MiTiempo

私の時間

時間と宇宙の本質にせまる

Part-2

４次元球宇宙モデルの検証

第三章　光速度不変法則と相対性理論の検証

第四章　定常波の加速因子と光速度

第五章　超新星爆発光の赤方偏移と宇宙膨張

Shigeto Nagao

© All copy rights reserved by the author.

本パート２はパート１の続編です。パート１「時間とは何か」に目を通して頂いたうえで本稿にお進みください。

パート１では、時間の本質について検討し、「トレーシング次元」「虚数次自由度」そして「時間の定義」などについて提言し、その上で次のような「４次元球宇宙モデル」を提案しています。宇宙空間とはエネルギーが分布した領域で、その「空間エネルギー」は膨張を伴う４次元球の３次元表面に分布している。そして我々が全てに共通で一様に進むと感じる時間とは、空間エネルギーが分布する４次元球の半径である。

MiTiempo 私の時間 URL:

http://www3.plala.or.jp/MiTiempo/j/main-j.html

目次

第三章　光速度不変法則と相対性理論の検証

１．　全てはマイケルソン・モーリーの実験から始まった　4

２．　マイケルソン・モーリーの実験　6

３．　特殊相対性理論　11

第四章　定常波の加速因子と光速度

４．　定常波の加速因子　14

５．　光の伝搬速度　18

第五章　超新星爆発光の赤方偏移と宇宙膨張

６．　光の赤方偏移　21

７．　光の伝搬距離と赤方偏移　23

（以降は 2015 年 11 月に改訂・追加）

８．　宇宙観測での振動数準拠-赤方偏移　26

９．　明るさに作用する要因　27

１０．　明るさ（光束）・距離のマグニチュード　28

１１．　ハッブル図　30

１２．　超新星宇宙計画でのハッブル図との比較　33

１３．　宇宙モデルの検証としての結論　35

＜あとがき＞　37

第三章　光速度不変法則と相対性理論の検証

１．　全てはマイケルソン・モーリーの実験から始まった

私が指摘している現在物理の問題点はマイケルソン・モーリーの実験に起因していると言える。１９世紀後半に行われたこの実験は２つの光路に分かれ、後に同じところに戻った光線の干渉波を測定した。得られる干渉縞の位置変化の測定には失敗したが、光に媒体がなく光速度が一定であることを実証した最も成功した実験と評されている。私が提唱している宇宙モデルでは空間エネルギーの振動が光であり、光に媒体が存在する。私はマイケルソン・モーリーの実験の解釈が本当に正しいかどうか検証することにした。

１９世紀初頭には光は電磁波であることが判明し媒体としてエーテルと呼ばれるものの存在が想定された。そのころ電磁気学は大きな進歩を遂げやがてマックスウェル方程式の形で集大成された。その方程式から電磁波である光の伝搬速度を与える式が得られる。光速度を使って電磁気学の方程式を記述すると測定座標系に関係なく同じ形で与えられる。しかしこの時光速が不変とは考えられていなかった。地球のエーテルに対する相対運動の違いから光速に差が見られると考えられていた。

１８８１年、１８８７年と二度行われたマイケルソン・モーリーの実験で二つの光路間の光速度の差が検出できなかったと報告されると、当時の物理学者達は光に媒体がないと結論し、光速度は不変とみなすに至った。ここである問題点を指摘した一人がローレンツだ。マックスウェル方程式で光速度を一定とすると静止した観測系と動いている観測系で矛盾が生じる。そこで彼はローレンツ変換と呼ばれる観測座標系の違いによる変換式を提唱した。ローレンツの最初の報告は１８９９年で、一部訂正し最終の変換式は１９０４年に発表された。高速で動く座標系では長さと時間が静止系と

比べ引き伸ばされその因子がローレンツ因子と呼ばれ次のように示される。

ローレンツ因子：　$\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

ローレンツ自身はこの因子が働くのは電磁気での特殊な場合だけで一般的に時間や長さが伸長されることはないと考えていたようだ。

アインシュタインは光速度不変とマックスウェル方程式から独自に特殊相対性理論を１９０５年に発表した。彼自身はローレンツ変換の報告を知らなかったと言っている。座標系により物理法則は変わらないという「相対性原理」と「光速度不変」の二つを仮定し、座標変換を導きだした。結果はローレンツ変換そのものだった。アインシュタインはローレンツ変換の物理的意味を解明した特殊相対性理論の提唱者としてその後全世界から称賛を受けた。

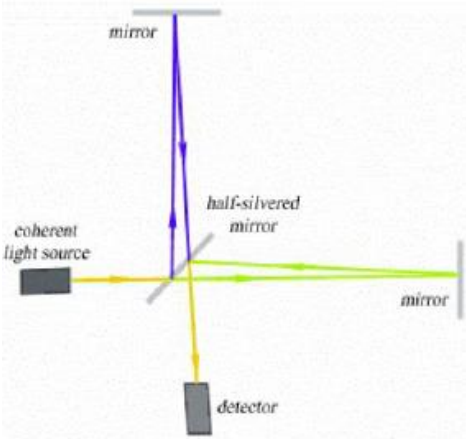
マイケルソン・モーリー型の実験は２０世紀初頭多くの人により繰り返し行われた。また、２１世紀になって鏡の往復に代わりに共鳴器を、干渉計の代わりに差周波数（うなり）の測定と近代的手法を用いた実験が報告されている。しかし基本的な原理は全て共通だ。つぎの項で何故このタイプの実験が光速度差の検出に失敗したかについて述べる。

宇宙は膨張しており遠くにある星ほど高速で遠ざかる（ハッブルの法則）。遠方の星や銀河の距離を割り出すのは実は簡単ではない。超新星タイプ Ia と呼ばれる超新星爆発はその最大の光度が一定の値を示すため、測定された最大明度から距離が判明する。最大明度に我々からの後退速度に関連する光の赤方偏移の値をプロットして宇宙膨張の変遷であるハッブル図の詳細を得ようというプロジェクト Supernova Cosmology Project (SCP)（超新星宇宙計画）が実施された。その結果が１９９７年から１９９９年にかけて発表され、宇宙の膨張はそれまで重力により減速していると予想されていたが逆に加速しているとの衝撃的な結果であった。加速させるもの

の正体が何か未だ分かっていないが未知のエネルギーが起こすとされ、それは全宇宙エネルギーの 70 %以上も占めダークエネルギーと呼ばれている。この解釈でも光速度不変が前提になっている。超新星の明るさは距離を示しているが、それを一定の光速度で割って爆発してから我々に光が届くまでの時間としている。

このように光速度不変の法則は絶対的なものと捉えられている。しかし何故マイケルソン・モーリーの実験で光速度差の測定が可能かの説明が彼等自身の論文にも十分には記載されていない。二つの光路に分かれた光は戻って一緒になったときに両者の光速に差があれば到着に時間差が生じる。この時間差に変化があれば何故両者の干渉波による干渉縞の位置にずれが生じるかが説明されていない。その後の物理学者達はこの点を詳細に検討することなく何故か受け入れてしまい、光速は一定だということになっている。

2.　マイケルソン・モーリーの実験



Michelson-Morley experiment (from Wikipedia)

図 7

実験の模式図を図７に示した。発光器を出た光は半分反射し半分は透過

する銀メッキされたハーフミラーで垂直方向と水平方向に分かれる。同距離におかれた各々の端の鏡で光は反射され先ほどのハーフミラーに戻り合わさり検出器である干渉計に送られる。干渉計内の非常に小さな間隔のあいた二つスリットを通り、その後のスクリーンに干渉縞を映す。発光器から干渉計に到達するまでの時間に二つの経路で差があれば、装置を回転させエーテルとの相対速度を変えることにより、干渉縞の位置や形に変化がでるはずという実験設定だ。装置に固定した座標系から見ると両光路とも距離は同じで到達時間に差があるため光の平均速度が異なる。速度差に変化がでれば干渉縞に変化がでると予想したと思われる。ここで注意すべきは平均速度という点だ。観測器である干渉計での両光路の速度ではない。彼等の論文では詳細な説明がなく時間差が変われば干渉縞の位置に変化がでると飛躍している。

