『現代思想』2021 年 7 月号、第 49 巻第 8 号に掲載された表題論文の著者最終稿です。
引用などに際しては、出版されているものをご利用ください。

ライプニッツは二進法にいかなる有用性を見たのか？

――二進法の起源と価値をめぐって――

池田真治

僕「哲学者で数学者のライプニッツは、二進法の方がパターンを見つけやすくなると考えたみたいだね」
ユーリ「パターン？」
僕「[…] そこから数列が持つ性質を見つけやすくなるってことだよ」[1]

0. 序

今回の特集は和算を中心とする日本および東洋の数学史がテーマだが、本稿では、そのテーマを少し外部から、すなわちライプニッツ（Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646–1716）の二進法に関する思想の展開という観点から見てみたい。ライプニッツと和算の直接的関係は不明だが、東洋思想に関しては、とりわけ古代中国の伝説的王・伏羲（ふっき、ふくぎ）に由来する易経の六四卦図との関係で直接的な言及がある。そこで本稿では、ライプニッツの二進法の起源と価値をテーマとし、その関連で古代中国思想に触れることでお題に代えたい。

1. 二進法とコンピュータ

二進法とは、われわれが普段用いている１０進法と異なり、0, 1 という二つの数字だけに基づく記数法のことである。二進法の体系に関する数学理論が、その応用的価値を伴って広く注目されるようになるのは、数学の歴史から見れば比較的最近の出来事にすぎない。それは 20 世紀に入ってから、現代のコンピュータの基礎との関連においてである。アラン・チューリングは、1936 年の論文「計算可能な数について、その決定問題への応用」で、後のコンピュータ（プログラム内蔵型デジタル電子計算機）の理論的原型となる万能チューリング機械の発想を与えた。そして計算可能な実数を、0, 1 による二進小数展開が有限の手段によって計算できる数であるとし、数字 0 と 1 からなる列を無限の長さを持つ理想的テープに印刷する機械を計算機械と定義した[2]。ほとんど同じ頃、コンラート・ツーゼが二進法論理回路を用いたプログラム型機械式計算機 Z1 を試作している。またクロード・シャノンは、1937 年の修士論文で、ブール代数を電子回路に応用する上で理想的として、その論理計算の基礎に二進法を用いた。~~情報理論の基礎となった~~1948 年の『通信の数学的理論』（ウィーバーとの共著）では、情報とはメッセージを選択するときの選択の自由度のこととされる。こうして、「情報の量は、可能な選択肢の数の対数を取ることで測られるもの」と定義

[1] 結城浩『数学ガールの秘密ノート　ビットとバイナリー』、SB クリエイティブ、2019 年、p. 30。
[2] 伊藤和行編、佐野勝彦・杉本舞訳・解説『コンピュータ理論の起源［第 1 巻］チューリング』、近代科学社、2014 年、pp. 16–85。

される[3]。その情報量の基本単位として採用されたのが「ビット(bit)」だ。ビットは 2 進数の桁のことであり、二択の可能性がある場合に情報量は 1 ビットとなる。たとえば、ファミコンの CPU は 8 ビットである。8 ビットとは $2^8=256$ 通りの選択肢を持つということだから、その情報量が対数をとって $\log_2 256=8$ であるということに他ならない（あるいは、同じことだが、選択の自由度は確率では 1/256 なので、情報量は $-\log_2(1/256)=8$ と計算される）。このように、選択の自由度は確率によって測られるが、シャノンはその確率を 2 進数化して符号化することで、計算機にも応用可能であることを示した。また、記憶装置を持つプログラム内蔵型（いわゆるノイマン型）のコンピュータを発明したジョン・フォン・ノイマンは、1940 年代半ばに、それまで自身が開発した ENIAC が 10 進法を用いていたのに対して、新しく開発を計画していた EDVAC には二進法を用いることを決定する。それには、10 進法よりも二進法を用いた方が、必要な遅延線の本数、すなわち記憶装置の容量を減らすことができるという現実的な理由があった[4]。他方で、二進法を用いた方が、四則演算がもつ論理的性質がいっそう明らかになるともしている[5]。こうして二進法は、理想的な理由だけでなく実用的な理由も伴う仕方でコンピュータの基礎理論に組み込まれていった。

2. 二進法の起源

一般的にライプニッツが二進法の体系の発明者とみなされ、そうした現代のコンピュータの思想的起源としてしばしば挙げられるが、二進数表記のアイデアそのものはライプニッツ以前からすでにあった。二つの数に基づく数体系は、17 世紀初頭に英国のネイピア（John Napier, 1550–1617）が『位置算術（*Arithmetica localis*）』において提案しており、チェス盤のようなマス目を用いた機械的計算の考えに応用している。同じく英国の数学者ハリオット（Thomas Harriot, 1560–1621）の未出版の遺稿には、ライプニッツが行なったような仕方での二進法に関する多数桁の演算がすでに見られる[6]。また、スペインのスコラ哲学者カラムエル（Juan Caramuel de Lobkowitz, 1606–1682）が二進数の体系を先に出版しており、ライプニッツはそれを剽窃したと主張する論文もある[7]。

他方で、彼らにおいては二進数がもつ意義がまだ十分に認識されておらず、ライプニッツの意味での二進法システムを形成できていないとする論者もいる[8]。ライプニッツ自身は、

