数理解析研究所講究録 1317 巻 2003 年 91-107

中国の数学史研究：回顧と展望

曲安京（著）
西北大学数学系，中国，西安，710069
城地茂（訳）
国立高雄第一科技大学応用日語系，台湾，高雄，824

はじめに：本稿は、英文による 2002 年国際数学家会議の基調講演としての発表したものに加筆訂正したものである。[1]

科学史は、ひとつの大きくもあり、小さくもある学問分野である。一方では、その研究対象は、歴史にまたがり、学科にまたがりそして文化にまたがる極めて広汎な時空に分布している。

他方、それを専門とする研究者は、相対的に極めて少ない。すなわち、大多数の科学史家とは、科学史を好み、自らの第二専攻としているものである。この現実は、科学史専攻が発展し、独立した学問領域になる上で、大きな障害となっている。

したがって、特に専門のパラダイムが必要であり、つまり、科学史界の内部にあっては、科学史家が皆自覚し、あるいは遵守するパラダイムが成り立つべきであることは、言わずもがなのことである。

しかし、すべての国家や地区の科学史界がすべてパラダイムを具備しているというわけではない。科学史界はパラダイムが必要であり、以下の２つの条件を満足させなければならないだろう。

まず、権威有る科学史家が明確な、科学史の研究方法を提唱しなければならない。同時に、傑出した、志を同じくする科学史家たちが、この方法の指導の下で邁進しなければならない。彼らは、科学史事業の共同信念を抱き、この信念は彼らを共同の方法論に導き、共同の基本問題を探求する事になる。彼らの権威性は、そのほかの科学史に関連する人々を従わせ、模倣させる事になる。これらを無視あるいはこのパラダイムの束縛を顧わない人々は、多分、科学史界の「主流」から排除されることになるだろう。

1970 年代以前、中国数学史界の権威と言えば、李儼と銭宝琮であろう。厳敦傑と杜石然は、彼らの協力者の中で傑出した研究者の代表である。1970 年代以後、呉文俊が新たな権威となった。彼の周囲で活躍した数学史家には、白尚恕、李継閔、李迪、沈康身、李文林、郭書春、更に劉鈍、羅見今、李兆華など傑出した学者たちがいる。彼らは、100 年来中国数学史界の二度の異なった運動を起こし、一度のパラダイムチェンジを成功裏に遂行した。我々は、この本文を記述するに当たって、一つの特定の角度より、これらの先駆の数学史家の中国数学史に対する研究の奮戦経過と偉大な貢献を反映させることになるだろう。つまり、数学史研究方法論について言えば、中国では下記のようなパラダイムチェンジが発生した。これは、世界の数学史界にも先例のないことである。したがって、我々の結論を価値あるものとしている。

中国でこの種のパラダイムのチェンジが発生したのは、世界数学史界でも前例のないもで、非常に我々に興味と結論を示唆している。

中国科学史学科の創立者は、李儼と銭宝琮であるが、彼ら二人の主な立場は数学史家で

ある。したがって、数学史は中国科学史の中で最も早く発展し成熟した分野である。その盛衰は、すべての中国科学史界の発展に重大な影響を与えている。李儼と銭宝琮のパラダイムは、現在まで他の中国科学史の領域で支配の作用を発揮している。

20 年来、中国の数学史研究は、呉文俊パラダイムの提出により一つのピークを迎えた。さらに呉パラダイムを進め、東アジア科学史の他の領域(たとえば、東アジア古代数理天文学)の反映に対し、積極的な促進作用を引き起こしている。

中国における数学史研究の回顧と展望に対し、すべての東アジア科学史研究の回顧と展望は我々の手助けになるに違いない。東アジア科学史(数学史を含む)研究は、今、相対的に谷間にあるだろう。科学史家は迷い、共同性、興味、研究に値する課題を欠いている。筆者は私の軽薄な努力が、関心や科学史研究に従事する同志の興味を引き起こし、ともに東アジアの科学史事業が繁栄し、発展に奮闘する事を希望する。

1. 緒論

現代科学知識を背景とした数学史研究が中国で起こったのは、20 世紀の初めである。100 年来、すでに数百名の学者が職業として数学史研究に従事している。彼らは、豊かな研究成果をあげ、徐々に、中国古代数学学上の種々の迷霧をはらし、籠につみ取るだけではなく、十分に中国伝統数学の特徴を明らかにし、人々に一幅の完璧に近い東アジアの伝統数学の絵を描き提供した。彼らは、1949 年の中華人民共和国建国以前、中国数学史界は基本のに散発のなアマチュア研究の状態であり、専門の学術刊行物もなく、プロの数学史家も、更には専門の数学史研究機構もなかった。1950 年代以後、中国科学院に専門の国家レベルの研究機構が設立された。併せて科学史の学術雑誌が編纂発行されるようになった。特に 1978 年以来、中国の高等教育機関では続々と数学史研究センターが設立され、数学史の修士、博士を養成した。

20 世紀中国の数学史研究では、波のように高潮–谷間–高潮–谷間と経過した。

その中の２度の高潮は、２度の特徴が鮮明な運動を形成している。李儼(1892-1963)と銭宝琮(1892-1974)が第一次運動のリーダーである。「発見」で歴史上どのような数学を「発見」したかが特徴である。その高潮は、1960 年代中ばまで持続した。

呉文俊先は、1970 年代末から第二次運動を起こした。古いパラダイムから歴史上の数学がいかにできあがったかを「復元」したのである。その高潮は、1990 年代中ばまで続いている。

「発見」と「復元」は、20 世紀中国数学史研究の二つの大きな主題である。本稿では、具体のな研究実例を通じ、この二つの言葉の持つ中国数学史研究の中での意味を説明しようと思う。この二つの特徴の概括と分析を通じ、一つのモデルをつくり、李銭運動と呉運動の中国の数学史研究に対する深い影響をを説明する。

我々は、このモデルを通じ、このふたつの現象を解釈できることを希望している。すなわち、なぜ、中国数学研究は 1970 年代初めと現在の谷間が生じたのか?(あるいは、なぜ中国数学研究は２度のピークを形成したのか?)なぜ、大多数の中国数学史家は、自己の研究対象を中国伝統数学に集中させているのか?である。

我々は、これら重要な現象の解釈が、我々の歩んできた道を更に明確に理解し、我々の業績を考え、我々の限界を発見する一助だけではなく、我々の未来の展望の助けになると信じている。

2. 「発見」: 第一次運動の主題

中国古代に数理科学があったのか？もし、ないのなら、それはなぜか？もし、あるのなら、何があったのか？これらの疑問は、20 世紀の初め、多くの現代西洋科学教育を受けた中国学者が注目したものである。たしかに、これらの疑問は彼らの中国古代数学史研究の動力にはなった。疑いなく、数学史を中国に作った二人の共同創始者、李儼と銭宝琮は、第一次運動の代表の人物と見なされている。彼らの牽引した運動の特徴は、中国古代には一体どのような数学が創造されていたのかを「発見」することだった。「発見」が、李銭運動の特徴である。我々は、彼らの研究と関係のある２つの実例を通じ、具体的に「発見」の数学史研究での意義を解釈したい。

