

1183年11月17日の水島日食前後の ΔT

上田 暁俊, 谷川 清隆, 相馬 充 (国立天文台)

ΔT values for 130 years around the eclipse on November 17, 1183

Akitoshi UEDA, Kiyotaka TANIKAWA and Mitsuru SÔMA

National Astronomical Observatory of Japan

2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo, 181-8588, Japan

概要

1183年11月17日の日食を主たる対象とし、その前後、世界各地で観測された日食を用いて、西暦12, 3世紀の地球自転時計の遅れ ΔT の値の範囲を決めた。その結果、この時代には、Stephenson[1]による ΔT の平滑値のまわりを、250秒ほどの振幅で揺れていることが示された。1183年11月17日の「水島日食」は、源平盛衰記に記録が残っている。計算によるとこの日食は、朝鮮半島や西日本で、場所によっては金環食であった。前後の ΔT 範囲から類推して、本日食が水島において金環食であったかどうかは極めて微妙であることがわかった。金環食でないにしてもきわめて金環食に近い食であったようだ。 ΔT の範囲として以下のような予備的な値を得た。

期間	使用した日食(年)	ΔT の範囲	Stephensonの平滑値
1133年前後	1124,1133,1135	433秒 < ΔT < 748秒	960秒
1147年前後	1140,1147	1112秒 < ΔT < 1167秒	910秒
1153年	1153	1153秒 < ΔT < 1673秒	890秒
1176年前後	1176,1178	599秒 < ΔT < 1142秒	820秒
1225年前後	1221,1230	-7秒 < ΔT < 1098秒	680秒
1241年前後	1239,1241,1245	817秒 < ΔT < 1110秒	620秒
1267年前後	1263,1267,1275	-738秒 < ΔT < 806秒	550秒

1 序

源平盛衰記(じょうすいき)[2]に日食の記事がある。日食が生じたのは西暦1183年11月17日(寿永二年閏十月一日)、源氏平家の水島の戦い最中のことであった。

「天^{てん}俄^{には}曇^{くも}りて、日の光も見えず、闇の夜の如くに成たれば、源氏の軍兵共日蝕とは不知^{しら}ず、いと東西^{うしなつ}を失^{しりぞ}きて舟を退^せていつち共なく風に随つて遁行^{したが}。平氏の兵共は、兼て知^{しり}にければ、いよいよ時を造り重^{かさね}て攻^{せめた}戦^{たか}う。」(『源平盛衰記』巻第三十三)

この日食がどの程度深い食であったかを決めたい。そのために、1183年当時の地球自転時計の遅れ ΔT を精度良く決めたい。これが本論文の動機である。筆者らの手法を序で説明する。ここで、 ΔT は次のように定義される。

$$\Delta T = TT - UT. \quad (1)$$

TTは Terrestrial Time の略であって、一様に流れる時を表し、UTは Universal Time(世界時)の略であって、地球自転で測った時である。世界時ではわかりにくいので、本論文では「地球自転時」と呼ぶことにする。したがって ΔT は地球自転時が一様に流れる時からどれほど遅れているかを表す。

記事に関して注釈をしておこう。源氏、平家の兵数に関しては以下の記述がある。「平家は三百余艘の兵船を調て、屋島の磯に漕出たり。源氏は備中国水島が途に陣を取て、千余艘の兵船を構たり。源平互に海を隔て支たり。」「両方の軍兵一万余人なれば、時の声海上に響渡て、よせたる波の音も声を合する歎とぞ覚ける。平家は本三位中将重衡、越前三位通盛卿を大將軍として七千余人、二百艘の兵船に乗て、島の西南より東北へ二手に指廻す。」水島の戦いは、平家唯一の勝ち戦として語られている。この記述を読む限り、平家の兵力がやや上回っていたようだ。だが、平氏が勝ったのは日食が味方したからであると『源平盛衰記』の著者は言いたいようだ。

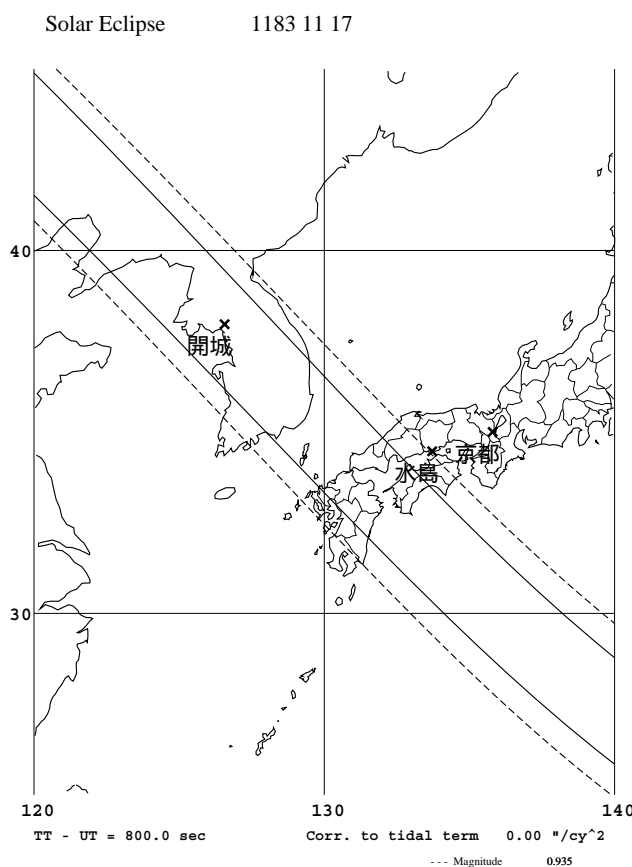


図 1: 源平水島の合戦時の金環食帯。ここでの $\Delta T = 800$ 秒は, Stephenson[1] の値である。破線は食分 0.935 の等食分線である。水島は、ほぼこの線上にある。

次に「平氏の兵共は、兼て知にければ」が気になる。齊藤国治 [3] は、「この日食が起こることは平家方は知っていたと書いてあるが、それは当時の暦(具注暦)に載っていたからであろう」と述べる。この考えは突っ込み不足のようだ。細井浩志 [4] は日食の場合、「延喜陰陽寮式日蝕条には『凡そ太陽虧くれば、暦博士預め正月一日に寮に申し送れ。寮は蝕に前だつこと八日以前に省(中務省-細井註)に申し送れ』と規定

され、曆博士から陰陽寮、中務省を通じて日食予報が出された」と述べる。日食予報が「政府全体に周知される」と指摘する。このことからして、政府そのものであった平氏が日食予報を知っていて、伊豆その他の田舎侍であった源氏が日食予報を知らなかったことが理解できる。

この日の現象が確かに日食であることは確認しておくべきであろう。Oppolzer 日食月食法典 [5] の 5691 番日食の金環食帯が確かに東アジアを通過している。Stephenson [1] の教科書には、彼が歴史的日月食を用いて求めた平均的 ΔT 曲線が表の形で与えられている。1183 年あたりでは Stephenson の値は $\Delta T = 800$ 秒である。この ΔT を使って描いた食帯図が図 1 である。朝鮮半島から西日本を金環食帯が通過していることが見てとれる。開城は帯内にあり、水島は帯の外にある。水島での食分は 0.935 であり、あたりは暗くならない。「闇の夜の如くに成たれば」という源平盛衰記の記述は大袈裟に響く。水島では、本当はどうであったのか？ 暗くならないにしても金環食であったのかどうか？ これに決着をつけたい。これが本研究の動機であった。

この日食に関しては、斉藤国治の先行研究がある [3]。斉藤は、1183 年の日食時に水島が金環食の限界線近くにあったが食分 0.93 の部分食であった、とした。ただ、今日では斉藤の依拠する理論 [6] は正しいと思われておらず、厳しい見方ではあるが、斉藤の議論には歴史的な意味しかない。真の 1183 年当時のパラメータ値 (ΔT と月運動の潮汐加速の係数) は過去の日月食観測から求めるべきものである。

すでに筆者らがいくつかの論文で示したように [7],[8],[9],[10]、一般にひとつの皆既日食からだけでは ΔT の範囲を狭く絞ることはできない。同一日食の複数観測を使って、あるいはほぼ同時の (たとえば 10 年以内の) 複数日食の観測を使って、 ΔT の範囲を絞りこむことができる。本論文では、1183 年前後、合わせて百数十年間に観測されたこのような日食を使って、 ΔT の範囲を狭く絞ることにより、1183 年時の ΔT の値の範囲を推定する。

2 1183 年前後の日食

1183 年の ΔT の範囲を求めるための参考に、その前後 100 年ほどの期間に全世界で観測された皆既日食、金環日食、深い部分日食を使って、前後の時期の ΔT の範囲を求めてみる。

表 1 に日食記録を記載した。第 1 欄は Oppolzer 番号、第 2, 3, 4 欄は日食の生じた西暦年月日、第 5 欄はそのときの Stephenson [1] による ΔT の平滑値、第 6 欄は文献、第 7 欄は観測地名 (推定)、そして最後の欄には、月加速の潮汐項の係数として現在値を採用した場合の ΔT の範囲の見積りと史料の特徴的な文言を記載した。

2.1 1080 年 12 月 14 日の日食

本日食は ΔT の値を 0 秒から 2000 秒まで変えても、日本と中国の広い範囲で金環食であった (図 2)。それなのに、金環日食の記録がない。『水左記』によれば、

「陰晴不定、巳刻許行雲靄謎、蝕暫不現、午刻雲 間斷蝕跡已現」
(日本天文史料 [11], p.54).

