

## 物理かるた

読み札作成：田島節子

解説文執筆：田島節子、石原安野、小林研介、  
橋本省二、酒見泰寛、宮下精二、  
山本貴博

### あなたとわたしのあいだの ぼんゆういんりよく

(あなたと私の間の万有引力)

質量のあるすべてのモノの間には、万有引力が働いています。あなたとわたしの間にも、その引力は存在します。でも、質量が大きければ大きいほど、強い引力となるため、地球と人間との間に働く万有引力のほうがずっと大きくなり、あなたとわたしが、互いの間の引力を感じることはありません。

でも、あなたが知らず知らず近づいてしまう人がいたら、もしかしたら特別な万有引力のせいかもしれませんね。

---

### イグノーベルしょうも ノーベルしょうも とったひと

(イグノーベル賞も ノーベル賞も とった人)

イグノーベル賞は、ノーベル賞のパロディーとして作られ、「人々を笑わせ、そして考えさせる研究業績」に贈られる賞です。アンドレ・ガйм博士は、2000年に強い磁場をかけて生きたカエルを宙に浮かす実験をして、イグノーベル賞を受賞しました。生き物の体内に大量にある「水」が磁気的な性質を持っていることを、目に見える形で示してみせたおもしろい実験です。絵札の写真は、円筒状の強い磁石の上にカエルが浮いているところを上から撮ったものです。一方で、博士はその10年後の2010年、グラフェン(「え」の札をごらんください)の発見でノーベル物理学賞も受賞し、イグノーベル賞とノーベル賞の両方を受賞したただ一人の研究者となりました。どんなことにも興味をもって調べてみる、という姿勢が二つの賞の受賞につながっているのですね。

ちなみに、水が磁気的な性質をもっていることから、超強力な磁場を使えば、モーゼの十戒の話にあるように、海を二つに割って人が通れる道を作ることも可能なことがわかっています。

## うちゅうのさえずり じゅうりよくは

(宇宙のさえずり 重力波)

私たちが生きている世界は、時間と空間が一つの大きなゴム布のように広がっている「時空間」の中にあります。物体がこの布の上に置かれると、その布が少しへこんで「ゆがみ」が生まれます。特に、質量が大きい天体は、時空間に大きなゆがみを作り出し、これが高速で動くと、そのゆがみは波のように広がっていきます。この波が「重力波」です。例えば、ブラックホールや中性子星といったとても重い天体が合体するときには、重力波が特に強く発生します。逆に重力波を観測すると、重い天体がどのように動いているのか、ぶつかっているのかを調べることができるのです。

実は、重力波の信号は音波に変換することができます。重力波の音を聞くと、鳥のさえずりに似ているので、科学者たちはこれを「さえずり音」とも呼んでいます。重力波を観測するための装置は、長さが数キロメートルにもなる巨大な「レーザー干渉計」を用いた装置です。これによって、かすかな時空間のさえずり（重力波）を捉えることができます。岐阜県飛騨市神岡にある「KAGRA（かぐら）」は、北米のLIGO、欧州のVIRGOと共同で同時に使って天体を観測する地球規模の重力波望遠鏡です。

---

## えんぴつのしんはグラフェンの積み重ね

(鉛筆の芯はグラフェンの積み重ね)

鉛筆のしんは、グラファイトという物質ですが、グラファイトは「グラフェン」という炭素原子1層のシート状の物質がたくさん重なったものと考えられます。鉛筆で字が書けるのも、層と層の間がはがれやすいという性質のおかげだといえます。また、グラフェンの発見で2010年のノーベル物理学賞を受賞したアンドレ・ガイム博士とコンスタンチン・ノヴォセロフ博士は、セロハンテープでグラファイトを薄くはがして遊んでいるうちに、世紀の発見にいたったという話です。グラフェンは、単なるグラファイトの一部ではなく、独自の性質を持っており、たとえば銅の100倍の電気伝導性と鋼鉄の200倍の強度を持つなど、驚異的な新素材として注目されています。

---

## おもさをきめるプランクていすう

(重さを決めるプランク定数)

モノの重さは質量で決まり、その単位はグラムです。これまで質量は、1889 年に定義された世界共通の「キログラム原器」が基準になっていました。世界中にその複製が配られており、日本にも「日本国キログラム原器」が保管されています。しかし、時間の経過によって変化するなどの問題がわかり、2019 年に国際的な変更が行われました。新しい質量の単位は、量子論を特徴づける物理定数であるプランク定数( $h$ )の値を  $6.62607015 \times 10^{-34}$  ジュール・秒[Js]とすることによって定義されることとなりました。(プランク定数は、光のエネルギーと周波数の比例関係を表す比例係数。)この変更によって、人工物であるキログラム原器は不要となりましたが、明治以来約 130 年間、質量の基準となってきた日本国キログラム原器は、国の重要文化財に指定され、産業技術研究所に保存されています。

