紅毛流として伝来した測量術について（Ⅱ）

――― 三角関数表の伝来と二つの経路 ―――

The Early Introduction of a Trigonometric Function Table from the West to Japan

小曽根 淳
Jun Ozone
亜細亜大学
Asia University

Abstract

It is dominant theory that the table of trigonometric functions was first introduced into Japan in chóngzhēn-lìshū（『崇禎暦書』）on 1727. We have found a document indicating that the Dutch taught trigonometry to the Administration of the Tokugawa Shogunate in 1650. In addition, the Dutch let the Japanese copy the table of trigonometric functions and told them its meaning. Regrettably, they did not seem to understand the lecture sufficiently.

In this paper, we have two purposes as follows. One is to identify the table which was used then. The second is to discuss the relationship between the 1650' s table and 1727's table. Then, we will conclude the fact that Pitiscus was the author of both tables. At last, we would like to point out that argument above is based on the 17th century data found on Google books and several University's libraries.

１．始めに

本稿は、2011 年 8 月京都大学・共同研究「数学史の研究」集会での発表の続編である。

いわゆる紅毛流測量術は、西洋から日本に初めて渡来し受容された測量術で、我が国測量術の中心的位置を占め、伊能忠敬等の地図作成の土台を支えてきた。その測量術書は「規矩」の語を書名に含むことが多く、現存しているものも少なくない。

しかし、それほど重要で大きな位置を占め、内容が現在に伝えられる紅毛流測量術にも、不明な部分がある。

簡略化すると次の３点である。第一は、伝来に関して誰が誰にどのように伝えたのか、ということである。従来の定説には矛盾が含まれている。それと関連するが、第二は、紅毛流とされる測量術は本当にオランダから伝えられたのか、ということである。言い換えれば、ポルトガル（南蛮）等から伝来した部分はないのか、ということでもある。また、紅毛流と称した測量術書には、我が国で工夫・発展したものも含まれている。その意味で、第三は、純粋に伝えられた測量術の内容はどこまでか、ということである。

こうした不明な部分の解明のため、現存する測量術書について研究されてきたが、上記の疑問は解決済みとは言い難い。そのためには、日本側だけでなくオランダ側の研究も必要であるが、これまた調査が十分とは言い難い。従って、この追求が事態の明確化の切り札となる可能性がある。

まず、昨年明らかになったことを確認しよう。大別すると二つあり、一つは紅毛流測量術の伝来の祖とされてきたカスパルは、西洋医学は伝えたが測量術は伝えていない、ということである。二つ目は、1650 年にオランダ海軍のユリアン・スケードルが幕臣北条氏長達にオランダ式の測量術を教えたことは日蘭双方に記録があるが、その際に三角関数を用いていたという記録が見いだされた。従来、オランダが江戸時代初期に伝えた測量術は紅毛流と称され、方法的には縮図法と方位測定法を特徴とする平板測量であり、角度の概念がない状況下で、三角関数の使用が取り沙汰されることはこれまでなかった。

以上を踏まえ、本稿は二つの目的をもつ。第一は、1650 年に用いられた「数字ばかりの 90 頁の小冊子」を特定することである。そのために大学や図書館等のサイトから入手できた 1600 年代の書籍を利用する。

その特定によって小冊子が他にも伝わっていないかという疑念が生まれ、それを突き詰めると思わぬ関連性が現れた。先を急げば、漢訳西洋暦算書に既に取り込まれていたという事実である。第二は、その追求のプロセスを検証する。そのためには、当時の三角関数表の分析が必要不可欠である。その前提として、ヨーロッパで 15 世紀、印刷術の発明により知が書として普及していった背景も見逃せない。このような検討を通じて、紅毛流として伝えられた測量術の実像に一歩近づくことができれば、と考える。

2．三角測量伝達の記録

1650 年オランダが伝えた測量術が三角測量であったことは、既に論じている*[1]。詳細はそちらを参照されたいが、測量伝達の具体的様子を伝える次の 2 カ所を、以下に再掲する。

これが、『オランダ人捕縛から探る世界史』*[2] からの引用であることも再度断っておく。

（1）井上政重への伝達（1650/6/7 付け報告書より）

「大目付井上は、臼砲から的までの距離の計算方法を始めとする様々な計測技術に、より興味を抱いたようである。ユリアンが、アストロラーベ（近代の天文観測儀）で長い距離を測る彼の技量をいくらか立証したことは、井上を喜ばせた。」*[3]

アストロラーベは角度の大きさを測る天文用・測量用器具で、距離を求めるために角度を測ることが、三角測量の可能性を示唆している。次の(2)は、更に決定的である。

（2）家臣への伝達（1650/9/4 付け報告書より）

「今や彼等は我々の宿舎で毎日この問題にかかりきっています。しかし、日本人の怠慢さや、正弦、

＊1 小曽根淳；紅毛流として伝来した測量術について（1）、京都大学数理解析研究所講究録 1787、pp. 127-137、2012. 本稿では、紅毛流測量術伝来の定説について検討を加えた。特に伝来時期と誰が誰に伝達したのかということと、伝達された測量術が平板測量でなく三角測量であったことを明らかにした。

＊2 レイニアー・H・ヘスリンク著、鈴木邦子訳：『オランダ人捕縛から探る世界史』、岩手県山田町教育委員会、pp. 289-290、1998。*1 は、本書のオランダ東インド会社商務員から商館長への報告書の記述を検討し、三角関数表伝達を実証したことで成立した。本書は、「オランダ船の一漁村への漂着」を日本史と世界史の立場から分析し、その意義を明らかにした。

