
特別寄稿

無線・慣性センサー式モーションキャプチャシステムの
フィギュアスケートでの利活用に関するフィージビリティスタディ

羽 生 結 弦

A Feasibility Study on Utilization in Figure Skating by A Wireless Inertia Sensor
Motion Capture System

Yuzuru Hanyu

(School of Human Sciences, Waseda University)

Abstract

The wireless inertia sensor type motion capture does not interfere with the operation of the device wearer. As a result of the experiment, it became clear that when jumping figure skating on the skating rink the position of each joint can be accurately obtained. In addition, by analyzing the skeleton, it is possible to identify the center of gravity and the contact points (where the pressure increases on the ground and the part where it is installed), and the jump strictly follows the rules. It was possible to quantitatively clarify whether the jump was strictly according to the rules.

Key Words : Figure Skating, Wireless Inertia Sensor, Motion Capture, Feasibility Study

1. はじめに

人間の動作を記録するモーションキャプチャは従来は体に付けたマーカーを固定した複数台のカメラで捉え、マーカーの位置を計測することによって人体の動きを記録する光学的なシステムが主流であった。2007年にオランダのXsens社が角速度計および加速度センサーからなる慣性センサーを体の要所要所（主たる関節の前後）に装着し、慣性センサーか

ら得られた情報を無線で処理用コンピュータに送信する無線・慣性センサー式モーションキャプチャシステムを発表し、光学式の弱点であったデータ取得場所の制限を取り除き、グラウンドやスケートリンクなどの広い場所でも人体の動きを記録することができるようになった。現在ではセンサーの小型化、高精度化が進んでいる。本稿では実際に無線・慣性センサー式モーションキャプチャシステムを装着し、ア

イススケートリンクでのスケーターの動きを取得できるか、またその利活用の可能性について論じる。

現在フィギュアスケート界ではジャッジング（採点法）についての議論が盛んに行われている。近年フィギュアスケートは高難度化が著しく進んでおり、そのために審判員がわずか1秒以内に行われるジャンプを正確に判断することは至難となってきた。また、ジャンプの評価基準は明記されているものの曖昧な部分が多く、その試合の審判員の裁量に委ねられている部分が多い。さらに、ジャンプの難易度だけではなく、評価するために判断する項目は、プラス項目が6つ、マイナス項目は20項目もある。もちろんジャンプだけではなく、スピン、ステップ、そして、技以外の部分でも評価をしなければならない。技以外の部分を差し引いて考えたとしても、ジャンプのプラス、マイナス項目とほとんど同じ程度の評価項目を、ショートプログラムでは7個、フリースケーティングでは12個の技の要素を判断していかなくてはならない。しかも、世界選手権等の試合では、30人前後の演技を、基準が変わって不公平にならないように、全て同じ複数の審判員が判断し続けなくてはならない。したがって審判員の負担は計り知れない。さらに、毎年ルールが改正されていくため、審判員は常に最新の基準をその度に覚え、当たり前のように1～2秒程度の時間で、全ての要素に対して評価していかなくてはならない。果たして冷静に判断している時間はあるのだろうか。全ての選手の全ての要素に対して、ガイドラインに沿った評価ができるのだろうか。現状では、ジャンプの高難度化が進んでいるからこそ、評価基準がなおざりになっていると感じる。特にジャンプの離氷時の評価は非常に曖昧で、審判員の裁量に完全に委ねられているように感じる。実際に、インタビュー等で審判員の判断に苦言を呈している選手もいる。

筆者は、カナダに拠点をおいて練習を積み重ねているが、ルールに対して試行錯誤したり、大会の結果を見てはどのようにジャンプを跳んでいくべきか、どのようなジャンプを跳ぶべきか、どのような技術が必要かという議論をしている。そんな状況下において、フィギュアスケートのジャンプについての詳細な動作が記録できれば、目指すべきジャンプやスケートスタイルが見えて、より一層フィギュアスケートが発展するのではないかと期待している。