---

[3] シャノン／ウィーバー『通信の数学的理論』植松友彦訳、ちくま学芸文庫、2009 年、p. 25。
[4] Martin Campbell-Kelly, William Aspray, Nathan Ensmenger, Jeffrey R. Yost『コンピューティング史―人間は情報をいかに取り扱ってきたか―』、杉本舞監訳、喜多千草・宇田理訳、共立出版、2021 年、p. 89。ハーマン・H・ゴールドスタイン『計算機の歴史　パスカルからノイマンまで』末包良太、米口肇、犬伏茂之訳、1976 年、p. 181。
[5] J. フォン・ノイマン『計算機と脳』、柴田裕之訳、ちくま学芸文庫、2011, p. 40。
[6] John W. Shirley, “Binary Numeration Before Leibniz”, *American Journal of Physics*, vol. 19, issue 8, 1951, 452-454.
[7] J. Ares, J. Lara, D. Lizcano & M. A. Martínez, “Who Discovered the Binary System and Arithmetic? Did Leibniz Plagiarize Caramuel?”, in *Science and Engineering Ethics*, 24(3), 2018, 173–188.
[8] Günter Lautz, “300 Jahre leibnizsches dualzahlensystem”, *Biological Cybernetics* 35 (1979), 175–181.

ハリオットらに二進法の発明の先取権があると言及していないが、はるか昔の~~古代~~中国のヘキサグラムにおいて、自身の二進法の体系の先駆を見ている。二進法の発明の先取権は、結局何をもって二進法の体系の発明とみなすかによろう。ここではライプニッツの内的な動機に関心があり、先取権論争の問題に踏み込むつもりはない。ただ、ライプニッツに新奇性があるとすれば、これまでの著者たちが二進法の単なる算術にとどまっていたのに対し、彼は二進数の演算アルゴリズムを代数的に定式化しており、二進数の代数へと進展していることである。ライプニッツ自身のテキストから窺う限りでは、ライプニッツは師ヴァイゲル（Erhard Weigel, 1625–1699）の四進法を始めとしたさまざまな数体系についての一般的検討から、二進法に辿り着いた。ライプニッツが二進法の体系を発明した最初の人物かどうかはともかく、彼がそれを単なる計算法にとどまらず、周期性などのパターンに注目し、体系的な理論として考案するところまで到達していることは、注目に値しよう。本稿では、さらにその先にある価値を考察したい。

3. コンピュータの思想的起源としてのライプニッツ像

マーティン・デイヴィスは、「~~0 と 1 という数字を使うだけでどの数も表記できる~~二進数表記の体系をライプニッツが見つけたとき、彼はその~~体系の単純性~~シンプルさにいたく感銘した。彼は、他の記数法では隠されてしまっている数論的性質が、二進数表記によって見えやすくなるのではないか、とさえ考えた。この期待通りにはならなかったが、ライプニッツが二進数に深い興味を抱いたことは、現在のコンピュータで二進法の体系が果たしている役割を考えると、驚くべき先見性だったと言えよう」と的確に述べている[9]。

しかし、ライプニッツの二進法を現代のコンピュータの思想的起源として捉える一般的評価とは裏腹に、彼自身は二進法の計算機への応用についてほとんど語っていない。~~ライプニッツの~~数学史が専門の林知広は、ライプニッツの二進法に現代的な観点から計算機開発の起源を見るのはアナクロニズムであるとして問題視し、ライプニッツを現代のコンピュータの思想的起源と~~安易に~~結びつける見方に否定的である[10]。

ただ、普遍的な記号法と論理計算の理論を構築するという「ライプニッツの夢」が、先駆的な理想としてコンピュータの基礎理論や情報理論の発展を導く役割を果たしてきた――そして今も果たしている――ことも否めないのではないか。ライプニッツが 1679 年の「普遍的計算の試論」で~~次のように~~述べていることが示唆的である。

数の記号と位取りの周期は人間の意志によって決定されるがそこから導かれる計算は

---

[9] Martin Davis, *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*, W. W. Norton & Company, 2000, p. 16; マーティン・デイヴィス『万能コンピュータ　ライプニッツからチューリングへの道すじ』、沼田寛訳、近代科学社、2016 年、p. 15。

[10] 林知宏「ライプニッツの 2 進法計算 ： その歴史的評価を再考する」『学習院高等科紀要』2 号、2004 年、69–103.

絶対的な真理を表わす。即ち採用された記号とそこから導かれた公式の間の結合は絶対的真理を示し、さらにそれらによって事物の結合（それは、どのような記号が採用されようと依然として同一である）が表わされる。しかし、わずかの仮定より多くを容易に導くことができるように記号を設定することが学問のために有用である。これは、最も単純な思考の要素に記号を指定するとき実現される。[11]

どの単位数で桁が上がるのかは人間の恣意的な設定にすぎないが、一度進数を決定すれば、そこから導かれる計算は絶対的なものである。ライプニッツはチューリングに先立って、計算の本性をアルゴリズムに見た数学者・哲学者であった。またその計算の本性は、計算する人に内的な精神の操作に限定されず、物理的な計算機へと外化できるものと考え、パスカルの計算機「パスカリーヌ」を改良し、加減に加え乗除の四則演算ができる計算機の発明も行なった。「わずかの仮定より多くを容易に導くことができるように記号を設定することが学問のために有用」という先の引用部分からは、ライプニッツが二進数の研究を行った直接的動機を読み取ることができる。あらゆる自然数を 0 と 1 の二数だけで表すことができる二進法が、普遍的記号法の理想的なモデルとして、あらゆる事物に記号数を割り当てる「思考のアルファベット[12]」の計画を強く後押ししたのだ[13]。奇しくも、ライプニッツが二進法に関する体系を最初に起草したのも 1679 年である。

