

レゴマインドストーム EV3 を用いた宇宙エレベーターロボットの製作と制御

大阪府立岸和田高等学校

北 拓朗

要旨

私たちは、ロボットの「動き」についての研究を主として行った。まず、どのようにすればロボットにロープを昇らせて、物資を運搬することができるのか、次に、それをどのようにすれば速く動かすことができるのかを探究した。最初に行った物資運搬実験で、ロボットの重量の不均衡が速度に関係すると考察した。その後に行った往復時間計測では、ロープを支える装置を二つ、ロボットに設置して実験を行ったところ、車輪と装置との距離が大きいほど速度は小さくなった。また、車体と装置との距離をそれぞれ等しくしたとき、違う値にしたときよりも速度が小さくなった。よって、モーターに、進行方向に対して垂直にかかる負荷の大きさによって速度が変化することが示された。

序論

私たちが最初に着眼したのは、宇宙エレベーターであった。宇宙エレベーターとは、現在研究が行われている、「地球と宇宙を結ぶ」これまでにない輸送機関のことである。これを、地上から宇宙にのぼした柱に通す。これによって、ロケットのようにエンジンなどを切り離すことなく、少量のエネルギーで宇宙との流通を行うことができるようになる。

この宇宙エレベーターに見立てたロボットを用いて、3分間でピンポン球を3m上の模擬宇宙ステーションに運び、その数を競う大会が行われているということを、私たちは研究開始前に耳にした。そして、他者と競うことによって、宇宙エレベーターについて理解し、探究することで、本来研究されている宇宙エレベーターをより効率的にする術を入手することを目的とした。また、この研究によって、宇宙エレベーターについて広告し、大衆の宇宙エレベーターへの興味を掻き立てることを望んだ。

インターネットなどを用いて、「マインドストーム」という「レゴ」のロボットを動かすための基盤を用いて製作を行った。しかし、ロープを昇らせる際に車輪が動かない、またはすぐに動かなくなるなどの問題が発生した。これは製作において、狭い範囲での調整を複数回行うだけで、全体の均衡について考慮していなかったという杜撰さから生じたものである。これによ

って、既定の位置にあるべきものを設置できなくなり、左右の均衡が保たれなくなったことによるものであると考えた。しかし、大会の期日までの時間が少ししかなかったことで、修正には至らなかった。そして迎えた大会、それぞれの集団に二回の試行を許されたのだが、一回目は途中までは上昇したものの、模擬宇宙ステーションに到達することなく、ロボットが停止した。二回目の前に、他の集団の模倣を試みた。しかし、無謀な試行であったために、ロボットが適切な形にならず、ロボットがロープを昇ることはなかった。

大会を節目に、私は前回の研究を基にして、どのようにすれば速くロボットを昇降させることができるのかについて考察した。そこで、私たちは物資運搬ではなく昇降にのみ特化したロボットを製作することで、外的要因と昇降速度との関係についての考察を試みた。

方法

まず、昇降のみを目的とした宇宙エレベーターロボットを、「レゴ」のコンピューターとパーツを用いて製作する。(図1参照)

次に、ロボットに一つ搭載されたタイヤの上下それぞれ9cmのところ、ロープに対して垂直にあるように、支柱をそれぞれ2本ずつ設置する。そして、その2本の支柱の間に、ロープを支えるための車輪を上下それぞれ設置する。

(図2、図3参照)

以上の操作によって完成したロボットを、ロープに吊るす。そして、「マインドストーム」に組み込んだプログラム(図4参照)によって、ロボットに1mの距離を昇らせ、その時間を計測する。その際、支柱の間の車輪と、ロボット本体との水平方向の距離を0cm、2.5cm、5cmと上下で変化させ、合計9通りの条件で5回ずつ試行する。なお、数値は小数第二位を四捨五入して算出するものとする。

結果

(表5)のように、上部の車輪と本体との水平距離(以下、上部の距離)が5cm、下部の車輪と本体の水平距離(以下、下部の距離)が5cmのとき、つまり上部の距離と下部の距離がそれぞれ最も大きい条件で、1m昇るあたりの秒数が最も大きくなっている。

また(表6)より、各条件における試行による結果の平均値を比べると、上部の距離と下部の距離を入れ替えても、それぞれの速度の差は小さいことが分かる。さらに、上部の距離と下部の距離が等しいとき、上部の距離または下部の距離が等しい3通りの条件における試行の結果と比較して、速度が小さくなっていることも分かる。

