

구별짓기와 협조적 행동의 공진화

양재석*† · 최정규** · 조항현***

The Coevolution of Cooperation and Trait Distinction

Jae-Suk Yang*†, Jung-Kyoo Choi**, and Hang-Hyun Jo***

Abstract

본 논문은 국지적 상호작용 하에서 행위자들간에 특성의 차이에 근거한 구별짓기가 협조적 행위의 진화에 미치는 영향을 분석한다. 이 논문에서는 이러한 구별짓기의 성향이 왜, 그리고 어떤 메커니즘을 통해서 진화해나가는지를 보이고자 시도할 것이다. 아울러 구별짓기 성향과 함께 내부인과 외부인을 향한 행동을 다르게 함으로써 어떻게 내부인에 대한 이타적 협조행동을 발생시키는지, 더 나아가 구별짓기의 근거가 되는 행위자들의 여러 특성들(생물학적 혹은 문화적)은 어떻게 변화해 나가고 이들 특성의 변화가 구별짓기와 협조적 행동에 어떤 효과를 가져오는지를 살펴보고자 한다. 더 나아가 본 논문에서는 구별짓기가 협조적 행위의 진화에 영향을 미치는 과정을 장/단기로 구분함으로써 구별짓기의 효과를 보다 명확히 규명하고자 한다

Key Words : 협조적 행위(cooperative behavior), 내부인/외부인 구별짓기(insider-outsider distinction), 국지적 상호작용(localized interaction)

1. 서 론

이타성이란 상대방 혹은 집단에 편익을 주면서도 정작 행위자 자신에게는 희생을 요구하는 행동을 수행하는 행위주체의 속성으로 정의된다. 그런데 이타적인 사람들은 남에게 혜택을 주면서 자기 자신을 희생하므로, 이타적이지 않은 사람들에 비해 평균적으로 낮은 보수를 얻게 될 것이고, 따라서 엄혹한 자연선택 과정에서 도태될 수밖에 없는 운명에 처하게 된다. 따라서 인간 사회에서 혹은 많은 동물 집단에서 이타적 행위가 발견된다는 것은 하나의 퍼즐일 수 있다. 이것이 경제학 뿐 아니라 정치학, 인류학, 사회학 그리고 생물학에서 협조적 행위의 존재 가능성이 오래도록 탐구되어 온 이유이다. 이를 둘러싸고 지난 수십년간 여러 분야에서 협조적 행위의 진화 가능성을 둘러싼 여러 가설들이 제시되어 왔다. 친족선택가설^[1]이나 반복/호혜성 가설^[2-5] 등은 이 문제를 둘러싼 대표적인 가설로 받아들

여지고 있고, 이와 별도로 집단선택의 가능성^[6-8], 사회적 제도의 효과^[9-11], 유유상종효과^[12,13], 국지화의 효과^[14-17] 등이 어떻게 협조적 전략이 진화하는 데 유리한 조건을 창출해내게 되는가를 규명하려는 노력도 진행되어 왔다.

이 문제와 관련하여 최근 가장 활발한 논의가 진행되고 있는 것이 국지적 상호작용이 가져오는 효과에 대한 분석이다. 본 논문에서는 행위자들간에 국지적인 상호작용이 이루어지는 상황에서 행위자들간의 구별짓기가 협조적 행위의 발현에 어떤 효과를 갖게 되는지를 분석하고자 한다. 행위자들이 다른 사람과 공유하고 있는 특성에 따라 ‘우리’와 ‘남’을 구별하는 성향을 갖고 있다는 것, 그리고 그러한 구별에 근거하여 내부인을 대할 때의 태도와 외부인을 대할 때의 태도가 달라질 수 있다는 것 등은 오랫동안 많은 학자들에 의해 지적되어 온 바이다(다음 절 기존 연구 요약 부분을 참조하라). 이 논문에서는 이러한 구별짓기의 성향이 왜, 그리고 어떤 메커니즘을 통해서 진화해나가는지를 보이고자 시도할 것이다. 아울러 구별짓기 성향과 함께 내부인과 외부인을 향한 행동을 다르게 함으로써 어떻게 내부인에 대한 이타적 협조행동을 발생시키는지, 더 나아가 구별짓기의 근거가 되는 행위자들의 여러 특성

*고려대학교 이과대학 물리학과

**경북대학교 경상대학 경제통상학부

***고등과학원 물리학부

†Corresponding author: mathphy@korea.ac.kr

(Received : April 30, 2008, Revised : June 1, 2008

Accepted : June 18, 2008)

들(생물학적 혹은 문화적)은 어떻게 변화해 나가고 이들 특성의 변화가 구별짓기와 협조적 행동에 어떤 효과를 가져오는지 살펴보고자 한다.

2. 기존 관련 문헌 검토 및 이론적 배경

2.1. 국지적 상호작용의 효과

반복되지 않는 죄수의 딜레마 상황에서 무작위적인 짝짓기를 통해 상호작용이 일어나는 경우 협조적 행동은 진화할 수 없다. 만일 현실에서 반복이 이루어지지 않는 상황에서, 그리고 행위자들간에 유전적 근친관계가 성립하지 않음에도 불구하고 행위자들간에 협조가 발견된다면 그것은 상호작용 방식이 협조적 행동의 진화에 유리하도록 구조화되어 있기 때문이다. 여기서 국지적 상호작용은 협조적 행위의 진화에 유리한 조건을 창출해주는 메커니즘으로 주목받고 있다^[14-17].