2.1 内插法

内插法は、中国古代数理天文学中で創造し、使われた主要な数値計算方法である。206 年、劉洪の『乾象暦』で、すでに区分線形挿値関数を構築することによって月の不均等運動を計算していた。

6 世紀に、張子信が太陽の見かけの運動と惑星の公転の不均等性現象を発見した後、天文学者は、不均等二次内挿法の運用を開始していた。それは、その中心差の計算であり、また任意にあたえられた時間の内惑星の公転（或いは太陽の見かけの運動）の実際運行距離と平均運行距離の差でもあった。

この計算が最も早く現れるのは劉焯の『皇极暦』（600 年）である。唐代の僧、一行(683-727)の編纂した『大衍暦』(724 年)では、太陽の見かけの運動の中心差を計算するために、以下のような二次関数を得ている：

$$f(x)=\frac{x}{n_1}\times\Delta_1+(1-\frac{x}{n_1})\times\frac{x}{2n_2}\times\Delta^2 \tag{1}$$

ここで、$0\le x<n_1$ 日とする。これは一回帰年を二十四節気に分けたとき、n_1 と n_2 はそれぞれ隣り合った２つの節気の長さを表している。 関数 $f(x)$ は、求める節気の第 x 日の太陽の見かけの運動の中心差を表している。Δ_1 と Δ_2 は常数である。それぞれ、分別表示太陽がこの２つの節気（n_1 と n_2）の運動過程での実際に進む度数と平均に進む度数の差の値を表している。つまり、太陽の見かけの運動がこれら２つの節気での中心差である。単位は、「度」であり、1 「度」= 360° /365.25 である。関数（1）中の二次の差分は、：

$$\Delta^2=\frac{2n_1n_2}{n_1+n_2}(\frac{\Delta_1}{n_1}-\frac{\Delta_2}{n_2})$$

になる。

関数（1）が、有名な一行の「不均等二次内挿法公式」である。

(1) 式中の $n_1=n_2=n$ とすると、すなわち、公式中の二次差分は、$\Delta^2=\Delta_1-\Delta_2$ となり、ここで得られた関数は、劉焯が『皇极暦』で用いた「等差二次内挿公式」と同値である。明らかに、劉焯の公式は一行公式の特例である。

劉焯と一行は、各自の暦法で、内挿関数の使用を始めていた。これらは、すべて文字の描写によるものであった。これらの計算を代数符号で表現すると関数（1）の形式にするには、定まった転換が必要になる。これらの暦法では、すべて各王朝の青史の歴史文献、正式の二十四史の「天文律暦志」の中に収録されている。したがって、ページの節約のため、各種算法の構造思想の概説にとどめ、算法自身の記述も「マンネリ」の省略された文があるだけである。それ以外にも、代数符号のなかった時代、先人はその算法を記述するために、特殊な専門術語を並べている。これらの術語は当時の天文学者の「常識」であり、往々にして他らの定義を省略している。中には、ほとんどの暦法では、全部、自己の術語を作り出していることである。客観的にみて、前後２つの暦法の算法システムの伝承の系譜は、極めて曖昧である。これらの原因で、後世の歴史家が古代暦法を初めて渉猟する時に、一種の非常に好ましからざる印象を与えている。中国古代の数理天文学はほとんどすべて、非論理的で、取り留めのない算法の羅列である。したがって、17 世紀以来、絶え間なく多くの中国と日本の学者は、今に伝わる大量の中国伝統暦法の発掘と保存のために努力してきた。その中には、清代の梅文鼎、李锐、李善蘭、「和算之父」関孝和ら暦算の大家が含まれている。

関数（1）は、早くも、明清代の中国と日本のこれらの暦算学家の知るところとなった。ただし、劉焯と一行の太陽中心差計算法と現代数学の内插法の関連させたのは、現代科学史家の薮内清(1906-2000)である。

中国伝統暦法をテーマとする博士論文で、薮内清は、劉焯、一行の計算法は、それぞれ「等間隔二次内插法」と「不等間隔二次内插法」であるとした。彼は一行と劉焯の関数（1）をガウスの内插公式に変換することを通じて、劉焯と一行の算法はそれぞれガウスの等間隔と不等間隔内插法と等価であるとした。[2]

薮内清の発見の 10 年余り後、李儼は一冊の中国古代暦算家の内插法を詳述した著作を出版した。その中で、李儼は、一行と劉焯の関数（1）を変換するとニュートンの内插公式になることを述べている。つまり、劉焯と一行の計算法は、それぞれニュートンの等間隔と不等間隔内插法と等価であるとした。[3]

現代数学の内插法の定義によれば、$n+1$ 個の異なる実数点上に、一つの実値関数 $f(x)$ の値 x_k:を定め f_k（$k = 0, 1, 2, \cdots\cdots n$），とする。これらの関数値 $f_k = f(x_k)$ を利用し、x 点上の関数 $f(x)$ をもとめる方法、すなわち、これを内插法と称している。

内插公式は、多くの異なる形式で表すことが出来る。例えば、Lagrange 内插法、Aitken 内插法、Newton 内插法、Gauss 内插法、Stirling の内插法、Bessel 内插法，それに Everett 内插法などである。これらの内插法の区別は、その構築方法の差異にある。したがって、我々が選択した一組の插值点 x_k が同じだとすると、どの方式で構築した插值関数もすべて互に変換が可能である。

劉焯と一行の関数（1）について言えば、証明は難しくない。

$$f(0) = 0, \quad f(n_1) = \Delta_1, \quad f(n_1 + n_2) = \Delta_1 + \Delta_2$$

ここで、$x = 0$、n_1、$n_1 + n_2$ は、関数 $f(x)$の三個の插值点と見ることができる。この結果はすでに見たように、関数（1）は、一つの二次挿值関数である。したがって、それを転換するとガウスの二次内插公式や、或いは、ニュートンの二次内插公式の形式になることは明かである。

これが、薮内清が提起したように関数（1）はガウス公式と等価で、李儼がニュートン公式と等価とした原因である。しかし、実際上，内插法の定義によれば、劉焯と一行の内

插法，は、ガウスやニュートンのものではない。

藪内清と李儼の貢献は、彼らは、この事実を「発見と掲示」したことである。つまり中国古代天文学者が二次内插法を発明し使用したことである。古代暦法で、計算法と現代数学の公式と関連させたものが、彼らの「発見」である。この種の「発見」は、非常に貴重で得難いものである。因为，関数（1）が一種の二次内插公式であることを実証し、この関数の中国古代数理天文学中の数学意義を「発見」したのである。ここから劉焯と一行が発明したこれらの計算方法の数学価値を「掲示」したのである。

