

과학 혁명과 입증의 측도[†]

전영삼[#]

지금까지 과학 혁명에 대한 쿤의 견해에 베이즈주의적 접근은 쉽지 않은 것으로 여겨지고 있다. 그럼에도 불구하고 양자 사이의 간격을 좁힐 수 있는 시도들이 없지 않았다. 본 논문에서는 그러한 성과들을 비판적으로 검토하고, 그를 바탕으로 과학 혁명에 대한 쿤의 견해를 베이즈주의의 입증 측도 중 하나인 우도비 측도를 이용해 새로이 해명해 보고자 한다.

【주요어】 과학 혁명, 쿤, 베이즈주의, 입증의 측도, 우도비

[†] 이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A5B5A07070970). 본 논문의 초고는 2019년 7월 3일 서울대에서 열린 한국 과학 철학회 정기 학술 대회에서 발표된 바 있다. 당시 관심을 가져 준 여러분, 특히 박영태, 허원기, 두 분 선생님께 감사드린다. 본 논문에 대한 심사 위원들의 친절하면서도 예리한 지적에 감사드리며, 가능한 한 각주로 답해 보았다.

[#] 고려대학교 철학과 강사, ysamchun@hanmail.net.

과학에 대한 이해는 단지 그 현재에 대한 것으로 그칠 수 없다. 오히려 그것의 과거에 대한 이해야말로 과학이 현재로부터 미래로 나아가는 행로가 과연 어떠할지 그리고 그때의 제약은 무엇인지를 올바르게 파악하는 데 관건이 될 수 있다. 그러므로 과학에 대한 이해를 위해서는 그에 대한 공시적(synchronic) 연구는 물론 그에 대한 통시적(diachronic) 연구 역시 필수적이다. 다행히 그 동안 과학 철학에서는 이 양면에 대한 연구가 각기 충실히 이행되고 있다. 하지만 불행히도 그 각 방향에서의 연구는 여러 군데에서 서로 조화되기 어려운 점들을 드러내고 있다. 그 가운데 중요한 하나가 바로 ‘과학 혁명’에 대한 이해이다. 과학 혁명은 과학이 크게 변화를 이루는 사건이자, 동시에 과거와는 다름을 선고하는 사건이다. 그 동안 오랜 과학사를 통해 과학은 크고 작은 여러 차례의 혁명을 겪어 왔다. 그렇다면 과학은 진정으로 진보하는 것인가, 아니면 단지 과거와는 다르게 새롭게 변모하는 것뿐인가?

그런데 과학에 대한 통시적 고찰에서 제기되는 이와 같은 문제는 그 공시적 고찰에서 주요한 문제인 과학적 이론의 평가 문제와 밀접하게 관련되어 있다. 왜냐하면 만일 혁명 전과 후에 어떤 연속적 진보 없이 전면적인 단절만이 이루어진다면, 그 전후에 어떤 경쟁 이론에 대한 비교 평가는 이루어질 수 없기 때문이다. 만일 이 경우라면, 대체 과학 혁명의 시기에 어떤 근거에 의해 옛 이론에서 새로운 이론으로의 전환이 이루어지는가에 관해 심각한 문제에 직면할 수밖에 없다.

아닌 게 아니라 이러한 문제에 관해 쿤이 혁명 전후 과학의 불가공약성을 주장한 이래 그러한 전환이 단지 과학자 집단 사이의 사회적 역동 관계에 의한 것일 뿐이라는 주장까지 나오는 형편이다. 하지만 정작 쿤 자신은 그럼에도 불구하고 과학 혁명 시기에 전환이 이루어지는 데에는 나름의 과학적 합리성이 존재한다는 주장과 희망을 결코 저버리려 하지 않고 있다. 과연 이것이 가능한 일일까?

이러한 문제에 부딪혀, 과학 혁명 시기의 이론 전환에 관해 그 합리성의 근거를 이론바 “베이즈주의”的 틀 내에서 찾으려는 시도가 없지 않았다. 물론 이는 쿤 자신의 접근과는 다른 것이나, 그 동안 과학 혁

명의 시기 아닌 정상 과학 시기의 가설 평가 문제와 관련해 상당한 성과를 거둔 베이즈주의적 접근 방법의 틀을 활용해 문의 여러 이질적인 요소들을 조화시켜 보려는 시도라 볼 수 있다.

하지만 그 동안 이와 같은 시도들은, 문에 대한 탐구의 불충분과, 또한 베이즈주의적 탐구 방식에 대한 새로운 관점의 부재로 인해 그 소기의 목적에 제대로 이르지 못한 것으로 보인다. 다행히 좀더 최근에 문에 대한 탐구의 새로운 진전과 베이즈주의 내에서 새로운 연구의 성과가 이와 같은 이슈들을 벗어날 하나의 돌파구를 마련했다고 본다. 즉 혁명 전후에 과학자들의 합의가 어떻게 이루어지는가에 관한 예컨대 Cho (2017)에서의 제안과, 다른 한편 최근 베이즈주의 내에서 활발히 논의되고 있는 입증의 측도에 관한 연구가 바로 그것이다. 특히 후자의 경우, 나는 이른바 “우도비 측도”(likelihood ratio measure)가 지금의 관심사에 가장 적절한 기여를 할 수 있으리라 본다. 본 논문은 바로 이러한 기여가 어떻게 가능한가를 보여 주는 데 목표가 있다.

1. 과학 혁명의 전과 후

무엇보다 ‘과학 혁명’을 바라봄에 있어 본 논문에서는 문의 견해를 기본으로 삼고자 한다. 과학 혁명에 대해 있을 수 있는 여타의 논의들은, 우리의 논의에서 특별히 관련이 없는 한, 고려에서 배제하기로 한다.

과학사에 대한 문의 관점에 따라, 이제 널리 알려진 대로, 그 전후(前後)의 과학에 서로 불가공약적인 과학 혁명이 일어났으며, 그 이후 일정 시기 동안 새로운 정상 과학이 존재하게 되었다고 가정해 보자. 즉 그 전후에 과학자들의 세계관이 전혀 다를 만큼 큰 변화가 초래되고, 이후 다시금 새로운 교조적 패러다임의 지배를 받는 안정적인 과학이 재개되었다고 해 보자. 만일 사정이 이러하다면, 이로부터 다음과 같은 두 가지 근본적인 의문이 제기될 수 있다. 첫째, 그처럼 교조적인 패러다임의 지배에도 불구하고 어떻게 그와 같은 혁명적 변화가 가능하게 되는 것인가? 둘째, 어쨌든 일단 그와 같은 변화가 일어났다고

하면, 그러한 변화에도 불구하고 어떻게 다시금 새로운 안정화가 가능하게 되는 것인가?

첫 번째 의문과 관련해, 쿤이 말하는 ‘불가공약성’(incommensurability)을 ‘비교 불가능성’(incomparability)으로 이해한 많은 과학 철학자들은 그 변화 과정이 단지 과학자들의 군중 심리적이거나 순수히 사회적인 상호 작용의 결과일 따름이라는 비판을 가하곤 하였다. 즉 그것이 어떤 경험적 근거나 논리적 과정 없이 여타의 비합리적 과정에 의해 초래된 변화일 뿐이라는 것이다.

이와 같은 비판들에 직면해, 그 변화 과정이 단순히 비합리적인 것이 아님을 보이기 위해 쿤 자신이 제시한 기준들이 있었다. 바로 이론의 정확성, 단순성, 풍부성, 일관성, 범위 등이다. 혁명 전후의 이론들이 서로 불가공약적일지라도, 이러한 기준 하에 두 이론을 서로 비교 평가해 선택하지 못할 이유가 없다는 것이다. 물론 쿤이 말하는 ‘패러다임’이 곧 어떤 ‘이론’과 동일시될 수는 없다. 그럼에도 불구하고 또한 어느 정상 과학기의 선도적인 이론이 그와 같은 패러다임의 전형이라는 점도 부인하기 어렵다. 그러므로 이하에서 우리도, 특별한 이유가 없는 한, 패러다임 사이의 비교를 일단 그에 준할 만한 이론 사이의 비교로 간주하기로 하자. 그리고 이러한 이론은 경험적 증거와의 관련 하에서는 자연히 하나의 ‘가설’로 간주할 수 있을 것이다.

그렇다면 쿤이 말한 방식의 평가가, 예컨대 두 이론의 평가가 어떤 객관적 경험과 보편적인 논리에 의해 이루어질 수 있다고 본 논리 경험주의의 그것과 다를 이유가 있는가? 이에 관해 쿤 자신은 문제의 기준들은 어떤 객관적이며 보편적인 기준이기보다 하나의 ‘가치’(value)로 기능할 따름이라고 강조한다. 즉 그것은 이론 선택을 결정적으로 결정해 줄 어떤 ‘규칙’(rule)으로 작동하기보다 단지 과학자들이 추구할 만한 하나의 이상(理想)으로 작동할 따름이라는 것이다.¹⁾ 만일 문제의 기준들을 이러한 식으로 해석한다면, 과학 혁명의 시기에 과학자들 사이에서 이론 선택에 차이를 보일지라도 그것이 반드시 비합리적이라 볼 이유는 전혀 없다. 왜냐하면 개별 과학자나 그 집단이 갖는

¹⁾ Kuhn (1977), p. 331.

가치의 척도가 단일하지 않은 만큼 그들이 이론 선택 시 차이를 보일 지라도 그 때문에 곧 그들이 비합리적이라 볼 까닭은 전혀 없기 때문이다. 하지만 동시에 그러한 해석 하에서라면, 그처럼 서로 다른 가치를 신봉하는 사람이나 집단들 사이에 이후 어떻게 이론 선택 시 수렴적 일치를 보일 수 있는가에 관한 새로운 의구심이 들게 마련이다. 이는 위의 첫 번째 의문에 대한 군의 답이 곧 위의 두 번째 의문에 대해서는 서로 조화되기 어려운 난문을 야기함을 뜻한다.²⁾

그런데 이러한 난문의 정체에 관해 좀더 최근에 Cho (2017)에서는 이를 다음과 같이 한층 더 세밀한 문제로 조명한 바 있다. 우선 이론 선택이 만일 위와 같이 가치에 기반을 두고 이루어진다면, 과학자들이 어떠한 이론 선택을 하든 결국 그것은 합리적일 수밖에 없게 된다는 매우 곤혹스런 결과에 이를 수 있다. 이러한 문제를 그는 “과대한 방법론적 방임주의의 문제”(problem of excessive methodological permissivism)라 부른 바 있다. 다른 한편, 만일 사정이 그러한다면, 과학 혁명기나 그 이후 과학자들은 오히려 그와는 반대의 문제에 부딪치게 된다. 즉 그러한 상황 하에서 과학자들은 이제 과연 어떻게 자신들의 이론 선택에서 일정한 수렴을 보일 수 있는가의 문제가 발생하는 것이다. 이러한 문제를 그는 “합의 형성의 문제”(problem of consensus formation)라 부른 바 있다.

과학 혁명기에 이론 선택과 관련해 발생하는 이와 같은 문제들을 정리한 후, Cho (2017)에서 조인래는 그에 대한 나름의 답을 스스로 제시하고 있기도 하다. 내가 보기에, 이러한 결과는 다행스럽게도 해당 시기의 이론 선택과 관련한 군의 견해와 베이즈주의를 연계시킬 만한 좀더 분명한 발판을 마련했다고 생각한다. 그러므로 위의 두 문제에 대해 그가 제시하고 있는 답들을 좀더 상세히 알아보기로 하자.

우선 조인래가 보기에, 두 문제는 개념적 차이에도 불구하고 공통의 발생 연원을 갖고 있다. 즉 개별 과학자들이 문제의 과학적 가치들을

2) 이상으로 과학에 대한 군의 철학을 가장 잘 요약해 보여 주는 문헌 중 하나는 여전히 Hoyninggen-Huene (1993)이다. 지금의 맥락과 관련해서는 특히 그 제7장을 참조하는 것이 좋다.

추구하는 데 있어 아무런 방법론적 제약이 없다는 점이다. 물론 과학의 실제에 있어서는 과학 혁명의 시기에 과학자들이 이론 선택에 차이를 보이다가도 이후에는 수렴의 결과를 사실적으로 보여 주고 있으므로, 그와 같은 ‘제약’이 과연 어떠한 것인가를 쿤의 틀 내에서 밝혀내, 그로써 쿤의 견해를 수정하는 일이 곧 조인래의 과제이다.

이를 위해 조인래가 가장 먼저 고려하는 점은 과학적 활동이 목적지향적(goal-directed)이라는 점이다. 이에 관해서는 다소의 논란이 있으나, 그는 쿤 자신의 언급에 따라(Kuhn 1970) 과학자들의 목표는 ‘가능한 한 많이 자연의 행태(behavior of nature)에 대한 문제를 푸는 일’이라는 데 동의한다. 물론 이때일지라도 그와 같은 목표가 자연 그 자체가 제공하는 어떤 절대적인 ‘진리’에 다가감을 뜻하는 것은 결코 아니다. 다만 기존의 과학적 탐구 활동으로부터 연원하는 문제를 푸는 일을 의미할 따름이고, 이러한 의미에서 그것은 기존의 과학적 성취 상태에 제약을 받는 목표일 따름이다.

어쨌든 과학자들의 목표를 이처럼 설정한다면, 이제 과학적 가치에 대한 과학자들의 역동성을 그러한 목표와 관련해 설명하는 일이 가능하다. 앞서 언급한 대로, 과학적 가치에 대한 과학자들의 평가는 개인적으로든 집단적으로든 차이를 보일 수 있다. 게다가 이러한 평가는 주어진 상황에 따라 일정한 방향으로 변화하지 않을 수 없다. 그 까닭은 무엇인가?

그 까닭은 근본적으로 위에서 말한 과학자들의 목표와 관련되어 있다. 우선 어느 정상 과학기에 기존의 과학 활동으로는 어느 때인가 나타나는 두드러진 이상 현상들(anomalies)을 거듭 제대로 해결할 수 없게 되었다고 가정해 보자. 그렇다면 자연히 그를 해결할 만한 새로운 대안 이론에 대한 요구가 팽배하게 마련이다. 바로 이러한 때, 그 동안 새로운 이론의 등장을 막아 왔던 과학적 가치에 관한 평가에 변화가 일어날 필요가 발생한다. 물론 이때에는 해당 가치에 대해 여러 가지로 평가가 상이한 상태가 오히려 도움이 된다. 하지만 주의할 점은, 그와 같은 차이를 보이는 것들 가운데 오직 변화의 방향에 도움이 되는 것들만이 그 변화를 촉구할 것이라는 점이다. 따라서 전략적으로는 발

산 내지 관용(divergence or tolerance)이 필요하나, 전술적으로는 단지 특정 전술만이 유용할 때이다. 그렇다면 이때의 전술이란 구체적으로 무엇인가?

