

体操競技採点規則の形式的表現とその解釈系

坂 庭 紳 悟[†] 笹倉 万里子[†]

男子体操競技における各種目の「演技」は次々と実施される「技」によって構成される。演技構成の採点は演技構成内のそれぞれの単独の技に対して点を与えるものと技の実施の並びに対して点を与えるものからなる。採点対象となる技は採点規則で明記されている。本研究では、採点対象を「技の列」と捉え、その列を走査する機能を持つコンピュータプログラムにより体操競技における演技構成に対して採点を行うシステムを構築する。採点規則は、主に自然言語を用いて記述されているが、本研究ではそれを形式的に表現する。構築するシステムは演技の「技」の列を入力とし、形式的に表現された規則を用いてそれを自動的に採点する。このシステムを用いることにより採点の曖昧性を排し、誤採点をなくすことが可能である。

A Formal Representation of “the Code of Points” and its Interpreter

SHINGO SAKANIWA[†] and MARIKO SASAKURA[†]

Exercise constructions of artistic gymnastics consist of skills which are presented one after another by a gymnast. A score of an exercise construction can be separated two types of value points: one is determined by connections of skills and the other is determined by each skill independently. The skills for scoring are specified in the official book, “Codes of Points”. We regard an exercise construction as a sequence of skills and construct a system which calculates a score of it. The original “Codes of Points” is written by natural languages and figures. We rewrite it in the formal way. The constructed system accepts a sequence of skills as the input, calculates the score by making use of the codes written in the formal way, and outputs the score. Using the system, we can eliminate ambiguity and mistakes over scoring of the artistic gymnastics.

1. はじめに

男子体操競技における採点規則の目的は「地域、国、世界の競技会すべてのレベルにおいて、男子選手の演技を客観的に評価すること」であるとされている⁷⁾。

この目的を達成するために、体操競技採点規則は様々な変遷を経て現在の規則となっている。その変遷は、従来「独創性」や「審判員の主観」が吸収していた曖昧な演技評価の問題を解決しつつある。しかし、同時に複雑化したために「審判員」の負担が大きくなりつつある。技術の進歩にともない、頻繁に採点規則が変更されることも審判員や選手の負担となっている。

現在の男子体操競技は「ゆか」、「あん馬」、「つり輪」、「跳馬」、「平行棒」、「鉄棒」の六種目からなり、跳馬を除く各種目の「演技」は次々と実施される「技」によって構成される。採点は実施された演技構成に対して加点方式で導かれる「A スコア」と演技実施にお

ける失敗や姿勢の乱れを元に減点方式で導かれる「B スコア」があり、特別な場合を除き、その合計が演技の得点となる。

A スコアは、演技構成内のそれぞれの技に対して他の技と独立して価値点を与えるものと技の実施の並びに対して価値点を与えるものからなる。どのような技が採点対象となるかは採点規則で明記されている。

以上のことから、採点対象を「技の列」と捉えると、その列を走査する機能を持つコンピュータプログラムにより体操競技における演技構成を採点可能であると考えられる。近年、採点規則の厳密化や複雑化に伴い誤審が問題となっているが、コンピュータプログラムによる正確な採点が可能になればその問題を解決することができる。

本研究では「ゆか」の演技構成を対象として A スコアの算出を自動化するシステムを構築する。採点規則は主に、自然言語の文章や表を用いて記述されているが、本研究ではその規則を形式的表現に置き換え、コンピュータプログラムに解釈させる。また、頻繁なルール変更に対応できるように変更の多い加点規則の部分

[†] 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology,
Okayama University

をシステムの他の部分と切り離し容易に変更できるようにするシステムを設計する。

2. 採点規則

男子体操競技採点規則 2006 年度版（以下ルールブック）⁷⁾ は、第一部：競技参加者規則と第二部：採点規則の二部構成であり、そのうち A スコアの採点に関係するのは第二部である。

第二部の大部分は「難度表」と呼ばれる表が占める。難度表とは、選手が実施するべき技をまとめたものであり、各技の「名前」と「グループ番号」、「難度」等が記載された表である。技はいくつかのグループに別けられ、後述するように採点は技のグループ番号により制約を受ける。故に技がどのグループに属するかは採点上重要である。選手は特別な場合を除き難度表に記載された技のみで演技を構成しなければならない。難度表の一部を図 1 に示す。

