카오스이론은 과연 과학의 혁명인가

제임스 글리크 지음「카오스」

카오스이론은 과연 상대성 이론과 양자역학에 비견될 만한 현대물리학의 세번째 대혁명인가. 카오스이론이 조명해 주는 이 세계의 실상은 무엇이며, 그것을 통한 세계관의 새로운 개안은 과연 어느 수준까지 가능한가.

최근 독서계의 비상한 관심을 끌고 있는「카오스」출간을 계기로, 카오스이론이란 무엇인가를 서로 전공을 달리하는 세 연구자의 서평 형식을 빌어 집중조명해 본다. 과학철학과 과학사, 그리고 물리학의 관점에서 바라본 카오스이론의 실상과 의미를 다음에 싣는다. 〈편집자주〉

인식론적으론 인과관계 없지만 존재론 차원에선 결정론의 세계

최종덕
연세대 강사·과학철학

칸트에 의하면 자연과학이란 질서의 원리를 향한 인식의 총체로서 이해된다. 즉 무질서하게 보이는 현상 배후에 질서의 존재를 상정하는 존재론적 배경과 그것을 끊임없이 탐구해 가는 인식론적 방법론을 기본틀로 삼는다. 그러나 근대과학의 발전에 있어서 그 존재론적 근거를 묻는 논의는 표면에 크게 나타나지 않았으며, 인식론적 근거에 대한 논의가 꾸준히 이루어져 왔다. 근대과학은 자연의 존재 자체를 묻기보다는 그것을 어떻게 알 수 있는가의 문제만을 주로 다루어 왔다는 말이다. 어떻게 알 수 있느냐의 문제를 과학에서는 인과율이라는 말로 표현한다. 그래서 과학의 기본목표는 운동현상 사이의 인과율을 찾는 작업이었다.

그러나 인과율로 설명되는 자연현상은 극히 제한된 영역이며 따라서 그 소박한 대안으로 인과율의 영역 안으로 들어오지 않는 자연현상을 과학의 탐구영역에서 배제해버리는 소극적 결과에 이르렀다. 그럼에도 불구하고 인간의 과학적 이성은 인과율로 잡히지 않는 우연성을 자연 자체의 본질 때문이라고 방치할 수 없었다. 그 우연성은 인간인식의 한계일뿐이지, 자연 자체는 필연성의 끈으로 맺어진 결정론적 존재라고 본다. 스키야마(Sciama)는 과학의 목표를 "겉보기에 우연적인 영역을 다루는일이지만 그러나 실제로는 내재적으로 우연적인 것이 하나도 없음을 보이려는 작업"이라고 말하였다. 스키야마의 말은 우리가 말하려는 카오스 이론의 핵심을 건드린 셈이다. 인식론적 차원에서 인과관계의 끈이 닿지 않는 영역도 실제로는 존재론적 차원의 결정론적 세계의 외형상일 뿐이라는 점이 카오스 이론의 중요한 세계관이며 글리크의 이 책은 그 점을 잘 말해주고 있다.

철학적으로 결정론을 가장 강하게 주장한 이는 라플라스였다. 라플라스의 결정론을 경험론적으로 구체화하는 데 있어서 분명히 실천적인 어려움이 있음에도 불구하고, 100년 이상이나 그의 원리적인 권위에 대하여 아무도 의심을 한 사람은 없었다. 그러나 20세기 과학 특히 양자역학의 등장으로 인해 라플라스적 결정론은 와해되었다. 결정론을 반박하는 대표적인 주장으로서 닐즈 보어를 따르는 코펜하겐 해석에 의하면, 미시세계의 불확정성의 이유는 인간인식의 한계라기보다는 자연 자체의 모습 때문이라고 본다.

