

平成 27 年度

千葉大学先進科学プログラム入学者選考課題

課題 II-D 解答例

問題全体において、限られた条件の下でできるだけ適切な観測を行うことの観察力と、そのための工夫と知識を組み合わせることへの柔軟性、創造力を問う。

観察する力：観察力

工夫する力：創造力，柔軟性

制限された中での厳密性：研究力

得られた結果に対する考察力：分析力および洞察力

問 1 乾電池の位置と転がりやすさ

一慣性モーメント（転がりにくさ）に気づかせる

準備物品の「かたい板」と消しゴムを用いて下図のような実験装置を作成する（図 1）。[S4. E4. N4. W4]，[S3. E3. N3. W3]，[S2. E2. N2. W2]，[S1. E1. N1. W1]それぞれを，斜面上の一定の高さの位置で S を下向きに静止させ，初速度 0 で斜面を転がす。この時，静止時から斜面下端に到達する時間を測定する。それぞれの乾電池配置において 3 回の試行を行いその平均値を求める（表 1）。その結果，[S4. E4. N4. W4]では 1 秒 54.6，[S3. E3. N3. W3]では 1 秒 47.3，[S2. E2. N2. W2]では 1 秒 39.6，[S1. E1. N1. W1]では 1 秒 30.0 を得，わずかな差ではあるが，乾電池が内側に配置されるほど早く転がり下端に達していることが確認できる。この原因は，乾電池が内側にあるほど円筒は回転しやすく，外側に配置されるほど回転しにくくなる傾向にあることを示唆している。

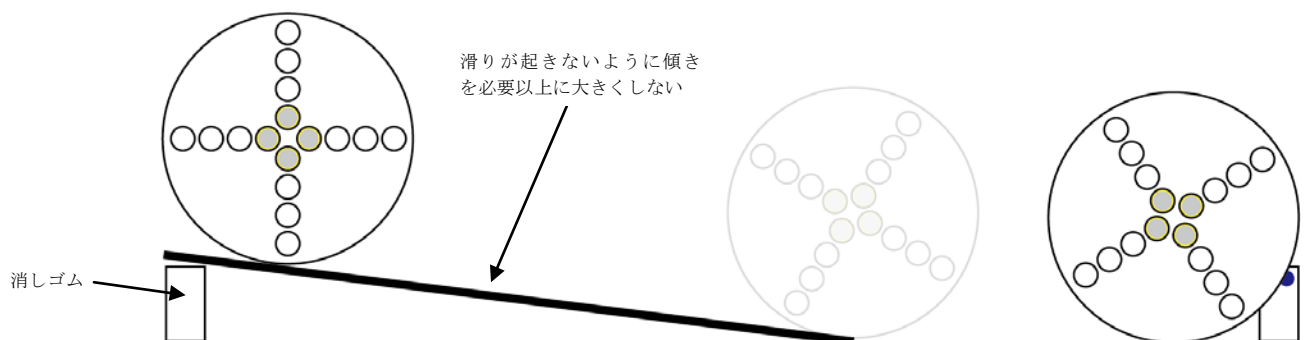


図 1 実験装置の模式図

表 1 斜面下端までの到達時間

| 乾電池位置 | [S4. E4. N4. W4] | [S3. E3. N3. W3] | [S2. E2. N2. W2] | [S1. E1. N1. W1] |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 下端到達時間 | 1" 49 | 1" 53 | 1" 38 | 1" 30 |
| | 1" 59 | 1" 44 | 1" 41 | 1" 26 |
| | 1" 56 | 1" 45 | 1" 40 | 1" 34 |
| 平均時間 | 1" 54.6 | 1" 47.3 | 1" 39.6 | 1" 30.0 |

