

(参考22) 宇宙の熱力学的進路

断熱系である宇宙について、「熱力学第二法則」によれば、断熱系のエントロピーは増大し続け、やがてエントロピー最大の熱力学的平衡状態に達し、それ以上の変化は起こらなくなるはずである。このような状態は「宇宙の熱的死」と呼ばれていた。

現在までの観測の結果、誕生直後の初期にインフレーションやビッグバンの急速な膨張を経てきた現在の宇宙は、今後も膨張し続けると考えられている。そこで、以下のような進路が想定されている。

宇宙が一様・等方であるとき、仮に区切られた領域間の熱の出入りの総量は互いにゼロとなるはずなので、宇宙の膨張は断熱的に進むことになり、輻射場の温度は低下する。(断熱膨張による温度低下)(参考5 参照)

宇宙の背景輻射として観測されている現在の温度は3K程度である。(参考20 参照)

恒星系にとっては、排熱のための低温熱源が常に用意されていることになる。すなわち、恒星系は、低温環境下におかれた高温の開放系として、有用な仕事を行い、秩序を形成し続ける(生命の発生、進化、…)ことができる。これは宇宙の膨張が知られる以前に想定されていた「熱的死」とは全く異なる進路である。実際、可逆な断熱膨張では、実空間と運動量空間を併せた相空間全体の状態数は変化せず、実空間の膨張時に運動量空間分の状態数が減少して温度が低下する(参考12 参照)。つまり、輻射場については、温度差伝熱に伴い運動量空間分の状態数が増すことで総エントロピーが増大する一方で、宇宙の膨張により運動量空間分の状態数は減少し平均温度は低下し続ける。

一方、恒星や恒星の集団を形成する物質は、重力の作用により互いに引き寄せられることで、集合・合体を繰り返していく。このときの発熱によりエントロピーは増大し、第2法則に従う向きへと変化している。また一方で、力学系のビリアル定理により、全発熱分を放熱することによるエネルギー減少分を上回る重力位置エネルギー減少が生じるため、この系全体の運動エネルギーが上昇する。すなわち、集合・合体・圧縮に伴い、放熱を行いながら高温になる向きへと変化している。(自己重力多体系と呼ばれる恒星や恒星集団の実効的な熱容量は負となる。)そして、恒星最後の姿である白色矮星や中性子星、ブラックホールといった天体に物質が固定され続け、ついには新たな恒星が生まれなくなる。また、白色矮星や中性子星もブラックホールに吸収されていく。

ホーキング輻射により、ブラックホールは周りの輻射場と熱接触できるので、温度が定義される。ブラックホールの温度はブラックホールの質量に逆比例し、重いブラックホールほど低温となる。宇宙の膨張により、輻射場の温度は下がり続け、やがてブラックホールの温度が輻射場の温度よりも高くなると、輻射によりブラックホールも蒸発する。一旦蒸発し始めると、質量減少によりブラックホールの温度は上昇する一方なので、消滅するまで蒸発し続ける。(ブラックホールの実効的な熱容量も負となる。)

最終的には、全てのブラックホールが消滅し、輻射のみの宇宙となる。最終的な宇宙の死の状態ではあるが、限りなく絶対零度に近づく超極低温にあるので、「熱的死」との呼び方はふさわしくないかもしれない。

(参考書) 杉本大一郎「宇宙の終焉—熱的死かブラックホールか」講談社 (ISBN:406117956X)