

# 慶應義塾大学とバイオフィリア研究所のこれまでの共同研究活動

田中敏幸

慶應義塾大学理工学部 名誉教授

バイオフィリアリハビリテーション学会理事長

滝沢茂男

バイオフィリア研究所 教授

国際バイオフィリアリハビリテーション学会 (IBRA)理事長

## 共同研究に関する課題

慶應義塾大学（大学）とバイオフィリア研究所の研究協力は、医学部・環境情報学部（環境）・理工学部（理工）との間で行ってきた。バイオフィリア研究所は、当時研究者1名の小規模事業所であり、東京大学整形外科とのソリ付き歩行器共同開発（NEDO 補助事業）では、担当者から「東大がこのような小規模事業所を相手として共同研究・治験を行ったことはなく、文字通り空前絶後だろう」とされた。

こうした小規模事業所との共同研究が推進されたことは、大学による研究内容の重要性の確認があった。

重要性は、臨床整形外科医会誌論文<sup>1)</sup>及びバイオフィリア誌論文（The 1<sup>st</sup> ISPRM 査読予稿）<sup>2)</sup>バイオフィリア誌論文<sup>3)</sup>に示している。

研究課題は、上記論文を基礎とし、タキザワ式と創動運動の社会実装により、社会に対して「持続可能な超高齢社会の構築」、医療効果について「追試を行い方法の明確化」、リハビリテーション医療について、「自律的運動リハビリテーションの確立」、機器開発を通じて、「創動運動の機序解明」、個人について「障害の克服」、の5課題であった。

## 年次の研究に関する取り組み

以下の研究費申請を研究所が中心となり行った。

1998 年新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、医学部リハビリテーション科 「器具による膝足関節機能訓練に係わる可搬型効果測定訓練器の研究開発」訓練器の運動自体と利用者の運動中及び運動前後の動態を解析し、症例の中で下肢筋群の反応の数値化定量化を図る。神奈川県産業技術総合研究所（産総研）指導事業と、医学部のローカス3Dの利用により、後日実現した。可搬型効果測定訓練器開発に関する第1回申請（以後回数で表示）であり、2023年に補助金支給を得た。

1999年 NEDO「福祉機器総合調査」、環境情報学部、「創動運動とタキザワプログラムの有効性立証に関する医学工学研究」、高い波長分解能をもつ低被爆量xレイカメラを開発し、非侵襲的に証明する。一定の訓練運動量における生体機能変化と、歩行獲得までの状況変化を測定するステーションを開発する。脳機能研究に関する我々にとっての嚆矢であり、後記する科研AによるfMRIとfNIRSによる脳機能検収につながった。

2000年 NEDOベンチャー企業支援型地域コンソーシアム研究開発（主担当日本医科大学医療管理学教室（日医）、医学部・環境情報学部、「医学的見地に基づく高齢者下肢機能回復度の評価」入院者の当初身体状況を既存の医学的評価法で評価し、退院時の身体状況の変化までを、経時的に

収集する。機器は理学療法士の有するリハビリのノウハウを数値化できる測定ステーションとして、企業の持つ特許と産総研とが行ってきた評価機器開発を基礎に医学的効果の評価判定用機器を開発する。評価は横浜国立大学（国大）による科研Cで実施した。東京電機大学との研究により、筋電評価を実施した。

2001年中小企業総合事業団課題対応新技術研究調査事業、医学部・環境、「創動運動用上肢訓練器兼用リフト機器開発に関する研究調査」採択され、実施し、報告した。

2001年NEDO国際共同研究先導調査事業、環境、「高齢障害者用自動リハビリテーション訓練室及び訓練装置に関する機器開発と同関連用語の国際共同研究調査」、タキザワプログラム及び創動運動について我々が組織した学会（バイオフィリアリハビリテーション学会）で特記事項を検討。

後日、簡易足関節背屈器（意匠997739下肢機能訓練具）と簡易膝関節屈伸器（実特・2004587足関節の底屈背屈運動器）について、医学部は3次元動作解析装置アニマ社製LocusIIIDMa6250を用いて、運動角度の比較分析を実施した。JSPS20192国間セミナーで定義実施した。

