



## 現実を直視しよう

次のような事故があった。

7月14日午前9時2分ごろ、能代市のJAXA・宇宙航空研究開発機構の能代ロケット実験場で、開発中の小型固体燃料ロケットの2段目エンジンを地上で燃焼させる試験中に爆発、火災が発生した。

固体燃料ロケットは、糸川英夫氏のペンシルロケットから始まる日本の世界に冠たる高度な技術の伝統を誇っていた。今回、その改良のための地上実験で、壊滅的な事故に遭遇したのである。よく言われるように、ロケット技術の改良は、ステップバイステップで進めるもので、一回の試行はその段階の成功を目標としており、その上で次のステップの問題点が明らかにされておればよい、と見なされる。最終段階まで成功していないことを失敗と呼ぶのは、そうしたロケット開発の手続きを無視した考え方である。

この原則を破ったH3ロケットの開発では、気象衛星その他の衛星を搭載し、その失敗は、多大の損失を出した。

今回の能代での実験建屋の火災・爆発から、果たして、JAXAは次のステップへ進む多くのことを学べるのか、深刻な疑問を投げかけている。「固体ロケットよ、お前もか」と、『春夏秋冬422号』などで繰り返し指摘した、国産ジェット旅客機MRJの挫折やH3ロケットの度重なる打ち上げ失敗と同様に、今回の実験失敗は、この国の新技術開発力の全面的後退の象徴的な事故のように思える。

現在、ロケット打ち上げビジネスは、イーロン・マスク氏率いる米宇宙開発ベンチャー、スペースX社が圧倒的多数を担っている。H3ロケットは、当初からそれも狙っていた。しかし現在、日本の名前はその中にはない。

この国でも、多くの方面で新しいあるいは革新的な技術開発が試みられていることは承知しているが、国際比較では日一日と、そしてほとんど全ての方面で、今ではこの国の科学技術力が大巾に後退していることを実感しているのは、筆者だけだとは思われない。

筆者は、経済学や教育社会学、科学技術政策の専門家ではなく(30歳までは、ひたすら原子核理論の研究に励んだ)、大成しなかった一介の基礎科学の研究者、技術開発者、そして実に多方面での教師に過ぎない(55年ほど前、ある県の教育機関が初めてコンピュータを導入したとき、筆者はメーカーの依頼で、教育委員会が選んだ30名あまりの高校教師を対象とした1週間ほどのプログラミング教育の教師を務め、評判がよく、2年続いた)。だからこそ、他の人では経験できない多くの多様な研究・開発・教育の frontline に接することができた。

筆者が船用機関学会誌(現在は他の学会と合併している)で単独で発表した内燃機関の解析法に関する論文(1983年)を、筆者の名前を冠して日本機械学会論文集の論文で引用してくれたのは、筆者が発表してからなんと

21年後の2004年であった。

また、筆者が独自に開発した解析法に基づく一連のソフト(双曲型偏微分方程式の非線形境界条件で、プログラミングはかなり難しい)を無償で提供した大企業は、それを用いて技術開発を行い、論文(論文には、筆者の論文の引用はある)も書き、その技術を複数の車種に搭載した。筆者が得たのは僅かの講演料のみであるが、企業は莫大な利益(筆者に正確な量的評価はできない)を得たはずだ。これに近い事例を複数回経験した。

「ジャパンアズナンバーワン」の時代には、定職に一度も就か(け)なかった筆者でさえこうしたことは日常茶飯事であり、米国での論文講演(1983年、30分の講演、15分の質疑応答)(論文は、ASMEの論文集に掲載された)も、研究・開発生活の日常的な延長に過ぎなかった。

そのころは、筆者の近くにも、筆者には及びもつかない優秀な無数の科学者・技術開発者がいた。

先端技術や基礎技術の開発力の後退は、不可避的に早晩にその国の科学技術力と労働の生産性の低下に反映される。

繰り返すが、近年のこの国の国際比較での労働の生産性の大幅な後退は、経済政策・金融政策などによっては如何ともし難く、科学技術政策、その元をなす教育政策の抜本的な改革によってしか改善しないことは、多くの識者や『春夏秋冬』でも何度も指摘してきたことであり、もはや議論の段階はとっくに過ぎ去っている。

最近の政府の作為的な物価上昇目標や労働の生産性を無視した最低賃金上昇政策は、経済の萎縮と実質的な失業者の増加をもたらすだけだ。

にもかかわらず、雑誌・新聞などのマスコミ、ネット(SNSは知らない)などでは、相変わらず、\*\*大学合格\*\*名、\*\*中高一貫校合格\*\*名などが氾濫しており、多くの児童・生徒やその保護者は、そうした情報に右往左往している。どう転んでも、そこでは「即興力」による「競争と選別」の論理が貫徹し、現代が多くの若者に求める「知的創造的能力」の修得とは真逆の論理が支配している。幼少のころから優れた環境ですくすく育った児童の何割かは、いかなる環境でも、「知的創造的能力」に結び付く才能を伸ばすことはできても、大半の児童・生徒は、そうした環境ではスポイルされる。結果として、この国の「知的創造的能力」の育成は大きく後退し、この国の科学技術力と労働の生産性は、年々後退を続けている。

