

자연과학이론들에 나타난 자연관^{*†}

— 질적인 변화를 중심으로 —

나 정 민[‡]

지금까지의 자연과학이론들에 대한 주류적인 철학적 해석은, 자연과학이론은 '양적인 변화'를 중심으로 하는 자연관을 대변한다는 견해가 지배적이었다. 그러나 이러한 견해는 자연과학이론들 중 일부의 이론을 확대 해석한 측면이 있다. 즉, 자연과학이론들은 '양적인 변화'와 정반대되는 '질적인 변화'를 중심으로도 분석이 가능하다. 이를 본 논문에서는 주장하고자 한다. 이를 위해 일차적으로 자연과학이론들을 살펴보고, 다음으로 이를 바탕으로 해서, 본 논문의 취지에 맞게(질적 변화를 중심으로) 각각의 자연과학이론들을 분석해 보겠다. 이러한 분석을 통해 드러나는 결과는, 양적인 변화를 기술한다고 여겨졌던 자연과학이론들은 또한 '질적인 변화'를 중심으로도 해석이 가능하다는 사실이다. 결과적으로 어떤 해석의 관점을 취하느냐의 문제, 더 나아가 어떠한 자연관을 취하느냐의 문제는 객관적 사실에 바탕을 둔 진리의 문제라기 보다는 '의미'와 관련된 '해석학적 문제'이다.

【주요어】 양적 변화, 질적 변화, 자연관, 자연과학이론, 해석학적 의미

* 접수완료: 2004. 2. 11. / 심사 및 수정완료: 2004. 5. 18.

† 좀더 나은 논문을 위해 1, 2차에 걸쳐 건설적 지적을 아끼지 않으셨던 세분의 심사위원 분들에게 감사드립니다.

‡ 동국대 철학과 강사

1. 들어가는 말

자연에 대한 탐구는 인간의 역사와 함께 시작되었다. 특히 자연에 대한 학적 탐구가 시작되면서, 자연의 ‘변화(Veraenderung)’ 또는 ‘운동(Bewegung)’¹⁾이 자연의 대표적 본질로 인식되었고, 이를 어떻게 설명하느냐에 따라 상이한 입장이 나타났다.²⁾ 그 입장의 차이는 근세를 거치면서 더욱 강화되어, ‘양적인 변화’에 중점을 둔 입장과 ‘질적인 변화’에 중점을 둔 두 입장으로 크게 나누어질 수 있다. 전자의 입장은 자연현상에 나타나는 변화를 역학적 관점에서 설명하려고 했고, 후자의 입장은 자연현상에서 양적인 접근으로는 설명할 수 없는 ‘생성’의 능력을 설명하고자 했다. 이러한 입장의 차이는 당연히 서로 다른 자연관을 제시하게 되었다.

이러한 전통은 현대까지 답습되어, 자연에 대한 탐구는 자연현상들 중에서 양적인 변화의 측면에서 자연을 탐구하는 방향(대표적으로 자연과학)과 그러한 양적인 변화라는 방법으로는 설명할 수 없는 현상들 즉 ‘생성’과 ‘질적인 변화’를 강조하는 방향으로 나누어지게 되었다. 이러한 상황은, 자연과학이 자연을 대상으로 진지한 탐구를 하는 학문임에도 불구하고, 자연과학을 통해 나타내어진 자연관이, ‘생성’을 강조하는 다른 학문들과 비교해서, 우리의 일상적(common sense) 자연관과, 즉 ‘생성’을 하는 ‘살아있는’ 자연이라는 측면에서, 유리되어지는 상황이 되었다.

그러나 이러한 상황은, 자연과학의 발전 과정에서 물질 개념의 확장과 새로운 탐구 방법의 지속적인 계발을 통해 새로운 국면을 맞게 되었다. 지금까지 자연과학의 ‘대표’적 자연관이라 여겨졌던 ‘양적인 변화’에 상응하는 자연관은, 좁게는 자연과학이론들 안에서조차도 전체 대상을 포함하지 못하는, 일부의 제한된 대상에만 적용될 수 있는 해석일 뿐만 아니라, 넓게는 우리의 일상적 자연관에도 부합하지 못하는 편협적인 자연관

1) Duerring(1966), p. 307.

2) 자연의 변화에 대한 탐구는 그 변화를 인정하는 헤라클레이토스적 전통과 그 변화를 부정하는 파르메니데스적 전통으로 나누어진다.

이다. 따라서 현시점에서 볼 때, 자연과학이 표상하는 자연관에 대한 새로운 고찰이 필요하다고 생각되어진다.

이러한 주장을 펼쳐나가기 위해, 필자는 우선 ‘질적인 변화’가 무엇인지를 2장에서 규정하고, 그 규정을 근거로, ‘양적 변화’에 중점을 둔 것으로 여겨졌던 자연과학 이론들 안에도 ‘양적인 변화’에 대한 설명을 넘어 ‘질적인 변화’를 설명하기 위한 단초들이 있음을 3장과 4장에서 보이겠다. 이러한 분석을 통해, 자연과학이론들은 ‘양적인 변화’의 측면에서도 ‘질적인 변화’의 측면에서도 모두 철학적 해석이 가능하다는 잠정적인 결과도 도출된다. 그리고 이 두 해석 중에 어떠한 해석을 받아들이나의 문제는 ‘객관적인 옳고 그름’이라는 카테고리가 정용되는 ‘진리성(Wahrheit)’의 측면이 아니라, 자연에 대한 ‘의미’의 측면인 ‘해석학적’ 문제임을 결론부분에서 보이겠다.

2. 양적 변화와 질적 변화³⁾

자연과학 이론이란 해당되는 자연현상을 학적으로 설명하는 학문이다. 그렇다면 본 논문의 취지에 따라, 그 설명되어지는 자연현상이 질적인 변화에 해당되는가를 논의하기 위해서는, 우선적으로 질적인 변화란 무엇인가에 대한 규정이 전제된다.

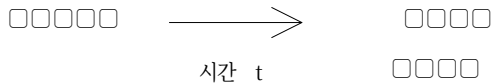
-
- 3) 이 논문에서 사용되는 용어인 ‘질적 변화’와 ‘양적 변화’는 일반의 과학이론들에서 사용되는 ‘양적 설명’과는 다른 개념이다. 보통 ‘양적인 설명’과 ‘수식적 설명’은 동일한 맥락에서 사용되어지는데, 이러한 과학이론들에서의 ‘수학적’ 또는 ‘수식화’는 모든 수식을 사용하는 자연과학이론들은 자연의 변화에서 양적인 변화 또는 측면만을 탐구한다는 오해를 불러일으킬 수 있다. 그러나 질적 변화/양적 변화라는 개념과 ‘자연과학이론의 수식화’는 개념의 분류상 다른 위치에 놓인다. 질적 변화/양적 변화라는 개념은 자연의 현상을 분류하는 데 쓰이는 개념이고, ‘수식화’란 어떠한 자연의 현상을 서술하는 방법으로 수식을 사용한다는 방법론적 개념이다. 따라서 질적인 변화를 설명하는데 수식화라는 양적인 설명방식을 취한다는 것과는 다른 것이다.

우선 ‘질적인 변화’와 반대되는 개념인 ‘양적인 변화’에 대해서 살펴보면, ‘양적인 변화’에서는 그 변화의 단위는 ‘부분들’이고, 그 양적 변화를 하는 대상 전체는 변화의 근본단위인 부분들로 이루어져 있음을 전제한다. 이러한 의미에서 아리스토텔레스는 “양적인 것이란 부분으로 이루어진 것”⁴⁾이라 정의하였다. 이러한 구조 하에서 변화는 그 부분들의 공간과 시간적 관계에 의해 설명되므로, 통상적으로 ‘분석적 역학관계’ 즉 부분들의 가감에 의해 설명되어진다. 그리고 이 변화에서 변화의 원동력(Kraft 또는 Faehigkeit)은 그 대상 안에 창발적으로 내제되지 않고 외부에서 주어진다.

이에 반해 ‘질적인 변화’란 변화가 일어나는 단위가 부분으로는 쪼개질 수 없는 그 대상 전체이므로, 그 변화는 그 대상의 부분들로 환원되어 설명되어질 수 없는 변화의 종류를 의미한다. 그 변화를 설명하기 위해서 위의 ‘양적인 변화’와 마찬가지로 공간과 시간적 변수가 사용되지만, 그 변수의 해당 범위는 부분이 아니라 대상 전체이다. 그러한 의미에서 ‘질적인 변화’란 그 대상을 구성하는 ‘부분들’의 가감에 의해서는 설명되어질 수 없다.⁵⁾ 그리고 그러한 변화의 원동력은 외부에서 주어지는 것이 아니라 그 대상 자체 내에 창발적으로 내제한다.⁶⁾

이상의 ‘질적인 변화’와 ‘양적인 변화’의 정의를 단순한 도식으로 나타내면 아래와 같다.

1) 양적 변화



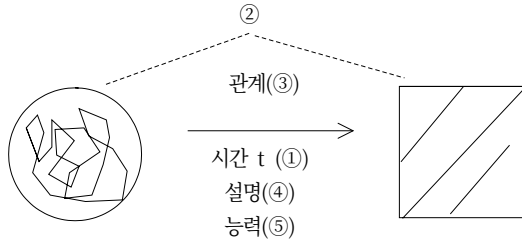
4) “Die Quantiaet ist etwas, das aus Teilen besteht”, Aristoteles(1974), Categories-6. 4b 20.l.

5) 이러 저러한 능력을 띠는 것에 해당하는 단위도 부분이 아닌 대상 전체이다. “Das vermoegen, dessen so oder so beschaffen heisst”, Aristoteles(1974), Categories-8.8b34.

6) 이러한 특성은 아리스토텔레스가 말했던 ‘inertia’와 비슷하다.

변화는 전체를 구성하는 일정한 부분(여기서는 □이 단위)들의
가감에 의해, 시간 t 이후의 변화가 설명가능

2) 질적 변화



전체가 변화에 있어, 하나의 단위(여기서는 원형과 사각형)가 되므로,
변화를 설명하기 위해서는 부분으로 나눌 수가 없음.

이상과 같이 ‘질적인 변화’를 정의 또는 규정한다고 전제했을 때, 어떤 과학이론이 ‘질적인 변화’를 설명할 수 있느냐에 대한 결정은, 그 ‘질적인 변화’의 규정과 자연과학이론들의 구조의 상관관계에서부터 논리적으로 도출된다. 그 결정 조건들은 다음과 같다.

