

投球動作における関節運動の動作時間制御モデル

脇長 宏行・浦田 達也・野方 円

A Time Control Model of Motions for Angular Velocities with Throwing Performance

Hiroyuki Wakinaga, Tatsuya Urata, Madoka Nokata

神戸医療未来大学紀要 第23巻 第1号

(令和4年12月)

＜原著＞

投球動作における関節運動の動作時間制御モデル

脇長 宏行¹⁾・浦田 達也²⁾・野方 円³⁾

A Time Control Model of Motions for Angular Velocities with Throwing Performance

Hiroyuki Wakinaga¹⁾, Tatsuya Urata²⁾, Madoka Nokata³⁾

In this paper we consider a time control model of motions to improve a throwing performance where the angular velocities of upper torso consist of two motions. The first motion is for increase velocity from take back and the second one is for decrease velocity to release a ball. We assume that a throwing performance can be calculated by the time rate of change in angular velocities. We show that there exists an optimal time allocation for two motions so as to maximize the expected throwing performance value consisting of the general concave performance value from angular velocities of upper torso and time error cost functions. In addition, we also explore an optimal training policy of the time control model with the limited time capacity between take back and release which is similar to the setting of the hospital bed allocation model. We analyze an optimal time allocation between two motions if the time of throwing motions with several case are independently normal distributed as numerical examples to provide visual insights.

Key words : throwing performance, mathematical model, time control, joint angular velocity, training, expected value
投球パフォーマンス, 数理モデル, 時間調整, 関節角速度, トレーニング, 期待値

1. はじめに

野球やソフトボールなどに見られる主要な動作である投球動作は、複雑な関節運動が組み合わさっておこなわれている。そのため、プロ野球投手であっても関節運動のタイミングが合わないと、ストライクゾーンぎりぎりに目掛けて投げたボールが大きくゾーンを外れ、打者に当たってしまうことも少なくはない。また 2022 年現在、MLB で二刀流として活躍している大谷選手も投手として最高球速 100.8 マイル/時 (162.2km/h) を記録しているが、死球を投げることもある。つまり、投球動

作はトップ選手であっても少しのタイミングの違いで正常な関節運動をおこなえない動作である。

投球動作に関する先行研究は、直球と変化球における投球動作の違い¹⁾、投球動作における体幹及び投球腕の力学的エネルギー・フロー²⁾ および投球動作における踏み出し幅と投球速度との関係³⁾ など、投球動作に焦点を当てた研究や投球動作における投球数と動作キネティクスとの関係⁴⁾、投球速度と筋力および筋量の関係⁵⁾ やボールの重量を変えた投球トレーニング効果⁶⁾ など、投球数、筋力・筋量およびトレーニングと投球速度との関係な

1) 神戸医療未来大学 (Kobe University of Future Health Sciences) 〒679-2217 兵庫県神崎郡福崎町高岡1966-5
2) 関西学院大学 (Kwansei Gakuin University) 〒662-8501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町1-155
3) 松山東雲女子大学 (Matsuyama Shinonome College) 〒790-8531 愛媛県松山市桑原3-2-1

ど、様々なテーマでおこなわれている。これらの研究結果によって、投球速度を上げるための方法論などに関して多くの知見が得られている。

シミュレーションを用いた研究⁷⁾では、前腕、手部および投てき物（ボールなど）を表現した筋モデルに2名の被験者のモデルを当てはめ、最大パフォーマンスを達成するための最適な筋の協調戦略を導き出すために試みたが、協調性についての基本的なルールは明らかにできなかったことを報告している。またソフトボールにおける投手のようなアンダーハンドを対象に最適モデルを導出し、そのモデルから得た最適な筋活動と実際の筋活動を視覚的にフィードバックするトレーニングをおこなった結果、投球速度が向上したことを報告している⁸⁾。これらのことから、シミュレーションを用いた研究はおこなわれているもののメカニズムを解明するまでには至っていないが、フィードバックやトレーニングをおこなうことでパフォーマンスは向上する。しかしながら、関節運動を数理モデルに当てはめ、どのように関節運動を変化させれば良いのかというトレーニング的な観点を取り入れたシミュレーション研究はほとんど見当たらない。

本論文では、投球速度を上げる投球動作に焦点を当て、最大のパフォーマンスを出すためのモデルを論じる。第2節では、投球動作で使うさまざまな関節運動について説明し、関節運動をどのように数理モデルへ取り入れるかを議論する。第3節では、有限である時間を2つの投球動作それぞれに配分する最適な時間を決定するモデルについて定式化をおこなう。第4節では、いくつかの条件からなるデータを使用して、最適制御時間の推移と投球動作にかかる時間の変動が投球パフォーマンスにどのような影響をもたらすかを観察する。

