ファジィ積分を用いたテニスにおけるプレーの難易度評価*

尾上 英雄^{*1}, 佐野 典秀^{*2}, 高橋 亮一^{*3}

Evaluation of Difficulty of Tennis Games with Fuzzy Integrals

Hideo ONOE, Norihide SANO and Ryoichi TAKAHASHI

It is important to analyze the human task in sports such as tennis games. In this paper, a fuzzy tool for evaluating of tasks in a tennis game has been proposed based on a mathematical model and questionnaires issued to players themselves. The present method is capable of calculating human performance by summing up the fuzzy-measured PSF (performance shaping factor). This elicits the two dominant PSFs with a modified fuzzy measure learning identification algorithm (FLIA) to describe the ill-defined process of human activity in tennis games. FLIA reduces a set of PSFs until human tasks are represented clearly, and groupings of tasks are illustrated on a two-dimensional map of the dominant PSF. Characteristics of groups among players of different levels are then studied via the cluster analysis.

Key Words: Human Engineering, Sports Engineering, Identification, Fuzzy Measures, PSF, FLIA, Tennis Games

1. は じ め に

テニスの試合において勝敗に影響を与えることとして、個人の体力や競技の技術がまず考えられる。しかし、これらのこと以外にも、プレーヤがプレーを決定するときにどのようなことを規準としてどのようにそのプレーを評価・判断しているか、というプレーヤの内面的な要素であるプレーの評価規準も勝敗に大きく影響を及ぼすと考えられる。簡単な例でいえば、「あるプレーヤはタイブレークになると必ず負ける」というようなことは、体力や技術ではなくプレーヤの内面的な部分に原因があると考えられる。テニスの競技力を向上させて試合で勝つためには、そのようなプレーヤの内面的特徴をコーチやプレーヤ自身が理解しておく必要がある。一般的に、そのような経験に基づいて行うプレーヤに対する判断や評価は、「彼は、タイブレークであるという状況を意識し過ぎる」というように文章表現を用いてなされる。しかし、プレーを評価する規準を定式化して定量的に記述することは、プレーヤ

の内面的特徴の理解を深めるために、非常に重要かつ有益なことである。

ところで、工学的システムの信頼性を研究する分野において、ハードウェアは数学的に記述することが可能であり、比較的容易に信頼性や安全性の解析がなされてきた。しかし、原子力発電所の中央制御室や航空機のコクピットなどのように自動化システムがますます複雑になり運転員の負うべき役割が重要になっていくところでは、運転員の思考やその結果表面的に表れる行動の信頼性の評価が検討されるようになった。そのような人間の思考や行動の問題は、不良設定問題(ill-defined problem)であるので数学的手法だけで記述することは非常に困難である。そのため、人間の主観的評価であるアンケートの回答と数学的手法であるファジィ測度・ファジィ積分を接合して、人間の思考や行動を記述して解析する有効な方法がある⁽¹⁾⁽²⁾。この方法においては運転員が行動を決定するための思考のようすは、「さまざまなPSF(Performance Shaping Factor)を評価し、何らかの処置を施し、総合的な評価・判断のもとに行動を決定する」と考えられることを前提としている。

そこで本論文では、テニスにおいて、プレーヤがプレーを決定するための思考は、複雑な工学装置の自動

* 原稿受付 平成6年1月31日。

^{*1} 東京工業大学大学院。^{*2} 正員, 静岡学園短期大学 (〒426 藤枝市駿河台4-1-1)。^{*3} 正員, 東京工業大学工学部 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)。

化システム内で運転員が行動を決定するのと同じ過程を経てなされると仮定する。そして、テニスのプレーヤがプレーを評価する規準や行動を決定する過程を数学の形式で記述するために、自動化システム内での運転員の行動の信頼性の評価をするための手法を応用する⁽³⁾⁽⁴⁾。

