

✦ 中国の暦法の歴史と渋川春海の貞享暦

- 中国暦法の歴史と限界 -

中国の暦法の歴史と渋川春海の貞享暦



竹迫 忍

TAKESAKO Shinobu

日本数学史学会会員

<http://www.kotenmon.com>

takesako@mrj.biglobe.ne.jp

2024年7月4日

中国の暦法の歴史

1. 中国暦の紹介
2. 第1段階： 明確な閏月のルールが無い時代
3. 第2段階： 等速運動(円軌道)による暦法
4. 第3段階： 変速運動(楕円軌道)による暦法
5. 第4段階： 授時暦による暦法の改善
6. 日食予測の計算法の考え方
7. 第5段階： 渋川春海の貞享暦による暦法の改善
8. まとめ

渋川春海の暦法については、竹迫忍『渋川春海の貞享暦の研究』(2019)
数学史研究 (233号)p.1-46を参照。(https://www.kotenmon.com/dld/papers/233.pdf)

1. 中国暦の紹介

大統暦によるAD1417年(明)の中国の暦

日付

日の干支

節気(立春)
(365.24/12=30.44)

日の吉凶

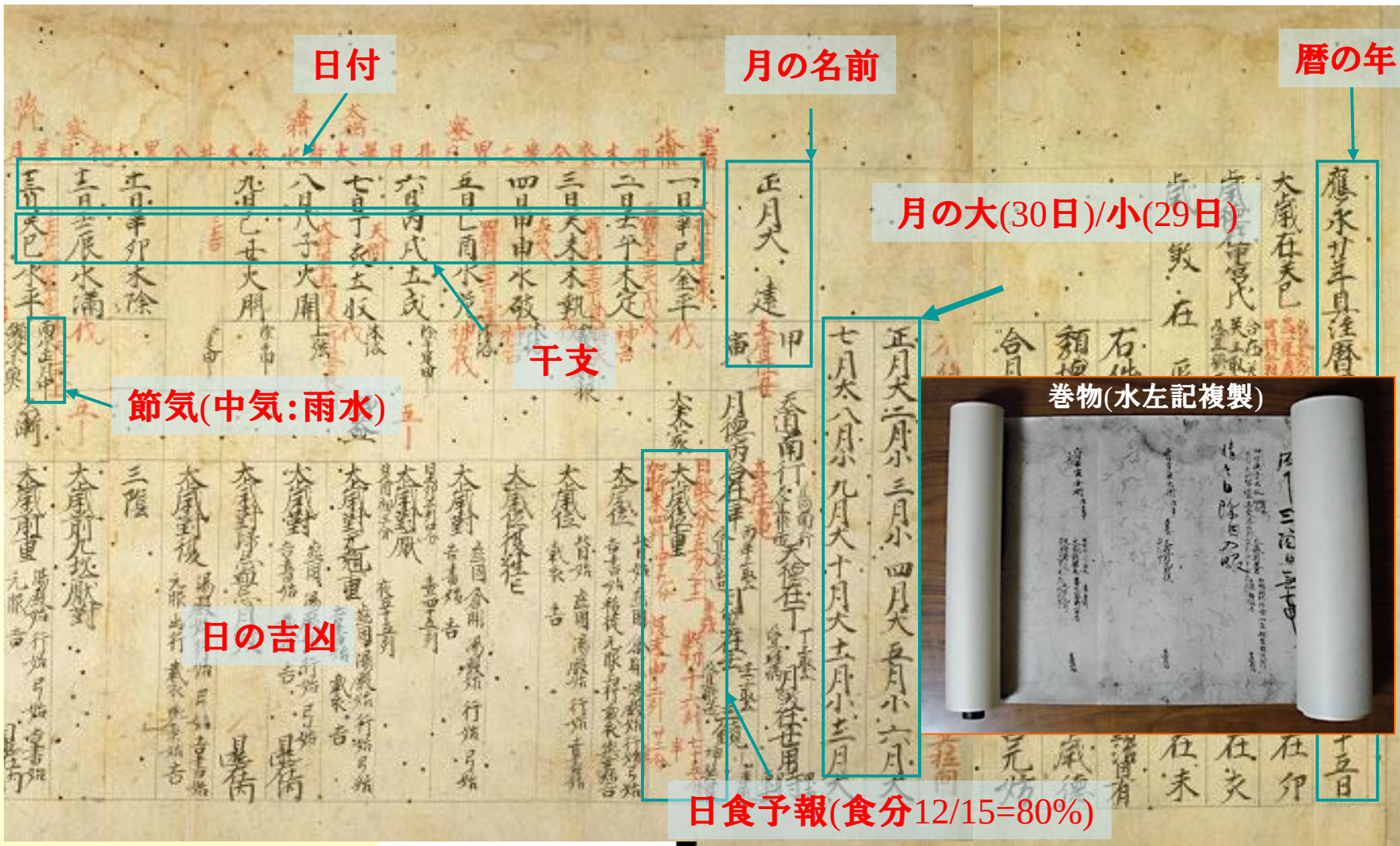
月の名前
大:30日
小:29日

月の干支

大統暦による暦算結果

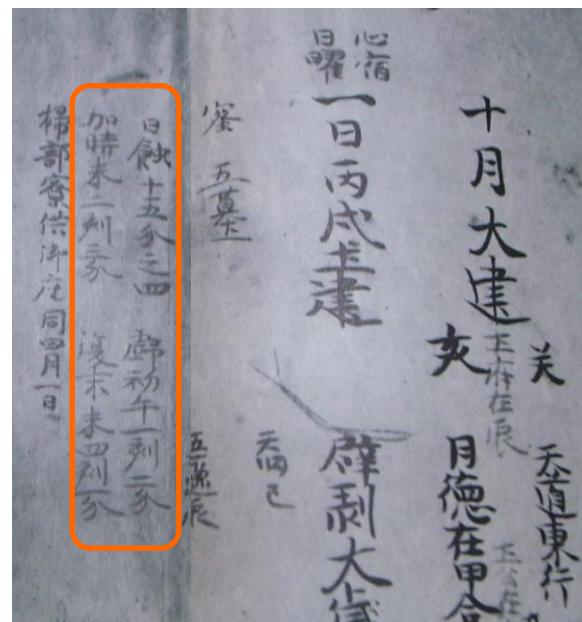
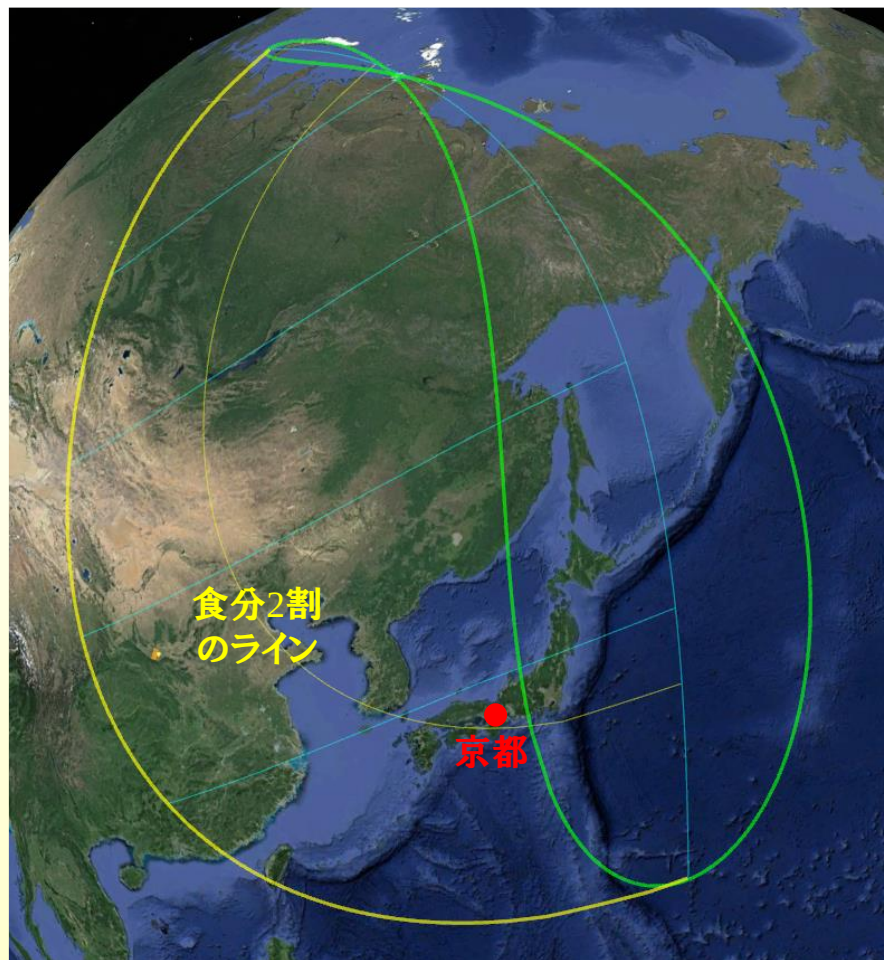
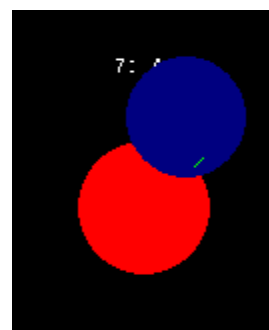
Astronomy and calendars -
The other Chinese mathematics
by Jean-Claude Martzloff
Springer (2016) p.323

宣明暦によるAD1413年の具注暦



長徳4年10月1日 (998/10/23) の日食

6月30日放送の「光る君へ」の長徳4年の日食。

陽明叢書¹「御堂関白記一」pp.34-35より

京都での最大食
食分= 0.212
(予報:4/15=3割)

【Emapwin(筆者作成日食推算ソフト)出力の日食図をGoogle Earth Proで表示】

暦の分類

- 太陰暦： 月の動きに忠実な暦（例：イスラム暦）
 - ◆ 月の満ち欠けを暦に利用
 - ◆ 一月：平均朔望月（新月から新月の間隔）= 29.53日
 - ★ 29日と30日の月を交互に置く($29\text{日} \times 6\text{月} + 30\text{日} \times 6\text{月} = 354\text{日} / \text{一年}$)
 - 一年（12ヶ月）で季節が約11日ずれる（欠点）
- 太陽暦： 太陽の動きに忠実な暦（例：グレゴリオ暦）
 - ◆ 季節（冬至、夏至等）を暦に利用
 - ◆ 一年：平均太陽年 = 365.25日
 - ◆ 一月： $365.24\text{日} / 12\text{月} = 30.44\text{日}$ （30-31日）
 - 月の満ち欠けと日付が合わない（欠点）
- 太陰太陽暦： 月と太陽の動きに忠実な暦（例：中国暦）
 - ◆ 太陰暦の季節のずれを閏月で補正（3年に一回程度）
⇒ 中国では殷の時代から使われた。

中国天文学・暦法の進化と終焉

中国天文学・暦法の時代

西洋
天文学

【第1段階】

【第2段階】

【第3段階】

【第4段階】

等速運動・平均朔望月

変速運動・実朔望月

19年7閏法（19年に7回の閏月）

置閏法の
無い時代

進朔（経合時刻による）

大統暦
授時暦

時憲暦

授時暦に
よる改善

回回暦

イスラム暦

宣明暦
(822-923)

戊寅暦(619-664)

元嘉暦
(445-509)

景初暦

四分暦

太初暦

(顓頊暦等)

日本

日本:宣明暦(862-1684)

日本:符天暦(七曜暦)

貞享暦
宝暦暦
寛政暦
天保暦

-800 -600 -400 -200 0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000

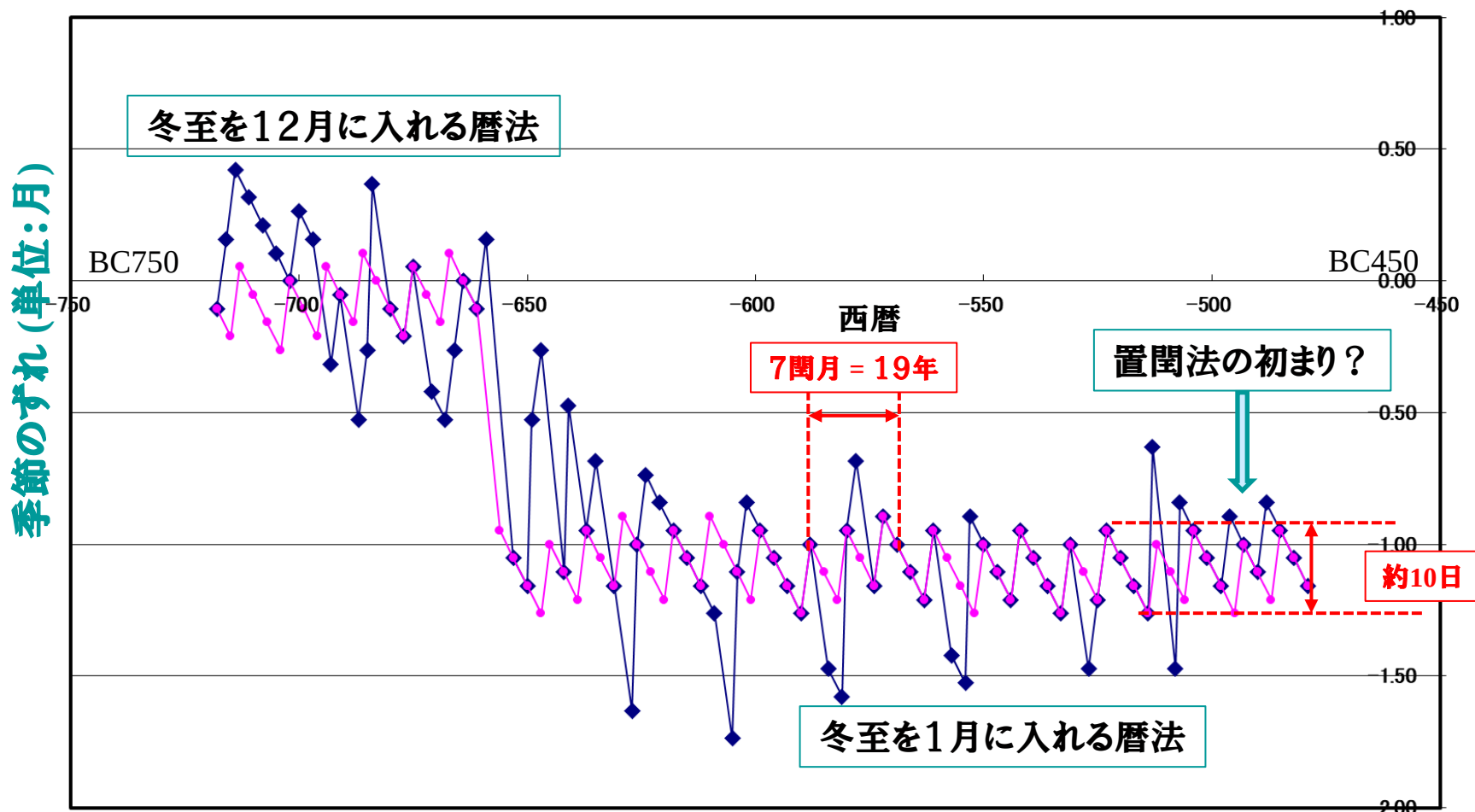
西暦

©2024 S.Takesako

2. 第1段階：置閏法の無い時代

春秋時代(魯国) 暦日の季節のずれ

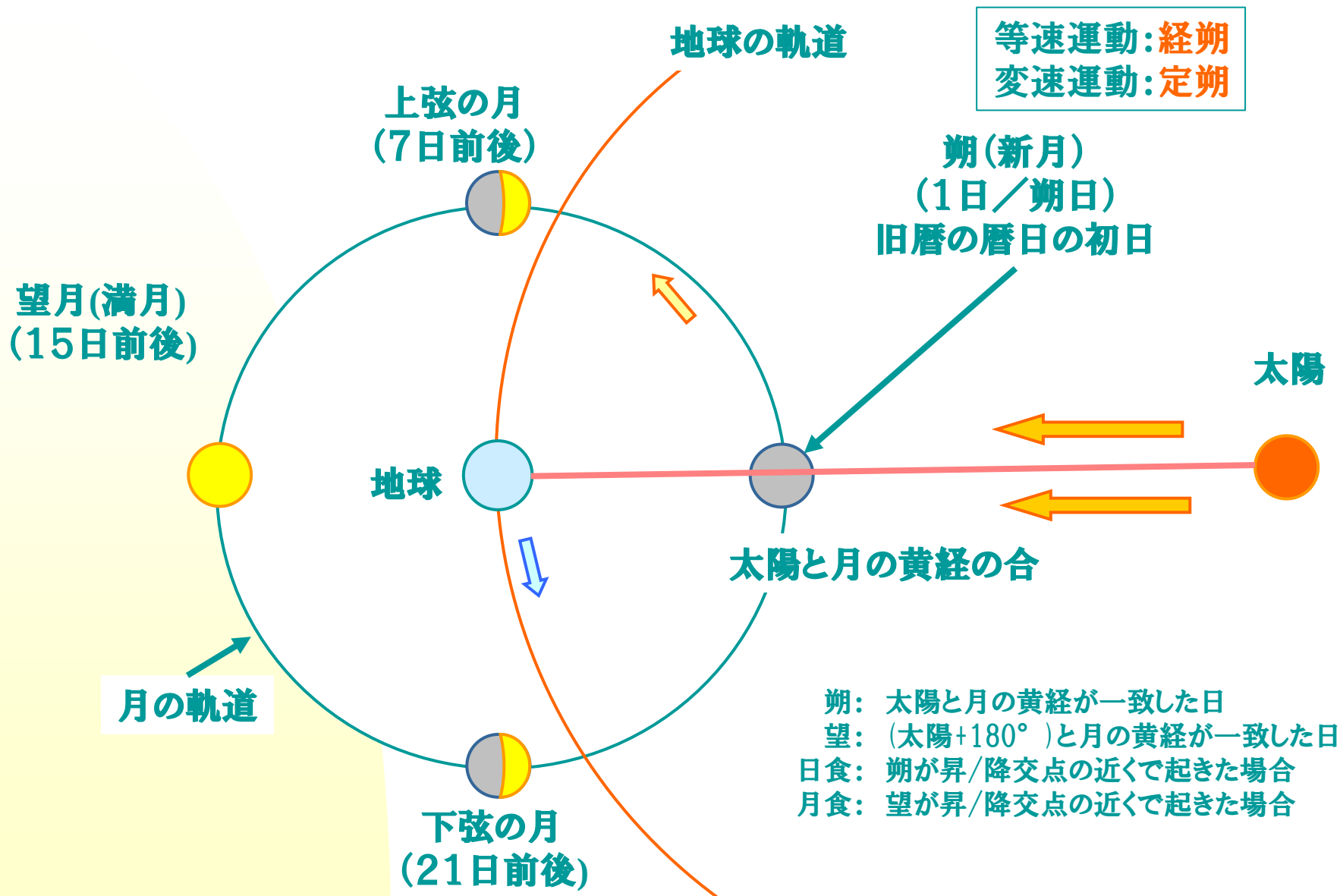
この時代には19年7閏法はまだ見られない。



青:春秋時代・魯国の暦(『春秋経』:筆者の解析) 赤:現代の暦で推算(19年7閏法)

3. 第2段階：等速運動(円軌道)による暦法

中国暦における月の日付



太陰太陽暦の基本となる項目

- ① 一年（平均太陽年）の長さ（約365.24日）
 - ◆ 太陽年の計測法：冬至の間隔
- ② 一ヶ月（平均朔望月（経合から経合まで））の長さ（約29.53日）
 - ◆ 朔望月の計算法：日食や月食の間隔
- ③ 閏月の置き方（置閏法）
 - ◆ 19年7閏法

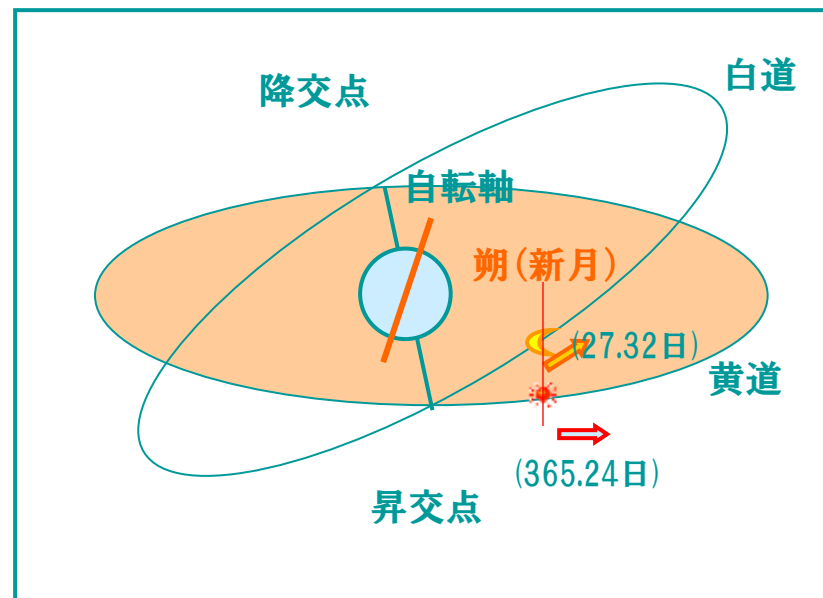
太陽と月の周期（速度）の関係

$$\frac{360}{27.32} - \frac{360}{365.24} = \frac{360}{29.53}$$

月が同じ経度に戻る周期は27.32日。

太陽と同じ経度になる周期は29.53日。

月が、楕円軌道を一周する周期は27.55日。（月の速度が変動する周期）



太陽の影の長さを測る装置「圭表」



北京古観象台

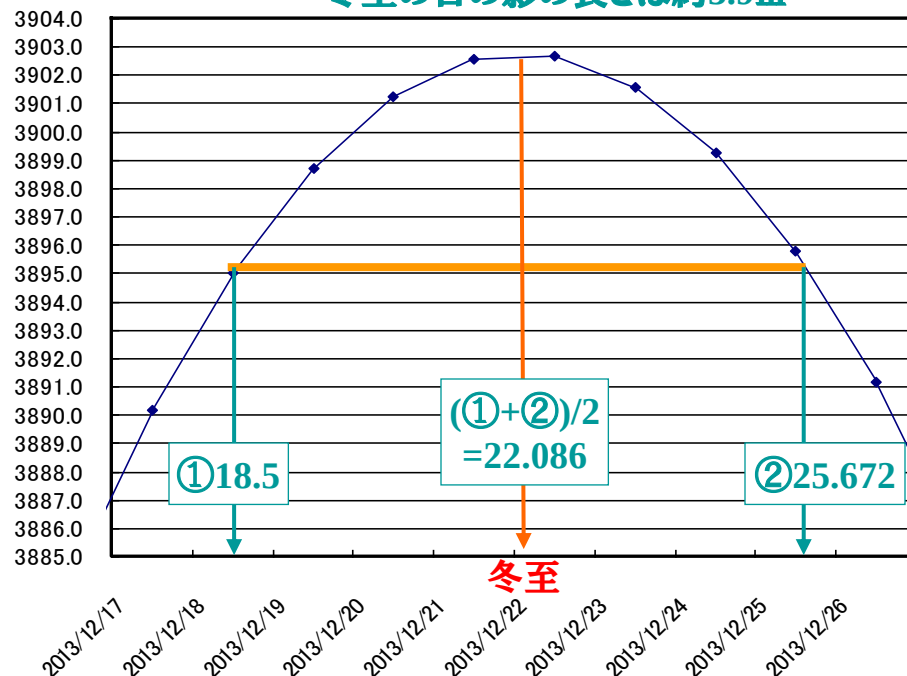
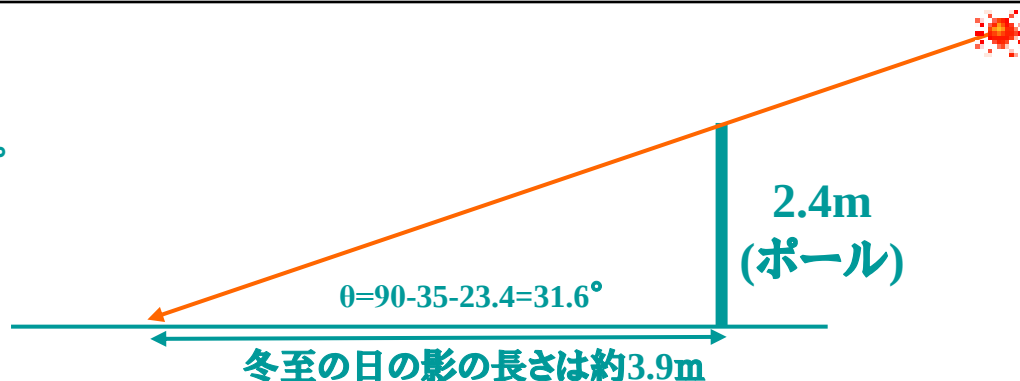
[<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%AD%E8%A1%A8>]より

冬至の日付の計測例 (5世紀頃以降)

冬至近くの影の長さ

観測場所：緯度:35.0° 経度:135.0°

Date	Length (mm)
2013/12/12	3848.5
2013/12/13	3859.1
2013/12/14	3868.6
2013/12/15	3876.9
2013/12/16	3884.2
2013/12/17	3890.2
2013/12/18	3895.0
2013/12/19	3898.7
2013/12/20	3901.3
2013/12/21	3902.5
冬至 → 2013/12/22	3902.7
2013/12/23	3901.6
2013/12/24	3899.3
2013/12/25	3895.8
2013/12/26	3891.2
2013/12/27	3885.3
2013/12/28	3878.3
2013/12/29	3870.1
2013/12/30	3860.8
2013/12/31	3850.4



$(18.50 + 25.672) / 2 = 22.086 \Rightarrow 22日 2:04AM$ (真値: 2:11AM)

冬至の前後の変化は微小なので、前後の同じ長さの日で計算する。

古記録を用いた平均太陽年(365.24日)の計算例

■『春秋左伝』の記録からの計算

古記録(春秋左伝)	ユリウス日
①僖公五年(BC655) 正月辛亥(47) 朔 南至(冬至)	1482177
②昭公二十年(BC522) 正月己丑(25) (朔) 南至(冬至)	1530755
日付差(日)	48578日
年差(年)	133年
平均年(日)	365.2481

