

방법론적 접근

통계물리적 방법의 기본 가정과 설명적 정당성

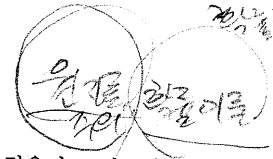
25년

과학사 및 과학철학 협동과정 2004-20309 정동욱

방법론적 접근

1. 연구의 필요성과 문제의식

구체적인 방법론



최근 통계물리적 방법이 생물학, 경제학, 게임이론, 심리학, 정치학, 인지과학 등의 다양한 분야에서 적용되고 있으며, 그동안 각 분야의 난제들이라 불리우던 문제들을 풀 수 있을 것이라는 기대를 한 몸에 받고 있다.

과거에도 통계물리적 방법은 경제학 등에 단순한 형태로 이용되었다고도 할 수 있으나, 지금과는 사뭇 다르다. 신고전파 경제학에서 쓰인 가정과 지금의 가정이 사뭇 다르기 때문이다. 최근 통계물리적 방법의 적용이 부각되는 대상은 흔히 복잡계라고 불리우는 대상들이다. 계를 구성하는 입자(행위자)들간의 상호작용은 단순하지만 그 전체 집합체의 행동은 복잡한 양상과 함께 일정한 패턴을 보여주는 대상에 대해, 통계물리적 방법은 그 진가를 보여주게 된다.

도대체, 통계물리적 방법이란 무엇이며, 그 방법이 이토록 다양한 분야에 적용되어 (나름대로 잘) 작동할 수 있게 하는 원천은 어디에서 나오는가? 그리고 통계물리적 방법에 의한 설명이 진정으로 하는 일은 무엇이며, 그 설명력의 한계는 어떻게 규정되는가? 마지막으로 이러한 방법이 환원주의에 시사하는 바는 무엇인가?

문헌조사

2. 참고문헌

비선형적 과정

9/10/04

98.99

- 존 홀랜드, 『숨겨진 질서: 복잡계는 어떻게 진화하는가』
- John H. Holland, *Emergence: From Chaos to Order*.
- 미첼 월드롬, 『카오스에서 인공생명으로』
- 스티븐 레비, 『인공생명』
- 시오자와 요시노리, 『왜 복잡계 경제학인가』
- 폴 크루그만 & 교토대학 경제연구소 복잡계 경제시스템 연구센터, 『복잡계 경제학 II』
- 스투어트 카우프만, 『혼돈의 가장자리 : 자기조직화와 복잡성의 법칙을 찾아서』
- Stuart A. Kauffman, *The origins of order : self-organization and selection in evolution*.
- Steven C. Banks, "Agent-Based Modeling: A Revolution?", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, No. 10, Supplement 3, (May, 2002), pp. 7199-7200
- J. P. McKinney, "Philosophical Implications of the Modern Revolution of Thought", *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 18, No. 1 (Sep., 1957), pp. 35-47.
- Matthew L. Lamb, "Towards a Synthetization of the Sciences", *Philosophy of Science*, Vol. 32, No. 2 (Apr., 1965), pp. 182-191.
- Benoit Morel; Rangaraj Ramanujam, "Through the Looking Glass of Complexity: The Dynamics of Organizations as Adaptive and Evolving Systems", *Organization Science*, Vol. 10, No. 3, Special Issue: Application of Complexity Theory to Organization Science (May, 1999), pp. 278-293
- J. Barkley Rosser Jr., "On the Complexities of Complex Economic Dynamics", *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 13, No. 4 (Autumn, 1999), pp. 169-192.
- Robert E. Fitch, "An Experimental, Perspectival Epistemology", *The Journal of Philosophy*, Vol. 38, No. 22 (Oct., 1941), pp. 589-600.
- Oscar Kaplan, "Prediction in the Social Sciences", *Philosophy of Science*, Vol. 7, No. 4 (Oct., 1940), pp. 492-498

<http://arxiv.org/physics>

통계물리적 방법의 기본구조와 설명적 정당성

과학사 및 과학철학 협동과정 2004-20309 정동욱 | 담당교수 : 김재영 | 제출일자 : 2005. 6. 18.

1. 머리말

최근 통계물리적 방법이 생물학, 경제학, 사회학 등의 다양한 분야에서 적용되고 있는 듯하며, 그 동안 각 분야의 난제들이라 불리던 문제들이 이 방법을 통해 풀릴 수 있을 것이라는 기대를 한 몸에 받고 있다.

