数学史研究 No.233号」抜刷り

渋川春海の貞享暦の研究

竹迫 忍

論　説

渋川春海の貞享暦の研究

竹迫　忍

1．はじめに

貞享暦は将軍に仕える囲碁の碁方安井家に生まれた渋川春海（1639～1715）が中国元朝の授時暦をもとに編纂した暦法である。貞享暦は貞享2年（1685）より施行され宝暦5年（1755）に宝暦暦に改暦されるまで70年間使用された。次の宝暦暦は43年間用いられたが，貞享暦を微修正しただけなので貞享暦は実質113年間用いられたことになる。宝暦暦は近代天文学の影響を受けない最後の日本の暦法である。貞享暦以前は平安時代の貞観4年（862）より宣明暦が使用されていたが江戸時代になると，冬至・夏至などの日付が暦面と2日ずれていることや食の予報がたびたびはずれたことを指摘され改暦がもとめられていた[注1]。渋川春海は初め授時暦による改暦を目指し延宝元年（1673）に上表を行った。この上表には授時暦の優秀性を実証するために向こう3年6回の日月食を宣明暦，授時暦及び大統暦で予測した『食考』を添付していた。しかし，予測最後の延宝3年（1675）5月の日食において授時暦の予測ははずれ，宣明暦だけが的中したために改暦の動きは止んでしまった。その後春海は暦法の研究や観測を重ね天和3年（1683）年11月に授時暦を改良した「大和暦」で再度上表を行った。しかし，これに反し翌年3月には明朝の大統暦の採用が決まってしまう。春海は3度目の上表を行い大統暦への改暦を翻し，「大和暦」は貞享元年（1684）10月29日に宣明暦に代わる暦法に認められた。翌年（1685）の暦から名を「貞享暦」と改め実施された。

授時暦より改良されたおもな点は西内雅（1940）p.157～162によるとつぎとする。

(1)　定朔（太陽・月を楕円軌道とした黄経合時刻）の計算に月と太陽の相対速度を使用。

(2)　太陽の変動分の計算に近日点の移動（暦元で6.445日）を導入。

(3)　中国と日本の経度差による時差（里差）を補正。

(4)　日食が起きる限界点（食限）を北京との緯度の差で補正。

貞享暦はその計算方法や基本暦数（暦計算に使用する定数）により，授時暦をもとに改良された暦法と認識されている。しかし，春海は貞享暦の暦数改良の根拠になる記録を残していないため，改良が観測によるものか，または他の暦法を参考にしたものか不明であ

る。観測により暦数を求めるには，高精度の観測機器で観測するか，低精度の観測機器でも歳月をかけて精度を上げる方法が考えられる。しかし，春海の観測は貞享の改暦以後に新調された渾天儀でも星の観測誤差が1度程度あり，また観測期間も数年と短いので観測にもとづき暦数を改良した可能性はほぼないと考えられる。本稿では授時暦，宣明暦や回回暦[注2)]など春海にとって既知と思われる暦法の暦数や計算法を比較検証し春海が，貞享暦編纂において参考にした暦法を推定し特定する。

貞享暦の暦数改良についての研究は，その由来が不明のためほとんどない。中山茂（1971）p.505は太陽の中心差は数値的改良と見て良いとし，意識的に授時暦のパラメータの数値に手を入れて授時暦からの独立をはかろうという意図が認められるとしている。渡辺敏夫（1986）p.53は，貞享暦は範を授時暦にならったものでほとんど異なるところはないが，自らの測定に基づいているところと，里差を考慮して京都に立地したことに注意が必要としている。内田正男（1992）p.536では貞享暦は授時暦を模したものに疑いの余地はないが貞享暦書には授時暦のどの数値をどのような理由で補正したかは書かれていないとしている。須賀隆（2016）は各種暦法での太陽の中心差を比較し，貞享暦は授時暦より改良されているのを指摘し，授時暦と回々暦の日行盈縮を自らの観測と比較し，回々暦の方が高精度と判断して回々暦により近い暦定数を採用したのではないかと考えられるとしている。

本稿の貞享暦の検証には原文は『貞享暦』（内閣文庫所蔵）を参照した。また，貞享暦には授時暦原文をほぼそのまま利用している部分も多いので授時暦の史料も参照した。貞享暦の計算については，授時暦用に作成したプログラムをもとに『貞享暦』原文や西村遠理『貞享暦解』を参考に貞享暦用に修正した。計算結果については横塚啓之『貞享暦日食計算法』や東北大学林文庫の西村篤行推歩『寛政六年甲寅貞享暦見行草』等の暦日／食計算結果で確認した。授時暦の暦法計算については小泉光保『授時暦図解』および張培瑜他著『中国古代暦法』p.487～553などを参考にした。

なお本稿では本文は貞享暦の検証のみとし，暦計算法の説明は，別項－1に中国暦法の考え方，別項－2に貞享暦法による延宝3年（1675）5月の日食計算例を添付した。また本稿では各暦法名に「法」はつけない。頒暦と区別する必要があるときには頒暦と明示する。

2．暦定数の比較

授時暦（元史）と貞享暦のおもな暦定数とその比較を表1に示す。この表より貞享暦は授時暦の基本暦定数を多く引き継いでいることが分かる。

項目3の歳実（太陽年）は授時暦では100年おきに2分減らす。貞享暦は毎年0.02分減らす違いがあるが授時暦の考え方を継承している。貞享暦は暦元で3652416.96日と規定しているがこれは授時暦で0.02分/年で減らした場合1683年の値と同じになる。したがって，歳実の暦数は1684年の暦を前提に作成されていると推定される[注3)]。なお中国暦は冬至が入る前年の11月から計算を行うので，この場合1683年の冬至が暦数の計算点となる。

項目5と6の盈縮限と遅速限（授時暦では遅疾限）は太陽や月の変動分を補正する式の切り替え点であるが，月の変動分の補正については授時暦が中間点（84.0）で左右対称であるのに対し貞享暦は切り替え点が中間点でなく左右対称ではない。中国暦法では月の影響の数値は左右対称であるので貞享暦には中国暦法以外の影響が推定される。

表1　授時暦（元史）と貞享暦の主な暦定数の比較

No.	暦定数	授時暦（元史）	貞享暦	比較	備考
1	暦元年（西暦）	1281（至元18年）	1684	ー	
2	日周（一日）	10000.00	同差	◎	
3	歳実（太陽年）	3652425.00	3652416.96	ー	授時暦での1683年の値
4	消長	2分/100年	同差	◎	貞享暦は0.02分/年
	歳実@1683年	3652416.96			
5	周天	3652575.00	3652566.96		
		(歳実+150)	同差	◎	150は歳差
	盈初縮末限	88.9912	89.2539	△	計算式の切替点
	縮初盈末限	93.7120	93.3669	△	(いずれも1限/日)
6	朔月（朔望月）	295305.93	295305.90	○	
	遅初速末限	84.0000	72.6534	×	計算式の切替点
	速初遅末限	84.0000	65.1196	×	(授時:12.2限/日,貞享:10限/日)
7	転終（近点月）	275546.00	同差	◎	
8	交終（交点月）	272122.24	272122.20	○	
9	正交	357.64	358.30	△	
10	中交	188.05	187.41	△	
11	日食　陽暦限	6.00	6.20	△	
	定法	60.00	62.00	△	
12	日食　陰暦限	8.00	同差	◎	
	定法	80.00	同差	◎	
13	月食限	13.05	同差	◎	
	定法	87.00	同差	◎	
14	気応	550600.00	76900.00	ー	
15	閏応	201850.00	27790.00	ー	
16	転応	131904.00	227200.00	ー	
17	交応	260187.86	4800.00	ー	
18	暦応	ー	64450.00	新	

注：◎：まったく同じ　○：ほぼ同じ　△：軽微な違い　×：まったく違う

項目9から13の日食食限関係の暦数は，北京と京都での緯度の差を反映した変更とされている。日食限が6＋8＝14度から6.2＋8＝14.2度と0.2度増加するとともに，正交と中交が0.64度陽暦方向にずらされている。（別項－1図4参照）日食限の範囲については同図にあるように，唐代以降の日食の計算では月の黄緯が南緯にある降交点から昇交点の間では月の影が主に地球の南半球に落ちるため中国では日食はおきにくいと考え日食の食限に入れていない（陽暦の日食）。しかし，授時暦の場合，正交が357.64度，陽暦限が6度合計で363.64度となり，降交点の363.79度をカバーしていなかった。貞享暦ではそれぞれ358.3度，6.2度合計364.5度となり，降交点より0.71度陽暦側にはみだしている。これは春海が過去の日食を検証し降/昇交点近くの日食を見つけたためと考えられる。

項目14から18までの四応は暦元が違うために大きく違う。比較のために1684年11月の元史の授時暦と貞享暦の計算結果を表2に示す。貞享暦が元史の授時暦をベースにしたとすると差分が経度差の里差となる。冬至と経朔の差は6.3刻と3刻となっている。（1刻は100分）月の変動分を計算するための入転日については遠地点／近地点の違いを補正しても約1700分の違いがある。入交汎日については差が70.5あり，交応が4870.5で差分が0となる。谷泰山の日月食の計算例でも交応に4871を使用している例がある[注4)]。別項－2の1675年5月の日食では交応4800では結果が合わず，春海は過去の日食の検証は交応を4900として計算したと考えられる。里差について春海は『貞享暦議』p.56で耶律楚材が之を創るとしているが，計算方法は地球儀や他の文献で理解したと考える[注5)]。

表2　授時暦（元史）と貞享暦の1684年11月の計算結果

	授時暦（元史）	貞享暦	差分
1684年冬至	128684.0	129317.0	633.0
11月経朔日	592482.2	592780.8	298.6
11月入転日	24956.2	160982.8	
（－半周期）		23209.8	－1746.4
11月入交汎日	255284.9	255214.4	－70.5

項目18の暦応は貞享暦の改良点にある近日点の移動（6.445度）を補正する値である。従来これは春海が遊子六の『天経或問』により知ったとされている[注6)]。しかし『天経或問』p.63には『二至之後六度。此二点為盈末縮初。今盈為最高之点。』とあるだけで，『天経或問』からは6.445度という値を計算することはできない[注7)]。実はこの「最高之点」を求める式は回回暦で与えられている。竹迫忍（2016）p.5にあるように，最高行度（遠日点黄経）はヒジュラ暦661年の年初（1262/11/15）の値が春分点から89度21分としており，近日点は180度加えた269度21分（269.350°）となる。また毎年の変化分は同p.36の付表2により29分7秒/30太陰年である。したがって，1太陽年の変化分は以下の式となる。なお1太陰年

は回回暦では354＋11/30日である。

最高行度太陽年変化分＝（29分7秒）／30太陰年×（365.2425／（354＋11/30））

$$=0.0166724度／太陽年 \quad \cdots (1)$$

貞享暦の暦応6.445度（中国度）注8）の暦元をYn年とすると，つぎの2式が成り立つ。

Yn年の近日点＝270＋（6.445/365.25）×360.0＝276.3524 … (2)

Yn年の近日点＝269.350＋0.0166724×（Yn－1262） … (3)

(2) 式および (3) 式より，

$$Yn = 1262 + (276.3524 - 269.350) / 0.0166724 = 1262 + 420.00 = 1682$$

これにより暦応は歳実よりもさらに1年早い1682年冬至で計算していたとすると6.445度と一致する。したがって，春海は回回暦書を持ちそれにより近日点を算出したと推定できる。

3．春海が使用した授時暦書

項目2での検討は春海が元史の授時暦の原典を使用したと仮定して行った。しかし，授時暦には違った版が高麗には存在したことを今井湊『高麗の授時暦』［天官書］p.660～661は指摘している。表3が各暦法での暦数の違いの一覧である。左から元史の『授時暦』，明史の『大統暦』，高麗史の『授時暦』，朝鮮実録の『七政算内篇』それと『貞享暦』の暦数である。右脇の「大 or 授」はどちらの暦法の暦数かを示す。この表で授時暦書は元史か高麗史のいずれかとなる。ここで高麗史の授時暦はすでに明の大統暦の暦数に修正されていることが分かる。暦数が大きく違うのは転応で約1700の違いがある。これは表2の入転日の違いとほぼ同じであり，これにより春海の授時暦は高麗史に載る授時暦と特定できる。高麗史の授時暦の暦数で表2を修正したものが表4である。この表で経朔の差は北京の里差5刻とほぼ同じである。冬至については，6.3刻と1.3刻の差があるが冬至については5項で検討する。また，入転日（転応）の調整は必要ないが差分が約1.5刻と大きく，その理由は不明である。11月入交汎日については表2と同じなので，春海は最終的に4870.5の70.5を切り捨てたことになる。

なお，高麗史『授時暦』にある暦数の変更は張培瑜他（2007）p.650は至元31年（1294）とするが，元の実施暦で検証すると，授時暦施行直後の至元21年（1284）の暦から変更された可能性がある。

表３　授時暦書と大統暦書の暦数の相違点

No.	項目	元・授時暦	明・大統暦	高麗史・授時暦		七政算内篇		貞享暦 注9)	
1	暦元	至元18年	至元18年	至元18年	－	至元18年	－	貞享元年	－
2	消長	有	無	有	授	有	授	有	授
3	気応	550600.00	550600.00	550600.0	－	550600.00	－	76900.00	－
4	閏応	201850.00	202050.00	202050.0	大	202050.00	大	27790.00	－
5	転応	131904.00	130205.00	130205.0*	大	130205.00	大	227200.00	－
6	交応	260187.86	260388.00	260388.0	大	260388.00	大	4800.00	－
7	日食定数	5740	5740	5740	－	5740	－	6500	(授)
8	限行度	月速度	相対速度	月速度	授	月速度	授	相対速度	(授)
9	月食定数	5740	4920	5740	授	4920	大	6500	(授)
10	限行度	月速度	相対速度	月速度	授	相対速度	大	相対速度	(授)
11	四余暦算	無	有	1暦数のみ	－	有	大	有	大

注：四余は紫気，月孛，羅喉と計都のこと。食定数は継続時間の計算に使う。
*高麗史：授時暦の転応については元・授時暦の131904.00の記載も残る。

表４　授時暦（高麗史）と貞享暦の1684年11月の計算結果

	授時暦（高麗史）	貞享暦	差分
1684年冬至	128684.0	129317.0	633.0
11月経朔日	592282.2	592780.8	498.6
11月入転日	23057.2	160982.8	
（－半周期）		23209.8	152.6
11月入交汎日	255284.9	255214.4	－70.5

４．太陽と月の変動分の暦定数の比較

４．１　定朔の計算について

等速円運動の太陽と月の経度が一致する時刻を経朔と呼ぶのに対して，楕円軌道を変速運動する太陽と月の経度が一致する時刻を定朔という。太陽と月の黄道上の経度は現代の簡略式では西暦2000年の年初を起点としてつぎの式になる。（詳細は別項－１を参照。）

太陽の視黄道経度（°）：$Ls(d) = 280.4665 + 0.98565 \times d + \alpha(d)$　…（4）

月の視黄道経度（°）：$Lm(d) = 218.3161 + 13.17640 \times d + \beta(d)$　…（5）

α：太陽の速度の変動分，β：月の速度の変動分，d：2000/1/1 12hからの日数

両式より太陽と月の黄道経度が同じになる定朔の日時（dt）を求めると以下となる。

$dt = 5.0982 + 29.53059 \times n + \alpha(dt)/12.19 - \beta(dt)/12.19$　…（6）

この式は，2000年１月１日午後０時から約5.1日目が最初の朔で，それから約29.53日毎に朔が起きることがわかる。この変動分を入れない朔を経朔と呼び，また後半の変動分まで入れた朔を定朔と呼ぶ。$\alpha/12.19$，$\beta/12.19$の近似値は現代では三角関数の数式で与えら