---

## か ごめはえいごでもカゴメ

(籠目は 英語でも KAGOME)

籠目(かごめ)は、竹や籐(とう)などで編んだカゴの網目の一つで、日本で古来からよく使われている文様です。物質の中には、原子の並び方が、この籠目模様と同じパターンになっているものが多くあります。1951 年に、日本の物理学者である伏見康治博士が、この原子配列パターンを「カゴメ格子」と名付けました。以来、この日本語は世界共通語となり、英語でも KAGOME と呼ばれています。三角形が中心となったカゴメ状に原子が配列している物質は、特殊な磁氣的・電氣的性質が現れるなど、物理学上興味深い対象となっており、現在でも活発に研究されています。

「ち」の札の「フラストレーション」状態もカゴメ配列の物質でよく見られます。

---

## き かすると1700ばいにふくらむみず

(気化すると 1700 倍に膨らむ水)

水は液体ですが、あたためると気化して水蒸気になり、このとき体積が約 1700 倍にもなります。この膨らむ力を利用して物を動かすのが蒸気機関です。これが発明されたことで、約 300 年前に産業革命が起こりました。

身近なところでは、お湯がわいたとき、やかんのふたが持ち上がるのは、水が水蒸気となって、やかんいっぱいになるからですね。水蒸気を使うと、やかんの

ふたのような軽いものだけでなく、機関車や船なども動かせる大きな力を作ることができます。

---

## ＜すりにつけて がんちりょう

(薬につけて がん治療)

放射線を体の外からがん細胞に照射して破壊する治療方法は、よく知られています。でもこの方法は、全身にがんが転移してしまった場合には、使えません。最近、がん細胞に選択的に集まる薬剤に、アスタチン(At)などのアルファ線を出す放射性元素をつけて、患者に投与し、薬から出る放射線(アルファ線)をがん細胞にだけ当てて治療する、というピンポイントの治療法が開発されています。アルファ線の半減期(放射線を出す能力が半分以下になる時間)は7時間程度と短いため、アスタチンが体内に残ったとしてもすぐに無害となります。この治療法は、外来の通院で行うことができ、患者への負担がとても小さいと言われています。

アスタチンは自然界にはほとんど存在しないため、人工的に作り出す必要があります。原子核物理学の研究に使われている加速器が、そのために役立っています。医学と物理学の研究者が協力して、研究開発を進めているのです。

---

## げんしをつまむ ひかりピンセット

(原子をつまむ 光ピンセット)

レーザー光をレンズを使って極限まで絞ると、その焦点近くでは、原子や小さな粒子を焦点方向に動かす力が働くため、それらをつかまえることができます。このことを発見したアメリカ・ベル研究所のアーサー・アシュキン博士は2018年にノーベル物理学賞を受賞しました。光で原子や分子をつまめるこの手法は、「光ピンセット」と呼ばれています。今では、光ピンセットの技術は、物理学だけでなく、生物学や化学、工学の分野でも広く使われています。

---

## コイルにでんきをながして きょうりよくじしゃく

(コイルに電気を流して 強力磁石)

金属のコイルに電気を流すと磁石の性質が現れ、これは電磁石と呼ばれています。流す電流が多ければ多いほど、磁石の力は強くなります。2018年に東京

大学物性研究所のグループが、瞬間的に大電流を流せる特殊な電磁石を使って1200 テスラという巨大な磁場を発生させ、世界記録を作りました。これは人工的に作った最も強力な永久磁石(ネオジム磁石)の約1000倍、地磁気の約1000万倍の強さです。これを使って、地球上では普通存在しない状態を作り、宇宙で起きていることを実験室で研究することもできます。

---

## サッカーせんしゅの うんどりょう

(サッカー選手の運動量)

サッカーの試合中継などで、よく「この選手は運動量が多いので・・・」といった解説を耳にします。これは動いている時間や距離が長いという意味です。物理学の用語が日常用語として使われているように見えますが、実は「運動量」は、ある時刻の「質量×速度」で定義され、動いた総量ではありません。また、速度には向きがありますので、一定時間の運動量を足し合わせると、逆向きの運動をしている時間がある場合には、打ち消しあって運動量の総和がゼロになることもあります。

