

ライプニッツの2進法計算：その歴史的評価を再考する

林 知宏

1 はじめに

17世紀ヨーロッパは、数学における一大転換期にあたる。特に、デカルト等による代数的記号法の整備とニュートン、ライプニッツ等によって結実する無限小解析学（微分積分学）の発展は、数学史上特筆すべきものである。多くの個性的な数学研究者たちが、大なり小なりこれらの二つの数学的革新に係わり、学問的状况をそれ以前とは一変させてしまった。中でも、ライプニッツによる数学的貢献は、同時代人と比較してある側面において際立っている。それは「記号」に対する強い思い入れである。彼の場合、数学上の新しい概念や計算法の創出や進展が、必ず新しい記号の開発や利用とセットになっている。¹ライプニッツは、若き日（10代後半の頃）に学問的活動を始めた最初期から、思想を適切な記号によって表現することを目標としてきた。それは数学研究に取り組む（20代半ば）以前から強い学問的推進力として機能したものである。無論そうした発想は、ライプニッツが一から作り上げたのではない。ヨーロッパの思想的伝統の中で育まれたものを受け止めた上で、独自の発展させたのである。特にライプニッツは数学研究に本格的に関心を持つようになってから、ますます記号の有効利用に熱心になったと言ってよいだろう。その点が彼の学問的活動の大きな特徴となっているのである。

本論考は、ライプニッツの記号学と数学とがクロスする一場面として、彼の「2進法計算」に注目する。それは、ライプニッツの生きた17世紀後半から18世紀初頭において特異な発想であり、数学研究として広く一般に取り組みされていたテーマではない。彼の2進法計算に関する考察は、公刊論文として世に問われることはほとんどなかった。それらの多くは草稿・書簡を通じて他者に対して問いかけられたに過ぎない。したがってライプニッツの数学的貢献の中でも、主題として大きな存在感を占めているわけではない。そもそも「貢献」などと称するに至らず、単なるアイデアを提示したに留まっていると判断されるべきものかもしれない。しかしながらライプニッツ研究史の中で、この2進法計算は研究者たちの関心をひきつけてきた。ライプニッツにとって、記号学は根源的な意味合いを持っていたからである。彼の2進法計算は、特に0と1というわずか2種類の記号による適用可能性を数学において追究するという意味で、記号法への関心が非常に純粋な形で発揮されていると見ることができる。

¹[Cajori 1925], pp. 418–428において、ライプニッツの生み出した記号の一覧を見ることができる。

従来の研究史において、このライプニッツの2進法計算に関連して、いくつかの論点が提示された。そして一定の評価が下されているように見える。すなわち次のようなものである。

- 1) 2進法計算の発想を明確に提示し、研究を推進しようとした人物。
- 2) 加減乗除を処理する計算機の開発者。²
- 3) 1), 2) が融合されることによって現代のコンピュータの思想的・技術的原点を創造した「精神的父」。

こうした評価は、一見おさまりがよく妥当なもののように見える。だがライプニッツが2進法計算に寄せた期待は、我々に残された資料から判断するならば、決して計算機への技術的な応用が主ではない。いたって数学的な関心を中心なのである。上の1), 2) のような認識は各々それ自体誤っていない。しかし現代のコンピュータのメカニズムをもとに、歴史的な位置づけを計るとアナクロニズムに他ならないものになってしまう。本論考は3) のような評価は、ライプニッツ自身の意図を正確に反映したものでないことを示すために、彼の論文・草稿・書簡の分析を行う。そしてライプニッツが2進法計算に何を託したのかを検証したい。特に数学研究のサークルの中で、ライプニッツのアイデアがどのように受け止められたのか、さらにライプニッツは彼らに何を力説したのかを今一度確認したい。そのことで上記の1), 2) という事実認識から3) へと結びつけてしまうことは解消されると考えられる。

またライプニッツの2進法計算に対する関心と試行錯誤は、世紀が変わってから新たな展開を見せる。中国への布教活動を行っていたイエズス会士との交流によって、ライプニッツは新たな知的な興奮を与えられるのである。中国における古典的知識体系との結びつきという思わぬ広がりを見いだしたことは、ライプニッツにとっても意外だったろう。彼は、自分の目指した普遍的学問の持つ「普遍性」の所以を確認した思いがあったに違いない。そのライプニッツの中国研究との関連で、以下のような問題が多く論者によって検討されてきた。

- ・2進表示と「伏羲の図」との類似性。
- ・ライプニッツと中国思想の影響関係。ライプニッツの中国理解。

以上の2点をもとにライプニッツを比較文化研究の先駆者と見なすのが一般的である。し

²ライプニッツの作った計算機は [Popp und Stein 2000], S. 93, または [佐々木 2002], 201頁に見ることができ。本論考の筆者は2001年秋にベルリンで開催されたライプニッツ国際学会の際に、ライプニッツ自身によるオリジナル計算機の複製を見ることができた。

かしその一方で彼の中国理解の限界を指摘する論調も少なからずある。これらについて、本論考では包括的な議論を行わない。ただし、ライプニッツの普遍学 (scientia universalis) 構想と数学研究を結びつけて捉える立場から一定の批判を加える。

上記の問題設定にもとづき、本論考の議論を以下のような流れで進めていきたい。

- 1) ライプニッツ独自の「普遍記号学 (characteristica universalis)」の様相。
 - (a) ライプニッツの初期の研究。
 - (b) ライプニッツの新幾何学構想における記号学。
- 2) ライプニッツが2進法計算において目指したものの、具体的な成果、同時代人の受け止め方。
- 3) ライプニッツの中国研究との関連。

ライプニッツは旧来の学問的体系を見直し、再編するための学問的基礎として普遍学を想定した。人間の知識をより普遍的な形で表現することが可能か否か、という基準はライプニッツが個々の学問分野において研究を進めるとき、つねに念頭にあったと考えられる。その思いは同時代人の中でひときわ強かったのではないか。0と1の二つの数字だけを用いた計算法とその応用範囲を模索することは、ライプニッツが情熱を傾けたテーマの一つであった。彼の2進法計算は数学の一分枝として、また彼の「究極の」テーマである普遍学構築の範例ともなり得るものである。

ただしライプニッツの学問観の中心的要素、すなわち普遍主義は無批判に賞賛されるべきものではないだろう。特に中国古代思想との結びつきをもって彼の発想の「普遍性」が確認されたとすることは短絡的である。そもそもその「普遍性」というモットーは、何によって正当化されるのか？ これは難しい問題を含んでいる。実際ライプニッツの普遍志向は、(彼自身も貢献した) 数学に依拠している。17世紀は数学の革新の時代であり、一つの学問的規範としての地位を築かれた時期であった。結局、数学とライプニッツの普遍性追究とがリンクした点が、彼の思想的貢献を評価することを厄介にしていると考えられる。そうした問題点を指摘することもあわせて行いたい。旧来の2次文献において、ライプニッツが2進法計算を考察するコンテクストを分析し、彼がそこにどのような夢を描いたのかは十分に解明されたとは言えない状況である。新資料が特に得られたわけではないが、旧資料から可能な分析を試みることにしたい。

2 ライプニッツ普遍記号学の様相

2.1 ライプニッツの初期の著作『結合法論』における記号論

ライプニッツの学問的活動は、実質的に1666年『結合法論』(*Dissertatio de arte combinatoria*) の出版から始まる。彼は1661年にライプチヒ大学に入学し、1663年には処女論文

の出版を果たしていた。1666年頃までに哲学教授資格取得論文の執筆に取り組んでいたが、その成果として『結合法論』が生まれた。その後の展開を予感させる内容が含まれており、この『結合法論』という著作の分析がライプニッツの思想的変遷を捉える第一歩となる。

『結合法論』には序論部に続き、20項目にわたる諸概念の定義が置かれている。ライプニッツは我々の「組み合わせ」に相当する語を「複合 (complexio)」と呼ぶ (定義9)。そして全体に対して結合される部分の数を「指数 (exponens)」と呼ぶ (定義10)。すなわち ABCD と四つの部分からなるものに対し、AB, BC, CD, …のように二つの結合を考えると指数は2であり、ABC, BCD, ACD, …のように3つの結合を考えると指数は3であるという。そしてすべての指数に対して計算された複合全体を「単純複合 (complexiones simpliciter)」と呼ぶ (定義12)。³ そしてライプニッツは解くべき12個の問題を提示する。中でもこの著作の中心的な問題である問題 I, II は次のようなものである。

- 1) 問題 I: 数と指数が与えられたとき、複合を見いだすこと。
- 2) 問題 II: 数が与えられたとき、単純複合を見いだすこと。

我々の現代的記号を用いて表すならば、数 m 、指数 n に対して問題 I は組み合わせの数

$\binom{m}{n}$ を、問題 II は $\sum_{k=0}^m \binom{m}{k}$ を求めることに他ならない。⁴

ライプニッツは実際、問題 I に対して上の m と n を与えたときの組み合わせの数の数表 (数三角形) を与える (表1参照)。⁵ そしてこの表をもとに、問題 II に対する解答を与える。つまり「与えられた数が、2重幾何数列 [公比2の等比数列] の指数の間で求められるとせよ。それに直接対応する数列の数あるいは項から単位を取り去られるならば、それが求めるものになるだろう」と述べている。ただしその根拠は難しく、単に表1から「その事実は明瞭である」とされるだけで、一般的証明は付されていない。⁶

このような組み合わせ論の基本問題をもとに、ライプニッツの主題が展開されていく。実際、「問題 I, II の利用」と称する諸項目 (我々は「応用篇」と称する) が論じられ、全

³[Leibniz A], VI-1, S. 172f. 邦訳, 15f 頁。

⁴Ibid., S. 174, 6. 邦訳, 18, 21 頁。

⁵表の作成の根拠として問題 I, 第4項において

$$\binom{m}{n} = \binom{m-1}{n-1} + \binom{m-1}{n}$$

に相当する内容が示される。

⁶ライプニッツの結論は我々の記号法で、

$$\sum_{k=0}^m \binom{m}{k} = \binom{m}{0} + \binom{m}{1} + \dots + \binom{m}{m} = 2^m - 1$$

と表される。Ibid., S. 174ff. 邦訳, 18-22 頁。なお [] 内は、引用者による補足を表す。本論考の以下においても同様である。

表1 指数と複合の表

Tab. K.

0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	0	1	2	3	4	5	6	7 π	8 μ	9 m	10 e	11 r	12 i
2	0	0	1	3	6	10	15	21	28	36	45	55	66
3	0	0	0	1	4	10	20	35	56	84	120	165	220
4	0	0	0	0	1	5	15	35	70	126	210	330	495
5	0	0	0	0	0	1	6	21	56	126	252	462	792
6	0	0	0	0	0	0	1	7	28	84	210	462	924
7	0	0	0	0	0	0	0	1	8	36	120	330	792
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	45	165	495
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	55	220
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	66
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
*	0	1.	3.	7.	15.	31.	63.	127.	255.	511.	1023.	2047.	4095.
†	1.	2.	4.	8.	16.	32.	64.	128.	256.	512.	1024.	2048.	4096.

体の中で半分近くの分量を占めることになる。この応用篇の中で、ライプニッツは記号使用に関するテーゼを提起する。それはカッシーラーのいう「シンボリック思考」というべきものである。カッシーラーは、『シンボル形式の哲学』第3巻「認識の現象学」第3部の中で次のように「シンボリック思考の本性」を定義している。

思考内容そのものを操作するのではなく、それぞれの思考内容に特定の記号を対応づけ、この対応づけの力を借りて、複雑な証明の連鎖のすべての項をただ一つの公式にまとめあげ、それらすべての項を一目で分節された総体として捉えることを可能にしてくれる濃縮化を果たすことにある。⁷

こうした発想は、ライプニッツ最初期の著作『結合法論』にすでに顕著である。実際、「応用篇」第64項以下に明瞭に現れる。ライプニッツは、第64項から第71項において9項目からなる方法論を述べる。

全てが何から構成されているかを確定するために、この手法の範疇を、そしてまさに質料を指示することに対して解析が適用されなければならない。解析とは次のようなものである。1) 任意の与えられた項は形式的部分に分解され、その定義が定められる。しかしこの部分は再び部分に、すなわち項の定義の定義が置かれ、単純部分、つまり定義できない項まで続ける。なぜなら「すべてのものの定義を求める必要はない」からである。そしてその最終項は、もはやそれ以上の定義によってではなく、類推 (analogia) によっ

⁷[Cassirer 1923-29], 3, S. 453f, 邦訳 [カッシーラー 1989-97], (四), 206f 頁。

て理解される。〔第64項〕

また続けて第2番目以降を羅列すると次のようになる。

- 2) 発見されたすべての素項 (terminus primus) を、一つのクラスの中へ置き、何らかの記号 (notum) によって指し示す。そしてそれを数える。〔第65項〕
- 3) 素項の中には「事物」だけでなく、「様態」, 「関係」も含める。〔第66項〕
- 4) 派生項を素項からの「距離」によって分類する。同じ素項から構成される項を、同じ一つのクラスの中へ置く。〔第67項〕
- 5) 二つの結合によって生じる項は、二つの数によって表す。〔第68項〕
- 6) 三つの結合を表すときには、三つの数によって表す。〔第69項〕
- 7) 派生項を他のクラスへ引用するときには、分数を活用する。〔第70項〕〔第8項目, 第9項目 (第70, 71項) は省略〕⁸

事物のみならず関係、様態を含んだ基本項を最初に設定し、それらに自然数を対応させ、一つのクラスを作る。ここで強調しておきたいのは、カッシーラーの言う「思考内容に特定の記号を対応づけ」の「記号」の役割を何が果たすのかということである。すなわち、数が、さらにはその組み合わせによる分数 (有理数) が担うのである。ライプニッツの記号学 (= シンボルの思考) は、まず数の活用から始まったことは記憶に値する。この発想が、本論考の主題である2進法計算の原点である。ここでしばらくその具体例を『結合法論』の中に見よう。

第88項ではクラス1として、27項目が掲げられる。すなわち、1. 点, 2. 空間, 3. 間に位置する, 4. 隣りに位置する, あるいは相接する, [...], 9. 部分, 10. 全体, 11. 同一, [...], 14. 数, 15. 多数, 16. 距離 [...], 18. すべての, [...], 20. [何々] となる, 21. 方向, [...], 27. 進行 (progressio), あるいは連続しているもの, である。これらを用いて、例えばクラス2の第1項目に属するものとして

Quantitas est 14. τὼν 9(15).