れるが，中国の暦の計算では季節と月の軌道上の位置を変数として表形式で値（時間）が与えられる。ここではα/12.19とβ/12.19の各暦法の値を比較する。

4．2　太陽の変動分の比較

まず太陽の変動分につき各暦法の値を比較し貞享暦の各暦法からの影響を探る。各暦法における太陽の変動分の暦定数を表5に示す。各暦法の値の出典は以下である。

理論値：α/12.19＝1.914602×sin（360/365.2596 × d ＋357.53）/12.19075
　　＋0.019993×sin（（360/365.2596 ×d ＋357.53）×2）/12.19075（別項－1（10）式）
宣明暦：新唐書暦志［歴代天文律暦等志彙編第7（以下彙編と略）］p.2326-28
　　　α/12.19＝朓朒積/日法（8400）
大明暦：金史暦志［25史 巻9金史］p.6975
　　　α/12.19＝朓朒積/日法（5230）
授時暦：元史暦志[彙編第9]p.3378
盈初縮末：盈縮差＝（5133200－（31×初末限＋24600）×初末限）×初末限÷一億　…（7）
縮初盈末：盈縮差＝（4870600－（27×初末限＋22100）×初末限）×初末限÷一億　…（8）
　　　α/12.19＝盈縮差/13.36875：月の平均速度（中国度）
回回暦：竹迫忍（2016）p.5-6の「太陽の黄経計算」の加減差
　　　α/12.19＝加減差/12.19075
貞享暦：貞享暦［内閣文庫本 巻4］p.9-10
盈初縮末：盈縮差＝（4360000－（34×初末限＋20000）×初末限）×初末限 ÷ 一億 …（9）
縮初盈末：盈縮差＝（4119800－（31×初末限＋17640）×初末限）×初末限 ÷ 一億
…（10）

　　　α/12.19＝盈縮差/（13.36875－1.0）：月と太陽の平均相対速度（中国度）

授時暦では上記のように盈縮差を月の平均速度（13.3875度/日）で割っているのは，授時暦では加減差（太陽と月の変化分の差）を計算するのに月の実速度で割るために，盈縮差を計算するさいにあらかじめ月の平均速度をかけてあるため。同様に貞享暦ではあらかじめ月と太陽の平均相対速度がかけてあるのでそれで割っている。

表5に計算結果をまとめた。授時暦と大明暦の比（D/C）が1.01であることにより，授時暦は大明暦の値を踏襲していると考えられる[注10)]。また貞享暦と回回暦の比（F/E）より須賀隆（2016）が指摘するようにピークの領域では貞享暦は回回暦に近い。しかしその他の領域では急速にはずれていることも分かる。ここで表5のG欄に授時暦と回回暦の平

均を計算しそれと貞享暦との比を計算したところ，回回暦とカーブが合わない周辺部分ではほぼ一致していることが分かる。したがって，渋川春海はピークの領域は回回暦を重視し，周辺領域は回回暦と授時暦の平均を使ったのではないかと推測される。春海がピークの領域で回回暦を重視したのは，近日点の移動の計算式があることにより回回暦の太陽の観測は精密であると判断したからと考えられる。授時暦，回回暦と貞享暦の半周期分のグラフを図1に示す。

表5　各暦法における太陽の変動分の暦定数

日	理論値	宣明暦	大明暦	授時暦	回回暦	貞享暦	授時／大明	貞享／回回	授時回回平均	貞享／平均
	A	B	C	D	E	F	D/C	F/E	G	F/G
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	－	－	－	－
15.22	0.0415	0.0535	0.0528	0.0541	0.0442	0.0498	1.01	1.13	0.0492	1.01
30.44	0.0799	0.0980	0.0971	0.0992	0.0851	0.0915	1.01	1.08	0.0921	0.99
45.66	0.1127	0.1336	0.1325	0.1347	0.1197	0.1246	1.01	1.04	0.1272	0.98
60.87	0.1374	0.1602	0.1583	0.1603	0.1455	0.1485	1.01	1.02	0.1529	0.97
76.09	0.1525	0.1763	0.1742	0.1754	0.1609	0.1625	1.01	1.01	0.1682	0.97
91.31	0.1571	0.1817	0.1797	0.1795	0.1650	0.1661	1.01	1.01	0.1723	0.96
106.53	0.1509	0.1763	0.1742	0.1726	0.1580	0.1598	1.01	1.01	0.1653	0.97
121.75	0.1346	0.1602	0.1583	0.1560	0.1405	0.1443	1.01	1.03	0.1482	0.97
136.97	0.1094	0.1336	0.1325	0.1300	0.1139	0.1200	1.01	1.05	0.1219	0.98
152.18	0.0771	0.0980	0.0971	0.0950	0.0801	0.0875	1.01	1.09	0.876	1.00
167.40	0.0398	0.535	0.0528	0.0515	0.0414	0.0473	1.01	1.14	0.0465	1.02
182.62	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	－	－	－	－
197.84	−0.0398	−0.0535	−0.0528	−0.0515	−0.0413	−0.0473	1.01	1.14	−0.0464	1.02
213.06	−0.0771	−0.0980	−0.0971	−0.0950	−0.0801	−0.0875	1.01	1.09	−0.0875	1.00
228.28	−0.1094	−0.1336	−0.1325	−0.1300	−0.1139	−0.1200	1.01	1.05	−0.1219	0.98
243.50	−0.1346	−0.1602	−0.1583	−0.1560	−0.1405	−0.1443	1.01	1.03	−0.1482	0.97
258.71	−0.1509	−0.1763	−0.1742	−0.1726	−0.1580	−0.1598	1.01	1.01	−0.1653	0.97
273.93	−0.1571	−0.1817	−0.1797	−0.1795	−0.1650	−0.1661	1.01	1.01	−0.1723	0.96
289.15	−0.1525	−0.1763	−0.1742	−0.1754	−0.1609	−0.1625	1.01	1.01	−0.1682	0.97
304.37	−0.1374	−0.1602	−0.1583	−0.1603	−0.1455	−0.1485	1.01	1.02	−0.1529	0.97
319.59	−0.1127	−0.1336	−0.1325	−0.1347	−0.1197	−0.1246	1.01	1.04	−0.1272	0.98
334.81	−0.0799	−0.0980	−0.0971	−0.0992	−0.0852	−0.0915	1.01	1.07	−0.0922	0.99
350.02	−0.0415	−0.0535	−0.0528	−0.0541	−0.0443	−0.0498	1.01	1.12	−0.0492	1.01
365.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	－	－	－	－

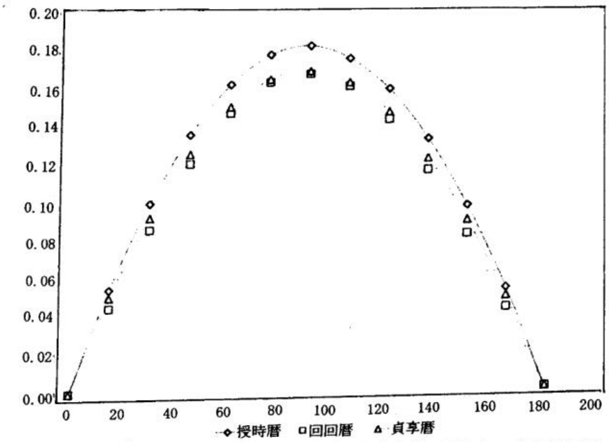


図1　各暦法における太陽の変動分の暦定数（前半の半周期分）

4．3　月の変動分の比較

ここでは月の変動分につき各暦法の値を比較し貞享暦の各暦法からの影響を探る。各暦法における月の変動分の暦定数を表6に示す。各暦法の値の出典は以下である。

理論値：β/12.19＝（中心差1次＋出差＋二均差＋中心差2次）/12.19075（別項－1（15）式）

宣明暦：新唐書暦志［歴代天文律暦等志彙編第7（以下彙編と略）］p.2329-31

β/12.19＝朓朒積/日法（8400）

大明暦：金史暦志［25史 巻9金史］p.6977

β/12.19＝朓朒積/日法（5230）

授時暦：元史暦志［彙編第9］p.3397

遅疾差 ＝（11110000－（325×初末限＋28100）×初末限）×初末限÷一億　…（11）

β/12.19＝遅疾差/13.36875：月の平均速度（中国度）

回回暦：竹迫忍（2016）p.6-7の「月の黄経計算」の加減差の経朔での値。

β/12.19＝加減差/12.19075

貞享暦：貞享暦［内閣文庫本 巻4］p.25

遅初速末：遅速差＝（11731000－（400×初末限＋37000）×初末限）×初末限÷一億　…（12）

速初遅末：遅速差＝（13240000－（500×初末限＋52000）×初末限）×初末限÷一億　…（13）

β/12.19＝遅速差/（13.36875－1.0）：月と太陽の平均相対速度（中国度）

表6に計算結果をまとめた。授時暦と大明暦の比（D/C）が0.99であることより，授時暦は月の暦数でも大明暦の値を踏襲している。また貞享暦についてはピークの領域では授時暦に近い。しかし，9日目から19日目の中間の領域では授時暦からはずれ太陽の暦数と

同じくG欄の授時暦と回回暦の平均値に近いことがわかる。したがって，渋川春海はピークの領域は授時暦を重視し，周辺領域は回回暦と授時暦の平均を使ったと推測できる。月の暦数は中国での観測を重視したようである。授時暦と回回暦の平均と近いのは太陽の暦数と同じであるので偶然ではないと考える。授時暦，回回暦と貞享暦の半周期分のグラフを図2に示す。なお貞享暦は近地点と遠地点が逆なので半周期ずらしてある。表6では，前半の1～4日目は両暦に沿っていないように思えるが，図2のグラフで見るとその差は少ない。

表6　各暦法における月の変動分の暦定数

日	理論値	宣明暦	大明暦	授時暦	回回暦	貞享暦	授時／大明	貞享／回回	授時回回平均	貞享／平均
	A	B	C	D	E	F	D/C	F/D	G	E/G
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	–	–	–	–
1	0.1007	0.0988	0.0981	0.0978	0.0965	0.1024	1.00	1.05	0.0972	1.05
2	0.1950	0.1852	0.1878	0.1866	0.1885	0.1940	0.99	1.04	0.1876	1.03
3	0.2771	0.2564	0.2663	0.2640	0.2664	0.2724	0.99	1.03	0.2652	1.03
4	0.3422	0.3117	0.3298	0.3271	0.3294	0.3350	0.99	1.02	0.3283	1.02
5	0.3871	0.3508	0.3763	0.3735	0.3715	0.3796	0.99	1.02	0.3725	1.02
6	0.4098	0.3740	0.4033	0.4003	0.3923	0.4036	0.99	1.01	0.3963	1.02
7	0.4103	0.3795	0.4107	0.4060	0.3944	0.4046	0.99	1.00	0.4002	1.01
8	0.3897	0.3698	0.3987	0.3961	0.3744	0.3857	0.99	0.97	0.3853	1.00
9	0.3502	0.3430	0.3673	0.3647	0.3374	0.3495	0.99	0.96	0.3511	1.00
10	0.2948	0.2994	0.3180	0.3144	0.2843	0.2981	0.99	0.95	0.2993	1.00
11	0.2267	0.2398	0.2507	0.2479	0.2187	0.2334	0.99	0.94	0.2333	1.00
12	0.1495	0.1650	0.1690	0.1678	0.1435	0.1573	0.99	0.94	0.1556	1.01
13	0.0665	0.0769	0.0771	0.0767	0.0649	0.0718	1.00	0.94	0.0708	1.01
14	−0.0191	−0.0220	−0.0224	−0.0224	−0.0188	−0.0209	1.00	0.93	−0.0206	1.02
15	−0.1039	−0.1181	−0.1189	−0.1184	−0.1012	−0.1109	1.00	0.94	−0.1098	1.01
16	−0.1848	−0.2013	−0.2073	−0.2050	−0.1784	−0.1924	0.99	0.94	−0.1917	1.00
17	−0.2583	−0.2699	−0.2828	−0.2794	−0.2496	−0.2637	0.99	0.94	−0.2645	1.00
18	−0.3212	−0.3224	−0.3419	−0.3390	−0.3097	−0.3227	0.99	0.95	−0.3244	1.00
19	−0.3669	−0.3589	−0.3837	−0.3812	−0.3548	−0.3676	0.99	0.96	−0.3680	1.00
20	−0.4014	−0.3792	−0.4061	−0.4034	−0.3846	−0.3944	0.99	0.98	−0.3940	1.00
21	−0.4128	−0.3814	−0.4093	−0.4058	−0.3965	−0.4072	0.99	1.00	−0.4011	1.02
22	−0.4024	−0.3712	−0.3928	−0.3909	−0.3849	−0.3956	1.00	1.01	−0.3879	1.02
23	−0.3698	−0.3407	−0.3577	−0.3551	−0.3540	−0.3621	0.99	1.02	−0.3545	1.02
24	−0.3156	−0.2934	−0.3044	−0.3009	−0.3025	−0.3092	0.99	1.03	−0.3017	1.02
25	−0.2424	−0.2290	−0.2340	−0.2311	−0.2332	−0.2393	0.99	1.04	−0.2322	1.03
26	−0.1542	−0.1489	−0.1503	−0.1483	−0.1482	−0.1547	0.99	1.04	−0.1482	1.04
27	−0.0563	−0.0571	−0.0560	−0.0552	−0.0535	−0.0580	0.98	1.05	−0.0573	1.07
27.5546	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	–	–	–	–

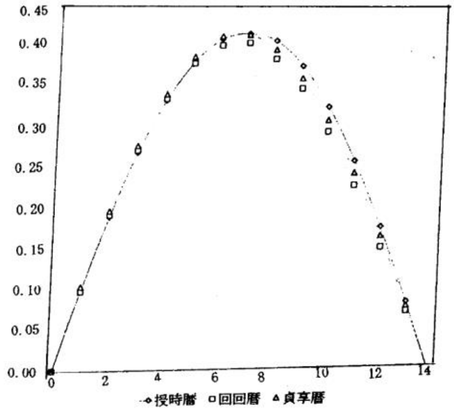


図２　各暦法における月の変動分の暦定数（前半の半周期分）

４．４　定朔の計算の比較とまとめ

唐代からの定朔の時刻（*dt*）の計算には経朔の時刻（*dk*）の α（*dk*）や β（*dk*）を使い定朔の計算を行うことが行われてきた。$\alpha/12.19$ や $\beta/12.19$ の値（時間）は数表で与えられている。

$dt = dk + \alpha(dk)/12.19 - \beta(dk)/12.19$　　注：中国度では12.36875　　…（14）

しかしこの式は（6）式のように定朔時刻（*dt*）の α（*dt*）や β（*dt*）で成立する式なので誤差が大きかった。そこで授時暦では平均速度で割ることをやめ月の実速度で割ることを導入した。中国では変動分のデータは角度では無く時間で与えられているので式としてはつぎとなる。

$$\begin{aligned} dt &= dk + (\alpha(dk) - \beta(dk)) / (Vm \times 12.36875/13.36875) \\ &= dk + (\alpha(dk)/12.36875) \times 13.36875 - (\beta(dk)/12.36875) \times 13.36875) / Vm \\ &= dk + (\text{盈縮差} - \text{遅疾差}) / Vm \end{aligned} \quad \cdots (15)$$

ここで13.36875は月の平均速度，Vmは実速度，12.36875は中国度での相対速度。月の実速度の導入はプトレマイオスの『アルマゲスト』の食計算に使うつぎの式と同等である。プトレマイオスも太陽の実速度の計算式への導入は避けている[注11)]。

$$dt = dk + (\alpha(dk) - \beta(dk)) / (Vm \times 12/13) \quad \cdots (16)$$

これに対し貞享暦ではつぎの式が採用されている。Vsは太陽の実速度。

$$\begin{aligned} dt &= dk + (\alpha(dk) - \beta(dk)) / (Vm - Vs) \\ &= dk + ((\alpha(dk)/12.36875) \times 12.36875 - (\beta(dk)/12.36875) \times 12.36875) / (Vm - Vs) \\ &= dk + (\text{盈縮差} + \text{遅速差}) / (Vm - Vs) \end{aligned} \quad \cdots (17)$$