＊3 と＊4 は、＊2 の p. 290 にあり、特に＊4 はオランダ商館長への報告書の訳出である。

接線及び割線の表の複写や説明、的までの距離の応用計算等（数字ばかりの九〇頁の小冊子）の困難から、少しも上達しません。そのため、我々の当地滞在が長期に及ぶことは明白です。その上、砲術家は、5月の最後の日に、大君の代表者の面前で上記の道具を用いて、この町外の広大な土地を測量することを求められております。」[*4]

最初の「正弦、接線及び割線の表」は、正弦→sine、接線→tangent、割線→secant と置き換えれば、三角関数表であることが分かる。すると、ユリアンは手持ちの三角関数表を家臣たちに複写させ、それを説明していたことになる。

３．小冊子探索の二つの方向

この事実を踏まえると、次の課題は、的までの距離の応用計算等に使われた数字ばかりの九〇頁の小冊子の正体を突き止め、その報告書を裏付けることである。その小冊子が測量や砲術、物理、数学に関連した書物か軍の教科書等か、それとも三角関数表であるか、見極めることが重要な課題であるが､それを具体的に特定出来ればこの上ないことである。

見通しがあった訳ではないが、考え得る二つの方向で探索した。

（１）オランダ調査行

文意からは、90 頁の小冊子がどの分野の書物か判断し難い。三角関数表である場合よりも、そうでない場合の困難性が予想された。調べても進展が見られず、打開のため 2011 年 11 月オランダへ渡った。的までの応用計算等のための数字ばかりの 90 頁の小冊子という条件と日本へ持ち込まれた 1650 年以前の発刊という条件は、探索に有利と見えた。

しかし、砲術や軍事、物理、数学、平板測量等の分野に、該当するものは見当たらず、三角関数表の中に次のものが見出されたのみであった。

Edmund Gunter(1581-1626)の *Canon triangulorum, sive Tabulae sinuum et tangentium artificialium ad radium 10000.0000.* である。

これは、ラテン語版が 1620 年に、英語版が 1623 年に発刊され、ラテン語第二版は前後の表紙等を除けば、数表が 90 頁から成る小冊子であり、求める条件を満たしていた。しかし、結局は思い違いであった。ガンターの表は、log(sinθ)と log(tanθ)の表であり、スケードルの距離計算に利用することは難しい。対数を意味する artificialium の見落としが間違いの原因であった。

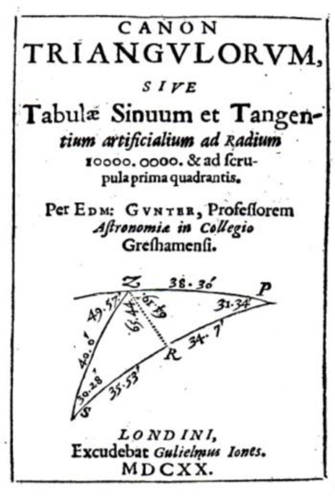

CANON
TRIANGVLORVM,
SIVE
Tabulæ Sinuum et Tangentium artificialium ad Radium 10000.0000. & ad scrupula prima quadrantis.
Per EDM: GVNTER, Professorem Astronomiæ in Collegio Greshamensi.
LONDINI,
Excudebat Gulielmus Iones.
MDCXX.

図１ Gunter の Canon

ただ、この表は 90 頁であり、その 1 頁に、1 分単位の角度 30 個に対する関数値が載っている。即ち、1 頁が 30′=0.5° の角度に該当している。角度の範囲は 0° から 45° までであるが、余角の性質を用いれば、更に 46° から 90° の関数値も読み取れる。

こうして、求める小冊子の 90 という頁数が 90°に起因していることが連想され、三角関数表である探索の舵が切られた。

（２）1650 年頃までの三角関数表小史

小冊子を三角関数表とする時、条件を満たすものがあるかどうか調べる。そのためには、三角関数表発展の歴史を概観し、1650 年当時どのような表が流通していたのか、そして、それ以前に発刊されていた中に候補がないか、探索してみる。

三角関数表は、『アルマゲスト』(プトレマイオス(83?～168?))中の「弦の表」に見られるように、元来、天文学の一部として誕生し、天文学と共に発展した。『アルマゲスト』はインドや中国、アラビアに渡り、それらの地域に三角法を発展させる要因となった。

例えば、10 世紀のイスラムでは 6 種の三角関数が用いられ、15 世紀には 60 進法で 1 分毎に、5 桁までの $\sin\theta$, $\tan\theta$ の表が作られていた。発展めざましいアラビアの三角法がヨーロッパに逆輸入されたのは、ルネッサンス期になってからである。

レギオモンタヌス（Regiomontanus、1436-1476）は、ギリシャ語の『アルマゲスト』のラテン語訳を引き継ぎ、天文学中の三角法を独立させ、正弦表や正接表を小数点以下 5 位まで求めた。印刷術の普及により、16 世紀半ばには三角法関連の書物が出版された。

レティクス(Rheticus、1514-1574)はコペルニクスの弟子であり、コペルニクスの『天球回転論』(1543)中の三角法を独立させた『三角形の辺と角について』(1542)を出版し、天文学における三角法を意義付けた。

レティクスは、10″間隔の角度に対する関数値を小数点以下最低 10 桁まで求めるため、数学教育を受けた 5 名を 12 年間雇い計算に従事させたが、完成直前の 1574 年、60 歳でこの世を去った。受け継いだ弟子のオットー（Valentinus Otho, 1550?-1603）は、得られた 10 万個の計算結果のチェックと整理、表への配列、校正に携わり、遂に 1596 年、『三角形に関する宮殿の作品』（Opus palatinum de triangulies）を出版した。しかし、表の始まりの部分で cotangent と cosecant に誤りを見出され、決定版とする事ができなかった。オットーには、改訂する気力も体力も残されていなかった。

