

# 清朝・康熙帝下のフランス科擧： 『暦法問答』にみえる地半徑差と清蒙氣差

橋 本 敬 造

1667年に設立されたフランスのパリ天文臺を中心にして得られた観測結果が、ルイ14世によって中國に派遣されたイエズス會宣教師、特にジャン-フランソワ=フーケの手によって成った稿本『暦法問答』に反映されているという事實を紹介するのが本稿の第一の目的である。

このように18世紀初頭の康熙帝下の中國に最新の天文學上の知識が紹介された具體例を示すことによって、最近その存在と内容が知られるようになったこの稿本の位置づけを行ない、それが科擧交流の上で果たした意味を考察するのが最終的な目的である。

## 1. 『暦法問答』について

1995年8月、筆者らはブリティッシュ・ライブラリーのオリエンタル・アンド・インディア・オフィスのコレクションのなかに『暦法問答』を見つけた<sup>1)</sup>。この稿本の説明によれば、1847年3月に内務省 Secretary's Department から受理したとあるが、ブリティッシュ・ライブラリーに納められるようになった経緯については、まだ明らかになっていない。しかし、その内容を調査した結果、これはヴァチカン圖書館に所藏されるその一部分である3巻本の稿本と同一の内容をもち、しかも、一層、完本に近いものであることが判明した<sup>2)</sup>。

ジョージ・タウン大學のワイテック教授によれば、この稿本『暦法問答』はフランスのイエズス會宣教師ジャン-フランソワ=フーケ Jean-François Foucquet (1665—1741: 漢文名は傅聖澤) の手によって北京において完成されたものとされている<sup>3)</sup>。また、筆者らの比定によれば、この稿本が作られたのは1712年から16年の間である。

この稿本の科擧史上の重要性は、そのなかにケプラーの法則が紹介されており、またコペルニクスの太陽中心説が論じられていることである。この事實は、前者についていえば、ケプラーの法則が『暦象考成後編』(1742年)において公式的に中國天文學史のなかに登場してくるよりも約4半世紀も早く、また後者については、M=ブノワ Benois (1715—1774) の『坤輿全圖説』(1767年)においてコペルニクス説が中國に全面的に導入されるより約半世紀も早く、紹介されているということを指摘するだけで充分であろう。

さてヴァチカン図書館とブリティッシュ・ライブラリーの兩稿本を検討した結果によると、『暦法問答』の内容は次の表のようになっている。

表1 『暦法問答』の構成

巻	表題	節数
I	日纏〔曆指〕	20節
II-1	月離〔曆指〕	23節
-2	月離緯度	8節
III-1	交食曆指上	14節（但し、British Library 稿本は12節）
-2	交食曆指下	9節
IV	恆星曆指	7節
V-1	五緯曆指上	7節
-2	五緯曆指下	6節

（Vatican 稿本および British Library 稿本から再構成した。Vatican 稿本には、III-1, -2, IV-1 しか含まれない。）

標題にみえる「曆指」といういい方は『崇禎曆書』（1629—35年）に倣っており、他方、『曆象考成』や『同後編』では「曆理」という表現になっている。つまり理論という意味を示しているのである。「交食曆指」上の構成が兩本で異なるのは、レーマー Ole Römer（漢文名は洛默爾）の交食儀と七政儀の解説の部分からなる2節ぶんがブリティッシュ・ライブラリー稿本では省かれているためである。これが省かれた理由として考えられるのは、この段階において、レーマーの七政儀、すなわちオーレリ（太陽系儀）を解説することによって、コペルニクス説を公然と中國に導入することになるを避けたためといえよう。

とはいえ、コペルニクス説は『暦法問答』のなかで天文学の發達の歴史やケプラー法則が導入された議論において引き合いに出されている。フーケらの立場はティコ=ブラへの宇宙論によるものであったことは、この稿本の全體の議論をみれば明らかであるにも関わらず、太陽中心説への言及は當時の天文学上の議論では當然のこととされていたという状況を反映しているといえよう。

フーケは、1665年、バーガンディに生まれ、パリのイエズス會の學校に學んだが、1698年、中國に派遣された第2次フランス宣教師團とともにパリを離れ、翌年、福建省の福州に着いた。中國名を傅聖澤と稱し、中國では『易經』の研究をしたことなどで知られる。北京には1710年から17年まで、および歸歐する年の1720年に滞在し、41年にローマで没した。

この稿本が用意された本来の目的は、ジャン=ピカルル Jean Picard の死後、パリ天文臺において觀測を續けた結果に基づいて、ラ・イール La Hire (1640—1718: 漢文名は臘義爾)

が作成した『天體位置表』*Tabulae Astronomicae* (1702年)を中國に導入することであった。すなわち、『交食曆指』下巻の第9章は交食表であり、『五緯曆指』下巻の第5章は五惑星表になっているが、それらを比較検討した結果、ラ・イールの表から直接採用されているという事実などによって、このことは明確であるといえよう。こうした試みによって、結果的にはG. D = カッシニ = Cassini やリシェ Jean Richer が得た正確な大氣差や太陽の地半徑差が中國天文学のなかに組み込まれ、フランス科学が受容されることになったという實體が明らかに行けるといえよう。