국지적 상호작용이 협조적 행위의 진화에 영향을 미칠 수 있는 이유는 국지적 상호작용으로 인해 행위자들간의 유유상종 혹은 비무작위적 짝짓기 양태가 나타날 수 있기 때문이다. 죄수의 딜레마 게임에서 협조적 전략을 가진 행위자는 같은 전략을 가진 행위자를 만날 때 가장 높은 보수를 얻고, 무임승차 전략을 가진 행위자는 다른 전략을 가진 행위자를 만날 때 가장 높은 보수를 얻게 된다. 따라서 여기서 협조적 전략이 진화할 수 있는 관건은 협조적인 성향을 가진 사람이 협조적인 성향을 가진 사람을 만나 상호작용을 할 확률이 무임승차 성향을 가진 사람이 협조적인 성향을 가진 사람을 만나 상호작용을 할 확률보다 충분히 높다면 일회적인 죄수의 딜레마 게임 상황에서도 협조적 행동이 나타나게 될 가능성이 있다. 이를 유유상종의 효과(assortation effect)라고 부른다. 모집단에서 협조적 전략을 가진 행위자의 비율을 p 라 할 때, 무작위적인 짝짓기가 이루어지는 경우 협조적 전략을 가진 행위자가 협조적 전략을 가진 행위자를 만날 확률(이를 $P(C|C)$ 라고 하자)과 무임승차 전략을 가진 행위자가 협조적 전략을 가진 행위자를 만날 확률(이를 $P(C|D)$ 라고 하자)은 모두 p 가 된다. 하지만 유유상종 효과가 나타나게 되면 $P(C|C) > p$ 그리고 $P(C|D) < p$ 가 되어 협조적 전략 진화의 조건인 $P(C|C) - P(C|D) > c/b$ 를 충족하기 위한 조건이 창출될 가능성이 있게 된다^[12,13]. 그리고 국지화된 상호작용은 이러한 조건을 내생적으로 창출해준다.

2.2. 신호보내기의 효과

신호보내기는 상대방이 보내는 특정한 신호에 협조

적 행동을 조건부로 대응시키는 전략을 가능하게 한다. 즉 경기자들이 A에서 Z까지의 신호를 주고 받을 때, 이중 특정한 신호를 받는 경우 협조(C)로 대응하고, 나머지 신호에 대해서는 무임승차(C)로 대응하는 일종의 조건부 협조전략을 사용할 수 있게 된다. 이에 롭슨(A. Robson)은 신호보내기를 통해 협조적 전략 소유자들이 무임승차자로만 이루어진 집단에 침투할 가능성을 제시하고 있다. 그에 따르면 무임승차자들로만 이루어진 어떤 집단에서 행위자들 사이에 신호가 오고가는 경우에 다음과 같은 조건이 성립하면 조건부 협조자들의 침투가 가능하다는 것을 보이고 있다. 그 조건은 (1) 이 집단에 어느 누구에 의해서도 사용되지 않는 신호가 있어야 하고, (2) 바로 그 신호에 조건부로 협조적인 행동을 대응시키는 행위자들이 있어야 한다는 것이다. 이 두 조건이 충족되면 바로 이 신호를 통해 서로 협조적 행동을 대응시키는 경기자들이 서로 협조적 행동을 취함으로써 평균적으로 다른 무임승차자들보다 높은 보수를 얻을 수 있게 되고, 그 결과 이들의 전략이 이 집단에서 확산될 수 있다. 사용되지 않는 신호를 바탕으로 이 신호에 조건부로 반응하는 협조적 전략 소유자들이 협조적 행동을 서로 주고받을 가능성을 가리켜 롭슨은 비밀리에 행하는 악수(secret handshaking)이라고 부르고 있다. 밀러(J. Miller)도 의사소통을 통해 협조적 행위가 진화할 가능성을 분석하면서 이와 유사한 메커니즘을 제시한 바 있는데, 이들이 공통적으로 얻은 결론은 (1) 신호보내기에 의해서도 협조적인 전략이 안정적인 전략이 되는 것은 아니라는 점, (2) 다만 신호보내기는 무임승차 전략이 중립적으로만 안정적이게 만듦으로써, 협조전략이 이 집단에 침투할 여지를 남겨 놓는다는 것 정도이다. 즉 신호 보내기의 효과는 무임승차 균형에 빈번한 침투가 일어나는 정도(하지만 시간이 지남에 따라 협조자들만이 이용하던 신호가 무임승차자들에게도 모방됨으로 인해 협조전략을 소멸되어 버린다)에 그칠 뿐 협조적 전략을 안정화하는 데까지는 나아가지 못한다는 것이 이들 연구가 보여주고 있는 바이다.

2.3. 내부인/외부인 구별과 패거리성향(parochialism)

행위자들이 타인들에 대해 '우리'와 '남'을 구별하며, 이 구별로부터 '우리'에 대해서는 호의적인 태도를 그리고 '남'에 대해서는 적대적인 태도를 보이는 성향을 갖고 있다는 것은 종종 지적되고 있는 바이다^[18]. 이는 때로는 지역이기주의적 성향(parochialism), 자민족 중심주의(ethnocentrism) 혹은 내부자 편애(insider bias) 등으로 불리기도 한다. 이러한 성향의 존재가 계

임이 반복되지 않는 상황에서 협조적 행위의 진화에 유리한 조건이 되는 이유는 (1) 그 성향이 협조적 태도를 취하게 되는 대상을 까다롭게 고르게 만들기 때문에 그만큼 무임승차자에 의해 착취당할 가능성을 줄여주기 때문이며, (2) 유유상종 효과가 쉽게 나타날 수 있도록 만들어주기 때문이다.

