

## 考える学生を育てるためのトリガー — 対話型教育の試み —

牧野俊郎\*

ひょんなことで、「転上体」と呼ばれる、転がって坂を上って行く不思議な車の図面を発見した。大学の先生にその図面を見せたところ、すぐにその図面の車を作ってくれた。でき上がった車を目の当たりにして、動かしてみても、よるこんで、次には、いかにしてそれを大学の教育に生かせるかを考えた。この大学の学生はあまり考えない。それは、具体的には、意味のあることばをもって口を開くことが少ないということである。対話の機会を設けるのが望ましい。対話の切掛け/トリガーとして「転上体」はよいものであるかもしれない。大学の先生方とともに動き始めた。

**Keywords** : 坂を上る車, 対話型教育, キーワードの洗い出し, 考える学生.

### 1. はじめに

**1.1 北陸新幹線** 2015(H27)年に東京から金沢までやって来た北陸新幹線を、いま敦賀まで延長しようとしている。私は福井県の田舎の出身の者であるが、そこにはもう実家と呼べる家の建物は無い。しかし、土地は残っている。その土地のなかの山林部の下を新幹線が通るといっているので、山の図面が必要になった。わが家の本棚を探していたところ、そんな土地の図面の中から、ネット上では「転上体」と呼ばれる車の図面(図1)が出てきた。

「転上体」と呼ばれるその車は、2つの円錐の底面をくっつけたような算盤(そろばん)珠状の物体であり、股開き状態のレールの坂道に置くとその車は転がって坂を上って行く、そんな不思議な物体である(図2)。それを初めて見て不思議だ、おもしろいと思ったのは、20年ほど前に、京都市にある(株)島津製作所の創業記念資料館[1]においてであった[2][3]。

**1.2 ポケットゼミ** 私は近畿能開大に赴任する前には京都大学に勤めていたが、その大学における学生と先生の関係は、この大学における学生と先生の関係とはずいぶん違っていた。大学では、学生が入学して1ヶ月も経つと先生は当該学科のすべての学生の名前と顔と性格までも知って、学生と先生の間には親しい関係ができ上がる。大学ではそれが当然であるが、京都大学ではそうではなかった。学生は大学に入学して3年間は自分の名前を知っている先生は1人もいないのがふつうであった。工学部では4回生(関西の大学では〇年生を〇回生と呼ぶ)になって研究室に配属されて初めて自分の名前と顔を知ってくれる3人くらいの先生に出会う。

10年ほど前に、大学もさすがにこの状態はマズいと気づいたのか、通称「ポケットゼミ」と呼ばれる単位つきの科目を設けて、1回生の前期に週にいちど5-6名の学生が教授室を訪ねられる機会を作った。教授たちは勝手なゼミのテーマを挙げて学生を募集した。ゼミに応募する学生の所属学部は問わない。工学部の私

が開講したゼミには文学部や農学部(農業)の学生もやって来た。自分の専攻する学術分野への導入部をゼミのテーマにする教授が多かったが、私はもっと学生がとつきやすいテーマを選んだ[4]。私は、まず、ペットボトルとビニール管を材料にして高精度の温度計[5]を作るというものづくり教室をやった。また、私好みの当

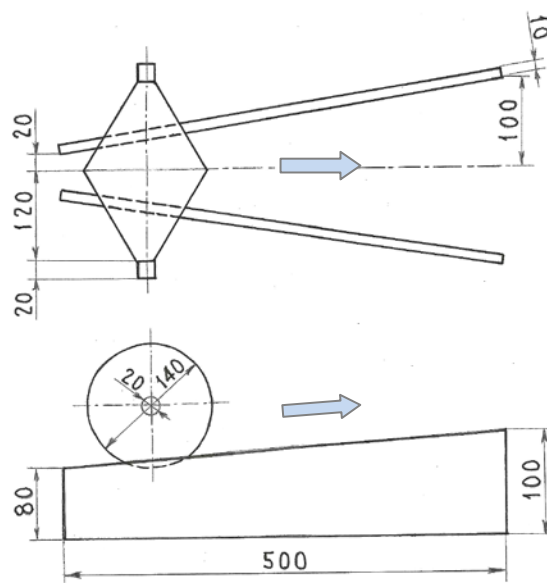


図1 転上体の図面



図2 転上体 made in 近畿能開大

\* 校長

時の映画『三丁目の夕日』の試写会を教授室でお茶・お菓子つきでやった。その機会には研究室の4回生も部屋に呼んだ。新生に3年後の自分を見せるためであった。上述の島津創業記念資料館にも出かけた。そこに陳列してある転上体も見せて学生を不思議がらせて、私はよろこんでいた。転上体の寸法を採らせた。資料館の職員が駆けつけて、そんな勝手なことをしてもらっては困ると叱られた。採寸した数字をもとに、研究室の学生に転上体の図面を作らせた。その図面は10年の時を経てものを具現化するのに貢献した。その10年の間私はそのものこと、不思議さのこと、図面のことをすっかり忘れていた。図1は、正確にいうと、2016(H28)年になってから私が鉛筆とペンで描き直したものである[6]。