その仕事を引き継いだのが、数学者でフリードリヒ 4 世のお抱え牧師であったピティスクス（Bartholomaeus Pitiscus, 1561-1613）である。既にレティクスは、10 桁までの正確な値を求めるため 15 桁まで計算した記録を残していたが、オットーはそれを見落とし、10 桁までで済ませ、誤りを導いてしまった。ピティスクスは、レティクスの計算記録を偶然入手し、検討と修正を加え、1613 年遂に Thesaurus mathematicus sive canon sinuum ad radium 1: 00000: 00000: 00000・・・（改訂版『数学者の至宝、半径を 1000 兆単位として与えた正弦値の聖典』。以下、『至宝』と略す。）を発刊した。

この表は「驚くほど正確で、その後数世紀の間、天文計算の基礎となった・・・［三角法の計算の］方法を体系化して、断片的な学問でなく、厳密な科学へ転化させた」*[5] と高く評価されている。ピティスクスの三角関数表は、その正確な内容から 20 世紀初頭まで長きに渡り使用された、三角関数表の最高峰であった。ただ、時代の関心は、その完成を待

＊5 デニス･ダニエルソン(田中靖夫訳)：コペルニクスの仕掛人、東洋書林、pp.256,2008. 本著は、コペルニクスを世に出したレティクスの役割とピティスクスの表計算の土台を築いた業績を明らかにしている。

っていたかのように、ネイピアの対数表へと移っていった。
元来、三角関数表は天文学の中から手段的存在として誕生し、精緻化が進むにつれ独立した。独立すると、その精緻化そのものが目的となり、極みを求めて発展した。三角関数表は、数値の正確さ・桁数と関数種の拡大・導出方法の改善等といった三角法の学問的発展の象徴的な存在でもあった。個々人の業績が継承・結集され、中でもレティクスの数値計算への貢献は大きかったが、最終的にピティスクスが引き継ぎ、結実させていった。
こうして三角関数表の歴史を概観すると、ピティスクスの表が存在感を増し、求める小冊子は、ピティスクス本人の表かその流れを汲むものではと推測される。
ピティスクス『至宝』が 1613 年に完成され、日本への持ち込みが 1650 年であることを勘案すれば、1613 年以降から 1650 年までの発刊のものである可能性が高くなった。

４．ピティスクスの三角関数表の検討

ピティスクスの書誌データは、Worldcat によると 4 種類の言語(ラテン語 85,ドイツ語 71,未定 43,英語 9、仏語１)で書かれ、総数 202 冊の著書が残されている。神学の関連書が多いのは、フリードヒ 4 世のお抱え牧師であったことが反映されている。更に三角関数表に絞ると 84 冊がヒットした。使用言語はこちらも同じ 4 種類で、ラテン語の占める割合が高い。
発行年は、1596～1607(6),1608(14), 1612(18),1613(21),1614～1630(10),
1637･1642(2)である。ただし、(　)内は同一書を含んだ冊数であり、種類の数ではない。
ピティスクスの三角関数表は、著作が違えば表も異なる場合が多い。そこで、ピティスクスの三角関数表を分類することを試みる。その理由は、表が過去に使用された場合を考察する際、表を分類し類型化しておくと、表の見極めが円滑に進むからである。
ピティスクスが初めて三角法について著述したのは、1595 年、牧師仲間のアブラハムの神学書においてであった。ピティスクスはその最終章で、球面三角法や平面三角法について論述しているが、三角関数表は含まれていない。
彼が、初めて三角関数表を取り上げたのは、1600 年版の著作においてである。これは三角法の総合的な著書であり、彼の著作の原型がある。
まず、1600 年版著書中の三角関数表の構造を調べ、分類のための土台とする。

［１］1600 年 *Trigonometriae sive de dimensione triangulorum libri quinque.*＊6

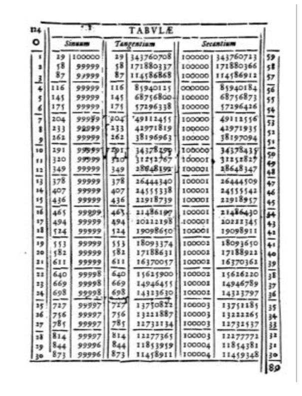
この Trigonometriae sive ・・・は、ピティスクスの三角法が初めて刊行された 1595 年本の拡張版であり、以降の著作はここから派生したと考えると分かり易い。
第 1 セクション(122 頁)は平面、球面三角法について、第 2 セクションは、章全体が三角関数表(90 頁)であり、sine,tangent,secant の値と、他の三種 cosine, cotangent, cosecant の値が載っている。角度は 0°～45°までの各分(1 分＝1/60 度)に対する関数値が有効数字 6 桁(有効数字の考え方はない) まで示されている。第 3 セクション(約 128 頁)では、測量、地理、天文等の応用問題が取り上げられ、解説されている。以下に、原本の

＊6 Bartholomaeus Pitiscus： *Trigonometriae sive de dimensione triangulorm libri quinque,1600.* Göttingen University Library のサイトから得られる。

表紙と数表部分の第 1 頁を掲げる。

1600 年 *Canon Triangulorum Siue TABVLAE SINVVM TANGENTIVM ET SECANTIVM Ad partes radij 100000. & ad scrupula prima Quandrantis.*