これは回回暦の食計算で使用するつぎの式の影響と考えられる。回回暦では朔（経合）の日の正午での太陽と月の離角を計算し，朔が午前であれば正午までの1日の実速度，午後であれば翌日の正午までの実速度で割って一次近似を求める[注12]。

dt = 正午 + (正午の太陽と月の離角) / ($Vm - Vs$) …(18)

貞享暦と授時暦の定朔の計算では月の実速度（13.36875度/日）と太陽との相対速度（13.36875－1.0度/日）で約10%の差がでるとの誤認があるが，月の最高速度を15度/日とした場合でもその差は以下に示すように最大1%程度でしかない。

差の割合＝ ($Vm0/Vm$) ÷ (($Vm0 - Vs0$) / ($Vm - Vs$))
＝ (13.36875/15.0) ÷ ((13.36875－1.0) / (15.0－1.0))
＝ (0.8913) ÷ (0.8835) ＝1.0088 …(19)

谷秦山の『壬癸録 第四』p.6にもその差は40分としている。しかし，これは単純計算の場合である。（遅疾差4000分×1%）月の実速度と遅疾差，盈縮差の関係を考えると，遅疾差だけでは誤差は最大20分，平均で約10分となり，これに盈縮差の最大値が加わったとしても最大30分，平均で20分程度である。30分を24時間制で考えれば4分。これは他の誤差に埋まるレベルの改善であり，太陽のパラメータを導入した暦計算の煩雑さを考えれば，授時暦を正したというアピールだけでほぼ効果の無い改善といえる[注13]。しかし春海は授時暦でさえ大明暦から引き継いでいた変動分の暦数を変更していたことになる。

5．冬至の時刻の決定について

図3に貞享元年（1984）から3年間の冬至の春海の測定値と理論値を示す。冬至の時刻は表とよばれる棒を地面に垂直に立て，その影の観測によりもとめる。しかし，冬至近辺では影の長さはほとんど変化しないので，祖沖之の法とよばれる方法で計算する。この方法は冬至の日を中心に影の長さが左右対称と仮定して，冬至前後の同じ影の長さの日までの日数（小数まで）の平均をとることにより冬至の日時を決める方法である。なお図3の理論値は JPL DE431暦でシミュレーションした影の長さをもとに計算した。理論値の0日目の値は冬至前後日数20日までの値を多項式近似で計算し求めた。春海が測定した時代には近日点の移動により対称性は崩れているので測定間隔が長いほど誤差が大きくなる[注14]。また期間が短い時も影の長さの変化が少ないので実測では誤差が大きい。図3の春海の記録は点線で示す理論値と同じ傾向であるが理論値との誤差も大きい。またこの図にはないが，これ以前の記録は冬至に近いものや，遠いものが多くさらに誤差が大きい。春海は非対称による誤差は知らなかったとされるが，このように誤差が大きくバラバラの測定結果から貞享暦の冬至時刻を導いた方法を明らかにしていない[注15]。

そこで貞享暦と他の暦法との関係を見るために，貞享元年（1884）の冬至の時刻と11月定朔を比較したのが表7である。各暦には里差による補正を加えてある[注16]。左の欄が太陽の変動を含まない常気，中央が定気の時刻である。理論値はJPL DE431暦で計算した太陽黄経270°での値。貞享暦の近日点は暦元で6.445度ずれているため，太陽の変動の式（別項－2 (17) 式）に6.445を代入し相対速度で割ると定気の冬至は0.2204日（5.29時間）遅れることになる。これを反映した貞享暦（定気）と理論値との差は約1.77時間となる。中国暦法では常気と定気の冬至は同一時刻であるが近日点の移動を反映した貞享暦ではそれが崩れている。中山茂（1971）p.506も指摘するように春海は時憲暦の頒暦を入手していたことも考えられる。時憲暦の冬至の時刻は現代の計算とほぼ同じ時刻である[注17]。しかし，この比較表で貞享暦に一番近い値は授時暦の常気でその差は0.32時間（19分）。しかも授時暦と回回暦の平均値は貞享暦にほぼ合致（誤差2分）している。したがって，春海は冬至の時刻も授時暦と回回暦の平均の値を貞享暦に用いたと考えられる。

また内田正男（1992）p.537は貞享2年と3年の頒暦の24節気の値は2刻（0.02日）早いとし，気応を76740分で計算したものに相当するとしている。この気応で計算すると表7の貞享元年の値は12.9157となり，ほぼ授時暦の値（誤差4分）となる。したがって，貞享暦施行当初は授時暦と同じだった冬至を貞享4年から回回暦との平均値に修正したことになる。

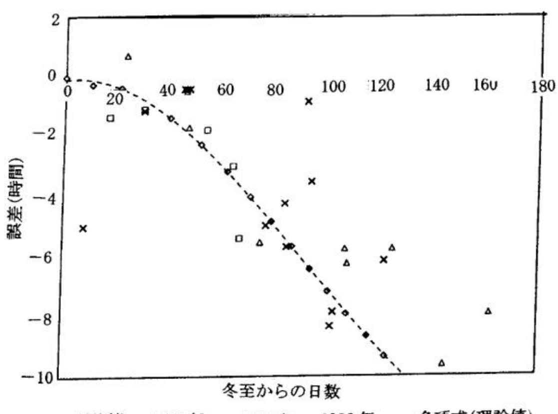


図3　貞享元年以降の渋川春海の冬至の測定値と理論値（1684）

注：春海の測定値は渡辺敏夫（1987）p.513-514に記載の冬至の値

表7　理論値と各暦法の貞享元年（1684）冬至と同年11月朔の時刻の比較

	常気	時間差	定気	時間差	11月定朔	時間差
貞享暦	12.9316	−	13.1520	−	59.0137	−
理論値（京都）	(13.2257)	(7.06)	13.2257	1.77	58.9961	−0.42
回回暦（里差4.5刻）	12.9472	0.38	13.1744	0.54	59.0534	0.95
回回暦と授時暦の平均	12.9328	0.03	−	−	−	−
授時暦（里差5刻）	12.9184	−0.32	12.9184	−5.61	59.0368	0.55
宣明暦（里差7刻）	14.9575	48.62	14.9575	43.33	59.0308	0.41
大統暦（里差4.5刻）	13.0750	3.44	13.0750	−1.85	59.0313	0.42

注：理論値と回回暦の値は逐次近似で計算した。各暦法の数値は里差の補正済み。回回暦には回回暦の均時差（冬至で15.9分，11月朔で22.8分）を加えてある。理論値は時憲暦と同等であるため比較のため均時差の補正はしていない。授時暦は高麗史の授時暦。

6．延宝3年5月の日食の各暦法による計算結果の比較

ここでは渋川春海が『食考』で予測をはずした延宝3年5月の日食を各暦法で計算し貞享暦で改善した項目を検証する。計算は春海が明らかにしている宣明暦，授時暦，大統暦の他に回回暦でも行ったが，大統暦と回回暦では「食無」の予測となった。とくに回回暦は南京（北緯32度）での視差に特化した暦数のままなので，この日食のように北部で起きる日食は予測に不利である。ここでは宣明暦，元史・授時暦，高麗史・授時暦と貞享暦での食の計算結果を表8に示す。春海は授時暦（高麗史）の日食予測を「食無」としているが，元史・授時暦は「29秒」（1分は100秒）の浅い日食を予測している。したがって，春海が元史・授時暦を使っていれば完全には予測を外しておらず，授時暦での改暦が実現していた可能性もある。高麗史・授時暦では日食の時刻が正午により近いので視差の影響が大きく日食限からはずれている。

日食の計算手順を表8で簡単に説明する［項目1］。始めに暦の計算を行う。これはまず円運動での黄経が同じになる時刻（経朔）を計算し，それに太陽と月の変動分を加えて，楕円運動での朔（定朔）を求める。［項目2］つぎに経朔の時刻での月の軌道上の位置（降交点からの離角）を計算する。これも暦の計算と同じく円運動での位置を求めた上で太陽と月の変動分を加え，楕円運動での月の位置（入交定度）を求める。［項目3］次に日食の時刻に応じて視差を調整し日食の起きる範囲（日食限）を移動させる。［項目4］最後に入交定度が日食限の範囲内にあれば日食があると判断し（日食限－去交度）/日食限で食分を計算する。食限に近いほど食分は小さい。

高麗史・授時暦と貞享暦を比べると，まず，［項目1］で経朔時刻が約500分増えている

のは里差（経度差）のためである。太陽の変動分が約215分増えているのは近日点の移動を考えたためである。つぎの月の変動分が－120分なので全体として変動分は約95分増えている。つぎに［項目2］では入交汎度（円運動での月の軌道上の位置）はほぼ同じで＋0.04であるが，太陽の変動では＋0.26，月の変動分では＋0.38と合計で0.68度増加している。［項目3］では正交度は－0.66悪化しているが，南北定差が＋1.33改善し最終の「正交限度」では0.71度改善している。南北定差の改善は主に食甚時刻が遅れたためでこれは里差による。結果として，［項目4］では食分が「食無」から「1分39秒」までに改善している。

以上により延宝3年5月の日食の結果から日食計算方法をおもに改善した点は，①［2.月の位置］における太陽の変動分，②同じく月の変動分，それに③［2.日食限の計算］の南北定差であることが分かる。貞享暦の改善点では近日点の移動と里差の導入はこの日食に関連してとりあげられるが，②の月の変動分の考慮についてはこれまで取り上げられていない。表8の宣明暦の日食の位置の月変動分は＋0.39と貞享暦とほぼ同じである。春海はこの改善を宣明暦と授時暦の比較から発見したものと考えられる。月の変動分の食計算への影響は唐代の暦法では加えていたが授時暦では無視していた。延宝3年5月の日食で高麗史・授時暦が予測をはずしたのはこれも一つの原因である。しかし，春海は宣明暦に習ったことが公になるのを嫌ったためかこの改善は明示していない。この日食を宣明暦が正しく予測したのを現代では宣明暦への誤解から偶然との評価もあるが，春海は計算結果の比較によりその原因を正しく検証し貞享暦に取り入れていたことになる。

また授時暦と宣明暦の比較では，宣明暦法の入交汎度の値が経年誤差により約1.3度良いが，貞享暦は授時暦の定数のままとしている。この他にこの表には入れていないが春海は貞享暦で食分が小さい場合（日食5分以下，月食8分以下）に食の時刻を調整する「時差」を導入している。これは日食記録の検証のなかで生まれた考えと思われるが，食分が小さい日食だけ食時刻を移動させるのは論理的ではない。

表8　延宝3年5月の日食の各暦法による計算結果（貞享暦の詳細は別項－2を参照）

	宣明暦		元・授時暦		高麗・授時暦		貞享暦		CとD
	A		B		C		D		の差分
1. 暦の計算									
常朔	24	1756.0	24	1688.4	24	1488.4	24	1990.5	(502.1)
太陽変動分		32.1		−39.5		−38.9		176.7	(215.5)
月変動分		3715.5		4007.1		3963.5		3843.2	(−120.2)
合計		3747.6		3967.6		3924.6		4019.9	(95.3)
定朔	24	5503.6	24	5656.0	24	5413.0	24	6010.4	(597.4)
2. 月の位置									
入交汎日	26	4991.1	26	4015.6	26	4015.6	26	4043.5	
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
（太陽軌道位置）				(183.7)		(183.7)		(177.4)	
月変動分		0.39		−		−		0.38	0.38
入交定日	26	5316.1							
入交定度		354.69		352.90		352.91		353.59	0.68
3. 日食限の計算									
正交日	26	8979.3							
正交度		359.59		357.64		357.64		358.30	−0.66
気差定数		2.99							
刻差定数		0.00							
南北定差				3.09		3.58		2.25	1.33
東西定差				−0.05		−0.03		−0.08	0.04
正交限日	27	1218.6							
正交限度		362.59		360.67		361.19		360.48	0.71
4. 食分の計算									
去交分		5902.6							
去交度		7.89		7.77		8.28		6.89	1.39
日食限		9.64		8.0		8.0		8.0	
食分		1.81		0.29		−0.35		1.39	
		2分弱		29秒		食無		1分39秒	
（最大食分）		（10分）		（10分）		（10分）		（10分）	

注：宣明暦の計算は日法8400分で計算するが，上記表では授時暦と同じ日法10000分に変換してある。また日食計算は日分で行うがこれも比較のため月の平均速度13.36875度をかけて角度に変換した。また食分についても宣明暦は最大食が15分なので，上記日食では3分弱であるがこれも授時暦の最大10分で変換している。なお食分の1分は100秒。

7．貞享暦が影響受けた暦法や記録のまとめ

貞享暦修正点の検証を通じて，貞享暦が影響を受けた暦法や観測記録をまとめたものが表9である。従来貞享暦は授時暦をもとに近日点移動の修正と里差で日本の経度に合わせただけの暦法と評価されてきたが，この表を見ると貞享暦の改編には回回暦の影響を大きく受けていることがわかる。とくに近日点の移動についてはこれまで『天経或問』を通じての西洋天文学の影響と考えられてきたが，イスラム天文学（回回暦）の影響であったことが明確になった。また時代遅れとされた宣明暦にもとづく改良もある。これらの点について春海は明らかにしていないが，国産暦とする「大和暦」による改暦の実行には回回暦や宣明暦の影響は隠す必要があったものと思われる。また元史の授時暦は寛文12年（1672）には日本で版刻もされているので，春海もこの版を利用可能であったが，最後まで高麗史の授時暦をベースにしている。これは元史とは違う版の授時暦を使うことで貞享暦の分析を防ぐ狙いがあったとも考えられる。また，貞享の改暦は渋川春海の観測にもとづいたものとする考えもあるが，表9の内容からみても，授時暦から貞享暦への改編はおもに文献をもとにした計算により成されたと考えられる。

表9　貞享暦に影響を与えた暦法や記録のまとめ

No.	修正項目	影響を与えた暦法や文献	
		暦法や文献	観測記録
1	主要暦数	授時暦	
2	近日点移動の暦数（暦応）	回回暦	延宝3年（1675）6月日食
3	太陽の変動分の暦数（盈縮差）	ピークは回回暦，周辺は授時暦との平均値	
4	月の変動分の暦数（遅速差）	ピークは授時暦，周辺は回回暦との平均値	
5	定朔の計算方法	回回暦	
6	冬至の時刻	当初授時暦，3年目から回回暦との平均値	冬至の観測記録
7	里差	地図/地球儀	延宝3年（1675）6月日食
8	日食計算での月の変動分	宣明暦	延宝3年（1675）6月日食
9	食限の修正	－	過去の日食記録
10	時差（食甚時刻の調整）	－	過去の日食記録

注：春海が貞享暦の検討に使用したと推定される暦法書（いずれも確証はない）
授時暦：高麗史に載る『授時暦』（閏転交応の三応のみが元史と違う）。
回回暦：朝鮮実録の『七政算外篇』（明史『回回暦』や四庫全書『七政推歩』と同じ）。
もしくは，江戸城紅葉山文庫に伝わる明の周相が隆慶3（1569）頃に重刊した『回回暦法書』。
大統暦：『壬癸録1』p.5に書名の見える『大統暦通軌』。
宣明暦：確証はないが授時暦同様に高麗史の『宣明暦』を使っていた可能性がある。

8．まとめ

授時暦は中国暦法の頂点を極めた暦法でありその改良の余地は無いとされ，それを引き

継いだ大統暦でも微修正しか行われなかった。また中国では授時暦が編纂された元の時代から明にかけて同じ天文組織のなかで中国とイスラムの天文台が併存し活動していたが，ついに両者を統合した暦法が作られることはなかった。本稿の検証により渋川春海は中国においても試みられなかった授時暦をもとにイスラム暦（回回暦）の暦数を融合することにより，さらにそれらを越える暦法を目指していたことを明らかにすることができた。貞享暦の改暦は実測による精密な検証はともなっていないと考えられるが，これまでにないイスラム暦法を取り入れた暦法であり，中国古来の暦法を最後に一歩進めそれを実際に施行した意義は大きいといえる。

