

Title	研究者の流動性に注目したロボティクス研究の国際比較
Author(s)	古川, 貴雄; 白川, 展之; 奥和田, 久美
Citation	年次学術大会講演要旨集, 25: 122-127
Issue Date	2010-10-09
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9259
Rights	本著作物は研究・技術計画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 Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

研究者の流動性に注目したロボティクス研究の国際比較

○古川 貴雄 白川 展之 奥和田 久美 (文部科学省 科学技術政策研究所)

1. はじめに

産業用ロボットは、1960年代から研究開発が進められ、製造業を中心とした経済発展に大きく寄与してきた。近年では、医療・福祉や災害救助などの分野でもロボットの導入が進められ、今後も様々な産業におけるロボット利用の拡大とともに経済波及効果が期待されている。このような背景から、米国、欧州、韓国、日本などロボティクス研究を重要な研究課題と位置付けている国も多い。これまでに、事例調査を中心としたロボティクス研究の評価¹⁾が報告されているが、人材の国際流動性等については明らかにされていない。ここでは、研究者の流動性に注目し、ロボティクス研究の定量的な国際比較を試みる。

2. ロボティクス研究の分析対象

ロボティクス研究領域において、掲載される論文数が比較的多く安定している以下の学会の論文誌を分析対象とした。

- IEEE Robotics Society
IEEE Transactions on Robotics (IEEE-TRO)
- Intelligent Autonomous Systems Society
Robotics and Autonomous Systems (IAS-RAS)

2004～2009年にIEEE-TROとIAS-RASに掲載された論文は合計1,033件あり、IEEE-TROが493件、IAS-RASが540件である。同一著者をまとめてカウントした場合、IEEE-TROとIAS-RASの著者は合計2,449名であり、IEEE-TROの著者数は1,161名、IAS-RASの著者数は1,384名である。

調査項目は、論文題目、著者の所属組織、著者経歴に記載されている博士・修士・学士取得組織である。図1には、2004～2009年に掲載された論文数と論文誌の関係を示す。論文誌、発行年によって変動はあるものの、全体としては論文数の増加傾向が見られる。

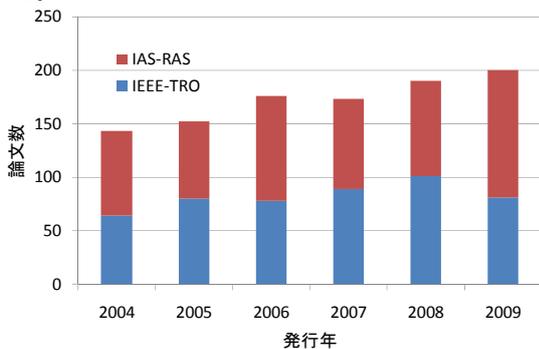


図1 分析対象とした論文誌と論文数の関係

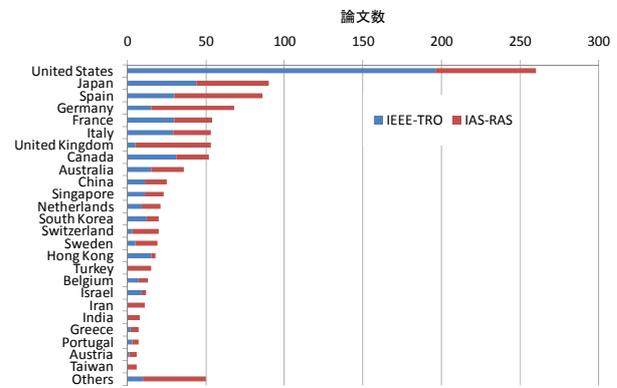
3. 論文数・著者数・共著関係の比較

3.1 論文数と著者数

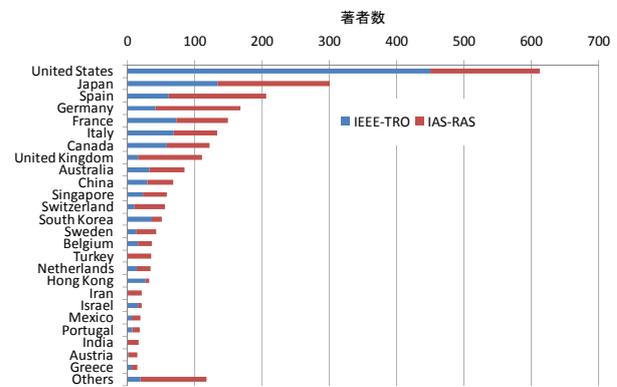
2004～2009年にIEEE-TROとIAS-RASに発表された論文と著者を国別に分類した結果を図2に示す。ここでは、論文の第一著者の所属組織から論文を国別に分類した。