問 2 円筒の転がりやすさと周期運動

－重心位置が同じ円筒の周期運動に対する慣性モーメント（転がりにくさ）の影響について考えさせる

「かたい板」と「座金」と「水準器」をもちいて円筒の周期運動のための水平なステージを作る。図 2 に示すように S 列から円筒中心（黒丸）を基準にして 45 度のところに赤線を引き、それを目印に周期運動を開始させる。[S]の外周付近にシールを貼り、測定のための基準とする。事前の観測より 5 往復までは明確な周期運動が観察されたので、[S4. E4. W4]，[S4. E3. W3]，[S4. E2. W2]，[S4. E1. W1]それぞれが 5 往復の周期運動をするのに要した時間を測定した（表 2）。測定にあたっては、45° ラインを鉛直方向に合わせた状態を初期状態とし、測定開始と同時に静かに離し、[S]外周付近シール点が最下端に達した時を“0”と無言で呼称し、このシール点が最下点を通過する度に、“1”，“2”と呼称し、“5”の時の時間を測定した。ここで、[E, W]に関しては黒丸を基準とした時、その乾電池の配置が対称であるので、[E, W]に配置されている乾電池の重心位置は黒丸と一致することがわかる。さらに、すべての乾電池配置において[S4]は一定であるので、[S4. E4. W4]，[S4. E3. W3]，[S4. E2. W2]，[S4. E1. W1]のすべての重心位置は同一であることが理解できる。図 2 の赤丸はこの重心位置を示す。表 2 の結果より、[E, W]が内側に配置されるほど周期が短くなっていることがわかる。これは問 1 の時に観察された、円筒の転がりやすさ、回転しやすさと同じ傾向を示すものであると理解することができる。

表 2 [S, E, W]円筒の 5 往復周期運動に要した時間

| 乾電池位置 | [S4. E4. W4] | [S4. E3. W3] | [S4. E2. W2] | [S4. E1. W1] |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 5 往復に要した時間 | 4 秒 65 | 4 秒 46 | 4 秒 35 | 4 秒 21 |
| | 4 秒 65 | 4 秒 52 | 4 秒 41 | 4 秒 28 |
| | 4 秒 65 | 4 秒 55 | 4 秒 33 | 4 秒 28 |
| | — | 4 秒 46 | 4 秒 34 | 4 秒 33 |
| | — | — | — | 4 秒 21 |
| 平均時間 | 4 秒 65 | 4 秒 49.8 | 4 秒 35.8 | 4 秒 26.2 |

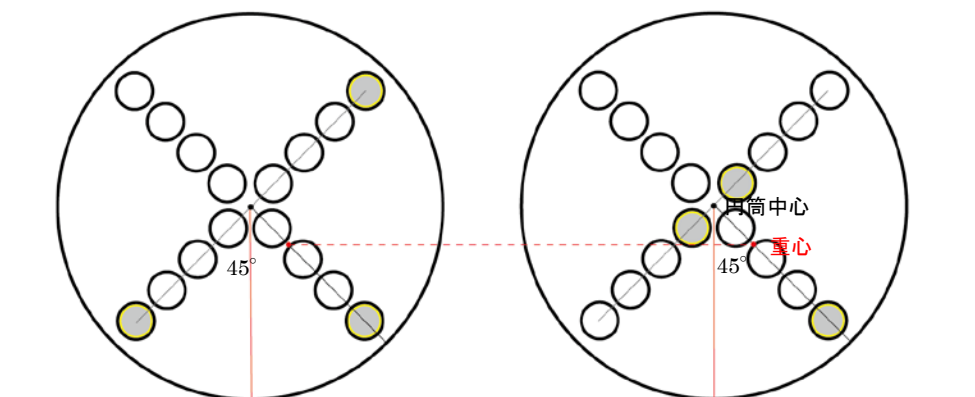


図 2 [S4. E4. W4]と[S4. E1. W1]

問 3 重心位置と周期の関係

問 2 と同様な条件において[S4], [S3], [S2], [S1]円筒の周期運動を観察する。これらの円筒の重心位置は、円筒本体の質量と乾電池一本の質量との関係において定義されるが、[S]の位置が内周に向かうほど、その重心位置も円筒中心に近づくことは容易に理解できる。言い換えると、[S4], [S3], [S2], [S1]の順でこの円筒全体の重心と円筒中心との距離は短くなっていることが分かる。このことと表 3 に示された結果から、[S]円筒の周期は、重心と円筒中心との距離に強く影響され、その距離が短いほど周期が明確に長くなることがわかる。この理由は、図 3 に示した[S4]と[S1]との比較において、乾電池の質量を m とする時、[S4], [S1]の o 点まわりのモーメント（円筒を S 軸が鉛直方向に静止したつりあい状態に戻そうとする働き）は、それぞれ $mg \cdot l_{s4}$, $mg \cdot l_{s1}$ となり、図より $mg \cdot l_{s4} > mg \cdot l_{s1}$ なので、[S4]の方がつりあい状態に戻そうとする働きが強く、結果として相対的に早い周期運動になっているとすることができる。また、円筒とステージとの間に滑りがないものと考え、ステージとの接地面において円筒にかかる水平方向の摩擦力は N に静止摩擦係数をかけたものであると考えることができ、すべての[S]において同一であることが考えられるので、この周期運動の違いには関与しないものと考えることができる。

