

第 12 話 ニュートンの第 1 法則を軽く考えていませんか

2007 年 12 月 10 日 作成

萩原芳彦

大学における初等物理、特に力学の教科書では、当然のことニュートンの 3 法則が取り上げられている。これらの理解には演習が欠かせないと思うが、第 2 法則（**運動方程式**）に関連した**動力学**に関しては熱心であるが、運動に直接関係しない第 1 法則（**慣性の法則**）や第 3 法則（**作用・反作用の法則**）に関する演習は軽く考えられている感じがする。

慣性の法則は運動方程式

$$F = ma \quad (F : \text{力}, m : \text{質量}, a : \text{加速度})$$

において、 $F = 0$ の場合であるとして第 2 法則に含む考えもある。しかし、機械、建築、土木などの工学分野における、機械・構造物等の強度設計においては、物体が静止状態にあることをまず基本に、様々な計算がなされる。すなわち**静力学**が基本であり、第 2 法則ではなく、第 1、第 3 法則を基本にしているといっても言い過ぎではない。

米国の力学関係の教科書がいくつか訳本として出版されているが、それらの中には静力学と動力学に分けて丁寧な記述や演習がなされているものがある（「例えば、工学のための力学」上下巻、ベアー・ジョンストン共著、丸善）。弊著、「機械力学の基礎と演習」、「よくわかる工業力学」もこの形式によって作成したものである。

これに対して日本では物体の静止時の力の状態については、てこの原理その他、中学校で学習することもあり、高等学校では第 1 法則や第 3 法則の記述はあるものの静力学に関する演習が十分なされていないとは思えない。すなわち、物体の運動に結びつけた、動力学主体の学習体系となっているように見える。大学の低学年の物理の教科書類も数学的な扱いが高等学校よりもやや高度になるものの、高等学校の教科書とほぼ同じ流れの記述でなされているのではないだろうか。

このようなことの影響もあり、大学における機械系学科や建築・土木系学科において、機械・構造物の強度設計に欠かせない基礎的な授業である「**材料力学**」、「**構造力学**」等の内容になかなか素直に入り込めない学生が多くいるように感ずる。すなわち、中学校での学習の後、3年以上の空白期間をおいてこれらの科目を学習することになるのが現実だからである。見方を変えれば、**中学校の理科**をしっかりと学習し、高校の数学（微分積分、ベクトル等）を学習しておけば、高校の物理は学習していなくても「材料力学」、「構造力学」は学習できるとも言えるのである。

能書きをとやかく言うよりも、大学においてこれらの科目を担当してきたものとしては、学習者にできるだけこれらに関する多くの演習問題を解かせることが重要であるが、中学、高校、大学のカリキュラムの流れを見直すべきと主張したり、初等の材料力学や構造力学関係の科目を大学初年度に行いたいと考えたりと、愚痴も出てくるのである。

このようなことを述べた理由を以下に話そう。ニュートンの第1法則である、慣性の法則には、**‘物体に力が作用しなければ、物体は静止状態を保つか、等速直線運動を続ける’**とある。現実の世界では物体に作用している力はひとつではなく、複数の力が作用している。したがって、慣性の法則でいう力が作用しない状態とは、作用している力や力のモーメントの総和が零の状態を意味している。このように、現実の問題では物体は**並進運動**も**回転運動**も起こさない状態、すなわち静止状態においても力は作用しているのである。以上のように、**‘物体に力が作用していても物体は静止できる’**という現実をしっかり認識し、慣性の法則を正しく理解してもらいたいと言いたいわけである。

