

### 【出題意図】

スペースコロニーは、SF やアニメではよく登場する舞台設定ではあるが、その記述は残念ながら必ずしも正しくないものが多い。ボールの落下やボール投げといった簡単な系から出発して、地球の重力下での運動と遠心力による擬似重力下での運動の違いを実感し、そこからスペースコロニー上での生活について自由に想像力を広げてもらいたい。

問1は、正確に解こうとすると力学および数学の知識が必要とされるが、ボールの落下の例から類推して、どのようなことが起きるかを定性的に論述してもよい。地球上での運動にとらわれずに、一見“不思議な”運動が、論理的に記述されていることが重要である。

問2は、必ずしも力学的な問題にとらわれずに、自由な発想で論述してもらいたい。仮定の部分で間違っていると（例えば問1での運動を間違えて解答していると）、正しい結論に辿り着けないこともありえるが、結論に達するまでの議論が論理的に成り立っていれば、十分評価に値する。発想の豊かさと論理的思考力を問う問題である。

### 【解答例】

#### 問1

ボールを手放す高さを  $2\text{m}$  とすると、コロニーの外（慣性系）から見たときの手放す前のボールの速度は  $\mathbf{v} = (r_0 - h)\boldsymbol{\omega} \approx 12.6(\text{m/s})$ （時速約  $45\text{km/h}$ ）である。コロニー上（回転系）でのボールの初速度を  $\mathbf{v}'$  とすると、慣性系でのそれは、 $\mathbf{V} = \mathbf{v} + \mathbf{v}'$  となる。

#### 1. 回転方向と同じ方向に投げた場合

##### (1) 非常にゆっくり投げた場合 ( $\mathbf{v}' \approx 0$ )

- 前に投げたにもかかわらず、足元よりも後方に落下する。
- ちょうど足元に落ちる初速度を  $\mathbf{v}'_1$  とする。

##### (2) ゆっくり投げた場合 ( $\mathbf{v}'_1 < \mathbf{v}' \leq \mathbf{v}$ )

- ある程度飛び、前方の地表に落下する。
- 地球上での挙動に近いが、地球上よりは近くに落ちる。

##### (3) 速く投げた場合 ( $\mathbf{v}' \geq \mathbf{v}$ )

- 速く投げるに従って遠くに落ちるが、落下点までの距離は地球上での挙動とは異なる。
- 地球上では、高さ  $h$  のところから投げた場合の落下点までの距離は  $\mathbf{v}'\sqrt{2h/g}$  となり（た

だし、 $\mathbf{v}' \ll$  第1宇宙速度）、初速度  $\mathbf{v}'$  に比例して増加するが、このコロニー上では  $L$  に漸近していき、 $L$  を越えることはない。

#### 2. 回転方向と反対方向に投げた場合

##### (1) ゆっくり投げた場合 ( $-\mathbf{v} < \mathbf{v}' < 0$ )

- $V > 0$  であるので、コロニーの外から見ると、ボールは回転方向に飛んで、 $L$  の地点に

到達する。

- コロニーの中で見ると、速く投げるほど遠くに落ちる。 $v'$ が $-v$ に近づくにつれて、その距離は急速に伸びて、あるところからはコロニーが一周してもまだ落下していないようになる。

(2)  $v' = -v$ で投げた場合

- $V = 0$ となり、コロニーの外から見るとボールは静止する。
- コロニー上では、落下せずに飛び続けるように見える。
- コロニーが一周すると、手放した場所でキャッチすることができる。

(3)  $v' < -v$ で投げた場合

- $V < 0$ であるので、コロニーの外から見ると、ボールは回転方向反対向きに飛んで、 $-L$ の地点に到達する。
- コロニーの中で見ると、速く投げるほど近くに落ちるように見える。
- ただし、距離が $L$ より小さくなることはない。

## 問2

### 1. コロニー内での風

コロニー建造直後は、コロニーは自転していないであろう。当然、内部の空気も静止している。その後、コロニーの円周部に取り付けたロケットを噴射するなどして、自転を開始することになるが、そのときに、内部にある空気がどうなるかを考えてみる。擬似地表のごく近傍の空気は粘性によって引きずられていくであろうが、大部分は（慣性系で見ても）そのまま静止しているものと考えられる（水であれば、追従して回転するかもしれない... 水を入れたバケツを自転させた場合のように）。すると、コロニー内では、回転方向と逆向きに風が吹いていることになる。半径 2000m のコロニーで  $1g$  を発生させるときの擬似地表の接線速度は、時速 220m/s にも達するのでとても人間が生活できるような環境ではないことがわかる。