図2(a)から、米国の論文数が最も多く、次に、日本、スペインの論文が多いことがわかる。さらに、欧州諸国、カナダ、オーストラリア、中国、シンガポール、韓国の論文数が多くなっている。日本とスペインの論文はほぼ同数であり、米国の論文数の約1/3に相当する。国別に分類した論文数と論文誌の関係を見ると、米国、香港ではIEEE-TROの比率が高く、反対に、ドイツ、英国、スイス、スウェーデンではIAS-RASの比率が高くなっている。

図2(b)の国別に分類した著者数についても、基本的には図2(a)の論文数と同様の傾向を示している。日本とスペインの著者数は、米国の著者数の約1/2、約1/3に相当している。日本とスペインのように論文がほぼ同数でも、著者数には差が開くことがある。



(a) 国別に分類した論文数



(b) 国別に分類した著者数

図2 国別に分類した論文数と著者数

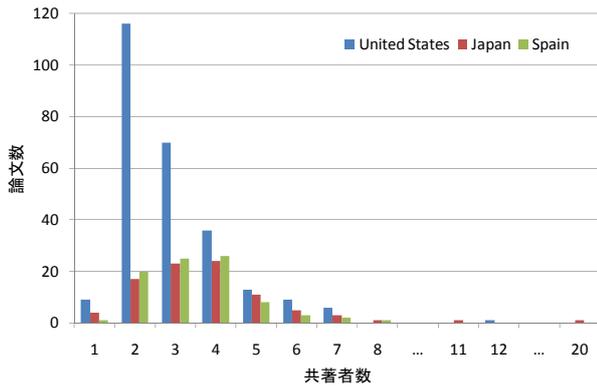
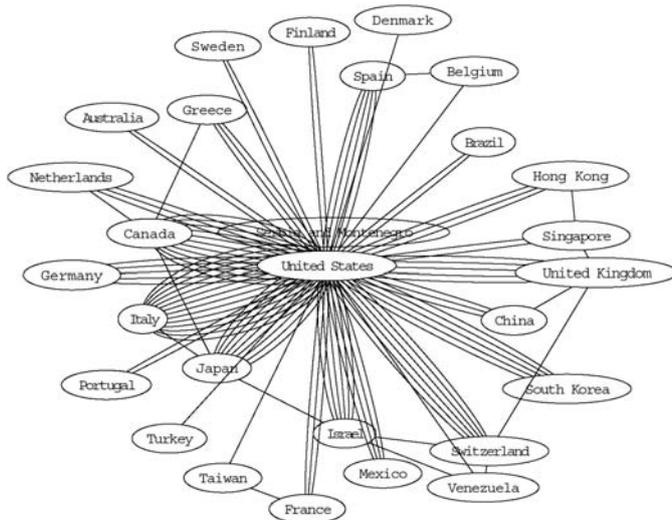


図3 米国・日本・スペインに分類される論文の共著者数と論文数の関係



(a) 米国



(b) 日本



(c) スペイン

図4 米国・日本・スペインの論文における国際共著関係 (線の太数が論文数を表す。)

3.2 米国・日本・スペインの論文における共著者数

米国・日本・スペインでは論文数と著者数の比率が異なる。この要因を確認するために論文の共著者数分布を調べた結果を図3に示す。米国の場合には、共著者が2名の論文数が最も多く、共著者が増えるに従って論文数が減少している。日本とスペインの場合、共著者数と論文数の関係を示す分布は類似し、共著者が3~4人の論文数が多い点が共通している。しかし、共著者が4名以下の論文数は日本よりもスペインが多く、共著者が5名以上の論文数はスペインよりも日本が多い。さらに、日本の場合には共著者数が11名、20名の論文も含まれている。従って、米国やスペインと比較すると、日本の論文には共著者数が多いという傾向がある。そのため、日本とスペイン論文がほぼ同数であっても、日本の著者数がスペインよりも多い結果となっている。

