

Q 41. 地球の自転軸のふらつき

くるくる回るコマを見ていて気づきました。最初は回転軸（自転軸）が垂直に立って静かに回転していますが、だんだん回転軸が傾いてくると、それがゆっくりと輪をえがくように首を振りはじめます。実際の地球の自転軸も、コマのようにふらつくことはないのですか。

A41.市販の地球儀は、たいてい自転軸が 20 度あまり傾けてとりつけられています。重力のない（上下のない）宇宙空間で、何に対して傾いているのでしょうか。地球が太陽の周りを公転している軌道平面のことを黄道面とよび、惑星の動きに関するいろんな数を決めるときの基準にします。星占いでおなじみの 12 の星座も、黄道面上に並んでいるのです。地球儀の「傾き」は地球の赤道面（地球の自転軸に垂直な平面）が、黄道面から約 23.5 度傾いていることに由来しています（図 41-1 左）。

地球儀の地球は中心軸が台に固定されていますが、本当の地球は軸が固定されていません。自転軸がふらふらしないのでしょうか。

コマは勢いよく回っているときは直立していますが、勢いが弱くなってくると不安定になった軸がぐるぐるまわる「首振り運動」をはじめます（図 41-1 右）。回転するコマには、回転の勢い（「角運動量」といいます。**Q&A43** も参照）を保とうとする作用がはたらいています。それが弱くなってくると、その力とコマを倒してしまおうという地球の引力による作用の 2 つがせめぎあい、その結果、首を振るのです。

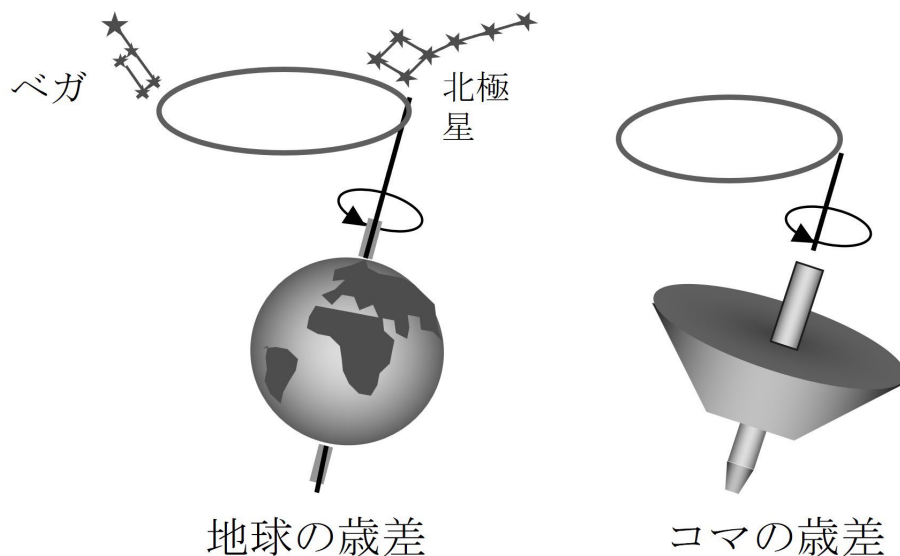


図 41-1 歳差運動。(左) 地球、(右) コマ。地球の歳差によって北極星は、現在の北極星とベガ（こと座）の間を数万年かけて、行ったり来たりする。歳差では、黄道面（公転軌道面）に対する赤道面（自転軸と直交）の傾き角は一定である。

地球にも、実際にこれに似た自転軸の首振り現象があります。**Q&A39** や **Q&A40** で説明されているように、太陽や月の及ぼす引力の一部は、潮汐力になって地球を両側から引っ張ります。このとき地球が傾いていると、潮汐力によって傾いた地球を真っ直ぐに立たせようとする作用が働きます（コマにはたらく、倒そうとする作用の反対です）。するとコマと同じように、回転の勢いを保つ作用と傾いた地球を直立させる作用のせめぎあい、地球は首振り運動を行うのです。地球の首振り運動を「歳差・章動」と呼びます。

