競泳動作の最適化を可能とする水中身体モデル

中 島 求^{1†}

¹ 東京工業大学大学院情報理工学研究科

要旨：水泳は一般に広く知られた人気のあるスポーツであるが、力学的な観点から眺めると、独特の身体動作により人体が水中を推進する、極めて特異で複雑な事象である。このような事象に対し、筆者らの研究グループは、独自の水中身体モデルを開発し、水泳における様々な問題について取り組んできた。本稿ではまず筆者らの研究グループの水中身体モデルについて紹介する。次に競泳における泳動作の最適化に関連する取り組みとして、水中ドルフィンキックにおける体幹動作の最適化、およびクロールにおける水中での腕のかき動作の最適化の試みについて紹介する。最後に、競泳における泳動作の最適化以外での本モデルの活用事例についても紹介する。

キーワード：水泳, 泳動作, 最適化, モデリング, シミュレーション

1. はじめに

水泳は一般に広く知られた人気のあるスポーツであるが、力学的な観点から眺めると、独特の身体動作により人体が水中を推進する、極めて特異で複雑な事象である。このような事象に対し、筆者らの研究グループは、独自の水中身体モデルを開発し、水泳における様々な問題について取り組んできた。本稿ではまず筆者らの研究グループの水中身体モデルについて紹介したのち、特に競泳における泳動作の最適化に関連する取り組みについて重点的に紹介したい。

2. 水中身体モデル

2. 1 モデル開発までの経緯

筆者が水泳の研究のための水中身体モデルを着想したのは2002年ごろのことである。上述したような力学的な興味などから人間の水泳を研究したいと思ったのであるが、一番の問題は、水中でスイマーに作用する流体力をどのように取り扱うかであった。研究手法として、諸問題を解決していくためには実験だけでは不自由であり、やはりモデル化、そしてモデルを用いたシミュレーション解析が必要だと考えた。流体のシミュレーションとしてはCFD (Computational Fluid Dynamics, 数値流体力学) が一般的である。当時すでにCFDは各種の実験的な問題に適用されており、水泳においても手部や前腕部までの身体一部について一様流まわりの流れが解かれていたが、基本的に解析領域(流体が占める空間)を微細にメッシュ分割しメッシュ上の各点の物理量を計算する方法であるCFDは、多大な計算量を必要とする。今後、スイマーの全身のCFD解析もな

されるであろうが(実際、数年後には現れ出した)、CFDでは流れを解くことだけで終わってしまい、さらに大規模なパラメータスタディを行ったり、最適化計算を組み合わせたりすることは難しいと考えた。それならば、流体力をより簡便に求められる、計算効率の良いモデルを開発すれば、そのモデルを用いて様々な問題解決ができるのではと考えた。また、ちょうどそのころ筆者は、イルカ型の推進機構やロボットの研究をしており、流体力学的知見に基づき、イルカ型推進機構に作用する流体力の簡易な計算方法を開発していた。そこで、イルカの解析に用いているこの計算方法を人間に応用すればよいのではないかと考えた。そのような経緯で開発したのが以下に述べる水泳人体シミュレーションモデルSWUM(スワム)¹⁻³⁾である。

2. 2 水泳人体シミュレーションモデルSWUM概要

SWUMにおいては、スイマーはあくまで一つの剛体として考える。すなわち、スイマーの身体の相対運動が関節角として与えられ、一つの剛体としての全身の6自由度(並進3自由度、回転3自由度)の絶対運動が、身体についての剛体の運動方程式により求められる。よって、泳速度、身体の浮き具合、さらには身体全体のロール・ピッチ・ヨーの回転運動などが計算結果として求まる。このようなモデル化は、完全に運動を与えて結果としての力を求める逆動力学解析や、力(人体の関節トルク)を与えて結果としての運動を求める順動力学解析とも異なっている。このような仕様にした理由は、関節運動は入力として与え、泳速度などは結果として求まるようにすることにより、関節運動をふったパラメータスタディや最適化計算を行いやすくするためである。また、完全な順動力学の場合では、人体の体節(body segment)それぞれが剛体となり、いわゆるマルチボディダイナミクスの問題となって定式化や数値計算手法が複雑になるが、人体を単一の剛体とみなせばその問題が回避できるという利点もある。

