

# 왜 협력인가?

게임이론이 발견한 놀라운 협력의 비밀들

허준석→이동한→조남운

<mailto:experiment.namun+2017f@gmail.com>

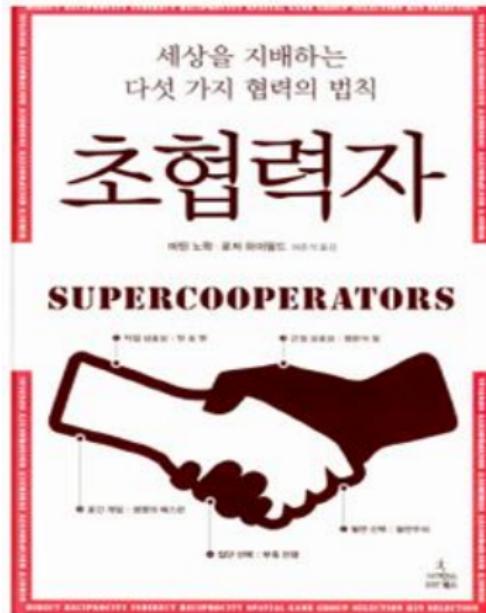
2017년 8월 28일

# 목차

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

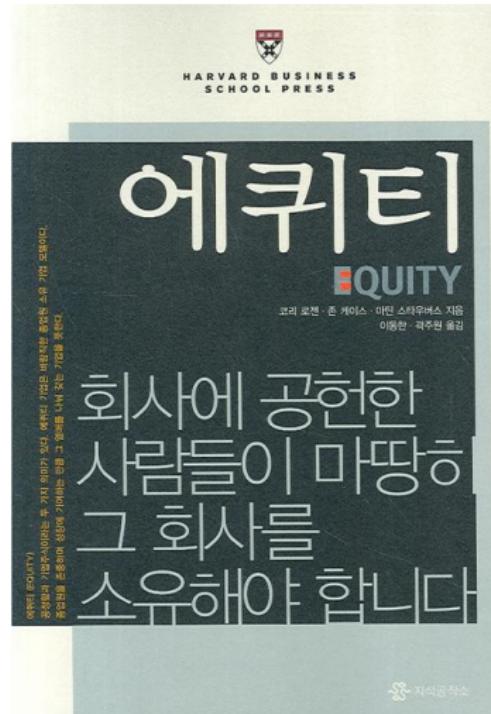
# 강사 소개 (허준석)

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

- [http://github.com/z0nam/namun\\_cho\\_cv/namun\\_cv.pdf](http://github.com/z0nam/namun_cho_cv/namun_cv.pdf)

조남운

왜 협력인가?

The screenshot shows a search results page for '조남운' (Jo Nam-un). At the top, there is a search bar with the query '조남운' and a search button. Below the search bar, there is a 'Recent Search' section with the text '최근 검색어' and a list of terms: '조남운', '조남운 학교', '조남운 학생', '조남운 교수', '조남운 경제학', '조남운 게임', '조남운 프로그래밍', '조남운 고양이', and '조남운 키보드'. The main content area has a red vertical sidebar on the left with the text '조남운' repeated several times. The main content area is titled '조남운' and contains several sections:

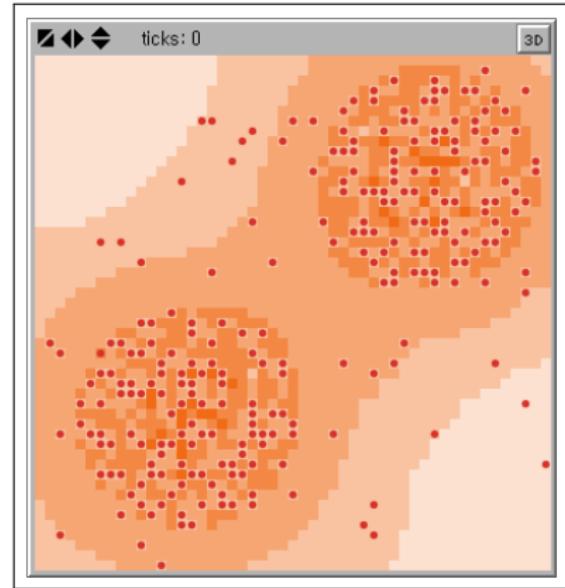
- 1. 최근 게시글**: A table showing recent posts with columns: 제목 (Title), 최소 조회수 (Min View), 최대 조회수 (Max View), 최근 조회수 (Recent View), 날짜 (Date), 보유량 (Quantity), 나의 (My), 사자대기량 (Waiting List), and 나의 점자대기량 (My Waiting List). The data is as follows:

제목	최소 조회수	최대 조회수	최근 조회수	날짜	보유량	나의	사자대기량	나의 점자대기량
자전거 타는 법	7000	4500	7010	28	없음	일중	0	0
프로그래밍	4500	2800	4510	27	10	일중	0	0
고양이 키우기	3800	4010	52	없음	일중	0	0	0
- 2. 최근 게시판**: A table showing recent posts with columns: 제목 (Title), 조회수 (View), 작성일 (Date), and 수정일 (Last Update). The data is as follows:

제목	조회수	작성일	수정일
자전거 타는 법	7000	2017-10-19 18:48:46	2017-10-19 18:48:46
프로그래밍	4500	2017-10-19 18:48:46	2017-10-19 18:48:46
고양이 키우기	3800	2017-10-19 18:48:46	2017-10-19 18:48:46
- 3. 증시거래**: A form for stock trading with fields for 종목 (Stock), 수량 (Quantity), and 기준일 (Benchmark Date).
- 4. 등록거래**: A form for registration trading with fields for 종목 (Stock), 수량 (Quantity), 기준일 (Benchmark Date), and 기준일 (Benchmark Date).
- 5. 정보 메뉴**: A menu with links for '내가 등록한 거래 정보' (My Registered Transaction Information), '각 후보 투표 결과의 상세정보' (Detailed information about each candidate's voting results), '도움말' (Help), and '로그아웃' (Logout).

# 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

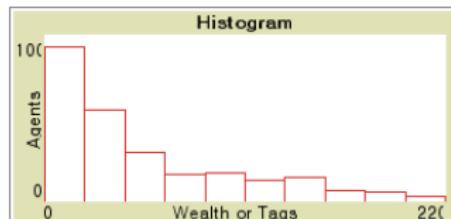
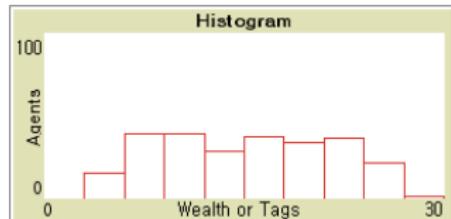


# Sugarscape I

- 다수의 Agents(행위자)가 램덤하게 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

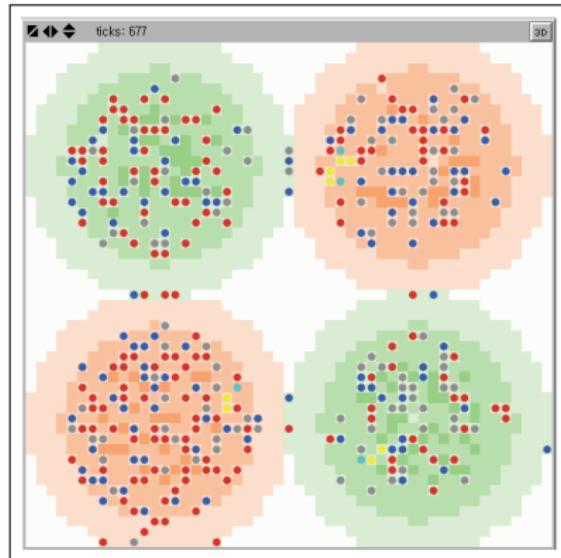
# Sugarscape III

- 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”



