

地球潮汐 — 陸地の干潮・満潮

Q. 海面が盛り上がりたり下降したりする満潮・干潮は、太陽・月の引力と公転の遠心力の兼ね合い、すなわち潮汐力によって引き起こされるそうですね。では、この潮汐力は海水にだけはたらいで、硬い岩石でできている陸地や地球内部には、はたらかないのでしょうか？ 大陸移動説を唱えたことで有名なアルフレッド・ウェゲナーは、「潮汐力のせいで大陸が水平方向に移動する」と言っているようですが・・・

A 潮汐力は、陸地や地球内部の岩石であれ海水であれ、わけへだてなく平等に作用します。このとき、岩石がどんなに硬く、また、岩石にはたらく力がどんなに弱いとしても、ごくごく微量ではありますが、岩石も伸びたり縮んだりします。この性質は弾性とよばれ、ゴムやばねの伸び縮みと同じ性質の現象です。地球の固体部分をつくる岩石に弾性があるので、潮汐力がはたらくと、地中の岩石も伸び縮みして、地球全体の形が少しばかり変わるのです（図1）。地球の自転によって、地表の各地点は月・太陽との位置関係を変えていきますから、足元の地面はまるで心臓の鼓動のようにリズムカルに変形を続けることがわかります（図1）。この現象は、地球潮汐あるいは固体潮汐とよばれています。

地球潮汐の詳しい理論を作り上げたのは、イギリスのオーガスタス・エドワード・ラブ（1863～1940）です。彼は1909年に、地球の固体部分が弾性変形すると考えたときの、地表面の上下変動を求める式を導きました。それによると、地表面の上下変動量は、地球の固体部分が全く変形しないときの平衡潮の潮位変化（陸地が海水で覆われていて、海流がない場合の仮想的な潮位変化）に一定値 $h \approx 0.6$ をかければよいことがわかりました。この値 h は、彼の業績をたたえる意味で、ラブ数と呼ばれています。

では、ここでラブ数を使って、足元の地面が毎日、どれだけ上がり下がりしているか、計算してみましょう。まず、海水面の変動（潮位）は場所によって異なりますが、概ねプラスマイナス0.5m程度の変動です。これにラブ数 h をかけると、私たちの立っている地面の上がり下がり量は $0.6 \times 0.5 = 0.3$ メートルぐらいということになります。でも、日頃、地面が30cmも周期的に動いているなんて気づきませんね。それには二つの理由があります。一つは、自分が見渡せる範囲ぐらいの狭い地域では、地面がほとんど同じ量だけ上下するので、その変化に気がつかないということです。二つ目は、地面の上がり下がりする速度が遅いということです。半日かけて30cm動くというのでは、カタツムリより遅くて誰も気づかないでしょう。

図1をみると、場所によって上下する量が違うので、地盤の傾斜が起こることもわかります。図からはこの傾きが大雑把には赤道から極までの距離1万キロあたり、1メートルぐらいの傾斜角、すなわち角度の0.2秒ぐらいの傾斜が地球潮汐として生じることが予想されます。この値は観測値（図2）と比べると、大体よく合っています。

また、京都大学の志田順（とし）は1912年に、地表面は単に上下運動するだけではなく

で、わずかながら水平方向にも往復運動をしていることに気づきました。水平方向の運動は、彼の名を冠した志田数 $t=0.08\sim 0.09$ という量で記述されています。水平方向の運動が、場所によって、わずかずつ異なるために、地面には伸び縮みが生じることが考えられます(図1上)。

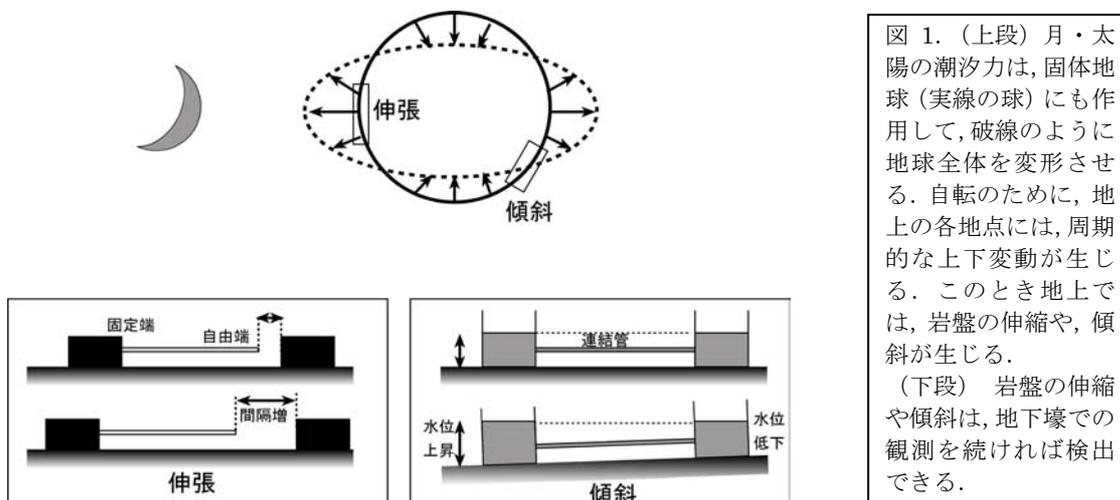


図 1. (上段) 月・太陽の潮汐力は、固体地球(実線の球)にも作用して、破線のように地球全体を变形させる。自転のために、地上の各地点には、周期的な上下変動が生じる。このとき地上では、岩盤の伸縮や、傾斜が生じる。
(下段) 岩盤の伸縮や傾斜は、地下壕での観測を続ければ検出できる。

