

大学バレーボール男子選手の 最高ジャンプ予測に関する研究

— 三点法による成長モデル曲線への当て嵌め —

村上 博巳*・田中 信雄*
明石 正和

I 目 的

ヒトはどこまで高く跳ぶことができるのか。どれだけ速く走ることができるのか。多くのアスリートらは、記録の更新を目指し日々トレーニングに取り組んでいると推察する。

スポーツの競技記録が更新される為には種々の要因が考えられる。これらの要因が何であれ競技記録がどこまで更新できるかを知ることは大変興味がある。

スポーツ競技記録の予測を数量的に把握するために、種々の実験式や理論式が考案され解析されてきた^{4), 14), 15), 22), 34)}。競技記録の予測をより直接的に推定する方法としては、年度と記録の関係式から予測値を算出する方法である⁴⁾。しかしこの方法では記録は限りなく向上し、記録更新の限界値を把握することは不可能である。その上スポーツは競技条件が著しく異なるために競技記録を比較するのは基本的に難しい。折しも、生物の成長をはじめ自然現象や社会現象の中には「成長」の名の下に捉えられる現象が数多く存在している⁶⁾。しかも、生物の成長や自然・社会環境などにおいてみられる種々の現象は、環境などの複雑な要因が絡み合いながらもある大きさになると成長が止まり、限りなく向上し続けることはできない。こうした状況下でありながらも、生物の成長を時間の関数として数量的に捉え、生物の成長に対して上限のあるいろいろな曲線が理論式として考案されている。その代表的な理論式に Richards の成長曲線がある³⁴⁾。

井上は上限のある成長理論式の代表的な Richards 成長理論式³⁴⁾ 及びエドモンド・ハレー^{5), 6)} らの彗星の軌道決定に着想し、三点法による Richards 成長理論式を Gompertz 曲線への移行を明瞭化した成長モデル式に当て嵌める解析法を考案している⁷⁾。つまり「一つの成長曲線」と「一つのアロメトリー」を知れば、もう一つの成長曲線を推定導出することが可能であることを

* 京都産業大学文化学部

明らかにした。

著者等は、スポーツにおける競技記録が更新されていく背景を考える時、一定の条件下で最大限に自己発現を目指すという点においては生物の成長と共通していると推察し、すでに陸上競技 100 m 走の世界最高記録などスポーツ分野での初めて適用を試み報告してきた^{30), 31)}。

スポーツ競技における最高記録の更新は継続され続けている。しかしながら、ジャンプ力の限界について検討された事例はほとんど見当たらない。また、一個人の場合は、年齢的な要素が含まれ時系列にも限界がある。

本研究では、大学バレーボール男子選手の垂直跳びの記録を対象に、井上の成長モデル式を用いて曲線の当て嵌めを行い、記録の限界が適合するか否かを検討した。記録更新の可能性を検討する事は、選手やコーチに具体的な目標となる指針を提供することができ、トレーニング科学の発展と共に施設等広い意味での科学文化を派生的に発達させる可能性が含まれている。

II 方 法

1) 被 検 者

関西に在住する KSU 大学バレーボール部に所属する 3 年生のレギュラー選手 (GK) である。バレーボールを始めた年齢は 12 歳である。

2) 分析データ

測定項目は身長、体重そして垂直跳びである。ただし、形態測定のうち小学校時代の測定値は通知表に記載されていた記録を用いた。それ以後の測定値は、被検者が継続して記載してきたバレーボール日誌に記載された記録を採用した。垂直跳びの測定は前報にて報告した方法で実施した¹⁾。なお対象群のデータは新・日本人の体力標準値から引用した¹⁶⁾。

3) 解析方法

① 成長モデル式

Richards の成長理論式を Gompertz 曲線への移行を明瞭化した次の表式⁷⁾を用いた。成長モデル式は以下のように上限値を含めて四つの定数をもっている。

$$y(t) = A \left\{ 1 - (1-m)\beta e^{-kt} \right\}^{\frac{1}{1-m}} \quad (m \neq 1)$$

ただし、 A は限界値、 β は積分定数、 k は定数、 m 値は任意の成長の型をきめる shape parameter である。つまり、 m が 0 のときは Monomolecula, m が 2/3 のときは Bertalanffy, m が 1 のときは Gompertz の式が得られる。また、 m が 2 のときは Logistic, $m > 2$ のときは

それ以外の S 字曲線になる。

② m 値の設定

本研究では、 m 値を 0.0～2.0 まで 0.1 間隔に設定して解析した。

③ パラメータの決定

上記の成長モデル式に表記された A , β , k のパラメータを推定する。

④ 適合性の判定方法

三点法より推定した理論値の実測値への縦座標の適合性は次式で定めた R^2 (決定係数値) の大・小で判定した。

$$R^2 = \frac{100(S_T - S_e)}{S_T}$$

$$S_T = \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2$$

$$S_e = \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2$$

ただし、 y_j は j 時点における実測値、 \hat{y}_j は、 j 時点における理論値、 \bar{y} は $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j$ である。

⑤ m 値と R^2 の関係

本報では m 値を 0.0 から 2.0 まで 0.1 間隔に設定したので、1 組の組み合わせで 21 個のモデル式を得ることになる。夫々の組み合わせに対して各 m 値ごとの最高ジャンプ推定値を求め、実測値に対する理論値の適合性を判定するために R^2 を算出した。

