

ワークショップ報告書

# 「健康長寿社会日本」のための バイオメカニクス研究

平成28年5月11日（水）開催



## エグゼクティブサマリー

本報告書は科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）が平成 28 年 5 月 11 日に開催したワークショップ（WS）「健康長寿社会日本のためのバイオメカニクス研究」に関するものである。

世界に先駆けて「超高齢社会」に突入した我が国では、高齢者が日常生活動作を支障なく行うことができ、健康を維持していくことが強く望まれている。しかし、現在のところ、ロコモティブシンドロームに代表される運動機能の衰退から、寝たきり、要介護となる高齢者は増加の一途をたどっており、この問題を解決するための研究開発、その成果の早期社会実装が強く期待されている。一般に、健康の維持のためには、「身体を動かすこと」が重要なファクターであるが、積極的に運動を行い、身体作り、健康維持を行うという意識が高まっているものの、これを実施する者は少なく、我が国の生産性維持を考えた場合、国民全年代層が「身体を動かす」こと、例えばスポーツを楽しむことができるよう、様々な施策が必要となる。

JST-CRDS では、こうした社会的問題の解決に向け、人間をはじめとする生物の運動機能を力学的に解析・解明し、疾患の治療、リハビリテーション、これらを支援するための各種デバイスや計測器の開発を行う複合領域である「バイオメカニクス」に着目して、平成 27 年度から検討を進めてきた（以下「本チーム」）。

本チームではこの問題の解決に向けて、当該分野の研究開発動向を俯瞰的に調査し、超高齢社会における運動機能の維持に役立つ研究開発課題等を抽出し、これらを組み合わせることによって、例えば、運動機能モニタリングにより得られたデータに医師やコーチの知見を加えて、ケガの予防・適切な運動技能の獲得を目指すクラウドシステムの構築などを実現するための科学技術戦略立案を目的としている。

これまでの有識者インタビューなどの活動を通じて、本システムを構成する要素技術である、「スポーツ医科学研究」「脳計測に基づく運動機能拡充」などについて、先端的な研究開発要素の抽出を行った。また、国内外のスポーツ医科学研究に関連したプロジェクト等を調査した。本チームでの提案は今後、国民個人の健康長寿の維持、我が国全体としての健康長寿社会形成の基盤となり得るツールの開発としてまとめていく予定である。

本チームの調査・検討内容をより深化する活動の一環として、ワークショップを開催し、上記の先端科学技術、脳科学、スポーツ医科学を専門とする有識者より最先端の技術、研究開発、業界などの動向に関する発表と意見交換を行うこととした。本ワークショップでは、参加いただく有識者に事前にアンケートに回答いただき、超高齢化社会問題の解決に資する先端科学的シーズと将来的な研究テーマやそれを達成するための望ましいファンディング形式などについて意見を集約した。これらも踏まえて、今後の課題抽出・研究推進にあたって必要な方策、また本研究領域に公的資金を投入する意義の明確化などを議論した。

その結果、主に以下のような研究開発の重要性が指摘された。

- ・スポーツ等の身体作りに関心を持たない層が利用したくなる運動支援デバイス特にスポーツの「コツ」をつかむことができるようなデバイスの開発
- ・運動機能の衰退、また、衰退した状態から回復するログ等を大規模に集積し解析する疫学的研究
- ・運動機能を司る脳の情報を読み取り、これを筋電刺激等で反映させるためのシステム／デバイス開発、また、脳情報読み取りを中心とした脳科学研究の深化
- ・スポーツにおける外傷（ケガ）を報告し、医学的な意味を持たせた統一的なデータフォーマットの作成とデータベース化、競技団体レベルでのトレーニング方法としての実装
- ・スポーツ医科学研究全体の深化と医学、スポーツ科学、工学など異分野連携

また、これらの研究および現状の成果は広範囲に渡り、主体的に研究を進める研究者、関係者が多様であること、国として研究開発を推進する際、最先端を走る研究、および研究者層が不明確であることが指摘され、研究開発領域を提案するにあたっては、より詳細な調査が必要であることが指摘された。

今回のワークショップで得られた意見や提案を整理、統合し、多くのステークホルダーとの関わり方やアウトプットイメージ、先端的な研究開発成果を明確にすることに留意しつつ、バイオメカニクスチームが作成する調査報告書へと反映する予定である。

## 目 次

### エグゼクティブサマリー

1. 趣旨説明	1
主催者挨拶（永井上席フェロー）	
1.1 趣旨説明	
児山 圭（科学技術振興機構 研究開発戦略センター）	1
2. 有識者発表	8
2.1 超高齢化社会におけるサルコペニア研究	
国立長寿医療研究センター 病院長 原田 敦	8
2.2 スポーツ医科学研究について	
宮崎大学医学部整形外科学 教授 帖佐 悦男	14
2.3 生体機能適合性の高いボーンバイオメカニクスデバイスの開発	
大阪大学大学院 工学研究科 教授 中野 貴由	21
2.4 スポーツ外傷サーベイランスシステムの構築	
早稲田大学大学院 スポーツ科学学術院 教授 福林 徹	28
2.5 身体性の脳科学 脳科学を活用した運動機能向上研究	
情報通信研究機構 脳情報研究センター 研究マネージャー 内藤 栄一	35
3. 総合討論	41
(1) ワークショップまとめ（児山）	41
(2) 閉会挨拶（永井上席フェロー）	50
付 録	51
付録1. プログラム	51
付録2. 参加者一覧	52
付録3. アンケート	53



## 1. 趣旨説明

### 主催者挨拶（永井上席フェロー）

先生方、お忙しいところ、お集まりいただきましてありがとうございます。

今回の会は CRDS という一種のシンクタンクが主催して行うワークショップで、私が総括・上席フェローを務めております。この CRDS には、外部の有識者の方にも特任フェローとしてご参加いただいております。この CRDS には、日本の科学技術の動向を探っています。現実問題としては当該研究領域に対する予算獲得が一つの目標となります。特に本日のようなワークショップが極めて重要な活動と考えております。

いろいろな重要なテーマがあると思いますが、今回、筋骨格系を中心にしたバイオメカニクス、あるいはメカニカルストレスに関して、どのような研究領域が現在展開しているか。また、どのようなところに出口があるかというようなことを今日のワークショップでご議論いただければと思います。

本日は、研究自体の必要性、海外との比較優位性、日本の強みや弱みといった点も整理をする必要があります。国が推進し、予算化される研究領域は、特に日本が強い領域、若手を含め研究を推進できる人材が存在するかに加えて、過去におけるある程度の実績が必要です。また、どこに向かって要望するのかということも大事です。JST は文科省が所管省庁ですけれども、それ以外に、厚労省、経産省なども考慮する必要があります。本研究領域を推進する場合、どの省と交渉するかも意識していただければと思います。

今回取り上げたバイオメカニクス、スポーツ医科学は、2020 年の東京オリンピックの開催ということもあり、関心を呼ぶ可能性があります。また、健康長寿社会という観点では、医療に絡めて、AMED に情報提供できるのではないかと思います。加えて、新しい科学技術の社会実装となれば、経産省にも説明することができます。単に研究として重要、海外と比較して遅れているというだけではなくて、日本の優位性を意識してお話したいと思っています。どうぞよろしく願いいたします。

### 1.1 趣旨説明

#### 児山 圭(科学技術振興機構 研究開発戦略センター)

本日、おいでいただいた趣旨は、超高齢化社会に対してどのように対応するか。そのためにどのような研究開発を行うべきかについてご検討いただくことにある。超高齢化社会について最近の統計、平成 26 年度に発行された「超高齢化社会白書」の中で、人口に占める高齢者の割合を指標化した「高齢化率」が示されている。2015 年で 26.8%であるが、今後の予測では、2020 年東京オリンピック開催時では 30%、2050 年になると 40%となっている。世界レベルにおいても類を見ない超高齢化社会になることは確かである。高齢者であっても元気であれば社会的な問題にはならない。しかし残念ながら、現実には、歩けなくな

る、食べられなくといった、生活の質 (QOL: Quality of Life) の低下が起きている。具体的には肩が動かない、手が動かないといった運動器の疾患が生活を低下させている。

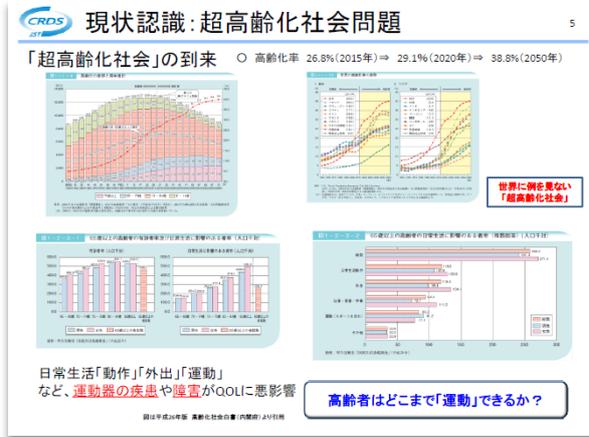


図 1 超高齢化社会

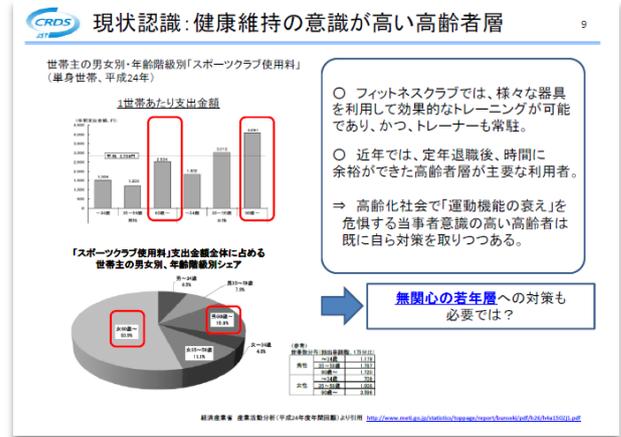


図 2 高齢者の健康維持意識

こうした現状を踏まえると、「高齢者はどこまで運動できるか」ということに注目する必要がある。国のレベルでも様々な調査が実施されている。文部科学省では年齢別に「体力テスト」が実施されている。年をとるに従い、当然であるが、体力は落ちてくる。この調査は結構シビアに見ているようで、報告書では体力のピークは男性 17 歳、女性 14 歳となっている。ただし、テスト方法は年代別によって異なっているので、図表上も線の断絶で示されている。

高齢者向けのテストで特に重要なのは、「10kg 程度の荷物を運ぶことができるか」、「立ったまま衣服を着られるか」といったことにある。男女で若干の差が見られている。

また、医学的な見地から実施された研究では、老年医学会誌に、各年齢層の被験者 4,000 名の筋肉量を測定した結果が公開されている。この結果でも、下肢、全身について筋肉量は落ちることが示されている。

こうした状況や自らの体験を踏まえ、高齢者の方は積極的に運動をすることで体力の維持を試みているという統計もある。健康維持の意識はどうも高いのではないかとことがいえるようである。経済産業省が実施している産業活動分析において、スポーツクラブを一番利用しているのは 60 代の方が最多である。おそらく定年退職をした後、時間に余裕ができ、スポーツクラブに通い体力を維持しよう、真面目に運動しようという意識が芽生え、実行していると推測される。

このように、運動機能が衰える当事者はしっかり意識しているが、機能は衰えていない世代に無関心層がいることが危惧される。さらに、厚生労働省の「健康栄養調査」においてもこの傾向は裏付けられ、高齢者は結構運動しているが、実際会社で働いている現役世代は残念ながら運動・体力作りに取り組んでいない。これは、逆に「運動していない」という回答の分析結果で若年層、会社で働く現役世代が多いことから明らかである。

超高齢社会に至った現在、少なくとも 2020 年の段階で高齢者になるような人たちが日常生活を支障なく送ることができるためには、運動への「意識づけ」をしていくことが重要であると考えられる。ところが、会社で働く現役世代は多忙であり、もともと運動が苦手

であるとか、かつて学生時代に運動部でかなりしごかれて、トラウマになっているとかいろいろ事情もあると思われるが、高齢者に至っていない年齢層の方について、「意識づけ」を行う、例えばスポーツをしたくなるような何らかの「道具」があれば、体力作りのための運動に取り組むのではないか。こうした体力作りには、生体の仕組みにきちんと基づいたようなトレーニング方法、機器を考える必要がある。

あまり運動をしない方が、思い出したように運動をしてケガをするということがある。このようなケガはその後の運動を忌避してしまうきっかけになるので、ケガをしないような体づくりを前提として考える必要があるだろう。

生体の機能、生体に加わる力を解析するための学術分野として「バイオメカニクス」がある。細胞、組織レベルではメカノバイオロジーとして取り上げられている。典型的な例としては宇宙飛行士の事例が取り上げられる。宇宙飛行士が無重力の宇宙ステーションでは自由に飛び回っているが、地球に帰ってくると筋力が落ちている、筋肉量が減少することが知られている。こうした面での研究はアメリカではNASAで行われており、宇宙飛行士のパフォーマンス向上から派生した老化現象の研究にも発展していることが知られている(図3)。

「バイオメカニクス」は運動を可視化・定量化する試みであり、かなり昔から進められている研究分野である。アメリカの西部開拓時代に「馬が全力疾走したときに、4本とも足が全て空中に浮くか」真面目に研究したマイブリッジという写真家がいた。これは近代的な手法で動作を解析しようとした試みの一つである。

同様にアメリカの近代史の中では、人間の筋力を滑車のようなものを利用して定量化する試みがある。同時期のヨーロッパにおいて、ランニング中の足の着地圧を測定する試み(ニューモグラフ)もあった。この装置はウェアラブルデバイスの先駆けとも言える(図4)。

本分野は「運動」とかなり縁が深いため、日本では体育学部や人間科学部などでバイオメカニクスを専攻されている研究者が多い。医療の分野では、運動した結果、足をくじいた、骨折した、突き指したなど、ということから、整形外科学領域で研究されている方が多い。

メカノバイオロジーについては、分子生物学や生物物理学で発展しており、生体を対象として様々な計測を行うデバイスの開発を研究されるような研究者も増加している。

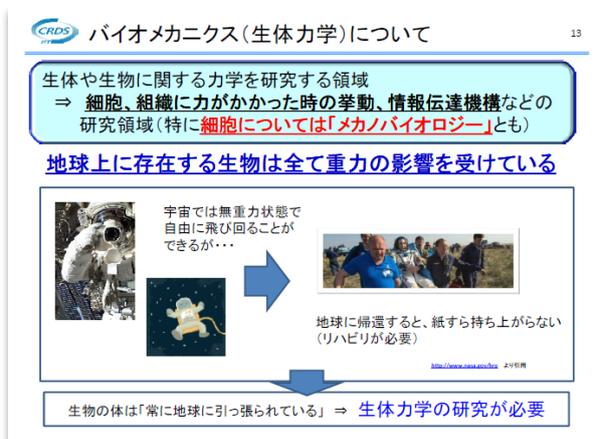


図3 バイオメカニクスについて

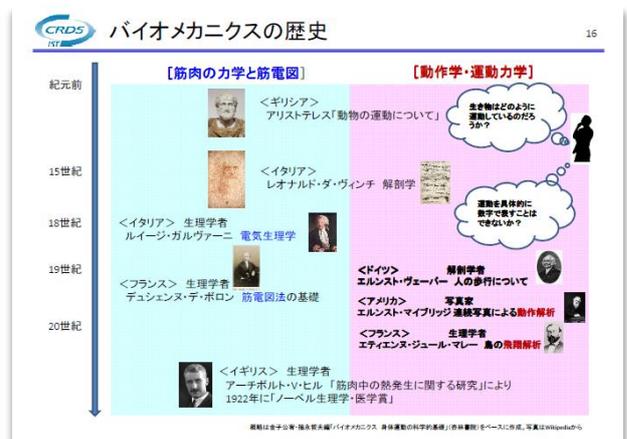


図4 バイオメカニクスの歴史

歴史を遡ると、ギリシア時代に淵源があるように思われる。アリストテレスからダ・ヴィンチにつながり、その後、電気生理学が出現し、筋電図へ発展し、筋肉の動きを見ることができるようになった。解剖学ではドイツのヴェーバー、アメリカのマイブリッジ、生理学者のマレーといおう生理学者の研究に発展している。こうした2つの流れから、1922年に「筋肉中の熱発生に関する研究」で、ヒルはノーベル賞を受賞している。

こうした研究、その成果をどう生かすか。最近、テニスの技能を向上させる仕組みの一つに、加速度センサーを選手の各所にとりつけ、その分析データをコーチがみた上でトレーニング方法を指示する仕組みができています。この装置を開発した Turning Sense 社はアメリカのシリコンバレーにあるベンチャーで、装置に加え、著名なコーチの指導と併せたシステムとして売り出している。同社の宣伝では、「バイオメカニクスをベースとした最先端の技術」と述べている。

日本では野球の事例がある。ミズノ社は「スイングトレーサー」というシステムを開発し提供している。バットスイングのスピードを測定し、その結果をスマートホンに転送し、コーチと共有する仕組みを開発している。野球の長距離打者はバットスイングの速度が速く、日本ハムの中田選手は 170km/h、元ヤンキースの松井選手も全盛期は大体それぐらいだったという話がある。こうしたデバイスを利用して、まずは、アマチュア選手、ジュニア選手の指導への活用、一部のプロ選手も利用を始めているという報道もある。

変わったデバイスとしては、プロの動作をコンピューターに覚えさせて、そのデータを用い、同じ筋肉を刺激することで、プロと類似した動作ができる仕組みを作っている。Possessed Hand という名前のデバイスで、プロ演奏者が楽器の琴を弾いたデータを記録し、この記録をもとに、別人の、同じ筋肉を刺激すると、素人でも演奏できるという仕組みを実証している (図 5)。

さらに別の観点では、運動と脳活動の連携、脳活動データの活用がある (図 6)。特定の動作をしている時、脳がどのように活動しているかを把握していれば、脳活動データを拾い上げた上で、先ほどの筋電刺激や触覚デバイスを活用して、効果的なりハビリができる可能性がある。触覚デバイスというのは、指先にちょっと振動を与えることで、例えば重いモノを持ったかのように錯覚する仕組みで、実験室レベル、一部はゲームのコントローラーのようなデバイスに実装されつつある。このような装置との組み合わせにより、実際に荷重をかけなくても筋肉を稼働させるリハビリができるのではないかと、そうした仕組み・装置も今後の発展としてあり得るのではないかと。



図5 Possesed Hand (H2L社)



図6 脳科学との連携によるリハビリ機器

最先端機器についてご紹介したが、スポーツの技能を向上させる、動かない部位を動かすという観点からは、機器があるというだけでは解決しない。その背後にあるサイエンスという視点、プロ指導者の知見というのがやはり必要ではないかと思われる。最先端機器とサイエンス、プロの知見といったものを組み合わせ、初めて「使える」機器になると考えられる、そのためには、「バイオメカニクス」をキーワードとして、集う場、研究開発グループをつくる。その「場」で社会問題の解決に役立つ研究ができるのではないかと考えて、我々のチームでは昨年から1年間かけ活動している。

ここで少し視点を変え、スポーツ医科学について見てみる。バイオメカニクスの領域は研究者が多いと申し上げたが、我が国の政府におけるスポーツ医科学の研究開発は昨年スポーツ庁の発足に伴い、文部科学省からスポーツ庁へ移管されている。スポーツ庁の所管団体の一つに日本スポーツ振興センター (JISS) がある。JISSの目的は、2020年の東京オリンピックでいかに多くの金メダルを獲得するかということにある。つまり、トップアスリートを対象としたスポーツ医科学研究、スポーツの診療、スポーツ医科学支援事業を実施している。超高齢化社会における諸問題の解決のためには、一般運動選手 (アスリート)、さらにはアスリートではなくても、もうちょっとスポーツによる予防、これに関係した研究を推進する必要がある (図7)。

現状、スポーツ庁事業でも、スポーツ無関心層の方々に対して、スポーツによる地域活性化を目的とした事業は推進されている。ただし、予算額は3億円とあり、地域創生のための事業という位置づけと見られる。経済産業省においては、健康寿命延伸に関連した産業を創出するという事業を実施している。しかし、これもまだ規模が小さいもので、研究開発そのものに対する支援という段階ではないと見られる。

研究開発を進めるには、その研究分野における我が国の位置づけ、世界の中で日本はどのくらいの位置づけになるのかを問われることがある。その指標の一つとして論文数について調査したところ (図8)、通常のライフサイエンス分野では、アメリカに次いで2位グループ、というのが定番であるところ、スポーツ医科学分野では、EU諸国、カナダ、ブラジルなどのさらに下で、日本は10番目となっている。さらに言えば、中国にさえ抜かれている状況。先ほど申し上げた、本分野のスポーツ医科学研究を推進している研究者は、大学におけるチームスポーツの技能向上、場合によってはチームの成績向上に大きく関わ

ている場合が多いと推測され、研究を進め、Nature などの著名論文誌に論文を掲載したことより、担当チームが来年のシード権を取れる方が優先順位が高いのではないかと考えられる。この点、研究を進める上で留意すべき点と思われる。

CRDS 22

スポーツ医科学に関する研究の現状①

○ 日本では、**日本スポーツ振興センター**が2001年にスポーツ医・科学研究推進の中核機関として設立。  
 ○ 実際には、**国立スポーツ科学センター**において、以下の研究開発を推進。  
 - **スポーツ医・科学研究事業** (トップアスリートのパフォーマンス向上リハビリ、データ解析、IT活用によるトレーニング支援など)  
 - **スポーツ診療事業** (トップアスリートのスポーツ外傷・傷害、疾病の診療、リハビリなど)  
 - **スポーツ医科学支援事業** (メディカルチェック、トレーニングサポート、栄養サポート、心理サポート、動作分析、ゲーム分析、映像技術サポートなど)  
 一般アスリート他のサポート  
 「スポーツによる予防」研究が必要では

図 7 スポーツ医科学研究に関する施策

CRDS 24

スポーツ医科学に関する研究の現状③

ライフサイエンスの他分野と異なり、**日本の同分野論文数は世界で10番目程度** (国内日本語文献が多く、英語論文が少ない?)

