

中国・日本の古代日食から推測される地球慣性能率の変動

河鱈公昭¹, 谷川清隆², 相馬 充²

¹: 名古屋大学 (名誉教授), ²: 国立天文台

Time variation of the moment of inertia of the Earth derived from Chinese and Japanese records of ancient solar eclipses

Kin-aki KAWABATA¹, Kiyotaka TANIKAWA² and Mitsuru SÔMA²

¹: Nagoya University (Emeritus Prof.), ²: National Astronomical Observatory
kawabata-nagoya@jcom.home.ne.jp

Abstract

Time variation of the Earth's rate of rotation from BC 709 through AD 975 is obtained from Chinese and Japanese records of solar eclipses. Chinese records employed in the present article are the Ch'un-ch'iu 春秋 focused on Lu 魯 affairs, the chronological tables of the Shih-chi 史記 六国表第三 (chap. 15), the Han-shu 漢書 (chap. 27), the Hou-han-shu 後漢書 (chap. 28), San-kuo-chih 三国志 (chap. 4), the Chin-shu 晉書 (chap. 12), the Song-shu 宋書 (chap. 34), Liang-shu 梁書 (chap. 3), Nan-shi 南史 (chap. 2, 6, 7), the Sui-shu 隋書 (chap. 4), the Chiu-t'ang-shu 旧唐書 (chap. 6), and the Hsin-t'ang-shu 新唐書 (chap. 32). Japanese records employed in the present article are the Nihongi 日本書紀 (chap. 22), the Sandai Jitsuroku 三代實録 (the Veritable Records of the Three Reigns 858–887), (chap. 24) and the Nihonkiryaku 日本紀略 (Outlines of the Annals of Japan, Chronicle up to 1036) (chap. 6).

We have selected 31 records of solar eclipses with descriptions of one of words of “total”, “complete”, or “stars were seen” in these Chinese books. Japanese records of candidates of total eclipses employed in the present article are from the list (3 of eclipses in the list appear to be total) by Ogura (1916).

Except a solar eclipse recorded in the Han-shu (chap. 27) as “Chien-chao reign period, 5th year, 6th month, day jen-shen, the last day of the month, a solar eclipse, not complete and like a hook 建昭五年六月壬申晦日有食之不盡如鉤 (BC 34/8/23)”, 33 eclipses are identified with eclipses in the table of Canon of Eclipses by Th. Ritter Oppolzer (translated by Gin-gerich). The longitude of the moon measured from the ascending node of the lunar orbit at the time

of conjunction in solar and lunar ecliptic longitude on BC 34/8/24 is $313.^\circ68$ and then the sun is not eclipsed in the conjunction.

The sun on “Yuan-chia reign period, 30th year, 7th month, day hsin-ch'ou, the first day of the month 元嘉三十年七月辛丑朔” (453/8/20) was eclipsed in the region from South Atlantic Ocean through the Indian Ocean and then the eclipse recorded as “a total solar eclipse and stars were seen” in the Song-shu 宋書 (chap. 34) could not be observed in China. Therefore the eclipse was recorded in the book according to a prediction.

In two eclipses recorded in the Han-shu (BC 2/2/5) and the San-kuo-chih (243/6/5), the sun was totally eclipsed in an area far from the capital at that time but in the Chinese territory.

On tidal term versus ΔT plane ($\Delta T = TT - UT$), we plot an area of parameters which gives total/annular eclipse in the capital of the dynasty. Since the tidal term and ΔT will not change significantly within short period, we expect substantially the same values of these parameters for two successive total/annular eclipses occurring within a period of 60 years. When we plot such belts for two successive eclipses occurring within a period shorter than 60 years, these two belts cross at the tidal term of -13 arcsec/cy^2 . We can clearly see the feature in Figures 17, 21, and 22. The result agrees well with $(-12.94 \pm 0.25) \text{ arcsec/cy}^2$ obtained by Dickey et al. (1994) by LLR (lunar laser ranging). In other cases, two belts are more or less parallel and then we can not determine the tidal term.

In the next, we determine a range of ΔT for pairs of eclipses occurring within a period shorter than 60 years in such a way that ΔT in the range

gives eclipses with features described in these records, when data are available. We have determined ΔT 's for 19 solar eclipses in this way and shown these in Figure 28 by thick vertical lines.

7 eclipses are separated from the others more than 60 years apart and then ΔT are determined from a single solar eclipse and these are shown by thin vertical lines in Figure 28.

Remaining 4 eclipses are recorded as “not complete”. Our calculation for each eclipse indicates that the sun is not totally eclipsed at the latitude of the capital at that time but the magnitude of 3 eclipses among 4 is high. Therefore the descriptions in these books can be justified for these 3 eclipses.

These eclipses are, however, omitted from our analysis because our method can not be applied for these eclipses.

Figure 28 and 29 show ΔT versus year and O – C versus year plot of our results, respectively. Here C means the parabolic fitting by Stephenson (1997). The solid curve in Figure 28 shows the tidal components ΔT_{tidal} of ΔT , for the tidal term of $-13.0 \text{ arcsec/cy}^2$ obtained by Stephenson (1997). The long dashed curve in Figure 28 is the one obtained by a parabolic fitting by Stephenson (1997). For a convenience of comparison of our results with Stephenson's one, his spline fitting is also shown by a short dashed line. These figures show irregular variation of ΔT with a time scale of 600–1000 years is added to the parabolic line (long dashed curve).

Nontidal components of ΔT , $\Delta T_{\text{nontidal}} = \Delta T - \Delta T_{\text{tidal}}$, are due to variations of the moment of inertia of the earth. Suppose that glaciers in polar regions melt and then the sea level rises by 1 m. When we take into account that the total area of the sea is $2/3$ of the earth surface, the total mass of melted ice becomes 3.5×10^{20} gr.

Putting the radius of the earth to R , we adopt an approximation that the mean square distance of the mass from the rotation axis of the earth is $\frac{2}{3}R^2$. We assume that the mean square distance of glaciers before melting is negligibly small comparing with $\frac{2}{3}R^2$. Then the increase of the moment of inertia of the earth is by a factor of 10^{-7} when the sea level rises 1 m due to melting of glaciers. The length of the day increases by 10 ms in this case. Supposing that the sealevel continues to rise over 1000 years in a constant rate, ΔT increases by 30 min. Therefore, the variation of the sea level due to the variation of atmospheric temperature in the polar region is a probable cause of the variation of the length of the day in hundreds of years or in a millenium.

1 はじめに

Stephenson (1997) によると地球の自転が潮汐の影響で減速するとの考えは Immanuel Kant により 1754 年に提出されている。Kant の推定した減速は現在の値の 2000 倍に相当するが、考え方は基本的には同じである。地球の自転周期が一定のレートで長くなると、地球の自転周期で決めた時刻系による月黄経の表式に θ^2 (θ は任意のエポックから数えたユリウス世紀 36525 日) に比例する項が付け加わり、月黄経の永年加速と呼ばれた。その値が約 10 arcsec/cy^2 であることは既に 18 世紀の中頃に知られ、月黄経は 200 年で 10 arcsec の四倍の 40 arcsec だけ進み、2000 年後には 400 倍の 4000 arcsec 進む計算になる。

Laplace は 1786 年に惑星の重力により地球軌道の離心率が減少することに伴い月黄経が $11.135 \text{ arcsec/cy}^2$ の割合で減少することを示し、Adams は 1853 年に Laplace の計算の精度が不十分であることを指摘し、その値を 5.78 arcsec/cy^2 に修正した。Chapront (1983) によるこの理論値は $6.0643 \text{ arcsec/cy}^2$ となっている。19 世紀の中頃になると春分点に永年加速が見つかり、Hansen (1857) は 1.1 arcsec/cy^2 の数値を得ている。月黄経の永年加速の観測値には春分点の移動によるものが加わっているので、これを差し引いたものが恒星系に対する月黄経の永年加速になる。春分点の永年加速の最近の値 (Lasker 1986) は $1.112 \text{ arcsec/cy}^2$ である。

Oppolzer (1887) は Hansen (1857) の月要素と Leverrier (1858) の太陽要素を使って、BC 1208 年 11 月 20 日から AD 2161 年 11 月 17 日までの 8,000 回の日食と 5,200 回の月食を記載した Canon der Finsternisse を発表した。この日食表では 1258 年 11 月 28 日で終わっている一つのサロス周期の後に続く数回の極を僅かにかすめるだけの日食と数回の月食が脱落していることが知られているが、これを除くと完全な日月食表になっていると云われている。この脱落は当時の月の運行式の不完全さに起因している。

その後、Ginzel, Cowell, Newcomb, Radau, Fotheringham, Schoch 等により中近東・地中海地域の日食の解析から月黄経の永年加速の研究が精力的に行われ、これらの研究は渡辺 (1979) に詳しく紹介されている。Fotheringham (1920) は歳差の加速以外に月黄経の永年加速として 10.8 arcsec/cy^2 を、太陽黄経の永年加速として 1.5 arcsec/cy^2 を得た。太陽黄経の永年加速が地球自転速度の減衰によるものと考えると、この地球回転の減速は月黄経に太陽黄経の永年加速の 13.4 倍 (恒星年と恒星月の比) の永年加速 $1.5 \text{ arcsec/cy}^2 \times 13.4 = 20.1 \text{ arcsec/cy}^2$ を生じる。これに惑星の影響による 6.0 arcsec/cy^2 を加えた 26.1 arcsec/cy^2 が地球の自転速度の減衰と惑星の影響による月黄経の永年加速になる。Fotheringham が得た月黄経の永年加速は 10.8 arcsec/cy^2 だから、Fotheringham の得た値には、理論的に得られた上記の 26.1 arcsec/cy^2 との差 $-15.3 \text{ arcsec/cy}^2$ だけ未知の加速が加算されていることになる。この差が今日月

黄経の潮汐項と呼ばれているもので、地球・月系の角運動量の保存から潮汐による地球の自転の角運動量の減少に伴って起こる月の角運動量の増加によるものである。Spencer Jones (1939) は 1680—1939 の期間の月・太陽・水星・金星の平均黄経の不規則的変動が同期し且つこれらの天体の平均運動に比例していること、太陽・水星・金星の永年加速が月の永年加速に比例することを示し、上記の考えが正しいことを実証した。

月の平均距離を r 、公転運動の角速度を n と置くと、ケプラーの第三法則 $n^2 r^3 = \text{const.}$ の時間微分により、

$$\frac{\dot{r}}{r} = -\frac{2}{3} \frac{\dot{n}}{n}$$

が得られる。この式に月の距離は $r = 3.84 \times 10^8$ m、及び月の平均運動 $n = 1.732 \times 10^9$ arcsec/cy を代入すると、 \dot{n} の単位を arcsec/cy²、 \dot{r} の単位を m/cy とした時に、 $\dot{r} = -0.148\dot{n}$ が得られる。月黄経の加速 \dot{n} は潮汐項の二倍だから、その今日の値 -13 arcsec/cy² の 2 倍 $\dot{n} = -26$ arcsec/cy を代入すると、月が 3.85 m/cy の割合で遠ざかっていることが判る。これは 1 恒星月の長さが、0.038 sec/cy の割合で伸びることを示す。これは BC 700 から現在までの恒星月の伸びが 1.0 sec に過ぎないことを示す。

他方 20 世紀の中頃には、水晶時計の時刻精度が天文観測から決める時刻精度を上回るようになった。こうして 1952 年の IAU 総会は世界時 (UT) に地球回転の永年減速の補正を行った暦表時の採用を決定し、次いで 1967 年に原子時計により決まる SI 秒が時刻単位として用いられるようになった。一般相対論によるとあらゆる座標系で共通して使える時刻系は存在しない。そこで SI 秒と合う地球中心の座標系で一般相対論の使える時刻系としての力学時 (TT) と太陽系中心で使える力学時が使われるようになった。