図 2 Trigonometriae 表紙



114 TABVLÆ

0	Sinuum		Tangentium		Secantium		
1	29	100000	29	343760708	100000	343760723	59
2	58	99999	58	171880337	100000	171880366	58
3	87	99999	87	114586868	100000	114586912	57
4	116	99999	116	85940125	000000	85940184	56
5	145	99999	145	68756800	100000	68756873	55
6	175	99999	175	57296338	100000	57296426	54
7	204	99999	204	49112455	100000	49112556	53
8	233	99999	233	42971819	100000	42971935	52
9	262	99999	262	38196963	100000	38197094	51
10	291	99999	291	[illegible]	100000	34378435	50
11	320	99999	320	31252767	100001	31252827	49
12	349	99999	349	28648192	100001	28648347	48
13	378	99999	378	26444340	100001	26444509	47
14	407	99999	407	24555338	100001	24555542	46
15	436	99999	436	22918739	100001	22918957	45
16	465	99999	465	21486197	100001	21486430	44
17	494	99999	494	20222198	100001	20222345	43
18	524	99999	524	19098650	100001	19098911	42
19	553	99999	553	18093374	100002	18093650	41
20	582	99999	582	17188631	100002	17188922	40
21	611	99999	611	16370057	100002	16370361	39
22	640	99998	640	15625900	100002	15626220	38
23	669	99998	669	14946455	100002	14946789	37
24	698	99998	698	14323630	100002	14323797	36
25	727	99997	727	13750822	100003	13751185	35
26	756	99997	756	13221887	100003	13222265	34
27	785	99997	785	12732134	100003	12732537	33
28	814	99997	814	12277365	100003	12277772	32
29	844	99996	844	11853959	100004	11854381	31
30	873	99996	873	11458911	100004	11459348	30
							89

図 3 Trigonometriae の数表

図 3 を拡大(次頁図 4 参照)して、その構造を調べる。

まず、表にある関数が高校教科書等の三角比の表と異なっている。ラテン語の sinuum は sine、tangentium は tangent、secantium は secant(＝1/cosine)であり、通常用いられる sine, cosine, tangent の表ではない。その理由として、天文家・測量家・航海家が、それぞれ sin θ ・tan θ ・sec θ を主たる使用関数としていたが、16 世紀に入っても、それら三つはバラバラに扱われる時期が長く続いた。レクティス達は、円と内接三角形の考え方を基に、それらを統一していった*7。こうした経緯により、sine, tangent, secant が表を構成する三角関数として選ばれていったと考えられる。

次に角度は、図 4 左右の端の縦欄である。左端の欄であるが、一番上の **0** が 0 度を、その下の 1～30 の昇順の数字列は分(1′ ~30′ まで)を表す。同様に、右端の 59～30 の降順の数字列も分を表し、例えば 59 は、89 度 59 分(89° 59′ ＝89＋59/60 度)をさす。

更に良く見ると、各 sine, tangent, secant の欄が二分され、それぞれに数値が記入されている。これらの数値は、角度を表記した左右両端の欄に関係している。図 5 が説明の表になっているので参照されたい。例えば、図 4 の一番上の 1′ と 89° 59′ を結ぶラインに注目すると、sine の欄の左側は、sin1′ =sin(1/60°) で、右側は sin(89° 59′)＝sin(89° ＋59/60°)＝cos1′ ＝cos(1/60°)である。この様にして、一番上のラインの数値は左から順に、sin1′ 、cos1′ 、tan1′ 、cot1′ 、sec1′ 、cosec1′ の 6 種の値ともみなせる。

なお、その関数値に注意すると 1 より大きな整数値となっている。これは、1600 年版の表題中に「・・・radij 100000・・・」(radij は英語の radius＝半径)とあるように、単

＊7 Nobuo Miura : *The applications of trigonometry in Pitiscus ; a preliminary essay*. Historia scientiarum: international journal of the History of Science Society of Japan, 30:63–78, 1986. p.70 で天文学的な数の計算への加法定理の応用に言及された後に述べられている。

0	Sinuum.		Tangentium		Secantium.		
1	29	100000	29	343760708	100000	343760723	59
2	58	99999	58	171880337	100000	171880366	58
3	87	99999	87	114586868	10000	114586912	57
4	116	99999	116	85940125	100000	85940184	56
5	145	99999	145	68756800	100000	68756873	55
6	175	99999	175	57296338	100000	57296426	54
7	204	99999	204	49112455	100000	49112556	53
8	233	99999	233	42971819	100000	42971935	52
9	262	99999	262	381966963	100000	38197094	51
10	291	99999	291	34378290	100000	34378435	50
11	320	99999	320	31252767	100001	31252827	49
12	349	99999	349	28648192	100001	28648347	48
13	378	99999	378	26444340	100001	26444509	47
14	407	99999	407	24555338	100001	24555542	46
15	436	99999	436	22918739	100001	22918957	45
16	465	99999	465	21486197	100001	21486430	44
17	494	99999	494	20222198	100001	20222345	43
18	524	99999	524	19098650	100001	19098911	42
19	553	99999	553	18093374	100002	18093650	41
20	582	99999	582	17188631	100002	17188922	40
21	611	99999	611	16370057	100002	16370362	39
22	640	99998	640	15625900	100002	15626220	38
23	669	99998	669	14946455	100002	14946789	37
24	698	99998	698	14323630	100002	14323797	36
25	727	99997	727	13750822	100003	13751185	35
26	756	99997	756	132221887	100003	13222265	34
27	785	99997	785	12372134	100003	12732537	33
28	814	99997	814	12277365	100003	12277772	32
29	844	99996	844	11853959	100004	11854381	31
30	873	99996	873	11458911	100004	11459348	30

TABVLE (table title)