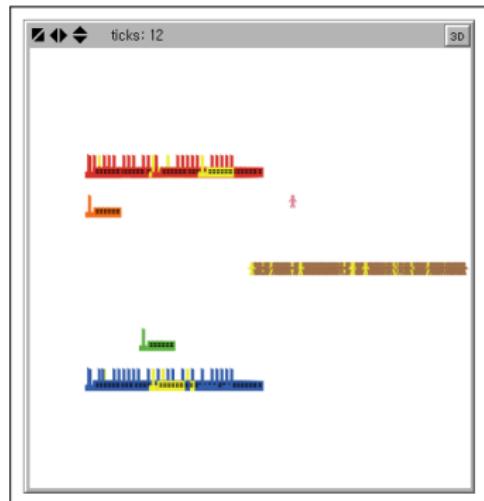
# Sugarscape IV

- 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



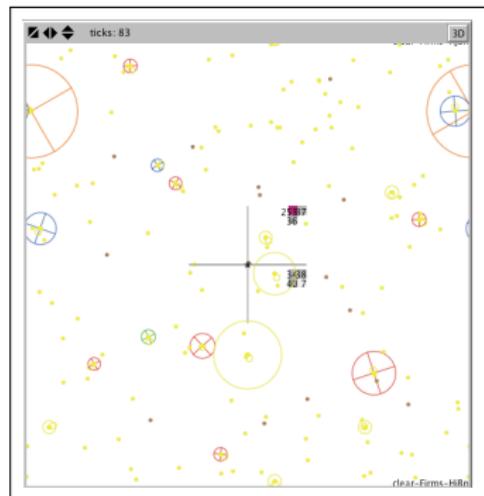
# 불완전 경제 시스템: ACE Trading World

- 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

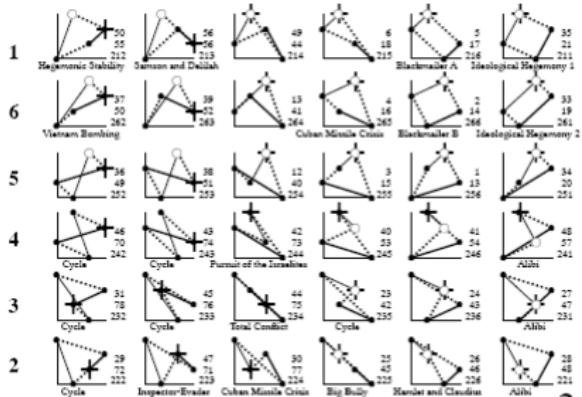
- Lee, Dong-Han (2013)
- 다양한 게임들로 이뤄진 자본주의 경제시스템
- 생산과정에서의 노사 간 협상 게임
- 상품시장에서의 기업 간 경쟁 게임
- 노동시장에서의 임금 결정을 둘러싼 게임
- 다양한 종류의 관계(게임)로 이루어진 세상



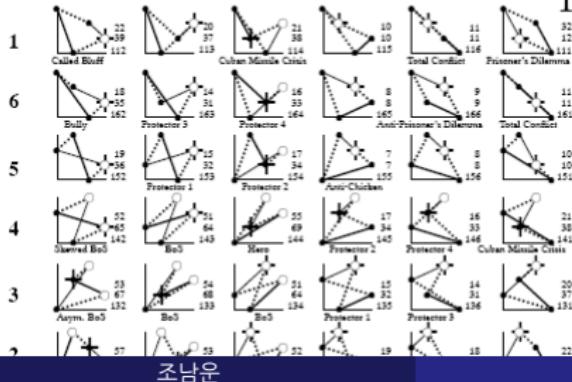
# 경제시스템, 나, 그리고 게임이론

- 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

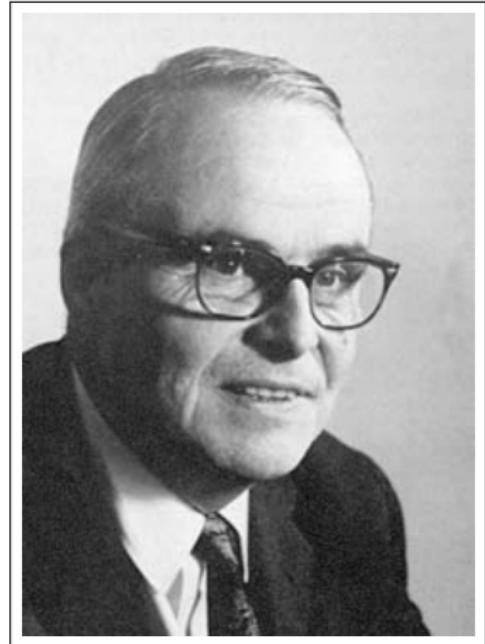
왜 협력인가?

