

研究開発コンテストが研究活動に 与える影響の探索的分析

岡 村 浩 一 郎

要 旨

本研究の目的は基礎・応用研究領域で実施される研究開発コンテストが研究活動に与える影響の検証である。本研究では計量書誌学手法によりロボカップ・サッカーを検証対象にロボカップ参加が研究者の研究パフォーマンスに与える影響を検証した。その結果、ロボカップ参加が研究者の生産性に与える影響について、その影響は大きなものではないこと、しかし、影響の方向性は、研究パフォーマンスの側面（生産性と質）、及びリーグの組み合わせにより異なること、また、コンテストの参加経験が研究活動に与える影響については、初回の参加は研究に正の影響を与えているが、2回目以降の参加については影響がほとんどないことを確認した。

キーワード：研究開発コンテスト (R&D contest)、イノベーション誘発コンテスト (innovation inducement prize)、計量書誌学 (bibliometrics)、研究評価 (R&D performance evaluation)、ロボット工学 (robotics)

I はじめに

近年、イノベーション誘発コンテスト (innovation inducement prizes, innovation inducement contests) に対する関心が政府機関や各種非営利団体の間で高まっている (e.g. Anasta & Zimmerman, 2007; National Academy of Engineering, 1999; Newell & Wilson, 2005)。イノベーション誘発コンテストは、通常の研究開発助成とは異なる枠組である。通常助成では、研究者は自分の研究プロジェクトについて資金助成を受けるために研究助成申請書を作成、助成機関に提出する。研究助成申請書には研究課題や研究手法、想定

される研究成果、及び研究成果獲得に必要と考えられる研究資源（研究費）が含まれているが、その内容はいずれも申請者である研究者によって判断、決定されるものである。助成の可否は研究助成申請書の評価に基づき決定される。すなわち、通常の研究開発助成において、研究プロジェクトは実際の研究活動に先立ち、事前に評価されるという一面がある。一方、イノベーション誘発コンテストにおいては、コンテストの課題はその主催者により判断、決定されている。課題は通常、コンテスト主催者によってその解決が社会的、技術的に重要性が高いと考えられているものであり、技術・製品の開発促進を目的としている。そして、コンテスト主催者により課題解決への貢献が高い解決策を提示した研究者に、課題と一緒に事前に提示された賞金が与えられる。すなわち、イノベーション誘発コンテストで授与される賞金は、最善の課題解決策を提示するに至った研究プロジェクトに対する、事後評価による助成であると考えられる。なお、コンテストの課題が、主催者にとって必要性が高いものである場合、賞金の代わりに、解決策である技術の技術供与に対する対価、あるいは製品の調達契約が報賞であることもある (Davis & Davis, 2004)。

イノベーション誘発コンテストの歴史は古い。初期のものうち有名なものとして1714年に英国政府が緯度の測量方法に関して実施した緯度測量コンテスト (Longitude Prize) が挙げられる (Sobel, 1996)。近代では20世紀初頭の航空機時代黎明期に、英国のタブロイド紙デイリー・メール社によって様々な条件で繰り返し実施されたデイリー・メール航空コンテスト (Daily Mail aviation prizes) が、航空機、航空路の開発を促進したと評価されている (Lewis, 1970)。近年では2004年と2005年の2回、米国国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) が、自律運転自動車による荒野130マイル (209 Km) の走破を課題として実施したグランド・チャレンジ (Grand Challenge) や、2004年にXプライズ財団 (X Prize Foundation) が、民間初の有人弾道宇宙旅行実現を課題として実施した アンサリ・エックス・プライズ (Ansari X Prize) の成功が記憶に新しい。両コンテストによ

り、両分野における技術開発と企業参入が活発になったばかりでなく、イノベーション誘発コンテストに対する関心が高まるきっかけとなった。

イノベーション誘発コンテストについては数例の事例研究が報告されている。そのいずれもがコンテストには技術開発を促進する効果があると結論づけている。例えば過去に実施されたコンテストを検証した Davis & Davis (2004) は、イノベーション誘発コンテストは、コンテストの対象となった技術分野だけでなく、関連分野の技術開発を促進したことを報告している。先に紹介した緯度測量コンテストを検証した Stallbaumer (2006) や、あるいは宇宙技術分野で実施された2つのコンテストを検証した Kay (2011) も同様な結論に至っている。一方、コンテストによりもたらされるイノベーション促進効果を実証的に検証した研究は限定されているが¹⁾、コンテストは新技術の実用化を促進するという結果が報告されている。例えば Brunt et al. (2012) は英国で1839年に開始され1939年まで続いた農業機械分野のコンテストを分析し、コンテストは特許の質の向上をもたらすという結果を報告している。また、1885年から1891年の期間に日本で実施された特許コンテストを分析した Nicholas (2013) はコンテストが特許活動を活性化したと報告している。

一方、研究を助成する立場、あるいはコンテスト主催者の観点からのコンテストの利点として、コンテストの結果、すなわち、賞金授与の根拠が明白であることが挙げられる。通常の研究開発助成では、助成対象となる研究プロジェクト（研究助成申請書）の精査が必要であるが、その過程は時間と手間を要する上に必ずしも公開されたものではない。しかし、結果が明白なコンテストの場合、賞金授与決定の根拠が明瞭である。また、通常、コンテス