８９

図 4　1600 年 Canon Triangulorum の表・第 1 頁

位円でない半径 100000 の円が想定されているので、sin1′ が 29 とあるのは、今日的には、半径 100000 で割った、29/100000 を意味する。従って、当時の sin1′ は、半径によって変動する相対的な量であった。他の関数値についても同様である。

５．ピティスクスの三角関数表の分類

1600 年版を手がかりに、ピティスクスの三角関数表を分類する。大局的には、表形式と表データの両面から分類できる。

表形式は、最初目にする基本的な要素であるが、今日と比較して異なる点が多い。特徴を踏まえ類型化するには、あらゆる表を分析し系統付ける必要があるが、ここではその過程を省略し、分類した結果を 1600 年版の表をベースに説明する。

(1)併記型

これは前述の 1600 年版の形式である。ピティスクスは cosine, cotangent, cosecant をそれぞれ sine complement, tangent complement, secant complement で表した。しかし、図 4 のように何にも記されてない場合や compl.と記されている場合(図 6)もある。この表の特徴は図 6 のように、sine と cosine, tangent と cotangent 等のように、6 種の関数がペアーで併記されているとみなせることである。そこで、この型を**併記型**と呼ぶ。

	TABVLE						
0	Sinuum.		Tangentium.		Secantium.		
1	29	100000	29	343760708	100000	343760723	*59*
2							58
3	sin(1/60)	cos(1/60) =sin(89＋59/60)	tan(1/60)	cot(1/60) =tan(89＋59/60)	sec(1/60)	cosec(1/60)	57
28							32
29							31
30	873	99996	873	11458911	100004	11459348	30
							89

図 5　Canon Triangulorum の表の意味(角度単位は度数法)

角度	**Sine**	Compl.	**Tangent**	Compl.	**Secant**	Compl.	角度
θ	**sin θ**	sin(90° －θ)	**tan θ**	tan(90° －θ)	**sec θ**	sec(90° －θ)	90° －θ
		(＝cos θ)		(＝cot θ)		(＝cosec θ)	

図 6　併記型の表の仕組み

(2)グループ型

併記型の表を念頭に、sine, tangent, secant をまとめて左側へ、cosine, cotangent, cosecant を右側へと、新しい関数配列にする。6 種類の関数を complement のあるなしで、

2 グループ化する。この形式を**グループ型**と呼ぶ。左右両端の角度表記欄は変化しない。

角度	Sine	Tangent	Secant	Sine Compl.	Tangent Compl.	Secant Compl.	角度
θ	sin θ	tan θ	sec θ	sin(90° − θ)	tan(90° − θ)	sec(90° − θ)	90° − θ
				(＝cos θ)	(＝cot θ)	(＝cosec θ)	

図 7　グループ型の表の仕組み

(3)グループ分断型

グループ型の各頁を、グループの境目で切断し二分する。元の 1 頁の左を新 1 頁に右を新 2 頁とし、元の 2 頁の左を新 3 頁に右を新 4 頁にと、同様の操作を元の 1 頁から最後の頁まで行い、できた新しい頁を順に下へと重ねていく。その際、角度の欄は全て左端に揃える。出来上がった新しい冊子を見ると総ページ数は 2 倍となるが、関数が 1 頁 3 種類に半減しシンプルになる。反面、頁をめくると冊子の構成が分かりにくく、仮に一番先にこれに当たると、かなり戸惑う。**併記型**や**グループ型**を念頭に置かないと、理解できないからである。これを**グループ分断型**と呼ぶ。

角度	Sine	Tangent	Secant
θ	sin θ	tan θ	sec θ

角度	Sine Compl.	Tangent Compl.	Secant Compl.
90° − θ	sin(90° − θ)	tan(90° − θ)	sec(90° − θ)
	(＝cos θ)	(＝cot θ)	(＝cosec θ)

図 8　グループ分断型の仕組み(左が奇数頁、右が偶数頁)

次も**グループ分断型**であるが、更に分かりにくい。それは、図 8 右の頁の関数種を表す Sine Comp. 等の Comp. が取り除かれていて関数名が左の頁と同じくなっているからである。確かに関数種に一貫性が得られるが、角度が不連続になってしまう。この場合、頁の角度表記を昇順となるように連続性を持たせれば、一貫性が生まれるが、関数種が 3 種限定となり、6 種読み取り機能が失われる。

［２］1620 年 *Sinuum, tangentium et secantium canon manualis accommodatus ad Trigonometriam.* ＊8

これは三角関数表を独立させ、表に特化した冊子である。本書は、**グループ分断型**で表のページ数は 180 頁、角度は 1 分単位で 0° から 90° までにわたり、冒頭 2 頁、巻末 7 頁に文章がある。関数は sine, tangent, secant の 3 種類で、 r は 100000 である。

グループ型の 1 頁を分断した場合と異なる点は､図 10 のように角度が左端にきていることである。図 10 で、常時 sin(89° 59′)＝cos1′ 等と読み換えるのは、余り効率的でないので、この冊子はむしろ sine, tangent, secant に特化した表であろう。すると、頁間の角度の並びに連続性を欠き、いずれにしても一長一短がある。

＊8 Bartholomaeus Pitiscus: *Sinuum tangentium et secantium canon manualis accommodatus ad trigonometriam*, 1620. スイス連邦工科大学チューリッヒ校の ETH Zürich Library のサイトから得られる。

0	Sinus	Tangens	Secans
1	29	29	100000
2	58	58	100000
3	87	87	100000
4	116	116	100000
5	145	145	100000
6	175	175	100000
28	815	815	100003
29	844	844	100004
30	873	873	100004