문제의 전술이 결국 기존의 이론으로 써는 해결하지 못하는 이상 현상들을 해결해 줄 수 있는 새로운 이론에 길을 터주기 위한 것이라면, 그 전술이 구체적으로 무엇일지는 짐작하기 어렵지 않다. 조인래는 다음과 같이 추측한다. 만일 어떤 정상 과학기의 발달 단계에서 과학자들이 점점 더 많은 문제들을 풀어 왔다면, 위기를 초래한 이상 현상들에 부딪치기까지 기존의 이론은 상당히 복잡해졌을 것이다. 따라서 새로운 이론에 길을 터 주기 위한 좋은 전술 중 하나는 자연히 단순성의 가치에 대한 비중을 높이는 일이다. 다른 한편으로는 또한 일관성의 가치에 대한 비중은 떨어뜨리는 전술이 필요하기도 하다. 적어도 이러한 전술들이 구사되어야만, 아직은 완벽하지 않으나, 새로운 이론이 기존의 이론과 경쟁해 볼 만한 여지가 주어지기 때문이다.

하지만 이렇게 해서 이제 새로운 이론이 떠오르고, 그것이 기존의 이론에 대해 제대로 된 경쟁 이론으로 자리잡게 된다면, 이상의 전술들은 그대로 잔존할 수 없다. 왜냐하면 처음 그러한 전술들에 의해 새로운 이론에 길이 트워졌다 할지라도, 그로써 곧 그 이론이 기존의 이론에 비해 모든 면에서 더 우월할 수는 없고, 이러한 부족한 점들을 메우기 위해 그 동안 비중이 낮춰졌던 가치들에 대한 회복이 필요하기 때문이다. 그것들 모두 결국에는 과학자들의 궁극적인 목표 달성을 필요한 가치들이기 때문이다.

그러므로 이때에는 앞서와는 달리, 전략 면에서 수렴(convergence)이 필요하고, 전술 면에서는 단순성의 가치에 대한 비중을 낮추고 일관성의 가치에 대한 비중은 높이는 일이 필요하다. 이렇게 하여 새로운 이론이 완전히 기존의 이론과 공정한 경쟁 상태에서 우월함을 보이게 된다면, 이때에야 비로소 그 새 이론에 대해 과학 활동의 자원이 좀더 안전하게 집중될 수 있을 법하다. 결국 시간이 지남에 따라 과학자들이 공유한 과학적 가치들을 적용하는 방식은 그 공동체 내에서 다시금 대략적 일치를 보이게 되어 정상 과학의 궤도로 진입하게 되는

것이다.

쿤의 견해에 대한 이상의 조인래 수정안이 베이즈주의와의 연계를 용이하게 하는 중요한 점은, 내가 보기애, 무엇보다 쿤이 내세우는 과학적 가치들이 증거와 가설 사이의 관계에 관한 베이즈주의적 평가 방식과 양립 가능할 수 있도록 여지를 열어 놓았다는 점이다. 물론 조인래 자신은 자신의 수정안에 나오는 방법론이 이론들이 얼마나 입증되는가와 같은 양적 측도에 의존하지 않는다고 말한다. 그러면서도 동시에 그 수정안이, 만일 가능하기만 하다면, 그와 같은 양적 측도를 배제하기보다 좀더 구체화할 수 있을지 모른다고 조심스럽게 덧붙이고 있기도 하다.³⁾ 이하의 나의 논의는 바로 그와 같은 그의 기대가 어떻게 가능할지를 보여 주는 한 가지 시도이다.

2. 쿤과 베이즈주의의 조화를 위한 새먼과 어만의 시도

과학적 추론에 대한 베이즈주의의 기본 입장 중 하나는 해당 추론을 그와 관련된 어떤 명제나 사건들에 대한 신념도의 변화 과정으로 해명할 수 있다는 점이다. 그리고 그러한 신념도의 변화를 규율하는 주요한 확률식이 바로 다음의 ‘베이즈 정리’이다.

$$(BT) \quad p(h/e) = \frac{p(h)p(e/h)}{p(e)} = \frac{p(h)p(e/h)}{p(h)p(e/h) + p(\sim h)p(e/\sim h)}$$

이는 가설 h 에 대한 신념도를 보여 주는 사전 확률 $p(h)$ 로부터 시작해, 경험적 증거 e 가 주어진 이후, 그 가설에 대한 신념도가 어떻게 새로운 사후 확률 $p(h/e)$ 로 변화되어 나아가는가를 보여 준다. 이러한 사후 확률은 위의 중간 식에서처럼 가설의 사전 확률 $p(h)$ 와, 증거의 기대도(expectedness) $p(e)$, 그리고 가설의 우도(likelihood) $p(e/h)$ 에 의해 결정된다. 혹은 위의 맨 오른쪽 식에서처럼 두 사전 확률

³⁾ Cho (2017), p. 134.

$p(h)$ 와 $p(\sim h)$, 그리고 두 우도 $p(e/h)$ 와 $p(e/\sim h)$ 에 의해 결정된다.⁴⁾

지금까지 과학 혁명과 관련해 쿤의 견해와 베이즈주의의 이러한 접근 방식을 조화시켜 보려는 시도가 전혀 없었던 것은 아니다. 무엇보다 Salmon (1990/1996)에서는 과학 혁명 시기에 경쟁하는 두 이론을 각기 가설 h_1 과 h_2 로 두고, 증거 e 에 의해 두 가설의 사후 확률을 다음과 같은 비(比)로써 비교할 수 있다고 보았다.

$$(SPR1) \frac{p(h_1/e)}{p(h_2/e)} = \frac{p(h_1)p(e/h_1)}{p(h_2)p(e/h_2)}$$

서로 경쟁하는 두 가설을 이처럼 사후 확률의 비로써 비교할 때의 이점은 무엇보다 실제 계산하기 어려운 증거의 기대도를 고려하지 않아도 된다는 점이다. 동시에 이로써 관심의 대상이 되는 가설 이외의 있을 수 있는 여타의 대안 가설 모두, 즉 $\sim h$ 를 이루는 여타의 모든 가설, 이른바 ‘잔여 총괄 가설’(catch-all hypothesis)이나, 그것의 우도를 고려치 않아도 좋다는 이점이 있기도 하다. 게다가 이는 과학 혁명 시기에 기존의 가설은 그 자체만으로 존폐가 결정되기보다 그와 경쟁하는 새로운 가설과의 비교 하에서만 평가될 뿐이라는 쿤의 시각과도 일치한다.

하지만 물론 이때 중요한 점은 이러한 새먼의 제안이 앞서 제1절에서 제시한 쿤의 좀 더 중요한 주장을 제대로 수용할 수 있는가의 여부이다. 먼저 정확성 등등의 5가지 이론 평가의 기준들에 대해 쿤 자신은 그것이 이론 선택의 결정적 규칙이기보다 그 이상적 가치로 기능한다고 강조한 바 있다. 위의 식 (SPR1)이 과연 이를 제대로 반영할 수 있는가? 이에 대해 우선 새먼은 그 식의 우변에 주어진 두 가설 각

4) 여기서는 편의상 배경 지식을 별도로 고려하지 않았다. 이후의 논의 과정에서도 특별한 변화를 초래하지 않는 한, 그에 대해서는 별도로 고려치 않기로 한다. 그리고 이후 주어지는 모든 식들은 지금의 우리 기호법에 따르기로 한다.

각의 사전 확률이 그러한 기준들의 영향 하에 결정될 수 있다고 본다. 예컨대 일관성 기준의 경우, 만일 어느 가설이 그 자체로 비일관적이라면 그것의 사전 확률은 0이 된다. 또 기존에 이미 잘 수용된 여타 이론들과 양립 가능한 가설이라면, 그렇지 못한 가설에 비해 높은 사전 확률의 부여가 가능하다. 이때 중요한 점은 이처럼 해당 가설에 낮거나 높은 사전 확률을 부여함에 있어 결코 당장의 어떤 경험적 증거에 의존하지 않는다는 점이다. 그러므로 이러한 관점에서 경험적 증거에 의하지 않고 해당 가설에 높은 사전 확률을 부여할 수 있는 논증을 새먼은 ‘그럴듯함 논증’(plausibility argument)이라 부르고, 이를 말하자면 해당 가설이 성공할 법한 빈도에 대한 과학자 자신의 최선의 추정치라 본다.⁵⁾ 나는 이야기로 새먼의 견해에서 위에서 말한 베이즈주의 기본 입장을 따르면서도 퀘의 기준들과 조화될 수 핵심이라고 본다. 이와 같은 논증 하에서라면, (BT)와 같은 동일한 규칙을 따르면서도 해당 가설들에 대해 탐구자들마다 서로 다른 평가가 가능하기 때문이다.

하지만 (SPR1)에 주어진 확률들을 모두 주관적 신념도를 반영하는 것으로 보는 한, 그때 주어진 두 가설의 우도에 대해서도 역시 이와 유사한 주장이 가능하다. 그러나 새먼은 실제 과학의 많은 경우에 우도는 객관적으로 주어질 수 있다고 본다. 예컨대 가설이 증거를 논리적으로 함축하는 관계라거나, 통계적 유의성 검정 내지 관찰적 빈도에 따르는 방식 등을 통해서이다. 만일 이것이 가능하다면, 주관적 확률 역시 이에 따라 정해질 수 있을 법하다. 하지만 만일 사정이 이러하다면, 퀘의 (SPR1)에서의 사후 확률의 대소는 다음과 같이 우도의 비와 사전 확률의 비 사이의 대소 관계로 바뀌게 되고,

$$(SPR2) \quad p(h_2/e) > p(h_1/e) \Leftrightarrow \frac{p(e/h_2)}{p(e/h_1)} > \frac{p(h_1)}{p(h_2)}$$

이로써 만일 h_1 의 그럴듯함이 h_2 의 그것보다 더 크다 할지라도, 증거

⁵⁾ Salmon (1990/1996), §§ 4 및 9; Salmon (1991), p. 331 참조.

가 누적됨에 따라 각 가설의 우도가 큰 차이를 보인다면, 이때의 사후 확률의 비는 오로지 우도의 비에 의해 결정될 따름이다. 이는 베이즈 주의에게는 반가운 결과일지 모르나, 쿤과의 조화를 꾀하고자 하는 새 면에게는 결코 좋은 결과는 아니다.

이에 관해 새면은 아직 이야기가 끝난 것은 아니라고 본다. 이제 경쟁하는 두 가설 중 어느 하나 h_1 이 그에 대한 이상 현상에 부딪쳤다고 해 보자. 이 경우, 그 가설의 우도는 매우 작아지거나 아예 0이 될 것이다. 반면 그와 경쟁하는 가설 h_2 의 우도는 그에 비해 상대적으로 훨씬 더 클 수 있다. 그럼에도 불구하고 만일 h_1 의 지지자들이 그러한 이상 현상에 맞서 적절한 보조 가설(auxiliary hypothesis) a_1 을 부가해 그에 대처할 수 있다면, 그 둘의 연언화에 의한 가설의 우도는 다시 커질 수 있다. 아닌 게 아니라 과학사에서 이러한 일들은 흔히 볼 수 있는 일들이다. 예컨대 19세기 빛에 관해 주류였던 파동설은 빛이 빈 공간을 통해서라도 멀리까지 나아갈 수 있다는 현상에 의해 그에 대립되는 입자설에 시달리고 있었다. 하지만 파동설의 지지자들은 자신들의 기본 가설에 더해 모든 공간은 ‘에테르’라고 부르는 특별한 매질로 가득 차 있다는 보조 가설을 제시해 그에 맞섰다. 물론 이와 같은 과정은 가설 h_2 에 있어서도 마찬가지일 수 있다. 따라서 그 가설의 지지자들에게도 마찬가지의 보조 가설 a_2 가 나름으로 필요할 수 있다. 그러므로 두 가설 모두에 대해 이처럼 각각의 보조 가설까지를 고려해 (SPR1)을 수정하면 다음과 같다.

$$(SPR3) \frac{p(h_1 \cdot a_1 / e)}{p(h_2 \cdot a_2 / e)} = \frac{p(h_1 \cdot a_1) p(e / h_1 \cdot a_1)}{p(h_2 \cdot a_2) p(e / h_2 \cdot a_2)}$$

이 경우 만일 원래의 가설에 보조 가설까지를 도입하는 이유로 볼 때, 우도의 비 $p(e / h_1 \cdot a_1) / p(e / h_2 \cdot a_2)$ 는 거의 1에 가깝게 다가갈 수 있다. 이렇게 된다면, 위의 식 (SPR3)의 좌변에 있는 새로운 사후 확률의 비는 거의 전적으로 사전 확률의 비 $p(h_1 \cdot a_1) / p(h_2 \cdot a_2)$ 에 의해 결정되

고, 이는 다시 새로운 가설 $h_1 \cdot a_1$ 과 $h_2 \cdot a_2$ 에 대한 그럴듯함 논증의 문제로 귀결되게 마련이다. 그러므로 새면은 이러한 결과로 나아갈 수 있도록 문제의 보조 가설을 발견하고 도입하는 일을 ‘그럴듯한 시나리오’(plausible scenario)의 제시라 보기로 하였다.⁶⁾

쿤은 이미 과학 혁명기에 가설의 교체 과정을 그저 ‘설득’(persuasion)의 과정일 뿐이라고 말하면서도 그것은 그저 자의적인 것은 아니라고 역설한 바 있다.⁷⁾ 많은 이들에게 그럼으로써 과학의 변화 과정이 비합리적이라는 인상을 불러일으키며 논란을 초래했던 그의 이러한 견해 역시 이제 새면의 위와 같은 해명에 따라 베이즈주의적으로 해석하는 일도 가능하다. 이제 그것을 단지 수사학적 기교와 같은 것이 아닌 그럴듯함의 논증이나 그럴듯한 시나리오의 제시로 볼 수도 있기 때문이다.

