

247 年 3 月 24 日の日食について

相馬 充, 上田暁俊, 谷川清隆, 安本美典¹

(2011 年 7 月 19 日受付; 2011 年 11 月 21 日受理)

Eclipse on March 24, AD 247 and ΔT

Mitsuru SÔMA, Akitoshi UEDA, Kiyotaka TANIKAWA and Biten YASUMOTO¹

Abstract

We examine the value of ΔT at around AD 247. We found that there are comments in the Sanguozhi (三國志) and Jinshu (晉書) on the eclipse on March 24, 247 (Julian Calendar). The comment suggests that the eclipse was not total but deep. We obtain $\Delta T > 7750$ sec in contrast to the result of Tanikawa et al. (2010) which stated the value close around $\Delta T = 8000$ sec is too large and is improbable. The ΔT result says that the magnitude of the eclipse on March 24, 247 in the northern Kyushu Island is not total but deep. In particular, islands on the north shore of the Kyushu may have experienced a total eclipse. We discuss some implications.

要旨

西暦 247 年前後の地球時計遅れ ΔT の値を見積もる。西暦 247 年 3 月 24 日 (ユリウス暦) の日食に関する記述が三國志と晋書にあることを見つけた。その記述によると, 当該日食は洛陽において皆既でなく, 深食であった。このことから $\Delta T > 7750$ 秒を得た。前論文 [1] で谷川・相馬は, 西暦 247 年前後に $\Delta T = 8000$ 秒は大きすぎて本当らしくないと述べたが, この結論は訂正すべきかもしれない。本論文の結果からすると, 西暦 247 年 3 月 24 日の日食は北九州でも深食である。とくに北九州市や北九州沿岸の島では皆既であった可能性がある。 ΔT が単調に減少していない可能性がある。地球の南北極での氷の消長による地球の慣性率変動と ΔT 変動の関係について簡単な理論的考察を行う。

1 序

論文 [1] において, 谷川・相馬は「天の磐戸」日食の候補を探した。その際, 『三国遺事』 [2] の「延鳥郎 細烏女」伝説が重要な役割を果たした。すなわち, 伝説に「このとき新羅では, 太陽と月の光が消えてしまった」とあるのを皆既日食と解釈し, 『三国遺事』の作者が意図する時代を信用して紀元 158 年 7 月 13 日 (ユリウス暦) の日食であるとした。当時の ΔT を幅広く動かしても新羅の首都慶州 (Gyeongju) において深

い食であることは確かである。論文 [1] では, この日食の皆既帯が慶州を通るとして, $7692 \text{ 秒} < \Delta T < 7933 \text{ 秒}$ を得た。この値を信用するなら, 100 年後の紀元 247 年前後に $\Delta T = 8500$ 秒に増えることは考えにくい。論文 [1] の記述を再録すると, 「247 年当時は $\Delta T = 7300$ 秒あたりなので, この日食も候補からはずれてしまう」これが谷川・相馬の結論であった。

論文 [1] では 2 つの重要な問題を見逃していた可能性がある。ひとつは, 谷川・相馬の予想より ΔT の変動周期が短く, 振幅が大きい可能性があることである。その意味で, 論文 [1] のようにはっきりとした結論を出すことは危険であったかもしれない。247 年日食が

¹ 元産業能率大学

九州（北岸）で皆既であった可能性は小さいとすべきであった。 ΔT の変動に関するやや一般の講論は4節で試みる。

ふたつめは歴史に関係する。朝鮮の古代史は過去に向かって引き伸ばされている可能性がある」と指摘する歴史学者がいる。すなわち、「韓史モ、上代ニ遡ルニ随ヒ、年歴ノ延長セリト覺シキ所アルコトハ、殆ト我が古史ニ異ナラズ」(那珂通世[3])。「延鳥郎 細鳥女」伝説が日食について述べているにしても、紀元150年代ではなく、もっと現代に近いかもしれない。そうだとすると、論文[1]の前提は崩れ、結論はあやしくなる。皆既食帯が慶州を通る別の時代の日食を候補として探す方向の研究があり得る。本論文ではその方向の課題はさておき、247年日食に関する直接史料を得たのでその史料を分析して当時の ΔT の範囲を制限する。

2 247年日食による ΔT への制約

正始八年春二月朔(西暦247年3月24日)の日食に関する直接の記録が三國志[4]と晋書[5]にある。とくに三國志卷十四と晋書卷十二の情報は、実際に日食を観察したことが読み取れて有用である。本論文は、この情報を考慮に入れて ΔT の範囲、および当該日食が日本で皆既または皆既に近い日食であったかどうかを調べることを目的とする。三國志および晋書の記事をここに転載しておく。

まずは、直接史料『三國志』の記述：

正始八年春二月朔、日有蝕之。

(『三國志』卷四 魏書四「三少帝紀」)

同じく『三國志』卷十四「程郭董劉蔣劉伝」：

是時、曹爽專政、丁謐、眷董等輕改法度。會有日蝕變、詔羣臣問其得失、濟上疏曰：「昔大舜佐治、戒在比周；周公輔政、慎于其朋；齊侯問災、晏嬰對以布惠；魯君問異、臧孫答以緩役。應天塞變、乃實人事。...」

訳：この時代、曹爽が政治権力を一手に握り、丁謐・眷董らが法律・制度を輕視し改変した。たまたま日食という大變があり、群臣に詔勅が下ってその意味について質問があった。蔣濟は上奏して述べた、「昔、大舜は[堯の]統治を助けていたとき、徒党ができることを警戒し、周公は[成王の]政治を輔佐していたとき、[成王に]朋友關係を慎むようさとしました。[春秋時代に]齊侯が天變について質問したとき、[宰相]晏嬰は恩恵を施すようにと答え、魯の君が災異について質問したとき、臧文仲は役務を緩和するようにと答えました。天の意志にこたえて変異を止めることは、実に人間のなすべき事柄です。...」(正史 三國志 3[6])

晋書の記述もほぼ同様なので省略する。ただ、蔣濟の上奏文の直後に以下の文章が続く。それによると、不吉な日食に正しく対処しないと国が亡びることもあり得ると歴史家は考えていたようだ。

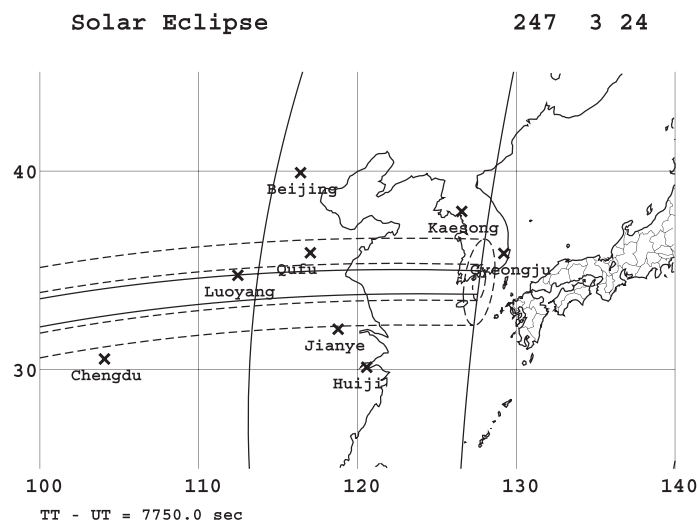


図1: 紀元247年3月24日の洛陽(Luoyang)における日食。二本の実線で挟まれた場所では皆既、内側の二本の破線で挟まれた場所では食分0.99以上、外側の二本の破線で挟まれた場所では食分0.95以上。 $\Delta T = 7750$ 秒は、洛陽が皆既帯の境界にあるための条件である。

濟旨譬甚切，而君臣不悟，終至敗亡。

（『晋書』卷十二志第二「天文中」「日蝕」）

訳：蔣済のことばにははなはだ切なるものがあつた。
君臣がそれを悟らなかったで、（魏は）終には亡びてしまった。（安本 訳）

晋書の記録を読む限り、紀元 247 年 3 月 24 日の日食は洛陽（Luoyang）で部分食である。「既」も「幾既」もない。また、曹爽が政治を専らにしていたことは書いてあるが、日食が深かったかどうか読み取れない。平凡な部分食のようにも思える。ところが、実際に食帯図を書いてみると、皆既食帯がほぼ等緯度線に平行

であつて、広い範囲の ΔT で同一の場所で皆既食が見られる。洛陽の場合、部分食であるための条件は $\Delta T > 7750$ 秒である（図 1 参照）。洛陽で 0.99 以上の部分食であることを要請すると、 $7750 \text{ 秒} < \Delta T < 8900$ 秒が得られる（図 2）。ふつう、食分が 0.99 以上なら「幾既」と書かれると思われるがその記述がない。やや不審である。念のため、飛鳥に皆既帯が届くための ΔT を求めると 9700 秒以上となる（図 3）。

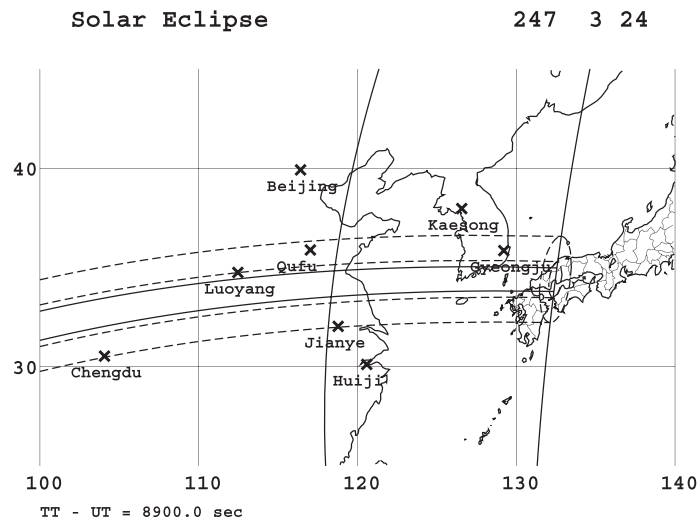


図 2：紀元 247 年 3 月 24 日の洛陽における日食。二本の実線で挟まれた場所では皆既，内側の二本の破線で挟まれた場所では食分 0.99 以上，外側の二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。 $\Delta T = 8900$ 秒は，洛陽での食分が 0.99 の等食分線上にあるための条件である。

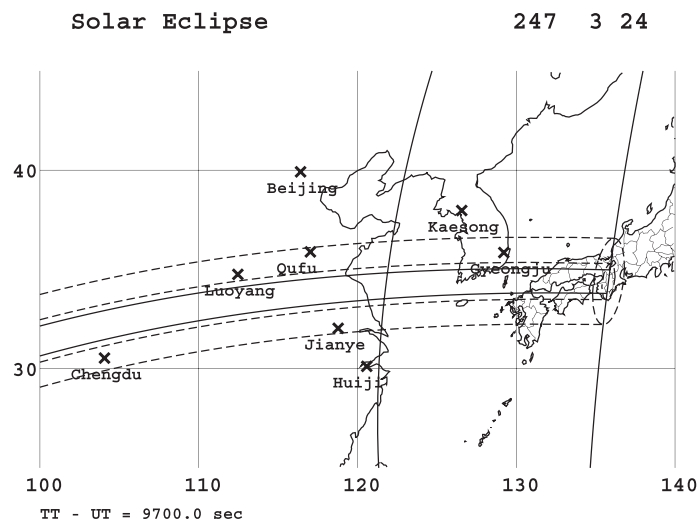


図 3：紀元 247 年 3 月 24 日の洛陽における日食。二本の実線で挟まれた場所では皆既，内側の二本の破線で挟まれた場所では食分 0.99 以上，外側の二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。飛鳥で皆既が見えるための条件は $\Delta T \geq 9700$ 秒。