1) 産業組織論においてはイノベーション誘発コンテストに関する理論的研究が進められている。例えば、経済的インセンティブ（例、賞金額の大小）や、効率性（例、コンテスト参加者間で生じる研究活動の重複）に関する問題、あるいはコンテストと研究開発活動促進を目的とする他の政策・制度（例、特許制度、政府調達）との比較等の研究が行われている（例、Che & Gale, 2003; Fu, Lu, & Lu, 2012; Gallini & Scotchmer, 2002; Kremer, 2000; Shavell & Yperselle, 2001）。

トでは、コンテスト主催者の負担はコンテスト上位入賞者が受け取る賞金とコンテスト運営費ぐらいである。通常の研究開発助成の場合、支援する研究プロジェクト全てに助成する必要があるが、コンテストでは、必ずしもコンテスト参加者の研究活動を助成する必要はなく、研究資金確保の責任はコンテスト参加者の側にある。すなわち、研究を助成する立場である政府機関、あるいは特定の研究分野の振興の必要性を感じている関係者にとって、従来の研究開発助成制度を補完する枠組としてその活用を検討する価値をもつ枠組である。

既存の事例、あるいは事例研究、実証研究はいずれも、一連の研究開発活動のうち、実用化、商用化に近い領域で実施されたコンテストを対象とした分析である。しかし、イノベーション誘発コンテストを取り上げた研究や報告書はいずれも、基礎・応用研究領域ではコンテストという枠組は研究開発を促進する効果がないと結論づけている (Kalil, 2006; National Research Council, 2007; Williams, 2012)。本稿では、基礎・応用研究領域におけるコンテストの効果を実証的に検証し、コンテストのどのような要因が効果に影響を与えているのかを検証した結果を報告する。本研究では、基礎・応用研究領域で実施されるコンテストを「研究開発コンテスト (R&D contests)」と呼び、実用化・商用化に近い領域で実施されるイノベーション誘発コンテストと区別する。検証の手法として計量書誌学手法を使用し、検証の対象として、サッカーで2050年までに人間から構成されるチームと試合を行い勝利することが可能なロボット・チームを実現することを目標としているロボカップ・サッカー (RoboCup Soccer) を取り上げた。検証の結果、ロボカップ参加が研究者の生産性に与える影響は大きくないことを確認した。しかし、ロボカップ参加が研究パフォーマンスに与える影響の方向性は、研究パフォーマンスの側面 (生産性と質)、及びリーグの組み合わせにより異なっている。また、コンテストの参加経験が研究活動に与える影響については、初回の参加は研究に正の影響を与えているが、2回目以降の参加については影響がほとんどないことを確認した。

以下、本論文の構成は次の通りである。第Ⅱ章でロボカップ・サッカーの概要を紹介する。第Ⅲ章で検証に使用するデータについて説明し、第Ⅳ章で分析の枠組と分析結果を取り上げる。第Ⅴ章が結びである。

Ⅱ ロボカップ・サッカー

本研究の分析対象はロボカップ・サッカー (RoboCup Soccer。以下、「ロボカップ」と呼ぶ) である。ロボカップはロボット工学分野の研究開発コンテストであり、複数のロボットから構成されるチームの間でサッカー・ゲームが行われるコンテストである。1997年に名古屋で第1回大会が開催されてから毎年、世界各国に開催地を移しつつ、開催されている。ロボカップの目標は「2050年までに、ロボット・チームがワールドカップ・チャンピオンチームに対して勝利を収める」(Kitano et al., 1998) ことである。目標達成時期を2050年に設定していることからうかがえるように、ロボカップは基礎・応用研究領域で開催されるコンテストである。また通常のイノベーション誘発コンテストと異なり、コンテスト上位入賞者に対して、賞金や関連する技術・製品の購買等の契約等が提供されることはない。

最初の1997年大会では、ロボカップ全体で参加は合計38チームだけであったが、参加チームが増加し、2015年大会では約120チームが参加している。ロボカップは開始当初、サッカーだけを対象としていた。その後、ロボット研究の発展、及び応用先の拡大に伴い、サッカー以外にもジュニア・リーグや、レスキュー・リーグ、産業用ロボット・リーグ等、成長と拡大を続けているが、本研究では、ロボカップ・サッカーを検証対象としている。

ロボット工学は、複数の技術分野の融合分野であるという性格を有する。ロボカップでサッカーをプレイするロボットの一台一台は、外部から指示を受けることなく自ら判断して移動する自律移動ロボットである。個々のロボットが単体で機能するためには、周囲の環境や自らの状態に関する情報の収集のために必要な様々な種類のセンサ技術、センサから得た情報を処理し次に採るべき動作を決定するための、例えば人工知能やニューラルネットワーク

等の判断アルゴリズム、移動や姿勢の制御には制御工学、機構学の知識が必要である。さらにサッカーでは複数のロボットが互いに情報をやりとりしつつ協調動作するための無線通信技術や、協調動作を考慮した判断アルゴリズムが必要となる。ロボカップの目標達成には、個々の技術分野の技術水準の高度化が必要である。しかし、一台のロボットで同時に全ての要素技術の高度化に取り組むことは難しい。そのため、ロボカップでは主な技術分野に対応する形で複数のリーグ（技術分野）に分かれて競技を行っている。ロボカップ参加者（参加チーム）は、通常、一つないしは二つのリーグに自作のロボットを持参して参加し、優勝を目指して他の参加チームと試合を行う。

本研究では次のリーグを分析対象としている²⁾。

(1) シミュレーション・リーグ (Simulation Leagues)

