



# 「ロボカップ創世記」

第1回

- 浅田 稔 (大阪大学, JST ERATO浅田プロジェクト)
- 松原 仁 (公立はこだて未来大)

## 現在から過去へ

本年6月19日から25日まで、シンガポールのサンテックコンベンションセンターで第14回ロボカップ世界大会が開催された。全世界約40の国と地域から450チーム以上、総勢約3,000人というロボカップ史上最大の参加者数を集めて開催された。図-1は、会場の様子の写真で、4階と6階に分かれて競技会が開催された。毎回、参加チームが増え、

図-2に示すように、ここ10余年で、当初から比較して規模が10倍以上となり、運営は非常に困難なものになりつつある。

本稿では、「ロボカップ創世記」と題し、創設時やその前にあった動きなどを紹介し、初期のころの様子や課題、そしてその克服度合いなどを交えながら、各リーグの話へと繋げていきたい。

## ロボカップ黎明期

第1回大会が開催されたのは、1997年で人工知能の国際会議が名古屋で開催されたのを機に、併催イベントとしての位置づけであった。その時期から遡ること4年前の1993年頃から、具体的な構想づくりが始まっていた。現存するメールで、浅田が持っているものから察すると、第1回の会合が1993年11月15日にソニー CSLにおいて、北野宏明氏<sup>☆1</sup>のオーガナイズで開催され、基本コンセプトが構築された。それは、現在でも受け継がれている。当時のメモには、「エンターテイメント・ロボット」、「新たな標準問題」、「最高の技術水準の提示」などがあり、シミュレータ、実ロボット、デモンストレーションの3つのトラック、さらには、興味ある数値として、「ボールの脱出角度180度以上、ホールドは禁止(ボールの自由を奪う)」とか、ロボット・サイズに関して、「各個体の投影面積が直径30cmの円に入る」、さらには、重量制限として、「チーム当たりのロボットの総重量50Kg以内」などがあった。視覚認識のために、色情報を用いた物体識別も謳われている。競技場所として、FIFAワールド・カップ・サイズの1/20の3.4m×5.25m, Goal width: 1.7m, Goal height: 0.3m, ボールとして「硬式テニス・ボール(黄色)」、試合時間は、4.5分-15分(half)-4.5分などのメモが残っている。

研究的に興味ある項目として、当時から、完全自

☆1 創設時、総合プロデューサーとして大きな役割を果たした。



図-1 ロボカップ2010の会場の様子

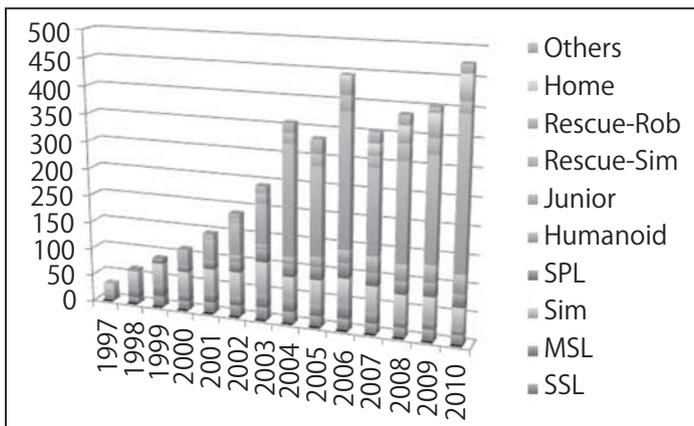


図-2 過去の世界大会の参加チームの推移(ロボカップ国際委員会提供)

律と人による遠隔操作の並行が考慮されていた。ロボットの自律パフォーマンスは最初から期待できないだろうから、人間によるリモコン操作を各チーム最大一人まで許すなどの考慮が示されていた。現状では、基本は自律だが、リーグにより、また時期により、部分的にこれらのアイデアが採用されている。たとえば、レスキューの実機リーグでは、テレオペレーションが現場ロボットのセンサとアクチュエータのみを使ってなされていたり、ヒューマノイドの初年度はあらゆる形態を許し、自立 (self-contained<sup>☆2</sup>) や自律 (autonomy<sup>☆3</sup>) の度合いによりハンディを与えていた。以降は完全自立の道を進んでいる。

