

HOF 01-058

本田財団レポート No.58
『最近の宇宙論をめぐって』

講師：柳瀬 瞳男 上智大学教授

講師略歴

柳瀬睦男（やなせむつお）

大正11年1月19日生まれ。

昭和20年 東京帝国大学 理学部物理学科卒業。

昭和29年 ドイツ国ベルクマンス哲学院卒業。

昭和33年 上智大学大学院 神学研究科修士課程修了。

昭和39年 上智大学 理工学部教授。

昭和50年 上智学院 理事長。

昭和52年 上智大学 生命科学研究所所長。

昭和56年 同 学長。

昭和57年 同 アジア文化研究所所長。

現在 上智大学 理工学部教授

専門分野 理論物理、科学哲学。

著 書 「観測の理論」、「時間とは何か」「物理学の思想と方法」

共 著 「科学の基礎」、「科学の中のパラドックス」など。

このレポートは昭和63年3月10日、パレス・ホテルにおいて行われた第48回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

目 次

はじめに.....	5
美しい地球.....	6
ビックバンとはなにか.....	8
3度の輻射の謎.....	9
宇宙のはじまり.....	11
宇宙論の特質.....	12
1) 物理学によれば.....	12
2) 歴史学として.....	12
3) 雄大な一つのモデルとして.....	12
4) 素粒子論で考える.....	14
5) 数学の重要性.....	15
生物について.....	16
1) 地球と生物.....	16
2) 宇宙における好条件.....	16
3) 生物のいる星は存在するか.....	18
コミュニティーとしての地球.....	20
86ハレー彗星とジョット.....	20



はじめに

只今ご紹介にあずかりました柳瀬でございます。今日はどういうお話をしようかと迷ったのですが、やはり、今、自分が一番関心のある問題がよいと思いまして、本日は、私が興味を持っていることを皆様にお話し、また、同じような興味をお持ちの方もおられるかと思いますので、普通の生活から少し離れて、宇宙の話を考えるのも、時には、いいかと思います

まず最初に、最近の宇宙論から、私たちは宇宙についてどういうことを知っているかということを少しお話して、それについて、まず、ピックパンとはどういうことを、おさらいしてみたいと思います。

宇宙論というのが、普通の物理の理論と、少し違う性格を持っているのですが、どういうところが違うのかを、考えてみたいと思います。

それから、宇宙論に私が興味があるのは、それが、ただ物理の話とか天文学の話だけではなくて、あらゆる問題に関係を持ってきたことと、またそれが一つの大きな問題のコンプレックスの中に、だんだんと組み込まれてきてているように思いますので、そういう見地から、物理学的なお話、つまり、宇宙論を勉強するためには、結局素粒子論という極微の世界のこととも、知らなければならなくなってきた、ということとか、あるいは生物学的なお話、これも、宇宙に人間のような生物が他にもいるかどうかという話ともからんで、面白い話がたくさんあると思います。

また、哲学的に考えてみましても、結局この時間、空間とは何かとか、世界にはじまりがあるか、ないかとか、いろいろなことが、昔から言われています。けれどもこのごろ、自然科学的な宇宙論が進んできたために、その問題についても、もう少し実のある議論ができるようになってきたのではないかと思います。それらも含めてどういう問題があり、それを、どのように解決しようと思っているかということを、お話ししてみたいと思ったわけでございます。

美しい地球

この写真一枚でも(図1)、私にとってはとても胸がドキドキするのですが、今から十何年前までは、こういう写真は、誰も見たことがなかったのです。地球が丸いということはみんな教えられて知ってはいました。しかし、ほんとうに丸い地球の写真が撮れて、しかも、こんなにきれいなものだということは、あまり知らなかったわけです。そして、宇宙飛行士が異口同音にいいますのは、この地球が、いかに美しいかということを、しみじみと感じたということです。

こういう、青い天体、水で被われていて、しかも上には、白い雲があって、それが時々刻々と動いている……。そしてそこには、緑もあり、茶色の砂漠も見える。……こういう、美しい地球に、我々は住んでいたのかということを、異口同音に言っているのです。

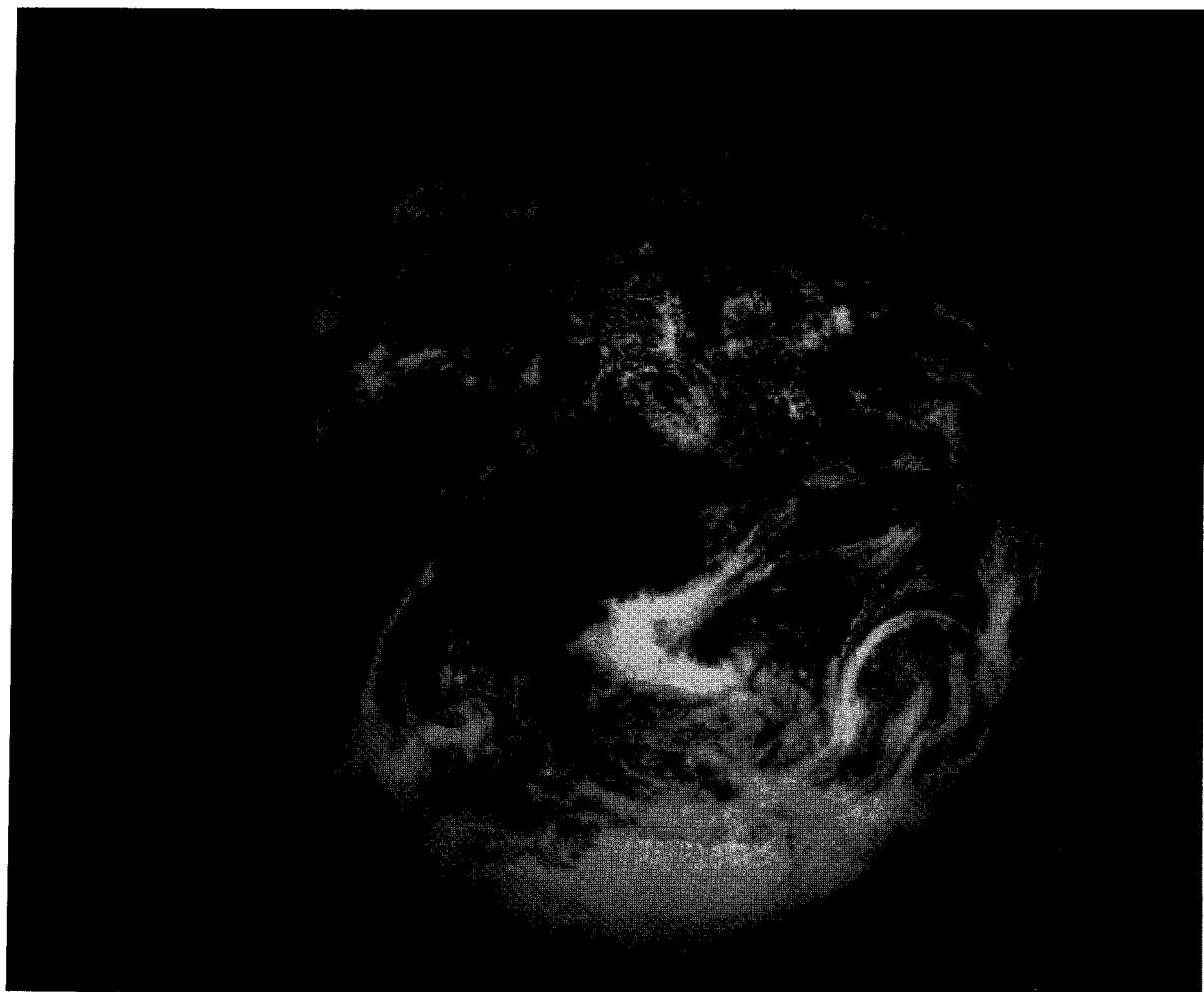


図 1

宇宙飛行士が月に着陸して、月から地球を見たのが次の写真です(図2)。ここで私はこの写真を見て、また、胸がドキドキします。こんな美しい地球に対して、この月が、いかに殺風景で何もないか、ここには生命はなんにもありません。そして、私たちの知っているほとんどの天体は、灼熱のものであるか、あるいは、このような殺伐とした

