

[招待論文]

エビデンス・ベースド・スポーツの時代

Trend of the Evidence-based Sports

仰木 裕嗣

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科兼環境情報学部准教授

Yuji Ohgi

Associate Professor, Graduate School of Media and Governance,
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

Abstract: 21世紀に入って、オリンピック（五輪）競技をはじめとするスポーツ競技の審判行為に映像技術や、センサ技術が応用され始めている。これによってルールが変更され、テニスなどの競技においては、選手のプレースタイルにも影響がでてきている。センサ技術は近年の飛躍的な小型化や無線通信機能などの充実によってスポーツスキルの定量化にも貢献している。本稿では、こうした選手の行為、スキルなどを定量化する時代の流れを、エビデンス・ベースド・スポーツと名付け、エビデンス・ベースド・ジャッジメント、エビデンス・ベースド・スポーツコーチング、エビデンス・ベースド・スポーツトレーニングという側面からこれからのスポーツのあり方を未来予想するものである。2020 東京オリンピック（東京五輪）・パラリンピック（パラ五輪）では、センサ計測技術にくわえて、得られた身体運動スキルの膨大なデータから知識を導き出すことも考えられる。また、センサ計測技術、無線通信技術の飛躍的な発展によって競技のあり方も変わってくるであろう。こうしたテクノロジーが今後どのように発展して、選手やコーチ、さらには視聴者らに対しての未来予想を提供することが本稿の目的である。またこうしたテクノロジーが今後の高齢化社会において果たす役割についてもふれておく。

From the early 21st century, the state-of-the-art image and sensor technologies have been adopted as the referee's judge in the sporting competitions including the Olympic Games. Those technologies sometimes made competition rules change, then the tactics of which the athletes behave in the competition have been also changed. As for the sensor technology, especially the inertial sensor has been developed rapidly with its size, weight and function of the wireless connectivity, etc.. Therefore, such a small sensing devices now contribute to assess the player's skill quantitatively. In this paper, the author would like to discuss the trend of the "Evidence-Based Sports", which means "Evidence-Based Sports Judgement / Coaching and Training" and forecast the future sports. In 2020 Tokyo Olympic and Paralympic Game, we shall have an evidence of unknown knowledge from the huge quantitative sensing database of the sports skill or players' behavior. Also competition rule will have a possibility of its change by the wireless sensing

technologies. The purpose of this paper is the forecasting the future sports environment which would be changed by the progress of the technology and providing the effect of the athletes, coaches and audience.

Keywords: エビデンス・ベースド・スポーツ、慣性センサ、データマイニング、運動スキル

1 はじめに

2020東京オリンピック（東京五輪）・パラリンピック（パラ五輪）は、競技スポーツ最高峰の場であり、スポーツそのものと、そしてそれを取り巻く経済活動によって低迷する日本の景気を活気づけてくれると国民から期待されている。筆者を含むスポーツの世界に身を置いてきた研究者にとって、東京五輪・パラ五輪は研究と実践との大きなチャンスであるに違いない。

世界中が期待する東京での五輪・パラ五輪開催では、日本のお家芸ともいえる科学技術を披露するチャンスでもある。新たに建設される幾つかの競技場にはもちろん最新のテクノロジーが盛り込まれるであろうし、交通網や通信等のインフラ、選手村など居住空間といった分野における新たな取り組みも各分野から聞こえてくる。こうした五輪・パラ五輪競技に付随する科学技術については、専門外であるため本稿では、競技に直接関係する科学技術（ここではテクノロジーと総称する）の現状を俯瞰して、2020年に到来する新しいスポーツテクノロジーの行く末を占ってみたい。

2 競技スポーツにみられるセンシングテクノロジー

2008年の北京五輪のテコンドー女子67kg超級の準々決勝で、誤審が起こったことをご存知であろうか。2000年シドニー五輪、2004年アテネ五輪のデフエンディングチャンピオンであった中国の選手に対して、対戦相手の英国選手が残り4秒で顔面にキックを浴びせかけてヒットしたのだが、審判はこれを有効打と認めずに、勝負に敗れた。ところが、怒った英国コーチ陣が審判団に詰め寄り、ビデオ映像をチェックし直して、有効打であったことを認めさせ、勝敗が覆ったのである。勝った英国選手はその後銅メダルを獲得した。この事件を教訓にして、テコンドーではルールを改正して、「electronic trunk

protectors」を導入した。打撃が加えられたことを検知する、力センサの出力によって、胴体部位への打撃を自動判定するものである。中身は力を検知するセンサがプロテクターの下に装備されているものである。審判はこのとき、「electronic trunk protectors」が判定する胴体以外の顔面への攻撃について審判行為を行うことに、その役割が変更された。オリンピック（五輪）競技種目のなかで、ルール上明確に「センサ技術」が、審判の行うジャッジよりも優先される事例として初めてであると考えられている。こうした、センシング技術が競技ルールを変えることが21世紀に入ってから幾つかのスポーツでみられるようになってきた。

テニスの世界大会における「チャレンジ」は、テニス愛好家にとっては今では当たり前である。テニスに不案内な方に対して簡単な説明をすると、正式名称は、「Players Challenge System」である。国際テニス連盟はこのシステムを2006年から導入している。従来、テニスでは打球がコート内に入ったかどうかを審判による目視によっていたが、きわどい判定に泣く選手も多かった。そこで、ビデオ計測によってこれを判断するというものである。四大大会を含めて国際テニス連盟の試合のいくつかで導入されている。

