

題名	地平線
Title	Horizons
著者名	ヤン・ヘンドリック・オールト
Author(s)	Jan Hendrik Oort
言語 Language	日本語・英語 Japanese, English
書名	稲盛財団：京都賞と助成金
Book title	The Inamori Foundation: Kyoto Prizes & Inamori Grants
受賞回	3
受賞年度	1987
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	The Inamori Foundation
発行日 Issue Date	8/20/1992
開始ページ Start page	108
終了ページ End page	131
ISBN	978-4-900663-03-4

地平線

ヤン・ヘンドリック・オールト

誰でも若いころに、船がどんどん沖へ遠ざかり、ついには消えて見えなくなってしまふ様子を見たことがあると思います。最初に船体が見えなくなり、マストだけが残って見えます。さらに船が遠のくと、最後にはマストの先まで「地平線」のかなたに沈んでしまいます。子供のころはみな、この地平線に好奇心をそそられ、あの向こうにはいったい何があるのだろうかと考えたものです。大人にも同じような好奇心があります。大人は地平線へ向かって船をくり出し、新たな地平線がさらに広がっていることを見つけ、行けども行けどもその繰り返しであることを発見します。そして、ついには地球を一周し、世界を発見したのです。

しかし、まだわれわれの頭上に広がる宇宙、太陽や月、それに星の世界があります。古い文書の伝えるところによれば、太古の昔から人は、天空をわれわれの世界の外縁だと考えていたようです。昔は宇宙船がありませんから、天空まで行くことはできませんし、誰も天空までどれほどの距離があるのか知りませんでした。

しかし、ギリシャの思想家たちは、天をも含めた世界のモデルを考え出しました。その中には、他にも多くのアイデアがありましたが、中でも彼らは、月食は月が地球の陰に入るために起こることを明らかにし、その影が丸いことから、地球は球体に違いないと推論しました。また、この月食の影を観察することにより月までの距離を測ろうとしました。月の動きはたいへん速く、天空をほんの1か月で回るのに対し、太陽は1年かかることから、太陽への距離は、月までの距離より相当大きいはずだという、正しい推測をしていました。したがって、地球が月へ落とす影は筒状で、影の半径は地球の半径と一致すると考えられました。地球の半径がわかれば、月の影の角半径を測ることにより、月までの距離がわかります。地球の半径は、エラトステネスが、エジプトのシエネとアレキサンドリアの直線距離と、両市の天頂を通過する星の角距離とを使って求めました。こうして計算された月までの距離は、地球の半径の60倍、すなわち40万キロメートルということでした。これが宇宙における距離を測定した最初で、たいへん飛躍的な進歩だったのです。

次の飛躍、つまり惑星や太陽までの距離が求められるようになるまで、ほぼ2000年かかりました。

ギリシャの天文学者たちが考え出した宇宙のモデルは、すべての天体が回転球殻に固定されているというものでした。一番外側の球殻、すなわち「第十天」には恒星が含まれ、その内側には土星のある球殻があります。この球殻は外側の球殻につながる独自の回転軸を持ち、この回転軸の周りを回転します。次に木星の球殻があり、これも、土星の回転球殻につながる回転軸の周りを独自に回転しています。同様に、火星

HORIZONS

Jan Hendric Oort

When we were young we may have watched how ships gradually disappeared when they were farther and farther away from us. We saw first the hulls disappear, while the masts remained visible. Finally, as they sailed away, even the tops of the masts dipped under the "horizon." As children we were intrigued by this horizon. What was behind it? Grown-ups have a similar curiosity. They sailed to the horizon, and found there were new horizons behind, and that this was repeated almost eternally. Until at last they found they had circumnavigated the Earth, and had discovered the whole world.

But there remained the space above us: the realm of Sun, Moon and stars. From the earliest times from which writings have come to us it has been thought that the heavenly bodies formed the outer limit of the world. As there were no space-ships, they were unreachable. Nobody knew their distance.

However, Greek thinkers conceived models of the world which incorporated the heavens. Among many other things they understood that the eclipses of the Moon were due to the Moon's coming into the shadow of the Earth. The observation that this shadow was round taught them that the Earth must have a spherical shape. They also used observations of this shadow to obtain a measurement of the distance to the Moon: because the Moon moved so fast, going around the sky in a month's time, while the Sun took a year to do this, it was generally, and correctly, thought that the distance of the Sun must be considerably larger than that of the Moon. The shadow of the Earth over the range concerned must then be almost a cylinder, with a radius equal to that of the Earth. By measuring the angular radius of the shadow of the Moon one can therefore find the distance to the Moon, once the Earth's radius is known. The latter had been determined by Eratosthenes from a combination of the linear distance between Syene in Egypt and Alexandria with the angular distance between the stars going through the zenith at the two cities. The resulting distance to the Moon was 60 times the radius of the Earth, or 400,000 km: the first measurement of a distance in space: It was a tremendous step.

Almost 2,000 years had to pass before the next jump, to the distances of the planets and the Sun could be made.

The Greek astronomers had conceived a model of the world in which all heavenly bodies were attached to rotating spheres. The outermost sphere, the "primum mobile", contained the fixed stars. Inside this was a sphere containing the planet Saturn; it rotated around its own axis which was attached to the outer sphere. Then came the Jupiter sphere whose axis was attached to that of Saturn

の回転球殻、金星の回転球殻、水星の回転球殻、そして月の回転球殻があります。それらの中心に地球があり、これは動きません。回転殻自体は水晶のように透明で、内側の球殻が外側の惑星に向かう視野をじゃますることはありません。このモデルはプトレマイオスの有名な著作『アルmagest』に詳しく説明され、またこの著書はその後、何世紀ものあいだ、天文学の教科書として使われたため、後世に伝えられることになりました。

16世紀になって、ようやくこのプトレマイオスの理論は、コペルニクスによって重大な挑戦を受けることとなります。コペルニクスは、星の日周運動は見かけ上は星が動いているように見えるが、実際に動いているのは地球で、星は静止していると考え、このほうが理屈が通ると指摘したのです。それだけでなく、コペルニクスは、太陽がわれわれの周りを軌道を描いて回っているのではなく、われわれのほうが太陽の周りの軌道を回っているのだとも指摘しました。こうして、まったく新しい惑星システムのモデルが、コペルニクスとその一派であるティコ・ブラーエ、ケプラー、そしてガリレオによって打ち立てられたのです。この時代は、機器の技術的改良と、ティコやケプラーといった科学者たちの熱意によって、宇宙における距離の計測に関して、第二の大きな飛躍が見られたときでした。この計測は、惑星への方向を2か所から測定することによって行われました。地球の自転のため、天文台は地球をぐるっと回ることになり、それによって惑星をほんの少し違った方向から観測することができます。地球の半径がわかっていますから、観測者は、二つの観測地点A、B間の距離もわかっています。二つの方向APとBPとのなす角を正確に測定することにより、APBという三角形が考えられ、AP、BPの距離が求められます。距離を求めるのに最も重要なAP、BPのなす角は1分（60分の1度）以下ですから、この計測はたいへんな作業だったはずですが、このようにして惑星システムの規模が測定され、ニュートンがそれによって最終的に太陽系を解明することになる、素晴らしい「万有引力の法則」の基礎ができあがったわけです。

