

Title	学際指標を用いた分野ごとのスター・サイエンティストの特徴の分析
Author(s)	藤田, 正典; 菅井, 内音; 隅藏, 康一; 牧, 兼充
Citation	年次学術大会講演要旨集, 34: 302-307
Issue Date	2019-10-26
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/16535
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

2A07

学際指標を用いた分野ごとのスター・サイエンティストの特徴の分析

○藤田 正典（政策研究大学院大学），菅井 内音（東京工業大学）
隅藏 康一（政策研究大学院大学），牧 兼充（早稲田大学）

要旨

科学の発展とイノベーションの実現に向けて、これらを支える研究者、特に学術面をはじめとして様々な点で著しい成果を挙げた「スター・サイエンティスト」の分析は、科学技術政策の策定に重要である。本研究では、Clarivate Analytics 社の Web of Science において高被引用論文を持つ研究者を抽出し、研究分野ごとの学際性の観点から、彼らの特徴を分析する。更に、高被引用論文を持つ研究者の特徴と、高被引用論文が著しく多いスター・サイエンティストの特徴を明らかにした上で、科学技術イノベーション政策、及び企業の技術経営戦略に対する示唆を得る。

キーワード

研究・イノベーション政策，スター・サイエンティスト，研究分野，学際性

1. はじめに

イノベーションの源泉である科学を支えているのはサイエンティスト（科学者）であり、科学の発展とイノベーションの実現に向けて、これらを支える科学者、特に学術面をはじめとして様々な点で著しい成果を挙げた「スター・サイエンティスト」の分析は、科学技術政策の策定に重要である。スター・サイエンティストは、研究者として、多くの高被引用論文を発表するだけでなく、特許を多く出願し、更にはベンチャーを設立する等、積極的にビジネスに関与することもある。彼らによる科学的な知識が技術につながり、社会・経済にインパクトを与えるようなイノベティブな製品・サービスに繋がる。

イノベーションに関して、Schumpeter(1926)は、5つのタイプの「Neue Kombination (New Combination)」(＝新結合)を定義し、経済発展にはこれらの新結合が必要であるとした。また、内閣府(2016)によれば、第5期科学技術基本計画において、科学技術イノベーションの基盤的な力の強化に向けて「学際的・分野融合的な研究」の推進が謳われている。また、文部科学省(2017)では、研究開発評価の4つの特筆課題の中の1つとして、学際・融合領域・領域間連携研究等の推進を挙げている。

このような背景のもと、本稿では、科学技術文献データベースから高被引用論文を持つ研究者(Main Cited Researcher : MCR)を抽出し、研究分野ごとの学際性の観点から、彼らの特徴を分析する。更に、高被引用論文が著しく多い研究者をスター・サイエンティスト(Star Scientist : SS)と定義し、彼らの特徴を、高被引用論文を持つ研究者の特徴と比較分析する。

以下本稿では、SS研究の課題について述べた後、本研究の分析手法について説明し、MCRやSSの特徴についての分析結果を示す。その上で、日本のMCRやSSについて考察し、科学技術イノベーション政策、及び企業の技術経営戦略に対する示唆を得ることを目指す。

2. 関連研究

SSに関する著名な研究であるZucker et al. (2002)によると、SSは、通常の実験者とは比べ、ベンチャー企業を設立する傾向にあり、またその関わっているベンチャー企業は他のベンチャー企業に比較して、高い業績を生み出しているという。更にZucker and Darby (2007)は、SS自身も企業にコミットすることで、その業績が更に向上していることを指摘している。しかしこれらの研究は、生命科学分野等の特定領域の分析結果をもとにしており、全ての分野を網羅的に分析したものではない。また、米国ではSSに注目した実証研究が蓄積されているのに対して、日本のSSの研究はまだ十分とは言えない。