考察

この結果より、「車輪とロボットとの距離が大きいほど、ロープを昇る速さは小さくなる。」と考察される。車輪との距離が大きければ、天井に吊るされたロープの変形が大きくなる。それによってより大きな張力が垂直方向に発生する。これがロボットの進行を阻害することが、この結果を生み出した原因である。(図7参照)

また、「上部の距離と下部の距離が逆である2通りの条件における試行でのロボットの速度に、多大な変化は出ない。」ということも分かる。上向きであれ、下向きであれ、二方向の力がそれぞれ等しいとき、垂直方向の力の大きさは等しいからである。(図8参照)

さらに、「上部の距離と下部の距離が等しいと

いう条件下での速度は、一方がそれと等しく、他方が異なる条件下での速度よりも、速度が小さくなる。」ということも分かる。これは、ほとんどすべての張力が水平方向に加えられているため、ロボットの運動が阻害されやすいからである。以上の二つの考察より、「上方向または下方向の張力の成分は、ロボットの速度を大きくする。」と考える。

そして、最も疑問であると考えたことは、「上部の距離が2.5cm、下部の距離が0cmのとき、速度が最も大きい。」ということである。第一の考察を基に考察すると、上部の距離と下部の距離が最も小さいときに速度は最も大きくなるものと私たちは仮定していた。しかし、第二の考察、第三の考察より、上方向や下方向の力も、ロボットに影響を与えうる可能性の存在が示された。よって、この条件が、上部、または下部の距離が上下方向の張力が調和する。いわば最大値に近い条件であることが示される。

しかし、(表5)の②の試行において、計測された五つの数値のばらつきが大きく、今回算出した平均値に対する信憑性は小さい。つまり、安定した平均値を算出するために、さらに試行回数を増やせば、考察は変化するかもしれない。例えば、上部の距離と下部の距離が逆のとき、差は小さいことが分かった。しかし、(表6)から②と④、③と⑦、⑥と⑧の条件下での結果をそれぞれ比べると、下部の距離が上部の距離より大きい条件での時間は、その逆の条件での時間以上の大きさになっていることが分かる。試行をさらに増やせば、第二の考察を崩し、「下方向の張力の成分は、上方向の成分よりも大きくロボットの上昇を促進する。」という考察に代わってしまう可能性が大いにある。

また、ロボットに実験途中で欠陥が生じたことに気付いていないこともありうるので、いかに安定しており、いかに効率的に運動させられるかを追求したロボットの製作も課題の一つである。それに加え、今度は昇降だけでなく、物資の運搬など、他の目的に応じたプログラムやロボットを作ること視野に入れることができる。探究は無限に続く。

結論

宇宙エレベーターロボットにおいて、モーターに、進行方向に対して垂直にかかる負荷によって回転が抑制され、その力が大きいほど、抑制は強くなる。また、その負荷の鉛直方向の成分も、モーターの回転に関与する。

開発環境

- ・ 教育版レゴマインドストーム EV3 プログラミング
- ・ LEGO Mindstorms educationEV3
- ・ iPad モデル md511j/a 容量 32GB

参考文献

- 1) 株式会社ナリカ 教員のための理科総合サイト 理科.com. 宇宙エレベーター実験キット.
http://www.rika.com/lego/stem_elevator. 2018年6月8日

謝辞

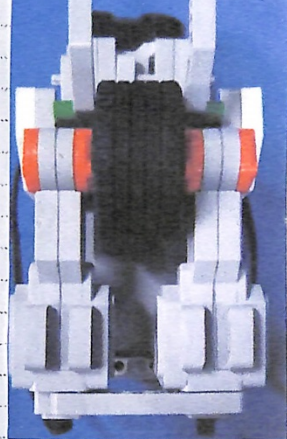
本研究に際して、研究課題や開発環境の提示をしていただいた鈴木研太先生に、実験のための場の確保、ロボット製作におけるご指導などをしていただきました。

宇宙エレベーター 研究手法 第一段落上り
(図1)

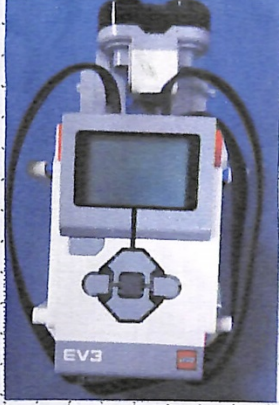
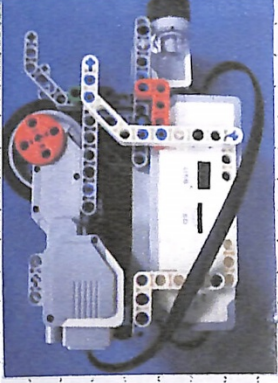