解析の手順は以下のとおりとなる。試合のときに勝敗を競うために特に注意を払わなければならないプレーに注目する。それらのプレーを形成する因子である PSF を選択する。プレーヤがそれらのプレーを行う際のプレーの難易度や PSF に対する評価を主観的に行う。その回答から、そのプレーヤにとってのプレーの難易度と特に重視している PSF を、改良形 FLIA (Fuzzy measure Learning Identification Algorithm) を用いた解析により導き出す。プレーヤの特徴を少ない PSF で表現し、解析的に求めたプレーの難易度を二次元平面上に図示することによって、プレーヤの内面的特徴であるプレーに対する評価が明らかになる。さらに、従来形の手法であるクラスタ分析によるプレーの分類を行い、本手法がプレーヤの特徴を記述していることを確認する。

2. プレーの決定過程のモデル

人間の思考や行動の問題は不良設定問題である。つまり数学的手法を用いて完全に記述することは非常に難しい。それでも実際に複雑であるプレーを決定する過程を単純な数理モデルを用いて表し、それを理解したいと考える。

プレーヤはプレーを起こすとき、選択可能な個々のプレーを評価してそれらの評価値の優劣でプレーを決定する、と還元的に仮定する。プレーヤがプレーを評価する計算過程のモデルを以下に述べる。

- ・プレーを形成する要因であるさまざまな PSF をプレーを形成する規準として評価する。
- ・それぞれの PSF の評価値をプレーヤごとに固有の重要度を測度として積分する。
- ・その積分値がプレーの評価値となる。

このプレーの決定過程を図 1 に示す。PSF とは、人間がとる行動がある因子によって左右されるとき用語である。一般に、個々の PSF の評価値の優劣だけでは、プレーの総合的な評価を決定できない。つまり、PSF の個別的な評価がそれぞれどの程度の重要度をもつかに依存して、総合評価は大きく左右される。例えある PSF の評価値が高くても、注目しているプレーの中での重要度が低ければ、総合的な評価値に大きな影響は与えない。例えば、「コートの条件は自分にとって非常

図 1 プレーの決定過程

に有利なのであるが、コートの条件はその他に比べてプレーに与える影響はほとんどない」というようなことである。

さらに PSF の重要度は、一つの PSF だけでなく二つ以上の PSF の重要度が相乗的または相殺的に、総合評価に作用する。例えば、「試合中に、持久力に自信があるので疲れは気にならないし、ゲームに集中していて注意散漫になることも少ない。しかし、疲労感と集中力の欠如を同時に意識するとすぐにプレーに影響が出てしまう」ということがある。このことは、疲れという PSF と注意散漫という PSF は相乗効果をもつことを意味する。また、「相手の位置や球の速さなどの状況を判断することも次の相手の動きなどを予測することもどちらも基本的に重要視しているが、相手の動きの予測か状況の判断のどちらかがうまくできれば、もう一方ができなくても楽にプレーができる」ということは、状況判断という PSF と予測という PSF は相殺効果をもつことになる。つまり PSF は互いに影響をもち独立でない。それらの相関関係を取扱うとすると従来のように個別的な PSF の評価値の線形和をプレーの総合評価値とする手法では、不十分である。

プレーを評価する数理モデルの作成においては、人間の行動は分析的に還元的に記述できるほど単純でなく、従来の完全加法性を仮定したモデルで記述するのは容易でないと考えるべきである。そのためにまがりなりにも「PSF は独立ではない」という概念を含んでいなければならない。そこで、個別の PSF の重要度をファジィ測度で表現し、それぞれの PSF の評価からプレーの包括的評価値をファジィ積分で算出した。ファジィ測度、ファジィ積分の定義は付録で示す。