## 2. 図面の具現化

図面を発見した後、大学の藤根和晃先生にその図面を見せて、おもしろいでしょうなどと会話を交わした。彼は学生の卒業制作でいろんなアイデアフルな独楽(こま)を作らせて学生を独楽の競技会に参加させるなどしてきた方であったからである。彼は、確か2日後に転上体を作って私の部屋に届けてくれた。私が示した図面より少し小さめの寸法のものにして3Dプリンターで加工したものである。3Dプリンターでものを作るには時間が掛かるので、2日後というのは最速で対応してくれたということである。彼の作になる転上体には、私には思いつかなかったさまざまな知恵が込められていた。

**2.1 坂の構造** 島津製作所の転上体の上る坂は2枚の台形状の板(レール)からなっていたが(図1)、彼はそれを2枚の長形状の板と坂を支えるための支持具に置き換えた(図2)。その結果、2枚の板と支持具が分解できて(たとえば、後述(§3.1)の出前授業に出かけるときの)携帯性がよくなった。さらに、この構造の変更は後述(§2.10)の系統的な実験/実演への展開を容易にした。

**2.2 転上体の材質と加工法** 私が自分で転上体を作るとすると、なにか軽い金属、たとえばジュラルミンの丸棒を1体ものとして算盤珠状の転上体に旋盤加工しようとしたであろう。その場合、加工に際してどこをチャックで掴むべきかについて、行き詰まってしまったに違いない。彼はたぶん初めから3Dプリンターによる加工を想定し、2つの円錐の底面を糊で結合することを考えた。後で思えば、私が旋盤加工するにしても、算盤珠を2つの円錐に分けて加工し、その底面を丸棒から突っ切りバイトで慎重に除去するのがよいくらいのことを考えてもよかったのであろう。適切な加工プロセスを即座に選べるプロと素人の私との距離がわかった気がした。

**2.3 黄銅の重り** この大学の3Dプリンターで製作できるのはプラスチック製のものである。プラスチックで作った車は軽いので、坂を上るにも下るにもほいほいと走ってしまうであろう。彼はたぶん直観的にその点に気づいた。3Dプリンターの加工プログラムを組むときに、プラスチック製の転上体の内部に黄銅の丸

棒の重りを組み込めるように設計した。

**2.4 鋼の丸棒** 彼は転上体とその車が上る坂の他に、みがき仕上げの鋼の丸棒を付けてくれた。転上体の実験/実演を始めるときに、この坂はほんとうに傾いている、机や椅子が傾いているのではない、また、知覚心理学の錯視を狙ったものでもないことを見せる演出ができるようにと、彼はそんなことも見越してくれていた。

**2.5 車止めの溝と敷き布** 彼のシミュレーションは、さらに行き届いていた。転上体が坂を上って行って坂を過ぎると車が坂や机から落ちて車や床を傷つけてはいけなく、車は坂を上り切るあたりで止まってほしい。彼は車止めの溝を坂の頂点付近に設けた。また、いくぶん重く作られた転上体が転がって車止めの溝で止まるときに、坂をつくるレールが平滑な机の上を滑ることを防ぐために、敷き布を準備してくれた[7]。彼は自分の加工するものがどのような状況でどのように用いられるかを十分にシミュレートした上で転上体の実験システムを設計していた。

すばらしいと思った。近畿能開大の知恵と技能を実感した。その後、私は、すこしだけ小物を足した。

**2.6 もの差し** 転上体が坂を上り始めるときと上り終えるときとで転上体の軸の高さはどのように変化するか、それを確かめる道具として金属製の定規/もの差しを準備した。その後、車の高さの変化を連続的にも観測できるようにするために、高さレベルを表示する横長の立て板を準備した。その板には、高さ1cmごとに赤と黒の横線を交互に水平に引いた。図2の配置で、その板をレールの向こう側に立てて、こちら側から水平方向に観測すると、(車の軸の高さというより)車のお尻の高さの変化がよく見える。

**2.7 まんが本** 転上体が坂を上るとして、どの程度の傾きの坂なら上れるのかを調べるために、坂の支持台の下に敷く高さ調整の仕掛けとしてまんが本を1冊準備した。まんが本はそのまま敷いてもよいし、まんが本の何ページ目かまでを敷いてもよい。

**2.8 車止めの段ボール箱** 上記(§2.5)の車止めの溝は車が坂を上って行くときには有効であったが、まんが本(§2.7)を敷いて坂を急にして車が坂を下るときには効かない。そのときにも車が転がって床に落ちて行かないように、鋼の重りを入れた段ボールの車止めの箱を作り、それを実験/実演セットに加えた。

**2.9 水平で開いたレール** 2016(H28)年の新年あいさつ会の後に、大学の職員が歓談する機会をもった。その折に転上体を見せておしゃべりをしていたところ、福尾憲二先生からその車に類似のものを飛騨高山の博物館?で見たことがあるとの話があった。その高山の車は、坂を上るのではなく水平に置いた股開きのレール上を股が開いた方向に動き始めて進むものであったそうである。おもしろいと思った。藤根先生にその話をすると、彼はまたすぐにその実験/実演のための補助器具(cf. 図3)を3Dプリンターで作ってくれた。その器具は上記(§2.1)の長形状のレールを水平に立てるようにするものであった。

