

**PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA**における運動量  
Quantity of motion in *PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA*

○中川康<sup>1</sup>, 植松英穂<sup>2</sup>\*Kou Nakagawa<sup>1</sup>, Eisui Uematsu<sup>2</sup>

Abstract : Newton explained motions of bodies using the terms of “quantity of motion” and “motion”.

We investigated the difference between these two terms. As a result , when the quantity was able to measure , Newton used the term of “quantity of motion”. When the quantity was uncertain , he used the term of "motion".

## 1. 目的

I. Newton は 1687 年に *PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA* (通称プリンキピア, 1713 年第二版, 1726 年第三版) を刊行した. プリンキピアは, 「定義」と「公理, あるいは運動の法則」という前置きの二節があり, 第一編「物体の運動」, 第二編「抵抗及ぼす媒質内での物体の運動」, 第三編「世界体系」から構成されている. Newton は「定義」の定義 I で現在の質量概念と思われる“物質の量”を密度と容積との相乗積を持って測られるものである, と定義している. ところが彼は, 運動を議論する上でこの“物質の量”をほとんど用いていない. 次の定義 II では運動量と思われるものを定義している. 定義 II では以下のように書かれている.

*Quantitas motus est mensura ejusdem orta ex Velocitate et Qantitate Materiae conjunctim.*

*Moutus totius est summa motuum in partibus fingulis ; adeoque in corpore duplo majore aequalicum velocitate duplus est , & dupla cum velocitate quadruplus.*

(運動の量とは, 速度と物質の量との相乗積をもって測られるものである.)

全体の運動はすべての部分の運動の和である. それゆえ, 速度が相等しく, 量が 2 倍である物体においては, 運動は 2 倍であり, また速度が 2 倍となれば運動は 4 倍となる.)

上記冒頭の *Quantitas motus* が現在の運動量概念に相当するものと思われる. ここで注意すべきは, 運動の量は“測られるもの”と書かれていることである. しかしながら, 定義 II 後半の説明文では *Quantitas motus* ではなく *Motus* と書かれている. この文章では, *Motus* を *Quantitas motus* に置き換えても意味は通じるが, なぜここで Newton は *Motus* と書いたのであろうか.

本研究では, プリンキピアで書かれている *Quantitas motus* と *Motus* という用語に注目して, Newton がどのように運動を記述しようとしたのかを考察した.

今回調査に用いた文献は, プリンキピア第二版, 第三版を中心に用いて, 参考に Andrew Motte (*DANIEL ADEE, NEW-YORK, 1729*) と, その改訂 Florian Cajori (*University of California Press, 1934*) の英訳, 川辺六男の日本語訳 (中央公論社, 1971), 中野猿人の日本語訳 (講談社, 1997), また, ラテン語翻訳の際には羅和辞典 (研究社, 2009) を用いた. また, 和訳の際の[] は訳者が補った語である.

2. *Quantitas motus* と *Motus* の取り扱い2 - 1. *Quantitas motus* の取り扱い

プリンキピアの定義 II 以降, *Quantitas motus* の取り扱われている, いくつかの例を以下に示す.

例 1, 第 II 編 抵抗を及ぼす媒質内での物体の運動, 命題 33 定理 27 系 V

.....in æqualem materiae quantitatem temporibus æqualibus impingant , eique æqualem motus quantitatem imprimant , & vicissim (per motus Legem tertiam) æqualem ab eadem reactionem patiantur.....

(.....等しい時間内には等しい物質の量と衝突し, したがってその物質に等しい運動量を付与し, また逆に (運動の第三法則により) その物質から等しい反作用を.....)

例 2, 第 II 編 抵抗を及ぼす媒質内での物体の運動, 命題 52 定理 40 系 III

.....exteriore illi eandem motus quantitatem in alios adhuc exteriores simul transferunt , eaque actione servant quantitatem motus sui plane invariata ; patet quod motus perpetuo transfertur a centro ad circumferentiam vorticis.....

1 : 日大理工・院・物理, 2 : 日大理工・教員・物理

(.....同量の運動をそれよりさきの部分に伝え、この作用によってそれらの運動量をたえず不変に保つから、運動は渦巻の中心から周囲へとたえず伝えられ.....)