(上から見た図)

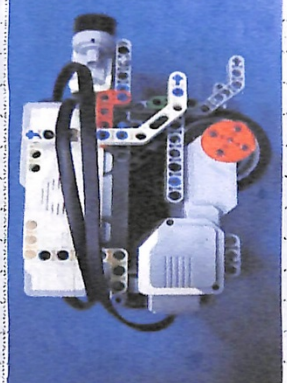
(裏から見た図)



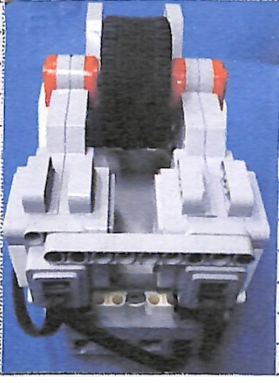
(左から見た図)



(右から見た図)



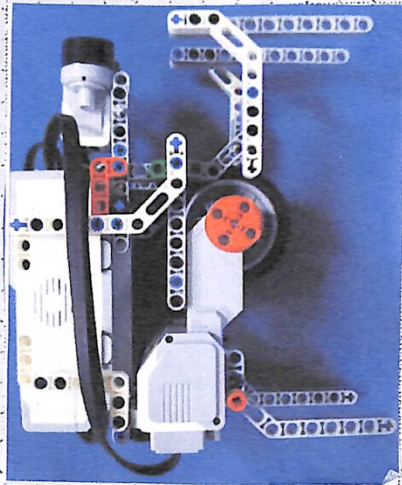
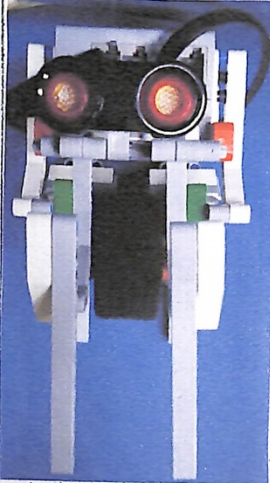
(下から見た図)



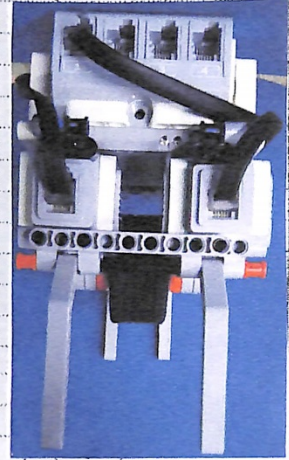
宇宙エレベーター 研究手法 第二段落より

(図2)

(上から見た図)

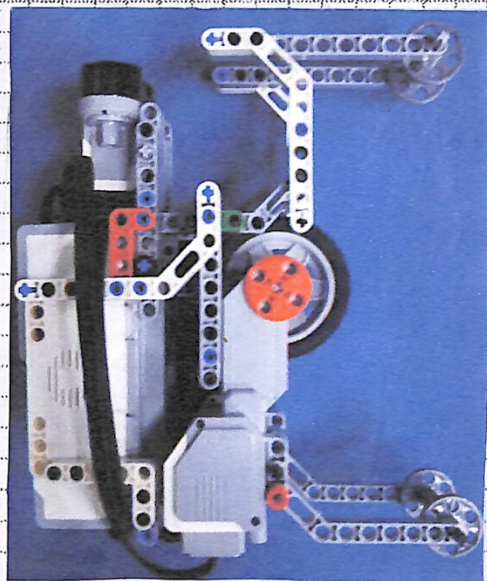
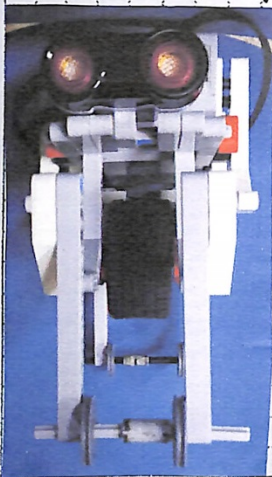


(下から見た図)