本研究では「ゆか」を対象とした採点システムの構築を目的とするので、以下に第二部から「ゆか」の A スコアの採点に関わる規則の要約を示す。

(1) 採点対象を決める規則

- 難度表に無い技は原則認められない。
- 同じ技の二つめ以降の登場は採点対象にならない。
- 同じグループの技は 4 つまで認められる。

(2) A スコアの算出規則

- A スコアは難度価値点と組合せ価値点、要求グループ価値点の合計である。
- 難度表に記されている全ての技は、その難しさの尺度である「難度」が定められている。難度は 6 つあり、それぞれ表 1 で示す価値点が与えられる。これにより難度価値点が決定される。
- 跳躍技は、独立した価値を持ったまま、高難度の技を連続して実施することにより加点が発生する。これが組合せ価値点である。
- 難度表で明示される全てのグループの技を演技に組み込むことで加点が発生する。これが要求グループ価値点である。

これらのことから、構築するシステムでは

- 実際に行われた演技構成から採点対象となる技の

グループIV：側方系、後ろとびひねり、前とびひねりの跳躍技

A=0.1	B=0.2	C=0.3
1 後ろとびひねり前転	2 後ろとびひねり/2ひねり前転	3 後ろとびひねり/2ひねり前転
7 後ろとびひねり前転とび	8 後ろとびひねり前転/ひねり前転	9
13	14 後ろとびひねり前転/側方系前転	15

図 1 難度表の一部（男子体操競技採点規則 2006 年度版⁷⁾より抜粋）。

Fig. 1 A part of the Difficulty Tables.

みを抽出した採点用の演技構成への変換

- 難度価値点、組合せ価値点、要求グループの価値点の計算と加点

を行わなければならない。

3. モデル

3.1 基本モデル

実装するシステムでは体操競技における採点プロセス $\mathfrak{S}$ を次の七つ組で定義する。

$$\mathfrak{S} = (A, E, ElementSequences, SR, AR, SRF, ARF)$$

- A は属性の集合。
- $E = \{e = (a_1, \dots, a_n) | a_i \in A, 0 < i \leq n\}$.
- $ElementSequences = \{es = (e_1, \dots, e_m) | e_i \in E, 0 < i \leq m\}$.
- SR は採点規則。
- AR は採点規則。
- $SRF : ElementSequences \times SR \rightarrow ElementSequences$.
- $ARF : ElementSequences \times AR \rightarrow \mathbf{R}$.

このモデルは体操競技の演技構成を技の列として捉えている。 A は技の属性の集合で E は技の集合である。ひとつの技は属性の集合として表現される。 $ElementSequences$ が演技構成の集合で、その要素である演技構成は技の列である。 SRF は演技構成の変換を行う関数で、実際に行われた演技構成を採点対象のみの構成に変換するために用いられる。 ARF は演技構成の価値点を計算するために用いられる関数である。 SR, AR はそれぞれの関数のための採点規則である。規則の詳細は 3.2 節で述べる。

表 1 難度とその価値点

Table 1 Difficulties and values

難度	A	B	C	D	E	F(SE)
価値点	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60

3.2 採点規則の形式的表現

2 節 で説明した演技構成価値点の決定に関わる採点規則をコンピュータプログラムが解釈可能な表現に置き換える。演技構成の価値点に関わる採点規則は、次の 2 種類に大別される。

- SR : 演技構成のうち、採点に関係のない技を削除する規則の集合
- AR : 演技構成から加点を定める規則の集合
規則 $sr \in SR$ は、次の四つ組で表現される。

$$sr = (a_1, a_2, n, s)$$

ここで 属性 a_1, a_2 は集合 A の要素、すなわち、 $a_1, a_2 \in A$ である。これらの属性は、演技構成の中で採点に関係のある技の条件を示す。 n は条件に合う技が複数あった時、実際に採点に使う最大の技の数を示す。 s は条件に合う技が複数あった時の採点の対象として選ぶ技の優先度の決め方の指定である。