この稿本の解讀がもつもう一つの重要な點は、康熙年間にフランス宣教師團が中國に齎した科学の内容がわかるということである。フーケの惑星の運動論はデカルト Descartes の渦巻き宇宙論を出発点<sup>4)</sup>にしている。デカルト主義者の科学史上の成果、及びその物理學的解釋によって『暦法問答』は満たされている。それについてはレーマーによる光速の測定の結果や、ホイヘンスの光學の議論などの例をあげるだけで十分であるといえよう<sup>5)</sup>。

しかし、ここでは天文定數の改善に寄與したパリ天文臺の成果がどのように『暦法問答』のなかに反映されているかを具體的な問題に即して検討し、この稿本が果たした科学史的な意味を考えてみたい。

## 2. 太陽視差と大氣差—黄道傾斜角の決定

それまでの中國天文学では、元の授時曆で採用された23度33分32秒という値が用いられてきた黄道傾斜角は、明末に導入されたティコ = ブラヘ Tycho Brahe の體系による『崇禎曆書』の成立以後は、23度31分30秒とされてきた。

ところが1723年に成立する『曆象考成』「日躔曆理」においては、「黄道距緯」すなわち黄道傾斜角が23度29分30秒に改められることになる。これは康熙五十三 (1714) 年以來、暢春園において夏至の正午における太陽高度の累測によって得られたものだと説明されている<sup>6)</sup>。

他方、この編纂事業と同時期に編譯が進んでいた『暦法問答』において、この改善された數値の紹介がなされている。1712年4月付けのフーケの説明による限り、實はこの問題が『暦法問答』を編む直接の動機<sup>7)</sup>となった。ここで『暦法問答』に沿ってこの問題をみてみる。「日躔(曆指)」の第12—16節には、この決定についての記述<sup>8)</sup>がみられる<sup>9)</sup>。

黄道が天球上の最も北にくる(「極北」)、ないし最も南にくる(「極南」)ときの緯度を、その中央にあたる「黄道中線」すなわち赤道からの距度、すなわち「黄赤二道の相距」としている。これは黄道傾斜角の値に對應するものにほかならない。この正確な決定は、平均太陽の運行、いわゆる「太陽平行」を正確に求めるために特に重要である。『暦法問答』は、かなりの

紙枚を費やしてこの問題を論じる。

黄道と赤道の相距の値は、単純には夏至および冬至における太陽の高度を折半すれば求められるが、観測者は地球の中心に位置しているわけではないから、地球の半径によって生じる効果、いわゆる「地半径差」すなわち地心視差が効いてくる。その上、大気による太陽光線の屈折の効果、いわゆる「清蒙氣差」すなわち大気差を考慮しなければならない。

そこで第12節の「欲求黄赤二道之相距。必先解地半径差。清蒙氣差之義。方可求耳」では、まず「地半径差」の問題が取り扱われる。そこには「交食曆指」以下の稿本においては省略される圖解が附せられていることは、注目に値する<sup>10)</sup>。ついで「清蒙氣差」の問題が論じられる。

大気差 Atmospheric Refraction が考慮されるようになったのは、ティコ=ブラヘからであるが、ティコは高度45度までについてこの効果を探りいれた表を作った。ティコはデンマーク（「大尼亞國」）・コペンハーゲン沖のフヴェン島の観星臺ウラニボルクでの観測によってこの大気差を決定した。

『崇禎曆書』（1629—1635）では、この効果は「清蒙氣差」と翻譯され、清蒙氣差表が附されていた。ところでヨーロッパでこの大気差を最初に発見したのは、ポイエルバッハ Peuerbach (Georg, 1423—61; 漢文名では白爾那瓦<sup>11)</sup>)である。理論上は地平線下にあるべき金星が見えたことから、この大気の影響が発見された。『曆法問答』はこの発見の経緯についても記述しているのである。

フランス（「富郎濟亞國」）・パリ（「罷理府」）天文臺のG. D=カッシ= Cassini (1625—1712; 漢文名は噶西尼) および P. de ラ・イール la Hire (1640—1718; 臘義爾) は、20年にわたる観測の結果によって、大気差表を改訂して、天頂までのものに改めた。そのことがここに紹介されているのである。

1671年、フランス科學アカデミーのリシェ Richer (漢文名は利實爾) は、フランス植民地のカエンヌ Cayenne (噶耶那) に派遣された。太陽視差 Solar Parallax を決定するために惑星や恆星を観測することもその目的の一つであった。後でみるように、この観測結果については『曆法問答』のなかでかなり詳細に報告されているのである。

この後の1676年、イギリス政府に派遣されたハリー Edmond Halley (呵肋) は、セント・ヘレナ St. Helena (桑得肋納) 島において350個に及ぶ南天の恆星の位置を観測した(1677年)。その結果が『曆法問答』「恆星曆指」の主要な内容となっていることも注目に値する。

緯度の場合に比べ、地理上の経度の決定は17世紀にあっては、なお困難な問題であった。精度の高い時計 Chronometer を製作することが先決問題であったからである。また17・18世紀には経度0度の子午線はパリを通過するとされていた<sup>12)</sup>。さらに振子の等時性は、すでにガリレ