物理学を勉強しようと思うなら、運動量という日常用語には注意が必要です。

---

## しつりょうは じはつてきたいしょうせいのやぶれから

(質量は自発的対称性の破れから)

自然界では、対称な状態は不安定になり、対称性が破れた状態のほうに転がるのがまます。鉛筆を、芯を下にして立てると回転対称な状態(くりと回しても同じ状態)ですが、これは不安定ですぐにどちらかの方向に倒れてしまいます。これを「自発的対称性の破れ」といいます。物質を構成する最小単位である素粒子は、真空を埋めつくした「場」が対称性を破るために、運動がさまたげられ、それが質量のもとになると考えられています。南部陽一郎博士は、この「自発的対称性の破れ」を発見した業績で、2008年ノーベル物理学賞を受賞しました。

---

## すべてをすいこむ ブラックホール

(すべてを吸い込むブラックホール)

私たちは地球の上に立つことができ、無重力空間の中の宇宙飛行士のよ

うに空中に浮き上がったりはしません。それは、地球が「重力」という力で私たちを地面に引き寄せているからです。星や惑星など、どんな天体にも重力があります。この重力は、重い天体ほど、そして、それらの天体に近づくほど強くなります。ブラックホールは、ものすごく強い重力を持つ天体の一つです。その周りでは時空までゆがんでしまい、そこを通る光の軌跡も曲がってしまいます。そのため、ブラックホールに、あるところまで近づくと、光さえも外に出られなくなってしまうのです。この光が外に出られなくなる境界線を「事象の地平面（じしょうのちへいめん）」と呼びます。

ブラックホールは光を出さないので、観測すると黒い影のように見えます。ですが、その周りでは星やガスが引き寄せられて明るく輝きます。これが、宇宙で観測されるブラックホールの姿です。

---

## せかいにみちる ダークエネルギー

（世界に満ちるダークエネルギー）

宇宙には、質量はあるものの観測できない暗黒物質（ダークマター）や、宇宙の加速膨張のもとになっている暗黒エネルギー（ダークエネルギー）が満ちています。その割合は、暗黒物質が 27%、暗黒エネルギーが 68%と見積もられており、我々が目にすることができる原子などの物質はわずか 5%です。つまり、宇宙のほとんどが暗黒物質と暗黒エネルギーだといわれています。その正体を明らかにするために、さまざまな研究が行われています。

---

## そうたいせいりろんのおかげ ジー・ピー・エス

（相対性理論のおかげ GPS）

カーナビやスマホの地図情報など、GPS（全地球測位システム）は今や私たちの生活になくてはならない便利なものになっています。地球の周りを飛んでいる人工衛星から信号を受けて、位置がわかるという仕組みです。人工衛星は高度約2万 km のところを飛んでいるため、一般相対性理論によれば、地上とは重力が違うため時刻の進み方が異なると考えられます。正確な位置を知るには、時刻の違いを補正しなければなりません。このように、GPS を正確に動作させるためには、アインシュタイン博士の提唱した一般相対性理論が必要になるのです。

アインシュタイン博士が 1915 年にこの理論を発表したときには、100 年後にこんな使われ方をするとはいくらも予想しなかったことでしょう。基礎科学は、今すぐに

は役に立たなくても、遠い将来人類の役に立つ可能性がある、という良い例だといえます。

---

## たいようのエネルギーのもと かくゆうごう

(太陽のエネルギーの源 核融合)

太陽が輝きつづけているそのエネルギーの源は、複数の水素原子核からヘリウム原子核が生成される核融合反応によるものです。それと同じような反応を地上で行えれば、膨大なエネルギーを取り出すことができます。そのために、世界中で多くの研究が行われています。

---

## ちつじょがきまらないフラストレーション さんかくかんけい

(秩序が決まらないフラストレーション 三角関係)

固体の中では原子が規則正しく並んでいます。原子には磁石の性質(磁性)をもったものがあり、隣どうしの原子は、磁化(S極とN極の向き)が反対になることが多いです。そのような交互の並び方をしていることを「秩序のある状態」と言います。ところが、原子の並び方が三角形の場合、隣どうしの原子すべてで磁化を反対向きにすることができません。絵の矢印を磁化の向きだとすると、「？」の所はどちらの向きにしても片方が隣と反対にできなくなり、秩序のある状態にすることができません。このような状態をフラストレーション状態と言います。

