

研究資料

競技パフォーマンス構造モデルに関する文献レビュー及び
科学的サポートに効果的な競技パフォーマンス構造モデル構築の在り方の検討
Literature review of structure models of sports performance and
a proposed effective procedure to develop the model

衣笠泰介¹⁾, 横澤俊治¹⁾, 中西智也²⁾, 袴田智子¹⁾, 窪康之¹⁾
Taisuke Kinugasa¹⁾, Toshiharu Yokozawa¹⁾, Tomoya Nakanishi²⁾,
Noriko Hakamada¹⁾, Yasuyuki Kubo¹⁾

Abstract : The practical questions of “What key factors contribute to competitive performance of the sport?” and “How to train those factors to enhance performance?” are daily challenges faced by coaches and sports scientists. The aim of the study was to conduct a literature review on sports performance structure models, and to propose an effective procedure to develop the models. During the screening phase of the literature review, only the title and abstract were evaluated. In addition, an attempt was made to develop a model which may lead to an effective sport science support, using speed skating as an example. As a result, we found that the definition of the sports performance structure model was not clear in the literature. Furthermore, the procedure for creating the structure model that can be used in sport science support was discussed, and the following procedure was proposed: firstly, to decide the primal outcome, which is generally the result of the competitive performance; secondly, to create a model using the logic via the literature review and/or videos etc. with the competition rules; thirdly, to modify the model by collecting insights from coaches. By adopting the deterministic model approach, we were able to view the sports performance structure model as a modeling procedure to identify the relationship between sports performance and its biomechanical factors. Coaches and sports scientists will play an important role in model development which requires not only the latest theoretical knowledge about high-performance sport, but also a wealth of empirical insights through practices of the sports science support.

Key words : competitive performance, deterministic models, Grand Unified Theory, sports science support

キーワード：競技パフォーマンス, 決定論的モデル, 大統一理論モデル, 科学的サポート

¹⁾国立スポーツ科学センター, ²⁾NTT データ経営研究所

¹⁾Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾NTT Data Institute of Management Consulting

E-mail : taisuke.kinugasa@jpnnsport.go.jp

受付日：2023年1月11日

受理日：2023年7月11日

I. 背景

「各競技のパフォーマンスを規定する要因は何か」、「パフォーマンス向上のためにどの要素をトレーニングすれば良いか」という疑問は、競技現場にいるアスリートやコーチが常日頃抱えており、かつ競技力向上において重要な課題である。しかし、各競技のパフォーマンスを規定する要因については、学術的にも未だ解明されていない点が多いと思われる¹⁹⁾。こうした中、各競技のパフォーマンスは多数の要因が複雑に絡み合い、有機的に影響し合っただけで一つのシステムとして構築されていることが関係している可能性がある²⁰⁾。そのため、複雑なシステムを単純化して扱うための知見やその成果、いわゆるモデルを導入するとよいのではないかと思われる。

一方で、各学問領域で提唱されてきたモデルは、あるシステム又は過程の理論的又は経験的理解の基礎として用いられてきた³⁾。特に「決定論的モデル (Deterministic models)」は、スポーツや運動のバイオメカニクス研究における理論モデルの理解を促すモデルの一つとして提唱されてきた。こうした中、動作結果 (Result) とその結果に影響する生体力学的要因との関係を規定するモデル構築方法が考案されてきた⁹⁾。その後、オリンピック競技を中心に、海外で陸上競技や体操競技等の多様な競技の決定論的モデルが提案されている³⁾。また国内でも陸上競技の跳躍種目²⁶⁾、十種競技¹³⁾や柔道¹²⁾等のパフォーマンスの構造モデルが研究者によって提案されている。こうした競技パフォーマンス構造のモデル構築のアプローチは、各競技の動作結果に影響を与える様々な要因の重要性を検討するための基礎となる可能性がある³⁾。また、科学的サポートの現場においてはコーチとスポーツ科学者がその競技のパフォーマンス規定要因を互いに把握していることがパフォーマンス改善に向けて重要であると思われる。しかし、競技パフォーマンス構造モデルそのものの概念は研究者間で異なっていることが指摘されている¹²⁾。そのため、競技パフォーマンスを規定する要因に関する理解を深めるためには、まずこれ

までの報告の理論上の整理が必要である。また、これらの報告を統合し、パフォーマンスを規定する各要素の論理的な関係を、ブロック図等で整理し可視化することで、科学的な根拠に基づいた競技パフォーマンスの規定要因を明示することができると考えられる。

