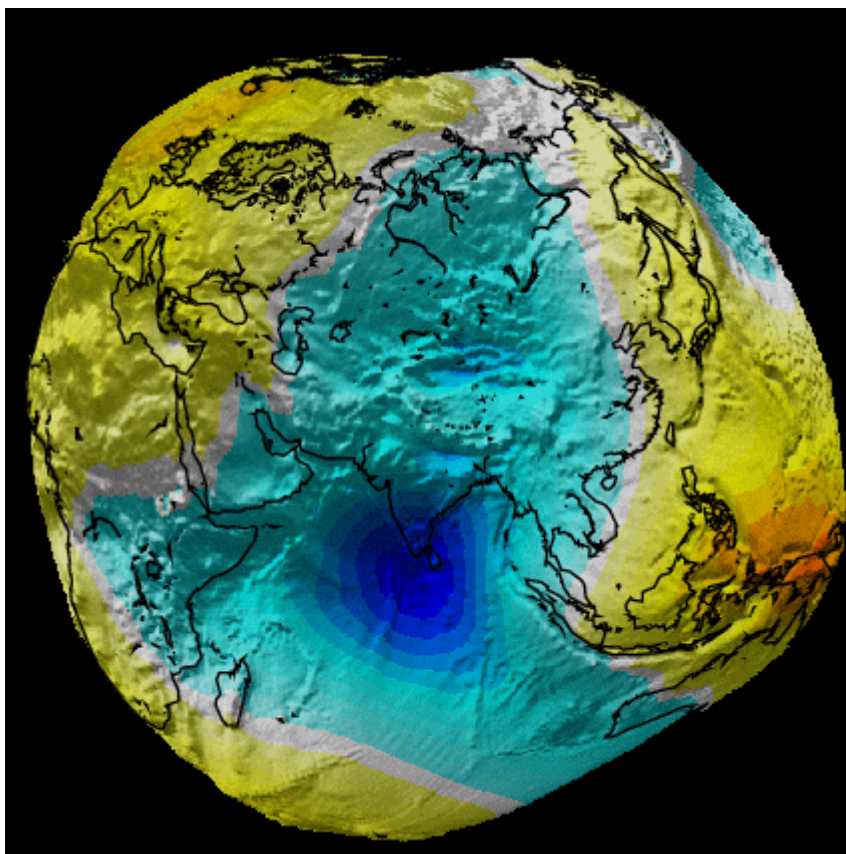


船が山を登る？ —地球はホントにまるいのか？

Q: 地球らしいもののかいたこの絵をみると、海にも山や谷が描いてありますが、これは何ですか？ 「地球はホントは、まるくない!？」が正しいのでしょうか？



A

絵に描かれている、海域での凸凹によく気づきましたね。これは「海面」の凸凹なのです。

「ええ〜っ、水面は滑らかになるにきまつてるじゃない」という声が聞こえるようですが、でも本当に海面の凸凹なのです。

どうしてこんな凸凹ができるのかについての説明は、別項にゆずりますが、例えばニューギニア付近では 80m くらいふくらんでおり、一方インド洋では 100m くらいへこんでいます。また、図 1 を見ると分かるとおり、日本の周辺の日本海溝や千島海溝では、海溝の中軸部が周辺に比べて 20m くらいへこんでいます。「船頭多くして船、山を登る」ということわざがあります。本来の意味は、「みんなで物事を進める際、仕切る人が多いとうまくいかない」ということです。ことわざの「船、山を登る」とは本来の目的を達成できないという比喩の意味で使われていますが、実は船はある意味で本当に「山」を登っているのです。

でも、ちょっと待ってください。「高さ」を測るには基準が必要ですよね。これらの「高

さ」は、いったい何に対する高さなのでしょうか？

実は上で示した「高さ」は、「地球楕円体」と呼ばれる面から測った高さを表しています（図1左）。復習をしておくで、地球は、赤道が極に比べて20kmほどでっばっている回転楕円体（楕円を短いほうの軸の周りに回してできる形）に非常に近いことが分かっています。この、地球の形に最も近い回転楕円体のことを、「地球楕円体」といいました。インド洋で海面が100mくらいへこんでいるというのは、「海面が地球楕円体から100mほど下にあるよ」という意味であったわけです。

今述べたとおり、地球の形は地球楕円体で非常によく近似できるのですが、さらに正確に地球の表面の形を表現する面のことを、ジオイド面と言います。地球の表面積の7割を占める海の上では、ジオイド面は（平均的な）海面だと考えることができます。ジオイド面は陸上でも定義することができます。もちろん陸では、海面というものは定義できません。でも、その代わりに仮に大地に海岸から運河を掘ったと仮定して、海水を通したときにできる水面を想像することはできます（図1左）。こうしてできる仮想的な海面を、ジオイドと考えます。また地球楕円体からジオイドまでの距離のことを、「ジオイド高」といいます。さきほどの「高さ」は実はジオイド高のことだったのです。

表紙の絵はジオイド高の分布を示したものです。ずいぶん歪んでいるなど感じると思いますが、実はこの図は、ジオイド高を10000倍に強調して描いたものです。実際のところは、地球の半径約6400kmに対して、ジオイド高の変化は高々0.1km程度、すなわち凸凹の度合いが6万分の1以下とごくわずかなので、普通の倍率ではほとんど球（正確には地球楕円体）と見分けがつかません。しかしジオイド面には山や谷が存在するのは確かです。

