

## 宇宙はどのようににはじまったのか？ 宇宙の未来は？

永劫不変と考えられていた宇宙そのものが、時間とともに変化する存在であることが認識されたのは、1920年代のルメートルやハッブルによる宇宙膨張則の発見が端緒である。一般相対性理論によれば、宇宙の大きさを表すスケールファクター  $a$  は、 $\ddot{a} = -4\pi G(\rho + 3p)a/3$  という2階微分方程式にしたがう。 $\rho$  は宇宙の平均的エネルギー密度、 $p$  は圧力である ( $c=1$  としている)。この式を見てすぐにわかることは、 $\rho + 3p$  が正であれば、有限の時間さかのぼると  $a(t) = 0$  になることである。これが宇宙のはじまりの初期特異点である。すべての物理法則が破綻する特異点から宇宙がはじまった、というのははなはだ都合の悪い話であるから、宇宙の大きさがある程度小さくなったところ (典型的にはプランクスケール) までさかのぼると時空の量子効果が効き出し、それより前は、そもそも時間発展という概念を定義できないので、結局のところ宇宙は量子重力の支配する混沌からはじまったのだ、というのが最も保守的な考え方である。すると、宇宙のはじまりを理解するためには、量子重力理論の完成を待たねばならないことになる。

一方、前世紀末期に、現在の宇宙が加速膨張していることが発見された。原因は謎だが最も保守的な説明は、一般

相対性理論のもとで宇宙が正の宇宙項、すなわち状態方程式  $p = -\rho$  にしたがう正の真空のエネルギーをもっている、というものである。それ以外の可能性も許容するため、加速膨張を引き起こすものになるエネルギーを暗黒エネルギーと称し、その状態方程式を  $p = wp$  と書いて  $w$  を決定する、というのが今日の観測的宇宙論の中心的課題である。

もし  $w < -1$  ならスケールファクターは有限の時間で発散し、すべての物質はバラバラになってしまう。これがビッグリップ (断裂) 特異点であり、宇宙の未来はそこで終わる。一方、 $w = -1$  なら宇宙はド・ジッター時空に漸近し、宇宙の未来は真空のエネルギー密度という1パラメータだけで記述される単純な状態になる。この状態は古典的には永遠に膨張を続けるが、ド・ジッター時空は量子論的にはより大きな真空のエネルギー密度をもつ小さな宇宙に相転移することが可能である。つまり初期宇宙のインフレーション期に先祖返りできるのだ。もし私たちの宇宙もこうしてできたものなら、宇宙のはじまりを量子重力時代に求める必要もなくなる。したがって  $w$  の測定は、宇宙の将来だけでなく宇宙のはじまりに関しても、重要な情報を与えることになる。 横山順一 (東大 RESCEU), 会誌編集委員会