그럼에도 불구하고 과학 혁명에 대한 쿤의 견해에 관해 이상의 새면의 해명에는 아직 결정적으로 남아 있는 문제가 있다. 바로 그 혁명 전후의 패러다임이나 그와 연관된 가설들 사이의 불가공약성 문제이다. 사실상 이 점은 이미 새면 자신도 분명하게 인식하고 있었던 점이다.⁸⁾ 이상의 새면의 해명에서는 그와 같은 문제가 전혀 반영되지 않은 채 두 가설이 아무 문제없이 그대로 서로 비교될 수 있는 것으로 가정되고 있을 따름이다. 물론 앞서 제1절에서 언급한 대로 쿤이 말하는 불가공약성이 곧 비교 불가능성을 의미하는 것은 결코 아니나, 그렇다고 이때의 비교 가능성이 곧 아무런 제약 없이 이루어지는 단순 비교일 수도 없다.

그렇다면 이제 다음과 같은 두 가지 후속 질문이 제기될 수 있다. 첫째, 과학 혁명과 관련해 쿤이 중시하는 불가공약성을 베이즈주의식으로 반영할 수 있는 다른 방법이 있는가? 둘째, 만일 그러한 것이 있을 수 있다면, 그로써 여전히 새면에서처럼 쿤의 견해와 베이즈주의를 조화시킬 수 있는 방안이 있는가? 특히 이 경우 좀더 특수하게, 과연

6) Salmon (1990/1996), p. 278; Salmon (1991), p. 329.

7) Kuhn (1970), pp. 93, 152.

8) Salmon (1990/1996), p. 287.

쿤이 말하는 가설 평가에 필요한 여러 가치들과 베이즈주의가 보여 주는 합리적인 절차를 조화시킬 수 있는 방법이 있는가? 이 가운데 두 번째 물음과 관련해서는 이후 제4절에서 본격적으로 논하기로 하자. 다만 첫 번째 물음과 관련해서는, 새먼과 직접 관련해 답한 바는 아니나, Earman (1992)의 제8장 및 (1993)에서의 견해가 주목할 만하다.

어만에 따르면, 패러다임이나 그와 연관된 가설의 전환 시 확률적 접근 방식으로는 아예 확률 함수 자체가 변하는 것으로 보아야만 한다는 것이다. 즉 패러다임의 전환 시 그와 연관된 가설이 h_1 에서 h_2 로 변화하게 된다면, 베이즈 정리 내에서 그와 관련된 여러 확률들을 결정해 주는 확률 함수 자체가 예컨대 p 로부터 새로운 p^* 로 변화해야만 한다는 것이다. 어만의 이와 같은 견해는 패러다임의 전환 시 과학자들의 세계관이 바뀌어 단지 그러한 시각의 변화만으로도 각 세계관과 연관된 가설에 대한 평가가 어떻게 바뀔 수 있는지를 확률적으로 잘 보여 주는 셈이다. 물론 이러한 점은 통상적인 베이즈주의적 접근 방식에서는 생소한 것일 수 있다. 왜냐하면 그와 같은 접근 방식에서라면 이미 완비될 가설들에 대해 정해진 확률 함수가 존재하고, 그러한 확률 함수가 새로운 확률 함수로 바뀌게 될 경우 어떤 경험적 증거가 주어져 그로부터 이른바 ‘조건화’(conditionalization) 방식에 의해 새로운 함수로 나아가는 것이 보통이기 때문이다. 예컨대 처음 어떤 가설 h 에 대해 정해진 확률 함수 p 가 주어졌다면, 해당 가설과 관련된 경험적 증거 e 가 주어진 경우, $p^*(h)=p(h/e)$ 와 같은 방식으로 새로운 확률 함수 p^* 를 얻게 되는 것이다. 하지만 이와 같은 방식은 세계관의 전환이 이루어지는 과학 혁명에 대한 확률적 해명으로서는 부적절하다.

나는 이러한 상황을 잘 보여 주는 것이 치하라의 다음과 같은 예라 생각한다. 물론 이 예는 원래 다른 맥락을 위해 제시된 것이고,⁹⁾ 또한 실제 과학적인 예도 아니다. 하지만 그럼에도 불구하고 지금 문제가

9) Chihara (1987), pp. 556-58. 치하라의 원래 맥락은 입증의 문제에 대한 베이즈주의의 문제를 보여 주기 위함이었다. 치하라의 예와 관련한 이하의 몇 대목들은 전영삼 (2015), pp. 82-3에서 일부 고쳐 따온 것이다.

되고 있는 바를 매우 쉽고도 간결하게 보여 줄 수 있다. 이제 어느 나라의 왕자가 이웃나라의 공주와 사랑에 빠진다. 하지만 이를 쉽사리 용납하지 않는 그녀의 아버지로 인해 왕자는 한 학자의 실험실에 일주간 갇혀 한 가지 문제를 풀지 않으면 안 되게 되었다. 그는 매일 아침 식사에 크림슨 색깔의 공 하나씩을 함께 받는다. 그 안에는 수 하나씩이 들어 있다. 첫 날 아침, 그는 공 속에서 수 47을 발견한다. 그리고 이런 식으로 계속되어, 그는 일곱 번째 날 아침에 제시되는 공 속의 수가 무엇인가를 알아맞혀야만 하는 것이다. 만일 그를 맞히지 못한다면, 그는 사자 밥이 되고 만다. 하지만 그것을 맞힌다면, 그는 소원대로 공주를 얻게 될 것이다. 처음 6일 간, 그는 차례로 주어지는 공 속의 수에서 나름의 패턴을 찾아내려 필사적인 노력을 기울인다. 47, 77, 59, … 등, 그 여섯 번의 수들은 모두 반복되지 않는 두 자리의 수였다. 하지만 그 이상의 것은 알 수 없었다. 만일 마지막 날에도 그처럼 수가 주어진다면, 그 가능한 경우는 모두 84가지나 된다!¹⁰⁾ 그러므로 그 나머지 각각의 수가 나타날 확률이 동일한 한, 마지막 수가 무엇일지 제대로 맞히기란 매우 어려워 보인다. 여섯째 날, 거의 절망에 빠진 왕자는 자신이 죽음을 맞아 흰 옷에 얼룩질 피를 상상하다 갑자기 한 가지 영감에 빠진다. ‘지금까지 받은 공은 모두 크림슨(crimson) 색이었고, 그 (영어) 글자 수는 일곱이었다. 일주일에는 7일이 있는데, 혹 지금까지의 수들이 그 글자 각각에 대한 괴델수는 아닐까?’ 그는 왕의 논리학자가 쓴 논리학 책을 찾아, 그 체계에 따라 정해진 ‘n’에 대한 괴델수를 찾는다. 바로 69이다!

이 이야기에서 이미 베이즈주의 이론을 공부한 왕자는 처음에는 차례로 주어지는 수들에 대해 조건화를 행해 마지막 날의 수를 추측하려 하였다. 하지만 이는 거의 도움이 되지 못했다. 이와 관련해 오카샤는 치하라의 논점을 다음과 같은 두 가지로 요약한 바 있다.¹¹⁾ 첫째, 마지

¹⁰⁾ 두 자릿수의 자연수는 10부터 99까지 모두 90개이다. 그런데 이 가운데 여섯 개의 수가 이미 주어졌으므로, 그것이 다시 반복되지 않는 한, 나머지 수의 개수는 84개이다.

¹¹⁾ Okasha (2000), p. 708.

막 날의 수가 69일 것이라는 가설에 대한 왕자의 신념도가 결정적으로 변하게 된 것은 어느 새로운 데이터가 추가돼 나타난 결과가 결코 아니다. 이 경우, 모든 데이터는 이미 주어져 있었다. 둘째, 괴델의 수라는 패턴을 인식하기 이전에도 사실 왕자는 이미 마지막 수가 69일 것이라는 가설에 자신의 신념도를 부여한 바 있다. 하지만 위의 치하라의 이야기가 보여 주는 바는 “단순히 새로운 가능성들을 생각하는 것만으로도 우리가 이미 명시적으로 생각했던 명제들에 대한 주관적 확률의 분포를 극적으로 바꿔 놓을 수 있다”는 것이다.

오카샤의 지적대로, 마지막 날의 수가 69일 것이라는 가설에 대한 왕자의 신념도가 결정적으로 변하게 된 것은 어느 새로운 증거가 추가돼 나타난 결과가 결코 아니다. 이 경우, 모든 증거는 이미 주어져 있었다. 문제의 가설에 대한 왕자의 신념도가 결정적으로 바뀌게 된 것은 오히려 47, 77, 59, ... 등이 괴델수가 아닐까라는 관점의 변화 때문이다. 이는 일종의 세계관의 변화이다. 괴델의 수라는 패턴을 인식하기 이전일지라도 위의 이야기에서는 왕자가 이미 84개의 가능한 가설 중 마지막 수가 69일 것이라는 가설에 자신의 신념도를 부여한 것으로 되어 있다. 하지만 이는 본질적이지 않다. 어쩌면 처음에는 문제의 수 69를 왕자가 명확히 인식하지 못하고 단지 증거로 제시된 수들 이외에 나머지 10부터 99까지의 두 자릿수 가운데 어느 한 수가 문제의 수라고 막연히 생각했을 수도 있다. 여기서 중요한 점은 주어진 증거를 바라보는 단순히 새로운 가능성들을 생각하는 것만으로도 가설들에 대한 확률 분포가 극적으로 바뀔 수 있다는 점이다. 베이즈주의에서는 새로운 증거가 투입되기 이전이나 이후에나 모두 행위자의 확률 함수가 적용되는 가설들 자체에 변화가 없는 것으로, 즉 그 가능성들의 공간에 변화가 없는 것으로 가정하곤 한다. 이를 인정하다 할지라도, 하지만 앞서 왕자의 예에서처럼 동일한 증거에 대해서 일지라도 그를 바라보는 새로운 관점에 의해 그 동안 명시화되지 않았던 새로운 가설이 명시화될 수 있고, 이로써 해당 공간 내의 가설들에 대한 확률 분포가 크게 바뀔 수 있다.¹²⁾

12) 한 심사 위원은 치하라의 예가 실로 새로운 이론의 제안에 의해 확률 함수

어만의 다음과 같은 설명은 바로 이러한 상황에 잘 들어맞는다고 여겨진다. 어느 패러다임이 우세한 시기에 그와 연관된 가설이 h_1 이라고 해 보자. 그렇다면 이에 대한 베이즈주의적 (사전) 확률 분포는 $p(h_1) + p(\sim h_1) = 1$ 과 같이 표현 가능하다. 물론 주어진 가정 하에서는 이때 $p(h_1)$ 의 값이 $p(\sim h_1)$ 의 값보다 훨씬 클 것이다. 그런데 이제 새로운 패러다임의 등장과 함께 그와 연관된 새로운 가설 h_2 가 대두하게 되었다고 해 보자. 그렇다면 이 경우 그 새로운 가설 h_2 의 지지자들은 새로운 확률 분포 $p(h_2) + p(\sim h_2) = 1$ 을 요청하게 될 것이다. 물론 이 때에는 $p(h_2)$ 가 $p(\sim h_2)$ 보다 크거나 적어도 같은 값일 필요가 있다. 그런데 여기서 문제의 가설 h_2 는 앞서의 가설 h_1 에 대한 잔여 총괄 가설 $\sim h_1$ 중의 어느 하나였을 것이다. 이 경우 물론 문제의 가설 h_2 는 가설 h_1 을 고려할 당시 이미 명시적으로 드러나 있던 것일 수도 있고, 아니면 이후에야 드러나게 된 것일 수도 있다. 중요한 점은, 처음에 $p(h_1)$ 의 값이 $p(\sim h_1)$ 의 값보다 훨씬 컸다면, 그 상태 그대로는 $p(h_2)$ 의 값이 높아질 수 없다는 점이다. 이를 높이기 위해서는 결국 가설 h_2 의 사전 확률값을 높일 수 있는 새로운 확률 함수의 도입이 필요하다. 이것이 바로 앞서 말한 새로운 확률 함수 p^* 이다!¹³⁾ 그러므

가 바뀐 적절한 예인지 의심스럽다고 지적한 바 있다. 왕자가 괴델수에 대한 아이디어를 떠올리고 난 이후 행한 행위는 괴델수에 관한 책을 뒤져 관련된 내용을 찾는 것이었고, 그러한 내용을 확인하고 나서야 69 가설에 대해 높은 신념도를 부여하게 된 것으로 보인다는 것이다. 즉 왕의 논리학자의 ‘책에 수록된 내용’이 새로운 증거가 되어 69 가설의 신념도를 베이즈 정리에 따라 바꾸게 만든 것으로 보아야 할 것이라는 지적이다. 물론 치하라의 예에서 왕자가 논리학자가 쓴 책을 찾아 문제의 가설을 확인한 사실은 옳다. 하지만 이야기의 맥락으로 보아, 그 이전에 이미 왕자는 69 가설이 그때까지의 수들을 제대로 설명할 수 있는 올바른 가설임을 ‘거의 확신하고’ 있는 것으로 보인다. 그가 69 가설 자체를 떠올리고 느낀 기쁨으로 볼 때 그러할 뿐만 아니라, 그의 그러한 확신이 없었다면 굳이 논리학자의 책을 찾아볼 이유는 없었을 것이기 때문이다.

로 이러한 함수를 $p^*(h) = p(h/e)$ 와 같은 조건화 방식으로 얻는다고 보는 일은 세계관의 전환이 이루어지는 과학 혁명에 대한 확률적 해명으로서는 옳지 않다.