スイマー身体に働く外力としては、浮力を含む非定常流

2014年9月4日受付

[†] 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学大学院情報理工学研究科

中島 求

Tel: 03-5734-2586 Fax: 03-5734-2586

E-mail: motomu@mei.titech.ac.jp

体力および重力が考慮される。スイマーの身体は 21 個の体節に分割される。さらに各体節は楕円錐台（長手軸方向に沿って径が一次的に変化する楕円柱）として表現される。スイマーの身体各部に働く非定常流体力は、身体各部位の局所運動状態（位置、速度、加速度、向き、角速度、角加速度）から求められると仮定されている。より具体的には、各セグメントの楕円錐台長手軸を離散分割し、長手軸上の各分割点での局所運動状態から、各分割点での流体力を算出する。具体的には浮力以外の流体力は、法線方向抵抗力、接線方向抵抗力、流体の付加質量による慣性力、の三つの成分の和として表現されている。法線・接線方向抵抗力は、速度の 2 乗に比例して発生する抵抗力であり、圧力抵抗や造波抵抗、さらには表面摩擦抵抗などのもろもろの速度の 2 乗に比例する成分を、楕円錐台長手軸に対しての法線方向と接線方向に分解して表現している。さらに、加速度に依存する成分として、流体の付加質量の慣性力も考慮されている。これらの流体力の具体的な計算式は紙面の都合上割愛するので、詳細は文献 1) を参照されたい。図 1 に SWUM による解析例（クロールの解析結果のアニメーション画像）を示す。スイマーの身体から出ている線は、身体の当該箇所に作用する局所的な流体力の向きと大きさを表している。

3. 競泳における泳動作の最適化

3. 1 最適化計算の利用

上で述べたように、SWUM では身体形状や関節運動を入力として与え、シミュレーションの結果として、泳速度などの絶対運動や推進効率などを得ることができる。言い換えれば、関節運動、すなわち泳動作を、さまざまに変化させ、それぞれの場合における泳速度を求めて比較し、より良い泳動作を見つけていくことが可能である。その際に、モデルに基づくシミュレーションではわずかな動作の違いによる影響も数値として明確に現れる。被験者実験の場合、わずかな違いが果たして有意なのかどうかは統計学的処理を用いて判断するしかないが、シミュレーションの場合、その必要はない。これがシミュレーションを用いる大きなメリットである。また、どのように泳動作を変更させていけ

ばよいかについても、人間が判断するのではなく、自動的により良いものを探索してくれる最適化計算という工学的手法がある。筆者らの研究グループでは、最適化計算を競泳における泳動作の最適化のために利用し、これまで以下のように、水中ドルフィンキックの最適体幹動作の研究⁴⁾と、クロールにおける最適ストロークの研究^{5,6)}を行ってきた。

3. 2 水中ドルフィンキックにおける体幹運動の最適化⁴⁾

まず手始めに対象としたのは、水中ドルフィンキックにおける体幹の動作である。水中ドルフィンキックは、クロール、背泳ぎ、バタフライのレースに共通する競泳の重要技術である。ここで、水中ドルフィンキックは下肢の関節（股関節、膝関節、および足関節）だけでなく、体幹も用いて行われている。しかし下肢の関節トルク⁷⁾や関節角度⁸⁾を論じた研究はあるが、体幹がどのようにうねるべきかを詳細に論じた研究はほとんどない。よって、水中ドルフィンキックにおける体幹のうねりがパフォーマンスに及ぼす影響を研究するとともに、理想的な体幹のうねり形状を明らかにすることを本シミュレーションでの目的とした。

まず基準の動作のために、1 名の被験者の泳者による実際の遊泳データを定量化しシミュレーションモデルに入力した。被験者は世界クラスの一流競泳男性選手である。基準動作のシミュレーション結果を図 2 に示す。次に体幹の関節運動について 2 個の関数（最適化においては目的関数と呼ばれる）を最大化するように、シミュレーションにより最適化を行った。2 個の目的関数は、泳速度最大および推進効率最大とした。体幹動作を変化させるための最適化の変数（最適化においては設計変数と呼ばれる）は、上述の体幹の 5 個の関節についての 5 個の振幅および位相（よって合計で 10 個となる）とした。設計変数の初期値は基準泳の振幅と位相とした。最適化のアルゴリズムとしては、反復的な非線形最適化手法としては最も一般的なものの一つである、滑降シンプレックス法を用いた。