3 西暦 247 年前後の日食

三國志および晋書の記録より、西暦 247 年の時計遅れは $\Delta T > 7750$ 秒と得られた。 ΔT の上界(上の限界)を求めたい。そのために、西暦 247 年前後の日食をしよう。

まず、三国時代の日食記録を表 1 にまとめる。三国時代の日食記録は三國志だけでなく、晋書にも宋書[7]にも記録されている。編纂の時代順では、三國志(西暦 280 年代)、宋書(西暦五世紀末)、晋書(西暦 648 年)である。三國志より晋書や宋書に多くの日食記録があることは不思議である。三國志は魏書、蜀書、呉書から成り、天文記録は魏書だけにある。蜀も呉も皇帝を戴いていたので、天文記録を保持していたはずであるが、蜀書にも呉書にも天文記録はない。その消された記録を宋書、晋書が復活させたと考えれば、つじつまは合う。実際、太和六年正月の日食について晋書天文中は「見呉曆」と記す。その場合、蜀の首都・成都(Chengdu)や呉の首都・建業(Jianye)(西暦 265 年からは武昌(Wuchang))では、洛陽と異なる食分の日食が見えたはずである。実際、図 1, 2, 3 において成都、建業では、247 年 3 月 24 日の日食は深い食ではあるが、食分が 0.95 を越えるのは成都なら $\Delta T > 8600$ 秒のとき、建業なら $\Delta T > 8710$ 秒のときである。

気になる日食記録がある。西暦 243 年 6 月 5 日の日食である。適当な ΔT を仮定して食帯図を書くと図 4 になる。洛陽は金環からほど遠いのに「既」とある。

洛陽が金環近くになるためには $\Delta T \approx 15000$ 秒でなくてはならぬし、しかもそうなっても金環にはならないことがわかる。これは三國志の魏書本紀の記事である。

正始四年五月朔、日有食之、既。冬十二月、倭國女王倭彌呼遣使奉獻。(『三國志』卷四 魏書四「三少帝紀」)

紀元 243 年末、卑弥呼が献使奉獻していることも著者らの興味を引く。西暦 247 年 3 月 24 日の記録を複写間違いした可能性が小さいながら考えられる。だが日の干支が違うので、可能性は低い。243 年の日食は、晋書では「既」がない。ふつうの部分食と扱われている。

四年五月丁丑朔、日有蝕之(晋書 天文中)

三國志の編纂は紀元三世後半、晋書の編纂は紀元 648 年の編纂であるから、晋書の編者は三國志を見ている。三國志のこの記事に関して何の言及もない。いずれにしても不審な記録である。

念のため、範囲を広げ、西暦 200 年から 370 年までの日食のうち、中国に記録のあるものを選び出し、さらにその中から ΔT の範囲を制限する日食を選び出した。その結果が表 2 である。観測地(洛陽 Luoyang または建康 Jiankang)において、日食が見える条件、非皆既であるための条件、皆既または金環であるための条件などから ΔT の範囲を制限した。多くの場合、得られた ΔT の制限条件は緩すぎて、使いものにならない。わずかに数個が厳しい条件を与える。

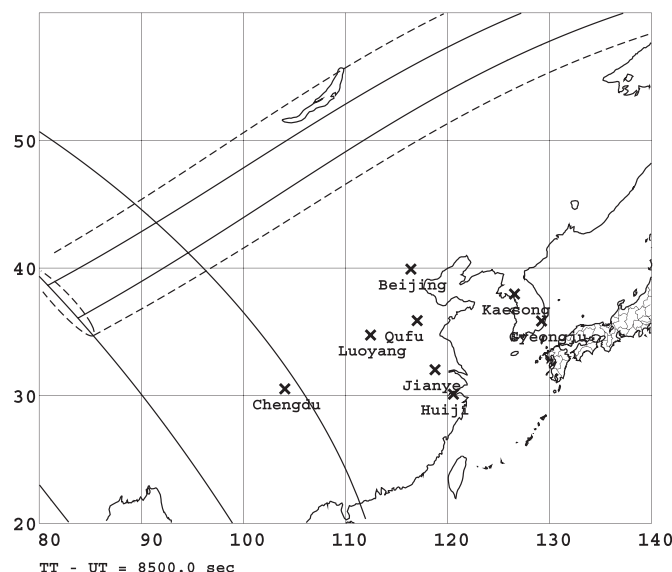


図4:紀元243年6月5日の洛陽における「金環」日食。二本の破線で挟まれた場所では食分0.9以上。 $\Delta T = 8500$ 秒とした。洛陽で金環でないことは明白。不審な記録である。

西暦 200 年, 212 年, 216 年, 221 年の日食はいずれも ΔT がおよそ 11000 秒未満であることを要求する。西暦 1 年あたりでは $\Delta T \approx 10000$ 秒が期待されているので(文献[1], [8]), 制限条件として強くない。西暦 223 年 1 月 19 日の日食は, 洛陽で部分食のはずである。金環帯をはずす条件から $\Delta T < 7500$ 秒と $8900 \text{ 秒} < \Delta T$ なる条件が出る(図 13 参照)。洛陽が金環帯の東にあれば $\Delta T < 7500$ 秒, 西にあれば $8900 \text{ 秒} < \Delta T$ である。すでに述べたように, 西暦 247 年 3 月 24 日の日食は洛陽で部分食であったという条件より $7750 \text{ 秒} < \Delta T$ である。24 年隔てた西暦 223 年の日食からは $\Delta T > 8900$ 秒または $\Delta T < 7500$ 秒が得られる。前者の範囲は西暦 306 年の ΔT 範囲と整合的でない。数十年の間に 1000 秒以上, ΔT が増大するという状況は考えにくい。この間に大きな気候変動がないと, このような ΔT の変動は説明できない。詳しくは 4 節参照。

晋の時代に入る。西暦 273 年 5 月 4 日の皆既日食帯は北に凸であり, 洛陽が皆既食帯の東側分枝に入らない条件が $-200 \text{ 秒} < \Delta T$ であり, 西側分枝に入らない条件が $\Delta T < 10900$ 秒である(図 14 参照)。西暦 277 年 2 月 20 日の日食の場合, 金環食帯は洛陽のそばを通る。洛陽が金環でないための条件を出すと, 洛陽が金環食帯の東にいる条件から $\Delta T < 6300$ 秒, 西にいる条件から $7300 \text{ 秒} < \Delta T$ が得られる(図 15 参照)。西暦 288 年日食からは強い条件は出ない。306 年 7 月 27 日の日食は洛陽で金環との記録があり, $6500 \text{ 秒} < \Delta T < 7850$ 秒という条件が得られる。以下, 316 年, 341 年, 360 年, 368 年の日食も表 2 に記載したとおりの制限条件を生み出す(図 16–21 参照)。

本節の最後に Stephenson ([8]) の見積りを紹介する。Fotheringham ([9]) による年月日の同定結果に基づいて, Stephenson は紀元 364 年 6 月 16 日のアレクサン

表 1: 三国時代の日食

表中, 「晋書」は「晋書天文中」のことである。また「宋書」は「宋書五行五」のことである。

OPP. #	年	月	日	記事
3420	221	8	5	魏文帝黃初二年六月戊辰晦, 日有蝕 [*] 之。(三國志, 晋書, 宋書) 有司奏免太尉, 詔曰:「災異之作, 以譴元首, 而歸過股肱, 豈禹湯罪己之義乎。其令百官各虔厥職, 後有天地之眚, 勿復劾三公。」(三國志, 晋書, 宋書)
3421	222	1	30	黃初三年春正月丙寅朔, 日有蝕之。(三國志) 黃初三年正月丙寅朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
3423	223	1	19	黃初三年十一月庚申晦, 日有食之。(三國志) 黃初三年十一月庚申晦, 又日有蝕之。(晋書, 宋書)
-	224	12	27	黃初五年十一月戊申晦, 日有食之。(三國志) 黃初五年十一月戊申晦, 日有蝕之。(晋書)
3444	232	1	10	太和五年冬十一月戊戌晦, 日有蝕之。(三國志) 太和五年十一月戊戌晦, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
-	232	2	9	太和六年正月戊辰朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
3447	233	6	25	青龍元年閏月庚寅朔, 日有蝕之。(三國志, 晋書, 宋書)
3463	240	8	5	少帝正始元年七月戊申朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
-	242	5	17	正始三年四月戊戌朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
3470	243	6	5	正始四年五月朔, 日有食之, 既。(三國志) 正始四年五月丁丑 [†] 朔, 日有蝕之。(晋書)
3472	244	5	24	正始五年四月(丙辰)朔, 日有蝕之。(三國志, 晋書)
3474	245	5	13	正始六年四月壬子 [§] 朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
3475	245	11	7	正始六年十月戊申朔, 又日有蝕之。(晋書, 宋書)
3478	247	3	24	正始八年春二月朔, 日有蝕之。(三國志) 正始八年二月庚午朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
-	248	2	12	是時, 曹爽專政, 丁謐, 鄧颺等輕改法度。會有日蝕變, 詔羣臣問其得失, 濟上疏曰: 「昔大舜佐治, 戒在比周; 周公輔政, 慎于其朋; 齊侯問災, 晏嬰對以布惠; 魯君問異, 臧孫答以緩役。應天塞變, 乃實人事。...」(三國志卷十四)
-	248	2	12	正始九年正月乙未朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
3482	249	3	2	嘉平元年二月己未朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
3506	259	8	6	高貴鄉公甘露四年七月戊子朔, 日有蝕之。(晋書, 宋書)
3507	260	1	30	五年正月(乙酉)朔, 日有蝕之。(三國志, 晋書, 宋書) 京房易占曰:「日蝕乙酉, 君弱臣強。司馬將兵, 反征其王。」五月, 有成濟之變。(晋書, 宋書)
3511	261	6	15	元帝景元二年五月丁未朔, 日有蝕 [*] 之。(三國志, 晋書, 宋書)
3514	262	11	29	三年十一月己亥朔, 日有蝕之。(晋書)

* 三國志では「食」

[†] 五月丁丑朔 魏志齊王芳紀但云「五月朔」, 無「丁丑」二字。時曆是月壬戌朔, 非丁丑。(晋書校注)

[§] 四月壬子朔 是月辛亥朔, 非壬子。(晋書校注)

ドリアでの時刻付き日食観測を解析した。それによると、第一接触から $\Delta T = 8100$ 秒、最大食での時刻から $\Delta T = 8300$ 秒、最終接触から $\Delta T = 8400$ 秒が出た。3 つの観測から自己無矛盾に近接した ΔT が得られ、信頼度が高いとする。だが、浅い部分食であったので、3 つの事象間の時間は 1 時間 40 分しかない。時計の精度は 1, 2 時間程度ではよいかもしれないが、最初の時刻の精度が問題となる。系統的な誤差を含んでいる可能性がある。すなわち、第一接触が午後 2 時 50 分に始まったと言うが、この時刻に誤差があると、残り 2 つの観測時刻にも系統誤差が生じる。だから、Stephenson が教科書 ([8] の p.365) で言うほどの信頼性をこの結果が持つかどうかは明らかでない。今後の課題である。ともあれ、Stephenson による紀元 364 年の ΔT は表 2 のその前後の時期の ΔT の範囲に収まっている。

