

小 論 文

工 学 部

注 意 事 項

1. 「解答始め」の合図があるまで、この冊子は開かないこと。
2. この冊子は表紙を除いて 10 ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら、まず、掲示又は板書してある問題冊子ページ数・解答用紙枚数・下書き用紙枚数が、自分に配付された数と合っているか確認し、もし数が合わない場合は手を高く挙げ申し出ること。次に、受験番号・氏名を必ずすべての解答用紙の指定された箇所に記入してから、解答を始めること。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された箇所に横書きで記入すること。

問 1 次の文章を読んで、後の設問(1)～(4)に答えなさい。

物質を分割していく場合を考えてみよう。すると分割した部分は新しい表面ができ
ていき、表面が増大していく。このようすを示したのが図1である。一般に、物質は
分割されるにしたがって表面がつくられ、小さくなればなるほど、全表面積は大きく
なる。

物質を微細化していくと、それに伴って質量当たりの表面積（これを比表面積とい
う）はどんどん大きくなり、面白いことにある大きさを超えたとき、もとの物質とは
まったく違った振る舞いをする物質の状態が作り出される。このような状態をもつ
た微細な粒子を「微粒子」と呼んでいる。微粒子になると、全体積に対する表面の割
合が非常に大きくなり、その表面の性質が物質全体の性質を支配するようになる。

微粒子の例として、ファインセラミックスの透光性アルミナを取り上げてみよう。
セラミックスの原料として従来使われていたアルミナ^(注1)は、粒径（直径）が大体
 $10\text{ }\mu\text{m}$ （マイクロメートル）の球状であり、不純物は数%含まれていた。ところが、
ファインセラミックスの原料となると、粒径は大体 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ ，不純物も2桁ほど少な
いものが使われている。つまり、微粒子化と高純度化されたものである。その結果、
従来のアルミナとは異なり、光透過性を妨げる要因が取り除かれた透明なアルミナと
して、高速道路照明のナトリウムランプのチューブなどに使われている。このほかに
も、物質を細かく分割して比表面積を大きくすると、面白い性質や現象をたくさん見
出すことができるようになる。

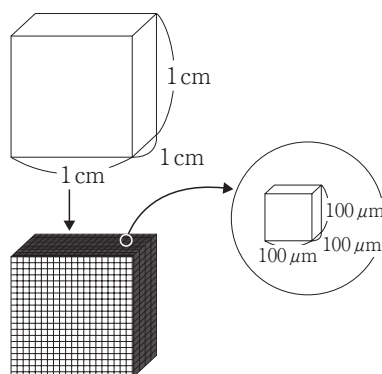


図1 分割による表面積の増加

(注1) アルミナ：酸化アルミニウム(Al_2O_3)。

[出典] この文章は、前野昌弘著、『微粒子から探る物性七変化 コロイドと界面の科学』講談社、2002年より抜粋した。ただし、問題作成のため、一部を改変、または省略、補足している。

設問(1) 下線部(a)で述べられているように、物質を分割していくと全表面積は増加する。図1のように、一辺が1 cm の立方体を一辺が100 μm の立方体にまで分割したときの全表面積（分割された全ての立方体の表面積の合計）は、分割する前の元の立方体（一辺1 cm）の表面積の何倍になるか、計算過程と併せて答えなさい。なお、100 $\mu\text{m} = 10^{-2}$ cm である。

設問(2) 図1のように、一辺が100 μm まで分割された立方体を、一辺が1 cm の立方体になるように組み立てたとする。そのとき、表面に存在する一辺100 μm の立方体の数は全立方体数の何 % になるか、計算過程と併せて答えなさい。答えは小数第2位を四捨五入して小数第1位まで示すものとする。

設問(3) 下線部(b)について、ファインセラミックスの原料である直径0.2 μm の球状アルミナ粒子の比表面積(cm^2/g)はいくらになるか、計算過程と併せて答えなさい。ただし、不純物は無視し、アルミナの密度は4.0 g/cm^3 を用いなさい。必要な場合、円周率は π を用いてもよい。有効数字2桁で答えなさい。

設問(4) 下線部(c)について、物質を細かく分割して比表面積を大きくするとどのような変化が期待されるか。本文中で説明されているファインセラミックスの例以外で、あなたの経験や知識に基づいて具体例を40字以内で説明しなさい。

問 2 次の文章を読んで、後の設問(1)～(5)に答えなさい。

メートルやキログラムなど、世界共通の単位が存在していることではじめて、我々は支障なく日々の社会生活を送ることができている。そのため現在、世界約 60 か国が参加する国際度量衡総会(CGPM)での決議によって、「国際単位系(SI)」が定義されている。