そこで、本稿では、学術文献データベースで高被引用論文(Highly Cited Paper : HCP)を持つMCRの特徴と、高被引用論文が著しく多いSSの特徴を、学際によるイノベーションの実現という観点から分野ごとに分析した上で、日本のMCR及び日本のSSとそれ以外のMCR及びSSとの特徴を比較して分析する。

3. 分析方法

3.1. WoS データベース

本稿では、Clarivate Analytics 社の学術文献データベースである Web of Science (WoS) を分析対象とする。WoS は、Biology, Computer 等の 21 分野と Multidisciplinary を含む 22 分野に分類されている。分析対象期間を 2008 年から 2016 年までの 9 年間とし、当該期間中の 19,536,453 件の文献を対象として、分野ごとに高被引用論文を持つ研究者を抽出した後、その特徴量を算出して分析する。

3.2. 分析のステップ

分析にあたっては、以下のように、HCP, MCR, SS, 及び研究者の主研究分野 (Main Field : MF) を定める。その上で、研究者の学際性特徴量として、研究分野の多様性 (Field Variety : FV), 研究分野の均等性 (Field Balance : FB) 所属機関の移動頻度 (Institution Change : IC), 単一研究分野比率 (Single Field Ratio), 及び単一所属機関比率 (Single Institution Ratio) を算出し分析する。

3.2.1. MCR 及び SS の抽出,

- (1) 「研究者」: 上述の WoS の 2008 年から 2016 年まで 9 年間 (全期間) の文献から「氏名」より同定された研究者
- (2) 「論文被引用数」: 当該論文発表以降 2016 年までの他論文から当該論文への引用数の合計
- (3) 「HCP」: 発表年ごと, 分野ごとに, (2) の論文の中で論文被引用数が上位 1% の論文
- (4) 「MCR」: 全期間, 全ての分野で, (1) の研究者の中で (3) の HCP を 1 本以上発表した研究者
- (5) 「SS」: 全期間で, 分野ごとに, (4) の MCR 数の平方根の順位より上位の研究者
- (6) 「SS/JP」: (5) の SS うち, 所属機関の所在地が日本である研究者
「SS/exJP」: (5) の SS うち, 「SS/JP」を除いた研究者
- (7) 「MCR/JP」: (4) の MCR から (5) の SS を除いた研究者うち, 所属機関の所在地が日本である研究者 (「MCR/exSS/JP」と表記してもよいが, 本稿では「MCR/JP」と表記する)
「MCR/exJP」: (4) の MCR から (5) の SS を除いた研究者うち, 「MCR/JP」を除いた研究者 (「MCR/exSS/exJP」と表記してもよいが, 本稿では「MCR/exJP」と表記する)

3.2.2. 研究者の主研究分野の決定

- (8) 「MF (年)」: 発表年ごとに, 分野ごとの HCP 数が最大である分野 (もし最大分野が複数ある場合, 発表年ごと, 分野ごとの HCP の論文被引用数合計を分野ごとの標準化した順位が最高である分野)
- (9) 「MF (全期間)」: 全期間での HCP 数が最大である分野 (もし最大分野が複数ある場合, 全期間で, 分野ごとの HCP の論文被引用数合計を分野ごとの標準化した順位が最高である分野)

3.2.3. 研究者の学際性特徴量の算出

- (10) 「FV (研究者, 年)」: 研究者ごと, 発行年ごとに, HCP が 1 件以上存在する分野の数の合計
- (11) 「FB (研究者, 年)」: 研究者ごと, 発行年ごとに, HCP が 1 件以上存在する分野ごとの HCP の数の標準偏差
- (12) 「FV (研究者, 全期間)」: 研究者ごとに, 全期間に HCP が 1 件以上存在する分野の数の合計
- (13) 「FB (研究者, 全期間)」: 研究者ごとに, 全期間に HCP が 1 件以上存在する分野ごとの HCP の数の標準偏差
- (14) 「IC (研究者, 全期間)」: 研究者ごとに, 全期間に所属した研究機関の合計

