

Title	女子プロテニス選手のWTAツアー参戦における戦略の検討： ランキングと選手年齢の関係性についての分析
Sub Title	A study of WTA tour strategy among Women's professional tennis players.
Author	坂井, 利彰(Sakai, Toshiaki)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2017
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.56, No.1 (2017. 1) ,p.1- 7
JaLC DOI	
Abstract	<p>The aim of this study is to establish a correlation between age and ranking among women's professional tennis players on WTA tour in order to formulate a reinforcement strategy for women's tennis in Japan.</p> <p>Three types of analysis were carried out in this study. First, a comparison between male and female players was performed in terms of their respective ages when first ranked in the top 100. Second, a "transition of ranking" table was compiled for the women's WTA tour to dissect the process of ranking improvement. This indicated which ranking must be achieved at each age if a player is to reach her target ranking. Finally, the relationship between debut age and highest ranking in WTA was also explored.</p> <p>The first analysis found that female players are about three years younger than their male counterparts when first ranked in the top 100. Furthermore, the table for "ranking transition" showed an absolute connection between age and systematic ranking improvement ; in particular, if a player is to reach top 30, she must make her debut on the WTA tour no later than junior high school. The result of the third analysis also demonstrated a strong correlation between debut age and highest ranking on WTA tour, giving ground to the lowering average age of women's tennis players. Despite having a strong representation on WTA tour, Japanese players could be prevented from further advancement in ranking by their relatively late debut, as their average debut age is among the oldest while best ranking is among the lowest. Hence, in order for women's professional tennis players in Japan to improve on their rankings, it is essential that they debut on WTA tour at the same time as domestic student competitions.</p>
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00560001-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

女子プロテニス選手の WTA ツアー参戦における戦略の検討 ～ランキングと選手年齢の関係性についての分析～

坂井 利彰*

A Study of WTA Tour Strategy among Women's Professional Tennis Players.

Toshiaki Sakai¹⁾

The aim of this study is to establish a correlation between age and ranking among women's professional tennis players on WTA tour in order to formulate a reinforcement strategy for women's tennis in Japan.

Three types of analysis were carried out in this study. First, a comparison between male and female players was performed in terms of their respective ages when first ranked in the top 100. Second, a "transition of ranking" table was compiled for the women's WTA tour to dissect the process of ranking improvement. This indicated which ranking must be achieved at each age if a player is to reach her target ranking. Finally, the relationship between debut age and highest ranking in WTA was also explored.

The first analysis found that female players are about three years younger than their male counterparts when first ranked in the top 100. Furthermore, the table for "ranking transition" showed an absolute connection between age and systematic ranking improvement; in particular, if a player is to reach top 30, she must make her debut on the WTA tour no later than junior high school. The result of the third analysis also demonstrated a strong correlation between debut age and highest ranking on WTA tour, giving ground to the lowering average age of women's tennis players. Despite having a strong representation on WTA tour, Japanese players could be prevented from further advancement in ranking by their relatively late debut, as their average debut age is among the oldest while best ranking is among the lowest. Hence, in order for women's professional tennis players in Japan to improve on their rankings, it is essential that they debut on WTA tour at the same time as domestic student competitions.

キーワード：テニス、トップスポーツマネジメント、選手育成、ランキング、年齢

Key words : Tennis, Top sports management, Player Development, Ranking, Age

1. はじめに

近年、女子テニス界はクルム伊達公子選手、杉山愛選手のようにトップ10にランクインする選手を輩出できていないという現状がある。筆者は、これまで男子テニス選手を対象として、男子 ATP ツアーにおけるランキングと年齢に関する分析を行い、男子 ATP ツアーで上位のランキングにランクインするためには、実力を向上させることと並行して、年齢に応じて段階的にランキング

を向上させることが不可欠であることを明らかにしてきた（坂井，2009；坂井，2014）。本研究では、対象を女子選手にうつし、女子 WTA ツアーにおけるランキングと年齢の関係を明らかにすることで、日本の女子テニス界の強化策を検討することが目的である。

これまでテニスにおいて試合の勝敗に影響を及ぼす要因に関する研究は、重要なカウント（O' Donoghue, 2001; 高橋, 2006）プレー内容（Scully and O' Donoghue, 1999; O' Donoghue, 2003）、試合時間（高橋, 2007）、