그러나 통계물리적 방법은 과거 신고전파 경제학에서도 분명히 쓰였다. 그렇다면 지금 다시 통계물리적 방법이 각광을 받는 이유는 무엇인가? 그것은 기본가정의 차이 때문으로 보인다. 최근 통계물리적 방법의 적용이 부각되는 대상은 흔히 복잡계 또는 복잡응계라 불리는 대상계들이다. 계를 구성하는 입자(행위자)들간의 상호작용은 단순하지만, 그 전체 집합체의 행동은 복잡한 양상과 함께 일정한 패턴을 보여주는 대상에 대해, (새로운) 통계물리적 방법은 그 진가를 보여주는 것처럼 보인다.

통계물리적 방법이란 무엇이며, 그 방법이 이토록 다양한 분야에 적용되어 (나름대로 잘) 작동할 수 있게 하는 원천은 어디서 나오는가? 그리고 통계물리적 방법에 의한 설명이 진정으로 하는 일은 무엇이며, 그 설명력의 한계는 어떻게 규정되는가? 마지막으로 이러한 방법이 환원주의에 시사하는 바는 무엇인가? 이 보고서는 이러한 논점들에 대한 초벌적인 문제제기를 하는 제안서이다.

2. 통계물리적 방법의 기본구조

통계물리적 방법이란, 뭉뚱그려진 거시상태 — 즉, 온도의 평형, 대류, 소용돌이, 생명현상, 진화, 균형 가격의 형성, 공황의 발생 등 — 에 대해, 그 계를 구성하는 입자(행위자)들과 그것들의 상호작용으로 설명하는 방법을 통칭한다. 예를 들어, 온도가 다른 두 계가 합쳐져 평형온도를 형성하는 현상에 대해, 통계역학은 계를 구성하는 기체분자들과 그것들간의 충돌이라는 상호작용으로 설명한다. 또 다른 예로, 균형가격의 형성이라는 현상에 대해, 신고전파 경제학은 합리적 행위자와 그들간의 자유경쟁이라는 상호작용으로 설명한다. 둘 모두 거시현상에 대해 그에 맞는 미시적인 모형을 상정함으로써 현상을 설명하는 통계물리적 방법을 사용하고 있는 것이다.

그렇다면, 이 방법의 기본구조는 어떠한가?

- (i) 전체계는 그것을 구성하는 입자(행위자)와 그것들의 상호작용으로 이루어져 있다. (존재론적 수반)
- (ii) 계의 기본 특성과 가능한 상호작용의 방식이 정의된다. (계의 특성 정의)
- (iii) 계의 입자(행위자)의 상태 규정 방식이 정의되며, 상호작용의 결과, 입자(행위자)의 상태는 (계산)규칙에 따라 바뀐다. (규칙기반 행위자의 가정)
- (iv) 미시상태에 대해 거시 상태들을 정의하여 해석할 수 있도록 한다.

(v) 미시상태 또는 거시상태에 대해, 임의의 초기조건으로부터 원하는 시점의 결과 또는 그 사이의 변화과정을 해석적 또는 시뮬레이션의 방식으로 확인한다.

(vi) 패턴 또는 패턴의 변화를 전체적으로 해석한다.

이러한 일반적인 방식에도 불구하고, 통계물리적 방법의 적용은 천차만별이 될 수 있다. 그 이유는 관심의 대상이 어떠한 계인가? 또는 계의 어떤 측면인가? 라는 질문에 어떻게 답하느냐에 따라 설정하는 모형도 달라지기 때문이다.

최초로 통계물리적 방법이 적용된 통계역학에서는 (i)은 그대로 인정이 되고, (ii) 계는 닫힌계이며, 계의 가능한 상호작용은, 균질한 입자들간의 무차별적인 충돌로 정의되며, (iii) 입자의 상태는 위치와 운동량으로 정의되고, 운동량 보존의 법칙에 따라 그 상태가 바뀐다. (iv) 확률적으로 각 입자들의 상태에 대해 몽똥그려진 상태들 — 평균운동에너지, 운동에너지 분포함수, 엔트로피 등 — 를 정의하고, (v) 시간에 따른 몽똥그려진 상태들의 값을 해석적인 방식으로 도출한다. (vi) 마지막으로 그 값과 값의 변화를 해석한다.

