

# 게임이론과 통계물리학

백승기 · 김범준 · 최정규

## 서론

많은 사람들이 컴퓨터 게임, 카드 게임, 보드 게임, 혹은 스포츠 게임 등을 즐긴다. '놀이하는 인간(Homo Ludens)'이라는 말이 있듯이, 다양한 게임에 매료되는 것이 인간본연의 특징일 수도 있다. 게임이 잘해야 여가선용 정도로 여겨지는데 '게임이론'이라는 분야가 있다는 사실은 전공자가 아닌 이들에게는 생소할 것이다. 그러나 근래 들어 대중적인 소개서가 많이 발간되어 '죄수의 딜레마'와 같은 게임이론 용어가 언론에도 오르내리고 게임이론에 지대한 공헌을 남긴 내쉬(J. Nash)를 다룬 영화가 개봉되는 등 게임이론은 일반에게도 점차 친숙한 학문이 되어가고 있다.

게임이론은 폰 노이만(J. von Neumann)과 모르겐슈테른(O. Morgenstern)에 의해 첫 발을 내딛었고<sup>[1]</sup> 이후 경제학에 수용되어 심도 깊은 연구가 이루어졌다. 이후 정치학, 행정학, 사회학으로 영역을 확장하였고, 메이나드 스미스(J. Maynard Smith)는 이를 진화생물학에 연결시켰다.<sup>[2]</sup> 게임이론의 모형은 동역학적으로도 흥미로운 분석 대상이기 때문에 최근 물리학자들도 활발한 연구를 진행하고 있다. 특히, 최근에는 복잡한 연결망 위에서 벌어지는 동역학에 대한 관심이 커져서, 기존의 게임이론에 대한 통계물리학적 연구들이 복잡한 연결망의 연구와 결합되는 예도 많이 찾아볼 수 있다.<sup>[3]</sup> 본고에서는 게임이론의 흐름들을 간략하게 짚어보고 특히 통계물리학이 게임이론에 어떤 기여를

해왔는지를 소개하며 앞으로의 연구를 가늠해보도록 하겠다.

## 게임이론의 소개

게임이론에서 다루는 게임은 실제 우리가 하는 게임들보다 훨씬 추상화된 수학적 대상이기 때문에 게임이론을 통해 자신이 좋아하는 게임의 필승법을 알고자 기대했던 사람들은 실망할 수도 있을 것이다. 단순한 게임의 분석조차도 그리 쉬운 것은 아니지만 얻어진 결과들은 간혹 반직관적임에도 불구하고, 이론적/현실적으로 의미심장한 결론으로 이어지는 경우가 많다.

게임은 둘 이상의 참여자들과 그들에게 허용되는 행동 혹은 전략, 그리고 그 행동들의 결과인 보수(profit)에 의해 정의된다(죄수의 딜레마게임에 대한 다음 페이지의 표 참조). 핵심적인 부분은 한 게임 참여자가 얻는 보수가 자신과 다른 상대방의 행동 모두에 의존한다는 점이다. 내 힘으로 어찌할 수 없는 상대의 선택에도 불구하고 나의 보수를 최대한으로 하기 위해서는 어떻게 행동해야 하는가가 합리적인(rational) 참여자의 관심사이다. 이렇게 둘 사이의 관계라는 면에서 게임은 통상적인 최적화 문제와는 성격이 판이하게 달라지고, 내 쪽에서 최선이라고 생각하는 수를 쓰더라도 상대가 어떻게 나오느냐에 따라 그 결과가 달라진다는 데서 복잡성이 생겨난다.

### 저자약력

**백승기** 박사는 2006년에 한국과학기술원 물리학과 박사학위를 취득하고 2006년 9월부터 성균관대학교 기초과학연구소에 선임연구원으로 재직 중이다. (garuda@skku.edu)

**김범준** 교수는 서울대학교 박사(1997)로서, 스웨덴 Umea 대학에서 박사후연구원, 조교수 재직(-2002) 후 아주대학교(-2005)를 거쳐 2005년부터 현재까지 성균관대학교 물리학과 부교수로 재직 중이다. (beomjun@skku.edu)

**최정규** 교수는 2003년 University of Massachusetts, Amherst에서 경제학 박사학위를 취득하고 2005년 1월까지 Santa Fe Institute의 박사후연구원을 거친 후 2005년 2월부터 경북대학교 경제통상학부에 재직 중이다. (jkchoi@knu.ac.kr)

## 게임이론과 정치·경제학

노벨경제학상 수상자인 애로우(K. Arrow)가 20세기 경제학

### 참고문헌

- [1] J. von Neumann and O. Morgenstern, *The Theory of Games and Economic Behavior* (Princeton University Press, Princeton, N.J., 1944).
- [2] J. Maynard Smith, *Evolution and the Theory of Games* (Cambridge University Press, Cambridge, 1982).
- [3] See, e.g., B.J. Kim, *et al.*, Phys. Rev. E **66**, 021907 (2002).