図 9　1620 年 Canon の 1 頁

	Sinus	Tangens	Secans
59	99999	343774667	343774682
58	99999	171887319	171887348
57	99999	114591530	114591574
56	99999	85943630	85943689
55	99999	68754887	68754960
54	99999	57295721	57295809
32	99997	12277396	12277803
31	99996	11854018	11854440
30	99996	11458865	11459302
89			

図 10　1620 年 Canon の 2 頁

(4)差分型

上記 3 種と全く異なるタイプで、併記型の complement の欄を空欄にし、そこに上下隣接する関数値の差が記入されている。この理由は、上下二つの隣接する角度の差が例えば 1′とすると、更に細かい秒を含む角度に対する関数の近似値を、補間法で求めたい時に利用したのであろう。実際、1608 年版 Canon･･･では 1 次差分を、1613 年版 Thesaurus･･･では 2 次差分まで記載されている。これを**差分型**と呼ぶ。

表形式だけでなく、次の表データも正確さや精緻化を示す大切な指標となる。

(1)角度の刻み具合である。単位を度、分、秒のどこまでにするかで表を区別できる。

(2)三角関数の数値の精度と桁数である。

(3) 想定された円の半径 r の大きさである。半径が大きいほど精密な表となる。

６．1650 年に持ち込まれた三角関数表の特定

［３］1630 年 *A Canon of triangles: or, the tables of natural sines, tangents, And secants, the radius assumed to be 100000.* ＊9

三角関数表の部分は 90 頁、表紙 2 頁、裏表紙 2 頁を合わせて 94 頁である。角度は分単位であり、sine と cosine 等が隣り合う**併記型**である。

この形式は、先述の［１］1600 年 *Trigonometriae sive de dimensione triangulorm libri quinque* 中にあり、表の部分を独立させたものとみなせる。

左右の角度の配列は全く同じであり、6 種の関数値の表である点も同じであるが、［１］の 1600 年版では cosine, cotangent, cosecant に該当する部分にその記入がない。1630 年版では complement の文字の略字 compl. が記されている。

＊9 Bartholomaeus Pitiscus: *A canon of triangles: or, the tables of natural sines, tangents, And secants, the radius assumed to be 100000.* 1630 by National Library of Australia.

何と言っても、1600 年版と 1630 年版の大きな違いは数値の精度にある。1600 年版は、末尾に進むに連れ誤差が目立つ。特に、cotangent や cosecant の値が大きくなる場合でる。1630 年版は 1613 年の『至宝』によって修正が進み、精度が向上したと推察される。

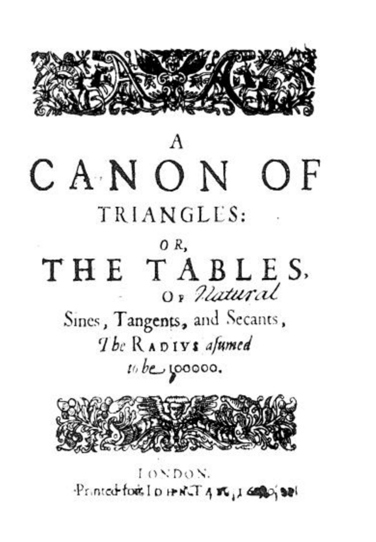


図 **11**　A Canon の表紙

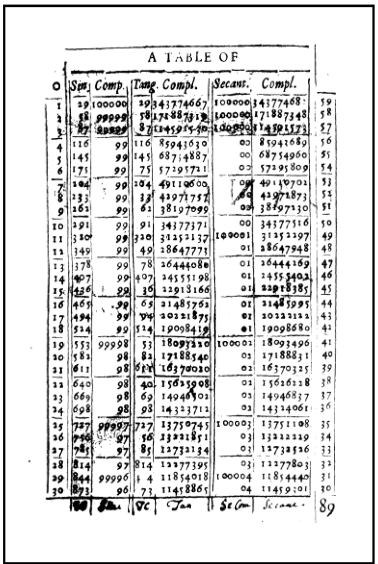


図 **12**　A Canon の数表

一方、Worldcat によれば、1630 年版はロンドンで発行され、1614 年版 Trigonometry の part2 がオリジナルであるとのことであるが、1614 年版では数表が独立しておらず、90 頁の小冊子にはなり得ない。

また、最後に出版された 1642 年の Trigonometry or, The Doctrine･･･は、1614 年版の再版であるが、三角関数表はなく、これも該当しない。

これらの著作に高精度のデータを収録しようと心掛けることは当然としても、桁数(有効数字)については『至宝』を反映させてないように見える。それは、天文学で要求される桁数と砲術や測量、教育等でのそれを、必要性に応じて使い分けていたからであろう。

数表の特徴や書誌情報等から、1650 年ユリアン・スケードルが幕臣北条氏長達にオランダ式測量術を教えた際に用いた「数字ばかりの 90 頁の小冊子」は、この 1630 年版である可能性が高い。それは、①全体で 92 頁・数表部分 90 頁からなり、この頁数で発刊されたものは、調査した範囲で唯一であり、確かに数字ばかりの小冊子である。②compl.欄はあるが、sine, tangent, secant の表であり、関数種が幕臣達の書写したものと同一である。③その種の表でその時点で一番精度が高く、1650 年に持ち込むことが可能であった。

７．『崇禎暦書』[＊10]の割円八線表とピティスクスの三角関数表

（１）『崇禎暦書』の割円八線表

『崇禎暦書』(西洋新法暦書)は中国明代末に、改暦のためチコ･ブラーエの体系による西洋天文学が、徐光啓やアダム･シャール等イエズス会宣教師達によって編まれ、翻訳された暦書群である。1642 年宮廷に上梓され、それを元に清朝 1644 年、時憲暦が作成された。

