５．２　月食観測

「閏四月十九日　朝**五ツ**前深川出立　（中略）大澤宿ニ**七ツ頃**に着」という書き出しで始まった測量日記において、**時刻**の表現は、測量への出立時刻が朝**五ツ**、そして「昼**七ツ**頃に次の宿に到着」と表現する所謂「**不定時法**」と呼ぶ時刻の表現方法で表現されており、現在の「ｈｈｍｍｓｓ」すなわち「時分秒」という「定時法」での表現は測量日記では一切使われていない。但し、時刻でなく時間の表現としては、一次測量の八月十日の日記に「暮六ツ二三**分**少し地震有」と綴られているので、「ｈｈｍｍｓｓ」におけるｍｍつまり「分」という表現を使っていた可能性もある。また、測量日記第一巻巻末には「寛政暦に、諸国毎の日月の食分時刻を書き加え入れたきものに御座候」と敢えて「時刻」という「時を刻む」というニュアンスの用語を使っていることを考慮すると、「暮六ツ二三**分**」というような時間の表現だけでなく、日食や月食が起こる時刻には、天文暦学を学んだ伊能忠敬翁であるから、不定時法というあいまいな時の表現とは異なる定時法的な表現をしていたであろうとは想像される。

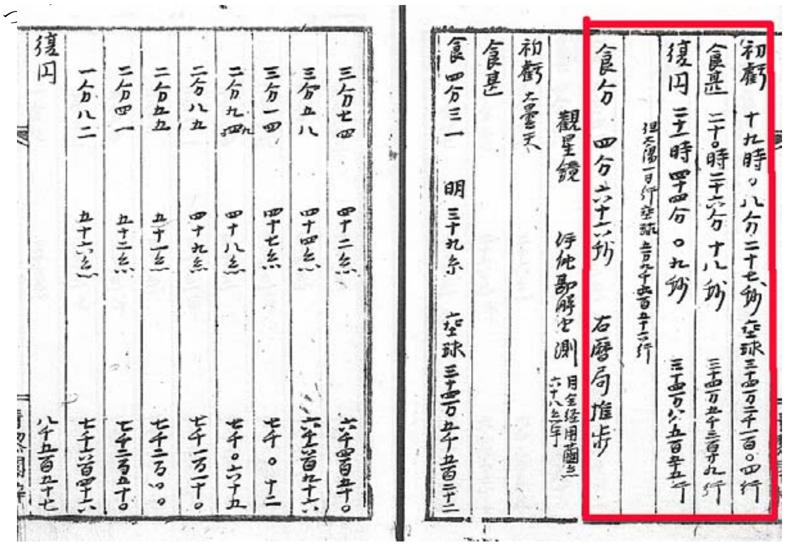
初虧　十九時〇八分二十七秒　垂球三十五万二千一百〇四行
食甚　二十時二十六分　十八秒　三十五万五千三百廿九行
復円　二十一時四十四分　〇九秒　三十五万八千五百廿五行
食分　四分六十二秒　右暦局推歩
観星鏡

図 5-4．月食の食分時刻（原本）

では、その日月食分時刻の表現に関して実際はどうであったのか？図 5-4 は、「雑録」と題する伊能忠敬記念館所蔵の国宝文書に掲載されている「享和二戌年二月　月食観測録及び恒星高度」であるが、ここには明らかに「時分秒」という定時法で記録されていたのであった。

図 5-4 の月食は、享和 2 年 2 月 16 日（西暦 1802/3/19）とされている。そこで、オープンソースプラネタリウム Stellarium に 1802 年 3 月 19 日の江戸の夜空を再現してみたところ、確かに月食が起こっていた（図 5-5）。

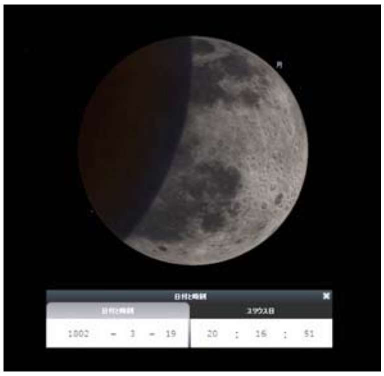

図 5-5．1802/3/19 の月食の様子
（オープンソースプラネタリウム
Stellarium より）

図 5-4 の「雑録」によれば、月食が起こる四日前の 2 月 12 日の夜に、**井宿三**という名称の恒星（ふたご座ζ）が南中した瞬間において**垂揺球儀**という<u>振子時計の行数①</u>の確認から始まり、**北河三⑫**という名称の恒星（ふたご座β：ポルックス）まで合計 12 個の恒星が南中した瞬間の地高度ではなく垂揺球儀の行数を測っていた。

