【特集―事例報告―】

競技現場において動きや負荷を定量的に評価する研究

小山孟志[1)]

Quantitative studies to evaluate the movements and loads in a competitive field

Takeshi Koyama[1)]

Abstract

The author has been working as a strength and conditioning coach for about 15 years in basketball competitions to strengthen players' physical strength. On the other hand, the authors have been investigating and evaluating physical load during games and training, evaluating physical fitness and skills of top-level athletes, and competition-specific training methods and evaluation methods. At the beginning of the research, I was studying the movement distance and velocity of the athletes according to many previous studies. However, high-intensity exercises such as sprint, jump, turn, and physical contact that occur in an actual basketball game are likely to be underestimated by the distance and velocity. Therefore, to comprehensively understand the physical load, the external load evaluated from such as the distance, acceleration that can be measured at the competition sport field, and the internal load evaluated from such as the heart rate, various biochemical markers, and rate of perceived exertion are measured simultaneously. In this paper, I would like to show examples of the researches, and describe the future prospects and the author's idea about the competitive sport field and the laboratory research.

１．はじめに（自己紹介）

筆者は約15年にわたってバスケットボールの競技現場において選手の体力強化を行うストレングス＆コンディショニングコーチとして携わっている．もともと自身はバスケットボール経験者ではない．大学在学中にスポーツサポートシステム（学内のアスリートに対して医科学的サポートを行う組織）に所属しており，サポートスタッフとして男子バスケットボール部に配属されたのがこの競技に関わるきっかけであった．大学院に進学してからもこの活動を継続し，修了後に日立サンロッカーズ（現在のＢリーグ渋谷サンロッカーズ）で４シーズン，日本バスケットボール協会での３シーズンを経て，５年前に母校の東海大学に教員として着任した．また，大学在学時から関東大学バスケットボール連盟医科学部員としても活動しており，選抜チームでのトレーニングサポートや，体力測定事業などの現場活動の他に，関東学連として学会発表[1, 2, 3)]や本学会においても第２回学会大会において「関東大学バスケットボール連盟トレーナー部会の取り組み」について講演を行うなど学術的な活動も行ってきた．また，体力測定事業については，フィジカルトレーニングの普及を目的として，各項目上位選手のデータをホームページ[4)]や試合会場にて公表することも行って

１）東海大学スポーツ医科学研究所
Research Institute of Sport Medical Science, Tokai University

いる．

研究内容は，競技スポーツ現場において応用可能な知見を得ることを目的として学術分野にとらわれない実践的研究を行っている．具体的には，試合やトレーニング時における身体負荷の定量化や，トップレベル選手の体力およびスキルの評価，競技特異的なトレーニング方法や評価方法について調査・研究を行っている．

２．現場での問題意識（研究のきっかけ）

先述の通り，筆者はバスケットボール未経験者でありながら学部３年時にスタッフとしてバスケットボール部に途中入部したこともあり，チームの中では自分だけ出遅れている状態からのスタートであった．そのため，バスケットボールに必要な体力とは何か，何をどのようにトレーニングして，どこまで伸ばしたらパフォーマンス向上に貢献できるか，といったことが全く分からず，それらを知る必要があった．

まずは，「バスケットボールの試合は１試合で何キロ走っているか」ということである．筆者は小学校から高校までサッカーをしていたが，当時のサッカー界では１試合で約10km 走ると言われていた．そして，ある選手が12km を超えたという新聞記事を見たことで，サッカー選手のパフォーマンス評価に試合中の移動距離・速度が使われているということを知った．一方，バスケットボールの移動距離はどうかというと，選手やコーチに聞いても知っている人は皆無であった．そこで，選手の移動距離を調べる方法をサッカーの文献から探したのを記憶している．

