

フロギストン

テラヘルツ (THz) 分光 terahertz spectroscopy

周波数範囲が 0.1 ~ 10 THz の電磁波を用いた分光法。波数範囲では $3.3 \sim 333 \text{ cm}^{-1}$ に相当する。従来は遠赤外 (FIR) 分光法と呼ばれてきたが、1990 年代にテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) の開発が進んだことから、テラヘルツ (THz) 分光法と呼ばれるようになった。赤外分光法よりも周波数帯が低いことから、格子振動や分子全体の振動遷移、回転遷移などの低エネルギー励起が観測できる。選択則は、赤外分光法と同じであり、分子運動に伴う電気双極子モーメントの変化を検出する。近年は小型で使い勝手の良い分光器が販売されている。光源強度や検出感度の向上を目指して、現在もお研究開発が続けられており、今後、更なる測定精度の向上が期待される。(近畿大学 鈴木 晴)

非局在化 delocalization

原子の位置が確定しない状態(または、そのような状態に変化すること)。原子の平衡位置が、ポテンシャルの極小部分 1 箇所にあるとき、原子は局在化しているとみなされ、平衡位置が 2 箇所以上ある場合に非局在化しているとみなされる。非局在化の原因としては、熱振動によってポテンシャル障壁を越えて原子が行き来できるケースと量子力学的に波動関数がポテンシャル障壁を透過するケースがある。結晶中の原子運動の基底状態は、ポテンシャル極小部付近に局在化していることが多く、温度低下とともに基底準位の占有率が支配的になると、原子が(ゼロ点振動領域内で)局在化する。基底状態の波動関数が 2 極小位置に亘って広がっていると、極低温においても原子位置が非局在化した状況となる。(近畿大学 鈴木 晴)

量子回転 quantum rotation

原子や分子の量子力学的な回転運動。理想的には回転ポテンシャルがゼロであり、基底状態においても原子位置が回転軌道上で非局在化している状態を指す。気体状態の分子の回転運動などは、このモデルで説明される。結晶中では、分子回転は隣接する分子によって阻害され、回転運動は振動(回転的振動)運動に取って代わられることが多い。結晶中でも回転軌道上のポテンシャルが小さい特殊なケースにおいては、波動関数が軌道上を非局在化できるため、量子回転していると見なせる。同じ現象を異なる視点から捉えた表現として「回転トンネル」という用語も存在する。このとき、原子がポテンシャル極小部で局在化した状態を基準にして、波動関数の一部が回転ポテンシャル障壁を透過して原子位置の非局在化が可能になった(つまり、量子力学的なトンネル効果が原子の回転運動に現れるようになった)と考える。(近畿大学 鈴木 晴)

磁気抵抗効果 magneto resistance

磁気抵抗効果とは、外部磁場によって電気抵抗が変化する現象を指す。磁気抵抗 (magnetic resistance) は磁束侵入に対する抵抗効果を示す言葉であり、全く異なる現象であることに注意が必要である。1856 年にウィリアム・トムソンによって発見された効果である。最も単純な例では、磁場により金属中の伝導電子がローレンツ力を受けることにより若干ながらベクトルが変化することにより、数%程度電気抵抗が増加する。一方、ホッピング伝導的な伝導機構を示す半導体系や、伝導電子が反強磁性層と隣接する物質系などでは、不純物による電子のトラッピング効果や電子-スピン相互作用などにより増大していた電気抵抗が本来の値に戻るような挙動を示すことがあり、負の磁気抵抗効果が観測されることがある。強磁性薄膜と非強磁性薄膜を重ねた多層膜においては、数 10% 以上の磁気抵抗効果も報告されており、巨大磁気抵抗効果 (Giant Magneto Resistance) として知られている。

(大阪大学 山下 智史)

量子臨界点 quantum critical point

2 次の相転移現象では、転移温度近傍で転移温度に向かって熱容量などの物理量が発散する臨界現象が観測される。一般的な物質の相図では、複数の秩序状態が競合するため有限温度の転移温度を持つ相転移のみが観測される。しかし、一部の重い電子系などでは、反強磁性秩序相と金属状態が隣接することなどが起こり、転移温度が絶対零度となるような形で相境界が形成され、これを量子臨界点と呼ぶ。量子臨界点に対しては、磁場や圧力などの外部パラメータの調整によりアプローチが可能であり、絶対零度における量子力学的な揺らぎが増幅されたような現象とも、絶対零度に向かって相転移するような現象とも取れる臨界発散が観測されている。一切の秩序構造を持たないスピン液体の場合も、本状態が特異的な状態ではなくスピン液体相として存在する場合に、隣接相である反強磁性相との間に量子臨界点が存在し、量子臨界現象が期待できる。(大阪大学 山下 智史)