天体なのです。地球だけがこのように美しく、水に被われていて、生命に満ち溢れている、こういうことを感じるわけです。

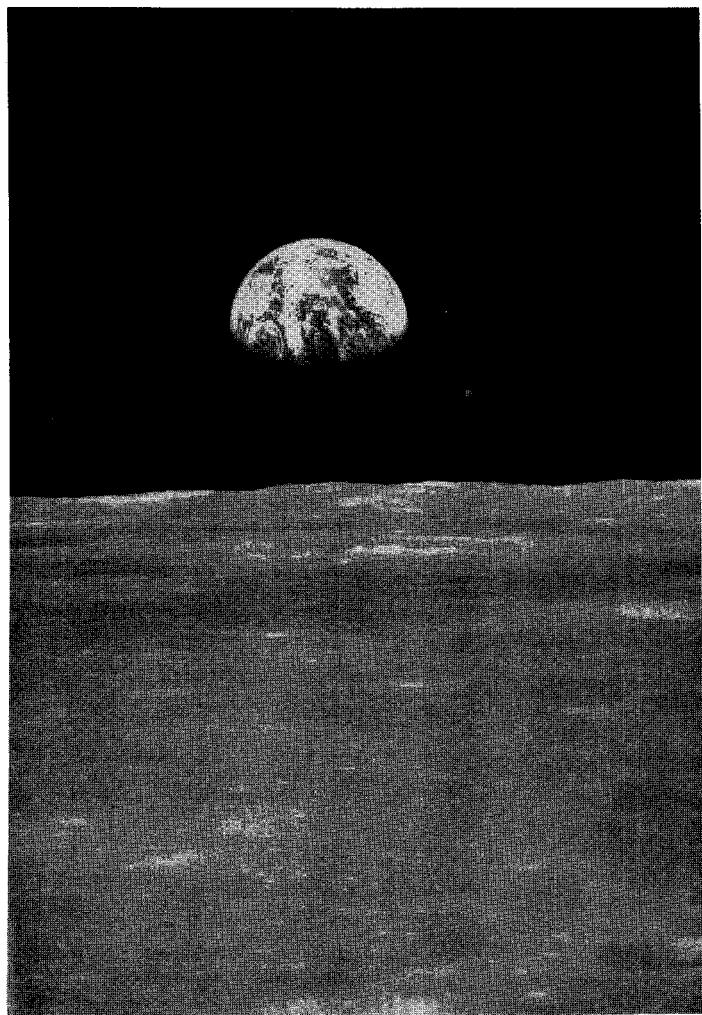
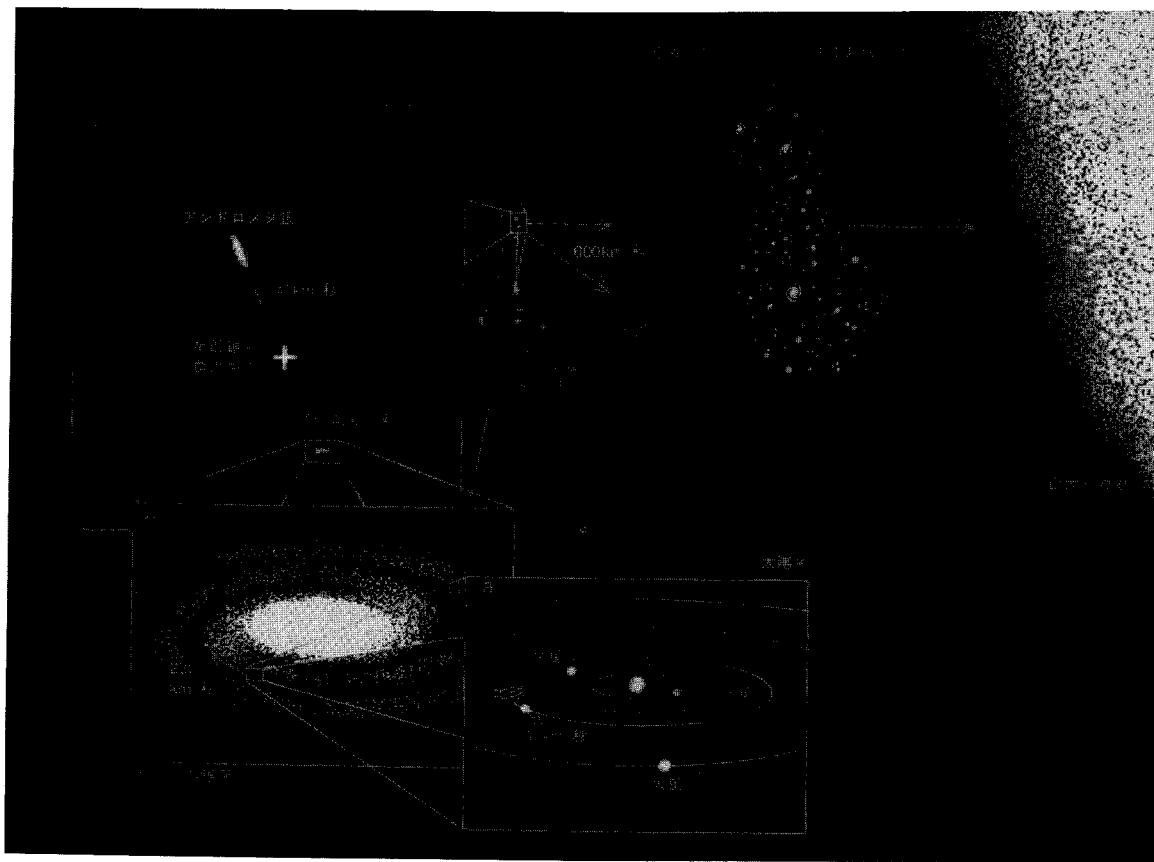


図 2

それで、普通私たちは地球にいると、生命というのは、いくらでもあって、邪魔になったり、あるいは、為になったりしているが、一歩、地球から外に出てしまうと、ほとんど生物というものを見付けることはできない。これは、我々にとってたいへんショッキングなことだろうと思います。

それで私たちの地球が、どれくらい小さなものかということを見てみると、胸が、また、ドキドキするわけですけれども、これは、62年暮の“サイエンティフィックアメリカン”という雑誌に出ていた写真で、宇宙の一番大きなスケールの図です(図3)。ここに、たくさんの中の星雲が集った、星雲群というものが、方々に散らばっています。われわれの属する星雲群、乙女座銀河団のちょっと北の上の方にある星雲のかたまりの中に、太陽系に属する銀河系宇宙があります。

