

ビッグバンのお話

(宇宙は有限か無限か?)

藤田 丈久

(よろず物理研究所)

はじめに

2019年の春に書いた「ブラックホールのお話」の中で「ブラックホールは全く無意味で架空の物体である」と言う事を解説したが、これは場の理論の立場からの証明に基づいている。このためこれは現在の理論物理の体系においては最も信頼できるものである。その時、それでは「ビッグバン模型はどのようなのだろうか？」と言う疑問を多くの読者は抱いたかもしれない。実際、マスメディアではいまだにブラックホールやビッグバンに関するCG映像を流し続けている。ところが理論物理屋の立場からしたら、これらの話の理論源である一般相対論は物理学のどの専門領域においても応用されてはいないので、単純にSFとして見ていけば特に害をなすことはないと考えている。

しかし「宇宙はどうなっているのだろうか？」と言う事に興味を持ち始めた若者にとっては、真実を知りかつ正確な知識を持ちたいと考える事は自然な事と言えよう。それでここでは実際の宇宙はどうなっているのかと言う事を物理学の言葉でお話しよう。もう少し専門的な記述は「宇宙の夜明け」に解説してあるので、ここではそれよりもさらに簡単なお話として、この宇宙の成り立ちについて解説して見よう。

ビッグバン模型はこの宇宙が有限の大きさであると言う仮定に基づいている。宇宙が無限に大きいと「Olbersのパラドックス」に抵触すると言う考えを人々は持っていたため、有限の大きさの宇宙を考えたのであろう。しかしこのパラドックスには重大な見誤りがある。それは光速が無限であると言う暗黙の仮定であり、勿論この仮定は正しくはない。光速が有限であることを認識していたら無限の彼方からの光は無限に時間が掛かるため「Olbersのパラドックス」はパラドックスとはなっていない。実際、有限宇宙の理論模型に対しては「その先の宇宙空間はどうなっているのか?」と言う疑問に答えることができない。このため「宇宙空間は無限である」とする理論模型の方がむしろ自然である。さらに、宇宙が無限の大きさを持つとしないと幾つかの現象が説明できない事が今は分かっている。科学史的な視点は面白いが間違いを犯してしまう事も良くあり、この「Olbersのパラドックス」もその一例である。

目次

第1章	Olbersのパラドックス	6
1.1	Olbersのパラドックスとは？	6
1.1.1	宇宙空間は有限？	6
1.2	Olbersのパラドックスの問題点	7
1.2.1	光速の有限性	7
第2章	ビッグバン模型	8
2.1	ビッグバンとは？	8
2.1.1	ビッグバンの対称性	8
2.1.2	一般相対論とは何か？	9
2.1.3	一般相対論は運動学かそれとも動力学か？	9
2.2	空間の膨張とは何か？	9
2.2.1	エネルギーの塊が空間の膨張に変換された？	10
2.2.2	何故、ビッグバン模型が生き延びたか？	10
第3章	背景輻射	11
3.1	背景輻射の発見	11
3.2	熱平衡	12
3.2.1	開いた系の熱平衡	12
3.2.2	箱の中の気体	12
3.2.3	宇宙にある光子の衝突回数	13
3.3	背景輻射の起源	13
第4章	宇宙の膨張と融合	14

4.1	空間の膨張	14
4.1.1	銀河の膨張は空間の膨張か?	15
4.2	アンドロメダと Milkyway 銀河の融合	15
4.3	銀河団の融合	15
4.3.1	爆発による粒子とフォトンの消滅	16
4.3.2	宇宙は無限の過去から存在	16
4.4	宇宙は無限	16
第5章	α-宇宙と Mugen 宇宙	17
5.1	α -宇宙と Mugen 宇宙の階層構造	17
5.2	宇宙ファイアボール	19
5.2.1	銀河核の物理学	19
第6章	理論物理学を学ぶ若者へ	20
6.1	物理学と自然現象	20
6.2	職人的な技術習得	20
6.2.1	手計算	21
6.3	理論物理学の技術	21
6.4	銀河核の模型計算	22
付録A	力学演習 No.1 [6]	23
付録B	一般相対論	24
B.1	一般相対論は重力理論と無関係	24
B.2	無関係性の一般的証明	25
B.2.1	右辺の計量は誰が決めたか?	25
B.2.2	右辺の $T^{\mu\nu}$ はどう計算されたか?	25
B.3	一般相対論は物理で応用されていない!	26
B.3.1	重力波の問題	26