3.2.4. 主分野ごとの研究者の学際性特徴量の算出

- (15) 「FV (MF, 年)」: MF (年) ごと, 発行年ごとに, FV (研究者, 年) の平均
- (16) 「FB (MF, 年)」: MF (年) ごと, 発行年ごとに, FB (研究者, 年) の平均
- (17) 「SF (MF, 全期間)」: MF (全期間) ごとに, 研究分野が一つである研究者の比率
- (18) 「SI (MF, 全期間)」: MF (全期間) ごとに, 所属機関が一つである研究者の比率
- (19) 「FV (MF, 全期間)」: MF (全期間) ごとに, FV (研究者, 全期間) の平均
- (20) 「FB (MF, 全期間)」: MF (全期間) ごとに, FB (研究者, 全期間) の平均
- (21) 「IC (MF, 全期間)」: MF (全期間) ごとに, IC (研究者, 全期間) の平均

4. 分析結果

前節の手法で分析した結果、2008年から2016年までの分析対象期間の論文数19,536,453件において、MCR/exJPが630,059名、SS/exJPが3,501名、MCR/JPが19,217名、及びSS/JPが70名、合計652,847名であった。また、MCR/exJPとMCR/JPではclinicalが全体の約1/3を占めている。これらの結果を表1、表2、表3、図1に示し、MCR/exJP、SS/exJP、MCR/JP、SS/JPの特徴量を比較分析した結果について以下に述べる。

4.1. MCR/exJPの特徴

FV (MF, 全期間) は、materials が1.53で他の分野に比較して高い。他にFV (MF, 全期間) が比較的高い分野として、multidisciplinary : 1.45, molecularbiology : 1.43, chemistry : 1.35, physics : 1.35, microbiology : 1.32, biology : 1.31, ecology : 1.31, immunology : 1.30等があり、生命科学系分野のFVが高い。一方、事前に応用範囲が広いと考えたcomputerは1.21と比較的低かった。

FB (MF, 全期間) は、physics : 11.79, space : 3.30を除き、全ての分野で1.5未満であった。

また、IC (MF, 全期間) は、physics : 1.86, space : 1.55が比較的高かった。

4.2. SS/exJPのMCR/exJPに対する特徴

SS/exJPのFV (MF, 全期間)、FB (MF, 全期間)、IC (MF, 全期間) は、全ての分野において、MCR/exJPのそれらより高い。

また、MCR/exJPのSF (MF, 全期間) 及びSI (MF, 全期間) はそれぞれ83%、71%であり、多くの研究者が単一機関で単一分野の研究をしているのに対して、SS/exJPのそれらは25%、16%であり、逆に多くの研究者が複数機関や複数分野での研究経験を持っている。

4.3. MCR/JPのMCR/exJPに対する特徴

MCR/JPの数はMCR全体の2.96%にしか過ぎないが、chemistry, materials, molecularbiology, physics, plantanimals等は、他の分野に比較して高い比率を示している。

一方、MCR/JPのFV (MF, 全期間)、FB (MF, 全期間)、IC (MF, 全期間) や、SF (MF, 全期間) 及びSI (MF, 全期間) は、MCR/exJPのそれらとで大きな差異は見られない。

4.4. SS/JPのSS/exJPに対する特徴

SS/JPは全22分野中で16分野でしか抽出できず、SS/JPの数もSS全体の1.96%にしか過ぎないが、plantanimals, materials, chemistry, engineering, ecology等は、他の分野より高い比率を示している。SS/JPの数もSS全体に対する比率(1.96%)はMCR/JPのMCR全体に対する比率(2.96%)より低くなっており、SS/JPはより希少な存在となっている。

4.5. 学際性特徴量の時間推移

図1に、分野の事例として、biologyとcomputer、及びSS/JPの数が最も多い分野であるplantanimalsのMCR/exJP、SS/exJP、MCR/JP及びSS/JPのFV (MF, 年) の時間推移を示す。