◎ アメリカがダントツなのは他分野と同様だが...

論文<チームの成績

◎ 日本は低迷...

EU諸国、豪州、カナダ、ブラジル、中国に次ぎ、およそ10番目程度

図 8 スポーツ医科学研究 論文動向

また、スポーツに関するケガは大規模な統計が存在している。骨折、ねんざが結構多い。健康を維持するためスポーツをしている方もケガをしてしまうと、日常の仕事に差し障りが出てきてしまい、スポーツへの忌避感につながる可能性はある。ただ、こうしたケガの統計から原因を明らかにし、指導方法等へ結びつけることで、健康作りのためのスポーツ振興、そのベースとなるスポーツ医科学振興を進める必要があるだろう。

こうした状況を踏まえ、本領域では、どういう研究開発領域を作っていくべきであろうか。1 つは、運動習慣の普及である。高齢者そのものは、先ほど申し上げたように、健康作りの意識は高い。高齢者に近い世代に対して、運動機能低下防止を目的とした支援、支援に使うことができるデバイスの開発、さらにはデバイスを使いたくなる、運動をしたくなるようにするための社会学、経済学的な検討が必要であろう。

スポーツではなく、医療に結びつく研究としては、AMED-CREST、AMED-PRIME という基礎研究制度において、昨年度から「メカノバイオロジー」が取り上げられ推進されている。この成果を社会実装していくめ、その先の応用研究、試作品開発が必要ではないか。

スポーツ技能の向上については、現在、モーションキャプチャの現場利用が始まっている。モーションキャプチャ技術以外にも脳活動計測の結果を反映した筋電刺激などの手法を組み合わせた、革新的なりハビリ機器の開発、これを利用した、怪我によって不可能であった運動ができるようになるリハビリの可能性が拓けるのではないか。アメリカの事例では、神経が麻痺して歩行できない方の脳活動状態を測定し、この活動が本来反映されるべき運動を行わせるため、脳信号ベースで歩行トレーニングをするという仕組みが開発されている。このグループで最終的に埋め込み型デバイスを目指しているようだが、類似した仕組みが非侵襲のデバイス、より低侵襲のデバイスでも実現できるのではないか。

様々な先進的事例は存在しているが、今回、本チームから提案する方法は、包括的な仕組みである。様々な高性能センサが実用化され、データがあちこちに保存される現代では、データクラウドを使うと何かおもしろいことができるのではないか。先ほど申し上げた

様々なデータを1個のデータベースのようなものに集積し、プロコーチあるいは医師の知見を反映させるとユニークな仕組みができ、健康長寿社会に様々な活用が可能ではないか。クラウドに拘泥するわけではなく、本領域が目指すものの可能性の一例としてあげている。

クラウドの活用方法として、スポーツの現場指導。テニススクールなど、基本はできている方に対する指導。他にも、例えばリハビリへの応用と、例えば骨折された方、あるいは人工関節に置換された方に対する歩行方法の指導を、医師の指導の下でこういった看護師とか理学療法士が実施することも考えられる。

これから各分野の先生方のご発表を受け、本ワークショップの総合討論部分で、具体的な方策、すなわち、どのような研究を進めるべきか、その研究を進めることが可能な研究者層、社会実装まである程度視野にある場合は対象の企業はどこか、など、議論いただきたい。

## 2. 有識者発表

### 2.1 超高齢化社会におけるサルコペニア研究

#### 国立長寿医療研究センター 病院長 原田 敦

「フレイル」は、超高齢社会の中で認知症と並ぶ大きな社会的課題の一つである。フレイルの中で特に「サルコペニア」とその研究について紹介する。

フレイルとは、加齢とともに心身の活力、例えば筋力、認知機能も含めたものが低下し、生活機能の障害が生じることを言う。結果として、生活機能が衰え、これが続くと、要支援、要介護状態となり、死亡リスクが高まることとなる。こうした状況をフレイルと呼ぶ。フレイルは日本語では「虚弱」と訳しているが、一般的名称として、日本老年学会で「フレイル」という呼び名で統一している。

フレイルの可能性がある場合、危険な兆候の中には、転倒・サルコペニアがある。高齢化し、筋力あるいは脳のバランス機能が落ちてくると、転倒しやすくなる。転倒リスクの根源にサルコペニアがある。フレイルという概念に関して我々のグループがまとめたもの(図1)を紹介する。国際標準とまではなっていないが、「身体的なフレイル」、「精神的なフレイル」、「社会的なフレイル」が存在している。社会的フレイルには、「孤食」とか「閉じこもり」等も含めている。日本整形外科学会は、最近、運動器の障害によって移動能力が低下する状態のことを「ロコモティブシンドローム」(以下「ロコモ」と略)と定義している。このロコモの中で様々な疾患群があるが、骨が減る骨粗しょう症、軟骨が減る関節症、そして、筋肉が減るサルコペニアが位置づけられている(図1・図2)。

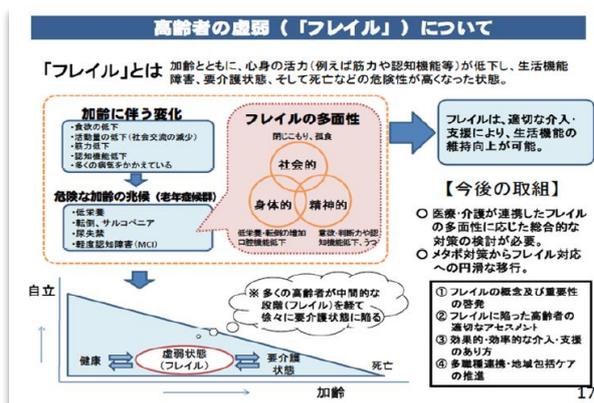


図1 フレイルについて

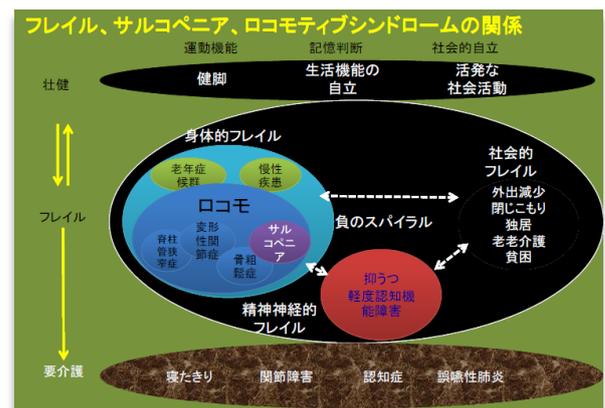


図2 フレイル、サルコペニア、ロコモの関係

我々は、骨や筋肉の観察・イメージングの結果から、例えばCT像から骨の有限要素モデルを作成し、転倒などによって骨折リスクがどのぐらい高まるかということを予想する仕組みを先進医療として取り上げている。また、転倒した外力をヘルメットなどで減らし、これで骨折せずに済むというようなプロテクター等も開発した。このワークショップで取

り上げているような、バイオメカニクスを直接応用してその成果を活用している。また、骨に関しては東京大学と共同研究を進め、研究を進めている。

筋肉については、2,000 例以上の筋肉量のデータベースをつくったことから始まり、握力の測定器、背屈力の測定器の開発を進めている。さらに研究を加速するため、センター内の組織として地域医療研究部を新たに設立した。この問題は日本にとどまらない問題であるため、診断基準の策定に際し、他国との共同研究が必要である。そのため、詳細は後述するがアジアにおける診断基準作成を進めているところである。加えて既存の医療にこれらの研究成果の導入を検討したこと、フレイルに対してロボットを活用するための試みを始めている（図3）。

図は40歳と84歳女性のCT像である（図4）。その差は一目瞭然で、40歳の方と比べると、84歳の方は筋肉の面積が明らかに減っている。筋肉の量は減少しているということが明らかである。加えて、質的な減少、脂肪の減少等、量だけではなく質的な変化もうかがえる。このように、各年代での減少パターン、年代別・性別の数字で見ると、明らかに男女とも有意に年齢とともに筋肉の量は減少する。男性のほうが低下率は有意に高いということもわかる。



図3 フレイル臨床研究

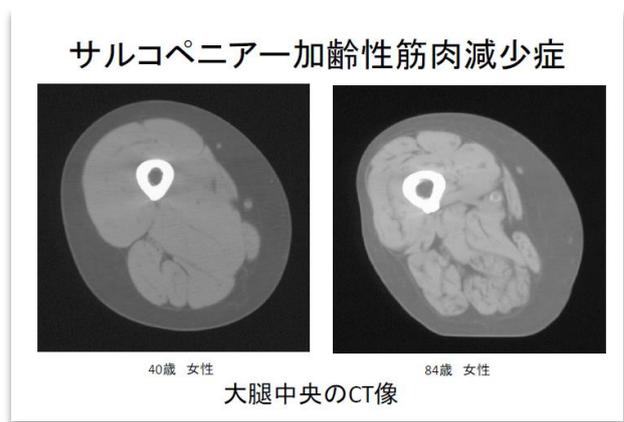


図4 サルコペニア（筋肉の減少）

筋肉の量は男女とも年齢とともに減少するという事は昔から体感しているが、それは必ずしも病気ではない。当然ではあるが、加齢とともに起こる。骨が衰えるにしても筋肉の衰えにしても、それは年のせいだということ、別に病気とか、社会的にそこに何かアプローチをしていかなければということとは全然なかった。しかし、これだけ60歳、80歳、あるいは100歳という方々が増加する世の中、すなわち「超高齢社会」になると、骨はもちろん筋肉が減少するという事で、社会全体に生活機能が衰える方が非常に量的に増加することになる。

サルコペニアの当初の定義（図5）は、年齢に伴う筋肉量の減少であった。しかし、筋肉の量的な低下だけでは高齢者の予後等を説明し切れないということもあり、図に示したように、大きく身体的な障害や生活の質の低下、及び死などのリスクを伴うもので、進行性かつ全身性の筋肉量、それから、筋力の低下を特徴とする症候群であるというように、筋肉量だけではなく、筋力として、身体的障害という観点を導入した。筋肉の量だけでは

なくて、筋力または身体能力等、低下の両方の存在をサルコペニアの診断に用いるべき、との推奨が 2010 年に出ている。

欧州(EWGSOP)  
**サルコペニアの最新定義**

- サルコペニアは、身体的な障害や生活の質の低下、および死などの有害な転帰のリスクを伴うものであり、進行性および全身性の骨格筋肉量および骨格筋力の低下を特徴とする症候群である。
- 筋肉量の低下と筋肉機能（筋力または身体能力）低下の両方の存在をサルコペニアの診断に用いることを推奨する。

Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boire Y, Cederholm T, Landi F, et al: Sarcopenia European consensus on definition and diagnosis : Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. Age and Aging 2010; 39:412-423.

図 5 EWGOSP によるサルコペニアの定義

運動機能という観点からすると、筋肉量と筋力には相関性がある。しかし、筋肉量はそのまま運動能力を体現するパラメーターではない。そのため、先ほどのサルコペニアの定義や診断に筋肉の量だけではなくて、歩行速度等を入れるということに意義がある。

欧米だけではなくて、アジア等でもサルコペニアの診断アルゴリズムができてきている(図 6)。欧米のものをそのまま使ってもよいが、欧米の方とアジアの方は体格も違う。例えば握力は欧米人の値をそのまま使えないと考えられる。そこで、アジアのカットオフ値を作った。市販されている BIA（生体電気インピーダンス：Bioelectrical Impedance Analysis）装置に対応した筋肉量の指標（SMI 値）は、他の手法と高い相関を示す。この BIA 装置では高感度・高い特異度でサルコペニアの診断が可能であることから、アジアの基準と BIA 法の相関性を検討したところ、日本人を対象とした 3 つの研究とほぼ同様の値を示した。このことから、制定されたアジア基準のカットオフ値は日本人に適用できることがわかった。

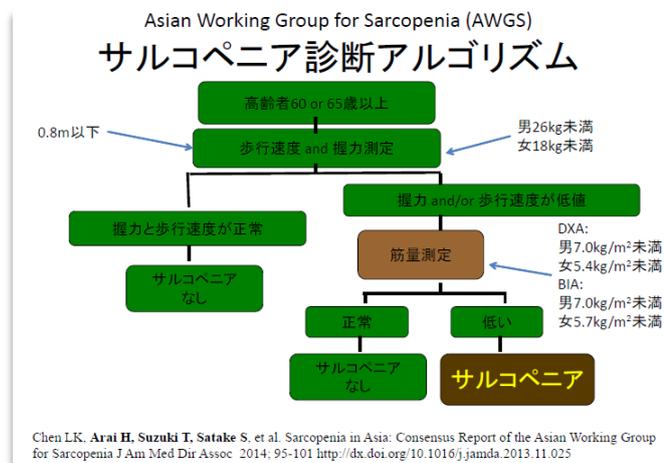


図 6 サルコペニア診断アルゴリズム

同様にアジア基準でのサルコペニア有病率もある時点のデータから大体、男性 10%、女性 8%というようなデータも出ている。ただし、都道府県別にデータには差異があるようで、埼玉県や、東京都でも少し異なる。愛知県のデータを見ると、女性は年齢とともに増えない一方、男性は増えるというような差が出ている。ここから有病率を推定すると、サルコペニアは 132 万人の男性、女性では 139 万人となる。

サルコペニアの危険因子について検証したところ、総エネルギー消費量や運動消費量の低下、抑うつ傾向などがあげられる。加えて、心疾患などの生活習慣病を既に持っている場合リスクは上がることがわかる。無作為抽出された 65 歳以上の方に対して簡易判定法で判定したサルコペニアと 6 年後までの ADL (日常生活動作: Activities of Daily Life) 低下について検証したところ、サルコペニアを有する高齢者では ADL 低下のオッズ比が 1.54 と有意に高くなっていた。サルコペニアは ADL 低下の大きな要因になっており、その診断指標とリスクを明らかにしたことは、今後の予防法確立につながるものと期待される。東京、和歌山のデータでは、筋力の低下と筋量の両方が低下すると、要介護のリスクが高まることを示唆している。筋力低下、筋肉量低下の一方だけだと、膝の痛みや変形性膝関節症が出る。、そういう人たちは運動介入を行う。検討の結果、運動療法は筋肉量、筋力、身体能力のいずれに対しても有意であることがわかる (図 7)。

栄養介入という対処法もある。運動療法と比較して、少し劣るが、有効な効果が出ている。例えばビタミン D、そろそろ代表薬が出るであろうアレンドロネートで、1 年後の筋肉の量が増加している。このデータが正しいとすれば、筋肉と骨の両方に効果があるということで、薬剤が使えない状況にも有効な方法である (図 8)。

サルコペニアに対する運動介入

報告者	対象	N	年齢	運動介入	期間	筋量	筋力	身体能力
Binder et al.	フレイル、在宅住民	91	83	抵抗運動	9	P = 0.005	P = 0.05	検討なし
Bonnefoy et al.	フレイル、ケア施設	57	83	抵抗運動、栄養	9	NS	NS	P = 0.01
Bunout et al.	在宅住民	98	≥70	抵抗運動、栄養	18	NS	P < 0.01	P < 0.01
Suetta et al.	フレイル、FHA後	36	[60-86]	抵抗運動、電気刺激	3	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
Goodpaster et al.	在宅住民	42	[70-89]	包括的プログラム	12	NS	NS	NS
Kemmler et al.	在宅住民	246	69.1	包括的プログラム	18	P = 0.008	P = 0.001	P < 0.001
Rydwik et al.	フレイル、在宅住民	96	>75	包括的プログラム、栄養	3	NS	P < 0.01	NS

AJ. Crz-Jentoft, et al. Age and Ageing 2014; doi: 10.1093/ageing/afu115

図 7 サルコペニアに対する運動介入

サルコペニアに対する栄養介入

報告者	対象	N	年齢	栄養介入	筋量	筋力	身体能力
Bonnefoy et al.	フレイル、ケア施設	57	83	蛋白	NS	P = 0.03	NS
Bunout et al.	在宅住民	98	[270]	蛋白	NS	NS	NS
Chale et al.	在宅住民	80	[70-85]	蛋白	NS	NS	NS
Tieland et al.	フレイル、在宅住民	62	[265]	蛋白	P = 0.006	NS	NS
Tieland et al.	フレイル、在宅住民	65	265	蛋白	NS	NS	P = 0.02
Dillon et al.	健康人	14	68	必須アミノ酸	NS	NS	検討なし
Kim et al.	在宅住民	155	79	必須アミノ酸	NS	NS	P < 0.05
Flakoll et al.	在宅住民	57	76.7	必須アミノ酸+HMB	NS	≤ 0.05	P = 0.002
Deutz et al.	ベッドレスト健康人	19	[60-76]	HMB	?	NS	NS
Stout et al.	在宅住民	98	73	HMB	NS	NS	NS
Vukovich et al.	在宅住民	31	70	HMB	NS	NS	?
Cornish and Chilbeck	在宅住民	51	65.4	脂肪酸	NS	NS	?