Wilson 比 Wilson ratio

自由に飛び回る電子が電気伝導を狙うモデルによる金属伝導の理解では、電子間や電子-格子相互作用は無視されている。電子はフェルミ粒子であるため、この状態をフェルミ気体と表現した場合に、凝集することにより様々な相互作用が顕在化した強相関電子系における伝導電子の状態をフェルミ液体と表現する。Wilson 比は金属状態における電子の状態密度に比例する低温熱容量の温度比例項の係数である γ と Pauli 常磁性に起因する磁化率の低温極限值 χ_0 の間から $R_w = (\chi_0 \mu_B^2) / (\gamma \mu_B^2)$ で定義される無次元数である。この値は、1 に近ければ電子-電子相互作用があまり影響しない理想的なフェルミ液体として考えられ、重い電子系などの場合には 2 を超えるような大きな値が得られることが知られている。このため、強相関係の電子のフェルミ液体としての特徴付けに使用されている。有機伝導体で実現するスピン液体系では、絶

縁体であるにもかかわらず何故か Wilson 比が 1 に近いという特徴があり、スピン液体状態とフェルミ液体状態の関係性が議論されている。なお、ゾンマーフェルト理論を基にしているため、ウィルソン・ゾンマーフェルト比とも呼ぶことがある。
(大阪大学 山下 智史)

でもカゴメの配位数は $z = 4$ と最も少なく、このことはカゴメ反強磁性体に巨視的な縮重をもたらす要因となっている。理論的には量子カゴメ反強磁性体においてスピン液体の実現が期待されており、herbertsmithite ($\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$) をはじめとして様々な物質探索が行われている。(北海道大学 吉田 紘行)

フラストレート磁性体 frustrated magnet

最近接相互作用のみが働く系を考えた場合、強磁性体ではスピンの一方向に揃うことで全ての磁気相互作用エネルギーを同時に満たすことが出来る。一方、最近接反強磁性相互作用が働く場合には、磁性イオンの幾何学的配置によっては全てのスピン間の磁気相互作用エネルギーを同時に満たすことができない。このような状況は三角格子やカゴメ反強磁性体などの正三角形を基本構造として有する磁性体で生じるもので、幾何学的フラストレーションと呼ばれている。一方で、複数の磁気相互作用が競合することによるフラストレーションも存在する。例えば、正方格子であっても最近接強磁性相互作用と次近接反強磁性相互作用が競合する場合はフラストレーションが生じる。このような状況は幾何学的フラストレーションと区別してボンドフラストレーションと呼ばれている。
(北海道大学 吉田 紘行)

アッペ数 Abbe's number

物質の屈折率は光の波長に応じて変化する。屈折率の波長依存性は分散と呼ばれ、この分散を表わす指標の 1 つがアッペ数である。アッペ数では、3 つの波長 ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, ただし $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$) での屈折率 n_1, n_2, n_3 を使って、屈折率の波長依存性の大きさを次の式で表す。

$$v_d = \frac{n_2 - 1}{n_1 - n_3}$$

アッペ数は、定義に使用する波長の組合せで複数の型がある。例えば、ヘリウムの d 線 (587.6 nm)、水素の F 線 (486.1 nm)、C 線 (656.3 nm) の 3 つの波長を使うアッペ数は v_d と表記される。アッペ数が大きいほど屈折率の波長依存性は小さくなる。光の分散は光学系の色収差とも密接に関係し、光学レンズの撮像特性を表わすときによく使用される。

(物質・材料研究機構 佐光 貞樹)