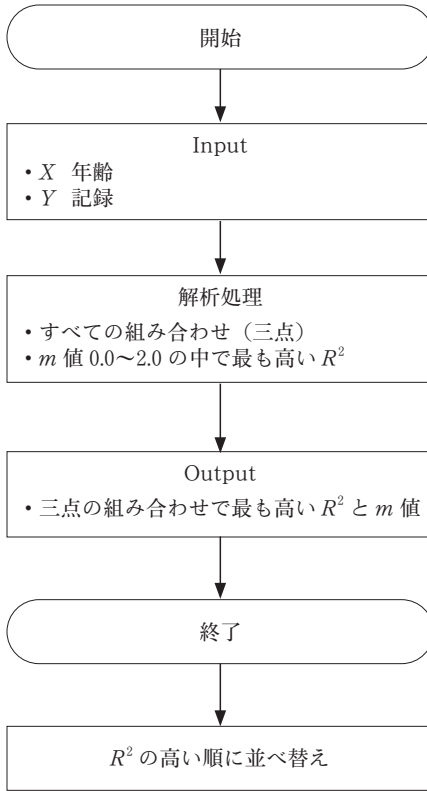
⑥ 最小自乗法

成長モデル式は非線形である。従って線形化を仮定して解析する必要がある。まず m 値を予め設定し、三点法で最も高い R^2 を得た成長モデル式のパラメータを初期値 A_0 , β_0 , k_0 として三元連立方程式を解いて補正值 ΔA , $\Delta \beta$, Δk を求め、逐次近似法で 10^{-7} まで近似させ最小自乗法による理論値を推定した⁸⁾。

⑦ 計算方法

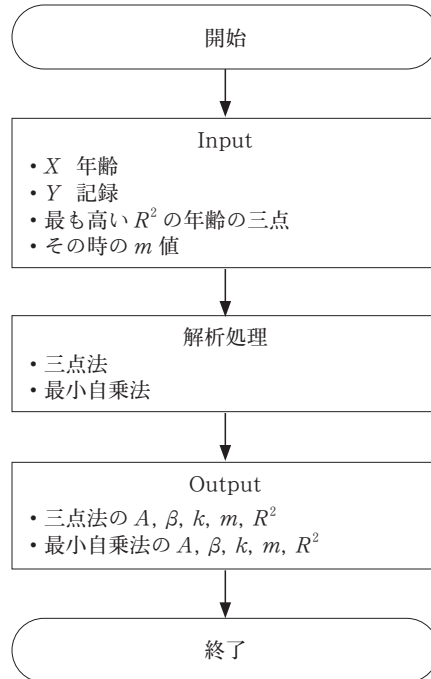
ア) 計算方法は井上^{7),8)} の計算要領を下記に示した。著者らはこれらをパソコン上で計算し分析するためのソフトを作成し、図 1 にそのフローチャートを模式図的に示した。図示した通りフローチャートは a と b とで構成され、a は年齢と記録を入力し解析に移るが、 m 値を 0.0～2.0 ま

三点の組み合わせとその時の最も高い決定係数の m 値と R^2 の抽出



a

三点法と最小自乗法



b

図1 計算要領のフローチャート

で 0.1 間隔に三点の全ての組み合わせについて解析処理する。ここで三点の組み合わせで最も高い決定係数と m 値が求められる。そしてこれらのデータを決定係数の高い順に並び替える。次に b の過程に移る。b では最も高い決定係数を有する年齢の三点とその時の m 値を入力する。三点法及びその後最小自乗法による理論値を算出して曲線の当て嵌めを行った。

イ) 三点法による Richards 成長モデル曲線の計算要領

時刻 $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ に対する測定値が、それぞれ $y_1 < y_2 < \dots < y_n$ であるとする。これを、次の Richards の論理式で捉えることにする。

$$(1) \quad y(t) = A \left\{ 1 - (1-m)\beta e^{-kt} \right\}^{\frac{1}{1-m}}, \quad (m \neq 1).$$

与えられた時刻 t_j , ($j = 1, 2, \dots, n$) に対する値 $y(t_j)$ を計算するには、この式に含まれているパラメータ A, β, k, m の値を知る必要がある。これらのパラメータが首尾良く見つかったとしても、計算値 $y(t_j)$ が上記の測定値 y_j , ($j = 1, 2, \dots, n$) を厳密に再現し得るとは限らない。

種々の「誤差」が存在し得るからである。このような事情に鑑みて「三点法」なるものの着想を抱き実用化を図った。適宜に選び出した、三個の測定点を厳密に通る様に Richards の論理式のパラメータ A, β, k, m の値を決定しようとするものである。「shape parameter」 m の値が「1」に漸近的な Gompertz 型の場合は、ここでは取り扱わないことにするが、何ら困難な事ではなく、同様に考えることのできるものである。

一般性を持たせる目的から、選び出された三組の「測定値」を、次のような文字で表記する事にする。

$$(2) \quad (T_1, Y_1), (T_2, Y_2), (T_3, Y_3) .$$

例えば具体的には、これらが、 $(t_2, y_2), (t_7, y_7), (t_{15}, y_{15})$ であるという事もあり得る。これらに対して次の式が成り立つとする。

$$(3) \quad y(T_1) = Y_1, y(T_2) = Y_2, y(T_3) = Y_3 .$$

斯くして次の関係式が得られることになる。パラメータ m の値は予め与えて置くものとして略記として $\alpha \equiv 1 - m$ を導入する。

$$(4) \quad Y_1 = A \{1 - \alpha \beta e^{-kT_1}\}^{\frac{1}{\alpha}},$$

$$(5) \quad Y_2 = A \{1 - \alpha \beta e^{-kT_2}\}^{\frac{1}{\alpha}},$$

$$(6) \quad Y_3 = A \{1 - \alpha \beta e^{-kT_3}\}^{\frac{1}{\alpha}} .$$

この三元連立方程式を、パラメータ A, β, k について解けば良い。まず A を消去する。

$$(7) \quad \left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^\alpha = \frac{1 - \alpha \beta e^{-kT_2}}{1 - \alpha \beta e^{-kT_1}},$$

$$(8) \quad \left(\frac{Y_3}{Y_1}\right)^\alpha = \frac{1 - \alpha \beta e^{-kT_3}}{1 - \alpha \beta e^{-kT_1}} .$$

