

빅 히스토리의 거대한 흐름을 이해하는 데 에너지의 관점은 필수적이다. 그러나 복잡성의 진화를 설명하려면 그것만으로는 충분하지 않다. 왜 어떤 구조는 잠시 나타났다가 사라지지만, 어떤 구조는 자신을 유지하며 더 복잡한 형태로 발전하는가? 왜 생명과 문명은 이전 단계의 물질 구조와는 질적으로 다른 복잡성을 보여주는가? 이런 질문에 답하려면, 에너지와 물질의 변화 속에서 어떤 정보가 저장과 해석, 그리고 복제와 공유가 되는지 보아야 한다. 에너지가 구조를 떠받치는 힘이라면, 정보는 그 구조가 조직되고 지속되는 원리라 할 수 있다.

<빅 히스토리는 에너지의 흐름이 만든 구조의 역사이자, 그 구조 속에서 진화하며 축적된 정보의 역사다.>

빅 히스토리를 정보의 관점에서 보려는 까닭은 역사가 언제나 물질에 정보의 형태로 기록되기 때문이다. 우주배경복사의 미세한 요동에는 초기 우주의 흔적이 남아 있고, DNA에는 생명의 진화 과정이 새겨져 있으며, 언어와 문자 기록에는 인간 사회의 경험이 축적되어 있다. 지나간 사건은 사라져도 그 결과는 구조와 패턴의 형태로 남는다. 그런 의미에서 빅 히스토리는 단순히 사건의 연속이 아니라, 물질에 기록된 정보가 축적되고 변형되는 과정이기도 하다.

또한 복잡계의 지속성과 진화는 정보 처리 능력에 크게 좌우된다. 생명체는 유전 정보를 저장하고 복제함으로써 자신을 이어 가고, 동물은 신경계를 통해 외부 정보를 빠르게 처리함으로써 생존하며, 인간은 언어와 문자, 상징 체계를 통해 정보를 집단 수준에서 축적함으로써 다른 생물과는 질적으로 다른 존재가 됐다. 복잡성의 증가는 단지 더 많은 물질이 모였기 때문이 아니라, 그 구조가 정보를 더 많이, 더 정교하게 다룰 수 있게 되었기 때문에 가능했다. 이 점에서 빅 히스토리의 여러 전환점은 정보적 혁신으로 이해될 수 있다. 생명의 출현은 정보의 자기복제가 시작된 사건이었고, 신경계의 등장은 환경 정보 처리의 비약이었으며, 언어와 문자의 발명은 정보 저장과 공유의 범위를 획기적으로 넓혔다. 인쇄술, 과학, 컴퓨터, 인터넷 역시 정보의 생산과 보존, 검증과 확산 방식을 바꾸어 놓았다. 따라서 빅 히스토리를 정보의 관점에서 본다는 것은 우주에서 문명까지 이어지는 복잡성의 진화를 정보의 생성과 저장, 처리(해석), 복제와 공유의 역사로 다시 읽는 일이다.

그렇다면 물질의 구조 속에 담긴 '정보'란 도대체 무엇인가? 정보라는 말은 분야에 따라 상당히 다른 뜻으로 쓰여 왔다. 그래서 빅 히스토리를 정보의 관점에서 보려면, 먼저 정보라는 말이 어떤 뜻으로 사용되고 있는지 살펴보고, 그 가운데 빅 히스토리에 적합한 정의를 가려낼 필요가 있다.

정보란 무엇인가?

정보는 오늘날 물리학, 생물학, 컴퓨터과학, 통신공학, 인지과학, 철학 등 여러 분야에서 널리 쓰이는 개념이지만, 그 정의는 분야와 문제의식에 따라 다른 방식으로 제시됐다. 정보를 정의