반면, 복잡적응계에서 적용되는 방식은 다소 복잡하다. (i)은 그대로 인정이 되고, (ii) 계는 열린계이며, 이질적 입자(행위자)들로 구성된 계는 서로간에 선별적인 상호작용을 한다. (iii) 상호작용의 결과, 입자(행위자)의 상태는 규칙에 따라 바뀌지만, 그 규칙도 함께 바뀐다. 즉, 규칙이 상태에 포함되어 있다. (iv) 계의 몽똥그려진 상태를 먼저 규정하고 시작할 수도 있고, 아닐 수도 있다. (v) 개별 상태들 또는 몽똥그려진 상태의 시간에 따른 변화를 시뮬레이션을 통해 확인하고, (vi) 패턴 또는 패턴의 변화를 전체적으로 해석한다.

좀더 구체적으로 살펴보도록 하자.

1) 계의 구성

계는 여러 입자들로 구성되어 있으며, 입자들은 정해진 상호작용을 하며 상태를 변화시켜간다. 계에 대해 그 외의 전체론적인 가정은 하지 않는다. 이는 모든 통계물리적 방법의 적용에서 공통적으로 전제하는 사항이다. 즉, 존재론적인 수반을 함축한다고 하겠다.

2) 계의 특성 및 상호작용의 정의

계 내부와 외부 사이에, 물질이나 에너지의 출입이 가능한가에 따라 열린계와 닫힌계로 나눌 수 있으며, 이는 계에 일정한 특성을 부여한다. 우리가 세계에 대해 관심을 가지는 현상들은 보통 무언가 말로 표현할 수 있는 것들이다. 즉, 일종의 '질서'가 있는 대상이라고 말할 수 있다. 그런데, 닫힌계와 열린계에서 만들어지는 질서는 질적으로 다르다. 닫힌계에서는 시간에 따라 평형으로 수렴해가는 특성을 보인다. 외부의 교란이 가해지더라도 이러한 수렴은 매우 강력하다. 우리는 그러한 '질서'를 설명의 대상으로 삼고 설명하곤 한다. 그러나, 외부에서 물질이나 에너지가 유입되고, 다시 외부로 유출될 수 있는 열린계에서 보여주는 질서는 좀 독특하다. 예를 들어, 수돗물을 틀어놓고 물구멍 주변의 물의 흐름을 보면 일정한 소용돌이의 패턴이 나타난다. 손으로 소용돌이 패턴을 휘젓더라도 잠시 후면 소용돌이의 패턴을 금방 되찾는다. 그러나 물을 끄면 그 패턴은 사라진다. 즉, 외부에서 계에 일을 해주어야만 지속되는 이러한 종류의 '질서'를 비평형적 질서라 하며, 우리는 이러한 '질서'에 대해서도 관심이 있고, 설명하고 싶어한다.

우리는 '균형가격의 형성'에도 관심이 있지만, '공황의 발생'에도 관심이 있다. 그러나 전자를 잘 설명하는 데 상정한 계의 특성으로는 후자를 설명하지 못할 수 있다. 최근의 관심은 둘 모두를 통일적으로 설명하려는 시도가 있으며, 이를 위해서 경제계를 열린계로 상정하는 경제학자들이 늘고 있다.

계의 가능한 상호작용의 종류와 방식을 어떻게 정의하는가에 따라서도 모형의 구성에 많은 차이를 낳는다. 온도, 엔트로피 등에 관심을 가지는 통계역학의 경우, 미시적인 상호작용은 입자들간의 무차별적인 충돌뿐이다. 그러나, 비생명적인 분자로부터 생명의 발생에 대해 관심을 가지는 경우, 미시적인 상호작용은 분자들간의 화학결합, 분해 및 물질 교환 등으로 구성되며, 그 상호작용은 무차별적이지 않다. 상호작용은 분자들간의 꼬리표에 따라 선별적으로 이루어진다.

이렇게 열린계/닫힌계를 구분하고, 상호작용의 종류와 방식을 정의함에 따라, 미시적인 상호작용에 의한 계의 변화 양상은 큰 차이를 보인다. 닫힌계에서의 무차별적인 상호작용은 단순한 평형으로의 수렴을 만들어가지만, 열린계에서의 선별적인 상호작용은 여러 끝개로의 수렴 및 일정한 패턴을 만든다.