SIには現在、7つの「基本単位」がある。時間の秒(s)、長さのメートル(m)、質量のキログラム(kg)、物質量のモル(mol)、電流のアンペア(A)、熱力学温度のケルビン(K)、光度のカンデラ(cd)だ。このうち、キログラム、モル、アンペア、ケルビンの4つについて、2011年に開催された第24回CGPMで、定義のしかたを変更する方針が決議された。その決議から約8年を経た2019年5月20日、再定義がついに実施された。どのように再定義されたのだろうか。今までとは何が異なるのだろうか。そもそもなぜ、再定義する必要があったのだろうか。

(中略)

1983年のメートルの再定義を機に、基礎物理定数^(注1)を厳密に測定して定義し、それに基づき基本単位を定義し直そうという機運が高まっていった。そして、その一環として、2011年の第24回CGPMで決議されたのが、キログラム、モル、アンペア、ケルビンの再定義だった。

(中略)

これまで、1アンペアは、「真空中に1メートルの間隔で平行に配置された無限に小さい円形断面積を有する無限に長い2本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの導体の長さ1メートルにつき 2×10^{-7} ニュートン(N)の力をおよぼし合う一定の電流」と定義されてきた。

この意味を説明しよう。そもそもアンペアは、フランスの物理学者アンドレ＝マリ・アンペール(1775～1836)の名前に由来する。アンペールは、フランスでメートル法が公布されて20年ほど経った1820年、平行に置かれた2本の導線に電流を流すと、電流の流れる方向によって、導線が引き合ったり、離れたたりすることを発見した。

そして、その実験結果を理論化し、「アンペールの法則」を発表した。これは、電流が流れている導線の周りに発生する磁場の大きさは、電流の大きさに比例し、導体の中心からの距離に反比例するという法則だ。

たとえば、2本のまっすぐな導線を平行に置き、その2本の導線に、同じ向きに、それぞれ電流 I を流すとする。すると、アンペールの法則にしたがい、それぞれの導線で同心円状に発生した磁場が、相手側の電流に対して、導線どうしが引き合う方向に力（引力）が働く。この力の大きさは、 I^2 に比例するというのだ。そこで、2本の導線の間隔を1メートルとし、導線の長さ1メートルあたりの引力の大きさを測定すれば、電流 I を求めることができる。逆に、電流の大きさによって、2本の導線の間働く引力の大きさを決めることもできる。

そこで、アンペールの法則の発表以来、各国で電流の大きさの測定が進められた。そして1948年、第9回CGPMで、この力が導線1メートルあたり 2×10^{-7} ニュートンであるとき、流れる電流 I の大きさを1アンペアとすると定義されたのだ。

しかし、この定義では、高精度の計測は期待できない。そもそも電流とは、電子の流れのことだ。そこで2019年の再定義では、よりシンプルに、電気素量 e （素電荷ともよばれる）を用いて、アンペアを定義することとなった。電気素量 e とは、電子1個のもつ電荷の大きさのことだ。

電子は粒子であり、その電気素量 e は実験結果から、約 1.602×10^{-19} クーロン(C)と見積もられていた（なお、1クーロンは、1秒間に1アンペアの電流によって運ばれる電荷である。 I アンペアの電流が t 秒間流れたとき、運ばれた電荷 Q クーロンは、 とあらわすことができる）。

そもそも電流 I と抵抗 R と電圧 V の間には、「オームの法則」である $V = IR$ が成り立つ。ここで、抵抗値に関しては量子ホール効果に基づき、また、電圧に関してはジョセフソン効果（正しくは「交流ジョセフソン効果」）に基づき、プランク定数 h と電気素量 e を用いて正確に求めることができる。

量子ホール効果とは、極低温の環境下において、半導体などの中の2次元平面に閉じ込められた電子に磁場をかけたときにあらわれる量子力学的な現象だ。また、ジョセフソン効果とは、2つの超伝導体（極低温で電気抵抗がゼロになる物質）で、絶縁体や金属の薄膜をはさんだ素子に対して、通常10 GHz から90 GHz 程度の高周波数

の電磁波を照射して、超伝導体の間に電流を流したとき、量子効果によって、階段状の電圧があらわれるというものだ。

量子ホール効果もジョセフソン効果も不確かさは、SI 改定前において、 h や e の不確かさよりもはるかに小さかった。改定された SI ではこの h と e が共に定義値となる。つまりこの 2 つの量子効果を組み合わせて、オームの法則 $V = IR$ から、1 アンペアの値を定義することも可能だ。実は e と時間から 1 アンペアを定義するより、とくに大きな電流値では実用的で不確かさも小さい方法なのだ。

