

『大成算経』における開方

Extraction of roots in the *Taisei Sankei*

曾我昇平

Shohei Soga *

Abstract

Since it is the writing which accomplishes the core of the Seki style mathematics developed in Japan, *Taisei Sankei* by Kowa Seki, Kataakira Takebe, and Katahiro Takebe is investigated with much concern. However, about the relation between evaluation of the Front of Volume which described the algorithm by abacus calculation systematically, and evaluation of the Middle of Volume which investigated the algorithm which solves high order simultaneous equations, and the End of Volume, It is not solved enough. In this paper, I summarized the actual condition of the *Taisei Sankei* from comparison with the *Unified Lineage of Mathematical Methods* which is the classic document which described the algorithm by abacus calculation systematically. And I considered the directivity of algebraic investigation from comparison with the *Tongwen Suanzhi* which introduced Western arithmetic to China.

Received December 2, 2015.

2010 Mathematics Subject Classifications: 01A27, 01A50

Key Words: Kowa Seki, *Taisei Sankei*, extraction, abacus calculation

* 四日市大学・関孝和数学研究所 Seki Kowa Institute of Mathematics, Yokkaichi University, 1200 Kayo
Yokkaichi Mie 512-8512, Japan.e-mail: skim@yokkaichi-u.ac.jp

§1. 序

『大成算経¹』の「五技」および「雑技」は日本において初めて珠算による計算法を体系的に記述したものである²。この「五技」および「雑技」は20巻に及ぶ『大成算経』の最初の1巻と2巻であり、「五技」は四則計算と開方の方法、「雑技」は「五技」で扱った計算術の別解の巻である。両者とも巻の最終節に「開方」を位置付けている。「五技」における「開方」の問題は「有積二十一萬六千二百二十五箇問平方商」，「有積一十四萬八千八百七十七箇問立方商」，「三十九萬零六百二十五箇問三乗方商」の3問であり，術として方・廉・隅法に基づき，算木操作を示した図³をもとにして，開方されている。術の記載の最初に，3問とも隅を一とする「借一算」(本書では「置一算」)が記されている。開立方の問題の「置一算」は，實からを引いたものである $N - a^3 = b\{3a^2 + b(3a + b \times 1)\}$ の1に当たるものであり，『九章算術⁴』や『算学啓蒙⁵』で使われている方法と同一の，算木操作由来の表現である。

一方，「雑技」における「開方」は，「五技」の算木操作とは異なりそろばんの操作を示した図⁶に基づいて開方されている。

本稿では，この「五技」と「雑技」の違いは何を意味するか，何によって生じたのかについて考察し，その意義について言及する。

追究方法は，『大成算経』成立に大きな影響を与えた『楊輝算法⁷』，珠算による計算法を体系的に記述した古典書である『算法統宗⁸』との比較を行い，その差異を分析し考察する。

また，文中に入れられている割注に著者の考え方が表出することに注目し，関孝和・建部賢明・建部賢の意図を追究する。最後に『大成算経』での実際の計算操作を解釈し，先の集である「中集」・「後集」における先進的な「代数的処理」への端緒を探る。