AJ. Crz-Jentoft, et al. Age and Ageing 2014; doi: 10.1093/ageing/afu115

図 8 サルコペニアに対する栄養介入

最後に、現在の状況であるが、当病院ではロコモフレイル外来を 3 月に新規開設している。本ワークショップで取り上げているバイオメカニクスの課題について、ロボットを活用した治療が、有効であるか、などが今後の研究課題だと考えている。

<質疑応答>

【質問】筋肉量の低下とか筋力の低下は年齢に依存することは、直感的に理解できるが、例えば筋力の低下と、それから、若い時代の運動経験との相関などのデータはあるか。

**【回答】** 我々のデータで40歳以降について、10年近くフォローしているデータがあるが、その前の20代に関しては、運動歴についてヒアリングしたデータがあるが、フォローアップできていない。そのため、若い時代からの長期データの解析はできていない状況である。

**【質問】** 日本以外に韓国においても、20代の女性のサルコペニアがものすごく問題になっている。この世代は痩せ志向になっている。こうした状況を踏まえ、若い人の減量に伴うサルコペニア研究を始めた。痩せ志向については、50年先が非常に心配される状況。

**【回答】** 特に過度のダイエットが問題。ダイエットでは、筋肉量がどんどん低下していく。これをごく短期間実施するならいいが、長期に実施してしまうとサルコペニア状態になってしまう。ダイエットは相当な影響があるように思われる。

**【質問】** 筋肉に対して非常に興味があり、20年くらい筋治療の研究を進めている。理学療法などの方法で痛みの治療を行うに際し、まず筋肉の状態を診断する。筋肉量よりも、筋肉の機能がまずいために歩けないとか、筋肉以外の関節機能の障害でも同様の現象が起こる。筋肉の量よりもこれらがロコモティブシンドロームの主要な原因ではないか。患者さんの訴えの多くは、膝が痛くて歩けないとか腰が痛くて歩けないといった内容であり、伺いたいのは、筋肉の量ではなく、質を判定する方法とこうした筋肉の質と既往症の関係を調べた例はあるかという点である。

**【回答】** 質という点で言えば、CTでは脂肪特性がわかる。見えている脂肪が細胞外の脂肪なのか、細胞内の脂肪なのか判別をつけることはまだできない。CTで脂肪の量、あるいは脂肪が明らかに筋肉の中にあるような位置にしているようなものを定量化して、筋肉ごとに見るような、いわば「機能的な」イメージング技術が必要であると考えられる。

**【質問】** 筋肉に生じた傷の修復過程で線維化が起こると、その部分は硬くなり、周りの血管が圧迫され、しばしば慢性的な虚血状態になる。これは、慢性疼痛につながる。原因となる微少で微妙な筋肉の硬さやそれが原因で生じる痛み反射については、現状では人間の「手」でしか診断できない。現在、AMEDにおいて「メカノバイオロジー」研究を推進しているが、その中で筋肉の疼痛を扱う研究課題がある。その中でもまだ痛みを可視化できていない。このような筋肉の硬さや痛みを可視化できる可能性はあるだろうか。

**【回答】** ご指摘のような装置は現在のところ難しいのではないかと思います。今は超音波エコー測定でやっている。これも脂肪をある程度は見ることができる。しかし、既存のCT超音波エコーで線維化の状態を判定することは難しい。

**【コメント】** 確かに現状では、装置ではなく、触診を通して診断している状況だが、正確な診断や適切な治療は「名人」であれば可能である。その名人の技能を機械に移したいと考えている。

**【回答】** 「イメージング」は、1つのキーワード。機能的なイメージングでもよい。

**【コメント】** 現在は「名人」しかできない。しかも、名人の「技」を客観的に表現して伝えることが極めて難しい。また、治療の効果は、患者と施術者は主観的に感じ取れるが、客観的に示すことは難しい。これらがイメージングで全部追跡できるとよい。自分は20年以上この課題を追求しているが未だに実現できていない。

**【回答】** そうしたイメージング装置を開発しようという方もそれほど多くないのが現状ではないか。「名人」に任せている状態。

【コメント】筋肉の堅さを判定するには、筋硬度計が開発されている。そのうち最先端の機器ではエラストグラフィがある。エラストグラフィ測定を行うと、筋肉が切れたあとの状況も把握できる。超音波エコーで連続性は分かるが、その固さが分からない。

【コメント】超音波が一番可能性があるが、現状ではマクロな領域しかわからない。しかし、超音波エコー装置は、解像度が大きく向上しつつあり、筋肉の機能イメージングに対して一番可能性がある。そのため、国内の超音波機器メーカーに対して開発の話を持ちかけてみるが、あまり乗り気ではない。こうしたワークショップから、よい提案をして、多少の予算をつけてもらえると、企業が乗ってくるように思われる。そういう状況が作れるならば、大きく発展する可能性がある。

【コメント】「健康・医療戦略専門調査会」において、「サルコペニア」AMED で取り上げるべきではないか、その問題を解決するための研究を進めるべきではないかとの議論があった。AMED では、既に難病、脳と心の問題。がんなどの疾患別課題を掲げているが、サルコペニアを取り上げるべきという意見は的を射ていると感じる。AMED の「オールジャパンの医療機器開発」の中でも特に中心的にやっという目標課題の中に在宅医療機器が入っている。だが国内にサイエンスベースで本格的に取り組まれている在宅医療機器研究開発は非常に少ないのが現状と思われる。

先ほどの発表でも「フレイル」診断に5つぐらい基準が出ていた。あれは正確な判断が下せる測定自体が難しい側面もあり、何%以下、以上とは判定できると思うが、国民はそれらの専門用語や数値を示されても、理解できないように思う。

AMED は日本における医療の研究開発の司令塔という位置づけとなっており、今後は真に国民医療をしっかりとサポートする役割があるので、サルコペニアという問題に対しては、バイオメカニクスを用いた健康長寿の柱の一つにしていくことは、十分可能性があると思う。

## 2.2 スポーツ医科学研究について

### 宮崎大学医学部整形外科学 教授 帖佐 悦男

私からはロコモティブシンドロームについてお話をしたい。話題として、資料に記載した項目に沿って紹介する。

スポーツに関して、区分すると、健康スポーツというのが一番であるし、生涯スポーツ、そして競技スポーツ、障害者スポーツがある。多くの区分・競技があり、研究者はどうしても1カ所にしか焦点を絞れないというのが問題と考え、多方面からの検討が必要と考えている。

近年、新たにスポーツを所管する省庁として、スポーツ庁が設置された。スポーツ庁は各競技における競技力を向上するのみではなく、健康維持・推進であったり、障害者スポーツ（パラリンピック）も対象としている。

このワークショップで取り上げているバイオメカニクスに関しては、我々が進めている物理シミュレーションなど、様々な力学研究が必要である（図1、2）。もちろん力学的なパラメータ測定だけでなく、生理的要素、例えば最大酸素摂取量を用いて様々な解析を行っている。



図1 スポーツとバイオメカニクス

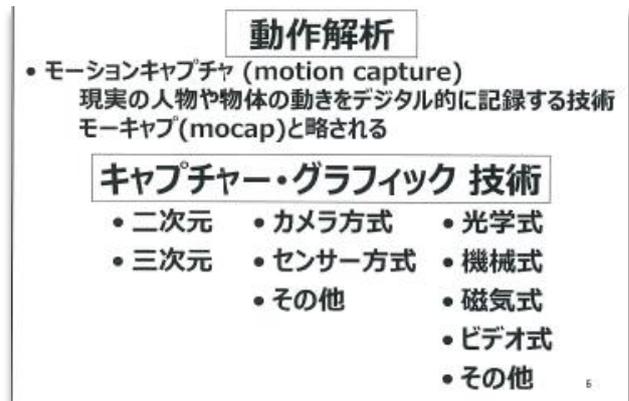


図2 モーションキャプチャ技術

宮崎県は温暖な気候という条件もあり、野球を始めとする様々なスポーツのキャンプのメッカである。また、マラソンや社会人駅伝で著名な企業も、本拠地を宮崎県に置いている。そのうちの一つである旭化成では、柔道のトレーニング場所を宮崎県に設置している。柔道は格闘技の一つでもあり、ケガも非常に多い。柔道を例として、疲労骨折の科学的メカニズム研究を実施している。近年発達した技術の場合、JSTの説明にもあったような、モーションキャプチャがあり一般の人に説明しやすい。三次元に関しては VICON などが汎用され、最近ウェアラブルになり、測定場所に依存しなくなってきた。各種センサ技術の発達、加えて装置の小型化が起こっている。こうした技術を活用し、得られる情報も二次元から三次元に拡張していくことが期待される。VICON 以外にも様々な機械があり、さまざまな専門家が多様な装置を開発している（図3）。二次元画像の取得はビデオ映像が最も簡単で、懸垂動作を解析した画像を示す。本研究は学生によるものであるが、懸垂動作の

指導を行うことで上肢の筋力に頼らず懸垂な脳になることを証明した。こうしたデバイス・機器は、二次元画像ではあるが、一般のスポーツや運動のバイオメカニクスで非常に有用な装置である。

スポーツにおける外傷・障害が日本では減少していない。これは日本全体として考える必要があり、文科省からの予算を基に研究を進めた。桑田選手（元読売ジャイアンツ）は、自らの競技人生を振り返って、身体の大きくない自分が勝てたのは、病気にならず、大きなスポーツ障害（肩・肘など）にも罹患しなかったからという趣旨の発言をされたことがある。また、工藤選手（現・ソフトバンクホークス監督）は子供たちの野球による肩・肘障害の予防、早期発見のための野球検診に精力的に協力をしていただいた。そのおかげもあり、日本全国で野球については、野球検診が開始され、多くの子どもたちが野球肘を早期発見でき、早期治療により大好きな野球に復帰できている。少年野球、リトルリーグなどでは投手になった子どもが肘や肩を壊し、その後野球ができなくなったという事例が多い。これは日本におけるスポーツの将来を考える場合、マイナスになる。その意味でも子どもの頃から、検診を受けたり、スポーツ障害を予防するという事は極めて重要である。

このような運動器の病態に関し、一般の方にわかりやすい視覚化は非常に大切である。我々の研究を NHK「クローズアップ現代」や「所さん！大変ですよ！」に取り上げていただき、非常に話題になり、再放送までしていただいた。再放送につながったのは我々のバイオメカニクス研究が、一般の方々に対しても非常にわかりやすいことが理由の一つである。



図3 動作解析・力学的評価

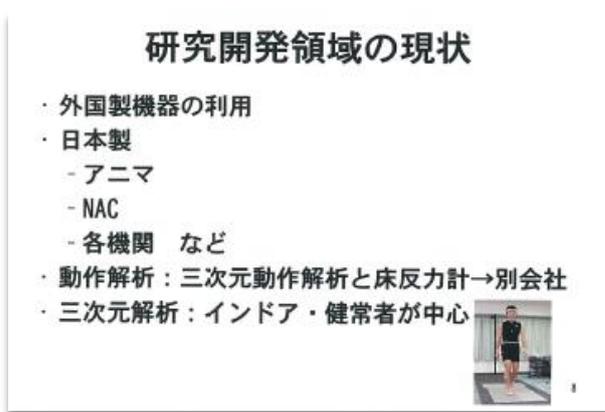


図4 研究開発領域の現状

スポーツ障害に関する研究の一つとして、反張膝の症例が、靭帯損傷をした場合、術後の成績が不安定であることや腰椎分離症が疲労骨折であることなどをバイオメカニクス研究の観点から報告している（図6）。

研究開発の現状として、この分野の機器は外国製が非常に多い（図4）。日本にもいろいろな会社が乱立し、互いに競争している状況である。国として本分野を盛り上げ、スポーツのケガ予防、早期治療につなげていくためには、日本における関連機器産業の強化が必要ではないか。我々のようなユーザーから見ると外国製の機器は非常に不便である。

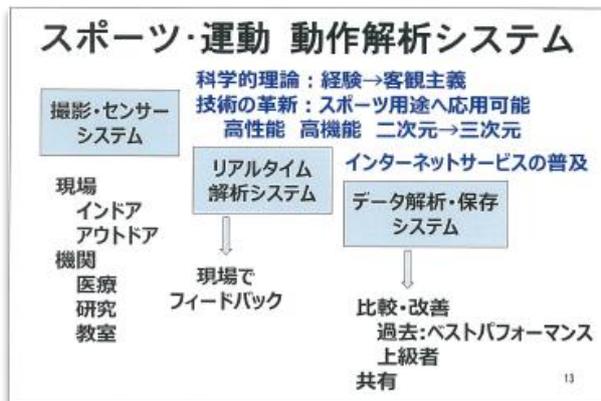


図5 スポーツ・運動動作解析システム



図6 下肢のアライメントと障害

CRDSの冒頭説明にもあったように、モーションキャプチャー機器について検索すると、様々な会社・機器が山のように出てくる。多種多様なことを、それぞれがばらばらにやっている。

競技スポーツ医科学の中核となる研究機関として、日本スポーツ振興センター（JISS）が、パラリンピックに関しては、国立障害者リハビリテーションセンターがある。大学等においては、本日、お越しになられている先生方が多様な研究をされている。学会単位では、日本整形外科学会、リハビリテーション医学会、スポーツ、運動やリハビリテーションに関連した学会が存在する。しかし、研究者間の連携が十分機能していないのが現状である（図5）。工学系は工学系、医療系は医療系のみで情報交換が行われており、宮崎では医工連携の取り組みを開始している。

また宮崎県の特徴として、ある分野に特化することなく子どもから高齢者まで様々な対象者を一元的に管理できることや産官学連携がスムーズに実施されていることがある。県も「スポーツランド宮崎」を推進し、多くの選手がキャンプに訪れ、我々も「スポーツメディカルランド宮崎」を提唱し、地域におけるスポーツ医科学研究としての予算を文部科学省から措置していただいた。他の県のモデルケースになっていると考える。

次に本分野の研究に対する社会ニーズ、研究ニーズに関し述べる。この方面での研究ニーズについてインターネット上の検索エンジンを使い、調査したところ、47万件ヒットした。内容は、スポーツで勝つための動作解析といったようなことがばかりである。

研究シーズは、先ほど紹介した研究の他、解析ソフトウェアでも、フリーソフトが山のように提供されている。多種多様、性能もいろいろなものがあり、ユーザーはどれを使ったらいいのかわからない状況であり、一つの機能に特化したソフトであるという点は大きな問題である。

我々のグループにおける現場のニーズを申し上げるなら、小型、軽量、かつ高性能で、場所を選ばず、長時間稼働できる機器が必要である。現在の状況を見ると、開発者は高性能、高機能ばかり追求する傾向が強いように見受けられる。従来は、ユーザーはシーズに対して依存をせざるを得なかった。そのためこの装置でも、有線型ばかりであったが、無線型が望ましいのは明らかである。今後、さまざまなセンサー、ソフトウェアを同期・融合させて、「どこでもウェアラブル」のような装置ができるようになると、使いやすくなるだろう。

宮崎の場合、「医工連携」を推進してきた。工学系研究者は、技術の研究者であり、自らの専門に特化されている。こうした状況を克服するため、「連携セミナー」を作り、技術系と医療系の双方で、ニーズとシーズの情報共有を行ってきた。これを土台として、工学系と医療系が一緒になり、様々な機器や技術の開発に取り組んでいる。

宮崎県ではカヌー競技が非常に盛んで、全国大会でも優秀な成績を収めている。カヌーにおける漕ぐ動作の解析を行うための装置は、購入すると1,000万円はする、非常に高額のものであり、カヌーに乗せて測定をする場合、仮に転覆した場合など、装置が壊れ、多額の損失につながる。こうした点をセミナーで共有し、工学系の先生が水上で動作解析可能な世界初の新たな装置を開発した(図7)。簡易マーカを身体の測定部位に取り付け、加速度等のデータを解析することで、ある程度の三次元動作解析に応用できる装置である。

ニーズについてまとめてみると、必要な機器としては、撮影・センサーシステムであり、機能として、インドア、アウトドアの両方で利用できることということである(図5、図8)。システムとして、「モノ」が必要であるとともに、その科学的理論・根拠が特に大切である。こうしたスポーツ医科学の研究機器を新たに開発していく場合、工学系研究者の種々の支援が必要であり、結果はリアルタイムに解析して、インターネットを通じ、即座にフィードバックする仕組みが必要である。始めはスポーツの動作解析でよいが、最終的には医科学的な研究への応用を期待したい。得られた情報を共有して、またフィードバックすることが大切ではないかと思う。



図7 カヌー動作の解析

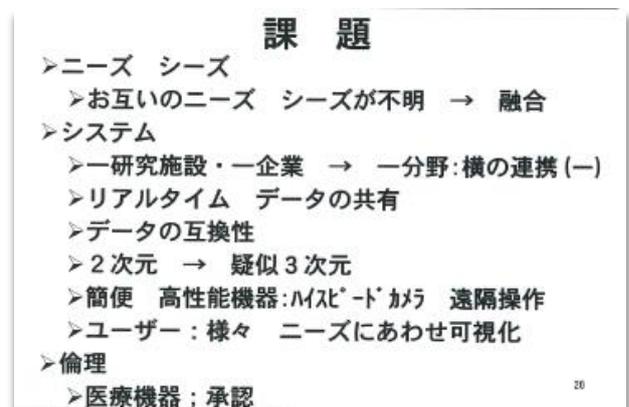


図8 本分野のニーズ・シーズ

新たな分野の研究として、個別化の生体力学について、様々な取組を試みている。海外では、オランダの大学との共同研究を行っている。Kinect: (Microsoft社の登録商標: 同社の家庭用ビデオゲーム機 Xbox のモーションキャプチャ型入力デバイス) を用いた動作解析や障害者スポーツの研究も行っている。これまで障害者スポーツ向けとして、車椅子に計測用センサを搭載する試みはなされていないのが現状であった。しかし、各種の高性能センサを用いて動作解析をできるようにしている。動作解析の高度化は、個別機器の性能に依存することが非常に多い。今後の障害者スポーツの成績向上、技能向上のためにもこうした機器の開発を推進していきたい。また、整形外科医の立場から考えると、事故などで下肢を切断された方々に対する高度な機能を有する車椅子というものも重要である。また義足での階段昇降の評価を行っているが、将来パラリンピックのスポーツへ応用したい。

先ほど原田先生のご発表にあったが、ロコモの診断を行う装置も開発している。被験者にバランスボードや解析装置の前を歩行するだけで、「あなたのロコモ年齢は〇歳です」と簡単に判定できる方法を構築し、特許申請中である。さらにこの仕組みを他のスポーツ分野へ応用したい。

今後の課題については、分野の「融合」と考える（図 8、図 9）。個別の研究は全て「縦割り」であったので、「横串を通す仕組み」を加えるべきであろう。情報や技術の共有あるいは互換性、三次元の動作解析が重要になる。人間の身体に関わる研究であるから、倫理的配慮は当然必要である。研究の担い手の育成は、さまざまな研究所が一緒になって行わないと進まないと考える。研究期間は、成果を上げるためには、どうしても3~5年かかり、相応の予算が必要である。研究成果は、障害の予防、基礎体力向上という形で国民へフィードバックし、わかりやすい形として、やはりオリンピックなど国際大会のメダルにつながる。最終的にはこのような技術開発で、グローバル化、費用対効果が非常に大切である。

現在、宮崎県は、「スポーツメディカルランド宮崎」として、県をあげてスポーツ医科学研究に取り組んでいる（図 10）。

運動器を生体力学的に解析することは、競技力向上、運動器疾患における病態の解明、治療前後の評価、予防法、リハビリテーションを含めた治療方法の選択において極めて重要と思う。選手・指導者や一般の方への説明にも視覚的に訴えることのできる方法が有用と考え、利用しており、この場を借りて研究成果を紹介させていただいた。この分野で日本がリードできるよう、縦と横の連携を図るべきである。

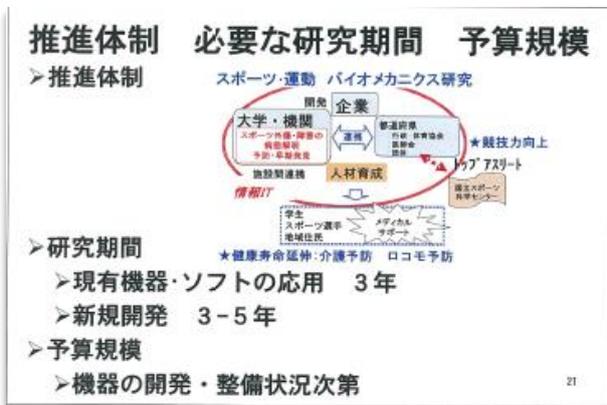


図 9 研究開発の推進体制等

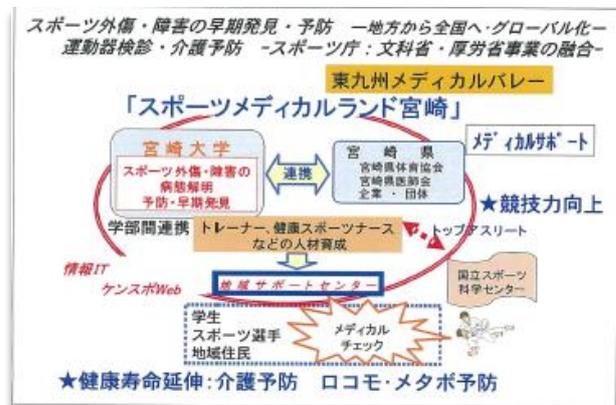


図 10 スポーツメディカルランド宮崎構想

こうした「ばらばらの方式」は、旧来から日本の欠点ではないかと考える。ビデオテープのベータ方式と VHS 方式から始まって、メモリーカードも、SD カードとメモリスティックに分かれてきた。こうした決着のつかない規格競争を国内で展開していることは国際競争上、有利とは思えない。

