

Title	モレキュール型「宇宙現象での進化と時間の矢の問題」 研究会報告
Author(s)	
Citation	物性研究 (1979), 32(1): A1-A5
Issue Date	1979-04-20
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/89761">http://hdl.handle.net/2433/89761</a>
Right	
Type	Others
Textversion	publisher

## モレキュール型「宇宙現象での進化と時間の矢の問題」研究会報告

京大工 松田 卓也

上記の表題の研究会が1978年11月1～2日 京大基礎物理学研究所で開催された。(世話人は佐藤、杉本、松田)参加者は十数名であったが、熱の入った討論が展開された。スピーカーは高木(東北大理) 杉本、清水(東大教養) 江沢(学習院) 大師堂(早稲田) 佐藤(京大基研) 富田(京大教養) 松田(京大工) 富松(広大理論研)であった。以下に、長大な英文の論文をも含めて、講演者から頂いた、話の概要を集録する。

江沢氏の「量子力学から見た時間」、清水氏の「生物物理から見た時間」、大師堂氏の「3K宇宙黒体輻射はなぜ測定できるか」については残念ながら概要を頂けなかった。

ここに記した話の表題は、一見、相互にあまり関係がないように思われる。その関係を明らかにする意味で、また研究会の目的をはっきりさせる為に、筆者のいただいていた問題意識について少しふれたい。

空間と時間は、ひとまとめにして4次元時空と表現されるけれども、その間にはのりこえられない壁がある。空間は方向性を持たないのに対して、時間は過去から未来へ流れ、その逆はないという意味において、方向性を持っているからである。そしてそれは因果律(つまり原因が先にあつて結果が後にくる)と密接に関連している。

ところが、この経験事実と、物理学の基本法則を調和させることは容易ではない。古典力学、電磁気学、量子力学、相対論といった基本的物理法則は、すべて時間反転に対して不変につくられている。基本法則のレベルでは、時間の方向性は存在しないのである。

他方、熱力学という、より現象論的レベルの物理学には、時間の方向が入っている。熱力学第二法則である。これは、色々の言い方ができるが、孤立系のエントロピーは時間とともに非減小である、と定量的に述べることができる。

そこでボルツマン以来、多くの研究者は、熱力学第二法則を、より基本的なレベルの法則から導びようと試みた。その結果、分ったことは、エントロピー増大は、基本法則そのものの中に存在するのではなく、方程式の初期条件、つまり広い意味での境界条件

松田卓也

とか、人間の認識の大ざっぱさ、つまり情報の欠除と関連することがわかった。しかし、これら先人の努力をもってしても、江沢氏、富田氏の述べるごとく<sup>1)</sup> 言える事は、ただ「エントロピーは、認識の進む方向に向って増大する」という事にすぎない。現在の宇宙は膨張しているが、エントロピーが、宇宙膨張の方向に向って増大するという事が証明されたわけではないのである。つまり、時間に方向性のあることは分ったが、その方向を、何らかの別の基準による時間の方向（例えば、宇宙膨張）と比較しなければ、意味がないわけだ。熱力学的時間の方向（エントロピー増大の方向）と、宇宙的時間の方向を一致させる努力が必要であろう。熱力学的時間の方向（熱力学的時間の矢とよぼう）を規定するのは、境界条件であると述べたが、宇宙が正にそのような条件を与えているのかどうか問題になる。このような観点から、宇宙膨張と熱力学的矢を関連させようという試みは、ゴールド<sup>2)</sup> によって提案された。そして、このような考え方は、時間の矢の宇宙論学派として知られている<sup>3)</sup>。

時間の方向を与えるのは、熱力学的時間の矢と、宇宙論的時間の矢だけではない。電磁気学において我々は遅延解のみを採用し、先行解をすてさる。その理由は、先行解は因果律にあわないからだとされている。ゾンマーフェルトの輻射条件、つまり外向き球面波は許すが、内向き球面波は許さないとすると、先行解は除かれる。しかし輻射条件がなぜ成り立つのかは自明でない。多分、コヒーレントな内向き球面波を許すことは、熱力学第二法則を破ることになると思われる。そうすると、電磁氣的時間の矢は、熱力学的時間の矢の副産物ということになる。この考えはアインシュタインにより提案され、レーザー<sup>4)</sup> により支持されている。