§2. 『大成算経』と『楊輝算法』の「開方」の比較

2.1 「開方」についての記載

『楊輝算法』算法通編本末卷上には「開平」について以下の記載がある⁹。

開方乃算法中大節自。勾股旁要演段鎖積多用例有七體。一曰開平方。

¹ 関孝和・建部賢明・建部賢(1711)『大成算経』。本稿では南葵文庫本(東京大学総合図書館蔵書数/23/2.3/5/1)を使用。

² 小川東(2013)「『大成算経』の「雑技」について」，『数理解析研究所講究録』1831巻，66－84頁。

³ 『大成算経』，五技 開方，27頁，148877の開立の間に挿入された算木の図。

⁴ 劉徽註(263)『九章算術』。本稿では『景印文淵閣四庫全書』，台北市，1983)を使用。

⁵ 朱世傑(1299)『算学啓蒙』，本稿ではソウル大学奎章閣蔵，順治17年序庚午重刊本の影印本を使用。

⁶ 『大成算経』，雑技 帰除開方，2-51頁，82312875の開立の間に挿入されている図。

⁷ 楊輝(1275)『楊輝算法』，本稿では宋楊輝算法 算法通變本末 宣德八年(1433)年慶州府版刊，筑波大図書館 090-Ts66を使用。

⁸ 程大位(1592)『算法統宗』，本稿では小倉文庫『新編直指算法統宗』文盛堂，万曆21(1593)，記号イ1301056を使用。

⁹ 『楊輝算法』，前掲，算法通編本末卷上二表。

二曰開平圓。三曰開立方。四曰開立圓。五曰開分子方。六曰開三乘以上方。七曰帶從開方。竝載少廣勾股二章作一日學一法用兩月演習題目。討論用法之源。庶久而無失忘矣

『大成算経』卷之二前集雜技「開方」の説明には以下の記載がある¹⁰。

凡開方者諸技之所統，而其遺法太多矣，蓋古文七体，一曰開平方，二曰積平圓是為圓之法以定率除積而後開之也，三曰開立方，四曰開立圓是為球之法以定率除積而後開之也，五曰開分子方是開方命不尽之法也，六曰開三乘已上方，七曰帶從開方是為大小長短狀之法是式実下帶数故遂并開之是古之大要也

『大成算経』と『楊輝算法』には次の差異がある。

- ・『大成算経』の二曰は「開平圓」ではなく「積平圓」と称され、「円の面積を法として定率を以て除した後開平する」と説明がある。
- ・『大成算経』の四曰は「開立圓」で同じ名称であるが、「球の体積を法として定率を以て体積を除した後開立する」と説明がある。
- ・『大成算経』の五曰は「開分子方」で同じ名称であるが、「開方したとき尽きない場合の方法である」と説明があり、加えて割注に「但古法不称于真理故不載之」（ただし古法は真理にかなわず故にこれを載せない）が記されている。
- ・『大成算経』の六曰は「開三乘以上方」ではなく「開三乘已上方」と表記されている。
- ・『大成算経』の七曰は「帶從開方」で同じ名称であるが、「大小，長短の条件がある問題に対する方法」と説明がある。

『大成算経』の分類は「是古之大要也（古来より伝えられてきた方法の要点である）」と結んである。これは、古来より伝えられてきた「開方」について『楊輝算法』の分類に従ったことを表している。しかし、『大成算経』の記述には、『楊輝算法』に記された「竝載少廣勾股二章」への言及はない。この「少廣勾股二章」は、『九章算術』の劉徽註に従えば「少廣」は「以御積纂方圓」であり、「勾股」は「以御高深廣遠」を意味する。二つの章とも図形の計量が目的の章である。『大成算経』には「是式実下帶数故遂并開之（その式は実の下段に数を持つ，よって数値を併せながらこれを解く）」と記されているように，主な目的は代数的処理にある。実際，提示されている問題は図形の計量問題であるが，挿入されている図は図形ではなく，『算法統宗』と同一のそろばんの図である¹¹。

¹⁰ 小川東・北河一生・小林博行・藤井康生・森本光生(2015)「『大成算経』雜技(卷之二)現代語訳」，『関孝和数学研究所報告 2009-2014,II』，関孝和数学研究所，201-380 頁。27-29 頁参照

¹¹ 「五技」の「開方」は算木の図である。拙稿（2015）「そろばんを用いた『本朝甲陽算鑑童蒙知津』の開立方法」，『関孝和数学研究所報告 2009-2014, I』，関孝和数学研究所，112-125 頁参照。

2.2 『大成算経』「開分子方」の割注

「五曰開分子方」についての割注では「但古法不称于真理故不載之」（ただし古法は真理にかなわず，故にこれを載せない）と記されているが，その理由は明示されていない。そのため「古法」が扱っていないながら，『大成算経』で扱われなかった問題に注目する。それは，「開分子方」は「開方したとき尽きない場合の方法」についてであり，一つは整数根ではない時の近似，もう一つは分数値の開平である。

2.2.1 開方における近似の扱い

開方したとき尽きない場合の方法について，『九章算術』小廣章の開方には，「借算加定法」と「不加借算」¹²の二つの法が記載されている¹³。そして，それらの計算で得られた数値が「則常微少」「微多」として真の値とはならないこと，また「而命分者難粗相近不可用也」として近似はするが用いない方がよいことが記してある¹⁴。

利瑪竇が中国に伝えた *Epitome Arithmeticae Practicae* では 27 章 *Appropinquatio radicum in numeris non quadratis*¹⁵，その漢訳書の『同文算指』では「開平奇零法第十三」¹⁶で扱われ，「不加借算」相当式と「借算加定法」相当式とで求めた値の間に，近似値があることが記されている。