^(c) そこで、アンペアの再定義に向け、世界中から集められた実験結果とプランク定数 h を基に、電気素量 e を算出することとなった。

(注 1) 基礎物理定数：物理学の法則に登場する定数で、普遍的な値をもつもの。

[出典] この文章は、山田久美『キログラムなどの 4 つの基本単位の新定義とは』
ニュートン別冊 単位と法則 大百科 (ニュートンプレス) 2020 年より抜
粋した。ただし、問題作成のため、一部を改変、または省略している。

設問(1) 下線部(a)で述べられているように、2019 年にキログラム、モル、ケルビンとともにアンペアが再定義された。アンペアが再定義された最も大きな要因を、本文中で述べられている語句を用いて 30 字以内で答えなさい。

設問(2) 下線部(b)の定義をふまえて、真空中に 1 メートルの間隔で平行に配置された無限に小さい円形断面積を有する無限に長い 2 本の直線導体のそれぞれに 2 アンペアの電流を流した場合に、1 メートルあたりの直線導体間にはたらく力の大きさ(N)を答えなさい。

設問(3) 空欄 に入る関係式を、本文中で示された変数を用いた数式で答えなさい。

設問(4) アンペアは，2019 年にある 1 つの基礎物理定数をもとに再定義された。

この基礎物理定数は何か答えなさい。

設問(5) 下線部(c)のように，大きな電流値を実用的で不確かさが小さくなるように

測定する方法を 70 字以内で答えなさい。

問 3 次の文章を読んで、後の設問(1)～(3)に答えなさい。

国土交通白書では、「気候変動とわたしたちの暮らし」をテーマとして、気候変動に伴う災害の激甚化・頻発化や社会情勢の変化を踏まえ、暮らしの脱炭素化に向けた国土交通分野の取組みの課題と方向性を整理し、気候変動時代のわたしたちの暮らしを展望している。その中で、交通・物流の脱炭素化に向けた取組みについて以下のよう

にまとめられている。

交通・物流に関連する運輸部門は、旅客部門と貨物部門に分類される。運輸部門では、2030年度において二酸化炭素排出量対2013年度比35%削減を目標としている。運輸部門における二酸化炭素排出量の推移について、1990年代前半から自動車の大型化や自動車保有台数の増加により増加傾向であったが、トッランナー制度に基づく燃費基準^(注1)の導入やグリーン税制の導入等により2001年度をピークに減少が続いている。特に2013年度以降は、ハイブリッド自動車や電気自動車の普及拡大に伴う燃費の改善により、旅客部門における自動車の二酸化炭素排出量は減少している。また、運輸部門における2020年度の二酸化炭素排出量は、新型コロナウイルス感染症の影響等により減少幅が増大した。しかしながら、2030年度排出量削減目標を達成するためには、より一層の取組み推進が求められる。

ここで、運輸部門における二酸化炭素排出量について考えてみる。2021年度の日本^(a)の二酸化炭素排出量(10億6400万トン)のうち、運輸部門からの排出量は、1億8500万トンであり、そのうち自動車に起因する排出量は、運輸部門の86.8%を占めている。旅客自動車(自家用乗用車、バス、タクシー、二輪車)が運輸部門の47.0%、貨物自動車(営業用貨物車、自家用貨物車)が39.8%を占めており、旅客自動車における二酸化炭素排出量削減に向けた取組みが、運輸部門における二酸化炭素排出量に与える影響は大きいと考えられる。

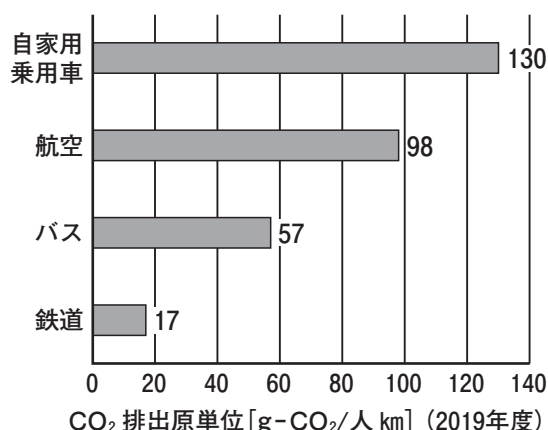
次に、運輸部門の旅客部門における輸送機関(鉄道、バス、自家用乗用車、航空)の二酸化炭素排出量に着目する。図1は、輸送機関別の単位輸送量(人キロベース)当たりの二酸化炭素排出量^(注2)を示している。図1より、自家用乗用車に対し、バスは約5分の2、航空は約4分の3、鉄道は約8分の1であることがわかる。

旅客輸送において、前述のように輸送機関によって二酸化炭素排出量が異なるが、二酸化炭素排出量の排出状況は、地域の交通手段の分担率の違いによって大きく異なる。

交通手段とは、目的地へ向かうために利用できる輸送機関や移動方法のことであり、全国都市交通特性調査において、一つの目的を持った移動における主な交通手段（代表交通手段）が調査されている。

