現する必要がある。その中にはガス（大気）の循環、水の浄化循環および排泄物分解処理のためのシステムが必要であり、人間・食物・動物を組み合わせてこれらの生物の生理代謝上必要な物質の循環が滞りなく行なわれるように制御しなければならない。図２はその基本構成を示したものである。人間や植物のためのガス環境を制御するには、それぞれの生存空間内にあるガスの一部を循環させ、そのループ内でO_2・CO_2・N_2を分離し、濃縮・貯蔵し、必要に応じて生存空間にリサイクルしてやる必要があり、このなかで特にガスを分離するための技術が重要である。また、水の浄化に関しては、エネルギー消費が少ないフィルター機能や吸着機能だけをもつ新しい機能材料の開発が期待されている。さらに、排泄物処理に関してはメタン醗酵菌などによる処理は用いられず、「湿式酸化法」という方法が検討されている[9)]。

もしも地球の生態系を閉鎖空間の中で人工的に再現できれば、実験室の中で生態系を人工的に変化させることで、それが地球環境にどのような影響をおよぼすのかをシミュレーションでき、地球環境の諸問題の解決に大きな成果を上げるだけでなく、地下空間、局地、潜水艦や船上などの閉鎖された環境での生活環境の整備、改善にも直接役立つと考えられ、これらに対するフィードバックが期待される。

3.3 月面基地の建設

人類の技術レベルはすでに月面基地が十分に実現可能な段階に達している。

月面基地建設の第一段階は月の極軌道を用いたリモートセンシングや月に軟着陸させた着陸機およびローバを用いた自動分析探査から始める。月の環境下で自動機械を作動させるうえでの問題は温度120℃の昼が14日間続いた後-170℃の夜が14日間続くという日夜の温度差である。通常の宇宙機器はこのような温度環境には耐えられないので適切な温度制御が必要である。また、月におけるエネルギー源としては太陽電池が有力であるが、夜の14日間を耐えるためにはかなり大きな燃料電池や蓄電池を備えることが必要となる。

月開発の第２段階は有人による月開発である。有人の月面活動において問題となるのは放射線である。月における放射線対策としては、居住設備を厚い土砂(レゴリス)で覆うのが良策であると考えられている。なお、月面基地の建築構法を考える場合の問題の一つに輸送コストがあり、ロケットによって地球から月へ運搬する材料の総重量をできるだけ軽くすることが求められている。居住用施設や実験用施設の建築構法としてはアルミ合金製の円筒型モジュールを応用したもの、インフレータブル構造を用いるもの、コンクリート材料を用いたものなどが提案されている。また、月面基地における居住空間のデザインにおいては、小重力に対する建築的な配慮、閉鎖環境で生活するときの精神的、肉体的ストレスに対する配慮も大切である[2)]。

このようにして月面基地が出来あがると、月資源を用いた材料製造の実験を行なうことになる。さらに、構造材料・水などの基本物質ができると人間の長期居住やヘリウム３の採取工場・太陽発電衛星用資材の工場の建設、宇宙農場・宇宙都市の実現、火星への基地としての期待が高まってくる。

4　地球外生活圏の可能性

4.1 スペースコロニー構想

世界人口の増加に対応するために、宇宙空間に地球と同じような環境を作り、数十万人もの人が住む都市を建設しようという計画がある[5)]。これは、月軌道上の月と地球の引力のつりあ

ったところにスペースコロニーをつくり、内部の大気構成や圧力・温度ばかりでなく重力についてもコロニーを自転させることで生じる遠心力で代用しようとするものである。居住区はドーナツ型になっていて、その中が居住区域、農業区域などに区分され、生活に必要な動植物の飼育・栽培が行なわれる。スペースコロニーの建設資材は地球から送るよりも月から送るほうが効率的であり、そのためには月面基地が必要である。

このような計画に対しても技術的な見通しは立っているものの、内部の生態系だけで物質の循環が保てるかどうか、また地球の巨大なシステムから隔離されて、地球と異なった物理的条件のもとでどこまで安定に存在することができるかということが問題である。

4.2 火星のテラフォーミング

太陽系のなかの１つの惑星を自らの手で改造し、地球型生物の定着できる環境に丸ごと変えてしまおうとする計画（テラフォーミング）がある。特に、火星は太陽からの距離が地球の 1.5 倍、重力は地球の 1/3、1 日の長さは地球とほぼ同じであり、温度は－150～30℃で地球の 1/100 程度であるが大気もあるために、そのもっとも手近な惑星として考えられている。

このように火星を改造して地球と同様に人間が住める環境にしようとする計画によると、まず第１段階として火星に固定されている CO_2 を大気中に放出させる。そのためには、宇宙空間に直径数 100km もある巨大な鏡を浮かべて火星を暖めればよい。こうして CO_2 がある程度放出されると温室効果により温暖化がすすみ、CO_2 の放出は加速される。この正のフィードバック効果により 100 年程経てば地球の約２倍の圧力を有する大気が作られる。この状態になると火星には川が流れ、雨が降るようになる。次の段階では植物を使うなどして CO_2 を O_2 に変化させ、大気を O_2 20%、N_2 80% の地球大気に変えるというのである。

このような火星のテラフォーミングは原理的には可能であるが,これらの実現のためには少なくとも数千年の歳月が必要であるという[7]。まことに気が遠くなる計画であるが、地球環境の破壊や人口増大の現状、将来いつ起こるかわからない小惑星の衝突などによる人類の滅亡をさけるための一つの選択肢としては検討する必要があろう。

5　おわりに

1957 年初の人工衛星スプートニクが打ち上げられて以来、宇宙開発は主に軍事利用を目的として米・ソ両国の国家威信をかけて推進されてきたが、ソ連の崩壊とともに国家威信の対象としての興味は薄れ、国際協力によって人類の発展を目的とした本来のありかたを模索する方向へとすすんできている。本稿では特に現在の環境問題の観点から人間と宇宙技術との関わりについて考察し今後の可能性と問題点について検討した。環境問題は今後ますます深刻化していくことが予想されるが、このためには対象を地球という限られた空間内だけの範ちゅうに限定せず、広く宇宙にその解決策を求めていくべきであると考える。

参考文献

1)岩崎信夫:宇宙工学概論,丸善,1999, 2) 清水建設宇宙開発室:月へふたたび,オーム社,1999, 3) 日本マイクログラビティ応用学会編:軌道上実験概論,海文社,2000, 4) 松本紘:宇宙開発とコンピュータ,共立出版,1996, 5) 最新科学シリーズ:最新宇宙技術論,学研,1991, 6) 高畑文雄ら:宇宙技術入門,オーム社,1996, 7) A.T.ウルベコフ(木下高一郎訳):宇宙移民計画,講談社,1990, 8) 藤森義典:人類は宇宙にむかう,オーム社,1995, 9) 新田慶治:：小地球を作る、丸善株式会社、1986、10) 新田慶治・木部勢至朗：宇宙で生きる、オーム社、1994、