

斜面上を回転せずに滑走する物体にはたらく力の作用点

～都立高校入試問題をめぐって～

北里大学 山本明利

平成 28 年 2 月に実施された都立高の入試に下のような力学の問題が出題された。都教委が発表した正答は選択肢エで、他は誤答とされた。これに対して、YPCメーリングリスト上で直ちに疑問の声が上がり、理科教育メーリングリストでもひとしきり話題となった。

「疑問」の要点は、都が正答とした選択肢エの図の垂直抗力および摩擦力の作用点の位置が誤っているということである。剛体の力学によるならば、物体の回転を生じないためには、力のモーメントの総和が 0 でなければならないが、垂直抗力および摩擦力の作用点が重力の作用線上にないエの図では回転が起きてしまうのである。その意味では回転を生じない選択肢はアしかない。

エ以外の選択肢を誤答とした作問者の意図はくみ取れなくもない。アは重力、イは摩擦力、ウは垂直抗力の作用点の位置がそれぞれ不適切だということであろう。各矢印の向きや長さは同じなので、作用点・作用線の位置しか論ずるところはないからである。ちなみに、各矢印の寸法を測定してみると、力のベクトルとしては合力が 0 となる関係らしく、「滑り降りている」が、力はずり合って等速直線運動をしている場合に当たると思われる。

議論のうちには「中学校では質点の力学にとどめるべきでは？」という主張もあったが、手元の 5 社の中学教科書を確認したところ、各社とも「作用点と作用線」を扱っている以上、著しい範囲逸脱とは言えない。それどころか、3 年で学習する「力のつり合いの条件」には各社とも例外なく「2 力が同一直線上にあること（作用線の一致）」を明記している。このことを前提とすれば、エも誤答となり、正答がないことになる。

ところで、垂直抗力と摩擦力とは本来、直接接触する 2 物体の間にはたらく「抗力」というひとつの力の法線方向の分力と接触面方向の分力だから、それらの作用点は一致していなければならないが、このことに触れている中学教科書は一冊もなく、中学ではこの 2 力は別々の力として学習する。したがって選択肢イを誤答とするのは酷だという意見も出てくる。作問者も「抗力」の作用点の位置については誤って認識しているわけだから、エを正答とするならイも正答とすべきだという主張である。

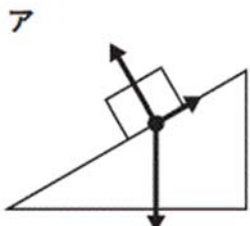
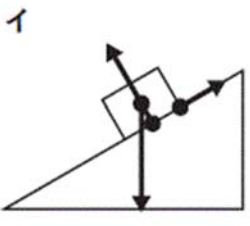
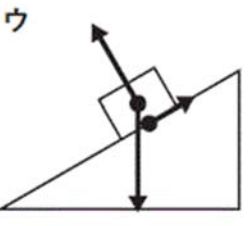
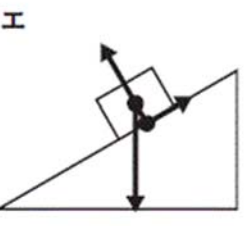
いずれの立場を取るにせよ、作問上の瑕疵は免れないから、正答なしとして全員に得点を与えるか、イとエを共に正解として扱うなどが、誠意ある対応だと考えられるが、本稿執筆時点で都教委に動きはない。

もうひとつ、本問をめぐり議論の中で明らかになったことは、どの中学教科書にも「垂直抗力や摩擦力の矢印は接触面の中央から描く」などとは記されていないにもかかわらず、現場ではそのような教え方が広くなされていたことである。これは、実は誤っているのに、今後は正す必要がある。都の作問者はまさにそのローカルルールを無批判に信じ込んでいたのである。

参考までに正しい作図を別紙に示す。「抗力」の作用点は摩擦力の大きさによりその位置が変化する。決して接触面の中央に固定しているわけではない。

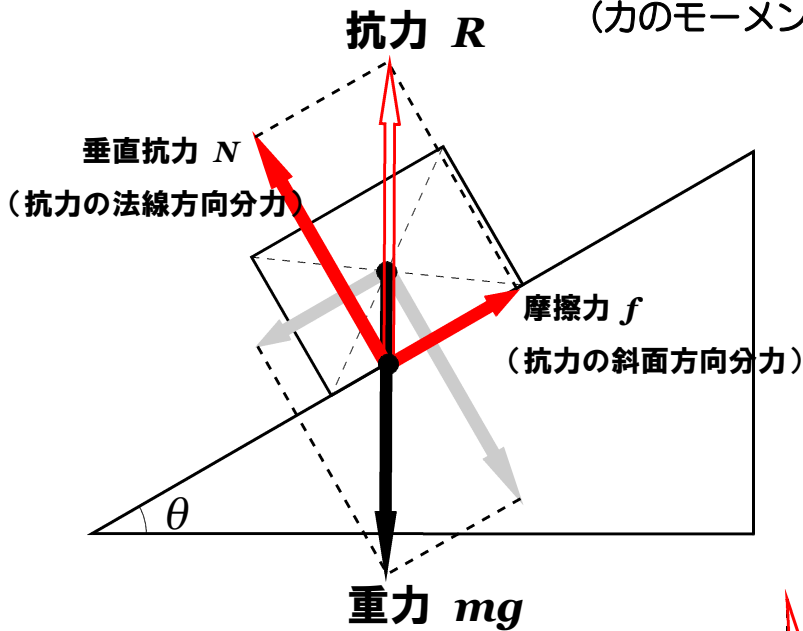
【問 2】 図 2 のように、摩擦のある斜面を滑り降りている物体がある。 図 2

