

기상학의 사회적 구성?: 불완전한 모델에 대한 신뢰

Paul N. Edwards, *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming* (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2010)

강기찬†

지구 온난화는 실재하는 현상인가, 기후학 모델이 만들어낸 근거 없는 학설인가? 만약 실제로 지구의 기온이 상승하고 있다면 그것은 인간의 활동 때문인가, 아니면 자연스러운 현상인가? 지구 온난화의 존재를 부정하는 이들은 지구 온난화를 지지하는 기후학자들의 학설이 모델 상의 예측일 뿐이며, 확실한 과학적 근거가 빈약하다고 주장한다. 저자인 기술사 학자 폴 에드워즈(Paul A. Edwards)는 바로 그 기후학 모델에 주목하였다. 그에 따르면 실상 모든 기후 연구는 모델링에 의지하고 있으며, 기후학적 지식과 데이터는 모두 모델이라는 매개를 거쳐 생산된 것이다.

책의 제목인 “거대한 기계(A Vast Machine)”는 1839년에 영국의 비평가인 존 러스킨(John Ruskin)이 “기상 과학의 현 상태에 관한 논평(Remarks on the Present State of Meteorological Science)”이라는 글을 통해 처음 사용한 용어를 차용한 것이다. 저자가 책의 서두에 제시한 인용구에 따르면, 러스킨은 이상적인 기상학 연구의 이상적 형태로 “거대한 기계”라는 표현을 사용했다. 그는 기상학 연구는 혼자서 할 수 없는 것이므로 한 명의 기상학자의 관찰만 따로 놓여있다면 그것은 무의미하다는 점을 지적했다. 따라서 러스킨은 기상학 공동체가 지구 전체의 표면과 대기에서 일어나는 모든 일을 연속적으로 관찰하고 분석할 수 있는 완벽한 시스템을 갖춘 거대한 기계(vast machine)의 중심이 되어야 한다고 믿었다. 에드워즈는 기상학 연구라는 것이 전

† 서울대학교 과학사 및 과학철학 협동과정, mugenkc@nate.com

지구로부터 데이터를 모으고, 데이터를 지구적인 것으로 만드는 작업을 반복하는 활동이라는 의미에서 러스킨의 표현을 빌린 것이다. 그가 그리는 오늘날의 기상학은 19세기의 러스킨으로서는 상상할 수 없었던 다양한 기구 및 방법을 이용하는 거대한 기계로 존재한다고 볼 수 있다.

저자는 20세기 초부터 말까지 기후 모델이 만들어지고, 활용되고, 재평가되고, 확산되는 과정을 묘사하는 데 세 가지 중요한 개념을 이용한다. 첫째는 “기반구조적 도치(infrastructural inversion)”이다. 이는 이미 개발된 이론이나 모델을 다시 데이터에 적용하여 재분석하고 수정을 가하는 것을 의미한다. 이러한 일이 필요해지는 것은 기본적으로 기상학, 특히 그 중 저자가 큰 관심을 두는 기후학이 역사적 데이터를 이용하는 학문이기 때문이다. 둘째는 “모델-데이터 공생(model-data symbiosis)”이다. 이는 모델과 데이터가 서로를 구성한다는 것을 의미한다. 즉, 기후 예보 모델에 대한 요구가 전 지구적인 데이터망의 구축에 힘을 보탬고, 모델이 없었다면 방대한 데이터를 기상학자들이 사용할 수 없었을 것이다. 또한 기상학자들은 데이터 동기화 모델을 통해 이질적이고 파편적인 각 지역의 데이터를 균질적이고 일관적인 지구적 데이터로 재가공할 수 있었다. 기상학자들의 일반 순환 모델은 과학자들로 하여금 전지구적 데이터를 이용하여 실험을 할 수 있게 하며, 다시 동기화 모델을 이용하여 역사적 기상 데이터를 재평가함으로써 예보와 기후 과학을 재결합시켰다. 셋째는 “마찰(friction)”이다. 마찰은 크게 데이터 마찰, 메타데이터 마찰, 그리고 계산적 마찰을 모두 지칭한다. 데이터 마찰은 기상학 연구를 위한 데이터를 수집하는 과정에서 드는 노력과 겪는 어려움을 뜻한다. 기상학은 과거로부터 누적된 역사적 데이터를 이용하기 때문에 그 데이터의 신뢰성을 의심할 수도, 혹은 데이터에 대한 해석을 다르게 할 수도 있는데, 이 때 메타데이터 마찰이 발생한다. 즉, 어느 순간 기상학 연구자는 데이터 그 자체에 대한 연구를 다시 하게 된다는 것이다. 끝으로 계산적 마찰은 기후학 데이터의 방대함으로 인해 발생하는 계산의 어려움을 뜻한다. 이 문제는 상당 부분 컴퓨터의 등장과 함께 해결 되었다.