3.3 国際共著論文

国際共著論文は288件あり、全体の22%を占めている。その内訳は、4ヶ国の共著論文が3件(1%未満)、3ヶ国の共著論文が26件(3%)、2ヶ国の共著論文が199件(19%)である。図4には、米国・日本・スペインを含む国際共著関係を示す。ここで、線の本数が論文数を表している。米国の場合、イタリア・カナダ・日本との国際共著論文が多いことがわかる。日本の場合には、米国・カナダ・イタリアとの国際共著論文が多く、スペインの場合には、英国・米国との国際共著論文が多くなっている。

3.4 論文数と組織

表1には論文数の多い組織を示す。米国・日本・スペインの大学が多くを占め、日本の場合は、2つの研究機関が含まれている。また、スイス、スウェーデン、シンガポールに論文数の多い組織があることも特徴である。

表1 論文数の多い組織

論文数	組織	国
21	Massachusetts Institute of Technology	United States
18	University of Tokyo	Japan
14	University of Zaragoza	Spain
12	University of Illinois at Urbana-Champaign	United States
11	Swiss Federal Institute of Technology Lausanne	Switzerland
	Orebro University	Sweden
	Carnegie Mellon University	United States
10	University of Karlsruhe	Germany
	Stanford University	United States
9	Osaka University	Japan
	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Japan
	National University of Singapore	Singapore
	Nanyang Technological University	Singapore
	Polytechnic University of Catalonia	Spain
	University of Malaga	Spain
	University of Essex	United Kingdom
8	Advanced Telecommunications Research Institute International	Japan
	Nara Institute of Science and Technology	Japan
	Cornell University	United States
	Vanderbilt University	United States
	University of Oxford	United Kingdom

4. 国際流動性の比較

4.1 米国・日本・スペインに流入する研究者数の可視化

著者経歴から得られた米国・日本・スペインへの研究者移動を図 5 に示す。ここでは、曲線の太さが移動する研究者数を表している。図 5(a)から、米国の場合には、研究者が世界各国から米国に流入していることがわかる。その中でも、特に中国、インド、韓国から米国に移動した研究者が多い。図 5(b)の日本の場合には、南米とアフリカを除く世界各国から研究者が流入し、特に中国からの流入する研究者が多くなっている。図 4(c)に示すスペインの場合には、中南米から流入する研究者に集中している。また、日本とスペインでは流入する研究者数は米国と比較すると少ないことがわかる。



(a) 米国



(b) 日本



(c) スペイン

図 5 米国・日本・スペインへの研究者の流入 (曲線の太さが研究者数を表す。)

4.2 論文・著者と博士・修士・学士取得者の関係

図 6 には、2,449 名の論文著者の経歴から得られた主要国の論文・著者と博士・修士・学士取得者の

比率を示す。ただし、著者経歴の記載からは博士・修士・学士の取得国が不明な場合もあり、このようなデータを図 4 では N/A と表示している。また、主要国以外の国は Others にまとめて表示している。

米国の場合、論文と著者の比率は 25%を占めているが、博士・修士・学士取得者を見ると比率は 17%、14%、11%に低下している。日本の場合には、著者の比率は 11%を占めているが、論文と博士・修士・学士取得者の比率は 8%である。スペインの場合には、論文・著者の比率が 8%、博士・修士・学士取得者の比率はそれぞれ 6%、3%、5%となっている。

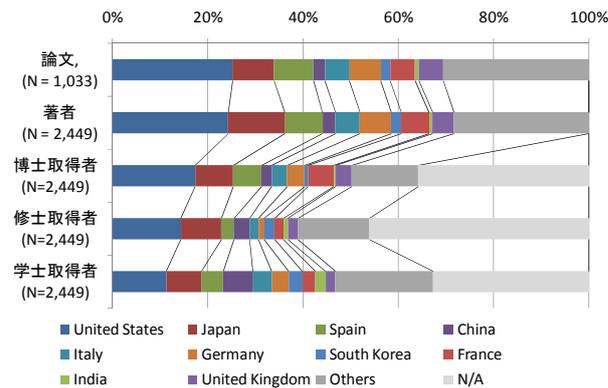


図 6 論文・著者と博士・修士・学士取得者の比率

図 7 には、国別の学士取得者数と著者数の関係を示す。グラフの横軸と縦軸はそれぞれ学士取得者数と著者数の対数を示す。グラフの斜線は、学士取得者数と著者数が等しい均衡線である。グラフ左上の領域では、学士取得者数に対して著者数が相対的に多く、国外から研究者が流入する傾向が強いことを表す。反対に、グラフ右下の領域では、著者数に対して学士取得者数が相対的に多く、国外へ研究者が流出する傾向を表す。

