

世界科学大事典

Encyclopedia of Science and Technology
McGraw-Hill Kodansha

12

チヨ-テンモ

N 61/007



Encyclopedia of Science and Technology

McGraw-Hill·Kodansha

世界科学大事典

講談社

12 *Encyclopedia of Science and Technology*

世界科学大事典

発行 昭和52年 3 月20日 第1刷発行
昭和54年11月27日 第3刷発行
編集 講談社出版研究所
発行者 野間省一
発行所 株式会社講談社
所在地 東京都文京区音羽2-12-21 電話東京(03)945-1111(大代表)
郵便番号 112
振替 東京8-3930
製版・印刷 凸版印刷株式会社
製本 大製株式会社
用紙 三菱製紙株式会社
表紙 東洋クロス株式会社

N. D. C. 403 516p. 31×22cm
©KODANSHA 1977 Printed in Japan
落丁本、乱丁本はおとりかえいたします。
3540-439628-2253 (0)

世界科学大事典

12

チョーテンモ

McGRAW-HILL ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Copyright©1971,
McGRAW-HILL YEARBOOK OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Copyright©1971,
McGRAW-HILL YEARBOOK OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Copyright©1972,
by McGraw-Hill Book Company Inc.

Japanese translation rights arranged through Charles E. Tuttle Co., Inc., Tokyo.

チョ

チョウ～チンパンジー

チョウ

〔Butterfly〕 鱗翅(りんし)目を2分したときの、一方のグループに属する昆虫(しんちゅう)。チョウは、もう一方のグループであるガとは外観および構造で区別される。チョウはいずれも扁平な鱗片状の毛で体やはねがおおわれ、種の色別に重要な翅脈がよくみえない。チョウは昼間活動性だが、ガは大部分が夜行性である。これらの昆虫の分類には、科や種の数の決定をも含めて、多くの技術的な問題がある。鱗翅目の158科の中で、約18科がチョウである。

チョウは棒状の触角をもち、その先端はこぶ状にふくらんでいる。口器は変形し、その食性に適応している。すなわち大あごは成虫では欠けているかこん跡的であるが、幼虫では主に植物を食べるのでよく発達している。小あごはぜんまい状に巻いた口吻を形成し、甘露のような液体を吸飲する際に伸すことができる。チョウは完全変態を行い、多くの種が1年に1世代を営む。一般にさなぎの時期が越冬態であるが、一部の種は、卵あるいは幼虫で冬を過す。チョウは全世界に分布しているが、大形で色彩豊かな種は熱帯地方に多い。チョウは、擬態、保護色、警戒色その他の保護的な適応の問題を研究するのによい材料を提供するので、生物学的に興味深いグループである。次に、一部の主な科および種について述べる。→イモムシ；ガ；保護色；鱗翅目

アゲハチョウ科(Papilionidae) 主として熱帯の森林地帯に大形のアゲハチョウが多く産するが、亜熱帯にも分布を広げている。これらのチョウは美しい色彩と、後翅に1、2あるいは3本の尾状突起をもつことで知られている。色彩に関する限り、性的二形がアゲハチョウの種で普通にみられる。マラヤ地域に産するトロイデス属 *Troides* は、トリパネチョウと呼ばれるグループを含んでいる。ある無毒の種が味のよくない種に擬態することによって、食虫性の鳥や哺乳(じゅう)類からの捕食を免れ、生態的に利益を得ているが、これはベーツ氏型擬態のよい例である。このことが可能である理由は、異種の間に形や色や飛び方の極端な類似性があるからである。→性的二形

シロチョウ科(Pieridae) この科で普通に使われる和名の語尾は「シロチョウ」とか「キチョウ」である。モンシロチョウ属 *Pieris* の種はキャベツなどのアブラナ科植物の害虫で、なかでもモンシロチョウ *P. rapae* はほとんど全世界に分布している。一方、オオモンシロチョウ *P. brassicae* の分布はヨーロッパだけである。幼虫がダイズにつくモンキチョウ *Colias erate poliographus* やアルファルフアにつくオオアメリカモンキチョウ *C. eurytheme* はマメ科植物などの大害虫である。→モンシロチョウ

マダラチョウ科(Danaidae) よく知られているチョウの1つに数えられるオオカバマダラ *Danaus plexippus* は一般に「トウワタのチョウ」と呼ばれ、この植物をしばしば訪れて産卵し、幼虫がこれを食樹としている。成虫がよく花の上で死んでいるのをみかけるが、これは吸み