すなわち「量は多数の部分の数である」という命題が生み出される。さらにまた、いま作り出した項を用いて、クラス3の第2項目に属する命題として以下を作る。

Aequale, A τῆς 11. $\frac{1}{2}$.

クラス2の第1命題 (「量」) を分数 で表示し, 「同一の量を持つ A は等しい」という言明が生み出されるのである。ユークリッド『原論』第1巻で定義される様々な幾何学的対

⁸[Leibniz I A], VI-1, S. 194f. 邦訳, 35ff 頁。

象も同様な表示が可能になる。例えば次の通りである。

$$\text{(クラス4第4命題) Parallelum, } \frac{2}{3} \cdot \acute{\epsilon}\nu \tau\eta \text{ 16.}$$

＝「平行なものは距離において等しい。」

さらにクラス番号が増えるにつれて、仕組みは複雑になる。

$$\text{(クラス16第1命題) Angulus rectus est } \frac{1}{11} \cdot \frac{2}{3} \cdot \text{in } \tau\eta \text{ 18. 21.}$$

＝「直角はすべての方向において等しい角である。」

この命題の構成を分解してたどると以下のように、最終的にクラス1の各項に帰着させることができる（以下の表2において、例えばC16：クラス16，P1：第1命題，C1-18：クラス1第18項目を表す）。⁹

この作業はクラス24に至るまで続けられる。ライプニッツは意図して、ユークリッド『原論』が「定義」として提示したものを演繹的推論の対象にしようとしているように見える。実際、第87項において「もし時間が許すならば、同じ方法によってユークリッド『原論』の中のすべての定義を説明することができただろうに」と述べている。¹⁰ ここではのめかされるユークリッド『原論』の改良こそが、パリ時代以降さかんに試行錯誤した新幾何学「位置解析」構想を支える最も基本的な動機である（2.2節にて後述）。

ライプニッツは同時代に普及していた代数解析の利点（代理記号としての数の利用）を活かしている。その一方で、解析元来の意味合い（分解不可能な項までの遡及）に忠実に

表2 「結合法論」クラス16第1命題の解析

クラス (C)	命題 (P)	構成	命題内容
C16	P1	C11P1+C3P2+C1-18, 21	「直角はすべての方向において等しい角である。」
C11	P1	C6P2+C4P3+C1-4	「角は相接し発散する二つの線が作るものである。」
C6	P2	C5P1+C1-16	「発散するものは距離において増大する。」
C5	P1	C4P1+C1-20	「増大するものはより大となるものである。」
C4	P3	C3P1+C1-1	「線は2点の間隔である。」
	P1	C3P2+C1-9	「Bに等しい部分を持つAはより大である。」
C3	P2	C2P1+C1-11	「同一の量を持つAは等しい。」
	P1	C1-2, 3, 10	「間隔は間に位置する全空間である。」
C2	P1	C1-9, 14, 15	「量は多数の部分の数である。」

⁹Ibid., S. 200f. 邦訳, 44–51 頁。

¹⁰Ibid., S. 199. 邦訳, 43f 頁。

ある。さらに記号的組み合わせの作業を『原論』で論証の対象外とされたものまで適用することで、自己の方法論の有効性を示そうとする。特に有理数の形で特定の概念の定義や命題の表現を与えることで、新たな真理命題を創造することも可能にしようとしている。これは既成の知識体系の組み替えだけでなく、未知の領域への拡張を意図したものであるに違いない。

ただしここで数を用いていることは、記号自体の数が増加していくことに上手に対処するための方便であろう。¹¹ 表現範囲を広げることに伴って、記号自体の数が増加せざるを得ない。それに対処するための手段として、数の利用が考えられたとするならば、なかなか巧妙である。ただその一方で、ライプニッツはこの初期（1672年のパリ滞在以前）の段階で、数学研究に本格的に取り組んでいない。すなわち、シンボリック思考の本領が発揮される分野をまだライプニッツ自身が存分に探求していなかった時期である。デカルト以降の記号的代数が整備された数学こそが、記号学にとって格好の応用の場であった。ライプニッツは『結合法論』執筆時に、彼自身が大きな数学的貢献を行うとは想像していなかったろう。だが1672年にパリへ赴き、ホイヘンスの知遇を得て、ひとたび数学研究に参入するやいなや、ライプニッツはすぐさま「新幾何学＝位置解析 (analysis situs)」の構想を展

¹¹「応用篇」は、中ほどに中世以来の伝統を示唆する内容がある。それはライムンドス・ルルスへの言及である。すなわち「応用篇」第56～62項は、ルルス自身に、そしてルルス主義者に対する批判が記されている。ライプニッツはルルスの『アルス・マグナ』(Ars magna)を始めとする著作に、1598年にストラスブールで出版された著作集を通じてふれている。我々は『結合法論』第56項における引用によってそれを判断することができる。ライプニッツは、そのルルスの方法を次のように解説している。まず、それぞれ九つずつの項目を持った六つのグループを考える。六つのグループには、1. 絶対的的属性、2. 関係、3. 問題、4. 主題、5. 美徳、6. 悪徳といった概念が配置される。そこに、例えば1のグループ内に、善、大きさ、持続性、力、知恵、意志、徳、心理、栄光のような項目がさらに配置される。この九つの項目が、三つの同心円中に、アルファベットの九つの文字 (B, C, D, E, F, G, H, I, K) によって記されている。同心円の回転によって種々の項目の組み合わせを通じて、新たな命題が生み出されるのである (例えば「善」と「大きさ」とが組み合わせたり、「善は大きさであるかどうか」という命題が生まれる) ([Leibniz A], VI-1, S. 192f. または [エーコ 1995], 97頁の図参照)。

このようなルルスの「術」が記憶術というヨーロッパ古来の伝統の中でどれほど画期的であるかはイエイツに詳しい。イエイツによれば、このルルスの「術」は古典的記憶術にあった具体的なイメージを払拭し、「ほとんど代数的、または抽象科学的ともいえる趣きを」持ち込んでいるのである ([イエイツ 1993], 212頁)。そうした点がライプニッツを魅了したことは想像に難くない。しかしながらライプニッツはこのルルスの方法に満足はしていない。実際、彼は先の第一グループの内容を批判する。「最も抽象的でなければならぬ絶対的述語において、彼〔ルルス〕はなぜ意志、真理、知恵、美徳、栄光というものを混ぜたのか。そしてなぜ美を、図形を、あるいは数を省いたのか」 ([Leibniz A], VI-1, S. 193)。

ライプニッツは、加えてルルスの影響を受けた人々たち、例えば、アルステッド、ブルーノ、キルヒャー等の名もこの『結合法論』中に挙げている (Ibid., S. 192, 194)。こうした人々の著作が『結合法論』の糧となっていたことがわかる。ただしライプニッツはその影響下においても独自性を打ち出している。ルルスが限定的な数の項目の組み合わせのみを考えていたに対し、ライプニッツは数を記号として用いて、原理的には無制限に増殖可能なメカニズムを作り上げた。諸概念に数に対応させることで、命題の解析や演繹の推論が容易になると信じたのである。ルネッサンス後期や17世紀の同時代人たちの発想に比べて、ライプニッツの方法論は、記号論的な観点から一段と進化したものとみなすことができるだろう。

開する。そこで我々は、次にライプニッツの普遍記号学における第2の例として、数学研究の中で述べられる彼独自の記号論を分析することにしよう。

2.2 位置解析

ライプニッツはパリ滞在時代（1672-76年）に、数学研究を本格化させた。その研究の一部には、先に述べたように位置解析という新分野への取り組みもあった。ライプニッツが新しい幾何学を作る根源的動機は次の二つである。

- 1) ユークリッド『原論』（＝古典的幾何学の代表）の改良。
- 2) デカルト『幾何学』（＝ライプニッツにとっての「モダンな」幾何学の代表）の改良。

数学世界の中で、確固とした地位をすでに築いていた両者の利点を活かしつつ、欠点を補うことを構想したのである。前者については、パリ時代以前の法学研究の中で発想が醸成されており、ライプニッツは特に「論証の確実性」を追究していた。その際、数学上の著作でありながら、一つの学問的規範として存在していたユークリッド『原論』が再検討の対象とされたのである。その論理構造、すなわち定義→公理・公準→命題（証明すべき対象）という流れが見直される。特に公理・公準として前提されたものをことごとく証明の対象にしてしまい、理想的には同一律（ $A=A$ ）のみを仮定する論証の体系化と実践という構想をライプニッツは抱くに至ったのである。¹² 後者は、デカルトが1637年に発表し、その後オランダ人のスホーテンによってラテン語訳された『幾何学』第2版（1659-61年刊行）の記号論的な限界を乗り越えるもくろみである。この位置解析研究は、ライプニッツの生前に論文として公刊されず、無限小解析のような同時代における影響力を持つことはなかった。ただし論証の仕組みと記号論的な可能性の拡大の両方を視野に入れていた点で、我々の議論にとっては重要である。一端立ち止まって検討する価値があるといえよう。

現在公刊されている資料によれば、ライプニッツの幾何学の分野への取り組みが熱を帯びるのは1679年になってからである。ただ1678年12月19日付のガロワ宛書簡には、すでに彼の意図するところが十二分に語られている。

私は幾何学において、何よりも的確な作図を見いだす方法のみ、ほとんどそれだけを探求しています。私はだんだんと代数学はそれに達する自然な方法ではないと考え、そして線に対する固有な、そして線による解にとって自然な、別の記号法を作る方法があると考えています。代数学は、たとえいまだに皆に知られていない多くの巧妙さがあり、あらゆる量に対して共通であ

¹²詳しい議論は、[林 2003a], 16-25 頁参照

るのにもかかわらず、計算から作図を引き出すために通常強いられる回り道や作業が伴うと思います。もし幾何学の記号法が、私がそうなり得るだろうと考えるように確立されるならば、代数学同様、可能な限り目指すところへまちがいを導いてくれるでしょう。線による方法や純粹に幾何学的方法によってのみ解を求める、通常の幾何学の巧妙さはまさに限定され、まれにしか成功しません。反対に代数学は、たとえ解がいつもは非常に短いわけでもなく、計算の方法が極めて自然だというわけでもなく、幾何学の方法のように途中で精神を照らすということもない代わりに、それはいつも問題の解に達するのです。しかしあらゆる問題の解に達するのは、ヴィエトやデカルトの代数学ではありません。なぜならそうした代数学は直線的な幾何学の問題に対してのみ、都合よくいくものだからです。¹³

ライプニッツの新幾何学は、代数学の持つ形式的な計算による解への到達可能性を最大限に活かすことを目指す。他方、古典的な幾何学的解析に必要な作図を「計算から引き出す」ための十全な記号法も整備する。上記の引用に続けて、ライプニッツはヴィエト、デカルトの代数学が解決できなかった問題例として、「超越的」な問題を挙げている。すなわち次数が一定量の代数方程式に帰着させることができない場合に言及している。したがって、ここでライプニッツが目指す新しい幾何学は、必ずしも我々の対象とする位置解析だけを想定しているわけではない。だがその意図は、彼が幾何学を刷新する際の共通の観点と考えてよいだろう。後述のように2進法計算を用いる主眼の一つは、この「超越的」な問題の解として得られる量への適用である(第3章参照)。我々の主題へとつながる道筋は、記号論的観点から幾何学上の革新をすることや超越量の扱いを容易にすることという複眼的志向に根ざしているのである。それをここでは確認しておく。実際に新幾何学構想をより詳しく理解するために、我々は1679年の代表的草稿を必要な範囲で分析することにしよう。

ガロワ宛書簡で述べられた新幾何学に関する草稿は、1679年以降に多く残されている。中でも1679年8月10日の日付を持つ草稿「幾何学的記号法」(*Characteristica geometrica*)は注目に値する。これは1679年に残された多くの草稿の中でも最大の分量を持ち、ライプニッツの意図することが多く盛り込まれている。

本項では先のカロワ宛書簡で語られていた、いくつかの論点との対応を見いだしておこう。¹⁴ 今一度ガロワ宛書簡中の主旨を列挙すると次のようになる。

- 1) 代数的計算によって作図を引き出す(ギリシア以来の伝統的幾何学的解析との対応).¹⁵
- 2) 上を容易にするための新しい記号法の考案.

