이학석사 학위논문

확률적 설명에 대한 레일튼의 연역 법칙적 모형은 통계역학에 적용 가능한가?

2014 년 8 월

서울대학교 대학원
과학사 및 과학철학 협동과정
박 태 영

확률적 설명에 대한 레일튼의 연역 법칙적 모형은 통계역학에 적용 가능한가?

지도교수 조 인 래

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2014년 6월

서울대학교 대학원
과학사 및 과학철학 협동과정
박 태 영

박태영의 석사 학위논문을 인준함

2014년 8월

위 원 장 ______________________ (인)

부위원장 ______________________ (인)

위 원 ______________________ (인)

초 록

자연 현상에 대한 과학적 설명이 어떻게 이루어져 왔고 또 어떻게 이루어져야 하는지를 다루는 '과학적 설명에 대한 문제'는 과학철학의 전통적인 주제 중 하나로서 여전히 후속 논의가 진행되고 있을 만큼 중요한 의미를 가지고 있다. 과학철학의 다른 여러 주제들에 대한 논의에서와 같이 과학적 설명에 대한 논의 역시 하나의 이론이 출현하게 되면 그 이론에 대한 문제점이 제시되고, 그 문제점을 해소하거나 해결하는 새로운 이론이 등장하는 방식으로 전개되었다.

과학적 설명에 대한 논의는 과학철학의 선구자 중 한 사람인 헴펠이 과학적 설명에 대한 연역 법칙적 모형, 나아가 귀납 통계적 모형을 제시하면서 본격적으로 시작되었다. 이후 해당 모형이 가지는 문제점들을 둘러싼 논의들이 활발히 진행되었고 이를 보완하고자 과학적 설명에 대한 여러 모형들이 새로이 등장하였지만, 모든 과학철학자들이 온전히 동의할만한 완성된 모형이 제시되지는 못했다.

이와 같은 상황에서 등장한 확률적 설명에 대한 레일튼의 연역 법칙적 모형은 헴펠의 기존 이론이 가지는 문제점들로부터 자유롭고, 현대 물리학의 주요한 축인 양자역학을 포괄하는 설명 이론으로서 과학철학자 새먼의 극찬을 받을 정도로 의미가 있는 이론이라 할 수 있다. 하지만 해당 이론이 가지는 철학적 함의와는 어울리지 않게 그에 대한 후속 논의들은 그다지 활발히 진행되지 않았는데, 그에 대한 정확한 이유를 파악하기는 힘들겠지만 적어도 나는 레일튼의 모형이 가지는 완전성이 그 근거로 작동했을 것이라고는 생각하지 않는다.

그렇다면 레일튼의 모형은 어떤 지점에서 비판 가능한가? 이 논문은 이러한 질문에 대한 답을 구해보려는 나의 문제의식으로부터 출발하였다. 본문에서 나는 우선 레일튼의 연역 법칙적 확률 설명 모형에 대한 분석을 통해 해당 모형이 어떤 확률적, 설명력적 기반 위에 서있는지를 알아볼 것이다. 그런 다음 그 모형을 통계역학에 적용해봄으로써 그것의 적용 범위에 대한 논의를 진행하고자 하는데, 결론적으로 나는 레일튼의

모형이 몇몇 문제점에 대한 그럴듯한 해결책을 제시하지 않는 이상 통계역학을 포괄하기 어렵다고 생각한다. 그러한 문제점들은 본문에서 자세히 논의될 것이며, 이러한 측면에서 이 논문은 한 설명 모형에 대한 비판적인 검토로서 나름의 의미를 가진다고 할 수 있겠다.

주요어 : 과학적 설명, 연역 법칙적 확률 설명 모형, 확률 해석, 설명력, 에르고딕 가설

학 번 : 2012-23004

목 차

표 및 그 림 목 차

1. 여는 글

자연과학의 목표는 크게 세계에 대한 이해를 추구하는 것과 세계에서 일어나는 일들을 예측하고 그것들을 통제할 수 있는 힘을 획득하려는 것으로 나뉠 수 있다. 그런데 세계에 대한 지배력을 획득하는 일은 필연적으로 세계에 대한 이해를 바탕으로 할 수밖에 없는 것이기 때문에 우리는 앞서 언급한 두 목적 중 후자, 즉 세계에 대한 이해를 추구하는 것이 자연과학의 더욱 근본적인 목적임을 어렵지 않게 알아낼 수 있다. 그렇다면 우리는 세계를 어떤 방식으로 이해하는가? 일반적으로 하나의 자연 현상에 대한 이해는, 특정 자연 현상이 일어난 다음 우리가 그러한 현상에 대한 신뢰할 만한 수준의 설명을 제공할 수 있을 때 발생한다. 이는 자연과학의 분야에서도 크게 다르지 않은데, 세계에 대한 과학적 이해라는 것도 결국 과학적인 법칙 내지는 법칙적 진술, 또는 여러 과학 이론을 통해 현상에 대한 왜-질문(why-question)에 그럴듯한 답을 부여하는 것으로 간주될 수 있기 때문이다.

과학의 주요한 목적이 현상에 대한 설명을 통해 세계를 이해하는 것이기 때문에, 과학을 소재로 하여 철학적 작업을 진행하는 과학철학의 분야에서도 과학적 설명은 중요한 주제로 인식되었고 여전히 많은 논의가 진행되고 있다. 과학철학의 분야에서 과학적 설명에 대한 접근은 부분적으로 실제 과학의 분야에서 설명이 어떻게 이루어지는지를 살펴보고 그 공통된 속성을 통해 일반론으로 나아가려는 반성적 성격을 가지면서 또한 과학에서의 설명이 제대로 된 설명이 되기 위해서 갖추어야 될 조건들을 제시하는 규범적 성격을 보이기도 하는데, 과학철학에서 설명에 대한 이러한 종류의 체계적인 접근이 헴펠(C.G. Hempel)로부터 시작되었음은 그 누구도 부인할 수 없을 것이다. 이후 새먼(W. Salmon), 애친슈타인(P. Achinstein), 반 프라센(B. van Fraassen), 키처(P. Kitcher), 레일튼(P. Railton) 등과 같은 여러 과학철학자들이 나름의 설명 모형을 제안하거나 다른 철학자들의 모형에 대한 비판적인 의견을 개진함으로써 설명과 관련된 논의가 진행되어 왔으며 그 진행과정에서 많은 성과를 얻

을 수 있었다.

그 중 레일튼의 연역 법칙적 확률 설명은 그 자체로 반 프라센을 위시한 화용론적 설명 모형과는 일정한 간격을 두면서 헴펠, 새먼식의 형식적 설명 모형의 전통을 계승하는 작업이라 평가할 수 있는데, 형식적 전통의 다른 모형들이 제각기 강한 반례들에 의해 비판 받은 것과는 달리 레일튼의 모형에 대해서는 아직까지 모형의 근간을 뒤흔들만한 강력한 반례가 제기되지는 않은 것처럼 보인다. 이를 두고 새먼은 레일튼의 모형이 논리경험주의와 일상 언어 철학자들로부터 시작된 길고 긴 논쟁에 종지부를 찍고, 새로운 형태의 합의를 이끌어 낼만한 좋은 기초를 마련한 것이라고 평가했다. (Salmon 1990)

기본적으로 레일튼의 연역 법칙적 확률 설명은 그 구조상 헴펠의 연역 법칙적 설명과 매우 유사한 형태를 보이지만 확률적 설명이라는 측면에서는 연역 법칙적 설명과 완전히 다른 속성을 갖고 있다. 인과관계에 대한 흄적 시각의 연장선에서 헴펠 자신은 자신의 설명 모형 내에서 원인에 대한 어떠한 언급도 하지 않았지만 그의 연역 법칙적 설명은 적어도 설명항의 사건이 피설명항의 사건보다 시간적으로 앞서는 경우를 다룰 때에는 피설명항인 특정 사실을 그에 대한 원인을 포함한 설명항을 통해 설명하고자 하려는 시도로 이해할 수 있기 때문에 일종의 인과적 설명의 특성을 가지고 있는 것으로 간주할 수 있다.

그에 반해 레일튼의 모형은 앞서 언급한 바와 같이 확률적 과정에 대한 설명 모형이며 그 밑바탕에는 세계에 대한 비결정론적인 관점이 내재되어 있다. 물론 확률적 인과에 대한 철학적 연구와 같이, 인과적 과정과 확률적 속성을 조화시키기 위한 작업이 몇몇 학자들에 의해 시도되긴 했지만 적어도 지금까지는 그러한 시도가 완벽하게 수행되었다고 보기는 힘들 것 같다. 따라서 지금까지의 과학철학적 논의에 따른다면 확률적 과정과 인과적 과정 사이에, 나아가 확률적 설명과 인과적 설명 사이에는 무시할 수 없을 정도의 차이가 존재한다고 이야기할 수 있으며, 이러한 측면에서 헴펠과 레일튼의 모형은 그 궤를 달리 한다.

이에 더해 레일튼의 모형은 헴펠의 귀납 통계적 설명 모형과도 거리를

둔다. 확률과 그에 관한 확률 이론을 통해 현상을 설명한다는 측면에서는 두 모형이 유사성을 가지지만 헴펠의 귀납 통계적 설명 모형은 근본적으로 귀납적인 성격이 강해 확률에 대한 빈도해석을 선호하는 것처럼 보이는 반면 레일튼의 모형은 확률에 대한 성향(propensity)적 해석에 기초하고 있는 것처럼 보이며, 레일튼 자신도 통계적 확률보다는 수학적 확률의 중요성을 계속해서 강조한다. 또한 애초에 두 모형이 각각 주목하고자 한 확률적 과정 내지는 사건이 가지는 성격의 차이, 확률의 크기와 설명력의 관계에 대한 다른 관점, 나아가 현상에 대한 설명력이 어디에 기인하는지에 대한 다른 견해 또한 두 모형 사이에 존재하는 간극을 잘 설명해준다.

위에서 언급한 바와 같은 차이점들은 기존의 모형들과는 확연히 구분되는 독자적인 설명 모형으로서 레일튼의 연역 법칙적 확률 설명 모형이 가지는 위상을 말해준다. 더욱 중요한 것은 레일튼의 모형이 단순히 기존의 설명 모형들과 차별화될 뿐만 아니라 이전의 설명 모형들이 가지고 있던 몇몇 문제들을 해결함으로써 그 이론적 지위를 확고히 한다는 것이다. 그 연장선에서 레일튼 자신은 자신의 모형이 적용될 수 있는 범위에 대해서도 매우 낙관적인 전망을 가지고 있는 것처럼 보이는데, 과연 이에 대해서 우리는 어떤 평가를 내릴 수 있을까? 확률에 대한 여러 가지 해석들과 설명력의 근원에 대한 완전한 합의가 이루어지지 않은 상태에서 우리는 레일튼의 모형이 적용될 수 있는 범위에, 그 자신이 그러했던 것처럼 별 다른 제약을 두지 않아도 되는 것인가? 바로 이러한 물음이 이 논문이 가지는 핵심적인 문제의식이라 볼 수 있다.

언급한 바와 같이 레일튼 자신은 해당 모형의 적용 범위에 제약을 두지는 않았지만 기본적으로 레일튼의 연역 법칙적 확률 설명 모형은 양자역학에 많은 영향을 받았기 때문에 확실히 그의 논의의 주안점은 지극히 낮은 확률의 양자역학적 현상을 설명하는 것에 있으며 실제로 그러한 사례를 중심으로 모형 자체에 대한 설명이 이루어진다. 하지만 주지하다시피 확률이라는 개념은 양자역학에서뿐만 아니라 물리학의 다른 분과인 통계역학에서도 중요하게 다루어지며, 또 많은 의미를 함축하고 있다. 따

라서 이 ‘확률적’ 설명 모형을 확률론적 방법론에 기초한 물리학의 다른 한 축인 통계역학에 적용해 보는 작업은 해당 모형의 적용 범위를 평가해보고, 나아가 모형 그 자체를 검토해본다는 측면에서 나름의 의미를 가진다고 할 수 있겠다.

이 논문의 주요한 목적은 과학적 설명에 대한 레일튼의 모형과 해당 모형이 가지는 특성을 온전하게 이해한 상태에서 그의 모형을 통계역학이라는 다른 영역에 적용해봄으로써 연역 법칙적 확률 설명 모형을 비판적으로 고찰하는 것이다. 이를 위해 나는 우선 레일튼의 설명 모형이 무엇인지, 또 그것이 어떤 배경에서 나온 모형이고 어떤 문제들을 해결했는지 알아볼 것이다.(2장) 그리고 그러한 논의를 바탕으로 연역 법칙적 확률 모형의 확률적, 설명력적 기반에 대해 살펴볼 것이다.(3장) 그런 다음 레일튼의 모형이 통계역학의 영역에도 잘 적용될 수 있는지를 논의해보고, 궁극적으로는 그러한 작업에 기초하여 모형의 적용범위에 대한 나름의 평가를 내리고자 한다.(4장)

2. 연역 법칙적 확률 설명 모형

2.1. 기존 설명 모형의 한계

현상에 대한 설명을 통해 세계를 이해하는 것을 과학의 목표라고 생각한 헴펠(Hempel 1965)은 과학적 설명에 대한 규범적 탐구를 통해 '설명'을 과학철학의 논의에 본격적으로 도입한 선구자였다. 기본적으로 그는 과학적 설명이 설명해야 할 현상을 연역적으로 포섭해야 한다는 포괄법칙 모형을 주장했으나, 사실상 그러한 연역적 설명 모형만으로는 모든 종류의 현상에 대한 과학적 설명을 제공하는 것이 불가능하다. 왜냐하면 많은 수의 과학적 설명이 일반적인 형태의 진술이 아닌 확률적 진술에 의거하고 있기 때문이다. 물론 헴펠 자신 역시 이러한 사실을 잘 인지하고 있었으며, 결과적으로 그는 과학적 설명에 대한 D-N(Deductive Nomological)모형 뿐만 아니라 확률적 설명을 위한 I-S(Inductive Statistical)모형도 제시하였다.[1]

---

1) D-N 모형과 I-S 모형은 다음과 같이 정식화 될 수 있다. 우선 D-N 모형의 경우, 과학적 설명은 타당한 연역 논증이고, 설명항은 하나 이상의 일반적 법칙(이나 법칙적 진술)들을 포함하며 이것들이 피설명항을 연역적으로 도출하는 과정에서 실제로 사용되어야 하므로 다음과 같은 구조를 가진다.

L1,L2,⋯, Ln	일반적 법칙들(또는 법칙적 진술들)
C1,C2,⋯, Ck	개별적인 사실들로서 사건 E의 선행조건들
E	피설명항으로서 설명되는 사건

이에 반해 I-S 모형에서는 설명항이 피설명항에 대한 확실성에 가까운 귀납적 지지를 제공하고, 설명항은 통계적 또는 확률적 형태의 법칙적 진술을 포함하기 때문에 다음과 같은 구조를 가지게 된다.

p(G/F) = r	확률적 법칙, 단 $r \approx 1$
Fa	개별적인 사실들로서 피설명항의 선행조건
	[r]
Ga	설명되는 사건 또는 현상

하지만 헴펠의 설명 모형은 다양한 학자들에 의해 여러 가지 측면에서 비판 받게 되는데, 그 중 I-S 모형에 제기된 중요한 비판은 크게 헴펠 자신이 귀납-통계적 설명의 가장 중요한 요구조건이라 생각했던 ‘높은 확률의 요구’와 귀납적, 통계적 설명 일반이 가지는 성격에서 비롯된 것이라 볼 수 있는 ‘인식적 애매성의 문제’라고 볼 수 있다.[2)]

우선 높은 확률의 요구에 대해 살펴보자. 헴펠은 자신의 I-S 모형을 제시하면서 설명항의 정보들이 피설명항을 설명함에 있어 확실성에 가까운 매우 높은 수준의 귀납적 지지를 제공해야 한다고 말했다.(Hempel 1965) 물론 이 경우에는 D-N 모형에서와 같이 전제와 결론 사이의 강력한 연역적 함축 관계가 성립되는 것은 아니기 때문에, 설령 전제의 정보가 참이라고 할지라도 피설명항이 확실하게 기대된다는 것을 보장받지는 못한다. 하지만 설명항의 정보들에 근거하여 피설명항이 갖는 상대적인 가능도가 매우 높다는 것은 말할 수 있게 되는데, 이 때 우리는 피설명항의 사건들에 ‘거의 확실하게’, ‘높은 확률로’, ‘매우 그럴듯하게’ 등과 같은 양상한정사를 부여하게 된다.