テニスにおける、「チャレンジ」は、もともと Hawk-Eye Innovations という会社によって開発されたが^(7,8)、2011年、同社は Sony によって買収されており、2014年現在は Sony の手で、テニス、サッカー、アメリカンフットボール、クリケットなど様々なスポーツ種目へと横展開しはじめている。

Hawk-Eye System で用いられている技術は、複数台の高速度カメラによって1秒間に1000コマの映像を撮影し、ボールの軌道を三次元的に復元するという、我々バイオメカニクス研究者にとってはお馴染みの三次元映像解析である。その精度は公称値で3.6mmとなっている。3.6mmという精度が十分に小さいのか、それとも大きいのかは議論が分かれるところであるが、2008年のラファエル・ナダル選手とロジャー・フェデラー選手によるウィンブルドン男子シングルス決勝において、ナダル選手のとったチャレンジでは、Hawk-Eye System が1mm オンラインであったことを判定してナダル選手へのポイントが与えられたが、その後実際の映像からはライン外であったことが判明し、3.6mmの精度のカメラによって1mmのオンラインが何故分かるのか、と

いう疑問も呈された。もちろん 3.6mm という誤差は画面上の各所にわたる誤差の平均をとったものであるはずで、その処理方法を知る研究者の立場からは論破出来る議論であるが、一般視聴者には恐らく理解してもらえない事実であろう。したがって、Hawk-Eye System に代表される映像による審判行為については、これからも更なる性能向上が期待されている。しかしながら、ラリーが終わって即座にボールの軌跡を同定することが出来るのは素晴らしい進歩であり、これにはカメラ性能や、計算機能力の向上が大きく貢献している。

「Players Challenge System」は現在のところ、選手が「チャレンジ」と申告した時にだけ作動する。またこの申告は1セットのなかで最大3回までしか許されていない。せっかくチャレンジを要求したにもかかわらず、結局はアウトだった、となるとチャレンジを申告した側の選手にとっては、その精神的ダメージも大きい。したがって、選手にとっては伝家の宝刀といった趣があり、ここ一番という勝負どころでこの権利を行使する。ロジャー・フェデラー選手をはじめとする選手側からの反対意見として、テニスに代表されるボールゲームのジャッジは、ヒトの主観的な判断でなされるべきであり、科学技術がそれに介入することには反対である、という意見も挙がってきたと言われる。ボールゲームにおける審判の判断、それ自体もスポーツの面白さとみる立場からの意見は確かにもっともなことであるが、テコンドーの事例のように、選手のこうした伝統的な考え方とは必ずしも一致せず、時代の流れは客観的な基準による判定へと流れてきている。21世紀にはいつてから、これまでは無縁と思われてきたスポーツの審判にも確実にテクノロジーの波が押し寄せており、「エビデンス・ベースド・ジャッジメント」の時代がやってきた、といえる。

3 エビデンスベースド・スポーツ・コーチングの時代

筆者は、「エビデンス・ベースド・スポーツトレーニング」、「エビデンス・ベースド・スポーツ・コーチング」の時代がやってくると、2003年頃から提唱してきたが、このように「エビデンス・ベースド・ジャッジメント」が先んじて到来したことは正直予想してはいなかった。筆者の唱えてきた「エビデ

ンス・ベースド・スポーツ」のアイデアは私のオリジナルではなく、実はすでに 2003 年当時にはすでに存在していた。

2001 年、自転車ロードレースの最高峰、ツールドフランスにおいて、当時のスーパースター、ランス・アームストロング選手を擁する米国チーム US Postal が優勝したが、このとき非常に興味深いニュースが報道された。US Postal チームはコーチがベルギーに在住し、選手は各自の地元に分散して、個人個人でトレーニングして勝利した、という内容である。アームストロング選手はその後、ドーピングによって一連のツールドフランスでの優勝を剥奪されて永久追放処分となったため、彼が所属していた US Postal の優勝記録も公式記録からは抹消されて、現在では見る事が出来ない。

今でも自転車のロードレースといえば、選手が集団になって空気抵抗を減らしたフォーメーションでトレーニングする姿が思い浮かぶが、チームメートと一緒にトレーニングするものだ、という先入観があった筆者にとって、当時のこのニュースは衝撃的であった。詳しく記事を読んでみると、選手が用いたサイクルコンピュータには、距離や速度だけではなく用いたギアや、心拍数までもが記録されたという。これをインターネット越しのコーチが毎日、確認することでトレーニング負荷を吟味し、トレーニングメニューに手を加えて指示を出す、という仕組みである。回転数やスピードと併せて、心拍数を読みとることで、オーバートレーニングを防ぐこともでき、且つ、疲労を蓄積せずに十分に高い強度でのトレーニングをすることが可能になったのも事実のようである。

