

베이즈주의, 공약불가능성, 이론 변화[†]

허 원 기[‡]

나는 이 논문에서 과학혁명기의 이론 선택 과정을 분석하는 데 베이즈주의 방법론이 유용한 도구임을 보이고자 한다. 이를 위해 우선 이론 변화에 대한 문의 주장을 베이즈주의적으로 재구성한 새먼의 작업을 간략히 살펴볼 것이다. 둘째, 공약불가능성 논제에 근거한 화마키스의 비판을 검토하고 이를 논박할 것이다. 셋째, 여행서의 패러다임 의존적인 베이즈 알고리듬의 한계를 지적하고, 그와는 다른 방식으로 공약불가능성의 문제를 해결할 수 있음을 보일 것이다. 마지막으로 과학혁명기의 이론 변화를 분석하는 데 베이즈주의 입증 이론이 유용한 도구임을 화학혁명의 사례 분석을 통해 보일 것이다. 공약불가능성 논제는 베이즈주의를 무너트리지 못한다.

【주요어】 과학혁명, 공약불가능성, 베이즈주의, 이론 변화, 이론 비교, 쿤, 새먼

[†] 이 글의 초고는 조인래 선생님의 과학방법론 연구 세미나를 통해 마련되었으며, 2012년 한국과학철학회 정기학술대회에서 발표된 바 있다. 좋은 논평 및 흥미로운 질문을 주신 여러 선생님들께 감사드린다. 매우 유익한 논평을 해 주신 익명의 심사위원 두 분께도 진심으로 감사드린다. 심사위원들의 지적들에 답변을 하려고 노력하였으나, 만족할 만한 답변인지는 의심스럽다. 더 나은 답변을 찾기 위한 후속 연구를 계속하겠다고 약속드린다. 끝으로 따로 글을 읽고 조언을 해 준 강형구, 권오현, 신흥복, 전진권 선생님께도 감사의 말을 전한다.

[‡] 서울대학교 과학사 및 과학철학 협동과정, soulbird@outlook.com.

1. 들어가는 말

철학자 새먼(Salmon)은 쿤(Kuhn)의 『과학혁명의 구조』(이하 『구조』)를 처음 읽었을 때, 큰 충격을 받아, 『구조』를 끝까지 읽지 못하였다고 고백했다.¹⁾ 물론 모든 이들이 중간에 책을 덮지는 않았겠으나, 새먼의 이러한 고백은 쿤의 작업을 접한 전통적 과학철학자들이 느꼈던 당혹감을 드러낸다.

쿤은 『구조』와 몇몇 저작들을 통해 다음과 같이 해석될 수 있는 주장을 했다. 과학 이론의 지지기반이라고 믿었던 관찰은 특정 이론에 치우침 없이 투명하게 행해지지 않는다. 다시 말해, 관찰은 이론 적재적인 성격을 지니기에 관찰을 통해서 이론을 객관적으로 선택하는 일은 가능하지 않다. 따라서 이론 선택의 기준들은 과학자가 어떤 패러다임을 신봉하는지, 혹은 어떠한 취향을 가졌는지에 따라 달라진다. 이를 뒷받침하는 대표적인 논거는 과학혁명기에 경쟁하는 이론들의 내용들을 손실 없이 상호 번역하는 일이 가능하지 않다고 주장하는 공약불가능성 논제이다.

이와 같은 공약불가능성 논제에 따르면, 과학혁명기를 전후하여 설명력이 손실되거나 탐구해야 할 문제들의 영역이 뒤바뀌는 일들이 발생한다. 뿐만 아니라, 중립적인 언어를 이용하여 이론들을 번역할 수 없기 때문에 이론들을 직접적으로 비교할 만한 수단도 사라진다. 전통적인 과학철학에서 과학적 이론의 평가와 선택에 합리적, 객관적 기초를 제공한다고 간주되었던 관찰이나 논리가 설 자리가 사라지는 것이다. 결국 과학에 있어서 사실상 특정 이론을 선택할 수 있는 합리적 수단은 없으며, 게슈탈트 전환이나 개종과 같은 신비로운 선택방식 외에는 취할 길이 없다. 따라서 과학의 발전은 합리적으로 이루어지지 않고, 진보한다고 말할 수조차 없다.

적지 않은 이들이 『구조』에서 쿤이 위와 같이 주장했다고 받아들였으며, 이 때문에 쿤은 이후 30년이 넘도록 이러한 오해를 해명하고 『구조』에 제안된 논제들을 명료화하는 데 노력을 기울였다. 그에 따르면 과학의 발전에 관한 자신의 견해는 전통적인 과학철학적 견해와 극단적으로 다르지 않

1) Salmon (1991), p. 325.

으며, 상대주의를 옹호하거나 과학의 진보를 부정한 것으로 해석될 수 없다. 또한 공약불가능성은 국소적으로 나타나기 때문에 두 이론의 많은 부분이 번역되고 비교될 수 있으며, 과학자들이 공유하는 가치들은 이론 간의 합리적 비교를 가능하게 하는 기준이 된다.(Kuhn 1977, 1983a, 1983b)

이와 같은 쿤의 반론은 그의 주장이 생각처럼 극단적이지 않음을 보여주는 데에는 성공적이었다. 그러나 여전히 “그것만으로 이론 변화 과정의 합리성이 보장되는가?”와 같은 질문들이 제기될 여지 역시 남겨놓는다. 특히 가치에 대한 그의 설명은 여전히 강한 주관성을 옹호하고 있는 것처럼 보인다. 이러한 우려에 대해서 몇몇 이들은 베이즈주의가 해결책을 내어놓을 수 있을 것이라 전망한다. 대표적으로 새먼은 쿤의 가치들을 사전확률의 결정과 관련지어 해명하고자 하였으며, 이어먼은 과학혁명을, 고려할 수 있는 새로운 이론이 도입되는 사건으로 간주하고 베이즈주의의 관점에서 쿤의 과학혁명을 고찰할 수 있는지 검토한다.(Salmon 1990, 1991, Earman 1992) 물론 화마키스(Farmakis)와 같은 학자는 공약불가능성 논제를 전제하면 쿤의 과학철학과 베이즈주의를 접목하려는 시도는 성공할 수 없다고 반론한다.(Farmakis 2008)

최근 여영서는 화마키스에 회의적 비판에 대해서 반론하며, 새먼과 이어먼의 시도들을 긍정적으로 평가했다. 그리고 과학혁명기의 이론 선택 과정을 합리적인 것으로 이해할 수 있도록 해주는 패러다임 의존적인 베이즈주의를 제안했다.(여영서 2011) 이에 대해 전영삼은 여전히 과학혁명을 전후한 시기의 확률함수의 변화 문제가 해명되지 않았으며, 따라서 베이즈주의는 과학혁명기에 경쟁하는 두 이론 사이의 비교가능성을 보여주는 데에는 부족하다고 평가했다.(전영삼 2011)

나는 이 논문에서 공약불가능성이 나타나는 과학혁명기의 이론 선택 과정을 분석하는 데 베이즈주의 방법론이 여전히 유효할 수 있는 가능성을 탐색해보고자 한다. 이를 위해 우선 새먼의 작업을 간략히 살펴볼 것이다. 둘째, 공약불가능성 논제에 근거한 화마키스의 비판을 검토하고 이를 논박할 것이다. 셋째, 여영서의 패러다임 의존적인 베이즈 알고리듬의 한계를 지적하고, 그와 같은 변형된 형태의 베이즈 알고리듬을 도입하지 않아도 공약불가능성의 문제를 해결할 수 있음을 보일 것이다. 마지막으로, 공약불

가능성이 나타나는 과학혁명기의 이론 변화 과정을 합리적으로 분석하는데 베이즈주의 입증 이론이 유용한 도구임을 화학혁명의 사례 분석을 통해 보여줄 것이다.

2. 새먼의 이론 선호에 대한 베이즈적 알고리듬

1983년, 미국 철학자 연합(동부 지역) 연례 대회에서 새먼은 쿤과 함께 험펠(Hempel)의 철학을 주제로 하는 심포지엄에 참가했다. 이 자리에서 새먼은 베이즈 정리를 이용하여, 쿤의 역사적 과학철학과 논리경험주의 과학철학을 연결할 수 있겠다고 생각했다. 이 생각의 결과는 「과학에서의 합리성과 객관성, 또는 톰 쿤과 톰 베이즈의 만남 Rationality and Objectivity in Science, or Tom Kuhn Meets Tom Bayes」라는 제목의 논문으로 나타났다.

여기서 새먼은 이론 선택 논의에서 쿤의 통찰력 있는 주장에 주목했다. 쿤에 의하면 패러다임의 선택은 패러다임과 자연과의 비교만으로 이루어지는 것이 아니다. 한 패러다임의 선택은 다른 패러다임의 거부를 의미하는 것이기에 패러다임의 선택은, 패러다임과 자연과의 비교는 물론 패러다임 사이의 비교까지 포함하여야만 한다.²⁾ 새먼은 이를 바탕으로 다음과 같은 형식의 ‘이론 선호에 대한 베이즈 알고리듬(Bayesian algorithm for theory preference, 이하 [BA])’이라는 것을 제안했다.³⁾

²⁾ Kuhn (1970), p. 77.