¹³[Leibniz A], III-2, S. 566f.

¹⁴草稿「幾何学的記号法」の内容に対するより詳細な検討は他に譲る。[Hayashi 1998], pp. 54-61参照。

3) 直線的な幾何学以外への適用 (ヴィエト, デカルトとの差異).

またユークリッド『原論』批判から生まれた証明論の要点である, 幾何学的対象の再定義も上の三つに付随する.

草稿「幾何学的記号法」では図形の「合同」が最重要概念となる. 合同とはすなわち, 次のように定義される.

もし二つのものが確実に一致しない, すなわち同時に同じ位置を占めることがないとしても, それ自身で見て互いに何の変化 (*mutatio*) もなしに, 一方の位置を他方へと置換できるならば, そのときそれら二つのものは合同であるという.¹⁶

さらに新しい記号も与えられる. 図 1 (A) で AB と CD は合同である. また空間内に四つの点が配置されているときも, (線を仮想すれば) 同様に合同であることが考えられる (図 1 (B) 参照). このとき

$$A.B. \gamma C.D.$$

と表わす. 図形どうしの関係概念としてライプニッツは, 他に「一致」(図 1 (A) の A と C), 「相等」(=量の変化なしに必要な変形を行って合同にできる, 図 2 の ABCD と EGFG 参照), 「相似」(=「それ自身において考察された個々のものが区別することができない」, 図 3 参照) も導入する.¹⁷ 特に「相等」でかつ「相似」であるときが, 「合同」な場合である. そしてこの草稿では合同の記号 ' γ ' を含んだ式を立て, その形式的な変形によって幾何学的性質を見いだすこと, さらにある種の方程式, すなわち図形上の任意の

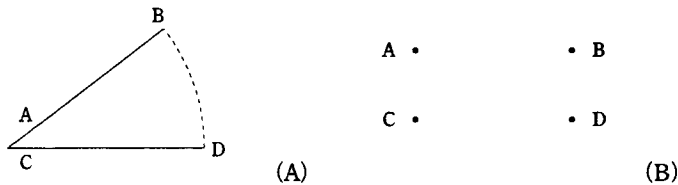


図 1 草稿「幾何学的記号法」より

¹⁵古典的な幾何学的解析では総合的証明の際に必要な, 補助的な作図を見いだすことが必須の作業であった. デカルトの代数解析は, 幾何学的問題を代数的方程式に還元することが基本的方法論である. ただしこの「モダン」な方式は, 図形から離れた形式的記号操作において本領を発揮する. したがって, 本来解析につきものはずの作図が陰に隠れてしまう. それをライプニッツは不満に思っているわけである.

¹⁶[Leibniz CG], p. 172 (図 1 (A) は *Ibid.*, p. 170). 邦訳 [ライプニッツ 1988], 331 頁.

¹⁷*Ibid.*, pp. 170ff, 182ff. 邦訳, 331, 336 頁.

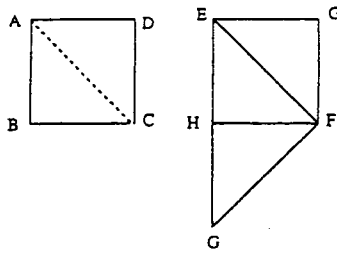


図2 草稿「幾何学的記号法」より

点を X または Y とするとき、 X または Y を含んだ式によって図形を解析的に表示することなどが試みられるのである。例えば空間内に3点 A, B, C があるとき、ライプニッツは次の関係が成立することを主張する。

$$A.B.C. \gamma A.C.B. \Rightarrow A.B. \gamma A.C. \tag{1}$$

なぜなら式 (1) の左辺は、

$$A.B. \gamma A.C., B.C. \gamma C.B., A.C. \gamma A.B.$$

を意味し、自明なものを取り除くと式 (1) の右辺になるからである。つまりこの式 (1) は二等辺三角形を与える式となっていると理解できよう (図4参照)¹⁸。また空間内の2点 A, B があるとき、

$$A.B. \gamma Y. \gamma A.B. \gamma X. \tag{2}$$

は $Y \in X$ を導き (\in は「一致」を表す)、点 Y は直線を形成する。さらに同様に空間内に3点 A, B, C があるとき、

$$A.B.C. \gamma A.B. \gamma Y. \tag{3}$$

を満たす点の集まり Y は一つの線を形成する。これをライプニッツは「円形線 (linea circularis)」と呼んでいる (図5参照)¹⁹。重要なことは、図形の定義と作図が、同時に式

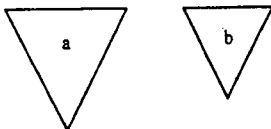


図3 草稿「幾何学的記号法」より

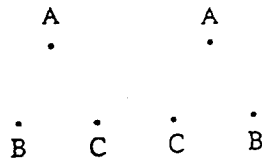


図4 草稿「幾何学的記号法」より

¹⁸[Leibniz CG], p. 194. 邦訳, 342f 頁.

¹⁹Ibid., pp. 206ff. 邦訳, 348f 頁.

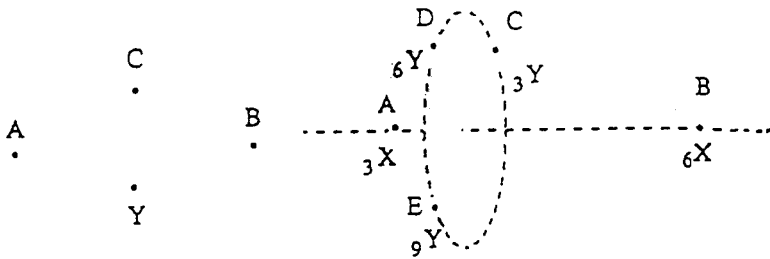


図5 草稿「幾何学的記号法」より

(2) や (3) によって達成される点にある。すなわち、式 (3) については、

$$A.C. \gamma A.Y, B.C. \gamma B.Y$$

より空間内の異なる 2 点から支えられる形で円が浮かび上がってくる。

以上のような幾何学の意図は何であったのか？一つは記号表現の対象を拡張することである。旧来の代数解析では記号は、あくまで図形に付随した何らかの量を代替するものであった。そのため点の位置自体を表わすために用いられていない。またその第一の意図に加えて、形式的な計算の運用による図形の解析的な表現を提示することが挙げられる。デカルト流の幾何学に欠けるものをライプニッツは次のように指摘する。

代数記号は、空間において考察されなければならないことをすべて表現するわけではなく（というのもすでに発見され、証明された諸原理を前提している）、また点の位置自体を直接示さない。むしろ量によって長い回り道を経て、それらを探るのである。その結果どのような図形が得られるかを、計算によって表示することは大変に困難である。したがって計算によって発見されたものを、図形において作り出すことは一層困難である。²⁰

確かに式 (2), (3) における点 Y は位置を表示しており、また式 (1) は矢印の左側の計算が二等辺三角形という図形の表示を果たしていた。上記の引用中の「困難」は一応克服されている。さらにライプニッツは古典的な幾何学を射程に入れて、次のように述べる。

我々が『原論』[の定理]を我々の記号によって証明しようとするならば、直ちに同じ労力で線による作図と証明を示すような、問題の解を発見する方式 (modus inveniendi) を容易に捉えることができるだろう。反対に代数学者たちは未知量の値が見いだされたときに、さらに作図について考えなけれ

²⁰Ibid., p. 144. 邦訳, 319 頁.

ばならず、作図が得られたならば線による証明を求めるのである。したがって証明と作図が線によるもので、あらゆる計算において取り出され、はるかに簡略なものになるならば、たしかに線による発見が与えられなければならない。そう人々が考えなかったことが私には驚きである。実際、代数的総合に劣らず、線による総合においても、後退 (regressus) が与えられなければならないからである。他方、なぜ線による解析が今まで捉えられなかったかという理由は、点の位置自体を直接表現する記号法が、いまだに発見されなかったからに他ならず、それに疑いをさしはさむ余地はない。²¹

「点の位置自体を直接表現する」ことこそ、ライプニッツが自身の新幾何学を「位置解析 (analysis situs)」と呼ぶ理由である。数学の中で受け継がれてきた幾何学的解析をふまつつつ、ライプニッツは同時代の記号代数の利点をさらに拡張しようとしている。そして両者の欠点を埋め合わせようとしている。伝統的な手法と彼にとって「モダン」な手法の双方を昇華させる新手法の開発こそが目指す道なのである。²²

例えば式 (2), (3) によって定義される線 (直線, 円) の定義自体が、ライプニッツによればユークリッドのそれよりも優れている。なぜならユークリッドは『原論』第1巻で円を定義する際に、直線と平面を必要とした。²³ しかしライプニッツの場合には「どんなものであれ確固とした線 (rigida linea) が採用され、その線の中に二つの点が取られ、それらが不動のときに、線自体あるいは少なくともその線のある点が動かされさえすればうまくいく」のである。²⁴ ただし上の記述を見るならば、ユークリッドが前提しなかったこと、すなわち空間内の点の連続的移動や軸になる直線の回りの回転といった、新たな想定が必要とされている。実際この草稿「幾何学的記号法」の後半は、そのような運動を公理として導入する試行錯誤が繰り返されている。²⁵ 我々の目から見れば、ライプニッツがユークリッド『原論』で巧妙に避けられていた問題にあえて首を突っ込んでしまったという感も否めない。ユークリッドが暗黙の前提にしていたことや、実際の構成において回避していたことを顕在化させることが当初からの目標であったとはいえ、そのために、例えば運

²¹Ibid., p. 148. 邦訳, 320f 頁.

²²ニュートンもライプニッツ同様にデカルトの記号代数の手法に批判的であった。とかく両者は、同時代に並び立った思想的巨人として比較対照される。この代数解析の手法に対する態度も、研究者たちにとって一つの論点となることが多い。ニュートンの代表的な言明は、[Newton MP], VIII, pp. 599f において見ることができる。ライプニッツもニュートンもデカルト批判を、数学的創造の糧としたことは共通している。問題はその批判をどのように活かすかである。とかくニュートン＝「古典・伝統回帰」、ライプニッツ＝「モダン (デカルト) 派」などという単純な図式が主張される。だが、少なくともライプニッツを「モダン」派と規定してしまうことは一面的過ぎる。ライプニッツが古典的な解析をも包含する方法論を模索していたことは、特に強調されてしかるべきである。

²³ユークリッド『原論』第1巻定義15では「円とはただ一つの線に囲まれた平面図形で、その内部にある唯一の点から交点へと引かれたあらゆる線分が互いに等しいものである」(下線引用者)と定義されている。[Euclid 1990], p. 162. 邦訳 [ユークリッド 1971], 1 頁.

²⁴[Leibniz CG], p. 208. 邦訳, 349 頁.