以来、日月食・掩蔽の計算は潮汐項と $\Delta T = \text{TT} - \text{UT}$ をパラメータとして行われるようになった。ところで、 ΔT のかなりの部分は潮汐効果による部分 ΔT_{tidal} なので、潮汐項と無関係に独立に指定される量 (直交関係の量) は $\Delta T_{\text{nontidal}} = \Delta T - \Delta T_{\text{tidal}}$ となる。Stephenson (1997) は Christodoulidis et al. (1988) が月・地球系の角運動量の保存則を基にして得た月の潮汐加速 \dot{n} と地球回転の加速 $\dot{\omega}_T$ の間の経験的關係式

$$\dot{\omega}_T = (+49 \pm 3)\dot{n} \text{ arcsec/cy}^2$$

を採用し、潮汐項を -13 arcsec/cy² とした時に得られる

$$\Delta T_{\text{tidal}} = (44 \pm 2)t^2 - 20 \text{ sec} \quad (1)$$

を用いている。ここで t は 1820 年をエポックとしたユリウス世紀を表す。 $\Delta T_{\text{nontidal}} = \Delta T - \Delta T_{\text{tidal}}$ は地球の慣性性能率の変化によると思われる。

1969 年のアポロ 11 号による月探査の際に宇宙飛行士アームストロングが月面にレーザー測距用の反射鏡を設置して以来、潮汐項はレーザー測距により求められるようになった (Calame and Mulholland 1978)。

Calame and Mulholland が得た潮汐項は (-12.3 ± 2.5) arcsec/cy² で Fotheringham, Spencer Jones の得た値と誤差範囲で一致している。Dickey et al. (1994) による潮汐項の値は (-12.94 ± 0.25) arcsec/cy² で、誤差範囲も大分小さくなった。

2 東洋の日食の解析

東洋の古代日食記録の解析は多分小倉 (1916) が最初であろう。小倉は Oppolzer の月位置を採用し、628 年—1183 年の期間の日本の日食記録の検証を行い、数多くの日食・月食について観測事実でなく予測により執筆されていることを指摘している。又皆既日食と記されている 628/4/10, 873/7/29, 975/8/10 の三つの日食については、Hansen, Oppolzer, Ginzel, Cowell, Newcomb, Radau の月要素を使って、採用月要素による食尽時刻・食分の差を論じている。

その後、1940 年に東方文化京都研究所 (後の京都大学人文科学研究所) の暦算研究室長の能田忠亮氏の尽力で設けられた臨時東洋暦術調査会の事業として東洋の日食表の作成が企画され、渡辺敏夫氏が委嘱されている。渡辺 (1979) は Schoch の月要素を用いて、BC 801—AD 1900 の期間に 100°E—150°E, 10°N—50°N の地域で起った皆既食・金環食・皆既金環食 823 回総てを含む日食要素表・中心食帯表・中心食帯図を作成し、更に中国・日本・朝鮮の歴史書に記載された日食の夫々の観測地点に於ける食尽・食分を計算した。この研究成果は戦時中の為出版されないままとなり、一部がその後渡辺氏の所属した商船大学の研究報告として印刷された程度に留まっていた。渡辺氏の研究成果はその後 1979 年に至り雄山閣から出版され、1994 年にその複製版が出版されている。

日本・中国・韓国の歴史資料に掲載された日食に関する食尽・食分の計算はこの他に鈴木 (1942)、内田 (1975)、斉藤・小沢 (1992) に掲載されているが、何れも 20 世紀初頭の論文で採用された計算方法に従ったもので、その後の天文学の進展は考慮されていない。

最も大きな問題は地球の自転速度はこれらの論文で仮定されているように、一定の比率で減速しているものではないということである。暦表時及び SI 秒 (原子時) の一日は 19 世紀中頃の一日に合わせられている。従って暦表時や原子時が導入された頃の一日の長さは原子時の一日より大分長くなっている。そこで実用時刻系としては SI 秒が進むが「うるう秒」を必要に応じて挿入し地球の太陽に対する自転角を略す協定世界時が使われるように変わった。図 1 は 1920 年以來最近までの ΔT をプロットしたものである。この図を見れば実際の ΔT の変動が一定比率の日の長さの増大とは程遠いことが判ると思う。

地球回転の不規則的変動に関して最近の例を上げると 1985 年頃迄の約 20 年間は毎年の様に「うるう秒」が挿入されていた。これは 1965—1985 年の一日が 19 世紀中頃の一日より約 1/365 秒長くなっていたことを

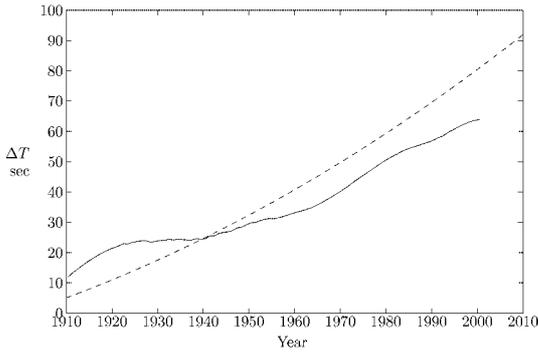


図 1: 1910 年以後の ΔT (理科年表による). 破線は Stephenson (1997) の得た parabola 近似.

示す. それが 1985 年を過ぎると「うるう秒」が挿入されることが少なくなった. これは最近の一日が 19 世紀の一日に逆戻りしつつあることを示している.

20 世紀初頭迄の論文は月黄経の永年加速 (年に比例する速度の増加) を求めることを眼目としたもので, 紀元前・西暦 1000 年前後・19 世紀の月平均黄経を世界時の二次式で表したものである. これらの研究は力学で定義されている時刻系 (力学時) を観測から探し出すと云う目的からは大変有意義だった. 然しながら, これらの計算式は永年加速に付け加わる地球自転の不規則的変動を含まず, 与えられた世界時での月の正しい位置は与えない. 従って本来, 計算と合うかどうかで古書を評価する議論とは馴染まないものである.

図 2 は Stephenson (1997) に掲載されているパピロニア・ギリシャ・アラブの時刻の記載された日月食の ΔT をプロットしたものである. これらのデータは 19 世紀中頃から 20 世紀初頭までの研究に使用されたものと同じではないが, これらの地域のデータには西暦元年頃からアラブの観測の始まる 9 世紀までのデータが欠落していることが判る. Fotheringham が扱った日食は BC 1063, BC 763, BC 648, BC 585, BC 463, BC 431, BC 310, BC 129, 29, 71, 364 である. 渡辺 (1979) によると, Oppolzer の共同研究者である Ginzel の研究では Oppolzer の使った紀元前のデータが除かれ, 採用されたのは 71, 590, 733, 840, 878, 891, 939, 968, 1030, 1093, 1133, 1147, 1178, 1185, 1187, 1191, 1207, 1239, 1241, 1267, 1330, 1386 の日食である. 19 世紀後半から 20 世紀初頭にかけて行われたヨーロッパ諸国の日月食の研究は図 2 の長破線から永年加速を求めたことと略等価である. Stephenson (1997) はこれらのデータに中国の記録によるものも加え, 図の短破線のスプラインを得ている.

谷川・相馬 (2001), Tanikawa and Sôma (2001) は渡辺 (1979) 及び齊藤・小沢 (1992) に与えられている食分が日本書紀の記述と合致しないのは, これらの著書が採用している計算法に問題があることを指摘し, 潮汐項を -13 arcsec/cy^2 , $\Delta T = 2000 \text{ sec}$ 或いは潮汐項を -15 arcsec/cy^2 , $\Delta T = 3000 \text{ sec}$ に取ると推古三十

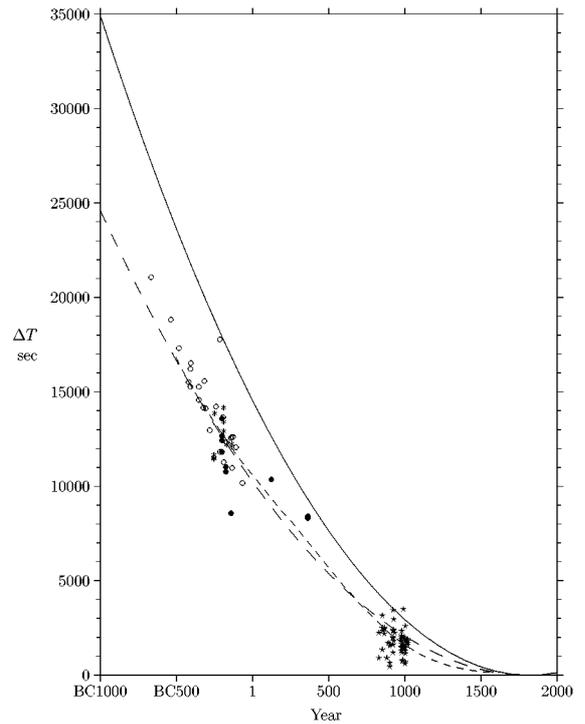


図 2: 時刻の記録されている日月食から求めた ΔT (Stephenson 1997). ○: Babylonia (solar and lunar < 25deg), *: Babylonia (solar > 25deg), ●: Ancient Greek, ★: Arab. 実線: ΔT_{tidal} . 長破線: parabola 近似. 短破線: spline 近似

六年の日食が飛鳥で皆既に近くなることを示した. また, 河鱒・谷川・相馬 (2002) は隋書の煬帝紀に「既」と記載されている大業十二年 (616/5/21) の金環食 (中国の史書では金環食も「既」と記されている) が齊藤・小沢の著書と同じく長安で観測されたものと仮定し, 日本書紀の推古三十六年に皆既と推定される記述がある日食 (628/4/10) が飛鳥で観測されたものとして, 潮汐項を -15 arcsec/cy^2 , ΔT を 3000 sec にと取ると, 夫々の食が金環食及び皆既食に近くなることを示した. 又潮汐項及び ΔT をこの様にと取ると, 日本書紀の推古紀, 舒明紀, 天武紀に記載された日月食の記事が良く説明され又彗星の記事が中国の記録と合うこと, 持統紀に記載されている日食は総て日本では観測出来ないことから総て予測によること, 日本書紀に天文関係の記録が始まる推古紀以降の巻でも皇極・孝徳・斉明・天智の各巻には天文関係の記録が殆ど無く有っても日本では観測出来ないものばかりであることを示した.

日本書紀には用字その他に巻による相違が多々有り, これらによる巻の分類が日本書紀研究者によりなされている. これらの分類と天文関係の記録の相違とを対比させると森 (2000) の分類と一対一の対応が付くことが判った. 森の分類によると, 推古, 舒明, 天武の各巻の特徴は引用歌謡を書くのに音標文字として使う漢字が和音により選択されていることで, 文章には漢文として文法上の誤りや慣用と異なるがもの多い. これ

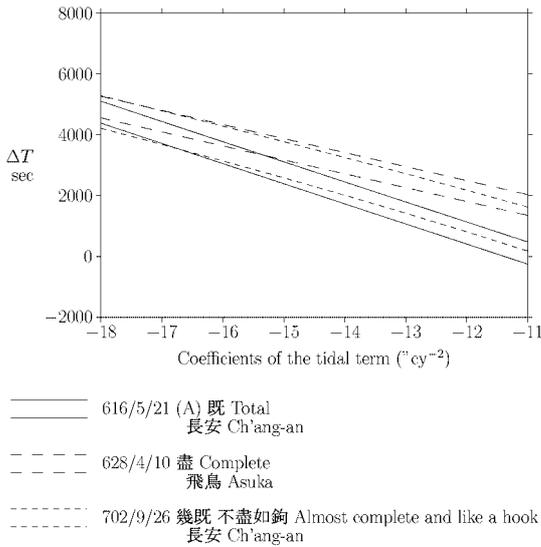


図 3: 図 22 の 616/5/21 の金環食が長安で金環食となるパラメータ領域.