3. 問題の設定

3.1 注目するプレー 技術的に内面的に難しいプレーに注目する。テニスの試合においてプレーヤが

注意を払い負担が大きく重要であるプレーを選んだ。また本論文では、プレーの難易度を評価する方法が適当であるかを確認しやすいように意識して、スキルベースのプレーと知識ベースのプレーを取上げた。スキルベースのプレーとは、「ドライブのかかった速い球に対するローボレー」のように反射的に対応するものである。また、知識ベースのプレーは、「先に自分がリードしてこの試合は勝てると思った後に、ばん回されて追いつかれた後のストロークまたはボレー」のように経験をもとにして考え判断をして行うものである。専門家であるとみなせるテニス部の主将が、特に重要であると判定したプレーを次に示すように10個選択した。その中で(1)～(5)はスキルベースのプレーであり、(6)～(10)は知識ベースのプレーである。

- (1) (バックまたはフォアで打つ)トップスピン
- (2) アングルに落とすドロップボレー
- (3) ドライブのかかった速い球に対するローボレー
- (4) 左利きのプレーヤーのスピンスーブに対するリターン
- (5) ロブで頭の上に抜かれたときに追いかけて打つ返しのショット
- (6) 相手のサービスとボレーが非常にうまくプレーすることが難しいと感じたときの、自分のサービスゲームのときのストローク
- (7) 球は速くないがミスが少なく、深い球を打つストロークプレーヤーに対するときのストローク
- (8) ネットプレーに自信をもってすぐにネットに出てくる相手に対するパッシングショット
- (9) 先に自分がリードしてこの試合は勝てると思った後にばん回されて追いつかれた後のストロークまたはボレー
- (10) 互いにサービスをキープするシーソーゲームで、先に相手に6-5とされた後の自分のサービスゲームでのストロークまたはボレー

3・2 PSFの抽出 テニスにおけるプレーを形成すると考えられるPSFを抽出する。ここでも専門家の経験と知識を必要とした。本論文では以下の8個のPSFとした。

(i) 状況判断：状況を認識し次にいかなる行動をとるかを判断することを意味する。例えば、「アングルに落とすドロップボレー」というプレーを考えると、把握すべき状況は相手の位置、球の速さ、相手の試合運びの傾向やペース・リズム、試合の流れ等がある。これらの情報から次のプレーを判断しなければならない。また、プレーにより把握すべき状況も変わる。これ

らを総合的にとらえ、あるプレーを行うときに必要とされる、状況判断力を評価するためのPSFである。

説明を省略して、同じように

(ii) 予測：相手のプレーにすばやく対応するために相手のプレーを予測すること。

(iii) コートの特性：コートの条件が自分にとって悪くても、確実にプレーをすること。

(iv) フィードバック：試合の中で過去に起こったプレーを次に生かすこと。

(v) 突発性：プレー中の予期せぬ天候、身体、道具に関するアクシデントに対応すること。

(vi) 失敗の恐れ：失敗を恐れずに難しいプレーをやり抜くこと。

(vii) 注意散漫：プレー以外のことに気を取られずに集中力を保ってプレーをすること。

(viii) 疲労：疲労があっても、確実にプレーをすること。

こうして試合中の10種類のプレー(1)～(10)をPSF(i)～(viii)で相乗的に、相殺的に記述できるものとした。

4. アンケート

人間の思考や行動の問題は、発汗や心電図の測定などの外から観察できる要素を用いて記述できるという立場がある。本論文では、そのような問題を記述するとき、人間の認知行動に注目するという立場をとる。そのために行動に対する主観的評価を知ることが必要不可欠となる。そこでプレーヤーに、テニスにおけるプレーの難易度に関する技術的、内面的な主観的評価を求めた。つまりアンケートを実施し、これから数理的過程をとおしてプレーの難しさを表現するためのものである。この手法が、プレーヤーの内面的特徴を表す実際的可能性を確認するために、体育会と同好会のプレーヤーをそれぞれ4名ずつにアンケートの回答を求めた。ここで体育会は、試合に勝つことが主たる目的で毎日練習している。同好会は、余暇を楽しむことを目的としている。

試合における心理や行動は、それぞれのプレーヤーの経験により決定される。そのような経験をもとにした判断を表現したり判定するとき、興味ある事実がある。例えば「ドライブのかかった速い球に対するローボレーの難しさを0～10点の数値で表せ」という。このときそれは「7点である」という数値的表現よりも、むしろ「ドライブのかかった速い球に対するローボレー」は、「わりあい難しい」とか「ある意味で難しい」という言語的表現によるほうが一貫した回答が得られ