注:実際の冬至はそれぞれ2日後

【現代の値:365.2422日】誤差8.6分

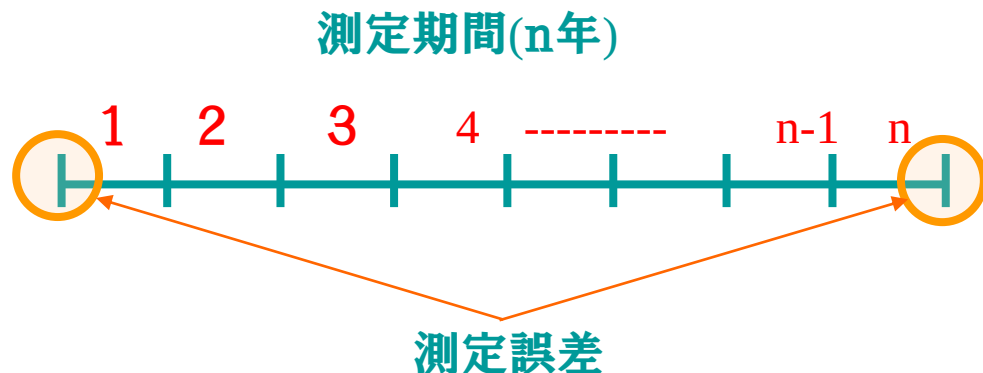
■ 計測誤差と計測期間

測定誤差が大きくても測定期間が長ければ誤差は小さくできる。

測定誤差 $\times 2$ / 測定間隔(年) = 誤差

1日 $\times 2$ 回/10年 = 0.2日

1日 $\times 2$ 回/200年 = 0.01日



古記録を用いた平均朔望月 (29.53日) の計算

春秋経の日食記事による平均朔望月の計算例

■『春秋経』の日食記録からの計算

日食は新月の日に起きるので
平均朔望月は以下の式で計算できる。

$$\frac{\text{2つの日食間の日数}}{\text{2つの日食間の月数}} = \text{平均朔望月(日)}$$

同様に月食間隔でも計算できる。

■『春秋経』の日食記録からの朔望月の計算

古記録『春秋経』	ユリウス日
(1) 隠公3年2月 (−719/Feb/22)	1458495
(37) 哀公14年5月 (−480/Apr/19)	1545846
日差	87351日
月差	2958月
平均朔望月 (日)	29.5304

【現代の値:29.5306日】 誤差16秒

No	年号	年	月	西暦	日数差	月数差	朔望月(日)
1	隠公	3	2	−719/ 2/22	0	0	
2	桓公	3	7	−708/ 7/17	4163	141	29.5248
3	桓公	17	10	−694/10/10	9361	317	29.5300
4	莊公	18	4	−675/ 4/15	16123	546	29.5293
5	莊公	25	6	−668/ 5/27	18722	634	29.5300
6	莊公	26	12	−667/11/10	19254	652	29.5307
7	莊公	30	9	−663/ 8/28	20641	699	29.5293
8	僖公	5	9	−654/ 8/19	23919	810	29.5296
9	僖公	12	5	−647/ 4/ 6	26341	892	29.5303
11	文公	1	3	−625/ 2/ 3	34314	1162	29.5301
12	文公	15	5	−611/ 4/28	39512	1338	29.5306
13	宣公	8	10	−600/ 9/20	43675	1479	29.5301
14	宣公	10	4	−598/ 3/ 6	44207	1497	29.5304
16	成公	16	6	−574/ 5/ 9	53037	1796	29.5306
17	成公	17	11	−573/10/22	53568	1814	29.5303
18	襄公	14	2	−558/ 1/14	58766	1990	29.5307
19	襄公	15	6	−557/ 5/31	59268	2007	29.5306
20	襄公	20	99	−552/ 8/31	61187	2072	29.5304
21	襄公	21	9	−551/ 8/20	61541	2084	29.5302
23	襄公	23	2	−549/ 1/ 5	62044	2101	29.5307
24	襄公	24	7	−548/ 6/19	62575	2119	29.5304
26	襄公	27	11	−545/10/13	63786	2160	29.5306
27	昭公	7	4	−534/ 3/18	67595	2289	29.5304
28	昭公	15	5	−526/ 4/18	70548	2389	29.5303
29	昭公	17	9	−524/ 8/21	71404	2418	29.5302
30	昭公	21	7	−520/ 6/10	72793	2465	29.5306
31	昭公	22	12	−519/11/23	73324	2483	29.5304
32	昭公	24	5	−517/ 4/ 9	73826	2500	29.5304
33	昭公	31	12	−510/11/14	76602	2594	29.5305
34	定公	5	3	−504/ 2/16	78522	2659	29.5307
35	定公	12	10	−497/ 9/22	81297	2753	29.5303
36	定公	15	8	−494/ 7/22	82331	2788	29.5305
37	哀公	14	5	−480/ 4/19	87351	2958	29.5304

閏月の置き方(置閏法)

- 太陰暦は太陽年(365.24日)と11日/年の差⇒3年で約一月のずれ
 - ◆ $365.24\text{日} \times 3\text{年} - 29.53\text{日} \times (12\text{月} \times 3) = 32.64\text{日}$
 - ★ 太陰暦の季節のずれを閏月で補正 ⇒ 太陰太陽暦
- 3年に1閏月では3日のずれが残る
 - ◆ $365.24\text{日} \times 3\text{年} - 29.53\text{日} \times (12\text{月} \times 3 + 1\text{月}) = 3.14\text{日}$
- ずれの少ない置閏法の考案
 - ◆ 19年に7回の閏月 ⇒ 十九年七閏法(章法)

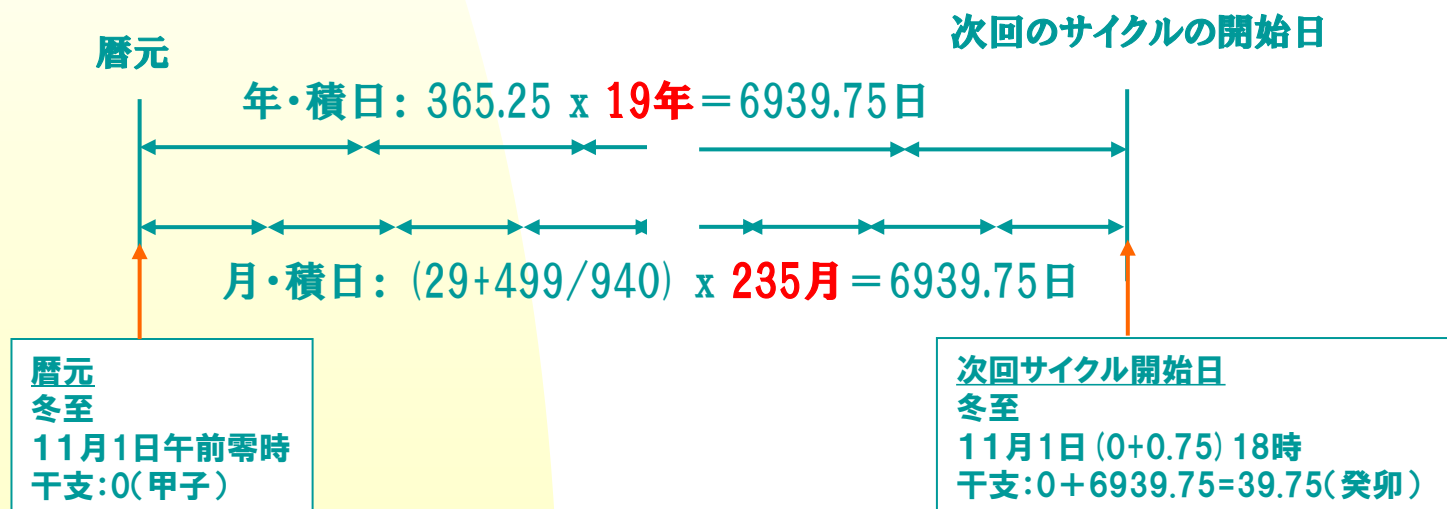
閏置法とずれ

年数	閏月	月数	ずれ(日)
3	1	37	3.09
8	3	99	1.59
11	4	136	1.50
19	7	235	0.09
22	8	272	3.01
27	10	334	1.68
30	11	371	1.42
38	14	470	0.17
41	15	507	2.92
46	17	569	1.76
49	18	606	1.33

漢代の暦法の例：四分暦

■ 四分暦のパラメータ

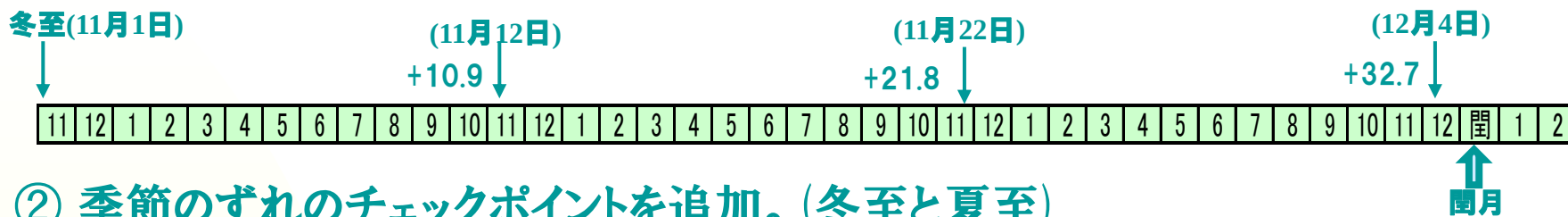
- ◆ 太陽年： $365 + 1/4$ 日 = **365.25日**
- ◆ 朔望月： $(365 + 1/4) \times 19$ 年 / 235ヶ月
= $29 + 499/940$ 日 = **29.5309日**
- ◆ 中気間隔： $(365 + 1/4) / 12$ ヶ月 = $30 + 7/16$ 日 = **30.4375日**
- ◆ 置閏法：十九年七閏法
 - ★ 冬至は11月に置く



冬至が11月朔日に当たると、これを
朔旦冬至といって祝賀が行われた。

閏月を置く方法 (置閏法) の進化と破綻

① 観測により11月に冬至がなければ、年末に閏月を置く。(観測による)

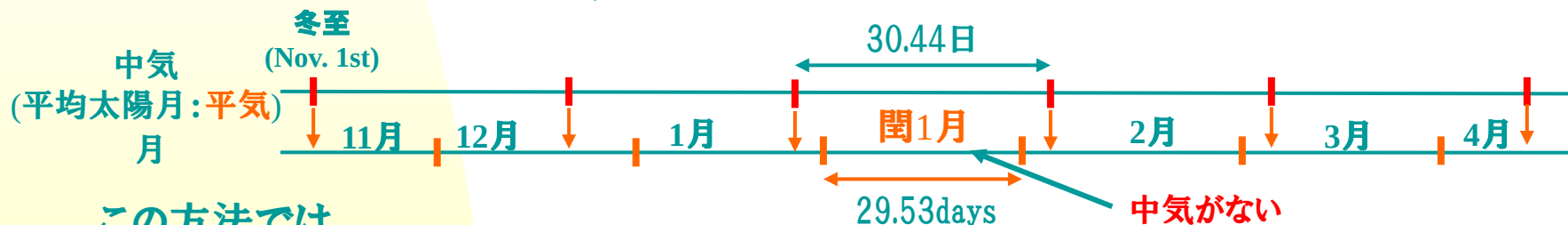


② 季節のずれのチェックポイントを追加。(冬至と夏至)

5月に夏至がなければ、6月の次に閏月を置く。

③ チェックポイントを12に増加(暦法計算による)

その月に中気が無ければ、その月は閏月。



この方法では

平均太陽月数 / 19年 = 12×19 = 228

太陰月数 / 19年 = $365.24 / 29.53 \times 19$ = 235

閏月数 = $235 - 228 = 7$: 19年に7閏月が等間隔で自動的に設定される

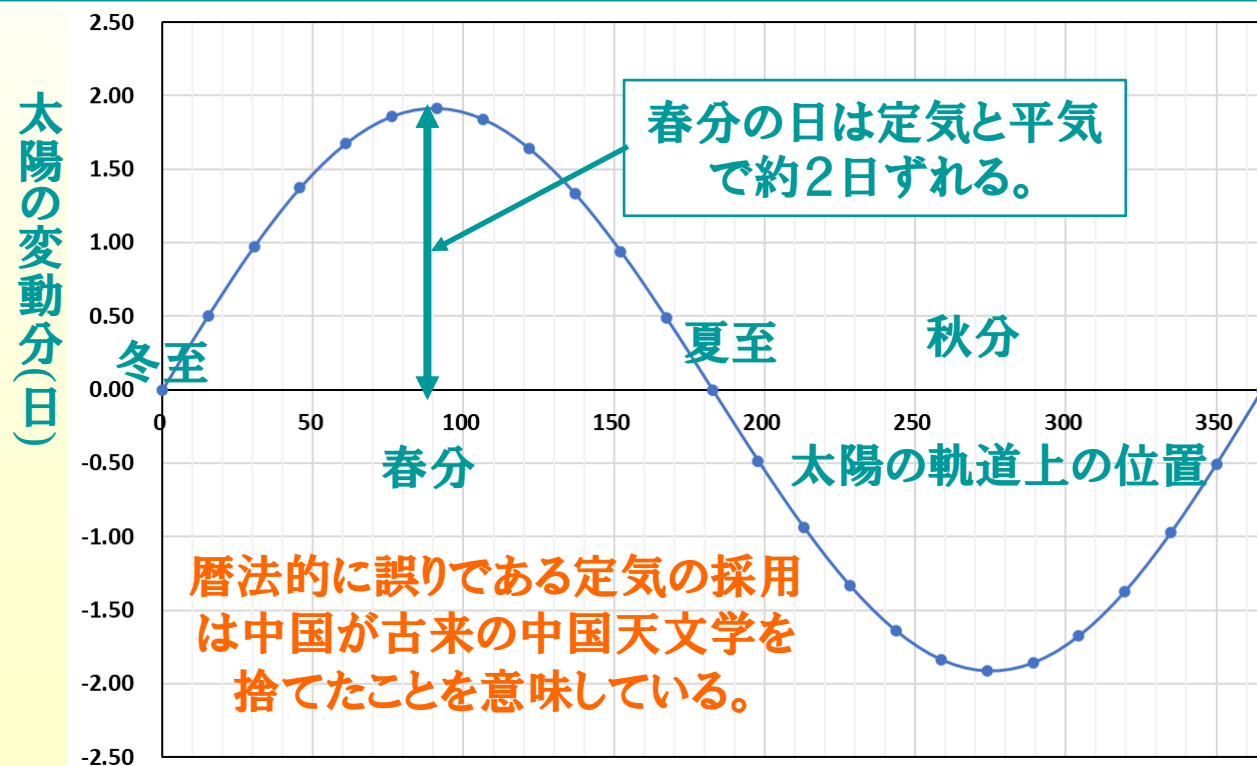
21 ④ 宣教師が中気に変動する定気を採用したことで、7個以上の閏月候補が現れ破綻。
⇒ 人為的選択が必要になった。(暦の2033年問題の原因)

宣教師が暦(置閏法)に定気を採用した理由

時憲暦を編纂したのは宣教師アダム・シャル(湯若望)である。

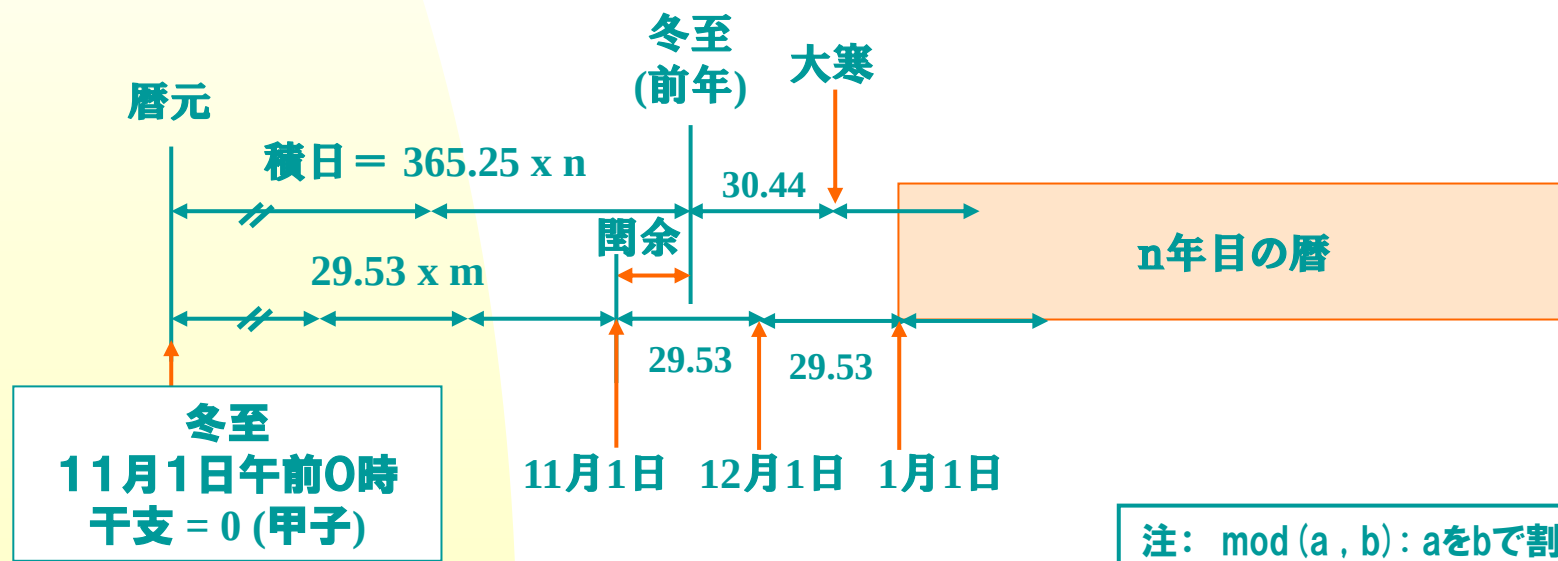
1582年のグレゴリオ暦の改暦は春分を3月21日に戻すのが目的だった。

キリスト教の最重要行事である復活祭の日付(春分後の最初の満月の後の日曜日)の起点である春分の日が2,3日ずれてしまう平気(常気)による「中国古来の置閏法」を彼等の暦法に組み込むのは論外だったと考えられる。16から17世紀はカトリックとプロテスタントの宗教戦争の時代でもあった。



[第2段階の暦法での] n年目の暦の作り方

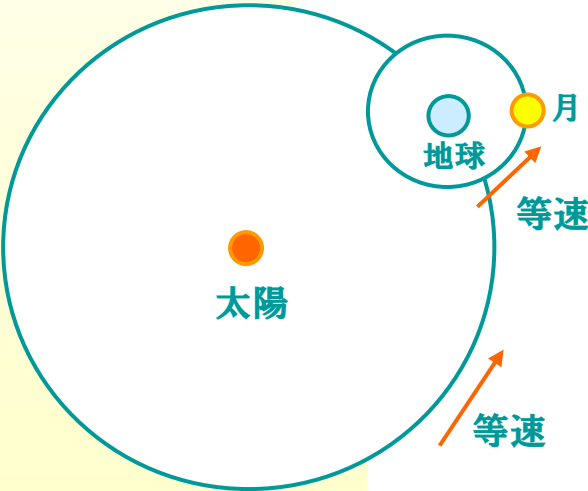
- 1) n年目の冬至(前年の冬至)までの日数(積日) = $365.25 \times n$ 日
- 2) 前年の冬至の干支 = $\text{mod}(\text{積日}, 60)$
- 3) 冬至と11月1日の間の日数(閏余) = $\text{mod}(\text{積日}, \text{平均朔望月}(29.53))$
- 4) 11月1日までの日数 = 積日 - 閏余
- 5) 11月1日の干支 = $\text{mod}(11月1日までの日数, 60)$
- 6) 12月1日の干支 = 11月1日の干支 + 29.53 (平均朔望月)
- 7) 12月中気 = 冬至干支 + 30.44 (平均太陽月)



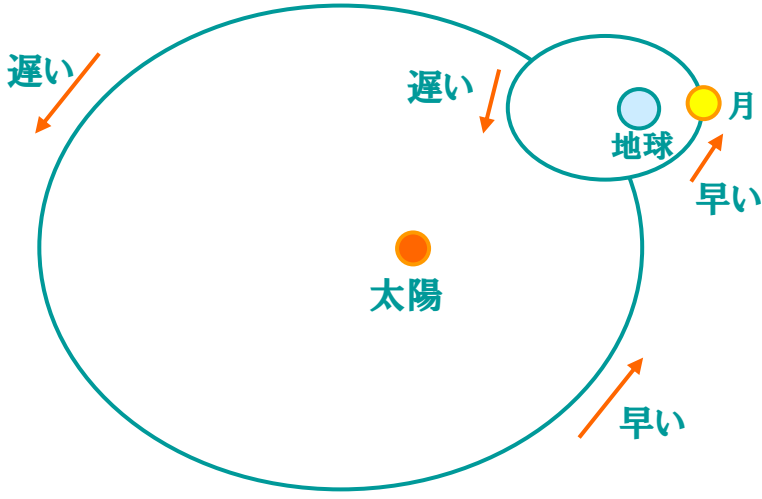
4. 第3段階：変速運動(楕円軌道)による暦法

中国の暦(主要用語の説明)

	等速運動(円軌道)	変速運動(楕円軌道)
月朔(太陽と月の黄経合)	<u>経</u> 朔(<u>平</u> 朔) 平均間隔=29.53日	<u>定</u> 朔
節気(季節の日安) 24節気/年	<u>常</u> 気(<u>平</u> 気) 365.24日/24=15.21日	<u>定</u> 気 太陽の位置:360度/24
降(昇)交点と月朔間の日数	入交 <u>汎</u> 日	入交 <u>定</u> 日
用途と時代	古代から隋までの月朔	食計算 唐代からの月朔



円軌道



楕円軌道

注意点: 中国天文学でこのような軌道モデルを理解していたわけではない。 ©2024 S.Takesako

太陽視黄経の簡略式

■ 太陽視黄経の計算式：

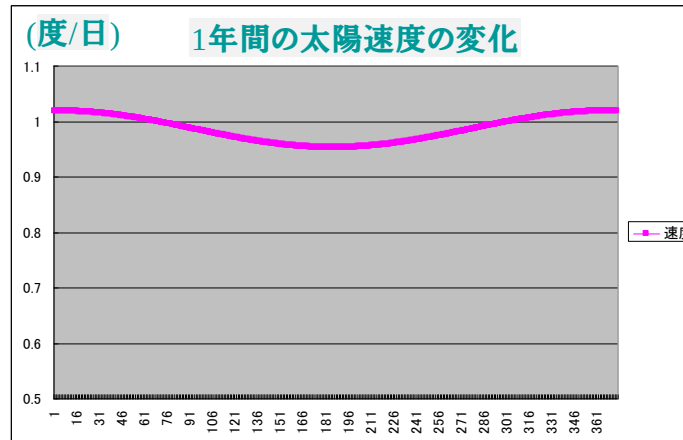
$$L_s = 280.4665 + \underbrace{0.985647 \times d}_{\text{平均速度分}} + \underbrace{a(d)}_{\text{変動分}} (^{\circ})$$

(1回転(360°)に365.24日)

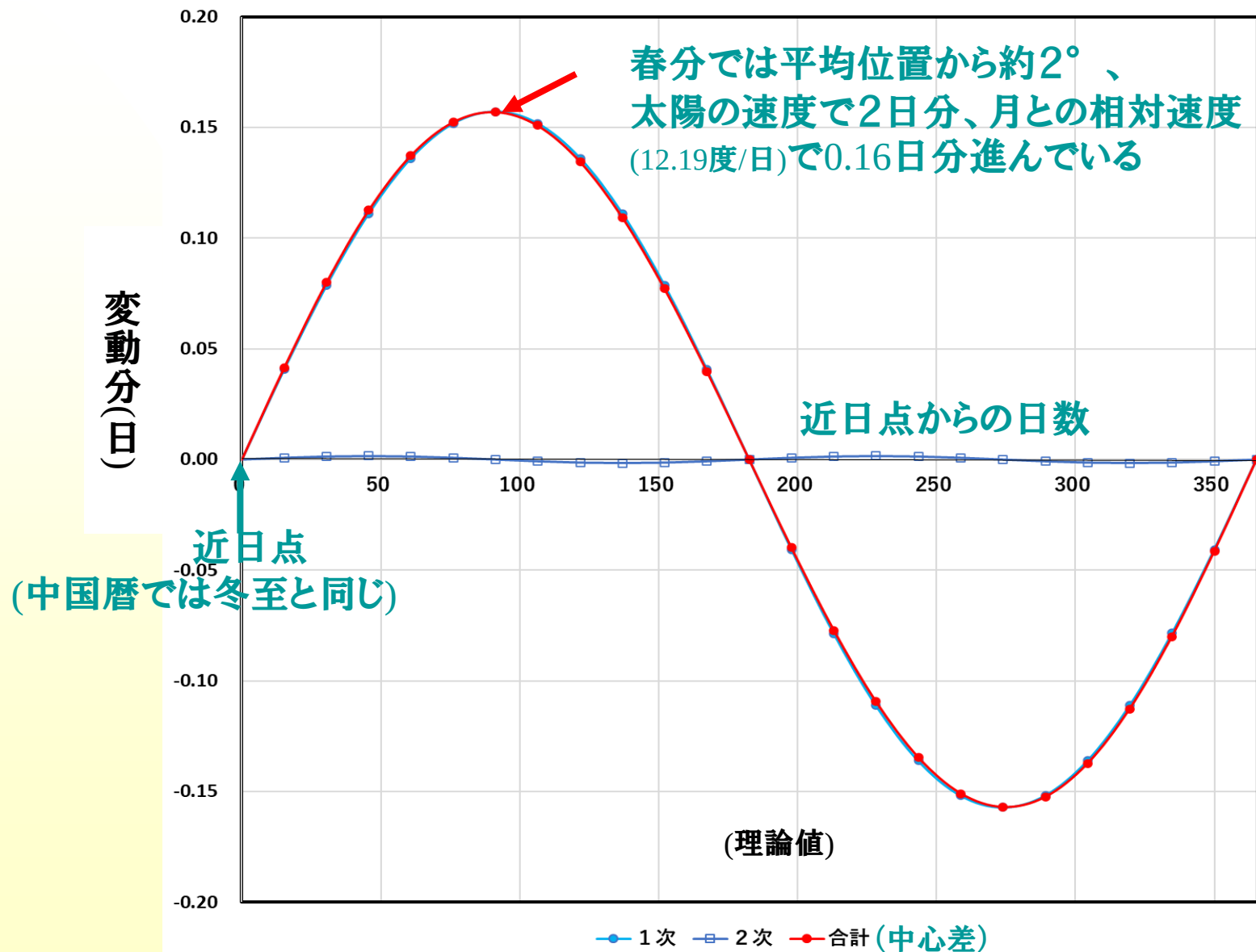
a (中心差の1次と2次項)：

- 1st: $1.914602 \times \sin(360/365.2596 \times d + 357.53)$
 - 2nd: $0.019993 \times \sin((360/365.2596 \times d + 357.53) \times 2)$
- (d : 2000/01/01 12hからの日数)