人間の世界の三角関係に似ていますね。

フラストレーション状態では、ちょっとしたきっかけで「秩序のある状態」へ突然変化する、ということが起きます。そのような劇的な性質の変化は、大変興味深い研究対象ですし、その性質をうまく利用して何かに役立てることも考えられます。

---

## つきは なぜおちてこないの？

(月はなぜ落ちてこないの？)

高いところにあるものは、ささえがなければ、下に落ちてきます。月はなぜ空に浮かんだままで、地面に落ちてこないのでしょうか。月と地球の間にも万有引力は働いていますから、地球に引き寄せられる力は働いているはずですが、月も地球のまわりをととても速いスピードで回っているため、それによって働くみかけ

の力(このような回転中心から外側に働く力を遠心力とよびます)が、引力とつり合い、地球との距離がほぼ一定に保たれているのです。地球が太陽にぶつからないのも、同じ理由です。

ハンマー投げの鉄球は、人間が引っ張りながらぐるぐる回転することでハンマーに速度を与え、それを放り投げてその距離を競う競技です。人間の回転速度が速いほど、大きな遠心力が生じるので、ハンマーを引っ張るのに大きな力が必要になります。

---

## 「てんたいがこよみのもと」は せかいきょうつう

(「天体が暦のもと」は 世界共通)

古代のころから人間は、空を見上げ、太陽や月や星が動いていくさまを観察していました。そして、それら天体の動きが規則的である(周期がある)ことに気づき、それをもとに暦を考えたのです。それは、エジプトでも中国でもメソポタミアでも、すべての古代文明で共通だったというのは、驚くべきことです。昔の人は、とてもよく自然を観察していたということですね。

物理学も、これらの天体の動きを明らかにしようとするところから始まっており、科学の中でもっとも古いものの一つです。

---

## とうめいマントができるよ メタマテリアル

(透明マントができるよ メタマテリアル)

材料の表面を機械的に加工して、本来その材料に固有の光の反射や屈折の性質を変えることができます。このような新しい材料をメタマテリアルと呼びます。この考え方を使えば、モノによって遮られるはずの光がモノを回り込んで進むこともでき、あたかもモノが透明になったかのようにすることもできます。このような理論的な提案は、元素を変えて新物質・新材料を開発するのとは異なる方法で新しい材料を作るというもので、画期的なアイデアと言えます。最初にこのアイデアを提案したイギリスのジョン・ペンドリー博士は、2024年に京都賞を受賞しました。

---

## なみとつぶは ひょうりいったい

(波と粒は 表裏一体)

光や電子は、粒としての性質と波としての性質の両方をもっている、と考えるのが、量子力学です。ただし、電子のような極微小のものを扱うときに必要となるものであり、私たちの日常生活はニュートンの古典力学で十分扱えます。

電子は、1856年、ジョセフ・トムソン博士によって粒子として発見されましたが、その後(1927年)息子のパジェット・トムソン博士は電子線の回折像に成功し、電子が波の性質を持っていることを証明しました。二人ともノーベル物理学賞を受賞しています。日本では、ほぼ同じ時期(1928年)に、菊池正士博士が同じく電子線回折像の撮影に成功しています。

電子が粒でもあり、波でもあるということを目に見える形で示した最も有名な実験は、1989年に日本の外村彰博士が発表した1個の電子が波のように2つのスリットを同時にすり抜けるという実験です。これは2002年、英国の物理雑誌に「科学史上最も美しい実験」の第一位として選ばれました。

---

## ニホニウムは 113 ばんめの げんそ

(ニホニウムは 113番目の元素)

ニホニウムは、日本の理化学研究所・森田浩介博士のグループが発見した113番目の元素です。新しい元素の名前は発見者がつけることができ、ポーランド生まれのキュリー夫人が発見したポロニウムや、ドイツで発見されたゲルマニウム、フランスで発見されたフランシウムなど、国の名前がついているものも多くあります。今回、初めて日本で発見されたことから「ニホニウム」(元素記号はNh)と名付けられ、2016年11月に国際的な正式名称として決定されました。新元素発見は日本初、アジアでも初の快挙でした。

---

## ぬかよるこびの しんはっけんも ゆめのたね

(ぬか喜びの新発見も 夢の種)

研究では、新発見をしたと大喜びをした後に、間違いに気づいたり、他の人がすでに発見していたことがわかって、がっかりする、ということも時々あります。でも、一生懸命に研究した結果であれば、その失敗や努力が未来の研究成果につながることも多く、「失敗は未来の成功の種」とも言えます。