表 2 をグラフにしたものが図 5 である。紀元 200 年から 400 年の ΔT 変動が目に見える。縦棒は禁止区域、緑線は Stephenson の平滑 ΔT 曲線である。ほぼ空白領域を走っている。図の右端近くの赤の縦線中の間隙は Stephenson が紀元 364 年のアレクサンドリア日食から求めた ΔT の範囲 ($8100 \text{ 秒} < \Delta T < 8400 \text{ 秒}$) である。左の赤縦線より上の空白が紀元 247 年日食から決まる ΔT の範囲である。

ここでひとこと読者の注意を喚起しておく。Stephenson による平滑 ΔT 曲線は真の値を連ねたものではない。真の ΔT 変動曲線は、平滑曲線の上下をうねっているはずである。筆者らは、2001 年以来、このうねりを求めるための努力を続けている。平滑曲線

はあくまで近似曲線であることを Stephenson 自身もわきまえている。実際、紀元 364 年の ΔT の信頼できる値として 8300 秒前後を Stephenson は得たが、これは彼の平滑曲線から得られる $\Delta T = 7060$ 秒からは大きくずれている。

4 西暦 200 年頃の ΔT の変化

論文 [1] で、紀元 158 年からの約 100 年間に ΔT の値が 500 秒以上増加するのは考えにくいとしたが、それがどれくらい考えにくいことを示していなかった。ここで、その点について考察しておこう。

Stephenson [8] の Fig14.1 のようなグラフで表される、年を引数とする ΔT の関数において、その 1 階微分係数が 1 日の長さ (地球の自転周期) を表す。1 日の長さが変わらなければ、そのグラフは直線になり、たとえば潮沙摩擦のように自転に常に一定のブレーキが掛かっていれば、2 階微分係数が一定で、 ΔT のグラフは下に凸の 2 次曲線になる。ブレーキの大きさが大きくなると、 ΔT の関数の 2 階微分係数が大きくなり、グラフの曲率が大きくなる。

まず、19 世紀以降の ΔT の値の変化について見ておく。 ΔT は地球時 TT と世界時 UT との差 $\Delta T = \text{TT} - \text{UT}$ である。TT は Newcomb [10] による太陽の平均黄経の式で定義される暦表時 ET に値も歩度も連続するように定められた。そして Newcomb の式はだいたい 19 世紀の約 100 年間の UT による太陽の位置観測に一

表 2：後漢から晋までの ΔT に制限をつける日食

OPP. #	年月日	史書	観測値	ΔT (秒)	Remarks
3372	200.09.26	後漢書	洛陽	$\Delta T < 11110$	食 (日出) する条件
3399	212.08.14	後漢書	洛陽	$\Delta T < 11800$	非皆既の条件
3408	216.06.03	後漢書	洛陽	$\Delta T < 12130$	食 (日出) する条件
3420	221.08.05	三国志 [†]	洛陽	$\Delta T < 10480$	部分食の条件
3423	223.01.19	三国志 [†]	洛陽	$\Delta T < 7500$ または $8900 < \Delta T$	非金環の条件
3478	247.03.24	三国志 [†]	洛陽	$7750 < \Delta T$	非皆既の条件
3538	273.05.04	晋書 [§]	洛陽	$-200 < \Delta T < 10900$	非皆既の条件
3546	277.02.20	晋書 [§]	洛陽	$\Delta T < 6300$ または $7300 < \Delta T$	非金環の条件
3571	288.07.16	晋書 [§]	洛陽	$\Delta T < 10600$	非金環の条件
3611	306.07.27	晋書 [§]	洛陽	$6500 < \Delta T < 7850$	金環の条件 (*)
3632	316.07.06	晋書 [§]	洛陽	$\Delta T < 5150$ または $5650 < \Delta T$	非金環の条件
3687	341.03.04	晋書 [§]	建康	$\Delta T < 7770$ または $8300 < \Delta T$	食分 < 0.99 の条件
3730	360.08.28	晋書 [§]	建康	$7100 < \Delta T < 9450$	金環の条件
3747	368.04.04	晋書 [§]	建康	$\Delta T < 11400$	食 (日出) する条件

[†] 晋書、宋書にも記事あり；[§] 宋書にも記事あり。

(*) 晋書では「既」がないので金環でない。宋書の五行志に「既」とある。

致するように定められたものである。したがって、19 世紀の 100 年間の平均的な ΔT の値はほぼゼロであり、かつ変化率もほぼゼロである。それから約 150 年経った現在の ΔT の値は約 66 秒になっている。LOD (Length of Day) の値で見ると、1970 年代は 24 時間 + 3 ミリ秒程度で、地球の自転速度の遅れのために 19 世紀の 24 時間から順調に増加してきたと思われたが、1998 年ごろ以降は逆に自転速度が速くなり、2011 年では LOD が 24 時間 + 1 ミリ秒程度になっている。つまり、最近の 50 年間では LOD の増加は 3 ミリ秒から 1 ミリ秒ということである (図 6 は UT1 - TAI (なめらかなほう) と UTC - TAI (階段状のほう) のグラフ、図 7 は LOD - 24h のグラフで、いずれも原子時計で UT が測れるようになった 1955 年 7 月以降について示す。UT1 は世界時の観測値から極運動による不整を省いたもの、UTC は協定世界時、TAI は国際原子時で、図 6 の UT1 - TAI のグラフの符号を反転して 32.184 秒を加えると ΔT のグラフになる)。なお、TT, ET, UT などの間の関係について詳しくは文献 [11] を参照されたい。

次に西暦 200 年頃の ΔT の値の変化について考えてみる。Stephenson [8] によると、 ΔT の平均的な変動から期待される西暦 200 年頃の LOD の値は 24 時間 -

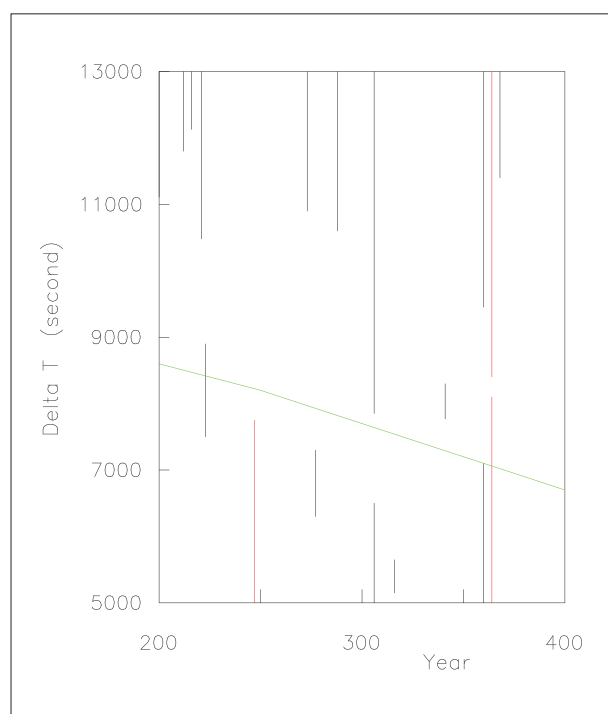


図 5：紀元 200 年から 400 年の ΔT 変動。縦棒は禁止区域。緑線は Stephenson の平滑 ΔT 曲線。図の右端近くの赤の縦線中の間隙は Stephenson が紀元 364 年のアレクサンドリア日食から求めた ΔT の範囲である。平滑曲線からはずれていることに注意せよ。左の赤縦線より上が紀元 247 年日食から決まる ΔT の範囲である。

26 ミリ秒である。これは ΔT の値が 100 年で 950 秒減ることに相当する。それが 100 年で 500 秒増えるとなると、LOD の値が 24 時間 + 14 ミリ秒になるということ、つまり地球の自転周期が平均的なものより 40 ミリ秒大きくならなければならないことになる。これは最近の変化に比べると桁違いに大きな変化であり、地球の自転の角速度 ω の変化に換算すると、相対的に ω が 40 ミリ秒 / 24 時 = 4.6×10^{-7} だけ減ることを意味する。

地球の自転角運動量 $L = I\omega$ が保存されるためには、 ω が減少した分、慣性能率 I が増加していなければならない。つまり I は相対的に 4.6×10^{-7} だけ増えていなければならない。一様密度の球の場合は $I = 0.4 MR^2$ (M は質量、 R は半径) だが、地球の場合は $I = 0.33 MR^2 = 8.0 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$ である。ここで、 $M = 5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$ 、 $R = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$ である。慣性能率の増加が何で起こるかは不明であるが、仮に、極域の氷が解けたことによる海水の増加によるとすると、地球表面に加わった海水による慣性能率の増加は

$$\Delta I = (2/3) m R^2 \quad (m \text{ は増加した海水の質量})$$

で求められる。

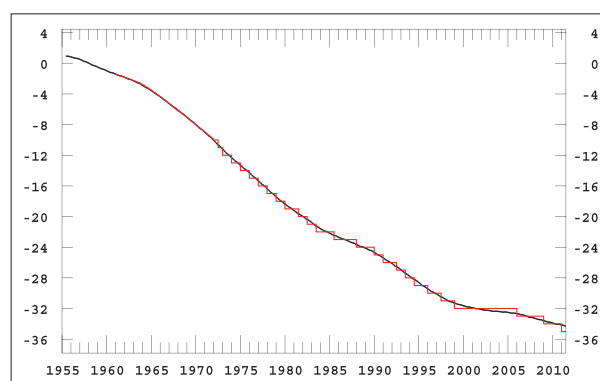


図 6：UT1 - TAI (なめらかなほう) と UTC - TAI (階段状のほう) のグラフ。横軸は西暦年、縦軸の単位は秒である。

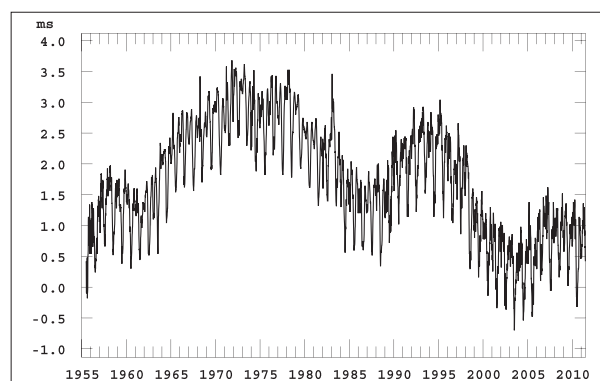


図 7：LOD - 24h のグラフ

$$\begin{aligned}\Delta I &= (4.6 \times 10^{-7}) \times (8.0 \times 10^{37}) \text{ kg m}^2 \\ &= 3.7 \times 10^{31} \text{ kg m}^2,\end{aligned}$$

$$R = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$$

から

$$m = 1.4 \times 10^{18} \text{ kg} = 1.4 \times 10^{21} \text{ g}$$

になる。海の表面積は $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2 = 3.61 \times 10^{18} \text{ cm}^2$ 、海水の密度はほぼ 1.0 g/cm^3 (より正確には $1.01 - 1.05 \text{ g/cm}^3$) から、上昇する海面の高さ h は

$$\begin{aligned}h &= (1.4 \times 10^{21} \text{ g}) / (1.0 \text{ g/cm}^3) / (3.61 \times 10^{18} \text{ cm}^2) \\ &= 390 \text{ cm}\end{aligned}$$

