

有質量グラビトン模型と宇宙論



向山 信治

京都大学基礎物理学研究所
shinji.mukohyama@yukawa.kyoto-u.ac.jp

現在の宇宙の加速膨張は、一般相対性理論に基づいて説明しようとする、ダークエネルギーの存在を示唆する。ダークエネルギーは、もしも本当に存在するのであれば、負の圧力を伴うことで万有斥力を生じ、宇宙が膨張すると体積に比例して増加する（つまりエネルギー密度が一定）という、驚くべき性質を持つはずである。しかし、その正体は全く分かっていないのが現状である。

歴史的には、19世紀に似た状況が知られている。惑星の軌道の観測により、水星の近日点移動が発見されたが、ニュートン力学では説明できなかった。そこで、人々は見えない惑星を導入して説明しようとした。この仮説上の惑星はヴァルカンと呼ばれ、発見したと主張した人もいた。これは、いわばダーク・プラネットである。しかし、本当の答えはダーク・プラネットではなく、“重力理論を変える”ということだった。一般相対性理論は水星の近日点移動を見事に説明し、ニュートン力学に変わる、新しい重力理論としての地位を獲得したのだ。

この歴史的事実を鑑みれば、少なからぬ研究者が「ダークエネルギーを導入する代わりに、一般相対論を変更することはできないか？」と考えるのも理解できるだろう。ダークエネルギーは、一般相対性理論で加速膨張を説明しようとする必要だが、もしも重力が長距離で変更を受けるのなら、もしかすると必要ないのかもしれない。

重力は重力子によって媒介されると考えられているが、一般相対性理論において重力子に質量はなく、その結果、重力は長距離にまで作用する。一方、もしも重力子に

質量を与えることができれば、重力の長距離での振る舞いが修正されるだろう。重力子が質量を持つ可能性、すなわち massive gravity についての研究は、1939年に Fierz と Pauli が線形理論を提唱して以来、長い歴史を持つ。しかし、1972年に Boulware と Deser が非線形レベルでの不安定性を指摘してからは、長い間、重力子は質量を持ってないだろうと考えられてきた。約40年後の2010年になってやっと、この不安定性の問題を解決する理論が、de Rham と Gabadadze と Tolley によって提唱された。この理論は、3人のイニシャルをとって dRGT 理論と呼ばれる。

理論的整合性を持つ massive gravity 理論の候補が見つかったので、多くの研究者が、それを宇宙論に応用して、加速膨張などの宇宙の謎に挑戦したいと考え始めた。そして、ダークエネルギーがなくても加速膨張する解が発見された。しかし、間もなくして、この解を含め、dRGT 理論における一様等方な宇宙論解は、全て不安定であることが示された。この新たな不安定性を回避して、massive gravity における宇宙論を始めるためには、二つのアプローチがある。一つは、同じ理論において新しいタイプの宇宙論解を見つけることである。たとえば、等方性を通常物質からは見えないところで破ることで、新しい宇宙論解が発見されている。もう一つのアプローチは、新たな理論を構築することである。これまでに、extended/new quasilaton, bimetric gravity, minimal theory of massive gravity 等において、安定な一様等方宇宙論解を見つけることに成功している。

—Keywords—

宇宙の加速膨張：

宇宙は膨張しているが、その速度は一定ではない。万有引力の法則から分かるように、重力は通常、引力である。そのため、一般相対論において宇宙が通常物質や輻射で満ちていると、それらによる重力により宇宙膨張は減速する。ところが、超新星や宇宙背景輻射の観測から、現在の宇宙の膨張は加速していることが分かっている。

重力子：

宇宙には4つの力があり、そのうち、電磁力と弱い力と強い力は、それぞれ、光子とウィークボソンとグルーオンによって媒介される。同様に、重力も、重力子によって媒介されると考えられている。

一様等方な宇宙論解：

宇宙における物質の分布は、十分大きなスケールでは一様で等方であることが分かっている。そのため、宇宙論では主に、空間的に一様等方な膨張解を背景とし、それに摂動を加えたものが研究される。