## 道は一つしか残されていない!

1 『未来の年表 業界大変化』(講談社現代新書)の著者で、ジャーナリストの河合雅司氏は、

「国交省は、人口10万人程度の商圏であれば大半の業種

が存続可能だとしています。10万人都市をつくれということではなく、複数の自治体でこれぐらいの商圈規模を維持できれば生活に不可欠なサービスを概ね維持し得るとのシミュレーションです。全国で道路網が整備されましたし、デジタル技術も使えばかなり多くの地域で10万人商圈を形成することはできると思います。」

と言っています。言い換えれば、消費生活を基準にすれば、人口10万人を一つの単位とすることができます。

一方、明石市は、元市長の泉房穂氏が子育て支援を充実させたことで、明石に引っ越す人が増え、人口(現在約30万人余り)も増加しました。

これらを合わせると、大都市以外の日本の全ての地域を10万から30万人程度の一つの文化圏として発展させることが、この国の活性化に大きく貢献することになる、と解釈できます。

そこには、基本的には徒歩で通える距離にある多数の幼稚園・小学校、基本的には自力で通える距離に一貫した中等教育を担う複数の中高一貫校がなければならぬだけでなく、必ずしもその地域になくても自宅から通える距離に基本的には基礎科学を軸に大学学士課程教育を行う大学(又はその分校)がなければなりません。小学上級生では、中高一貫校のいくつかの講義に参加できるようにしておけばよい。

全自動で無料のコミュニティーバスを充実させれば、年齢や障害の有無にかかわらず、域内での移動は全く問題なく行え、それぞれの独立した豊かな文化圏(多様性の実態)の成立を支えることができます。

中等教育や大学学士課程教育の大都市への集中は、都市部以外に住む人達の尊厳の否定であるだけでなく、多様性(「知的創造的能力」の重要な源泉)の無視による「知的創造的能力」の育成の決定的な阻害要因になります。

2 もともと、将来の「知的創造的能力」獲得の可能な候補者を、何らかの手法を用いた選別によって集めるという発想には限界と矛盾があります。「知的創造的能力」が実証されるのは、「知的創造的実績」が証明されたときのみであり、そのことを事前に誰も予知することはできないからこそ、「創造的」であるからです。勿論、そのための多くの必要な条件を事前に知ることはできますが、重要なことは、全てが分かっているということではないのです。関係する分野の確立した基礎科学の体系を正確に理解しておくことは、重要な要件ですが、それさえも必ずしも、全てを理解しておかねばならないとまでは言えません。即ち、その分野の確立した基礎科学の完璧な理解は厳密な意味での必要条件でさえありません。内的(論理的)な矛盾がない限り、他の人あるいは多くの人と違った解釈(理解)があっても構わないし、一部には、理解が及んでいないことがあっても決定的な不都合は起こりません。事前に公開されるシラバスと講義要綱を基に、どの講義を受講するかは自分の責任で判断すればよいことで、教室で未解明な課題について、他の人と十分議論できるだけの予備知識があれば、十分だと考えられます。

またしても、筆者の私的な事例を紹介します。

当塾のHPには、例として、筆者の、大学1年生向けの電磁気学の講義

要綱「電磁気学講義詳細」を公開しています。これを見れば、自分がその講義を受講する力があるかどうか、のおよその判断ができます。(学生に科学の臨場感を与えるため、これは、毎回の講義の1週間前に配布したものです。一般には、講義の半年前に、公開すべきものです。

筆者は、「熱学(熱力学)」や「ラプラス変換と常微分方程式」「フーリエ解析と偏微分方程式」の講義においてもこれらに近い準備を行いました。

基礎科学教育においても、受講生にも身近な新鮮で理論形成に原理的にかかわる話題を取り上げています。例えば、弦の中央をピンと張って離れた時、弦はどんな振動を行うか、極限られた人しか知らないと思われる。「フーリエ解析と偏微分方程式」には、その解説も含まれています。

基礎科学や現在では古典科学に属する分野であっても、関わるあるいは関心のある最新の話は次々と変わり、毎年講義においても、それらを活用して、学習対象のリアリティーを表現する必要があります。筆者の講義要綱はネットで公開し、学内外の多くの人のコメント・批判を頂戴したり、引用もされていました。

現役で、毎年そうした講義のバージョンアップをしていたころは、自らの能力のごく一部を割くことで、およその任務を達成できていましたが、しかし、誠に無念なことではありますが、現在の筆者には、既に全く新たなそうした十分な対応をする能力が失われています。