謝　辞

貞享暦法に関連し横塚啓之氏からは私家版の「貞享暦日食計算法」および「貞享暦月食計算法」や授時暦関係の中国論文資料等を御提供いただき御礼を申し上げる。

別項－1　中国暦法の暦計算の考え方

ここでは中国の暦法の一般的な考え方を解説する。

1．経朔による暦

太陽と月が等速円運動と仮定し黄経が重なる時を朔とし，朔を含む日を朔日（1日）とする。経朔による暦は，太陽年，朔望月，置閏法（閏月の置き方），暦元が基本定数となる。

1) 太陽年（一年間の平均日数：約365.24日）：地球の春分点から春分点までの日数の平均であるが，古代では冬至の日時を測りその間隔から求めた。
2) 朔望月（新月から新月までの日数：約29.53日）：朔は太陽と月の黄経が一致する時で新月にあたる。朔を含む日が太陰暦での月の1日目になる。望は満月のことで，朔望月はそれぞれの平均間隔日数である。年数を置いた日食や月食の間隔（日数）を太陰暦の月数で割ることなどで求められる。
3) 置閏法（閏月の置き方）：古代中国では19年7閏法が基本であったが，その後さらに精密化した。太陰暦では太陽暦との間に一年（12ヶ月）当たり10.88日（365.24日－29.53日×12月）のずれが生まれるため，このずれをなくすために3年に1回程度閏月を置いて調整する。しかし3年に1回ではまだ3.11日（10.88日×3年－29.53日）のずれが残る。古代では最終的に19年に7回閏月を置く「19年7閏法」が用いられた。この場合のずれは0.01日（10.88日×19年－29.53日×7月）とわずかである。実際の閏月

の置き方は，1太陽年を12等分した間隔（365.24/12＝30.44日）で冬至から順に中気を置き，朔とつぎの朔との間に中気がない場合にその月を閏月とした。これは19年間に中気は228回（12回/年×19年）あるが，この間に月は235ヶ月（365.24日×19年/29.53日）あるので，結果としてその差の7ヶ月が中気の無い閏月となる[注18]。この19年は章と呼ばれ11月1日に冬至がある日から始まりそれを19年周期で繰り返すので，章の最初の日は「朔旦冬至」として祝った。

4) 暦元：過去に遡り，太陽年，朔望月，干支などの周期の値が午前零時に0（開始点）となる冬至の日。中国の一般的な暦法の造暦では11月冬至が気首なので，暦元の日は11月朔（1日）で，干支が甲子（0），月の公転軌道上（近点月）の位置も0の地点にある。

5) 暦は暦元から，太陽年の間隔で冬至を置き朔望月の間隔で月朔を置くことで作る。そのとき，冬至を含む月が11月である。また太陽年（365.24日）を12等分した間隔で中気を置く。そして，11月から順次各月の名前をつけていき，もし月の中に中気が無い場合その月は閏月となる。

具体的に暦元から n 年先の暦を作る場合を説明する。

まず暦元から前年の冬至までの日数（積日）を計算する。積日は太陽年と n 年（積年と呼ぶ）をかけたものである。その積日を60で割った余りが冬至の日の干支となる。なお本稿の干支の計算結果には整数部と小数部があるが，整数部は0（甲子）から59（癸亥）までの干支番号を示し，小数部はその日の時刻を日の小数で示すものである。ただし，小数部は1日の分数（授時暦や貞享暦は10000分）を分母にした分数として表示した場合や，その分子の部分のみ表示している箇所もある。

冬至は11月にあるので暦元から11月朔までの日数（朔積日）は朔望月×m（暦元からの月数）となる。したがって冬至の日と11月朔との日数の差（これを閏余と呼ぶ）は積日を朔望月で割った余りとなる。冬至の干支から閏余を引くことで11月朔の干支が求まる。その後順次朔望月の日数を足すことにより12月以降の月朔の干支がもとまる。具体的な計算は以下となる。暦元，太陽年，朔望月の定数は各暦法により定義される。

積日＝太陽年（365.24）× n 年（積年） …（1）

冬至（11月中気）の干支＝mod（積日,60日） …（2）

12月中気の干支＝冬至の干支＋太陽年/12（約30.44日） …（3）

閏余（冬至と11月朔の日数差）＝mod（積日，朔望月）＝mod（積日，29.53日） …（4）

11月経朔の干支＝冬至の干支－閏余 …（5）

12月経朔の干支＝11月経朔の干支＋朔望月（約29.53日）　… (6)

以降の月朔は順次朔望月を足し，もし60を超えたら60を引いた残りが干支となる。

その後11月から順次月の名前を付けていき，中気がその月にないと閏月とする。

なお mod（A, B）はAをBで割った余りを与える演算式である。

2．暦元を太古に置かない暦法の考え方（授時暦，貞享暦など）

授時暦は暦元を太古に置く考え方を改め，暦元を暦法施行年の至元18年（1281）とした。このため暦元での干支などの値が0ではないため，授時暦ではこれを調整するための補正の定数を定義した。節気の補正定数として「気応」，朔の補正定数として「閏応」，月の公転の補正定数として「転応」，また食の周期の補正として「交応」を導入し，古暦と同様の考え方で計算できるようにしている。また中国古代の暦法は11月の冬至を計算の起点としているが授時暦や貞享暦も同様である。ここで「気応」を宣明暦の暦元を変更した場合を例に説明すると以下となる。宣明暦では暦元を暦の採用された長慶2年（822）から7070138年前にとっており，また一年の長さは3068055分（1日が8400分）である。

上記（1）及び（2）式より，長慶2年の暦の起点となる冬至の干支を計算すると，

積日＝太陽年×積年＝（3068055/8400）×7070138

冬至（11月中気）の干支＝ mod（(3068055/8400）×7070138,60）＝48.7607（壬子）

ここで，仮に暦元を長慶2年の100年前に設定した場合（2）の計算結果は以下となる。

仮の干支＝mod（(3068055/8400）×100,60）＝44.4643

このときの本来の冬至の干支と仮の干支の差を補正する定数を「気応」と呼ぶ。

気応＝冬至（11月中気）の干支－仮の干支＝48.7607－44.4643＝4.2964

したがって，冬至（11月中気）の干支は100年前を暦元とした場合つぎの計算式で計算できる。

冬至（11月中気）の干支＝ mod（(3068055/8400）×（100年前からの積年），60）＋気応（4.2964）

たとえば変更した暦元でつぎの年（長慶3年）の暦の起点となる冬至を計算すると，

冬至（11月中気）の干支＝ mod（(3068055/8400)×(101)，60)＋(4.2964)

＝49.7089＋4.2964＝54.0054

となる。これは最初の計算で積年を7070138＋1年とした場合と同じ結果となり，計算が簡略化されることが分かる。同様の考え方で「閏応」,「転応」,「交応」が定義される。

3．定朔（太陽と月が変速運動）による暦

経朔での暦の計算は太陽と月の等速円運動を前提としているが，実際には太陽も月も楕

円軌道上を変速運動している。また月の公転には太陽の引力の影響も受ける。このような変速運動を前提とした朔を定朔という。定朔による暦は唐代の初めに導入された。

太陽と月の黄道上の経度は現代の式では西暦2000年の年初を起点としてつぎの式になる。

太陽の視黄道経度（°）：$Ls = 280.4665 + 0.98565 \times d + \alpha$ … (7)

月の視黄道経度（°）：$Lm = 218.3161 + 13.17640 \times d + \beta$ … (8)

α：太陽の速度の変動分，β：月の速度の変動分，d：2000/1/1 12hからの日数

両式より太陽と月の黄道経度が同じになる定朔の日時（dt）を求めると以下となる。

$$dt = 5.0982 + 29.53059 \times n + \alpha\,(\mathrm{dt})\ /12.19\ - \beta\,(\mathrm{dt})\ /12.19 \quad \cdots (9)$$

この式は，2000年1月1日午後0時から約5.1日目が最初の朔で，それから約29.53日毎に朔が起きることがわかる。この変動分を入れない朔を経朔と呼び，また後半の変動分まで入れた朔を定朔と呼ぶ。$\alpha/12.19$，$\beta/12.19$の値は現代では三角関数の数式で与えられるが，中国の暦の計算では季節と月の軌道上の位置を変数として表形式で値（時間）が与えられる。この変動分を現代の式から導くと以下のようになる。

1）太陽の変動分

地球が太陽の周りを楕円運動することによる変動分を（10）式に示す[注19]。これは中心差とよばれるもので第2次項までとった。この式より，太陽の変動分は一年の周期（近点年）で朔の時刻に最大0.157日の変動を与える。第2次項は変動を非対称にする。

$$\begin{aligned}\alpha/12.19 &= 1.914602 \times \sin\,(360/365.2596 \times d + 357.53)\,/12.19 \\ &\quad + 0.019993 \times \sin\,((360/365.2596 \times d + 357.53) \times 2)\,/12.19 \\ &= 0.157 \times \sin\,(360/365.2596 \times d + 357.53) \\ &\quad + 0.00164 \times \sin\,((360/365.2596 \times d + 357.53) \times 2) \quad \cdots (10)\end{aligned}$$

図1に理論値及び貞享暦に関係の有る暦法の値を示す。

2）月の変動分

月に対する変動分の値の大きな方から4つの項（中心差（1，2次），出差，二均差）は以下となっている。出差，二均差は太陽からの引力の影響である。

中心差1次項：$6.288877 \times \sin\,(360/27.5545 \times d + 134.963)$ … (11)

出差　　　　：$1.274027 \times \sin\,(360/31.8119 \times d + 100.737)$ - … (12)

二均差　　　：$0.658314 \times \sin\,(360/14.7652 \times d + 235.700)$ … (13)

中心差2次項：$0.213618 \times \sin\,(360/13.7772 \times d + 269.927)$ … (14)

合計＝$\beta/12.19$＝（中心差1次＋出差＋二均差＋中心差2次）/12.19 … (15)

これらの式とその合計を経朔の時刻で計算し，公転周期（近点月）で並べた結果が図2

である。月の変動分は公転周期（近点月）の約27.55日周期で変動し，合計値の変動値の最大は約0.4日となっている。図3に理論値および貞享暦に関係の有る暦法の値を示す。中国の暦法では月の変動分に出差を含めていないという誤解があるが図3のように出差を含めた理論値にほぼ一致することから数値的には出差は含まれている[注20]。ただし，授時暦も左右対称なので中国暦法では二均差や中心差2次分は観測できていない。

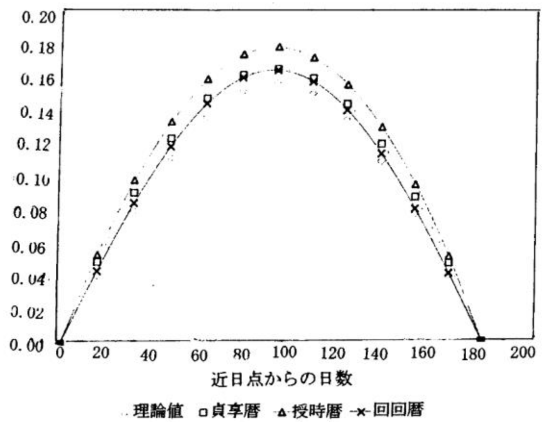


図1　各暦法の太陽変動分の比較（半周期，理論値＝$\alpha/12.19$）

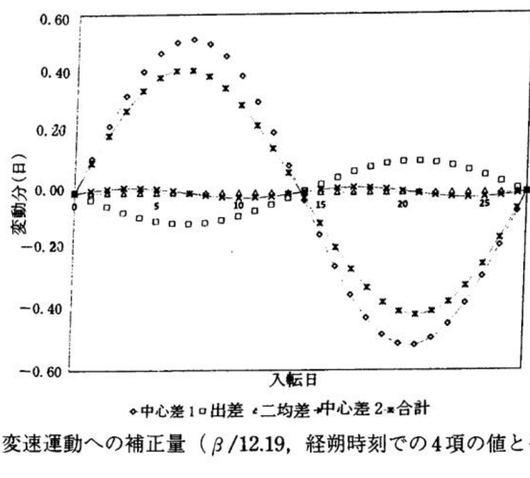


図2　月の変速運動への補正量（$\beta/12.19$，経朔時刻での4項の値とその和）

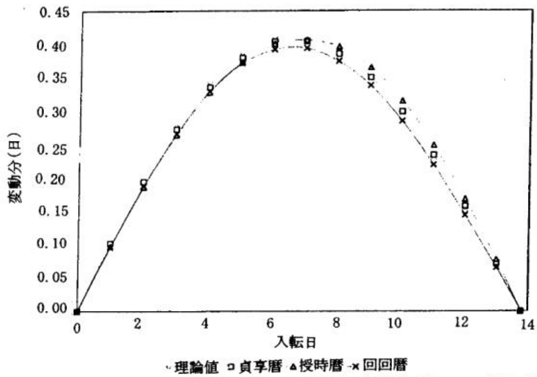


図3　各暦法の月変動分との比較（理論値＝β/12.19）

3)　定朔時刻の決定

宣明暦に代表される唐代の暦法では（β/12.19）は一年の節気をパラメータとして，（β/12.19）は月の公転周期における日付をパラメータとして値が数表で与えられている。しかし式（3）での α，β は「経朔（dk)」時刻ではなく「定朔（dt)」時刻の値なので，日食のように正確な定朔時刻 dt が必要な場合には再度 d を代入しなおして逐次近似を行う必要があり，その方法も暦法に記載されている。しかし，実際には「経朔（dk)」の時刻一回の計算で終わることが一般的であった。すなわち以下の式で「定朔（dt)」を計算していた。

dt ≒ 経朔時刻＋ α（dk）/12.19－ β（dk）/12.19　…（16）

この不正確さを改善するために授時暦ではつぎの考え方を導入した。

dt ≒経朔時刻＋（α（dk）－ β（dk））/月の相対実速度

＝経朔時刻＋（α（dk）/12.19－ β（dk）/12.19）×12.19/月の相対実速度（西洋度）

＝経朔時刻＋（α（dk）/12.19－ β（dk）/12.19）×月の平均速度/月の実速度（中国度）

＝経朔時刻＋（盈縮差－遅疾差）/月の実速度　…（17）

授時暦では太陽の速度を無視して月の実速度で割っていると誤解されるが実際には変動分（α/12.19－ β/12.19）に月の平均速度（13.36875）をかけたうえで月の実速度で割っている。同様に貞享暦では月と太陽の平均相対速度をかけたうえで月と太陽の相対実速度で割っている。

4．日食計算の考え方

4.1　入交定日の計算

ここでは古代暦法による日食計算の考え方を説明する。

太陽は黄道を365.25日かけて一周し，同様に月は白道の上を27.32日かけて一周している。

それにより約29.53日ごとに月が太陽に追いつき月朔となる。黄道と白道が同じ傾きであれば月朔ごとに日食が起きることになるが，白道は黄道に対し約5.13°傾いているので，地球から見て通常は太陽と月は重ならない。しかし，黄道と白道が交わる昇交点/降交点付近で朔になったときに太陽と月が重なり日食が起きることになる。

日食計算は，まず等速運動での入交汎日（月が昇/降交点を横切る時刻と太陽を横切る時刻の差）を計算する。つぎに入交汎日に変速運動補正分を足して入交定日を計算する。その結果の入交定日が降（昇）交点から一定の範囲内にあれば，日食の可能性ありとなる。

入交定日は，月が降（昇）交点を横切る時刻（**dx**）と太陽を横切る時刻（**dm**：月朔）の差になる。降（昇）交点は約18年周期で逆行する運動をしていて現代の式で表すと（18）式で表せる。月の運動は（19）式の通りである。なお**d**は2000/01/01 12hよりの日数。