第1章 Olbers のパラドックス

ここでは Olbers のパラドックスについて簡単に解説しておこう。これは「夜が何故、暗いか」ということと関係しており、昔、力学演習の問題に入れておいたものである。参考のため、付録にその演習問題を載せておこう。

1.1 Olbers のパラドックスとは？

この宇宙空間が無限に広いとして、またその宇宙に星が一様に分布していたとしよう。この時、その星の光をすべて集めると光の強さは無限大になってしまうというお話である。この計算は単純であり、宇宙空間が無限大であるとして光速の有限性を無視する限り、その主張は正しいものである。このため、宇宙が無限に大きいとする仮定には問題が生じてしまうというパラドックスであった。

1.1.1 宇宙空間は有限？

このためこの宇宙空間は無限に大きいものであってはならないと言う事が科学的常識となって現在に至っている。ビッグバン模型もそのうちの一つであり、演習問題で議論しているように有限の宇宙ならば確かに、夜が暗い事を証明する事ができる。そして宇宙空間が有限であるとして Olbers のパラドックスを避ける宇宙模型がこれまでの定説と考えられてきたのである。

1.2 Olbers のパラドックスの問題点

ところが Olbers のパラドックスには重大な見誤りがある。それは光速の有限性と関係している。Olbers のパラドックスは19世紀初めに提案されたのであるが、それ以前に光速の測定はすでに行われている。実際、18世紀半ばには光速が約 30 万 km/s である事が測定されている。しかしこの Olbers のパラドックスについて、光速の有限性を人々がどこまで認識していたのかは良くわからない。

1.2.1 光速の有限性

光速が有限であることを認識していたら、無限の彼方から星の光が到着するためには無限の時間が掛かってしまう事が分かる。従って、無限の彼方の宇宙から光が届くことはなく Olbers のパラドックス自体が意味をなしていないのである。これは「無限大」が人間の認識を超えている事と関係している。数学で定義され、そして使われている「無限大」と言う量は「どのように大きな数を持って来てもそれよりも充分大きい数」と言う有限量でしかない。本当の意味での無限大を人間が認識する事は勿論、不可能である。

第2章 ビッグバン模型

ビッグバン模型の成り立ちなどを科学史的に見て行く事は他の解説書を参照して貰うことにしよう。ここでは「点」から生成されたビッグバンと言う「火の玉」がバリオン状態になって、さらに星などを形成し始める時点から議論して行こう。

2.1 ビッグバンとは？

ビッグバンとは「点」から爆発して生成されたエネルギーの塊(ビッグバン)が急膨張して、何らかの理由によりバリオンや電子や光子などの素粒子を作り出して行く。そしてそれらが次第に冷えて行き陽子と電子の集合体となる。その後、それらがいずれは星や銀河形成の元になって行くというお話である。但し、現在の場の理論ではエネルギーの塊が陽子-反陽子を生成した場合、「反陽子だけが消滅してしまい、陽子だけ残る」と言うような物理過程は存在しない事が証明されている。陽子崩壊が実験的に否定されたからであるが、実はその陽子崩壊の理論模型(大統一理論)も「自発的対称性の破れ」を誤解した間違いだらけの理論模型ではあった。

2.1.1 ビッグバンの対称性

ビッグバンは「点」からできたとしているため、その対称性が完全である。このため例え統計的な揺らぎを最大限に使ったとしても、そこから星などを形成する事が不可能であることは良く知られた事実である。しかしここではともかく、星や銀河が形成されたとしよう。

この場合、「点」が持っていたエネルギーの塊は基本的には銀河などの質量とその運動エネルギーになっている。それと一部は光子としてエネルギーを外界に放出しているのであろう。

2.1.2 一般相対論とは何か？

空間の膨張を予言したのは Einstein 方程式の Friedmann 解であり、Friedmann 宇宙と呼ばれている。それでは一般相対論とは何に対する方程式なのだろうか？実はこの Einstein 方程式は時空の計量と関係していると言う計量テンソルに対する方程式であるが、この方程式が物理的に何を指し示しているのかは不明である。それは対象となる自然現象が存在していないからである。

