

# “宇宙の果て”が137億光年でない理由 — 宇宙は 400 億光年先まで見えている —

石坂 千春\*

## 概要

宇宙は137億年前に始まった。このことを知っている人は、「宇宙の観測限界は137億光年である」と誤解することが多い。光が1年間に進む距離が1光年なのだから、光が137億年かけて届く距離は137億光年であり、それより先は宇宙年齢より長い時間がかかるので、見えない、というわけである。

しかしこれは正しくない。光を発した後も、宇宙膨張によって、天体は遠ざかり続けるからである。実際に、460億光年先の領域から出た電波が観測されている。宇宙膨張を考慮に入れて、光が進む時間と距離の関係についてまとめてみる。

### 1. はじめに

宇宙は137億年前に始まった(宇宙年齢は137億年である)。このことから「宇宙の観測限界は137億光年である」と誤解されることが多い。光が1年間に進む距離が1光年なのだから、光が宇宙年齢の137億年かけて届く距離は137億光年であり、それより先は見えない、というわけである。

しかし、これは正しくない。

宇宙が膨張しているからである。

宇宙は137億光年どころか、最大470億光年先まで“見る”ことができるし、実際、460億光年先の領域から出た“光”が観測されている。

たしかに、宇宙が膨張していなければ、たとえば100億光年の距離にある銀河からの光が地球に届くのに100億年かかる。しかし、実際の宇宙は膨張しているので、光が届く間に、その銀河は100億光年よりも遠くに行ってしまう。

宇宙膨張によって天体との距離は広がり続けるので、光が観測者に届いた時には、その天体は最初の時点より、はるかに遠いところにあるのである。

たとえるなら、銀河は動く歩道上に立っている人、光は動く歩道を逆走する人、のようなイメージである。

動く歩道上の同じ位置からスタートすると、逆走する

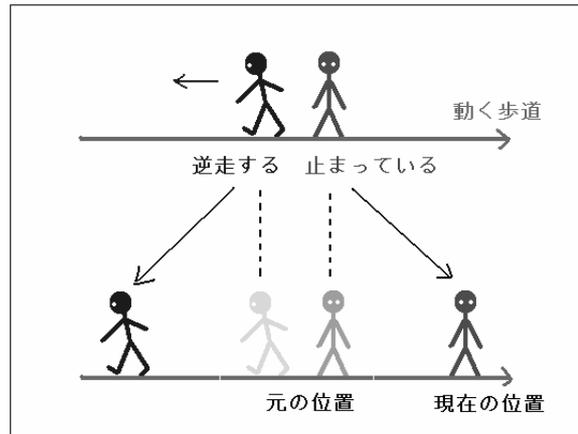


図1. 動く歩道上を逆走する人が「光」、動く歩道に立って人が「天体」である(イメージ)。

人が歩道の始点に着くころ、歩道上に止まっていた人は、ずっと先まで進んでいる。

では、たとえば100億年かけて地球まで光が届くような銀河は、現在どのくらいの距離にあるのだろうか？

そして宇宙年齢の137億年と同じだけ時間がかかるような場所(“宇宙の果て”)は、どこにあるのだろうか？

宇宙膨張を考慮し、光が進む時間と距離の関係について以下にまとめる。

### 2. 宇宙膨張の方程式

宇宙論的遠方にある天体(銀河)までの距離は、直

\*大阪市立科学館 学芸課/中之島科学研究所  
ishizaka@sci-museum.kita.osaka.jp

接測ることはできない。

遠方の銀河について観測できるのは、主に、みかけの明るさとスペクトルの波長のずれ(赤方偏移)である。

このうち、みかけの明るさは、何らかの方法でその天体の真の明るさが分かれば、距離の指標となりうる。遠い天体ほど、暗く見えるからである。しかし、真の明るさを知る方法には不確実性が伴うので、ことは容易ではない。