和算に大きな影響を与えた『算法統宗』では卷之六小廣章第四の「帰除開平方」で 490 の開平で初商 20 と次商 2 を求めた後，「不盡以直方命之法曰以所商二十二歩倍之又添一步共得四十五歩為分母命之曰四十五歩分之六」と記している¹⁷。實が不盡の場合として「借算加定法」を用いた計算が示してあるが，近似値の扱いではない。

2.2.2 開方における分数値の扱い

次に分数値の開平問題である。『九章算術』では「今有積六萬三千四百一尺五百一十二分尺之四百四十七問為立方幾何答曰三十九尺八分尺之七」や「今有積一

¹² 借算加定法 $\sqrt{N} = \sqrt{x^2 + y} = x + \frac{y}{2x+1}$ ，不加借算 $\sqrt{N} = \sqrt{x^2 + y} = x + \frac{y}{2x}$

¹³ 『九章算術』，前掲，797-42 頁。劉徽による註の部分である。

¹⁴ 『九章算術』，前掲，797-42 頁。劉徽による註の部分である。

¹⁵ Christopher Clavius (1583) *Epitome Arithmeticae Practicae*, Roma, pp.215-219.

¹⁶ 利瑪竇(授)，李之藻(演)，徐光啓(選) (1614)，『同文算指』，北京。(本稿では『景印文淵閣四庫全書』，台湾商務印刷館，2005 を使用)。224-228 頁。同書では「開平方第十二」「開平奇零法第十三」を挟んで，元本の *Epitome Arithmeticae Practicae* には存在しない，「勾股」を扱う「測量三率法第十一」，「少廣」を扱う「積較和相求開平方諸法第十四」が挿入されている。また，『同文算指』の「開平方第十二」「開平奇零法第十三」には幾何的要素は存在していない。

¹⁷ 『算法統宗』，前掲，「帰除開平方」の 2 番目（章では 8 番目）の間。

百九十三萬七千五百四十一尺二十七分尺之一十七問為立方幾何答曰一百二十四尺太半尺」の間に存在する。これらは、分母が立方数の場合に限定された解法であり、一般性はない。

『算法統宗』でも同様に、實が不盡の場合の上記の計算とは別に、「開平方通分法」として扱われ、 $x^2 = 1590\frac{1}{64} = \frac{101761}{64}$ として、 $x = \frac{319}{8} = 39\frac{7}{8}$ と計算している¹⁸。

以上の 2 つの技法は、問題の一般性や数理の量的把握を欠くのであり、それが『大成算経』で「開分子方」が「古法は真理にかなわず」の理由であると考えられる。

2.2.3 『大成算経』「開方」の問題部分の割注

『大成算経』では 7 つの分類に続いて、減從開方、益積開方、減積開方、翻積開方、帰除開方、損益開方、相応開方についての説明があり、さらに 10 種の問題が提示されている。その説明の部分には 4 箇所割注が挿入されている。

割注の解釈①

「益積開方」と「減積開方」についての説明後の割注として「此二法分面成技故用之則却有兩岐之惑也」（これらの二つの法はそれぞれまとまった技法を成す、それ故それらを用いるときかえって両者を分けることで困惑がある）。これは「益積開方」と「減積開方」とが実際は同じであることを指摘している。

割注の解釈②

開平方の計算手順について、割注で「乃平方者其進退之所為太連而常所用也」（すなわち平方は進めたり退けたりすることが非常に速くでき、通常用いる方法である）とする一方、開立方については「立方者由数有商太過而適数難弁者且二次除之故其技却遲是以不宣用之」（立方は数によって商が非常に大きく、適切な数を見極めがたい場合は二度除す。よってその計算法は却って遅くなる。よってこれを用いるのはよくない）。これは、既存の開立方法が複雑で仮商の見当付けも、計算後の仮商の修正も難しいことを説明している。

割注の解釈③

損益平方は解の公式による計算と同等の計算法であり、説明後の割注「立方已上無此法」（三乗以上にはこのような方法はない）と記されている。

割注の解釈④

従来の開方の計算手順が論理的に混乱している状況を示し、『楊輝算法』

¹⁸ 『算法統宗』，前掲，「開平方通分法」の 1 番目（章では 20 番目）の間。

由来の開方 7 分類を整理し、10 の名称と例題を提示している。これについて開方の説明の最終部分の割注で説明している。「凡近世定盤之所為難有方廉隅之弥唯於盤中或妄設法位或其名顛而乱真故後学多不知有級数定式也是以今悉分級名而述其法矣」（およそ最近の算盤の使い方には方・廉・隅という名称があるが、ただ盤中にみだりに法位を設けたり、その名称を転倒させたりして真を乱している。それ故、後進の者の多くは級数の定式を知らないのである。そこで今、悉く級の名称を付けてその方法を述べる）。