2017년 8월 28일

13 / 54

# 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)

# 죄수의 딜레마의 구성요소

- ① 행위자 (Player) - 2명의 죄수
- 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	부인	-2	-1
	인정	-2	-4
2 인정	부인	-4	-3
	인정	-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)

	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?

	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)

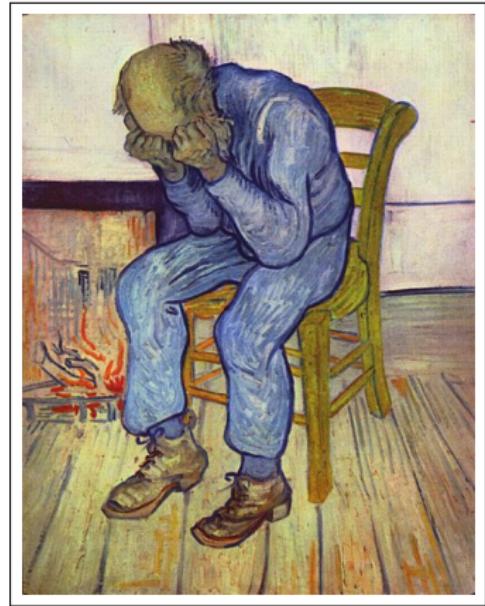
- 죄수1과 죄수2의 보수의 합을 사회적 보수로 정의하자!
- 사회적으로 가장 바람직한 상태는?
- 하지만, 게임이론을 통한 예측은?
- Dilemma!

