

「実質量」惑星模型開発物語

は地球よりも重いか

付録「地球磁石の製作」

札幌たのしい授業・研究サークル

2009.11.28

仮説実験授業研究会・北海道

丸山秀一

「土星は水に浮く」

ボクの「専門教科」は地学です。初任の頃、惑星のことを授業でやっていて、「土星の平均密度は1よりも小さいから、土星は水に浮くだろうねえ」などと話していました。

仮説実験授業と巡り会って、授業書《宇宙への道》を知ったとき、ボクは小笠原智さんが作られた「30億分の1惑星模型」をいくつか買いました。おもしろいことに、この模型は、木星などの主成分がガスで出てきている「ガス惑星」は、発泡スチロールで、地球などの「岩石惑星」は、まち針などでできていました。「ガス惑星は軽いのだろうから、発泡スチロールで作るのはいいなあ」と思っていたのです。また、太陽系最大の天体で、やはりガスからできている太陽は、授業書では気球を使うようになっていたから、「やはりガスだから、これでいい」と思っていました。

編集会議にて

今年8月の『たのしい授業』公開編集会議（荒川康夫さんの記録）に惑星の話が出ていました。板倉聖宣先生が盲人用の「手で見る博物館」へ行って、そこにあった惑星模型を見て、「これではもったいない」と感じた話です。（段落ごとに中略しています）

盲人博物館にこの模型ではもったないと、改良したい。ボクラはね、これ見ちゃうのね、触んなくたっていいわけですね。大きさ分かるでしょ。これ、持ったらね、もっと感動的なんですよ。ボクラ持てないでしょ、見て分かるでしょ。で、極端に違うと。

これ持ったらどうなるかと。持ったらこれは極端にそんなに違うのかと。そんなに違わないんですよ。木星は大きいけどふかふかなんですよ。（え～？）土星はね、水に浮いちゃうんですよ。

これはフカフカなんでね。この辺は水素とヘリウムなんだよ。で、太陽が気体だっていうことは知られてるけどさ、これは気体なんだよ。気体だから、真ん中の方は芯が少しあっても全体としては密度が水より以下なの。だから絵の描き方をうまくやれば、そういう感じを出せるかもしれないけども、手に持ったら「え？」と思えちゃうんだね。そうしたら「目の見える人はかわいそうだ」と。（笑）持とうとしない。だから「持つ博物館」でやればその差がはっきりしちゃうって・・・。

で、これは(土星)密度が 0.8 ぐらいか?で絵としてはね、
気体が絵になるというのはなかなか・・・、この辺の雲が見えたり
するでしょ。でこういう模型を大きさじゃなくて重さで分かる
ような模型を作っていくの。

地球は密度が 4 か 5 だね。それでこれ(土星)が 0.8 だから
ね、大きさの割合と比べれば形が違っちゃうんだけど、手で持
ってみたらね「すごく軽い」と。だからこれはコルクかなんか
で作れば、これは石で作ってね・・・そういうような、「目に見
える」連中がなんでも目で考えちゃう。で、目で考えないで「触
って見る」ことの強さというのが・・・。

地球は 5.52・・・全然違うんですね。これだったら、重い石っ
ていう感じですね。これは(木星)作るとすれば軽石でできる
ね。

ここまでは(水星から地球まで)地球とあんまり変わらない。
ここ(木星)からはフカフカ天体になっちゃう。

(教科書には惑星の)密度は数字で書いてあるでしょ。模型
でもってね、持たせたら、密度の感覚はふつうの感覚よりはる
かに敏感ですからね。

板倉聖宣先生の話を読んで、「たしかめてみたい」と思いました。
幸い手元には 30 億分 1 の惑星模型があり、その中におもりなど
を入れれば簡単にできると思ったからです。

しかし、このサイズでは、地球などの岩石惑星はとても小さいものであり、おもりをつけて重さを調節することもできません。そこで、ガス惑星だけの重さを正しい比率で作ってみることにしました。

