

宇宙エレベーターをテーマとした アクティブ・ラーニングの実践

小林 道夫

1, はじめに

2016年12月21日に中央教育審議会(第109回)において、2020年度(平成32年度)から始まる次期学習指導要領について中教審会長から文部科学省大臣に答申された。答申内容としては、これまで公表されていた基本方針や審議のまとめと大きく変わりはなく、対話や討論などによる主体的な学びを通じ、自ら課題を見つけて解決する力を育成するアクティブ・ラーニングの全教科での導入、ICTの活用により教員の指導力の向上を改めて打ち出した。

小学校では、英語教育の充実と総合的な学習の時間などでプログラミング教育の必修化が柱となっている。英語教育を小学3, 4年生で年間35コマ実施し、小学5, 6年生では現行の外国語活動を教科化する。またプログラミング教育はコンピュータを介して意図を実現する手順を論理的に考える力を育む(プログラミング的思考)ため教科を問わず必修化となった。高等学校では、日本と世界の近現代史を合わせて学ぶ「歴史総合」や主権者教育を含む「公共」の新設、環境や防災などを含めた現代の地理的諸課題を学ぶ「地理総合」が必修科目となる。情報科は「情報1」「情報2」に再編される。また、数学と理科にわたって生徒が主体的に研究テーマを決めて取り組む「理数探究」を選択科目として新設する。これまでの学習指導要領は、子どもたちが「何をいつ学ぶか」を中心に示されてきたが、次期学習指導要領では、「何ができ

ようになるか」「どのように学ぶか」の視点で見直され、育成する能力の明示や、子どもたちが主体的に授業に参加するアクティブ・ラーニングの導入が大きな柱となっている。

2, アクティブ・ラーニングとは

アクティブ・ラーニングとは、能動的な学修を意味しており、受動的な受講から能動的な学修への転換のことを指す。アメリカの大学教育での手法を日本に持ち込み、大学教育の質的転換ということで話題になった。大教室で講義中心の授業ではなく、小さな教室に少人数でディスカッションしながら進められ、予習をして積極的に授業に参加しているかどうかの評価される。学生にとっては厳しいが、間違いなく学力は身につく。学習内容をインターネットに配信し、学生が自宅でビデオ授業を視聴して、教室では講義は行わず課題について議論するという反転学習やMOOCs(Massive Open Online Courses)もこの流れの中にある。

そしてその流れが初等教育、中等教育の次期学習指導要領に導入されることとなったのだが、初等教育、中等教育の場合は、高等教育の放任からの転換ではなく、その逆の指示過多や知識教え込み中心から質的転換をするためにアクティブ・ラーニング導入がなされる。とはいえ、小学校や中学校では、これまでも班活動やグループ学習を通して、意見を出し合ったり、体験学習やいろいろな活動を通してより

深く理解させるといった教育活動を行ってきた。初等教育中等教育の教員にとっては、これらの活動とどう違うのか？という疑問を持つのが正直なところであろう。

アクティブ・ラーニングは、知識情報を効率的に伝達するだけの講義形式ではなく、話し合いや体験を通してより深い理解につなげ、「思考を活性化する」学習形態を指す。その形態には、事前学習や見学を主体とした校外学習など

簡単に取り組めるものから、特定の問題について調査し問題解決を目指す研究活動のようなプロジェクト学習 (Project-Based Learning) や医学教育で行われている問題基盤学習 (Problem-Based Learning) のような高度なものまでさまざまである。山地 (2014) は、その具体的な学びの形態として、学習構造の自由度をタテ軸、学習活動の範囲をヨコ軸として整理した。

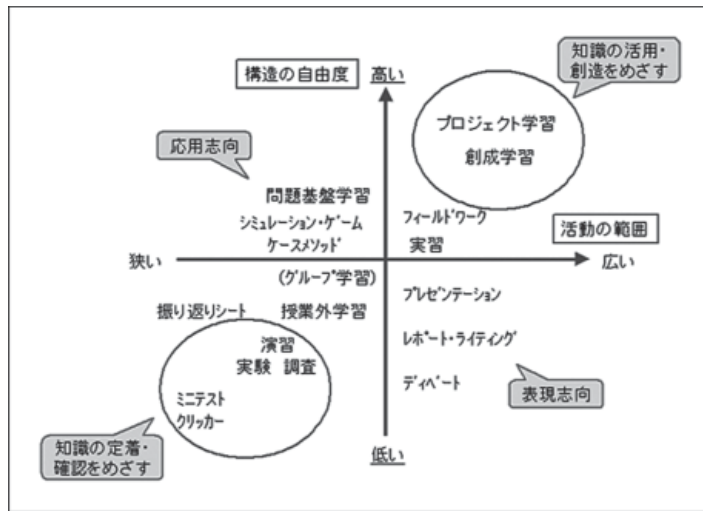


図1 アクティブ・ラーニングの多様な形態 (山地弘起, 長崎大学におけるアクティブ・ラーニングの事例, 2014)