반면 데이비드 보옴(David Bohm)같은 이는 비록 인식론적으로는 비인과적이지만 존재론적으로는 결정론적인 자연관을 제시하였다. 보옴의 이러한 자연관의 의미는 카오스 이론이 내재적으로 갖고 있는 세계관과 유사하다. 즉 인간의 인식의 한계 때문에 현시점에서는 운동을 비인과적으로 기술할 수밖에 없으나, 그렇다고 존재 자체가 비결정론적이라고 말할 수 없다는 것이다. 다시 말해서 존재의 결정론적 구조를 인간의 인식능력의 한계로 인해 쉽게 포기해서는 안된다는 입장이다. 존재론적으로 결정론의 구조를 갖고 있으나 표면적으로 인과율이 성립되지 않는 현상을 우리의 생활 주변에서 얼마든지 찾아볼 수 있다. 그 구조를 인식하기 위해서는 현대 컴퓨터에 의존하는 비선형 수학이라는 접근하기 어려운 수학을 통해야 하지만 그 노력을 포기할 수는 없을 것이다. 이러한 관점에서 이 책은 비선형 체계에서 나타나는 새로운 자연의 불변항을 보여주는 데 최대한의 노력을 기울이고 있다.

과학자는 간혹 우리의 일상언어로부터 새로운 감각의 전회를 시도하며, 그로부터 과학의 전문적 의미를 도출한다. 카오스라는 말도 그러하다. 고전적인 의미에서 본 카오스라는 말은 불규칙하고 무질서한 운동을 함의한다. 그러한 관점에서는 비규칙성을 무질서로, 그리고 결정론을 질서로 보는 관성 때문에 질서와 무질서를 완전히 다른 것으로 본다. 그러나 결정론적 카오스 이론은 이 두 개념의 차이를 모호하게 만들며 따라서 일상언어로 사용하는 카오스의 개념과는 다른 전문적 의미를 내포한다. 보통 우연과 필연은 조화될 수 없는 대립물로서 간주되었으나 카오스 이론에서는 그렇지 않다.

우리들은 결정론적 카오스 이론이 가져다준 세계상을 통해 새롭고 아주 다르게 자연을 이해할 수도 있다. 카오스는 다시 질서의 원천이 되었다. 이 책을 통해서 우리는 카오스가 잠재적 질서로, 그리고 우연은 필연성의 원천으로 알 수 있게 되었다. 현상계의 다양성 속에서 보편적 법칙성을 찾으려는 카오스 이론의 과제는 처음부터 새로운 의미의 결정론을 말하는 질서구조의 존재를 인정하고 들어간 셈이다. 그 결정론이란 물론 뉴턴적인 의미가 아님을 강조하면서, 자신이 자신을 복제하는 생명체의 복합성 속에서 찾을 수 있는 조화의 관계를 말하는 것과 같다. 상식의 허점을 일깨워준 이 책을 통해서 독자들도 주변의 자연현상을 다시금 새로이 보는 눈을 뜰 것이라고 믿어 의심치 않는다.

마지막으로 조심해서 생각해 볼 문제가 하나 남아있다. 과학으로 탄생된 진화론이 사회학에 반성없이 억지로 적용되면서 생긴 수많은 오류를 다시 되새기면서 카오스 이론 역시 그 이론을 사회현상 아무데나 적용하려는 유행같은 시도는 일찌감치 자제되었으면 한다.

결정론적 예측가능성의 환상 제거 실용적 영역에서의 점진적 혁명

임경순
서울대 강사·과학사

카오스 이론은 과연 상대성 이론과 양자역학에 비견될 만한 20세기 물리학 분야에서 일어난 세번째의 대혁명인가? 이 책의 저자는 카오스를 주창했던 사람들의 말을 인용하면서 카오스 이론의 혁명적 성격을 조심스럽게 소개하고 있다. "상대성 이론은 절대적 공간과 시간이라는 뉴턴 물리학의 환상을 없애버렸다. 양자이론은 측정 과정을 제어할 수 있다는 뉴턴 물리학의 환상을 깨뜨렸다. 그리고 카오스 이론은 결정론적 예측가능성이라는 라플라스적 환상을 없앴다." 또한 제임스 글리크는 과학사가인 토머스쿤의 과학혁명에 관한 논의를 소개하면서 카오스 이론의 출현을 "진정한 패러다임 변혁, 즉 사고방식의 전환"으로 묘사하고 있다.

