

PIC マイコンを用いた行動実験制御用入出力装置の開発

古野 公紀⁽¹⁾・横倉 三郎・小原 健一郎・茅野 一穂・小美野 喬

本研究は、行動実験制御システムにおけるPCと外部機器とを仲介するための入出力装置に着目し、その改良および開発について報告した。従来の入出力装置においては、装置の外装における配置スペースと耐久性、および装置とパソコンとの接続におけるインターフェースの2点が問題点として挙げられる。これらの問題点を解決するために、以下の3点において改良を行った；(1) 入出力に関わるリレーおよびPIOユニットを電子制御化し、これらと電源部を1つのボックスに収納した、(2) PCとの接続にUSB2.0 インターフェースを用いた、(3) PCと外部機器との入出力に関してPICマイコンを使用した。これらの改良に伴い、新たな入出力装置においては、(a) 入出力装置の外装における耐久性の向上および省スペース化、(b) 従来の実験システムからの移行における簡易さ、(c) 開発における経費の安さ、(d) 外部機器の制御に対する拡張性の高さ、といった特徴があげられる。したがって、本研究において新たに開発された入出力装置を用いることにより、オペラントが持つ多様な特性を検証するための種々の実験手続きが可能となるであろう。

Key Words : 入出力装置、PICマイコン、USB2.0 インターフェース、行動実験制御システム、オペラント

1. はじめに

今日の心理学実験においては、パーソナルコンピュータ（以下PC）を用いた実験システムの使用が一般的となっている。特に、動物を被験体とする実験室研究において、実験変数（独立変数）の制御や被験体の反応（従属変数）の記録にPCの使用が必要不可欠である。また、PCのみならず様々な電子機器の発展は、従来の実験手続きの精緻化に留まらず、多様な独立変数および従属変数の操作および測定の実現可能性を提示してきた（Allan, 1992; Allan & Zeigler, 1989, Bermejo, Houben, & Zeigler, 1994; Bermejo & Zeigler, 1999; 伊藤・内田・佐伯・北村, 1999; 佐伯・内田・伊藤, 1998）。例えば、ハトを被験体とした実験において、CRT（Cathode-ray tube）モニタを視覚刺激呈示装置とした実験システムは、複雑で多様な視覚刺激を提示可能にした（伊藤他, 1999）。また、タッチスクリーンを操作体として用いた実験システムは、従来の装置による実験においては検出することができなかった、つつき反応の様々な特性について分析することを可能にした（茅野・小原・古野・小美野, 2009; 茅野・古野・小原・小美野, 2007; 小原・古野・茅野・小美野, 2009; 古野・茅野・小原・小美野, 2009; 小美野・茅野, 2001）。このように、PCとその周辺機器により構成される行動実験制御システムは、PCの高性能化や低価格化にも支えられ、急速な発展が遂げられてきた（伊藤他,

1999; 小美野・茅野, 2001）。

その一方で、PCと実験機器とを仲介するためのPCカード型のParallel Input Output Unit（以下PIOユニット）やリレーなどで構成された周辺装置（以下、入出力装置）については、他の実験機器と同様に改良の余地があると考えられる。例えば、従来の入出力装置においてはPCとのインターフェースとしてPCカードが用いられてきたが、近年におけるローコスト化されたPCのインターフェースはUSBインターフェースが主流になっており、PCの機種によりPCカードが使用できない問題が生じてきた。さらに、マイクロコンピュータ（以下マイコン）等の制御用小型ICの発展は、入出力装置のさらなる簡略化に向けて、その可能性を示唆している。したがって、本研究では、このような従来用いられてきた入出力装置における問題点を指摘し、次にそれらの改良点に基づき新たに改良・開発した入出力装置について報告する。

2. 従来の入出力装置

従来の入出力装置を用いた実験システムは、実験制御用のPC、タッチスクリーンおよび給餌装置を装着したオペラント箱により構成されている。入出力装置は、PCカード、PIOユニット、電磁リレー回路、および電源ユニットにより構成されており、PCからの制御信号で実験機器を制御している。従来の入出力装置を用いた実験システムは、基本的に佐伯他（1998）の方法に準拠しており、動物実験における制御システムとして標準的な仕様であるといえよう。

