

케플러와 갈릴레이

朴 星 來 〈外大教授〉

科学革命 (下)

케플러

그리스 自然觀의 가장 큰 특징의 하나는 “圓形의 전설”—圓形에 대한 존경심—이었다. 그들은 완전한 세계인 하늘에서는 모든 천체가 완전원운동을 한다고 굳게 믿었고 이런 믿음은 中世까지 조금도 뒤흔들림이 없이 계승돼왔고, 코페르니쿠스와 브라헤도 전체의 원운동을 굳게 믿고 있었다.

바로 이 전설을 파괴하고 타원궤도선을 주장한 것이 요하네스·케플러 (1571~1630) 이다. 남서 독일의 바일(Weil)시에서 태어나 튜빙겐(Tübingen) 大學에서 공부한 케플러는 졸업 후 전문학교 수학교사가 되었다. 이때 24살의 젊은 나이에 처음 쓴 책이 《宇宙의 神秘》(Mysterium Cosmographicum)라는 신비주의 냄새가 풍기는 작품이다. 코페르니쿠스 우주관을 받아들이고 있던 케플러는 왜 지구를 포함한 6개의 행성은 일정한 거리를 서로떨어진 궤도를 갖고 있을까하는 의문을 이책에서 해결했다고 생각했던 것이다. 그에 의하면 지구밖에는 정12면체가 外接하고 있고 다시 거기 外接하는 球形위에 火星의 궤도가 있다는 것이다. 또 火星 밖에는 그에 외접하는 정면체가 있고 그에 외접하는 구형위에 木星궤도가 있다고 그는 주장했다. 이런 식으로 당시 알고있던 수성-금성-지구-화성-목성-토성의 각각 사이에 정 8 면체,

정20면체, 정12면체, 정 4 면체, 정 6 면체가 接하도록 우주는 구성돼 있다는 것이다.

우주에는 6 개의 행성만이 존재하고, 기하학적 적 완전다면체가 5 개만이 존재하는 까닭은 바로 이것들이 이처럼 서로 관련되었기 때문이라는 케플러의 주장은 과학적 근거에서 나온 결론



〈요하네스·케플러〉

은 아니다. 케플러의 이러한 發想은 그리이스의 플라톤이 4 원소의 이상상태를 정다면체로 보려던 생각과 그 軌를 같이하는 것이다. 케플러는 현상보다는 수학적이고 기하학적 이상 상태를 그려보려는 태도를 여기서 보여준 것이고, 그런점에서 그는 틀림없이 플라톤적인 사고구조를 가진 과학자였다.

9 개로 행성의 수가 늘어나면서 케플러의 생각은 이제 완전히 역사의 유물이 되었지만, 그

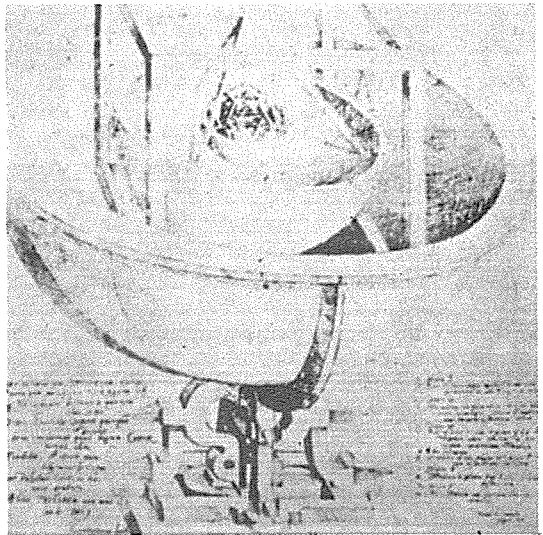
의 첫 책은 당시 최고의 천문학자였던 티코·브라헤의 관심을 끌 수 있었다. 케플러의 천재적 재능을 인정한 브라헤는 그를 프라하로 초대했고, 1600년 케플러는 그 초청에 응해 브라헤' 곁으로 달려갔다. 1년반만에 브라헤가 죽자 그때 부터 케플러는 20년간의 관측자료를 손에 넣고 자기 연구를 계속해갔다.