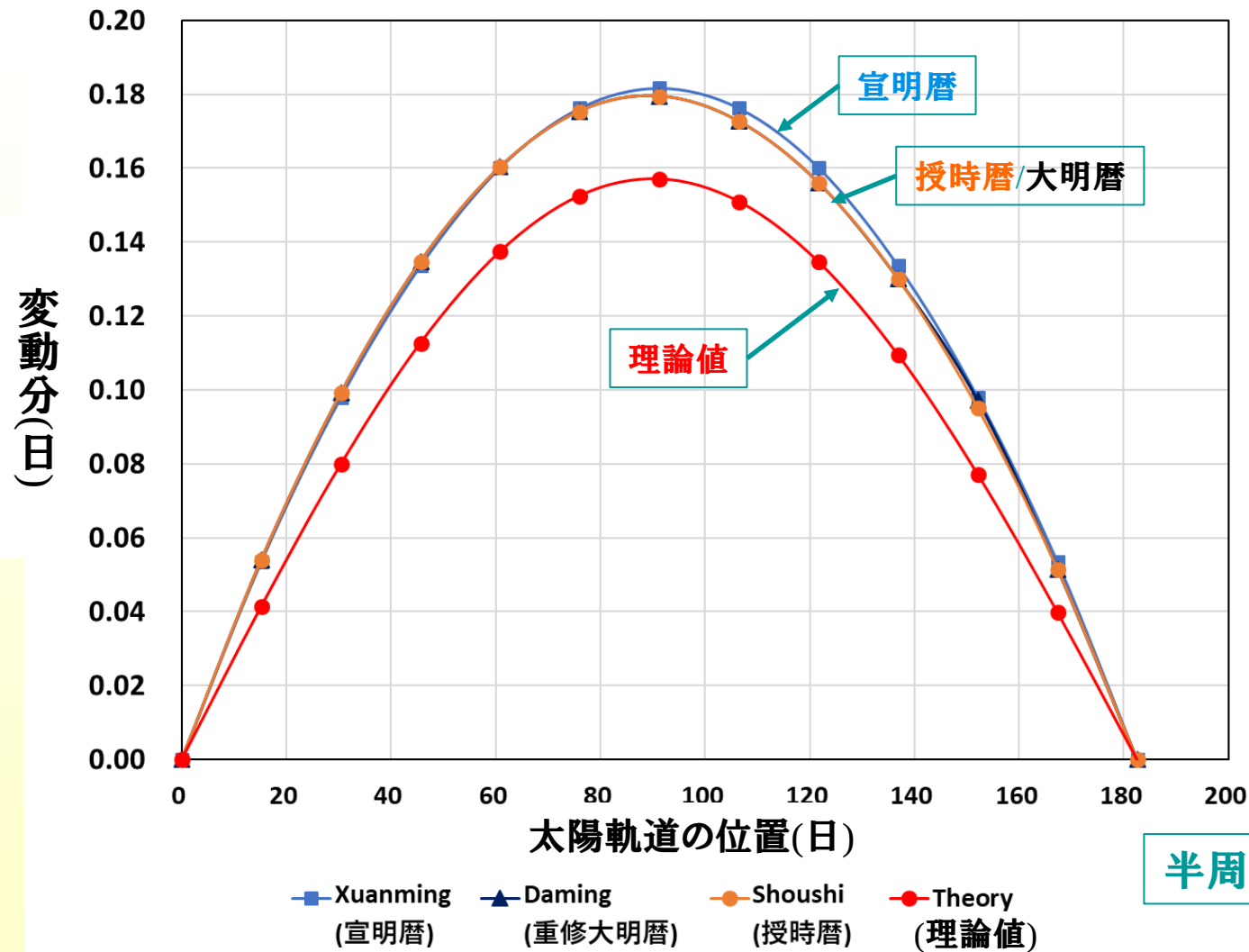
Jeen Meeus 「Astronomical Algorithms rev.2」(1998) p.164-165による



太陽の変動分 ($a/12.19$)



太陽の変動分 ($a/12.19$) の比較



半周期分のみ

月視黄経の簡略式

■ 月視黄経の簡略式：

$$L_m = 218.3164 + \underbrace{13.17640 \times d}_{\text{平均速度分}} + \underbrace{\beta(d) (^{\circ})}_{\text{変動分}}$$

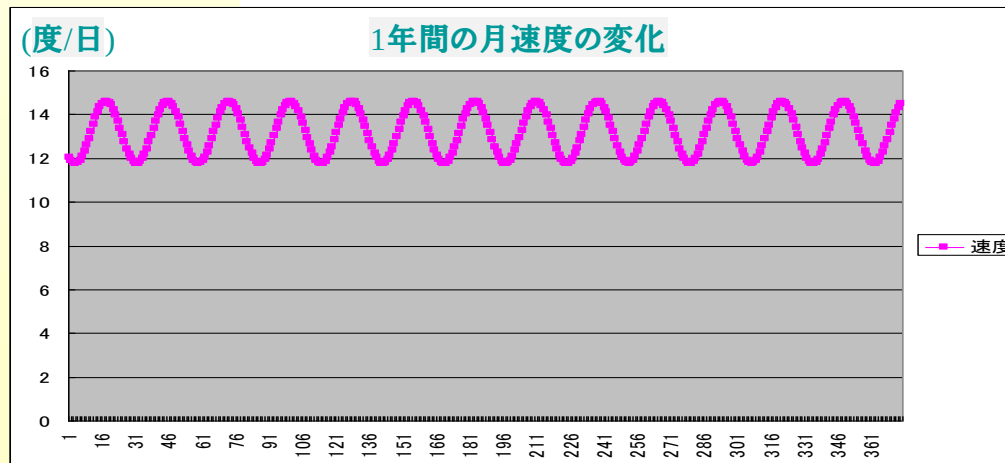
(360° / 27.32日)

β (値の大きな上位4項):

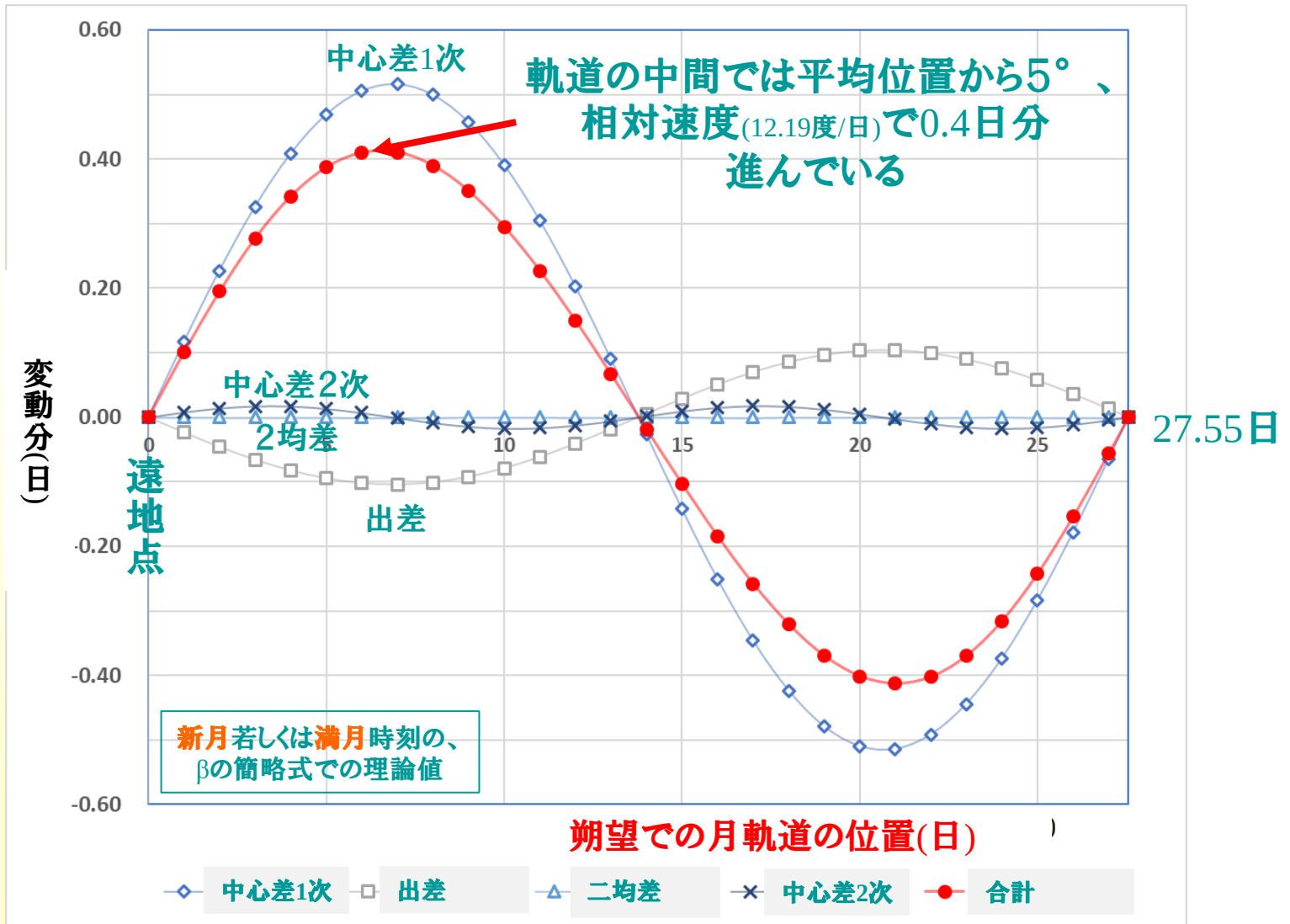
- ・中心差1次項 : $6.288877 \times \sin(360/27.5545 \times d + 134.963)$
- ・出差(太陽の影響*) : $1.274027 \times \sin(360/31.8119 \times d + 100.737)$
- ・二均差(太陽の影響*) : $0.658314 \times \sin(360/14.7652 \times d + 235.700)$
- ・中心差2次項 : $0.213618 \times \sin(360/13.7772 \times d + 269.927)$

*新月若しくは満月時刻の理論式 (d: 2000/01/01正午からの日数)

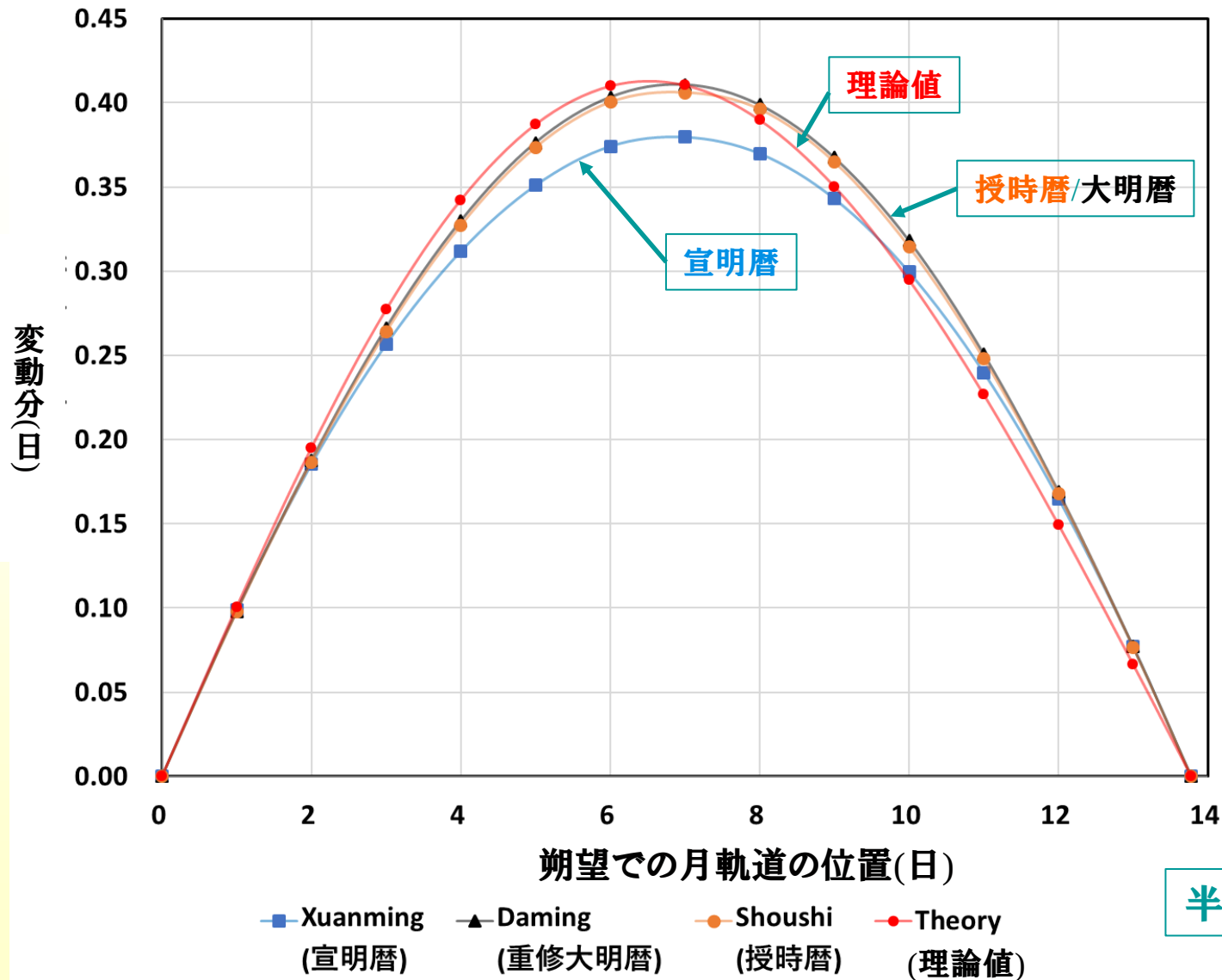
Jeen Meeus 「Astronomical Algorithms rev.2」(1998) p.337-339より



月の変動分 ($-\beta/12.19$)



月の変動分 ($-\beta/12.19$) の比較



半周期分のみ

中国暦法での定朔時刻計算方法

太陽と月の黄経が一致する定朔時刻の式を求める。

- 太陽の視黄経 (°) : $L_s = 280.4665 + \underbrace{0.985647 \times d}_{\text{平均速度分}} + \underbrace{a(d)}_{\text{変動分}} \quad \text{--- (1)}$
- 月の視黄経 (°) : $L_m = 218.3164 + \underbrace{13.17640 \times d}_{\text{平均速度分}} + \underbrace{\beta(d)}_{\text{変動分}} \quad \text{--- (2)}$
(d: 2000/01/01正午からの日数)
- 定朔時刻には : $L_s - L_m = 62.1501 - 12.190753 \times d + a - \beta$
 $= 62.1501 - 360/29.53058 \times d + a(d) - \beta(d) \pm 360 \times n = 0.0$
- 定朔時刻:

$$dt = 5.0984 + \underbrace{29.53058 \times n}_{\text{平均速度分}} + \underbrace{a(dt)/12.19}_{\text{太陽の変動分}} - \underbrace{\beta(dt)/12.19}_{\text{月の変動分}} \quad \text{--- (3)}$$

$\longleftrightarrow$
 経朔時刻
 $\longleftrightarrow$
 定朔時刻

西洋天文学ベースの暦法では、定朔時刻を直接求め、経朔時刻の計算は不要。
 現代の旧暦は中国暦法ではない。

12.19 ° /日 : 平均相対速度

中国暦法での定期時刻の計算方法

定期時刻 (dt) の計算式

$$dt = \frac{5.0984 + 29.53058 \times n + a(dt)/12.19 - \beta(dt)/12.19}{\text{経朔時刻 (dm)}}$$

(2000/01/01正午からの日数)

dt : 定期時刻

中国暦法での簡略化した定期時刻 (dte) の計算方法

$$dte = dm + a(dm)/12.19 - \beta(dm)/12.19$$

aとβは経朔時刻(dm)での値

(a/12.19) と (β/12.19) の値は軌道位置を引数として表形式で与えられる。

本来はdteを使い、計算を繰り返す必要がある。

$$dte2 = dm + a(dte)/12.19 - \beta(dte)/12.19$$

$$\text{誤差} = dte - dt < \pm \text{最大約1.5時間程度}$$

この計算方法は授時暦前までの方式。

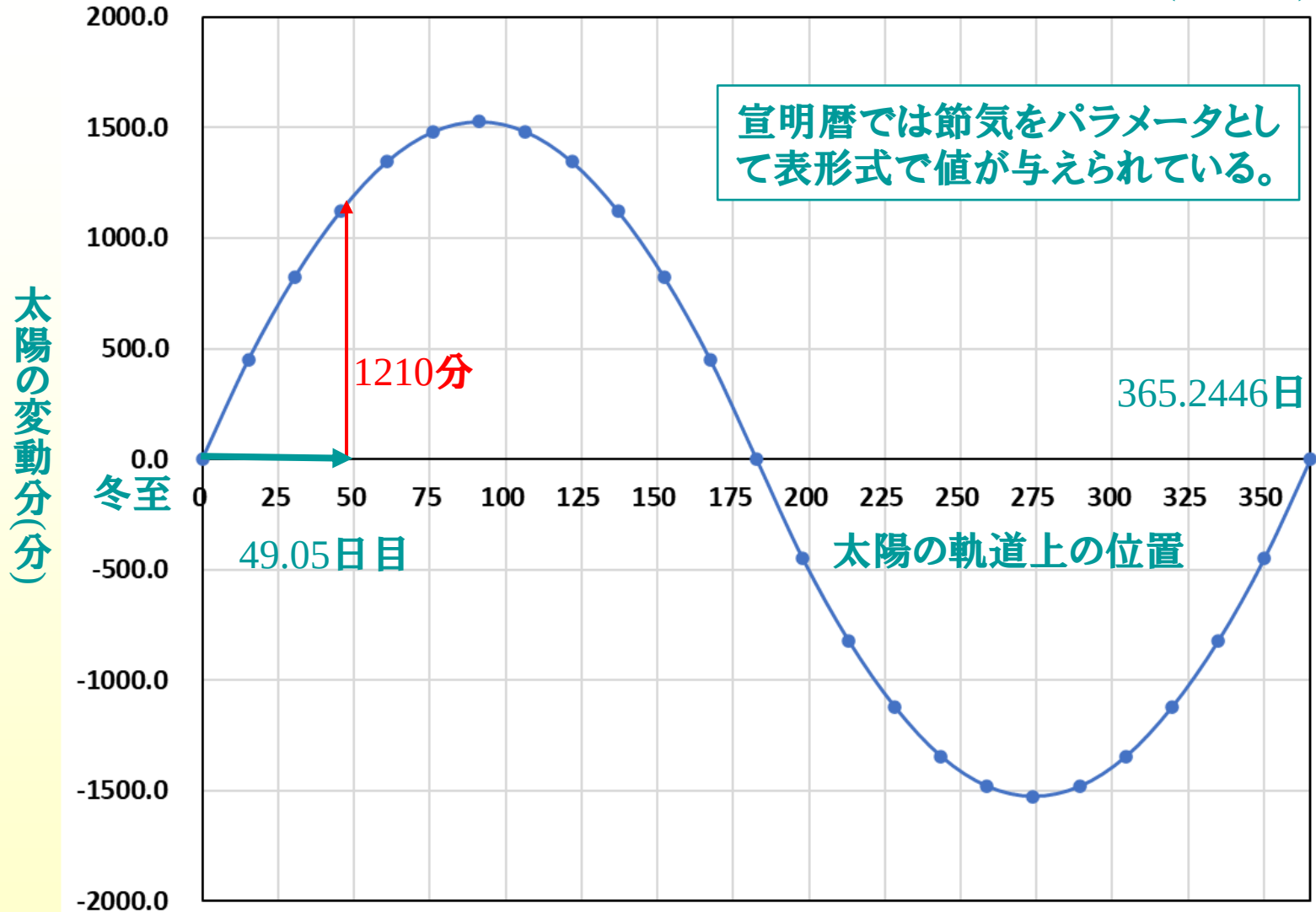
宣明暦による1413年1月の定期計算例

- 1) 積年(暦元からの年数) = $7070138 + (1413 - 822) = 7,070,729$ 年
- 2) 積日(同日数) = 積年_r x 3068055 分/年 = 21693385462095分
- 3) 冬至の干支 = $\text{mod}(\text{積日}, 60 \times 8400) / 8400 = 238095 \text{ 分} / 8400$
= 28 (壬辰) + 2895/8400
- 4) 閏余(冬至と11月1日の間の日数)
= $\text{mod}(\text{積日}, \text{朔望月})$
= $\text{mod}(\text{積日}, 248057) = 84099 \text{ 分}$
- 5) 11月1日の干支(経朔) = $(\text{積日} - \text{閏余}, 60 \times 8400) = 153996 = 18(\text{壬午}) + 2796/8400$
- 6) 翌年1月1日の干支(経朔) = 11月1日の干支 + 朔望月 x 2
= $(153996 + 248057 \times 2, 60 \times 8400) = 17(\text{辛巳}) + 3310/8400$
- 7) 冬至から1月1日までの日数 = 1月1日の干支 - 冬至の干支
= $(153996 + 248057 \times 2) - 238095 = 412015 \text{ 分} = 49.05 \text{ 日}$
太陽の変動分⇒1210分 (0.144日, $\alpha/12.19$)
- 8) 1月1日の月の位置 = $\text{mod}(\text{11月1日積日} + \text{朔望月} \times 2, \text{月の公転日数}(27.5545 \text{ 日}))$
= $\text{mod}(21693385462095 - 84099 + 248057 \times 2, 231458.19)$
= 114881 min. = 13.68日
月の変動分⇒84分 (0.01日, $-\beta/12.19$)
- 9) 1月1日の定期 = 1月1日の経朔 + 太陽の変動分 + 月の変動分
= $17(\text{辛巳}) + 3310/8400 + 1210/8400 (\text{太陽}) + 84/8400 (\text{月})$
= $17(\text{辛巳}) + 4604/8400 (=13 \text{ 時 } 9 \text{ 分})$

経朔の計算

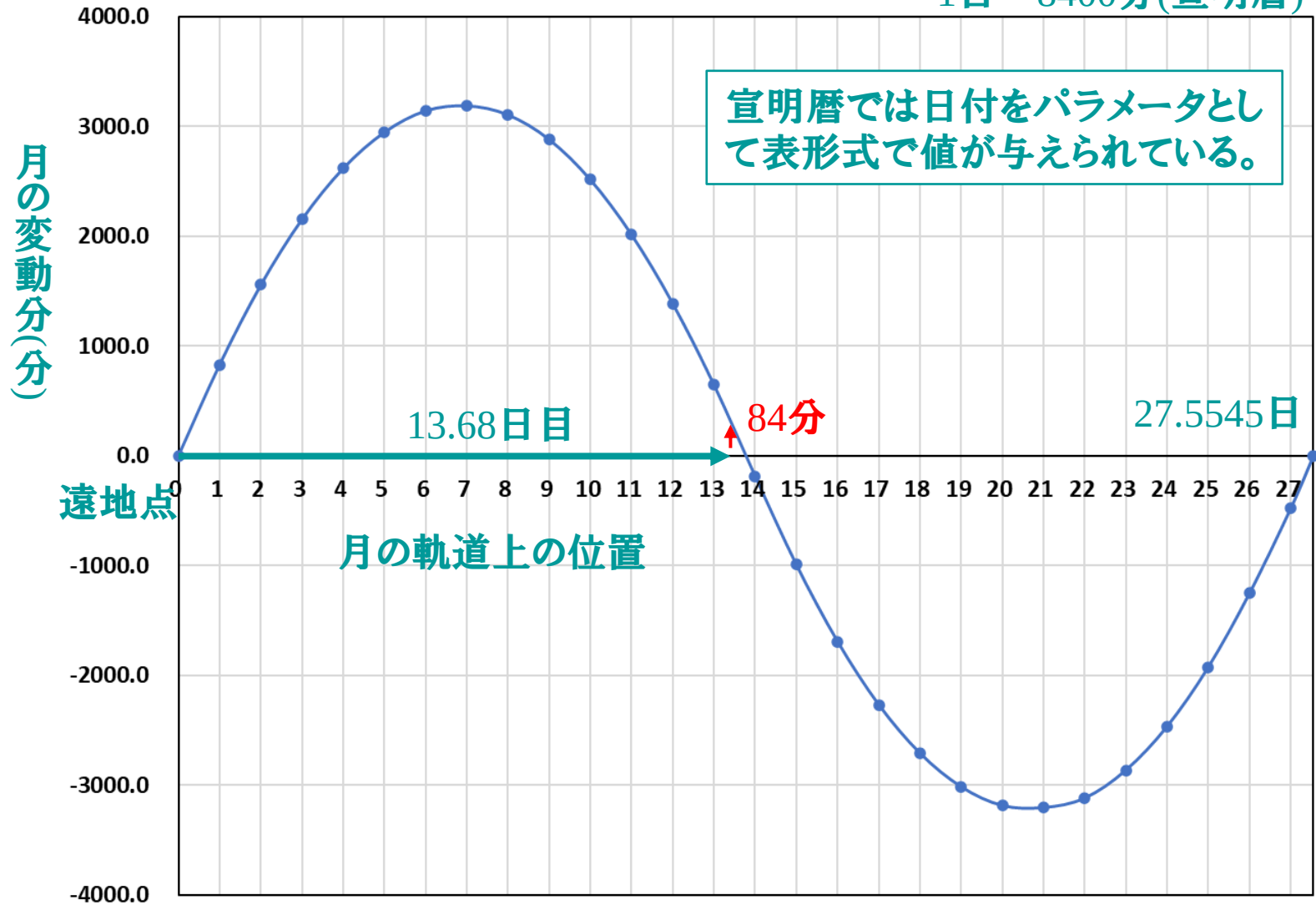
太陽の変動分 ($a/12.19 \times 8400$)

1日 = 8400分(宣明暦)



月の変動分 ($-\beta / 12.19 \times 8400$)

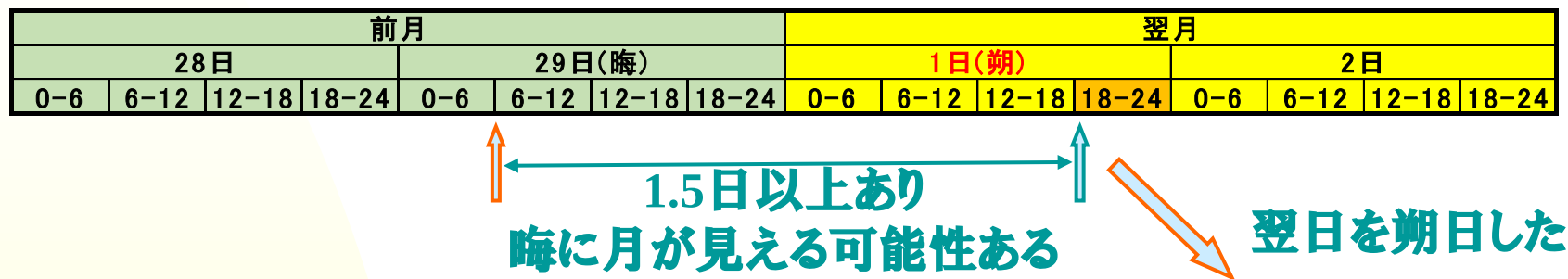
1日 = 8400分(宣明暦)