【質問】

実際の「30億分の1モデル」の重さはどれくらいあるのでしょうか。土星のモデルで考えてみましょう。

予想

- ア 1グラムぐらい
- イ 2~3グラム
- ウ 5グラム以上

木星と土星では、どちらの方が重いでしょうか。

模型の重さ

	木星	土星	海王星	天王星
直径(cm)	5	4	1.7	1.7
重さ(g)	2.4	2.5	0.1	0.1

土星が木星よりも小さいのに重いのは、模型には「輪」がついているからです。実際に持つときは、「輪」も一緒に持つのでこの



重さも考える必要があります。海王星と天王星の重さは、ボクが使っているデジタル秤の測定限界でしょう。

神奈川県立
教育センター
ー

【問題】

では、この土星の模型をどれぐらいの重さにしたら、実際のこのスケールでの土星の重さになるのでしょうか。

予想

- ア ほぼこのままで良い
- イ 倍
- ウ もっと重い



ハートピア天文台の天文教室「太陽系の惑星模型を作ろう！」

サイズが「25.5 億分の 1」と不思議なサイズだが、台紙に太陽が描かれているのがおもしろい。

実質量

「30億分の1」というのは、「長さ」のことです。面積ならその2乗、体積なら3乗になります。最初ボクは、3乗にして計算したのですが、すぐに「密度を模型の体積にかければよい」と気がつきました。

体積の式は $4/3 r^3$ です。

- ・ 模型の体積 33.5cm^3
- ・ 土星の平均密度 $0.69\text{g}/\text{cm}^3$
- ・ 模型の理想質量 $33.5\text{cm}^3 \times 0.69\text{g}/\text{cm}^3 = 23.1\text{g}$

もともとの模型が2.5gありますから、そこにおよそ20gのおもりを詰め込めばよいことになります。

さて、おもりには何を使ったらよいでしょうか。鉄 ($7.9\text{g}/\text{cm}^3$) でも良いのですが、密度の大きい鉛 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$) を使った方が使う量も少なく済んで良さそうです。しかも、鉛は軟らかいので、簡単に加工できます。

さて、理科の実験に使うような粒状鉛を使えば便利なのでしょうか、家にはありませんので、釣り用のおもりを使うことにします。釣り用のおもりには「10」とか「20」とかの数字が書いてあります。これは「号数」というのですが、これで重さがわかるのでしょうか。



【問題】

釣り用のおもりについている号数は何を表しているのでしょうか。

予想

- ア 重さ
- イ 体積
- ウ 形状
- エ そのほか

もし「重さ」を表しているとすると、1号はどれぐらいの重さでしょうか。



尺貫法

釣り用のおもりの号数は重さを表す単位で、1号が約3.75gです。10号なら37.5gですし、100号なら、375gです。これは「匁」(1000匁=1貫)という昔の日本で使われていた重さの単位です。

現在の日本では、尺貫法を使うことは許されないので、「1匁」とするところを「1号」としているのでしょう。

釣りのおもりには、号数の他に「B」(ガン玉)とか「小小」(割ビシ)とかで重さを表しているものもありますが、これらはちょっと規則性がよくわかりません。

さて、23gの土星の実質量モデルを作るには、2.5gの模型に、22.5gの6号おもりを削って入れればよいことになります。鉛は軟らかいのでカッターでも削れます。6号おもりを20.5gになるまで削りましたが、このままでは40ミリのスチロール球の中に入りそうにないので、ハンマーで叩いて形を変形させました。

ガン玉	重さ	割ビシ	重さ
B	0.55g	小	0.25g
2B	0.75g	小小	0.35g
3B	0.95g	中	0.80g
4B	1.20g	大	1.00g
5B	1.85g	大大	1.35g
6B	2.65g	特大	2.35g