本稿では、多様なアクティブ・ラーニングの形態の中から、宇宙エレベーターをテーマとした問題解決型プロジェクト学習の実践を報告する。宇宙エレベーターロボットを製作し、全国の小学生～高校生を対象にした講演会、競技会、ポスターセッションを開催した様子を紹介する。

3. 宇宙エレベーター構想

気象衛星や放送衛星は、静止軌道という赤道上36000km上空の軌道を回っている。これらは静止衛星と呼ばれ、36000km上空を地球の自転と同じ速度で移動するため、地上から見ると、あたかも天空の一点に止まっているように

見える。宇宙エレベーターは、静止軌道にある宇宙ステーションからテザー(ひも)を垂らすことによって、宇宙基地と地上を結び、テザーを伝ってカゴを上下させる乗り物である。ロケットよりも格段に多くの物資や人を宇宙に輸送でき、墜落の危険もなく、スペースデブリ(宇宙ごみ)や汚染も少ない宇宙エレベーター構想は、スペースコロニーや火星移住などの宇宙開発計画を一気に加速させる可能性を秘めている。

宇宙エレベーターの概念は、1895年にロシアの科学者であるコンスタンタン・ツィロコフスキー (Konstantin Tsiolkovsky) によって考案され、1979年にSF作家のアーサー・C・クラークが発表した小説「楽園の泉」の中で登場し、

宇宙エレベーターという言葉を広く一般の人たちに知らしめられた。しかし、問題となったのは宇宙ステーションから地上まで結ぶテザーであった。地上にテザーを垂らすとテザー自体の重さから宇宙ステーションが重力で引っ張られ墜落してしまうため、その反対側にも伸ばす必要があり、テザーは約100,000kmにも及ぶ。これだけの構造に耐えられるテザーが存在しなかったため、夢物語の域を脱しなかったが、1991年にカーボンナノチューブが発見され、

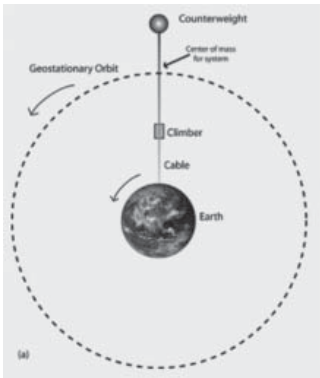


図2 宇宙エレベーターとテザー



図4 宇宙エレベーター想像図

©Space Elevator Visualization Group

4. プロジェクト学習としての宇宙エレベーターロボット

この壮大な夢の実現には、世界中で力を合わせ、新しいアイデアや技術を駆使し、問題解決を計らねばならない。その担い手は、子どもたちであり、その子どもたちに宇宙エレベーターに憧れ、興味を持って関わっていくことが重要である。そこで、レゴマインドストームEV3を使った宇宙エレベーターロボットを製作し、昇降実験を行いながら物資や人を運ぶ問題点や安全について考え、問題解決型のプログラミングやものづくりを学ぶ教育プログラムを作った。

(1) 主体的な学びと動機づけ

競技会を実施するにあたって、この教育実践を全国の学校で実施できる教育コンテンツとし

理論上宇宙エレベーター構想に耐えうる強度を有することがわかり、現実味を帯びてきた。その後、2013年に大手建設会社の大林組から「2050年宇宙エレベーター建設構想」が発表され、宇宙エレベーターは世界に先駆けて日本がリードしている壮大な宇宙開発プロジェクトとして認知されてきた。2015年には国際宇宙ステーション（ISS）でカーボンナノチューブの宇宙実験が始まりいよいよ開発段階に来ている。

て提供できないか考えた。チームで課題をクリアするセンサーロボットを作り、プログラミングを組み、競い合いながら成果を発表する流れは、アクティブ・ラーニングの手法を用いた問題解決学習になる。

世界の教育の潮流は、他者と協力しながら問題解決していく力が重視されており、その要素として自律性や新しい物事の考え方を創造し、表現する力が求められている。次期学習指導要領では、これまでの何をどのように教えるかではなく、子どもたちに実践力が身につけさせることを主眼に置いている。そのためには、「主体的な学び」の3要素「メタ認知」「学習意欲」「学習方略」が重要だとされている。メタ認知とは、自分の状況に対して客観的に認識できること、学習意欲とは、学びに向かう理由、つまりやろうという動機づけであり、学習方略とは、効果