The Detailed Answer for Evaluation of Play

Q: How do you evaluate the discernment of the situation in a topspin stroke by backhand or forehand ?
 A: It is [] difficult / easy.
 (hedge) (primitive term)
 <hedges>
 especially relatively rather somewhat slightly

The Comprehensive Answer for Evaluation of Play

Q: How do you evaluate the difficulty in a topspin stroke by backhand or forehand ?
 A: It is [] difficult / easy.
 (hedge) (primitive term)
 <hedges>
 especially relatively somewhat very fairly
 strictly speaking to some extent slightly rather

図 2 アンケート例

ることが実験心理学により明らかにされている⁽⁵⁾。そこで質問の回答は自然言語であるヘッジ(hedge)と基本的な修飾語(primitive term)を用意した。アンケート用紙のフォーマットの一例を図2に示す。そこにはヘッジとして非常に、比較的、などがあり、基本修飾語としてやさしい、難しい、などがある。

質問は10個のプレーそれぞれにつき、8個のPSFのそれぞれについて個別的な評価 h_i : $h(PSFi)$ と、10個のプレーそれぞれについて包括的評価 Z を答えるようにした。PSFごとの評価の回答は5種類のヘッジと2種類の修飾語の中から選択させて、プレーごとの包括的評価は9種のヘッジと2種の修飾語とした。

5. 解 析

アンケートの回答からプレーヤがそれぞれのプレーの難易を技術的に内面的にどのように考えているかを導き出す。そこで、「実際にプレーを選択肢のなかから決定する際に考えるプレーの評価は、多くのPSFの中から特に重要と考えている少数のPSFのみを用いて意志決定している」と仮定する。さらに、プレーの難易度やプレーヤの個別の特徴を際立たせるためにその重要なPSFは、二つであると仮定する。多くのPSFのなかから二つの重要なものに絞り込むためには、改良形FLIAを利用した。

5.1 改良形FLIA 個々のPSFの評価値 h_i とプレーの包括的評価値 Z の実データからPSFの重要度 $g(\cdot)$ を同定する方法にFLIAがある⁽⁶⁾。本論文では、実データとはプレーヤによるアンケートの回答をファジィ集合に変換したものことになる。FLIAは、確率測度によって仮定されたPSFの重要度 $g(\cdot)$ を、個々のPSFの評価値の実データ h_i と仮定された

図 3 改良形FLIAのブロック線図

PSFの重要度 $g(\cdot)$ を用いて計算したプレーの包括的評価値 Z_e とその実データ Z の誤差 e を最小にするように、PSFの重要度 $g(\cdot)$ を誤差 e の標準偏差の値を用いた修正ゲインによって繰返し調節することによって同定するアルゴリズムである⁽⁶⁾。

プレーヤが重要と考えているPSFを二つに絞り込むために、FLIAを利用して得られるPSFの重要度から、重要でないPSFを選び出して削除する改良形FLIAを利用した。

改良形FLIAのブロック線図を図3に示す。改良形FLIAでは、まずアンケートの回答のヘッジと修飾語をファジィ集合に変換する。次に、そのファジィ集合を評価の実データとしてFLIAによってPSFの重要度 $g(\cdot)$ を同定する。同定された $g(\cdot)$ から重複度 η_i を計算して、他のPSFとの重複の度合いの最も大きいPSFは消去されても他のPSFで代用されると解釈して、重要度 η_i の値が負で絶対値が最も大きい、相殺効果の大きいPSFを消去する。残されたPSFに対する評価から再び重要度を同定し重複度 η_i の値から相殺効果の最も大きいPSFを求め再び消去する。このような繰返しをPSFが2個に絞り込まれるまで繰返す。