宮崎県では、こうした現状について、「何ができるか」ということを大学をはじめとする文科省関係、他にも厚労省関係、地域行政など、多様な関係機関が一緒になって取り組んだため、本日の発表につながったと思う。

最後に、本日東京に来て思ったのは、「非常に暑いな」ということ。宮崎県は風光明媚、「ハレの国」で、健康には非常によい地方のため、多くのリタイアされた方が宮崎に移住されている（会場笑）。先生方も是非宮崎にお越しいただきたい。

### <質疑応答>

**【質問】**私も古くから機械系のバイオメカニクスを研究しており、一時、スポーツバイオメカニクスに関連して、横の連携をとろうとしたことがある。その連携はなかなかうまくいかなかったが、現状はどうか。

**【回答】**一番工学系と臨床系の連携があるのは、臨床バイオメカニクス学会と思われる。現在は人工関節のようなものを中心として扱うようになっている。スポーツバイオメカニクス関連で最も大きい学会は、JISSに直結する、臨床スポーツ医学会。この学会は整形外科だけではなく、内科、脳外科といった医学系研究者に加え、工学系、福祉に関連した研究者も加わっている。

整形外科に関して言えば、日本整形外科スポーツ医学会がある。

**【質問】**臨床スポーツ医学会というのは、機器の開発を含めているか。

**【回答】**臨床スポーツ医学会は、医師やメディカルスタッフが中心のため、機器の開発研究の発表はあまり多くはないのが現状である。また、先ほど申し上げたように、横の連携がうまくいっていない点もの一つである。複数の技術が乱立し、過当競争になり、国際標準で負けてしまう。例えば光ディスク記録に関する基準。PCにおけるOS、何か1つの技術を開発すると、必ずこれに対抗する人が出てきて、両方が共倒れになってしまう。喫緊ではロボットもそうなるのではないかと危惧している。また、こうした先進的技術で、先行製品が出てくると、その製品を最初に使い、利用し続ける者は結果的に互換性のない装置を使う、使わなければならない状況になってしまう点が問題である。是非、縦横の連携を国内で図り、国際競争に負けない環境を構築してほしい

**【コメント】**世界の動きはカナダとオランダがこういう運動器のケガの研究を非常に盛んにやっている。

**【コメント】**オーストラリアも研究が盛んである。留学して帰国した研究者が日本で研究を行っている。

**【コメント】**本研究領域に限らないが、日本では分野間連携が一番弱い。日本はどの分野でもそこそこできる研究者はたくさんいる。他の国は特定領域の研究者がそれほどいなくても、国あるいはアカデミア団体が全体を見て一定分野に研究者を集中していく方式が多い。その結果、成果として世界に冠たるものが出てくる。日本は優秀なプレーヤーがどの分野にもいる代わりに、世界のトップクラスは非常に少ない。

健康長寿社会において、「睡眠と栄養と運動」の3つがカギではないかと考える。経験から言えばたくさん運動した日はおなかもすくし、よく眠ることができる。その根本はやはり運動。社会が便利になり過ぎ、動物として、日常の運動量が全然足りていない。

この問題を取り上げるのであれば、ゴールを決め、研究者も産業も社会も全体が本テーマに関してしっかりと目標に向かったチームで動くべきではないか。

**【回答】**運動は基本で、小さいころに運動しない子は大人になって運動をしない。また、親が運動に興味があると、子供も運動する。こうしたことを日本学術会議でも論じている。

**【コメント】** 4月に開催された内科学会において、睡眠の大切さが取り上げられている。不眠症などが問題化しているが、これは、毎日十分運動が足りていれば、このような問題は生じにくいように思われる。医学会でも、睡眠を取り上げているその根本に運動機能があると思う。そういう合理的な説明をすれば、国の大きな研究開発課題になる可能性があると思う。

**【質問】** 指導者、特に熟練した指導者がいるのは大前提で、指導者の指導技術を向上していく必要があるのではないか。指導者は先生が開発・利用されたようなデバイスを使い、トップ選手を育成していく必要があると思う。指導者育成の現状はどうか。

**【回答】** 現在、育成している。サッカーが最も進んでおり、野球に関しても野球肩・肘障害を減少させるためにも、何とかして指導者のライセンス制度をつくる必要がある。野球やサッカーでオリンピックに出場するようなジュニア選手の育成を目指すなら、指導者育成も重要である。

**【コメント】** 高齢者の健康にスポーツを利用できるような指導者の育成も必要と思われる。資格とか講習で教えることができ、モチベーションを持続させられるようなリーダーが必要。こうした人材育成は機器の開発とともに並行して行うべき。人材育成という点を含めると、厚労省、内閣府といったステークホルダーに対するアピールが強くなると思われる。

## 2.3 生体機能適合性の高いボーンバイオメカニクスデバイスの開発

大阪大学大学院 工学研究科 教授 中野 貴由

工学研究のうち、材料工学系の立場で、医工学研究を推進している。医師とタッグを組んで研究している。

本日のテーマは人工関節ということであるが、少し拡張して話をしたい。生体機能適合性の高い骨（ボーン）バイオメカニクスデバイスの開発ということで、やや医療的なお話になる。骨に注目した場合、先ほどご講演のあった「サルコペニア」とも大きく関わって来る問題である。現在、骨の強さ指標として扱われる骨密度はスカラー量であるが、今日のお話では「骨質」という概念でベクトル量を扱う。骨質で考える場合は、いわばベクトル医療と言える。骨質の一つとしての骨配向性はベクトルであり、標準化していくということが今後必要ではないかと考えている。

まず研究開発の現状（図 1）であるが、先ほどから何度か出てきたように、超高齢社会に起因する、医療費の増大への対策である。加えて言えば、QOL（生活の質:Quality of Life）の低下や、骨の疾患とか余命の減少という問題まで含まれる。この問題は、高齢者層だけではなくて、若年者層にも及んでいる。現在の人工関節はかなり運動の制限が加わっている。例えば正座ができない、マラソンなどの激しい運動をしてはいけないというふうなことがある。子供や若年層に対してはこれに加えて、成長に伴う入れ替え手術などの身体的負担も加わる。

◎研究開発領域の現状

- 超高齢化社会にともなう退行性骨疾患の急増と医療費の増大
- 骨密度のみに注目した医科歯科分野での骨・骨関節治療のための医療用デバイスの開発(短寿命)
- 骨・骨関節疾患、咀嚼障害によるQOLの低下・余命の減少
- 現状の人工関節における運動性の制限
  - ・若年者への適用の制限(表面置換型を利用)
  - ・高齢者のQOLの低下(運動性能の高い運動の制限)
  - ・患者の平均骨格形状のみに対応した人工関節・人工歯根の開発
- デバイス埋入後の負荷等リハビリに関する最適な方法論がない(データベース)
- 非侵襲的な骨質解析装置が存在しない

図 1 研究開発領域の現状

生体内で利用される様々な骨関連インプラント

図 2 様々な骨関連インプラント

手術後のリハビリに際して経過的に加重（50%加重など）を勘案している。実際にはデータを蓄積していかないといけないが、実は、骨密度だけではあまり意味がない。骨質は骨の強度を決定する因子である。骨質を解析するような非侵襲的な手法を開発する必要がある。

先程の概要説明で超高齢社会の議論、また、高齢者だけではなく、現状の若年者に対する対策が非常に重要になってくることが指摘された。若年者のフォローができないと、骨粗しょう症が大きな問題になってくると言われている。

現在、様々なインプラント（図 2）があるが、正直なところ、足関節用インプラントは「骨密度を増やす」ということが基本の考え方になっている。図 3 に示すように大きな 1 つの問題としては、大中小というこの新しい画一的なサイズのインプラントを提供しているという点である。骨の形状は個人別に大きく異なっており、カスタムメイド化ということが大きな方向性になる。また、材料と骨との間、両方を見ていかなければならない。さらに応力遮蔽という問題もある。最終的には、材料自体を生かして、「骨として」振る舞うような、人工関節とか、骨となるようなものが必要になる。

図 4 に示すように、臨床的な骨の診断は、レントゲンや CT 撮影により行われている。レントゲン像は生体内のアパタイトといわれるセラミックス量を反映している。しかし生体内ではコラーゲン線維とアパタイト結晶の配向により強度を保っている。鉛筆を想像していただくとわかりやすいと思う。鉛筆の芯の方向は、アパタイトの c 軸方向で、コラーゲンの走行方向に対しては、ほぼ平行に配列している。この配列により、一定の方向性をもつことから、「ベクトル」になる。こういうアパタイト結晶の配向性が骨の力学機能と深く関わっている。

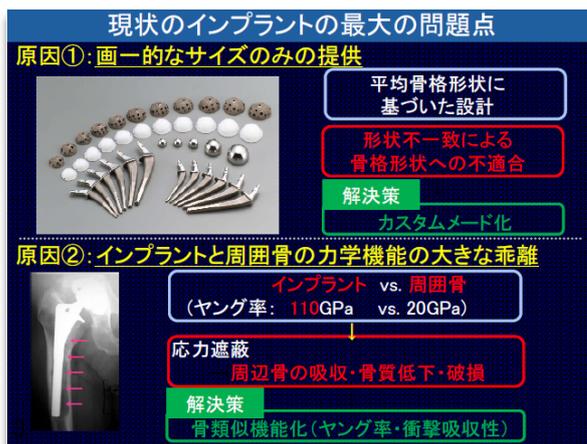


図 3 現状のインプラントの問題点

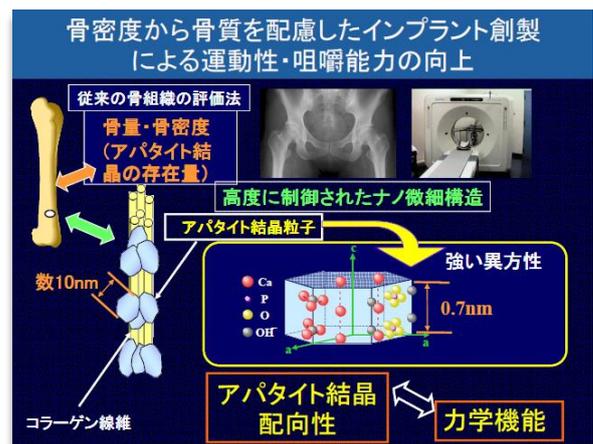


図 4 骨質に配慮したインプラント

図 5 は横軸にアパタイトの c 軸の配列度合い、すなわち骨質を示している。例えば長管骨の骨軸方向へアパタイト配向性は高く、この方向に骨は非常に強くなる。例えば頭蓋骨については、骨面に沿って二次元的に配列しており、顎骨になると、咀嚼力に強く影響され、このように非常にセンシティブに変化する。その一方で、骨密度はほとんど変化しない。

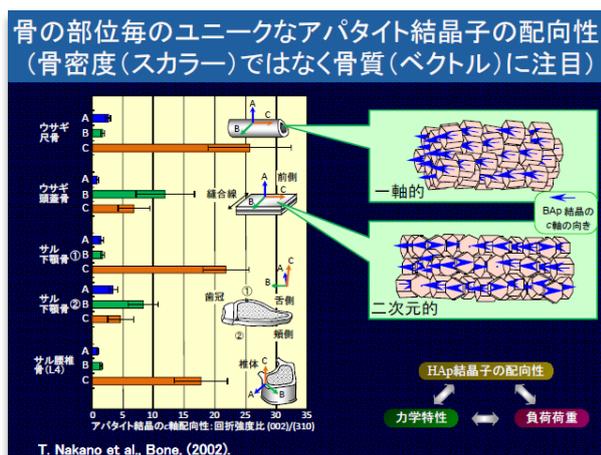


図5 骨中の代表的なアパタイト結晶の配向性

つまりアパタイトの配向性は、基本的に主応力ベクトルの大きさと方向と深く関わっていることがわかってきた。さらに歯牙に関しても非常に複雑な配向構造を持ち、メカニカルストレスとうまく対応している。

骨質における配向性は、再生医療とも関係が深い。図6はrBMP-2を用いて骨の大欠損部を再生させたものである。ここでは骨密度を横軸にとり、縦軸に骨質をとっている。この図からわかるように骨密度が最初に優先的に再生される。その後非常に長い時間をかけて、配向性、すなわち骨質がやっと再生されることがわかった。

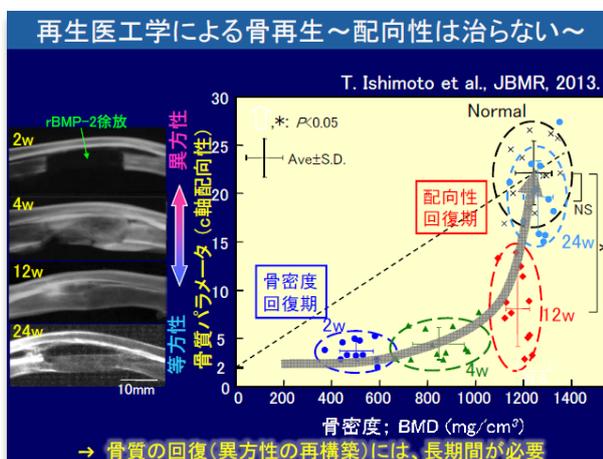


図6 再生医工学による骨再生

力学特性と骨密度の相関を見てみると、力学特性に対して、実は骨密度の影響は30%ぐらいしか存在しない。70%は配列、つまり骨質によって決まっているということがわかってきた。こうした配向性に基づく骨質の影響は、最近、かなり整形外科の先生方に浸透してきたが、他領域では、まだほとんど理解されていないシーズで、整形外科臨床医でもご存じの方は少ない状況である。

研究シーズとしては、最終的にはやはりデバイスと周囲骨、それを長寿命化して医療費を削減することが大きなテーマである（図 7）。このシーズのキーワードは、「骨質を変える」。ベクトル医療ということや、人工骨のカスタマイズである。金属 3D プリントは、最近になって実用レベルで使えるようになって、いろいろなことができるようになった。これに加え、表面に機能化を加える。さらに、リハビリの定量的な検証を行い、データベースの構築が必要である。ビッグデータ化し、大規模データ解析ができればよいが、ひもづけがあるので、まずはデータベースの構築を進めるべきである。また、解析手法であるが、最近、超音波計測により、特定方向で骨質の非侵襲的な方法が開発できるようになった。

◎同分野の社会ニーズ、研究シーズ

- 超高齢社会にともないQOLを維持するための、人工関節・人工歯根・骨デバイスとその周囲生体組織の長寿命化とそれともなう医療費削減

●研究シーズ

- 骨質(骨基質異方性・コラーゲン架橋の正常化など)医療にマッチした医科歯科分野での骨・骨関節治療のための医療用デバイスの開発
- 患者個別のテーラーメイド医療(フルカスタム・セミカスタム)への対応(金属3Dプリンタ技術など)
- 骨への応力最適化・遮蔽低減・衝撃吸収能付与するための新材料の開発。生体適合性を高める表面機能化
- 応力-人工物-生体組織相互作用の理解
- リハビリ時の応力負荷の定量的な検証とデータベース構築
- 超音波などを用いた骨質の非侵襲診断法の開発

図 7 社会ニーズ・研究シーズ

早期運動性の回復を実現させるための骨系細胞・骨基質配向制御法

**表面形状**  
すべり線によるナノ表面段差の導入  
ナノ周期構造形成

**応力場**  
伸張刺激負荷(繰り返し/継続負荷)

**分子配列**  
基板コラーゲン分子の配列異方性 → 化学的異方性  
collagen fiber, molecule, fibril, triple-helix

図 8 骨質配向制御方法

図 8 に示すように、人工骨表面の機能化はいろいろな手法が少しずつ出てきている。骨質に関しては、応力との関係が非常に重要で、これは筋肉の影響を考慮する必要があるため、サルコペニアと関わってくる。これには荷重負荷条件が重要であり、骨に加重をかけていくと、一定の運動加重に対して骨密度はほとんど変わらない。骨の量もふえない。ところが、アパタイト配向（骨質）だけが非常にセンシティブに上がることがわかってきた（図 9）。この配向性を中心とした医療というのを進めていく必要があるのではないかと。現在は骨密度を上げ、骨の量を増やすためのインプラントであるが、例えば、一定方向に、溝を切ってやって、応力を一定方向に導入することもできる。図 10 は動物実験の例であるが、主応力ベクトル方向にアパタイトは一定方向に配列している。こうした配向溝の導入により、骨質がかなり整えることが可能であることがわかってきている。

また、骨中のアパタイトがある方向に配列すると、場所によって強度が大きく異なる。例えば遺伝子組換えマウスなどを使ってみると、重要な遺伝子の探索が可能であり、骨に関する疾患を遺伝子レベルでスクリーニングできる。この方法が確立すれば、創薬・遺伝子市場にも波及していくであろう。

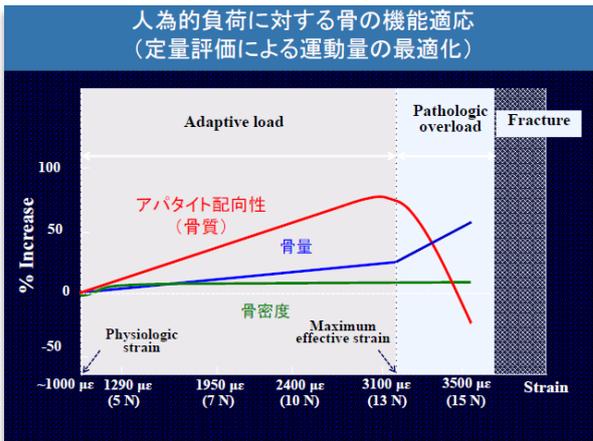


図9 人為的負荷に対する骨の機能適応

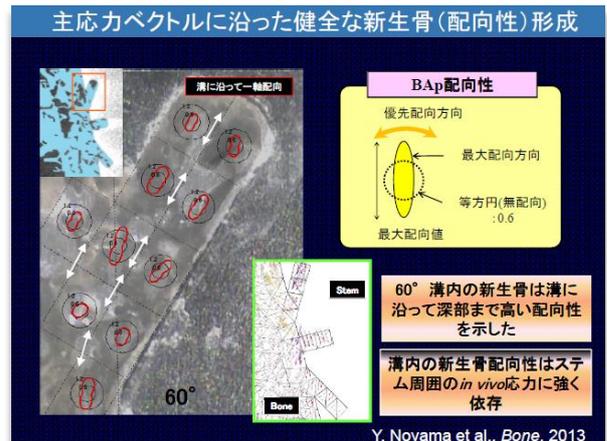


図10 応力ベクトルに沿った骨形成

この方面における関心は高く、研究を試みている日本の研究者は多い。整形外科系、歯科系、工学系の研究者の他、3Dプリンタ、計算系の研究者も含まれている。また、出口としての企業を考えてみると、いわゆるデバイスメーカーだけではなくて、非侵襲装置で評価系をつくるような企業の参画も期待できるであろう。基本的な考え方として、骨量とか骨密度ではなくて、骨質をよくするという、一番力学的な本質の回復に向かっていくような研究が進むことが望ましい。

3Dプリンタは生体模倣したようなものも製作可能である。以前PMDAにおいて3Dプリンタを利用した医療機器・用具のガイドライン作成に関与した。PMDA、厚労省は3Dでのテーラーメイドインプラント造形に関しては、非常に関心があるようだ。ただ現在のところ、残念ながらセミカスタムの手前で止まっている。こういう分野にカスタム化技術が必要であろう。それから、もちろん評価系も必要である。これは非常に特殊な超音波の1方向性の波を利用した、ストレスを強く反映する、そうした評価系が必要である。



図11 金属積層造形法による構造体創製

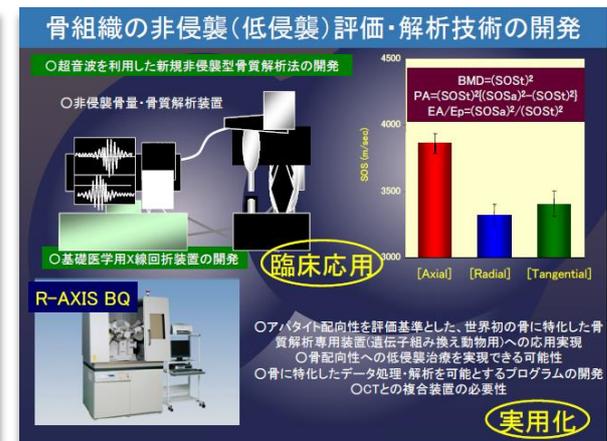


図12 骨組織の非侵襲評価技術開発

本研究のアウトプット、アウトカムであるが、波及効果としては、国民のQOL向上ということに貢献し得るデバイスになるだろう。また、考え方としては、スタンス・標語とし

2. 有識者発表

て、「スカラーからベクトル、テンソル医療」という高次元化を目指すべきと考える。運動、咀嚼という問題に対して、これらの機能向上、QOL 向上に貢献するような技術、あたかも生体骨として振る舞うような整形、医学系、歯科系のインプラントの開発、それから、その後のリハビリテーションの定量的な指針を示すための評価装置の開発ということが重要。そのためには骨質の概念の普及が不可欠になるだろう。