하지만 실제로 낮은 확률에 의한 설명이 빈번히 행해지고 있다는 사실은 높은 확률에 대한 요구가 확률적 설명의 필요조건이 아니라는 비판의 강력한 근거로 작용할 수 있다. 가령 다음과 같은 상황을 생각해보자.

또한 헴펠에게 있어 과학이란 세계에 대한 어떤 생각이 우리의 경험과 명확한 논리적 관계를 갖도록 하고, 그렇게 함으로써 그러한 생각이 객관적으로 시험될 수 있는 환경을 마련하는 학문이다. 이 연장선에서 그는 과학에서 행해지는 설명이 설명적 유관성(설명에 사용되는 정보가 설명되는 현상이 실제로 일어나거나 일어날 것이라는 믿음에 대한 좋은 근거를 제공해야 한다)과 시험 가능성(과학적 설명을 구성하는 진술은 반드시 경험적으로 시험될 수 있어야 한다)의 조건을 만족해야 한다고 생각한다. 즉 모형 속 설명항은 경험적으로 시험가능하며, 그러한 설명항을 구성하는 진술들이 참이거나 경험적으로 잘 지지되어야 하는데, 이는 D-N 모형과 I-S 모형 모두에게 요구되는 사항이다. (Hempel 1965)

2) D-N 모형 역시 설명이 논증 형식을 따라야 하는가에 대한 문제, 무관의 문제, 설명과 예측의 대칭성 문제 등 많은 비판을 받았으나 이 논문은 기본적으로 확률적 현상에 대한 과학적 설명 모형을 다루는 것이기 때문에 D-N 모형의 문제점보다는 I-S 모형의 문제점을 위주로 논의를 진행하고자 한다.

철수는 페니실린 주사를 맞았다.

철수에게 발진이 일어났다.

이 때 페니실린 주사의 부작용에 의해 발진이 일어날 수 있다는 사실은 이미 의학적으로 증명된 상태이기 때문에 우리는 위와 같은 방식의 설명이 직관적으로 받아들일 수 있을 만한 설명이라는 것에 대부분 동의할 것이다. 하지만 페니실린 주사에 의한 발진의 발현 가능성이 매우 낮은 경우 그것은 헴펠의 I-S 모형에 적합한 형태의 설명은 아닐 것이다. 왜냐하면 설명항이 피설명항에 대한 확실성에 가까운 높은 귀납적 지지를 제공할 수 없기 때문이다. 그렇다면 우리는 헴펠의 I-S 모형이 확률적 설명에 대한 좋은 모형이 아니라고 생각할 수 있을까?

이에 대해 헴펠은 우리가 철수의 신체에 대한 더 많은 정보를 가지고 있었다면 페니실린 주사를 맞은 후 그에게 발진이 일어날 가능성이 실제로는 높았다는 사실을 알 수 있었을 것이라 주장할 것이다. 즉 위와 같은 I-S식 설명은 우리가 철수와 페니실린 주사, 발진의 발생에 관련된 모든 유관한 정보들을 가지고 있지 않은 상황에서 얻을 수 있는 잘못된 것이다. 헴펠은 이러한 문제를 귀납-통계적 설명의 애매성이라고 불렀으며, 그에 따르면 이러한 애매성은 주어진 개별 사건이 서로 다른 준거 집합에 의존함으로써 발생하는 것이다. 애매성의 문제를 해결하기 위해 헴펠은 카르납의 '총체적 증거의 조건'으로부터 단초를 얻어 피설명항의 주장 및 그것을 연역적으로 함축하는 정보를 제외하고 피설명항과 통계적으로 관련되는 정보들을 모두 전제에 포함해야 한다는 '최대 상세화의 요구'를 I-S 모형의 부가적인 조건으로 추가하게 된다.[3] (Hempel1965)

3) 카르납의 총체적 증거의 조건은 귀납논증의 경우에 그 논증의 전제들에 새로운 전제를 추가할 때, 전제가 결론을 지지하는 정도가 새 전제를 추가하기 전과 후에 변화해서는 안 된다는 조건이다. 이러한 총체적 증거의 조건에 따르면 피설명항이 발생했다는 정보 역시 해당 사건을 설명함에 있어 아주 중요한 정보로 간주될 수 있기 때문에 이 정보 역시 설명항에 포함되어야 하지만 과학적 설명의 기본적인 목적은 피설명항이 왜 발생했는가에 대한 이해를 추구하는 것이기 때문에, 이미 피설명항이 발생했다는 정보가 설명항에 포함되어버리면 그러한 설명은 그 자체로 설명으로서의 가치를 잃게 된다. 따라

하지만 그러한 조건을 수용한다고 해도 여전히 문제는 남아있는 것처럼 보인다. 최대 상세화 요구를 I-S 모형에 추가하게 되면, 설명의 능력이 인식 주체가 현재 가지고 있는 정보수집 능력에 따라서 가변적이게 된다. 즉 같은 사건에 대한 것임에도 불구하고 과학적 설명이 설명 주체 개개인에 따라 다른 형태를 보일 수 있다는 것이다. 반면 연역적 논증에서는 결론이 전제에 이미 함축되어 있으므로 인식 주체가 달라진다고 하더라도 이러한 함축관계에 어떠한 변화도 발생하지 않는다. 이 경우 우리는 연역적 논증에 의한 설명이 존재론적 관점에서 다루어질 수 있는 것과는 달리 I-S 모형에 의한 설명은 인식적인 상대성을 가질 수밖에 없기 때문에 좋은 과학적 설명이 아니라고 비판할 수 있게 되는데, 왜냐하면 우리가 사건을 이해할 수 있는 궁극적인 이유는 '세계'이므로 설명의 근거는 존재론적 관점에서 취해진 것들이어야지 인식적 관점에 근거해서는 안되기 때문이다. (조인래 1997)

이러한 문제를 차치해두더라도 여전히 I-S 모형은 좀처럼 풀기 힘든 문제를 가지고 있는데, 그것은 앞서 언급한 '높은 확률의 요구' 문제와 관련이 있다. 헴펠의 경우 앞서 언급한 바와 같이, 낮은 확률값에 의한 설명이 최대 상세화의 요구를 충족시키지 못하기 때문에 제대로 된 과학적 설명이 아니라고 하였다. 하지만 최대 상세화의 요구를 만족하면서도 실제 과학의 영역에서 낮은 확률값을 통해 현상을 그럴듯하게 설명하는 경우가 있는데, 그것들은 바로 양자역학의 영역에서 다루어지는 현상들에 대한 설명이다. 다음과 같은 상황을 생각해보자.

어떤 금속 원자가 1분 내에 α-붕괴를 겪는 것이 확인되었다. 이 이유에 대하여 많은 물리학자들이 그 금속이 U238이기 때문이라고 설명하였다.

위와 같은 상황을 헴펠식으로 재구성하면 다음과 같을 것이다.

서 헴펠은 그보다는 상대적으로 약한 최대 상세화의 조건을 I-S 모형에 추가한 것이다. (Curd & Cover 1998)

어떤 금속원자가 1분 내에 α-붕괴를 겪었다.	(피설명항)
그 금속은 U238이고,	(설명항1)
U238의 반감기는 1.41×1017이다.	(설명항2)

실제로 U238의 반감기는 대략 45억년 정도로 1분 사이에 α-붕괴를 겪을 가능성은 매우 희박하기 때문에, 헴펠의 입장에서 위의 설명은 설명항이 피설명항에 대한 높은 귀납적 지지를 제공하지 못하므로 좋은 설명이 아니다. 헴펠의 입장에서 이러한 설명이 좋은 설명이 되기 위해서는 α-붕괴를 겪은 바로 그 특정 입자를 둘러싼 더욱 많은 정보들이 필요하다. 하지만 지금까지의 물리학의 연구 결과, 특히 양자역학의 주류 해석인 코펜하겐 해석을 따르면 이러한 숨은 변수의 효과는 용인될 수 없다. 다시 말해 왜 특정 원자가 특정 시각에 붕괴하는지에 대한 숨겨진 메커니즘을 찾으려는 헴펠식의 시도가 원천적으로 차단되어 있다는 것이다. 따라서 우리는 헴펠이 생각했던 것과는 달리 낮은 확률에 의한 설명이 실제로 과학의 영역에서 빈번히 이루어지고 있으며, 이것을 거부하는 것이 매우 힘들다는 것을 확인할 수 있다. 다음 절에서는 레일튼이 제시한 ‘확률적 설명에 대한 연역 법칙 모형’에 대해 알아보고 레일튼의 모형이 기존의 확률적 설명 모형에 제기되었던 이러한 문제들을 어떻게 해결할 수 있는지 살펴보고자 한다.[4)]

2.2. 연역 법칙적 확률 모형과 그 의의

2.2.1 연역 법칙적 확률 모형

레일튼은 자신의 논문 “Deductive-Nomological Model of Probabilistic

---

4) 새먼과 같은 경우에는 헴펠식의 설명 모형에 이의를 제기하며 통계적 유관성 모형이라는 새로운 설명 모형을 제시하고, 이후 인과적 전회를 거쳐 자신의 이론을 더욱 발전시키기도 하였다. 하지만 이 논문은 기본적으로 레일튼의 설명 모형에 대한 논의에 초점을 맞추고 있으므로 새먼의 작업과 관련된 논의들을 다루지는 않을 것이다.

Explanation”에서 헴펠의 설명 모형에 대한 비판적 고찰로부터 논의를 시작한다. 그는 헴펠이 제시한 D-N 모형과 I-S 모형 둘 모두에 문제가 있다고 지적하는데, 우선 레일튼이 보기에 D-N 모형이 놓치고 있는 가장 중요한 사실은 피설명항을 야기한 과학적 메커니즘에 대한 언급이다. 레일튼은 피설명항의 사건이 왜 일어나야 했는가와 관련하여 그 사건을 둘러싼 기저의 메커니즘을 해명하는 것이 가장 중요한 일이라고 생각하였는데, D-N 모형은 그러한 메커니즘을 설명의 필요조건으로 전혀 요구하고 있지 않으며, 따라서 그는 D-N 모형에 의한 많은 설명이 그저 현상을 ‘피상적’으로만 설명하고 있을 뿐이라고 주장하였다. (Railton 1978)

또한 레일튼은 I-S 모형이 앞서 2.1에서 언급한 바와 같이 높은 확률의 문제와 최대 상세화의 요구 문제를 가지고 있다고 언급한다. 우선 레일튼은 현상에 대한 진정한 확률적 설명이 가지는 설명력이 해당 현상에 부여되는 확률값의 크기에 연연하지 않아야 한다고 생각한다. 가령 99개의 붉은색 칸과 1개의 검은색 칸으로 구성된 룰렛이 있을 때, 이 룰렛이 완전히 무작위적인 결과를 도출해 낸다면, 우리는 해당 룰렛에 대해 ‘룰렛볼이 99/100의 확률로 붉은색 칸에 멈출 것이다’와 ‘1/100의 확률로 검은색 칸에 멈출 것이다’라는 두 가지 확률적 설명을 얻을 수 있게 된다. 레일튼에 따르면 이 두 설명 모두 그 현상에 대한 ‘동등하게’ 좋은 확률적 설명이며, 확률적 설명의 가치는 결코 확률값의 크기에 의존하지 않는다. 나아가 그는 진정한 확률적 설명이란 인식 주체 내지는 준거 집합에 따라 변하는 것이 아니라 확률적 법칙에 의해 도출되는 객관적인 것이어야 한다고 주장한다. 그렇다면 레일튼의 D-N-P(Deductive Nomological Probabilistic) 모형이란 과연 무엇인가?

이름에서도 알 수 있다시피 D-N-P설명은 기본적으로 확률적 설명이다. 레일튼이 확률적 설명에 주목하는 이유는 그가 양자역학적 현상에 대한 설명을 염두에 두고 있었기 때문인데, 주지하다시피 고전역학에서 양자역학으로의 변화에 있어 가장 중요한 것은 더 이상 물리학이 세계를 결정론이 아닌 비결정론적으로 묘사하기 시작했다는 것이다. 레일튼 역시 세계가 비결정론적으로 구성되어 있다는 견해에 동의하며 논문에서

다음과 같이 말한다. “우리의 우주는 결정론적이지 않을 것이다, 그렇다고 해서 우리의 우주가 완전한 혼돈 속에 있다는 것은 아니다 … 물리적 비결정론은 돌이킬 수 없는 것이다. 우주는 가능성을 제시할 뿐만 아니라, 법칙적인 가능성을 제시한다.”(Railton 1978) 레일튼은 기본적으로 확률적인 법칙에 의존하는 장벽 투과(barrier penetration)와 같은 현상이 비확률적인 법칙만으로는 온전히 설명될 수 없을 것이라는 양자역학의 함의를 수용한다. 나아가 그는 D-N-P모형을 통해 그러한 본질적으로 우연적인 현상들에 대해서도 연역-법칙적인 설명이 적절한 설명을 제공할 수 있다는 것을 보이고자 한다.

수명이 매우 긴 방사성 원소의 알파 붕괴는 물리적으로 다분히 실재적(realistic)이고 법칙적이지만 실질적으로 무시할만한 가능성을 가진 현상이다. 레일튼은 이러한 현상을 중심으로 자신의 논의를 전개한다. 안정적인 방사성핵종은 매우 긴 평균 수명을 가지기 때문에, 우리가 살아 있는 동안 이 방사성핵종의 붕괴를 관찰한다는 것은 거의 불가능하다. 하지만 현재의 양자역학 이론은 우리에게 이 확률이 완전히 0이 되는 것은 아님을 말해주며 따라서 이러한 현상이 어떻게 일어날 수 있는지 설명한다. 레일튼에 따르면 이 같은 확률적인 설명은 우선 우리의 인식적인 상황과는 무관하게 참이거나 거짓이며, 나아가 좋은 확률적인 설명이 되기 위해서는 반드시 참이어야 한다. 이러한 상황에서 만일 현상에 대한 확률적 설명을 도출한 확률적인 법칙이 참이 아니라면 그러한 설명 역시 참이 될 수 없으며, 또한 피설명항의 현상이 본질적으로 비결정론적인 현상이 아니라면 확률적인 설명은 결코 참이 될 수 없다.

실질적인 예를 통해 D-N-P설명의 형식을 알아보도록 하겠다. 우라늄 238 원소 핵(u)의 알파붕괴가 시간 t_0에서 $t_0+\Theta$사이의 매우 짧은 시간 내에 실제로 일어났다고 가정하고 이 현상을 설명해야 한다고 하자. 비록 u의 붕괴가 발생할 가능성은 매우 낮지만, 붕괴가 일어날 확률값은 결코 0이 아니며 그 확률값은 방사성 붕괴 상수 λ_{238}를 통해 아주 정확하게 주어진다. 여기서 중요한 것은 그러한 확률값이 물리 이론들을 적용해 실제로 계산함으로써 얻어지는 물리적 확률이라는 것이다. 이는 단지 상

대적인 빈도만을 나타내는 통계적 확률과는 근본적으로 다른 지위를 갖는데, 물리적 확률은 통계적 확률과는 다른, 단일 현상에 대한 확률이다. 단일 현상(single case)에 대한 통계적 확률의 적용 가능성은 여전히 많은 논란이 있는 미결문제로 간주할 수 있는 반면 물리적 확률은 근본적으로 단일 현상을 기술하는 확률이라는 것이다.

핵 이론을 통해 도출된 아래와 같은 보편 언명은 법칙적인 형태를 가진 물리적인 확률, 즉 단일 현상에 대한 확률이라 할 수 있다.

(1) 모든 방사성 원소의 핵 E는 외부 방사능에 노출되지 않는 이상, t라는 시간적 간격 사이에 알파 입자를 방출할 확률이 $(1-\exp(-\lambda_E \cdot t))$이다.

따라서 위와 같은 보편 언명은 특정한 핵인 u에 대해 다음과 같은 연역-법칙적 설명을 제공할 수 있다.

