게임 이론과 합리적인 인간

DOI: 10.3938/PhiT.24.003

김서영·최승주

Game Theory and the Rational Man

Seo-young Silvia KIM and Syngjoo CHOI

We explain the rationality assumptions of the Nash equilibrium and discuss how the Nash equilibrium may not accurately represent actual decisions of people by using symmetric and asymmetric one-shot matching pennies games. We then discuss alternative models of bounded rationality in game theory: noisy introspection theory, quantal response equilibrium, and the model of level-k thinking.

게임이론과 균형

사람은 언제 전략적(strategic)으로 행동하는 법을 배우는 것일까? 우리는 아마 어렸을 적, 세상이 우리 마음대로 돌아가지 않는다는 것을 깨달은 순간부터 나의 효용이 남의 결정에 영향을 받는다는 것을 알고 있었을 것이다. 그리고 그때부터 우리는 남들이 특정하게 행동할 것이라는 예상 하에 나는 어떤 결정을 할 것인지 재빠르게 계산하곤 한다. 이러한 전략적 상황에서의 의사 결정을 응용 수학의 한 분야로 정립한 것이 바로 게임 이론(game theory)이다.

본고에서는 게임 이론의 주축이 되는 균형의 개념을 뜯어보고자 한다. 그리고 게임 이론이 예측한 결과가 실제 사람들이 행동한 결과와 얼마나 일치하는지 연구한 경제학 실험연구 성과들을 소개하고자 한다.

하나의 게임에 대한 완전한 정보를 알기 위해서는 네 가지를

알아야 한다. 바로 게임 참가자(player), 게임의 규칙(rules of the game), 각 행동들이 선택되었을 때 나올 결과(outcome), 그리고 각각의 결과를 얼마나 가치 있게 생각하는지를 묘사하는 보수(payoff)이다. 이 네 가지 요소가 갖추어졌을 때 참가자들은 어떤 선택을 하게 될까? 이에 답하는 것을 우리는 게임 이론 문제를 푸는 것이라고 지칭한다. 이러한 문제의 해는 균형(equilibrium)이라고 하는데, 특히 여러 다양한 균형 개념 중 표준적으로 널리 적용되는 것은 내쉬 균형(Nash equilibrium)이다.

내쉬 균형이란 각 참가자들이 상대방들의 전략을 주어진 것으로 받아들였을 때 최선의 대응(best response)을 하는 전략 선택을 의미한다. 즉 상대방들이 자신의 균형 전략을 고수한다면, 각 참가자들 또한 전략을 바꿀 아무런 유인이 없는 상태이다.

이를테면 양귀자의 소설, 『원미동 사람들』을 떠올려보자. 소설을 다 읽은 후에야 우리는 경호네가 자기 가게를 김포 슈퍼로 확장한다면 김 반장네 형제 슈퍼가 물건 가격을 대폭 낮춰 보복할 것을 안다. 만약 경호네가 그 사실을 미리 알았다더라면 경호네의 최선의 선택은 과연 사업 확장이었을까? 경호네가 슈퍼 사업으로 진입하는 전략을 취한다면, 형제 슈퍼의 입장에서 가만히 있으면 더 손해이기 때문에 출혈 전략이 최적 대응이다. 경호네가 가만히 있는다면 형제 슈퍼 또한 아무런 움직임이 없는 것이 최적 대응이다. 형제 슈퍼의 이 최적 대응 전략이 주어졌을 때 (그리고 그 사실을 미리 잘 알고 있을 때) 경호네의 최적 대응은 슈퍼로 사업 확장을 하지 않기인 것이다.

합리성 가정

무인도에 떨어진 물리학자, 공학자, 그리고 경제학자가 참치 캔 하나를 발견한다. 물리학자는 참치 입자들의 양자 터널링 확률을 극대화할 방법을 곰곰이 생각하고, 공학자는 새총을 이용해 캔을 뚫을 공리를 한다. 경제학자는 고심 끝에 말한다: “자, 여기 캔 따개가 있다고 가정하죠.”

경제학은 반세기 넘게 현실과 동떨어진 가정을 하고 있다고

저자약력

김서영은 2014년 서울대학교 경제학부 학사학위를 취득하고 현재 동대학원 석사과정에 재학 중이다. (titian@snu.ac.kr)

최승주 교수는 2006년 New York University에서 박사 학위를 취득하고 University College London(-2013)을 거쳐 현재 서울대학교 경제학부 부교수로 재직 중이다. (syngjooc@snu.ac.kr)

비판받아왔다. 내쉬 균형을 이용한 분석 결과들을 있는 그대로 받아들이기 전에 다음과 같은 의구심을 가져보자. 내쉬 균형의 밑바탕을 이루는 가정들이 항상 타당한 것인가?