하는 방식은 대체로 세 방향으로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 정보의 양을 정량화하려는 관점이다. 이 관점에서는 의미를 제쳐 두고, 가능한 상태들 가운데 어떤 상태가 선택되었을 때 불확실성이 얼마나 줄어드는지, 또는 어떤 대상을 얼마나 짧게 기술할 수 있는지를 묻는다. 둘째는 정보가 체계 안에서 어떤 차이를 만들어 내는지를 보는 관계·기능 관점이다. 여기서 정보는 단순히 저장된 무엇이 아니라, 어떤 유기체나 체계의 반응, 판단, 조절, 행동을 바꾸는 차이로 이해된다. 셋째는 정보가 무엇에 관한 내용을 담고 있는지, 그리고 그것이 어떤 조건에서 의미 있거나 참된 내용이 되는지를 묻는 의미 관점이다.¹⁾ 이 세 관점은 서로 배타적이라기보다, 정보량, 관계·기능, 의미라는 서로 다른 층위 가운데 무엇을 중심에 놓는가의 차이로 볼 수 있다. 실제 세계에서 정보는 어떤 매체를 통해 구현되고, 어떤 맥락 속에서 해석되며, 어떤 기능을 수행한다. 통신과 계산에서는 정보량과 부호화가 중요하고, 생명과 인지에서는 관계와 기능이 중요하며, 언어와 지식에서는 의미와 진리 조건이 중요하다. 다시 말해 정보라는 개념은 물질적 구현, 차이의 식별, 규칙성, 관계, 기능, 의미라는 서로 다른 층위를 포괄한다. 정보의 정의가 다양한 이유는 바로 이 여러 층위 가운데 무엇을 본질로 볼 것인가가 분야마다 다르기 때문이다.

그렇다면 빅 히스토리를 살펴보는 도구로서, 정보는 어떻게 정의하는 것이 적절할까? 빅 히스토리는 우주와 물질에서 생명과 문명까지 서로 다른 층위의 구조들을 하나의 연속선 위에서 비교해야 하므로, 여러 관점을 모두 염두에 둘 필요가 있다. 다만 그 출발점으로서, 정보가 물질적 세계 안에서 어떻게 구현되고 저장되며 전달되고 축적되는지를 보기 위해, “물질과 에너지의 분포 속에 드러나는 식별 가능한 패턴”을 넓은 의미의 정보로 보고자 한다. 이는 빅 히스토리의 전 과정을 담아낼 수 있는 물리적이면서도 포괄적인 정의이다. 우주의 미세한 요동에서 별과 행성의 구조, 생명의 유전 정보, 인간 사회의 언어와 기록에 이르기까지, 역사는 언제나 물질에 새겨진 차이와 패턴의 형태로 남기 때문이다. 물론 정보에는 관계와 기능, 해석과 의미의 차원도 중요하다. 그렇기에 물질 기반의 정의에서 출발해 관계와 기능 그리고 의미가 어떻게 형성되는지를 살펴보면서 정보의 정의를 층위에 맞춰 점차 다듬어 갈 것이다.

정보의 구성: 매체, 형식, 내용

빅 히스토리를 정보의 관점에서 보려면, 정보가 추상적인 개념이 아니라 언제나 어떤 물리적인 구조 안에 구현되고 해석된다는 점을 분명히 할 필요가 있다. 정보는 물질에 독립적인 순수한 관념이 아니라, 늘 무엇인가에 담겨 있고, 어떤 방식으로 식별되며, 무엇에 관한 내용으로 읽힌다. 그런 점에서 정보는 크게 매체, 형식, 내용이라는 세 가지 구성 요소로 나누어 다룰 수 있다. 이 구분은 정보가 우주와 생명, 인간과 문명 속에서 어떻게 존재하고 작동하는지를 분석하는 기본 틀이 된다.

1) 정량화 관점에는 새넌의 정보이론, 콜모고로프 복잡도, 피셔 정보 등이 대표적이다. 클로드 새넌은 정보를 여러 가능한 메시지 가운데 하나가 선택될 때 줄어드는 불확실성의 양으로 보았고, 안드레이 콜모고로프는 어떤 대상을 만들어 내는 가장 짧은 기술의 길이로 정보량을 이해했으며, 피셔 정보는 관측값이 미지의 매개변수에 대해 제공하는 단서의 양을 다룬다. 관계·기능 관점에는 위너의 사이버네틱스와 베이트슨의 “차이를 만들어 내는 차이”라는 정의가 대표적이다. 노버트 위너는 정보를 우리가 세계에 적응하고 또 세계에 작용하는 과정에서 주고받는 내용으로 보았고, 그레고리 베이트슨은 이를 더욱 압축적으로 “차이를 만들어내는 차이”라고 표현했다. 의미 관점에는 프레드 드레츠키가 정보가 세계의 상태를 알려 주는 관계에 주목했고, 루치아노 플로리디는 정보를 잘 형성되고 의미 있으며 참인 데이터로 정의했다.