본 연구에서는 이상에서 본 세 가지 기존 연구를 확장함으로써 국지적 상호작용이 일어나는 상황에서 내부인과 외부인을 구별짓는 속성이 협조적 행위의 진화에 과연 어느 정도나 추가적인 효과를 가져오게 하는지를 살펴보고자 한다. 이 연구와 가장 유사한 연구는 시네르보 등^[9]의 연구인데, 이들의 연구에서는 내부인에 대해 협조하고 외부인에 대해 무임승차하는 일종의 조건부 협조전략이 진화한다는 것은 보여주고 있지만, 그 효과가 단기적인 분석에 머물고 있으며, 그러한 조건부 협조전략이 실제로 협조행위로 등장하게 되는가에 대해서는 확실히 보여주고 있지 않다. 이에 본 논문에서는 구별짓기가 협조적 행위의 진화에 영향을 미치는 과정을 장/단기로 구분함으로써 구별짓기의 효과를 보다 명확히 규명하고자 한다.

3. 구별짓기와 협조적 행동의 진화 모형

구별짓기와 협조적 행동의 공진화에 미치는 영향을 연구하기 위해 우리는 간단한 모형을 제시한다. 경기자들은 바둑판 모양의 2차원 격자 위에 위치해 있으며 인접한 8명의 이웃(Moore Neighbor, 즉 동, 서, 남, 북, 북동, 북서, 남동, 남서에 위치한 경기자)과 다음과 같은 게임을 벌인다. 경기자들은 “협조”(C)나 “무임승차”(D) 중 하나를 선택할 수 있는데, “협조”(C)를 선택하면 스스로 c 만큼의 비용을 부담하면서 상대방에게 b 만큼의 편익을 주게 된다고 하자. 이제 $b > c > 0$ 을 가정하면 이 게임은 죄수의 딜레마의 구조를 따르게 되며, 이 게임에서 무임승차(D) 전략은 지배적 전략 균형이 된다.

이제 다음과 같은 가정에 따라 행위자들간의 상호작용 및 전략 수정이 이루어진다고 하자.

가정 1: 바둑판 모양의 2차원 격자 위에 N 명의 행위자가 위치해있으며 이들 각각은 0 혹은 1의 값을 갖는 길이가 L 인 꼬리표(tag)를 갖는다.

이 꼬리표는 각 행위자의 특성(생물학적 혹은 문화적)을 나타낸다고 간주할 수 있다. 즉 각 행위자 i 의 꼬리표를 s_i 라고 하면 $s_i \in \{0, 1\}^L$ 이다. 이를 통해 이웃한 두 행위자 i 와 j 사이의 생물학적/문화적 거리를 두 행

위자의 꼬리표를 비교함으로써 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$(정의) \text{ 특성 거리: } d_{ij} = \sum_{m=1}^L |s_{im} - s_{jm}|$$

두 행위자가 완전히 똑같은 특성을 공유하고 있다면 $d_{ij}=0$ 이며 두 행위자가 완전히 다른 특성을 갖는다면 $d_{ij}=L$ 이 된다.

가정 2: 각 행위자들은 자신들의 이웃(Moore 이웃, 즉 동, 서, 남, 북, 북동, 북서, 남동, 남서에 위치한 경기자들)과 한 차례씩 1회 위 보 수행렬로 표현된 죄수의 딜레마 게임을 벌인다.

가정 3: 각 행위자들이 어느 정도의 관용수준(tolerance level)을 갖고 있어서, 상대방과 자신과의 거리가 자신이 갖고 있는 관용수준보다 작은 경우에만 상대방에게 협조(C)를 하고, 그렇지 않으면 무임승차(D)를 하게 된다. 즉 각 행위자에게 관용수준(tolerance level) $t_i \in \{0, 1, \dots, L+1\}$ 을 부여한다. 즉 행위자 i 는 이웃한 행위자 j 와의 특성 거리 d_{ij} 가 t_i 보다 작을 때에만 협조전략을 선택하며 그렇지 않을 때, 즉 특성 거리가 관용수준보다 크거나 같을 때에는 배반전략을 선택한다.

이는 각 행위자들이 자신들의 이웃과 죄수의 딜레마 게임을 할 때, 상대방이 자신과 충분히 유사하다고 판단하면 그를 자신의 내부자로, 그렇지 않으면 외부자로 각각 판단한다는 것을 의미한다. 여기서 상대방과 자신이 얼마나 같아야 내부자로 판단할 수 있는가의 판단 기준은 각 경기자마다 다른데 그 기준이 t_i 가 된다. 그렇게 되면 i 번째 경기자의 t_i 값은 조건부 협조가 일어나게 되는 강도를 의미하게 된다. $t_i=L+1$ 인 경우에는 상대방과 일치하는 특성이 하나도 없는 경우, 즉 특성거리가 최대값인 L 을 갖는 경우에도 내부인으로 판단하게 되므로, 상대방에게 항상 협조(C)를 하게 될 것이다. 반대로 $t_i=0$ 일 때에는 상대방과 완전히 동일한 특성들

Table 1. Payoff Matrix of Prisoner's Dilemma

		행위자 2	
		협조(C)	무임승차(D)
행위자 1	협조(C)	b-c, b-c	-c, b
	무임승차(D)	b, -c	0, 0

을 갖고 있더라도 상대방을 외부인으로 판단하게 될 것이기 때문에 무조건적으로 배반(D)을 하게 될 것이다. 또한 $t=1$ 이면 이웃과 완전하게 동일한 꼬리표를 갖는 경우에만, 즉 특성거리가 0인 경우에만, 상대방이 내부인이라고 판단하게 되며, 그 경우에 한해서 협조(C)로 대응하고 그렇지 않은 경우에는 배반(D)으로 대응하게 된다. t 가 클수록 상대방을 내부인으로 판단할 가능성이 커지고, 그만큼 다른 특성을 가진 이웃들에게도 협조할 가능성이 커지게 된다.