に対して皇極・孝徳・斉明・天智の各巻では唐代の北方中国音により音標文字が選ばれている。又これらの巻の筆者は日本の習慣に疎いところが多く、文章は正格漢文であることから森は渡来中国人と推定している。持統紀には歌謡その他の引用文が殆ど無く、音標文字による分類は不可能であるが、文章が正格漢文であることから、森は筆者は中国人と推定している。

因みに日本書紀の持統紀には「日有蝕之」、皇極紀には「月有蝕之」が有り、漢書以降の中国史書と同じである。他方推古紀・舒明紀・天武紀では「日蝕之」・「日有蝕尽之」・「日蝕」・「月蝕」が使われている。「日蝕」は史記で使われているが、「日蝕之」・「日有蝕盡之」は中国史書に見当たらない。中国史書では「日蝕之」の次には「変」や「咎」などが付き、「日蝕之変」・「日蝕之咎」などの語句として使われ、「日蝕之」が単独で使われている例は見当たらない。中国史書で中心食又はそれに近い場合には「日有蝕之既」・「日有蝕之幾盡」・「日有蝕之不盡」・「日有蝕之幾既」が使われ、「幾盡」・「不盡」はあるが「盡」が単独で使われている例は見当たらない。

河鱗・谷川・相馬 (2002) の問題点は採用した潮汐項がレーザー測距による値と一致しないことである。日月食の計算には潮汐項と ΔT と二つのパラメータが有り、一つの日食では一義的には決まらない。推古三十六年の日食が皆既になるとの条件からは潮汐項と ΔT の面上で一つの帯状の領域が決まる。例えば潮汐項を -13 arcsec/cy^2 , $\Delta T = 2000 \text{ sec}$ と取っても推古三十六年の日食は皆既に近くなり、日本書紀に記載されている天文記事に関しては同じ結論が得られる。然しながらこの場合大業十二年の日食は長安では金環食とは程遠い。

この事情の理解を助ける為に大業十二年の日食が大興(長安)で金環食、推古三十六年の日食が飛鳥で皆既食、長安二年の日食が長安で皆既食となる潮汐項- ΔT

面上のパラメータ領域を図 3 に示す。この場合推古三十六年の日食が飛鳥で皆既になり、大業十二年の日食が長安で金環食になる ΔT は潮汐項を $< -16 \text{ arcsec/cy}^2$ に取らないと存在しない。

そこで我々は、Kawabata, Tanikawa, and Sōma (2003) に於いて、Stephenson (1997) に従って、大業十二年の日食が洛陽で観測されたものとした。図 22 は大業十二年(洛陽)・推古三十六年(飛鳥)・長安二年(長安)の日食が中心食となるパラメータ領域を示したものである。この図を見れば大業十二年の日食と推古三十六年の日食が中心食となる帯域が潮汐項が -13 arcsec/cy^2 でクロスしていることが判る。この上記の論文では潮汐項 $= -13 \text{ arcsec/cy}^2$, $2728 \text{ sec} < \Delta T < 2959 \text{ sec}$ にとると大業十二年・推古三十六年・長安二年の三つの日食の記述と潮汐項のレーザー測距の四つの条件が満足される事を示し、この ΔT の決定法が有力であることを示した。

3 日食記録

本論文では Kawabata, Tanikawa, and Sōma (2003) で採用された方法を BC 700 年から AD 1000 年までの中国の史書に既・盡・星見など皆既またはそれに近いことを示す語の記されている日食並びに小倉 (1916) に皆既食の候補として挙げられている三例に適用し、この間の ΔT の変動を論じる。中国の日食記録の検索には上海人民出版社 迪志文化出版有限公司の文淵閣四庫全書の電子版を使用し、一部の文字は中華書局出版の二十四史に従って修正した。西暦との対応には渡辺 (1979) の復刻版 (1994) を使用した。なお、本論文の日付は Oppolzer の日食表と合わせ、合の時刻の世界時の日付を記した。

本論文では夫々の食の観測地はその王朝の都として解析を進めたので、これらの都の座標を表 1 に掲げる。隋に関しては本論文で取り上げた大業十二年の日食を洛陽での観測結果としたので、表 1 でも隋の都を洛陽と記した。隋の建国以来 9 回の日食が隋書・北史に記録されているが、内 6 回は中国で観測出来ないもので、2 回は洛陽に都を造る前であるが皆既に近いものは無い。

史書に中心食の記録がありながら都で中心食が起こらない場合の中心食帯を図 5-11 に示す

次に上述の条件を満たす日食のリストを記す。ここで、Opp: に続く数字は Oppolzer の日食表で使用されている通し番号である。JD: に続く数字はユリウス日で、日付の干支との対応のために付した。中心食又はそれに近いことを示す記述と括弧で括って夫々の文の出典を記し、又中心食となるパラメータ領域を示す図の図番号或いは中心食帯の図の図番号を記した。又必要に応じて注を付した。皆既にならないとのコメントを付した日食はその王朝の首都の緯度では中心食にならないと云う意味で、 ΔT の値と無関係に中心食にならない。同じ日食に就いて複数の史書・巻に記載されて

表 1: 首都所在地.

国名	首都	経度	緯度
魯	曲阜	117° 3'E	35°39'N
秦	咸陽	108°40'E	34°20'N
西漢	長安	108°54'E	34°16'N
東漢	洛陽	112°26'E	34°46'N
魏	洛陽	112°26'E	34°46'N
西晋	洛陽	112°26'E	34°46'N
東晋	建康	118°48'E	32° 3'N
宋	建康	118°48'E	32° 3'N
梁	建康	118°48'E	32° 3'N
隋	洛陽	112°26'E	34°46'N
唐	長安	108°54'E	34°16'N
日本	飛鳥	135°49'E	34°28'N
日本	京都	135°45'E	35° 1'N

いる場合は必ずしも網羅はしていない。

- BC 709/7/17 Opp: 1176 JD: 1,462,659
桓三年秋七月壬辰朔日有食之既 (春秋左氏傳事類始末附録 災異)
図 12
- BC 601 9 20 Opp: 1449 JD: 1,502,171
宣八年秋七月甲子日有食之既 (春秋左氏傳事類始末附録 災異)
図 12
- BC 549/6/19 Opp: 1582 JD: 1,521,071
二十四年秋七月甲子朔日有食之既 (春秋左氏傳事類始末附録 災異)
図 12
- BC 444 10 24 Opp: 1842 JD: 1,559,549
秦厲共公三十四年、日蝕昼晦星見 (史記卷十五 六國表第三)
同定した日食の Oppolzer 番号は齊藤・小沢 (1992) による。図 13
- BC 198/8/7 Opp: 2402 JD: 1,649,322
高帝、九年六月乙未晦日有食之既在張十三度 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
図 14
- BC 188/7/17 Opp: 2425 JD: 1,652,954
惠帝七年、五月丁卯先晦一日日有食之幾盡 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
図 14
- BC 181/3/4 Opp: 2441 JD: 1,655,376
高后、七年正月己丑晦日有食之既在營室九度 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
図 14
- BC 147/11/10 Opp: 2523 JD: 1,668,045
景帝、中三年九月戊戌晦日有食之幾盡在尾九度 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
皆既にならない。
図 5
- BC 89/9/29 Opp: 2661 JD: 1,689,188
武帝、征和四年八月辛酉晦日有食之不盡如鉤在亢二度免時食從西北日下免時復 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
図 15
- BC 80/9/20 Opp: 2684 JD: 1,692,466
昭帝、元鳳元年七月己亥晦日有食之幾盡在張十二度劉向以為己亥而既其占重孟康曰己土亥水也純陰故食為最重也日食盡為既 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
図 15
- BC 34/8/23
元帝、建昭五年六月壬申晦日有食之不盡如鉤因入 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
合は BC 34/8/24. 合の時の月の黄緯引数は 313.°68 で日食は起こらない。
- BC 28/6/19 Opp: 2813 JD: 1,711,366
成帝、河平元年四月己亥晦日有食之不盡如鉤在東井六度 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
図 16
- BC 2/2/5 Opp: 2879 JD: 1,720,728
哀帝元寿元年正月辛丑朔日有食之不盡如鉤在營室十度與 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
皆既食帯は中国南部で観測地は首都と考えられないので本論文では採用しない。
図 6, 16
- 2/11/23 Opp: 2888 JD: 1,722,115
平帝元始、二年九月戊申晦日有食之既 (前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下)
図 16
- 65/12/16 Opp: 3050 JD: 1,745,149
明帝、永平、八年十月古今注曰十二月壬寅晦日有蝕之既 (後漢書卷二十八 五行志第十八)
図 17
- 120/1/18 Opp: 3184 JD: 1,764,905
安帝、元初、六年十二月戊午朔日有蝕之幾盡地如肪状古今注曰星盡見在須女十一度女主惡之後二歲三月鄧太后崩 (後漢書卷二十八 五行志第十八)
図 17
- 243/6/5 Opp: 3470 JD: 1,809,699
正始、四年、五月朔日有蝕之既 (三国志 魏志卷四)
皆既にならない。観測地が西域と思われるので採用しない。
図 7, 18,
- 306/7/27 Opp: 3611 JD: 1,833,032
晉惠帝光熙元年、七月乙酉朔又日有蝕之既 (宋書卷三十四 志第二十四 五行五)
図 19
- 360/8/28 Opp: 3730 JD: 1,852,788
穆帝、升平四年八月辛丑朔日有蝕之幾既在角凡蝕淺者禍淺深者禍大角為天門人主惡之欽年而帝崩 (晉書卷十二 志第二 天文中 七曜 雜星氣 客星 流星雲氣 十輝 雜氣 史傳事驗)
晉穆帝、升平四年八月辛丑朔日有蝕之不盡如鉤 (宋

書卷三十四 志第二十四 五行五)

図 19

20. 429/12/12 Opp: 3888 JD: 1,878,096

文帝、元嘉六年、十一月己丑朔又日有蝕之不盡如鉤蝕時星見免方沒河北地闇(宋書卷三十四 志第二十四 五行五)

元嘉、六年、冬十一月己丑朔日有蝕之星晝見(南史卷二 宋本紀中第二)

皆既にならないが食分は大きい。中心食帯が河北を通るので記述は正しい。

図 8

21. 453/8/20 Opp: 3942 JD: 1,886,748

元嘉三十年七月辛丑朔日有蝕之既星辰畢見(宋書卷三十四 志第二十四 五行五)

秋七月辛丑朔日有蝕之(南史卷二 宋本紀中第二)

南大西洋・アフリカ・インド洋で見られ、アジアでは見られない日食。

図 9

22. 454/8/10 Opp: 3944 JD: 1,887,103

孝武帝孝建元年七月丙戌朔日有蝕之既列宿粲然(宋書卷三十四 志第二十四 五行五), 日付誤記 [丙申] 孝武帝孝建元年, 秋七月丙申朔日有蝕之既(南史卷二 宋本紀中第二)

図 20

23. 516/4/18 Opp: 4092 JD: 1,909,635

天監、十五年春三月戊辰朔日有蝕之既(南史卷六 梁本紀上第六)