에서 다섯 가지 중요한 발전 중의 하나로 꼽았을 만큼 게임 이론이 경제학에 미친 영향은 심대하다.<sup>[4]</sup> 특히 이기적이고 합리적인 경제학적 인간들로 이루어진 사회에서는 자연스레 최적의 균형이 달성된다고 하는 고전 경제학의 주요 도그마에 타격을 가한 의의가 크다.

예컨대 ‘죄수의 딜레마(prisoner’s dilemma)’ 게임에서는 공범을 저지른 두 용의자 A와 B를 생각한다. 검사는 A와 B를 따로 만나 “먼저 죄를 자백하면 정상이 참작되어 풀려나겠지만, 공범이 자백했는데도 당신이 부인한다면 3년형을 받고, 둘 다 자백하면 2년형씩을 받을 것”이라고 말한다. A, B 모두 범죄를 부인하면 각자 1년형을 선고받는다고 하고 이러한 상황을 표로 나타내보자.

	B의 부인	B의 자백
A의 부인	(A의 형량\B의 형량=)1년\1년	3년\0년
A의 자백	0년\3년	2년\2년

형량을 합산해보면 A와 B 둘 다 부인하는 것이 최적의 전략이겠지만, 자신의 형량을 줄이기 위한 합리적 선택은, 상대의 선택에 무관하게 죄를 자백하는 것이다. 왜냐하면 1년보다는 바로 풀려나는 쪽이, 또 3년보다는 2년이 더 작은 비용이기 때문이다. 이 모형은 실로 광범위한 비유가 가능한데, 예컨대 냉전시기 미소 양 강대국의 군비경쟁 역시 유사하게 설명함으로써 국가간 분쟁의 구조적 성격에 대한 통찰을 제공했으며,<sup>[5]</sup> 또한, 이 게임은 현재 공정거래위원회에서 담합을 방지하는 제도로도 쓰이고 있다.<sup>[6]</sup> 게임이론이 가정하는 합리적인 인간상은 엄청난 정보처리능력을 참여자에게 요구하고 있으며 인간의 동태적 추론과정을 온전히 담지 못한다는 비판에 노출되어 있다.<sup>[7]</sup> 역으로 이 비판을 연구전략으로 채용해 게임이론 예측 결과와 실제 사람들이 행한 결과를 비교함으로써 합리적 인간이라고 하는 경제학의 토대가 얼마나 탄탄한지 살펴볼 수 있는 일이다. 이런 방향에서, 합리적 인간이 불완전한 추론을 이용하는 비합리적 인간과 함께 존재할 때에 양자 사이에는 어떤 상호작용이 있게 되는지에 대한 연구도 진행되고 있다.

### 게임이론과 진화생물학

생물학에서는 진화 게임이론이라는 틀에서 다양한 연구가 이루어지고 있다. 즉, 한 군집 내에서 일어나는 여러 동태적 요인들을 하나의 게임으로 모형화하고 그 게임에 참여한 개체들이 얻은 보수에 따라 더 많은 자손들을 남긴다고 가정하여, 어떠한 형질이 지배적으로 살아남을 것인가가 많이 연구되었다.