에드워즈는 기상학이 본격적으로 거대한 기계로서 존재하기 위해서는 다양한 기반구조가 필요했음을 주장한다. 그는 기상학의 역사에서 중요한 전환점 중 하나로 1950년대 컴퓨터의 등장을 꼽는다. 이전 시기까지 전 지구적인 데이터를 수집하는 것도, 이를 계산하는 것도 쉽지 않았다. 기상학이 본격적으로

발전한 것은 제2차 세계 대전과 이후 이어진 냉전의 맥락 속에서 군사적 목적 하에 기상학에 대한 지원이 이루어지면서부터이다. 기상학, 특히 수치 날씨 예측(numerical weather prediction)은 초기 컴퓨터의 개발에 지대한 영향을 미쳤다. 1950년 에니악(ENIAC)이 개발되었을 때 처음 수행한 일들 중 하나가 그때까지 축적된 기상 데이터를 바탕으로 한 소급 예측이었다는 사실은 기상학이 당시 컴퓨터 개발과 밀접한 연관이 있었음을 방증한다. 실상 컴퓨터를 이용한 모델링이 가능해지면서 그 이전에 불가능했던 각종 계산이 가능해졌고, 그에 따라 19세기 이후 독립된 전통을 형성하며 발전해왔던 기상학의 분야인 일기 예보와 기후학이 다시 만날 수 있었다. 그러나 컴퓨터가 있다 하더라도 지구 상의 모든 장소에서 완벽한 기후 정보를 동시에 관측하고 데이터를 얻어내는 것이 가능하지는 않았다. 컴퓨터는 기상학 연구에 필요한 중요한 기반 중 하나일 뿐이다. 기상학에 필요한 다양한 기반 시설이 갖추어지는 과정은 컴퓨터의 발명 정도로 간단히 설명될 수 없는 것이었다.

에드워즈는 기상학 연구의 기반구조가 갖추어지는 과정을 역사적으로 보여준다. 그는 변화하는 국제 정세와 사회적 요건들 속에서 어떠한 기반구조를 갖추어나갈 수 있었고 기상학 연구가 어떻게 변해갔는지를 보여준다. 19세기에 보편적 시간 기준의 탄생과 국제 협회의 설립 이후 이론 기상학, 대기 과학, 그리고 기후학으로 나누어져 있었던 기상학은 20세기의 2차 세계 대전과 냉전 등 정치적 맥락 속에서 개발된 컴퓨터와 인공 위성 등의 신기술을 이용할 수 있게 되었다. 반대로 컴퓨터와 인공 위성 개발에 기상학적 필요가 영향을 미치기도 했다. 에드워즈는 20세기 전반에 걸친 국제 정치적 변화 속에서 범국가적 데이터 수집과 공유, 분석을 가능하게 하는 거대한 기계의 기반구조가 개별 시스템에서 네트워크로, 그리고 네트워크들의 집합인 망으로 발전해 가는 과정을 세밀하게 묘사한다. 그 과정에서 기반구조적 도치가 발생했다. 특히 1970년대 이후 여러 시대적, 사회적 맥락 속에서 누적된 이질적인 데이터에 대한 대대적인 재해석과 재해석된 데이터를 이용한 모델의 수정이 일어났다.