2001年科研基盤（c）、医学部、「歩行障害特に起因する寝たきり高齢者歩行再獲得の実証研究」、後日テクノイド協会助成により、実施し、報告した。

2002年 経済産業省即効型地域新生コンソーシアム研究開発事業、提出SFC研究所、医学部・環境 「健康な足で障害の足を運動させる適切運動量制御可能な下肢訓練器」（機器開発第2回）、障害のある下肢のリハビリ時、過負荷をかけると新たな障害を発生するが多い。これまで過負荷を制御し適正な範囲の運動を行え、麻痺した神経系の再活性化や、深部静脈の血流の促進が期待できる下肢訓練器は開発されていない。制御ソフト開発し、在宅用高機能訓練器を開発・製造する。後日実施し、結果は論文採択<sup>4)</sup>された。

2004年テクノイド協会福祉用具研究開発事業助成金、環境、「在宅高齢介護者の状況把握と他の介護者派遣を管理できるIT利用そり付きリフト開発」インターネットを通じて基地局において日常の利用データを取得、データベース化し、利用者の遠隔健康管理と介護者派遣の合理化を可能にする在宅高齢者が利用可能なリフトの開発。リフト開発はその後実施しなかった。

2004-05年科研費費基盤（C）、環境、「リハビリテーションによる回復度評価データの標準化の為にデータベース構築と分析」機器開発と機器の利用評価研究を実施した。（機器開発第3回）、本研究は評価機器による評価データを蓄積し、分析することにより、どのような評価データを得た時に、立位歩行の訓練を実施するのかを標準化することを目的にした。開発した機器の機能を確認した2006年厚生労働科学研究費補助金、主幹日医、環境、「訪問・通所リハビリテーションを通じた自立支援に関する研究」、目的：神経筋促通法を患側に行う療法士は、パターンもよくなると学び、健側主導で動かす手法では患側に無理をきたし、患側関節の変形や歩行に悪い癖がつくなどとして敬遠してきた。器具を用い、健側主導の痛みのないリハビリテーション（リハ）が、高齢障害者の自立獲得に顕著に有効であった。この手法を、16施設を中核に、広域・在宅へ広げ、その効果を3年間実施と非実施の間で検証し、障害の受容から克服へリハ医学の進歩に寄与する。

2006-07年科研費（基盤（C）、主幹国大、環境、「リハビリテーションにおける回復度評価システムの構築」、本研究では介護の現場の理学療法士の評価を基にして、優れた成果を出しているリハビリテーションの訓練内容を参考に、下肢運動特性と歩行能力特性との関連性を見出すことを目的とする。また、測定時に被験者に負担をかけない座位での楽な姿勢で歩行能力評価方法を確立することを目的とする。

2008年 慶應義塾大学理工学部 授業依頼、 田中敏幸助教授の推薦により、特別授業

2009-11 年科科研費基盤 (A)、環境、理工、「在宅リハビリテーション推進のためのネットワーク構築研究」(1)創動運動の機序解明の為の脳機能の分析、(2)機器利用による在宅リハのネットワーク化の為の機器開発とシステム開発、(3)運動訓練成果の自動判定の為の創動運動データベース構築研究を実施した。脳機能に関し、他動運動に対する創動運動の有効性を fMRI と fNIRS(機能的近赤外分光法)により明らかにした。機器開発・システム開発・自動判定研究に関して、与えられた時間・予算の中で可能な研究を行った。それぞれ学会発表・論文記述を行った。(機器開発第 4 回) 2013 年関東経済産業局戦略的基盤技術高度化支援事業、主幹国大、環境、「リハビリ機器の遠隔治療・管理を可能とする、足関節運動のセンシング及び通信管理デバイスの高度化実装技術の開発」、要介護高齢者の増加は社会的な課題であるが療法士不足や医療費増加という課題(ニーズ)がある。創動運動器に足関節運動センシング及び通信管理機能を実装することにより、リハビリ機器のネットワーク化、遠隔医療のシステム化を可能とし在宅での継続的なリハビリテーションや広域での訪問看護・介護システムを実現する。併せて機器のコストを削減する。電子デバイス開発・システム開発、臨床評価等を行ない事業化の準備をする。

2014 年科学技術振興機構科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム、理工、「超高齢社会を持続可能にするためのリハビリ医療再構築」、リハビリテーション(リハ)医学の「障害の受容」概念を「リハ医療再構築」で「障害の克服」へ転換する。医療政策としてリハ医療を再構築・転換することで、軽介護での生活や社会保障の安定的な維持を可能にする。そして、少子高齢化の進展と共に進み、崩壊が危惧される超高齢社会を持続可能にする。