筆者は、この記事を読んだときの興奮を忘れられない。スポーツのトレーニングがセンサ計測データによって定量化され、且つそれがコーチによる診断とコーチングに活かされるという事実については、自身が水泳という記録競技の世界で経験してきていたことであるため驚きはなかった。しかしながら、選手とコーチとの関係が遠く大陸を隔ててもうまく機能する、というのがインターネットの恩恵であることを強く意識できたのはこのときが初めてだったからである。これ以降、筆者は自身の研究テーマである水泳や、そのほか多くのスポーツ競技を対象にして、選手のスキルをセンサ技術によって定量化し、これを使ったコーチングの実現可能性について取り組んできた^(3, 9, 10, 11)。ここで筆者がこれまでに取り組んできたのは、体力・生理学的な指標

でトレーニング評価を試みた US Postal の事例とは異なり、スポーツにおける運動スキルを定量化する、ということである。

4 慣性センサによるスキルの定量化

ここでは、運動スキルの定量化についてこれまで取り組んできた研究の一端を紹介したい。

誰しもスポーツを始めると、「巧くなりたい」と願うものである。これは何もスポーツに限らず、音楽や芸事にも共通するヒトがもつ本能であろう。スポーツが巧くなる、ということはどういうことかと問われると即答することは難しいが、ひとつには効率的な運動パターンを身につける、あるいは競技ルールのもとでの最大のパフォーマンスを達成するということになるであろう。五輪憲章にあるように、「より速く、より高く、より強く」という目標が定量化によって定まる競技であれば話はかなり単純化できる。

記録競技である競泳は、決められた距離を速くゴールした者が勝つ。すなわち平均泳速度が高い選手が勝つ、という明確な物理事象である。泳者のトレーニングの目標は高い泳速度を達成する、維持するということに向けられている。泳速度を上げるには、推進力を向上すること、水による抵抗を軽減することの二つが必要なスキルとなるが、21 世紀に入ってから流体力学研究者の知見によって、ストローク動作で手掌部（手のひら）は、直線的にかくほうが良い、ということが明らかにされて以来⁽⁵⁾、一流水泳選手の「かき動作」が変わってきた。筆者自身が選手であった 80 年代から 90 年代には、ストローク軌跡は S 字状にするほうが望ましいと教えられてきたことから比べると、現在では全く異なる技術が選手に要求されているといえる。

従来、ストローク動作を観察するために、水中カメラ、あるいは水中窓のあるプールにおいて、映像撮影を行ってきた。また正確な三次元的な軌道を導き出すには、2 台以上のカメラを使った三次元映像解析が必要である。しかしながら、複数のカメラから得られた映像を使って、大変時間のかかるデジタル化という関節座標を追いかける数週間の作業を経て、ようやくコーチや選手に見せることが出来る、という映像解析は役に立つとは到底言えない。数週間前の泳ぎを指導されても選手やコーチは困るし、今このときの動きを

改善したい、という要求にこれまでのスポーツ科学は全く貢献して来なかったと言ってもよい。

慣性センサが、決定的にこうした映像解析と比べて優位な点をもっているとすれば、こうした時間のかかるフィードバックまでの作業から即時フィードバックへの道を切り拓く可能性がある、ということに尽きると考えられる。

図1は、固定した2台の水中カメラによって得られた画像から再構成したストロークの軌道である。これは従来のバイオメカニクスにおける古典的な三次元映像解析手法である。結果が得られるまで頑張っても数週間を要する。図2は、同時に手首に装着した慣性センサから得られた加速度／角速度を示されている。図2上段は、50mを泳ぐ間に得られた全ストロークの時系列を重ねて描いている。下段は、図1に示された三次元映像解析を行ったストロークについて、その際の肘角度の変化と、肘角速度変化を示している。研究自体は、スイマーをとことん追い込んで練習を行わせた際に、そのストローク軌跡、すなわちフォームが変わってくると同時に、それは腕に装着した慣