³⁾ Salmon (1990) pp. 191-2. 엄밀하게 말해 패러다임(전문분야 행렬)과 이론이 동일한 것은 아니다. 그러나 쿤은 때때로 이론과 패러다임을 명쾌히 구분하지 않은 채로 사용하고는 했으며, 1977년 논문 「객관성, 가치 판단, 그리고 이론 선택 Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice」에서는 패러다임 개념이 전혀 등장하지 않는다. 내가 보기에 쿤의 이론 선택 논의는 많은 경우 패러다임 선택에 대해서도 그대로 적용될 수 있다. 따라서 본 논문에서 패러다임과 이론을 엄밀하게 구분하지는 않을 것이다.

$$\frac{p(h_1|e \cdot b)}{p(h_2|e \cdot b)} = \frac{p(e|h_1 \cdot b)}{p(e|h_2 \cdot b)} \times \frac{p(h_1|b)}{p(h_2|b)} \quad [1]$$

여기서 두 사후확률 $p(h_1|e \cdot b)$ 과 $p(h_2|e \cdot b)$ 의 비는 가설들 각각의 우도와 사전확률에 의해 결정되며, 증거의 기대도인 $p(e|b)$ 에는 무관하다. 이는 기대도 $p(e|b)$ 는 양쪽 이론 모두가 공유하는 항이기 때문이다. [1]의 좌변에 등장하는 두 사후확률의 비에 맞추어 우리는 더 선호하는 가설을 선택할 수 있다. 그리고 이러한 선호는 다음과 같이 우도의 비율이 사전확률 비율의 역수보다 클 때 나타난다.

$$p(h_2|e \cdot b) > p(h_1|e \cdot b) \leftrightarrow \frac{p(e|h_2 \cdot b)}{p(e|h_1 \cdot b)} > \frac{p(h_1|b)}{p(h_2|b)} \quad [2]$$

이에 따르면, 설령 사전확률의 h_1 값이 더 크더라도 e 에 대한 우도가 사전확률의 차이를 뒤집을 수 있으면, 이론의 선호를 바꿀 수 있다. 그러나 여전히 해결해야 할 문제는 남아있다. 이는 우도와 관련이 있는 문제로, 새먼은 다음과 같은 예를 제시하였다. 코페르니쿠스 체계에 따르면 우리는 항성의 연주시차를 관찰할 수 있어야 한다. 그러나 코페르니쿠스 체계가 제시된 당시에는 연주시차는 관측되지 않았다. 프톨레마이오스 체계에 따르면 이는 당연한 결과이나, 코페르니쿠스 체계에서는 그렇지 않았다. 이제 “항성이 굉장히 멀리 떨어져 있다”라는 보조가설을 도입한다고 하자.⁴⁾ 이를 도입하면, 이전과는 달리 “연주시차가 관측되지 않는다”는 증거 e 에 대한 우도는 증가한다. 이러한 보조가설을 새먼은 ‘그럴듯한 시나리오 (plausible scenarios)’라고 이름 붙였다.⁵⁾ 이제 각각의 가설들에 대한 그럴듯한 시나리오까지 고려하면 [1]은 다음과 같이 재기술할 수 있다.

4) 연주시차는 실제로 1839년에야 관측될 수 있었다. 또한 우리와 가장 가까운 항성의 연주시차 값은 0.7687초에 불과하다.

5) Ibid., pp. 193-5.

$$\frac{p(h_1 \cdot a_1 | e \cdot b)}{p(h_2 \cdot a_2 | e \cdot b)} = \frac{p(e | h_1 \cdot a_1 \cdot b)}{p(e | h_2 \cdot a_2 \cdot b)} \times \frac{p(h_1 \cdot a_1 | b)}{p(h_2 \cdot a_2 | b)} \quad [3]$$

만약, [3]에서 각각의 우도가 모두 1, 혹은 서로 일치되도록 잘 조정된 보조가설들이 동원된다고 하면, [3]은 다음과 같이 재기술할 수 있다.

$$\frac{p(h_1 \cdot a_1 | e \cdot b)}{p(h_2 \cdot a_2 | e \cdot b)} = \frac{p(h_1 \cdot a_1 | b)}{p(h_2 \cdot a_2 | b)} \quad [4]$$

이 특수한 경우에서 가설의 합리적 선택은 보조가설과 대상 가설의 총체에 부여하는 사전확률에 좌우된다. 새먼은 이를 바탕으로 문이 제시한 이론 선택의 기준인 가치들(정확성, 단순성, 일관성, 적용 범위, 다산성)이 베이즈 정리 내에서 어떻게 작용하는지 살펴보고자 했다. 이러한 작업에 앞서 새먼은 과학 이론들의 덕목들(virtues)을 ‘정보적 덕목’, ‘입증적 덕목’, ‘경제적 덕목’으로 나누었다.⁶⁾

새먼은 베이즈주의가 이 덕목들 중에서 입증적 덕목에 초점을 맞춘다고 주장하였다. 그에 의하면 적용 범위는 이론의 정보량, 즉 정보적 덕목과 관계가 있다. 정확성은 정보량의 측면에서는 정보적 덕목과 연관되며, 목적에 맞는 충분한 정확성을 확보할 때 오차와 관계없이 해당 이론을 사용할 수 있다는 측면에서 경제적 덕목과 관련한다. 적용범위와 정확성을 제외하고 베이즈 정리에서 고려하여야 할 가치는 입증적 덕목을 보여줄 수 있는 단순성, 일관성, 다산성의 세 가지이다.

우선 일관성부터 살펴보자. 어떤 이론이 내적으로 비일관적이면, 모순을 포함하기 때문에 해당 이론의 사전 확률은 0이 된다. 여기서는 증거가 어떤 역할도 하지 않는다. 이는 우리가 왜 내적으로 일관된 이론을 추구해야 하는지를 잘 보여준다. 다음으로 외적 일관성은 기존의 잘 수용된 이론들과 연역적 혹은 귀납적으로 얼마나 잘 양립가능한지에 달려있다. 양립가능성이 높을수록 높은 사전확률을 부여할 수 있을 것이다. 이는 베이즈주의에서 사전확률을 결정하는 그럴듯함 논증(plausible argument)⁷⁾으로 해

6) Ibid., p. 196.

석될 수 있다.⁸⁾

다음은 단순성이다. 일반적으로 이론의 단순성은 더 적은 존재자를 가졌거나 더 계산이 간단하다는 것 등으로 규정된다. 사전확률의 문제에서는 단순한 이론이 더 높은 사전확률을 가지는 것으로 해석될 수 있는데, 이 역시 그럴듯함 논증으로 설명할 수 있다. 과학사를 보았을 때, 많은 경우 단순한 이론이 더 성공적이었으며, 과학자들은 단순한 이론을 선호하는 경향이 있어왔다. 이와 같이 일관성과 단순성은 그럴듯함 논증의 과정에서 작용하는, 가설의 사전확률을 높이는 요소로 이해할 수 있다.⁹⁾

다산성은 여러 가지 의미로 이해될 수 있다. 그러나 새먼은 다산성을 한 이론이 얼마나 성공적으로 그럴듯한 시나리오들을 추가할 수 있는지로 해석하자고 제안했다. 이를테면, 천왕성의 이상운동은 해왕성을 가정함으로써 설명되었다. 해왕성의 가정은 뉴턴 역학에 의해 추가된 그럴듯한 시나리오라고 말할 수 있다. 그리고 이 가설은 실제로 해왕성이 발견되면서 성공적인 가설로 평가되었다. 여기서 그럴듯한 시나리오는 우도의 문제를 해결함과 동시에 우리의 지식을 확대하는 역할을 맡는다.¹⁰⁾

정리하면, 우선 새먼은 베이즈 정리를 이론간 비교 평가를 위해 이용할 수 있도록 [BA]와 같은 알고리듬을 구성하였다. 이에 더하여 사전확률 결정에 영향을 미칠 수 있는 그럴듯함 논증에서 쿤의 가치들이 작용한다고 해석함으로써, 쿤의 이론 선택 논의를 베이즈주의 속에서 다를 수 있음을 보이고자 했다.

3. 공약불가능성 논제와 공통된 증거

그렇다면 쿤과 베이즈주의를 연결하려는 새먼의 시도가 성공적이었다고

7) 그럴듯함 논증에 대한 상세한 설명은 다음을 참고할 것. Salmon (1967), pp. 125-9.

8) Salmon (1990), p. 198.

9) Ibid.

10) Ibid., p. 199.

말할 수 있는가? 화마키스는 이 질문에 대해서 부정적 평가를 내린다. 왜냐하면 [BA] 만으로는 문의 논의의 핵심에 놓인 공약불가능성 논제가 가져오는 문제를 해결하지 못하기 때문이다. 화마키스에 따르면 의미 전체론 (meaning holism) 개념에 기반을 두고 있는 공약불가능성 논제는 베이즈 정리에 의한 이론 비교평가를 불가능하게 만든다.

그렇다면 공약불가능성 개념이 어떻게 베이즈주의에 문제를 일으키는지 화마키스의 논의를 중심으로 살펴보자. 문에 의하면 패러다임이 변화하면 과학자들의 세계 역시 바뀐다고 말할 수 있으며, 그 변화하는 세계는 자연 환경과 함께 해당 과학자가 받은 교육의 산물로 구성된다.¹¹⁾ 따라서 서로 다른 패러다임에 속하는 과학자들은 같은 곳에서 같은 방향을 보더라도 서로 다른 것을 보게 된다.¹²⁾ 이와 같이 공약불가능성은 과학자 공동체가 채택하는 명제와 용어의 의미는 물론 지각이나 그와 관련된 기준까지 바꾸어 버린다.

그에 의하면 『구조』에서 나타나는 개념적 연결망과 세계 변화의 논의는 의미에 대한 전체론적 이해를 상정한다. 따라서 이 연결망을 구성하고 있는 용어와 개념들은 상호 연결되어 있는 용어와 개념들의 집단에 의해서 결정된다. 만약 이러한 전체론적 이해가 옳다면, 이 개념적 연결망의 아주 작은 변화라도 전체적인 변화와 연동되기 마련이며, 이 변화의 결과 만들어진 새로운 연결망은 이전의 것과 완전히(totally) 양립불가능한 것이 될 뿐만 아니라 의사소통 자체가 불가능한 전면적 공약불가능성의 상황에 놓인다. 이렇게 강하게 해석된 공약불가능성 논제가 성립하는 경우, 특정한 이론의 지지자는 자신의 이론은 잘 이해할 수 있으나 경쟁하는 이론은 잘 이해할 수 없으며, 그 이론의 지지자들과 의사소통조차 할 수 없다. 따라서 어떤 과학자가 자신의 이론에는 사전확률을 잘 부여할 수 있다고 해도, 경쟁하는 이론에는 0이라는 사전확률조차 부여하지 못한다. 즉, 사전확률의 정합적 분배가 원천적으로 차단된다.¹³⁾

물론 화마키스도 문이 이러한 의미의 공약불가능성을 의도하지 않았다

11) Kuhn (1970), p. 111–2.

12) Ibid., p. 150.

13) Farmakis (2008), pp. 47–8.

는 점을 인정한다. 쿤은 여러 경로를 통해서 공약불가능성이 전면적인 소통불가능성이나 이해불가능성을 함축하지 않음을 강조했다. 또한 쿤에 의하면 두 이론에 있어서 대부분의 공통적인 용어들은 양쪽 모두에서 같은 방식으로 기능하고, 같은 뜻을 가지며, 그 의미는 보존된다.¹⁴⁾ 다시 말해 공약불가능성은 국소적이며, 그렇기 때문에 사실은 다른 전통에 속한 과학자라고 해도 상대방 이론의 많은 부분들을 이해할 수 있고, 사전확률 역시 부여할 수 있다.