降（昇）交点黄経（°）　：$Lx = 305.0445 - 0.05295 \times d$　…（18）

月視黄道経度（°）　：$Lm = 218.3164 + 13.17640 \times d + \beta$　…（19）

月が降（昇）点を横切る時刻**dx**は，**Lx**から**Lm**を引いて求めると（20）式のようになる。また月が太陽を横切る月朔の時刻は（21）式である。

（降交点－月）経合時刻：$dx = 6.5557 - \beta/13.22935 + 27.21222 \times n$　…（20）

（太陽－月）経合時刻：$dm = 5.0984 + 29.53058 \times n + \alpha/12.19 - \beta/12.19$　…（21）

したがって，入交定日（月が昇/降交点を横切る時刻と太陽を横切る時刻の差）は以下となる。

入交定日＝$dm - dx = 25.75492 + 2.31836 \times n + \alpha/12.19 - (27.21/346.35) \times \beta/12.19$　…（22）

この式から，最初の朔の時は降交点より25.75492日目にあり，次回の朔では約2.32日加えたところとなる。なお27.21222を超えたらそれを引く。ちなみに授時暦で計算すると25.7541，貞享暦では25.75229である[注21]。変動分は太陽については定朔の計算と同じで，月についてはβに27.21/346.35をかけるので定朔の計算にくらべ約1割の影響となる。宣明暦のような唐代の暦法はこの式で入交定日を求めている。授時暦では月の平均速度をかけた角度（入交定度）で食の判定をおこなっている，また最後の項（月の影響）は小さいとして無視している。貞享暦では月の影響分を復活しているが（27.21/346.35＝1/12.73）ではなく（1/月の相対速度）なので結果が若干違う。

4.2　日食限（昇/降交点から日食の起きる範囲）

先に述べたように，黄道と白道が同じ傾きであれば月朔毎に日食が起きることになるが，黄道を基準にすると白道は5.13°傾いているため，太陽と月は昇/降交点の近くで朔となっ

た場合のみ重なり日食となる。太陽と月が重なる昇/降交点からの最大の角度を日食限という。この角度を平均値の概算値で計算すると以下となる。

日食の起きる範囲（平均）＝（月の視半径＋太陽の視半径＋視差）/ tan (5.13)

＝（atan（月半径/距離）＋atan（太陽半径/距離）＋atan（地球半径/月迄の距離））/tan (5.13)

＝（atan（1737.4/384400）＋atan（696200/149597900）＋atan（6378/384400））/tan（5.13）

＝（0.2590＋0.2666＋0.9506）/tan（5.13）＝1.4762/0.0898＝16.44°　　…（23）

したがって，昇/降交点を挟んで約33°が日食限となる。しかし，これは全地球上で見える日食の範囲で，唐代の暦法以降では中国で見える日食のみに限っている。具体的には降交点から昇交点の間で日食が起きる場合（陽暦の日食），月の黄道緯度はマイナスとなるため月の影が落ちるのは主に赤道より南側になる。このような日食は中国で見える確率は少ないので日食限に入れず，授時暦の場合陰暦側の14度（陰暦限度8度，陽暦限度6度）のみとしている。貞享暦もほぼ同じで14.2度としている（陰暦限度8度，陽暦限度6.2度）。図4参照。また宣明暦の場合も陰暦9.64度（6060分/8400分）陽暦4.20度（2640分/8400分）合計13.84度とほぼ同じ日食限の値である。なお14（14.2）度は西洋度では13.8（14.0）度となる。

実際の日食の計算ではこれに視差の影響を考慮して日食限を移動する。

貞享暦施行期間（1685～1754）での各暦法による京都での日食予測の的中率比較を表1に示す。食分の浅い日食を除くと貞享暦の的中率が良い結果を示している。なお，授時暦と宣明暦についてはもとの暦法のままで里差の補正はしていない。

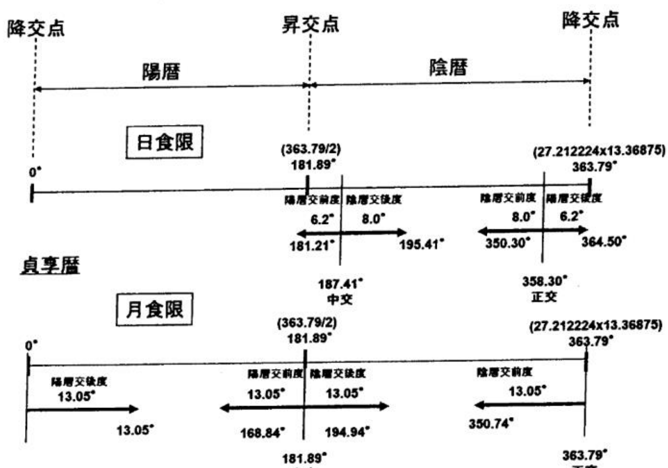


図4　貞享暦の中交/正交（補正前）と日食限/月食限の関係

4.3　月食限（昇/降交点から月食の起きる範囲）

月食の起きる範囲も同様に以下の式で計算できる。

月食の起きる範囲（平均）＝（月の視半径＋地球の影の視半径）/ tan（5.13）

＝（0.2590 ＋atan（地球の影の半径/月までの距離））/tan（5.13）

＝（0.2590 ＋atan（4605/384401））/tan（5.13）

＝（0.2590 ＋0.686）/tan（5.13）＝10.53°　…（24）

地球の影の半径＝0.6378－（69.62－0.6378）/14959.79×38.44

＝0.6378－0.17725＝0.46055万km　…（25）

太陽半径＝69.62万km,太陽までの距離＝1459.79万km

授時暦/貞享暦では月食限を13.05度（12.86°：西洋度）としているので平均より約22%大き目である。図4参照。宣明暦では15.50度（15.28°）としていたのでそれに比べ授時暦/貞享暦は約16%小さくしている。これは宣明暦では半影食を全体の２割程度予報していたためそれを防ぐための改良である。しかし，依然22%大きいので半影食を予測してしまう可能性は高い。図5に各暦法で予報された半影食の数を示す。このグラフを見ると500～600年周期で「部分食に近い半影食」が少ない時期があり，貞享暦の実施された1600年後半から1700年代にかけても偶然この時期にあたり，月食限の大きさが顕在化しなかったと思われる。中国の暦法では月と地球の距離の変動を考慮せず，月の大きさを一定として計算しているところに，半影食を部分食として予測してしまう原因がある。

表1　貞享暦施行期間（1685～1754）での各暦法による京都での日食予測の的中率比較

暦法	項　目	予　想			発生した日食	的中率
		全数	食分1以下	合計	全数	
貞享暦	予測した日食	29	1	28	26	(92.9%)
	予測せずに起きた日食	3	2	1		
	総合			29	26	89.7%
授時暦暦	予測した日食	34	1	33	28	(84.8%)
	予測せずに起きた日食	1	1	0		
	総合			33	28	84.8%
宣明暦	予測した日食	35	0	35	28	(80.0%)
	予測せずに起きた日食	1	0	1		
	総合			36	28	77.8%

注：食分1以下の日食は計算から除いた。予測せずに発生した日食は分母に加えた。
日食の検証は筆者の日食シミュレーションソフトEmapwinで行った。

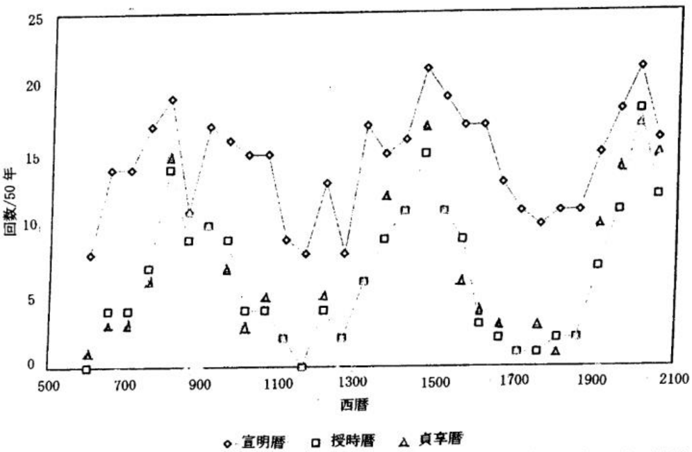


図5　各暦法で部分月食と予報される半影月食の数（50年毎の合計数）

注：月食の検証は筆者の月食シミュレーションソフトLmapwinで行った。

別項－2　貞享暦法による日食の計算例：延宝3年5月（1675/6/23）の日食

（貞享暦では5月までに閏月がないために日食が起きるのは6月となる）

なお，計算で使用しているC＝mod（A，B）はAをBで割った余りがCである。たとえばC＝mod（400,360）＝40である。

1．暦日の計算

1．1　常節気の干支を求める

貞享元年（1684年）から延宝3年（1675年）まで距算は

距算＝暦年－暦元（貞享元年）＝1675－1684＝－9　… (1)

歳実＝歳実＋消長＝3652416.96－距算/100 注22)

＝3652416.96＋9/100＝3652417.05　… (2)

中積＝積年×歳実＝－9×3652417.05＝－32871753.45　… (3)

通積＝中積＋氣応＝－32871753.45＋76900＝－32794853.45　… (4)

天正（11月）冬至日分＝mod（通積，旬周）＝mod（－32948653.45，600000）

＝205146.55（20：冬至日干支 5146.55：冬至分秒）　… (5)

次節気日分（小寒）＝天正（11月）冬至日分秒＋気策（15.218404）

＝mod（20.514655＋15.218404，60）＝35.733059　… (6)

以後の節気は気策を累加することで求める。

1.2 経朔の干支を求める

閏積＝中積＋閏応 ＝－32871753.45＋27790＝－32843963.45 … (7)

閏余＝ mod (閏積, 朔実) ＝ mod (－32843963.45, 295305.90) ＝ 230297.35 … (8)

朔積 ＝通積－閏余＝－32794853.45－230297.35＝－33025150.80 … (9)

天正 (11月) 経朔日分 ＝ mod (－33025150.80, 600000) ＝574849.20

＝57：天正経朔日 (余) 4849.20：天正経朔分秒 … (10)

6月経朔は7ヶ月先なので,

6月経朔日＝ mod (57.484920＋ 朔実×7, 60)

＝ mod (57.484920＋29.530590×7, 60) ＝ 24.199050 … (11)

1.3 太陽の運動に対する補正 (盈縮差) を求める

授時暦では盈縮暦を歳実で計算したが, 貞享暦では歳差を考慮した周天分で計算する。周天分に加えてある歳差の150分は授時暦と同じ。消長を考える場合には, その消長分を周天分に加える必要があるが貞享暦にはその規定はない。

周天分　＝ 3652566.96＝歳実 (1684) ＋歳差＝3652416.96＋150.0 … (12)

冬至縮暦＝ mod (中積－暦応, 周天分)

＝ (－32871753.45－64450, 3652566.96) ＝3589466.15 … (13)

天正 (11月) 入縮暦＝冬至盈縮暦－閏余

＝3589466.15－230297.35＝3359168.80 … (14)

6月朔の盈縮暦は7ヶ月先なので,

6月朔の盈縮暦＝mod (3359168.80+ 295305.90×7, 3652566.96)

＝mod (5426310.10,3652566.96) ＝ 1773743.140 … (15)

盈縮暦＞盈初縮末限 (89.253920) より6月朔は盈末②。

盈縮暦＝3652566.96/2－1773743.140＝52540.34 (5.254034限) … (16)

盈縮差は次式により計算する。

盈初①縮末④：

盈縮差＝ (4360000－ (34×初末限＋20000) ×初末限) ×初末限÷1億 … (17)

縮初③盈末②：

盈縮差＝ (4119800－ (31×初末限＋17640) ×初末限) ×初末限÷1億 … (18)

6月朔は盈末②なので, 5.254034限を (18) 式に代入する。

盈縮差＝ (4119800－ (31×初末限＋17640) ×初末限) ×初末限÷1億

＝ 0.21154 , また立成から　行度差＝0.96077 … (19)

行度差は末限5と末限6の盈縮差の差を1から引くことでも求められる。
盈縮差の符号は図1より盈末②は「＋」となる。

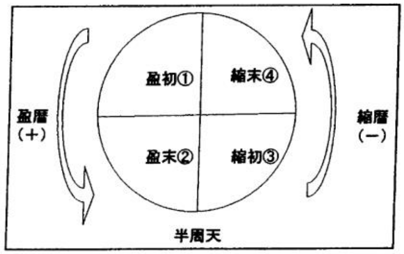


図1　盈縮暦の関係図

1.4　月の運動に対する補正（遅速差）を求める

天正（11月）経朔入転日分＝mod（中積＋転応－閏余，転終分）

＝mod（－32871753.45＋227200－230297.35, 275546）

＝mod（－32874850.80, 275546）＝190669.20　　… (20)

6月の入転日は，

6月経朔入転日分＝mod（190669.20＋295305.90×7, 275546）

＝53442.50　　… (21)

遅速差は次式により計算する。

遅初①速末④者：

遅速差＝（11731000－（400×初末限＋37000）×初末限）×初末限÷1億　　… (22)

速初②遅末③者：

遅速差＝（13240000－（500×初末限＋52000）×初末限）×初末限÷1億　　… (23)

5.344250日＜遅初速末限（7.154242）なので遅初暦（①）

初限＝53.442500で遅速差をもとめる。なお遅初暦（①）なので計算式は（22）を使う。

遅速差＝（11731000－（400×初末限＋37000）×初末限）×初末限÷1億

＝4.60203　　… (24)

行度差は遅初①の立成より，行度差＝1.293503となる。符号は図2から「＋」。

行度差は初限53と初限54の遅速差の差を1.336875から引くことでも求められる。

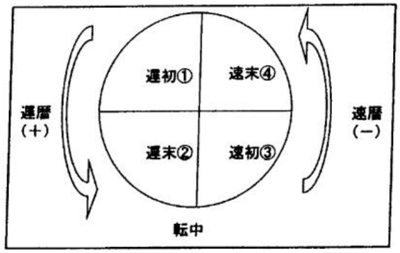


図２　遅速暦の関係図

1.5　定朔の計算

6月の定朔は,

日月行度＝入遅速限下行度－其日太陽行度/10

＝1.293503－0.96077/10.0＝1.19743　… (25)

加減差＝（盈縮＋遅速）÷（日月行差×10）

＝（0.21154＋4.60203）÷（1.19743×10）

＝0.017667＋0.384326＝0.401993　… (26)

定朔日＝6月経朔＋加減差＝24.199050＋0.401993＝24.601043（戊子）　… (27)

2．日食の計算

2.1　交定度を求める

天正経朔入交汎日＝mod (中積＋交応－閏余, 交終分)

＝mod (－32871753.45＋4900.00－230297.35, 272122.20)

＝mod (－33097150.80, 272122.20 ＝101757.60　… (28)

注：交応は貞享暦書では4800であるが，春海はこの日食には4900を適用している。

6月朔入交汎日は，7ヶ月先なので,

6月朔入交汎日及分秒＝mod（101757.60＋295305.9×7, 272122.20)

＝mod（2168898.90 , 272122.20)＝264043.50　… (29)

交積度＝経朔望入交汎日及分秒 × 月平行度

＝264043.50/10000×13.36875＝352.99315　… (30)

交常度＝交積度±盈縮差（盈加縮減)

＝352.99315＋0.21154＝353.20469　… (31)

交定度＝交常度±（遅速差/（行差×10))（遅加速減)

＝353.20469＋（4.60203/（1.19743×10))

= 353.20469＋0.38433 = 353.5890 … (32)

2.2　日食甚定分を求める

定朔分＝6010.43 なので，

定朔分（6010.43）＞在半日周（5000）：中後＝6010.43－5000＝1010.43 … (33)

時差＝（半日周－（中前/中後））×（中前/中後）÷8500

＝（5000－1010.43）×1010.43÷8500＝474.3 … (34)

食甚定分＝定朔分±時差（中前－，中後＋）＝6010.43＋474.3＝6484.7 … (35)

距午定分＝中前後分＋時差＝1010.43＋474.3＝1484.7 … (36)

