討　議 (一)

(A) 品川嘉也氏の最近論文
『力学における決定論と意識の自由について』を読んで

山　崎　和　夫

品川氏の表記論文に対し、物理学者の立場から何かコメントをしてほしいとの御依頼を受けたが、浅学の私は、知らなかったり気付かなかったことをむしろいろいろ教えられた。非常に興味深い御高説であり、私個人としてその本筋に異論はない。それに、私は物理学のごく狭い一分野の仕事にしかたずさわっていないので、もっと視野の広い物理学者は異った見解を持たれるかも知れない。しかし、私なりに読んでみて、細かい表現の仕方に多少の異和感をおぼえた点がないわけではないので、その点について書いてみたい。

まず最初に古典力学（＝ニュートン力学）の因果律——あるいは決定論という言葉でも同じことであるが、——について考えて見よう。話をはっきりさせるために一つの決まった原因（物理学の用語で言うならば初期条件）から一つの決まった結果が得られることを因果律（＝決定論）と呼ぶことにする。品川論文の第一節では、〝微分方程式

$$\frac{dv}{dt}=\sqrt{v} \qquad (2)$$

を例として、この非線型の微分方程式の初期条件 $t=0$ で $v=0$ に対応する解は単に

$$v=\frac{1}{4}t^2, \qquad t\geqq 0$$

のみでなく、

$$v_a(t)=\begin{cases}0, & 0\leqq t\leqq a\\ \frac{1}{4}(t-a)^2, & t>a\end{cases} \qquad (A)$$

もまた、$a\geqq 0$ なるすべての a について微分方程式(2)の解である。従って a の値は一義的に決まらない〟それ故この方程式で表わされる運動は決定論的でない——というように述べられている。（『哲学研究』五四六号、六五頁参照）そこで品川氏はこの例を基礎にして、一般に運動方程式が、初期条件を定めれば一義的な解を持つのは、方程式が線型の場合であり、非線型の場合にはこれは保証されず、非線型の微分方程式では、初期条件を定めても解は一義的に決まらない、すなわち、古典力学の運動方程式が決定論的であったのは線型近似が有効な特殊なケースを扱っていたためである。故に古典力学でも因果律は成り立たず、すでにそこに意識の自由が入り込む余地がある、……というように論じていられる。

私にはこの論旨はいさゝか強引なものに思える。上記の〃……〃の部分については、数学の話として異論はない。私の本来の異論はこの具体例についてではないが、まずそこから話を始めよう。方程式(2)が一義的な解を持たないのは $t=0$ で $v=0$ という初期条件を与えたからで、もし $t=0$ で $v=v_0$ (v_0 はどんなに小さくてもよい正の値) を初期条件として与えれば、(2)は

$$v=\left(\sqrt{v_0}+\frac{t}{2}\right)^2, \qquad t\geqq 0$$

という一義的な解を持つ。つまり(2)が一義的な解を持たず、(A)のような無数の解を許したのは、初期条件を $\sqrt{v}$ という関数の特異点（正確には分岐点）、$v=0$ でちょうど与えたからである。私の言いたいのは、ニュートンの運動方程式が決定論的な解を与えるのは線型の場合のみである、というのは言い過ぎで、非線型の場合にも、ごく特殊な例外的な場合を除いて、やはり決定論的な解を持つということである。しかしそれでも、運動方程式が一例でも（このような例は無数に考えられるが）一義的な解を持たない例があれば、因果律は厳密には成り立たないではないかと反論されるかも知れない。

これに対しては次のようにお答えしたい。(先の具体例についての数学的な細かいことよりも、これからが本筋である。)そもそもニュートンの運動方程式

$$m\frac{d^2x}{dt^2}=f$$

は微分方程式であるが、物理学の立場としては、この式の右辺にある力 f にどんな関数を持ってきても、この方程式の解が運動を表わすとは考えない。f としてどのような関数だけが許されるのかは、数学的に厳密に制限することは困難であるが、物理学としては、説明すべき自然現象があってそれを記述するために適当な力 f を導入するのである。つまり物理学としては自然がまず先にあり、運動方程式はそれを数学的に記述するための道具なのである。だから f として勝手な関数を持ってきて、それによって記述される運動（私は、それは方程式の数学的な解ではあっても、物理学でいうような運動を表わすものとは看做せないと言いたい）が決定論的な答を持たないからと言って因果律を破る例とはなし得ないであろう。物理学において、ある方程式を書いたときには、それは必ずいろいろな制限や近似あるいは理想化の下に成り立っているのであって、その解が無制限に常に物理現象を表わすとは考えない。先の方程式(2)について言えば、f として $\sqrt{v}$ という関数形はあり得る力のように見えるが、その解 v は時間と共にいくらでも大きくなる ($v\equiv 0$ というトリビアルな解は別として) から、物理現象としては v が無限に大きくなるような現象は考えられず、v がある限界値に達すれば v を小さくさせるような抵抗力が働くはずである、つまり $f=\sqrt{v}$ という力の関数形が成り立たなくなる限界があるはずである。物理学では運動方程式の解として物理現象に即しない解（今の例では因果律が成り立たない解）が表われれば、もう一度運動方程式、あるいは初期条件を考え直して、そのような解を排除する（今の例では初期条件の与え方が特異であっ