シミュレーション・リーグでは、実機のロボットではなく、サーバー内に設置された仮想サッカー・フィールドで、参加チームによりプログラムされたサッカー・プログラム同士が競技する。各チームは11の、それぞれが独立したロボット選手プログラムから構成されており、各ロボット選手プログラムは、試合全体を俯瞰することは出来ず実際のサッカー選手のように限られた情報下で自ら取るべき動作を判断している。ロボカップが開始された頃は、いわば、サッカー・フィールドを真上から観たように二次元上で再現した2Dシミュレーション (2D simulation) が実施されていた。その後、ロボットを立体的にシミュレーションして試合を行う3Dシミュレーション・リーグ (3D simulation league) が新設された。現在、3Dシミュレーション・リーグでは、二足歩行ロボット Nao³⁾ をシミュレーション向けに再現したモデルが使用されている。

(2) 小型ロボット・リーグ (Small-Size Robot League)

小型ロボット・リーグでは、サッカー・フィールド (6m×4m) 内で直径18cm以内、高さ15cm以内の移動ロボット (車輪で移動) 6台から構成さ

2) 第IV章の分析で各リーグを比較する。そのため、予め各リーグの概要を説明する。

3) 現在、標準プラットフォーム・リーグ (後述) で使用されているロボットである。

れるチームの間で競技が行われる。フィールドの上には全体を俯瞰するカメラが設置されており、映像は各チームのコンピュータに送信される。各チームのコンピュータがチームの頭脳の役割を果たしており、映像を分析し各ロボットを操作する。フィールドで競技するロボットは、人間でなくコンピュータが操作する、いわばラジコンカーである。2Dシミュレーション・リーグ、次の中型ロボット・リーグと共に、ロボカップ開始時から続いているリーグである。

(3) 中型ロボット・リーグ (Middle-Size Robot League)

中型ロボット・リーグでは、サッカー・フィールド (18m×12m) 内で一辺 52cm 以内、高さ 80cm 以内の自立移動ロボット 5 台から構成されるチームの間で競技が行われる。小型ロボット・リーグと異なり、ロボットは完全に自律しており、個々のロボットは自機搭載のセンサから周囲の情報を収集し、動作を決定する。

(4) 標準プラットフォーム・リーグ (Standard Platform League(s))

標準型ロボット・リーグでは、サッカー・フィールド内で同一のロボット数台から構成されるチームの間で競技が行われる。2007・2008年までは犬型愛玩ロボット AIBO がプラットフォームとして使用されていたが (Aibo League)、2008年からは二足歩行ロボット Nao がプラットフォームとして使用されている (Nao League)。現在、サッカー・フィールドの大きさは 6m×9m であり、チームを構成するロボットの台数は 6 台 (選手ロボット 5 台、コーチ・ロボット 1 台) である。同一のロボット (ハードウェア) を使用するため、アルゴリズム、プログラミングの水準が競技を左右することになる。

(5) ヒューマノイド・リーグ (Humanoid League)

ヒューマノイド・リーグでは、サッカー・フィールド内で二足歩行ロボット数台から構成されるチームの間で競技が行われる。ロボットの大きさによってさらに 3 つのサブ・リーグ⁴⁾に分かれ、競技のルールやチームを構成する

4) KidSize (高さ 90cm 以内)、TeenSize (同 140cm 以内)、AdultSize (同 180cm 以内) の 3 サブ・リーグである。

ロボットの台数（2～4台）も異なっている。他のリーグと比較してまだ黎明期である。

Ⅲ 分析データ

1. ロボカップに関するデータ

製作したロボットやプログラムについての技術情報を広く共有することを目的に、ロボカップ参加チームには、簡潔にまとめられたチーム技術報告 (Team Description Paper, TDP) を提供することが求められている。また、ロボカップでは、参加チーム間の試合に加え、研究者が研究成果を発表する学術シンポジウムも併催されている。シンポジウムでは投稿された全ての論文の中から、学術的価値を踏まえ採択された論文がシンポジウム・ペーパー (Symposium Paper, SP) として採択され、予稿集に収録される。予稿集には、ロボカップ全体を俯瞰しとりまとめた俯瞰ペーパー (Overview Paper, OP) も収録されている。また近年、各リーグでは競技ルール、TDP や各チームの情報、あるいは試合結果等を集約、提供するためのウェブ・サーバーが運用されるようになってきている。本研究では、ロボカップについて、予稿集や各ウェブ・サーバーから入手可能な TDP や SP、OP から、各論文に記載されている著者情報を収集、整理し、1997年から2011年の期間に開催されたロボカップに関するデータを検証に使用した。収集された参加者数は約5,000人である。

2. 書誌情報

本研究では、研究者の研究パフォーマンスを測定するために Elsevier 社の書誌情報データベース Scopus から、ロボット工学分野の学術誌に収録された学術論文の書誌情報を収集した。収集された著者情報はロボカップ参加者情報と紐付けられた。先述したようにロボット工学は、複数分野の技術の統合分野である。自律ロボットの実現には、機械工学や制御理論、電子工学、センサ技術、情報処理・判断等々、幅広い分野の技術が必要である。すなわ