2015 年 NEDO 革新的なものづくり産業創出連携促進事業、慶應理事長、理工・環境、「障害克服を可能にする下肢創動運動リハビリ機器と遠隔治療管理と国際標準化の研究開発」要介護高齢者の増加は社会的な課題であるが療法士不足や医療費増加という課題(ニーズ)がある。創動運動器に足関節運動センシング及び通信管理機能を実装することにより、リハビリ機器のネットワーク化、遠隔医療のシステム化を可能とし在宅での継続的なリハビリテーションや広域での訪問看護・介護システムを実現する。併せて機器のコストを削減する。電子デバイス開発・システム開発、臨床評価等を行ない事業化の準備をする。(機器開発第 5 回)

2016 年総務省 SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発、主幹国大、環境・理工、「神奈川県未病産業創出の取り組みに向けた先端通信 ICT による遠隔センシングを用いた下肢の創動運動リハビリ支援システムの研究開発」(162303003)、目的超高齢社会を持続可能にするためのリハ医療効率化実現のため、開発システムの利用により、多くの高齢者が同時・個別に利用できる事及び大腿骨頸部骨折等の下肢骨折や脳血管障害後遺症等による介護を必要とする身体障害を克服出来る効果を臨床試験で明らかにした。(機器開発第 6 回)

2020 年 JSPS 二国間交流事業、ポーランド科学アカデミー・日本学術振興会選考セミナー、理工、「リハビリテーション医学のパラダイムシフト：創動運動による障害克服」を実施した。

2022-2024 年令和二年度第三次補正中小企業等事業再構築促進補助金、理工、「創動運動実施技術を利用した医療器具の開発及び商品化」を実施した。

2026 年 JSPS 国際研究拠点形成事業(A. 先端拠点形成型)、理工、「バイオフィリア研究 - 創動運動を基礎としたリハビリテーション医学のパラダイムシフト」、医療リハビリテーションの介入方法に関する多国間の共同研究・セミナーの開催・意見交換を提案している。ルーマニア・モルドバ・ポーランド・マレーシアが参加国である。主な提案は、ISPRM2019 のロングワークショップに招かれ発表したように、従来の理学療法士と患者の個別的なリハビリテーション(以後リハビリ)の慣

習を転換し、技術革新を活用し、健常部位を用いて機能不全の身体部位を自発的に運動させるという、リハビリへの新たなアプローチに関する知識の普及と、新たに長寿者の健康維持の可能性に関する研究を通じ、健康寿命の延長を実現するための交流である。

具体的手法は、健側駆動患側訓練（2019年採択二国間セミナーで造語用語確認：創動運動・Motivative exercise）が中核であり、障害の克服が確認できた事実に基づいている。

2026年厚生労働省障害者自立支援機器等開発促進事業、理工、「障害克服のための自律的にいつでもどこでも利用できる下肢創動運動器の開発」著しい効果と簡単な介入から、真実と思われていなかったのか、今日まで、その手法は普及を見ていない。1995年以来研究開発は、H21-23年度基盤A(21249036)など24件に上り、機序の解明、追試結果、手法の明確化を進めた成果が出て、2019年のISPRM2019(神戸)における研究成果のロングワークショップ採択・招待講演実施から流れが変わってきており、2020年にポーランド科学アカデミーと日本学術振興会の共同助成による講演会開催、開発代表者は2024年ポーランド政府文部科学省とオポール大学の招待により、ポーランドへ訪問し、研究内容の講演を実現した。また、2000年以来機器開発に関する多数の助成申請は不採択であったが、2022年に中小企業等事業再構築促進補助金が認められ、本年3月に事業を終了できた。これらの事実を基礎に、廉価で、どこでもだれでも利用できる障害の克服・発生予防に資する機器開発を行う。

## 取り組みに関する成果

バイオフィリア研究所は1987年にリハビリエイド有限会社として設立され、以後研究に携わっている。慶應義塾大学は多くの学部を持つ日本有数の大学である。医学部との連携は個人的関係を基礎としている。

大学は1990年に藤沢市に湘南藤沢キャンパス(SFC)を設けた。開設されたSFC関係者が藤沢市で公開講座を実施した。その後、環境は、藤沢市に所在している研究所からの共同研究依頼を受け参加した。理工学部は研究所の研究内容を講演で確認したことにより、両者の共同研究が進んだ。そして、両者の共同研究は、以下の成果をあげた。

課題について述べる。タキザワ式と創動運動の社会実装により、社会に対して「持続可能な超高齢社会の構築」については、量産型機器の開発成功により、今後全力を挙げて進めていく。医療効果について「追試を行い方法の明確化」と、リハビリテーション医療について、「自律的運動リハビリテーションの確立」は、医学部・日本医科大の共同により、明らかにした。機器開発を通じて、「創動運動の機序解明」は、2009-11年科科研費基盤(A)の内、脳機能研究で明らかにした。個人について「障害の克服」は、ISPRM2019(神戸)における研究成果のロングワークショップ採択に見られるように着実に進んでおり、今後量産型機器の完成に伴い、世界規模で進める。