図 21

24. 522/6/10 Opp: 4107 JD: 1,911,879

普通、三年、五月壬辰朔日有蝕之既(梁書卷三 本紀第三 武帝下)

普通、三年、五月壬辰朔日有蝕之既(南史卷七 梁本紀中第七)

図 21

25. 523/11/23 Opp: 4110 JD: 1,912,410

普通、四年、十一月癸未朔日有蝕之太白晝見(梁書卷三 本紀第三 武帝下)

図 21

26. 616/5/21 Opp: 4345 JD: 1,946,193

大業十二年、五月丙戌朔日有蝕之既(隋書卷四 帝紀第四 煬帝下)

図 22

27. 628/4/10 Opp: 4374 JD: 1,950,535

推古三十六年 丁未朔戊申日有蝕尽之(日本書紀 卷第二十二 推古天皇)

図 22

28. 702/9/26 Opp: 4561 JD: 1,977,732

長安二年、秋九月乙丑日有蝕之不盡如鉤京師及四方見之(舊唐書卷六 本紀第六 則天皇后)

長安二年九月乙丑朔日有蝕之幾既在角初度(唐書卷三十二 志第二十二 天文志)

図 22, 23

29. 729/10/27 Opp: 4626 JD: 1,987,625

開元、十七年、冬十月戊午朔日有蝕之不盡如鉤(舊

-441 3 11 TD - UT = 19000.0 sec

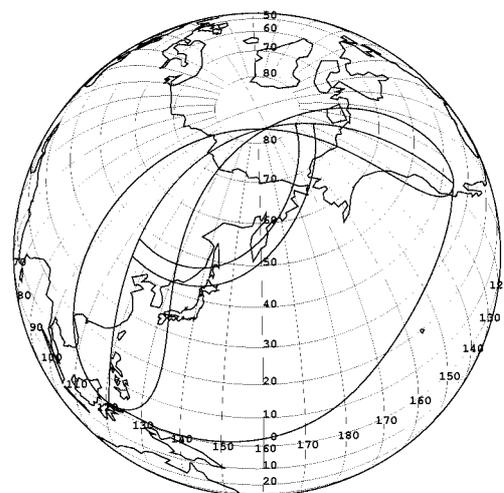
Corr. to tidal term 0.00 "/cy²

図 4: BC 442/3/11 の日食帯。

唐書卷八 本紀第八玄宗上)

開元、十七年十月戊午朔日有食之不盡如鉤在鵝九度(唐書卷三十二 志第二十二 天文志)

図 23

30. 754/6/25 Opp: 4685 JD: 1,996,632

天寶、十三載、六月乙丑朔日有蝕之不盡如鉤(舊唐書卷九 本紀第九玄宗下)

皆既にならないが食分大。

図 10

31. 756/10/28 Opp: 4690 JD: 1,997,488

至德、元年、十月辛巳朔日有蝕之既(舊唐書卷十 本紀第十 肅宗)

食尽是日没に近い。長安では皆既にならないが、北の万里の長城付近で皆既になる。観測地点が都と考えられないので本論文では使用しない。

図 11

32. 761/8/5 Opp: 4701 JD: 1,999,230

上元、二年、秋七月癸未朔日有蝕之既大星皆見(舊唐書卷十 本紀第十 肅宗)

上元、二年七月癸未朔日有蝕之大星皆見司天秋官正瞿曇頓奏曰(舊唐書卷三十六 志第十六 天文下)

図 23

33. 873/7/28 Opp: 4955 JD: 2,040,130

貞觀十五年七月癸亥朔、日蝕無光、虧辰如月初生自午至未乃復(三代實録 二十四 清和)

図 24

34. 975/8/10 Opp: 5184 JD: 2,077,398

天延三年七月一日辛未、日有蝕、十五分の十一、或云皆既、卯辰刻皆虧、如墨色無光、群鳥飛乱、衆星盡見、詔書大赦天下、大辟以下常赦所不免者咸赦除、依日蝕之變也(日本紀略 六 円融)

図 24

-146 11 10 TD - UT = 13000.0 sec
 Corr. to tidal term 0.00 "/cy²

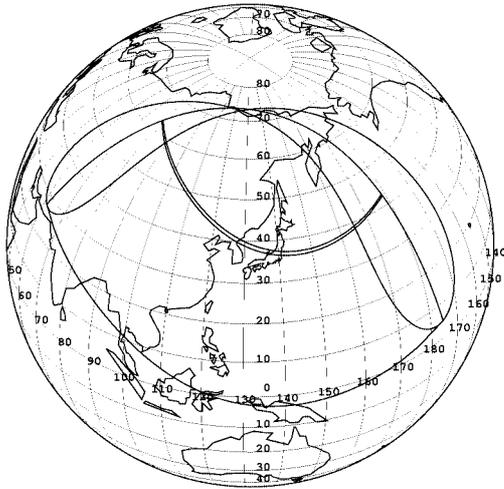


図 5: 漢 景帝 中三年九月戊戌晦 幾盡の日食帯.

243 6 5 TD - UT = 8000.0 sec
 Corr. to tidal term 0.00 "/cy²

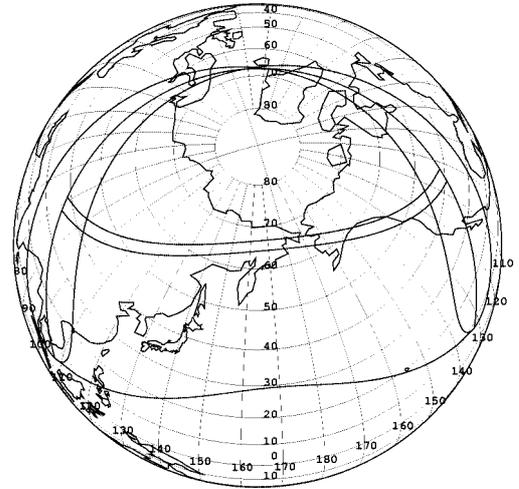


図 7: 魏 正始四年五月朔 既の日食帯.

-1 2 5 TD - UT = 9000.0 sec
 Corr. to tidal term 0.00 "/cy²

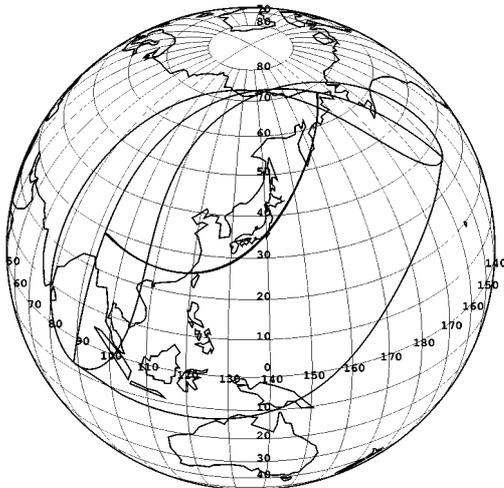


図 6: 漢 哀帝 元壽元年正月辛丑朔 不盡の日食帯.

429 12 12 TD - UT = 7000.0 sec
 Corr. to tidal term 0.00 "/cy²

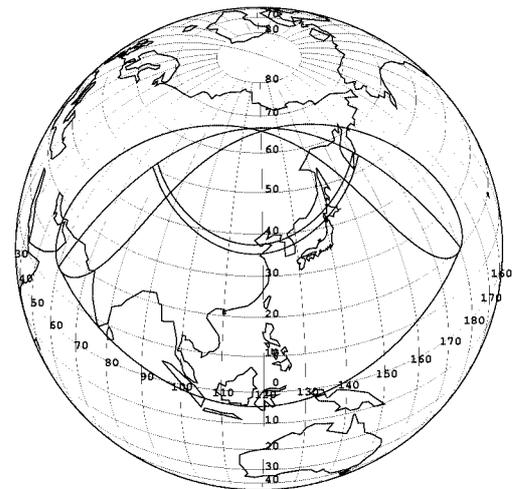


図 8: 宋 元嘉六年十一月己丑朔 不盡の日食帯.

史記には日食の日付が書いてない。中華書局の史記「六国年表」では秦厲共公三十四年 (No. 4) を BC 443 に割り振っているが、BC 443 年には中国で見られる日食が無い。前後では BC 444 と BC 442 に中国で見られる日食があり、斉藤・小沢 (1992) によると、新城新蔵・朱文蹟・渡辺敏夫は BC 442 の日食と同定している。図 4 は BC 442 の日食帯を図示したもので、皆既食帯は中国東北地方で始まり沿海州・北海道・樺太・カムチャツカ半島を通り北極海で終わる日食で、咸陽は通らない。そこで我々は、斉藤・小沢に従って BC 444 の日食と同定した。本論文では皆既食とし扱ったが、史

記には「星見」と有り、皆既で無い可能性も否定できない。従って図 28, 29, 30 の ΔT の範囲は実際より狭い可能性を否定出来ない。

これらの 34 の日食中 Oppolzer の日食表と対応が付かないのは前漢書卷二十七 下之下 五行志第七下之下に記載されている No. 11 の「元帝、建昭五年六月壬申晦 (BC 34/8/24) 日有食之不盡如鉤因入」のみである。日月の合はこの翌日なので、壬申晦と合致しているが、合の時の月の黄緯引数は $313.^\circ 68$ で黄道と白道の交点から 46° 以上離れて居り、日食は起こらない。当時の平均朔望月を使った暦法では晦に食になる可能性は高い。日付の誤写又は誤記とすると、その日が偶

453 8 20 TD - UT = 7000.0 sec
 Corr. to tidal term 0.00 "/cy²



図 9: 宋 元嘉三十年七月辛丑朔 既星辰畢見の日食帯.

756 10 28 TD - UT = 3000.0 sec
 Corr. to tidal term 0.00 "/cy²



図 11: 唐 至徳元年十月辛巳朔 既の日食帯.

754 6 25 TD - UT = 3000.0 sec
 Corr. to tidal term 0.00 "/cy²

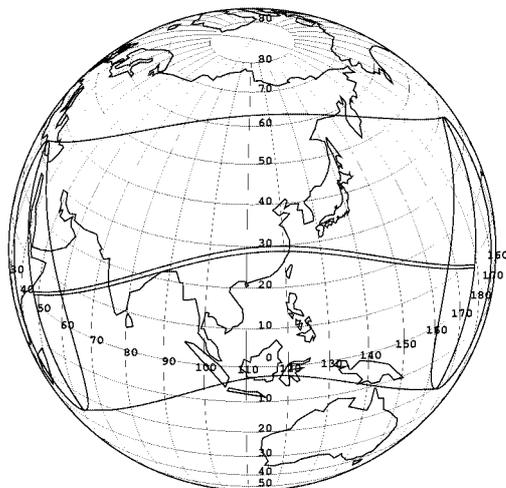


図 10: 唐 天寶十三載六月乙丑朔 不盡の日食帯.