진화 게임이론은 정치학자인 악셀로드(R. Axelrod)가 1980년대 ‘반복되는 죄수의 딜레마’ 게임을 시행하는 토너먼트를 열어 큰 관심을 끌었다.<sup>[8]</sup> 이때 사회학자인 라포포트(A. Rapoport)가 제시해 토너먼트를 승리로 이끈 전략이 소위 ‘맞대응(Tit-for-tat)’으로서, 처음 협력한 후 상대가 이전에 했던 행동을 그대로 돌려준다는 것이었다. 이것은 상대보다 먼저 배신하지 않고 상대가 배신했을 때 응징하며, 상대가 협력으로 돌아오면 용서하고 다른 협력전략들과 공존하는 미덕을 나타낸다고 해석되었다. 이기적인 유전자의 관점과 실제 존재하는 다양한 협력관계가 서로 모순이 아님을 설명하기 위해 자주 인용되는 예이다. 하지만 여기에는 게임 참여자들이 계속해서 한정 없이 서로 마주친다는 조건이 들어가게 되는데, 실제 협력이 꼭 그런 상황에서만 일어나는 것은 아니다. 그래서 최근에는 이런 조건을 완화하고도 언제 협력이 우세하게 되는지를 설명하는 연구들이 노박(M. Nowak) 등에 의해서 꾸준히 진행되고 있는데, 평판이나 연결망의 구조에 기반한 호혜성 등이 그 대표적인 예이다.<sup>[9]</sup> 생물학에서의 이러한 진화적 발상은 경제학의 게임이론 연구에도 다시 영향을 미쳤다.

### 게임이론과 통계물리학

물리학자들은 ‘반복되는 죄수의 딜레마’를 비롯한 게임이론적 주제들을 기본적으로 동역학계라는 틀에서 고려해왔다. 배신과 협조전략을 전자스핀처럼 생각하여 상전이(phase transition)를 관찰하는 것 역시 통계물리학적 접근의 대표적인 예가 될 것이다.<sup>[10]</sup> 일정한 제한을 지닌 전략 집합을 한꺼번에 고려하여 임의의 초기조건으로부터 나오는 결과를 볼 수도 있는데 이것은 세포자동자(cellular automata)의 군집처럼 다루어질 수 있다. 게임 참여자의 기억능력이 늘어날 때마다 가능한 전략이 비약적으로 늘어나기 때문에(이러하면 악셀로드는 70개 비트로 이루어진 유전자가 가지는 모든 가능성

#### 참고문헌

[4] K. J. Arrow, *European Journal of the History of Economic Thought* **8**, 298 (2001).  
 [5] R. Lieber, *Theory and World Politics* (George Allen & Unwin, London, 1973).  
 [6] “담합 깨려면 ‘불신을 조장하라’” 한겨레, 2005년 6월 29일자.  
 [7] 홍훈, “신고전학과 경제학의 연속성과 변화, 그리고 수용(1960-2006년)”, 한국사회경제학회 창립20주년 기념 학술대회 (2007).  
 [8] R. Axelrod, *The Evolution of Cooperation* (Basic Publ., New York, 1984).  
 [9] M. Nowak, *Science* **314**, 1560 (2006).  
 [10] 예컨대, Szabó and C. Tóke, *Phys. Rev. E* **58**, 69 (1998); G. Szabó and C. Hauert, *Phys. Rev. Lett.* **89**, 118101 (2002).

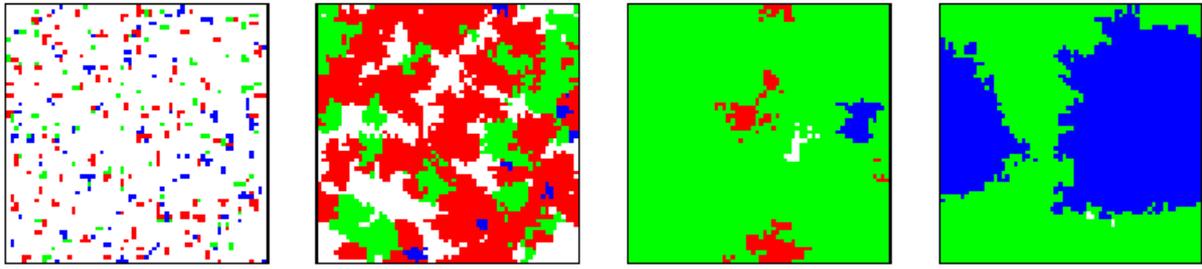


그림 1. 주기적 경계조건을 쓴 2차원 격자에서의 ‘반복되는 죄수의 딜레마’ 진화 양상. 지난 회를 참조하는 모든 전략 중 무자비촉발, 맞대응, 파블로프 전략만을 표시했다.

을 매초 100개씩 검사한다고 하면, 우주 탄생 이후 지금까지 1%도 채 끝내지 못했을 것이라고 적었다.<sup>[11]</sup> 이들 사이의 진화는 미시적 상호작용과 거시적 징표를 연결짓는 통계물리학의 전통적 주제들과 연결되기도 한다.