3) 규칙과 입자(행위자)의 자유도

입자(행위자)는 일단 규칙기반 입자(행위자)로 상정된다. 즉, 현재상태와 상호작용은 정해진 규칙에 의해 다음상태를 정해준다. 보통 규칙은 변하지 않는 것으로 가정되었지만, 최근 적응성 행위자를 다루는 경우, 규칙을 정의할 때에는, 규칙과 메타규칙을 구분하는 듯하다. 예를 들어, 초창기의 통계물리적 방법에서는, '어떤 운동량의 두 입자가 충돌하면 운동량 보존 법칙과 운동에너지 보존 법칙에 따라 다음 운동량이 결정된다' 또는 '생산자는 가격이 오르면 생산을 늘린다'라는 규칙을 그대로 썼다. 그러나, 적응성 행위자를 다루는 경우, '규칙은 신뢰도 평가에 의해 재구성된다'와 같은 메타규칙을 이용하며, '움직이는 물체가 있으면 도망간다'와 같은 규칙은 상태에 포함시키고, 상호작용으로 상태가 변하면 규칙(에 대한 신뢰도)도 함께 바뀌는 것으로 가정한다.

예를 들어, 개구리에게 '움직이는 물체가 있으면 도망간다'와 같은 일반적인 규칙이 있다면, 그 개구리는 굶어죽을 것이다. 따라서 개구리에게는 '움직이는 작은 물체가 있으면 접근한다'와 같은 규칙도 있어야 먹이를 잡아먹고 굶어죽지 않을 것이다. 적응성 행위자에게 이러한 규칙은 상호작용과 함께 형성되고 변화하는 것으로 상정된다. 상호작용 시 기존의 규칙에 따라 상호작용을 하고, 상호작용은 신뢰도 평가를 포함하는 형식으로 이루어짐으로써, 상호작용의 결과 규칙도 변화를 겪는다.

주식시장을 예로 좀더 구체적으로 생각해보자. 현재의 주가만을 알 수 있는 적응성 행위자를 토대로 구현한 모의 주식시장에서 "전형적인 경우에 행위자들은 처음에 무작위로 선택한 전략을 가지고 시작한다. 예상대로 시장은 처음에 매우 무질서하다. 그러나 얼마 지나지 않아서 행위자들은 신뢰도 평가와 경험을 기반으로 사고팔기 규칙을 개발한다. 행위자는 다음과 같은 형태의 규칙을 개발할 수 있다. 가격이 40 이상이면 팔고, 40 이하이면 산다. 시장은 금방 진정되어 고전경제학의 행위자들로 구성된 시장처럼 된다. 그러다가 어떤 행위자가 시장의 <관성>을 이용하는 전략을 개발하여, 값이 오를 때 조금 늦게 팔아서 돈을 번다. 다른 행위자들도 경향을 예측하기 시작하고, 이러한 학습과정을 통해 예측이 시장에 투사되어 자기 실현의 경향을 보인다. 시간이 지나 예측의 자기 실현이 충분히 이루어진 뒤에, 이 행동은 점점 더 과장되어 거품이 생기고 결국 공황에 빠진다."¹⁾

위의 예를 설명하기 위해서는, 좀더 구체적인 모형의 구현방식을 보여줄 필요가 있겠지만, 그것은 생략을 하겠다. 다만, 관심이 있는 부분은, "어떤 행위자가 시장의 <관성>을 이용하는 전략을 개발하여, 값이 오를 때 조금 늦게 팔아서 돈을 번다"는 부분이다. 즉, 평형이 이루어진 이후에도 행위자의 전략(규칙)이

1) 홀랜드(1995), pp. 120-121.

바뀌는 일이 가능해야 하는데, 이를 가능케 하는 것이 행위자의 '자유도'이다. 이를 구현하기 위해, 보통의 모의 실험에서는 랜덤 함수를 이용하여 낮은 확률로 신뢰도가 낮은 규칙도 이용하도록 허용하는 방식을 쓰곤 한다.

이 '자유도'의 설정은 곧 규칙에 대한 예외를 뜻하며, 진화에서의 돌연변이 또는 경제 행위자의 비합리적 행위 등을 설명하기 위한 도구라 할 수 있다.

4) 거시 상태

거시적인 기체상태의 경우, 온도, 엔트로피 등을 들 수 있다. 이 외에도, 생명현상의 경우, '살아있음', '죽어있음', 대사, 복제 등의 패턴을 들 수 있고, 경제현상의 경우, '물가', 'GDP', '불황', '공황', '호황' 등의 패턴을 들 수 있다.