地球が 23.5 度の傾きを維持しながら、周期 2 万 5800 年でぐるりと首を振る運動のことを「歳差（才差）」と呼びます。この現象は紀元前 2 世紀のギリシャのヒッパルコスによって発見されました。

1 年中北の空に見える星座に、こぐま座があります。そのアルファ星（2 等星）を、私たちは北極星と呼んでいます。この星は地球が回転している軸を北に延ばしていった先に、「現在」たまたまあるため北極星と呼ばれているのです。でも歳差のせいで、自転軸の方向すなわち北極の方向は動いていきますから、「北極星」は時代とともに周期 2 万 5800 年で変化します。今から半周期さかのぼった時代（1 万 3000 年前）の北極星は、こと座のアルファ星ベガ（0 等星の織姫星）になります（図 41-1 左）。ホモ・サピエンスが登場してすでに数万年になりますが、1 万 3000 年前の祖先にとって、こんなに明るい北極星を見つける（北の方向を知る）のは、さぞ簡単だったことでしょう。

地球の首振り運動は歳差だけではありません。太陽と月の潮汐力の強さと向きは、公転運動の性質を反映して半月、半年、一ヶ月、一年、18.6 年（月の歳差の周期）などのさまざまな周期で規則的に変わります。それに応じて、地球はさまざまな周期の小さな振幅の首振り運動を行います。歳差以外のこのような短い周期の首振り運動を、まとめて「章動」と呼びます。

章動は、最大の 18.6 年周期の章動でさえ、首振りの幅が角度でほんの 9 秒（1 秒は 3600 分の 1 度。500 メートル先の 10 円玉の直径程度）にすぎないわずかな運動ですが、1747 年にイギリスのジェームス・ブラッドリーによって発見されて以来、天文学や測地学の重要な研究対象として、多くの人々の興味を惹きつけてきました。

その理由は、章動を詳しく調べることによって、地球の深い部分、なかでも溶けた金属でできた中心核（流体核）について、手がかりが得られるからです。茹で卵と生卵の違いは外からみてもわかりませんが、まわしてみると茹で卵のほうが良く回ることで、簡単に見分けられます。同じことが地球でも成り立ちます。地球の回り方で、中が溶けていることがわかるのです。地球の中身がすべて固体だったら、いろんな周期で地球を揺らしても（いろんな周期で潮汐力が変化しても）、そのまま揺れるだけ（すなわち章動を行うだけ）です。しかし、生卵のように流体の部分があると、おもしろい現象が起こります。

地球の首振り、振動の一種と考えることができます。振動という現象は、専門的には、自由振動と強制振動に分けられます。強制振動は物体の都合に関係なく、外から強制的にある周期で力を加えると、同じ周期で物体が揺れる現象です。章動はこれに相当します（だから別名「強制章動」ともいいます）。自由振動のほうは、その物体ごとに決まった周期（固有周期といいます）で揺れ

るものです。そして、なにかのはずみで振動がはじまったら、あとはブランコのように勝手に揺れながら、徐々に揺れ幅が小さくなってゆきます。物体固有の自由振動の周期で、外部から強制的に揺さぶってやると、「共鳴」が起こって振動の幅が大きくなります。ブランコの自由振動の周期は鎖の長さで決まっているのですが、その周期に合わせて背中を誰かに押されると共鳴が起きて、ブランコの揺れ幅はどんどんと大きくなるのです。

地球は中心核が液体になっていて、外側の固体部分と別の回り方ができます。詳しい説明は省きますが、この流体核と外側のマントルが力を及ぼしあうことが原因で、1年にちかい周期の自由振動（「自由核章動」といいます）を行います。その周期に近い周期で外から揺らしてやると、共鳴がおこります。その影響を受けてさまざまな章動の成分のうち、一年や半年の周期の首振りの振幅が大きく変わります。実際に観測された章動から、この変わり具合を調べることによって、流体核の粘っこさや、核とマントルの境界面の形などがわかるのです。Q&A42に「木村のz項」の話が出てきます。地球の緯度変化のなかに、極運動ではどうしても説明できない部分があり、明治、大正、昭和と測地学者が頭を悩ませ続けてきたという話です。その原因が、この自由核章動と強制章動の共鳴による影響だったのです。 (H)