내쉬 균형의 가정은 두 가지로 이루어져 있는데, 바로 (1) 게임 참여자는 상대의 전략에 대해 정확한 예측을 하며 (2) 이런 정확한 믿음을 통해 얻는 보수를 최대화하도록 행동을 한다. 약 50년간 게임 이론은 이 가정을 크게 흔들지 않고 그 위에서 이론의 발전을 꽃피워왔다. 좀 더 고차원적인 게임일수록 균형을 도출하기 위해서는 수학적으로 더욱 복잡한 수식을 풀어야 하며, 따라서 게임 이론의 장벽도 점점 높아지고 있다. 그리고 그 와중에 완벽한 합리성의 가정은 “너무나 명백한”, “당연한” 등의 수식어로 뒷받침되곤 한다. 한 학자는 이런 현상을 두고 검증 없이 믿음만 있는 중세 신앙에 비유하기도 했다. 균형 이론이 가정하는 대로, 참가자들은 항상 상대방의 전략에 대해 합리적인 기대를 형성할 수 있는 것인가? 참가자들은 정말 실수를 하지 않을까? 참가자들은 정말 자신의 보수를 반드시 극대화하는 방향으로 움직일까? 몇 가지 예시를 통해 알아보기로 하자.

화용도의 치욕

“적벽강은 무서운 불길에 덮이고, 천지를 뒤흔드는 함성이 하늘 높이 솟아올랐다.” 황석영 번역의 삼국지가 묘사하는 적벽오병(赤壁鏖兵)이다. 간웅 조조는 대패해 달아나는 와중에도 연이어 매복해있던 조자룡, 그리고 장비에게 차례로 인마를 잃고 혼비백산한다. 겨우 장비까지 따돌리고 도망치는 길, 앞서가던 군사가 와서 보고를 올린다: “두 갈래 길이운데, 승상께서는 어디로 가시렵니까?”

조조 앞에는 지금 두 갈래 길이 있다. 대로는 평탄하지만 50리를 더 가야 하고, 화용도(華容道)의 좁은 길은 짧지만 험하다. 방금 척후병은 화용도에 연기가 피어오르고 있음을 보고했다. 연기는 보통 그 곳에 군마가 있음을 암시한다. 저 연기는 실수일까? 제갈량이 부대를 엄중히 통솔하고 있다면, 화용도에 피어오르는 연기는 명백히 하나의 도전장이다. 제갈량은 어떤 계산 끝에 저 신호를 보낸 것일까? 조조는 어떻게 이것을 해석해야 할까? 당신이 조조라면 대로를 택할 것인가, 화용도를 택할 것인가?

삼국지에서 조조는 제갈량이 짐짓 화용도에 연기를 피워 자신을 대로로 유인하려 한다고 판단하여 화용도로 말머리를 돌린다. 장수들은 탄복하고, 조조는 다시 한 번 주유와 제갈량의 꾀가 얹음을 비웃는다. 그런데 아궤싸, 조조삼소(曹操三笑)라! 진흥궁덩이를 뚫고 나오니 조조를 기다리는 것은 제갈량이 미리 대기시켜놓은 관운장이다. 제갈량은 조조가 한 수 앞을 내다

볼 것을 미리 읽고 두 수를 계산한 전략을 택했던 것이다.

화용도의 치욕 이후에 다시 한 번 조조가 같은 갈림길 앞에 선다고 상상해보자. 조조는 다시는 제갈량에게 속아넘어가지 않으리라고 이를 바둑바둑 깔고 있다. 자, 이제 제갈량이 두 수 앞을 계산할 것이라고 생각한다면 조조는 세 수 앞을 계산하면 된다. 그런데 제갈량이 네 수 앞을 계산하지 않았으리라고 생각할 이유 또한 없다. 조조는 다섯 수 앞을 계산하기로 한다. 잠깐, 만약 제갈량이 여섯 수를 읽고 있다면?