### <質疑応答>

**【質問】** 大変興味深い。骨量、骨密度ではなく、骨の配列、配列という骨質の概念であるが、例えば骨粗しょう症の診断で、骨質は評価対象になっていない。骨折では 8 割～9 割は転倒が原因。転倒のときの異常な荷重に対して、正常な歩行実験の荷重と全く違う荷重の仕方、必要となる配列が大きく変わる。通常歩行時と転倒時、どちらを重視して骨質を評価するか。

**【回答】** 非常に本質を捉えた観点であり、配向性（骨質）の最も特異なポイントである。骨粗しょう症では、続発性と原発性のものがある。骨質は非常にマイルドに変化している。一般に、骨質は静的な荷重がかかる方向に強くなっている。原発性の骨粗鬆症では、普通に運動しているときには、骨は細くなっても一生懸命配列し、機能を高めている。しかし、量は少ない状態で余裕がなくなり、そこに変動的な荷重が横方向から加わると耐えきれなくなり壊れてしまい、骨折するというメカニズムになっている。つまり転倒時に配向性が強く関わっている。続発性の場合には、ほとんどがカルシウム欠如、ビタミン B との欠如が原因。

サルコペニアの研究で、筋肉も非常に重要だと考えている。筋肉にも方向性がある。超音波計測のデータから解析が非侵襲的にできる可能性がある。

**【質問】** 再生医療に関連して伺いたい。現在、骨、軟骨に関する再生組織製品が出ている。軟骨はコラーゲンのタイプ I、タイプ IIなどをスカラーで扱っていたが、結局テンソル、ベクトルで扱うように変化し、再生組織の機能を決定的に変えてきた。骨質の計測技術がないと、骨・軟骨系の再生がうまくいかないのではないか。今後そういう流れになるように思われる。例えばウサギとかサルデータのデータは、先天的な特性なのか、それとも後天的にアパタイト配向が醸成されてくるのか。再生医療をやっているときには、おそらくその使い分けをしないと、臨床レベルの治療にならないのではないか。

**【回答】** まさにおっしゃるとおりだ。先天的か後天的か、明確に何%というのは、もちろんまだ研究の途中段階。日本全体でもまだで、世界でもなかなかやられていない。例えば胎児期の骨をとり出して、観察すると、先天的に正常な場合は、非常に弱い配向を示している。ただし、その後の力学レスポンスに対してどの程度反応するのか調べる必要がある。先天性と後天性の配向性への影響を分けることで、スポーツや医療に対して効果的に貢献できる。

**【コメント】** 再生医療の研究者がどこまで受け持つのかわからないが、その部分を臨床に適用する場合、臨床医が理解した上で、考えないと成功しないというような、短絡的な結論になってしまうことが危惧される。

**【回答】** 今回少し極端な例を出して、最新の再生医療では配向はなかなか戻らないという話をした。今後進めていく場合、質の悪い骨でも、骨質に着目して考える必要があるという

こと。今は力学的な応力をきちんと管理した状態でリモデリングしながら治していき、長い時間をかけている。一例ではあるが、初期に配向化されるか、後から配向化させるかということを含めて、人工的に、例えば配向化を初期に導入してやる、細胞等をうまく動かしながら作っていくという仕組みを導入することができる。その後は今度は応力にちゃんと対応したようなものに変えていくのがよい方法かもしれない。

**【質問】** 最初から完璧なものを狙うと、技術的に難しいと諦めてしまうので、始めは少し質の悪いものでもよいから、それを成長させるという方がよいのではないか。

**【回答】** その通りだと思う。ある程度の骨質を人工的に導入し、その後はバイオメカニクスの力学的な力学応答によって機能適応させるための設計が重要である。

最後に、3Dプリンタのガイドラインについて言及したい。あのガイドラインは国として、研究者と企業が3Dプリンタを今後うまく活用するための呼び水にするという意味で策定しており、先生にも協力いただいた。

**【コメント】** 体は個人で全然違い、疾患によっても違う。極端な話、同じ骨格の形状であっても、疾患、特に骨粗しょう症を治すためには、その外部の組織までも3Dプリンタで整備をする必要がある。一人一人のカスタマイズをできるようなものは、3Dプリンタという概念を本当に適用できる可能性というのは、今後の検討・検証が必要な段階。

## 2.4 スポーツ外傷サーベイランスシステムの構築

### 早稲田大学大学院 スポーツ科学学術院 教授 福林 徹

スポーツ関係の研究を継続しており、特に JOC（日本オリンピック委員会）とか、日本体育協会、それからサッカー協会を中心に臨床研究を進めている。スポーツはこれから 2020 年のオリンピックで非常に盛んになるであろうが、どうしても怪我人が出てしまう。そのため、いかに怪我を予防するかというようなことをテーマに連続的に研究を進めてきた。

最近では IOC（国際オリンピック委員会）、FIFA などがスポーツにおけるケガ予防研究を推進している。しかし、スポーツにおいて、昔は怪我した選手は容易に治せないという考えが主流であったと思う。ところが現在は非常に予防、どうすれば怪我を予防できるかということに重点を置くという方向に変化してきた。本日はその点を中心にお話します。

JOC、日本体育協会の委員として、予防プログラムを組み、実行しつつある。その経過をお話する。

資料に記載した内容は日本体育協会における研究プロジェクトである。ここ 6 年間ぐらい日本におけるスポーツ外傷サーベイランスシステムの構築ということを進めている。日本は保険請求からの全国的なスポーツ外傷統計、また、スポーツ安全協会とスポーツ振興センターという 2 つの組織があり、日本のスポーツの怪我の一部は、学校体育における体育の授業で網羅されており、毎年何人けがしたというデータが出ている。しかし、それだけのケガ人がでるか、以後どうすればいいか、どのような対策をとればよいか、というようなことには対応できていない。従って、毎年、同じようなデータで、今年は何人けがしました、今年は何人怪我しました。というデータ発表のみになっている。このデータが 10 年以上蓄積・発表されている。



図 1 スポーツ安全保険における外傷発生率

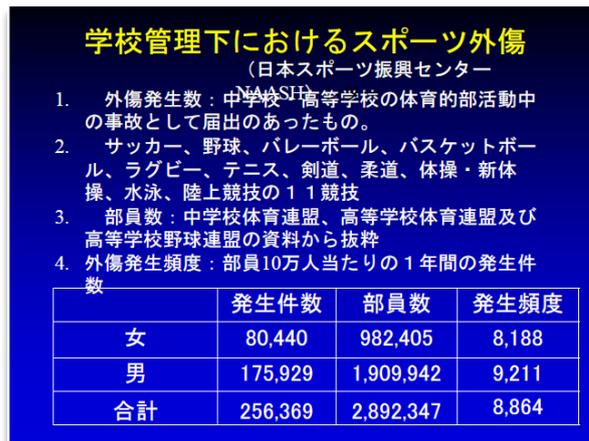


図 2 学校管理下におけるスポーツ外傷調査

こうした事態をよしとせず、中央競技団体でのスポーツ統計をきちんと行い、IOC がやっているように、それをケガ予防に利用できないかと考えた。現在のところ、特にデータがきちんと整備されている競技団体は J リーグである。また、ラグビー。それから、女子バ

スケートボール、アメリカンフットボールも、データが整っている。これらの競技は脳震盪が多い。こうした状況を踏まえ、最近新しい外傷統計が発表された。

予防への取り組みということで、いろいろな予防プログラムを作っている。サッカー、女子バスケットボールチームにおいては予防用の運動プログラムを作り、運動能力テストの実施、介入（運動能力テスト）前後における外傷発生頻度、能力、フォームなどの解析が行われている。これらは現在実施されつつある。

図はどのぐらい日本で怪我をしているかというスポーツ安全協会のデータである。保険加入者を対象にしたものであり、年間の外傷数は約 25 万人程度である。女子がやや多い。この傾向は毎年ほぼ一緒である。部位別では、手、足と、頭頸部、膝が多い。部位も毎年変化していない。加えて関節の捻挫もある。最近注目されているのは脳震盪で、こうした外傷も多くなっている。

若年層（ジュニア世代）は骨折が多い。それが大人になってくると、捻挫が増える。これに続いて打撲挫傷である。

男女では、女子の方が捻挫が多い。骨折は男子の方が多い。

ここで示したデータはスポーツ安全振興センターのもので学校内の事故である。対象は中学校、高等学校で体育の授業中の発症が多い。結構怪我人が発生しており、その数は毎年 25 万人ぐらいに達している。運動部等の部活動における部員数、発生頻度を図に示した。やはり中学、高校は結構怪我人はいて、毎年増減がないこと、運動の指導法は全然変わっていないことからすると、指導方法に問題があると考えられる。今後何十年か、学校教育の体育の指導法等を改善していく必要がある。

種目別で見ると、図のようにバスケットボールが最上位となる。これは高校の体育の授業、クラブ活動等で男女とも人気のある種目であるからである。他にはサッカー、野球などの人気のある球技系スポーツとなる。ただし、発生頻度から見ると、ラグビー、柔道のような衝突が多い競技、格闘技になる。ラグビーは一見、危険そうな感じがしてこの頻度は頷けるのではないかと思うが、柔道の頻度も高い。

軽い怪我也入れた部位別では、やはり手足の怪我が多い。次いで足関節。また整形外科の視点から見て、実は膝関節は手術が行われることが多く重大な問題である。それから、最近はかなり紙上を賑わしている脳震盪が増えている。これは非常に問題である。

学年別では、人数から見るとやはり中学生が多い。逆に頻度から見ると、高校の体育が多くなる。これは体育の授業より部活動に起因しており、高 1、高 2 でのケガが結構多い。

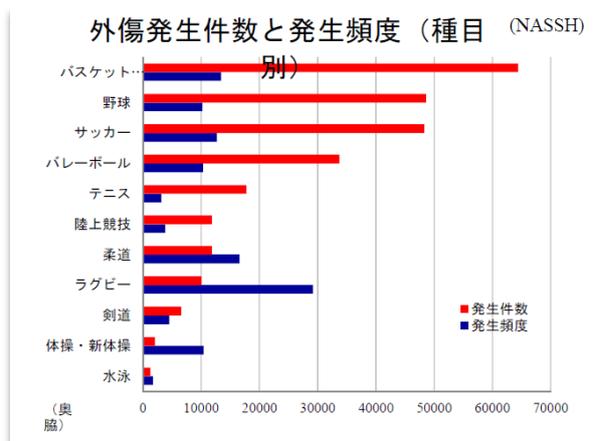


図3 種目別外傷の発生件数・頻度

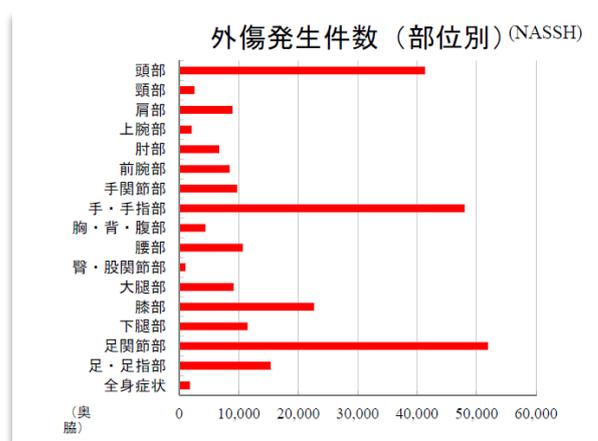


図4 部位別外傷の発生件数

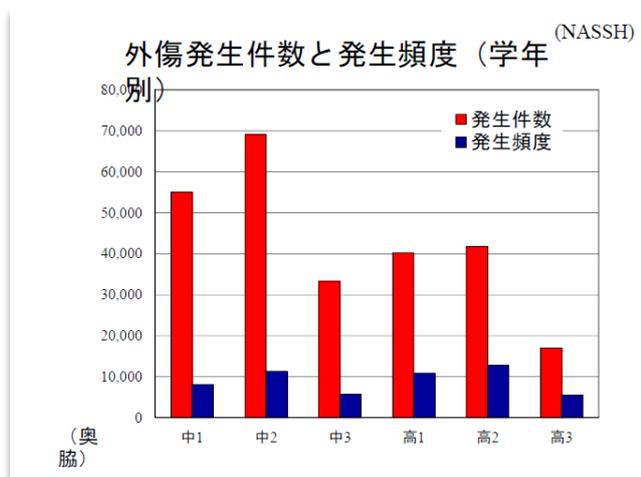


図5 学年別外傷発生件数・頻度

日本体育協会の全面的なサポートのもとに外傷の発生調査を行い、Jリーグ、なでしこリーグ、バスケットボールの女子リーグ、ラグビーリーグなどを対象に調査した。ラグビー、アメリカンフットボール、柔道では特に頭頸部外傷が多いことが判明した。

原因究明が非常に重要である。原因究明するために、事故発生時のビデオ解析を実施している。最近では動画解析技術、動画の解像度など質が向上していることが原因究明に大きく貢献しているといえる。その他の要因としては、特に身体形態がある。女子選手ではアライメントが悪い選手も多くなっている。身体能力とか身体に於ける危険因子に少し着目してみた。

これは昔の方法であるが、Model based image matching と言われる手法である。怪我の診断についてモデルを当てはめ解析を行う仕組みである。現在はクラウドコンピューターを利用できるので高速な解析も可能と考えられている。基本はマイクロチップ式の高性能センサーを用いて行われる。身体のどこの部位にでも使えることから、大阪大学の中田先生が利用されている。各選手のデータは瞬時にその場解析が可能であると言われている。例えばサッカーなどの集団競技で、特定選手の動きがおかしい、パフォーマンスが低下しているとなったら、データ・解析結果をベンチに伝え、監督がデータを根拠として選手を

交代させるような、ゲームの戦術形成にも利用できるレベルである。このように、現場で種々に使えるようなシステムができている。

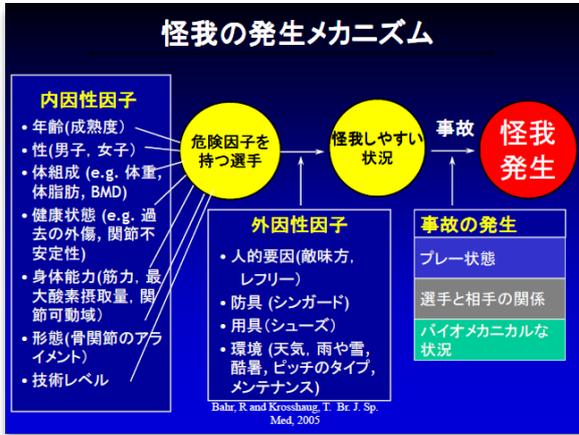


図6 ケガの発生メカニズム



図7 運動解析事例（ジャンプ）

運動解析をした事例を紹介する。図はジャンプをさせてみた例である。女子と男子と比較すると、女子は膝が着地時に外反をしているような例が見受けられる。これは、高校女子選手で圧倒的に多く膝前十字靭帯損傷の原因となっている。

こうした動作解析の結果を踏まえ予防プログラムを作ることになった。サッカーはFIFAが中心になって、積極的に進めた結果、FIFA11+というプログラムを完成した。このFIFA11+は世界中で使用されるようになった。我々は女子バスケットボールの予防プログラムを日本バスケットボール協会が開発し、WJBLとして完成した。柔道では基本運動プログラム、ラグビーはRugby Readyとしてまとめている。女子バスケットのものが一番評判がよい。コンプライアンス面ではFIFAのものが評価が高く、週に3回以上の現場での実施が推奨されている。FIFAの場合は、日本協会にFIFAの担当者が来日して直接現場での指導を行った。これを日本協会も積極的に受け入れて、特にジュニア育成に活用している。日本においても既に良好な結果を得ている。このプログラムを男子サッカー選手が実施すると足関節の傷害発生率が低下している。最近では、膝の前十字靭帯損傷予防にも効果が上がっているようだ。その要因を考察すると、おそらく選手のバランスが向上していると考えられ、バランスの向上が怪我の予防に寄与している。加えて腰痛も減少している。このプログラムは育成年代にはよいことがわかったが、これはトップリーグで進めても簡単過ぎてしまっただけであった。それで、バスケットボールで同様のことを試したが、失敗した。高校女子体育の選手はこんなやさしいのはできないという評判で、誰もやってくれなくなった。



図 8 ケガ予防プログラムの事例

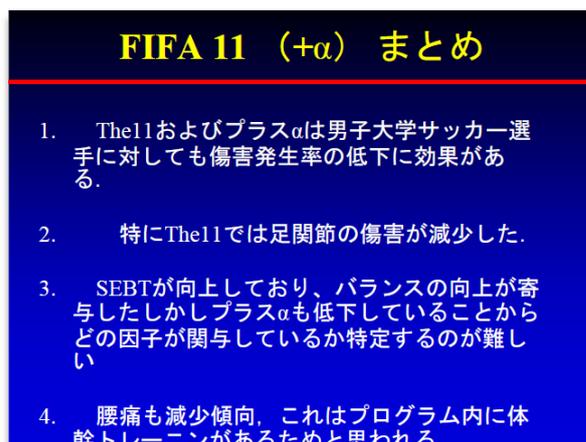


図 9 FIFA11 の効果

予防プログラムにおいて重要なのは教育と啓発活動である。サッカーの場合、FIFA から担当者を招聘した。なでしこジャパンのような、知名度の高い選手を使うと、他の一般女子サッカー選手が言うことを聞く。啓発ビデオに出演して宣伝してもらうと、効果が高かった。

日本におけるスポーツ外傷サーベイランスシステムの現状は、日本スポーツ振興センターとスポーツ安全協会のデータを集めたが、これではだめだと思う。これに医師を関連させて、いかに予防プログラムを開発していくかということが重要である。現在、各競技団体で医療との連携を進めている。サッカーは比較的うまくいっているが、女子バスケットではプログラムを作りなおして進めている。

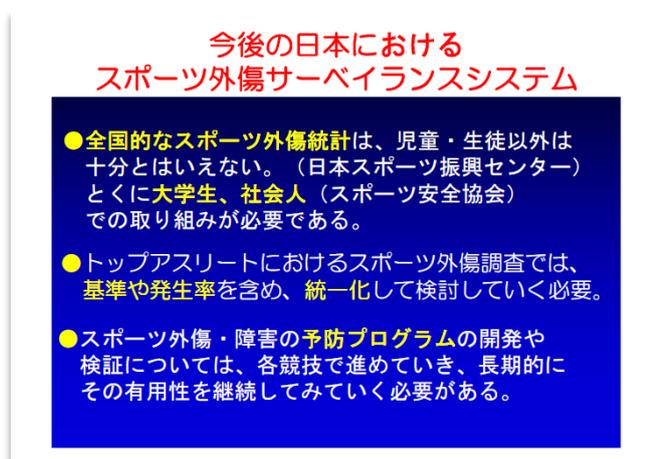


図 10 今後のスポーツ外傷サーベイランスシステム

スポーツ界は 2020 年に向けて、ここで紹介したような怪我予防のプログラム・仕組み、システムを発展させていく必要があるだろう。実は、こうした予防にはトレーナーが重要な位置を占める。マッサージ師ではだめ。結局、トレーナーというのは現場で協力して、選手の動きをチェックして・・・というような、予防ができる専門家でなければ務まらない。今までは、選手個人が怪我したら、どこかマッサージに通って、治しているようだが、ケガの治療や予防に対するニーズが全く充足できていないのが現状である。これから

スポーツは予防の時代に入ってくるだろう。今後は、トレーナーとスポーツドクターが一緒になって進むことが必要になる。日本体育協会、JOC などと協力しつつ、今後進めていく必要があるだろう。