光に媒体があるとした上で、このような観測結果が期待できるかを検証する必要がある。一般的波の性質として媒体に対する伝搬速度は一定だ。従って発光器の媒体に対する速度に関係なく光は媒体に対して一定の速度で進む。媒体の状態が変わると伝搬速度は変化する。最初は媒体に静止した座標系でこの実験を見てみよう。

図８に光の光路を示した。装置全体がビーム A と平行に右方向に速度 v で動いている。媒体座標では光速度は一定。平行なビーム A のミラー間の往復所用時間を t_a、垂直方向のビーム B の所用時間を t_b とすると、途中計算を省略するが次の関係が得られる。

$$t_b{}^2 = \frac{2Lt_a{}^2}{L+\sqrt{L^2+v^2t_a{}^2}} \quad , \quad t_b < t_a \quad \text{if} \quad v \neq 0 \quad , \quad \Delta t \equiv t_a - t_b$$

v がゼロでない限り t_a は t_b より大きくなり、その差を Δt とおく。ここで重

要なことがある。干渉計への到達までに時間差があると同時に分かれた振動は同時には検出器に到着しない。干渉させる為、検出器到着が同時である必要がある。従って同時に到着する為にはビームＡはビームＢにくらべ Δt だけ早く発光器および最初のハーフミラーを出なければならない。Δt 後にはハーフミラーが動いている為、図８でのハーフミラー出発場所に両者で差が生まれる。

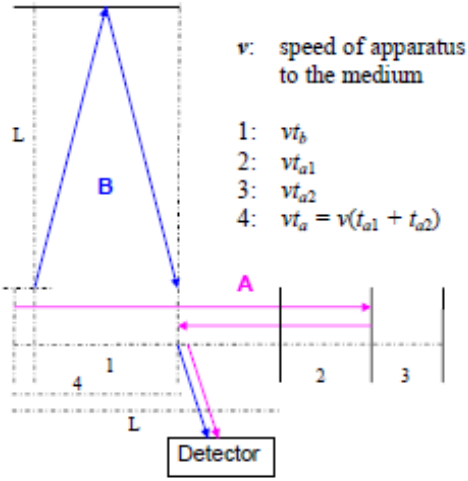


図８

ここで次のことが言える。両者のビームに Δt に相当する位相の差がある。検出器の各スリットに別々のビームが届くのではなくハーフミラーで合わさった混合波が両スリットに届く。両ビームの位相は異なっても光の速度は同じである。これらの点から合流時点での波とそれが干渉計へ進む伝搬は図９の式で表される。

Sum of amplitudes of Beam A and Beam B at the combined point:

$$U_a + U_b = A\sin\omega t + A\sin\omega(t+\Delta t)$$
$$= A\sin\left(\omega t + \frac{\omega\Delta t}{2} - \frac{\omega\Delta t}{2}\right) + A\sin\left(\omega t + \frac{\omega\Delta t}{2} + \frac{\omega\Delta t}{2}\right)$$
$$= 2A\cos\frac{\omega\Delta t}{2}\sin\left(\omega t + \frac{\omega\Delta t}{2}\right)$$

A : Maximum amplitude
ω : Angular frequency (of Beams A, B)

Propagation of the combined wave to the detector:

$$U_a + U_b = 2A\cos\frac{\omega\Delta t}{2}\sin\left(kx - \omega t - \frac{\omega\Delta t}{2}\right)$$

$$k = \omega / c$$

x Distance from the combined point in the direction to the interferometer
k : Angular wave number
c : Current light speed

図９

最初の式の一行目と三行目を比較すると、位相の異なる同じ振動数の波が合わさると振動数はそのままで位相が両者の平均となり最大振幅が位相差により変化する。Δt を変化させ位相差を変えても振動数や波長の変化をもたらさない。この点は一行目の式のグラフでも確認した。この波が検出器に伝搬する図９下の式でも状況は同じで、干渉計に入っても干渉縞の位置や幅の変化は生まれない。観察されるのは最大振幅、つまり干渉縞の明るさが変化するはずだ。ある時期、英語版 Wikipedia の Michelson-Morley Experiment の説明に「干渉縞が時に消えてしまうことがある」との記載があった。その理由として外を通る馬車の振動やかみなり等の外的要因を挙げていたが、干渉縞の明るさが方向の日内変動により変化した可能性がある。

次に装置に固定された座標系で見てみよう。装置座標ではハーフミラーから鏡への往復距離は両ビームとも同じで $2L$ となる。時間の進み方は媒体座標の場合と同じだ。従って往復の所用時間には Δt の差があり、この間の

平均速度はＢが $2L / t_b$ に対しＡは $2L / (t_b + \Delta t)$と両者に差がでる。しかしながら合流して検出の為に同方向に向けられた時点で装置座標での両者の速度は同じになる。装置座標系では装置の媒体に対する移動速度と光の進行方向により光速が決まる。結局、検出器方向への合流波の式は媒体座標系の場合と同じ形となり、次のように示される。

$$U_a' + U_b' = 2A\cos\frac{\omega\Delta t}{2}\sin\left(k'x' - \omega t - \frac{\omega\Delta t}{2}\right)$$

$$k' = \omega / c'$$

U_a', U_b', x', k' : measured by the apparatus' frame

c' : Light speed by the apparatus' frame in the direction of x'

ここでダッシュ付の変数は装置座標系での各々の値だ。振動数、位相および最大振幅は媒体座標の場合と同じで、波数と速度は座標系間で異なる。装置座標系においても Δt の変化に対し振動数と波長は変化せず、二つのスリットによる干渉縞の位置変化を測定することは不可能になる。

装置座標系においてミラー間の往復平均速度に差が見られても最終的には両ビームとも測定の為同じ方向に向けられる。その為に測定時は同じ速度になる。これがマイケルソン・モーリー型の実験が干渉縞の位置変化の測定に失敗した理由だ。途中の経路の違いは位相の差を生むが、最終的に同じ方向になると光速度、振動数および波長に差がでない。

２００９年にハーマン等により発表された直角に置かれた二つの共鳴器と差周波数（うなり）測定を用いた実験では非常に興味ある事実に言及している。共鳴器の中を何回も光が往復し同一波長で位相がそろった光とし、定期的に両共鳴器から光を抜出し周波数の差を測定する。この実験で単独の共鳴器の周波数がなかなか安定せず、相対周波数誤差が一秒間に 1×10^{-15} 程度になった。しかし両共鳴器の光を合わせた差周波数測定では光速度の方向による相対変動はそれよりも２桁小さい 1×10^{-17} 以下との結果を得ている。著者たちは周波数誤差を改善するには温度の影響を更に改善するな

どの実験条件の最適化が必要だろうと言っている。しかし私は共鳴器内の往路と復路による光速度の違いや装置の回転による共鳴器の方向変化による可能性も残ると考えている。マイケルソン・モーリーの実験と同様で、周波数の差を測定する段階で方向が同じになるので光速度の差はなくなる。

３．　特殊相対性理論

特殊相対性理論は次の２つを仮定して導かれている。

１）相対性原理

２）光速不変の原理

１）は等速運動をしている座標系ではその選択によらず物理法則は同じ形であるとの原理で、慣性系であれば座標系は全て等価であり光に対する媒体のような特別な座標系の存在を否定している。２）は光の真空中の速度は光源の運動状態のいかんにかかわらず一定というものだ。これは波の一般的性質を言っており、一義的には媒体に対する光速が一定になることを示す。しかし１）の相対性原理と合わさると観測者の座標系の選択に係らず一定となってしまう。今、光源が止まっている座標系を考える。その光源に対し等速で動いている別の観測者の座標系では光源が動いていると観測する。両座標系は相対性原理から同等であり、光源が静止していても動いていても光速は同じで両座標系での光速は同じだとしている。私が問題視しているのは１）の相対性原理だ。光が媒体上の波の伝搬であれば媒体に対し静止した特別な座標系が存在する。それではアインシュタインは何故この二つの前提を置いたのだろう。それはマイケルソン・モーリーの実験結果からだ。観測座標系によらない光速度一定が先にあり、それを満たす為にこの二つの前提を置いたと思われる。