이제 이러한 상황에서 협조적 행동의 진화 가능성을 보기 위해 행위자들이 자신들의 생물학적/문화적 특성과 관용수준을 수정할 수 있는 전략수정 규칙을 도입한다.

가정 4: 매번 자신의 이웃들과 8번의 게임이 끝난 후에, 각 행위자들은 이웃한 행위자들 중 하나를 무작위로 골라서 그 이웃 행위자의 보수가 자신의 보수보다 높을 경우 이웃의 특성과 관용수준을 복제하여 자신의 특성과 관용수준을 대체한다. 그리고 그 과정에서 전략 수정상의 실수(혹은 돌연변이)가 일어나는데 μ 의 확률로 행위자의 복제는 실패하고 무작위로 선택된 특성과 관용수준으로 대체된다고 하자(이러한 전략 수정 과정은 생물학적으로 또는 문화적으로 이해할 수 있다).

이로써 우리는 내부인/외부인을 구별짓는 기준의 강도로서의 관용수준, 그리고 행위자들이 갖고 있는 생물학적 혹은 문화적 특성의 동질화 경향, 마지막으로 이 두 요인이 어울어짐으로써 행위자들의 협조적 행위에 어떤 영향을 미치게 되는지 등등을 살펴볼 수 있게 된다. 이로부터 우리는 다음과 같은 질문에 대한 답을 찾고자 한다.

첫째, 행위자들 사이에서 내부인/외부인의 구별의 강

도, 즉 관용도의 수준은 어떻게 변화해나가는가? 즉 행위자들은 내부인/외부인을 구별할 때 어느 정도나 완벽한 동질성을 요구하게 되는가?

둘째, 외부인과 내부인을 구별짓는 행동이 협조적 행동을 진화시키는데 어떤 역할을 하는가? 만일 그렇다면 행위자들이 구별짓기 성향(관용도로 표시되는)을 갖는다는 것이 협조적 행동을 진화시키고 유지시키는데 충분한 조건이 되는가?

4. 전산실험의 결과

4.1. 국지적 상호작용의 효과(구별짓기가 없는 경우)

우선 구별짓기가 얼마나 추가적인 효과를 가져오는지를 확인하기 위해 먼저 구별짓기 없이 국지적 상호작용만 존재하는 경우 협조적 행위가 나타날 가능성을 살펴보자. 표 2에서 $L=0$ 을 나타내는 열을 보면 행위자들이 꼬리표식을 갖고 있지 않고, 국지적 상호작용만 일어나는 경우의 협조적 행위의 진화 가능성이 나타나 있다. 즉 협조적 행위가 진화하는 것은 오직 $b/c > 0$ 인 경우에 한해서이며, 이는 참고문헌 [17]에서 도출된 조건 $b/c > k$ 를 입증해주고 있다. 즉 구별짓기 성향이 존재하지 않는 경우에는 협조적 행위의 진화 조건은 상당히 제약된다. 협조적 행위를 통해서 상대방이 얻게 되는 편익이 협조적 행위에 따른 비용의 8배를 넘어서는 경우에만 협조적 행위가 발생할 수 있다. 그림 1에는 국지적 상호작용이 어떤 식으로 협조적 행위의 진화에 유리한 조건을 만들어주는지가 잘 나와있다. $t=0$ 에서와 같이 C전략과 D전략이 무작위적으로 어울려 있는 경우에는 C전략은 점차 집단에서 소멸하게 된다. 하지만 소멸과정에서 군데군데 C전략의 클러스터가 생기게 되고, 이 때부터 $P(C|C) > P(C|D)$ 조건이 충족되는 곳이 생긴다. 이 클러스터가 형성된 곳을 출발로 C전략은 점차 사회에 확산될 수 있다. $t=100$ 에서 보여지는 상태는 일종의 균형상태로 이 상태가 이후에 지속되고,

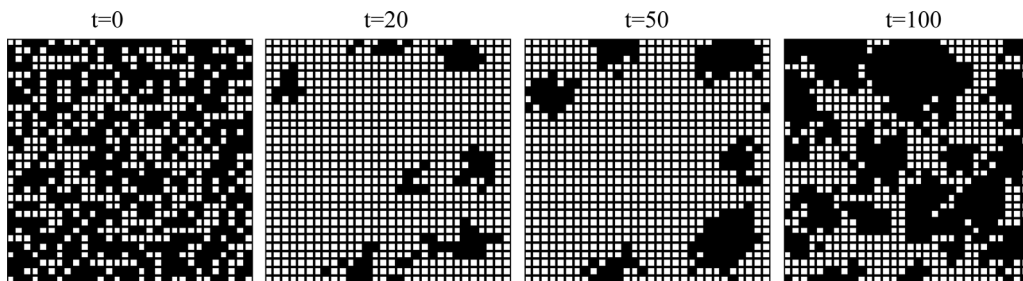


Fig. 1. The effect of local interaction without tags ($b/c=8.1$).