世紀の大発見と思われたことが、データのねつ造だったという事件もいくつかありました。これには多くの研究者が、大変失望しました。しかし、それにがっかりせず研究を続けた他の研究者が、のちに本物の大発見をしたという例もあります。

---

## ねっではつでん おんだんかたいさく

(熱で発電 温暖化対策)

金属の両端に温度差をつけると、温度の高いほうから低いほうへ電子が動きます。物質の中の温度を均一にしようとする力が働くためです。電子が動くと、それは電流になりますから、温度差を利用して電気を作ることができるわけです。もちろん、効率よく発電するには、それに適した物質でなければなりません。そのような物質は熱電材料と呼ばれています。

私たちが日常生活で捨てている「熱」は、たくさんあります。工場や自動車は、多くの熱を排出していますので、それを使った発電が提案されています。人間の体温も熱源の一つですから、体に装着する電気製品への応用も検討されています。化石燃料を燃やして発電するのとは違い、CO<sub>2</sub>を全く排出しない発電方法ですから、地球温暖化対策としても期待されています。

---

## ノイズのなかに しんりあり

(ノイズの中に真理あり)

何も入力していないスピーカーから「ザー」というノイズ(雑音)が聞こえることがあります。ノイズが生まれる原因は、スピーカー内の電子回路で電子が不規則に動き回っているためです。ノイズは音だけに限りません。たとえば、水中で花粉などの微粒子がふらふらと動く現象(ブラウン運動)もノイズの一つです。このように、音や位置などの測定値が平均値の周りで不規則に変動することを、ノイズ(雑音、ゆらぎ)と呼びます。

大切なことは、ノイズが単なる測定誤差ではなく、物事の本質的な性質に由来することがあるということです。ですので、ノイズを正確に測定することで、平均値だけではわからない本質的な情報が得られることがあります。

たとえば、20世紀初頭にアインシュタイン博士はブラウン運動の観察からアボガドロ数(分子量と同じグラム数の質量に含まれる分子の数)を求められると予言し、ペラン博士がそれを実験で確認しました。水中の微粒子の位置がゆらぐのは、水分子が絶え間なく不規則に衝突する結果なので、ゆらぎの大きさを測定すれば水分子の個数が分かるのです。これは物質を構成する最小単位が存在すること(原子論)を証明した重要な研究です。

## はこのなか ネコは生きてる？ しんでいる？

(箱の中 猫は生きてる？ 死んでいる？)

量子力学では、モノを波として扱い、その存在は確率で表されると考えます。この理論が正しいかどうかはわからなくても、これを正しいと仮定すると、いろいろなことがうまく説明できるのです。しかしながら量子力学の世界が、いかに私たちの日常の世界と違うか、つまり量子力学は不完全なものではないか、という問題提起をしたのが、「シュレディンガーのネコ」と呼ばれる思考実験(頭の中で考えた実験)です。これは、量子力学の基本方程式を考え、1933年にノーベル物理学賞を受賞したシュレディンガー博士が提案したものです。

箱の中にネコと放射性元素と毒薬の入ったガラスびんが入っており、放射性元素から放射線が出ると毒薬のびんが割れてネコが死ぬ、という仕組みになっています。放射線はある確率でしか出ないので、ネコが死ぬかどうかも確率で決まります。箱を開けてみるまで、ネコが活着ているか死んでいるかわかりませんが、開ける前に生死は決まっているはずだ、というのがふつうの考え方です。でも量子力学では、活着ている状態と死んでいる状態の重ね合わせ状態になっていて、箱を開けた瞬間に生死のどちらかに決まる、と考えます。

相対性理論を提唱したアインシュタイン博士は「神はサイコロを振らない」と言っていて、上のような考え方に異を唱えたそうです。

---

## ひだのやまおくの ニュートリノけんしゅつき

(飛驒の山奥のニュートリノ検出器)

宇宙にある全てのものは、とても小さな粒(つぶ)に分けることができます。それ以上小さくすることができないこの粒のことを「素粒子」と呼びます。「ニュートリノ」は、素粒子の中でも特に小さな粒です。小さいために他の物にぶつかりにくく、とても軽いために重さがあるのかないのかを見分ける事もできませんでした。

ニュートリノを見つれたり調べたりするには、何かと反応させる必要があります。そのために、岐阜県飛驒市の神岡鉱山跡に3000トンもの水をたたえる巨大な水槽と1000個もの光検出器を並べた装置「カミオカンデ」が作られました。宇宙から飛来したニュートリノが水と反応したときに出るわずかな光を検出しようというものです。これを使って世界で初めて超新星ニュートリノを検出したことで、小柴昌俊博士が2002年にノーベル物理学賞を