삼국지를 읽은 사람이라면 조조가 결코 아둔하지 않다는 것을 안다. 그런데 관우를 마주하고 조조는 왜 까무러치게 놀랐을까? 조조와 제갈량이 균형에 따른 행동을 했더라면, 조조는 관우를 마주하고 놀라지 말아야 한다. 왜냐하면, 조조는 이를 최소한 확률적으로나마 예상을 하고 있어야 했기 때문이다. 그렇다면 조조는 합리적인 인간이 아닌 것일까? 조조와 제갈량의 행동을 어떻게 설명해야 할 것인가? 균형이론으로는 화용도의 치욕을 설명하기 쉽지 않다.

당신은 연기의 존재가 조조를 함정에 빠뜨렸고, 연기가 없었다면 조조는 그렇게 놀라지 않았을 것이라고 생각할지도 모른다. 과연 그럴까? 좀 더 구체적으로 살펴해보도록 하자.

비대칭적 일회성 홀짝게임의 함정

삼국지의 이야기를 두 가지 부분에서 조금 손질해보자. 이번에는 연기가 없다. 또한 화용도와 대로는 엇비슷한 길이어서, 어느 쪽으로 가든 별반 힘든 정도의 차이가 없다. 패잔병들로 구성된 조조의 군대로 만약 제갈량의 군대를 맞닥뜨린다면 필패할 것이며, 제갈량의 경우 조조 잔당을 잡는 것이 못 잡고 허탕치는 것보다 당연히 좋다. 즉 이것은 단 한번 시험(play)하는, 제로섬(zero-sum) 게임의 일종인 것이다. 다음의 표로 이들의 보수를 임의로 표현해보도록 하자 (표 1 참조).

우리는 이것을 대칭적 일회성 홀짝게임(symmetric one-shot matching pennies game)이라고 한다. 네 개의 괄호는 각 참여자가 선택한 전략에 따른 한 쌍의 보수이며, 괄호 안 좌측 숫자는 조조의 보수, 우측 숫자는 제갈량의 보수를 뜻한다. 이를테면 둘 다 화용도로 갈 경우, 제갈량은 80의 이득을 취하지만 조조는 40의 이득을 취할 뿐이다. 반대로 제갈량은 화용도로 가서 매복하였는데 조조가 대로로 도망친 경우, 제갈량은 40의 이득만을 갖고 조조는 80의 이득을 얻게 된다. 이 게임이 대칭적이라는 수식어가 붙는 이유는 이기는 쪽은 (또는 지는 쪽은) 누가 되었든지 같은 보수를 갖기 때문이다.

홀짝게임의 특징은 일률적으로 하나의 전략만 고르는 순수 전략(pure strategy)이 균형이 되는 일은 없다는 점이다. 제갈량이 대로를 선택한다는 것을 확실하게 안다면, 조조는 화용도

Table 1. Symmetric One-Shot Matching Pennies Game in Goeree & Holt (2001).

		제갈공명의 선택	
		대로	화용도
조조의 선택	대로	(40,80)	(80,40)
	화용도	(80,40)	(40,80)

를 선택할 것이고, 이를 제갈량이 간파한다면 그는 화용도로 응수할 것이다. 하지만, 조조는 이때 대로를 선택할 것이고, 제갈량은 다시 대로를 선택할 것이다. 이렇게 순수 전략에 따른 어느 결과도 모두를 만족시킬 수가 없다. 따라서 이때는 순수 전략이 아닌 혼합 전략(mixed strategy)이 균형을 가능케 하는 유일한 전략이다.

혼합 전략이란 순수 전략들을 상대방이 예측하기 힘들도록 확률조합으로 혼합하여 사용하는 전략을 말한다. 이를테면 화용도를 p 라는 확률 변수만큼 선택하고, 대로를 $1-p$ 의 확률로 선택하는 것이다. 이때 중요한 점은, 특정한 확률이 지정된 순수 전략들 중 어느 것이 선택되어도, 상대방에게 오는 기대효용 또는 기대보수(expected utilities or payoffs)가 같아야 한다. 이 개념을 이해하기 위해서 조조는 대로를 p 의 확률로, 제갈량은 q 의 확률로 선택한다고 가정하자. 이때 조조는, 제갈량이 대로를 골랐을 때의 기대보수인 $80p + 40(1-p)$ 와 화용도를 골랐을 때의 기대보수인 $40p + 80(1-p)$ 가 일치하는, 즉

$$80p + 40(1-p) = 40p + 80(1-p)$$

가 되는 선에서 p 를 골라야 하는 것이다. 만일 그렇게 하지 않는다면 제갈량이 대로나 화용도 중 하나를 반드시 고르게 될 것이다. 그렇다면 조조 또한 어떠한 한 전략을 반드시 고르는 것이 낫게 된다. 이는 좀 전에 정의한 내쉬 균형의 정의에 위배되며, 그 때문에 “상대의 보수가 양 순수 전략에 대해 동일”한 수준에서 나의 확률 p 를 선택해야 하는 것이다.