이는 베이즈주의에 희망적으로 보이지만 화마키스는 이렇게 약한 의미의 공약불가능성을 전제해도 문제가 해결되지 않는다고 주장한다. 설령 사전확률이 어떻게든 결정될 수 있다고 해도, 베이즈주의 앞에는 넘기 어려운 산들이 놓여있다는 것이다. 맨 처음 떠오르는 장애는 패러다임의 편향적 성격이다. 과학자는 경쟁이론들을 비교하는 상황에 놓였을 때, 자신이 속한 전통에서 제시되는 이론에 훨씬 더 높은 사전확률 값을 부여할 것이다. 이러한 상황에서는 제대로 된 비교가 이루어지기 어렵다. 물론 사전확률의 차이는 베이즈주의에서 큰 문제가 되지 않는다. 베이즈주의자들은 자신들이 자랑하는 수렴정리가 이 문제를 해결한다고 주장할 수 있기 때문이다. 그러나 화마키스가 보기에 이론 간의 경쟁 상황에서 입증이나 경험적 성공의 개념은 패러다임 의존적이며, 중립적이지 않다. 따라서 편향은 계속된다.¹⁵⁾

이러한 편향은 쿤과 베이즈주의 사이에 자리잡고 있는 증거 개념의 차이에서 기인한다. 베이즈 정리에 따르면, 증거에 대한 기대도 $p(e|b)$ 는 다음과 같이 규정된다.

$$p(e|b) = p(h_1|b) \times p(e|h_1 \cdot b) + p(h_2|b) \times p(e|h_2 \cdot b) + \dots + p(h_n|b) \times p(e|h_n \cdot b) \quad [5]$$

경쟁하는 이론들을 비교하고자 하는 이는, 이와 같이 각각의 이론에 비추어 증거의 우도와 사전확률을 평가하여 증거의 기대도를 결정하여야 한다.

14) Kuhn (1983a), p. 670.

15) Famakis (2008), p. 49.

그러나 이는 어느 쪽에서 시도하건 잘 이루어질 수 없는 작업이다. h_1 의 지지자가 자신의 전통에 따라서 우도 $p(e|h_1 \cdot b)$ 은 잘 정의할 수 있어도 경쟁 대상인 공약불가능한 이론 h_2 에 대한 우도 $p(e|h_2 \cdot b)$ 까지 잘 정의할 수 있을 것이라고는 기대할 수 없다. 이는 e 가 h_1 의 지지자에게는 h_2 를 위한 가능한 증거로 수용조차 되지 않기에 그러하다. 따라서 어떤 증거건 자신이 지지하는 이론에 유리하게 해석된다. 다시 말해 강한 이론적재성이 개입된다. 같은 증거를 바탕으로 출발하는 베이즈주의의 입장에서 이는 치명적인 문제가 된다. 화마키스는 국소적 공약불가능성을 전제하는 경우, 공통된 증거가 있을 수 있다는 점은 인정하지만, 과학혁명기의 대부분의 증거들은 그렇지 않다고 강조한다.¹⁶⁾ 다시 말해 베이즈주의는 쿤과 점점을 찾기에는 너무나 멀리 떨어져 있으며, 제기된 문제들은 새면의 접근법으로는 해결될 수 없다.

베이즈주의 입장 이론이 완전한 번역가능성을 전제하여야만 적용가능한 것이라면, 공약불가능성 논제는 베이즈주의에 치명적인 타격을 가할 것으로 보인다.¹⁷⁾ 그러나 공약불가능성 논제가 베이즈주의에 치명타를 가하는지 확인하기 전에 화마키스의 논의부터 되짚어보도록 하자.

우선 화마키스의 공약불가능성에 대한 강한 해석은 유효한가? 화마키스도 인정한 것처럼 쿤 자신은 전면적 공약불가능성을 주장한 적이 없다. 이미 『구조』에서 국소적 공약불가능성 개념을 찾아볼 수 있으며, 쿤은 자신의 공약불가능성 개념을 전면적으로 해석한 비판자들에 대응하여 국소적 공약불가능성 논제를 강하게 설파했다.¹⁸⁾ 물론, 쿤의 의도와는 별개로 공약불가능성을 강하게 해석하여야 한다고 주장할 수 있다. 그러나 공약불가능성 논제를 전면적인 것으로 해석하면 심각한 난점이 등장한다. 전면적 공약불가능성 논제가 참일 경우, 우리는 다른 언어를 결코 번역하거나 이해할 수 없을 것이다. 그렇다면 우리는 공약불가능한 언어를 사용하는 이들

16) Farmakis (2008), pp. 51–2.

17) 베이즈주의에 대한 이러한 문제제기는 라우든(Laudan)에 의해서도 이루어진 바 있다. 라우든은 번역불가능성이 베이즈주의 방법론에 타격을 가할 것이라 평가했다. Laudan (1976), p. 595.

18) Kuhn (1970), p. 169, Kuhn (1983a).

을 인간이라고 확신할 수조차 없다는 데이비슨(Davidson) 식의 비판에 직면한다. 전면적인 물이해와 대화불능의 상태에서는 공약불가능한 두 이론들이 서로 경쟁한다고 말할 수조차 없다. 비교, 경쟁, 양립가능성 여부와 같은 개념들은 어떤 공통적인 기반을 전제해야 한다.¹⁹⁾ 그러나 쿤은 과학 혁명기의 이론 경쟁 및 이론들 사이의 양립불가능성을 논한다. 전면적 공약불가능성 개념을 채택하면 쿤은 자가당착적 주장을 하는 셈이다. 따라서 쿤의 공약불가능성 개념은 전면적 공약불가능성으로 해석되어서는 안 되며, 국소적 공약불가능성으로 해석되어야만 한다.²⁰⁾

그렇다면 국소적 공약불가능성이 나타나는 상황에서는 증거를 어떻게 이해할 수 있는가? 일단 공약불가능성이 국소적으로 해석되는 한, 이론 내에서 상호 번역가능하지 않은 하위 집단에 속하는 용어들은 공약불가능한 이론들 사이에서 의미론적 공통기반을 구축할 수 있다. 따라서 이론들의 내용 중 일부는 직접적으로 비교될 수 있으며, 공약불가능한 이론은 이와 같은 공약가능한 부분을 통해서 비교될 수 있다.²¹⁾ 이와 같이 공약가능한 부분들에서는 경쟁하는 두 이론의 지지자들이 공유할 수 있는 증거가 나타난다. 이에 대해 앞서 살펴본 바와 같이 화마키스는 과학혁명의 시기에는 공유할 수 있는 증거보다 그렇지 않은 증거가 더 많다고 주장한다. 물론 논리적으로는, 혹은 우리의 상상 속에서는 공유할 수 없는 증거들이 더 많을 수 있다. 그러나 실제 과학사를 들려보았을 때 정말 그러했는지는 별개의 문제이다. 화마키스는 공유할 수 없는 증거들이 더 많다고 주장했을 뿐, 그에 대한 근거는 제시하지 않았다.

서로 경쟁하고 있으면서 공약불가능한 두 이론들이 공유하고 있는 증거의 사례를 살펴보자. 처음으로 제시할 사례는 데카르트 역학과 뉴턴 역학

19) 이러한 방식의 비판은 다음에서 찾을 수 있다. Davidson (1974), Putnam (1981), pp. 113-9, Laudan (1990), pp. 124-6.

20) 나는 전면적 공약불가능성 개념이 '절대로' 옹호될 수 없다고 주장하는 것이 아니다. 전면적 공약불가능성 개념을 옹호하기 위해서는 비교, 경쟁, 양립불가능성이라는 문제들에 대한 설득력 있는 논변을 제시하여야만 한다고 주장할 뿐이다. 이에 대한 좀 더 세련되고 설득력 있는 논변이 있을 수 있겠지만, 적어도 화마키스는 해당 논문에서 그러한 논변을 제시하지 못했다.

21) Hoyningen-Huene (1990), p. 489.

이 경쟁하던 시기에 문제가 되었던 케플러의 법칙 문제이다. 잘 알려진 바와 같이, 『프린키피아』가 출판되고 난 이후에도 프랑스를 중심으로 한 유럽의 많은 학자들은 여전히 뉴턴 역학을 거부하고 데카르트 역학을 고수하고 있었다. 이 두 역학은 서로 경쟁함과 동시에 공약불가능한 이론이었다. 데카르트 역학의 핵심 개념인 미립자들의 소용돌이(vortex)와 같은 것들은 뉴턴 역학의 체계 내에서 완벽하게 번역될 수 없는 개념이었으며, 뉴턴 역학의 원격작용 개념도 데카르트주의자들은 받아들일 수 없는 오컬트적 개념이었다. 과학적 이론에 대한 태도에서도 두 입장은 차이를 보인다. 뉴턴 역학의 지지자들에게 중력의 원인에 대한 탐구는 불필요한 일임에 반해, 데카르트 역학의 지지자들에게는 중력이라는 현상을 명석판명하게 연역하는 원인들에 대한 탐구는 필수적이었다. 그럼에도 불구하고, 두 역학 이론 모두 케플러의 법칙을 설명하는 데에 힘을 기울였다는 점은 주목할 필요가 있다.

뉴턴(Newton)이 『프린키피아』에서 자신의 이론으로부터 케플러의 법칙들을 유도해낼 수 있다는 강점을 선전하고 난 이후, 라이프니츠(Leibniz)나 화이현스(Huygens) 등의 대류의 데카르트주의자들 역시 소용돌이 이론에서도 케플러의 법칙들을 이끌어내는 데에 힘을 쏟았다. 문제는 데카르트가 제안한 단순 소용돌이 이론으로는 행성들의 타원궤도를 이끌어낼 수 없었다는 점이었다. 그렇기에 라이프니츠의 경우, 데카르트의 단순 소용돌이 이론을 수정하여 조화 소용돌이(harmonic vortex)와 같은 것들을 제안하기도 했다. 물론 뉴턴주의자들은 그러한 시도에 대해서 여러 비판을 했지만, 그 비판은 소용돌이 이론을 통해 케플러의 법칙을 유도해도 소용이 없다는 것이 아니라 소용돌이 이론과 케플러의 법칙이 양립 불가능하다는 것이었다.²²⁾ 결국 양측 모두에게 있어서 케플러의 법칙은 그들 자신에게 있어서

22) 데카르트주의자들이 처음부터 케플러의 법칙의 중요성을 알아챈 것은 아니다. 초기의 많은 이들은 케플러의 법칙과 소용돌이 이론이 충돌하는 것에 대해서 크게 주의를 기울이지 않았다. 그러나 뉴턴의 등장 이후, 데카르트주의자들은 케플러의 법칙에 주목할 수밖에 없었다. 뉴턴주의자인 D. 그레고리(Gregory)의 경우, 여러 행성들이 케플러의 제3 법칙을 만족하는데, 이는 라이프니츠의 조화 소용돌이 이론과 비일관적이라고 비판하였다. 이 논문에서 뉴턴주의자들과 데카르트주의자들 사이의 대결과 관련된 내용은 다

나 상대방에게 있어서나 모두 중요한 증거였으며, 케플러의 법칙을 다르게 해석할 이유도 없었다. 양측 모두에게 행성들은 케플러의 법칙을 따르고 있었다. 적어도 이 맥락에서는 케플러의 법칙이 양측에게 다르게 해석되고, 다른 의미를 지니고, 동일하지 않다는 주장은 용인될 수 없다.