＊10 徐光啓：『崇禎暦書』、上海古籍出版社、割円八線表(pp.1205-1255)、2009

従来、我が国への三角関数表の到来は 1727 年、吉宗の漢訳西洋暦算書の輸入緩和により舶載された崇禎暦書中の割円八線表によってなされた、とされている。しかし、これまでの検討から、1650 年にピティスクスの三角関数表がオランダによってもたらされていた。

三角関数表が舶載された二つの経路は、時代や伝達者が異なっていても、両者の関連性が疑われる。何故なら、『崇禎暦書』の完成は 1634 年とされるが、一方のオランダの伝えた三角関数表の発刊は 1630 年であり、かなり接近しているからである。そこから、『崇禎暦書』中の三角関数表もピティスクスの三角関数表ではないのか、と言う新たな疑問が生まれる。最後に、これについて検討する。

ピティスクスの表形式を念頭に置けば、割円八線表の形式との関連性を疑えるが、逆は困難である。実際、割円八線表は頁にずれはあるが、前掲の 1620 年版と同一の**グループ分断型**の表形式をもつ。外観上異なっているのは、ピティスクスの三角関数表の英語横書き・左から右への言語的特徴が、『崇禎暦書』の漢字縦書き・右から左への言語的特徴に変換され、逆向きになっている点である*[11]。両者は一見、異なるものに見えるが、表の基本的な枠組みは同一である。

むしろ、問題は表の関数値にある。一致しない箇所がある。即ち、表の基本的な形式は一致したが、末尾に行くと数値に誤りが目立つ。この状況をどう考えれば良いのか。解釈の可能性は多々あるが、一つのヒントは北京北堂教会目録にあった。

（２）『北京北堂教会目録』中のピティスクスの著作について

『北京北堂教会目録』(*CATALOGUE OF THE PEI-T'ANG LIBRARY**[12])は、16 世紀末から中国に渡来したイエズス会等の宣教師がもたらした厖大な書物の書誌情報をフランス語、ラテン語、イタリア語等と 12 の言語別にアルファベット順に整理したものである。

そのうちラテン語セクションが､目録収録書 4101 冊の約 6 割の 2426 冊で一番多くを占める。更にフランス語セクション 709 冊、イタリア語セクション 409 冊と続く。

ピティスクスの著書は、この中に 3 冊存在し、書名を下に抜粋する。ただし、2477 等の番号の後の(　　)内の記述は筆者によるものである。

2477(1620 年版の初版、**グループ分断型**) Sinuum, tangentium et secantium Canon Manualis Accommondatus ad trigonometriam Bartholomaei Pitisci Grunbergensis Silesii. Heidelbergae, Typis Johan. Lancelloti, Impensis Ionae, Rosae, 1613.

2478(1600 年版の第二版、**併記型**) Trigonometriae Sive, De demensione Triangulor Libri qvinqve, Item Problematvm varioru nempe Geodaeticorum, Altimetricorum, Geographicorum, Gnomonicorum, et Astronomicorum: Libri Decem. Editio tertia; Cui recens accessit Problematum Architectonicorum

---

＊11 小林龍彦：徳川日本における漢訳西洋暦算書の受容(学位論文)、私家版、2004.
氏は、『測量全義』の割円八線解説図が西洋と異なり第 2 象限に現れていることを問題とされている。日中の数学史的分析に加え比較文化論的にも論じ、東洋の「右回り世界観」の呪縛を指摘され、興味深い。著者は、徐光啓達が Pitiscus の表のアラビア数字を逆向きの漢数字へ 1 万 6 千回余りの転記を終え、改めて解説図を見た時、図そのものも「鏡映変換」したい衝動に駆られたのでは、と想像する。

＊12 Lazarist Mission, Peking: *CATALOGUE OF THE PEI-T'ANG LIBRARY*(pp.726-727), 1949.
(北京遣使會編：北堂圖書館藏西文善本目録 國家圖書館出版社､北京、2009)

	線割餘	線切餘	弦餘	線割正	線切正	弦正	○	割圓勾股八線表
○六	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○	○○○○○○	○○	○○	○	
九五	二八六四七七三四三	七六六四七七三四三	九九九九九	○○○○○一	九二	九二	一	
八五	八四三七八八一七一	九一三七八八一七一	九	○	八五	八五	二	
七五	四七五一九五四一一	○三五一九五四一一	九	○	七八	七八	三	
六五	九八六三四九五八	○三六四四九五八	九	○	六一一	六一一	四	
五五	○六九四五七八六	七八八四五七八六	九	○	五四一	五四一	五	
四五	九○八五九二七五	一二七五九二七五	九	○	五七一	五七一	六	
三五	二○七○一一九四	○○六○一一九四	九	○	四○二	四○二	七	
二五	三七八一七九二四	七五七一七九二四	九	○	三三二	三三二	八	
一五	○三二七九一八三	九九○七九一八三	九	○	二六二	二六二	九	
○五	六一五七七三四三	一七三七七三四三	九	○	一九二	一九二	○一	
九四	七九二二五二一三	七三一二五二一三	九	一	○二三	○二三	一一	
八四	八四九七四六八二	三七七七四六八二	九	一	九四三	九四三	二一	
七四	九六二四四四六二	○八○四四四六二	九	一	八七三	八七三	三一	
六四	二○四五五五四二	八九一五五五四二	九	一	七○四	七○四	四一	
五四	五八三八一九二二	六六一八一九二二	九	一	六三四	六三四	五一	
四四	五九九五八四一二	二六七五八四一二	九	一	五六四	五六四	六一	
三四	二二一二二二○二	五七八一二二○二	九	一	**四五四**	四九四	七一	
二四	○八六八九○九一	九一四八九○九一	九	一	**四○五**	四二五	八一	
一四	六九四三九○八一	○二二三九○八一	八	二	三五五	三五五	九一	
○四	一三八八八一七一	○四五八八一七一	八	二	二八五	二八五	○二	
九三	五二三○七三六一	九一○○七三六一	八	二	一一六	一一六	一二	
八三	八二二六二六五一	八○九五二六五一	八	二	○四六	○四六	二二	
七三	七三八六四九四一	二○五六四九四一	八	二	九六六	九六六	三二	
六三	一六○四二三四一	二一七三二三四一	八	二	八九六	八九六	四二	
五三	八○一一五七三一	五四七○五七三一	七	三	**七○七**	七二七	五二	
四三	九二二二二二三一	一五八一二三三一	七	三	六五七	六五七	六二	
三三	六二五二三七二一	四三一二三七二一	七	三	五八七	五八七	七二	
二三	三○八七七二二一	六九三七七二二一	七	三	五一八	五一八	八二	
一三	○四四四五八一一	八一○四五八一一	六	四	四四八	四四八	九二	
○三	二○三九五四一一	五六八八五四一一	六九九九九	四○○○○一	三七八	三七八	○三	
九八	線割正	線切正	弦正	線割餘	線切餘	弦餘		