**2.10 実験/実演のビデオ** 誰かに転上体の動きを見せ

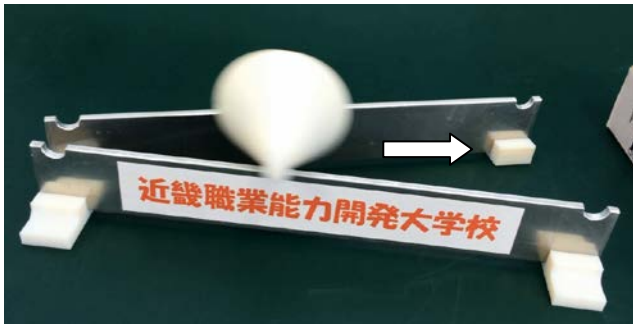


図3 坂はなくても車は転がって進む!

るときに、上記の道具/器具をどのように組み合わせ、どのような順で見せるのが効果的であろうかを考えてみた。「効果的」とは、見た人にインパクトを与えることができるように、見た人が少しでも分析的に考えることができるように、という観点からのものである。ついでに、表1を作成した。表中の「No.」は実験/実演の順番の例、「レール」は坂を構成する2枚の板、「視点」は実験/実演を眺める人の観測角、そのうちの「normal」は斜め上方からの意味である。玉越靖司先生にお願いして、表1のNos.1~10の実験/実演のビデオ画像/動画を作ってもらった。そのビデオは大学の文書サーバーの“全体共用”ファイル[8]に置かれている。これは、追って大学のホームページ[9]やYouTube上にも掲載したい。

### 3. 大学の知名度と考える学生の育成

転上体の実験/実演セットができ上がって、さて、このおもしろいものをどのように使うかを考え始めた。何週間かかけて ゆっくりと思いを巡らせた。考えたのは、大学の知名度アップのこととあまり考えることのない大学の学生への てこ入れ のことであった。

**3.1 大学の知名度** この大学は的を絞って特徴ある教育を施す 優れたものづくりの学校である。しかし、その知名度は低い。地域との繋がりを築くべく高校生に“出前授業”をするなどしてきたが、大学に寄せられる関心は頼りないもののみである。そこで思いついたのが、約1時間の出前授業の初めの3分くらいに転上体の実験/実演(表1のNos.1, 2のもののみ)をやってみせて高校生の目を見開かせ、それから授業に入るという‘雰囲気づけ’を施すことであった。同時に、「近畿 (なんとか) 大学校」という長い名前の

学校からやってきた先生が何か不思議でおもしろいことをやって見せてくれた、とそんな記憶を彼らの脳裏の片隅に残せないであろうか、そんなことを考えた。転上体の坂の側面に赤いポップ体の文字で「近畿職業能力開発大学校」と書いた紙を貼りつけた(図2, 3)。大学の先生方に頼んで、この1~2月に延べ10校程度の高校での出前授業の際に実演してもらった、効果のほどは、現れるにしても、何年か後のことになるであろうが。

**3.2 考える学生の育成** この大学の学生はあまり考えない、勉強しても、考えることなく憶えるという方向に走る。ずっと気になっていたところである。では、私が長くいた京都大学の学生はよく考えるかということもそんなこともない。ただ彼らは大学の学生に比べてはるかに暇である。暇に任せてよく喋る、よく口を開いて学生同士で対話する。口を開いて対話をする、それはやがて「考える」に繋がることもある。その程度のことはある。急いではない、これは教育であるので。

ついでに、大学の学生にも口を開いて対話をしてほしいが、いくら何でも対話のためには何かの課題が必要であろう。その課題は多くの基礎知識がなければできないようなものであってはならない。ところで、この転上体について対話するために基礎知識はほとんど要らない。求められる基礎知識は、強いて言うなら、ものは上から下に落ちる、というそれくらいである。対話を始めるために予習は要らない。

ただ、ひとは、大学の学生でなくても、対話を進める方向を嗅ぎとることが得意ではないので、先生のリードが不可欠である。また、授業に出るだけで忙しくて暇のない大学の学生のために、何かの授業を1コマ(100分)のみならず、2~3コマを(運用のレベルで/対話のために)都合できる先生方の心の広さ/いい加減さが求められる。2015(H27)年度には、玉越先生が、かなり積極的にそのような試みをしてくれた[10]。次年度にもそのような試みが こんどはいろんな科目で試みられることを期待している。

とは言え、一度あるいは二三度そんな対話を経験したくらいで、すぐに考える学生ができるはずはない。そうではあるが、若いうちに、対話を通じて何かことが進むという成功体験をすると、それは記憶に残る。そして、自主的に課題をもって対話をするまでになると、やがて先生のリードなしに、また対話の相手がなくても自問自答できるようになる、つまり「考える」ことができるようになる可能性は生まれる。

就職して会社に入ると、そこでの技術者の仕事の多くは、‘課題解決’ (trouble shooting) である。仕事の仲間と対話し自問自答して課題の1つずつを乗り越えて行くしかない。大学では、より十分な知識を与える授業をめざすのも悪くないが、課題解決力養成型、対話型の授業があってもよい。その課題として「転上体の理解・説明」はよいものであろう。