一方、赤方偏移はその天体が光を発した時点から現在までの宇宙膨張の割合を表わす指標である(赤方偏移を $z$ で表わすと、 $1+z$  が現在までの宇宙の膨張率。現在の赤方偏移は 0 である)。これもよく誤解されるが、天体は空間に対して止まっているので、宇宙論的赤方偏移は天体の“後退速度”によって生じるドップラー効果ではない[1]。膨張しているのは空間そのものであり、天体が空間に対して移動しているわけではないからである。

赤方偏移は、宇宙論パラメータを別に求めることができれば、宇宙膨張の方程式を用いて、その天体までの距離を計算することができる[2][3]。

ある天体の赤方偏移を $z$ とすると、その天体は現在、距離 $x$ 億光年にあり、その天体からの光は $t$ 億年かかって届いたものである。また、 $t$  億年前に、その天体は  $x_0$  億光年の距離にあったとする。

式で書くと次のとおりである。

$$x = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz}{\sqrt{(1+z)^3 \Omega_0 + \Omega_\Lambda}} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$t = \frac{1}{H_0} \int_0^z \frac{dz}{(1+z)\sqrt{(1+z)^3 \Omega_0 + \Omega_\Lambda}} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$x_0 = \frac{x}{1+z} \quad \dots \textcircled{3}$$

ここで光速 $c=2.9 \cdot 10^5$  km/s、 $H_0$  はハッブル数、 $\Omega_0$  は密度パラメータ、 $\Omega_\Lambda$  は宇宙項であり、現在 ( $z=0$ ) は定義より $\Omega_0 + \Omega_\Lambda = 1$ である。

①と③より、 $z$ が十分小さい時は  $x \approx x_0 \approx \frac{cz}{H_0}$  であり、「ハッブルの法則」が成り立つことが分かる。

### 3. 結果

観測値から、宇宙論パラメータとして

(1)ハッブル数  $H_0=71$ km/s/Mpc

(2)密度パラメータ  $\Omega_0=0.27$

(3)宇宙項(ダークエネルギー密度)  $\Omega_\Lambda=0.73$

を式①、②、③に代入して MS エクセルで計算したものが、表1であり、それをグラフにしたものが図2である。

表 1. 赤方偏移と距離の関係

$z$	T 億年	x(現在) 億光年	$x_0$ 億光年
0.00	0.00	0.00	0.0
0.01	1.37	1.37	1.4
0.02	2.72	2.73	2.7
0.03	4.05	4.09	4.0
0.04	5.37	5.45	5.2
0.05	6.66	6.79	6.5
0.06	7.94	8.14	7.7
0.07	9.20	9.47	8.9
0.08	10.4	10.8	10.0
0.09	11.7	12.1	11.1
0.1	12.9	13.4	12.2
0.2	24.1	26.3	21.9
0.3	34.0	38.5	29.7
0.4	42.6	50.2	35.8
0.5	50.3	61.2	40.8
0.6	57.0	71.6	44.8
0.7	63.0	81.5	47.9
0.8	68.3	90.8	50.4
0.9	73.1	99.6	52.4
1.0	77.4	108	54.0
1.1	81.2	116	55.1
1.2	84.7	123	56.0
1.3	87.8	130	56.6
1.4	90.7	137	57.0
1.5	93.3	143	57.3
2.0	103	171	56.9
2.2	106	180	56.2
2.4	109	188	55.4
2.6	111	196	54.5
2.8	113	203	53.5
3.0	115	210	53.4
3.5	118	225	50.0
4.0	121	238	47.5
4.5	123	249	45.2
5.0	125	258	43.0
6.0	127	274	39.1
7.0	129	287	35.9
8.0	130	297	33.0
9.0	131	306	30.6
10.0	132	314	28.5
...	...	...	...
無限大	137	473	0.0