実際に、ライプニッツが二進法に基づく計算機を発明した事実はなく、現代の情報理論や計算機への応用という観点を読み込むことに慎重であるべきという主張は至極真っ当である。ただし、ライプニッツが実際に二進法計算機を考えていたことは指摘しておきたい。それは、1679 年 3 月に書かれた二進法計算に関する最初の草稿、『二進数列について（*De progressione Dyadica*）[14]』においてである（以下、『ディアディカ』と呼ぶ）。

以下、本稿では、ライプニッツが二進法にいかなる有用性を見たのかをテーマに、ライプニッツにおける二進法の研究の発展を、大きく四段階に分けて見ていく。

［［削除した段落：］ライプニッツが二進法について考察した期間は断続的であり、主に①草創期の 1679 年と②キリスト教神学における創造解釈のアナロジーとして、0 と 1 をそれぞれ無と一者（即ち神）になぞらえて言及するようになった 1696 年頃、③パリ王立諸学アカデミーに論文を提出した 1701 年、そして④古代中国思想との関連が議論される 1703 年以降から晩年の 1716 年にかけてである。］

---

[11] 「普遍的計算の試論」、『ライプニッツ著作集 1　論理学』、澤口昭聿訳、工作舎、1988 年、p. 127。

[12] ライプニッツは、単純概念に数を割り当てる提案をしているが、これはゲーデル数のアイデアの先駆とも言える。ゲーデルは当時出版されていたライプニッツに関する著作の多くを一時期（1940 年代前半）集中的に読んで膨大なメモ群を残している。また、不完全性定理の証明以前にもすでにライプニッツに親しんでおり、ゲーデル数のアイデアに影響を与えた可能性がある。

[13] 「普遍的記号法――その起源と価値」、『ライプニッツ著作集 10 中国学・地質学・普遍学』、小林道夫訳、工作舎、1991 年、pp. 279–288。

[14] Leibniz-Handschriften XXXV 3B, Nr. 2. 手稿は、Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek のデジタル図書館から閲覧可能。また、ライプニッツ手稿ファクシミリを含む、Yves Sarra による仏訳も参照した。Le manuscrit *De progressione Dyadica* [1679.3.15] URL=<https://journals.openedition.org/bibnum/553>

4. ライプニッツの二進法研究①――『ディアディカ』

1679 年 3 月に起草された『ディアディカ』は、ライプニッツが二進法に関する自身の体系を最初に示した未出版の手稿である（Dyadica は「二進の、二数の」を意味するギリシア語をラテン語化したものである）。そこには二進法に関する基本的な主張と内容がすでに現れている。しかし、その重要性の割にはほとんど知られていない。同年 12 月に書かれた「アルゴリズム計算による解析計算の最重要点」[15]はこれを発展させたものであろう。この草創期の段階では、二進法がもつ単純性や計算の容易さ、そして周期性が新たな規則性や法則の発見につながりうる点を評価している。二進法の体系の完成は 1701 年を待たねばならないが、基本的な計算と数学的な動機はすでにこの時期に現れている。

ライプニッツはこの手稿で、1 から 100 までの各数に対応する二進数表記を冒頭部と欄外で示している。また、二進数での繰り上がりも具体的に計算している。さらに、二進数が１０進数ではそれぞれの桁に応じた 2 の冪乗の足し算に対応することを示している：

$$\begin{array}{l} 1011000 \text{ esse } 2^6 + * + 2^4 + 2^3 + * * * \\ \qquad\qquad\qquad\quad 64 \quad\;\; + 16 + 8 \end{array}$$

この『ディアディカ』では、１０進数表記の数から対応する二進数表記の数を一般的に求める手法も提示されている。たとえば、365 を二進数で表現するには、どんどん半分にしていき、その余りを取り出せばよい（表参照）。

365	
182	1
91	0
45	1
22	1
11	0
5	1
2	1
1	0
	1

この表の右側の余りを下から並べた数列 101101101 が、365 の二進数表記である（各自検算されたい）。

[15] 『ライプニッツ著作集 3 数学・自然学』、倉田隆訳、工作舎、年、1999 年、pp. 351–362。

また逆に、二進数表記の数から 10 進数表記の数を得る方法もライプニッツは提示している。それには、二進数表記の数を、10 進数での 10、すなわち二進数での 1010 で割った、その余りによる。たとえば、101101101_2 を 1010_2 で割ると、商は 100100_2、余り $101_2=5$ になる。また、先ほどの商 100100_2 を 1010_2 で割ると、商は 11_2、余り $110_2=6$ になる。そして、最後の商 11_2 はもう割れないので、そのまま余り $11_2=3$ となる。これら余りを並べると、365 となり、元の二進数の 10 進数表記が得られる。