2. 実験方法

使用したモーションキャプチャシステムはNOITOM社製のPERCEPTION NEURON2.0であった。PERCEPTION NEURON2.0は小型センサー（12.5mm x 13.1mm x 4.3mm, 約1g）を装着する際に、最大31個まで装着する数を自由に決めることができる（図1）。今回は、最大数である31個のセンサーを装着して測定した。解析に使用したソフトウェアは同社製のAXIS NEURON（Axis Neuron Version: 3.8.42.8591, Calculation Engine Version: 3.2.2.7251）であった。

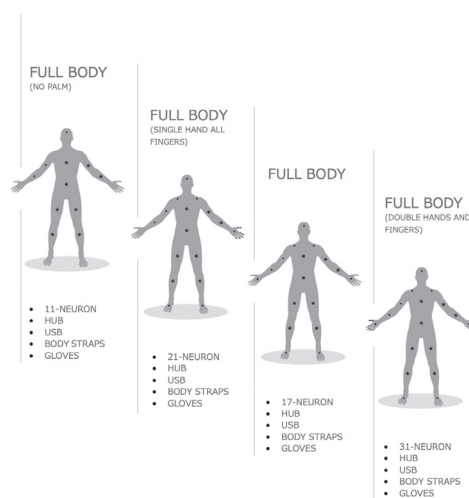


図1. 小型センサーの装着数例
(Noitom Ltd., 2019)

使用したPCは

Apple社製 MacBook Pro (15-inch, 2016)

プロセッサ: 2.6 GHz Intel Core i7

メモリ: 16 GB 2133 MHz LPDDR3

グラフィックス: Radeon Pro 450 2 GB, Intel HD Graphics 530 1536 MB

OS: MacOS Mojave バージョン10.14.6

である。

測定にはWi-Fiモードを使用し、PCとの接続は無線で行えるようにした。Wi-Fiモード時にはモバイルバッテリーを使用する必要があるが、MOXNICE社製のUSB 2ポートで10000mAhの容量があるモバイルバッテリーを使用した。サイズは約82 x 82 x 15mmであり、重量は約160g、出力は5V/2.1Aである。

小型センサーには遠心力によって装着ベルトから外れてしまう可能性と、氷から飛び散った氷のかけらが水滴となり、小型センサーが故障してしまう可

能性等が考えられたため、事前にシリコン製の防水テープで装着ベルトと小型センサーを固定し、防水対策と遠心力対策を施した。

今回の実験は氷上で行うという点から、

- (1) リンクのサイズが30×60m程度であるため、リンクを大きく使って滑った場合、無線が途切れてしまうのではないかと、もしくは、データの測定がうまくいかないのではないかと
- (2) ジャンプ時の遠心力にセンサーが負け、飛び散ってしまう可能性
- (3) 鉛直方向を軸とした回転速度が非常に高速であるため、計測ミスを引き起こしてしまわないか
- (4) リンク内の低温によって計測ミスを引き起こしてしまわないか
- (5) リンク内の湿度によって故障してしまわないか

等が不安要素として挙げられた。

全てテストしてみなくてはわからないものであったため、実施をしながら様子を見て、改善していきように考えていた。

実施する内容は、本格的にジャンプの測定を始める前に、試行として、筆者のあるプログラムのステップシークエンス（ステップやターンなどを連続で行う要素）を2回程度、状況によってはキャリブレーションを重ねながら、滑るスピードや身体運動の速さなどを臨機応変に変えた。ジャンプは、離氷時にエッジを滑らせながら遠心力を使い加速、その勢いを回転やジャンプ力に使うジャンプで、フィギュアスケートの中で基礎となるジャンプのループジャンプと、離氷時に右足のトゥ（ブレードの前側にあるギザギザの部分）を氷に刺し、その勢いや直線運動速度を急停止させることによって上昇する力を得て離氷するジャンプであるフリップジャンプを実施した。この2種のジャンプは、離氷する際のきっかけが全く違うメカニズムであり、比較する際に相違点が大きく出るとはならないかと期待し、この2種を実施することにした。また、アクセルジャンプはこの2種とも、その他のジャンプとも全く違い、前向きに離氷し、回転しながら後ろ向きで着氷する唯一のジャンプであるため、アクセルジャンプの実施もすることにした。実施するのは基礎的な動きを確認するための1回転ジャンプと、ある程度の技量が求め