そこで本研究は、競技パフォーマンス構造モデルを提案した文献の定性的なレビューを行い、競技パフォーマンス構造モデルの定義や概念を明確にすること及び科学的サポートに効果的な競技パフォーマンス構造モデル構築の在り方について検討することを目的とした。

II. 競技パフォーマンス構造モデルに関する概念の文献レビュー

1. 方法

競技パフォーマンス構造モデルの定義を調べるため、国際的文献検索データベースであるPubMed、国内文献検索データベースであるCiNii及びGoogle Scholarを用いて、競技パフォーマンス構造モデルを意味する「structure model of sports performance」「structure of sports performance」「sports performance structure」「競技パフォーマンス構造モデル」「競技パフォーマンス構造」「パフォーマンス構造モデル」の6語を検索語として国内外の文献検索を行った。その際、完全一致検索も行い、これらの用語の定義と普及度も調べた。なお、検索した時点は2022年4月であった。次に、抽出された論文を対象として以下の手順でスクリーニング及び適格性の評価を行った。まず、スクリーニングは論文のタイトルと抄録のみを対象として実施し、スポーツとは関連のない論文や、パフォーマンス構造を検証していない論文を除外した。評価が難しい論文は判断を保留し、後に全文を確認し、適格性の評価を行った。その際の評価基準は、1) 本文が英語又は日本語であること；2) 原著論文であること；3) 全文が入手できる論文であること、とした。なお、スクリーニングと適格性の評価は、筆頭著者含めた3名が独立して行い、判断が難しく評価を保留した論文は、3名で討議し

で評価を行った。最終的な評価結果を全著者間で確認し、意見の相違がないことを確認した。文献レビューの結果を踏まえて、著者全員で競技パフォーマンスを扱う範囲、対象とする競技レベル等から、競技パフォーマンス構造モデルの定義づけを行った。その定義に基づいて競技パフォーマンス構造モデルの構築方法の検討を行った。

2. 結果

「"structure model of sports performance"」「"structure of sports performance"」「"sports performance structure"」を検索語として検索した場合の完全一致検索では、Pubmed では0件であったものの、Google scholarにおいて計65件の論文が該当した (Table 1)。65件の論文を参照すると、パフォーマンスを規定する要因、といった意図でこれらの用語が用いられているものの、明確に学術的な定義づけを行った論文はなかった。和文論

文を対象として、「"競技パフォーマンス構造モデル"」「"競技パフォーマンス構造"」「"パフォーマンス構造モデル"」を検索語として検索した場合の完全一致検索では、2～5件の論文が該当した (Table 1)。その後、部分一致検索では多くの論文が該当した。「パフォーマンス構造」を検索語として抽出された和文論文には、いくつかの定義が存在した。例えば、「競技で発揮することが求められる能力構造¹³⁾」や、「パフォーマンスを構成する局面構造を配列し、各局面に内在する技術要因や体力要因等を構造要素として分類配置すること²⁶⁾」等の記述が見られたが、その定義が研究者によって異なっていた。したがって、「structure (model) of sports performance/ 競技パフォーマンス構造 (モデル)」という用語については、学術的な定義がなされていないことが明らかとなった。一方、パフォーマンスを規定する要因や要素の関係を検討した研究自体は多く該当し

Table 1. Number of references related to "structure (model) sports performance/競技パフォーマンス構造 (モデル)"

Search terms	Pubmed	CiNii	Google scholar
structure model of sports performance	982	-	~1,500,000
"structure model of sports performance"	0	-	0
structure of sports performance	4,071	-	~1,680,000
"structure of sports performance"	0	-	53
sports performance structure	4,071	-	~1,840,000
"sports performance structure"	0	-	12
競技パフォーマンス構造モデル	-	0	2,330
"競技パフォーマンス構造モデル"	-	0	0
競技パフォーマンス構造	-	2	4,010
"競技パフォーマンス構造"	-	2	3
パフォーマンス構造モデル	-	2	16,400
"パフォーマンス構造モデル"	-	2	5

たことから、統一された基準はないものの、各研究者や学派の見解に基づいた理論が複数存在することが明らかとなった。

次に、各研究者や学派の見解に基づいた理論について調べると、競技パフォーマンス構造モデルを構築する手法には、Iで述べた「決定論的モデル (Deterministic models)^{3), 9)}」と「大統一理論モデル (Grand Unified Theory)⁶⁾」の大きく2つのアプローチがあることが分かった。特に決定論的モデルの総論についてはChow & Knudson³⁾が詳しいが、陸上競技^{2), 10)}や体操競技¹⁷⁾、サッカー⁵⁾等のオリンピック競技だけではなく、片脚切断スプリント競技者⁸⁾や車いすバスケットボール¹⁵⁾等一部のパラリンピック競技においてもモデルが構築されていることが分かった。最も多く採用さ