2.3　経朔望入冬夏至後初末限を求める

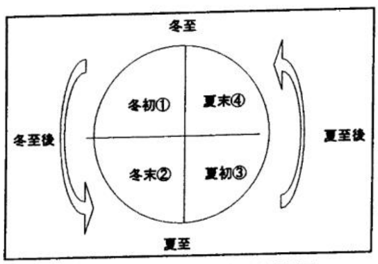


図 3　冬夏至後暦の関係図

天正経朔入夏至後暦＝歳実－閏余

＝3652417.05－230297.35＝3422119.7（夏末④）

＝230297.35 … (37)

食甚経朔6月入夏至後暦＝天正経朔入夏至後暦＋295305.9×7±加減差±時差

＝3422119.7＋295305.90×7＋4019.9＋474.3＝1841338.15（夏初③）

＝1841338.15－3652417.05/2＝15129.625 … (38)

6月朔の盈縮暦＝1773743.140：6月朔（盈末②）（項目1.3より）

6月食甚盈縮暦＝6月朔盈縮暦±加減差±時差（中前－，中後＋）

＝1773743.140＋4019.9＋474.3＝1778237.34

＝3652565.86/2－1778237.34＝48045.59（4.804559） … (39)

盈縮差＝（4119800－（31×初末限＋17640）×初末限）×初末限÷1億

＝0.19383186　限行度＝0.960409 … (40)

盈縮差の符号は図1より縮初③は「－」となる。

食甚入冬夏至暦定度＝1.5129625－0.19383186＝1.319131 … (41)

2.4　日食入陰陽を求める

別項－1　図4より交定度（353.5890）＜正交限（358.30）でこの日食は「陰暦交前日食」。

2.5　南北差を求める

日食甚入冬夏後定度＝1.3191（夏至後初③）

南北汎差＝4.46－初末限×初末限÷1870

＝4.46－1.3191×1.3191÷1870 ＝ 4.459 …（42）

半晝分 ＝ 3000（付表－3の「夏晝冬夜」の欄を冬夏至暦定度（1限）で引く）

…（43）

南北定差＝南北汎差－（南北汎差×距午定分÷半晝分）

＝4.459－（4.459×1484.7÷3000）＝2.2522 …（44）

表1より「夏至後初③」の「陰暦交前日食」なので符号は「＋」。

表1　南北定差の符号

	南北定差の符号			
	陽暦交前	陰暦交後	陰暦交前	陽暦交後
冬至後初①	＋	＋	－	－
冬至後末②	－	－	＋	＋
夏至後初③	－	－	＋	＋
夏至後末④	＋	＋	－	－

2.6　東西差を求める

東西汎差 ＝日食甚入冬至後定度×（半歳周－日食甚入冬至後定度）÷ 1870

＝1.3191×（182.620848－1.3191）÷1870＝0.12789 …（45）

東西定差＝東西汎差×距午定分÷（日周÷4）

＝0.12789×1484.7÷2500＝0.0760 …（46）

若し，結果が東西定差＞東西汎差ならば次式で計算する。

東西定差＝東西汎差×2－東西定差 …（47）

表2より「夏至後（午後)」の「陰暦交前日食」なので符号は「－」。

表2　東西定差の符号

	南北定差の符号			
	陽暦交前	陰暦交後	陰暦交前	陽暦交後
冬至後（午前)	＋	＋	－	－
冬至後（午後)	－	－	＋	＋
夏至後（午前)	－	－	＋	＋
夏至後（午後)	＋	＋	－	－

2.7 日食正交中交限度を求める

正交限度 ＝ 正交度±南北差±東西差

＝ 358.3 ＋ 2.2522 － 0.0760 ＝ 360.4762 …（48）

陰陽暦去交前後度は以下の式で計算する。

交定度＜中交限： 陽暦交前度＝中交限－交定度 …（49）

交定度＞中交限； 陰暦交後度＝交定度－中交限 …（50）

交定度＜正交限： 陰暦交前度＝正交限－交定度 …（51）

交定度＞正交限： 陽暦交後度＝交定度－正交限 …（52）

交定度（353.5890）＜正交限度（360.4762） より，

陰暦交前度＝360.4762－353.5890＝6.8872 …（53）

陰暦交前度が日食限内にあるので日食があることが確定する。

2.8 日食の食分を求める

陰暦なので食限＝8.0 定法＝80 を代入すると，

日食食分 ＝（陰陽暦食限－去交前後度）÷定法

＝（8.0－6.8872）÷80＝0.01391（1分39秒） …（54）

2.9 日食の時刻を求める

食甚定限行度初末限＝（経朔遅速暦±加減差±時差）×10

＝（53442.5＋4019.9＋474.3）×10＝579367.0 …（55）

57.9367＜遅初限（72.65343）なので，入定限行度初限＝57.9367（遅初①）

立成より 入定限行度＝1.301791，太陽行度は項目1.3より0.96077。

日月行差＝（入遅速限下行度－太陽行度/10）

＝1.301791－0.96077/10.0＝1.2057 …（56）

定用分＝ root（食分×（20－食分））/100.0×6500÷入定限行差

＝ root（1.391×（20－1.391））/100.0×6500÷1.2057＝274.3 …（57）

時差（交前加交後減）＝ root（5－1.391）/100.0×6500÷1.2057＝102.4 …（58）

（食分が5以上の日食の場合には時差はなし。）

食甚定分＝6484.7，初虧復末時差＝＋102.4（交前なので符号は「＋」）より，

初虧時刻＝食甚定分－定用分±時差

＝ 6484.7－274.3＋102.4 ＝ 6312.8 …（59）

復末時刻＝食甚定分＋定用分±時差

＝6484.7＋274.3＋102.4＝6861.4 …（60）

『貞享暦議』にある食分の計算結果との比較が表3である。これにより『貞享暦議』の日本の過去の日食には交応を『貞享暦法』の4800ではなく4900として計算したと推定される。

表 3　『貞享暦議』と計算値の食分の比較

	計算値（1分は100秒）			『貞享暦議』（掲載頁）
	交応（4800）	交応（4871）	交応（4900）	
延宝3年6月（1675）	1分22秒	1分34秒	1分39秒	1分40秒（p.80）
推古36年3月（628）	9分34秒	9分49秒	9分55秒	9分55秒（p.64）

なお筆者の日食ソフトEmapwinで計算した延宝3年6月日食の結果は以下。

京都：食分 1分35秒　食甚16時13分（LMT，均時差補正済）（誤差40分程度）

江戸：食分 1分98秒

付表－1　太陽の立成

	①盈初（＋）／④縮末（－）			②盈末（＋）／③縮初（－）		
限度	盈縮加分	盈縮積度	限行度	盈縮加分	盈縮積度	限行度
0	0.043400	0.000000	1.043400	0.041021	0.000000	0.958979
1	0.042998	0.043400	1.042998	0.040667	0.041021	0.959333
2	0.042594	0.086397	1.042594	0.040310	0.081688	0.959690
3	0.042187	0.128991	1.042187	0.039952	0.121998	0.960048
4	0.041779	0.171178	1.041779	0.039591	0.161950	0.960409
5	0.041369	0.212958	1.041369	0.039229	0.201541	0.960771
6	0.040957	0.254327	1.040957	0.038865	0.240771	0.961135
7	0.040543	0.295283	1.040543	0.038500	0.279636	0.961500
8	0.040126	0.335826	1.040126	0.038132	0.318136	0.961868
9	0.039708	0.375952	1.039708	0.037762	0.356268	0.962238
10	0.039287	0.415660	1.039287	0.037391	0.394030	0.962609
11	0.038865	0.454947	1.038865	0.037018	0.431421	0.962982
12	0.038441	0.493812	1.038441	0.036643	0.468439	0.963357
13	0.038014	0.532253	1.038014	0.036266	0.505081	0.963734
14	0.037585	0.570267	1.037585	0.035887	0.541347	0.964113
15	0.037155	0.607853	1.037155	0.035506	0.577234	0.964494
16	0.036722	0.645007	1.036722	0.035124	0.612740	0.964876
17	0.036288	0.681730	1.036288	0.034739	0.647863	0.965261
18	0.035851	0.718017	1.035851	0.034353	0.682602	0.965647
19	0.035412	0.753868	1.035412	0.033965	0.716955	0.966035
20	0.034971	0.789280	1.034971	0.033575	0.750920	0.966425
21	0.034528	0.824251	1.034528	0.033183	0.784495	0.966817
22	0.034084	0.858780	1.034084	0.032789	0.817678	0.967211
23	0.033637	0.892863	1.033637	0.032394	0.850467	0.967606
24	0.033188	0.926500	1.033188	0.031996	0.882660	0.968004
25	0.032737	0.959688	1.032737	0.031597	0.914856	0.968403

26	0.032284	0.992424	1.032284	0.031196	0.946453	0.968804
27	0.031829	1.024708	1.031829	0.030793	0.977649	0.969207
28	0.031371	1.056536	1.031371	0.030388	1.008441	0.969612
29	0.030912	1.087908	1.030912	0.029981	1.038829	0.970019
30	0.030451	1.118820	1.030451	0.029572	1.068810	0.970428
31	0.029988	1.149271	1.029988	0.029162	1.098382	0.970838
32	0.029523	1.179259	1.029523	0.028750	1.127544	0.971250
33	0.029055	1.208781	1.029055	0.028335	1.156294	0.971665
34	0.028586	1.237837	1.028586	0.027919	1.184629	0.972081
35	0.028114	1.266423	1.028114	0.027501	1.212549	0.972499
36	0.027641	1.294537	1.027641	0.027082	1.240050	0.972918
37	0.027166	1.322178	1.027166	0.026660	1.267132	0.973340
38	0.026688	1.349344	1.026688	0.026237	1.293792	0.973763
39	0.026208	1.376032	1.026208	0.025811	1.320029	0.974189
40	0.025727	1.402240	1.025727	0.025384	1.345840	0.974616
41	0.025243	1.427967	1.025243	0.024955	1.371224	0.975045
42	0.024758	1.453210	1.024758	0.024524	1.396179	0.975476
43	0.024270	1.477968	1.024270	0.024091	1.420703	0.975909
44	0.023780	1.502237	1.023780	0.023657	1.444795	0.976343
45	0.023288	1.526018	1.023288	0.023220	1.468451	0.976780
46	0.022794	1.549306	1.022794	0.022782	1.491671	0.977218
47	0.022299	1.572100	1.022299	0.022342	1.514453	0.977658
48	0.021801	1.594399	1.021801	0.021900	1.536795	0.978100
49	0.021301	1.616199	1.021301	0.021456	1.558694	0.978544
50	0.020799	1.637500	1.020799	0.021010	1.580150	0.978990
51	0.020295	1.658299	1.020295	0.020562	1.601160	0.979438
52	0.019789	1.678593	1.019789	0.020113	1.621722	0.979887
53	0.019280	1.698382	1.019280	0.019661	1.641835	0.980339
54	0.018770	1.717662	1.018770	0.019208	1.661496	0.980792
55	0.018258	1.736433	1.018258	0.018753	1.680704	0.981247
56	0.017744	1.754691	1.017744	0.018296	1.699457	0.981704
57	0.017228	1.772434	1.017228	0.017837	1.717753	0.982163
58	0.016709	1.789662	1.016709	0.017376	1.735590	0.982624
59	0.016189	1.806371	1.016189	0.016914	1.752966	0.983086
60	0.015666	1.822560	1.015666	0.016449	1.769880	0.983551
61	0.015142	1.838226	1.015142	0.015983	1.786329	0.984017
62	0.014616	1.853368	1.014616	0.015515	1.802313	0.984485
63	0.014087	1.867984	1.014087	0.015045	1.817828	0.984955
64	0.013556	1.882071	1.013556	0.014573	1.832873	0.985427
65	0.013024	1.895628	1.013024	0.014100	1.847446	0.985900
66	0.012489	1.908651	1.012489	0.013624	1.861546	0.986376

67	0.011953	1.921141	1.011953	0.013147	1.875170	0.986853
68	0.011414	1.933093	1.011414	0.012667	1.888316	0.987333
69	0.010873	1.944507	1.010873	0.012186	1.900984	0.987814
70	0.010330	1.955380	1.010330	0.011703	1.913170	0.988297
71	0.009785	1.965710	1.009785	0.011218	1.924873	0.988782
72	0.009239	1.975496	1.009239	0.010732	1.936092	0.989268
73	0.008690	1.984734	1.008690	0.010243	1.946823	0.989757
74	0.008139	1.993424	1.008139	0.009753	1.957066	0.990247
75	0.007586	2.001563	1.007586	0.009260	1.966819	0.990740
76	0.007031	2.009148	1.007031	0.008766	1.976079	0.991234
77	0.006474	2.016179	1.006474	0.008270	1.984845	0.991730
78	0.005914	2.022652	1.005914	0.007772	1.993115	0.992228
79	0.005353	2.028567	1.005353	0.007272	2.000888	0.992728
80	0.004790	2.033920	1.004790	0.006771	2.008160	0.993229
81	0.004225	2.038710	1.004225	0.006267	2.014931	0.993733
82	0.003658	2.042935	1.003658	0.005762	2.021198	0.994238
83	0.003088	2.046592	1.003088	0.005255	2.026960	0.994745
84	0.002517	2.049681	1.002517	0.004746	2.032215	0.995254
85	0.001943	2.052198	1.001943	0.004235	2.036961	0.995765
86	0.001368	2.054141	1.001368	0.003722	2.041196	0.996278
87	0.000791	2.055509	1.000791	0.003208	2.044918	0.996792
88	0.000211	2.056300	1.000211	0.002691	2.048126	0.997309
89		2.056511	1.000000	0.002173	2.50817	0.997827
90				0.001653	2.052990	0.998347
91				0.001131	2.054643	0.998869
92				0.000607	2.055773	0.999393
93				0.000081	2.056380	0.999919
94					2.056461	1.000000

注：1）盈初①縮末④は別項－2の（17）式，盈末②縮初③は（18）式で計算する。
2）盈縮加分は前後の限度での盈縮積度の差。
3）行度差は太陽の限平行度（1度）から盈縮加分を加減する。
4）この立成は計算式通りの結果を小数点以下6桁で記載。

付表－2　月の立成

	①遅初（＋）／④速末（－）			②遅末（＋）／③速初（－）		
限度	遅速加分	遅速積度	限行度	遅速加分	遅速積度	遅速限行度
0	0.116936	0.000000	1.219939	0.131875	0.000000	1.468750
1	0.116172	0.116936	1.220703	0.130805	0.131875	1.467680
2	0.115384	0.233108	1.221491	0.129705	0.262680	1.466580
3	0.114572	0.348492	1.222303	0.128575	0.392385	1.465450
4	0.113736	0.463064	1.223139	0.127415	0.520960	1.464290
5	0.112876	0.576800	1.223999	0.126225	0.648375	1.463100
6	0.111992	0.689676	1.224883	0.125005	0.774600	1.461880
7	0.111084	0.801668	1.225791	0.123755	0.899605	1.460630
8	0.110152	0.912752	1.226723	0.122475	1.023360	1.459350
9	0.109196	1.022904	1.227679	0.121165	1.145835	1.458040
10	0.108216	1.132100	1.228659	0.119825	1.267000	1.456700
11	0.107212	1.240316	1.229863	0.118455	1.386825	1.455330
12	0.106184	1.347528	1.230691	0.117055	1.505280	1.453930
13	0.105132	1.453712	1.231743	0.115625	1.622335	1.452500
14	0.104056	1.558844	1.232819	0.114165	1.737960	1.451040
15	0.102956	1.662900	1.233919	0.112675	1.852125	1.449550
16	0.101832	1.765856	1.235043	0.111155	1.964800	1.448030
17	0.100684	1.867688	1.236191	0.109605	2.075955	1.446480
18	0.099512	1.968372	1.237363	0.108025	2.185560	1.444900
19	0.098316	2.067884	1.238559	0.106415	2.293585	1.443290
20	0.097096	2.166200	1.239779	0.104775	2.400000	1.441650
21	0.095852	2.263296	1.241023	0.103105	2.504775	1.439980
22	0.094584	2.359148	1.242291	0.101405	2.607880	1.438280
23	0.093292	2.453732	1.243583	0.099675	2.709285	1.436550
24	0.091976	2.547024	1.244899	0.097915	2.808960	1.434790
25	0.090636	2.639000	1.246239	0.096125	2.906875	1.433000
26	0.089272	2.729636	1.247603	0.094305	3.003000	1.431180
27	0.087884	2.818908	1.248991	0.092455	3.097305	1.429330
28	0.086472	2.906792	1.250403	0.090575	3.189760	1.427450
29	0.085036	2.993264	1.251839	0.088665	3.280335	1.425540
30	0.083576	3.078300	1.253299	0.086725	3.369000	1.423600
31	0.082092	3.161976	1.254783	0.084755	3.455725	1.421630
32	0.080584	3.243968	1.256291	0.082755	3.540480	1.419630
33	0.079052	3.324552	1.257823	0.080725	3.623235	1.417600
34	0.077496	3.403604	1.259379	0.078665	3.703960	1.415540
35	0.075916	3.481100	1.260959	0.076575	3.782625	1.413450
36	0.074312	3.557016	1.262563	0.074455	3.859200	1.411330
37	0.072684	3.631328	1.264191	0.072305	3.933655	1.409180
38	0.071032	3.704012	1.265843	0.070125	4.005960	1.407000