られる3回転ジャンプ、そして、現時点ではアクセルジャンプの中で一番回転数の多い、3回転半アクセルジャンプを行った。慣性センサー式モーションキャプチャを装着したままで行う必要があり、遠心力や重さ、運動制限などがあるため、挑戦的であるが、破損や転倒、怪我等に注意しながらも、3回転半アクセルジャンプを慣性センサー式モーションキャプチャで測定することができるかを知る必要があると考え、実施することとした。したがってジャンプの実施は、1回転ループジャンプ、1回転フリップジャンプ、1回転半アクセルジャンプ、3回転ループジャンプ、3回転フリップジャンプ、3回転半アクセルジャンプを各2回ずつ実施した。

3. 実験結果

氷上でのテストとして、初めにステップシークエンス（ステップやターンなどを連続で行う要素）を行なって、どのようにデータが取れるかを試してみた。特に注目していたのは不安要素(1)の点である。陸上でのデータ測定はパソコンの近く、加えてルーターの近くで行っていたが、離れてしまうことでどれほどの影響があるのかが未知であった。しかし、結果は極めて良好であった。このデータが一番精度高く取得できていた。このデータをとった事によって、エッジの向きや角度、ターンなどへのセンサーの追跡能力の高さと信頼度が極めて高いものとなった。このようなデータを多く取得していく事によって信頼性の高い機械学習用データセットは用意できると考えられる。AXIS NEURONで出力したモデルでは、接地している足の関節が赤く表示されるようになっていたが、これもうまく機能した。ステップシークエンス中では片足の時間がほとんどであり、接地していない方の足は非常に自由度が高い動きをしていることが多い。しかし、ほとんど誤作動なく、接地している方の足の表示に成功していた。ところが、これは慣性式センサーの弱点でもあるが、歩くような動作をしていない状態での滑走は慣性状態であるゆえに水平方向の移動データを測定することはできず、出力されたデータは、その場に留まっているように表示されていた。ただ滑っているような足の動き自体は見られているので、座標移動だけができていない可能性がある。

1回転半アクセルジャンプでは離氷時の腕の挙動、

右足の振り上げ動作が乱れたが、他にはあまり特別に変な挙動をしている部分は見当たらなかった。3回転半アクセルジャンプでは、非常に高い転倒リスクや、センサーが飛んでしまう可能性があったと感じたが、実施してみると非常に安定してできた。慣性の要素が大きいジャンプの高さと跳躍距離のデータは仕方ないとしても、回転はしっかりと追っていた。これは極めて優良なデータになったのではないかと感じる。3回転半の回転速度を追うことができると証明できたので、4回転ジャンプについても同様に可能であろう。また、測定器具にも影響はなく、固定や防水を正確にすれば4回転ジャンプも被験者の技術や慣れがあれば、装着したままでも測定が可能になると感じた。

PERCEPTION NEURON2.0で測定したデータは、コンタクトポイント (Contact points) という機能がAXIS NEURONにて出力した時に存在する。これは、地面と設置している部分で、圧力が高まっている箇所を図2のように、赤く表示するという機能である。脚には前後に5個ずつのポイントで10個のポイント、手と尾椎部にもコンタクトポイントを適用することも可能である。

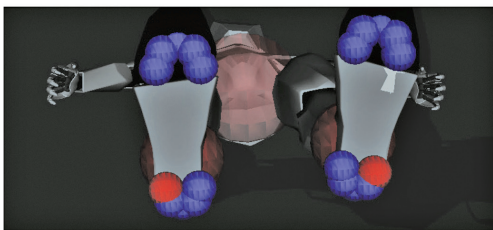


図2. 足底のコンタクトポイント (Noitom, 2020)

