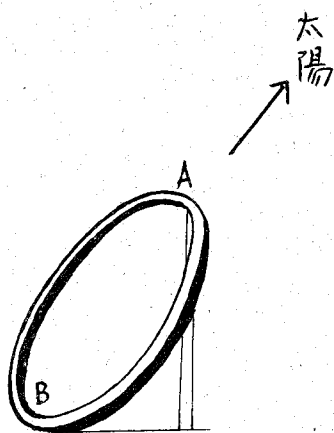


渋川春海の二至観測と消長法

中山 茂*



第 1 図

§ 1. 赤道環とノーモン

1年の長さを決める、これが洋の東西を通じて天文暦学者の一ぱん基本的な仕事である。これに対し西の方では赤道環を使って春秋分の観測を、日本をふくむ中国文化圏ではノーモン（表）を使って冬夏至を観測して決めるのが常であった。

赤道環のことは、プトレマイオスの『アルmageスト』にて出ているが、第1図のように環を赤道面に置くと、春秋分の時太陽光が環の上部にあたり、その影が丁度環の下部に落ちる。この方法では曇らない日中なら春秋分の日だけでなく、時刻まで6時間ぐらいの誤差範囲内で決められる。正確に緯度を決めて赤道環を赤道面からずれないようにする必要があるが、たとえずれていても、1年の長さを決める上には影響しない。

一方、棒（ノーモン）を立ててその影の長さの長短で冬夏至を決める方法は赤道環にくらべるとより原始的である。それに太陽の高度は春秋分の時にもっともはげしく変化し、冬夏至の時にもっとも変化が小さいから、同じ大きさの赤道環とノーモンをくらべると、精度は前者が後者に一桁まさる。中国人もこの事に気づいたようであるが、西洋が春分を起点にするに対し、中国暦では冬至を起点として考える習慣になっていたので、赤道環観測は補助的役割をするだけで、ノーモンが常に主役を演じていた。

その上、ノーモン観測では、正午の影の長さを測るだけなので、冬夏至の時刻までは求まらない。これを何と

かしようとする中国人は勾配術という方法を発明した（5世紀の祖沖之の発明とされている）。

冬夏至頃は太陽の赤緯の変化は小さいから、冬夏至をはさんで数十日もはなれた同景長の日の観測をして、その中間を冬夏至とする方が求めやすい。しかし、げんみにつに同景長の2日の日はあり得ないから、第2図のように片側では連続した2日の景長をはかり、その中間にもう一方の景長がくるようにすれば、インターポレーションで図の x の時刻を求め、 x と c との平均が求める冬夏至の「時刻」となる。

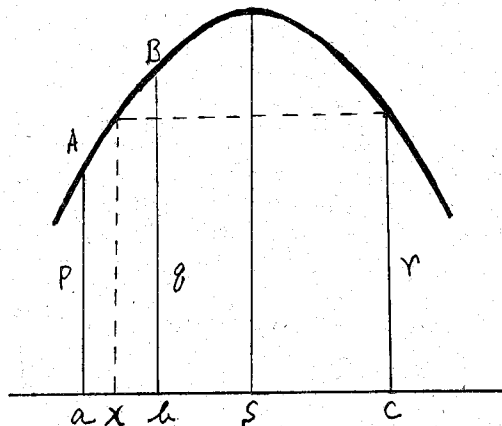
この勾配術は一見なかなかうまい方法のように見えるが、実は本質的な誤差の原因が伏在する。というのは、第2図の景長のカーブが必ずしも冬夏至点 s を中心として左右対称をなすわけではなく、太陽の中心差の影響があらわれ、真の冬至点と勾配術により求めた冬至点との平均黄経の差を計算すると、

$$2e \cos \omega (1 + \sin \lambda) \quad (1)$$

となる。ここで e は地球の離心率、 ω は太陽の近地点黄経、 λ は観測時の太陽黄経である。これを平均運動で割ると、勾配術による冬至測定の内在的誤差が出る。

§ 2. 東西観測技術の比較

さて、古代・中世における二至二分の観測値を洋の東西を通じて寛め、ニューカム式を用いて計算した値と比較したのが第3図である。ついでに日本の貞享・宝暦改暦の際の観測も附加しておく。ここで点であらわしたものは、日付だけを示した中国の記録であり、したがって実際の値は点の上下半日ずつ縦にのぼした線内にあると考えるべきである。



第 2 図

まず図の左端より始めて、中国古代の三冬至記録はニューカム値より2日~4日も早い。これについては後に論じる。

プトレマイオスの『アルマゲスト』に出ているメトン、ヒッパルコス、プトレマイオスの観測も余り精度の高いものではない。これについては史上いろいろの議論があった所で、点線で結んだ3対の観測からプトレマイオスが $(365 \frac{1}{4} - \frac{1}{300})$ 日という回帰年長を出しているため、プトレマイオスの捏造説もあり、また記録の書き違いとも解釈される。後世の天文学者がこれらの観測を参考にして回帰年長を決めたわけだから、由々しい問題である。