Ａ４用紙にバスケットコートの縮尺図を描き，録画した試合のビデオ映像を見ながら選手の移動軌跡を記し，地図の距離計測に用いるマップメジャーを用いて移動軌跡をなぞることで移動距離を算出した．当時は，興味のままに研究環境もない中でできることを行っていたため非常にアナログな方法であったが，これが研究を始めたきっかけかもしれない．その後，大学院在学時にハンドボール部の監督をされていた平岡秀雄先生から映像解析手法（２次元 DLT 法）を用いて選手の移動特性を調べる方法を学び，筆者の修士論文[5]はこの手法を用いてバスケットボール選手の移動距離，移動速度を調べる研究をすることになった．パソコンに映し出した試合映像から各選手の足下に点を打つ作業を１秒間に10回，これを40分間，コート上にいる全10人分を行った．自分のチームに有益な情報提供をしたいというモチベーションで研究を始めたので，初めて分析した試合は自チームが出場した2005年の全日本大学選手権大会決勝とした．その大会の翌週から体育館と研究室を往復する日々が始まり，かなりの時間を分析に費やしたように思うが，意外と楽しいものであった．その頃，ある学会で同じ分析（＝苦労）をしているバスケットボールの研究者に出会い，議論できたときの感動は今でも覚えている．以降，高校トップレベルの試合として全国高等学校選手権大会の決勝[6]，女子国内トップレベルの試合として皇后杯決勝[7]，さらには国内トップレベルの試合として天皇杯決勝[8]，世界トップレベルの試合として世界選手権の試合[8]を分析している．結果的にバスケットボールの試合における移動距離は，競技水準との関連はなく，どれも１試合５～６km 程度であることがわかった．試合の全体像を把握するという意味において，移動特性を調べたことは意義あるものであった．しかし，実際のバスケットボールの試合で起こる，ダッシュ・ジャンプ・ターン・身体接触などの短時間で高強度の運動は，移動距離や移動速度の指標では過小評価されてしまう可能性が高いとも筆者は考えていた（詳しくは次の陸川先生のインタビューを参照）．

３．現在の研究

そこで筆者はバスケットボール選手の身体負荷をより正確に定量化するために，これまでいくつかの指標を計測している．身体負荷をモニタリングする意義は，トレーニングプログラムに適応しているかを判断し，トレーニングに対する個々の反応を理解し，疲労とそれに伴う回復の必要性を評価し，ケガや病気のリスクを最小限に抑えることである[9]．しかし，実際の競技スポーツ現場においては，「今追い込むべきか，休むべきか」といった判断をする際に明確な指標がないという課題がある．なぜなら，疲労やケガの原因は多くの因子が複雑に絡み合っているため，必ずしも一つの指標では測れないからである．そこで，競技現場で計測可能ないくつかの指標を同時に計測することで，身体負荷を包括的に理解しようとしている．

身体負荷を定量化する指標は，外的負荷（External load）と内的負荷（Internal load）に分類される[9]．外的負荷とは，先述の移動距離・速度をはじめとする運動出力のことである．近年はテクノロジーの発達により，トレーニング量や強度を Global Positioning System（GPS）や慣性センサ等を用いて定量化する試みが報告されるようになってきた．この他にビデオ映像から運動時間や強度，頻度を記録する Time Motion 分析

もこれに該当する．一方，外的負荷に対する生体応答として心拍数や各種生化学マーカー（血中乳酸値やクレアチンキナーゼ，コルチゾールほか），主観的運動強度 RPE（Rate of perceived exertion）等を用いて内的負荷を評価する試みが多くの競技現場においてなされている．2018年にバスケットボールの試合における身体負荷のシステマティック・レビューが出されているので参考にされたい[10]．

まず，比較的簡便に記録ができる主観的運動強度である．毎練習後，毎試合後に各選手に疲労度の聞き取りを行い，そこに運動時間を乗じることで session-RPE[11] を算出する．同時に傷害調査の記録を重ね合わせ，身体負荷とケガの関係性を検討している．この session-RPE は，もともと研究することを目的に記録をとりはじめたものではなく，選手のセルフコンディショニングの意識付けや，スタッフ側の情報源として記録を始めたものである．長期間蓄積すればするほど現場では有用なデータになっていることを実感しており，後々に研究の題材になる可能性があるかもしれない．