39	0.069356	3.775044	1.267519	0.067915	4.076085	1.404790
40	0.067656	3.844400	1.269219	0.065675	4.144000	1.402550
41	0.065932	3.912056	1.270943	0.063405	4.209675	1.400280
42	0.064184	3.977988	1.272691	0.061105	4.273080	1.397980
43	0.062412	4.042172	1.274463	0.058775	4.334185	1.395650
44	0.060616	4.104584	1.276259	0.056415	4.392960	1.393290
45	0.058796	4.165200	1.278079	0.054025	4.449375	1.390900
46	0.056952	4.223996	1.279923	0.051605	4.503400	1.388480
47	0.055084	4.280948	1.281791	0.049155	4.555005	1.386030
48	0.053192	4.336032	1.283683	0.046675	4.604160	1.383550
49	0.051276	4.389224	1.285599	0.044165	4.650835	1.381040
50	0.049336	4.440500	1.287539	0.041625	4.695000	1.378500
51	0.047372	4.489836	1.289503	0.039055	4.736625	1.375930
52	0.045384	4.537208	1.291491	0.036455	4.775680	1.373330
53	0.043372	4.582592	1.293503	0.033825	4.812135	1.370700
54	0.041336	4.625964	1.295539	0.031165	4.845960	1.368040
55	0.039276	4.667300	1.297599	0.028475	4.877125	1.365350
56	0.037192	4.706576	1.299883	0.025755	4.905600	1.362630
57	0.035084	4.743768	1.301791	0.023005	4.931355	1.359880
58	0.032952	4.778852	1.303923	0.020225	4.954360	1.357100
59	0.030796	4.811804	1.306079	0.017415	4.974585	1.354290
60	0.028616	4.842600	1.308259	0.014575	4.992000	1.351450
61	0.026412	4.871216	1.310463	0.011705	5.006575	1.348580
62	0.024184	4.897628	1.312691	0.008805	5.018280	1.345680
63	0.021932	4.921812	1.314943	0.005875	5.027085	1.342750
64	0.019656	4.943744	1.317219	0.002915	5.032960	1.339790
65	0.017356	4.963400	1.319519	−0.000075	5.035875	1.336800
66	0.015032	4.980756	1.321843			
67	0.012684	4.995788	1.324191			
68	0.010312	5.008472	1.326563			
69	0.007916	5.018784	1.328959			
70	0.005496	5.026700	1.331379			
71	0.003052	5.032196	1.333823			
72	0.000584	5.035248	1.336291			

注：1)　遅初①速末④は別項－2の（22）式，遅末②速初③は（23）式で計算する。
2)　遅速加分は前後の限度での遅速積度の差。
3)　限行度は月の限平行度（1.336875）から遅速加分を加減する。
4)　この立成は計算式通りの結果を小数点以下6桁で記載。
5)　貞享暦原文立成とは境界点（① ④の72限，② ③の65限）で値が若干違う。

付表－3　半晝分の立成（貞享暦原文のまま）

黄道積	冬晝夏夜	夏晝冬夜	晝夜差
0	2000.00	3000.00	0.06
1	2000.06	2999.94	0.21
2	2000.27	2999.73	0.36
3	2000.63	2999.37	0.51
4	2001.14	2998.86	0.66
5	2001.80	2998.20	0.81
6	2002.61	2997.39	0.96
7	2003.57	2996.43	1.11
8	2004.68	2995.32	1.26
9	2005.94	2994.06	1.41
10	2007.35	2992.65	1.56
11	2008.91	2991.09	1.71
12	2010.62	2989.38	1.86
13	2012.48	2987.52	2.01
14	2014.49	2985.51	2.16
15	2016.65	2983.35	2.31
16	2018.96	2981.04	2.46
17	2021.42	2978.58	2.61
18	2024.03	2975.97	2.76
19	2026.79	2973.21	2.91
20	2029.70	2970.30	3.06
21	2032.76	2967.24	3.20
22	2035.96	2964.04	3.34
23	2039.30	2960.70	3.48
24	2042.78	2957.22	3.62
25	2046.40	2953.60	3.76
26	2050.16	2949.84	3.90
27	2054.06	2945.94	4.04
28	2058.10	2941.90	4.18
29	2062.28	2937.72	4.32
30	2066.60	2933.40	4.46
31	2071.06	2928.94	4.59
32	2075.65	2924.35	4.72
33	2080.37	2919.63	4.85
34	2085.22	2914.78	4.98
35	2090.20	2909.80	5.11
36	2095.31	2904.69	5.23
37	2100.54	2899.46	5.35
38	2105.89	2894.11	5.47
39	2111.36	2888.64	5.59
40	2116.95	2883.05	5.71
41	2122.66	2877.34	5.82
42	2128.48	2871.52	5.93
43	2134.41	2865.59	6.04
44	2140.45	2859.55	6.15
45	2146.60	2853.40	6.25
46	2152.85	2847.15	6.35
47	2159.20	2840.80	6.45
48	2165.65	2834.35	6.55
49	2172.20	2827.80	6.64
50	2178.84	2821.16	6.73
51	2185.57	2814.43	6.82
52	2192.39	2807.61	6.91
53	2199.30	2800.70	6.99
54	2206.29	2793.71	7.07
55	2213.36	2786.64	7.15
56	2220.51	2779.49	7.23
57	2227.74	2772.26	7.30
58	2235.04	2764.96	7.37
59	2242.41	2757.59	7.44
60	2249.85	2750.15	7.51
61	2257.36	2742.64	7.57
62	2264.93	2735.07	7.63
63	2272.56	2727.44	7.69
64	2280.25	2719.75	7.74
65	2287.99	2712.01	7.79
66	2295.78	2704.22	7.84
67	2303.62	2696.38	7.88
68	2311.50	2688.50	7.92
69	2319.42	2680.58	7.95
70	2327.37	2672.63	7.98
71	2335.35	2664.65	8.00
72	2343.35	2656.65	8.02
73	2351.37	2648.63	8.04
74	2359.41	2640.59	8.06
75	2367.47	2632.53	8.07
76	2375.54	2624.46	8.08
77	2383.62	2616.38	8.09
78	2391.71	2608.29	8.10
79	2399.81	2600.19	8.10
80	2407.91	2592.09	8.11
81	2416.02	2583.98	8.12
82	2424.14	2575.86	8.12
83	2432.26	2567.74	8.13
84	2440.39	2559.61	8.14
85	2448.53	2551.47	8.14
86	2456.67	2543.33	8.15
87	2464.82	2535.18	8.15
88	2472.97	2527.03	8.16
89	2481.13	2518.87	8.16
90	2489.29	2510.71	8.17
91	2497.46	2502.54	2.54
91.31	2500.00	2500.00	0.00

注1)　宣明暦への批判には宣明暦に非がないものもある。

(1) 季節のずれ：宣明暦は800年も使い続けたため江戸時代の初めには冬至や夏至などが暦面と約2日ずれていたが，暦算家が他の暦法と比べないかぎり実生活のなかで分かるずれではない。欧州の太陽暦・ユリウス暦では宗教上重要な春分の日もずれがわかったときにはすでに10日近くもずれていた。また季節のずれと日食月食の予報は関係しない。

(2) 月食の予測のはずれ：これは中国の暦法では月との距離を考慮せず，地球の影を大きく取りすぎていたのが原因。このため現在では半影食とよばれる月食を部分食として予測することが2年に1回ぐらいあった。これは別項−1図5に示すように暦法の経年劣化ではなく最初から内在していた問題。授時暦では影の大きさを小さくしたために予測する半影食の数は少なくなったが同図のように1400年から1500年代にかけては同様に多かった。

(3) 日食の予測のはずれ：本来の宣明暦の計算であれば江戸時代の的中率は約8割であったものを，江戸時代の暦計算者が知らずに陽暦の日食（月が降交点から昇交点までの南緯にあるときに起きる日食）を暦に記載し日食の的中率を悪化させてしまったのが原因。竹迫忍（2012）p.25-26を参照。さらに江戸時代の暦学者安藤有益はこの陽暦の日食を含む方式で『長慶宣明暦算法』を出版したため，宣明暦の日食計算への誤解が深まった。それを利用した内田正男（1974）p.34も，宣明暦施行期間中の823年間に宣明暦で予報する日食を796回とし，現代の計算で陽城（中国）にて実現する日食は298回（的中率37%）なので，宣明暦は地球上で起きる全ての日食を予報するとした。同様の見解は内田正男（1992）p.535-36にもある。しかしこれは間違いで，宣明暦法通りに陽暦の日食を除けば食限（日食の発生する範囲）が半分になるので宣明暦で予想する日食も半分（約400）となり的中率も倍の8割弱となる。別項−1図4のように唐代以降の暦法の日食領域には陽暦を入れないので月食の半分しかない。延宝3年（1675）の日食を宣明暦が予測したのもすべての日食を予測したからではない。

(4)『吾妻鑑』の暦日の誤り：渡辺敏夫（1986）p.46に安藤有益が宣明暦で鎌倉幕府の記録『吾妻鑑』の暦日を検証し宣明暦の不正を明らかにしたとある。しかし，『吾妻鑑』の暦日を検証した毛利一憲（1970）p.1-19は所載日数約6700のうち約400日が誤りとし，『吾妻鑑』編纂時に確かな暦によらずに日付のある記事に干支を補填したのが誤りの要因と推定している。したがってこれも宣明暦が原因ではない。

このように宣明暦の悪評は江戸時代の暦算者や研究者の指摘や誤りによるものであり，時々半影食の月食を予想する以外は実生活に影響はなかったので800年間も使われた。

注2)　『春海先生実記』に『我朝，元亨（1321-23）以来，曽獏考七政四余之人。寛永二十年（1643）朝鮮【客】螺山者来，玄貞（岡野井玄貞）相見，討問七政四余［併七政四余而為十一曜］之運行【畧其秘奥得。惟恨，螺山在東武（江戸）纔一旬,】而帰国，依玄貞起志励気，自勤学，是術有年』(【 】は内田正男（1986）p.329で補なう）とし，その後この玄貞（京都の医者・暦学者）に春海が師事したとある。内容は，『日本においては元亨年間(1321-23）の頃からかつて七政四余［七政は太陽，月と5惑星。四余は紫気（不明），月孛(月の遠地点)，羅睺（月の降交点)，計都（月の昇交点)］を考える人はなかった。寛永二十年（1643）に［朝鮮通信使序列3位の］螺山が来日したときに玄貞が面会した。玄貞は七政四余の運行をたずね螺山からおおむねその奥秘を得た。ただ恨めしいことに，螺山は江戸に滞在することわずかに10日で帰国してしまった。玄貞はその後奮起して自分でその術を学んだ』

ここで玄貞が質問しその奥秘を得た『七政四余之運行の術』とは，星占いなどにつかう

天体の位置推算法とされる。たとえば国立天文台蔵の『七政四余全書』も清・康熙33年（1694）からの七政四余の位置を示した天体暦表である。この面会で玄貞に特定の日の位置計算が容易な『回回暦』（李氏朝鮮暦書名は『七政算外篇』）が伝わった可能性がある。『大統暦』（李氏朝鮮暦書名は『七政算内篇』）の七政四余の計算は「伏」や「留」などのイベントの日付の位置を求めてから間を埋める計算方法なので暦を作るには支障はないが，特定の日の位置を計算するには面倒であり，日付から直接求めるにはあらかじめ長期間の暦を作っておく必要がある。また貞享の改暦から数十年後の『春海先生実記』が書かれた時代にも暦法名を伏せて「奥秘」とするのも『大統暦』の計算法ではないためと考えられる。なお七政算内外篇には内篇の日出日没時刻以外に李氏朝鮮独自の暦数はない。ただし，江戸城紅葉山文庫にも明の周相が隆慶3（1569）頃に重刊した『回回暦法書』が伝わっている。

実記には春海が会津藩主・保科正之から誰が授時暦を知るかと問われて『岡野井玄貞者精（くわしい）此学。予師学之，伝此道』とあるため，吉田光邦（1987）p.236-238や岡田芳郎（2014）p.267などでは，この面会で螺山が玄貞に授時暦を教えたとする。しかし，春海のいう授時暦は郭守敬が編纂した授時暦であり，螺山が玄貞に教えた七政四余のうちの四余の計算法は授時暦に無い。したがって螺山が伝えた『七政四余之運行の術』が授時暦ではないことは確かである。また元史『授時暦』が日本で版刻されたのは寛文12年（1672）であるが，春海の最初の著書である春秋時代の暦を授時暦で復元した『春秋述暦』（寛文9年，1669）の共著者は別の暦法の師である松田承順である。さらに『壬癸録3』p.7（能田忠亮（1966）p.95-97に現代語訳）の朱子学者中村惕斎なども春海が授時暦による改暦をめざすかなり前から授時暦を研究し，春海に授時暦の消長計算の解釈を教えており，授時暦は螺山以外のルートで伝えられたとも推定できる。なお，渡辺敏夫（1986）p.45に小川正意が寛永2年に授時暦経を得たとあるが著作の『新勘授時暦経』（1673）巻末跋には「去年得授時暦経」とあり寛文12年の誤植である。

注3）　内田正男（1992）p.536は，歳実を1684年の値ではなく一年前1683年の3652416.96日を用いたのは24節気の計算のために24で割り切れる数字を選んだためと推定している。

注4）　谷秦山『暦算問目』。筆者は見ていない。横塚啓之（1997）の2書を参照。

注5）　耶律楚材が編纂した庚午元暦の里差の計算法は以下となっている。

里差（日/1日5320分）＝里差（距離）×435.9/10000/5320：元史暦志［彙編第9］p.3476

これが1日になる里差を逆算すると約12万里。一方渋川春海は『貞享暦議』p.56-57の里差の項目で江戸盛岡間を180里で差度6度とし，30里/度×365度から地球の一周を約1万1千里としている。また異国（中国）では300歩1里から約250里/度とし一周を約9万里余りとしている。このように具体的数値は耶律楚材の庚午元暦とは違う。『壬癸録 第三』p.10には「崇禎天地図一軸」とありマテオ・リッチの天球・地球図を持っていたとされる。

注6）　『壬癸録4』p.6に『頗（すこぶる）同予説。而天経或問。亦以冬至後六度盈為。』とあるため憶測されている。しかし『天経或問』が中国で出版されたのは1675年で，春海が『食考』で予測をはずした年である。したがって春海は授時暦の見直しを初めた当初の数年は『天経或問』を見ていないことになる。

注7）　従来近日点の移動6.445度は『貞享暦解』p310-311などでつぎのように説明されている。授時暦は暦元（1281）冬至での太陽の位置を箕宿距星から10度としていた。貞享暦の暦元（1684）冬至では歳差を考慮すると10.0－（0.015）×（1684－1281）＝3.955度となる。これを貞享暦は約6度ずらし斗宿初度にした。授時暦では箕宿の距星とつぎの斗宿の距星まで