れていたのが、Hay & Reid⁹⁾が考案した決定論的モデルであった。

決定論的モデルは、「動作結果の測定値とその測定値を生み出す生体力学的要因との関係を決定するモデリング手続きのこと」と定義されており、モデルを構築するルールとして、モデルに含まれる要因は物理的な量として表せる変数であること、各要因は下層を構成する要因によって完全に決定されることの2つを挙げており、また、これらの補足事項として、同じ動作結果を扱う場合でも異なるモデルを開発することが可能であること等を示した⁹⁾。また、その作成手順については、1) 調査対象となるパフォーマンスの主な目標、結果及び成果（競技パフォーマンスの中の動作結果）を特定する；2) その動作結果を分割する；3) そ

Table 2. Methods for developing deterministic models

Method	Detail	Reference
Measurement with biomechanical methods	Explain top variables quantitatively with multiple regression analysis and regression analysis etc.	5, 8, 17)
Measurement with biomechanical methods and logic	Identify the relationship with the top variables in a single correlation and assemble a block diagram in conjunction with geometric and mechanics logics	1, 22)
Literature review with logic	List factors contributing to the top variables derived from the literature review and assemble a block diagram along with geometric and mechanics logics	15, 16, 21)
Consensus building by experts	Combine interviews with experts to build consensus and synthesize	18)
Computer simulation	Examine the impact of varying individual variables in a mathematical model against performance criteria	2)

の動作結果に影響する要因を特定する、という3つの段階が示されていた。さらに近年では、Hay & Reid⁹⁾による従来のモデル作成方法を拡張した方法も存在することが明らかとなった。具体的には、1) バイオメカニクス手法を用いた計測^{5), 8), 17)}; 2) バイオメカニクス手法を用いた計測とロジックの組み合わせ^{1), 22)}; 3) 文献レビューを用いたロジックのみ^{15), 16), 21)}; 4) 有識者による合意形成²⁰⁾; 5) コンピューターシミュレーション²⁾といった方法が挙げられた (Table 2)。一方、決定論的モデルは、スポーツバイオメカニクスの専門家が競技パフォーマンスの力学的側面を検討する上で有用かもしれないが、協調的な運動動作や「技術」に関する実質的な情報を提供できないという批判も存在する⁷⁾。つまり、決定論的モデルは、通常、競技パフォーマンスのどの要因が重要であるかは示されているが、これらの要因がどのように生み出されるかについては示されていないと言われている。

こうした中、力学的な関係のみでは説明できない複雑な要因を組み込んだモデルも開発されてきた。その代表的なモデルが、大統一理論モデル⁶⁾である。このモデルの定義は、「生物学的、環境的、課題の相互作用が、個人内及び個人間のレベルでの協調化と自己組織化を介して、パフォーマンスに直接影響する身体運動の協調と制御を構成するという階層的かつ連続的な枠組み」とされていた。興味深いことに大統一理論モデルの中には、決定論的モデルで既に提示されていた動作結果やその動作結果に影響する要因も含まれていることも分かった。

決定論的モデルは、競技パフォーマンスを物理量と力学的な関係 (ロジック) で説明するのに対し、大統一理論モデルは、背景に潜む生物学的、環境的、課題の相互作用や、個人内及び個人間のレベルでの協調化と組織化、身体運動の協調と制御を含めた連続的な枠組みで競技パフォーマンスを説明する。前者は作成方法が定義され多くの報告があるのに対し、後者は概念的モデルであり、明確な作成方法は定められていないことが分かっ

た。

3. 考察

文献レビューの結果、「structure (model) of sports performance/ 競技パフォーマンス構造 (モデル)」という用語については、直接扱った文献がなく、「競技パフォーマンスを規定する要因を明らかにする」という考えや研究自体は存在するものの、モデルとして学術的な定義がなされた用語ではないことが明らかとなった。その結果、研究者間で競技パフォーマンス構造の概念が大きく異なり、あいまいであることが改めて明確になった。