熱拡散水熱合成法 temperature gradient hydrothermal synthesis

水熱反応とは広義には、100 °C, 1 atm 以上の熱水が関与する化学反応を総称するものである。特に、374 °C, 218 atm 以上の超臨界状態における水熱反応では水の溶解度が飛躍的に増大すること、水の触媒作用の向上により、化学反応は著しく促進する。慣例的な固相反応に比して、水熱法では化学反応パラメータとして温度、時間に加え、圧力や溶媒の pH が制御パラメータとして加わることで、固相法では得ることのできない物質探索や単結晶育成が可能となる。通常の水熱法は圧力発生のためオートクレーブと呼ばれる耐圧容器を用い均一温度環境下で合成を行う。一方、石英管等の熱伝導の悪い容器を用いて温度勾配中での熱拡散水熱合成を行うことで、効率的に単結晶育成を行うことが出来る。この場合、高温側に原料試薬と溶媒を置くと、温度勾配による熱拡散により低温側に狙った試料あるいは運が良ければ単結晶試料を得ることが出来る。
(北海道大学 吉田 紘行)

クリスチャンセン効果 Christiansen effect

2 つ以上の相からなる材料 (粒子分散液や複合材料) に現れる特異な光の散乱現象の 1 つ。複数の相を含む材料は材料内部に界面を持つため、界面での屈折率差に応じて光を散乱する。屈折率が大きく異なると光が強く散乱されて白色になる一方、屈折率が全波長で一致すると光散乱は起きず、光が完全に透過して透明になる。もし界面を挟む 2 相の屈折率に大きな波長依存性があると可視波長域で屈折率の波長依存性が交差すると、交差点近傍の波長だけで光が透過し他波長では光が散乱する。同一材料中で波長に依存した光散乱と光透過が同時に生じることで、白色光で照明すると透過光と散乱光が補色に自発的に分離する。即ち、屈折率の波長依存性が交差することがクリスチャンセン効果の物理的起源である。過去には狭い波長の光だけを透過するバンドパスフィルターとして利用されていたが、光干渉によるバンドパスフィルターが開発された現在は材料としてはあまり利用されていない。
(物質・材料研究機構 佐光 貞樹)

カゴメ格子 kagome network

幾何学的フラストレーションを有する磁性体には様々な構造があることが知られており、それらは基本的には正三角形をユニットとした 2 次元, 3 次元的なネットワークにより構成される。正三角形が 2 次元的に辺共有したネットワークが三角格子であり、頂点共有した系がカゴメネットワークである。これを 3 次元に拡張すると、正四面体 (各面は正三角形) が辺共有する fcc 格子と頂点共有するパイロクロア格子となる。いずれも幾何学的フラストレート磁性体の代表例であるが、中

エンジニアリングプラスチック engineering plastic

機械強度や耐熱性に優れるプラスチック樹脂の名称の 1 つで、略してエンブラと呼ばれる。厳密な定義ではないが、耐熱性 (熱変形温度や軟化温度) が 100 °C 以上、強度が 50 MPa 以上、曲げ弾性率が 2.4 GPa 以上のプラスチックがエンブラである。エンブラのなかでさらに耐熱性に優れ、150 °C 以上の高温で長時間使用できる樹脂は特殊エンブラ (またはスーパーエンブラ) と呼ばれる。

加熱で溶融するプラスチック樹脂は熱可塑性樹脂と呼ばれ、汎用樹脂とエンブラに分けられる。汎用樹脂は、エンブラより熱・機械特性が低い安価で大量に使用されている。汎用樹脂にはポリエチレン・ポリプロピレン・ポリスチレン・ポリ塩化ビニル・ポリエチレンテレフタレートなどがある。汎用エンブラには、ポリアミド・ポリカーボネート・ポリアセタール・ポリブチレンテレフタレートなどがあり、スーパーエンブラにはポリフェニレンスルフィド・ポリエーテルスルホン・ポリエーテルエーテルケトン・ポリエーテルイミド・ポリアミドイミドなどが含まれる。(物質・材料研究機構 佐光 貞樹)

することが1960年代には予測されていたが、低温ではタンパク質溶液が凍ってしまうため、しばらくの間は測定成功の報告が為されなかった。しかし1980年代に、酸や変性剤を添加して天然構造の安定性を低下させて低温変性温度を高くする方法や、有機溶媒の添加、加圧、過冷却などを用いて溶液の凍結を防ぐ方法などによる測定成功例の報告が為されるようになり、実際にタンパク質が温度を下げることによっても変性することが確認された。これと同時に、冷却後に加熱することで天然構造が再生することも確かめられ、アンフォールディングの熱力学的な解析の妥当性も確かめられた。

(広島大学 大前 英司)