이 대칭적 게임의 경우는 공명도 조조도 대로와 화용도를 각각 1/2의 확률로 고르는 혼합 전략이 최적이다. 그런데 이번에는 대칭적이지 아닌, 비대칭적 일회성 홀짝게임(asymmetric one-shot matching pennies game)을 살펴해보도록 하자. 이번에는 연기는 여전히 없지만, 삼국지에서와 같이 화용도는 험준하고 진흙투성이며 대로는 화용도보다 훨씬 통과하기 수월한 길이다. 따라서 다른 것은 모두 동일하지만, 조조가 대로를 통해 도망갔을 때에는 화용도를 통해 고생고생하며 도망갔을 때보다 훨씬 이득이라고 가정하고 다음과 같은 보수표를 지정해 보자(표 2 참조).

자, 다시 조조의 입장에 서서 선택을 해 보자. 조조는, 제갈량이 대로를 골랐을 때의 기대보수인 $80p + 40(1-p)$ 와 화용도

Table 2. Asymmetric One-Shot Matching Pennies Game in Goeree & Holt (2001).

		제갈공명의 선택	
		대로	화용도
조조의 선택	대로	(40,80)	(320,40)
	화용도	(80,40)	(40,80)

Fig. 1. Game Tree Showing Asymmetric One-Shot Matching Pennies Game in Goeree & Holt (2001). Provided by illustrator, Ah-young Kim.

를 골랐을 때의 기대보수인 $40p + 80(1-p)$ 가 일치하는, 즉

$$80p + 40(1-p) = 40p + 80(1-p)$$

가 되는 선에서 p 를 골라야 하는 것이다... 어라? 분명 대로로 도망갔을 때 운 좋게도 제갈량이 화용도로 가서 허탕을 친다면 조조에게는 ‘대박’이 터지는 것인데, 320의 보수는 전혀 현재 혼합전략의 계산에 들어가 있지 않다! 조조는 게임 이론 교과서를 들고 고개를 갸웃거릴 수밖에 없을 것이다.

과연 조조는 대칭적 게임과 비대칭적 게임에서 같은 선택을 할까? 사람들은 실제로 어떤 선택을 할까?

현재 각각 취리히 대학과 버지니아 대학에 있는 Goeree와 Holt는 2001년 논문에서 50명의 대학생들을 대상으로 2명씩 짝지운 후 위와 동일한 보수표를 가지고 일회성 실험을 하였는데, 그 결과는 다음과 같다. 각 참가자가 순수전략을 선택한 비율은 전략명 뒤에 괄호 안에 있는 숫자이다(표 3 참조).

대칭 게임 결과를 보면 25명의 1/2에 근접하게 12명(48%), 13명(52%)으로 각 전략이 선택되었음을 알 수 있다. 대칭 게임만 보면 게임 이론이 현실을 아주 잘 설명하는 것처럼 보인다. 그런데 비대칭 게임에서 참가자 1의 변화를 보자. 이때 참가자 2의 보수는 전혀 변하지 않기 때문에, 게임 이론은 참가

Table 3. Experimental Results of the Asymmetric One-Shot Matching Pennies Game in Goeree & Holt (2001).

대칭게임		참가자2	
		왼쪽 (48)	오른쪽 (52)
참가자1	위 (48)	(40,80)	(80,40)
	아래 (52)	(80,40)	(40,80)

비대칭게임		참가자2	
		왼쪽 (84)	오른쪽 (16)
참가자1	위 (96)	(40,80)	(320,40)
	아래 (4)	(80,40)	(40,80)

자 1의 행동 또한 변하지 않을 것이라고 예측한다. 그런데 무려 25명 중 24명(96%)이 ‘위’ 전략을 택했다.