ICTとAI、それらに拠る自動化が著しく進歩しつつある現在、中等教育及び大学学士課程教育における基礎科学教育の主要な目標は大きく変貌しつつあります。

人の労働は主に、未だ自動化していない、あるいは時には自動化しない方がよいようなことに関わります。「知的創造的領域」においても自動化はどんどん進んでいきますが、その一方で、現在のAIの発達段階では、AIなどだけでは達成できない大きな飛躍を伴う人の知的創造的能力の関与が欠かせない領域も無数にあります。全ての面でAIの判断が優れていると考えられるような事態(シンギュラリティー)はまだまだ起こりそうになく、教育の主要な目標の一つは、できるだけ多くの若者の「知的創造的能力」の獲得であることに変わりありません。

一般的なことについては、『春夏秋冬414号』(2022年10月号)をはじめ何度も書いています。この1年の『春夏秋冬』を通して読んでください。

3 人は本来、他の人の迷惑にならない限り、自分に合った自由な生き方を選択できるものだと考えられます。プロスポーツ選手も、誉れ高い選択の一つです。芸術家、芸能人、特殊技能者、等々、その広がり、無限にあります。

例えば、どこにでも幼少のころから、プロスポーツ選手を目指す多数の人がいます。地域とそこでの中等教育は、そうした生徒たちをもしっかり支え、十分な成長のチャンスを提供しなければなりません。初等教育の後期から、児童・生徒の目指すものが異なっているのにもかかわらず、全く同一のカリキュラムの受講を強要するなど、あってはならないことです。

その一方、同じ人間として、あるいは人間の尊厳を守るため、身に付けておくべき、あるいは身に付けておいた方がよい多くの共通した最低限の教養があるはず。それらに十分に備えておくことも、教育の重要な役割です。プロスポーツ選手、芸術家、芸能人、特殊技能者、その他を目指しても、一般には大成できない場合の方が多いでしょう。

逆に、ひたすら「知的創造的能力」の獲得を目指して学習

に励んでも、何時まで経っても実績を出せないこともあると考える人もあるでしょう(筆者は、その人の個性(多様性)を活用すれば、誰でも、時間はかかっても、それなりの実績を出すことは可能だ、と考えています)。

いずれにしても、社会は、リカレント教育などによって、上手く転向できるよう備えておくことも大切です。人生は一本調子で進行すると考えること自体、人間の多様性の否定につながります。

ドイツでは「職人の道」を選ぶ場合、10歳でハウプトシューレという学校に進学します。これはギルドの名残で、職人への片道切符(ただしアビトゥーレ受験を経て大学進学を目指すことも可能)であり、不健全だと考えます。

4 代々木ゼミナールの長谷山<sup>あきら</sup>彰理事長は、対談「変化の時代、大学はいかにあるべきか」の中で、

一言で言えば“多様な教育で、多様な人材を育てる”ことに尽きます。高度経済成長を目指す時代には、大学は平均的に優れた能力をもつ人間を、大量に社会に送り出せば使命を果たせました。ところが現代のように複雑で、想定外のことが次々と起きる時代には、均一な人材を育てることは、むしろ社会にとってリスクとなります。

と言っています。これは一見、全く正当な主張の様に思われますが、筆者は、これが現実の事態を正当に評価しているとは考えていません。「複雑で、想定外のこと」を科学の言葉で言い換えたら、科学とそれに基づく技術が、その事態を、未だ予想したり、解決の原理を解明したりできていない事態と言うことになります。

地球温暖化は、そのメカニズムがほぼ明らかになっています(真鍋淑郎氏が気候変動モデルでノーベル賞を受賞したのは、2021年でした)が、その統一した解決策は未だ明らかになっていないだけでなく、近い将来、地球は現在のような多数の人間が生存し続けるのは困難になるかもしれません。

次々と発生するパンデミックに対して、最終的な解決法は未だ見つかってはいないだけでなく、何時の日か、人類は決定的なダメージを被るかもしれません。

日本は、SDGs(Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標)と教育のかかわりについて、①持続可能な開発と包摂的な成長を実現するための質の高い教育、②イノベーションを生み出す教育、③強靱で包摂的な未来をつくる教育、に取り組んでいるそうです。しかし、「質の高い教育」の中身は全く空虚で、「知的創造的能力」獲得のダイナミズムが全く見られません。

ICTとAI、自動化が著しく進む現代社会では、知的創造的能力→科学技術力→労働の生産性の強い因果関係を直視することが全てです。意欲のある全ての若者に、現代が要請する主要な教育目標「知的創造的能力」に向けての教育を受ける権利を保障しなければなりません。

## 創造性教育を!

1 静止している空間内の一部で平面を考えると、その面を通して互いに力をおよぼし合い、互いに大きさは等しく向きは逆である。一般に単位面積の面を通しておよぼし合う力を応力(stress)といい、特に面に向かい合う物質は力を面を通して伝えることが多い。物質の内部や違う物質の境界において単位面積当たりの垂直に押す力を圧力(pressure)という。