¹ 著者連絡先：〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1 明星大学人文学部 心理学研究室 e-mail:mchdr915@yahoo.co.jp

実験の実施において、従来の実験システムを使用することに、実験制御や反応測定面で深刻な問題は存在しない。しかしながら、入出力装置に関しては更なる改良の余地があると考えられる。第一に、PCとの入出力に関わる複数の周辺装置の一体化についての問題が挙げられる。従来の入出力装置においては、PIOユニット、リレー回路、および電源ユニットがそれぞれ周辺機器として個別に配置されていた。このため、従来の実験システムの配置に際し、これらの周辺機器が実験室内の比較的広いスペースを占めていた。さらに、電磁リレーを配した基板はボックス等に覆われておらずむき出しの状態では設置されていた。このため、外部からの物理的衝撃による故障や、経年変化によるリレー接点の接触不良やチャタリング等のノイズによる電子回路への誤動作につながる効果も発生した。したがって、従来の入出力装置の外装については、装置の配置スペースおよび耐久性といった2つの問題が導出される。

第二に、PCと入出力装置との接続に関する問題点が挙げられる。従来の装置においては、インターフェースとしてPCカード型のPIOユニットを使用している。近年、PCのローコスト化や小型化にともない、PCカードスロットを完備していないPCが多く見られる。特に、携帯性に優れ、高性能でありながら廉価な小型PCにおいては、この傾向が顕著である。その一方で、複数個の実験システムを構築する際に、経済的側面、または省スペース化という側面から、廉価の小型ノートPCが使用可能であるほうが望ましい。したがって、PCと周辺機器とのシステム化においては、さらなる省スペース化が保障されるインターフェースの使用が要請される。

3. 新たな入出力装置の開発

上述の問題点を解消するため、以下の3点について改良を施し、新たな入出力装置を開発した。改良点の第一として、入出力装置の省スペース化に向けた改善が挙げられる。従来の入出力装置を構成していたリレー、PIOユニット、および外部機器の電力を供給する電源ユニットはそれぞれ分離して独立に設置されていた。他方、新たな入出力装置においては、入出力に関わるリレー、リレードライブ回路を電子制御化し、給餌装置に用いる電源部を内蔵して1つのボックス内に収納した。これらの改良により、入出力装置の電気的なノイズの除去や、省スペース化を図ることができた

² PICマイコンのプログラミングには専用の開発ツールが必要であり、これはマイクロチップテクノロジー社のホームページ (www.microchip.co.jp) より無料で入手可能である。また、記述したプログラムをマシン語に変換しPICマイコンに書き込むためにPICライターが必要となる。プログラミングの詳細については、堀 (2003) および高橋 (2005) 等の解説書を参照されたい。