つまり、ざっと 4 m 海面が上昇していないといけない。この海水が仮に南極大陸の面積全体の氷が解けて生じたとしても、南極大陸の面積が $1.4 \times 10^7 \text{ km}^2 = 1.4 \times 10^{17} \text{ cm}^2$ 、氷の密度が約 0.9 g/cm^3 から、解けた氷の厚さ D は

$$\begin{aligned}D &= (1.4 \times 10^{21} \text{ g}) / (0.9 \text{ g/cm}^3) / (1.4 \times 10^{17} \text{ cm}^2) \\ &= 11,000 \text{ cm} = 110 \text{ m}\end{aligned}$$

となり、南極大陸の厚さ約 100 m の氷が解けた計算になる。この変化が 100 年で起こったというのではなく、LOD の値が 24 時間 +14 ミリ秒に変化する前のおそらくは十数年程度の間に起こっていないといけないということである。かなりの気候変動があったとすれば起こりえないことではないとしても、かなり起こりにくいことであろう。

5 議論

論文[1]と違って、紀元 247 年には $\Delta T > 7750$ 秒が得られた。上の限界は求めることができなかった。247 年 3 月 24 日の日食が北九州で皆既になるかどうかは興味深い。 $\Delta T = 8500$ 秒, 8900 秒, 9700 秒の 3 つの場合に、皆既帯および食分 0.99 帯を計算してみる。結果は図 8 に示した。図に見られるように、北九州市周辺は皆既になるが、福岡市や佐賀市は皆既帯からはずれ、いずれの場合も食分 0.99 ないし 0.98 となる。日食の間中、あたりは暗くならないことを指摘しておく。

天照大御神は卑弥呼のことが神話化・伝承化したも

のであり、天照大御神の天の磐戸伝承は卑弥呼の死と関係する、との見解がある([12])。卑弥呼の死の前後と見られる紀元 247 年に、北九州で、皆既または皆既に近い日食があったことは、注目に値する。

参考文献

- [1] 谷川清隆, 相馬充: 「『天の磐戸』日食候補について」国立天文台報第 13 巻, 85-99 (2010)。
- [2] 一然(金思燁訳): 完訳『三国遺事』, 朝日新聞社(1976)。
- [3] 那珂通世: 上世年紀考, 『史学雑誌』第八編 第八~十, 十二號(1897); 明治史論集(二), 明治文学全集, 筑摩書房, 106-137 に再録(1965)。
- [4] 陳春 編: 『三國志』, 中華書局, 北京 (1959, 元は西暦三世後半)。
- [5] 房玄齡・李延春ら 編: 『晋書』, 中華書局, 北京, (1974, 元は西暦 648 年)。
- [6] 今鷹真訳, 正史 三國志 3, 魏書 III, 程郭董劉蔣劉伝, ちくま学芸文庫, p.74 (1977)。
- [7] 沈約 編: 『宋書』, 中華書局, 北京 (1974, 元は西暦五世紀末)。
- [8] Stephenson, F. R.: *Historical Eclipses and Earth's Rotation*, Cambridge University Press (1997)。
- [9] Fotheringham, J. K.: A solution of ancient eclipses of the sun, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **81**, 104-126 (1920)。
- [10] Newcomb, S.: Tables of the motion of the Earth on its axis and around the Sun, *Astron. Papers prepared for the use of The American Ephemeris and Nautical Almanac* Vol. VI, part I. US Government Printing Office, Washington, DC (1895)。
- [11] Seidelmann, P. K.: *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. University Science Book, Mill Valley, CA (1992)。
- [12] 安本美典: 『倭王卑弥呼と天照大御神伝承』, 勉誠出版(2003)。

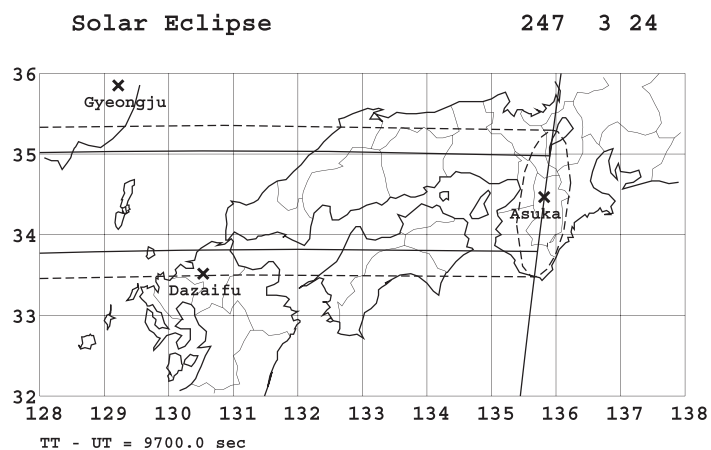
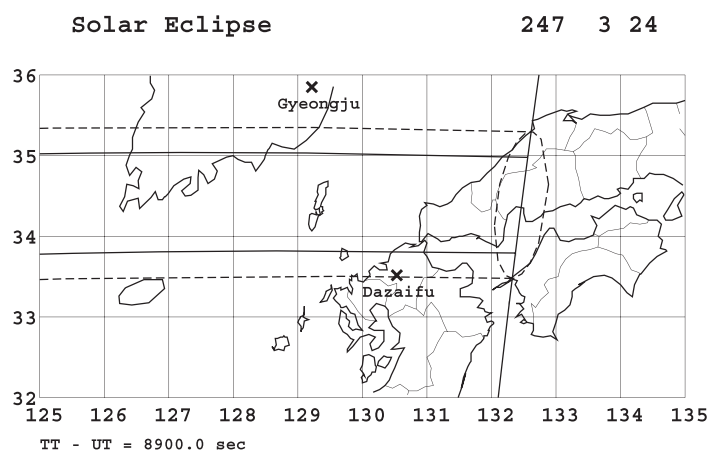
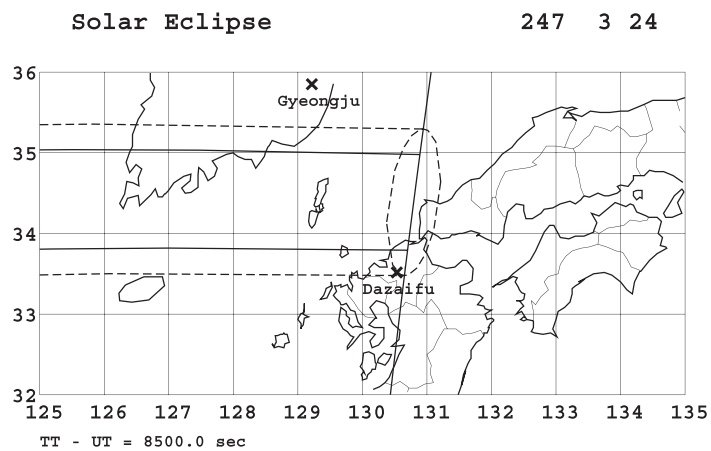


図 8：紀元 247 年 3 月 24 日の日食。二本の実線で挟まれた場所では皆既，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.99 以上。上は $\Delta T = 8500$ 秒，中は $\Delta T = 8900$ 秒，下は $\Delta T = 9700$ 秒。

補遺. 日食帯図 表 2 で ΔT の範囲を与えた日食の食帯図を描く.

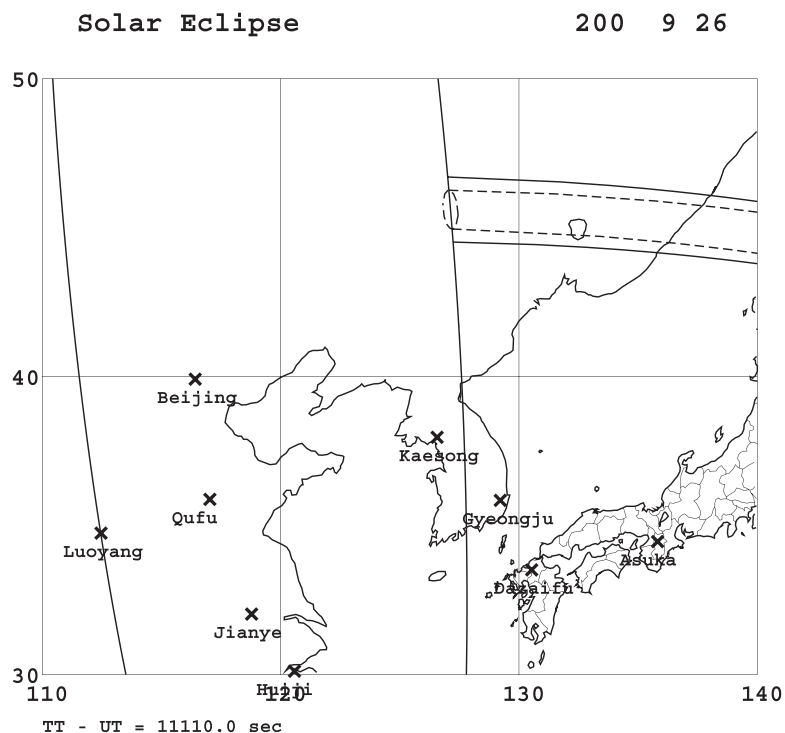


図 9：紀元 200 年 9 月 26 日の日食帯図. 実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上. $\Delta T = 11110$ 秒.

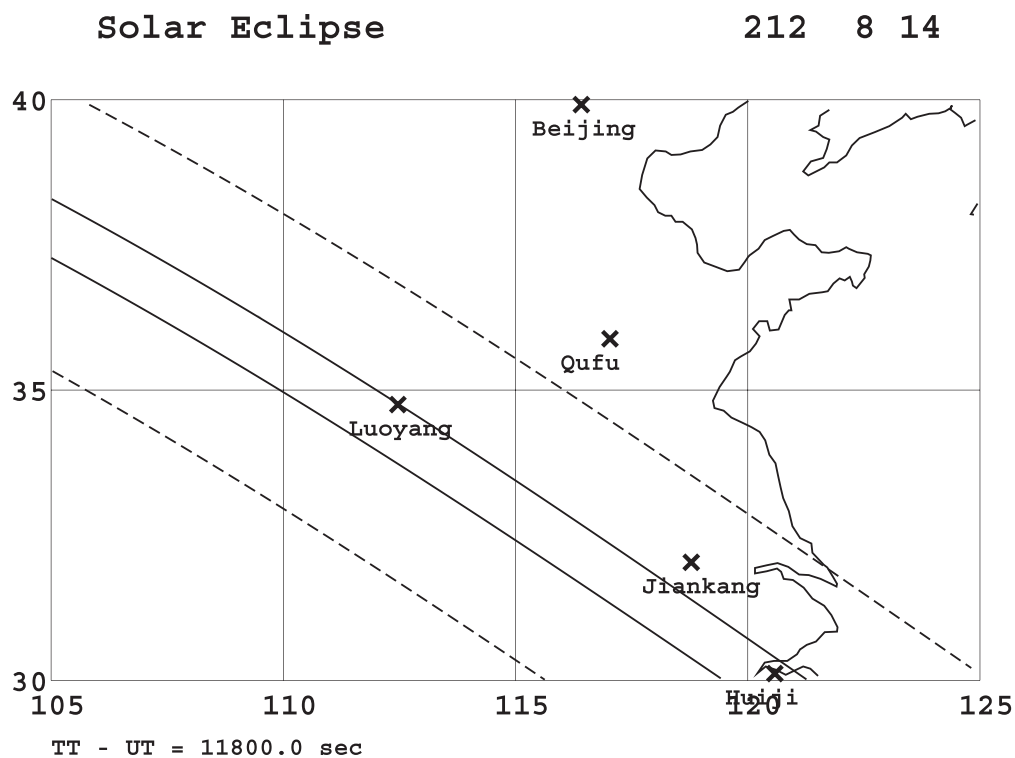


図 10：紀元 212 年 8 月 14 日の日食帯図. 実線で挟まれた場所で皆既食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上. $\Delta T = 11800$ 秒.