しかし、この種の内插法がいったいどのような構造なのか？という問いには答えていない。

2.1 重差術

重差術は、中国古代数学家が、高く、遠く、深い目標を測量するために創設した方法である。この方法は、いくつかの矩（さお）や表（ノーモン）を利用する。観測者で観測地これらの固定した矩や表の観測を通じ、目標に対して測量を行うのである。これらの矩尺や表の影で読みとった数値によって、「帯入相応」計算公式によって、目標の距離や高度を計算できる。この類の計算公式で、つねに、いくつかの読みとった数値に差が出てくる。したがって、重差術と称せられている。魏晋の大数学家劉徽が編纂した『海島算経』(263AD)は、重差術を専門的に論述した数学の専門書である。

すべての重差類の問題で、最も簡単で、最も基本的な一つの公式がある。これが所謂「日高術」である。

「日高術」は、名称から顧みて、先人が太陽高度の測量に用いたものである。日高公式の最古の記録は『周髀算経』(B.C.100年ころ成立）である。伝説によれば、周朝（紀元前11世紀ころ）では、天文学家たちは、正南北方向に２本の８尺高の表を立て、正午に水平面上から太陽高度を測量した。後世、『周髀』の注釈に「称：表は、即ち髀なり；周髀は、即ち周朝が用いる太陽高度を測望する表を指す」とある。

図１のように、HI を太陽 H の水平高度とする。AB と CD は、観測地点の正南北方向上に直立した２本の表である。AE と CF はそれぞれ表 AB と CD の影の長さを表している。既知の表間距離 AC とすると、 すなわち『周髀算経』には、下記の公式で太陽の高度が計算できる：

$$HI = AB + \frac{AB \times AC}{(CF - AE)} \tag{2}$$

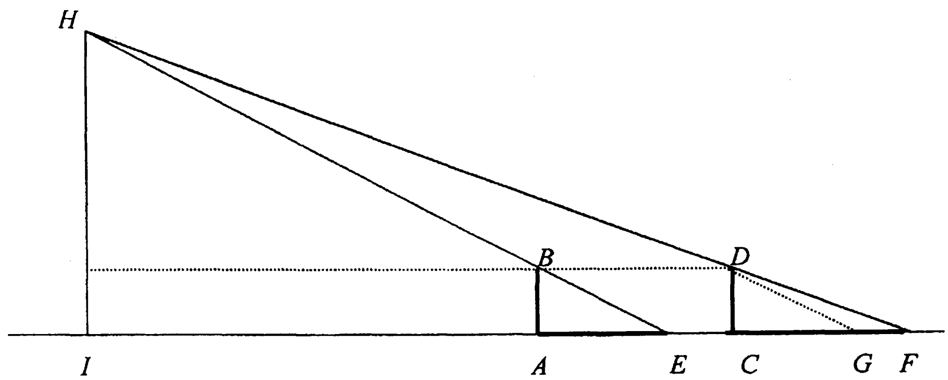

図 1. 日高図

公式（2）も劉徽が海島の高度を計算するために用いたもので、『海島算経』の最初の問題の算法の中に記述されている。『海島算経』のその他の問題の算法はみな公式（2）に比べて複雑になっている。そのうち、いくつかの問題では、四本の表を用いている。唐代の『芸文志』によれば、劉徽は、これらの公式を導くために、「相応の図式」を描いたことが知られている。ただし、これらのものは、散逸してしまっている。現代に伝わる『周髀算経』では、一幅の三国時代に趙爽が『周髀』に注を付ける時に描いた日高図が保存されている。残念ながら、時代とともに、この図もすでに全く異なるものとなってしまった。

趙爽の「日高図注」によれば、人々は公式（2）が導けるだけではなく、彼は日高図を利用して公式（2）を証明したことが分かる。したがって、明清以来、数学史家は、公式（2）を証明するために、多くの趙爽日高図復元案を提起した。銭宝琮は、『算経十書』を校注した時に、「趙爽注重絵」による日高図が典型的なものである。彼は、図 1 に一本の *DG* と平行な線分 *HE* を加えた。図 1 を利用し、人々は簡単に公式（2）が証明できたのは確かである。[4]

銭宝琮の目的は、日高公式（2）が重差測量理論中の一つの基本的な、有効な算法であることを説明することである。言い換えれば、彼の主要な興味は彼が「復元」した日高図（図 1）を通じて、『周髀算経』の日高公式（2）が正確であることを説明することである。したがって、彼の「発見」は、「赵爽注重绘」による日高図 1 であって、非常に明快にこの目的に達することができた。

このような手法は、当時いかなる異議も生まれず、そのため、これは数学史家の「ルーチンワーク」となり、普遍的に採用される研究方法となった。

この簡単な例によれば、数学史家の主要な目的はある方式を「発見」し、公式（2）の正確性を証明することだった。したがって、往々にして彼らの「発見」したある種の歴史上の真実性は無視された。この種の意図しない「粗忽」さが、数学史研究中に現代数学概念と符号を乱用し、古代数学の成果を解釈しようとする傾向に到った。

1970 年代の後半、一人の数学者が、方法論上から、この種の研究方法に鮮烈な批判を提起することによって、中国数学史研究の第二次運動の号砲が鳴り響いた。

3. 「復元」: 第二次運動の主題

李儼と銭宝琮運動の主題は、歴史上どのような数学があったか、特に、中国古代にいかなる数学が創造されたかを「発見」することだった。所谓、数学史研究中の「発見」は、現代数学の概念と知識が運用され、歴史上のまだ知られていないか、あるいはよく知られている歴史文献の数学意義の掲示、内容の解説、計算方法の再構築や定理、公式、計算方法の正確性の検証であった。

李・銭運動の時期に、一篇の創造的な数学史の「研究」論文は、必ず「発見」があった。あるいは、劉焯と一行の関数（1）がガウスやニュートンの内插公式と等価であるという発見であり、あるいは『周髀算経』中の日高公式（2）が正確であるという発見であり、これらの類だらけであった。

20 世紀の 70 年代末、呉文俊は、数学史研究の「古証復元」の思想を提起した。これによって、中国数学史研究は、新たな段階に踏み入れた。

呉文俊が提起したこの運動の主題では、数学史研究を、歴史上どのような数学を「発見」したことから、これらの数学が如何に作られたのか「復元」することに拡張された。たしかに中国の数学史家はこれ以前にも、彼らの発見した歴史上の数学業績に対し、前後関係を子細に整理することは行っていた。しかし、通常、使用する方法は、これらの業績と現代数学の中で、どれに相応するのか、あるいは検証することだった。