2.1.3 一般相対論は運動学かそれとも動力学か？

一般相対論は粒子の運動に対する方程式ではないのでダイナミクスを扱う方程式ではない。しかしそれでは運動学なのかと言うと物理量を扱う方程式ではないので運動学でもない。それでは物理学で言ったら Einstein 方程式はどのような目的で作られた方程式なのだろうか？これが実は不明である。繰り返すことになるが、これは対応する自然現象が存在していないからであるが、どうにも奇妙な話である。

2.2 空間の膨張とは何か？

ビッグバンでは空間が膨張したと言う言い方をしている。それは計量テンソルが時空の計量に関係しているからと言う理由のためであるが、ここでは空間の膨張とはどういう事なのかを検証して行こう。

2.2.1 エネルギーの塊が空間の膨張に変換された？

それでは、最初の「点」が持っていたエネルギーの塊が何故、空間の膨張に変換されたのであろうか？実はこの最も深刻な疑問に対して誰も関心を示さないし、勿論、それに答える事はできていない。人々は恐らくここで空間の膨張と銀河の膨張を同一視しているのであろう。しかしこれは勿論、物理ではない。物理的には何を言っているのか理解不能であるが、人々はわかった振りをしてきたのであろう。

2.2.2 何故、ビッグバン模型が生き延びたか？

こうした基本的な問い掛けに対して答える努力はしないで、逆にすべてそれらを見捨てる事によってこれまでビッグバン模型が「生き延びて来た」のである。このような無責任な研究態度に対して、このビッグバン模型に携わってきた専門家達やそれに関連する研究者達の責任はどうにもならない程に重いものと考えられる。

但し、これに対して一つだけ言い訳はあるかも知れない。それはこれまで(20世紀以前)、新しい重力理論が作られていなかったと言う事実である。それ以前においては、一般相対論が重力理論であると言う強い思い込みが人々の間に蔓延していたのである。現在は一般相対論が重力とは全く無関係であることが証明されているし、一般相対論の非物理性も明らかになっている。その意味で「ビッグバン模型が生き延びたのは人々の思い込みに依っていた」と言えるのかも知れない。

第3章 背景輻射

ビッグバン模型の最も重要な根拠となったのが背景輻射である。これはビッグバンの際、大量のフォトンが生成されるのであるが、その生成時においてはビッグバンは高温である。それで人々はそれが冷えて熱平衡状態になったものが背景輻射であると主張したのである。ここでは背景輻射について簡単な解説をしておこう。

3.1 背景輻射の発見

実際、この宇宙は 2.7 K の背景輻射で満ちている。そして、この発見は非常に価値のあるものである。自分が大学院生の頃、この背景輻射の発見者である Wilson が日本を訪問して大学で講演をしてくれたことがある。それは 1970 年代初頭のことである。彼は当時、人工衛星からの電波を検出する装置を作成していた技術者であった。彼の話だと測定精度をどんどん上げて行き、当時、これ以上の弱い電波の検出は不可能であろうと言うレベルまで精度を上げる事ができた。ところがどうしてもあるノイズを抑える事が出来きなかったと言う事であった。彼らは測定している建物にノイズを発生する可能性があると考えられるすべてをチェックしたと言っていた。「自分たちはハトのフンまで取り除いたのだ」と言う話が非常に印象的であった。

しかしどうしてもノイズを取り除くことはできなくて結局、諦めたと言う事であった。しかしこのノイズ発見の直後に、ある研究者が「ビッグバンの名残りとして背景輻射が存在するはずであり、この場合の輻射の温度は 10 K 程度である」と言う理論が提案されたのである。このため、Wilson 達は自分たちが取り除けなかったノイズがこの背景