図のように、質量が10kgで底面積が20cm<sup>2</sup>の均一な直方体の物体が水平な床の上にあり、その右側の面の中心を30Nの力で引っ張っているが動かないとする。

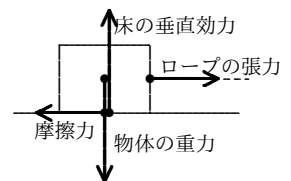
すでにわかっている物体に加わる力は、垂直方向の重力  $mg = 10\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 98\text{N}$  と水平方向の30Nである。物体は動かないのだから、床の面からこれらに釣り合う力を受けているはずである。床が物体に加える力は直方体の底面で均一だとするとする。

全体として、上方(面に垂直)に98N、左側に水平に30Nの力をおよぼす。面に垂直な力を垂直抗力、面に平行な力を摩擦力という。したがって、圧力は  $\frac{98\text{N}}{20\text{cm}^2} = 4.9\text{N/cm}^2$  となる。

圧力のSI単位は、

$1\text{Pa(パスカル)} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2}$   
である。  $1\text{m}^2 = 10000\text{cm}^2$  だから

$$p = 4.9\text{N/cm}^2 = 4.9 \times 10000\text{N/m}^2 = 49000\text{Pa} = 490\text{hPa}$$



圧力は重力単位を用いると便利なこともある。重力単位での力の単位はkg重であった。「1kgの物体に加わる重力を1kg重」

したがって、10kg重  $= mg = 98\text{N}$  であり、上の例の圧力は

$$p = \frac{10\text{kg重}}{20\text{cm}^2} = 0.5\text{kg重/cm}^2 = 490\text{hPa} \text{ となる。}$$

$$\left[ 1\text{kg重/cm}^2 = \frac{9.8\text{N}}{10^{-4}\text{m}^2} = 980\text{hPa} \right]$$

圧力のもう一つの単位は「気圧」である。大気圧の平均的な圧力で

「1気圧 = 760mmHg  $\approx$  1013hPa (1mmHgは水銀1mmの深さの圧力)」

と定義されている。したがって

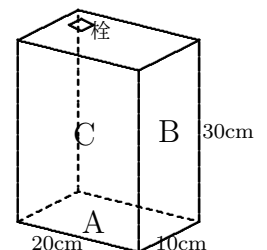
$$1\text{気圧} = 1013\text{hPa} = \frac{1013}{980}\text{kg重/cm}^2 = 1.033\text{kg重/cm}^2$$

1気圧は、ほぼ1cm<sup>2</sup>あたり約1kgの物体を支えたときの圧力となる。

以下、必ずしも必要ないが、具体的なイメージを感じておくため、演習問題を考えておく。

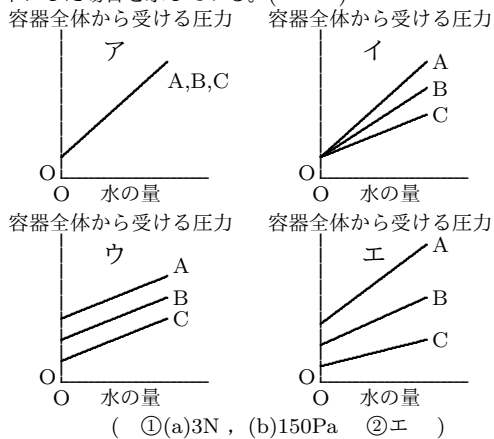
〔演習〕 物体にはたらく力や物体の運動について、あとの問に答えなさい。ただし、100gの物体に働く重力は1N(ニュートン)とする。(大阪府)

右図は、各辺の長さが10cm、20cm、30cmの直方体の容器を表したものである。栓のついたこの容器の質量は300gである。また、A、B、Cはすべて容器の外側の面である。それぞれの面の面積は、Aが200cm<sup>2</sup>、Bが300cm<sup>2</sup>、Cが600cm<sup>2</sup>である。



- ① この容器を空の状態ではA面を下にして、水平な机の上に置いた。
  - (a) 机が容器から受ける力は何Nか。(      N)
  - (b) 机が容器から受ける圧力は何Pa(パスカル)か。(      Pa)
- ② この容器を水平な机の上に置き、水を入れていくとする。このときA面、B面、C面それぞれを下にする場合について、次のア～エのうち、「容器に入れる水の質量」と「水を含めた容器全体から机が受ける圧力」との関係を表したものとして最も適しているものはどれか。一つ選び記号で書

きなさい。ただし、ア～エ中の A, B, C はそれぞれ、A 面, B 面, C 面を下にした場合を示している。( )