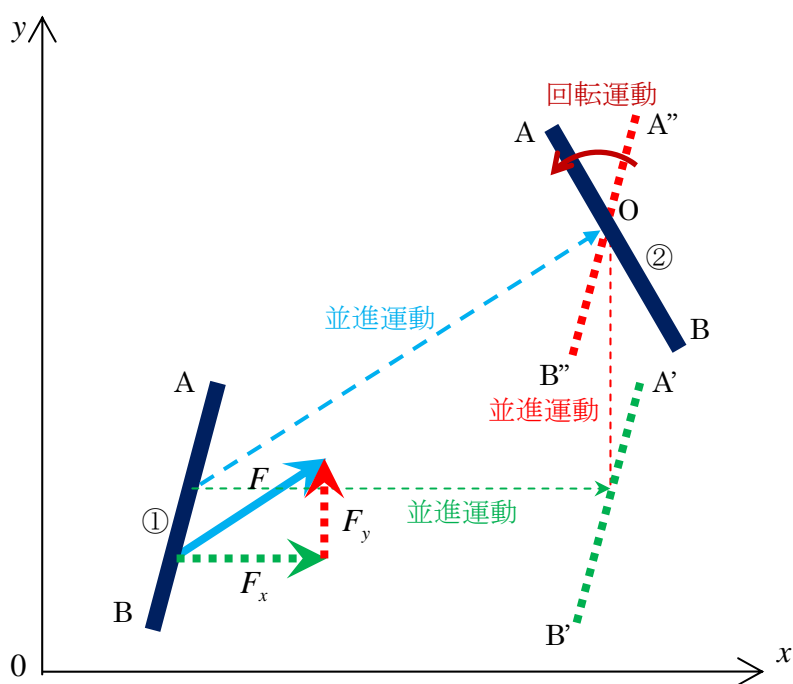


図1

ここであらためて、力の働きについて説明しておこう。力とは、**‘物体に作用してその運動状態や形を変える原因となる働き’** のことである。まず、運動状態を変える働きについて、図1のように xy 平面上にある棒 AB を用いて説明しよう。棒がはじめは図の左下の①のところにあり、この棒が力の作用を受けて②の AB の状態まで移動する過程を考えてみよう。

移動方法は様々であり、図に示すように、まず x 軸に平行移動し、 $A'B'$ のところに移り、次に y 軸に平行移動し、 $A''B''$ まで移る。最後に、 $A''B''$ と②の AB の交点 O を中心として回転移動させることで①から②に移動することもその一例である。また、直接、①の AB から $A''B''$ へ平行に移動させ、その後回転させることでも移動できる。このように、①から②への移動の方法は無数に存在し、それらは棒に作用する力の掛かり具合に依存している。

上述の平行移動のことを物体の**並進運動**と呼び、並進運動では物体中のすべての点は平行に移動する。平行移動は物体に作用する**力**そのものに応じて起こる運動であり、例えば、 AB から $A'B'$ へ移動する場合には図の力 F の x 軸方向成分 F_x の作用によるものと考えてよく、直交する y 軸方向成分の力 F_y は関与しない。また、最後に棒を回転移動させたが、これを**回転運動**と呼び、これは作用する力とその作用位置の2つの量によって決まる、**力のモーメント**に応じて起こる運動である。

図1では①と②の位置が離れているが、一般に物体が運動している場合には時々刻々の微小な変化過程においてこれらの並進運動と回転運動が組み合わさって生じているのである。ここでは詳細の説明は省略するが、並進運動の運動方程式が $F = ma$ であり、回転運動の運動方程式が $T = I\alpha$ である（「よくわかる工業力学」6章、7章）。したがって、物体に作用する力の総和ならびに力のモーメントの総和のいずれもが零でないかぎり物体は運動すなわち移動することになる。

逆に、**物体に作用する力の総和と力のモーメントの総和のいずれもが零の時には物体は静止できる**ことになるが、このような状態においても物体には力が作用していることを忘れないことである。総和は同じ零であっても、そこに存在する力の中身は機械や構造物の状況によって様々に異なるわけであり、それらの状態を正しく知らなければ機械や構造物の各部分の寸法形状などを決める強度設計は出来ないのである。

この様な状況での力の状態を扱うのが**静力学**であり、前述のように機械、建築、土木などの工学分野ではこの状態の問題をまず扱い、その上で、機械の運転中の振動問題、建物の耐震強度など運動状態における問題も必要に応じて考えることで実際の機械・構造物を

設計するのである。これらは理学の扱うところではなく工学の扱うところであるといってしまうとそれまでであるが、日常生活においても静力学の関与するところは多いと思うが、**動力学**に比べて扱いが軽い感じがする。教養という観点からも見直しが必要ではないだろうか。

以上、力の働きのうちで運動状態を変える働きについて説明したが、力のもうひとつの働きとして物体の形を変える働きがある。物体に作用している力や力のモーメントの総和が零の状態においても、前述のように物体内部には‘力’が存在し、それに伴って物体は変形する。**材料力学**あるいは**構造力学**はこのような場合の力や変形を扱っており、機械・構造物等の強度設計において重要な役割を演じている。ここで関係するのが第 1 法則とともにニュートンの第 3 法則、すなわち**作用・反作用の法則**であり、その内容を正しく認識することもこれらの科目を学習する上で重要であるが、このことについては次の機会に話すことにしよう。