受賞しました。さらにこの装置を発展させた「スーパーカミオカンデ」という大きなニュートリノ検出器も建設され、これを使って、ニュートリノが重さを持つことを示す「ニュートリノ振動」という現象が発見されました。そして、この発見に大きく貢献した梶田隆章博士は、2015年にノーベル物理学賞を受賞しました。

---

## ぶっつと はんぶっつ うんめいのわかれみち

(物質と反物質 運命の分かれ道)

宇宙のはじまりにおいて、巨大なエネルギーから粒子と反粒子が同じ数だけ生み出されました。反粒子とは、粒子と同じ質量をもち性質が反対のものです。たとえば、負電荷をもつ電子という粒子に対して、正電荷をもつ陽電子という反粒子が存在します。そして、粒子から構成される「物質」に対して、反粒子から構成される「反物質」が考えられます。ところが、今私たちのまわりには、物質しかありません。反物質はどこへ行ってしまったのでしょうか。その理由を探る研究は、今もさかんに行われています。一つには、宇宙初期のビッグバンの直後、粒子と反粒子が同じだけ作られたにも関わらず、何らかの理由でその数にごくわずかなアンバランスが生まれたためではないか、という考えがあります。多くの粒子と反粒子が対になって消滅した後もわずかな粒子だけが残り、今の世界を形作ったと考えられています。

---

## へリウムは このよでいちばんつめたいえきたい

(ヘリウムは この世で一番冷たい液体)

ヘリウムは、風船などに入れるガスとしてもよく使われますが、マイナス 269°Cになると、液体になります。この温度は、すべての物質の液化温度の中で一番低い温度で、これ以上どんなに温度を下げても凍りません。極低温の実験には欠かせないアイテムです。約 100 年前に液体ヘリウムを作ることに成功したオランダの物理学者カマリン・オネス博士は、2年後にこれを使って水銀の電気抵抗が突然ゼロになる現象(超伝導現象)を発見しました。また、液体ヘリウムをマイナス 271°Cにすると、粘性がゼロの「超流動状態」の液体になるなど、極低温の世界を調べる道具としても使われています。

## ほねのけんさから ほしのかんそくまで エックスせん

(骨の検査から 星の観測まで エックス線)

エックス線は、可視光の 1/100 以下の短い波長の電磁波です。医療現場では、体の組織の密度によって吸収率が異なることから、骨などの観察に使われます。そのほか物質の結晶構造を決定するなど、科学研究のさまざまな場面で、エックス線が使われます。

また、星から来るエックス線を観測することで、他の観測方法では得られない宇宙の姿を見ることもできます。日本はこれまで多くのエックス線天文衛星を打ち上げており、この分野のトップランナーです。2023 年にはアメリカ NASA や欧州の研究機関と協力して、XRISM という最新衛星の打ち上げに成功し、世界最先端の観測によって宇宙の起源を探る研究を行っています。

---

## まさつは ねつをだすので ちゅうい

(摩擦は熱を出すので注意)

物どうしをこすると、摩擦で熱が発生します。人間が最初に火をおこす方法を見つけたのも、この「摩擦」の力を借りたものでした。山火事は樹木どうしがこすれあって、火がつくことが原因の一つと考えられています。

金属の中を電気が流れるときにも、電子が原子などにぶつかりながら、摩擦(抵抗)を受けながら流れるので、熱が出ます。パソコンなどの電気製品が熱くなるのも、そのためです。

人間同士が意見の違いでまさつを起こすときも、熱くなりすぎると危険ですね。

---

## ミューオンでしらべる ピラミッド

(ミューオンで調べるピラミッド)

地球に降り注いでいる宇宙線は、大気にぶつかってミューオン(ミュー粒子)という素粒子を生み出します。ミューオンは物体を透過する能力がとても高いため、巨大な建造物の内部も調べることができます。2017 年に名古屋大学の研究グループは、このミューオンビームを使って、エジプト・ギザのクフ王のピラミッドの中に未知の大きな空間があることを発見しました。このピラミッドの内部に新たな空間が見つかったのは、186 年ぶりということです。

これ以外に、考古学的に重要な文化財を「触らずに」調べる手段として、ミュオンビームはたびたび使われており、宇宙の謎を調べる物理学者と文化財を調べる人文社会学者が一緒になって研究をする姿が珍しくなくなってきました。

---

## むくどりのむれのうごきも ぶつりでかいめい

(むくどりの群れの動きも 物理で解明)