オが認識していたが、実用的な振り時計（「墜子表」）を作ったのはホイヘンス Huygens（許日尼）であった。<sup>13)</sup>

J・ピカル Picard（畢嘉爾）の建議によって、ルイ14世がパリ天文臺建立の命を出したのは1667年であるが、そこはまた、新たに設立された科学アカデミーの場にもなった。その初代臺長になったのはイタリアのボローニャから招聘された G. D=カッシニであり、ピカルは観測主任となって、世界最初となった『航海暦 *Connaissance des temps*』を1679年から出版し続けることになった。ピカルは半径5フィートの象限儀に望遠鏡を取りつけ、高度と子午線通過時刻を測定するために、子午線の位置に固定した儀器（子午儀。稿本には「極準之儀器」<sup>14)</sup>とある）を製作した。

1683年に完成したこの儀器は、ピカルの死後は後継者のラ・イールが使用するところとなった。<sup>15)</sup> この儀器を使用した継続的な観測結果に基づいて、1702年、ラ・イールは『天體表 *Tabulae Astronomicae Ludovici Magni*』を出版した。これが『暦法問答』に附せられている天體位置表の典拠となったものである。<sup>16)</sup>

パリ天文臺を中心とする天文学研究の動きを『暦法問答』の内容に反映された事実に即して簡単にみてみた。次に最初の問題に戻り、まず「清蒙氣差」すなわち大氣差について検討してみよう。すなわち、この問題を論じた『暦法問答』「日躔」第14節の「詳所以作清蒙氣差新舊二表之由」には、以下のように記されている。<sup>17)</sup>

「ティコ（第谷）が論じた清蒙氣差の説は、西洋ではもとよりその思料の高さをたたえ、採用すべきものとされた。ただ、後人の詳細な推測によって、まだ十全を盡くしていないところがあると考えられた。そこでカッシニやラ・イールらは、さらにたびたび測候を重ね、それによって太陽（の高度）が45度を超えても、まだ蒙氣差の作用があると推論するに至った。……（中略）……そこでラ・イールのごときは、フランス（富郎濟亞國）のパリ（罷理）府、すなわちその王府であるが、において、清蒙氣差の眞實を得たいと考え、そこで最準の儀器を用い、晝夜にわたる測候を二十年間おこなって、観測した諸天體の經緯度を完成した表に著した。その天體表が天下に通用するようになって、まだわずか十餘年にすぎないが、先人の優れたところは必ずできるだけ採用し、短所を補ったものであることがわかる。」

この新表においては、結果的には冬至圏と夏至圏の二圏の相距46度58分7秒を得、それを折半した23度29分3秒半が黄道傾斜角とされた。しかし、問題は高度45度以上に大氣差（の作用）があるのかないのかということと、地半径差の正確な値を決定することであった。

大氣差の決定のために、1671年パリからはかつての天文学者が観測した各地にアカデミーから派遣されて測候がなされた。そのなかで特に重要なものは、リシェが北緯4度56分20秒の

Tabulla V. Refractio

Altit. Siderū	Refractio		Alt.	Refract.		Alt.	Refract.	
	G.	M. S.		G.	M. S.		G.	M. S.
0	32	0	30	1	55	60	0	42
1	26	35	31	1	51	61	0	40
2	20	43	32	1	47	62	0	39
3	15	44	33	1	43	63	0	37
4	12	26	34	1	40	64	0	35
5	10	26	35	1	36	65	0	33
6	9	8	36	1	33	66	0	32
7	8	2	37	1	30	67	0	31
8	7	1	38	1	27	68	0	30
9	6	17	39	1	24	69	0	28
10	5	41	40	1	22	70	0	26
11	5	11	41	1	19	71	0	25
12	4	46	42	1	17	72	0	24
13	4	25	43	1	15	73	0	23
14	4	7	44	1	13	74	0	21
15	3	51	45	1	11	75	0	20
16	3	36	46	1	9	76	0	18
17	3	23	47	1	7	77	0	17
18	3	12	48	1	6	78	0	15
19	3	1	49	1	4	79	0	14
20	2	51	50	1	2	80	0	12
21	2	44	51	1	0	81	0	11
22	2	38	52	0	58	82	0	10
23	2	31	53	0	56	83	0	8
24	2	24	54	0	54	84	0	7
25	2	18	55	0	52	85	0	6
26	2	12	56	0	50	86	0	4
27	2	7	57	0	48	87	0	3
28	2	3	58	0	46	88	0	2
29	1	59	59	0	44	89	0	1
30	1	55	60	0	42	90	0	0

Sume altitudinem sideris supra horizontem in 1, 3 & 5 columna, & habebis regione in 2, 4, & 6 Refractionem subtrahendam ab altitudine apparenti, ut siat vera altitudo.

Tabulla Parallaxis Solis.

Altit.	Parall.
G.	S.
0	6
10	6
20	5
30	4
40	3
50	2
60	1
70	0
80	0
90	0

Adde Parallaxim.

Vix sensibilem Parallaxim agnovimus in Sole; quamobrem ea tutò negligi potest si libuerit. Verumtamen si Parallaxim Horizontalem Solis 6". usurpare volueris, hinc mediam Solis à cerra distantiam in semidiamentris terræ 34377 reperies.