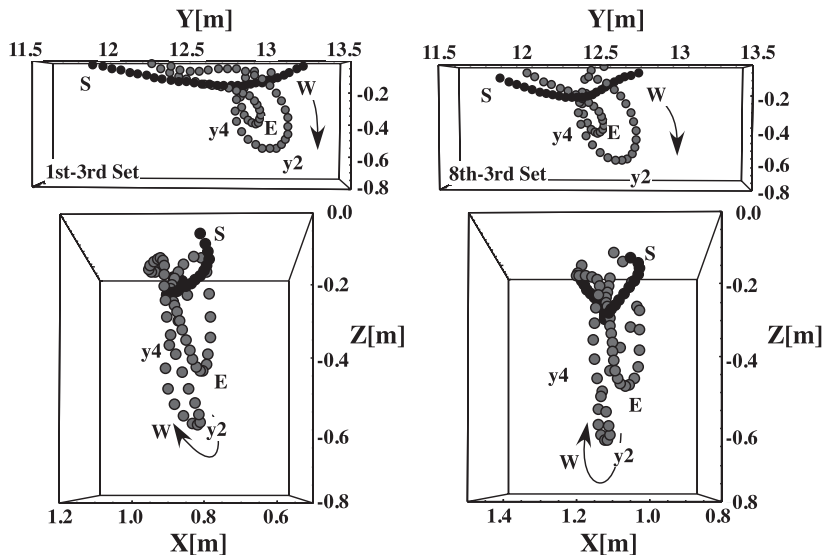


図1 水泳の自由形インターバルトレーニングにおける疲労前(左)と疲労後(右)の選手のストローク軌跡

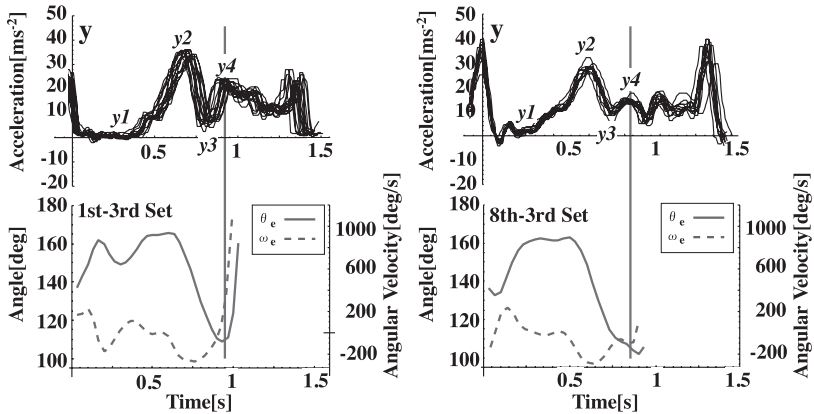


図2 水泳の自由形インターバルトレーニングにおける疲労前（左）と疲労後（右）の選手の左手首長手方向加速度および肘関節角度・角速度

性センサにもその疲労の特徴が現れる、ということを明らかにした論文の抜粋である⁽¹¹⁾。図2の結果は提示したい情報にも依存するが、あらかじめ定まっていれば計測後すぐに見せることも可能である。ただし、このままの情報では、計算処理の都合上、積分初期値が得られないために空間のどこをかいていたのかを知ることは出来ない。

三次元映像解析によって得られる結果である図1は観測者目線のデータ、身体に装着した慣性センサによって得られる結果である図2は運動者目線で得られたデータであると言ってもよい。すなわち、慣性センサは身体や道具に装着することが通常であるため、得られる加速度や角速度はその身体部位に固定された座標系の情報である。このようなデータは局所座標系（運動座標系）におけるデータと呼ばれ、カメラやモーションキャプチャーによって得られた空間座標などは固定座標系（絶対座標系）におけるデータ、とも呼ばれる。

センサ情報を即座に理解するには、それなりの訓練が必要であるが、ここでは水泳のストロークをしている、さらにはクロール泳を行っている、といった前提を設けることで、センサ情報からどのような動きがなされていたのかを類推することが出来るようになる。たとえば、90年代まで教えられてき

た S 字ストロークでは水の流れに対して手のひらの向きが「ひらひらと」変わることが特徴的である。このとき手首に装着した慣性センサから得られる信号のうち、前腕長軸周りの角速度はストローク前半部ではこの動きに対応して回転方向が正負と次々に変わることが類推されるし、実際に実験データもそれを示す。ところが 21 世紀になってから最速のストロークであるという研究成果⁽⁵⁾ が示された直線的ストローク (I 字ストローク) の場合には同じ局面内で前腕長軸周りの角速度は一定値を維持する傾向になる。したがって、選手やコーチは局面内のジャイロセンサ情報、すなわち角速度を観察することによって、水中でどのような動きをしていたのかを類推できることになる。

正確な位置や速度情報が解析結果として得られる三次元映像分析とくらべると、信頼性に欠ける部分もちろんあるのだが、コーチングの現場では迅速性が求められることを考えると十分に機能する。ここで、このデータをみて解釈する人間側が、観測されたデータは絶対座標系で得られたものか、局所座標系で得られたものを知っていることのほうが重要であると筆者は考えている。

5 スポーツ・ダイナミクス・インフォマティクス・ラボの活動

筆者が代表を務める、慶應義塾大学 SFC 研究所、スポーツ・ダイナミクス・インフォマティクス・ラボでは、次のような研究目標を掲げている。

1. 「コツ」を数理で解明する
2. 選手はもとより、コーチを支援する方法論を開発する
3. 測ることの難しかったスポーツにおける「ダイナミックな現象」の計測手法を開発する
4. スポーツが、老若男女はもとより、障害者、高齢者にとっても楽しめるための、支援技術を開発する

こうした目標を達成するための、加速度センサやジャイロセンサといった慣性センサを中心とした、センシング技術を駆使して、スポーツスキルを解析することをひとつの大きな柱にしている。

そのひとつの事例として、2014年4月に、セイコーエプソン社との共同研究成果として、「M-Tracer」を我々は世に送り出した。M-Tracerはゴルフスイングのスキルを計測し、可視化する小型のセンサ装置である(図3)。

これはラボメンバーである、太田憲特任准教授による研究成果である^(14, 15)。太田氏はこれまでハンマー投の室伏広治氏との共同研究によって、ハンマー投のスキル解明に取り組み、五輪金メダルを目指す室伏選手をサポートする聴覚フィードバックシステムの開発なども手がけてきた^(12, 13)。ハンマー投とゴルフスイング、一見似ても似つかぬ二つのスポーツ種目であるが、数理モデルでは、二つの運動は、「二重振り子」とよばれる単純な機構として扱われている。左右の上半肢は一つのリンクとして表現され、ゴルフクラブのシャフトもハンマーのワイヤーも共に一つのリンクとして表現される。