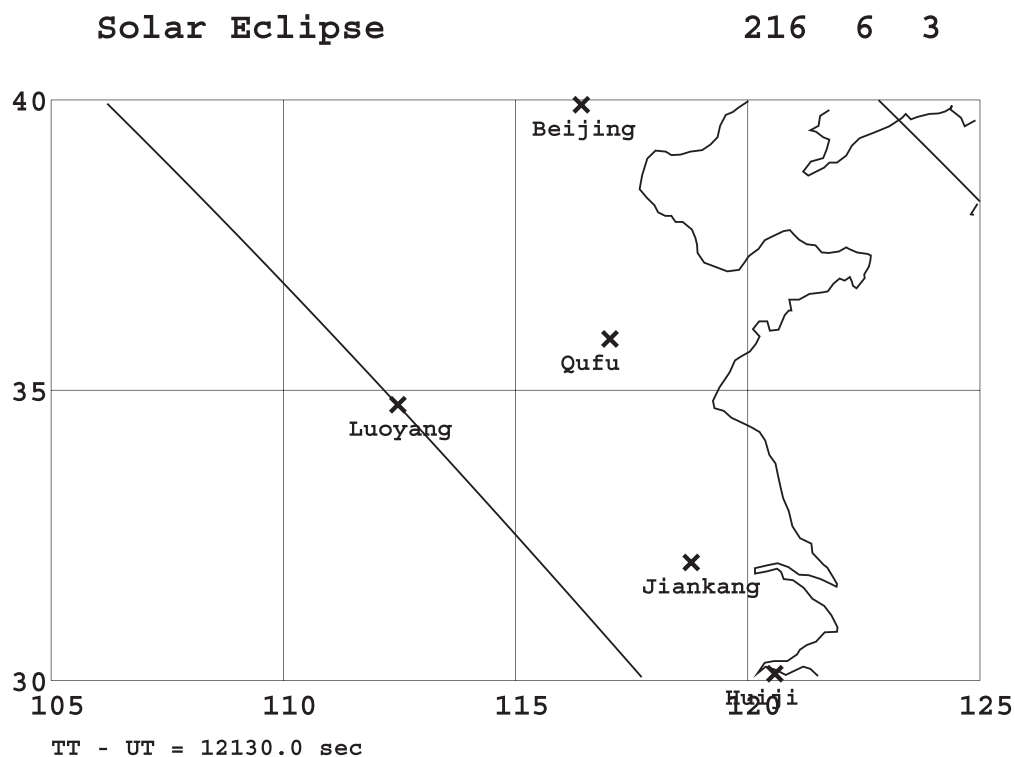


図 11: 紀元 216 年 6 月 3 日の日食帯図. 洛陽を通る線は日出時に食が終わる地点を結ぶ線であり, これより東で日出後に日食が見える. $\Delta T = 12130$ 秒.

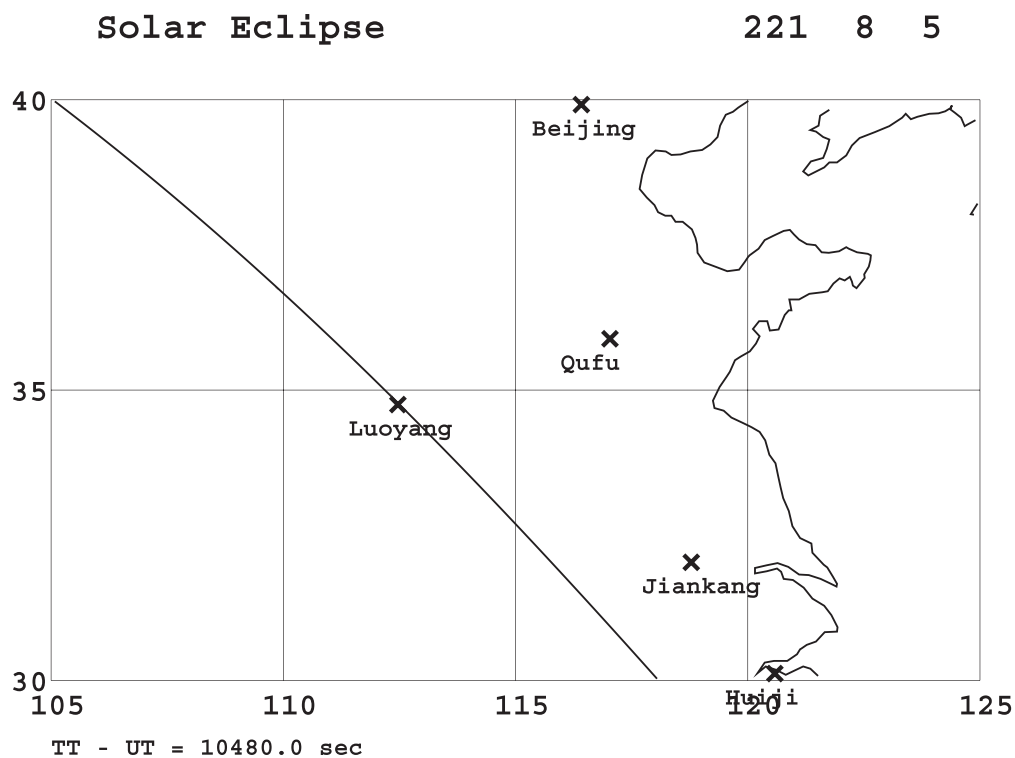
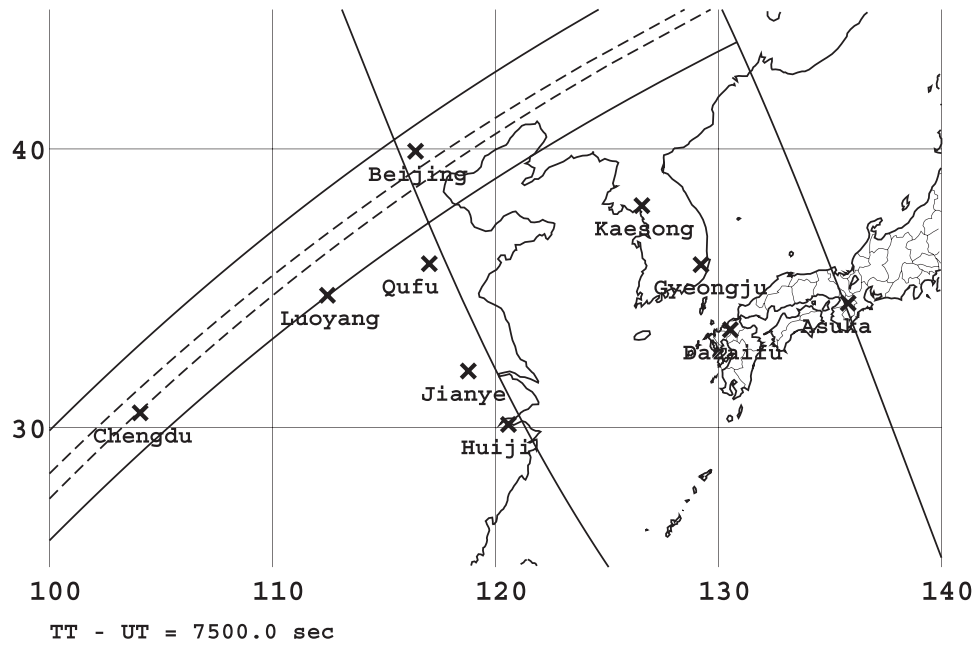


図 12: 紀元 221 年 8 月 5 日の日食帯図. 洛陽を通る線は南限界線であり, これより北で部分食が見える. $\Delta T = 10480$ 秒.

Solar Eclipse

223 1 19



Solar Eclipse

223 1 19

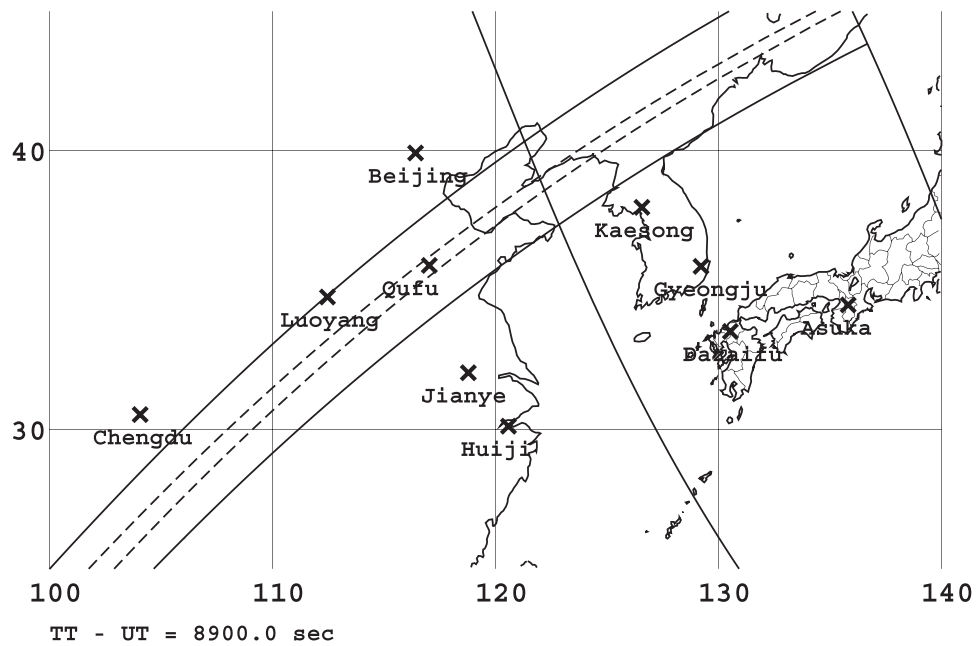


図 13：紀元 223 年 1 月 19 日の日食帯図。実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。上は $\Delta T = 7500$ 秒，下は $\Delta T = 8900$ 秒。