Hofmeister 系列 Hofmeister series

タンパク質溶液に塩を加えるとタンパク質が沈殿してくる(塩析)が、塩析作用の強い順にイオン種を並べたものを Hofmeister 系列と呼び、Hofmeister 順列、離液順列などの別名がある。1888年にドイツの F. Hofmeister が同等の塩析効果を起こすのに必要な塩濃度を比べることで陰イオンの塩析作用の強さを表す順列を導出したことに由来している。タンパク質への塩析作用だけでなく、DNAの二重らせん構造の安定性、含水ゲルの膨潤度、コロイド粒子の安定性など、多くの高分子-水系の現象に関わるが、現象により若干順序の違いが生じることもあり、その仕組みは完全には明らかになっていない。大まかな順序は以下の通りである。

陰イオン： $F^- \approx SO_4^{2-} > HPO_4^{2-} > CH_3COO^- > Cl^- > NO_3^- > Br^- > ClO_3^- > I^- > ClO_4^- > SCN^-$

陽イオン： $NH_4^+ > K^+ > Na^+ > Li^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > C(NH_2)_3^+$
(広島大学 大前 英司)

タンパク質のフォールディング protein folding

生体内においてタンパク質は、リボソームで紐状の高分子として合成されるが、機能を発揮するにはそれぞれのタンパク質に特異的な立体構造を形成する必要がある。この立体構造形成反応をタンパク質のフォールディングと呼ぶ。1961年にアメリカの C. B. Anfinsen は精製したリボヌクレアーゼ A を用いて、試験管内で変性させたタンパク質を元の条件に戻すと機能を持った立体構造(天然構造)が自発的に形成されることを示し、タンパク質の立体構造の情報が一次構造(アミノ酸配列)に含まれていることと、タンパク質の天然構造が熱力学的に安定な構造であることを示した(アンフィンセンのドグマ)。しかし生体内は試験管内よりもはるかにタンパク質濃度が高く、フォールディング過程で他のタンパク質との相互作用が不可避であるため、分子シャペロンと呼ばれる一群のタンパク質が多くタンパク質のフォールディングに関与していることが知られている。(広島大学 大前 英司)

タンパク質の低温変性 cold unfolding of proteins

タンパク質の熱によるアンフォールディング実験から、タンパク質は溶液を冷却することによってもアンフォールド

デオキシリボ核酸 (DNA) deoxyribonucleic acid, DNA

デオキシリボ核酸 (DNA) は2本のポリヌクレオチド鎖が逆向きに右巻きの二重らせん構造を形成する。DNAのポリヌクレオチド鎖の構成単位であるヌクレオチドは塩基(アデニン A, チミン T, グアニン G, シトシン C), デオキシリボース, リン酸からなる。2本の鎖は、互いに相補的な塩基対(AとT, GとC)の水素結合を介して結合しており、AとTは2本の、GとCは3本の水素結合によって結ばれている。細胞分裂に必要な染色体 DNA の複製と分配、遺伝子発現に必要な転写が正常に行われるためには DNA の構造維持は極めて重要である。

生物の染色体 DNA は一般にタンパク質と相互作用してコンパクトに折り畳まれている。真核生物においては、DNA がヒストンタンパク質 (H1, H2A, H2B, H3, H4 タンパク質の複合体) に巻きつくことによりコンパクトに核内に収納されている。細菌ではヒストン様タンパク質の一種 HU タンパク質などが同様の役割を担っていると考えられている。これらのタンパク質はいずれも塩基性を示し、酸性の DNA 鎖と配列非特異的に親和性を示す。(京都大学 跡見 晴幸)

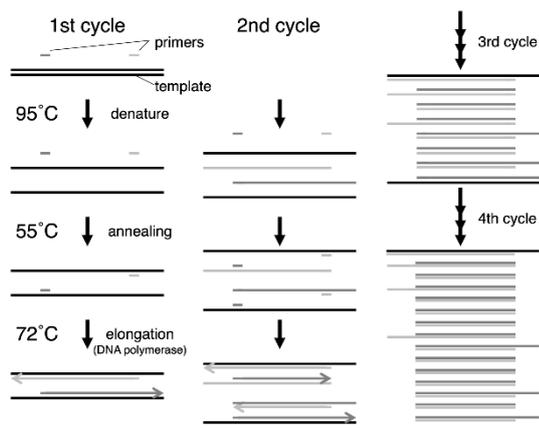
酵素 enzyme

酵素は反応を加速させる生体触媒である。触媒として機能する RNA 分子も一部知られているが、酵素の大半はタンパク質からなり、多様な化学反応を触媒する。機能により、酵素は酸化還元酵素、転移酵素、加水分解酵素、付加脱離酵素、異性化酵素、合成酵素、輸送酵素に大別される。酵素タンパク質は複雑な折り畳み構造を形成することにより、厳密な基質特異性、立体選択性、位置選択性などを示し、細胞内代謝の秩序を保っている。