アゲハチョウ *Papilio xuthus* の成虫と幼虫

つ中に花のねばねばした距(き)で捕えられたからである。オオカバマダラは冬を過すために毎年南へ移動し、春に北方へ戻るのので有名である。

タテハチョウ科(Nymphalidae) いちばん大きな科の1つで、ヒョウモンチョウ、ミスジチョウ、コノハチョウなどを含む。4,000種以上あるが、なかでもヒメアカタテハ *Vanessa cardui* は、おそらく世界でいちばん分布の広いチョウであろう。また、キベリタテハ *Nymphalis antiopa* は、ヨーロッパから日本までのユーラシア大陸と北アメリカに分布している。

シジミチョウ科(Lycaenidae) この科のチョウは一般に小形で、ヒメシジミ、ミドリシジミ、カラスシジミ、ベニシジミなどの仲間を含む。カラスシジミ類は後翅に1本か2本の細い尾をもち、雄の表面が緑色に輝くミドリシジミ類は日本に10種以上分布している。アメリカのベニシジミ類の中で最も普通のものは *Lycaena hypophlaeus* であり、日本にはベニシジミ *L. phacae daimio* が路傍や原野にみられる。ヒメシジミ類の代表的な種は北海道から九州に分布するヒメシジミ *Plebejus argus micargus* である。

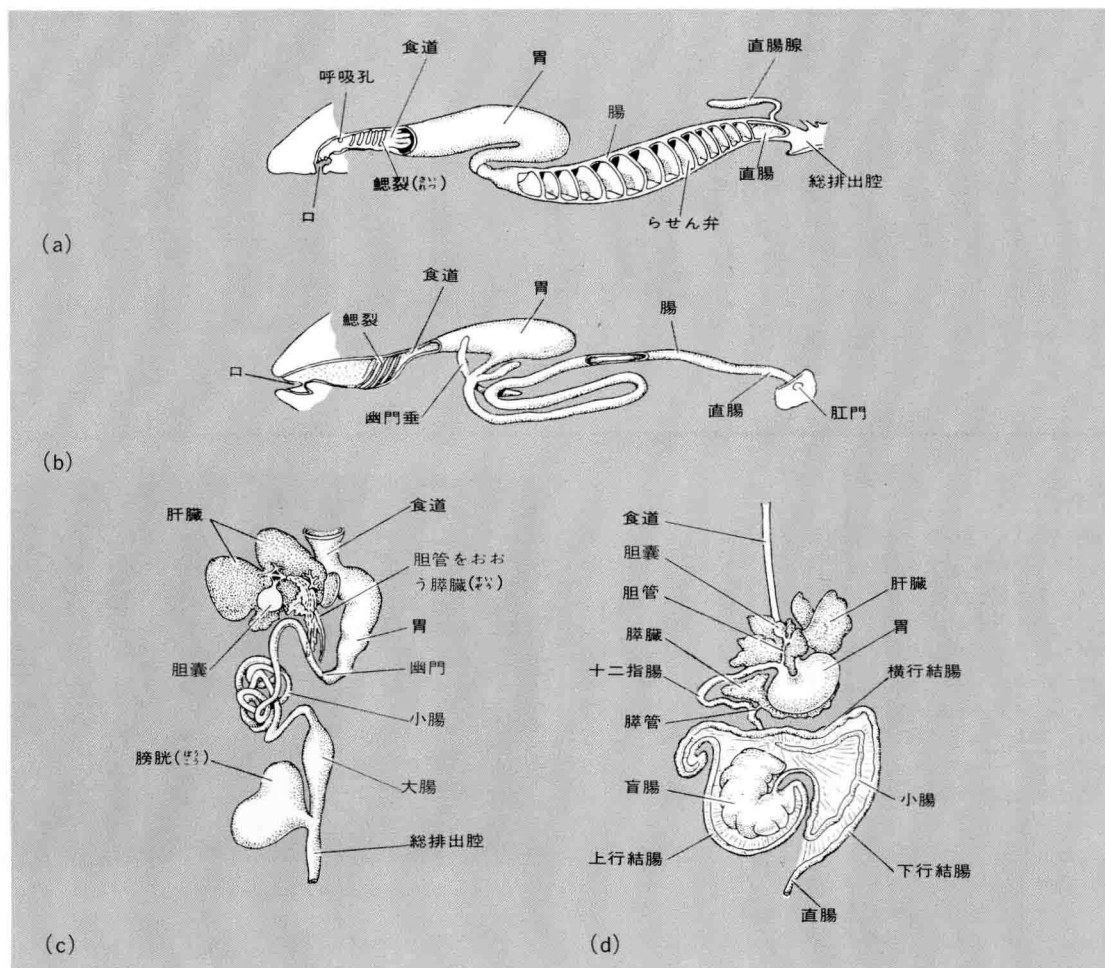
[CHARLES B. CURTIN 井上 寛]