카오스 이론이 진정으로 현대과학의 대혁명으로 기록될 수 있는가 하는 것은 아직 좀더 시간을 두고 과학사가들의 논의를 기다려야 하겠지만, 과학사가의 한 사람인 필자는 이 소위 카오스의 혁명은 상대성이론이나 양자역학의 혁명과는 상당히 다른 성격의 혁명이며, 또한 쿤이 제기한 과학혁명의 모델과도 상당히 다른 구조를 가지고 있다는 것을 지적하고 싶다.

우선 카오스에 관한 논의는 특수 상대성이론이나 양자역학이 지니는 환원주의적인 성격을 지니고 있지 않다. 입자물리학에서 보듯이 현실세계를 더욱더 작은 미시세계의 문제로 환원하거나 우주론적인 거대구조로 이해하려고 하지는 않고 있다. 일상적 현실 경험세계가 바로 카오스 이론이 추구하는 학문의 주요 대상인 것이다. 카오스 이론의 출현은 컴퓨터의 발달이라는 20세기 후반의 기술혁신에 의해서 가능하게 되었으며, 실제 문제를 풀어가는 과정에서 점진적으로 형성되었다. 또한 과거의 통상적인 과학이론과는 달리 컴퓨터를 사용한 모의 실험을 해서 새로운 형태의 카오스 패턴을 실험적으로 발견하기도 한다. 즉 새로운 이론의 등장으로 지금까지의 모든 자연 해석이 단숨에 바뀌는 식의 과학혁명이 아니고 컴퓨터의 도움과 실제 조작에 의해서 실용적인 분야에서 자신의 영역을 점차 넓히고 있는 점진적인 '혁명'인 것이다.

1800년 경에 라플라스에 의해 제창된 세계는 분명히 완벽한 결정론의 세계였다. 이제 오늘날 우리가 목격하는 카오스의 세계는 상당히 비결정론적인 세계다. 지난 200년 동안 결정론은 서서히 몰락하고 과학철학자 해킹의 말대로 우연은 서서히 길들여져 갔다. 형이상학적·인식론적 차원뿐만이 아니라 도박·증권·조세·운동경기·경기예측·기상관측·우생학·사회통계 등과 같은 실제적·실용적인 차원에서도 통계적 혁명은 서서히 자신의 영역을 넓혀 나갔다. 가우스·푸앵카레·케틀레·갈튼·볼츠만·뒤르켐 등 수많은 수학자·물리학자·생물학자·사회학자 등이 이 과정에서 공헌했으며, 급기야 1920년대말에는 보른·하이젠베르크·보어 등의 양자역학에 대한 비결정론적인 해석에 의해서 비결정론은 인식론적으로도 확고한 위치를 차지하게 된다.

이 통계적 혁명은 공약불가능성(incommensurability)에 바탕한 토머스 쿤 식의 과학혁명은 아니다. 쿤의「과학혁명의 구조」라는 책

에 나타나는 식의 혁명은 이 기간 동안 너무도 여러번 나타났다. 그러나 그때마다 아리스토텔레스 체계나 뉴턴 체계의 붕괴와 같은 엄청난 규모의 구조적 변화는 나타나지 않았다. 통계적 혁명은 사회제도 속에서, 실제적인 현대인의 생활 속에서, 수학·물리학·화학·생물학·기상학·사회학 등의 여러 학문 분야에서 나름대로 작은 영역을 차지해 나가면서 서서히 그 모습을 드러내고 있는 것이다.

제임스 글리크가 그린 카오스의 세계는 1800년부터 점진적으로 진행된 통계적 혁명의 가장 최근의 모습이라고 할 수 있다. 스필버그 감독의 '쥐라기 공원'이라는 영화가 미국에서 상영된 뒤 공룡과 화석의 유전자 복제에 관한 분야에 연구비가 증가하고 있다고 한다. 글리크의 이 책도 카오스 분야의 연구에 영향을 미치고 있는 것은 분명하다. 이 점에서 글리크와 이 책을 읽는 독자, 서평을 쓰고 있는 본 필자까지도 이 통계적 혁명에 어떤 식으로든 개입하고 있는 것이다.