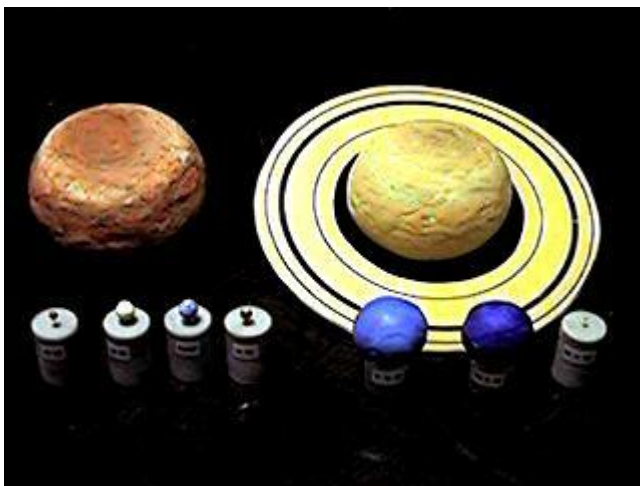
【問題】

ではこうやってつくった土星模型を実際に水に入れてみるとどうなったでしょうか。

予想

ア 浮いた

イ 沈んだ



林秀明さんの 10 億分の 1 模型。

<http://www2.ocn.ne.jp/~houhou/solar.htm>

水に浮く土星

密度が 1 よりも小さい土星模型は、たしかに水に浮きました。しかし、この模型は手に持ってみると、ずっしりと重くて「フワフワしている」という感じは全くありません。何度も計算し直してみましたが、間違っはてはいません。

考えてみれば、水の密度は $1\text{g}/\text{cm}^3$ ですから、このサイズの土星模型が水でできているとすると 34g ぐらいの重さとなって、「結構重い」と思えることでしょう。つまり、惑星の中では、土星の密度が一番小さいのですが、どうも他の惑星と比較しないと「密度が小さい」という感じは全くしないのです。

そこで、木星の実質量模型を作ってみることにしました。木星の平均密度は $1.33\text{g}/\text{cm}^3$ で土星の倍もあり、加えるおもりの重さも 85g です。丁度良いおもりは、86g の 23 号おもりです。しかし、23 号おもりは大きくて、50 ミリのスチロール球に入れるのはかなりの苦労でした。スチロール球のように中身が詰まっているものは、中身をほじくり出してから入れなければならないからです。

スチロール球に代わるものを探していたら、クリスマスツリーにぶら下げるボール（ボール・オーナメント）を見つけました。丁度 5 センチのものもありました。ただこちらは一旦割ると、くっつけるのが手間です。でもおもりは簡単に入れることができます。

さて、できた木星は 87g で土星の 23g よりもずっと重いのが実感できます。しかし、「フワフワのガス惑星」というイメージはますます無くなります。



【問題】

では、ガスでできた太陽系最大の天体である太陽を考えてみましょう。このサイズでの太陽を考えると、直径 50 センチとなり、授業では、ゴム気球などをふくらませて太陽としています。

ではこのサイズでの実際の太陽の重さはどれくらいあるのでしょうか。

予想

- ア kg ぐらい
- イ 0kg ぐらい
- ウ もっと重い

太陽は「水に浮く」でしょうか。

太陽

太陽もガスからなる星で、その平均密度は 1.41g/cm^3 で、このサイズでの重さは 92kg となります。土星や木星よりも密度は大きいですが、海王星の密度 1.6g/cm^3 よりも小さいものです。でも、1 よりも大きいので「水に浮く」ことはありません。

これもボクの想像以上に重いものです。この模型を作るなら、直径 50 センチの金属製タンクなどを探する必要があります。ぜひ作ってみたいのですが・・・。

もし作ったとすると、直径 50 センチの太陽は、ボクの体重よりもずっと重いわけですから、「太陽はすごく重い」と思うことでしょう。「ガスでできている星はフワフワ」なんてことはないわけです。



30 億分の 1 太陽模型用風船

御注文は海猫屋で

「土星が密度 1 以下」というのを実感するためには、岩石惑星を作って比べてみるしかないようです。それなら、太陽系の岩石惑星で一番大きい地球を作ると良いでしょう。

「大きい」といっても、30 億分の 1 サイズの地球は直径 4 ミリで重さが 0.2g でしかありません。でも、まち針の先やビーズでは、軽すぎます。金属製のものが良いのです。いろいろさがして見つけたのが、ボールチェーンのボールでした。これは中が空洞になっているので、重さも丁度良くなっているのです。

これで実質量の地球模型もできましたが、土星と比較すると大きさが違いすぎていて、持ってみても密度の違いは感じられません。それならと、土星の同じ大きさの地球模型をつくってみることにしました。