輻射かも知れないと言う事で、これは大変な発見になったようだと思ったそうである。

3.2 熱平衡

この宇宙空間で輻射が熱平衡になっていると言うお話は最初、非常に奇妙に思ったものである。熱平衡とはある粒子群間に何らかの相互作用があり、その粒子群が何らかの形で有限の空間に閉じ込められている場合にのみ起こる現象である。「宇宙空間のように開いた空間では輻射が熱平衡になる事はあり得ない」と言う事は物理学の常識である。しかし人々はこのお話を受け入れたし、これまでこの背景輻射の観測値はビッグバン模型の重要な根拠となってきた。

3.2.1 開いた系の熱平衡

実際問題として開いた系が熱平衡になっている事例は物理学では知られていない。熱平衡になるためには粒子間の相互作用が頻繁に起こっていると言う重要な仮定がある。この場合、統計物理学では「相互作用の強さがどんなに弱くても、十分時間がたてば熱平衡状態に至る」と言う事が示されている。ところで、粒子間相互作用(衝突)が頻繁に起こるための条件として、通常、平均自由行程(mean free path)で表す事ができる。式は書かないが、1個の粒子に注目した場合、どれだけ走ったら次の相互作用(衝突)が起こるかと言う事である。

3.2.2 箱の中の気体

例えば箱の中に閉じ込められた気体を考えるとその原子の平均自由行程は大雑把に言ってcmのオーダーである。この場合、原子の大きさから言ったら充分長いが、しかしマクロスケールでみたら、これは衝突が充分頻繁に起こっていて一定時間後には熱平衡状態になると考えて良い。

3.2.3 宇宙にある光子の衝突回数

一方、ビッグバン模型で主張されている宇宙を考えるとその大きさは100億光年程度でありその中に約1000億個程度の銀河が存在していると考えられている。この場合、輻射が熱平衡になるためには衝突が十分な頻度で起こっている必要がある。ところがこの場合、フォトンが水素原子衝突するとした場合の平均自由行程は約100万光年程度である事が示されている。これはすなわち、フォトンほとんど衝突はしない事を意味していて熱平衡とは全くの真逆の状態であることがわかる。

3.3 背景輻射の起源

結論として、もしビッグバンの爆発で大量のフォトンが生成されたとしても、それが背景輻射として残っている事はあり得ない事が分かっている。従ってこの背景輻射は何処から来ているのかと言う問題は現在の宇宙論における最大の謎である。しかしこの問題はそもそも星を構成している陽子や電子がどこから来たのかと言う問題と恐らくは同等のレベルの設問となっていよう。後で解説するように、背景輻射の原因は恐らく、他の宇宙からやってきたものと考えられる。しかしながら、科学が明らかにできる現象は非常に限られている。そしてその事を常に肝に銘じておく必要があると言う事であろう。

第4章 宇宙の膨張と融合

宇宙の膨張は観測事実と考えられている。しかしこの場合の膨張とは何であろうか？それはこの宇宙の銀河がそれぞれ相対的に離れて行くように運動していると言う事に対応している。ところがこの観測事実を曲解して、これが空間の膨張であるとビッグバン模型の支持者達は主張したのである。

4.1 空間の膨張

それでは空間の膨張とはどういう事であろうか？この空間の膨張として1970年代の物理屋は「風船の膨張」の例を出して解説したものである。この風船の表面は2次元であるが、実際はこれを3次元で考えれば良いと言う説明であった。この場合、風船の表面が空間に対応すると説明されていたのである。そうだとすると、銀河は空間にくっ付いていると言う事になっている。これは物理的にはどういう事であろうか？これはどのように考えてみても理解不能である。銀河が空間にくっ付いて運動しているとしたら、そのエネルギーは空間が持っている事になってしまう。勿論、これは物理学とは無関係のお話である。

ところが現実問題としては、宇宙論の専門家と自称する人々はその後、宇宙の膨張の説明または解釈を停止または放棄したのである。そして現在は宇宙は膨張していると言う事を主張するが、それはそれぞれの銀河の膨張の事であるとしていて、空間の膨張が物理的に議論されることはない。

4.1.1 銀河の膨張は空間の膨張か？

物理学の言葉で見れば話ははっきりしてくる。銀河が持っているエネルギーは運動エネルギーと重力エネルギーである。星が光を放つ際におけるエネルギー源は核融合のエネルギーであるが、今の場合、そのエネルギーを考慮する必要は特にはない。従って、空間の膨張とともに銀河が膨張したと言う主張では膨張のエネルギーは空間のエネルギーと言う事になり、これは物理学ではない。