ステップシークエンスでは、ターン等が多数存在しているが、それぞれの重心の移動やエッジの乗っている場所、エッジの角度等を観察することができた。感覚や本来あるべきエッジの角度等がデータと一致していたため、この機能は、うまく動作していることがいえる (図3)。

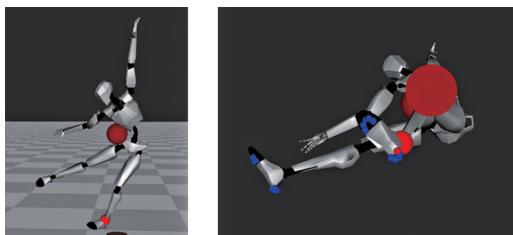


図3. ステップシークエンス時の一部を水平方向 (左) と下 (右) から見た画像

図3の左の画像から、右足が赤く表示されているため、荷重は右足に乗っている、所見として踵の外側に乗っていることがわかるが、下から見ると、踵の外側が赤く表示されていることがわかる。

データを分析するまではあまり注目していなかった機能であったが、離氷直前の踏み切り時に踏み切りの足の足関節が赤く表示されることも含め、これらの機能がジャンプのジャッジングに極めて有用であることがわかった。

ループジャンプは右足で遠心力を利用しながらジャンプするが、飛び上がるまでに遅い、つまり、離氷せずに回転数を稼いでから離氷するようなジャンプを行うスケーターらがいる。これは正しい技術ではなく、稚拙なジャンプであるが、これを現ジャッジングシステムでは減点対象であると明記してあるにもかかわらず、離氷を判定する基準がないため、この適用がうまくできずにいた。しかし、稚拙なジャンプが現在、広く普及しており、ジャンプの難易度自体が大きく変わってきている。減点措置が行われていないため、これをよしとし、稚拙なジャンプを推し進めているコーチも存在する。この重心を表示する機能を使用すれば、どの地点まで離氷していないのかが簡単にわかる。また、これを数値化し、離氷前のエッジの角度の基準を設定し、時間などをコンピューター上に設定する事によって、数値として、人間の目ではなく、公正な判断基準で判断することができるようになる。これは今のフィギュアスケート界において、非常に大きな発見であると考えられる。

フリップジャンプでは、インサイドで飛ばなくてはいけないというルールが存在する。同じ左足で、後方に滑りながら、右足のトゥを氷につく事によってジャンプするルッツジャンプがあり、それらを区別するためにISU (International Skating Union) では、インサイドで踏み切ったジャンプをフリップジャンプ、アウトサイドで踏み切ったジャンプをルッツジャンプと規定している。フリップジャンプを実施しているときにアウトサイドで踏み切ってしまうと、減点措置が取られる。

これは明確な基準があるにもかかわらず、それぞれの試合によって (審判員によって) 差が生じている。また、現審判員は1方向からしか見ることができないという物理的な制限があり、プログラムの

振付師やスケーターのコーチによっては審判員の死角になるようにフリップジャンプ、ルッツジャンプを配置している。これでは本当にエッジを見分けているとは言えない。しかし、この機能によって、親指側に重心が寄っていればインサイド、小指側に重心が寄っていればアウトサイドと明確に判断することができる。実際、今回のサンプルのフリップジャンプで、1回転ジャンプではインサイドに乗っているが、3回転ジャンプではアウトサイドに乗っていることが明確にわかる(図4)。

これによって、ジャッジの視覚による判断ではなく、公正な基準に則った判断ができるようになる。

また、フリップジャンプやルッツジャンプ、トゥループジャンプの3種類のジャンプでは、トゥを氷について飛ぶという特徴があるが、最近はトゥをつかずに、エッジを氷につけ、本来の踏み切りよりも長い時間離氷せず、回転を稼ぐジャンプがある。これも稚拙なジャンプであるが、これについてもISUで減点対象になることを明記しているが、減点されないことが多い。こちらのパターンはほとんどの場合が減点対象にならず、回転不足の対象にもならないため、率先して指導を行なっているクラブも存在する。