その中でも、競技パフォーマンス構造モデルを構築する手法には、「決定論的モデル^{3), 9)}」と「大統一理論モデル⁶⁾」の大きく2つのアプローチがあることが分かった。しかし、決定論的モデルは、力学的側面から競技パフォーマンスの要因を規定することはできても、協調的な運動動作やそれを生み出すための技術に関する実質的な情報を提供できないことも指摘されている⁷⁾。一方、大統一理論モデルは、パフォーマンスが階層的であるだけでなく、連続的な枠組みである⁶⁾。このモデルには生物学的、環境的、課題の相互作用が含まれるため、それゆえに定量化が困難な点が欠点である。また、大統一理論モデルの中に決定論的モデルに示されている動作結果やその動作結果に影響する要因も含まれている。これらの事情を鑑みると、科学的サポートのためには、より本質的に変わらない競技パフォーマンスの力学的な関係に着目した決定論的モデルのアプローチを採用することが妥当であると考えられる。

また、決定論的モデルの作成方法は、Hay & Reid⁹⁾が提唱した基本的な手順とそれを拡張させた方法 (Table 2) があることが明らかになった。ただし、Table 2に示された方法については、いずれも Hay & Reid⁹⁾が示す手順を踏む際の具体的な方法を提案しており、矛盾するものではないと考えられる。

Ⅲ. 科学的サポートに効果的な競技パフォーマンス構造モデル構築の在り方の検討

I、IIから、科学的サポートのためにはまず決定論的モデルの作成から取り組むことが有効と考えられた。そこで、科学的サポートで効果的に活用するためのモデル作成に関する留意点を検討した。なお、モデルを作成にするにあたって参考になる先行研究^{10), 14), 23), 24), 26)}やハイパフォーマンススポーツセンターにおける科学的サポートの知見の蓄積が多いスピードスケートを例とした。

1. 決定論的モデルと科学的サポート

Hay & Reid⁹⁾は前章で述べたように同じスキルに関して異なるモデルを開発できることを指摘している。また、モデルによって意図した目的に適しているかどうかは相違があるものの、特定のスキルに対してこれが正しいモデルと言えるようなものがあるわけではないとも述べている。したがって、同じスキルに対して様々なモデルを作成することができるが、本研究が目指している科学的サポートへの活用という目的に適したモデルはどのように作成しなければならないかは、別途検討する必要がある。そこで、まず初めに、Hay & Reid⁹⁾のルール上は問題ないが科学的サポートにおいて活用しづらいモデルとはどのようなものかを検討した。

Figure 1は、スピードスケートを題材として作成した科学的サポートでは活用しづらいと予想されるモデルの例である。この例では、スピードスケートの調査対象となる動作結果 (Result) をス

タート時の反応時間、ストレート区間の所要時間、カーブ区間の所要時間に分けている。いずれも力学的変数であり、かつこの3要因の和によってタイムが決まるため、Hay & Reid⁹⁾が示すモデル構築の前提には従っている。また、スピードスケートはストレートとカーブでは動作が大きく異なり⁴⁾、競技現場でもこれらを区別して指導していることから²⁰⁾、ストレート区間とカーブ区間を分けていることも合理的と考えられる。しかし、例えばストレートの所要時間が短かったとしても、それはその直前のカーブで大きく加速したことにより、ストレート入口での滑走速度が大きかったことによるものである可能性もある。特に、長距離種目ではストレート区間における減速とカーブ区間における加速が繰り返えされ、その加減速の程度がスケーターによって異なる²³⁾。この加減速の程度は、区間ごとのタイムや平均速度ではなく、各区間内の速度変化に表れるため²⁴⁾、Figure 1のモデルではストレートとカーブの巧拙を評価したことにはならない。以上のことから、科学的サポートに効果的に活用できるモデルを作成するためには、競技規則や力学法則だけでなく、競技現場ではどのように競技パフォーマンス構造が捉えられているか、文献や指導書では競技パフォーマンスに関してどのような事項が指摘されているか、計測値の実態はどうなっているか等を検討する必要があると考えられる。

2. モデル作成手順の提案

上述の検討を踏まえると、科学的サポートで活

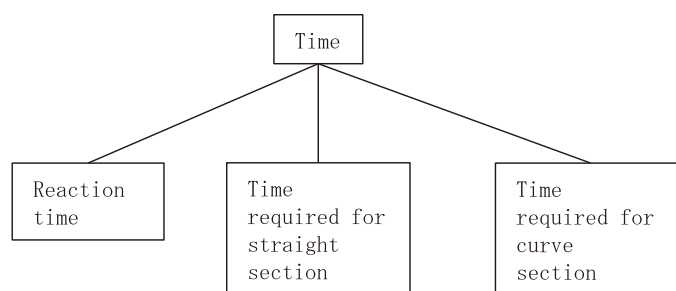


Figure 1. An example of a structure model of speed skating performance which is NOT suitable for the sports science support.