FV (MF, 年) は、biology, computer, plantanimalsの順に低くなり、分野によって異なるが、いずれの分野の場合もSS/exJPのFV (MF, 年) が最も高くなっている。

表1 MCR/exJP, SS/exJP, MCR/JP, SS/JPの学際度

区分	研究者数	研究者比率	MCR数	MCR比率	SS数	SS比率	FV平均	FB平均	IC平均	単一分野比率	単一機関比率
MCR/exJP	630,059	96.51%	630,059	97.04%			1.24	2.20	1.44	83%	71%
SS/exJP	3,501	0.54%			3,501	98.04%	3.23	11.14	5.61	25%	16%
MCR/JP	19,217	2.94%	19,217	2.96%			1.23	1.95	1.40	84%	74%
SS/JP	70	0.01%			70	1.96%	2.83	11.36	4.70	31%	9%
合計	652,847	100.00%	649,276	100.00%	3,571	100.00%	1.25	2.41	1.46	83%	70%

表 2 MCR の分野ごとの学際度

分野	研究者数	研究者比率	FV 平均	FB 平均	IC 平均	単一分野比率	単一機関比率
agricultural	13,885	2.1%	1.16	0.44	1.23	88%	81%
biology	29,936	4.6%	1.32	0.50	1.37	78%	74%
chemistry	36,732	5.6%	1.39	1.17	1.46	79%	75%
clinical	222,032	34.0%	1.16	1.58	1.49	89%	67%
computer	8,584	1.3%	1.22	0.74	1.30	85%	76%
ecology	13,443	2.1%	1.32	0.38	1.29	77%	79%
econbusiness	4,809	0.7%	1.11	0.54	1.30	91%	73%
engineering	26,581	4.1%	1.23	0.72	1.28	85%	81%
geosciences	19,651	3.0%	1.15	0.82	1.31	89%	78%
immunology	15,802	2.4%	1.32	0.64	1.42	77%	71%
materials	17,600	2.7%	1.54	0.56	1.42	66%	75%
mathematics	5,067	0.8%	1.17	0.93	1.29	88%	76%
microbiology	6,290	1.0%	1.35	0.41	1.33	77%	76%
molecularbiology	27,877	4.3%	1.45	0.79	1.54	71%	69%
multidisciplinary	17,862	2.7%	1.47	0.55	1.45	69%	71%
neuroscience	27,636	4.2%	1.25	0.98	1.46	81%	69%
pharmacology	14,718	2.3%	1.23	0.45	1.26	83%	78%
physics	54,699	8.4%	1.37	12.19	1.90	74%	60%
plantanimals	27,903	4.3%	1.18	0.75	1.31	87%	77%
psychiatry	14,690	2.3%	1.21	0.85	1.35	84%	68%
socialsciences	34,578	5.3%	1.19	0.56	1.30	85%	76%
space	12,472	1.9%	1.16	4.48	1.58	86%	65%
合計	652,847	100.0%	1.25	2.41	1.46	83%	70%