이게 대체 어떻게 된 일일까? 숫자 단 하나가 변했을 뿐인데 게임 이론이 전혀 현실을 예측하지 못하게 되어버렸다. (자신의 보수에 무관하게) 상대가 받는 보수만으로 최적의 혼합 전략을 계산해야 한다는 게임 이론과는 달리, (참가자 1인 자신이 받는 것이 가능한) 보수 320이라는 숫자에 참가자들은 몹시 탄력적으로 반응하였다. 더욱 재미있는 사실은, 비대칭적 게임에서도 본인의 보수가 변하지 않는 참가자 2의 경우, 실제 내쉬 균형과 거의 동일하게 전략을 선택하였다는 점이다. 참가자 2의 경우 비대칭적 게임에서는, 참가자 1의 ‘위’ 선택과 ‘아래’ 선택의 기대보수가 같게 만들어야 하므로 다음과 같은 수식을 풀게 된다:

$$40q + 320(1-q) = 80q + 40(1-q)$$

이때 q 는 7/8로, 실제 실험 결과인 84%와 거의 유사하다. 즉 내쉬 균형이 제대로 예측하고 있는 것이다.

사실 참가자 1이 ‘위’ 전략을 택하는 것이 보통의 직관과 일치하고, 오히려 320의 유혹적인 보상이 있는데도 불구하고 ‘위’ 전략이 1/2 확률로만 선택된다는 게임 이론 예측이 이해하기 어려워 보인다. q 가 1/2에서 7/8로 늘어나는 이유 또한 직관적으로 생각하면 참가자 2의 대부분이 참가자 1이 320이 있는 ‘위’ 전략으로 가겠거니, 생각해서가 아닌가?

참가자 2의 총 보수를 한번 계산해보자. 만약 참가자 1이 정확한 내쉬 균형의 예상 확률 ($p=1/2$)대로 행동했다면 참가자 2의 보수는 대칭적으로

$$(0.5 \times 80) + (0.5 \times 40) = 60$$

이다. 그런데 실제 현실에서는 참가자 2들 중 81.28% ($0.96 \times 0.84 + 0.04 \times 0.16 = 0.8128$)가 보수 80을 얻고, 나머지 18.72%는 보수 40을 얻었다. 따라서 참가자 2쪽의 평균 보수는

$$(0.8128 \times 80) + (0.1872 \times 40) = 72.512$$

가 된다. 참가자 2가 합리적인 참가자로서 내쉬 균형을 정확하게 계산한 것인지, 아니면 단순히 참가자 1이 320의 보수 쪽으로 끌릴 것이라 예상하여 ‘왼쪽’ 전략을 더 고른 것인지 우리는 알 수 없다. 하지만 결과적으로 내쉬 균형과 유사하게 행동한 참가자 2는 효과적으로 참가자 1을 이용해 많은 이득을 취한 것이다.

그렇다면 참가자 1은 어떨까? 참가자 2가 혼합 전략 내쉬 균형에 가깝게 행동하므로, 참가자 1은 균형에서 벗어나도 크게 보수 차이가 없을 것으로 예상된다. 실제로 참가자 2가 정확한 내쉬 균형의 예상 확률대로 움직여 주는 경우 ($q=7/8$), 참가자 1의 ‘위’ 전략 선택 확률을 p 라고 놓는다면, 참가자 1측의 총 보수는 p 와 상관없이 항상 75이다.

$$p(7/8)(40) + (1-p)(1/8)(40) + (7/8)(1-p)(80) + p(1/8)(320) = 75$$

즉 참가자 1이 ‘위’ 전략을 어떤 확률로 골라도 그의 예상 보수는 변하지 않는다. 이것이 내쉬 균형의 핵심이다.

그런데 실험 결과에서는 참가자 2의 ‘왼쪽’ 전략 선택 확률이 84%, 즉 이론적으로 나와야 하는 7/8인 87.5%보다 적다. 바로 여기서 차이가 발생한다. 계산을 해보면 $0.96 \times 0.84 + 0.04 \times 0.16 = 0.8128$, 즉 81.28%의 참가자 1들이 40의 보상 밖에 얻지 못했다. 나머지 $0.04 \times 0.84 = 0.0336$, 즉 3.36%의 참가자들은 80의 보상을, 또 $0.96 \times 0.16 = 0.1536$, 즉 15.36%의 참가자들은 320의 보상을 실제로 얻어간다. 따라서 참가자 1측의 총 보수를 계산해보자면

