科学革命의 흐름

①

朴 星 來 〈外大教授〉

뉴톤 : 天文学과 力学의 종합

뉴튼 스스로가 뒤에 화고한 것을 보면 그는 바로 이 휴교동안에 그의 위대한 발견을 모두 이룩했다고 한다. 신문도 텔레비젼도 없던 17세기의 영국농촌에서 그는 아무런 사색에의 장애도 받음이 없이 곧잘 깊은 생각에 잠기곤 했다. 자기 생애중 가장 생산적인 시기였다고 뉴튼이 회고하고 있는 이 시기에 그는 2항정리와 微積分등의 수학적인 업적, 프리즘을 이용한 빛의 본질 연구와 반사망원경등 光学에서의 업적, 그리고 만유인력으로 대표되는 力学과 天文学의 업적이 모두 싹터 자라있었다는 것이다. 평범하기만 해 보이던 뉴튼의 숨은 천재성이 갑자기 폭발한 것인지도 모른다. 그러나 그의 놀라운 업적은 뉴튼이 갖고 있던 놀라운 집중력의 결과였는지도 모른다.

그의 이러한 업적은 오랜 시간을 두고 한가지씩 발표되어 20여년이나 지난 1687년에야 만유인력의 법칙등은 책으로 출판되었다. 젊은날을 과학에만 바친 뉴튼은 나이가 들면서 官界에도 나가 조폐국장을 지낸 일도 있었고 神学에도 깊은 관심을 가졌는가 하면 연금술에도 몰두한 적이 있었다. 그 결과 이런 방면에도 수많은 글을 남기고 있다. 20세기초 영국의 저명한 경제학자 케인즈(John M. Keynes)가 그를 "최후의 마술사이며 최초의 과학자"라 부른 것은 바로 이 때문이다.

그러면 뉴튼을 과학자의 대표처럼 만든 그의 업적(天文学과 力学)은 어떤 것이었던가? 이미 앞에서 설명한 것처럼 코페르니크스이래 여러 학자들이 혹성이 지구아닌 태양둘레를 돈다는 것을 믿고 또 주장했다. 게다가 케플러는 그 궤도가 원아닌 타원임을 보여주기도 했다. 그러나 도대체 혹성이나 달을 회전시켜 주는 그 힘이란 어떤 것일까? 그리고 왜 다른 운동을 하지않고 타원운동을 하는 것인가? 또한 뉴튼 이전에도 이미 몇몇 학자들은 "引力"을 생각하고 있었고 그것이 거리의 제곱에 역비례하는 힘일거라고까지 생각하고 있었다. 예를 들면 이탈리아의 수학교수 보렐리(Borelli)는 1666년에 쓴 책 속에서 혹성이 원운동을 하는 까닭은 태양이 혹성에 미치는 힘이 그 혹성이 태양에서 떨어져 멀리 달아나려는 힘과 똑같기 때문이라고 설명했다. 이것은 길버트나 케플러의 생각을 발전시킨 것이었다. 영국의 유명한 과학자로서 뉴튼과 논쟁도 벌였던 후크(Robert Hooke, 1635~1703)는 같은 1666년에 쓴 논문에서 보렐리와 거의 같은 설명을 펴하고 있다. 또 1674년에는 후크는 다시 그의 생각을 발전시켜 혹성의 운동을 다음과 같은 세가지 원칙으로 설명했다. 첫째, 모든 천체들 사이에는 서로간에 작용하는 引力이 존재한다. (萬有引力의 아이디어라 할 수 있다.) 둘째, 모든 물체의 운동은 다른 힘을 받지않는한 계속 직선운동을 한다. 셋째, 인력은 멀어질수록 줄어든다.

이 논문에서 후크는 引力이 거리의 제곱에 역비례한다는 것은 말하지 않았지만, 그도 그것을 알고는 있었던 것 같다. 그러나 후크는 求心力을 계산해 낼 줄은 몰랐었다. 뉴튼은 바로 이점에서 후크나 그밖의 당대 과학자들보다 한발자욱 앞서 있었던 것이다. 구심력을 계산하는 방

법을 알아낸 뉴튼은 달과 지구사이의 경우 지구가 달에 미치는 引力은 결국 달이 궤도를 벗어나지 못하게 붙잡아 둘 수 있는 구심력과 같은 것이라는 사실에서 두가지 힘을 등식으로 놓았다.