* 慶應義塾大学体育研究所専任講師

1) Assistant Professor, Institute of Physical Education, Keio University

精神力（平田ほか，2005）などが報告されているが，ランキングに影響を及ぼす要因に関する研究は行われていない。また，スポーツと年齢の関係についての研究は，年齢と適正な練習内容の関係（Baker ほか，2003; Hodges ほか，2004）や，加齢による身体能力の低下（Horton ほか，2008），思春期前から成人までのサービスの運動学的変化（Whiteside ほか，2013）のように，ほとんどが個人の身体能力について検討するものである。テニスのランキングと年齢に関する研究では筆者の研究のほかに男子選手を対象としたものはいくつかあり，ジュニアの大会である国際テニス協会ジュニアサーキット（ITFJC）から男子プロテニスツアーへの移行について検討されたものや（McCraw，2011; Reid and Morris，2013），基準と定めたランキングにランクインした際の選手の平均年齢を求めているものがある（Kovacs ほか，2015）。

本稿では女子選手のランキング上昇の過程を年齢という観点から明らかにするために，三つの分析を実施する。第一に，男子 ATP ツアーの分析で用いた指標である「100位到達年齢」を用いて，男子と女子の選手年齢の比較を行う。ランキング100位はグランドスラム大会に本選から出場できるランキングであることから，プロテニス選手としての成功のひとつの目安とみなせる（Kovacs ほか，2015）。その「100位到達年齢」の分布について男女の比較を行うことで，ランキングと年齢という観点からの男女差を明らかにする。

第二に女子 WTA ツアーにおける「ランキング推移表」を作成し，ランキングを上昇させる過程の分析を行う。この分析は，目標とするランキングに到達するためには，各年齢時において何位にランクインしているべきかを提示する。これまでの筆者の研究で，テニスツアーにおいて目標とするランキングにたどり着くためには，「何歳までに何位」という目標を段階的に達成していく必要があることが明らかになっている。漠然とした長期目標だけでなく，実現可能性の高い短期目標を設定することは，スポーツのパフォーマンスを向上させる上で重要である（Locke and Latham，1985）。ランキングを戦略的に上昇させるためにも，短期目標の設定によって選手のパフォーマンスを向上させるためにも，これまでのテニス選手がランキングを上昇させた際の過程を踏まえて大会のスケジュールを組むことは役に立つ。

第三に，「100位到達年齢」と「ランキング推移表」の分析で明らかになった課題について検討すべく，初めて女子 WTA ツアーに出場した年齢と最高ランキングとの

相関を求める。プロテニス選手にとって最も重要な指標のひとつは，選手時代に達成した最も高いランキングである「最高ランキング」である。「100位到達年齢」と「ランキング推移表」の分析結果から，WTA ツアーに初めて出場した「WTA ツアー初出場年齢」が，最高ランキングに影響を及ぼすのではないかと考え，WTA ツアー初出場年齢とランキングの関係を求めた。

これらの分析によって年齢とランキングの関係を計量的に明らかにし，選手に具体的な目標，課題，解決策を提案したい。

2. 研究方法

2-1 対象データ

世界女子テニスツアーは WTA（Women's Tennis Association）によって統括される。WTA に認定された大会はグランドスラム・プレミア・インターナショナル・ITF の4つのレベルに分けられ，大会レベルと試合結果に応じて選手に WTA ポイントが与えられる。そして過去1年間に獲得した WTA ポイントの合計から，その週の WTA ランキングが決定される。WTA の WEB サイト（<http://www.wtatennis.com/>）には，WTA の選手および大会の結果に関するすべてのデータが公開されており，本稿で使用したデータはその WEB サイトから取得した。

対象とした期間は1995年1月2日～2016年6月7日の1,101週分のランキングデータである。対象とした選手は，下記に記す条件1を満たし，条件2または3に該当する選手に限定した。条件1は，1995年に WTA ツアーへの出場は14歳まで認められないという制限が設けられたため，その制限の影響を受けた選手のみとするためである。条件2と条件3はプロとして本格的にツアーを転戦している選手に限定するためである。その結果，対象となった選手は775人である。この対象選手の氏名・生年月日・国籍・出場大会・ランキング推移に基づいて分析を行った。