呉文俊は、銭宝琮の日高公式（2）に関する「復元」方法の批評を通じ，彼の新しい数学史研究路線を提起した。呉は、中国伝統数学では、基本的に線分の平行性からいかなる数学の命題も論証しないと論じた。したがって、銭宝琮が、図１のように線分 HE の平行線 DG でを加えて、公式（2）を証明する方法は、根拠が無く、数学史の角度から見て、この証明は、一つの「錯誤」した証明とした。それは先人の原始的な証明思想と符合しないからである。

詳細な分析と歴史上各種の中国古代重差算法に関する研究を評論した後、呉文俊は、以下のように指摘した：

> 我々は、多くのページを割いて、後世の「海島公式」の各種証明を列挙することを惜しまない。彼らの不適当な部分を指摘し、併せて、個別の、如えば、楊輝、李儼の議論を除き、これらの証明は、特に代数符号を乱用したものは、すべて「間違い」であるか、ないしは、これらの間違った方法は、大多数の数学史著作の中にあふれているので、古代数学の実情を投影させていないばかりか、全く異なったものである。多くのバビロニア神話、インド神話やディオファントス神話が生まれたのは、これが主な原因の一つであると強調した。[5]

呉文俊は、現代数学概念や方法を用いて古代数学の正確性を検証したり説明するのは数学史研究の目的ではないと強調した。数学史家は、歴史上のこれらの数学が究竟どのように出来たのかを重ねて「復元」する必要がある。そして、論文「『海島算経』古証探源」で、呉文俊は、明確に「古代の証明の「復元」には、以下の３つの原則」があることを提起した。

> 原則１，当時のその場所の数学の発展の実情と符合することを証明するには、現代やその他の場所の数学業績や方法を使ってはならない。
>
> 原則２，史実史料に準拠し、憶測をしてはならない。
>
> 原則３，自然に求められた結果や公式使い、予測した結果や不合理な人為的作為を用いてはならない。[6]

呉文俊が言うように、李・銭パラダイム中のこれらの誤った数学史研究方法は、中国数学史家の著作に散見される。それは確実に、「大多数の流行数学史著作の中にあふれている」。したがって、1986 年の国際数学者会議の基調講演で、彼は、上述の原則を一歩進め簡略化した２条の数学史研究に遵守すべき基本原則を出している。[7]

それでは、呉運動中の「復元」と李銭運動中の「発見」の実質的な差は、究竟どこにあるのだろうか？我々がすでに見た中国古代の内插法を例にとって，具体的な説明をしよう。

劉焯と一行の函数（1）は、はたして如何に構成されたのか？これは、藪内清と李儼の「発見」に残された一つの問題であった。また、まさに新しい運動の注目するテーマである。この問題に答えるために、まず、内插法が中国に出現した歴史的史背景を探求しなければならない。

周知のように、公式（1）は、太陽の見かけ運動の不均等を処理するために発明された。724 年、僧・一行は、その『大衍暦』で言及しているいくつかの天文学理論の背景問題を説明するために、とくに一篇の文章を編んでいる。題は、『大衍暦議』である。この文章『新唐書』「暦志」に収録されている。その中で、比較的詳細に当時までの太陽の見かけの運動理論の中国での歴史的沿革が記述されている：

北斉張子信積候合蝕加時，覚日行有入気差，然損益未得其正。至劉焯，立盈缩躔衰術，与四象升降，『麟德暦』因之，更名躔差。……焯術于春分前一日最急，后一日最舒；秋分前一日最舒，后一日最急。舒急同与二至，而中間一日平行。其説非是。[8]

北斉の張子信は、観測をつづけ、合蝕加の時、太陽の運行に節気ごとに差があることを発見した。しかし、遅速は正しくなかった。劉焯になると、「盈缩躔衰術」をつくって、四象の升降をさせた。『麟德暦』は、そのため名を躔差とあらためた。……劉焯の方法では、春分の前一日が最も急で，後一日が最もおそい；秋分の前一日が最もおそく、後一日が最も急である。緩急は、冬至夏至と同じである。そして中間の一日は平行である。其の説は間違いである。

一行の記述に寄れば、だいたい 560 年，北斉の天文学家張子信は、太陽の見かけの運動が不均等であるという現象を発見した。劉焯が編纂した『皇极暦』(600 年)の時、すでに計算法によりこの問題を処理することが始まった。一行の理解によれば、劉焯は、太陽の見かけの運動の速度変化のモデルを如図 2 のように示した。図中の点線 v_0 は、太陽の見かけの運動の平均速度を表している。このモデルで、, 太陽の見かけの運動速度の変化は相当奇怪な不連続状態を示している。これは明らかに不合理である。一行は、劉焯の批判が正確だとした。彼は、さらに進め、太陽の見かけの運動速度変化の合理的モデルをしめした。:

凡陰陽往来，皆馴積而変。日南至，其行最急，急而漸損，至春分及中而后遅。迨日北至，其行最舒，而漸益之，以至秋分，又及中而后益急。急極而寒若，舒急而燠若，及中而雨煬之気交，自然之数也。

月日の行き来は、みな積に適応し、変化する。太陽が南にくれば、その動きは最も速く、速度はだんだんおそくなり、春分で中間で、その後遅くなる。太陽が北へくれば、その動きは最もおそく、だんだん増して秋分で中間になり、その後速くなる。速さが極まると寒くなり、遅さが極まれば暑くなる。中間は、雨と煬の気が交わり、自然の数になる。

一行の描写によれば、太陽の見かけの運動の速度変化は図 3 に示されたようになる。図 2 から図 3 で、隋唐期に太陽の見かけの運動理論の進展を見ることができる。劉焯は、図 2 で、描いた太陽の見かけの運動速度のモデルは、確かに対称であるが、不連続で、このように奇怪な速度変化曲線は、隋末唐初のいくつかの暦法にだけ現れている。その他の文明の天文学でも、見られないものである。この種の不合理なモデルの出現は、当時の天文

学家の観測水準を反映しているというでけではなく、一行が図 3 で描いた太陽の見かけの運動速度変化モデルは、明らかに劉焯のモデルに対し、理論上、合理化的に修正している。