### <質疑応答>

**【質問】** 各スポーツ団体は、子供が減少し、スポーツ人口も減少していく中で、中高年のスポーツ各競技人口は保っていききたいという。そのために、ケガ予防が、トップ選手だけではなく、一般スポーツ愛好者にケガの予防のプログラムがどのように有効かということを普及しているか。

**【回答】** 少しずつ始まっている。FIFA がこのプログラムを開発したのは、トップ選手向きではなく、バランスがとれていない中学生、高校生を対象としている。逆の言い方をすると、易しい運動プログラム。中高年以降では老人向けという特徴がある。トップ選手に導入しても有効ではない。

FIFA は対象者層、難易度を考慮して、FIFA11 を開発・導入している。ジュニア層といっても、幅がある。ヨーロッパでは中高年でサッカーが盛んであり、中高年層に導入できる。我々が開発するものは実は中高年用である。日本体育協会と相談し、始めに若年向けプログラムを開発したが、中高年用でも適用できるように考えている。怪我をしないためのプログラムであり、外傷ではなくて、障害が対象。中高年なので、腰が痛いというような傷害を予防するようなプログラムを作っていきたい。

**【質問】** そのプログラムにおける予防の理論、科学を研究しているプロのスタッフがいるか。

**【回答】** 日本サッカー協会はプロの科学的視点を含め、一番早く予防に取り組んでいる。残念ながら各スポーツ団体は、どうしても縦割りである。他のスポーツ団体が動かないのは不思議である。

**【コメント】** 自分は、ゴルフ協会でも同様の取組を行っているところ。しかしゴルフにおいては、日本ゴルフ協会、男子ゴルフ、女子ゴルフと3つに別れ、相互の交流がない状況である。

**【コメント】** 共通する理論があるはず。

**【回答】** サッカー協会はサッカー協会傘下にある、Jリーグからジュニアまで1つの協会で、全部統一ができ、コントロールが効いている。野球の場合は、高校野球とプロ野球は全然関係ない状況。例えば、高校野球を対象としてもプロでは全然見向きもしないというような問題がある。

**【質問】** プロに近いような方と、中学生とか高校生、傷害の中身を拝見すると、ほぼ同様に思うが、何か違いがあるか。

**【回答】** トッププロと小学生、中学生は違う。

**【質問】** どういう面か。

**【回答】** サッカーを例にとると、Jリーガーは捻挫は少ない。しかし肉離れは起こしやすい。

**【質問】** 鍛えていてもそういうことが起こるのか。

**【回答】** 逆に、小学生、中学生は肉離れはあまりない。しかしバランスが悪く、ひっくり返ってしまい、足首を捻挫する。プロになると、バランスはよいので、相手からタックル受け

たら転倒するが、自分でひっくり返るといのではない。その代わりに肉離れが増える。年齢によっても違うが、技術レベルが上がると、怪我の部位・種類は変化する。

**【コメント】**先ほど指摘があったが、日本の場合、様々な団体が乱立する傾向にある。1992年アメリカにおいては、AIMBE (American Institute for Medical and Biological Engineering) を創設した。

1990年代初頭からアメリカでは、医療技術を米国の優良産業にしたいという政府の意向があった。それ以前は多数の学会がバラバラに政府に対して NIH としての研究課題を個別に推薦していたが、アメリカを本当に強くするためには、政府はどこに注力したらいいのか、アメリカ政府は極めて幅広い分野を包含するバイオエンジニアリング分野を「一つの声」に統合してほしいと学会側に要望した。その要望を踏まえて、関係する学会の理事長クラスが、年1回ワシントンでシンポジウムを3日間行うことになり、いわばバーチャルの学会としての AIMBE が開始された。AIMBE の発足記念シンポジウムでアメリカ整形外科学会の理事長が招待講演をしていたのを聞いた。アメリカでは整形外科領域でバイオメカニクスを早く取り入れ、非常に進歩したという話があった。アメリカンフットボールにはチームドクターがついているが、試合の途中で選手がケガすると、その中断の間何万という観衆は、その後彼がプレーをできるのか、できないのかという1点に集中してチームドクターの挙動を見守っている。チームドクターである整形外科医は、診断機器などの道具なしに、自分で触ったり、患部を動かしたりして、診断をくささなければならず、その結果によっては大観衆のブーイングが起きる。大変ストレスのかかる環境において、短時間で判断を迫られるアメリカには1960年代ぐらいからこうした社会的背景があり、膝など運動器系のバイオメカニクスは、医工連携がものすごく進歩した。だから、整形外科のバイオメカニクスは世界でアメリカが一番強くなった。

ぜひ日本でも、こういう機会を使い、JST がうまく柱をつくって推進する。場合によってはAMED研究で現在9つの柱があるが、さらにもう一つ1つの柱としていただき、10番目の柱になる可能性は十分あると思う。その場合は5年とか、長くて10年という時限では意味がなく、若い研究者がこの分野に入ってきてても根づかない。もう少し長期的な展望をもつ必要があるだろう。

そのためには、日本の従来のシステムを超えて提案していく必要があるだろう。バーチャルでよいので、常時関係者がホットラインをもつような学会連携のシステムについて考えるとよいのではないか。

**【コメント】**先コメントへのフォローになるが、特にアメリカの場合、整形外科の医師とエンジニアが一緒になって整形外科を構成している。これは衝撃的で、エンジニアが貢献できる形態をつくっている。この点は日本と大きく違うところ。

**【コメント】**アメリカの大学医学部はエンジニアが非常に多い。

**【回答】**日本も同じような仕組みにしないと進まないのではないか。医師は医師だけで進歩している。他分野の研究者は全く発想が違うので、実際の臨床にあわない研究になることがある。

**【コメント】**工学系研究者もやはり神経科学や臨床医学、臨床現場を見ていないと、かけ離れた「研究のための研究」になってしまう。

## 2.5 身体性の脳科学 脳科学を活用した運動機能向上研究

情報通信研究機構 脳情報研究センター 研究マネージャー 内藤 栄一

これまでの話とは違い、脳科学という分野を活用した運動機能向上研究といったものが、すぐに実装できる技術ではないと思うが、そういうシーズが日本の中に育っているというような話を少し紹介したい。

特に脳科学の中でも、もちろん脳の中の全てがかかっているような記憶だとか思考だとか、そういうものを研究の対象とされている方と違って、我々は、運動機能に着目して、身体といかにうまくフォーマットするかとか、体の覚えたものを脳がどう学習しているか、その機能をどう上げるかというようなことを研究している研究者がいる。

私の話はもう少し漠然としており、日本の中で、今、どういう人たちがいて、どういう方向の研究が可能になっていきそうかというようなお話をしたい。

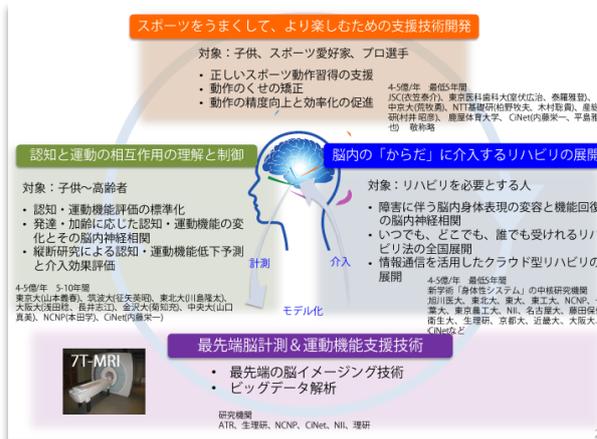


図1 脳科学と運動機能研究の関係

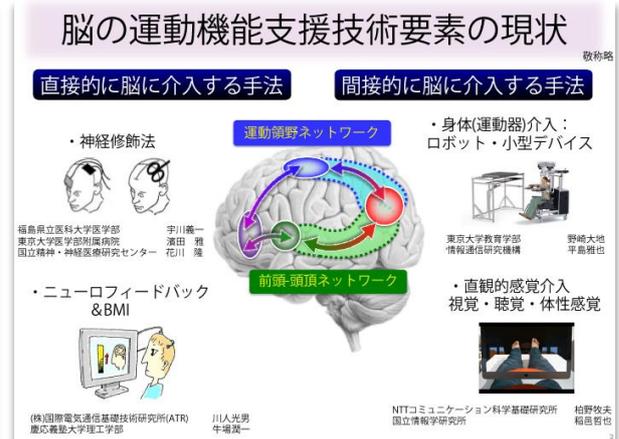


図2 脳の運動機能支援要素技術の現状

まず、脳の計測というものをするため、我々のところでは、日本の中で大体3台ほどの7テスラMRIという非常に高機能のMRIが導入されている。これを使うと、標準的な3テスラMRIと比べてかなり、個々の様々な細かいレベルの解析が可能となる。

さらに、脳のデータのかなり大きなものが出てきており、行動との相関というようなものを見ていくと、必ずビッグデータ解析みたいなものが必要になる。そういうことを主に行っている研究機関を挙げているが、いわゆる脳計測基盤技術を持っている場所である。

後ほど、脳内の「からだ」に介入するリハビリの展開について紹介する。これは既に進めており、科研費の新学術領域において「身体性システム」という研究領域が展開している。脳がいかに体を制御するかということに着目し、脳がどう表現しているか、その部分に介入するということで、リハビリを展開する試みを行っている。この研究は、将来的にもうちょっと発展させていくことができるだろう。

また、認知と運動の相互作用の理解と制御に関しては、先ほどからも幾つか出てきたが、例えば我々の立場であると、ロコモティブシンドロームや転びやすくなっている場合、単に身体での筋力の低下が見られる場合、加えて、認知機能的な部分で、そもそも判断が鈍

2. 有識者発表

ている場合、注意力が落ちている場合など、そうしたものに対して、運動することで改善できるというデータが徐々に出てきている。

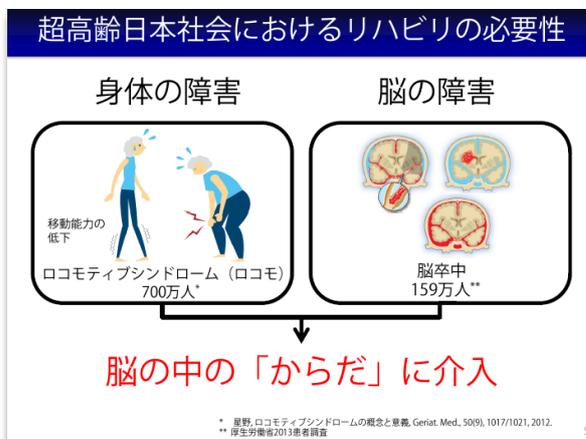


図3 リハビリの必要性

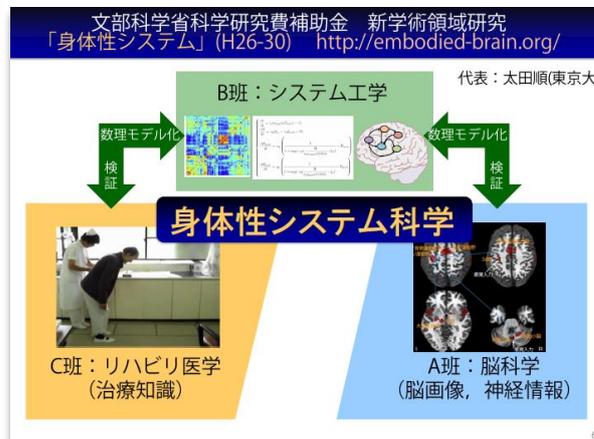


図4 新学術領域研究「身体性システム」

このような観点から、運動機能を標準化したり、その運動機能がどう経過していくか、また、介入したときにどういう効果が得られるだろうかと点を縦断研究的に展開できればと考えている。

最後、スポーツが上手になり、より楽しむための支援技術ということを紹介する。基本的にリハビリテーションというのは我々の立場から見ると、今までできていた日常的な動作をもう一度再学習することである。それに対してスポーツは、非常に特殊な運動。日常の行動で、実はあまりやらないかもしれないような、そういう運動で、ある特殊な運動を、「くせ」を抜いたり、精度を向上させたり、効率化させたりということが主なことになっている。実はそういうものを支援技術を使うことができれば、生涯にわたって楽しむ「趣味」にさえ変えることができるのではないかと考えている。

今紹介したのは、ほとんどあり得そうな支援であるが、細かく脳の機能を上げるという技術が最近種々出現している。

直接脳に介入する技術として神経修飾法といわれているものがある。微弱な磁気刺激で脳神経に働きかけることで、脳の中の脳細胞の活動性を誘導し、学習を促進するという方法である。

また、ニューロフィードバックとかブレイン・マシン・インターフェースといわれているような方法は、特にATRの川人先生を中心として、かなり進められている。実際に何か運動をしているとき、行動をしている人の脳の活動をフィードバックし、これを自分で試行錯誤してコントロールしている間に、実はある種の脳の機能を解明しているという最新技術である。また、間接的に脳に介入する技術として、ロボットデバイスを使って、身体に直接介入して運動を学習するという技術。加えて、直感的な運動介入技術、視覚を使ったり、聴覚を使ったり、体性感覚といったものを使いまして、運動機能を支援していくというような試みが日本全国で行われている。

先ほど申し上げた3つの技術に関しては、漠然としたものであるが、どういうものが今、成果として出つつあるかというようなことを若干、代表例を挙げて説明したい。

脳の中を体に介入するリハビリを展開するという一方で、もともと脳というのは、体がうまく機能するための調整役である。現状ではあまりうまく融合していない「脳」と「バイオメカニクス」の研究をもっとうまく融合していくと、もっとおもしろいことが、どんどんつくられてくると考えられる。その一例が我々のグループが進めている研究である。

もちろん身体の障害、ロコモティブシンドロームの問題、脳損傷、脳卒中の患者さんがおられる。これは、一定の身体の障害、脳の障害というようなことが言えるが、例えばこういう方たちの脳の活動をスキャンしてみると、ある共通項がある。これは脳の中いわゆる身体標本とって、運動野といったところにある脳の活動とかを集う場所の形状に変化が起きているというある種の共通性があるということがわかってきている。こうした部分を改善していくということで、やや間接的な感じかもしれないが、制御系のほうから変えていけないかという試みである。

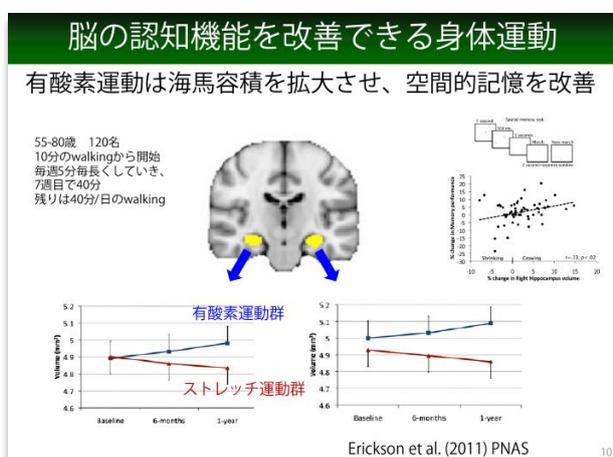


図5 脳の認知機能を改善する運動

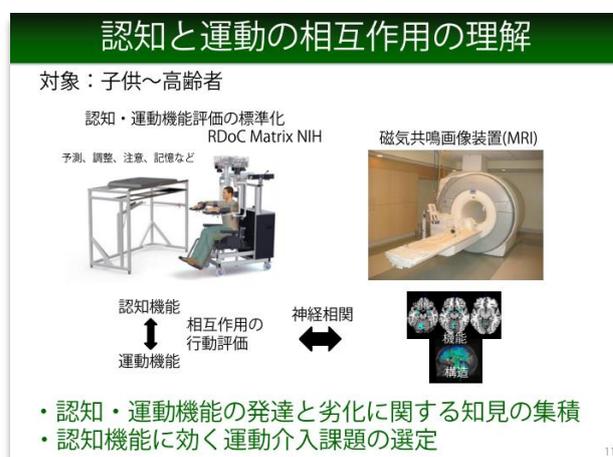


図6 認知と運動の相互作用の理解

身体性システムというものを展開して、主にリハビリ医学、脳科学、それから、システム工学の融合というものを図ろうとしている。例えば具体的なものとして、情報学研究所の稲村先生が進めているが、いわゆるSIGVerse、データベースを使い、患者さんがある運動をする。それに対して視覚情報である種ナビゲートをしてトレーニングする。その後にもまた患者さんがどうなったかというデータを全部入力して、毎回患者さんにフィードバックし、状態の変化に合わせて視覚のスピードだとか量というのを調整して、次のフィードバックに反映するというシステムを作っている。

これは先ほどCRDSの説明にあったようなクラウドの1つの走りみたいなものになると考えられる。

我々が今、「身体性システム」領域で目指しているのは、主に四肢切断と脳卒中の方をターゲットにしている。もちろんロコモとか認知症の大きな問題があるが、もとの研究成果をうまく発展させて、他の先生方の成果を融合していければと考えている。

この認知と運動の相互作用の理解と制御という部分について、例えば、これは脳科学の通説であるが、ウォーキングなどの有酸素運動を行うと、実は海馬が拡大して、空間記憶が改善するというデータがアメリカの研究機関から出されている。このように、やはり、例えば運動と認知機能というのは実際は密接に関係しているが、実はこれが代表的なもの

ぐらいで、かなり難しいところがある。もちろん筑波大学の諏訪先生が一生懸命やっておられるが、もっと本質的にやってもいいのではないかと考えている。

海外においては、運動認知機能の運動機能評価とか標準化、米国 NIH で始まっているらしいが、認知症、運動機能の相互作用、それから、神経相関というのを長期的、多様な年齢層で見たい。そのデータから子供の時の可塑性変化が、高齢者になってどのように変化するかを調べてみたい。このデータは縦断的にはとれていないが、横断的に見ると、どうも同じような傾向を示す。すなわち、成人のときに入り込んだ認知データが、高齢者になると、昔使っていたデータに戻る。そのようなデータが最近の研究で判明しつつある。このような横断的・縦断的な研究の累積により、機能を予測するということが可能になる。介入効果の縦断的評価のようなこともできるのではないかと考える。

スポーツが上手くなって、より楽しむことができるための支援技術開発という点について申し上げたい。日本人は、日常における身体活動が足りていない。これも皆さんよくご存じの話。

この部分で「バイオメカニクス」が活用できると思う。運動の制御学習理論ということを見ると、実は運動を行うときに人間は運動の指令を出すだけではなくて、それに対してどういう結果が戻ってくるかという内的な予測を立てている。この予測と実際の結果が返ってきて、それが合致している場合、我々は一番スムーズに運動できることが知られている。この点、最初に何か新しいものを学習する時には、「内的予測」と「実際の行動」は「ずれて」しまう。そのためにスムーズな動作ができない。しかし、この誤差をうまく使うと、動作を獲得するための学習を、ある段階で止めるのではなく、さらに促進できたり、さらには凝り固まった技術をまた一步上に持っていくことができる。我々が最近やっているのは、視覚フィードバックや力覚のフィードバックを使った技術の研究。例えばこの技術を用いると、モーションキャプチャ技術を用いて、実際に計測したものを画面でフィードバックすることができる。フィードバックの中にある種の、様々な誤差・ノイズをうまく入れることで、早く学ばせる、学習効率を上げるとか、強く矯正させることができるようになってきた。

近年登場してきた小型ウェアラブルデバイスを用いると、動かしている体に対して、力覚フィードバックをかけることができる。ある方向に動かす時、その方向は正しくないといった場合、動作のヒントとして、「こっちだよ」という手がかりを与えるというような技術も開発している。人間はこういう力覚に対するアダプテーションが優れており、こうしたデバイスの登場により、運動支援デバイスの実現が見えてきている。実際、のデバイスをどのような形で商品化するか、開発するかというところが問題である。

上手く運動ができるようになり、生涯楽しめるよう習慣化することで、スポーツ人口を増大させることができる。これが発展すれば健康増進、スポーツ競技力向上まで持っていくことができると思う。

研究期間・規模について考えてみたい。日本において、縦断的研究は非常に時間がかかる。基礎研究の単位としてよく5年と言われるが、ここは5年といわずに、5年よりも少し長いものにした方がよいのではないかと考える。人材育成や若手研究者の雇用という点を勘案すると、ようやく育った研究者が5年経過したら、次の職場を探さなければいけない。また、5年全てを研究に充てることができず、実質、研究ができるのは2年とか3年という