進朔制度

■ 進朔とは晦月を防ぐ制度

前月の晦に月が見えるのは暦の不具合とされた。定朔時刻が夕方の場合その可能性があり、防ぐために朔日を翌日に進めた。



前月								翌月							
28日				29日				30日(晦)				1日(朔)			
0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24

進朔は中国ではAD712麟徳暦で始まった。

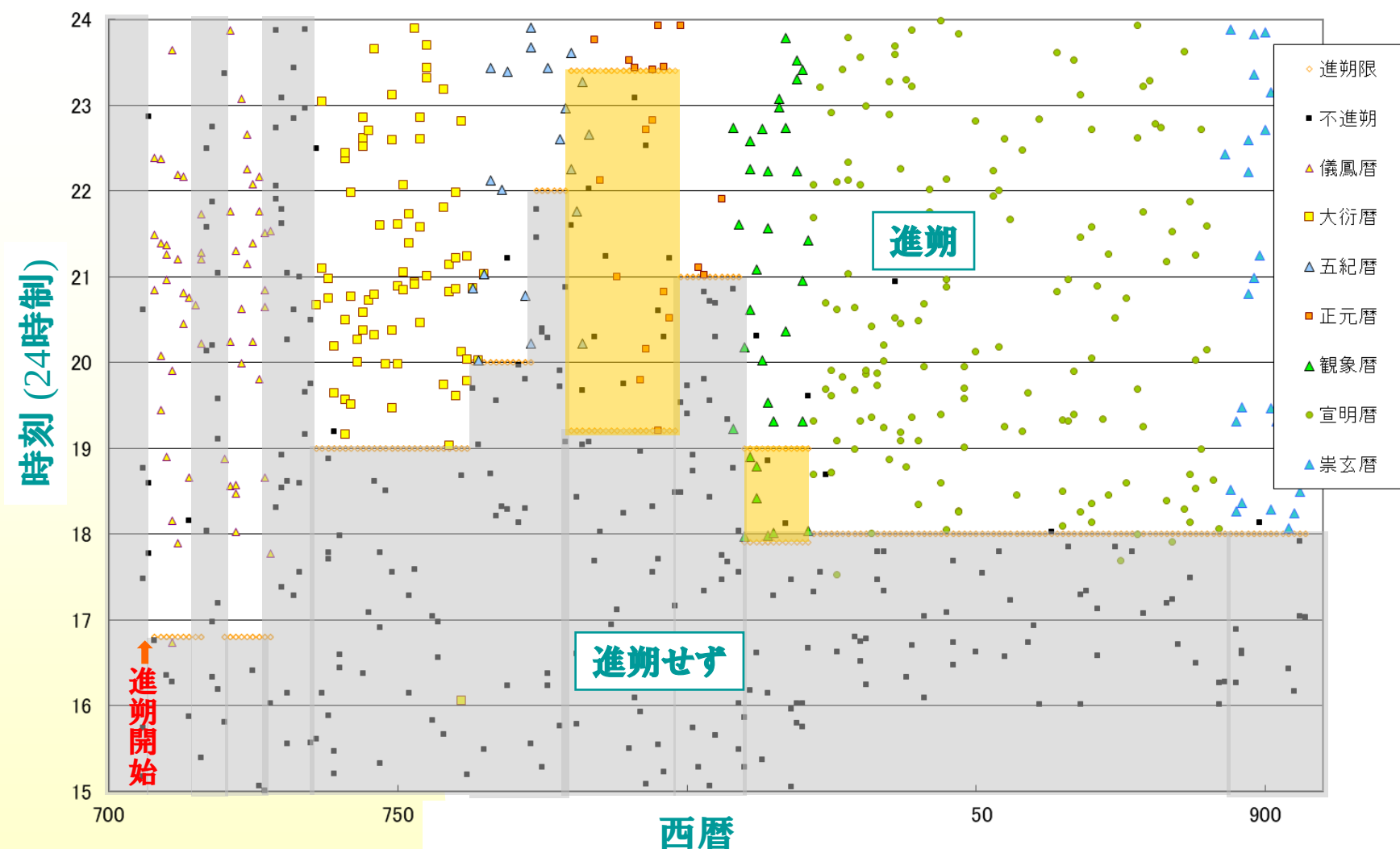
日本ではAD765大衍暦で始まった。

宣明暦以降は進朔限がほぼ18時に定まったが、それ以前の暦では定まっておらず、暦法上の謎とされた。

授時暦では進朔制度を迷信として廃止した。

日本では貞享暦が採用されるまで続いた。

中国・唐代における進朔限時刻の変化

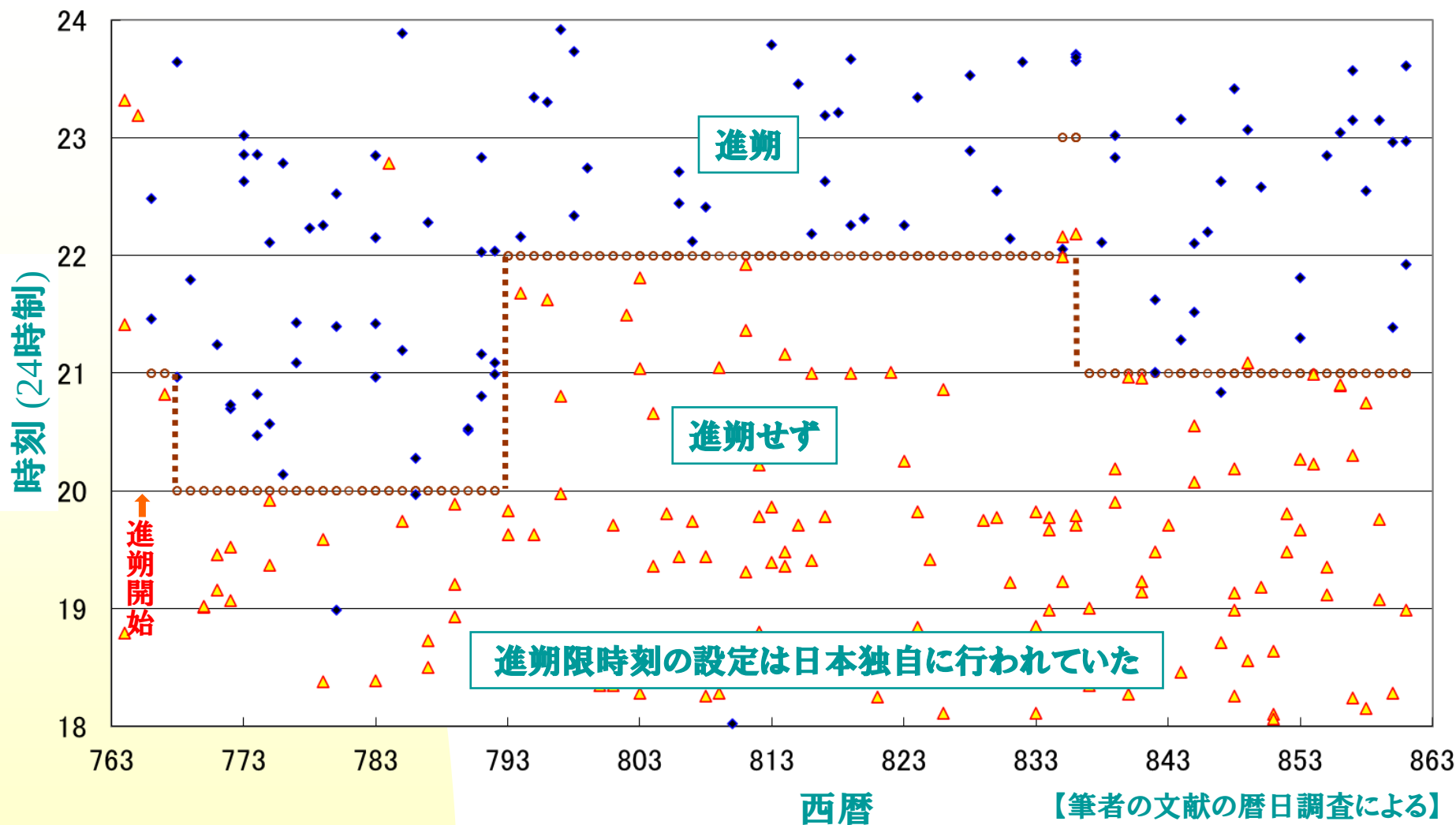


【注】黄色網掛けの部分は季節により進朔限時刻が変更された。【筆者の文献(史書・墓誌等)の暦日調査による】

『唐・日本における進朔に関する研究』[研究代表者:細井浩志 研究協力者:竹迫忍](2013)で発表。

平岡武夫『唐代の暦』(1954)は唐代の暦日の参考にならず。(調査が尽くされていない)

日本・大衍暦における進朔限時刻の変化



『大衍暦法による日食計算と進朔の検証』数学史研究 (208号) p.1-40(2011)で発表

5. 第4段階：授時暦による暦法の改善

授時暦により暦法を改善した主な点

- 1) 単位を1日1万分とし、現代の小数と同じ扱いにした
- 2) これまで数万年前に置かれた暦元を施行年とした
- 3) 変動分 (α と β) の値を3次の数式で定義した
⇒補間法を用いる必要がなくなった
- 4) 月朔時刻の計算方法を修正し精度を高めた
⇒実際の新月時刻との差が縮まった。
- 5) 日食予測の精度を向上した
⇒4)により、日出/日没時の食の精度が向上
- 6) 月食予測の精度を向上した
⇒月の直径を小さくし、半影食の頻度が減った
- 7) 進朔を廃止した。

1) 授時暦での一日の分数の定義

- 符天暦と同じく1日を10,000 分と定義した
 - ◆ これにより、現代の小数的考えが可能となった
 - ◆ 10,000 分を採用した最初の公的暦法

宣明暦では8400分
大衍暦では3040分

2) 暦元を施行年とした

- 授時暦は、暦の計算を簡素化するために、新しい補正パラメータを導入した。

宣明暦での計算例:

施行年: AD822年

- 1) 積年 = $7070138(\text{暦元}) + (822 - 822) = 7,070,138 \text{ 年}$
- 2) 積日 = 積年 $\times 3068055 = 21,691,572,241,590 \text{ 分}$
- 3) 天正冬至 (AD822)
 $= \text{mod}(\text{積日}, 60 \times 8400) = 48(\text{壬子}) + 6390/8400 \text{ -----(1)}$

暦元を施行年(AD822)とすると、

- 1) 積日 = 積年(0) $\times 3068055 = 0$
- 2) 天正冬至 (AD822) = $\text{mod}(\text{積日}, 60 \times 8400) = 0$
補正パラメータ $A = 48 + 6390/8400 - 0 = 48 + 6390/8400$
したがって、天正冬至 = $\text{mod}(\text{積日}(\text{from AD822}), 60) + A \text{ ---(2)}$

例えば、次の年(AD823)の天正冬至は次のように計算できる、

- 1) 積日 = 積年(1) $\times 3068055 = 3068055$
- 2) 天正冬至(AD823) = $\text{mod}(3068055, 60 \times 8400) + A$
 $= 5 + 2055/8400 + 48 + 6390/8400 = 54 + 45/8400$

3) 変動分 (α と β)を3次の数式で定義した

太陽の変動分 (α) = (5133200 x day - 24600 x day² - 31 x day³) / 100,000,000

定気	日数	角度	時間(日)
冬至	0.0000	0.0000	0.0000
小寒	14.8182	0.7059	0.0527
大寒	29.6364	1.2979	0.0969
立春	44.4546	1.7697	0.1322
雨水	59.2728	2.1150	0.1580
啓蟄	74.0910	2.3276	0.1739
春分	88.9092	2.4015	0.1794

	a1	a2	a3
計算値	5,133,889	-24,501	-32.3
授時暦	5,133,200	-24,600	-31.0

3次の行列式の解

14.8182	14.8182 ²	14.8182 ³	0.7059
29.6364	29.6364 ²	29.6364 ³	1.2979
44.4546	44.4546 ²	44.4546 ³	1.7697
1.00000000	0.00000000	0.00000000	0.05133889
0.00000000	1.00000000	0.00000000	-0.00024501
0.00000000	0.00000000	1.00000000	-0.00000032

定気	日数	角度	時間(日)
夏至	0.0000	0.0000	0.0000
小暑	15.6187	0.7059	0.0527
大暑	31.2374	1.2979	0.0969
立秋	46.8561	1.7697	0.1322
処暑	62.4748	2.1150	0.1580
白露	78.0935	2.3276	0.1739
秋分	93.7122	2.4015	0.1794

	a1	a2	a3
計算値	4,870,764	-22,054	-27.6
授時暦	4,870,600	-22,100	-27.0

(88.9092+93.7122)x2=365.2425
時間(日) = 角度/13.3875

この3次の計算式により、複雑な補間式を用いなくても、
正確な値を求めることができるようになった。

4) 定期時刻の計算法の改善

- 授時暦以前の月朔を計算する方法

$$dt \doteq dm + \frac{a(dm) - \beta(dm)}{12.19} \text{ (平均相対速度)}$$

dm: 経朔時刻

経朔時刻での
月と太陽の離角

- 月朔時刻は平均速度より実速度を使う方が正確

$$dt = dm + \frac{a(dm) - \beta(dm)}{\text{実相対速度}(dm)}$$

貞享暦

$$= dm + \frac{a(dm) - \beta(dm)}{12.19} \leftarrow \text{これまでの暦数}$$

x 平均相対速度/実相対速度(dm)

授時暦

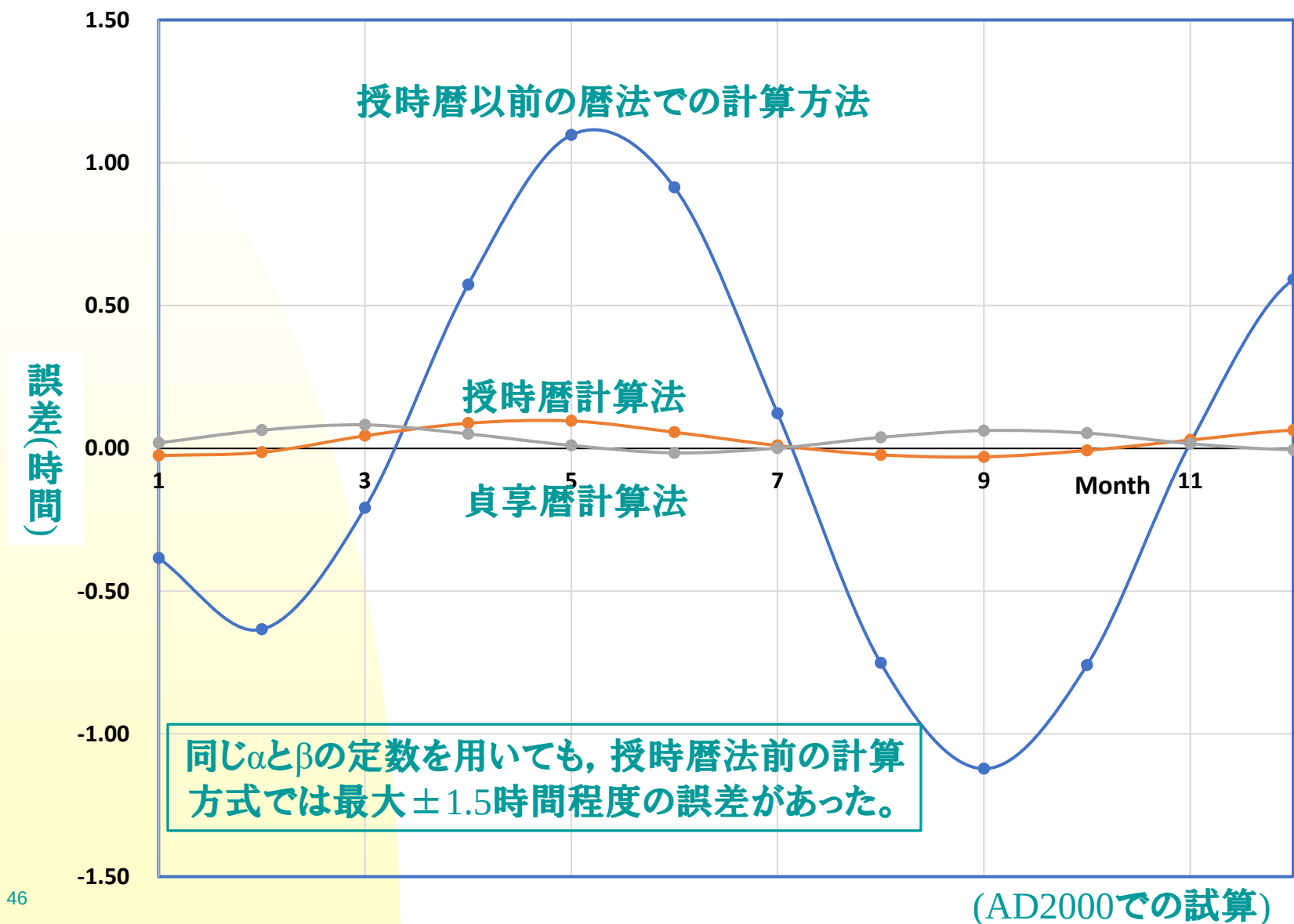
$$\doteq dm + \frac{a(dm) - \beta(dm)}{12.19}$$

x 平均月速度/実月速度(dm)

⇒ 授時暦では太陽の実速度の値は不要

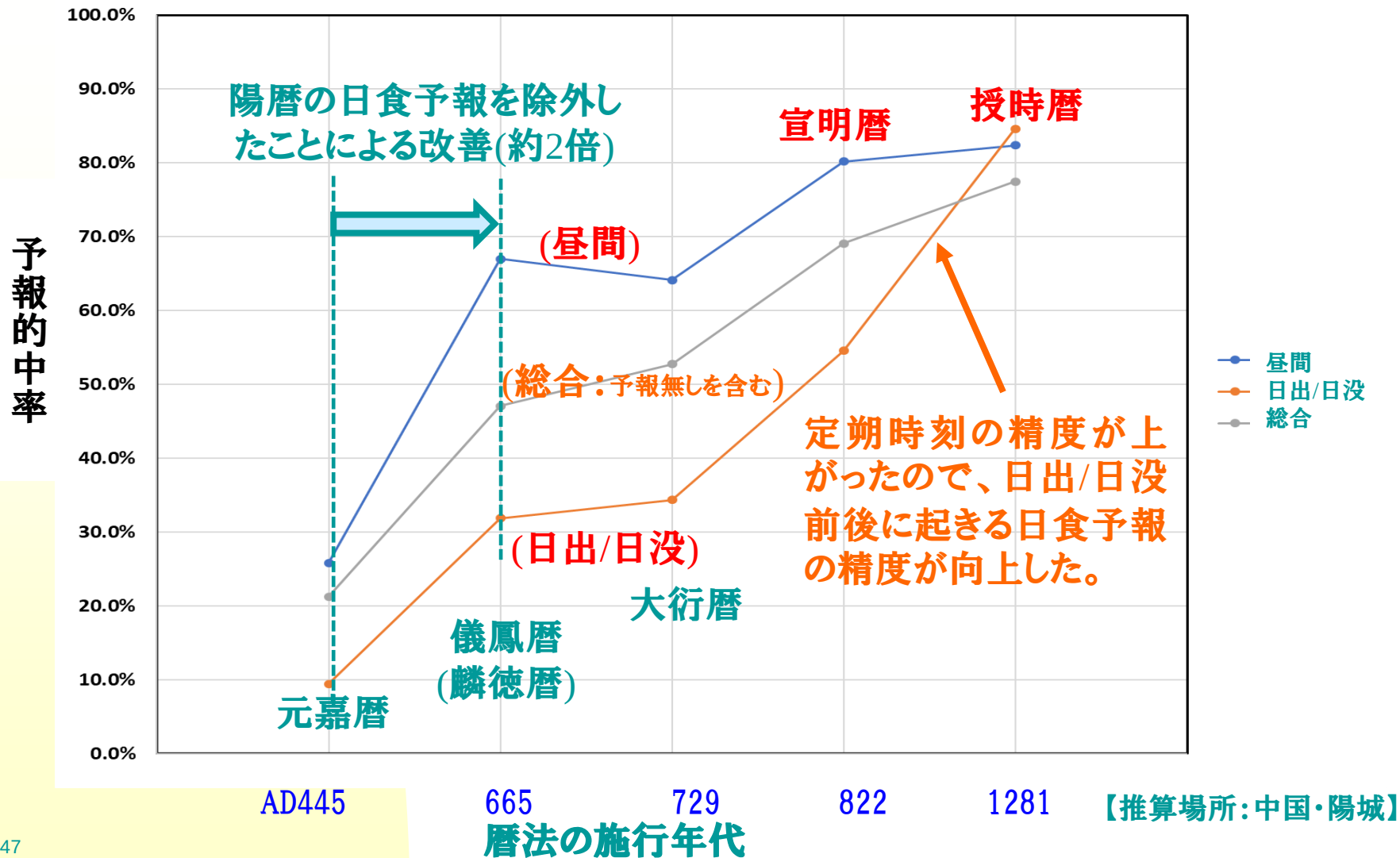
2つの方法の差は約1%。

計算法の変更による定期時刻の改善



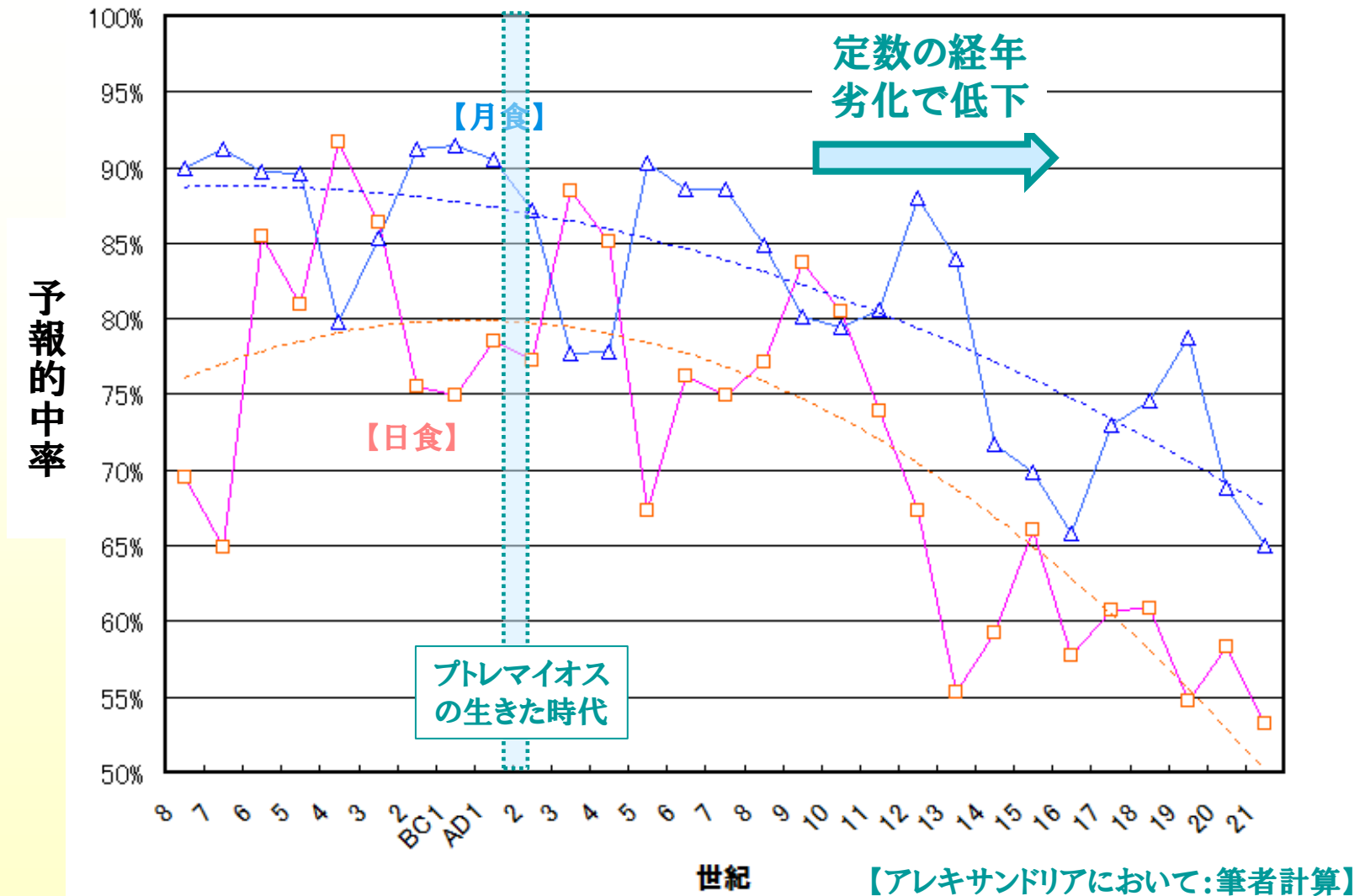
5) 日食の予測精度の向上

(AD600年から899年の300年間の日食で評価した。)



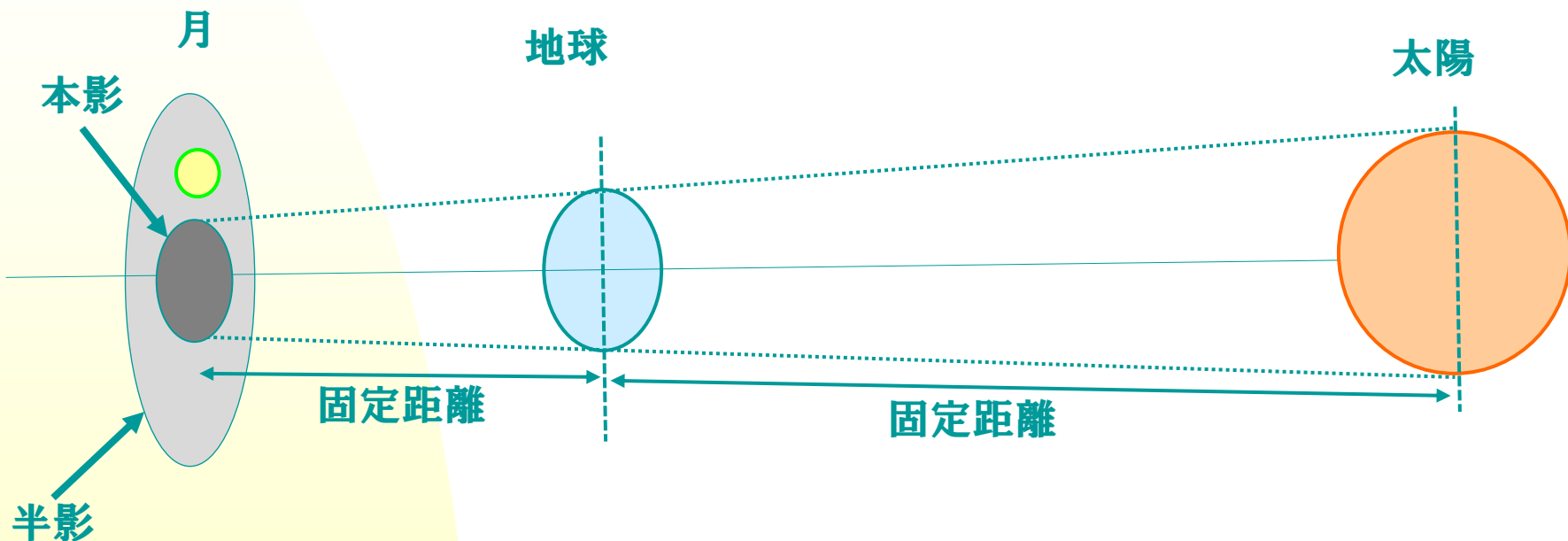
注: 総合には予報無で日食が起きたハズレの回数を含むので昼食と帯食の平均より低い。