만일 사정이 이러하다면, 자연히 다음과 같은 의문이 솟을 수 있다. h_1 과 경쟁적으로 h_2 가 대두되는 경우, 그 h_2 에 대한 높은 $p(h_2)$ 의 값이 어떻게 정당화될 수 있느냐는 점이다. 왜냐하면 이미 $p(h_1)$ 의 값이 높았던 상태에서 새로이 확률 함수 자체를 바꾸며 높은 $p^*(h_2)$ 의 값을 주장하려면 그럴 만한 정당화가 마땅히 요구되기 때문이다. 물론 어떤 경험적 증거에 대한 고려 이전에 단지 가설 h_2 에 대한 사전 확률값을 높이기 위한 것이라면, 앞서 새먼에서처럼 그럴듯함의 논증을 펴는 일이 가능하다. 아닌 게 아니라 어만 역시 이와 같은 경우 실제 과학의 현장에서 그러한 논증이 유효함을 보여 주고 있다.¹⁴⁾ 하지만 사실상 새로운 가설 h_2 가 제시될 때에는 단순히 아무 맥락 없이 그처럼 제시되는 것은 결코 아니다. 그 이전에 이미 가설 h_1 이 부딪치게 된 여러 이상 현상들이 문제의 가설 h_2 가 하나의 경쟁 가설로서 등장하게 된 결정적인 이유이다. 따라서 h_2 의 도입과 그에 대해 높은 확률값을 부여하는 확률 함수 p^* 가 제대로 정당화될 수 있기 위해서는 그럴듯함의 논증 외로도 문제의 이상 현상들과 관련한 두 가설 사이의 비교가 필수적이다. 베이즈주의에서라면 이와 같은 비교는 자연히 해당 현상들을 증거로 두 가설 사이의 사후 확률의 비교로 나아갈 것이다. 그리고 이 경우 어쩌면 자연히 앞서 새먼의 식 (SPR3)로 되돌아갈 수 있다고 생각할지 모른다. 하지만 지금의 경우 상황이 매우 달라졌음에 유의할 필요가 있다. 왜냐하면 앞서의 (SPR3)에서와는 달리 지금의 경우에는 두 가설 각각과 관련해 동일한 확률 함수 p 에 의해 비교가 이루어지는 대신 서로 다른 확률 함수 p 와 p^* 에 의해 비교가 이루

¹³⁾ Earman (1992), p. 196; Earman (1993), p. 25 참조.

¹⁴⁾ Earman (1993), pp. 26-7. 그는 이러한 논증에 능했던 인물로 특히 아인슈타인을 들고 있다. 즉 아인슈타인은 유비, 대칭성, 사고 실험, 발견법칙 원리 등에 크게 의존했던 것이다.

어져야만 하기 때문이다. 그러므로 (SPR3)과 관련해 보조 가설이 추가 되는 경우의 두 가설 사이의 비교 역시 이와 같은 문제에서 결코 자유롭지 못하다.

이에 대한 고민은 여영서 (2011)과 허원기 (2015)로 이어지며 나름대로 해결의 시도가 이루어지고 있다. 이에 관한 상론을 다음 절에서 이어가기로 해 보자.

3. 쿤과 베이즈주의의 조화를 위한 여영서와 허원기의 시도

여영서 (2011)에서는 무엇보다 쿤의 견해를 베이즈주의와 조화시켜 보려는 시도에 관해 매우 비판적인 화마키스의 주장에 관심을 기울인다. Farmakis (2008)에 따르면, 과학 혁명 시 확률 함수에 변화가 초래될 뿐만 아니라, 그 함수가 적용되는 가설과 증거가 함께 변화하는 한, 동일한 차원에서의 사후 확률 비교란 불가능한 것으로 여겨진다.

지금 우리의 맥락의 관점에서 볼 때, 화마키스의 비판은 내가 보기에 결국 한마디로 함수 p 와 p^* 의 비교란 불가하다는 것이다. 우선 쿤이 주장하는 불가공약성이 서로 다른 세계관을 갖고 있는 과학자 집단 사이의 의사소통이 완전히 불가능함을 뜻하는 것이라면, 각 집단의 성원은 서로의 경쟁 가설에 0의 사전 확률조차도 부여할 수 없을 것이라고 화마키스는 짐작한다.¹⁵⁾ 이는 함수 p 만을 받아들이는 성원에게는 $p(h_1)$ 의 값은 결정할 수 있으나 $p(h_2)$ 의 값은 결정할 수 없음을 뜻한다. 후자는 그 성원에게는 아예 의미가 없기 때문이다. 이는 물론 p^* 만을 받아들이는 성원에게도 마찬가지이다. 물론 이는 쿤의 불가공약성을 지나치게 강하게 해석한 결과라는 점을 화마키스 역시 쉽사리 인정한다. 그것은, 쿤도 주장했듯,¹⁶⁾ 단지 국소적(local)일 따름이다. 즉

¹⁵⁾ Farmakis (2008), p. 48.

¹⁶⁾ Kuhn (1983/2000), p. 211.

서로 다른 세계관을 갖는 과학자들 사이에 지시 용어들이 의미를 달리 하는 일은 단지 부분적일 뿐으로, 그로부터 서로의 가설을 나타내는 언어를 한번에 전체적으로 배워 나가지 못할 일은 아니라는 것이다. 만일 사정이 이러하다면, p 를 받아들이는 성원에게도 $p(h_2)$ 를 결정하는 일이 불가능한 일은 아닐지 모른다.

하지만 이 경우일지라도 화마키스는 또 다른 문제를 제기한다.¹⁷⁾ 위에서처럼 각 가설에 대한 사전 확률을 결정하는 일이 가능하다 할지라도, 화마키스의 생각에 각 가설에 대한 우도는 서로의 함수 지지자들에게 서로 다르게 결정될 수밖에 없다고 여겨지기 때문이다. 예컨대 함수 p 의 지지자에게 의미 있는 증거 e 가 주어졌다고 해 보자. 이 경우 그에게 우도 $p(e/h_1)$ 를 결정하는 일은 전혀 문제될 것이 없다. 하지만 여전히 p 를 유지한 상태에서 새로운 가설 h_2 에 대한 우도 $p(e/h_2)$ 를 결정하는 일은 불가능하다고 화마키스는 주장한다. 왜냐하면 앞서의 국소적인 공약불가능성을 인정한다 할지라도, 세계관을 달리해 h_2 를 주장하는 과학자에게 증거 e 는 h_1 의 지지자에서와는 달리 해석될 것이기 때문이다. 그러한 증거는 h_1 의 지지자에게는 ‘가능한’ 증거로조차 여겨지지 않을 수 있다. 함수 p^* 의 지지자에게도 이러한 상황은 역으로 마찬가지일 것이다.

홍미롭게도 여영서는 화마키스의 이와 같은 주장을 받아들인다. 그러면서 이러한 상황에서일지라도 다음과 같이 각 가설의 사후 확률을 비교하는 일이 가능하다고 주장한다.¹⁸⁾

$$(YPR) \frac{p(h_1/e)}{p^*(h_2/e^*)} = \frac{p(h_1)p(e/h_1)/p(e)}{p^*(h_2)p^*(e^*/h_2)/p^*(e^*)}$$

여기서 증거 e^* 는 증거 e 에 대응해 가설 h_2 에 따라 달리 해석된 증거이다. 이렇게 된다면, 물론 각 가설의 지지자들은 서로의 패러다임에

17) Farmakis (2008), p. 51.

18) 여영서 (2011), p. 96.

따라 자신의 가설에 대한 사후 확률을 독자적으로 평가해, 그 결과를 서로 비교하게 될 것이다. 사실 이러한 방식은 화마키스 자신이 한 심사 위원으로부터 제안을 받은 방식이라고도 한다. 그러나 화마키스는 이러한 방식이야말로 베이즈주의적 가설 평가의 핵심을 벗어난 것이라 논박한다. 그 핵심은 동일한 증거에 의한 서로 다른 가설의 평가이기 때문이다.¹⁹⁾

그럼에도 불구하고 여영서는, 위의 (YPR)의 우변에서 그 분자 및 분모에 해당하는 각 확률과 우도를 각기 결정해 그 값을 정하면, 이로써 각 가설의 사후 확률을 비교할 수 있는 것으로 보고 있다.²⁰⁾ 물론 그렇게 한다면 그 각각의 사후 확률값은 구할 수 있을지 모른다. 하지만 이미 다른 곳에서 나의 언급대로,²¹⁾ 문제는 그 값의 비교가 무의미하다는 것이다. 확률 함수가 다르고 그 함수가 적용되는 증거까지 다른 상태에서 주어진 확률값의 비교는 단순히 수치 비교 이상의 의미를 갖기란 어렵다. 물론 여영서가 (YPR)을 응호했을 때 그는 그것이 과학자 집단 내에서의 가설 평가를 반영하기보다는 그 집단 내의 어떤 개별 과학자에게서 이루어지는 가설 평가를 반영하는 것이라는 점에 더 주의한 듯하다. 예컨대 이상욱을 따라,²²⁾ 과학 혁명을 완수한 그 자체 “혁명적”(revolutionary)인 인물이기보다 차라리 그러한 “혁명을 시작한”(revolution-making) 인물인 코페르니쿠스만 하더라도 개인적으로는 한때 두 함수 p 와 p^* 를 함께 고려하고 있었던 시점이 있었다는 것이다.²³⁾ 그렇다면 그 한 개인에게 있어서라면 위의 (YPR)에서와 같은 비교가 가능하지 않았을까? 하지만 그 한 개인에게 있어 두 함수의 존재가 동시에 가능했다 할지라도 그로써 두 확률값의 비교에 어떤 새로운 의미가 더 부가되는 것은 결코 아니다. 사실상 과학 혁명기에 개별 과학자가 함수 p 와 p^* 를 동시에 수용할 수 있었다 할지라도, 문제는

19) Farmakis (2008), pp. 51-2.

20) 여영서 (2011), p. 97.

21) 전영삼 (2011), p. 61.

22) 이상욱 (2004), p. 65.

23) 여영서 (2011), p. 99.

그 과학자를 포함해 과학 집단 전체가 어떻게 최종적으로 가설 h_1 으로부터 h_2 로 베이즈주의적으로 전환될 수 있는가를 밝히는 일이다.

이러한 점들에 유의한 허원기 (2015)에서는 무엇보다 과학 혁명기에 서로 다른 가설의 지지자들이 공유할 수 있었던 공통의 증거를 확보하고자 한다. 쿤의 불가공약성이 어디까지나 국소적인 것에 지나지 않음에 의존해 허원기는 과학 혁명의 시기일지라도 그 전후의 가설들에서 공유할 만한 증거들이 존재함을 여러 사례들을 통해 설득력 있게 보여 준다. 그 중에서도 특기할 만한 것은, 19세기 초, 빛에 관해 입자론자였던 포아송이 자신의 이론에 반하는 이론바 ‘포아송 반점’(Poisson spot)을 스스로 예측하고 확인했던 사례이다. 당시 프레넬(Fresnel)은 프랑스 학술원에서 모집한 현상 논문으로 빛의 파동설을 주장하는 논문을 제출한 바 있다. 그런데 이에 대한 심사 위원이었던 포아송은 그 이론에 따를 경우 점광원에 의해 만들어지는 그림자 가운데로 밝은 반점이 나타날 것이라 스스로 예측하고, 그에 대해 상당히 회의적이었다. 그것은 입자론의 관점에서는 상당히 놀라운 현상이었기 때문이었다. 하지만 실제의 실험 결과, 그 예측은 포아송의 예상과는 달리 사실로 판명되었다. 이와 같은 역사적 사실이야말로 서로 다른 가설의 지지자들 사이에서도 어떻게 상대의 가설을 이해하고 공동의 증거를 확보할 수 있는지를 잘 보여 주는 셈이다.²⁴⁾ 물론 이와는 달리 각 가설의 지지자들에게만 한정적으로 이해되고 의미 있는 증거가 전혀 없는 것은 아니다. 예컨대 18세기 화학 혁명의 시기에 플로지스톤 이론가들과 라부아지에 사이에 금속에 나타나는 광택은 전자에게는 매우 의미 있는 증거였으나 후자에게는 결코 그렇지 못하였다.²⁵⁾ 그러므로 이러한 사례는 앞서 화마키스가 생각했던 불가공약성이 매우 잘 들어맞는 경우라 할 수 있을 것이다. 하지만 적어도 기준의 가설에 대해 나타난 주요 이상 현상에 관해 그와 경쟁할 만한 것으로 새로운 가설이 제시된 경우라면, 오히려 포아송 반점의 사례와 같은 상황이 더욱 올바르다고 할 수 있다.

24) 허원기 (2015), p. 113.

25) Ibid., p. 129, 각주 51 참조.

이처럼 서로 경쟁하는 가설들 사이에 공동의 증거를 확보한 뒤, 허원기는 이를 바탕으로 어떻게 과학 혁명기에 두 가설의 비교가 베이즈주의식으로 이루어질 수 있는지를 논한다. 이를 위해 그의 논증에서 가장 중요한 점은 두 가설의 비교가 새로운 확률 함수 p^* 가 아닌 기준의 확률 함수 p 에 의해 여전히 가능할 것이라 보는 점이다. 이것이 어떻게 가능한가? 그는 우선 기준의 패러다임이나 그와 연관된 가설의 위기는 어떤 현상 e 를 해결하는 데 실패하면서 나타나는 것으로 본다. 이는 물론 우리가 ‘이상 현상’이라 부르는 것이다. 그리하여 그는 이와 같은 e 에 의해 기준 가설에 대한 확률이 감소한다고 본다. 즉 $p(h_1/e) < p(h_1)$ 가 된다고 보는 것이다. 그리고 그는 이러한 확률의 변화가 $p_f(h_1) = p_i(h_1/e)$ 와 같은 베이즈주의의 조건화에 따른 것이라 생각한다. 따라서 그는 h_1 의 확률 역시 $p_i(h_1)$ 로부터 $p_f(h_1)$ 로 바뀌어야 한다고 보며 다음과 같이 말하고 있다.

[...] 이 과정에서 확률에 대한 해석이나, 확률 산출의 방법에 근본적인 변화가 있었는가? 아니다. 단지 우리의 믿음이 e 에 의해 바뀌었을 뿐이다. [...] 근본적으로 확률함수 자체가 바뀐 것은 아니다. 설령 확률함수가 변하였다고 하더라도 베이즈주의자들이 이러한 변화 때문에 $[p_i(h_1)]$ 와 $[p_f(h_1)]$ 가 비교불가능하다거나, 베이즈주의 입증이론이 심각한 문제에 부딪힌다고 여기지는 않을 것이다.²⁶⁾

만일 패러다임의 변화와 그와 연관된 가설의 변화가 없다면, 허원기의 이와 같은 시각은 문제 삼을 게 전혀 없다. 하지만 그는 이에서 한 걸음 더 나아가, 새로운 확률 함수 p^* 의 도입에 대해 의문을 제기한다. 그는 어만이 p^* 을 도입한 이유가 $p(h_1) + p(h_c) = 1$ 과 같이 사전 확률의 총합이 고정되어 있기 때문이라고 본다(여기서 h_c 는 잔여 총괄 가설에 해당한다). 만일 어떤 새로운 가설 h_2 가 도입되려면 이때 1의 확률값 중 일부를 남겨 놓아야만 하는데, 미리 그 값을 알 수는 없고,

26) Ibid., p. 119.