통계물리학자들에게 친숙한 단순한 게임으로 아마도 소수자 게임(minority game)이 있을 것이다. 이것은 신타페 연구소(Santa Fe Institute) 안에 있는 ‘등불(El Farol)’이라는 이름의 술집을 두고 복잡계 경제학의 선구자인 아서(B. Arthur)가 낸 착안에서 출발한다.<sup>[12]</sup> 규모가 작은 이 술집에는 일정 수 이상의 사람들이 오게 되면 그리 좋은 시간을 보낼 수가 없었다. 사람들은 과거의 경험들을 바탕으로 그날그날 술집에 갈지 안 갈지를 결정할텐데, 실제의 분석결과를 보면 묘하게도 최적의 비율을 쉽게 사람들이 학습하는 것처럼 나타났다. 이를 확장한 소수자 게임<sup>[13]</sup>에서는, 각 개인이 일정한 기억력을 가지고 자신의 과거경험을 참조하여 가장 성공적인 행동을 선택하게 된다. 이 게임에서는 적어도 결정론적 규칙의 범위 안에서는, 하나의 최적 전략이 나타나는 일이 원리적으로 불가능하다는 점이 특징인데, 서로를 모르는 참여자들인데도 이러한 불균일성을 이용하면서 성공적으로 조율에 성공하는 것처럼 나타난다. 뿐만 아니라 이 게임은 비교적 간단하기 때문에 열역학적 극한에서 상전이의 관찰이나 분석적인 접근이 쉽다는 장점이 있다. 이러한 소수자 게임 역시 다양한 응용 범위를 가진다. 예컨대 시장을 단순화시켜 사고파는 두 가지의 행위를 할 수 있다고 하자. 사는 사람이 많으면 파는 쪽이 유리하고 파는 사람이 많으면 사는 사람이 유리해진다는 데서 소수자 게임과의 유사성을 찾는다

면, 이를 통해 시장의 자기조절 기능에 대한 힌트를 얻을 수 있다.

## 요약 및 전망

게임이론은 애초 경제학의 일반균형이론을 넘어, 합리적 개인들 사이에 상존하는 불안정성을 보여주고 그 해법을 모색하는 작업으로서 발전해왔다. 이후 진화 기작을 통해 균형점들 간의 선택 혹은 불안정한 평형의 유지가 가능함이 밝혀지면서 진화 게임이론이 정치·사회·생물학 등의 여러 분야를 설명하는 데 이용되어왔다. 이것이 근본적으로 서로 비대칭적인 상호작용을 주고받는 수많은 단위들로 이루어진, 시간에 따라 진화하는 동역학계이기 때문에 연구가 이제 통계물리학의 범주 내로 들어서기에 이르렀다. 그런데 근사적인 비선형 방정식과 강력한 수치적 방법론을 통해 계의 진화를 제한적으로 추적할 수 있지만 그 복잡성으로 말미암아 고전 평형통계와 같은 통합된 이론적 틀은 아직 마련되지 않은 상태이다.

또한 연구방법을 놓고 볼 때, 물리학자들은 마치 입자를 다루듯이 자신들이 다루는 대상에 최소한의 합리성만을 가정한다. 출발한 뒤 계의 진화를 통해 답을 찾아가기를 선호하는데 이것은 합리적인 개인에서 출발한 뒤 그 조건을 완화해가는 경제학의 접근 방식과는 정반대의 방향이다. 따라서 양쪽이 만나기 위해서는 물리학에서의 개인은 경제학자처럼 보다 지혜로워져야 하고 경제학의 개인은 물리학자처럼 보다 직관적일 필요가 있다. 왜냐하면 인간이란 입자처럼 단순하지도 그렇다고 계산기처럼 모든 가능성을 숙고하지도 않는 복합적인 존재이기 때문이다. 결국 근대 인간사회가 겹겹이 조직되어 개개인의 노력만으로는 해결되지 않는 공동의 문제를 안고 있다는 데에 게임이론의 문제의식이 있기 때문에 이러한 방향의 연구는 앞으로도 이론적으로나 현실적으로 중요성을 더해나갈 것으로 보인다.

### 참고문헌

[11] R. Axelrod, “The Evolution of Strategies in the Iterated Prisoner’s Dilemma”, in *Genetic Algorithms and Simulated Annealing*, ed. by Lawrence Davis (Morgan Kaufman, London, 1987).

[12] W. B. Arthur, *Am. Econ. Rev.* **84**, 406 (1994).

[13] D. Challet and Y.-C. Zhang, *Physica A* **246**, 407 (1997).