ち、ロボカップ参加者は様々な分野の研究者の集まりであり、各々の研究者が軸としている学術誌が対象とする研究分野は幅広い。それゆえ、書誌情報収集に先立ち、ロボカップに参加する研究者が論文を投稿する学術誌を選択する必要がある。しかし同時に、分析対象とする学術誌が、ロボカップ参加研究者の研究分野に偏ることなく、ロボット工学研究全般の傾向を反映するように選択する必要もある。この両者のバランスをとるために本研究では、次に述べる方法で収集対象とした学術誌を選定した。まず、Thomson Financial 社の Web of Science で robotics (ロボット工学) に分類されている学術誌 (16誌) について引用情報、被引用情報を収集した⁵⁾。次に引用情報中の論文を学術誌別に整理した上で、引用件数が多い学術誌のグループを抽出した。具体的には、学術誌別引用件数の合計が引用件数全体の50%を占める学術誌を抽出した。被引用情報についても同じく被引用件数が多い学術誌のグループを抽出し、併合した。

しかし、この時点の学術誌のグループが全体として対象とする研究分野は必ずしもロボカップ参加者の研究分野を十分に反映していない可能性がある。そこで次にこの学術誌のグループからさらにロボカップ参加研究者による発表論文が多い学術誌を抽出した⁶⁾。最後にその結果をロボット工学の専門家に確認して頂いた。その結果、21の学術誌が書誌情報収集の対象となった。分析に先立ち1996年から2012年の期間についてこれらの学術誌掲載の学術論文の書誌情報を収集し、著者情報をロボカップ参加研究者と紐付けた結果、5,000人のロボカップ参加研究者のうち2,300人が Scopus 書誌情報と紐付けられた。

5) Web of Science の分類を使用したのは、Elsevier 社の Scopus には学術誌の分野として robotics がなかったためである。

6) データと処理の都合上、2001年～2003年開催ロボカップ参加研究者が2001年～2005年の期間に発表した論文を3本以上収録している学術誌を抽出した。

IV 分析

1. 分析に使用する変数

1.1 被説明変数

本研究では、論文や特許を対象に研究パフォーマンスを検証している先行研究（例. Jaffe & Trajtenberg, 2002; Jaffe, Trajtenberg, & Henderson, 1993; Kostoff, 2002; Narin & Hamilton, 1996）に倣い、研究の生産性と質の二側面から研究者の研究パフォーマンスをみる被説明変数（研究パフォーマンス）として、計量書誌学やイノベーション研究で広く使用されている次の二変数を使用した。なお、両変数とも、各研究者のロボット工学分野に対する寄与を把握するため、論文1本を共著者数で除する分数カウントにより測定している（Moed, 2005）。

Research productivity: ロボット工学分野の学術誌に収録されている学術論文の件数

Research quality: ロボット工学分野の学術誌収録の学術誌からの被引用件数

1.2 説明変数

1.2.1 リーグ変数

本研究では、ロボカップ（ロボカップ・サッカー）の各リーグ⁷⁾に対応する一連のダミー変数を使用した：*Simulation 2D*（シミュレーション 2D リーグ）、*Simulation 3D*（シミュレーション 3D リーグ）、*Small-size*（小型ロボット・リーグ）、*Middle-size*（中型ロボット・リーグ）、*Aibo*（Aibo リーグ）、*Nao*（Nao リーグ）、*Humanoid*（ヒューマノイド・リーグ）。Aibo リーグと Nao リーグは標準プラットフォーム・リーグに相当するリーグであるが、使用されているプラットフォーム（ロボット実機）が異なることから分割した。

7) 各リーグの概要については第II節参照。

また、ヒューマノイド・リーグは3つのサブ・リーグから構成されているが、個々のサブ・リーグへの参加チーム数が少ないため、一つのヒューマノイド・リーグとして扱った。

1.2.2 ロボカップ参加変数

ロボカップ参加変数として次の二変数を使用した。

Experience: *Experience* はロボカップ参加年数（回数）に相当する変数である。

一般に、技術開発年数や市場経験が長くなると、当該技術、市場に関する知識・知見が蓄積されていく。ロボカップも同様である。参加経験が豊富なほど、ロボカップ関連の技術やアルゴリズム、あるいは戦術等の知識が獲得されると考えてよい。ロボカップ参加から得られる知識は、ロボット工学全般に应用可能な汎用的な知識と、専らロボカップに関する知識であり他分野への応用性が低い知識に分けられると考えるとよい。ロボカップから多くの汎用的な知識が得られるのであれば、*Experience* が研究パフォーマンスに与える影響は正となると考えてよい。反対にロボカップ向けの知識しか得られないような場合には *Experience* が研究パフォーマンスに与える影響は限定的となる。また、研究活動全般に占める、ロボカップ参加に向けた活動の割合が大きい場合、むしろ、*Experience* が研究パフォーマンスに与える影響が負となることもありうる。

1st participation: *1st participation* は研究者がロボカップに初めて参加したときに1を、そうでないときは0をとるダミー変数である。一般に新規参入は既存の技術開発や市場—ロボカップの場合は各リーグや試合に相当—に新しいアイデアや知見がもたらされるきっかけとなる。一方、参入者にとっても参入は新たな知識・知見を獲得する機会を提供するだけでなく、新しい観点から既知の知識をとらえ直す学習の機会となる。参入者にとって、ロボカップ参加から得られる新知識と既存の知識の間の

隔たりが大きい場合、新知識の理解に努力が必要となるため、すぐに活用できるようになることは難しい。反対に新知識と既存の知識の間にあまり違いがない場合は、ロボカップ参加から得られるものは少ない。ロボカップへの参加にはロボット工学に関する一定の知識が必要である。それゆえ、新規参入した研究者はロボカップ参加から獲得した新知識を理解し、自らの研究分野で活用することは比較的容易であると考えられる。すなわち、*1st participation* が研究パフォーマンスに与える影響は正となると考えられる。