	C	D
C	3, 3	1, 4
D	4, 1	2, 2

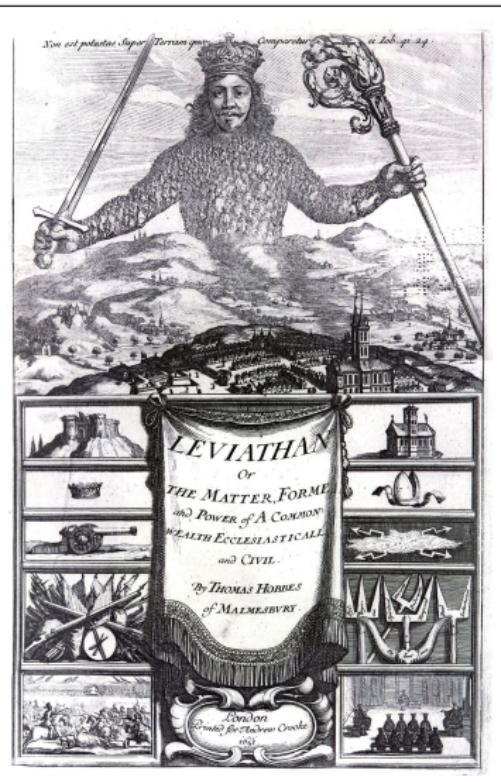
	C	D
C	3, 3	1, 4
D	4, 1	2, 2

# 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

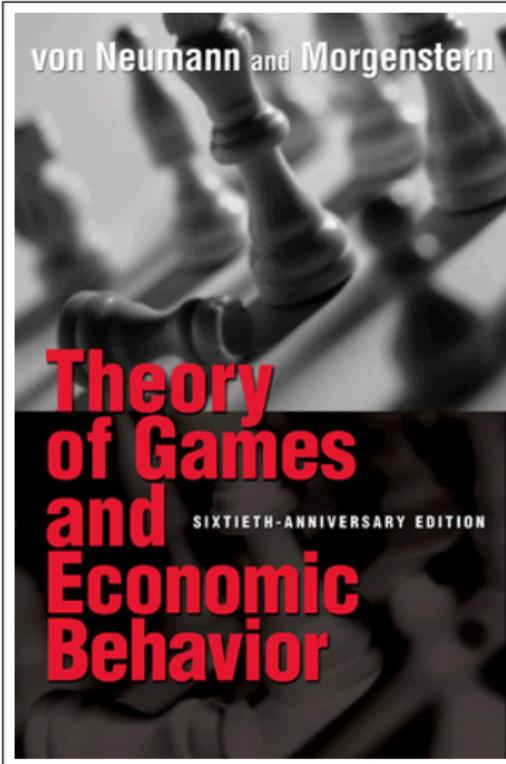
- 우리는 죄수의 딜레마를 극복할 수 있을까?
- *Smith* against Hobbes?
- *Darwin* against Hobbes?

# 이론의 시작

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



# Von Neumann



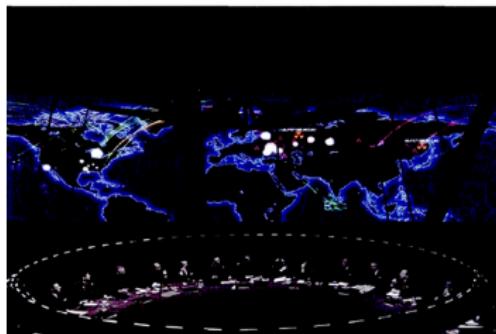
- “Zur Theorie der Gesellschaftsspiele”  
(1928)
- *Theory of Games and Economic Behavior*  
(1944)

# 역사적 맥락

두뇌를 팝니다

미제국을 만든 싱크탱크 RAND 연구소

알렉스 아벨라 저음 | 유키운 옮김



Soldiers of Reason

The RAND Corporation and the Rise of the American Empire



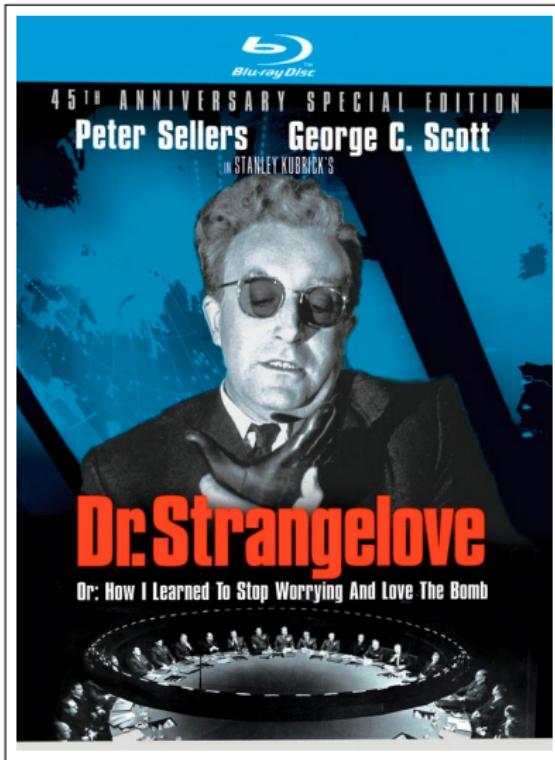
- 2차 대전 이후 냉전 시대의 도래
- RAND 연구소
- 미국의 군사, 과학적 지원