最適化結果のうち、推進効率最大の最適化結果を図 3 に示す。この場合、体幹上部（胸部）の振幅が基準泳の 2 倍以上になったものの、基準泳からの位相の変化は小さかった。このことは、被験者の元々の動作と、推進効率を最大化する動作が近いことを意味する。すなわち、世界クラスの一流選手の遊泳運動と、コンピュータシミュレーションから導出された「最も効率の良い」運動とが非常に近いことを示しており、興味深い。また、本解析結果より、水中ドルフィンキックにおいては、体幹上部（胸部）での屈曲、すなわち「胸から体をくねらせること」が重要であることが示唆された。

3. 3 クロールにおける水中ストロークの最適化^{5,6)}

前節における、水中ドルフィンキックの体幹動作の最適化の次に筆者らが取り組んだのは、クロールにおける水中ストローク（腕のかき）の最適化である。クロールは人間のすべての泳法の中で最速である。クロールにおける推力

図 1 SWUM による解析例（クロールの解析結果）。

図2 水中ドルフィンキックの基準動作の解析結果⁴⁾.

図3 水中ドルフィンキックの推進効率最大の最適化結果⁴⁾.

の主要成分は、上肢、特に手部と前腕によって生成されていると考えられる。それゆえ、クロールにおいて腕のストローク（かき方）は極めて重要である。このため、これまで腕のストロークに関する非常に多くの研究がなされている。しかし「最適な」ストロークを計算により求めた研究はほとんど存在しない。また、スイマーの動作は骨格筋の収縮によって実現されており、実際のスイマーの筋力で実現不可能な最適運動を求めても意味がない。よって、筋力特性が最適化の拘束条件として考慮に入れられなければならない。そこで本シミュレーションでは、クロールにおける最適な腕のストロークを求める最適化手法を構築し、スイマーの筋力特性を実験的に測定し、その特性を最適化計算に拘束条件として組み入れ、最適な腕のストロークを計算により求めることを目的とした。

最適化手法については、本研究ではランダム探索と PSO (Particle Swarm Optimization) という最適化アルゴリズムが組み合わせて用いられた。設計変数については、SWUM においては、1 ストローク周期における泳動作は関節角の時刻歴として表される。本研究では 1 ストロークは、上肢については 6 個の時間フレームに分割され、下肢については 18 個に分割された。上肢の動作は 5 自由度として表現された。すなわち、肩の 3 自由度および肘の 2 自由度（屈曲／伸展および回内／回外）である。腕が水中にある 3 フレームの 5

個の関節角が設計変数として選択された。よって、設計変数の総数は 15 となった（5 自由度×3 フレーム）。

目的関数については、本研究では 2 種類の目的関数が用いられた。一つは泳速度最大化であり、これは比較的短距離での最速ストロークを得ることを目的としている。もう一つは推進効率最大化であり、これは比較的長距離での最も効率の良いストロークを得ることを目的としている。

拘束条件としては、本研究では、最適化計算に三つの拘束条件を課した。一番目は肩の内転角に関するものであり、あまりに非現実的なストロークを排除するため、内転角が単調に増加するようにした。二番目の拘束は、スイマーの体幹への手の貫入を防ぐことであり、貫入を判定するデータベースを作成して貫入を防止した。三番目の拘束はスイマーの筋力特性に関するものである。本研究では、筋力特性は以下のように最適化計算に組み入れられた。始めに、様々な関節角および角速度についての最大関節トルクを実験的に取得するため、図 4 に示すような被験者を用いた測定実験が行われた。しかし取得された実験的特性は、データが限定された実験条件においてのみ得られているため、最適化には十分ではない。泳ぎのストロークにおいては、肩および肘関節の角度および角速度の組み合わせは実際には無数に存在する。この問題を解決するため、関節角、角速度およびトルクの多くの組み合わせについての筋活動が

図4 最大関節トルク測定実験の様子⁵⁾.