カイエンヌ島で行った観測の結果であった。

「リシュ（利實爾）はこの測候に年を躰えて従事し、その年・月・日・時に太陽が位置する宮・度・分・秒を記録した。本國に歸還してから、その記録したところ調べ、ティコが定めた數値とラ・イールが定めた數値について計算してみると、ティコが定めたものは誤りが多くて、ラ・イールが定めた値の方が吻合した。<sup>18)</sup>」

夏至と冬至の太陽の高度を測定し、ティコとラ・イールが決めた大氣差をそれぞれ算定した

表 差 氣 蒙 清

高諸日月	差氣		高	差氣		高	差氣	
	度	分 秒	度	分 秒	度	分 秒	度	分 秒
〇	三二	〇	三〇	一 五五	六〇	〇 四二		
一	二六	三五	三一	一 五一	六一	〇 四〇		
二	二〇	四三	三二	一 四七	六二	〇 三九		
三	一五	四四	三三	一 四三	六三	〇 三七		
四	一二	二六	三四	一 四〇	六四	〇 三五		
五	一〇	二六	三五	一 三六	六五	〇 三三		
六	九	八	三六	一 三三	六六	〇 三二		
七	八	二	三七	一 三〇	六七	〇 三一		
八	七	一	三八	一 二七	六八	〇 三〇		
九	六	一七	三九	一 二四	六九	〇 二八		
一〇	五	四	四〇	一 二二	七〇	〇 二六		
一一	五	一一	四一	一 一九	七一	〇 二五		
一二	四	四六	四二	一 一七	七二	〇 二四		
一三	四	二五	四三	一 一五	七三	〇 二三		
一四	四	七	四四	一 一三	七四	〇 二一		
一五	三	五一	四五	一 一一	七五	〇 二〇		
一六	三	三六	四六	一 九	七六	〇 一八		
一七	三	二三	四七	一 七	七七	〇 一七		
一八	三	一二	四八	一 六	七八	〇 一五		
一九	三	一	四九	一 四	七九	〇 一四		
二〇	二	五一	五〇	一 二	八〇	〇 一二		
二一	二	四四	五一	一 〇	八一	〇 一一		
二二	二	三八	五二	〇 五八	八二	〇 一〇		
二三	二	三一	五三	〇 五六	八三	〇 〇八		
二四	二	二四	五四	〇 五四	八四	〇 〇七		
二五	二	一八	五五	〇 五二	八五	〇 〇六		
二六	二	一二	五六	〇 五〇	八六	〇 〇四		
二七	二	七	五七	〇 四八	八七	〇 〇三		
二八	二	三	五八	〇 四六	八八	〇 〇二		
二九	一	五九	五九	〇 四四	八九	〇 〇一		
三〇	一	五五	六〇	〇 四二	九〇	〇 〇〇		

表 差 徑 半 地 陽 太

日高	視差
度	秒
〇	六
一〇	六
二〇	五
三〇	四
四〇	三
五〇	二
六〇	一
七〇	〇
八〇	〇
九〇	〇

表2 ヴァチカン版稿本『暦法問答』「交食曆指」下(右)と La Hire の『天體表』(1702年, パリ・ビブリオテーク・ナショナル藏, 左)にみえる大氣差と地半徑差の比較。

結果、観測の値と一致するのは、ラ・イールのそれであった。他方、カッシーニもラ・イールのデータによって、彼が決定した大気差の表を用いて推算した結果、黄道と赤道の二道の相距（すなわち黄道傾斜角）として23度28分54秒半<sup>19)</sup>を得た。

こうした結果を承けて、フーケはこれら両者の値が事実に近いこと、実際の測量にあたってはこの程度の差違は免れ得ないことを述べて、こう結論する。「だから諸天文学者は、これら二者を折衷した値を採用して、（黄赤道の相距として）23度29分と決めた。過不足がないとされているようだ。ここではそれに従うべきだ<sup>20)</sup>」と。

こうした議論を展開することによってフランス宣教師團が行おうとするパリでの成果の中國への導入を正当化しているわけである。特に、この決定をめぐる議論を巡って観察されるように、観測を重視するパリの天文学者と宣教師フーケに共通するプラグマティックなアプローチは、注目すべきところがあるといえよう。ここで「交食曆指」下巻に附されている「清蒙氣差表」を示しておきたい。比較のためにラ・イールの『天體表』のそれを附しておく（表2）。

### 3. 月と太陽の基本定数の決定

當時の観測天文学の重要な課題は、天文定数の改善であった。とりわけ、太陽及び月の地心視差 Parallax（「地半徑差」）については、地球から太陽や月までの距離を決定するという点からも重要な意味があった。

「交食曆指」には、まず第七節の「定太陰眞實之地半徑差」に月の視差の問題が取り扱われている。月の位置の観測にラ・イールが用いた望遠鏡には、マイクロメーター Micrometer（「量微格」）が使用されたことが、ここには注記<sup>21)</sup>されている。ティコ=ブラへは、月の視差について遠地点では59分9秒、近地点については65分36秒としたが、ラ・イールは、それぞれ54分5秒、61分25秒<sup>22)</sup>という値を出し、さらに水平地心視差として55分28秒という結果を導いたことが報告<sup>23)</sup>されている。こうした結果を導いた月の位置観測の例として、1694年3月12日のそれが紹介されている。