これらの時期と並行して、浅田のグループは、1993年頃から強化学習を用いたロボットの

☆2 電源からコンピュータなどあらゆる資源を体内に含んだ形態。

☆3 遠隔からのコンピュータによる操作も許容。体内にすべて含んでいることを条件としない。

シュート行動の研究をシミュレーションと実機で行っていた。ロボット関係で最大の国際会議である IEEE ICRA (International Conference on Robotics and Automation) の1994年の会議に向けて、最初の成果の論文投稿を行った。しかし、査読者は新規性を認めつつも、採択されなかった。浅田は大きな会議に落胆し、その後、いくつか小さなWSなどで議論を重ねた<sup>1)~3)</sup>。講演は大好評を博し、自信となり、翌年、落とされた論文を一字一句違えず、1995年の同じ会議に投稿した。採択はもちろんのこと、最優秀論文の候補(約1,000編の投稿中の10編)に選ばれた<sup>4)</sup>。また、日本語の学会誌論文<sup>5)</sup>はロボット学会論文賞をいただいた。その後、一連の研究成果を発信した。一部を書籍<sup>6)</sup>としてまとめた。

## 戦略発展期

ロボカップは、西暦2050年までに「サッカーの世界チャンピオンチームに勝てる、自律型ヒューマノイドロボット(人間型ロボット)のチームを作る」という夢に向かって人工知能やロボット工学などの研究を推進し、さまざまな分野の基礎技術として波及させることを目的としたランドマーク・プロジェクトである。現在では、サッカーだけでなく、大規模災害へのロボットの応用としてロボカップレスキュー、次世代の技術の担い手を育てるジュニア、日

常生活への応用を目指したロボカップ@ホームのリーグなどが組織されている。研究テーマや実験内容に関しては文献7)～10)などを参照されたい。

ロボカップが想定する研究課題は、動的・複雑・不確実な実世界での機敏で臨機応変な行動、複数ロボットの柔軟かつ多様な協調行動、最適なコミュニケーション戦略、などである。サッカーロボットでは、小型(SSL)、中型(MSL)、シミュレーション(Sim)、標準ロボット型(4-legged/SPL:これまではソニー社製のアイボが使われていたが、2008年からは、ヒューマノイドの標準ロボットが利用されている)、ヒューマノイドの各リーグがあり、主に大学院レベルの研究成果が競われている。シミュレーション部門では、純粋にソフトウェアのみでこれらにアプローチすることを想定しているが、実機部門では、ハード、ソフト、通信など多様な手段を総合してアプローチしている。

視覚をはじめとした実時間知覚(ボール、ゴール、フィールドライン、敵味方の瞬時の認識)、複数ロボットの機敏な運動制御(瞬時の攻守交替に対応する急激な加減速や方向転換、高速走行、安定性、ボールのキックやトラップの器用さや強さ)、多様な状況と行動(ボール、ゴール、プレイヤーの位置関係や相対運動とゲームの文脈に応じた適切な意思決定と行動生成)などが挙げられる。

これらの成果、たとえば、複数移動ロボットの制御技術は、各種物流における搬送車の自動制御に、また実時間視覚情報処理技術は、各種検査技術などへの応用が考えられている。大きな方向として、人間社会に導入されるべく日常と非日常への応用が競技会としても設定されている。

後者は、複数ロボットの連携による災害救助ロボットの開発で、実際の災害現場と同じスケールで、ロボットとレスキュー隊員との連携による被災者発見や救助、災害状況の把握などを課題としたロボカップレスキューリーグである。前者はこれまでのロボカップ競技会で培った技術を日常生活に活かすことを目指したロボカップ@ホームであり、人間の識

別や活動支援などを目論んでいる。これらの課題を全世界の研究者が競い合うことで、科学技術の進展を目指している。第1回の名古屋での世界大会の参加チーム数は少なかったが、回を重ねるごとに増えてきて、現状では、時間と場所の拘束から、出場チームを制限せざるを得ない状況である。