다음으로 제시할 사례는 빛에 대한 미립자 이론과 파동 이론 사이의 대결에서 나타난 포아송 반점(Poisson's spot)의 문제이다. 미립자 이론과 파동 이론은 빛에 대해서 근본적으로 다른 존재론적 모형을 전제하고 있으며, 그에 따라 어떤 문제에 대한 모범적인 답변 역시 다를 수밖에 없었다. 이를테면 편광 현상에 대한 해석에서도 미립자 이론의 지지자들은 입자들의 모양 및 공간의 비대칭성으로 설명한 반면, 파동 이론의 지지자들은 횡파의 위상차로 설명하고자 하였다. 분명 이 두 이론들은 공약불가능하며, 서로 경쟁하는 이론들이었다. 만약 화마키스의 주장이 옳다면, 이 두 이론의 지지자들은 각각 상대방 이론의 증거가 될 수 있는 현상을 무의미한 것으로 받아들여야 한다. 그러나 과연 그러하였는가?

뉴턴의 영향 아래 미립자론이 지배적이던 19세기 초, 프레넬(Fresnel)은 프랑스 학술원에서 주는 상을 받기 위해서 자신의 파동 이론을 제출하였다. 그런데 뉴턴주의자이자 미립자론자인 심사위원 포아송(Poisson)은 프레넬의 이론을 따를 경우, 점광원(point light source)에 의해 만들어진 원반의 그림자는 전체적으로 검지 않으며, 그 한 가운데에 밝은 반점이 나타나야 한다고 주장하였다. 이러한 결론은 포아송 같은 미립자론자들은 받아들일 수 없었던 것이었으며, 프레넬조차 생각하지 못했던 것이었다. 그러나 정교한 실험을 수행한 결과 그러한 밝은 반점이 정말로 나타났다. 이 사건에 대해서 쿤은 “프랑스 학자들의 저항은 순식간에 그리고 거의 완전하게 붕괴되었다”고 평했다.²³⁾

앞서 살펴본 바와 같이 화마키스는 어떤 e 가 h_2 의 지지자들에게는 증거로 여겨지더라도, h_1 의 지지자들에게는 그렇게 여겨지지 않는 이유가 h_1 의 지지자는 우도 $p(e | h_1 \cdot b)$ 는 잘 정의할 수 있으나 경쟁 대상인 공

음의 저작들을 참고하였다. Aiton (1972), Baigrie (1988).

23) Kuhn (1970), p. 155.

약불가능한 이론 h_2 에 대한 우도 $p(e|h_2 \cdot b)$ 까지 잘 정의할 수 없기 때문이라고 말한다. 그러나 프레넬의 이론을 따를 경우 밝은 반점이 나타날 것이라는 결론은 양측 모두 받아들였다. 따라서 포아송 반점에 사례에서 포아송은 우도 $p(e|h_2 \cdot b)$ 를 잘 정의했다고 보아야 한다.²⁴⁾

지금 제시한 사례들은 “ h_1 의 지지자에게는 e 가 h_2 를 위한 가능한 증거로 수용조차 되지 않는다”거나 “ e 가 h_2 에 대해서는 무의미하다”라는 화마키스의 주장²⁵⁾에 심각한 문제가 있음을 보여준다. 그의 주장과는 달리 h_1 의 지지자에게 e 가 h_2 를 위한 가능한 증거로 수용되는 경우들은 확실하게 발견된다. 이는 공약불가능성의 국소적 성격 때문에 나타나는 현상이다. 이에 대한 호이닝엔-휘네(Hoyningen-Huene)의 설명을 살펴보자.

…공약불가능성의 **국소적** 성격 때문에 두 이론의 경험적 귀결 중 **일부**를 **직접적으로** 비교할 수 있다. 다시 말해, 상호 공약불가능한 용어들이 포함되어 있지 않는 경우가 이에 해당된다. 프톨레마이오스 이론과 코페르니쿠스 이론을 문제의 경우로서 다시 생각해보자. 이 두 이론은 공약불가능하지만, 예를 들어 하늘에 있는 화성의 위치에 대한 각각의 예측은 직접 비교할 수 있다. 따라서 각각의 예측의 정확성을 비교하는 것은 원칙적으로 문제가 없다.(Hoyningen-Huene 1990, p. 489. 강조는 원저자)

앞서 제시한 사례들에서 케플러의 법칙, 행성들의 궤도와 관련된 용어들은 뉴턴 역학과 데카르트 역학 모두 공유하는 것이었다. 마찬가지로 미립자 이론이나 파동이론 모두 파동의 성질 및 그와 관련된 수학적 계산 방법 등은 공유하고 있었다. 그렇기에 어떤 e 를 양측 모두 중요한 것으로 여기거나, 심지어 상대방 이론을 전제했을 때 그 e 의 우도까지 산출할 수 있었던 것이다. 이와 같은 상황에서 화마키스의 무리한 주장을 받아들여야 할 이유는 없다.²⁶⁾

24) 심지어 포아송은 밝은 반점이 나타난 이후에도 파동 이론을 받아들이지 않고 미립자 이론을 고수하였다.

25) Farmakis (2008), p. 51.

26) 여영서 (2011)가 “베이즈주의 행위자는 다른 과학적 전통의 경쟁 이론에 대해 0의 사전확률조차 부여할 수 없다는 화마키스의 주장은 쿤의 공약불가

화마키스는 설령 두 이론의 지지자들이 증거를 기술하는 용어들을 공유하고 있다고 해도 그들은 각자 자신들의 이론적 틀에서 증거를 관찰하기 때문에 결국은 증거에 대해서 다른 판단을 하게 된다고 주장할지도 모르겠다. 이를테면 아침에 떠오르는 태양을 보면서 코페르니쿠스주의자는 ‘오늘도 지구가 자전을 했군’이라고 판단하는 반면, 프톨레마이오스주의자들은 ‘오늘도 태양이 한바퀴 돌았군’이라고 판단한다는 것이다. 그러나 이 역시 이론적재성 논제를 과격하게 해석한 주장에 불과하다.

이와 같은 과격한 이론적재성 논제에 의하면 프톨레마이오스주의자들의 천체 관측 결과와 코페르니쿠스주의자들의 천체 관측 결과는 근본적으로 달라야 한다. 이는 천체 관측을 하는 이들이 그들의 천문학 이론에 의지하여 관측행위를 하기 때문이다. 그렇기 때문에 프톨레마이오스주의자들의 천체 관측 결과는 언제나 프톨레마이오스주의를 지지하는 결과를 산출할 수밖에 없다. 화마키스 역시 이와 같은 주장을 펼치고 있다.²⁷⁾

그러나 이는 특정 철학적 논제에 매몰되어 과학자들의 실제 활동을 지나치게 단순히 해석하였기 때문에 나타나는 결론이다. 코페르니쿠스 혁명 과정에서 사용된 천문자료들은 천문학 이론과는 독립적으로 발전된 관측적 전통과 기구에 의지한 것이었다. 코페르니쿠스주의에 결정적인 기여를 한 케플러 역시 코페르니쿠스의 모형과 경쟁하는 모형을 제안한 브라헤의 관측 자료를 바탕으로 코페르니쿠스의 천문학을 개선하였다. 다시 말해, 관찰에 적재되는 이론과 과학혁명기에 경쟁하는 이론들은 구분되어야 한다. 일반적으로 과학자들은 서로 경쟁하는 이론 중에서 선택 작업을 할 때, 해당 이론들이 개입하지 않는 관찰자료를 판단 기준으로 삼고자 한다.²⁸⁾ 과격한

능성을 추상적으로 이해한 결과”라고 평한 이유는 바로 이 지점에 있는 것 같다. 다른 과학적 전통의 이론에 대해서 아무런 확률도 부여할 수 없다는 주장이 일관적이 되려면 아예 전면적 공약불가능성을 강하게 주장하여야 한다. 그러나 이미 언급한 바와 같이 화마키스는 자신의 논문에서 전면적 공약불가능성 논제를 옹호할 만한 좋은 이유를 전혀 제시하지 못했다.

27) Farmakis (2008), p. 51.

28) 공약불가능성이 나타나는 상황에서 공유하고 있는 증거를 통해 두 이론 간의 차별적 비교가 가능함을 보여주는 다른 사례들은 조인래 (1996)를 참조 하라.

형태의 이론적재성 논제가 옳다면 19세기 프랑스의 입자론자들이 원형 그림자 속의 밝은 반점을 보면서 보인 반응은 전혀 설명되지 않는다. 서로 경쟁 중인 공약불가능한 이론들 사이에서 공유되는 증거들이 드물다고 말할 이유는 없다.

4. 새로운 확률함수의 문제들

2011년, 여영서는 「쿤과 베이즈의 세 번째 만남」이라는 논문을 통해 과학혁명의 이론 선택 과정을 베이즈주의적으로 해명할 수 있는 방안을 제시한다. 그는 이어면의 제안을 받아들여 새로운 이론을 옹호하는 과학자들이 기존의 확률함수(p)와는 구별되는 다른 확률함수(p^*)를 가질 수 있음을 인정한다. 그에 따르면 과학혁명은 p 를 따르는 과학자들이 줄어들고, p^* 를 따르는 과학자들이 늘어나다가 결국 p^* 가 지배적인 확률함수로 자리 잡는 과정이다. 과학혁명을 이해하기 위해서는 두 종류의 서로 다른 확률함수가 필요하다.²⁹⁾

그렇다면 서로 다른 확률함수 아래에서 두 경쟁하는 이론 간의 비교는 어떻게 이루어지는가? 여영서는 새먼의 [BA]를 응용하여 다음과 같은 패러다임 의존적 베이즈 알고리듬(이하 [PBA])를 제안한다.

$$\frac{p(h_1|e \cdot b)}{p^*(h_2|e^* \cdot b)} = \frac{\frac{p(e|h_1 \cdot b) \cdot p(h_1|b)}{p(e|b)}}{\frac{p^*(e^*|h_2 \cdot b) \cdot p^*(h_2|b)}{p^*(e^*|b)}} \quad [7]$$

[PBA]는 동일한 현상을 서로 다른 관찰증거인 e 와 e^* 로 해석하는 과학자들이 베이즈 정리를 이용하여 각각 h_1 과 h_2 의 사후확률을 계산하여 비교하는 방안이다.³⁰⁾

29) 여영서 (2011), p. 95.

30) Ibid., p. 96.