2. 収益管理モデルの投球動作への応用

現在、投球動作のトレーニングに関する方法論に関して、先に紹介した先行研究に限らず、著書だけではなく YouTube でも多くの動画が取り上げられ、この多くの情報の中から自分にあったトレーニング方法を見つけ、実行しなければならない。しかし、そのトレーニング方法が自分に合ったものなのかもわからないままトレーニングをおこなうことにもなるので、そのトレーニングが必ずしも良い結果につながるとは限らない。例えば、ほぼ同じ能力を持った A 投手と B 投手が同じ投球速度を高めるトレーニングをおこなったにも関わらず、A 投手では飛躍的に投球速度が向上したが、B 投手では投球速度がほぼ変わらなかったという結果になることもある。つまり、同じトレーニングを行なったとしても異なる結果になることがある。その1つの要因としては、投球動作の違いが考えられる。先にも述べたように投球動作は複雑な関節運動を伴うため、少しバランスが崩れただけでも正確性（コントロール）が低下したり、投球速度が低下したり、様々なパフォーマンスを低下させる可能性がある。これらのことから、自分に合ったトレーニングを行なうことは非常に難しいと考えられる。

投球動作におけるパフォーマンス向上に対するトレーニングの方向性は、現状の自分自身の投球フォームを参考にする場合が多いが、先に述べたようにプロ野球投手であっても関節運動のタイミングが合わないと狙った所にボールを投げられないことから、設定することが難しい。そのため、本論文ではコントロールではなく、投球速度をパフォーマンス指標として捉え、パフォーマンス指標に対する定量的な情報を得るために、投球速度を向

上させる投球動作の数理モデルについて考察する。しかし、投球動作の数理モデルといっても様々な関節運動が関わっており、すべての関節運動を含めた数理モデルの構築となると、パフォーマンス指標（投球速度）に関係ない関節運動も含まれてしまうため、数理モデルの適用度が低くなるあるいは数理モデルの解釈が難しくなる可能性が考えられる。

運動学的研究⁹⁾によると、ボールリリース時の投球速度に対して貢献度の高い関節運動は、順に肩関節内旋運動、手関節掌屈運動、肘関節伸展運動、そして体幹（以降「上胴」とする）の左回旋運動であると報告されている。さらに、未熟練者を対象に全力投球（100%）を含めた5段階（80%,60%,40% および 20%）で投球速度を調整させた結果、前述した研究と同様に肩関節内旋運動、手関節掌屈運動、肘関節伸展運動、そして上胴の左回旋運動で投球速度を調整していたと考察している¹⁰⁾。これらのことから、運動学的には肩関節内旋運動、手関節掌屈運動、肘関節伸展運動、そして上胴の左回旋運動が投球速度に貢献していると考えられる。

パフォーマンスを最大化するような投球動作を決定する問題に適用する数理モデルとして収益管理モデルが挙げられる。収益管理モデルは経済・経営の分野で発展してきた数理モデルである。適用するモデルとして、航空会社の収益管理における座席配分モデル¹¹⁾が考えられる。このモデルでは需要をレジャー等で割引料金を利用する割引客とビジネス等で正規料金を利用する普通客が存在する中で、2種類の客に配分する最適座席数を決定する。このような収益管理モデルは、ビジネスモデルの変化に伴い発展させることができるだけでなく、異分野への応用も可能とする。応用例として、感染症が流行している状況下で医療崩壊を回避する病床管理モデル¹²⁾がある。病

床の需要にあたる感染症患者と一般患者に対して適正な受け入れ割合を考えることで病院の期待収益を最大にする病床管理モデルを論じている。投球動作は上胴の左回旋速度を上げる時間と肩関節・手関節・肘関節の速度を上げるために上胴の左回旋速度を下げる時間から成り立っているため、これらの時間をうまく制御することにより投球のパフォーマンスを向上させることができると考えられる。したがって、上胴の左回旋速度を変動させる時間を確率変数に置き換えることで、投球動作モデルを論じることが可能である。そこで本論文では収益管理モデルを応用して、投球の期待パフォーマンスが最大となる上胴の左回旋速度を上げるための時間と下げるための時間を決定する動作時間制御モデルを提案する。

3. 投球動作時間制御モデルの定式化

前節で右利きの投球動作において、上胴の左回旋速度が最大となった後、上肢の肩関節・手関節・肘関節の関節運動による角速度を高めることを説明した。ただし、肩関節・肘関節・手関節の関節角速度が高まるにつれて、上胴の左回旋速度は下がっていく。この動作での課題は最適なタイミングで上胴の左回旋速度を最大にもっていき、上胴の左回旋速度を下げきったところでリリースをすることである。したがって、上胴の左回旋速度を高める時間とその速度を下げる時間をいかに配分して時間制御するかという問題となる。本論文では、上胴の左回旋速度による流れに特化して、テイクバックからリリースまでの動作時間制御モデルを論じることとする。この節では、投球動作について、決められた時間で正確なパフォーマンスを出すという考えのもと、パフォーマンス値（合成ボール速度の指標と