ライプニッツは、単に二進数の表記法や 10 進数に還元する計算法を示しているだけではなく、その表記がもたらす規則性ないしパターンにも注目している。そして、二進法の利点として四則演算が極めて単純かつ容易であることを挙げている。「この方法による数の足し算は、中間的な数を書かずとも全体を直接書くことができるので、極めて容易である」。ライプニッツは繰り上がった分の数を、点（・）か数字 1 で計算式の上にでも書いておく方法を提示しており（網掛けの部分）、こうして全体が容易に計算される。

```
133222321
  10110110
  11100101
   1001100
   1010111
  11011011
----------
1100011001
```

掛け算や割り算についても、「ピタゴラスの表」（掛け算の表）なしに、また知識になんら依存せずに試行錯誤することなく、単純な演算で行うことができるとする。たとえば、掛け算の場合は、下の桁から計算していき、0 を掛ける場合はそのまま 0 を置く。そして 1 がある桁のところは掛けたい数をそのまま下ろして転記するだけでよい。あとはこれらを足し算するだけで、解が得られる。ほかにもライプニッツは 1000000_2 から 110101_2 を引く場合、一桁目を除いてただ 1 と 0 を反転させるだけで差が得られる「コンプリメントの方法」なども示している［［補注］コンプリメントの方法は一般にも成り立つが、その際、「1 桁目を除いてただ 1 と 0 を反転させるだけ」というのは、一桁目が 1 の場合に限られるので、修正が必要である。すなわち、n+1 桁の 1000...0 から n 桁の数を引く場合、その差し引く n 桁の数で、**1 が現れる最小の桁を除いて** 1 と 0 を反転させればよい。たとえば、10000000 から 1101101 を引いた数は、コンプリメントの方法により、0010011 となる。また、10000000 から 1101110 を引いた数は，0010010 である］。実際、110101_2 をその方法で反転すると 001011_2 で、これが求める差である。

この『ディアディカ』に独自な点は~~何よりも~~、ライプニッツが二進法計算機も非常に容易に実現されうると提案していることである。では、ライプニッツはどのような二進法計算機を考えていたのか。~~引用しよう。~~

このような計算は、（車輪のない）機械でも、次のような方法で、確かに非常に簡単に、労力なしに行うことができる。開閉可能な穴の開いた箱。それらの穴は、2 枚の歯を持つ小さな車輪に対応する場所で開閉する。
穴は 1 に対応する場所で開いており、0 に対応する場所では閉じたままである。開いた穴からは小さな立方体あるいはビー玉が溝に落ち、閉じた穴からは何も落ちない。掛け算の要求に応じて、箱を列から列へと桁送り［シフト］させる。

まず、開閉可能な穴が十分な数空いている箱を用意する。開いた穴に 1 、閉じた穴に 0 が対応する。たとえば、01001 は ○●○○● 。開いた穴にビー玉を一つずつ入れる。（ライプニッツは掛け算の例を考えたが、）簡単のため足し算の例を考えてみる。先の数に 00111 つまり ○○●●● を足す場合を考えよう。同様に、開いた穴にそれぞれビー玉を一つずつ入れる。二つのビー玉が積み上がったら、二つ目のビー玉が隣の溝、すなわち隣の列へと扉から移動する。その際、元の穴は閉じる。これが、繰り上がりの仕組みである。この足し算は、○●○○●に○○●●●を上乗せすることなので、下の桁から繰り上がりを計算していくと、一個ずつ繰り上がっては穴が閉じていき、最終的に ●○○○○ すなわち求める値 10000 が出力される。

この二進法計算機は、以前発明した１０進法計算機の仕組みを応用したものであろうが、具体的な仕組みは不明で、ライプニッツが実際に作成した形跡はない。しかし、ライプニッツが二進法計算機のアイデアを示した貴重な箇所である。二進法機械は１９７１年にルドルフ・フォン・マッケンゼンが実現している。ライプニッツ自身の二進法計算機の模型は、２００４年、エルヴィン・シュタインとゲアハルト・ヴェーバーによって作成された[16]。

5. ライプニッツの二進法研究②――神学的象徴としての二進法

1696 年頃から、数学的内容だけでなく、キリスト教神学とのアナロジーとして、0 と無、1 と一者（即ち神）が言及される。1697 年 1 月に、ライプニッツは二進法と神による無からの創造を模したメダルをデザインし、主君のルドルフ・アウグスト公に作成を提言した。主君も感銘を受けたようだが、結局メダルが作成された形跡はない。ようやく実物ができたのは、2007 年のことである。数学者・計算機科学者でライプニッツの大ファンでもあるグレゴリー・チャイティンの誕生祝いとして、スティーブン・ウォルフラムがライプニッツのメダルを作成したのだ[17]。そのメダルには、上段に「1, 2, 3, 4, 5 など、全て［の数］は無か

---

[16] Erwin Stein, “Gottfried Wilhelm Leibniz seiner Zeit weit voraus als Philosoph, Mathematiker, Physiker, Techniker... ― ein Extrakt der gleichnamigen Ausstellungen ―”, *Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft*, 54, 2004, pp. 156–160.

