

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

動物とロボットの
相互適応に関する研究

Study on Mutual Adaptation between
Animals and Robots

申請者

氏名

石井 裕之

ISHII HIROYUKI

専攻・研究指導
(課程内のみ)

生命理工学専攻 バイオ・ロボティクス研究

2006年 11月

現在，日常生活のさまざまな場面においてわれわれをサポートしてくれるロボットの登場が期待されている．このような社会的背景を受けて，新たな研究パラダイムとして「人間とロボットの共生」が大きな注目を集めている．近年特に，ロボット工学および人工知能学において，人間とロボットの相互適応に関する研究が大きな注目を集めている．これらの研究では，ロボットとそのユーザーである人間が円滑に関係構築を進める一つの枠組みとして，両者による相互適応が提案され，さまざまな実験をとおして調査されている．相互適応による関係構築は，一方的にユーザーに適応を強いていた従来型の機械と人間との関係構築と性格を異にするものであり，人間とロボットの共生の一つの枠組みとして興味深い．ここで，現在行われている人間とロボットの相互適応に関する研究を，研究対象とされている事象が基礎的か実践的か，短期的か長期的かの2つの項目について評価すると，基礎的かつ長期的なものが少ないように思われる．これは，技術的問題と倫理的問題のために長期間にわたる人間とロボットによるインタラクション実験の実施が困難なためである．しかし，適応という現象は個体の経験にもとづいて生じる現象であり，相互適応系の枠組みを考えるためには長期型の研究が必要不可欠である．また，この系は非常に複雑な系であり，直接その全容解明を目指すことは困難で，基礎理論の解明から進める必要がある．そこで筆者は，人間とロボットの相互適応に関する基礎理論の導出を目指す全く新しい方法論を提案し，その枠組みにもとづいて相互適応のモデル構築に取り組んでいる．

新たな方法論の構築に際して，筆者がまず注目したのは動物心理学である．動物の適応能力のうち特に学習に関する実験実証的研究は動物心理学において始まった．そして，人間の学習のメカニズムの解明は，動物心理学においてもたらされた理論に立脚して進められた．以上のような背景を鑑み，筆者は動物と人間の間にある心的構造の共通性を再認識し，本研究の目的を動物とロボットによるインタラクション実験を通して，動物とロボットの相互適応のモデルを構築することとした．そして，実験対象にラットを選び，まず，ラットとロボットのインタラクションの場面を両者による相互適応システムと見なし，工学的視点からそのモデルを提案した．提案したモデルにもとづき，ラットとロボットによるインタラクション実験を行い，システムの特徴や問題点に関して議論を行った．また，実験の実施に先立ち，ラットとのインタラクションが可能な異なる機能を有する3種類のロボットと，それらのロボットとラットによるインタラクション実験を行うための実験装置を開発した．

本論文は7章からなる．以下に各章の要約を記す．

まず1章では，序論として研究背景を述べ，それによって導かれた本研究の目的と意義について述べた．

2章では，動物心理学やその周辺分野において行われてきた動物の行動と心的機能に関する先行研究について紹介した．特に本研究に大きな影響を及ぼし

た条件付けに関する研究については詳細に説明した。

3章では筆者が開発したインタラクション志向型小型移動ロボット WM-5R, WM-6, Raton Primero について述べた。これらのロボットは、ラットとロボットのインタラクションの形態を模索し両者の相互適応に関する調査を行うために開発された。WM-5R および WM-6 は移動機構に車輪機構を採用しており、成体ラットと同等の大きさと運動性能を有している。また、これらのロボットはマイクロコントローラとバッテリーを搭載しており、PC によって遠隔無線操縦される。WM-5R はラットとのインタラクションモジュールとして、ラットの乗りかかり行動を模倣するための前肢モジュールを有している。一方 WM-6 は、ラットからの働きかけを検知するセンサとして、2 個のレバーを搭載している。また筆者は、イタリアの聖アンナ大学院大学と共同で、四肢を有するラット形ロボット Raton Primero を開発した。Raton Primero は WM-5R, WM-6 とは異なり移動機構に四足歩行機構を採用しており、歩行による移動が可能である。また、四肢を有することで、レバー押し行動や立ち上がり、そして伏せなど、より多様なラットの行動を再現することが可能となっている。

4章では、ラットとロボットによるインタラクション実験実施のために開発された実験装置および、装置内におけるロボットの制御について述べた。実験装置は、動物心理学や行動薬理学において行われているオープンフィールドテストと呼ばれる実験手法に着想を得て開発された。筆者が開発した実験装置は正方形オープンフィールドと、そこに配置された餌提示装置、水提示装置、電池交換装置、各種行動センサからなる。ラットとロボットは共にこのオープンフィールド内に入れられ、フィールド内の両者の様子はフィールド上部に取り付けられた CCD カメラによって撮影される。撮影された映像は制御 PC に送られ、制御 PC ではそれらの映像に画像処理を行いラットとロボットの位置を算出し記録する。また、制御 PC はロボットの行動生成とビジュアルフィードバックによる移動制御も行っている。ロボットの行動はあらかじめプログラムされた行動テーブルにもとづいて生成され、移動はビジュアルフィードバックによって制御される。行動テーブルにはロボットの行動以外に、餌提示装置、水提示装置、電池交換装置の動作に関する記述されており、これらの装置も制御 PC によって制御される。