1.3 コントロール変数

Previous productivity: *Previous productivity* は前年の研究パフォーマンス（生産性）に相当する変数である。論文の多い研究者は安定してその状態を維持する。本変数は、個々の研究者固有の効果を考慮するために含まれている。

さらに本研究では、様々な要因により生じる年別の変動を考慮するために、

第1表 変数の記述統計 (n=867,179)

変数	平均	標準偏差	最小値	最大値
<i>Research productivity</i>	0.0241	0.1192	0	5.5
<i>Research quality</i>	0.6902	9.5402	0	2,951*
<i>Simulation 2D</i>	0.0001	0.0094	0	1
<i>Simulation 3D</i>	0.0001	0.0072	0	1
<i>Small-size</i>	0.0001	0.0095	0	1
<i>Middle-size</i>	0.0001	0.0122	0	1
<i>Aibo</i>	0.0001	0.0114	0	1
<i>Nao</i>	0.0001	0.0119	0	1
<i>Humanoid</i>	0.0001	0.0090	0	1
<i>Experience</i>	0.0447	0.6443	0	16
<i>1st participation</i>	0.0006	0.0238	0	1

* 1999年刊行のニューラルネットワークに関する一論文の被引用数である。

第2表 変数間の相関 (n=867,179)

No.	変数	1	2	3	4
1	<i>Research productivity</i>				
2	<i>Research quality</i>	0.365			
3	<i>Simulation 2D</i>	0.003	0.003		
4	<i>Simulation 3D</i>	0.010	0.000	0.017	
5	<i>Small-size</i>	0.012	0.004	0.039	-0.0001
6	<i>Middle-size</i>	0.006	0.002	0.030	0.026
7	<i>Aibo</i>	0.014	0.014	0.021	-0.0001
8	<i>Nao</i>	0.019	0.003	0.010	0.054
9	<i>Humanoid</i>	0.008	0.002	0.000	-0.0001
10	<i>Experience</i>	0.018	0.003	0.034	0.1225
11	<i>1st participation</i>	0.007	0.002	0.031	-0.0002

No.	5	6	7	8	9	10
6	0.020					
7	0.064	0.041				
8	0.051	0.016	-0.0001			
9	0.000	0.000	0.045	0.021		
10	0.062	0.058	0.047	0.132	0.060	
11	0.041	0.059	0.063	0.028	0.075	-0.002

分析にあたり年ダミー変数を含めた。第1表と第2表にプールしたサンプルについての各変数の記述統計と変数間の相関を示す。

2. 分析結果

Previous productivity や年ダミー変数では捕捉することができない固定効果が存在する可能性がある。そこで、本研究では固定効果モデルによるパネルデータ分析により分析を行った。第3表に *Research productivity* を被説明変数とした分析結果を示す。Model 1 は説明変数として一連のリーグ変数のみ

第3表 研究パフォーマンス（生産性）の固定効果モデル推定

被説明変数： <i>Research productivity</i>			
	Model 1	Model 2	Model 3
リーグ変数			
<i>Simulation 2D</i>	-0.0248* (0.014)	-0.0218 (0.014)	-0.0223 (0.014)
<i>Simulation 3D</i>	-0.0177 (0.054)	-0.0231 (0.054)	-0.0224 (0.054)
<i>Small-size</i>	-0.0023 (0.015)	-0.0032 (0.015)	-0.0051 (0.015)
<i>Middle-size</i>	0.0196* (0.011)	0.0211* (0.011)	0.0200* (0.011)
<i>Aibo</i>	0.0253** (0.012)	0.0262** (0.012)	0.0244** (0.012)
<i>Nao</i>	0.0644*** (0.015)	0.0583*** (0.015)	0.0536*** (0.015)
<i>Humanoid</i>	0.0438*** (0.016)	0.0382** (0.016)	0.0360** (0.016)
ロボカップ参加変数			
<i>Experience</i>		0.0015*** (0.000)	0.0015*** (0.000)
<i>1st participation</i>		0.0146*** (0.006)	0.0143** (0.006)
コントロール変数			
<i>Previous productivity</i>			0.0272*** (0.001)
定数項	0.0279*** (0.001)	0.0279*** (0.001)	0.0272*** (0.001)
n	730,256	730,256	730,256
対数尤度	555,675.07	555,683.27	555,972.29
F 値	125.36	115.56	132.71

全てのモデルは年ダミー変数を含む。

括弧内数値はロバスト標準誤差。

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

を含めたモデルである。Model 2 は Model 1 にロボカップ参加変数（2変数）を追加したモデルである。Model 3 はフル・モデルであり、コントロール変数が追加されている。