ムクドリは小さな鳥ですが、群れをなして飛ぶことで、外敵から身を守っているといわれています。群れは刻々と複雑に形を変えますが、鳥同士にどんな力が働くと、このような動きになるのでしょうか。それを解明する研究は、アクティブマター(自ら動く物やその集合体)の物理学と呼ばれ、鳥だけでなく魚や微生物、コロイド粒子など、いろいろな大きさのものに共通するメカニズムがあると考えられています。

---

## めいげつきにも かかれた ちょうしんせいばくはつ

(明月記にも書かれた 超新星爆発)

「明月記」は、平安時代末期の公家・歌人である藤原定家が 1180 年から 1235 年まで 56 年もの間、書いた日記です。藤原定家は、小倉百人一首の選者として有名ですが、その日記には天変に関する記述も多く見られます。中には超新星爆発を見たと思われる記述があり、陰陽師からの過去の報告も含めると複数の天変の記述があります。そのうち3つは国際的に認定されている超新星爆発であることがわかっています。それ以外にも、1204 年には赤気と呼ばれていたオーロラ現象の観測記録もあり、天文学上の古文書として世界的に有名な存在になっています。天体望遠鏡のない時代の超新星爆発の記録は、世界に 7 件しかなく、そのうち 3 件も記載があるのは「明月記」だけだということです。

---

## モアレもようで きんぞくから ぜつえんたいまで

(モアレ模様で 金属から絶縁体まで)

炭素の層が一層だけのグラフェン(「え」の札に説明があります)という物質は、炭素がハチの巣構造をしています。これを 2 層重ねると、その重ねる角度(上の層と下の層のねじれ角度)によって、モアレ模様と呼ばれる模様が現れます。実

は、このねじれ角によって、二層グラフェンは、金属になったり絶縁体になったりするのです。モアレ模様の違いで物質の性質の違いがわかるというのは、おもしろい性質ですね。

---

## やみよのカラスをうつせる せきがいせんカメラ

(闇夜のカラスを写せる 赤外線カメラ)

夜は太陽の光がないので、灯りがないと真っ暗で物が見えにくいですね。そんな闇の中では、真黒なカラスは特に見えにくいので、「闇夜のカラス」とはものが見えにくいことのたとえとして使われる言葉です。普通のカメラは、赤から紫までの可視光をとらえて像にするので、暗闇では使えません。ところが、赤外線という私達の目には見えない光を使うカメラでは、動物の体が発する赤外線をとらえるので、暗闇でも写真を写すことができます。

---

## ゆらぎのかがくで けいざいも

(揺らぎの科学で 経済も)

花粉から出た微粒子が水の中で不規則な動きをするのは、粒子が熱振動している水の分子にぶつかるためです。これはブラウン運動と呼ばれています。この不規則な揺らぎの動きは、人間社会の動きにもあてはめることができます。たとえば、株の価格変動の様子も、揺らぎの科学で説明することができるのです。人の心理も周囲との相互作用で決まることが多いからですね。

---

## よっつのちからを どういつする ばんぶつのりろん

(四つの力を統一する 万物の理論)

自然界には四つの力があるといわれています。第一の力は、万有引力のもとになっている「重力」、第二の力は「電磁気力」、第三の力は原子核内で陽子どうしをくっつける「強い力」、第四の力は中性子が電子を放出して陽子になるときに働く「弱い力」です。第二と第四の力を統一して扱う理論は完成していますが、それに第三の力を加えた統一理論は道半ばです。さらに第一の重力も加えた理論は「万物の理論」と呼ばれ、宇宙のすべてを説明できる究極の理論で、現在の物理学の大目標となっています。

---

## らくらいは くもとちじょうの ほうでんげんしょう

(落雷は 雲と地上の放電現象)

雷が落ちるのは、雲にたまった電気が地上の建物などに向かって一気に流れる放電現象です。雲の中にできた氷の粒どうしがぶつかって静電気がたまり、雲がかかえきれないほどになると、地上に向かって流れる(放電する)という仕組みです。この電気のエネルギーは膨大で、電圧にすると1億ボルトともいわれています。家庭に送られている電気の電圧は100ボルトですから、その100万倍にもなります。

雷が落ちそうな木などのそばには、ぜったいに近寄らないようにしましょう。近くにいるだけで(例えば3メートルの距離でも)、この大きな電気エネルギーの影響を受けてしまいますから。

---

## リニアモーターと ちょうでんどうで こうそくてつどう

(リニアモーターと超伝導で高速鉄道)