すなわち数式、つまり数理モデルになってしまうと二つの現象は同じ理屈で説明がつくわけである。多くのゴルファーがドライバーショットで最大飛距離を得たいのと同じように、ハンマー投においても目的にしているのは最大飛距離である。すなわち飛んで行くボール、ハンマーにいかにしてエネルギーを注入するか、という問題に帰着される。さらには、ヒトの動力源である下半身や体幹のもつエネルギーをどのようにして末端のクラブやハンマーに伝達するのか?ということが運動スキルと捉えることができる。

M-Tracerはセンサ部をクラブシャフトに装着し、頭脳となるコンピュータ機能をスマートフォンに持たせることで実際の計測を行う(図3)。スイング中に得られた加速度と角速度から、クラブヘッドの軌道はもとより、インパクト時のヘッド角度を詳細に計測可能である。また先に述べたエネルギーの伝達が可視化されており、巧くゴルフクラブにエネルギーを受け渡しているかどうかを判定する機能が盛り込まれている。ゴルファーの間で、「コックを開く(ほ



図3 セイコーエプソン社と慶應義塾大学スポーツダイナミクス・アンド・インフォマティクスラボの共同開発による、ゴルフスイング診断装置、「M-Tracer」

どく)」といった言語で語られてきたスキルの善し悪しを定量化している。

スマートフォンで計測したデータを可視化しているということは、すなわちデータは全てクラウドコンピューティングによって管理されることで、プロとの比較、自身の過去データとの比較などが出来る(図4)。

自転車競技における US Postal の事例の場合、おもにその評価対象となるデータは体力面であったが、10年の時を隔ててようやくセンサ計測とインターネットによって運動スキルを評価する時代がやってきたと言える。

6 センシング技術とインターネットとの融合による新しいスポーツの価値

M-Tracer によって、センサ計測技術とインターネットが融合し、ユーザーから送られてくるスイングデータが蓄積されていくにつれて、様々なサービスが考えられる。現在は、過去の自分のスイングデータと今のデータを比較

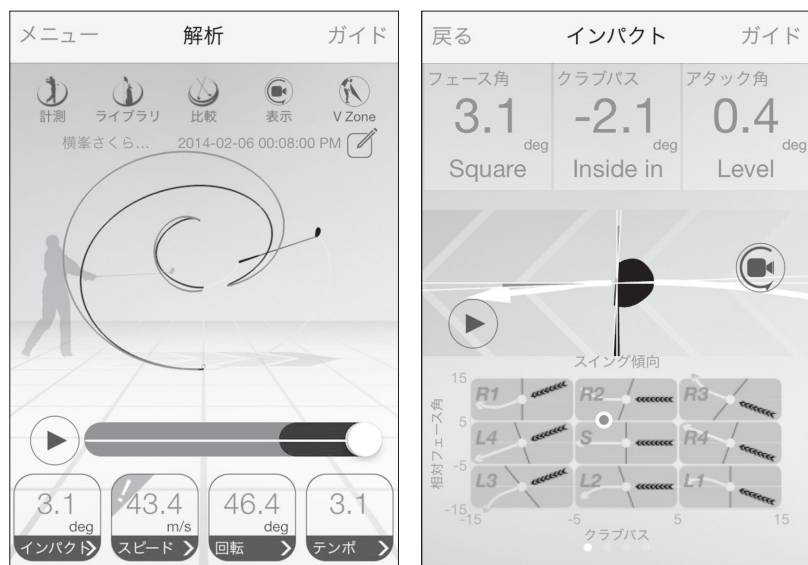


図4 M-Tracer によって得られるスイングデータ
(左図：スイング軌跡、右図：インパクト時のクラブヘッド角度)

したり、代表例として用意されているプロゴルファーのデータを閲覧したりする機能が盛り込まれているが、ユーザー目線で様々なサービスが今後盛り込まれて行くであろう。ゴルファーは今後大いに期待して欲しい。

膨大に集積されたデータの山の中から、価値ある情報を引きだしてくるという行為を鉱山から資源を採取することになぞらえて「データマイニング」と呼ぶが、スポーツスキルの計測データからその「価値」を見いだす「スポーツデータマイニング」の時代に入ったと言える。

サッカーのワールドカップでは、選手がどの場所を走ったのかを温度分布や標高地図のようにして空間的に占めていた割合として可視化したのが、これは、ヒートマップ (Heat Map) と呼ばれている (図 5)^(18, 19)。図 5 は、FIFA の公式ページに掲載されている 2014 年 W 杯決勝における各選手の移動軌跡をヒートマップよりもより単純に可視化したものである⁽¹⁶⁾。これによって各選手がカバーしているエリアが把握出来る。

この図からわかるのは単に一人の選手が試合中にどこに居たか、だけでありこれを見ただけでは、すぐに選手の能力を判定する、あるいは敵・味方を含めた他の選手とのインタラクションを判定するのは難しい。もちろん広範囲に動き回る選手の移動履歴を知ることにはつながるが、この情報だけではコーチが期待する戦略まで語ることは難しいと考えられる。サッカーに代表されるボールゲームは、選手同士の位置どり、いわゆるフォーメーションがゲームを支配する。それは味方と敵の双方の位置の相互関係によって決まる。すでにこうして一人ずつの選手の移動履歴があるため、これに時間情報を組み合わせることで、戦略レベルを考察する事例が今後出てくることであろう。