動の連続性や、そもそもどのような運動を導入すれば十分であるかという、新たな問題を背負い込んでしまったのである。無論そうした問題が、この草稿の中ですべて解決されるわけではない。新幾何学の構想と着眼は非常に独創的であったものの、一つの理論的体系に作り上げられるまでには、まだ多くの困難が残ったままである。

以上、我々はライプニッツの普遍記号法の姿を初期の著作と、数学上の試行錯誤の中に見た。記号表現の可能性を数学の中で追究していく際にたどりつくのは、計算を容易にする必要性である。それは前節の『結合法論』の中でも、また本節で我々が見てきた位置解析の中でも実践されようとしていた観点である。実はこの1679年という時期は、我々にとって非常に意味深いタイミングである。なぜなら現在の1次資料上、2進法計算に関する最も早い草稿が現れるのと時を同じくしているからである。ここで一つの推察が成立する。ライプニッツの頭脳の中で、今一度数をシンボリック思考の道具として活用しようというプランが同じところに再燃したのではないかということである。2進法計算は再び数を用いて、しかも0と1という最少の道具立てで、表現可能性と計算可能性の両面をターゲットにする。そうした数学の一分野の構築にライプニッツが新たに駆り立てられたとしても不思議ではない。まさに2進法計算は、こうした文脈において「何が」または「どこまで」できるのかを考察する場であったのであろう。我々はライプニッツが2進法計算を考案する背景を明らかにした。ここでいよいよ本論考の主題である2進法計算の分析に入ることにしよう。

3 ライプニッツの2進法計算

3.1 1679年12月草稿

2進法計算に関するライプニッツの試行錯誤を詳細に分析していくことにしよう。現在公刊されている1次資料上、最も早く執筆されたのは、1679年12月の日付を持つ草稿である。「アルゴリズム計算による解析計算の最重要点」(Summum Calculi Analytici fastigium per Calculum Algorithmicum) という題名を持っている。²⁶ この草稿では2進法計算へ進む動機が述べられている。ライプニッツは、「あらゆる分数量、無理量、超越量は無限にのびる10進数によって表現される。こうした数列は何らかの規則を持たなければならない。実際、もし数が有理分数 (rationales fracti) であれば、数系列は周期的 (periodica), すなわち同じ10進記号がつねに繰り返されるだろう。もし数列が無理量を表すならば、純粋に周期的とはならないだろうが、とにかく探求することができるようなある種の規則性を持

²⁶直線軸に対する回転運動を公理として導入することに関して、ライプニッツはロベルヴァルの遺著『幾何学原論』(Éléments de géométrie) の内容を手本としていたと考えられる。1675年10月27日にロベルヴァルは亡くなり、『幾何学原論』は未刊行のまま残される。しかし1675年12月18日付のオルデンバーグ宛書簡においてライプニッツはその書物(の筆写)を手に入れたことを報告している ([Leibniz A], III-1, S. 328)。ライプニッツのこの1679年草稿における試行錯誤に対する分析、およびロベルヴァルの著作からの影響については [Hayashi 1998], pp. 62-68参照。

つだろう」と述べている。²⁷ この周期性の考察に2進法表示がうってつけだと言うのである。無理数の場合、10進小数展開において循環しない無限小数となる。しかし2進法表示によって、実際に現れる各々の数列に対して規則性を見いだすことにつなげたいとライプニッツは考えている。

パリ時代の初期の数学的成果である $\frac{\pi}{4}$ 公式、すなわち

$$\frac{\pi}{4} = \frac{1}{1} - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \frac{1}{11} + \dots \quad (4)$$

をライプニッツは取り上げる。式(4)の右辺の分数の分母(=奇数)を2進法で表わすと、順に表3のようになる。この際、各桁の数を右から順に見ると(右から)第1列→1のみ現れ、第2列→0と1が交互に現れ、第3列→00と11が交互に現れ、第4列→0000と1111とが交互に現れる。0と1の反復される長さは「幾何級数的」に長くなっている。したがって以下任意の列において0と1とがどのような周期において現れるかが法則化され、よって数列中の何行目、何列目かの数字が0か1、いずれであるかは決定可能になるのである。²⁸ ライプニッツは、1672年から4年間続いたパリ滞在期の前半の段階で公式(4)を得ている。分母が奇数の交代級数による円周率の表示は、彼が生涯誇りに感じた成果であった。²⁹ 特に

表3 奇数の2進法表示

1	00001
3	00011
5	00101
7	00111
9	01001
11	01011
13	01101
15	01111
17	10001

²⁶この草稿のタイトルは注意を要する。元来「アルゴリズム」とは、9世紀のイスラーム世界の数学者アル＝ファールズミー (Al-Khwarizmi) の名に由来する言葉である。彼の著作『インド人たちの計算の書』(Kitāb al-hisāb al-Hindi) は12世紀ヨーロッパにおいてラテン語訳された際に、何らかの経緯で3種類のタイトルの異なる訳本が生じ、それらが流布した(アル＝ファールズミーの原本は失われてしまった)。そのうちの一つに『アルゴリズムは言った』(Dixit Algorizmi)がある。こうした書物の普及に合わせて、本来人名だったものが、(ライプニッツによる草稿のタイトルの中にも形容詞形で現れる)問題解決のための(段階的)計算法を意味する用語へと転じたのである。したがってこの「アルゴリズム」という用語は、現代のコンピュータ・プログラムのように機械計算と密接に結びついたものでない。だがライプニッツの時代においても、「何らかの規則演算」といった意味合いで了解することは可能である。[伊東他 1987], 143f, 165頁参照。

²⁷[Leibniz LHD], S. 218. 邦訳 [ライプニッツ 1999], 351頁。

²⁸Ibid., S. 222f. 邦訳, 359f頁。

無限に続く数列でありながら、規則性を明示できたことにライプニッツは意味があると感じている。こうしたライプニッツの発想は、無限を捉える上で一つの指針を与えている。すなわち、無限に続く小数展開全体を一度に把握できるとする実無限の立場をとらずに、むしろ数列の各項を産出する規則性（パターン認識）によって一つ一つ積み上げる構成主義の立場をとるのである。ライプニッツは1682年、創刊間もない『学術紀要』(*Acta eruditorum*)誌に公式(4)をはじめて公にした。彼はその論文の中で、アルキメデスの評価 [$3 < \pi < \frac{22}{7}$] やルドルフの近似 [$\pi = 3.1415926535879323846$] を示した上で、次のように述べている。

〔円周率に対する〕近似は、実践的幾何学の中で有効であるが、もしこうした無限に続く数列〔の仕組み〕が見いだされなければ、何も示したことにならず、その結果真理を求める精神を満足させられないのである。³⁰

いわば20世紀の数学基礎論論争における直観主義に通じる方法論をライプニッツは抱いており、それが2進法計算によっていっそう明確になると考えていることが重要である。³¹ このように最初期段階から、ライプニッツの2進法計算は意図を明瞭にしていたのである。

我々の手元にある1次資料上では、1679年の草稿に続く2進法計算の論考は、1690年代後半の執筆と推定されるものになってしまう。この間、15年ほどの間隔があく。ライプニッツがこの2進法計算に向けて、どのようなアイデアを練っていたかは資料上の制約から不明である。ただし4進法 (*tetractys*) に関する研究への関心を示した草稿は残されている(1683年前半に執筆)。³² ライプニッツはエアハルト・ヴァイゲルの1673年に刊行された著作『テトラクティス、算術と論証哲学の顕著な簡略化』(*Tetractys, summum tum arithmeticae tum philosophiae discursivae compendium*) から抜書きを行い、注釈をつけている。ライプニッツはヴァイゲルがイェナ大学で教鞭をとっていた1663年、夏学期の講義を聴講している。このヴァイゲルの講義は、ライプニッツにとってその後の研究生活において、大きな意味を持った。ライプニッツが普遍学構想を抱く経過の中で、ヴァイゲルの著作が果たした役割は我々にとって見逃せないものである。³³ ライプニッツが2進法計算の発想にヴァイゲルの「テトラクティス」、すなわち4進法の論考を役立っていると我々は考えてよいであろう。³⁴

1690年代における2進法計算に対する考察は、徐々に加減乗除をはじめとする基本計算の実質的運用の中で何らかの新しい洞察を得ようとする方向に向かっている。1696年5月の日付を持つ草稿「1と0によるあらゆる数の驚くべき表現」(*Mira numerorum omnium*

²⁹この円周率の表示に関しては、[林 2003b] 参照。

³⁰[Leibniz GM], V, S. 119, 邦訳 [ライプニッツ 1997], 280頁。

³¹ライプニッツの発想を20世紀の数学基礎論論争の中で、思想的先駆者として高く評価したのはヘルマン・ワイルである。[ワイル 1959], 57f頁。

³²[Leibniz A], VI-4B, S. 1162f.

³³[林 2003a], 5ff頁参照。

expressio per 1 et 0) では、冒頭でヴァイゲルの 4 進法を意識しつつ、10 進法、4 進法、2 進法へと数記号を減らしていく利点が述べられている。その上で、特に 2 進法は記号数の最少化によって「今日未知の数の真理を見いだすことにおいて、卓越し有益である」として四則演算を 10 進法と 2 進法で対比させている。³⁵ その後 1701 年に送られた書簡からは、ライプニッツの研究が進展した様子が見てとれる。実際この年、彼は研究を整理し、論文をまとめるに至ったのである。

3.2 1701 年論文

1701 年 2 月 26 日にパリの王立アカデミーに提出された論文「数の新しい学問についての試論」(Essay d'une nouvelle science des nombres) は、一連の試行錯誤をまとめたものである。ライプニッツはそのパリのアカデミーに外国人会員として選出されていた (1701 年 2 月)。彼はパリのアカデミーに向けて、まさに「新しい学問」のメッセージを発信すべく意気込んだに違いない。この 1701 年 2 月論文では、先の 1679 年 12 月草稿においてすでに注目していた、2 進法表示の周期性について一層の考察が深められている。ライプニッツは自然数一般を 2 進法に移し替え、法則性を見いだそうとする。表 4 の Tab. 2 を見るならば、「数を無限に書いていく方法がただちに見いだせる。なぜなら各桁が周期的だからである」。³⁶ 具体的には右から 1 桁目が⁰01, 2 桁目が⁰⁰11, 3 桁目が⁰⁰⁰⁰1111, 4 桁目が⁰⁰⁰⁰⁰0001111111, ...となる。³⁷ すなわち第 n 桁目は帰納的に

$$\underbrace{2^{n-1}\text{個}}_{000\cdots 0} \underbrace{2^{n-1}\text{個}}_{111\cdots 1}$$

の周期を持つことになる。つまり、「[公比] 2 の幾何数列の特性によって、あらゆる数はこの数列の数のただ 1 通りの結合によって作られる」ことが容易に導かれるのである。³⁸

表 4 の Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5, から 3 倍数, 5 倍数についても同様な考察が可能だが、

³⁴[Leibniz LHD], S. 30f. ライプニッツは 1679 年 12 月草稿に先立って、1679 年 9 月にヴァイゲルに書簡を送っている。その中では特に 4 進法、2 進法が議論の題材とされた形跡はない。むしろ分母が算術数列の級数の和をめぐってヴァイゲルに質問している ([Leibniz A], II-1, S. 485ff)。ヴァイゲルからは同年 10 月 8 日付で返書が届いたようである (*Ibid.*, S. 493f)。ヴァイゲルは数学研究に積極的に係わった人物ではない。より一般的な学問論や論理学改革がメイン・テーマであった。1679 年までにライプニッツはすでに無限小解析に対する独自の基礎理論 (記号法, 計算法) といくつかの未解決問題の解決を果たしている。また 2.2 項で取り上げた「新幾何学」にも取り組んでいる。ライプニッツにとって、「分母が算術数列の級数の和」という問題が、この 1679 年の段階でどの程度緊急かつ関心を引く問題であったかいささか疑問である。だがライプニッツがヴァイゲルに対する敬意の念を保ち続けていたことは確かであろう。

³⁵[Leibniz LHD], S. 226f.

³⁶*Ibid.*, S. 252, 261. 邦訳 [ライプニッツ 1999], 179, 190 頁。

³⁷表 4 は、[Leibniz LHD] 所収のものをそのまま引用しているが、特に Tab. 2 で 3 (10 進法) → 「0000001」(2 進法) となっている。無論これは、「0000011」の誤りである。

³⁸*Ibid.* 邦訳, 同頁。

Tab.2 NOMBRES	Tab.1	Tab.3 TERNAIRES	Tab.4 QUINAIRES	[Tab.8] [Primitifs]
<i>gfedcba</i>	1 1			
0000000	.1	000000 0	0000000 0	000 0
0000001	10 2	000011 9	0000101 1	001 1
0000002		000110 8	0001010 105	010 10
0000003		001001 7	0010101 205	011 11
0000004	1 1	001100 6	0010100 220	101 101
0000005	11 3	001111 5	0011001 305	111 111
0000006		001010 4	0011110 320	1011 111
0000007	.1	010101 3	0100011 35	10001 17
0000008	100 4	011000 2	0101000 40	10011 19
0000009		011011 27	0101101 145	10111 23
0000010	1 1	011110 26	0110010 160	11011 25
0000011	11 3	010101 25	0111100 175	11111 31
0000012	.1	100100 24	1000001 185	100101 37
0000013	100 4	100111 23	1000110 195	101001 41
0000014		101010 22	1000101 210	11011 43
0000015	1 1	101101 21	1001011 225	101111 47
0000016	11 3	110000 20	1100110 240	110101 53
0000017		110011 19	1100101 255	111101 61
0000018	.1	110110 18	1111000 270	1000011 67
0000019	100 4	111001 17	1111100 285	
0000020		111110 16	1111110 300	
0000021	1 1	111111 15	1111111 315	
0000022	11 3	111111 14		
0000023	.1	111111 13		
0000024	100 4	111111 12		
0000025		111111 11		
0000026	1 1	111111 10		
0000027	11 3	111111 9		
0000028	.1	111111 8		
0000029	100 4	111111 7		
0000030		111111 6		
0000031	1 1	111111 5		
0000032	11 3	111111 4		
0000033	.1	111111 3		
0000034	100 4	111111 2		
0000035		111111 1		
0000036	1 1			
0000037	11 3			
0000038	.1			
0000039	100 4			
0000040				
0000041	1 1			
0000042	11 3			
0000043	.1			
0000044	100 4			
0000045				
0000046	1 1			
0000047	11 3			
0000048	.1			
0000049	100 4			
0000050				
0000051	1 1			
0000052	11 3			
0000053	.1			
0000054	100 4			
0000055				
0000056	1 1			
0000057	11 3			
0000058	.1			
0000059	100 4			
0000060				
0000061	1 1			
0000062	11 3			
0000063	.1			
0000064	100 4			
0000065				
0000066	1 1			
0000067	11 3			
0000068	.1			
0000069	100 4			
0000070				
0000071	1 1			
0000072	11 3			
0000073	.1			
0000074	100 4			
0000075				
0000076	1 1			
0000077	11 3			
0000078	.1			
0000079	100 4			
0000080				
0000081	1 1			
0000082	11 3			
0000083	.1			
0000084	100 4			
0000085				
0000086	1 1			
0000087	11 3			
0000088	.1			
0000089	100 4			
0000090				
0000091	1 1			
0000092	11 3			
0000093	.1			
0000094	100 4			
0000095				
0000096	1 1			
0000097	11 3			
0000098	.1			
0000099	100 4			
0000100				

