

티모시 M. 렌턴, 브뤼노 라투르 | 우지수 옮김

## 가이아 2.0

### —인간은 지구의 자기-규제에 자기-인식을 더할 수 있을까?



러브록과 마굴리스의 가이아 가설에 따르면, 지구는 지난 35억 년간 행성 차원에서 자기-규제 시스템을 통해 ‘서식 가능 조건’(habitable condition)을 스스로 유지해왔으며, 생명체들은 이 시스템의 일부다(1, 2)(괄호 안의 숫자는 인용한 논문의 번호를 의미한다. 원문의 괄호 표기를 그대로 살렸다. 인용 문헌은 글 맨 뒤에 정리했다—옮긴이). 가이아는 유기체의 구성 요소에 대한 예측이나 계획 없이 작동해왔지만, 인간의 진화와 기술은 가이아의 작동 방식을 바꾸는 중이다. 지구는 이제 인류세(Anthropocene)(3)라 불리는 새로운 세(世, epoch)에 접어들었고, 인간은 그들의 행동이 가져올 전 지구적인 결과를 인지하기 시작했다. 그 결과, 개인적인 행동에서부터 전 지구적인 지구공학 계획에 이르기까지의 의도적인(deliberate) 자기-규제가 이미 일어나는 중이거나 일어나기 직전이다. 이처럼 가이아 안에서 그것의 작동에 관한 의식적 선택을 하는 것은 가이아를 근본적으로 새로운 상태로 만드는데, 우리는 이것을 ‘가이아 2.0’이라고 부른다. 생물체의 ‘행위성’(agency)과 목표를 설정해나가는 능력을 강조함으로써, 가이아 2.0은 전 지구적인 지속가능성을 함양하는 데 효과적인 틀이 될 것이다.

언뜻 보기에 가이아 2.0을 성공적으로 만들어낼 가능성은 없는 듯하다. 과학자와 활동가, 시민이 대규모로 동원되어야 하는데도 불구하고, 대다수는 인류세에 무관심하고 인류에 의한 기후 변화(4)를 부정하기도 하는 탓이다. 게다가 이런 맥락에서의 자각(consciousness)이, 이미 저질러진 실수를 부분적으로만 바로잡을 수 있다는, 너무 뒤늦고 회고적인 깨달음만은 아니라는 것을 입증할 방법도 없다. 정

말이지 가이아 가설(1)은 현재 인류세(3)가 시작되었다고 이야기되는 바로 그 시기에 처음 공식화되었다. 게다가 사회 다윈주의, 사회생물학, 변증법적 유물론 등의 사례는 자연 현상에서 정치적인 교훈을 끌어내는 것에 문제가 있다는 점을 시사한다.

그럼에도 초기 가이아(original Gaia) 개념과 앞으로 가능할 가이아 2.0 사이의 연관성을 다시 한번 살펴보는 것은 중요하다. 왜냐하면 초기 가이아는 서구 문명의 발전 과정에서 형성된 기존의 자연 개념에는 없는 많은 특징을 갖고 있기 때문이다. 인류세 이전에 서구 사회는 자신들을, 수동적인 물질적 환경 속에서 유일하게 의식적인 행위자들과 보았다. 그러나 오늘날의 서구 사회는 살아 있는 유기체들(living organism)의 인정사정 봐주지 않는 반응에 대응해야만 한다. 유기체들은 자신들의 생존을 위한 조건을 부분적으로 만들어가면서, 끊임없이 자신의 환경을 재편성하고 있다(4, 5). 따라서 가이아는 이전에는 보이지 않던 인간과 비인간 사이의 새로운 연속성—자유로운 행위자들 간의 관계—을 확립한다(4). 이러한 방식의 이해는 가이아 2.0을 만들기 위해, 가이아의 특징에서 교훈을 얻을 수 있게 해준다. 우리는 다음과 같은 세 가지 특징에 초점을 맞출 것이다. 첫째는 독립 영양(autotrophy), 둘째는 네트워크(networks), 그리고 마지막으로는 헤테라키(heterarchy)다(수직적인 위계질서를 뜻하는 ‘hierarchy’에 대비되는 단어로 수평적인 질서체계를 의미한다. 번역어로 합의된 용어가 없다는 점과 원어 자체의 복합적인 의미를 고려하여, 본 글에서는 ‘헤테라키’로 번역하였다—옮긴이).