空白の箱の部分は原文が読めないことを示す。曇ったり晴れたり定まらず、しばらく雲で見えないときがあった。金環食は数分しか続かないので、金環食を見逃したと考えれば矛盾はない。一方、『扶桑略記』 [11] と『仁和寺御傳』 [11] には「日蝕」とだけ書いてある。大陸の記録は

宋神宗元豊三年十一月己丑朔 日當食, 雲陰不見
 (『宋史』[12]・神宗三) (首都は[水卞]京)
 宋神宗元豊三年十一月己丑朔, 日有食之
 (『宋史』[12]・天文五) (首都は[水卞]京)
 遼道宗大康六年十一月己丑朔 日有食之 (『遼史』[13]・道宗四) (首都は上京)
 高麗文宗三十四年十一月己丑朔, 日食 (『高麗史』[14]) (首都は開城)

とある(ただし, [水卞]はさんずいに卞という一文字の漢字である). 『宋史』[12] 神宗紀では「雲陰不見」とあるが, 天文志五では曇ったと書いてない. 観察できたとする
 と金環日食または非常に深い部分日食であるはずなのに, 天文志にはそのことが記さ
 れていない. やや不審である. 遼の支配地が北緯 40 度以北なら, 遼では部分食であ
 った. 高麗では計算からすると部分食であり, 記述は合っている.

以上からして, 残念ながら, この日食は ΔT の範囲を狭めるのに使えない. たとえ
 京都で金環食が観察されたとしても, 食帯が広いので, 役に立たないだろう.

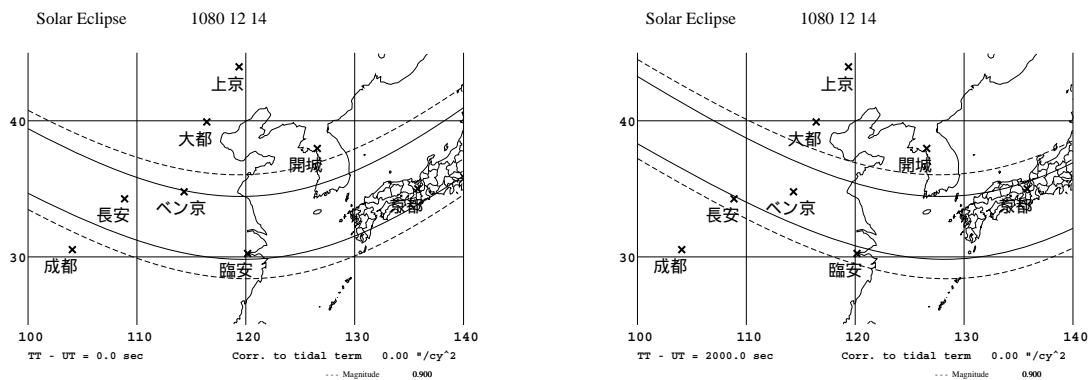


図 2: 1080 年 12 月 14 日, 日本各地で金環食のはず. 左図は $\Delta T = 0$ 秒, 右図は $\Delta T = 2000$ 秒. 破線は食分 0.9 の等食分線. 『水左記』[11] などでは部分食. 『宋史』[12] 神宗紀三では「雲陰不見」, 『宋史』[12] 天文志では部分食, 『遼史』[13] では部分食, 『高麗史』[14] では部分食. 本は [水卞]

2.2 1094 年から 1122 年までの日食

1094 年 3 月 19 日の日食

『扶桑略紀』[11] には「三月一日壬申, 々(申: 筆者) 時日食, 如三日月矣」とある
 が, 皆既帯が緯度線にほぼ平行なので, 京都における食分は ΔT の変動に鈍感である.
 $\Delta T = 0$ 秒でも食分 0.973, $\Delta T = 1500$ 秒で食分は減っても 0.958. 宋でも遼でも平凡
 な部分食であった (『宋史』[12] 哲宗二, および『遼史』[13] 道宗五). この日食は ΔT
 の幅推定に使えない.

西暦 1100 年 5 月 11 日の日食

食分二分と『殿暦』[11]に記されている。食分についてひとこと言っておく。中国の記録に十五を分母とする日月食の「食分」が出てくるのは、南朝『宋書』[15]が最初のような。巻十二(律曆中)に次のような記述がある。

又到(元嘉)十七年九月十六日(440年10月27日)望月蝕，加時在子之少，到十五日未二更一唱始蝕，到三唱蝕十五分之十二格，在昴一度半。

食分の定義は、江戸時代の安藤有益[16]によれば、太陽直径の隠された部分を十五を分母として表す。食分二分は十五分の二を意味する。例として出した上記月食の最大食分を現在の計算で求めてみると0.82となり(月食の最大食分は ΔT の値に依らない)、 $12/15 = 0.80$ に近い。不思議なくらい一致している。

1100年の日食の京都($135^{\circ}45'$, $35^{\circ}1'N$)での最大食分と ΔT の関係を表で示すと次のようになる。

ΔT (秒)	最大食分
500	0.042
1000	0.058
1500	0.077
2000	0.096
2500	0.116
3000	0.138

直径が十五分の二(0.133)だけ隠されたとすると、 $\Delta T > 2890$ 秒になってしまう。西暦1100年前後の ΔT はStephensonの平滑値 $\Delta T = 1100$ 秒 ± 1000 秒以内に収まっていることが期待されることからして、『殿暦』[11]の食分は大きすぎる。この日食は宋・遼において平凡な部分食であった(『宋史』[12]天文五、および『遼史』[13]道宗六)。遼の場合、観測地を決め兼ねたので、表1には記録を載せなかった。

1107年12月16日の日食

中右記には

虧初未一刻十九分，…，復未酉一刻十分，…，相窺時刻之處，及晚景片雲橫漢，日光不現，就中天下不及暗計也，不觸歟，誠可欣歡，… ([11])。

とあり、当時の予報では、食は未一刻から酉一刻までで日入前であったが、「不觸歟」(食せずか)であった。 $\Delta T = 1000$ 秒として計算すると、京都では日入帯食であり、最大食は日入後であるが、西の空が晴れていれば欠けた太陽が見えたはずである。やや不審である。宋・契丹でも観測されたが平凡な部分食であった(『宋史』[12]徽宗二、および『契丹国史』[18]天祚紀上)。前項と同様、契丹(遼)の観測地を決めかねたので表1には記録を載せなかった。『宋史』[12]徽宗二の記録は以下の通りである。

(大觀元年)十一月壬子朔，日有食之，蔡京等以不及所當食分，率羣臣稱賀。

1112年9月23日の日食

『中右記』によると、

九月一日、天晴、日出之間少許帯触正現也、日者陰陽道寅卯時可有触由勘申也、而僧深算不可有触由之間、已以正現、陰陽道所申如指掌歟、... [11]
(9月1日、晴れ、日出のときすこし帯食であった。陰陽道によれば寅卯時に食があるとの予想であり、僧によれば食はないとの予想であった。巳刻に食が生じた。陰陽道の言う通りであった、...)