Model 1 では、変数 *Simulation 2D* の係数は負で有意である。2D シミュレーション・リーグ参加研究者はそうでない研究者と比較して極めて僅かであるが（年間0.025本の差）、生産性が低いことを示唆している。2D シミュレーション・リーグは水準が高い研究成果を出してきたことで定評があるリーグであるが、最も歴史が長いリーグであり、参加チームが多いという、成熟しているリーグであることが影響している可能性がある。3D シミュレーション・リーグは2004年に2D シミュレーション・リーグから分かれて開始されたリーグであるが、対応する変数 *Simulation 3D* の係数は負である。2D シミュレーション・リーグ同様、3D シミュレーション・リーグ参加研究者はそうでない研究者と比較して僅かであり、有意でないものの、生産性が低い可能性を示唆している。変数 *Small-size* の係数は有意でないものの極めて僅かであるが負である。小型ロボット・リーグは2D シミュレーション・リーグと同じく歴史が長いリーグである。変数 *Middle-size* の係数は正かつ有意である。中型ロボット・リーグも、2D シミュレーション・リーグ及び小型ロボット・リーグと共に歴史が長いリーグであるが、中型ロボット・リーグ参加研究者についてはそうでない研究者と比較して僅かであるものの（年間0.02本の差）、生産性が高いことを示唆している。次に、標準プラットフォームに相当する変数 *Aibo* と変数 *Nao* の係数はいずれも、正かつ有意である。*Aibo* リーグと *Nao* リーグは開催時期が違うものの（*Aibo* リーグは2002年から2007・2008年の間に開催されたリーグであり、*Nao* リーグは2008年以降、開催されているリーグである）、いずれもそれぞれ、同一のプラットフォーム（ロボット実機）を使用しているリーグである。参加チームは実機の製作水準ではなく、実機に搭載するアルゴリズムで互いに競争している側面があり、その点で2D シミュレーション・リーグや3D シミュレーション・リーグと共通点がある。しかし、2D シミュレーション・リーグ、3D シミュレー

ション・リーグと異なり、Aibo リーグ、Nao リーグに参加する研究者はそうでない研究者と比較して生産性が高いことが示唆されている。最後に変数 *Humanoid* の係数は正かつ有意である。ヒューマノイド・リーグ参加研究者もまた生産性が高いことを示唆している。

Model 2 では、ロボカップ参加変数（2変数）、Model 3 ではコントロール変数が追加されているが、リーグ変数については、変数 *Simulation 2D* の係数が有意でなくなっただけであり、他の変数については係数の符号と大きさ、及び有意性は Model 1 と同様であり、安定した結果となっている。Model 2 で追加されたロボカップ参加変数について、変数 *Experience* と変数 *1st participation* の係数はいずれも正で有意である。すなわち、ロボカップ参加により、僅かであるものの研究生産性が高まることを示唆している。しかし、その効果は最初の参加（変数 *1st participation*）の方が、経験年数（変数 *Experience*）と比較して高い。すなわち、ロボカップ参加から得られる知識・知見は、最初の参加は大きいものの、2回目以降は限定的である可能性がある。

次に、第4表に *Research quality* を被説明変数とした分析結果を示す。Model 4 は説明変数として一連のリーグ変数のみを含めたモデルである。Model 5 は Model 4 にロボカップ参加変数（2変数）を追加したモデルである。Model 6 はフル・モデルであり、コントロール変数が追加されている。

Model 4 では、変数 *Simulation 2D*、変数 *Simulation 3D* 及び変数 *Small-size* の係数は有意でないものの正であり、Model 1 と符号が逆になっている。すなわち、2D シミュレーション・リーグ、3D シミュレーション・リーグ、及び小型ロボット・リーグ参加研究者はそうでない研究者と比較して、生産性は僅かに低いものの、一方で水準の高い研究成果を出している可能性を示唆している。変数 *Middle-size* の係数は有意でないものの負である。上述の3リーグと反対に中型ロボット・リーグ参加研究者は高い生産性を示しているものの、一方で質を犠牲にしている可能性を示唆している。次に変数 *Aibo* の係数は正かつ有意である。標準プラットフォーム・リーグに相当するもう

第4表 研究パフォーマンス（質）の固定効果モデル推定

被説明変数：Research quality			
	Model 4	Model 5	Model 6
リーグ変数			
<i>Simulation 2D</i>	0.0536 (1.168)	-0.2482 (1.170)	-0.2691 (1.170)
<i>Simulation 3D</i>	0.8370 (4.434)	1.6713 (4.436)	1.6963 (4.436)
<i>Small-size</i>	0.1501 (1.226)	0.0379 (1.226)	-0.0320 (1.226)
<i>Middle-size</i>	-0.4947 (0.924)	-0.8666 (0.926)	-0.9072 (0.926)
<i>Aibo</i>	8.3699*** (0.981)	8.0248*** (0.982)	7.9599*** (0.982)
<i>Nao</i>	0.2122 (1.251)	0.5202 (1.258)	0.3464 (1.258)
<i>Humanoid</i>	-0.7242 (1.303)	-0.9470 (1.309)	-1.0284 (1.309)
ロボカップ参加変数			
<i>Experience</i>		-0.1221*** (0.035)	-0.1235*** (0.035)
<i>1st participation</i>		2.4297*** (0.459)	2.4171*** (0.459)
コントロール変数			
<i>Previous productivity</i>			1.0008*** (0.095)
定数項	1.0818*** (0.044)	1.0818*** (0.044)	1.0548*** (0.045)
n	730,256	730,256	730,256
対数尤度	-2,657,124.01	-2,657,096.02	-2,657,036.87
F値	40.67	39.47	42.34

全てのモデルは年ダミー変数を含む。

括弧内数値はロバスト標準誤差。

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

一つの変数 *Nao* の係数は有意でないものの正である。両リーグに参加している研究者はそうでない研究者と比較して生産性 (Model 1) と質の両面で高い研究成果を出している可能性がある。一方、変数 *Humanoid* の係数は有意でないものの負であり、Model 1 と符号が逆になっている。すなわち、ヒューマノイド・リーグ参加研究者は、中型ロボット・リーグ参加研究者と同様に高い生産性を示しているものの、その研究報告は必ずしも他の論文から積極的に引用されるわけではない可能性を示唆している。