그러나 두 사람이 서로 다른 확률함수를 채택한다고 했을 때, 이와 같은 비교가 정말로 가능한가? 여영서의 해결책에 대해 전영삼은 다음과 같이 부정적인 결론을 내린다.

하지만 단순히 결과적인 확률값의 비교가 아니라면, p 와 p^* 가 다를 뿐만 아니라, e 와 e^* 까지도 다른 상태에서, 어떻게 두 사후 확률이 비교될 수 있는지 매우 이해하기 어렵다(보통의 베이즈주의자들은 앞서의 [BA]에서처럼 동일한 확률함수, 동일한 증거를 기반으로 서로 경쟁하는 가설들을 비교할 뿐이다!). 이러한 식의 확률값의 비교가 무의미함은, 화마키스나 쿤을 들지 않는다 할지라도, 예컨대 이미 케인즈의……간단한 논증만으로도 쉽사리 보여줄 수 있다.(전영삼 2011, p. 61)

내가 보기에 전영삼의 지적은 타당해 보인다. 서로 다른 확률함수를, 서로 다른 증거를 바탕으로 비교하는 것이 어떻게 가능한가? 심지어 여영서는 배경지식마저 달라질 가능성도 열어놓고 있다.³¹⁾ 그러면 서로 다른 두 확률함수를 비교하는 작업은 단지 숫자로 나타나는 확률값의 비교에 불과하며, 서로 무관한 세계를 비교하는 것과 다를 바 없다. 이와 같은 상황에서 서로 대립하고 있는 두 과학자는 두 이론의 사후확률값의 비교에 동의하지 않을 것이다. 설령 그러한 비교에는 동의하더라도 그 결과에 대해서 쉽게 동의하지 않을 것이다. 왜냐하면 이론 h_1 을 지지하는 과학자에게 두 이론간의 베이즈적 비교는 [8]과 같이, 이론 h_2 을 지지하는 과학자에게 두 이론 간의 베이즈적 비교는 [9]와 같이 이루어질 것으로 예상되기 때문이다.

$$\frac{p(h_1|e \cdot b)}{p(h_2|e \cdot b)} = \frac{\frac{p(e|h_1 \cdot b) \cdot p(h_1|b)}{p(e|b)}}{\frac{p(e|h_2 \cdot b) \cdot p(h_2|b)}{p(e|b)}} = \frac{p(e|h_1 \cdot b) \cdot p(h_1|b)}{p(e|h_2 \cdot b) \cdot p(h_2|b)} \quad [8]$$

31) Ibid., p. 96, n.48.

$$\begin{aligned}
 \frac{p^*(h_1 | e^* \cdot b^*)}{p^*(h_2 | e^* \cdot b^*)} &= \frac{\frac{p^*(e^* | h_1 \cdot b^*) \cdot p(h_1 | b^*)}{p^*(e^* | b^*)}}{\frac{p^*(e^* | h_2 \cdot b^*) \cdot p(h_2 | b^*)}{p^*(e^* | b^*)}} \\
 &= \frac{p^*(e^* | h_1 \cdot b^*) \cdot p(h_1 | b^*)}{p^*(e^* | h_2 \cdot b^*) \cdot p(h_2 | b^*)} \quad [9]
 \end{aligned}$$

이러한 상황에서는 [8]과 [9]의 값이 일치한다거나, 유사할 것이라는 기대는 접어두는 편이 좋다. 그렇다면, 여영서식의 패러다임 의존적 베이즈 알고리듬은 희망이 없는가? 그렇지는 않다. 만약 개인의 믿음이나 판단이 전제되어야 공동체 내에서의 합의가 가능하다고 본다면 해결책이 없지는 않다.³²⁾

두 이론 h_1 과 h_2 가 경쟁하고 있는 상황에서 특정 이론을 지지하는 과학자를 생각해보자. 그 과학자는 자신의 확률함수와 배경지식, e 에 대한 해석, 경쟁하는 가설 h_1 및 h_2 에 대한 이해를 바탕으로 [BA]를 통해 두 이론을 비교할 수 있다. 그것이 [8] 또는 [9]로 나타난다. 여기서의 비교 평가는 개인적 차원에서 이루어지기 때문에 자기 자신과의 의사소통에 실패하는 이상한 일이 일어나지 않는 이상 공약불가능성의 문제는 일어나지 않는다. 개인적 수준에서 [BA]는 여전히 작동할 수 있다.

일단 개인적 수준에서 [BA]가 작동한다는 점을 받아들인다고 해도 문제는 남는다. 이러한 상황에서 서로 다른 이론의 지지자들은 서로 다른 확률함수를 바탕으로 판단을 내린다. 그렇다면 어떻게 이들이 개인적 수준에서라도 합리적 비교를 한다고 말할 수 있느냐는 것이다. h_1 의 확률값은 p 를

32) 대표적인 집단적 의사결정 수단인 투표를 생각해보라. 이 경우 집단적 결정은 투표에 참여하는 개인이 어떤 안건이나 후보자에 대한 결정을 완료하고 나서야만 가능하다. 물론 과학자 공동체의 집단적 결정이 투표와 똑같다고 말하기는 힘들다. 그러나 두 경쟁하는 이론의 지지자들 사이의 논쟁이 가능하려면, 개인들이 먼저 각 이론들에 대한 태도를 결정하여야만 한다. 그렇기에 집단적 결정을 논하기에 앞서 개인적 결정의 과정을 살펴보는 것이 우선이 될 수밖에 없다.

통해, h_2 의 확률값은 p^* 를 통해 판단하여야만 왜곡이 발생하지 않는다고 볼 수 있는데 말이다. 물론 정말로 두 확률 함수가 본질적으로 다른 것이라면 이와 같은 문제 제기는 옳다. 그런데 정말 두 함수가 달라야만 하는가?

p 와 p^* 의 비교에 앞서 새로운 이론의 등장에 관한 쿤의 언급을 살펴보자.

(코페르니쿠스 천문학, 갈릴레오 역학, 뉴턴 광학, 양자역학 등을 언급하고 난 후에) ……모든 경우에 변칙 사례에 대한 인지는 오래 지속되었고 심각해져서 그 분야들은 위기가 증폭되는 상황에 놓이게 되었다고 표현할 정도였다. 새로운 이론의 출현은 패러다임의 대규모적 파괴와 정상과학의 문제 및 기술상의 주요 변혁을 요하기 때문에 일반적으로 학문적 불안정이 현저한 시기를 거친 후에 이루어진다. 예상할 수 있듯이 그러한 불안정 상태는 정상과학의 퍼즐들이 예상된 해답을 얻는데 계속적으로 실패함으로써 유발된다. 기존규칙의 실패는 새로운 규칙추구의 전조인 것이다.(Kuhn 1970, p. 67-8. 강조는 추가)

지나친 단순화의 위험을 무릅쓰고 말하자면, 기존의 패러다임이나 이론의 위기는 어떤 현상 e 를 해결하는 데 실패하면서 나타난다. e 에 의해 기존 이론의 확률이 감소한다고 볼 수 있는 것이다. 즉, $p(h_1|e \cdot b) < p(h_1|b)$ 이다. 이와 같은 확률의 변화가 베이즈 정리를 따르고, 또한 우리가 $p_f(h_1|b) = p_i(h_1|e \cdot b)$ 와 같은 베이즈 조건화 규칙을 받아들인다고 하자. 그렇다면 이론 h_1 의 확률은 $p_i(h_1|b)$ 에서 $p_f(h_1|b)$ 로 바뀌어야 한다. 그런데 이 과정에서 확률에 대한 해석이나, 확률 산출의 방법에 근본적인 변화가 있었는가? 아니다. 단지 우리의 믿음이 e 에 의해 바뀌었을 뿐이다. 배경지식 속에 e 가 추가되면서 배경지식 역시 이 과정에서 변화하였지만, 근본적으로 확률함수 자체가 바뀐 것은 아니다. 설령 확률함수가 변하였다고 하더라도 베이즈주의자들이 이러한 변화 때문에 $p_i(h_1|b)$ 와 $p_f(h_1|b)$ 가 비교불가능하다거나, 베이즈주의 입장이론이 심각한 문제에 부딪힌다고 여기지는 않을 것이다.

이 점을 고려한다면, 우선 배경지식이 b 에서 b^* 로 변하는 문제는 대부

분의 경우, 앞서 위기 상황과 마찬가지로 새로운 증거들에 의하여 배경지식 집합이 바뀌는 것으로 이해할 수 있다. 이는 일종의 학습이며, 베이즈 조건화 규칙에 의해 해명할 수 있다.

다음으로 새로운 확률함수 p^* 의 필요성에 대한 의문제기가 가능하다. 이어면이 새로운 확률함수 p^* 를 도입한 이유는, $p(h_1|b) + p(h_c|b) = 1$ 과 같이, 사전확률의 총합이 고정되어 있기 때문이다.³³⁾ 어떤 새로운 가설 h_2 가 들어오려면 1의 확률값 중 일부를 남겨놓아야 하는데, 미리 그 값을 알 수는 없다. 따라서 $p^*(h_c|b) = p(h_2|b) + p(h_c|b)$ 가 되도록 조정된 새로운 확률함수가 도입되어야 한다.³⁴⁾ 그러나 새로운 이론이 도입되는 시기는 많은 수의, 혹은 오랫동안 풀리지 않는 중요한 문제들 때문에 기존 이론 h_1 의 신뢰성에 의문이 제기되는 위기의 시기이다. 즉 h_1 의 확률은 그 전성기 때보다 많이 감소한 상태이다.³⁵⁾ 적어도 새로운 이론 h_2 를 고려하고자 하는 이에게는 확실히 그러하다. 그렇기에 새로운 이론이 등장했을 때, 그것에 고려할 만한 수준의 사전확률을 부여할 수 있을 정도로 $p(h_c|b)$ 확률값이 확보되어 있는 상태이다.³⁶⁾ 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, [BA]를 사용할 수 있다.

이미 3절에서 살펴본 바와 같이 경쟁하는 이론의 지지자들조차 수용하는, 증거 e 는 쉽게 찾을 수 있다. 뉴턴주의자와 데카르트주의자 모두에게

33) 여기서 h_c 는 h_1 을 제외한 잔여가설들을 표현한다.

34) Earman (1992), p. 196.

35) 쿤이 『구조』 7절에서 서술한 프톨레마이오스 체계 및 플로지스톤 화학의 위기 상황을 보라.

36) 익명의 심사위원은 ‘고려할 만한 수준’이 어느 정도일지의 문제가 명료하지 않다는 점을 지적하였다. 이에 대해 고려할 만한 수준의 사전확률값 k , 혹은 k 를 산출할 수 있는 조건들을 명료하게 제시할 수 있으면 좋을 것이다. 그러나 이와 같은 값을 제시하는 일은 매우 어렵고 그 값은 개인마다 다를 것이라 생각된다. 여기서는 기존 이론이 심각한 위기를 맞는 상황이 일부 과학자들에게는 새로운 대안 이론을 고려할 만한 계기를 제공한다고 말할 수 밖에 없다. Kuhn (1970), p. 86.