図5 上肢の筋骨格モデル⁵⁾.

得られる筋骨格シミュレーションが行われた。筋骨格シミュレーションには、市販ソフトの AnyBody Modeling System (AnyBody Technology) を用いた。図5に示すような上肢の筋骨格モデルを用いて、肩および肘関節の角度および角速度の様々な組み合わせについての最大関節トルクがシミュレーションによって算出され、算出結果より最適化計算の際に参照されるデータベースを構築した。最適化計算においては、SWUMにより算出された水泳中の関節トルクが最大関節トルクを超えた場合には、目的関数の値を低くするよう、目的関数にペナルティ項が加えられた。

最適化結果として、まず泳速度最大化については、ストローク周期が0.9[s]のときに最大(1.99[m/s])となることがわかった。このときの水中ストロークを図6に示す。得られたストロークは奇異なものではなく、比較的普通でいわゆる「I字」や「ストレートプル」と呼ばれるストロークであることがわかる。次に推進効率最大化については、ストローク周期が1.3[s]のときに最大値となることがわかった。このときの水中ストロークを図7に示す。得られたストロークは比較的S字状で、キャッチ局面(無次元時間 $t^*=4.20$)においてハイエルボー(肘を高く保つこと)であることがわかる。

さらに最近筆者らは、泳速度最大のストロークの筋力発揮特性への依存性、すなわち最大関節トルク特性への依存性を検討している⁶⁾。これは、実際の中長距離レースにおい

図6 泳速度を最大化する水中ストローク⁵⁾.

図7 推進効率を最大化する水中ストローク⁵⁾.

ては、スイマーは推進効率最大よりもむしろ筋力の最大値を抑えて、すなわち力をリザーブした上で、泳速度を最大化しているのではという仮説に基づくものである。図8に、最適化により算出された各ストロークについて、横軸を条

図8 最適ストロークの泳速度の最大関節トルク依存性。

件として変化させたストローク周期，縦軸を泳速度でプロットした結果を示す．4種類の最大関節トルクの場合がプロットされており，実験に基づくスイマーの基準のトルクを1.0倍として，0.9，0.8，0.6倍と，最大関節トルクの制限値を厳しくしていった．グラフより，最大関節トルクが低くなると，泳速度も遅くなり，また最大の泳速度を与えるストローク周期も長くなることがわかる．これより，筋力に合わせた適切なストローク周期を選択することの重要性が示唆される．

4. 競泳における最適化以外でのモデルの活用

筆者らの研究グループは，競泳における最適化以外でも，本水中身体モデルを用いてこれまでにさまざまな研究を行っている．ここでは紙面の都合上，文献のみを示してごく簡単に紹介する．もし興味を惹くトピックがあれば，各々の文献を参照していただければ幸いである．

クロール以外の平泳ぎ，背泳ぎ，バタフライのシミュレーション解析およびクロールも含めた4泳法の比較が行われている⁹⁾．腰部や全身についての水泳時の筋骨格モデルが開発され，腰椎負荷の解析¹⁰⁾，けのび時や遊泳時の筋活動の解析¹¹⁻¹³⁾が行われている．モデルに歩行動作および床反力を入力することにより，リハビリテーションを目的とした水中ウォーキングの解析が行われている¹⁴⁻¹⁹⁾．上肢や下肢の切断障害を負ったスイマーのための補助具²⁰⁾や義肢²¹⁾の提案および開発が行われている．また，モデルの拡張として，水面にスイマーが突入する際の流体力をモデル化し，飛び込みスタートの解析が行われている²²⁾．また，複数スイマーの同時解析や用具を装着したスイマーの解析などが可能になる拡張がなされている²³⁾．本拡張を利用し，モノフィンスイミングの解析²⁴⁾，シンクロナイズドスイミングにおける複数人演技の解析²⁵⁾，水球の投球動作の解析²⁶⁾，カヤックのパドルング動作²⁷⁾の解析が行われている．また，モデルの高精度化のためには，水泳に近い状態で身体に作用する流体力を測定することが必要である．そのため，独自に開発した水中ロボットアームを用いた四肢に作用する流体力の測定²⁸⁾やモデル化²⁹⁾，さらには流れの可視化³⁰⁾が行われている．また体幹に作用する流体力測定のためのスイマー