Table 2. The possibility of cooperation (mutation rate=0)

		L						
		0	1	2	3	4	5	...
b/c	2	0/10	0/10	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	3	0/10	0/10	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	4	0/10	0/10	5/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	5	0/10	0/10	8/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	6	0/10	0/10	8/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	7	0/10	0/10	8/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	8	0/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
	8.1	0 (49.8)*	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10

*Each cell of this table shows the number of times that the population frequency of cooperation reaches 100 % out of ten trials. Except for the case of L=0 and b/c=8.1 the population frequency of cooperation either goes to 100% or 0%. When L=0 and b/c=8.1, the population frequency of cooperation becomes stable around 49.8%.

여기서 C전략이 전체 인구에서 차지하는 비중은 약 50% 주의를 뱌돌게 된다.

4.2. 구별짓기의 단기적 효과(돌연변이의 확률이 0인 경우)

표 2의 나머지 부분은 꼬리표가 추가되는 경우의 효과를 보여주고 있다. 꼬리표의 개수가 증가하면서, 즉 구별짓기에 이용되는 행위자들의 문화적 혹은 생물학적 특성의 수가 많아지면서 협조적 행위의 진화는 점점 덜 제약적인 조건 하에서도 가능하게 된다. L의 길이가 3 이상이 되면 b/c가 2만 되어도 매번 시행 때마다 집단 내 모든 행위자들이 C 전략을 택하게 되는 상황으로 가게 된다. 이로부터 우리가 얻을 수 있는 첫 번째 결론은

- 꼬리표식의 수가 많아질수록 C전략의 진화를 위해 필요한 b/c 수준은 감소한다.

즉 꼬리표식의 증가는 국지적 상호작용의 효과에 추가적으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 그림 2는 이 과정에서 행위자들의 관용도 수준이 시간이 지남에 따라 점차 1로 수렴하게 될 보이고 있다. 관용도 수준의 변화에 영향을 미치는 두 가지 효과를 구분할 수 있다. 첫째, 관용도 수준이 높은 사람은 그만큼 타인에게 협조할 가능성이 높아지기 때문에 관용도 수준이 낮은 사람과 상호작용을 할 때, 상대방의 무임승차를 허용할 가능성이 생긴다. 두 사람 모두의 관용도가 특성거리를 초과하거나 두 사람 모두의 관용도가 특성거리보다 작다면 두 사람 모두 C를 하거나 D를 하게 되므로 두 사

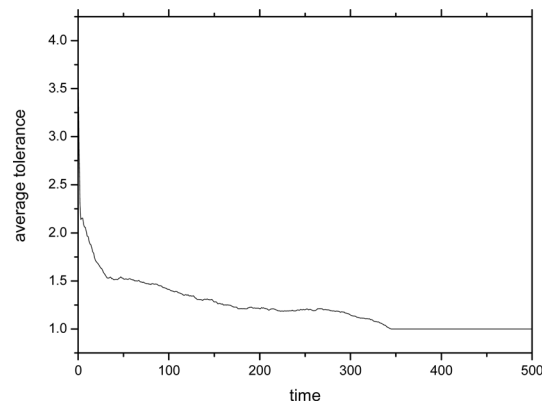


Fig. 2. The Evolution of Tolerance Level (b/c=4, mutatic and L=5)

람간의 보수차이는 없을 것이다. 하지만 특성거리가 한 사람의 관용도에는 못미치고 한 사람의 관용도를 초과하는 경우 관용도가 낮은 쪽은 D로 그리고 관용도가 높은 쪽은 C로 각각 대응할 것이므로, 낮은 관용도는 높은 관용도를 약지배하게 된다. 따라서 관용도 수준은 시간이 지남에 따라 하락하는 경향을 보이게 된다. 둘째, 그 수렴값은 1이 되는데, 이는 시간이 흐를수록 따라 모든 경기자들이 오직 자신과 동일한 꼬리표를 갖는 상대방을 만나는 경우에만 협조를 하겠다는 태도를 갖게 된다는 것을 의미한다. 이것이 0으로 수렴(즉 모든 사람이 무조건적으로 D 전략을 선택하게 되는 상황으로 수렴)하지 않는 이유는 구별짓기가 국지적 상호작용의 효과를 증폭시킴에 따라

- 무조건적으로 D를 선택하는 것보다는 C를 선택하는 것이 유리하게 만들어주기 때문이다.
- 시간의 흐름에 따라 관용도의 수준은 점차 하락한다. 낮은 관용도 수준이 높은 관용도 수준을 약지배하기 때문이다.

그림 3은 그림 2에서 보여준 관용도 수준의 변화와 함께 협조적 행위와 행위자들의 특성거리가 어떻게 변하는가를 보여주고 있다. 그림 4의 (a)는 각 행위자가 자신의 8명의 이웃과 죄수의 딜레마 게임을 벌일 때 C 전략을 사용하게 되는 빈도수를 나타낸 것이다. 검은 색일수록 C전략을 사용하는 빈도수가 높음을 의미한다. 그리고 (b)는 행위자들의 꼬리표를 바탕으로 한 특성거리의 변화를 나타내고 있다. 각 경기자와 주변 이웃들과의 특성거리의 평균값이 각 셀에 나타나 있다. 흰색의 경우 8명 이웃과의 각각의 특성거리를 평균한 값이 0, 즉 모든 이웃과 동질적인 꼬리표를 갖게 된다는 것을 의미하며, 색이 짙어질수록 차이가 커진다는 것을 의미한다. 그림 2와 그림 3은 구별짓기와 관용도의 변화가 협조적 행위의 진화에 어떻게 영향을 미치는지를 잘 보여주고 있다. 내부인/외부인을 판별하는 관용도 수준은 점차 하락하여 그 기준이 점점 엄격해지는데, 그 과정에서 구별짓기와 조건부 협조에 기반한

협조적 행위가 일어나는 소집단의 구분이 점점 명확해지기 시작한다. 그리고 시간이 지남에 따라 집단간에도 동질화가 일어나게 되면서 전체 집단은 가장 엄격한 관용도를 갖는 조건부 협조자들만 존재하게 되고, 전체 집단이 완벽하게 동질적이 되면서 협조적 행위의 수준은 100%에 도달하게 된다. 이로부터

- 초반에는 완벽한 구별짓기를 통한 모집단의 소집단화가 일어나며, 여기서 내부인에 대해서 C를 하고, 외부인에 대해 D를 하는 조건부 협조전략이 진화한다.
- 시간의 흐름에 따라 꼬리표식의 동질화도 함께 진행된다.