物体に働く重力、物体に働く摩擦力、斜面から物体に働く垂直抗力のそれぞれを矢印で表したものとして適切なのは、次のうちではどれか。ただし、●は作用点を表している。

ア  イ  ウ  エ 

斜面上を回転せずに滑走する物体にはたらく力の作用点

回転しないための条件は抗力の作用線が重心を通ること
(力のモーメントの総和が0になる)



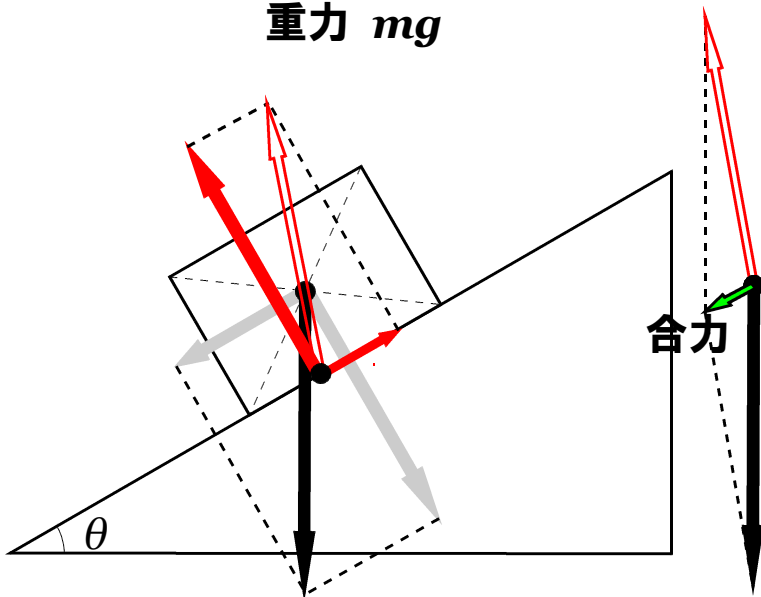
1. 力が釣り合って静止または等速直線運動をしている場合

$$R = mg$$

$$f = mg \sin \theta$$

$$N = mg \cos \theta$$

$$\text{合力} = 0$$



2. 摩擦力がやや小さく斜面を滑り降りている場合 (等加速度運動)

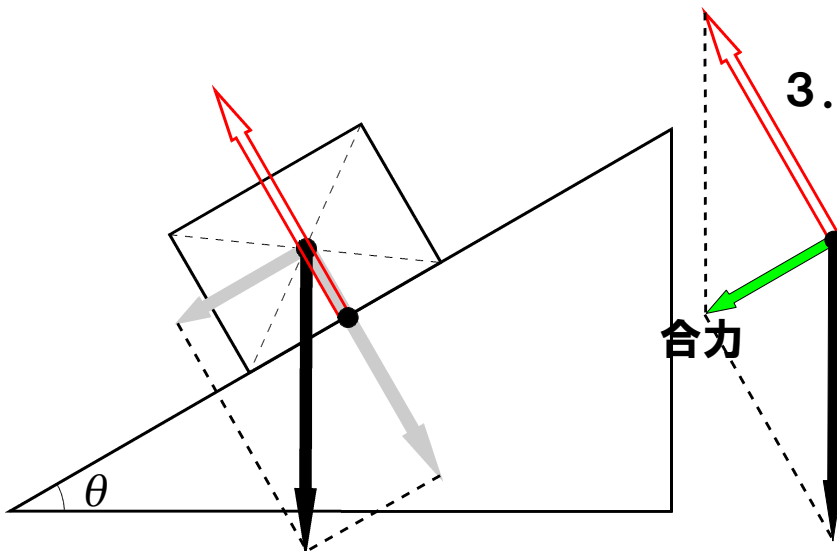
$$R < mg$$

$$f < mg \sin \theta$$

$$N = mg \cos \theta$$

$$\text{合力} = mg \sin \theta - f$$

力の合成



3. 滑らかな斜面を滑り降りている場合 (等加速度運動)

$$R = N = mg \cos \theta$$

$$f = 0$$

$$\text{合力} = mg \sin \theta$$