[17] 詳細は、ウォルフラムによるライプニッツの数学手稿に関する長大なブログを参照されたい。URL:= <https://writings.stephenwolfram.com/2013/05/dropping-in-on-gottfried-leibniz/>

ら導かれる。一［者］で十分である」、下段に、「創造の似像。発明者。G. G. L［＝ライプニッツ］。1697 年」とある（図１）[18]。

そのきっかけは、前年~~の 1696 年~~に書かれた「1 と 0 によるすべての数の驚くべき表記法」である[19]。数学的内容としては 1679 年に到達した段階を超えず、加減乗除が例示と共にコンパクトに提示されている程度だ。ただ注目すべき点は、1679 年が数学的内容の探究に集中していたのに対し、1696 年の手稿では数学の領域にとどまらず、先の表題の続きに、「神と無からの事物の起源、すなわち創造の神秘を表現している」とあるように、二進法と神による万物の無からの創造との類比が言及されていることだ。ライプニッツは、万物は（異教徒が考えるように）神と質料からではなく、神と無から生ずるということが、0 と 1 からすべての自然数を生じるところに例示されているとする。このことを指して、「事物の本質はまるで数のようである」と、ピュタゴラス主義的な文言も残している。

図 1

この論稿でライプニッツは、二進法が学問にとって最も単純であり、自然的・根源的なところもあり、秩序や調和をもたらし、数学的真理の発見にとって有用であるといった多くの効用を挙げる。しかし、「この計算法は、日常的使用のためではなく、深い思索のために案出されたものである。すなわち、この計算法は、数の持つ驚くべき秘密と利点をあらわにするのであって、日常的な計算にも役立つというのは、その後のことなのである」と述べるように、この時点では、二進法の日常的への応用という観点は希薄である。

さらに、学問が、「何よりも諸々の事物のうちに、神が創造者であることの驚嘆すべきしるしを示す」ために用いられるのが最も重要だとする。そして、二進法こそが、「精神を神へと一層高める」ことのできる数学的学問だとする。つまり、ライプニッツにとって二進法は、日常への応用可能性よりも、すべての数を 0 と 1 とで表すことができるという点で、最も驚嘆すべき神による創造という奇跡とその神秘を示す根源性に価値がある。

6. ライプニッツの二進法研究③――二進法の応用可能性の問題

1701 年、ライプニッツは二進法の体系についての数学的研究を集約し、パリ王立諸学アカデミーに論文を提出した。しかし彼の期待に反し、二進法は実際上の応用可能性が疑問視され、アカデミーの秘書フォントネルからは良い評価が得られず、未出版に終わる。

---

18 図像は以下からの引用。Florian Cajori, “Lebniz's “Image of Creation””, *The Monist*, Vol. 26, No. 4 (Oct., 1916), 557–565.

19 Hans J. Zacher (ed.), *Die Hauptschriften zur Dyadik von G. W. Leibniz. Ein Beitrag zur geschichte des binären Zahlen Systeme*, Frankfurt am Main, 1973, pp. 225–228.（倉田隆訳、『ライプニッツ著作集 3 数学・自然学』1991 年、pp. 92–97。）

その論文「数についての新しい学問試論」[20]は、新しい算術すなわち二進法に関するもので、ライプニッツが二進法について書いた中では数学的に最も充実している。彼はそこで十進法の恣意性を指摘し、他の進法がある中で、「最も単純で最も自然な進法」として二進法を考え、その数論の発展への寄与を主張する。

二進法は 0, 1 しか道具立てがないので、その多様性は順序にしかないが、そこには至るところに感嘆すべき順序が支配しているとする。つまり、様々な数列が、0, 1 という二つの数記号による表現そのもののうちにその進行の規則を持っていることを洞察する。また、「この算法は、普段計算を行うのに必要なものでは決してないが、学問の完成には大いに役立つものであり、また、もっと精妙な計算を行うのにも大いに役立つものである」と評価している。さらに、二進法は、0, 1 という「最も単純な要素」のみから出発している点で、ライプニッツの普遍的記号法の理念にも適っている。この論文は数論に集中しているとはいえ、1696 年に得た「1 と 0 というあらゆる数の源と、神と無という万物の源との間の、二進法における驚くべき類比」にも言及している。

自然数を二進法で展開すること自体は簡単明瞭である。ライプニッツが独自に展開してみせたのは、様々な数列を二進法展開した場合に現れてくる桁の周期性であり、個々の数列の桁周期を一般的に計算する方法である。こうして、「もはや自然数そのものではなく、自然数列の周期が代数演算の対象となる」。ライプニッツはこの演算を、二進法の利点を十分に生かして明確に定義している。たとえば、自然数列の桁の周期から平方数列の桁の周期を一般的に決定する試みに成功している。すでに 1679 年の「演算規則を用いた解析計算の最要点」で、自然数の二進法展開に相当する、2 の冪乗数の冪指数順にアルファベットを対応させる代数方程式を出していた。~~すなわち~~つまり、ライプニッツは二進法の算術から二進法の代数、すなわち 2 進数算術の一般化にまで至っているのである。

ライプニッツはこの論稿をパリ王立アカデミーに提出したが、その反応はライプニッツの期待に沿うものではなく、結局未公表に終わる。フォントネルは賛辞を送ったが、「実際上の応用可能性は、数字が非常に長く並ぶという欠点を補うだろう」と付言した。