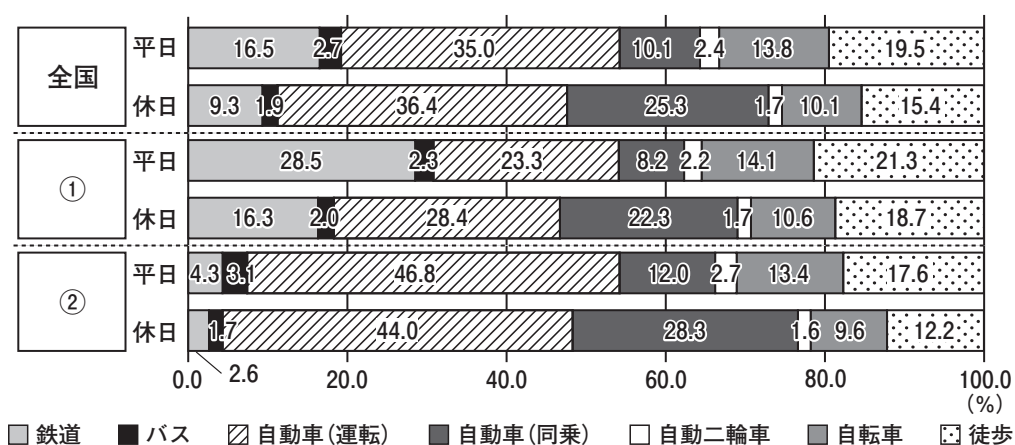
一つの目的を持った移動において、複数の交通手段が利用される場合、主な交通手段の集計上の優先順位は、鉄道、バス、自動車、自動二輪車、自転車、徒歩の順となっている。図2は、三大都市圏^(注3)、地方都市圏^(注4) および全国における移動の際の交通手段別構成比を示している。

鉄道は他の輸送機関に比べ大量輸送、高速輸送、定時輸送の面での強みが特徴である。このため、利用者数が確保できる都市内輸送や都市間輸送において鉄道の持つ強



資料) 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ」、国土交通省「自動車輸送統計」「航空輸送統計」「鉄道輸送統計」より、国土交通省作成

図1 輸送量当たりの二酸化炭素排出量（旅客）



資料) 国土交通省

図2 移動の交通手段別構成比

みが発揮される。また、新幹線の路線延長に伴い利用者も増加しており、300～1000 km 程度の移動手段としても鉄道が多く利用されている。

地域の公共交通機関の利便性を高め、その活性化・再生を実現することは、公共交通機関の利用促進を通じて環境負荷の低減につながるだけでなく、住民の移動手段を確保することにより自立した生活を支え、暮らしの質を確保・充実させるとともに、地域経済の発展にも貢献する。

(注1) トップランナー制度に基づく燃費基準：エネルギー消費性能等の向上が特に必要な「特定エネルギー消費機器等」について、エネルギー消費性能等が最も優れている製品をベースに技術開発の将来の見通しを踏まえてエネルギー消費性能等の目標となる基準値を設定。

(注2) 輸送機関別の単位輸送量（人キロベース）当たりの二酸化炭素排出量：各輸送機関から排出される二酸化炭素の排出量を輸送量（人キロ：輸送した人数に輸送した距離を乗じたもの）で割った量。

(注3) 三大都市圏：さいたま市、千葉市、東京都区部、横浜市、川崎市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市やその周辺都市を含む 29 都市。

(注4) 地方都市圏：札幌市、仙台市、広島市、北九州市、福岡市、宇都宮市、金沢市、静岡市、松山市、熊本市、鹿児島市、弘前市、盛岡市、郡山市、松江市、徳島市、高知市やその周辺都市を含む 41 都市。

[出典] 国土交通省編「国土交通白書 2022 令和4年版」(勝美印刷 2022)、国土交通省サイト「運輸部門における二酸化炭素排出量」(https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html) より抜粋した。(以上のサイトへは、2023 年 8 月アクセス)。出題に際して、原文の一部を改変、または省略、補足している。

設問(1) 下線部(a)の文章について、2021 年度の日本の二酸化炭素排出量に対して、運輸部門の自動車に起因する二酸化炭素排出量は何 % を占めているか、計算過程と併せて答えなさい。ただし、小数第 1 位を四捨五入して整数で示すものとする。

設問(2) 図 1 の情報をもとに、人が移動する際の二酸化炭素排出量削減について、効果的な案を 35 字以内で答えなさい。

設問(3) 図 2 中の①と②の交通手段構成比について、どちらが地方都市圏を示しているか、社会的背景を踏まえ、理由を含めて 100 字以内で答えなさい。