この前提から導きだされたものが慣性系座標のローレンツ変換だ。前提に間違いがあればローレンツ変換の妥当性は崩れる。特殊相対論のもう一

つの重要な帰結として質量とエネルギーの等価性があり $E = mc^2$ で表される。実はこの関係は相対論の二つの前提やローレンツ変換を使用せずに導きだすことができる。例えば、ある装置内の左端から光が放出され同装置内の右端で吸収される場合に、光に運動量がありそれを含めた装置全体の運動量はこの過程において保存されるということから導かれる。このことは多くの特殊相対性理論の解説書に記載されている。このように前提の使用有無からローレンツ変換が間違っていてもエネルギー質量等価は正しいと私は推測している。

相対性理論では静止質量についても独自の捉えかたをしている。質量 m の物質が静止している状態を考えよう。この系に対し速度 v で動いている別の座標系から見ると運動エネルギーが存在する。ローレンツ変換により物体は高速になるほど加速されにくくなり見かけ上の質量（相対論的質量）が次の式で表される。

$$m' = \gamma m = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} m$$

これはあくまで加速に対する見かけ上の質量で力が加わる質量は静止質量としている。更に静止質量は全ての慣性座標系に共通とし、静止している座標系で m の静止質量は運動エネルギーが加わる動いている座標系でも同じ m としている。特殊相対性理論ではこれを矛盾とは捉えず、全エネルギーが保存されるのではなく全エネルギーから運動エネルギー相当分を引いたものが保存され、それは静止質量のエネルギーに相当するとしている。次の相対論的エネルギー運動量の式で与えられる量が不変量としている。

$$E^2 - (pc)^2 = (mc^2)^2$$

この式において慣性座標変換に対し、質量 m と光速 c は不変で、エネルギ

ー　E と運動量 p は変化する。このように静止質量は観測系によらず一定のため不変質量(invariant mass)とも呼ばれている。

上記の式はミンコフスキー時空の４元運動量の保存から導き出されているが、果たして本当にこの量が保存され全エネルギーは保存されないのだろうか。４元運動量の保存には明確な根拠が見当たらない。私は座標変換により全エネルギーが保存されその静止質量と運動エネルギーへの分配が測定する座標系により変化すると考えている。

２０世紀に確立され相対性理論と双璧をなすもう一つの現在物理の成果が量子力学だ。量子力学はその後の素粒子論や化学に大きな進歩をもたらし、矛盾なく現象を説明している。実はこの量子力学での時間はローレンツ変換不変の時間ではなく、ニュートン力学で使用されている時間だ。ハミルトニアンと呼ばれるものは運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和である全エネルギーで運動量を変数として示される。そこに波の性質と条件を加えたものが量子力学のハミルトニアンだ。ハミルトニアン演算子を含む満たすべき状態の方程式がシュレーディンガー方程式と呼ばれる。ディラックは運動エネルギー、ポテンシャルエネルギーに静止質量エネルギーを加え正に全エネルギーの方程式を与えた。これにより素粒子の生成と消滅や宇宙論の量子力学的アプローチが可能になった。静止質量エネルギーが加わったことにより時にディラック方程式は特殊相対論を加えた量子力学と言われるが、ローレンツ変換という意味では相対論は使用してない。このように相対性理論と量子力学は両者間に矛盾があるが両者とも正しいとされ、それを結ぶ本質が未だ解明されていないとされている。重力理論では一般相対性理論と量子力学の統合が長年検討されてきたが、最近はそのような統合重力理論が未だ見つかっていないのではなく量子論は正しいが一般相対性理論に問題があるのではないかとの見方も出ている。

第四章　定常波の加速因子と光速度

４．　定常波の加速因子

我々の観測するエネルギーが空間エネルギーの振動とすると、その加速には媒体の振動としての制限が加わる。最大速度はその媒体の位相伝達速度となる。つまり光速が最大速度となる。エネルギーの振動が定常状態となるとその定常波に相当するエネルギー分の質量を持つ物体として扱える。物体の加速、つまり定常波の加速はどのような法則に拠るのだろう。実は媒体の振動を制限する境界条件を外部から付けた定常波の例は多くあるが媒体以外何もない定常波となるとあまり例がない。また水の振動の場合、孤立波やグループ波等の一種の定常状態の伝搬があるが、その振動に相当するエネルギーは極めて小さくまたその波にいかにして力を加えるかの手段が見当たらない。一般論としての定常波の加速に対する法則は今まで検討されてこなかった。空間エネルギーの位相変化の伝搬が光で、高エネルギーの光が重力、電磁力またはその他の相互作用により定常状態の振動を与えたものが素粒子と考えられる。このような定常波の空間エネルギー上の伝搬を考えよう。

検討するに当たり次の重要点を考慮した。

- 質量がゼロでないものは光速まで加速できない。
- 光は加速できないだけでなく、減速もできない。
- 光は進行方向に対し垂直の方向には重力により力を受け方向が変わる。

３番目の性質は大質量により光が曲がる重力レンズ効果と言われるものだ。一般相対性理論では質量により時空が曲がる為と説明されている。つまり質量がゼロの光は重力を受けないが空間が曲がっているので光路が曲がる

というものだ。ここで私が提案する加速因子からは、速度の進行方向の垂直成分はゼロとなり光のこの方向での速度がゼロになることで説明している（後述）。その上で以下を想定するのが妥当と考えた。

- 定常波の等速（慣性）運動では媒体から抵抗を受けない。
- しかし、定常波の加速に関しては速度に依存する因子が働き、最大速度は位相伝搬速度つまり光速となる。

そして光が減速されない点を考慮して次のような「**加速因子**」“**Acceleration factor (f_a)**” の導入を提言した。

$$\alpha = \frac{F}{m} f_a \quad , \quad F = \frac{m}{f_a}\alpha \qquad \text{（新しい運動の法則）}$$

$$f_a = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^n \qquad \text{（n は 1 以上の実数）（加速因子）}$$

加速因子はローレンツ因子と同様ではないか思われるかもしれないが、ローレンツ因子は n が 1/2 であるがこの因子は少なくとも 1 以上ということが証明できる。もっと根本的な違いはこの因子が波の伝達速度に位相速度という上限があることにより導入されたもので波の性質によるという事だ。

ところで力により加速度を受ける質量はどのようなものか検討しよう。私は加速因子を導入する前は、重力レンズ効果があることより静止質量ではなく全エネルギー質量が力を受けると考えていた。しかしこの因子を考えるようになり静止質量が力を受ける可能性が出てきた。物質の全エネルギーH は運動エネルギーE_k、ポテンシャル（位置）エネルギーE_p と静止質量エネルギーE_r の和となる。重力による状態変化に対し、観測座標を固定すると静止質量の変化はなく、次のような関係がある。

$$\Delta H = \Delta E_k + \Delta E_P + \Delta E_r = \Delta E_k + \Delta E_P + 0 = 0, \quad \Delta E_k = -\Delta E_P$$

静止している巨大質量 M に対し、小質量 m が距離無限大で速度 v_0 から距離 r になり速度 v に加速したとする。ポテンシャルエネルギーの差は、

$$-\Delta E_P = \frac{GM}{r} m$$

となる。光の場合、速度は一定で運動エネルギーの差はゼロである。従ってポテンシャルエネルギーの差もゼロになる必要があり、上記の式の質量 m がゼロとなる。一方光には運動エネルギーがあり全エネルギーはゼロではない。つまり重力に作用する質量 m は全エネルギーに対応する質量 m_t ではなく静止質量 m_0 ということになる。光だけでなく全てのエネルギーに対して重力が作用する質量は静止質量になる。

上記の場合の全エネルギーは次のようになる。

$$H = E_k - \frac{GMm_0}{r} + m_0 c^2 = m_t c^2$$

そして計算*は省略するが運動エネルギーは $n = 1$ の場合は下記の通り対数で表され、テイラー展開により２行目の式となる。速度が小さいとニュートンの運動方程式による運動エネルギーとなり、光速に近づくと無限大に発散する。（* 計算は http://www3.plala.or.jp/MiTiempo/j/main-j.html 内のプレゼンテーション Part-1 の 17 頁に記載。)

$$\begin{aligned} E_k &= -\frac{m_0 c^2}{2} \log\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \\ &= \frac{1}{2} m_0 v^2 \left(1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} + \frac{1}{3}\frac{v^4}{c^4} + \frac{1}{4}\frac{v^6}{c^6} + \cdots\right) \end{aligned}$$