その観測した主なものの行数は次の通りとなっている。

①井宿三(ふたご座ζ)　一十三万二千六百四十三行
⑥弧矢一(おお犬座δ)　一十三万四千　　四十四行
⑫北河三(ふたご座β)　一十三万五千四百　　九行

５．２．１　月食観測データの考察

図 5-4 によれば、垂揺球儀が一日に振れる行数は **59,656** 行と表現されている。一方、最初に観測された①井宿三が南中した瞬間の垂揺球儀の行数は 132,643 であるから、垂揺球儀を作動させたのは

（井宿三南中時の垂揺球儀の行数 132,643 -垂揺球儀の一日の行数 59,656×2＝13,331←59,656 より小）によって２日前に日中ということになる。すなわち２月 10 日の正午ごろに作動を開始させたことが分かる。このように**垂揺球儀**の作動開始を日月食の数日前に行う目的は**垂揺球儀**の安定作動を図ることにあったと考えられる。

また、この日の最後の観測となった⑫北河三までの観測時間は**垂揺球儀**の行数を用いた次の計算によって、一時間強であったことも分かる。

［24h×24 時間に対する観測時間の割合＝

24h ×｛(⑫北河三の行数 135,409 -①**井宿三**の行数 132,643）／一日の行数 59,656｝＝1.1h］

その後、「雑録」によれば、

2 月 13 日は、太陽と二個の恒星が南中した瞬間の垂揺球儀の行数を測った。

2 月 14 日は、太陽と七個の恒星が南中した瞬間の垂揺球儀の行数を測った。

2 月 15 日は、太陽と二個の恒星及び木星が南中した瞬間の垂揺球儀の行数を測った。

2 月 16 日は、日食が起こった当日で、太陽と四個の恒星の南中及び月食の始まり（初虧)、最大（食甚）及び復円時点における垂揺球儀の行数」を測っている。

その主な行数は次の通りである。

・太陽の南中　　　　三十二万四千三百五十三行
・月食の初虧　　　　三十四万二千一百　〇四行
・月食の食甚　　　　三十四万五千三百二十九行
・月食の復円　　　　三十四万八千五百五十五行
・軒轅十四(しし座α）三十二万九千三百八十八行

2 月 17 日は、日食の翌日で太陽と 9 個の恒星の南中時点における垂揺球儀の行数を測っている。その主なものの行数は次の通りである。

・太陽の南中　　　　三十八万四千　〇一十〇行
・軒轅十四(しし座α）四十三万八千八百九十一行

５．２．２　月食の各食分時刻の検算

月食が起こった２月１６日において既に判明していることは、

・太陽の南中時刻が南中であることにおいて、その観測地点の正午（12：00）に当たり、その正午時点における垂揺球儀の行数が 324,353 であること、
・月食の初虧の時点の垂揺球儀の行数が 342,104
・食甚の時点の垂揺球儀の行数が 345,329
・復円時点の垂揺球儀の行数が 348,555

であること、

それに加えて、一日当たり垂揺球儀が振れる行数は 59,656 であるという事である。

A.初虧の時刻

以上の既知情報から、当日の正午から初虧までに垂揺球儀が振れた行数は、
初虧時点の行数 342,104 － 正午の行数 324,353＝17,751 回となる。

次に、一日 24 時間当たり垂揺球儀が振れる行数は 59,656 であるから、正午から初虧までに垂揺球儀が振れた行数 17,751 回は、一日に対して、17,751/59,656 の割合となり、正午から初虧までの時間は 24h×（17,751/59,656）＝7.1413437…時間となる。

7.1413437…時間の小数点以下**有効数字を** 0.141 として分の値を求めると

0.141×60＝8.46…分となる。

8.46…分の小数点以下**有効数字を** 0.46 として秒の値を求めると

0.46 ×60＝27.6…秒となり，

27.6…秒の**小数点以下を切り捨てて**、当日の正午から初虧までの時間は 7 時間 8 分 27 秒後、つまり、**19 時 08 分 27 秒**（＝12 時+7 時間 08 分 27 秒）が初虧の時刻として求まり、図 5-4 における初虧の時刻と一致することが分かった。