とある。だが、日出帯食条件だけでは ΔT の幅が広すぎる。この日食は ΔT の幅推定に使用できない。

1119年5月11日の日食

京都から見えないはず。『中右記』に「今日無日蝕」([11])。

1122年3月10日の日食

『遼史』[13]の巻二十九に、「天祚帝保大二年二月庚寅朔、日有食之、既」とある。遼の西南から北東にかけて皆既食帯が走るが、5つの主要都市、上京、中京、東京、西京、南京のどこにおいても皆既にならない。皆既食帯はこれらの西北を走った。 $\Delta T = 1000$ 秒としての計算からすると、その近傍の ΔT でも上京臨[水草黄]¹府において食分0.95以上の可能性がある。だが、これだけの条件では ΔT の幅推定にこの日食は使用できない。

2.3 1124年から1135年までの日食

1124年8月11日の日食がNovgorod(Russia)で観測された。Vyssotsky[17]に採録された「皆既の記録」を使う([1], p391も見よ)。1133年8月2日の日食は、欧州の6都市で皆既として、1都市で部分食として観測された[1]。1135年1月16日の日食は南宋(首都は臨安、いまの杭州)で部分食として観測された[12]。この3組の観測から、相馬図[7]を描いて ΔT の範囲を求める。

「相馬図」について説明しておこう。日食の日時と場所は2つのパラメータによって決まる。地球時計の遅れ ΔT と月の潮汐加速項である。後者は時間の2次に依存する量であり、月レーザー測距観測により現代値が得られている。過去の値はわからないので、日月食ほかの過去の観測により推定するしかない。推定値は現代の採用関数への補正項の係数として決める。 ΔT を縦軸、月潮汐項への補正項の係数を横軸に取った座標系では日食の等食分線が曲線として描ける。とくに、皆既日食や金環日食の限界線が2本の曲線として描ける。これを筆者らは相馬図と呼ぶ。相馬図には、観測地の緯度経度や観測時刻は表面に出てこない。 ΔT と月潮汐項への補正項の係数が共通であると思われる日食記録をいくつでも描くことができる。複数の日食を使って ΔT と月潮汐項への補正項の係数の値の範囲を絞り込むことができる。ただ、前者と後者では時間変動の尺度が異なると考えられている。筆者らは、 ΔT は100年、200年の時間尺度で変動し得るものと予想している。月潮汐項はもっと長い時間尺度で変動すると考えられている。実際、たとえばStephenson[1]は潮汐項を過去3000年間一定として解析した。筆者らは[19]において、過去の潮汐項は現代値の前後1秒/(世紀)²以内に収まることを示した。本論文では、相馬図を描くが、 ΔT の値を求める際には横軸の値は現代値を採用する。中途半端かもしれないが、月潮汐項への補正項の係数の範囲を絞れる記録の出現を待つ意味もあって、相馬図を使い続ける。

1124年から1135年の日食による相馬図が図3である。図内に日食の日付と観測都市が書いてあるので意味はわかりやすい。ただし、すべての都市の資料を図に書き込むと分かりにくいので、1133年の4都市(Augsburg, Heilsbronn, Salzburg, Kerkrade)の資料は抜いてある。緑の縦棒は、現在の潮汐項に限定した上で、Reichersbergと

¹さんずい+草冠+黄

表 1: 日食記録リスト. 第 1 欄は Oppolzer 番号, 第 5 欄の ΔT は Stephenson[1] による平滑値である. 第 6 欄の Stph,p***は Stephenson[1] のページ数を表す. また Vyss. は Vyssotsky[17] のことである.

No.	西暦年	月	日	ΔT 秒	文献	都市	備考 (ΔT の範囲は 潮汐補正をゼロとした値)
5432	1080	12	14	1190	水左記 宋史・天文五 遼史・道宗四 高麗史・文宗	京都 「日有食之」 「日有食之」 「日食」	現代計算によると金環食のはず
5465	1094	3	19	1130	扶桑略記 宋史・哲宗二 遼史・道宗五	京都 「日有食之」 「日有食之」	「如三日月矣」
5482	1100	5	11	1100	殿曆 宋史・天文五	京都 [水卜] 京	「二分許触也」
5500	1107	12	16	1060	中右記 宋史・天文五	京都 [水卜] 京	「不触歟」, 日入帯食 $\Delta T = 1200$ 秒では食分 0.9 未滿
5512	1112	9	23	1040	中右記 宋史・天文五	京都 [水卜] 京	日出帯食
5529	1119	5	11	1020	中右記	京都	「今日無日触」
5537	1122	3	10	1010	遼史	上京*	「日有食之, 既」
5542	1124	8	11	1000	Stph,p391	Novgorod	986 秒 $< \Delta T < 2711$ 秒で皆既
5565	1133	8	2	960	Vyss. Stph,p392 Stph,p393 Stph,p393 Stph,p416 Stph,p423 Stph,p423	Augsburg Heilsbronn Reichersberg Salzburg Vysehrad Kerkrade Zwiefalten	-49 秒 $< \Delta T < 1152$ 秒で皆既 302 秒 $< \Delta T < 1551$ 秒で皆既 433 秒 $< \Delta T < 1622$ 秒で皆既 260 秒 $< \Delta T < 1437$ 秒で皆既 $\Delta T < 1446$ 秒で部分食 -220 秒 $< \Delta T < 1117$ 秒で皆既 -447 秒 $< \Delta T < 748$ 秒で皆既
5568	1135	1	16	950	Stph,p253	臨安	$\Delta T < 1843$ 秒で非金環
5582	1140	3	20	940	Stph,p424	Malmesbury	1112 秒 $< \Delta T < 3330$ 秒で皆既
5600	1147	10	26	910	Stph,p394 Stph,p417 Stph,p418	Brauweiler Braunschweig Magdeburg	289 秒 $< \Delta T < 1167$ 秒で金環 $\Delta T < 1664$ 秒または 2623 秒 $< \Delta T$ $\Delta T < 1910$ 秒または 2865 秒 $< \Delta T$
5613	1153	1	26	890	Stph,p418	Erfurt	1336 秒 $< \Delta T$ で部分食
5672	1176	4	11	820	Stph,p394 Stph,p439 Stph,p444	Antioch Cizre Riv. Orontes	-210 秒 $< \Delta T < 1597$ 秒で皆既 599 秒 $< \Delta T < 2340$ 秒で皆既 590 秒 $< \Delta T < 2330$ 秒で皆既
5677	1178	9	13	810	玉葉 金史・天文 Stph,p450 Stph,p419	京都 [水卜] 京 Baghdad Vigeois	「触正現」 「日食」 部分食 $\Delta T < 1142$ 秒で部分食

* 上京臨 [水草黄] 府 (さんずい + 草かんむり + 黄)

表 2: 日食記録リスト (続き)

No.	西暦年	月	日	ΔT 秒	文献	都市	備考 (ΔT の範囲は 潮汐補正をゼロとした値)
5691	1183	11	17	800	源平盛衰記	水島	「闇の夜の如く」 1103 秒 $< \Delta T < 2020$ 秒で金環
					宋史 元史 玉葉 高麗史	臨安 大都 京都 開城	「日當食心八分」 「巳正二刻甚」 $\Delta T < 1750$ 秒で京都は部分食 $\Delta T > 1310$ 秒で開城は部分食
5694	1185	5	1	790	Stph,p395	Novgorod	-2185 秒 $< \Delta T < 10500$ 秒で皆既
5767	1214	10	5	700	宋史・寧宗三 金史・天文	臨安 [水卜]京	「太白昼見」 「大星皆見」
5785	1221	5	23	680	宋史・天文 金史・天文	臨安 [水卜]京	「日食于畢」 「日食」
					Stph,p253	K. River	-3652 秒 $< \Delta T < 1098$ 秒で皆既
5808	1230	5	14	660	Stph,p425	Belvoir	-7 秒 $< \Delta T < 1373$ 秒で皆既
5831	1239	6	3	630	Stph,p385	Toledo	817 秒 $< \Delta T < 2698$ 秒で皆既
					Stph,p397	Arezzo	-4330 秒 $< \Delta T < 3538$ 秒で皆既
					Stph,p398	Cesena	-3241 秒 $< \Delta T < 2709$ 秒で皆既
					Stph,p399	Florence	-4062 秒 $< \Delta T < 3001$ 秒で皆既
					Stph,p399	Coimbra	-543 秒 $< \Delta T < 1426$ 秒で皆既
					Stph,p400	Montpellier	-6043 秒 $< \Delta T < 1433$ 秒で皆既
					Stph,p400	Siena	-4664 秒 $< \Delta T < 3578$ 秒で皆既
					Stph,p400	Split	-3201 秒 $< \Delta T < 4591$ 秒で皆既
5838	1241	10	6	620	Stph,p402	Stade	621 秒 $< \Delta T < 1625$ 秒で皆既
					Stph,p402	Reichersberg	389 秒 $< \Delta T < 1335$ 秒で皆既
					Stph,p445	Nile Delta	-317 秒 $< \Delta T < 1110$ 秒で皆既
5848	1245	7	25	610	高麗史 平戸記	開城 京都	98 秒 $< \Delta T < 1273$ 秒で金環 「日輪細シ」, $\Delta T = 600$ 秒で 0.94
5849	1246	1	19	610	岡屋関白記	京都	京都不食は不審 -130 秒 $< \Delta T$ なら京都日入帯食
5893	1263	8	5	560	Stph,p404	Orkney(Scotl.)	Orkney では金環でも深食でもない
5902	1267	5	25	550	Stph,p404	Constantinople	-905 秒 $< \Delta T < 806$ 秒で皆既
					續史愚抄	京都	$\Delta T < 1600$ 秒で京都「不見」
5922	1275	6	25	530	宋史・天文五 大越史記全書	臨安 交趾	-738 秒 $< \Delta T < 1276$ 秒で皆既 1759 秒 $< \Delta T < 2924$ 秒で皆既
5962	1292	1	21	490	元史 續史愚抄 北条九代記	大都 京都 鎌倉	-72 秒 $< \Delta T < 1809$ 秒で皆既 「日蝕」 「日蝕正現」

Zwiefalten での観測から決まる ΔT の範囲である。省略した 4 都市で食が皆既となる ΔT の範囲は、横軸全体で図の 2 都市の範囲を含むので省略したのである。1135 年の日食は臨安では部分食であった。臨安の金環日食帯 (赤点線に挟まれた領域) が緑の縦棒から遠く外れているので、矛盾はない。1133 年の日食は Vysehrad (プラハの郊外) で日が細く見えたとある (皆既食帯は 2 本の赤実線の間)。図 3 と整合的である。1124 年の Novgorod での記録は皆既である (皆既食帯は 2 本の緑破線の間)。図 3 では Novgorod は皆既食に近いが皆既でない。ただし、Novgorod の日食は 9 年前であり、過去に向かうと ΔT は大きい方にずれる傾向にあるから、Novgorod では皆既でないにしてもきわめて皆既に近かったことが見てとれる。筆者らの予備的な調査によれば、ロシアの日食記録は食分を実際より大きくする傾向がある。最後に、Vyssotsky[17] の記述を紹介しておく。

Novgorodsky (6632): In the month of August on the 11th day, before evening service, the sun began to diminish and perished completely. Great fright and darkness were everywhere. And the stars appeared and the moon. And again the sun began to augment and its face became full again and everybody in the town was very glad.