たと看做す）のが正当なやり方だと思われる。

私の立場をまとめると、位置、時間、速度、加速度、力、質量などといったような、いわゆる古典力学的概念で記述できる物理現象に対しては、ニュートン力学は決定論的因果律をも含めて、厳密に成立する、というふうに表現する立場になる。そこでニュートン力学と意識の自由ということについて言えば、意識は上記のような古典力学的概念のみではとらえられない実体である。とすれば、たとえ Laplace の魔物がいたとしても矛盾はないと考えられる。もちろん現代の物理学では、十九世紀のいわゆる力学的自然観のように、すべての物理現象は究極的にはニュートンの運動方程式に帰することができるというようには考えていない。ニュートン力学の枠内に収まらない自然現象もいくらでも存在する。例えばミクロの世界では量子力学的な概念を用いなければ現象を理解することができないことなどは周知の通りである。

それならば、ニュートン力学と限らずに、物理学一般においては、因果律と意識の自由という命題は、どのように考えるべきなのか。ごく簡単に私見を述べておきたい。

量子力学になると古典的な意味での決定論的な因果律が成り立たなくなるとよく言われる。それでもよいが、私はむしろ、古典的な意味での因（例えば一個の電子の、ある時刻における位置と速度）は不確定性関係の故に厳密に定めることができず、われわれは原理的にある程度の幅（$\Delta x \cdot \Delta p > \hbar$）をもたせてしか因そのものを与えることができない、そこに、ニュートン

力学の決定論的な因果律が確率的な因果律でおきかえられねばならぬ理由がある、とそのように表現したい。つまり、一つの因から一つの果が生ずるという因果律については、ミクロの世界で一つの因そのものを古典力学的な意味で厳密に特定できない、というところに問題があるのである。品川氏は、この量子力学的な不確定性は生物学的な自由選択の存在にとってはプランク定数hの値が小さすぎるので、直接的に関係しないとされているが、少なくとも原理的には物理学の世界でも、原子や素粒子は Laplace の魔物が支配していないということが理解できただけでも大きな意義があると思われる。

おそらく品川氏の言われるように、熱・統計力学的なエントロピー、あるいは情報量ということに意識の自由を結びつける方向は正しいのであろうが、因果律の破れと意識の自由の問題を、方程式(2)のような数学的な例があるからといって、ニュートン力学のレベルにまで帰すのは、すこし行き過ぎではないか、というのが、この小論で述べておきたかったことである。

（筆者　やまざき・かずお　京都大学教養部〔物理学〕教授）

Vernunft... bedarf keiner Kritik.' Doch der Titel des dritten Abschnittes der „Grundlegung zur Metaphysik der Sitten" lautet: ‚Übergang von der Metaphysik der Sitten zur Kritik der *reinen praktischen* Vernunft'. Ist dies nicht ein frappanter Widerspruch, insofern als man unter ‚Kritik' den Sinn der „Ersten Kritik" verstehen bleibt? Es scheint mir, dass das Wort ‚Kritik' irgendeinen weiteren Sinn habe, so wie κρίνειν ‚billigen' bedeuten kann.

[*Discussion* II] (A) On a Recent Paper of Professor Shinagawa

by Kazuo Yamazaki
Professor of Physics,
College of Liberal Arts,
Kyoto University

Shinagawa has pointed out that his non-linear differential equation (2) has an infinite number of solutions for a given initial condition. On this basis he has argued that Newton's equation of motion (1) has no definite solution for general non-linear force and suggested that this supports his theory of consciousness. My criticism is based on the fact that an arbitrary differential equation of the type $md^2x/dt^2=f$ is not a Newtonian equation of motion. It is necessary that f satisfy some restriction required by physics, and within this restricted class Newton's equation of motion has yields definite causal solutions in the case of non-linear forces as well. The origins of indeterminism should be considered in relation to quantum mechanics and to the question of entropy or the available amount of information, as Shinagawa has argued, but they have nothing to do with Newtonian mechanics.