「Almagest」による食計算法の的中率



6) 月食予測の改善

中国の暦法では地球と月/太陽の間の距離は固定されているため、地球の影のサイズも固定されていた。そのため、月が地球の本影に隠れないこともあった。月の軌道が楕円であるという概念はなかった。

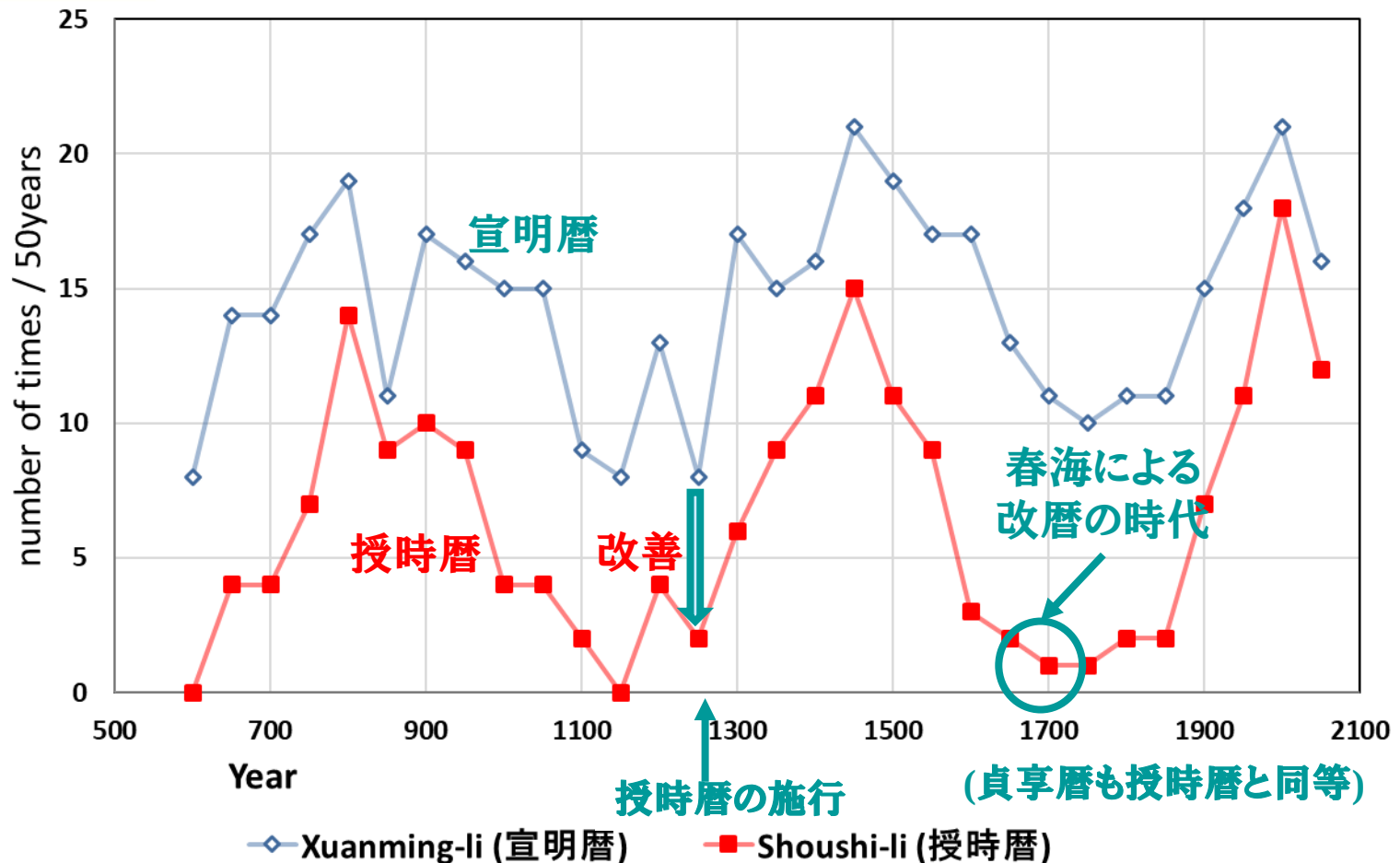


月が本影に隠れない場合も、月が半影に隠れるが、中国暦法では半影食は月食としてはカウントされない。

月食予報における改善

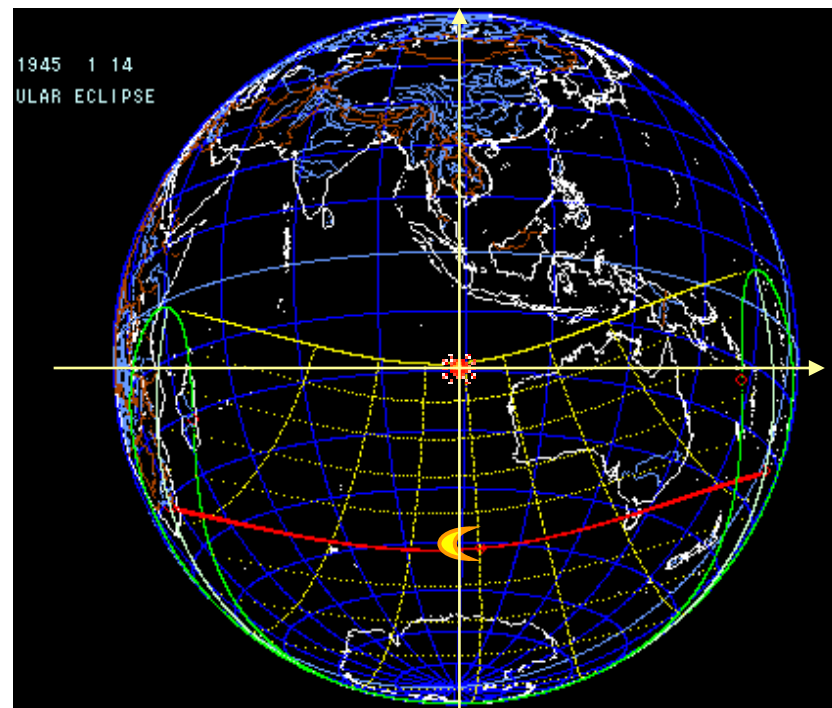
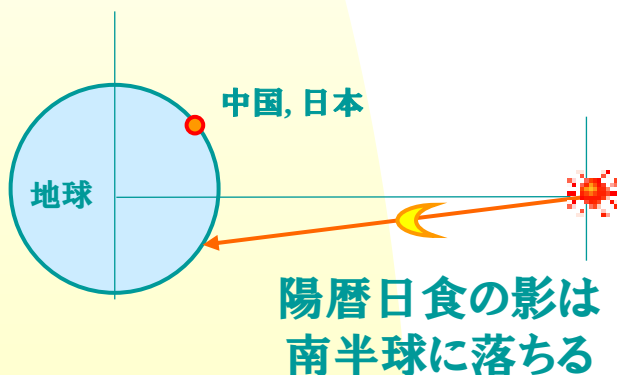
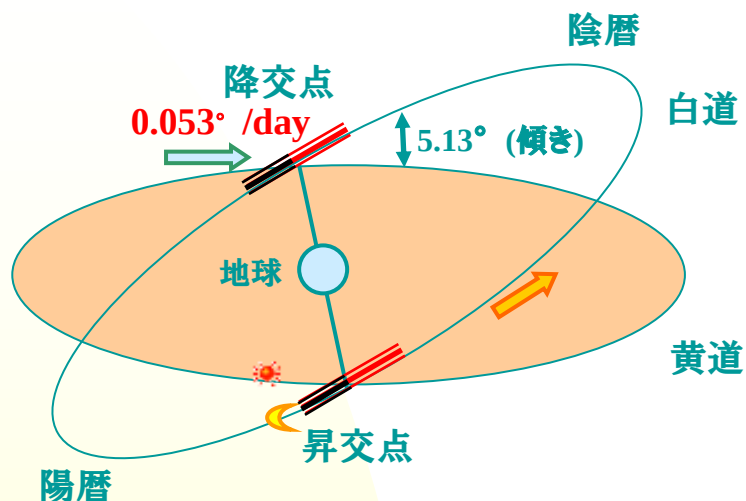
授時暦は宣明暦に比べて地球の影のサイズを2割縮小したため、授時暦の月食予報の失敗は軽減された。それでも失敗はあった。

50年間毎における月食予測の失敗数の推移 (シミュレーション結果)



6. 日食予測の計算法の考え方

中国暦法における日食の予報



西暦1001年から1200年までの日食の統計

日食の種類	全日食数	京都での日食
陰暦の日食	249	72
陽暦の日食	242	8
合計	491	80

中国律曆志における日食の条件

- 隋・大業曆から日食条件に「月が黄道の北(内、裏、陰曆等)にあること」が加えられた。

曆	施行年(西曆)	記述	記載個所
宋書・景初曆	237	入交限数以上者、朔則交會、望則月蝕。	志彙編六 p.16966)
宋書・元嘉曆	445	交限数以上、朔則交會、望則月食。	志彙編六 p.1730
宋書・大明曆	510	(交限数)以上、朔則交會、望則月食。	志彙編六 p.1752
魏書・正光曆	523	(交限数)以上、朔則交會、望則月食。	志彙編六 p.1791
魏書・興和曆	540	其交在望前者、其月朔則交會、望則月食。其交在望後者…。	志彙編六 p.1829
隋書・開皇曆	584	詳細記載無し。	志彙編六 p.1893
隋書・張胄玄曆(大業曆)	597	外限已上、望則月食、 在内者 、朔則日[食]。(注-1)	志彙編六 p.1925
隋書・皇極曆	未施行(604)	交限以上者月食、 月在裏 者日食。	志彙編六 p.1957
唐書・戊寅元曆	619	交限已上、望則月食、 其朔在内道者 、朔則日蝕。	志彙編七 p.1986
唐書・麟德曆(儀鳳曆)	665	為入蝕限、望則月食、朔入限、 月在裏者 、日蝕。	志彙編七 p.2024
唐書・大衍曆	728	望入蝕限、則月食、朔入蝕限、 月在陰曆則 日蝕。	志彙編七 p.2024
高麗史・宣明曆*	807	望入蝕限則月食、朔入蝕限則日食也、 月在陰曆則 日入蝕限。	高麗史・志第四 曆1

*宣明曆は唐書・律曆志に詳細な記載が無い。

広瀬秀雄・内田正男著「宣明曆に関する研究(2)」東京天文台報14(4)(1969)p.516では、日本に伝わる『宣明曆経』に、
『朔入蝕限、**月在陰曆**、則日入蝕。…然者、月陽曆之時者、其朔雖入蝕限、不蝕也。』
とあることを記載しているが、「この曆経の一文は、定性的なもので判定条件にはならない」としている。これは、江戸時代の曆や解説書の日食予報を見て誤って判断したと推測される。

江戸初期の宣明暦日食予報の誤りの原因

1) 862年～1600年(戦国時代以前)

推算結果と暦的中率はほぼ一致

	宣明暦による推算結果			暦に記載された日食(具注暦)			
	全数(A)	実視数(B)	的中率(B/A)	記載数(C)	実視数(D)	的中率(D/C)	
陰暦日食(北半球)	766						
1. 日食(a)	252	199	79%	34	31	91%	
2. 帯食(b)	111	60	54%	19	8	42%	
(小計)	(363)	(259)	(71%)	(53)	(39)	(74%)	
3. 夜食	267	8		5	1		
4. 不食	136	0		1	0		
陽暦日食(南半球)	786						
1. 不食	786	20		0	0		
合計	1552	290		59	40	68%	

戦国時代以前は
陽暦日食の記載
は無く、日食の的
中率は約7割。

陽暦食は記載されていない

2) 1601年～1684年(江戸時代) 加茂家の跡継ぎ問題の影響?

推算結果と暦的中率が2割違う

	宣明暦による推算結果			暦に記載された日食(京暦)			(大経師暦 = 京暦)
	全数(A)	実視数(B)	的中率(B/A)	記載数(C)	実視数(D)	的中率(D/C)	
陰暦日食(北半球)	86						
1. 日食(a)	23	22	96%	22	22	100%	
2. 帯食(b)	17	9	53%	14	8	57%	
(小計)	(40)	(31)	(78%)	(38)	(30)	(83%)	
3. 夜食	31			2	0		
4. 不食	15			0	0		
陽暦日食(南半球)	93						
1. 不食	93	1		15	0		
合計	179	32		53	30	57%	

江戸時代は陽暦
日食も記載したの
で5割台へ悪化。

陽暦食を記載されている(誤り)

2割悪化

陽暦がないと $30 / (53 - 15) = 79\%$

*実視数はEmapwinでの計算。

©2024 S.Takesako

日食区分と実際の日食・記録との比較

永延2年	10	1	陽暦		9	221	未4刻11分	申1刻79分	申8刻7分	988/11/12	0.39		
永祚元年	4	1	陰暦		8	0	辰0刻65分	辰5刻25分	巳1刻41分	989/5/8	13.69		1.3
永祚元年	10	1	陰暦	夜蝕	8	150	酉6刻41分	戌3刻25分	亥0刻9分	989/11/2	0.17		
正暦元年	4	1	陽暦	不蝕	-5	-136	-	-	-	990/4/28	12.87		
正暦元年	10	1	陰暦	夜蝕	13	296	酉1刻57分	戌2刻31分	亥3刻5分	990/10/22	0.74		
正暦2年	閏2	1	陰暦	帯蝕	7	305	卯3刻20分	卯7刻76分	辰4刻20分	991/3/19	12.71	有	4.8
正暦2年	8	1	陽暦		3	305	辰5刻18分	辰7刻50分	巳1刻54分	991/9/11	1.01		
正暦3年	2	1	陰暦		12	236	未1刻10分	申0刻75分	酉0刻56分	992/3/7	13.31		11.1
正暦3年	8	1	陽暦	夜蝕	2	208	亥7刻62分	子1刻6分	子2刻62分	992/8/31	0.39		
正暦4年	2	1	陽暦		1	140	酉0刻38分	酉1刻9分	酉1刻64分	993/2/24	13.32		
正暦4年	8	1	陰暦		5	11	申1刻44分	申4刻21分	申6刻82分	993/8/20	0.26	有	0.1
正暦5年	1	1	陽暦	帯蝕	10	35	申7刻71分	酉5刻73分	戌3刻75分	994/2/13	12.75		
正暦5年	7	1	陰暦	不蝕	-3	-218	-	-	-	994/8/10	0.90		
正暦5年	12	1	陰暦		5	100	巳1刻15分	巳4刻5分	巳6刻79分	995/1/4	12.65	有	6.5
長徳元年	6	1	陽暦	夜蝕	9	359	子0刻15分	子6刻51分	丑4刻59分	995/7/1	0.72		
長徳元年	12	1	陰暦	夜蝕	13	3	亥3刻30分	子2刻4分	丑0刻62分	995/12/25	13.24		
長徳2年	6	1	陽暦	夜蝕	3	120	丑2刻28分	丑4刻24分	丑6刻20分	996/6/19	0.10		
長徳2年	11	1	陽暦	帯蝕	11	172	申1刻68分	申8刻1分	酉5刻74分	996/12/13	13.38		
長徳3年	5	1	陰暦		10	85	寅8刻17分	卯6刻2分	辰3刻71分	997/6/8	0.53	有	11.6
長徳3年	11	1	陽暦	夜蝕	7	382	子8刻0分	丑4刻42分	寅1刻0分	997/12/3	12.80		
長徳4年	4	1	陽暦	不蝕	3	315	-	-	-	998/4/20	1.07		
長徳4年	10	1	陰暦		3	140	未1刻3分	未3刻1分	未4刻83分	998/10/23	12.58	有	3.2
長保元年	閏3	1	陽暦	夜蝕	4	386	子6刻37分	子7刻15分	丑0刻25分	999/4/10	0.41		
長保元年	9	1	陰暦		14	402	午3刻11分	未4刻28分	申5刻45分	999/10/12	13.15		8.2

： 陰暦日食(日中に起こる日食のみ)

： 夜蝕(陽暦日蝕を含む)

： 陽暦日蝕



記録
有り



日食
有り
(食分)

「光る君へ」の長徳4年10月の日食。

【詳細は"https://www.wagoyomi.info/senmyoureki/宣明暦日食_web_20200718.html"を参照】

©2024 S.Takesako

陽暦食が誤って日本の天文記録として残る

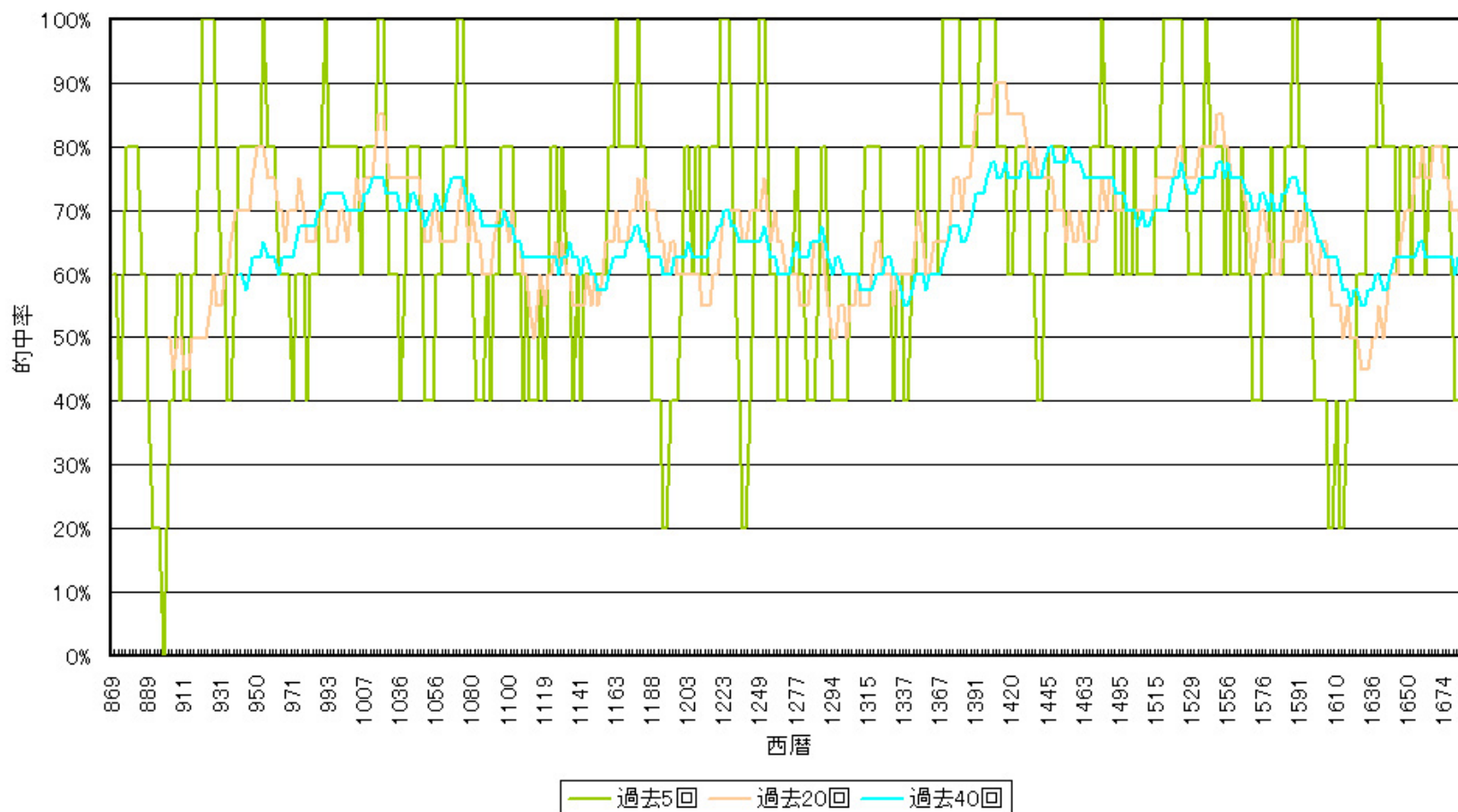
- 陽暦食を予報から除外していたことは知られていない。
 - ◆ 具注暦の記載と推算結果を比べ**2007年に発見**。
 - ★ ある天文学会誌に投稿したが採用されず。
 - ★ 筆者HPで発表(2008)
 - ◆ 数学史研究で発表。
 - ★ 『宣明暦法による日食月食計算とその検証』
数学史研究 (212号) p.1-44 (2012)
- 江戸時代の推算法により陽暦日食を記載する史料
 - ◆ 『日本暦日総覧〈具注暦篇〉』(1992)の日食リスト
 - ◆ 『日本天文史料』にも掲載されている以下の史料
 - ★ 「続本朝通鑑」
 - ★ 「愚史愚抄」

⇒『日本天文史料』にて単独記事の場合ほぼ誤り。

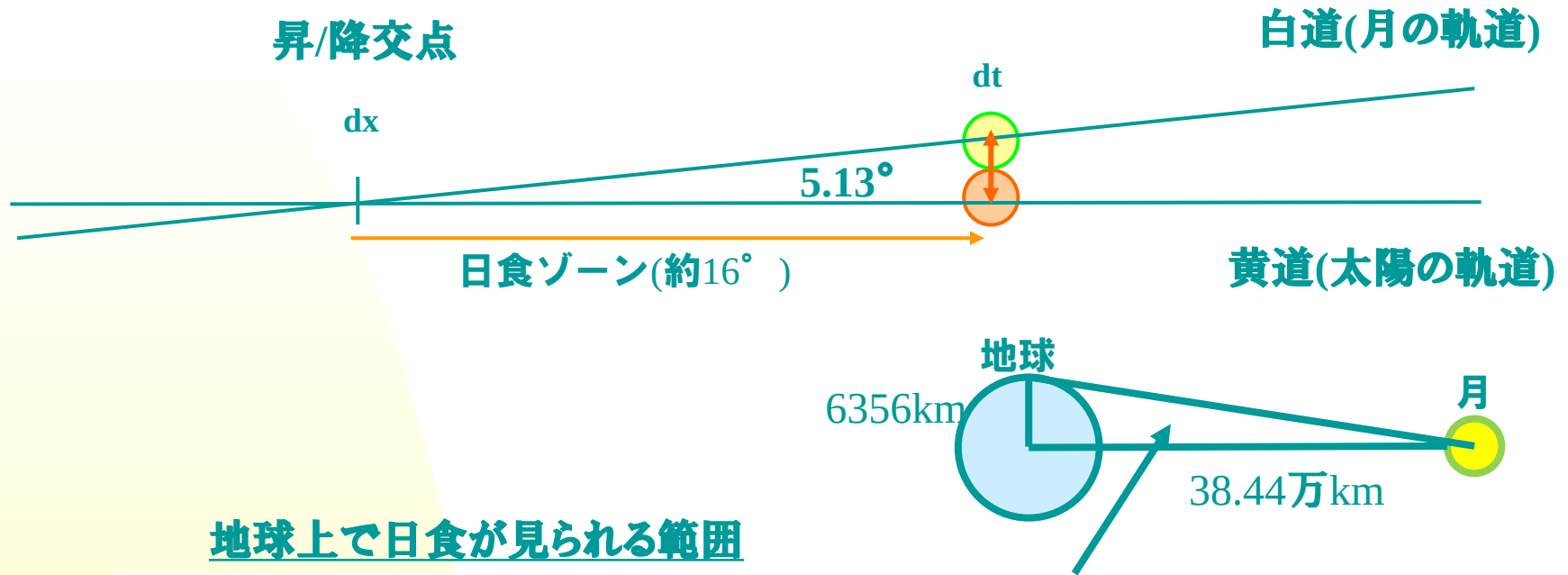
史料使用の時には注意が必要

宣明暦で計算した日食の的中率の推移

宣明暦日蝕予報的中率推移



日食が起きる範囲(日食ゾーン)

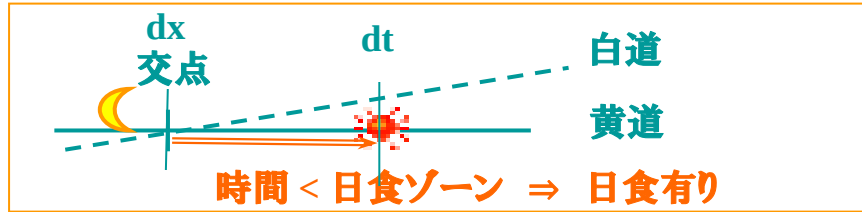


地球上で日食が見られる範囲

$$\begin{aligned}\text{日食ゾーン} &= (\text{太陽と月の視半径} + \text{月の地心視差}) / \tan(5.13) \\ &= (0.25 + 0.25 + 0.95) / \tan(5.13^\circ) \\ &= 16.15^\circ\end{aligned}$$

授時暦では14.0中国度(13.8°)

中国暦法の日食予測計算方法



- 降交点の位置 : $L_x = 305.0445 - 0.05295 \times dx$
- 月の視黄経 : $L_m = 218.3164 + 13.17640 \times dx + \beta$
(dx: 2000/01/01 正午からの日数)
- 降交点と月の視黄経の一致する時刻 : dx

$$L_x - L_m = (305.0445 - 218.3164) - 13.22935 \times dx - \beta$$

$$= 86.7281 - 360/27.21222 \times dx - \beta (+360 \times n) = 0.0$$

$$dx = 6.5557 - \beta / 13.22935 (+ 27.21222 \times n)$$
- 定朔時刻(太陽と月の視黄経が一致する時刻):

$$dt = 5.0984 + \alpha / 12.190735 - \beta / 12.190735 (+ 29.53058 \times n)$$
- 月が降交点を通過してから定朔時刻までの時間(入交定日)