用される競技パフォーマンス構造モデルを作成するためには、Figure 2 の手順で実施することが有効と考えられる。まず、対象競技の勝利に相当する「動作結果 (Result)」の特定を慎重に行う。次に、競技規則、論理 (力学法則等) に加え、文献や映像等も参考にモデルを作成する。そして、指導者へのヒアリングや競技会における分析に基づきモデルを修正する、という手順である。

Result について、Hay & Reid⁹⁾ は “the measure of the outcome of a performance” と定義している。Result は必ずしも各競技の勝利そのものを表すとは限らず、各スキルと対になっており、例えばサッカーのパスというスキルに対しては “Advantage” が Result であるとしている。一方、本研究で扱う「科学的サポートのためのモデル」を作成する意図は、その競技に関するあらゆる支援、研究、

トレーニングに際して、どの因子がどのように変化するとパフォーマンスが向上するかを予測するためと考えられる。したがって、科学的サポートを始めるにあたって参考となるモデルとするためには、Result には対象競技の勝利に相当する尺度を設置することが有効と考えられる。個々のスキルに対応する詳細なモデルについては、それらが作成された後に作成することも可能だろう。なお、Result が距離や高さや時間である場合には、Result 自体をいくつかに分割できるかどうかを判断する必要がある⁹⁾。

続いて Result に影響する因子や上位の階層の因子を構成する下位の因子を検討し、モデルを作成する。階層は「それ以上の分解のやりようがないと思われるところまで」作成する⁹⁾。次に競技規則に加え、文献や映像等を参考に論理 (力学法

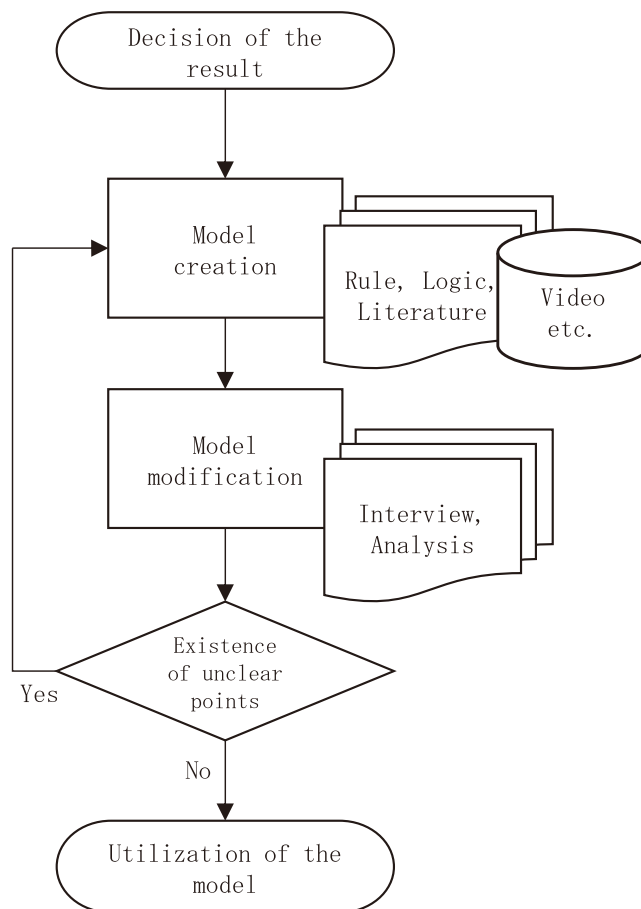


Figure 2. A procedure for developing a structure model of sports performance for the sports science support.

則等)を整理する。競技における勝利に相当する尺度を **Result** として設置した場合には、競技規則の理解が特に重要となるであろう。例えば、採点競技においてはその採点基準を理解することが重要であり、「高さ」という採点項目があったとしても、それは必ずしも身体重心の到達高を指しているとは限らず、どのような状況を「高い」としているかを把握する必要がある。さらに、あくまで審査員がある所定の地点から演技を見た時に「高い」と見えたかどうかで採点されている点にも注意が必要である。そして、Hay & Raid⁹⁾のモデル構築の前提を遵守するだけでなく、文献、指導書等も参考にすることによって、実践的なモデルの作成が期待できるであろう。さらに、現在は主要な競技大会の情報も入手しやすいため、**Result** やその下位因子にはどのような要素が影響しているかといった観点で映像や記録を見ておくことも役立つと考えられる。