ところで、恒星のほうはどうでしょうか。恒星は動かないことから考えて、惑星よりずっと遠くにあるにちがひありません。しかし、どれくらい遠いのでしょうか。初期のころの科学者たちはすでに、恒星は太陽と同じような性質のものだろうと推測していました。そうだとすると、恒星の距離は、太陽までの距離の100万倍ぐらいあることになり、それはケプラーの時代では、他のものをはるかに超える距離でした。この場合も、3世紀前のティコ・ブラーエの時代同様、技術の進歩、特に大型の望遠鏡、つまり当時のいわば「宇宙船」の建造により、恒星への距離の計測が可能となりまし

and again had its own rotation, and so on for Mars, Venus, Mercury and the Moon. At the center was the immovable Earth. The spheres were crystalline and transparent, so the inner ones did not obstruct the view to the outer planets. The model was fully described and transferred to later generations by Ptolemy in his famous work the *Almagest*, which for many centuries remained the standard textbook on astronomy. It was only in the 16th century that Ptolemy's system was seriously challenged by Copernicus. He pointed out that it was more plausible that the daily rotation of the stars was only an apparent motion; that it was the Earth which was rotating and the stars were at rest. Furthermore, the Sun did not describe an orbit around us, but that we described an orbit around the Sun. An entirely new model of the planetary system was constructed by Copernicus and his followers, Tycho Brahe, Kepler, and Galileo. It was in this era that by technical refinement of instruments and the passionate devotion of scientists like Tycho and Kepler a second tremendous leap in measuring distances in the Universe was made. It was accomplished by measuring the direction towards a planet from two different positions. Due to the Earth's rotation the observatory swings around, and will alternately see the planet in slightly different directions. Knowing the radius of the Earth the observer also knows the distance between A and B. Precise measurement of the angle between the two directions AP and BP then enables us to construct the triangle APB and thereby derive the distances AP and BP. It was a marvelous accomplishment: the angle between AP and BP, which was the essence of the measurement, being less than a minute of arc. In this way, the scale of the planetary system became known and the foundations were laid for the magnificent theory of gravitation by which Newton finally crowned the exploration of the Solar System.

But what about the fixed stars? Because they are fixed they should be much further away than the planets. But how much further? Some original scientists had already speculated that they might be similar in nature to the Sun. If this is so, their distances must be a million times larger than of the Sun, far beyond any distances that could be measured in Kepler's time. Once more, as in Brahe's and Kepler's time, three centuries earlier, it was an enormous advance in precision brought about by technical developments, and in particular the construction of large telescopes, the "spaceships" of those days which enabled man to measure the distances to the fixed stars. Just as in the case of the planets the measurements were based on trigonometry. But this time the basis of the triangle was not the diameter of the Earth, but the 25,000 times larger diameter of the Earth's orbit.

た。惑星の距離を測ったときと同様、この場合の計測も三角法が用いられました。ただし、今回は、三角形の基本となったのは地球の直径ではなく、地球の軌道の直径(地球の直径の25000倍)でした。それでも、この測定にはギリギリの距離で、APとBPのなす角度は1秒以下、すなわち、2キロメートル離れて1ダ임硬貨を見るときにできる角度だったのです。

観測により、恒星の光度は太陽に匹敵することが確認されました。

また、計測によって恒星は静止しているのではなく、かなりの動きがあることがわかりました。 Groningen大学の若いオランダ人天文学者、J・C・カプタインは、多くの星の動きに、ある規則的な傾向があることを発見し、これが星流として知られるようになりました。これが「恒星運動学」の最初の発見でした。

巨大な新しい世界の探検が始まりました。いくつかの研究所が意欲的に取りかかり始め、Groningen大学もその一つでした。

星の世界が無限に広がっているものでないことは、かなり以前からわかっていました。しかし、どの程度の広がりがあるのか、またどんな形をしているのか等については、まったくわかっておりませんでした。カプタインは、それを解明することを自らの課題とし、また、星の動きと、星々をまとめている力についても取り組もうとしました。

この星群は、天の川、または銀河と称されていますが、その研究がまだ初期の段階にあったころ、私は大学に入ったのでした。カプタインの名前に引かれてGroningen大学に入った私は、すぐに彼が講義で発する魅力に取りつかれてしまいました。私は心酔のあまり、最初の年には、法学や医学を専攻する友人たちにまで、この講義を受けさせようとしたほどでした。科学者たちの努力と熱意とによって、新しい世界が今、まさに解明されんとしている、そんな環境の中で学生として学ぶことができたことは、何よりも幸運だったと思います。

この世界には、相当数の星の成因が含まれており(1,000億ともいわれていますが)、すべてを研究することは不可能でした。そのためカプタインは、天空に広がる200ほどの狭い領域に限定して観測をし、その限られた領域内では、どんなに光の弱い星も見落とさず観測するという方法を提唱しました。彼は、仲間を熱心に説得し、世界各地のいくつかの天文台に、彼の「選択領域計画」に加わるよう説得しました。Groningen大学には望遠鏡がありませんでしたので、もっぱら他の天文台で得られたプレート(Plates)の計測に努めました。しかし、膨大な数の計測を行うには、スタッフの数はあまりにも少なすぎました。そこでカプタインはひるまず、囚人をこの作業に借り出す許

Nevertheless, the measurements were at the extreme verge of what could be accomplished. The angle between AP and BP was less than a second of arc (which is the angle under which you would see a small coin at a distance of 2 km).

The observations confirmed that the stars were indeed of a brilliance comparable to the sun.

The measurements had also shown that the stars were not fixed but had considerable motions. A young Dutch astronomer J.C.Kapteyn of Groningen had even discovered a systematic trend in these motions which became known as "star streams." They were the first discovery of stellar dynamics.