5.2 重要なPSF 改良形FLIAによってアンケートの回答を解析して、すべてのプレーヤが重視するPSFを二つに絞り込んだ。その結果を表1に示す。ここに、Player A-Dは体育会のテニス部員であり、Player E-Hは同好会部員である。

重要なPSFは、プレーヤがプレーを評価し意志決定するための属性を表している。このためプレーの難

易度やプレーヤの個別の特徴を鮮明にする主観的評価はアンケートに含まれて、数学的手法によりプレーヤの内面的特徴が記述されたことになる。

体育会部員の重要 PSF の中では、突発性とフィードバックが多い。これは解析後の面談からわかったことで、練習を毎日積んでいてほぼ自分の型ができているので、試合ではアクシデントに気をつけてその日のミスの微調整をすればよいと考えている。それに対して同好会部員は、疲労と状況判断が複数残っている。これは、練習量が少ないので、疲労がプレーに大きく影響し、また反射的に相手のプレーに対応するのではなく状況を判断してから対応している、と解釈される。

5・3 二次元マップ プレーの難易度を知るために、二次元平面上にその評価を表す。改良形 FLIA により二つに絞り込まれた重要な PSF を縦軸と横軸にとり、それぞれのプレーの二つの PSF に対するアン

表 1 重要な PSF

Player	Dominant PSF
Player A	Accident Tiredness
Player B	Feedback Accident
Player C	Discernment Feedback
Player D	Court Conditions Forecast
Player E	Tiredness Concentration
Player F	Tiredness Discernment
Player G	Feedback Court Conditions
Player H	Discernment Forecast

ケートの回答としてヘッジを 10 段階に直した評価値の交点をプロットする。この図を二次元マップと呼ぶ。平面上の右上にプロットされたプレーは比較的やさしいという評価となり左下にプロットされたものは難しいことになる。また、○印はスキルベースのプレーを表し、◇印は知識ベースのそれである。○、◇の横に示したヘッジは、それぞれのプレーの言語的包括的評価に用いられたものであり、番号はプレー番号である。典型的例として、図 4 と 5 に Player C と E のマップを示す。体育会のプレーヤは、スキルベースのプレーと知識ベースのプレーが平面上でほぼ区分されるのが確認できる。同好会のプレーヤはその区分がはっきりしないという特徴がある。

5・4 プレーの分類 プレーヤの意識の相異が二次元マップによって評価された。これを従来から用いられる数理的手法でこの評価結果を解析し、本論文の手続きの有効性を傍証したい。その確認にクラスタ分析を用いる⁽⁷⁾。そのために、プレーの類似度を次式のようにユークリッド平方距離を用いて定義する。

$$d_{mn} = \sum_{i=1}^h [h_m(x_i) - h_n(x_i)]^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 d_{mn} はプレー m とプレー n の類似度、 $h_m(x_i)$ はプレー m の i 番めの PSF x_i に対する評価値を表す。

まず、それぞれのプレーとプレーの間の距離を求め、次にクラスタ間の距離に最短距離法を用いて最も類似度の近いクラスタ同士を統合していきデンドログラムを描いて、プレーを分類した。

典型例として、図 6 と 7 に Player C と E のデンドログラムを示す。体育会のプレーヤ C はそれぞれのプレー間の距離が小さくプレーがきちんと分類されてい

図 4 プレーヤ C のマップ

図 5 プレーヤ E のマップ

図 6 プレーヤ C のデンドログラム

図 7 プレーヤ E のデンドログラム

ることがわかる。同好会のプレーヤ E はプレー間の距離が大きく、相対的な難易度に大きな差が存在した。つまりプレーの間に大きな得手不得手の差が存在した。また、特にプレーヤ E はプレー (3) だけ他のプレーとの距離が大きかったが、アンケート後の面談でもそのことを確認できた。これによって本論文の二次元マップ上でのプレーの分類は従来の数理的手法により、有効であることが確認できた。