따라서 $p^*(h_c) = p(h_c) - p(h_2)$ 가 되도록 조절된 새로운 함수 p^* 가 도입 될 필요가 있다는 것이다.²⁷⁾ 하지만 이에 대해 허원기는 다음과 같이 반박한다.

그러나 새로운 [가설]이 도입되는 시기는 많은 수의, 혹은 오랫동안 풀리지 않는 중요한 문제들 때문에 기존 [가설] h_1 의 신뢰성에 의문이 제기되는 위기의 시기이다. 즉 h_1 의 확률은 그 전성기 때 보다 많이 감소한 상태이다. [...] 그렇기에 새로운 [가설]이 등장했을 때, 그것에 고려할 만한 수준의 사전확률을 부여할 수 있을 정도로 [$p(h_c)$ 의] 확률값이 확보되어 있는 상태이다. 그렇다면 왜 굳이 골치 아픈 새로운 확률함수를 도입하여야만 하는가? 과학혁명기라고 해서 p 가 p^* 로 바뀔 특별한 이유는 없다. 우리는 기존의 확률함수를 그대로 유지한 채, [앞서 새면의 (SPR1)을] 사용할 수 있다.²⁸⁾

여기서 허원기가 h_1 의 확률이 그 전성기 때보다 많이 감소한 상태이기에 새로운 가설이 등장할 경우 그것에 고려할 만한 수준의 사전확률을 부여할 수 있을 정도로 $p(h_c)$ 의 확률값이 확보되어 있는 것으로 본 것은 옳다. 하지만 이때 그가 잘못 생각한 부분이 있다. 그처럼 고려할 만한 수준의 사전 확률을 부여할 수 있을 정도로 $p(h_c)$ 의 확률값이 확보되어 있다 할지라도, 그 값은 정확히 앞서 $p_i(h_1)$ 로부터 $p_f(h_1)$ 로 나아가게 된 $p_f(h_c)$ 일 뿐이다! 즉 이때 성립하는 $p(h_1) + p(h_c) = 1$ 은 정확히는 $p_f(h_1) + p_f(h_c) = 1$ 로, 이 경우 새로 h_2 가 도입될 때에는 여전히 $p^*(h_c) = p_f(h_c) - p_f(h_2)$ 가 성립되도록 조절된 새로운 확률 함수 p^* 가 필요한 것이다. 이는 그 동안 아무리 베이즈주의적 조건화가 진행되었다 할지라도 그 동안 진지하게 고려하지 못했던 새로

27) 허원기는 여기서 $p^*(h_c) = p(h_c) - p(h_2)$ 대신 원래 $p^*(h_c) = p(h_2) + p(h_c)$ 와 같은 식을 제시하고 있다. 하지만 이는 잘못으로 보인다. p_2 는 하나의 새로운 가설로서 잔여 총괄 가설 h_c 중의 하나였을 뿐 그에 새로이 추가된 가설은 아니다.

28) 허원기 (2015), p. 120. 단 원문의 각주들 생략.

운 가설의 등장만으로 전혀 새로운 확률 함수의 도입이 필요함을 보여 주는 셈이다. 이야말로 앞서 제2절에서 고찰했던 치하라의 예와 잘 부합되는 것이다.

허원기의 위와 같은 잘못으로, 그는 불행히도 결국 확률 함수 p^* 의 도입 없이 단지 p 만으로 (SPR1)을 적용해 18세기의 화학 혁명 사례도 적절히 해명할 수 있는 것으로 보고 있다. 잘 알려진 대로, 플로지스톤 이론은 여러 현상들에 대해 나름의 설명력을 잘 보여 주곤 했지만, 한 가지 풀기 어려운 까다로운 문제를 안고 있었다. 금속을 가열해 열처리하는 금속의 하소(煅燒, calcination) 시 금속재의 질량이 원래의 금속 질량보다 증가한다는 사실이다. 이제 이를 증거 e 로 두고, 플로지스톤 가설을 h_1 으로 둔다면, 분명 $p(h_1/e) < p(h_1)$ 가 될 것이다. 그런데 이처럼 가설 h_1 의 확률이 충분히 낮아져 있는 상태에서 라부아지에가 새로운 가설 h_2 를 제시하였다. 오늘날 ‘산소’라 부르는 ‘순수한 공기’가 금속의 하소 시 그 금속과 결합하게 된다는 산소 이론이다. 이와 관련해, 우선 허원기는 여영서와 마찬가지로 과학 혁명 시기에 개인으로서의 과학자는 그 배경 지식에 차이가 없고 증거 역시 두 가설 모두에서 공유되는 것으로, 아무런 문제없이 이때 새먼의 (SPR1)을 적용할 수 있는 것으로 본다. 그리하여 증거 e 에 관해서는 추가 가정 없이 플로지스톤 이론에서 그를 설명하기란 어려웠으므로 $p(e/h_2) > p(e/h_1)$ 가 성립하고, 따라서 (SPR1)상의 사후 확률비는 산소 이론에 유리한 쪽으로 변화했다고 말한다. 하지만 이러한 사태에 직면해 플로지스톤 이론가들 역시 플로지스톤이 금속으로부터 빠져 나간 후 공기의 특정 성분과 함께 다시 결합해 금속재를 형성하게 된다는 등 여러 가지 보조 가설들을 도입해 그를 설명하려고 시도하였다. 그리하여 이러한 전략에 따라 보조 가설 a_1 을 도입해 두 가설의 우도 $p(e/h_1.a_1)$ 과 $p(e/h_2)$ 가 서로 비슷하게 맞춰졌다면, 이 경우 새먼의 (SPR3)에 의해 다음과 같은 식이 가능하게 될 것이라고 본다.²⁹⁾

29) Ibid., pp. 122-24.

$$(HPR1) \frac{p(h_1 \cdot a_1 / e)}{p(h_2 / e)} = \frac{p(h_1 \cdot a_1) p(e / h_1 \cdot a_1)}{p(h_2) p(e / h_2)} = \frac{p(h_1 \cdot a_1)}{p(h_2)}$$

만일 이렇게 된다면, 허원기는 결국 앞서 제2절에서 소개한 바 있는 새먼의 그럴듯한 시나리오 방식으로 다시 되돌아간 셈이다. 이러한 결과는 그가 라부아지에의 새로운 실험을 연이어 소개했을 때에도 마찬 가지이다. 플로지스톤 이론가들의 재흡수 가설에 대항해 라부아지에는 대포의 포신 안에 첫가루의 넣어 가열한 후 물을 통과시키는 실험을 수행한 바 있다. 이 실험의 결과, 검은색의 철 금속재와 ‘가연성 공기’가 생성되었는데, 라부아지에는 이를 다음과 같이 설명하였다. 즉 물이 순수한 공기(곧 산소)와 가연성 공기(곧 수소에 해당)로 분해되고, 순수한 공기가 철과 결합해 검은 재로, 가연성 공기는 그대로 남게 되었다는 것이다. 그리고 이를 뒷받침하기 위해, 증가한 금속 질량과 동일한 질량의 순수한 공기를 해당 실험에서 방출된 가연성 공기와 결합해 다시 물을 생성시키고, 그 물의 양이 이전 실험에서 감소된 물의 양과 동일함을 밝혔다. 이는 라부아지에의 가설을 매우 결정적으로 입증하는 증거처럼 보인다. 하지만 플로지스톤 이론가들은 이 경우에도 나름의 방식으로 이를 설명할 수 있었다. 즉 이때에는 플로지스톤(곧 가연성 공기에 해당)이 철로부터 방출되고, 그것이 빠져나간 철이 물과 결합해 검은 재가 형성된 것으로 보는 것이다. 이에 대해 허원기는, 라부아지에의 실험에서 나타난 최종 결과를 증거 e' 이라 할 때, 이는 분명 두 가설과 관련해 서로 다르게 해석되고 있음을 인정한다. 그리하여 이 점에서 그 증거는 두 가설의 지지자들에게 불가공약적임을 인정한다. 그럼에도 불구하고 그 새 가설의 용어인 ‘산소’와 ‘수소’는 각기 옛 가설의 용어인 ‘플로지스톤이 제거된 공기’와 ‘가연성 공기’(또는 ‘플로지스톤’)와 동일한 대상을 지시할 수 있음에 주목한다. 그러므로 완전 번역이 불가능한 상황에서 일지라도 불가공약적인 두 가설이 증거 e' 에 의해 상호 비교될 수 있는 것으로 본다. 그런데 이때 e' 는 그 양적 관계의 면에서 라부아지에의 가설 하에서는 매우 자연스러워, 우도 $p(e' / h_2)$ 가 거의 1에 가깝다. 반면 플로지스톤 이론의 경우에는 그것

이 자연스럽지 못해, 앞서의 가설 $h_1 \cdot a_1$ 와 비교해, $p(e'/h_1 \cdot a_1) < p(e'/h_2)$ 의 관계가 성립하게 된다. 이를 극복하기 위해 플로지스톤 이론가들은 물에 포함된 가연성 공기가 숫가루에 흡수되는 양이 금속에서 방출되는 가연성 공기의 양과 일치하고 이것이 서로 자리바꿈을 하게 된다는 보조 가설을 추가할 수밖에 없었다. 그리하여 이와 같은 새 보조 가설을 a_1' 라 한다면, 허원기는 여기서도 여전히 다음과 같은 식이 가능하다고 보았다.³⁰⁾

$$(HPR2) \frac{p(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1' / e')}{p(h_2 / e')} = \frac{p(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1') p(e' / h_1 \cdot a_1 \cdot a_1')}{p(h_2) p(e' / h_2)} = \frac{p(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1')}{p(h_2)}$$

이로써 허원기의 경우 다시금 새면식의 그럴듯한 시나리오 전개로 돌아감을 확인하게 된 셈이다. 그렇다면 이 경우 허원기는 과연 어떻게 두 가설 h_1 과 h_2 에 대해 그럴듯함의 논증을 펼쳐 두 가설을 비교 평가할 수 있을 것인가? 이에 대해 그는 다음과 같이 답하고 있다.

[이때] 문제는 이미 플로지스톤 이론이 많은 보조가설들을 안고 가야만 하는 상황에서 추가된 가설 [a_1']을 뒷받침할 만한 제대로 된 설명기제가 없었다는 점[이다]. 따라서 추가된 가설은 그 자체로 뒷받침되기 힘들었으며, 추가된 가설에 의해 증가한 복잡성은 플로지스톤 이론의 사전 확률 값을 깎아버리고 말았다. [...] 반면 산소 이론은 그러한 부담이 없기 때문에 사전확률에 있어 어떠한 손실도 보지 않[았다]. 이와 같은 상황에서 두 [가설]을 비교하고자 하는 과학자는 그가 처음에 어떤 입장을 취하건 간에 이전보다 산소 이론에 더 우호적이게 된다. 실제로 이러한 상황에서 1780년 대 이후 상당수의 화학자들은 산소 이론으로 전향하였다.³¹⁾

그러나 이처럼 문제의 두 가설을 그 그럴듯함에서 비교 평가하면서

30) Ibid., pp. 124-28.

31) Ibid., pp. 127-28. 원문 중 ' a_1' '은 ' a_1' '의 잘못으로 보여, 여기서는 고쳐 인용하였다. 또한 원문의 각주들은 생략.

왜 다른 가치의 고려보다 단순성을 고려해야만 하는가? 또한 그 단순성 면에서 평가가 이루어진다면, 문제의 두 가설 h_1 과 h_2 의 사전 확률에서 어떻게 후자의 것이 전자의 그것보다 더 크게 되는가? 또는 적어도 어떻게 후자의 것이 전자의 그것과 같거나 비슷하게 되는 것인가? 왜냐하면 확률적으로 $p(h_1) > p(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1')$ 임은 분명하나, 이로써 곧 $p(h_2) \geq p(h_1)$ 임은 불분명하기 때문이다. 하지만 이러한 문제들에 관해 허원기의 더 이상의 답은 이어지지 않는다. 다음 절에서 이와 같은 문제들에 대한 나 자신의 답변을 시도해 보기로 한다.

4. 과학 혁명과 입증의 측도

먼저 앞서 제1장에서 언급한 조인래의 시각과 관련해 평가하자면, 과학 혁명과 베이즈주의를 조화시키고자 하는 지금까지의 시도들은 적어도 과학 혁명기의 ‘발산 및 관용’ 전략과 관련해서는 상당한 성과를 거둔 것으로 보인다. 왜냐하면 이 시기와 관련해 베이즈주의에서의 사전 확률 부여 문제는 단순히 자의적인 것이 아닐뿐더러 어느 면으로는 오히려 그러한 사전 확률 부여의 가능성이야말로 그와 같은 시기에 바람직하기까지 함을 설득력 있게 보여 주고 있기 때문이다.

과학 혁명 시기에 사전 확률 부여가 자의적이지 않음은 곧 그것이 군이 말하는 5가지의 가치를 지향하면서 새먼이 말한 그럴듯함의 논증에 따라 부여된 것임을 뜻한다. 군의 그 가치와 새먼의 그 논증 사이의 관계에 관해서는 이미 앞서 제2절에서 논한 바 있다. 그렇다고 곧 그러한 사전 확률의 값이 관련된 모든 과학자 개개인에게도 동일하다는 의미는 결코 아니다. 군의 5가지 가치 중 과학자마다 중시하는 가치 역시 서로 일치하지 않을 수 있을뿐더러, 동일한 가치를 지향한다 할지라도 그에 따라 부여하는 사전 확률값 역시 개인마다 차이가 있을 수 있다. 하지만 발산의 전략과 관련해서라면, 오히려 이러한 상황이야 말로 충분히 바람직한 일이다. 바로 이와 같은 차이들 때문에 이전의

패러다임에 매어 있던 가설 h_1 에서 떠나 새로운 가설, 예컨대 h_2 와 같은 가설을 모색할 만한 여지가 발생하기 때문이다.