케플러의 법칙은 공유하고 있는 증거였으며, 빛의 본성에 관한 논쟁에서 미립자론자들조차 원형 그림자 한 가운데 밝은 점이 나타났다는 사실을 부정할 수 없었다. 즉 e 와 근본적으로 차이가 있는 e^* 를 상정할 필요 역시 없다.³⁷⁾ 정리하자면, 베이즈주의자들은 무리하며 새로운 확률함수 p^* 를 도입할 필요가 없다.³⁸⁾

37) 물론 나는 여기서 경쟁 중인 공약불가능한 이론 사이에서 문제가 되는 증거들이 모두 공유된다고 주장하는 것은 아니다. 금속의 성질 문제의 경우, 플로지스톤 이론가들에게는 그것이 증거로 받아들여졌으나, 산소 이론가들에게는 그것은 논의의 대상조차 되지 못하였다.

38) 익명의 심사위원은 다음과 같은 문제를 제기하였다. 과학혁명기에 등장하는 새 이론은 흔히 기존의 이론과는 매우 다르며, 그렇기에 설령 공유하는 증거에 대해서도 두 이론의 지지자들은 매우 다른 태도를 취할 수 있다. 따라서 구 이론의 지지자들은 새 이론을 지지한다고 알려진 증거에 대해서도 그 증거가 두 이론의 신뢰도에 약간의 차이만을 불러온다고 여길 수 있는 반면. 새 이론의 지지자들은 매우 큰 차이가 나타난다고 말하게 된다. 이러한 차이를 반영하기 위해 기존의 논자들이 새로운 이론에 걸맞는 새로운 확률함수를 도입하였으며, 이 새로운 확률함수 도입에 의한 선호도 변화는 단순 조건화의 결과로 인하여 나타나는 선호도 변화와 차원이 다르다는 것이다. 심사위원의 이러한 지적은 매우 설득력이 있다. 그럼에도 불구하고 나는 다음과 같은 이유 때문에 적어도 개인적 수준에서는 새로운 이론이 나타난다는 이유로 새로운 확률함수를 도입할 이유는 없다고 본다.

우선, 새로운 이론이 없더라도 확률함수는 개인에 따라 다르다. 개인의 누적된 경험, 교육, 천성적 성향 등을 고려하면 사람은 자신만의 독특한 확률함수를 가질 것이다. 그렇기에 개인에 따라 증거들에 대한 평가도 달라지며, 위기에 대한 반응의 정도도 다르다. 좀 더 보수적인 확률함수를 가진 이들은 수많은 변칙들(anomalies)이 나타나더라도 대안 이론에 대해 매우 낮은 확률을 부여할 것이며, 좀 더 혁신적인 확률함수를 가진 이들은 변칙 사례에 비추어 기존 이론의 확률에 낮은 확률을 부여할 것이다. 그렇기 때문에 어떤 과학자들은 기존 이론을 고수하는 한편, 다른 학자들은 새로운 이론을 찾아나선다. 다시 말해 새로운 이론 때문에 새로운 확률함수를 도입하는 것이 아니라, 이미 학자들마다 다른 확률함수를 가지고 있기에 새로운 이론이 등장할 수 있는 것이다. 그리고 과학자 개인은 이와 같은 개인적 확률함수들을 바탕으로 경쟁 중인 이론들에 대해서 평가를 내리고, 무엇을 지지할지 태도를 결정하게 된다. 이와 같은 이유로 5절의 화학혁명 사례에 대한 분석 역시 한 과학자의 믿음 변화를 중심으로 살펴볼 것이다.

5. 화학혁명 분석

그렇다면 이제 새면이 제안한 베이즈 알고리듬을 역사적 사례 분석에는 어떻게 적용할 수 있는지 구체적으로 살펴보자. 여기서 분석하고자 하는 사례는 라부아지에(Lavoisier)의 화학혁명이다. 화학혁명은 본 이전부터 많은 이들이 과학혁명의 대표적인 사례로 언급했던 사건이다. 이처럼 대표적인 과학혁명의 사례를 베이즈 알고리듬을 통해 분석할 수 있다면, 본의 과학관과 베이즈주의 입장 이론이 서로 만나는 지점을 찾을 수 있으리라는 희망을 가져도 좋을 것이다.

플로지스톤 이론은 18세기 즈음 유럽에서 유행했던 화학 이론으로, 물질의 연소 및 금속의 하소(calcination)와 같은 현상들, 더 나아가 금속의 성질까지 통합적으로 설명하는 이론이었다. 이에 따르면 모든 물리적 대상은 화학적 원소(chemical elements)와 화학적 원리(chemical principles)로 구성되어 있는데. 여기서 원리는 원소에 특별한 성질을 부여한다. 이 원리 중에 대표적인 것이 플로지스톤으로, 만약 금속재(calxes)나 광석에 플로지스톤이 첨가되면 광택이 나고 좋은 열전도체가 되는 등 금속이 가진 여러 특성을 보인다. 플로지스톤이 공기로 이전되는 일은 연소, 호흡, 하소 과정에서 일어난다. 이 과정에서 플로지스톤의 함유량이 늘어난 공기는 생명체를 도울 수 있는 능력이 줄어들고, 반면 함유하고 있는 플로지스톤의 일부가 제거된 공기는 생명체를 효과적으로 지탱할 수 있다.³⁹⁾

이 플로지스톤 이론은 여러 현상들에 대한 통합적인 설명력을 제공함으로써 인기를 끌었지만, 곧이어 까다로운 문제에 부딪쳤다. 금속의 경우 하소의 결과 나타난 금속재의 질량이 원물질의 질량보다 증가하는 현상이 관찰된 것이다. 이는 1600년대부터 알려져 있던 사실로, 플로지스톤 이론가들은 이를 해결하기 위해 여러 가지 보조가설들을 제안하였다. 하소 과정에서 불의 입자가 금속재에 혼입되었다거나, 플로지스톤이 음의 질량을 가졌다거나, 하소 과정에 사용된 용기에서 빠져 나온 입자들이 금속재에 흡수되었다거나, 질량 증가 자체를 부정하는 것이 바로 그러한 보조가설들이

39) Kuhn (1983a), p. 675.

었다. 그러나 이 문제가 만족스럽게 해결되지 않은 상태에서 1772년에 라부아지에의 새로운 이론이 등장했다.⁴⁰⁾

여기서 플로지스톤 화학을 h_1 이라고 하고, 하소 이후 금속의 질량 증가 현상을 e 라고 하자. 금속의 질량 증가 현상은 이미 잘 알려져 있었고, 이 문제에 대한 만족할만한 해결책은 제시되지 않은 상태였다. 이러한 상황에서 산소 화학이 등장하기 전의 플로지스톤 이론의 확률값은 $p(h_1|b)$ 에서 $p(h_1|e \cdot b)$ 으로 변화하였을 것이고, 두 확률 사이의 관계는 $p(h_1|e \cdot b) < p(h_1|b)$ 와 같을 것이다. 이와 같이 가설의 확률이 충분히 낮아져 있는 상황에서 라부아지에는 새로운 이론 h_2 를 제안하였던 것이다. 잘 알려져 있다시피 산소 연소 이론에서는 연소 및 하소과정에서 공기(산소)가 핵심적인 역할을 하며, 하소 과정에서 금속재의 질량이 원 금속보다 증가하는 이유를 금속이 공기와 결합하기 때문이라고 설명한다. 이러한 상황에서 한 과학자는 플로지스톤 이론과 산소 이론 각각의 사후확률을 다음과 같이 계산할 것이다.

$$p(h_1|e \cdot b) = \frac{p(e|h_1 \cdot b) \times p(h_1|b)}{p(e|b)} \quad [10]$$

$$p(h_2|e \cdot b) = \frac{p(e|h_2 \cdot b) \times p(h_2|b)}{p(e|b)} \quad [11]$$

[10]과 [11]은 개인적 차원에서 이루어지는 계산이기 때문에, 배경지식에서 차이가 나지 않으며 증거 역시 양 이론 모두가 공유하는 것이었다. 따라서 아래와 같이 [BA]를 사용하는 데에 큰 문제가 발생하지 않는다.

$$\frac{p(h_1|e \cdot b)}{p(h_2|e \cdot b)} = \frac{p(e|h_1 \cdot b)}{p(e|h_2 \cdot b)} \times \frac{p(h_1|b)}{p(h_2|b)} \quad [12]$$

[12]에서 $p(e|h_2 \cdot b) > p(e|h_1 \cdot b)$ 이기 때문에 자연히 사후확률의 비율

⁴⁰⁾ Hoyningen-Huene (2008), p. 106.

은 산소 이론에 유리한 쪽으로 변화한다.⁴¹⁾ 즉 이 과학자가 어떤 이론을 지지하는 입장에 있건, 산소 이론에 대해 이전보다 더 높은 확률을 부여해야 한다. 물론 플로지스톤 이론가들은 이와 같은 문제를 해결하기 위해 앞서 살펴본 바와 같이 다양한 방식의 보조가설들을 제안하였다. 그러나 플로지스톤이 음의 질량을 가진다는 보조가설은 이미 널리 받아들여지고 있던 역학과의 일관성을 확보하지 못하였다. 질량 변화가 일어나지 않는다는 식의 주장 역시 오랜 기간 관찰된 질량변화 사례들과 충돌하였다. 결국 이 보조가설들은 배경지식 b 와 충돌하므로 대안적인 보조가설이 필요하였다. 대표적인 대안으로 플로지스톤이 금속에서 빠져나갔다가 공기의 특정 성분과 함께 다시 결합하여 금속재를 만든다는 제안이 있었다.⁴²⁾ 여기서는 이 재흡수 가설을 a_1 이라고 하자. 이제 a_1 을 도입한 결과, 두 이론의 우도가 비슷한 수준으로 맞추어졌다고 하자. 그렇다면 두 이론의 사후확률 비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{p(h_1 \cdot a_1 | e \cdot b)}{p(h_2 | e \cdot b)} = \frac{p(e | h_1 \cdot a_1 \cdot b)}{p(e | h_2 \cdot b)} \times \frac{p(h_1 \cdot a_1 | b)}{p(h_2 | b)} = \frac{p(h_1 \cdot a_1 | b)}{p(h_2 | b)} \quad [13]$$

이제 플로지스톤 이론가들은 h_1 대신 $h_1 \cdot a_1$ 을 받아들이고, 이에 따라 하소 과정을 설명하고 예측할 수 있을 것이다. 그런데 이 재흡수 가설에 대해서 라부아지에는 대포의 포신 내에 셋가루를 넣고 셋가루를 빨갛게 달아오를 때까지 가열한 후 물을 통과시키는 실험을 수행하였다. 이 실험의 결과 철의 검은 재와 가연성의 공기가 생성되는데, 플로지스톤 이론가들은 이를 플로지스톤(즉, 가연성 공기)이 철로부터 방출되고, 가연성의 공기가 빠져 나간 철은 물과 결합하여 검은 재가 되는 과정으로 설명하였다. 반면 라부아지에는 물이 산소(순수한 공기)와 가연성의 공기(수소)로 분해되고, 전자

41) 전통적인 플로지스톤 이론에서는 추가적 가정 없이 반응물의 질량증가를 설명하기 어려웠기 때문에 그 우도 값은 매우 낮을 수밖에 없다.