ロボカップの基本コンセプトは公開性にあり、研究・教育・産業の同時進行である。そのことで、大学生や研究者のモチベーションを上げると同時に、小中高生が参画するジュニアを通じて、両親や関係者などの研究と直接関係のない一般の方々も巻き込むことで社会的認知も高まり、ロボットの社会への導入の手助けとなっている。ただし、現状では、各地域ごとにオープン競技会(たとえば、日本では毎年ロボカップジャパンオープンが開催されており、2010年は大阪で開催された)などが開催されるものの、世界大会は年1回、約2週間であり、恒久的な活動が切望されてきた。

## 競技進展期

過去14年間のリーグの変遷について述べる(表-1にまとめた)。1997年の第1回大会に先んじて、1996年にIEEE IROS(Intelligent Robots and Systems)の会議(浅田が実行委員長)において、Pre-RoboCup96を開催し、シミュレーションの競技会および中型ロボット(MSL:Middle-size)のデモンストレーションを行った。

第1回大会では、小型(SSL:Small-size)、中型、シミュレーションの3つのリーグ構成で開始した。各リーグの特徴は以降の解説に任せるとして、特徴的であったのは、ほとんど動いていなかったということである。当時、中型のチームで浅田が率いるトラッキーズは、5台のロボットを同時に動かすことにチャレンジしていたが、さまざまなトラブルからほとんど不可能であった。これはトラッキーズだけに限らず、すべてのチームがほぼ同じ状況であ



Leagues/years	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
RoboCupSoccer														
Simulation	official	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Small-size	official	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Middle-size	official	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Legged		exhibition	official	→	→	→	→	→	→	→	→	→	stop	
/SPL												exhibition	official	→
Humanoid				exhibition	exhibition	official	→	→	→	→	→	→	→	→
RoboCupRescue														
Simulation				official	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Real robot				exhibition	official	→	→	→	→	→	→	→	→	→
RoboCupJunior			exhibition	official	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
RoboCup@hme										exhibition	official	→	→	→

表-1 Evolution of RoboCup Initiatives



図-3 第1回ロボカップの中型の優勝チームのメンバとロボット

った。中型では5チームが参戦し、決勝戦に残ったのは、トラックキーズと奇しくも同じ機体を使っていた南カリフォルニアのチームと我々であった。それは、日本製のラジコンカーで、彼らの購入価格が我々よりも安かったことを記憶している。決勝戦では、お互い無得点で、延長戦に入る予定が、彼らの機体のバッテリーが上がってしまい、試合ができないうことで、本来、試合放棄で我々の優勝であったが、勝負にこだわらず、ともに優勝という結果に落ち着いた。図-3に両チームのメンバとロボットが揃った写真を示す。前列中央の左が浅田で右が南カリフォルニアチームのリーダー Wei-Min Shen 教授である。

パリで1998年に開催されたロボカップでは、ソニー・アイボによるエキシビジョンマッチが行われ、4足ロボットによる競技に多くの観衆が魅了された。翌年から公式競技となり、多大な人気を博し

たが、残念ながら製造中止により、昨年あたりから、公式競技ではなくなった。1999年のストックホルム大会では、ロボカップジュニアのエキシビジョンが、そして翌2000年(メルボルン大会)から公式競技となった。この年、レスキューのシミュレーションは公式競技に、そして実機によるエキシビジョンが行われた。2001年のシアトル大会では、レスキュー実機が公式になると同時に、直後の911のテロ災害においては、ロボカップレスキューのロボット隊が被災者の発見に貢献した。

ロボカップの最終目標であるヒューマノイドは2000、2001とエキシビジョンを行っていたが、2002年の福岡(釜山)大会から公式競技となった。ただし、最初から完全自立は困難なので、最初の年は、遠隔操作などのバリエーションを許したが、以降は完全自立を目指し、2004年から出場したチーム大阪は、ベストヒューマノイドのレイヴィトンカップを5年連続で獲得した。

2005年の大阪大会のシンポジウムで提案されたロボカップXは、サッカーやレスキューではなく、日常生活でのロボットの役割を競技対象にしたロボカップ@ホームの名称になり、2006年のプレーメン大会でエキシビジョン、翌年のアトランタ大会から公式競技となった。