(2a) 모든 우라늄238의 핵은 외부 방사능에 노출되지 않는 이상, Θ라는 시간적 간격 사이에 알파입자를 방출할 확률이 $(1-\exp(-\lambda_{238} \cdot \Theta))$이다.
(2b) u는 t_0의 시간에 우라늄238의 핵이었으며 t_0에서 $t_0+\Theta$의 시간에 어떠한 외부 방사능에도 노출되지 않았다.

(2c) u가 t_0에서 $t_0+\Theta$의 시간에 알파입자를 방출할 확률은 $(1-\exp(-\lambda_{238} \cdot \Theta))$이다.

레일튼에 따르면 (2)는 아래와 같은 조건들과 더불어, u의 알파붕괴에 대한 적절한 확률적인 설명을 구성한다.

(3a) 알파붕괴의 메커니즘에 대한 우리의 이론으로부터 (2a)가 도출된다.
(3b) (2)의 추론과정은 연역-법칙적 추론이다.
(3c) t_0에서 $t_0+\Theta$의 시간에 u가 '실제로' 알파 붕괴를 겪었다는 추가적인 조항을 삽입한다.

우선 (2a)는 특정한 사실에 의존하지 않고 이론적으로 도출된 보편적인 진실로서 법칙적인 지위를 가진다. 이는 헴펠의 D-N 설명에서 법칙적

진술들이 충족시켜야 하는 조건들과 일맥상통한다고 볼 수 있겠다. 우선 우리는 슈뢰딩거 방정식을 풀고 핵을 둘러싸고 있는 포텐셜 장벽 너머에서 발견되는 알파입자에 대해 양자역학이 제공하는 확률을 계산함으로써 우라늄238의 알파입자에 대한 투과율(transmission coefficient)을 결정할 수 있다. 그런 다음, 핵 속에서 일어나는 복잡한 행위를 단순화할 수 있는 몇몇 가정들을 적용하여 그러한 입자 하나가 단위 시간당 포텐셜 장벽을 투과할 수 있는 확률과 관련된 상수 λ_{238}를 계산해 낼 수 있다. 따라서 (2a)는 과거의 관찰 자료를 보고하거나 단순히 통계적인 균일성을 표현하는 것이 아니라, 분명하고 물리적으로 결정된 확률을 단일 계에 부여하는 확률적인 법칙인 것이다.

(2a)를 얻은 상태에서 보편예화(universal instantiation)와 전건 긍정(modus ponens)을 통해 결론을 얻어내는 과정은 연역적으로 오류가 없는 타당한 논증이다. 만약 (2a)가 특정 자료들로부터 얻어진 통계적인 일반화에 불과하다면 보편예화를 적용할 수가 없으며, 따라서 단일 현상에 대한 확률로서의 결론이 따라나올 수 없게 된다. 나아가, 만약 파동함수가 실제로 핵의 장벽 투과를 설명하는 메커니즘에 대해 우리가 알아야 할 모든 것을 말해준다면, 관찰된 u의 알파붕괴가 왜 발생했는지에 대해 더 이상 말할 것은 없다.

그럼에도 불구하고 아직 (3)은 왜 이 같은 붕괴가 일어나야만 했는지에 대해서, 또 그러한 붕괴가 일어날 것이라고 예측될 수 있는지에 대해서는 설명을 하지 않고 있다. 하지만 이 시점에서 우리가 주목해야 할 것은 왜 그러한 붕괴가 일어나야만 했는지 또는 일어날 것이라 예측될 수 있는지에 대한 설명은 필요하지 않다는 것이다. 왜냐하면 알파붕괴는 우연한 사건일 뿐만 아니라 매우 있음직하지 않은 사건이기 때문이고, (3)은 실제로 알파 붕괴에 대한 매우 작지만 분명한 물리적 확률이 있다는 것을 증명함으로써 그러한 현상이 왜 있음직하지 않게 발생하는지에 대한 적절한 설명을 제공하고 있기 때문이다.

한편, 연역적인 것이 되었든 귀납적인 것이 되었든 결론을 도출해낼 수 있는 사실 이전의(before-the-fact) 설명적 논증은 불가능함에도 불구

하고, 우연적 현상의 독특한 특성 때문에 위와 같은 방식으로 획득한 확률이 실제로 실현되었는지의 여부 역시 설명적으로 유관한 정보처럼 간주되는 듯하다. 하지만 실제로 우리가 설명해야 할 피설명항의 확률이 해당 상황에서 실현되었는지에 대한 논증은 불가능하기 때문에, 추가적인 조항(parenthetic addendum)은 단지 설명의 맨 마지막 부분에 현상이 발생했는지 또는 발생하지 않았는지에 대한 실제 사실을 기록하는 역할만을 담당하게 된다. 즉 추가적인 조항은 결코 연역 법칙적 논증에 의해 따라 나오는 결과가 아니라는 것이다. 이는 설명은 곧 논증이어야 한다는 헴펠식의 관점에 대한 공격이 될 수도 있을 것인데, 레일튼에 의하면 실제로 거의 모든 일반적인 수준의 설명은 논증이 아니다. 추가적인 조항은 양자 이론으로부터 얻어진 현상에 대한 물리적 확률을 실현시킨다. 즉, (2)에서 다루어진 추론만으로는 우리가 어떻게 알파입자가 붕괴되었는지를 온전히 알 수 없으며 오직 이에 대한 확률적인 가능성만을 알 수 있지만, (3)에서의 추가 조항을 통해 실제 인과적으로 이후에 어떤 일이 이어졌는가를 기술할 수 있게 된다.

앞서 논의된 레일튼의 D-N-P모형에 대한 설명을 종합하여, 형식적인 형태로 표현하자면 다음과 같다.(Railton 1978)

(4a) $\forall t \forall x\ [F_{x,t} \rightarrow Prob(G)_{x,t} = p]$
"시간 t에 x가 F라는 속성을 가지면, 그것은 G가 될 확률 p를 가진다."
(4b) $F_{e,t0}$ "시간 t_0에서 e는 F이다."
(4c) $Prob(G)_{e,t0} = p$ "e는 시간 t_0에서 G가 될 확률 p를 가진다."
(4d) $(G_{e,t0}/{-G_{e,t0}})$ "실제로 t_0에서 e는 G가 되거나/되지 않았다.

D-N-P 설명의 경우 해당 설명의 참 거짓 여부가 오로지 전제들과 추가 조항의 진리조건, 그리고 논증 구조의 타당성에만 의존하게 된다. 앞서 언급한 바와 같이 D-N-P 설명의 논증 구조에는 전혀 오류가 없고, 추가 조항의 진리조건은 실제로 일어난 사건을 그대로 기술하기만 하면 참이다. 따라서 결국 전체 설명의 진리조건을 판단하기 위해서는 전제들이 참이냐 아니냐를 판단하는 것이 중요한데, 전제의 확률적 법칙은 과학적

으로 도출된 객관적인 법칙이므로 우리는 D-N-P 형식을 잘 만족하는 설명을 받아들일만한 충분한 근거를 가지고 있다. 그렇다면 레일튼의 D-N-P 모형은 확률적 설명에 부과되는 기존의 문제들을 어떻게 해결할 수 있는가?

2.2.2. 기존의 문제들과 연역 법칙적 확률 모형

앞선 논의를 통해 나는 기존의 확률적 설명 모형이 가지는 가장 중요한 두 가지 문제점이 높은 확률의 요구 문제와 인식적 애매성의 문제라는 것을 언급하였다. 레일튼 역시 헴펠의 설명 모형이 가지는 이와 같은 문제들을 잘 인식하고 있었으며, 따라서 그는 이 두 문제로부터 자유로운 확률적 설명 모형을 제시하고자 했다. 기본적으로 D-N-P 설명은 헴펠의 D-N 모형이 가지는 장점을 어느 정도 계승하면서도, D-N 모형의 문제점으로 지적되어왔던 설명과 논증의 동일성, 설명과 예측의 대칭성 문제를 피해갈 수 있는데, 이는 D-N-P 설명이 D-N 설명과 같이 전제로부터 결론이 따라 나오는 연역 논증 구조를 가지면서도 설명해야 할 현상 그 자체는 그러한 연역 논증으로부터 따라 나오지는 않는다는 것을 강조하고 있기 때문이다. 우리는 현상이 일어날 가능성을 나타내는 확률값만을 과학적 법칙으로부터 도출해낼 수 있을 뿐이지 현상 그 자체의 발생을 보장받을 수는 없다. 실제로 일어난 현상은 마지막에 추가 조항으로서 기록되며 이는 법칙으로부터 도출된 현상의 가능성이 실제로 실현되었는지 그렇지 않은지를 말해준다.

D-N-P 모형이 가지는 이러한 특성은 확률적 설명으로서 기존의 I-S 모형이 가졌던 인식적 상대성의 문제를 말끔하게 해결한다. 현재의 과학에서 널리 인정되는 과학적 법칙을 통해 설명해야 할 현상이 가지는 확률값을 얻어내는 과정은 결코 인식 주체에 따라 가변적이지 않다. 왜냐하면 앞서 언급한 바와 같이 D-N-P 설명에서 해당 확률값을 얻어 내는 과정은 연역 논증을 따르며, 연역 논증에서는 전제와 결론 사이의 함축관계가 인식 주체나 준거 집합의 영향을 받지 않기 때문이다. 즉 현상에

대한 D-N-P 설명은 그 누구에게나 객관적인 것으로 주어지며, I-S 모형에서 인식적 상대성의 문제를 해결하기 위해 제안되었던 최대 상세화의 요건과 같은 복잡한 추가 조건은 전혀 필요하지 않다.

높은 확률의 문제는 어떠한가? 레일튼은 우리가 현상에 대해 얻을 수 있는 것은 그 현상에 대한 확률값일 뿐이라고 주장하며, D-N-P 설명에서도 결론으로 도출되는 것은 현상 그 자체가 아닌 현상에 대한 확률값이다. 나아가 레일튼은 확률값이 크든 작든 동일한 설명력을 가지고 있다고 생각하는데, 이는 확률 설명의 설명력이 높은 확률값으로부터 비롯된다는 헴펠의 주장과는 대조적이다. 자연스럽게 레일튼은 확률값의 크기가 아닌 다른 요소를 통해 확률 설명의 설명력을 해명해야 하는데, 그에게 중요한 것은 해당 현상의 기저에 있는 메커니즘을 참되게 기술하는 것이다. 다시 말해, 현상에 대한 확률값을 도출해내는 과정에서 설명항 속에 현상의 발생을 둘러싼 메커니즘을 언급하는 것이야말로 좋은 설명의 조건이며 설명 모형을 통해 도출된 확률값의 절대적 크기는 설명력에 어떠한 영향도 주지 않는다. 해당 현상에 대한 메커니즘이 우리가 알아야 할 모든 것을 말해준다면 설명은 그 자체로 만족스러운 것이다. 따라서 레일튼의 D-N-P 모형은 높은 확률의 문제 역시 피해갈 수 있다.

지금까지 나는 기존의 확률적 설명이 가지는 중요한 문제들이 레일튼의 D-N-P 모형을 통해 해소될 수 있다는 사실을 언급함으로써 그의 모형이 새로운 확률적 설명 모형으로서 자리매김 할 수 있음을 보였다. 하지만 그렇다고 해서 레일튼의 설명 모형이 그 자체로 완벽한 모형인 것은 결코 아니다. 이 논문의 기본적인 목적 역시 그의 설명 모형에 대한 비판적인 고찰이며, 이러한 작업을 진행하기 위해서는 그의 모형에 대한 더욱 심도 깊은 분석이 필요할 것이다. 따라서 나는 다음절에서 앞서 언급했던 레일튼 모형에 대한 일반적인 논의를 확장하여 해당 모형이 어떤 확률적, 설명력적 기반에 기초하고 있는지에 대해 살펴보고 나아가 그러한 분석을 통해 레일튼의 모형이 통계역학에 적용된다면 어떤 측면에서 비판 받을 수 있는지를 알아볼 것이다.

3. 연역 법칙적 확률 모형의 기반

3.1. 확률적 기반

3.1.1. 확률에 대한 여러 해석

확률이라는 개념은 통계역학, 양자역학 등의 과학영역에서뿐만 아니라 우리의 실생활에서 역시 도박과 같은 실질적인 문제를 해결하기 위해 흔히 사용되고 있지만 확률값이 과연 어떤 의미를 가지느냐에 대해서는 학자들 사이에서도 여전히 온전한 합의가 이루어지지는 않은 것처럼 보인다. 가령 동일한 사건에 대한 확률값이라고 해도 어떤 확률 해석을 취하느냐에 따라 확률값은 전체 사건에 대한 해당 사건의 빈도, 해당 사건 속에 내재하고 있는 어떤 성향의 크기, 해당 사건이 일어날 가능성에 대한 주관적 믿음의 정도 따위의 다양한 의미를 가질 수 있게 된다. 특히 양자역학의 경우 우리가 확률에 대한 어떤 해석을 옹호하느냐에 따라 그 학문 자체를 어떻게 이해해야 할 것인가와 관련된 문제, 즉 양자역학의 해석문제도 새로이 고려될 수 있다. 이러한 상황에서 우리는 어떤 확률 해석이 가장 만족스러운 것인지를 판가름하기 위해 그것들을 평가할 수 있는 기준을 필요로 할 수밖에 없는데, 새먼은 다음과 같은 세 기준을 통해 확률 해석의 적합성을 평가하였다. (Salmon 1967)

용인가능성 : 어떠한 해석이든 간에 최소한 확률 공리들은 만족시켜야 한다.
확정가능성 : 확률값을 결정할 수 있는 방법이 제시되어야 한다.
적용가능성 : 확률값이 실천적이고 예측적인 의미를 지녀야 하며, 구체적인 상황에서 사용될 수 있어야 한다.

용인가능성은 확률 개념들에 대한 기초적인 필요 조건이 확률 연산에 의해 상술되는 수학적인 관계들을 만족시켜야 한다는 것을 의미하는데, 이러한 기준이 필요한 이유는 만약 어떤 확률 해석이 그러한 수학적 연산

의 형식적 속성들을 위반하는 경우에는 비정합적인 확률 체계가 도출되기 때문이다. 또한 원리적으로 확률값을 결정할 수 있는 방법이 결여된 상태에서는 그러한 확률 개념이 아무런 의미도 가지지 못하기 때문에, 확정가능성 역시 올바른 확률 해석의 필요조건이라 볼 수 있다. 적용가능성의 경우 ‘확률’이 가지는 실질적인 개념적 역할을 보장받기 위해 필요하며, 적용가능성을 만족시키지 못하는 확률 해석은 사소한 것이 되거나 실제적 의미를 결여한 공허한 것일 수밖에 없다. 그렇다면 지금까지 논의되어온 확률 해석에는 어떠한 것들이 있으며, 위의 적합성 기준에 기초하여 각각의 확률 해석은 어떻게 평가될 수 있을까?

우선 고전적 해석에서는 확률이 동등하게 개연적인 여러 경우들에 대한 선호되는 경우(확률의 대상이 되는 사건)의 비율로 정의된다. 예를 들어, 주사위를 던져 1의 눈이 나올 확률은 선호되는 경우가 하나이고 나머지 동등하게 개연적인 경우가 여섯이므로 1/6이 된다. 이러한 해석에서 우리가 확률값을 제대로 결정하기 위해서는 바로 그 ‘동등하게 개연적’이라는 개념의 정의가 필수적인데, 여기서 중요한 역할을 하는 것이 무차별의 원리(principle of indifference)이다. 무차별의 원리란 쉽게 말해 두 가지 가능성이 있을 때 만약 어떤 하나보다 다른 하나를 더 선호할만한 아무런 이유도 없는 경우 이 두 가능성이 서로 동등한 확률을 가져야 한다는 것을 의미한다. 하지만 이러한 고전적 해석은 많은 문제점을 안고 있는데, 가장 큰 문제점은 우리가 동등하게 개연적이라고 생각했던 사건들의 경우에도 실제로는 동등하게 개연적이지 않을 수 있다는 것이다. 우리는 쉽게 주사위의 모든 눈이 모두 동등하게 개연적이라 가정하지만 실제로는 모든 주사위의 면은 미세하게나마 편향되어 있다. 나아가 이런 측면에서 고전적 해석은 인간의 무지(모든 주사위 면이 편향되어 있다는 사실을 모르는 것)를 지식(모든 주사위 면이 동등하게 개연적이라는 것)으로 둔갑시킬 수 있다. 또한 고전적 해석의 경우 동등하게 개연적인 경우의 수가 무한히 많은 경우에는 확률 개념을 적용하는 것이 불가능하며, 그 해석이 가지는 선험적 성격 때문에 실제상황과 유리된 확률값을 얻게 되는 경우에도 확률값을 정정해야 할 이유가 없으므로 적

용가능성의 기준을 충족시키기 어렵다.