第 5 章では前述のロボットと実験装置を使用して行われたラットとロボットのインタラクション実験に関して述べた。動物心理学において、ラットの学習能力に関する研究はさまざまなかたちで行われているが、ロボットのような人工エージェントとの相互作用に関する研究は本研究以外には存在しない。そこでまず、最初の実験では、ロボットからラットに対して能動的な働きかけが行われた際のラットの行動の変化に関して実験を行い調査した。ここでは、ロボットの能動的な働きかけがラットからロボットへの働きかけを引き起こす作用があることが確認された。次に、ラットに実験者が設定したロボットとのイン

タラクションを学習させることを試みた。この実験では、ロボットへの接触行動を課題とし、ラットがロボットへの接触行動を行うことで餌の提示が受けられる場面を作り出した。そして1日30分の実験を10日間続けた結果、ラットはロボットに接触行動を行って餌を得ることを学習した。次の実験では、ロボットの行動状態を手掛かりとして自らの行動を変化させることを課題として課した。そして実験の結果、ラットがロボットの行動を識別して自らの行動を変化させることが可能であることを確認した。次の実験では、WM-6を使用し、ロボット上のレバーを選択的に押して餌と水を得ることを学習させることを試みた。実験の結果、ラットは空腹と口渇の2種類の欲求に応じて、レバーを選択的に押すことを学習した。次に、WM-6およびRaton Primeroを使用して、ラットのロボットに対する反応が車輪駆動のロボットと脚駆動ロボットで、どのように変化するかを調査した。実験においてラットは、WM-6へはほとんど興味を示さなかったが、Raton Primeroに対しては積極的に攻撃行動を行った。これより、ロボットの身体性に応じてラットとの間に生起するインタラクションも変化する可能性が示された。

6章では、ロボットとラットによる相互適応の一例として実施した、ロボットによる教示をともなうラットの課題学習場面に関する実験について述べた。筆者は、課題教示を目的としたロボットには学習エージェントの学習状態に応じて、その行動を変化させる能力が必要であると考えており、課題教示の場面は両者の相互適応に関して議論する場面として最適であると考えた。ここで扱う課題場面には、5章にて述べたラットにWM-6上に取り付けられたレバーを押す行動を学習させる場面を選んだ。5章で述べた実験では、実験者がラットの前でレバーを押すことでその行動を教示したが、この実験ではロボットの自律的行動によってそれを行うことを試みた。これを実現するために筆者は、シェイピングと呼ばれる手法とオートシェイピングと呼ばれる手法に注目した。そしてロボットの行動にこれらの手法を埋め込み、課題教示アルゴリズムとしてWM-6および実験装置の制御に実装した。実験の結果、課題教示を目的としたロボットの行動に、これらの手法を埋め込む事の有用性が示された。

最後に7章では6章までで述べた研究成果を整理し、結論と提言として簡潔に記した。また、今後の展望についても述べた。

以上、本論文では、動物とロボットのインタラクション実験を通じて動物とロボットの相互適応の基礎理論構築をはかる研究手法の提案を行い、またその枠組みの中で実施されたラットとロボットによるインタラクション実験について述べた。20世紀前半において動物心理学で起こった革新的進歩は、その後、人間の心理の理解に多大な貢献をもたらした。一見すると動物と人間の知能の間には大きな差異があるが、これは程度の差であり決定的な構造の差ではない。このような視点にたつて考えると、本研究によって得られた知見は、今後、人間とロボットの共生を考えるうえで有用な知識となると期待される。