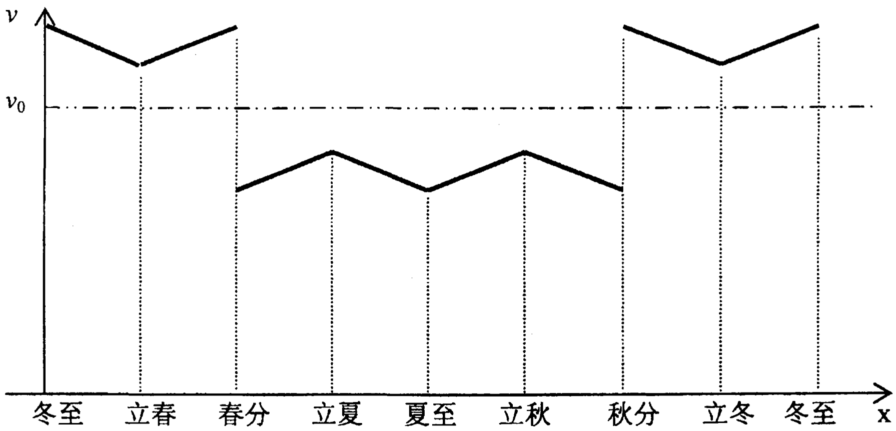

図 2. 『皇极暦』(600 年)の太陽の見かけの運動速度モデル

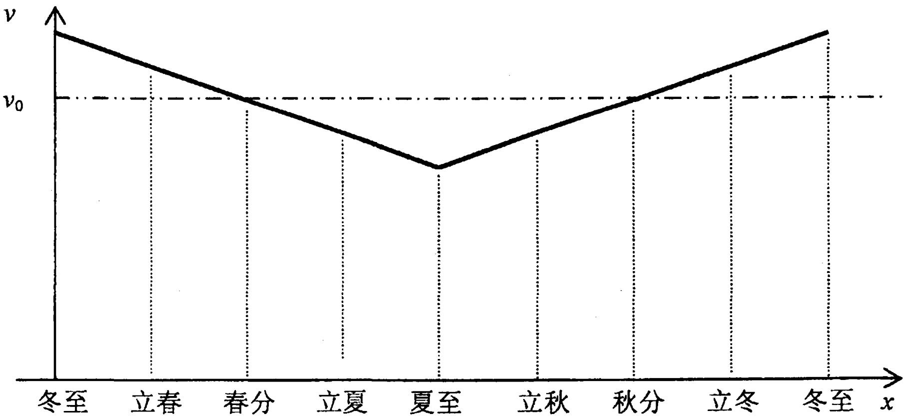

図 3. 『大衍暦』(724 年)の太陽の見かけの運動速度モデル

一行の論述によれば、我々は、当時の天文学者が太陽の見かけ運動の中心差の計算法をきめる時、みな太陽の見かけ運動速度の変化描写に基づいて提出しているのがわかる。この点、彼らの插值公式 (1) の構造思想が非常に重要であることが我々に対して明確になる。

劉焯と一行の計算法の違いは、主に回帰年の区分上に現れている。劉焯の算法では、回帰年は、二十四節気に等分され 24 段になっている。一段毎の長さはみな我々が熟知している一平気の長さである。一行の算法では、黄道が等分され 24 段になっている。一段が 15° である。太陽の見かけの運動が不均等性なので、したがって、太陽が一段ずつ過ぎる時間は不同である。この時、太陽が黄道上の一段毎を過ぎる時間の長さが、我々が熟知する定気の長さである。

平気で一回帰年を区分しても (劉焯)、定気で一回帰年を区分しても (一行), 暦法家たちはみな一節気毎一つの二次插值関数を公式 (1) のように構築し、太陽の見かけの運動

の中心差を計算に用いた。冬至から春分の間の三つの節気を例にしてみよう。劉焯と一行は、どのようにその插值関数（1）を構築したのか説明して見よう。

図 4 の示すように、$OM = n_1$ 日，$MN = n_2$ 日，とし、それぞれ冬至から小寒、小寒から大寒の時間を表すとする。劉焯の『皇极暦』によれば、$OM = MN = n$ 日なので、一つの平気の長さを表している；一行の『大衍暦』では、$OM \neq MN$, なので、それぞれ一つの定気の長さを表している。

四角形 $OBCM$ の面積$=\Delta_1$、四角形 $MEFN$ の面積$=\Delta_2$。Δ_1 と Δ_2 は、暦法中にある二つの常数である。それぞれ、冬至到から小寒（OM）、小寒から大寒（MN）の間の太陽が実際に進む度数と平均行度の差を表している。点線 OMN は、太陽の平均速度を示している。図中の折線 BC、EF・・・は、それぞれ太陽が各節気の内での平均速度を表している。数学上から言えば、この方法は、一種の区間線形挿値に相当する。

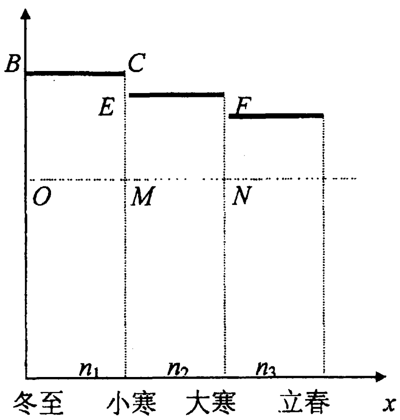

図 4. 線形插值

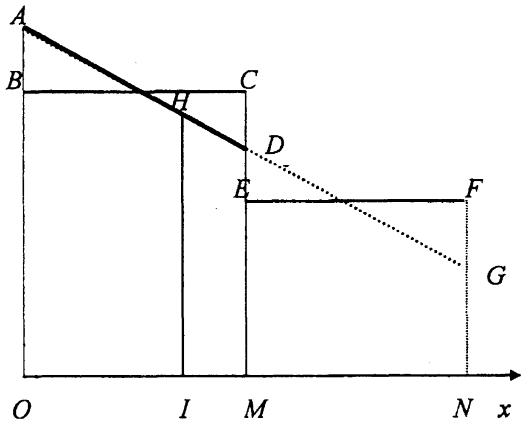

図 5. 二次插值

劉焯と一行の基本思想は、如何に太陽の見かけ運動の速度曲線を表すかにある。図 4 中の折線 BC、EF・・・の状態から，一本の逐次変化する斜線に転化する。为了使最终的に得られた太陽の見かけの運動速度が隣り合う二つの節気の間を微分可能な連続にするため、彼らは、隣り合う二つの節気の太陽の見かけの運動中心差、常数Δ_1（本気）とΔ_2（次気）を巧みに利用した。本気（OM）上に一つの二次插值関数（1）を構築した。

劉焯と一行の構想を明確に説明するために、我々は、図 4 中の多角形 $BCEFNMO$ を取り出し、図 5 に示すように、BC と EF の中点を通って、一本の斜線を引き、OB との延長線上に交わる点 A, と EC との交点 D とする。ここで、冬至から小寒まで、太陽の見かけの運動の中心差Δ_1、四角形 $BCMO$ と同じ面積の台形 $ADMO$ に変換する。太陽の見かけの運動は、この段の時間内の速度曲線，も水平線 BC, から斜線 AD になる。

ここで、$x=OI$, とすると、則ち、

$$f(x) = \text{台形 } AHIO \text{ の面積}$$

になる。

これが劉焯と一行の構築した二次插值公式(1)、$0 \le x < n_1$ である。

公式（1）を構築する具体的過程で、劉焯と一行は、いずれも一つの節気の内に，太陽の見かけの運動速度を日数を単位として、等差数列で変化すると規定した。そして、この等差級数の和を求めることに対し、その結果は本気の最初の時刻から求める日までの日数