第八節の「定太陰距地心若干」においては、地球と月との距離の算定がみられる。朔望時において月が近地点にくるときの距離は55.97R、遠地点にくるときは63.56Rというのが『曆法問答』に紹介された値である（但し、Rは地球半徑）（ティコ=ブラへの場合は、それぞれ $54\frac{50}{60}R$ 、 $58\frac{8}{60}R$ <sup>24)</sup>であった）。

距離とともに視径の観測もなされた。マイクロメーターを装備した望遠鏡による観測に基づいて、中距における月の視半徑は15分45秒、遠距のそれは14分45秒、近距のそれは16分45秒と算定された。それによって、月と地球の直径比は33:121と比定され、さらに月の體積の決定

もなされた。地球のそれが月の49倍強というのが、紹介されている値である（現在値は49.26倍；ティコは42倍としていた<sup>25)</sup>）。

さて太陽の地心視差の決定にかかわる問題は、パリ天文臺の初期の重要な課題の一つであった。『暦法問答』は、そのことを反映した興味深い稿本であるといえる。まず「交食曆指」上、第十節「定太陽眞實之地半徑差」によって、太陽の「地半徑差」すなわち地心視差の決定の問題をみとめる。

ピカルル Jean Picard (1620—82) は、北フランスの平野で1度に對應する地理上の距離を測定し、さらにパリ天文臺に關するティコのウラニボルクの位置を調べるためにデンマークのフヴェン Hven 島に觀測旅行をしていた。今度はさらに野心的な調査が企てられた。それがすでに前節でも觸れたカイエンヌ島への探檢旅行であった。

カッシニとアカデミーの推薦によって、Jean リシェ Richer (1630—96) が率いる觀測隊がこの南米の北緯5度弱の地にあるフランスの植民地へ派遣されることになった。1672年に火星が近日點にきて、しかも衝 Opposition の位置に巡ってくるようになっており、その日周視差 Diurnal Parallax を測定するのに好都合な條件が揃うはずであった<sup>26)</sup>。

この衝のあいだにパリと、パリから極めて遠く離れた地點において火星の位置を觀測して、兩者を比較すれば火星の視差が得られるはずであった。1582年にティコ=ブラヘがかって試みたように、火星の地心視差の測定を目的とするこの派遣が急がれた<sup>27)</sup>。他方、ヨーロッパにおいても、マイクロメーター、天體望遠鏡、振子時計で裝備した觀測者がこの火星の日周視差の測定に備えていた。

リシェがカイエンヌ島での觀測を終えて、パリに歸ったのは1673年のことであった。この調査旅行は大成功であった。「交食曆指」上には、成功したパリ天文臺の企畫の結果が報告されている。ただ火星の衝の位置のパリとカイエンヌ島での同時觀測の年は、「康熙九年」、すなわち西曆1670年であったとなっている。すなわち、その年の9月に3次にわたって測候がなされたと、『暦法問答』には記述されているのである<sup>28)</sup>。

しかし、この觀測の年月日については、『曆象考成後編』では「康熙十一（1672）年壬子秋分前十四日」と書かれており、九年から十一年への訂正がなされている。また、『暦法問答』のこの個所には本来、附されたはずの圖解が缺如している。それを補うために『曆象考成後編』にみられる圖を示しておく（圖1）。

この方法は火星の近傍で觀測される恆星からの距離が利用された。パリで測定したカッシニによれば、子午線上においては、火星はその恆星より15秒だけ低い位置に觀測され、カイエンヌ島でのリシェの觀測では、それは40分であった。この恆星については、『暦法問答』「交食