A gigantic new world had become accessible to exploration. The research was started vigorously in a few centers. One of these was the University of Groningen.

It had long been recognized that the world of stars did not extend indefinitely; but it was unknown how far it extended and what shape it had. Kapteyn had set it as his task to find out. He also wanted to investigate the motions of the stars and the forces which held them together.

It was in this early stage of reconnaissance of the Milky Way system, or Galaxy, as the star swarm was called, that I began my University studies. Drawn to Groningen by Kapteyn's fame I was soon fascinated by the inspiration which radiated from his lectures. So much so that in my first year I tried to make my fellow students in law and medicine share this inspiration. And what luck it was for a student to grow up in an environment where through hard work and enthusiasm the first traces of a new world were being revealed!

This world contained so large a number of members (in fact, some hundred thousand million) that it was impossible to study them all. For this reason Kapteyn had proposed to concentrate out observations on some 200 small fields distributed over the whole sky, in which observations would be made down to the faintest observable stars. He managed to instill his enthusiasm in his colleagues, and persuaded a number of observatories spread over the world to join in this Plan of "Selected Areas." The Groningen Department itself had no telescopes. It made its contribution by measuring plates obtained at other observatories. But its staff was too small to cope adequately with the enormous number of measurements required.

But Kapteyn was undaunted. He found a successful solution by asking and obtaining permission to get prisoners to assist in the work. During my student years the great project had already led to a provisional result. In this bold first

可を得て、人手不足の問題を解決しました。

私がまだ学生でいるあいだに、この壮大なプロジェクトの暫定的な結論が出ました。いわゆるカプタイン・システムとよばれるこの大胆な最初の銀河系モデルでは、太陽は直径が約1万5000光年、厚みはその5分の1程度の回転楕円体状の星群の中心近くに位置しておりました。星群の赤道面が天の川の面に一致し、銀河という名前がつけられたのです。もちろんはっきりした境界があるわけではなく、星の密度が徐々に外へ向かって薄れてゆくといったものです。外側は中心近くの密度の約10分の1になっています。

私自身が Groningen 大学で行っていた研究は、星の動きに関するものでした。私の学生仲間の一人が、すべての星の運行速度の平均に比べてずっと速い星の独特な動きについてふれた論文を見せてくれました。私はこの現象をおもしろいものだと思います。その研究の成果は、私の文章で天文学誌に載った初めてのものとなり、のちの私の博士論文の基礎にもなりました。

もちろん私は、カプタイン・システムとその宇宙における位置、といった研究にも加わっていました。「カプタイン派」の中では、われわれの周りにある大きな星群こそが宇宙であり、それは星群の表面で集結していると考えられていました。

ちょうど同じころ、カリフォルニアのウィルソン山頂天文台で若い天文学者、ハロー・シャープレーにより、まったく違う方法で宇宙の研究がなされていました。シャープレーはいわゆる球状星団を集中的に調べました。球状星団は、数十万単位の恒星が球状に集まったものです。シャープレーは、様々な方法を使ってこの球状星団内の特殊な変光星を調べることで、球状星団までの距離を計測することに成功しました。その結果、数万光年というずいぶん大きな距離であることがわかりました。もしこれが正しければ、球状星団はカプタインの宇宙の境界をずっと越えた所に存在することにもなります。約100個の星団が一つの群れを形成しています。それが、カプタイン・システムのずっと外側、約2万光年の所にある点を中心として集中しています。そして、特に興味深いのは、その中心点が、カプタインのディスクと同じ平面上、つまり天の川と同じ平面上に位置するということです。

シャープレーは、実際の銀河系は彼のいう球状星団の分布に描かれているようなものであり、カプタインの「宇宙」は、この大きな球状星団の群れのあちこちにある「島」の大きなグループの一つにすぎないと考えました。しかし、その当時はこの見方では、まったく説明不十分だと思われていました。なぜ、他の島は見えないのか、なぜ大きなシステムの中心が、われわれの島のある平面上にあるのか等、いくつかの

model, the so-called "Kapteyn System." the Sun was assumed to lie not far from the center of a spheroidal swarm which had an outer diameter of some fifteen thousand light-years, and a thickness of one fifth of this. The equatorial plane of the swarm coincided with the plane of the Milky Way, which gave it its name "Galaxy." Of course there were no abrupt boundaries, the star density falling off gradually towards the outside. The distances suggested the density was about one tenth of that near the center.

My own work during the years in Groningen was directed to the motions of stars. A fellow student had drawn my attention to an article describing a peculiar property of the motions of stars which had high velocities relative to the mean of all stars measured. The phenomenon proved to be interesting. The investigation led to my first article in an astronomical journal, and later became the basis for my doctor's thesis.

I was of course also involved in thinking about the Kapteyn System and its place in the Universe. In the "school" of Kapteyn the big swarm of stars surrounding us was the Universe. It ended at the outer surface of the swarm.

In this same period the Universe was also being studied at the Mount Wilson Observatory in California by a younger astronomer, Harlow Shapley, in a quite different manner. Shapley concentrated entirely on the so-called globular clusters. These are concentrated groups of stars, with some hundred thousand members each. By studying a special sort of variable star in these clusters, and by various other means, Shapley succeeded in finding their distances. These came out to be very large: several ten thousand light-years. If correct, the globular clusters would therefore lie well beyond the frontiers of Kapteyn's Universe. The roughly hundred clusters formed a swarm, much like Kapteyn's star swarm, but of some five times larger dimension. It was concentrated towards a center some 20,000 light-years away, far outside the Kapteyn system. What was remarkable was this distant center lay precisely in the plane of Kapteyn's disk, i.e. the plane of the Milky Way!

Shapley imagined that the actual Galactic System was outlined by his globular clusters, and that the Kapteyn "Universe" was one of a large group of "islands" spread around through the much larger swarm of globular clusters. At the time this picture seemed far from satisfactory: Why did we not see the other islands, and why did the center of the large system coincide exactly with the plane of our local island?