먼저 매체는 정보가 구현되고 저장되는 물질적 바탕이다. 정보는 언제나 어떤 매체가 필요하다. 초기 우주의 밀도 요동은 시공간과 에너지 분포 속에 새겨져 있었고, 생명체의 유전 정보는 DNA 분자에 담기며, 인간 사회의 지식과 기억은 신경망, 음성, 종이, 자기장, 반도체 같은 다양한 매체에 기록된다. 정보는 의미 이전에 먼저 매체에 구현된 물리적 상태의 차이로 존재하며, 이 점에서 매체는 정보의 존재 조건이라 할 수 있다. 매체가 없다면 정보는 저장될 수도, 전달될 수도, 복제될 수도 없다.

다음으로 형식은 매체에 구현된 차이와 패턴을 어떻게 구별하고 읽어낼 것인가를 규정하는 방식이다. 같은 매체라 해도 어떤 형식으로 읽느냐에 따라 정보의 내용은 다르게 구성되거나 해석될 수 있다. 형식은 매체 자체가 아니라, 그 위에 구현된 상태의 차이를 어떤 단위와 규칙으로 식별할지를 정하는 틀이다. 예를 들어 디지털 형식은 차이를 0과 1 같은 이산적 구분으로 읽어내고, 아날로그 형식은 그것을 연속적인 값의 변화로 읽어낸다. 양자 정보 형식은 정보를 중첩이 가능한 양자 상태로 다루며, 고전적 정보 형식에는 없는 중첩과 얽힘 같은 현상을 정보 처리에 활용할 수 있다. 물론 실제로 구현된 정보에서는 각 형식 사이의 경계가 모호할 수 있고, 서로 다른 형식이 결합한 복합적 구성도 가능하다. 형식은 정보가 어떤 방식으로 부호화되고 처리될 수 있는지를 결정하며, 그러한 부호화를 통해 정보의 내용이 표현될 수 있게 하는 중요한 요소다.

형식이 매체 위의 차이를 어떤 종류의 단위와 규칙으로 읽어낼지를 정한다면, 해상도는 그 차이를 어느 정도의 세밀함에서 구분해 낼 수 있는지를 정한다. 이때 중요한 점은, 매체 위의 차이와 패턴이 저절로 정보로 식별되지는 않는다는 사실이다. 어떤 패턴을 정보로 읽기 위해서는 그것을 구별해낼 수 있는 적절한 해상도가 필요하다. 해상도란 연속적이거나 복잡한 구조 속의 차이를 일정한 단위로 구별해낼 수 있게 해 주는 관찰의 세밀함을 말한다. 너무 거친 해상도에서는 미세한 차이가 무시되고, 너무 미세한 해상도에서는 큰 규모의 규칙성과 패턴을 놓칠 수 있다. 예를 들어, 우주배경복사의 미세한 요동도 적절한 해상도로 보지 않으면 거의 균일한 배경처럼 보일 뿐이고, 유전 정보 역시 염기서열 수준에서 볼 때와 염색체 수준에서 볼 때 드러나는 정보의 양상과 규칙성이 다르다. 이 두 경우 모두 정보는 대상 안에 단순히 ‘있다’기보다, 적절한 해상도에서 차이가 안정적으로 구분될 때 특정한 정보 구조로 드러난다. 따라서 해상도는 정보의 존재 여부를 가르는 부차적 조건이라기보다, 어떤 차이가 어떤 수준의 정보로 식별될 수 있는지를 결정하는 핵심 조건이다. 이는 정보가 매체 속에 객관적으로 새겨져 있으면서도, 언제나 완성된 형태로 곧바로 주어지는 것은 아니라는 점을 보여준다. 매체 속에는 수많은 차이와 배열이 존재하지만, 그것이 모두 곧바로 의미 있는 정보가 되는 것은 아니다. 어떤 차이가 정보가 되려면, 그것이 일정한 수준에서 반복 가능하게 구별되고 다른 차이들과 식별될 수 있어야 한다. 이 점에서 정보는 매체에 새겨진 패턴인 동시에, 그 패턴을 식별할 수 있는 형식과 해상도를 전제한다. 같은 대상도 어떤 해상도와 형식으로 보느냐에 따라 전혀 다른 정보 구조를 드러낼 수 있다. 이 점은 빅 히스토리에서 특히 중요하다. 우주, 생명, 인간 사회는 서로 다른 공간 규모와 시간 척도 위에 존재하기 때문에, 하나의 해상도와 하나의 형식만으로는 그 안의 정보 구조를 모두 읽어낼 수 없다. 각각의 층위에 맞는 해상도와 형식이 필요하며, 바로 그 차이가 빅 히스토리에서 정보의 여러 층위를 구별하게 해준다.