次に β を消去する。

$$(9) \quad \left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^\alpha - 1 = \frac{\alpha \beta (e^{-kT_1} - e^{-kT_2})}{1 - \alpha \beta e^{-kT_1}},$$

$$(10) \quad \left(\frac{Y_3}{Y_1}\right)^\alpha - 1 = \frac{\alpha \beta (e^{-kT_1} - e^{-kT_3})}{1 - \alpha \beta e^{-kT_1}},$$

これらの比を取れば、 β の両方が消去されて、未知量としてのパラメータ k のみに関する表式が得られるが、此処の処を、繰り返し算で、逐次的に解いていく。

$$(11) \quad \frac{\left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^\alpha - 1}{\left(\frac{Y_3}{Y_1}\right)^\alpha - 1} = \frac{e^{-kT_1} - e^{-kT_2}}{e^{-kT_1} - e^{-kT_3}}$$

ここで量 σ 及び η を、次の様に導入する。何れもが既知量となる。

$$(12) \quad \sigma \equiv \frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$(13) \quad \eta \equiv \frac{1 - \left\{ \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right)^\alpha - 1 \right\}}{\left\{ \left(\frac{Y_3}{Y_1} \right)^\alpha - 1 \right\}}$$

量 η の表式に(11)式の右辺を代入して式変形を行い、未知量 k に関する方程式を導く。

この時に、 $(T_3 - T_1) = \sigma(T_2 - T_1)$ になる関係式を利用する。

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1 - (e^{-kT_1} - e^{-kT_2})}{(e^{-kT_1} - e^{-kT_3})} \\ &= \frac{\{e^{-kT_2}(1 - e^{-k(T_3 - T_2)})\}}{\{e^{-kT_1}(1 - e^{-k(T_3 - T_1)})\}} \\ &= \frac{e^{-k(T_2 - T_1)} \{1 - e^{-k(T_3 - T_1 + T_1 - T_2)}\}}{\{1 - e^{-k(T_3 - T_1)}\}} \\ &= \frac{e^{-k(T_2 - T_1)} \{1 - e^{-k(T_2 - T_1)\sigma - (T_2 - T_1)}\}}{\{1 - e^{-k(T_2 - T_1)\sigma}\}} . \end{aligned}$$

未知量 ξ を未知量 k の代わりとして以下の様に設定すれば、所望の方程式が得られるのが判る。

$$(14) \quad \xi \equiv e^{-k(T_2 - T_1)},$$

$$\eta = \xi \frac{\{1 - \xi^{(\sigma-1)}\}}{\{1 - \xi^\sigma\}} ;$$

$$(15) \quad \xi = \eta + (1 - \eta)\xi^\sigma .$$

解くべき方程式は、定数 α が一般には任意の有理数となり得る。そこで、次の様な繰り返し法に依って、逐次的に解くことを考える。

$$(16) \quad F\xi \equiv \xi - \eta - (1 - \eta)\xi^\sigma = 0 .$$

求める根 ξ の近似値を ξ_1 であるとして、これに補正值 $\Delta\xi_1$ を加える時に、真の値が得られると考えるのである。此処で、量 $F^\dagger(\xi_1)$ は、函数 $F(\xi)$ の、点 ξ_1 に於ける微分係数を表す。

$$(17) \quad \begin{aligned} F\xi &= F(\xi_1 + \Delta\xi_1) \\ &= F(\xi_1) + \Delta\xi_1 \times F^\dagger(\xi_1) + \dots = 0 \end{aligned}$$

これから、補正量 $\Delta\xi_1$ の近似値が、次式で与えられるとする (Newton の逐次近似法)。

$$(18) \quad \Delta\xi_1 = \frac{\{F(\xi) - F(\xi_1)\}}{F^\dagger(\xi_1)} = \frac{-F(\xi_1)}{F^\dagger(\xi_1)} ;$$

$$(19) \quad F(\xi_1) = \xi_1 - \eta - (1 - \eta) \xi_1^\sigma .$$

$$(20) \quad F^\dagger(\xi_1) = 1 - \sigma(1 - \eta) \xi_1^{\sigma-1} ;$$

$$(21) \quad \Delta\xi_1 = \frac{-\{\xi_1 - \eta - (1 - \eta) \xi_1^\sigma\}}{\{1 - \sigma(1 - \eta) \xi_1^{\sigma-1}\}} ;$$

$$(22) \quad \xi_2 \equiv \xi_1 + \Delta\xi_1 = \frac{\{\eta + (1 - \sigma)(1 - \eta) \xi_1^\sigma\}}{\{1 - \sigma(1 - \eta) \xi_1^{\sigma-1}\}} .$$

一回の補正計算で、高い精度での近似値 ξ_2 が得られるとは考えられない。そこで、上記の手順を繰り返して行く。添字 S は、繰り返しの回数を表す。

$$(23) \quad \xi_{S+1} = \xi_S + \Delta\xi_S = \frac{\{\eta + (1 - \sigma)(1 - \eta) \xi_S^\sigma\}}{\{1 - \sigma(1 - \eta) \xi_S^{\sigma-1}\}} ;$$

出発の近似値の ξ_1 としては、これを 0 に選ぶも一つの方法である。上式に依る時は必ずや、繰り返しの計算値は収束して所望の解が得られる筈である。近似の度合いは ξ_{S+1} と ξ_S との差 $|\xi_{S+1} - \xi_S|$ を見ることに依って判定する事が出来る。差が十分に小さくなったならば、求める ξ の値が ξ_{S+1} で与えられるパラメータの計算に入る。まず最初に三点を通る Richards 曲線を与えるものとして只今の ξ に依ってパラメータ k の値が、次の様に与えるのが判る。

$$(24) \quad k = \frac{-(\log_e \xi)}{T_2 - T_1} .$$

ここで $\log_e \xi$ は、量 ξ の自然対数を表す。 k の値が得られたので、これを基にパラメータ β の値を算出する事が出来る。これには(7)式に着目するのが良いであろう。この式を β について解く訳である。右辺の量は全て得られているものばかりである。

$$(25) \quad \beta = \frac{\left\{ \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right)^\alpha - 1 \right\}}{\left\{ \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right)^\alpha e^{-kT_1} - e^{-kT_2} \right\} \alpha}.$$