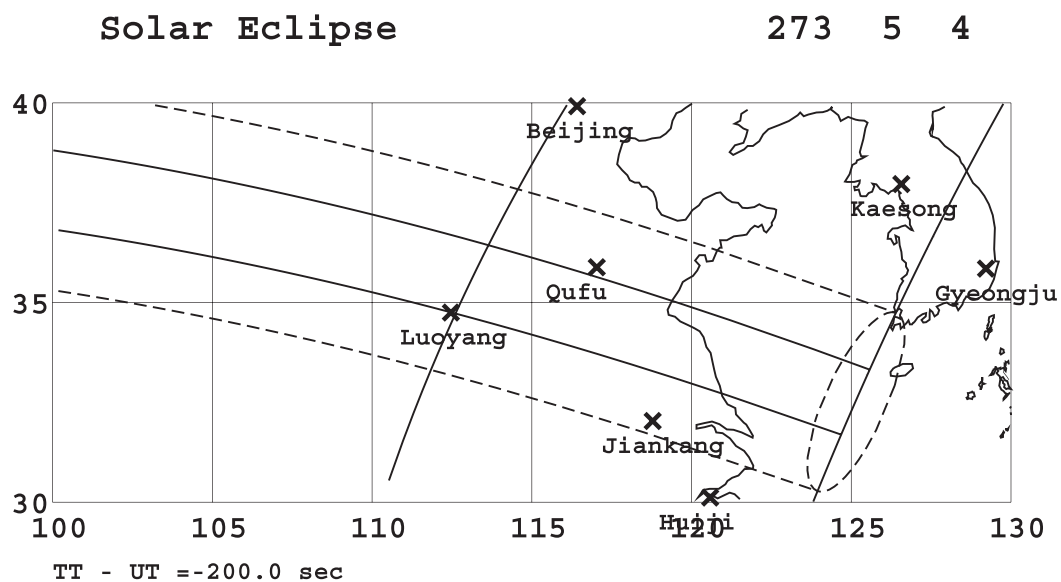
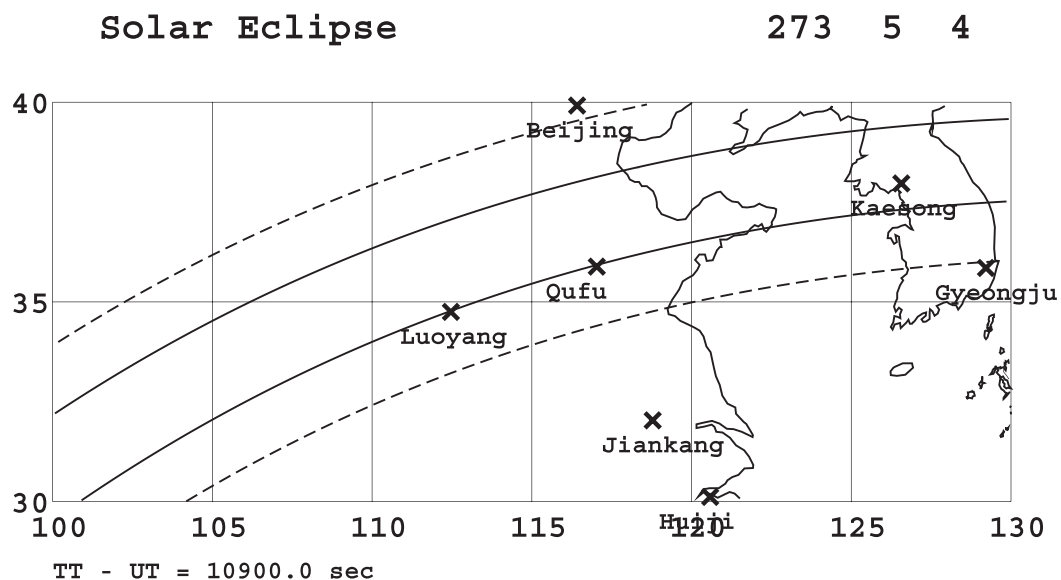
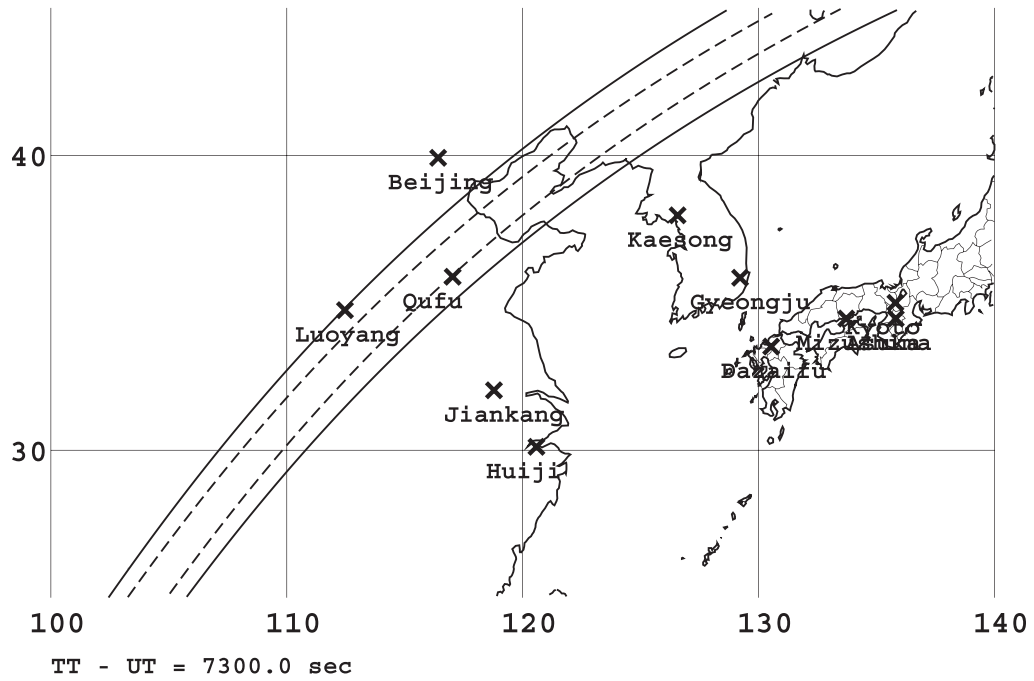


図 14：紀元 273 年 5 月 4 日の日食帯図。実線で挟まれた場所で皆既食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。上は $\Delta T = 10900$ 秒，下は $\Delta T = -200$ 秒。

Solar Eclipse

277 2 20



Solar Eclipse

277 2 20

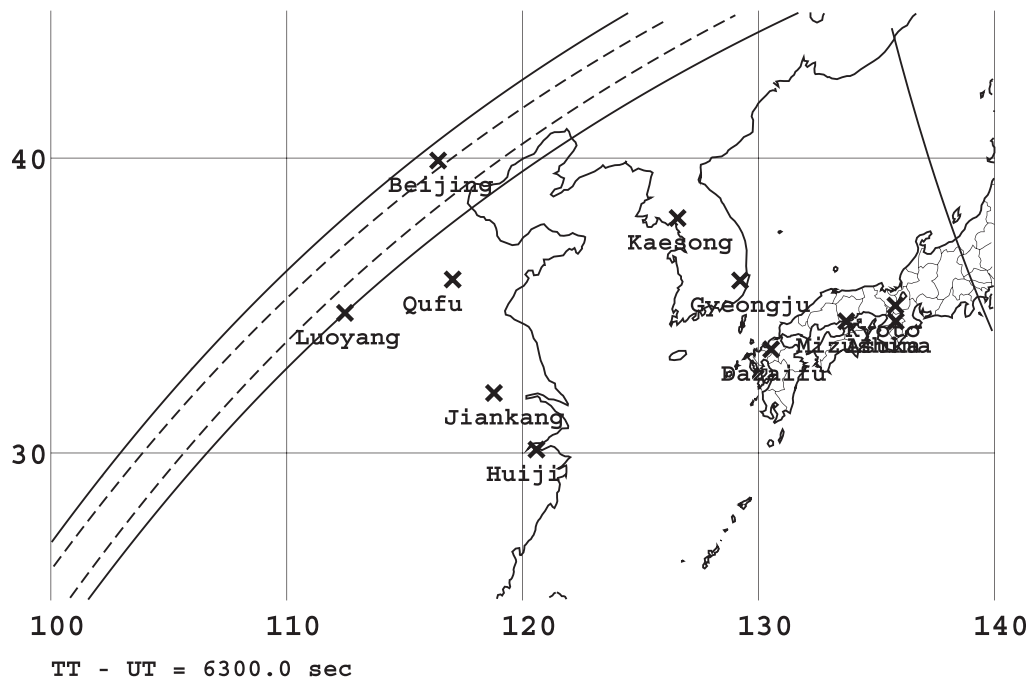
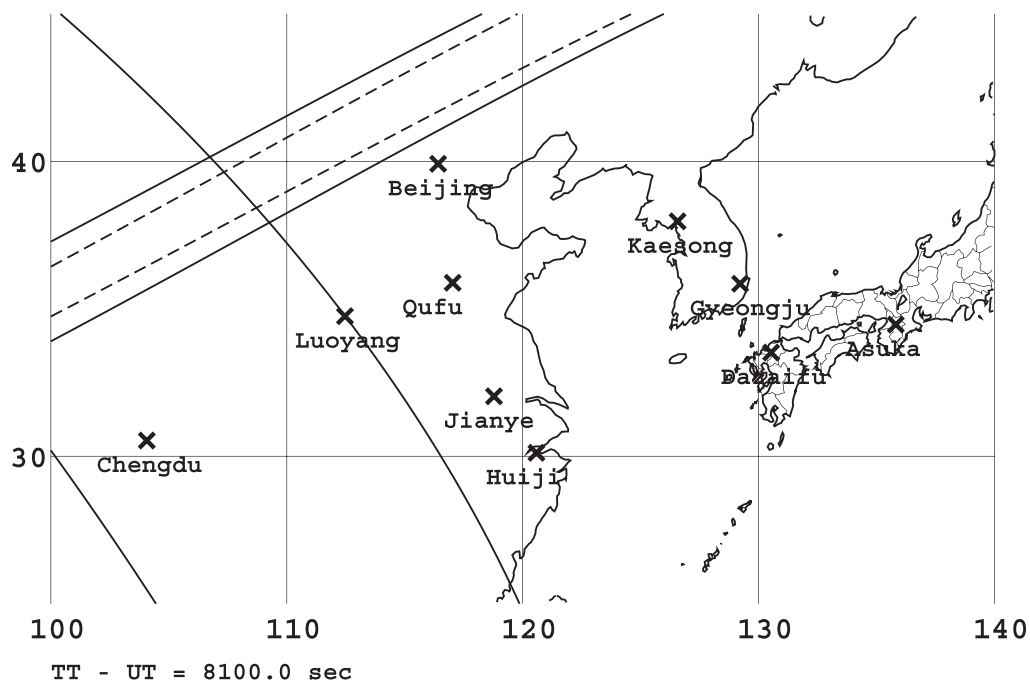


図 15：紀元 277 年 2 月 20 日の日食帯図。実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。上は $\Delta T = 7300$ 秒，下は $\Delta T = 6300$ 秒。