통계물리적 방법을 적용할 때, 위와 같은 거시상태를 미리 상정하고, 거시상태의 변화를 좇음으로써 거시상태를 설명할 수도 있고, 반대로 미시상태의 변화만을 좇은 후에 그 패턴을 해석하여 거시상태를 설명하는 방법도 가능하다.

예를 들어, 포식자와 피식자의 개체수 변화의 경우, 개체간의 일정한 상호작용 방식을 가정하여 포식자와 피식자의 개체수 변화식을 먼저 구한 후, 그 변화를 좇는 방식으로 변화를 설명, 예측할 수 있다.²⁾ 반면, '살아있음'과 같은 패턴을 설명하려 할 때에는, 분자들 각각의 상태변화 자체를 좇은 후, 전체적인 패턴을 해석하여 대사, 복제 등의 현상을 말하고 '살아있음'을 설명하는 방식을 채택하곤 한다.

5) 상태의 변화

상태변화식이 해석적으로 풀릴 수 있는 경우, 예를 들어 닫힌 열역학계 또는 신고전과 경제학의 경제계의 경우는 미분방정식을 동원하여 상태의 시간에 대한 함수를 구할 수 있다. 그러나, 이처럼 간단한 경우는 드물뿐더러, 그러한 간단한 방식이 정당화되지 못할 수 있다. 복잡계 이론을 주장하는 논자들은, 복잡계에서는 상태의 변화를 해석적으로 풀지 못하고 시뮬레이션에 의해서만 좇을 수가 있으며, 정확한 예측 또한 불가능하다고 주장한다. 이는 아래의 세가지 이유에서 정당화되곤 한다.³⁾

첫째는 아원자 수준에서 근본적인 비결정성을 보장하는 양자역학이다. 예를 들어 무작위한 양자역학적 사건이 DNA 분자들에 돌연변이를 야기할 수 있듯이, 그 비결정성이 거시적 결과들을 주기 때문에 우리는 분자나 그 이상의 수준에서 일어나는 사건들을 구체적으로 예측하는 것이 근본적으로 불가능한 것으로 보인다.

둘째, 현재 카오스 이론으로 알려진 수학 분야에서 찾을 수 있다. 그 중심적인 착상은 간단해서, 리우에 있는 나비의 날개짓이 시카고의 날씨를 변화시킨다는 소위 나비효과에 집약되어 있다. 중요한 점은 혼돈계에서는 아무리 작은 변화라도 크게 증폭된 영향을 줄 수 있다는 것이며 또한 이런 현상이 전형적이라는 것이다. 그래서 이 민감성은, 상세한 초기조건들이 무한한 정밀도로 주어져야만 미래의 결과를 예측할 수 있다는 것을 암시한다. 그러나 실제적인 면이나 또는 양자역학적인 면에서도 그런 무한한 정밀

2) 포식자와 피식자 인구변화식으로 유명한 식은 아래와 같다.

$$\text{포식자} : U(t+1) = U(t) - dU(t) + bU(t) + r[cU(t)V(t)]$$

$$\text{피식자} : V(t+1) = V(t) - d'V(t) - r'[cU(t)V(t)] - b'V(t)$$

* 자세한 논의는 홀랜드(1995), pp. 36-40. 참고.

3) 카우프만(1995), pp. 36-47.

도는 불가능한 것이다.⁴⁾

셋째, 수학 분야인 계산이론에서도 근거를 찾을 수 있다. 이 계산이론은 효율적인 계산 알고리즘이라 불리는 것들을 다루는데, 계산불가능성 정리에 따르면, 어떤 알고리즘은 그것의 결과를 예측하는 대부분의 경우, 단순히 그 알고리즘을 실행해서 그것이 단계적으로 보이는 작용들과 상태들을 지켜보는 것보다 더 간결한 방법이 존재하지 않는다. 즉, 그 알고리즘 자체가 자기 자신을 가장 간결하게 묘사하는 것이다. 따라서, 우리가 다루는 알고리즘이 이러한 종류의 것이라면, 시뮬레이션의 방법으로 그 변화추이를 좇을 수밖에 없다.