### 4. 学生との対話

転上体をネタにして、学生と対話することをシミュ

表1 転上体についての実験/実演のリスト

No.	坂	底上げ	レール	body 丸棒	視点	動き	keyword 机は水平
1					normal	下る	接点
2					side view with a scale	上る /	重心
3		なし	股開き	転上体	股開きの向き からの view with a scale		
4	あり						normal
5		with まんが本1冊				下る	
6		with まんが本〇頁				進まない	
7			平行	丸棒	normal	進まない	机は水平
8				転上体			
9	なし	なし	股開き	丸棒	normal	進む /	開き角 テーパー角
10				転上体			

レートしてみる。ただし、以下の対話の試みは、現象をよく見て、考えるための最少限のキーワードを洗い出すというところに留まっている。‘なぜ’の物理や定量的なあたりには立ち入っていない。それでもこの対話に100分は掛かるであろう。それも、こんなにうまく行くことは実際には期待できない。しかし、それでも「考える学生」への入口にはなるであろう。

対話の相手の学生の所属学科は問わない。高校で物理を選択しなかった学生でもよい。先生と対話する学生の数は5人くらいでまでであろう。少人数制の大学の20~30人の学科でも、いくつかのグループに分けてやるべきであろう。

以下に対話の例を示す。そこで、○は1人の先生、●は先生からは「あなた」と呼ばれる1人の学生の発言を想定するものである。＜実験する＞に付したNo.は表1に示した実験/実演No.に対応する実験であることを示す。

#### 4.1 何が不思議であったのか？ 車はほんとうに坂を上ったのか？ キーワードは「接点」！

この先では、「転上体」のことを「車」と呼び、「坂」のことを「レール」と呼ぶことが多くなる。

まず、転上体が坂を上る実験をやってみせる。その前に、

○ 最初に、本番の実験/実演の前に、この坂がほんとうに傾いているかどうか確認するために、丸棒を転がしてみます。いいですか？ やりますよ！

##### ＜実験する＞ No.1

○ 満足しましたか？ 丸棒は坂を下ったし、机は傾いていませんね。

● はい。

○ (転上体を坂に乗せて) じゃあ、いいですか？ 本番いきますよ！

##### ＜実験する＞ No.2

● おおーっ！

○ おもしろかった？

● すごくおもしろかった。

○ 何がおもしろかったですか？

● 車が坂を上って行った。不思議だった。こんなの初めて見たから。

○ そうですね。私もおもしろいと思いました。ところで、あなたはなぜ車が坂を上って行くと思ったのですか？

● そりゃあ、車が坂を上って行ったから。

○ 坂を上って行ったと思ったのは、車のどこを見ていてそう思ったのですか？

● どこって、そりゃあ、車の全部でしょう？

○ そうじゃあなくて、たとえば人が坂を上って行くのを他の人が見て、彼は坂を上って行ったと思うのは、人の全部を見ていてそう思うんじゃないでしょう？ たとえば、彼の足もとを見ていてそう思うんじゃないでしょうか。この車の場合も、同じように考えたんじゃないですか？

● そうか、そうかもしれませんね。車に足はないけれど、車と坂が接するところ(接点)、そこを見ていたのかもしれない。‘そこ’って坂そのものですよ。

ね。そうか、車は上り坂に沿って進むから、車は坂を上って行ったと思ったのですね。

○ たぶんそうですね。その意味では、確かにこの車は坂を上って行ったんですよ。まずは、車が坂を上って行ったってことを確認しましょう。大事なことです。この段階でのキーワードは、たぶん車と坂の「接点」でしょうね。

#### 4.2 「上下」、「上る」ということばは重力があつてのもの？ キーワードは「重心」！

○ ところで、その接点が坂を上ることを不思議だと思ったのはなぜですか？

● ううん、それはよくわかりませんねえ。

○ たぶん、さっきあなたが車の全部が坂を上って行くと言ったときに、車の全部ということばに込めたものは何だったのかなあ？

● そりゃあ先生、全部は全部ですよ。

○ そうかもしれないけれど、もう少しだけ丁寧ないうと全部って車の体積の全体のことじゃあないでしょうか？

● そうかもしれませんね。

○ そうだとすると、車の体積の全体が坂を上って行ったのでしょうか？

● 車の体積の全体が坂を上るってのは、そりゃあ何ですかねえ？ 何を見ていれば解るんですかねえ？

○ 車の体積の全体というとかみどころがないですが、車の体積の全体というの、要するに/ちょっと飛躍があるけれど、車の全体の重さということじゃあないでしょうか？ 重さは下向きに掛かる力です。そもそも「上」とか「下」とかいう言い方は重さ/重力についてのことばですね？