The final solution came (somewhat later) through the realization that the real

疑問が提出されました。

最終的な解答は、カプタインの一派やシャープレーが考えていたのとはまったく違うということが明らかになって、初めて出てきました。実際の世界は、たしかに星団の群れの広がりではあるのですが、形状は似ていません。球状星団はほとんど球に近いシステムをつくって分布しているのに対し、実際の星群は薄い円盤状で、厚みは直径の100分の1以下です。このモデルは、 Groningen 大学での調査結果と一見、矛盾するようにみえるかもしれませんが、実際は矛盾しないのです。 Groningen の天文学者たちは、主として天空上に一様に広がっている 206 の地域を観測しました。しかし、これらの領域のみを集中的に観測したため、円盤状のシステムの薄い帯を見落としてしまったのです。もう一つ重要な要素は、この円盤状のシステムの大部分が星間雲に吸収され、隠されていたことです。当時は、それらがすべて薄いディスクの中に完全に入り込んでいたため、その重要性が見過ごされていたのです。実際、ある円より外側の銀河ディスクはすべて見えなかったのです。

複雑な構造の銀河系の真の姿は、徐々に、部分的にしか解明されませんでした。銀河系の成因がすべてディスクの中に存在しているわけではなかったことも、なかなか解明されなかった理由の一つです。銀河系は、ディスクへの集中の度合いが異なる様々な成因が混合したものです。極端な場合には、ディスクにほとんど何の関連も示さない球状星団などもあります。

成因の違いは、それらの動きに強く現れます。ここで、私が Groningen 時代に研究した高速の星の特徴があらはれてくるのです。しかし、私の頭にはあまりにカプタイン・システムがこびりついていて、われわれを取りまく星が実際はずっと大きく、連続的なディスク・システムの一部であるというようなモデルを考えつくには至りませんでした。このモデルは、1925年にスウェーデンの天文学者、バーティル・リンドブラッドによって取り上げられ、われわれの周りをゆっくり動いている星は、球状星団のシステムの中心周辺の速い回転運動を共有するものであると唱えました。リンドブラッドは剛体回転を考えていました。しかし、私は、銀河系の大部分が中心に向かって集中しているのだから、回転角速度は、ちょうど太陽系の惑星の運動のように、中心に向かって速くなっているはずだと悟りました。それ以前に私は、天の川にある遠くの星が規則的な、説明のつかない動きをすることに気がついていました。そして、これらの動きは、内側が外側より速く動く星の回転運動にみられる独特の動きである、とひらめいたのです。このことが、1927年の銀河差動回転運動の発見につながるのです。この動きは、銀河系が回転している中心は射手座のあたりにあり、球状星団のシ

world was entirely different from what either the Kapteyn group or Shapley had imagined. It did stretch out over the entire diameter of the swarm of clusters but it did not resemble it. While the globular clusters formed a nearly spherical system, the real star swarm was a thin disk, whose thickness was not more than a hundredth of its diameter. At first sight, this model would appear to contradict the Groningen investigations. Actually, it does not. The Groningen astronomers had principally investigated their 206 areas distributed evenly over the sky, but in concentrating on these regions, had practically overlooked the thin band of the disk system. An important other factor was that the major part of the disk was hidden by absorption through dark interstellar clouds, whose overruling importance was not realized at the time, due to the fact that they were entirely confined to the thin disk. Actually, the whole of the Galactic disk outside the circle was invisible.

The true, complex structure of the Galaxy became known only gradually, partly due to the circumstance that not all its populations lay in the disk.

It contained a mixture of various populations with varying degrees of concentration towards the disk, the extremes being the globular clusters which showed hardly any affinity to the disk.

The differences between the populations were strongly reflected in their motions. It is here that the peculiarities of the high-velocity stars which I had investigated in the years at Groningen began to fit in. But I was still too much indoctrinated by the Kapteyn system to take to step to a model in which all stars around us would actually be a part of a much larger continuous disk system. This step was taken in 1925 by the Swedish astronomer Bertil Lindblad by suggesting that all slow-moving stars in our surroundings would share a fast rotating motion around the center of the system of globular clusters, Lindblad thought of a solid rotation. I realized because the mass of the Galactic System was concentrated towards its center, the angular velocity of rotation should increase toward the center, just like the motions of the planets in the Solar System. I had found earlier that distant stars in the Milky Way had unexplained systematic motions, and it dawned on me that these motions were just what one would expect in a rotating system of stars whose inner regions rotated faster than the outer parts. This led in 1927 to the discovery of the differential galactic rotation. The motions confirmed also that the point around which the System rotated lay in Sagittarius, coinciding precisely with the center of the System of globular clusters. It was a wonderful discovery: it showed that the same law of gravitation which had been

ステムともピッタリ一致することを確認することにもなりました。これは、素晴らしい発見でした。太陽系の惑星の動きをうまく解説できた引力の法則が、太陽系の数百万倍もの大きさの銀河系にもあてはめることができ、また太陽系と銀河系の間には類似性が強くみられるのです。

それ以降、数年のあいだに銀河系の構造と内部の運動のほとんどの特徴が解明されていきました。しかし、一つ重要な未解決の問題がありました。ディスク内の掩蔽により、重要な部分は星間雲に吸収され、見えないままだったからです。中心部は観測できませんでしたが、この中心部こそ、のちになってたいへん興味深い現象の生じている場所であることがわかるのです。また、ディスク内に渦状の星雲のような大型の構造があるかどうかは観測できませんでした。約20年後、電波天文学の発展により、ようやくこの領域での謎が解明されました。

しかし、それよりも何年も前、銀河の探究の初期のころ、もっとずっとスケールの大きな問題が生じていました。すなわち渦状星雲の正体は何であるのかという問題です。ウィリアムとジョンのハーシェル親子が大型望遠鏡を使って、あの有名な空の観測を行っていた際、星や星団の他に、数多くの星雲状のものがあることを発見しました。それらの多くが明らかな渦巻状の構造をしていたため、通称、渦状星雲とよばれました。これら星雲の正体については、多くの問題がありました。シャープレーを含めた、幾人かの天文学者は、これを銀河系の内部にあるものと考えました。一方、これらの星雲はもっとずっと遠い所にあるものと考え、われわれの銀河系のような独立した星の系、いわば島宇宙であると考えた天文学者もあり、のちにこの説が正しいことが証明されました。この星雲はあまりにも遠くにあるため、最大の望遠鏡を使っても、個々の星を識別することはできず、したがって渦巻状の構造をしているように見えるのです。

私はすでに学生時代、これが真実であることを確信し、渦状星雲がわれわれの目を新しい宇宙へと向けました。私の講演の後半は、この不思議な世界についてです。

しかし、それに入る前に、われわれの銀河系の話をまとめておかなければなりません。電波天文学の発展により、今まで考えられもしなかったような新しい研究方法が出てまいりました。ベル電話会社のエンジニア、ジャンスキーは、電波受信機に入る雑音の原因を調べてゆくうちに、それが太陽の方向と関係があることを発見しました。また、天の川の位置、特に銀河の中心の位置にも関係していました。ところが驚くべきことに、光学天文学者が無関心であったために、ジャンスキーの発見が宇宙の研究にとって重要であることがわかったのは、それから20年もたってからでした。そこ

so successful in explaining the motions of the planets in the Solar System was applicable also in the millions of times larger Galaxy, and that there was a strong analogy between the two systems.