4.2 アンドロメダと Milkyway 銀河の融合

銀河膨張のエネルギーは最初に複数個の巨大銀河クラスター同志が衝突してできた爆発のエネルギーである。このエネルギーの源は勿論、銀河が持っていた重力エネルギーである。これまでそして恐らくは現在も、そのエネルギーが銀河の運動エネルギーとして相対的な銀河同志間の膨張として観測されているものと考えられる。いずれはこの膨張が止まり、銀河同士が融合し始める事になるだろう。銀河間の相互作用は重力であり、これは必ず引力なので次第にお互いを引き付け合って融合(衝突)して行く事になるであろう。隣の銀河系であるアンドロメダ銀河と我々の MilkyWay 銀河は約 30 億年後に衝突して融合する事が計算によって分かっているが、しかしこれがこの宇宙全体の融合の兆しと関係しているのかどうかはよくわからない。

4.3 銀河団の融合

現在、宇宙に存在している銀河はいずれより大きな銀河団になって行くものと考えられる。そしてそれが次第に融合を繰り返して行き、いずれは2個または3個の巨大な銀河団になって行くのであろう。そしてそれらはいずれ一つに融合する事になるだろう。これは宇宙ファイヤボールとして、宇宙初期のような状態を示すのであろう。この融合は爆発に対応していて、その爆発後は膨張に転じて行くのであろう。

4.3.1 爆発による粒子とフォトンの消滅

従って、この我々の宇宙はこの融合と膨張を繰り返して行く事になっているものと考えられる。この場合、爆発時に一定量の輻射エネルギーと粒子群を失う事になる。特に輻射エネルギーはかなり大量に失われて行く事は間違いないと考えられる。

4.3.2 宇宙は無限の過去から存在

しかし陽子と電子がともに安定であることが実験的に実証されているので、この宇宙は無限の過去から存在している。そして勿論、永遠の未来にも存在するものである。その場合、この宇宙は融合と膨張を繰り返してきた事になっていると考えられる。しかしその場合、重大な問題が生じてしまう事になる。それはそれぞれの爆発で一定量のフォトンエネルギーを失っているため、これが無限回、繰り返されたとしたらこの宇宙のエネルギーは大半がなくなっている事になっている。これは明らかに、現在の我々の宇宙の存在と矛盾しているため、何らかの形でエネルギーを外から獲得する必要がある。

4.4 宇宙は無限

このフォトンのエネルギー消失の矛盾を解決できる唯一の方法は、この宇宙には我々のような宇宙が無限個あると言うものである。この場合、失われているフォトンのエネルギーは無限の宇宙からやってくるフォトンのエネルギーによって回復されているものと考えるのが妥当である。そしてその輻射が背景輻射として観測されていると考えられるものである。次節で議論するように、我々の宇宙の事を α -宇宙と呼ぶ事にしている。

第5章 α -宇宙とMugen 宇宙

ここで約100億光年程の大きさを持ち、その中に約1000億個程の銀河が存在していると言う、この我々の宇宙の事を α -宇宙(α -universe)と呼ぼう。全宇宙(Mugen Universe)とはこれらの α -宇宙と同等の宇宙が無限個存在している宇宙の事である。「Mugen」は Bentham の教科書 [5] で使用して以来、これを英語として使っている。それはこの言葉が宇宙論における「果てしのない宇宙空間」を表すためには最も適した表現と考えられるからである。

5.1 α -宇宙とMugen 宇宙の階層構造

ここで簡単にこの宇宙の階層構造を書いて置こう。まずは地球から始めよう。

(1) 地球の大きさ：

地球の半径は約6400 km である。地球は太陽の周りを公転しているが、その公転軌道は光速で約8分かかる距離である。

(2) 太陽系の大きさ：

太陽は恒星であり、宇宙における標準的な星であると考えられている。今後、銀河などの質量はこの太陽質量 M_{\odot} を基準として計って行く。距離は光年を基準とするが1光年は約 9.5×10^{17} cm である。また太陽系の大きさは約 3×10^{-3} 光年程度である。