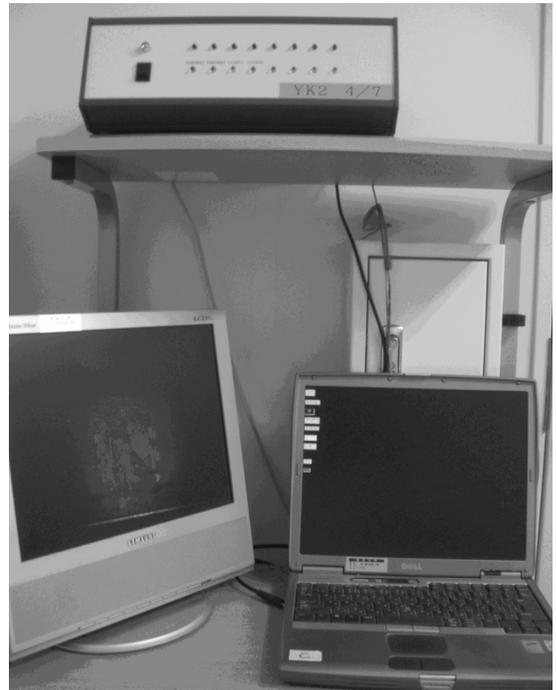


図1. 実験システムの外観

(図1)。

第二に、新たな入出力装置において、PCとの接続にUSB 2.0 インターフェースを使用した。USB インターフェースはほぼ全てのPCに標準装備されており、PCで実験制御を行うためにはUSBを介して行うことが妥当であると考えられている。このため、新たな入出力装置においては、PCとの接続にUSB 2.0 インターフェースを採用した。入出力装置に用いたUSB インターフェースのデータ転送速度は10MB/sで、一般的なオペラント実験で用いられる刺激提示 (出力) や反応の測定 (入力) の実施に支障は無い速度である。

第三に、PCと外部機器との入出力に関して、1つのパッケージ内に、CPU、メモリ、インターフェース、タイマ、クロック発生回路など、マイコン制御を行うために必要な機能の多くが内蔵されている (堀, 2003) ワンチップマイクロコンピュータを用い、PCとのインターフェースや実験機器のドライブなどを行っている。この装置に用いたワンチップマイクロコンピュータは、マイクロチップテクノロジー社製PICマイコン (PIC16F877-20/P) を使用し、PICマイコン内のプログラミング⁽²⁾ は無料で公開されているアセンブラ言語を用いた。これに加えて、PC側のプログラミング言語としてVisual Basic (Microsoft) (以下VBと略す) を併用することにより、VB上でPICマイコンを介し実験機器の制御することが可能である。このために従来の実験システムにおいて用いられてきた実験プログラムは、比較的容易に新たな入出力装置によ