● まあ、そうですね。

○ ある程度の大きさの、形をもった物体の重さを考えるには物体の「重心」を考えるのがよいでしょう。力は物体の重心に下向きに働きます。

● それくらいのことは解ります。

#### 4.3 車の重心は車のどこにある？

○ じゃあ、この車の重心は車のどこにあるのでしょうか？

● そりゃあ車のまん中ですよ。

○ まん中ってどこ？

● まん中ってのは中心ですよ。

○ この形の車の場合にはそうなんだけれど、もう少し中学校の幾何って感じで言うとどうなるでしょうか？

● 車の軸がここにあつて、そのまん中ですよ。

○ そうですね、いい感じになってきましたね。

● 先生は俺をおだてていますね。

○ そのとおりです。いまこの机は水平に近い状態にあるので、さっきあなたが言った車の軸の高さが重心の高さになります。

○ 車が坂を上って行くときに、車の軸の高さは車が坂を上る前と上った後とでどのように変化するか、調べてみてはどうでしょう？ ここに定規があります。やってみてください。

● はい、やってみます。

＜実験する＞ Nos. 3 & 4

- どうでしたか？
- 車の軸の高さは、車が坂を上る前のほうが上った後よりも高いですね。
- そうですね。ということは、車の重心は坂を上ってはいなくて、坂を下っている、そういうことになります。このことは、われわれの常識にフィットしますね。
- それはわかります。
- この図を見てみてください。(図4[6]を見せる)車が右に進むと車の軸やてっぺんが下がって行くのがわかりますね。
- わかります。わかりますが、んー、こんな図があるんだったら、意地悪せずに早く見せてほしかったなあ。
- そうはいきません。初めにこの図を見せてしまったら、あなたは考えることなく、答えを記憶にしまい込んで、それで終わりにしちゃうでしょう？
- それもそうかな。いや、たぶんそうです。すみませんでした。
- 少しまとめてみましょう。さっきは、「接点」は坂を上ると理解した。こんどは、「重心」は坂を下ると理解した。これって、どちらかの理解が間違っているのでしょうか？
- いや、そんなふうには思いません。どちらも正しいのだと思います。
- すばらしい視かたですね。あなたは多角的かつ分析的に現象を視ることができたということです。これで、先に進めますね。

4.4 車はどんなに急な坂でも上る？ キーワードは坂の「角度」？

- ところで、坂がどんなに急でも 車は坂を上って行くのでしょうか？
- そりゃあ限度があるでしょう。ほとんど鉛直にそそり立つ坂を車が上って行くわけがありません。
- そうでしょうね。どの程度の傾きなら上って行くのでしょうか？

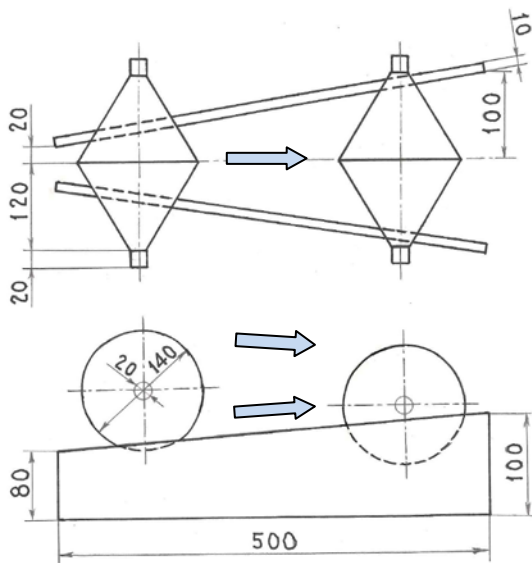


図4 車は坂を上ったか、下ったか？

- ここに『三丁目の夕日』というA5判の まんが本があります。これを坂上のほうの台の下に敷くと坂が急になります。この本を敷いた状態で車は坂を上るのでしょうか？ やってみてください。

＜実験する＞ No. 5

- んー。上りませんね。
- そうですか。では、まんが本の途中のページまでを挟んでやってみて、どの程度急な坂までなら上っていけるかを調べてみてください。

＜実験する＞ No. 6

- わかりました、この程度です。
  - そうですか。車が坂を上るといっても、坂の急さ加減に限界があることがわかりましたね。じゃあ、キーワードは何でしょうか？
  - 何かの角度かな？
  - そうです、「角度」。何の角度ですか？
  - 坂の傾き角です。
  - そう、また一步進めました。うれしいですね。
  - これまでのあなたと私との対話のなかで、「接点」、「重心」、坂の傾きの「角度」なんてキーワードが洗い出されてきましたね。これは すごいことです。これが発見や構想や設計の出発点になります。
  - そうですね、初めは「不思議だ」くらいのことばしかなかったけれど。
  - このあたりで少しまとめると、坂ってのは傾いた坂なんですけど、車が坂を上って行くためにはその坂の傾き角には限界があるってことですね。
  - はい、わかります。
  - ところで、その限界は坂の急さ加減だけで決まるものでしょうか？
  - さっき坂の「角度」がキーワードだということになったけれど、これまでの実験に出てきた角度は他にもありましたよねえ？ 他の角度って何の角度でしたっけ？
  - えーっと、坂をつくっているレールの股開きの角度かな、それと円錐を2つくっつけたような車の円錐部の傾き角、なんて呼ぶのでしたっけ？
  - 車の円錐部の傾き角のことを機械屋さんではテーパ角と呼んでいます。まとめると、この現象に係わる角度は3つあって、その1つが坂の傾き角、2つめが坂のレールの開き角、3つめが車の(軸方向の)テーパ角ですね。
  - はい、このことに関係する別の実験をやってみましょう。
  - よーうっし。
  - この実験は、坂がなければ車は動かないかどうかを試してみるものです。実験装置をちょっとだけ変えるので、少し待ってください。坂をなくしてレールが水平に立つようにします。
  - 水平に置いた2本のレールを平行にして丸棒と車を置いてみます。
- ＜実験する＞ Nos. 7 & 8
- んー？ どちらも動きませんねえ。おもしろくないですね。
  - 動きませんね。こんどは、レールを股開き状態にし