그러나 만일 어떤 가설의 선택이 이처럼 가치에만 기반을 두고 이루어진다면, 앞서 제1절에서 조인래에 따라 언급한 대로, 과학자들이 어떤 가설을 선택하든 그것은 결국 합리적일 수밖에 없게 된다는 이른바 “과대한 방법론적 방임주의의 문제”에 빠지게 된다. 나는 이러한 문제를 피하면서도 발산의 전략을 구사할 수 있는 구체적인 전술이 바로 앞서 조인래가 말한 ‘단순성의 가치에 대한 비중은 높이고 일관성의 가치에 대한 비중은 떨어뜨리는’ 전술이라고 생각한다. 그러나 이 전술이 작동하려면 구체적으로 이상 현상들과 결부된 증거들이 관련될 필요가 있다. 이는 특히 베이즈주의적 방식을 위해서는 매우 중요한 대목이다. 하지만 베이즈주의와의 연계를 본격적으로 고려하지 않은 조인래의 경우에는 이에 대해 충분히 밝히지 못한 것으로 보인다. 이 과정을 나는 다음과 같이 해명한다.

우선 문제의 ‘과대함’을 피하는 데 결정적인 역할을 하는 것은 구체적인 경험적 증거들이다. 앞서 말한 사전 확률의 부여에서는 이와 같은 증거들이 직접 관여하지 않았다. 하지만 단순히 이 상태에서라면 그 ‘과대함’을 피할 수 없다. 문제의 ‘과대함’을 피할 수 있도록 해 주는 제약이 바로 경험적 증거이다. 하지만 어떻게 이것이 가능한가? 이에 대한 단서는 바로, 앞서 제2절 및 3절에서 제시하였던, 보조 가설과 결부된 가설 h_1 과 가설 h_2 가 공동의 증거 e 나 e' 에 대해 갖는 우도에 있다고 생각한다. 예컨대 가설 $h_1 \cdot a_1 \cdot a_1'$ 과 h_2 가 증거 e' 에 대해 갖는 우도를 생각해 보자. 이때 먼저 고려할 점은 어떤 확률 함수를 사용하여야 할 것인가 하는 점이다. 그런데 이에 관해서는 이미 제3절에서 논의한 대로 p 아닌 p^* 를 사용해야만 한다. 그렇다면 앞서의 논의대로 어쩌면 두 우도 $p^*(e'/h_1 \cdot a_1 \cdot a_1')$ 와 $p^*(e'/h_2)$ 는 거의 같거나 동일할 수 있다. 하지만 이때라면 분명 $p^*(e'/h_2) > p^*(e'/h_1)$ 가 성립한다.

두 우도 사이에 이와 같은 부등(不等)의 관계가 성립함은, 매우 직관적으로 말해, 해당 가설의 핵심으로써 설명할 수 없는 부분들을 추가적 매개 변수들을 이용해 보완할 필요성이 적으면 적을수록 그 우도는

커진다는 사실로써 설명할 수 있다. 그러므로 예컨대 16세기의 코페르니쿠스 이론은 적어도 주전원에 관한 보조 가설들을 별도로 요구하지 않았다는 점에서 그 이전의 프톨레마이오스 이론보다 더 단순했음에 분명하다.³²⁾ 물론 이러한 관계에 관해 좀더 세밀하고도 엄밀하게 보여 줄 수 있으나, 여기서는 그 자체가 핵심적인 논점은 아니므로, 이에 관해서는 예컨대 전영삼 (2015)를 참조할 것을 권하는 것으로 그치기로 하자.³³⁾ 다만 여기서 언급할 점은, 이러한 관계에서 보듯, 보조 가설들의 사용과 관련해 가설 h_1 에 비해 h_2 가 더 단순함을 보여 줄 수 있는 것은 무엇보다 그 각각에 대한 사전 확률이기보다 바로 그 우도라는 점이다. 앞서 제3절의 마지막 인용문에서 드러난 점을 볼 때, 허원기는 이 점을 바르게 드러내지 못한 것으로 보인다.

하지만 ‘단순성’에 관한 한, 이것이 전부는 아니다. 앞서 제3절에서 살펴본 대로, 여영서는 과학 혁명기에 새로운 가설을 고려하는 과학자 개인은 ‘혁명을 시작한’ 인물로서, 기존의 가설과 새로운 가설 모두에 대해 여러 가치 기준으로써 그 두 가설을 비교 평가할 수 있다고 보았다. 이 점에 관해서는 허원기도 마찬가지 의견이었다. 이러한 점은 개인으로서의 과학자들이 두 가설을 함께 고려하면서 새로운 가설을 수용할 수 있는 여지를 매우 다양하게 열어 줄 수 있다는 점에서 바람직하다고까지 하였다. 하지만 이러한 개인적 차원을 넘어 결국 하나의 과학 혁명으로 귀결되기 위해서는 이 이상의 것이 요구된다. 나는 이

32) 물론 다른 면들까지를 고려해 전체적으로 코페르니쿠스의 이론이 프톨레마이오스의 그것보다 더 단순했다고 말하려는 것은 결코 아니다. 이것은 분명 논란이 있는 문제이다. 여기서는 단지 필요한 보조 가설들의 도입과 관련해서만의 주장일 따름이다. 하지만 과학 혁명기에는 이처럼 매우 제한적인 면에서의 비교가 중요함에 관해서도 주의가 필요하다. 조인래가 보여 주듯, 모든 면에서의 비교 평가로는 어쩌면 과학 혁명을 통한 과학적 변화에 대한 합리적 설명은 애초에 불가능할지 모른다. 게다가 이후에 알게 되듯, 코페르니쿠스의 이론이 프톨레마이오스의 그것과 ‘전체적으로 보아’ 그 단순성에서 비슷하여, 이 면에서 그 사전 확률이 비슷해지는 정도로도 우리의 목적을 위해서는 충분하다.

33) 특히 전영삼 (2015), pp. 72-4 및 그곳에서의 참고 문헌들 참조.

것을 가능케 하는 것이 바로 과학자 개인이 아닌 전체로서의 과학자 집단이라고 생각한다. 즉 두 가설에 대해 개인으로서의 과학자들은 여러 가치 기준에 따라 그리고 한 가치 기준하에서 일지라도 여러 차이 나는 정도로 다양하게 평가가 가능하다. 하지만 전체로서의 과학자 집단 차원에서라면 그러한 가치 기준 중 어느 하나만이 중시되고 그 기준 하에서 모두가 합의 가능한 평가가 이루어질 필요가 있다.

그러므로 전체로서의 과학자 집단에서라면, 조인래의 지적대로, 발산의 전략을 추구하면서 그 구체적 전술로서 단지 단순성의 가치만을 중시할 따름이다. 반면 이때 일관성의 가치는 의도적으로 무시된다. 바로 이러한 점 때문에, 나는 과학 혁명의 시기에 기존 가설에 유리한 어떤 증거가 존재한다 할지라도 결국 과학 혁명이 이루어질 수 있다고 본다. 예컨대 앞서 3절에서 이미 언급한 대로, 금속의 광택 증거는 당시 라부아지에가 아닌 플로리스톤 이론가들에게 유리한 것이었다. 따라서 사실상 이와 같은 증거들까지를 고려하는 한, 전체적인 면에서 라부아지에의 가설이 플로리스톤의 가설에 비해 절대적으로 월등하다고 할 수는 없을지 모른다. 그럼에도 불구하고 역사적으로 결국 후자로부터 전자로 넘어가게 됐다는 것은 그에 대한 모종의 조율이 있었음을 뜻한다. 그것이 바로 과학자 집단 차원에서의 위와 같은 전술이라 생각한다. 따라서 위에서 내가 언급한 대로, 두 가설을 우도로써 평가함에 있어 그것이 제대로 정당화되기 위해서는 사실상 단순히 함수 p^* 만이 요구되는 것은 아니다. 이때 이미 그러한 함수로써 좀더 단순한 가설에 더 높은 확률을 부여하고자 하는 집단적 결정이 반영되어 있는 셈이다. 이와 같은 점을 표현하기 위해 나는 이제 함수 p^* 대신 p_s^* 를 쓰기로 한다. 이렇게 된다면, 이는 이미 해당 과학자 집단이 가설 h_2 에 대해 h_1 에 대해서보다 더 높은 사전 확률을 부여하는 확률 모델(probability model)을 채택한 것으로 해석 가능하다. 즉 어느 다른 확률 함수보다 p_s^* 와 같은 확률 함수에 의해 이루어지는 확률 분포를 낳는 모델에³⁴⁾ 대한 선택을 말한다. 이 경우 과학자들이 집단적으로

³⁴⁾ 확률 함수와 확률 모델 사이의 일반적인 관계에 관해서는 예컨대 전영삼

‘단순성’의 가치를 선택한 것은 곧 그와 같은 확률 모델을 선택한 것으로 재해석할 수 있는 것이다. 물론 이때라면 $p_s^*(h_2) \geq p_s^*(h_1)$ 이 성립한다. 이는 바로, 앞서 제3절 말미에서 언급한, 허원기가 미처 답하지 못한 점에 대한 나의 한 가지 답이다.

이제 이처럼 함수 p_s^* 를 사용해 $p_s^*(h_2) \geq p_s^*(h_1)$ 이고 $p_s^*(e'/h_2) > p_s^*(e'/h_1)$ 라면, 앞서 새먼의 (SPR1)에서 p 대신 p_s^* 를 사용해 쉽사리 두 가설 사이의 사후 확률의 비 $p_s^*(h_2/e')/p_s^*(h_1/e')$ 가 1보다 큼도 보일 수 있다. 물론 이것도 바람직한 결과이다. 하지만 아직 이로써 만족할 수 없는 이유가 있다. 문제의 사후 확률의 비는 단지 기존 증거들에 대해 공통 증거 e' 이 추가됨으로써 결과적으로 두 가설 중 어느 한쪽이 전체적으로 더 참일 법한가를 말해 줄 따름이다. 해당 증거가 주어진 경우, 원래 그 증거가 없었을 때에 비해 각 가설이 어느 정도 더 입증되는가를 보여 주는 것은 결코 아니다. 하지만 과학 혁명기에 가설의 평가에서 더욱 중요한 점은 바로 후자이다. 왜냐하면 과학 혁명기에는 그 동안 누적된 여러 증거가 결과적으로 경쟁하는 두 가설의 평가에 모두 이용되기보다는 두 가설에 공통된 핵심적인 증거가 문제의 가설 각각에 얼마나 더 결정적인 역할을 하는가가 훨씬 더 중요하기 때문이다. 다행히 위의 사후 확률의 비에서는 기존의 증거들에 의해 이미 옛 가설의 사후 확률이 많이 낮아진 상태였기에 새로운 증거 e' 에 추가에 의해서도 쉽사리 문제의 비가 1보다 클 수 있었다. 하지만 사후 확률의 비 자체가 일반적으로 그러한 상황을 반영할 수 있는 것은 아니다. 일반적으로 과학 혁명기에 새로운 가설은 옛 가설에 비해 누적된 증거에서 불리할 수밖에 없고, 따라서 새로운 가설이 이전의 가설과 경쟁적일 수 있기 위해서는 그 동안 누적된 증거의 전체보다는 논란이 되는 핵심적 증거에 의해 해당 가설이 얼마나 더 입증될 수 있는가가 문제시될 필요가 있다.³⁵⁾ 앞서 예시한 포아송 반

(2018), pp. 23-4 참조.

35) 이와 관련해 한 심사 위원은 다음과 같이 지적한 바 있다. 이후 내가 주요하게 제시할 우도비 측도에서도 여전히 지금 사후 확률비에서 사용되고 있는 확률 함수가 동일하게 활용되고 있을 뿐만 아니라, 그 동안 축적된 증

점의 사례와 라부아지에의 포신 실험이 바로 이를 잘 반영하는 셈이다.

다만 앞서 제2절에서 지적한 대로, 위의 사후 확률의 비가 갖고 있던 장점이 있었다. 곧 문제의 두 가설 h_1 과 h_2 이외에 제3의 또 다른 어떤 가설의 존재에 전혀 신경 쓸 필요가 없다는 점이다. 사실상 과학 혁명기의 실제에서 그와 같은 제3의 또 다른 어떤 가설이 제시되는 경우란 매우 드물고, 우리 역시 지금 그것을 바라는 바는 결코 아니다. 이러한 상황에서 우리가 바라는 바는, 만일 그러한 제3의 가설이 존재 할 수 있다 할지라도 여전히 그와 무관하게 두 가설 h_1 과 h_2 을 온전하게 평가하는 일이다. 그러므로 우리로서는 사후 확률의 비가 갖고 있던 그러한 장점을 유지하면서도, 바로 위에서 지적한 그 비의 문제점을 해소하는 또 다른 방법을 찾을 필요가 있다.

다행히 나는 우리의 이러한 희망을 잘 반영할 수 있는 기존의 입증 측도가 있다고 생각한다. 베이즈주의에서 제시하는 ‘입증의 측도’(measure of confirmation)란, 어느 증거가 주어졌을 때 그 증거가 어떤 가설을 지지하는 절대적인 정도를 보여 주기보다 이전의 입증도에 비해 해당 증거에 의해 어느 정도로 입증도가 증감했는가를 보여 주려는 상대적인 측도이다.³⁶⁾ 이와 같은 입증의 측도는 경쟁하는 가설들에 대해

거들이 아닌 단지 새로운 증거 e' 만을 사용하고 있으므로, 지금과 같은 차별화가 무의미하다는 것이다. 하지만 지금의 사후 확률비에서는 그 사후 확률 각각이 그 이전의 사전 확률 각각에 비해 얼마나 더 증가한 것인가를 보여 주고 있지는 못하다. 그리고 이 경우 그 사전 확률 각각에는 해당 가설과 관련해 그 동안 여러 증거들을 통해 개신된 확률값들이 반영되어 있다. 즉 문제의 사후 확률 자체는 입증도 내지는 신념도의 증감을 반영하고 있지 못한 셈이다. 반면, 아래에서 지적하듯, 이후의 우도비 측도는 이를 반영하는 입증의 측도 중 하나이다. 만일 문제의 사후 확률비에 관해서도 주어진 사전 확률과 비교할 수 있다고 생각한다면, 이때에는 이미 단순히 사후 확률의 비를 문제 삼는 것이 아니라 또 하나의 다른 입증 측도로 넘어간 셈이다.