こうした手順で作成されたモデルは机上のモデルに過ぎず、上述したように、競技現場でどのように競技パフォーマンス構造が捉えられているかを複数の指導者にヒアリングすることが実践的なモデルを作成する上で重要となるだろう。また、競技大会等において実際に変量間の関係はどうなっているかといったことを分析することも有効であろう。これらの過程は、理論上間違いではないという水準から科学的サポートに活用し得る水準まで発展させるものである。後者の水準に達するためには、まず Figure 1 に示したようなモデルにならないために、意図した分け方(スピードスケートにおける例:ストレートとカーブの巧拙が分かる分け方)になるように物理量を配置することが重要だろう。また、トレーニング、コーチング、アスリートの意識等によって変え得る変数(例:接地中の発揮パワー)と、結果として生じる変数(例:空中における身体重心の軌跡)が切り分けられていることも活用しやすいモデルの要件と考えられる。さらに、科学的サポートにおいてできることは「測ること」であるという原則に基づけば¹⁴⁾、測ることができる因子に落とし込

むよう努めることや、測ることができるものできないものがそれぞれ何であるかを念頭に置いて因子を決定することが望ましいと考えられる。また、ヒアリングや分析の結果、効果的な因子間の結びつけ方について不明な点が残った場合には、因子間の関係に関してもう一度文献等を確認するといった手順も必要となるであろう。

上述した過程を経てモデルが作成できたら、科学的サポートへの活用を試みる。例えば、いくつかに分かれた因子のうち優れたアスリートは何が優れているのか、ある支援の対象のアスリートは何が良い **Result** を生むための制限因子になっているのかといった要素間の関係の検討に移ることになる。先行研究でよく行われている手法は相関分析であり^{5), 9), 16)}、幅広い競技レベルの集団の中で優れた **Result** を生む要因を明らかにするには有効な手段と考えられる。一方、本誌 *Journal of High Performance Sport* が対象とする国際競技力向上においては、世界一のアスリートが優れている点がどこかといったことや、ある日本代表選手のパフォーマンス改善のために何が必要かといったことに興味があることが多い。このような場合は、幅広い競技レベルのアスリートのデータに基づく統計的手法よりも、そのアスリートの各因子を詳細に計測し、因子間の関係や個人内の縦断的变化を事例的に観測する単一事例研究デザインの適用が有効かもしれない¹¹⁾。

3. モデルの例示

上述した手順によりスピードスケートを事例としてモデル作成を試みた(Figure 3)。**Result** にはタイムを置き、平均速度や総滑走距離等に分けた。平均速度は、体重あたりの推進力、体重あたりの氷摩擦力、ある速度に対する空気抵抗で構成した。さらに、推進力は3つの動作局面に、氷摩擦力はブレードと氷の状態の2因子に、空気抵抗はそれを構成する5因子にそれぞれ分けられると考えた。また、総滑走距離はストレート区間とカーブ区間に区分した。以下では、このようなモデルに至った理由を述べる。

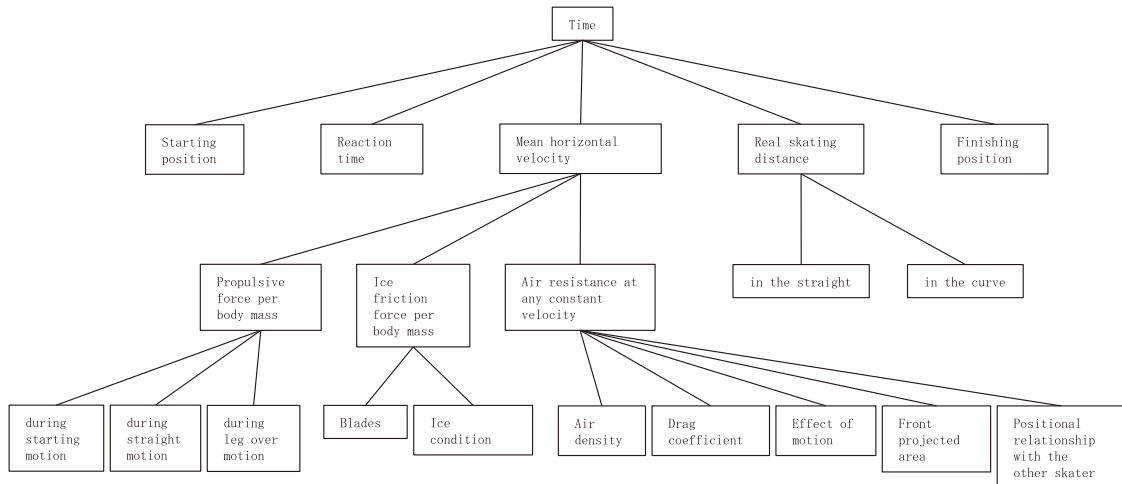


Figure 3. The developed structure model of speed skating performance.

