

世界科學技術史〈東洋篇〉

宋·元代數學의 發達과 天文學

朴 星 來

〈韓國外國語大學教授 文博〉

宋에서 元으로 바뀌는 중국의 역사시기는 사회가 크게 변혁을 이룬 때이기도 했다. 이런 변화의 한 부분이 數學이었다고도 생각된다. 이 시기에 연달아 출간된 수학책은 여러가지에서 당시의 西洋數學을 앞지르는 뛰어난 것이었다. 방정식이 고차의 것까지 연구되고 있었으며 數列에 대한 것도 상당 수준으로 발달했다.

〈數書九章〉(1247)을 지은 秦九韶(?~1260)는 몽고의 침략에 항거하여 아직 10代의 어린 시절에 의병을 이끌었던 것으로 알려져 있다. 여기 “九章”이란 표현이 책 제목에 붙은 것으로도 그가 중국의 수학고전 〈九章算術〉을 본뜨고 있음은 분명하다. 실제로 이 책은 大衍, 天時, 用域, 測望, 賦役, 錢穀, 營建, 軍旅, 市物 등 9장으로 나뉘어져 있으며 각 장은 2권씩 모두 18卷으로 짜여져 있다.

秦九韶는 천문학과 연관지어 그의 수학을 발달시킨 것으로 보인다. 그는 당시 국립천문대를 자주 드나들며 연구를 한 것으로 알려져 있는데 당시 천문대는 南宋의 수도였던 臨安(杭州)에 있었다. 〈數書九章〉에서 특히 주목되는 부분이 大衍求一術이란 것이다. 이것은 $ax-by=1$ 같은 不定方程式을 푸는 방법으로 曆法 계산 때문에 당대의 천문학에서 발달된 것이었다. 그때까지 開方術이란 이름으로 발달하고 있던 방정식을 푸는 방법은 秦九韶에 이르러 보다 일반적인 것으로 바뀌었고 西洋에서 이 정도 또는 그 이상의 수준이 되기는 1819년 영국 수학자 호너(Horner)방식이 나온 이후부터였다. 〈數書九章〉에 보이는 가장 복잡한 문제의 예는 다음과 같

은 10차 방정식이다.

$$x^{10} + 15x^8 + 72x^6 - 864x^4 - 11664x^2 - 34992 = 0$$

이 문제에서 x 의 값은 3이라는 해답을 내고 있다. 당연히 -3 도 바른 답이지만 중국의 수학은 플러스(+)값만을 구하지 마이너스(-)값은 따지지 않는 것이 관례였다. 그러나 계산과정에서는 마이너스 값이 옛날부터 이용되고 있었다.

〈數書九章〉에서 특히 우리 한국인의 관심을 끄는 문제 가운데에는 天池測雨 문제가 있다. 이것은 밑은 좁고 위로 갈수록 넓은 원뿔 모양의 그릇에 빗물을 받아 雨量을 계산해내는 문제인데 이 문제가 이 책에 있다는 사실 자체가 중국에는 적어도 13세기에는 測雨器를 쓰고 있었다는 증거가 된다. 이것은 중국의 첫 측우기에 관한 기록으로 우리나라에서 世宗代에 만든 測雨器보다 200년을 앞선 기록이다. 여기 등장하는 天池盆은 모양이 우리 측우기와는 달리 불편하게 된 것이었지만 일종의 측우기인 것만은 틀림이 없다.

방정식의 연구는 그뒤의 수학에서 더욱 발달을 거듭한다. 특히 算木을 써서 一元高次방정식을 푸는 방법은 특히 발달하여 보통 天元術이란 유명한 전통으로 남게 된다. 이것은 중국에서 代數學이 정식으로 시작하는 것을 뜻한다고 말할 수 있다. “代數”란 원래가 숫자 대신 모르는 값에 부호를 써서 계산하는 방식을 뜻한다.

