

物理学基礎講座・付録エピソード集

目次

はじめに	3
1. 丘の上の敵を攻めてはいけない	4
2. 空中戦でも高い方が有利	5
3. スポーツカーのゼロヨン発進	6
4. 新幹線の新型車両 N700A のブレーキ	7
5. 古雑誌のしぼり方と動滑車	8
6. 羊飼いの少年の石投げ器	9
7. いろいろな石投げ器 (カタパルト)	10
8. ピストン運動と水車小屋	11
9. 回転運動と直線運動の相互変換	12
10. 火力発電所の熱効率とコジェネレーション	13
11. 高圧送電のメリット	14
12. 航空機内の電線問題	15
13. コンデンサーでパワーシャベルに瞬発力	16
14. 回路を切らずに測れる電流計	17
15. 波浪と津波の違い	18
16. 岩塩製の赤外線分光プリズム	19
17. ガラガラ蛇と誘導ミサイル	20
18. パイプオルガンの気柱の振動	21
19. 気温と音速の関係	22
21. ドップラーレーダー	23
22. ノイズキャンセリング・ヘッドホン / 会議電話	24
おわりに	25

はじめに

物理学は飛行の基礎理論で、数学はその重要な道具です。機体は空力学の原理で浮力を得て重力に反して空中に浮かび、原動機は熱力学の原理で燃焼熱を運動エネルギーに変換し、それを力学的にプロペラやターボファンに伝えて推力とし、機体は空気の摩擦による抗力に逆らって前進します。

航空機の上昇、降下、旋回は運動力学的な現象ですし、素材の強度は物性物理の領域です。操縦系統の油圧システムや電気系統も物理学の原理によって動作します。大気は地球の重力や自転、太陽輻射熱などの影響を受けながら、地球物理学の一分野である気象学の法則にしたがって変化します。

物理学を表す英語の"physics"はギリシャ語で自然学を意味する(φύσις physis)が語源で、哲学の一分野でした。浮力の原理で王冠の金含有量を確認、級数で放物線の面積や円周率の近似値を求めたアルキメデスは、紀元前3世紀のギリシャの数学者、物理学者、技術者、発明家、天文学者でした。

近代的な物理学は17世紀に万有引力の法則を発見したニュートンから始まりました。彼は力学の確立や微積分法の発見、光学などでも多くの業績を上げ、最初の科学者といわれましたが、同時に最後の魔術師でもありました。安価な金属を貴金属に変えようとする錬金術にも熱心だったからです。

その後、熱力学や電磁気学などの世界が開かれました。物理の法則や単位には発見者の名前が付けられています。ニュートン、パスカル、ワット、ジュール、ボルト、アンペア、オーム、ファラッド、クーロン、ウェーバー、テスラ、ガウス、ヘンリー、キュリー、レントゲンなどです。

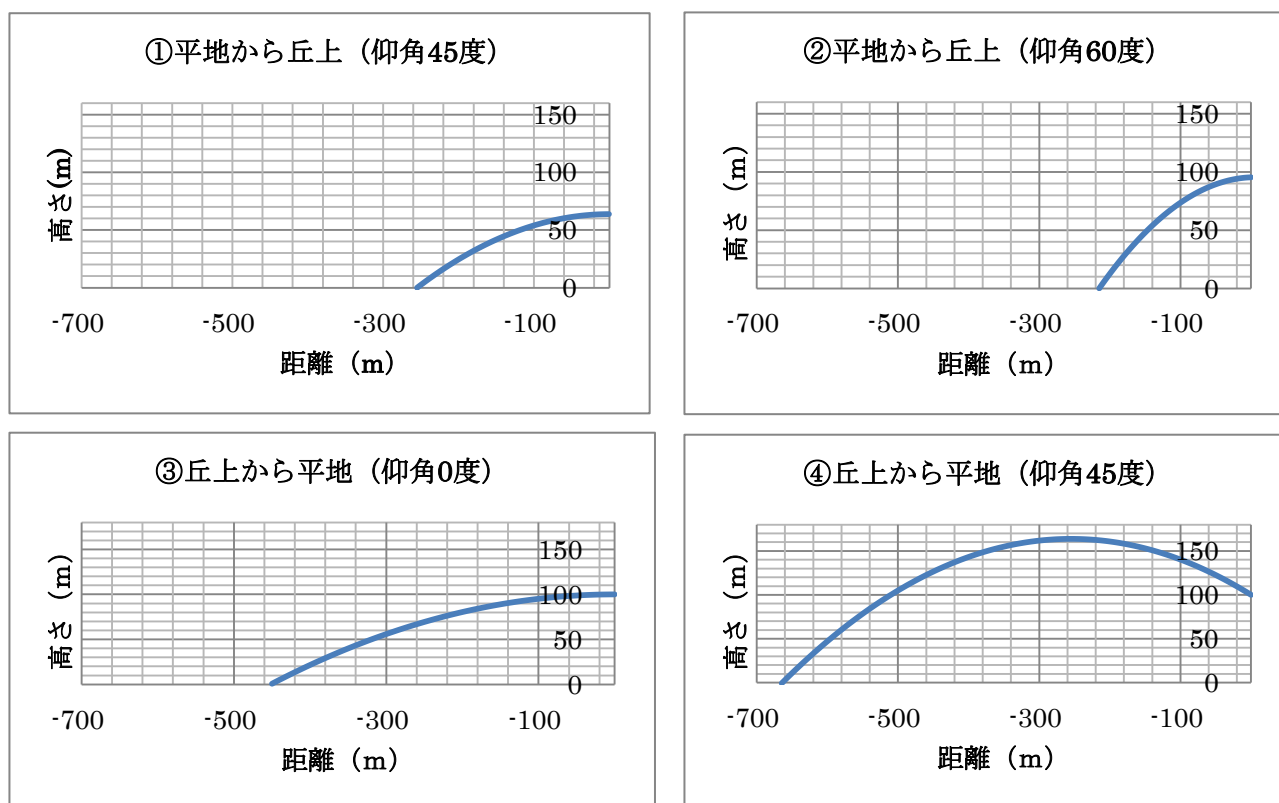
現代物理学は、1915年にアインシュタインが定式化した一般相対性理論から始まりました。時間と空間、エネルギーの研究は量子力学に発展し、原子爆弾や半導体素子が開発されました。現代物理学の最前線は、ブラックホール、宇宙膨張の始まり(ビッグバン)にかかわる素粒子論、重力波です。

物理学は無味乾燥な法則の羅列と面倒な計算だけの学問ではなく、自然現象から最新技術までの法則性と理由とを研究する面白い学問です。この小冊子は、様々なエピソードを通して物理学の面白さを知っていただく目的で書かれました。演習の合間の気分転換にお楽しみいただければ幸いです。

ここでご紹介するエピソードは物理基礎講座の各テーマに沿ったもので、大部分のエピソードには皆さんが興味を持ちそうな航空関係の話題も入れてあります。そのため演習テーマの範囲を少し超える話も出てきますが、軽い読み物ですから、気にしないで読み進めてください。

1. 丘の上の敵を攻めてはいけない

弓や弩（ど：大弓）の矢、投石機の石、大砲の弾丸は放物線を描いて飛翔します。古代中国の戦略論「孫子（そんし）の兵法」には「高い丘の上に陣取る敵を攻めてはならない」とあります。なぜでしょう。ここでは初速 100m/s の大砲で、高さ 100m の丘上を平地から攻撃する場合（①と②：左下から右上）と、丘上から平地を砲撃する場合（③と④：右上から左下）の弾道を比較してみます。



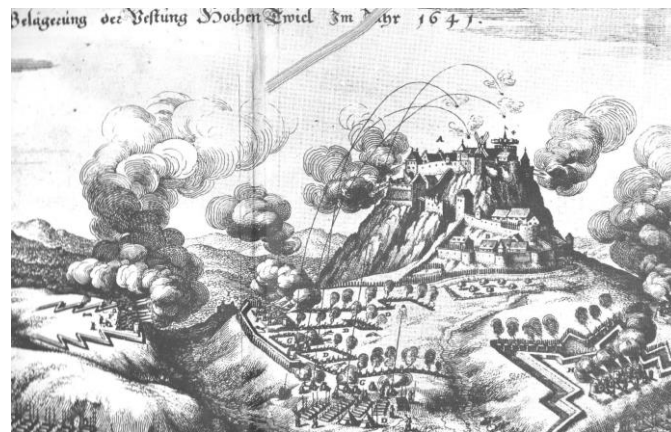
平地軍は遠くから丘上からの砲撃射程に入るので丘に近づくことさえできません。もし近づけても砲弾が丘の上までは届きません。そのうえ、丘の上から撃つ砲弾には重力の加速度が働き、速度が増大します。質量 m の物体が速度 v で移動する際の運動エネルギー（破壊力） E は、質量 m に比例し、速度 v の二乗に比例しますので丘上が有利です。データを次の表に示しますが、確かに丘の上に陣を構える敵を攻めてはいけませんね。興味のある方は運動方程式を解いて検算してみてください。