一方、ホイルとナーリカー<sup>5)</sup> は、電磁氣的時間の矢は、宇宙膨張の結果として導びかれるという事を主張している。彼らは、マックスウェルの電磁理論ではなく、ホイラーとファイマンによる遠隔作用の電磁理論を採用し、ホイルたちの定常宇宙論と組み合わせると、上述の結論が出るという。しかしながら、現在の宇宙論は、ホイルたちの定常宇宙モデルを支持していない。筆者の見解では、電磁氣的時間の矢は、熱力学第二法則の結果である。さらに、たとえ宇宙膨張から電磁氣的時間の矢が導びかれたとしても、それからどのようにして熱力学第二法則を導くかが問題であろう。

時間の矢の第四としては、歴史的時間の矢があげられる。つまり、この宇宙は進化してきたし、その一部としての銀河、星、生物、人間、社会も進化している。これらを進

化とよぶかどうかは問題であると思われる人もいるだろうし、筆者もそう思うけれども、少なくとも、これらの対象が非可逆的な変化をとげてきたことは明らかであろう。しかも、熱力学第二法則に見られるような、より無秩序な、より一様な方向への変化ではなく、より高度な、より非一様な方向への変化である。生物、人間、社会は特にそうだと思うが、これらの歴史的変化をエントロピー増大の方向ととらえるのは正しくないと思う。むしろエントロピー減少、より正確には、情報量の増大ととらえるのが正しいだろう。

すると問題は、情報量増大とエントロピー増大を、いかに調和させるかである。この問題を明解に説明してみせたのはレイザー<sup>4)</sup>である。彼によると、宇宙膨張こそが情報量増大の根元であるという。

$$I = S_{\max} - S$$

この式で  $I$  は情報量、 $S$  はエントロピー、 $S_{\max}$  は系のとりうる最大のエントロピーとすると、通常孤立系においては  $S_{\max}$  は一定であり、 $S$  の増大は  $I$  の減少を意味する。しかし膨張宇宙においては  $S_{\max}$  が時間とともに増大するので、 $S$  も  $I$  も伴に増大するのである。具体的な例としては、宇宙初期の元素合成などがその例である。詳しくは筆者の解説参照<sup>6)</sup>。宇宙における一つの重要な観測事実として、宇宙初期は熱平衡に近かったということである。これは宇宙のかなたから来る電波が、黒体輻射であることがわかる。ペンジアスとウィルソンは、この発見により、1978年度のノーベル賞を受けている。宇宙初期は、ほとんど  $I$  は0に近くそれが宇宙膨張とともに、 $S$  も  $I$  も増大して、現在の状態に到ったと考えられる。

すると、ボルツマンやケルビンの「熱的死」のイメージは、少々修正を必要とする。彼らは、宇宙を静的にとらえていたため、この宇宙は時間とともにエントロピーが増大して、一様な死の世界に進むと考えた。上で述べたように、この宇宙は現在は膨張しており、その結果、たとえエントロピーが少々増大しても、死の世界に向うことはない。さらにボルツマンたちの誤りを言えば、たとえ宇宙が膨張していなくても、エントロピー最大の状態、つまり熱平衡状態は一様な、つまり等密度の世界ではない。これは重力の影響を考慮するとそうなるのである。重力は、物質をトコトンまで非一様な状態にもっていこうとする。そして最終的平衡状態は、ブラックホール+輻射の世界である。これは最近はやりの相対論的重力熱力学の結果であり、富松氏の解説<sup>7)</sup>参照。但し注意としては、最終的平衡状態というのは系の大きさによる事を指摘したい。大きな系では、

松田卓也

エントロピーは加法的な量ではない。これも重力という遠達力のせいである。

宇宙の初期は熱平衡に近かったと述べたが、それでは宇宙初期から、ブラックホールがゴロゴロしていたのだろうか。そういう考えもある。但し、宇宙膨張開始後  $t$  時間後では、 $ct$  を半径とする球面内しか、相互作用しえないから、きわめて小さなミニブラックホールがゴロゴロしており、それらはいずれ蒸発してなくなってしまったのだろうと推測される。いずれにせよ、重力まで含んだ熱力学は、宇宙の進化を考える上で重要であり、現在の一つのトピックである。<sup>8)</sup>