마지막으로 내용은 형식과 해상도를 통해 식별된 패턴들이 일정한 관계 속에서 이루는 구성이다. 정보는 이 단계에서 더 이상 식별된 패턴들의 단순한 모음이 아니라, 일정한 질서와 조직을 갖춘 구조로 나타난다. DNA 염기서열은 특정한 순서로 배열된 염기들의 구성이고, 지도 위의 선과 기호는 공간적 관계를 드러내는 패턴의 배열이며, 언어는 소리나 문자들의 결합을 통해 하나의 내용 구조를 형성한다.

그러나 정보의 내용이 곧바로 의미를 갖지는 않는다. 내용이 어떤 대상, 상태, 사건과 연결되거나 다른 정보들과의 관계 속에서 해석될 때 비로소 의미가 형성된다. 대체로 의미는 고립된 정보 하나에 완결된 형태로 들어 있다기보다는 여러 정보 사이의 관계 속에서 드러난다. 하나의 정보 안에 있는 반복성이나 대칭성 같은 내부 구조가 해석의 단서를 줄 수는 있지만, 그러한 구조 역시 대개는 다른 정보나 해석 규칙과 연결될 때 더 분명한 의미를 얻는다. DNA의 특정 염기 하나는 홀로는 거의 아무것도 말해 주지 않지만, 여러 염기가 일정한 순서로 배열될 때 비로소 유전 정보의 내용이 구성된다. 그리고 그것이 RNA로 전사되고 단백질로 번역되어 세포 안에서 특정한 기능으로 연결될 때 생물학적 의미가 드러난다. 언어에서도 한 단어의 의미는 그 단어 하나에 고립되어 들어 있지 않으며 지시 대상과의 관계, 다른 단어들과의 차이, 문장 안에서의 위치, 사용 맥락을 통해 구체화된다. 별빛의 스펙트럼 역시 개별적인 선 하나만으로는 제한된 정보만 제공하지만, 여러 선의 조합과 비교를 통해 별의 조성, 온도, 운동 상태에 관한 물리적 의미를 갖게 된다. 이처럼 의미는 정보 내부의 구조와 그 정보가 연결되는 여러 정보 사이의 관계망이 함께 작동하는 가운데 형성된다.

정보의 역사로서 빅 히스토리

정보로 보는 빅 히스토리는 정보가 축적되는 과정에 더해서, 서로 분리된 정보들이 더 촘촘하게 연결되고, 더 넓은 범위에서 조직되며, 더 높은 수준의 관계망 속에서 새로운 의미를 형성해 가는 과정을 추적하려는 시도이다. 예를 들어, 생명의 출현은 분자적 패턴들이 단순한 화학적 배열을 넘어, 자기복제와 대사를 수행하고 외부 환경과 적응적 관계를 맺으면서, 생명체의 내부 정보와 외부 환경 사이에 기능적 의미가 형성되기 시작한 사건이었다. 신경계의 진화는 외부 자극과 내부 반응의 단순한 연결에서 출발해, 감각 정보를 통합하고 기억과 결합하며 행동을 예측하고 조정하는 관계망을 정교하게 발달시킨 과정이었다. 인간 문명의 발전은 상징과 기록을 통해 개인의 기억을 타인과 공유할 수 있는 형태로 변환하고, 제도와 교육을 통해 그것을 사회 전체의 지식으로 축적하고 재구성해 온 역사였다. 이런 의미에서 빅 히스토리의 중요한 전환들은 새로운 정보의 단순한 추가라기보다 여러 정보 사이의 관계가 더 복잡하고 안정적으로 조직되면서 새로운 기능과 의미가 형성될 수 있게 된 순간으로 이해할 수 있다.