5世紀以後の中国の観測も、9世紀のイスラムの観測も、当時の観測器具の精度を考えれば、妥当な精度を出したと言えよう。祖冲之の勾配術を用いた冬至決定は、ニューカムとは0.14日の差があるだけである。(1)の勾配術誤差を補正すれば0.11日となる)。

おどろくべきは、授時曆作成時の郭守敬などによる冬至観測の正確さである。1277~1279年の3年にわたり、勾配術を用いて数多くの対観測をして決めた結果が、ニューカム式によって計算したものと完全に一致する。

(もちろんニューカムがその回帰年長の変化の式を出した時、郭守敬の観測を参考にしたという事はない。) 中国ではふつう8尺のノーマンを使うのに、郭守敬は40尺のジャイアンツ・ノーマンを使った。観測器具のセッティングの困難を考えなければ、10倍器具を大きくすれば1桁精度が増すと考えてよい。だからそれだけ郭守敬の器具は精度が高かったのである。しかし、それだけでは以上のような見事な結果は期しがたい。この時点にあっては勾配術の威力がフルに発揮できたから

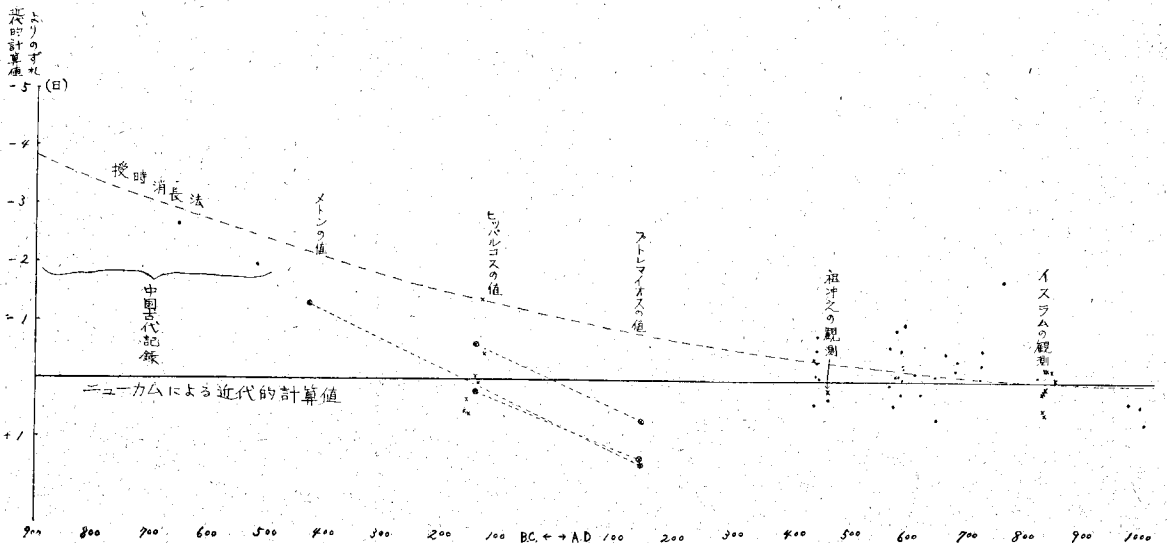
である。つまり郭守敬の頃は幸にして太陽の近地点が冬至点にはほぼ一致し、中心差の影響、つまり(1)の勾配術誤差が殆んどゼロになるという幸運な状況にあったからである。ともあれ古代・中世を通じてこの観測は世界の最高の精度を持っていたことを誇ってよい。

§ 3. 春海の観測

渋川春海が貞享改暦前後におこなった冬至観測も、また宝暦改暦の際に行った観測も、基本的には中国の伝統的方法と同一で、ノーマンを使うものである。その観測を第4図 a, b に拡大して示す。

まず春海の観測には、中央のニューカム式による線とくらべて、半日ほどの観測値のバラツキが認められる。授時曆の時より400年たち、既に太陽近地点は冬至点をかなり過ぎ ($\omega = 277.^\circ 4$)、したがって勾配術誤差もかなりの値になる。第4図 a はその補正前、b は補正後を示したものであるが、この観測のバラツキは補正によっていくぶん救える方向に向うが、決してそれで説明できるようなものではない。