이렇게 해서 얻어낸 그의 발견은 1687년 《自然哲学의 数学的原理》 (Philosophiae naturalis principia mathematica) 혹은 그냥 《프린키피아》라고 줄여 불리워지는 책을 낳게 되었다. 3부로 되어있는 이 책은 우선 처음 2부에서 일반적인 力学의 체계적 서술을 펴한 다음 마지막 제3부에서 그 力学체계를 천체현상에 응용하여 만유인력의 법칙을 증명해 보인다. 중학교에서 가르치는 뉴튼의 운동의 3법칙은 이 책 첫머리에 나오는 것이다. 유클리드의 《기하원본》을 본떠 처음에 힘·운동량·질량 따위를 정의하고 기타 많은 기본적인 公理·定義를 내세운 뉴튼은 운동의 3법칙을 도입한다. ①관성의 법칙 ②가속도의 법칙 ③작용과 반작용의 법칙등이 즉 그것이다. 1부와 2부에서 여러가지 운동의 경우에 대해 수학적 검토를 한 그는 3부에서 비로소 만유인력의 문제를 다룬다. 이 세상의 모든 물체가 서로 引力을 작용한다는 그의 생각을 뉴튼은 다음과 같이 설명한다.

> 지구둘레의 모든 물체는 질량에 비례하여 지구를 향해 끌린다. 달은 그 질량에 비례하는 정도로 지구를 향해 끌리며, 반대로 지구 위의 바닷물이 달의 引力에 영향을 받는다. 모든 혹성은 서로서로 引力을 작용하여 혜성은 태양의 引力에 끌려간다. 이 모든 것을 우리는 실험과 천문관측을 통해 인정할 수있으므로 제 3법칙(작용과 반작용)에 의해서 우리는 물체는 서로 引力을 작용하고 있음을 주장할 수 있을 것이다.

뉴튼의 万有引力의 이론은 코페르니크시 이후 시작된 아리스토텔레스的 世界観 또는 自然観에 대한 부정의 클라이막스를 이루는 중대한 공헌이었다. 우주는 하늘과 땅이라는 두가지 세계로 나눌 필요가 없는 하나의 세계임이 뚜렷해졌고, 또 그런 우주는 간단한 자연법칙에 의해 일사불란하게 움직이는 일종의 기계장치(mechanism)처럼 여겨지게 되었다. 차라리 그것은 하나의 엄청나게 큰 시계와도 같은 것으로 보여지게 된 셈이다.

이와 같은 뉴튼의 우주관은 당시의 사회사상과도 일치하는 경향이 있었다. 바야흐로 유럽사회에서는 인간이 각각 태어나면서부터 자기의 사회적지위가 결정되어 버리는 봉건제도가 끊어지고 그대신 개인중심적인 시민사회로 바뀌어가고 있었다. 뉴튼의 原子的이고 기계적인 자연관은 이와 같은 새로운 社会를 보는 태도와 그 軌를 같이하고 있었던 것이다. 이와 같은 지식층의 사상적 흐름은 록크(Locke)나 흄(Hume)을 통해 권위주의에 대한 불신, 종교적인 모든 것에 대한 배격을 낳았고, 뉴튼의 생각을 프랑스에 소개함으로서 볼테르(Voltaire)는 유럽대륙에까지 그의 자연관이 영향을 넓히도록 해주었다. 프랑스에서 특히 활발히 일어난 계몽주의 운동은 뉴튼의 영향에도 자극을 받은 것이었다.

◎ 科学革命의 흐름
-17世紀-

코페르니크스에서 뉴튼까지를 잇는 天文学과 力学의 혁명적 변화가 〈科学革命〉의 주제를 이루었지만 17세기에는 이것 말고도 수많은 혁명적 발달이 자연과학 여러 분야에서 일어났다. 解析기하학과 미분학을 포함한 数学에서의 발전, 처음으로 빛과 색갈의 본질에 관한 의문을 제기하기 시작한 光学, 피의 순환을 주장하게 된 生物学 또는 醫学분야의 발달 등등은 그중 일부분이다. 17세기에는 또한 자연이란 어떻게 이해해야 하는가하는 과학의 방법문제가 많은 학자의 관심을 끌었던 시대이기도 했다. 그런가 하면 처음으로 과학연구를 전문으로 하는 근대과학자다운 그런 사람들인 나타나기 시작한 것도 이 시기였다. 이런 사람들은 끼리끼리 모여 연구·토론·친목을 위한 단체들을 말들어 가기 시작했다. 오늘의 〈学会〉의 기원이 여기 있었던 것이다.