지금 우리는 x, y, z 등을 선택하여 미지수를 대신하는 방법을 쓰고 있는데 天元術에서는 어느 숫자 위에 “元”字를 써 놓음으로써 그것이 一次未知數의 頂입을 보여주었다. 예를 들면 오늘 우

리들이 쓰는 미지수가 표시된 式 $3x^2+5x+7$ 은 다음과 같이 표시되었다.

$$\begin{array}{ccc} & \text{元} & \\ 3 & 5 & 7 \end{array}$$

이 방식에서 5위에 “元”자가 쓰여 있으므로 바로 이 項이 x項이란 뜻이며, 그 바로 윗 項은 x^2 에 해당하고 바로 다음 項은 常數項이 되는 것이다. “天元術”이란 아마 “위(天)에 元字를 쓰는 방식”이란 뜻에서 나온 것으로 생각된다.

天元이란 표현은 이미 秦九韶에게서도 발견되지만 아직 이런 뜻으로 발견되지는 못하다가 李治에 이르러 진짜 代數學으로 전개된 것으로 보인다. 秦九韶와 달리 남쪽 사람이 아닌 그는 金나라가 北中國을 차지하자 金의 과거에 응시하여 進士가 되었고 곧 이어 金대신 北中國의 주인이 된 몽고族의 元나라에서 수학을 연구했다. 아직 황제가 되기 전 쿠빌라이(위의 元世祖)가 그의 학문과 재능을 듣고 두번이나 초청했으나 끝내 관직에는 나가지 않은 채 후진 교육에만 힘썼다.

李治(1192~1279)는 원래 이름이 李元治였고 天元術은 그의 <測圓海鏡>(1248)과 <益古演段>(1259)에서 비로소 체계적으로 전개된다. <測圓海鏡>에는 처음에 원을 그리고 그에 外接하는 직각 3각형을 그린 다음, 여기에 여러가지 선을 그려넣어 갖가지 계산을 해보고 있다. 李治는 이것을 “圓城圖式”이라 이름 붙이고 있는데 이 책은 거의 모두가 이런 그림과 계산으로 일관되고 있는 특징을 보인다. 직각 3각형과 원과의 관계를 중심으로 한 권의 책을 쓴다는 것은 전에 없던 中國數學의 새로운 경향을 대표한다. 즉 實用에만 집착하던 중국의 과학사·수학사에 전혀 실용성 없이 知的 호기심에서 나온 數學이 등장한 것이기 때문이다.

이 전통이 朱世傑의 <算學啓蒙>(1297)과 <四元玉鑑>(1303)에서 더욱 꽃을 피운다. <算學啓蒙>은 天元術의 대표적 책인양 동양에서 인정되고 있다. 이것은 우리나라에서 출간된 것이 뒤에 다시 일본과 중국에 전파되어 살아남은 이력을 가지고 있어서 더욱 유명하다. 또 이 책은 日本에 크게 영향을 주어 和算을 발달시킨 것으로 인정되기도 한다.

朱世傑은 다른 수학자와 달리 순전히 민간인 수학자였던 것 같다. 秦九韶와 李治가 관리였고 또 당시까지의 거의 모든 수학자는 儒學者등 학자이며 官吏였으나 그만은 일반적인 학자라 하기도 어렵고 관리는 더욱 아니었다. 그와 같은 전문수학자가 나타났다는 사실 자체가 南宋이란 사회가 어떻게 전과 다른 시대였던가를 보여준다고 생각된다.