図 13　『崇禎暦書』割円八線表(実際は分割され、ずれて合頁となっている。)の一部

liber unus. Francofurti, Typis Nicolai Hofmanni; Sumptibus Ionae Rosae, 1612.

2479(1608 年版の第二版、**差分型**) Canon triangulorvm emendatissimvs, et ad vsvm accomodatissimvs; pertinens ad Trigonometriam Bartholomaei Pitisci Grunbergensis Silesii. Francofvrti, Typis Nicolai Hofmanni, sumptibus lonae Rosae, 1612.

これらの書名で驚くのは、最初の 2477 が前掲の 1620 年版と同名であることである。調べてみると、1620 年版は、1613 年版である 2477 の改訂版であった。即ち、『崇禎暦書』の割円八線表と同形式の 1620 年版の初版本を、当時の宣教師達が中国に持ち込んでいた。この 1613 年版は現在二つの大学に所蔵されており、資料の送付待ちの状態にある。もし、『崇禎暦書』中の割円八線表がその 1613 年版に基づいているとすると、1620 年版との数値の違いを一応理解できるが、更に精査する必要がある。

また、2478 は角度が 1 分単位の**併記型**の表であり、2479 は角度が 1 秒単位で sine, tangent, secant 三種にそれぞれの 1 次差分を併記した**差分型**の表である。両者に数値の揺れは見当たらない。なぜ、割円八線表だけ明らかな揺れがあるのか、資料を検討する必要がある。

ピティスクスの 1613 年版三角関数表の発刊は、ピティスクスの最高峰『至宝』の発刊と同年である。他の二つは前年の発刊であり、1613 年版の方が、より正確なデータを反映できるとの思惑も働いたのではないのだろうか。また、1613 年版は他の二つと異なる***グループ分断型***であり、この形式を好んで選択し、『崇禎暦書』に取り入れた可能性もある。いずれにしても、三角関数表の日本への伝来は、次のようにまとめられる。

三角関数表は、日本へは 1630 年版が 1650 年に渡来し、中国へは 1613 年版が『崇禎暦書』の宮廷上梓前の 1642 年までに渡来し、その『崇禎暦書』が 1727 年に日本へ舶載された。その二つの経路を経て日本へ伝来した三角関数表は、何れもピティスクスのものであった。

最後に、前橋工科大学の小林龍彦教授には研究進展のための有益なアドバイスを頂き、また、日本オイラー研究所の鈴木武雄先生には北京北堂教会目録の原本を閲覧させて頂いた上に幾つものご教示を頂き、この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

(1)小倉金之助：復刻版･カジョリ初等数学史、共立出版、1997.
(2)平山諦：増補新版･東西数学物語、恒星社版、1973.
(3)志賀浩二：数学の流れ 30 講(上)、朝倉書店、2007.
(4)志賀浩二：数の大航海、日本評論社、1999.
(5)E･ハイラー､G･ワナー(蟹江幸博)：解析教程(上)、シュプリンガー･フェアラーク東京、1997.
(6)エリ･マオール(好田順治訳)素晴らしい三角法の世界、青土社、1999.
(7)K･ファン･ベルケル(塚原東吾訳)：オランダ科学史、朝倉書店、2000.
(8)GLEN VAN BRUMMELEN：THE MATHEMATICS OF THE HEAVENS AND THE EARTH, THE EARLY HISTORY OF TRIGONOMETRY, PRINCETON UNIVERSITY PRESS, 2009.
(9)Denis Roegel:A reconstruction of the tables of Rheticus ‘ Canon doctrinae

triangulorum (1551). Technical report, LORIA, Nancy, Denis Roegel:A reconstruction of the tables of Rheticus ‘ Canon doctrinae triangulorum (1551). Technical report, LORIA, Nancy, 2010.
(10)Denis Roegel:A reconstruction of the tables of Pitiscus’ Thesaurus mathematicus(1613). Technical report, LORIA, Nancy, 2011.
(11)フロリアン・カジョリ(小倉金之助補訳):復刻版カジョリ初等数学史、共立出版、1997.
(12)鈴木武雄：北京北堂教会目録について、京都大学数理解析研究所講究録 1583、pp.77 -88、2007.

謝辞：本研究は、平成 23 年度科学研究費(奨励研究)の助成を受けてなされたものである。ここに、感謝の意を表したい。