$$0.8128 \times 40 + 0.0336 \times 80 + 0.1536 \times 320 = 84.352$$

과 같다. 만약 참가자 2들의 실험 결과가 주어진 상황에서, 참가자 1이 ‘위’ 전략을 대칭 게임에서와 같은 확률로, 즉 내쉬 균형에 따라 택했다면? 그렇다면 $0.48 \times 0.84 + 0.52 \times 0.16 = 0.4864$, 즉 48.64%의 참가자 1들은 40의 보수를, $0.52 \times 0.84 = 0.4368$, 즉 43.68%는 80의 보수를, 그리고 나머지 $0.48 \times 0.16 = 0.0768$, 즉 7.68%는 320의 보수를 얻었을 것이다. 따라서 이 상황에서 참가자 1들이 내쉬 균형을 택해 얻는 총 보수는

$$0.4864 \times 40 + 0.4368 \times 80 + 0.0768 \times 320 = 78.976$$

과 같다. 내쉬 균형과 비슷하지만 정확히 같지는 않은, 표 3대로의 참가자 2의 반응이 주어졌을 때라면, 참가자 1의 총 보수는 오히려 그들이 내쉬 균형대로 선택하지 않았을 때가 더 높다! 그렇다면 이론과는 달리, ‘위’ 전략에 도박을 걸어볼 만한 것 아닐까? 대체 왜 이런 결과가 나온 것일까?

앞서 말했듯이, 이러한 결과는 전적으로 참가자 2 측 실제 확률과 이론 사이의 미세한 잡음에서 나오는 것이다. 만약 참가자 1이 각각의 전략에 대해 96%와 4%의 선택을 유지할 때, 참가자 2들 중 단 한 명만 더 '왼쪽' 전략을 선택했어도 결과는 달라진다. 즉 참가자 1이 도로 내쉬 균형대로 선택하는 것이 이득이 된다는 말이다. 계산해 보자. 총 25명의 참가자 2의 84%인 21명이 아니라 88%인 22명이 '왼쪽' 전략을 택했으면? 0.88은 7/8을 초과해버리기 때문에,

$$0.96 \times 0.88 \times 40 + 0.04 \times 0.12 \times 40 + 0.04 \times 0.88 \times 80 + 0.96 \times 0.12 \times 320 = 73.664$$

보다야 내쉬 균형대로 선택한

$$0.48 \times 0.88 \times 40 + 0.52 \times 0.12 \times 40 + 0.52 \times 0.88 \times 80 + 0.48 \times 0.12 \times 320 = 74.432$$

가 나온 것이다.

참가자 1은 실제 참가자 2들이라면 표 3처럼, 16% 정도는 '오른쪽' 전략을 선택할 것을 미리 예상하고 있었던 것일까? 글썄, 그 질문에는 답하기 어려울 것 같다. 그냥 이런저런 앞뒤 계산을 할 겨를이 없이, 320의 보상에 순간적으로 이끌린 것이라면? 그렇다면 참가자 1이 이론과 다르게 행동하고도 이득을 본 것은 순전히 운이 좋아서일 가능성이 높아 보인다.

대안적 이론들

당연한 이야기지만, 위의 훌쩍 게임 외에 다른 종류의 게임에 있어서도 내쉬 균형이 예측한 균형과 실제 사람들의 행동이 일치하지 않는 실험 연구 사례가 계속해서 보고되고 있다. 대칭적 게임에서 보다시피, 내쉬 균형이 언제나 현실과 동떨어진 것은 아니다. 하지만 현실을 잘 설명하다가도, 위와 같이 숫자 하나만 바꾸면 바로 현실 결과를 설명할 수 없게 되는 이현상(anomalies)을 우리는 어떻게 이해해야 할까?

내쉬 균형에서 설명할 수 없는 이현상들을 설명하기 위한 다양한 시도들이 있어왔으며, 그 중에서 두 가지 이론적 시도들을 짚막하게 소개하고자 한다. 먼저, Goeree와 Holt가 제시한 불완전 성찰(noisy introspection) 이론과 McKelvey 및 Palfrey가 제시한 퀀탈반응균형(quantal response equilibrium: QRE)은 실수를 용납하지 않는 내쉬 균형에 노이즈(noise)를 부여하는 발전된 개념이라고 볼 수 있다.

