

スポーツサイエンスにおける映像分析

— スキーターの三次元的分析 —

名古屋大学 総合保健体育科学センター 池上康男

Yasuo Ikegami,
Research Center of Health, Physical Fitness and Sports,
Nagoya University



「動き」を記録する

スポーツサイエンスの中に運動の技術やその技術を構成する個々の動作を力学的な観点から分析することを目的とするスポーツバイオメカニクスといわれる分野がある。スポーツにおける身体の動きを力学的に分析することで、運動中の身体の動きや、動作に必要な筋肉の働きについてより客観的に理解することができるようになる。力学的解析のためには運動を定量的な分析が可能な形で記録する必要がある。最も手軽に利用できる運動の記録手段はフィルムやビデオといった映像によるものである。映画やビデオ撮影によって得られた画像から身体各部の動きを座標の変化としてとらえると身体運動の力学的分析が可能になる。

三次元の記録

人の身体の動きは身体中にある多くの関節回りの回転運動が合成されたものになっている。それぞれの関節の回転軸の向きは異なっている。したがって、例外的な場合を除いて、身体運動は三次元的な運動となる。方向でいえば、前後、左右、上下の三つの方向を持つ動きとなる。これらの動きを分析するためには運動の

記録も三次元的に行わなければならない。

一台のカメラを用いる方法では二次元の映像しか得られないので、複数のカメラを用いて同時に動きを撮影し、二つの二次元画像から計算によって空間座標を合成する。簡単な例を挙げると、一台のカメラを正面に、他の一台を側方に置いて撮影すれば、正面のカメラから上下と左右の動きが、また、側方のカメラからは前後と上下の動きが得られ、遠近誤差の補正は必要ではあるが、基本的に両者から前後、左右、上下の動きが得られる。しかし、この方法で正確な測定を行うためには二台のカメラの光軸が直交していることが必要があり、さらに、両カメラの位置（空間座標）やレンズの焦点距離といったカメラ定数と呼ばれるパラメータがわかっていなければならない。実験室内での研究ならばこれらの条件を満足させるようにカメラの設置を行うことは容易である。しかし、実際にスポーツの行われる現場、例えばオリンピックや世界選手権といった競技会の会場でこのような条件を満たすようにカメラを設置することはほとんど不可能である。そのため今日では、カメラの設置はある程度自由にし、そのかわり、すでに実空間座標の値がわかっている点（コントロールポイント）を設置済みのカメラで撮影し、コントロールポイントの実空間座標と画像面上の位置



第1図 三次元のキャリブレーションのためのコントロールポイント



第2図 スキーの動きを三次元的に計測するために、左右のスキーの前後に取り付けられたボール。

関係から光軸の向きやカメラ位置などのカメラ定数を計算によって求め、三次元のキャリブレーションを行うのが普通である。この方法はDirect Linear Transformation法(DLT法)と呼ばれている。

スキーターンの三次元記録

DLT法は最も一般的な三次元撮影の方法であるばかりでなく、オリンピックや世界選手権といったカメラの設置に制約を受ける試合での撮影では極めて有効な手段となっている。ここではスキー滑走におけるターンの動作の三次元的記録を紹介する。

スキー滑降の分析では、直滑降であれば真横から滑走姿勢を撮影すればよい。しかし、ターン中のスキーヤーやスキーの動きは異なる方向を向いた軸回りの回転を多く含んでいる。例えば、ターンに伴うエッジングではスキーはその長軸回りに回転させられる。また、ターンに伴ってスキーはその進行方向に対し迎え角を持つようになり、これは雪面に垂直な軸回りの回転になる。ターン中のスキーヤーの身体の動きはさらに複雑になる。このような回転軸が異なる多くの回転運動を含むスキーターンの動作を正確に記録するために三次元的記録法を用いる。第1図は三次元のキャリブレーション用のコントロールポイントで撮影範囲のほぼ中央に雪面に垂直に立てられている。これを撮影し、取り除いた後に試技の撮影を行う。当然のことであるが、コントロールポイントの撮影の後にはカメラ定数が変わらないようにするためカメラに触ることは一切できない。