もう少し大きくしてみると、たくさんの銀河の、つまり星雲の集りの中心からちょっと離れたところに、我々の銀河である、天の河があります。それが、この中心に向って動いていて、たとえば、アンドロメダ星雲というのは、やはりこの中心に向って



3

動いています。この中をもう少し詳しく見ると、私たちの銀河系が見え、これはうず巻の星雲です。この星雲の中の、中心からかなり離れた所に我々の太陽がいて、この太陽の辺を大きくすると、太陽系が見えてきて、そしてこの太陽系の中に地球がいる。と、こういうことになります。

この銀河系宇宙の、銀河系は、中心に向って進んでいて、そしてまたこの銀河系自体が、うず巻で一回転、ぐるぐる廻っているのです。だいたい一回廻るのに、一億五千万年ぐらいかかります。そして、太陽系の中に地球がいる、と、いうことになります。こういう大きな宇宙を眺めてみると、私たちはまずこの宇宙が、すばらしく美しいものだということを見ることができます。

次は、星雲群の写真ですが全部星雲です(図4)。一つ一つ別の星雲が集って、星雲の群を成しているわけで、この中の一つに、銀河系宇宙があります。

ビッグバンとはなにか

大きなスケールで、私たちの住んでいる宇宙のことを考えてみると、いろいろ面白いことがあります。

まず第一の問題は、宇宙にはじまりがあるかどうか、ということです。『ビッグバン』



図 4

という言葉がありまして、今からだいたい、百五十億年から百六十億年前に、宇宙が突然、爆発的に誕生したというのが今の物理学者たちの認めている宇宙のはじまりです。それを、ビッグバンと申します。

今から30~40年前までは、宇宙に、はじまりが、あったかどうかということが、大きな議論の中心になっていました。そして、ある人は「宇宙には、はじまりがある。」と言うし、ある人は、「いや、ない。」と言う。つまり、定常的な宇宙には、はじまりもおわりもなく、いつもある平衡状態から揺れ動いているようなモデルを考えていたわけです。

ところが、今からちょうど30年ほど前に、宇宙が実際爆発的に、ある時期に誕生したということが、確かめられました。

3度の輻射の謎

それは、宇宙には、今の広い広い宇宙の中に、だいたい絶体温度3度の輻射が満ち満ちている、ということです。なぜ宇宙に、3度の輻射があると、ビッグバンがあったということがわかるかといえば、それは、今から百数十億年前に、大爆発が起って、大きな超高温度の火の玉ができ、それがだんだん冷えて、何十億年経つと、だいたい

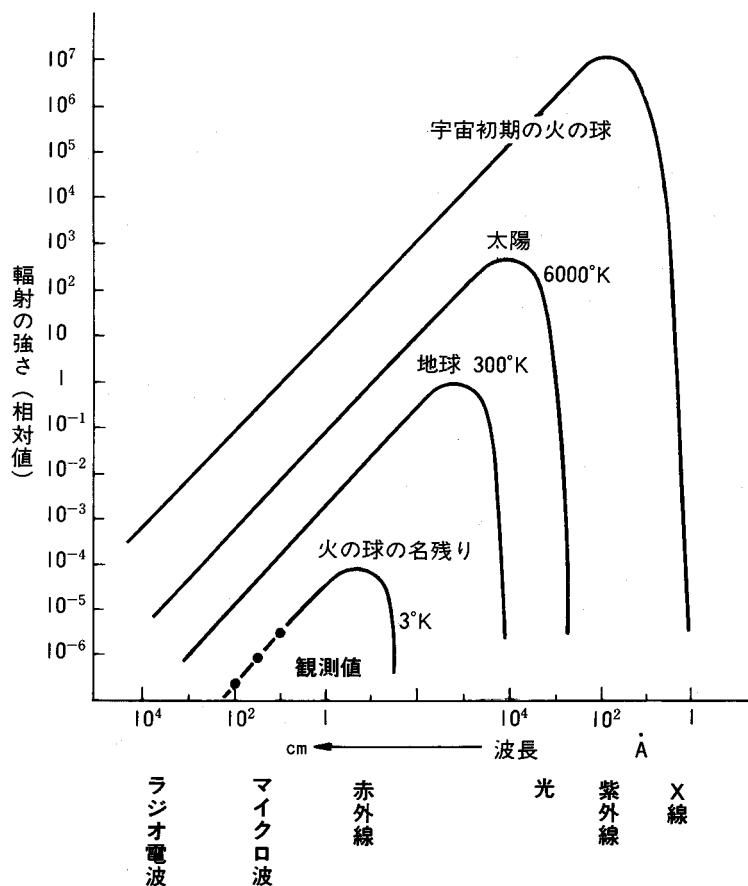


図 5

絶対温度3度ぐらいまでに冷える。しかし、0度にはなっていないし、またそれがはつきり私たちの実験データに乗ってきた、ということです。

これは私が興味を持った図面ですが、これは今からだいたい30年前、ちょうどその宇宙の黒体輻射、つまり3度Kの輻射が見付かったころの、本に出ていた図面です(図5)。横軸に輻射の波長のスケール、縦軸に輻射の強さを表わしています。これは物理の法則によって、温度輻射というのがあり、ある温度の物体はその物体の如何にかかわらず、全く同じ温度輻射をする。つまりある一定温度によって輻射のデストリビューションが決まる。従って、輻射のデストリビューションを見れば温度がわかる、という仕掛けになっています。

太陽はだいたい6000度でこういうスペクトルが見え、地球はだいたい300度ですから、ここにこういう3度Kのデストリビューションが見え、3つの点が見えます。ちょうど30年前に、この宇宙に、宇宙から出てくる寸波を、非常に精密な測定をして、この3つの点を見付けました。これが、3度Kという、あの温度を持っている輻射のスペクトルに、乗っているということがわかったわけです。物理をやっている人間の目から見ますと、たった3つの点で、これだけの大きな結論を出すのは、たいへん大胆な話だと思います。

しかし、それからしばらく経つと、この事実はだいたいこれくらいの確かさで、今では、この3度Kのデストリビューションは、わかっています。正確には2.8度Kですけれども、この分布が、はじめは3つの点だったものが、電波の地上観測とか、ロケット

トの気球による観測で、ほとんど疑うことができぬほど、はっきりと3度K(2.8度)の輻射のスペクトルがとれます。ですから、今、物理学者たちは、この3度K輻射というものが、宇宙に存在することについて疑うことはできない、そして、そのことから逆に、この宇宙の輻射というのは、結局、今から百何十億年前に突然大爆発を起した、ビッグバンの名残りである、ということになりました。

その結果、私たちは今から百何十億年前に、宇宙は、突然何も無いところからできたものと結論しています。

宇宙のはじまり

しかしほんとうにそうなのか、もしそうだとしたらその前は何か、ということを質問することになります。それに対して、物理学者たちは、多分、「それは、わからない。」と答えると思います。なぜわからないかと言えば、今から百何十億年前に、今、くすぶりが見えるような大爆発が起った瞬間には、それより前のインフォメイションは、全部消えてしまって、ケーオスの状態であるということで、それでその前のインフォメイションについては、なにも知識を得ることはできないからです。しかし、そのビッグバンの時間、象徴的に言えば、私達の宇宙のはじまりの、時刻ゼロ、ゼロ点の10のマイナス40乗秒ぐらいまではわかる、といっています。

つまり、ビックバンの、ぎりぎりのところまでは、私たちの知識が、いろいろの研究の結果、その時の状態と、今までどのような状態で、この宇宙が進化してきたかについての、真面目な議論ができるようになったという話です。