그의 과업은 브라헤의 관측자료와 혹성의 이론적 운동사이에 모순이 있는 것을 해결하려는 것이었다. 특히 火星운동을 중심으로 연구한 그는 관측에 의한 운동에 맞는 화성의 궤도를 여러가지로 고안해 보았으나 결코 완전히 일치하지는 않음을 알아냈다. 여러가지 圓궤도를 결합하고 離心현상까지를 인정해도 圓궤도로는 실제관측결과와 맞는 火星운동의 모델은 구할 수가 없었다. 그 오차란 것은 프톨레미나 코페르니스크라면 관측의 잘못으로 돌려버리고 넘어갈 정도의 사소한 것이었다. 그러나 브라헤의 철저한 관측기술을 잘 아는 케플러는 관측결과만은 절대 믿을 수 있다는 결론아래 70여번이나 화성 궤도의 모델을 바꿔보았다. 그 결과 어쩔 수 없이 圓궤도를 버리고 타원궤도를 이용하여 비로소 케플러는 만족한 결과를 얻을 수가 있었다.

1609년 그는 《새로운 天文学》(Astronomia nova)을 써서 케플러의 3 법칙중 처음 두 법칙의 발견을 발표했다. 혹성은 타원궤도를 그리며 태양은 그 초점의 하나라는 제 1 법칙은 1605년에서야 발견되었다. 그러나 “면적 속도의 법칙”이라 알려져 있는 제 2 법칙은 그보다 3년이나 앞서 1602년에 이미 발견되었었다. 圓形의 매력으로부터 벗어나 타원궤도를 발견하는 어려움을 여기서도 엿 볼 수 있다.

그의 제 3 법칙, 즉 혹성의 공전주기의 제곱은 태양과 혹성사이의 평균거리의 세제곱에 비례한다는 법칙은 그보다 10년뒤인 1919년에야 발표되었다. “조화의 법칙”으로 알려져 있는 이 법칙은 케플러가 20대의 젊은시절 갖고있던 꿈을 실현한 듯한 업적이었다. 20대에 기하학적인 완전다면체를 이용하여 혹성의 배치관계

를 설명하려 했던 케플러는 이제 《세계의 조화》(Harmonicus mundi)라는 책을 지어 그 배치가 일정한 비례관계를 갖고 있음을 증명해 낸 것이다.



〈케플러가 1596년 첫 발행한 「宇宙의 神祕」에서 시도한 惑星운동 模型圖〉

케플러는 특히 《세계의 조화》에 상당한 성취감을 느꼈던 것 같다. 그는 이 책의 머릿말속에서 “이 책은 1백년간 독자를 기다려야 할지 모른다. 하지만 神은 6천년안이나 예언자를 기다리지 않았는가”라고 말하고 있다. 분명히 그의 업적은 놀라운 것이었다. 그러나 그의 예언과 거의 같이 그의 타원궤도설은 이렇다할 반응을 얻지 못했다. 1632년에 말썽의 씨앗이 된 책을 지으면서 가릴레오는 케플러의 타원궤도설은 완전히 무시한채 원형의 우주운동을 말하고 있을 정도다. 케플러가 그의 책을 가릴레오에게 보내주었음에도 불구하고-

천체가 圓운동을 한다고 할 때에는 그 이유는 설명할 필요가 없었다. 圓운동은 “自然的”이라는 믿음이 널리 퍼져 있었기 때문이다. 그러나 궤도가 타원이라고 할 때는 왜 다른모양이 아닌 타원운동을 하는지를 설명해 줄 필요성이 생기게 되었다. 케플러는 오랫동안 그문제를 생각해 봤으나 아직 관성의 개념을 갖지 못하고 있던 그는 천체의 움직임을 지속적인 힘의