다음으로 확률에 대한 논리적 해석에 대해 알아보자. 논리적 해석에서 확률이란 어떤 진술이 다른 진술을 입증하는 정도로서 주어지며, 확률은 문장들(또는 명제, 사건, 속성들) 사이의 논리적 관계로 간주된다. 따라서 논리학과 확률 규칙에 따라서 우리는 해당 사건이 가지는 확률값을 정확하게 계산해 낼 수 있게 되는데, 이때 (귀납)논리학에서 증거와 가설들 사이의 관계를 나타내는 확증도란 개념이 중요하게 쓰인다. 이 확증도 개념에 대한 체계적인 형식화는 카르납에 의해 이루어졌는데, 그는 확률 개념을 위한 언어를 구성하고 그러한 언어로 세계를 기술함으로써 진술들이 증거로서 기능할 수 있게끔 하였다. 하지만 카르납의 방법론 역시 기초적인 가능 사태들에는 무차별의 원리를 적용하는 것처럼 보이며, 이러한 의미에서 논리적 해석도 고전적 해석과 같이 선험적 성격을 가지게 되어 비판을 받을 수 있다. 또한 논리적 해석에서 주어진 증거에 따라 상대적인 확률을 인정한다는 사실은 확률이 지식이나 인식 주체에 의존적이라는 것을 의미하므로 객관적으로 참인 확률을 구성하고자 하였던 애초의 계획에 어긋난다.

카르납은 확률에 대한 논리적 해석을 통해서 확률해석의 객관성을 유지하고자 노력하였는데, 이와는 대조적으로 확률이 그러한 객관성을 유지할 필요가 없다고 생각했던 일단의 학자들은 확률에 대한 주관적 해석을 주장했다. 이러한 주관적 해석에서는 확률이 해당 경우에 대한 특정 개인의 신념도 내지는 수량화된 판단의 측정치로 주어진다. 확률이란 주어진 명제에 대해 특정 시점에서 어떤 사람이 지닌 실제적 신념의 정도이며, 따라서 어떤 경우에 대한 확률값은 개인이 어떤 행동을 하느냐를 조사함으로써(해당 사건에 대한 내기를 한다고 할 때 그 개인이 어떻게 행동하는지를 조사함으로써) 가장 잘 확립될 수 있다. 하지만 그렇다고 해서 어떤 개인이 사건에 확률값을 아무렇게나 부여하는 것은 용납될 수 없는 일인데, 따라서 신념의 정도는 그것을 어떻게 측정하고 획득할 수 있는지를 규정할 수 있을 때에만 비로소 의미를 가질 수 있다. 즉 주관적 확률이란 신념에 대해 느껴진 강도가 아니라 객관적으로 측정 가능해

야만 한다. 그러나 이러한 주관적 해석은 ‘내기’ 개념이 성립하기 힘든 과학의 영역에는 적용하기 힘들어 보이며, 특히 양자역학의 경우에는 확률 개념이 신념의 정도가 아니라 객관적인 것으로 이해되기 때문에 주관적 해석이 적용될 여지가 없어 보인다.

다음은 일반적으로 가장 선호되는 해석이라 할 수 있는 빈도해석이다. 빈도 해석의 주도적 입장에 따르면, 확률은 사건들의 무한 수열에서 한 사건이 발생하는 상대 빈도의 극한에 의해서 정의된다.(Salmon 1979) 극한 개념을 사용하는 이유는, 표본이 적을 경우에는 도출되는 빈도 값이 일정하지 않고 계속해서 변할 수 있지만 표본을 계속해서 늘려가면 장기적으로는 확률이 특정 극한값에 수렴하기 때문이다. 빈도해석에서는 앞선 주관적 해석과는 달리 확률이 외적 세계에 대한 경험적, 객관적, 물리적 사실의 측정이라고 간주하며, 고전적 해석·논리적 해석과는 반대로 확률값이 오직 경험에 의해서만 획득 가능한 것이라고 주장한다. 하지만 바로 이러한 특성 때문에 빈도해석에도 비판이 제기될 수 있다. 우선 실제로 우리는 특정 사건의 사례를 무한대로 확장하여 상대적 빈도를 경험적으로 확인할 수 없기 때문에 상대빈도 개념에 의한 확률의 정체가 모호해질 수 있다. 또한 실제 세계에서 우리가 사건에 대해 얻을 수 있는 결과의 집합은 유한하기 때문에 이러한 해석에 따르면 모든 물리적 확률 진술은 기본적으로 준거 집합에 상대적이며, 그러한 의미에서 확률에 대한 빈도해석은 통계법칙에 관한 진술을 다루는 것이라 볼 수 있다. 이러한 빈도해석에 따르면 우리가 동전던지기에서 앞면이 나올 확률이 1/2이라고 말하는 것은 동전던지기 ‘집합’에 관여하는 확률적 법칙에 관한 진술이지, 결코 특정한 한 동전던지기의 속성에 대해 이야기하는 것이 아니다.(Strevens 2006) 이처럼 동전던지기는 많은 다른 준거 집합에 속할 수 있기 때문에, 빈도 해석을 통해서는 바로 그 해당 동전던지기에 대한 확률적 경향을 결정할 만한 요인을 가질 수 없으며 이러한 의미에서 빈도 해석은 단일 사건에 대한 확률을 적절하게 설명하지 못한다.

마지막으로 성향해석에 대해 알아보자. 확률에 대한 성향해석은 기본적으로 단일 사건에 대한 확률 문제를 해결하기 위해 등장했다. 여기서

말하는 단일 사건에 대한 확률이란 준거 집합이나 사건들의 배열과는 독립적인 단일한 물리적 과정이나 사건에 결부되어 있는 확률을 말한다. 또한 성향이란 그러한 과정 속에 내재된 속성으로 간주되며, 성향해석에 따르면 모든 확률은 단일 사건에 대한 확률이라 볼 수 있다.(Strevens 2006) 따라서 성향해석에 의하면 우리가 어떤 특정한 사건에 부여하는 확률값은 물리적, 수학적으로 도출되는 객관적인 확률값이며 결코 인식적인 상대성을 갖지 않는다. 성향해석에 따르면 동전던지기에서 앞면이 나올 확률이 1/2이라는 것은 바로 그 동전던지기에 1/2이라는 확률값을 가지는 성향이 내재되어 있다는 것이다. 그렇다면 그러한 성향으로서의 확률은 어떻게 결정될 수 있는 것인가? 포퍼에 따르면 앞면이 나올 성향으로서의 확률값이 1/2이라는 것은 아주 많은 수의 시행을 거쳤을 때 상대적으로 앞면의 출현 빈도가 1/2이 된다는 것을 의미한다.(Popper 1959) 하지만 단일 사건의 확률이 1/2이라고 해서 많은 시행을 거쳤을 때 전체 사건에 대한 해당 사건의 빈도가 1/2이 되리라는 보장이 없다는 것은 직관적으로 당연해 보인다.(우연의 일치가 발생하여 100번의 동전던지기에서 모두 앞면이 나오는 경우를 충분히 상상할 수 있다.) 따라서 이러한 포퍼적 성향 해석을 거부하는 기어리와 같은 학자들은 성향이라는 개념을 높은 확률로 적절한 확률적 패턴을 생성할 수 있는 어떤 속성으로 해석한다.(Giere 1973) 성향해석의 더욱 중요한 특성은 성향으로의 확률이 더 이상 환원불가능한 것이고 어떤 의미에서는 그것을 우주의 근본적인 구성 요소로 본다는 것인데, 이러한 의미에서 성향적 해석은 세계에 대한 비결정론을 옹호하는 것처럼 보인다. 하지만 이러한 주장은 우리가 결정론적 세계에 살고 있다고 가정했을 때, 확률에 대한 성향해석이 그 자체로 어느 정도 한계를 가지고 있음을 자인하는 것일 수 있다.

3.1.2. 연역 법칙적 확률 모형의 확률적 기반

앞선 논의를 통해 나는 확률에 대한 여러 해석을 소개하고, 각각이 가

지는 장단점을 논의하였다. 그렇다면 레일튼의 D-N-P 설명은 확률에 대한 어떤 해석을 옹호하고 있을까? 레일튼 자신이 논문에서 밝히는 바와 같이 그의 설명 모형은 기본적으로 확률에 대한 성향해석에 기초하고 있다. 성향해석 하에서 확률이란 단일 물리계가 어떤 특정한 결과를 야기할 수 있는 물리적 경향(tendency)의 크기를 나타내는데, 레일튼의 D-N-P 모형에서도 해당 사건이 가지는 확률은 확률 법칙에 의해 연역적으로 도출되어 나온 단일 사건의 확률로서 주어진다. 또한 레일튼은 확률에 대한 실재론적 입장에 서서 확률을 세계의 궁극적인 구성 요소로 간주하는데, 이러한 입장에 따르면 우리의 물리학은 근본적인 확률적 법칙을 통해 세계를 설명하며 그러한 법칙들을 통해 얻은 확률은 그 사건에 내재되어 있는 고유한 확률로서 그 가치를 가진다. 이러한 의미에서 확률은 누구에게나 동등하고, 객관적이며, 다분히 법칙적인 성격을 가진다. 확률에 대한 이러한 관점은 기본적으로 양자역학이론에 많은 영향을 받은 것인데, 레일튼 역시 양자역학적 현상에 대한 확률적 묘사가 제대로 이루어지기를 원했고, 양자역학의 지배적인 해석인 코펜하겐 해석은 확률에 대한 성향해석을 선호하는 것처럼 보인다.

반면 확률에 대한 여러 다른 해석들은 D-N-P 설명에서 확률이 가지는 위와 같은 함의들을 온전히 수용하지 못한다. 빈도 해석의 경우, 단일 사건에 대한 확률이 문제가 되는데 앞서 언급한 것과 같이 빈도해석에서의 확률은 한 사건이 발생하는 상대 빈도의 극한에 의해 정의되므로 충분히 많은 경우들을 조사해보지 않고서는 확률이 결정될 수 없기 때문이다. 즉 단일 사건의 경우에는 상대 빈도를 정의하는 것이 불가능하기 때문에 빈도 해석은 D-N-P 모형과 조화되기 힘들다. 주관적 해석의 경우에는 확률이 가지는 객관성의 문제가 대두된다. 주관적 해석에서의 확률이 물론 단순히 사건에 대해 인식 주체가 별 다른 고민 없이 느끼는 신념의 강도로서 주어지는 것이 아니라 객관적으로 측정 가능한 것이라고 하여도 여전히 그 때의 확률은 인식 주체의 현재 지식 수준에 따라 달라질 수 있다. 즉 각자가 가진 정보를 통해 해당 사건이 가질 확률값을 계산해 내는 과정은 다분히 측정 가능하고 객관적이지만 여전히 그 정보의

비대칭에 의해 각자가 가진 확률값 자체가 달라진다 한들 어떠한 문제도 발생하지 않는다는 것이다. 하지만 D-N-P 설명에서 주어지는 확률은 해당 사건에 내재되어 있는 고유한 확률이며, 이때 확률값은 인식 주체에 따라 결코 변하지 않는다. 따라서 주관적 해석 역시 D-N-P 모형과는 어울리지 않는 것처럼 보인다.

3.2. 설명력적 기반

앞서 언급한 바와 같이 레일튼은 D-N-P 모형의 확률적 기반에 대해 이야기하면서 세계에는 근본적인 확률적 법칙이 존재하며, 그러한 법칙들로부터 나온 물리적 확률이 현상을 설명하는데 중요한 역할을 한다고 주장한다.(Railton 1989) 이는 해당 사건 속에 내재되어 있는 고유한 확률을 과학적 법칙을 통해서 도출해내는 과정이 그 현상을 설명하는데 기여한다는 것이다. 그리고 그와 더불어 D-N-P 모형에서는 해당 현상이 어떤 메커니즘을 통해 발생할 수 있는지를 해명하는 것이 현상을 설명하는데 있어 빠져서는 안될 중요한 요소로 부각된다. 즉 레일튼에게 확률적 설명의 목적은 피설명항이 법칙적으로 예측가능하다는 것을 보여주는 것뿐만 아니라 그 기저에 있는 메커니즘을 제대로 묘사하는 것이다.

예를 들어, 다음과 같은 D-N 설명을 보자.(Railton 1978)

(S) 유리잔이 떨어진다.
유리잔이 떨어질 때마다 날씨가 나빠진다.
―――――――――――――――――――
날씨가 나빠질 것이다.

이와 같은 설명은 날씨가 나빠질 것을 예측하고 있긴 하지만 왜 그러한 일이 발생할 것인가에 대한 설명을 제공하고 있지는 못하다. 그렇다면 다음의 설명은 어떠한가?

(C) 유리잔이 떨어진다.
유리잔이 떨어질 때마다 기압이 떨어진다.
기압이 떨어질 때마다 날씨가 나빠진다.

날씨가 나빠질 것이다.

레일튼에 따르면 (C)의 설명 역시 여전히 원인과 결과 사이를 이어주는 메커니즘, 즉 기압의 강하와 날씨 변화 사이의 메커니즘을 완전히 밝히고 있지 않기 때문에, 왜 날씨가 나빠졌는지에 대한 완벽한 설명이라고 볼 수는 없다. 하지만 바로 그러한 메커니즘(기압이 떨어질 때 날씨가 나빠지는 메커니즘)이 존재한다는 이유로 (C)의 설명은 (S)의 설명보다는 더 좋은 설명이다. 레일튼은 메커니즘에 대한 완전한 묘사가 이루어질 때 비로소 제대로 된 연역 법칙적 설명이 구성되며, 설령 특정한 상황에 적합한 인과적 법칙을 설명항에 언급한다 하더라도 기저의 메커니즘에 대한 해명이 없으면 그러한 설명은 불충분한 설명일 수밖에 없다고 주장한다.

이렇듯 레일튼에게는 현상의 기저에 있는 메커니즘을 보여주는 것은 좋은 설명이 가져야 할 덕목 중 하나이다. 해당 현상에 관련된 법칙들을 언급하는 것이 물론 중요한 일이긴 하나 어떠한 법칙들을 통해 특정한 사건이 발생했다는 것을 이해하는 것은 실제로 그 사건이 어떻게 또는 왜 일어났느냐를 아는 것과는 다른 수준의 것이다. 즉 우리는 해당 현상과 관련된 법칙을 제시하는 것에서 나아가 그 이상의 무엇을 제공해야만 하는데, 레일튼에 따르면 그 무엇이란 결국 메커니즘을 의미하며 그것을 통해 우리는 인과적인 연결 고리들을 메워 나갈 수 있다.

앞선 2, 3절의 논의를 통해 우리는 레일튼의 D-N-P 모형을 개략적으로나마 이해할 수 있게 되었다. 나는 이러한 이해를 바탕으로 다음 절에서 D-N-P 모형이 어떤 비판을 받을 수 있는지 크게 세 가지 측면에서 생각해보고자 한다. 따라서 다음 절이야말로 이 논문의 실질적인 핵심이라 볼 수 있는데, 나의 궁극적인 목적은 앞서 언급한 바와 같이 이러한 논의를 토대로 해당 모형의 적용 범위를 비판적으로 검토하는 것이다.