物理の人たちはある意味では、大変謙遜でありまして、わからないことはわからないといいます。ですから、今そのビッグバンの前は、なんだっのかと尋ねても、それは、わかりません、と言います。しかし、他方では、「わからない」というのは非常にやさしいことで、なんとかその前のことも知りたいという気持ちになるのは当然のことです。実際に、この2・3年そういう論文が、少しづつ出てきました。

それはどういうことかといえば、ゼロのところ、何も無いところから宇宙が生れたのだから、これはエネルギーの原理というものは、全く当てにならない。しかし、もし、エネルギーにマイナスがあったとして、この粒子が生れたり、消えたりするようなモデルを、素粒子での（物質の一番小さいところ）議論では、よくします。そうすると、そのゼロよりも前はどうだったかというと、要するに何も無い、真空状態で、しかし、絶えず小さな小さな宇宙が生れたり消えたり、生れたり消えたりして、ある瞬間にそのうちの一つが突然に大爆発を起して、今の宇宙ができたのだ。と、いっている学者もあります。

勿論これはスペキュレイションで、それをどういうふうに基礎づけるか、よくわかりません。しかし、いずれにしても今の私たちの知識ではっきりしていることは、このビッグバンなるものが、あったということと、それから、宇宙は百何十億年前から今の状態まで、進化してきたのだということです。

宇宙論の特質

1) 物理学によれば

宇宙論の特質とは、どういうことかというと、その議論になる点は、物理というのではなく、たくさんの実験のデーター、同じような実験を何回も何回もやって、そこからある法則を見付けるのが、物理というもので、たった一回しか起らない事柄は、全然物理の対象にはならない。と、よく言われます。

ですから、たとえば超能力の実験を、いくら物理の人見せても、これは、物理の対象にはなりません。なぜかというと、くり返し同じ状態で同じ条件で同じことをやって、何回も何回も実験をやった結果、これはいつでもこういうことが起れば、次にはこういうことが起ると、はっきりするから、物理の法則として、人々が認めるのです。

ところが宇宙の場合は、一回しか起っていない。つまり、百何十億年前にビッグバンというのが起って、それが今の宇宙になり、現在私達は、その中の美しい地球の上に住んでおります。これは一回しか起りませんでした。ですから一回しか起らないことを、物理の議論の対象にするのはおかしいのではないか。と、こういう議論がありました。

2) 歴史学として

しかし宇宙論というのは、物理の問題だけではなく、歴史の問題ともなるということです。人間の歴史でも、地球の歴史でも、これは一回しか起らないことで、しかもその一回しか起らないことを相手にして、歴史学という立派な学問があり、地球の、地質学の、いろいろな立派な学問もあることと同じで、宇宙論というのは、物理学とはちょっと違ったものだと考えます。要するに、一回しか起らないことを相手にしている歴史のような学問だと、こういう議論がいろいろと行われてきました。

3) 雄大な一つのモデルとして

しかし、それに対して、そうではなくて、宇宙というこの大きな大きなものを見ると、我々は圧倒されてしまい、それ以外には宇宙は無いようになってしまうが、原理的に、つまり、理屈で考えてみると、宇宙は一つしかないということは、決して自明なことではない。

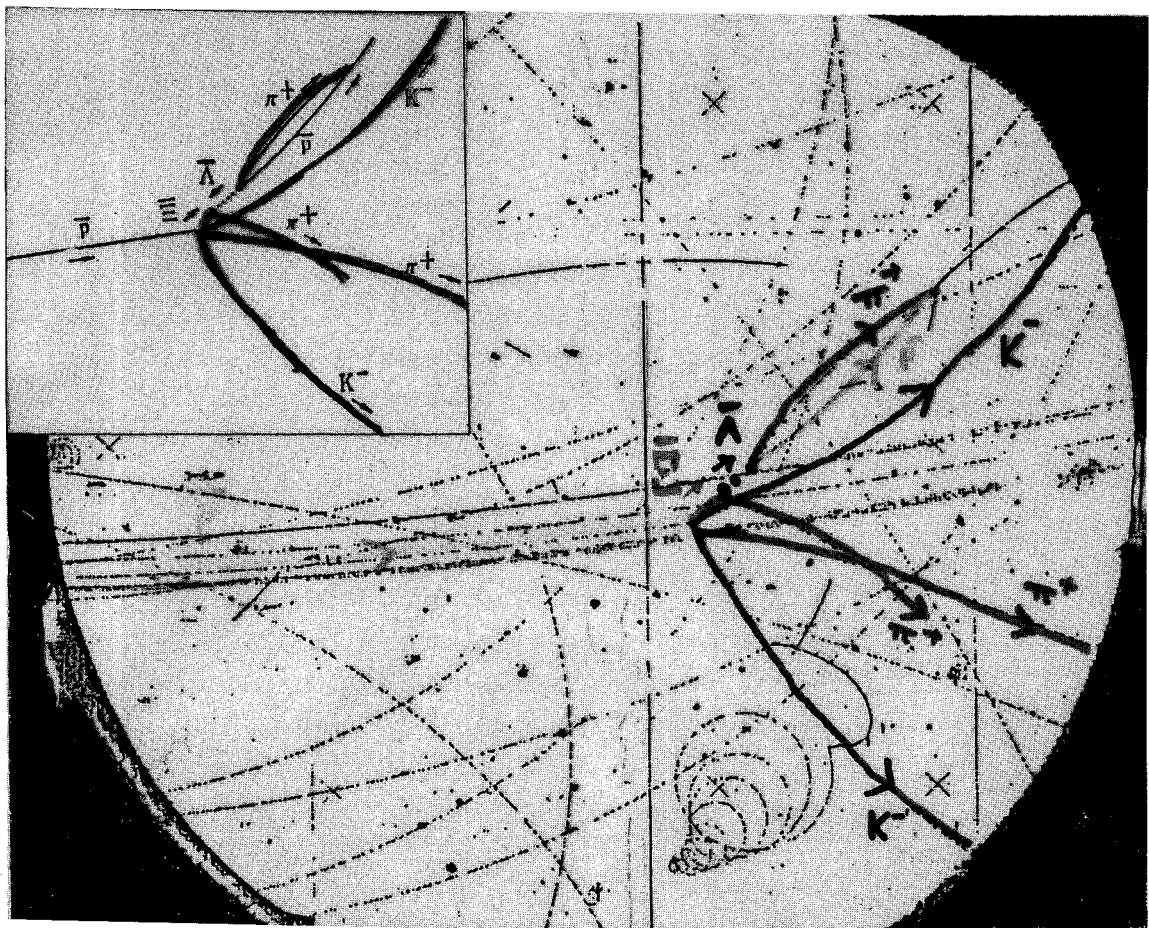
私たちが住んでいるこの宇宙、百五十億年前から今まで、進化してきた宇宙は、その一つであって、その他に何千万、何億・何兆という別の宇宙があっても、一向差支えはない。ただ、私たちがそれを知らないだけなのだ。と、いう議論をすることもできます。私がその議論の方が好きなのは、なんとなく、もっともっとスケールの大きな話をすることができて、こんなすばらしい大きな宇宙が、たった一つのサンプルに過ぎないということになると、私たちの気持ちはもっともっと、雄大になるような気がするわけです。しかし、雄大になるような気がするだけではなく、哲学的に考えると、それは割合にもっともな議論だと思います。宇宙は、一回しかないということは、宇宙が、一回しか存在しないということか、あるいは、逆に、歴史が一回しかないと