表 3 MCR/exJP, SS/exJP, MCR/JP, SS/JP の分野ごとの学際度

区分	MCR/exJP						SS/exJP						MCR/JP						SS/JP					
	研究者数	FV 平均	FB 平均	IC 平均	単一分野比率	単一機関比率	研究者数	FV 平均	FB 平均	IC 平均	単一分野比率	単一機関比率	研究者数	FV 平均	FB 平均	IC 平均	単一分野比率	単一機関比率	研究者数	FV 平均	FB 平均	IC 平均	単一分野比率	単一機関比率
agricultural	13,588	1.16	0.31	1.21	88%	81%	119	2.15	3.76	2.88	47%	34%	178	1.16	0.19	1.19	88%	85%	0					
biology	28,935	1.31	0.41	1.35	78%	74%	173	3.21	5.24	4.42	25%	8%	826	1.28	0.32	1.30	78%	77%	2	2.50	5.43	2.50	0%	0%
chemistry	34,961	1.35	0.95	1.40	79%	76%	206	6.02	9.42	10.48	10%	17%	1,552	1.32	1.13	1.51	80%	71%	13	3.15	9.91	5.31	23%	8%
clinical	214,807	1.16	1.38	1.47	89%	66%	573	2.99	15.19	7.76	36%	6%	6,650	1.14	1.15	1.27	89%	81%	2	2.50	9.89	2.50	0%	0%
computer	8,361	1.21	0.48	1.27	86%	77%	90	2.72	5.17	3.90	19%	31%	133	1.15	0.67	1.33	85%	74%	0					
ecology	13,186	1.31	0.30	1.27	78%	79%	93	3.38	3.09	2.91	9%	29%	161	1.34	0.17	1.29	72%	78%	3	4.67	2.25	4.00	0%	0%
econbusiness	4,713	1.10	0.39	1.28	92%	74%	72	1.46	3.24	2.65	71%	25%	24	1.33	0.80	1.71	79%	63%	0					
engineering	25,719	1.22	0.52	1.26	85%	81%	153	3.48	7.71	5.90	26%	24%	704	1.19	0.37	1.24	86%	83%	5	1.20	8.49	2.40	80%	20%
geosciences	18,955	1.14	0.64	1.30	89%	78%	137	1.88	6.67	3.05	55%	28%	556	1.15	0.57	1.34	89%	75%	3	1.00		3.67	100%	33%
immunology	15,194	1.30	0.49	1.40	77%	71%	130	3.51	4.75	3.98	5%	15%	475	1.32	0.57	1.40	78%	73%	3	5.00	5.17	4.00	0%	0%
materials	16,711	1.53	0.47	1.38	66%	75%	90	5.52	6.36	7.09	0%	10%	793	1.40	0.58	1.51	74%	70%	6	3.83	5.60	7.17	17%	0%
mathematics	4,916	1.15	0.55	1.27	89%	76%	72	2.24	5.98	2.85	42%	32%	77	1.18	0.80	1.25	90%	83%	2	1.00		3.50	100%	0%
microbiology	6,120	1.32	0.30	1.32	78%	76%	75	4.31	2.46	2.69	5%	36%	94	1.26	0.17	1.21	80%	85%	1	3.00	3.79	7.00	0%	0%
molecularbiology	26,630	1.43	0.65	1.51	72%	69%	172	4.47	7.15	7.42	0%	6%	1,074	1.37	0.54	1.42	75%	73%	1	7.00	5.53	4.00	0%	0%
multidisciplinary	17,235	1.45	0.43	1.42	70%	71%	147	3.87	5.44	5.37	6%	19%	480	1.46	0.28	1.45	66%	69%	0					
neuroscience	26,854	1.24	0.78	1.44	82%	69%	181	3.19	7.16	4.11	8%	18%	601	1.22	0.41	1.41	83%	73%	0					
pharmacology	14,078	1.23	0.34	1.26	83%	78%	184	1.49	5.74	2.42	75%	18%	455	1.18	0.54	1.20	85%	82%	1	2.00	4.24	1.00	0%	100%
physics	51,889	1.35	11.79	1.86	74%	60%	266	4.26	38.69	9.44	3%	1%	2,538	1.25	8.68	1.78	82%	59%	6	4.67	37.01	10.83	0%	0%
plantanimals	26,593	1.17	0.59	1.29	87%	78%	159	2.14	5.72	3.07	43%	26%	1,131	1.17	0.83	1.34	87%	75%	20	1.90	8.64	3.55	45%	10%
psychiatry	14,481	1.20	0.63	1.33	84%	69%	130	2.69	5.54	3.55	18%	23%	78	1.22	0.51	1.51	85%	65%	1	4.00	3.37	2.00	0%	0%
socialsciences	34,165	1.19	0.46	1.29	85%	76%	155	2.52	4.84	3.57	25%	20%	258	1.28	0.31	1.24	78%	79%	0					
space	11,968	1.15	3.30	1.55	87%	68%	124	2.03	21.58	4.55	7%	5%	379	1.27	2.12	1.66	82%	61%	1	2.00	21.63	3.00	0%	0%
合計	630,059	1.2	2.2	1.4	83%	71%	3,501	3.2	11.1	5.6	25%	16%	19,217	1.2	1.9	1.4	84%	74%	70	2.8	11.4	4.7	31%	9%