42) 이 가설은 커완(Kirwan), 캐번디시(Cavendish) 등이 채택하고 옹호하였다. 해당 가설과 관련된 실험의 서술 및 해석은 다음을 참고하였다. Kitcher (1993), pp. 278–90, 조인래(1996), pp. 177–182.

는 철과 결합하여 검은 재로, 후자는 그대로 방출된 것으로 설명하였다. 그런데, 이 실험에서 늘어난 금속의 질량과 동일한 질량의 산소를 실험에서 방출된 가연성의 공기와 결합시키면 물이 생성되었는데, 이 생성된 물의 질량이 실험 과정에서 줄어든 물의 질량과 같음이 밝혀졌다.⁴³⁾

이제 실험에서 줄어든 물의 질량이, 금속의 늘어난 질량과 동일한 질량의 산소를 실험에서 방출된 가연성의 공기와 결합하여 생성된 물의 질량과 같다는 결과를 e' 라고 하자. 그런데 이 e' 는 어느 이론을 지지하느냐에 따라 서로 다르게 해석되는 것처럼 보인다. 플로지스톤 이론가들에게는 이 결과가 ‘철에서 플로지스톤이 방출되고, 철이 물과 결합한 사건’으로부터 나타난 것임에 반해 산소이론가들에게는 ‘물이 산소와 수소로 분해되고, 철이 산소와 결합한 사건’으로부터 나타난 것이기 때문이다. 즉 이 ‘두 사건’에 대한 기술은 서로 공약불가능한 용어로 구성되어 있기 때문에 3절에서 살펴본 바와 같이 공약가능한 증거가 될 수 없으며, 이 실험에 대해서는 [BA]를 적용할 수 없는 것처럼 보인다. 그러나 과연 그러한가? 호이닝엔-휘네는 공약불가능한 용어들이 포함되더라도 합리적인 비교가 가능한 상황들에 대해서 다음과 같이 말한다.

옛 이론의 지지자는 새로운 개념적 어휘 중에서 그 자신의 것과는 다른 부분들을 식별하고 배워야 한다. …… 그러나 새로운 개념적 어휘에 완전히 능숙해지기 전이라도, 이론 비교의 가능성은 떠오를 수 있다. 일부 특정한 상황들에서 새로운 혹은 변화된 개념의 지시 대상을 옛 개념들에 의해 분간하는 법을 배우면, 이러한 경우가 성립한다.(Hoyningen-Huene 1990, pp. 489–90. 강조는 원저자의 것, 밑줄은 추가)

이를 이해하기 위해서 이제 막 산소 이론의 용어들을 배우기 시작한 옛 이론의 화학자를 상정해 보자. 그는 분명 산소나 수소와 같은 개념들을 완전히 이해하지는 못할 것이다. 그러나 몇몇 특정한 상황에서 그는 새 이론의 용어인 ‘산소’와 ‘수소’가 각각 과거의 용어인 ‘플로지스톤이 제거된 공

43) 이 실험 이전에 이미 라부아지에는 라플라스(Laplace)와 함께 산소와 가연성 공기(수소)를 함께 연소시켜 물을 얻어내는 실험을 수행하였다.

기'와 '가연성의 공기 또는 플로지스톤'과 같은 대상을 지시한다는 것을 알 수 있을 것이다.⁴⁴⁾ 이와 같이 특정한 상황에서 지시대상이 결정될 수 있다는 점은 쿤 자신도 인정한 부분이다. 물론 그는 이러한 지시 대상 결정이 번역과는 다른 작업이며, 지시 대상의 결정만으로는 성공적인 번역이 이루어질 수 없다고 주장했다.⁴⁵⁾

그러나 성공적인, 완전한 번역만이 이론간 비교의 필요조건은 아니다. 실세계 속의 대상을 다룬다는 점에서, 두 이론의 공약불가능한 개념적 용어들 각각이 특정한 맥락에서 같은 대상을 지시하는 경우 이론 간의 비교는 가능하다. 특히 이를 다른 공약가능한 개념들과 결합하여 분석할 경우 이 작업은 훨씬 수월해진다. 이는 번역이 이론적 유형들(theoretical types)사이에 이루어지는 것임에 반해, 경험적 비교는 개별 관찰들(observational tokens)에 대해서 이루어지기 때문에 그러하다. 포신에 물을 통과시키는 실험에 참가하는 과학자들이 해당 사건을 어떻게 기술하느냐에 관계없이, 이 실험의 맥락에 한정하여 산소가 순수한 공기, 또는 플로지스톤이 없는 공기와 동일한 대상을, 수소 또는 가연성 공기가 플로지스톤과 동일한 대상을 지시한다고 말할 수 있는 것이다. 결국 다른 사건 기술이 같은 개별 관찰 사례를 지시하는 셈이다. 물론 각 전술들에 포함된 핵심 용어인 플로지스톤과 산소 등은 서로 다른 개념적 연결망 내에서 고유의 연결 관계를 가지고 있기 때문에 두 사건 기술이 엄밀하게 같은 의미를 가지는 것은 아니다. 그러나 이것은 미묘한 뉘앙스 등을 전달하지 못한다는 점에서 그러할 뿐이며, 이 포신 실험에서는 미묘한 의미 차이는 중요한 역할을 하지 못한다. 따라서 이 특정한 상황에서 우리는 해당 사건 기술들을 동일한 증거 e' 로 취급할 수 있다.⁴⁶⁾ 여전히 [BA]를 사용할 수 있

44) 더 자세한 논의는 다음을 참고하라. Kitcher (1978).

45) Kuhn (1983a), pp. 674-6.

46) 미국인 은행원, 한국인 전기기술자, 베트남인 천문학자 각각이 'sun', '태양', 'Mặt Trời'이라는 용어를 사용하는 경우를 살펴보자. 분명 해당 용어들의 의미는 정확히 일치하지 않으며 공약불가능하다고 말할 수 있다. 그러나 특정 상황에서 이들은 모두 같은 대상을 지시할 수 있으며, 그 상황에서 타인이 지시하는 대상과 자신이 지시하는 대상이 동일하다는 주장에 동의할 수 있다. 마찬가지로 상이한 과학 이론의 지지자들 역시 같은 합의에 도달할

는 것이다.

이제 포신 실험에 참가한 과학자는 이론들의 사후확률 비를 아래와 같이 계산할 것이다.

$$\frac{p(h_1 \cdot a_1 | e' \cdot b)}{p(h_2 | e' \cdot b)} = \frac{p(e' | h_1 \cdot a_1 \cdot b)}{p(e' | h_2 \cdot b)} \times \frac{p(h_1 \cdot a_1 | b)}{p(h_2 | b)} \quad [14]$$

산소 이론에 따르면 이와 같은 양적 관계 e' 는 자연스러운 결론이다. 우도 $p(e' | h_2 \cdot b)$ 는 1에 가까운 값이다. 그러나 플로지스톤이 금속에서 빠져나갔다가 공기의 특정성분과 함께 다시 결합하여 금속제를 만든다는 수정된 플로지스톤 이론은 같은 양적 관계를 자연스레 도출해내지 못한다. 결국 두 우도 사이의 관계는 $p(e' | h_1 \cdot a_1 \cdot b) < p(e' | h_2 \cdot b)$ 인 것이다. 플로지스톤 이론가들은 이와 같은 차이를 줄이기 위해서 셋가루에 흡수되는 물에 포함된 가연성 공기(수소 또는 플로지스톤)의 양이 금속에서 방출되는 가연성 공기의 양과 일치할 뿐만 아니라, 셋가루로부터 방출된 가연성 공기가 물에 포함된 가연성 공기와 자리바꿈하여야 한다고 설명하여야 했다.⁴⁷⁾ 이렇게 추가된 가설을 a_1' 이라고 하고, 이를 통해 두 우도 값이 조율되었다고 하자. 이는 [15]와 같이 기술할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{p(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1' | e' \cdot b)}{p(h_2 | e' \cdot b)} &= \frac{p(e' | h_1 \cdot a_1 \cdot a_1' \cdot b)}{p(e' | h_2 \cdot b)} \times \frac{p(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1' | b)}{p(h_2 | b)} \\ &= \frac{p(h_1 \cdot a_1 \cdot a_1' | b)}{p(h_2 | b)} \end{aligned} \quad [15]$$

[15]는 플로지스톤 이론과 산소 이론 사이의 사후 확률 비율이 $h_1 \cdot a_1 \cdot a_1'$ 에 대한 사전확률과 h_2 에 대한 사전확률 사이의 비율과 동일함을 보여준다. 문제는 이미 플로지스톤 이론이 많은 보조가설들을 안고 가

수 있다.

47) Kitcher (1993), pp. 284-8, 조인래 (1996), pp. 181-182.

야만 하는 상황에서 추가된 가설 a_1 을 뒷받침할 만한 제대로 된 설명기제가 없었다는 점에 있었다.⁴⁸⁾ 따라서 추가된 가설은 그 자체로 뒷받침되기 힘들었으며, 추가된 가설에 의해 증가한 복잡성은 플로지스톤 이론의 사전화를 값을 깎아버리고 말았다. 플로지스톤 이론은 추가된 가설들의 무게에 짓눌려 점점 더 지탱하기 힘든 이론이 되어버린 셈이다. 반면 산소 이론은 그러한 부담이 없기 때문에 사전화률에 있어 어떠한 손실도 보지 않는다. 이와 같은 상황에서 두 이론을 비교하고자 하는 과학자는 그가 처음에 어떤 입장을 취하건 간에 이전보다 산소 이론에 더 우호적이게 된다. 실제로 이러한 상황에서 1780년대 이후 상당수의 화학자들은 산소 이론으로 전향하였다.⁴⁹⁾⁵⁰⁾

48) Kitcher (1993), p. 287.