Solar Eclipse

288 7 16



Solar Eclipse

288 7 16

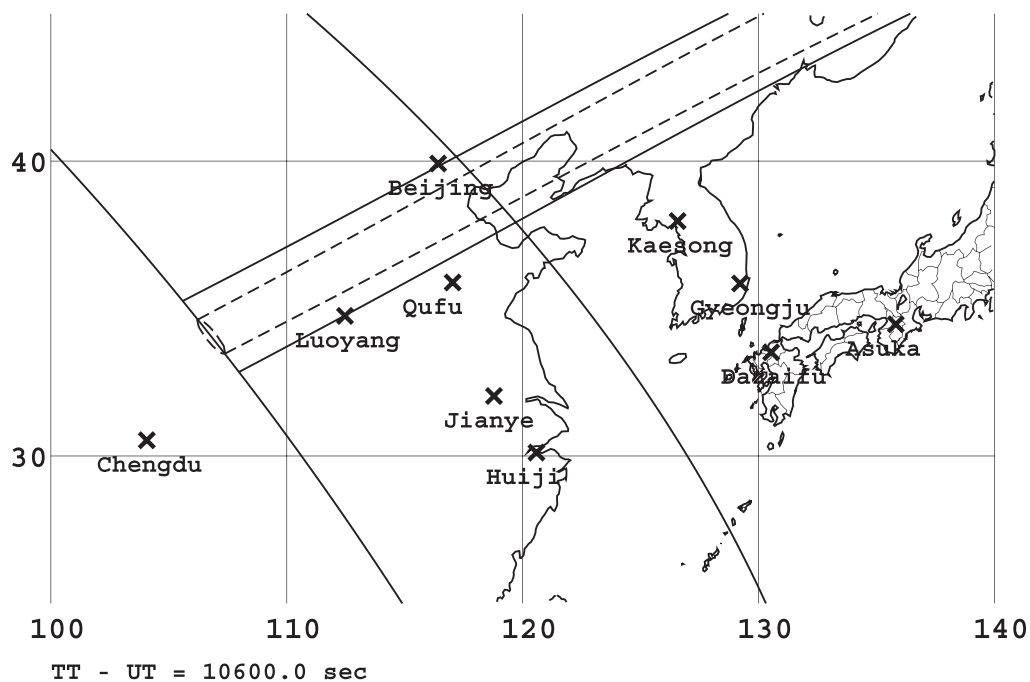
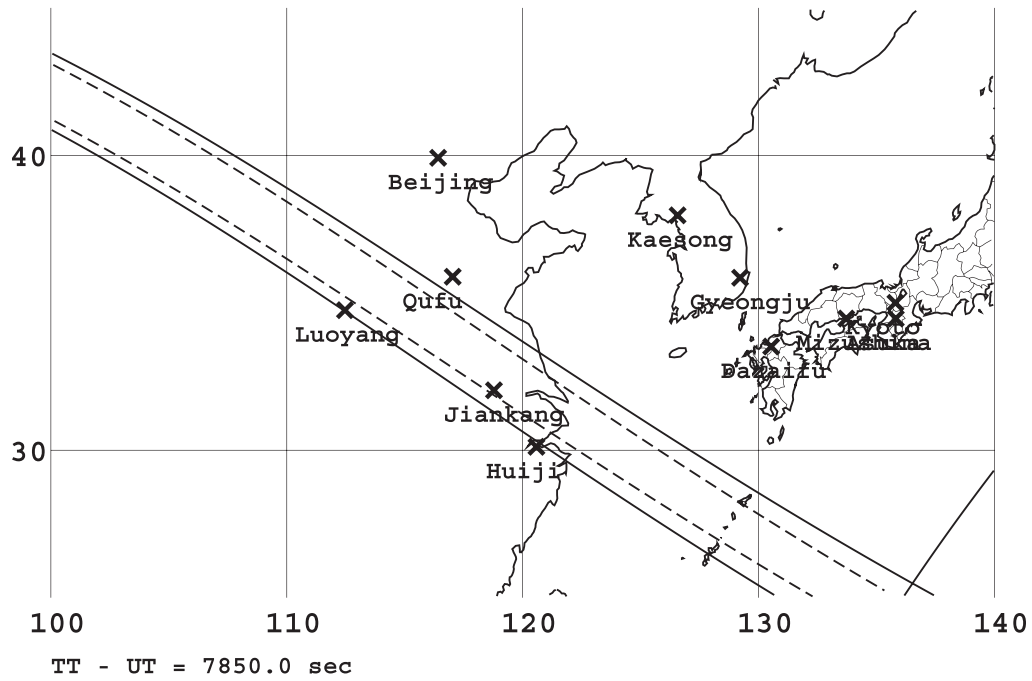


図 16：紀元 288 年 7 月 16 日の日食帯図。実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。上は $\Delta T = 8100$ 秒，下は $\Delta T = 10600$ 秒。

Solar Eclipse

306 7 27



Solar Eclipse

306 7 27

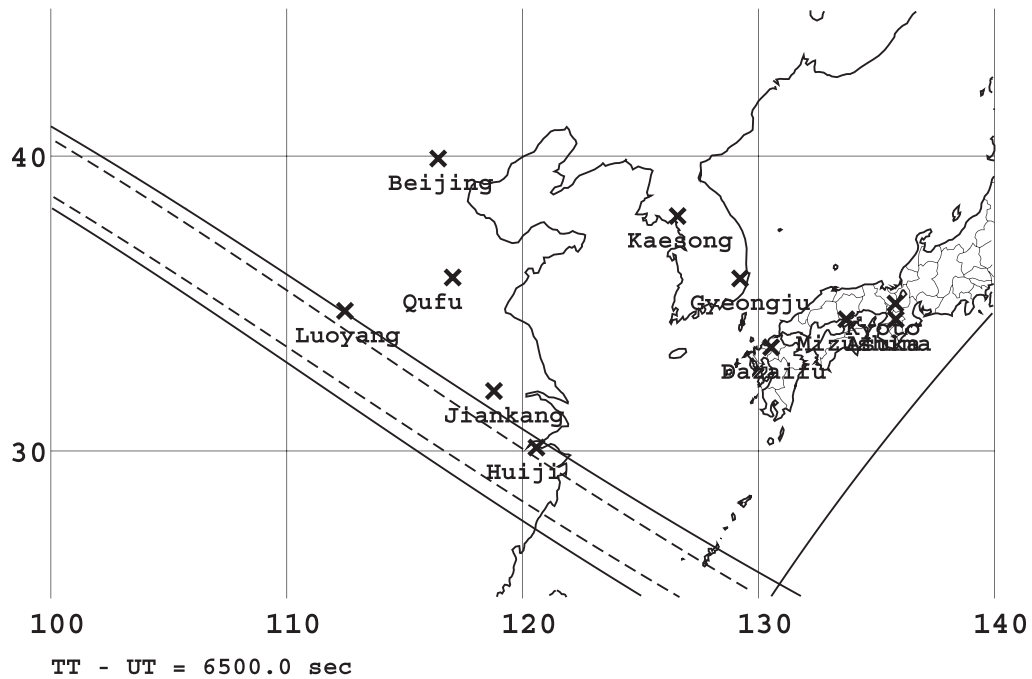
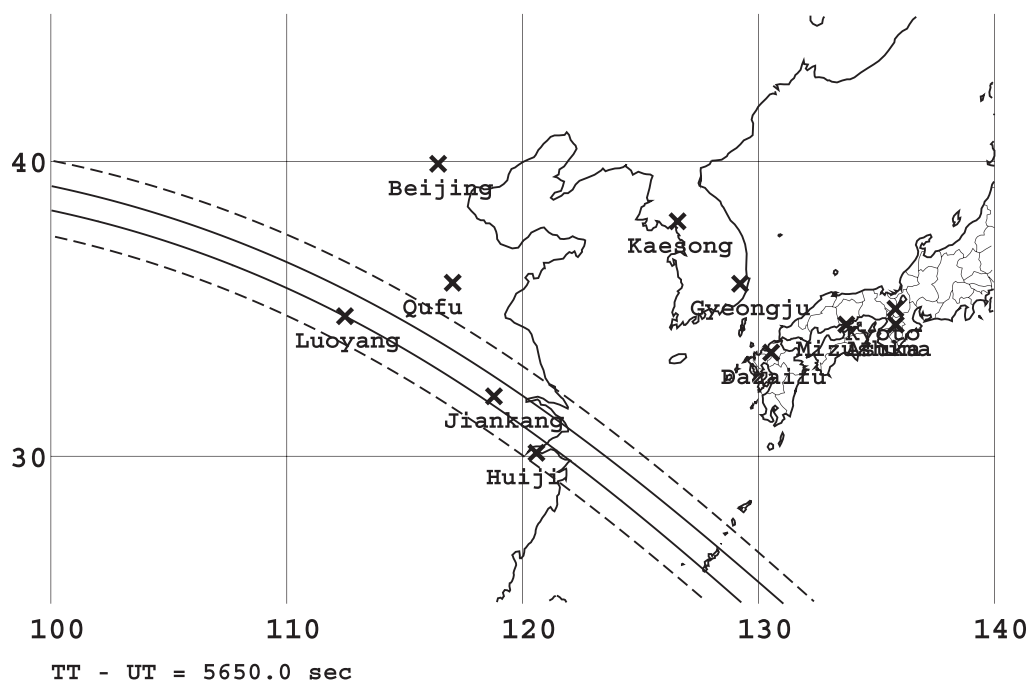


図 17：紀元 306 年 7 月 27 日の日食帯図。実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。上は $\Delta T = 7850$ 秒，下は $\Delta T = 6500$ 秒。

Solar Eclipse

316 7 6



Solar Eclipse

316 7 6

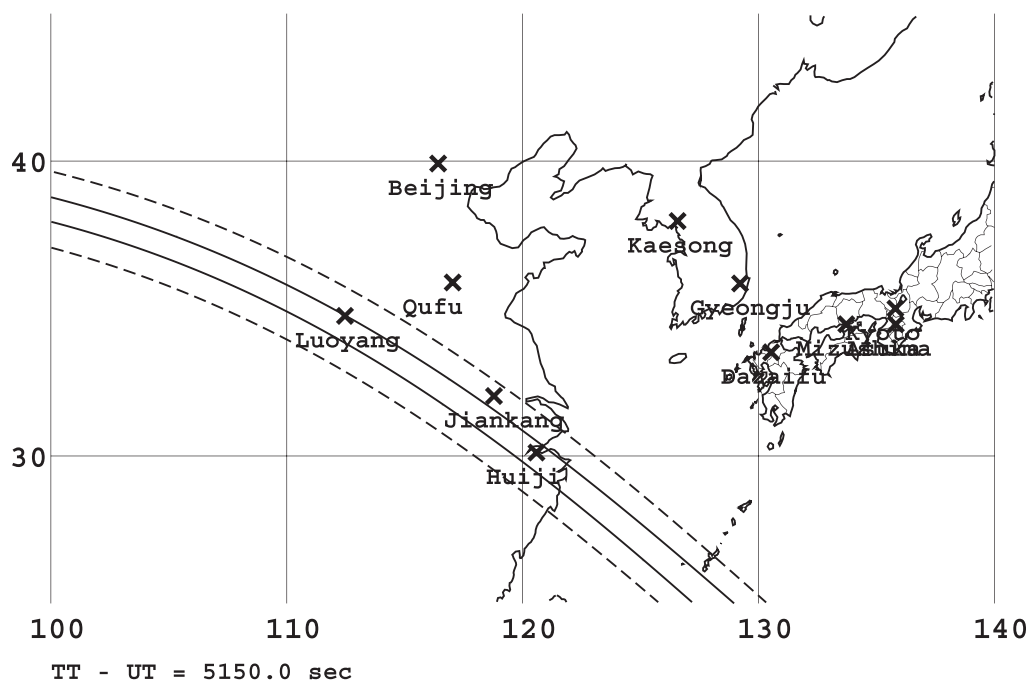
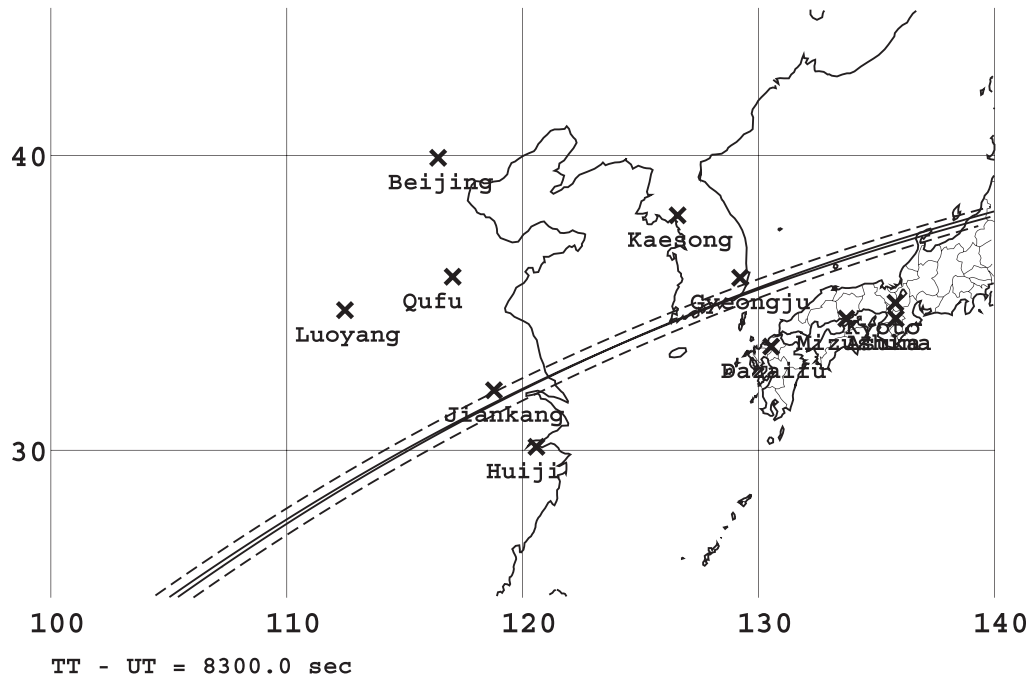