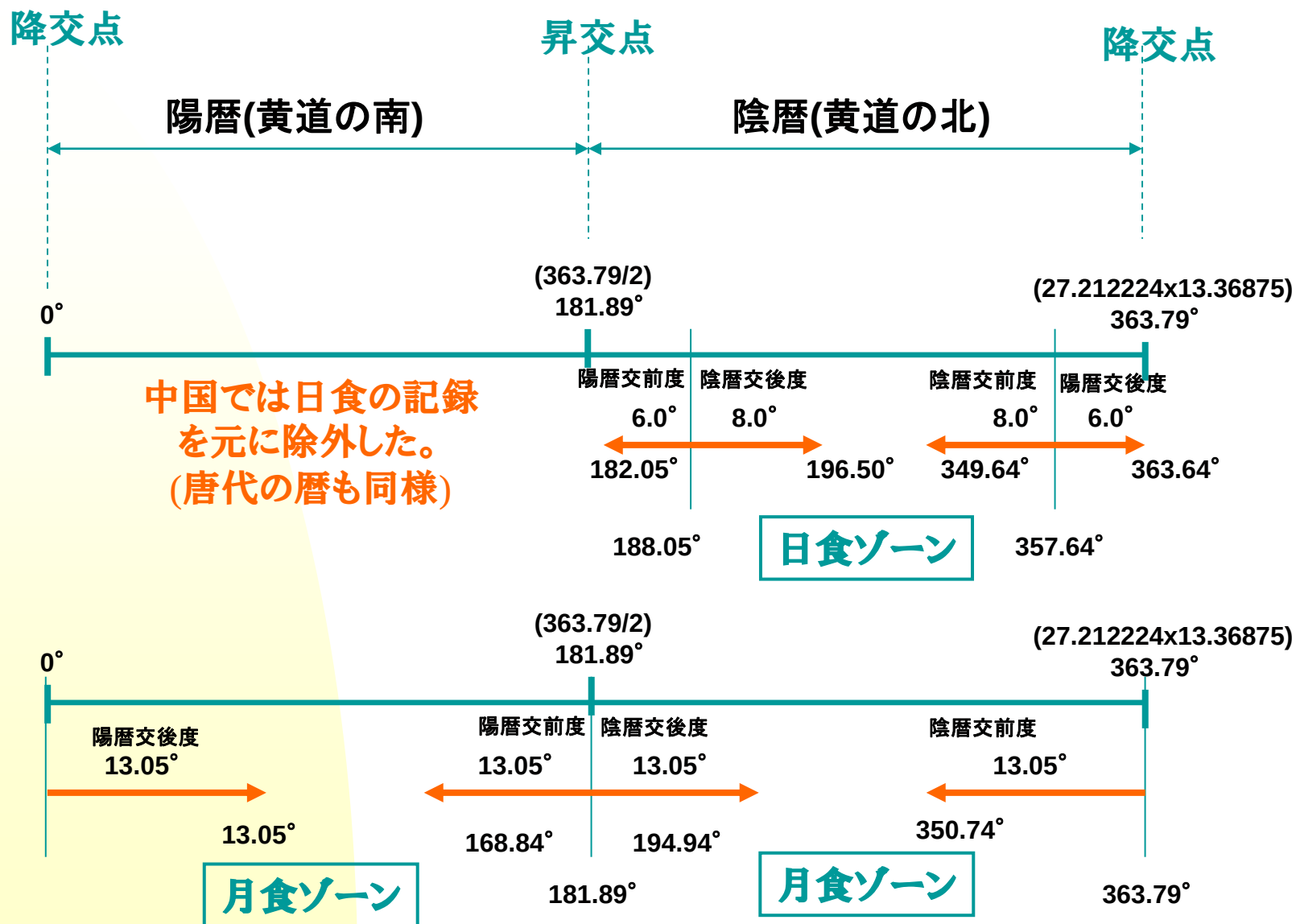
$$dt - dx = -1.4573 + \alpha / 12.19 - \beta / 12.19 + \beta / 13.22938 (+ 2.31836 \times n)$$

$$= \underbrace{-1.4573 + 2.31836 \times n}_{\text{平均速度分}} + \underbrace{\alpha / 12.19 - (27.2122/346.61) \times \beta / 12.19}_{\text{変動分}}$$

授時暦では削除
貞享暦で復活

(dt - dx) に平均速度をかけて日食ゾーン内なら日食有りと予測

授時暦の日食/月食ゾーン



7. 第5段階：貞享暦による暦法の改善

渋川春海の略歴

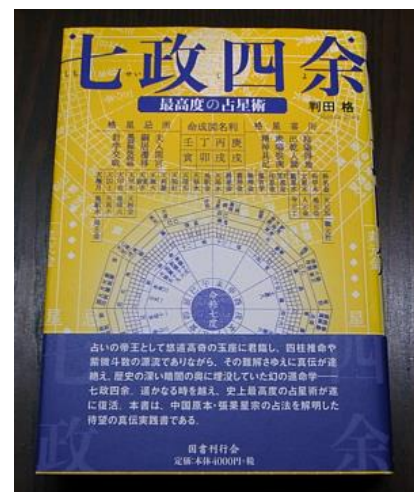
西暦	和暦	歳	出来事
1639	寛永16	1	将軍家に囲碁を指南(碁方)する安井家に生まれる。
1656	明暦2	18	岡野井玄貞や松田順承を師として暦学を学ぶ。
1667	寛文7	29	会津藩主・保科正之の改暦チームに加わる。
1673	延宝1	35	授時暦ベースの改暦書を奏上。(6件の日食月食予測を添付)
1675	延宝3	37	最後の日食予測に失敗。宣明暦は的中した。
	授時暦の暦法改修に取り組む。(利用した資料は不明)		
1683	天和3	45	改修した新しい暦(大和暦)を奏上。
1684	貞享1	46	大和暦は貞享暦と改名され採用される。(11月)
1715	正徳5	77	貞享暦の功績により天文方を拝命し従事。この歳に亡くなる。

授時曆伝来の朝鮮通信使・螺山ルートは誤解

岡野井玄貞(おかのい げんてい) 生没年:不詳

江戸前期の医者、暦算家。京都の人。寛永20(1643)年7月、朝鮮の通信使が来日したとき、江戸におもむいて、正使、副使に次ぐナンバー3の儒者としてきた螺山に面会を求め、暦法、特に中国の伝統的暦法の最高傑作である元の授時暦について根掘り葉掘り聞きただした。螺山、玄貞ともに大した人物でもなかったが、当時李朝の科学技術の水準は明代の中国をも抜くものがあり、一方日本の知的水準は低かったため、玄貞を介して授時暦が伝わるルートができた。玄貞の弟子に初代天文方となった渋川春海があり、授時暦を真似して、邦人の手による最初の改暦が貞享年間(1684~88)に成立した。(中山茂)【『朝日日本歴史人物事典』の記事】

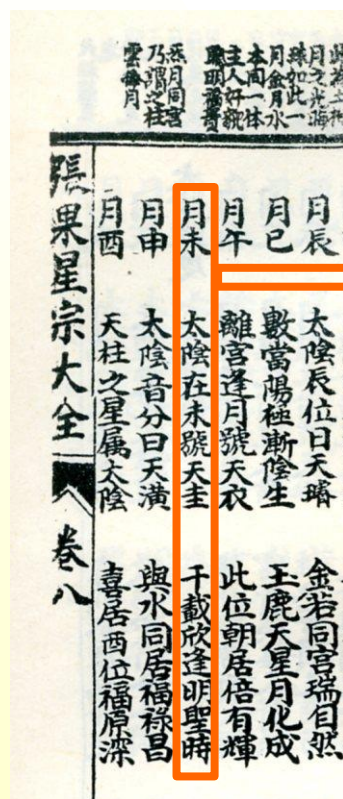
- 春海の暦法の師匠・岡野井玄貞が朝鮮の通信使・螺山から七政四余を伝授された。(『春海先生実記』)
- 七政四余は昭和の時代には暦法と誤解されていた。
- 七政四余は実は占星術だった。
⇒現在では半田格著の『七政四余』の解説書もある。
- 谷秦山『壬癸録』には七曜(政)四余は占星術とあり、春海の言として、岡野井が韓人から習ったと明記されている。
➤ 春海関連文書に七政四余によるホロスコープが現存。
⇒上記辞典の解説は、誤解を元にした何の根拠のない想像。
【西洋天文学伝来前の日本天文学は研究されていない。】



半田格著『七政四余』

浅野家所蔵・春海に関する文書に残る 「七政四余」占いによるホロスコープ

- 11 (7+4)個の天体(及び仮想天体)の位置は貞享暦による。
- 形式と占文は『七政四余』による。
- 占いの日時は不明。春海(1639 ~1715)もしくはそれを引き継いだものが作成した。



占文が一致

李軫二 巳財	午命初	月柳三 未相 十二才	申福 廿一才
辰兄	命柳宿五度 命度: 出生時に東から昇る星座の位置		計四十二 酉官 土四三留 三十二才
羅氏九 八十二才 卯田			戌迂 炁奎六 四十七才
金尾五 七十八才 寅男	丑奴 日斗二 七十三才	子妻 六十二才	亥疾 五十五才

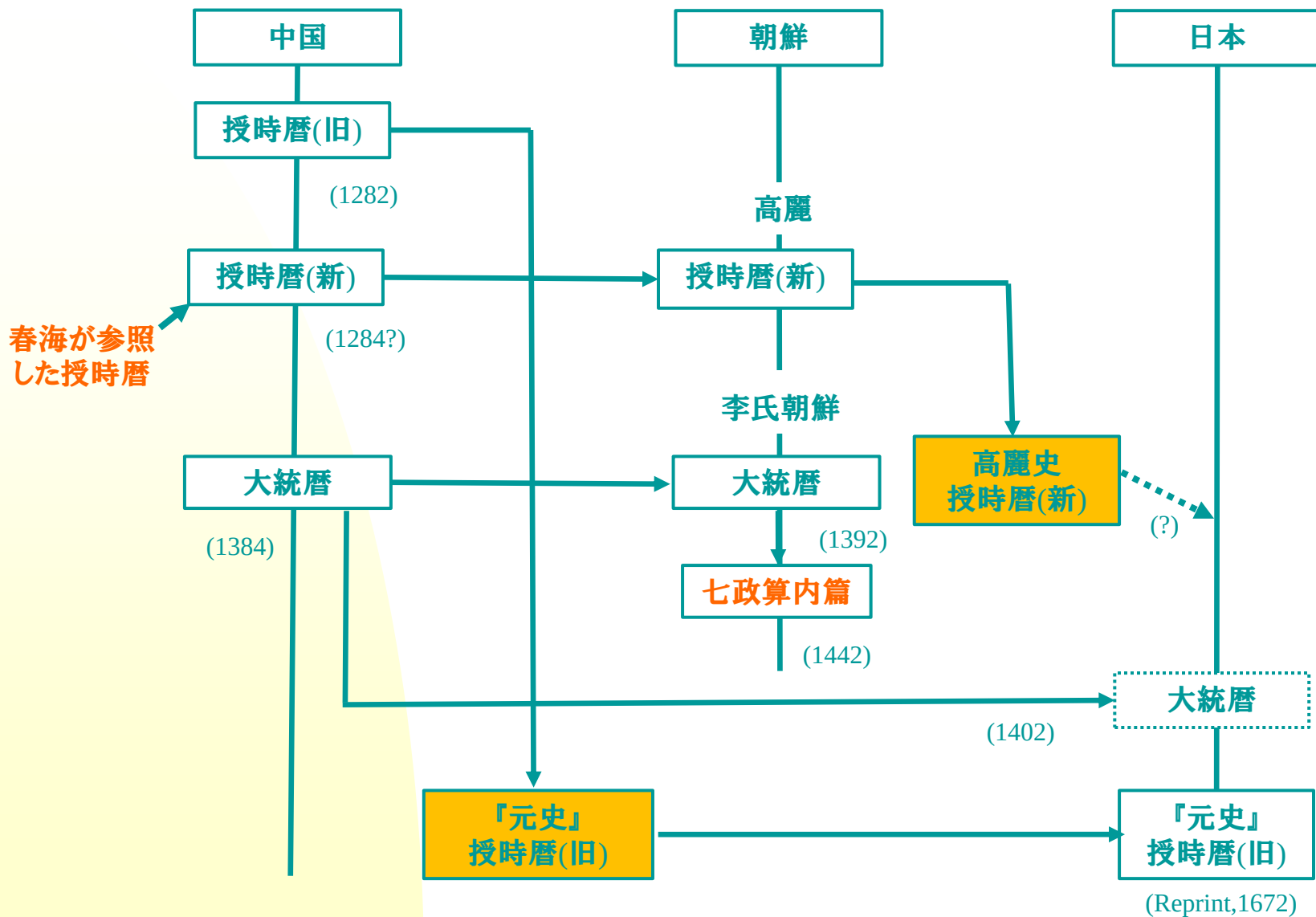
宝永二年乙酉十一月十七日丁丑戌時出生

宝永2年11月17日(1706/01/01)戌時(20時) 出生占
(占われた人物の生年月日及び出生時刻)

『張果老星宗大全』
(萬曆 21年1593,1975 reprint)
(「張果星宗」は七政四餘の原著、唐代の張果の作とされる)

*詳細は筆者の『渋川春海と七政四余』数学史研究235号(2020)を参照。
上記ホロスコープは国立天文台の浅野家所蔵史料のマイクロフィルム写真より筆者が翻刻した。

授時曆の伝搬図



授時暦の新(高麗史)旧(元史)比較

実施暦で両版を比較すると、遅くとも1284年には、
高麗史版(授時暦新版)に更新されていたと考えられる。

No.	西暦	年	月	実施暦	元史	正否	高麗史	正否
1	1282	至元	19 12	丁亥 23	23 227	○	22 9893	X
2	1284	至元	21 11	甲戌 10	11 115	X	10 9843	○
3	1285	至元	22 3	癸酉 9	10 80	X	9 9753	○
4	1286	至元	23 3	丁卯 3	4 258	X	3 9852	○
5	1287	至元	24 5	辛卯 27	27 206	○	26 9822	X
6	1287	至元	24 11	丁亥 23	24 474	X	24 443	X
7	1297	大德	1 10	庚寅 26	27 204	X	26 9997	○
8	1300	大德	4 9	癸卯 39	38 9378	X	38 9057	X
9	1300	大德	4 10	癸酉 9	8 7001	X	8 6614	X
10	1304	大德	8 4	壬午 18	19 12	X	18 9622	○
11	1305	大德	9 4	丙子 12	13 55	X	12 9706	○
12	1307	大德	11 6	癸巳 29	30 152	X	29 9881	○
13	1308	至大	1 12	乙卯 51	52 228	X	51 9991	○
14	1313	皇慶	2 6	己未 55	56 137	X	55 9837	○
15	1318	延祐	5 11	丁巳 53	54 344	X	53 9961	○
16	1319	延祐	6 6	甲申 20	21 691	X	21 651	X
17	1321	至治	1 7	壬申 8	9 79	X	8 9951	○
18	1324	泰足	1 5	乙酉 21	22 258	X	21 9990	○

No.	西暦	年	月	実施暦	元史	正否	高麗史	正否
19	1326	泰足	3 10	辛未 7	8 331	X	7 9932	○
20	1330	至順	1 5	辛亥 47	48 185	X	47 9872	○
21	1330	至順	1 11	丁丑 13	14 69	X	13 9984	○
22	1337	至元	3 1	壬寅 38	39 279	X	38 9921	○
23	1339	至元	5 9	丙辰 52	53 1047	X	53 1002	X
24	1340	至元	6 1	甲寅 50	51 10	X	50 9829	○
25	1344	至正	4 6	戊午 54	55 51	X	54 9934	○
26	1344	至正	4 12	丙辰 52	53 96	X	52 9766	○
27	1352	至正	12 7	辛未 7	8 29	X	7 9744	○
28	1366	至正	26 8	庚戌 46	47 69	X	46 9952	○
29	1370	洪武	3 2	庚申 56	57 75	X	57 21	X
30	1371	洪武	4 1	乙酉 21	22 19	X	21 9786	○
31	1372	洪武	5 3	戊申 44	45 46	X	44 9892	○
32	1373	洪武	6 7	庚子 36	37 26	X	36 9973	○
33	1378	洪武	11 8	辛丑 37	37 211	○	36 9835	X
34	1380	洪武	13 11	丁亥 23	24 246	X	23 9861	○
35	1381	洪武	14 9	壬午 18	19 53	X	18 9949	○
36	1382	洪武	15 6	戊寅 14	15 4	X	14 9930	○

表の見方:例えば項目1の元史(授時暦)の計算値は23(丁亥)+227/10000を示し実施暦と合致(○)。
この表は、実施暦といずれかの暦が違う暦日だけをリスト化したもの。

春海の「授時暦」はどの暦法か？

貞享暦は改版された授時暦(新)をベースにした暦法です。

No.	Description	授時暦(旧)	授時暦(新)	大統暦	七政算内篇	貞享暦
1	暦元	1282	1282	1282	1282	1684*
2	太陽年の調整式	有	有	無	有	有
3	太陽の周期の調整値	550600	550600	550600	550600	76900*
4	朔日の調整値	201850	202050	202050	202050	27790*
5	月の周期の調整値	131904	130205	130205	130205	227200*
6	日食の周期の調整池	260187.86	260388	260388	260388	4800*
7	日食の定数	5740	5740	5740	5740	6500**
8	食継続時間に使用する速度	月の速度	月の速度	相対速度	月の速度	相対速度**
9	月食の定数	5740	5740	4920	4920	6500**
10	食継続時間に使用する速度	月の速度	月の速度	相対速度	相対速度	相対速度**
11	四余の計算	無	無	有	有	有
12	月の速度/日の単位	12.2	12.2	12.2	12.2	10.0**

注;

*暦元の変更に伴い、暦定数が調整されています。

**これらの値は授時暦に基づいて換算されています。

$$6500 = 5740 \times (12.2/10.0) / (\text{月の速度}/\text{相対速度})$$

$$= 5740 \times (12.2/10.0) / (13.368/12.368) = 6478 \approx 6500$$

したがって、日食の継続時間の結果は授時暦とほぼ同じ。

授時暦と貞享暦の暦定数の比較

No.	項目	暦定数	授時暦(新)	貞享暦	比較
1	暦元	暦元年	1281	1684	—
2	1日の分数	日周(一日)	10000.00	同左	◎
3	太陽年	歳実(太陽年)	3652425.00		
		@1683年	3652416.96	3652416.96	◎
4	太陽年の調整	消長	2min/100年	0.02min/年	◎
5	歳差	歳差	150	同左	◎
6	月の変動分 ($\beta/12.19$)	月変動分	(式で規定)	(式で規定)	×
7	朔望月	朔月(朔望月)	295305.93	295305.90	○
8	太陽の変動分 ($\alpha/12.19$)	太陽変動分	(式で規定)	(式で規定)	×
9	近点月	転終(近点月)	275546.00	同左	◎
10	定朔計算法	定朔	実月速度	実相対速度	×
11	交点月	交終(交点月)	272122.24	272122.20	○
12	日食ゾーン	日食限	6.00 + 8.00	6.20 + 8.00	○
13	月食ゾーン	月食限	13.05	同左	◎
14	節気の調整	気応	550600.00	76900.00	—
15	月朔の調整	閏応	201850.00	27790.00	—
16	月の軌道の調整	転応	131904.00	227200.00	—
17	日食計算の調整	交応	260187.86	4800.00	—
18	近日点の調整	暦応	—	64450.00	新

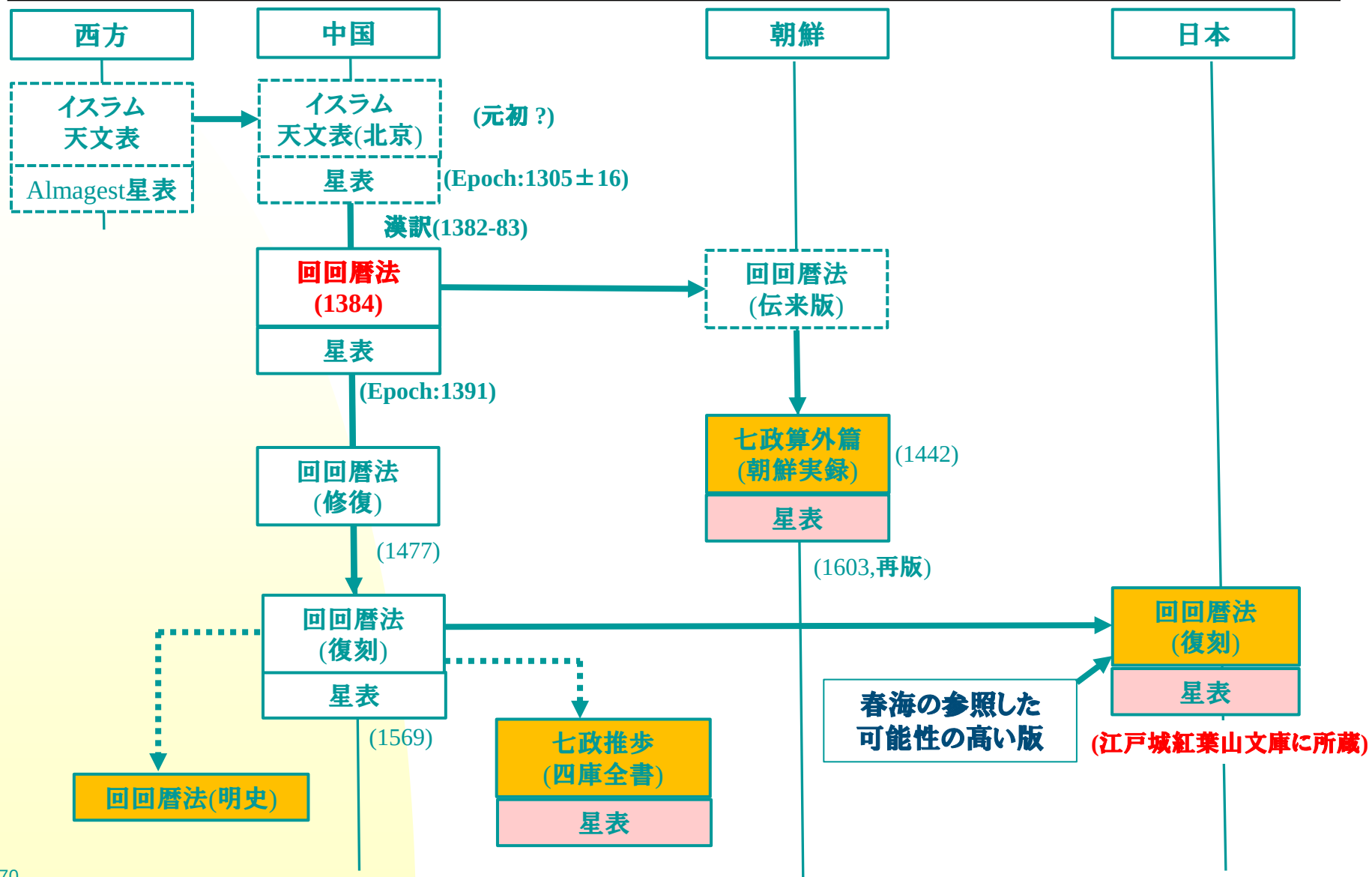
注：◎：全く同じ ○：ほぼ同じ ×：違う

貞享暦の授時暦からの改良点

授時暦からの改良点のうち、5件は回回暦(イスラム暦)に関連し、1件は宣明暦、1件は庚午元暦からのものでした。

No.	改良点	定数を参照した暦法	
		暦法	関連観測値
1	主要暦定数	授時暦	
2	近日点の移動	回回暦	日食(1675/6/23)
3	太陽の変動分 ($a/12.19$)	ピーク: 回回暦 周辺部: 授時暦と回回暦の平均	
4	月の変動分 ($\beta/12.19$)	ピーク: 授時暦 周辺部: 授時暦と回回暦の平均	
5	定朔時刻の計算(相対速度を使用)	回回暦	
6	冬至の時刻	施行後最初の2年: 授時暦 3年目以降: 授時暦と回回暦の平均	(冬至の観測値)
7	日食における月の変動分の復活	宣明暦	日食(1675/6/23)
8	日食ゾーンの調整	—	日食記録
9	日食計算での時差	—	日食記録
10	経度による時差	庚午元暦、地図、地球儀	日食(1675/6/23)