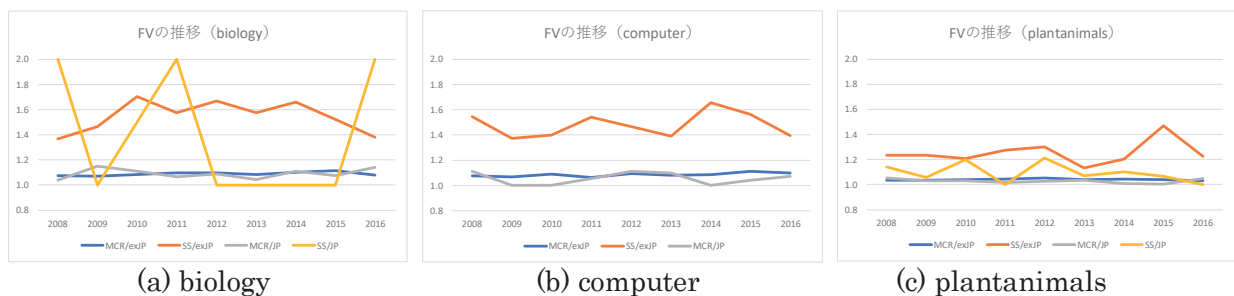


図 1 MCR/exJP, SS/exJP, MCR/JP, SS/JP の学際度の時間推移

5. 考察

本節では、MCR や SS、取り分け日本の MCR や SS の特徴について考察するとともに、科学技術政策及び技術経営戦略に対する含意について考察する。

5.1. MCR と SS の特徴

本稿の分析結果、SS の FV や IC は MCR のそれらよりも高いことが分かった。SS の数は MCR の数の 1% に満たず、MCR の多くも十分な研究経験を持っているが、研究成果が高くインパクトを与えて

いる MCR の中でも、取り分け著しくインパクトを与えている SS は、多様な分野の研究経験と複数の機関への所属経験を持っていることが分かった。

前述の通り、イノベーションの実現に向け「学際的・分野融合的な研究充実」が謳われているが、これらの分野融合的な取り組みを積極的に推進することは有効であるといえよう。

5.2. 日本の MCR や SS の特徴

本稿で分析対象とした 22 分野の中で、SS/JP が存在する分野は、生物学系分野を中心とした 16 分野のみである。しかも、例えば、日本政府が推進するとしている AI 等の分野は含まれていない。また、MCR/JP の数は MCR/exJP の 3.1% に過ぎないが、SS/JP の数は SS/exJP の 2.0% にしか過ぎず、その比率はより低く、SS/JP はより希少な存在となっている。

今後高齢化が進み財政的制約が拡大する中でムーンショット型研究開発等、特定分野への集中化する政策が打ち出されているが、イノベーションの実現に向けては多様な分野の学際的・分野融融合的研究も有効であり、研究分野の裾野を拡大するとともに、研究者間の連携を推進することも必要と考えられる。更に、非常に少ないスター研究者の育成も課題であるが、所属機関の移動や学際的研究の推進は、この課題解決の手段の一つになるかもしれない。

5.3. 研究分野ごとの学際性の特徴

分野ごとの学際性について、本稿の分析結果では、molecularbiology, microbiology, biology, immunology 等の生物学系分野の学際性が他の分野に比較して高かった。また、応用範囲の広い computer の学際性が比較的高いと事前に想定したが、分析結果はむしろ逆であった。本稿では、分析対象とする学術文献データベースとして WoS を用いたが、WoS では一つの学術文献が複数の分野に振分されることがあり、上記の生物学系分野の学際性の高さは、この分野振分方法に起因する可能性もある。

