

왜 협력인가?

게임이론이 발견한 놀라운 협력의 비밀들

허준석→이동한→조남운

<mailto:experiment.namun+2016f@gmail.com>

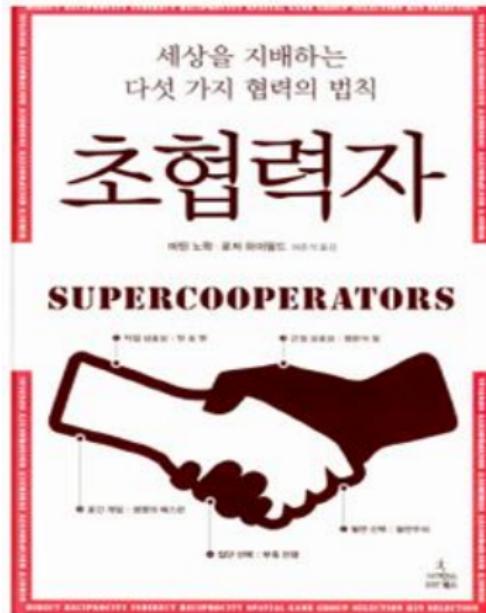
2016년 9월 2일

목차

- 1 강사 소개
- 2 경제시스템, 나, 그리고 관계
- 3 최수의 딜레마
- 4 게임이론의 역사
- 5 진화론과 게임이론의 만남
- 6 협력으로 가는 5가지 길

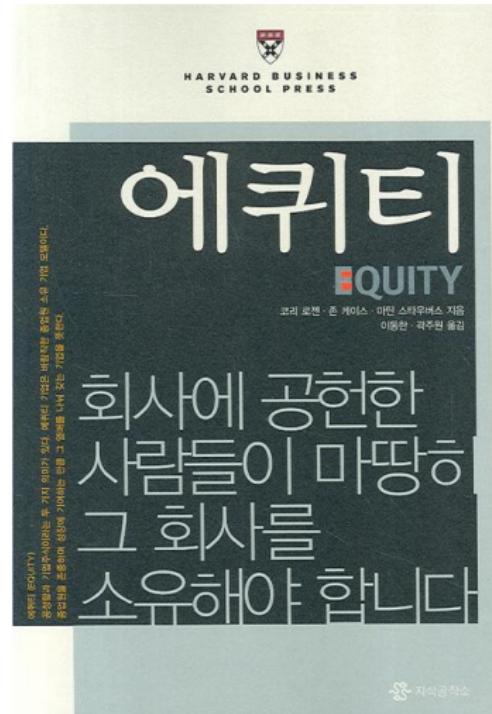
강사 소개 (허준석)

- 경제학 박사 + 30년 넘은 게이머
- (Evolutionary) Game theory vs. Game
- 초협력자(사이언스 북스, 2012)
번역
- 재미의 비즈니스(책세상, 2006)
저서



강사 소개 (이동한)

- 약사 + 경제학 박사
- 관심주제: 참여적 기업시스템
 - 성공적인 미국의 노동자 소유 기업을 진화적 게임이론으로 분석
 - 소유, 문화, 경영방침
- 에퀴티 (지식공작소, 2007) 번역
- 노동자가 원하는 것 (후마니타스, 2015?) 번역



강사 소개 (조남운)

- 주관심분야: 진화게임, 행동경제학
(실험경제학), 계산경제학

- 경제학 박사
 - 사적 관심: 자전거타기, 게임, 프로그래밍, 고양이 키우기, 키보드

- 최근 작업
 - 예측시장 (prediction market) 개발
운영, 분석
 - 컴퓨터를 사용한 각종 실험들

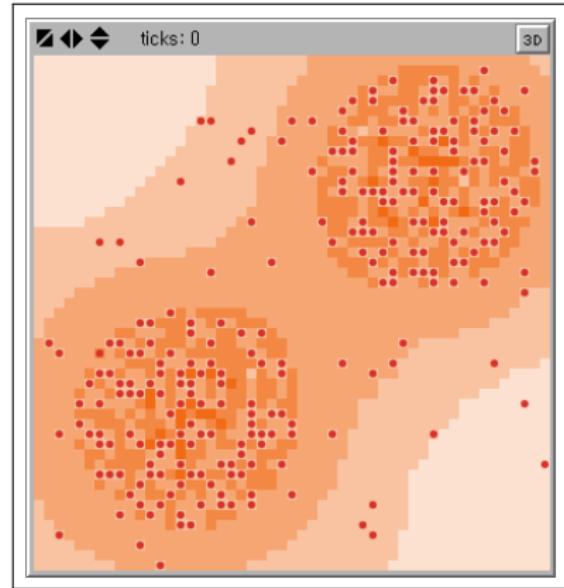
cho cv/namun cv.pdf
조남우

왜 협력인가?



간단한 경제시스템: Sugarscape I

- Joshua Epstein and Robert Axtell
(1997)
- 원시적인 경제시스템: 출발점
- 컴퓨터 모의 실험 (시뮬레이션)
경제적 시스템을 구성
- 슈거스케이프(설탕 섬): 물리적
공간, 설탕이라는 에너지원,
차별적인 땅

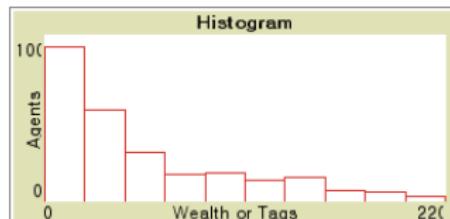
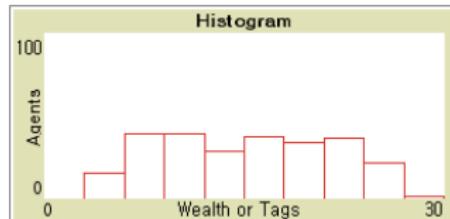