紹介した研究申請は採択されたものは少ない。しかし医学部リハビリテーション科と当時リハビリと有限会社の間でおこなった申請は採択されなかったが、その中核であるローカス3Dのレンタルによる運動の特徴抽出を、後日無償で借りられたローカス3Dによって実施できた。評価機器開発については、産総研の協力で、評価用機器を作成した。普及型に関しては、1998年第1回申請以来、申請を継続し、2022年に補助金を獲得して、現在普及準備中である。このようにすべての研究を着実に推進してきた。獲得研究費リスト：<https://www.biophilia.biz/kaken/itirann2.html> 我々の研究は2009-11年科科研費基盤(A)を獲得したことで大幅に進展した。これは2008年に全く同文を研究所からJSPSに申請した内容で審査されなかった。申請時青森保健大学と基盤(B)実施中で

あった故とあると認識した。この研究によって創動運動が脳にどのような影響を与えているかを明らかにすることができた。機器開発は、研究に利用していた機器の一般化、すなわち量産して多くの人々に使っていただくための研究申請を頻回で行ってきており、いずれも「こんな素晴らしい内容の研究はない」と言われつつ、売れるのか？と言われた時になかなか 商売として売ることは難しいと報告したことから採択に至らなかった。2022年に採択されたのは時代の変化と思われる。

## Reference

- 1) 木島英夫、金井司郎、滝沢茂男、他、我々のすすめているリハビリテーションと関連訓練器について一臨床整形外科医会誌第58号, pp186-191, Yo1.23, No.2 1998年、  
<https://www.biophilia.biz/fig/r1998.pdf>
- 2) S. Takizawa, T. Kimura, H. Kijima, Y. Okamoto, K. Nagaoka, Y. Morita, S. Endo, H. Nagasawa, M. Makita, K. Takizawa, Re-acquirement of Walking from Bedridden by the Motivative Exercise and Takizawa Method and Proposition of the Solution to the Aging Crisis, BIOPHILIA, 2015 Volume 2015 Issue 1 12-18, doi.org/10.14813/ibra.2015.12
- 3) 福井 罔彦, 木村 哲彦, 滝沢 茂男、リハビリテーション医学の革新の提案 神経筋促進法の機序の回顧と反省、バイオフィリア リハビリテーション研究 2006年3巻1号 27-32、  
DOI <https://doi.org/10.3774/brj.3.27>
- 4) 滝沢茂男・武藤佳恭・家本晃・高田一・長岡健太郎, 2種の創動運動のサーモグラフィによる分析, Biomedical Thermology, 査読有, 26.98-103, 2007

## 特記事項

### ① 創動運動

創動運動は、患者と療法士の各々の意欲を重視する（英文 Motivative Exercise）。器具を利用し、患者の健側肢の運動により、患側肢を運動させ実施する。創動運動は自動運動と介助運動に区分する。創動運動は端座位で実施し、上肢は相反運動、下肢は相同運動となる。創動運動は理学療法士他動運動に一部代替可能。

### ② タキザワ式

自律的運動リハビリテーション管理システムである。

廃用性維持期の患者に対する創動運動を中心とした実施プログラムである。座位訓練で実施する。実施にあたっては 疲れるまでは行わない（この運動は脳が忘れてしまっている運動をもう一度思い出させるといふくらいの気持ちで行うことが望まれる。）決して 苦くなるまでは行わない。座位により下肢運動器（創動運動器）を用いて行う（マット上で理学療法士の多動運動が行うような可動域の強制的拡大は行わない。）筋力強化は運動が無理なくできるようになってから行う。運動は車椅子や椅子に座って座位で行う。多数を同時管理し、個別運動するときは 理学療法士等の専門家が適切運動量を評価した上で個別にその運動量評価表を添付し協力者によって実施する。体幹や麻痺側の四肢の ROM も座位で実施する。患者に痛みを与えない。プログラムは標準化されている。PT・OTの指導で介護者が実施可能である。PT・OT一名で患者多数に実施する。下肢創動運動を含め患者の意欲を高める工夫がなされている。今日までインペアメントから、特に脳血管障害により寝たきりになった高齢障害者は、日常生活動作を向上させ、歩行を再獲得することはまれであった。（方法特許取得済みであるが無償で開示、利用許可を行う）