에드워즈가 보여주는 모델의 발전 과정 속에서 우리가 알 수 있는 것은 기상학 이론이나 모델은 안정화되기 어렵다는 것이다. 통상적으로 기상학 모델은 피타고라스의 정리처럼 완전한 이론으로 인식되지 못하고 있다. 이는 기상학적 데이터가 역사적인 것이기에 거대한 기계가 발전하면서 과거 기후에 대한 지식이 바뀔 수 있는 여지가 있으며, 따라서 기상학적 지식이 근본적인 불

완전성을 지니고 있기 때문이다. 제2차 세계 대전 이후 기상 데이터를 측정하는 기관이나 시설이 전 세계에 점점 더 촘촘하게 만들어지면서 전 지구적 데이터가 생산되기 시작했고, 후에 인공 위성과 같은 여러 장치를 통해 지표면 뿐 아니라 더 높은 곳까지 관측할 수 있게 되어 어느 정도는 지구 전역의 기상 데이터를 포괄적으로 얻어낼 수 있게 되었다. 하지만 여전히 지구 모든 곳에 관측소를 세울 수는 없기 때문에 관측소가 없는 지역의 데이터는 데이터 모델을 통해서 만들어낼 수밖에 없는 것이다. 그리고 이 새로운 모델에 의해 과거의 이질적인 데이터들은 재해석되고 다시 재해석된 데이터로 인해 모델이 수정되는 일이 반복되게 된다. 저자는 데이터와 모델이 안정화되지 못하는 이 모습을 “어른거린다(shimmer)”는 말로 표현한다. 기상학적 지식은 어른거리는 특징을 지니고 있는 것이다. 비슷한 특징을 지닌 사회과학 모델로 에드워즈는 경제학 모델을 든다. 기상학 모델은 경제학 모델과 마찬가지로 불완전성과 불안정성을 내포하고 있다.

에드워즈의 서술은 일견 기후학의 블랙박스를 열어 기후학적 지식의 확실성을 흔드는 작업으로 보일 수 있다. 그러나 그는 이로부터 정 반대의 이야기를 한다. 그는 기상학적 지식의 불완전성을 드러냄에도 불구하고 기상학 모델을 신뢰해야 한다고 주장한다. 저자가 보여주고자 하는 것은 기상학 모델이 허황된 것이라는 점이 아니라 기상학 모델이 불가피하게 불완전한 면을 지닐 수밖에 없다는 것이다. 전 지구의 기후에 대한 연구에 사용되는 데이터 자체가 역사적인 성격을 띠어 다양한 해석의 여지를 지니기에 불완전성을 내포하고 있을 뿐 아니라 모든 시간, 모든 지역의 기상 데이터를 수집하는 것 자체가 불가능하기 때문에 기상학 연구는 모델에 의존할 수밖에 없는 것이다. 따라서 그는 기상학 모델과 이를 통해 얻어지는 지식은 현재까지 우리가 얻을 수 있는 기후에 대한 지식 중 가장 믿을만한 것이고, 이 지식이 작동하도록 해야 한다고 주장한다. 에드워즈가 경제학 모델을 기상학 모델과 비교하는 것은 경제학 모델이 불완전함에도 사람들의 지지를 받는 것처럼 기상학 모델 역시 그러한 지지를 받을 만 하다고 주장하기 위함이다.

결국 저자의 서술은 기상학 모델의 역사를 살핌으로써 모델을 만들고 사용하는 기상학자들의 진지한 고민과 연구의 가치를 강조하고, 이를 통해 반대론자들의 입장을 비판하기 위한 것으로 이해할 수 있다. 기상학자들의 주장에 반대하는 이들은 기상학적 지식이 모두 모델에 기반을 둔 것으로 불완전한 예측

일 뿐이라고 주장하며 기상학 모델이 작동하지 못하도록 하려 한다. 그러나 저자는 모델의 개발 및 수정 과정을 보여주어 기상학자들의 주장이 일개 모델에 의한 계산 결과 정도로 치부할 수 없는 것임을 주장하는 것이다. 19세기부터 20세기에 걸쳐 각종 국제 관계, 전쟁, 사건 등을 거치며 전 지구적인 기상학 모델이 만들어졌다. 이 과정 속에서 기상학자들은 모델을 만들고 데이터를 모델에 맞춰 고치고 다시 모델은 조정을 해 왔다. 조정을 하는 과정에서 중요한 것은 새로운 데이터보다는 모델 자체의 타당성이다. 에드워즈는 최신 데이터와 모두 맞는 모델을 만드는 것이 기상학 연구의 기반 구조가 가지는 특징으로 인해 인식론적으로 불가능하다고 보았기 때문에 모델의 타당성이 중요한 기준이 될 수밖에 없었음을 보이려 한다. 이렇게 만들어진 모델이 과거 지구의 기후 데이터를 이용하여 도출해 낸 결론은 지구 온난화가 진행 중이라는 것이었다. 이 결론을 확인하기 위해서 여러 과학 공동체들이 수많은 동료 평가를 수행했고 기후 변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 검증 과정도 거쳤다. 이는 기상학 연구에 사용된 다양한 모델과 데이터가 모두 겪은 일들이었다. 저자는 이러한 길고 복잡한 과정을 서술함으로써 기상학 연구를 믿을 수 없는 불확실한 모델이라고 치부할 수 있는지 아니면 이 자체를 하나의 실재하는 과학적 방법론으로 인정하고 믿음을 주어야 할 것인지 묻고 있는 것이다. 에드워즈는 과학적 방법론에 신뢰를 주지 않는 것은 현대 과학 자체를 부정하는 것이라 보는 것이다.