첫 번째 조건으로 시간의 비가역성을 들 수 있다. 질적인 변화를 거친 상태는 그 이전의 상태로 돌아갈 수 없는 시간 방향성을 갖는다. 이는 질적 변화는 일정한 방향의 시간비가역성 또는 역사성을 갖음을 의미한다. 즉 미래는 과거)로 환원 될 수 없다. 이것은 위의 그림 ①에서 보여진다.

- 7) 여기서 말하는 미래 또는 과거라는 시간 개념은 뉴턴이 전제했던 절대적 존재성을 갖는 것도 아니며, 일반적으로 물리학에서 사용되는 대상의 서술을 위한 외적 변수의 개념도 아니다. 여기서 말하는 시간이란 대상의 밖에 존재하는 독립적 변수가 아니라, 시간을 벗어난 ‘변화’가 없다는 의미에서 그 변화를 구성하는 필연적인 구성조건으로 그 대상의 내적인 상태를 나타내어 주는 내적 변수이다. “Da die Zeit ausserhalb von Naturvorgaengen nicht existieren kann und nur durch Naturvorgaenge nicht existieren kann, koennen ist die Zeit ein wichtiger Bestandteil der Naturvorgaenge.” Joehr(1995), p. 43.

이러한 특성을 자연과학이론이 설명하기 위해서는, 그 과학이론도 시간적 비가역성을 지녀야 한다. 자연과학이론 안에서 시간의 비가역성은 그 이론을 수학적으로 치환(t 대신에 $-t$) 함으로써 확인 될 수 있다.

두 번째 조건은 시간적 비가역성이라는 첫 번째 조건이 물리적 영역으로 해석되었을 때 나타나는 조건으로, 물리적 비환원성이다. ‘질적 변화’가 시간적 비가역성을 근거로 한다면, 필연적으로 그 시간적 비가역성에 근거를 둔 두개의 물리적 하부 대상이 존재하여야만 한다. 만약 이 두개의 하부 대상이 물리적으로 환원이 가능하다면, 시간적으로도 가역성을 갖게 되므로, 물리적 비환원성은 시간적 비가역성과 창출방식의 차이만이 있는, 동일한 근거를 갖는다. 이러한 특징을 그림의 ②에서 보여진다. 따라서 이 특징을 과학이론이 설명하기 위해서는 역시 그 이론도 물리적으로 비환원적인 두 개의 하부대상영역을 가져야만 한다.

세 번째 조건으로는 이 두 하부대상영역 간의 관계이다. 서로 물리적 환원이 안되는 두 하부 대상영역은 다양한 방식으로 관계되어질 수 있다(예를 들어 다양한 인과관계⁸⁾ 또는 전혀 인과관계가 없는 관계일 수도 있다). 이러한 다양한 방식의 관계들 중에서 ‘질적인 변화’의 특징을 나타낼 수 있는 관계는, 그 ‘질적인 변화’의 규정에 따라, ‘발생적인’ 인과관계여야만 한다. 즉 ‘질적 변화’ 전의 대상영역은 ‘발생적인’ 관계에서 ‘질적 변화’이후의 대상영역의 ‘원인’으로 관계 지어 져야만 한다. 따라서 과학이론도 마찬가지로 두 하부대상영역의 관계가 ‘발생적’ 원인-결과의 인과관계를 담보해야만 한다.

네 번째 조건은 ‘질적 변화’를 하는 대상인 자연현상 그 자체에는 요구될 수 없는, ‘인간의 학(學)’인 ‘자연과학이론’에만 요구되는 조건이다. 자연현상은 그 자신이 질적 변화를 하든 양적 변화를 하든 또는 어떤 다른 변화를 하든 설명해야 할 의무가 없는 반면, 자연현상을 이해(*Verstehen*) 하려는 학인 자연과학은 그 현상을 설명하여야 할 의무가 있다. 즉 앞서 말한 세 번째 조건인 ‘발생적’ 인과관계가 어떠한 방식으로 이루어지는지를 설명(*Erklärung*)할 의무가 있고, 이러한 의미에서 ‘학’이 성립된다.

8) Bunge가 주장하듯이 인과관계도 시간적 인과관계 등 여러 인과관계로 뗄 수 있다. Bunge(1987), p. 3ff 참고.

본 논문에서는 이러한 ‘설명’을 ‘질서 법칙’이라 명명한다.

다섯 번째 조건은 통상적으로 받아들여지는 기계적 자연관과 비교해서, 일반적으로 ‘질적인 변화’의 개념에 상응하는 자연관에서 파생되는 성질로서, ‘그 변화의 추진력 또는 능력은 어디에 있는가?’이다. 이는 질적인 변화를 하는 자연관에 대한 개념과 가장 직관적으로 연관된 조건으로, 그 변화의 능력이 스스로 내제되어 있는가와 밀접히 관계되어있다. 즉 ‘질적 변화’를 하는 자연은 스스로 그 변화의 추진력을 가지고 있다. 이러한 성질을 과학이론이 담보하기 위해서는, 그 이론은 그 이론 안에 변화의 자체적 또는 내재적 능력 또는 힘을 전제해야만 한다.

이상의 다섯 가지가, 앞서 규정한 ‘질적인 변화’의 전제하에서, 해당 과학이론이 ‘질적인 변화’를 설명하기 위해서 갖추어야 할 조건들이다. 그러면, 어떤 자연과학이론들이 그 조건들을 어떻게 만족하고 있는지를 살펴보기 위한 과정으로, 우선 3장에서 각각의 과학이론들(뉴턴역학, 열역학, 코펜하겐 해석을 중심으로 한 양자역학, 카오스이론과 자기 조직이론)을 역사적 사실보다는 본 논문의 취지에 맞게 재구성하여 살펴볼 것이고, 그 다음 4장에서는 이것을 바탕으로 각각의 과학이론들이 그 다섯 가지 조건을 어떻게 만족시키고 있는지를 살펴보겠다.

3. 과학이론들

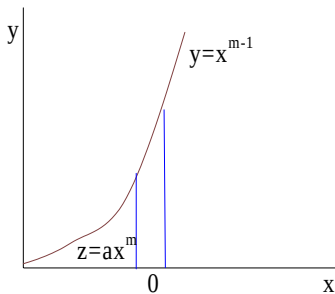
3.1. 뉴턴역학

뉴턴에 따르면 태초에 신이 있어 우주 전체와 원자를 창조하였고, 모든 거시적 대상들의 변화는 원자의 움직임에 의한 결과이다. 따라서 모든 대상들의 움직임은 그 자체 내에 내제한 힘이 아닌, 그의 대상 외부의 ‘주어지는 힘’에 의해서 발생된다. 그리고 그러한 힘을 그는 ‘자연의 힘(die Kraefte der Natur)’⁹⁾이라 하였고, 뉴턴 이전에 행해졌던 논리적 추론의 방법 대신에 경험적 관찰(Hypothese non fingo)을 통해서 그 법칙성을

9) Newton(1872), p. 2.

밝혀내려 했다. 그리고 그러한 경험적 관찰을 통해서 그는 ‘모든 움직이는 대상의 변화에는 힘이 필요하다’는 인식에 도달했다.

뉴턴은, 이러한 자신이 전제한 자연현상 탐구의 방법론 뿐 아니라, 뉴턴 이전에 발견된 다른 물리법칙들(갈릴레이의 낙하법칙과 관성의 법칙, 호이겐스의 원심력 등)에도 근거해서, 하나의 통일적 역학체계를 이루었다. 이 역학체계에 따르면, 모든 존재하는 대상은 동일한 힘을 받는 운동을 한다. 그렇다면 그의 역학체계의 핵심이 되는 대상의 운동 상태의 변화를 어떻게 계산할 수 있을까? 그에 대한 해답은 그가 발명한 ‘미분법’에서 주어지고, 여기에서 그의 천재성은 더욱 돋보인다. 어떤 물체가 힘을 받으면, 그 운동의 상태가 변하고, 예를 들어 등속 직선운동을 하는 물체가 힘을 받으면, 곡선운동을 하게 된다. 그런데 이러한 곡선운동을 하는 물체의 상태는, 직선운동을 하는 물체와 달리 시간 비례의 방법에 의해서는 그 운동 상태의 변화를 계산 할 수 없다. 이를 위해서는 좀더 특별한 방법, 즉 그 시간의 단위가 0에 가깝게 수렴했을 때의 그 물체의 움직임의 상태(tangent)이어야 한다는 사고 아래, 뉴턴은 그 값을 해를 구하기 위한 특별한 방법을 사용했고, 이것이 ‘미분법’이다. 예를 들어¹⁰⁾ 한 물체가 힘을 받는 곡선운동을 한다고 가정하면, 그 궤도는 아래와 같다.



왼쪽의 그림에서 한 물체가 시간에 따라 움직인 거리는 곡선아래의 면적에 해당하는 $z = ax^m$ 이다.

이 물체의 운동의 상태변화를 알기 위해서 뉴턴은 극한값에 수렴하는

10) 여기서의 예도 뉴턴의 *Principia*에 나오는 원래의 예가 아니라, 현대적 관점에서 해석된 방법이다.

작은 값만큼의 늘어난 시간을 상정했고, 이 시간이후에 그 물체가 움직인 거리는 $z+oy = a(x+o)^m$ 이다. 이 식을 뉴턴 시대에도 이미 있었던 이항계수정리(Binominalsatz)를 이용해 풀면, $z+oy = ax^m + oax^{m-1} + \dots$ 이 되고, 이 방정식을 정리하면, $y = amx^{m-1} + oam(m-1)x^{m-2}/2 + \dots$ 가 되고, 앞에서 가정했듯이 o 는 극한 값에 수렴하므로, o 를 포함한 항은 소거되므로, 우리는 해를 구할 수 있다($y = amx^{m-1}$).

이렇게 뉴턴은 기하학적 방법을 통해 미분방정식의 해를 구하였고, 이러한 사고의 과정은 그의 전 역학의 근간을 이룬다. 따라서 물체의 움직임에 대한 종합적인 체계인 그의 역학은, 물체들의 공간과 시간의 부분적 움직임을 가감적(미분법적)으로 연결한 거대한 기계적 세계를 나타나게 되고, 이것이 그 유명한 그의 역학에 대한 메타포인 ‘거대한 시계(die grosse Uhr)’의 근거이다.