いうことも、歴史が学問であるためには、それはちょっと困る。

つまり、この雄大なモデルということ、私たちの学問で考えている、この議論の対象にしているのは、全部モデルであって、そのモデルというのは、いくらでも頭の中で考えることができます。

たとえば、このごろの物理学者が、よく議論していることは、宇宙全体を考えることをまとめて、一つの量子力学でいう状態関数で、表わせるかどうかということがあります。その量子力学というのは非常におかしな学問で、量子力学で表わされている対象は、外から見なければ、何もわからないという仕掛けになっています。そうすると、おかしいではないか、つまり宇宙は、もし量子力学の対象である素粒子からできているとすれば、どんなに大きくしてもどんなに数がたくさんあっても、それは量子力学で全部わかる筈である。ところが量子力学でわかるためには、宇宙全体を外から見なければいけない、外から見るということは、絶対できないではないかと、こういう講論です。

そこで私はまた壮大な考え方を持ち出せば、要するに、宇宙全体も一つのモデルであるから、そのモデルである宇宙全体を外から見ることを考えることは、一向差支えは



泡箱写真 Ξ 現象

Ξ -event captured in this bubble chamber photograph. (1 m の直径)

図 6

(13)

ないというものです。ですから、その宇宙全体を一つの波動関数で表わすことはおかしいという議論は、やはり少し心が小さ過ぎると思います。べつに神様でなくとも、私たちはそれぐらいのモデルは、いくらでも考えられるということです。

4) 素粒子論で考える

この宇宙の特質ということで、今のような学問全体を、宇宙という一つのものに集中してくると、歴史的歴史的方法、それから物理的方法、その物理も今までの宇宙論で扱っているような大きな議論、たとえば、一般相対性理論といった議論の他に、素粒子つまり、一番小さな世界を考えなければならない素粒子論をここへ持つてこないと、議論ができなくなってしまった。そして、その他に生物学の話も全部そこへ入れなければ、宇宙論というものは成り立たないことになってきているように思います。それが実は、私が大変興味があって、宇宙論を勉強している理由であります。

現在、私たちの知識というのは、百何十億年前のビックバンのゼロ、つまり、宇宙のはじまりのぎりぎりのところまで、 10^{-10} マイナス40乗秒ぐらいのところまで、議論をすることができるほど、遠く昔のこともわかつてきましたし、広い世界もわかつてきました。ところが一方で、小さな小さな世界、つまり、素粒子の世界についても、たくさんのことわかつてきました。

この写真は、これだけ見ると何のことかよくわからない、現代美術の面のようですが、実は大変に重要な画です。だいたい 1 m ぐらいの直徑の中に、液体水素を入れて、ここに素粒子を通すと泡ができる、この泡を写真に撮ったものです(図6)。上から磁場をかけてるので、電気を持った粒子はぐるぐる廻ります。あるプラスとマイナスの粒子が出てきて、ぐるぐる、ぐるぐる廻っていく間に、これがだんだんスピードが減って、とうとう止ってしまうというものです。これをもう少し簡単に画にすると、反陽子というものが出てきて、 π (パイ)という小さな素粒子とKという小さな素粒子と、またもう一つのKという小さな素粒子に分かれます。写真の赤印のところば、ギリシャ文字で表わした、 Ξ (グザイ)という粒子です。

このグザイという粒子は、別のもの、 Λ (ラムダー)という粒子と π^+ (パイプラス)という粒子に分れます。要するに私達は、こういうふうに、非常に小さな世界の非常に短い現象も、かなり的確に知っているということです。たとえば、このグザイというのは、だいたい、 10^{-10} マイナス10乗秒ぐらいの時間だけ生きています。

ところが、素粒子の人達に言わせると、 10^{-10} マイナス10乗秒というのは、大変寿命の永い粒子だと言っています。比較をしてみると、 10^{-10} マイナス10乗秒というのは、もし、 10^{-10} マイナス10乗秒を私たちの1秒と考えると、私たちの1秒は、だいたい1万年ぐらいになります。ですから私たちの1秒がだいたい1万年ぐらいの永さと考えた時の、1秒の出来事を、私たちは、知っているということです。しかもこれが、どのような規則で、また、たとえば反陽子という粒子が、どういう種類の粒子に分れるかとか、どういう寿命を持っているかとか、かなり、はっきり知っています。

私たちの知識は、広い広い宇宙のこともかなりわかつてきていますが、小さな小さな極微の世界についても、30年ぐらい前にはよくわからなかったことが今は非常にはっきりわかります。なお、私は、この写真を探すのに大分苦労しました。現在、筑波の

高エネルギー研究所にも、このような写真はもう無いのです。全部コンピューターに入れてしまって、これはなんと、博物館にありました。つまり、もうこういう写真は、博物館にしかないぐらい、今、物理の進歩は早いのです。

これだけ小さくて、しかも短い時間の世界を、われわれははっきり知っているということを、この目で見ることができるということです。そして、こういう議論を積み重ねて、今私たちは、宇宙は、ビッグバンから今まで、どのようにして育ってきたかについて、いろいろの議論をしています。

5) 数学の重要性

まず、物理学的な議論は、もう私たちの頭では、なんのことかよくわからないくらいむつかしい数学を使います。“超弦理論”つまり「弦」というのはストリング。……紐です。ヒモの理論というのをやっております。

要するに素粒子というのは、一つの点がありました。点のところにある性質がいっぱい集っていて、それがお互いにどういうふうに変るかということを、議論していたのですが、今はそれが、ヒモになったのです。点であるゼロ次元の素粒子を、一次元の紐で考えようと、こういうわけであります。そうしないと、実験データーをうまく説明することができません。そういう議論を造ると、宇宙のはじまりから今まで、どういうふうに宇宙が育ってきたかについての知識を、うまくデーターからまとめて、理解することができると、今の物理の人たちはいっています。それで、その時に、大変に活躍するのは、一般相対性理論というアインシュタインが考え出した議論ですけれども、それをもっともっと精密にして、いろいろな新しい数学を使って議論をしています。

私はこの物理学的な考察で、いつもびっくりするのは、数学者というのは一体何を考えているのかよくわからないし、論文を読んでも、大学での学位論文の審査の時いろいろ説明されても全然わからないわけです。わからないままにまあいいだらうと思って、みんな手を挙げたりしますけれども、とにかくわからない。しかし、そのわからない数学が、役に立つということは、もっと面白いことです。さきほどの、素粒子の話は、「群論」という数学を使わないとデーターの整理もできないし、議論もできません。ところが群論という数学は、これは全然物理とは関係のないところから出てきた数学の理論でした。

昔、ガロワ (Galois) という、天才少年がいました、その人は恋人のことで決闘をして死んでしまったのですが、その死ぬ前の晩に、明日は死ぬかも知れないと思い、急いで自分の考えをまとめて何十ページかの論文を書残しました。それが、群論のはじまりなのです。それは全く素粒子というものを、なにも知らない時代の人だったガロワは、物理のことも、知らなかったものと思います。それは方程式論という、代数方程式の話でした。それが、なぜ今、よく役に立つのか、これもとても面白いことだと思います。いずれにしても、数学をやっているが、役に立たぬだらうと思っていると、そうではなくて、いつか必ず役に立つ時が来るというわけです。ですから私たちは、ほんとうに立派な国を造ろうと思ったら、数学学者も大事にした方がいいという話です。