<算學啓蒙>은 여러가지로 宋代의 상업발달을 반영하고 있다. 당시의 상품 이름을 많이 써서 문제를 내고있어 실용적인 측면도 강하게 보여준다. 그러나 그의 <四元玉鑑>은 더욱 고답적이고 실용성이 적은 수학을 전개하고 있다. 여기서 시도되는 四元術이란 4元方程式으로 지금으로 치면 x.y.z.w등 네개의 未知數를 포함한 방정식을 풀어나가는 과정을 보여준다. 이것들에서 미지수를 1한개씩 없애 결국 미지수 1개만을 가진 것으로 바꾸어 문제를 푸는 방식이다. 그런데 이것은 이론상으로 아주 뛰어난 것이고 세계에 유례없는 앞선 생각이기는 했지만 그것을 푸는 방식은 너무나 복잡했다. 算木을 上下左右에 벌려 놓고 4원방정식을 푸는 이 방식은 그 후 거의 계승되지 못한채 결국 잊혀지고 말았다.

이처럼 宋·元代에 걸쳐 고개를 들었던 이론 수학, 즉, 代數學이 크게 발달하여 근대수학으로 이어지지 못한 큰 원인은 아마 中國數學이 記號化에 실패했기 때문이 아닌가 생각된다. 서양의 代數學도 16세기까지는 기호화하는데 효과적인 것은 아니었다. 그러나 天元術에 의해 서양보다 앞서 代數學의 길에 들어선 중국인들은 그것을 너무나 고답적이고 요령부득인 知的 유희로만 놓아둔 채 이것을 점차 大衆化하려는 노력을 하지 못한 셈이다. 宋代의 중국수학은 너무 實用的이거나 너무 非現實的이거나 둘중의 하나였다고 할 수 있겠다.

이런 비현실적 知的 오락의 하나가 역시 <四元玉鑑>에도 들어있는 소위 “파스칼의 삼각형”이다(그림 1). Pascal's triangle이란 이름이 붙은 이 삼각형은 $(a+b)^n$ 을 풀었을 때의 係數를 보여주는 것이기도 하지만 꼭 실용을 위한 것은 아니었다. 파스칼보다 3세기 먼저 나타난 이 표

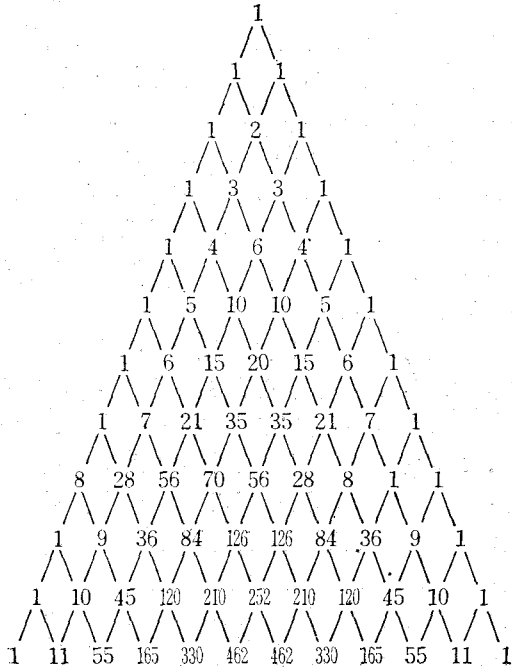


그림 1 《四元玉鑑》에 들어있는 파스칼의 3각형은 일종의 數列이라고 할 수 있다. 사실상 무한수열의 합을 구하는 문제등이 이 시대에 연구되어 있었던 것이다.

무한수열의 합을 처음 일반식으로 구한 사람은 이보다 조금 앞선 沈括(1030~1094)로 알려져 있다. 그의 대표작 《夢溪筆談》에는 隙積術이란 것이 제18권에 보이는데 예를 들면 다음과 같은 것이다. 즉 과일가게에서는 지금도 사과같은 과일을 쌓아 놓을 때 이런 방법을 쓴다. 가로 10개, 세로 9개의 사과를 놓은 다음 그 위에는 가로 9개, 세로 8개씩을 놓고, 그 다음에는 가로 8개, 세로 7개씩... 이 모양은 바로 네모꼴인 셈이고 일종의 數列을 만든다. 이 경우 수열은 10×9 에서 시작하여, 9×8 , 8×7 , 7×6 , 6×5 , 5×4 , 4×3 , 3×2 , 2×1 로 이어진다.