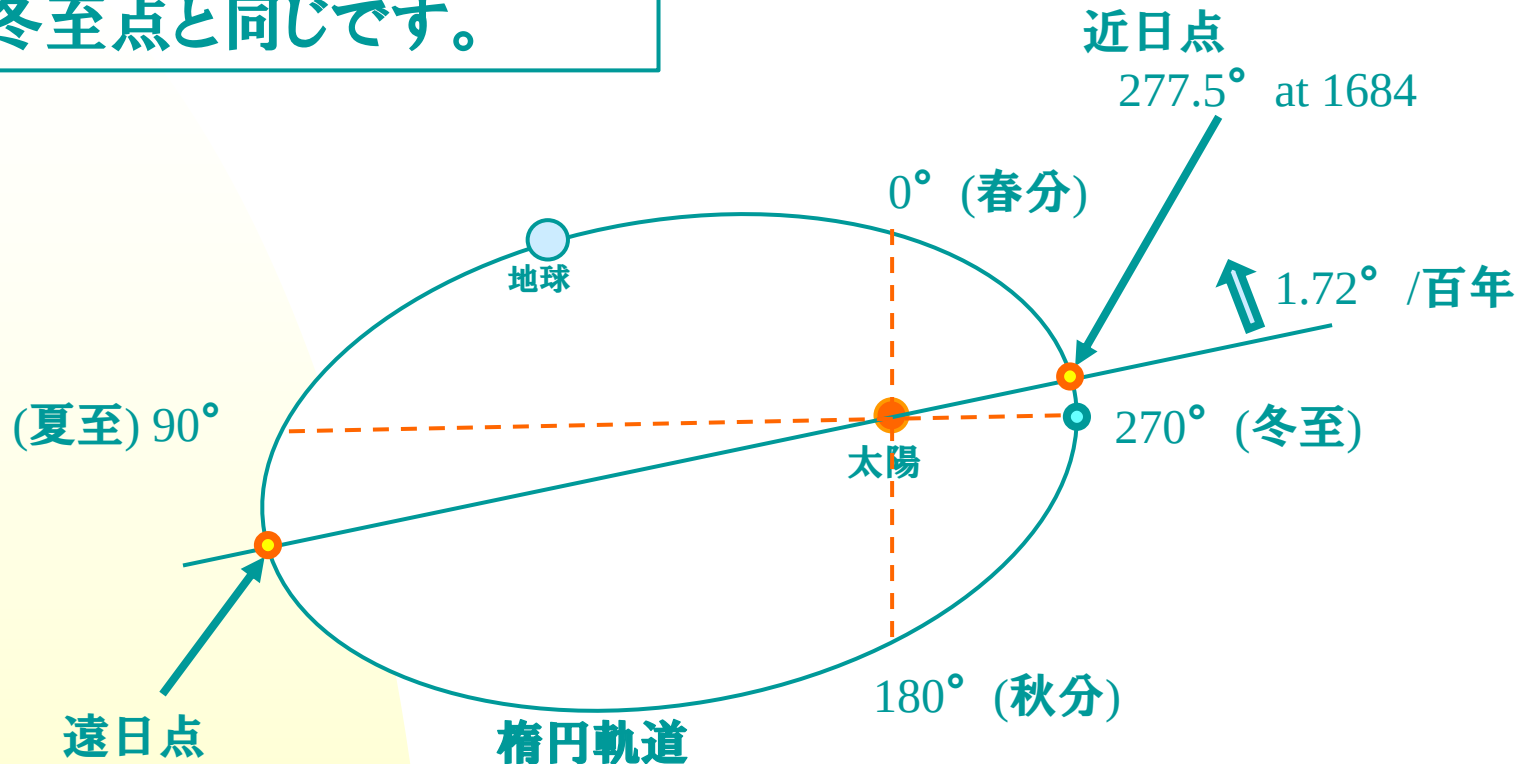
回回曆 (イスラム天文表) の伝搬



回回暦法に関連した貞享暦による暦法の改善

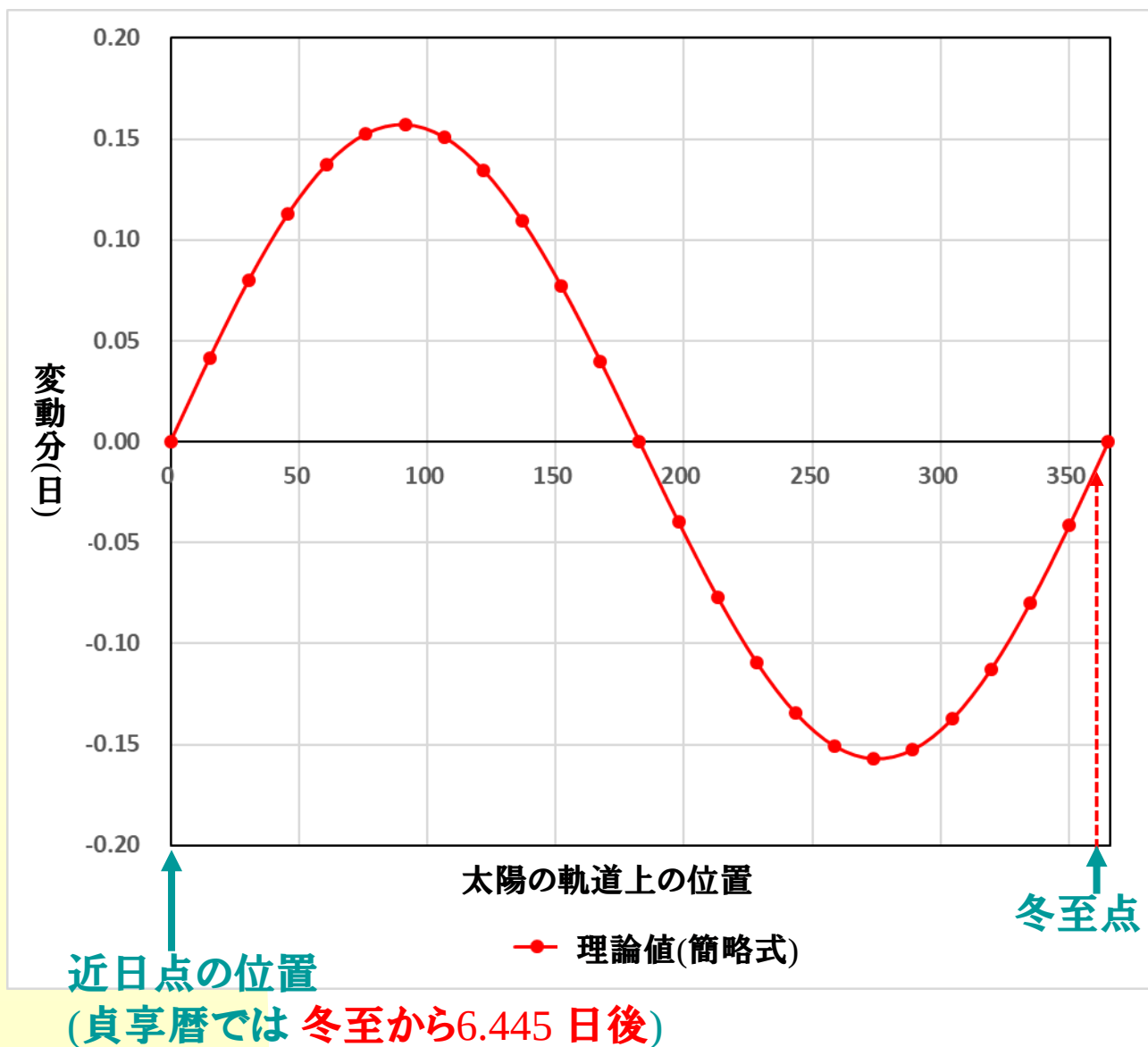
① 近日点の移動

中国の暦法では、近日点は冬至点と同じです。



渋川春海は冬至から 6.445° (中国度)を採用した。
= $270.0 + 6.445 \times (360.0/365.25) = 276.35^\circ$ (西洋度)

貞享暦の近日点と冬至の位置



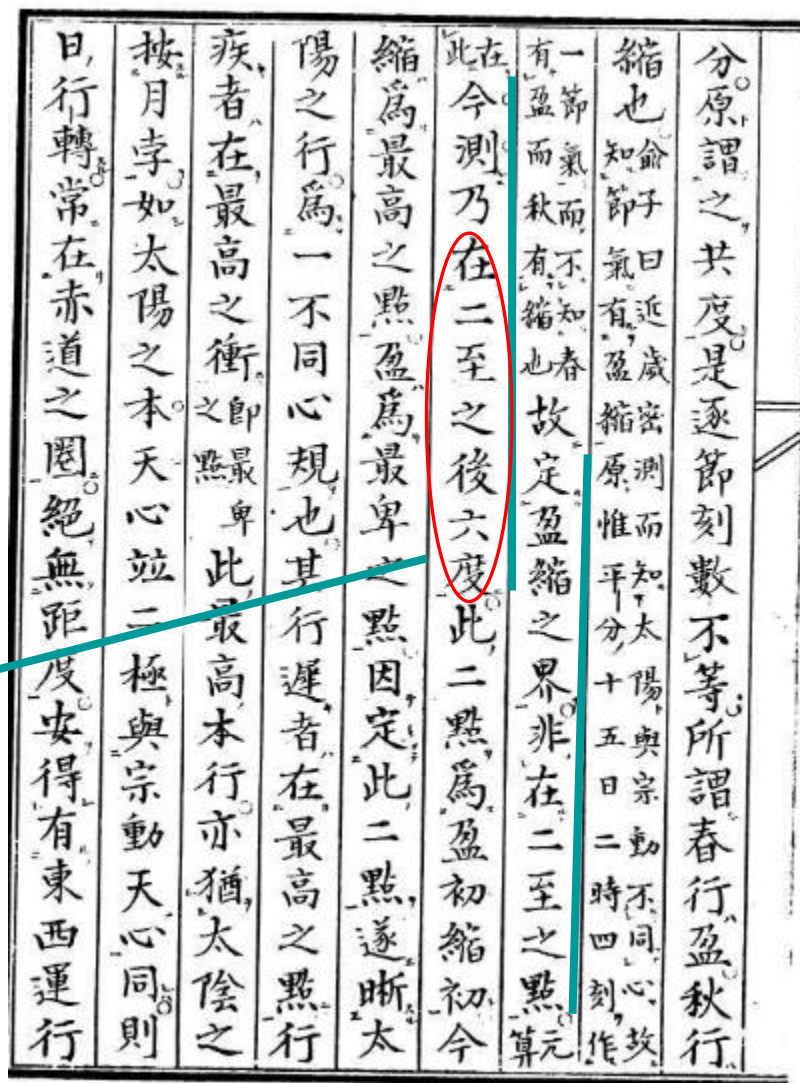
近日点の情報源は「天経或問」ではなかった

渋川春海は1675年に中国で刊行された「天経或問」から近日点移動の情報を入手したと考えられている。しかし、この本には「2至点后6度」としか書かれておらず、春海はこの本から6.445度を計算することはできない。

変動分が0になる地点は冬至や夏至ではなく、それらの6度後である。

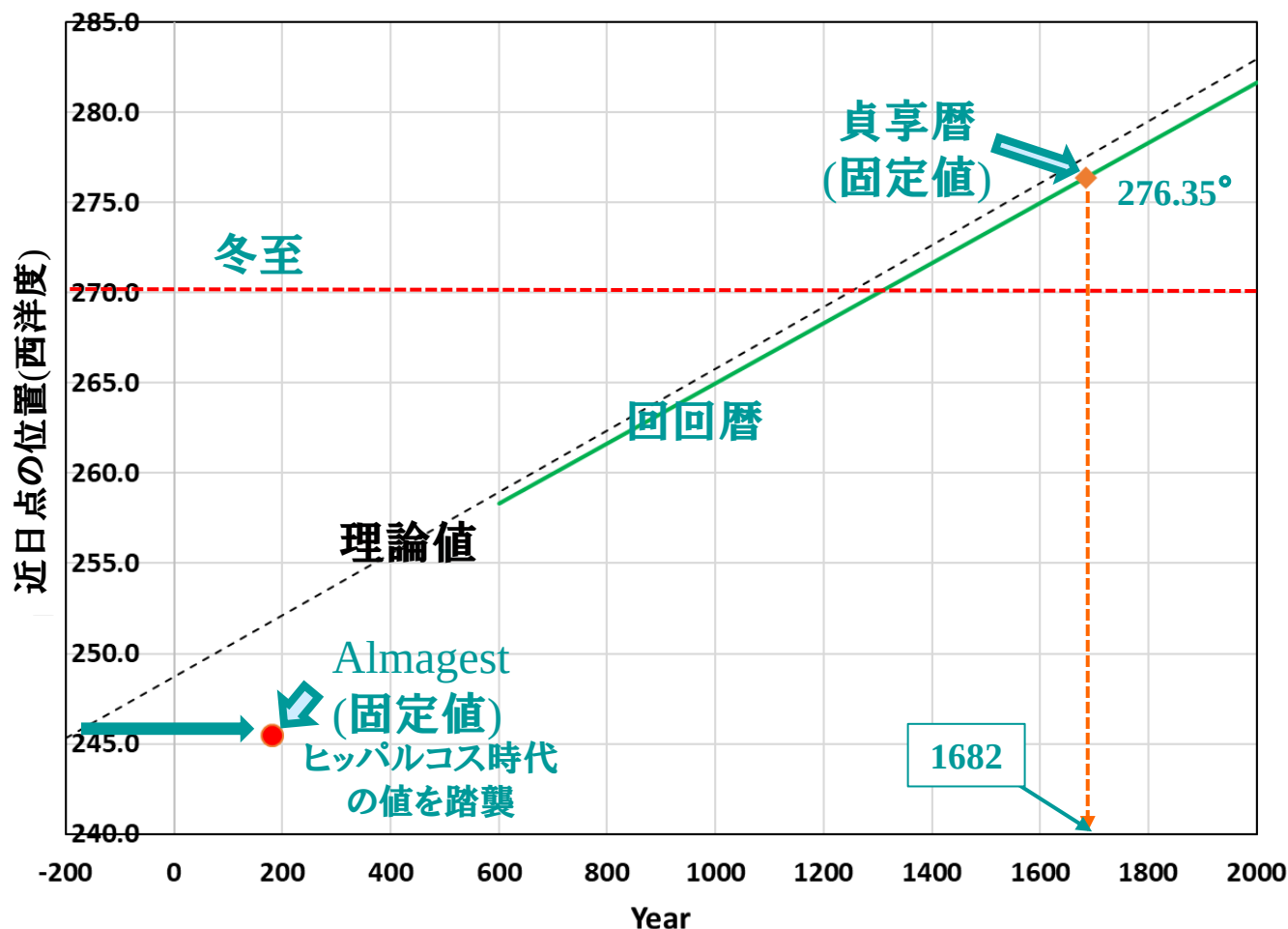
2023/12/27のNHK『英雄たちの選択』
「渋川春海」でも『天経或問』と説明。

国立天文台暦計算室 暦Wikiの説明
・冬至と近日点のずれを考慮
～天経或問の影響



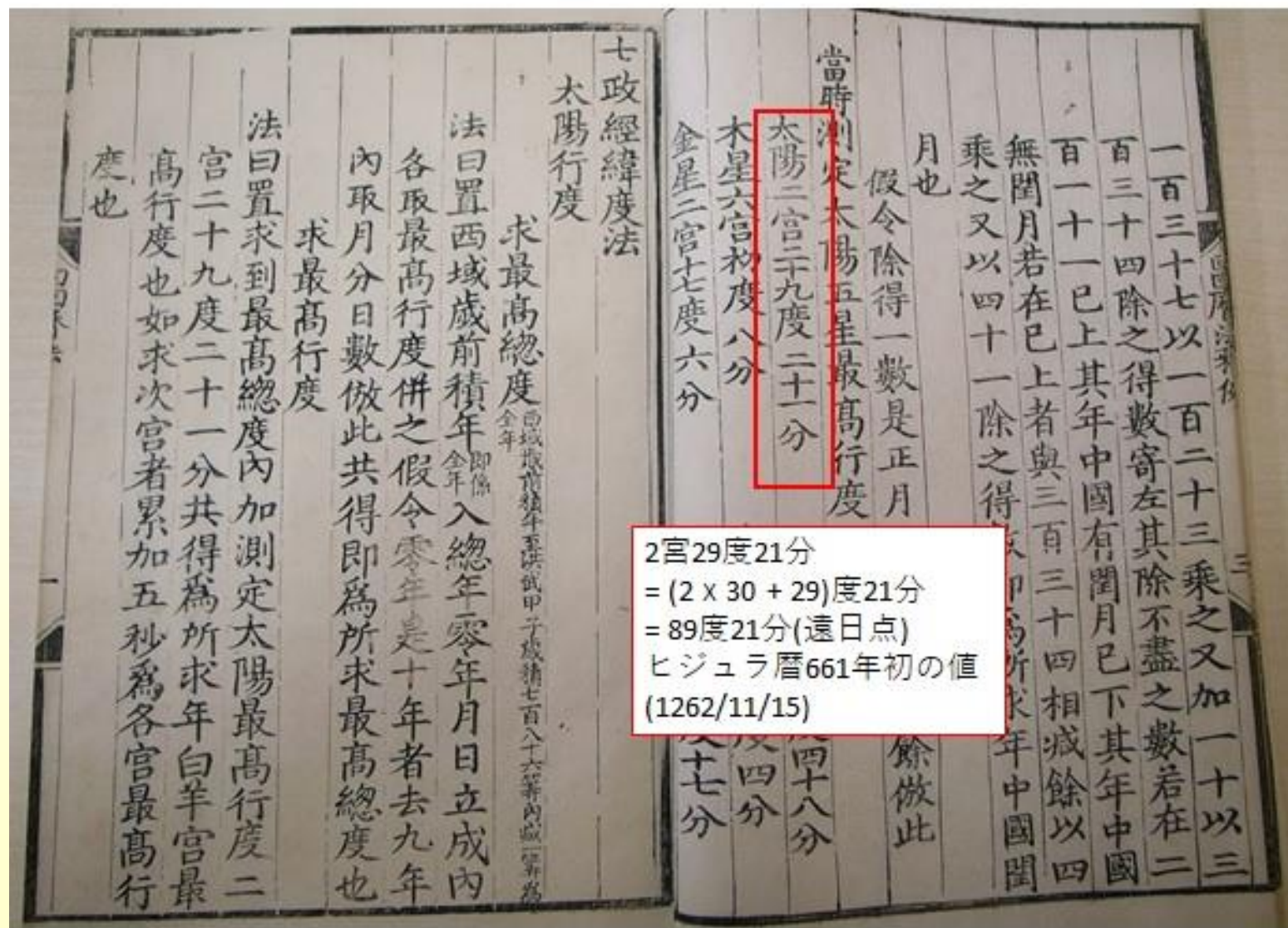
回回暦を参照した明確な証拠：近日点の移動

貞享暦の近日点の値は回回暦での1682年の値。



1682 は春海が貞享暦を奏上する前年であり、
春海が回回暦を参照していた明確な根拠である。

回回曆の遠日点の初期値 (AD1262)



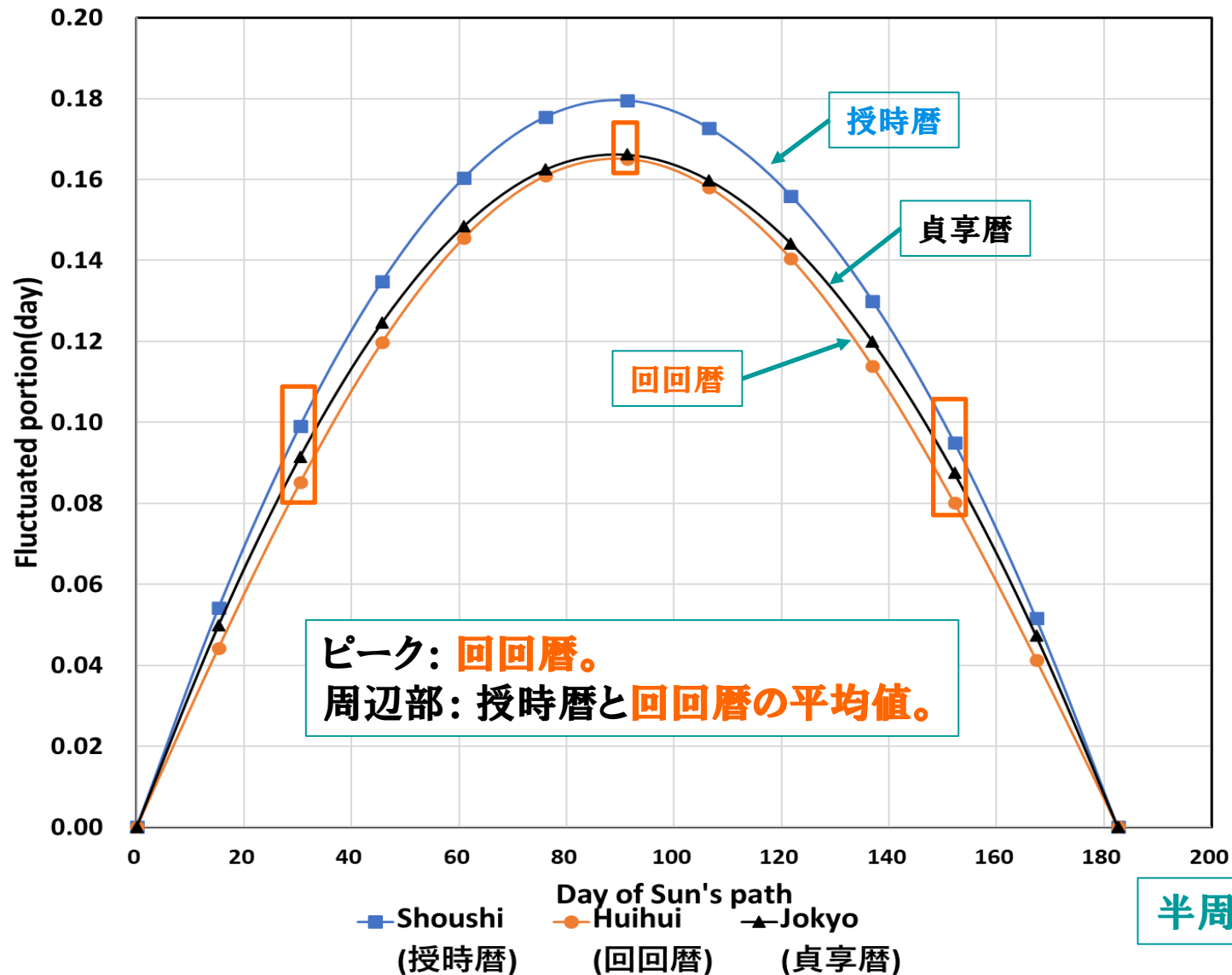
回回曆での遠日点の移動量

日五星中行月分立成											
月分	曜	日中行度	臺自行度	本星自行度	火省						
一月大	二	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
二月小	三	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
三月大	五	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
四月小	六	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
五月大	一	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
六月小	二	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
七月大	四	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
八月小	五	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
九月大	七	曜	度	度	度	度	度	度	度	度	度
						最高行度の年変化					
						29分7秒/30太陰年					
						$= (29/60 + 7/3600) / 30 \times (365.2425 / (354 + 11/30))$					
						$= 0.0166724^\circ / \text{太陽年}$					
						初度	初度	初度	初度	初度	初度

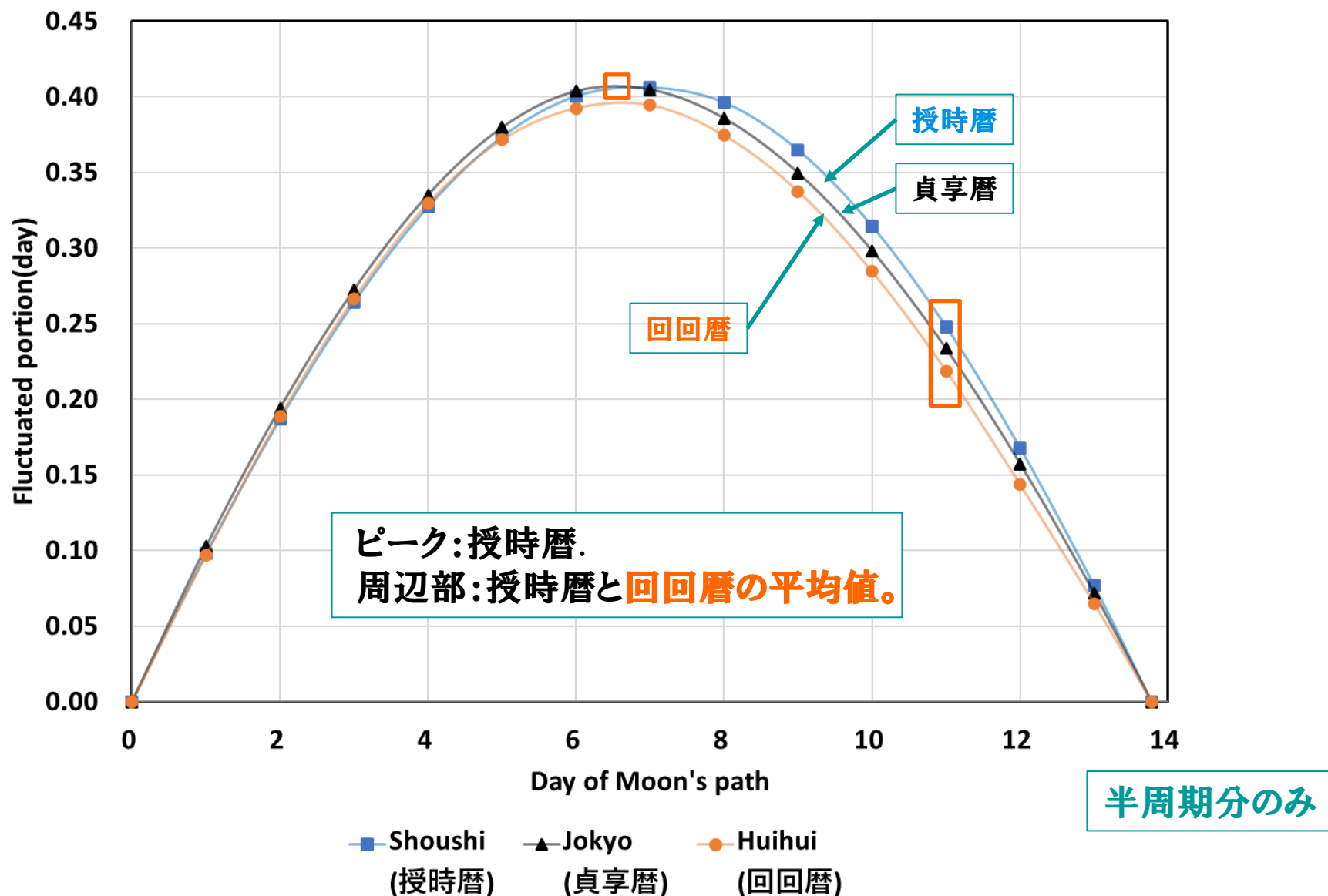
回回暦で近日点が6.445度となる年

- 近日点移動の初期値
最高行度(遠日点黄経): 春分点から89度21分@ヒジュラ暦661年の年初
(1262/11/15) 近日点(初期値): $89\text{度}21\text{分} + 180\text{度} = 269\text{度}21\text{分} (269.350^\circ)$
- 近日点移動の毎年の移動量
毎年の変化分: 29分7秒/30太陰年。(なお1太陰年 = $354 + 11/30$ 日)
最高行度太陽年変化分 = $(29\text{分}7\text{秒}) / 30\text{太陰年} \times (365.2425 / (354 + 11/30))$
 $= 0.0166724\text{度/太陽年}$
- 貞享暦の暦応が6.445度(中国度)の暦元を Y_n 年とすると、次の2式が成り立つ。
 $Y_n\text{年の近日点} = 270 + (6.445 / 365.25) \times 360.0 = 276.3524$ ---- (1)
 $Y_n\text{年の近日点} = 269.350 + 0.0166724 \times (Y_n - 1262)$ ---- (2)
(1)式および(2)式より、
 $Y_n = 1262 + (276.3524 - 269.350) / 0.0166724 = 1262 + 420.0 = 1682$
- 近日点を1682年冬至で計算していたとすると6.445度と一致する。

②太陽の変動分 ($a/12.19$) の影響



③月の変動分 ($-\beta / 12.19$) の影響



④ 月朔の計算方法 (実相対速度の使用)

- 回回暦での日食時刻の推算方法 (一次近似)

$$dt \doteq \text{正午} + \text{正午の月と太陽の離角} / \text{実相対速度} (\text{正午})$$

正午: 新月の日の正午 (12:00)

- 月朔の時刻の計算方法 (貞享暦)

$$dt \doteq dm + (\alpha (dm) - \beta (dm)) / \text{実相対速度} (dm)$$

dm: 経朔時刻

授時暦では月の実速度を使用。

貞享暦での実相対速度を使うアイデアは回回暦の影響と思われる。

⑤ 回回暦の冬至時刻への影響

各暦法による西暦1684年の冬至の時刻の比較

	平気	差 (h)	定気	差 (h)
1) 貞享暦	12.9316	0.0 (+0.2622, 近日点の採用)	13.1938	0.00
2) 理論値 (DE431)			13.2257	0.77
3) 回回暦 (+4.5刻)	12.9472	0.38	13.1744	-0.47
4) 回回暦と授時暦の平均値	12.9328	0.03 (2min)	—	—
5) 授時暦 (+5刻)	12.9184	-0.32	12.9184	-6.61
6) 宣明暦 (+7刻)	14.9575	48.62	14.9575	42.33
7) 大統暦 (+4.5刻)	13.0750	3.44	13.0750	-2.85

注:

- 1) 理論値と回回暦は推算により計算した。
- 2) 暦の都市ごとに春海が想定していた時差を加算(1刻 = 14.4分)
- 3) 回回暦には均時差を追加。(15.9 分)
- 4) 授時暦は新版での値。
- 5) 貞享暦の近日点による差は以下の通り。

$$\text{差} = (0.2543(6 \text{ 日目}) + 0.0410 \times 0.455) / (1.041) = 0.2622 \text{ 日}$$