残るパラメータ A の値は、「三点」の中の、何れかの点を用いても求めることが出来る。

ここでは、第二点に対する式を書き出して置く。

$$(26) \quad A = \frac{Y_2}{\left(1 - \alpha \beta e^{-kT_2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}.$$

4) 統計処理

身長及び体重と垂直跳びとの関係はピアソンの相関係数を用いた。統計的有意水準はいずれも危険率 5% 以下をもって有意とした。

Ⅲ 結 果

GK の身体的特徴を示す 6~20 歳までの身長及び体重の変化を表 1 に示し対象群と比較した。

GK の身長と体重はいずれの年齢においても対象群に比べて高かった。その差は 6 歳で 12.3 cm そして 20 歳の時点では 15.2 cm であった。両群の身長について年度ごとの推移をみると GK は 10 歳まで、N 群は 1 年長い 11 歳まで 5 cm 前後の身長の増加がみられた。それ以後 GK は 12~13 歳に 13.4 cm, 13~14 歳に 8.8 cm の著しい身長の増加がみられた。一方、N 群は 11~12 歳に 8.2 cm, 12~13 歳には 7 cm, 13~14 歳にかけて 5.6 cm の身長の増加がみられた。この思春期における身長のスパートは GK が N 群に比べて著しく大きかった。その後身長は両群共に緩慢な増加がみられ、GK は 19 歳、N 群は 17 歳でほぼ一定になる。その時期は GK が N 群に

表 1 身長、体重の年齢による推移

年齢 (歳)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
GK	身長 (cm)	129.2	134.5	141.1	146.5	152.0	156.3	159.7	173.1	181.9	182.5	183.2	184.6	185.0	186.0	186.3
	体重 (kg)	24.6	27.4	32.4	34.5	40.4	44.2	49.6	53.8	65.3	67.1	66.9	68.1	70.0	73.0	78.0
N	身長 (cm)	116.9	122.9	128.0	133.3	138.9	144.8	153.0	160.0	165.6	168.4	169.9	170.8	171.2	171.4	171.1
	体重 (kg)	21.9	24.5	27.1	30.2	34.3	38.3	44.4	49.2	54.6	58.4	60.4	61.7	63.2	63.7	64.1

N : 対象群。新・日本人体力標準値¹⁶⁾より引用。

比べて2年延長している。

一方、体重についてみると、身長が大きくなれば体重も増加する。GK及びN群共に6歳から20歳まで身長増加と共に体重も増加している。GK及びN群の6歳時及び20歳時の体重は夫々24.6 kg, 21.9 kgそして78.0 kg, 64.1 kgであった。GKはN群に比べて6歳時及び20歳時において夫々2.7 kg, 3.9 kg大きかった。また、両群共に身長のスパートがみられるほぼ2年前に体重のスパートがみられているが、GKのスパートの最終期である14歳時に11.5 kg増加しているのを除いて、ほぼ5 kgの増加がみられた。また体重の増加は両群とも14歳のスパート時期を過ぎるとGKの20歳時に5 kg増加しているのを除いて体重の増加量は減少する。その減少量はGKよりもN群の方が大きかった。GKがバレーボールを始めたのは12歳である。その時の身長及び体重はそれぞれ159.7 cm, 49.6 kgであった。20歳でのそれらは夫々186.3 cm, 78.0 kgであった。

GK及びN群について垂直跳びの推移を示したのが表2である。

表2 垂直跳びの年齢による推移

年齢 (歳)		12	13	14	15	16	17	18	19	20
GK	垂直跳び (cm)	36.0	39.0	57.0	68.0	70.0	76.0	80.0	83.0	84.6
N	垂直跳び (cm)	43.5	49.7	54.4	57.1	60.1	61.8	59.9	60.2	58.9

N：対象群。新・日本人体力標準値¹⁶⁾より引用（平均値）。

垂直跳びの値は、GK及びN群とも加齢による発育と共に増加するが、GKがバレーボールを開始した12歳～13歳時は36.0 cm及び39.0 cmとN群の43.5 cm及び49.7 cmに比べて夫々7.5 cm, 10.7 cm GKの方が低かった。しかしその後N群は20歳までわずかではあるが漸次増加するのに比べてGKは13歳～14歳、中学3年から高校時代に最も増加率が大きかった。20歳時におけるGK及びN群の垂直跳びの測定値をみると夫々84.6 cm及び58.93 cmで、GKがN群にくらべて25.7 cm高く著しい差違が認められた。

体格体型は運動能力と関係が深い。そこで身長及び体重と垂直跳びとがどのような関係にあるかをGKについて検討した。その結果を図2に示した。図に示した通り、身長及び体重と垂直跳びとの関係にはいずれも相関係数0.895及び0.965そして決定係数0.800及び0.931でいずれも正の有意な相関関係が認められた。回帰式は $Y = 1.88 X - 273.31$ そして $Y = 1.98 X - 64.13$ であった。

図示しなかったが身長と垂直跳びとの関係を三次式で表すとさらに適合性の高い正の有意な関係が認められた。身長と垂直跳びとの関係には相関係数0.895、決定係数0.982そして回帰式は