酵素の特異性や選択性は、化学・食品・医療など様々な分野でも注目され、多くのバイオテクノロジー技術の基盤をなしている。酵素の安定性向上や繰り返し利用を目指した研究は古くから精力的に進められ、酵素の固定化 (enzyme immobilization), 細胞表面工学 (cell surface engineering), 立体構造に基づいた部位特異的変異導入 (rational design via site-directed mutagenesis), 指向性進化法 (directed evolution) など様々なアプローチから検討が行われている。後者2つのアプローチは酵素の特異性・選択性など機能の改変にもよく用いられている。(京都大学 跡見 晴幸)

ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR 反応)
polymerase chain reaction, PCR

一般に 1 本鎖 DNA に相補的なプライマーを結合させ、4 種類のデオキシヌクレオシド 3 リン酸 (dNTP, deoxynucleoside 5'-triphosphate) 存在下で DNA ポリメラーゼを作用させるとプライマーから出発して相補鎖の伸長反応が 5'→3' の方向に起こる。図に示すように、増幅したい DNA 領域の両端に、それぞれ異なる一本鎖 DNA に結合する一組のプライマーを用いて相補鎖の伸長反応を繰り返すと、プライマーに挟まれた DNA 領域を指数関数的に増幅することができる。PCR 反応の 1 サイクルは、① 2 本鎖 DNA の変性 (denature)、② プライマーの結合 (annealing)、③ 新しい相補鎖の伸長 (elongation)、の 3 段階からなる。20-25 サイクルを行うことにより、目的の DNA 領域を 10⁶ 倍以上増幅することが可能である。



An illustration of the three steps of the PCR reaction, DNA denaturation, primer annealing, and elongation.

(京都大学 跡見 晴幸)

【新刊紹介】

脳科学のはなし
 ～ 科学の眼で見る日常の疑問 ～

稲葉秀明 著

発行：技報堂出版
 A5, 194 ページ 定価：2,000 円+税
 ISBN: 978-4-7655-4490-0
 発刊日：2020 年 11 月



空はなぜ青いのか、なぜ携帯電話で話ができるのか、といった身の回りの自然現象や技術の背景には常に科学が存在する。それらを分かりやすく解説すべく、元千葉大学教授の稲葉秀明先生によって、「科学の眼で見る日常の疑問」シリーズが刊行されている。これまでも「エネルギー」「空気」「水」「色と光」「波」「地球と環境」などをテーマとした本が出版されており、本項で多く紹介してきた。最新刊の本書のテーマは脳科学である。

脳科学は一時期ブームとなり、多くの書籍が出版され、クイズ番組等でも頻繁に採り上げられた。それらの書籍は当然ながら専門家が書くのであるが、専門的すぎて分かりにくかったり、著者の専門に偏っていて俯瞰的に脳科学を理解するには向かないといった問題があった。しかしながら本書の著者は、脳科学の専門家ではない。それを逆手に取り、一般読者の目線で分かりやすく俯瞰的に脳科学を解説したのが本書である。

本書はまず、脳の機能や仕組みについて生理学的観点で解説することから始まる。脳の仕組み、情報処理の仕方、記憶の形成、学習や運動における働き方、などの解説が続くが、単なる解説に留まらず、効果的な学習法など一歩踏み込んだ言及も散りばめられている。運動が脳に好影響を与えることが最近よく紹介されるが、そのような比較的新しい情報にも触れられている。後半は性格やストレス、精神疾患などと脳の関係について解説されており、これらは現代のストレス社会において重要な知識と言える。人生 100 年時代を迎え、年を重ねても脳を若く保つことは重要課題であるが、年をとっても脳はある意味発達するという解説は心強い。

著者の意図通り、脳の機能と役割について俯瞰的に解説されているため、特定の目的をもって読むと物足りないかもしれない。各々のテーマに深入りしないため研究者目線で読むと参考文献が欲しい箇所が随所に見られるが、まず脳の機能の全体像を理解する第一歩としてお薦めの一冊である。

(物質・材料研究機構 川上 亘作)