次に，心拍数と血中乳酸値の計測である（図１，図２）．心拍数は，90％ HRmax 以上の時間帯が大半を占め，試合通してこれが持続している[12]．血中乳酸値は１クォーター終了時に最高値（７～10mmol）を記録し，その後は概ね４～６mmol 程度であった[13]（図３，図４）．ポジション別に検討すると，センターはガードに比べて平均心拍数，血中乳酸値ともに低いことがわかった．

しかし，心拍数や乳酸値の計測で問題になるのがどのような運動出力（外的負荷）が増えるとそれらの指標が高くなるのかが不明であることである．筆者は，前職でスタッフとして国際試合のベンチに入ることがあった．その際にフロアレベルから試合を見たことで，国内の試合では経験しないような激しい動き，特に身体接触を伴う高強度プレーによって次第に体力が奪われていくということを目の当たりにした．そこで帰国後に，国内の試合では滅多に起こらない身体接触を伴う激しい動きのシーン集を作成した．そして，この動きの激しさを数値化するには，移動距離・速度ではなく，速度の変化率（加速度）を指標に定量化することを考えた．そこで，選手の上背部に慣性センサ（図５），胸部に心拍計を装着し試合を行い，ビデオカメラ映像

図１　心拍計の計測

図２　血中乳酸値の計測

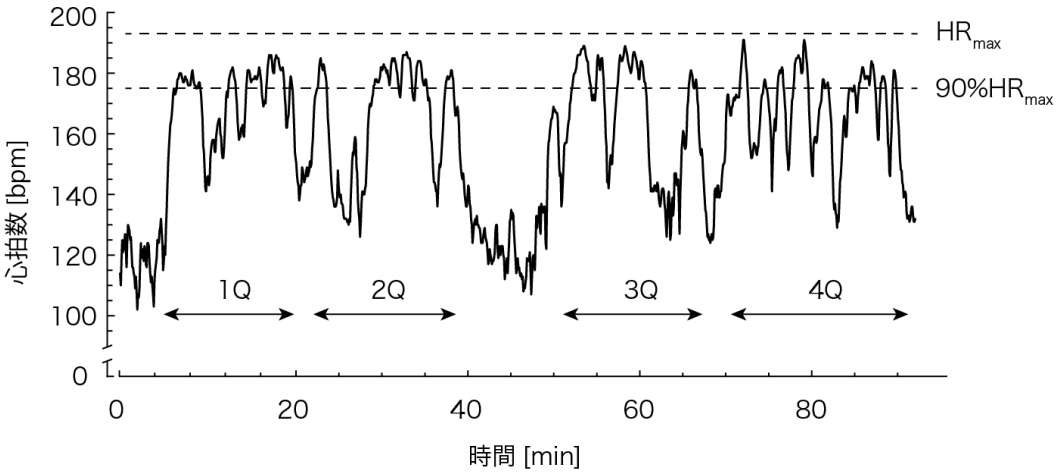

図３　あるフォワード選手の試合中の心拍数

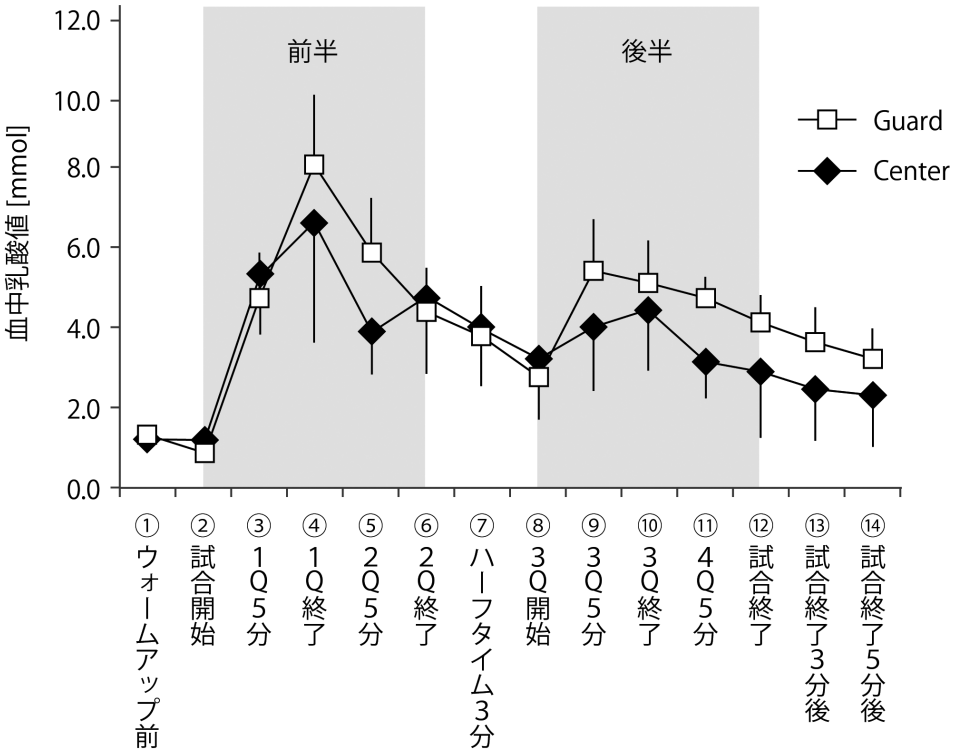

図４　試合中の血中乳酸値

から選手の位置データをデジタイズした．これによって選手の移動距離・速度と加速度，心拍数，主観的運動強度をクォーター毎に計測し，競技レベルの高い相手との試合における身体負荷を分析した．その結果，試合後半において，移動距離・速度は高い競技レベル相手においても高いレベルを維持していたものの，出場時間あたりの高加速度の頻度は低下し，心拍最大後の最小値は増加（心拍の回復が低下）した[14]．計測した選手数が少ないためより多くの試合を継続して計測する必要はあるが，これらの指標が高い競技レベル相手に生じる身体負荷を示す指標になる可能性が示唆された．

現在は，外的負荷（動きの激しさ）を加速度によって評価し，ビデオ映像と加速度データを同期させることで，高い加速度が出現する瞬間の動きの種類と頻度を分析している．そして，その激しい動きの種類や頻度と内的負荷（生化学マーカーや主観的強度）との関係性を検討している段階である．