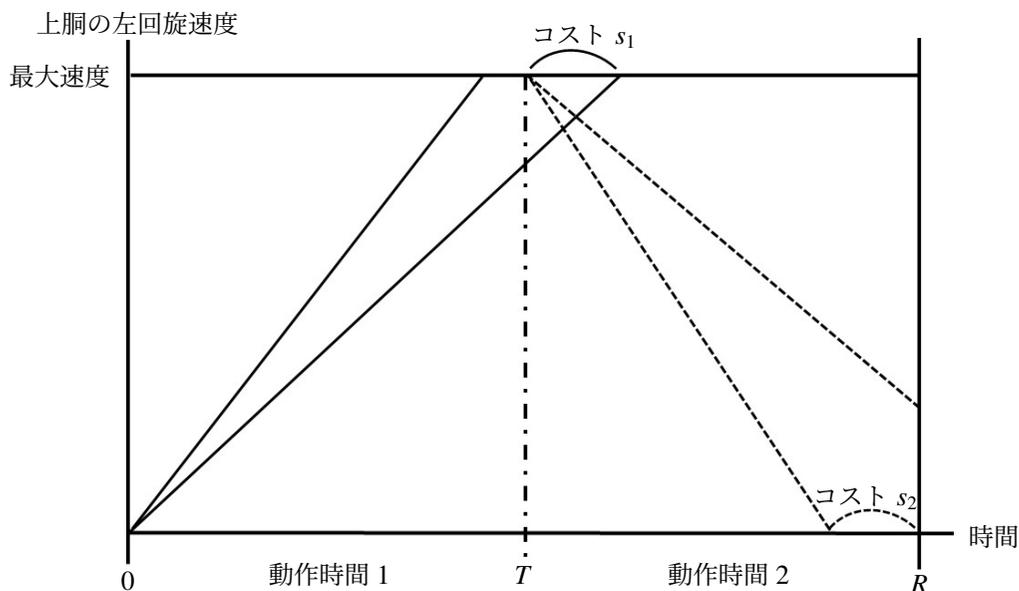


図1 各動作時間における上腕の左回旋速度

仮定する)を所与として,上腕の左回旋速度が最大になるまでの動作時間(以降「動作時間1」とする)とその速度が下がりきるまでの動作時間(以降「動作時間2」とする)からなる基本モデルを説明する.このモデルは,熟練者がトレーニングする上で,最適なパフォーマンスに対する動作時間を分析することを想定としている.

モデルを論じる前に,モデルの仮定と使用する記号の定義について説明する.テイクバックからリリースまでの総時間を R とし,上腕の左回旋速度を上げるための時間を T (決定変数)とする.投球動作は,上腕の左回旋速度の上昇が先行して,その後に速度の下降が続くことから,動作時間1を X ,動作時間2を Y とし,互いに独立している連続型確率変数とする.その X と Y からのそれぞれ単位あたりのパフォーマンス値を π_1, π_2 とする.このモデルでは,上腕の左回旋速度の大きさがその後の上肢関節(肩・手・肘)の角速度に影響を及ぼすため, $\pi_1 \geq \pi_2$ とする.しかし, X と Y は確率変数のため,動作時間に誤差が

生じる.動作時間1が配分している時間を超過する($X > T$)と上肢関節の関節角速度を上げるための時間に影響がでるため,パフォーマンスを高めることができない.この時間超過分に対する単位あたりのコストを s_1 とする.動作時間2では時間 R までの任意の時間でボールがリリースされると仮定する.これは言い換えると時間 R に到達すれば自動的にリリースされるという意味でもあり,本モデルでは,時間 R を超過してのリリースは投球動作として成り立たないと仮定する.この仮定から,リリースが早くなること($Y < R - T$ もしくは $Y < R - X$)で上肢関節の関節角速度が上がりきらないためにパフォーマンスが高まらない.この時間余剰分に対する単位あたりのコストを s_2 とする. s_1 は動作時間1での時間超過が原因で動作時間2において適切な時間制御ができない(上肢関節の関節角速度を早く上げないといけないため力んだ投球になるなど)ために発生するコストである. s_2 は動作時間2自体の原因(投げミスや投球フォームの崩れなど)で発生するコストと考

えるのが適切である。いわゆる、どちらの場合でも上肢関節の角速度による十分な投球速度の調整ができないことを意味するが、 s_1 の方が投球パフォーマンス全体を下げる傾向にあると考える。ゆえに、 s_1 と s_2 の大小関係は、 $s_1 \geq s_2$ のように設定する。図1は上述のモデルの仮定を図示したものである。