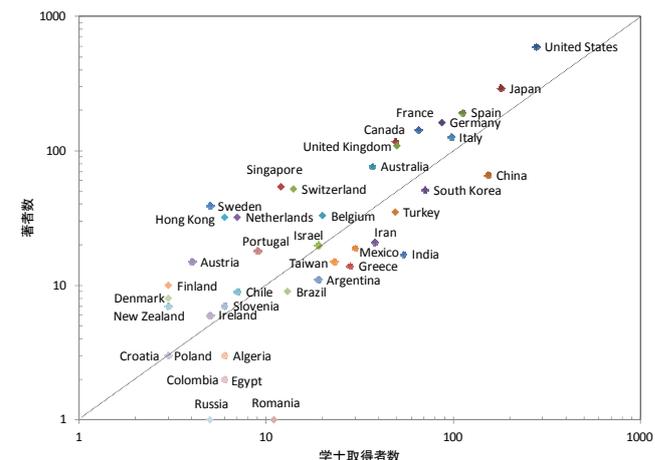
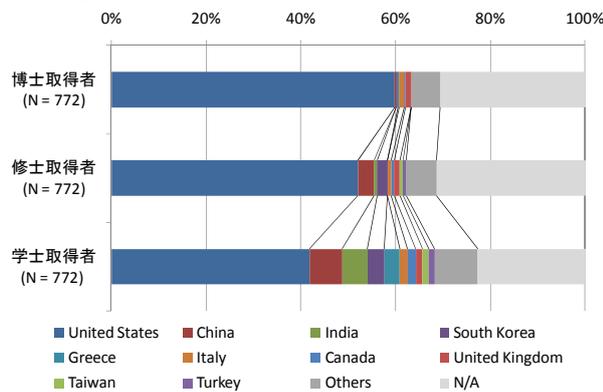


図 7 国別の学士取得者数と著者数の関係

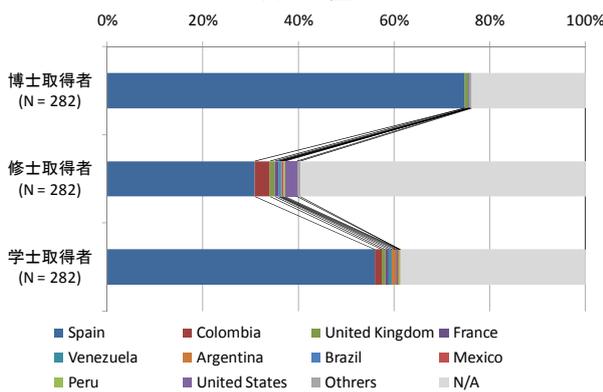
論文数の多い米国・日本・スペインは、図 7 の均衡線よりも上に位置し、研究者が流入する傾向は共通している。特に、米国への研究者流入傾向が顕著で

ある。均衡線よりも上に位置し、研究者の流入傾向を示す国には、西欧諸国、カナダ、オーストラリ、シンガポール、香港などが含まれる。反対に、均衡線よりも下に位置し、研究者の流出傾向を示す国には、中国、韓国、インド、トルコ、イラン、メキシコ、ギリシャ、台湾などが含まれる。