Sugarscape I

- 다수의 Agents(행위자)가 랜덤하게 자리를 잡고 출발
- Agents(행위자)는 설탕을 찾아 움직이며 설탕을 먹는다
- 동서남북 네 방향으로 시각의 범위 내에서 설탕이 많은 비점유 지역을 찾아 이동
- 설탕을 획득, 물질대사량 만큼 소비
- 획득량 + 저장량 - 대사량 $\geq 0 \rightarrow$ 생존, 저장
- 획득량 + 저장량 - 대사량 $< 0 \rightarrow$ 사망

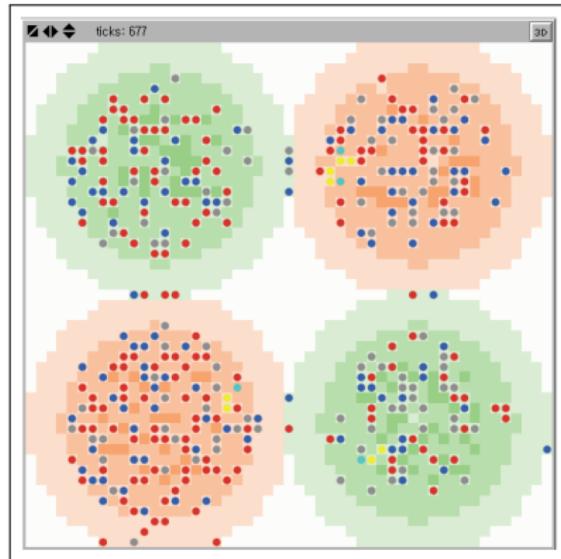
Sugarscape III

- 설탕이 많이 나오는 땅을 얻기 위한 게임 (Hawk-Dove Game)
- 혼란 → 질서
- 시간의 변화에 따른 부의 분포?
80-20 규칙
- 불평등한 부의 원인은...
→ 유전자(본성), 태어난 곳(환경), 노력(양육)?
→ No !!! “모든 것”



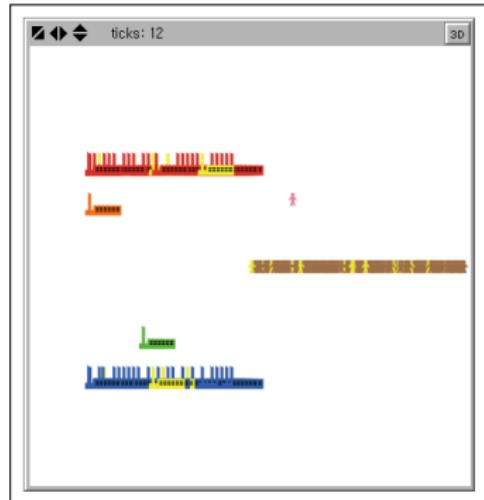
Sugarscape IV

- 새로운 생산물이 추가:
spice(향료)
- 설탕, 향료 모두 대사량 보다 적으면 사망
- 설탕을 구한 뒤 향료를 구하려 다녀야 함
- 거래가 존재한다면?
→ 거래가 없을 경우 보다 사회의 부가 증가



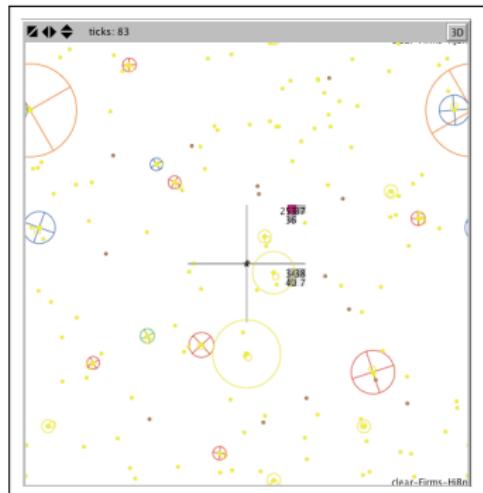
불완전 경제 시스템: ACE Trading World

- Tesfatsion and Judd (2005)
- 보다 현실적인 경제 모델로 발전
- 두 개의 상품을 생산 및 소비하는
다수의 기업, 다수의 생산/소비자가
등장
- 합리적인 소비를 하는 소비자, 기업
- 균형이 만들어지지만 불완전한
경제시스템



자본주의 경제시스템: ACE Capitalist World

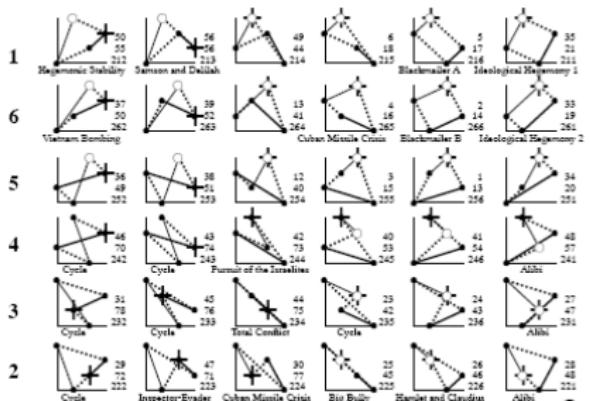
- Lee, Dong-Han (2013)
- 다양한 게임들로 이뤄진 자본주의 경제시스템
- 생산과정에서의 노사 간 협상 게임
- 상품시장에서의 기업 간 경쟁 게임
- 노동시장에서의 임금 결정을 둘러싼 게임
- 다양한 종류의 관계(게임)로 이루어진 세상



