フェロモン・コミュニケーションを行う ロボット群を用いた科学・工学教育

Science and Engineering Education Using Pheromone Communicating Robots

藤澤 隆 介^{※1}
Ryusuke FUJISAWA

大黒 正 敏^{※1}
Masatoshi DAIKOKU

The present paper describes the introduction of sociobiology and robotics to high school students through the Science Partnership Program (SPP) planed by the ministry of education and science. We prepared three days program. In the first day, we introduced sociobiology and communication method of insects. In the second day, students worked experiment using swarm robots. And, in the final day, students discussed the future of swarm robots. By this program, many students interested in science and engineering.

Keywords : Engineering Education, Swarm Robot, Sociobiology, Pheromone Communication

キーワード：工学教育，群ロボット，社会生物学，フェロモン・コミュニケーション

1. はじめに

近年，科学・工学分野へ進学する学生数が減っているとされている．この現象は，加工貿易を行っている我が国にとってもものづくりの担い手が不足することに帰結する．高校の数学，物理，化学などの理系科目の人気の低いのは，学生が学んでいる科目がどのように未来に繋がっているのか不明確であると感じているのが一因であると考えられる．そこで，独立行政法人科学技術振興機構では，サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト（以下SPP）という児童生徒の科学技術，理科，数学に対する興味・関心と知的探究心を育成するとともに，進路意識の醸成及び分厚い科学技術関係人材層の形成を目的として，学校等と大学・科学館等との連携により，科学技術，理科，数学に関する観察，実験，実習等の体験的・問題解決的な学習活動を実施する際の経費支援等を行っている¹⁾．

本論文では，身近な昆虫の振る舞いをロボット技術によって理解するという新たなアプローチによって高等学校の生徒に理工系科目に興味を持ってもらうことを目的とし，生物学の一分野である生態学・社会生物学の知見とロボット工学の融合であるフェロモン・コミュニケーション型ロボットを通じて高校生向けに科学・工学教育を行った結果を記す．

2. 方法

2.1 教材としての群ロボット

教材として図1に示すロボットを用いた．蟻は，餌を発見すると帰巢時に道しるべフェロモンでフェロモン・トレイルを生成し，集団で効率的に採餌することが知られている²⁾．本ロボットは，蟻の採餌行動を模倣するアルゴリズムを実装し，「環境に情報を残す」ことでロボットの間接的なコミュニケーションの可能性を検証するために開発された．ロボットは多層構造になっており，上から巣（以下Nest）を検出するためのNestセンサ，フェロモン・トレイル（実験ではエタノールを用いる）を敷設するためのエタノールが充填されている液体タンクとマイクロポンプ，内部状態を表示するための表示装置，他個体や壁との接触を検出する接触センサ，そして，最下層には環境中に残された情報を検出するためのアルコールセンサが搭載されている．

図1 教材に用いたロボット

平成 23 年 2 月 24 日受付

※1 八戸工業大学

図2 フェロモン・コミュニケーションを行う群行動アルゴリズム

図2にエージェントの行動アルゴリズムを決定性有限状態オートマトンで記す。エージェントの内部状態は S_1 ：探索状態、 S_2 ：誘引状態、 S_3 ：追従状態の3状態である。また、状態遷移の引き金としての知覚標識は P_1 ：Foodとの接触、 P_2 ：Nestへの到着、 P_3 ：フェロモンの知覚、 P_4 ：時間経過、 P_5 ：Food以外の物体との接触、 P_6 ：衝突処理の完了の6つである。最後に、任意の内部状態における行動は、 E_1 ：ランダム・ウォーク、 E_2 ：フェロモン・トレイルの敷設、 E_3 ：フェロモン・トレイル追従となっている。各エージェントは、このオートマトンに従って振る舞いが決定される。

上記の群行動アルゴリズムは蟻の振る舞いのモデル化としては一般的なものであり、工学と生物学の融合を狙った本教育プログラムの教材としては大変適切であった。本研究によって、藤澤らは情報処理分野³⁾、ロボット工学分野^{4), 5)}、社会性昆虫分野⁶⁾、これらの融合分野^{7) - 9)}で国際的に高い評価を得ている。