ことになっている。若手研究者を安定的に確保するために、じっくりと腰を落ち着けて研究してもらえる環境を若い人たちに見せ、育てることをご検討いただきたい。

### <質疑応答>

**【質問】**先生が発表されている「ネイマールの脳」のMRI像の研究に関連して伺いたい。サッカーには限らないと思うが、イメージトレーニングにより、ある程度スポーツの技能が上達するということはあり得るか。

**【回答】**ネイマールの場合は現時点までの長い経験の累積によってああいうことが起きているんだと思う。しかし、1つの可能性として、イメージトレーニングとか、ストレートにフィードバックのかけ方によっては脳のキャプチャを使うことで可能になるのかもしれない。

**【質問】**MRIは7テスラか。

**【回答】**3テスラ。

**【質問】**イメージしただけで、脳が活性化するのを見たということか。

**【回答】**足を動かしたときのデータは、実際に足を動かしたときのデータで、イメージしたときのデータというのはまた別のもの。

**【質問】**現在の研究は科研費のみで構成されているのか。

**【回答】**ほとんどが新学術領域の科研費。脳科学研究は多い。

**【質問】**研究で筋紡錘フィードバックを扱っている。このフィードバックは運動系であれば一番重要である。それは脳にどのような形でつながり、どういう経路でフィードバックしているか弁別することは可能か。

**【回答】**厳密に運動をしている最中は完全に1個の「コマンド」になってしまっているため、区別は非常に難しい。

**【質問】**1個のコマンドというのは。

**【回答】**私も実は筋紡錘で脳の画像を見るのが専門。筋紡錘だと、ご存じのように、信号の入力先は運動のネットワーク（運動野）。運動している時、運動野は信号を出力するため、体から来ているフィードバック信号はその次の運動指令を出す、回路をうまく作っている。そのため、運動している時は、信号をきれいに分離する、定量的に分離するというのはかなり難しい方法、しかし、これに筋紡錘への指令を加え、追加指令した部分だけ分離して検討すると、評価できる。

**【質問】**もっと踏み込んで、認知と運動の関連を、fMRIで見るとような場合を考えてみる。認知というのを考えると、運動機能の場合、特に運動における脳の該当部分のイメージ変化がある。fMRIの場合、活動している結果を見ていると思われる。うまくコントロールできているかどうかは見ないと思うが、何らかの方法で運動が起こる、意識に上る前の状態を観測することはできないか。

**【回答】**MRIの場合、ご指摘のとおり、血流なので、結構遅れてしまう。そのため、リアルタイム性・オンライン性に欠ける。最近ウェアラブルデバイスで、インパルスをサポートをうまく使って、HAPのアドレスを計測できるようなものができた。それでもまだやや遅れているが、時間分解能の遅れの問題は解決している。しかし基本的に今、認知に関連

づけできるのは、やはり 1 個前のトライアルを踏まえて、その次を自分で変えるというのが今のところ可能、現実的な手法で、実際にそうした手法を試みておられる方がいる。

**【質問】** それは習熟度によって置き方が変わるのかもしれない。また、置き方によって習熟度が判定できる、そのパーソナル MRI の結果と脳波の解析結果で相関はとれているか。

**【回答】** 幾つか相関を示唆するようなデータはある。しかし、ものすごくきれいなデータを定量化し、いわばバイオマーカー的に。この部分を見ておけばよいというためには、もう一歩踏み込まないという状態。

**【質問】** 内藤先生、あと、帖佐先生と原田先生との連携というのは可能か。

**【回答】** もちろん脳から脳指令が出て、体は動くわけで、無意識に動くこともある。我々のグループは運動分野の先生方と一緒に研究しているところで、連携は可能である。

**【質問】** 3 テスラ MRI で十分キャプチャーできるか。

**【回答】** 7 テスラになると、ものすごくよく見える。しかし一般の方が被験者となった場合、どうなるかわからない状態。慎重な対応が必要。時間が経過し検証できればもちろん使えるようになると思う。

**【質問】** ビッグデータの解析の部分は情報科学分野の研究者との連携が必要では。

**【回答】** 情報分野との連携が今後非常に必要なことになっていくと思う。

**【コメント】** AMED において、オレンジプラットフォームという、健常者から認知症までの 10 年間ぐらいを範囲としてデータを集積している。この中にはコホート研究を行っているグループがいて、その中では運動と同時に頭を使うデュアルタスクを行ったデータを活用して脳の萎縮を運動で改善したコグニサイズという手法を使っている。

お話にあったような情報は、科研費での研究とのことであるが、AMED で別のプロジェクトとして実施されている。ほとんど交流がなくて別々に行われているようだ。互いに有用な情報を持ちながら、一方の研究を誰がやっているかということも知らない。コホートも別々な状況。実社会の長寿社会を実現するための基礎研究、ステップ・バイ・ステップのつながりが全くできていない。人も情報もない。こうした情報や成果の共有、交流といったものについて考えていく必要がある。

### 3. 総合討論

#### (1) ワークショップまとめ（兎山）

今後、どんな研究開発領域を提案していくかということについて、事前にいただいたアンケート等を踏まえ、CRDS で考えてみたことについて述べる。本日のお話を伺う前なので、お話しいただいた事例は反映できていない。アンケートのまとめは、回答者名を削除し、席上配付資料とさせていただきます。

例えば「クラウド」という考え方もあるのではないかと冒頭申し上げた。もちろんクラウドというのはただの「箱」。箱の中に、例えば指導のノウハウ、ケガデータであれば、けがの診断という知見とか、データだけではなく、スポーツであれば、現場で指導してくれる「人」がいなければ、実行できない。ケガからの回復において、リハビリ段階であれば、医師ではなく、理学療法士の方が参照・実行される仕組みとなる。曾我部先生から「名人」というお話があったが、そういった方々が指導をされるということが不可欠。従って、箱の中に何を詰めるかということが重要である。

クラウドに関して、利用イメージを紹介した。クラウドは一種のデータベース、コンピューターのシステムであるが、国、あるいは大学を含む公的な機関で維持し続けるのは困難であると考えられる。例えば、システム開発予算がなんらかの理由で途切れてしまうと、コンテンツは更新されない、一方でシステムとして維持するため、運営費はずっと発生し続ける。最終的に必要な、世の中の役に立つシステムであれば、やはり自活していかなければならない。このような事情から、単にシステム／クラウドを開発し、コンテンツを集めるというだけではなく、利用イメージや維持管理の仕組みも考える必要がある。例えばスポーツの指導とけがの予防ということであれば何があるということで、例えばスポーツの指導での利用を考えてみる。例として野球、サッカーは傘下団体を統合しているという話があったので、他には、団体がばらばらであるゴルフもあるかもしれない。このシステムを利用してケガ情報の管理・データベース化、指導方法への適用などを行うのであれば、種目を定めて、まず、適用してみるという考え方があってもよいのではないかと。

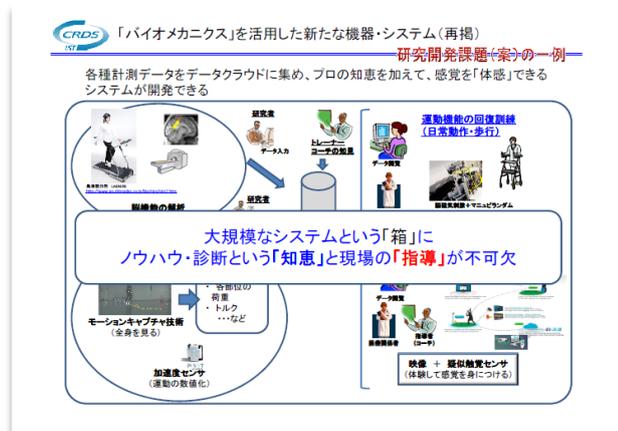


図1 成果展開例としてのデータクラウド

例えばリハビリへの対応。自力で歩行できない方に対するリハビリあるいは、人工関節を導入された方に対する歩行リハビリの支援への利用が想定される。お話ししたのはリハビリの事例であるが、クラウド利用者として、どのようなケガや病気を対象とするかということも考えてみてはどうだろうか。

事前アンケートの内容であるが、1 番目、健康長寿社会日本に必要な研究開発課題は何か。回答として、運動器疾患の病態を把握するための研究、あるいは筋肉の内部状態を含めて、多分ミクロな状態等も含めて把握可能な機器の開発などがあげられている。

2 番目はクラウドの内容に関する質問。3 番目はクラウドを用いる場合、産学官連携でどのような研究開発が必要かといったもの。これらの質問に対して、スポーツを楽しむための環境形成、けがを予防するような状況の把握・研究に関しては基本的に賛成のご意見が多かった。また、高齢者は一生懸命頑張っているとは言っても、高齢者に対応可能なスポーツ施設はまだ少ないため、高齢者に対して効果を実感できるような装置等は必要ではないか、運動に対する意識付け、啓蒙することが必要ではないかというようなご意見もいただいた。

スポーツ医科学研究などを支える研究の重要性ということについても、やはり基本的に賛成いただいている。しかし、事例として取り上げたりアルタイムセンサなどのデバイスについては、デバイス開発以外にもう少し考えるべきことがあるのではないかというご意見をいただいている。

クラウド構築については、やはり中身がなければ、クラウドをつくっても意味がないということ。中身を詰めていかなければいけないというご意見をいただいている。しかし、第 5 期科学技術基本計画の中では IoT (Internet of Things) といわれているような最先端の ICT 技術の活用が重要視されている。その場合、健康長寿のために情報技術を使うのではなく、情報化時代に即した健康長寿という観点から考える必要があるのではないかというご意見をいただいている。

クラウドを自立的に運用するという点に関しては、原則は受益者負担でいいのだけれども、民間のニーズと合致するか、ビジネスベースで運用されているシステムとのサービスやコスト面での釣り合いをとる必要があるため、自律運用は簡単にはいかない。そのため、利用料金を低減する仕組み、あるいは社会システムとの連動等を考える必要があるのではないかといったご意見があった。

その他、研究開発全般に関して、研究人材の処遇、それから、地方レベルで施策を進めるとした場合の問題点。スポーツ振興や医療との関係により、研究を推進する機関が異なる。既に幾つか最初に事例をお示ししたが、現在、国が推進する医学系研究は、ほとんどAMEDで推進するという事になっている。そのため、他の研究機関、ファンディング・エージェンシーでは手を出しにくくなっている。医療の色を薄め、スポーツ振興という切り口にすれば、研究機関としてAMED以外も関与の余地があると考えられる。

目指すのは健康長寿社会であるが、どのような対策をとっても、要介護、介護を受ける方がおられる。そのため医療を支えていただけるような人材の教育、処遇、育成といったこともやはり不可欠なのではないかというご意見があった。

いただいたご意見を踏まえると、まずやらなければいけないこととしては、本来、データクラウドに搭載すべき研究の内容、必要となる研究開発領域を考えていく必要がある。

一方は、病気、けがを治すためのサイエンス。もう一方は、スポーツで健康を維持するという考え方の両面があるように思われる。データクラウドやデータベースを目指すなら、データフォーマットの統一は不可欠であるように思う。ゴールとして医療へ応用することを考慮に入れても、まず、スポーツを入口として有用性をアピールするべきで、その場合でも、特にエビデンスが揃い、研究開発成果のよさを実感できる分野から進めていけば、国として有用な研究開発領域ができるのではないかと。

社会実装を考えた場合、どの機関でどのようなプロジェクトを進めるのかについて考える。現在、AMED のメカノバイオロジー領域は、2020 年を越えて研究が推進される。しかし、成果の実装を考慮に入れるなら、その後継プロジェクトが必要であろう。JST 以外にも、NEDO もあれば科研費もある。実装に至るまでの応用研究先を、どこかの研究機関が用意する必要がある。

スポーツ医科学研究では、JISS が中心となって研究を進めている。ただし、対象をトップアスリートに限定せず、一般の方も含めるような方向性を考えていただいてもよいのではないかと。あるいはスポーツ外傷サーベイランスシステムについても、データがかなり蓄積されているが、システム構築、データの蓄積をする、ここからケガの予防に結びつけるという考え方を、様々な団体へ普及させていく必要がある。

繰り返しになるが、「クラウド」というのはただ「箱」。大きな ICT 系企業ならすぐにもシステム構築は可能。問題はその中に詰めるべきコンテンツと多くの方が利用できるようなデータの標準化が重要と考えられる。

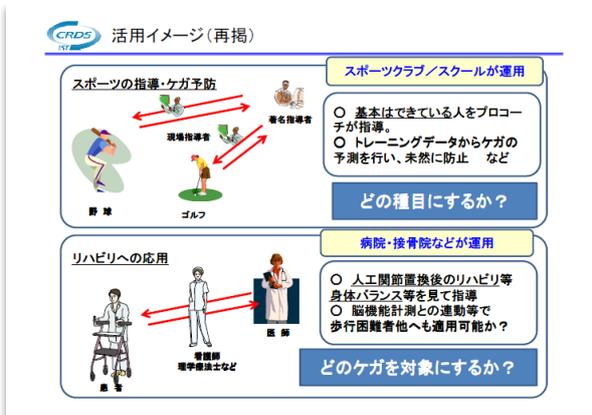


図2 クラウドの活用イメージ案

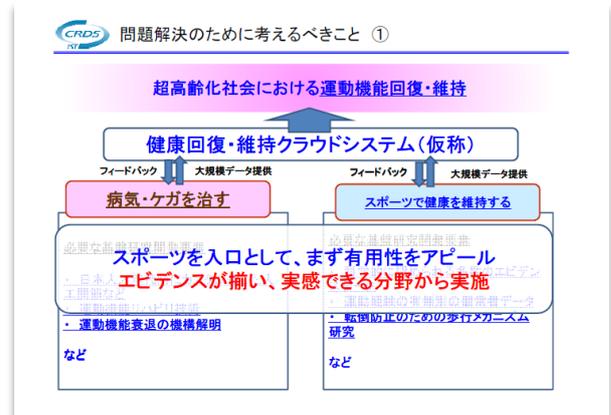


図3 クラウドシステムの展開案

スポーツにおいて、競技団体が縦割りだという話をいただいた。競技団体ごとに、研究しているところが違うなら、データのフォーマットは違う。そのため、クラウドの有無にかかわらずデータの標準化は先行して実施するべきであろう。また、データを取得するべき研究開発領域を確立する必要がある。

ただいま申し上げた事例は、健康長寿社会日本を作っていくに当たり、どのような研究開発領域が必要かということについて、自由にご議論いただきたい。

**【質問】** 目指すものが健康長寿社会とのことであるが、喫緊の課題としてどの世代を考えているか。

**【回答】** 現段階において後期高齢者といわれる前の世代をターゲットとしてはと考えている。60代以降というところが狙い目。

**【質問】** スポーツを対象として行政機関では、厚生労働省、スポーツ庁がある。どちらのラインがよいか。

**【回答】** スポーツを軸にした場合は、スポーツ庁が適切と思われるが、スポーツ庁の窓口を把握できていない。なお、基盤研究領域としてとらえた場合、医師の視点、医学的基礎研究を中心に進めるなら、厚生労働省とも相談する必要があると思われる。現段階でどこか特定の省庁のみを窓口としているわけではなく、可能性について記載させていただいた。

**【コメント】** 議論のきっかけになればと思うが、提示されたデータにあった通り、特に若い世代、これからのことを考えると、非常に心配な状況。現代社会では日常生活に関する利便性が上がり過ぎており、歩く機会がずっと減っている。エスカレーター、車の場合もそう。今回の議論においては、例えばスポーツという切り口で皆さんに啓蒙していくのは非常に重要だと思う。子供たちもあまり動かないし、ゲームでばかり遊ぶようになると、屋内でばかりいて外で遊ばない。社会環境が大きく変わってきている。

仙台では新たに地下鉄が開業し、東北大学の工学系がある青葉山キャンパスの最寄り駅は、地下鉄駅が地下6階。エスカレーターがあるが、1列しかない。そのため、誰か1人動かないと、みんな階段を使う。若い人は結構階段を使って6階まで上り下りする。バリアフリーの観点からエスカレーター・エレベーターは必要であるが、便利すぎる環境が歩行する機会を奪っているように思われる。

社会的な啓蒙という意味で、体を動かすことの重要性とをスポーツを通して、科学的なデータをきちんととっていくことが必要。事例にあったクラウドは必要だと思うが、まずは、ある程度「健康」という面に一本化して検討するべきではないか。

**【コメント】** 事前アンケートの中で私自身は「いわゆる昔の時代の不便さをとり戻した生活様式を現代風にリアレンジして具現化した生活様式」と記載した。先般、内閣府の会議で議論したが、例えば糖尿病の場合に、最近は非常によい薬も出ており、全ての糖尿病患者が医師の指導に従ってきちんと服薬していれば、実は国レベルの対策など必要ないのではという話も出た。

健康長寿社会が実現しても、我が国は国民皆保険制度をとっているもので、ある程度強制的な介入は少なからず可能と思う。医療費問題を含め、今後、もう少し強く介入していく可能性が出てくることも考えられる。

医療制度や疾病の対策と異なり、「健康」をターゲットとした場合には、既存の保険制度や医療システムに乗せることはできない。どんなにいい装置やプログラムなどを作っても、国民の半数、あるいはそれ以上、例えば20代、30代の方など、プログラムに参加してくれない人口が常に出てくる。その場合、スポーツのように、趣味として、モチベーションを持ち参加してくれるような形にする方法もあれば、ウェアラブルデバイスを活用し、無意識にデータを集積する方法もあるだろう。既に同じような趣向で保険商品なども出てきた。保険会社が指示出したとおりの健康診断を提出し、日常生活ログなどの実績データを提示することで、保険の掛け金を下げる仕組みなどもある。このように実践する際の状況

を考えながらテーマを絞っていく必要がある。テーマの絞り込みが適切でなければ、よいシステムができて、参加する人が少ないと効果が発揮されないからである。

**【コメント】** スポーツという切り口は非常に重要。散歩は中高年の典型的な「運動」である。しかし、散歩だけではやはり脳の活性化には十分ではない。スポーツを切り口にした場合に、時間軸で考えると、一定の年齢までできるスポーツがあり、一定の年齢から、そのスポーツを行う人口が減っていく種目がある。なぜスポーツ人口が減少するのかということ、よく調べるべき。例えば、それが痛みのためなのか、仲間がいないためなのか、お金がかかり過ぎるとか、様々な要因があるのではないかと。こうしたことを踏まえて、スポーツを長く続けられるようなにするべきであろう。

60歳を超えてから、新しい種類のスポーツを始めるのはなかなか難しい。関東ゴルフ連盟によると、日本女子プロゴルフ協会と男子のプロゴルフ協会を巻き込み、80歳までゴルフをできるプロジェクトを始めようとしている。これに関連して、本年度から、国立長寿医療研究センター、東京大学と日本プロゴルフ協会の合同研究プロジェクトを進めようとしている。ゴルフに限らないが、スポーツを活用することで中高年が、ケガ、事故の予防を行う。ケガからの回復、リハビリ等に活用できる方策を研究したいと考えている。

そのために、工学系研究者、医師・医学系以外の研究者と定期的に集まり、もちろんバーチャルに意見交換を行うのでもよいが、その合意事項をクラウドに乗せていく。国民も有意義なのではないか。実際に年に1回ぐらい、「異種格闘技戦」のようだが、異分野が交流する機会ができれば非常によい。その中から中長期的に研究するテーマが出てくるのではないかと。

**【回答】** JSTでは、過去に異分野交流する仕組みがあった。そういう実際に顔を合わせる場、意見を交換する場、そういう場があるというのは、非常に重要。

**【コメント】** 生化学分析を行っている立場からコメントしたい。先にJSTから発表があった問題解決方策で、足りないと思う部分は、スポーツ、身体機能、運動というものは、外側で見える。しかし、それで評価をしてしまうと、体の内部で、外側から見えない構成要素がどのように変化しているかはわからない。内部がどのように変化して、サルコペニアのような病気になるか、あるいは、運動機能が増大して、筋肉がついてきたのか、ケガしにくい体になってきたのか、ジョギング運動の成果が出るようなものを、ある意味でバイオマーカーのような生化学的マーカーで計測できないか、鑑定するシステムが必要ではないか。

最近メタボローム解析は結構大がかりになっている。しかし、セル分析などは汗の成分、尿の成分の中に、これまで検出できなかった微量成分、ペプチド成分、タンパク分解産物などを用いることで、体の状態の違いがわかるようになってきた。