超伝導は、物質の電気抵抗がゼロになる現象です。この現象を利用すると、通常の電磁石よりも強力な磁力を発生させることができます。病院の検査で使うMRIなど、私たちの生活のなかでも様々な場面で応用されています。

さらに現在では、超伝導の技術をリニアモーターカーへ応用する開発が進められています。リニアモーターとは、一般的な回転型のモーターを切り開いて直線状に引き延ばしたようなかたちのモーターのことです。磁界のN極とS極の向きが交互に変わる側壁の電磁石コイル<sup>注)</sup>と、車両内の電磁石コイルとが相互作用することで、車両が進んでいくような仕組みを備えています。このような「リニアモーター」に、超伝導磁石を応用することで、より高い安定性とスピードを実現することができます。超伝導磁石を鉄道に応用したリニアモーターカーは、日本独自技術の結晶です。(注：電磁石コイルについては、「コ」の札を参照してください。)

---

## ルビーのあかは ふじゅんぶつ

(ルビーの赤は 不純物)

赤いきれいな宝石のルビーは、酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )という物質からできています。ただし、純粋な酸化アルミニウムは無色透明で、それにわずかにクロム(Cr)という元素が不純物として少し混じると、きれいな赤色になります。ルビーという宝石を楽しめるのは、不純物のおかげだといえます。

ちなみに青色の宝石であるサファイアは、同じ酸化アルミニウムに鉄(Fe)やチタン(Ti)が不純物として混じったものです。同じ物質でも、不純物の種類によって全く違う色になるのは、おもしろいですね。

---

## レーザーをつかって ひかりこうしどけい

(レーザーを使って 光格子時計)

現在、時間の世界標準は、セシウム原子の吸収する電磁波の周波数で決まっています。この方法では、3000 万年に 1 秒の誤差しか生じない精度で時間が決まります。これよりさらに3桁高い精度で時間を決められるのが光格子時計です。これは、レーザー光を使って原子を極低温にし、特別な波長のレーザー光を干渉させて作った格子に原子を閉じ込め、100 万個の原子の電磁波吸収を同時に計測するという方法です。光格子時計は、宇宙の年齢に近い 100 億年に1秒の誤差しか生じません。

こんなに正確な時計は一体必要なのでしょうか。たとえば、人間が感じることのできないわずかな重力の違いを測ることができます。2020 年に東京大学の香取秀俊博士のグループは、東京スカイツリーの展望台に設置した光格子時計が、地上の時計より 24 時間で 4 ナノ秒(4 秒の 1 億分の 1)早く進んでいることを観測し、「重力が小さいと時間が早く進む」という一般相対性理論の予言が正しいことを証明しました。スカイツリーの展望台は 450m の高さであり、地上よりわずかに重力が小さいはず(気圧も低いはず)。そのわずかな重力の違いによる時間の進み方の差を検出できたことで、この光格子時計は世界最高精度のものであることが示されました。

---

## □ケットからスマホまで はんどうたい

(ロケットからスマホまで 半導体)

今やロケットやさまざまな家電製品、スマートフォンにいたるまで、あらゆるものに半導体チップが組み込まれています。動きを制御するコンピューターのもとになっているからです。

半導体は、金属と絶縁体の両方の性質をもった物質で、よく使われているものの一つは、シリコン(Si)です。半導体をはじめとするさまざまな物質の性質が、どのような仕組みでそれぞれの性質を示すのかは、量子力学の発見によって、はじめて解明されました。それによって、半導体を使ったいろいろな素子が開発され、素子の組み合わせによってコンピューターが作られたのです。

皆さんのスマホの中には、小さな半導体素子が1億個以上も入っています。電子ビームなどを使ってナノスケールの微細な加工をする技術も、半導体の利用を発展させてきた大きな原動力です。

---

## ワールド・ワイド・ウェブをかんがえた ぶつりがくしゃ

(ワールド・ワイド・ウェブを考えた 物理学者)

ワールド・ワイド・ウェブ(WWW)は、インターネット上で提供されているシステムで、これによって世界中で誰でもいつでも見られるように情報公開ができます。今や世界中の人に広く利用され、情報発信や情報収集になくてはならないものとなっていますが、もともとこのシステムは、1989年に欧州原子核研究機構(CERN)の研究者によって、物理の研究者仲間のために考えだされたものです。当初は一部の物理学研究者の間でのみ使われていましたが、1993年に、CERNは誰でも無償で使えるように公開しました。

例えば、日本物理学会については、<http://www.jps.or.jp> というウェブページで情報を見ることができます。