生物について

次に、生物の話をすこし考えてみると、様子はがらりと変ります。生物学は、物理のような正確さで現象を整理することは、大変無理な対象を扱っていますから、この生物というのは一体どのようにうまくまとめて議論していいのか、よく分らないところがあります。特に、私たちのように、物理から生物の話に入ろうとすると、全く戸惑ってしまいます。

1) 地球と生物

地球は、ほんとうに美しく生物に満ちてますが、この生物というのは、まことに不思議なもので、私たちも、毎日、自分の部屋の鉢植の木を見るだけで、心が和み、また手入れをし、可愛がれば、答えてくれます。そういう不思議なものが生物であって、しかも私たちは、他の生物なしに生きていくことはできません。ところが、今までお話ししてきましたように、この地球だけに、これだけのすばらしい生物の世界があるとはどういうわけなのでしょう。このことが、私たちの宇宙論の面白さを増してくれるのですが、今までわかってきたことから見ますと、おそらく地球ほど、生物の存在あるいは生物の進化に適した天体は、ほとんど考えられないほど例外的な存在ではないかということです。

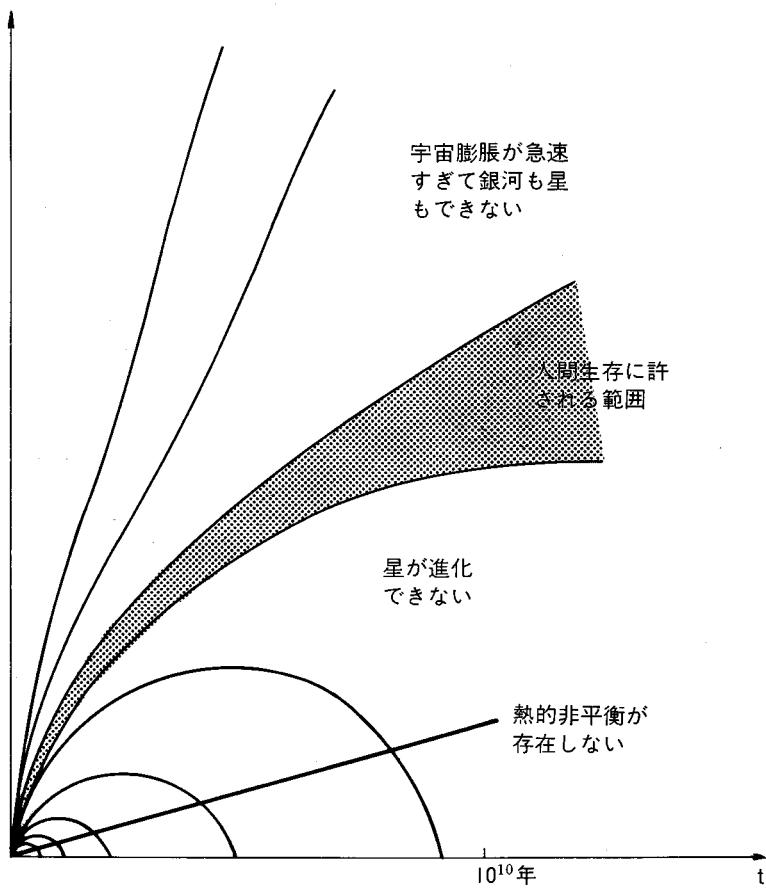
2) 宇宙における好条件

今から、百何十億年前のビッグバンから、宇宙が生れ、そして、宇宙が生れた時の状況、条件がうまくいかないと、人類は今ここで生きていることが全くできません。この図はその説明です(図7)。ある条件で宇宙が誕生し、そのゼロから 10^10 乗年、つまり現在迄の時間を考えると、もし、最初の条件がうまくいかないと、宇宙はどんどん急激に膨脹してしまうので、星もなにもできない。従って私たちは存在しません。また、別の条件であった場合、ある程度まで脹らんで、その後縮んでしまう。これでもやっぱり、星もなにもできないから、従って人間は住むことができないし、生物も存在できることになります。唯一無二の好条件のもとに、宇宙が発達してきたからこそ、私たちはこうして生きていられるのです。

このことは、最近、宇宙についての知識や、地球についての知識が進めば進むほど、全く、我々人間が、存在することができるよう、百何十億年前から、お膳立てができているような気がするほどうまくできています。

別の例をとってご説明しますと、それは地球が、いい具合に生物が存在できるように、太陽から適当な場所にいたからです(図8)。太陽の熱を地球が適当な距離にあって、それを受け、そこでうまく条件が揃っていたために、だんだん、だんだん地球にいろんな生物が生れて、正しくは、生れたかどうかもわかりません、また、どこから来たかも知れませんけれども、とにかく生物が進化していくことができました。

その領域というのは、太陽と同じような星がたくさんあって、そのまわりに惑星もたくさんあり、その中で、もし人間が住めるような状況があるとしたら、どれくらいのところにおればいいかを表わしているのがこの図です。



宇宙膨脹の速さと人間の存在

図 7

横軸は中心星からの距離、縦軸は中心星から受ける惑星のエネルギーを表わしています。 $M=1M_{\odot}$ という線で各惑星の太陽からの距離と、それからエネルギーの線を表わしています。水星・金星・地球・火星と書いてあります。そして横を見ますと、これよりも遠いと全面凍結と書いてあります。つまり氷の世界になって生物はとても生きられない。これよりも近くなると温室効果暴走と書いてあります。つまりものすごく熱くなってしまって、これまた生物が生きられない、これくらいの狭い狭い場所にいれば生物生存、生物が生きられる場所にいる筈だと、ちょうどうまい具合に地球は、その場所にいるわけです。ですから、地球では実際に生物が存在することができました。

他の線がいろいろありますが、これは、太陽よりも重い星の場合、太陽よりも軽い星の場合には、この領域のところに入る可能性は、どれくらいあるだろうか、を考えた画です。これを見ても、地球が非常にうまいところにいるということがわかります。もう一つ好都合なことは、生物が誕生して、あるいは、どこから来て進化を始めたのは、2億年前ぐらいだといわれていますが、大事なことは、その生物が進化を始めたから今まで、いつでも地球はこの中にいなければならなかったのですが、それがちょうどうまい具合に、今まで一回もそこからはずれたことはなかった。つまり、太陽は熱くなりもしないし、冷えもしない。それから、地球も大体いつもその場所で廻っていたと、そういうことがあるわけです。これも一つの私たちにとって、非常に好都合な条件だったということができます。