て丸棒を置きます。

- そりゃあ、動かないでしょう。

#### <実験する> No. 9

- 動きませんね。こんどは、レールを股開き状態にして車を置きます(図3, レールは右側で開いている)。

- そりゃあ、動かないでしょう。
- そうかな？

#### <実験する> No. 10

- おおーっ！ 動いた、動いた！
- 動きましたね。進みましたね。この実験の場合には、坂はありません。坂がないので車は上りませんが、しかし、車は動き始めて進みましたね、坂を作っていたレールが開いている向きに進みましたよねえ。
- わかりませんね。坂がなくても不思議なことは起こるんですね。
- 坂がなくても車が動き始めて進むってことは、きょうの初めからの実験にとって坂はなくてはならないものではない、本質的なものじゃないってことですねえ。
- そうでしょうね。

#### 4.5 キーワードとなる角度は 坂の傾き角ではなくて「レールの開き角」と「車のテーパ角」！

- 車が動き始めて進むために、もちろん限界があるけれど、坂があってもなくてもよいとしたら、この先何を考えたよいかのなあ？ 何だと思いますか？
- 何かなあ。わかりません。
- さっき、「角度」がキーワードになると言っただけ、角度には、坂の傾き角、レールの開き角、車のテーパ角の3つがあると言いましたが、いまの実験をやってみると、その3つの角度のうち、坂の傾き角はあまり重要ではないとわかりましたね、坂がなくても車は動き始めて進むのだから。そうすると、車が「転上体」ではなくって不思議さのインパクトが薄れてしまって少しさみしいけれど、いっぽう、重要な角度の数が3から2に減りました。これで、考える要素の数が少し絞りましたね。「分析」の結果です。
- そうですね。考えやすくなったんですね。
- そのとおりです、よくわかりましたね。

#### 4.6 対話：話を引っ張る、話に乗っかる、キーワードを探す

- さて、これまでの対話を通じて、この先議論を進めていくために重要なキーワードとして、「接点」、「重心」、「レールの開き角」、「車のテーパ角」の4つが洗い出されました。さて、この先、どのように議論を進めていけばよいのでしょうか？
- わかりません。
- そうでしょうね。私もこの先の議論の準備はしていませんでした。
- そうなんです。意外ですね。
- いつもではないけれど、きょうはそうです。きょうはあなたと長く話してきました。もう1時間は経ちましたね。話し始めたときには、あなたは「不思議だ」、「おもしろい」くらいしか口にできなかったけれども、やがて、キーワードを洗い出すまで

に進歩しました。

- そうですね。自分でも進歩したと思います。けれど、それって、先生が俺を誘導尋問的に引っ張って来てくれたからですよ。
- まあ、そうも言えます。いっぽう、逆に、あなたはよく私を観察してきましたね。相手を診て対話できるのはすごいことです。つまり、あなたは話に乗ってきた、あなたからも発信してきたのがよかったんです。腕組みして うーん って一人で考えても、それでなんとかなる人は稀です。
- はい。
- 私が言いたいのは、まずは口を開いてひとと対話して、自分以外の人にも通じる具体的なことばを引き出すこと。この「具体的なことば」というのが、さっきから言ってきた「キーワード」です。口を開き対話することによってキーワードが出てくると、課題を、具体的に、分析的に、筋道立てて考えることができるようになります。
- はあ。
- ちょっと話が抽象的になり過ぎましたね。まあ、まずは、意識して口を開いてひとと話すことを心掛けましょう。

#### 5. おわりに

大学の学生たちは、よく学んでいる。やり過ぎではないかと思うくらいにである。ただ、授業時間が長くて忙しいせい、あまり考えてはいない。

学んで思はざれば罔し(くらし)

ここで「思う」というのはよく考えるということである。「罔し」というのは、納得して解ってはいないということである。学んでも考えないと本物にはならない。考えるためには、とにかく口を開くことである。学生諸兄には、対話を通じて意味のある具体的なことば/キーワードを求めてほしい。