3.2. 열역학

열역학은 거시상태의 성질들(온도, 압력, 부피, 엔트로피 등)의 관계에 대한 물리법칙이다. 이러한 거시세계에의 성질들이, 특히 ‘열’이란 성질이, 기체 분자들의 운동에너지의 한 형태라는 것은 19세기 초에 카르넬(Carnet)과 라플라스(Laplace) 등의 과학자들에 의해 이미 알려졌고, 특히 볼츠만은 열역학 제 2법칙을 이러한 역학적 입장에 근거해서 설명하려 했다.

19세기 말 크라우스(Clausius)에 의해 밝혀진 열역학 제 2법칙은 열역학 제 1법칙으로는 설명될 수 없는 열현상의 비가역적 성질을 나타내는 법칙이다. 이러한 열현상의 비가역성을 (뉴턴) 역학에 근거해서 설명하기 위해서, 볼츠만은 그 이전에 다른 과학자들, 특히 맥스웰(Maxwell)의 미시적 상태의 분자들의 분포속도에 대한 연구와 확률개념을 사용한다. 그의 노력은 $S = k \log W$ (S 는 엔트로피, k 는 볼츠만 상수, W 는 체계의 미시상태에 대응하는 미시상태의 가능한 분자의 배열수)라는 엔트로피와 확률개념의 관계를 보여주는 법칙으로 오늘날 받아들여지고, 이것은 엔트로피의 증가란 분자수준의 무질서도에 해당한다는 의미이다. 즉 엔트로피는 최대의 무질서까지 증가된다는 것이고, 이것은 $\phi(x_1, x_2, x_3) = \text{Konstant}$

(x_1, x_2, x_3 는 공간의 좌표축)으로 해당 공간을 임의적으로 나누었을 때 특정의 분자갯수들이 발견될 확률이 동일하다는 것을 의미한다.¹¹⁾ 이러한 미시세계에 대한 확률적 해석은 열현상에 대한 역학적 근거를 마련하는 데 중심적 역할을 하게 된다.¹²⁾

3.3. 양자 역학¹³⁾

양자 역학이전에 모든 고전적 대상들은 뉴턴역학의 확장인 해밀톤 함수에 의해 나타내어 질수 있는 데 반해, 양자역학에서는 해당 양자계(예를 들어 Elektron이나 Photon)를 해밀톤 연산자로 기술하는 것을 통해 ‘양자화’한다. 이 체계는 비록 양자화하기는 했지만, 뉴턴역학과 마찬가지로 보존계이고(에너지 보존법칙을 따르고), 시간적으로 가역적 체계이다.¹⁴⁾ 그리고 그 양자계의 상태는 해밀톤 연산자의 고유벡터로 힐베르트

- 11) 예를 들어 n 개의 기체분자들($\sum_{i=1}^m n_i = n$)이 m 으로 나누어진 공간 속에 들어 있다고 가정하면, 하나의 특정분자가 특정의 구분된 공간 속에 들어있을 확률은 $1/m$ 이고, n 개의 분자들의 배열 경우의 수는 $N=m^n$ 이다. 그렇다면, 특정의 분자배열의 상태(N_D)의 확률은 $W=N_D/N = N_D/m^n$ 이고, 그 N_D 분자 배열상태가 m 으로 나누어진 공간 안에서 미시적 분포 상태의 경우의 수는 $N_D = n!/n_1! \dots n_m!$ 이다. 여기에 로그함수(n_i 가 작은 경우)를 적용하면, $\log N_D = n \log n - \sum_{i=1}^m n_i \log n_i$ 가 된다. 이것을 볼츠만의 엔트로피 법칙과 관계시키면, $S = \log W = n \log n - \sum_{i=1}^m n_i \log n_i - n \log m$ 이 된다. 이렇게 엔트로피와 확률은 비례관계가 된다.
- 12) 비록 그 당시에 많은 과학자들로부터 그러한 확률개념의 사용을 비판받았음에도 불구하고, 오늘날에도 그의 사상에 근거한 좀더 발전된 확률개념이 사용되고 있다.
- 13) 본 논문에서는 코펜하겐에 대한 해석을 중심으로 양자역학에 대한 논의를 전개해 나가겠다.
- 14) 양자역학과 뉴턴역학의 공통점으로 크게 두 가지를 들 수 있다. 하나는 양자역학의 근본 방정식인 슈레딩거 방정식은 뉴턴역학의 확장인 해밀톤 연산자를 사용하므로, 뉴턴역학과 동일한 수학적 구조인 선형 미분방정식이다. 다음으로는 뉴턴역학에서 시간을 규정하는 방정식이 없는 것처럼 양자역학에서도 시간에 해당하는 연산자가 없다는 것이다.

공간에서 벡터(파동함수)에 의해 기술되고, 이 양자상태의 인과관계의 변화는 ‘결정론적 미분방정식’인 슈레딩거 방정식을 따른다. 이 결정론적 미분방정식의 해는 파동 함수 또는 상태벡터가 중첩법칙(고전 광학에서와 마찬가지로)을 따른다는 의미에서 선형성¹⁵⁾을 나타낸다. 이 중첩법칙은 양자의 연관된 상태를 나타내고, 개개의 연관된 순수한 양자상태는 측정 전에는 비 확정적 고유값을 갖는다. 그리고 이 비 확정적인 상태는 실제적 실험을 통해 확정값을 갖게 된다.¹⁶⁾ 이러한 소위 ‘파동함수의 붕괴’과정을 통해 선형성이 깨어진다.

양자역학에서의 비선형성은 단지 측정에서뿐 만이 아니라, 양자장(quanten feld)으로 슈레딩거 파동방정식을 확장시킨 양자장 이론에서도 나타난다.¹⁷⁾ 양자장안에서 하나의 근본입자(essential particle)의 양자상태 지속기간은 입자들 간의 상호작용에 의해 영향을 받는 비선형성이 나타난다.¹⁸⁾ 이렇게 양자역학 안에는 선형적 성질과 비선형적 성질이 모두 존재하며, 비선형적 성질은 특히 대상의 속성 또는 존재성과 결부되어 철학적으로 많은 논증들을 야기시켰다.¹⁹⁾ 즉 측정전의 ‘가능의 상태들’은 측정후의 ‘현실적 상태’로 나타난다. 이는 논리적 체계를 중시하는 수학과는 달리, 현실 대상의 해석과 그 응용성을 중시하는 물리학에서 발생하는 중

15) 선형성이란 임의의 벡터공간 K 사이의 두 공간 V 와 W 에 대한 함수에서, $v_1, v_2 \in V$ 이고, $a_1, a_2 \in K$ 일때, $f(a_1v_1 + a_2v_2) = a_1 f(v_1) + a_2 f(v_2)$ 일 경우를 의미하고, 이는 다시 설명하면, 가감성($f(v_1 + v_2) = f(v_1) + f(v_2)$)와 동질성($f(av) = af(v)$)를 만족하는 경우이다.

16) Mainzer(1993), p. 33f.

17) 여기서 장함수(feld function)를 장 연산자로 대치시키는 제 2의 ‘양자화’가 일어난다.

18) 예를 들어 von Neumann과 E.P. Wigner(1961)는 인지적 존재의 관찰로 설명을 하였고, R.Penrose는 선형적 양자역학과 비선형적 일반 상대성이론을 접목시킨 이론을 통해 거시세계의 영향을 설명하려 했다.

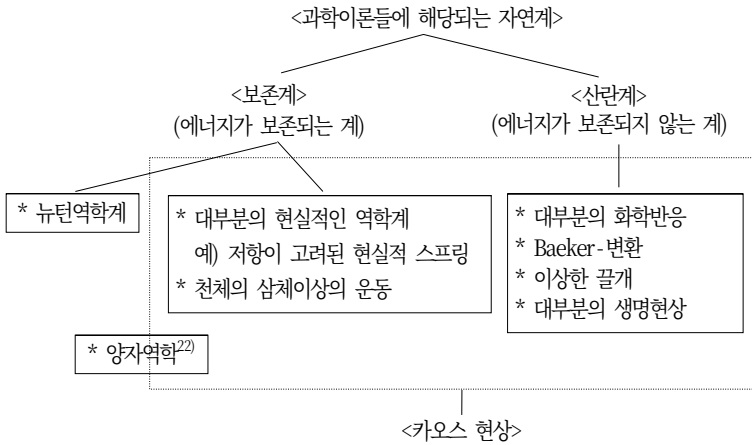
19) Feynman(1988), p. 18ff, Herbert(1985), p. 114, Einstein, Podolsky & Rosen(1935), Jammer(1974), p. 198f, Rae(1996), p. 35ff, Springer(1996), pp. 24-27, Yam(1997), pp. 56-62, Hund(1975), p. 145, Agnotos(2000), p. 49, Baumann(1987), p. 18, Penrose(2000), p. 94, Reichenbach(1989), p. 25, Selleri(1990), p. 89f 참고.

요한 문제 중 하나이다.²⁰⁾

3.4. 카오스이론과 자기조직 이론²¹⁾

카오스적 현상은 자연계 전체에 산재해 있다. 더 자세히 말하자면, 자연계의 거의 모든 현상은, 인위적인 통제를 가하지 않는 한에 있어서는 사실적으로 ‘열린계(외부와 에너지 그리고 물질의 교환이 이루어지는 계)’이기 때문에, 그 계 특위의 통제할 수 없는 변수들과 그 변수들의 (대부분의) 비선형적 관계에 의해서 카오스적인 현상을 나타낸다. 이야기를 좀 더, 우리가 통제할 수 없는 자연현상은 제외하고, 과학이론들에 의해 서술되는 해당 자연현상에만 한정한다고 해도 역시 대부분의 현상은 카오스적이다. 이를 살펴보면 아래의 도표와 같다.