砲撃方向と仰角	発射時 (m/s)			着弾時 (m/s)			破壊力 (相対値)
	速度	水平成分	垂直成分	速度	水平成分	垂直成分	
平地→丘上 (45度)	100.0	70.7	70.7	70.7	70.7	0.0	0.50
平地→丘上 (60度)	100.0	50.0	86.5	50.0	50.0	0.0	0.25
平地←丘上 (0度)	-100.0	-100.0	0.0	-109.3	-100.0	44.1	1.19
平地←丘上 (45度)	-100.0	-70.7	70.7	-116.1	-70.7	92.1	1.35

2. 空中戦でも高い方が有利

攻城のエピソードでは差異をわかりやすくするため、初速度が弩や投石器と変わらない 100m/s という低性能の大砲を想定しました。火縄銃に少し遅れて（1586年）日本に伝来し、「国崩し」と呼ばれた青銅製のフランキ砲（射程3～4町 $\approx 330\sim 440\text{m}$ ）とほぼ同等です。後年、徳川家康は大阪冬の陣（1614年）で、高台にある大阪城本丸を約 500m の距離から砲撃させました。威力を発揮したのはイギリスから輸入した鋼鉄製のカルバリン砲で、豊臣側に恐怖を与えて停戦交渉に応じさせました。

下図は17世紀中期（1647年）のヨーロッパの攻城戦を描いたものです。弾道が大きな弧を描いていますが、それは初速度が遅いので仰角を大きくしないと射程距離が伸びなかったからです（平地では仰角 45 度のときに飛距離が最大になります）。正確な高低差や距離はわかりませんが、丘の上まで砲弾が届いているので、半世紀間で性能が大幅に向上したことがわかります。現代の大砲は初速が秒速 $1,000\sim 1,800\text{m}$ （音速の3～5倍）と非常に速いので、もっと低い仰角で撃つようになっています。



余談ですが、フランスの英雄ナポレオンは砲兵隊の将校出身で、皇帝になってからフランス学士院の数学部会長を務めたそうです。砲兵将校は大砲の弾道を計算しなければならないので、数学は必須科目です。砲兵将校として優秀だった彼は、当然ながら数学も得意だったのです。

高い所の方が攻撃に有利なのは、戦闘機どうしの空中戦でも同じです。上空の戦闘機は急降下すれば位置エネルギーが運動エネルギーに変換されて（重力の加速度で加速されて）速度が増すので、低空にいる敵機に追いつくことができます。さらに、発射する銃砲弾の速度にも重力の加速度が加算されて弾速が増し、攻撃力が増大します。つまり、空中戦では上空で待ち構えている方が有利なのです。

米国の元戦闘機操縦士ジョン・ボイドは、1962年に航空機（戦闘機）の機動性に関する理論「エネルギー機動性理論（Energy-maneuverability theory; E-M理論）」を提唱し、その後の空戦理論と戦闘機の開発方針に大きな影響を与えました。なお、その際に想定した機種は、米空軍初のジェット戦闘機 F86 と少し前から就役していた旧ソ連のジェット戦闘機 Mig-15 でした。

3. スポーツカーのゼロヨン発進

スポーツカーなどの加速性能を表す尺度に「ゼロヨン (0-400) 発進」があります。停止状態から急発進して最初の 400m を走り過ぎるまでの時間を秒単位 (小数点以下 3 位) で表したものです。厳密に言えば途中でギアシフト操作などがありますが、近似的に等加速度運動とみなすことができます。

2000 馬力のエンジンを搭載したスポーツカーが停止状態から急発進したら、最初の 400m を走行するのに 7.492 秒かかったそうです。400m 地点を通過時の速度と平均加速度を計算してみましょう。



t 秒間の等加速度運動の走行距離は、図の三角形の面積 S に相当するので、

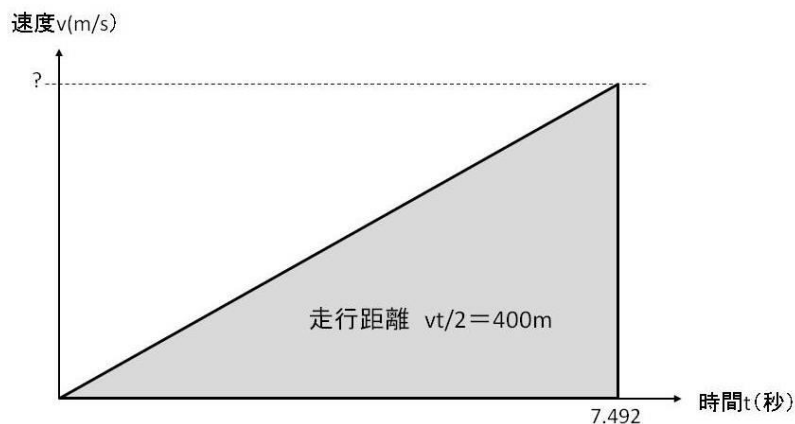
$$S = 1/2 \cdot vt = 400 \text{ なので、} vt = 800 \Rightarrow v = 800/t$$

$$\Leftrightarrow v = 800/7.492 = 106.781 \dots \approx 107(\text{m/s}) \approx 384(\text{km/h}) \dots \dots \dots (\text{答 1})$$

また、そのときの加速度 a は、

$$a = 106.781(\text{m/s})/7.492(\text{s}) = 14.253 \dots \approx 14.25(\text{m/s}^2)$$

重力の加速度 $G = 9.80(\text{m/s}^2)$ とすると、水平方向の加重は $14.253/9.80 \approx 1.45G \dots \dots \dots (\text{答 2})$

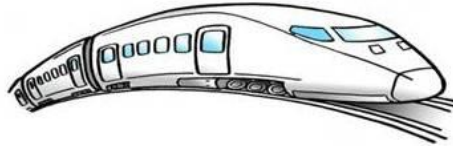


一方、ある乗用車の「ゼロヨン発進」の性能は 15.432 秒だったそうです。上記と同じ計算をすると、400m 地点を通過した瞬間の速度は $51.847\text{m/s} (\approx 52\text{m/s}) \approx 187\text{km/h}$ 、平均加速度は 3.36m/s^2 、ドライバーの身体にかかる水平方向の荷重は $0.34G$ となります。

飛行機の離陸滑走距離と速度の関係は、風の影響などがあり、単純ではありません。ここでは大幅に簡略化した試算をして上記の場合と比較してみましょう。大型ジェット旅客機が停止状態から滑走を始め、2200m の地点で空中に浮くまでに要した時間は 50.0 秒でした。この場合について上記と同じ計算をすると、空中に浮いた瞬間の速度は $88.0\text{m/s} (= \text{時速 } 316.8\text{km} \approx 171\text{kt})$ であることがわかります。また、それまでの平均加速度は 1.76m/s^2 で、水平方向の荷重は約 $0.18G$ です。

4. 新幹線の新型車両 N700A のブレーキ

東海道新幹線の新型車両 N700A 型車は新開発の高性能ブレーキライニングを採用したため、緊急停止距離が従来よりも約 5%短縮され、時速 285km (秒速 79.2m) で走行している場合の停止距離は 3km だそうです。停止するまでに必要な時間 (秒数) と減速率 (負の等加速度) はどの位でしょうか。



この場合も考え方は「ゼロヨン発進」と同様ですが、加速度は「負 (減速)」なので、グラフは左右が逆になります。ここで、初速 v が 79.2 (m/s)、緊急ブレーキをかけて停止 (速度=0m/s) するまでに要した時間が t (s)、その間の走行距離は 3000m で、下図の三角形の面積 S に相当しますので、

t 秒間の等加速度運動の走行距離は、図の三角形の面積 S に相当するので、

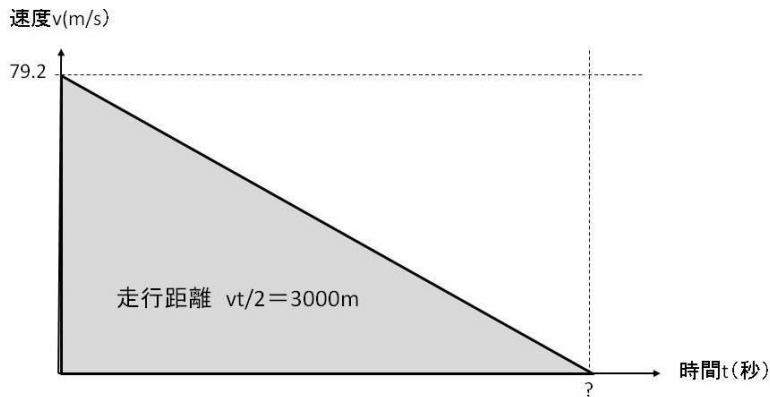
$$S = 1/2 \cdot vt = 3000 \text{ なので、 } vt = 6000 \Rightarrow t = 6000 / v$$

$$\Leftrightarrow t = 6000 / v \doteq 6000 / 79.2 \doteq 75.76 \text{ (s)} \quad \dots \dots \dots \text{(答 1)}$$

また、そのときの加速度 a は、

$$a = -79.2(\text{m/s}) / 75.76(\text{s}) \doteq -1.05(\text{m/s}^2)$$

重力の加速度 $G = 9.80(\text{m/s}^2)$ とすると、 $-1.05 / 9.80 \doteq -0.107G \quad \dots \dots \text{(答 2)}$