정보가 확산하며 다른 정보들과 관계를 맺고 새로운 의미와 기능을 얻는 과정은, 단순한 저장과 전달을 넘어 매체·형식·내용이 변환되고 다양해지는 동역학적 과정이다. 이때 중요한 것은 정보가 변환되더라도 일정한 내용과 관계가 충분히 유지될 때만 그 정보가 다른 매체와 형식 속에서 지속될 수 있다는 점이다. 예를 들어, 인간의 말에 담긴 정보는 두뇌 안에서 신경 활동으로 조직된 내용이 발화 과정을 거쳐 공기 중의 음파로 변환되어 타인에게 전달된다. 연속적인 소리의 흐름은 문자라는 형식으로 부호화되어 종이 같은 매체에 기록될 수 있고, 디지털

부호로 변환되어 컴퓨터에 저장될 수도 있다. 같은 내용도 번역과 해석을 거치며 다른 매체와 표현 형식으로 재구성되고, 그 과정에서 일부 의미는 유지되고 일부 의미는 달라질 수 있다. 생명체 안에서 DNA의 염기서열은 RNA로 전사되고 다시 아미노산 서열로 번역되어 단백질 형성으로 이어진다. 이 과정에서 매체와 형식은 바뀌지만, 일정한 정보적 대응 관계는 유지되고, 그 정보는 단백질이라는 물질적 구조로 실현되면서 새로운 기능을 낳는다. 문명 차원에서는 개인과 공동체의 기억이 구술에서 문자로, 문자에서 인쇄로, 인쇄에서 전자 정보로 옮겨가며 정보의 저장과 복제가 쉬워졌다. 그 결과 정보의 확산 속도와 범위가 커졌고, 새로운 사회적 기능이 가능해졌다.

그러나 정보의 변환에는 언제나 두 가지 요구 사이의 긴장 관계가 따른다. 하나는 내용과 관계를 가능한 한 안정적으로 보존하는 것이고, 다른 하나는 변형을 통해 새로운 의미와 기능이 생겨날 수 있는 여지를 남기는 것이다. 정보 처리 과정에는 늘 잡음과 오류의 가능성이 개입하며, 어떤 변환은 내용을 비교적 안정적으로 보존하지만, 어떤 변환은 정보를 압축하거나 왜곡하거나 새로운 해석을 덧붙인다. 그래서 정보의 역사에는 정보를 더 안정적으로 저장하고 복제하고 전달하기 위한 다양한 장치와 형식이 함께 발전해 왔다. 특히 이산적인 단위로 정보를 구분해 다루는 디지털 형식은 잡음에 강하고 복제와 오류 수정에 유리하기 때문에, 생명의 유전 정보나 인간의 문자·계산 체계에서 중요한 역할을 해 왔다. 그러나 잡음과 오류는 단지 극복해야 할 장애만은 아니다. 생명에서는 복제 과정의 오류로 인한 변이가 진화의 재료가 되고, 인간의 언어와 문화에서도 오독과 재해석, 표현의 작은 어긋남이 새로운 의미와 형식의 출발점이 되기도 한다. 이런 점에서 정보의 역사는 안정적 축적의 역사이면서 동시에 창조적 변형의 역사이기도 하다.

따라서 정보로 빅 히스토리를 본다는 것은, 첫째 정보가 어떤 물리적 매체에 구현되는지, 둘째 그 매체 위의 차이와 패턴이 어떤 형식과 해상도로 식별되는지, 셋째 그렇게 식별된 패턴이 다른 정보들과 어떤 관계를 맺으며 내용과 의미를 이루는지, 넷째 이러한 정보가 어떤 변환 과정을 거치며 축적되고 확산되는지를 함께 살피는 일이다. 다시 말해 각 전환점에서 정보가 어디에 저장되고, 어떤 단위와 규칙으로 부호화되며, 어떤 관계망 속에서 기능과 의미를 얻고, 어떤 방식으로 복제·전달·변형되는지를 보는 것이다. 정보는 물질과 에너지의 흐름과 분리되어 존재하지 않는다. 정보가 저장되고 처리되고 확산되기 위해서는 언제나 물리적 매체와 에너지의 투입이 필요하다. 이 관점에서 보면 빅 히스토리의 거대한 전환들은 단지 물질과 에너지 흐름의 변화일 뿐 아니라, 정보의 매체와 형식, 내용과 의미, 처리 방식이 새롭게 조직되는 과정으로도 읽을 수 있다.