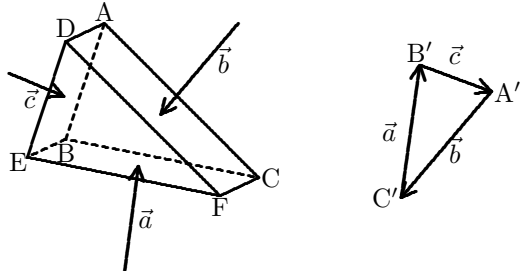
2 流体の中での圧力には次の基本的性質が成り立つ。流体内の全ての点の全ての方向の面積に対して、同じ圧力がかかっている。

### パスカルの原理

閉じこめられた液体のある部分に圧力を加えると、それと同じ強さの圧力で、液体のあらゆる方向、あらゆる部分に伝わっていく。

これは流体の中での力の釣り合いを調べればわかる。

下図のように、静止した流体中に任意の仮想的な三角柱 ABC-DEF を考える。



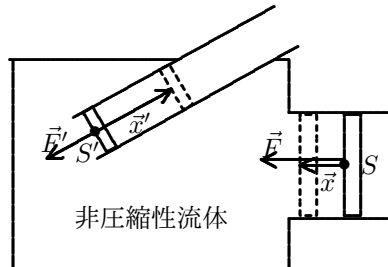
その流体は静止しているので、三角柱の表面に作用するすべての力は釣り合っている。2つの底面  $\triangle ABC$  と  $\triangle DEF$  に働く力は打ち消しあう。三角柱の3つの側面に働く力  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  は、それぞれの面に垂直であり、その合力が0となるから、その力の和は、 $\triangle C'B'A'$  をなす。 $\triangle C'B'A'$  は、 $\triangle CBA$  と相似になり、 $a, b, c$  の比は  $BC, CA, AB$  を含む側面の面積に比例し、単位面積当たりの力であるそれぞれの側面での圧力はすべて等しくなる。

以上が通常行われている パスカルの原理の証明 である。「通常」と言ったが、多くのテキストでは、これさえ示されていない。彼らには、(演習) 問題に短時間で答えられればそれでよいのだ。しかしそれでは、「科学」の学習にはなっていない。科学では、ある現象があれば、なぜそうになっているのか、その現象はどんな原理から説明できるのかを明らかにする。それを怠れば、「知的創造的能力」の獲得の契機は殆ど現れてこない。

『春夏秋冬 424 号』で書いたが、理科の検定教科書は単なるマニュアル本である。そんなことを続けているは、この国の「知的創造的能力」が大きく後退するのは避けられない。理科は自然の ことわり 理 を学ぶ教科の**はず**だ。

ここでは、もっと巧妙に、仮想仕事の原理で証明しておこう。筆者は、30年ほど前から、以下のような証明を行っているが、どうしたことか、今も類似の証明さえ、どこにも見られない。もっとスマートな記述が可能はずだが、最初の思い付きをそのまま継承している。ご了承いただきたい。

下図のような2つのピストンS, ピストンS'を備えた容器に、簡単のため、圧力によって体積は変化せず(非圧縮性流体)、重力を無視できる流体を入れておいたとする。



容器には2つのピストンが準備されていて、横からはピストンの面(S面と呼ぶ、断面積がS)を押す力を $\vec{F}$ 、斜め上からのピストンの面(S'面と呼ぶ、断面積がS')を押す力を $\vec{F}'$ とする。容器の他の壁面は全く変化しないとする。したがって、この2つの力 $F, F'$ が釣り合っていると考える。S面の圧力は $p = \frac{F}{S}$ , S'面の圧力は $p' = \frac{F'}{S'}$ である。

S面をxだけ体積を増加させる方向に移動させる(図では $x < 0$ )とS'面はx'だけ体積が増加する方向に移動したとする。流体の体積は変化しないから、 $Sx + S'x' = 0$ であるから、 $x' = -\frac{S}{S'}x$ (図では、 $x < 0, x' > 0$ )。

全ての力が釣り合っているとすると、この仮想的な微小変位による系がされる仕事は

$$Fx + F'x' = Fx - \frac{F'S}{S'}x = S \left\{ \frac{F}{S} - \frac{F'}{S'} \right\} x$$

である。釣り合いの条件(仮想仕事の原理)より、これが0となるはずである。従って、

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F'}{S'} = p'$$

となる。ある面で加えられた圧力は、平衡状態(静止して、全て内部の変化が起こってしまった状態)では何処で測っても同じとなる。

上の「仮想仕事の原理」の適用には、質点や剛体の釣り合いへの適用から飛躍しているように思えるかも知れない。しかし、 $\vec{F}$  と  $\vec{F}'$  を結びつけるように定滑車(力の向きの変更)、天秤(力の大きさの変更)、それらを結ぶロープを流体内に適切に設定し(流体外ならば、さらに棒などの斥力を伝える道具が必要)、微小変位xだけを考えればよいようにすることができる。したがって、ここには大きな飛躍はない。