# 핵전쟁

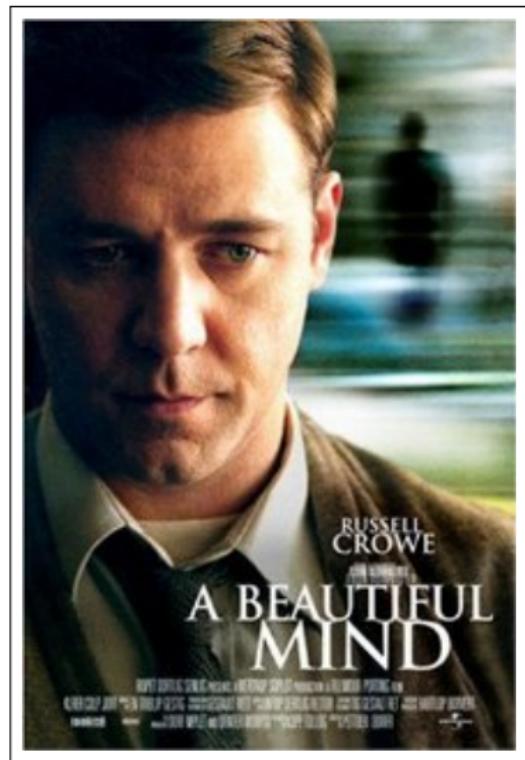
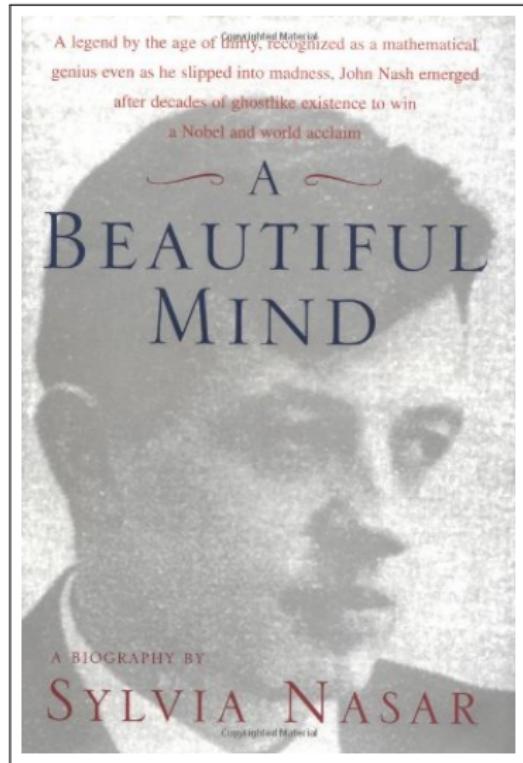
- 제로섬 게임
- 어떤 전략이 가장 합리적인가?
- Minimax/Maxmin principle
- “mutually assured destruction”



# 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?

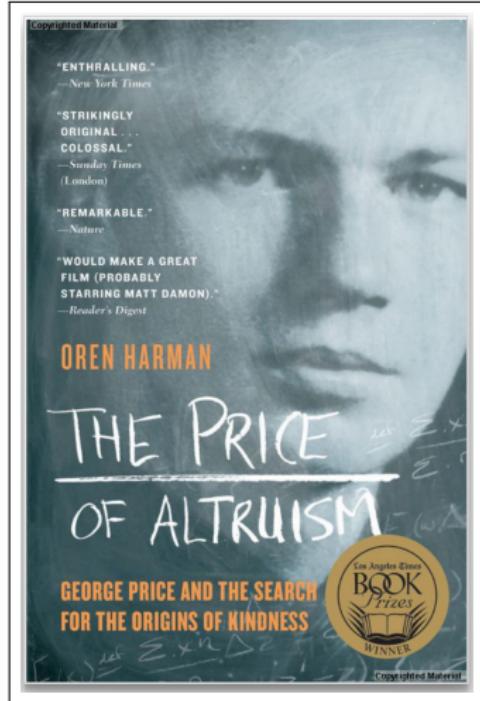
# 타협과 양보

- 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	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$