5.4. 学際性分析の課題

本稿の分析を通じて、学際性の特徴として、以下のような事項も分かった。その要因等については明らかにできていない事項もあり、今後更に検討・分析を行う予定である。

5.4.1. 学際特徴量の時間推移

4.5 項において、biology, computer, plantanimamls の FV (MF, 年) の時間推移を示したが、分野によって FV の大きさやその時間推移は異なっていた。学際性は時間とともに上昇していると事前に想定したが、これら 3 つの分野では時間推移に伴う FV の上昇を確認することができなかった、これらの時間推移に伴う特徴量の変化については今後更に分析を進める予定である。

5.4.2. 研究分野の均等性

4.1 項において、MCR/exJP の physics と space は、FV (MF, 全期間) が他分野に比較して高くなくともかわらず、FB (MF, 全期間) が他の分野に比較して突出して高い。physics や space については大規模な設備を使い、学術文献の共著者数も多数になると考えられるが、その因果関係等について更に分析を進める予定である。

5.4.3. 研究分野の差異性

Rafols, et al. (2010) は、学際性を表す特徴量として、分野の多様性 (Variety)、均等性 (Balance)、差異性 (Disparity) を示している。本稿では WoS の分野区分をそのまま活用し、多様性 (FV) と均等性 (FB) を分析した。分野間の差異性については考慮しておらず、分野の区分とその差異性について今後検討する予定である。

5.4.4. クロスフィールド研究者の抽出

本稿では、分野ごとに抽出された HCP の有無により MCR を抽出し、分野ごとの MCR の中で HCP 数の順位に基づき SS を抽出し、その学際性について分析した。即ち、個別分野で卓越したインパクトを与えた研究者を抽出した上で、彼らの学際性を分析した。一方で本稿では、複数分野の HCP を合計した場合にのみ HCP 数の順位が高くなる研究者は SS に含めていない。今後、複数分野でインパクトを与えている研究者 (クロスフィールド研究者) も抽出して分析を行う予定である。

6. まとめ

本稿では、WoS から抽出された MCR 及び SS について、研究分野の多様性や研究機関の移動頻度などの特徴量を定義・活用して分析した。その結果、①SS は MCR に比較して多様な分野や複数の機関での研究経験を持っていること、②SS/JP は SS/exJP に比較して研究分野が偏っており MCR に対する SS 比率も低いこと、等が分かった。したがって、日本におけるイノベーションの実現に向けて、研究分野の裾野を拡大するとともに、数少ない日本スター研究者の育成が望まれる。そのためには、所属機関の移動や学際的研究の推進が有効な手段の一つになるかもしれない。

今後、学際研究における研究分野の均質性や差異性等の学際性評価指標による分析、クロスフィールド研究者の分析などを行いつつ、学際性のイノベーションに与える影響について分析を進める予定である。

謝辞

本研究は JST-RISTEX 政策のための科学「スター・サイエンティストと日本のイノベーション」の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Schumpeter, J. A. (1926) *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*
- [2] 内閣府. (2016). 第 5 期科学技術基本計画
- [3] 文部科学省 (2017). 文部科学省における研究及び開発に関する評価指針.
- [4] Zucker, L. G., Darby, M. R., and Armstrong, J. S. (2002). Commercializing knowledge: University science, knowledge capture, and firm performance in biotechnology. *Management science*, 48(1):138–153.
- [5] Zucker, L. G. and Darby, M. R. (2007). Virtuous circles in science and commerce. *Papers in Regional Science*, 86(3):445–470.
- [6] Rafols, I., Meyer, A. M. (2010). Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanoscience *Scientometrics* 82:263–287
- [7] 牧兼充, 菅井内音, 隅蔵康一, 原泰史, 長根裕美 (近刊). スター・サイエンティストの検出とコホート・データセットの構築