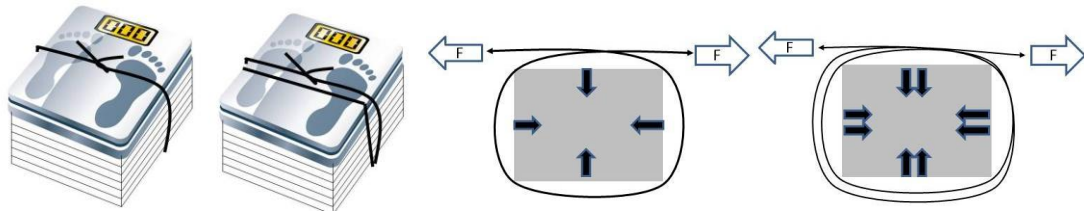


旅客機がタッチダウン地点 (滑走路端から約 450m) に接地した瞬間の速度が 120kt ($\doteq 222\text{km/h} \doteq 61.7\text{m/s}$)、高速離脱誘導路に出た瞬間の速度が 50kt ($\doteq 93\text{km/h} \doteq 25.8\text{m/s}$) だったとすると、その間に 70kt ($\doteq 129.6\text{km/h} \doteq 36.0\text{m/s}$) の減速が行われたこととなります。車輪のブレーキを使うとタイヤがパンクするので、スポイラーとエンジン逆噴射とによる減速です。

興味のある方は、タッチダウン地点から高速離脱誘導路への出口までの距離を 1,600m と仮定して所要時間 (秒) を計算してみてください。なお、接地後の減速が早すぎると滑走路の占有時間が長くなるので、最近の旅客機では高速誘導路に出る際の速度から逆算した減速率をコンピューターにより最適に制御しています。

5. 古雑誌のしばり方と動滑車

古雑誌をリサイクル資源のゴミとして出そうと、ヒモでしばりました。ヒモを一重に巻いてカー一杯にしばったのではヒモが緩く、持ち上げるとバラバラになってしまいます。そこでヒモを二重に巻いたらしっかりしばることができました。試しに体重計を雑誌と一緒にしばり、体重計にかかる力を測ってみると、ヒモをカー一杯引いたときの力は同じはずなのに、二重巻にすると体重計の目盛は一重巻のときの約2倍を示しました。二重巻だとしっかりしばれる訳です。この原理は動滑車と同じです。

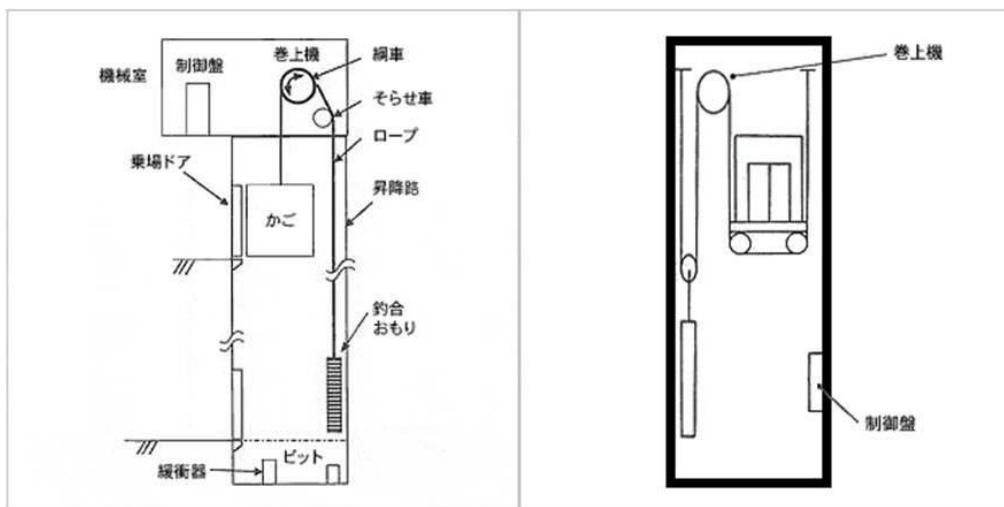


工事現場や船舶では動滑車がたくさん使われています。小さな力で重いものを持ち上げる必要があるからです。中には動滑車が何個かひとまとめになっているブロックと呼ばれるものもあります。



航空機では動滑車は使われていませんが、小型機の操縦系統では「てこ」の原理でワイヤーを引っ張る途中で定滑車を使っています。中型機以上では油圧装置や空気圧、最近では電気モーターが使われています。救難ヘリのホイスト（巻上装置）は電動モーターの回転を歯車で低速に変換しています。

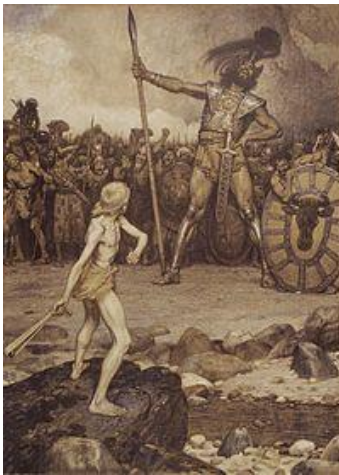
エレベーターには「かご」を動滑車にしているもの（右下図）があります。定滑車方式（左下図）よりも巻上機のパワーが少なくすむからです。日本初のエレベーターも動滑車方式でした。



6. 羊飼いの少年の石投げ器

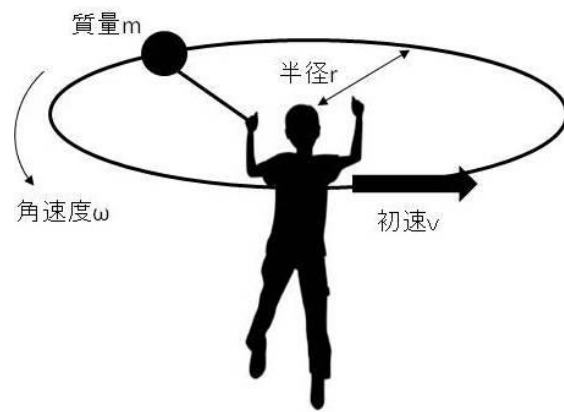
羊飼一家の兄弟の中で一番小さいダビデは、上のお兄さん達が隣国との戦争に出かけたときも留守番をしていました。お昼になってお母さんからお弁当を届けるように言われたので前線に行ってみると、敵の中にゴリアテという巨人がいてとても強く、味方は攻めあぐねていました。

少年ダビデは前に出て「僕に任せてください」と申し出ました。味方の屈強な戦士達でさえかなわない強い相手なので、敵も味方も大笑いしました。しかし、少年ダビデは近くの石を拾い、皮ひも製の石投げ器で巨人めがけて投げつけました。巨人は眉間に石を受けて失神し転倒したので、少年ダビデはかけよって相手の刀を抜き、首を切り落としました（旧約聖書「列王記」）。



「ダビデとゴリアテ」

(Osmar Schindler, 1888)



石投げ機の物理モデル

皮ひも製の石投げ器は、羊を襲う野獣を追い払うためのものです。羊飼いの少年は日ごろから熱心に練習していて命中させる自信があったのでしょう。石投げ器のヒモは石の回転半径を大きくし、力一杯グルグル回すことで加速されますから、かなり強力な武器だったことは間違いありません。

自衛隊の元幹部の方によれば、ダビデの石投げ器 (David's sling) のことはみんな良く知っているとのことでした。現代の軍事研究者は、今も投石器を使っている未開の村に出かけて行き、狩りの名人の協力を得て石の重さや発射速度、飛距離などを実測して有効性の分析を行っています。ある研究によれば、少年ダビデが投げた石は巨人ゴリアテの眉間の骨を砕くほどの破壊力はなく、脳震盪を起こしたのだらうと推測しているそうです。

羊飼いの一家の末弟だったこの少年は、後にイスラエルの王に見いだされて後継者になり、やがて歴史に残る大王になりました。英語の男性名に多いディビッド (David) は彼の名に由来しています。

7. いろいろな石投げ器（カタパルト）

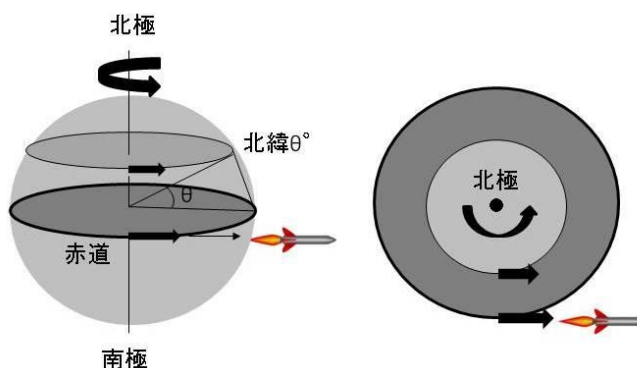
石投げ器には、重さ数十キロの石の砲弾を数百メートルも飛ばし、敵の人馬を攻撃したり敵の城壁を破壊したりする大掛かりなもの（カタパルト）もありました。動力源としては、重りで重力の加速度を利用するもの、竹や蔦（つた）など弾力性のある植物や動物の筋などをゴム代わりに使うものがあります。