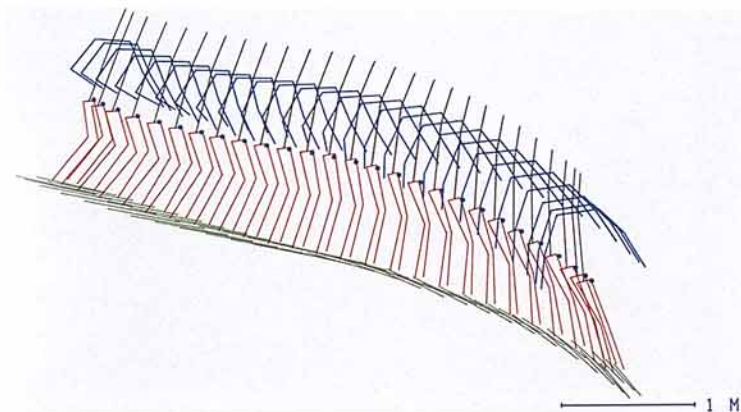
滑走中のスキーの向きや回転を調べるために、スキーの前後に小さなポールを滑走面に垂直になるように立てる(第2図)。このポールには上下に二つの球が取り付けられている。スキーの前後及び左右で計8個の球の三次元座標も膝、腰、肩などの身体の計測点の座標と共に求める。こうすると、例えば上下の球の三次

元座標からスキーのソール面に垂直な三次元ベクトルが、前後の球からはスキーの向きを表す三次元ベクトルがそれぞれ得られる。また、前後の4個の球からはスキーの中心と平行に移動する点の座標が得られる。これらのベクトルから、スキーのソール面と雪面とのなす角であるエッジング角は、スキーのソール面に垂直なベクトルと雪面に垂直なベクトル(凹凸のない斜面では斜面に垂直な定ベクトル)とのなす角として計算できる。同様に、スキーの迎え角は、スキーの中心の速度ベクトルとスキーの向きを表すベクトルのなす角として求められる。このような方法によって、滑走中のスキーの動きと身体の動きを同時に求めることにより、滑べりの違いを定量的に捉え、スキー技術を客観的に評価できるようになる。

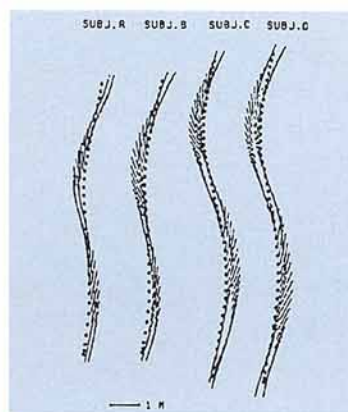
第3図はスキーヤーの斜め前と斜め横から撮影した画像をもとに真正面からみたスキーヤーの身体の動きを線画(スティックピクチャー)で表したものである。DLT法を用いると全く異なった方向から見た動きを合成することができる。

第4図は連続した小回りのターン(ウェーデルン)で滑った時の真上から見た左右のスキーと身体重心の動きを示したものである。ターンに伴って身体重心がターンの弧の内側に移動していくことや、スキーの向きが滑走方向より内側を向く(迎え角を持つ)ことが観察できる。左の2名は上級者、右の2名は中級者である。上級者では左右のスキーの幅が狭く、平行に保たれていること、また、迎え角が小さく横ずれの少ないターンとなっていることなどが観察できる。

このように、映像分析によって得られた三次元座標から、スキーの向き(エッジング角や迎え角)、身体重心の前後、左右、上下への移動、膝関節や腰関節の角度変化、スキーに対する上体の向きや傾きといった運動学データを求め、滑走テクニックや技術レベルの違いをより客観的に示そうとしている。



第3図 ターン中のスキーヤーの動き。



第4図
小回りターン(ウェーデルン)における左右両スキーと重心の動きを真上から見たもの。左の2名は上級者、右の2名は中級者。