6. 結 論

人間の思考や行動の評価の問題は不良設定問題である。つまり人間の行動は分析的に環元的に記述可能なほど単純ではなく、数理的に記述するのは容易ではないと考えられる。本論文では、スポーツにおけるプレーヤの個別性やプレーの技術的、内面的な難易度をまがりなりにも定量化して、それらを理解しようとする試みである。テニスのプレーヤが重要視している PSF を、プレーヤによるヘッジと修飾語からなる回答をもとにして、改良形 FLIA によって PSF の重要度を同定しながら、二つまで絞り込むことができた。プレーヤにとっての重要な PSF を絞り込み二次元マップに評価結果を図示することによって、テニスのプレーヤ

の目的意識および練習量の違いによるプレーに対する考え方の違いを表現することができた。

心理学者やスポーツ工学者との協力により、プレーヤの内面的に起因するプレーの変化を解析することが可能と考えられ、今後の課題としている。

本論文の完成にあたり、プレーおよび PSF の抽出のための有益な議論をして下さった東京工業大学硬式庭球部、原 貴(現：東京電力)、井出真吾(現：日本生命)の両君に感謝する。

付 録

プレーを評価する数理モデルにおいて、プレーを記述する PSF 例えば集中力、疲労感などの重要度をファジィ測度で表現し、各 PSF の評価からプレーの包括的評価を導き出す過程をファジィ積分でモデル化した。それらの数学的定義を以下に記す⁽⁸⁾。

1. **ファジィ測度** PSF の重要度を表すファジィ測度 g は、加法性より緩やかな単調性だけをもつ測度である。8 個の PSF の集合を $K = \{PSF_1, PSF_2, \dots, PSF_8\}$ とし、 E, A, B を $E, A, B \subseteq 2^K$ を満たす PSF の集合としたときにファジィ測度は次の式 (2)、(3) のように定義される。

$$0 = g(\phi) \leq g(E) \leq g(K) = 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$A \subseteq B \longrightarrow g(A) \leq g(B) \quad \dots\dots\dots (3)$$

つまり、8 個の PSF のみがプレーの包括的評価に影響を与えることを式 (2) は示している。また式 (3) は、例えば集中力と疲労感の二つの PSF を同時に意識したときの重要度は集中力のみ、あるいは疲労感のみの重要度より小さくなることはないことを示している。

人間の意志決定プロセスにおいて PSF は互いに独立であるとはいえないので、このように加法性がなく自由度の極めて大きいファジィ測度を、PSF の重要度を記述する数学モデルに用いる。

2. **重複度** PSF の重要度つまりファジィ測度がその人の個性を表現するので、すべての PSF の組合せに対するファジィ測度を観察すれば、その人のプレーの評価規準を明らかにすることができる。しかし、その組合せの数は膨大になるので実際に用いるのは難しい。そこで、ファジィ測度の表現しているそれぞれの PSF 間の複雑な重なりをよりわかりやすく評価するために、次の三つの係数を定義する。

(i) 二つの PSF_i と PSF_j の間の相関関係を表す結合係数 μ_{ij} ($-1 \leq \mu_{ij} < \infty$) を次式のように定義する。

$$\mu_{ij} = \frac{g(PSF_i \cup PSF_j) - [g(PSF_i) + g(PSF_j)]}{g(PSF_i) \wedge g(PSF_j)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式(4)は PSF_i と PSF_j の間に, $\mu_{ij} < 0$ のとき相殺効果が, $\mu_{ij} = 0$ のとき独立性が, $\mu_{ij} > 0$ のとき相乗効果があることを表している。例えば, 集中力と疲労感プレーに大きな影響は与えないが, 集中力の欠如と疲労感を同時に感じるとプレーに大きな影響が出る場合は, $\mu_{ij} > 0$ であり, それら二つを同時に感じたときには, さらにプレーへの影響がなくなる場合には $\mu_{ij} < 0$ となる。