スピードスケートは決められたコースを滑走する時間を競う競技であるため、平均速度が大きいても進むべき方向から逸れると好記録に繋がらない。そこで総滑走距離（スタートからゴールまでスケーターが実際に滑走した距離）を因子の一つとして置いた。総滑走距離は横澤ら（2018）が算出しており、カーブのコースロスに伴う総滑走距離の増加が順位に影響することを報告している²³⁾。次に工夫した点としては、平均速度をストレート区間の平均速度とカーブ区間の平均速度に分けるのではなく、推進力で分けたことが挙げられる。上述したようにストレートとカーブそれぞれの所要時間や平均速度ではストレートの巧拙やカーブの巧拙を評価できない。そこで、横澤ら（2022）によって推定方法が提案されている推進力を用いることによって、直前の区間の影響を受けない当該区間の評価が可能になると考えられる²⁵⁾。なお、カーブで用いられるレッグオーバー動作⁴⁾はストレート区間に入ってから少し継続されるため、ストレート区間かカーブ区間ではなく、動作様式によって推進力を分けた。そして、ある瞬間の速度に対して、体重あたりの推進力、体重あたりの氷摩擦力、その速度における空気抵抗の3因子によって次の瞬間の速度が決まり、その累積によって平均速度が定まることから、平均速度をこの3因子に分けることが妥当と考え

た。

本研究で作成されたスピードスケートのモデルをさらにバイオメカニクスの指標に細分化することやスピード持続に関する指標を上位に配置してそこから生理学的な指標に分解することも可能である。このように改善の余地もあると考えられるが、上述の手順に沿って作成した一例として紹介した。

IV. まとめ

競技パフォーマンス構造モデルについて文献レビューを行った結果、研究者間で用途やモデルが異なっており、明確な学術的定義がなされていないことが明らかになった。また、競技パフォーマンス構造モデルを構築する手法には、「決定論的モデル^{3),9)}と大統一理論モデル⁶⁾」の大きく2つのアプローチがあったが、本研究において科学的サポートのためには決定論的モデルを用いることが有効であると考えられた。さらに、科学的サポートで活用できるモデルの作成手順について検討し、①対象競技の勝利に相当するResultの特定を慎重に行う、②競技規則、論理（力学法則等）に加え、文献や映像等も参考にモデルを作成する、③指導者へのヒアリングや競技会における分析に基づきモデルを修正するという手順を提案した。本研究で提示した競技パフォーマンス構造モデル

の構築方法はまだ発展途上にあり、今後は生理学的指標等の要素についても検討する必要がある。また、決定論的モデルの作成後は、競技パフォーマンスを規定する要素間の関係の強さについて検討することも必要と思われる^{5), 8), 17)}。この際、同じ競技でも種目（性別、障がい等）によって重要な要素が異なる可能性があることには配慮が必要であると思われる。

競技現場のコーチやスポーツ科学者にとって目指す競技パフォーマンスの構造モデルを明確にした上で、パフォーマンス向上のためのトレーニングに望むことが求められている²⁶⁾。このモデル構築には、ハイパフォーマンススポーツに関する最新の理論的知識だけでなく、科学的サポートの実践を通じた豊富な経験的知見が必要であり、コーチやスポーツ科学者が重要な役割を果たすことになると思われる。今後、競技パフォーマンス構造モデルを通してアスリートのパフォーマンス向上のためにコーチとスポーツ科学者とのコミュニケーションがさらに促進されることが期待される。さらに、特定の競技について作成されたパフォーマンス構造モデルは、例えばオリンピック競技からパラリンピック競技へとといったように、他競技へ応用できる可能性があると考えられる。

