

## 「起潮力」の指導について

平 瀬 志 富\*

起潮力の原因については、すでにニュートン以来解決済みであるが、物理的な考え方については著明な書物に  
くわしい説明がないため、中学理科および高校地学の授  
業では「なぜ両側に出っばるのか」という生徒の素朴な  
質問に、教師がひや汗の四苦八苦ということになっている。  
しかし、少なくとも高校地学においては、一昨年の  
改訂から、つぎのような説明法が採用され、物理的意味  
の解明はすんだものとわれわれは考えている。これにつ  
いて御意見のある方の御教示をお願いしたい。

起潮力の原因について古くから次のような説明が用い  
られている。

第1図において ABCD を地球、E をその中心、M を  
月の中心とし、A は M に直面する側、B は反対側の点、  
C、D は A、B から  $90^\circ$  離れた点とする。地球の半径を  
1、地球の中心と月の中心との間の距離を  $r$ 、月の質量を  
 $m$ 、万有引力の定数を  $G$  とすれば月の引力によって A、  
E、B 3 点に働く M による加速度はそれぞれ

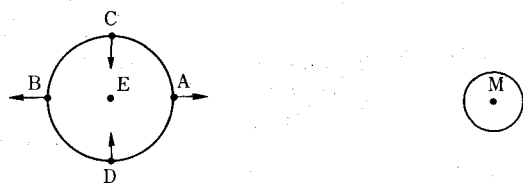
$$\frac{Gm}{(r-1)^2}, \quad \frac{Gm}{r^2}, \quad \frac{Gm}{(r+1)^2}$$

となる……

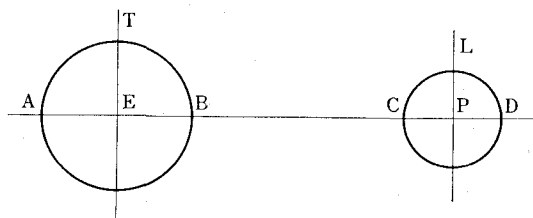
としてこれらの差をとって起潮力が月に面した側のみ  
でなくその反対側の B 点でも外むきに力が働くことを計  
算で示す。

生徒にはこの差をとる計算そのものはわかるが、どう  
して加速度の差をとったら起潮力になるかという力学的  
意味は大変難解であるし、教師もなかなかうまく説明で  
きなかつたというのが実情であろう。数年前から共通重  
心のまわりの運動として説明する方法がかなり普及して  
来ているが、わが国の物理学者の中にもまだ正しく理解  
していない方がいるのではないかという疑いがある。

その証拠として今年の某大学の入試で物理に次のよう  
な内容の問題が出題された。「次の文章はある学説を解



第1図



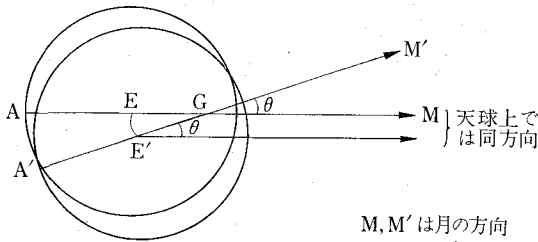
第2図

説したものである。」として、「海水は1日約2回満ちた  
り干いたりする。この潮の干満はよく見られた現象であ  
り、主として(月)Lの引力によるものとされているが、  
そう簡単なものではない。なぜならばLの引力だけを考  
えるならば1日1回の干満しかおこらないはずだからで  
ある。1日2回おこる理由はこうである。今、第2図の  
ように地球TとLの中心をそれぞれE、Pとする。E、  
Pを結ぶ直線が地球およびLの表面と交わる点をそれぞ  
れA、B、C、Dとする。ところで地球TとLはそれぞ  
れの中心E、Pを通る回転軸のまわりに(自転)してい  
ると同時に、TとLからなる系の重心のまわりにそれぞれ  
(公転)している。この重心をGとするとGはE  
とBの中間にある。ところでA点とB点にある海水に  
働く力には地球の重力  $F_1$ 、地球の自転による(遠心力)  
 $F_2$  の他にLの引力  $F_3$  および地球のこの系の重心Gの  
まわりの(公転)による(遠心力)  $F_4$  がある。 $F_1$ 、 $F_2$  は  
この問題には関係しないから考えなくてよい。ところで  
 $F_3$  はA、B两点において同一方向にあるが、その大き  
さはA点に働く引力の方がB点に働くそれよりも(小  
さい。また  $F_4$  はA点の方がB点より(大き)く、向きはA  
点では  $F_3$  と(反対)、B点では  $F_3$  と(同一)になってい  
る。つまりA点ではLによる引力と  $F_4$  とは(反対)方向  
をむいているが、詳しい計算をすると(遠心力)がLによ  
る引力に勝ち、またB点ではLによる引力と  $F_4$  は(同  
一)方向をむき、結局地球中心からみるとA点でもB  
点でも地球中心からはなれる方向の力をうけている。こ  
うして潮の干満は一日約二回おこるのである。ただし  $EP$   
 $\approx 60EB$ 、Lの質量は地球の質量の約  $1/81$  である。