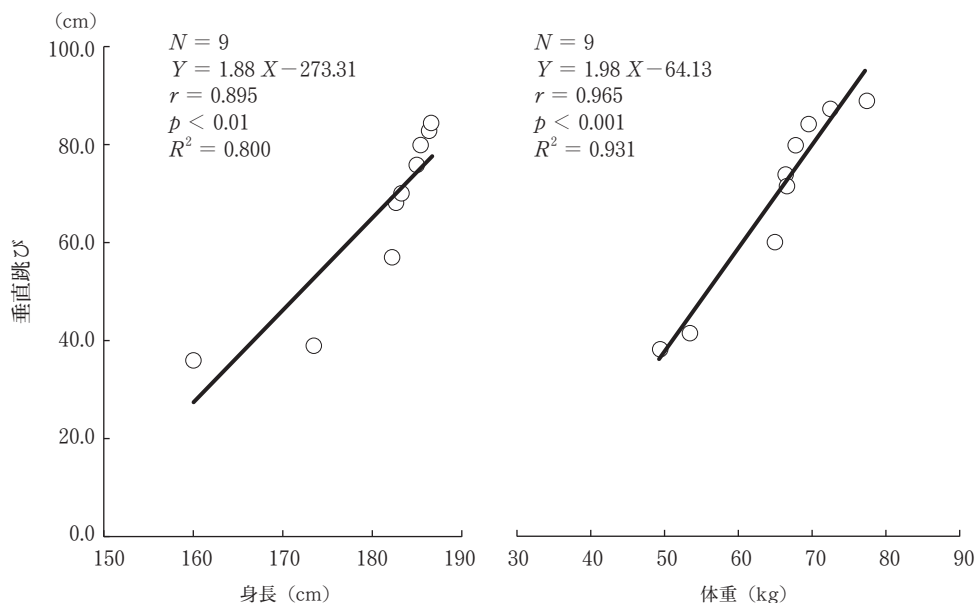


図2 身長、体重と垂直跳びとの関係

$Y = 0.003 X^3 - 1.59 X^2 + 255.08 X - 13556$ であった。体重と垂直跳びとの関係では相関係数 0.965, 決定係数 0.969 そして回帰式は $Y = 0.007 X^3 - 1.41 X^2 + 87.44 X - 179.63$ が得られた。この様に夫々の関係には 0.1%水準以上の相関関係が認められた。

今後 GK の垂直跳び記録が更新され、その記録が限界値に達する時期を検討するため、三点法による成長モデル式への曲線の当て嵌めを試み、解析を行った。解析にあたり三点の組み合わせによる A , β , k そして m 値の適合性を判定する必要がある。図3は三点の組み合わせに対して記録更新の型を決める m 値を成長モデル式に当て嵌めた時の m 値に対する夫々の R^2 との関係を示した。 m 値は 0.0~2.0 までを 0.1 間隔に設定し、21 の階層についてすべての三点の組み合わせ 1,764 組 (84 組 \times 21) の中から直近の 20 歳を含む三点の組み合わせの中から R^2 が 90% 以上の 12 通りを抽出した。その中から最も高い R^2 が認められた A , β , k , m 値を推定した。 R^2 は m 値が 0 の時に最も高く、0.5 の時約 60% そして 0.8 の時には約 15% であった。 m 値が 0.0 から 0.1 ずつ大きくなるに従って著しく低値を示し、0.9 以降の R^2 は 0 であった。図示した通り三点法による最高の R^2 を得た m 値は 0 であり、Monomolecular 曲線によく当て嵌まることが認められた。その時の R^2 は 97.11%, R^2 が最も高い組み合わせは 14 歳・17 歳・20 歳であった。 A , β , k のパラメータは夫々 91.7115, 15.2959, 0.2642 であった。

三点法で算出したこれらの理論値から GK の垂直跳び最高記録の限界を推定するために記録更新年度と垂直跳びの関係を最小自乗法により解析した。三点法を適用した成長曲線と最小自乗法を比較するには、成長モデル式は非線形モデルであり、線形化を仮定して解析する必要がある。解析には井上の手法を用いた。まず三点法で得られた m 値を設定し、三点法で最も高い R^2 を得