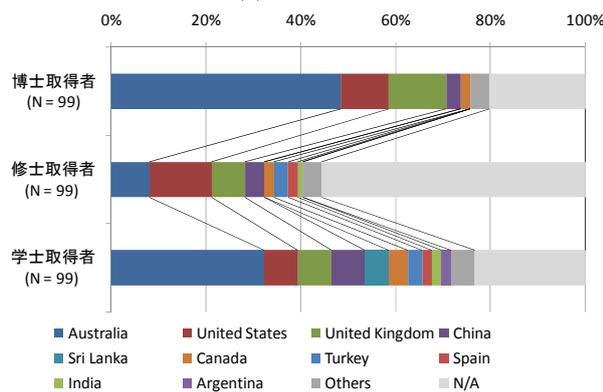
4.3 国別に分類した著者の博士・修士・学士取得国



(a) 米国

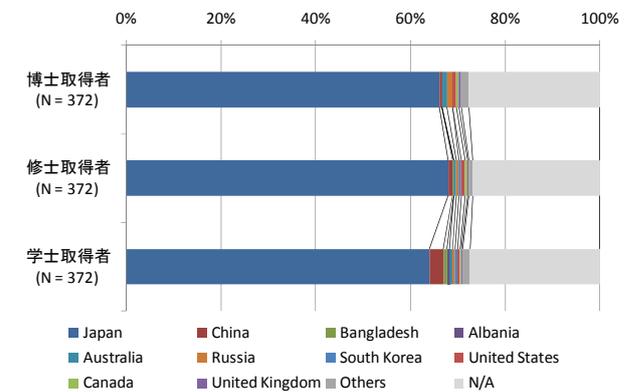


(c) スペイン

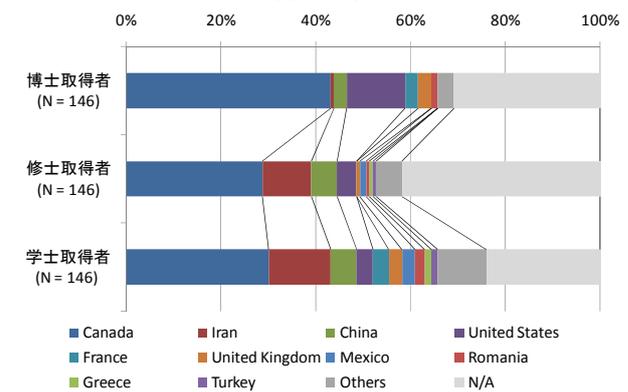


(e) オーストラリア

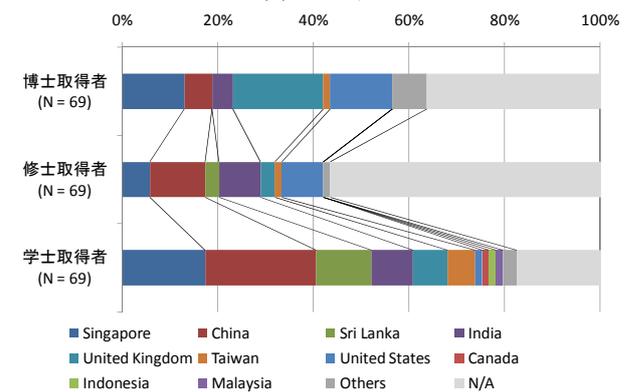
詳細な国際流動性の特徴を明らかにするために、国別に分類した著者の博士・修士・学士取得国の比率を比較する。米国・日本・スペイン・カナダ・オーストラリアの著者が、それぞれ博士・修士・学士を取得した国の比率を図8示す。図8では、取得国が不明な場合にN/Aと表記し、主要国以外はOthersにまとめて表記している。また、図中のNは上記6ヶ国に分類された著者数を表す。



(b) 日本



(d) カナダ



(f) シンガポール

図8 国別に分類した著者の博士・修士・学士取得国

図8(a)の米国に分類される論文著者の場合、米国で博士・修士・学士をした著者の比率はそれぞれ60%、52%、42%である。米国以外では、中国、インド、韓国、ギリシャで学士を取得した著者の比率が高い。図8(b)の日本に分類される論文著者の場合には、日本

で博士・修士・学士を取得した著者の比率が高い。図8(c)のスペインに分類される論文著者の場合にも、スペインで博士・修士・学士を取得した著者の比率が高いことがわかる。

図8(d)に示すカナダの場合、自国での博士取得

者が 43%を占め、次に米国の博士取得者が 12%を占めている。修士・学士についてはイランと中国の比率が高く、学士取得者の比率は、イラン 13%、中国 5%である。図 8(e)に示すオーストラリアの場合、自国での博士取得者が 48%を占め、英国・米国での博士取得者の比率はそれぞれ 12%、10%である。オーストラリア国内の修士取得者に対して、米国と英国の修士取得者比率が高くなっている。学士取得者については、オーストラリアが 32%を占め、英国と中国の比率は等しく 7%である。図 8(f)に示すシンガポールの場合には、シンガポール国内での博士・修士・学士取得者の比率はそれぞれ 13%、6%、17%と低い。シンガポールよりも英国、米国での博士取得者の比率が高く、それぞれ 18%、13%を占めているのが特徴である。