(ii) 結合係数と同じく, 二つの PSF_i と PSF_j の間の相関関係を表す重複係数 m_{ij} ($-1 \leq m_{ij} < 1$) を次式のように定義する。

$$\left. \begin{aligned} m_{ij} &= \mu_{ij} & (\mu_{ij} \leq 0) \\ m_{ij} &= \frac{\mu_{ij}}{\mu_{ij} + 1} & (\mu_{ij} > 0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

結合係数の値域は $-1 \leq \mu_{ij} < \infty$ であるのに対して, 重複係数の値域は $-1 \leq m_{ij} < 1$ である。したがって, 重複係数の値により PSF_i と PSF_j の間の相関を完全に独立な場合を零として, 相殺効果をもつときに負, 相乗効果をもつときに正となる正負対称な値で評価することができる。その数値の表す意味は, 結合係数とほぼ同じである。

(iii) PSF_i の他のすべての PSF との平均的な相関関係を表す重複度 η_i を n をすべての PSF の数として, 次式のように定義する。

$$\eta_i = \left(\sum_{j=1}^n m_{ij}^3 \right) / (n-1) \dots\dots\dots (6)$$

重複度 η_i が零ならば PSF_i は平均的に残りの PSF に対して独立であり, 正の値ならば相乗効果をもち, 負の値ならば相殺効果をもつ。例えば, 集中力の重複度が $\eta_i > 0$ ならば, 他の PSF を同時に意識した時に, 集中力という PSF のプレーへの影響がさらに強まる。逆に $\eta_i < 0$ の場合はプレーへの影響は弱くなる。このことから, 最も重複度の値の小さい PSF が他の PSF に比べて支配的ではないといえる。

それぞれの PSF の重要度をファジィ測度で記述した場合, ある人間のプレーの決定過程の中で, ある PSF が他の PSF とどのような相関関係をもっている

かを重複度は表現することができる。また, その PSF の相関関係がその人間の個性を記述しているといえる。

3. ファジィ積分 プレーを評価する数理モデルであるファジィ積分は, 次式のように定義される。

$$\begin{aligned} Z_e &= \int_K h \cdot g(\cdot) \\ &= \max_{E \in 2^K} \left[\min_{h_i \in E} h_i \wedge g(E) \right] \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

Z_e : ファジィ積分値

$K: \{PSF_1, PSF_2, \dots, PSF_8\}$

$h_i: h(PSF_i)$

g : ファジィ測度

$E: E \subset K$

ファジィ積分値 Z_e がプレーの包括的評価値を, 関数 h_i が PSF_i の評価値を, ファジィ測度 $g(\cdot)$ がそれぞれの PSF の重要度を表す。このことによって, 相乗効果や相殺効果を含んだ人間の評価の過程を数学的に記述することができる。

文 献

- (1) 石川・佐野・国領・高橋, タスク難易度の評価におけるファジィ測度の同定, 日本原子力学会 1991 年秋の年会予稿集, (1991), 372.
- (2) 佐野・貝沼・高橋, ファジィ積分による運動行動の難易度評価, 機論, 57-535, C(1991), 833-839.
- (3) 尾上・佐野・高橋, ファジィ積分によるテニスにおけるタスク難易度の評価, 日本機械学会第 70 期通常総会講演論文集 III, No. 930-9(1993-3), 388-390.
- (4) 尾上・佐野・高橋, テニスにおけるタスクのファジィ積分を用いた分類, 日本機械学会スポーツ工学シンポジウム 1993 講演論文集, No.930-69(1993-11), 187-190.
- (5) Kochen, M. and Badre, A. N., On the Precision of Adjectives which Denote Fuzzy Sets, *J. Cybernetics*, 4-1(1974), 49-59.
- (6) Ishii, K. and Sugeno, M., A model of human evaluation process using fuzzy measure, *Int. J. Man-Machine Studies*, 22(1985), 19-38.
- (7) 佐野・河合・尾上・高橋, クラスタ分析によるタスクの区分け, 日本原子力学会 1993 年春の年会要旨集, (1993), 397.
- (8) 菅野, Fuzzy 測度と Fuzzy 積分, 計測自動制御学会論文集, 8-2(1972), 218-226.