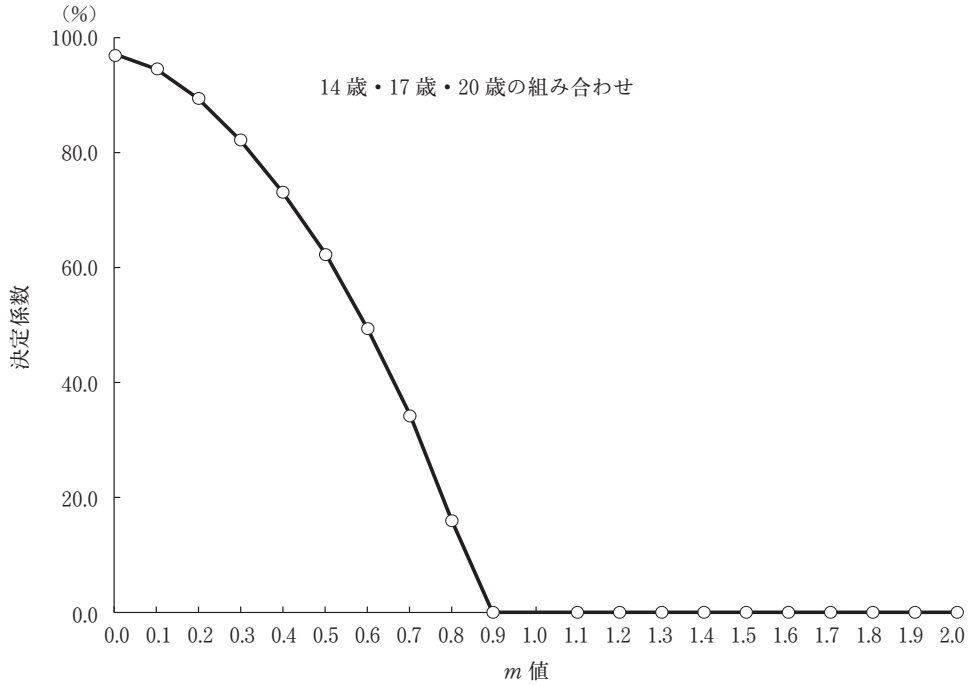


図3 m 値と決定係数との関係

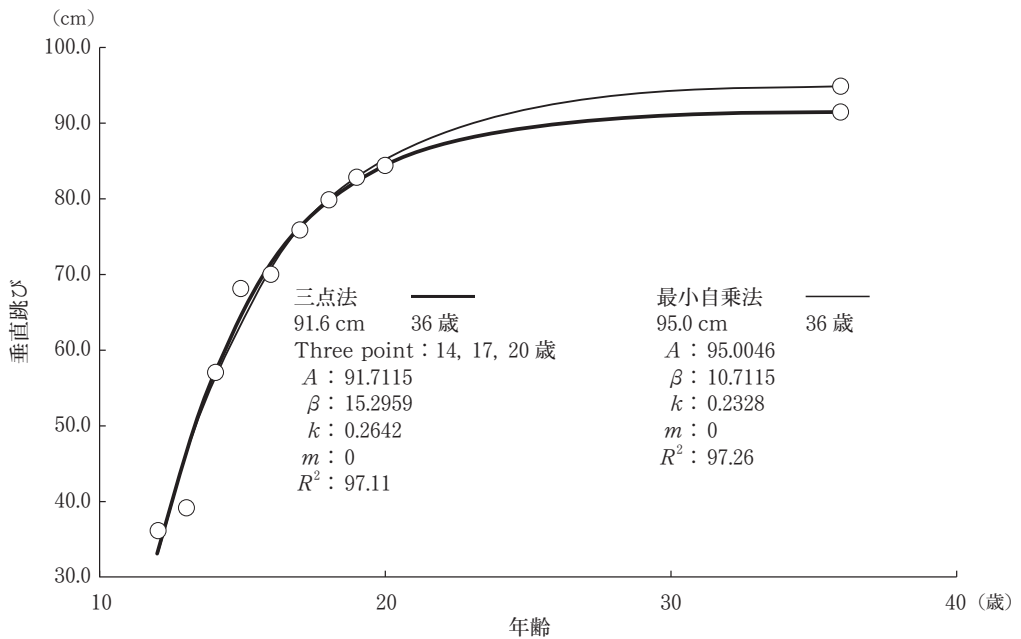


図4 三点法と最小自乗法による限界値の予測

た成長モデル式のパラメータを初期値 A, β, k をもとにして三元連立方程式を解いて補正値 $\Delta A, \Delta \beta, \Delta k$ を求め、逐次近似法で 10^{-7} まで近似させ最小自乗法の理論値を算出した。その結果を

図4に示した。図に示した通り、GKの三点法より求めた垂直跳びの成長曲線は Monomolecular に当て嵌まる事が認められた。最高値は36歳で95.0 cmであった。その時の A , β , k および R^2 の値は、夫々95.0046, 10.7115, 0.2328 及び 97.26 であった。最小自乗法と三点法による R^2 との差は僅かに0.15%であり、極めて適合性の高い曲線として当て嵌まる結果であった。

IV 考 察

垂直跳びの高さを体力測定項目として考案したのは Sargent, D. A.¹²⁾ である。その後パワーを測定する項目として発展させたのが Sargent, L. W.¹³⁾ だといわれている。日本の体力テストにおいても身体機能の瞬発力を測定する項目として広く用いられてきたが、新体力測定からは除去された。しかし、バレーボール競技選手にとって身長とジャンプ力が高いことは、競技をする上において高いパフォーマンスを発揮するのに有利であることから、バレーボール選手の体力測定には、適性やトレーニング効果を確認しさらにジャンプ力を向上させるための改善を図るために不可欠な測定項目として用いられてきた。この様にバレーボールに関する研究はバレーボール選手のジャンプ力の向上を図るための力学的機序の解明^{9), 10), 18), 20), 28), 29)} やトレーニングの方法と効果^{10), 17), 23), 33)} などについて数多く進められてきた。

また跳躍能力は体格の特徴と深い関係があり、動物の種¹¹⁾、地域¹⁵⁾、競技種目²⁶⁾により差異のあることも知られている。

GKにおける身長と体重そして年齢と垂直跳びとの関係をみると、表1及び表2に示した通り、GKの身長や体重が大きく増加するスパートの時期には若干のずれは有るものの、垂直跳びは年齢と共に増加し増加率も大きかった。また図2に示した通り垂直跳びと身長及び体重との相関関係をみると、いずれも正の有意な相関関係が認められ、三次式で表すと極めて良好な曲線に当て嵌まった。従って今後垂直跳びを向上させるためには身長と体重が夫々高くそして大きくなれば垂直跳びは比例して増加することになる。

ただし、体重と垂直跳びとの関係は三次式で表記すると体重の増加により垂直跳びは著しく低下する。バレーボール選手の体格は長身痩身型を示し、ジャンプをする上で有利な身体的特徴を持っている様に、極端な体重増加は垂直跳びを低下させディメンジョン論的に不利である。

ではGKは垂直跳びを何cmまで更新することができるかを推定する場合を考えてみたい。スポーツにおける競技記録の予測をより直接的に推定するために一般的に用いられるのが年度と記録との関係式から予測値を算出する方法である。しかしこの方法による垂直跳びの予測値は年齢の増加と共に限りなく増加することになり、また時系列における年齢が問題となる。

そこで三点法によりGK選手のジャンプ力の限界値を求めた理論式から最小自乗法により限界値を推定した結果は図4に示した通りである。理論式で R^2 の最も高かった三点の組み合わせ

は14歳・17歳・20歳の三点で m 値は0であった。またその時の R^2 は97.26であった。その結果GKの垂直跳びの限界値は36歳で95cmとなり、それ以降には記録の更新がみられない。しかし、上記に示した予測値は競技選手として将来を見通したときには時系列において制約を受けることになる。この時系列と記録の更新を考慮したとき、94cmから95cmへ1cm記録を更新させるのに7年必要である。垂直跳びの予測値が94cmを達成することが可能な年齢は29歳である。競技記録を成長と捉えるとき、記録を1cm更新するのに7年の時間をどう捉えるかであるが、GKの垂直跳び最高記録の限界記録は時系列を考慮した上で29歳94cmとするのが現実的だと考える。