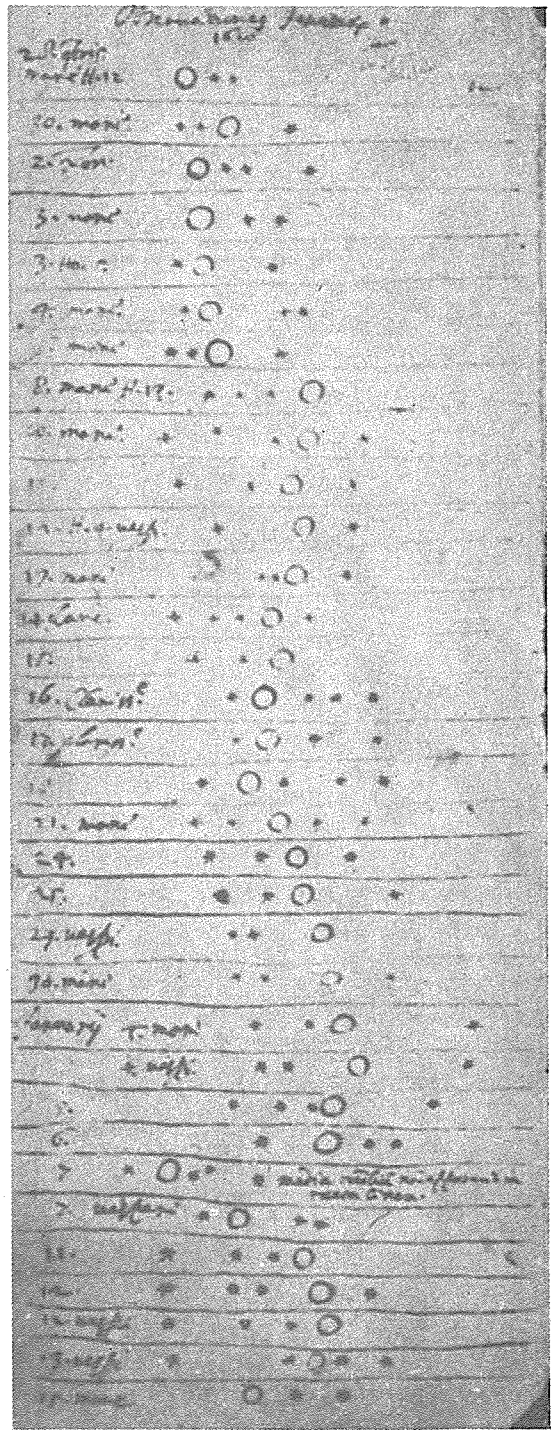
작용이라는 테두리 안에서만 생각했다. 그는 결국 태양이 계속적으로 천체에 어떤 힘을 작용하고 있다고까지 그의 생각을 발전시킬 수가 있었다. 그의 생각은 磁力비슷한 그런 것이었고, 그 힘이 거리의 제곱에 반비례한다는 것으로 짐작하여 만유인력의 개념에 거의 접근해 가고 있었던 셈이다. 그러나 그 올바른 관계를 수학적으로 밝혀내어 케플러의 수수께끼(왜 타원궤도를 그리나?)를 완전히 해결한 것은 뉴튼이었다.



〈機械, 天文, 科學方法論에 크게 공헌한 갈릴레이〉

갈릴레이

케플러와 같은 시대를 살고 간 갈릴레오·갈릴레이(Galileo Galilei, 1564~1642)는 흔히 근대 물리학의 창시자로 불리울 만큼 커다란 발자취를 후세에 남긴 사람이다. 이탈리아의 피사(Pisa)에서 가난한 귀족의 집안에 태어난 갈릴레이는 天文学과 力学의 두분야에서 모두 탁월한 업적을 남겼다. 전문학에 관한 그의 업적은 첫째 망원경의 발견으로 인한 새로운 천체관측, 둘째, 코페르니쿠스설을 지지하는 책을 지어 종교재판까지 받은 사건등의 두가지로 나누어 살



〈木星과 土衛星의 운동을 관측, 기록한 갈릴레이의 메모장 일부〉

펴 볼 수 있다.

망원경은 1608년 홀랜드사람 한스·리퍼 이(Hans Lippershey)가 처음 만든 것으로 보통 인정되어 있다. 그러나 망원경을 만드는 원리는 이미 로저·베이콘이 몇백년 앞서 예언한 바가 있다. 여하튼 갈릴레이는 어느홀란드인이 렌즈 두개를 이용하여 망원경을 만들었다는 소문에 자극을 받고 1609년 스스로 망원경을 만들기 에 성공했다. 피사大学과 피두아大学의 수학 교수였던 그가 세계적 명성을 얻기 시작한 것은 망원경을 이용한 그의 천문학상의 업적이 1610년 부터 나오기 시작한 때문이다.