以上の割注には、著者の考えが鮮明に表れている。それは、幾何的追究における例外の扱いである。幾何的追究では例外は除去するか、例外を含めたモデルに改めるかであり、代数的追究で行うような補正では論理性に欠けることとなる。①では図示できることと術式との乖離についての指摘、④では技法と論理的裏付けの必要性の提起である。それ故、②のように仮商の立て方と修正について問題にしている。実際、次に展開する例題でもそれを詳しく記述している。幾何的追究、代数的追究の限界を示しつつ、③のように技法の一般化の必要性和留意点の指摘がされている。

これらは、『大成算経』の巻が進み、連立代数方程式を解くアルゴリズム¹⁹の提案へと繋がる端緒であろう。

§3. 『大成算経』と『算法統宗』の「開方」で扱われた問題

『大成算経』巻之二前集雑技の「開方」の 10 種の問題中に、「開方」の 7 つの分類のうちの開平方、開立方、開分子方、開三乗已上方については扱われていない。また、10 種の問題の提示は、理論的であり合理的でもある。それは、『大成算経』が「編者らが意図した数学における「方法」とその「対象」が集大成されている²⁰」書であることの一端であろう。この問題提示と展開に関しては、関孝和に大きな影響を与えた『楊輝算法』とは違いがある。『楊輝算法』は「広い範囲で網羅する数学書であるが、各内容の記述は深くなく、初級算術書²¹」であるので、問題提示と展開に関しては論理性や合理性に欠ける部分がある。それ故、問題提示と展開に関しては、『楊輝算法』ではなく、和算に大きな影響を与えた書の一つであり、珠算の体系書の古典である『算法統宗²²』と比較し考察していく。

3.1 『大成算経』雑技「開方」の問題

10 種の問題文と答、及び参照のために式表示をする。

¹⁹ 森本光生(2012)「和算における連立代数方程式を解くアルゴリズム」, 『数理解析研究所講究録』1787, 44-64 頁。

²⁰ 佐藤賢一(2005)『近代日本数学史 関孝和の実像を求めて』, 東京大学出版社, 302 頁。

²¹ 城地茂(2004)「中田高寛写・石黒信由蔵『楊輝算法』について」, 『数理解析研究所講究録』1392, 46-59 頁。46 頁。

²² 『新編直指算法統宗』, 前掲, 卷之六少廣章第四。

- ① 積平圓 仮如有円積二万六千八百八十尺零三寸一分五厘
答曰円経一百八十五尺 $\pi r^2 = 26870.315$, $2r = 185$
- ② 開立圓 仮如有円球積四万七千七百一十三尺零五分間球径
答曰球径四十五尺 $\frac{4}{3}\pi r^3 = 47713.5$, $2r = 45$
- ③ 帶從開方 仮如有直積三千四百五十六尺闊不及長二十四尺間長闊
答曰長七十二尺闊四十八尺 $x(x + 24) = 3456$, $x = 48$
仮如有方倉積八千六百四十尺高不及方九尺間方高
答曰方二十四尺高一十五尺 $x^2(x - 9) = 8640$, $x = 24$
- ④ 減從開方 仮如有直積一千九百六十尺長闊和九尺一寸間長闊
答曰長五尺六寸闊三尺五寸 $x(91 - x) = 1960$, $x = 56$
仮如有方窖積六千八百零四尺方興高和三丈九尺間方高
答曰方一丈八尺高二丈一尺 $x^2(39 - x) = 6804$, $x = 18$
- ⑤ 益積開方 仮如有直積八百六十四尺長闊差一十二尺間長
答曰長五尺六寸闊三尺五寸 $x(x - 12) = 864$, $x = 36$
仮如有方積六千四百寸高不及方四寸間方
答曰方二寸 $x^2(x - 4) = 6400$, $x = 20$
- ⑥ 減積開方 仮如有直田積一千五百三十六坪長多如闊一十六間間長闊
答曰長四十八間闊三十二間 $x(x + 16) = 1536$, $x = 32$
仮如有方積一千二百十五寸方不及高六寸間方高
答曰方九寸高一尺五寸 $x^2(x + 6) = 1215$, $x = 9$
- ⑦ 翻積開方 仮如有直積一千五百七十五尺長闊和八十尺間長
答曰長四十五尺 $x(80 - x) = 1575$, $x = 45$
仮如有方積三千八百八十八方不興高和三尺間高
答曰高一尺二寸 $x(30 - x)^2 = 3888$, $x = 12$
- ⑧ 帰除開方 仮如有方地積二百三十五万三千一百五十六坪間方面
答曰方面一千五百三十四間 $x^2 = 2353156$, $x = 1534$
仮如有立方積八千二百三十一万二千八百七十五尺間立方面
答曰立方面四百三十五尺 $x^3 = 82312875$, $x = 435$
- ⑨ 損益平方 仮如有直積二千三百五十二寸長闊差一尺四寸間長闊
答曰長五尺六寸闊四尺二寸 $2352 - 14x - x^2 = 0$, $x = 42$