出来るだけ早い時期に適合性の高い指標を得ることが期待される。そこでGKがバレーボールを開始した13歳・14歳・15歳時での三点を組み合わせて解析を試みたが、 R^2 は80%代と14歳・17歳・20歳の三点の組み合わせに比べて低かった。本研究では年に一度の測定であったが測定回数を多くすることでもう少し早い時期に精度の高い指標を提案できるものと思われる。

20歳時点における実測値と限界値との関係からみた達成度は90%であり、限界値と実測値との差は10cmである。GKが9年の期間で予測値である94cmに近似する為にはどうすればよいか今後の課題である。成長モデル式は最高記録の予測を推定することは可能であるが、生理的・物理的な視点から最高記録を達成するための条件や限界を説明することはできない。従って、成長モデル式から得られた本研究における理論値もジャンプに影響するすべての要因を含むことが前提である。

ジャンプは体格^{11), 22)}、腕の振り方¹⁸⁾、膝関節角度と筋及び腱との関係^{24), 25), 28)}、タイミング²⁾、助走¹⁹⁾、年齢、トレーニング法^{9), 10), 17), 23), 33)}などの要因によって影響されることが先行研究によって報告されている。今後新たに記録を更新し競技において能力を発揮するためには、生活環境や遺伝的影響による資質に加え、これらジャンプ能力の力学的機序^{2), 3), 21), 29)}やスポーツ医科学の知見からバレーボールの跳躍能力を改善し、眼からの入力情報を脳で処理し、バランスの良い出力情報を獲得する必要がある。

日本におけるバレーボール選手の最高垂直跳びの記録みると、舟谷選手104cm、出町選手は102cm³²⁾及び出町選手110cm²⁷⁾が報告されている。これらの報告は測定年度が異なっているので、報告通りだとすると出町選手の110cmが公刊されている資料の中で日本最高垂直跳び記録ということになる。

世界には出町選手以上の跳躍能力を発揮する選手がいるかもしれない。日本の選手は少なくとも出町選手の記録更新を目標にし、それを解決するための方策を検討することになる。

従って、今回は大学バレーボール男子選手にとどまり、女子選手の指針になる垂直跳びの限界値について解析することはできなかった。是非とも、個人の記録はもとより、各選抜選手らの測定記録を保存し解析できるシステムを構築することが望まれる。

スポーツにおける競技記録の盛衰は選手の生活環境やトレーニング環境の充実そして遺伝的素質等に加えて、その日のコンディションや対戦相手の組み合わせ等と云った変化しやすい要因も数多く存在しているのでアロメトリーや成長曲線とはなじまないと思われるかもしれない。しかし、不確実な要素が入り混じっていると云う面からすれば、寧ろ、生物の成長の方がはるかに捉え難いと推察する。本研究において井上や著者らの言う「成長現象に着目した視点に立って物を見る」ことの有用性が示唆されたものと思われる。

ただし、個人の限界記録を予測する場合は時系列が問題になる。つまり、本分析法を個人に当て嵌める場合、加齢しても限界値は一定に維持されることになる。従ってバレーボール選手や他の多くのスポーツ選手の加齢による「記録の減衰」を考慮した「曲線の当て嵌め」が必要である。減衰曲線なるものを考案できれば、選手の目標、選手寿命の指針を提案することが可能になると推察する。

V ま と め

男子大学バレーボール選手の小学生（12歳）から大学生（21歳）に至る垂直跳びのデータを用いて3点法による成長モデル式への当て嵌めを試みた。そして成長モデル式の曲線を推定する際の三点法と最小自乗法との比較をも検討した。その結果、三点法で算出した理論値から最小自乗法で解析したパラメータは $A: 91.7115$, $\beta: 15.2959$, $k: 0.2642$, m 値は 0.0 であった。その時の R^2 は 97.11 であった。

最小自乗法により求めたそれらは $A: 95.0046$, $\beta: 10.7115$, $k: 0.2328$, m 値は 0.0 であった。その時の R^2 は 97.26 であった。

GKの垂直跳びの成長曲線は、Monomolecular 曲線に適合することが認められた。得られた理論式から垂直跳びの最高記録は、時系列と記録の更新を考慮し、29歳時に 94.0 cm を推測できた。

記録の解析に供するためには、測定回数を多くし、測定記録を本人の手元で蓄積するシステムが必要である。また目標を達成するためには創意工夫を図ると共に高いモチベーションを維持する上でも重要である。

これらのことから成長モデル式を適用した解析方法は広義の成長現象と捉えることができ、バレーボール選手の垂直跳び記録の限界値を予測するのにとどまらず、多種のスポーツ競技記録を予測する上で実用性の高いことが示唆された。