的な学習方法である。宇宙エレベーターロボット競技会は、宇宙ステーションに安全に人や物資を運ぶという目的のもと宇宙エレベーターについて学び、地上とステーションを昇降するロボットを作り、その成果を競い発表するという主体的な学び3要素を持っている。

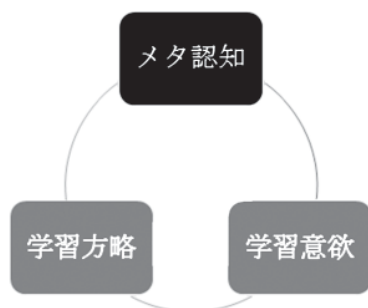


図4 主体的な学び3要素

この主体的な学びの学習モデルは、自己学習理論に則っており、宇宙エレベーターロボット競技会もこのモデルをもとに実施することとした。

(2) 宇宙エレベーターロボット製作の手順

宇宙に対する興味や関心を持たせ、宇宙エレベーターロボットの開発を通して構造やセンサの働き、プログラムの重要性を学ぶだけでなく、問題解決のプロセスが見えるところに特徴がある。授業では宇宙開発の現状と課題についての講義を行い、その上で解決策等を討議す

る。そして実習ではレゴ教材を使って宇宙エレベーターロボットを製作し、昇降実験を行う。

マインドストームEV3は、センサでモータの回転を制御しながらロボットを自律走行させることができる。まずは天井からテザーと宇宙ステーションをぶら下げ、床まで幅3cmのテザーを垂らす。宇宙ステーションまで昇り、そこから床まで降下するロボットを製作し、ロボットが正常に動作するアルゴリズムを考えながらiPadやパソコンでプログラミングする。次に宇宙エレベーターロボットの製作のステップをまとめる。

STEP1. 宇宙エレベーターロボットの構想

宇宙エレベーターはまだ存在しないので、どのような形でどんな動きをするか考える。アイデアを絵コンテとして描いてみる。次に、より具体化するために、レゴブロックでどのような形になるか作ってみる。

STEP2. 宇宙エレベーターの製作

- (1) アイデアがまとまったら、設計し製作に入る。まずは、モータを回転させてベルトを咬みながら昇る仕組みを考える。そしてステーションに接触すると降下する仕組みを考える。
- (2) タイヤの組み合わせや大きさ、そしてベルトの挟み方を変えながら作ってみる。モータ2個とEV3を搭載すると、かなりの重量がある



図5 協力しながらアイデアをまとめる



図6 バランスを考えながら製作・試走

ことに気付く。また、前後左右のバランスを考えて設計しないと、ベルトを大きく揺らしながら昇る事になる。

(3)タッチセンサを搭載し組立が完了すると、試走する。ベルトの挟み方や咬む強さを変更すると、摩擦力の大きさが変わり、昇るスピードも変わってくるのがわかる。また、降下するときも摩擦力やモータの回転スピードを調節しないと、落下して壊れてしまう。

STEP3. プログラミング

ロボットを自律走行させるためのアルゴリズムを考え、フローチャートを作って、iPadや



図7 パソコンでプログラミング

パソコンでプログラムを作成する。タッチセンサや超音波センサが反応して降下するしくみを考え、プログラムを作成する。マインドストーム専用の付属プログラムを使用し、上昇する速度と下降する速度の調整、センサが働かなかった場合の処理などを考えてみる。

STEP4. プレゼンテーション、ポスターセッション

製作した宇宙エレベーターロボットの設計の考え方や作品を発表する。構造や試走の様子をできるだけわかりやすく伝える。この段階で未解決な問題点やこれまでに解決してきた点について説明する。



図8 ロボットを使ってポスターセッション

5. 宇宙エレベーターロボット競技会

各学校の授業や部活動で実施しているロボット製作やプログラミングをお互いに競いながら宇宙エレベーターについて学ぶことを目的に、小学生～高校生を対象とした宇宙エレベーターロボット競技会を開催することとした。競技会には、専門家の講演会、ロボット競技、プレゼンテーション、交流の4つ要素を含めることとし、子どもたちが一つのテーマについて考え、成果を発表しながら交流すれば、大きな達成感とともにもっと学びたいというモチベーションになると考えた。そして競技会を実施するにあたって、中学高校大学の教員を中心に、協力企業や団体を含めて13名でなる実行委員会を設