ΔT の範囲として

$$433 \text{ 秒} < \Delta T < 748 \text{ 秒}$$

が得られた。

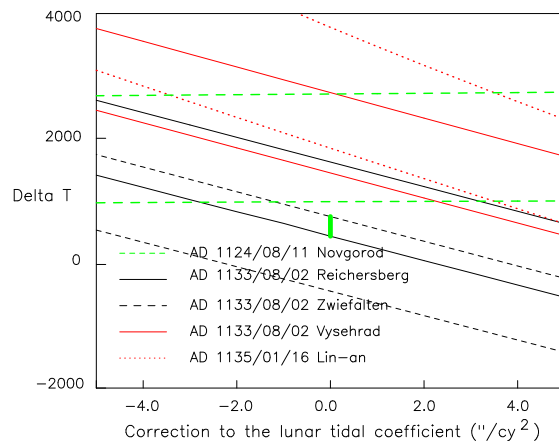


図 3: 1124 年 8 月 11 日, 1133 年 8 月 2 日, 1135 年 8 月 11 日の日食を使った相馬図。图中, Lin-an は臨安のことである。

2.4 1140 年から 1147 年までの日食

1140 年 3 月 20 日の日食が Malmesbury で皆既食として観測された [1]。1147 年 10 月 26 日の日食がドイツの 3 都市 (Brauweiler, Braunschweig, Magdeburg) で観測された [1]。Brauweiler では金環食であった。Braunschweig では

1147. On the feast of St Simon and St Jude (Oct 28), the Sun was obscured with the result that it resembled a sickle. [*Bothonis Chronicon Brunsvicensis picturatum*; in German; quoted by Ginzel]

とあるとおり、金環食ではないが、深い部分食であった。sickle は鎌の意。日付はなぜか2日違っている。Magdeburg でも部分食であった。太陽の形は ‘crescent’ と表現された。図4の相馬図を見てほしい。1140年の日食がMalmesburyで皆既食であったことと、1147年の日食がBrauweilerで金環食であったことから、図の緑の縦棒が範囲として得られる。

$$1112 \text{ 秒} < \Delta T < 1167 \text{ 秒}$$

である。図の赤の実線より下で、1147年の日食がBraunschweigで部分食になる。境界から緑の縦棒が近いので、Braunschweigで深食であることがわかる。資料と整合的である。参考のため次節で議論する6年後のErfurtでの金環食になる範囲を書き入れた。Erfurtでは金環食ではなかった。両方の観測が正しいとすると、Erfurtのときは、 ΔT が大きくなったとしなければならない。

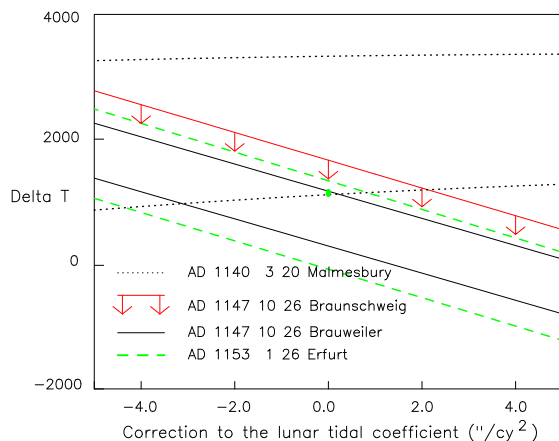


図4: 1140年3月20日, 1147年10月26日, 1153年1月26日の日食を使った相馬図.

2.5 1153年1月26日の日食

1153年1月26日の日食はErfurtで観測された。太陽の欠けた様子が複数個、絵として残されている [1]。それによると、金環食でなく、深い部分食であった。1147年の ΔT と同じであったとすると、Erfurtでは金環食になる。金環食でないとする、Erfurtは金環食帯の北または南にいたはずである。南の可能性はない。 ΔT は負の値になってしまうので現実的でないからである。1153年1月26日のErfurtにおける日食は、食の最大のときに円周にならずに縁が欠ける部分の角度が ΔT の値に依じて次のようになる。

ΔT 秒	欠ける角度 度
1153	0
1400	45
1673	90
1800	100
2264	120

Stephenson [1] の p.418 の Fig. 11.9 から, Erfurt では金環にならないが, 食の最大時に欠ける角度がたとえば 90° 以内になったとすれば, ΔT の範囲として

$$1153 \text{ 秒} < \Delta T < 1673 \text{ 秒}$$

となる. $\Delta T = 1400$ 秒とした場合の Erfurt での日食の状況を図 5 に示した. これから分かるように, 太陽が光っている方向が記録とは逆であり, このことは Stephenson も問題にしている. 彼が 'no more than speculation' としていることだが, 水に写ったものを記録したとすれば説明がつく.

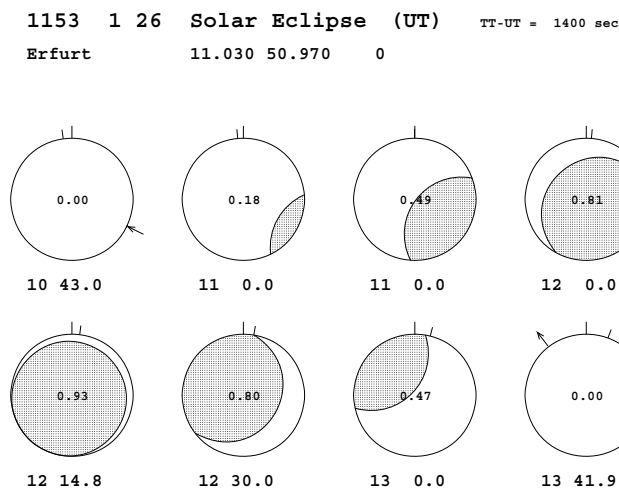


図 5: 1153 年 1 月 26 日の日食. 時間の推移と欠け具合. 上が天頂方向, 短い斜め線は天の北極方向. 矢印は太陽面への月の侵入方向と太陽面からの脱出方向を示す.

ところで, 上に書いた食の最大時の欠けた部分の角度は, 下の表に示すように, $\Delta T = 4756$ 秒で最大の 138.2° になるので, Stephenson[1] の Fig 11.9 の 3 や 7 や 8 のような欠け方はなかったはずである.

ΔT 秒	欠ける角度 度	食分
2000	110.8	0.904
3000	132.3	0.860
4000	137.4	0.818
4756	138.2	0.789
5000	138.1	0.780
6000	137.1	0.746

2.6 1176年から1178年までの日食

1176年4月11日の日食は、西アジアの3地点 (Antioch, Cizre, River Orontes) で皆既食として観測され、1178年9月13日の日食は Baghdad と Vigeois で部分食として観測された [1]. この記録を使って相馬図を描く.

1176年日食の日本の記録は『玉葉』にある [11]. 『玉葉』の記録は

安元二年三月一日丙午、天晴、巳刻許降雨雷鳴、今日日蝕、申酉刻可正現云々、朝間雖雨下、臨期天晴、蝕正現、... ([11])
(天晴れ、巳刻になって降雨と雷鳴があった。今日は日食である。申酉刻に見える云々とある。朝のあいだ雨が降ったが、期に臨んで天は晴れ、食が現れた。...)