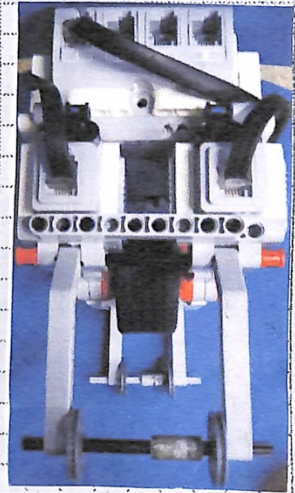


(図3)

(上から見た図)

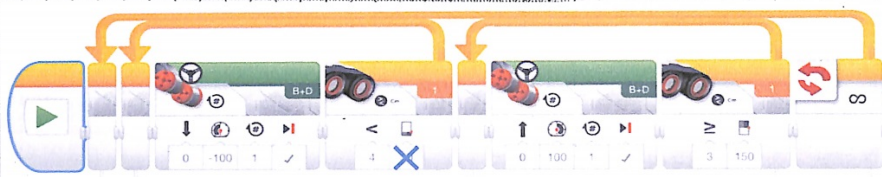


(下から見た図)

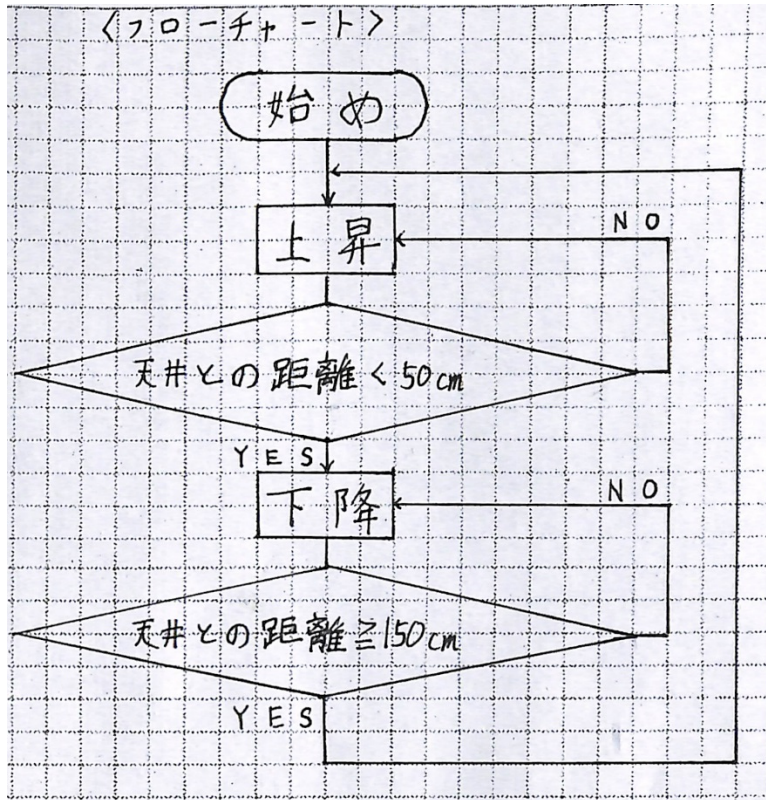


宇宙エレベーター 研究手法 第三段落より

(図4)



50



宇宙エレベーター 研究成果より
(表5)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値
①	6.7	6.9	6.9	7.0	6.9	7.0
②	5.2	6.6	6.1	5.2	4.2	5.4
③	7.1	6.1	6.7	7.4	7.3	6.8
④	5.9	5.6	6.8	6.2	6.1	6.2
⑤	6.6	7.6	8.7	8.5	7.6	8.2
⑥	7.8	8.4	7.9	7.1	5.7	7.4
⑦	5.8	7.2	6.8	7.1	7.2	6.8
⑧	7.9	7.9	7.7	6.2	7.5	7.6
⑨	4.4	9.6	9.1	11.6	10.0	10.0

(単位: 秒)

ただし、

上りの距離 / 下りの距離	0cm	2.5cm	5cm
0cm	①	②	③
2.5cm	④	⑤	⑥
5cm	⑦	⑧	⑨

(表6)

上りの距離 / 下りの距離	0cm	2.5cm	5cm
0cm	① 7.0秒	② 5.4秒	③ 6.8秒
2.5cm	④ 6.2秒	⑤ 8.2秒	⑥ 7.4秒
5cm	⑦ 6.8秒	⑧ 7.6秒	⑨ 10.0秒