3. 教育プログラムと結果

本プログラムは高校生向けに計画し、2009年8月18-20日に八戸工業大学と青森県立八戸高校で行われ

た。参加生徒数は9名（1年生8名、2年生1名）であり、男女構成比は、5：4（男子：女子）であった。

3.1 教育プログラム

本プログラムは以下の3日間のスケジュールで進められた。2章で述べたように、プログラム内容は以下の通りである。

【1日目：事前学習とグループ活動】

連携先高等学校に出向き、事前学習として環境に情報を残すコミュニケーション手法についての基本的な知識を講義形式で伝えた。講義内容に対する理解を深めるため、小グループで校内の環境に残った情報を撮影させ、講義後半で生徒にそれを説明してもらった。校内の環境に残った情報を撮影・発表させた理由は、2章で説明したロボットを2日目のプログラムで実際に体験してもらうことを想定していたためであった。

【2日目：最新ロボット研究の紹介と群ロボット実験】

科学・工学に興味を持ってもらうことを目的とし、最新のロボット研究をいくつか紹介した。その後、2章で示したロボット15台を用いて実験を行った。実験では、ロボット群が搭載したエタノールとアルコールセンサを使って蟻の採餌行動を模倣した。実験の結果、参加生徒はロボティクスと社会生物学を同時に体験できた。

【3日目：科学・工学が融合したロボティクスの未来】

最終日には、アドバイザーとして大学4年生を高校生のグループに加えて未来の群ロボットに関するグループディスカッションを行わせた。その後、群れるロボットがどのような形で社会に貢献しているのかを生徒に説明してもらった(図3, 4)。その結果、ロボット群によって地雷を探索するなどのアイデアが生まれた。

前述の講義を行った結果、連携先高校の生徒の科学・工学に対する意識に変化がみられた。以下にそのアンケート結果を示す。

図3 連携先生徒が発表したロボット
(連携先機関にて著者撮影)

図4 連携先生徒による発表の様子
(連携先機関にて著者撮影)

3.2 アンケート結果

参加生徒には、プログラム終了後に複数の質問に答えてもらった。理工系分野に対する興味関心を問う質問と回答を以下に示す。「今回のSPPの講座を受講して、理科・数学についてどのように思うようになりましたか？」という問いには、9名中8名が受講前から好きだったし、受講後はより好きになった（図5）。「今回のSPPの講座への参加をきっかけに、

科学技術や理科・数学に対する興味・関心はどのようになりましたか？」という問いには、9名中8名が受講前も興味・関心はあり、受講後はもっと興味・関心が増加したと答え、1名が受講後から関心を持つようになったと回答した（図6）。これらの結果は、プログラム前から理工系分野に興味関心のあった生徒を対象にしていたことを示している。

進路に関する質問と回答を以下に示す。「今回の

図5 今回のSPPの講座を受講して、理科・数学についてどのように思うようになりましたか？

図8 進学あるいは就職の進路選択にあたって、現場の研究者や大学生、大学院生などの意見を参考にしようと思いましたか？

図6 今回のSPPの講座への参加をきっかけに、科学技術や理科・数学に対する興味・関心はどのようになりましたか？

図9 今回のSPPの講座への参加をきっかけに、理科・数学を勉強することは、将来の仕事の可能性を広げてくれるので、自分にとってやりがいがあると思うようになりましたか？

図7 今回のSPPの講座をきっかけに、将来、科学に関連する職業に就きたいと思いましたか？

図10 今回のSPPの講座への参加をきっかけに、将来勉強（あるいは研究）したい分野で必要となるので、理科・数学を学習することは重要だと思うようになりましたか？

SPPの講座をきっかけに、将来、科学に関連する職業に就きたいと思いましたか？」という問いに9名中5名が受講前も考えており、受講後はもっと考えるようになったと答えている(図7)。また、「進学あるいは就職の進路選択にあたって、現場の研究者や大学生、大学院生などの意見を参考にしていこうと思いましたか？」という問いには、9名中5名が受講前は考えていなかったが、受講後は考えるようになったとしている(図8)。

最後に理科・数学の重要性の認識に関する質問では、「今回のSPPの講座への参加をきっかけに、理科・数学を勉強することは、将来の仕事の可能性を広げてくれるので、自分にとってやりがいがあると思うようになりましたか？」という問いに対して9名中7名が受講前も思っており、受講後はもっと思うようになったとしている(図9)。「今回のSPPの講座への参加をきっかけに、将来勉強(あるいは研究)したい分野で必要となるので、理科・数学を学習することは重要だと思ようになりましたか？」という問いに対して8名中8名が受講前も思っており、受講後はもっと思うようになったとしている(図10)。

以下に示すのは受講生徒の感想である。

【女子A】

質問：SPP参加前後における志望進路は？

回答：志望進路が文系から文系か理系か検討中へと変化

回答理由：生物とロボットというものが、私の中であまりつながりがなかったので、この2つを関連づけて研究していることに驚いた。ロボットも生物も好きなので、新たな知識をつけることができて良かった。理系科目は好きだけど苦手なので文系に進もうと考えていたが、この講座に参加して、やはり理系は楽しいなと思った。