を（x）を変数とする二次関数 f（x）とした。

算法の構造思想上から見て、一行の不等間隔の二次插値法と劉焯の等間隔二次插値法にはなんら実質的な違いはない。暦法家は、一回帰年を区分して二十四節気として、その後、一気毎にそれぞれ一つの二次插値関数を構築した。したがって、劉焯と一行の太陽の見かけの運動中心插算法は、一種の区分ごとの二次插値法としなければならない。

そこで、薮内清と李儼の劉焯と一行の内插公式（1）の「発見」に対し、我々は、その構造思想の「復元」の違いを見て取らなければならない。

4. パラダイムチェンジ及其影響

李・銭の導いた中国数学史研究の第一次運動中で、「発見」の意味は、歴史上どのような数学を作り出したかを読み解くことであった。この時期、数学史家たちは、直接、一次史料（数学文献）の中から彼らの「発見」をしなければならなかった。彼らの準拠した研究法則は、（実際上は、伝統的な史学研究の法則）すなわち史実によるものだった。

一方、「発見」した事実そのものに対して、根拠一つには結論は一つであった。決して個人の憶測が入り込むことを許さなかった。

また一方、現代数学の概念と方法をできるだけ用いて、通俗的に解釈したり発見内容の数学意義やその正確性を実証した。

呉文俊の導いた第二次運動の中では、数学史パラダイム中の「発見」は、「復元」へと拡大された。この段階の数学史家は、歴史上、数学が如何に作り上げられたのかに注目するようになった。数学史研究中の「復元」は、数学の史実に対する一種の合理的再建であった。通常の状況では、みな某かの間接的歴史文献に基づき、すでに「発見」されている歴史上の数学概念、思想、方法、定理或いは算法などに対し、「復元」を進める事だった。したがって、「復元」研究も一種の間接的「発見」と見なすことができる。

李銭運動では、数学史家は、彼らの「発見」した歴史上の数学の脈絡に対しても「復元」を進めた。ただし、この種の「復元」は、基本的にみな現代数学知識にもとづいて、その発見の解釈に対して、確証を与えている。数学史家たちは、意識せず歴史主義の原則にのっとり、古代人の数学思想や方法から古代数学の思想や方法を「復元」している。この種の「復元」の目的は、ただ、更に便宜的に説明したりすることで、その「発見」した数学的意味や歴史意義を強調するためで、呉運動の強調する「復元」とは、完全に意味が違う。

歴史上どのような数学を「発見」したかということをパラダイムにする時代では、数学史研究は、比較的容易に各種の愛国主義者に受け入れられ、情熱的に影響を受けた。その結果の一つとして、「発見」した数学成果の中で、特に「世界初」ということが強調された。この種の傾向は、数学史家が更に現代数学の概念や方法を用いて、「発見」した古代数学を解釈や検証を重視させるのを劇化させた。呉運動では、「復元」を形成するパラダイムは、ある程度、数学史研究で、この種の傾向に対して、転換をうながした。

ここで、我々は、過去一世紀に、中国数学史のパラダイムが、一度転換したことを見いだす事ができる。李・銭運動中には、数学史界が形成するパラダイムは、「発見」だけで、オリジナルの研究活動として受け入れられた。この時期、一篇の数学史研究論文には、かならず「発見」が必要だった。さもなければ、数学史界が承認しなかった。

ところが、呉運動中では、このパラダイムが拡張され「復元」になった。この時期、新しい発見もやはり数学史研究の重要成果と見なされていたが、更に重要なのは、先行研究の「発見」に対する歴史上の数学の復元研究も数学史のオリジナル業績と認められた事で

中国数学史界は、このパラダイムチェンジにより、数学史の“オリジナル・ワーク」という概念は、拡張され、数学史の研究範囲が極めて拡充された。ほとんどみな李銭運動中に「発見」された研究成果は、呉運動中の研究対象に転換された。これらの第一次運動の研究発見がもたらした問題は、推測となった。これらの推測を証明するのが、第二次運動の主流になったのである。

我々は、中国数学史家の遵守したパラダイムにもとづいて、一つのモデルを作ることができる。図6のように、あきらかである。中国数学史家に対しては、すべての数学史の「オリジナル」な業績は、みなこのパラダイムによって判定された。一篇の数学史研究論文には、なんらかの「発見」、なんらかの「復元」のうち、少なくともその一つを備えていなければならない。数学史家の任務は、「発見」から、歴史上の数学を「復元」することだった。

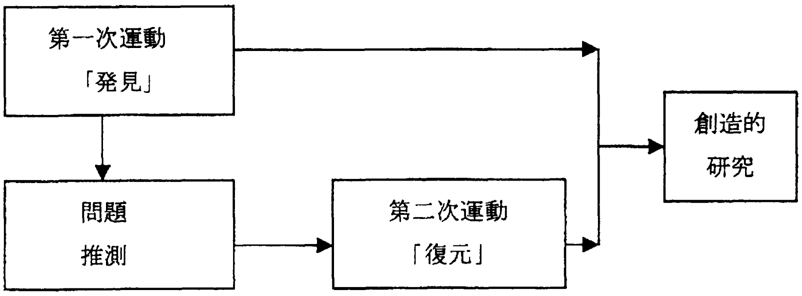

図6. 数学史研究中のオリジナル・ワーク：過去と現在

本文の冒頭、我々はすでに述べたように、20世紀の中国数学史研究の発展過程で、二つの重要な現象が存在している。長く多くの数学家や数学史家を困惑させているのは、

第一、　中国の数学史研究は、高潮–低潮–高潮–低潮の交互に出現する局面を経験している；

第二、　大多数の中国数学史家は、自己の研究を中国古代伝統数学の領域に局限している。

これらの現象の存在と発生は、必然的にその深刻な歴史背景と原因が存在する。これらの史実の生まれた原因の分析と解釈に対し、疑いなく数学史研究は、中国の健康的な持続的発展の手助けとなるだろう。

さて、我々は、図6のモデルによって、これらの問題に対し、一個の正面からの解答をしよう：

李銭運動は、1970年代の衰退は、そのパラダイム自身がもたらした結果である。歴史上有いかなる数学があったかを「発見」することを数学史研究の中心任務とする前提なので、数学史家が数学史料に近づくことが有限なら、歴史上の数学が「発見」できるのは、ますます少なくなってしまう。事実、研究資源の「枯渇」により当時の数学史家が新しい「発見」をする希望はますます困難になった。これによって、中国数学史研究の第一回目の危機が訪れた。