米国・日本・スペインのロボティクス研究者の場合、博士取得後も国外に移動せずに研究を継続するという特徴が顕著に現われている。ただし、米国の場合には、米国以外での学士取得者を比較的多く受け入れている点は日本やスペインと異なる。日本・スペインのロボティクス研究者は国内に停留するという傾向が強い。一方、カナダ、オーストラリア、シンガポ

ールのロボティクス研究者については、国外から移動した研究者が多くなっている。また、これらの国では、自国での学士取得者よりも国外での学士取得者の比率が高い結果となった。さらに、シンガポールでは、国外での博士取得者数も自国での博士取得者を大きく上回り、国外から研究者を確保していることがわかる。

5. 論文題目の単語解析

ロボティクス研究のテーマに関する国別の特徴を抽出するために、ここでは、論文題目に含まれる単語の出現頻度を調べる。米国・日本・スペインに分類される論文題目における単語の出現頻度を表 2 にまとめる。なお、出現頻度を求める場合に、単語の単数形と複数形はまとめて扱い、さらに robot と robotics のように同じ意味の単語もまとめて扱うことにした。また、米国と日本・スペインでは論文数が異なるため、米国については出現頻度が 8 以上、日本・スペインについては出現頻度が 4 以上の単語を抽出した。

表 2 米国・日本・スペインに分類される論文題目から抽出した単語とその出現頻度

米国			日本			スペイン		
順位	単語	出現頻度	順位	単語	出現頻度	順位	単語	出現頻度
1	robot/robotics	84	1	robot/robotics	36	1	robot/robotics	40
2	control/controller	43	2	control/controller	20	2	mobile	20
3	mobile	28	3	humanoid	11	3	SLAM	10
4	manipulation/manipulator	22	3	dynamics/dynamical	11	4	control/controller	9
5	system	20	5	learning	10	4	environment	9
6	motion	19	5	motion	10	4	localization	9
6	planning	19	7	biped	7	7	system	7
8	automatic/autonomous	18	7	human	7	8	navigation/navigating	6
9	design/designing/designed	17	7	interaction	7	8	visual	6
10	vehicle	16	7	manipulation/manipulator	7	10	manipulation/manipulator	5
11	dynamics/dynamical	15	11	design/designing/designed	6	10	parallel	5
12	distribution/distributed	14	11	human-robot	6	10	task	5
12	sensor/sensing	14	11	locomotion	6	13	analysis	4
14	analysis	13	11	system	6	13	avoidance	4
14	environment	13	11	task	6	13	map	4
16	approach	10	11	walking	6	13	planning	4
16	kinematic/kinematical	10	17	automatic/autonomous	5			
18	bio-inspired/bio-mimetic	9	17	behavior	5			
18	navigation/navigating	9	17	generation	5			
19	cooperation/cooperative	8	17	object	5			
19	localization	8	17	visual	5			
19	modeling	8	22	approach	4			
19	optimization/optimal	8	22	sensor/sensing	4			
19	path	8	22	state	4			
19	visual	8						

米国・日本・スペインの論文のいずれも robot/robotics という単語の出現頻度が最も高くなっている。control/controller という単語も、米国・日本の論文では 2 番目に多く、スペインに分類される論文では 4 番目に多いことから、制御系の論文も共通して多いことが読み取れる。

次に、特徴的な単語に注目して米国、日本、スペインにおけるロボティクス研究の特徴を比較する。米国の場合には、vehicle という単語が 10 番目に多いこ

とから、車両に関する研究が多く行われていることがわかる。また、bio-inspired/bio-mimetic という単語の出現頻度が高いことから、生体機能を模倣したロボット研究も多く行われていると推測できる。

日本の論文題目では、humanoid という単語の出現頻度が 3 番目に高い。さらに、歩行に関する biped, locomotion, walking といった単語も多いことから、歩行する人型のロボット研究が多く行われていることが推測される。また、human, interaction, human-robot