図1から時間0のテイクバックの状態から時間 R のリリースまででパフォーマンス値が決まることがわかる。しかし、時間 R までにはモデルの仮定よりいくつかの動作状態が存在する。ゆえに、左回旋速度を上げるまでの時間を T としたときの期待パフォーマンス値 $P(T)$ を求める必要がある。上述のモデルの仮定から $P(T)$ は、

$$\begin{aligned}
 P(T) &= \pi_1 E[\min\{X, T\}] + \pi_2 E[\min\{Y, R - T\}] \\
 &\quad - s_1 E[\max\{0, X - T\}] \\
 &\quad - s_2 E[\max\{0, R - T - Y\}] \\
 &= \pi_1 \left[\int_0^T x f(x) dx + \int_T^\infty T f(x) dx \right] \\
 &\quad + \pi_2 \left[\int_0^{R-T} y g(y) dy + \int_{R-T}^\infty (R - T) g(y) dy \right] \\
 &\quad - s_1 \int_T^\infty (x - T) f(x) dx \\
 &\quad - s_2 \int_0^{R-T} (R - T - y) g(y) dy \quad (1)
 \end{aligned}$$

となる。 $f(\cdot)$ 、 $g(\cdot)$ は動作時間1と2のそれぞれの確率密度関数とする。ここで、この $P(T)$ を最大にする必要条件は、

$$\frac{dP(T)}{dT} = 0 \quad (2)$$

であるので、最適な上胴の左回旋速度を上げるための時間 T^* を見つけるため(1)式を T

について微分すると、

$$\begin{aligned}
 \frac{dP(T)}{dT} &= (\pi_1 + s_1) \int_T^\infty f(x) dx \\
 &\quad + (\pi_2 + s_2)G(R - T) - \pi_2 \quad (3)
 \end{aligned}$$

となり、(2)式から

$$(\pi_1 + s_1) \int_T^\infty f(x) dx + (\pi_2 + s_2)G(R - T) = \pi_2 \quad (4)$$

を得る。 $G(\cdot)$ は動作時間2の分布関数とする。つぎに、 $P(T)$ を最大にする十分条件は、

$$\frac{d^2P(T)}{dT^2} < 0 \quad (5)$$

であるので、(3)式についてもう1度微分すると、

$$\frac{d^2P(T)}{dT^2} = -(\pi_1 + s_1)f(T) - (\pi_2 + s_2)g(R - T) \quad (6)$$

となり、明らかに(5)式を満たすことが分かるので、 $P(T)$ は T に関して凹関数となる。したがって、(4)式を満たす T の値が(1)式を最大とする最適な上胴の左回旋速度を上げるための時間である。ここで、(4)式から決定される T が R 未満の場合を T' とすると、最適な上胴の左回旋速度を上げるための時間 T^* は、

$$T^* = \min\{R, T'\} \quad (7)$$

で与えられる。

次に、 T' が0と R 間に存在する条件を調べるために、 $\lim_{T \rightarrow 0} \frac{dP(T)}{dT}$ と $\lim_{T \rightarrow R} \frac{dP(T)}{dT}$ を観察するとそれぞれ

$$\lim_{T \rightarrow 0} \frac{dP(T)}{dT} = (\pi_1 + s_1) + (\pi_2 + s_2)G(R) - \pi_2 \quad (8)$$

$$\lim_{T \rightarrow R} \frac{dP(T)}{dT} = (\pi_1 + s_1) \int_R^\infty f(x) dx - \pi_2 \quad (9)$$

となり、(8)式と(9)式から(4)式の左辺は T が時間 R に近づくにつれて減少していくことがわかる。(4)式において $T = 0$ で、 $\pi_1 \geq \pi_2$ の