미래사회 큰 영향끼칠 복잡성의 과학
혼돈 속에도 잘 정리된 질서있다

김승환
포항공대 교수·물리학

흔히 과학은 혁명적 도약에 의하여 발전한다고 믿는다. 갈릴레오와 뉴턴의 고전역학은 물질·힘·운동의 체계적 이해를 가져온 하나의 큰 혁명이었다. 두번째의 큰 혁명은 금세기초 상대론·양자론·방사선이론과 함께 일어났다고 볼 수 있다. 세번째 혁명은 넓은 영역에 걸쳐 현재 진행중에 있는데, 그 큰 갈래중 하나로 현재까지 자연의 잘 이해되지 않고 소외된 부분인 불규칙성 및 복잡성을 연구하여 그 속에 숨어있는 질서를 찾아내고자 하는 카오스(Chaos, 혼돈)의 과학을 들 수 있다. 카오스의 과학은 비선형동역학이론과 컴퓨터의 발전으로 최근 폭발적으로 성장하고 있다. 물리학 및 수학뿐만 아니라 과학 및 사회 전반에 걸쳐 가장 넓은 영향력을 끼친 혁명으로 여겨지고 있으며, 현재 그 공학적·산업적 응용이 매우 활발하게 연구되고 있다.

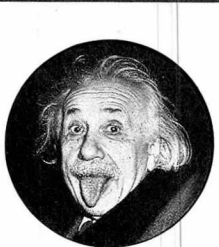
카오스는 자연속에 흔히 관찰되는 일종의 예측할 수 없는 불규칙한 무질서 운동이라고 이야기할 수 있다. 그러나 카오스는 보통 사람들이 이해하고 있는 완전한 무질서 혼란 상태와는 달리 그 이면에 기이한 끌개(Strange Atrractor)라고 불리는 잘 정리된 질서구조가 존재하며 이는 1963년 MIT의 기상학자 로렌츠(Lorenz)에 의해 처음 발견되었다. 그는 기상현상의 간단한 모델에서의 불규칙한 신호를 연구하다 그 이면에 자리한 위상공간(상태공간)상의 나비모양의 규칙적 구조를 발견하였다. 이 기이한 끌개는 무수히 많은 층으로 이루어진 매우 기묘한 기하학적 구조—프랙탈(fractal)구조라 불림—를 가지고 있는데, 이 구조는 밀가루 반죽과 같이 늘리고 접고 하는 과정의 무한한 반복에 의해 만들어진다. 이 과정에서 초기의 미세한 차이가 크게 증폭되는 현상을 초기조건에 대한 민감한 의존성, 또는 나비효과라고 부른다. 즉 북경의 나비 한마리의 팔랑거림이 오랜 시간이 지난 후 뉴욕에서 폭풍우를 불러올 수 있다는 것이다.

카오스는 시계추의 운동, 태양계의 삼체문제, 담배연기의 불규칙적 운동, 심장박동 및 뇌파의 불규칙적 리듬, 수도꼭지의 물방울의 불규칙한 리듬 등에서도 관찰된다. 그 외에도 카오스현상은 지각에서의 마그마의 격렬한 섞임, 레이저 및 플라즈마의 불안정성, 초전도 소자계의 전류특성, 전기회로의 기이한 잡음, 화학반응의 불규칙성, 주가동향, 당구공 궤적의 비예측성, 지구 자극의 급격한 변동 등에서도 볼 수 있다. 이러한 카오스계들은 비선형성을 공통적으로 가지고 있어, 비록 간단한 계라도 그 해석적 해를 구하기 어렵다. 따라서 현재 카오스계의 기하학적·정성적 접근, 컴퓨터를 통한 복잡성의 시각화 및 실험도구화 등 다양한 방법이 개발·이용되어 카오스와 질서의 미스터리를 연구하고 있다.