加速因子の n の値は未だ分からないが $n > 1$ の場合は運動エネルギーが次

の式で与えられる。

$$E_k = \frac{m_0 c^2}{2(1-n)}\left(1-\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1-n}\right)$$

次に光の進行方向に対して垂直方向から重力を受ける場合を考える。垂直方向の定義から同方向での速度は常にゼロである（進行方向が変わると垂直方向も変化していくが常に垂直）。

A) 光の伝搬方向と平行な方向の重力に対して

速度は c で静止質量がゼロ、運動エネルギーが全エネルギーとなる。

$$v_{(//)} = \pm c, \quad m_0 = 0, \quad E_r = 0, \quad E_p = 0, \quad E_k = m_t c^2$$

B) 光の進行方向と垂直な方向の重力に対して

垂直方向の運動エネルギーがゼロでかつ全エネルギーが座標系の選択にかかわらず保存されることより

$$m_{0(\perp)} = m_t$$

となり全エネルギーが垂直方向の静止質量となる。光の場合は次のようになる。

$$v_{(\perp)} = 0, \quad m_{0(\perp)} = m_t, \quad E_{r(\perp)} = m_t c^2, \quad E_{p(\perp)} = 0, \quad E_{k(\perp)} = 0$$

結論として

- 光は進行の垂直方向には全エネルギーに相当する静止質量を持ち、垂直方向の重力により速度の大きさは変わらないが方向が変わる。

第三章、第四章のここまでの内容から、光の媒体を否定した相対性理論にはよらずに、古典力学的な波の性質からの体系の可能性を感じて頂けただろうか。何よりも強調すべきは、光の媒体の存在を否定したとされるマイケルソン・モーリーの実験が実は言われたようには光速度差を検出できない実験デザインであったということだ。相対性理論の実証結果として挙げられている多くは光速を一定とした上での時間や長さの変化であり、同じ結果を時間と長さは変わらず光速の変化によるとも解釈できる。重力レンズ効果については時空が歪むと考えるよりも、極自然な捉え方である力方向の静止質量の導入で説明できる。また物質の加速については新たに加速因子というものを波の性質として導入した。次の項から実際の宇宙観測結果からの４次元球宇宙モデルの検証に向け話を進める。

５．　光の伝搬速度

現在の光の媒体に対する伝搬速度は一定だ。しかし宇宙膨張の過程では媒体の状態変化により光速は変動してきた。私は光速を表す数式を目指し検討した。

光は振幅が進行方向と垂直な横波だ。しかし横波で知られるギターのような弦の振動とは性質が異なる。弦の場合は弦自身が弦のない上下方向に向かって移動しその振動が弦方向に伝わる。光の場合は媒体が充満した中での一部分の振動だ。従って縦波である空気中の音の伝搬により近いと考えた。３次元空間を一つの次元と考えると光は空間内の縦波とも捉えられる。この場合の横波は４次元球半径 x 方向の振動となる。因みにこの横波の振動は半径方向では定常状態にあり宇宙空間の内在エネルギーの一部になっていると推測している。

空気中の音の伝搬速度は絶対温度の平方根に比例している。その類推から光の伝搬速度は媒体である空間エネルギーの密度の平方根に比例すると

いう式を提案した。このように媒体の密度による光速への影響を「**媒体のエネルギー密度因子**」”**Energy density factor**”と名付け f_D と表記した。

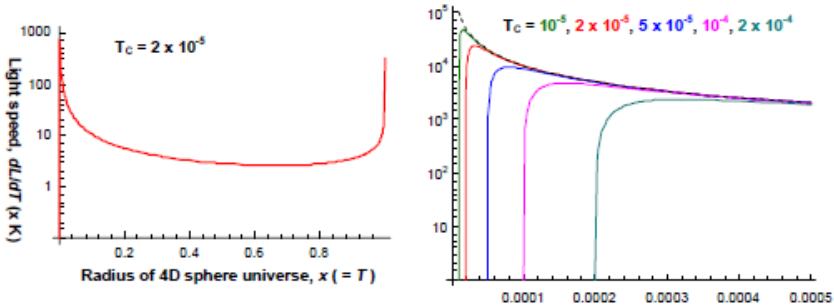
宇宙開闢後膨張により温度が低下し素粒子と原子核が生成される。しかし初期は電荷を持った電子と原子核（陽子）がばらばらとなったプラズマ状態にあり光は電磁作用により直進することができなかった。温度が下がり電子が陽子に捉えられ水素原子となると光は直進できるようになり宇宙の晴れあがりと言われている。宇宙開闢の約３７万年後に晴れあがったとされるがその時の温度は約３０００度だったと言われている。実はこの温度に対応するエネルギーは約 0.25 電子ボルトで、水素原子から電子を引きはなすイオン化エネルギー13.6 電子ボルトよりかなり小さい。つまりプラズマが無くなった後もしばらくは高密度の水素原子との相互作用で直進できなかったことになる。これは我々が日常目にしていることで、光は物質により散乱を受けたり反射されたりする現象だ。この散乱という現象は物質を構成している原子の外郭を回っている電子と光の電磁相互作用だ。星では物質密度が極めて高くこの光の散乱が見られるが宇宙空間全体では物質密度は限りなくゼロに近く光の伝搬においてこの散乱による効果は無視できる。しかし、初期宇宙に於いてはある時点までは高密度の物質分布により散乱が大きく光は直進できなかった。直進を始めた所謂晴れあがりの直後は物質密度が高く、散乱の影響で光の進む速度が遅くなったと推察できる。散乱による光速の低下は水や空気中の光の伝搬速度として良く知られている。宇宙の晴れあがり後極めて短い期間はこの散乱による効果が無視できないと考え、光速を規定するこの第二の因子を「**電磁相互作用因子**」”**Electromagnetic interaction factor**”と名付け f_{EM} と表記した。

光の伝搬速度はこの二つの因子に比例すると考えた。途中の詳細を省略するが観測時間 T での光速として次の式を提案した。

$$C(T) = C(x) = {dL}/{dx} = K * f_D * f_{EM}$$

$$= K * \frac{1}{x\sqrt{1-x}} * \left(1 - \frac{{T_C}^3}{x^3}\right) \qquad (T_C \le x < 1)$$

ここで x は４次元球半径、L は光の伝搬距離、K は比例定数、T_C は宇宙晴れあがりの時間を示す。宇宙膨張が重力で止まった時点で $x\,(=T)$ は最大値 1 を取る。この式のグラフを図１０に示した。左は全領域のグラフ、右は小さい x 領域を拡大したもので、複数の T_C 値に対するグラフを示した。



Time-course of light speed by the Time

Left: Whole range graph of light speed for the Time Clear $T_C = 2\times10^{-5}$. The maximum in small x (= T) value area is not correctly shown due to limitation of sampling points. *Right:* Enlarged graphs in small x (= T) value area for $T_C = 10^{-5}$ to 2×10^{-4}. The dotted line in black is for the case of $f_{EM} = 1$.