## 독립 영양

독립 영양을 하는 생물들은 자유 에너지를 사용하여, 자기 주변에 존재하는 단순한 물질들로 끊임없이 자신을 재생산한다. 대다수 생물권(生物圈; biosphere)이 머무르는 지구의 표면은 물질적으로 거의 닫혀 있는 체계다. 이러한 이유로 지난 35억 년 동안 생명체의 집합은 독립 영양을 하는 생물들처럼 태양에너지에 의한 물질의 내부적 순환에 의존해 번영해왔다(6). 이러한 물질적 순환 루프의 기원은 적어도 부분적으로는 이해되어왔다(7). 이 순환 루프를 뒷받침하는 데는 자유 에너지가 필요한데, 이 자유 에너지는 태양에서 유래하여 1차 생산자의 광합성을 통해 지구에 들어온다. 한 유기체의 배설물이 곧 다른 유기체의 식량이 되는 것과 더불어, 물질대사의 부산물에 기반해 순환이 이루어진다. 이렇게 닫힌 순환 루프는 자기 영속적(self-perpetuating) 피드백 과정을 일으킨다. 이 순환 루프에서는 이 세계에 무엇이 투입되는지가 더 이상 중요하지 않고, 자원을 어떻게 효율적으로 재순환할 수 있는지가 중요해진다. 예를 들어, 산호초와 아마존 열대우림에서는 낮은 영양적 조건에서도 재순환이 활발히 이루어진다.

반면, 인류세에서의 기술권(technosphere)의 상태를 고려한다면(5), 가이아는 인간이 만들어놓은 여러 혁신의 품질에 의문을 제기하며, 공학적인 관점에서 이 혁신들이 형편없다고 평가할 것이다. 현재 인간은 화석 연료와 인광석(rock phosphate) 등의 원료가 지구 표면에 생성되는데 걸렸던 시간보다 훨씬 빠르게 이러한 원료들을 추출하고 있다. 그리고는 그 폐기물들을 땅, 대기, 바다에 버려대고 있

다. 가이아와 비교할 때, 이것은 형편없고 지속 불가능한 발명품들이다.

그렇다고 인간이 발명을 꼭 멈춰야 한다는 뜻은 아니다. 그보다는 물질적으로 거의 닫혀 있는 체계 내 지속가능한 에너지에 의한 순환을 이뤄내기 위해, 공학의 방향을 가이아처럼 현명해지는 쪽으로 돌려야 한다는 것이다. 유입되는 태양에너지를 활용해 현재의 화석 에너지 소비량을 넘어서는 에너지를 확보할 수 있는 가능성이 있으며, 전력 생산과 관련해서는 신재생 에너지가 화석 연료 에너지에 견줄 만한 가격 경쟁력을 빠르게 갖춰가고 있다(8). 따라서, 장기적으로 에너지가 부족할 일은 없을 것이다. 남겨진 다른 도전 과제는 순환적인 경제로의 전환을 설계하고 장려하는 것이다. 초기 가이아처럼 순환적인 경제를 만들려면, 폐기물들을 새로운 생산물들을 만드는 데 유용한 자원으로 써야 한다. 현실적인 장벽과 열역학적인 제약에도 불구하고, 가이아 2.0에는 물질의 재순환을 촉진할 큰 잠재력이 있다(9).