Tab.5 SEPTENAIRES	Tab.6 QUARRES	Tab.7 C U B E S
0000000 0	00000000 0	0000000000 0
0000111 7	00000001 1	0000000001 1
0010101 14	00000010 2	0000000010 2
0011001 21	00000011 3	0000000011 3
0011100 28	00001000 4	0000100000 4
0100011 35	00001001 5	0000100001 5
0101010 42	00001010 6	0000100010 6
0110001 49	00001011 7	0000100011 7
0111000 56	00010000 8	0001000000 8
0111111 63	00010001 9	0001000001 9
1000110 70	00010010 10	0001000010 10
1001101 77	00010011 11	0001000011 11
1010100 84	00011000 12	0001100000 12
1011011 91	00011001 13	0001100001 13
1100010 98	00011010 14	0001100010 14
1101001 105	00011011 15	0001100011 15
Periodes 01	Periodes 01	Periodes 01
0110	[0010]	0000101
01111000	00010100	
0010101011010101	[0000110101011000]	

Periodes 01 a
0011 b
00001111 c
0000000011111111 d

表4 1701年論文における2進法表示

ライプニッツは各々の周期に関して新たな分析も加えている。Tab. 3の3倍数の各桁の周期は右から順に01, 0110, 00101101, ...である。5倍数は01, 0011, 01011010, ..., 7倍数は01, 0110, 01111000, ...である。これらを見てライプニッツは「周期の〔前〕半分は他方と正反対になっている」と指摘している。「正反対」とは0と1とが完全に入れ替わっているということである。すると「周期は半分しか必要としないので、このことに関する探求〔の労〕は軽減され、周期の一般的法則を「帰納法を用いずに純粋な推論によって見いだすことができるだろう」という洞察が引き出されるのである。³⁹

³⁹Ibid., S. 255f. 邦訳, 182f頁。ライプニッツは続けて「しかし帰納法をつけ加えれば、探求はより容易で意に適う」はずであると補足している (Ibid., S. 256. 邦訳, 同頁.)。ライプニッツは数を2進法に表記することで一般的法則を見いだすことを目指しているが、決して帰納法一般を無用と断定しているのではない。

次にライプニッツは倍数からベキ乗数の考察に移る。ベキ乗数の各桁も表4のTab. 6, Tab. 7によれば、倍数同様、容易に周期性を見いだすことができる。平方数は右から1桁目が01, (第2桁は0しかないので無視し), 第3桁目は0010, 第4桁目は00010100である。立方数は右から順に, 01, 0001, 00000101である。ライプニッツは倍数同様「周期の半分が反対になっている」と主張するがこれは誤りであろう。⁴⁰

2進法表示の効用は各々の桁に表れる数の周期性だけでなく、周期自体の演算も容易に一般化可能にすることである。今、表4のTab. 2の各桁の周期自体を右から順に a, b, c, d, \dots と表す。すなわち、

$$a=01, b=0011, c=00001111, d=0000000011111111, \dots$$

である。ここで3倍数の周期を得るために3(2進法表示で11)を0と1の列 $gfedcba$ にかける。すると

$$\begin{array}{r} gfedcba \\ + gfedcba \\ \hline \end{array}$$

となる。よって3倍数の右から第1桁目の周期は $a=01$ となる。また2桁目は $b+a$, すなわち、

$$\begin{array}{r} b \quad 0011 \\ a \quad 0101 \\ \hline \text{周期} \quad 0110 \\ \text{繰り上がり} \quad 0001 \end{array} \quad (5)$$

となり、周期は0110、次の桁に4番目ごとに1が繰り上がる。さらに同様に3桁目の周期は $c+b+0001$, すなわち次のようになる。

$$\begin{array}{r} c \quad 00001111 \\ b \quad 00110011 \\ \hline \text{繰り上がり分} \quad 00010001 \\ \text{周期} \quad 00101101 \\ \text{繰り上がり} \quad 00010011 \end{array} \quad (6)$$

ライプニッツは、周期の積やベキ乗数に対しても同じ考察を行っている。⁴¹

以上の考察は1701年2月26日に提出された論文の補遺として書かれた論文(1701年11月執筆)中に一般化され、定理としてまとめられる。この2進法に関する第2論文「算術数列によるベキ乗を表わす数列の、あるいはそれらによって合成された数を表わす数列の各桁は周期的であることの証明」(Demonstratio, quod columnae serierum exhibentium potestates ab arithmetiis aut numeros ex his conflatos, sint periodicae) では次の二つの「補助定理」が提示される。

⁴⁰Ibid., S. 256. 邦訳, 183f頁.

⁴¹Ibid., S. 257-60. 邦訳, 189頁.

- 1) 周期的な数列の和数列は周期的である。
- 2) 二つ、またはそれ以上の周期的な桁は、その項に対応する項が加えられて、一つの項になると周期的な数列を与える。⁴²

1) で「和数列」(series summatrix)とは次のことを指す。すなわち、等差数列は初項に一定数を加えてできる「和数列」であり、また平方数の列は1に奇数(等差数列)を加えてできる「和数列の和数列」である。さらに図形数の代表として三角数1, 3, 6, 10, ...をとると、1に偶数(等差数列)を加えてできる「和数列の和数列」となるということである。この定理1)を適用すると算術(等差)数列、ベキ乗数の列、図形数の列等々が、和数列(または和数列の和数列)によって表わされるので周期性が明らかになるのである。また2)は2進法計算(5)や(6)の一般化であることはいうまでもない。⁴³

さてこれら1701年の2論文であるが、結局は出版されずに終わってしまった。理由はパリの王立アカデミーの終身書記であったフォントネルが、ライプニッツの論文の真価をほとんど理解しなかったためである。またライプニッツもそうした冷淡な反応を受けて性急な出版を望まなかったようである。⁴⁴

3.3 書簡の中に記された2進法計算への期待

現在参照可能な1次資料から判断すると、ライプニッツが2進法計算に対して実質的になし得たことは前項の2論文の内容につきていえることができる。パリのアカデミーの終身書記であったフォントネルも、数学に対する十分な素養は身につけた人物だった。だがライプニッツは、彼の目指す数学的「野心」がよりよく伝わると考えられる人々からの評価を欲しがったようである。無限小解析学の諸問題の研究を通じて、すでに情報交換をしていたヨハン・ベルヌーイ、ロピタル、ヘルマンとの書簡の中で、ライプニッツは2進法計算について記している。彼らとの書簡のやりとりを通じて、ライプニッツが2進法計算に対してどれくらいの期待を寄せ、数学的貢献を夢見ていたか分析しておくことにしよう。

3者に対するライプニッツの主張は、細かい差異はあるもののほぼ一貫している。1701年の2論文の成果を伝える形になっている。今一度それらをまとめるならば、次のようになるだろう。

⁴²[Leibniz GM], VII, S. 236f. 邦訳 [ライプニッツ 1999], 200f 頁。

⁴³ライプニッツは2進法計算の応用として、ディオファントス問題(=不定方程式の一般解を求める問題)も想定したようである。執筆時期が不明な草稿(1670年代末か?)において、「ディオファントス問題に対して、2進法の利用によって驚くべきことを思いつく」と述べている([Leibniz C], p. 571)。ライプニッツが、この問題に向けてアイデアを持っていたことは確かである。ただし論文はおろか、現在刊行されている1次資料に含まれる草稿上でも特に目立った成果を上げていないようである。

⁴⁴[ライプニッツ 1999], 194-197 頁の倉田隆による解説参照。

- ・無理量・超越量（10進表示で規則性がなく、無限に続いていく数）に対して、数列の規則性を見いだす。
- ・自然数の2進表示の一覧を作り、縦に並んだ数列の周期性を見いだす（上の目的のための範例）。
- ・2進表示による四則演算、ベキ計算の運用、幾何級数の2進表示。

特に、2進法計算は他の方法では容易に得られない発見を可能にする方法であることが強調されている。「神聖なる最後の手段」(anchora sacra) (1701年4月4日付ロピタル宛),⁴⁵ 「最後の逃げ場」(ultimum refugium) (同年4月5日付ヨハン・ベルヌーイ宛),⁴⁶ という言葉にはライプニッツの強い期待が込められている。0と1という「最少」の記号表示が、「最終手段」という思い込みを呼んでいるのだろう。さらにヘルマン宛書簡(1705年6月26日付)では、次のように述べている。

〔2進法計算の中には〕要するに、数の学問の完全さが隠されているだけでなく、数の幾何学への完全なる応用が隠されていると、私は考えています。すなわち無理量や超越量の決定と同様、我々は一般に10進数列によって行われるように、2進数列によって（その種のものの中で一番重要な）数列の法則を数の中で極めてうまく表し、また定めることができます。⁴⁷

前々項でも述べたように、ライプニッツは無限に続く数の中に隠れた法則を明らかにしたいと考えている。その隠れた法則は適当な記号法によって取り出されるという信念が、彼の「シンボリック思考」の本質である。この思考法にもとづき、特に「無限」へアプローチする構成主義の立場から、2進法は決定打を与えてくれると考えているかのようである。また1705年7月2日付のヘルマン宛書簡では、「ただ二つの記号で、大概あらゆることがより簡単になり、より確固としたことが法則に含まれる必要があるとき、2進法の便利さは必ずや抜きん出たことになる」とさえ述べている。⁴⁸

我々はライプニッツの2進法計算を、数学上の一つの発想として理解する作業を行ってきた。ライプニッツの書き残したものを素直に読解するならば、ライプニッツの思考の射程はおのずと定まってくる。2進法の現代における利用をもとに、ライプニッツの目指したものを勝手に読み替えることは、いうまでもなくアナクロニズムの典型である。ライプニッツが数学研究者たちとの書簡の中で述べた2進法計算への期待は、数学的諸問題の研

⁴⁵[Leibniz GM], II, S. 338.

⁴⁶Ibid., III/2, S. 657.

⁴⁷Ibid., IV, S. 274.

⁴⁸Ibid., S. 280.