그렇다면 과학은 무엇인가? 과학을 현상에 대한 면밀한 관찰을 통해 얻은 데이터를 추상화하여 이론을 얻어내고 이를 통해 추후 일어날 현상을 예측하는 활동이라 정의한다면 기상학은 이 정의에서 벗어나 있다. 앞서 말한 것처럼 에드워즈가 묘사한 기상학에서 모델과 데이터는 공생한다. 관찰을 통해 얻은 데이터만으로는 이론이 완성되지 못한다. 이론은 모델이 되고 모델은 다시 데이터에 의해 수정된다. 또한 그 데이터 역시 자연을 관찰함으로써만 얻어지는 것이 아니라 특정한 지점의 데이터를 이용하여 계산된 평균치를 바탕으로 만들어진 모델에 의해서 획득되는 경우가 많다. 데이터가 모델을 만들기도, 모델이 데이터를 만들기도 하면서 함께 변화해 가는 것이다. 에드워즈는 관찰로부터 만들어지는 완성된 지식이 아닌 완성에 끝없이 가까워지는 진지한 자연에 대한 탐구 그 자체를 과학이라 생각하는 것으로 보인다. 그리고 그러한 과학은 “과학적”이라 여겨지는 특정한 절차를 거쳐 철저하게 확인받음으로써 그 과학

성을 인정받고 작동하게 된다고 이해할 수 있다. 이는 그가 동료 평가나 IPCC의 검증 절차를 중요하게 다루는 것에서도 엿볼 수 있다.

에드워즈는 과학에 대한 STS 연구가 과학을 사회적 합의나 이테올로지 수준의 것으로 만들어 버렸다고 비판한다. 처음 STS 연구가 시작되었을 때 연구자들의 주장은 과학적 지식이 자연의 재료를 이용하여 인간이 만들어 낸 것임을 보이는 것이었다면, 어느 순간 자연의 재료는 사라지고 인간이 만들어 낸 것만 남았다는 것이다. 즉, 과학적 지식은 언제든 전복될 수 있는 사회적 합의에 지나지 않고, 절대적이지 않은 것처럼 그려졌다. 물론 이러한 주장을 하면서도 과학적 지식이 지닌 가치를 강조할 수는 있다. 언제든 전복될 수 있지만 현재까지 만들어진 것 중에서는 가장 많은 시험을 거친, 언제든 변할 수 있지만 허구는 아닌 지식으로 생각한다면 그 지식은 어느 정도의 신뢰성을 획득할 수 있다. 하지만 극단적으로 과학적 지식이 사회적 합의에 의해 도출된, 자연을 반영하지 않은 인간의 순수한 창작물이라고 생각한다면, 그래서 과학적 논쟁에서 어느 쪽이든 일리가 있고 또 어느 쪽이든 허구라고 생각한다면 과학은 이테올로지에 지나지 않은 것이 되어 버린다는 것이다. 저자는 이러한 관점이 과학에 대한 분석 자체를 불가능하게 만들어 버린다고 비판한다. 그가 결론에서 이러한 논점을 제기한 것은 아마도 STS 학계의 연구가 의도와 다르게 이용되는 모습을 보았기 때문으로 보인다. 과학사학자 나오미 오레스케스(Naomi Oreskes)가 그녀의 저서에서 보여주었듯이 담배 회사나 지구 온난화에 반대하는 이들이 사용하는 이른바 “담배 전략”은 어떠한 주장을 입증하거나 반증하기보다는 모든 논점과 지식을 불확실하게 만들어 의혹을 재생산한다. STS 연구가 이러한 전략에 이용될 수 있음을 경계해야 한다는 것이다.¹