４．将来への展望

これらの研究の問題点は，サンプル数が少ないために，普遍的な理論知にまでなっていないという問題がある．通常の科学研究の作法からすると，あくまでその個人や集団がたまたまその結果であったことに過ぎない，と捉えられてしまうであろう．しかし，競技現

図５　慣性センサの装着

場の指導者や選手がヒントを得られる可能性があるのであれば，実践知として公表する価値があると考える．近年は，単一事例や少数事例であっても実践研究として公表することを推奨する動きが他の学会において散見される．

現に，本学スポーツバイオメカニクス研究室が中心となって行ったフローター・シュート実験は，国内一流選手を被験者としたことで，単一事例であっても原著論文として受理された[15]．言うまでもなく，トップアスリートは他の選手より秀でたパフォーマンスを発揮することができることがトップアスリートと呼ばれる所以である．競技スポーツ現場においては，多くのサンプルを集めて平均値をとって有意差を検討するといった一般的な科学研究手法のみで貢献しようとすると，提言できることはかなり限られる[16]．それ故に，Ｎ＝１もしくは少数事例であっても事実を正確に記述し，その結果の解釈について競技現場の指導者や選手本人と議論し，考察することによって有益な実践知になると考える．

５．まとめ

昔から，現場と研究者との間にはギャップがあると言われてきた．本稿のテーマがこのように設定されているということは，本学会員をはじめバスケットボールの研究者の多くもそのように感じているものだと推察する．筆者は，もともと研究のために競技現場の研究をするというよりも，競技現場で出てきた仮説やアイディアを具現化するために行ったことが，結果的に研究になったものが多いように感じる．現場と研究を橋渡しする方法には，その他にもたくさんの方法があると思われる（詳しくは次の陸川先生のインタビューを参照）．競技スポーツ現場を対象とする研究を行う際には，対象とする選手やチームの強化に繋がることなのか，もしくはバスケットボール界の発展に貢献することなのかといった研究の趣旨を共有し，お互いの立場や役割を尊重した上で進めることが重要ではないだろうか．