条件1．生年月日が1981年1月1日以降

条件2．2016年6月7日現在で ATP ランキング100位に到達したことがある

条件3．21歳から24歳まで継続的に WTA ポイントを獲得している

2-2 分析の手順

2-2-1 「100位到達年齢」に関する男女の比較分析

100位にランクインした選手294人を対象に、「100位到達年齢」の分布を求め、男女の比較を行う。

2-2-2 「ランキング推移表」の作成

「到達ランキング」と「経過ランキング」というランキングに関する2つの呼称を設定する。

到達ランキングとは、選手が本人の生涯戦績のなかで到達したランキングのことで、到達したか否かだけが評価され年齢は考慮されない。その到達ランキングとして、100位、50位、30位、10位を設定した。経過ランキングとは、選手の各年齢時の最高ランキングである。経過ランキングとしては、701位～900位、501位～700位、301位～500位、101位～300位、51位～100位、31位～50位、11位～30位と設定した。そして、特定の経過ランキングにいた選手（例：20歳のとき101位～300位の間）のうち、その後何%が到達ランキングにランクインすることができたかを網羅的に求めたものがランキング推移表である。なお、2016年6月7日現在23歳以下で各到達ランキングに達していない選手は、今後到達する可能性があるためそれぞれの分析から除外する。

2-2-3 WTA ツアー初出場年齢とランキングの分析

WTA ツアー初出場年齢と最高ランキングの相関分析を行った。WTA ツアー初出場年齢はWTA ツアーに初出場した時点での年齢を小数点以下2ケタまで求めている（15歳6ヶ月で初出場した場合には、WTA ツアー初出場年齢は15.50歳）。対象選手は最高ランキングに到達していると考えられる24歳以上の選手を対象とした。

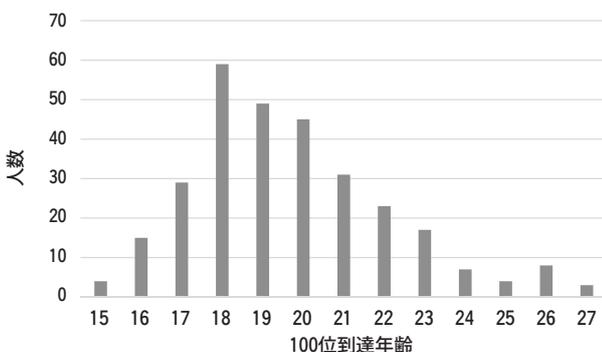


図1 女子選手の100位到達年齢

さらに対象選手が10名以上いる国を対象に、WTA ツアー初出場年齢の国ごとの平均値と最高ランキングの国ごとの中央値を求め、国ごとの特性を検討する。

3. 結果

3-1 「100位到達年齢」に関する男女の比較

図1が100位到達年齢別の選手数の分布である。最頻値が18歳の正規分布を描き、最も早く100位にランクインしている選手が15歳で、最も遅く100位にランクインした選手が27歳であった。男子 ATP ツアーにおける100位到達年齢の分布では100位到達年齢の最頻値は21歳であり（図2）、単純に比較すると女子プロテニス選手は男子プロテニス選手よりも3歳早く100位にランクインしている。

3-2 ランキング推移表

女子WTAツアーのランキング推移表を表1に示した。最も左の列が到達ランキング、左から二列目が経過ランキングである。また、最上段には経過ランキングにおける各年齢が表示されている。たとえば、24歳以上もしくは100位にランクインしたことがある選手のうち、17歳時に経過ランキングが301位～500位だった選手の総数は150名で、そのうち到達ランキング100位にランクインした到達人数は73名である。すなわち、17歳時に経過ランキングが301位～500位だった選手は、49%の割合で100位にランクインしていることを示している。到達ランキングに到達する割合が75%以上の経過ランキングを濃灰色、50%以上の経過ランキングを灰色、25%以上の経過ランキングを薄灰色で色付けした。