ライプニッツは、フォントネルらの反論が「試論」の目的にそぐわないとする。そして、「私は、二進法を普段の計算に用いることを勧めているのではない。二進法が様々な規則や方法を発見するのに最も適しているので、その発見のためにこれを用いることを勧めているのである」と応答した。そして、二進法の論文を出版しても、他の人々による数論研究における二進法導入への参加と進展は期待出ず、かえって非難されるだけと予測し、出版を控えるようフォントネルに申し出ている。「試論」の価値を、パリ・アカデミーでは正当に理解し評価してもらえない、とみなしたのである。フォントネルは、「試論」を掲載しないことに同意しつつ、二進法が何か重要な知識を提供することを示す応用例を提供するよう再

[20] Essay d'une nouvelle science des nombres. 26 Feb. 1701. 倉田隆訳、『ライプニッツ著作集 3 数学・自然学』、1999 年、pp. 177–190。

び付言している。これに対し、ライプニッツは「明白な効用を求めたがる大衆の好みには応じなければなりません」と述べている。

この応用の欠如に転機を与えたのが、ブーヴェからの手紙で光がもたらされた、二進法と中国の易経の六爻との類似性であった。これこそ、フォントネルと大衆を満足させる「明白な効用」に見えたのである。こうして、ライプニッツは短期間で「試論」の代わりとなる論文を書き上げ、~~この論文は~~1703 年に出版~~され~~した。

7. ライプニッツの二進法研究④――二進法と中国古代思想

そして、1703 年以降から晩年までの、二進法と中国の古代思想（伏羲の六四卦図）との類比である。ライプニッツは、宣教師として長年中国に滞在していた仏人イエズス会士ヨアヒム・ブーヴェ（Joachim Bouvet, 1656–1730）との往復書簡で、思いがけず二進法との関連性に気づく。それまで二進法を売り出す十分なアピールに欠けていたライプニッツは、二進法の応用可能性を伏羲の六四卦図に見出し、以降はこれとセットで自らの二進法を売り出していく。ライプニッツがブーヴェに二進法の発見について告げるのは、1701 年 2 月の手紙が最初である。

> 私が発明した新しい数値計算は、一般的な実践のためではなく、学知の理論のためのものです。なぜなら、それは新しい諸定理のための大きな領域を開くものだからです。とりわけこの計算は、創造主の見事な表現を与えます。つまりそれは、この方法によれば――すべての被造物が神と無のみから生じるのとほとんど同じように――すべての数は、単位（一）とゼロの混合によって書かれるということです。数学の中で、宗教の用途としてこれほど美しいと思えるものはありません。[21]

ここでライプニッツははっきりと、二進法が「一般的な実践のためではなく、学知の理論のためのもの」と述べている。また、1696 年の論稿と同様に、一なる神による無からの創造を象徴するものとして、宗教的な用途としても美しい数学であると説明している。数学史家のボイヤーらは、算術での二進法に対して神学的な見解を無理矢理当てはめているとしか評価しない[22]。しかし本稿では、ライプニッツ自身が二進法をどう評価しているのかを問題にするべく、二進法の宗教的用途についてのライプニッツの考えにも迫りたい。

1703 年 4 月、ライプニッツはブーヴェからの手紙で中国の伝説上の王、伏羲が創案したという六爻・六十四卦の配列図を入手し、二進法の応用としてその解読を試みている[23]。ラ

---

[21] A I, 19, 403; Leibniz, G. W. *Sämtliche Schriften und Briefe*, hrsg. von der Deutsche Akademie der Wissenschaften, Darmstadt und Berlin: Akademie Verlag, 1923–. [A]

[22] メルツバッハ＆ボイヤー『数学の歴史 II―17 世紀後期から現代へ―』、三浦伸夫、三宅克哉監訳、久村典子訳、朝倉書店、2018 年、p. 441。

[23] 「0 と 1 の数字だけを使用する二進法算術の解説、ならびにこの算術の効用と中国古代から伝わる伏羲の図の解読に対するこの算術の貢献について」、山下正男訳、『ライプニッツ著作集 10 中国学・地質学・普

イプニッツは伏羲の発明した実線と破線とからなる不思議な図形に二進法の計算がすでに現れていることに驚嘆する。「実線━は一つまり 1、破線--は零つまり 0」であり、この二種の記号の組み合わせに意味が対応される（図 2 参照[24]）。

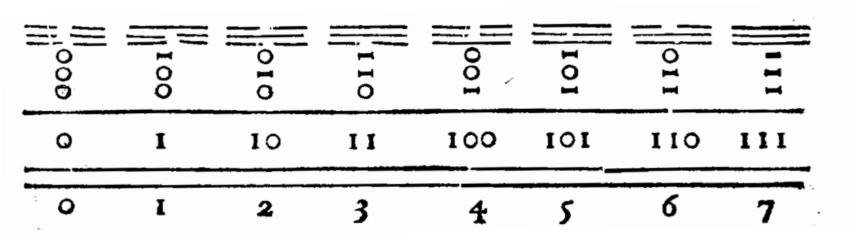

図 2

ブーヴェとの往復書簡における二進法と『易経』の六四卦の関係をめぐる考察は、『中国自然神学論』[25]に集約される。それは、ライプニッツ最晩年の 1716 年に書かれたが、彼の死によって未完に終わった。ライプニッツが伏羲の図に最後に触れたのが、この作品である。

伏羲の図は、爻（こう）と呼ばれる実線（━）と破線（--）の組み合わせから構成される。三爻で一つの記号をなし、それぞれ 2 の 3 乗＝8 通りの表現があることになるので、八卦と呼ばれる［すなわち、☰（乾）、☱（兌）、☲（離）、☳（震）、☴（巽）、☵（坎）、☶（艮）、☷（坤)］。この八卦を二つ組の対として組み合わせることで、六四卦が作られる。