4.3. 구별짓기의 장기적 효과(돌연변이 가능성의 도입)

여기에 지금까지 0으로 설정해두었던 돌연변이의 효과를 도입함으로써 장기적인 추세를 아울러 관찰할 수 있다. 돌연변이가 없다면 초기조건에서 출발한 시스템은 한 균형에 도달하면서 더 이상의 변화를 갖지 않는다. 하지만 돌연변이는 일단 도달한 균형에 끊임없는 충격을 가하게 됨으로써 균형으로부터의 이탈을 가능하게 하고, 다수의 균형이 있을 때에는 어느 균형에 더

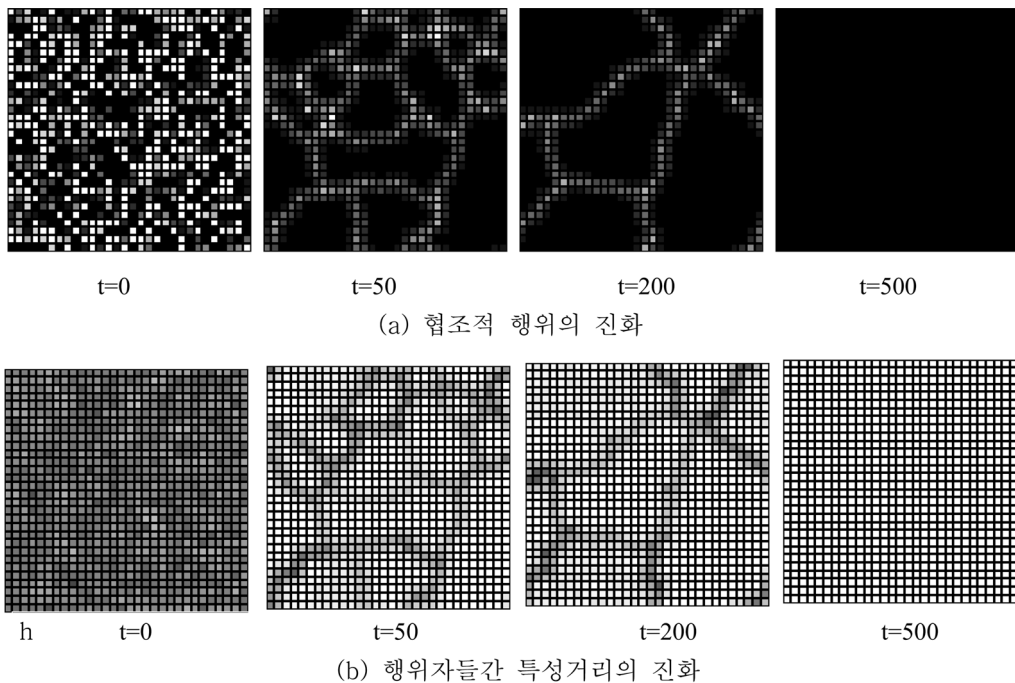


Fig. 3. The Evolution of Cooperation and Trait Distance between Players (b/c=4, mutation rate=0 and L=5)

오래 머무는가를 관찰하게 해줌으로서 장기적 동역학 분석을 가능하게 해준다.

그림 4는 돌연변이가 존재하는 경우의 관용도와 협조적 행위의 장기적 추세를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 돌연변이가 존재하게 되면 방금 4.2절에서 본 단기적 효과와는 완전히 다른 결과가 나타나게 된다. 그림 2, 3에서는 돌연변이가 존재하지 않는 상황에서 $L=5$, $b/c=4$ 인 경우 $t=500$ 에 이르면 집단 내 모든 행위자들이 C 전략을 사용하는 상황에 도달하게 되는 것으로 나타났다. 하지만 그림 4에서 보는 것처럼 돌연변이가 가능하게 되면(0.0001의 확률로), 동일한 L 과 b/c 값에서 앞에서 도달한 균형은 깨지고 협조적 행위는 0에 수렴하게 된다. 돌연변이가 출현하자마자 협조적 균형이 파괴되는 이유는 협조적 균형으로 도달하는 과정에서 모든 경기자들의 특성이 동질화되고(즉 특성거리의 평균이 0에 수렴하게 되고) 이에 따라 더 이상의 구별짓기를 통해 협조전략을 조건부로 사용하는 것이 불가능하게 되기 때문이다. 즉 모든 경기자들이 동질적이 된 상황에서는 모두가 동일한 꼬리표를 부착하게 되므로, 꼬리표가 없는 상황과 완전히 동일하게 된다. 따라서 최초로 경기자들이 갖게 되는 특성의 수(즉 L 의 길이)가 얼마였는지에 상관없이 모든 특성이 동질화됨에 따라 꼬리표의 기능이 상실되게 된다. 꼬리표의 기능 상실은 구별짓기를 불가능하게 하고, 그림 3의 $t=500$ 인 상태에서 무조건적 D 전략을 사용하는 경기자가 출현하는 순간 이들은 순식간에 전체 모집단에 확산되게 되기 때문이다.