³⁶⁾ 이러한 차이에 대한 좀더 상세한 논의를 위해서는 예컨대 전영삼 (2011), 제1절 참조.

그 동안 누적된 모든 증거들을 고려하기보다 핵심이 되는 몇몇 증거들을 고려해 그것들이 해당 가설들의 입증에 어떤 영향을 미치는가를 비교하는 데 유효하다. 이러한 점에서 지금까지 우리가 논의한 과학 혁명 시기에 주요한 공통 증거들(예컨대 e 나 e' 등)이 서로 경쟁하는 가설들의 입증에 어떤 영향을 미치는가를 비교하는 데에도 이는 적절히 이용될 수 있다. 물론 꼭 그와 같은 과학 혁명기를 위한 것은 아니나, 위와 같은 일반적인 효용의 관점에서 기준에 그를 반영하는 여러 측도가 제시된 바 있다. 하지만 나는 전영삼 (2018)에서 이미 그 가운데 가장 유력한 것으로서 한 가지 측도를 옹호하고 지지한 바 있다. 물론 여기서 그를 재론할 필요는 없을 것이다.³⁷⁾ 그러므로 여기서는 바로 그것을 채택해 지금의 우리 문제에 적용해 보는 것으로 충분할 것이다. 곧 ‘우도비 측도’이다. 이는 다음과 같이 정의된다.

$$(4.1) \quad l(h, e) = {}_{df} \log [p(e/h)/p(e/\sim h)]$$

여기서 \log 는 단지 그 비교의 기준값을 0으로 하기 위한 편의적인 장치일 뿐이다. 따라서 이하의 논의에서는 단지 그 진수 $p(e/h)/p(e/\sim h)$ 만을 대상으로, 이를 $LR(h, e)$ 로 두어 보기로 하자. 그렇다면 이를 우리의 두 가설에 적용할 경우 다음을 비교하면 될 것이다.

$$(4.2) \quad LR(h_2, e') = \frac{p_s^*(e'/h_2)}{p_s^*(e'/\sim h_2)}, \quad LR(h_1, e') = \frac{p_s^*(e'/h_1)}{p_s^*(e'/\sim h_1)}.$$

여기서 만일 $LR(h, e) > 1$ 이라면, 증거 e 는 h 를 입증한다 할 수 있다. 그런데 우리의 증거 e' 가 가설 h_2 를 입증하고 있음은 사실이므로,

³⁷⁾ 이와 관련해 한 심사 위원은 과학 혁명 시기에 입증의 측도 자체에 대한 선택의 변화 가능성도 있음을 언급한 바 있다. 물론 그러한 가능성을 배제 할 수는 없을 것이다. 그러나 본 논문의 목적상 그러한 가능성은 논외이다. 다만 그와 같은 가능성 여부에 관해서는 추후 별도의 논의거리가 될 수 있을지 모른다.

$LR(h_2, e') > 1$ 이라 할 수 있다. 그렇다면 $LR(h_1, e') \leq 1$ 이라 할 수 있는가? 만일 이렇게 된다면, 두 우도비는 매우 쉽사리 비교될 수 있다. 하지만 제3절에서의 논의상 가설 h_1 역시 e' 을 나름대로 설명할 수 있는 한, $LR(h_1, e')$ 역시 1보다 클 수 있는 가능성을 배제할 수는 없다. 그렇다면 문제는 둘 다 1보다 큰 값을 가질 수 있음에도 불구하고 양자를 어떻게 비교할 수 있느냐 하는 점이다. 이것이 가능하기 위해 서는 자연히 그 양자의 값이 모두 1보다 클지라도 그 어느 하나의 값이 상대적으로 다른 하나의 값보다 큼을 보여 줄 필요가 있다. 이것이 가능한가? 다행히 가능하다.

우선 우리는 $p_s^*(e'/h_2) > p_s^*(e'/h_1)$ 과 $p_s^*(h_2) \geq p_s^*(h_1)$ 임을 알고 있다. 그리고 위의 (4.1) 식에서 두 분모 각각에 해당하는 두 잔여 총괄 가설의 우도를 다음과 같이 생각할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 (4.3) \quad p_s^*(e' / \sim h_2) &= \frac{\sum_{j \neq 2} p_s^*(e'/h_j) p_s^*(h_j)}{\sum_{j \neq 2} p_s^*(h_j)} \\
 &= \frac{p_s^*(e'/h_1) p_s^*(h_1) + \sum_{j \geq 3} p_s^*(e'/h_j) p_s^*(h_j)}{p_s^*(h_1) + \sum_{j \geq 3} p_s^*(h_j)}, \\
 p_s^*(e' / \sim h_1) &= \frac{\sum_{j \neq 1} p_s^*(e'/h_j) p_s^*(h_j)}{\sum_{j \neq 1} p_s^*(h_j)} \\
 &= \frac{p_s^*(e'/h_2) p_s^*(h_2) + \sum_{j \geq 3} p_s^*(e'/h_j) p_s^*(h_j)}{p_s^*(h_2) + \sum_{j \geq 3} p_s^*(h_j)}.
 \end{aligned}$$

이는 가능한 모든 가설들의 집합 \mathbf{H} 내의 상호 배타적인 두 가설 h_2 와 h_1 에 대해 증거 e' 과 관련한 두 잔여 총괄 가설의 우도를 보여 준다. 그런데 이 경우 $p_s^*(e'/h_2) > p_s^*(e'/h_1)$ 이고 $p_s^*(h_2) \geq p_s^*(h_1)$ 라면, $p_s^*(e' / \sim h_2) < p_s^*(e' / \sim h_1)$ 임을 보여 주는 일이 가능하다(이에 대한 증명은 이하의 <부록>³⁸⁾ 참조). 만일 사정이 이러하다면,

38) 이 증명은 전영삼 (2018)의 <부록 D>에서의 증명을 지금의 맥락에 맞게 수정 보완한 것이다. 이에 관해 한 심사 위원은 다음과 같은 확률 분포 하에서는 지금과 같은 관계가 성립하지 않음을 보여 준 바 있다.

	h_1	h_2	$\sim(h_1 \vee h_2)$	합계
e'	0.01	0.04	0.35	0.4
$\sim e'$	0.09	0.16	0.35	0.6
합계	0.1	0.2	0.7	1

이 경우, 다음이 성립하기 때문이다(이하에서는 함수 p_s^* 를 편의상 모두 함수 p 로 표기).

$$\begin{aligned}
 p(h_1) &= 0.1; \quad p(h_2) = 0.2; \\
 p(e'/h_1) &= 0.01/0.1 = 0.1; \quad p(e'/h_2) = 0.04/0.2 = 0.2; \\
 p(e'/\sim h_1) &= p(e/h_2 \vee \sim(h_1 \vee h_2)) \\
 &= (0.04 + 0.35)/(0.2 + 0.7) = 0.39/0.9 = 0.4333; \\
 p(e'/\sim h_2) p(e/h_1 \vee \sim(h_1 \vee h_2)) & \\
 &= (0.01 + 0.35)/(0.1 + 0.7) = 0.36/0.8 = 0.45.
 \end{aligned}$$

하지만 이미 해당 심사 위원도 잘 지적한 바와 같이, 지금의 경우에는 증거 e' 가 두 가설 모두를 반입증하는 상태로서, $p(h_1/e') < p(h_1)$ 이고 $p(h_2/e') < p(h_2)$ 이다. 만일 이처럼 반입증의 경우라면, $p(h_1/e') < p(h_1)$ 이고 $p(h_2/e') < p(h_2)$ 일 때 $p(e'/\sim h_1) > p(e')$ 이고 $p(e'/\sim h_2) > p(e')$ 이므로, 위의 결과들은 이와 잘 부합된다 할 수 있다. 그러나 이때 증거 e' 가 두 가설 각각을 반입증하는 정도에는 차이가 있다. 즉 증거 e' 는 가설 h_1 보다는 가설 h_2 를 더 크게 반입증하는 것이다. 그런데 만일 사정이 이러하다면, 증거 e' 는 가설 $\sim h_1$ 보다는 가설 $\sim h_2$ 를 더 크게 입증한다고 말할 수 있다. 그러므로 계산의 편의를 위해 단순히 그 입증의 증감을 각 사전 확률과의 차이로 계산한다면, 다음의 부등식이 성립할 것이다.

$$p(\sim h_2/e') - p(\sim h_2) > p(\sim h_1/e') - p(\sim h_1)$$

그렇다면 이로부터 다시 다음이 성립하고,

$LR(h_2, e') > LR(h_1, e')$ 임은 분명하다. 이 경우 두 값이 모두 1보다 클 수 있다 할지라도 우리는 그 입증의 정도 면에서 가설 h_2 를 h_1 보다 더 선호할 수 있는 것이다. 그리고 이때 또 달리 중요한 점은, 위의 두 LR 값의 비교 역시 과학 혁명기에 과학자들이 있을 수 있는 여타의 가설들에 대한 고민 없이 오직 현실적으로 제시된 경쟁 가설에 한해 그를 상호 비교할 수 있는 근거를 보여 준다는 점이다. 두 가설 h_2 와 h_1 이외에 (위의 식 (4.3)에서 $j \geq 3$ 에 해당하는) 제3의 가설을 감안한다 할지라도 적어도 $\sim h_2$ 와 $\sim h_1$ 사이의 상대적인 우도 비교에서 그 효과가 서로 상쇄되기 때문이다.

이러한 결과를 이용하면, 나아가 앞 절에서 허원기가 그 평가 방식을 자세히 전개하지 않은 (HPR2)에 대해서도 분명한 해명이 가능하다. 그 경우 그에게는 $p(e'/h_1 \cdot a_1 \cdot a_1') = p(e'/h_2)$ 이어서 결국 가설 $h_1 \cdot a_1 \cdot a_1'$ 와 h_2 에 대한 그럴듯한 시나리오의 전개로 나아가고 그칠 수

$$[p(\sim h_2)p(e'/\sim h_2)/p(e')] - p(\sim h_2) > [p(\sim h_1)p(e'/\sim h_1)/p(e')] - p(\sim h_1)$$

이를 정리하면, $p(h_2) > p(h_1)$ 일 때, 즉 $p(\sim h_1) > p(\sim h_2)$ 일 때, $p(e'/\sim h_2) > p(e'/\sim h_1)$ 이 성립함을 알 수 있다. 즉 내가 본문에서 말한 관계는 반입증의 관계에서는 성립하지 않는 것이다. 따라서 본문에서의 그 관계는 입증의 경우에 한하는 관계로 제한할 필요가 있다. 이 점을 일깨워 준 심사 위원께 감사를 표한다.

그러나 <부록>에서의 증명과 관련해 심사 위원이 추측한 바에 관해서는 다음과 같이 답할 수 있다. 심사 위원은, 위의 표가 보여 준 결과에 의해, 내가 본문에서 보여 준 결과가 성립하지 않는 이유가 혹 <부록>에서의 나의 증명 과정에서 상수 b 와 b' 의 설정이 잘못됐기 때문이 아닌가 추측하고 있다. 즉 그 값들이 x 에 따라 변화할 수 있는데, 그와 관계없이 b 와 b' 가 고정되어 있다는 것이다. 아닌 게 아니라 b 와 b' 가 x 에 따라 변화함은 사실이다. 하지만 그럼에도 불구하고 매번의 x -값에 대해 b 와 b' 는 여전히 상수 역할을 하며, 그 상수 사이의 크기 관계 역시 변하지 않는다. 따라서 심사 위원의 지적을 받아들인다 할지라도 <부록>에서의 증명은 여전히 유효한 것으로 보인다. 다만 그 증명 역시 입증의 경우로 한정해야 할 것이다.

밖에 없었다. 하지만 이제 함수 p_s^* 를 이용한다면, 비록 $p_s^*(e'/h_1 \cdot a_1 \cdot a_1') = p_s^*(e'/h_2)$ 일지라도, 다음을 바로 알 수 있다. 즉 $p_s^*(h_2) \geq p_s^*(h_1) > p_s^*(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1')$ 이다. 게다가 위의 우도비 비교를 이용한다면, 이처럼 가설 h_2 의 사전 확률이 $h_1 \cdot a_1 \cdot a_1'$ 의 그것보다 큰 한, (<부록>의 증명에서 보여 주듯) $[p_s^*(e'/h_2)/p_s^*(e'/\sim h_2)] > [p_s^*(e'/h_1 \cdot a_1 \cdot a_1')/p_s^*(e'/\sim h_1 \vee \sim a_1 \vee \sim a_1')]$ 이 성립함도 분명하다. 그렇다면 가설 $h_1 \cdot a_1 \cdot a_1'$ 로써 나름대로 증거 e' 을 설명할 수 있다 할지라도 이미 그 입증의 정도에서 가설 h_2 를 선호할 수 있음을 분명하다.

이상의 논의가 과학 혁명기에 발산의 과정에 대한 해명이었다면, 이제 그 이후 ‘수렴’의 과정에 대한 해명 역시 다음과 같이 이루어질 수 있다. 앞서 조인래의 말대로, 이 단계에서는 전술 면에서 단순성의 가치에 대한 비중은 낮추고 대신 일관성의 가치에 대한 비중을 높이는 일이 필요하다. 이렇게 되어야만 새로운 가설이 완전히 기존의 가설과 공정한 경쟁 상태에서 우월함을 보일 수 있고, 이때에야 비로소 그 새 가설에 대해 과학 활동 자원이 한층 더 안전하게 집중될 수 있기 때문이다.³⁹⁾ 그렇다면 이제 이 단계에서는 함수 p_s^* 대신 일관성의 가치를 반영해 그처럼 일관성 있는 가설에 대해 좀더 높은 확률을 부여하는

³⁹⁾ 이처럼 가치에 대한 가중치를 반영해 이론 선택을 해명하려는 조인래와 나의 시도에 대해 한 심사 위원은 사실 이러한 전략이 본 자신의 입장과 잘 부합되지 않을 수 있다고 지적한 바 있다. 군이 가치 가중치의 변화가 없다고 주장한 것은 아니나, 그러한 변화는 이론의 변화보다 느리며, 그 변화의 정도도 작다고 주장하고 있기 때문이다라는 것이다. 이러한 면에서라면, 가치 가중치의 변화는 오히려 새로운 이론이 자리 잡고 나서 그 새로운 이론이 매우 잘 만족되는 가치를 강조하는 방식으로 변화하는 것으로 볼 수 있을지 모른다. 만일 이것이 사실이라면, 과학 혁명 시기의 이론 변화에서 가치의 선행적 역할을 주장하는 조인래의 견해나 그에 따르는 나의 논점 역시 재고될 필요가 있을 것이다. 하지만 본 논문에서는 일단 조인래의 견해를 전제하고 진행되고 있으므로, 그러한 점에 관해서는 별도의 논의를 기대하기로 한다.