腸(脊椎動物) ちょう(せきついどうぶつ)

〔Intestine (vertebrate)〕 通常、消化器系の管状部で、胃と総排出口または肛門(くうもん)との間の部分をいう。詳細な機能は場所によって異なるが、主として食物の消化と吸収をつかさどっている。

腸の構造は、脊椎動物の種属によって非常に相違する(図参照)。共通点としては、内部表面積を大にするための機構がみられる。その1つは、多くの魚類で発達しているらせん弁であるが、これは腸がらせん階段のように巻いたものである。他の1つは、ある種の魚類と大多数の四肢(し)動物にみられる、長くて、曲りくねった腸であって、その極端な例は、大きな草食動物の腸である。例えば、ウシの腸の長さは45 mを超える。腸からは、種々の形をした盲嚢または盲管が突出している。そ

2 チョウウランゲンソ



脊椎動物の消化管 魚類, 両生類, および哺乳類の腸の構造を示す。(a)サメ, (b)パーチ, (c)カエル, (d)モルモット。(The Vertebrate Body, Saunders, 1962)

これらのいわゆる盲腸は、魚では通常腸の前端部にあり、四肢動物では小腸と大腸の接続部にあるのが普通である。全脊椎動物を通じ、腸の内面は不規則で種々の隆起や突起がある。これらの最高に発達したものが哺乳類(哺乳類)類にみられる細くて数多い指状の絨毛(絨毛)である。

ヒトの腸は、小腸と大腸からなっている。小腸はさらに3つの主要部分に区分される。すなわち、十二指腸、空腸、回腸である。十二指腸は、長さ25~30 cmで、胃の幽門括約筋から始り、上腹部の右側で膵臓(膵臓)の頭部の周囲を曲っている。十二指腸には、胆汁系(肝臓)と、膵臓からの管が入る。空腸と回腸は両者合せて約6 mの長さで、非常に屈曲しており、大腸とは回盲弁を介し、直角に接続している。大腸あるいは結腸は5つの部分、すなわち上行、横行、下行、S状の各部分と、直腸となり、肛門(肛門)に終る。

腸の顕微鏡的構造は、内層の腺をもつ粘膜、筋層、および結合組織である外層のしょう膜で、しょう膜の大部分は腹膜によって包まれている。

腸は背側腸間膜によって種々の程度に支持されている。腸間膜の中には、各種の部分に行く動脈、静脈、リンパ管、および神経が多数包みこまれている。→消化器系(脊椎動物)

[THOMAS S. PARSONS]

超ウラン元素 ちょう—げんそ

[Transuranium elements] 原子番号がウラン(92)より大きい元素。すべて人工的につくられる。原子番号93のネプツニウムから原子番号103の元素までのアクチニド系列の元素が最もよく知られた超ウラン元素である。アクチニド系列の構成元素として、これらの元素はランタニド系列、つまり、希土類元素と化学的には非常

によく類似している。これらの元素の中で、プルトニウムとネプツニウムだけが大量に得られていて、他の多くはやっと目方が計れる程度しかつくられていない。ネプツニウムはプルトニウム生産における中間生成物であり、プルトニウムはその核分裂性によって核兵器や産業上の目的の原子力開発において重要なものである。

原子量の概念は、普通に存在している元素に対して用いられている意味では超ウラン元素に適用できない。というのは、どのような試料の同位元素の成分比もその原料に依存するからである。たいていの場合、入手しやすいの評価と合せて最も半減期の長い同位元素の質量数を用いるのが適当である。今のところ、よい選び方は、ネプツニウムが237、プルトニウムが244、アメリカウムが243、キュリウムが248、バークリウムが254、フェルミウムが257である。