- 시간의 흐름에 따라 진행된 특성의 동질화는 궁극적으로 특성의 차이에 근거한 구별짓기를 불가능하게 만든다. 여기에 돌연변이 효과가 추가되면 협조

적 균형은 파괴되어 시스템은 모두의 관용도가 0이 되는 상황, 즉 모두가 무조건적으로 D 전략을 사용하는 상황에 도달하게 된다($b/c=4$ 인 경우).

- $b/c=8.1$ 인 경우에도 관용도 수준과 협조적 행위의 빈도수가 보이는 장기적 패턴은 그림 1에서 본 $L=0$ 이 경우와 차이가 없게 된다. 진화에 효과적이지만 장기적으로는

다시 말해 구별짓기는 협조적 행위의 진화에 오직 단기적으로나마 영향을 미칠 뿐 장기적으로는 아무런 효과를 낳지 않는다. 즉 장기적 효과는 국지적 상호작용의 효과에 어떠한 추가적인 효과도 낳지 않는다.

4.4. 구별짓기의 효과가 지속되기 위한 추가적인 메커니즘의 필요성

따라서 구별짓기 성향 만으로는 장기적으로 협조적 행위를 지탱할 수 없다. 결국 협조적 행위가 지속적으로 관찰된다는 것을 구별짓기에 근거하여 설명하기 위해서는 구별짓기 성향을 지속시켜줄 수 있는 추가적인 메커니즘이 도입되어야 한다는 말이 되는데, 이 메커니즘은 행위자들간의 특성의 동질화를 막아줄 수 있는 제3의 요인을 도입하는 것이 되어야 한다. 예를 들어 돌연변이의 확률이 아주 높아서 특성이 동질화되는 경향 속에서도 지속적으로 새로운 특성이 창출될 가능성이 보장되는 경우 구별짓기의 효과가 오래도록 지속될 가능성이 있다. 그림 5는 돌연변이의 확률이 0.01로 높은 경우의 효과를 나타내고 있다. 이러한 결과는 구별짓기의 대상이 되는 행위자들의 특성이 생물학적인 특성보다는 문화적 특성일수록 구별짓기의 효과가 커질 수 있다는 의미로도 해석될 수 있다. 그리고 이러한 결과는 집단간에 문화적 특성의 차이를 유지시켜줄 수

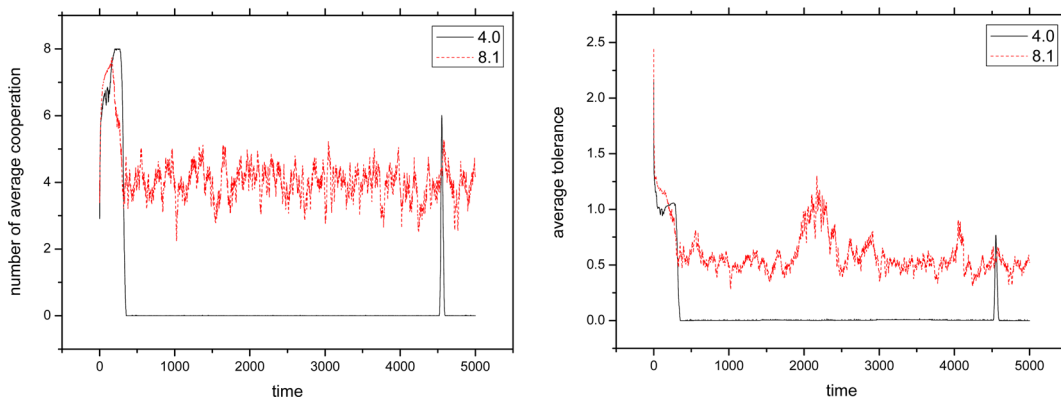


Fig. 4. The Effect of Mutation and Long-term Dynamics (mutation rate= 0.0001; $b/c=4$ and 8.1; $L=5$)

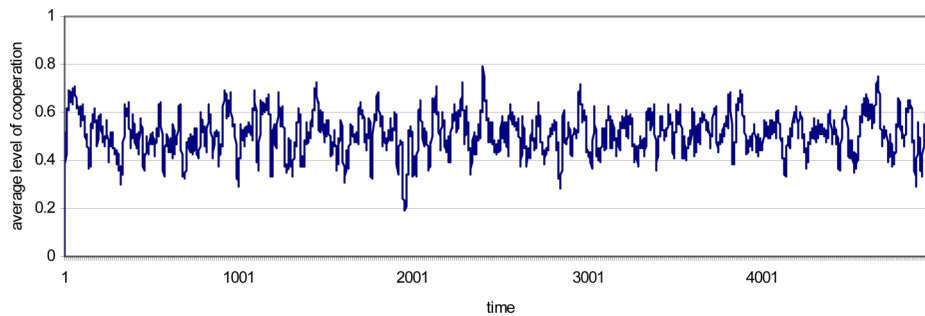


Fig. 5. The evolution of cooperation ($\mu_{\text{mutation}}=0.01$, $b/c=4$, $L=5$)

있는 제 3의 메커니즘에 대한 규명이 있을 때에만 구별짓기를 통한 협조적 행위의 진화 가능성이 완전하게 분석될 수 있다는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 논문에서는 과연 협조적 행위의 진화를 둘러싸고 구별짓기 성향이 국지적 상호작용이 가져오는 효과에 추가적인 효과를 낳는가를 분석하고자 했다. 이 점과 관련지어 본 연구에서 확인할 수 있었던 것은 첫째, 행위자들의 타인에 대한 관용도, 즉 상대방을 내부자로 받아들이는 데 사용되는 판단기준은 시간이 지남에 따라 엄격하게 되는 경향이 있었다. 이는 상대방에 대해 엄격해질수록 상대방을 타인으로 인식하게 되고, 그만큼 무임승차로 인해 손해를 보게 될 가능성이 줄어들기 때문이다. 즉 낮은 관용도를 갖는 것이 높은 관용도를 갖는 것보다 우세한 전략이 되기 때문이다.

