

# 地球慣性モーメントの変化と $\Delta T$ の変動

谷川清隆、相馬 充 (国立天文台)

## §1. 問題意識

地球自轉變動  $\Delta T$  はわかりにくい概念である。それだけでなく、変動が精度良く捉えられていない。永年部分を除くと、数十年、数百年尺度の変動があることが期待されるが原因は未知である。知られた天文現象、地球物理現象に結びつかない。自分達なりに考え直してみる。

地球が剛体なら、月の潮汐加速は地球自轉變動に直接反映する。すなわち、月が地球との潮汐相互作用によって遠ざかり、軌道角運動量を獲得すれば、その分の角運動量が地球自転から失われ、地球の自転速度が減少する。地球が大気、海洋、地殻、マントル、流体核、固体内核などの異質な成分から構成されるために、地殻の表層に住むわれわれが経験する地球自轉變動は、地球全体の自轉變動の一部であって、月の潮汐加速を直接反映しない。

数百年、数千年の時間尺度において、月の潮汐加速と地球自轉變動の関係が乖離していることの原因に関して有力な説は出されていない。地球物理学的な時間尺度と人類の歴史の時間尺度が違いすぎるからとも考えられる。あるいは、人間歴史の時間尺度の天文あるいは地球物理的な現象を見つける努力がなされていない可能性もある。剛体でない地球の、自転に関する一番大きな自然現象は、氷期・間氷期サイクルである。これは人類の書かれた歴史時間尺度の10倍以上長い。

数万年の尺度 (ミランコビッチサイクル) で地球の慣性モーメント変動に直接影響する現象は、極域における氷床の消長である。数百年、数十年の尺度で氷床の量が変動することは確かめられていない。現在北極海の氷が解けているが、これが数百年尺度の周期的な現象なのか数千年尺度の周期的な現象 (これは歴史的には永年的な現象と見える) なのかわからない。

本論文では、もっとも単純に、氷床の消長モデルを作って、それに応ずる慣性モーメントの変動、さらには、地球自転速度の変動から  $\Delta T$  曲線のゆれを求めるための努力を行う。

## §2. 観則: 月の潮汐加速と地球自轉變動の関係の乖離

月・地球系の角運動量の内訳を書き下すと、

$$\begin{aligned}
 \text{地球・月系の角運動量} &= \text{地球・月公転角運動量} + \text{地球自転角運動量} \\
 &\quad + \text{月自転角運動量} \\
 &= \text{一定}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

地球と月の自転角運動量の比を求める。地球も月も一様球として扱う。

$$\frac{I_E \omega_E}{I_M \omega_M} = \frac{M_E}{M_M} \left( \frac{R_E}{R_M} \right)^2 \frac{\omega_E}{\omega_M} = 81.3 \times \left( \frac{6380}{1740} \right)^2 \frac{27.3}{0.9973} \simeq 3.0 \times 10^4$$

有効数字3桁の議論をする限り、月の自転角運動量は無視できる。このとき、系の公転角運動量の増減が地球自転角運動量の減増と連結していることがわかる [1, 2]。月が遠ざかると、地球・月系の公転角運動量が増えることを確認してほしい。