原子番号が104またはそれ以上の元素をつくることは超ウラン元素に(ヘリウムイオンより重い)重イオンを衝突させて行われる。103よりすぐ上の元素の半減期は非常に短く、普通の化学的な確認の手法が困難なほどである。いくつかの場合においては、化学的な確認は簡単で素早い方法を用いることによってかろうじて行うことができる。例えば、ガス状の原子やイオンの移動、揮発性、表面との反応、気体流反応を用いる方法がある。新しい元素の発見のための現在における基本的な要請、つまり、完全な化学的な確認と既知の元素からの分離とはある時点で変えられなければならないようである。原子番号110から114(超重元素)の付近で、半減期がより長いものが見いだされるものと期待されている。これらは重イオンによる衝突で人工的につくられるかもしれない。

アクチニド系列は、1961年の103番元素の発見により完結した。これに続く原子番号104から108の元素は原子

番号72(ハフニウム)から76(オスミウム)までの既知の元素と化学的に同族である。この類似性はさらに重い元素にも続き、118番元素は希ガスであり、32個の構成元素をもつ「超アクチニド」元素の系列が121番元素から始るはずである。→104番元素

ネプツニウム ネプツニウム(Np, 原子番号93, 海王星にちなんで名付けられた)は最初に発見された超ウラン元素である。1940年にマクミラン(E. M. McMillan)とアーベルソン(P. H. Abelson)とはバークリーのカリフォルニア大学において、ウランに中性子を衝突させ、式(1)の反応によってつくられた同位元素 ^{239}Np を確認した。

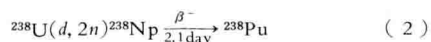


この元素は ^{237}Np として純粋な化合物、酸化物として1944年にマグナッソン(L. B. Magnusson)とラシャペル(T. J. La Chapelle)によって初めて分離された。ネプツニウムはほんのわずかながら自然界に見いだされる。この元素は、ウラン鉱石の中で中性子の存在によって引き起こされる、原子核反応によってできたものである。原子炉によるプルトニウム生産の副産物として、 ^{237}Np (半減期 2.2×10^6 年)は大量に生産されている。質量数229から241までの同位体が人工的につくられている。

ネプツニウムは水溶液中では4つの酸化状態、 Np^{3+} (青紫)、 Np^{4+} (黄緑)、 NpO_2^{+} (緑)、 NpO_2^{2+} (赤みがかったピンク)になる。 NpO_2^{+} イオンは他のアクチニド元素の対応するイオンとは違って、水溶液中に比較的高い濃度で存在できる。Ⅶ族の酸化状態がアルカリ性水溶液中や固体の化合物において確認されている。

ネプツニウム金属は銀色を呈し、化学的に活性である。640°Cで融ける。固体の金属は室温から融点までの間に少なくとも3つの結晶構造をもつ。→ネプツニウム

プルトニウム プルトニウム(Pu, 原子番号94, 冥王星にちなんで名付けられた)は ^{238}Pu の形で、1940年の後半にシーボルク(G. T. Seaborg)、マクミラン、ケネディ(J. W. Kennedy)、ワール(A. C. Wahl)によって、カリフォルニア大学で発見された。この元素はウランに重水素を衝突させて、式(2)によってつくられた。



プルトニウムは ^{239}Pu として1942年にカニンガム(B. B. Cunningham)とワーナー(L. B. Werner)によって初めて純粋な化合物、フッ化物として分離された。 ^{239}Np の崩壊によってできる ^{239}Pu はわずかなだけ自然界に存在する。重要な同位元素 ^{239}Pu はケネディ、シーボルク、セグレ(E. Segrè)、ワールによって1941年に発見された。プルトニウム-239(半減期24,360年)は、中性子によって核分裂するという性質により、核兵器における爆発物質として成功裏に用いられており、また、産業上の目的の原子力エネルギーの開発の鍵(鈹)になる物質であって、この1gは約20,000 kWhrの熱エネルギーに相当する。原子炉において天然または濃縮ウランから ^{239}Pu をキログラム単位以上の量でつくる方法が開発されている。この同位元素は、そのアルファ放射性と生理学的なふるまいのために、最も危険な劇薬の1つである。質量数が232~246の同位元素が知られている。同位元素 ^{242}Pu と ^{244}Pu とは、 ^{239}Pu に比べて、半減期が長くまた特有の活性が少ないという点から、化学的な研究においては ^{239}Pu よりも適当である。