置した。実行委員会で、年間スケジュールの作成や競技会実施に向けての準備を進めるが、具体的には、予算案の作成、研究費の申請、レギュレーションの決定、指導者向けワークショップの開催、ロボット教室の開催、会場の予約、機材の打ち合わせ、参加者募集、ボランティア募集、WebページとYouTubeチャンネルの作成管理、ポスターの作成、競技会準備など、多岐にわたる。

これらの仕事を分担しながら進めるには、実行委員が共通でめざす目標や指標が必要と考えた。日本の子どもたちだけでなく、海外チームの参加を呼びかけ、世界大会の開催、そして2020年開催予定のロボットオリンピックに採択されることを目標とし、そのためのロード

表1 宇宙エレベーターロボット競技会ロードマップ

実施年	目標
2015年	第3回大会 日本科学未来館で開催
2016年	第4回大会 日本科学未来館、ロボットオリンピック採択に向けた働きかけ、地方大会の開催、韓国トクソ高校でロボット教室
2017年	第5回大会 地方大会（東北、関西、九州）の開催、海外チームの募集
2018年	第6回大会 世界大会の開催
2019年	第7回大会 ブレロボットオリンピック
2020年	第8回大会、ロボットオリンピック

マップを作成した。

(1) WebページとiTunes U教材

本競技会の認知度を上げ、この教育実践を全国または世界各地で実施してもらうには、情報公開するしくみと世界中の教師が実施できる教材を準備し、自由に閲覧できるしくみが必要で

ある。そこで、日本語と英語表記のWebページとYouTubeチャンネルを開設し、新情報の案内、レギュレーションの告知、各地方開催ワークショップ案内、参加申し込み手続き、Q&A、映像配信、過年度の記録などを掲載した。



図9 競技会Webページ



図10 YouTubeチャンネル

宇宙エレベーターロボットを学ぶための教材配信について検討した。WebページからPDFファイルをダウンロードし映像を見るだけでは内容を理解し学習することは難しい。学習カリキュラムとして指導案、教材、課題、テスト、評価など準備しておかなければ、教師が指導することは難しく、競技会に参加しなくても、どのように指導して良いかわからないという状況に陥ってしまう。そこで、子どもたちや教師が世界中どこにいても自由にアクセスし学習でき

るeラーニング教材配信を検討した。2014年に発売となったレゴマインドストームEV3はiPadなどのタブレットでプログラムが作成でき、Bluetoothで送信できるので、パソコンやUSBを使うこともなく簡単に扱うことができる。つまり宇宙エレベーターロボットを作るときはiPadを使う可能性が高いことから、Appleが無料で提供するeラーニングシステムのiTunes Uを使い、教材を配信することとした。



図11 iTunes Uで配信する教材

6. 競技会の報告

第1回宇宙エレベーターロボット競技会は、2013年11月23日に東京の聖学院中学高校で開催した。参加校は実行委員の教員の学校が中心となって8校から11チームの参加であった。すべてが初めてのことであり、手探り状態で準備を進め、実行委員の手弁当で物品を購入し、何とか開催までこぎつけたという状態であった。

2014年に第2回目を実施するにあたって、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団科学教育

振興助成を申請し採択された。これによって物品や消耗品を購入することができるようになった。30チーム150名以上参加という目標を立て、講師対象ワークショップやロボット教室を開催しながら、広報活動を行った。開催案内はWebページとメールや口コミが中心であるため、参加者数が懸念されたが、毎回30名程度の参加があった。内訳としては、中学や高等学校教員で中心で、ロボット教室講師や文部科学省調査官の参加もあった。授業や部活動での取り組み、SSH（スーパーサイエンスハイスクール）実施校の研究テーマとして採択検討など、様々な取組みを検討されていた。2014年11月23日に神奈川大学附属中・高等学校で、第2回宇宙エレベーターロボット競技会を開催した。全国各地から33チーム150名を超える子どもたちが集まり、競技会では、午前中に宇宙エレベーター研究者である青木義男氏の講演が行われ、宇宙エレベーター開発の現場や問題点、実験成果などの説明があり、参加している子どもたちや保護者は夢中になって話しに聞き入っていた。



図12 本校体育館で開催した第2回宇宙エレベーターロボット競技会

3回目となる2015年も公益財団法人中谷医工計測技術振興財団科学教育振興助成に採択され、会場を日本科学未来館で開催することを計画し、予算編成や予約方法、物品の調達など新たな課題に取り組んだ。そして、東京神奈川が