In the following couple of years most of the characteristics of the Galaxy's structure and internal motions became understood, including star Streamers.

However, one serious incompleteness remained: due to the obscuration in the disk the major part remained hidden behind the absorbing clouds. We could not observe the center, which later proved to be the seat of extremely interesting phenomena. Nor could we see whether the disk had any large-scale structure like the spiral nebulae. It was only with the advent of radio astronomy, almost 20 years later, that the enigmas of these regions were revealed.

But long before that time, during the first explorations of the Galaxy, a problem of much wider scope began to present itself; viz. that of the nature of the spiral nebulae. While making the famous survey of the sky with their large telescopes, William and John Herschel had found that besides stars and clusters there existed also a large number of nebulous-looking objects. Because many had a striking spiral structure they were commonly referred to as Spiral Nebulae. There was considerable doubt about their nature. Some astronomers, including Shapley, thought they were objects inside our Galaxy. Others, who finally proved to be correct, put them at much larger distances and pictured them as individual star systems, "island universes," much like our own Galaxy. They would be so far away that not even with the largest telescopes individual stars could be discerned, which explained their nebulous appearance.

Already in my student days I was convinced this was the reality and that the world of spiral nebulae opened our eyes to a new Universe. The second half of my lecture will be devoted to this astounding world.

But before entering upon this I must conclude the story of our own Galaxy. Quite unexpected new ways for its exploration were opened by the advent of radio astronomy. An engineer of the Bell Telephone Company, Jansky, who was searching for the cause of a disturbing noise in radio receivers, discovered that the noise was related to the direction of the Sun. It also depended on the position of the Milky Way, and specifically of the center of the Galaxy. Due to a surprising lack of interest by the optical astronomers it took nearly 20 years before the significance of Jansky's discovery for the exploration of the Universe was realized by astronomers. Exploratory work was started by another engineer of the Bell Company. Around 1945 Grote Reber built in his own yard the first radio telescope

で、ベル社の別のエンジニアが調査活動を始めました。1945年ごろ、グルート・レーバーが自宅の庭に、銀河を観測するための電波望遠鏡第1号をつくりました。銀河系の構造を調べるにあたって電波を利用する利点は、はっきりしています。つまり、メートル、あるいはデシメートル単位の波長を持つ電波は、われわれが銀河系ディスクを観測する際、視野をさえぎってきた塵雲の中をじゃまされずに通過することができるのです。しかし、波長が長いと、必要な解像力を得るには口径の大きな望遠鏡が必要です。ルーバーの観測の結果がたいへん有望なものだったため、銀河の調査に最初から深くかかわってきたオランダ人天文学者たちは、銀河の構造の調査をするに足るだけの大きな口径を持った電波望遠鏡をつくる計画を立てました。そこで、銀河の最も遠い区域の構造まで観察することができる、波長21センチメートル、口径25メートルの電波望遠鏡をつくることを提案しました。この波長が選ばれたのには特別の理由があります。オランダ人天文学者、ヴァン・デ・フルストが、ヘリウムと共に星々のあいだの空間を埋めている水素原子がこの波長で電波を出していることを明らかにしていたからです。この波長で星間にある水素雲の正確な観測を行えば、水素雲の密度だけでなく、速度もわかることになります。また、電波望遠鏡は、隠れている区域を中心近くまではっきりさせ、この区域での回転速度を計測することができます。

大型の電波望遠鏡が完成したのは、やっと1958年になってからでした。ただ幸運なことに、ドイツ軍が撤退するときに砂丘に残っていた7.5メートルのレーダー望遠鏡の一つを、郵政局がわれわれに提供してくれました。観測は1952年に始められ、1954年には、オランダから見える範囲の銀河系全体の水素密度と速度の地図ができあがっていました。これは銀河系ディスクの初めての地図であり、たいへんな成果でした。熱心な学生たちがお互いに励ましあい、昼夜を問わず働いて、その作業の大きな部分を担いました。ほんとうに良き時代だったと思います。

できあがった地図では、銀河系は明らかな渦状の構造をしており、ここでも銀河系と渦状星雲との類似性を確認することになりました。

また、水素の21センチ波はたいへん興味深いものでしたが、銀河系の発する別の電波も、またまったく新しい、隠されていた事実をわれわれに教えてくれました。電波の大部分は、われわれがよく知っている光線のように原子の小さな振動からくるのではなく、銀河系内の磁場で何光年もの半径の軌道を描きながら回っている超高速の電子からきているのです。この種の放射線は、原子核の構造を調べるために用いられる大型の粒子加速器で見られることが知られていました。したがって、これはシンクロトロン放射とよばれ、その特徴の一つは偏光しているということです。通常の光のよ

for exploring the Galaxy. The advantages of using radio waves for investigating the structure of the Milky Way System were obvious, for radiation at meter- and decimeter wavelengths penetrates unhindered through the dust clouds that obscured our view of the galactic disk. But because of the long wavelengths, telescopes of large aperture were needed to obtain the necessary resolving power. Grote Reber's results were so promising that the Dutch astronomers who had been so deeply involved in the first exploration of the Galaxy made plans for building a radio telescope that would be sufficiently large for an adequate study of the structure of the Galaxy. We therefore made a proposal to build a radio telescope of 25m aperture which would enable us to determine the structure of the most distant regions of our Galaxy at a wavelength of 21cm. There was a special reason why this wavelength was chosen: The Dutch astronomer Van de Hulst had shown that atomic Hydrogen, which besides Helium, is the principal element populating the space between the stars, will emit radiation at this wavelength. Accurate observations of the inter-stellar Hydrogen clouds at this wavelength would enable us to determine not only their density, but also their velocity. The radio telescope could penetrate to the hidden regions close to the center and measure the rotation velocity in these regions.

The large telescope was only completed in 1958, but 10 years earlier we had the luck that the Postal Service put at our disposal one of the 7.5m radar telescopes salvaged from the dunes where the retreating German armies had left them behind. Observations were started in 1952, and by 1954 a complete map of Hydrogen density and velocity over the entire Galaxy as far as it was visible in the Netherlands was ready. It was the first map of the Galactic disk, and was quite an achievement. The work was in large part done by students who worked almost day and night, with mutually inspiring enthusiasm. It was a good time at the observatory!