仮如有直積一千〇〇八寸長闊和六尺四寸問長闊

答曰長三尺六寸闊二尺八寸 $1008 - 64x + x^2 = 0, x = 36$

⑩ 相応開方（規準に応じて形を調整するもの）

仮如有直長一尺六寸闊一尺二寸今以積五百八十八寸応旧準而作之問
長闊 答曰長二尺八寸闊二尺一寸

$$12x = 16y, \quad xy = 588, \quad x = 26, y = 21$$

仮如有方柱方六寸高八寸今積二千三百零四寸而作之問今方高
答曰今方一尺二寸今高一尺六寸

$$8x = 6h, \quad x^2h = 2304, \quad x = 12, h = 16$$

この巻之二前集雑技の「開方」に使われた問題には、巻之一前集五技の「開方」に存在する開平方・開立方・三乗方の間は存在しない。ただし開平方・開立方に関しては、「帰除開方」の中で扱われているが、算木を用いた図が挿入されている五技の「開方」とは明らかに異なる解法が示されている。また、開分子方については、技法そのものが「真理にかなわない」ので、問題提示されていない。

3.2 『算法統宗』「開方」（少廣章第四）の問題

『算法統宗』の開方は小廣章第四に載っている。この『算法統宗』では、開立方法と帰除開立方法が別の法として示されている。

①開平方が認商歌、開方求廉率作法本源図（楊輝の三角形）、方廉隅法之図、今列開平方法定分左中右式、一方四廉兩隅演段図の順に説明されている。

②帰除開平方では、根が整数でない場合の処理が「借算加定法」を用い記されている。

以下、③帯縦開平方、④減積開平方、⑤減縦開平方、⑥開平方通分法、⑦平円法歌、⑧方箭図、⑨円箭図、⑩帯縦平方図、⑪長濶相当求和図、⑫減縦開方図、⑬減縦翻積法、⑭方円求径図、⑮方積帯縦開平方図、⑯大小方総一図が続く。

その後開立方が記されている。

⑰開立方は開立方法歌、開立方図式、帰除開立方の順に説明されている。

⑱開立方帯縦法 $(x - 3) = 518.4 \times 2.5$, $x = 12$

⑳開立方廉隅図 $x(x + 10)(x - 6) = 2419.2 \times 2.5$

『算法統宗』の開方は、認商歌（計算手順）、開方求廉率作法本源図（楊輝の三角形を使った二項展開式）、方廉隅法之図（面積図の使用）、今列開平方法定分左中右式（一次元表示のそろばんの図）、一方四廉兩隅演段図（三項の二次式展開図）の順で説明が展開されている。

注目する点は、開平方、開立方とも幾何的追究である方廉隅法之図より、代数的追究である開方求廉率作法本源図を主に行っていることと、そろばんの図の導入である²³。

²³ 『算法統宗』、前掲、巻之六少廣章第四の「開立方圖式」。

挿入された図は、『大成算経』「五技」で用いられた方廉隅法を示した算木の操作図ではなく、「雑技」で用いられたそろばんの図に相当するものである。

3.3 『大成算経』における近似の扱い

『大成算経』の「開方」には、「開方したとき尽きない場合」は真理にかなわないとの理由で扱われていない。そのため、「開方」では、「實が尽きる」問題か、「一尺四寸を十四寸に換算して計算」するような問題で構成されている。

「實が尽きない」場合の処理については、「雑技」の「帰除」の「除」の問題に記されている。

假如、有軍人一百二十六人、共支銀二千七百二十三両、問每人支銀。

答曰、每人支二十一兩六分一厘一毛強

計算術は $2723 \div 126$ を、「兩数帶七約」して $389 \div 18$ と記している。ただし、 $389 \div 18 = 21$ あまり 11 なので、算木操作なら $21\frac{11}{18}$ と示されるが、この「除」では、そろばん操作で割り進み $21.611\cdots$ となり「二十一兩六分一厘一毛強」と小数近似で求められている。