といった人とロボットのインタラクションに関連する単語が多いことも特徴と言える。

スペインの論文題目では、Simultaneously Localization and Mapping の略語である SLAM という単語が3番目に多い。SLAMとは、各種センサから取得した情報に基づき、自律移動ロボットの自己位置推定と地図作成を同時に行う手法である。mobile, environment, localization, navigation/navigating, map, planning といった単語も自律移動ロボットと SLAM に関連する単語とみなせる。従って、これらの単語の出現頻度からスペインでは自律移動ロボットに関する研究が多いことが読み取れる。

米国・日本・スペインに分類される論文題目の特徴として、bio-inspired/bio-mimetic, humanoid, SLAM という単語がそれぞれ抽出された。表3には、これらの単語を論文題目に含む論文数を国別にまとめた結果を示す。bio-inspired/bio-mimetic を題目に含む論文は合計で24件あり、12ヶ国に分類される。米国に分類される論文が9件と最も多く、bio-inspired/bio-mimetic 研究が米国におけるロボティクス研究の特徴の一つと言える。題目に humanoid を含む論文は合計で25件あり、日本に分類される論文が11件を占めている。この結果から humanoid 研究は日本を代表するロボティクス研究の一つと考えられる。また、SLAM という単語を題目に含む論文は31件あり、スペインに分類される論文が最も多いことから、SLAM を応用した自律移動ロボットの研究はスペインにおけるロボティクス研究の特徴と言える。

表3 抽出された特徴的な単語を題目に含む論文の国別分類

bio-inspired/ bio-mimetic		humanoid		SLAM	
国	件数	国	件数	国	件数
United States	9	Japan	11	Spain	10
Italy	3	Germany	4	Australia	5
Australia	2	Italy	3	United Kingdom	4
Denmark	2	Chile	2	France	3
Austria	1	China	2	United States	3
Belgium	1	South Korea	2	Germany	2
China	1	Singapore	1	Netherlands	1
Germany	1			Singapore	1
Japan	1			South Korea	1
Mexico	1			Sweden	1
Portugal	1				
Spain	1				
合計	24	合計	25	合計	31

6. むすび

ロボティクス研究の論文誌(IEEE-TRO, IAS-RAS 2004~2009)から得られる共著関係、著者経歴、論文題目を解析し、以下の知見を得た。

- 論文数と著者数は米国・日本・スペインの順に多く、日本の論文では共著者数が多い傾向がある。
- 米国・日本・スペインに注目し、国際共著関係から得られるロボティクス研究の国際ネットワークを示した。ただし、国際共著論文を全体の22%を占めるに過ぎず、研究ネットワークの全体像を表しているわけではない。
- 著者経歴から得られるロボティクス研究者の国際的な移動を可視化し、米国では中国とインド、日本では中国、スペインでは中南米を中心に研究者が流入していることを明らかにした。
- 著者数と学士取得者数の比を研究者の流入出を示す指標とみなして、各国の傾向を示した。北米・欧州・日本には研究者が流入しているが、日本を除く東アジア、インド、トルコといった国からは研究者が流出傾向にあるという結果が得られた。
- 米国・日本・スペイン・カナダ・オーストラリア・シンガポールについて、論文著者の博士・修士・学士取得国を調べた。その結果、日本とスペインは研究者が国内に留まる傾向が強く、カナダ・オーストラリア・オーストラリア・シンガポールでは、国外から流入する研究者によってロボティクス研究を支えられていることが示唆された。
- 米国・日本・スペインのロボティクス研究テーマの特徴を明らかにするために、論文題目の単語分析を行った。論文題目に含まれる単語の出現頻度から、生体を模倣したロボット、人型ロボット、自律移動ロボットといった米国・日本・スペインの特徴的な研究テーマの一部を抽出することができた。
- 日本とスペインではロボティクス研究者が国内に停留する傾向が顕著であるという結果が得られているが、この要因については改めて議論したい。

文献

- G. Bekey, et al., International Assessment of Research and Development in Robotics, World Technology Evaluation Center, Inc., Jan. 2006.
- Computing Community Consortium, A Roadmap for US Robotics, May 2009.
- 白川 展之, 野村 稔, 奥和田 久美, IEEE 定期刊行物における電気電子・情報通信分野の領域別動向, 科学技術政策研究所 調査資料-176, 2010.02.
- 古川 貴雄, 白川 展之, 著者経歴を用いた研究者の国際流動性評価 —コンピュータビジョン領域における事例研究—, 科学技術政策研究所 Discussion Paper No.61, 2010.03.