以上の理論によって、固体の地球といえども、引き伸ばされたり、押し縮められたりして、地面は毎日、数センチから数十センチも上昇・下降したり、角度で 0.2 秒ぐらい傾斜したりすることがわかりました。これらの伸び縮みや傾斜は、伸縮計や傾斜計などを用いて、実際に観測されています。伸縮は、2 地点の間の距離を測り続けると、距離が潮汐と同じ周期で周期的に変化することでわかります。たとえば 20m ぐらいの棒を地下壕に水平に設置し、棒の一端は地面に固定し、他端は自由に動けるようにしておきます。時々刻々、2 点間の間隔をはかれば、岩盤の伸縮がわかります(図1下左)。とはいえ、潮汐によって間隔が狭まったり広がったりする量は、20m の長さの棒について、わずか数マイクロン(千分の一ミリ)という非常に小さなものです。ですから温度変化による棒の伸び縮みが、誤差として混入しないように、温度の安定した地下壕で観測し、棒の材質も温度による伸び縮みが少ない石英管などが用いられます。最近では、レーザー光によって 2 点の間隔変化を測って、地盤の伸縮をだすこともできるようになってきました。

岩盤の傾斜は、地下壕の 20m ぐらいはなれた 2 地点に水を貯めるポットを用意し、2 点間を水の流れる管で連結して測ります(水管傾斜計)。岩盤の傾斜とは、2 地点の上がり下がり量が食い違ってくることで、水管傾斜計の両端のポットの水位が変化することになります。これから、岩盤の傾斜を計算することができます。

図2には千葉県の大塚という場所の地下壕に設置した、伸縮計と傾斜計の記録を示します。地盤の伸び縮みや傾斜にも、千葉での潮位の記録(Q&A37の図1)と同じように、半日お

よび 1 日の周期的な変動がみてとれます。また地面深くボーリング孔を掘削して、そこに特別な傾斜計や歪計を埋設しても潮汐の記録が取れます。

ご質問にあったように、大陸を動かすほどには潮汐力は強くはありませんが、それでも「大地の鼓動」を響かせることはできるようです。また、潮汐は地球・月系の誕生いらい絶え間なく働き、地球と月の歴史にも大きな影響を与えています。地球の自転周期が次第に延びてきたり、月が次第に遠ざかっていくのもその一つの例です。

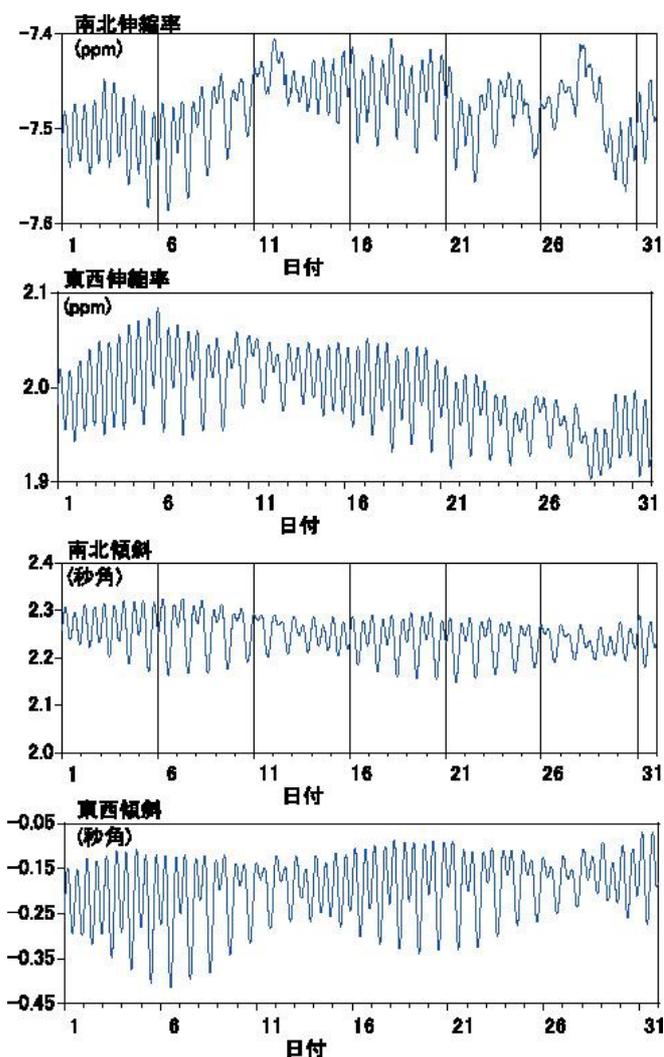


図 2.

千葉県の新山における、2000 年 5 月 1 日～31 日までの地盤の伸縮と傾斜（東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター 中尾茂氏提供）。伸縮率の単位 ppm は、百万分の一を表す。1ppm は、1m の間隔が 1 ミクロン（千分の一ミリ）伸び縮みすることに当たる。傾斜の角度 1 秒は、1 度の 3600 分の 1。