The map showed a striking spiral-like structure, confirming again the resemblance between our Galaxy and the spiral nebulae.

However interesting the 21cm Hydrogen radiation was, the radio emission of our Galaxy had other, totally new, things in store for us: A large fraction of the radiation does not come from tiny vibrations in atoms, like the light with which we are familiar, but comes instead from high-speed electrons describing orbits of many light-years radius in the magnetic field of the Galaxy. This sort of radiation had been known from observations in the large accelerators used to investigate the structure of atomic nuclei. It was therefore called "synchrotron radiation."

うに光が勝手な方向に振動するのではなく、光の振動が一つの方に限られるのです。シンクロトロン放射が、それまで自然界で観察されたことはありませんでした。

いろいろな成り行き上、私はこの放射の発見の初期の段階にかかわることになりました。きっかけは、空でおそらく最も目立っている星雲の一つ、かに星雲の観測でした。かに星雲は、1054年7月4日、牡牛座の中の名もない、光の弱い星が爆発してできました。爆発後、1年間はたいへん明るく、昼間でも見えたほどでした。この星は、ほとんど完全に分裂し、その破片は猛烈なスピードで飛び出してゆき、数世紀たって、それが星雲として観測できるくらいにまで成長したのです。1954年に私は、ライデン大学のバルラベン博士に、膨張によってどれくらい光度が落ちたかを調べてもらいました。バルラベン博士は観測に天才的に優れた方ですが、さらにもう一步進めて、光度だけでなく、偏光も調べました。ソ連の科学者がかに星雲の光には偏光が見られることを発見したという話を聞いていたので、これが正しいかどうかを調べようとしたのです。結果、偏光があるのはもちろんのこと、偏光の程度があまりにも高いため、偏光は星間の塵による解析によって生じるという従来の偏光発生のメカニズムでは説明がつかないことがわかりました。したがって、この偏光はかに星雲が発する光の固有のものであり、よってこの光はシンクロトロンの類に違いないと確認されたわけです。これは、何とも刺激的な発見でした。寒い2月の夜、バルラベン博士と望遠鏡の横で、世界初のシンクロトロン地図をつくりあげてゆくのを見守っていたときは、われわれ二人の人生において最良の時だったと思います。

小さな望遠鏡を使って、しかも明かりがこうこうとともった都会の真ん中で観測するという悪条件にもかかわらず、このように革新的な結果が得られたのは、バルラベン博士の才能のおかげに他なりません。

では、もっと大きな宇宙の探検の話に戻しましょう。

われわれは、自分たちの生きている巨大な星群の限界を探究し、カプタインの「宇宙」も、シャープレーの球状星団のシステムも、完全な宇宙ではないことを発見しました。これらは、はるかに広がる大洋に浮かぶ島でしかなく、大洋にはまだいくつもの島があるのです。渦状星雲もこのような島の一つであり、その数は膨大です。ウィリアム・ハーシェルと息子ジョンは、過去2世紀にわたる観測の結果を調べ、数千にものぼる星雲をすでにリストアップしていました。星雲、あるいはこれは銀河とよぶべきかもしれませんが、われわれの銀河系にある星の数ほど膨大なものが存在するのです。南カリフォルニアのパロマ山頂にあるヘール天文台の5メートルの望遠鏡で露光時間を長くしてとったプレートを見ると、その中に2種類の像が見られます。境界

One of its main characteristics is that it is polarized: the light vibrations are confined to one direction, contrasting to common light, where a random distribution is shown. Synchrotron radiation had never before been observed in nature.

By a curious train of events I became involved in the early history of finding this radiation. It came about through observations of the Crab nebula, which is probably the most remarkable object in the sky. The Crab nebula was born on the 4th of July 1054 by the explosion of a faint, unknown star in the constellation of Taurus. In the first year after its explosion it became so bright, it could be seen in full daylight. The star was almost entirely disrupted. Its fragments were expelled at high velocity, and after several centuries had grown to such a size that they could be observed as a nebulous object. In 1954 I asked Dr. Walraven in Leiden to measure the rate at which its brightness decreased by the expansion. Dr. Walraven, who was a genius in refined observations, did more. He measured not only the brightness, but also the polarization. We had heard that observers in the Soviet Union had found that the light of the Crab nebula was polarized, and wanted to see if this was correct. It turned out that it was not only correct, but that the degree of polarization was so high it could not be ascribed to known mechanisms of producing polarization through diffraction of inter-stellar dust particles. It indicated convincingly that it must be intrinsic to the light emitted by the Crab nebula, and that this light must therefore be of the synchrotron sort.

This was an exciting discovery. The cold February nights I spent with Dr. Walraven at the telescope, watching the construction of the first synchrotron map were probably the most wonderful times in our lives.

It was Walraven's talent which made it possible to make these revolutionary observations with a small telescope, under the most unfavorable conditions, in the midst of a fully illuminated city.

We now return to the exploration of the universe.

We have explored the limits of the huge star-swarm in which we live, and have found that neither the Kapteyn "Universe" nor Shapley's extended globular-cluster system can be the complete Universe. They are no more than an island in an ocean that extends far beyond; an ocean that contains many other islands. The spiral nebulae are such islands. They are numerous. Thousands of nebulae had already been catalogued by William Herschel and his son John in their large survey of the two previous centuries. The nebulae, or galaxies as we shall call them from now on, are at least as numerous as the stars in our own Galaxy. On a long-exposure plate taken with the 5-meter Hale telescope on Mount Palomar

線のはっきりしているものと、不明瞭なものです。最初の像は太陽のような恒星の像ですが、この恒星は数千光年離れています。境界のはっきりしないほうの像は銀河で、それぞれに少なくとも、1,000億個の太陽が集まっており、境界のはっきりした像を示す星の約100万倍遠くに位置しています。

探せば探すほど、銀河は見つかります。これに終わりはあるのでしょうか。われわれの銀河系の中の星が銀河をつくっているように、銀河が集まってさらに大きな群れをつくっているのでしょうか。そうだという証拠は何もありませんが、この銀河の世界には終わりがないように思えます。

これらの群れの配置を見ていると、とうてい無秩序とはいえません。群れは集まってゆく傾向があります。2倍、3倍と規模の様々に異なった群れのグループから、数千もの群れの集まったグループまでいろいろです。複雑な構造になっていることがわかります。大きな星雲団である乙女座星雲がありますが、正確に示すにはあまりにも規模が大きすぎてできません。