4. 연역 법칙적 확률 모형의 적용 범위에 대한 비판적 고찰

4.1. 확률 해석과 적용 가능성

기본적으로 레일튼의 연역 법칙적 확률 모형은 확률에 대한 성향해석에 기초하고 있다. 이는 수학적이고 객관적인 확률, 단일 사건에 대한 확률의 중요성을 강조하는 레일튼의 모형을 들여다봄으로써 쉽게 알 수 있을 뿐만 아니라 레일튼 자신이 논문(Railton 1978)에서 직접 밝히고 있는 사실이다. 앞서 언급한 바와 같이 확률이라는 개념을 더 이상 환원불가능한 우주의 근본적인 구성 요소로 여기는 성향해석은 세계에 대한 비결정론을 옹호하는 것처럼 보인다.(Strevens 2006) 이 점에서 우리는 세계를 결정론적으로 해석함으로써 레일튼의 모형 자체를 거부할 수 있다. 만약 세계가 결정론적이라면 세계를 구성하는 근본적 요소로서의 확률이란 개념은 적절치 않으며, 나아가 성향해석에 기초하고 있는 레일튼의 설명 모형은 제대로 된 설명 모형이 될 수 없기 때문이다. 하지만 결정론과 비결정론 사이의 논쟁은 철학적으로 너무 큰 주제이기 때문에 본 논문에서는 이러한 방향에서의 비판은 진행시키지 않는다.

대신 이 논문의 전략은 앞서 언급한 것과 같이 확률론적 방법론을 채택하는 물리학의 또 다른 영역인 통계역학에 레일튼의 설명 모형을 적용해봄으로써 그의 모형이 보편적, 일반적으로 적용 가능한 좋은 설명 모형인지를 비판적으로 고찰해보는 것이다. 우선 확률에 대한 전통적인 철학적 논의를 생각해 봤을 때, 통계역학에서의 확률은 과연 어떤 확률 해석을 선호하는가? 적어도 내가 봤을 때, 이 때의 확률이 가지는 의미는 성향해석보다는 빈도해석에 의해 더 잘 해명될 수 있는 것처럼 보인다. 이에 대한 정당화는 다음과 같이 이루어 질 수 있을 것 같다. (1) 통계역학에서 현상이 일어날 확률이라는 것은 그러한 현상(거시상태)을 구성하는 미시상태들의 상대적 빈도에 의해서 결정된다. 이는 빈도해석의 가장

일반적인 형태이다. (2) 통계역학의 기저에 있는 에르고딕 가설은 빈도해석의 함의를 수용한다.(Guttmann 1999)

나는 서로 다른 과학이론은 서로 다른 확률적 해석을 필요로 한다는 배터맨의 주장(Batterman 1992a)에 동의하는데, 그러한 측면에서 확률에 대한 다양한 해석 중 어떤 것이 더 나은 해석인가와 관련한 문제를 일단 차치하더라도 각자의 분야에서 선호하는 확률 해석에 차이가 있을 경우에는 각각 그에 걸맞은 설명 모형을 사용해야 된다고 생각한다. 즉 양자역학과 통계역학 내에서 확률이 가지는 의미에 차이가 있다면 선불리 레일튼의 모형을 통계역학에 적용하기는 어렵다는 것이다. 양자역학적 현상에 대해서는 물리적이고 객관적인, 세계의 근본적인 구성요소로서의 확률 개념을 사용하는 성향해석이 적합하므로 레일튼의 D-N-P 모형이 잘 적용될 수 있을지 몰라도, 확률이 빈도로서 의미를 갖는 통계역학에는 그의 모형이 잘 적용된다고 보기 힘들다.

하지만 레일튼 모형에 대한 위와 같은 비판에 대해서는, 성향적 해석에서 확률이 가지는 의미를 너무 단순하게 생각하고 있다는 반론이 제기될 수 있을 것 같아 보인다. 만약 확률에 대한 성향적 해석을 채택하는 경우라 할지라도 통계역학에서의 확률이 갖는 빈도적 의미를 해명해 내는 것이 가능하다면, 앞선 비판은 레일튼 모형에 대한 중대한 비판이라고 보기 힘들다는 것이다. 포퍼가 말했듯이(Popper 1959), 동전던지기와 같은 특정 행위에 내재되어 있는 성향이라는 것이 오로지 아주 많은 시행을 통해 상대적 빈도의 모습으로만 우리와 대면할 수 있다면, 빈도와 성향은 양립할 수 없는 개념이 아니라 오히려 매우 밀접한 관계를 맺고 있는 개념이라 할 수 있다. 통계역학에서 사건에 부여되는 빈도적 의미의 확률이 실제로는 기저에 있는 성향이 외부 세계로 드러난 것에 불과하다면, 성향해석을 채택하는 것은 통계역학적 현상을 설명하는 것에 아무런 문제도 일으키지 않는다. 즉 성향해석을 채택하는 경우에도 우리는 통계역학적 확률이 가지는 빈도적 의미를 포용할 수 있게 되는 것이다.

그러나, 앞서 성향해석에 대한 논의에서도 언급한 바와 같이, 포퍼식 성향 해석은 그 자체로 문제점을 안고 있다. 어떤 사건에 내재되어 있는

성향의 값이 p라고 해서 많은 시행을 거쳤을 때 전체 사건에 대한 해당 사건의 빈도가 p일 것이라는 보장이 없기 때문이다. 그렇다면 자연에 어떤 특별한 안정성이나 일양성(uniformity)이 있어 사건에 내재되어 있는 성향이 상대적 빈도로 충실히 표현된다는 주장은 어떠한가? 나는 그러한 주장이 지지될 수 없다고 생각한다. 흄이 언급한 바와 같이 '자연의 일양성'이라는 것이 선험적으로든 경험적으로든 결코 확인될 수 없는 것이라면 그러한 개념을 전제하여 성향의 정체를 해명하는 것은 부적절해 보인다. 또한 '대수의 법칙'과 같은 극한 정리를 통해 상대 빈도가 단일 사건에 내재한 성향을 거의 정확하게 포착해 낼 수 있다는 주장 역시 문제가 있다. 왜냐하면 그러한 정리는 시행이 서로 독립이고 동일한 분포를 따른다는 조건이 필요한데, 이러한 조건들 역시 참인지 아닌지 여부를 알 수 없는 상태에서 단순히 가정되는 것이기 때문이다.(Hájek 1992) 따라서 우리가 많은 시행을 통해 상대적인 빈도를 측정하여 그것을 역으로 그 사건에 내재한 성향의 크기라고 추론하는 것은 정당화될 수 없는 것처럼 보인다. 이러한 문제를 피하고자 기어리는 성향이라는 개념은 높은 확률로 적절한 확률적 패턴을 생성할 수 있는 어떤 속성이라 주장한다.(Giere 1973) 포퍼식 성향해석에서는 성향이 빈도를 산출해내는 어떤 경향으로 해석될 수 있는 반면, 기어리식 해석에서 상대적 빈도는 기껏해야 성향에 대한 증거의 역할만을 할 뿐이다. 물론 기어리가 '형이상학적' 개념으로서의 성향을 해명해 내는 것에 있어, 실제적인 계산이나 실험을 통해 획득할 수 있는 상대 빈도의 중요성을 부인하는 것은 아니지만 그 역시 인정하다시피 단일 사건에 내재한 성향과 상대적 빈도 사이에는 어떠한 논리적 연결도 존재할 수 없다

더욱 근본적인 문제는 레일튼의 모형이 '단일 현상'에 대한 물리적이고 객관적인 확률 개념을 사용한다는 것으로부터 야기된다. 과연 현상에 대한 통계역학적 설명이 단일 사건에 대한 논의를 통해 충족될 수 있는가? 가령 기체의 확산에 대한 통계역학적 설명에 대해 생각해보자. 기체 분자들이 모여 있는 조그만 병의 뚜껑을 열었을 때, 기체 분자들은 방 전체로 확산되어 고르게 퍼질 것이다. 그렇다면 왜 기체 분자들은 방 한구

석에 조밀하게 모이지 않고, 방 전체에 골고루 퍼져 나가게 되는가? 이에 대한 통계역학적 설명을 간략하게 구성해보자. 우선 기체 분자들이 방 한구석에 조밀하게 모이는 상태(거시상태)에 대응되는 미시상태들을 A라고 했을 때, 전체 경우에 대한 A의 상대적 빈도는 매우 낮은 값을 가지게 된다. 그에 반해, 기체가 완전히 고르게 퍼지는 상태나 그에 준하는 상태에 대응되는 미시상태들을 B라고 하면, 전체 경우에 대한 B의 상대적 빈도는 매우 높은 값을 가지게 된다. 따라서 우리는 이러한 사실들을 통해 병의 뚜껑을 열었을 때 기체가 고르게 퍼질 확률이 매우 높다는 것을 알 수 있다.

이제 이러한 현상을 레일튼의 모형으로 설명한다고 생각해보자. 양자역학적 사례에 대한 레일튼의 논의를 다시 생각해 봤을 때, 통계역학의 경우에서 그가 중요시 하는 단일 현상이란 미시상태 수준에서 일어나는 변화라 간주하는 것이 타당해 보인다. 이렇게 되면 레일튼의 모형으로 설명할 수 있는 현상이란, 애초에 기체들이 병 안에 모여 있는 바로 그 특정한 단일 상태로부터 뚜껑을 열었을 때 완전히 고르게 퍼지거나 그에 준하는 상태에 대응되는 특정 단일 상태(다시 말해, B에 해당하는 미시상태들 중의 하나)로의 변화라고 볼 수 있다. 즉 레일튼의 모형에서 말하는 단일 현상이란 미시상태에서 또 다른 미시상태로의 변화를 의미한다는 것이다. 하지만 과연 통계역학에서 현상에 대한 설명이라는 것이 그러한 단일 현상에 대한 설명만으로 충족될 수 있는가? 나는 그렇지 않다고 생각한다. 통계역학적 설명은 어떤 특정한 단일 현상만을 대상으로 하는 것이 아니라 기체들이 가지는 세부적인 상태의 변화가 완전히 동일하지는 않더라도(미시상태 수준에서 동일한 변화를 겪지 않더라도) 거시적인 현상이 어떻게 발생하는지를 설명하고자 한다. 즉 왜 확산이 일어나는지에 대한 좋은 설명은, 기체들이 병 속에 모여 있는 거시상태에서 기체가 상자 전체에 고르게 퍼진 거시상태로의 변화에 대한 설명이다. 따라서 주로 양자역학적 현상들에 대한 고려를 토대로 고안된 레일튼의 설명 모형은 그 자체로 단일 현상에 주안점을 둘 수 밖에 없어, 기껏해야 특정 거시상태에 대응되는 단 하나의 미시상태로부터 다른 미시상태

로의 변화만을 설명할 뿐이므로 통계역학적 현상에 대한 설명 모형으로는 적합하지 않다.

4.2. 확률적 평등주의와 확률적 엘리트주의

레일튼의 설명 모형에 대한 두 번째 비판은 확률값의 대소(大小)가 현상에 대한 과학적 설명의 설명력에 아무런 영향도 줄 수 없다는 그의 주장에 대한 것이다. 나는 높은 확률이 통계역학적 현상을 설명할 때 핵심적인 역할을 한다는 스트리븐스(Strevens 2000)의 논의[5]를 통해 레일튼의 모형을 비판하고자 한다.

스트리븐스에 따르면 통계역학에서 확률적 설명이 가지는 가장 중요한 특징은 피설명항의 확률이 높아야만 설명이 이루어진다는 것이다. 가령 상자 속 기체의 예를 살펴보자. 처음 상자의 중앙에는 가스가 통과할 수 없는 칸막이가 놓여있어 상자를 내부에서 2등분하고 있고, 칸막이의 왼쪽에는 일정량의 기체가 있으며 다른 쪽은 아무것도 없는 진공상태이다. 이때, 상자를 열지 않고 칸막이만을 제거한다면 기체는 진공상태였던 칸막이 반대쪽을 채우게 될 것이고 결과적으로 상자 전체에 고르게 퍼질 것이다. 이에 대한 통계역학의 설명은 다음과 같다.

기체는 많은 분자들로 구성되며, 그 기체 각각은 상자 속에 거의 무작위적으로 존재한다. 즉 상자 속 어떤 곳에서도 특정 분자가 발견될 확률은 동일하다. 칸막이가 제거되고 나면 상자의 한쪽 반이 아니라 상자 전체가 한 기체 분자가 영유할 수 있는 영역이 될 것이고, 재빨리 그 특정 분자의 발견 확률은 전체 상자 속의 어떤 곳에서도 동일한 값을 가지게 된다. 이러한 개별 분자들의 발견 확률을 통해 전체 기체의 분포 상태를 계산하면, 전체 기체가 상자 속에 완전히 고르게 분포하게 되는 상태나 그에 준하는 상태에 대응되는 미시상태의 상대적 빈도 값이 매우 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 사실을 통해 우리는 기

5) 스트리븐스의 논의는 기본적으로 통계역학에 초점이 맞추어져 있다. 통계역학 이외의 분야에서도 높은 확률이 핵심적인 역할을 할 것이라는 그의 언급은 찾아보기 힘들다.

체가 확산될 확률이 매우 높다는 결론을 이끌어 낼 수 있다.(Strevens 2000)

기체의 확산에 대한 높은 확률은 왜 기체가 실제로 고르게 분포되는지에 대한 좋은 설명을 제공하고, 이는 명백하게 엘리트주의적 확률 설명이다.[6)]

이에 대한 평등주의[7)]의 첫 번째 대응은 통계역학이 높은 확률의 사건을 설명할지 모르지만 그것은 또한 낮은 확률의 사건도 설명한다는 것이다. 즉 칸막이가 제거되었을 때, 모든 기체 분자들이 그대로 한 쪽 반에만 머무르는 경우에 대해서도 통계역학은 (기체 전체가 고르게 퍼지는 경우에 대한 설명만큼이나) 좋은 설명을 제공할 수 있다는 것이다. 이에 대해 스트리븐스는 역사적 맥락을 고려했을 때 우리가 그러한 대응을 받아들이는 것이 쉽지만은 않다고 이야기한다. 19세기 후반, 수용될 당시의 통계역학은 현상에 대한 어떤 새로운 예측을 내놓은 것은 아니지만 기체의 확산과 같은 잘 알려진 현상들에 대한 새로운 설명을 제공하였는데, 통계역학이 수용된 이유가 대부분 이러한 새로운 설명의 힘에 의한 것임은 일반적으로 통용되는 사실이다. 이전의 칼로리 이론과는 다른 통계역학만의 장점은 통계역학이 현상의 발생에 대한 매우 높은 확률을 부여한다는 것인데, 만약 평등주의가 옳다면 통계역학은 이전의 이론과 비교했을 때 설명력의 측면에서 별 다른 차이를 보이지 못한다. 하지만 그렇게 되면 통계역학이 역사적 맥락에서 선택될 이유가 없어지는데, 실제로 통계역학은 그러한 예상과는 달리 물리학의 주류 이론으로 자리 잡았으며 따라서 평등주의는 유지되기 힘들다는 것이다.[8)]

---

6) 높은 확률이 더 큰 설명력을 갖는다는 입장
7) 엘리트주의와는 반대로 확률값의 차이가 설명력에 영향을 미치지 않는다는 입장
8) 스트리븐스는 통계역학의 설명을 두 부분으로 나누는데, 하나는 입자들의 운동과 관련된 역학적 부분이고 다른 하나는 역학적 부분에서 다루어진 과정이 매우 높은 확률을 갖는다는 통계적 부분이다. 통계역학의 큰 설명력이 스트리븐스의 주장과 같이 통계적 부분에 기인하는 것이 아니라 역학적 부분에 기인한다면, 17세기에 유행했던 열의 분자이론이 사장된 이유를 해명하기가 힘들어진다. 왜냐하면 두 이론은 역학적인 부분에서 그다지 큰 차이를 보이지 않기 때문이다.(Strevens 2000)

이러한 상황에서 평등주의를 옹호하고자 하는 사람들은 다음과 같은 반론을 제기할 수 있을 것이다. “통계역학의 성공은 그것이 현상에 높은 확률이 부여한다는 사실에 있는 것이 아니라 기존의 이론들이 발생 가능하지 않다고 간주했던 현상들(가령 앞서 언급된 확산의 예에서 기체 분자들이 한 쪽 반에 그대로 머무르는 경우)에 매우 작은 값이기는 하나 확률값을 부여한다는 사실에 있다. 통계역학의 이러한 측면이 자연에 대한 우리의 이해를 한층 더 넓혀 주었기 때문에 통계역학은 기존 이론들을 대체할 수 있었다.” 이러한 반론에 따르면 통계역학이 높은 확률의 사건만을 다루어 온 것은 전적으로 역사적인 우연일 수 있다. 이전의 이론들과 통계역학의 가장 두드러진 차이는, 이전 이론들이 가령 ‘열은 결코 차가운 물체에서 뜨거운 물체로 흐를 수 없다’고 주장하는데 반해 통계역학은 ‘열이 차가운 물체에서 뜨거운 물체로 흐를 확률이 매우 낮다’라고 주장한다는 것에 있다.