数　　学

피타고라스와 플라톤의 전통을 계승한 17세기의 과학은 이미 수학을 중요시하는 생각이 그속에 잠재해 있었다. 자연의 연구에 수학을 이용

하여 큰 성과를 거둔 갈릴레오의 말을 직접 들어보자.

〔자연〕哲学이 쓰여있는 이 커다란 字宙라는 책이 우리 눈앞에 놓여 있다. 그러나 그 책에 쓰인 말을 이해하고 글자를 읽을 수 없다면 그 책은 알아볼 수가 없다. 그 책은 수학이란 언어로 쓰여있고 그 글자는 세모꼴, 원, 또는 그밖의 기하학적 도형으로 되어 있다. 이에 대한 지식이 없는 사람은 한 마디도 이해할 수가 없어서 어두운 미궁속을 헤매기만 하는 것이다.

이 말을 한 마디로 요약하면 "自然이란 책은 数学이란 말로 쓰여있다"는 것이다. 피타고라스-플라톤의 전통을 더욱 철저히 계승한 케플러 역시 같은 생각을 가졌다. 케플러에 의하면 神은 우주를 만드는데에 수학적 지혜를 이용했고 그래서 우주형성에는 어떤 수학적 관계가 있다고 믿었다. 그 믿음 때문에 케플러는 혹성사이의 위치를 정다면체와 球가 번갈아 内接 또는 外接하는 기하학적 우주관을 생각해 내기도 했던 것이다. 그에 의하면 사람의 눈이 색갈을 구별하고 귀가 소리를 들을 수 있는 것처럼 인간의 지혜는 量的인 것을 판별하도록 기능지워졌다는 것이다.

自然은 神의 뜻이 物質的인 것으로 나타난 것이라면, 인간의 마음은 같은 神의 뜻이 非物質的인 것으로 나타난 것이라고 케플러는 생각했다. 그러므로 인간은 수학을 통해서 神이 자연속에 具象化해 놓은 神의 뜻을 미루어 알 수 있다고 주장했다. 수학적 질서야말로 경험의 세계보다 높은 차원에 존재하는 이데아(Idea)의 세계라고 보았던 것이다. 데카르트(Descartes) 역시 비슷한 생각을 갖고 있었다. 그러나 지나치게 연역적인 방법에만 집착했던 그는 갈릴레오나 케플러와는 달리 경험적 지식의 축적을 너무 무시한 때문에 그 자신 훌륭한 과학적 업적을 남기지는 못했다. 데카르트의 중요성은 과학의 방법에 관한 깊이있는 생각을 후세에 남긴데에 있었지, 그의 수학의 중요성 강조가 바로 그를 과학자로 만들어 주지는 못했던 셈이다.

이와 같은 새로운 인식, 즉 自然의 올바른 이해는 수학을 통해야 한다는 생각을 배경으로 17세기에는 많은 수학상의 새로운 발견이 이루어졌다.

우선 르네상스의 미술 발달과 밀접한 관련아래 발달한 投影幾何学(Projective geometry)을 들 수 있다. 우리가 촉각을 통해 느끼고 생각할 수 있는 세계와 눈을 통해 알 수 있는 세계와는 차이가 있다. 유클리드의 기하학은 〈촉각적〉(tactile) 기하학이라면, 17세기에 발달한 투영기하학은 〈視覚的〉(visual) 기하학이다. 예를 들면 유클리드 기하학은 영원히 만나지 않는 두직선을 평행선이라 부른다. 그러나 바로 그 평행선이 우리 눈에는 먼 곳에서 서로 만나는 것으로 보인다. 이와 같은 차이에 눈을 돌려 투영기하학을 창안한 사람은 지라르·데사르그(Girard Desargues, 1593~1662)와 블레즈·파스칼(Blaise Pascal, 1623~1662) 등이다.

리용의 건축가였던 데사르그가 시작한 투영기하학은 수학상으로만 중요할 뿐아니라 그후 지도의 제작·보급이 활발해지면서 지도를 만드는 기술로도 널리 활용되었다. 둥근 지구를 평면위에 투영하는 방법은 여러가지로 연구되었고, 그 각각의 방법이 어떤 장단점이 있는가 하는 문제는 오늘날 잘 알려져 있다.