アイボの製造中止に伴い、標準プラットフォームとしてフランスのベンチャー企業であるアルデパロン社のヒューマノイドNAOが採用され、今日に至っている。これら以外に、2006年からシチズン社

製のエコビーを使った Mixed Reality やマイクロナノロボット、宇宙探査、3次元シミュレーショントリアルなど、まだ公式競技となっていないデモンストラクションやエキシビジョンも行われている。

## 情報拡散進化

国内のロボカップの組織であるロボカップ日本委員会は <http://www.robocup.or.jp>、国際的な組織であるロボカップフェデレーションは <http://www.robocup.org> という Web ページを持っている。大会などの最新情報はそちらを参照していただきたい。

2002年には日本ロボット学会誌<sup>11)</sup>で、2010年には人工知能学会誌<sup>10)</sup>でそれぞれロボカップの特集が組まれている。一般向けにロボカップを解説した単行本も出ている<sup>12)~14)</sup>。ロボカップはサッカーを中心としているためにサッカーの試合を行うイベントだと誤解されることもあるが、研究の側面を当然ながら重視しており、国際大会では併設のシンポジウムを開催している。このシンポジウムの論文をまとめたものが毎年 Springer から出版されている<sup>15)</sup>ので、ロボカップで何が研究課題になっているかを知るにはこのシリーズに目を通してもらうのがよい。現時点で1999年の13回大会までの13冊が出版されている。

## 挑戦の進化と深化

ここでは現在のロボカップが抱えている主な課題を列挙して簡単に説明する。

### • マイルストーン

前述のようにロボカップは西暦2050年までに「サッカーの世界チャンピオンチームに勝てる、自律型ヒューマノイドロボット（人間型ロボット）のチームを作る」ことを目指している。ロボカ

ップが始まって10年以上経過し、最初に比べるとそのレベルは格段に進歩している。しかしまだ先は長く、目標ははるかに遠い。いまからの40年間をどう進めていくのか、適切な中間目標をうまく設定する必要がある。たとえば、2020年までに何を實現する、2030年までに何を實現する、2040年までに何を實現するというように10年ごとに適切なマイルストーンを設定することが有効と考えられる。

### • 運営

前述のようにロボカップの大会は規模が非常に大きくなっている。リーグ数も増え、各リーグの参加者も増えている。同じリーグでも技術の進展に伴ってフィールドの面積も広がっている。大会の実施には多くの費用がかかる（日本で国際大会を開くと億のオーダーの費用がかかる。ジャパンオープンでも千万のオーダーである）。ロボカップの大会は学会の規模を超えており、研究者だけで運営するのはほとんど不可能である。ロボカップは国際も日本もボランティアの組織で運営している（ロボカップの組織の詳細については文献10)を参照されたい）ので、大会のときは外部の多くの人の協力を得ている。予算と人をどう確保するか、さらには世界的な不景気の中で世界大会とジャパンオープンの開催地をどう確保するかを心配しなければならない。

### • 世代交代

ロボカップの創世記はロボカップを立ち上げたときからいたメンバやごく初期に加わったメンバによって運営されてきた。2050年までそのメンバで運営できるはずはないので（筆者らは2050年に生きていたとしても90代になっている）、次の世代、次の次の世代へと繋いでいく必要がある。前述のようにロボカップの運営は基本的にボランティア活動であり、運営にかかわることによって収入が得られるものではない。また運営は直接の研究活動ではないので業績として認められにくい。筆者ら立ち上げメンバは「熱い思い」でロ

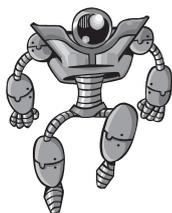


ボカップを始めていわば無報酬で活動を続けてきた。2050年の目標に向けて活動を継続していくためには、その思いを次の世代、次の次の世代に伝えることが重要と考えている。子供向けのロボカップジュニアに力を入れているのは彼らが将来のロボカップを担うことを願ってのことである。幸いなことに、ジュニアのOB/OGがシニアの各リーグに加わったり、後輩のジュニアの活動を支援したりし始めている。