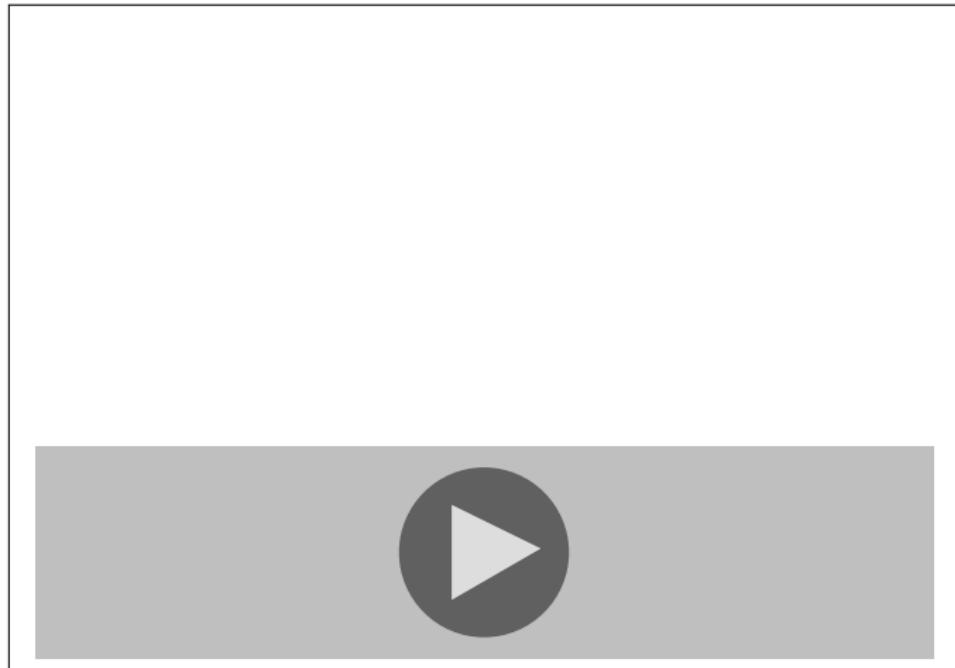
# Hawk-Dove Game

- 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!

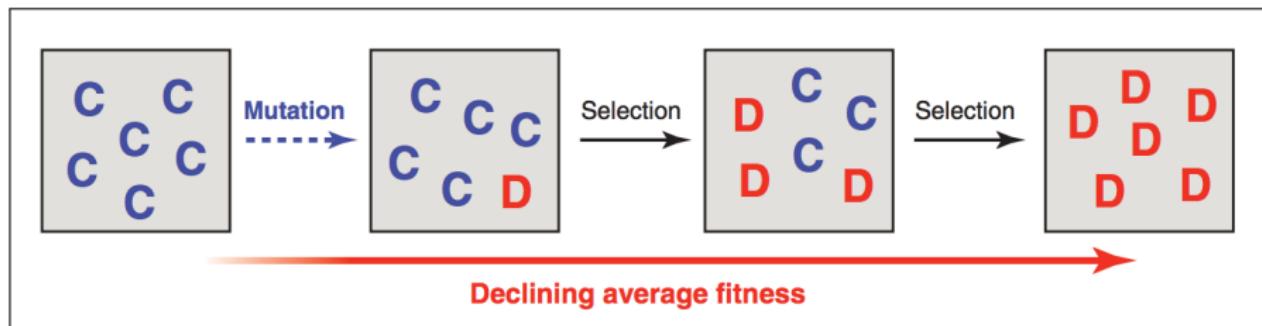
	HAWK	DOVE
HAWK	$-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	1, 0
DOVE	0, 1	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$