하지만 책의 결론에서 드러나는 에드워즈의 강한 주장은 몇 가지 측면에서 그의 긴 서술과 논리적으로 긴밀히 연결되지 않는 측면이 있다. 우선 에드워즈는 과학이 단순한 인간의 창작물이 아니라 자연을 소재로 한 구성물이기 때문에 어느 정도의 절대적인 가치를 지닌다는 주장을 하지만, 그가 길게 서술한 기상학 모델의 역사는 기상학 데이터 자체의 불완전함과 해석적 유연성으로 인해 기상학적 지식이 정치적·사회적 맥락에 의해 다르게 이해되고 사용될 수 있는 가능성이 있음을 보여주기도 한다. 둘째로, 에드워즈는 경제학 모델과

1 나오미 오레스케스·에릭 M. 콘웨이, 유강은 옮김, 『의혹을 팝니다』(미지북스, 2012).

기상학 모델을 비교하는데, 만약 두 모델이 모두 불완전하고 어른거리는 특징을 지닌다면, 사람들의 폭넓은 지지와 신뢰를 받는 것은 모델의 불완전성과는 별다른 관계가 없을 수 있다. 결국 과학 이론의 성공과 실패가 이론 자체의 정합성이나 완전성보다는 다른 사회·정치·문화적 맥락에 의해 결정된다는 주장이 이 두 모델의 비교로부터 나올 여지가 있다. 이는 과학의 절대적 가치에 대한 에드워즈의 주장과 상반되는 것으로, 그가 내린 결론의 내적인 일관성을 약화시킬 수 있는 부분이다. 셋째로, 에드워즈 그 자신도 기상학 모델의 가치를 평가하는 기준으로 사회적 합의로 만들어진 절차를 강조하고 있다. 에드워즈가 과학의 절대적 가치를 주장하면서도 기상학 모델의 과학성을 이야기하는 부분에서는 동료 평가나 IPCC의 검증과 같은 과학자 사회의 관행 혹은 절차를 중요한 기준으로 다루는 것은 에드워즈 자신 역시 사회적 합의가 만들어낸 틀에서 벗어나지 못했음을 뜻하며, 여전히 사회적 합의가 과학을 평가하는 기준으로 강력하게 작용하고 있음을 보여준다.

그럼에도 에드워즈의 기상학에 대한 주장이나 STS에 대한 비판은 우리에게 중요한 시사점을 던진다. 그의 주장은 현대를 살아가는 사람으로서, 또 과학을 연구하는 과학학도로서 우리가 가져야 할 자세에 대한 반성의 기회를 제공하는 측면이 있다. 과학학도로서 우리는 상대주의와 대칭성이라는 원칙에 매료되어 지나친 상대화를 범하지는 않았을까? 혹은 상대성이 의도와는 다르게 사용될 가능성을 경계하는 데 게으르지 않았을까? 상대주의적 서술이 과학에 대한 분석을 불가능하게 만든다는 그의 주장은 분명히 지나친 면이 있다. 에드워즈의 주장은 과학에 대한 분석이 단순한 기술에 그치지 않고 무엇이 더 믿을 수 있는 과학인지 판단할 수 있는 기준을 제시하는 가치 평가로까지 이어져야 한다는 것을 전제하고 있는 것으로 보인다. 이러한 전제에 누구나 공감을 느끼는 것은 아니기 때문에 그의 주장에 쉽게 공감하기 어려운 부분도 있다. 하지만 과학을 연구함에 있어서 생각해 볼 가치가 있는 중요한 문제이다. 현대를 살아가는 한 사람으로서 우리는 기후 문제에 관심을 가질 수도 있고 가지지 않을 수도 있다. 하지만 기상학적 지식에 대해 의심을 품느냐 신뢰를 갖느냐는 다른 문제이다. 이는 더 나아가 과학 전체에 대한 의심을 어느 정도까지 가지고 갈 것인가의 문제와 직결된다. 에드워즈는 이러한 문제에 한 가지 답안을 제시했다고 볼 수 있다.