【問題】

土星模型は 23g です。土星と同じ大きさの地球をつくるとしたら、その地球模型の重さはどれくらいになるでしょうか。

予想

- ア 2～3 倍
- イ 5～6 倍
- ウ もっと重い

地球・土星の比較

地球の平均密度は 5.5g/cm^3 ですから、30 億分の 1 の土星と同じ大きさで地球を作るとすると、184g となり、土星の 8 倍の重さです。この地球は直径 40 ミリのピンポン球に 50 号のおもりを入れて作りました。

ふたつの模型を手にとってみると、たしかに、土星は地球よりもずっと軽いことがわかるのですが、どちらかということ地球の重さの方が印象的でした。地球は重いのです。

太陽の近くの惑星は岩石惑星で、外側にガス惑星があるのはどうしてでしょうか。太陽系を考えると、水星、金星、地球、火星という岩石惑星が内側にあって、その外側をガス惑星が回っています。これは、太陽系の成立に原因があります。科学者たちは、「太陽系ができるときに、金属や岩石などと比べて軽いガスは遠くに飛ばされて、太陽の近く惑星は岩石惑星となった」と考えています。木星や土星は、吹き飛ばされたガスを時間をかけて集めて大きなガス惑星となりました。その外側の天王星、海王星になると、ガスが飛散してしまっていてたくさん集められなかったようです。

ここで、「実質量 30 億分の 1 惑星模型」を作る際ののデータ一覧を載せておきましょう。スチロール球の代わりに、クリスマス用の「ボール・オーナメント」を使っても良いです。また土星は、直径 40 ミリの卓球のボールも使えます。

おもさの微調整は、おもりを削ることによって行いますが、それほど神経質になる必要はありません。

	半径 cm	体積 cm ³	密度 g/cm ³	重さ	作り方
太陽	25	65000	1.4	92kg	直径 50 センチの金属 タンクに鉛
水星	0.1	0.0042	5.4	0.02g	直径 2 ミリの金属ビー ズ
金星	0.2	0.033	5.2	0.2g	直径 4 ミリのボールチ ェーン
地球	0.2	0.033	5.5	0.2g	直径 4 ミリのボールチ ェーン
火星	0.1	0.0042	3.9	0.02g	直径 2 ミリの金属ビー ズ
木星	2.5	65	1.3	85g	50mm スチロール球 に 23 号おもり
土星	2	33	0.7	23g	40mm スチロール球 に 6 号おもり
天王 星	0.85	2.6	1.3	3.3g	17mm スチロール球 に 1 号おもり
海王 星	0.85	2.6	1.6	4.1g	17mm スチロール球 に 1 号おもり

土星の輪は、OHP シートに印刷したものを使っています。また、各惑星に、惑星の写真を見ながら、アクリル絵の具で色を塗るとききれいです。

スチロール球におもりを入れるときは、中の発泡スチロールをかなりほじくり出す必要があります。

「直径 51 センチのスチロール球」というのがあるらしいので、
もしかしたら、それが太陽模型に使えるかも・・・。

完成だけど・・・

まだ「30 億分の 1 太陽模型」はできていませんが、あとは完成
です。しかし、できてみても、地球のおもさだけがやけに印象に
残っています。授業書には、「1 億分の 1 地球模型」も出てきます。
今度は、これを作ってみましょう。

・ 10 億分の 1



愛知教育大学

<http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/syotou/syo1/taiyoukei/taiyoukeimokei.htm>