Model 5 では、ロボカップ参加変数 (2 変数)、Model 6 ではコントロール変数が追加されているが、リーグ変数については、Model 1~Model 3 と同様に、係数の符号と大きさ、及び有意性に大きな変化は見られない、安定した結果となっている。Model 5 で追加されたロボカップ参加変数のうち、変数 *1st participation* の係数は正かつ有意である。すなわち、ロボカップへの初回の参加は研究の生産性に加え水準を押し上げる効果があることがうかがえる。しかし、その一方で変数 *Experience* の係数は負かつ有意である。すなわち、初回の参加が研究の質にもたらす効果は2回目の参加以降、徐々に弱まっていくことを示唆している。最後に、コントロール変数 *Previous productivity* の係数については Model 3 と Model 6 のいずれにおいても正であり、元来、研究のパフォーマンスが高い研究者は安定して高い研究成果を出していることが確認できる。

3. 考察

ロボカップ参加が研究パフォーマンスに与える影響の方向性は、研究パフォーマンスの側面 (生産性と質)、及びリーグの組み合わせにより異なっている。その理由について考察するにあたり、各リーグの参加に必要な技術的知見やノウハウ、そして研究資源の規模に着目する。まず、中型ロボット・リーグとヒューマノイド・リーグでは、参加チームは、ロボットを自作する必要がある。自立移動ロボットとして機能するよう、ロボットを構成する各部品を組み上げ全体として統合して動作するようにするためには広く製作に関する

知見が求められる。難易度が高いためロボット製作中に直面した課題の解決にも研究報告の価値があると考えられる。しかし、各チームのロボットはそれぞれが独自なものであるため、報告の前提、条件を含めた理解が必要であり、必ずしもその内容は即座に普遍的、直接的に役立つものではない可能性がある。このことが、両リーグではロボカップ参加が、研究の生産性と質にそれぞれ、正負反対方向の影響を与えている原因である可能性がある。次に3Dシミュレーション・リーグについては、シミュレーションゆえ、ロボットの製作を伴うリーグと比較して研究資源面の参入障壁は低い。またモデルも標準化されている。必ずしも研究志向が高くなく、ロボカップへの参加そのものが主目的であるようなチームにも参加の余地があり、その結果、参加研究者の生産性が僅かではあるが低い可能性がある。2Dシミュレーション・リーグも同様な理由で参加研究者の生産性が僅かではあるが低くなっている可能性がある。小型ロボット・リーグについては、ロボットの製作を伴うものの、小型であることから研究資源面の障壁は比較的低い。また、中型ロボット・リーグやヒューマノイド・リーグと異なりロボットには高い自律性が求められない。すなわち、ロボットの自作が必要なリーグであるものの、参入障壁は必ずしも高いものではなく、3Dシミュレーション・リーグと同様に参加研究者の生産性が僅かではあるが低くなっている可能性がある。一方、AiboリーグとNaoリーグについては、それぞれのリーグは、プラットフォームである同一のロボットを使用する。ハードウェア製作に関する知見・スキルが問われることはない反面、ロボットを数台準備するためには一定の研究資源が必要である。その一方で、これら両リーグへの参加から得られる知見については、仕様が明確であるロボットの使用を通して得られたものであるため、第三者にとってもその理解や解釈が比較的容易であり、中型ロボット・リーグやヒューマノイド・リーグから得られる知見よりも即時性や直接的応用性、普遍性が高いと考えられる。その結果、両リーグではロボカップ参加が研究に与える影響が正となっている可能性がある。

V 結び

本研究では、研究開発コンテストが研究者の研究パフォーマンスに与える影響を検証した。具体的にはロボット工学分野のコンテストであるロボカップ・サッカーを対象に、技術分野（リーグ）とコンテストの参加経験が研究の生産性と質に与える影響を検証した。ロボカップ参加が研究者の生産性に与える影響について、その影響は大きくないことを確認した。リーグにより参加に必要な技術的知見やノウハウ、及び研究資源の規模が異なっており、そのことが原因でロボカップ参加が研究パフォーマンスに与える影響の方向性は着目する研究パフォーマンスの側面（生産性と質）とリーグの組み合わせにより異なっている。また、コンテストの参加経験については、初回の参加は研究パフォーマンスに正の影響を与えている。しかし、2回目以降の参加については、研究パフォーマンスに与える影響はほとんどない、あるいは僅かであるが負の方向となっている。

本研究から導き出される研究開発コンテストの主催者への示唆は次の通りである。まず、主催者はコンテストの設計、とくにコンテストを構成する技術について、標準化、規格化する部分と、コンテスト参加者の研究や創意工夫の余地を残す部分の間のバランスに留意する必要がある。両者のバランスはコンテストの技術的難易度にも通じる。コンテストはいわば、競争を通して提示された課題の解決策から最良な解決策を、選別する場である。解決策の候補が多数提案されるという点で、コンテスト参加者が多いことはよいことであるものの、難易度が十分高くない場合、必ずしも研究志向が高いとはいえないチームの参加が増加する可能性があり、コンテストを通じた知識の集積と拡散が十分なものとならない可能性がある。優秀な研究者に対しコンテストが魅力的なものとなるよう、一定の難易度を担保する必要があるが、その結果、むしろ参加研究者が限定され、それゆえ、提案される解決策の方向性が限定されてしまい、コンテストが特定の解決策にロックインしてしまう可能性もある。