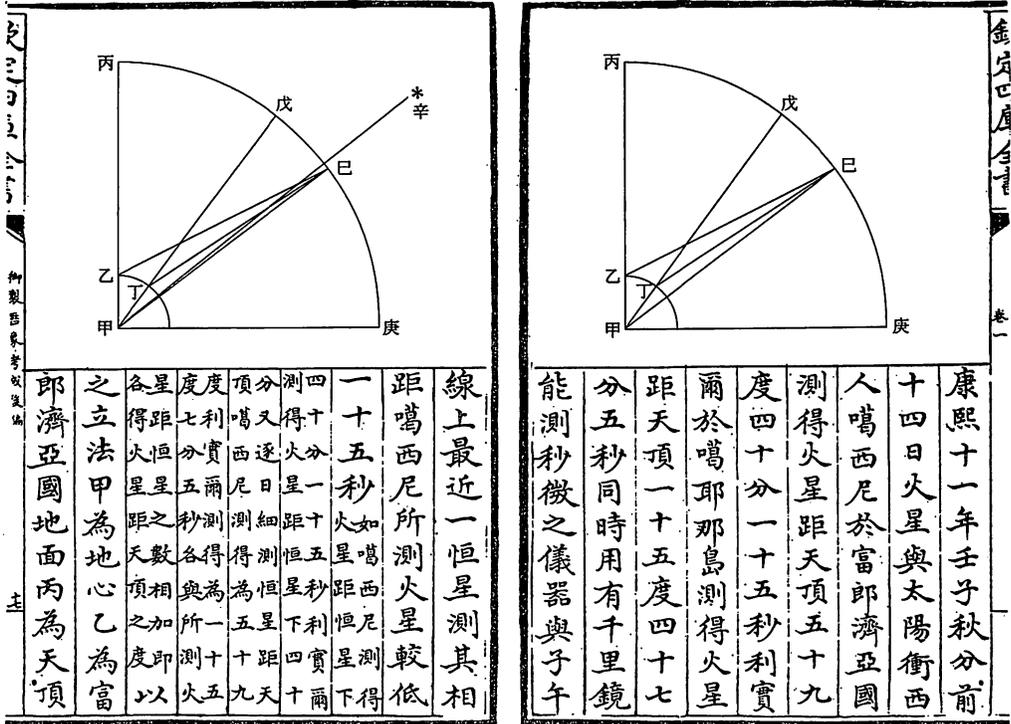


圖1 恆星(辛)の近傍に見える火星が太陽と衝の位置にあることを利用して地心視差を觀測する方法(『曆象考成後編』卷1より)。

曆指」上卷に、「按西洋恆星圖。此星在寶瓶宮水內」という割注があるだけであるから、みずがめ座内の恆星であったことが報告されているに止まる。<sup>29)</sup>

こうした觀測の結果、カッシニは火星の最大視差を25秒と決定した。太陽と火星が衝の關係にあることを利用して、この値を使って計算すると太陽の視差が得られる。すなわち、 $9\frac{1}{2}$ 秒が得られたが、カッシニはそれを整約して10秒とした(赤道太陽地平視差の現在値は、8.794148秒)。他方、ラ・イールはその後の10年以上にわたる觀測の結果として6秒という値を得た。<sup>30)</sup>

カッシニの決定によれば、地球から太陽までの平均距離は、地球半徑の20,625倍、ラ・イールによれば34,376倍ということになる。いずれにしてもティコが約1,100餘倍としていた値より一桁大きい數字になり、宇宙のサイズが一層、大きいものであるという認識がなされるようになった。太陽と地球の距離は1天文單位距離であるが、その現在値は $1.49597870 \times 10^{11}$ mである。宇宙の大きさを測る重要な基本單位である。太陽の地心視差の正確な値を測定するということは、宇宙のサイズの認識についての歴史からみても意義のある問題であった。

ティコ＝ブラヘとカッシニの算定のあいだに、地球と太陽との距離を測定したことで知られているのは、ポーニアのG. B＝リッチョリ Riccioli (利酌理：1598—1671) とベルギーの天文学者G・ウェンデルリン Wendelin (温得林：1580—1667) であった。前者は地球半径の8,333倍、後者は14,656倍という結果を得ていた。こうした推定値についても、「交食暦指」の第十一節「定太陽之距地心若干」に紹介がなされていることは注目に値しよう。それはティコ以後における天文定数の精度の發達を明かにし、とりわけ、パリ天文臺設立以降のフランス科学の成果を顯示するという本稿本の目的を伺わせるものである。

續いて太陽の視径と體積の決定についての議論は、「交食暦指」上の第十二節「定太陽眞實之視径」に展開される。そこにはピエール＝ガッサンディ Pierre Gassendi (1592—1655：佳僧的)の測定法とともに、カッシニがポーニア(北緯44度30分15秒：波尼訥亞)において測定した方法と結果が紹介されている。カッシニの観測は彼がパリへ行く前の1656年3月21日になされた<sup>32)</sup>。その太陽の視半径は15分50秒であった。

その後のパリにおけるラ・イールの観測結果からの計算によって、太陽の視半径として、中距のときのそれは16分6秒とされた。また、遠距のときは15分45秒、近距のときは16分23秒と決定された。したがって、中距のときを考えれば、太陽の視半径は地半径差の約100倍となるが、これについても「交食暦指」のなかで論究がなされているのである<sup>33)</sup>。

それから推算されることとして、太陽の表面積は地球の1萬倍、體積は100萬倍であるとされている。他方、ラ・イールの得た地半径差6秒を用いれば、太陽の體積は地球のその4,173,281倍となる。最終的にはラ・イールの『天體位置表』に信頼を置くフーケの『暦法問答』がこの數値を並び挙げていることはいうまでもない<sup>34)</sup>。

#### 4. 木星の衛星の掩蔽現象と地理圖

前節で簡単に觸れたように、ピカルルに始まるフランスにおける測地學上の成果は、正確な地球の大きさの決定という点からみて大きな意味があった。中國に來たフランス宣教師團も中國地圖の作成について重大な關心を持っていた。

パレナン (Dominique Parrenin, 1665—1741：巴多明) は、1707年に中國全土の測量と地圖作成の建議を行った。その建議は康熙帝に容れられてジャルトー (Pierre Jartoux, 1669—1720：杜德美)、レジス (Jean-Baptiste Régis, 1663—1738：雷孝思)、ブーヴェ (Joachim Bouvet, 1656—1730：白晉) らが測量を開始し、1717年に『皇輿全覽圖』が作られたことはよく知られている<sup>35)</sup>。

さて、ここでは地球の形状を巡るヨーロッパにおける論争への論及は避け、まず『暦法問

答』のなかで詳細に紹介された木星の衛星の掩蔽現象について観測結果と経度の決定に関わる問題だけを見ておきたい。

「五緯曆指」下巻の第三節と第四節には、それぞれ「詳如何以測土木二緯之小星。可改正地理圖。」及び「詳以測繞木星之小星。何以定各星之光。至於人目。用時刻否。並用時刻之多少。」という表題が附せられている。ここで木星の衛星は「小星」とされているが、本文中では「侍衛」という譯語が用いられ、文字通り Satellite の意味で使用されているのである。<sup>36)</sup>