〈文　献〉

１）吉本完明，小林唯，小山孟志，宮本直之，山木俊彦，河野徳良，前山定，桜庭景植，清水義明（2007）関東大学バスケットボール連盟におけるフィジカル測定の試み―測定結果の報告―．日本体育学会第58回大会，神戸大学．

２）小林唯，吉本完明，小山孟志，宮本直之，山木俊彦，河野徳良，前山定，桜庭景植，清水義明（2007）関東大学バスケットボール連盟におけるフィジカル測定の試み―スプリントと有酸素系能力の測定項目の検証―．日本体育学会第58回大会，神戸大学．

３）小山孟志，桜庭景植，吉本完明，小林唯，國友亮佑，陸川章（2012）大学男子バスケットボール選手の体力特性―関東大学バスケットボール連盟におけるフィジカル測定結果報告―．日本体育学会第63回大会，東海大学．

４）一般社団法人関東大学バスケットボール連盟ホームページ，平成28年度フィジカル測定について．（2019年８月29日現在）
https://www.kcbbf.jp/index/show-pdf/url/aHR0cDovL2QyYTB2MXg3cXZ4bDZjLmNsb3VkZnJvbnQubmV0L2ZpbGVzL3Nwb2hwX2tjYmJmL3RyYWluZXIvNThhYzFlNDkwNjU1Ny5wZGY=

５）小山孟志（2006）バスケットボールにおける動作の出現頻度分析の有効性．東海大学大学院体育学研究科2006年度修士論文．

６）國友亮佑，山田洋，小山孟志，陸川章（2015）高校トップレベルのバスケットボールゲーム中の移動特性に関する研究．日本コーチング学会第23回大会，日本体育大学，2012．

７）山田洋，小山孟志，國友亮佑，長尾秀行，三村舞，小河原慶太，陸川章．日本女子バスケットボール選手における移動距離及び移動速度．東海大学スポーツ医科学雑誌，27，29-36．

８）小山孟志，國友亮佑，陸川章，有賀誠司，長尾秀行，山田洋（2015）バスケットボールにおける男子トップレベル選手の試合中の移動距離及び移動速度―世界トップレベルの試合と日本国内の試合の比較から―．バスケッ

トボール研究，１，63–71.
9）Pitre C. Bourdon, Marco Cardinale, Andrew Murray, et al.（2017）Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 12, S2–161–170.
10）E. Stojanović, N. Stojiljković, A. T. Scanlan, et al.（2018）The Activity Demands and Physiological Responses Encountered During Basketball Match-Play: A Systematic Review. *Sport. Med.* 48:1, 111–135.
11）Foster C, Florhaug JA, Franklin J, et al.（2018）A new approach to monitoring exercise training. J Strength Cond Res. 15, 109–115.
12）小山孟志，藤井慶輔，陸川章，山田洋（2017）バスケットボールにおける心拍数を用いた高強度運動の評価についての検討．東海大学スポーツ医科学雑誌，29，７–11.
13）小山孟志，吉本完明，陸川章，袴田智子，稲葉優希（2014）バスケットボールにおける高強度の試合時の血中乳酸濃度，第27回トレーニング科学会大会，独立行政法人産業技術総合研究所臨海副都心センター.
14）藤井慶輔，小山孟志（2017）競技レベルの高い相手との試合中におけるバスケットボール選手の運動出力と心拍応答．スポーツパフォーマンス研究，９，542–556.
15）小山孟志，山田洋，小河原慶太，内山秀一，五十嵐健太，陸川章（2018）日本人一流バスケットボール選手におけるフローター・シュート動作の評価―片脚踏切パターンに着目して―．コーチング学研究，32（１），13–22.
16）福永哲夫，山本正嘉（2018）体育・スポーツ分野における実践研究の考え方と論文の書き方．市村出版，pp. 8–30.