

「蜘蛛の糸」と PSEUDOWORK

2016.9.18 YPC例会
筑波大附属高校 鈴木 亨

カンダタに仕事をしたのは？

- カンダタの筋力か、糸の張力か？
- 日本物理学会誌2016年2月号、「蜘蛛の糸」仕事をしたのはカンダタの筋力か？、長崎大 後藤信行
- 同名の原著講演、日本物理学会第71回年次大会（東北学院大）
- 後藤氏は「張力派」を主張
- 糸は動かないのに仕事をする？！
- 自身のHP「文学と日常に学ぶ自然界のしくみ」に、「「蜘蛛の糸」を巡る力学対話」「束縛力は仕事をするか？」「力学における仕事の定義」
- 日本物理教育学会、物理教育研究メーリングリストにも盛んに投稿

後藤氏の主張

- カンダタの質量 M 、蜘蛛の糸の張力を F とすると、カンダタの重心の運動方程式の両辺をカンダタの重心の位置座標 x で積分

$$M \frac{dv}{dt} = F - Mg$$

$$M \int_1^2 \frac{dv}{dt} v dt = \int_1^2 F dx - Mg(x_2 - x_1)$$

- 左辺は運動エネルギーの増加分、始・終状態ともに静止ならば0
- $\int_1^2 F dx = Mg(x_2 - x_1)$
- 張力のする仕事がカンダタの重力による位置エネルギーの増加になった？

内力は系の重心に仕事をしない？！

- 系の重心の運動方程式は外力だけで決まり、内力はすべて作用反作用の法則によって打ち消しあう


- 質点同士の力は互いに逆向き同じ大きさ
- 力積の和は0

$$\sum_{i \neq j} \vec{F}_{ij} \cdot \vec{\Delta r}_{ij} = 0$$

- 仕事の和は？

$$\sum_{i \neq j} \vec{F}_{ij} \cdot \delta \vec{x}_{ij} \neq 0$$

単純なモデル—水平ばね振り子—

- 一端を固定したばねとおもり
- ばねを伸ばして放す 
- おもりに力積を加えるのはばね → 加えられた力積＝おもりの運動量
- おもりに仕事をするのはばね → された仕事＝おもりの運動エネルギー
- おもり—ばね系に運動量を与えるのは、固定点の及ぼす力積
- 固定点のする仕事は0、おもり—ばね系の力学的エネルギーは一定
- 「力積と仕事の違い」の好例！
- 熱力学第一法則との区別も重要（ W_{in} —系に流入する仕事）

仕事の定義は？

- A 仕事 = 力 × 重心の移動距離
- B 仕事 = 力 × 作用点の移動距離
- 後藤氏によると、「教科書や科学辞典には、ほとんどが定義Aのように定義されており、まれにBがある」
- 培風館物理学辞典、岩波理化学辞典も「定義B」
- Aの表現になっているのは、物体の大きさを考えない—質点が前提のとき
- 「×重心の移動距離」としたものは知る限りにおいて見当たらないが、後藤氏に「出典を明らかに」と聞いても答ええない...

重心の運動方程式は正しい...

- 外力を重心の移動距離で積分したものは、重心の得たエネルギーに等しいように見える...
- **Pseudowork** (偽の仕事) と呼ばれるもの
- 1970~80年代にAmerican Journal of Physics 誌上で議論されたもの
- 新田英雄氏 (学芸大) が物理学会で発表した後藤氏に指摘
- Pseudowork-energy principle, Claude M. Penchina, Am. J. Phys., Vol.46, 1978
- Pseudowork and real work, Bruce Arne Sherwood, Am. J. Phys., Vol.51, 1983
- あまり、日本では知られていない...

CM (center of mass) 方程式とも

- Pseudowork と重心の運動エネルギーの変化は等しいのは事実
- 重心速度 v_{CM} , 重心の変位 r_{CM} , 外力 F とすると,

$$\sum \int F \cdot dr_{CM} = \Delta \left(\frac{1}{2} M v_{CM}^2 \right)$$

- しかし左辺は、「仕事」ではない

斜面を転がる円柱

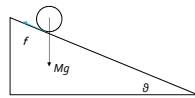
- CM方程式

$$(Mg \sin \theta - f) d_{CM} = \Delta \left(\frac{1}{2} M v_{CM}^2 \right)$$

- エネルギーと仕事の関係式

$$(Mg \sin \theta) d_{CM} = \Delta \left(\frac{1}{2} M v_{CM}^2 \right) + \Delta \left(\frac{1}{2} I \omega^2 \right)$$

- どちらも結果として正しいが、意味をきちんと区別すべき



該当する事例は多数

- しやがんでいる姿勢から立ち上がる人
- 階段を上る人
- 水平面で加速する自動車
- 自分で漕ぐブランコ
- 束縛力は仕事をしない
- Pseudoworkは重心運動のエネルギーの変化に等しい

後藤氏のHPは？

- 多数の事例を挙げているがすべて間違い？
- アドホックな(その場限りの)説明の継ぎ足し
- 斜面を転がる円柱は、「摩擦力が重心運動に対して負の仕事をし、回転運動に対して正の仕事を！」
- 水平ばね振り子は、「固定点は重心運動に正の仕事をし、ばねに負の仕事を！」
- 「ばねにする負の仕事は、仕事の定義に照らすと？」に答えない
- 「内力は仕事をしない」ことを「自明」として出発したため
- 社会学では「**自明性の異**」という...

ご清聴ありがとうございました

- 物理教育通信 (物理教育研究会: APEJ) 次号に報告予定