図１０

黒の点線は f_{EM} が 1 のグラフで、 x が 0.0005 以上では f_{EM} の影響は無視でき次のように扱える。

$$C(x) = K * \frac{1}{x\sqrt{1-x}} \qquad (\text{if} \quad 0.0005 \le x < 1)$$

第五章　超新星爆発光の赤方偏移と宇宙膨張

６．　光の赤方偏移

光の波長の変化には光源や観測者が高速で移動すると起こる所謂ドプラー効果がある。しかし銀河間のように遠く離れた場所の観測の場合、宇宙膨張により距離は拡がるが光源も観測者も夫々の位置で媒体に対して静止していると扱える。媒体に対する相対速度という意味でのドプラー効果は無視できる。遠方の銀河からの光の波長が長くなる赤方偏移の主な理由は宇宙空間の膨張による波長の引き伸ばしだ。この効果もドプラー効果と呼ばれることが多いが上記の場合と区別して空間膨張による効果と呼ぶ。

光に限らず波長の変化をきたすもう一つの大きな要因が波の伝搬速度の変化だ。音が空気中から水に伝搬すると振動数に変化はないが伝搬速度が速くなり波長が長くなる。光の空気中から水中への伝搬の場合、水中では水分子との作用頻度が大きくなり大きな散乱となり進行速度が遅くなる。それに伴い波長が短くなり所謂屈折が起こる。波の伝搬速度は振動数と波長の積となり、振動数は媒体の状態変化に対し不変で発生器（発光器）のみにより決定される。

$$v = f * \lambda$$

現在の宇宙論では光速が一定とされているため、遠くの星の赤方偏移の要因として宇宙空間膨張だけを考慮しそこに相対性理論による補正を加えている。しかし私は光速の変化よる要因を加える必要があると考え次のように提案している。

- 光速度変化の要因からは速度に比例して波長が伸びる。
- 一方、宇宙膨張の要因からは速度は変化せず波長が伸ばされる。
- 二つの要因が合わさり、波長伸張比率は宇宙空間の膨張比率と光速

度変化率の積になる。

$$\frac{\lambda(T_P)}{\lambda(T_E)} = n \times \frac{C(T_P)}{C(T_E)} \quad , \quad n \equiv T_P / T_E$$

（T_P は宇宙開闢からの現在の時間、T_E は光が放たれた時間）

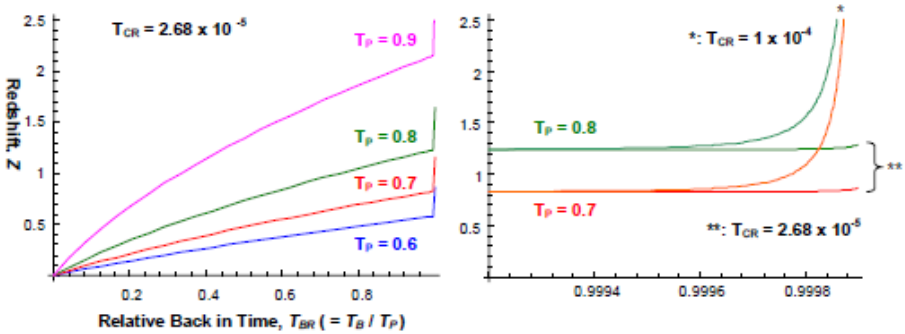
赤方偏移 z はその定義から波長の伸張率から 1 を引いた値となる。上記の式に光速度の式を代入すると赤方偏移の式が得られる。ここで現在の時間 T_P から発光時の時間 T_E を引いたもの（現在からの遡り）を T_B と定義し、宇宙晴れあがりの時間 T_C と合わせて各々の現在時間 T_P に対する相対値を次のように定義する。

$$T_B \equiv T_P - T_E \quad , \quad T_{BR} \equiv T_B / T_P \quad , \quad T_{CR} \equiv T_C / T_P$$

赤方偏移 z の T_{BR} 対する関係が次の式で得られた。

$$z = \sqrt{1 + \frac{T_P T_{BR}}{1 - T_P}} \times \frac{1}{1 - \left(\frac{T_{CR}}{1 - T_{BR}} \right)^3} - 1$$

このグラフを図１１に示した。



Redshift versus the Relative Back in Time (T_{BR})

Left: Whole range graph of redshift for the Relative Time Clear $T_{CR} = 2.68\times10^{-5}$.

Right: Enlarged graph in high T_{BR} area for $T_{CR} = 2.68\times10^{-5}$ and $T_{CR} = 1\times10^{-4}$.

図１１

図１１の右のグラフは T_{BR} が 1 に近い部分を拡大したものだ。T_{BR} が 1 - T_{CR} に近づくと赤方偏移は無限大に発散する。$T_{BR} \le 0.999$ の領域では f_{EM} の影響は無視でき次のように近似できる。

$$z \approx \sqrt{1+\frac{T_P T_{BR}}{1-T_P}} - 1$$

７．　光の伝搬距離と赤方偏移

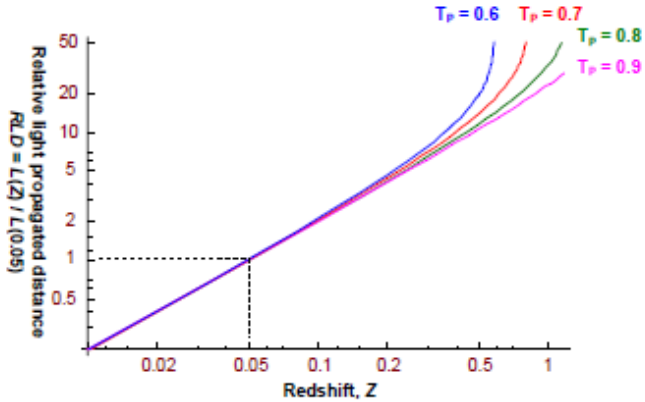
やっと最終段階に入ってきた。超新星測定による Supernova Cosmology Project (SCP)で直接測定しているものは明るさと赤方偏移だ。明るさは距離の２乗に反比例し距離情報を与える。まずは光の伝搬距離を求めよう。

伝搬距離 L は光速度の式を発光時から現在まで x で積分すれば得られる。そこに赤方偏移の式を代入すれば光の伝搬距離を赤方偏移の関数とし

て表すことができる。ここでもう一工夫する。光速度の式に於いて我々は未だ比例定数 K の値を知らない。そこである値との比率を用いる。その基準として赤方偏移として 0.05 を与える距離をとりその距離との比率を「**光の相対伝搬距離**」”**Relative light propagated distance**”と定義し ***RLD*** で表記する。最終的に *RLD* の赤方偏移による式として次を得た。

$$RLD \equiv \frac{L(z)}{L(0.05)} = \log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}} \cdot \frac{1+\sqrt{1-T_P+(1-T_P)z(z+2)}}{1-\sqrt{1-T_P+(1-T_P)z(z+2)}}\right) \times \left(\log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}} \cdot \frac{1+\sqrt{1.1025\times(1-T_P)}}{1-\sqrt{1.1025\times(1-T_P)}}\right)\right)^{-1}$$

この式のグラフを図１２に示した。現在時間 T_P が未だ不明なので複数の値に対する曲線を示した。また両軸とも対数目盛で表示している。長い道のりだったがついに測定結果と比較検証ができる等式とグラフを手にした。



Relative light propagated distance (RLD) versus redshift

図１２

発光時の現在時間に対する相対値である T_{ER} が 0.001 以上であると電磁相互作用因子 f_{EM} を無視できる。上記の式とグラフはその上での近似だが、RLD が 65 以下であれば T_{ER} は最低限この範囲に入る。従って図１２に示した範囲では厳密値とほぼ差がない。それでは T_{ER} が 0.001 より小さい場合はどうなるだろう。T_{ER} の定義域は T_{CR}（宇宙晴れあがり時間の現在時との比率）より大きい。T_{ER} が T_{CR} に近づくと z は無限大に発散するが RLD は最大でもある値を超えないという上限に近づく。現在の宇宙の年齢は約１３８億年と言われているが光速度の変化に対する補正を入れていないので実際はもっと小さい可能性がる。しかし、この年齢と宇宙晴れあがりを３７万年とした場合の T_{CR} 値で計算するとその RLD 上限は T_P が 0.6 なら約 100 に、0.7 なら 138 に、0.8 なら 197 になる。つまり RLD の値が上記グラフ範囲より大きくなると傾きが小さくなり各々の上限値に近づき最後はほぼ水平になる。

（*これ以降は２０１５年１１月に改訂、追加した。*）

８．　宇宙観測での振動数準拠−赤方偏移

実際の宇宙観測では、我々は発光時の波長を知らない。観測した星からの光の波長を同じ原子が現在発光しているスペクトルと比較している。振動数 $\nu_0(T_E)$、波長 $\lambda_0(T_E)$ のスペクトル光が T_E に発光し、現在 T_P に我々に到着し $\nu(T_P)$、$\lambda(T_P)$ を示す場合を考える。現在の同一原子のスペクトル光を $\nu_0(T_P)$、$\lambda_0(T_P)$ とする。

$$C(T_E)=\nu_0(T_E)*\lambda_0(T_E) \quad \rightarrow \quad C(T_P)=\nu(T_P)*\lambda(T_P)$$
$$C(T_P)=\nu_0(T_P)*\lambda_0(T_P)$$