-
- 20) 양자역학에서 측정을 통한 ‘존재성의 현실화’의 문제는 특히 양자장 이론이 적용되는 근본입자들(elementare particles)의 형성과정에서 두드러지게 나타난다. 양자역학의 확률적 성격은 여기에서도 적용이 되어, 하나의 빠른 Proton과 하나의 Neutron이 충돌하는 경우, 세 개의 π -Meson과 하나의 K-Meson을 쌍 또는 다섯 개의 π -Meson의 발생 등 다양한 근본입자들이 ‘이론적(가능적)’으로 발생된다. 그러나 어떤 근본입자들이 ‘실재로’ 발생하는지는 ‘측정’을 통해서만이 입증될 수 있다. 이렇게 확률적 존재성만을 갖는 존재성은 측정을 통해서 확실한 존재성을 갖는다.
- 21) 고대 그리스에서 유래한 ‘카오스($\chi\alpha\omicron\varsigma$)’란 단어는 ‘모든 존재들 이전의 무한한 비어있음’이란 뜻으로, 존재하는 것들의 근거를 밝히기 위해 사용된 것인 데 반해, 오늘날의 일상에서 사용되는 ‘카오스’라는 개념은 ‘질서’ 또는 ‘조화’에 반대되는 뜻으로, ‘무질서’와 ‘비규칙성’을 나타내는 데 사용된다. 따라서 별다른 반성없이 받아들여지게 되면, ‘카오스’란 ‘비법칙성’ 또는 ‘비결정성’과 동의어로 생각될 수도 있다. 그러나 적어도 ‘학’적인 관점에서는, 그러한 ‘무질서’ 또는 ‘비규칙성’은 ‘비법칙성’ 또는 ‘비결정적’이란 개념과 혼동되어 사용되어져서는 않된다. ‘법칙성’이란 어떠한 현상이 법칙(주로 수학적 방정식으로 기술된)에 의해 서술되어질 수 있는 경우의 성질을 의미하고, ‘결정성’이란 모든 법칙들이 갖는 선험적 조건으로서, 예를 들어 어떠한 현상을 법칙화 할 수 있다면, 적어도 그 법칙에 해당되는 현상은 그 법칙에 따르는 ‘결정성’을 갖는다. 이것은 ‘카오스 이론’에 해당되는 자연현상도 ‘결정성’을 갖음을 의미한다.



이상과 같이 과학이론에 해당되는 자연현상에만 국한해도 대다수의 현상들이 카오스적 현상을 나타냄으로, 이 이론에 대한 이해 없이는 자연에 대한 깊이 있는 탐구가 제한 될 수밖에 없음이 드러난다.

카오스현상의 (가장) 중요한 특징은 널리 알려져 있다시피 ‘비선형성’이지만, 이 것은 카오스적 현상의 충분조건이지 필요조건은 아니다.²³⁾ 일반적으로 받아들여지는 카오스 현상의 특징들로서는 1. 비선형성 2. 초기조건의 민감성 3. 혼합(Mischung)을 들 수 있다. 거의 모든 카오스 현상에서 위의 3 가지 특징들이 공통으로 나타나지만, 설명의 편리성을 위해서 각각의 특징을 두드러지게 알 수 있는 예들을 들어보겠다.

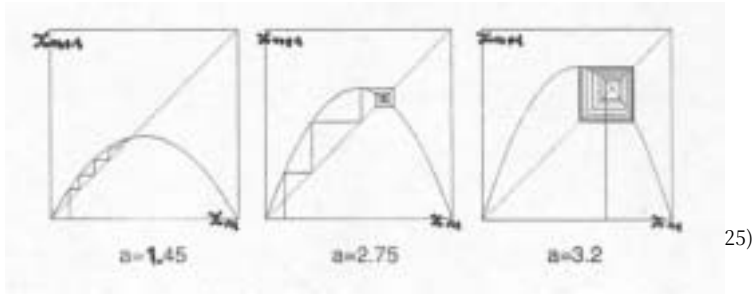
우선, 비선형성의 대표적인 예로는 ‘인구증가방정식($P_{n+1} = P_n + rP_n(1 - P_n)$, P_{n+1} 은 다음해의 인구 증가, P_n 은 올해 인구증가, r 은 인구증가 계수²⁴⁾)’을 들 수 있다. 여기서 무한정한 인구증가를 억제하는 ‘환경적 요소’에 해당하는 항인 $1 - P_n$ 은 그 해의 인구 증가율인 P_n 과 결합하여 비선형적 구조를 나타낸다. 이를 좀더 자세히 살펴보기 위해서 일반적인 방정식인 로지스틱

22) 양자역학에서의 카오스적 현상의 발생은 여러 논문들을 통해 연구되고 있다.

23) 비선형 미분방정식 중에는 푸리에 변환에 의해서 그 해가 구해지는 경우도 있다.

24) 1845년 벨기에 수학자 P.F. Verhulst에 의해 창안된 방정식.

사상으로 바꾸어보면, $x_{n+1} = ax(1-x_n)$ 의 형태이고, 이를 계수 a 에 따라서 그려보면, 다음과 같다.



위의 예에서 비선형적 관계에서 그 움직임의 형태는 계수의 값에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다.

또 다른 비선형적 관계로는 ‘자기조직 현상’을 들 수 있다.²⁶⁾ 자기 조직 현상이란, 특정시점에서는 그 이전에는 무시되었던 불안정성이 비선형적으로 영향을 미쳐, 갑자기 ‘새로운 질서’가 창발되는 과정을 의미한다. 즉 그 이전의 상태에서, 외부적 간섭 없이, 새로운 질서의 자연적인 생성을 말한다.²⁷⁾ 이러한 현상은 비단 생명현상뿐 아니라, 대부분의 ‘열린계(외부와 에너지, 물질의 교환이 있는 계)’에서 고루 나타나는 현상이다.²⁸⁾

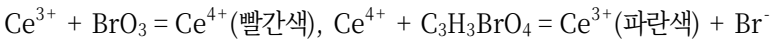
25) 출처: Peitgen, Heinz-Otto, Juergens, Hartmut & Saupe(1998), *Dietmar, Baustein des Chaos*, Hamburg, p. 74.

26) 자기조직 현상은 모든 생명현상과 그에 따르는 진화(Ontogenesis; 기관의 성장, Phylogenesis; 종의 진화) 또는 거의 모든 화학 반응과 일부의 물리적 현상에 고루 나타나는 현상이다. 이러한 현상을 탐구하는 분야인 ‘자기조직 이론’이란 ‘어떻게 고도로 발달된 질서가 이루어질 수 있나’를 탐구하는 학문이다. ‘통일된 생명에 대한 정의’는 학적으로 까다로운 문제이기 때문에 대부분의 학자들은 ‘생명현상이 어떻게 일어나는가’에 문제를 집중하고, 그 대답은 ‘고도로 발달된 질서의 형성’ 즉 ‘자기조직의 형성’이다.

27) Kueppers(1997), p. 78 참고.

28) 이러한 설명이 평이해 보일 수 있으나, 이것을 학적으로 근거 짓는 데는 많은 노력들이 따랐다. 이러한 노력의 한 예로 프리고진을 들 수 있다. 그는 열역학 법칙이(줄거는 열역학 제 2법칙이) 이러한 현상을 설명하는 데

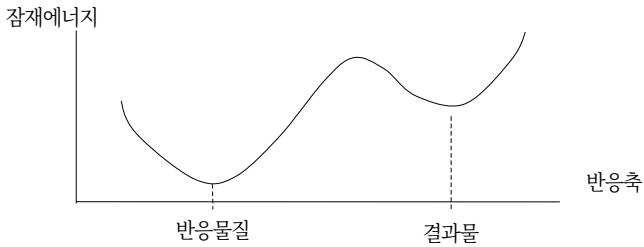
이러한 예로 화학반응중 하나인 Belousov-Zhabotinsky (BZ) 반응을 살펴보자. 이 반응은 1979년 B.P. Belousov와 A.M. Zhabotinsky에 의해 연구되어진 것으로, 산화-환원의 반응 중에서 Ce와 Br의 반응에 관한 것이다. 이 반응에서 Ce^{4+} 와 Ce^{3+} 가 주기적으로 생성됨으로써, 파란색과 빨간색의 주기적 변화가 나타나기 때문에 통상적으로 ‘화학적 시계’라고도 하고, 이러한 원리는 심장의 박동원리 등 많은 생명 현상에서 중요한 역할을 한다;



이 반응은, 간물질(Zwischenprodukt; Ce^{4+} 또는 Ce^{3+})이 생성될 때는 안정성이 유지되고, 다시 외부에 의해서(다시 화학물의 첨가 또는 평형상태) 그 안정성이 깨어질 수 있는 ‘유사 열린계(quasi-offenenes System; 외부와의 관계에서 안정성이 일시적으로 유지되는 계)’이다. 열역학 제 2 법칙에 따르면, 모든 계는 엔트로피 생성이 최소가 되는 평형상태가 되므로, 이에 따르면 이 반응은 보라색이 되어야 한다. 즉, 이 평형상태를 조금 벗어난 불안정한 상태는 안정상태로 되돌아가는(자유에너지가 최소가 되는) 선형적 자유에너지 함수의 구조를 갖는다.²⁹⁾ 그러나 이러한 설명은 위의 예에서 보듯이, 최소의 부분적인 불안정한 상태(화학물의 첨가)가 전체의 불안정(전체적인 새로운 색의 변화)을 야기시키는 새로운 질서의 형성을 설명할 수 없다. 이러한 새로운 질서는 비선형적 구조에 의해 형성되고, 이는 다음과 같다.

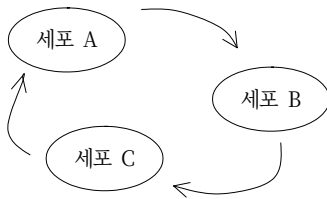
부족하다는 것을 학적으로 밝혔다. 열역학 제 2법칙에 따르면, 엔트로피는 비가역적 과정의 변화(‘잃어버린 열’)을 나타내는 지표이다. 여기서 사용된 확률개념(W)은 미시현상의 분포가능성(미시현상의 무질서)이 높을수록 커진다. 따라서 엔트로피가 최대일 때(평형상태) 그 해당 계는 무질서가 최대 즉, ‘구조성’이 최소가 된다. 이것은 그러나 ‘자기조직 형성’ 과정과는 반대가 되는 현상이다.

29) Juhnert & Niedersen(1999), p. 11ff.



여기서 두 개의 우묵한 곳은 반응에 관계하는 분자들의 안정적 상태를 의미한다.³⁰⁾ 이 비선형적인 ‘자기조직 현상’에서는 새로운 질서가 생기기 위해서, 부분적인 불안정성이 제거되는 것이 아니라, 그 불안정의 확대가 되고(잠재에너지의 증가) 이는 결국 새로운 질서의 원인이 된다.

또 다른 비선형적 현상으로 화학과 생물의 현상에 광범위하게 나타나는 자기 촉매 현상(Autokatalysis) 대해서 살펴보자.



이 과정에서 세포 자신과 세포구성의 근본 물질들이 참여하여 새로운 세포를 만들어 낸다.