B 食甚の時刻

既知情報から、当日の正午から食甚までに垂揺球儀が振れた行数は、
食甚時点の行数 345,329 -正午の行数 324,353＝20,976 回となる。

次に、一日 24 時間当たり垂揺球儀が振れる行数は 59,656 であるから、正午から食甚までに垂揺球儀が振れた行数 20,976 回は、一日に対して、20,976/59,656 の割合となり、正午から食甚までの時間は 24×（20,976/59,656）＝8.43878…時間となる。

8.43878…時間の小数点以下**有効数字を** 0.438 として分の値を求めると

0.438×60＝26.34…分となる。

26.34…分の小数点以下**有効数字を** 0.3 として秒の値を求めると

0.3 ×60＝18.0…秒となり，

18.0…秒の**小数点以下を切り捨てて**、当日の正午から食甚までの時間は 8 時間 26 分 18 秒後、つまり、**20 時 26 分 18 秒**（＝12 時+8 時間 26 分 18 秒）が食甚時点の時刻として求まり、図 5-4 における食甚の時刻と一致することが分かった。

C． 復円の時刻

既知情報から、当日の正午から復円までに垂揺球儀が振れた行数は、
復円時点の行数 348,555 -正午の行数 324,353＝24,202 回となる。

次に、一日 24 時間当たり垂揺球儀が振れる行数は 59,656 であるから、正午から復円までに垂揺球儀が振れた行数 24,202 回は、一日に対して、24,202/59,656 の割合となり、正午から復円までの時間は 24×（24,202/59,656）＝9.7366233…時間となる。

9.7366233…時間の小数点以下**有効数字を** 0.736 として分の値を求めると

0.736×60＝44.16…分となる。

44.16…分の小数点以下**有効数字を** 0.16 として秒の値を求めると

0.16 ×60＝**9.6…秒**となり，

9.6…秒の小数点以下を切り捨てて、当日の正午から食甚までの時間は 9 時間 44 分 9 秒後、つまり、

21時44分09**秒**（＝12時+9時間44分09秒）が復円時点の時刻として求まり、図5-4における食甚の時刻と一致することが分かった。

Ｄ．食分時刻検算の考察

前A、B、Cの検算において、各食分時刻の求め方は全て同じ求め方である。しかしながら、伊能忠敬翁が求めた図5-4の時刻に合わせようとすると、**有効数字の捉え方**が微妙に異なる。

すなわち、

・時の段階では、小数点以下四位以下を切り捨て

・分の段階では、

初虧の場合、小数点以下三位以下を切り捨て

食甚の場合、小数点以下二位以下を切り捨て

復円の場合、小数点以下三位以下を切り捨て

・秒の段階では、小数点以下を切り捨て

という操作によって、図１の結果に合わせることが出来た（但し、分の段階では食甚の場合だけ小数点以下二位以下を切り捨てというは不統一な操作になっているがその理由は分からなかった)。

５．２．３．経度の求め方

月食や日食の食分時刻を求める目的は、とりもなおさず<u>原点と観測地点との相対経度を求めること</u>にある。すなわち、日食や月食が起こる数日前に太陽が真南を横切った瞬間から垂揺球儀を作動させることによって、その測量地点での日食や月食の初虧や食甚や復円の瞬間までの回数を記録し、その時刻を前項までの検算の方法で求めている。これを江戸の天文台と大阪の天文台と測量出張地点でも並行して行ったのである。

日食や月食の初虧や食甚や復円という現象は、江戸でも大阪でも測量出張先の何処でも同時に観測できる。

一方、それぞれの地点で異なるのは、太陽が真南を横切った瞬間が球体である地球が西から東に自転していることから、江戸よりも東の地点の方が早く真南を横切り、江戸よりも西の地点は江戸よりも遅く真南を横切っているということである。

そして、その早い／遅いの差は経度一度あたり約4分（24時／日×60分／時÷360度／日）であることが天文暦学を学んだ伊能忠敬翁は分かっていた。

従って、それぞれの地点で太陽が真南を横切った瞬間に作動させた垂揺球儀の目盛りを、初虧や食甚や復円ごとに記録し、測量出張から江戸に戻った際に初虧や食甚や復円の時刻を互いに対比させ、例えば出張先の時刻が江戸よりも丁度4分だけ多かった場合、その出張先は江戸より相対経度で1度だけ東に位置することが確認できるという仕組みである。

出展

・雑録　伊能忠敬記念館所蔵