

1. 最初にやること

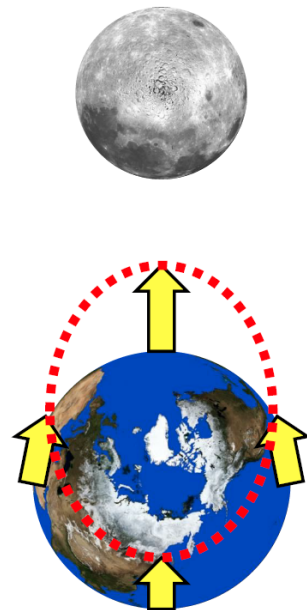
- Windowsへのログイン
- Linuxへのログイン
- Linux上のブラウザでこのドキュメント <https://goo.gl/6pkwDj> にアクセス
- Linuxの適当な場所に「DC2017」ディレクトリの作成
- https://free.filesend.to/filedn_infoindex?rp=2e3b100527d53261d31c37388abe1e80 から「tide4n.f」「SORTED.DAT」「Kyoto-A.dat」をLinux上でダウンロードし、「DC2017」ディレクトリに入れておく

2. 潮汐とは何か（2015年DC測地の資料より）

潮汐（固体地球潮汐）とは？

3

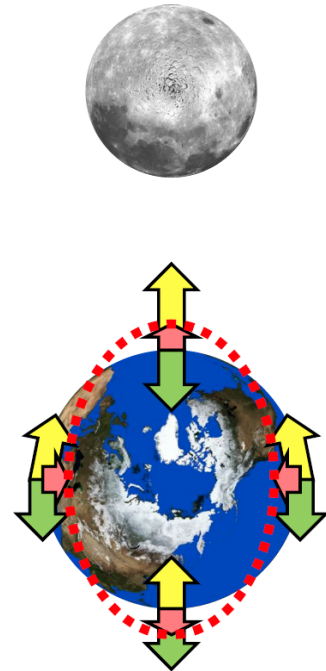
- 知恵蔵2015：地球と他の天体が接近・離反する時、相互の引力の働きで、引き起こされる固体地球の変形。地球内部は、近似的には弾性体なので外力で変形し、それがジオイド面の変化(地面の傾斜や鉛直線方向の変化)となって表れる。
- 右図は波数1の潮汐変形。



半日周の分潮が生じる理由

4

- 潮汐は異なる周期の波の重ね合わせ → 1個1個を分潮という
- (月による起潮力) = (月の引力) + (月との公転に伴う遠心力) を考えると、波数が2に
- しかも地球は1日に約1回自転しているので、ある地点では起潮力の極大 (→満潮) と極小 (→干潮) を2回経験する



潮汐に伴う重力変化

5

- 潮汐の効果ポテンシャルを使って議論すると、潮汐変動に伴う重力変化は以下のように書ける

$$\Delta g_{Earth} \propto \left[1 - \frac{n+1}{n} k_n + \frac{2}{n} h_n \right] \cdot \frac{nV_n}{a} \equiv \delta_n \cdot \Delta g_{rigid,n}$$

- n は潮汐ポテンシャル V の展開次数 (※分潮の次数とは別物)、 $\Delta g_{rigid,n}$ は地球が剛体の場合の重力変化、 δ_n は地球が弾性体の場合の重力増大率 (= δ ファクター)
- 潮汐ポテンシャル V の主要項 $n=2$ を考えると、 $\delta_2 \sim 1.16$ となる

実際に地球で起きる潮汐変形

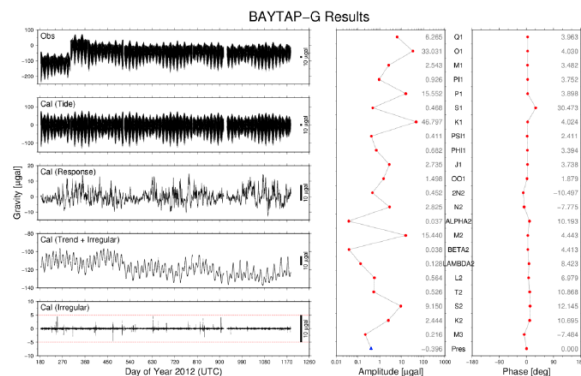
6

- 天体由来の起潮力に伴う地球の変形 (**固体地球潮汐変形**) は非常に正確に計算できる
- しかし、地球は弾性的かつ粘弾性的で、構造の不均質も存在する → δ ファクターは場所によってわずかに異なり、天体公転との時間差 (位相ずれ) も生じる
- 特に、海の潮位変化に伴う固体地球の副次的な荷重変形を **海洋潮汐荷重変形** という

潮汐補正：超伝導重力計の場合

7

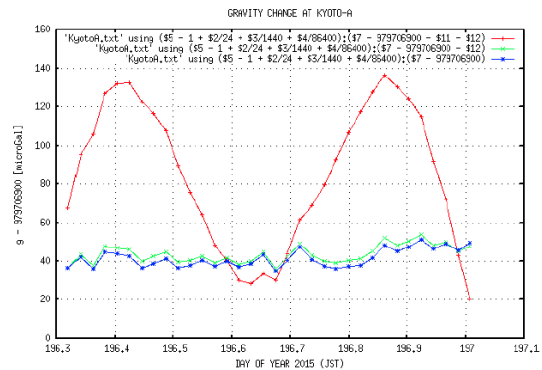
- 重力変化 (つまり潮汐変動) を連続的に観測可
- 各分潮の周期は既知なので、各分潮の振幅と位相ずれをfitting等により求めればよい
- 有名なソフトウェアが BAYTAP (天文台水沢)