規則 $ar \in AR$ は、次の三つ組で表現される。

$$ar = (a, n, v)$$

ここで属性 a は集合 A の要素である。この規則で加点する技の条件を示す。 n は加点を行う最大の技の数を示す。 v はこの規則によって加えられる点数を示す。

4. 実 装

4.1 概 要

システムは Java でおおよそ 2000 行で実現され、次の三つの部分からなる。

- 採点規則
- 難度表のデータベース
- 形式的に表現された採点規則の解釈系

採点規則は 3.2 節 で述べた形式的表現で書かれる。難度表は CSV ファイルによってデータベース化し、ルールブックの難度表には無い ID を表に追加してある。これはシステムが入力から難度表の技を一意に特定するために必要である。形式的に表現された採点規則の解釈系は 3.1 節 で示したモデルの関数 SRF と ARF を実現している。

システムの入力、技の ID の列である。システムはこの ID 列を難度表データベースと照合することで 3.1 節 で示した技の列 es を内部に獲得する。

4.2 XML による規則の形式

演技構成の変換規則はつぎの形式の要素で構成される XML 文書である。

$SelectionalRule = Attribute1, Attribute2, Condition, Number.$

例えば、「グループ番号 1 の技は登場順で 4 つま

でしか認めない」という規則は $Attribute1$ をグループ番号が 1 という属性、 $Attribute2$ は空、 $Condition$ は Cronologically、 $Number$ は 4 と指定することで実行できる。

加点規則はつぎの形式の要素で構成される XML 文書である。

$AdditionalRule = Attribute, Number, Value.$

例えば、「A 難度の技に 0.10 点の価値点を与える」という規則は $Attribute$ を難度が A という属性、 $Number$ が anot、 $Value$ が 0.10 と指定することで実行できる。

実際にシステムが用いる XML ファイルの内容を図 2 に示す。

4.3 演技構成の変換規則の解釈

採点規則の解釈系が、採点規則 SR を解釈し、技の列 es にそれを適用する際の処理 $SRF(es, A_1, A_2, N, S)$ は次のようになる。

- (1) もし es, A_1 のみが指定されていた場合
 es の全要素の属性 A_1 の値を調査し、その属性値を持つ要素の重複がなくなるように es を再構成する。その際、二度目以降の登場を削除する。
- (2) もし es, A_1, N のみが指定されていた場合
 es 内から属性 A_1 を持つ要素を全て取り出し、 N 個より多くの要素があれば列内での登場が遅い要素から N 個になるまで es 無いから削除していく。
- (3) もし es, A_1, N, S のみが指定されていた場合
 es 内の要素を属性 A_1 の値によってソートして取り出し、 S で指定される方法で N 個選出する。選出されなかった要素を es 内から削除する。
- (4) もし全てが指定されていた場合
 es 内の属性 A_1 の値を持つ要素を取り出し、 A_2 の値によってソートを行い、 S で指定される方法で N 個選出する。選出されなかった要素を es 内から削除する。