1970年代後半、呉運動により、このような史事：数学史のパラダイムが从「発見」から「復元」へと拡大、にもとづき数学史研究の中心任務は、歴史上の数学が如何に出来たかを「復元」することに変化した。正にこの種のパラダイムのチェンジは、当時の数学史家

に膨大な研究課題を提供した。すべてのすでに「発見」された歴史上の数学は、すべて一つの問題に面していた：これらの数学が如何にして出来のか？これらの「復元」を待っている問題は、もともと枯渇しつつあった数学史研究資源を一夜にして豊富なものとした。中国の数学史研究にもう一つのチャンスを創造した。

呉運動は、中国数学史パラダイムのチェンジに対し、1970年代の危機を克服し、併せて、中国数学史研究の第二次高潮をつくったが、しかし、このような現実を徹底的に変革することはなかった：大多数の中国数学史家は、みな自己の興味で専ら中国伝統数学の研究を行った。20年ほどで、中国数学史界は、多くの数学史専門の大学院生を養成した。各方面より、世界古代数学史と近現代数学史研究の呼声や圧力不断に強まるよう展開を要請された。しかし、この方面の研究に従事する集団は終始薄弱で、失望させられた。

数学史研究は、中国の価値基準が２度の運動のパラダイム対創造的業績の規定を決定した。図６のモデルで分かるように、所謂、数学史研究の創造的業績は、すべて原始文献の「発見」や「復元」に基づきなされたものである。

一方、20世紀の90年代の前に、尚、少なからない中文数学史料などの「発見」や「復元」が待たれていた，中国数学史研究に従事する学者は、あまり強烈には研究資源の枯渇の危機感には面していなかった。中国古代数学史料の「発見」や「復元」に対し、数学史のパラダイムに符合するので、比較的容易に承認を得られた。国際学術交流も非常に盛んになり、したがって、主観的には、多数の学者はこの方面の研究に従事することを願った。

もう、一方、大多数の中国数学史家にとって、英語と日本語以外、その他の外国語に通じている人材は少なかった。彼らが近づくことができた数学史料は、基本的にすべて漢文であったか、あるいは、英語の二次文献であった。西欧数学史と現代数学史の研究は、数学者やその他の読者の歓迎を広範に受けたが、しかし、数学史家は、かえってこれらの研究から、どのような「発見」や「復元」を得られるか期待が難しかった。この意味するところは、この方面の研究に従事することは、数学史界の認める危機を被らないことである。したがって、客観的にみて、この方向への発展は制限された。

これは、大体、なぜ大多数の中国数学史家はみな自己の研究を伝統中国数学に極限するのかという根本的な原因である。

5.　展望：第三の道

数学史は、畢竟、歴史学である。したがって、歴史上にかつてどのような数学がなされたか「発見」するのが、数学史研究中最も基本的な道である。李銭運動で、それはかつて数学史研究の唯一の方式と見なされた。歴史上の数学思想方法に対し、「復元」研究は、真剣に対峙されなかった。呉文俊が 1970 年代に提出した李銭の数学史パラダイムの修正に至って、状況はやっと改まってきた。呉パラダイムの提出は、直接には呉運動の勃興につながり、大量の新鮮で面白い数学史の研究成果がみな呉文俊が対旧パラダイムに対して、独創的な研究概念の拡充によるものである。中国数学史研究は順調に 1970 年代の危機を乗り越えた。

不安を感じさせたのは、中国数学史研究が20世紀の80から90年代の繁栄の後である。目前に新しい危機が迫っていた。

危機の指標の一つは、多くの数学史家が大量の重複したの数学史著作の著述に精力を傾けたことである。；

指標の二は、数学史家が、すでに、ほとんど挑戦性に富んだ、進取の共同話題がなくな

った事である。

指標の三は、養成された大学院生が多くなったが、継続的に、着実にこの専門研究に従事する青年学者が減ってきたことである。

なぜ、このような事態が起きたのだろうか？数学史家は、如何にこのような局面に対応して、この学科の再建を計るべきなのだろうか？これは、各中国数学史家がみな真剣に考えなければならない問題である。

フランスの数学者ポアンカレ（Henri Poincaré）は、1908年の国際数学者会議の席上でこのように述べている：

もし、我々が数学発展の未来の予測を希望するなら、適切な道は、この学科の歴史と現状を理解することである。

数学史発展の未来を予測するなら、これは、ほとんど同じように適用できるだろう。これが我々が、このように多くのページを惜しまず、数学史研究の中国での回顧をした根元的な目的である。

前述のように、我々はすでに大体数学史という学科の中国での歴史と現状を理解したと思う。それは、20世紀に２度の高潮を経て、１度の危機に出会った。呉文俊は、旧い数学史パラダイムの批判をし、その初めに、一種の新しい数学史研究方法論ためだろうか、，以数学史研究にその種の間違った思想方法が氾濫していることを糾弾した。面白いのは、呉パラダイムは、数学史研究の「独創的業績」という概念拡大を通じ、1970年代に発生した危機の克服に成功した。直接には、中国数学史研究の第二次高潮に導いた。

目下、我々が再度面している危機は、現有の数学史パラダイムの独創的業績の概念，「発見」や「復元」ではやはり、我々の研究を「歴史上の数学」に限定させるだろう。中国数学史家が本当に近づくことができるの第一次数学史料は有限である。無論、「発見」や「復元」，研究資源の徐々に枯渇して行くことから、たぶん逃れることはできないだろう。

一方、現有のパラダイムの下、青年数学史家がその他の外国語を学習し、理解する号令を通じて、如えば、古代ギリシア語、アラビア語、サンスクリット語、ラテン語などである、更に豊富な一次数学文献に接近することができる。更に広範な史料で、歴史上の数学を「発見」したり「復元」できる。呉文俊が建てた“シルクロード数学と天文基金”は、この方向にむかった貴重な努力である。これは、当然長期計画である。

また、一方、直面する困難を考えたとき、適切な方式は、数学史研究の独創的業績の概念をさらに拡大すること、すなわち、現有のパラダイムにさらに修正を加えることである。

我々は、前述の討論ですでにたびたび繰り返してきたが、李儼と銭宝琮、呉文俊の導きによって、中国数学史研究は過去一世紀に２度の運動を経験した。それぞれ、数学史究の２つの異なった道を行った。それは、：

第一の道：どのような数学が存在したか？（What mathematics was done）

第二の道：如何に数学が出来たか？(How mathematics was done)

このような基礎の上、数学史家は、さらに以下の問題を考えなければならない：

第三の道：なぜ数学が作られたか？(Why mathematics was done)

数学史家たちが同時にこれら３種の異なった数学史研究の取るべき新しいパラダイムを受け入れるなら、我々の研究は、課題が歴史上の数学から，数学の歴史へと拡大できる。このようになれば、所謂、数学史研究の独創的業績の範囲も、さらに拡大することができるだろう。