例 3, 第 II 編 抵抗を及ぼす媒質内での物体の運動, 命題 52 定理 40 系 IV

.....Proinde ad confervationem Vorticis constanter in eodem movendi ftatu, requiritur principium aliquod activum, à quo globus eandem semper quantitatem motus accipiat, quam imprimit in materiam Vorticis.....

(.....ゆえに、ある一つの渦巻を同じ運動状態で続けさせるためには、球体がつねにその渦巻の物質に伝えつつある運動量と同じだけの運動量をその球体がたえず受けるような、そういうある活動源が必要である。.....)

例 1 と例 3 は明らかに確定された“量”のことを示している。例 2 については Newton の時代背景を踏まえないと意味が分からないであろう。Newton は Descartes の著作を熟読していた。Descartes は自然現象を理解することについて、根本原理は神の存在に求めた。ここで、Descartes は“神により与えられた運動量是不変である”と考えていた。Newton は神学者でもあったので、Descartes と同じ考えを持っていても不思議ではない。プリンキピアにおいて、第 I 編と第 II 編では人間の知恵だけで記述できる自然現象を解析し、第 III 章では自然を理解する根本的なところで神の存在について触れている。従って、Newton にとって不変であるのは“運動”ではなく“運動量”である。

## 2 - 2. Motus の取り扱い

プリンキピアの定義 II 以降、Motus が取り扱われている、いくつかの例を以下に示す。

例 4, 公理, あるいは運動の法則 法則 III

.....His actionibus æquales fiunt mutationes, non velocitatum, sed motuum; scilicet in corporibus non aliunde impeditis.....

(.....作用によって行われる変化は、物体の速度においてではなく、運動[量]において相等しい.....)

例 5, 公理, あるいは運動の法則 系 III

.....Ut si corpus sphaericum A sit triplo majus corpore sphaerico B, habeatque udas velocitatis partes; & B sequatur in eadem recta cum velocitatis partibus decem, adeoque motus ipsius A sit ad motum ipsius B, ut sex ad decem.....

(.....こうして、もし球体 A が球体 B よりも[質量において]3 倍大きく、かつ 2 に等しい速度をもち、また B は 10 に等しい速度をもって、同一直線上に沿って後を追うものとするれば、A の運動[量] : B の運動[量] = 6 : 10 である。.....)

例 6, 第 II 編 抵抗を及ぼす媒質内での物体の運動, 命題 1 定理 1 系

.....Erit enim spatium illud ad spatium jam descriptum, ut motus totus sub initio ad motus illius partem amissam. ....

(.....その[全]距離が、今までに描かれた距離に対する比は、初めにおける全運動[量]が、その運動[量]の失われた部分に対する比に等しくなるからである。.....)

例 7, 第 II 編 抵抗を及ぼす媒質内での物体の運動, 命題 7 定理 5 系 4

.....Motus enim, sub pari velocitate, major est in ratione densitatis, & tempus (per hanc Propositionem) augetur in ratione motus directe, ac spatium descriptum in ratione temporis.....

(.....なぜならば、運動[量]は、速度が等しい場合には、その密度に比例してより大きくなり、また時間は(本命題により)運動[量]に正比例して増し、そして描かれる距離はその時間に比例するからである。.....)

これらの例で示した“運動”という用語の使い方をみると、“運動”を“運動量”と置き換えても意味は通じるが、どれも確定された“量”について議論している訳ではない。比を用いて議論されている箇所は、一見定量的議論のように思われるが、確定された“量”についての議論はしていない。

## 3. 総括と今後の課題

調査した限りでは、プリンキピアでは運動量は明らかに運動の量が明確に確定しているものについて使われていること、逆に運動の量が確定されない時には“運動”という用語が使われていることが分かった。また例外的に、例 2 においては Newton の神学者としての側面が表れているように思える。今後の研究課題として、運動量を議論している Descartes, Huygens らの研究と比較して、運動量という概念がどのように作られてきたのかを調査したい。