Noisy introspection 이론에서는 상대방의 선택에 대한 예상과 상대방의 다른 참가자들의 선택에 대한 예상, 그리고 이런 반복적인 예상의 성찰 과정에 노이즈가 들어갈 수 있도록 허용한다. 이와 달리, 퀀탈반응균형이론에서는 모든 참여자들의

선택에 노이즈가 들어가고 이 확률적인 선택과정에 대한 '합리적 기대'를 형성할 수 있도록 허용한다. 즉, 내쉬 균형이 더 높은 보수를 받는 쪽을 확실하게 선택하는 최선의 대응을 요구한다면, 퀀탈반응균형에서는 모든 순수 전략을 확률적으로 선택하며, 다만 더 높은 보수를 주는 전략을 더 높은 확률로 선택할 것을 요구한다. 즉 A라는 전략과 B라는 전략 중 A가 나에게 더 높은 보수를 주더라도 나는 A를 고를 가능성이 더 높은 하지만 항상 A를 고르는 것은 아니라는 것이다. 그리고 나뿐만 아니라 모든 다른 참가자들도 유사한 방식으로 실수를 하기 때문에, 퀀탈반응균형이론은 다른 참가자들이 실수에 대해 '합리적 기대'를 형성하는 것을 필요로 한다. 이런 의미에서 실질적으로 참가자가 최적 전략을 내기 위해 계산해야 하는 것이 내쉬 균형 때보다도 배로 많아지게 된다.

가장 설명력이 뛰어나다고 여겨지며 활발히 연구되고 있는 이론은 k-레벨(level-k) 모형이다. 이는 현재 품페우 파브라 대학에 있는 Nagel의 1995년 논문에서 처음 부각되었는데, Nagel은 아주 단순한 게임으로 사람이 현실에서 내쉬 균형을 반드시 따르지 않는다는 것을 보여주었다.

수많은 사람들이 동시에 [0,100]의 정수 중 하나를 고르는 게임을 상정해 보자. 주최 측은 모든 사람의 숫자들을 모아 나온 최빈값의 2/3에 가장 근접한 사람에게 일정한 금액의 상금을 주기로 하며, 비길 경우 상금은 똑같이 나눠 갖는 것으로 정한다. 당신은 곰곰이 생각한다. 보통은 0부터 100 사이의 숫자를 고르라고 하면 50을 많이 고를 것이라고. 그렇다면 50의 2/3에 근접한 33을 고를까? 아, 하지만 누구나 다 33이라고 고른다면, 33의 2/3인 22를 고르는 것이 상금을 타는데 유리할 수도 있다. 그렇다면 22의 2/3를 골라야 하나? 실제로 내쉬 균형의 계산에서는, 나도 상대 참가자들도 전부 완벽하게 합리적인 사람이기 때문에 서로 이러한 전략적인 사고를 반복해서 하게 되고, 결국은 $100 \times (\frac{2}{3})^n$ 에서 $n \rightarrow \infty$ 를 취한 0이 내쉬 균형이 된다. 물리학에서 흔히 하듯, 대칭성을 이용하여 내쉬 균형을 구할 수도 있다. 참가자들과 그들의 합리성이 모두 동일하기에(identical), 한 참가자가 기대하는 어떤 값 x 는 그와 동일한 누군가가 기대하는 $\frac{2}{3}$ 와 같을 수밖에 없어

$$x = \frac{2}{3}x$$

라는 식이 성립하고, $x=0$ 만이 근이 되는 것이다.

바로 여기에 함정이 있다. 사람들은 서로가 완벽하게 합리적인 사람이라고 생각할까? 그렇지 않다. 실제로 위 실험 결과의 최빈값은 33, 평균은 36.73이었다. 따라서 22를 고른 사람이 상금을 타 갔을 것이다. 0을 고른 사람은 내쉬 균형은 정확하

게 풀었어도 입만 다시고 끝났을 것이다. Level-k 모형은 바로 이 전략적 사고의 단계를 명시적으로 묘사하는 모형이다. 즉 가장 단순한 사고, 즉 다른 사람의 전략적 선택을 고려하지 않은 0단계(Level-0, 또는 L0)의 사고를 하는 사람들로부터, 상대들이 0단계의 사고를 한다고 가정하고 그 반응을 고려해서 최적 전략을 택한 1단계 사고 참가자들(L1), 상대가 좀 더 똑똑한 1단계 참가자들이라 생각해 그 위에 서서 한 수를 더 계산한 2단계 사고 참가자들(L2), ... 이렇게 한 단계씩 더 고단수의 사고를 하는 참가자들을 계산에 넣는 게임 이론 모형인 것이다.