カタパルトという名前は、航空母艦から艦載機を空中に打ち出す射出装置に受け継がれています。初期には動力源として火薬や油圧が付かわれていましたが、今は蒸気が主流です。重量が 30t もある艦載機を短距離で空中に浮かべる必要があるのですが、航空母艦は推進用タービンの水蒸気が豊富にあるからです。最近では、リニアモーター方式による電磁式カタパルトも開発されています。

宇宙開発では、地球をロケット打ち上げの際のカタパルトとして利用しています。地球は半径約 6,360km の球体で、東向きに 24 時間で 1 回転しています。つまり、約 40,000km ある赤道にある物体は、秒速約 56km で東側に動いていることになります。少しでも多く速度成分が欲しいロケットの打ち上げにこの運動を利用しない手はありません。もちろん打ち上げるのは東の方向です。

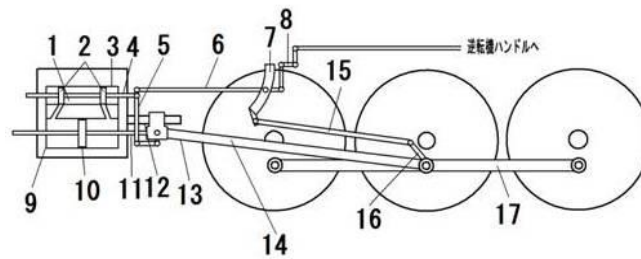
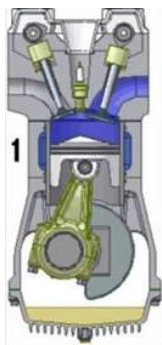
理想的な場所は最大の運動エネルギーが得られる赤道上ですが実際には難しいので、各国は可能な限り緯度の低い（下図で $\cos \theta$ が 1.0 に近い）発射場を確保しています。日本は鹿児島県の種子島と内之浦、アメリカはフロリダ州のケネディ宇宙センター、フランスは中南米のフランス領ギアナです。ロシアは北方に位置するので不利ですが、カザフスタンのバイコヌール宇宙基地で打ち上げています。



8. ピストン運動と水車小屋

ガソリンエンジンやディーゼルエンジンは、シリンダー内で気化させた燃料をピストンで圧縮して点火し、燃焼による体積増加の圧力でピストンを押し往復運動をさせます。それを回転運動に変えるのは、クランクシャフトという回転体とコネクティングロッドという棒を組み合わせた機構です。棒の片方は往復運動、もう一方は回転運動をするわけです。回転を安定させ、ピストンが一番奥と一番手前で回転が止まらないよう、フライホイールという「はずみ車」がついています。

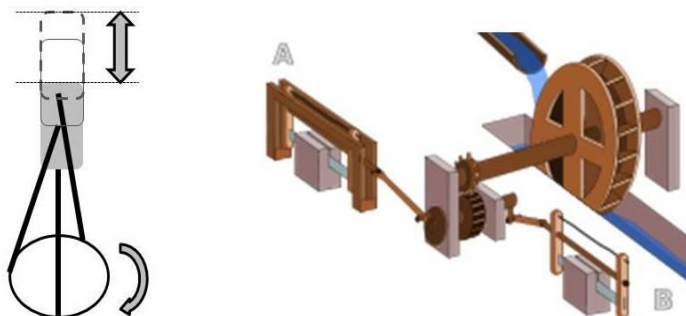
蒸気機関車ではボイラーで蒸気を発生させ、それをシリンダーに導いてピストンを押します。その往復運動を車輪の回転運動に変えるのは、下図のようなちょっと複雑な機構です。ピストンを一番押し出した状態で弁を開閉して蒸気の流れを変え、ピストンを押し戻す機構がついているので、フライホイールはありません。



蒸気機関車の走り装置(ワルシャート式)のモデル図

1弁室、2蒸気弁、3蒸気室、4弁心棒、5合併テコ、6心向棒、7加減リンク(中央の支点をモーションプレートに固定)、8釣リリンク腕、9シリンダー室、10ピストン、11ピストンロッド、12滑り棒、13クロスヘッド、14主連棒、15偏心棒、16返りリンク、17連結棒。

水車小屋では重力で落ちる水の流れて丸い水車を回し、それをクランクによって往復運動に変え、穀物の粃（もみ）をつく杵（きね）を上下させたり、木材を製材する鋸（のこぎり）を往復させたりします。つまり、水車は高い位置の水が低い位置に流れ落ちる際に位置エネルギーを運動エネルギーに変換する仕組みなのです。



中には、水車の回転力を利用して元よりも高い位置まで水を汲み上げる揚水装置もあります。この場合は「回転運動⇒回転運動」の仕組みです。もちろん摩擦力などによるエネルギーの損失がありますから、元の水の流量よりも少ない水しか揚水できません。

9. 回転運動と直線運動の相互変換

航空機の操縦系統では、操縦桿や方向舵ペダルの動き（角度の小さい円運動）をワイヤーや油圧システムで直線運動に変換して伝え、それをまた水平尾翼や垂直尾翼の動き（円運動）に再変換しています。ワイヤーは引く力、油圧シリンダーは押す力を伝える仕組みですから、押したり引いたりするためには反対側にも動かす仕組みが必要になります。また、動かしたいもの（舵など）には回転軸があり、力は一定の回転半径をもつ円周上に働くようになっている必要があります。

船舶の操舵輪も基本的には同じですが、水の抵抗は空気と比較すると非常に大きく、船体も大きくて操舵に大きな力が必要なので、人間の力を強めるための仕組みが必要です。左下の写真は現在の船の操舵輪で、回転半径を大きくし、小さな力でぐるぐると何度も回すと重い舵が少しだけ動くようになっていました。原始的なものの方がわかりやすいので、右下の写真（メコン川の観光船の操舵輪）をご覧ください。回転半径の差でロープを引く力を強めていることがわかると思います。



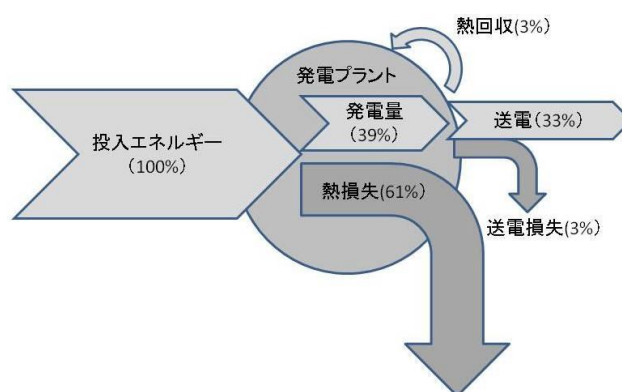
なお、最近の航空機には「フライ・バイ・ワイヤー」と呼ばれる電氣的／電子的な操縦系統が導入されています。操縦桿や操舵ペダルの動きを電流や電気信号に変換して電線で伝達し、作動装置（アクチュエーター）の油圧ポンプや電動モーターを動かす方式です。必要な電力を送るよりも制御信号を送る方が細い電線で済み、もっと細くて軽い光ファイバーも使えますので、最近ではコンピューターを介した電子的な制御が増えています。

また、直線的に運動する小型軽量な電動機（リニアモーター）が実用化され、航空機でもいろいろな場所に導入されるようになりました。回転式電動モーターの場合は、回転運動を直線運動に変換する際にエネルギー損失があります。油圧システムの場合は、回転式電動モーターでポンプを動かして油圧を発生させ、その油圧をパイプで伝達して作動用のピストン（アクチュエーター）を動かすので、途中でエネルギーの損失が発生します。また、それらの装置の重量も問題になります。リニアモーターの導入が進むとそうした複雑で思い装置が不要になるため機体の重量が軽減され、航空機の燃料消費量が減るというメリットがあります。

10. 火力発電所の熱効率とコジェネレーション

火力発電所では石炭や石油、天然ガスを燃やして高圧の蒸気を作り、それによってタービンを回転させて発電機を回転させることで発電をしています。原子力発電所も同様で、沸騰水型や加圧水型など複数の方式がありますが、いずれも核分裂反応で発生した熱により蒸気を作ってタービンを回しています。近年では航空機のジェットエンジンと同じ方式のガスタービン式のものも増えています。

その際に発生するのが温度差を利用する熱機関の宿命である熱エネルギーの損失で、冷却塔や冷却水から大気中や水中に熱を捨てるので、約 2/3 が失われます。また、発電された電力は送電のため変圧器で昇圧してから送電線に送り出されますが、そこでも損失が発生します。ただし、熱エネルギーの一部は回収して再利用されます。一般的な火力発電のエネルギー収支は次の図のようになります。



発電プラントの効率を上げる一番有効な方法は、より高い温度でタービンを動かすことですが、圧力が高くなるうえ、タービンの耐熱限度も問題になります。次に有効な方法は、熱損失として捨てられる低温・低圧の蒸気やガスを再利用するタービンを組み合わせることです。