## 未来への予言

本稿ではロボカップの立ち上げに深くかかわった立場からその創世記について述べた。2009年に社団法人日本ロボット学会より、ロボカップ日本委員会の“ロボカップを通じたロボットの啓蒙とロボット工学の発展に対する貢献”を認められ、“ロボット活用社会貢献賞”を授与された。ロボカップのさらなる発展に向けて引き続き活動を続けていく所存である。ロボカップはロボットの活動と思われるかもしれないが、情報処理に関係する部分も非常に多い。次回以降の個別のリーグの詳しい解説を読んで興味を持っていただき、ぜひ多くの人にロボカップの活動に参入してほしいと願っている。

**謝辞** ロボカップ日本委員会、ロボカップフェデレーションを含めロボカップにかかわる人(「ロボカップパー」と呼ばれる)すべてに感謝する。



## 参考文献

- 1) Asada, M., Noda, S., Tawaratsumida, S. and Hosoda, K. : Vision-based Behavior Acquisition for a Shooting Robot by Using a Reinforcement Learning, In Proc Of IAPR IEEE Workshop Visual Behaviors-1994, pp.112-118 (1994).
- 2) Asada, M., Uchibe, E., Noda, S., Tawaratsumida, S. and Hosoda, K. : A Vision-based Reinforcement Learning for Coordination of Soccer Playing Behaviors, In Proc. of AAAI-94 Workshop on AI and A-life and Entertainment, pp.16-21 (1994).
- 3) Asada, M., Noda, S., Tawaratsumida, S. and Hosoda, K. : Purposive Behavior Acquisition on a Real Robot by Vision-Based Reinforcement Learning, In Proc of MLC-COLT (Machine Learning Conference and Computer Learning Theory) Workshop on Robot Learning, pp.1-9 (1994).
- 4) Asada, M., Noda, S., Tawaratsumida, S. and Hosoda, K. : Vision-based Reinforcement Learning for Purposive Behavior Acquisition, In Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.146-153 (1995).
- 5) 浅田 稔, 野田彰一, 俵積田健, 細田 耕 : 視覚に基づく強化学習によるロボットの行動獲得, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.1, pp.68-74 (1995).
- 6) 浅田 稔(編著) : RoboCupSoccer, ロボットの行動学習・発達・進化, 共立出版(2002).
- 7) 北野宏明, 浅田 稔 : 「ワールドカップ」ロボットの挑戦. 日経サイエンス, Vol.28, pp.74-82 (1998).
- 8) 浅田 稔 : ロボカップにおけるrtの進化と深化, 機能材料, Vol.25, No.1, pp.7-16 (Jan. 2005).
- 9) 田所 論, 北野宏明 (監修) : RoboCup-Rescue 技術委員会, The RoboCup Federation, ロボカップ日本委員会 (編) : ロボカップレスキュー : 緊急大規模災害救助への挑戦, 共立出版(2000).
- 10) 野田五十樹, 松原 仁 (編著) : 特集 ロボカップ 12年, 人工知能学会誌, Vol.25, No.2, pp.183-228 (2010).
- 11) 鈴木昭二 (編著) : 特集 ロボカップ, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.1, pp.1-56 (2002).
- 12) 北野宏明 : 大人のための徹底! ロボット学 最新テクノロジーからロボカップまで, PHP 研究所(2001).
- 13) 松原 仁 : 鉄腕アトムは実現できるか, 河出書房新社(1999).
- 14) 松原 仁, 竹内郁雄, 沼田 寛 : ロボットの情報学, 河出書房新社(2001).
- 15) RoboCup 1997-2009 : Robot Soccer World Cup IXIII Lecture Notes in Computer Science, Springer (1998-2009).  
(平成 22 年 8 月 16 日 受付)



### ■浅田 稔 (正会員) asada@ams.eng.osaka-u.ac.jp

阪大出身で、意図せず阪大教授。ロボカップ日本委員会初代会長(1999-2002)、ロボカップ国際委員会前プレジデント(2002-2008)。JST ERATO 浅田共創知能システムプロジェクト総括(2005-2011)。

### ■松原 仁 (正会員) matsubar@fun.ac.jp

東大出身で電総研を経てはこだて未来大教授。ロボカップ日本委員会二代目会長(2002-現在)。本業は人工知能だが、最近は観光情報学、農業情報学、介護情報学などの研究にも従事。