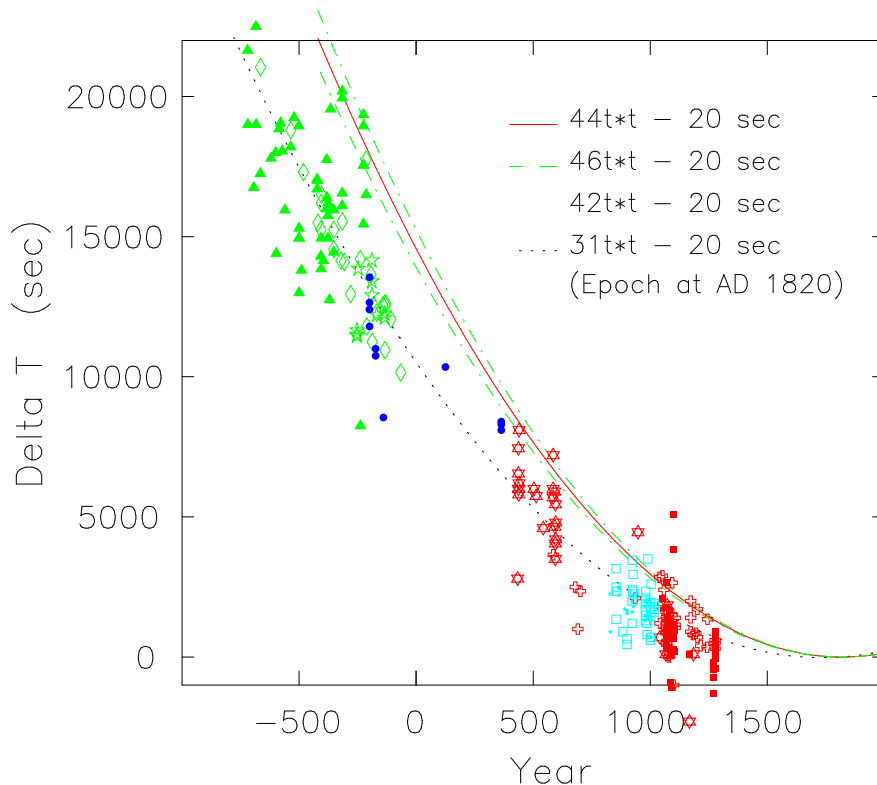


図 1: 地球自転時間の遅れ  $\Delta T$  の長期傾向。各種の点は Stephenson[3] より。

本節では、観測資料を紹介する。図1が観測結果である。さまざまな色の点は日月食から求めた  $\Delta T$  である。とくに、-500年あたりを中心とする緑点は、Stephenson[3] が解析したバビロニアの月食からの  $\Delta T$  である。ひとつの月食から複数の値が得られており、それらが大きなばらつきを持っていることを指摘しておく。

この図での焦点は、4本の曲線である。月の後退速度の現在値が月レーザー測距によって与えられている。赤の曲線は、月の後退速度の現在値が過去にも当てはまるとして延長した月の

潮汐加速度が地球自転に直接反映するとして算出した  $\Delta T$  曲線である。それを挟む2本の破線は潮汐加速係数が2秒/(世紀)<sup>2</sup> 大きい方へ、また小さい方へずれた場合の  $\Delta T$  変動曲線である。Soma&Tanikawa[4]は、過去、1000年以上にわたって、潮汐加速係数のずれが2秒/(世紀)<sup>2</sup>以内であることを示した。だから、もし、式(1)の第二項の変動がわれわれの観測する  $\Delta T$  ならば、図1の点達は赤い曲線のまわりに分布するはずである。

以上で3本の曲線に関する説明は済んだ。次は、古代や中世の日月食から求めた  $\Delta T$  の値である。図1のさまざまな色の点は、ひとつひとつの日食、月食から求められた  $\Delta T$  の値である。月食の場合は時刻観測であるので、第一接触から第四接触まで4つの時刻が与えられる。横軸(年)が同一の4点(三角や星印)は同じ月食の4つの接触データから得た  $\Delta T$  である。一方、日食の場合はひとつひとつの点がひとつの日食に対応する。日食も場合によっては時刻観測があるので、横軸(年)が同一の複数個の点は同一の日食に対応する。時刻のない皆既食の場合は、皆既帯の中央に位置するとして  $\Delta T$  を求めた。

点の分布に最も良く合う2次曲線が黒の点線である。過去2000年の間、平均的に、この曲線に沿って  $\Delta T$  が変化してきた。赤の曲線と黒の点線の差は何によるか?これがわれわれの問題である。すべてが地球の慣性モーメントに起因するならば、たとえば、紀元前500年の段階で、剛体地球に比べて、現実地球の慣性モーメントが大きいことを意味する。詳しく言うと、現実地球のこの2500年の間の  $\Delta T$  変化は剛体地球の場合に比べて小さい。すなわち、自転の遅くなり方は少ない。現在の時点において、現実地球と剛体地球の慣性モーメントは同じであるから、2500年前は、現実地球の慣性モーメントは剛体地球に比べて大きい。

剛体地球を標準とすると、過去に向かって地球の慣性モーメントが剛体地球より増加した。これを氷床の減少による赤道部の海水増加とするシナリオを今後吟味する。

## 参考文献

- [1] Tanikawa, K. and Sôma, M.: 2004,  $\Delta T$  and the Tidal Acceleration of the Lunar Motion from Eclipses Observed at Plural Sites, *Publ. Astron. Spc. Japan* **56**, 879 – 885.
- [2] 谷川清隆, 相馬 充: 2011, 「歴史天文学, ときどき歴史」, 天文月報 104 巻 7 号 (2011 年 7 月号), 343 – 353.
- [3] F. R. Stephenson: 1997, "Historical Eclipses and Earth Rotation", Cambridge University Press.
- [4] M. Sôma, K. Tanikawa, K.-A. Kawabata, 2004, "Earth's Rate of Rotation between 700 BC and 1000 AD Derived from Ancient Solar Eclipses", *Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: from milliseconds to microseconds*, Journées 2003, Edited by A. Finkelstein and N. Capitaine, pp. 122-127