発電プラントの熱エネルギー効率を究極まで高める方法として考え出されたのが、熱エネルギーを発電だけでなく冷暖房などにも活用するコジェネレーション (cogeneration。英語圏では **combined heat and power** と呼びます)、つまり熱併給発電です。総合エネルギー効率は 80%にも上ります。なお、熱エネルギーで冷房を行うには、排熱投入型の吸収冷温水器を使います。

同様の工夫が航空用ターボファン・ジェットエンジンでも行われています。タービンで圧縮した吸気に燃料を混合して燃焼させ、高速な排気ガスで推力を得るのがジェットエンジンです。しかし、それでは大量のエネルギーが無駄になるので、排気ガスでタービンを回転させ、その力でエンジン前部の大型ファンを回転させて追加的な推力を得る、というのがターボファン・エンジンの原理です。

次世代ジェット旅客機に搭載する新型エンジンには、セラミック基複合材 (CMC) という新軽量で耐熱性の高い素材を採用しています。従来のチタンやニッケル基耐熱超合金を使ったターボファン・ジェットエンジンよりも燃焼室の温度が 200°Cも上回る 1300°Cの高温に耐えられ、燃料消費率を低減させることができます。熱機関の効率向上には高温に耐える材料が必要なのです。

1.1. 高圧送電のメリット

電力を遠くまで送る際は、送電時の損失が問題になります。発電所から 100km (10^5m) 先の街まで 1,000kw ($=10^6\text{w}=1\text{Mw}$) の電力を送電する場合、電線の面積 $S=1\text{ (cm}^2\text{)}$ 、銅の抵抗率 $\rho=1.72\times 10^{-8}\text{ (}\Omega\text{)}$ とすると、長さ $L=10^5\text{ (m)}$ の送電線の抵抗 R は $10.72\text{ (}\Omega\text{)} = 1.072\times 10^1\text{ (}\Omega\text{)}$ になります。

送電電圧を V ボルト (V)、電流を I アンペア (A) とすると電力 $P=VI$ ワット (w) なので、電圧 1 万 ($=10^4$) V で送電する場合、電流は $I=100\text{ (=}10^2\text{)}\text{ (A)}$ です。この場合、片道の電圧降下は $V=RI = 1.072\times 10^1\times 10^2=1.072\times 10^3\text{ (V)}$ 、つまり 1,072V になり、電力消費 (送電損失) $P=VI=1.072\times 10^3\times 10^2=1.072\times 10^5\text{ (w)} = 1.072\times 10^2\text{ (kw)}$ 、つまり約 100kw となります。送電線の電流は往復しますから全体ではその 2 倍、つまり約 200kw と 20% の電力損失が出ることになります。

ところが同じ 1,000kw の電力を 10 万 ($=10^5$) V で送電する場合は電流 $I=10\text{ (=}10^1\text{)}\text{ (A)}$ ですから、片道の電圧降下は $V=RI=1.072\times 10^1\times 10^1=1.072\times 10^2\text{ (V)}$ 、つまり 107.2V に減ります。電力消費 (送電損失) も $P=VI=1.072\times 10^3\times 10=1.072\times 10^4\text{ (w)} = 1.072\times 10\text{ (kw)} = \text{約 } 10\text{kw}$ と、大幅に小さくなります。往復でもその 2 倍、つまり約 20kw とわずか 2% しか損失が出ません。

つまり、送電電圧が高いほど電力損失は小さくなりますが、良いことばかりではありません。高耐圧の絶縁材、塩害対策、高圧電流の切断で発生する強力なスパークで電極が溶けないよう油を充填した特殊なスイッチなどが必要で、変電設備が大規模になります。また、高圧送電線の下では蛍光灯の管が光るほど強い電界が発生するので、小児脳腫瘍の発生率が高くなるという指摘もあります。

日本では従来、10~50 万ボルトの高圧送電が行われていましたが、近年では 110 万ボルトの超高压 (UHV) 送電が実用化されています。また、温度を絶対零度近くまで下げると電気抵抗がゼロになる超電導現象を応用した低損失送電の実用試験が行われています。



UHV 送電線 (写真: 東京電力)

オーストラリアでは、雨がほとんど降らない (雲がなく、強い日射が得られる) 中央部の砂漠地帯で大規模な太陽熱発電を行い、抵抗の無い超伝導方式送電によって数千キロ離れたジャカルタやシンガポールなどの電力大消費地まで損失無しで送電する、という壮大な構想が検討されています。

1 2. 航空機内の電線問題

航空機の電源は、小型機やヘリコプターでは 28V の DC (直流) が主体ですが、旅客機では 115V/200V の三相 400Hz の AC (交流) が使われています。航空機は全長が最大 60m 程度なので、送電ロスには問題になりません。なお、通常の電源の 50/60Hz よりも周波数が高いのは、トランス (変圧器) の効率が良く小型軽量にできるためです。客室には 110V の単相 60Hz に変換した電力を提供してパソコンなどが使えるようにしています。

最新の旅客機では主電源のベース電圧を 230V の交流、バッテリー定格電圧を 250V と電圧を高くしています。機械系や油圧系の作動時に発生するエネルギー損失を減らすとともに、機体の重量を軽くして燃費を改善するため空調装置や操縦系統などを大幅に電化した結果、電力消費量が増えたからです。電圧を高くすることにより、同じ電力を送るのに電流が少なくて済む、つまり細い電線でよくなり、重量を軽減できるからです。それには絶縁材の性能向上も大いに貢献しています。

電線には電力だけではなく、通信用の信号を送るものもあります。電話局どうしを結ぶ何千もの回線は、ケーブルそのもののコストに加え、接続工事にも大変な労力がかかります。そこで、古くはマイクロ波多重無線通信や海底ケーブル (多重同軸ケーブル) による周波数分割多重通信方式が採用されました。近年では光ファイバーで複数の波長の光を送る光多重通信方式が使われています。

航空機でも機内に張り巡らせる電線は増える一方で、ケーブルとコネクタ類だけでも大変な重量になります。そこで、最新の旅客機では上述のように電源電圧を上げて流れる電流を小さくし、細い電線で済むようにしている他、機内の通信には光ファイバーによる多重通信を導入し、一本のケーブルで多数の信号を同時に送受信できるようにしています。客室に座席の数だけエンターテインメント端末を設置できるのも、そうした技術によるものです。

ところで、アメリカの「大統領専用機エアフォース・ワン」という呼び方は間違いです。大統領が搭乗した空軍機は小型機でも「エアフォース・ワン」になり、副大統領の搭乗機が「エアフォース・ツー」になるからです。なお、大統領専用機として B747 の軍用型 V-25 が 2 機、ワシントン DC 郊外のアンドリュース空軍基地に待機していますが、間もなく一回り小さな新しい大統領専用機と交代する予定です。また、ホワイトハウスの裏庭に離着陸する専用ヘリコプターは海兵隊所属なので「マリーン・ワン」ですが予備機があり、大統領が乗った方が「ワン」になります。大統領が海軍の航空母艦を訪問したときの海軍のヘリのコールサインは「ネービー・ワン」でした。

V25 による大統領専用機を設計していたとき、空飛ぶホワイトハウスの機能を果たすための通信機材やコンピューターを結ぶ電線が大変な重量になることがわかりました。そこで当時の最新技術、光ファイバー・ケーブルによるローカルエリアネットワーク (LAN) が導入されました。搭載機器類の詳細は公表されていませんが、納税者である米国民向けに概要を解説した少し古いビデオ (ブッシュ大統領時代の映像などが中心) がネット上で公開されています。

1.3. コンデンサーでパワーシャベルに瞬発力

コンデンサー(蓄電器)とは、2枚の金属板や箔の間に絶縁体を入れて電気を蓄える電気部品です。英語ではコンデンサ・マイク (condenser microphone) など例外を除き、キャパシター (capacitor) といいます。コンデンス (condense) とは本来コンデンス・ミルクのように濃縮することで、英語圏でコンデンサーといえば光学機械の集光装置や水蒸気を凝集して水に戻す復水装置です。

化学反応によって電気を発生させる装置は電池と呼ばれます。普通は乾電池のように使い捨てですが、充電すれば何度でも使えるものもあり、二次電池、あるいは蓄電池と呼ばれています。自動車や非常用電源装置などで今も広く使われている鉛蓄電池は安価ですが、大きくて重いうえ、希硫酸を使っているため取り扱いが面倒です。また、鉛は有害金属なので廃棄処分する際には特別な注意が必要です。その後、ニッケル・カドミウム (NiCd) 電池が開発され、ノートパソコンや携帯電話などで使われましたが、長く使っていると容量が段々小さくなるメモリー効果が難点でした。

最近ではリチウム (Li)・イオン電池が主流です。小型・軽量で容量も格段に大きいからです。昔はガソリンエンジンだった農薬散布用ラジコンヘリマダがリチウム・イオン電池によるドローンになっています。太陽電池とリチウム・イオン電池で電気モーターを回し、プロペラで推進力を得る有人飛行機の長距離飛行にも成功しています。2015年6月には、世界一周飛行中の「ソーラーインパルス2」(全長22m、幅72.4m、重量2.3t、巡行速度約30kt、昼間の飛行高度28,000ft、夜間の飛行高度5,000ft)が愛知県営名古屋空港に立ち寄りしました。