MIT のメディアラボでは、今から 15 年以上前に、「Computer Watches Football」と名付けられたプロジェクトが存在した。ここでの Football は、アメリカンフットボールを意味していたが、アメリカンフットボールではフィールド内にラインがひいてあることから、画像処理により選手の位置を同定することが比較的容易にできるが、このプロジェクトではすでに前世紀末において数多くの選手位置を同定して移動軌跡を割り出している。アメリカンフットボールの場合には、攻撃側の選手の移動に順序性があり、それ自体が作戦であり、戦略であるため、これを同定することはコーチの戦略分析に近づ

Brazil



Tactical line-up



Direction of play →

Actual formation



12 JULIO CESAR
3,188 m / 92°59"



7 HULK
4,713 m / 46°03"



17 LUIZ GUSTAVO
11,297 m / 92°59"



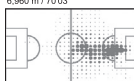
8 PAULINHO
6,205 m / 46°56"



4 DAVID LUIZ
9,473 m / 92°59"



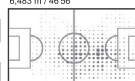
9 FRED
6,960 m / 70°03"



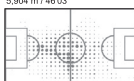
20 BERNARD
10,608 m / 92°59"



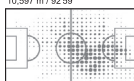
16 RAMIRES
6,483 m / 46°56"



5 FERNANDINHO
5,804 m / 46°03"



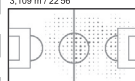
11 OSCAR
10,587 m / 92°59"



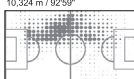
23 MAICON
10,515 m / 92°59"



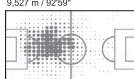
19 WILLIAN
5,109 m / 22°55"



6 MARCELO
10,324 m / 92°59"



13 DANTE
9,527 m / 92°59"



Germany



Tactical line-up

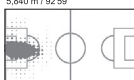


Direction of play →

Actual formation



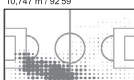
1 NEUER
5,840 m / 92°59"



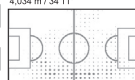
7 SCHWEINSTEIGER
12,616 m / 92°59"



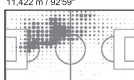
16 LAHM
10,747 m / 92°59"



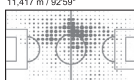
9 SCHUERRLE
4,034 m / 34°11"



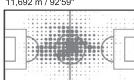
4 HOEWEDES
11,422 m / 92°59"



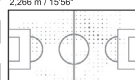
8 OEZIL
11,417 m / 92°59"



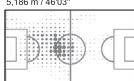
18 KROOS
11,692 m / 92°59"



14 DRAXLER
2,266 m / 15°56"



5 HUMMELS
5,186 m / 46°03"



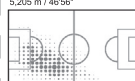
11 KLOSE
6,689 m / 58°48"



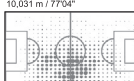
20 BOATENG
10,761 m / 92°59"



17 MERTESACKER
5,206 m / 15°56"



6 KHEDIRA
10,031 m / 77°54"



13 MUELLER
11,423 m / 92°59"

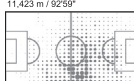


図 5 2014 年サッカー W 杯決勝における、ブラジルとドイツの選手移動軌跡公式データ
(文献 17 より、一部抜粋)

くものとして論じられている⁽²⁾。

MIT のアメリカンフットボール研究では、数台のカメラによる映像から選手の位置情報を再構成して、そのフォーメーションを明らかにしたが、その後、カーネギーメロン大学の金出武雄教授らのグループは、多数のカメラを競技場にぐるりと配置し、多視点からの映像を記録したあとで、コンピュータ処

理によってユーザーが望む任意の方向からの映像を再構成することに成功し、これをアメリカンフットボールの最高峰の試合であるスーパーボールで実演してみせた^(1, 6)。視聴者が見ているカメラ視線では見る事が出来ない、裏側からの映像を自由に選ぶことができるという画期的なものである。

このシステムは実用化されて久しかったが、2012年のロンドン五輪の際には、ボクシング、バスケットボールといった種目の中継に用いられ、インターネットによって視線を視聴者が自由に選べる映像が配信された。2014年現在では、Replay-Technologies Inc.によって商業的にすでに展開されており、ロンドン五輪で導入されたボクシングやバスケットボールだけでなく、陸上や野球といった競技にも展開している。同社のWebサイトをみると、様々な応用事例が掲載されている⁽⁴⁾。

360度全方向の映像再生は、視聴者にとっては非常に嬉しい機能であることに間違いはないが、審判にとっては自らのミスジャッジをあからさまにされることが十分に予想されて、今後は審判をやりづらい状況が生まれて来ることを筆者は少々危惧している。

7 2020 東京オリパラに向けて期待される技術革新

2020年の東京五輪・パラ五輪では、Hawk-Eye Systemに代表される、映像による審判システムはテニス以外の種目にも波及するであろう。またエンターテインメントとして現在では用いられている金出らの発明によるマルチアングル映像は、2020年には審判の代わりをする可能性が十分に考えられる。

これまで物理量によって勝敗の決する競技種目、たとえば陸上や水泳、ボートなど時間、距離、到達高などによって順位が決まる場合には、機械計時が常識であった。しかし、インターネットが普及してきた90年代のアトランタ五輪からは、競技記録は即時インターネットによる配信が行なわれている。記録がインターネットに配信され、また選手のプロフィールを閲覧するサービスはすでに当たり前すぎるが、これまでの調査によれば五輪期間中などの大きなスポーツイベントの際にはテレビの視聴と同時に、PCやスマートフォンによるインターネットの検索を行なう視聴者行動が認められている。これはおそらく未だに、テレビがインターネット媒体としての役割として不十分