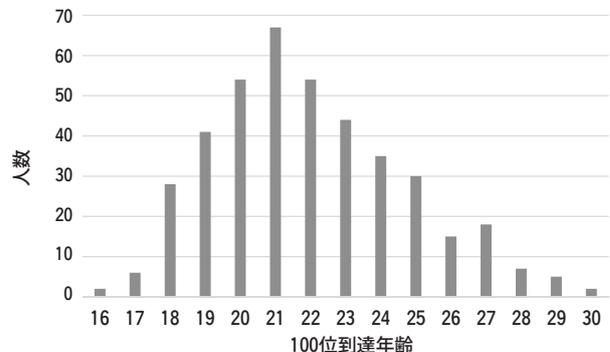


図2 (参考) 男子選手の100位到達年齢 (坂井, 2014)

表1 ランキング推移表

年齢	14歳		15歳		16歳		17歳		18歳		19歳		20歳		21歳		22歳		23歳		24歳		25歳	
	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数	到達 人数	総数
11--30	0	0	0	0	5	6	5	7	10	15	7	23	9	24	5	22	6	25	8	28	7	27	7	21
	0%		0%		83%		71%		67%		30%		38%		23%		24%		29%		26%		33%	
31--50	0	0	2	4	1	4	4	13	6	19	6	24	5	38	6	41	7	41	4	30	2	28	0	23
	0%		50%		25%		31%		32%		25%		13%		15%		17%		13%		7%		0%	
51--100	0	0	0	0	4	6	7	20	5	45	5	60	6	65	5	67	2	69	0	68	0	68	1	57
	0%		0%		67%		35%		11%		8%		9%		7%		3%		0%		0%		2%	
TOP10	3	5	7	18	12	55	19	109	10	163	6	209	2	239	0	230	0	235	1	243	1	205	0	171
	60%		39%		22%		17%		6%		3%		1%		0%		0%		0%		0%		0%	
301--500	1	6	6	30	14	86	2	140	1	178	0	177	0	150	0	176	0	186	0	177	0	170	0	110
	17%		20%		16%		1%		1%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	
501--700	3	7	3	46	4	98	0	120	0	106	0	82	0	112	0	99	0	86	0	92	0	108	0	74
	43%		7%		4%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	
701--900	0	11	10	65	0	103	0	90	0	69	0	58	0	33	0	48	0	43	0	41	0	55	0	38
	0%		15%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	
31--50	0	0	2	4	2	4	8	13	14	20	16	26	19	38	23	38	16	32	9	25	5	18	3	13
	0%		50%		50%		62%		70%		62%		50%		61%		50%		36%		28%		23%	
51--100	0	0	0	0	6	6	11	20	25	48	21	62	20	63	12	65	13	63	9	59	6	60	4	47
	0%		0%		100%		55%		52%		34%		32%		18%		21%		15%		10%		9%	
TOP30	3	5	14	18	31	58	53	116	37	165	25	209	16	238	10	227	2	234	3	238	3	199	3	164
	60%		78%		53%		46%		22%		12%		7%		4%		1%		1%		2%		2%	
301--500	5	6	22	34	32	88	18	140	6	178	1	177	0	150	0	175	0	186	0	175	0	169	0	110
	83%		65%		36%		13%		3%		1%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	
501--700	6	9	12	47	14	99	6	120	1	106	1	82	0	112	0	99	0	86	0	91	0	108	0	73
	67%		26%		14%		5%		1%		1%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	
701--900	4	12	18	66	7	104	1	90	0	69	0	58	0	33	0	48	1	43	0	41	0	55	0	38
	33%		27%		7%		1%		0%		0%		0%		0%		2%		0%		0%		0%	
51--100	0	0	0	0	6	6	18	20	39	46	43	59	36	61	27	57	19	52	13	41	10	40	6	27
	0%		0%		100%		90%		85%		73%		59%		47%		37%		32%		25%		22%	
TOP50	4	5	17	19	51	61	90	129	76	175	59	214	38	235	25	220	15	222	9	226	6	186	6	154
	80%		89%		84%		70%		43%		28%		16%		11%		7%		4%		3%		4%	
301--500	5	6	27	34	55	92	36	142	18	178	1	177	0	150	0	175	0	185	0	174	1	168	1	106
	83%		79%		60%		25%		10%		1%		0%		0%		0%		0%		1%		1%	
501--700	7	9	29	50	26	104	11	121	2	106	1	82	0	111	0	98	0	86	0	91	0	105	0	71
	78%		58%		25%		9%		2%		1%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	
701--900	7	12	28	69	18	107	6	90	0	69	0	58	0	33	1	48	1	43	0	40	0	55	0	38
	58%		41%		17%		7%		0%		0%		0%		2%		2%		0%		0%		0%	
TOP100	6	6	21	22	59	62	122	139	125	185	114	222	86	233	53	204	35	202	22	193	13	154	11	121
	100%		95%		95%		88%		68%		51%		37%		26%		17%		11%		8%		9%	
301--500	5	6	33	36	80	101	73	150	49	185	17	180	4	151	5	175	2	181	0	171	2	163	0	102
	83%		92%		79%		49%		26%		9%		3%		3%		1%		0%		1%		0%	
501--700	7	9	44	54	50	108	23	124	8	106	4	82	0	111	0	98	1	86	0	89	0	104	0	69
	78%		81%		46%		19%		8%		5%		0%		0%		1%		0%		0%		0%	
701--900	13	15	41	73	32	110	14	91	1	69	0	58	1	33	1	48	0	42	0	40	0	53	0	36
	87%		56%		29%		15%		1%		0%		3%		2%		0%		0%		0%		0%	