1176年日食に関して中国では、『金史』[20]の本紀で「日有食之」、天文志で「日食」とあり、部分食である。日本、中国とも1176年の記録では ΔT の値をしぼれない。1178年日食は、東アジアでは見えない。だから日本・中国に記録はない。

図6の相馬図より、 ΔT の範囲は

$$599 \text{ 秒} < \Delta T < 1142 \text{ 秒}$$

である。

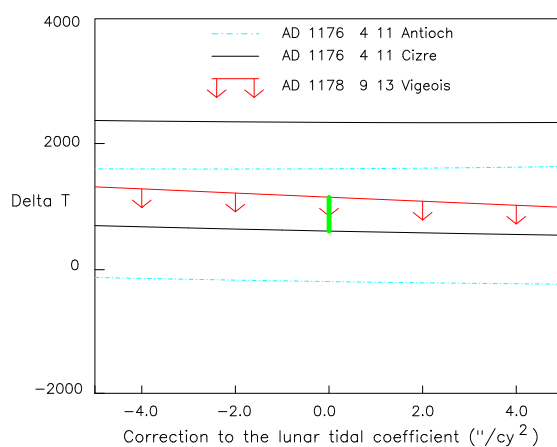


図6: 1176年4月11日と1178年9月13日の日食を使った相馬図.

2.7 1183年11月17日の日食

2.7.1 日本と中国の日食記録からの制限

1183年の水島日食は中国にも記録がある。『宋史』[12] および『元史』[21] によると

淳熙十年十一月壬戌朔，日有食之。（『宋史』卷三十五孝宗
 太史言十一月朔，日當食心八分。（『宋史』卷三百八十八，列伝百四十七）
 淳熙十年十一月壬戌朔，日食于心。（『宋史』卷三十五天文五）
 淳熙十年癸卯，十一月壬戌朔食，巳正二刻甚。
 （元史卷五十三 曆二 授時曆議下 交食）

『宋史』[12]の記録（首都は臨安，今の杭州）は文面からして予測である。『元史』[21]の記録も計算値（場所は首都の大都と考えられる）である。その理由のひとつは，1183年にはまだ元が存在しないので観測されたはずがないことである。もうひとつは，元史では卷五十三の授時曆議下（授時曆頒布は1281年）において詩経，書経，春秋以来の日食を授時曆と南朝劉宋の大明曆とで比較計算を行っている。これらのことから記録が計算されたものであることがわかるのである。京都での記録は『玉葉』にある。記述は[11]に，

閏十月一日壬戌，天晴，此日日蝕也，所載勘文，辰刻虧初，午刻復未云々，而午刻虧初，申刻復未，算勘之相違歟，先々雖時刻相違，今日殊乖勘文了，可尋之，...

とあり，予想では辰刻に日が欠け始め，午刻に元に戻るとあったが，実際には，午刻に欠け始め，申刻元に戻った。だからこれは観察記録である。京都に金環食帯が達しない条件から $\Delta T < 1750$ 秒が出る。

上記『宋史』[12]の「日當食心八分」を臨安で食分 $8/15=0.533$ と解釈し， ΔT に対して最大食分を計算すると（臨安の位置は $120^{\circ}10'E, 30^{\circ}15'N$ ）

ΔT (秒)	食分 (臨安)
800	0.747
1000	0.733
1200	0.720
...	...
3900	0.538
4000	0.532
4100	0.525
4200	0.518
4300	0.512

となる。ここでも ΔT は 4000 秒となって当時の範囲からはずれる。予測の精度が悪かったと考えられる。

すでに述べたように『元史』[21]の「巳正二刻甚」（北京で）は当時の予想である。これを現在の時刻にあてはめてみよう。橋本万平 [22], p.60 にある授時曆の時刻（初 4 刻と正 4 刻が $1/6$ 刻しかない，巳の刻は現在の 9 - 11 時）によると，巳正二刻は現在の 10 時 28.8 分にあたる。ただし，同書 p.71 - p.72 には初初刻と正初刻が $1/6$ 刻しかない時刻制度もあったことが書かれていて，これによると巳正二刻は現在の 10 時 16.8 分にあたる。首都の大都（現在の北京）の位置を $116^{\circ}17'E, 39^{\circ}56'N$ とし て地方視太陽時による食甚時刻は

ΔT (秒)	食甚時刻
0	10時 28.7分
200	10時 24.0分
400	10時 19.4分
600	10時 14.8分
800	10時 10.2分
1000	10時 05.7分

となる。10時 28.8分は $\Delta T = 0$ 秒に、10時 16.8分は $\Delta T = 500$ 秒に相当する。これらの値は期待される値よりだいぶ小さい。20分ほど実際の値からずれていると考えられる。食予測としては、たいへん精度が良いと言ふべきかもしれない。

2.7.2 高麗の日食記録からの制限

1183年の日食は『高麗史』[14]の天文志に記録が残っている(文献[23]にも史料あり)。記録には

明宗十三年十一月壬戌朔 日食

とあり、部分食であることを示唆する。高麗時代にどのような観測が行われ、どのように記録が行われたかを吟味しないと、上記記録の意味を見誤ることになりかねない。本節では、簡単にではあるが、高麗の記録の性質を調べる。

表 2. 高麗史 天文志の日食記録

OP.#	西暦年月日	高麗年月日	記事	観測可能性
5691	1183/11/17	明宗十三年 十一月壬戌朔	日食	
5848	1245/ 7/25	高宗三十二年 七月癸巳朔	日食既	

1245年の日食は、あとで解析することになる。その解析によると、1245年の高麗記録は観測記録である。それより60余年前の記録が観測に基づくかどうかが問題である。すなわち、1183年源平日食が高麗で部分食なら、水島では金環食である。このことは図7で説明しよう。図7の2本の平行曲線は金環食帯の限界線である。この線に挟まれた地域では金環食が観察できる。いま地球自転の遅れ $\Delta T = 1310$ 秒と取ると、高麗の首都開城は金環食帯の西端にあり、水島は金環食帯の中にある。 ΔT を1310秒より大きく取ると、金環食帯は東に動き、小さく取ると西に動く(図1参照)。開城が金環食帯の東端にくるのは $\Delta T = 400$ 秒のときである。したがって、開城が部分食になるのは、 $\Delta T > 1310$ 秒または $\Delta T < 400$ 秒であるが、1183年当時の ΔT は400秒未満ではあり得ないので、開城が部分食であるための条件は $\Delta T > 1310$ 秒となる。さらに、水島が金環食帯の西端にくるのは $\Delta T = 2020$ 秒のときである。1183年当時、 ΔT は2000秒に届かないと予想されるので、結局、開城で部分食が観測されたなら、水島が金環食であったと言って差し支えない。だが、高麗記録が観測記録であると断言できないので水島で金環食であったと言えない。

最後に1185年5月1日のロシアのNovgorodでの皆既食記録から -2185 秒 $< \Delta T < 10500$ 秒が出る。範囲が広すぎて、制限条件にならない。

2.8 1214年から1230年までの日食

1214年10月5日には、宋と金で深い日食が観察された。その記録を抜き出してみる。

Solar Eclipse 1183 11 17

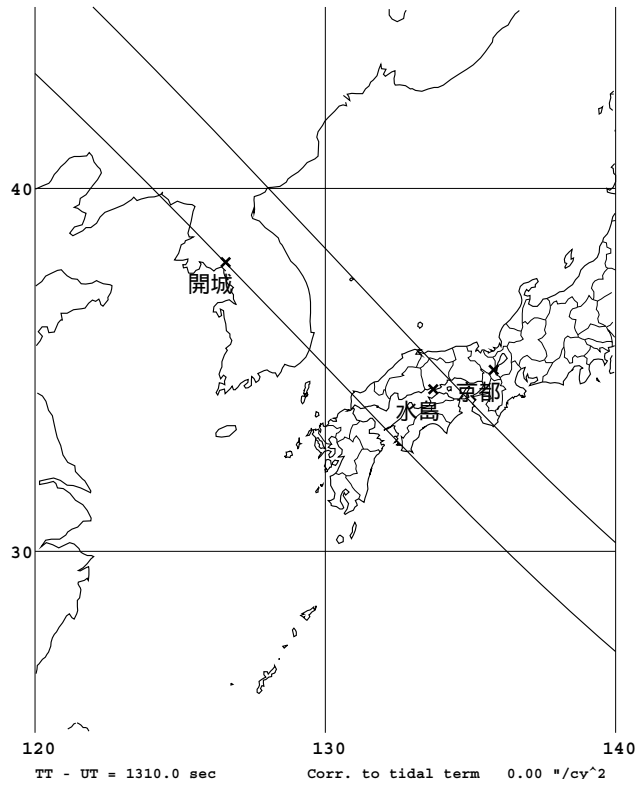


図 7: 1183 年 11 月 17 日の金環食帯. $\Delta T = 1310$ 秒. 開城で部分日食となるための条件は $\Delta T > 1310$ 秒.