潮汐補正：絶対重力計の場合

8

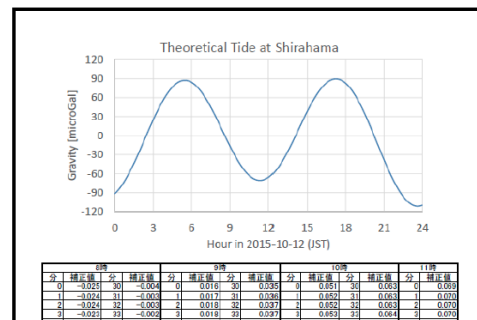
- 器械上の制約から連続観測しづらい
- 固体潮汐 (~百 μGal) は理論計算によって補正
- 海洋潮汐 (~数 μGal) は海洋潮汐モデルを用いて補正: 有名なのがNAO.99b (天文台水沢)



潮汐補正：相対重力計の場合

9

- 主に移動観測に用いるため、連続観測や海洋潮汐モデル計算もしづらい
- 固体潮汐+海洋潮汐の重力変化の経験値から、 $\delta \sim 1.2$, 位相ずれ0を仮定して固体潮汐予測ソフトで計算: 有名なのが tide4n (天文台水沢)



3. 今日やること

- とりあえず tide4n を動かしてみる
 - cd DC2017
 - gfortran tide4n.f -o tide4n.out
 - ./tide4n.out < Kyoto-A.dat
 - Kyoto-A.dat の設定に合わせて、2017292.txt というファイルができた。
- 2017292.txt を Gnuplot でグラフ化
 - gnuplot
 - plot '2017292.txt' using 4:5 with line
 - set grid; set xtics 3
 - replot
 - set xlabel 'Hour in 2017/10/19 (JST)'
 - set ylabel 'Gravity [microGal]'
 - set title 'Tidal Gravity Change at Kyoto-A'
 - replot
 - set key left bottom
 - replot
 - set terminal postscript enhanced eps color
 - set output 'Kyoto-A_2017292.eps'
 - replot
 - exit
- Kyoto-A.dat のかわりに任意の .dat ファイルを作る ... 潮汐を求めたい場所・時刻は自分で設定する → その .dat ファイルを用いて tide4n を回し、描画およびグラフのファイル出力をやる
 - 緯度・経度を得たい場合には Google Map でよい
 - 同時に高さを得たいなら、地理院の地形図がおすすめ
 - <https://maps.gsi.go.jp/>
- 任意の場所・時刻の潮汐重力変化を、実際の潮位と比較してみる
 - <http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>
 - 自分の選んだ任意の点に最も近い潮位観測点を選択
 - 自分の計算した年月日のグラフを出力
 - 自分で計算した潮汐重力変化と変化の形状が似ているかを確認する
 - → 外海では重力と潮位がよく合うものの、内海（日本海を含む）では振幅や位相にずれがあった ... おもに起潮力に対する海水の応答に時間がかかるためと考えられる

4. レポート課題

- 【基本のレポート】 白浜の新旧観測棟館で実施した重力測定についてレポートし、重力測定で得られた重力差を水準測量で得られた比高を比較せよ
 - 一般的なレポートのフォーマット（目的・方法・結果・考察・まとめ・参考文献、など）に従い、重力データ解析の授業で行った内容を

まとめること（次回12月6日の重力データ解析の回ですべてを網羅できるはずです）

- 特に考察では、「重力測定と水準測量の結果を一致させるためにどのような点を考慮する必要があるか」を中心に述べよ（緯度に伴う重力変化の寄与、重力異常の効果、用いる重力勾配定数について、など）
- 【発展的なレポート】 tide4n.f あるいは *.dat を書き換えて、任意の場所・年月日における各分潮（Q1からM4までの短周期潮汐23分潮）の潮汐重力変化を計算する（→ヒント①）。その上で、各分潮の振幅を計算し、振幅が大きい分潮ベスト4を探す。この4つの分潮の角周波数(deg/hour)および周期(hour)を示したうえで（→ヒント②）、これらの分潮が発生する要因を述べよ（→ヒント③）。
 - ヒント①： *.dat ファイルのパラメーターで、特定の分潮のデルタファクターだけを1.2にして、それ以外を0に設定すれば、特定の分潮の重力変動のみを出力することができる。
 - ヒント②： 周期 T が24時間を超えるような分潮（例えばQ1など）では、1日ぶんの計算で1周期の潮汐重力変化を網羅できない。この場合には、半周期の潮汐重力変化から T/2 を求め、それを2倍すれば周期を知ることができる。（あるいは、計算する時間を長めに設定してもよい。デフォルトでは NUM = 1440にしているが、これを例えば 2880にすれば2日間の重力変化を計算できる。）
 - ヒント③： 今回は tide4n の計算対象から外れているが、例えばMm分潮（周期27.32日）は月の公転によって生じる分潮である。また、Sa分潮（周期365.24日）は地球の公転によって生じる分潮である。
- 風間のメールアドレスにPDFを添付する形で提出してください。提出期限は2018年1月4日（木）正午までとします。

5. 参考になりそうなサイト

- 測地学テキスト <http://www.geod.jpn.org/web-text/>
 - 2-3-3 潮汐
 - 2-3-3-1 分潮
 - 2-3-3-2 ラブ数・志田数
-