3-3 WTA ツアー初出場年齢とランキング

WTA ツアー初出場年齢と最高ランキングを散布図にプロットしたものが図3である。スピアマンの相関係数は0.51であり、WTA ツアー初出場年齢が低いほど最高ランキングが高くなるという正の相関関係が認められた。

国別に WTA ツアー初出場年齢の平均値と最高ランキ

ングの中央値を求めて、散布図にプロットしたものが図4である。散布図における円の大きさは国別の選手数を表しており、最も多い米国が54名、日本はロシアに次いで3番目に多く49名の選手がいる。日本は、選手数は多いが、WTA ツアー初出場年齢が高く、最高ランキングが低いという傾向が明らかになった。

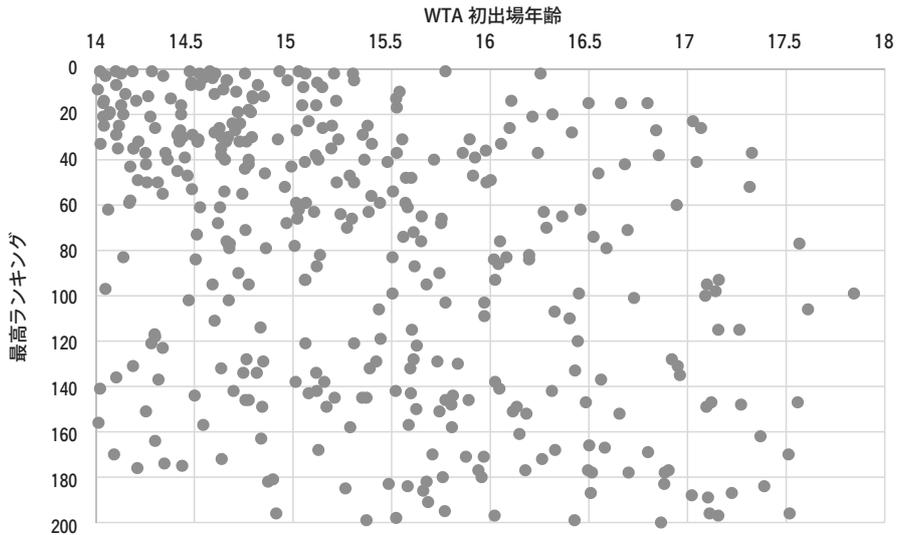


図3 WTA 初出場年齢と最高ランキング

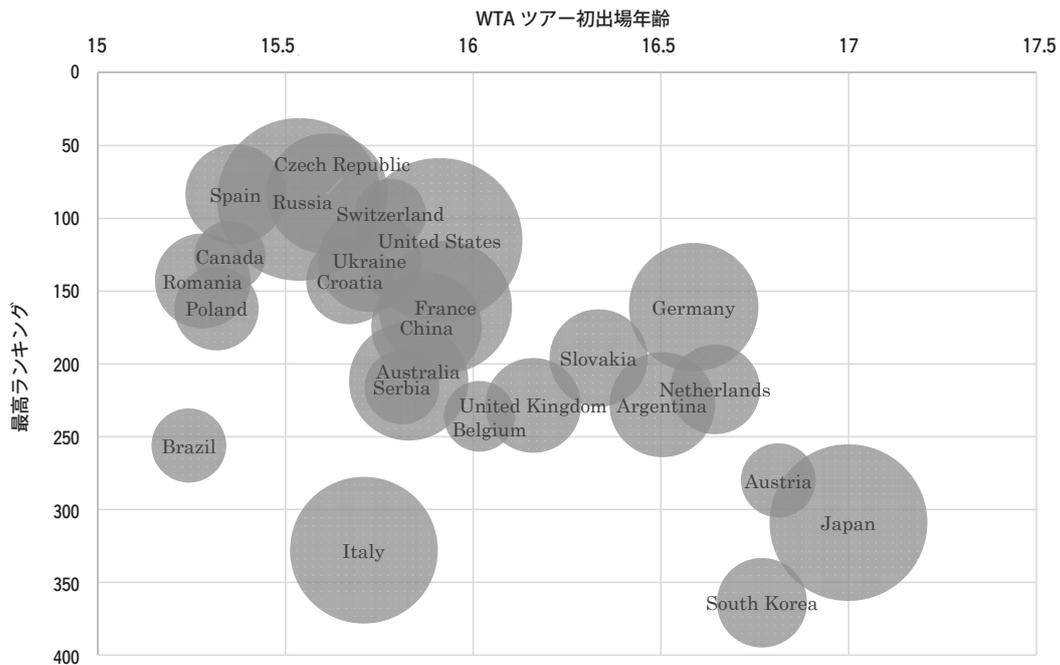


図4 WTA 初出場年齢と最高ランキングの国別分析

4. 考 察

本研究では、女子 WTA ツアーにおける年齢とランキングの関係を明らかにしてきた。まず、女子プロテニス選手が100位にランクインした年齢の分布を求め、男子プロテニス選手との比較を行った結果、女子は男子よりもおよそ3歳も低い年齢で100位にランクインしていることが明らかになった。

次に、女子 WTA ツアーのランキング推移表を作成し、女子 WTA ツアーにおいて選手が年齢との対応において、いかにしてランキングを段階的に上昇させているかを可視化した。年齢が高くなるほど、より上の到達ランキングに達する割合は低下する傾向が全体を通してみられ、年齢とともに段階的に経過ランキングを上昇させる必要性が確認できた。