一方、コンテスト参加に関心を持っている研究者については、コンテストが対象とする分野と自らの研究分野との関連性の程度を見極めつつ、コンテスト参加を判断する必要がある。自分の専門研究分野との重複が大きく、知見を十分に反映することが出来るコンテストに参加すれば優秀な成績を収めることは比較的容易である反面、コンテスト参加から得られる知見やアイデアが必ずしも十分なものでない可能性が生じる。次にコンテスト参加頻度については、必ずしも毎回参加するのではなく、例えば数回の間隔を空けて参加するに留めた方が、参加の度に多くの知見やアイデアが得られるようになり、コンテスト参加が有意義なものとなる可能性がある。

最後に本研究の限界について述べる。本研究では一般的な計量書誌学分析に従い学術誌収録論文を研究パフォーマンスの評価対象とした。しかし、工学分野では、学会の発表論文、あるいは発表された論文の中からとくに優れた論文をまとめたプロシーディングに収録された論文も、学術誌収録の論文に劣らず、重要性を高く評価されることがある。個々の論文が一定の完結性を有する研究が収録される学術誌と即時性が高い研究が収録されるプロシーディングとでは、研究発展に果たすそれぞれの役割は異なっている。プロシーディング収録論文を研究パフォーマンスの評価対象とした検証を行うことにより、研究開発コンテストが研究活動に与える影響についての理解が深まることが期待される。

(筆者は関西学院大学商学部准教授)

参 考 文 献

- Anasta, P. T., & Zimmerman, J. B. (2007), *Why we need a green nano award & how to make it happen*, Washington, DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Brunt, L., Lerner, J., & Nicholas, T. (2012), "Inducement prizes and innovation", *The Journal of Industrial Economics*, Vol. 60, No. 4, 657-696.
- Che, Y.-K., & Gale, I. (2003), "Optimal design of research contests", *American Economic Review*, Vol. 93, No. 3, 646-671.
- Davis, L., & Davis, J. (2004), "How effective are prizes as incentives to innovation? Evidence from Three 20th Century Contests". *DRUID Summer Conference 2004*. Elsinore, Denmark.

- Fu, Q., Lu, J., & Lu, Y. (2012), "Incentivizing R&D: Prize or subsidies?", *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 30, No. 1, 67-79.
- Gallini, N., & Scotchmer, S. (2002), "Intellectual property: when is it the best incentive system?", in A. B. Jaffe, J. Lerner, & S. Stern eds., *Innovation Policy and the Economy*, Vol. 2, pp. 51-77, Cambridge, MA: MIT Press.
- Jaffe, A. B., & Trajtenberg, M. (2002). *Patents, Citations and Innovations: A Window on Knowledge Economy*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Jaffe, A. B., Trajtenberg, M., & Henderson, R. (1993), "Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 108, No. 3, 577-598.
- Kalil, T. (2006). "*Prizes for Technological Innovation*", Washington, DC: Brookings Institute.
- Kay, L. (2011), "The effect of inducement prizes on innovation: evidence from the Ansari X Prize and the Northrop Grumman Lunar Lander Challenge", *R & D Management*, Vol. 41, No. 4, 360-377.
- Kitano, H., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Noda, I., Osawa, E., & Matsubara, H. (1998), "RoboCup: A Challenge Problem for AI and Robotics", in H. Kitano ed., *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I*, pp. 1-19, Nagoya, Japan: Berlin, Germany: Springer.
- Kostoff, R. N. (2002), "Citation analysis of research performer quality", *Scientometrics*, Vol. 53, No. 1, 49-71.
- Kremer, M. (2000), "Creating Markets for New Vaccines. Part I: Rationale", NBER Working Paper, No. 7716, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Lewis, P. (1970), *British Racing and Record-breaking Aircraft*, London, UK: Putnam.
- Moed, H. F. (2005), *Citation Analysis in Research Evaluation*, Netherlands: Springer Netherlands.
- Narin, F., & Hamilton, K. S. (1996), "Bibliometric performance measures", *Scientometrics*, Vol. 46, No. 3, 293-310.
- National Academy of Engineering (1999), *Concerning Federally Sponsored Inducement Prizes in Engineering and Science*, Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2007), *Innovation Inducement Prizes at the National Science Foundation*, Washington, DC: National Academy Press.
- Newell, R. G., & Wilson, N. E. (2005), "Technology Prizes for Climate Change Mitigation", Discussion Paper, REF DP 05-33, Washington, DC: Resources for the Future.
- Nicholas, T. (2013), "Hybrid innovation in Meiji, Japan", *International Economic Review*, Vol. 54, No. 2, 575-600.
- Oberg, J. (2012), "Up, up, and away", *IEEE SPECTRUM*, Vol. 54, No. 1, 54-55.
- Shavell, S., & Yperselle, V. (2001), Rewards versus intellectual property rights. *Journal of Law and Economics*, Vol. 44, No. 2, 525-547.
- Sobel, D. (1995), *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific*

Problem of His Time, New York, N. Y: Walker.

Stallbaumer, C. (2006), “From longitude to altitude: Inducement prize contests as instruments of public policy in science and technology”, *Journal of Law, Technology & Policy*, Vol. 1, 117-158.

Williams, H. (2012), “Innovation inducement prizes: connecting research to policy”, *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 31, No. 3, 752-776.