정보 동역학: 물질 동역학에서 에이전트까지

왜 어떤 패턴은 단순히 정보로 읽히는 데 그치지만, 어떤 패턴은 기능과 의미를 형성하고, 생명체 같은 에이전트의 행동을 조직하는가? 정보 동역학은 이 질문에 답하려는 시도이다.²⁾ 정

2) 여기서 말하는 정보 동역학은 확립된 단일 이론의 이름이라기보다, 사이버네틱스, 정보 열역학, 오토 포이에시스, 하워드 패티의 물리 동역학과 상징적 부호 논의, 칼 프리스틴의 능동 추론, 테렌스 디킨의 텔레오다이내믹스, 복잡계 정보 연구 등을 빅 히스토리의 관점에서 종합해 사용하는 개념이다. 이 글에서 정보 동역학은 이들을 그대로 따르기보다, 정보의 매체·형식·내용·해상도라는 분석틀을 바탕으로 에너지의 흐름을 기반으로 하는 비평형계 동역학 위에서 정보가 저장·복제·해석·조절되고, 진화·계

보가 물리적 매체 위에 구현된 패턴이라면, 그 패턴은 물질과 에너지의 동역학에 따라 생성되고 변형된다. 그러나 어떤 조건에서는 그 패턴이 단순한 물리적 차이를 넘어 저장되고, 복제되고, 해석되고, 조절에 사용되는 정보 구조가 된다. 정보 동역학은 물질 동역학과 분리된 별도의 동역학이 아니라, 물리적 매체 위의 패턴이 특정한 해상도에서 저장·복제·해석·조절의 대상으로 드러날 때 나타나는 유효 동역학이다. 단순한 돌이나 결정도 물리적 패턴을 보이지만, 그 패턴이 저장·복제·해석·조절의 과정에 놓이지 않는 한 본격적인 정보 동역학의 대상이 되지는 않는다. 정보 동역학은 복잡계가 외부 환경과 물질과 에너지 교환을 통해 자신의 구조와 기능을 유지하는 정교한 비평형계 동역학의 결과로 나타난다. 복잡계는 외부와 끊임없이 교환해야 하지만, 모든 교환이 지속성에 같은 영향을 주는 것은 아니다. 어떤 환경 조건은 구조와 기능의 유지에 유리하고, 어떤 조건은 그것을 방해한다. 따라서 복잡계가 지속성을 유지하려면 환경의 차이를 구분하고, 그 차이에 따라 내부 상태와 반응을 조절해야 한다. 환경의 차이가 내부 상태와 반응 조절에 연결될 때, 정보는 단순한 물리적 차이를 넘어 기능적 의미를 갖기 시작한다. 특히 생명체와 같이 자기복제를 통해서 지속성 유지의 도약을 가져온 복잡계에서는 정교한 정보 처리와 환경과의 정보 교환이 필수적이다.

정보 동역학은 자기복제 복잡계에서 진화가 어떤 과정으로 일어나는지에 대한 개략적인 설명을 제공한다. 정보 동역학이 물질 동역학을 바탕으로 작동하는 한, 정보의 완전한 복제와 전달은 불가능하다. 정보가 물리적 매체에 구현되기에, 양자역학적 불확정성, 열적 요동, 화학 반응의 확률성, 복제 장치의 한계, 환경의 교란은 작은 정보의 변이를 만든다. 그렇게 생겨난 여러 변이 사이에 내부 구조의 변화나 복잡계와 환경 사이의 상호작용으로 인해 지속성과 확산성의 차이가 발생하면, 그 차이가 선택 압력으로 작용해서 ‘복제, 변이와 선택에 의한 진화 메커니즘’이 작동한다. 그렇기에 진화는 생명체에만 국한되지 않고, 정보가 복제되고 변형되며 선택되는 여러 복잡계에도 적용될 수 있는 일반적인 원리이다. 문화, 기술, 제도 역시 모방·학습·기록·재생산을 통해 복제되고 변형되며, 문화 자체의 지속성과 문화 집단의 지속성 차이를 통해 선택이 일어날 수 있다는 점에서, 넓은 의미의 진화 과정을 보인다.