このランキング推移表は、到達割合50%程度を目標設定の目安（到達ランキングを長期目標とするとときに達成しておきたい短期目標）、25%以下の割合でしか到達ランキングにランクインできていない年齢を選手の限界を示す目安（その年までに到達ランキングにランクインできていないと目標達成は困難）と設定し、長期目標（到達ランキング）を達成するための短期目標（経過ランキング）の設定に役立てることができる。100位にランクインするためには、女子の場合17歳までに500位にランクイン（到達割合49%）し、19歳までに300位にランクイン（同51%）する必要があるが、22歳を過ぎても300位にランクインできていない場合100位にランクインすることは難しくなる。トップ選手の指標である30位にランクインするためには、15歳までに500位にランクイン（到達割合65%）し、18歳までに100位にランクイン（同52%）することが求められる。

100位到達年齢の分布での男子と比較して3歳程度早く100位にランクインしているという結果や、ランキング推移表での100位へのランクインでも高校生（17歳）の間に500位にランクインする必要があるが、30位へのランクインを目標とするのであれば中学生（15歳）の時点で500位にランクインする必要があるという結果は、選手の実力のみだけでなく早くから WTA ツアーに出場するという「国際大会への意識の高さ」の重要性を示唆している。そこで、国際大会への意識の高さの指標として、初めて WTA ツアーに出場した年齢である「WTA ツアー初出場年齢」を設定した。この WTA ツアー初出場年齢と最高ランキングの相関分析を行った結果、やや強い相関がみられた。100位到達年齢がテニスの実力の早熟性

の指標であるのに対して、WTA ツアー初出場年齢はテニスへの意識の高さの早熟性の指標だといえる。100位到達年齢の低年齢化にみられる選手の早熟化は、世界ツアーを目指すというプロテニス選手としての意識の早熟化をも要求している。