### 네트워크

가이아는 물질과 전자들, 정보를 교환하는 미생물 행위자들의 적응형 네트워크에 의해 만들어졌다(10). 이때, 정보 교환은 흔히 수평적 유전자 전이를 통해 이루어진다. 이러한 미생물의 네트워크들은 전 지구적인 생물지화학 순환을 만드는 순환 루프의 기초가 된다. 네트워크의 기능적 역할은 심지어 그 역할을 수행하는 생물 분류군이 교체된 경우에도 유지되어 왔다(11). 따라서 기능적으로는 과잉이라 하더라도, 충분한 생물학적 다양성은 가이아의 활발한 자기-규제

에 도움을 준다.

또한, 미생물의 네트워크는 전 지구적으로 축적되어 영속하는 생산물, 특히 대기 중의 산소 같은 것들도 만들어냈다. 이어서 미생물의 네트워크는 새로운 조화의 메커니즘을 통해, 생물과 신진대사의 다양성 증대를 촉진하고, 새로운 차원의 생물학적 조직과 연결성이 진화할 수 있게 했다(6). 인간과, 우리의 적응형 사회 네트워크들은 이 과정이 가장 최근에 구현한 것들이다.

가이아 2.0에서는 성공적인 순환 경제를 위해서 정보의 수평적 교환, 풍부한 기능적 다양성, 그리고 분산적 제어가 중요해질 것이다. 이제 다음 과제는 지속가능한 에너지와 같은 목표를 위해 변화를 촉진할, 다양하고도 자가촉매적인 (autocatalytic) 인간 행위자들의 네트워크를 지원하여 효율적인 자원 순환에 박차를 가하는 것이다. 단기적이고 국지적인 이익에 맞춰진 사회·경제 패러다임과, 이 패러다임에 대항해야 하는 지구적·통일적·장기적인 구조가 취약하다는 사실을 고려할 때, 이것은 특히 어려운 과제이다.

### 헤테라키

규모와 기간에 따라, 가이아에서는 완전히 다른 메커니즘들이 작동한다(7). 헤테라키는 최근 많은 정치적 관심을 받은 기후 규제 영역에서 특히 두드러진다. 지구의 기후와 관련한 자기-규제 메커니즘(6) 중 어떤 것은 순수하게 물리학적이고 화학적이지만, 대다수는 생물학을 포함한다. 수십만 년에 걸친 전 지구적인 온도 변화는 규산염의 풍화작용에 의해 이산화탄소가 대기권에서 제거되는 과정에서 증폭된

생물학적 변화로 상쇄되었다. 또한 수천 년에 걸친 육지와 해양저(ocean floor)에서의 탄산염 퇴적물 분해는 바다에 저장되는 이산화탄소량을 증가시킨다. 마지막으로 몇 년에서 수 세기에 이르는 짧은 기간 동안에는, 육지와 바다의 카본 싱크(carbon sink, 넓은 산림 지대 등 대기 중 온실가스를 흡수하는 곳)가 이산화탄소 증가와 기후 변화의 속도를 대략 절반가량 감소시킨다.

이처럼 가이아의 각 메커니즘은 저항하고 확장하는 고유한 역량(capacity)을 가지고 있다. ‘자연 선택’(natural selection)으로는 오직 작은 규모의 시공간에서 벌어지는 환경적 규제만을 설명할 수 있을 뿐이다(7). 더욱 큰 규모의 시공간에서는 더 단순한 역학적 메커니즘들이 작동한다(7). 자기-안정적(self-stabilizing) 구성을 추구하는 시스템들은 지속하려는 경향이 있고(12), 지속하는 시스템들은 지속성을 더욱 향상시킬 수 있는 특성을 추가로 얻게 될 가능성이 크다(11, 13). 이런 좀 더 투박한 선택 메커니즘들을 통해, 지구는 생명과 관련된 안정화 피드백 메커니즘들을 획득하고 축적해왔을 것이다(7).