49) 프랑스어권 학자들에 대한 페린의 연구에 따르면, 1790년대 이후에는 소수의 학자들만이 새로운 화학에 저항했으며, 대부분의 학자들은 1784-1790년 사이에 새로운 화학으로 전향하였다. 이 중에는 초기에 라부아지에에 반대했던 샤프탈(Chaptal), 베르톨레(Berthollet), 푸크로아(Fourcroy), 귀통(Guyton de Morveau) 등의 학자들도 있었다. Perrin (1988).

50) 익명의 심사위원은 이와 같은 해석에 따르면 화학혁명의 과정에서 끝까지 플로지스톤 이론을 고수한 프리스틀리(Priestley)나, 입자론-파동론 논쟁에서 입자론을 고수한 브루스터(Brewster), 포아송 같은 이들이 나타날 수 없지 않느냐는 지적을 하였다. 베이즈주의 입장 이론에 따르면, 이들은 결국 증거들에 의해 자신의 이론들을 포기했어야 한다는 것이다. 미처 살피지 못한 부분에 대한 지적에 감사드리며, 불만족스럽지만 가능한 답변을 하나 제시하고자 한다.

일단 퀸에게 있어 이러한 저항자들이 나타나는 이유는 과학혁명기에 패러다임들 사이에는 문제영역에 있어서도 공약불가능성이 나타나기 때문이다. 일부 과학자들은 어떤 문제들의 해결에 있어서 상대방의 이론이 더 나음을 인정하더라도 다른 중요한 문제들에 대해서는 상대방의 이론이 여전히 충분한 해결책을 제시하지 못한다고 판단할 수 있다. 그렇기에 이들은 끝까지 저항자로 남는 것이다.

그렇다면 베이즈주의자들은 저항자들이 나타나는 이유를 어떻게 해명할 수 있는가? 과학자들이 같은 패러다임을 공유한다고 해도 그에 대한 이해가 조금씩 다를 수 있다는 퀸(Kuhn 1970, pp. 43-51)의 견해를 받아들이면, 같은 패러다임에 속한 과학자들이라 하더라도 문제들의 우선순위 설정에 있어서 조금씩 다른 견해를 가진다고 말할 수 있다. 그러나 이러한 다양한 견

나는 이 화학혁명의 사례 분석을 통해 산소 이론이 완전히 증명되었고, 플로지스톤 이론이 완전히 부정되었다고 주장하려는 것은 아니다. 혹은 특정한 형태의 결정적 증거가 있다고 주장하는 것도 아니다. 요점은 국소적 공약불가능성이 나타나는 상황에서 한 과학자가 공약가능한 증거를 바탕으로 경쟁하는 이론들에 대한 차별적 비교를 합리적으로 수행할 수 있다는 점이다. 그리고 이러한 비교 과정들은 베이즈 정리를 이용하여 분석가능하다.⁵¹⁾

해를 모으면, 일종의 정규분포와 같은 분포값을 얻을 수 있다고 하자. 참고로 이와 유사한 주장은 가치에 관한 쿠(1977)의 논의에서도 찾아볼 수 있다. 이 상황에서 대부분의 과학자들은 문제들의 우선순위에 있어서 거의 일치를 보이며, 공유하는 증거를 통한 이론 비교에도 동의하게 된다. 그러나 일부의 과학자들은 우선순위 설정에 있어서 평균에서 많이 벗어나 있기 때문에 이론, 증거, 보조가설 등에 대한 확률을 극단적으로 분배하고 쉽게 태도를 바꾸지 않는다. 이 때문에 프리스틀리, 브루스터, 포아송 같은 학자들이 저항자로 남은 것이다.

저항자들의 행동을 이렇게 이해한다고 해도, [BA]를 이용한 분석은 이들이 확률을 일관성 있게 분배하고 경험에 의해 확률을 개선해 나가는 합리적인 행위자라면, 그리고 이들이 ‘충분히 오래’ 살았다면, 자신들의 견해를 바꾸었어야 한다는 결론을 이끌어낸다. 그러나 이와 같은 결론은 쿠의 과학관에서 그대로 받아들이기 힘들 것이다. 적어도 쿠은 이론 선택의 과정에서 경험적 자료뿐만 아니라 다양한 것들이 개입할 수 있음을 강조하기 때문이다. 또한 그는 끝까지 설령 개종하지 않는 저항자에 대해서도 “그들을 틀렸다고 말할 수 없다”고 말한다(Kuhn 1970, p. 159). 쿠과 베이즈주의 사이에는 어떤 벽이 있는 셈이다. 이와 같은 벽을 제거하고 베이즈주의와 쿠의 과학 철학을 조화시키고자 한다면 어느 정도의 ‘조정’은 필수적이라고 본다.

51) 익명의 심사위원이 지적한 바와 같이 화학혁명에 대한 나의 베이즈주의적 해석은 완전히 공약불가능한 부분(예, 금속의 광택)에 대해서는 말하고 있지 않다. 완전히 공약불가능한 부분까지 포함하는 비교는 호이닝엔-휘네(1990)가 지적한 것처럼 쿠이 강조하는 ‘가치들’에 의해 전체적인 수준에서 이루어져야 할 것이다. 여기서 새먼의 가치 해석을 빌려온다면, 공약불가능한 부분들은 이론의 전체적 구조나 내용 속에서 수행하는 역할을 통해 사전확률 결정에 간접적으로 영향을 요소로 여길 수 있다. 내가 보기에 단순히 사후확률값을 비교하는 방식을 제외하면, 완전히 공약불가능한 부분을 이용하여 두 이론을 직접적으로 비교하는 작업은 이루어지기 어렵다.

6. 맷음말

쿤의 공약불가능성 논제는 한때 많은 이들에게 이론 간의 합리적 비교가 불가능하다는 주장을 함축하는 것처럼 여겨졌다. 특히 베이즈주의와 같이 공통의 증거를 바탕으로 하는 방법론은 공약불가능성 논제를 인정하는 이상 유지될 수 없는 것처럼 보였다. 그러나 지금까지 살펴본 바와 같이, 두 이론의 전면적 공약불가능성이 아닌, 국소적 공약불가능성이 나타나는 상황에서는 베이즈주의 입장 이론은 경쟁하는 이론들 사이의 차별적인 비교 알고리듬을 제공할 수 있다. 그리고 이러한 알고리듬을 도구로 하여 과학 혁명기의 이론 변화의 과정을 분석하는 것 역시 가능하다. 그렇다고 해서 베이즈주의 입장 이론이 이론 변화 과정을 해명할 수 있는 최선의, 혹은 유일한 이론이라고 주장하는 것은 아니다. 확실한 점은 국소적 공약불가능성 논제만으로는 베이즈주의 입장 이론에 치명상을 입힐 수는 없으며, 과학혁명기의 이론 변화를 분석하는 데에 베이즈주의 입장 이론이 여전히 유용한 도구가 될 수 있다는 것이다.

참고문헌

여영서 (2011), 「쿤과 베이즈의 세 번째 만남」, 『과학철학』, 14권 1호, pp. 67–102.

전영삼 (2011), 「베이즈주의: 귀납 논리와 귀납 방법론의 역할 관계로부터 살펴보기」, 『과학철학』, 14권 2호, pp. 45–76.

조인래 (1996), 「공약불가능성 논제의 방법론적 도전」, 『철학』, 47권, pp. 155–187.

Aiton, E. J. (1972), *The Vortex Theory of Planetary Motions*, London: Macdonald.

Baigrie, B. S. (1988), “The Vortex Theory of Motion, 1687–1713: Empirical Difficulties and Guiding Assumptions”, in A. Donovan, L. Laudan, & R. Laudan (eds.), pp. 85–102.

Davidson, D. (1974), “On the Very Idea of a Conceptual Scheme”, *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association* 47: pp. 5–20.

Donovan, A., Laudan, L. and Laudan, R. (eds.) (1988), *Scrutinizing Science: Empirical Studies of Scientific Change*, Baltimore: The Johns Hopkins Univ. Press.

Earman, J. (1992), *Bayes or Bust?*, Cambridge: The MIT Press.

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

Hoyningen-Huene, P. (1990), “Kuhn’s Conception of Incommensurability”, *Studies in History and Philosophy of Science* 21(3): pp. 481–92.

_____ (2008), “Thomas Kuhn and the Chemical Revolution”, *Foundations of Chemistry* 10(2): pp. 481–92.

Kitcher, P. (1978), “Theories, Theorists and Theoretical Change”, *The Philosophical Review* 87(4): pp. 519–47.

_____ (1993), *The Advancement of Science*, Oxford: Oxford Univ.

Press.

Kuhn, T. S. (1970), *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd edn., Chicago: The Univ. of Chicago Press.

_____. (1977), "Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice", in T. S. Kuhn, 1977, *The Essential Tension*, Chicago: The Univ. of Chicago Press, pp. 320-39.

_____. (1983a), "Commensurability, Comparability, Communicability", *PSA 1982* 2: pp. 669-88.

_____. (1983b), "Rationality and Theory Choice", *The Journal of Philosophy* 80(10): pp. 563-70.

Laudan, L. (1976), "Two Dogmas of Methodology", *Philosophy of Science* 43(4): pp. 585-97.

_____. (1990), *Science and Relativism*, Chicago: The Univ. of Chicago Press.

Perrin, C. E. (1988), "The Chemical Revolutions: Shifts in Guiding Assumptions", in A. Donovan, L. Laudan, and R. Laudan (eds.), pp. 105-24.

Putnam, H. (1981), *Reason, Truth and History*, Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Salmon, W. C. (1967), *The Foundations of Scientific Inference*, Pittsburgh: Univ. of Pittsburgh Press.

_____. (1990), "Rationality and Objectivity in Science, or Tom Kuhn Meets Tom Bayes", in C. Wade Savage (ed.), *Minnesota Studies in Philosophy of Science* 14: *Scientific Theories*, Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, pp. 175-204.

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

논문 투고일	2015. 05. 27
심사 완료일	2015. 06. 16
게재 확정일	2015. 06. 17

Bayesianism, Incommensurability, and Theory Change

Wonki Her

In this paper, I try to show that Bayesianism is a useful tool to analyze theory changes in scientific revolutions. For this purpose, first, I present a sketch of Salmon's Bayesian reconstruction of theory change in scientific revolutions. Second, I examine and refute the Farmakis' skeptical argument based on the incommensurability thesis. Third, I point out the weaknesses of Yeo's paradigm-dependent Bayesian Algorithm(PBA), and then I suggest another way to deal with the threat of incommensurability. Finally, I analyze the chemical revolution case by means of the Bayesian Algorithm(BA). This case study shows that the incommensurability thesis could not defeat Bayesianism.

Key Words: Scientific revolutions, Incommensurability, Bayesianism, Theory change, Theory comparison, Kuhn, Salmon