最後に、国別に WTA ツアー初出場年齢と最高ランキングを求めた結果、日本は選手数が米国、ロシアに次いで多い国であるにも関わらず、WTA ツアー初出場年齢が最も高く、最高ランキングも極めて低いという結果になった。この結果は、WTA ツアー初出場年齢が遅いことが日本人選手のランキングの上昇を抑制していることを示している。現在の日本の学生テニス界の事情を踏まえて考察すると、日本の中高生にとって、女子 WTA ツアーよりも全国中学、インターハイなど国内の大会の結果が重視される傾向にあることが、WTA ツアー初出場年齢を高くしている要因と考えられる。特に女子の場合、ランキング推移表に基づけば高校卒業後に WTA ツアーに参戦するのでは遅すぎるため、プロテニス選手として上位のランキングを目指すのであれば、国内の学生大会に出場することと並行して WTA ツアーに出場しランキングを上昇させていくことが不可欠である。

筆者は、テニスの技術的な側面からではなく、年齢とランキングとの関係を計量的に可視化することにより、テニス選手たちのランキングに対する意識を高め、その目標達成のための一助となり得る結果を得ることを目的として研究を行ってきた。本稿が次世代の日本テニス界を担う選手やその指導者にとって、早くから世界に目を向けて国際大会に出場し、ランキングを上げていくことへの動機付けとなることを期待したい。

参考文献

- Baker, J., Côté, J. and Abernethy, B. (2003) Sport-specific practice and the development of expert decision-making in team ball sports, *Journal of Applied Sport Psychology* 15 : 12-25
- 平田 大輔, 田中 伸明, 須田 和也, 佐藤 雅之, 西條 修光 (2005) テニス選手における精神力の構造, *テニスの科学* 13 : 43-52
- Hodges, N.J., Starkes, J., Kerr, T., Weir, P. and Nananidou, A. (2004) Predicting performance times from deliberate practice hours for triathletes and swimmers: what, when, and where is practice important? *Journal of Experimental Psychology / Applied* 10 : 219-237.
- Horton, S., Baker, J. and Schorer, J. (2008) Expertise and aging: maintaining skills through the lifespan, *European Review of Aging and Physical Activity* 5 (2) : 89-96
- Kovacs, M. S., et al. (2015) How did the top 100 professional tennis players (ATP) succeed: an analysis of ranking milestones, *J Med Sci Tennis* 20 : 50-57
- Locke, E. and Latham, G. (1985) The application of goal setting to sports, *Journal of Sport Psychology* 7 (3) : 205-222
- McCraw, P (2011) Making the top 100: ITF top 10 junior transition to top 100 ATP tour (1996-2005), *Coaching & Sport Science Review* O' Donoghue, P.G. (2003) The effect of score line on elite tennis strategy: a cluster analysis, *Journal of Sports Sciences* 21 : 284-285
- O' Donoghue, P.G. (2001) The most important points in grand slam singles tennis, *Research quarterly for exercise and sport* 72 (2) : 125-131
- Reid, M and Morris, C (2013) Ranking benchmarks of top 100 players in men's professional tennis, *European Journal of Sport Science* 13 (4) : 350-355
- 坂井 利彰 (2009) トップテニスプレイヤーにおける「早熟型」と「晩成型」の比較分析, *SFC JOURNAL* 9 (2) : 101-112
- 坂井 利彰 (2014) 世界における男子プロテニス界の構造と日本人選手の強化策 慶應義塾大学 博士論文
- Scully, D. and O' Donoghue, P.G. (1999) , The effect of score line on tennis strategy in Grand Slam men's singles, *Journal of Sports Sciences* 17 : 64-65
- 高橋 仁大, 前田 明, 西園 秀嗣, 倉田 博 (2006) テニスにおけるポイント取得率と技術との関連性: 日本の地方学生大会における検討, *体育学研究* 51 : 483-492
- 高橋 仁大, 前田 明, 西園 秀嗣, 倉田 博 (2007) プレー時間に注目したテニスのゲーム分析—ウィンブルドン大会決勝の推移—, *バイオメカニクス研究* 11 (1) : pp. 2 - 8
- Whiteside, D. et al. (2013) The effect of age on discrete kinematics of the elite female tennis serve, *Journal of applied biomechanics* 29 (5) : 573-582

(受付: 2016年8月31日, 受理: 2016年10月21日)