

# 熟練者の操作特性の同定に基づく制御装置の自動生成に関する研究

川副嘉彦

## 1. 研究の背景と研究目的

調和のとれた人間-機械系あるいは人間と機械のインターフェイスを論じるには、機械に組み合わせる人間の特性を工学的に対応できるような形で明らかにする必要がある。従来の研究では、熟練後の人間の特性や人間の制御動作のうち線形応答については多くの研究成果が得られ、各種の伝達関数モデルが提案されてきた。しかし、難しい制御対象や学習が進行していく過程での人間の非線形・非定常な特性については不明な点が多い。

倒立振子のように不安定な非線形系を人間が制御して安定化させるためには、人間には過酷な状況判断が要求され、人間は時と場合により複雑な行動を行うことが予想される。このような閉ループ制御系において人間が一つの要素として介在することにより、システム全体として複雑系（要素の変更により新しい性質や能力を生むシステムのことを指す）が形成される可能性が十分考えられる。

本研究では、人間の手による倒立振子の安定化制御実験における習熟過程や個人差に注目してデータベースを作成し、非線形挙動を考察する。特に、複雑系成立の可能性を探るためのカオス診断、エントロピー診断を試みる。

さらに本研究では、人間の巧みな制御挙動を教師データとして観測し、コンピュータに学習させることにより、ニューロやファジィなどの「あいまい性」を含む方法を用いて人間の制御特性に似た制御装置を自動的に設計することを試みる。

台車上の倒立振子の手動による安定化制御における時系列解析に加えて、さらに肩、肘、手首関節の運動解析、脳波・心電・筋電データの時系列解析を行うことにより、熟練者と未熟練者、あるいは年齢や体と心の状態（たとえば運動後、計算に集中した後、あるいはくつろいだ後等）と制御挙動の関係を調べる。

一方、「技量」の力学的理解、すなわち「技量」の理論的解明が今後ロボティクスが一つの学問分野として成立していくか、それとも垂流の機械工学、電気工学、情報工学で終わるのかの重要なキーワードだと言われている。「技量」を機械に発現させるには、原理はわからなくてもニューロやファジィなどのように「あいまい性」を含む方法が従来用いられてきたが、ロボティクスを学問として成立させるためにはロボティクス独自の理論的枠組みを考えるべきことが指摘されている<sup>(16)-(18)</sup>。

ほとんどの身体運動がロボティクスのには未解決問題として残されているが、最近「技量」の力学的理解へのアプローチが試みられている。たとえば、ゴルフプレーにおいてその場の状況によって何番のアイアンで打つべきか？という知識として言語で記述できる技量（従来のAI的アプローチ）だけではなくて、バンカーショットのスイングパターンのように脳からの運動指令パターンなどの要因により生み出される腕、脚、指などの高速・高精度な運動に関する技量、すなわち非言語記述的技量についての研究の重要性が指摘されている<sup>(16)</sup>。

「人間の技量」に関する詳細な研究が必要であり、人間の技量発現については身体運動に関する技量から始めるべきと指摘されている。人間の場合は、言語で記述できる（従来のAI的アプローチのできる）技量と脳からの運動指令パターンなどの要因により生み出される非言語記述的な技量が混在した形で現れるので解析が困難であるが、自分の身体の特徴に関する技量と環境（道具など）に関する技量とに分けて考えることができる<sup>(16)</sup>。

さらに、第17回日本ロボット学会学術講演会<sup>(9)(10)(20)</sup>では「スポーツとロボティクス」というセッションがはじめて設けられ、人間を科学することがロボット研究の重要な一分野として位置づけられた。

## 2. 研究現況

これまでに発表した研究成果を文献に示す。倒立振り子・台車系の安定化制御における人間の非線形制御特性に関連する研究が文献(1)～(4)であり, 文献(5)～(15)はスポーツにおける人間の技術的条件・身体的条件を考慮した用具の性能予測に関する研究である。文献(19)は, テニスにおける巧みさの科学的解明に関する共同研究者の学位論文であり, 第3章では, 人間系と用具系とが複雑に絡む現象を解明し, 巧みさをめざすプレーヤーに対して用具の選択および設計の指針を呈示しており, 動作の巧みさの定量的な解明につながる可能性を示している。