中心であった指導者向けワークショップを仙台、東京、横浜、京都、福岡で開催し、実行委員が交代で全国を行脚した。また、7月には経済産業省の霞が関子供デーの子供向けワークショップで宇宙エレベーターロボット教室を開

催し、11月にはJST（国立研究開発法人科学技術振興機構）主催「サイエンスアゴラ」でブースを出展し多くの子どもたちや教育者の関心を集めた。宇宙エレベーターロボット競技会が徐々に認知されはじめ、東京、神奈川、高知などの小学校でロボット教室を開催してほしいと

の依頼や、東京都高校情報科研究会、神奈川県高等学校教科研究会情報部会からワークショップの依頼があり実施した。そして2015年11月8日に全国から62チーム、200名以上の子どもたちが集まり、保護者や一般見学者も含め、約1000名の集客があった。



図13 日本科学未来館ホールでの講演会と30秒プレゼンテーション

競技会のレギュレーションは、プログラミング（制御）したロボット（全長60cm以内）を作製し、宇宙ステーションに見立てた高さ5mの模型まで、ロボットに乗せたフィギュアやアヒルなどを運ぶというもので、その正確性と速さを競った。昨年と異なる点としては、人間に見立てたフィギュアだけでなく3Dプリンタで

作った動物（アヒルの親子）も正確に宇宙ステーションに運ぶというものだ。競技は一回のみなので、時間ギリギリまで調整をして競技会に挑んでいた。競技のあとは、ポスターセッションで各チームとも競技が終わって緊張もほぐれ、チームで協力しながらそれぞれプレゼンテーションしながら大賑わいの様子だった。



図14 緊張の競技会とポスターセッション

第4回競技会は、2016年11月20日に日本科学未来館で開催した。多くの学校が参加しやすいように、教育委員会や省庁の後援や協力の依頼や手続きを行い、後援として横浜市教育委員会、経済産業省、そして神奈川大学の協力を得

ることができた。今回から地方大会の開催と全国大会100チームの参加を目標に、ワークショップや説明会などの広報活動を行った。その結果、京都の同志社中学校で関西大会を開催することができ、全国大会も74チームが集ま

り、子どもたちや保護者、見学者も含めて約1200名の集客があった。小学生部門、中高校生初級部門、中高校生中級部門の3部門に分

け、地上5mに設置された宇宙ステーションへ、いかに速く正確にピンポン玉や3Dプリンタで作ったウサギを運ぶかを競った。



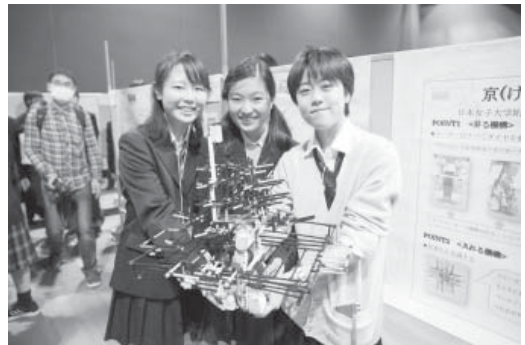
講演



競技会



競技会



ポスターセッション

7. まとめ

国際学力調査として行われている OECD（経済協力開発機構）の学習到達度調査（PISA 調査）や、平成26年度子ども・若者白書によると、日本の若者は諸外国と比べて、自己を肯定的に捉えている者の割合が低く、自分に誇りを持っている者の割合も低く、うまくいくかわからないことに対し意欲的に取り組むという意識が低く、つまらない、やる気が出ないと感じる若者が多いという。宇宙エレベーターは日本がリードする宇宙開発の夢の乗り物である。宇宙エレベーターロボットをテーマとしたプロジェクト学習は、各学校の授業や部活動で取り組むことができ、宇宙エレベーターに乗って宇宙旅行することを想像しながら、ロボットの構造やセン

サープログラミングを学べるアクティブラーニング教材である。何より宇宙エレベーターには夢がある。「宇宙エレベーターを作りたい」研究者から子どもたちまでこの思いを繋げていくことこそ夢の実現に大きく進む事ができる。このような教育実践が、子どもたちへの動機づけを高め自己肯定感を持たせると考える。

<参考文献>

文部科学省(2016) 『学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)』
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/

chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/
afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf

文部科学省(2016) 『次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ』

http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/09/09/1377021_1_1_11_1.pdf

山地弘起(2014) 『長崎大学におけるアクティブ・ラーニングの事例』私立大学情報教育協会 JUCE Journal 2014年度 No.1

土田 哲(2012) 『宇宙エレベータの実現に向けて』電気学会誌 Vol. 132 (2012) No. 9