コンデンサーは、通信機器などでは容量がピコファラド ($\text{pF}=10^{-12}\text{F}$) 単位の非常に小さいもの、音響機器や誘導モーターの始動・力率向上用などではマイクロファラド ($\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$) 単位のものが使われています。でも、これでは容量が小さすぎて照明や動力には使えません。1秒間に1アンペア (A) の電流で運ばれる電気量が1クーロン (C)、1Cの電気量を充電したときに1ボルト (V) の電圧を生じる静電容量が1ファラド (F) ですから。

ところが技術の進歩は常識を覆します。従来は油圧式が主流だったパワーシャベルは、近年、ジーゼルエンジンで発電機を動かし、電動モーターで動作させるハイブリッド式が増えています。しかし、化学反応を使う蓄電池では短時間に大電流を流すことが難しく、瞬発力が出ないという難点がありました。そこで、超大容量のコンデンサーを使って瞬間的な大電流を生み出すことで瞬発力のアップを図る画期的な方式が開発されました。大きな岩などを動かす場合は最初の一瞬のパワーが決め手になるからです。



1.4. 回路を切らずに測れる電流計

電圧計は測りたい電気回路に測定用電極を触れるだけで測定できますが、電流計は電流が流れている回路の途中に挿入しなければなりません。ところが一口に電流といっても、数マイクロアンペア (μA) とか数ミリアンペア (mA) という微弱なものから数十～数百アンペア (A) という大電流までさまざまです。電流が大きい場合は電線も太いものが必要で、接続機器の接点やスイッチもそれに耐えるものが必要になりますので、電流計を途中に挿入するというのは結構大変なことです。

私達が日常生活で使って電化製品の電流の大きさを確かめてみましょう。液晶 TV は待機電流が 1mA (0.001A)、通常の動作時は 0.6A 位。懐中電灯は乾電池なので直流で電圧は 3V と低いのですが、電流はクラシックな豆電球式も LED 式もほぼ同じで 0.7A ($=700\text{mA}$) 位。冷蔵庫が $1.0\sim 1.25\text{A}$ 、洗濯機が $3\sim 4\text{A}$ 、電子レンジが 10A 位で、標準的な家庭の電力使用契約は $40\sim 60\text{A}$ です。

近年、電流を測る際に電流計を回路の途中に挿入しなくてもよい、という便利な測定器が使われるようになりました。クランプ（留める、締める、しっかり固定するという意味）メーターと呼ばれるもので、対象とする電流の範囲によって mA 単位のものから数十～数百 A 単位のものまで、さまざまな種類があります。世の中で使われている電機製品は交流が多いという実用上の理由で交流用の製品が多いのですが、直流用もありますし、中には電圧まで測れるものもあります。

使い方は簡単で、測定値の範囲（レンジ）を選び、クランプという挟込み式のセンサーで電線を挟むだけで、測定値が数値で表示されます。回路の途中に挿入しないで電流が測れるのは、電線の周囲に発生する電界と磁界を高感度のセンサーで検出し、マイクロプロセッサで電流値に換算して表示する仕組みだからです。普段は無人で運転し、年に $1\sim 2$ 度の定期点検で電流値を確認するだけでよい機器では、電流計を組み込むコスト負担が軽減できるので幅広く使われています。



クランプメーター（写真：日置電機）

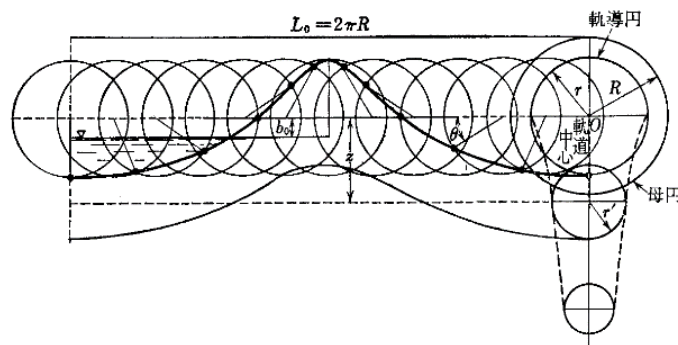
対象物に触れずに検査することを非接触検査、対象物を壊さないで検査することを非破壊検査と言い、航空機の整備点検でも広く使われています。代表的なものは、複雑な形状の部品などをレーザー光線でスキャンし、歪みや摩耗の度合を精密に測る三次元測定です。また、機体の構成部品に電流を流したり磁束を当てて表面や内部の微細なキズを調べたり、X線を当てて内部の傷や素材の材質を調べることもあります。ジェットエンジンの場合はできるだけ分解をせず、内部に光ファイバーによるマイクロスコープを挿入して観察したり、潤滑油を顕微鏡で調べて中に含まれる超微細な金属粉から摩耗状態を確かめたりする検査が行われています。

15. 波浪と津波の違い

海や湖、プールや池の表面を伝わる波の速度は、速度 (C) = 波長 (λ) / 周期 (T) という計算式で表されます。水深が波長の 1/2 よりも深い場合の波は、海底の影響をほとんど受けないので深海波 (表面波) といい、波速 C (m/s) は近似的に波長 L (m) だけで決まり、次の式で計算できます。

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

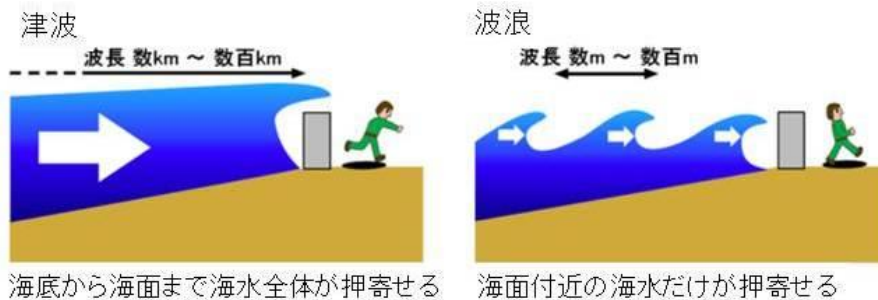
海の波は波長の異なるいくつもの波が重なり合ったものです。ひとつの波はトロコイド曲線という、ころがる円と共に回転する点が描く軌跡で表され、正弦波 (sin カーブ) ではありません。次の図で水面の水粒子が描く円 (軌道円) の直径が波高、円周が波長です。



台風からの「うねり」は個々の波が伝わる速さ (位相速度) ではなく、波が全体として伝わる群速度 (位相速度の 1/2) でゆっくり伝わります。しかし、水深が波長の 1/2 より浅くなると波は海底の影響を受けて速くなり、1/25 より浅くなると浅海波 (長波) となり非常に速くなります。この浅海波の速度は波長に関係なく水深 h だけで決まり、近似的に次の式で表すことができます。

$$C = \sqrt{gh}$$

津波は海底の地殻変動が原因なので波長が数十～数百 km と非常に長く、水深が数千 m の大洋でも浅海波の性質を持つため非常に速く伝わります。1960 年に派生したチリ沖地震のときは、日本までの距離約 17,000km、平均水深 4,400m の太平洋を平均時速 750km で伝わりました。ジェット旅客機の巡航速度は 480kt (≒889km/h) 程度なので驚くべき速さです。なお、チリ沖から日本に至る最短経路は、ハワイ北方を通り東北の方角から北海道や東北地方に到達する「大圏コース」です。



津波と波浪の違い (資料: 気象庁)

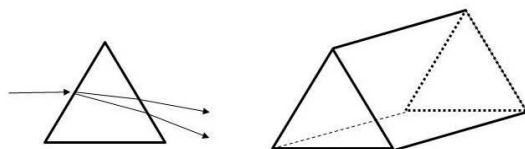
16. 岩塩製の赤外線分光プリズム

昔々には光は波か粒子か、という物理学上の大議論がありました。もし波ならば宇宙空間にはそれを伝える媒体があるはずだ、それをエーテルと呼ぼう、という提案さえもありました。麻酔剤に使われるエーテルとは全く別な仮想の物質です。パソコンのローカル・エリア・ネットワーク (LAN) は当初イーサネットと呼ばれていたのはこの仮想の媒体、エーテルの名前にちなんだものです。

この仮説はその後の観測と実験とによって否定されました。そして、光は電界と磁界が互いに補完しあって真空中を伝搬する電磁波の一種で、粒子としての特性も併せ持つことがわかり、シュレジンガーが波動方程式を考案しました。やがて物体が光速に近い速度で移動する場合に関する思考実験からアインシュタインが特殊相対性理論を、そして数年後に一般相対性理論を確立しました。

白く見える陽光には様々な色の成分が含まれていることを明らかにしたのはアイザック・ニュートンです。だから、レンズとガラス板を接触させると現れる虹色のリングはニュートン・リングと呼ばれています。屈折式 (レンズ式) 望遠鏡では屈折率の違うガラスでできたレンズを組み合わせて、波長による屈折率の違いによる画像の虹色のぼやけを防止しています。これを色収差の補正と言います