であるからにはほかならない。

次世代テレビのあり方を議論する、IPTV フォーラムではハイブリッドキャスト (Hybridcast) を推進している。ハイブリッドキャストは簡単に言ってしまうと、テレビとインターネットとの融合である。これまでも地上波デジタルテレビに移行した後、テレビ画面上でインターネットサービスを受けることが出来たが、ハイブリッドキャストはそのサービスを大きく変えるものとして期待されている。Hybridcast の仕様は、IPTV フォーラムで策定されており、誰でもダウンロードしてその仕様に見合ったコンテンツを作成することが出来る。ここでいうコンテンツとは、テレビ画面に表示されるコンテンツであるが、これを HTML5.0 のフォーマットで記述する、というものである。そして、その魅力はテレビ放送局以外の事業者であっても次世代 4K/8K テレビ向けに HTML5.0 のコンテンツを提供出来ることにある。我々の研究室でも運動計測で得られる様々なデータが存在する。こうしたデータのうち、競技会中に得ることの出来るデータについては積極的にハイブリッドキャストにむけて 配信するべく研究を進めて行きたいと考えている。恐らく、2020 年の東京五輪・パラ五輪の情報配信には、ハイブリッドキャストが活躍しているはずである。

8 五輪に向けた研究から超高齢化福祉社会への還元

すでに述べたように、筆者の研究室ではゴルフ用、水泳用などの身体装着型のセンサデバイスをいくつも開発してきているが、得られたセンサ情報は「ヒト」がその内容を理解するべく努力して、数理モデルや統計モデルを通して吟味してきた。すなわちセンサ情報の理解に未だにヒトが介在しなければ成り立たないレベルと言ってもよい。そのデータの存在場所が、クラウド上に置ける環境が整い、見たい時にいつでもインターネットを利用して確認出来る、という局面にさしかかっているわけである。しかしながら、まだ得られたデータから「自動的」に、そのスポーツ動作のスキルを解析して運動を適切に修正させるところまでは研究が進んでいるとは言えない。

センサとインターネットの融合は急速な勢いで進んでおり、ひとつひとつの「モノ」までもがインターネットにつながる IoT(Internet of Things)、あるいはその「モノ」の状態を知る上でもはやヒトを介さない情報のやり取りで

ある M2M(Machine to Machine) では、「モノとモノ」とがインターネットでつながり、モノ同士があたかも意志を持つかのようなコミュニケーションが成立する。今後は身体装着型のデバイスから得られる情報が、ヒトを介さないでモノとつながり、さらにはモノがヒトに適切な助言をしてくれることも十分に予想される。そしてそれは、おそらく近い将来必ずやってくる。実際に、医療やリハビリテーションの世界ではこうした流れはすでに少しずつ進行している。

筆者の研究室で現在進めている義足の歩行に関する研究では、大腿切断者を探り上げている。大腿から切断された方々が装着する大腿義足では、通常人工の膝関節を用いるが、膝継手と呼ばれるこの人工の膝関節は現在すでにコンピュータ制御が主流となって来ており、本人の歩き方を学習するものまで出て来ている。世界的な義足メーカーであるドイツの Ottobock 社の最新の膝継手は、障害物を乗り越える際に持ち上げる膝の動きを自動的に検知して、それが普段の歩きではなく、乗り越え動作であるかどうかをきちんと識別してくれるインテリジェントな義足膝継手である⁽¹⁶⁾。こうしたインテリジェントな義足膝継手には、力センサのほかにも加速度センサやジャイロセンサなどが内蔵され、歩いている間中高速にデータをサンプリングしながら計算処理を繰り返して、ヒトの歩きを適切に導いてくれている。義足にセンサと頭脳が備わりそれ自身で最適な歩きを提供してくれるわけである。

水泳のストローク分析と同じように、歩行における下肢の運動は三次元動作解析によって詳細に分析することができる。しかし、ここでも解析に要する時間は膨大であり、即時フィードバックとは到底言えなかった。そこで、我々の研究室では慣性センサにより、適切な歩行指導をする体制を目指したいと考えている。慣性センサを簡便に身体に取り付け、センサ・映像を駆使して簡便に、安価によりよい歩きを指導するための歩行解析を提供するという目標をもっている (図 6)。

日本の高齢者人口は益々増加の途をたどり、介護保険をにう生産労働人口の割合は国民全体からみると減る傾向にある。要支援・要介護の認定をうける高齢者は増加する一方である。現在、ケアマネジャーによって介護度認定が行われており、運動機能がその判定基準の大きな位置を占めているが、

今後歩行機能などを定量化する時代が到来すると筆者は考えている。そのとき、トップアスリートの支援技術を開発してきた超小型の無線慣性センサや、運動解析に関するノウハウなどが生きてくるのではないかと期待している。