【女子B】

質問：今回のSPPの講座への参加をきっかけに、あなたが進学を志望する学部・学科(あるいは専門学校)、もしくは就職を希望する業種・職種は明確になりましたか？

回答：むしろ興味のある分野が増えた。

【女子C】

感想：私は大学で家政か農学で悩んでいたが、工学もいいなあと考えた。進路選択でさらに悩みそうです。2日目のロボットを見たのが一番面白かったです。粘菌など科学にいろいろ興味が持てました。

【男子A】

感想：はじめは化学や物理を少し詳しく考えるのが大学院だと思っていたが、SPPの講座に参加したことによって、もっともっと広いものなんだと実感した。もし将来研究をすることになったら、

人が考えつかないようなものについて調べたいと思った。とても面白かったので是非もういちどやってもらいたい。

【男子B】

感想：今回SPPに参加できる機会をいただいて、さらに、理数に関心を持つことができた。それに、将来は絶対に研究者になるという決意を固めることもできてひじょうに良かった。普段の学校の授業では触れられないようなことも沢山学んだし、自らの糧にすることもできたかなと感じられたので、嬉しかったです。今回はありがとうございました。

4. おわりに

前章で示したように、SPPによる科学技術教育プログラムは一定の成果を出した。特筆すべきは、女子生徒がプログラム前には他分野への進学を考えていたが、プログラム後には進路を科学・工学分野へ転換することを示唆している点である。この傾向は男子生徒には見られなかった。女子生徒からは、理系科目は好きだが苦手なために文系進学を考えていたが理系の楽しさを認識したコメントや、むしろ興味のある分野が増えたというコメントがあった。また、他分野への進学を考えていた女子生徒を工学へ関心を向ける機会にもなった。このことから、本プログラムは生徒の科学・工学への興味関心を喚起するのみならず、工学分野における男女比の均衡化にも効果がある。

参 考 文 献

- 1) 独立行政法人科学技術振興機構, サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト(SPP)<http://spp.jst.go.jp/summary/index.html>
- 2) E.O. Wilson: Sociobiology, The new synthesis, Belknap Press of Harvard University Press, 1975
- 3) 藤澤隆介, 今村 光, 橋本 敬, 松野文俊: フェロモン場を用いて誘引を行うロボット群の開発, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, 2-2, pp.80-91, 2009
- 4) Ryusuke FUJISAWA, Hikaru IMAMURA, Fumitoshi Matsuno: Cooperative transportation on Swarm Robot Using Pheromone Communication, Proceedings of 10th International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS2010), 2010
- 5) Ryusuke FUJISAWA, Hikaru IMAMURA, Takashi HASHIMOTO, Fumitoshi MATSUNO: Communication Using Pheromone Field for Multiple Robots, Proceedings of IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and

Systems(IROS2008), 2008

- 6) Ryusuke FUJISAWA, Shigeto DOBATA, Fumitoshi MATSUNO : Pheromone communication system of swarm robots inspired by ant trail foraging, IUSSI2010, 2010
- 7) Ryusuke FUJISAWA, Shigeto DOBATA, Fumitoshi MATSUNO : Increasing Individual Density Reduces Extra-variance in Swarm Intelligence, Proceedings of Seventh International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence(ANTS2010), pp.570 – 571, 2010
- 8) Ryusuke FUJISAWA, Shigeto DOBATA, Daisuke KUBOTA, Hikaru IMAMURA, Fumitoshi MATSUNO : Dependency by Concentration of Pheromone Trail for Multiple Robots, Proceedings of Sixth International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence(9) (ANTS2008), pp.283 – 290, 2008

- 9) Ryusuke FUJISAWA, Hikaru IMAMURA, Takashi HASHIMOTO, Fumitoshi MATSUNO : Swarm Intelligence of Multi-Robot Using Pheromone Trail, Proceedings of The 2nd Internal Symposium on Mobiligence, pp.203 – 206, 2007

.....

著 者 紹 介

藤澤 隆介

昭和55年生。平成21年3月電気通信大学大学院電気通信学研究科知能機械工学専攻博士後期課程修了。同年4月から八戸工業大学 助教。群行動アルゴリズム、群ロボット、群知能等の研究に従事。2008年度情報処理学会第71回数理モデル化と問題解決研究会プレゼンテーション賞、2010年度第58回工学・工業教育研究講演会 JSEE研究講演会発表賞を受賞。情報処理学会、IEEE、日本ロボット学会、計測自動制御学会に所属