논의를 단순화하기 위해서 세포 A의 증가만을 살펴보고 이를 q 로 하면, 이의 시간에 따른 증가율은 $\dot{q} = \alpha q$ 이다. 이를 진동함수로 나타내면, $\ddot{q}_1 + w^2 q_1 = 0$ (w 는 그 진동의 주파수)이다. 이를 1차함수로 바꾸기 위해 $\dot{q}_1 = q_2$ 라 하면, $\dot{q}_2 = -w^2 q_1$ 이 되고 이 함수는 아직 까지 선형적 구조를 갖는다. 그러나 모든 자기조직 현상에서 q_1 은 다른 변수들(여기서는 다른 세포들)의 영향을 받으므로, $\dot{q}_1 = \beta_j q_j$ (q_j 는 다른 변수들)이라는 함수가 되어 비선형적 구조를 갖게 된다.³¹⁾ 이러한 설명은 단지 자기촉

30) Nicolis & Prigogine(1987), p. 44.

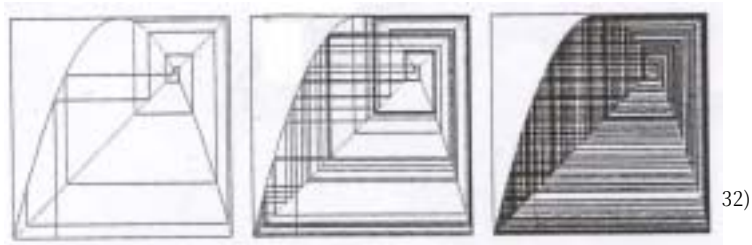
31) Haken(1983), p. 14f, p. 19f. 참고.

매 현상에만 국한되는 것이 아니고, ‘인구증가 방정식(이 예에서 q_1 은 인구증가, q_j 는 인구증가 억제요소-천적, 먹이 등-가 된다)’ 등 모든 카오스적 현상과 자기조직 현상의 역학이다.

카오스 현상과 자기조직 이론의 두 번째 특징인 초기조건의 민감성은 보통 ‘나비효과’라고 알려져 있고, 이를 자세히 살펴보기 위해서 Bernoulli-사상을 예로 들어보자. Bernoulli-사상의 함수는 $X_{n+1} = 2X_n$ (modulo 1) 이다; 0 과 1 사이의 임의의 수를 초기 숫자로 정해 반복적으로 2를 곱하고, 이 값이 1보다 크면, 1을 뺀다. 이 사상은 순수하게 결정론적임에도 불구하고 초기조건의 민감성이 나타난다. 이를 위해서 해당되는 초기 수를 이진법으로 표기해 보자. 그러면, 임의의 수 x 는 $0. u_1, u_2, u_3, \dots$ (또는 $x = \frac{u_1}{2} + \frac{u_2}{4} + \frac{u_3}{8} \dots$)로 표기된다(여기서 $u_1, u_2, \dots$ 은 0 또는 1). 이 수는 계속되는 변환과정에서 한 칸씩 왼쪽으로 밀리는 과정을 되풀이 하게 되고(그 수가 $x = 0. u_1, u_2, u_3, u_4, \dots u_{40}$ 였다면, 처음의 변화에서는 그 수는 $x = 0. u_2, u_3, u_4, \dots u_{40}$ 가 되고, 두 번째 변환에서는 $x = 0. u_3, u_4, \dots u_{40}$ 가 된다), 41번째의 변환에서는 더 이상의 정보가 없어진다. 만약 $u_{40}/2^{40}$ 자릿수에서부터 차이가나는, 두 초기 조건에서 출발한다고 해도 41번째 변환부터는 정보를 잃어버리게 된다. 이 Bernoulli-사상에서의 초기조건의 민감성(두 궤도 사이의 차이)은 시간이 불연속적인 경우에는 $2^n = \exp(n \log 2)$ 이고, t 연속으로 하면, $\exp(t \lambda)$, 여기서 λ 는 $\log 2$ 가 되고, 이 것의 반비례를 나타내는 수 $1/\lambda$ 는 어떤 계에서 카오스적 현상이 나타나는 속도를 나타내는 내적 시간 단위로서, ‘리아프노프 지수’라 한다. 즉 리아프노프 지수가 크면 클수록 그 해당계가 카오스적 현상이 나타나는 시간이 짧아짐을 또는 초기조건의 민감성이 그만큼 민감하다는 의미이다.

카오스 이론과 자기조직 이론의 세 번째 조건인 혼합(Mischung)에 대해 살펴보자. 혼합이란, 어떤 계의 움직임이 그 해당 좌표전체에 걸쳐 고루 분포되는 상태를 의미한다. 이것은 그 계의 불규칙성을 보여주는 단적인 지표이다. 앞서 언급한 ‘인구증가 방정식’에서 카오스 현상이 나타나기 시작하는 통제변수 값인 $a = 4$ 일 때 그 움직임을 살펴보면, 그 궤도는 전

체 영역에 걸쳐 나타난다.



따라서 하나의 초기값의 궤도는 시간이 지남에 따라 전체 영역에 걸쳐 퍼지게 되는 카오스적 운동을 하게 되고, 이것을 1차원을 낮춘 푸앵카레 단면을 이용하여 살펴보면, 그 단면 전체에 불규칙적인 점들이 나타나서, 그 규칙성을 찾을 수 없게 된다. 이 성질은 비선형적 구조를 갖는 방정식이 초기민감성에 의해 오차가 지수 함수적으로 커지는 한편 그 계가 제한 조건에 의해 한정됨으로써 각각의 궤도가 불규칙적으로 되어 결국 장기적 예측이 불가능해지는 카오스적 현상을 나타내게 된다.

4. 질적인 변화의 조건들

2절에서 논의한 것처럼, 어떤 자연과학이론이 질적인 변화를 설명하기 위해서는 그 이론은 5가지 조건들(시간의 비가역성, 하부대상 영역의 물리적 비환원성, 발생학적 인과관계, 질서법칙, 자발적인 내적 변화능력)을 만족시켜야만 한다. 이제 3절의 논의를 바탕으로 각각의 자연과학이론들을 그 조건들과의 관계 하에서 분석해 보자.

32) 출처: Peitgen. Heinz-Otto, Juergens, Hartmut & Saupe(1998), *Dietmar, Baustein des Chaos*, Hamburg, p. 74.

4.1. 시간의 비가역성

4.1.1. 뉴턴역학

뉴턴역학의 근거가 되는 ‘선형미분 방정식’의 성질에 따르면, 모든 변수들(속도, 장소 등)은 시간의 변화의 가감에 의해 구하여지므로, 미래는 과거의 산술적 합에 의해 도출되고, 역으로 과거는 미래의 산술적 쪼개짐에 의해 구해진다. 따라서 초기조건과 뉴턴 방정식이 있으면, 단하나의 결정적인 궤도가 구해지므로, 미래와 과거는 시간의 방향성의 관점에서 동일한 위치, 즉 시간적 가역성을 갖는다.

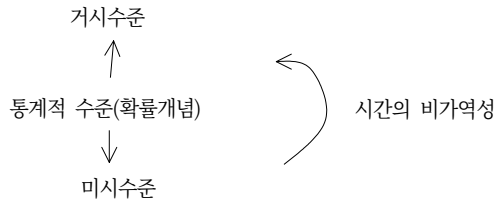
이러한 뉴턴역학에 나타난 시간의 가역성을 수학적 방법을 사용하여 증명해보자. 우선 제 1법칙인 관성의 법칙($\dot{x}(t) = v = \text{constant}$)에서 시간 t 대신에 $-t$ 를 대입해도 동일한 답을 얻게 된다.³³⁾ 또한 제 2법칙 $ma = F$ 에서도 가속도인 a 는 시간에 대한 2차 미분이므로 t 대신에 $-t$ 를 대입해서 동일한 답이 얻어지므로, 뉴턴의 법칙들은 시간의 변환에 대해서 불변한다.³⁴⁾

4.1.2. 열역학

거시현상의 관계를 나타내는 열역학 법칙의 근거는, 3절에서 살펴보았듯이, 미시적 차원의 역학적 운동이다. 그런데 미시적 차원에서는 자유도가 크기 때문에 확률의 개념을 통해서만 그 역학적 운동이 서술되어질 수 있다. 즉 미시적 현상은 확률(W) 또는 평균값을 통해 거시현상으로 해석되어진다. 이 거시적 차원의 확률개념을 통해 해석되어진 미시현상은 그 해석 이전의 미시현상과는 다른 상태가 되므로, 여기서 시간의 비가역성이 나타난다. 이를 도식화하면 다음과 같다.

33) $\dot{x}(-t) = x'(-t)(-\dot{t}) = (-v)(-1) = v = \dot{x}(t)$

34) 이렇게 뉴턴 역학은 시간의 가역성을 띤다. 따라서 뉴턴역학만으로는 천체 운동의 공전 방향에 대해 결정할 수 없다. 즉 뉴턴역학에 의하면, 천체가 지금과 반대의 방향으로 공전을 하여도 그 역학에 위배되지도 않을뿐더러, 그 역학 방정식도 불변한다. Prigogine(1979), p. 26f 참고.



4.1.3. 양자역학

양자역학에서 근본적 방정식으로 사용되는 슈레딩거 방정식은 뉴턴역학에서 사용되는 것과 같은 선형 미분방정식이므로, 그 방정식이 나타내는 현상도 당연히 가역적이다. 즉 우리는 비록 확률적이기는 하나 미래에 대한 정확한 예측이 가능하고, 이 미래로부터 정확히 동일한 과거를 환원할 수 있다. 이러한 의미에서 실제적인 측정전의 양자역학에서의 시간은 가역적이다.

그러나 이 가역성은 실제적 측정에 의해 깨어진다.³⁵⁾ 측정은 여러 가능성중 단 하나만을 현실화 하므로, 이러한 현상은 선형적 슈레딩거 방정식으로는 설명할 수 없다: 이 현실화된 측정으로부터 여러 가능성들의 연합인 과거로의 환원은 불가능해 진다.³⁶⁾ 이렇게 양자역학에서 측정은 시간적 비가역성의 원인이 된다.

4.1.4. 카오스 이론과 자기조직 이론

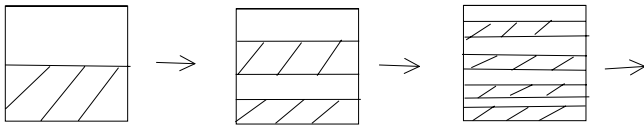
카오스 이론과 자기조직 이론은 해당 자연현상뿐 만이 아니라 수학적 관점에서도 동일한 특성들을 갖는다. 그러한 의미에서 두 이론을 동일한 카테고리 묶어 탐구하도록 하겠다.

3절에서 예로든 Bernoulli-변환보다 좀더 단순한 예인 Baker 변환을 통해서 카오스 이론에서의 시간의 비가역성을 살펴보자. Baker 변환은, 0

35) Rosenfeld(1965), p. 222.