嘉定七年九月壬戌朔，日有食之，太白晝見。（『宋史』[12] 卷三十九寧宗三）

嘉定七年九月壬戌朔，日食于角。（『宋史』[12] 卷五十二天文五）

貞祐二年九月壬戌朔，日有食之。（『金史』[20] 卷十四宣宗）

貞祐二年九月壬戌朔，日食，大星皆見。（『金史』[20] 卷二十天文）

位置さえ知っていれば，日食のときでなくとも，極大光度近くの太白（金星）を見ることができる。宋史[12]に「太白晝見」とあるが，1214年10月5日にはたまたま太白は極大光度に近かったので，日食で太陽が欠けたために見えたとは言えない。だから残念ながら，「太白晝見」は日食の食分の推定に使えない。ただし，皆既でないのは確かなので，南宋の首都・臨安（今の杭州）で皆既にならないという条件から $\Delta T < 2549$ 秒が出る。金史[20]の「大星皆見」は日食時特有の表現であり，空が暗くなったことを言っている。だが，計算によると，金の首都・[水卞]京（現在の開封）での日食の食分は，南宋の首都・臨安（現在の杭州）での食分よりやや小さかったはずである。臨安で太白しか見えなかったのに，[水卞]京で太白以外の星が見えたとする記述は不審である。金史の記録は ΔT の幅推定に使えない。

1221年5月23日には，宋，金，および高麗で日食が観察された。その記録を抜き出してみる。

嘉定十四年五月甲申朔，日有食之。（『宋史』[12] 卷三十九寧宗四）

嘉定十四年五月甲申朔，日食于畢。（『宋史』[12] 卷五十二天文五）

興定五年五月甲申朔，日有食之。（『金史』[20] 卷十六宣宗下）

興定五年五月甲申朔，日食。（『金史』[20] 卷二十天文）

どの記録も日食の食分推定に使えない。同じ日食が $115^\circ E, 48^\circ N$ の Kerulen River 沿いで観測された。文献[1]で詳細な解析が行われている。この皆既の条件から $-3652 \text{ 秒} < \Delta T < 1098 \text{ 秒}$ が出る。

次に，1230年5月14日の日食が，東イングランドで観測された[1]。Stephenson[1]に記載されている記録を引用すると

In the same year (1230) an extraordinary eclipse of the Sun occurred, in the very early morning immediately after sunrise, on the day before the Ides of May (May 14) in Rogationtide, namely the third day of the week (i.e. Tuesday). As a result, the workers in the fields and many others, leaving their morning's work on account of the excessive darkness, decided to return to bed and go back to sleep. But at length, after the space of one hour, to the astonishment of many, the Sun regained its usual brightness.

[Roger of Wendover: *Flores Historiarum*; Hewlett(1887, Vol. II, p.384).]

「歴史の花」(*Flores Historiarum*)の著者 Roger of Wendover は Belvoir の修道院長であり，彼自身がこの日食を目撃した，と Stephenson は理解した。そこで，本論文でも，観測地を Belvoir ($0^\circ.73E, 52^\circ.90N$) とし，そこで皆既日食が生じたと解釈し， $-7 \text{ 秒} < \Delta T < 1373 \text{ 秒}$ を得る。

1214, 1221, 1230年の日食記録から描いた相馬図が図8である。1214年の宋史の記録から得た条件は矢印つきの曲線として図8に描いた。1221年と1230年の日食記録から

$$-7 \text{ 秒} < \Delta T < 1098 \text{ 秒}$$

となる。

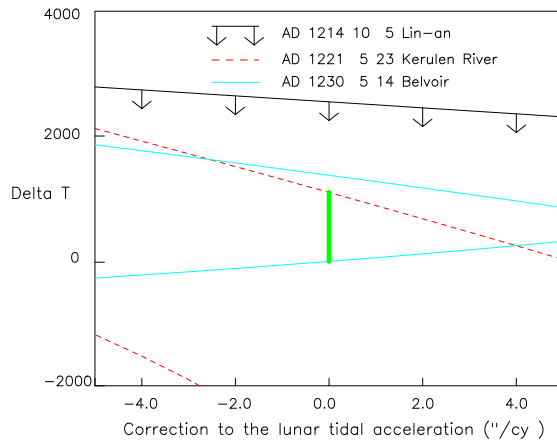


図 8: 1214 年 10 月 5 日, 1221 年 5 月 23 日, および 1230 年 5 月 14 日の日食を使った相馬図. Lin-an は臨安のことである.

2.9 1239 年から 1245 年までの日食

1239 年 6 月 3 日には, 欧州の 8 都市 (Toledo, Arezzo, Cesena, Florence, Coimbra, Montpellier, Siena, Split) で皆既食が報告された. Stephenson[1] に各都市の記録が掲載されている. Stephenson は月の潮汐項が変動することは想定しておらず, 現在値を仮定して ΔT の範囲を求めている. 筆者らは相馬図を描く. 補助として 1241 年 10 月 6 日の 3 地点 (Stade, Reichersberg, Nile Delta) の日食記録 [1] を使う. Nile Delta は Cairo と解釈する. 合わせて 11 地点での記録があるが, そのうち, 他の地点からの ΔT の範囲を含んでしまうものをいくつか除外して, 1239 年は 2 地点, 1241 年は 2 地点を用いて相馬図を作った (図 9). 1245 年 7 月 25 日の日食は, 『高麗史』 [14] で金環食として記録された.

高宗三十二年七月癸巳朔 日食既

この高麗日食による ΔT の範囲は開城で金環食であったとして $98 \text{ 秒} < \Delta T < 1273 \text{ 秒}$ (図 10) であり, 1239 年, 1241 年の欧州日食で決まる範囲を含むので, 使う必要がない. 逆に言えば, 『高麗史』 [14] の記録は観測に基づくと考えてよい.

1239 年と 1241 年の日食記録から

$$817 \text{ 秒} < \Delta T < 1110 \text{ 秒}$$

となる. 1245 年の高麗日食は京都では

到山葉之間出現, 日輪頗細猶蝕氣與, 今日御祈, 醜翻座主實賢奉仕也
(『平戸記』 [11] 参照)

とある. この「日輪頗細 (すこぶる細し)」がどれほど細い日輪を表すのか, 形を計算で出してみる. 以下の表が当日の ΔT と食分の関係である. 細さが食分に関係する.

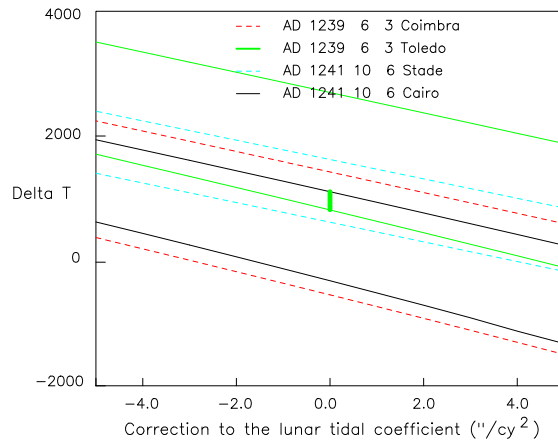


図 9: 1239 年 6 月 3 日と 1241 年 10 月 6 日の日食を使った相馬図.

ΔT	開城	京都食分
800 秒	金環	0.928
1000 秒	金環	0.935
1200 秒	金環	0.943

京都での食分が 0.92, 0.93, 0.94, 0.95 になる場合の太陽の欠け方を図 11 に示す. 食分 0.92, 0.93, 0.94 の図には, 細い日輪の先端の位置を短線で示しておいた. 0.95 では金環食である. どの図を見ても, 日輪は「すこぶる細い」ことがわかる. だから, 京都の観察記録から ΔT の範囲を絞ることはできない.

2.10 1263 年から 1275 年までの日食

1263 年 8 月 5 日の日食が Orkney(スコットランド) で観測された [1]. 金環食を見たところ, Stephenson[1] も言うとおり, この表現は大袈裟である. よって, この記録は使えない. 1267 年 5 月 25 日の日食が Constantinople で皆既食として観測された [1]. 京都では「日當触而不見」(續史愚抄 [11]) なので, $\Delta T < 1600$ 秒が得られる. 幅が広すぎて ΔT の値の範囲を絞れない. 1275 年 6 月 25 日の日食が南宋 (首都は臨安, 現在の杭州) において皆既食として観測された (『宋史』[12] 天文五, 「星見, 鷄鷲皆歸.」). 1267 年の Constantinople と 1275 年の臨安の結果を併せて

$$-738 \text{ 秒} < \Delta T < 806 \text{ 秒}.$$

範囲が広すぎる. 上の限界は役に立つが下の限界は役に立たない. Ho Peng-Yoke[24] は 1275 年 6 月 25 日の日食について越南の記録として, 大越史記全書から

On a canh-ty day, the first day of the sixth month, in the summer (of the third year of the Bao-phu reign period) (25 June, 1275) there was a total eclipse of the sun (BK ch.5)

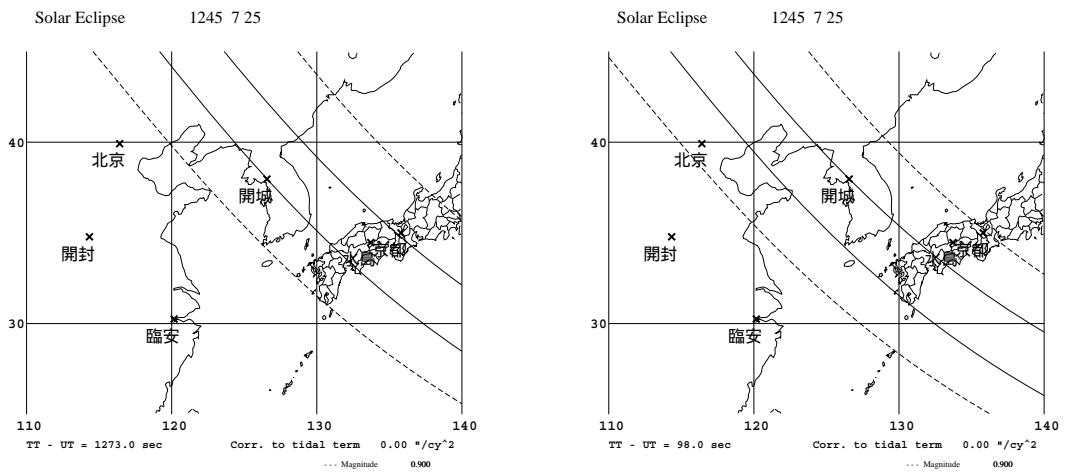


図 10: 1245 年 7 月 25 日, 開城で金環, 京都で「日輪頗細」. 破線は食分 0.9 の等食分線.