하지만 나는 이러한 반론이 엘리트주의에 대한 결정적인 비판이라고 생각하지는 않는다. 그러한 반론이 결정적이기 위해서는 통계역학의 성공이 전적으로 있을 법하지 않은 상황에 낮은 확률을 부여한다는 사실에 기인해야 하는데 이는 받아들이기 힘든 과한 주장인 것처럼 보인다. 엘리트주의는 통계역학이 불가능해 보이는 현상들에 낮은 확률을 부여한다는 측면에서 의미를 가진다는 점을 거부할 필요가 없다. 그것을 인정하면서도 여전히 높은 확률은 낮은 확률에 비해 현상에 대한 좋은 설명을 제공한다는 입장을 유지할 수 있기 때문이다. 다시 말해, 우리는 엘리트주의를 통계역학의 성공이 오로지 현상에 높은 확률을 부여하는 것에만 의존한다는 강한 주장으로 해석하기 보다는 그것이 통계역학의 성공을 설명할 수 있는 하나의 중요한 요소임을 주장하는 것으로 이해해야 한다.

이에 평등주의는 통계역학의 성공이 앞서 언급한 것처럼 특정 사건들을 설명하는 것보다는 기체 법칙과 열역학 법칙과 같은 법칙들을 설명하는 것에 근거한다고 반론을 제기할 수 있다. 하지만 스트리븐스에 따르면 통계역학은 그러한 법칙적 진술들을 실제로 포함하는 것이 아니라 그

러한 진술들이 참일 확률이 매우 높다는 사실을 포함할 뿐이다. 이 상황에서 평등주의가 택할 수 있는 선택지는 통계역학의 피설명항들을 열역학적 사건들의 빈도에 관한 비확률적 일반화로 해석하는 것이다.

통계역학이 “열은 결코 차가운 곳에서 뜨거운 곳으로 흐르지 않는다.”(열역학 제 2법칙의 비확률적 일반화)와 같은 비확률적 사실들을 설명한다는 주장은, 통계역학에서 그러한 법칙적 진술들을 설명하는 방식이 특정 사건(뜨거운 철은 차가운 물속에서 식는다)을 설명하는 방식과 정확히 같기 때문에 옹호될 수 없다. 사건이나 법칙에 대한 통계역학의 설명은 크게 역학적 부분과 통계적 부분으로 나뉠 수 있는데, 이전 이론들과 다른 통계역학만의 장점은 해당 사건에 큰 확률을 부여한다는 통계적 부분이며 따라서 앞서 언급했던 것과 정확하게 같은 이유로 이 경우에도 평등주의는 옹호될 수 없다.

나아가 역사적 맥락을 고려하지 않은 경우에도 동일한 결론을 도출할 수 있다. 가령 통계역학이 기존의 법칙적 진술과 더불어 열의 흐름에 관한 어떠한 다른 가능한 법칙들도 동일한 정도로 잘 설명하는 경우, 통계역학은 열역학 2법칙에 대해 무의미한(empty) 설명을 제공한다고 가정하자. 평등주의에 따르면, 이 경우 2법칙에 대한 통계역학의 설명은 전적으로 무의미하다. 그 이유는 다음과 같다. 아래의 두 가지 진술은 열의 흐름에 관한 가능한 법칙적 진술인데, 첫 번째 진술은 높은 확률을 가지는 반면 두 번째 경우는 낮은 확률을 가진다.

(1) 열은 차가운 물체로부터 뜨거운 물체로 흐르지 않는다.
(2) 열은 뜨거운 물체로부터 차가운 물체로 흐르지 않는다.

평등주의에 따르면 확률의 크기는 설명적으로 무관하기 때문에, 통계역학이 위의 두 일반화를 동일한 정도로 잘 설명하게 된다. 나아가 만약 (2)가 참이라면 통계역학은 실제로 그것이 (1)을 잘 설명하는 것과 동일한 정도로 (2)를 잘 설명하게 된다. 스트리븐스에 따르면 이러한 설명은 왜 열이 특정한 방향으로만 흐르고 다른 방향으로 흐르지 않는지에 대한 어떠한 이해도 제공하지 않는다. 즉 그러한 설명은 왜 열역학 2법칙이

옳은지에 대한 어떠한 이해도 제공하지 않기 때문에, 무의미한 설명이다. 더욱 일반적으로 말해, 평등주의는 실제로 특정 조건 C에서 사건 E가 발생할 확률이 매우 큰 경우에도 E의 발생과 비-발생에 관한 일반적인 주장이 동일한 설명력을 갖는다는 것을 말하기 때문에, 왜 실제로 계속해서 E발생하는지를 설명할 수 없다. 따라서 평등주의에 따르면, 확률 이론은 이 경우에 결코 사건이 왜 매우 낮은 빈도가 아니라 높은 빈도로 발생하는지 설명할 수 없다.(Strevens 2000)

그렇다면 통계역학이 사건 자체나, 해당 사건의 빈도가 아니라 단지 사건의 발생 확률만을 설명한다는 입장은 어떠한가? 레일튼의 모형 역시 이러한 노선을 취하고 있다. 그의 모형에서도 사건에 대해 우리가 알 수 있는 것은 그 발생 확률일 뿐이며, 실제 그 사건의 발생이나 비-발생 여부는 추가적인 정보로만 주어진다. 하지만 스트리븐스의 경우, 통계역학이 사건의 발생 확률을 설명한다는 것에는 동의하지만 그것이 오로지 그 확률만을 설명하는 것은 아님을 강조한다. 일반적으로 통계역학은 뜨거운 철이 식는다는 것에 높은 확률을 부여함으로써 왜 뜨거운 철이 식는지를 설명하는 것으로 여겨지는데, 위의 반론에 따르면 높은 확률은 왜 뜨거운 철이 식는지를 설명하지 않는다. 실제로 이러한 입장이 옳다면 뜨거운 철이 식는 현상은 주변 환경과, 물, 철을 구성하는 모든 입자의 정확한 초기 조건에 의존하는 결정론적 설명을 제공하지 않는 이상(즉 완벽한 D-N 스케치가 제공되지 않는 이상) 설명 불가능한 현상으로 간주되어야 한다. 높은 확률은 어떠한 설명력의 차이도 야기할 수 없기 때문이다. 따라서 위와 같은 입장을 취하면 통계역학이 폐기된다 할지라도 과학의 설명력에는 어떠한 손실도 발생하지 않게 되지만 이는 직관적으로 매우 이상한 결론인 것처럼 보인다. (Strevens 2000)

또한 평등주의는 통계역학의 설명이 준-결정론적이라 주장할 수 있다. 높은 확률의 현상은 그 자체로 준-결정론적 현상으로 간주될 수 있다는 것인데, 이에 따르면 현상에 부여되는 높은 확률보다는 현상 자체가 준-결정적이라는 사실로부터 설명력이 발생한다. 하지만 이러한 주장이 설득력을 갖기 위해서는 결정론적 설명이 왜 더 나은 설명력을 갖는지를

해명해야 한다. 즉 해당 현상에 대해 상자 속의 기체가 한쪽에 머무른다는 설명을 제공하는 것보다 기체가 확산한다는 설명이 왜 좀 더 나은 설명인지를 보여줘야 한다. 한 가지 가능한 방법은 기체가 한쪽에 머무르는 현상이 매우 낮은 확률을 가지므로 물리적으로 불가능하다는 해석을 도입하는 것인데, 이는 주어진 조건에서 여전히 그러한 현상이 발생할 (매우 낮은) 가능성이 존재하기 때문에 옳지 않은 해석이다.

4.3. 비결정론과 에르고딕 가설

연역 법칙적 확률 모형의 주창자인 레일튼은 기본적으로 해당 모형의 적용 범위에 매우 관대한 입장을 취하고 있다. 나아가 레일튼은 자신의 모형이 단순히 통계역학에도 적용될 수 있다고 주장하는데 그치지 않고, 그것이 적용되어야만 제대로 된 설명을 제공할 수 있다는 강한 주장을 한다. 즉 레일튼에 따르면 양자역학적 현상뿐만 아니라 통계역학적 현상에 대한 제대로 된 이해 역시 자신의 모형을 적용했을 때에야 발생할 수 있다는 것이다. 하지만 그럼에도 불구하고 레일튼 자신은 이 문제에 대한 자세한 논의를 진행시키고 있지는 않은데, 우선 글에서 드러난 그의 논증 구조는 다음과 같이 형식화될 수 있을 것이다. (Railton 1980)

전제1. 진정으로 비결정론적인, 즉 진정으로 확률적인 현상을 다루는 과학적 설명은 D-N-P모형을 통해 제공되어야 한다.
전제2. 통계역학적 설명의 기저에는 에르고딕 가설이 있다.(통계역학적 설명에는 에르고딕 가설이 필수적이다.)
전제3. 비결정론을 받아들이면 잘 배치된 초기조건과 같은 이상적인 상황에 호소할 필요없이 에르고딕 가설이 잘 해명될 수 있다. 즉 비결정론에 의해 에르고딕 가설이 정당화될 수 있다.

전제 2, 3을 통해 우리는 비결정론이 통계역학적 설명의 기초를 잘 해명할 수 있다는 결론을 얻을 수 있으며, 이와 전제1을 통해 비결정론을 받아들이면 통계역학적 설명 역시 D-N-P모형을 통해 제공되어야 한다는

주장을 도출해낼 수가 있다. 그리고 레일튼 자신은 우리를 둘러싼 물리세계가 근본적으로 비결정론적이라는 주장을 일관되게 옹호하고 있으므로, 적어도 그에게는 통계역학적 설명이 D-N-P모형을 통해 제공되어야 함이 자명하다. 여기서 우리가 전제 1, 2를 비교적 쉽게 받아들일 수 있다는 것에는 이견이 적겠지만 과연 전제3에 대해서도 그러한가? 레일튼은 이 전제에 대한 그럴듯한 정당화를 제공하고 있지 않으며, 이 부분에서도 모형의 적용 범위에 대한 비판이 가능해 보인다.

4.3.1. 에르고딕 가설

우선 에르고딕 가설에 대한 언급 후에 논의를 더 진행하겠다. 통계역학에서의 에르고딕 가설이란 과연 무엇을 말하는가? 실제적인 예를 통해 접근해보자. 가령 방 한 쪽에 모여 있던 기체가 고르게 퍼져 결국에는 평형상태에 이르게 되는 상황에서 과연 무엇이 계를 평형에 이르게 하는가? 열역학의 경우, 몇 가지 거시적 변수들을 가지고 계를 묘사하고, 평형이 왜 일어나는지를 그 변수 사이의 관계(식)를 통해 해명한다. 반면 통계역학의 경우에는 단순히 거시적인 묘사에서 그치는 것이 아니라 기본적으로 계를 구성하고 있는 기체 분자들의 움직임에 대한 연구를 통해 평형을 해명하려고 한다. 즉 통계역학은 계를 구성하는 미시적 구성물들의 역학을 통해 거시상태의 변화를 설명하는 것이고, 이러한 의미에서 통계역학은 미시물리학과 거시물리학 사이의 관계에 대한 학문이다. (Frigg, et al. 2011)

좀 더 자세히 들어가보자. 우선 모든 계는 다양한 거시상태 M_1, M_2, … , M_k를 가지는데, 이러한 거시상태들은 앞서 여러 변수(온도, 압력 부피 등)들에 의해서 묘사될 수 있다. 앞서 언급된 기체 상자에 대한 예에서 상자의 칸막이가 제거되기 전의 거시상태를 M_p, 제거 된 후의 평형상태를 M_{eq}라고 하자. 거시상태에 대한 볼츠만적인 접근의 근본적인 가정은 그것이 미시상태에 수반된다는 것인데, 여기서 수반의 의미는 계의 거시상태의 변화는 반드시 계의 미시상태의 변화를 동반해야만 한다는

것이다. 예를 들어, 계의 압력을 변화시키면서 계의 미시상태를 온전히 유지시키는 것은 불가능하다. 따라서 모든 미시상태 χ는 그에 대응하는 단 하나의 거시상태를 갖는데, 이것을 $M(\chi)$라고 하자. 하지만 이 함수 관계가 일대일 대응인 것은 아닌데, 왜냐하면 서로 많은 수의 미시상태가 동일한 거시상태에 대응되는 것이 가능하기 때문이다.[9] 하나의 거시상태에 대응되는 모든 미시상태를 묶으면(grouping), 위상공간을 서로 겹치지 않게(non-overlapping) 분할할 수 있는데, 이를 그림으로 나타내면 다음(그림 1)과 같다.

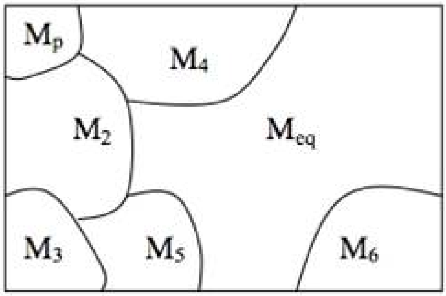

그림 1. 위상 공간 (Frigg, et al. 2011)

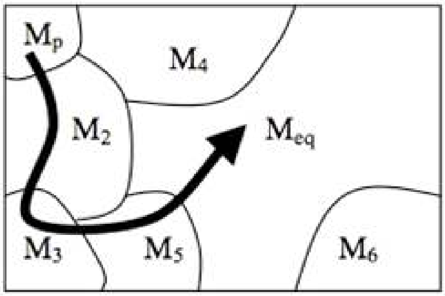

그림 2. 위상 공간 내에서 거시상태의 변화 (Frigg, et al. 2011)

이제 계의 엔트로피에 대해서 생각해보자. 거시상태 M_j의 엔트로피는 $S_B = k_B \log[\mu(M_j)]$로 정의될 수 있는데, 로그 함수의 중요한 특성은 그것이 단조 증가함수라는 것이고, 따라서 M_j값이 클수록 해당 계의 엔트로피 값도 커진다. 이로부터 우리는 위상공간에서 가장 큰 영역을 차지하고 있는 거시상태(평형상태)의 엔트로피가 가장 높을 것이라는 사실을

9) 쉬운 예. 동전이 2개가 있는데, 앞면을 H, 뒷면을 T라고 해보자. 우리가 동전을 던져서 얻을 수 있는 모든 경우는 (H, H), (H, T), (T, H), (T, T)이다. 이 네 가지 경우를 미시상태로 규정했을 때, 그러한 미시상태에 대응될 수 있는 거시상태는 '동전이 둘 다 앞면이 나오는 경우', '동전이 하나만 앞면이 나오는 경우', '동전이 둘 다 뒷면이 나오는 경우'이다. 쉽게 알 수 있듯이 미시 상태 (H, T), (T, H)는 '동전이 하나만 앞면이 나오는 경우'라는 거시상태에 대응된다.