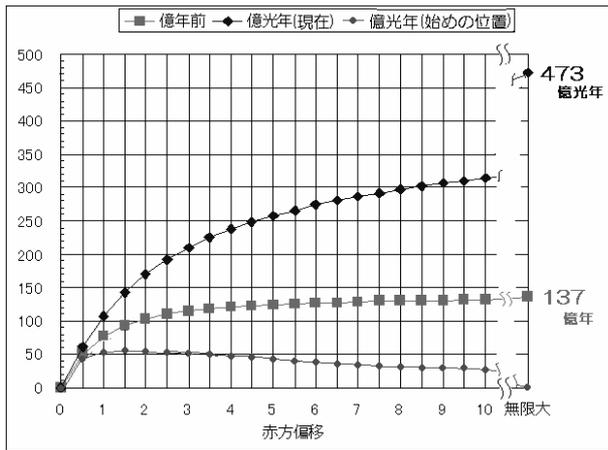


図2. 赤方偏移と距離の関係をグラフにしたもの

◆で代表される曲線が赤方偏移 $z$ の天体の現在の距離、●で代表される曲線はその天体が光を発した時点での距離、■は現在から遡って測った時間である。縦軸は数値のみ共通で、単位は◆と●が億光年、■は億年。右端は赤方偏移 $z = \text{無限大}$ 、すなわち宇宙が膨張を始めた時点である。赤方偏移が無限大の領域が137億年前に光を発した時、その距離は0であったが、現在は470億光年かなたにある。

表1、図2を見ると、次のようなことが分かる。

- (1) ハッブルの法則が成り立つ(距離が赤方偏移に比例する)のは、赤方偏移がせいぜい0.3程度、距離にして40億光年程度までである
- (2) “現在”137億光年のところにある銀河は、およそ90億年前のものである( $z \approx 1.4$ )
- (3) たとえば100億年かけて光が地球に届くような銀河(赤方偏移  $z \approx 1.8$ )は、現在160億光年の距離にあるが、もともとは57億光年のところにあった
- (4) 137億年前に光を発した領域(「宇宙の果て」もしくは「宇宙の地平線」:  $z = \text{無限大}$ )は、現在470億光年の距離にある

人類が観測できる最も古い(遠い領域から来ている)電波である宇宙背景放射は赤方偏移が約1000なので、距離は460億光年である。つまり、観測的限界としての「宇宙の果て」は、137億光年どころか、400億光年を超えるような距離にあることになる。

また、現在発見されている最も遠い銀河は、130億年前のものである[4]。距離に換算して290億光年以上の

かなたである。

一見、470億光年を137億年で光が進むなら、光速をはるかに超えているような感じがするかもしれないが、もともと、もっと近いところにあったものが、宇宙膨張によって距離が広がってしまっただけであり、天体や光が光速を超えるスピードで進んだわけではない。

#### 4. まとめ

「光年」は学術用語というよりは、歴史的な慣用表現である[5]。不動産的距離「徒歩〇〇分」が、単に徒歩1分を80mとして計算した目安であって、本当に歩いて〇〇分で着くことを保証するものではないのと同じように、「光年」も光速に1年という時間に乗じただけの、距離の目安にすぎない。「光が1年間に進む距離」という、実際には測ることができない量を、距離を表わす単位として使うと、前章までで見てきたように、宇宙論的距離では齟齬や誤解を生じてしまう。

最も深い(遠い)宇宙を撮影したハッブル宇宙望遠鏡のサイト[4]でも、「光年(light year)」という単位は使われていない。「129～131億年前の銀河を撮影した・・・(The faintest and reddest objects in the image are galaxies that correspond to “look-back times” of approximately 12.9 billion years to 13.1 billion years ago.)」とあるだけである。

宇宙年齢137億年に光速を乗じた“137億光年”は、実際には何の意味もない場所である。137億年前に光を発した場所でもなく、現在観測されている最も遠い天体が存在する場所でもない。

「宇宙は137億年前に始まったのだから、宇宙の観測限界“宇宙の果て”は137億光年である」としてしまふことは、相対論的宇宙論における最も重要な事実である「宇宙は膨張している」ということを無視してしまうことなのである。

#### 参考文献

- [1]石坂千春「宇宙がわかる」(技術評論社)
- [2]P.J.E.Peebles “Principles of Physical Cosmology” (Princeton University Press), p.319
- [3]佐藤勝彦・二間瀬敏史編「宇宙論 I、II」(日本評論社)
- [4]<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2010/02/image/a/>
- [5]日本学術振興会「学術用語集天文学編」(丸善)