1610년 그는 우선 《별의 使者》(Siderius Nuncius=Starry Messenger)를 지어냈고 곧 이어 망원경을 이용한 천문관측 결과가 계속 발표되었다.

그가 발견한 사실은 당시까지는 아무도 감히 상상하지 못했을 정도로 하늘을 무수히 많은 별들로 덮혀있다는 것이었다. 우선 달의 표면은 지구나 마찬가지로 산과 들과 계곡이 있는듯이 울퉁불퉁해 보였다. 은하수가 무수히 많은 별들의 모임이라는 것을 밝혀낸 그는 망원경을 태양으로 돌려 태양이 자전한다는 사실과 그위에 나타나는 黑點을 발견해냈다. 그는 또한 金星은 달처럼 찻다 이윽었다하는 朔望현상을 보인다는 것도 알았고 또 木星에는 네개의 달(衛星)이 있음을 알아내기도 했다.

이 모든 발견은 한마디로 말해서 아리스토텔레스적 우주관의 종말을 가져오는 결정적 증거들이었다. 이미 앞서 얘기한 것처럼 티코·브라헤의 新星이나 혜성의 보고는 “완전한 영원불변의 하늘”이라는 중세까지의 天地兩分說을 부인하는 좋은 증거였다. 木星둘레를 빙빙 도는 4개의 위성은 木星에는 天球가 없음을 증명해 주었고 그렇다면 도대체 천구란 어느곳에도 없으리라는 것은 쉽게 짐작이 가는 일이었다. 망원경의 발견은 완전하기는 커녕 불안전하고 변화 투성이의 하늘을 인간에게 들어내 주었다. 망원경의 관측결과 별들이 한개의 星天球에 다닥다닥 붙박혀있지 않은 것만은 이제 분명해졌



〈1632년 간행된 갈릴레이의 「天文学對話」표지, 아리스토텔레스, 프톨레미, 코페르니쿠스가 논쟁을 벌이고 있다〉

다. 별들은 가까이 혹은 멀리 흩어져 있는 듯이 보였다. 우주는 과연 그전 사람들이 믿던것 같이 유한한 것일까하는 의문도 일어날 법했다.

사실 宇宙無限說은 망원경이 나오기 전에 이미 갈릴레이와 같은 시대에 주장한 사람이 있었다.

우주는 무한하고 그속에서 지구란 한낱 작은 티끌에 비유할만한 존재에 지나지 않는다는 브루노(Giordano Bruno, 1548~1600)의 주장은 중세 기독교사상의 급소를 찌르는 위협적인 것이었다. 브루노는 이밖에도 여러가지 정통 기독교가 인정할 수 없는 사상을 들고 나섰고 교황청은 드디어 1600년 로마에서 브루노를 화형에 처했다.

이런 분위기속에서 망원경에 의한 여러 발견들은 바로 브루노가 주장하던 투의 이단적 학설을 지지해주고 있는 듯하다. 교회가 위협을

느낀 것은 당연한 일이었고 교황청의 보수파들은 마침내 1616년 갈릴레오에게 코페르니쿠스說을 지지해서는 안된다는 명령을 내렸다. 곧이어 교황청은 정식으로 地動說이 잘못된 說이며 성서의 가르침에 어긋나는 것이라고 선언했다.

위와같은 분위기속에서 갈릴레이의 두번째 업적-그리고 그를 역사상 가장 유명하게 만든 사건-은 이루어졌다. 1632년 그는 《두가지 世界像에 관한 對話》(Dialogo del massimi sistemi del mondo) 또는 《天文学對話》라고 알려진 유명한 책을 내었다. 1616년의 교황청 결정이 교회의 앞날을 어둡게 한다는 믿음은 갈릴레이는 그 결정을 반복시키려고 평소 알고있던 교황 우르바누스(Urbanus) 8세를 여섯번이나 만났다. 그러나 보수파의 강한 반대앞에 교황이 갈릴레오에게 베풀수있던 유일한 호의는 그에게 “공정한”책을 써도 좋다는 허락이었다. 天動說과 地動說을 소개하되 어느쪽이 옳다고는 말하지 말라는 것이 그 책을 쓰는 조건이었다.