究に関連しており、決して計算機の開発への利用ではない。2進法計算と計算機とは、ライプニッツの中では文脈が異なるのである。ともするとライプニッツ＝「計算機開発の先駆者」であることと、ライプニッツ＝「2進法計算のアイデアを提示した人物」ということが、現代人の目から一つに融合されてしまいがちである。そこから現代のコンピュータ計算技術の「精神的父」なる評価に結びついてしまうことは、やはり適切な評価ではないというべきであろう。⁴⁹

他方、ライプニッツの主張を受けた3者の対応を見よう。表面上、ロピタル、ヘルマンは好意的に受け止めている。ロピタルは1701年6月9日付の返書で、すでにパリのアカデミーに送付されたライプニッツの論文は、フォントネルに対して十分説得力を持つだろうと述べている（実際にはそうならなかったが）。その一方で、「あなたに生じる新しい知見の中で、何らかの〔一層説得力を持った〕後押しをあなたが持つことができるよう強く望んでいます」と述べている。⁵⁰ 結局、ロピタルは「現在まで未知である多くの数の性質を見いだすことができるでしょう」と、社交辞令の範囲で好意的に評しているだけのように見える。またヘルマンは、ライプニッツの2進法による具体的な計算のプロセスの説明（1705年7月2日付書簡）を受けて、同年8月9日付の返書で「2進算術のきわめて深い奥義を私は納得しました」と述べている。ただしその前文では、2進法計算の定理に対して「何ら有益に与えられることがないと私には見える」と本音をちらつかせている。⁵¹ さらに同年10月28日付の書簡で、ヘルマンはライプニッツに向かって、幾何数列の周期性について考えてきたものの「今のところ、高貴なるあなたに委ねるようなことを私は何も見だしていません」と述べている。⁵² 実際に取り組んだ上での発言か、単なる社交辞令か、判断がつかかねるが、この書簡以降ライプニッツとヘルマンとの間で2進法計算が話題に上らなくなったことは確かである。

さてライプニッツの2進法への思いこみを社交辞令の範囲を超えて、的確に判断し、批判を述べたのはヨハン・ベルヌーイである。ベルヌーイは、1701年4月11日付でライプニッツの書簡にすぐに反応した。その返書の中で彼は「あなたが新種の算術に関して得ていることを、私はいまだ注意深く考えたことはありませんでした」と率直に告白している。とはいえ「かつてヴァイゲルはそれ〔ライプニッツの2進法計算〕に似ていなくもないものを考察していた」と述べ、ライプニッツのアイデアが生まれてくるコンテクストに無知でないことをアピールしている。⁵³ だからこそベルヌーイはライプニッツの目論見に対して鋭く反応できたのであろう。すなわち、ライプニッツが2進法計算に寄せる期待は過度の

⁴⁹典型的な論者として [Ahn 1990], S. 65 または [Xiaoli 1999], pp. 246ff を参照。

⁵⁰[Leibniz GM], II, S. 340.

⁵¹*Ibid.*, IV, S. 281f.

⁵²*Ibid.*, S. 288.

⁵³*Ibid.*, III/2, S. 659.

ものであることを指摘している。ベルヌーイは次のように述べている。

〔ヴァイゲルは〕あなたの2進数列の場所において、4進数列を採用していたのだと思います。しかし確かなことは、この方法によって数はより少ない記号にいろいろと負うことになる上に、逆にまた〔0と1という同じ記号が〕はるかに頻繁に繰り返されることにもなるのです。私は、あなたが〔自然数を2進表示したときの〕第1列目、第2列目、第3列目、第4列目、その他の列の01, 0011, 00001111, 0000000011111111やその他の周期によって理解すること、そしてあなたがこの計算を超越量にどのようにして適用するのかをまだよく把握できていません。私はこうした事柄について考えてみようと思います。⁵⁴

この批判（と呼べるもの）は、的を射たものであると言わざるを得ない。ライプニッツからすれば、記号を最少化することが発見の可能性を生み出すのであろう。すなわちパターン認識には、記号の数が少なければ少ないほど都合がよいのである。しかしベルヌーイは正反対の印象を持っている。記号を少なくすることが短所になってしまうと感じたのである（「数はより少ない記号にいろいろと負うことになる」）。また最も本質的な部分は、自然数の2進表示に見いだすことができるような周期性を、超越量に対しても見いだすことができるか、ベルヌーイが懐疑になっている点である。ライプニッツは、1679年草稿でも自己の $\frac{\pi}{4}$ 公式をもとに、2進法の超越量への応用可能性を主張していた。しかし、あくまで分母が奇数の無限交代級数によって π を表示したことが先行しているのであって、決して2進法が（超越量） π に対して、ましてや一般の超越量に対して新しい知見を生み出したわけではない。結局、（代数的方程式によって得られない）超越量を2進法によって分析する前に、なおいくつかの予備段階が必要なのである。ヨハン・ベルヌーイの懐疑はそうした見通しに根ざしているように見える。

ライプニッツは同年4月29日付の書簡で、ベルヌーイに再度理解を求める。ヴァイゲルの4進法は、10進法に比べれば取り扱いやすい。しかし当のヴァイゲル自身が2進表示すれば、比較にならないくらいやさしくなることに思い至っていないと述べる。そして「〔2進計算は〕もしこのような明示的な超越量が2進計算に表されるならば、他の驚くべき利用をこうしたものに対して与えてくれるだろう」と同じ主張を繰り返している。⁵⁵ライプニッツとベルヌーイは双方の視点に関してかみ合っていない。2進法の適用可能性に対して疑義を投げかけられたことに対して、ライプニッツは「自然数や、それらの数の倍数のような算術数列に対してでなければ、今のところ周期性の法則を得ていません。け

⁵⁴Ibid.

⁵⁵Ibid., S. 661.

れどもそれらのベキ乗数や和に対しても、そうした周期性が明らかにされることを私は望んでいるのです」と現状を認めてもいる。⁵⁶ ライプニッツはこの2進法計算の意義をア・プリオリに前提した上で、その可能性に期待を寄せている。しかし他者を納得させるだけの具体的成果には乏しかった。そこに彼の議論の弱さがあるのである。⁵⁷

ヨハン・ベルヌーイは、再度ライプニッツに返書を送る(1701年5月7日付)。ベルヌーイも当初のような当惑からは脱して、少しはライプニッツの主張を「前向きに」把握できるようになった。⁵⁸ だが、その2進表示から得られる周期性の考察に対しては、相変わらず見通しを持っていない。すなわち「確かに、算術数列の数や、その倍数、あるいはそれ自体から築かれた試みによって、目に見えるようにされることは明らかである」とする。同時に、表5のように通常の10進表示された数を2のベキ乗の和に直すことで、ライプニッツの周期性(01, 0011, 00001111, ...)の考察は可能になることを示している。ただし、こうした2のベキ乗の和に直すことは、周期の規則を見いだすことができるならば、「表を構成することはより簡単になるでしょう」と述べる。「1701」の例でわかるように、2

表5 ヨハン・ベルヌーイによる2のベキ級数表示

0	0	9	$2^3+0+0+1$
1	1	10	2^3+0+2^1+0
2	2^1+0	11	2^3+0+2^1+1
3	2^1+1	12	2^3+2^2+0+0
4	2^2+0+0	13	2^3+2^2+0+1
5	2^2+0+1	14	$2^3+2^2+2^1+0$
6	2^2+2^1+0	15	$2^3+2^2+2^1+1$
7	2^2+2^1+1	16	$2^4+0+0+0$
8	$2^3+0+0+0$...	
		1701	$2^{10}+2^9+2^7+2^5+2^2+1$

⁵⁶Ibid.

⁵⁷2.2節で分析にした位置解析のアイデアも同時代の数学研究者には理解を得られなかった。ライプニッツは、特に数学上の師であったホイヘンスへ繰り返し書簡を送り、理解を求めようとした(1679年から1680年にかけて)。だがホイヘンスは理解を示さず、ライプニッツの期待は果たせなかった。さらにはそれ以前に、3次方程式に対するカルダーノの公式が一般的に有効であるかどうかをめぐってもライプニッツの意見にホイヘンスは耳を貸さなかった(1675年)。この位置解析や方程式論に関するライプニッツとホイヘンスの書簡の内容は、まさにこの2進法をめぐるライプニッツとヨハン・ベルヌーイの議論とパラレルな関係にある。ホイヘンスはライプニッツ独自の記号論に完全に無理解なのではない。一定の成果を生み出すのに有効であったことを認める。しかし記号が代替する範囲の拡大(位置解析)や形式的操作によって得られる結果(例えば $\sqrt{1+\sqrt{-3}}+\sqrt{1-\sqrt{-3}}=\sqrt{6}$)をどれほど意味が伴ったものとするかについてきびしく判断を下しているのである。ライプニッツとホイヘンスのやり取りについて[林 2003a], 120-123頁において分析したので参照のこと。

⁵⁸ベルヌーイは、「私は、当初拙速で十分に考察されたように思えなかったあなたの2進法の周期について、いまややっと理解できるようになりました」と述べている。[Leibniz GM], III/2, S. 667.

進表示→10進表示は容易であるが、逆は最高位のベキを見いだすために事前に数表が必要とされる。したがってヨハン・ベルヌーイは「おそらく、ここにこそ2進法によって生じる有益さと同じものがある」と2進表示の意義を一応認めることになるのである。だがその一方で、「しかし私は、そうした〔算術数列の〕数のベキや和に対しても明らかにすることができるとか疑わしいと思っています」と述べることも忘れてはいない。⁵⁹ たとえ記号を最少の数に限定しても、新しい成果に結びつくことは期待できず、せいぜい初等的な段階にとどまるのではないかと考えているかのようである。ヨハン・ベルヌーイはライプニッツ以上に2進法計算のもくろみを、その時点で的確に理解していたのである。

他方、ライプニッツの周辺では別の角度から2進法計算に対する意気込みを啓発する出来事が起きる。1703年4月1日、ライプニッツの下に北京滞在中のイエズス会の神父ブーヴェからの書簡（1701年11月4日付）が届いたのである。

4 ライプニッツの2進法計算と中国思想との関連

ライプニッツと宣教師ブーヴェとの交流は1697年以来続いていた。中国からパリに戻っていたブーヴェが、ライプニッツの著作『最新中国情報』（*Novissima Sinica*）（1697年初版刊）を手にし、それに対する称賛をライプニッツ宛に綴ったことがきっかけであった。ライプニッツの中国への関心は、普遍的記号学の観点からすでにハノーファー期（1676年秋以降）の初期には顕在化していた。⁶⁰ また彼は政治、倫理学などの観点から中国にある種の理想の実現を見いだしていた。⁶¹ 上記の著作はイエズス会神父たちとの交流を通じて得た様々な情報を記したものである。ブーヴェはライプニッツの思想と中国思想との関連を早くから指摘していたが、特に1701年2月15日付で送られてきたライプニッツの書簡（1701年2月26日論文とほぼ同内容）を見て、中国の古代から伝わる思想との係わりを感じ取った。それを上記の1701年11月4日付書簡で伝えてきたのである（ライプニッツの手元に届いたのは1703年4月1日）。⁶²

ブーヴェの指摘は具体的には、ライプニッツの2進法計算と中国文化の伝説上の「創始者」伏羲による六爻の配列（六四卦表）との類似性である（図6参照）。⁶³ ライプニッツは先に述べたように、1701年論文に関してフォントネルや数学研究者たちの無理解に失望を

⁵⁹*Ibid.*, 667f.

⁶⁰[Widmaier 1981], S. 286.

⁶¹『最新中国情報』において、ライプニッツは東西の思想的状況を彼なりに分析する。数学研究に関してはヨーロッパに軍配をあげる（「中国人は人間理性の偉大な力である証明の術を知らないようにみえる」）。だがその一方で「実践哲学の面ではわれわれの方が劣っている。つまり人間の生き方や日常作法に関する学、つまり倫理学と政治学の面では劣っている」と述べている（[ライプニッツ 1991], 94f頁）。[Riley 2000], p. 249も参照。

⁶²[Aiton 1985], p. 245. 邦訳, 351f頁。

⁶³[Leibniz LHD], S. 263f.

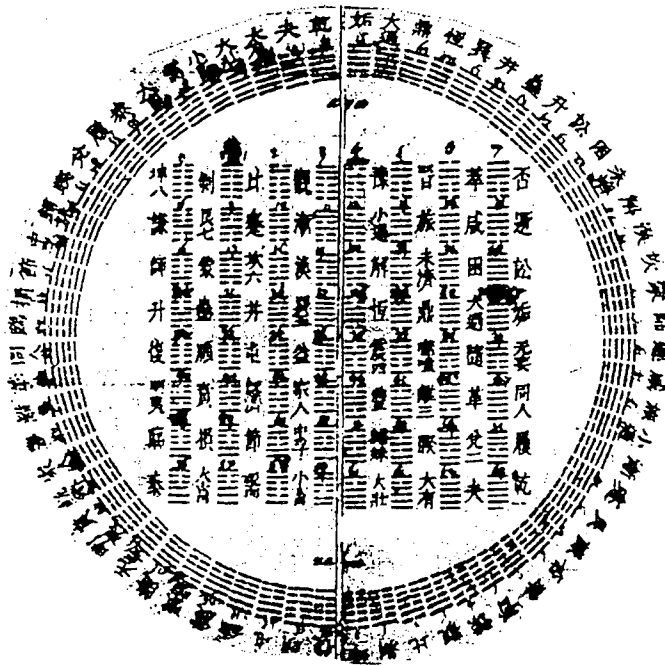


図6 伏羲に由来するとされる六四卦表

感じていたところであった。したがってブーヴェの書簡は、ライプニッツにとって予想外のものだったろう。ライプニッツは北京のブーヴェに向けてすぐさま返書を送った（1703年4月2（または3）日）。⁶⁴

このブーヴェの書簡は、ライプニッツが抱いていた2進法計算への期待に微妙な変化をもたらした。このブーヴェに書簡を送った1703年4月以降の論文・書簡では、多くの場合「伏羲の図」について言及されている。実際その図における破線（-）に0が、実線（—）に1が対応しているとライプニッツは読みとる。そしてその二つの記号6個の組み合わせによって、64（ $=2^6$ ）個の諸概念が表現されるとするのである。こうした解釈を述べた代表例として、1703年4月7日付でパリのアカデミー会長のピニョン師宛てた論文「0と1の記号のみを用いる2進法計算についての解説」（Explication de l'Arithmetique Binaire, qui se sert des seule caracteres 0 et 1）を挙げることができよう。⁶⁵ 同論文の内容は、数学的に

⁶⁴ライプニッツは彼の2進算術と伏羲の図との関係をブーヴェが指摘したことに対して、「それは本当に驚くべき〔意表をつかれた〕ことである」（C'est une chose bien surprenante）と述べている。Ibid., S. 276f.