둘째, 단기적으로는 구별짓기가 협조적 행위의 진화를 용의하게 한다는 것이었다. 즉 구별짓기의 가능성이 커질수록(즉 꼬리표의 길이 L 이 커질수록) 협조적 행위의 진화가 일어날 수 있는 조건이 완화되고 있음을 알 수 있었다.

마지막으로, 그렇지만 구별짓기의 효과는 오직 단기적으로만 존재할 뿐 장기적으로는 큰 효과가 없다는 것도 확인할 수 있었다. 장기적으로는 구별짓기와 협조적 행위의 공진화 과정에서 행위자들이 보유하고 있는 특성이 점점 동질화되는 경향을 존재하기 때문에 구별짓기의 효과가 나타나지 않게 된다. 즉 장기적으로는 국지적 상호작용을 통해 얻게 되는 결과에 비해 협조적 행위의 수준이 크게 변하지 않았고, 또 국지적 상호작용만이 존재하는 경우보다 협조적 행위를 진화시키기 위한 조건(b/c)이 그다지 완화되는 것도 아니었다. 여기서 구별짓기가 장기적으로도 협조적 행위의 진화에 영향을 미치기 위해서는 행위자들간의 동질화 경향

을 막아주는 제3의 추가적인 메커니즘이 필요하다는 것을 의미한다.

즉 구별짓기만으로는 협조적 행위를 진화시키는 데 장기적인 효과를 갖기 힘들다. 우리가 구별짓기가 협조적인 행위를 진화하는 데 유리한 조건을 창출한다는 것을 보이고자 한다면, 여기에는 행위자들의 특성을 둘러싸고 나타나는 동질화 경향과 아울러 끊임없는 다양성이 창출 유지될 수 있도록 해주는, 즉 각 소집단별의 문화적 특성의 유지 및 지속을 가능하게 해주는 추가적인 메커니즘에 대한 규명이 요구된다고 하겠다.

참고문헌

- [1] W. D. Hamilton, "The genetical theory of social behavior," *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 7, p. 1, 1964.
- [2] R. Trivers, "The evolution of reciprocal altruism", *Quarterly Journal of Biology*, Vol. 46, p. 35, 1971.
- [3] R. Axelrod, "The Evolution of Cooperation", New York: Basic Books, 1984.
- [4] D. Fudenberg, and E. Maskin, "The folk theorem in repeated games with discounting or with incomplete information," *Econometrica*, Vol. 54, No. 3, p.533, 1986.
- [5] D. Fudenberg, and E. Maskin, "Evolution and cooperation in noisy repeated games", *American Economic Review*, Vol. 80, No. 2, p. 274, 1990
- [6] D. S. Wilson, "Theory of group selection", *Proceedings of the National Academy of Science*, Vol. 72, No. 1, p. 143, 1975.
- [7] D. S. Wilson, and E. Sober, "Reintroducing group selection to the human behavioral sciences," *Behavioral and Brain*, Vol. 17, No. 4, p. 585, 1994.
- [8] G. R. Price, "Extension of covariance selection mathematics," *Annals of Human Genetics*, Vol. 35, p. 485, 1972.
- [9] C. Boehm, "Variance Reduction and the Evolution

- of Social Control”, Department of Anthropology, University of Southern California, 2002.
- [10] S. Bowles, “Economic institutions as ecological niches”, *Behavior and Brain Sciences*, Vol. 23, 2000.
- [11] S. Bowles, J.-K. Choi, and A. Hopfensitz, “The coevolution of individual behaviors and social institutions”, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 233, No. 2, p. 135, 2003.
- [12] T. Bergstrom, “The Algebra of Assortativity and the Evolution of Cooperation”, *International Game Theory Review*, 2003.
- [13] S. Bowles, “Endogenous preference: The cultural consequences of markets and other economic institutions,” *Journal of Economic Literature*, Vol. 36, No. 1, p. 75, 1998.
- [14] M. Nowak, and R. M. May, “The spatial dilemmas of evolution”, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 3, No. 1, p. 35, 1993.
- [15] P. S. Albin and D. K. Foley, “The co-evolution of cooperation and complexity in a multi-player, local-interaction Prisoners' dilemma”, *Complexity*, Vol. 6, No. 3, p. 54, 2000.
- [16] E. Lieberman, C. Hauert, and M. Nowak, “Evolutionary dynamics on graphs”, *Nature*, Vol. 433, p. 312, 2005.
- [17] H. Ohtsuki, C. Hauert, E. Lieberman, and M. Nowak, “A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks”, *Nature*, Vol. 441, p. 502, 2006.
- [18] H. Bernhard, U. Fischbacher, and E. Fehr, “Parochial altruism in humans”, *Nature*, Vol. 442, p. 912, 2006.
- [19] B. Sinervo et al, “Self-recognition, color signals and cycles of greenbeard mutualism and altruism”, *PNAS*, Vol. 103, p. 7372, 2003.