정보 동역학의 바탕에 물질 동역학이 있기에 나타나는 또 다른 중요한 결과는 자기복제 복잡계의 진화가 계층 구조의 출현으로 이어질 수 있다는 점이다. 복잡계의 지속성과 확산을 좌우하는 중요한 요소로 에너지 흐름의 획득이 있고, 더 큰 규모의 조직은 에너지 획득과 환경 대응에서 이점이 될 수 있다. 하지만 규모를 키우면, 부피에 비해 표면적이 상대적으로 줄어들면서 생기는 에너지 공급과 폐기물 배출의 문제, 정보 전달 지연, 구성 요소 간 갈등과 내부 조정 비용의 증가 등, 물리적 한계와 갈등 구조도 따라온다. 따라서 단순히 규모를 키우는 방식이 아니라, 반복 가능한 하위 단위를 결합하고 조정함으로써 갈등은 줄이고 규모의 이점을 얻는 방식으로 더 큰 규모의 체계를 조직할 수 있는데, 그 결과가 계층 구조이다. 분자 반응망, 세포, 개체, 사회로 이어지는 계층 구조의 출현은 빅 히스토리의 핵심 전환점들을 이룬다. 정보 동역학의 관점에서 보면, 하위 층위에서 안정화된 정보 동역학이 상위 층위의 새로운 구성 단위를 만든다. 분자 반응망이 안정화되면 세포가 출현할 수 있고, 세포들이 분화와 협력을 통해 안정화되면 개체가 형성될 수 있으며, 개체 집단의 행동과 소통이 안정화되면 사회와 제도가 형성된다.

층·에이전트성으로 확장되는 과정을 통합적으로 재구성하려는 시도이다.

계층 구조가 형성되면, 정보 동역학을 기술하는 해상도와 정보 변수도 달라진다. 분자 수준에서는 결합과 반응이 중요하지만, 세포 수준에서는 대사망, 유전자 발현, 막을 통한 수송, 신호 전달이 중요해진다. 개체 수준에서는 행동, 감각, 기억, 항상성이 중요하고, 사회 수준에서는 언어, 규범, 제도, 기록, 신뢰, 권력 같은 새로운 정보적 변수가 등장한다. 계층 이동에 따른 정보 동역학의 변화는 물질 동역학에서 스케일 변화에 따른 재규격화에 비유될 수 있다. 물질 동역학에서 스케일이 바뀌면 새로운 유효 변수와 유효 법칙이 등장하듯, 해상도와 계층이 바뀌면 무엇을 정보로 삼을지, 어떤 관계를 규칙으로 볼지 등이 달라진다. 예를 들어, 이온 채널의 물리·화학적 동역학은 뉴런 수준에서는 발화 규칙으로, 신경회로 수준에서는 집단 활성화와 되먹임 규칙으로, 행동 수준에서는 선택과 조정의 규칙으로 읽힌다.

계층 구조의 출현은 창발(emergence)로도 연결된다. 하위 층위의 구성 요소들이 안정적으로 결합해 상위 층위를 이루면, 그 아래 층위에서는 없던 새로운 기능이 나타날 수 있다. 물질적 창발이 하위 요소들의 상호작용에서 새로운 거시적 구조와 물리적 성질이 나타나는 현상이라면, 정보적 창발은 그 구조가 정보를 저장·해석·전달·조절하는 새로운 방식으로 작동하게 되는 현상이다. 단세포 생명체와 다세포 생명체의 차이는 이를 잘 보여준다. 단세포 생명체도 대사와 자기복제를 수행하지만, 다세포 생명체에서는 세포의 분화와 협력을 통해 조직, 기관, 신경계, 면역계 같은 새로운 기능이 출현한다. 인간 개체와 인간 사회 사이의 간격도 마찬가지다. 개체는 기억하고 판단하고 행동할 수 있지만, 사회는 언어, 규범, 제도, 시장, 과학, 국가처럼 개체 하나에는 없는 정보 구조와 기능을 만들어낸다. 이런 점에서 계층의 상승은 단순한 규모의 증가가 아니라, 하위 층위의 정보 동역학이 상위 층위에서 재조직되며 새로운 기능과 의미가 창발하는 과정이다.