36) 측정에 의한 비가역성에 대한 예로는 Penrose의 논문과 그 유명한 슈레딩거 고양이를 들 수 있다. Penrose(2000), p. 94.

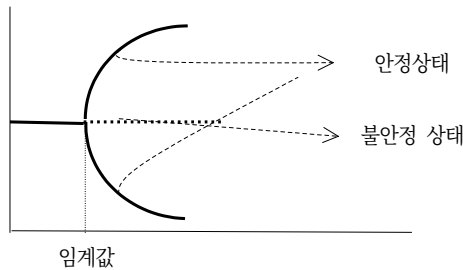
$\leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ 을 변수범위로 잡아, $0 \leq x \leq \frac{1}{2}$ 이면, $x' = 2x$ 그리고 $y' = \frac{y}{2}$ 로; $\frac{1}{2} < x \leq 1$ 이면, $x' = 2x - 1$ 그리고 $y' = \frac{y+1}{2}$ 라는 변환을 하는 간단한 수학적 절차이다. 이렇게 되면, 처음의 정사각형의 왼쪽 반에 있던 점들은 1차 변환에 의해 아래 반쪽으로 변환을 하고, 다시 2차 변형에 의해 사등분된 정사각형의 두 번째 네 번째 칸으로 변환을 하고, 다시 3차 변환을 하면, 팔 등분된 정사각형의 두 번째, 네 번째, 여섯 번째, 여덟 번째 칸으로 변환을 하고 이 과정은 계속된다. 초기에는 정사각형의 왼쪽 부분만을 차지하던 영역은 변환이 진행됨에 따라 차례로 2^n 의 가지로 나누어진다.³⁷⁾



이 변환의 수학적 방정식이 결정론적임이도 불구하고, 개개의 점들 대신에 한 구역을 초기조건으로 잡았을 때 그 발달과정에서 비환원적 비예측성을 갖는다. 이렇게 초기에는 정사각형의 왼쪽 부분만을 차지하던 영역은 변환이 진행됨에 따라 차례로 2^n 의 가지로 나누어진다. 정사각형 안에서의 빗금친 영역들은 다음의 정사각형에서 어떠한 영역으로 가는가하는 정확한 예측을 할 수 없게 된다. 단지 우리는 그 빗금친 영역들이 매 변환마다 2^n 만큼 늘어남을 예측할 수 있을 뿐이다. 따라서 미래의 것이 과거의 것에 의해 예측되지 않는다는 의미에서 시간의 비가역성을 갖는다. 이를 수학적 방식으로 살펴보면(오른 쪽 방향으로의 변환대신에 왼쪽 방향으로의 변환을 해보면, 즉 x 와 y 를 바꾸어 보면), $0 \leq y < \frac{1}{2}$ 에서 $x = \frac{x'}{2}, y = 2y'$ 이고, $\frac{1}{2} \leq y \leq 1$ 에서 $x = \frac{x'+1}{2}, y = 2y' - 1$ 이라는 변환된 방정식을 얻게 되고, 이는 변환전의 방정식과는 다르므로 이 변환은 비가역적임을 알 수 있다.

37) Ekeland(1989), p. 67.

이러한 순수한 수학적 모델 외에도, 모든 카오스 이론과 자기조직 이론에서도 시간의 비가역성이 나타난다. 3절의 예에서 보았듯이 ‘인구증가 방정식’이나 ‘BZ 반응’ 등의 현상에서 그 계의 움직임은 (간단한 형태일 때) 쌍갈림 끝개의 모습으로 나타나고, 여기서 분기점은 불안정의 극대를 의미하며, 이 임계점 이상에서는 새로운 두 개 이상의 안정상태가 나타난다.



위의 그림에서 보듯이 과거에서 미래로의 해당계의 발전과정은 미래에서 과거로의 발전과정과는 다른 상태를 나타내므로, 시간의 가역성은 깨진다.

4.2. 물리적 비환원성

질적 변화의 두 번째 조건인 물리적 비환원성을 살펴보기 위해서는 우선 대상의 영역을 구분해야 하므로 대상이란 무엇인가 하는 규정이 필요하다. 과학이론에서 대상이란 크기나 무게가 무시된 물리적으로 동일한 연관 관계를 맺고 있는 사물들을 총칭하는 집합개념이다. 여기에서 물리적으로 동일한 연관관계란 구체적으로 그 집합 안의 대상들을 기술하는데, 동일한 측정변수들을 사용함을 의미한다. 이러한 규정에 따라 동일한 측정변수들에 의해, 기술된 집합을 대상영역이라 규정하면서 논의를 하겠다.

4.2.1. 뉴턴역학

뉴턴의 원대한 야심은 앞서 기술하다시피, 모든 대상에 대한 법칙적 통일 이였기에, 그의 역학에서 모든 대상은 크기와 어디에 존재하는지에 상

관없이 동일한 측정변수들(속도, 무게, 위치, 힘 등)에 의해 기술된다. 이러한 의미에서 뉴턴역학은 단 하나의 대상영역 만이 존재한다.

4.2.2. 열역학

열역학은 비록 거시적 세계의 성질들(열, 부피, 압력, 엔트로피 등)의 관계에 대한 법칙이지만, 미시적 세계인 분자들의 운동에너지에 그 근거로 한다. 이러한 의미에서 미시적 세계인 분자들의 운동에너지에 대한 기술을 위한 측정변수와 거시적 성질들에 대한 측정변수들은 상이할 뿐만 아니라, 그 두 세계의 연결점이 확률적 방법인 미시적 세계의 운동에너지에 대한 평균값을 취한다는 의미에서도 단절성을 갖는다. 따라서 열역학은 물리적으로 상이한 미시적 그리고 거시적인 두 개의 하부 대상영역을 갖는다.

4.2.3. 양자역학

비록 양자역학이 미시세계의 탐구라는 것에 대해서는 누구도 이견이 없지만, 넓게는 물리학이란 ‘현실적 대상’을 탐구하는 학문이고 응용성을 중시하므로, 현실적인 ‘측정’ 또는 ‘실험’은 양자역학의 한 부분이다. 즉 미시적 현상이 ‘거시적’으로 해석되어야만 한다는 의미에서 측정이 중요하다. 코펜하겐 학파가 주장했듯이 우리는 미시세계를 직접적으로 관찰할 수 없다. 따라서 우리는 항상 측정이라는 거시세계를 통해 우리의 예측을 확인해야만 한다. 그러나 그 측정의 과정은 앞서도 언급했듯이 측정전의 방정식으로는 환원이 안 되는 그 자체의 고유한 법칙을 갖는다.³⁸⁾ 이러한 의미에서 양자역학 또한 미시세계와 거시세계라는 두 개의 하부 대상영역을 갖는다.

4.2.4. 카오스이론과 자기조직이론

카오스이론과 자기조직이론의 대표적 특성이 미시적 세계와 거시적 세

38) Heisenberg(1972), p. 27.

계의 단절이다. 뉴턴역학과는 대조적으로 거시세계의 새로운 질서는 미시세계의 운동방식으로는 설명이 안 된다. 미시세계의 분자들의 현상을 탐구하는 열역학에 의하면, 모든 계는 엔트로피가 증가되는 평형의 상태로 간다고 하는데, 거시세계의 자기조직 형성은 열역학 법칙을 따르는 미시세계의 운동과는 반대로 엔트로피가 감소되는 방향으로 진행된다. 즉, 해당계의 조절변수에 따라, 그전의 불규칙한 미시적 운동은 갑자기 거시적으로 새로운 질서를 갖는 운동을 하게 된다. 이러한 두 세계사이의 운동의 구별은 카오스와 자기조직이론에서 가장 중요한 특징이고, 이러한 현상은 미시세계와 거시세계의 물리적 비환원성을 보여주는 것이다.

4.3. 발생학적 인과관계와 질서법칙

4.3.1. 뉴턴역학

뉴턴역학에서는 ‘발생학적 인과관계’의 전제가 되는 두 개의 하부대상 영역(질적 변화전의 것과 질적 변화후의 것)이 존재하지 않으므로, 그 인과관계에 의한 새로운 것의 형성과 그에 대한 질서법칙도 당연히 존재하지 않는다.

4.3.2. 열역학

열역학이론에서 나타나는 거시적인 물리적 크기들(에너지, 부피, 압력 등)과 미시적인 분자들의 운동과의 관계는 ‘발생학적 인과관계’라는 측면에서 엄밀한 원인과 결과의 관계가 아니다. 열역학에서 거시적 물리적 크기들은 미시적인 분자들의 속도의 평균값에 의해 근거 지워지는 것이다. 이것은 다른 말로 하면, 비록 확률적 방법을 사용하였기 때문에 미시적 세계와 거시적 세계 사이의 관계는 비가역적 이기는 하지만, 분자들의 평균값은 거시적인 물리적 크기들의 다른 표현일 뿐이다: 비록 미시적 세계의 방법이 거시적 세계의 근거가 된다고는 하지만, 이 두 세계는 동일한 현상을 표현한다. 이러한 의미에서 열역학에서는 ‘어떤 새로운 것이 형성’되기 위한 전제인 변화전의 것이 변화후의 것의 원인이 되는 발생학적

원인-결과의 관계가 존재하지 않으므로, 새로운 것이 형성되지 않고 따라서 질서 법칙도 없다.