実際は $\lambda(T_P)$ を $\lambda_0(T_E)$ ではなく $\lambda_0(T_P)$ と比較している。スペクトル光の振動数は、原子のエネルギー準位差に変化がないため、T_E と T_P で等しくなる。また、光速=振動数×波長の関係から次の式が得られる。

$$\nu_0(T_E)=\nu_0(T_P)$$

$$z=\frac{\lambda(T_P)}{\lambda_0(T_P)}-1=\frac{\nu_0}{\nu(T_P)}-1$$

このように現在ある同原子（水素）のスペクトル波長との比較は、発光時と観測時の変化としては実は振動数を比較していることになる。

波長に拠る赤方偏移と振動数に拠る赤方偏移に違いがうまれる。既に第６項で述べたように波長準拠−赤方偏移は次の式で与えられる。

$$z_\lambda+1\equiv\frac{\lambda(T_P)}{\lambda_0(T_E)}=n\times\frac{C(T_P)}{C(T_E)}=\frac{T_P}{T_E}\times\frac{C(T_P)}{C(T_E)}=\frac{1}{T_{ER}}\times\frac{C(T_P)}{C(T_E)} \quad .$$

振動数準拠−赤方偏移は次のようになる。

$$z_\nu+1\equiv\frac{\nu_0(T_E)}{\nu(T_P)}=\frac{\lambda(T_P)}{\lambda_0(T_P)}=\frac{\lambda(T_P)}{\lambda_0(T_E)}\frac{\lambda_0(T_E)}{\lambda_0(T_P)}=n\times\frac{C(T_P)}{C(T_E)}\times\frac{C(T_E)}{C(T_P)}=n=\frac{1}{T_{ER}}$$

９．　明るさに作用する要因

光速は宇宙膨張の過程で一定ではなかった。宇宙膨張、光速変化により星の明るさに影響する可能性のある要因をチェックしよう。

１）波長伸長による要因

宇宙の膨張に伴い光の波長は n 倍に伸びる。一つの光子のエネルギー $h\nu$ は $1/n$ 倍になるが、全体のエネルギー保存より光子数（振幅）は n 倍になる。光度は単位時間当たりのエネルギーで与えられ、$h\nu$ に光子数をかけたエネルギー合計が不変であるため波長伸長による光度や光束への影響は考慮しなくてよい。

２）散乱による要因

$$C(x) = K * f_D * f_{EM} = K * \frac{1}{x\sqrt{1-x}} * \left(1 - \frac{T_C{}^3}{x^3}\right)$$

上記式中の電磁相互作用因子 f_{EM} は散乱の影響を示す。晴上り時間 T_C には数種類ある。一つは前項までに述べた宇宙背景放射に対するものでビッグバン後 38 万年頃プラズマ状態からの原子形成が終了し宇宙は晴上った。後に水素原子は星を形成し始め、星からの放射光が星間水素を再イオン化し宇宙空間は再び不透明になった。星の数がほぼ一定になると、宇宙膨張のため星の密度と星間水素の密度が急速に低下し f_{EM} は短期間にほぼ 1 になった。３番目の T_C はガラスや水などの物質中の光伝搬に対するものだ。T_C と密度は吸収を与える。密度が一定の場合は、光の透過度は下記の式で与えられる（x は光路長）。

$$I(x) = I_0\left(1 - \int (T_C\rho)^3 dx\right) = I_0(1 - kx)$$

ビッグバン後 1.5 億年から 10 億年ごろまでと言われている再イオン化期

に放射された星からの光は散乱のため我々に到達しないか暗くなっている。それ以降（$T_{ER} > 0.072 \quad \text{or} \quad z < 12.8$ に対応）に放射された星の光は再イオン化による散乱の明るさへの影響を無視できる。

３）空間エネルギー密度の変動による要因

明るさは単位時間当たりのエネルギーとして、つまり光度はエネルギー／時間、光束はエネルギー／時間／面積で表される。光束は次の式で示される（L: 光度、F: 光束）。

$$F = \frac{L}{4\pi r^2}$$

光度は単位時間当たりの値であるため観測時の光速に依存して変化する。従って観測時間の関数となる。

$$F(x) = \frac{L(C(x))}{4\pi r^2} = \frac{L(x)}{4\pi r^2}$$

我々の観測では x は現在 T_P に固定されており、$L = L(T_P), F = F(T_P)$ となる。従って、我々は宇宙膨張に伴う光速変化の明るさへの影響を考慮する必要がない。

１０．　明るさ（光束）・距離のマグニチュード

光度 L の光が T_E に放射され現在 T_P に我々に到達する。その明るさである光束 $F(T_E)$ は次式で示される。$LD(T_E)$ は発光からの光伝搬距離を示し、この式で定義される距離は一般に光度距離と呼ばれる。また光束のマグニチュード $m(T_E)$ を下記の常用対数で定義する。

$$F(T_E) = \frac{L}{4\pi \cdot LD(T_E)^2}$$

$$m(T_E) \equiv -2.5 \cdot \lg F(T_E)$$

同じ光度の星が赤方偏移 0.05 を示す距離にある場合の明るさを対照とし、その対照との相対マグニチュードを次のように定義する。これは光度が同じであるため距離指数(distance modulus)になり、magnitude of LD to z=0.05, $DM_{0.05}$ と呼ぶ。

$$T_{ER}(z=0.05) = 1/(z+1) = 1/1.05$$

$$DM_{0.05}(T_{ER}) \equiv m(T_{ER}) - m(z=0.05) = m(T_{ER}) - m(1/1.05)$$

光束の式から次の式が得られる。

$$DM_{0..05}(T_{ER}) = 5 \cdot \lg LD(T_{ER}) - 5 \cdot \lg LD(1/1.05)$$

星の観測で、光伝搬距離 $LD(T_{ER})$ は f_{EM} を無視でき次のように扱える。

$$LD(T_E) \approx \int_{T_E}^{T_P} \frac{K}{x\sqrt{1-x}} dx = K\left(\log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}} \right) - \log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_E}}{1+\sqrt{1-T_E}} \right) \right)$$

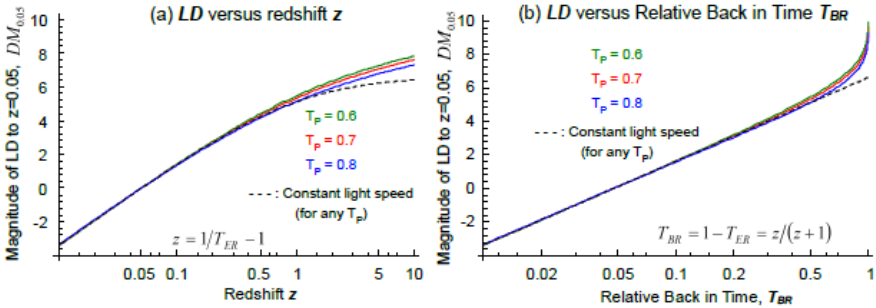
$$LD(T_{ER}) = K \cdot \log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}} \cdot \frac{1+\sqrt{1-T_P T_{ER}}}{1-\sqrt{1-T_P T_{ER}}} \right)$$

最終的に $DM_{0.05}$ として次の式が得られる。

$$DM_{0.05}(T_{ER}) = 5 \cdot \lg\left(\log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}} \cdot \frac{1+\sqrt{1-T_P T_{ER}}}{1-\sqrt{1-T_P T_{ER}}} \right) \right)$$
$$- 5 \cdot \lg\left(\log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}} \cdot \frac{1+\sqrt{1-T_P/1.05}}{1-\sqrt{1-T_P/1.05}} \right) \right)$$

この式の媒介変数グラフを Fig. 13 に示した。(a)は横軸に振動数準拠-赤方偏移 $z = 1/T_{ER} - 1$ を、(b)は横軸に T_{BR}（相対遡り時間）を対数目盛で示す。縦軸のマグニチュードも光束・距離の対数を示すため、両対数目盛のグラフ