정보적 창발 중에 특히 중요한 단계는 에이전트의 출현과 새로운 수준으로의 확장이다. 에이전트란 환경의 정보를 받아들이고, 그것을 내부 상태와 연결하여, 자신의 지속성에 유리한 방향으로 반응과 행동을 조정하는 체계이다. 단순한 물체도 외부 자극에 따라 상태가 변하지만, 그 변화가 곧 에이전트성을 뜻하지는 않는다. 에이전트가 되려면 내부와 외부로 구분하는 경계, 자기 구조를 유지하는 지속성, 환경의 차이를 내부 상태와 연결하는 감지 능력, 그리고 반응의 결과를 다시 조정에 반영하는 피드백이 필요하다. 기억은 이 피드백을 시간적으로 확장하여, 과거의 상호작용이 이후의 반응을 바꾸게 한다. 이런 점에서 생명체의 출현은 자기복제와 에이전트성이 결합한 복잡계의 출현으로 볼 수 있다. 세포는 영양분과 독성 물질을 구분하고, 막을 통해 물질의 출입을 조절하며, 환경 변화에 따라 대사와 유전자 발현을 바꾼다. 신경계를 가진 동물에서는 이 과정이 감각, 기억, 예측, 행동 조정으로 확장된다. 인간 사회에서는 개인들의 정보 처리와 행동이 언어, 규범, 제도, 기록을 통해 결합하면서, 개별 인간을 넘어서는 집합적 조정 능력이 나타난다. 이처럼 에이전트성의 출현은 정보가 단순한 패턴이나 신호를 넘어, 복잡계의 지속성과 행동 조정에 사용되는 기능적 의미를 갖게 되는 과정이다.

정보 동역학을 다루는 목적은 정보가 물리적 매체 위에 구현된 패턴에서 출발해, 어떻게 저장·복제·해석·조절의 규칙을 갖는 정보 구조로 조직되는지를 살피는 데 있다. 정보는 물질 동역학과 분리되어 존재하지 않지만, 복잡계가 외부 환경과 물질·에너지를 교환하며 자신의 지속성을 유지하려 할 때, 그 물질 동역학은 정보 동역학의 성격을 띠기 시작한다. 물리적 매체에는 언제나 요동과 잡음이 있으므로 정보의 변이는 피할 수 없고, 환경과의 상호작용은 그

변이들 사이에 지속성의 차이를 만들어 선택 압력으로 작용한다. 이 과정이 지속성을 통해 누적되면 정보 동역학은 진화의 성격을 띠게 되고, 안정화된 정보 구조들은 분자 반응망, 세포, 개체, 사회 같은 계층 구조를 형성한다. 계층이 바뀌면 해상도와 정보적 변수도 달라진다. 이런 관점에서 정보 동역학은 목적 없는 물질 동역학에서 어떻게 기능과 의미가 생겨나고, 그것이 어떻게 생명체와 같은 에이전트의 행동 조정으로 이어지는지를 설명하려는 시도이다.

이제 이 관점을 빅 히스토리의 실제 흐름에 적용해 볼 차례다. 앞에서 살펴본 정보의 매체·형식·내용, 해상도, 변환, 진화, 계층 구조, 에이전트성은 우주에서 생명과 인간 문명으로 이어지는 주요 전환들을 읽어내기 위한 분석 도구이다. 2부에서는 초기 우주의 미세한 요동에서 별의 탄생과 원소의 합성, 생명의 출현, 신경계와 언어의 진화, 문자와 과학, 디지털 정보 체계의 등장에 이르기까지, 정보가 어떤 매체와 형식으로 생성되고 해석되며 새로운 기능과 의미를 얻어 왔는지를 살펴볼 것이다.