参考文献

- 1) 明石正和, 川之上豊, 横矢勇一, 田中信雄: バレーボール選手の競技能力判定法に関する研究, 城西大学研究年報(自然科学編), 第34巻, pp.47-59, 2011.
- 2) 阿江通良, 渋川侃二, 金原 勇: 垂直とびにおける振込み動作のタイミングについて, 身体運動の科学IV, 杏林書院, pp.45-57, 1983.
- 3) 阿江通良, 渋川侃二, 石島 繁, 橋原孝博: 高さをねらいとする跳のバイオメカニクスの特性 — 垂直跳び, バレーボールのスパイクジャンプおよび走高跳び —, 身体運動の科学V, 杏林書院, pp.182-188, 1983.
- 4) Andrew J. Tatem, Carlos A. Guerra, Peter M. Atkinson, Simon I. Hay: Momentous sprint at the 2156 Olympics? Women sprinters are closing the gap on men and may one day overtake them, *Nature*, Vol. 431, brief communications, p. 525, 2004.
- 5) 井上 猛: 星間物質と成長曲線, 彗星と星間物質, 研究会論文集, pp.29-37, 1989.
- 6) 井上 猛: アロメトリーと成長曲線, 京都産業大学現代体育研究所紀要, 第6号, pp.51-58, 1997.
- 7) 井上 猛: 「三点法」「四点法」に依る Richards 理論曲線の計算要領, 京都産業大学現代体育研究所紀要, 第9号, pp.1-6, 2000.
- 8) 井上 猛: Richards 理論曲線の「最小自乗法」に依る計算要領と適合度の判定試案, 京都産業大学現代体育研究所紀要, 第10号, pp.5-10, 2001.
- 9) Clutch, D. et al.: The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump, *Res. Quar.*, 54, pp.5-10, 1983.
- 10) Kurokawa S., et al.: Behavior of fascicles and tendinous structures of human gastrocnemius during vertical jumping, *J. Appl. Physiol.*, Vol. 90, pp.1349-1358, 2001.
- 11) Gray J.: *How Animals Move*, Cambridge University Press, 1953, London. (柳田為正訳, 動物の運動, 岩波書店, 1963.)
- 12) Sargent, D. A.: The physical test of a man, *Ame. Physical Educ. Review*, Vol. 26, No. 4, pp. 188-194, 1921.
- 13) Sargent, L. W.: Some observations on the Sargent test of neuromuscular efficiency, *Ame. Physical Educ. Review*, 29, pp.47-56, 1924.
- 14) 品川嘉也, 品川泰子, 井上 章: 人体の運動方程式にもとづくスピード競技記録の法則性に関する一考察, 日本生理誌, 第9巻, pp.539-543, 1967.
- 15) 田中信雄, 村上博巳, 明石正和: ワールドカップバレーボール2011 出場選手の身体的特徴と競技能力に関する研究, 城西大学研究年報(自然科学編), 第36巻, pp.9-26, 2013.
- 16) 首都大学東京体力標準値研究会編: 新・日本人の体力標準値, 不昧堂出版, 2007.
- 17) 財団法人バレーボール協会科学研究委員会, 豊田博他: ジャンプ力の向上に関する研究 — 階段かけ上がりによるトレーニング効果 —, 日本体育協会・スポーツ医科学研究報告, 第五巻, pp.43-47, 1982.
- 18) Hara M., et al.: The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping, *J. Biomech.*, Vol. 39, pp.2503-2511, 2006.
- 19) 橋原孝博, 渋川侃二, 阿江通良, 石島 繁: バレーボールのオープンスパイクジャンプに関するバイオメカニクスの研究, 身体運動の科学V, 杏林書院, pp.175-181, 1983.
- 20) Hill, A. V.: The physiological basis of athletic records, *Lancet*, 2, pp.481-486, 1925.
- 21) 深代千之: 跳躍のしくみ, 体育の科学, 57巻, pp.492-500, 2007.
- 22) Hay, J. G., B. D. Wilson and J. Dapena: Identification of the limiting factors in the performance of a basic human movement, In: Komi, P. V. (ed), *Biomechanics V-B*, University Park Press, Baltimore, pp.13-19, 1976.
- 23) Bosco, C., P. Luhtanen and P. V. Komi: A Simple method for measurement of mechanical power

- in jumping, *Eur. Appl. Physiol.*, 50, pp. 273-282, 1983.
- 24) Bobbert M. F., et al.: A model of the human triceps surae muscle-tendon complex applied to jumping, *J. Biomech.*, Vol. 19, pp. 887-898, 1986.
 - 25) Bobbert M. F., et al.: An estimation of power out-put and work done by the human triceps surae muscle-tendon complex applied in jumping, *J. Biomech.*, Vol. 19, pp. 899-906, 1986.
 - 26) 福永哲夫, 湯浅景元: コーチングの科学, 朝倉書店, p. 105, 1986.
 - 27) 前田 豊, 松平康隆, 豊田 博: 図説バレーボール事典, 講談社, p. 316, 1967.
 - 28) Martin, T. P. and G. A. Stull: Effects of various knee angle and foot spacing combinations on performance in the vertical jump, *Res. Quart.*, Vol. 40, No. 2, pp. 324-331, 1969.
 - 29) 宮下充正監修, 深代千之編著, 山際哲夫: 跳ぶ科学, 大修館書店, 1990.
 - 30) 村上博巳, 田中信雄, 足利善男, 蔭山靖夫, 堀 清記: Richards growth model による競技記録推定の試み — 陸上競技男子 100 m 走における世界記録の解析 —, 京都産業大学現代体育研究所紀要第 9 号, pp. 1-6, 2000.
 - 31) 村上博巳, 田中信雄, 堀 清記: Richards growth model による競技記録の推定 — 松坂大輔投手 (西武ライオンズ) の最高球速の解析 —, 京都産業大学現代体育研究所紀要, 第 10 号, pp. 11-18, 2001.
 - 32) 吉原一男, 豊田 博, 斎藤 勝, 土谷秀雄: バレーボールのトレーニング, 大修館書店, p. 144, 1972.
 - 33) ラドクリフ, J. C., R. C. フェレンチノス: プライオメトリックス (石河利寛監修, 村松 茂, 野坂和則訳), ベースボールマガジン社, 1986.
 - 34) F. J. Richards: A flexible growth function for empirical use, *Jour. of Experimental Botany*, Vol. 10, No. 29, pp. 290-300, 1959.

Analysis of predictions about the maximum vertical jump
in male volleyball players:
Application for the growth model
by the simple three point method

H. Murakami, N. Tanaka and M. Akashi

Summary

In order to estimate the maximum vertical jump in male university volleyball players (GK), male volleyball players including elementary school boys (12 years old), junior high school students and university students (21 years old) took part in this project.

Equations predicting maximum vertical jump were derived from the growth model. Data were analyzed granting that Richards growth model was linear though this model is, to be more exact, not linear.

Values of A , β , k and m were as follows, A : 95.0046, β : 10.7115, k : 0.2328, m value 0.0. Values of decision coefficient was 97.26%.

Growth curve of the maximum jump in GK was adapted to the Monomolecular curve. The equation predicts the best record of GK will be 94.0 cm at the age of 29.