どこからサルコペニアか、指標として筋肉量の変化はどうかというが、サルコペニアのきっかけは、どこかにあるはず。メタボロームが変化をする前にそこに関係しているタンパク質や酵素が変化していくはずである。マーカーが見つければ、病気の予測ができ、そこから解明が始められる。同様に、運動しない人が運動するようになると、筋肉のタンパク質が検出されるので、関連したバイオマーカーが増大する。また、激しい運動をすると、ケガしやすいという判定に使える生化学的な仕組み、体内変化を見るような分析・鑑定技術も必要ではないか。そういう観点の鑑定技術、予測技術というのを体に即した計測、分析技

術というところで、スポーツなり長寿社会、健康、栄養ということに加えたらどうか考える。

**【質問】** 縦断的なフィールドは先生のところにあるのか。

**【回答】** いろいろな切り口でやろうとしているが、やはり縦割り。タンパクプロテオームの研究者はプロテオミクスばかり進めている、ゲノムが一番わかりやすいので、データベースもできているが、もっと簡単な新しいマーカーがあるのではないか。自分はシグナルペプチドを検出する仕組みを見出した。シグナルペプチドをセル分析で網羅的に分析すると、体の状態、細胞の状態がわかる。これは汗からも微量だが検出することができ、神経性疼痛の際に、湿布薬を貼って、そこに吸収された成分で、湿布薬の効果を研究することができる。また、脳脊髄液中にも低分子ペプチド成分を検出できる。今までこれはノイズと思われていたものの中に、特異的バイオマーカーになるものが数多く出てくる可能性がある。このようなバイオマーカーが確立されるなら、病気の診断とか、予測だけではなく、健康状態の管理にも使える。これをクラウドに搭載し、自ら身体の状態が判定できれば、日常の自らの運動量調節にも活用できる。こうした新たなバイオマーカーに関する研究はまだ始まったところで生化学分野以外から利用したいという提案があれば、採用したい。

**【コメント】** ランダム化比較試験 (Randomized Controlled Trial:RCT) は無理だが、スポーツをどの種目をどれだけやっているかというのをあらかじめ調べておき、縦断研究のコホートと連動させることは有効かもしれない。このコホート研究ではトータルで1万人以上のデータがある。このコホート研究の血液は国立長寿医療研究センターのメディカルゲノムセンターに入っている。マイクロ RNA の解析も可能である。コホートは日本で別々に動いているので、コホート研究とゲノムデータベースに加えて、何か一つ加え、3 つぐらいで縦断的にやっていく、前向きに解析していくとよいのではないか。こうした連携により国際的な研究になる。

**【コメント】** ゲノム解析の結果で多くの事象を説明しようとし、結局、ほとんどできておらず、オミックスがあまり役に立っていないのではないかと議論がある。そのため、ゲノムではなくて、もっとペプチドに近いタンパク質を調べてなければいけない。その場合、プロテオミクスになるが、タンパクは、それぞれ性質が違うので、個別の技術を開発しないと、なかなか広がらない。ペプチドとタンパク質の中間に、難水溶性ペプチドがある、できてきたタンパクの何%かは、3 割ぐらいシグナルペプチドというのを持っており、それが細胞の中から外に出てくる。排出されたシグナルペプチドをうまく解析してやるとできるのではないかと。

**【コメント】** 何らかの評価指標が必要ではないか。マーカーにしても、例えば CT で撮ったある種のデータであるとか、バイオマーカーであれば骨質のようなものが必要と思われる。クラウドに搭載されているデータを用い、医療機関において疾患を予測する、そして、疾患後のリハビリに活用できる可能性があるだろう。最終的にはビッグデータになると思う。使うデータとして、新しい評価指標、まだ実証されていないデータ指標と運動、スポーツ、それから、バイオメカニクスとの相関を重視するべきである。得られたデータを例えばサルコペニアの場合の筋肉のデータ、具体的には、筋線維の太さ、方向性であるとかをもとに、診断指標のようなものを開発する。

【コメント】これまでの先生方のご発表にあったように、また、福林先生からお示しいただいたように、年齢ごとに筋損傷とか筋疲労がある。ただ、陸上競技の谷口選手では一般に用いられている CPK (クレアチンフォスフォキナーゼ) は上昇していないことがわかった。他の指標として  $\beta$ -enolase に対する新たな抗体を作成し、一定の成果を上げているが汎用性の点で課題がある。今も多分野の研究者とプロテオーム解析などを行っている。筋損傷・疲労のマーカーが見つければ、運動の継続や中止の指示を与えることが可能になり有用である。人間は、いくつになっても「動く喜び・動ける幸せ」が大切である。今回、熊本で地震にあった方がテレビのインタビュー等で、「普通に生活できるのがこんなに大切だということが初めてわかった」と述べられている。人間はできなくなって初めて運動の大切さを感じる。その辺を子供たちに伝えていかなければならず、運動機能の衰退・予測の評価はする必要がある。現在、高齢者に対しては万歩計や、カロリー計あるいは活動量計を福祉施設・団体に提供し、介入している。自分たちのデータが出た上で目標があると、「やろう」という気持ちになる。こうした「やる気」を引き出す仕組み作りをうまく進めることが望ましい。宮崎県では健康保険の支出も健康づくり施策の成果で減少している。地方が率先してやる必要があるのではないか。

高齢者の場合、「基本チェックリスト」では、心の方のチェック項目がかなり多くなる。身体を動かすということは気持ちも健康になる。心理的影響と運動の効果について評価方法を、考えていただく必要がある。

【コメント】「基本チェックリスト」は、介護保険の介護予防で使われている 25 項目を用いている。このチェック項目は非常に簡単で、しかも国民の高齢者全部に適用されており、認知度が高い。学術的にも重要で、実は英語論文が出ている。ちなみに基本チェックリストというのは英語で **Kihon Check List** という。アジア以外ではヨーロッパでも認知度が高い。バイオマーカーとして、適切な画像マーカーがあれば、連動させるとおもしろいのではないか。

なお、サルコペニアでは飯島先生の「指輪っかテスト」、単に両手でこれをやるだけ。これができなければサルコペニアである。非常に簡単なものであるが、これがもう少し筋肉の質とか強さとの関連づけできるかという研究を原田先生が進めている。

【コメント】最終段階が骨粗しょう症、骨折の場合は、その前段階として、フレイル、サルコペニアが最初にあると言われている。まだ国際的にははっきり実証されていないが、もし適切なバイオマーカーがアウトカムとして、各コホートのデータとともに、クラウドで集約されると有効ではないだろうか。

先ほどご紹介したようにアナログな方法での診断に基づいたものは完成している。工学の機器として運用しているものを医療機器として即座には利用できない。先ほど紹介された「指輪っかチェック」で、サルコペニアのリスクが今から 5 年以内にどのくらいあるか、という判定ができる。これが、バイオマーカーなどと連動し、医学的な根拠とつながる場合、そこから医療面での介入も可能である。運動というレベルであれば、医療機関ではなく、様々なところで十分実行可能になる。そのデータについては、インターネットさえあれば、入手でき、判定ができるというシステムが可能となる。骨については既存のシステムが完成しており、骨折に関するコホートデータが全世界レベルで存在している。例えば、骨密

度の測定に関して予測が十分できるようなレベルになれば、「基本チェックリスト」が十分役立つような形で判断して介入できる上、医療の世界を離れても活用できるであろう。

**【コメント】**「基本チェックリスト」は65歳以上の人は全員対象となっているが、予算の関係などから実施されていないのが現状である。せっかく作っても利用されないと意味がない。予防体操も山のように作成されている。その辺を是非クラウドを使って普及させるということが重要である。例えば、ベースになるのは誰でもできるもの、少しレベルの高い人はこれ、トップ選手はこちら、といったような選択肢を作ることができる。最初にお話したようにこの流れを是非作るべきである。

**【コメント】**最初にお話したように、本ワークショップで目指すものは、科学技術政策の立案である。この話をどこへ提案するかも含めて考える必要がある。厚生労働省なのか、文科省なのか、スポーツ庁なのか、経産省なのか。提案先によるが、技術開発を中心にするのか、データベース構築にするのか、健康福祉増進を中心にするのか、何か新しい領域を作る場合のお考えを伺いたい。いただいたお話を「全部大事です」といっても、行政機関で取り上げることは難しいであろう。厚労省は厚労省の手続きがあり、スポーツ庁が相手であってもどういう持っていき方をするのか。何に主眼をおくのかを考えておくべき。クラウドに絞るとしてもどの省庁が所管するかを踏まえる必要がある。

**【コメント】**運動系、整形科学領域の疫学が基本となり、その上で病態解明などにつながる。特にスポーツ分野で重要だが、現状ではトップ選手のデータしかない存在せず、一般の人たちはどうなっているのかわからない。まず、一般の方のデータを収集・分析した上で、次に、評価が必要になる。疫学と評価さえちゃんとしたシステムが出来上がれば予防につながることが可能となる。

**【質問】**評価のところに必要な要素技術は何か。対応する機器は何か。それを具体的に挙げなければ絞り込んでいけない。本件に関連する予算、所管する機関もない。

**【回答】**例えば体脂肪計が一家に1台もう既にあるような状況になっているが、そうした機器の評価技術が必要ではないか。こうした最先端の体脂肪計は日本が初めて開発・販売し普及してきたものである。これをベースに、例えば疾患やスポーツのケガ予防へとつなぎ、データを集積していく。加えてデータの標準化も必要ではないか。評価指標は具体的なものも非常に大切であるが、評価のための新しい科学診断、特に最新の侵襲的なモデルを低侵襲、非侵襲というものに変えていくことにつながる。例えば、先の骨質、配向についても、バスケットボール選手だったり、水泳選手とほかの選手とは違う。それこそ疲労骨折などに関わっている可能性がある。

**【コメント】**具体的な事例を挙げ、例えばバレーボールにかけて生体力学研究を推進するというようなチーム構成する。おもちゃ箱をひっくり返した提案では難しい。推進する研究の先端性、日本の技術的優位性、対象の研究領域における研究者層、特に優秀な研究者が活躍しているという形がないと突破は難しい。

**【コメント】**予防的視点からしてスポーツもよいが、最終的に、人間は年老いた時、ほぼかなりの人が自分で動けない状況に陥る。その原因は、筋と神経両方にあり、結果として転倒・骨折により寝たきりという状況になる。その中で1つ注目するとしたら、筋の状態。高齢者は実感している。こうした原因が蓄積して、最終的に寝たきりになるケースが多いと推察される。

それを誰に治してもらうか。残念ながら整形外科に行っても治らない。仕方なく民間マッサージなどに通う。これは、「手で治す」というのは精神的な効果も大きい。孤独の寂しさを癒やす効果もある。心理的な部分もすごく重要。しかし科学的根拠が薄弱な状態である。先に申し上げたように、癒やす「名人」はいる。その技術をどうやって客観化するかが問題。1つのアイデアとしては、筋肉の凝っている状態をイメージングして治療までするような機器を開発すること。これにより、怪しげな治療は払拭される。

**【コメント】**そうしたイメージング機器の開発に色々な指標を組み合わせているという考え方がある。ただ、機器にせよ、指標にせよ先端性を出さなければならない。筋肉の状態を「見る」ことは難しいと思うが、それができればスポーツに限らず、老化の解析とも共通する。

**【コメント】**装置、診断指標とセットにした、「筋の診断キット」(システム)で、傷害が全部見え、筋肉の再生のプロセスも見えるものがあればインパクトが高い。

**【コメント】**医療機器までは進んでいないが、例えば超音波画像診断を活用して、方向性を見る技術がある。最終的には骨質を見る技術に昇華させ、スポーツへ応用することができる。

**【コメント】**研究として、切っ先の鋭さというのは若い研究者の非常に重要な武器になる。お示しいただいた事例について、いくつかそうしたものを挙げる必要がある。中堅研究者、さらにこれを支援できる研究者層という組み合わせ。

**【コメント】**「骨質」の理論を筋に応用して多くのサンプルを提供可能である。

**【コメント】**情報科学、脳科学、バイオマーカー研究といった他分野との相関性が重要。様々なものを組み合わせないと、国として推進すべき研究開発体制にはならない。

**【コメント】**最先端ということで、内藤先生に、脳科学研究でもう少し何かできないかコメントをいただければと思う。先生が進めておられる研究との関係でご発言いただければと思う。

**【コメント】**ブレインマシンインターフェースの展開はあるが、一番難しいのは、運動というのは、脳が指令出しただけではなくて、それに対して体が応答してくれなければいけないこと。ある部分を変えても、身体が追随しないことが多く、その点が律速段階。脳の中の、例えば記憶だとか注意とかそういう認知機能というのを改善するというのはある程度成功しているが、本当に体がちゃんと動くとかという部分は突破できないのが現状。

あとはもう1個、近赤外線(NIRS)を利用して、脳活動を読み取る装置が出始めている。もともと、この装置は筋肉の血流を見ていたもので、空間解像度が低い。ピンポイント特定の1点にはならないが、日本が強い技術。大きな技術的バリアがあるとは思いますが、これを発展させることは一つの方策である。

**【コメント】**様々なご指摘・ご意見を頂戴した。本件はこの場で全て結論を出し、すぐに実行できるというわけではないので、さらに、先生方のお力をかりながら、調査を進めた、提言書をまとめて参りたい。

## (2) 閉会挨拶（永井上席フェロー）

本日の議論は科学的技術政策に重要な課題を挙げていただきました。ただ、利用する技術とシステムのバランス、切っ先の鋭さ、そうした全体のフォーメーションを考える必要があります。また、提言する相手先もこれから検討して、今後、さらに先生方のお力をいただきたいと思います。

本日はありがとうございました。

## 付 録

### 付録 1. プログラム

日 時：平成 28 年 5 月 11 日（水）9 時～12 時 20 分

場 所：JST 東京本部 住宅棟 1 階会議室

#### 【趣旨説明】

9:00～9:05 開会挨拶 永井 良三 JST/CRDS 上席フェロー

9:05～9:20 趣旨説明 児山 圭 JST/CRDS フェロー

#### 【有識者発表】

9:20～9:40 原田 敦（国立長寿医療研究センター 病院長）

超高齢化社会におけるサルコペニア研究

9:40～10:00 帖佐 悦男（宮崎大学医学部整形外科学 教授）

スポーツ医科学研究について

10:00～10:20 中野 貴由（大阪大学大学院 工学研究科 教授）

生体機能適合性の高いボーンバイオメカニクスデバイスの開発

10:20～10:40 福林 徹（早稲田大学大学院 スポーツ科学学術院 教授）

スポーツ外傷サーベイランスシステムの構築

10:40～11:00 内藤 栄一（情報通信研究機構 脳情報研究センター 研究マネージャー）

身体性の脳科学 脳科学を活用した運動機能向上研究

11:00～11:10 休 憩

#### 【総合討論】

11:10～12:15 総合討論

12:15～12:20 閉会挨拶 永井 良三 JST/CRDS 上席フェロー

## 付録 2. 参加者一覧

(敬称略)

### 発表者

原田 敦 国立長寿医療研究センター 病院長  
帖佐 悦男 宮崎大学医学部整形外科学 教授  
中野 貴由 大阪大学大学院 工学研究科 教授  
福林 徹 早稲田大学大学院 スポーツ科学学術院 教授  
内藤 栄一 情報通信研究機構 脳情報研究センター 研究マネージャー

### コメンテータ

菊地 眞 (公財) 医療機器センター 理事長、JST-CRDS 特任フェロー  
澤田 誠 名古屋大学 環境医学研究所 教授、JST-CRDS 特任フェロー  
佐藤 正明 東北大学 学際科学フロンティア研究所 所長、総長特命教授  
曾我部 正博 名古屋大学大学院医学系研究科 特任教授  
鳥羽 研二 国立長寿医療研究センター 理事長・総長

### オブザーバー

上村 博輝 文部科学省 研究振興局 ライフサイエンス課  
科学技術・学術行政調査員  
相馬 りか 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター  
上席研究官  
衣笠 竜太 神奈川大学 人間科学部 人間科学科 准教授

### JST CRDS

倉持 隆雄 センター長代理

### 事務局：CRDS バイオメカニクスチーム

永井 良三 ライフサイエンス・臨床医学ユニット 上席フェロー  
矢倉 信之 ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー  
児山 圭 ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー  
伊藤 哲也 科学技術イノベーション・政策ユニット フェロー

### 付録 3. アンケート

以下の項目についてご意見を伺うアンケートを、ワークショップ参加有識者に事前に送付した。回答結果の概要はワークショップで紹介すると共に、研究開発課題の検討にも活用している。

**設問 1** 「健康長寿社会日本」のために最も必要な研究開発課題は何でしょうか。  
(例えば、10～20年後に製品化される機器や、機器などに求められる仕様・能力について)

**設問 2** 「健康長寿社会日本」の実現のために、ウェアラブルデバイスや小型のセンサを活用し、これらのデータをクラウドに集積し、医師／トレーナー／コーチ等がケガの診断・予測やスポーツの成績向上に活用するシステム（別添の図をご参照ください）を検討する場合、ご自身（または自組織）から考える研究開発領域で、貢献すると思われる研究テーマやアプローチにはどのようなものが考えられるでしょうか。

**設問 3** 上述設問 2 のシステムに関して、特にデータを活用して診断／指導を行うために不可欠な研究開発領域のうち、公的資金も投入して産官学が取り組むべきと思われる課題は何でしょうか。（例えば、ウェアラブルデバイスから得られる加速度データから疲労度、パフォーマンスの低下を予測する技術や、筋電刺激等を用いて動きを誘導するデバイス、センサ自体の高度化、などに関して、できるだけ具体的な研究開発課題をお書き下さい）

**設問 4** 本ワークショップでは健康長寿社会実現のため、国として推進すべき研究開発領域の設定に関しまして、特に以下を論点に総合討論を行う予定です。それぞれの論点について賛否などご意見をお聞かせください。

**論点 1** 「健康長寿社会」実現のため、公的研究開発投資、研究開発施策の構成を考える際、スポーツ医科学研究の振興、スポーツを楽しめる環境形成、スポーツにおけるケガ予防を可能とするトレーニング技術・機器の開発が重要である。

**論点 2** 上述の機器を開発・活用していくためには、その基盤となる医学や生体科学研究の深化、骨や筋肉の力学的（バイオメカニクス）研究、動きを定量的かつ高精度で、可能な限りリアルタイムに取得できるセンサ等の開発などの工学研究が必要であり、多様な分野を巻き込んだ統合研究領域を設定すべきである。

**論点 3** 研究の成果を社会実装する場合、様々なデバイス（例えば加速度センサなど）から得られたデータを集積・解析することで、特定の個人に特化したトレーニング方法の指導、ケガの迅速・的確な診断、人工関節導入手術後のリハビリ指導等を可能にするクラウドシステム（データベース）の開発が有用である。

**論点 4** 公的資金で開発したデータベースやシステムは研究開発期間が終了すると資金面・人的側面から維持管理が難しくなる。そのため、本システムの開発は、当初から利用者が有料であっても使いたくなる機能を有し、最終的には自己資金のみで運用可能なビジネスモデル構築も同時に行う必要がある。

**設問 5** 研究開発を推進する上での仕組みに関する問題点、現行の施策や政策、制度上の課題、必要な研究環境、人材の枯渇や育成、産学のギャップ、などについて自由にご意見をお書きください。

**その他：**

上記に含まれない視点や、注視しておくべき諸外国の取り組みなど、ご指摘事項がありましたらご教示ください。

■調査報告書作成メンバー■

永井 良三	上席フェロー (ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
矢倉 信之	フェロー (ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
児山 圭	フェロー (ライフサイエンス・臨床医学ユニット)
伊藤 哲也	フェロー (科学技術イノベーション・政策ユニット)

※ ( ) 内は平成 28 年度当初の所属組織です。  
お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2016-WR-04

ワークショップ報告書

「健康長寿社会日本」のためのバイオメカニクス研究

平成 28 年 9 月 September 2016

国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
ライフサイエンス・臨床医学ユニット  
Life Science / Clinical Research Unit,  
Center for Research and Development Strategy  
Japan Science and Technology Agency

---

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds/>

© 2016 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission. Application should be sent to [crds@jst.go.jp](mailto:crds@jst.go.jp). Any quotations must be appropriately acknowledged.

---