『貞享曆議』によると、春海は寛文年中江戸で数丈のノーマンを立てて観測したが、ノーマンが長すぎると景が淡くなり、実景を得がたい、としている。郭守敬のようなジャイアンツ・ノーマンを使うことを初は意図したが、どうもうまく行かなかつたらしい。そこでずっと短くして8寸のノーマンを自宅に立てて観測したのが延宝年間(1673~79年)の観測である。これでどうやらかなり意味ある観測値は出せたものの、このようにバラツキのある値では冬至観測の目的である冬至点と回帰年長の決定はできない。そこで彼は後に述べるように授時曆の消長法を採用し、それに従う冬至点と回帰年長を採用する。春海の観測は、今日の学生の実習観測のような



第3図 (左)

もので、自らの観測が大体間違いない、ということを確認する程度のものであったろう。この程度の精度では春海の誇る中国と日本との里差（0.06日）の決定の参考にはできなかったが、ただ当時行なわれていた宣明暦は観測と2日のずれがあり、したがって授時暦の方が正しい、とする確信を強める上には役立った。

貞享暦が施行されてからは、観測も公式のものになったのであろう。貞享元年の冬至から3年間、京都に於て古式通り8尺の表を以て冬夏至観測を行っている。この際は行用暦を確認する意味で観測が行なわれたのであろうが、第4図を見ると、やはり延宝年間の8寸の表よりもやや成績が良い。特に勾配術誤差補正を行なったあとでは、ニューカム値より0.2日の範囲のなかにほぼ収まっている。やはり大きいノーマンの方が精度を上げるところを示しているのではなかろうか。

それにしても、授時暦のようにすべての観測値の見事な一致はここには見られない。授時の方はあまりうまく行きすぎていて、計算から逆算して観測値を加減したのではないかと怪しまれるが、『壬癸録』によれば春海も授時では理論と合わない値を捨てたのではないかと、疑念をさしはさんでいる。しかし授時値のニューカム値との完全な一致は評価せねばなるまい。

春海は公式の『貞享暦議』にもバラツキのある観測値を正直にそのまま出している。ところが宝暦改暦に先立つ観測になると、冬至、夏至とも観測値がよく集まっていて、しかも両者ともニューカムからかなり離れた位置にある。すでに貞享観測にも認められていた冬至と夏至の観測の間の系統的な喰い違いが、宝暦の場合は観測精度内の問題としては黙認できないほど、顕著になっている。

授時暦までの中国暦では、太陽近地点と冬至点は一致するものと考えられていた。春海には近地点が冬至点より移動しているという知識があったにかかわらず、十分その意味を認識できず、夏至の計算は冬至に丁度半年を加えた日付を出しており、宝暦の場合時にその誤る計算に観測の方が引きずられている。更に次に述べる消長法の理論にも引きずられている。かくして宝暦観測は近代的分析の前にその馬脚をあらわした形になったが、春

海の観測はほとんど理論に引きずられた形跡のない、その実証性を褒めてよいであろう。

§ 4. 消長法

消長法とは天文常数を時と共に変化させることである。回帰年長が永年変化する、という考え方は宋の統天暦（1194年施行）にあらわれ、授時暦で数値をやや簡便化して

$$\text{回帰年長} = 365.2425 - 0.000002t \quad (2)$$

(t は元期(1282年)よりの年数。) という形になる。

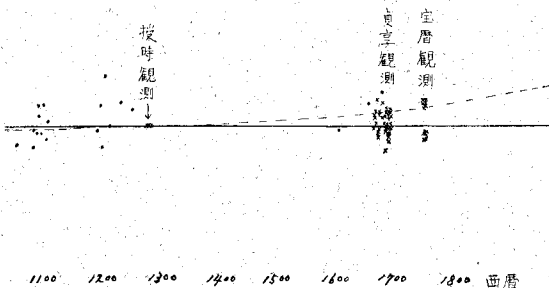
何故このような考え方があらわれたのだろうか？ 中国の官暦に採用された回帰年長をみると、漢代の四分暦(365.2500日)から少しずつ減少して行く傾向が見られる。第3図で、中国の3古記録はニューカム値よりも数日前である。1年の長さを決めるには、2つの冬至の間の日数をその間の年数で割れば出る。その年数を多く取れば、それだけ回帰年長は精密になる、と考えるのは自然である。そこで、最も古い春秋の古記録の値打ちが上り、現在の観測と最古の記録とから回帰年長を決める。ところが最古の記録がニューカム値より数日前だと、結果として出た回帰年長は、どうしても真の値より大きくなるのである。

中国人が回帰年長の常数を決める時、これまでの観測記録に出来るだけよく合うものを採用する。ところが回帰年長が常数だと、第3図の上では直線をなす。そして古いものに合わせようとすれば、新しいものに合わない。またその逆の場合にもなる。そこで古い記録にも新しい記録にも両方とも合わせるために、回帰年長を変化するものとして考えた。(2)のような値を採用すると、第3図では拋物線(図では授時消長法と名づけた点線)となり、古いものも新しいものも、(2)の式の下にうまく合うようになる。これが消長法の発生理由である。