#### 謝辞

本文と次の Appendix にお名前を挙げた大学の先生方に感謝する。また、機械図面の描き方(JIS)をご指導くださった梅田良範先生に感謝する。

#### 文献と注釈

- [1] <http://www.shimadzu.co.jp/visionary/memorial-hall/> Feb.29, 2016.
- [2] 本年5月に複数の友人から、この車はNHK Eテレの「ピタゴラスイッチ」という番組で紹介されたことがあると聞いた。
- [3] 京都大学総合博物館には、旧制第三高等学校由来の物理実験機器の1つとして転上体が「対円錐(ついでんすい)」の名で保管されている。
- [4] 牧野俊郎: 新入生向け少人数セミナー「工学の智恵-人間の分身をつくる-」, 06-07年度. 京都大学.
- [5] <http://site.ngk.co.jp/lab/no82/> Feb.29, 2016.
- [6] 図1, 4の車や坂(レール)の寸法や形状は島津創業記念資料館(当時)のもの寸法や形状である。ただし、これらの図の正面図上の寸法‘500’はレールの底辺の長さであり、平面図上に記入されるべき値で

あったと推定される。

[7] 図 2, 3 の写真では, 机の表面が滑りやすいものではなかったため, この敷き布は用いていない。

[8] 近畿能開大職員向けには:

¥¥fs01¥¥全体共用¥09\_その他¥転上体¥動画¥系統的に

[9] <http://www3.jeed.or.jp/osaka/college/>

[10] 玉越靖司: 電子情報科「デジタル回路実習」資料, Feb.22-Mar.07, 2016; 転上体を題材とした説明の実験授業について, 近畿能開大ジャーナル, no.24, pp.94-98, Sep.2016.

## Appendix 高校生の物理

以上には, 大学校の学生にもう少し考えるようになってもらうための切掛け/トリガーの一案を示した。つまり, 本稿の主旨はすでに述べた。ただ, 個人的には, 少し物理の説明もほしい。については, 多分に自己満足的にはあるが, 以下を付記する。

**A.1 車が坂を上って行くための条件は?** 車が坂を上って行くための坂の角度, レールの開き角, 車のテーパ角の条件については, 力学的というより初等幾何的にとり扱える。それは, 車の重心は車が進むとともに下るという条件であり,  $\sin$ ,  $\cos$  と四則演算くらいを用いて記述される。

**A.2 車はなぜ動き/進み始めるのか?** いっぽう, 車はなぜ動き/進み始めるのかという問題は, 少なくとも私には易しくなかった。この問題を私にインプットしてくれたのは大学校の高田 実先生であった。車には直接的には鉛直下向きの重力しか働いていないにもかかわらず, なぜ車は坂を上る向きに(図 2), あるいは水平の方向に(図 3) 動き始めるのか。車が水平の方向に動き始めるには, その方向への加速度あるいは力が働かなければならないのではないかと。

私は, はじめ, この車が動き始めるという問題は制御工学の安定問題であろうと思いついていた。円弧溝上に置いた丸棒はズーッと安定であるが, 丸棒上に置いた丸棒は数学的には安定であっても実際にはズーッと安定ではないという類の話があったのを思い出して, まあそんなことであろうと, 考えるのを止めていた。

その後, 大学校の道廣敬治先生と話していて, そんなことではないと指摘された。レールが股開きになっていると車には回転モーメントが生じるというのである。その話を聞いて「モーメント」という長く忘れていたキーワードを思い出した。ただ, どのような断面を考えて, どの点からどの作用点に至る距離と, その作用点にどの向きの力が作用するのかがわからなかった。要するに, 説明図が描けなかったのである。

また, 実は, 「摩擦力」というもう一つのキーワードも忘れていた。つまり, 車が動くときに「滑る」のか「転がる」のかの区別が曖昧になっていた。車は転がって動き始めるが, 転がるという現象は摩擦力とモーメントがなくては起こらない現象である。

2 ヶ月近くわからない状態が続いた後に, やっと摩擦力とモーメントを説明する図 5 を描くことができた。

できしてみると, この図を描くのに高校物理を超える知識は要らなかった。その図は, 水平に置かれたレールが右側に股開きになっている図 3 の状態についての図であり, 図 2 の坂のある状態に比べてより基本的なものである。

**A.3 高校物理の説明** 図 5 の上部の平面図で, 股の開き角は図 1~4 のものより広く描いている。レールには厚さがあるが, 車は 2 本のレールの内側の稜に接して右向きに転がって動き始めて進む。点  $O$  は車の軸の中心にある車の重心である。点  $R$  は車とレールの接点である。図 5 の下部の図は正面図である。ただし, この図には, 平面図に示す車の  $R'-R''$  断面(接点  $R$  を含んで車の回転軸に垂直な断面)の円を描いている。その円の外側の大きい同心円は車の最大直径部の  $O'-O''$  断面の円である。これらの 2 つの円の中心には, 車の重心  $O$  を含む車の回転軸が, 紙面に垂直な方向に貫いている。平面図と正面図に記号  $\bigcirc$ ,  $\square$  で示す 2 つずつの線分の長さは記号ごとにたがいに等しい。

以下には, 車とレールの接点  $R$  に働く複数の力について説明する。図と説明文の中の斜字体の文字は物理量であり, そのうちのボールド体の文字はベクトル量を表す。車とレールからなる系が 3 次元的なものであるので, 説明は少なからずややこしい。

力学現象として, 直接的には車の重さ(重力)の半分のみだが, 車とレールの接点  $R$  において鉛直下向きにレールに働く。その力が接点  $R$  に働くすべての力の起源になる。その力は正面図に記号  $G$  で示すものである。その力  $G$  の分力は, 車とレールからなる 3 次元系で, たがいに直交する 3 つの成分に分けて考えられる。3 つの成分のとり方には任意性があるが, 車からレールへの垂直抗力や車とレールの間に働く摩擦力の考察に有利な方向のものを選ぶ。