研 究 業 績

種 類 別	題 名	発 表 ・ 発 行 掲 載 誌 名	発 表 ・ 発 行 年 月	連 名 者 (申 請 者 含 む)
1. 論文 ○	“Experimental Study on Task Teaching to Real Rats through Interaction with a Robotic Rat”	Lecture Notes in Artificial Intelligence 4095, pp. 643-654.	2006 年 10 月	石井裕之, 小倉基範, 栗栖俊二, 甲村篤志, 高西淳夫, 飯田成敏, 木村裕
○	“Development of Robotic Experimental System for Behavior Analysis of Rodents”	Proceedings of the First IEEE / RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics	2006 年 2 月	石井裕之, 小倉基範, 栗栖俊二, 高西淳夫
	“Design and Development of a Legged Rat Robot for Studying Animal-Robot Interaction”	Proceedings of the First IEEE / RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics	2006 年 2 月	Cecilia Laschi, Barbara Mazzolai, Francesco Patane, Virgilio Mattoli, Paolo Dario, 石井裕之, 小倉基範, 栗栖俊二, 甲村篤志, 高西淳夫
○	“Experimental Study on Automatic Learning Speed Acceleration for a Rat using a Robot”	Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics & Automation	2005 年 5 月	石井裕之, 中筋雅樹, 小倉基範, 三輪洋靖, 高西淳夫.
○	“Accelerating Rat's Learning Speed Using a Robot -The robot autonomously shows rats its functions-”	Proceedings of the 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication	2004 年 9 月	石井裕之, 中筋雅樹, 小倉基範, 三輪洋靖, 高西淳夫
○	“Experimental Study on Interaction between a Rat and a Rat-Robot Based on Animal Psychology -Analysis of Basic Factors Necessary for a Symbiosis between the Rat and the Robot-”	Proceedings the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation	2004 年 4 月	石井裕之, 青木智英, 中筋雅樹, 三輪洋靖, 高西淳夫
○	“Interactive Experiments between Creature and Robot as a Basic Research for Coexistence between Human and Robot”	Proceedings of the 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication	2003 年 10 月	石井裕之, 青木智英, 守部研太, 中筋雅樹, 三輪洋靖, 高西淳夫

研 究 業 績

種類別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者 (申請者含む)
2. 講演	“小動物の移動予測にもとづくカメラの追従制御”	日本ロボット学会 第24回学術講演会	2006年9月	石井裕之, 小倉基範, 栗栖俊二, 甲村篤志, 高西淳夫, 飯田成敏, 木村裕
	“ロボットを用いた動物の行動制御に関する研究－全方向移動ロボットを用いたラットの滞在傾向の制御に関する実験－”	日本ロボット学会 第24回学術講演会	2006年9月	石井裕之, 小倉基範, 栗栖俊二, 甲村篤志, 高西淳夫, 木村裕
	“動物心理学的手法を用いたラットと小型移動ロボットのインタラクションに関する研究”	ロボティクスメカ トロニクス講演 会 '06	2006年5月	石井裕之, 小倉基範, 栗栖俊二, 甲村篤志, 高西淳夫
	“ラットの行動計測機能を有する実験フィールドの開発”	日本動物心理学会 第65回大会	2005年10月	石井裕之, 小倉基範, 栗栖俊二, 高西淳夫
	“ラットの行動計測機能を有する実験装置の開発”	日本ロボット学会 第23回学術講演会	2005年9月	石井裕之, 中筋雅樹, 小倉基範, 栗栖俊二, 高西淳夫
	“ロボットとのインタラクションを通じたラットの新たな行動の獲得”	日本動物行動学会 第23回大会	2004年12月	石井裕之, 中筋雅樹, 小倉基範, 高西淳夫
	“ロボットによるラットの学習促進実験”	日本ロボット学会 第22回学術講演会	2004年9月	石井裕之, 中筋雅樹, 小倉基範, 三輪洋靖, 高西淳夫
	“ロボットを用いた動物の学習加速法に関する実験”	日本動物心理学会 第64回大会	2004年8月	石井裕之, 中筋雅樹, 小倉基範, 高西淳夫
	“小動物用迷路型実験装置の開発”	日本動物心理学会 第64回大会	2004年8月	小倉基範, 石井裕之, 中筋雅樹, 高西淳夫
	“ラットとラット形ロボットのインタラクションに関する研究”	第9回ロボティク ス・シンポジア	2004年3月	石井裕之, 守部研太, 中筋雅樹, 小倉基範, 三輪洋靖, 高西淳夫
	“ラットとロボットを用いた長時間相互作用実験”	日本動物心理学会 第63回大会	2003年10月	石井裕之, 守部研太, 中筋雅樹, 高西淳夫
	“ラットとの共生を目指したラット形ロボットと長時間自動実験システムの開発”	日本ロボット学会 第21回学術講演会	2003年9月	石井裕之, 守部研太, 中筋雅樹, 高西淳夫

研 究 業 績

種 類 別	題 名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連 名 者 (申請者含む)
	“ラットとラット形ロボットを用いた生物とロボットの共生に関する長時間実験”	日本ロボット学会 第 21 回学術講演会	2003年9月	石井裕之, 守部研太, 中筋雅樹, 高西淳夫
	“ラットとの共生を目指したラット形ロボットと実験システムの開発”	日本ロボット学会 第 20 回学術講演会	2002 年 10 月	石井裕之, 青木智英, 高村健一郎, 守部研太, 笹川友剛, 宮森章, 高西淳夫
	“ロボットの行動を手がかりに用いたラットの弁別学習”	日本動物心理学会 第 62 回大会	2002 年 8 月	石井裕之, 青木智英, 守部研太, 高西淳夫
4. その他	“RoboDesigner を使用したロボットプログラミング演習およびロボット製作演習”	日本ロボット学会誌, Vol.24, No.1, 2006	2006 年 1 月	石井裕之, 高西淳夫