表 3 [S]円筒の 5 往復周期運動に要した時間

| 乾電池位置 | [S4] | [S3] | [S2] | [S1] |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 5 往復に要した時間 | 3 秒 62 | 4 秒 18 | 5 秒 20 | 7 秒 46 |
| | 3 秒 67 | 4 秒 18 | 5 秒 17 | 7 秒 65 |
| | 3 秒 57 | 4 秒 15 | 5 秒 17 | 7 秒 44 |
| | 3 秒 65 | 4 秒 10 | 5 秒 25 | 7 秒 58 |
| | 3 秒 65 | 4 秒 16 | 5 秒 23 | 7 秒 59 |
| 平均時間 | 3 秒 63.2 | 4 秒 15.4 | 5 秒 20.4 | 7 秒 54.4 |

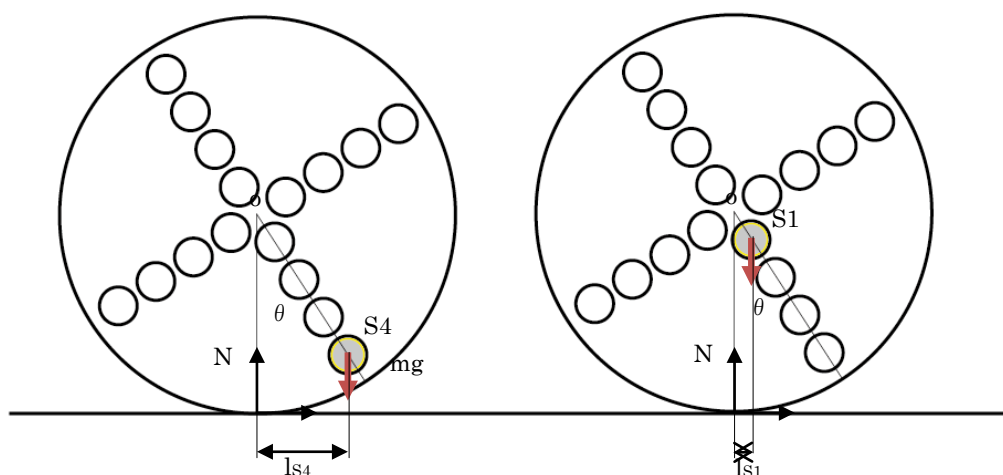


図 3 円筒中心周りのモーメント

問 4 まとめ

ー おきあがりこぼし運動を支配する慣性モーメント（回転慣性）と重心位置の影響

問 1, 2 の結果からは, 乾電池は外側にあるほど円筒の動きを遅くすることが予想できる。その一方で, 問 3 の結果からは, 円筒中心と重心位置との距離が近ければ近いほど周期が長くなることが示されている。つまり, 4 本の乾電池はできるだけ外周に近く配置され, そして同時に, 円筒と 4 本の乾電池で構成される重心位置はできるだけ円筒中心に近いことが最長周期の構成を得るためには必要となる。そうすると, [S4. E4. N3. W4] が, 乾電池 4 本使用時の最長周期組み合わせとなることが予想される。この予想を検証するために, [S4. E4. N3. W4] の他に, [N] だけを移動した [S4. E4. N2. W4] と, [S4. E4. N3. W4] と重心位置は同じであるが, やや転がりやすくなることが予想される [S3. E3. N2. W3] に対する周期運動の観察を, 問 2, 3 と同様の方法により実施し, 表 4 を得た。その結果, 予想通り, もっとも転がりにくいことが予想される「できるだけ外周に 4 本の乾電池が配置され」, かつ「円筒中心と重心位置が最も近い」という二つの条件を満たす [S4. E4. N3. W4] が, 予想通りに最長周期の円筒であることが確認できた。

表 4 [S. E. N. W]円筒の 5 往復周期運動に要した時間

| 乾電池位置 | [S4. E4. N3. W4] | [S4. E4. N2. W4] | [S3. E3. N2. W3] |
|----------------|------------------|------------------|------------------|
| 5 往復に要した 時間 | 9 秒 97 | 6 秒 94 | 8 秒 41 |
| | 9 秒 87 | 6 秒 79 | 8 秒 58 |
| | 9 秒 62 | 6 秒 75 | 8 秒 92 |
| | 10 秒 07 | 6 秒 78 | 8 秒 78 |
| | 9 秒 88 | 6 秒 94 | 8 秒 65 |
| 平均時間 | 9 秒 88 | 6 秒 84 | 8 秒 66.8 |