然合の前日に当たる確率は小さい。従って予測で書いたが、当時の暦法の不完全さから皆既食として記録したと考えるのが穏当と考えられる。古代中国では予測されていない日食が起こると天文官は斬首の刑に処される。予測した日食が起こらなかった場合には祈りの成果で日食の咎を免れたと主張出来たので、身の安全の為に日食は多めに予測されている。

残りの 33 例中、中国で日食が見られないのは宋書に記載されている「元嘉三十年七月辛丑朔日有蝕之既星辰畢見」(No. 21) の一例である。この日食は南大西洋・アフリカ・インド洋で見られた日食(図 9)で、中

国では見られない。従って予測で書かれたことは明白である。

「既」又は皆既と判断される記述のある食は 18 回である。「既」と記されていて、都では皆既にならないものは三国志に記載されている「正始、四年、五月朔日有蝕之既」(No. 17) と旧唐書に記載されている「至徳元年十月辛巳朔日有蝕之既」(No. 31) の 2 例である。

三国志の正始四年の金環食帯はタリム盆地から、敦煌付近、ゴビ砂漠、バイカル湖の東を通過してヤクーツク付近からアラスカを経てアメリカで終わる。中国の領域で言えば西域で皆既食が見られた日食である(図 7)。杉本・森(1995)によると、1965 年にウイグル自治区トルファン吐魯番の仏塔の下から仏典と共に、西晋時代と推測される三国志 呉書 孫権伝の残巻が出土し、晋が当時この地域と交流していたことは明らかである。陳壽が三国志を執筆したのが西晋時代の 233-297 と推定され、陳壽の手元に西域の観測記録があったことは十分推測される。従って、三国志の西始四年の日食は西域からの情報によって書かれたと思われる。

唐の至徳元年の日食(図 11)は長安では $\Delta T < 3000 \text{ sec}$ とすると食尽は日没後になる。 $\Delta T = 3000 \text{ sec}$ とすると日没(09:51 UT)時の食分は 0.87、 $\Delta T = 3500 \text{ sec}$ とすると食尽が 09:47 UT でこの時の食分が 0.92 高度が 0.3° で日没が 09:52 UT となる。長安より北の万里の長城付近で皆既になる。この日食は出先からの報告による観測記録と考えられる。

残りの皆既にならなかったことが記述されている 15 例中次の四例は首都では皆既にならない。漢書に記載されている「景帝、中三年九月戊戌晦日有食之幾盡在尾九度」(No. 8)・「哀帝元寿元年正月辛丑朔日有食之不盡如鉤在營室十度與」(No. 13)、宋書に記載されている「文帝、元嘉六年、十一月己丑朔又日有蝕之不盡如鉤蝕時星見免方没河北地闇」(No. 20)、旧唐書に記

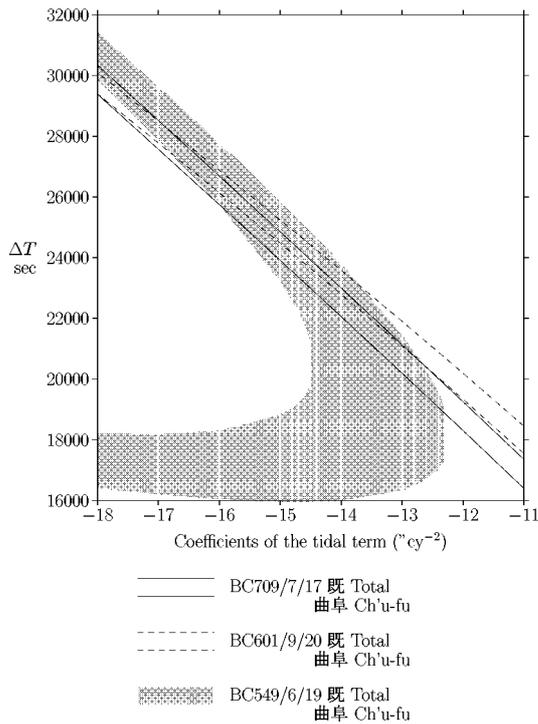


図 12: 春秋時代の日食が中心食となるパラメータ領域

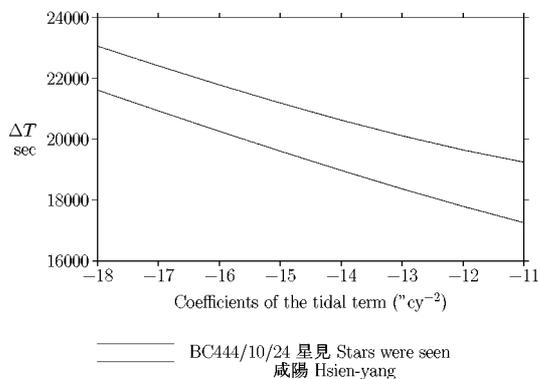


図 13: 史記の日食が中心食となるパラメータ領域

載されている「天寶、十三載、六月乙丑朔日有蝕之不盡如鉤」(No. 30). 内、「哀帝元寿元年正月辛丑朔日有食之不盡如鉤在營室十度與」を除いた三例は皆既にはなっていないが、食分はかなり大きくなるので史書の記述と矛盾はしない。

漢書の「哀帝元寿元年正月辛丑朔日有食之不盡如鉤在營室十度與」は前後の日食と ΔT が大きく異なり、皆既帯は中国南部を通る。記録は首都以外の観測状況と思われるので本論文では取り上げない。

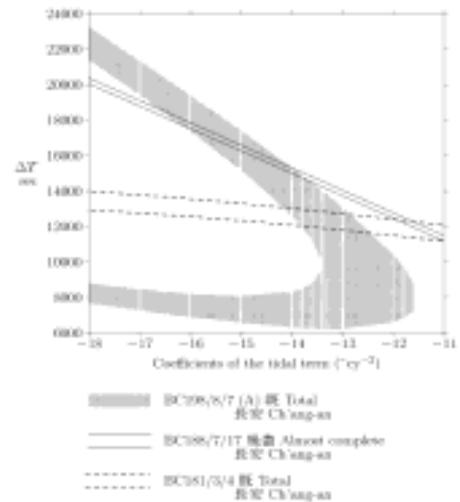


図 14: 漢代の日食が中心食となるパラメータ領域。既と書かれている BC 198 及び BC 181 が共に皆既となるのは $11816 \text{ sec} < \Delta T < 12471 \text{ sec}$ の場合。幾既と記録されている BC 188 の ΔT をこの最大値 12471 sec に取った時のこの日食の食分は、0.94 となり、BC 188 の実際の食分はこれよりやや小さくなる。

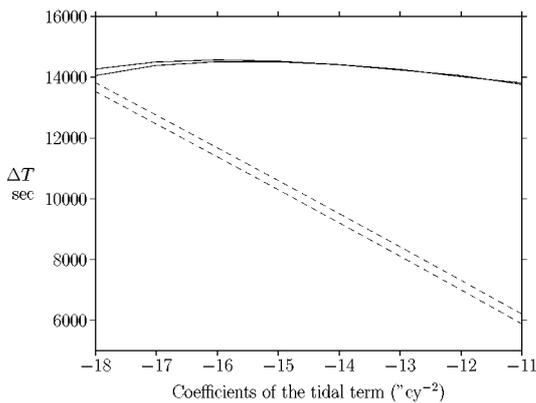
4 $\Delta T = TT - UT$ の決定

以上前節の結果を要約すると、春秋から旧新唐書に至る中国史書に「既」・「盡」・「星見」の記述のある日食に小倉 (1916) に皆既の可能性のある日食として挙げられている三つの日食を加えた 34 回の日食の中で、漢書に記載された「元帝、建昭五年六月壬申晦」には地球上どこにも日食が起こらない。宋書に記載された「元嘉三十年七月辛丑朔」の日食は南大西洋からアフリカを經由してインド洋で終わる日食で、予測で書かれたものである。

漢書の「哀帝元寿元年正月辛丑朔」の日食と三国志の「正始四年五月朔」の日食は首都では記述と異なった日食になるが、夫々中国南部・西域で記述通りになる。

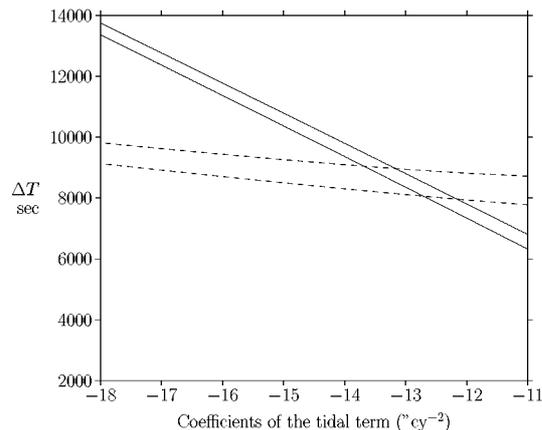
この四例を除いた 30 例で記録通りの日食が確認された。本論文ではこれら 30 例中首都で皆既になり得ない 4 例を除いた 26 例の日食が首都で皆既となる ΔT を計算し、解析を行った。

2 節の最後に日食の様子は潮汐項と ΔT の二つのパラメータにより決まることを述べた。図 12—24 は横軸に潮汐項の大きさを縦軸に ΔT を取り、図の下に記した日食が中心食となるパラメータ領域を示した図である。二つの日食が共に中心食となる場合に二つの日食の間隔が 50—60 年程度以下の場合には ΔT の値は



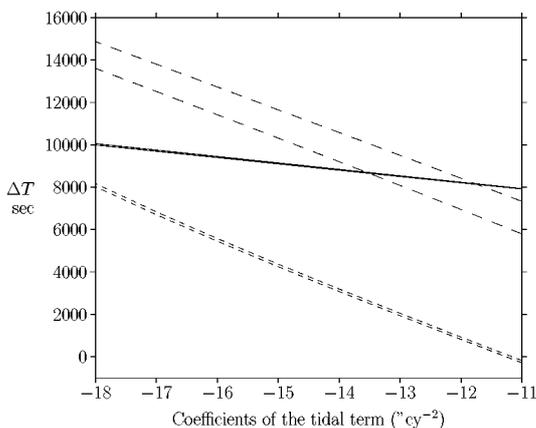
—— BC89/9/29 幾盡如鉤 Almost complete and like a hook
長安 Ch'ang-an
- - - - BC80/9/20 幾盡 Almost complete
長安 Ch'ang-an

図 15: 漢代の日食が中心食となるパラメータ領域.



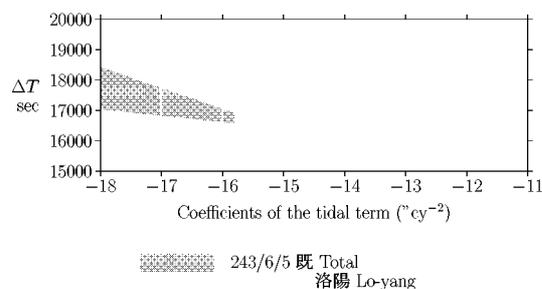
—— 65/12/16 既 Total
洛陽 Lo-yang
- - - - 120/1/18 幾盡地如昏 Almost complete and like dusk
洛陽 Lo-yang

図 17: 後漢時代の日食が中心食となるパラメータ領域



- - - - BC28/6/19 不盡如鉤 Not complete and like a hook
長安 Ch'ang-an
..... BC2/2/5 不盡如鉤 Not complete and like a hook
長安 Ch'ang-an
—— 2/11/23 既 Total
長安 Ch'ang-an

図 16: 漢代の日食が中心食となるパラメータ領域. AD 2 年の日食が皆既となる $\Delta T = 8510$ sec に取ると, BC 2 年の不盡如鉤の日食の食分は 0.84 で, 時刻は 01:19 UT となる.



■■■■■■ 243/6/5 既 Total
洛陽 Lo-yang

図 18: 三国時代の日食が中心食となるパラメータ領域

の食が成立する ΔT の領域が存在する. そこで, 潮汐項の値は以下の議論では -13 arcsec/cy^2 と取る.

図 15 では二つの日食が「幾盡如鉤」・「幾盡」で共に皆既でない. この例では, 潮汐項 -13 arcsec/cy^2 では ΔT の値が大きく異なっている. 表 2 はこれらの日食で ΔT を表の第一列に与えた値の時の食尽・食分を記したものである. この例では他の「幾盡」と記されている日食と比べて食分が小さくなるので, この程度の食分でも「幾盡」と書いたが, 何れかの観測地が首都でないかは微妙であるが, 本論文では一応 ΔT の範囲を図 28 にプロットした.