다음 17세기 수학발달의 큰 것은 解析幾何学의 탄생이다. 해석기하학의 탄생은 비로소 그때까지 아무런 관련없이 발달해 온 代数学과 幾何学과의 사이에 다리를 놓아준 셈이었다. 르네·데카르트(Rene Descartes, 1596~1650)를 비롯하여 훼르마(Pierre Fermat, 1601~1665) 등은 타원 포물선 쌍곡선등등 전에는 관심의 대상이 되지 못했던 모양들에 관심을 기울인 여러 수학자의 대표들인 셈이다. 케플러가 타원궤도설을 주장했고, 많은 사람들이 대포 탄환의 운동에 관심을 갖던 시절에 이들은 유클리드 기하학만으로는 만족할 수가 없었던 것이다.

데카르트, 훼르마 같은 수학자들은 좌표를 이용하여 직선, 곡선은 물론 여러가지 도형을 대수적으로 표현할 수 있음을 알아냈다. 원점을 통과하고 X축과 Y축에 45°를 이루며 뻗어간 직선은 $y=x$로 표시했고, 반지름이 5인 원은 x^2

$+ y^2 = 5^2$이라고 간단히 표시되었다. 쌍곡선, 포물선같은 것은 간단히 수학이 다룰 수 있는 범위 안으로 들어오게 되었고, 같은 방식은 이제 3차원 입체에까지 확대 응용되었다. 물론 그뒤 이 방식은 4차원 또는 그 이상의 우리 눈으로는 볼 수 없는 상상의 도형에까지 연장 응용되었고, 근대 물리학의 발달과 밀접히 연결되었다.

해석기하학과 서로 깊은 관련을 갖고 있으면서 근대과학의 발달에 가장 큰 수단이 된 것이 微積分学이다. 뉴튼과 라이프니츠 (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646~1716)에 의해 창안된 미적분은 17세기에 한창 관심의 대상이 되어 있던 운동과 변화의 이해를 위해 꼭 필요한 것이었다. 해석기하학이 기하학의 문제를 代数化해 주면서 나타난 곡선(또는 曲面)의 문제에는 첫째, 접선에 대한 문제와 둘째, 면적(또는 体積)을 구하는 문제가 있었다. 곡선 위의 모든 점에서 접하는 직선은 모두 다른 방향을 갖고 있다. 곡선의 방정식을 주면 그 곡선에 접하는 접선의 일반식을 찾아낼 수 있는 것인가? 또 그런 곡선으로 둘러싸인 면적을 구하는 일반式은? 이와 함께 운동의 문제에서는 순간속도에 대한 관심이 높아 갔다. 등속도 또는 등가속도 운동의 경우라면 문제는 간단하겠지만 낙체운동이나 시계추의 운동같이 운동속도가 변해가는 운동의 경우엔 각점에서의 순간속도를 알 필요가 있었다.

이 문제를 해결한 사람이 바로 뉴튼과 라이프니츠였다. 미적분은 역사상 아주 중요한 발견이었던만큼 이를 둘러싸고 뉴튼의 지지파와 라이프니츠의 지지파 사이에는 거의 백년동안 서로 감정적인 대립을 계속할 정도였다. 뉴튼은 1665년이나 1666년쯤에 이미 미적분의 아이디어에 도달해 있었다고 회상하고 있고, 또 이러한 주장은 사실처럼 보인다. 그러나 그의 미적분은 1704년에야 겨우 알려졌으며 그가 사용한 기호들은 라이프니츠의 것보다 불편한 점이 있었다. 반면 1675년 결정적 발견에 이른 라이프니츠는 1684년 그가 친구와 함께 내고 있던 유럽 최초의 과학잡지에 미분학을 발표하고 곧이어 적분방식을 발표했다. 개인적인 발견으로서는 뉴튼이 앞섰는지 몰라도, 공식 발표에서는 라이프니츠가 앞섰고 또 라이프니츠의 표시방법이 보다 편리해 오늘날까지 사용되게 된 것이다.

17세기의 수학은 그밖에도 確率에 대한 생각이 파스칼이나 훼르마 등에 의해 나타나기 시작했고, 스코트랜드의 존·네이피어(John Napier, 1550~1617)는 1614년에 対数의 발견을 발표하는 등 눈부신 발전을 보았다.