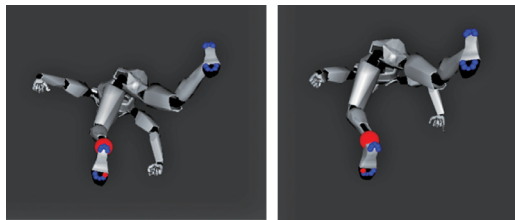


図4. 左は1回転フリップジャンプ、右が3回転フリップジャンプ

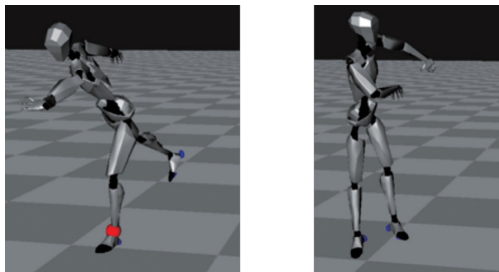


図5. フリップジャンプ

これについても、トゥをついたあと、トゥをついている足に赤い表示が長く点灯しているかどうかで判断が簡単にできる。フリップジャンプは左足で後ろに滑りながら、右足のトゥを氷に突いて飛びき

かけを作る(図5)が、ループジャンプは右足に乗って後ろに滑り、カーブを急激にかけることによって遠心力を生み出し、それを回転と跳躍力につなげて飛ぶ(図6)。本来、全く違う理論で違う見た目のジャンプであるが、ループジャンプに非常に似通ったフリップジャンプを飛ぶことができる。

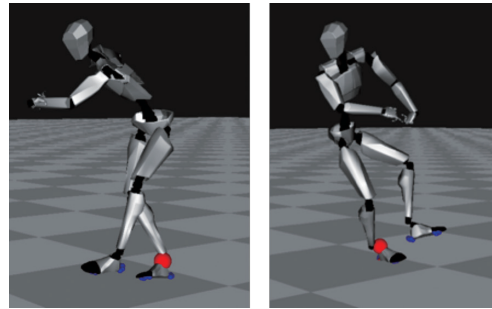


図6. ループジャンプ

これは、フリップジャンプの際、右足のトゥではなくエッジに乗って飛ぶことによって、ほぼループジャンプと同じ原理で飛ぶことができ、さらに本来のフリップジャンプではあり得ない回転を離氷前にすることが可能となる。今回のサンプルではそのようなジャンプではなかったため、トゥを突いてから、離氷するまでに右足が赤く表示されることはなかった。ところが、3回転ジャンプに関しては、右足が離氷前に一瞬赤く表示された。つまり、回転数を増やそうとすると右足に乗る時間が少しずつ増えやすい傾向があるということがわかる。比べて、ループジャンプは右足がはつきりと長く、赤く表示されている。これは当たり前の結果であるが、稚拙なフリップジャンプでは、この現象がフリップジャンプの右足でも起きる。この赤く表示される時間から、重心がどのくらい右足に乗っていて回転しているかを測定することができる。それらを平均化し、理想のジャンプ象を測定しながら、許容範囲の基準を作り、どこからが稚拙なジャンプであるかという風に明確化していくことが可能である。ルッツジャンプ、トゥループジャンプも同じような現象が起こる可能性があり(図6)、また、ループジャンプ、サルコウジャンプ、アクセルジャンプにしても、長く離氷前の回転動作を取る可能性がある。しかし、これによって、全ジャンプの稚拙な踏み切りへの、ジャッジによる基準の差異などを根絶していくこと、ひいては、稚拙な振り切りが少なくなり、本来規定されているジャンプが増えるのではないかと考える。