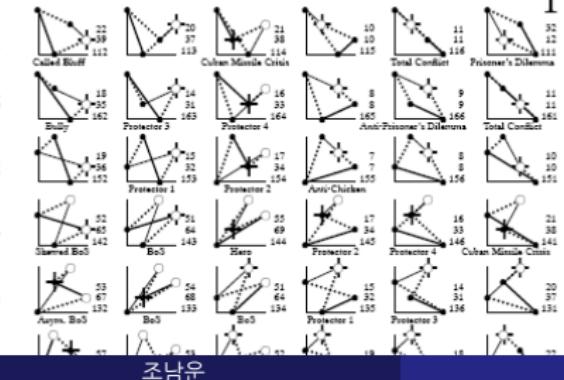
경제시스템, 나, 그리고 게임이론

- 이 모든 과정들의 변화와 그 과정에서 변화하는 게임들을 수행
- 게임 이론은 행위주체들 사이의 다양한 관계를 분석하는 수학적 방법
- 두 사람이 각각 두 가지 전략을 사용하는 서로 다른 게임의 수는 144개
- 한 사회를 구성하는 사람들의 관계들을 다양한 종류의 게임들로 분석할 수 있음

2인 2전략 게임의 모든 조합

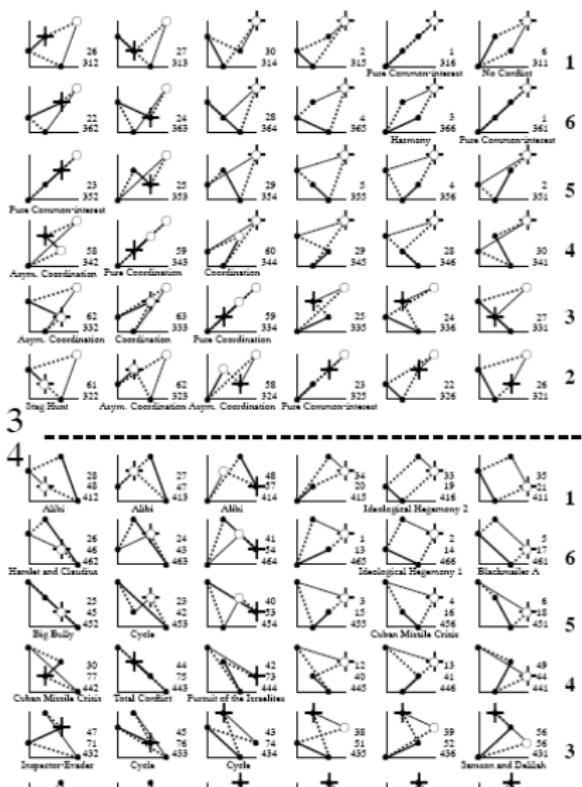


Layer 1



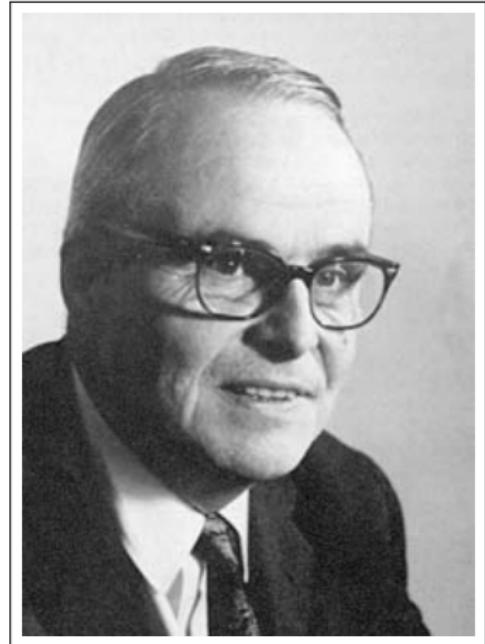
조남운

왜 협력인가?



최수의 딜레마 (Prisoner's Dilemma)

- 원래 수학적인 정식화는 Merrill Flood 와 Melvin Dresher (1950)
- 현재의 이야기대로는 Albert W. Tucker (1951)



딜레마 분석하기 - 게임이론의 구성요소

- ① 행위자 (Player)
- ② 결정 (Action/Strategy)
- ③ 결과 (Outcome)
- ④ 이득 / 손해 (Benefit / Cost, or Payoff)

최수의 딜레마의 구성요소

- ① 행위자 (Player) - 2명의 최수
- ② 결정 (Action/Strategy) - 범행 인정 (C) / 범행 부인 (D)

$$S = \{C, D\}$$

- ③ 결과 (Outcome) - 총 4가지의 결과가 존재 가능

$$(S_1, S_2) = \{(C, C), (C, D), (D, C), (D, D)\}$$

- ④ 이득 / 손해 (Benefit / Cost, or Payoff): 보수행렬 (Payoff Matrix) - 곧 설명함

딜레마 분석하기

- 내가 당할 수 있는 처지도 모두 네 가지
 - ➊ Reward
 - ➋ Sucker
 - ➌ Temptation
 - ➍ Punishment
- 딜레마가 되려면 보수의 크기가 어떻게 되어야 할까?