この解決策としては、図 A のように仕切り板を取り付けることが考えられる。このような仕切り板によってコロニー内をいくつかの部屋に分割すると、空気もコロニ

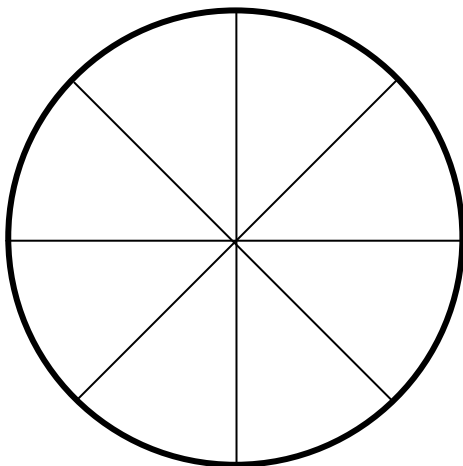


図 A. 円筒型コロニーに設置した仕切り板。

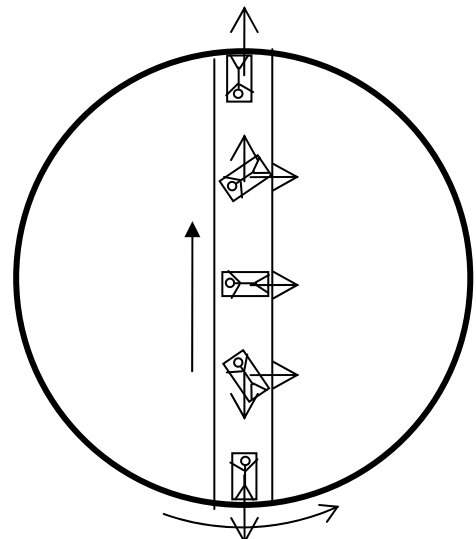


図 B. エレベーターの概念図。

一といっしょに回転して、風の問題は解決する。コロニー内をいくつかの部屋に分割することは、デブリの衝突などによってコロニーの外壁に穴が開いたときなどに、全体の空気が抜けてしまうことを防止するなどの効果もある。

ただ、このような仕切り板の設置は建設コストの大幅な増加を伴うであろう。リング型のコロニーであれば、仕切りの大きさは小さくて済むので、コスト増を抑えることができる。

## 2. エレベーター

コロニー内の移動手段として、図 B のようなエレベーターが考えられるであろう。対岸に行くのに擬似地表を移動する場合の約 2/3 の距離ですみ、しかも擬似地表での移動だと常に 1g の擬似重力下での移動になるのに対し、エレベーターだと中心部分ではほとんど無重量状態で移動できるので、省エネにもなる。

ここで、エレベーターに乗っている人に加わる力について考察する。図 B のようにコロニーが反時計回りに回転しており、下から上に向かってエレベーターが動くとする。まず擬似重力であるが、これは大きさ  $\tilde{g} = r\omega$  ( $r$  は中心からエレベーターまでの距離) で、方向は動径方向外向きとなる。出発前は大きさ 1g で下向きであり、エレベーターが中心に近づくに従って  $r$  に比例して小さくなっていき、中心では 0 になる。中心を過ぎると、今度は逆向き (図中上向き) で、 $r$  に比例して大きくなっていき、対岸では再び 1g になる。一方、コリオリ力は、エレベーターが動いている最中は図中右向きの力であり、エレベーターが等速で動いていれば、その大きさは一定である。簡単のためにエレベーターが 10m/s で等速運動しているとすると (出発時と到着時の加速・減速は無視する)、中心に達するまでの時間が 200 秒、その間、接線速度が 220m/s から 0 になるので、加速度は  $1.1\text{m/s}^2$  (およそ 0.1g) となる。

地球上のエレベーターのように常に地表に対して鉛直方向に立ったままだと、中心付近では、体が右側の壁に押し付けられてしまうことになる。したがって、図にあるように、エレベーター自体を反時計回りに回転させながら出発から到着までの間に半回転させると、常に足元の方に力が加わっているように感じるができる (ただし、大きさは変化するが)。

## 3. 低重力

円筒やリングを同心円上に多重化することにより、様々な大きさの擬似重力を持ったフロアを作ることができる。特に、低重力環境は、足や腰などに障害を持つ人たちにとっては、過ごしやすい環境になるであろう。怪我や病気をした人のリハビリにも使えるに違いない。また、植物は低重力下では大きく育つかもれない。そうすれば、食物生産効率が上がるのが期待できる。工業的には、中心付近の極低重力下での新素材の開発・生産、重量物の組み立てなどが可能になるであろう。