ジオイド面に凸凹があるというのは、皆さん納得していただけたと思います。実は船乗りは昔からそのことを知っていて、燃料と時間の節約のために凸凹を避けるような航路を選んでいるのです、といったら皆さん信じますか？そんな話は聞いたことがないですよね！？そのとおり。今の話は嘘です。では、なぜ凸凹があるのに、船は影響を受けないのでしょうか。その理由はジオイド面が、重力エネルギーが一定である面にもなっているからです。専門用語では、「等ポテンシャル面」といいます。2点A,Bが等ポテンシャル面に載っている場合には、重力エネルギーの増減がないのです。海面はどこでもジオイド面＝等ポテンシャル面ですから、どの航路をとっても、重力エネルギーの得失はありません。だからこそ船乗りも航路について悩まなくてすむわけです。

さて、皆さんが「富士山の高さが3776mだ」というときの「高さ」、すなわち標高は、実はこのジオイド面から測った高さという意味でした（図1左）。ということは、逆にジオイド面というのは、定義によって、どこでも標高がゼロであるということになります。海面は「どこでも標高0m」なのに、（なめらかな地球楕円体からみると）凸凹があるという一見奇妙なことになりますが、これは事実ですからしょうがありません。

それではジオイド面はどのようにして、決められるのでしょうか。ジオイド面は重力エネルギーが一定の面であるのですから、まずは重力を詳しく調べることが頭に浮かびます。

実際、陸上での重力観測、また船を用いた海上の重力観測、さらには人工衛星の軌道を詳しい分析をつうじて、ジオイド面を決めることができます。陸上では重力を詳しく測る方法のほかに、カーナビなどでおなじみのGPSを用いた手法も使われます。GPS観測をすることで、地球楕円体から測った観測点までの高さを正確に決めることができます。また水準測量をすることで観測点の標高、すなわちジオイド面から見た観測点の高さを知ることができます。前者から後者を差し引くことでジオイド高を求めることができます。また、海域でのジオイド高については、最近宇宙からの観測という飛び道具を使って求めることができるようになりました。海は広く、重力の観測をくまなく行うにはお金も時間もかかって大変ですから、飛び道具は非常に役に立つのです。最近では以上の手法を組み合わせることで非常に高い精度でジオイドの形を求めることができるようになりました。

最初の質問には、「地球はほとんどまるいけれど、小さいながらも凸凹している」ともいえます。完全な直線（幅がなく、両端が無限のかなたにある）が、私たちの心の中にあるだけで現実には存在しないのと同じように、完全な球も現実にはありえないのですから、「地球はホントはまるくない」ともいえるでしょうね。

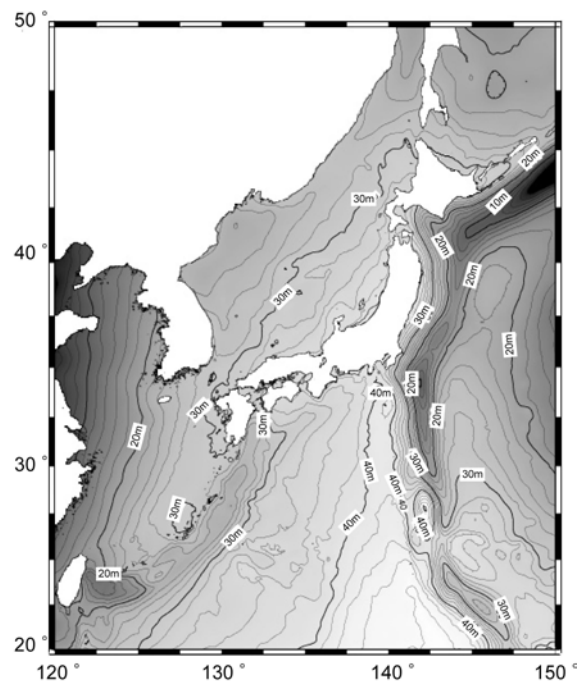
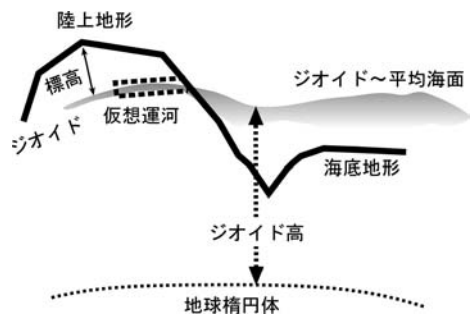


図 1 (左) ジオイド高, 標高, 地球楕円体の図解. 楕円体から海面までの高度には起伏がある. それでも海面の「標高=ジオイドから測った高さ」は, どこでも 0m.

(右) 地球楕円体から測った, 日本近海のジオイド高 (~平均海面高度). 千島海溝や日本海溝など, 水深が 1 万メートルに近い海溝の海面は, 周囲よりも 20m ぐらい凹んでいる. 資料は国土地理院・黒石裕樹氏提供.