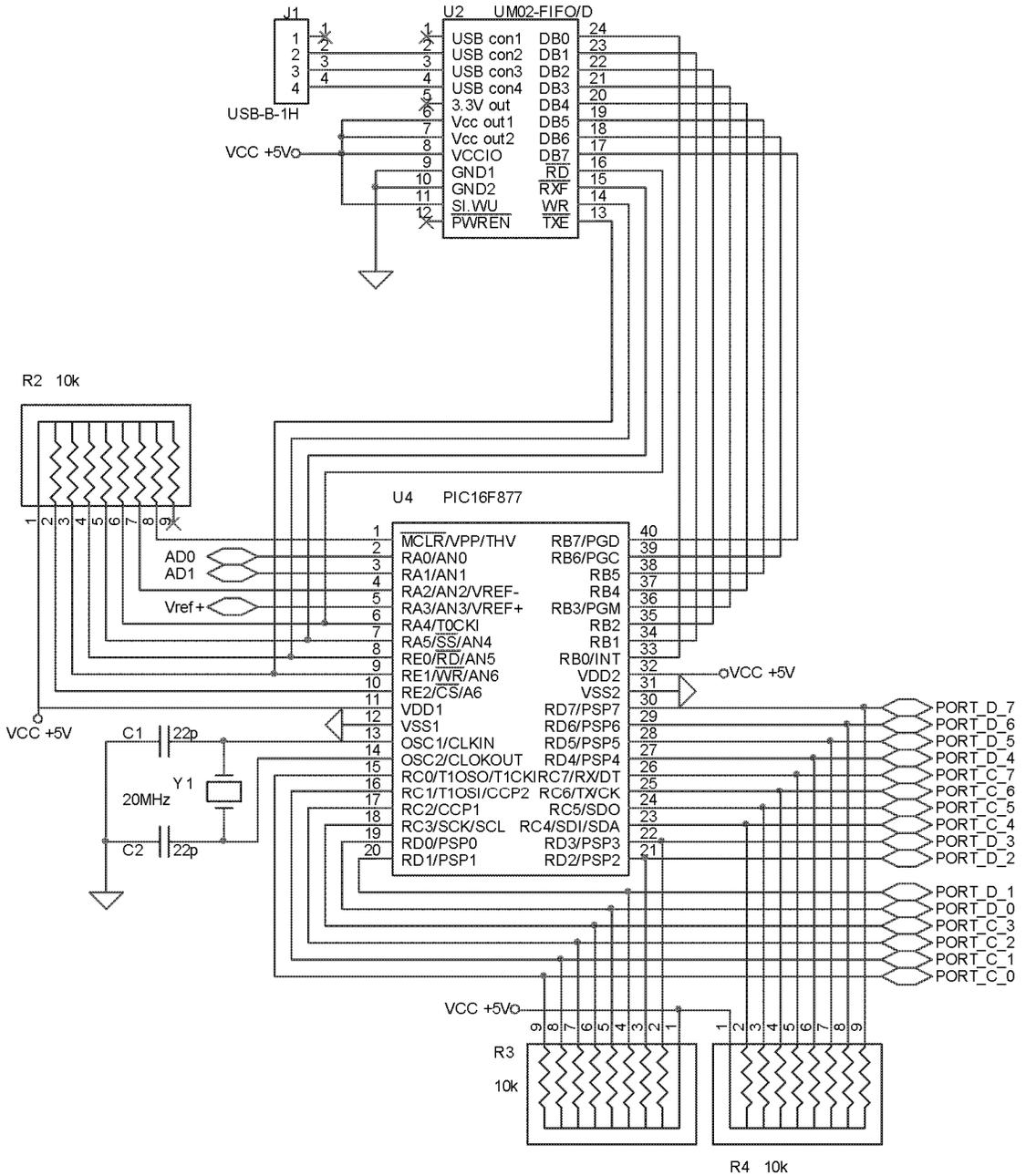


図 2-1. 新たに開発した入出力装置の回路図 1

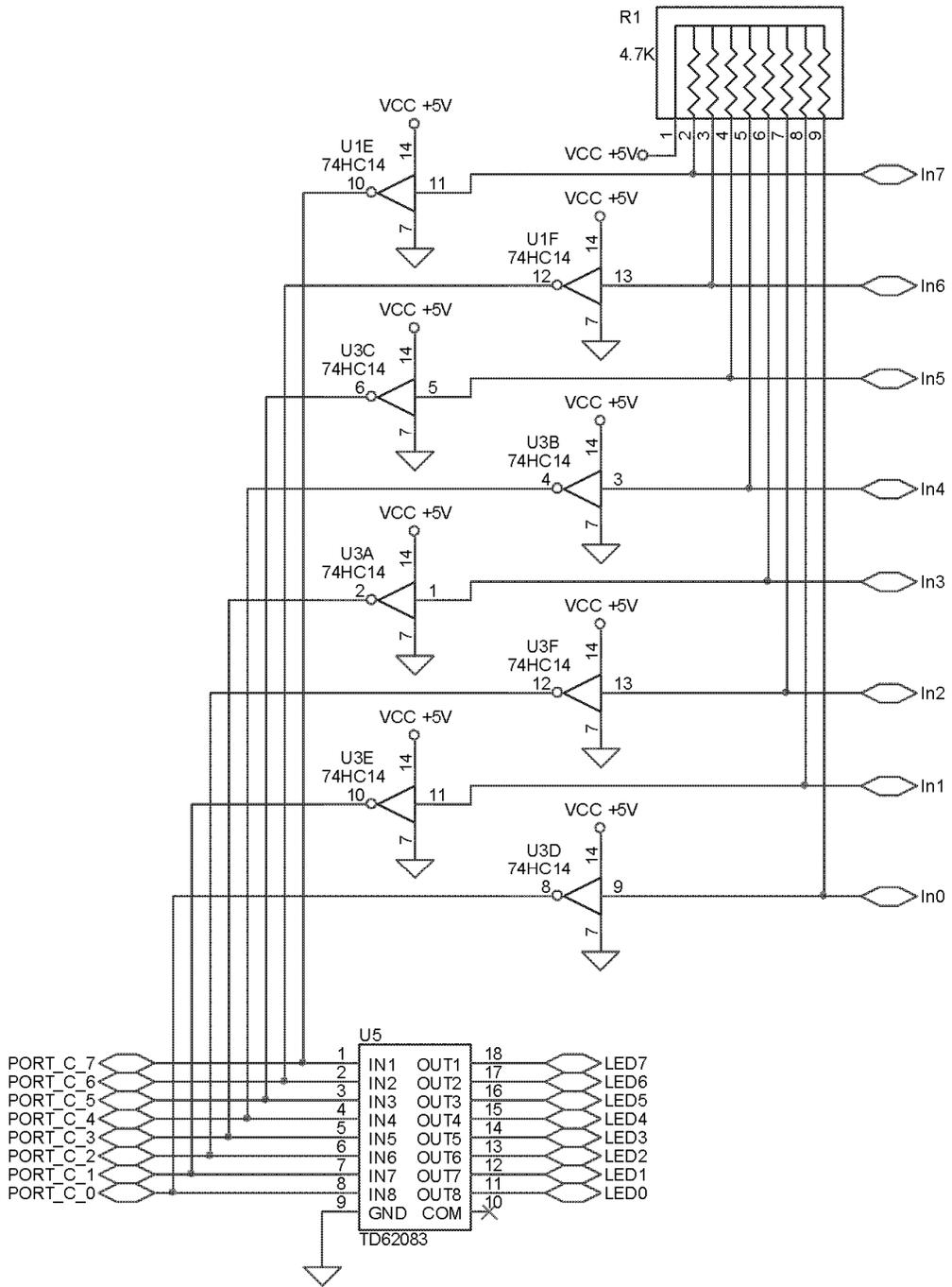


図 2-2. 新たに開発した入出力装置の回路図 2

前面



背面



図3. 入出力装置の外観

る実験システムに移行することが可能である。さらに、PICマイコンは部品サイズが小さく、1個数百円と安価であることから、入出力装置の部品として採用しやすいといった利点も挙げられる(堀, 2003)。したがって、新たな入出力装置にPICマイコンを用いることにより、従来の実験システムへの導入が容易になると考えられる。(堀, 2003)

新たに開発した入出力装置は、図2に示す回路構成である。組立に当たっては、プリント基板の設計、プリント基板への部品取り付けおよび外装ケースの整形等で全ての加工は学内設備により行われた。そのため、装置の開発において要請された経費は材料費のみであり、1台当たりの開発費は約27,000円であった。

入出力装置の前面にフィードバック用のLEDランプ、電源スイッチ、およびパイロットランプを設置した(図3上段)。PCから入出力装置を介した、あるいは外部装置から入出力装置を介したPCへの入力、当該の入出力ポートに対応するLEDランプを点灯させた。後面には、電源コード、USBコネクタ、および8個の出力および8個の入力からなる16個の入出力端

子が設置された(図3下段)。入出力装置を作動させるための電源は実験室内の商用電源コンセントから供給され、さらに入出力装置の出力端子に接続された外部機器を作動させる電源は入出力装置から直接供給される。8つの出力端子のうち2つの出力端子からは25V、残りの出力端子からは5Vの電源電圧を供給することができた。このため、例えば同一実験上で複数の給餌装置を並列的に作動させることが可能であった。また、本装置で使用したPICマイコンは、アナログ-デジタル変換回路が搭載されているため、例えば反応キーをどのくらいの強度で押したか、あるいはそのような強度が時間経過に伴いどのように変化するかといったアナログの電気信号を、デジタルのデータに変換し測定することが可能である(高橋, 2005)。したがって、新たに開発した入出力装置は、入力および出力の双方において多様な情報を比較的容易に処理できる可能性を示唆している。