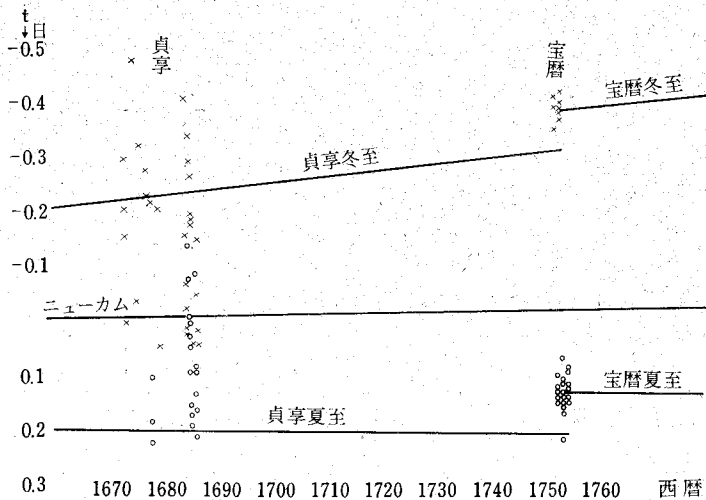
中国においては、授時暦の次の大統暦では消長法を採用しなかった。耶蘇会士の作った時憲暦でも同じである。その理由はあきらかでないが、(2)の第2項のような小さい項は実証しにくいからであろう。それに清朝の学者たちは中国古代3記録の信憑性には頗る懐疑的であった。

ところが日本では、このように小さい項がある授時消長法の方が、より正確であろう、という事大主義があったようである。渋川春海もこれにひっかかって、授時消長法を採用することになる。

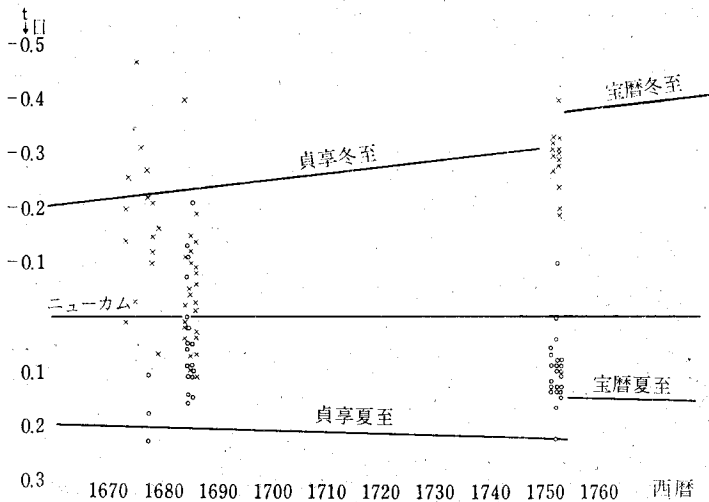
(2)式によると、春海の時回帰年長は365.2417日になり、宝暦暦になると365.2416日と漸減する。さらに第3図の上では拋物線は時と共にますます上へ開いて行く。第4図で見ると春海の観測の程度では、消長法の誤りを突き止められる程の精度がなかった。宝暦暦になると、意識的に消長法理論に観測値を合わせようとす



第3図 (右)



第4図 (a) 勾配術誤差補正前 (×冬至, ○夏至)



第4図 (b) 勾配術誤差補正後 (×冬至, ○夏至)

ている。しかし、これから後になると、授時消長法ではますます違いがいちじるしくなり、寛政暦に至って廃されることになる。

しかし、麻田剛立は、中国古記録だけでなく当時耶蘇会士の仕事の中に含まれていたギリシアの観測も統一理論の下に説明しようとし、才差周期で変化する独自の消長法を編み出したが、これも次の天保暦では採用されなくなるのである。

以上、数式や計算を省略して概略を述べたが、詳しくは以下の文献を参照していただきたい。

参考文献

中山 茂：「消長法の研究 (I)~(III)」『科学史研究』 pp. 68~84, pp. 128~130 (1963), pp. 8~17 (1964)

Shigeru Nakayama, "Hsiao-Chang Method (Variation of Tropical Year Length) in Chinese Astronomy and its Observational Basis" *Actes du dixième congrès international d'Histoire des Sciences* pp. 737-742 (1962)

Shigeru Nakayama, "Accuracy of Pre-Modern Determinations of Tropical Year Length" *Japanese Studies in the History of Science* No. 2, pp. 101-118 (1963)

Shigeru Nakayama, "Cyclic Variation of Astronomical Parameters and the Revival of Trepidation in Japan" *Japanese Studies in the History of Science*, No. 3, pp. 68-80 (1964)

広瀬秀雄：『授時暦と貞享暦の冬至について。——江戸時代の天文学, 研究報告』1964, II, 3, 26 p.