物質の3態、気体、液体、固体のうち気体は、各分子が互いに影響を及ぼさずに自由に飛び回っている状態である。ボールが壁にあたって跳ね返されると反作用で壁は力を受ける。多くの分子が集まってできている気体は壁から力をうけるが、壁は気体から外側に向けて連続的に力を受ける(運動量の変化は力積に等しい)。単位面積当たり(1 cm<sup>2</sup> 当り)のこの力が圧力である。同じ体積のもとで温度が上がると気体分子がより高速に飛び回ると圧力が上がることになる。ところでこの分子の速度は非常に速く、分子の種類と温度によって変わるが常温で空気の場合秒速1 km 位である。したがっていまここにある分子は1秒後には1 km 先に飛んでいっていることになる。しかしこれは信じ難い。ここで出したおならの分子が1秒後に1

km 先まで到達し臭く感じられることになるからだ。実は気体であっても全く自由に飛び回っているわけではなく他の分子と頻りに衝突して互いに反発しながら動き回る。平均すると  $1 \mu\text{m}$  (マイクロメータ =  $10^{-6}\text{m}$ ) から  $0.1\mu\text{m}$  進むと衝突して運動方向を変えてしまう。これは、煙の分子は少しずつ広がらないことから納得できる(拡散)。分子はあらゆる方向に衝突を繰り返しながら運動するので壁の向きを色々変えても圧力は同じとなる。パスカルの原理はこうした考察からも予想できる。しかし、これは証明したことにはならない。

水中では地表における大気圧より大きな圧力を受ける。仮想的に、水面を上面とする直方体の水の柱を考える。仮想的な直方体は十分に薄くて軽くしっかりしたプラスチックでできた容器で中には水が充満していると考えればよい。直方体の底面(上面, 下面)の面積は  $S$ , 高さは  $h$  としておくと、体積  $V$  は  $V = Sh$  となる。水の密度  $\rho$  は一定とする。(簡単のため、密度だけでなく、重力加速度  $g$  も一定とする。そのため、上空の大気による浮力などの厳密な計算には適用できない)。水中での圧力は水の重力による圧力だけでなく、大気圧も加わる。流体内の圧力は大気圧を基準に議論すれば良いことが多い。大気圧を基準に測った圧力をゲージ圧ということもある。

この仮想的な直方体の質量は  $\rho V$  で、それにかかる重力は  $g\rho V$  となる。水の柱は静止しているから、その左右の側面の深さによって決まる圧力による合力は釣り合っている。図ではうまく表せていない手前と裏側の側面の合力も釣り合っている。一方、上下方向の力も釣り合っているはずである。

水の柱の重力は柱の重心に  $g\rho V$  の大きさで下向きに作用している。直方体の下の底面での圧力を  $p$  とすると、底面を通して、上向きに  $pS$  の力が作用する。直方体の上面での圧力は 0 と考えておく(ゲージ圧)。したがって  $pS = g\rho V$  となる。よって  $p = g\rho h$  である。

この結果は一見分かりにくくそうに見えるが、具体的な例を考えると非常に簡単な結論になっている。たとえば、水深 10m での圧力は  $p = g \times \rho \times h = g \times 1.0\text{g/cm}^3 \times 10.0 \times 10^2\text{cm} = g \times 10^3\text{g/cm}^2 = 1\text{kg 重/cm}^2$  となる。これは、既に述べた約 1 気圧に相当する。

100g の物体に加わる重力を 1 N とする ( $g = 10\text{m/s}^2$ )。同じく水 ( $\rho = 1.0\text{g/cm}^3$ ) で  $h = 50\text{cm}$  とする。ここでの圧力  $p$  は  $p = 50\text{g 重/cm}^2 = \frac{50}{100}\text{N/cm}^2$  となる。すなわち、水の場合深さ  $h[\text{cm}]$  での圧力は  $hg \text{ 重/cm}^2 = \frac{h}{100}\text{N/cm}^2$  である。一般の液体では比重(水の密度に対するその液体の密度の割合)が 1 ではないから、その比重に比例して圧力が変化する。石油の密度を  $\rho = 0.7[\text{g/cm}^3]$  とすると、深さ 50cm での圧力は  $p = 0.7 \times 50\text{g 重/cm}^2 = 35\text{g 重/cm}^2 = \frac{35}{100}\text{N/cm}^2$  となる。比重が小さいほど圧力は小さくなる。

一般に、100g の物体に加わる重力を 1 N とすると、密度  $\rho[\text{g/cm}^3]$  の液体の中では 1cm 深くなると、圧力は  $\rho\text{g 重/cm}^2 = \frac{\rho}{100}\text{N/cm}^2$  だけ大きくなる。

上の議論、すなわち、重力がある場合の流体中の圧力を仮想仕事の原理で導いておこう。

パスカルの原理を導く際の図で、面  $S$  は面  $S'$  より  $h$  だけ深いとする。流体の密度は簡単のため一定としておく。仮想変位  $x$  に対して、質量  $S'x'\rho$  の流体が  $h$  だけ重力に逆らって持ち上げられるから、流体は  $gS'x'\rho h$  の仕事をされる。したがって、仮想仕事は

$$Fx + F'x' + gS'x'\rho h = S\left\{\frac{F}{S} - \frac{F'}{S'} - g\rho h\right\}x$$