카오스는 본래 그 불규칙성 운동의 제어가 어려워 지금까지 많은 공학자들이 경외해온 대상이지만, 최근 카오스가 폭넓게 이해되기 시작하고 부분적 제어가 가능해짐에 따라 오히려 이를 이용하여 첨단기능을 구현하는 방향으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 카오스공학이라고 부르며 일본의 기업 및 연구소들이 현대 산업사회의 5가지 당면과제를 해결하는 데 필요한 10대 기술중 하나로 원용하고 있다. 카오스는 현재 국내외에서 로보트 제어, 화상압축 및 복원, 쾌적한 가전제품, 원자로 운전상태 진단 등에 응용되고 있으며 앞으로 비선형시스템 인식 및 모델, 비선형제어, 주가 등 경제지표 및 기상의 비선형 예측, 의료진단장치, 통신암호화, 심장박동 안정화, 뇌파 등 생체정보처리, 카오스 신경회로망 및 컴퓨터, 화학반응 제어, 레이저 출력 향상, 패턴인식 등에 응용하는 연구가 진행되고 있다. 카오스의 응용이 어디까지 흘러가게 될지는 카오스의 리듬처럼 정확히 예측하기는 힘들지만, 록펠러대학 교수이자 뉴욕학술원 이사인 하인스 페이겔스는 "이 복잡성의 과학(카오스이론 포함)의 도전을 받아들여 이를 지배하는 사회가 다음 세기의 문화적·경제적 그리고 군사적 초강대국이 될 것"이라고 예언했다.

얼마 안가 카오스를 이용한 가전제품들이 시중에 쏟아져 나올 전망이며 카오스관련뉴스가 자주 보도됨에 따라 카오스에 대한 일반인들의 관심도 폭발적으로 증대하고 있다. 카오스라는 개념은 너무나 새롭고 혁명적이어서 처음에는 바로 받아들여지기 어려운데 저자는 이를 수식없이 소설적으로 매우 쉽게 설명하여 일반인들도 이 책을 읽는 가운데 저절로 카오스의 기본개념들을 이해하게 쓰여졌다. 또한 카오스개념이 정립되며 이 분야가 급격하게 성장해온 역사가 가슴을 졸일 정도로 아주 흥미진진하게 전개되어 있다. 이러한 점들로 인하여 이 책은 과학서적으로서는 드물게 1년여동안 미국에서 베스트셀러위치를 지켰을 뿐아니라 카오스를 배우려는 학생 및 전문가들에게도 필독서로 여겨졌다. 현재까지 국내에는 몇가지 카오스관련 번역서가 나와있으나 아직 일반의 욕구를 충족시키기에는 미흡한 점이 많았다는 점에서 이 책은 바로 이 틈을 메꾸어주리라고 본다.

아인슈타인의 꿈


▷ 뉴욕 타임즈 북 리뷰 베스트셀러

상대성 이론 탐구과정 소설化!!

지금까지
어떤 소설가도,
어떤 물리학자나
철학자도
시간의 본질과
그 열린 가능성에 대해
이처럼 참다운 비전을
제시한 적이 없다.

지금 이 순간 —
시간은 흐르고 있는가?
지금 이 순간 —
시간이 갑자기 멈춰진다면?
즐거운 시간은 왜 빨리 흐르고
지겨운 시간은 왜 느리게 흐르는 것일까?
사람들은 왜 시간이 '흐른다'고 느끼는 걸까?
시간은 단지 '기억'에 불과한 것이 아닐까?

•앨런 라이트멘/권국성 옮김/값 4,800원

서울북맵

책! 정보전쟁시대의 휴대품

이책은 말한다.
문제는 정보이고 편리함이란 것을.
책의 정보, 각종 서점·도서관에
관한한 앞서가고자 하는 분들을 위해
이책은 고안되고 편집되었다.
집어라! 그리고 그때 그때 빨리 읽고
책의 정보전쟁에서 승리하라.

서점·도서관 완벽가이드
• 서점가 지도
• 대형서점 가이드
• 전문서점 가이드
• 대형도서관 가이드
• 전문도서관 가이드

•값 4,500원 조경환 편저

진선출판사 전화 720-5990, 5991 팩시밀리 739-2129 ▲지금 서점에 있습니다.