⁶⁵さらに書簡では、1704年6月24日付カゼ（Caze）宛書簡や最晩年（1716年）にレモン宛に用意された書簡（「中国自然神学論」）を挙げるができる。執筆の時期に開きがあるものの、両者の中で記された2進表示と「伏羲の図」との関連についての説明に変化はない。古代の中国人が近代の中国人に比して、記号的組み合わせのアイデアを持ち得た点が優れていると称賛していることも同じである。ライプニッツの中国思想に関する理解は、この間一貫していると考えてよいだろう。前者の書簡は、[Leibniz LHD], S. 309f, 後者の該当部分は [Leibniz D], IV-1, S. 207-210, 邦訳 [ライプニッツ 1991], 84-90頁。

1701年論文のそれを越えるものではない。相変わらず彼の主眼は、数学上の問題、すなわち平方数、3乗数、その他のべき乗数に対する周期性や、無限に続く数列（＝超越量）の周期性の発見への期待である。無論、計算機への応用ではないことには注意すべきである。

一方で、ブーヴェの指摘がもたらした変化は、この論文の後半にも現れる。ただしそれは数学上の発想に対する補強ではない。さらには中国思想一般を彼の2進表示の観点から読み解こうとすることでもない。「伏羲の図」を読み解く作業（＝図6と2進表示を重ね合わせる）を明らかにした上で、論文末尾において次のようにライプニッツは自己の関心のありかを示している。

また中国で伏羲は、通常の漢字の創始者であると信じられている。とはいえ時代の経過とともに、それは大きく変わってしまっている。もし中国の文字の基礎を調べられることができるならば、伏羲が漢字の確立にあたって、数のことも考慮したと中国で信じられている以上に、彼は数と形相に関連して他の何らかの重要な事柄を見つけだすことが可能だったように思われる。彼の算術の試論から、そう判断できるのである。[...] 中国の文字の中に、私が考えている記号法に必然的に含まねばならない類似した利点が存在するかどうかはわからない。それはまさにある概念から引き出すことができるすべての推論が〔対応する〕記号から、ある種の計算法によって引き出せるということであり、さらに人間理性を助ける最も重要な手段の一つになるということである。⁶⁶

ライプニッツはブーヴェの情報や、その他当時のヨーロッパにおける中国研究をもとに論じており、その理解の一面性が問題となることはいうまでもない。ライプニッツはむしろ、彼の根源的な学問的関心に引きつけているように考えられる。それは普遍記号学と組み合わせ論への応用である。

ライプニッツの中国思想へのアプローチは、結果として彼に学問的な出発点を強く再確認させたように見える。ブーヴェの書簡はその契機を与えたのである。上記の引用はそれを的確に表している。ライプニッツは2進法を軸に何を目指したのか、再確認したのではないか。中国への関心は、自然哲学や比較言語の観点へとウエイトが置かれるように見える。ライプニッツが自己の思想と中国思想とのアナロジーを見いだすことにおいて、より重要性を帯びるのはこちらの領域であろう。⁶⁷

⁶⁶[Leibniz LHD], S. 301. 邦訳 [ライプニッツ 1991], 13f 頁.

⁶⁷我々は、あくまで2進法計算との関連で中国思想とライプニッツを論じることを目的としている。したがってそうした方面へ立ち入ることは行わない。ヴィドマイヤーは、ライプニッツのその「比較」に対する観点を「昨日までのライプニッツ中国学への研究」としてまとめている。[ヴィドマイヤー 2001], 203-209 頁.

従来、ライプニッツの中国思想理解に対しては、様々な評価が下されてきた。実際に、そうした評価には幅がある。研究史を振り返ると、比較文化論な視点、すなわちそもそも思想に対して「比較」という観点を持ち込んだ点において、ライプニッツを先駆者とみなす傾向があり、そこからもう少し冷静にライプニッツの「誤解」を指摘する方向へと論点は変化してきたように見える。⁶⁸ また後者の延長上に、ライプニッツと中国思想の影響関係を論じるものもある。⁶⁹ それらすべてを総括することは、本論考の目的ではない。しかし我々の議論から導けることは、以上のような論点はいずれも本質的な部分を見逃しているのではないかということである。ライプニッツは、1690年代以降中国思想に意識的に接する以前から、2進法計算への関心を持っていた。そしてそれはあくまでも数学的問題解決を中心にした期待に支えられていたのである。その2進表示の活用を夢見ることは、1703年のブーヴェの書簡以降も一貫している。実質的に1701年論文と同内容の事柄が繰り返し語られていることから容易に察せられる。ツァハーは1704年のカゼによるライプニッツ流2進法批判を受けて、ライプニッツ自身の中国思想との類比を求める作業は数学から哲学へと移行したとする。⁷⁰ ライプニッツの中国への関心のありか（思想的「比較」の観点）の変化について、その指摘は正しいかもしれない。だが、そもそも1705年前後の段階を待つまでもなく、ライプニッツの2進法計算は、彼の中であくまでも数学的カテゴリーの中にあつたものである。実際カゼに1705年6月23日付で宛てた書簡の中で、次のように再度述べていることから明らかである。

2進法算術の主たる利用は、限定された〔規則性の明確な〕無限級数の表現との関連によって幾何学を完璧なものにすることなのでしょう。というのも我々が通常用いているのは、無限定なものに過ぎないからです。例えば、円の弧の長さを a 、接線の長さを t 、そして半径を 1 とするとき、 a は、

$$\frac{t}{1} - \frac{t^3}{3} + \frac{t^5}{5} - \frac{t^7}{7} + \frac{t^9}{9} - \dots$$

となることを私は若い頃に見いだしました。けれども限定された円の弧長が問題であるとき、あるいは何らかの他の限定された無理量を求めたいときは、この事柄に達するためにある整数の級数によって表すことを可能にしなければなりません。それは我々の10進法に類似しつつも、無限へと続く列が既知の〔法則によって明確にされる〕ものです。[...] この整数による数列の法則を決定することは、算術の幾何学へ適用として頂点に位置づけられるものでしょう。ただし私は2進法において、他にこれほど早くそこに達するもの

⁶⁸例えば [Xiaoli 1999] や [高田 1988] 第1章第3節参照。

⁶⁹[Ahn 1990] 第5章参照。

⁷⁰[Leibniz LHD], S. 151

があるとは思えないのです。⁷¹

ライプニッツの比較論的関心を我々が分析する際に、一つの要素として2進法計算を含めることは可能だろう。ライプニッツ自身の発言もそれを軸にして「伏羲の図」を読み解こうとしているかのように受け取ることができる部分もある。だが2進法計算に向けて、ライプニッツの発想したことは基本的に不変であったと強調されなければならないだろう。⁷²

自己の数学的貢献を背景に、ライプニッツは彼一流の「普遍学」構想を育てていた。中国思想に関する情報は、それを側面から補強する役割を担ったということである。この数学的関心と普遍思想のリンクを考慮せずに、単に中国との係わりの中だけで、ライプニッツの普遍思想を過大にも過小にも評価すべきでないと言いたい。何も中国に関する情報がなくとも、少なくとも1690年代にはライプニッツは普遍学への基礎を自己の中に整えつつあったと判断できるからである。⁷³

5 結 論

2進法計算は数学として、ライプニッツが望むような進展を見ることはなかった。しかし彼の2進法計算は、彼独自の普遍記号法、シンボリック思考の一断面である。普遍的記号法を伴って「人間思考のアルファベット」を明らかにするという、彼の根本的な問題意識と普遍数学、普遍学構想との係わりの中で評価されるべきであろう。ライプニッツ自身も、そうした発想に足場にして、この2進法計算の切り開く可能性に大きな期待を寄せていたのである。だが理解を求めようと書簡を通じて伝達を試みたが、(特に数学研究者からの)反応は今ひとつであった。

ライプニッツは、他の数学研究の問題においても同様な傾向が見られるが、新しい発想の提示とそこから生じる進展の可能性を想像することに長けていた。だが、説得力を伴った着実なステップを築くことは、必ずしもできなかった。他者を納得させるだけの具体的成果を生み出すことに乏しかった。無論、ライプニッツの発想が、同時代人の思考の枠組

⁷¹Ibid., S. 349f. このカゼへの書簡は、最終部分に計算機について、ライプニッツなりの同時代的発展の総括も記されている。

⁷²我々が3.2節で見た1701年11月に執筆された論文に対する解説の中で、倉田隆は次のように述べている。「ライプニッツは、1703年の春以降、二進法の研究に費やすことのできる僅かな時間を伏羲の六爻を二進法によって解説するという作業—数学的な見地のみからすれば、いわば寄り道とも思える作業—に多くを充てている」([ライプニッツ 1999], 206頁)。こうした認識は基本的に正しくないと考える。ライプニッツにとって伏羲の図の記号論的意味合いは自明に近かったと想像できるからである。その図を読み解くのに時間がかかったのではなく、中国に対する関心の内容は違った方向に本質的に移行したのである。

⁷³ライプニッツは、普遍学の基礎として、(自分自身の貢献も含めた)同時代の数学から共通要素を抽出し、他学問構築・再編のモデルにしようとした。そのプロセスは、[Hayashi 2002] や [林 2003a] 第4章で追究したので参照のこと。

を超えていたと肯定的に評価することは可能だろう。位置解析は、19世紀半ば以降、グラスマン、ポアンカレ等の手によって（ライプニッツの発想の延長線上に進展したかは別にして）、トポロジー（位相幾何学）という数学研究の一分野として立派に成長した。本論考では、ライプニッツの数学的研究の中で、「2進法計算」がどのように位置づけられるかに関して精査を加えてきた。彼のアイデアがその後完容され、進化していった様子はまた別の機会に検討したい。

誤解を招いていることに関しては、2進法計算と計算機開発との関連もアナクロニズムに根ざした評価を受けがちである。現在の計算機技術の発達において、2進法が不可欠のメカニズムとして機能していることは確かであろう。したがって「先駆者」としてライプニッツを称揚することはたやすい。しかしそうした評価は何に向けられているのか？ライプニッツの計算機作りと2進法計算への目論見を、知らぬ間に結びつけての評価になっているのではないか。それは根本的にライプニッツの2進表示への期待を読み間違えている。

さらにライプニッツの2進法計算は、彼の生涯に一貫した思想の本質と係わる。すなわち最終節で見たような、中国研究を通じてライプニッツが確認しようとした彼自身の「普遍思想」との関連である。ここにおいてもライプニッツの発想の一面的理解に陥ってしまうことは避けなければならない。

一般に、ヨーロッパの思想との対応物を他の文化圏の異なる場面に見いだし、ヨーロッパ側から自己の思想の普遍性・一般性を確認することには落とし穴がある。所詮、自分に都合のよい解釈、肯定されるべき自身の思想に無理矢理引きつける可能性は否定できないからである。その結果、一面的な「思いこみ」に陥ってしまうことに気づかないはめになる。ライプニッツの「普遍」志向は数学研究の中でも脈打っているが、ヨハン・ベルヌーイの批判はライプニッツのそうした思いこみに冷や水を浴びせるがごとく、的を射たものであった。ライプニッツにとって、プーヴェがもたらした中国古代思想に関連する情報は朗報だったろう。特に数学研究者たちに自分自身の意図があまり理解されなかつただけになおさらである。ライプニッツが目指した普遍性への志向とそれに端を発する記号法への応用は、彼の学問的な貢献として歴史的評価を受けるべきものである。ただし、異なる文化圏における異なるコンテキストの中での歴史的な発展を抜きにして、ライプニッツ思想の持つ「普遍性」を称賛することは控えるべきであろう。2進法と易経の類似性は、ある意味で「偶然の産物」だったのである。

このライプニッツの2進法計算の発想と中国研究を彼の普遍学構想の中で考えるとき、あたかも20世紀言語学におけるチョムスキーの普遍文法（とそれに対する批判）が想起される。チョムスキーは、文の意味解釈を決定する人間言語の根底にある「深層構造」の存在をア・プリオリに前提し、彼の言語理論を構想した。その深層構造の同一性を仮定した上で、各言語間に横たわる普遍性の追求を目指したのだった。⁷⁴ だがこうしたチョムスキー