(3) 銀河系の大きさ :

MilkyWay (銀河系) の大きさ (直径) は約 10 万光年である。銀河系の質量は恐らくは $2 \times 10^{12} M_{\odot}$ 程度であろう。恒星の数 N_{star} は $N_{\text{star}} \sim 10^{11}$ 程度と考えられているが、あるいはそれよりも少ない可能性がある。これは銀河核の質量がどの程度かと言う事に強く依存している。

(4) α -宇宙の大きさ :

銀河系が集まって我々の宇宙 (α -宇宙) を形成している。この中にどのくらいの数の銀河が存在しているのか、あまり確かな事はわかっていないと言えよう。現在、 2×10^{11} 程度は存在していると考えられているようである。しかしここでの議論に関しては、この数はそれ程、問題にはならない。この α -宇宙の大きさも良くわからない。大雑把には 100 億光年前後であろうとは思われる。しかしこれも正確な数字に特に意味があるとは言えない。

(5) Mugen 宇宙の大きさ :

これらの α -宇宙は無数個存在している事が必要である。実際、このような α -宇宙が無数個あるとしない限り、宇宙の安定性を証明する事はできないのである。そしてこの無数個の α -宇宙の集まりを Mugen 宇宙と呼んでいる。

それでは α -宇宙が無数個ある場合、我々の α -宇宙は安定であろうか？隣の α -宇宙から確かに引力を受ける事になる。しかしながら、これらの α -宇宙が無数個あるとすれば、我々の α -宇宙はあらゆる方向から引力を受ける事になって、確かに我々の α -宇宙は安定であることがわかるのである。

5.2 宇宙ファイアボール

α -宇宙の宿命として、融合と膨張を繰り返して行くものと考えている。その場合、融合の最終段階として爆発状態となるものと考えられる。これを「宇宙ファイアボール」と呼んでいるが、これはある意味でビッグバンの初期状態に近いものと考えられる。しかし現在のところ、この「宇宙ファイアボール」に対する具体的な描像は作られてはいない。膨大な数の銀河が一つまたは複数のファイアボールになるという物理学はお話で言っているだけで具体的な理論計算はどうしたら可能なのか、今の段階では見当もつかないものである。

5.2.1 銀河核の物理学

宇宙ファイアボールの前にまずは銀河核の模型計算が必須であろう。これまで多くの宇宙物理屋はこの銀河核をブラックホールとして片づけてきたが、勿論、これは何も言ったことにはなっていない。

銀河核の研究のためには、恐らく銀河核の状態方程式をしっかりと構築して、その物理的な特性をある程度にせよ、明らかにして行く事がまずは最初の仕事となろう。これを理解していないと銀河核の議論を進めて行く事は難しいものと考えられる。

銀河核の場合、強大な重力と強力な核力とのせめぎ合いとなっているのであろうが、このダイナミックスを取り扱う事は相当に、難しいものであろう。そしてこれは科学になり得るかどうかは別として、物理学者としてはどうしても解きたい問題であることは確かである。いずれこの問題に挑戦する若手の理論物理学者が現われる事を期待したいものである。

第6章 理論物理学を学ぶ若者へ

現在、そして将来に渡って「理論物理学の職人」を育てる事が非常に重要な時代になっている。このため、ここでは理論物理学における職人的な技術に対して、簡単なコメントをしておこう。この様な事が役に立つとは思われないが、しかし一人でも何かを感じてくれればそれで良いと思っている。

6.1 物理学と自然現象

物理学は自然を理解しようとする学問であり、従ってその時代に依りて研究テーマは勿論、変わって行く事になっている。この場合、どうしたらその変化に対応できるかと言う事が今ほど深刻になっている時代はこれまでには無かったと思われる。その原因の一つとして、知識だけは世の中に異常なレベルで氾濫していると言う事実がある。このため、その内どれが正しいものなのかと言う事を見極める事が非常に難しいものとなってしまったのである。人々は「ネット知識」のかなりの部分は間違っているとわかっていながら、しかしそれを検証するためには膨大な時間が掛かってしまうと言う弊害がある。これが混乱を招いている一つの原因なのであろう。