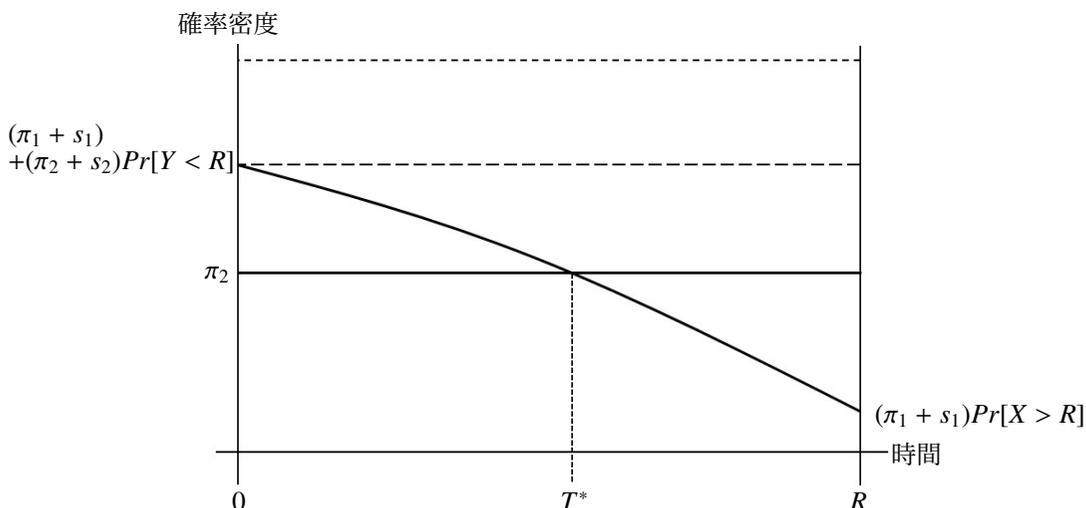


図2 動作時間を制御するための最適配分時間

仮定から $(\pi_1 + s_1) + (\pi_2 + s_2)Pr[Y < R] > \pi_2$ は常に成り立つことがわかる。そこで $T = R$ で $Pr[X > R] < \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ が成立することを考えれば、 $T = 0$ では仮定 $s_1 \geq s_2$ の下で $Pr[Y < R] > \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ に退化させて議論することができる。ゆえに、 $T = 0$ で $Pr[Y < R] > \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ 、そして $T = R$ で $Pr[X > R] < \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ が成立するならば (7) 式で与えられる T^* が 0 と R 間に一意に存在することがわかる。図2は (8) 式から (9) 式までの推移を表したものである。図2から (4) 式の左辺と右辺が交差するところが T^* となる。仮に、 $(\pi_1 + s_1) + (\pi_2 + s_2)Pr[Y < R] < \pi_2$ となれば、 $T^* = 0$ となり時間の全てを動作時間2に配分することが最適である。いわゆるテイクバックなしで投球するほうが良いパフォーマンスとなることを示している。反対に $Pr[X > R] > \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ で右辺が1より小となれば $T^* = R$ となり時間の全てを動作時間1に配分することが最適である。投球動作的には、肩関節・手関節・肘関節の関節角速度を上げないでボールをリリースすることを示している。しかし、実際にこのような動作ではリリースまで至らないこととなり、投球トレーニングとして考えるとテイクバックからリ

リースまでの総時間の修正をおこなうか、上腕の左回旋速度の増加率を上昇させるなどの改善をおこなうことになる。

これらから制御された動作時間の中で、 $Pr[Y < R] > \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ の状態では、動作時間1のパフォーマンス値を上げるためのトレーニングを考え、 $Pr[X > R] < \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ の状態では、動作時間2のパフォーマンス値を上げるためのトレーニングを考えることになる。XとYは独立としているが、これは投球パフォーマンスをコントロールするため、上腕の左回旋速度の変動という視点から、分けてトレーニングをおこなうことを仮定している。ただ、(4)式から T^* はXとYのどちらの動作時間分布にも依存していることがわかる。

4. 数値例

数値例では、動作時間1と動作時間2の分布関数が正規分布 (μ, σ) の下で最適な T^* が存在し、かつ $P(T)$ が T に関して凹関数となることを数値解析によって証明する。さらに、動作時間1と動作時間2の合計時間が総時間と異なる場合、期待パフォーマンス値に起こ

表1 数値解析のための投球動作の平均時間と標準偏差

平均・標準偏差	投 球 1				投 球 2				投 球 3			
	μ_x	σ_x	μ_y	σ_y	μ_x	σ_x	μ_y	σ_y	μ_x	σ_x	μ_y	σ_y
(i)	50	25	50	25	70	35	30	15	30	15	70	35
(ii)	25	12.5	25	12.5	35	17.5	15	7.5	15	7.5	35	17.5
(iii)	70	35	70	35	90	45	50	25	50	25	90	45

る変動を調べる。まず、動作時間1と動作時間2の分布をそれぞれ (μ_x, σ_x) と (μ_y, σ_y) とし、これらの平均時間の合計とテイクバックからリリースまでの総時間 R との大小関係を以下の3つの場合に分けて計算をおこなう。

- (i) $\mu_x + \mu_y = R$
- (ii) $\mu_x + \mu_y < R$
- (iii) $\mu_x + \mu_y > R$

さらに、(i) から (iii) のそれぞれで μ_x と μ_y の投球動作の平均時間の大小関係を以下のように想定する。

- 投球1: $\mu_x = \mu_y$
- 投球2: $\mu_x > \mu_y$
- 投球3: $\mu_x < \mu_y$

(i) から (iii) における (μ_x, σ_x) と (μ_y, σ_y) の数値は表1のように設定し、各パラメータを $\pi_1 = 15, \pi_2 = 10, s_1 = 10, s_2 = 8, R = 100$ とする。表1において、スポーツ科学で得る動作データでは、個人内変動は小さいが個人間変動は大きい傾向にあるため、標準偏差をある程度大きく設定した。