4. 新たな入出力装置を用いたシステムによる実験例

新たな入出力装置を用いたシステムに移行した後に行われた諸研究を概観し、従来のシステムと同様に実験が遂行可能であるか検討した。

4-1. デンショバトにおける距離に依存する強化スケジュールの効果

茅野(2010)は、連続する2反応により構成される反応間距離(interresponse distance; IRD)を設定値とする強化スケジュールがハトのつきつき反応に及ぼす効果について検討した。茅野(2010)は距離に関する強化スケジュールについて、(1)設定値が一定であり、かつある単一のIRDが設定値以上なら強化子が提示される固定距離スケジュール(単CD)、(2)設定値が変動的であり、かつある単一のIRDが設定値以上なら強化子が提示される変動距離スケジュール(単RD)、(3)設定値が一定であり、かつ複数のIRDの累積が設定値以上なら強化子が提示される固定距離スケジュール(累CD)、および(4)設定値が変動的であり、かつ複数のIRDの累積が設定値以上なら強化子が提示される固定距離スケジュール(累RD)の4種類の距離スケジュールを設定した。その結果、設定値の長化に伴い、単CD、単RD、累CDにおいてはIRDが増加する傾向を示し、累RDにおいてはIRDほぼ一定となる傾向を示した。

4-2. デンショバトのキーつきオペラントを構成する反応次元の合成

小原・古野・茅野・小美野(2009)は、デンショバトのキーつきオペラントを構成するある反応次元に対する強化が、別の反応次元に対して与える影響について検証した。小原他(2009)は、距離および時

間を設定値とする強化スケジュールを用いて、距離弁別訓練および時間弁別訓練をおこなった。距離弁別および時間弁別が成立した後、各弁別訓練で用いて刺激を合成した刺激を用いてテストをおこなった。その結果、距離次元および時間次元に対する強化効果が、これらの次元の合成により規定される反応の速さ次元に派生することが示唆された。

4-3. デンショバトにおけるエネルギー量を設定値とした強化スケジュールの検討

Charnov (1976) を初めとする多くの採餌理論は、採餌行動におけるエネルギー量を評価関数としている。このような採餌理論に関する実験室シミュレーション研究では、エネルギー量を反応数や反応従事時間に置換してシミュレーションを行っている。そこで古野 (2010) は、反応間の距離および時間により、反応のエネルギー量を定義し、エネルギー量を設定値とする強化スケジュール (adjusting energy; AE) を考案し、定比率スケジュール (fixed-ratio; FR) との等価点について検討した。その結果、反応数とエネルギー量との間に系統的な等価関係が見られ、エネルギー量を設定値とした強化スケジュールの適用可能性が示唆された。

4-4. まとめ

新たな入出力装置を用いたシステムにおいて行われた上述の実験は、いずれにおいても系統的な結果を示した。また、これらの実験の実施において、新たに開発した入出力装置への移行に伴う外部機器の動作に関する問題は生じなかった。したがって、新たな入出力装置の使用により、支障なく実験遂行が可能であることが示唆された。

5. おわりに

本研究では、PICマイコンを用いた行動実験制御用入出力装置の開発について報告した。本装置の特徴として、(1) 旧装置で見られた物理的・電気的な制御およびPCと周辺機器との接続における問題点を改良、(2) 従来の実験システムからの移行における簡易さ、(3) 開発にかかる経費の安さ、および(4) 外部機器の制御に対する拡張性の高さといった点があげられる。これらのことから、本装置により、オペラントが持つ様々な特性を実験的に検証することも可能となる。例えば、佐藤 (2002) は、行動の単位としてのオペラントを、強化子と弁別刺激と反応トポグラフィにより定義されたオペラント (レベル1)、強化子により定義されたオペラント (レベル2)、および高次

オペラント (レベル3) というように、階層的に定義する必要性を主張した。この点について、理論的分析 (Catania, 1995; 1998) および実験的分析 (小原他, 2009; 古野他, 2009) がなされているが、関連研究の数は少ない。これは、従来の入出力装置による実験システムの制約に起因して、同時に複数のオペラントを操作あるいは測定することが不可能であったためと考えられる。他方、本入出力装置は、複数の操作体や給餌装置を同一実験場面上に設定できるため、弁別刺激、反応トポグラフィ、および強化子を複数操作することが可能である。したがって、新たに開発した入出力装置による実験システムを用いることにより、複雑で高次のオペラント行動を分析することも可能となるであろう⁽³⁾。