時間の方向性を与える別の現象として、 $K$  中間子の崩壊現象における時間反転不変の破れがある。これが、時間の矢に本質的であるというネーマン<sup>9)</sup> の立場もあるけれど、筆者にはそうは思えない。いったい  $K$  中間子と、日常見る拡散現象の間に何の関連があるのだろうか。 $K$  中間子の崩壊といった物理法則が、時間の方向を決めるというよりはこういった法則は、天与の絶対的なものではなく、我々の膨張宇宙においてたまたまそうなったと考えたい。佐藤氏の主張するように、<sup>10)</sup> これらの物理法則は歴史的所産であると思う。

話はかわるが、マックスウェルの書いた「熱の理論」という本に、熱力学第二法則を破る生物の話がでてくる。これはマックスウェルの魔物として知られている。<sup>11)</sup> この矛盾を解決するべく多くの研究者が戦いをいどんだ。その中でシラードは、情報の概念を熱力学に導入し、ブリリアン<sup>12)</sup> はそれを体系化し、マックスウェルの魔物の矛盾を「解いた」。彼は、魔物とは負エントロピー→情報→負エントロピーという変換を行なう物であり、その過程の中で、魔物まで含んだ体系の全エントロピーは非減少である事を「証明」した。高木氏<sup>11)</sup> は、魔物の得た情報(=知的情報)と、物理的な負エントロピーの間には関係がないと批判しておられるが、筆者は、そうは思わない。知的情報と言えど、その根元をつきつめれば、脳内の記憶巢にたくわえられるのであるから、物理的な負エントロピーに還元できるはずである。

しかしながら、筆者たち<sup>13)</sup> はブリリアンの「証明」が不十分である事を見つけた。エントロピーの全収支の計算がなされていないのである。我々は、完全な証明には達していないけれども、この誤りによって熱力学第二法則が破れるなどという事はありそうにもない。魔物の問題は要するに、彼がエントロピーを減少させる為には情報が必要であり、その情報を得る過程でエントロピーが発生して、結局は全エントロピーは増大する

ということにつきる。

この問題を定式化するには測定器の理論が必要となる。その考察の過程で、対象の温度より高温の測定器を用いて、どうして測定が可能かが問題になった。3 Kの宇宙黒体輻射を測定するアンテナや測定器は常温なのである。この疑問は、大師堂氏により見事に説明されたが、要するに、測定の為には負エントロピーを測定器に与えているのである。

マックスウェルの魔物とよく似たものにラプラスの魔物がある。ラプラスの魔物は全宇宙の全粒子の位置と速度を知っており、従って未来を完全に予測できるというのである。もし魔物が宇宙内存在であるとしたら、彼は実際は、宇宙の未来を完全には予言できない。粒子の位置と速度を測定する際に、エントロピーを発生して、不確実さを増大させてしまうからである。これは量子力学的不確実さと似てはいるが、異なる古典的不確実さなのである。もちろん魔物が宇宙外の存在としたら話は別である。その場合は、彼が負エントロピー（情報）を背負っており、それを宇宙に注入することにより、未来を予測することは古典的には可能である。

最後に、宇宙黒体輻射の発見について一言。研究会の席上、大師堂氏が明らかにされたことであるが、天空の温度を測定するという試みは1950年代の始めに、名大空電研の田中、柿沼たちのグループが行なっており、0～5 Kという結果を得ていた。問題意識としては宇宙論ではなく太陽電波観測上の必要からであったし、上限を与えただけではあるが、その重要性をだれも（本人も含めて）認識できなかったのは残念である。なお論文は空電研の報告として和文と英文で刊行されていた。

## 文 献

1. 富田博之 本報告集
2. T. Gold, in *La Structure et l'Évolution de l'Univers* (Brussels: R. Stoops), (1958) 86.
3. B. Gal-Or, *Science* **176** (1972), No. 4030, 11.
4. D. Layzer, *Astrophys. J.* **206** (1976), 559.  
サイエンス (1976) 2月号
5. F. Hoyle & J. V. Narlikar, in *The Nature of Time*, ed. T. Gold (Ithaca: Cornell Univ. Press), (1967), 25.
6. 松田卓也, *天文月報*, **71** (1978), 316.