全体として、飛ぶ瞬間までの動作のデータについては極めて良い精度で取れていると感じる。飛ぶ瞬間のデータがうまくとれれば、ジャンプの種類の判定や飛ぶまでの細かい減点対象、目では追えきれないものや、判断基準が人間によって違うものも数値化し、基準を作ることは可能ではないかと考える。一人のジャンプだけではできないかもしれないが、ISUなどの機関が有力な国の連盟に強化選手を使って、少しずつデータをとることを義務付けしてAIを作ったらジャンプに関してだけではなく、ステップやスピンなどの技術的な判定は完全にできるように感じた。ただし、着地時のデータについては疑問が残るものも多い。膝の角度や着地時の回転角度の精度は疑わしい。したがって、現状では、回転数の判断の自動化は厳しい。しかし、これについては複数台カメラを用意し、任意の見易い角度からの映像をスロー再生で着地点をしっかりと判断することは可能であるため、この技術に頼りきりになる必要性はない。

フィギュアスケートにおいてこのモーションキャプチャーは極めて有用であると考えます。

4. 考察・まとめ

フィギュアスケートにおけるIT技術の利活用の実例として慣性式・無線式モーションキャプチャーによる実験研究を行った。今回の実験で、フィギュアスケートにおいては、モーションキャプチャー技術により、ジャンプの定量的な分析が可能となりうるといって有用であることが明らかになった。技術改革はもちろん、遠隔での指導にも使えるだろう。

現在機械学習分野の最重要課題として、一般的な1台のビデオカメラでのビデオ画像から人体の3次元骨格を推定することが研究されている。2次元での骨格推定はすでに実用的な精度に達しており、3次元に関しても数年のうちにリアルタイムで十分な精度を推定できるようになると予想されている(加藤, 2019a,b)。ただ、これら機械学習で利用している学習用データセットは「電話を掛ける」、「歩行をする」と言った生活上での様々な動作を大掛かりな光学式モーションキャプチャーを使って取得したもので、フィギュアスケートのジャンプ等の技のデータはなく、フィギュアスケート独特の動作を検出するモデルを作成するには不適當である(Ionescu,

Papava, Olaru & Sminchisescu, 2014)。

今回のような無線式慣性センサー式モーションキャプチャーを実際のスケートリンクでビデオ画像の撮影と同期させながら使用することにより、フィギュアスケートの独特の動作の推定に特化したデータセットを作成することが可能である。そうして作成されたデータセットで学習させることによりビデオ画像からの3次元骨格推定が高精度で実現できる。そうすれば、今回の実験で使用したセンサー等特別な機器を使用することなく、TV中継などで撮影される画像によりモーションキャプチャー・データが取得可能となる。

付記

本稿は「フィギュアスケートにおけるモーションキャプチャー技術の活用と将来展望(羽生結弦 2020年度早稲田大学人間科学部卒業研究論文)」の一部に加筆・修正を行ったものである。

参考文献

-
- Noitom Ltd. (2019). AXIS NEURON USER GUIDE <<https://www.aiuto-jp.co.jp/download.php?id=91>> (2020年7月14日)
- Ionescu, C., Papava, T., Olaru, V., & Sminchisescu, C. (2014). Human3.6M: Large Scale Datasets and Predictive Methods for 3D Human Sensing in Natural Environments. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 36 (7), 1325-1339.
- 富士通 (2019). 国際体操連盟が正式採用した「AI自動採点システム」はスポーツ界をどう変えるのか FUJITSU JOURNAL <<https://blog.global.fujitsu.com/jp/2019-06-28/01/>> (2020年7月14日)
- International Skating Union (2020). ISU Communication <<https://www.isu.org/figure-skating/rules/fsk-communications/24665-isu-communication-2334/file>> (2020年7月14日)
- 加藤直樹 (2019a). コンピュータビジョンの最新論文調査 2D Human Pose Estimation 編 <<https://engineer.dena.com/posts/2019.11/cv-papers-19-2d-human-pose-estimation/>> (2020年7月14日)

加藤直樹 (2019b). コンピュータビジョンの最新論文調査 3D Human Pose Estimation 編 <<https://engineer.dena.com/posts/2019.12/cv-papers-19-3d-human-pose-estimation/>> (2020年7月14日)

Noitom (2020). Axis Neuron Reference Manual <https://neuronmocap.com/system/files/software/Axis%20Neuron%20User%20Manual_V3.8.1.5.pdf> (2020年7月14日)