새로운 함수의 채택이 필요하다. 이를 함수 p_c^* 로 두어 보기로 하자. 그렇다면 이를 어떻게 우리의 상황에 적용할 수 있을 것인가?

이를 위해 먼저 고려할 점은 가설 h_2 로써는 이전에 설명할 수 없이 남겨 둘 수밖에 없었던 사례들이다. 이러한 사례의 하나로, 앞서 제3절에서 언급했던, 산소 가설로 설명할 수 없었던 금속의 광택 사례를 들 수 있다. 하지만 이 사례는 오늘날 산소 이론이 아닌 전자 이론으로써 설명 가능하므로,⁴⁰⁾ 여기서는 그와는 다른 새로운 사례를 이용해 보기로 하자. 16세기 당시 프톨레마이오스의 이론에서는 문제없었으나 코페르니쿠스 이론에는 상당히 부담이 되었던 문제 가운데 하나가 바로 항성의 연주시차였다. 만일 코페르니쿠스 이론에 따른다면 그것은 관찰되어야만 했으나 당시의 관찰로는 그를 확인할 수 없었다. 그것이 실제 관찰될 수 있었던 것은 한참 이후의 19세기 때의 일이었다.⁴¹⁾ 이제 그 부정적인 관찰 증거를 새로이 e'' 이라 두고, 발산 단계 이후에 여타 증거들에 의해 새로이 받아들여지게 된 지동설의 가설을 h_2 라 해 보기로 하자. 단순히 이 상태에서라면, e'' 에 대한 h_2 의 우도는 크기 어렵다. 하지만 이에 대해 만일 ‘항성의 거리가 아주 멀어 문제의 시차가 관찰되기 매우 어렵다’라는 새로운 보조 가설(a'')을 부가한다면, 이의 우도는 매우 커질 수 있다.

그런데 확률적으로 볼 때, 가설 $h_2.a''$ 의 사전 확률이 h_2 의 그것보다 작아질 수밖에 없음을 분명하다. 그렇다면 이때 우리에게 요구되는 바는 $h_2.a''$ 의 우도는 큰 상태로 유지하되 그것의 사전 확률은 가능한 한 h_2 의 그것에 가깝게 부여하는 일이다. 물론 과학자들은 집단 차원에서 이를 가능케 하는 확률 모델을 선택해 이를 구현할 수 있을 것으로 해석 가능하다. 곧 단순성에서는 다소 불리할지 몰라도 일관성에서는 크게 유리한 모델의 선택이 바로 그것이다. 이것이 바로 내가 제시한 함수 p_c^* 의 선택이다. 이와 같은 함수의 선택 하에서는, 비록

⁴⁰⁾ 즉 금속 내의 자유 전자들이 자유롭게 움직이며 빛을 흡수하고 방출하는 결과로써 문제의 광택을 설명할 수 있다.

⁴¹⁾ Kuhn (1957), pp. 163-4 참조.

$p_c^*(h_2 \cdot a'') < p_c^*(h_2)$ 일지 몰라도 그 차이가 근소한 반면, 이와는 달리 $p_c^*(e''/h_2 \cdot a'') \gg p_c^*(e''/h_2)$ 이어서, 즉 그 우도의 차이가 매우 커, 우도비의 측면에서는 h_2 아닌 $h_2 \cdot a''$ 를 선호할 수 있게 되는 것이다.⁴²⁾ 그리고 사실상 이와 같은 선호가 잘못된 것이 아니었음을 보여 주는 것이 바로, 위에서 지적한, 19세기의 연주시차 관찰이었던 셈이다. 그러므로 과학 혁명기의 수렴 단계에서라면, 다른 맥락에서의 용어이긴 하나 정동욱이 말한,⁴³⁾ 우도와 사전 확률 사이에 일종의 “거래”(trade-off) 관계가 긴장 상태로 유지된다고 볼 수도 있다. 왜냐하면 일단 발산 단계를 거쳐 h_2 를 받아들이기는 하였으나, 그것이 완전하지는 않아, e'' 와 같은 것에 대해 조심스럽게 a'' 와 같은 보조 가설을 사용할 수밖에 없기 때문이다. 이 경우 자칫 그러한 보조 가설이 이후 사실로 밝혀지지 않는다면, 그러한 거래 관계는 다시금 새로운 발산을 요구하는 씨앗이 될지도 모른다. 하지만 그러한 보조 가설이 이후 성공적으로 사실로 밝혀지고, 이러한 일이 계속된다면, 이제 문제의 가설 h_2 와 더불어 과학자 집단은 더욱고 안정적인 ‘정상 과학’의 단계로 들어서게 될 것이다.

결 어

이상으로 나는 과학 혁명기에 대한 퀘식의 역사적 접근 방식과 베이즈 주의적 접근 방식이 상호 배타적일 필요가 없음을 보여 주었다. 양자는 각기 그 나름의 정당성을 갖고 조화될 수 있는 것이다. 그렇다고 물론 베이즈주의적 방식이 과학 혁명 그 자체를 초래하거나 마무리지 을 수 있음을 의미하는 것은 결코 아니다. 베이즈주의적 방식은 단지

42) 게다가 Fitelson (2007), pp. 483-85에 따르면, 우도비 측도는 다른 어떤 입증의 측도보다 가설의 사전 확률에 영향을 적게 받는다.

43) 정동욱 (2018), p. 148. 그는 해당 용어를 ‘증거’ 문제에 관한 예측주의와 반예측주의 사이의 논란의 맥락 내에서 사용하고 있다.

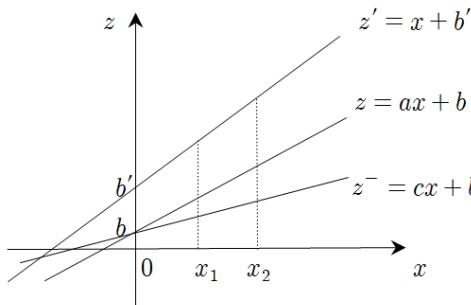
실제 나타나고 있는 과학 혁명의 과정을 우리가 합리적으로 이해할 수 있는 한 가지 방식으로 해명해 줄 때이다. 이상의 나의 논의가 이에 일부나마 기여했기를 바란다.

부 록

$p_s^*(e' / \sim h_2) < p_s^*(e' / \sim h_1)$ 이 성립함을 보여 주는 증명

우선 앞서 제4절의 식 (4.3)에서 $p_s^*(e' / h_2) = p_s^*(e' / h_1)$ 라 가정하고, 이를 a 로 두어 보자. 확률 연산에 따르면 임의의 e' 와 h 에 대해 $p_s^*(e' / h)p_s^*(h) < p_s^*(h)$ 이므로, $\sum_{j \geq 3} p_s^*(e' / h)p_s^*(h) < \sum_{j \geq 3} p_s^*(h)$ 이 성립한다. 이때 또한 $\sum_{j \geq 3} p_s^*(e' / h)p_s^*(h) = b$, $\sum_{j \geq 3} p_s^*(h) = b'$ 로 두어 보자. 그렇다면 $p_s^*(e' / \sim h_1)$ 를 변수 y 로, 그리고 $p_s^*(h_2)$ 를 변수 x 로 둘 때, (4.3) 식의 두 등식 모두 $y = \frac{ax+b}{x+b'}$ 의 형태로 둘 수 있다.

이때 $0 < a < 1$ 이고 $0 < b < b'$ 이다. $y = \frac{ax+b}{x+b'}$ 에서 이제 이 분자를 다시 $z = ax + b$, 분모를 $z' = x + b'$ 와 같이 각기 일차 함수로 나타내 보자. 지금까지 주어진 조건에 따라 이 두 일차 함수의 그래프를 동일한 좌표 위에 그려 보면 다음과 같다.



이 그래프를 보면, x 의 값이 커질수록 그에 대응하는 z 와 z' 값의 비율, 즉 z/z' (곧 y 값)이 커짐을 알 수 있다(이를 좀더 직관적으로 파악하려면, 좌표 (x_1, z_1) 을 원점으로 평행 이동시킨 후, 그때의 좌표

(x_2, z_2) 와 비교하며 해당 비율을 비교해 보면 좋을 것이다.

이는 식 (4.3)에서 $p_s^*(e'/h_2) = p_s^*(e'/h_1)$ 라 가정한다면, $p_s^*(h_2) > p_s^*(h_1)$ 인 경우, $p_s^*(e'/\sim h_2) < p_s^*(e'/\sim h_1)$ 임을 보여 준다. 즉 두 가설 h_2 과 h_1 사이에 그 사전 확률이 클수록 그 잔여 총괄 가설의 우도는 상대적으로 작아짐을 뜻한다.

나아가 이제 $p_s^*(e'/h_2) > p_s^*(e'/h_1)$ 라고 가정해 보자. 즉 가설 h_2 의 우도가 h_1 의 그것보다 큰 경우이다. 이때에는 $p_s^*(h_1)$ 을 변수 x 로 두고, (4.3) 식의 두 등식 모두 $y = \frac{cx+b}{x+b}$ 의 형태로 둘 수 있다. 그렇다면 이때에도 앞서와 같이 진행 가능하되, 단 이 경우에는 $c < a$ 이므로 위의 그래프상에서 그 분자를 $z^- = cx + b$ 와 같은 식으로 표현 가능하다. 이 경우라면 $z^-/z' < z/z'$ 이 됨은 분명하다. 이는 곧 식 (4.3)에서 $p_s^*(e'/h_2) = p_s^*(e'/h_1)$ 라 가정한다면, $p_s^*(h_2) \geq p_s^*(h_1)$ 인 경우, $p_s^*(e'/\sim h_2) < p_s^*(e'/\sim h_1)$ 임을 보여 준다. 따라서 두 가설 h_2 과 h_1 사이에 그 우도가 클수록 그 잔여 총괄 가설의 우도는 상대적으로 작아지는 셈이다. 이로써 앞서의 결과와 종합하면, 두 가설 h_2 와 h_1 사이에 그 사전 확률과 우도가 클수록 그 잔여 총괄 가설의 우도는 상대적으로 작아짐을 알 수 있다.

참고문헌

여영서 (2011), “쿤과 베이즈의 세 번째 만남”, 『과학철학』 14권 1호, pp. 67-102.

이상우 (2004), “전통과 혁명: 토마스 쿤 과학철학의 다면성”, 『과학철학』 7권 1호, pp. 57-89.

전영삼 (2011), “베이즈주의: 귀납 논리와 귀납의 방법론의 역할 관계로부터 살펴보기”, 『과학철학』 14권 12호, pp. 45-76.

_____ (2012), “총체적 입증도, 입증도의 증가, 그리고 귀납의 방법론”, 『과학철학』 15권 2호, pp. 101-37.

_____ (2015), “최선의 설명에로의 추론과 귀납적 체계화”, 『과학철학』 18권 2호, pp. 65-99.

_____ (2018), “우도와 증거-가설 생성의 메커니즘”, 『과학철학』 21권 2호, pp. 1-45.

정동우 (2018), “반사실적 베이즈주의 증거 이론”, 서울대학교 대학원 협동과정 과학사 및 과학철학 전공 이학박사학위논문.

허원기 (2015), “베이즈주의, 공약불가능성, 이론 변화”, 『과학철학』 18권 2호, pp. 101-33.

Chihara, C. S. (1987), “Some Problems for Bayesian Confirmation Theory”, *British Journal for the Philosophy of Science* 38(4): pp. 551-60.

Cho, In-Rae (2017), “Kuhnian Turn in Scientific Rationality”, 『과학철학』 20권 2호, pp. 97-137.

Earman, J. (1992), *Bayes or Bust?: A Critical Examination of Bayesian Confirmation Theory*, Cambridge: The MIT Press.

_____ (1993), “Carnap, Kuhn, and the Philosophy of Scientific Methodology”, in P. Horwich (ed.), *World Changes*, Cambridge: The MIT Press: pp. 9-36.

Farmakis, L. (2008), “Did Tom Kuhn actually Meet Tom Bayes?”, *Erkenntnis* 68(1): pp. 41-53.

Fitelson, B. (2007), “Likelihoodism, Bayesianism, and relational confirmation”, *Synthese* 156(3): pp. 473-89.

Hoyningen-Huene, P. (1993), *Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science*, trans. by A. T. Levine, Chicago: The Univ. of Chicago Press.

Kuhn, T. S. (1957), *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Cambridge: Harvard Univ. Press.

_____ (1970), *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd ed., Chicago: The Univ. of Chicago Press.

_____ (1977), *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago: The Univ. of Chicago Press.

Okasha, S. (2000), “Van Fraassen's Critique of Inference to the Best Explanation”, *Studies in History and Philosophy of Science* 31(4): pp. 691-710.

Salmon, W. C. (1990), “Rationality and Objectivity in Science or Tom Kuhn Meets Tom Bayes”, in D. Papineau (ed.), *The Philosophy of Science*, Oxford: Oxford Univ. Press, 1996: pp. 256-89.

_____ (1991), “The Appraisal of Theories: Kuhn Meets Bayes”, *PSA* 1990, Vol. 2: pp. 325-32.

논문 투고일	2019. 10. 13.
심사 완료일	2019. 11. 06.
게재 확정일	2019. 11. 06.

Scientific Revolutions and Measures of Confirmation

Young-Sam Chun

Until now, it has been thought not to be easy to take a Bayesian approach to Kuhn's view of scientific revolutions. However, it is not true that there have been no attempts to narrow the gaps between both of them. The purpose of this paper is to examine some such main attempts critically, and consequently, to add a new one to them by means of the likelihood ratio measure of confirmation which is one of Bayesian measures of confirmation.

Keywords: scientific revolutions, T. Kuhn, Bayesianism, measures of confirmation, likelihood ratio