『大成算経』の「雑技」には「開分子」の問題は記されていないのであるが、「雑技」の「開立」で示したそろばんを使用した解法は、「帰除」で示した「實が尽きない」場合の小数近似と合わせることで、「開分子」が理にかなうものになるのである²⁴。

「開方」の問題で開く値や求める根が整数である場合は、問題場面に現実性はない。また、求めた根が分数表記では、実用的な平方根表や立方根表を作ることもしない。実用性と数値の量的把握の両面において小数近似は必要であり、ここにそろばんの優位性がある。

§4. 結

『大成算経』の「前集」は珠算による計算法を体系的に記述したものであり、続く、高次の連立方程式を解くアルゴリズムを追究した「中集」・「後集」の方向性を示す基礎編である。その「前集」の「五技」は四則計算と開方の方法、「雑技」は「五技」で扱った計算術の別解の巻である。この2つの巻は、巻の最終課題である「開方」の計算操作に違いあり、「五技」は算木操作に基づくのに対し、「雑技」はそろばん操作を示している。

計算操作としてのそろばんは、算木操作と比べ、四則計算には高い優位性があるが、高次方程式を解くには適していない。それ故、「五技」の展開のように、四則計算ではそろばんを使用し、開方では算木を使っていることは理にかなっている。次の「雑技」に続く、「変技」以降の開方も算木操作を基にしている。しかし、「雑技」においては算木ではなく、そろばん操作を行っている。あえて高

²⁴ 事例として、安永惟正『本朝甲陽軍鑑童蒙知津』(1820)では、そろばんを使用して 16777.216 の立方根 25.6 、 15606.257499 の立方根 24.99 を求めている。脚注 11 参照。

次方程式の解法に適さないそろばん操作を「雑技」に位置づけたのである。その理由として、高次元方程式の解法に適さないそろばんでも可能であることを示すことや、単に『算法統宗』の影響と考えることもできる。しかし、それらは、『大成算経』の追究水準ではない。

『大成算経』では、開方したとき尽きない場合の方法である「開分子方」について、「古法は真理にかなわず」とし「故にこれを載せない」としている。既存の数学書では、「開方したとき尽きない場合」を扱わないか、分数で近似値を表し量的把握を困難にしているからである。

西洋数学においては、デカルトも参考にした中世数学の教科書であったクラヴィウスの『代数学』において、「開方したとき尽きない場合」つまり無理数の計算についての章である“De Minutiis Numerorum Irrationalium, ac de erarundem Algorithmis”²⁵が、同書全28章中の第25章に位置づけられ、10進分数を使った小数近似が解説され、数値の量的把握がなされている。これは、他の章のコス代数の展開を補完するものである。

この「開方したとき尽きない場合」の処理と数値の量的把握は、そろばん操作が優位に立つものである。『大成算経』の「開方」では、従来の「開分子」を扱うのではなく、「開立方」で小数近似が計算できるそろばん操作によるアルゴリズムを提示し、「開分子」の解法と数値の量的把握を示したのである。

参考文献

- [1] 関孝和;建部賢明;建部賢弘; 小松彦三郎(2013)「『大成算経 : 卷之二雑技(大成算経 : 小松校訂本, その1)』、『数理解析研究所講究録』第 1858巻, 57-96頁。
- [2] 長田直樹(2013)「関孝和と大成算経」, 『数理解析研究所講究録』第 1831巻, 85-103頁。
- [3] 森本光生(2011)「建部賢弘の数学哲学」, 『数理解析研究所講究録』第 1739巻, 65-76頁。
- [4] 城地茂(2004)「建中田高寛写・石黒信由蔵『楊輝算法』について」, 『数理解析研究所講究録』第 1392巻, 46-59頁。
- [5] 小川東(2011)「近代日本数学の方法と論理に関する諸問題」, 『数理解析研究所講究録』第 1739巻, 245-205頁。
- [6] 銭宝琮主編(1964)『中国数学史』, 科学出版社, 北京。(川原秀城訳(1990)『中国数学史』, みすず書房)
- [7] Alfred W. Crosby, “The Measure of Reality : Quantification and Western Society, 1250-1600”, Cambridge University Press. 1997.

²⁵ Christopher Clavius (1608) *Algebra*, Roma. pp.131-133.