⁷⁴[チョムスキー 1976], 43-46頁。

の取り組みに対して、根源的な批判がある。すなわち、現に（ヨーロッパ世界以外にも）ある多様きわまりない種々の言語の形成を考察する際に、チョムスキーは歴史的状況や社会的要因を全く視野に入れていないという批判である。こうした視点が伴わなければ、彼の（または彼の追従者の）理論は、単なる空疎な「普遍性」信奉の表明に過ぎないことになるというのである。⁷⁵ こうした批判は、ライプニッツの「普遍主義」を考える上でも参考になるだろう。

ライプニッツは、一般的に歴史的観点に乏しかったのではない。我々が見た彼の普遍記号法、さらには普遍学建設の構想は、ヨーロッパ内の知的伝統に深く根ざしている。彼は歴史的な了解にもとづき、その延長上に自己の方法論を築こうとした。また近代的な歴史研究の地平をも切り開いた一人であった。その点でチョムスキーが企てたような、安易な伝統破壊行為を目指したわけではない。ただむしろチョムスキー以上に問題なのは、近代学問の中心的パラダイムとして地位を確立しつつあった数学への貢献を背景に「普遍主義」が唱えられている点にある。そこがライプニッツ思想の強みであると同時に、評価を難しくしているポイントのように考えられる。数学を基軸にした学問的再構築は、時代の流れとともに思想的中核となった。結局我々の批判的観点は、その理念に対する何がしかの相対化が終着点である。ライプニッツを読むことはこうした反省を我々に促す。彼の思考様式は我々の深層の中に深くもぐりこんでいる。それを抉り出すことは、我々自身の発想法、学問論がまな板にのせられることだからである。

またもう少し視野を狭く記号論に限定して考えてみよう。ライプニッツは記号を思想の表現手段としてだけでなく、未知の定理や規則性発見にも利用しようとした。そのために新たに記号を作り出すことを常に試みていた。同時に2進法計算のように、0と1という二つの数記号のみを使用して可能性の追究も行っていった。記号活用の格好の場を数学が提

⁷⁵チョムスキー批判の代表的論者として、田中克彦の言説は参考になる。彼は、チョムスキー理論に対して次のような評価を与えている。「チョムスキーは、言語に関する思想であれ、人間に関する思想であれ、それらが、特定の歴史的状況のもとで、特定の社会のなかから生まれることをほとんど理解しないし、しようもしない。一般に歴史的文脈ぬきの、単にモデルとしての思想の援用が、チョムスキーの方法におけるいちじるしい特徴である」、「チョムスキーの言語理論における革命性は、多年にわたる実証的な研究の蓄積を歯牙にもかけず、古めかしい、いまだ言語学は生まれる以前の、人類が諸民族の歴史と文化をまだ十分に学ぶことのなかった時代のアブリオリな思弁をひっさげて登場したことにある」、「チョムスキーは、近代言語学の成果を、三百年前の、凡庸で、自己中心的な普遍主義に逆もどりさせてしまったのである」（[田中 1990], 90, 202, 222f 頁）。これらは概ね適切な批判であると考えられる。特に最後の引用は、ライプニッツ（ならびに 17・18 世紀の同種の思想の持ち主）に対する批判としても手厳しいものである。結局田中は、言語が持つ「イデオロギー性」（イデオロギーを帯びる必然性や、イデオロギーを生成する役割を見なうこと）を言語研究の必須の要素とみなすのである。田中の批判は、確かに一定の正当性を持つだろう。ただしチョムスキーの発想の発展形として、言語に関する脳のメカニズム研究など、物理学・化学・生理学・医学等の自然科学研究が何らかの成果を残すならば、それはそれで意味があったことになるだろう。ちょうどライプニッツの位置解析が、トポロジーとして数学の一分枝に育っていったようにである。いずれにせよ後世において歴史家の評価を受けることになるだろう。

供していたのである。ライプニッツは誰よりもそうした領域があることに鋭敏な感覚を持っていた。だが、同時代の数学研究者はライプニッツの意図をあまり汲むことができなかった。数学としての成果を乏しかったのだから無理からぬことである。しかもヨハン・ベルヌーイのようにライプニッツの発想を根源的に批判した者もいる。ライプニッツは発見法の観点から、0と1しか記号を用いないことを十全に活用したかったのだろう。しかし数学は演繹的推論によって、緊密なる論理構成を行ってきた学問である。規範とされてきたユークリッド『原論』や、同時代の金字塔であるニュートンの『プリンキピア』のような壮大な体系に比するものを作ることは想像し難い。

日本の文学的伝統の中には「俳句」というユニークな分野がある。そこでは17文字という制限がかえって、作者・読者の想像力をかきたて、広い知的空間を創造しているように見える。無論、俳句は一つの句の中に論理性を必ずしも求めていない。むしろそれが真骨頂である。ライプニッツも記号的表現手段に制限を与えて、かえってそこから見えてくる世界の構築を目指した。しかし数学が論理性を旨とする学問である以上、ベルヌーイの批判（「より少ない記号にいろいろと負うことになる」）の方に一定の正当性があると認めざるを得ないのである。

以上のように、ライプニッツの2進法を通じて彼の「記号論」、 「普遍主義」という問題にたどり着いた。本論考ではこうした問題を指摘するにとどめる。自分自身の研究を深め、また違った形で論じたい。

参考文献（1次資料、翻訳を含む）

- [Euclid 1990] Euclide, *Les Éléments*, traduction et commentaires par Bernard Vitrac, Volume 1, Livre I à IV (Paris: Presses Universitaires de France, 1990).
- [Leibniz A] *Gottfried Wilhelm Leibniz Sämtliche Schriften und Briefe*, herausgegeben von Der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (Berlin: Akademie Verlag, 1923-).
- [Leibniz C] *Opusculs et fragments inédits de Leibniz*, publiés par Louis Couturat (1903,) (Hildesheim, Zürich, New York: Georg Olms Verlag, 1988) (rep.).
- [Leibniz CG] *G. W. Leibniz la caractéristique géométrique*, Texte établi par Javier Echeverría et traduit par Marc Parmentier (Paris: J. Vrin, 1995).
- [Leibniz D] *Gottfried Wilhelm Leibniz Opera Omnia: Nunc primum collecta, in classes distributa, praefationibus et indicibus exornata*, studio Ludovici Dutens (1768,) (Hildesheim, Zürich, New York: Georg Olms Verlag, 1989) (rep.).
- [Leibniz GLK] *Gottfried Wilhelm Leibniz Die Grundlagen des logischen Kalküls*, herausgegeben von Franz Schupp (Hamburg: Felix Meiner, 2000).
- [Leibniz GM] *G. W. Leibniz Mathematische Schriften*, herausgegeben von Carl Immanuel Gerhardt (1849-1863,) (Hildesheim, New York: Georg Olms Verlag, 1971) (rep.).
- [Leibniz GP] *G. W. Leibniz Die philosophischen Schrifften* herausgegeben von Carl Immanuel Gerhardt (1875-1890,) (Hildesheim, Zürich, New York: Georg Olms Verlag, 1996) (rep.).
- [Leibniz LHD] *Die Hauptschriften zur Dyadik von G. W. Leibniz: Ein Beitrag zur geschichte des binären Zahlensystems*, herausgegeben von Hans J. Zacher (Frankfurt am Mein: Vittorio Klostermann, 1973).
- [Newton MP] *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, edited by D. T. Whiteside (Cambridge: Cambridge University

Press, 1967–1981).

- [ライプニッツ 1988] 『ライプニッツ著作集』1『論理学』 沢口昭聿訳 (工作舎, 1988年).
 [ライプニッツ 1991] 『ライプニッツ著作集』10『中国学・地質学・普遍学』 山下正男・谷本 勉・小林道夫・松田毅訳 (工作舎, 1991年).
 [ライプニッツ 1997] 『ライプニッツ著作集』2『数学論・数学』 原 亨吉・佐々木力・三浦伸夫・馬場 郁・齋藤 憲・安藤正人・倉田隆訳 (工作舎, 1997年).
 [ライプニッツ 1999] 『ライプニッツ著作集』3『数学・自然科学』 原 亨吉・横山雅彦・三浦伸夫・馬場 郁・倉田 隆・西 敬尚・長嶋秀男訳 (工作舎, 1999年).
 [ユークリッド 1971] 『ユークリッド原論』 中村幸四郎・寺阪英孝・伊東俊太郎・池田美恵訳 (共立出版, 1971年).

参考文献 (2次文献)

- [Ahn 1990] Ahn, Jong-Su, *Leibniz' Philosophie und die chinesische Philosophie* (Konstanz: Hartung-Gorre Verlag, 1990).
 [Aiton 1985] Aiton, Eric J., *Leibniz A Biography* (Bristol and Boston: Adam Hilger LTD, 1985).
 [Cajori 1925] Cajori, Florian, "Leibniz, the Master-builder of Mathematical Notations," *Isis*, 7 1925, pp. 412–429.
 [Cassirer 1923–29] Cassirer, Ernst, *Philosophie der symbolischen Formen*, (1923–1929,) (Darmstadt: Primus Verlag, 1997).
 [Hayashi 1998] Hayashi, Tomohiro, "Introducing Movement into Geometry: Roberval's Influence on Leibniz's Analysis Situs," *Historia Scientiarum*, 8 (1998), pp. 53–69.
 [Hayashi 2002] Hayashi, Tomohiro, "Leibniz's Construction of *Mathesis Universalis*: A Consideration of the Relationship between the Plan and His Mathematical Contributions," *Historia Scientiarum*, 12 (2002), pp. 121–141.
 [Li und Poser 2000] *Das Neueste über China: G. W. Leibnizens Novissima Sinica von 1697*, *Studia Leibnitiana Supplementa*, 33 (2000), herausgegeben von Wenchao Li und Hans Poser (Stuttgart: F. Steiner, 2000).
 [Riley 2000] Riley, Patrick, "Leibniz' Political and Moral Philosophy in the *Novissima Sinica*," in [Li und Poser 2000], S. 239–257.
 [Perkins 2004] Perkins, Franklin, *Leibniz and China: A Commerce of Light* (Cambridge: Cambridge University Press, 2004).
 [Popp und Stein 2000] *Gottfried Wilhelm Leibniz: Philosoph, Mathematiker, Physiker, Techniker*, herausgegeben von Karl Popp und Erwin Stein (Hannover: Universität Hannover Schlütersche GmbH. & Co., 2000).
 [Sakai 2000] Sakai, Kiyoshi, "Leibnizens Chinologie und das Prinzip der Analogia," in [Li und Poser 2000], S. 258–274.
 [Widmaier 1981] Widmaier, Rita, "Die Rolle der chinesischen Schrift in Leibniz' Zeichentheorie," *Studia Leibnitiana*, 13 (1981), S. 278–298.
 [Xiaoli 1999] Xiaoli, Sun, "A Wrong Statement about Leibniz and His Interpretation of Chinese I Ching Figure," *Historia Scientiarum*, 8 (1999), pp. 239–247.
 [イエイツ 1993] フランシス・イエイツ『記憶術』玉泉八州男監訳, 青木信義・井出 新・篠崎 実・野崎睦美訳 (水声社, 1993年).
 [伊東他 1987] 伊東俊太郎編『数学の歴史』II『中世の数学』(共立出版, 1987年).
 [ヴィドマイヤー 2001] リタ・ヴィドマイヤー「ライプニッツの中国学: 昨日と今日」, [佐々木他 2001] 所収, 201–228頁.
 [エーコ 1995] ウンベルト・エーコ『完全言語の探求』上村忠男, 廣石正和訳 (平凡社, 1995年).
 [カッシーラー 1989–97] エルンスト・カッシーラー『シンボル形式の哲学』(一)~(四) 木田 元・生松敬三・村岡晋一訳 (岩波文庫, 1989–97年).
 [佐々木他 2001] 佐々木力他『ライプニッツ』(『思想』2001年10月号) (岩波書店, 2001年).
 [佐々木 2002] 佐々木能章『ライプニッツ術: モナドは世界を編集する』(工作舎, 2002年).

- [高田 1988] 高田淳『易のはなし』(岩波新書, 1988年).
- [田中 1990] 田中克彦『チョムスキー』(岩波同時代ライブラリー, 1990年).
- [チョムスキー 1976] ノーム・チョムスキー『デカルト派言語学: 合理主義思想の歴史の一章』川本茂雄訳 (みすず書房, 1976年).
- [林 2003a] 林 知宏『ライプニッツ: 普遍数学の夢』(東京大学出版会, 2003年).
- [林 2003b] 林 知宏「ライプニッツと円周率」, 『数学文化』1 (日本評論社, 2003年), 49-58頁.
- [ロッシ 1984] パオロ・ロッシ『普遍の鍵』清瀬卓訳 (国書刊行会, 1984年).
- [ワイル 1959] ヘルマン・ワイル『数学と自然科学の哲学』菅原正夫・下村寅太郎・森繁雄訳 (岩波書店, 1959年).