はじめに、(4) 式にデータを当てはめ、最適な T^* が存在していることを確認する。さらにそれぞれの投球が動作時間配分に与える影響を分析する。図3から図5は、(i) から (iii) それぞれの結果を表している。図3から図5を見ると、すべてにおいて、 T が R に近づくにつ

れて減少している。これは(4)式の左辺にあたる。そして、図5の投球2以外は(4)式の右辺にあたる $\pi_2 = 10$ を交差していることがわかる。この交差している位置が T^* となる。図5の投球2は R の時点で $Pr[X > R] > \frac{\pi_2}{\pi_1 + s_1}$ となるため $T^* = R$ が最適となる。 T^* の位置を観察すると、全体的に $T^* > \mu_x$ となっていることがわかる。これはパフォーマンス値を $\pi_1 > \pi_2$ と設定しているためと考える。さらに、動作時間1を動作時間2より多くの時間を割り当てるほど、 T^* が大きくなることがわかる。(i) から (iii) で観察すると、 $\mu_x + \mu_y = R$ での T^* よりも $\mu_x + \mu_y < R$ や $\mu_x + \mu_y > R$ の T^* の方が大きくなっている。つまり、テイクバックからリリースまでの時間が設定した時間より短いあるいは長い場合でも、動作時間1への時間配分を優先する結果を表している。

次に、(1) 式にデータを当てはめ、確率変数である X と Y に実数値を入れて期待パフォーマンス値を観察し、その極値の確認と、(i) から (iii) での極値の比較をおこなう。図6から図8は期待パフォーマンス値の結果を表している。図6から図8において、図8の投球2以外は、 $P(T)$ は T に関して凹関数であることがわかる。図8の投球2は R までに、極値に達していないと予測できる。(i) から (iii) の場合の期待パフォーマンス値を観察すると、指定された時間 R をすべて使い切って投球動作をおこなう方がパフォーマンス値を高める結

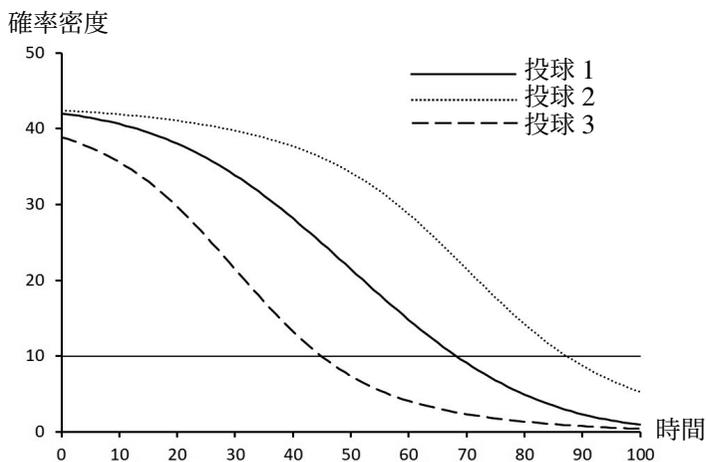


図3 動作時間 1 への最適配分時間 ($\mu_x + \mu_y = R$ の場合)

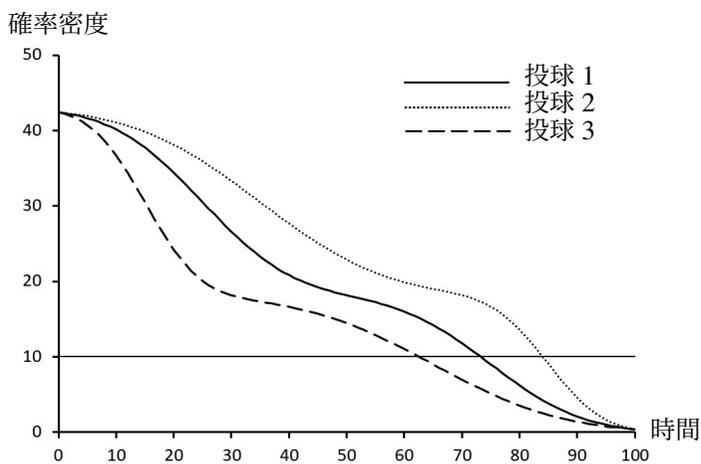


図4 動作時間 1 への最適配分時間 ($\mu_x + \mu_y < R$ の場合)

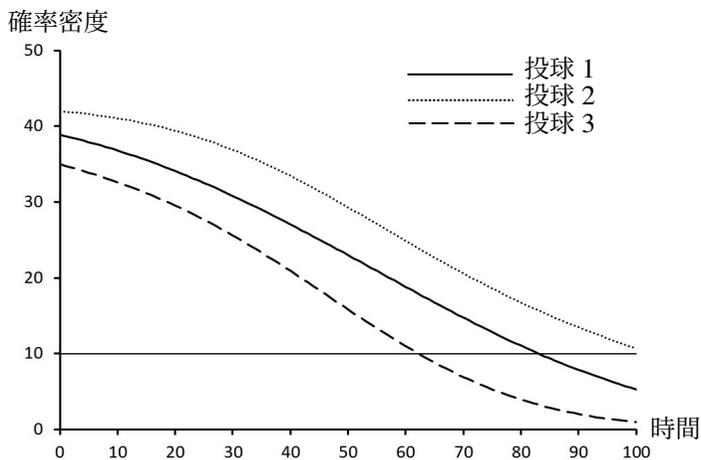


図5 動作時間 1 への最適配分時間 ($\mu_x + \mu_y > R$ の場合)