4.3.3. 양자역학

이미 앞에서 살펴본 것처럼, 양자역학에서 측정은 다른 과학적 이론과 달리 독특한 위치를 갖는다. 또 다른 예로, 원자핵을 구성하는 입자 중 하나인 Proton의 에너지 산란에서 발생하는 중간입자들(Mittlerteilchen)의 생성을 살펴보면, Proton이 방출한 에너지 $\Delta\varepsilon$ 는 그 중간입자(E)에 해당된다. 여기에 하이젠베르크의 불확정성 원리를 적용하면, 양자의 방출과 흡수에 소요되는 시간을 계산할 수 있고($\Delta\varepsilon = h/\Delta t$), 이 소요되는 시간이 핵을 횡단하는 것이라 전제하면, 그 거리를 계산할 수 있다($\Delta t=l_0/c$). 앞에서 사용된 법칙들과 아이슈타인의 상대성 이론($E=mc^2$)을 이용하면, 어렵지 않게 그 중간입자의 무게($m=h/l_0 \cdot c$) 또는 힘 또는 장소가 확률적으로 계산되고, 이중 어느 것이 현실적으로 ‘발생’되는냐는 측정에 의존한다.³⁹⁾ 또 다른 예로는, 양자역학 대상들의 동적 속성들⁴⁰⁾ (dynamische Attribute, 예를 들어 위치, Impuls 등)은 측정 전에는 고유한 존재성을 갖지 않는 확률적 존재성을 갖지만, 측정이라는 ‘현실화’ 과정을 통해 그 존재성을 확고하게 갖게 되는 경우를 들 수 있다. 이러한 의미에서 측정은 측정 전에는 존재하지 않았던 속성들(또는 존재성)을 생성하는 과정이라고 할 수 있으며, 양자역학에서 측정전의 상태는 측정 후의 생태에 대해서 ‘발생학적 원인’이라 할 수 있다. 그러나 이러한 인과관계에 대한 학적 설명은 양자역학에서 나타나있지 않다. 즉 위의 예인 근본입자들에서 보면, 실제적 측정이 행해지기 이전에는, 중력을 제외한 나머지 3가지 힘(전자기력, 약핵력, 강핵력)⁴¹⁾의 관계에서 보존법칙

39) 이 예에서 보듯이 측정전의 미시입자들의 상호 변환은 에너지를 근본으로 한 상호 가역적인 ‘양적인 변화’이므로, 본 논문의 ‘질적인 변화’와는 차이가 있다.

40) Herbert(1987), p. 117ff.

41) 근본 입자들의 형성과정에서는 중력의 영향은 무시될 수 있다.

(Erhaltungssatze)⁴²⁾을 위반하지 않는 한 어떠한 가역적 변환도 ‘이론적’으로 가능하다. 그러나 그 ‘이론적으로 많은 가능성들’ 중에서 어떠한 것이 ‘측정’을 통해 ‘현실화’되는가에 대해서는 언급이 없고 이러한 특징은 ‘동적 속성들’의 발생에서도 마찬가지로 나타난다. 따라서 양자역학에서는 비록 ‘발생학적 인과관계’가 담보되지만, 그 형성을 설명하는 ‘질서법칙’은 존재하지 않는다.

4.3.4. 카오스이론과 자기조직이론

앞서 들은 예를 포함한 모든 카오스 현상과 자기 조직 현상에서, 미시적 현상은 거시적인 새로운 질서를 위한 ‘발생학적 원인’이다. 이러한 현상을 카오스 이론과 자기조직 이론은 비선형적 구조를 통해 설명하려 한다. 따라서 카오스이론과 자기조직이론에는 ‘질서법칙’이 있다.

4.4. 자발적인 내적 변화의 능력

4.4.1. 뉴턴역학

뉴턴역학의 대상들의 움직임은 그 역학법칙을 통해 서술되어진 ‘힘’에 의해 움직이고, 이 힘은 전체적으로 볼 때 ‘만유인력’이고, 개개의 작은 계에서는 대상간의 운동에너지에 의한 것이다. 따라서 천체에서는 서로 상호 작용하는 힘이 존재하고, 지구에서는 전체적으로는 지구와 대상간의 인력의 관계와 만유인력을 제외한 계에서는 힘을 주는 대상과 힘을 받는 대상과의 관계로 나누어진다. 즉, 힘의 존재론적 측면에서는 상호작용에 의해 주어지지만, 뉴턴역학의 관심인 ‘대상의 운동 상태를 변화시키는 힘’은 대상의 내부가 아니라, ‘외부’에서 주어지는 것이다.

4.4.2. 열역학

열역학 형상의 근거는, 볼츠만의 노력에서 보았듯이, 개개 분자들의 운

42) 닫힌계에서 시간적으로 불변하는 물리량(예 에너지)에 대한 법칙.

동에너지 이고, 이는 뉴턴 역학적 법칙을 따른다. 따라서 열역학 현상에서 그 현상을 촉발시키는 힘도 ‘외부’에 있다.

4.4.3. 양자역학

미시대상의 움직임이나 성질에 대한 학문인 양자역학에서, 변화(움직임 또는 상호작용)는 에너지를 근본으로 한다. 그런데 에너지는 대상들 간의 운동(kinetische Energie)에 의해서 뿐만이 아니라, 앞의 여러 가지 예에서 보듯이 그 대상 자체가 가지는 에너지에 의해서도 발생된다.⁴³⁾ 따라서 모든 양자역학에서의 현상들은 ‘외적’으로 발생하는 힘과 그 대상 자체 내에 근거하는 ‘내적’인 힘의 양자에 의해서 일어난다.

4.4.4. 카오스 이론과 자기조직 이론

앞 절에서 언급된 자기조직 현상의 규정에서도 보았듯이, 새로운 거시적 질서는 그 이전에는 무시될 수 있었던 부분적 불안정성이 특정의 수의에 이르면, 새로운 질서를 위한 추진력이 된다. 이러한 현상은 모든 자기조직 이론이 가지고 있는 고유한 능력이다. 이러한 능력은 프리고진에 따르면, 대다수의 분산계(dissipative Systeme)에 내재된 것이고, 하켄(Haken)은 이러한 능력을 ‘Synegetik’이라 명명하였다. 하켄은 특히 레이저의 예를 통해 자신의 이론을 발전시켰다. 레이저에서 보면, 빛이 특정의 강도 아래에 있으면, 그 빛의 입자들은 보통의 전구에서 보여지는 것과 동일한 불규칙적인 강도와 운동을 한다. 그러나 특정의 강도에 이르러서는 모든 빛의 입자들은 동일한 강도와 동일한 방향의 운동을 하게 되는데, 그러한 현상을 하켄은 ‘묶음 법칙(Versklavungsprinzip)’⁴⁴⁾이라 하여, 거시적인 새로운 질서의 형성의 근거로 제시한다.⁴⁵⁾

이렇게 학자들 마다 조금은 다른 대상과 조금은 다른 명명에도 불구하고

43) Grigorjew & Mjakischew(1978), p. 213f, p. 246f 참고.

44) 각자의 입자들이 서로 간에 영향을 미쳐서 동일한 운동 상태에 이르게끔 하는 원리.

45) Haken(1983), p. 6f 참고.

고, 모든 자기조직 현상에서 ‘변화를 위한 내적 능력’이 있음은 공통점이다.

5. 결론

지금까지의 논의를 바탕으로, 자연과학이론들을 정리해 보면 아래 표와 같다.

	뉴턴역학	열역학	양자역학	카오스와 자기조직 이론
시간성	가역적	비가역적	가역적&비가역적	비가역적
하부대상영역 수	하나	둘	둘	둘
인과관계	없음	비발생학적	발생학적	발생학적
질서법칙	없음	없음	없음	있음
변화 능력의 근거	외부	외부	외부&내부	내부

위의 표에서 알 수 있듯이, 각각의 자연과학이론들은 필자가 규정한 ‘질적인 변화’의 기준들에 의해서도 분석 가능하다. 그리고 그 질적 변화에 대한 진행과정은 뉴턴역학에서 열역학, 양자역학, 카오스 이론과 자기조직 이론의 단계를 통해 점진적으로 증가된다.

이렇게 자연과학이론들은 통상적 입장인 ‘양적인 변화’를 기준으로도 분석가능하고, 또한 본 논문에서처럼 ‘질적인 변화’를 기준으로도 분석가능하다. 이러한 사실은, 자연과학이론들이 ‘자연의 변화성’을 어떠한 측면(‘양적인 변화’ 또는 질적인 변화)에서 기술하는 학문인가에 대한 철학적 해석은 단 하나의 ‘진리’만이 존재하지 않음을 의미한다.

자연과학이론들을 만드는 대다수의 과학자들은 ‘객관주의(Objektismus)’에 근거해있고, 실증적 방법을 통해 이론을 형성하는 ‘실증적 진리관’을 취하고 있다. 따라서 자연과학이론들에는 그 대상에 상응하는 단 하나의 ‘진리’ 또는 ‘옳음’이 존재한다.⁴⁶⁾ 그와 비교해서 철학적 탐구에서는 철학

46) 물론 쿤이나 라카토스 등 과학이론의 형성에 대한 철학적 탐구에 종사하는

의 역사를 통해 살펴보면, 동일한 대상에 대한 서로 다른 주장이 동시에 존재하는 경우가 드물지 않다. 이는 철학적 탐구가 자연과학과는 다른 진리관(예를 들어, 논리적 진리관)을 취한다는 사실을 보여주는 것이다.

본 논문도 철학적 탐구의 방법을 통해, 자연과학이론들이 표상하는 대표적인 자연관은 ‘양적인 변화’를 근거로 한다는 기존의 주장과는 상반되는 결과를 본론에서 보였다. 이렇게 동일한 대상(자연과학이론들)에 공존하는 상반되는 자연관들의 존재(양적인 변화/질적인 변화를 표상하는 자연관)의 문제를 어떻게 풀어나가야 하는가? 이에 대한 제안으로서 필자는 주관의 의미를 중심으로 하는 ‘해석학적 방법론’을 주장한다. 즉, 전적으로 ‘의미’와 독립적인 객관적 대상이란 존재할 수 없고 따라서 어떤 문제를 해결하기 위해서는 그 대상에 대한 주관의 의미 체계를 고려해야만 한다.

이러한 사고 체계에 근거해서 일차적으로 자연과학이론들의 존재론적 의미를 살펴보자. 본 논문에서는 논의의 목적성과 편리성을 위해, ‘양적인 변화’와 ‘질적인 변화’라는 범주로 나누어 분석을 하였지만, 사실 자연과학이론의 존재론적 의미는 이러한 이분법적 분류를 넘어서 있다. 자연현상이 또는 자연의 변화성이 개개의 과학이론들을 위해 존재하지도, 그 의미에만 한정되지 않는 것과 유사하게, 자연과학이론도 이 이분법적인 해석의 분류 이상의 존재적 의미성을 갖는다. 이것은 자연과학 이론들의 존재는 이러한 이분법적 해석 이상의 것이고, 따라서 그의 존재성은 이 두 가지의 대립을 넘어선 ‘종합’이라는 의미이다. 이는 동일한 자연과학이론들이 ‘양적인 변화’로도 ‘질적인 변화’로도 분석이 가능하다는 사실에서 지지된다.

이러한 현상이 나타나는 근거는 자연과학이론들의 대상인 자연의 존재성과 연관되어 있다. 자연은 자연과학적 분류 이전에 존재하는(존재론적 측면에서) 대상이다. 이 속에는 사실 개개 이론들에서 행하는 분류가 존재하지도 않고, 따라서 ‘양적인 변화/질적인 변화’라는 이분법도 존재하지

철학자들 중에는 과학이론도 이론의존적일 수밖에 없음을 주장하지만, 본 논문에서는 그러한 논증과는 좀 떨어진 과학자들에 의한 과학이론의 형성에 중점을 둔다.