〔筆者注〕( )内は入れるべき答と思われるもの。下  
線はこれから問題とする部分を示す。

この問題は潮の干満の理由として、地球と月が共通重  
心のまわりを串だしのだんごのようなまわり方をしてい  
るというのである。この考えにもとづいて、地球の月に

\* 東京都立戸山高校



第3図

近い側と遠い側における起潮力を計算して比較してみよう。

まず共通重心の位置を求める。地球の質量を1とすると、月の質量は0.012300(理科年表による)で、地球の赤道半径をRとし、地球と月の中心間の平均距離をrとすると  $r=60.2665R=384403$  (km) である。したがって共通重心と地球の重心(中心)間の距離  $r'$  は

$$r'=0.7323R=4.671 \times 10^8 \text{ (cm)}$$

となる。月に近い側A点における起潮力は(1gあたり)

月の引力+重心のまわりの公転による遠心力

$$= \frac{Gm}{(59.2665R)^2} + 0.2677 R\omega^2$$

とし、 $R=6.3784 \times 10^8$ (cm)  $G=6.67 \times 10^{-8}$ (cgs)

$$m=0.01230 \times 5.977 \times 10^{27}$$

$$\omega=2.662 \times 10^{-6}$$

を用いると  $4.642 \times 10^{-3}$  ダインとなる。

いっぽう月から遠いB点においては

重心のまわりの公転による遠心力-月の引力

$$= 1.73227 R\omega^2 - \frac{Gm}{(61.2665R)^2}$$

として  $4.619 \times 10^{-3}$  ダインがえられる。AとBとのちがいはごくわずかであり、1日に2回満潮がおこる理由として成立ちそうである。しかし別の問題がある。もしこ

れが事実なら、第3図に示すように共通重心のまわりの回転角  $\theta$  はそのまま地球の中心から見たときの回転角となるため、共通重心のまわりの月の公転運動の不整が、そのまま地球の自転運動の中に入って来て、自転角速度に周期が1恒星月となるような大きなむらをつくるはずである。地球の自転角速度にこのような顕著な不整が認められないことは周知の事実である。したがって第3図のような考え方は誤りであることになる。

地球の自転角速度に何の影響もあたえないような起潮力のモデルとして次のような考え方を採用するのが正しいと思う。

いまいちおう地球の自転および太陽のまわりの公転の影響は考えないことにする。共通重心は地球内にあるが固定された点ではなく、地球上の各点はいつも地球の重心と平行な運動をする。つまり地球の重心の角速度と同じ角速度で、地球の重心がえがく円と半径も全く等しい円をえがいているのであると考える。したがって地球各部に働く、この並進運動による遠心力は、すべて地球の中心に働く遠心力と平行で同じ大きさであることは、円運動の半径と角速度が同じであることから容易にわかる。(第4図参照)

地球の中心において、共通重心のまわりの公転による遠心力と月による万有引力がつりあっていることは次のような計算から推定できる。

共通重心のまわりの地球の中心の公転運動によって地球の中心に働く遠心力は 1g あたり

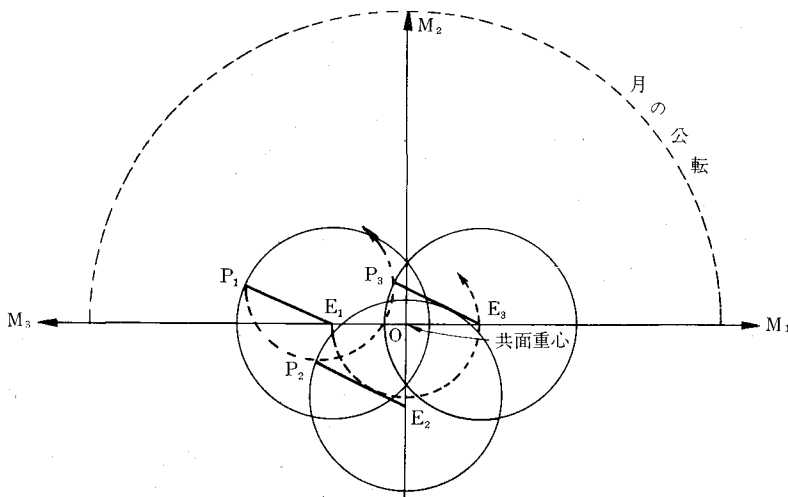
$$r'\omega^2=3.31 \times 10^{-3} \text{ (dyn)}$$

となり、いっぽう地球の中心に働く月による万有引力は 1g あたり

$$\frac{Gm}{r^2}=3.32 \times 10^{-3} \text{ (dyn)}$$

となって一致することがほほわかる。

そして月と反対側の場所では地球の半径のぶんだけ速くなるので、万有引力は弱くなるのに外むきの遠心力は地球の中心で働くものと同じ大きさだから、差し引き外むきの力となる。また月に面した側では地球の半径のぶんだけ近くなるので万有引力は強くなり、逆むきの遠心力は地球の中心で働くものと同じ大きさだから差し引き外むきの力が働くことになるとして、本文の最初に書いた計算につながる。



第4図