本論文の ΔT の決定法の例として, 702, 628 の日食

大きくは変わらないから, 二つの帯の重なった領域がこの二つの日食に共通したパラメータ範囲になる.

図 17, 21, 22 の三つの図に示す如く, 中心食又はそれに非常に近い場合には二つの帯状のパラメータ領域が潮汐項が -13 arcsec/cy^2 で交差し, 月のレーザー測距から得られた値と一致する. これは潮汐項が現代から後漢時代まで遡って同一の値を保っていることを示している. その他の例も殆どの場合, この帯状のパラメータ領域が平行に近い為に交差する潮汐項の値を決められないだけで, 潮汐項が -13 arcsec/cy^2 の時複数

表 2: BC 89 年及び BC 80 年の日食の ΔT と食尽 (UT)・食分

ΔT s	BC 89/9/29		BC 80/9/20	
	食尽	食分	食尽	食分
10000	08:38	0.884	06:11	0.891
12000	07:56	0.929	05:26	0.739

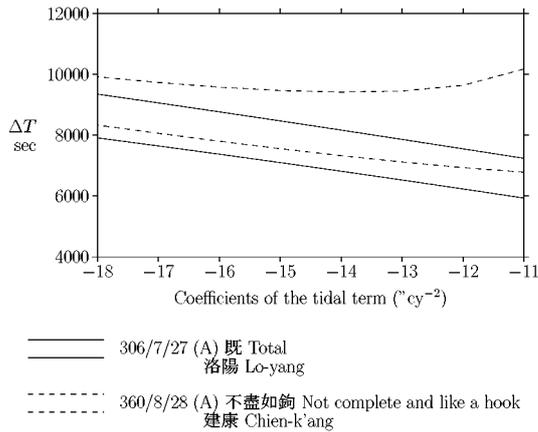


図 19: 晋代の日食が中心食となるパラメータ領域

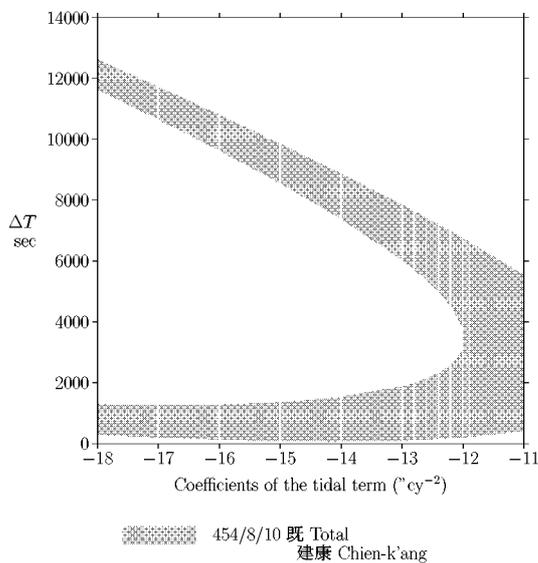


図 20: 宋代の日食が中心食となるパラメータ領域

の ΔT の決定法を記す. 図 23 で 761 年の日食が長安で皆既食になる条件は $1688 < \Delta T < 3254 \text{ sec}$ である. 702 年の日食が長安で皆既になる条件は $1429 < \Delta T < 2728 \text{ sec}$ だから, 702 年が如鉤となり, 761 年が皆既になる条件は $2728 < \Delta T < 3254 \text{ sec}$ となる. 次に図 22 で 628 年の日食が飛鳥で皆既になる条件は $2267 < \Delta T < 2959 \text{ sec}$ だから, 628 年の日食が飛鳥で皆既となり 702 年の日食が長安で如鉤となる条件は $2728 < \Delta T < 2959 \text{ sec}$ となる. これで 628 年の ΔT が $2728 < \Delta T_{628} < 2959 \text{ sec}$ と決まる.

等緯度で観測地点が西に移動すると中心食帯の ΔT が小さくなるので, 628 年の日食の場合飛鳥から $231 \text{ sec} \approx 1^\circ$ 西に移動すると皆既食にならないので皆既帯の等緯度での西の限界は姫路付近になる. 皆既帯は東へは $692 \text{ sec} \approx 3^\circ$ 付近まで広がっている. 等緯度では伊豆半島付近が限界になる.

内田 (1975) は日本書紀の舒明八年一月朔の日食は

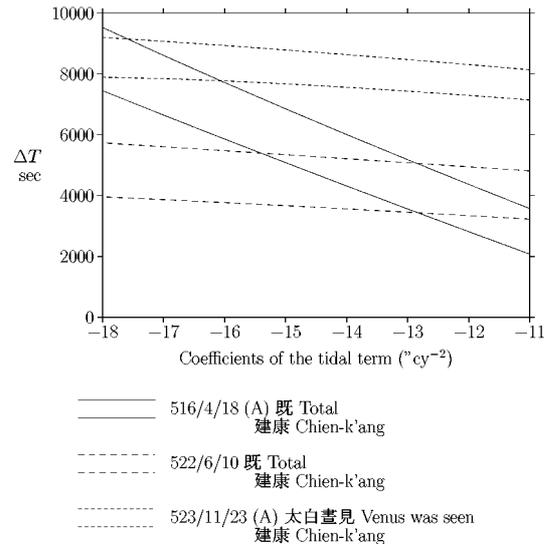


図 21: 梁代の日食が中心食となるパラメータ領域

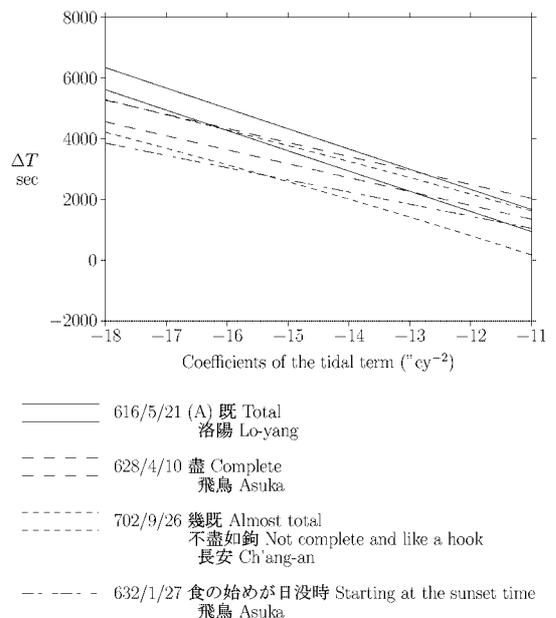


図 22: 飛鳥時代の日食が中心食となるパラメータ領域. $\Delta T = 2959 \text{ sec}$ に取ると, 702 年の日食の長安での食分は 0.99, 時刻は 08:12 UT.

舒明四年一月朔 (632/1/27, Opp: 4384) の誤記と主張している. この日食が飛鳥の日没時に始まるパラメータも図 22 に示してある. 内田の主張を採用し, 舒明四年一月朔の日食が日没前に始まる条件を求めると $\Delta T > 1851 \text{ sec}$ が得られる. 上記の 628 年の ΔT の範囲 $2728 < \Delta T_{628} < 2959 \text{ sec}$ は舒明四年の日食が日没前に始まる条件を満たしている. Kawabata, Tanikawa, and Sôma (2003) は $\Delta T = 2959 \text{ sec}$ と置いて, 舒明四年一月朔の日食の食分として 0.17 を, 齊藤・小沢 (1992) が大きな食分を算出している舒明九年の日食の食分と

702 9 26 Solar Eclipse DT = 2959 sec
 Ch'ang-an long. 108.917 deg lat. 34.250 deg

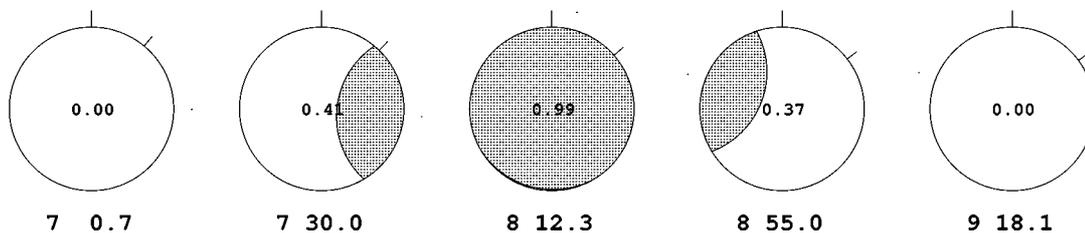
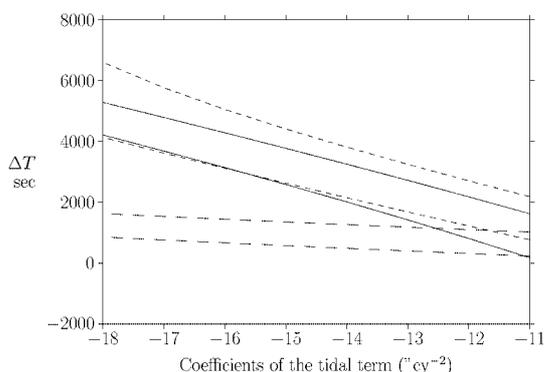
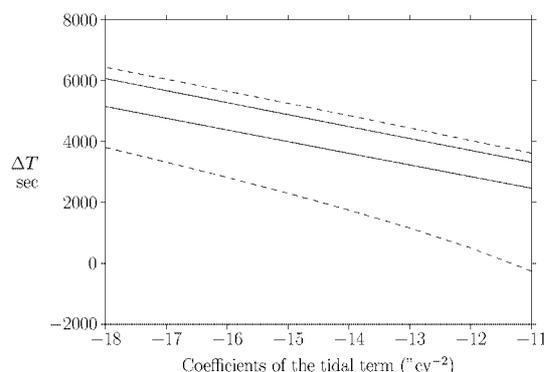


図 25: 長安二年の長安に於ける日食の時間経過. 上が天頂方向. 斜め右を指す斜線は北極の方向を示す.



—— 702/9/26 幾既 如鉤 Almost total and like a hook
 長安 Ch'ang-an
 - - - - 729/10/27 不盡如鉤 Not complete and like a hook
 長安 Ch'ang-an
 761/8/5 既 Total
 長安 Ch'ang-an



—— 873/7/28 無光 既 Dark and total
 京都 Kyoto
 975/8/10 皆既 如墨無光 Total and inky darkness
 京都 Kyoto

図 24: 平安時代の日食が中心食となるパラメータ領域

図 23: 唐代の日食が中心食となるパラメータ領域. 既と記されている 761 年の日食が皆既となり, 幾既と記されている 702 年の日食が皆既にならないパラメータ領域は実線で示されている 702 年の日食の皆既領域の上の限界線より上になる. これは図 22 と一致する. ΔT をこのように取ると 729 の日食は皆既にならず不盡如鉤と一致する.

して 0.88 を得て日本書紀記載の通りに舒明九年の日食の方が推古三十六年の日食よりも有意に食分が小さいことを示している.

図 25, 26 は $\Delta T = 2959 \text{ sec}$ とした時の長安二年の長安に於ける日食の様子を示したものである. 本論文の ΔT の決定法によると, 702 年の長安での食分は 0.99 となり, これらの図に見られる様にこの日食は長安では太陽の下が僅かに残っただけで旧唐書・新唐書に記載されている通りになる.