ライプニッツは「この六四個の図形は二進法算術を示すのであり、偉大な立法者伏羲もそれを知っており、私は彼より数千年も後になってそれを再発見した」とする。伏羲の図との類似性を指摘したのは、ブーヴェ神父である。破線を 0、実線を 1 に置き換えると、二進法は伏羲の記号法と一致するからである。しかし、後代の中国人は六四卦を二進法的にとらえようとせず、神秘的なシンボルとみなしてきたとする。こうしてライプニッツは、古代の中国が宗教的側面だけでなく、科学的知識の面でも現代に比べて遥かにすぐれていたとみなす。このように、ライプニッツには、異文化にも優れたところがあり、理解に資すると考える学問的態度が見られる。他方で、伏羲の六四卦図に対し、自らの二進法の体系の数学的優位を誇ることも忘れてはいない。

ライプニッツはまた、自らが二進法を思い至った経緯について語っている。彼自身の説明によれば、エアハルト・ヴァイゲルの四進法の提唱が機縁となったようである。ヴァイゲルはライプニッツが若い頃の一時期に直接教えを受けたイエナ大学の数学教授であり、1673 年の『テトラクティス』で四進法を提唱した人物である。先の 1703 年の論稿では、10 進法

遍学』、1991 年、pp. 10–14。

24 図表は次の原典による。Godefroy-Guillaume Leibnitz. Explication de l’arithmétique binaire, qui se sert des seuls caractères O et I avec des remarques sur son utilité et sur ce qu’elle donne le sens des anciennes figures chinoises de Fohy. Mémoires de mathématique et de physique de l’Académie royale des sciences, Académie royale des sciences, 1703.

25 山下正男訳、『ライプニッツ著作集 10 中国学・地質学・普遍学』、工作舎、1991 年、pp. 15–90。

の代わりに、数学の改良の役に立つので二進法を使うことにしたと述べており、「こうした記数法が確立されればあらゆる種類の演算はきわめて楽に行える」として、その計算における有用性を評価している。ただし、「10 進法の代替として、二進法を奨励するつもりはない」ともしている。10 進法の有用性も指摘しつつ、12 進法や 16 進法がもっと便利だった可能性にも言及する。「しかし 0 と 1 だけを使う二進法は、長ったらしくなるという反面、数学にとってはきわめて基礎的な存在であり、これを基礎にして新発見をもたらすことができる」とするように、ライプニッツは二進法の有用性を数学の基礎に見ており、「実際、実用数学にはもちろん、純粋数学にも有用であることがわかっている」として、二進法表記がもつ周期性や、幾何数列を表現できることを例に挙げている[26]。

『中国自然神学論』での議論は広く、中国哲学と西欧のキリスト教神学や哲学の比較もなされている。ライプニッツは、中国の思想がキリスト教の教義に照らして異端であると断罪する神父たちを批判し、「寛大な解釈が必要」として、中国人の教説が「純粋無垢なるキリスト教」であるとまで述べている。ライプニッツはここでも 0, 1 のみから他の全ての数（自然数）が生成されるように、一者である神から万物が流出するという仕方で世界が無から創造されると考えるが、中国思想にも類似の神学を見る。すなわち、中国人が「万物は一である」としている思想に対し、これを額面通りに「神は万物の集合体にすぎない」などと受け取ってはならず、寛大に解釈して、一からの流出という意味にとるべきだとするのである。

> というのも万物は「偉大なる一者」である神が生み出す直接的な結果であり、神は万物を暖かく見守り、万物の器量に応じて自らの完全性を分かち与え、自らを万物の中に開示するのです。[27]

このように、ライプニッツは寛容なキリスト教者として振る舞っており、そこには異なる思想を読み込むよりも、できるだけ共通点を見出していく姿勢が伺える。ライプニッツ自身はプロテスタントだが、カトリックとの調停を長年に渡り試案した経緯がある。

二進法でライプニッツが感銘を受けた第一の点は、0, 1 のみから他の全ての数が生成される、その単純性にある。彼は、あらゆる概念を、できるだけ少ない要素的な概念とそれに対応する記号から、ある種の計算法によって形成しようとする「普遍的記号法」を計画したが、ライプニッツには初期からそうした唯名論的な傾向が見られる。ライプニッツが二進法に惹かれたのは、数学的観点にとどまらず、彼の宗教的信念とも深く関わっている。しかし、彼が厳格なキリスト教信者であったならば、他の宣教師たちと同じように、キリスト教的な視点でしか中国思想を見ようとしなかったであろう。ライプニッツには宗教的信念より広~~いも~~普遍的な、学問の進歩という観点と、あらゆる事物に真理の反映を見る態度がある。それは各々のモナドが、まるで宇宙の鏡のように、それぞれのパースペクティヴから宇宙を表