である。仮想仕事の原理よりこれが 0 となるから、

$$p = p' + g\rho h$$

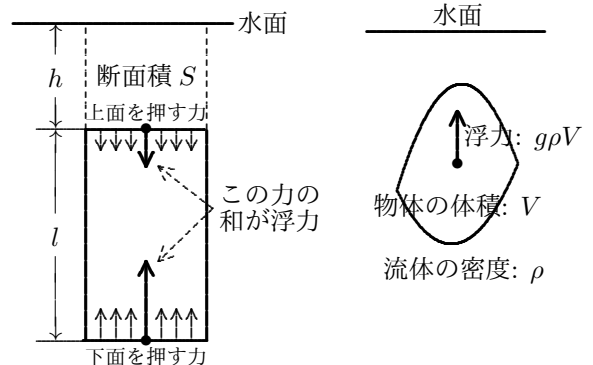
となる。 $S'$  を基準(例えば水面)にすると、 $p' = 0$  である。ここでは、簡単のため密度一定の議論を行ったが、密度が深さによって変わった時でも同じように議論することができるが、難しくなる。さらに、上の議論では、移動方向  $x$ , 体積変化の符号, 仕事の符号等の取り扱いが曖昧で混乱を起こすおそれがある。複雑な系を議論する段階で、統一した取り扱いを学ぶ必要がある。また、「力の釣り合い」の仮想仕事の原理は、熱に関わることが問題となるときは「熱的な平衡条件」を含まなければならなくなる。これらは「熱学」として大学で学ぶ。

さらに、大気は、たとえ定常(時間的に変化しない)を仮定しても、熱平衡条件は成り立っておらず、上空に行くにしたがって、温度、圧力がどう下がるのかは、難しい問題である。『中学理科基礎』では、例題を取り上げているが、その例題自身が適切な解説になっている。

### 3 浮力

底面の面積が  $S$ , 高さが  $l$  の直方体が上面の深さが  $h$  のところまで水に浸かっているとす。側面は同じ深さのところまで前後、左右の圧力が同じだから、対面した各部分に付いて力は釣り合っている。上面を下向きに押す全圧力は  $g\rho h \times S$ , 下面を上向きに押す全圧力は  $g\rho(h+l) \times S$  である。結局、直方体に加わる圧力による合力は上向きで、その大きさは  $g\rho l S = g\rho V$  となる。これが直方体に加わる浮力である。

複雑な形状をした体積  $V$  の物体もそれを縦に細長い四角柱に分割して考えると、結局物体に加わる浮力は  $g\rho l S = g\rho V$  となることがわかる。ここで間違ってはならないことは  $\rho$  は流体の密度であり、物体の密度ではない。



以上のことをまとめたのが、アルキメデスの原理である。

#### アルキメデスの原理

流体中の物体に働く浮力の大きさは、その物体と同体積の流体の重力に等しい。

以下は、お米を主食としてきた日本人の教養である。  
もみからもみ殻を取り除く作業をもみすといい、もみすりしたものがげんまい玄米、こ

れを<sup>せいまい</sup>精米したものが<sup>せいはいくまい</sup>精白米あるいは白米、取り除かれたものが<sup>こめぬか</sup>米糠である。稲の苗は籾に適度な水分と温度を与えて発芽させたものである。籾には胚、胚乳が充分発達していない(通常軽くなる)、<sup>たね</sup>種として不適切なものが混ざっている。これを選別するため、籾を適当な濃度の食塩水に入れ、沈んだ籾だけを種籾として用いる。食塩水は濃度が増加すると密度も増加するからである。殻ばかりで実のない籾を秕・秕(しいな、しひな)、あるいはシイラという。

こうした選別は多くの分野で行われている。しかし、忘れてはならないことは、こうした選別では、失われるものも多数あることである。規格外の籾の中にこそ、新種ともいえる遺伝子をもった籾が含まれている可能性がある。品種改良や新品種の開発には、一見欠陥品に見えるような籾を切り捨てては、前に進まない。多様性は、進歩の原動力である。

4 学習に役立つ演習問題を1題だけ取り上げようと思う。中高六年一貫校の灘中学校・灘高等学校がまだかなりの公立中学校卒業生からの編入者を募集していたところの高校入試問題である。