これを採点規則が書かれた XML の指定に従って行うことで、採点に用いられない技は es から削除され、採点に関係のある技だけの列を得ることができる。

4.4 加点規則の解釈

採点規則の解釈系が、ある AR を解釈し技の列 $sequence$ にそれを適用する処理 $ARF(sequence, A, N, V)$ は図 3 のように記述できる。 A は属性、 N は回数、 V は価値点であり、採点規則が書かれた XML ファイルから得られる。

```

<rule name="select4" type="selection" keyname="element group number" keyvalue="1" key="difficulty" condition="fromBigger" targetnum="4"></rule>
<rule name="select4" type="selection" keyname="element group number" keyvalue="2" key="difficulty" condition="fromBigger" targetnum="4"></rule>
<rule name="select4" type="selection" keyname="element group number" keyvalue="3" key="difficulty" condition="fromBigger" targetnum="4"></rule>
<rule name="select4" type="selection" keyname="element group number" keyvalue="4" key="difficulty" condition="fromBigger" targetnum="4"></rule>

<rule name="at most 9" type="selection" key="difficulty" condition="fromBigger" targetnum="9"></rule>

<rule name="difficulty value A" type="addition1" apn="anot" keyname="difficulty" keyvalue="A" value="0.1"></rule>
<rule name="difficulty value B" type="addition1" apn="anot" keyname="difficulty" keyvalue="B" value="0.2"></rule>
<rule name="difficulty value C" type="addition1" apn="anot" keyname="difficulty" keyvalue="C" value="0.3"></rule>
<rule name="difficulty value D" type="addition1" apn="anot" keyname="difficulty" keyvalue="D" value="0.4"></rule>
<rule name="difficulty value E" type="addition1" apn="anot" keyname="difficulty" keyvalue="E" value="0.5"></rule>
<rule name="difficulty value F" type="addition1" apn="anot" keyname="difficulty" keyvalue="F" value="0.6"></rule>
<rule name="element group requirement value 1" type="addition1" apn="1" keyname="element group number" keyvalue="1" value="0.5"></rule>
<rule name="element group requirement value 2" type="addition1" apn="1" keyname="element group number" keyvalue="2" value="0.5"></rule>
<rule name="element group requirement value 3" type="addition1" apn="1" keyname="element group number" keyvalue="3" value="0.5"></rule>
<rule name="element group requirement value 4" type="addition1" apn="1" keyname="element group number" keyvalue="4" value="0.5"></rule>

```

図 2 システムが用いる XML ファイルの一部。

Fig. 2 Parts of the XML file.

```

var n : integer;
var score : real;
n := 0;
score := 0.0;

while N > 0 and n < the size of sequence
do
  if sequence の n 番目の要素が属性 A を持つ
  then
    begin score = score + V;
      N = N - 1;
    end
  n = n + 1;

```

図 3 加点規則解釈の処理。

Fig. 3 The process of addition.

5. 関連研究

スポーツにおける採点の自動化において射撃における自動採点を画像処理によって行ったものがある⁶⁾。規則を形式的に表現し、コンピュータによって処理するという観点に立てば、義務論理を用いた研究がいくつかなされている^{1),3)~5)}。義務論理を用いた規則のモデル化と解析¹⁾や取引の過程と取引協定の遵守を確認する手続きに関するもの⁵⁾がある。

6. おわりに

2006 年度版男子体操競技採点規則を形式的に表現し、その解釈系を実装した。いくつかの演技構成を用いて正しい採点が行われる事も確認済みである。本稿では一貫して「ゆか」について述べてきたが、他の種目の規則も本稿で述べた形式的表現で表現可能であり、実装した解釈系により採点を自動化することができる。実際の競技会では、審判員は国際版採点規則²⁾の難度表に記される記号系を用いて技の列を紙に記述している。よって、その記号系を本稿で述べたシステムとの

インタフェースに採用したい。本稿で述べたシステムは、ID の列を入力する事で演技構成をシステムに入力している。よって、タッチペンと文字認識デバイスにより記号系のパターン認識が可能であれば、その認識結果を ID に対応させる事でその記号系を本システムと利用者とのインタフェースにできる。これらの実装は今後の課題である。

参考文献

- 1) Grigoris Antoniou, David Billington, Guido Governatori and Michael J. Maher : "On the modelling and analysis of regulations", Proceedings of the 10th Australian conference on information systems, pp.20-29, 1999.
- 2) International Gymnastics Federation : "Code of points", 2006.
- 3) Guido Governatori and Zoran Milosevic : "Dealing with contract violation : formalism and domain specific language", EDOC 2005, Enschede, NL, 21-23 September, 2005.
- 4) Guido Governatori : "Representing business contracts in RuleML", International journal of cooperative information systems, pp.181-216, 2005.
- 5) Guido Governatori, Zoran Milosevic and Shazia Sadiq : "Compliance cheking between business processes and business contracts", Proceedings of the 10th IEEE international enterprise distributed object computing conference, pp.221-232, 2006.
- 6) Ya-bei Yang, Zun Li, Yao Zhao and Xiao Kan : "Automatic Scoring System", Nios II Embedded processor design contest - outstanding designs 2006, pp.123-171, 2006.
- 7) 財団法人 日本体操協会 : "男子体操競技採点規則 2006 年版" (2) の翻訳版), 2006.