投球動作における関節運動の動作時間制御モデル

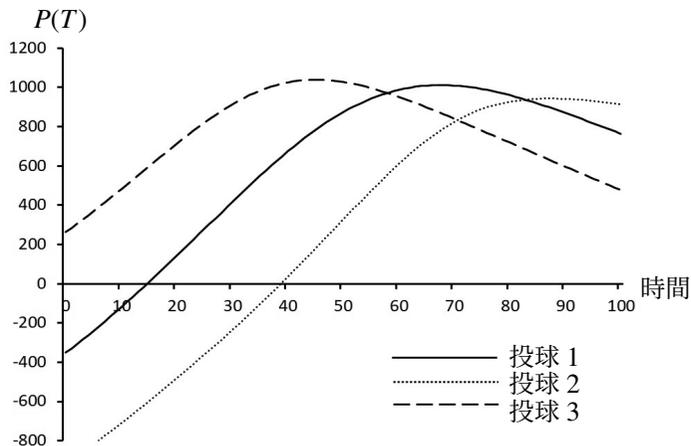


図 6 動作時間 1 への配分時間による期待パフォーマンス値の推移 ($\mu_x + \mu_y = R$ の場合)

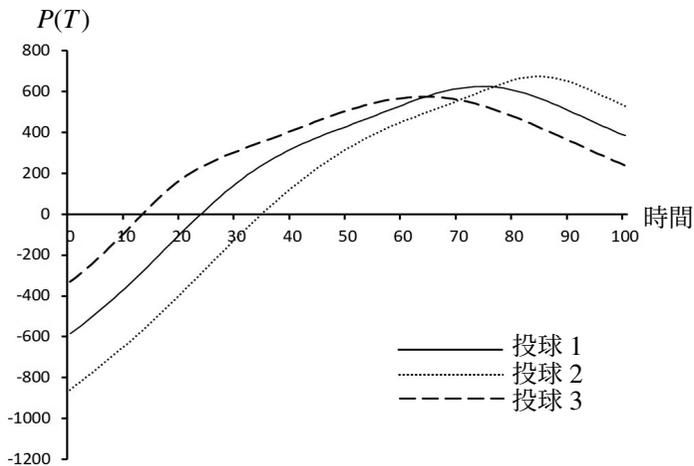


図 7 動作時間 1 への配分時間による期待パフォーマンス値の推移 ($\mu_x + \mu_y < R$ の場合)

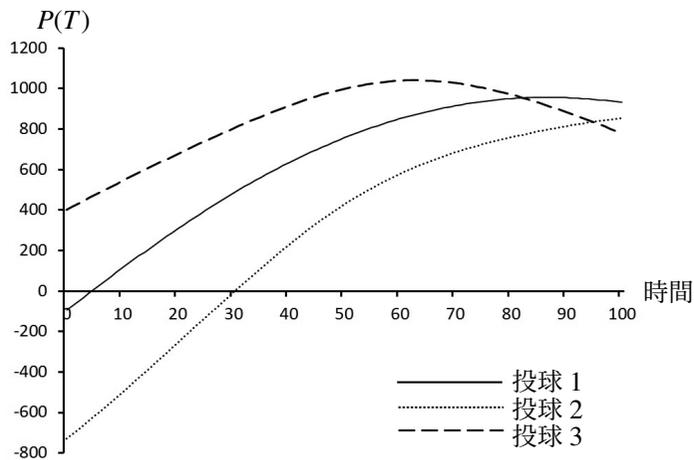


図 8 動作時間 1 への配分時間による期待パフォーマンス値の推移 ($\mu_x + \mu_y > R$ の場合)

果となっている。図 6 と図 8 では、投球 3 の期待パフォーマンス値の極値が最も高い。これは、動作時間 2 に時間を使うことにより T^* を小さくしてバランスの取れた時間配分で投球動作をおこなうことを意味している。つまり、 T^* が R に近づくほど期待パフォーマンス値の極値は減少し、上肢関節の肩関節・手関節・肘関節の運動ができないことを意味している。図 7 では、投球 2 の期待パフォーマンス値の極値が最も高いが、図 6 や図 8 と比較するとすべての投球において期待パフォーマンス値の極値が明らかに小さくなっている。したがって、投球としては思うようなパフォーマンスは出せていないので、動作時間を不均一に減少させるような動作改善（トレーニング）はおこなうべきではないと判断できる。これらのことから、投球 1 もしくは 3 のように動作時間 1 と 2 が同じもしくは動作時間 1 が短くなるような動作改善をおこなうことで左回旋速度のパフォーマンス値は高めることが出来ると考えられる。しかしながら、本論文では上肢関節（肩関節・手関節・肘関節）を含めた投球速度をパフォーマンス値とした数理モデルではないので、投球 1 および 3 のどちらが最大パフォーマンスとなるかは不明である。