その第 1 の成分は, 車の円錐部の稜上の接点  $R$  において接平面に垂直な方向の成分  $G_1$  である。ここで, 「接平面」とは車の円錐部の稜がレールに接する直線を含

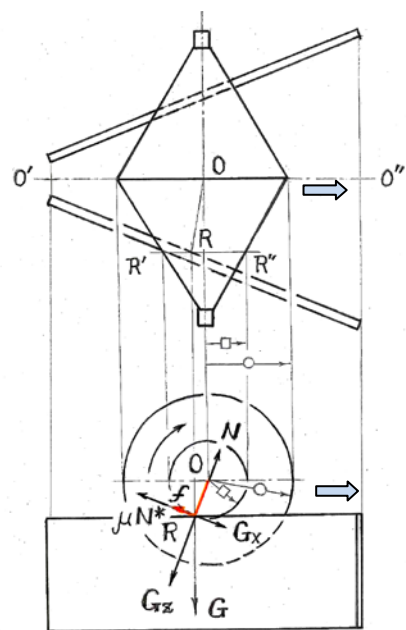


図 5 水平に置かれたレール上での車の回転

む平面であり、接点 R はその直線上にある。その接平面は、丸棒が水平なレール上に置かれる場合とは違って水平面ではなく、平面図の 2 本のレールの間の中心線 O'-O'' の側で低く、またレールが開いた右側で低い平面である。成分  $G_1$  は接点 R においてレールから車への、接平面に垂直な方向の垂直抗力を生む。

第 2 の成分  $G_2$  は、第 1 の成分  $G_1$  に垂直な接平面内の成分であり、接平面と車の稜が接する直線の方向の成分である。この成分  $G_2$  は車とレールの間に生じる摩擦力と同じ方向にある。

第 3 の成分  $G_3$  は、成分  $G_1$  と成分  $G_2$  の 2 方向に垂直な方向の成分である。

これらの  $G$  の 3 つの成分  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  は、いずれも正面図内の 2 方向の sub-成分と正面図に垂直な水平の方向の 1 方向の sub-成分に分けて考えられる。ここで、この車とレールの系は平面図に示される O'-O'' 断面に関して面対称の系である。すなわち、接点 R に働く力の成分  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  の水平の方向の sub-成分は、いずれ

も平面図の上方のレールと車の接点(点 R と対称の位置にある点)に働く水平方向の sub-成分と、大きさが同一で向きが逆のものである。したがって、系全体として力の釣り合いを考えるとときには、結果的に相殺される水平方向の sub-成分は無視して考えても支障は生じない。

そこで、以下の説明では、 $G$  の 3 つの成分  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  の水平方向の sub-成分は無視して、正面図について説明する。ここまで来ると、議論は 2 次元的なものになって、ややこしくなくなる。

正面図上には、 $G$  の 3 つの成分  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  の正面図上の sub-成分の合力として、たがいに直交する力  $G_z$  と  $G_x$  が描かれている。力  $G_z$  と  $G_x$  は次に述べる力  $N$ ,  $\mu N^*$ ,  $f$  を生む。これらの力はいずれも接点 R を始点とするベクトル量である。これらの力の釣り合いを調

べる。

接点 R でレールから車には重力の sub-成分  $G_z$  に抗する垂直抗力  $N$  が生じる。力  $N$  の大きさは力  $G_z$  の大きさに等しく、向きは正面図上で接点 R から点 O に向かう向きのものである。力  $G_z$  と力  $N$  はたがいに釣り合う。

いっぽう、正面図の小さい円の接点 R における接線方向には、力  $G_x$  と、垂直抗力  $N$  の大きさに比例する摩擦力  $\mu N^*$  が働く。ここで、力  $N$  と  $N^*$  とは大きさがたがいに等しく向きがたがいに垂直であるものである。比例係数  $\mu$  は静止摩擦係数である。力  $\mu N^*$  は力  $G_x$  より強く逆向きのものであるので、その方向では力の釣り合いはとれない。結果的に、接点 R には R'-R'' 断面の円の接線方向の左上向きに、

$$f = \mu N^* + G_x$$

の力が働く。この式は、接線方向の力の大きさ (正のスカラール量、非ボールド体の文字の量) について書けば、

$$f = \mu N^* - G_x$$

となり、よりわかりやすいのかもしれない。

車の回転のモーメントは、(回転軸から力の作用点までの距離) と (回転軸から作用点に向かう方向に垂直な方向の力) の積として表される Nm の単位の量である。図 5 の正面図の朱色の線分 OR の長さ (正面図上の点 O と点 R の距離) がその距離に当たり、その図の朱色の矢印の力  $f$  がその力に当たる。このモーメントは、その図上で車を点 O の回りに (回転軸の回りに) 右回りに回転させるものである。かくして、車は水平なレール上をレールが開いた向き (右向き) に転がって動き/進み始める。

(2016 年 06 月 07 日提出)