6) 패턴의 해석

거시상태의 변화 추이를 직접 확인했다면 그것으로 끝이겠지만, 미시상태의 변화추이를 확인한 경우엔 미시상태가 보여주는 패턴을 거시적으로 해석하는 일이 남는다. 복잡계를 다루는 학자들은 미시상태가 보여주는 패턴을 보면서 재미난 해석들을 하곤 한다. 카우프만은 이진(binary) 상태로 표시된 행위자의 상태와 불(Boolean) 함수로 정의된 상호작용의 결과로 만들어지는 상태변화의 추이를 보면서, “이러한 패턴은 먹이관계를 보여준다”, “이러한 패턴은 복제를 보여준다”, “이러한 패턴은 외부와 내부의 구분(세포막의 유비)을 보여준다” 등의 해석을 한다. 이러한 해석을 함으로써, 그들은 관심가지는 현상에 대한 설명을 했다고 주장한다.

3. 통계물리적 설명과 그 정당성

통계물리적 설명은 대부분 입자(행위자)와 그것들의 상호작용을 간단한 방식으로 상정한다. 이는 대부분 비현실적인 경우가 많다. 어떻게 세포 내 분자와 그들간의 화학적 상호작용을 이진상태와 불(boolean) 함수로 볼 수 있겠는가. 그러나 그들은 가끔 생명의 정의를 바꾸는 일을 하곤 한다. 과거 생명이라고 하면, 유기물로 이루어진 어떠한 것이라고 정의하려는 시도를 했다면, 복잡계 연구자들은 구성물질이 무엇인가보다는 구성물질이 무엇이든 그것들간의 작동 메커니즘이 어떠한 생명이라 볼 수 있다는 주장을 한다. 예를 들어, 생명이란 “열린계에서 복제, 대사 등을 할 수 있는 집단적 자기촉매계”와 같은 식으로 정의된다. 이렇게 되면, 컴퓨터 시뮬레이션 상의 모형도 생명이 되고, 실제 세계의 생명체들도 생명이 되는 것이다.

한편, 실제 현상에 대한 통계물리적 설명이란, “실제 현상의 어떠한 ‘특징’은, 구성입자(행위자)와 그것들간의 상호작용을 어떠한가 가정된 계에서 나타나기에 ‘충분’하다”와 같은 방식이 된다.

그런데, 복잡계 연구자들은 자신들이 이론이 ‘예측’을 할 수 없다고 주장하는데, 그렇다면 그들이 설명하고자 하는 대상은 무엇인가? 카우프만은 “그런 종류의 것”이라는 표현을 통해 자신들의 입장을 대변한다.⁵⁾ 예측은 못하더라도 ‘종류’를 예측할 수 있다는 희망은 있다는 것이다. 여기서 말하는 희망이란 전형적이거나 일반적이며 계의 세부적인 것에 의존하지 않는 계의 성질들의 집합들을 특성화하는 것에 있다. 예를 들면, 물이 얼 때 우리는 물 분자들이 어디에 있는지는 말할 수 없지만, 전형적인 얼음 덩어리에 대해서는 특징적인 온도, 색깔, 그리고 강도 등, ‘그것이 만들어진 상세한 경로에 의존하지 않는’ <강건

4) 생물학자들은 이러한 주장을 쉽게 하곤 하는데, 정말 양자역학이 거시적인 비결정성을 낳는지는 논쟁적인 주제이다.

5) 카우프만(1995), pp. 38-40.

robust>하고 <일반>적인 특성들을 갖고 있다고 말할 수 있다는 것이다.

한편, 복잡계 연구의 강점은 그동안 신비롭거나 이상하게 보였던 현상에 대해 그 계를 구성하는 입자(행위자)와 상호작용에 대한 몇가지 간단한 가정만으로, 그 현상 충분히 가능하며 자연스러운 일이라는 것을 보여준다는 점이다. 이는 좋은 이론이 갖추어야 할 특징을 그대로 전수받았다고 할 수 있다. 한편, 기존의 "경계 행위자는 모든 정보를 알고 있으며 자신의 이익을 극대화하는 전략을 취한다"는 식의 반실재적 가정에서 벗어나 '제한적 합리성'이나 '행위자의 규칙(전략)의 변화'와 같은 좀더 현실적인 가정으로부터 설명을 이끌어낸다는 점은 확실히 긍정적인 측면이라 말할 수 있다.