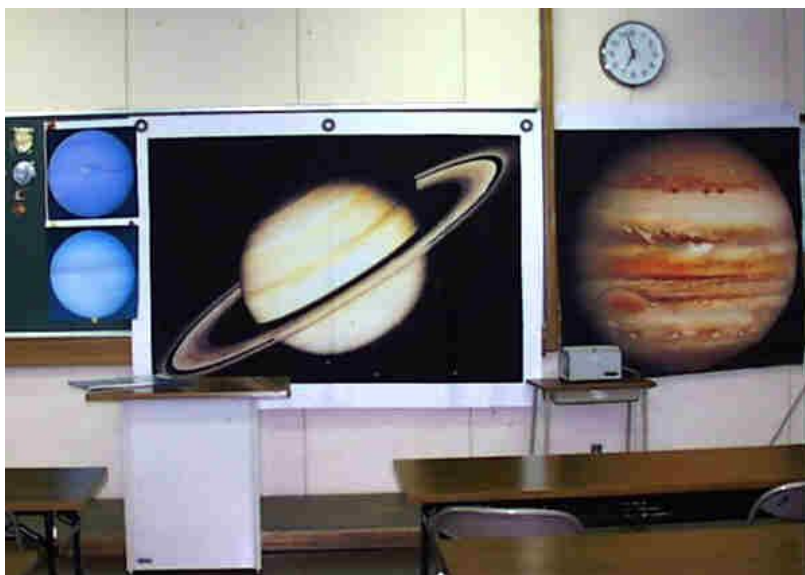
土星の輪の作り方がおもしろい。

【問題】

「1億分の1地球模型」は、直径が13センチとなります。では、このサイズでの地球のおもさは、どれくらいになるでしょうか。

予想

- ア 00g
- イ 000g
- ウ もっと重い



ボクの「1億分の1惑星写真」

<http://www.kasetsu.net/Rwakusei.htm>

地球のおもさ

直径 13 センチの地球の体積と密度から重さを計算すると、その重さは 6034g=約 6kg となります。これは密度の大きい鉛を使ったとしてもかなりの量です。もし直径 13 センチの発泡スチロール球を使ったとしたら、かなりの部分をくりぬかなければならないこととなります。これは手間です。



仮説社などでは、「ブルーテラ」という 1 億分の 1 の地球儀を売っています。これは、直径が 12.5 センチですが、使えそうです。

しかし、ボクは最初の「衛星写真地球儀」の「ジオ」という

のを持っています。これは直径 13 センチで、しかも金属製です。これなら、溶かした鉛を直接流し込むこともできそうです。

6 キロともなると、ふつうのつりのおもりではダメです。もっと重いものを探したところ、潜水用の「ウエイトおもり」というのを見つけました。これを 6 キロ分買って、融かします。



融かすのにアルマイトの鍋を使いましたが、強度が足りなかったようで、使っているうちに変形してしまいました。鉛が融ける温度は300度以上ですので、鍋についていた木製の取っ手は取り外して使いました。融かした鉛を水を張った容器に入れた地球儀（半球に分解）に注ぎ込みます。これを二回繰り返して完成です。

完成したものは、片手では持てないくらいのおもさです。「これが実際の地球なんだ」としばし感動した後、職員室へ戻ると、「今度はなにをつくったの」と同僚が集まってきました。そして、みなさん、感激するのでありました。

ボクは、それまで「天体というのは、宇宙空間に浮かんでいるもの」というイメージがあったのですが、実際に「地球」を持ってみると、「こんな重いものが浮かんでいるわけがない」と実感します。実際は、地球は太陽に向かって「落ち続けている」のです。

そして、この「地球」を回転させたところ、実に良く回るので、おもさが慣性質量となり、運動量があるので、なかなか止まりません。地球の自転が止まらないのも納得です。

【問題】

今度は1億分の1の「月」(直径3.5センチ)を作ってみようと思います。この「月」はどれくらいのおもさになると思いますか。

予想

ア g

イ 0g

ウ 00g

エ もっと重い

月と地球

月は地球の4分の1の大きさです。また密度は 3.3 g/cm^3 で、このサイズでのおもさは74グラムとなります。直径3.5センチのスチロール球に、20号のおもりを詰め込むと完成です。持った感じは、結構重たい感じがしますが、6kgという地球の重さにはかきません。この月を地球にぶつけてみても、地球は平気なような感じです。また、月の重さからも、「月は浮かんでいるのではない」というのが実感としてわかります。

ところで、地球の平均密度 5.5 g/cm^3 というのは、身近な物質でいうと、何に当たるでしょうか。岩石は密度の大きいものでも 3 g/cm^3 程度です。つまり、月は「岩石からできている」と考えて

も良さそうです。ということは、「地球は岩石よりも密度の大きいものからできている」ということになります。実際には、地球は岩石と鉄(密度 7.9 g/cm^3)などの金属からできていると考えて良さそうです。

地球と似た密度の例としては、

黄鉄鉱 (5.0 g/cm^3) やダイヤモンド類似石として知られるジルコニア (5.5 g/cm^3) があります。ジルコニアでできた地球を持つてみたいものですが、やはり重さは6キ口あることとなります。