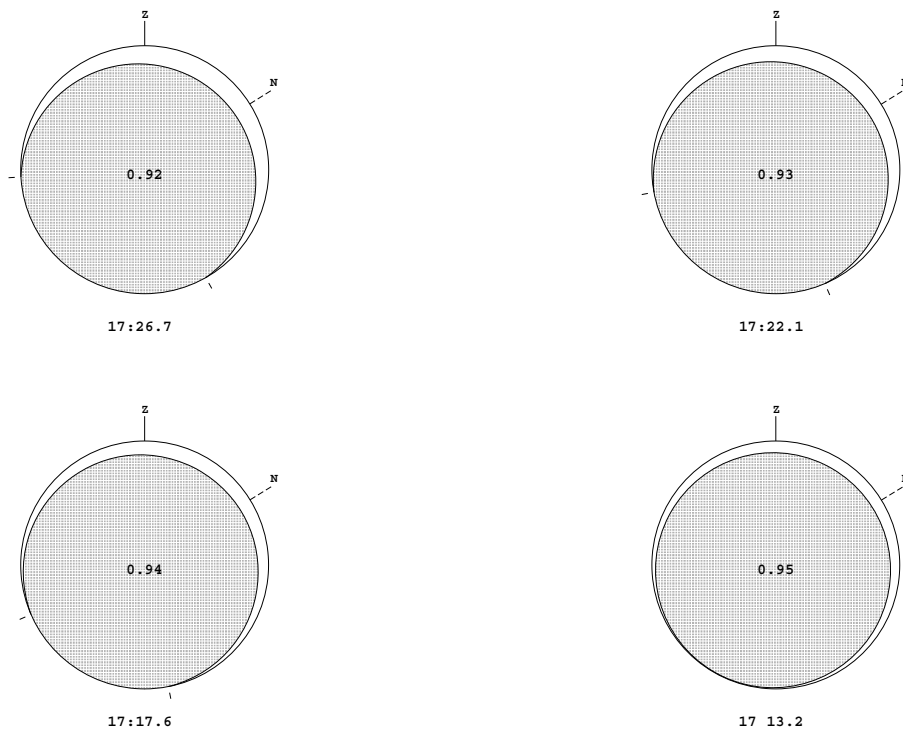


図 11: 1245 年 7 月 25 日, 京都で「日輪頗細」. 京都で見た太陽の形. 食分は 0.92, 0.93, 0.94, 0.95. 0.95 は金環である. Z は天頂方向, N は天の北極方向.

を引用する。交趾 (現在のハノイあたり) を観測場所としても、皆既になる ΔT の範囲は尤もらしい値から大きくずれる (表 1 参照)。この記録は中国からの複製であると思われる。

2.11 1292 年 1 月 21 日の日食

本日食は『元史』[21] に以下のように記録がある。

(至元) 二十九年春正月甲午朔，以日食免朝賀。日食時，左右有珥，上有抱氣。
(『元史』[21] 卷十七世祖十四)

(至元) 二十九年正月甲午朔，日有食之。有物漸侵入日中，不能既，日體如金環然，左右有珥，上有抱氣。
(『元史』[21] 卷四十八天文一)

首都の大都 (現在の北京) で金環食であったとすると、 $-72 \text{ 秒} < \Delta T < 1809 \text{ 秒}$ である。これは当時の ΔT の範囲として大いにあり得るので、この記録は実際の観測からきたものとして間違いない。ただし、 ΔT の範囲を狭めるには役立たない。また日本ではいくつもの文献に観察記録が残っているが、平凡な部分食であったはずなので、 ΔT の幅推定に使用できない。

3 1183 年周辺の ΔT

水島の合戦時に起きた日食の金環食帯は、図 1 に示すとおりであり、 ΔT の値によっては、合戦場と重なりうる。図を描くにあたって、 ΔT として Stephenson[1] の値を使用したことは既にのべた。水島の日食については、先行研究者によって、これまでも議論されている。しかし、著者らの知る限り、 ΔT の値に踏み込んだ議論はない。本論文では、複数の日食から ΔT の値の精度を上げる努力を行った。源平の合戦時に、水島が金環食であるための条件を求めると、潮汐加速度を現在値として、 $1103 \text{ 秒} < \Delta T < 2020 \text{ 秒}$ となる。 ΔT に Stephenson[1] の 1183 年の代表値 800s を使用した場合には、水島での食分は 94 % であり、金環食の場合より 1% 程、食分が小さくなり、部分日食となる。

2.3 節、2.4 節、2.5 節、2.6 節、2.8 節、2.9 節および 2.10 節で求めた ΔT の範囲を表にしておこう。

表 2. 1183 年前後百数十年の ΔT 変動

期間	使用した日食 (年)	ΔT の範囲	Stepheonson の平滑値
1133 年前後	1124,1133,1135	$433 \text{ 秒} < \Delta T < 748 \text{ 秒}$	960 秒
1147 年前後	1140,1147	$1112 \text{ 秒} < \Delta T < 1167 \text{ 秒}$	910 秒
1153 年	1153	$1153 \text{ 秒} < \Delta T < 1673 \text{ 秒}$	890 秒
1176 年前後	1176,1178	$599 \text{ 秒} < \Delta T < 1142 \text{ 秒}$	820 秒
1225 年前後	1221,1230	$-7 \text{ 秒} < \Delta T < 1098 \text{ 秒}$	680 秒
1241 年前後	1239,1241,1245	$817 \text{ 秒} < \Delta T < 1110 \text{ 秒}$	620 秒
1267 年前後	1263,1267,1275	$-738 \text{ 秒} < \Delta T < 806 \text{ 秒}$	550 秒

この結果を図にしてみる。それが図 12 の赤縦棒である。7 個の範囲のうち、最初の 3 つのデータから直線的に ΔT が増加するという結果が出る。とくに 1153 年の Erfurt 日食の観察図が部分食を指し示していることが本当であるとする、この直線傾向が正しいことになる。1176 年前後には ΔT が減少している。1183 年 11 月 17 日の日食が水島で金環であるための条件は、中間の縦の破線の上部に黒の実線で示しておいた。1241 年前後の日食からの ΔT は「水島日食金環食説」に都合がいい。

図 12 から、1183 年水島日食が金環であったかどうかはきわめて微妙である。金環食であってもおかしくはないが、金環食すれすれの部分食であった可能性もある。その理由は 2 つある。ひとつは、今回の解析の示すところ、短周期で大きな振幅で ΔT が変化した可能性があること。ここで言う短周期とは、百年尺度ではなく、10 年尺度の周期である。もうひとつは、1183 年前後の ΔT の範囲が、1183 年水島日食の金環食のための ΔT 範囲の境界を指し示すことである。