그러나, 새롭게 도입된 가정들 또한 정당화에 많은 어려움이 있는 것이 사실이며, 여전히 현실 설명력에 있어서 자의적인 측면이 강하다. 즉, 지금까지 발견된 현상을 설명하기 위해 이러저러한 가정을 도입하는 것이 그럴듯한 설명을 위해 어쩔 수 없는 일이라 하더라도, 그렇게 도입된 가정을 미래의 예측을 위해 계속 쓸 수 있는지는 미지수이다.

지금까지 수행된 복잡계 연구의 경우, '죄수의 딜레마', '큰 폭의 경기순환' 등의 문제를 설명하는 데에는 나름대로 성공적인 듯 보인다. 그러나, 복잡계는 끊임없이 진화한다는 것이 그들의 기본 전제이다. 그런데, 그들의 설명은 현재 사회를 설명하는 몇 개의 강력한 끝개를 보여줌으로써 끝나곤 한다.

물론 미래까지 계속되는 변화를 보여주기 위한 시도가 정당화되기 위해서는, 최소한 현재까지의 현상을 설명할 수 있어야 함이 당연하다. 그러나, 현재까지의 현상을 설명하는 '끝개'로의 수렴을 보여주는 데에서 그친다면, 이는 현재의 이론이 아직 불완전한 이론임을 스스로 보여주는 것이며, 한편으로는 연구자의 의도와 상관없이 "지금의 사회가 최적이다"와 같은 보수적 이데올로기로 악용될 위험도 있다.

한편, 복잡계 연구에서도 계의 특성을 정의하기 위해, 가능한 상호작용의 종류 및 방식, 행위자의 능력에 대한 가정을 하게 되는데, 이러한 가정의 정당성 문제 또한 많은 논란이 있을 것이다. 기든스의 경우, 인간이라는 행위자는 '성찰적 행위자'로 규정되기도 하는데, 여기서 각 행위자는 나름의 사회이론가로 간주된다. 이론은 행위자와 그들의 행동을 그려내지만, 행위자의 행동은 그 이론에 영향을 받게 된다는 것이다. 기든스는 이러한 이론과 그 대상인 행위자 사이의 상호해석적 상호작용을 이중해석학이라고 말했다. 예를 들어 자본주의를 분석하는 이론이 등장하면, 그것을 이해한 자본주의 내 행위자들은 행동패턴을 바꾸게 된다. 만약 이러한 '성찰적 행위자'가 '적응성 행위자'에 비해 더욱 올바른 규정이라면 우리는 어떻게 해야하는가? '성찰적 행위자'를 기반으로 한 모형화가 가능하다면 '적응성 행위자' 모형은 버려져야 하는가?

만약, 잘 꾸며진 모형에서 '적응성 행위자'는 '성찰적 행위자'로 전이될 가능성이 있을까? 내가 보기에, 사전에 '딱딱한' 방식으로 규정된 '적응성 행위자'의 조건에 따르면, '성찰적 행위자'로의 전이 가능성은 무척 낮아보인다. 한편, '비적응성 행위자'에서 '적응성 행위자'로의 전이는 어떻게 설명할 것인가? 이러한 문제제기가 통계물리적 연구방식에 대한 근본적인 난점을 제기하는 것인지는 아직 확실치 않다. 통계물리적 방법을 이용하고 있는 복잡계 연구가 완전히 정립되어 있는 것도 아니기 때문이다. 아직은 좀더 지켜보아야 하지 않을까 싶다.

4. 결론

지금까지, 통계물리적 방법의 기본구조를 최근의 복잡계 연구 성과를 바탕으로 정리하면서, 그 방법의 하고 있는 일 — 설명, 예측 등 — 의 본질을 정리해보고, 그 정당성에 대해 초별적으로 살펴보았다. 이

연구의 기간이 짧아 깊이있는 내용을 담아내지는 못했지만, 현재 각광받고 있는 이 분야에서 쓰고 있는 방법에 대해 면밀히 검토하고 그 정당성을 평가해보는 일은 상당히 의미있는 일이라 생각되며, 이후 보다 깊이있는 논문으로 발전시키도록 하겠다. □

참고자료

홀랜드(1995), 『숨겨진 질서: 복잡계는 어떻게 진화하는가』

카우프만(1995), 『혼돈의 가장자리: 자기조직화와 복잡성의 법칙을 찾아서』

Rosser Jr, J. Barkley(1999), "On the Complexities of Complex Economic Dynamics", *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 13, No. 4 (Autumn), pp. 169-192.