図 27 は天武十年 (681/11/3) の火星の飛鳥に於ける掩蔽の様子を示したものである. この時火星は月の縁から 34 arcsec 外を通過するが, 裸眼の分解能を考えると火星は日本書紀記載の通り月に入ったことになる.

以上に記した如く, 616 年の隋書に記されている洛陽の日食に始まり, 761 年の唐書に記されている長安の日食に至る期間に 7 回の日食が中国・日本の史書に記録されている. その内, 616, 628, 702, 729, 761 の 5 回の日食は本論文で採用した方法による相互チェックが可能であり, 実際互いに良く一致する結果が得られた. 又残りの 2 回の日食もこれらと矛盾しないことが確かめられた. こうして得られた $\Delta T = 2840 \text{ sec}$ を使って, 日本書紀の推古紀・舒明紀・天武紀に記載されている日食の食分・食尽時刻をまとめたのが表 3 である.

この表を見れば明らかな様に, 日本書紀に「日有蝕尽之」と記載されている推古三十六年の日食の食分が皆既になる. 又渡辺 (1979), 斉藤・小沢 (1992) では推古三十六年の日食より大きな食分が得られているが日本書紀には単に「日食之」と記されている舒明九年の日食の食分が 0.9 以下で, 同じく「日食之」と記されている天武九年の日食と略同じ食分であることが知られる.

既に河鱒・谷川・相馬 (2002) に記した如く, 舒明四年, 天武十年の日食の様に食分が小さな日食は何も予

表 3: 日本書紀 推古紀・舒明紀・天武紀の日食. $\Delta T = 2840 \text{ sec}$

日付	食尽		食分	注
	UT	LT		
628/4/10 推古三十六年三月戊申	00:49	09:52	1.01	
632/1/27 舒明四年一月朔	08:24	17:27	0.16	日没時, 食尽是日没後 08:38 UT, 食分 0.18 LT では 637/4/1
637/3/31 舒明九年三月丙戌	23:44	08:47	0.87	
680/11/27 天武九年十一月壬申	03:30	12:33	0.89	
681/11/16 天武十年十月丙寅	01:22	10:25	0.16	

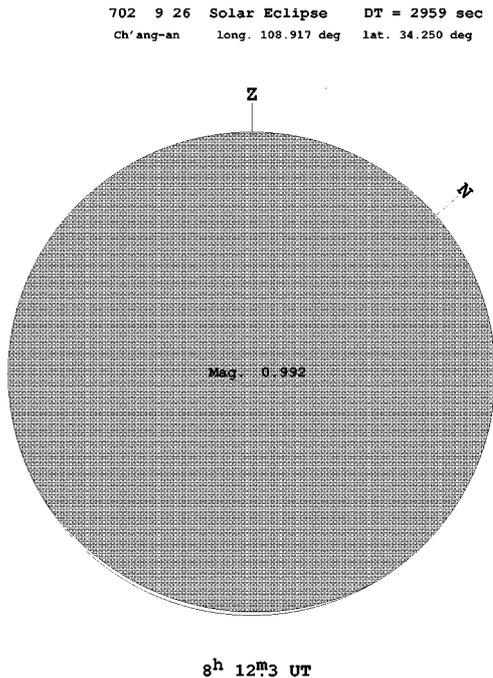


図 26: 長安二年の長安に於ける日食の様子. 食分の計算値は 0.99 で, 図に示されている如く, 太陽は下の部分を僅かに残して月に覆われた. 新唐書天文志の「幾既」, 旧唐書 則天皇后の不盡如鉤と合致する.

備知識の無い状態では気がつかない. 渡辺 (1979) によると, Ginzler は 563/10/2 — 1331/11/29 の期間の 50 回の日食の食分と太陽時を計算し, 予備知識が無い場合に日食に気がつくのは食分が 9 zoll を越えた時との結論を得ていると云う. 又太陽高度が高い程認知され難く, 日の出直後・日の入り直前の場合には 6 zoll でも認知されている場合があると云う. zoll は皆既の時を 12 zoll とした食分だから, 我々が現在使っている食分で云うと 9 zoll, 6 zoll は 0.75, 0.5 に当たる. 従って日本書紀に食分 0.16 の日食が記載されている事は, 当時の日本が既に日食の予報が可能だったと云えるであろう.

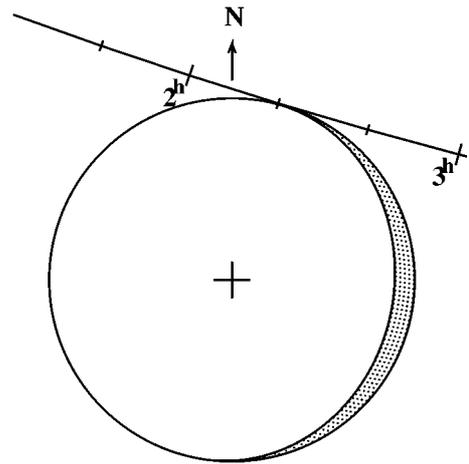


図 27: 日本書紀の天武十年に記載されている火星の掩蔽の際の火星の月に対する通過経路をしめす. 火星は月から 34 arcsec 外を通過するが, 裸眼の分解能以下なので, 火星は月に入った様に見える. この日は満月に近く, 黒く塗られた三日月型の領域が欠けた部分.

5 ΔT の経年変化

図 28 は前節で求めた夫々の日食の ΔT の範囲をプロットしたもので, 複数の日食から決めたものを太い縦線で, 一つの日食から求めたものは細い縦線で記してある. 又参考の為に, Stephenson (1997) に掲載されている Table A1 のバビロニアの日月食記録から求めた ΔT もプロットした. 斜めの実線は ΔT の潮汐成分 ΔT_{tidal} を示したもので, 観測点の殆どが ΔT_{tidal} より下になり, 既に知られていることであるが, 地球自転に潮汐効果以外の作用が働いていることを示している.

図の破線は Stephenson (1997) の放物線近似を示し, ΔT の永年変化を表している. 本論文で求めた値はその周りに分布している. この破線と今回求めた値を比べると, 6-7 世紀の値が破線から系統的に顕著に下がっている. 又 6-7 世紀程顕著では無いが, 1-2 世紀の ΔT も下がっている. 逆に 5 世紀, 7-8 世紀の ΔT はそれ程顕著では無いが破線の上に偏っている. Stephenson (1997) が得たバビロニアの記録による ΔT は我々が求めた値と良く合い, 紀元前 7 世紀から紀元前 5 世紀

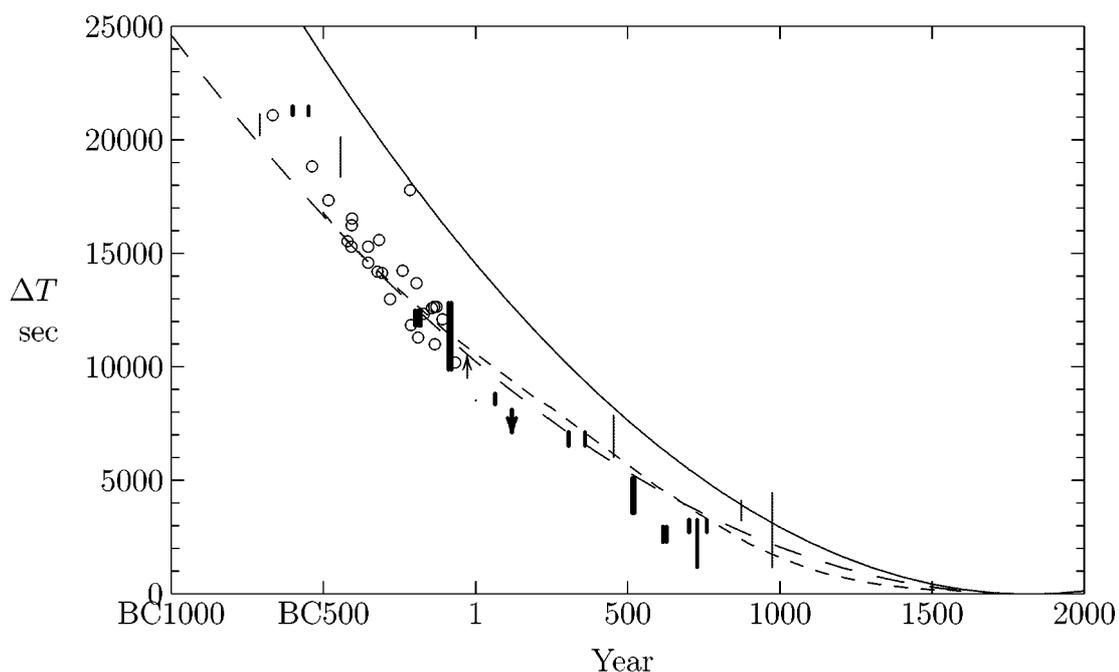


図 28: ΔT の経年変化. \circ : Babylonia の日月食 (Stephenson 1997, Table A1.). 実線で書かれた放物線は Stephenson が得た ΔT の永年変化成分. 破線は同じく Stephenson のスプライン近似.

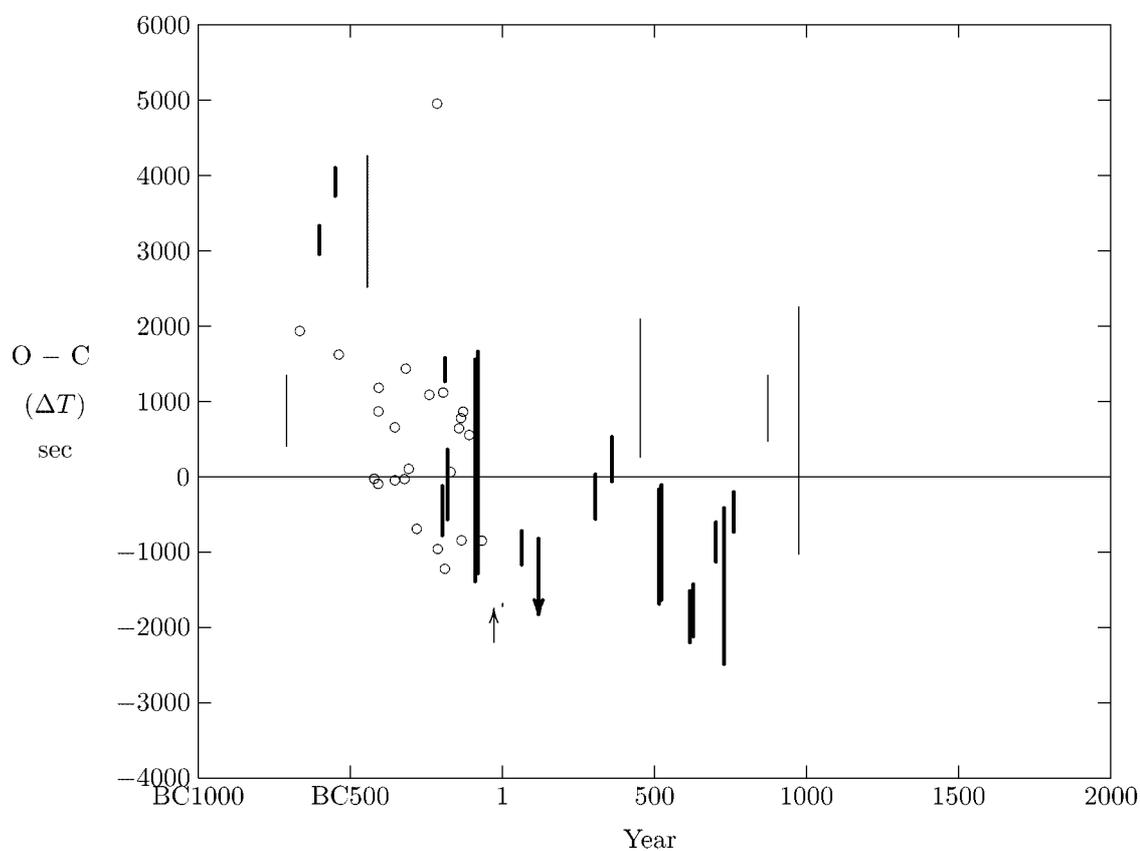


図 29: ΔT の図 28 の破線からの残差の経年変化. \circ : Babylonia の日月食 (Stephenson 1997, Table A1.).