一般には、大きな銀河団はやや円に近い形になっており、直径は1億光年単位のもので、さらに、それより直径が100倍も大きなものもあり、超銀河団とよばれています。この超銀河団の形状は円形とはほど遠く、ひも状のものさえあるほどで、ふつうは不規則な形をしています。超銀河団が非対称な形をしているということは、誕生以来、大きな混合が起きたことはないことを示していると思われまゝ。つまり、今、われわれが見ているのは、その形成過程にあるものなのです。これは、たいへんおもしろいことです。超銀河団を研究することにより、銀河がどのように発生したかがわかるかもしれないからです。ここ5年ほど、私はこの研究に深くかかわってきております。

一方、われわれの宇宙に関する認識は、大幅に変わってまいりました。今世紀の初頭に、望遠鏡やスペクトログラフをつくる技術が進歩して、たいへん質の良い銀河のスペクトラムがとれるようになりました。その結果、銀河のスペクトル線のドブラー・シフトを測り、その速度を出すこともできるようになりました。銀河の半径方向速度からおもしろいことがわかってきました。銀河はすべて高速で遠ざかっており、それはわれわれの銀河系では見られない速さです。銀河が遠くなればなるほど速度も増していました。ハッブルは、この銀河の動きが距離に比例することを証明するのに成功しました。これは、銀河がわれわれから遠ざかっているだけでなく、銀河相互も遠ざかっていることを示しております。つまり、宇宙は「膨張している」のです。この驚くべき現象は、その後の観測結果によっても確認されました。そして、この現象はハッブルの膨張とよばれ、膨張率はハッブル定数といわれます。

in Southern California. We see two sorts of images: those with sharp boundaries and those with fuzzy boundaries. The first are images of stars, like our Sun, but at distances of several thousand light-years; the nebulous ones are galaxies, swarms of at least hundred billion suns each, lying roughly a million times further away than the sharp-image objects.

The further we look the more galaxies we see. Is there an end? Do the galaxies form a swarm like the stars in our own galaxy, but of a higher order? No evidence has been found for this. There appears to be no end to the world of galaxies.

True, their distribution is far from random: they have a strong tendency to cluster together, in groups of all kinds of sizes, ranging from doubles, triples etc. to groups and clusters containing thousands of galaxies, showing an impression of the complicated structure. There is one large cluster, the Virgo cluster, but it is too large to show adequately.

In general the rich galaxy clusters have roundish shapes, with diameters of the order of ten billion light-years. There exist still vaster structures, with hundred times larger diameters. They are called "superclusters." Their shapes are far from round. Sometimes they are string-like. Usually they are very irregular. The asymmetrical structure of the superclusters suggest there has been no important mixing since their birth. Apparently, we see them in the stage of their formation. This is exciting: the study of superclusters may then teach us something about the manner in which the large structure has originated. During the last five years I have become deeply involved in their investigation.

Meanwhile, our knowledge of the Universe has undergone a radical change. The technical development in building telescopes and spectrographs had, early in this century, enabled astronomers to obtain spectra of galaxies of sufficient quality to measure Doppler shifts of their spectral lines and to derive their velocities. Their radial velocities revealed something very remarkable: the galaxies all moved away at high velocities, higher than any velocities observed within our Galaxy. The velocities increased the further away the galaxies were. Hubble succeeded in showing that the motions were proportional to the distances. This indicated that they were not only moving away from us, but also from each other. The Universe appeared to be expanding. This remarkable phenomenon was amply confirmed by subsequent observations. It is called Hubble expansion; the rate of expansion is called the Hubble constant.

At earlier epochs the galaxies must thus have been closer together, and there

したがって、初期の時代、銀河は互いにもっと近い場所にあったはずですし、すべてが一つの場所からスタートした時点があったに違いありません。もし膨張率が一定であったとしたら、この時点（いわゆるハッブル時間）は約200億年前であったことになります。実際は、膨張率が一定であったとは考えられません。銀河間の引力や相互作用によって減速されていたはずで、したがって膨張は昔のほうが速かったでしょうし、そうするとスタートから今日までの時間も、先ほどの見積もりより短くなります。現在では、スタートから今日までの年数は130億年と考えられており、これが「宇宙の年齢」なのです。

銀河は、遠くなればなるほど、光が弱くなります。原則的には、見かけの明るさから距離を計算することができます。

宇宙という「空間」のはるか彼方にあるものを見るということは、過去の「時間」を振り返ることでもあります。しかし、時間を見てゆくことにも限界があります。この限界が、宇宙の年齢であり、現時点では、130億光年に相当します。ここに、船が岸から遠ざかってゆくときに見えた地平線とはまた別の「新しい地平線」があります。この地平線を越えるためには、忍耐強く待つしかありません。今から10億年たてば、今観察できる最も遠い銀河より10億光年かなたにある銀河を見ることができます。このように、観察できる銀河の数は増え続けているのです。

では少し見方を変えて、宇宙が過去にどうであったかを見てみましょう。できるだけ昔にさかのぼるためには、最も明るい天体を選ばなければなりません。このような天体はよく、たいへん強い電波を発しているのわかります。特に、宇宙の進化を調べるのに有効なのは準星とよばれる銀河で、たいへん明るい核を持っているのが特徴です。これらはたいへん明るいのですが、同時にずいぶん遠くの天体で、現在、われわれの所に到達する光は、宇宙が今より5～10倍若かったころに発せられた光です。

宇宙と共に膨張してきた体積をとって、これらの時代の準星の数を数えると、その体積あたりの準星の数の密度は、今までに相当進化してきたことがわかります。初期の時代の密度は現在の数百倍であり、おそらく誕生率も同じように大きかっただろうと思われます。同様に、相当数の増加が、たいへん強い電波銀河にも見られます。なぜこのような爆発的な誕生率となっているのかということは、まだ解明されておられませんし、これら初期の時代に、新しく銀河がつくられたという徴候は何も見つかっておりません。この問題については、現在、熱心な研究が進められている最中です。

宇宙は必ずしも、初期のころから、星や銀河によって構成されていたとは考えられません。初期のころは、ほとんど放射線と粒子で満たされていたに違いありません。

must have been a time when they all started at one point. If the rate of expansion had been constant, this time (the so-called Hubble time) would have been about twenty billion years ago. Actually, the expansion velocity could not have been constant. It must have been decelerated by the mutual attraction of the galaxies and the matter between the galaxies. The expansion must therefore have been faster in the past, and the time elapsed since its start must have been shorter. Present estimates are about 13 billion years. This is the age of the Universe.

The more distant a galaxy is, the fainter it will appear. In principle we can determine the distance from its apparent magnitude.