『星界よりの報告』（1610年）のなかで木星の4衛星の発見を報じたのはガリレオ（嘉理勒）であったが、1668年、G. D = カッシニはこの掩蔽現象を利用して地理上の経度が決定できることを指摘した。<sup>37)</sup> カッシニはまた、1672年、パリにおいて土星の第1、2衛星を発見した。續いてホイヘンスは第4衛星を、カッシニは第3、5衛星を発見した。<sup>38)</sup> 後者はまた、土星の輪にみられるギャップの発見や木星の表面に現れる斑跡の観測でも知られる。

『曆法問答』には下表のように、カッシニが木星の4衛星について1671年に得た観測結果が紹介されている（表3）。<sup>39)</sup>

表3 カッシニによる木星の衛星の観測結果

衛星 (侍衛)	木星からの距離 (単位：木星の半徑)	周 期 (単位：日・時・分)
第1	6	1 18 29
第2	9	3 13 19
第3	14餘	7 4 0
第4	25 1/3	18 18 5

第1衛星は木星の周囲を回る周期が極めて短く、経度の決定にとっては好都合の天體であった。『曆法問答』はこう書く。「木星の4侍衛の中で、ただ第1侍衛だけはその運行がいよいよ速く、その伏現がますます多い。だから多くの場合はこれを用いて測り、各地方の経度を定め、<sup>40)</sup> そうして地理圖を正すのが最善であることはいうまでもない。」

木星の第1衛星（すなわちイオ）の回轉を用いて経度を決めるために、それが木星に隠される瞬間の時刻と、現れる瞬間の時刻が計られた（こうした現象に對して「伏現」という表現がなされている）。カッシニによると、前者の場合は、(1)衛星が木星の輪廓までその直徑ぶんを残して接近した瞬間、(2)衛星が木星に接した瞬間、(3)衛星が木星の圓盤によって完全に隠された瞬間、また、後者の場合は、(4)衛星が見え始める瞬間、(5)衛星が木星の圓盤を離れた瞬間、(6)衛星が木星からその直徑ぶんだけ離れた瞬間、の6位相の時刻が計られなければならないとされた。<sup>42)</sup>

『暦法問答』では、1671年、ピカール（畢嘉）がデンマークのウラニボルク Uraniborg（「天城」と譯されている）に派遣され、レーマー（ここでは「樂默」とされている）とともに観測した結果と、パリでカッシニが観測した結果によって、パリとウラニボルクの経度差が測定された。その東西差は、最大42分20秒、最小42分2秒であったが、折衷値として42分10秒に決められた（現在値は40分<sup>42)</sup>26秒）。

ピカールとラ・イールらによる1681年からフランス国内の各地の位置観測だけでなく、1682年、Varin（瓦林）ら3名〔des Hayes と de Glos を含む〕の天文学者をアフリカ（阿扶力噶）、アメリカ（阿美利噶）兩大陸に派遣し、パリの子午線からの差違を測定しようとした企畫についての紹介もここに<sup>43)</sup>見られる。

特に、この企畫においては、アフリカ沖の Gorée 島（各壘亞島）とパリ天文臺との東西（経度）差を測るために、木星の第1衛星の見え始め（「出影」）の時刻の同時測定がなされた。これら二つの地点においてそれぞれ1時間17分34分と1時間17分40秒という結果が得られた。両者の観測に6秒の差違が認められたが、Gorée 島は当時の標準子午線が通過していたパリの西1時17分34秒（時角による）にあるとされている。

『暦法問答』は、地圖を改良するために特にこの方法が優れているとし、次のように強調している。「ここ60年來、才能のある學者らが錯綜して往來し、東西南北の四方の極遠の地に至り、地理舊圖が順當か否かを測り求めようとした。そこで舊圖のなかの亞細亞州は、多くの場合は東にのびすぎており、二十五度の差がある。このことから木星を繞る衛星を測るやり法が地理圖を作るのに最も裨益するところがあることが<sup>44)</sup>わかる。」

世界地圖のアジアの部分が特に不正確であり、観測に基づいて作成し直さなくてはならないが、その場合に木星の衛星を利用する方法が役立つはずだと主張しているのである。このように天文学の實利性を強調しながら、國家的プロジェクトとして發達したフランス観測天文学の成果を紹介している。そのことが何よりもフランス科学の優越性を強調した『暦法問答』の性格をよく示したものとなっているといえるのである。

## 結 わ り に

『暦法問答』の撰者は、「交食曆指」上巻及び「五緯曆指」上巻の第1節において、ヨーロッパ、とりわけフランスにおける近60年の観測天文学の發達を特に強調する。その結果として天文学の基本定数が改善されたが、それはパリ天文臺の大きな成果であり、同時、フランス測地学の確立を畫するものであった。