この性質を使って光の成分を調べるのがプリズム式の分光器です。特定の物質が特定の波長の光を出したり吸収したりする性質を利用して、波長による光の強さの分布 (スペクトル) を分析し、遠い天体や星間物質がどのような物質でできているのかを調べることができます。



ところが普通のプリズムは石英ガラス (水晶と同じ物質) なので可視光線 (380~760nm) では問題ないのですが、赤外線では減衰が大きくて使えません。そこで、赤外線を通しやすい岩塩 (NaCl : 塩化ナトリウム=塩) を使う赤外線分光器が開発されました。1950年頃のことです。でも岩塩は空気中の水分を吸って溶けるので、表面に特殊なコーティングをするという「隠し技」が必要でした。

現在の赤外線分光装置はハーフミラーを使ったマイケルソン干渉計と半導体検出器、コンピューターによる高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform; FFT) 演算の組合せが主流です。赤外線分光法は感度が高く、非常に細かい構造まで観測できるため、気体や微量の試料を対象とする物理化学の研究や理論化学の実験的検証の手段として、今も盛んに使用されています。

分光分析ではなく単純な赤外線の検出や遠隔の温度測定なら、フィルターと半導体センサーで十分です。医療分野では、指先につけた赤外線センサーで血液中の酸素濃度を測定する装置、空港の検疫で発熱している旅行者を見分ける赤外線画像装置などが使われています。

17. ガラガラ蛇と誘導ミサイル

昔、砂漠に生息するガラガラ蛇の研究をしていたアメリカの生物学者が研究費の不足に悩んでいました。友人が潤沢な予算を持つ国防総省に補助金を申請してみたらと助言してくれたので、ガラガラ蛇を研究すれば画期的な兵器が作れる可能性がありますと申請し、多額の研究資金を獲得しました。結果として生まれたのが赤外線ホーミング誘導ミサイルです。ガラガラ蛇は、近くを通る獲物の動物の体温を鼻にある赤外線感覚器で察知し、飛び上がって噛みつく習性があるのです。

赤外線ホーミング誘導とは、敵機のエンジンから出る高熱の排気ガスの赤外線を検出し、ミサイルがそれを目がけて飛んでいくという追尾方式です。相手がいくら逃げて、赤外線をたどってどこまでも追いかけるので、命中率が格段に向上しました。もっとも、敵機が太陽を背にする位置にいと、ミサイルは太陽めがけて飛んで行ってしまう、という難点がありました。

兵器と防御システムには、金庫作りと金庫破りの知恵比べと同様な関係があります。相手が新しい仕組みを考えたら、こちらはそれを破る方法を考えるからです。赤外線ホーミング誘導ミサイルに狙われたら、その視覚である赤外線検知に対する「目くらまし」をすればよい訳です。追い詰められた忍者が煙幕を張って追手の目をくらまし、逃走するのと同様です。

そこで開発されたのがフレア (flare : 瞬間的な炎や光) という、マグネシウム (Mg) とアルミニウム (Al) の粉末を混合し、点火すると非常に高い温度で燃焼する燃えるデコイ (decoy : おとり) です。航空機のエンジン排気と同じ波長の赤外線を放射するような添加剤が加えられています。なお、電波で追尾するミサイルからの回避には、チャフ (chaff : 殻) というアルミ箔のデコイを大量に空中にばらまくものが使われています。いずれも現代の空の忍術といえるでしょう。



フレアを放出している C130 (写真 : Wikipedia)

フレアは赤外線を出すものを追尾するミサイルの「目くらまし」なので、放出されたフレアの落下状況をカメラで撮影し、画像解析すれば中心にいる敵機の位置を計算できます。個々のフレアは放物線を描いて落下しますから、運動方程式を連立させて解けば発射地点がわかる訳です。なお、敵機の位置も刻々と変化しますから、それも運動方程式で解く必要があります。

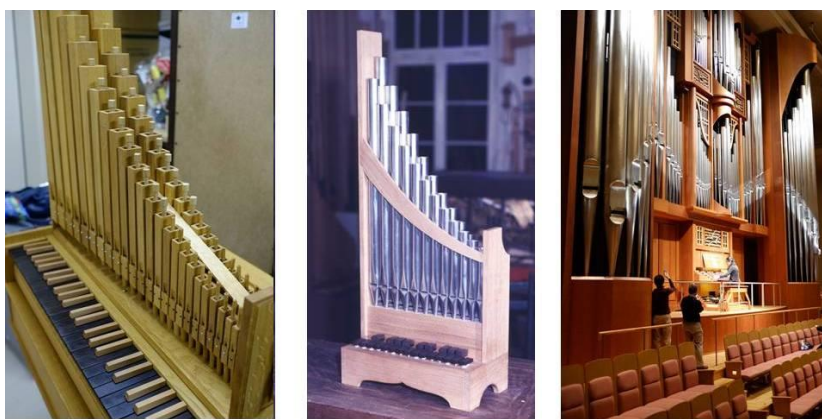
18. パイプオルガンの気柱の振動

パイプオルガンは、リコーダーのような縦笛式の管とクラリネットやサクソホーンのようなリード式のパイプをたくさん並べた大きな管楽器です。手鍵盤と足鍵盤（足踏みペダル）、音色やオクターブを選ぶストップキー、音量を制御するスウェルと呼ばれるシャッター付きの箱で演奏します。小型のものは机の上に乗るサイズで数十本のパイプで構成されています。大型のものは巨大な教会堂や公会堂などの建物と一体で建造され、鉛筆のように細くて短いものから天井まで届く太い柱のようなものまで、千本近くのパイプを備えています。

パイプを鳴らす風は電動モーターで「ふいご」を動かして起こし、圧力を一定に保つ「風箱」を経由して各パイプに供給されます。鍵盤の操作をパイプの根元まで伝えてバルブを開閉する方式（アクション）には、細長い棒を動かして力を伝えるもの（トラッカー方式）、空気圧で伝えるもの（ニューマティック方式）、電気信号で伝えるもの（エレクトリカル方式）があります。

パイプオルガンの歴史は古く、紀元前3世紀にエジプトのアレキサンドリアで水力で空気を送る水オルガンが作られたという記録があるそうです。適切に維持管理すれば寿命の長い楽器で、17世紀とか18世紀につくられたパイプオルガンが修復しながら今も現役の例がたくさんあります。

パイプの材質は木（木管）と錫合金（金管）があり、木管は断面が四角、金管は円形です。発音は笛と同じ「歌口」式のものと同様のリード式のものがあります。また、パイプの端が開いている開管と端をふさいだ閉管とがあり、音色が違います。パイプ内の空気の柱（気柱）の振動モードの違いにより、高調波成分（スペクトラム）の差により音色が違うのです。調律のためのピンやスライド栓（閉管の場合）や筒状のスライド式チューニング・コーン（開管の場合）がついています。



左：据置型（ポジティブ）、中：可搬型（ポルタティブ）、右：建物と一体の大オルガン

この大きな楽器には大変な悩みがあります。何百年も前に建てられた巨大な教会堂などの古い建物には空調装置が無いので、夏と冬の気温差で音速が違い、音程（ピッチ）が変化するので、パイプが数百本もありますので、季節毎に調律するのは事実上不可能なのです。

19. 気温と音速の関係.

気温 t (°C) と音速 v (m/s) との間には近似的に $v=0.6t+331$ (m/s) という関係が成り立ちます。冬と春・秋と夏の平均的な気温を仮定し、それぞれの場合の音速の違いを次に示します。夏と冬では 5.2%もの違いがあり、管楽器では十二平均律の短二度（半音）よりも少し小さい差に相当します。夏の全国高校野球大会で応援のブラスバンドの演奏を聞くと、金管楽器の音程が高い方に外れている場合が少なくありません。炎天下では金管楽器が火傷しそうなほど熱くなり、気柱の音速が速くなるからです。なお、金属の熱膨張率は桁違いに小さいので、影響はほとんどありません。

気温 (°C)	音速 (m/s)	15°Cとの差 (相対値)
0	331	-2.6%
15	340	±0.0%
30	349	+2.6%

だいぶ昔の、まだ日本には政府専用機がなかった頃の話です。日本の首相が欧州各国を歴訪した際に、ある国から次の国に移動するフライトの出発が 15 分ほど遅れてしまいました。見送りの VIP 達との挨拶が予定よりも長くなったためです。ところが次の訪問国の首都空港では赤い絨毯を敷き詰めて儀仗兵が整列し、出迎えの政府高官がずらりと待っています。大事な外交イベントですから、都合でちょっと遅れました、ごめんなさい、という訳にはいきません。

その飛行機は民間航空会社のチャーター機でした。機長は首相の訪欧フライトを任せられる大ベテランなので、良いアイデアを思いつきました。飛行計画を変更し、アルプスの最高峰よりは十分に高い安全な高度ですが通常よりもずっと低い高度を飛行することにしたのです。ジェット旅客機の最大速度は音速に対する比率、つまりマッハ数で制限されています（例：マッハ 0.85）。気温が低い通常の巡行高度よりも気温が高い低高度の方が音速は速いので、同じ最大マッハ数で飛んでも実速度が速い、という訳です。この機転により首相の搭乗機は遅れを取り戻し、定刻に次の訪問国に到着することができました。めでたし、めでたし、です。もっとも、通常よりもかなり低高度を飛んだので燃料消費は大幅に増加したはずですが、大事なフライトですから仕方ありませんね。