위의 1995년도 논문의 [0,100] 게임의 경우 L0 참가자들은 50을, L1 참가자들은 33을 골랐을 것이며, 실제 L1 참가자들이 제일 많았기 때문에 최종적으로 22을 고른 L2 참가자들이 상금을 타 갈 수 있었다. 실제로 다양한 게임의 결과 L1과 L2 게임 참가자들의 빈도가 가장 높으며, 드물게는 L3 참가자들도 등장한다는 것이 밝혀져 있다. 조조와 제갈량이 대결하던 화용도의 끝자락으로 돌아가보자. 연기를 따위 거들떠도 안 보고 길을 선택했다면 L0, 연기를 고려했다면 L1 참가자라고 해 보자. 조조는 제갈량이 자신을 L1 참가자라고 계산하고 있을 것이라 어렵짐작 후 L2 참가자로서 화용도를 택한다. 그런데 웬걸, 제갈량은 L3 참가자로 L2인 조조의 머리 꼭대기 위에 서 있었던 것이다. Level-k 모형은 아직 완벽하진 않지만 상당수 게임들, 특히 상대의 수를 먼저 읽으려는 수 싸움(outguessing game)에 있어서는 내쉬 균형보다 훨씬 더 현실을 잘 설명하고 있다고 알려져 있다.

결론

우리는 내쉬 균형이 설득력 있는 논리에 기반한 수학적인 풀이지만, 반드시 현실과 일치하지 않는다는 것을 보았다. 십수년 전부터 실험경제학자들과 게임이론 학자 상당수는 전략적 사고를 묘사하는 구조적인 비균형(structural nonequilibrium models of strategic thinking) 모델이 필요함을 역설해왔다. 그리고 Level-k 모형 등 현실에 더 적합한 모형들이 속속들이

등장하여 게임 이론의 세계를 넓히고 있다.

앞으로 연구될 주제들 또한 무궁무진하다. Level-k 모형에서, 다양한 참가자들의 k를 결정하는 것은 무엇일까? k가 높으면 스스로가 똑똑해야 할 뿐 아니라 상대방이 얼마나 똑똑한지에 대한 믿음이 높게 형성되어야 한다. k의 차이는 인지능력(cognitive ability)의 차이일까? 사회생활 경험치의 차이일까? 아니라면 사람들에게 대한 신뢰나 기대치의 차이일까? [0,100] 게임을 물리학자들과 할 때와 유치원생들과 할 때 전략적으로 다르게 반응한다면, 나는 상대에 따라 k를 어떻게 설정할까? 낮은 레벨의 Lk 참가자들도 높은 레벨의 Lk 참가자들과 부대끼다 보면 학습의 결과로 좀 더 높은 k 레벨로 올라가게 될까?

서로 다른 합리성 수준을 가진 개체들이 상호작용하고 또 최적화하는 것은 물리학에서 계(系)의 진화를 연구하는 것과 아주 다르지 않을지도 모른다. 게임이론의 향후 발전은 여전히 복잡하고 어렵지만 또 흥미로운 것이라고 생각된다. 물리학과 사회과학의 학제적 연구를 기대해 본다.

REFERENCES

- [1] Kenneth E. Boulding, *Economics as a Science* (McGraw-Hill, 1970), p. 101; A. Smith, Paper money, *Business Horizons* **24**(6), 85 (1981).
- [2] J. K. Goeree and C. A. Holt, Ten little treasures of game theory and ten intuitive contradictions. *American Economic Review*, 1402-1422 (2001).
- [3] J. K. Goeree and C. A. Holt, *Ibid.* "It is hard not to notice parallels with theology, and the highly mathematical nature of the developments makes this work about as inaccessible to mainstream economists as medieval treatises on theology would have been to the general public.", p. 1402.
- [4] V. P. Crawford, M. A. Costa-Gomes and N. Iriberri, Structural Models of Nonequilibrium Strategic Thinking Theory, Evidence, and Applications. *Journal of Economic Literature* (2013).
- [5] J. A. Goeree and C. A. Holt, A Model of Noisy Inspection. *Games and Economic Behavior* **46**(2), 365 (2004).
- [6] R. D. McKelvey and T. R. Palfrey, Quantal response equilibria for normal form games, *Games and economic behavior* **10**(1), 6 (1995).
- [7] V. P. Crawford, M. A. Costa-Gomes and N. Iriberri, *Ibid.*
- [8] J. K. Goeree and C. A. Holt, *Ibid.*