9 おわりに

「2020 東京オリパラ」という合言葉をもって、日本中が様々な分野、様々な役

割を持っている人たちが動き始めているが、筆者らスポーツ科学分野で取り組んでいる研究は、もちろんパラ五輪の技術開発にも当然適用できると考えており、前節で述べたように今後の超高齢化社会における問題にも対処できるであろうと期待している。筆者は要素技術の開発と、それらを組み合わせる応用技術を駆使して、トップアスリートから、障がい者アスリートに対しては競技レベルの向上を、高齢者や一般障がい者に対しては、生活クオリティ(QOL)を向上させる技術開発をスポーツ科学の視点から推進していきたいと考えている。

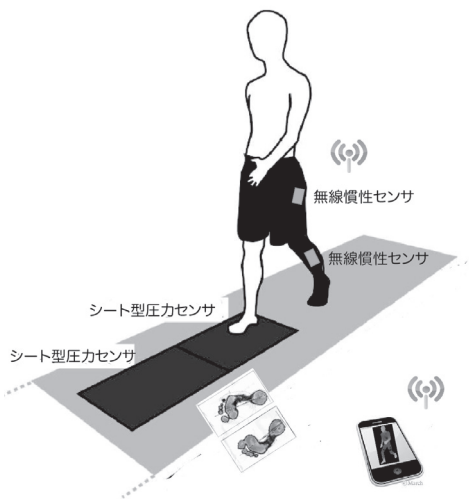


図6 未来の歩行分析装置イメージ図

参考文献

- (1) Best of EyeVision. <<https://www.youtube.com/watch?v=ohdhYEcCGVo>>
- (2) Computer Watches Football. <<http://vismod.media.mit.edu/vismod/demos/football/football.html>>
- (3) James D., Busch A. and Ohgi Y., "Quantitative Assessment of Physical Activity Using Inertia Sensors." Nigel K. Pope, et al. eds., *Digital Sport for Performance Enhancement and Competitive Evolution*. Information Science Publishing, Chapter VII, 2009, pp.122-135.

- (4) Free Dimensional Video. <<http://replay-technologies.com/>>
- (5) Ito, S. and Okuno, K., “A Fluid dynamical consideration for arm stroke in swimming.” *Biomechanics and Medicine in Swimming*. IX, 2003, pp.39-44.
- (6) Kanade, T., Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, P.A., Narayanan, P.J., “Virtualized Reality: Perspectives on 4D Digitization of Dynamic Events.” *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 27, 3, 2007, pp.32-40. (DOI: 10.1109/MCG.2007.72)
- (7) Mullins, J., “Hawk-Eye in the Crosshairs at Wimbledon Again.” <<http://spectrum.ieee.org/computing/software/hawkeye-in-the-crosshairs-at-wimbledon-again>>
- (8) N. Owens, C. Harris and C. Stennett, “Hawk-Eye tennis system.” In *International Conference on Visual Information Engineering, VIE 2003, Ideas, Applications, Experience*. 2003, pp.182-185.
- (9) Ohgi, Y., Hirai, N., Murakami, M. and Seo, K., “Aerodynamic study of ski jumping flight based on inertia sensors.” In *The Engineering of Sport 7 (Estivalet, M., Brisson, P. eds.)*, Vol.2, 2008, pp.157-164.
- (10) Yuji Ohgi, Koichi Kaneda and Akira Takakura, “Sensor Data Mining on the Kinematical Characteristics of the Competitive Swimming.” In *The Engineering of Sport 10, Procedia Engineering*, Volume72, 2014. pp.829-834,2014. (DOI:10.1016/j.proeng.2014.06.036)
- (11) Ohgi, Y., Ichikawa, H. and Miyaji, C., “Microcomputer-based Acceleration Sensor Device for Swimming Stroke Monitoring.” *International Journal of Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.45, No.4, 2002, pp.960-966.
- (12) K. Ohta, K. Umegaki, K. Murofushi, A. Komine and S. Sakurai, “Training aid system for hammer throw based on accelerometry.” In *XXII Congress of the International Society of Biomechanics*, 2009.
- (13) 太田 憲・梅垣 浩二・室伏 広治・羅志偉「振りモデルによるハンマー投運動の解析」日本機械学会ジョイント・シンポジウム 2009、2009 年、pp.447-452。
- (14) 太田 憲・仰木 裕嗣・澁谷和宏「二重振りモデルによるゴルフスイングの数理解析」スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス 2011、2011 年、pp.447-452。
- (15) 太田 憲・仰木 裕嗣・澁谷 和宏「ゴルフスイングにおける内力を利用したエネルギー伝達」日本機械学会シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集、2012 年、pp.293-298。
- (16) Ottobock 「電子制御膝継手 Genium ジニウム」.<<http://www.ottobock.co.jp/prosthetics/lower-limb/solution-overview/genium-bionic-prosthetic-system/>>
- (17) Player’s Heat Map, 2014 FIFA World Cup Brazil. <http://resources.fifa.com/mm/document/tournament/competition/02/40/20/22/61_0708_bra-ger_playersheatmap.pdf>
- (18) SAP for Sports and Entertainment. <<http://www.sap.com/solution/industry/sports-entertainment.html>>
- (19) SAP and the German Football Association (DFB) Turn Big Data Into Smart Decisions to Improve Player Performance at the World Cup in Brazil. <<http://global.sap.com/corporate-en/news.epx?category=ALL&articleID=23079>>

〔受付日 2014. 12. 8〕