になる。黒の点線は光速が一定とした場合を示す。



Magnitude of *LD* to $z = 0.05$ versus (a) redshift or (b) Relative Back in Time

Figure 13

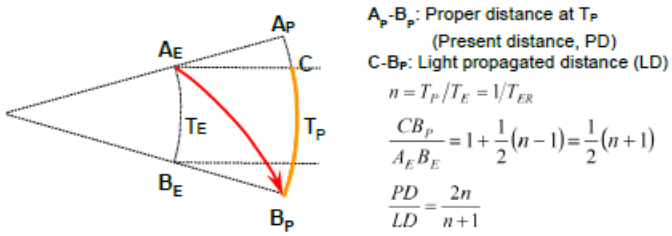
１１．　ハッブル図

４次元球宇宙モデルによると３次元空間の観測時間（我々の共通時間）による膨張速度は、ある中心角 θ をとれば次のように示され一定となる。

$$\frac{dr}{dT} = \frac{dr}{dx} = \frac{d(x\theta)}{dx} = \theta$$

ここで r は３次元空間内の任意の二点の距離で、θ はその二点間の４次元球中心からの角度を示す。ある x において θ が変動する場合、r の後退速度は θ および距離 $r = \theta \cdot x$ に比例する。これがハッブルの法則だ。この後退速度の対象距離は“固有距離(proper distance)”と呼ばれ、ある時点での対象までの実際の距離で時間と供に変化する。現在の固有距離(proper distance at present)を“現在距離(present distance), PD”と呼ぼう。測定した星の明るさ情報は第一に光伝搬距離 LD を表す。一方、ハッブル図では現在距離 PD に基づいて議論する為、まずは両者の変換を検討する。

(i)　　LD-PD 変換



Light propagated distance (LD) - Present distance (PD) conversion

Figure 14

Fig. 14 の場合を想定する。位置 A_E 時間 T_E に放射された光が B_P、T_P に我々に到達する。光伝搬距離 LD は線分 A_E-B_P の３次元空間成分で、線分 C-B_P と等しくなる。n は空間膨張率で $n = T_P / T_E = 1/T_{ER}$ となる。Fig. 14 に示されたように C-B_P の A_E-B_E に対する比率は次のようになる。

$$\frac{CB_P}{A_E B_E} = 1 + \frac{1}{2}(n-1) = \frac{1}{2}(n+1)$$

A_P-B_P の A_E-B_E に対する比率は n であるため、現在距離 PD の光伝搬距離 LD に対する比率は下記の式で表される（LD-PD 変換）。

$$\frac{PD}{LD} = \frac{2n}{n+1} = \frac{2(z+1)}{z+2} = \frac{2}{1+T_{ER}}$$

(ii)　Time dilation

便宜的に発光から現在まで光速が一定だったと仮定してみよう。T_E から T_P までの光伝搬距離 LD_C は次のようになる。

$$LD_C = c \cdot (T_P - T_E) = c \cdot T_P \cdot (1 - T_{ER}) = c \cdot T_P \frac{z}{z+1}$$

両辺に $1+z$ を掛けると次の式が得られる。

$$(1+z) \cdot LD_C = c \cdot T_P \cdot z \equiv k \cdot z$$

左辺の値は赤方偏移 z に比例し両者は直線関係になる。$1+z$ を掛けるこの

修飾は一般に“time dilation”と呼ばれ、宇宙膨張を含む如何なる宇宙モデルも要求している。二つの発光事象の時間間隔 Δt が観測時には $(1+z)\Delta t$ に拡張される。これは超新星爆発の経時的発光カーブの幅(light curve width)の伸長として観測され、最大明度を規格化したうえで測定値を $1+z$ で割ると同一の幅を示す。しかし、これは真の時間伸長ではなく、空間の膨張を示している。発光時の距離 $c\Delta t$ が現在の観測時に $c(1+z)\Delta t$ となっている。一般にハッブル図では距離軸（光束）を time dilation として $1+z$ 倍している。

(iii)　K-correction（補正）

実際の宇宙観測では time dilation に加え K-補正と呼ばれるものが観測した光束値になされる。K-補正は、赤方偏移 z を示す対象からの光の測定値を $z=0$ の静止座標系での測定値に変換するもので、次式で定義される。

$$K_{xy} \equiv m_y - m_x^0 \quad \text{or} \quad m_y \equiv M_x + DM^0 + K_{xy}$$

$$m_x = M_x + DM^0$$

仮想的に宇宙膨張のない静止座標系を考え、観測の通過帯域（フィルター）が x、測定される光束のマグニチュードが m_x^0、絶対等級が M_x、光度距離（光伝搬距離）指数が DM^0 とする。いっぽう赤方偏移 z を示す観測座標系でのそれぞれを y, m_y, M_y, $DM(z)$ とする。K_{xy} が両座標系間の光束の差で定義される K-補正である。実際の観測座標では次の関係がある。

$$m_y = M_y + DM(z)$$

従って K-補正には次の関係がある。

$$K_{xy} = M_y - M_x + DM(z) - DM^0$$

$M_y - M_x$ は異なるフィルター間の絶対等級に対する補正で測定上のものだ。残りの部分は正に距離指数の静止座標系および観測座標系間の差を示している。即ち、K-補正の座標変換部分は正に LD-PD 変換を示している。

１２．　超新星宇宙計画でのハッブル図との比較

超新星宇宙計画で報告されたハッブル図は $1+z$ 倍にする time dilation と K-補正がなされている。K-補正が LD-PD 変換に相当しているため、PD に $1+z$ を掛け、報告ハッブル図と比較する。

$$(1+z)\cdot PD = (1+z)\cdot \frac{2(z+1)}{z+2}\cdot LD$$

$$\frac{1}{T_{ER}}\cdot PD = \frac{1}{T_{ER}}\cdot \frac{2}{1+T_{ER}}\cdot LD$$

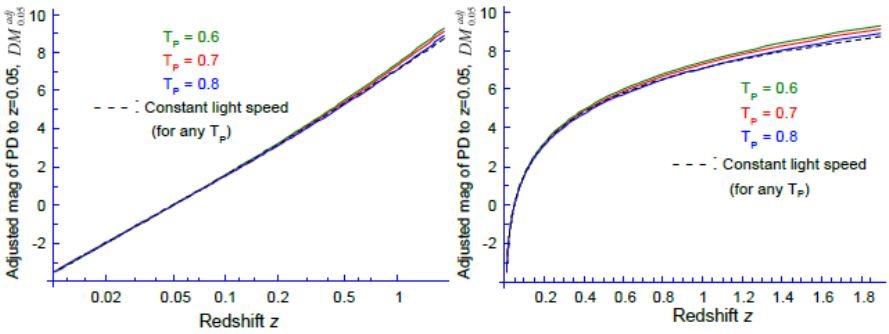
LD マグニチュード $DM_{0.05}$ に time dilation と LD-PD 変換を加え“調整 PD マグニチュード z=0.05, $DM_{0.05}^{adj}$”とし、それは次式で与えられる。

$$\begin{aligned} DM_{0.05}^{adj}(T_{ER}) &= 5\cdot(\lg LD(T_{ER}) + \lg(1/T_{ER}) + \lg(2/(1+T_{ER})) - \lg LD(1/1.05) - \lg 1.05 - \lg(2*1.05/2.05)) \\ &= 5\cdot(\lg LD(T_{ER}) - \lg(T_{ER}) - \lg(1+T_{ER}) - \lg LD(1/1.05) - 2\cdot\lg 1.05 + \lg 2.05) \end{aligned}$$

LD 式を代入して、測定データと比較する最終式が次のように得られた。

$$\begin{aligned} DM_{0.05}^{adj}(T_{ER}) = {} & 5\cdot\lg\left(\log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}}\cdot\frac{1+\sqrt{1-T_P T_{ER}}}{1-\sqrt{1-T_P T_{ER}}}\right)\right) - 5\cdot\lg\left(\log\left(\frac{1-\sqrt{1-T_P}}{1+\sqrt{1-T_P}}\cdot\frac{1+\sqrt{1-T_P/1.05}}{1-\sqrt{1-T_P/1.05}}\right)\right) \\ & -5\cdot\lg T_{ER} - 5\cdot\lg(1+T_{ER}) - 10\cdot\lg 1.05 + 5\cdot\lg 2.05 \end{aligned}$$