보수행렬 (Payoff Matrix)

| | | | |
|--------------|--|------|----|
| | | 최수 2 | |
| | | 부인 | 인정 |
| 1 부인 | | -2 | -1 |
| 사 자 인정 | | -2 | -4 |
| | | -4 | -3 |
| | | -1 | -3 |

보수행렬 분석

- 부인 = 협력 (Cooperate), 자백 = 배신 (Defect)
- 보수가 마이너스면 보기에 불편하다!
- 모든 값에 +5씩 해준다. (이렇게 해도 괜찮을까?)

| | C | D |
|---|------------------|------------------|
| C | $-2 + 5, -2 + 5$ | $-4 + 5, -1 + 5$ |
| D | $-1 + 5, -4 + 5$ | $-3 + 5, -3 + 5$ |

보수행렬 분석

- 부인 = 협력 (Cooperate), 자백 = 배신 (Defect)
- 보수가 마이너스면 보기에 불편하다!
- 모든 값에 +5씩 해준다. (이렇게 해도 괜찮을까?)

| | C | D |
|---|------------------|------------------|
| C | $-2 + 5, -2 + 5$ | $-4 + 5, -1 + 5$ |
| D | $-1 + 5, -4 + 5$ | $-3 + 5, -3 + 5$ |

| | C | D |
|---|------|------|
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

보수행렬 분석 (계속)

- 앞서 보았던 T, R, P, S 로 일반화하면?

| | | |
|---|--------|--------|
| | C | D |
| C | R, R | S, T |
| D | T, S | P, P |

$$T > R > P > S$$

이런 상황에서 어떤 결과가 나타날까?

- 너무 서두르지 마시고!
- 어떤 결과는 예측하려면 몇 가지 가정이 필요
- 우리가 이용할 가정은 대충 다음과 같다.

필요한 가정들 (assumptions)

- 내가 결정을 할 때 상대의 결정을 알 수 없어야 한다.
- 내 행동의 목표는 나의 이익을 극대화하는 것이다.
- 내가 이렇게 행동할 것이라는 것을 상대도 알고 있고, 상대가 알고 있다는 사실을 내가 알고 있고, 상대가 알고 있다는 사실을 내가 알고 있다는 사실을 알고 있고...
- Common knowledge

그럴듯한 결과 (1)

| | | |
|---|------|------|
| | C | D |
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

- 위의 가정에서 가장 그럴 듯한 결과는?
- 상대의 행위에 관계 없이 가장 이득이 되는 나의 행동은?
- 모두가 그런 행동을 취한다면?

그럴듯한 결과 (1)

- 위의 가정에서 가장 그럴 듯한 결과는?
- 상대의 행위에 관계 없이 가장 이득이 되는 나의 행동은?
- 모두가 그런 행동을 취한다면?

| | C | D |
|---|------|------|
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

| | C | D |
|---|------|------|
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

그럴듯한 결과 (1)

- 위의 가정에서 가장 그럴 듯한 결과는?
- 상대의 행위에 관계 없이 가장 이득이 되는 나의 행동은?
- 모두가 그런 행동을 취한다면?

| | | |
|---|------|------|
| | C | D |
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

| | | |
|---|------|------|
| | C | D |
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

| | | |
|---|------|------|
| | C | D |
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

그럴듯한 결과 (2)

- 죄수1과 죄수2의 보수의 합을 사회적 보수로 정의하자!
- 사회적으로 가장 바람직한 상태는?
- 하지만, 게임이론을 통한 예측은?
- Dilemma!

그럴듯한 결과 (2)

- 죄수1과 죄수2의 보수의 합을 사회적 보수로 정의하자!
- 사회적으로 가장 바람직한 상태는?
- 하지만, 게임이론을 통한 예측은?
- Dilemma!

| | C | D |
|---|------|------|
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

그럴듯한 결과 (2)

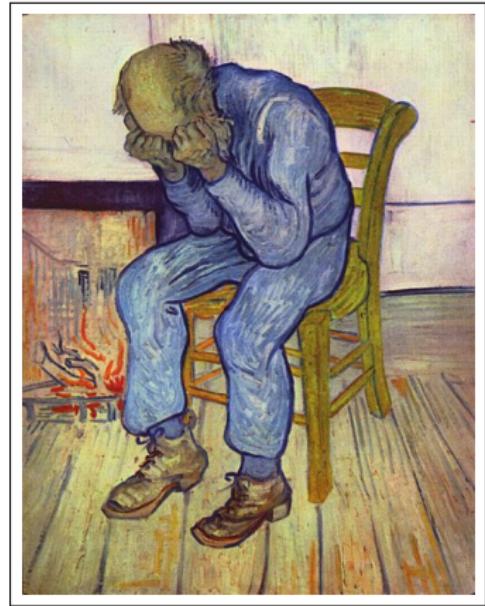
- 죄수1과 죄수2의 보수의 합을 사회적 보수로 정의하자!
- 사회적으로 가장 바람직한 상태는?
- 하지만, 게임이론을 통한 예측은?
- Dilemma!

| | | |
|---|------|------|
| | C | D |
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

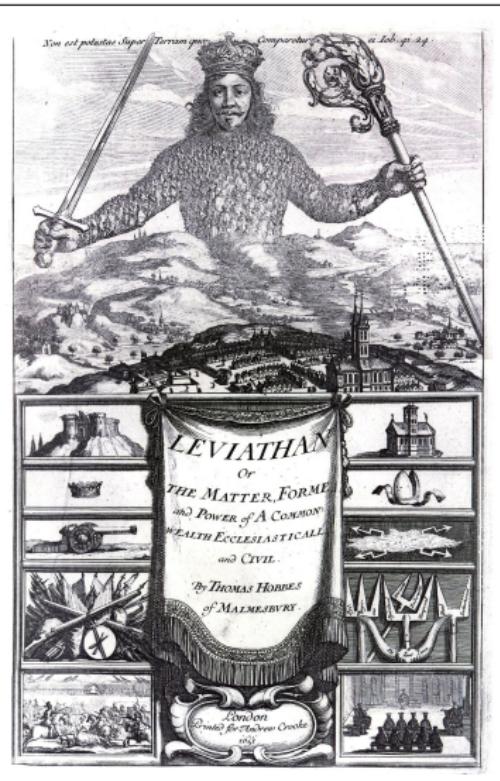
| | | |
|---|------|------|
| | C | D |
| C | 3, 3 | 1, 4 |
| D | 4, 1 | 2, 2 |

우울한 결론?