1億分の1地球模型には、「ジオ」や「ブルーテラ」よりも良いものがあります。それは「スカイテラ」です。スカイテラは、実際の地球と同じく、雲の様子が描かれているので、より本物らしいのです。値段は同じ

ですので、こちらをおすすめします。

実質量模型を作ってみて

「30億分の1」ではたいした感動はありませんでしたが、「1億分の1」サイズの地球には、本当に感動しました。きっかけを与えてくれた板倉聖宣先生、おもりの買い物に尽力してくれた女房に感謝です。また、林秀明さんには、製作の過程をいちいち聞いてもらって、「直径13センチの岩石を用意したらたのしいのでは」などアドバイスを戴きました。そんな岩石もぜひ用意したいと思います。ありがとうございました。

データは『理科年表』より。

計算はイイカゲンです。

先行研究

このレポートを書き終わった後、すでにこうした模型が発売されているのを知りました。それは 1999 年にウチダが発売した太陽系模型でサイズは 7 億分の 1、実質量です。



【価格】

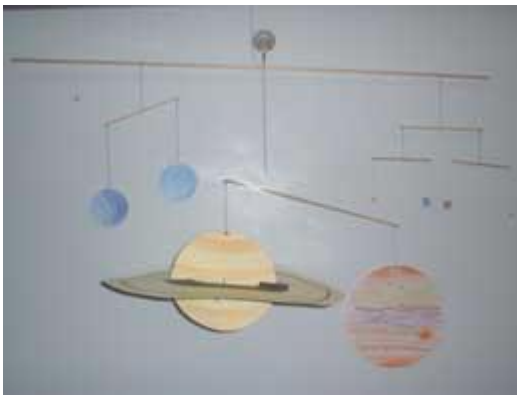
A セット：水星・金星・地球(月)・
火星・木星 7,5000 円

B セット：(地球)・土星・天王星・
海王星・冥王星 9,5000 円

このサイズでは、地球は直径 18mm、10g、土星は 165mm、950g となっています。

また、「星の子館」では、「発泡スチロール球に惑星写真から作った紙を貼り付けて模型を作る」というのが公開されています。これはリアルですが、作るのが面倒くさそうです。

<http://www.city.himeji.lg.jp/hoshinoko/kansoku/crafts/planet.html>



このサイトには、「太陽系モビール」も紹介されています。これはおもしろいです。

大分市の関崎海星館では、「太陽系の惑星模型時計を作ろう!」というのをやっ

ています。「太陽系の惑星の模型を作り，文字盤の上に並べて壁掛けの時計を作ります」とのことですが，実物を見てみたい・・・。

おまけ 「地球磁石の製作」

ボクは，授業の時は，いつも1億分の1地球模型「ジオ」を磁石で黒板に貼り付けて使っています。「ジオ」は鉄製なので，こういう使い方ができたのです。でも「ジオ」の後継として現在売られている「ブルーテラ」などは，紙製ですので，簡単にはいきません。そこで，ブルーテラの内部にネオジム磁石を入れてやると，ジオと同じように使えることがわかりました。ブルーテラやスカイテラは，両極に穴が空いているので，そこから入れることができるのです。

そんなことをしているときに，「これは地球磁石になる」と気がついたのです。宗像利忠さんが発泡スチロールの球の中に大きなフェライト磁石を入れて「地球磁石」にしていたのを思い出しました。そこで，ブルーテラの両極にネオジム磁石を北極がS極で南極がN極になるように入れれば，実際の地球と同じ磁場を持つことになると思ったのです。

しかし，この方法では，赤道付近の磁場が弱く，方位磁針がうまく動きませんでした。そこで，今度は12センチのねじを買ってきて，その両端にネオジム磁石をつけたものを地球の心棒としてみました。これは，うまくいきました。ものすごく簡単に「地球磁石」ができてしまいました。

この方法は，発泡スチロールでもできるでしょう。発泡スチロールにドリルで穴を開けて，磁石のついたねじを入れるだけです。

<http://www002.upp.so-net.ne.jp/freespace/syumitanikanzan.htm>

<http://www.nissin.ecweb.jp/omori.html>