## 文 献

### (研究発表)

- (1) KAWAZOE, Y., Nonlinear Characteristics of a Human Operator during Stabilizing Control of an Inverted Pendulum on a Cart: Fuzzy Identification from Experimental Time Series Data and Fuzzy Control Simulation, Proceeding of Pioneering International Symposium on Motion and Vibration Control in Mechatronics. (1999, Tokyo), pp.133-138.
- (2) 川副嘉彦, 手動による倒立振り子・台車系の安定化制御における人間の非線形制御特性(時系列実測データからの個人差と習熟過程のファジィ同定とファジィ制御シミュレーション), 日本機械学会・機械力学・計測制御講演論文集(Vol.A), No.99-7(I), (1999.3), PP.251-254.
- (3) 川副嘉彦・太田智洋・榎本弘一, 手動による倒立振り子・台車系の安定化制御における人間の非線形制御特性(時系列実測データからの個人差と習熟過程のニューロ同定とニューロ制御シミュレーション), 日本機械学会・機械力学・計測制御講演論文集(Vol.A), No.99-7(I), (1999.3), PP.254-258.
- (4) 川副嘉彦, 瞬間的リアプノフ指数とそのカオスのダイナミカルシステムへの応用, 日本機械学会第10回振動基礎研究会(東京)抄録集(1999.5), pp.6・1-6・4
- (5) 川副嘉彦, スポーツを支える計測・情報システム: テニスにおける衝突現象の解析とラケットの性能予測・評価, 計測と制御, 第38巻第4号, (1999年4月)
- (6) 川副嘉彦, スポーツ用具開発は競技規則と如何に調和すべきか: テニス・ラケットとボールの反発特性, 日本機械学会年次大会講演論文集Ⅱ, No.99-1, ワークショップ((1999.7), pp.456-457.
- (7) KAWAZOE, Y., Performance Prediction of Tennis Rackets with Different Materials of the Wood and the Super-light/ High-Rigidity Composite: Mechanism of the Difference in Terms of the Shock Vibrations of a Racket Grip and a Player's Wrist Joint at Impact, Proceedings of the 6th Japan International SAMPE Symposium, (Tokyo, Japan), October, 1999, pp.787-790.
- (8) 川副嘉彦, スポーツ用具の衝撃緩和のメカニズムとダンピングの役割(テニスのインパクトにおけるラケットと手首関節の衝撃振動)[基調講演], 制振工学研究会総会資料(1999.8)
- (9) 川副嘉彦・桜井匠, テニスのインパクトにおける腕系の役割とモデリング(ラケットの反発性とボールの飛びに関する性能), 第17回日本ロボット学会 学術講演会予稿集 Vol.1(1999年9月), pp.3-4.
- (10) 川副嘉彦・桜井匠・友末亮三, テニスのインパクトにおける腕系の役割とモデリング(ラケット・ハンドルと手首関節の衝撃振動), 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集 Vol.1(1999年9月), pp.5-6.
- (11) 川副嘉彦, 理想のテニスラケットとは, (話題提供) 日本スポーツ産業学会スポーツ工学専門分科会主催, 第25回スポーツ工学研究会, (1998.9)
- (12) 川副嘉彦・桜井匠, テニスラケットの反発性とボールの飛びにおよぼす腕系の影響, 日本機械学会機械力学・計測制御部門主催ジョイント・シンポジウム1999(スポーツ工学, ヒューマン・ダイナミクス)講演論文集, No.99-41, pp.207-211(1999.10).
- (13) 川副嘉彦・桜井匠・一木公央, テニスラケットのフレーム振動におよぼすストリングスの張り方・張力分布の影響(1本張りとは2本張りの張力分布の違いの影響), 日本機械学会機械力学・計測制御部門主催ジョイント・シンポジウム1999(スポーツ工学, ヒューマン・ダイナミクス)講演論文集, No.99-41, pp.212-216(1999.10).
- (14) 川副嘉彦・桜井匠・神田芳文, テニスラケットの長ラケ化による反発特性およびボールの飛びの変化(簡略有限要素法モデルによる市販ラケットの長ラケ化についての考察), 日本機械学会 機械力学・計測制御部門主催ジョイント・シン

ポジウム 1999 (スポーツ工学, ヒューマン・ダイナミクス) 講演論文集, No.99-41, pp.217-221 (1999.10).

(15) 川副嘉彦, テニスラケットの打球感に関する性能予測とメカニズム, 第 49 回理論応用力学講演会講演論文集 (NCTAM 2000), pp.125-126.

**(参考文献)**

(16) 川村貞夫, 人間の技量と機械の技量: ロボットにいかにより技量を発現させるか, 日本ロボット学会誌, 16-5, (1998), pp.586-590.

(17) 有本卓, 技量の力学的理解, 計測と制御, 35-4, (1996), pp.249-255.

(18) 井上博充, 重点領域研究「知能ロボット」, 日本ロボット学会誌, 16-5, (1998), pp.578-585.

(19) 友末亮三, テニスにおける巧みさの獲得と指導に関する研究, 東京工業大学博士論文(2000.3).

(20) 明愛国・梶谷誠, ゴルフスイングロボットに関する研究 (最適軌道生成に関する基本検討), 第 17 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 Vol.1 (1999年9月), pp.1-2.