付記

本研究は、令和3年度国立スポーツ科学センターのスポーツ医・科学研究事業（基盤研究）で実施したものである。

文献

- 1) Cabrera LMV, González ZQ, Arévalos RMT, Viladón RER. Biomechanical analysis of the Mawashi Geri Jodan kick in Karate-Do. Podium, 15 (1) : 111-126, 2020.
- 2) Chow JW, Hay JG. Computer simulation of the last support phase of the long jump. Med Sci Sports Exerc, 37 (1) : 115-123, 2005.
- 3) Chow JW, Knudson DV. Use of deterministic models in sports and exercise biomechanics research. Sports Biomech, 10 (3) : 219-233, 2011.
- 4) de Boer RW, Ettema GJC, van Gorkum H, de Groot G, van Ingen Schenau GJ. Biomechanical aspects of push-off techniques in speed skating the curves. J Appl Biomech, 3 (1) : 69-79, 1987.
- 5) De Witt JK, Hinrichs RN. Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. Sports Biomech, 11 (3) : 382-390, 2012.
- 6) Glazier PS. Towards a Grand Unified Theory of sports performance. Hum Move Sci, 56 (Pt A) : 139-156, 2017.
- 7) Glazier PS, Robins MT. Comment on“Use of deterministic models in sports and exercise biomechanics research”by Chow and Knudson (2011) . Sports Biomech, 11 (1) : 120-122, 2012.
- 8) Hashizume S, Hobara H. Asymmetric lower extremities and sprinting techniques in sprinters with unilateral transfemoral amputations. トレーニング科学, 30 (3) : 129-136, 2018.
- 9) Hay JG, Reid G. The anatomical mechanical bases of human motion. 1st Edition, Prentice Hall, 1982.
- 10) Hay JG, Miller JA, Canterna RW. The techniques of elite male long jumpers. J Biomech, 19 (10) : 855-866, 1986.
- 11) Kinugasa T, Cerin E, Hooper S. Single-subject research designs and data analyses for assessing elite athletes' conditioning. Sports Med, 34 (15) : 1035-1050, 2004.
- 12) Kinugasa T, Ishii T. Validity of competitive judo performance: collective insights from the Japanese judo coaching community. The Arts and Sciences Judo, 1 (1) : 81-87, 2021.
- 13) 近藤亮介. 十種競技における競技パフォーマンス構造に基づくパフォーマンスタイプの判定. 体育学研究, 64 (2) : 587-601, 2019.

- 14) 窪康之. 第6回 アスリートを科学的にサポートするとはどういうことか. <https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/study/history/tabid/1579/EntryID/235/Default.aspx> (2022年11月17日)
- 15) Linn K, Porter C. Wheelchair basketball: performance analysis rationale & proposal 2012. <http://kristinalinn.de/wp-content/uploads/2018/12/Linn-Porter-Wheelchair-Basketball-Rationale-Proposal.pdf> (2022年10月27日)
- 16) McDonnell LK, Hume PA, Nolte V. A deterministic model based on evidence for the associations between kinematic variables and sprint kayak performance. *Sports Biomech*, 12 (3) : 205–220, 2013.
- 17) Park CH, Kim YK. Three-dimensional analysis of Yurchenko layout with 360 ° twist in female vaults: modified deterministic model and judges' scores. *Korean J Sport Biomech*, 27 (1) : 9–18, 2017.
- 18) Pilgrim J, Kremer P, Robertson S. The development of a tournament preparation framework for competitive golf: a Delphi study. *Eur J Sport Sci*, 18 (7) : 930–939, 2018.
- 19) Raysmith BP, Jacobsson J, Drew MK, Timpka T. What is performance? A scoping review of performance outcomes as study endpoints in Athletics. *Sports (Basel)*, 16 (7) : 66, 2019.
- 20) 白幡圭史, 今村俊明, 井出敏彦. 氷上滑走技術. 日本スケート連盟スピードスケート強化部編, スピードスケート指導教本滑走技術初級編. 日本スケート連盟スピードスケート強化部, pp.4–23, 2010.
- 21) Soper C, Hume PA. Towards an ideal rowing technique for performance: the contributions from biomechanics. *Sports Med*, 34 (12) : 825–848, 2004.
- 22) Wainwright B, Cooke C, Low C. Performance related technique factors in Olympic sprint kayaking. Paper presented at the 33rd International Conference on Biomechanics in Sports, Poitiers, France, 2015.
- 23) 横澤俊治, 加藤恭章, 紅椽英信, 熊川大介. スピードスケート国際競技会の中長距離レースにおける滑走軌跡と速度の分析. *Sports Science in Elite Athlete Support*, 3: 27–38, 2018.
- 24) 横澤俊治, 加藤恭章, 紅椽英信, 齊川史徳, 熊川大介. ビデオカメラを用いたスピードスケートにおけるストレートとカーブの加減速及びカーブのコースロスの評価. *Journal of High Performance Sport*, 4: 165–175, 2019.
- 25) 横澤俊治, 木村裕也, 齊川史徳, 加藤恭章, 熊川大介. スピードスケート男子500mにおける世界一流選手のレース分析—区間ごとの推進力推定の試み—. *Journal of High Performance Sport*, 10: 24–35, 2022.
- 26) 関子浩二. トレーニング理論と方法論. 公認スポーツ指導者養成テキスト 共通科目Ⅲ. 日本体育協会, pp.104–117, 2013.