《두가지 世界像에 관한 對話》는 한 사람의 사회자와 두사람의 대립되는 의견을 가진 등장인물을 통해 얼핏보기에 “공정하게” 토론을 펼쳐가고 있다. 그러나 내용을 살펴보면 아리스토텔레스와 프톨레미를 대변하는 등장 인물이 좀 우둔하고 토론내용을 알지도 못하는 듯이 그려져 있음에 반해 코페르니쿠스설의 대변자는 재치있고 똑똑한 인물로 그려져 있다. 분명히 갈릴레이는 약속을 저버린 셈이었고 이것이 교황을 노하게 만든 것이었다.

1633년 갈릴레이는 異端審問所에 불려가 유죄판결을 받고 코페르니쿠스說을 배척하겠다는 약속을 할 수 밖에 없었다. 이 재판을 마친후문을 나서면서 갈릴레이가 너갸했다는 말이 “그래도 그것(지구)은 돈다”(Eppursi muove)라고 전해지고 있다. 갈릴레이의 《두가지 世界像에 관한 對話》는 케플러의 책과 더불어 《禁書目錄》에 올라 카톨릭교회는 1835년까지 이를 해제하지 않았다. 한편 갈릴레이는 그후 죽을 때까지 자기 집을 떠나지 못하는 연금상태에서 평생을 보냈고 말년에는 失明하여 불편한 생활을 했다. 그러나 어떤 의미에서는 이 시절이 갈릴

레이에게는 가장 생산적인 시기였다고도 할 수 있을 정도로 그가 1638년에 내놓은 力学연구는 근대 물리학의 시작이라고도 할 수 있는 큰 업적이었다. (이 부분은 뒤에 力学발달을 다룰때 다시 설명할 것이다).

오늘날 일반인은 물론 역사가들까지도 갈릴레이라면 금방 생각하는 것은 바로 1632~1633년 사이에 벌어졌던 그에 대한 思想의 탄압이다. 이사건으로 교회는 진보적인 지식층으로부터 신망을 잃은 것도 사실이고 이사건은 서구 思想史에 있어 하나의 큰 갈림길이었는 것도 사실이다. 엄밀한 과학적인 관점에서만 볼 때 이 사건은 별 의미가 없다. 갈릴레이의 1632년 저술에는 아무런 새로운 과학적 공헌은 없다고 말할 수 있기 때문이다. 그러나 역사의 보다 큰 흐름이라는 관점에서 볼 때 이 사건은 코페르니쿠스가 심은 씨가 하나의 열매를 맺는 그런 큰 뜻을 가지고 있었다고 할 만하다.

力学발달의 선구자들

지금까지 다루은 天文学의 발달이 우주의 구조를 두고 전개돼 온 것인데 반해 여기에는 왜 천체는 그렇게 움직이느냐는 운동의 문제가 있었다. 처음에는 천체의 운동문제는 그리이스이래의 선입견을 좇아 <모든 천체는 완전한 원운동을 한다>고 믿어버리고 말았다. 케플러가 타원케도설을 제창하긴 했지만 원케도설을 믿고있는 한 아무도 천체운동은 그 이유를 설명할 필요가 없었다. 또 바로 이것이 갈릴레이에 이르기까지의 실정이기도 했었다.

따라서 운동에 대한 과학적 관심은 천체운동을 대상으로 보다는 땅위의 운동을 두고 연구되었던 것이다. 중세 말기의 일부 학자들이 임피터스說등 관념적인 力学연구를 진행한 것은 사실이지만 그들은 그들의 이론을 실험을 통해 실증하려는 태도는 보이지 않았었다. 이 태도에 큰 변화를 준 것은 르네상스 이탈리아에서 비롯한다고 볼 수 있다. 자유도시에서 스스로의 아프리카나 공장을 차리고 있던 르네상스의 예술가·기술자들은 높은 교양과 기술을 닦아가며 돈많은 후원자들과 접촉하는 시대였다.