6.2 職人的な技術習得

従って、どの分野にせよ、自分自身が進歩して行くためには「職人的な技術習得」が必須になっている。コンピュータやA Iが活躍できる分野が沢山あることは間違いないが、しかし例えばA Iに関しては、

AIがその作成者以上に有能になる事は不可能である。昔、「電卓」が出始めの頃、その計算の速さに吃驚したものだが、しかし頭の中で計算をし続ける場合、電卓はまったく役には立ってはいない。

6.2.1 手計算

それと比べると「ソロバン」は一生、役に立つものである。その計算を自分の頭で実行する事を繰り返すため、この技術としては自分の中に何時までも残る事になっている。従って、理論物理学の基本的な技術としてはどうしても計算技術習得が必須である。この場合、手計算が非常に重要であり、簡単な計算を繰り返し繰り返し行う事によってのみ、この手の技術が習得できるものである。それと並行してコンピュータによる計算技術も重要である。この場合、やはり FORTRAN を学んでおく事が必須であろう。これにより手計算のチェックが簡単にできるし、また手計算ではできないところも検証できる場合がある。しかしいずれにせよ、基本が手計算であると言う事を常に自分に言い聞かせておく必要があると思われる。

6.3 理論物理学の技術

ソロバンは科学とは関係ないが、しかしこうした技術を身に着ける事が理論物理の分野でも必要であろうと考えられる。その技術のなかで、理論物理学を学び研究する上で最も重要な技術的な部分はやはり Lagrange 方程式を含む定式化であろうと思われる。この Lagrange 形式が頭に入っていると理論物理学への応用は相当に整理されるものであると思っている。しかしながらこの計算技術を自分のものにするには相当の訓練が必要であり、これを習得する事が理論物理の職人への第一歩かも知れない。

6.4 銀河核の模型計算

本文でも少し触れているが、今後しばらくの間は「銀河核」に対して何らかの形での模型計算が重要なテーマとなるものと思われる。どのようなイメージを持ったら簡単で本質的な描像が描けるのか全く分からないが、しかし非常に興味はある。簡単で本質的な模型を提案できれば、それに応じて観測の方も可能になってくるものと考えている。まずは基礎的な模型計算を如何に実行できるかと言う事であろう。

付録 A 力学演習 No.1 [6]

夜が何故暗いか (Olbers のパラドックス) を考察する . 但し星は無限に広い宇宙に一様に分布しているものとして、その密度を n とする .

- (a) 地球から $\mathbf{r} = (x, y, z)$ と $\mathbf{r}' = (x + dx, y + dy, z + dz)$ の間にある星の数 $ndxdydz$ を極座標 r, θ, φ で書け . 但し、 x, y, z から r, θ, φ への Jacobian J は $dx dy dz = J dr d\theta d\varphi$ として、次のように書ける .

$$J = \frac{\partial(x, y, z)}{\partial(r, \theta, \varphi)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \theta} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \theta} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial z}{\partial r} & \frac{\partial z}{\partial \theta} & \frac{\partial z}{\partial \varphi} \end{vmatrix}$$

- (b) 星の個々の明るさを L とし、これが星の明るさの平均とする . 全宇宙からの星の光を積分して地球上における明るさを求めよ . これが発散することを確認せよ .
- (c) 現実に夜は暗い . このパラドックスについての現在の理解は、次のようである . それは、宇宙は有界で星の数も有限であるというものである . 宇宙の大きさを 100 億光年、その中にある星の数を 10^{21} 個とした時、星の全部の明るさは、太陽 (明るさ L) が何光年の距離にある場合と同じであるか ?

付録B 一般相対論

一般相対論に関して，簡単なコメントをしておこう．一般相対論は計量テンソル $g^{\mu\nu}$ に対する微分方程式である．従ってこれは慣性系の座標系に対する方程式となっている．しかし物理学は座標系を自分で決めてその中で質点の運動を記述して自然界の現象を理解しようとする学問である．このため，その座標系に対する方程式とはどういう意味があるのか，これは物理学としては理解不能である．従って，数学の方程式としては何ら，問題があるわけではないが，Einstein 方程式は物理学の方程式にはなっていない．