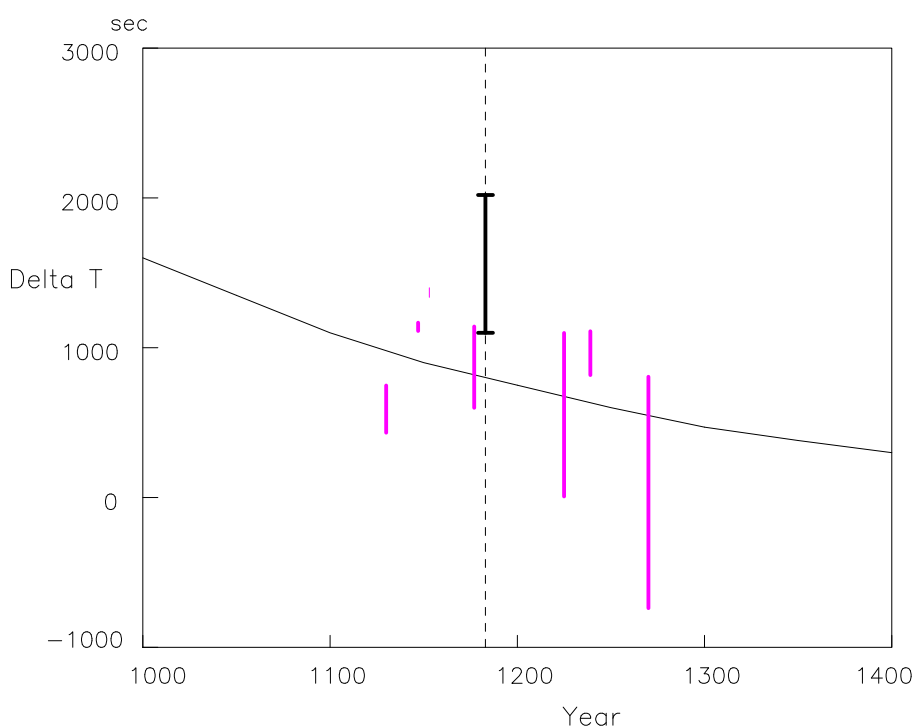


図 12: 西暦 1183 年周辺の ΔT 変動。なめらかな曲線は Stephenson[1] による平滑値をつないだもの。

4 まとめ

本論文では、源平盛衰記に記録の残る、1183 年の前後あわせて百数十年間の複数日食を使ってその時期の ΔT の範囲を求めた。1183 年 11 月 17 日の水島日食の時点での ΔT の範囲を決めることはたいへんむずかしいことがわかった。ひとつには ΔT が比

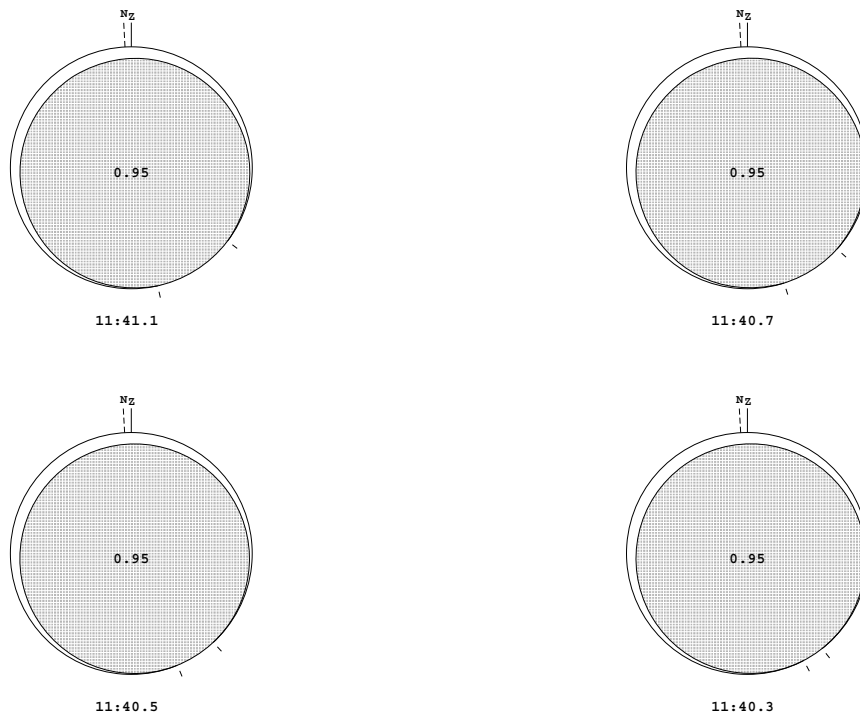


図 13: 1183 年 11 月 17 日, 水島で日食が金環に近い. 水島で見た太陽の形. 金環直前, 太陽の周囲が $40^\circ, 30^\circ, 20^\circ, 10^\circ$ 欠けた部分食の図. Z が天頂方向, N が天の北極方向.

較的短期間で変動すること, もうひとつは, 1183 年前後の ΔT の範囲から示唆される 1183 年 11 月 17 日での ΔT の範囲が, 水島日食の金環食条件の境界付近を指し示したことである. これ以上の精度の高い議論はわれわれの手法ではできない. したがって, 水島日食が金環食であったかどうかを決めることはできなかった. ただ, 金環食でなかったにしろ, きわめて金環食に近い日食であったことは言える. 水島で金環食でないとして, 太陽の欠け方を示したのが図 13 である. 金環食に近い場合, 太陽の縁は細く月を囲む.

図 12 からわかるように, ΔT の変動は, Stephenson[1] の平滑値に従わず, その上下に揺れていることがわかる. たとえば, 1133 年ごろには平滑値より 250 秒ほど小さく, 1147 年ごろには平滑値より上にある. そして, 1140 年から 1245 年あたりまで, ΔT がほぼ一定であった.

最後に, 歴史的な解釈は色々あるが, 1183 年 11 月 17 日の水島での日食は, 金環食であったとしても, 食分 95% 程度であり, 最大食時でも, 曇り空程度の明るさは, あったはずであり, 源氏の敗戦が日食によるのかは疑問の残る所である. 陸地にいれば, 木の葉の影から欠けた太陽がわかり, 事情を知らない人々にとっては不吉な予兆ととられた可能性はある. 憶測すれば, 平家方が「太陽が欠けた, 欠けた」とはやし立てて注意を促したかもしれない. 本研究では, 欧州の諸都市での観測が大いに役立った.

参考文献

- [1] F. R. Stephenson: 1997, *Historical Eclipses and Earth Rotation*, Cambridge University Press.
- [2] 藤本久兵衛: 寛永年間, 『源平盛衰記』 卷第三十三 (国立国会図書館デジタル化資料 <http://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/2544860?toc0pened=1>); 古谷知新 (校訂): 1910, 『源平盛衰記』, 国民文庫刊行会.
- [3] 斉藤国治: 1982, 『星の古記録』, 岩波新書.
- [4] 細井浩志: 2007, 『古代の天文異変と史書』, 吉川弘文館, p.96.
- [5] Theodor von Oppolzer: 1887, *Canon der Finsternisse*, Wien; reprinted by Dover Publications, 1962.
- [6] Schoch, K.: 1927, *Planeten-Tafeln für Jedermann zur Berechnung der geozentrischen Örter der großen Planeten (und des Mondes) für den Zeitraum von 3400 v. Chr. bis 2600 n. Chr. ohne Anwendung der Logarithmen und trigonometrischen Funktionen bis auf ein Zehntel Grad unter besonderer Berücksichtigung der Babylonischen Astronomie*, Linser-Verlag G.M.B.H., Berlin-Pankow.
- [7] Tanikawa, K. and Sôma, M.: 2004, ΔT and the Tidal Acceleration of the Lunar Motion from Eclipses Observed at Plural Sites, *Publ. Astron. Spc. Japan* **56**, 879 – 885.
- [8] 谷川清隆, 相馬 充: 2006, 「古文書からわかる長周期の自転変動」, 岩波『科学』 76 巻 2 号 (2006 年 2 月号), 188 – 192.
- [9] Tanikawa, K., Yamamoto, T., and Sôma, M.: 2010, Solar eclipses in the first half of the Chunqiu Period, *Publ. Astron. Spc. Japan* **62**, 797 – 809.
- [10] 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.
- [11] 神田 茂: 1935, 『日本天文史料』, 恒星社.
- [12] 欧陽玄: 1345, 『宋史』.
- [13] 廉惠山海牙, 王沂, 徐, 陳繹曾: 1345, 『遼史』.
- [14] 鄭麟趾, 奉敕修: 1451, 『高麗史』 天文志;
図書刊行会: 1908, 『高麗史』 天文志 (近代デジタルライブラリー <http://kindai.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/991068?toc0pened=1>).
- [15] 沈約: 488, 『宋書』.
- [16] 安藤有益: 1663, 『長慶宣明曆算法』.
- [17] A.N. Vyssotsky: 1949, Astronomical Records in the Russian Chronicles from 1000 to 1600 A.D., Historical Notes and Papers Nr. 22, *Meddelande Fran Lunds Astronomiska Observatorium Ser II. Nr. 126*, Published by the Observatory, Lund, Sweden.
- [18] 葉隆禮: 1271 (推測), 『契丹国志』.
- [19] 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.

- [20] 欧陽玄: 1345, 『金史』.
- [21] 宋濂, 高啓: 1368, 『元史』.
- [22] 橋本万平: 1978, 『日本の時刻制度』, 塙書房.
- [23] Yong Bok Lee: 1999, *Solar Eclipses Maps in the Koryo Dynasty*, Korea Astronomy Observatory.
- [24] Ho Peng-Yoke: 1964, Natural Phenomena Recorded in the Đai-Việt Su'-Ky Toan-Thu', An Early Annamese Historical Source, *Journal of the American Oriental Society*, **84**, 127–149.
- [25] Hewlett, H.B.: 1887, *Flowers of History by Roger of Wendover*, H.M. Stationery Office, London.