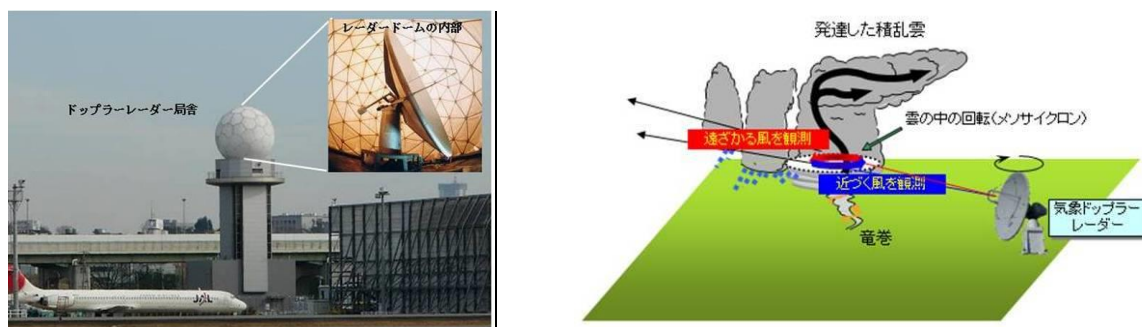
アルプスの最高峰モンブラン (写真：Wikipedia)

2.1. ドップラーレーダー

移動する音源からの音の周波数が相対速度によって上下して観測されるドップラー現象は、電波の場合にも起こります。ただし、気温 15°C の大気中の音速が $3.4 \times 10^2 \text{m/s}$ (=340m/s) なのに対し、電波は $3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ (=30 万 km/s) と 6 桁 (百万倍) も速いのが大きな違いです。

空港付近で発生した発達した積乱雲の中では、空気分子や雨滴、ときには雹 (ひょう) などが激しく運動しています。これにレーダーの電波を当てて反射波の周波数を精密に測れば運動速度が測定でき、離着陸に影響する気流の乱れ、特にダウンバースト (強い下降気流) の存在を検出することができます。これが空港に設置されているドップラー方式による気象レーダーです。

でも、難点がない訳ではありません。ドップラー効果が表れるのはレーダーと対象となる反射物の相対距離が変化する運動だということです。つまり、レーダーとの相対距離が変化しない方向、レーダーから等距離に描いた円上の対象物は検出できないのです。もっとも、発達した積乱雲の場合は気流の乱れの範囲が広いので、周辺の様子から全体の状況を推測することは可能です。



この方式は航空管制用レーダーでもドップラー・パルス・レーダーとして採用されている他、軍用機 (空中警戒機や戦闘機) のように上空から下方を監視する警戒レーダーで、地形や海面からの反射波 (クラッター) を除去して敵機を検出するのに利用されています。

航空管制用レーダーには、高速で移動する航空機を雨雲や地形、海面による反射の中から検出する移動目標表示機能 (Moving Target Indicator : MTI) が付いています。これは移動体のドップラー効果による周波数シフトを検出するのではなく、ひとつ前に受信した対象機からの反射波パルスを記憶しておき、今回のパルスと比較して距離が一致すれば動かない目標、ずれがあれば移動体だと区別する方式です。しかし、航空管制用レーダーは地上からの質問パルスに航空機搭載の応答装置がコード化された応答パルス (識別コードと高度データ) を返す二次レーダー (Secondary Surveillance Radar: SSR) が主体なので、通常はあまり使われていません。

今はレーダーといえばパルス式を思い浮かべますが、第二次大戦中にイギリスで開発された最初のレーダーは、連続波 (continuous wave : CW) を発信し、反射波のドップラー現象により敵機の接近を感知する CW 方式でした。ドーバー海峡を越えてイギリスを攻撃に来るドイツの航空機を早期発見し、迎撃機を向かわせるために大活躍したそうです。

2.2. ノイズキャンセリング・ヘッドホン／会議電話

騒音源と位相が反対の音を発生させれば、音は互いに打ち消しあって静かになるはず、という原理は昔からわかっていました。しかし、騒音源に広がりがある場合や高速で移動している場合、あるいは対策が必要なエリアが広い場合は、対抗する音源の設備や高速でデータを処理する計算機の性能、それらに要する費用が莫大なものになること、などの理由で実用化されることはありませんでした。

例外的に昔から実用化されていたのは、会議電話システムです。会議電話では会議室に集まった複数の人がスピーカーで相手の声をききながら発言します。何も対策を講じていなければスピーカーから出た音をマイクが拾い、それを増幅してまたスピーカーに出すことを繰り返すループができ、キーンとかブーンという大きな音になる「ハウリング現象」が起きます。そこで、会議電話器はスピーカーから出た音はマイクから入っても相殺し、そこにいる人の発言だけ相手に送り、スピーカーからは相手からの声だけを出すという制御をしています。アナログ回路で位相を操作するだけの単純な技術です。公会堂の音響システムも同様で、講演者や司会者のマイクに入るスピーカーからの音を除去しています。

しかし、近年のコンピューターの小型化、軽量化、性能の著しい発達、価格の低下により、もっと複雑な状況での騒音消去も実用化が可能になりました。多数の騒音観測点と高性能のセンサー（マイククロフォン）、高速データ通信回線と音響伝搬の位相差の計算、多数の対抗音源の完璧な制御が、安価に実現できるようになったからです。

もちろん、どこでも何でもできる訳ではなく、騒音が特に問題になるような場所で特定の騒音源への対抗策ならば、それほどの費用を掛けなくても実現できる、というレベルです。問題は理論や技術ではなく、費用対効果という現実的なものに変化してきた訳です。

そしてこの技術の最も身近な応用例が、ノイズキャンセラー機能付のヘッドフォンです。騒音がうるさい飛行機の客席で音楽を楽しむことができる、というような使い方を広告していますが、激しい騒音にさらされる作業現場でその実力を発揮するはず değildir。例えば航空機の整備や飛行場での地上支援業務、工事現場などでは、防音材で音を遮るだけの防音耳当よりも積極的に騒音を消去するノイズキャンセラー付ヘッドフォンの方がはるかに有効で、作業上の連絡も容易になります。



おわりに

物理学基礎講座の付録の軽い読み物として書かれたエピソード集はいかがでしたか。物理学って意外に身近で面白いものなのだな、という印象を持っていただけたのなら幸いです。

皆さんが勉強する物理学は、旅客機の運航に関連するあらゆる装置／システムの理論的な背景です。機体や原動機、操縦システム、飛行管理システム、通信／航法／監視（CNS）システムなどから、客室の空調やギャレー、エンターテイメント端末まで、高度な技術の粋を尽くした仕組みを十分に使いこなすには、それらの背景にある理論の理解が欠かせません。

実務的な教育訓練コースでは、それぞれの装置やシステムを構造や動作、設定や操作の方法という具体的な切り口で勉強することになります。そして、それらの装置やシステムは技術的な視点で設計・製造されていますから、動作特性を理解して適切に操作するための知識は工学的な表現で記述されています。しかし、具体的な技術体系（工学）の背景には、基礎となる科学的な理論（物理学や化学など）の体系があります。

科学（science）と技術（technology）はしばしば「科学技術」とひとまとめで表現され、同一視される傾向がありますが、本質は違います。たとえば機械工学は、力学や物性物理学、熱力学、流体力学などを応用して実用的な機械を作るための技術体系です。電気工学は、電磁気学や熱力学を応用して発電や変電、送電、空調を行う装置や電動機などの実用的な装置を作るための技術体系です。電子工学は、電磁気学、光学、音響学、量子力学を応用して通信機器や制御装置、コンピューターを作るための技術体系です。そして、航空工学は、各工学分野を航空という特定の目的のために統合したものです。

物理学は自然科学のひとつの分野です。科学はすぐには役に立たないことも含めて、いろいろな現象の背景にある法則性を探り、その理由を究明しようとしています。また、理論的に予測された現象や素粒子などの実在を実験や観測で検証しようとしています。一方、技術は世の中で必要とされるもの、すぐに役に立つものを実現するための方法論です。なぜかという本当の理由はわからなくても、経験的に因果関係の法則性さえわかっているならば、実用的なものが作れるという世界です。

基礎的な学問である物理学とその応用である工学の関係を医学に例えれば、基礎医学と臨床医学との関係に似ています。たとえば人間の細胞の構造や特性を詳しく調べ、種々の物質の出入りなどを研究するのが基礎医学の領域です。そして、理由はわからないけれど、経験的にある植物成分が特定の病気に有効だとわかれば、それを抽出した薬で治療しようというのが臨床医学です。基礎医学は、すぐに治療に役立つかがわからない基本的な法則性やその理由を解明します。ですから臨床医を目指す医師の卵も、基礎医学はしっかり勉強しておく必要があります。皆さんが物理学を勉強するのも同様の目的だと思います。面白い学問なので、興味をもってしっかり勉強してください。