도출해낼 수 있다. 이제 질문은 왜 애초에 M_p상태에 있던 계가 M_{eq}상태로 진행하며 또 그곳에 머무르는가와 관련된 것이 된다.(그림 2) 이에 대한 볼츠만의 설명에 있어 가장 핵심적인 부분은 결국 위상공간 내에서 거시상태가 점유하고 있는 공간의 크기에 기초하여 해당 상태 각각에 확률을 할당한 것인데, 즉 볼츠만은 다음과 같은 가정을 들여온다. $p(M_j) = c\mu(M_j)$[10] 이 가정을 받아들이면 우리는 가장 가능성 있는(most likely) 상태가 평형 상태라는 것을 쉽게 알 수 있고, 이러한 관점에서 평형으로의 진행을 있음직하지 않은 상태에서 조금 더 가능성 있는 상태로, 나아가 결국에는 가장 가능성 있는 상태로의 변화로 보는 것이 가능해지는데, 이것이 바로 열역학 제2법칙에 대한 볼츠만의 통계적 정당화이다. (Frigg, et al. 2011)

그러나 볼츠만 자신 역시 $p(M_j) = c\mu(M_j)$라는 가정을 계의 역학적 측면에서 정당화하지 않고 단순히 끌어오는 것으로는 문제를 해결할 수 없다는 것을 잘 알고 있었고, 여기서 에르고딕 가설이 들어오게 된다. 에르고딕 가설이란 기본적으로 특정 관측량에 대한 긴 시간 동안의 시간 평균이 앙상블 평균과 같다는 것인데, 좀 더 자세히 쓰면 관측량이 측정단위 μ에 대해 적분 가능한 위상공간 Γ 위에서의 실함수 f로 나타나 f의 시간 평균 $\bar{f} = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(x(t))dt$와 앙상블 평균 $< f > = \int_\Gamma f(x) d\mu(x)$이 같다는 것이다. 이는 쉽게 말해 고립된 계가 결국에는 모든 가능한 상태들을 통과한다는 것인데, 따라서 이러한 가설을 잘 만족하는 에르고딕 계는 각각의 위상공간의 부분에서 해당 부분의 크기에 비례하는 정도의 시간 동안 머물게 된다. 위의 그림에서도 볼 수 있다시피 위상공간 내에서 가장 큰 부분을 점유하고 있는 거시상태는 평형상태(실제로는 더욱 큰 부분을 차지할 것)이고, 따라서 우리가 에르고딕 가설을 취하면 계는 평형상태에서 가장 많은(거의 대부분의) 시간을 보내게 된다. (Frigg, et al. 2011) 조금 다른 측면에서 접근하면 에르고딕 가설은 계가 가질 수 있는 (같은 에너지 준위의) 미시상태들이 모두 동등하게 개연적

---

10) 여기서 c는 정규화 상수(normalization constant)로서 확률값들의 합이 1이 되게끔 확률값을 보정해주는 역할을 한다.

(equally probable)이라는 것을 의미하는데, 왜냐하면 이렇게 되었을 때 자연스럽게 시간 평균과 앙상블 평균이 동일할 수 있다는 결론을 얻을 수 있기 때문이다.

볼츠만의 논의가 조금 더 일반적인 형태의 통계역학, 즉 해밀턴 역학의 형식을 바탕으로 한 통계역학으로 체계화된 것은 깁스에 의해서였는데, 여기에서도 에르고딕 가설은 중요하게 부각된다. 기본적으로 볼츠만적 접근과 깁스적 접근은 그 기초적 착상 단계에서 다소 차이점을 보이는데, 볼츠만적 접근이 유한개의 미시적 구성물로 이루어진 개별 계를 연구하는 것과는 대조적으로 깁스적 체계에서는 앙상블이라는 개념을 사용한다. 여기서 앙상블이란 동일한 계의 무한히 많은 복제들(서로 다른 상태에 있는)의 집합이라고 볼 수 있는데, 가령 한 기체의 앙상블은 서로 다른 상태에 있는(기체가 한쪽에 몰려 있는 경우, 골고루 퍼져있는 경우 등) 바로 그 기체의 무수히 많은 복제들로 이루어진다. 여기서 우리가 중요하게 짚고 넘어가야 할 점은 이러한 동종 역학계의 집단이 하나의 허구 내지는 해당 계의 심적 복제물(mental copies)들로 구성된다는 것이다. 이 글에서 자세히 다루지는 않겠지만 통계역학에 대한 이러한 깁스적 형식화(Gibbsian formalism)는 다양한 계에 대한 훌륭한 예측을 가능케 한다. 하지만 이러한 깁스적 형식화에는 몇 가지 의문이 제기될 수 있는데, 그 중 가장 중요한 것은 계와 앙상블 사이의 관계에 대한 물음일 것이다. 깁스의 형식화는 앞서 언급한 바와 같이 앙상블을 다루고, 앙상블에 대한 수학적 확률을 계산하며, 결론적으로 앙상블이 가질 수 있는 속성(평형과 같은)을 논한다. 하지만 우리가 애초에 관심을 가지고 있었던 것은 단일 계(single system)이지 앙상블이 아니다. 앙상블이 가지는 속성이 과연 실제의 단일한 계에 대해 무슨 이야기를 해줄 수 있는가? 더욱 구체적으로 이야기하면, 왜 한 관측량의 앙상블 평균이 실제 물리적 계에 대한 측정값과 같아야 하는가? 물론 그래야만 하는 명백한 이유 같은 것은 존재하지 않지만, 바로 이 부분에서 우리는 에르고딕 가설이 깁스적 통계역학에서도 중추적인 역할을 한다는 것을 알 수 있다. (Frigg, et al. 2011)

4.3.2. 에르고딕 가설에 대한 결정론적 접근

다시 처음의 문제제기로 돌아가보자. 비결정론은 에르고딕 가설을 지지하는가? 레일튼의 대답은 ‘그렇다’이다. 레일튼에 따르면 세계가 진정으로 비결정론적이라는 사실이 상정되지 않은 상태에서 에르고딕 가설이 잘 정당화되기 위해서는 우리가 어떤 특별한 세계에 살아야 하는데, 그 세계에서는 초기 조건들이 어떠한 미결정된 값들에 대해서도 항상 고르게 분포되어 있다. 하지만 이러한 주장은 그 자체로 어떤 우연의 일치에 의존하고 있으므로 에르고딕 가설에 대한 좋은 설명이 될 수 없다. 이러한 이유로 레일튼의 입장에서 에르고딕 가설은 비결정론을 통해 정당화되어야 하며, 이미 우리가 양자이론을 통해 알다시피 하나의 분자가 배치되는 것은 무작위적인 현상이므로 비결정론을 끌어와 미시적 계에 적용시키는 것은 아주 자연스러운 일인 것이다.(Railton 1980) 하지만 레일튼은 분자의 배치가 무작위적이라는 것이 어떻게 에르고딕 가설에 대한 좋은 근거로 작용할 수 있는지에 대한 제대로 된 정당화를 제공하고 있는 것 같지는 않다. 나아가 에르고딕 가설에 대한 결정론적 접근은 원천적으로 불가능한 것인가?

나는 에르고딕 가정에 대한 결정론적 접근이 가능하다면 그것이 그 자체로 레일튼의 주장에 대한 반대 근거로 기능할 수 있을 것이라고 생각한다. 가령 로어(Loewer 2001) 에 따르면 어떤 계가 에르고드적이라는 것은 위상공간 내에서 거의 모든 초기조건들이 가지는 미시상태의 궤적이 위상공간 내의 모든 가능한 위치를 통과한다는 것이며, 따라서 결론적으로는 계가 위상공간 내의 특정한 영역에서 평균적으로 머무르는 시간이 계가 해당 영역에 있을 통계역학적 확률과 동일함을 의미한다. 이러한 주장은 어떤 측면에서 계가 영역 R에 있을 통계역학적 확률이 전체 시간 대비 R에 머무르는 평균 시간으로 ‘해석’되어야 한다는 것을 의미한다. 즉 예를 들어, 컵 속의 물은 평균적으로 거의 모든 시간을 위상공간 내에서의 온도(상온)가 일정한 영역에서 보내게 될 것인데, 이 때 컵 속의 물이 에르고딕 계라면 이로부터 그 물이 일정한 온도를 가질 확

률이 거의 1에 가깝다는 것을 도출해낼 수 있다. 로어에 따르면 이러한 방식으로 확률을 이해하는 것은 결정론과 양립 가능할 뿐만 아니라 (계가 에르고드적이기 위해서는) 그 기저에 있는 역학이 결정론적이어야 할 좋은 이유를 제공하는데, 왜냐하면 이런 방식의 확률 해석은 빈도 해석에 가깝기 때문이다.11)

또한 배터맨(Batterman 1992a)은 결정론적인 계가 가지는 통계적 속성이 에르고딕 가설을 통해 잘 해명될 수 있다고 주장하는데, 이러한 주장 역시 에르고딕 가설이 결정론과 밀접한 관계를 맺고 있음을 시사한다. 그에 따르면 확률을 계의 진정한 상태에 대한 무지에 기인한 것으로 보는 전통적인 견해(헴펠의 I-S모형과 관련)와 그것을 더 이상 환원될 수 없는 것으로 보는, 즉 확률을 숨은 변수의 부재와 성향 개념을 통해 이해하는 현대의 양자이론적 견해(레일튼의 D-N-P 모형과 관련) 모두는 확률이 동역학 속의 불안정성(instability)을 통해 발생한다는 확률에 대한 새로운 이해를 포용할 수 없다. 기존의 통계역학에 대한 표준적인 비판은 그것이 기저의 물리적 이론으로부터 도출되는 확률적 법칙을 가지지 못한다는 것이었고, 따라서 통계역학은 그러한 법칙을 대신해 초기 조건들의 실질적인 분포가 (그것에 대한 법칙적 정당성이 부여되지 않은 상황임에도) 설명적 역할을 해내는 것으로 이해되었다. 하지만 배터맨은 복잡계에 대한 동역학적 연구가 이러한 견해에 심각한 문제가 있음을 지적하고 있다고 말한다.12)

---

11) 확률이 갖는 빈도로서의 의미를 성향해석을 통해 이해함으로써 '빈도'와 비결정론을 동시에 취하는 방법도 있다. 하지만 앞서 4.1.에서도 논의한 바와 같이 나는 빈도를 '성향의 실제적 드러남'으로 이해하는 것에 대해 부정적이며, 따라서 확률이 가지는 빈도적인 의미는 결정론적 역학에 의해 더 잘 해명될 수 있다고 생각한다.

12) 여기서 제기될 수 있는 한 가지 의문은 과연 결정론적인 현상에 대한 확률이라는 것이 가능하냐는 것인데, 기존의 논의에 따르면 결정론적인 현상에 확률을 부여하는 것은 우리가 그 현상에 관여하는 모든 변수들을 다 알지 못하여 발생하는 인식론적 확률일 뿐이었다. 즉 우리의 불완전한 지식 때문에 세계를 완전하게 결정론적으로 묘사하는 것이 불가능하다는 것이고, 이는 세계가 결정론적이라 가정했을 때, 우리의 지식이 완벽해지는 순간 확률이란 개념은 사라지게 된다는 것을 의미한다. 그러나 에르고딕성을 둘러싼 확률 개념은 인식적인 확률이라기 보다는 객관적인 확률이다. 에르고딕성의 조건

배터맨의 논증은 어떻게 이루어지는가? 우선 다음과 같은 “카오스 게임”을 생각해보자. 정삼각형 하나를 평면 위에 그린 다음 각각의 꼭지점에 1, 2, 3으로 표시하고 1을 출발점으로 삼는다. 그런 다음 1, 2, 3의 세 눈금을 가지는 주사위(주사위 던지기는 통상 환원불가능한 확률적 현상으로 간주되지 않는다)를 던져 나오는 눈금과 1(출발점)의 중점을 표시한다.(즉 3이 나오면 1과 3사이의 중간 지점에 점을 찍는다) 다음 번에 주사위를 던져 눈금이 나오면 그 눈금이 가리키는 점과 첫 번째 시행에서 찍은 점 사이의 중점을 찍는다. 이러한 과정을 끊임없이 반복하면 우리는 다음과 같은 시어핀스키 삼각형을 얻을 수 있다.

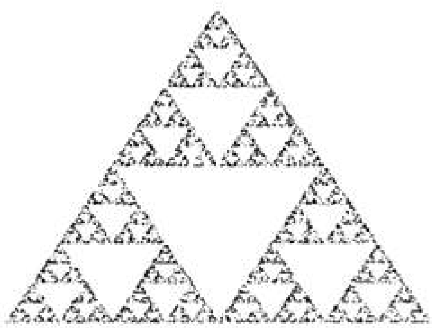

그림 3. 시어핀스키 삼각형
(Batterman 1992a)

이제 질문은 다음과 같다. 무엇이 이러한 프랙탈 패턴의 발생을 설명하

은 거시상태의 통계적 행동이 정확한 역학적 경로와는 독립적이라는 것을 함축하며, 이러한 통계적 행동에 대한 확률적 법칙들은 동역학적 계에 관한 물리적 법칙들에 기초하고 있다. 확률적 법칙을 물리적 법칙으로부터 유도해내는 바로 이러한 사실은 그러한 확률들이 객관적인 것으로 해석되어야만 한다는 데에 강한 근거를 제공한다. 따라서 이는 어떤 측면에서 결정론에 대한 우리의 관념이 더 개선되어야 한다는 것을 말해주기도 한다.(Von Plato 1982) 실제로 프리고진(Prigogine, et al. 1979)은 고유 무작위성(intrinsic randomness)이라는 개념을 통해 결정론적인 동역학으로부터 확률이 발생할 수 있다는 주장을 하였고, 로어(Loewer 2001)는 확률에 대한 루이스식 접근을 통해 결정론적 법칙을 사용하는 과학이론의 영역에서도 어떤 현상에 사소하지 않은 확률값(0 또는 1이 아닌 확률값)을 부여하는 것이 가능하다는 사실을 보여준다.

는가? 왜 위와 같은 게임을 진행하면 항상 이러한 패턴을 얻을 수 있는가?[13] 나아가 과연 무엇이 위의 현상을 설명하는데 핵심적인 요소인가? 우선 부분적으로는 그러한 주사위 던지기 시행이 (확률적으로) 서로 독립인 사건이라는 언급이 중요한 역할을 한다. 쉽게 말해 이전의 시행이 다음 시행에 어떠한 영향도 주지 않는다는 것이다. 이러한 과정에 대해서는 강한 대수의 법칙(Strong Law of Large Numbers; 이하 SLLN)이 성립하는데, 예를 들어, 동전 던지기에 대한 SLLN은 다음을 의미한다. $\Pr(\lim_{n\to\infty}\frac{Hn}{n}=\frac{1}{2})=1$ (n : 총 시행 횟수, Hn:앞면이 나온 횟수) 즉 무한히 많은 시행을 거치면 앞면이 나올 상대적인 빈도가 단일 시행에서 앞면이 나올 수학적 확률과 같아질 확률이 1이라는 것이다. SLLN을 이용하면, 우리는 삼각형 패턴이 앞서 묘사된 종류의 수열 앙상블에서 높은 개연성을 가진다는 것을 보임으로써 그러한 패턴의 총체적 발생에 대한 I-S식 설명을 제공할 수 있게 된다. 결국 우리는 왜 일반적으로 그러한 삼각형 패턴을 계속하여 얻을 수 있는지를 설명하는데 있어 중요한 부분이 SLLN과 같은 극한 정리를 이용하는 것임을 알 수 있다. 또한 이런 과정을 통해 우리는 비통계적인 D-N모형으로는 설명이 불가능하고, 또한 그것을 설명함에 있어 환원불가능한 확률이 아무런 역할을 하지 않는 현상에 대해 진정한 통계적 설명을 제공할 수 있게 된다. (Batterman 1992a)

그렇다면 통계역학의 경우는 어떠한가? 앞서 기체 상자의 예에서 우리

---

13) 이에 대한 이상적인 D-N 설명은 하나하나의 주사위 눈금이 나오는 과정에 대한 자세한 묘사(고전 역학 법칙을 통한)를 통해 해당 현상을 설명하려고 할 것이지만 우리는 바로 그 특정한 눈금의 수열(가령 1,2,3,1,3,2,2,⋯)이 위 패턴의 발생을 잘 설명할 수 있다고 생각하지 않는다. 우리가 진정으로 설명해야 하는 사실은 왜 엄청나게 많은 게임을 반복하더라도 동일한 패턴이 발생하게 되냐는 것이다. 여기까지 오면 D-N/D-N-P 설명의 옹호자들은 결국 각각의 수열이 위와 같은 삼각형 패턴을 발생시키는 단일 사건에 대한 객관적인 성향(objective single case propensity)을 가지고 있다고 말할 수밖에 없다. 하지만 그러한 객관적 확률을 수열에 부여하기 위해서는 단일 사건에 대한 적절한 성향을 도출해낼 수 있는 이론이나 법칙이 필요한데, 그러한 이론이란 존재하지 않는다. 이러한 점에서 D-N-P 역시 위 현상에 대한 제대로 된 설명을 제공할 수 없다. (Batterman 1992a).