결론은 기후에 관한 가이아의 자기-규제가, 효율적인 자원 재순환 시스템에 비해서는 상당히 투박하다는 것이다. 최근까지의 빙하기와 간빙기 사이의 순환은 기후 시스템이 꽤 불안정하며, 따라서 인간의 간섭에 취약함을 보여준다. 인간의 간섭에 의해 이미 대기 중의 이산화탄소 수치는 3백만~5백만 년 전에 마지막으로 관찰되었던 수준으로 증가했다. 이렇듯 서로 다른 신뢰도를 갖는 메커니즘들의 헤테라키는 기후를 재안정화하려는 가이아 2.0의 임무를 어렵

게 만든다. 동시에, 인간은 탄소 순환에 못지않게 영양소의 순환 또한 바꾸고 있어, 가이아 2.0에게 영양소 순환 안정화라는 도전 과제를 추가로 제기하고 있다.

이산화탄소의 생산을 줄이거나, 기존의 피드백들을 강화하기 위한 대안적인 형태의 기후 제어로 이행하는 것은 (14) 누가 자발적으로 행동하느냐에 달려 있다. 기후 변화에 관한 정부 간 협의체나, 푸틴 대통령, 캘리포니아 의회, 트럼프 대통령 중 누가 온도 조절 장치에 손을 대느냐에 따라 결과는 분명히 달라질 것이다. 실제로는 이 모든 행위자들과 다른 행위자들이 온도 조절 장치를 이미 어느 정도 손에 쥐고 있고, 이로써 발생할 복합적 효과는 쉽게 예측하기 어렵다.

### 정치

초기 가이아 개념과 앞으로 가능할 가이아 2.0 사이의 유사점을 찾음으로써 우리는 공통 목표와 그것을 성취하기 위한 수단들을 재평가할 수 있다. 당연히 이번 세기의 중요한 목표는 90억~110억 명으로 추산되는 사람들을 포함한 지구상의 모든 생명이 번영할 수 있는 미래를 성취하는 것이다. 다양한 생물을 지속가능하게 해주는 지구 시스템이 없다면 인간의 번영은 불가능하다. 이는 UN의 17개 지속가능발전 목표(Sustainable Development Goals)에서도 인정되었다. 그러나 이 목표들을 달성하기 위해서는 인간의 사회가 자기-인식에 기반을 둔 자기-규제를 시행해야 한다(14).

그러나 자기-규제를 통해 인간의 생명을 지탱하는 행성을 지속시키는 것이, 오늘날 인간 전체의 행동의 가장 우

선적인 목표는 아니다. 정보 감시가 범람하고 있음에도, 현재의 산업사회들은 환경 변화를 파악하는 데 있어 가이아를 구성하는 생물들보다도 못한 것 같다. 왜냐하면, 정보는 권력자에게 문제가 되는 경우 종종 무시되기 때문이다. 마치 자연 영역에 속하던 무목적성(purposelessness)이 사회 영역으로 옮겨진 것 같다.

분명히 이 지점에 가이아를 향한 정치적 질문 또는 가이아로부터 끌어낼 교훈이 있다. 결국 논쟁이 다른 모든 것들보다 우선시된다. 기후 과학 논쟁은 과학자들이 아직 준비가 덜 된 채로 지식과 권력의 싸움에 말려들고 있는 것을 보여준다. 그러나 가이아에서 영감을 받은 사람들이라고 해서 반드시 더 깊은 통찰을 가진 것은 아니다. 정치 문제에서는 최적의 답을 미리 알 수 없고, 결점을 찾아내서 과정을 수정하는 속도를 감지하는 감각기관(sensor)을 개선할 수 있을 뿐이라는, 존 듀이(John Dewey)의 조언(15)을 따르는 것이 현명하다. 만약 눈이 어두운 사람이 눈이 어두운 다른 사람을 이끄는 정치적 상황에서라면, 희망은 그 어둠 속을 더듬을 흰 지팡이를 가장 잘 사용할 수 있는 방법을 찾아내는 데 달려 있다.

바로 여기에서, 과학 제도(scientific establishment)는 감각기관을 더 많이 만들어내고, 질적으로 개선하며, 결과물을 더 빨리 전파하고, 모델을 개선하고, 대안적인 설명을 제시하는 데에 더욱 중요한 역할을 할 것이다. 그러나 이런 인프라가 과학자들에게만 한정될 수는 없다. 무엇이 잘못되고 있는지를 빠르게 깨달을 수 있도록, 과학자들은 시민, 활동가, 그리고 정치인들과 협업해야 한다.