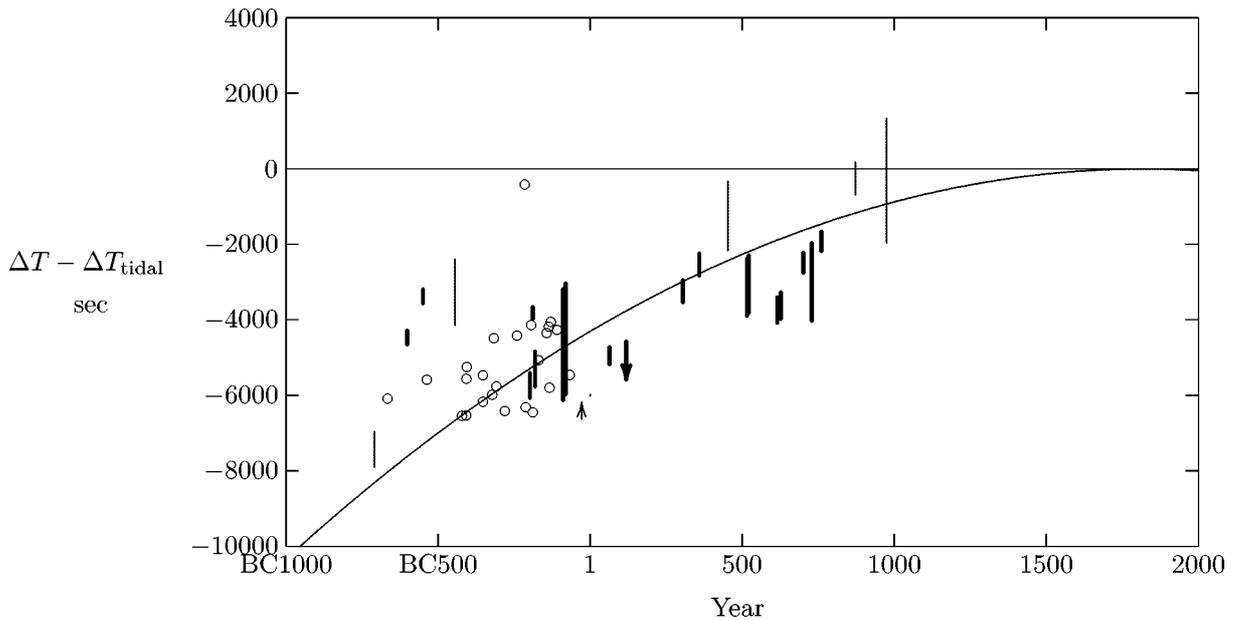


図 30: $\Delta T - \Delta T_{\text{tidal}}$ の経年変化. \circ : Babylonia の日月食 (Stephenson 1997, Table A1.). 図の実線で書かれた放物線は Stephenson が得た ΔT の永年変化から潮汐効果の成分を差し引いたもの。

にかけては中国の記録・バビロニアの記録共に破線より上の ΔT を与えている。

図 29 はこの ΔT の短期変動を明確にする為に、 ΔT の O-C の経年変化を示したものである。ここで C としては Stephenson (1997) の $\Delta T_{\text{Cal}} = 31t^2 - 20 \text{ sec}$ を用いた。ここで t は AD 1820 からの経過年数をユリウス世紀 36525 日単位で表したものである。この図を見ると ΔT には 600—1000 年位の時間スケールの変動があることが読み取れる。

地球自転周期には潮汐以外の原因による成分が有る事は既に知られていることであるが、その起因として地球の慣性能率の変化が挙げられる。図 30 は $\Delta T - \Delta T_{\text{tidal}}$ をプロットしたもので、地球の慣性能率の変化を反映した図になっている。この地球の慣性能率の変化の起因として、気候変動に伴って氷河が解けると、それ迄氷河の重みで押さえられていた地盤が隆起し、地球全体の地殻の質量分布が変化する為との説を Stephenson は唱えているが量的議論はされていない。我々は地盤が隆起して地盤と氷河を合算した質量は変化しないこと、地盤の隆起と地殻の変化には地質学的年代が必要で、短期の変動は起こらないであろうとの推量から、氷河が解けて海水として低緯度の海面が上昇することよるとの説を唱えた (Kawabata, Tanikawa, and Sōma 2003)。

極地の気温が上昇して氷河が解けて海水面が 1 m 上昇したとしよう。極地の氷河の氷は極軸に近いから地球の慣性能率には余り寄与しない。これが解けて海水になると、海面の面積の大部分は低緯度になるので、今まで地球の慣性能率に寄与していなかった水が低緯度に流れたことによって慣性能率を増加させる。海面の面積は地球の表面積の約 2/3 を占める。この海面

の面積を考慮すると 1 m の海面の上昇は海水の質量が $3.5 \times 10^{20} \text{ gr}$ 増加したことを意味する。地球の半径を R と置き、海水の地球の極軸からの平均二乗距離を $\frac{2}{3}R^2$ と近似し、氷河は解ける前は地球の慣性能率に寄与していなかったとの近似をすると、地球海水量の増加に伴った地球の慣性能率の増分は

$$10^{-7} \times \text{地球の慣性能率}$$

になる。地球の慣性能率がこれだけ増加すると一日の長さは 10 ms だけ増加する。氷河が徐々に解けて 1000 年かけて海面が 1 m 上昇したとすると、 ΔT は 30 分増加する。従って図 28 に見られる程度の ΔT の変動は海面の数 m の変動で起こり得ることになる。

この解釈に従うと、 ΔT の永年変化は海面の上昇を意味し、縄文海進以降の寒冷化の現れと定性的には解釈出来る。今回の研究により見出された 600—1000 年スケールの ΔT の変動はこの寒冷化が一様でなく、短期の変動を繰り返しながら進んでいることを意味しているのかもしれない。

6 まとめ

本論文では潮汐項と ΔT の二次元平面上に各日食が皆既となる領域をプロットし、複数の日食の相互比較による較正によって、記録の正確さをチェックする方法を採用した。この方法によると、従来の方法に比べて ΔT の信頼性が著しく向上し、その値を狭い範囲に絞り込むことが出来る。この方法により、後漢時代から飛鳥時代にわたって潮汐項が -13 arcsec/cy^2 と求まり、月のレーザー測距から得られた値と一致することが確かめられた。この方法により、 ΔT の変動を論ずるの

に必要な精度を得られ、600—1000 年スケールの変動が見出された。この ΔT の変動成因として、極地の氷河の解氷・成長に伴った海面の昇降による地球の慣性エネルギーの変動を挙げた。

隋書に記載されている大業十二年の日食が長安の観測か洛陽の観測かの判定にこの方法を適用し、洛陽の観測と確認が出来た。この事は、この解析方法が観測地の仮定が正しいか否かの判断の有力な手段であることも示している。

日本・中国の日食の食分などの計算は今迄にもわが国の天文学研究者によって多々為され、計算結果が史書と合わないことから史書の記録を不当とする著作が出版されている。然しながら、これらの著書では地球の慣性エネルギーの変動が完全に無視されているので、その計算結果には経度にして 10° 程度の時代によって異なった誤差がある。今回の論文の執筆に当たり調査した 34 の日食の中で日食が起こらないものは漢書に一例有るのみで、その他は総て日食が起こっている。この例外の一例は予測によって執筆されたものと思われるが、日月の合の前日で日付は晦と書かれている。当時の平均朔望月を用いた暦法では晦に日食が起こる事は多い。この時の合の時刻の黄道・白道の交点から計った月の黄経は約 46° で今日の知識からすれば日食とはならないが、当時の知識からすれば日食と判断したのも無理はなからう。東アジアで見られない日食は宋書に大西洋からアフリカを経てインド洋で終わる日食が一例有るのみである。この例は明らかに予測によるものである。首都の観測と考えられない例は中国史書に数例有り、観測地不明の例は幾つか有るが記述は概ね正しい。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究 14023112 により行われた。

参考文献

Calame, O. and D. Mullholand, 1978, *Science*, 199, 977–978.

Chapront-Touze, M. and J. Chapront, 1983, *Astron. Astrophys.*, 124, 50–62.

Christodoulidis, D. C. et al., 1988, *J. Geophys. Res.*, 93, 6216–6236.

Dickey, J. O. et al., 1994, *Science*, 265, 482–490.

Fotheringham, J. K., 1920, *Mon. Not. R. Ast. Soc.*, 81, 104–126.

Hansen, P. A., 1857, *Tables de la Lune construites d'après le Principe Newtonien de la Gravitation Universelle*. H. M. Stationery Office, London.

Kawabata, K., K. Tanikawa, and M. Sôma, 2003, *Proceedings of ICHA/IAU International Conference on Astronomical Instruments and Archives from the Asia-Pacific Region*, Cheongju, Korea, 2–5 July 2002, Yonsei Univ. Press (Korea), in press.

Lasker, J., 1986, *Astron. Astrophys.*, 157, 59–70.

Leverrier, U. J. J., 1858, *Ann. de l'Obs. de Paris*, 4.

Oppolzer, Th. Ritter von, 1962, *Canon of Eclipses*, translated by O. Gingerich, Dover Publications INC., New York. Originally published as vol. 52 of the *Memoirs, Mathematics Natural Sciences Class of the Imperial Academy of Sciences in Vienna* (1887).

Jones, H. S., 1939, *Mon. Not. R. Ast. Soc.*, 99, 541–558.

Stephenson, F. R., 1997, *Historical Eclipses and Earth's Rotation*, Cambridge University Press.

Tanikawa, K., and M. Sôma, 2001, *Proceedings of International Conference on the 770th Birth Anniversary of Guo Shoujing and the History of Time Apparatus*, Xingtai, China, 18–22 October 2001 (in press).

河鱈公昭・谷川清隆・相馬 充 (Kawabata, Tanikawa, Sôma), 2002, *国立天文台報 (Report of the National Astronomical Observatory of Japan)*, 5, 145–159.

森 博達 (Mori), 2000, *日本書紀の謎を解く 述作者は誰か*, 中央新書.

小倉伸吉 (Ogura), 1916, *天文月報 (The Astronomical Herald published by the Astronomical Society of Japan)*, 9, 13–18, 25–29, 39–43, 52–55, 62–64.

斉藤国治・小沢賢二 (Saito and Ozawa), 1992, *中国古代天文記録の検証*, 雄山閣.

杉本憲司・森 博達 (Sugimoto and Mori), 1995, 『魏志』倭人伝を通読する, 日本の古代 1, 中公文庫.

鈴木敬信 (Suzuki), 1942, *日本天文学会要報*, 6, 143.

谷川清隆・相馬 充 (Tanikawa and Sôma), 2001, *天文月報*, 95, 27–37.

内田正男 (Uchida), 1975, *日本曆日原典*, 雄山閣.

渡辺敏夫 (Watanabe), 1979, *日本・中国・朝鮮—日食月食宝典*, 雄山閣.