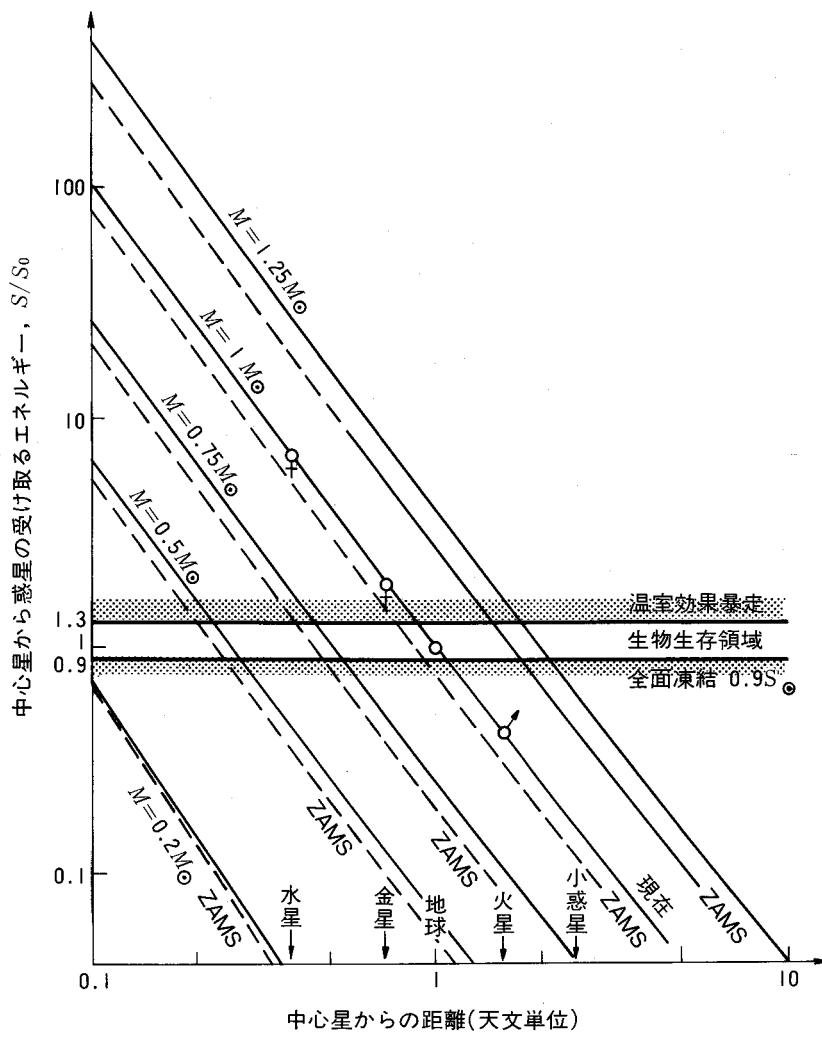


図 太陽定数と惑星の軌道半径との関係、灰色の帯で挟まれた領域がCHZになる。

図 8

3) 生物のいる星は存在するか

今から大体20年くらい前から、みんなが興味を持ち始めたことは、宇宙全体の中の、せいぜい銀河系宇宙だけにでも、地球と同じような条件を具えた星が、どれくらいあ

表1 ドレークの式の推定

	N_*	f_p	n_e	f_i	f_l	f_c	f_t	N
SAGAN (1980)	4×10^{11}	1/3	2	1/3	0.01	10^{-8}	~ 10	
ROOD と TREFIL (1981)								
樂観論	1.5×10^9	0.3	0.2	0.5	1	1	10^{-4}	5×10^3
保守的	5×10^8	0.1	0.05	0.01	0.5	0.5	10^{-6}	0.003
悲観論	5×10^7	$\ll 1$	$\ll 1$	$\ll 1$	$\ll 1$	$\ll 1$	10^{-8}	$\ll 1$
本論文	8×10^{10}	1/4	0.5-0.05					

るだろうかということで、真面目に議論され始めました。

これは、ドレーク（Drake）という人が考え、提唱した、ドレークの式というものです（表1）。つまり地球のような星が、一体宇宙に何個あるだろうかということを、計算したものです。たくさんの数を掛け合せてはいますが、Nというものは、銀河系の中の星の数、それから惑星を持つ星の数、割合、それから生物的環境を持つ星が、どれくらいあるか、その中で、実際に生物が発生する確率はどれくらいか、生物が、知的生物まで進化する確率はどれくらいか、そして、これがちょっと大事なのですが、知的生物が星に対して通信ができるまでの、技術文明を発展させる確率、つまり、私たちになにか信号を送ってこないだろうか、ということを考えたわけです。

それができるためには、私たちと同じような条件で、しかも私たちと同じような技術を持って、信号を送って来るような、生物のいる星が、どれくらいあるだろうかということを考えたのです。それで、実際にそういう計算をした人がおりまして、その結論を申しますと、かの有名なカール・セーガンという物理学者の結論は、大体10くらいあるのではないか、ということです。

ここに、2人の学者が「樂觀？・悲觀論」という3種類の値を出しています。悲觀論によれば、「全く考えられない。」樂觀論によると、「1000くらいはあるだろう。」という「中間をとると、大体確率は0.003」つまり、非常に少ないだろうということになります。この論文を書かれたのは、水谷先生という方ですが、この先生は非常に慎重で、これから先のことは全然当てにならない。そんな計算は全く当てにならない。当てになるのは大体この辺までだと、言っておられます。

私がびっくりしたのは、銀河系宇宙の、星の数を、大体オーダーくらいは知っていると思っていましたが、ここに書いてあるように、セーガンは10の11乗だというし、10の9乗、8乗、7乗、10乗と、このように値が違っているのです。これが一体物理かというわけです。しかし、この人たちは平気で、とにかく条件がはっきりしないのだから、これくらいのフラクチュエーションは、許してもいいということのようです。私たちは、これを「くだらん。」と言って笑い飛ばすことも、できますけれども、面白いのは、学者たちがこうして一生懸命計算をして、生物の存在する事が有るんじゃないいか、いや、無いんじゃないいか、とか、議論をしていることです。

そして一方では議論などするよりも、実際に見付けた方が、早い、ということで、アメリカでは、大きな電波望遠鏡の空いている時間を使って、宇宙を現在探しています。実際に他の星からのシグナルが来るかと待っているわけです。残念ながら、今までの10年間くらいの間には反応がありません。

しかし、宇宙の話をするのに10年などは、玉ゆらの間であります、100年は待たなければならぬでしょう。

ある人は、宇宙全体スキャンするだけで、何万年とかかると言っています。ですから、宇宙論をするためには、かなり腰を据えて、気の長いことを考えなければならないと思います。

ある日本の宇宙物理学者によれば、日本の宇宙物理は、非常に小じんまりしていて、大体2年くらいで結果が出ることです。ところがアメリカでは、宇宙探索機を天王星まで飛ばすと10年くらいはかかりますから、PhD志願の学生をいくら持っていて

も、これは、学位論文のテーマにはならないというわけです。それで、これはどうしたらいいだろうかという議論もありますが、しかしいずれにしても、私たちは宇宙の話をはじめますと、地上ではあまり縁のないような長い話とか、距離の遠い話とかが、出てきます。

私が、特に最近の生物学的な理論を面白いと思うのは、われわれ人間は、どのようにして存在をはじめ、どこから来て、そして、いつまでいるのだろうか、ということです。これは宇宙の問題ではなくて、私たちの問題です。それに対して、今までの宗教の教えとか、あるいは、哲学的な教えとか、いろいろありましたが、物理学的にも生物学的にも、今ではもう少しあはっきりした基礎で、問題を考えることができるようになったことは、やはり大きな進歩だろうと思います。

コミュニティーとしての地球

これから、諸問題の議論をする時に、たとえば、人間の命の尊さを考えるときにも、私たちは、自分の廻りのことのみを思いがちですが、この宇宙的なスケールで、自己の存在を考えるとき、ビックバンから始った、宇宙の全物質の、そのどこかに、私の体が、つながっていることは確かだと思います。百何十億年の大昔から、私の体を造っていたものがなにかの形で、つまり、素粒子の形か、ラディエーションなのかはわかりませんが、なんらかの形でつながっていないとすれば、発想を根本からやり直さなければならぬことになります。しかし、現在の私たちの知識によれば、私たちの体は、全部、百何十億年前のビッグバンから始つたものであるとなります。