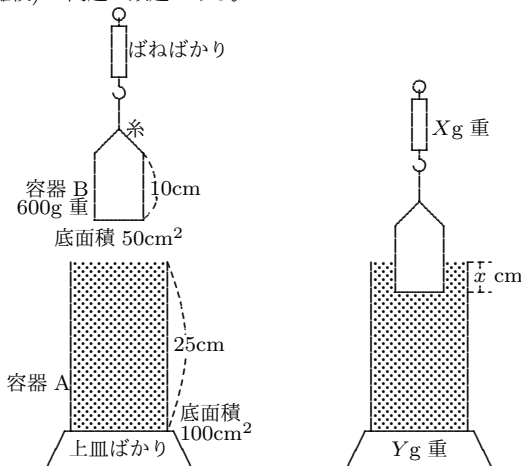
『中学理科基礎』には、いくつかの古い演習問題を取り上げているが、いずれも、浮力等を理解するうえで極めて重要な演習問題だから、できれば目を通しておいていただきたい。重要なことは、これに、長くとも十数分で答えねばならなかった、と言うことである。公立中学生には、不条理(理不尽)・不合理な努力を要求され続けていたのだ。

深さ25cm、底面積100cm<sup>2</sup>の筒状の容器Aに満杯の水が入っている(表面張力による水面の盛り上がりなどは無視する)、上皿ばかりにのせられている。もう一つ、重さ600g重で、深さ10cm、底面積50cm<sup>2</sup>の筒状の容器Bがあり、ばねばかりから糸でつりさげられている。「g重」は力の単位で、1g重は水1cm<sup>3</sup>の重さに等しい。

ばねばかりを下降させることにより、つりさげられた容器Bを、容器Aの中へゆっくりと入れていく。容器Aの口から(下向きにはかった)容器Bの底面までの距離をxcmとする。容器Aの口から外側にあふれ出た水は速やかに流れ去り、他に影響を与えないものとする。容器Aの重さと容器Bの厚みは無視するものとする。ばねばかりの読みをXg重、上皿ばかりの読みをYg重とする。

最初x=0のとき、X=600、Y=2500である。以下の〔①〕～〔⑩〕に適する値を答えよ。(16, 灘高)

この問題は、『中学理科基礎』のパスカルの原理のところ取り上げた(13, 灘校)の問題の類題である。



x=5のとき、X=[①]、Y=[②]である。

x=10のとき、X=[③]、Y=[④]である。

x=10をすぎると、水が容器Bの中に流れ込んでいく。

x=11のとき、X=[⑤]、Y=[⑥]である。

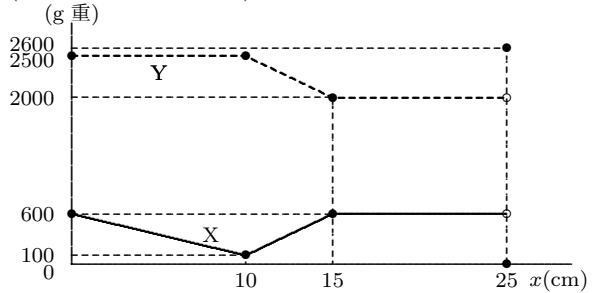
その後、x=[⑦]をすぎると、X、Yの値は一定のままになる。

これらの値はX=[⑧]、Y=[⑨]である。

x=25になると糸がたるんで、X、Yの値はそれぞれ別の値に変化する。

これらの値は、X=[⑩]、Y=[⑪]である。

略解(一次関数の知識を用いる)



x=0では、X=600、Y=2500

x=10では、X=100、Y=2500

よって、x<10では、X=600-50x、Yは変わらず、Y=2500

容器Bが完全に水没するのは、{25-(x-10)}×100=2000(水量)

x=15、そのとき、X=600、Y=2000

よって、10<x<15では、X=100x-900

X+Y=2600より、Y=3500-100x

15<x<25では、変化がなく、X=600、Y=2000

x=25で容器Aの底に着く。

25<xでは、糸がたるみ、X=0、Y=2600

①350 ②2500 ③100 ④2500 ⑤200 ⑥2400

⑦15 ⑧600 ⑨2000 ⑩0 ⑪2600

上記の問題を一例としてとりあげ、『中学理科基礎』に従って解答・解説を試みたが、結果として、自分でもあまり面白くも楽しくもなかった。筆者には、浮力を理解するうえで、どうしてこうした複雑な課題設定に対して、短時間で正答する能力が必要であるのかが全く理解できない。読者も、不愉快に感じられたなら、『中学理科基礎』の他の例を検討していただきたい。演習問題として、これらは全て良問であると考えていることに変わりないが、それ等を入試に出題することが適切である、と言うことは全く別問題である(もともと、筆者は、原則的に、高校入試は、即刻全廃すべきだと考えている)。限られた時間内でこれらの問題に正解を得るような訓練に、学習者の科学的理解力の向上の契機をどこにも見出すことはできない。どうして「パスカルの原理」が成り立つのか、「アルキメデスの原理」の成立条件は一体どんなものなのか、などをより明確に理解することにエネルギーを使った学習こそが、将来の「知的創造的能力」の獲得には求められているのではないのか。

あらゆる分野の基礎科学教育でこうしたことが起こっている。読者の皆様が、今こそ、考え、声を挙げ、行動を起こす時だ。