の箕宿の赤道広度が10.40度なので，10.40－3.955＝6.445度移動したとする考え方である。しかし横塚啓之『貞享暦日食計算法』(1997) p.10が指摘するように，この度数の計算は黄道上での計算が必要であるにもかかわらす赤道上で行っている。

注8)　中国度では太陽の平均速度を1度/日としているので一周は約365.25度となる。

注9)　貞享暦と授時暦では速度と1日あたりの限数が違うので以下の式で補正してある。
貞享暦食定数 (6500) ≒5740×限数比/速度比＝5740×12.2/10.0/ (13.368/12.368) ＝6479また，限行度については計算式としては相対速度を使っているが，食定数を上記のように速度比で調整している。食の継続時間は食定数を速度で割るので，結果としては授時暦と同等の係数となるので（授）とした。大統暦の場合は，月食では食定数を調整しているが速度比以上の調整（約16%）なので結果は授時暦より約8%短い。また日食の食定数は授時暦のままなので結果は授時暦より約8%長い。『七政算内篇』の日食はこれを採らず授時暦のままである。

注10)　重修大明暦は金朝で編纂された暦法であるが元朝でも授時暦が施行されるまで使われた。本稿では大明暦と略す。授時暦と重修大明暦との関係について横塚啓之 (1999) p.101-102は日食計算の「時差」について内容的には同じとしている。藪内清/中山茂 (2006) p.45も授時暦の五星計算に関する記述について若干の基本定数を除いて，重修大明暦の旧を襲っており，この部分では新しい点はほとんどないとしている。

注11)　G. J. Toomer (1984) p.655の日食計算例を参照。また元の回回司天台（天文台）には『アルマゲスト』の蔵書があったとされる。山田慶児 (1980) p.96-97参照。

注12)　竹迫忍 (2016) p.8-9を参照。また同p.24の『Sanjufini Zij』(1366) の日食計算例でも経朔の時刻ではなく正午の太陽と月の位置から計算を開始しているので回回暦（1382-84に漢訳）は当時のイスラム暦法の食計算手順と同じと考えられる。

注13)　授時暦における太陽の速度の無視は問題視されてたびたび指摘されているが実際には大きな誤差は無い。例えば中山茂 (1969) p.143では誤差の最大を0.05日とし誤差を1割と誤認している。広瀬秀雄『授時暦と大津神社暦算額』(1979) p.37も授時暦では太陽の速度を無視し残りの距離を月の速度で割り時間（ΔT）を出していると説明しているが，授時暦では［$(\alpha-\beta)$/12.19］に月の平均速度（13.3875）をかけて遅疾差としそれを月の実速度で割っているので，［$(\alpha-\beta)$/(月の実速度)］ではない。これらの誤解は平山清次 (1979) の『授時暦の研究大要』(1942の講義録) p.83に基づいているようである。授時暦では月の速度しか考慮していないことを指摘したうえで，『保井春海はこれを弊解して曰わく（13行度 12行差）であって，行差をとる代わりに行度をとったのは，遅疾のところで中心差を大きい値でとっているというがこれは当たらぬ。』としているがこの指摘が誤りで春海は正しく理解していた。

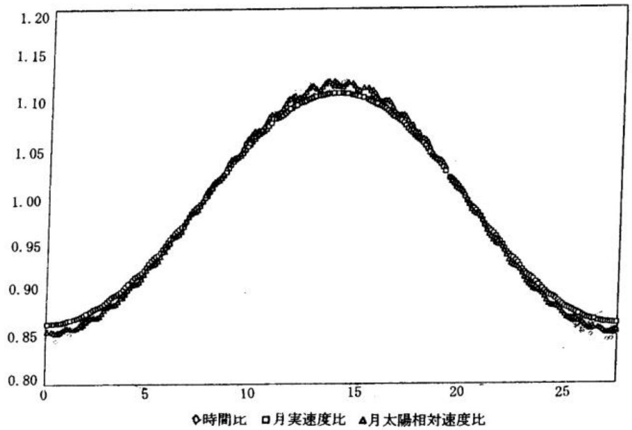
理論式により経朔時刻での（α (dk) － β (dk)) /12.19と実際の経朔と定朔の時間差の比を計算し，それと月の速度比および相対速度比の比較を附図1に示す。各項目の内容は以下。

時間比　　　　＝(定朔時刻－経朔時刻)：(α (dk) － β (dk)) /12.19
月実速度比　　＝13.17640：Vm
月太陽相対速度比＝12.19075：(Vm－Vs)

なお定朔時刻は逐次近似で太陽と月の黄経が一致する時刻をもとめた。

この図ではピーク付近で波を打っているがこれは太陽の変動分によるものである。この図より平均速度（グラフで1.0に相当）で定朔時刻を計算していた宣明暦との差が最大で

11%程度あることが分かる。時間で計算すると，宣明暦計算での最大誤差の理論値は(0.16＋0.41)×0.11＝0.063日＝1.5時間。したがって，宣明暦より授時暦/貞享暦は最大で±1.5時間ぶれを改善したことになる。宣明暦では竹迫忍（2012）p.27図2より食甚時刻の誤差が約±2時間あったので，理論的には±0.5時間まで改善されるはずであるが，貞享暦にはそれより大きい誤差が残っている。



附図1　(α (dk) − β (dk))/12.19と実時間の比と月の速度比/相対速度比の比較

注14)　影の長さを祖沖之の法で測り冬至時刻を決める方法について中山茂（1963）p.71-73はその誤差を解析的にもとめ，冬至での平均黄経を $\lambda s0=270^\circ+2e\cos(\omega)$ とし，近日点の移動の影響による平均黄経 $\lambda s0$ との誤差を $2e\cos(\omega)\times(1-\sin(\lambda))$ としている。ここでeは離心率，ω は太陽の近地点黄経，λ は観測日の太陽の黄経。この式により冬至から90度離れた春分秋分で測定した場合約0.25日（6時間）の誤差がでるとしている。本文図3の理論値はこの式に合致している。また定気と常気の差も同じく $2e\cos(\omega)$ であり，当時の $\omega=277.4$度，$e=0.0167$で時間にすると，$2\times0.0167\times\cos(277.4)\times180/\pi=0.25$日となり貞享暦の計算値0.22日とほぼ同じである。

まとめると，祖沖之の法でもとめた場合の誤差は以下となる。

常気の冬至時刻から見た場合の時刻誤差＝$0.25+0.25(1-\sin(\lambda))$

定気の冬至時刻から見た場合の時刻誤差＝$0.25(1-\sin(\lambda))$

春海は非対称が原因の$0.25(1-\sin(\lambda))$の誤差は認識していなかったとされる。

注15)　渡辺敏夫（1987）p.516-517で貞享元年の冬至の値は春海の観測の平均値と0.126日（約3時間）違うとしている。また西村遠里は貞享暦の値は春海の観測によったものではなく，授時暦に里差6.5刻（1.56時間）を用いると得られるとしているが，春海が考えた北京の里差5刻との1.5刻の差を説明していない。

注16)　貞享暦議p.75で授時暦の北京との里差を5刻，大統暦の南京を4.5刻，宣明暦の長安を7刻としている。本稿では回回暦は南京の4.5刻で補正した。

注17)　5年後の暦「大清康熙二十八年歳次己巳時憲暦」（国会図書館蔵，1689）でその誤差を

確認すると，1689年の冬至時刻は時憲暦で「巳初初刻」(9:00〜9:15)。現代の計算（JPL DE431暦）でも9:13（北京LMT，均時差補正無し）である。

注18)　常気での中気は等間隔なので閏月はおよそ33ヵ月間隔（235/7）で訪れる。しかし，この方法は定気を置閏法にきめた時憲暦（日本では天保暦）で崩れた。定気での中気は等間隔ではないので235ヵ月で中気のない月が7回以上発生する。日本では2033年問題で天保暦の破綻と報じられることもあるが，定気を使っては天保暦に規定される「中気がない月を閏月とする」(『新法暦書 巻2』p.22/51）だけでは閏月は決まらない場合がある。時憲暦を編纂したのは宣教師アダム・シャール（湯若望）である。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。たとえば1582年のグレコリオ暦への改暦もずれていた春分を3月21日に戻すのが目的だった。そこで湯若望は定気での置閏法が不確かなのを見越して「200年暦」を造暦し奏進している。薮内清（1990）p.158を参照。また，2033年問題の解決策でもある「冬至のある11月から翌年の11月までに13ヵ月あり中気のない月が2ヵ月ある場合最初の月を閏月とする規定」は時憲暦のひとつである『康熙甲子元法』(1726-1741実施）の暦書で明文化されている。『二十五史 11 清史稿上 時憲志4』p.9047参照。

キリスト教を禁教としていた日本でも時憲暦に習い定気の置閏法を天保暦に採用した。しかし天保暦では『新法暦書続編』p.138-139をみると過去約70年の置閏の確認しかしておらず，その結果「要令分至各在基本月」とし常気の場合と同じく春分，夏至，秋分，冬至を2，5，8，11月におけば全ての場合で置閏ができると誤認している。天保暦施行（天保15年，1844年）からすぐの嘉永4年から5年（1851〜1852）にかけて11月閏か2月閏を選ぶ場面があったが，天保暦では「要令分至各在基本月」で遅い方の2月閏とした。この「要令分至各在基本月」のアルゴリズムでは暦プログラムで置閏ができないと指摘されているのが2033年問題である。原因は単純で「要令分至各在基本月」が定気の置閏法としては要件を満たしていない，すなわち定気の置閏法としては誤っているからである。このように天文方が西洋の宣教師天文家より置閏に関する考慮が足りなかったのが2033年問題の要因である。

注19)　現代の式は Jeen Meeus（1998）を参照した。太陽関係p.164-165，月関係p.337-339，昇降点関係p.343に記載の式を簡略化している。本稿での太陽や月の変動分の理論値はこれらの概略計算式により計算される値である。

注20)　授時暦やその他中国暦の遅疾差には出差が含まれているため，遅疾差と中心差を単純に比べるのは誤りである。例えば平山清次（1979）p.83や広瀬秀雄（1979）p.38など。授時暦の遅疾差の最大値（5.43）は次の値とほぼ等しい。

授時暦遅疾差の最大値（5.43）≒（中心差－出差）/12.19×月の平均速度

＝(6.289－1.274）/12.19×13.36875＝5.50（1.3%の誤差）

同様に，貞享暦遅速差の最大値（5.036）≒（中心差－出差）/12.19×月と太陽の平均相対速度

＝(6.289－1.274) /12.19×（13.36875－1）＝5.089（1.1%の誤差）

中心差や出差の数値は別項－1の式（11）と（12）を参照。

注21)　安大玉（2014）p.248に授時暦の理論値との差を約0.34日としているが誤りである。

注22)　消長は0.02分/年であるが，中積を計算するときにはその平均値0.01分/年で計算する。一年毎に変化する消長の部分の中積は三角形の面積となり（0.02×n年）/2となる。

参考文献

安藤有益	「長慶宣明暦算法」寛文3年（1663）国会図書館蔵
今井　湊	「天官書」国立天文台図書室今井いたる文庫pdf版
内田正男	「日本暦日原典」雄山閣出版（第4版1992）
	「日本の暦法」数理科学 127 p.28-34（1974）
	「暦と時の辞典」雄山閣出版（1986）
大橋由紀夫	「日本暦法史への招待」数学史研究 185（2005）
岡田芳郎	「朝鮮の暦」暦の大辞典　朝倉書店p.262-267（2014）
小川正意	「新勘授時暦経」延宝元年（1673）東北大学　林集書1614
小泉光保	「授時暦図解」元禄16年（1703）
片山真人	「暦の科学」ベレ出版（2012）
国会図書館蔵	「見行草6巻」(国会図書館請求書番号第YD-古-2955)
斉藤国治	「古天文学」恒星社厚生閣（1989）
渋川景佑	「新法暦書」天保13年（1842）　国会図書館蔵
	「新法暦書続編」弘化3年（1846）　国立天文台蔵
渋川春海	「貞享暦」内閣文庫所蔵
	「貞享暦議」国立天文台蔵
須賀　隆	「貞享暦のオリジナリティに関するノート」日本暦学会 23（2016）
	「コラム・2033年問題」暦の大事典　朝倉書店p.407-409（2014）
竹迫　忍	「宣明暦法による日食月食計算とその検証」数学史研究 212（2012）
	「回回暦法による食計算と星表について」数学史研究 225（2016）
谷　秦山	「壬癸録」(「泰山集」谷重遠編，谷干城（1910）に収録，国会図書館蔵)
中山　茂	「消長法の研究（I/II/III）」科学史研究（1963/66/67）
	「中国系天文暦学の伝統と渋川春海」近世科学思想（下）p.497-511 岩波書店（1971）
	「A History of Japanese Astronomy」Harvard University Press（1969）
西村遠理	「貞享暦解　巻九　氣朔交食解」国立天文台蔵
西村篤行	「(西村符天暦見行草夏）寛政六年甲寅貞享暦見行草」東北大学林文庫
西内　雅	「渋川春海の研究」至文堂（1940）
能田忠亮	「暦法及び時報　近世の暦法」明治前日本天文学史 p.251-286日本学士院編（1979）
	「暦　増補版」至文堂（1966）
平山清次	「授時暦の研究大要」明治前日本天文学史p.75-91日本学士院編（1979）
	「暦法及び時報」恒星社（1938）
広瀬秀雄	「授時暦と大津神社暦算額」数学史研究82　p.27-50（1979）
	「太陽・月・星と日本人」雄山閣（1979）
藤井康生	「授時暦の計算について」数学史研究 139　p.12-29（1993）
毛利一憲	「吾妻鏡の暦日について」古文書研究 4 p.1-19（1970）
安　大玉	「中国におけるおもな暦法」暦の大辞典　朝倉書店p.234-254（2014）
藪内　清	「改訂増補　中国の天文暦法」平凡社（1990）
藪内清/中山茂	「授時暦　訳注と研究」アイ・ケイコーポレーション（2006）
山田慶児	「授時暦の道」みすず書房（1980）
横塚啓之	「中国「元」代のホロスコープ　その1」東洋天文学史宝冠　創刊号（私家版，

1992）
「貞享暦日食計算法」（私家版1997年11月23日，初版）
「貞享暦月食計算法」（私家版1997年11月23日，6版）
「『授時暦』の日食計算における「時差」について」科学史研究210　p.99-103（1999）
吉田　忠　「渋川春海研究小史」科学史研究 No.276（2016）
吉田光邦　「日本科学史」講談社文庫（1987，初版1955）
早稲田大学蔵　「春海先生実記」写本
渡辺敏夫　「近世日本天文学史（上・下）」恒星社厚生閣（1986・1987）
和田光俊/林淳　「渋川春海年譜」神道宗教 184-185号（2002）

海外文献

李勇/張培瑜　「《授時暦》交食推歩研究」南京大学学報　第32巻　第1期　p.16-24（1996）
「中国元明時期交食推歩的比較研究」南京大学学報　第32巻　第3期　p.387-394（1996）
張培瑜他　「中国古代暦法」中国科学技術出版社（2007）
遊子六　「天経或問」西川正休和刻版　享保15年（1730）国立天文台蔵
中華書局編集部編　「歴代天文律暦等志彙編・第七/九/十冊」中華書局（1976/76/76）
上海書店編　「二十五史 9 遼史 金史 元史」上海古籍出版社（1986）
「二十五史 11 清史稿」上海古籍出版社（1986）
国書刊行会編　「授時暦/宣明暦」高麗史 第二 国書刊行会（1909）
学習院大学東洋文化研究所　「七政算内篇/外篇」李朝実録　第11冊　（世宗実録地理志・七政等）（1957）
G. J. Toomer　「PTOLEMY'S ALMAGEST」Springer-Verlag（1984）
Jean Meeus　「Astronomical Algorithms（2nd ed.）」Willmann-Bell Inc.（1998）

（2018年10月14日　受理）
（2019年3月26日　改訂稿受理）