5. おわりに

本論文では、投球動作改善トレーニングにおいて上腕の左回旋運動に着目し、収益管理の観点から上腕の左回旋速度を上げる時間と下げる時間を決定する時間配分モデルを提示した。さらに、数値例の結果から投球のパフォーマンスを高めるためには、動作時間 1 と動作時間 2 の適正な時間配分による制御が重要であることを示した。本モデルでは、動作時間 1 と動作時間 2 が独立していると仮定し

たが、これは動作時間 1 と動作時間 2 では動作する体の部分が異なるためであり、言い換えるとトレーニング方法も異なるという理由からである。逆に、動作時間 1 と動作時間 2 が相互依存関係である場合には、肩関節・手関節・肘関節の投球速度に関連の高い関節運動を調整するための数理モデルとして漸化式を用いることが良いと思われる。パフォーマンス指標を投球速度とすることで、各個人に合わせた数理モデルを提案出来れば、トレーニングの方向性を定める指標として十分に利用できると思われる。

数値例で設定したパラメータは、数値モデル解析のための値であり、トレーニングの実証的な分析をおこなう場合は、スポーツ科学の知見と見解から算出されたパラメータを設定してもらいたい。特に、テイクバックからリリースまでの時間は、投球速度の調整により変動がある。本モデルの長所の 1 つとして、投球速度の調整を考慮できることが挙げられる。それは拡張モデルを考えるにあたって、動的計画法を導入して体力に制限がある中で投球速度の調整を考慮した場合の投球数を決定するモデルへ発展させることも可能である。

このように動作を数値化し、数理モデルを構築することにより、動作を改善させるためのトレーニングに科学的な意思決定を組み込むことができる。さらに、トレーニングの新たな知見の発見にもつながるとと思われる。

参考文献

- 1) 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本敦, 豊島進太郎: 野球の投手の投動作の 3 次元動作解析, 体育学研究, 第 35 巻, 第 2 号, pp.143-156, 1990
- 2) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦: 野球の投球動作における体幹お

- よび投球腕の力学的エネルギー・フローに関する 3 次元解析, 体力科学, 第 46 巻, 第 1 号, pp.55-68, 1997
- 3) 大室康平, 小比類巻龍宏, 和田敬世: 投球動作の踏み出し幅の広さが投球の速度および正確性に与える影響, 八戸工業大学紀要, 第 32 巻, pp.207-212, 2013
- 4) 平山大作, 藤井範久, 阿江通良, 小池関也: 野球投球における投球数と動作キネティクスとの関係, バイオメカニズム, 第 19 巻, pp.91-102, 2008
- 5) 勝亦陽一, 長谷川伸, 川上泰雄, 福永哲夫: 投球速度と筋力および筋量の関係, スポーツ科学研究, 第 3 巻, pp.1-7, 2006
- 6) 森本吉謙, 伊藤浩志, 島田一志, 川村卓, 阿江通良, 村木征人: ボール重量の増減が野球の投球運動に及ぼす影響とアシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングとしての即時効果, コーチング学研究, 第 16 巻, 第 1 号, pp.13-26, 2003
- 7) Aasim G.C. and John H.C. : The Biomechanics of an Overarm Throwing Task: a Simulation Model Examination of Optimal Timing of Muscle Activations, *Journal of Theoretical Biology*, 211(1), pp.39-53, 2001
- 8) 横田紘季, 大島成通: 上肢筋骨格モデルシミュレーションにより導出された最適な筋活動信号を用いたサイバネティックトレーニング, 第 79 巻, pp.3110-3121, 2013
- 9) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦: 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する 3 次元的研究, 体育学研究, 第 46 巻, 第 1 号, pp.23-37, 1996
- 10) 浦田達也, 田邊智, 福田厚治, 植松梓, 伊藤章: 投動作における投球速度を調節する上腕および上肢関節運動の貢献度, 生体医工学, 第 52 巻, 第 2 号, pp.71-79, 2014
- 11) Sawaki, K: An analysis of airline seat allocation, *Journal of Operations Research Society of Japan*, 32(4), pp.411-419, 1989
- 12) 脇長宏行: 感染症における病床管理モデル, 神戸医療福祉大学紀要, 第 21 巻, 第 1 号, pp.15-21, 2020