図 18：紀元 316 年 7 月 6 日の日食帯図。実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。上は $\Delta T = 5650$ 秒，下は $\Delta T = 5150$ 秒。

Solar Eclipse

341 3 4



Solar Eclipse

341 3 4

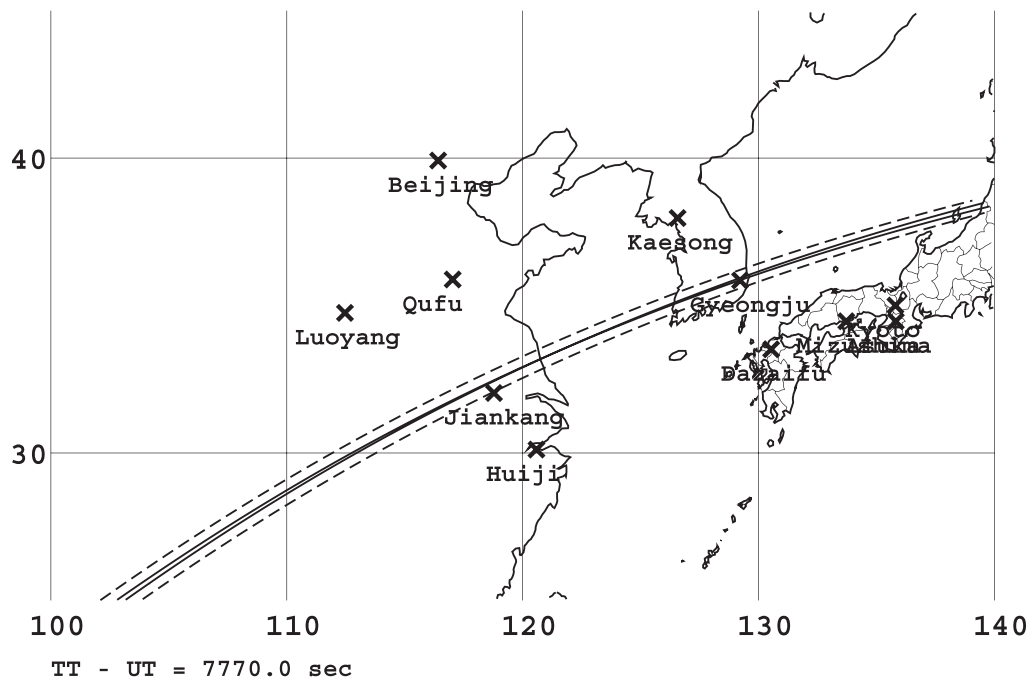
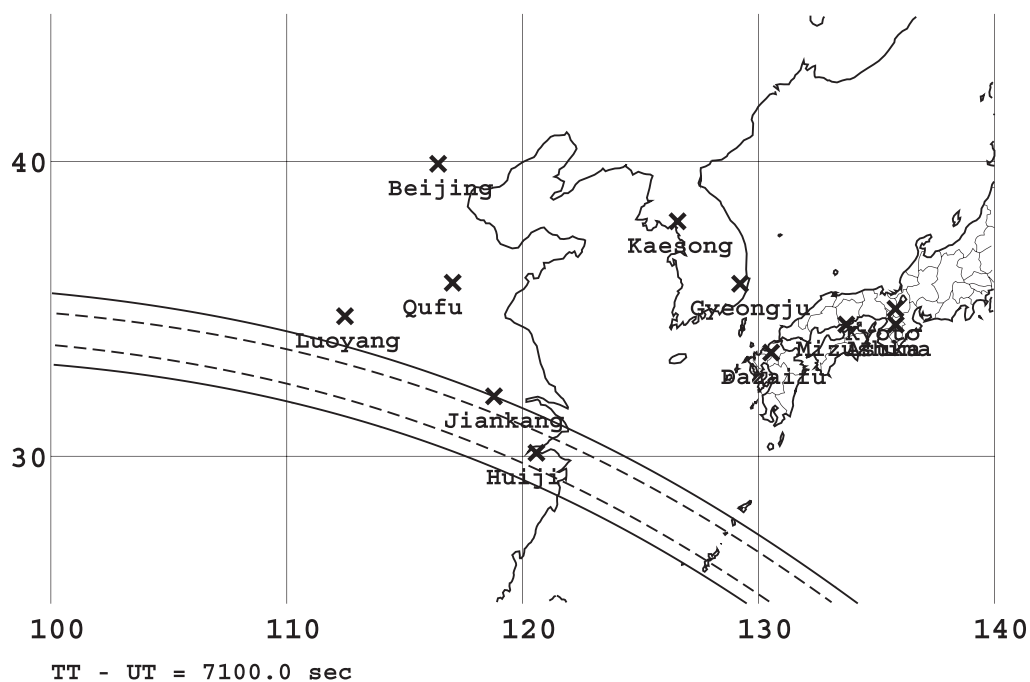


図 19：紀元 341 年 3 月 4 日の金環食の食帯図。二本の破線で挟まれた場所では食分 0.99 以上。
上は $\Delta T = 8300$ 秒，下は $\Delta T = 7770$ 秒。

Solar Eclipse

360 8 28



Solar Eclipse

360 8 28

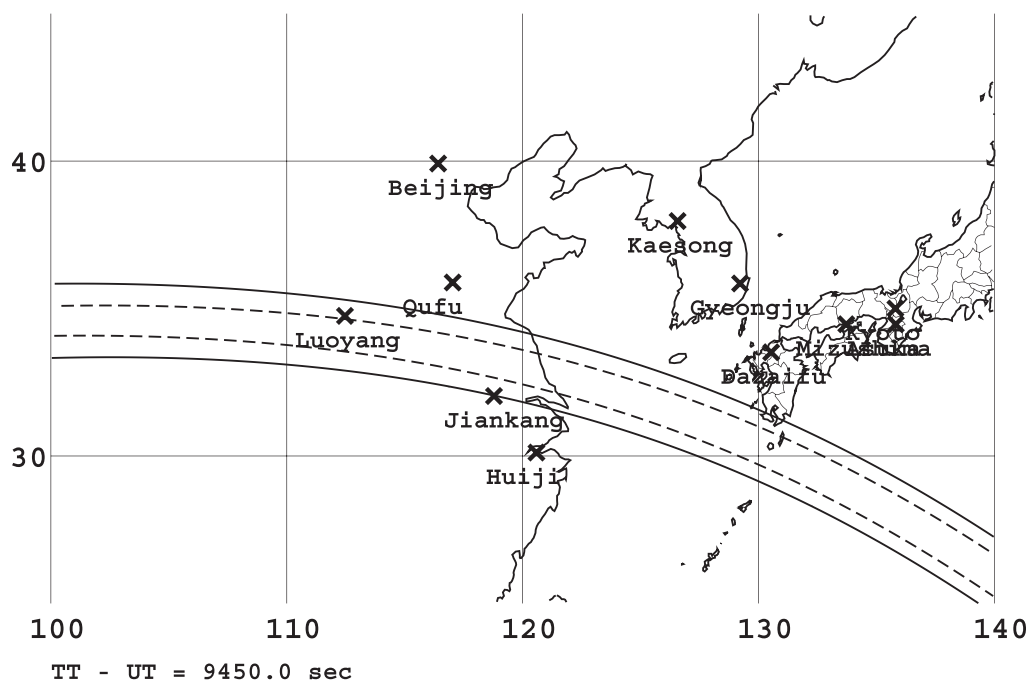


図 20：紀元 360 年 8 月 28 日の日食帯図。実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。上は $\Delta T = 7100$ 秒，下は $\Delta T = 9450$ 秒。

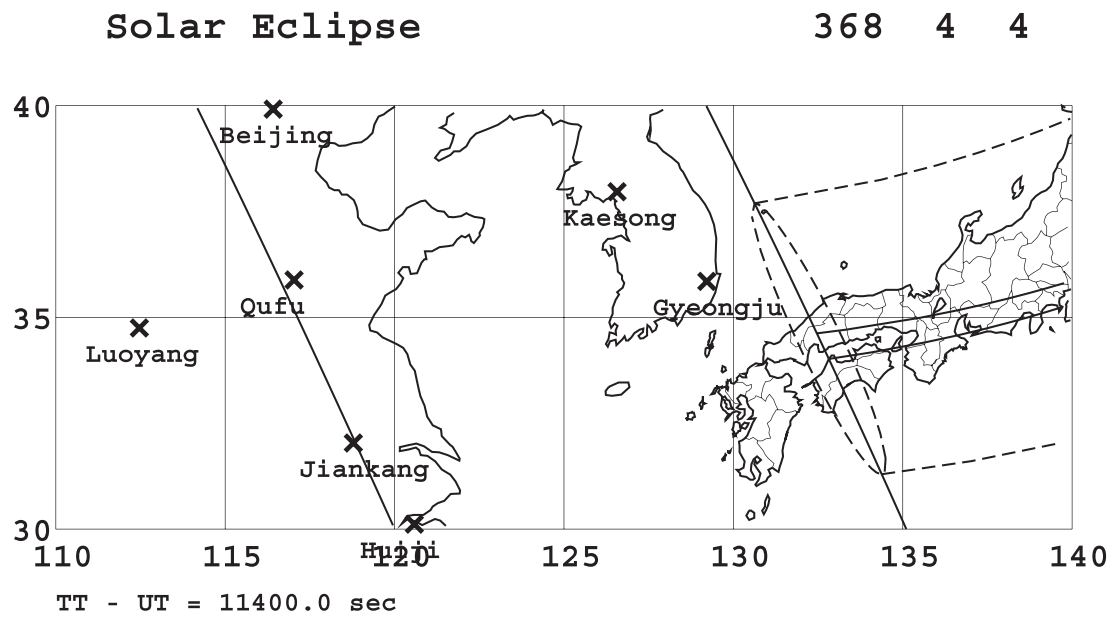


図 21：紀元 368 年 4 月 4 日の日食帯図。日本列島の中の実線で挟まれた場所で金環食，二本の破線で挟まれた場所では食分 0.95 以上。 $\Delta T = 11400$ 秒。建康 Jiankang を通る線は日出の際に日食が終わる地点を結んだ線。 ΔT の値をこれより増やすと建康で日出後に日食が見られることになる。