- 플레이어가 자기 이익만을 충실히 추구한다면...
- “죄수의 딜레마” 가 보여주는 세상은?



Thomas Hobbes' Leviathan



- *bellum omnium contra omnes*
- 죄수의 딜레마를 피하기 위해서는 사회 계약에 기반한 강력한 국가가 필요!
- 하지만, 이것이 전부일까?

델레마 벗어나기

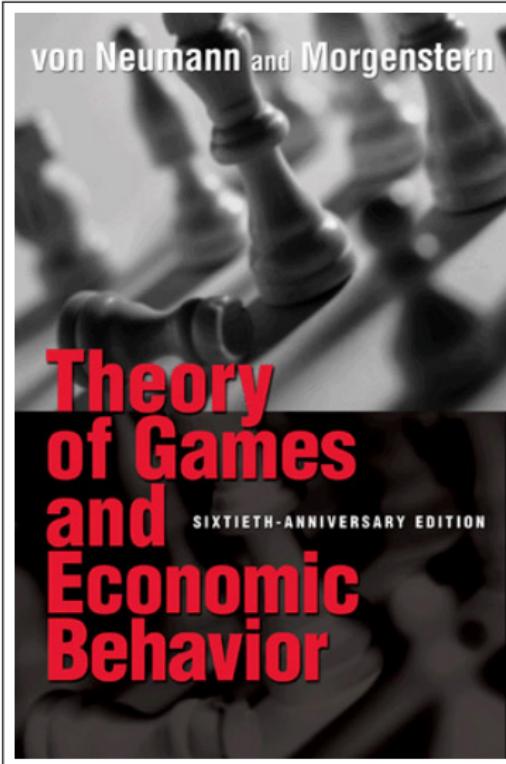
- 우리는 죄수의 딜레마를 극복할 수 있을까?
- *Smith* against Hobbes?
- *Darwin* against Hobbes?

이론의 시작

- 이론의 역사는 이 사람과 함께
- John von Neumann (1903 – 1957)



Von Neumann



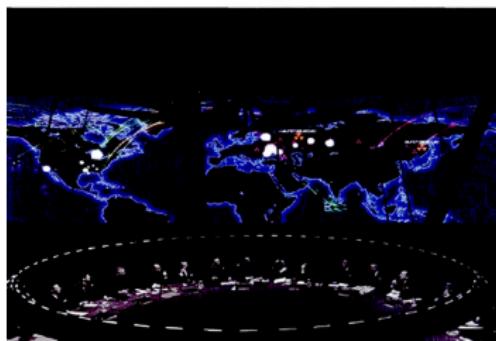
- “Zur Theorie der Gesellschaftsspiele”
(1928)
- *Theory of Games and Economic Behavior*
(1944)

역사적 맥락

두뇌를 팝니다

미제국을 만든 싱크탱크 랜드연구소

알렉스 아벨라 저술 | 유흥은 옮김



Soldiers of Reason

The RAND Corporation and the Rise of the American Empire



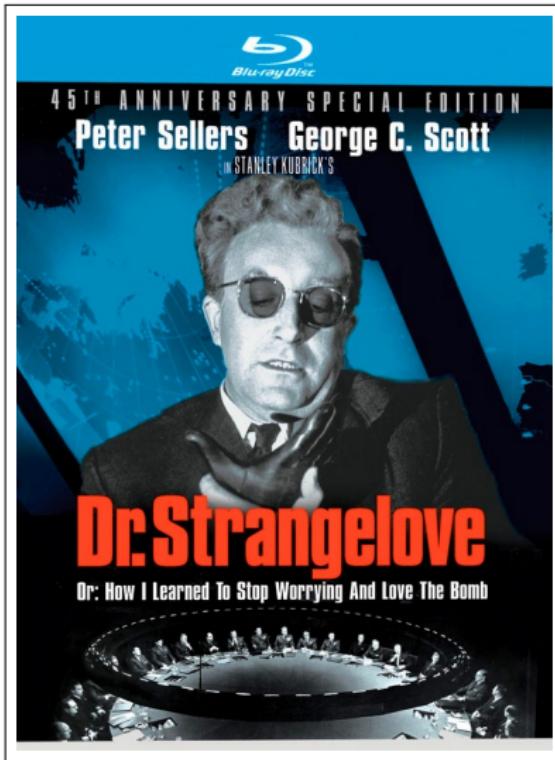
- 2차 대전 이후 냉전 시대의 도래
- RAND 연구소
- 미국의 군사, 과학적 지원