それで、地球上での私たちの存在は、やはり一つの、大きなコミュニティー、つまり、地球という存在の中での好条件の恩恵の上に、今の、私たちの生活があるのだと思えないわけにはいきません。

たとえば、石油や、石炭のような化石燃料は、大昔、地球に繁栄していた生物が化石となり、それが石油になって溜っていたお陰で、私たちは今、それを使うことができるわけです。もし、それらがなかったとしたら、私たちに、いかにすばらしいハイテク力があっても、このようにエネルギーをふんだんに使うソースがないということになります。今は、ウランを使って、少しこれを補うことができるようになりましたけれども、それでも私たちの地球的な存在というのは、どこかで全部、或る共通のコミュニティーに属しているのだと、感じるようになると思います。

86ハレー彗星とジョット

これは私の、信仰告白のようなものですが、“Encounter 86”と書いてあります(図9)。

1986年、今から2年前にハレー彗星がやってきました。そのハレー彗星を観測するために、世界中の学者が共同で探索機を飛ばしたのです。それは、日本、アメリカ、ヨーロッパ、ソ連の4つのグループでした。その時に学者たちが、その準備のために

パドワというイタリアの街に、そしてこの画の前に集りました。

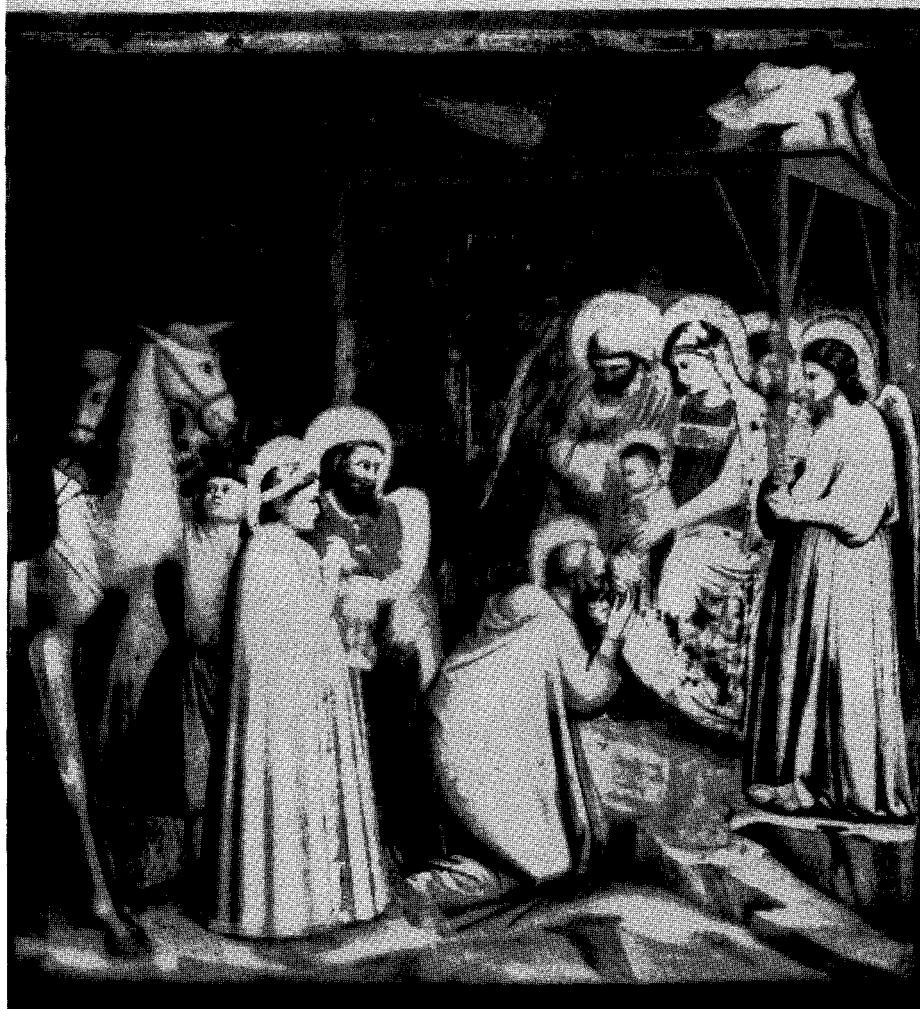
ルネサンスの先駆者、イタリアの画家、ジョットが描いた、あの“三博士の礼拝”的画です。ここに描かれている星は、聖書によると、この星に導かれて、東方の三博士がキリストを拝みに来た、といわれている画ですが、そのジョットがいたころに、ハレー彗星が来たということがわかっています。それで、これは確かにハレー彗星であろうということで、その4つのグループは、今度の Encounter 86 が成功したら、もう一度この画の前に集って、祝盃を挙げようということになりました。そして、このヨーロッパの飛ばした探索機には、ジョットという名前がつけられたのです。

そこで、このINTERNATIONAL RENDEZ-VOUS WITH HALLEY'S COMETのグループは、地球には、外から見れば国境も何もありません。私たちは、宇宙空間も、決して戦争のために使わず、科学のため、そして人類のために使わなければいけないと、そういう意味の誓を、その画の前でしたそうです。

祝盃を挙げながら、彼らはそういうことを考えたということあります。

どうも、ありがとうございました。

Encounter '86



An International Rendezvous with
Halley's Comet

質疑応答

「どうも、ありがとうございました。

大変スケールの大きな、夢のある、相当こわいお話をございましたが、皆さんの方からご質問がございましたら、一つ、二つお願いしたいと思いますが。……いかがでございましたか。」

——あの…先生、さきほどの宇宙のスケール、星の数、そういうものから考えますと、地球みたいな存在は、もっともっと、私の考えではたくさん、ありそうに思うんでございますけれども、セーガン先生のような方でも、10個でございましたか。

「はい。10個くらい。」

——銀河系でございますか。

「はい、銀河系です。」

——銀河系で10個なら、他を考えますと、まだまだ見込みはございますね。

「まだまだ、見込みはございます。けれどただ、通信、つまり向うからのメッセージが届くためには、何百万年ってかかってしまうので、ちょっと、今の我々の寿命では、むづかしいと思います。」

——せっかく行ってみたら、これからですとか、いや、もう亡くなりました。なんて、同じころに……。

「そうなんです。それは一つの条件です。」

——セーガン先生のように、楽観的な方でも、10個と申しますとね。地球の上に存在する、どんな一人の人間もですね、大変な神の恵みを受けているわけでございましょう。ですから、自殺などしちゃいけませんし、大事な地球は、私、よく冗談でいうと、地球は、水星と言えばよかったです。水の星ですから、間違いましたですね。水星は真黒こげでしょう。

「いや、水星は太陽に近すぎますから、そうですねえ。」

——きれいな星をこわしちゃいけませんね。

「そうです。そう思います。」

——ありがとうございました。

「あの、ちょっと付け加えますと、実際、向うから待っているだけではなくて、こっちから、実はミッションの探査機を飛ばしているわけです。で、それには、ちゃんと放送器が付いていまして、「私たちは、地球人です。」と、「もし、これを聞いた人はこういう返事をしてほしい。」とか、いろいろなメッセージをその中に含んで、今どこかの惑星の間を、どんどん飛んでるみたいでけれども、まだ、何も返事はないようです。」「その他に、ございませんでしょうか。」

—— 生物が発生して、進化するチャンスを考える場合に、その生物は、我々のような蛋白質だけの生物だけを考える、ていうんでしょうか。

「はい、いやこれは、私たちの祖先の生物というのは、やっぱりそうだと思ひます。