In observing objects that are far away in space, we also look far back in time. But there is a limit beyond which we cannot look. This limit is the age of the Universe, which at present corresponds to 13 billion light-years. It is a new horizon, of another kind than the one behind which ships disappear when they sail away from the coast. This horizon can only be surpassed by patience. A billion years from now we can see the light emitted by galaxies a billion light-years further away than the most distant ones we can observe today. The number of observable galaxies is thus continually increasing.

Let us now look the other way, and ask how the Universe was in the past. In order to penetrate as far as possible into the past we should evidently choose the most luminous objects. Such objects can often be recognized by their exceptionally strong radio emission. Particularly powerful objects for studying evolution in the Universe are the so-called Quasars. These galaxies are characterized by having exceptionally bright nuclei. They are so luminous, and often so distant, that the light waves we now receive from them were emitted at times when the Universe was between five and ten times younger than at present.

The Universe cannot always have consisted of stars and galaxies. At earlier epochs it must have been a more or less continuous medium of radiation and particles. It must have had a very high density and such a high temperature that no condensation into stars could have taken place. It gradually cooled proportionally with the expansion. When it had cooled to a few thousand degrees, formation of galaxies and stars became possible. We cannot directly observe the high-temperature stage of the Universe, but there is one valuable piece of information on the properties of the early Universe, viz. the abundance of helium relative to hydrogen. It is generally accepted that no large amounts of helium can be produced from stars, and that the 25 percent of helium observed today must therefore have been formed in the very early Universe. Three minutes after its

かなりの高温、高密度だったはずなので、凝集して星を形成することは不可能です。それが、膨張するにしたがって温度が徐々に下がり、数千度にまで下がったとき、銀河や星の形成が可能になったのです。われわれは、今、高温状態にある宇宙を直接観察することはできませんが、一つ、初期の宇宙の特性に関して貴重な情報があります。つまり、水素に対するヘリウムの量です。一般に、大量のヘリウムが星から生成される可能性はないと考えられており、したがって現在見られる全質量の25%のヘリウムは、宇宙のごく初期の段階でつくられたものに違いありません。ビッグバンとよばれる宇宙の始まりの3分後、膨張によって温度が10億度程度にまで下がり、ヘリウム核が形成できるような温度と圧力の条件が整いました。しかし、膨張が速かったため、適切な条件が整っていた時間は短く、ヘリウム核の数は、この条件が満たされていた時間の長さ、温度、そして密度によって決まることになりました。温度と放射密度は膨張とともに下がり続け、ビッグバン後、約130億年経た現在では、温度は3 Kにまで下がりました。

天文学者たちがこの温度を測定できたのは、科学の偉大なる勝利の一つといってもよいでしょう。1964年にベル電話会社のペンジャスとウィルソンが、宇宙が温度3 Kの放射線で満たされていることを証明することに成功し、したがって宇宙誕生3分後の温度は10億Kで、ヘリウム形成に最も適した温度であったこととなります。

これは、宇宙論における素晴らしい成果であり、最大の発見の一つであるといえるでしょう。しかし、だからといって、まだ未解決の大きな謎があることも忘れてはなりません。例えば、現在の宇宙に見られる大きな構造は何から生じたものなのか、また、もし膨張によって二つの領域が決して接することがなかったとすれば、逆方向からくる3 Kの宇宙背景放射がなぜほとんど等しいのか、そして、何がビッグバンを引き起こしたのか、等の問題がまだ残っているのです。

また、宇宙論がどれほど素粒子物理学の中に組み込まれているのか、よく考えると、興味深いことだと思います。宇宙が生まれた直後の数秒間に起きた出来事を解明してゆくうえで、われわれは物理学者から多くのことを学びました。また逆に、宇宙の膨張は、大型の加速器の中でもとらえられないエネルギーの領域に突入しており、物理学上のいくつかのたいへん深遠な問題を解決するのに役立つのです。

宇宙は、ごく初期のころは、全体でも極めて小さなものでした。一滴の露より小さなものであったかもしれません。しかし、その小さな宇宙の中に、今の宇宙の謎のすべてを解く鍵が含まれているでしょう。一茶の句にも、「露の世は 露の世ながら さりながら」とあります。

origin, in the “Big Bang,” when the temperature of the expanding medium had dropped to 1,000 million degrees the conditions of pressure and temperature had become such that helium nuclei could form. Due to the rapid expansion the interval of time when conditions were suitable was short. The resulting number of helium nuclei was determined by the length of this interval, and the exact temperature and density.

The temperature, or the radiation density, continued to drop in proportion with the expansion. At the present time, roughly 13 billion years after the Big Bang, it has been reduced to three degrees Kelvin.

It is one of the big triumphs of science that astronomers have been able to measure this temperature. In 1964 Penzias and Wilson of the Bell Telephone Company succeeded in showing that the Universe is indeed filled with radiation of 3K, and that, therefore, at the age of three minutes the temperature must have been 1,000 million K, just what was needed for the formation of helium.

This was an eminent success. It was one of the greatest discoveries of cosmology. But it should not close our eyes for the big enigmas that remain unresolved. For instance, where did the very large structures observed in the present Universe come from? How can the three-degree background radiation coming from opposite directions be so nearly equal if, due to the expansion, the two regions could never have been in contact? And, finally, what caused the “Big Bang?”

It is interesting to contemplate how cosmology has become interwoven with particle physics. Physicists have taught us to understand the evolution of the Universe in the first fractions of seconds of its existence. In exchange, the expanding Universe, in diving into energy regimes far beyond those attainable in the largest accelerators, might ultimately contribute to a better understanding of some of the deepest problems of physics.

In the very beginning the whole observable Universe was contained in a tiny space, no more than a dew drop, but perhaps comprising the solution to all enigmas, like the dew drop in Issa's haiku

A world of short-lived dew,
And in that dew-drop,
What violent quarrels!

The actual Universe would have occupied only a minute fraction of the dew

実際の宇宙は、一滴の露のさらに何十分の一のものであったかもしれませんが、その中にその後大きくなっていった宇宙の様々な現象の元となる種が入っていたのです。

drop, but this would contain the seed for all the intricate phenomena in the immense Universe which was to grow out of it.

稲盛財団1987——第3回京都賞と助成金

発 行 1992年8月20日

発 行 所 財団法人稲盛財団

京都市下京区四条通室町東入函谷鉦町87番地 〒600

電話〔075〕255-2688

製 作 (株)ワーク

印刷・製本 大日本印刷株式会社

ISBN4-900663-03-4 C0000