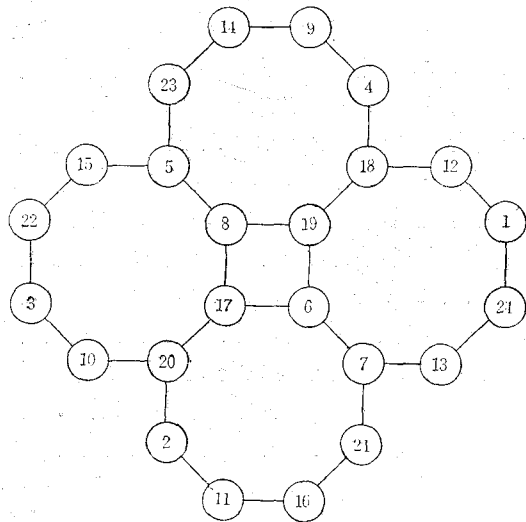
沈括의 책은 宋代의 자연과학에 빼놓을 수 없는 중요한 책이지만 다루고 있는 분야는 아주 광범하다. 《夢溪筆談》은 특히 수학책이라고는 말할 수가 없는 책이다. 여하튼 그의 隙積術은 그후 宋代 수학자들에 의해 제법 발달을 보게되었다. 특히 이런 “수학을 위한 수학”에 탁월한 공을 남긴 수학자는 아무래도 楊輝를 꼽을 수 있다. 그의 《楊輝算法》등에는 수열에 관한 것도

있지만 특히 縱橫圖(方陣 또는 魔方陣, magic square)에 대한 연구가 유명하다. 南宋 末의 대표적 수학자인 그는 錢塘 출신이었고 역시 민간인 수학자였던 것은 분명하지만 그 이상의 상세한 생애에 대해서는 별로 알려져 있지 않다. 그가 많이 연구한 증황도란 바로 전설적인 河圖·洛書에서 시작한 것이다.

예를 두 가지만 들어 보자(그림 2). 이것 말고도 楊輝의 연구에는 얼마든지 많고 다양한 숫자

4	9	2
3	5	7
8	1	6

“洛書數”



聚八圖

의 배열이 그려져 있다. 그림의 경우 洛書數란 우리가 모두 잘 알고 있듯이 가로·세로 또는 빗변으로의 합이 모두 15가 되도록 배치된 것이다. 또 여기 아홉칸에 들어 있는 숫자는 1부터 9까지의 아홉숫자 뿐이다. 비교적 단순한 것으로는 四四圖, 五五圖, 六六圖, 七七圖, 六十四

圖, 九九圖, 百子圖등이 있는데 이것은 각각 가로 세로가 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 칸씩인 종횡도이다. 이들은 모두 최소한의 숫자를 각기 한번씩만 써서 가로 세로의 합이 같은 값이 되도록 배치한 것으로 洛書圖와 똑같은 원리이다. 또 이것과는 달리 그림 2의 聚八圖와 같이 여러가지로 복잡한 배치를 꾸며 같은 원리를 나타낸 그림도 많다.

그런 종류의 數學은 오늘날에도 아무런 實用性이 없는 일종의 숫자놀이라 할 수 있다. 이것은 宋代의 數學이 갖고 있던 다른 측면즉, 神秘主義 경향이 발현한 것으로 해석되기도 한다. 그리고 그것은 宋代의 新儒學 속에서만 돌출한 것이 아니라 피타고라스의 전통에도 뚜렷한 그런 경향이기도 하다. <揚輝算法>은 明代에 우리나라에도 전해졌고, 또 이어 日本에도 전해져 간행되어 적지않은 영향을 남겼다. 실학시대의 조선조 수학자이며 左議政·大提學등을 지낸 崔錫鼎(1645~1715)의 <九數略>에도 적지않은 종횡도가 있음은 이런 경향이 우리나라에도 영향을 주고 있었음을 보여준다.