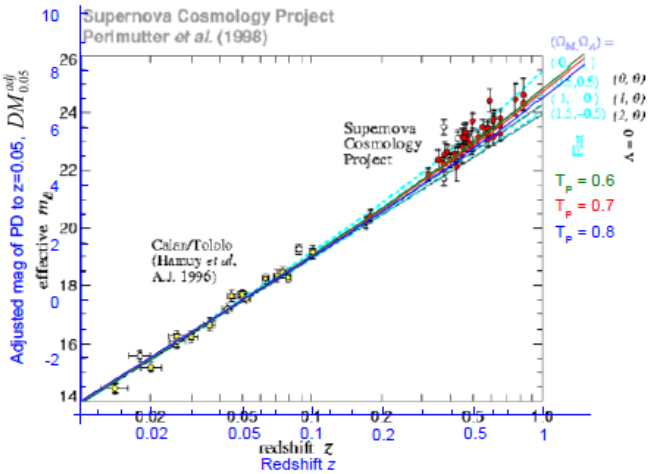
この調整 PD マグニチュード $DM_{0.05}^{adj}$ の赤方偏移 $z = 1/T_{ER} - 1$ に対するグラフを Fig. 15 に示した。左は z を対数目盛で、右は普通目盛で示している。尚、参考に光速が一定だったと仮定した場合の LD_C に基づく $DM_{0.05}^{adj}$ のグラフを黒の点線で示した。



Adjusted magnitude of present distance PD to z = 0.05 versus redshift

Figure 15

このグラフを報告されている超新星ハッブル図に重ね合わせよう。縦軸目盛のゼロ点は実測ハッブル図と異なるが基準値が異なるだけで間隔は等しい。

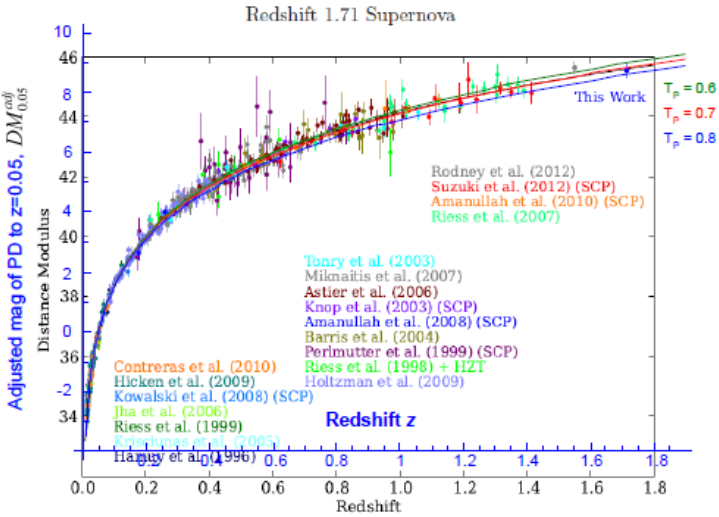


Superimposition of adjusted mag of present distance PD to z = 0.05 versus redshift graphs on the reported Hubble diagram from SCP (1999): redshift in a logarithmic scale

Figure 16

Fig. 16 は Perlmutter 等が報告したハッブル図に調整マグニチュードのグ

ラフを重ね合わせたもので、赤方偏移が対数目盛で示されている。Fig. 17 は超新星宇宙計画からの最新のハッブル図への重ね合わせで、赤方偏移が普通目盛で示されている。現在時 T_P が約 0.7 付近で極めて良い実測値との一致を示した。



Superimposition of adjusted mag of present distance PD to $z = 0.05$ versus redshift graphs on the reported Hubble diagram from SCP (2013): redshift in a uniform scale

Figure 17

１３．　宇宙モデルの検証としての結論

このように私が提唱している４次元球宇宙モデルは超新星宇宙計画 SCP の測定データと非常に良い一致を与えた。このこと自体がこのモデルを証明したことにはならないが、検証すべき最重要課題を満たし、大きな可能性を示したと言える。SCP データを説明する多くの試みがなされているが未だ満足するものがない現状で、少なくともこの宇宙モデルの可能性を検討する価値は大きいはずだ。一般に新規のモデルを提唱すると、そのモデルが予想する測定可能なもの及びその実験での検証が要求される。今回の４次元球宇宙モデルが予想することは宇宙膨張が我々の観測時間で等速で

あることであり、その場合の光度と赤方偏移の関係式を具体的に提示している。そして実測値はモデル提唱前に得られていたが提示した関係式と極めて良い一致を示した。

モデルの中に致命的な間違いや実験的に完全否定される点があればそのモデルは否定される。今回の私のモデルに対して専門の物理学者達は「光速度不変については既に実験的に実証されたもので疑いの余地がない」と主張している。しかしそれを実証したとされるマイケルソン・モーリー型の実験は干渉縞の位置変化を測定できないことを理論的に示した。その検証の為の予測は干渉縞の明るさの変化だ。日内変動や装置の回転により干渉縞の形は変わらないが明るさが変わると予測する。誰かがこの検証の為の実験を行ってくれることを切に希望している。過去の実験データの再検討も考えられるが、明るさが不安定だったとしか認識されず、具体的明るさのデータが記録されていない可能性がある。

＜あとがき＞

ここまで目を通して頂いた皆さんに心からお礼を申し上げます。始めは時間に関する様々な考察を興味深く読んで下さった方も、その後たんに物理的な記述に終始するようになり難解さのみが増したと感じられたのではないでしょうか。物理の素人である私が辿った思考経緯にそって私の言葉で説明できれば、時間や宇宙と言ったものにまつわるロマンや想像を共有できるのではないかと本書を書きました。論理性を重視し難解でくどい記述が多々あったと思いますがお許し下さい。本書のほんの一部でも共感して頂くところがあり思いを馳せて頂ければ幸いです。今後私は物理の専門家の世界でこのモデルの妥当性を問う活動が必要だと思っています。その努力は続けているのですが現実は一般の人たちと宇宙物理の専門家の間で孤立していました。今回、論文ではなくこのような解説書という形に挑戦することで私の孤立感のようなものが吹き飛び今後のチャレンジに向け大きな力を与えてくれています。また、読者の皆さんと一緒に時間について考えていきたいという姿勢で本書を書いていると、時間についてより深く認識したり新たに発見したりすることが幾つもありました。本書に対する感想や、記載項目についての読者ご自身のお考え方等をお寄せいただければ幸いです。

＜参考文献＞

1. Nagao S. Nature of tracing dimension, imaginary order of freedom and our observed time passing at constant speed. J Phys: Conf Ser. 2009;174:012069.
2. Nagao S. Light speed and the expansion of the universe. J Phys: Conf Ser. 2011;306:012073.

3. Nagao S. Acceleration factor for propagation of a stationary wave in its wave medium: movement of energy in the 3-D space. J Phys: Conf Ser. 2013;442: 012067.

4. Nagao S. Light propagated distance and redshift of a distant star. J Phys: Conf Ser. 2015;626: 012068.

5. Michelson AA. The relative motion of the earth and the luminiferous ether. American Journal of Science. 1881;22:120-129.

6. Michelson AA, Morley E. On the relative motion of the earth and the luminiferous ether. American Journal of Science. 1887;34(203):333-345.

7. Herrmann S, et al. Rotating optical cavity experiment testing Lorentz invariance at the 10^{-17} level. Physical Review D. 2009;80 (100):105011 (arXiv:1002.1284).

8. Perlmutter S, et al. Discovery of a supernova explosion at half the age of the universe. Nature. 1998;391:51-4.

9. Perlmutter S, et al. Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae. Astrophys J. 1999;517:565-86.

10. Schmidt B, et al. The high-z supernova search: measuring cosmic deceleration and global curvature of the universe using type Ia supernovae. Astrophys J. 1998;507:46-63.

11. Nugent P, et al. K-corrections and extinction corrections for type Ia supernovae. PASP. 2002;114:803-19.

12. Rubin D, et al. Precision measurement of the most distant spectroscopically confirmed supernova Ia with the Hubble space telescope. Astrophys J. 2013:763:10 (arXiv:1205.3494).

MiTiempo 私の時間 Part-2： 2016.11.24 版（初版 2014 年 11 月 28 日）
© Shigeto Nagao. 著者の承諾なく複写、複製、配布することを禁止する。
ご意見、問い合わせは soynagao@yahoo.co.jp まで。