가이아의 자기-규제에 약간의 자기-인식을 추가할 수 있는 유일하게 실용적인 방법은 환경의 변화와 사회의 반응 사이의 시차를 추적할 수 있는 감각 기관의 인프라를 확충하는 것이다. 이 문제 틀은 명확한 윤리적 방향을 제시한다. 이 센서를 조작하거나 오류에 대한 반응을 늦추려는 것은, 가이아 2.0이 현재 세계보다 인간 개체군을 더 잘 지속시킬 수 있는 순환을 어떻게 완성할 수 있는지에 대해 초기 가이아로부터 배울 수 있는 기회를 위태롭게 한다.



인용 문헌과 노트

- 1 J. E. Lovelock, *Atmos. Environ.* 6, 579 (1972).
- 2 J. E. Lovelock, L. Margulis, *Tellus* 26, 2 (1974).
- 3 C. N. Waters et al., *Science* 351, add2622 (2016).
- 4 B. Latour, *Facing Gaia: Eight Lectures on the New Climatic Regime* (Polity, 2017).
- 5 P. K. Haff, *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 395, 301 (2013).
- 6 T. Lenton, A. Watson, *Revolutions That Made the Earth* (Oxford Univ. Press, 2011).
- 7 T. M. Lenton et al., *Trends Ecol. Evol.* 33, 633 (2018).
- 8 IRENA, *Renewable Power Generation Costs in 2017* (International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2018).
- 9 L. Ciacci et al., *Environ. Sci. Technol.* 50, 11394 (2016)
- 10 P. G. Falkowski, T. Fenchel, E. F. Delong, *Science* 320, 1034 (2008).
- 11 W. F. Doolittle, *J. Theor. Biol.* 434, 11 (2017).
- 12 A. Wagner, *Robustness and Evolvability in Living Systems*, S. A. Levin, S. H. Strogatz, Eds., Princeton Studies in Complexity (Princeton Univ. Press, 2007).
- 13 W. F. Doolittle, *Biol. Philos.* 29, 415 (2014).
- 14 O. Morton, *The Planet Remade: How Geoengineering Could Change the World* (Princeton Univ. Press, 2015).
- 15 J. Dewey, *The Public and its Problems* (Holt, 1927).

이 글은 2018년 『사이언스』 361호에 실린 원문을 번역한 것이다.

#### 티모시 M. 렌턴(Timothy M. Lenton)

영국 엑서터 대학 지리학과 교수.  
현재 엑서터 대학 글로벌 시스템 연구소(Global Systems Institute)의 연구소장이다.

#### 브뤼노 라투르(Bruno Latour)

프랑스 파리 정치대학 미디어랩과 정치예술(SPEAP) 과정 명예교수다. 과학기술학의 개척자 중 한 사람이며, 철학, 역사, 사회학, 인류학, 과학 정책 및 연구 관리 분야 등 다양한 방면에서 활동해왔다.

#### 우지수

KAIST 과학기술정책대학원 석사과정에 재학 중이며, 기술과학과 젠더가 만나는 지점, 기술과학의 주변부에 관심을 가지고 연구하고 있다.

#### 에피 정기구독안내

관점이 있는 과학잡지 『에피』와 함께하실 독자 여러분을 기다립니다.

과학잡지 『에피』는 계간지입니다.  
매년 3월, 6월, 9월, 12월 네 차례 발간됩니다. 정기구독료는 다음과 같습니다.

#### 정기구독료

1년 40,000원(정가 48,000원)  
2년 70,000원(정가 96,000원)  
3년 100,000원(정가 144,000원)

#### 정기구독 접수처

네이버 스마트스토어:  
<https://smartstore.naver.com/epi->

#### 문의처

전화: 02-3141-6126  
이메일: [epi@eumbooks.com](mailto:epi@eumbooks.com)