数学思想は、終始、数学史研究の課題であり、おおむね、数学史は数学思想史である。

我々は、歴史の眼光を用いて「発見」、「復元」、「回顧」し、歴史上の各種の豊富で多彩な具体的数学成就を鑑賞するとき、一つな重要な方面を常々忘れている。それは、歴史上、なぜこのような数学が生まれたか？ということである。

実際、歴史上、なぜ数学が作られたかという問題を討論するのは、すでに幾人かの当代の大数学者によって、数学史研究の主要な目的であると認識されている。たとえば、フランス数学家ベイ（André Weil）は、1978年国際数学者会議の1時間の報告での討論の主題は、「数学史は誰のために描かれるか」であった。その報告の最後で、彼は、「したがって、我々は最初提出した‘なぜ数学史研究が必要か’という問題は最終的に‘なぜ究数学研究が必要か’に転化される。」[8] と述べている。

呉文俊の多くの数学史研究もすでに遥に“古証復元”の範囲を超えている。更に多くの場合、彼の課題は中国古代にどのような数学があったかにとどまらず、これらの数学が如何に出来という類の問題、そして、伝統中国数学思想が世界数学発展史上での地位と価値に及んでいる。彼は、古代中国を東洋数学代表として機械化算法体系と、古代ギリシアを代表とする西洋数学の公理化演繹体系の数学思想が在人類の数学発展の大河で起伏し、その支配的地位を交代して占めていると認識している。この種の異なる凡響の数学史観の指導の下で行われる研究は、必然的に“なぜ数学が”という課題に及ぶ。[9] 惜むらくは、これらの深刻な主張は、ほとんど、多くの中国数学史家を貫く行動にはいたっていない。

「なぜ数学が」は、たぶん大きすぎる問題であろう。但し、この主題をとりまいて、数学史家は、多くの面白い、なすべき仕事がある。小は、一つの数学概念、算法、符号がなぜ提出されたのか？大は、ある数学の分流は如何に発展したか？これは、どのような因素に左右され主流数学の形成をなしたか？異なる古代文明はなぜ数学を研究するのか？なぜ中国人は「実用」数学の伝統を選択したか？[10]

7. 結論

方法論の指導のない数学史研究は、盲目的であり、数学史家たちの共同した黙認された、かつ遵守すべきパラダイムのないものは、その研究業績は完全に研究者個人の興味になってしまい、ほしいままになり、それでは数学史界はかならずばらばらの砂粒の集まりになり、根本的に一つの独立した学科として発展することは不可能である。

中国数学史界は、ちょうど李儼と銭宝琮、呉文俊などの先人の統帥があり、異なる時期に異なったパラダイムを形成した。過去 20 余年、呉運動の「復元」は、李銭運動の「発見」に取って代わり、数学史研究の中国での主流となった。これは、呉文俊の高遠な指導による思想である。中国数学史は、明確なパラダイムの指導によって発展し、数学史研究の中国における第二次高潮を形作った。

中国数学史家が遵守するパラダイムは、彼らの興味を歴史上のある具体的な数学の「発見」と「復元」に注がせた。疑いなく、歴史上、「どのような」と「如何に作られたか」数学の探索と発掘は、永遠に数学史研究の基本的な二つの主題である。ただ、要歴史は発展と、それらが継続しなければならない。

必ず強調すべきは、方法論について言えば、世界上の多くの地区の数学史、あるいは科学史研究はみな「どのような」の段階である。つまり、「発見」を目的とする段階である。したがって、呉文俊の「古証復元」のパラダイムは、数学史と科学史の研究にさらに広範さを備えさせ、更に深遠な指導としての意義がある。

数学史についていえば、新しいパラダイムの提出は、旧いパラダイムの否定を意味する

ものではない。それは、一種の拡充と進歩と見られている。新しいパラダイムは、是在旧いパラダイムの基礎の上に建てられるものである。歴史上の数学の「発見」がなければ、これら数学業績の「復元」を語れない。歴史上どのような数学があったのか知らなければ、これらの数学が如何に出来きたのか、なぜ作られたのかを探求はできない。したがって、「どのような what」「如何に出来たか how」「なぜ why」は、数学史研究の発展段階の３つの段階を代表している。

新しい運動は、旧い運動の衰退に伴って勃興するものである。数学史研究では、「どのような」と「如何に出来たか」などの業績が深まり、数学史研究中「なぜ」という問題の探求が早晩、数学史家の共同の核心問題となるにしたがって、中国数学史家が、李銭運動と呉運動所を経て得た豊富な成果の基礎の上に、ちょうど、研究の重心が次の段階へ深まる時期に来ている。この新運動の主題の予想すると、人類がなぜ数学を作ったかを探求するものである。

「なぜ数学が」という主題では、数学史家は、大量の興味ありかつ有意義な問題に面している。これらの問題の探求に対して、たぶん使我々は更に速く直面する困難な局面を越えるだけではなく、数学史家の研究の興味を更に広範な領域にいたらせることになるだろう。

謝辞: 矢野道雄教授と李文林教授の本文初稿への評論に感謝するものである。本文は、日本学術振興基金会(JSPS, P00019)の経済援助を受けた。

参考文献

[1] Qu Anjing (曲安京), "The Third Approach to the History of Mathematics in China," in: *Proceedings of the International Congress of Mathematicians 2002*, vol. III, Beijing: Higher Education Press, 2002, 947-958

[2] 薮内清, 『隋唐暦法史の研究』. 東京: 三省堂, 1944, 71-74.

[2] 李儼, 『中算家的内挿法研究』. 北京: 科学出版社, 1957.

[3] 銭宝琮(校点), 『算経十書』. 北京: 科学出版社, 1963, 32.

[4] 呉文俊,「中国古代測望之学重差理論評介兼評数学史研究中的某些方法問題」,『科技史文集 (8)』. 上海：上海科学技術出版社, 1982, 10-30

[5] 呉文俊主编,『「九章算術」与劉徽』. 北京：北京師範大学出版社, 1982, 162-180

[6] Wu Wen-tsun (呉文俊), "Recent Studies of the History of Chinese Mathematics," in *Proceedings of the International Congress of Mathematicians, 1986*. Providence: American Mathematical Society, 1986, 1657.

[7] [宋]欧陽修,『新唐書』「暦志」,『暦代天文律暦等志汇编 (7)』北京：中華書局, 1976, 2199

[8] André Weil, "History of Mathematics: Why and How," in *Proceedings of the International Congress of Mathematicians, Helsinki 1978*. Helsinki: Academia Scientiarum Fennica, 1980, 236.

[9] Wu Wen-tsun (呉文俊), *Mathematics Mechanization*, Beijing: Science Press & Dorrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, 1-66.

Qu Anjing (曲安京), "Why Mathematics in Ancient China?" in: *Matematica e Cultur*
Milan: Springer-Verlag, to appear.