가 진정으로 알고자 하는 것은 어떻게 초기 앙상블(기체가 한쪽에 모여 있는 상태)이 전체 상자에 걸쳐 평형을 이루는 새로운 분포에 다다를 수 있냐는 것인데, 여기서 초기 앙상블이 시간에 지남에 따라 연속적인 재무작위화(rerandomization)를 거치게 된다는 가정을 이용하면 평형에 대한 그럴듯한 설명을 제공할 수 있게 된다. 바로 이 부분에서 에르고딕 가설이 중요한 역할을 하게 되는데, 왜냐하면 그것은 몇몇 경우에 실제로 현상의 기저에 있는 역학과 재무작위화 공리 사이의 일관성을 보장해주기 때문이다.[14] 우리는 결정론적인 계에서 초기 상태의 차이가 아주 작은 두 계가 위상 공간의 전혀 다른 궤적을 따라 움직일 수 있다는 앙상블의 속성을 궤적 불안정성(trajectory instability) 또는 초기 조건에 대한 민감한 의존성이라고 부른다. 현대의 에르고딕 이론은 이러한 불안정성의 정도와 관련된 통계적 속성들의 위계를 그 불안정성이 낮은 것부터 차례로 에르고드적, 혼합(mixing), K-, 베르누이 과정이라고 일컫는데, 결국 비무작위적이고, 결정론적 계가 이러한 속성을 가질 것임은 에르고딕 가설을 통해 해명된다. (Batterman 1992a)

이러한 측면에서 에르고딕 가설은 결정론적 계에 대한 속성과 관련된 것으로서 비결정론적에 의해 뒷받침되는 것이 아니다. 또한 위의 논의에

14) 에너지 면을 균일하게 분할하여 그 중 하나의 칸을 ξ_i라 하고, 이 칸 안에 있는 상점(phase point)들의 균일한 분포를 생각해보자. 그런 다음, 이 상점들이 시간 동안 이동할 때, 최초 ξ_i안의 점들과 가 지나고 어떤 다른 칸 ξ_j에서의 점들 사이의 비율을 i에서 j로의 전이 확률 ω_{ij}라고 정의하면, 각각의 칸들에 대해서도 동일한 방식으로 전이 확률을 결정할 수 있다. 만약 여기서 모든 시간 간격 에 대해서 전이 확률 ω_{ij}가 동일하다고 가정하면, 우리는 주어진 칸 안에서 앙상블의 일부가 시간 비대칭적(time asymmetric) 역학 방정식을 만족하게 될 것이라는 사실을 도출해낼 수 있다. 이러한 가정을 마르코프 공리(Markov postulate)라 부르며, 이 가정은 앙상블이 과거에 어디에 놓여 있었는지가 그것의 미래 행동을 결정하는 것과 무관하다는 주장에 중추적인 역할을 한다. 이제 중요한 질문은 과연 마르코프적 가정이 우리가 가진 역학과 모순되지 않느냐는 것인데, 왜냐하면 앙상블 속 각각의 점들은 완벽하게 결정론적인 궤적을 따라 움직이기 때문에 그것의 과거 상태가 미래 상태에 분명히 영향을 줄 것이기 때문이다. 이 때 에르고딕 가설을 통해 계가 앞서 언급한 통계적 속성들을 가진다는 것을 보여주면, 우리는 결정론적인 계가 가지는 동역학적 불안정성을 통해 마르코프적 가정을 만족시킬 수 있다. (Batterman 1992a)

따르면 통계역학적 설명은 레일튼이 언급했던 이상적인 초기조건의 부담을 지지 않는다. 물론 이 논의가 통계역학적인 설명에서 초기 조건의 실질적인 분포에 대한 언급이 아무런 역할을 할 수 없을 것이라는 강한 주장을 의미하는 것은 아니다. 그 대신, 앞서 프랙탈 패턴에 관한 논의에서 SLLN과 같은 정리가 중요한 역할을 하듯이 초기 조건에 대한 언급에서 더 나아가 계들이 위와 같은 통계적 속성(K- 또는 베르누이 등)들을 가진다는, 계에 대한 어떤 법칙적 특성을 이야기하는 것이 평형을 설명하는데 있어 필수적이라는 것이다.

4.4. 양자통계역학

지금까지의 논의를 통해 나는 레일튼의 D-N-P 모형이 설령 양자역학적 현상에 대한 좋은 설명 모형이라 할지언정 통계역학적 현상들에까지 잘 적용된다고 보기는 힘들다는 것을 이야기하였다. 하지만 앞서 레일튼의 모형에 제기된 비판들을 수용하여 이러한 결론을 이끌어내는 것이 일견 타당하다고 해도 문제가 남아 있는데, 그러한 문제는 내가 고전 통계역학에 치중하여 논의를 전개했다는 사실로부터 발생한다. 주지하다시피 현재의 물리학에서 말하는 통계역학이란 일반적으로 양자통계역학을 의미하는데, 만약 고전통계역학에서 설명하는 현상들이 모두 양자통계역학을 통해서 설명될 수 있고, 또한 양자통계역학이 고전통계역학보다 더 참된 이론이라면 내가 앞서 제기했던 비판들이 레일튼의 모형에 대한 중대한 비판이라고 보기 힘들 것이다. 왜냐하면 고전통계역학이 많은 현상들을 그럴듯하게 설명하여 실용적인 측면에서 우리에게 아주 유용한 이론이라고 해도 그것의 참됨이 보장받지 못하는 상황이라면 그러한 이론을 포괄하지 못하는 것이 한 설명 모형에 심각한 타격을 준다고는 할 수 없기 때문이다. 즉 레일튼의 모형이 양자통계역학과 잘 어울리고, 그 이론에서 쓰는 확률의 의미 역시 잘 해명해낼 수 있다면, 그것이 고전통계역학과 다소 어울리지 않는 것은 아무런 문제가 되지 않을 수 있다.

하지만, 앞서 4.1.에서도 언급했던 바와 같이 통계역학적 현상에 대한

설명은 오로지 해당 단일 현상을 설명하는 것을 넘어 그와 거의 동일한 현상 일반에 대한 설명을 제공함으로써 이루어진다.[15] 레일튼의 모형이 단일 현상에 대한 설명을 강조한다는 사실은 바로 이 지점에서 문제를 일으킬 수 있다. 가령 기체 상자의 예를 다시 생각해보자. 칸막이를 제거했을 때 기체 분자들이 확산되는 상황에서 과연 무엇이 기체의 확산을 설명하는가? 다시 말해, “확산이 왜 일어나는가?”에 대한 답변은 무엇을 통해 충족되는가? 나는 이에 대한 이상적인 설명이 왜 엄청나게 많은 시행을 반복한다 하더라도 동일한 결과가 발생하느냐는 질문에 그럴듯한 해답을 줄 수 있어야만 한다고 생각한다. D-N-P 모형에 의하면 바로 그 현상(단일 현상) 속에 그러한 결과를 야기하는 객관적인 성향이 내재되어 있다고 말해야 하는데, 설령 그러한 성향이 존재한다 하더라도 그것은 오로지 바로 그 현상에만 적용되는 것이지 그와 비슷한 다른 현상에까지 적용된다고 말할 수 없다. 나아가 그러한 객관적 확률을 부여하기 위해서는 바로 그 단일 사건에 대한 적절한 성향을 도출해낼 수 있는 이론이나 법칙이 필요한데, 통계적인 속성을 고려하지 않은 채 그러한 성향을 도출해낼 수 있는 근본적인 확률법칙은 존재하지 않는다. 양자통계역학 역시 통계역학적 방법론에서는 고전통계역학과 별 다른 차이를 보이지 않기 때문에 이러한 논의가 적용될 수 있을 것이며, 따라서 레일튼의 설명 모형은 통계역학 일반에 대한 좋은 모형이라고 보기 힘들다.

15) 여기서 말하는 단일 현상이란 미시상태의 변화로서 우리가 설명하고자 하는 현상(거시상태의 준동)에 대응되는 단 하나의 미시상태 수준의 변화이다. 하지만 나는 통계역학적 현상을 설명한다는 것이 우리가 설명하고자 하는 거시상태의 준동에 대응되는 수많은 미시상태의 변화를 총체적으로 설명하는 것이라고 생각한다. 우리는 일반적인 상황에서 기체의 확산이 왜 일어나는지를 궁금해 하는 것이지, 단 하나의 상태변화에 대한 동적 진화과정을 묻는 것이 아니기 때문이다.

5. 맺는 글

이 글은 과학적 설명에 대한 형식적 모형의 전통을 계승하고자 한 레일튼의 연역 법칙적 확률 설명 모형에 대한 비판적 고찰이다. 논의의 주안점은 레일튼의 모형이 과연 별다른 제약 없이 모든 확률적 현상에 포괄적으로 적용되는 모형인가 하는 것이다. 레일튼의 모형은 기본적으로 양자역학적 현상에 대한 설명을 제공하기 위해 고안된 것이며, 적어도 나는 해당 모형이 그러한 현상에 대한 좋은 설명을 제공한다는 것에는 이견이 없다. 하지만 확률적 방법론을 사용하는 물리학의 또 다른 분야인 통계역학은 어떠한가? 과연 그의 설명 모형이 통계역학적 현상들에 대해서도 좋은 설명 모형이라고 말할 수 있는가? 이에 대한 나의 대답은 '그렇지 않다'라는 것이다.

앞서 언급한 바와 같이 나는 크게 세 가지 측면에서 레일튼의 모형에 대한 비판을 제기하였다. 첫째, 레일튼의 모형에서 확률이 가지는 의미와 통계역학적 현상이 가지는 확률의 의미 사이에는 차이가 있으며, 확률 해석에서의 그러한 차이는 통계역학적 현상이 레일튼의 모형으로 온전히 설명되기에는 무리가 따른다는 것을 이야기해준다. 둘째, 확률값의 차이가 설명력에 어떠한 변화도 야기할 수 없다는 레일튼의 주장은, 통계역학적 현상들에 대한 설명이 일반적으로 그러한 현상들이 가지는 높은 확률값에 의존하여 설명력을 확보할 수 있다는 사실과 양립할 수 없다. 다시 말해, 통계역학적 현상들이 가지는 높은 확률은 그저 현상에 부여되는 단순한 확률값이 아니라 그러한 현상들을 설명함에 있어 빠뜨려서는 안 될 필수적인 요소라는 것이다. 셋째, 레일튼 자신은 통계역학적 설명에 중추적인 역할을 하는 에르고딕 가설이 비결정론을 통해서 정당화되어야 한다고 생각하지만, 오히려 에르고딕 가설은 결정론적인 계의 통계적 속성에 관한 가설이며 이러한 의미에서 통계역학적 현상들은 결정론적 논의에 기초해 있을 때 더 잘 설명될 수 있다.

논문의 말미에서는 위에서 제기된 비판들이 기본적으로 고전통계역학적 사례들을 중심으로 제기된 것들이기 때문에, 현재의 양자통계역학을

고려해 봤을 때 레일튼의 모형에 대한 실효성 있는 비판이 될 수 없을 것이라는 반론에 대해 다루고 있다. 만약 그러한 가능한 반론이 말하는 바와 같이 레일튼의 모형이 양자통계역학과 잘 어울리고, 그 이론에서 사용되는 확률의 의미 역시 잘 해명해낼 수 있다면, 고전통계역학이 아무리 실용적으로 유용하다고 하더라도 그 참됨이 보장받지 못하는 상황에서는 레일튼의 모형이 고전통계역학을 포용할 수 없다는 사실 자체는 큰 문제가 되지 않을 것이다. 하지만 나는 통계역학적 현상에 대한 설명은 해당 단일 현상뿐만 아니라 그와 거의 동일한 현상들 모두를 '일반적으로' 설명할 수 있다는 사실에서 설명력이 발생한다는 주장을 통해 레일튼이 강조하는 단일 사건에 대한 확률 설명 모형은 여전히 통계역학적 현상에 대한 좋은 설명 모형이라 보기 힘들다는 점을 주장하였다.

참고문헌

조인래 (1997), 「과학적 설명에 대한 새먼의 존재적 견해와 양자역학」, 『언어·진리·문화』(철학과 현실사), pp. 203-239.

Batterman, R. W. (1992a), “Explanatory instability”, Nous, 26(3), pp. 325-348.

____________ (1992b), “Quantum Chaos and Semiclassical Mechanics”, PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Volume Two: Symposia and Invited Papers, pp. 50-65.

Cover, J. A. and Curd, M. (1998), Philosophy of Science: The Central Issues. W. W. Norton & Company, pp. 767-804.

Frigg, R., Berkovitz, J. and Kronz, F. (2011) "The Ergodic Hierarchy", The Stanford Encyclopedia of Philosophy. URL = <http://plato.stanford.edu/archives/sum2011/entries/ergodic-hierarchy/>.

Giere, R. N. (1973), “Objective single-case probabilities and the foundations of statistics,” Logic, methodology and philosophy of science IV, pp. 467-483.

Hájek, A. (2012), "Interpretations of Probability", URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/probability-interpret/>.

Hempel, C. (1965), Aspects of scientific explanation : and other essays in the philosophy of science, New York : Free Press.

Popper, K. R. (1959), “The propensity interpretation of probability,” The British journal for the philosophy of science, 10(37), pp. 25-42.

Prigogine, I., Misra, B., and Courbage, M. (1979), "From Deterministic

Dynamics to Probabilistic Descriptions," Physica A 98A, pp.1-26.

Railton, P. (1978), "A Deductive-Nomological Model of Probabilistic Explanation," Philosophy of Science 45, pp. 206-226.

___________ (1980), Explaining Explanation: A Realist Account of Scientific Explanation and Understanding. Ph.D. Dissertation, Princeton University.

___________ (1981), "Probability, Explanation, and Information," Synthese 48: 233-256.

___________ (1989). "Taking Physical Probability Seriously," The Philosophy of Logical Mechanism, Springer Netherlands, pp. 251-283.

Salmon, W. (1967), The foundations of scientific inference , University of Pittsburgh Press.

___________ (1990), Four Decades of Scientific Explanation. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Sinai, Ya. G. (1977), Introduction to Ergodic Theory (Trans., V. Scheffer), Preinceton University Press.

Strevens, M. (2000), "Do Large Probabilities Explain Better?", Philosophy of Science, Vol. 67, No. 3, pp. 366-390.

____________ (2006), "Probability and chance," Encyclopedia of Philosophy, second edition, Macmillan Reference USA, Detroit.

Von Plato, J. (1982), "Probability and determinism," Philosophy of Science, 51-66.

Abstract

Can Railton's Deductive Nomological Model of Probabilistic Explanation Apply to Statistical Mechanics?

Park, TaeYoung
Program in History and Philosophy of Science
Seoul National University

Problem of scientific explanation that deals with how scientific explanation for natural phenomenon has consisted of or has to consist of is one of the conventional subjects in philosophy of science and has a crucial meaning enough to continuously bring up further discussions. Like discussions in other subjects of philosophy of science, discussions in scientific explanation are developed by posing problems when one theory appeared and raising new theory which can solve or resolve the problems.

Discussions of scientific explanation began in earnest when Hempel, one of the pioneers in philosophy of science, proposed deductive nomological model and inductive statistical model for scientific explanation. Since then discussions about problems that the models have had developed actively and several models for scientific explanation emerged in order to redeem Hempel's model, but a model that every philosophers of science wholly agree with did not be presented.

As an explanation theory free from problems Hempel's theory have and covers quantum mechanics, a major part in modern physics, Railton's deductive nomological model of probabilistic explanation which appeared in these circumstances has important meaning as much as Salmon extolled. However, unlike the philosophical implication of the theory, subsequent discussions were not so brisk. The precise reason for that is hard to know, but I think it does not stem from the completeness of Railton's model at least.

Then, what is criticizable point of Railton's model? This paper started from my critical mind that asking for answer to the above question. Firstly, I will investigate probabilistic and explanatory basis of deductive nomological probabilistic model by analyzing the model. Subsequently, I will progress discussion about applicability of the model by applying it to statistical mechanics. To conclude, I think it is difficult that Railton's model covers statistical mechanics unless it provides a plausible answer to some problems. These problems will be discussed concretely, and in this respect this paper has its own meaning as a critical review of one explanation model.

keywords : scientific explanation, deductive nomological model of probabilistic explanation, probability interpretation, explanatory power, ergodic hypothesis

Student Number : 2012-23004