핵전쟁

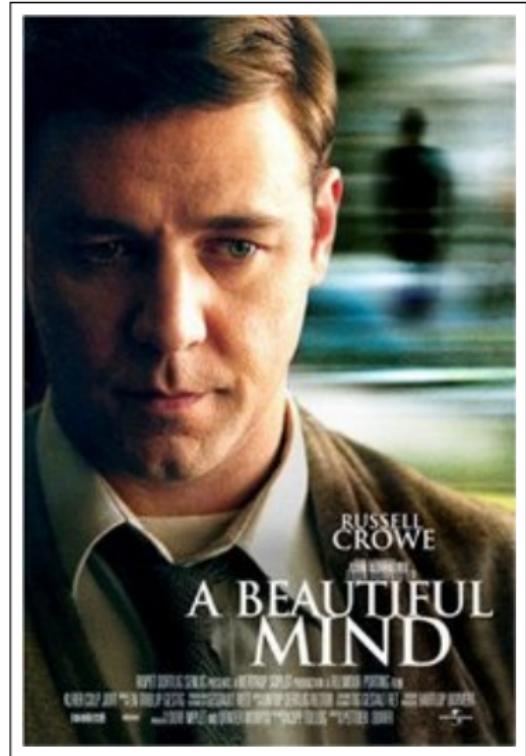
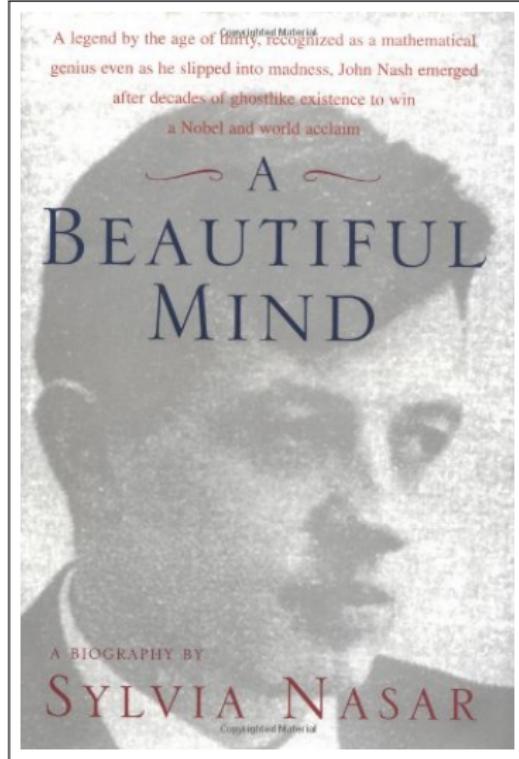
- 제로섬 게임
- 어떤 전략이 가장 합리적인가?
- Minimax/Maxmin principle
- “mutually assured destruction”



Dr. Strangelove



Beautiful Mind



Nash Equilibrium

- (어떤 종류든) 게임 일반에 “균형”(equilibrium)이 존재할까?
- 그런데 균형이란 무엇일까?
- 내시의 수학적인 증명 : CLICK!
- 게임이 연구할 만한 대상임을 세상에 보여주다.

진화와 게임

- 게임이론은 초합리적인 주체를 상정 (천재들의 두뇌싸움?)
- 그런데, 진화는 생명체에 적용되는 보편적인 변화의 원리
- 지능이 없는 생명체에 어떻게 게임이론을 적용하는가?

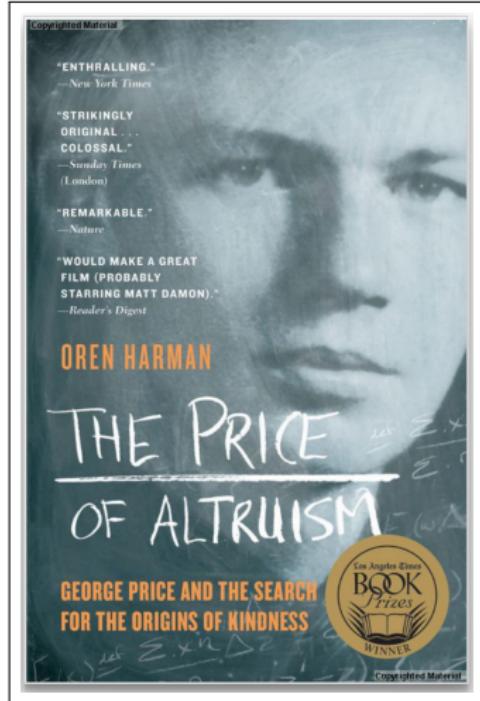
타협과 양보

- 게임이론에서
 - ① 개별 행위자가 구사하는 전략과 그 어우러짐 (interaction)은 남기고
 - ② 개별 행위자의 초합리성을 제거할 수 있다면
- 진화론에서
 - ① 개체가 자신의 이익을 추구하는 방향성으로서의 자연선택을 남기고
 - ② 이를 보다 미시적인 맥락에서 구현할 수단을 가질 수 있다면

두 개척자

- John Maynard Smith and George Price, "The Logic of Animal Conflict," *NATURE* (1973): CLICK!
- 진화적으로 안정적인 전략 (evolutionarily stable strategy)
- 게임이론의 맥락에서 진화가 처음으로 언급!

George Price



- 게임이론의 진화적 응용의 실질적 창시자
- Price equation
- 비극적인 개인사

Hawk-Dove Game

- 비둘기와 매의 종간 대결이 아니라!
- 일단 두 마리가 벌이는 게임으로
- Chicken game

| | HAWK | DOVE |
|------|------------------------------|----------------------------|
| HAWK | $-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 1, 0 |
| DOVE | 0, 1 | $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ |

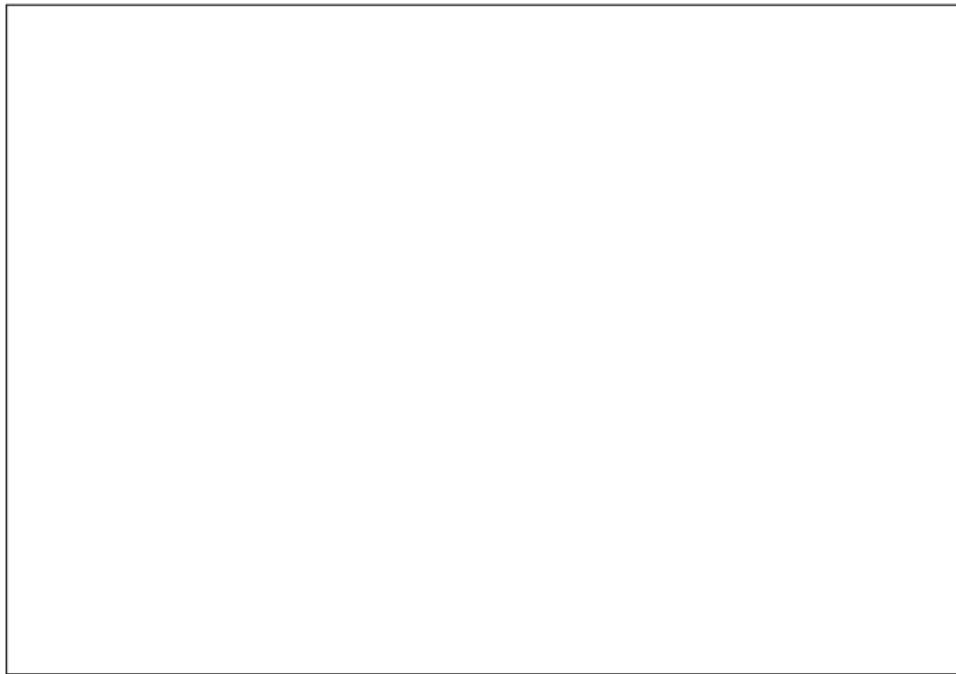
Hawk-Dove Game

- 비둘기와 매의 종간 대결이 아니라!
 - 일단 두 마리가 벌이는 게임으로
 - Chicken game
-
- 이 게임의 내시 균형은 3개!
 - 일단, 두 개는 쉽게 찾을 수 있고...

| | | |
|------|------------------------------|----------------------------|
| | HAWK | DOVE |
| HAWK | $-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 1, 0 |
| DOVE | 0, 1 | $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ |

| | | |
|------|------------------------------|----------------------------|
| | HAWK | DOVE |
| HAWK | $-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 1, 0 |
| DOVE | 0, 1 | $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ |

겁쟁이 (chicken) 게임



혼합 전략 (Mixed Strategy)

- Hawk를 p 의 확률로 Dove를 $1 - p$ 의 확률로
- 균형은 나의 '기대 보수'를 극대화해주는 p
- 이 게임의 혼합 균형은 HAWK를 $1/2$ 의 확률로 구사하는 것
- 이 '혼합' 균형만이 진화적으로 안정적이다!

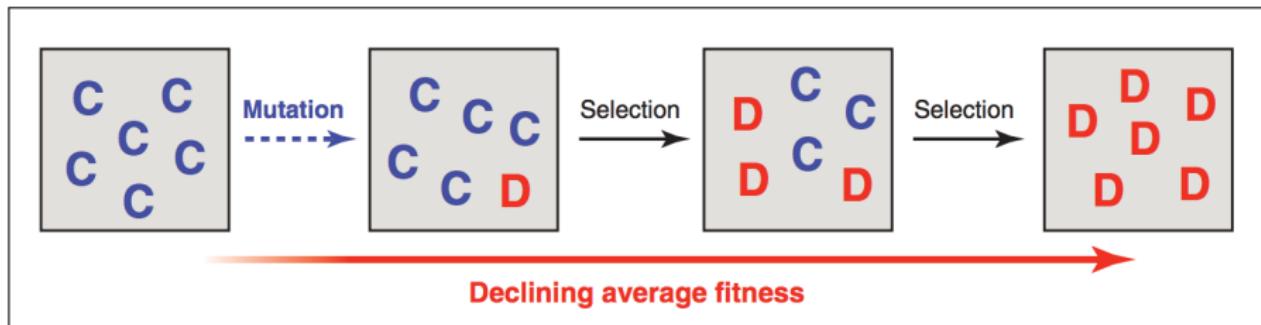
| | HAWK | DOVE |
|------|------------------------------|----------------------------|
| HAWK | $-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ | 1, 0 |
| DOVE | 0, 1 | $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ |

학습 (learning)

- 플레이어는 전략을 타고 난다.
 - ① 해당 전략이 좋다면, 계속 고수 (혹은 더 많은 자손)
 - ② 해당 전략이 나쁘다면, 다른 전략으로 수정 (혹은 더 적은 자손)
- 초합리성에서 더 나은 것을 향한 '학습'으로
- 정태 (statics)에서 동태 (dynamics)로

진화적 관점만으로는..

- 죄수의 딜레마는 해결할 수 없다!
(대단히 표준적인 가정 아래 있다면...)



지금까지의 요약

- 인간이 이익을 추구하고
- 서로간의 이익이 상충할 때
- 세상의 모습은...

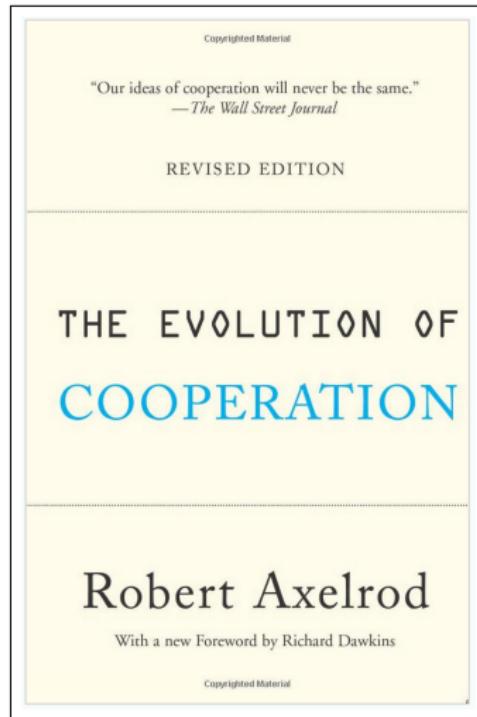


PD 보수행렬

- 대표적으로 쓰이는 보수행렬
- 두 명이 대칭적이므로 한 명의 보수만 쓰자.
- b : 이득(benefit), c : 비용(cost)
- 딜레마가 되려면? $b > c$

| | | |
|---|---------|------|
| | C | D |
| C | $b - c$ | $-c$ |
| D | b | 0 |

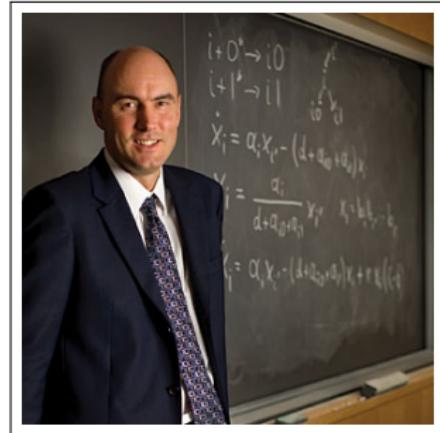
왜 진화인가?