そうしたフランス科学を中國に紹介しようとする意圖は、『暦法問答』の内容の分析によっ

て具体的に示すことができた。しかし、これが稿本の段階に止まったことの意味については、明確な答えを用意する段階にはまだ達していないことを認めざるを得ない。

ケプラー法則の導入の合理化は、1665年、ポーニアのイエズス會に屬する天文學者リッチョリが『改革天文學』*Astronomia Reformata* のなかですで行っていた。しかし、それを中國において實現するには、『曆法問答』の内容を検討する限りにおいては、まだ時期早尙であったと理解することができる。とはいえ、その約4半世紀後になって『曆象考成後編』として、それが實現することになるに先立って、橢圓運動論が中國に紹介された意味は無視できない重要なものであったといえよう。

『曆法問答』が紹介したケプラー法則の問題とデカルト主義的な物理学の導入の問題については、稿を改めて論じることにしたい。

#### 註

- 1) British Library: Oriental and India Collections, Add. 16634.
- 2) Keizo Hashimoto and Catherine Jami, "Kepler's Laws in China: A Missing Link?," *Historia Scientiarum*, vol. 6-3, 1997: 171-185.
- 3) Cf. John W. Witek S. J., *Controversial Ideas in China and in Europe: A Biography of Jean-François Foucquet, S. J. (1665-1741)*, Rome, 1982.
- 4) 『曆法問答』「五緯曆指」下巻：V-2, 43 a, 44 a-45 a.
- 5) 同上：V-2, 33 a-36 b.
- 6) Cf. Joseph Dehergne S. J., *Répertoire des Jésuites de Chine de 1552 a 1800*, Paris, 1973: 98-99.
- 6) 『曆象考成』上編, 第4巻, 22葉右。
- 7) Cf.: Hashimoto and Jami, 1977:175.
- 8) 後の「交食曆指」上・下, 「恆星曆指」, 「五緯曆指」上・下の表題によれば, 初めの「日躔」と「月離」にも, 「曆指」を附するのが適當と考えられる。但し, それらの文中では『曆法問答』「日躔」とした文献の提示がなされ, 必ずしも「曆指」が附されているわけではない。
- 9) 『曆法問答』I, 41 a-61 a.
- 10) I, 44 b.
- 11) I, 47 a.
- 12) A. Pannekoek, *A History of Astronomy*, New York, 1961:276.
- 13) 『曆法問答』「交食曆指」上, 一葉右(III-1:1 a).
- 14) 同上。
- 15) Pannekoek, 1931:279.
- 16) Cf. Hashimoto and Jami, 1997.
- 17) 『曆法問答』「日躔」: I, 48 a.
- 18) 同上: I, 52 b.
- 19) 同上。
- 20) 同上: I, 53 b-54 a.
- 21) 『曆法問答』「交食曆指」上巻: III-1, 64 a.

- 22) 同上：Ⅲ-1, 60 b.
- 23) 同上：Ⅲ-1, 65 a.
- 24) 同上：Ⅲ-1, 66 a-b.
- 25) 同上：Ⅲ-1, 76 a.
- 26) 日周視差については、例えば、W. A. Smart, *Textbook on Spherical Astronomy*, Sixth Edition, revised by R. M. Green, Cambridge UP, 1977, pp.210-212, 等に詳しい。
- 27) Albert van Helden, "The telescope and cosmic dimensions," *Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of astrophysics. Part. A: Tycho Brahe to Newton*, ed. by R. Taton and C. Wilson, Cambridge Univ. Press, 1989:116.
- 28) 『暦法問答』「交食曆指」上巻：Ⅲ-1, 78 b.
- 29) 同上：Ⅲ-1, 78 b.
- 30) 同上：Ⅲ-1, 81 b.
- 31) 同上：Ⅲ-1, 85 a.
- 32) 同上：Ⅲ-1, 89 b.
- 33) 同上：Ⅲ-1, 91 a.
- 34) 同上：Ⅲ-1, 91 b.
- 35) 織田武雄『地圖の歴史』, 東京：講談社, 昭和48年：178, 207頁等参照。
- 36) 『暦法問答』「五緯曆指」下巻の割注に、「繞土木二緯之小星。後名爲侍衛」とあるのは注目に値する。
- 37) Lloyd A. Brown, *The Story of Maps*, 1949; Dover edition, New York, 1979:215.
- 38) 『暦法問答』「五緯曆指」下巻：V-2, 43 a-b.
- 39) 同上：V-2, 25 b.
- 40) 同上：V-2, 27 b.
- 41) Brown, 1979: p.222.
- 42) 『暦法問答』「五緯曆指」下巻：V-2, 29 a-b.
- 43) 同上：V-2, 31 a-b.
- 44) 同上：V-2, 32 b.

## Atmospheric Refraction and Solar Parallax in the *Lifa Wenda*

Keizo Hashimoto

In the *Lifa wenda*, which was edited by the French Jesuit, Jean-François Foucquet in between 1712 and 16 in Beijing, we observe the earlier introduction of Kepler's Laws, which have so far been believed to have been introduced into China in 1742. In the present paper, however, the author tries to make clear of the introduction of astronomical fundamental numbers, including the improved table of atmospheric refraction and the discussion of the improvement of solar parallax 10'' at the Paris observatory as well as the introduction of La Hire's *Astronomical Tables* in 1702.

[Key Words]

- *Lifa wenda*
- Beijing
- Solar Parallax
- *Astronomical Tables*
- French Jesuit
- Kepler's Laws
- Paris Observatory
- J.-F. Foucquet
- Atmospheric Refraction
- La Hire