[26] 同前、p. 11。
[27] 同前、p. 38。

現している、というモナド論の哲学である。ライプニッツは、二進法という数学理論の思想的反映を、それぞれキリスト教と古代中国思想に見たのである。

ライプニッツは『中国自然神学論』でも二進法によってすべての自然数を表すことができるとして表を示し、それぞれの桁の縦列が一定の周期をもつことを強調している。そして周期に着目することで、「どんな計算もやらずに自然数の表を完成することができる」とし、これを「列挙法」と名付けている。また、二進法における加減乗除についても簡潔に説明している。加法で「もし位が繰り上がる場合には、点を書き込む」としているのは、最初の草稿『ディアディカ』を踏襲している。たとえば、1111_2+1_2は次のように計算される。

　１１１１
　・・・１
１００００

ライプニッツは、減法や乗法、除法も二進法では計算が容易であって、九九の表が不要であるなど記憶的負担の観点から評価できるとする。しかし彼は、二進法を単に~~有用性の~~局所的な観点から評価していたのではない。むしろ、「二進法体系の主たる効用は、数の科学を完成するのに大きく貢献するという点にある」と主張しているように、「学問の完成」というより普遍的な観点から二進法の価値を見ている。そして、二進法が数論の完成に大きく貢献するとした理由としてライプニッツは、「すべての計算は周期性にもとづいて行われる」という数論そのものへの純粋な有用性を挙げている[28]。

ライプニッツは二進法が持つ理論的な価値をすでに 1679 年に見出していたが、応用可能性を含む有用性を十分に示すことができず、パリ王立諸学アカデミーに提出した二進法に関する論文の出版を見送った。そこに偶然出会った古代中国の思想が、晩年のライプニッツに二進法の数学的価値をアピールする思いがけない契機を与えたことは確かである。しかし、ライプニッツが中国思想との比較を強調~~したり~~するのは、自ら確立した二進法の体系の PR 以上のことがあると考える。それは、学問論の観点である。

8. 考察

ライプニッツの二進法に関する純粋な数学的探究と、キリスト教や中国古代思想とのアナロジーをどう評価すればよいだろうか。ライプニッツの二進法は、その数学的内容が独立に評価されることはあっても、アナロジーそのものによって何か新たな学問的成果が生み出されるわけではなく、両者を結びつけて深く検討されることはなかった。またライプニッツの二進法を現代のコンピュータの思想的起源として安易に位置付ける見方は、アナクロニズムとして批判されよう。結果を見れば、ライプニッツの二進法論文は、その応用可能性

[28] 同前、p. 89。

を低く見積もられ不首尾に終わった。無論、それから 200 年後に、二進法が現代のコンピュータの基礎として採用されようとは思いもよらない。ライプニッツは、二進法の大いなる将来性について何らかの予感を持っていたことは確かだが、それを明確に示せなかった。

しかし、ライプニッツの実際の主張を見ると、ライプニッツがより普遍的に学問論の観点から二進法を評価していることがわかる。また、最初期の段階には四則演算ができる二進法計算機も構想しており、現代のコンピュータの思想的起源は言い過ぎとしても、ライプニッツに計算機への応用の観点がなかったとする見方も性急であることがわかる。計算が容易になるなど、実際的な有用性の観点も彼は持ち合わせていたが、それが主眼ではない。ライプニッツは二進法を１０進法に代わって一般的に導入することを意図していない。ライプニッツは、先の 1696 年の論稿をドイツ語に書き改めた版で、「この新しい方法が、知識を得たり考えたりするのに適しており、また数の中に美しいものを見ることができ、それはその後、一般的な算術にも応用できる」と述べている[29]。

ではライプニッツは二進法にどのような価値を見たのか。ライプニッツは、二進法がもたらす周期性や単純性に、数学的な美しさや規則性の発見による知識の向上を見ており、実際的な有用性の観点からよりも、学問的価値という学問論の観点から二進法を評価している。

キリスト教神学や中国古代思想とのアナロジーも、数学や神学、中国哲学という個々の分野の観点から見たら特に何の益もないであろうが、ライプニッツの学問論の観点から捉えるとしっくりくる。ライプニッツが、自らが確立した二進法の体系の単なる PR のために古代中国思想との比較を強調したと見ると、非常に浅く思われてしまいがちだ。しかし、ライプニッツは二進法の効用を、数に関する「学問の完成」、そして二進法自身が示す周期性や、宗教的思想とのアナロジーによって事物の秩序と調和を見出すところに、学問的探究の目的を見ていた。「人間の知識の最も崇高な目的は、それが私たちを神へと導くことであるはずだから」[30]。ライプニッツは学問的探究において、そこに事物の秩序と調和、そして神の栄光や奇跡の何らかの反映を見出すことによって人間精神を高めることを、人間の知識の最大の利益と考えたのである[31]。このことを踏まえると、より深いところにライプニッツの二進法計算の研究が根ざしていたと考えられる。

すなわち、ライプニッツは二進法の数学に、何よりも学知の進展と学問研究の美しさを見たのだ。彼の有名な言葉として「理論は実践を伴う（theoria cum praxi）」がある。それは、確かな理論には必ず応用も付き従うという考えだ。しかし現実では、理論よりも目先の応用にばかり目が行きがちだ。ライプニッツが二進法の研究で陥った状況は、応用科学に肩入れし基礎科学を軽視しがちな現代における学問評価の状況と重なる部分がある。学問の価値を応用可能性にばかり求める論調が強い昨今、学問研究の真の有用性とは何か、改めて考えさせられる。

---

29 Zacher (ed.), *op. cit.*, p. 233.

30 *Ibid.*

31 *Ibid.*, 235