宋代의 天文學 발달

수학의 발달이 宋과 元의 경계선 위에서 연속적으로 이루어진 것과는 달리 天文學은 宋과 元에서 모두 독특하게 발달하고 있었다. 宋代(960~1279)에는 적어도 다섯 번에 걸쳐 대규모의 체계적인 恒星관측이 실시되었다.

- 제1차 관측 — 1010年
- 제2차 // — 1034~1038
- 제3차 // — 1049~1053
- 제4차 // — 1078~1085
- 제5차 // — 1102~1106

유명한 淳祐石刻天文圖가 뒤에 남겨진 것은 이런 관측과 또 그런 관측을 가능하게 해준 천문기구의 발달등에 원인이 있었던 것이다.

이 天文관측은 우선 당대의 대표적 천문학자 蘇頌(1020~1101)의 <新儀象法要>(1095)에 그려져 있는 星圖에도 영향을 준것으로 보인다. 1042년 進士가 된 그는 吏部尙書·刑部尙書를 비롯한

여러 관직을 거쳤으나 특히 水運儀象臺를 만든 것으로 유명하다. 이것은 渾儀와 渾象 및 時報 장치를 조합하여 높은 건물에 설치하여 물이 흐르는 힘으로 이를 자동운전케 만든 것이다. <新儀象法要>는 바로 이 자동 天文時計의 구조와 작용을 상세히 설명하기 위해 만들어진 책이다.

비록 979년 張思訓이 이미 이의 선구라 할 만한 자동 水力天文시계를 만들었으나 자세한 것은 알 수 없고, 蘇頌의 것이야말로 상세하고 정교한 구조가 그림으로 남아있는 가장 오래된 천문시계다. 이 책에는 여러 장의 그림이 각 기계 장치를 상세히 설명하고 있는데 이에 의하면 이 천문시계장치는 높이가 약 12m 가로 세로가 각각 7m 정도의 거창한 구조로 되어 있었다. 이것은 蘇頌이 韓公廉등과 함께 1086년부터 설계를 시작하여 6년뒤에서야 건설에 성공했던 대규모 건조물이었다. 건물은 나무로 지었으나 그속에 설치된 기계장치는 구리로 만들었고 시각에 따라 중을 치거나 북을 쳐주도록 수많은 인형이 장치되었다. 중국과학사의 대가인 영국의 조셀 니덤(Joseph Needham)교수는 이 자동시계가 中世西洋에 영향을 미쳐 자동시계를 발달시킨 것으로 해석하고 있다. 또 이것은 15세기 世宗대에 蔣英實이 만든 自擊漏와 그보다 더 정교한 자동천문시계 玉漏의 조상이었음도 분명하다.

宋代의 대표적 과학자 沈括(1031~1095)은 천문학에서도 빼놓을 수 없는 업적을 남겼다. 錢塘(지금 杭州) 출신으로 1063년 進士가 된 그는 1066년쯤부터 천문학에 크게 관심 갖기 시작하여 여러가지로 天文學史에 이름을 남겼다. 그는 歲差현상을 알고 있었으며 보름달은 달이 태양빛을 받은 球面을 지구로 향할 때 보이는 것을 알고 月相의 변화를 설명하기도 했다. 천문대장을 지낸 적도 있는 그는 천문관측의 중요성을 강조하고 관측기구의 개량에 주력했다. 특히 그는 渾儀를 만들 때 白道環을 생략하기 시작한 사람으로 알려져 있는데, 이것은 복잡한 천문관측기구를 편의에 따라 간단한 것으로 바꾸려는 첫시도로 높이 평가된다. 그 뒤부터 중국의 천문관측에는 보다 간편한 관측기구가 계속 발명되고 또 이용되었기 때문이다.