- 권위(국가)를 통한 해결은 완전하지도 바람직하지도 않다.
- 왜 '진화'인가?
- 혹은 딜레마는 어떻게 '변형'되는가?

Martin Nowak

- 협력의 진화를 터준 5가지 경로 혹은 변형
(물론, 유일하거나 절대적인 것은 아니야!)
- 게임이론을 통한 통일적 접근
- 협력에 관한 최신의 (쉽고?) 수학적인
지도의 완성



한 눈에 보는 5가지 길 (1)

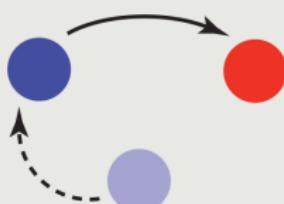
Kin selection



Direct reciprocity



Indirect reciprocity



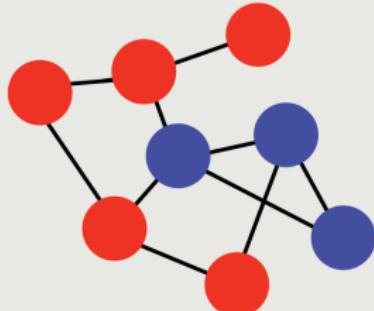
- “네 이익이 나의 이익과 같다면”

- “네가 나를 돋는다면”

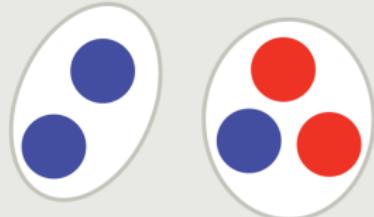
- “그이가 저이를 도왔기에”

한 눈에 보는 5가지 길 (2)

Network reciprocity



Group selection



- “그들이 나와 같다면”
- “우리가 그들을 물리칠 수 있다면”

다섯 가지 길을 한마디로 한다면

- PD 게임의 변형!
- 다른 게임으로 바뀌면,
딜레마가 극복될
가능성이 제시
- 혼돈의 야수를 길들이는
방법



Big Picture

| | | Payoff matrix | | Cooperation is... | | |
|----------------------|---|---------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | C | D | ESS | RD | AD |
| Kin selection | C | $(b-c)(1+r)$ | $br-c$ | $\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$ | $\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$ | $\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$ |
| | D | $b-rc$ | 0 | | | |
| Direct reciprocity | C | $(b-c)/(1-w)$ | $-c$ | $\frac{b}{c} > \frac{1}{w}$ | $\frac{b}{c} > \frac{2-w}{w}$ | $\frac{b}{c} > \frac{3-2w}{w}$ |
| | D | b | 0 | | | |
| Indirect reciprocity | C | $b-c$ | $-c(1-q)$ | $\frac{b}{c} > \frac{1}{q}$ | $\frac{b}{c} > \frac{2-q}{q}$ | $\frac{b}{c} > \frac{3-2q}{q}$ |
| | D | $b(1-q)$ | 0 | | | |
| Network reciprocity | C | $b-c$ | $H-c$ | $\frac{b}{c} > k$ | $\frac{b}{c} > k$ | $\frac{b}{c} > k$ |
| | D | $b-H$ | 0 | | | |
| Group selection | C | $(b-c)(m+n)$ | $(b-c)m-cn$ | $\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$ | $\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$ | $\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$ |
| | D | bn | 0 | | | |

r...genetic relatedness

w...probability of next round

q...social acquaintanceship

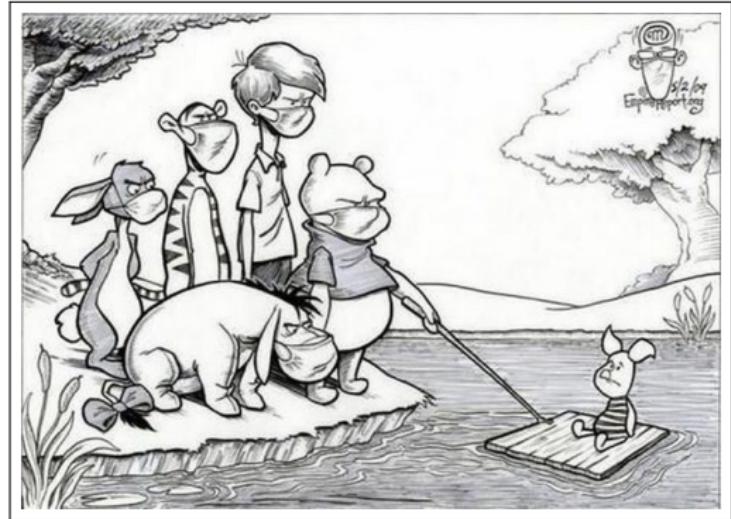
k...number of neighbors

n...group size

m...number of groups

집단선택 (group selection)

- 집단간의 대립이 필수
- 이에 방해가 된다면?
- 동조화, 획일화 경향



초협력자를 향하여

- 인간 협력의 현단계는 가족, 출신, 국가, 민족에 포획
- 또 다른 단계로의 진화를 요구하는 압박
- 초협력자란?



간단한 행동실험 : Guessing Game

- 칠판에 그은 선의 길이를 맞춰보자.
- 실제 길이에 가장 근접하게 맞추는 학생(들)에게 문화상품권 (5000) 증정