B.1 一般相対論は重力理論と無関係

それにもかかわらず，一般相対論がこれまでかなり多くの人々に受け入れられて来たように思われる．何故であろうか？これにはいくつかの理由があると思うが，その内で最も重要と思われる物理的な理由が一つある．それは Einstein がこの一般相対論は重力理論と関係していると主張したからである．そして『ある仮定』を置くと確かに重力と関係づけられるように見えたのである．それは計量テンソル $g^{(00)}$ が重力場 ϕ と

$$g^{(00)} \simeq 1 + 2\phi$$

と書かれるとした仮定である．実際には，この仮定が物理的に正当化できないし，完全に間違っている事が分かっている．それは，この計量テンソルは未知変数なのでその形は方程式を解いて始めて決められると言うものであり，その形をあらかじめ決める事は出来ない．さら

に、この計量テンソルは座標系の変数であり、これが力学変数である ϕ と結びつくと言う仮定は物理的に無意味なものとなっている。従って、式 (B.1) が方程式として物理的に有意な意味を持つことはない。

B.2 無関係性の一般的証明

また計量テンソルが重力場とは無関係である事の一般的な証明はさらに簡単である。これは Einstein 方程式を吟味すればすぐにわかるものである。Einstein 方程式は

$$R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}g^{\mu\nu}R = 8\pi G_0 T^{\mu\nu}$$

と書かれている。ここでこの方程式の左辺は Ricci テンソル ($R^{\mu\nu}$) とよばれる量で書かれているが、この Ricci テンソルは計量テンソル $g^{\mu\nu}$ の 2 回微分で書かれている。従って、左辺はすべて計量テンソル $g^{\mu\nu}$ で書かれていて、これが未知変数である。

B.2.1 右辺の計量は誰が決めたか？

まず、問題となるのは Einstein 方程式 (B.1) の右辺の計量はどのように決められたかと言う単純な疑問である。これは恐らくは Minkowski 計量が仮定されているのであろう。従ってこの方程式は右辺にある星の分布関数が決定された場合、それに応じて計量テンソル $g^{\mu\nu}$ の関数形が決まると主張しているものである。

B.2.2 右辺の $T^{\mu\nu}$ はどう計算されたか？

ここで深刻な問題は右辺に現われている物理量 $T^{\mu\nu}$ がどのように計算され、求められているかと言う事である。これは未知変数である計量テンソル $g^{\mu\nu}$ とは無関係である。この星の分布関数は重力場の方程式を解いて決められている。従って、ここではすでに重力場とその運動方程式の存在が仮定されているのである。すなわち、この Einstein

方程式は計量テンソル $g^{\mu\nu}$ が重力とは全く無関係であることをこの式自身が示している。従って、どのように頑張ってみても、一般相対論を重力と関係付ける事には無理がある。そのためこの方程式が物理学でどういう役割を果たしているのかは不明である。

B.3 一般相対論は物理で応用されていない！

一般相対論は重力理論とは全く無関係である事が示されている。このためこれが物理的にどういう意味合いで作られたのか、今となっては分かる術がない。しかし現実問題として、この一般相対論が物理学のどの分野においても利用されたり使われたりしていると言う事実はない。従って一般相対論が物理学において特に何らかの問題を惹き起こしていると言う事実はない。

B.3.1 重力波の問題

但し『重力波』などの一般相対論がらみで単発的に無意味な主張をしている物理屋がいる事は事実である。これは確かに問題で、何とかしないとイケないであろう。それは彼らが膨大な科学予算と人件費を浪費しているからである。しかしながら、どうしたら良いか自分にはわからない問題でもある。

関連図書

- [1] J.D. Bjorken and S.D. Drell, “Relativistic Quantum Mechanics”,
(McGraw-Hill Book Company,1964)
- [2] J.J. Sakurai, ”Advanced Quantum Mechanics”,
(addison-Wesley,1967)
- [3] K. Nishijima, “Fields and Particles”, (W.A. Benjamin,
INC, 1969)
- [4] T. Fujita, “Symmetry and Its Breaking in Quantum
Field Theory” (Nova Science Publishers, 2011, 2nd
edition)
- [5] T. Fujita and N. Kanda, “Fundamental Problems in
Quantum Field Theory” (Bentham Publishers, 2013)