引用文献

- Allan, R. W. (1992). Technologies to reliably transducer the topographical details of pigeon's pecks. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, **34**, 150-156.
- Allan, R. W., & Zeigler, H. P. (1989). Measurement and control of pecking response location in the pigeon. *Physiology & Behavior*, **45**, 1215-1221.
- Bermejo, R., & Zeigler, H. P. (1999). Trigeminal deafferentation and conditioned pecking in pigeons. *Behavioural Brain Research*, **99**, 181-189.
- Bermejo, R., Houben, D., & Zeigler, H. P. (1994). Dissecting the conditioned pecking response: An integrated system for the analysis of pecking response parameter. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **61**, 517-527.
- Catania, A. C. (1995). Higher-order Behavior classes: Contingencies, belief, and verbal behavior. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, **26**, 191-200.
- Catania, A. C. (1998). *Learning 4th ed.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Charnov, E. L. (1976). Optimal foraging: the marginal value theorem. *Theoretical population biology*, **9**, 129-136.
- 茅野一穂 (2010). デンショバトにおける距離に依存する強化スケジュールの効果 (5). 日本動物心理学会第70回大会発表要旨, 73.
- 茅野一穂・小原健一郎・古野紀・小美野喬 (2009). 連続強化スケジュール、間欠強化スケジュール、消去がハトのキーつき反応の位置次元および距離次元における行動変動性に及ぼす効果. 行動分析学研究, **23**, 159-172.
- 茅野一穂・古野紀・小原健一郎・小美野喬 (2007). デンショバトにおける移動行動の分析: 距離を制御変数とする強化スケジュールの検討, 明星大学心理学年報, **25**, 19-32.
- 堀圭太郎 (2003). 図解PICマイコン実習: ゼロから分か

³ 本研究で紹介した入出力装置の回路図、PICマイコンのプログラム、およびVB関数の詳細を掲載したPDFファイルは提供可能であるので、必要な方は著者まで連絡されたい。

- る電子制御 森出版
- 伊藤正人・内田喜久・佐伯大輔・北村慶司（1999）. ハトを用いた行動実験のための新しい視覚刺激呈示システム. 動物心理学研究, **49**, 181-187.
- 小原健一郎・茅野一穂・古野公紀・小美野喬（2009）. デンショバトにおける移動行動の分析：距離スケジュールを用いた反応の速さ次元による「オペラント単位－反応次元階層仮説」の検証. 心理学年報, **27**, 1-13.
- 小原健一郎・古野公紀・茅野一穂・小美野喬（2009）. デンショバトのキーつつきオペラントにおける距離次元と時間次元の弁別が速さ次元に及ぼす効果. 日本基礎心理学会 第 28 回大会大会発表論文集, 42.
- 古野公紀（2010）. デンショバトにおけるFRスケジュールとエネルギー量を設定値とした強化スケジュールとの等価点. 日本動物心理学会第 70 回大会発表要旨, 74.
- 古野公紀・茅野一穂・小原健一郎・小美野喬（2009）. デンショバトにおける移動行動の分析：DRLスケジュールを用いた速さ次元の「オペラント単位－反応次元階層仮説」による行動分析. 明星大学研究紀要－人文学部－, **45**, 79-94.
- 小美野喬・茅野一穂（2001）. 抵抗膜方式タッチスクリーンによるハトのつつき反応検出システムの実験的行動分析への適用. 明星大学心理学年報, **19**, 113-120.
- 佐伯大輔・内田喜久・伊藤正人（1998）. Visual BasicとPCカードを用いた行動実験制御システム. 行動分析学研究, **13**, 66-72.
- 佐藤方哉（2002）. 日本行動分析学会第 20 回年次大会を迎え想うこと. 行動分析学研究, **17**, 90-98.
- 高橋隆雄（2005）. やさしいPICマイコン；プログラミング&電子工作 秀和システム要約