

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	伊藤 公一
論文題目	Influence of the structure of interaction among individuals on the evolution of cooperation (生物個体間の相互作用における構造の違いが協力の進化に及ぼす影響)		
(論文内容の要旨)			
<p>協力とは、ある個体の形質や行動が他個体に利益を及ぼす生物間相互作用である。幅広い分類群の生物で、同一種の個体間での協力的関係が見られる。例えば、ある植物個体の対植食者防衛が他の植物個体にも防衛的效果を提供する「associate resistance」と呼ばれる現象なども、協力的な関係の一つであると見なせる。こうした協力関係の進化過程の解明は、様々な生物の間の相互作用を理解する上で重要な意義を持つ。そのため協力の進化については、理論・実証の両面から活発に研究がなされてきた。その重要な理論的枠組みの一つに、連続協力ゲームがある。これは、各個体の協力への投資量が連続的な変数である状況で、協力的な振る舞いの相互作用を定式化するものである。本論文はこの連続協力ゲームの研究を発展させ、個体間の相互作用の構造が協力の進化をどのように規定するのかを明らかにした。</p> <p>本論文ではまず、協力への投資が利益に変換されるプロセスが、協力レベルに関する集団内での多型の出現の可能性とどのように関係するのかを、連続スノードリフト・ゲームの枠組みで解析した。野外の生物集団では、協力への投資量に個体間に大きなばらつきが見られる場合がある。例えば上記の植物のassociation resistanceでも、個体群内に防衛レベルが高い個体と低い個体が共存している場合がある。そうした協力レベルの多型の進化過程について、協力関係の構造を、(i)投資自体の共有か投資の結果得られた効果の共有か、(ii)加算的か乗算的か、(iii)利益の促進による協力か不利益の抑制による協力か、の3つの側面で分類し、それぞれの組み合わせでの協力の進化動態について解析を行った。その結果、協力レベルの多型は、協力関係の構造が投資の共有に基づく場合か、効果の共有が乗算的であつ不利益の抑制によるものである場合にのみ、生じうるものであることが明らかにされた。</p> <p>さらに本論文では、個体同士が互いの協力レベルを提示して調整し合うことを通じて協力レベルを決定する、「交渉ゲーム」について解析を行った。こうした行動は動物の協力で広く見られる一方、化学物質を介して情報交換を行うことが知られている植物でも潜在的に起こりうる相互作用である。交渉ゲームに関する先行研究では、協力レベルに無数の実現可能な解が現れることが示されており、それがこのゲームの解析を困難にしていた。それに対して本論文は、協力レベルを実現する際のエラーを考慮することで解の数が有限となり、見通しの良い解析を行うことが可能になることを見出した。その解析によって、協力関係の関数形に依存して、相手の協力的な振る舞いに対して自身も協力的に反応する「協調的」な反応が進化する場合や、逆に自身は協力を控える「裏切りの」な反応が進化する場合があることなどが示された。また、その関数形により、協力レベルをダイレクトに決めるゲームよりも交渉ゲームの方が、実現する協力レベルが高くなる場合も低くなる場合もあることも分かった。</p> <p>これらの一連の研究はいずれも、協力の進化に関する先行研究の到達点をさらに発展させ、その定性的な性質をより明確に示すことに成功した。それらは、生物の相互作用の成立基盤の理解に大きく貢献するものである。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

生物の個体は異種あるいは同一種の個体と様々な相互作用を持つ。それらの中でも同種個体に利益をもたらすタイプの協力関係は、特に協力の行為者にコストが伴う場合には進化が容易ではない。その進化過程を解明するために、様々な理論が提案されてきた。本博士論文では、連続形質に基づく協力に関するゲーム理論に注目し、協力関係の進化過程に内在する諸性質を明らかにした。

本論文では、集団内での協力のレベルに多型が生じるメカニズムを、連続スノードリフト・ゲームを用いて解析した。このタイプのゲームでは、状況によって進化的分岐を伴って集団中に多型が生じ得ることがすでに知られてきた。この多型が生じるための条件も理論的に調べられてきてはいるが、それらの取り組みは個別的なもので、特定の関数形に注目したものばかりであった。本論文では、ゲームを相互作用の構造に従って分類して解析を行うことで、先行研究の個別的な取り組みを体系化し、さらにこれまで検討されてこなかった関数形においても多型が生じ得る可能性を指摘することに成功した。本解析は、この分野の一連の研究を統合するものであると位置付けることができる。また、この章のイントロダクションは、位置付けが混乱しがちだった連続ゲームについて、それらを体系立てて整理した優れたレビューとなっている。

本論文ではまた、協力関係の際に個体同士が情報を交換して調停を行う交渉ゲームについて理論的解析を行っている。このゲームでは、相手が提示してきた協力レベルに対して、どのような協力レベルを提示し返すのかということが戦略となる。すなわち生物の戦略は前者に対する後者の関数の形で定義され、その関数が進化の対象となる。このゲームの性質に関しても、これまで幾つか理論研究がすすめられてきた。しかしながら、このゲームでは実質的に無数の関数が解となり、そのことが十分な解析を阻んできた。本研究では、その解の数がエラーによって絞られることを発見し、それによってより深い解析を可能にする道筋を開いた。その解析の成果は本論文の中でも示されているが、これから研究すべき課題はまだ残されており、本研究は交渉ゲームの研究が今後さらに発展する糸口となると考えられる。

以上のように、本論文の内容はこれまで十分に位置付けられてこなかった既往の研究を体系化すると同時に、新たな研究の方向性を開拓するものでもあると言える。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年6月5日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降