マネキンロボットの開発³¹⁾や，全身が可動する水泳ヒューマノイドロボットの開発^{32,33)}も行われている．

5. おわりに

筆者らの研究グループで開発された，水中身体モデルについて，競泳における最適化に特意的を絞って紹介させていただいた．なお本モデルはグラフィカルユーザーインターフェースを備えたソフトウェア上に実装されている³⁴⁾．本ソフトは自由に入手や改変ができるフリーソフトとして公開されているので，興味があれば是非利用していただければ幸いである．

参考文献

- 1) 中島求，佐藤憲，三浦康郁：全身の剛体力学と非定常流体力を考慮した水泳人体シミュレーションモデルの開発，日本機械学会論文集B編，71(705)，1361-1369，(2005)．
- 2) 中島求：水泳人体シミュレーションモデルによる標準的6ビートクロール泳の力学的考察，日本機械学会論文集B編，71(705)，1370-1376，(2005)．
- 3) Nakashima, M.: Modeling and simulation of human swimming, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 1(1), 11-17, (2010)．
- 4) Nakashima, M.: Simulation analysis of the effect of trunk undulation on swimming performance in underwater dolphin kick of human, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 4(1), 94-104, (2009)．
- 5) Nakashima, M., Maeda, S., Miwa, T. and Ichikawa, H.: Optimizing simulation of the arm stroke in crawl swimming considering muscle strength characteristics of athlete swimmers, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 7(2), 102-117, (2012)．
- 6) Nakashima, M. and Ono, A.: Maximum joint torque dependency of the crawl swimming with optimized arm stroke, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 9(1), 1-9, (2014)．
- 7) 杉本誠二，中島求，市川浩，三輪飛寛，武田剛，野村武男：水中ドルフィンキックの推進力と関節トルクのシミュレーション解析，バイオメカニズム学会誌，32(22)，90-97，(2008)．
- 8) 杉本誠二，中島求，市川浩，三輪飛寛，武田剛，野村武男：シミュレーション解析による水中ドルフィンキック時の足関節底屈角度の増加がパフォーマンスに与える影響，体育学研究，53(1)，51-60，(2008)．
- 9) Nakashima, M.: Analysis of breast, back and butterfly strokes by the swimming human simulation model SWUM, In: Kato, N. and Kamimura, S. (Eds): Bio-mechanisms of Swimming and Flying -Fluid Dynamics, Biomimetic Robots, and Sports Science-, 361-372, Springer, (2007)．
- 10) 中島求，三浦康郁，金岡恒治：水泳運動における腰椎の負荷と挙動のシミュレーションと実験的検証，バイオ