않는다. 자연은 통합적인 전체로서 존재한다. 이러한 사실은 동일한 하나의 자연현상을 설명하기위해서 뉴턴역학과 카오스이론 등 상이한 자연과학이론들이 동시에 필요하다는 사실에서도 지지된다. 이렇게 자연도 그리고 그 자연에 대한 학적 탐구인 자연과학이론도 이분법적 분류를 넘어서고 있다. 그렇다면, 우리는 어떠한 시각을 가지고 자연과학이론들을 살펴보아야 하는가?

해석학적 방법에 의하면, 어떠한 것이 문제가 될 때, 근본이 되는 것은 인간 존재자들의 존재 이해이다.⁴⁷⁾ 그리고 인간의 이해(Verstehen) 안에 존재하는 모든 것들은, 그 자체로 존재하는 내적인 존재의 규정에 의해서가 아닌, 존재하는 것들의 규정들(Prinzipien)에 의해서 결정된다.⁴⁸⁾ 즉 인간의 세계관(Weltorientierung)에서 통용되는 규정들은 인간의 삶과 인식의 ‘의미지평’으로부터 형성된다. 따라서 ‘진리’ 또는 조금은 약한 의미로서 ‘이해(Verstehen)’는 더 이상 객관(Objektivitaet)안에 존재하는 것이 아니라, 그 대상을 넘어서서, 해당되는 주관과 객관사이의 귀속성(Reziprozitaet)에 의존하는 ‘해석학적 순환(hermeneutische Zirkel)’ 안에서 존재한다.⁴⁹⁾

따라서 ‘해석학적 방법론’에서는 ‘주관’의 문제가 중요하게 대두된다. 어떤 대상 (좁게는 본 논문에서 자연 또는 자연과학이론들)을 ‘이해’하거나 또는 ‘의미부여’의 관계는 주관을 떠나서는 성립할 수 없다. 그러한 ‘주관’이 결부된 자연에 대한 의미를 그리고 그 ‘의미’의 정의에 대한 ‘주관’의 개입을 살펴보기 위해서는, 역사적으로 나타난 자연에 대한 인간의 의미부여를 살펴보아야 하겠지만, 본 논문에서는 취지에 맞게 좁혀, 자연과학이론들의 진행과정에서 나타나는 역사적 맥락에 대해 살펴보자. 자연과학이론들의 진행과정에서 보면, 자연과학은 인간의 역사와 맞물려 그 대상적 측면에서나 그 탐구의 방법에서도 그 깊이와 영역을 확대해 가고 있

47) “.... dass fundamentaler als alles, was sich auf diese oder jene Art(theoretisch oder praktisch) problematisieren laesst, das Seinsverstaendnis des menschlichen Daseins ist.” Falach(1979), p. 28.

48) Heidegger(1981), p. 420 참고.

49) Gadamer(1972), p. 146 참고.

다. 그 확대의 방향으로는, ‘과학’의 형성기 초기에 나타났던, ‘정량적이고 분석적 방법’에 의한 ‘양적인 변화’에서 ‘전체적인 질적인 변화’로의 탐구가 특히 두드러진다. 이는 자연에 대한 인간의 관심이 ‘양적’인 성질에서 ‘질적’인 성질로의 확대 과정에 있음과도 무관하지 않다. 그러나 이러한 변화 과정은 자연에 있어서의 ‘양적’인 변화의 측면을 무시하고, ‘질적’인 변화에만 관심에 두는 또 다른 의미의 제한성이 아닌, 인간이 자연에 부여한 의미인 ‘전체로서의 통합적 자연관’과 결부되어있다.

앞서 언급하였듯이, 객관적 대상으로서의 자연은 ‘양적’ 또는 ‘질적’이라는 이분법을 넘어서 있는 존재이고, 그 대상에 대한 인간의 의미도 그 이분법적 이해를 넘어서 있다. 이러한 맥락 하에서 현재의 자연과학은 그 자신의 발달을 과정을 통해, 그러한 존재 전체의 본질에 대한 해답을 찾아가는 과정 중에 있다고 생각한다.

따라서 전체로서의 자연에 대한 본질을 탐구하기 위해서는, 그 목표에 이르는 과정으로, 기존의 ‘양적인 변화’를 대변하는 자연관과 ‘질적인 변화’를 대변하는 자연관의 대립을 극복하는 것이 필연적이다. 자연과학이론들과 그에 대한 철학적 해석은 단순한 ‘물질적’ 자연이 아닌, 인간 주관의 의미가 투영된 ‘전체로서의 자연’을 이해하기 위한 과정이다.

이러한 과정을 위한 하나의 제안으로 본 논문은 다음과 같은 것을 보이며 했다. 첫째로, 일반적으로 ‘양적인 변화’를 대표하는 자연관이라고 받아들여졌던 자연과학적 이론들도 그 속에 ‘질적인 변화’를 설명하려는 단초들이 있고, 둘째로, 이는 자연과학이론들의 자연관에 대해 또 다른 해석도 가능함을 보여주는 것이고, 셋째로, 이러한 결과를 통해 기존의 자연관들에 대한 대립적 구도가 해소될 수 있는 가능성이 있다.

참고문헌

- Agnotos, Andreas(2000), *Grundzuege einer neuen moeglichen allumfassenden Theorie*, Bochum.
- Arendes, Lothar(1992), *Gibt die Physik Wissen ueber die Natur?*, Wuezburg.
- Aristoteles(1974), *Kategorien (uebzt. von Eugen Rolfes)*, Heidelberg.
- Baumann, Kurt(1987), *Die Deutung der Quantentheorie*, Wiesbaden.
- Bohr, Niels(1935), "Can Quantum Mechanical Description of physical Reality be considered complete?", *Physical Review* 48.
- Bunge, Mario(1987), *Kausalitaet, Geschichte und Probleme*, Tuebingen.
- Duerring, Ingemar(1996), *Aristoteles*, Heidelberg.
- Einstein, A., B. Podolsky, and N. Rosen(1935), "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?", *Physical Review* 47: pp. 777-780.
- Ekeland, Ivar(1989), *Das Vorhersehbare und das Unvorhersehbare*, Frankfurt am Main.
- Falach, Werner(1979), *Thesen zum Begriff der Wissenschaftstheorie*, Bonn.
- Feynman, P. Richard(1988), *Feynman Vorlesungen ueber Physik*, Muenchen Wien.
- Gadamer, Han-Georg(1972), "Die Diskreditierung des vorurteils durch Aufkaerung", in *Hermeneutische Philosophie (Hrsg. Otto Poeggeler)*, Muenchen.
- Hanken, Hermann(1983), *advanced Synergetics*, Berlin Heidelberg New York Tokyo.
- Herbert, Nick(1987), *Quantum Reality*, New York.

- Heidegger, Martin(1981), *Die Grundprobleme der Phaenomenologie GA. Bd. 24*, Frankfurt am Main.
- Heisenberg, Werner(1972), *Physik und Philosophie*, Stuttgart.
- Hund, Friedlich(1975), *Geschichte der Quantentheorie*, Zuerich.
- Iwanowitsch, Wladimir & Mjakischew, Gemadi(1987), *Die Kraefte der Natur*, Leipzig Jena Berlin Moskau.
- Jammer, Max(1974), *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York.
- Joehr, Hans(1995), *Zeit und kosmische Ordnung*, Muenchen.
- Juhnert, L. & Niedersen, U.(1999), “Zur Geschichte der Selbstorganisation chemischer Struktur”, in L. Kuhnert/Uwe Niedersen, *Selbstorganisation chemischer Struktur*, Frankfurt am Main.
- Kueppers, Guenter(1997), “Selbstganisation”, in *Chaos und Ordnung*, Stuttgart.
- Lorenz, N. Edward(1962), “Deterministic Nonperiodic Flow”, *Journal of the Atomospheric Science* vol. 20.
- Mainzer, Klaus(1993), “Philosophical Foundations of Nonlinear Complex System”, in H. Haken & A. Mikhailov (eds), *interdisciplinary Approaches to Nonlinear Complex Systems*, Berlin Heidelberg NewYork London Paris Tokyo HongKong Barcelona Budapest.
- Newton, Issac(1872), *Mathematische Prinzipien der Naturlehre (mit Bemerkung und Erlaeuterungen von J.Ph. Wolfes)*, Berlin.
- Nicolis, Gregoire Nicolis & Prigogine, Ilya(1987), *Die Erforschung des Komplexen*, Muenchen.
- Penrose, Roser(2000), *Quantentheorie und Raumzeit, Raum und Zeit* (Hrsg. Stephen Hawking), Hamburg.
- Prigogine, Ilya(1979), *Vom Sein zum Werden*, Muenchen.

Rae, Alastair(1996), *Quantenphysik*, Stuttgart.

Reichenbach, Hans(1989), *Philosophische Grundlagen der Quantentheorie und Wharscheinlichkeit, Gesammelte Werke Bd.5*, Wiesbaden.

Rosen, Leon(1965), “The Messung Process in Quantum Mechanics”, in Robert C. Cohen and John J. Stachel (eds.), *Selected Paper of Leon Rosen*, London.

Selleri, Franco(1990), *Die Debatte um die Quantentheorie*, Wiesbaden.

Simonyi, Karoly(2001), *Kulturgeschichte der Physik*, Frankfurt am Main.

Springer, Michael(1996), “Schroedinger Kaetzchen oder”, *Spektrum der Wissenschaft* Aug.

The Viewpoint of Nature in the Theories of Natural Science: Based on ‘Qualitative Changes’

Jong-Min Na

The theories in natural science usually have been interpreted in philosophy that it provides the view of nature on the basis of “quantitative changes.” This interpretation, however, is merely the crude overestimation of the small part of the whole scientific theories. In this paper, we show that another approach mainly focused on “qualitative changes” also provides an insightful viewpoint of interpretation. At first, the overview of general theories in natural science is presented and then each theory is analyzed from the viewpoint of qualitative evolutions. The analysis reveals that the theories, often considered as the description of qualitative evolutions, also can be interpreted as that of quantitative evolutions. Furthermore, it indicates the continual interrelationship in time between the theories in natural science. As a consequence, the interpretation of scientific theories is proven to be a matter of viewpoint we may take. In other words, the view of nature is closely related to hermeneutical problems.

[Key Words] scientific theory, view of nature, quantitative change, qualitative change, hermeneutical problem