# 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...

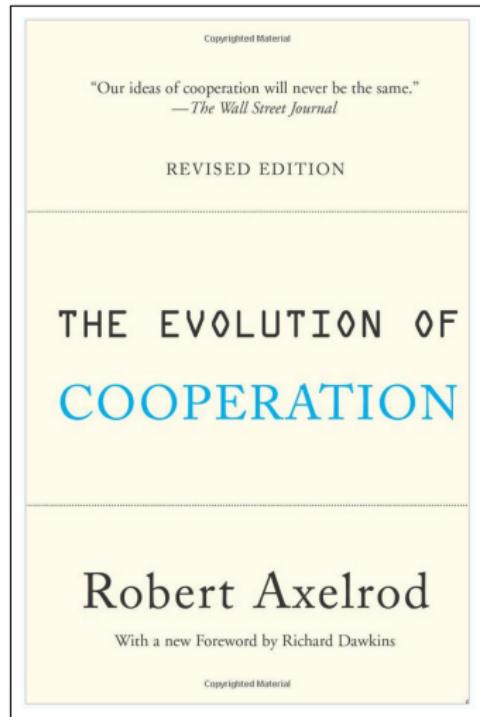


# PD 보수행렬

- 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

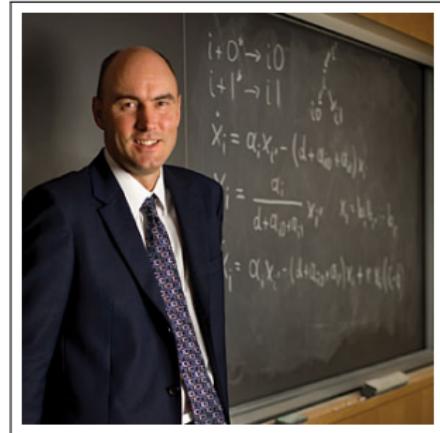
# 왜 진화인가?



- 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)

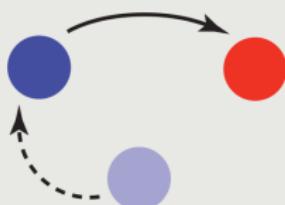
Kin selection



Direct reciprocity



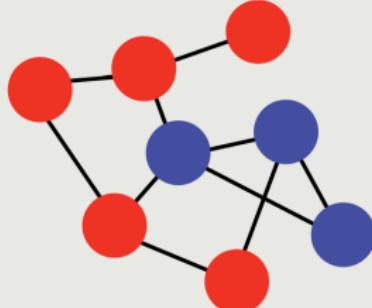
Indirect reciprocity



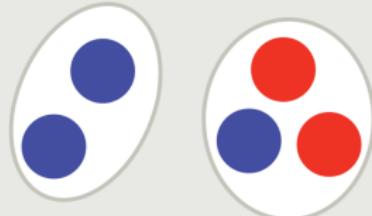
- “네 이익이 나의 이익과 같다면”
- “네가 나를 돋는다면”
- “그이가 저이를 도왔기에”

# 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



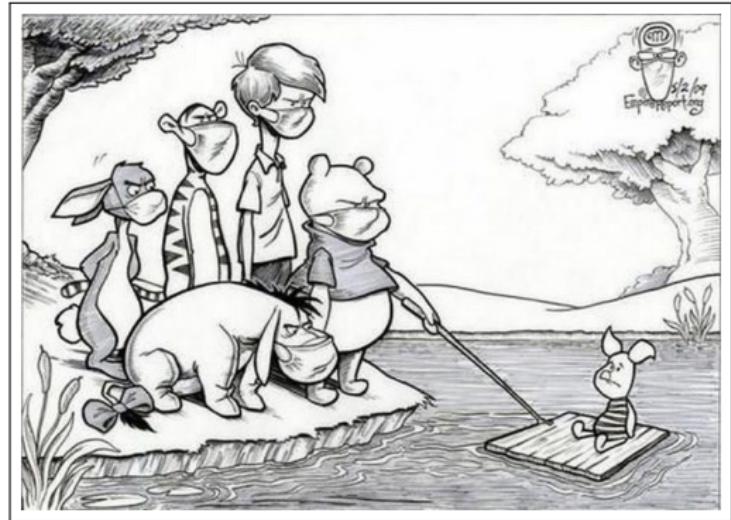
# Big Picture

		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	$\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$	$\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$	$\frac{b}{c} > \frac{1}{r}$
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	$\frac{b}{c} > \frac{1}{w}$	$\frac{b}{c} > \frac{2-w}{w}$	$\frac{b}{c} > \frac{3-2w}{w}$
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	$\frac{b}{c} > \frac{1}{q}$	$\frac{b}{c} > \frac{2-q}{q}$	$\frac{b}{c} > \frac{3-2q}{q}$
Network reciprocity	C	$b - c$	$H - c$	$\frac{b}{c} > k$	$\frac{b}{c} > k$	$\frac{b}{c} > k$
	D	$b - H$	0	$\frac{b}{c} > k$	$\frac{b}{c} > k$	$\frac{b}{c} > k$
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	$\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$	$\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$	$\frac{b}{c} > 1 + \frac{n}{m}$

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