干支

12	丙子	1684/12/20
13	丁丑	1684/12/21
14	戊寅	1684/12/22

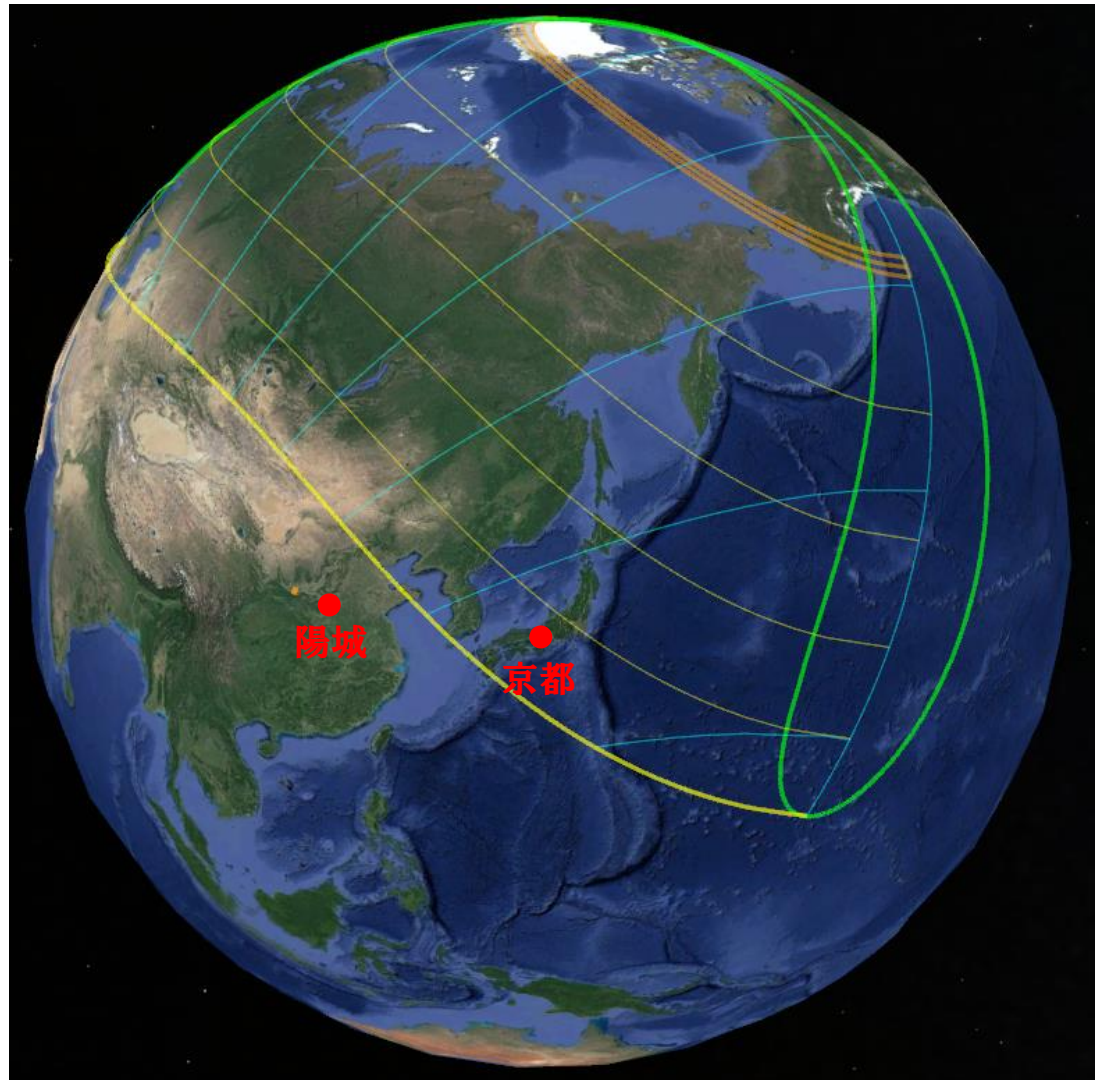
⑥ 日食の計算に宣明暦の月の影響を復活した 延宝3年5月の日食 (宣明暦の影響)

春海は授時暦(新版)により、この日食の予報をはずした。
(京都:1.35,江戸 1.98 (10が皆既)) (比較のため同じ単位に修正)

項目		宣明暦	授時暦(旧)	授時暦(新)	貞享暦	差分	備考
日食の時刻		13:12	13:34	13:00	14:25	+1.5h	里差(時差)の導入による。
月の位置の計算							
入交汎度		354.26	352.96	352.96	352.99	0.04	
太陽変動分		0.04	-0.05	-0.05	0.21	0.26	近日点移動の導入による。
(太陽の位置)			(183.7)	(183.7)	(177.4)		
月変動分		0.39	0.00	0.00	0.38	0.38	宣明暦のパラメータの復活による。
入交定度	A	354.69	352.90	352.91	353.59	0.68	
正交度		359.59	357.64	357.64	358.30	0.66	
気差定数	視差	2.99					
刻差定数		0.00					
南北定差			3.09	3.58	2.25	-1.33	里差(時差)の導入による。
東西定差			-0.05	-0.03	-0.08	-0.04	
正交限日	B	362.59	360.67	361.19	360.48	-0.71	
去交度	C=B-A	7.89	7.77	8.28	6.89	-1.39	
暦限	D	9.64	8.00	8.00	8.00		
食分 (最大 10分)	(D-C)/Dx10	1.81	0.29	-0.35	1.39		
		2分弱	29秒	食無	1分39秒		

延宝3年5月の日食(1675/6/23)

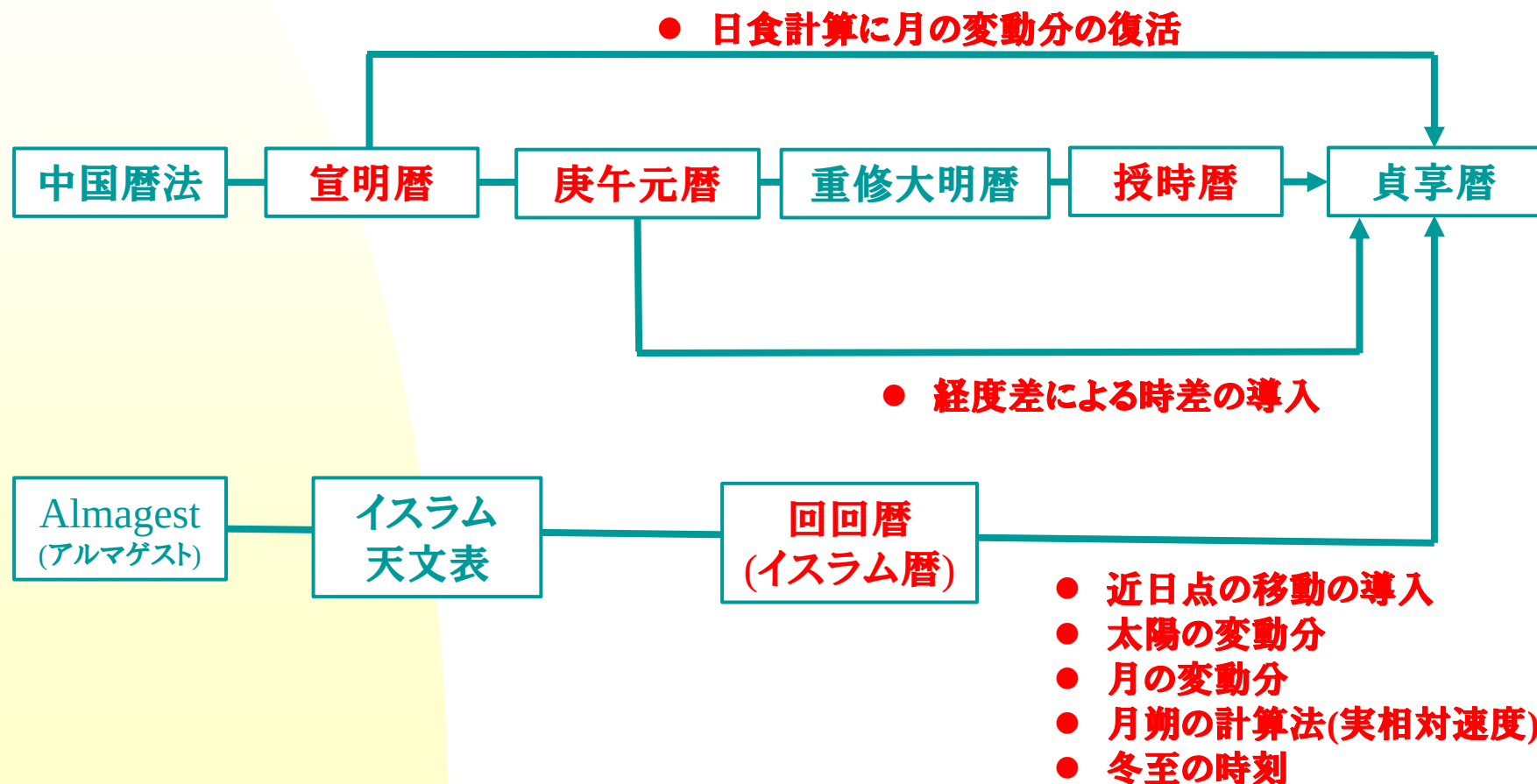
延宝3年5月の日食
は中国暦法の基準
地である陽城では、
起きていなかった。



【Emapwin(筆者作成日食推算ソフト)出力の日食図をGoogle Earth Proで表示】

春海の貞享暦のまとめ

渋川春海は、さまざまな暦を授時暦に統合することで、伝統的な中国の暦法における最後の一步を踏み出し、それを日本で導入した。

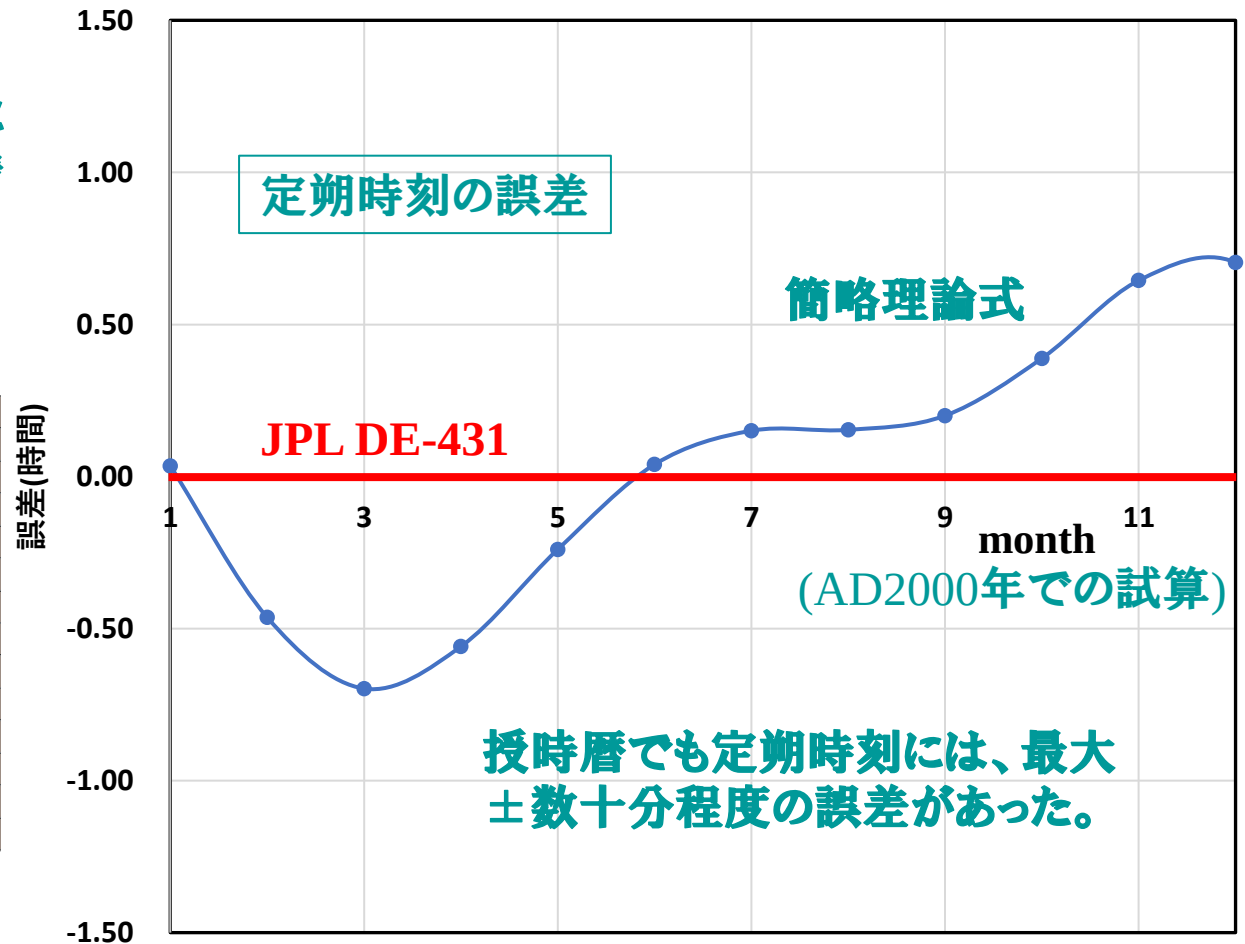


中国暦法の精度の評価

中国暦法のように α と β に平均化したモデルによる精度の改善には限界があった。

Month	Symple	DE-431	Error(hour)
12	1.46	1.43	0.03
1	19.79	20.25	-0.46
2	11.78	12.48	-0.70
3	0.84	1.40	-0.56
4	11.16	11.40	-0.24
5	19.47	19.43	0.04
6	2.68	2.53	0.15
7	9.77	9.62	0.15
8	17.72	17.52	0.20
9	3.47	3.08	0.39
10	15.81	15.17	0.64
11	7.09	6.39	0.70
12	0.93	0.56	0.37

簡略理論式(太陽2項、月4項)とDE-431(JPL暦)との誤差



8. まとめ

中国暦法のまとめ

- 中国暦法は古代から段階を経て発展してきたが、 α と β に平均化したモデルでの改善には限界があった。
⇒日食予報の精度は刻(約10分)単位だった。
- 17世紀の中国において、宣教師の伝えた西洋天文学に基づいた日食予測の精度は分単位だった。
- 中国暦法による暦は一般生活には十分であったが、日食予測において西洋天文学に比べ精度が一桁劣る中国暦法は、対抗することができず終焉を迎えた。
- 現在旧暦とされる暦は、外見は中国古来の暦ではあるが、中身は西洋の天文学による太陰太陽暦。また、定気による置閏法は19年7閏法を実現できず誤り。
⇒2033年問題の原因(天保暦は過去70年の置閏の確認のみ)

おわりに

- 貞享暦を含め西洋天文学伝来以前の日本の天文学は、ほぼ研究対象にされていない。
 - 古代・中世の日本の天文学は中国天文学を利用しただけ。
 - 天体力学やケプラーの法則も知らない時代の天文や暦法を研究しても意味がない。
 - 月や太陽の運動を正しく理解していない時代の日食予報の精度の研究は意味あるものではない。
- ほぼ手つかずの分野なので新しい発見が期待できる。
 - 土御門家伝来の星図『格子月進図』はほぼ放置されていた。
 - ⇒ 原図は晋代の星図で、初唐に書写されていた。
 - 北極星による古代都城の方位測量など研究されず。
 - ⇒ 平城京・平安京等、都城は北極星で測量されていた。
(遺構の方位と天文計算の結果が数分の誤差で一致)

こよみの情報

日本及び中国の古代から現代の暦日は以下のURLで公開。

日本暦：<https://www.wagoyomi.info/wagoyomi.html>(主に『日本暦日原典』と照合)

日本暦日検索：<https://www.wagoyomi.info/kensaku.html>(日付/干支/暦注による日付検索)

中国暦：<https://www.wagoyomi.info/karagoyomi/index.html>(主に『二十史朔閏表』と照合)

皇極天皇元年 壬寅(355日)

元嘉暦 大小	朔干支	遡還 平朔	ユリウス暦 中気	節気
1月 大	丁巳(53)		53.6516 642/ 2/ 5 (雨水)14日 (6.0855)	(啓蛰)29日 (21.3041)
2月 小	丁亥(23)		23.1822 642/ 3/ 7 (春分)14日 (36.5228)	(清明)29日 (51.7414)
3月 大	丙辰(52)		52.7128 642/ 4/ 5 (穀雨)15日 (6.9600)	
4月 小	丙戌(22)		22.2434 642/ 5/ 5 (小満)16日 (37.3972)	(立夏) 1日 (22.1786)
5月 大	乙卯(51)		51.7739 642/ 6/ 3 (夏至)17日 (7.8344)	(芒種) 2日 (52.6158)
6月 小	乙酉(21)		21.3045 642/ 7/ 3 (大暑)18日 (38.2717)	(小暑) 3日 (23.0530)
7月 大	甲寅(50)		50.8351 642/ 8/ 1 (処暑)19日 (8.7089)	(立秋) 4日 (53.4903)
8月 小	甲申(20)		20.3657 642/ 8/31 (秋分)20日 (39.1461)	(白露) 4日 (23.9275)
9月 大	癸丑(49)		49.8963 642/ 9/29 (霜降)21日 (9.5833)	(寒露) 6日 (54.3647)
10月 小	癸未(19)		19.4269 642/10/29 (小雪)22日 (40.0206)	(立冬) 6日 (24.8019)
11月 大	壬子(48)		48.9574 642/11/27 (冬至)23日 (10.4578)	(大雪) 8日 (55.2392)
12月 大	壬午(18)		18.4880 642/12/27 (大寒)23日 (40.8950)	(小寒) 8日 (25.6764)

	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日
1月	丁巳 2/5	戊午 2/6	己未 2/7	庚申 2/8	辛酉 2/9	壬戌 2/10	癸亥 2/11	甲子 2/12	乙丑 2/13	丙寅 2/14	丁卯 2/15	戊辰 2/16	己巳 2/17	庚午 2/18	辛未 2/19	壬申 2/20	癸酉 2/21	甲戌 2/22	乙亥 2/23	丙子 2/24	丁丑 2/25	戊寅 2/26	己卯 2/27	庚辰 2/28	辛巳 3/1	壬午 3/2	癸未 3/3	甲申 3/4	乙酉 3/5	丙戌 3/6
2月	丁亥 3/7	戊子 3/8	己丑 3/9	庚寅 3/10	辛卯 3/11	壬辰 3/12	癸巳 3/13	甲午 3/14	乙未 3/15	丙申 3/16	丁酉 3/17	戊戌 3/18	己亥 3/19	庚子 3/20	辛丑 3/21	壬寅 3/22	癸卯 3/23	甲辰 3/24	乙巳 3/25	丙午 3/26	丁未 3/27	戊申 3/28	己酉 3/29	庚戌 3/30	辛亥 3/31	壬子 4/1	癸丑 4/2	甲寅 4/3	乙卯 4/4	
3月	丙辰 4/5	丁巳 4/6	戊午 4/7	己未 4/8	庚申 4/9	辛酉 4/10	壬戌 4/11	癸亥 4/12	甲子 4/13	乙丑 4/14	丙寅 4/15	丁卯 4/16	戊辰 4/17	己巳 4/18	庚午 4/19	辛未 4/20	壬申 4/21	癸酉 4/22	甲戌 4/23	乙亥 4/24	丙子 4/25	丁丑 4/26	戊寅 4/27	己卯 4/28	庚辰 4/29	辛巳 4/30	壬午 5/1	癸未 5/2	甲申 5/3	乙酉 5/4
4月	丙戌 5/5	丁亥 5/6	戊子 5/7	己丑 5/8	庚寅 5/9	辛卯 5/10	壬辰 5/11	癸巳 5/12	甲午 5/13	乙未 5/14	丙申 5/15	丁酉 5/16	戊戌 5/17	己亥 5/18	庚子 5/19	辛丑 5/20	壬寅 5/21	癸卯 5/22	甲辰 5/23	乙巳 5/24	丙午 5/25	丁未 5/26	戊申 5/27	己酉 5/28	庚戌 5/29	辛亥 5/30	壬子 5/31	癸丑 6/1	甲寅 6/2	
5月	乙卯 6/3	丙辰 6/4	丁巳 6/5	戊午 6/6	己未 6/7	庚申 6/8	辛酉 6/9	壬戌 6/10	癸亥 6/11	甲子 6/12	乙丑 6/13	丙寅 6/14	丁卯 6/15	戊辰 6/16	己巳 6/17	庚午 6/18	辛未 6/19	壬申 6/20	癸酉 6/21	甲戌 6/22	乙亥 6/23	丙子 6/24	丁丑 6/25	戊寅 6/26	己卯 6/27	庚辰 6/28	辛巳 6/29	壬午 6/30	癸未 7/1	甲申 7/2
6月	乙酉 7/3	丙戌 7/4	丁亥 7/5	戊子 7/6	己丑 7/7	庚寅 7/8	辛卯 7/9	壬辰 7/10	癸巳 7/11	甲午 7/12	乙未 7/13	丙申 7/14	丁酉 7/15	戊戌 7/16	己亥 7/17	庚子 7/18	辛丑 7/19	壬寅 7/20	癸卯 7/21	甲辰 7/22	乙巳 7/23	丙午 7/24	丁未 7/25	戊申 7/26	己酉 7/27	庚戌 7/28	辛亥 7/29	壬子 7/30	癸丑 7/31	
7月	甲寅 8/1	乙卯 8/2	丙辰 8/3	丁巳 8/4	戊午 8/5	己未 8/6	庚申 8/7	辛酉 8/8	壬戌 8/9	癸亥 8/10	甲子 8/11	乙丑 8/12	丙寅 8/13	丁卯 8/14	戊辰 8/15	己巳 8/16	庚午 8/17	辛未 8/18	壬申 8/19	癸酉 8/20	甲戌 8/21	乙亥 8/22	丙子 8/23	丁丑 8/24	戊寅 8/25	己卯 8/26	庚辰 8/27	辛巳 8/28	壬午 8/29	癸未 8/30
8月	甲申 8/31	乙酉 9/1	丙戌 9/2	丁亥 9/3	戊子 9/4	己丑 9/5	庚寅 9/6	辛卯 9/7	壬辰 9/8	癸巳 9/9	甲午 9/10	乙未 9/11	丙申 9/12	丁酉 9/13	戊戌 9/14	己亥 9/15	庚子 9/16	辛丑 9/17	壬寅 9/18	癸卯 9/19	甲辰 9/20	乙巳 9/21	丙午 9/22	丁未 9/23	戊申 9/24	己酉 9/25	庚戌 9/26	辛亥 9/27	壬子 9/28	癸丑 9/29
9月	癸丑 9/29	甲寅 9/30	乙卯 10/1	丙辰 10/2	丁巳 10/3	戊午 10/4	己未 10/5	庚申 10/6	辛酉 10/7	壬戌 10/8	癸亥 10/9	甲子 10/10	乙丑 10/11	丙寅 10/12	丁卯 10/13	戊辰 10/14	己巳 10/15	庚午 10/16	辛未 10/17	壬申 10/18	癸酉 10/19	甲戌 10/20	乙亥 10/21	丙子 10/22	丁丑 10/23	戊寅 10/24	己卯 10/25	庚辰 10/26	辛巳 10/27	壬午 10/28
10月	癸未 10/29	甲申 10/30	乙酉 10/31	丙戌 11/1	丁亥 11/2	戊子 11/3	己丑 11/4	庚寅 11/5	辛卯 11/6	壬辰 11/7	癸巳 11/8	甲午 11/9	乙未 11/10	丙申 11/11	丁酉 11/12	戊戌 11/13	己亥 11/14	庚子 11/15	辛丑 11/16	壬寅 11/17	癸卯 11/18	甲辰 11/19	乙巳 11/20	丙午 11/21	丁未 11/22	戊申 11/23	己酉 11/24	庚戌 11/25	辛亥 11/26	
11月	壬子 11/27	癸丑 11/28	甲寅 11/29	乙卯 11/30	丙辰 12/1	丁巳 12/2	戊午 12/3	己未 12/4	庚申 12/5	辛酉 12/6	壬戌 12/7	癸亥 12/8	甲子 12/9	乙丑 12/10	丙寅 12/11	丁卯 12/12	戊辰 12/13	己巳 12/14	庚午 12/15	辛未 12/16	壬申 12/17	癸酉 12/18	甲戌 12/19	乙亥 12/20	丙子 12/21	丁丑 12/22	戊寅 12/23	己卯 12/24	庚辰 12/25	辛巳 12/26
12月	壬午 12/27	癸未 12/28	甲申 12/29	乙酉 12/30	丙戌 12/31	丁亥 1/1	戊子 1/2	己丑 1/3	庚寅 1/4	辛卯 1/5	壬辰 1/6	癸巳 1/7	甲午 1/8	乙未 1/9	丙申 1/10	丁酉 1/11	戊戌 1/12	己亥 1/13	庚子 1/14	辛丑 1/15	壬寅 1/16	癸卯 1/17	甲辰 1/18	乙巳 1/19	丙午 1/20	丁未 1/21	戊申 1/22	己酉 1/23	庚戌 1/24	辛亥 1/25

筆者の論文リスト

1. 『元嘉暦法による7世紀の日食計算とその検証』数学史研究 (203号) p.1-16 (2009)
2. 『儀鳳暦法による日食計算と日食記録の検証』数学史研究 (205号) p.1-29 (2010)
3. 『大衍暦法による日食計算と進朔の検証』数学史研究 (208号) p.1-40 (2011)
4. 『宣明暦法による日食月食計算とその検証』数学史研究 (212号) p.1-44 (2012)
5. 『符天暦法の復元』数学史研究 (223号) p.1-33 (2015)
6. 『回回暦法による食計算法と星表について』数学史研究 (225号) p.1-48 (2016)
7. 『中国古代星図の年代推定の研究』数学史研究 (228号) p.1-21 (2017)
8. 『渋川春海の星図の研究』数学史研究 (231) p.1-48 (2018)
9. 『最小二乗法による古代星図の年代推定』数学史研究 (232) p.1-22 (2018)
10. 『渋川春海の貞享暦の研究』数学史研究 (233号) p.1-46 (2019)
11. 『孔子の時代からの古代北極星の変遷の研究』数学史研究 (236) p.1-25 (2020)
12. 『符天暦による七曜暦の造暦について』数学史研究 (237号) p.1-21 (2020)
13. 『北極星による古代の正方位測定法の復元』数学史研究 (239) p.1-22 (2021)
14. 『格子月進図』の原図となった星図の年代推定』数学史研究 (第Ⅲ期 第1巻1号) (2022)
15. 『宣教師による中国星座の同定方法の検証』数学史研究 (第Ⅲ期 第1巻3号) (2023)
16. 『方位による下ツ道の建設年代の推定』数学史研究 (第Ⅲ期 第2巻2号) (2024)

"<https://www.kotenmon.com/ronbun.html>"にPDF版を掲載。

Thanks



中国暦法の歴史と渋川春海の貞享暦

- 中国暦法の歴史と限界 -