17　重力による赤方偏移

17.1　重力は時間を遅らせる

時空における時間的な距離 ds は，いわゆる固有時の経過を表すのでした。静的な座標系において位置を変えない（静止した）2 事象間については，$dx^m = 0$ $(m = 1, 2, 3)$ とおいて

$$ds^2 = g_{00}(dx^0)^2$$

を得ます。重力の影響が無視できる場所では $g_{00} = 1$ となりますから，このとき ds は dx^0 に一致します。したがって本文中の式

$$\Delta s_{観測} = \Delta x^0 = \Delta s_{光源} {g_{00}}^{-1/2}$$

が表す要点は，$\Delta x^0 > \Delta s_{光源}$ にあります。すなわち静止した原子が発する単色光の周期のように，時刻と場所を選ばずに「同じ時」を刻むと思われる 2 事象の時間間隔が，強い重力下の 2 事象に対しては因子 ${g_{00}}^{-1/2} > 1$ の分だけ引き伸ばされて外から観測されるということになります。重力下の現象は，すべてがゆっくりと進むように外から見えるというわけですね。

ニュートン近似における重力赤方偏移の表式は，光の振動数 ν の偏移 $\Delta\nu$ として，

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = V = -\frac{GM}{rc^2}$$

となります。ただし，最右辺は質量 M の星から距離 r に静止した原子が発する光の場合です。

17.2　光子の「質量」による説明

重力赤方偏移の結果は，重力の強い場所で発した光が遠方に届くとエネルギーを消耗することを意味しています。その大きさは，光量子の「質量」を $m = h\nu/c^2$ と仮定することで，ニュートン力学の範囲で説明が可能です。つまり，エネルギー保存によって

$$h\Delta\nu = -\frac{GMm}{r} = -h\nu\frac{GM}{rc^2}$$

を得ますから，ただちに前述と同じ重力赤方偏移の結果を得ます。光子の「質量」という仮定を持ち込む気味の悪さはあるものの，この説明が可能なことから，重力赤方偏移は一般相対論の直接の証拠としてはやや値打ちが下がるとする見方もできます。それでも上の説明は光量子説を使っていますから，アインシュタインの成果によって説明されることに変わりはないということは，敬服に値する事実です。