- メカニズム 18, 45-56, (2006).
- 11) 中島求, 茂木勇悟: 水泳用全身筋骨格シミュレータによる 4 泳法の解析, バイオメカニズム 19, 81-90, (2008).
 - 12) 長谷川貴大, 中島求: 競泳用男性水着がけのび姿勢および体幹の筋活動に及ぼす影響, 日本機械学会論文集 C 編, 78(795), 3665-3676, (2012).
 - 13) Nakashima, M., Hasegawa, T., Kamiya, S. and Takagi, H.: Musculoskeletal simulation of the breaststroke, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 8(2), 152-163, (2013).
 - 14) 秋山啓子, 中島求, 三好扶: 水中ウォーキングにおける力学的身体負荷のシミュレーション解析, 日本機械学会論文集 C 編, 76(763), 673-676, (2010).
 - 15) 秋山啓子, 中島求, 三好扶: 水中ウォーキングにおける筋力強化のための力学的最適フォームのシミュレーション解析, 日本機械学会論文集 C 編, 76(769), 2277-2285, (2010).
 - 16) 秋山啓子, 中島求, 三好扶, 中澤公孝, 赤居正美: 水中ウォーキングにおける筋力強化のための力学的最適フォームの実験的検証, バイオメカニズム学会誌, 35(1), 28-35, (2011).
 - 17) Akiyama, K., Nakashima, M. and Ogasawara, I.: Proposal of walking in water for ACL injury rehabilitation program by simulation, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 5(4), 461-471, (2010).
 - 18) Akiyama, K., Nakashima, M. and Ogasawara, I.: Optimal design of orthosis during walking in water for the rehabilitation of ACL injury, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 6(4), 222-235, (2011).
 - 19) Akiyama, K. and Nakashima, M.: Simulation analysis of optimal form and orthosis during walking in water for elderly people, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 7(2), 211-222, (2012).
 - 20) 米山啓子, 中島求: 肢体不自由者のための水泳用補助具の開発 (片上腕切断の場合の最適設計と被験者実験), バイオメカニズム学会誌, 30(4), 216-224, (2006).
 - 21) Nakashima, M., Suzuki, S., Ono, A. and Nakamura, T.: Development of the transfemoral prosthesis for swimming focused on ankle joint motion, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 8(1), 79-93, (2013).
 - 22) Kiuchi, H., Nakashima, M., Cheng, K. B. and Hubbard, M.: Modeling fluid forces in the dive start of competitive swimming, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 5(4), 314-328, (2010).
 - 23) Nakashima, M., Kiuchi, H. and Nakajima, K.: Multi agent/object simulation in human swimming, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 5(4), 380-387, (2010).
 - 24) Nakashima, M., Suzuki, S. and Nakajima, K.: Development of a simulation model for monofin swimming, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 5(4), 408-420, (2010).
 - 25) Nakashima, M., Hatakeyama, G., Homma, M. and Ito, K.: Simulation analysis of lift in synchronized swimming, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 3(1), 51-56, (2013).
 - 26) Nakashima, M., Nakayama, Y., Minami, Y. and Takagi, H.: Development of the simulation model for throwing motion in water polo, Sports Engineering, 17(1), 45-53, (2014).
 - 27) Nakashima, M., Yamazaki, S., Yue, J. and Nakagaki, K.: Simulation analysis of paddling motions in a single kayak: Development of a comprehensive dynamic model of a paddler, paddle and hull, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology, (in press), (2014).
 - 28) 高橋明美, 中島求: 水中ロボットアームを用いた水泳時の四肢に働く非定常流体力の解明 (水中ロボットアームの開発と流体力測定実験), 日本機械学会論文集 B 編, 75(750), 284-293, (2009).
 - 29) 高橋明美, 中島求: 水中ロボットアームを用いた水泳時の四肢に働く非定常流体力の解明 (第 2 報, 実験結果に基づく流体力のモデル化), 日本機械学会論文集 B 編, 76(761), 66-75, (2010).
 - 30) Takagi, H., Nakashima, M., Ozaki, T. and Matsuuchi, K.: Unsteady hydrodynamic forces acting on a robotic hand and its flow field, Journal of Biomechanics, 46, 1825-1832, (2013).
 - 31) Nakashima, M. and Ejiri, Y.: Measurement and modeling of unsteady fluid force acting on the trunk of a swimmer using a swimmer mannequin robot, Journal of Fluid Science and Technology, 7(1), 11-24, (2012).
 - 32) Chung, C. and Nakashima, M.: Development of a swimming humanoid robot for research of human swimming, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 3(1), 109-117, (2013).
 - 33) Chung, C. and Nakashima, M.: Free swimming of the swimming humanoid robot for the crawl stroke, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 3(1), 118-126, (2013).
 - 34) 中島求: 水泳人体シミュレーションソフトウェア Swimsuit の開発, シミュレーション (日本シミュレーション学会誌), 26(1), 58-66, (2007).

中島 求 (なかしま もとむ)

1995 年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。工学博士。1995 年東京工業大学工学部機械科学科助手。現在、東京工業大学大学院情報理工学研究科情報環境学専攻教授。主としてスポーツ工学、バイオメカニクス、エアロ・アクアバイオメカニズムの研究に従事。日本機械学会、日本水泳・水中運動学会、エアロ・アクアバイオメカニズム学会、日本シミュレーション学会、International Sports Engineering Association などの会員。(バイオメカニズム学会正会員)