プルトニウムは水溶液中で4つの酸化状態、 Pu^{3+} (青紫)、 Pu^{4+} (ダイダイ色がかった黄かっ色)、 PuO_2^{+} (赤紫と予想される)、 PuO_2^{2+} (ピンク-ダイダイ色がかった黄色)になる。 Pu^{4+} イオンと PuO_2^{+} イオンは、より高いおよびより低い酸化状態に対して極めて不釣合な状態にある。4つの酸化状態は、感知できるほどの濃度で同時にかつ互に平衡に共存することができる。これは普通には現れない状態であり、溶液は複雑な現象を呈する。

金属は銀色を呈し、化学的に活性である。639.5°Cで

融け、室温から融点までの間に6つの結晶変形がある。

→プルトニウム

アメリシウム アメリシウム(Am, 原子番号95, アメリカ大陸にちなんで名付けられた)は4番めに発見された超ウラン元素である。この元素は ^{241}Am (半減期433年)として、1944年の後半から1945年の初めにかけてシーボルク、ジェームス(R. A. James)、モルガン(L. O. Morgan)、ギョルゾ(A. Ghiorso)により戦時中のシカゴ大学のヤ金学研究室において、プルトニウムに強い中性子を衝突させてつくられ、確認された。同位元素 ^{241}Am を用いて、この元素は初めて純粋な化合物、水酸化物として1945年にカニンガムにより分離された。質量数237~247の同位元素がこれまでつくられている。 ^{241}Am はグラム単位以上の量でつくられている。化学的な研究において使用するには、放射能が少ない同位元素 ^{243}Am の方が適当である。

アメリシウムは水溶液中では3つの酸化状態、 Am^{3+} (ピンク)、 AmO_2^{+} (黄)、 AmO_2^{2+} (ラム酒色)になる。 AmO_2^{+} イオンは Am^{3+} と AmO_2^{2+} に比較して不安定である。アメリシウムは、固体の化合物の中や、高濃度のフッ化リチウム溶液の中で安定な錯イオンにおいては、Ⅳ族の状態を示す。

金属のアメリシウムは銀白色を呈し、融点は995°Cである。これはプルトニウムより電気陽性度が強く希土類金属の軽いものに匹敵するほどである。→アメリシウム

キュリウム キュリウム(Cm, 原子番号96, ピエール・キュリーとマリー・キュリーにちなんで名付けられた)は3番めに発見された超ウラン元素である。これは同位元素 ^{242}Cm として、シーボルク、ジェームス、ギョルゾによって1944年に戦時中のシカゴ大学のヤ金学研究室において確認された。キュリウムは ^{239}Pu にヘリウムイオンを衝突させて、カリフォルニア大学の60 inサイクロトロンでつくられた。キュリウムは同位元素 ^{242}Cm を用いて、純粋な化合物、水酸化物の形で1947年にワーナーとパーマン(I. Perlman)によって初めて分離された。質量数238~250の同位元素が知られている。キュリウムの巨視的な量による化学的な研究は ^{242}Cm (半減期162.5日)と ^{244}Cm (半減期19年)を用いて行われてきた。この目的には、 ^{244}Cm とそれ以上の質量数の同位元素はより満足すべきものである。これらはすべて中性子照射によってつくられる。

水溶液中では、キュリウムはⅢ族の状態を示す。Ⅳ族のキュリウムを含む錯イオンは高濃度のフッ化リチウム溶液の中では安定である。金属は銀色を呈し、光沢がある。指示薬による指示は軽いアクチニド金属よりもいくらか活性である。→キュリウム

バークリウム バークリウム(Bk, 原子番号97, カリフォルニア州のバークリーにちなんで名付けられた)は、トンプソン(S. G. Thompson)、ギョルゾ、シーボルクによって1949年の後半にカリフォルニア大学においてつくられ、確認された、5番めに発見された超ウラン元素である。同位元素 ^{243}Bk は ^{241}Am にヘリウムイオンを衝突させて人工的につくられた。バークリウムが目方を計れる程度の量で初めて分離されたのは ^{249}Bk (半減期290日)としてであり、中性子照射によってつくられ、トンプソンとカニンガムとによって1958年になされたのであった。質量数243~251の同位元素が知られている。

バークリウムは水溶液中ではⅢ族およびⅣ族の酸化状態で存在することがわかっている。この化合物は他のアクチニド元素のものと似ているようである。→バークリウム

カリホルニウム カリホルニウム(Cf, 原子番号98, カリフォルニア州とカリフォルニア大学にちなんで名付けられた)は6番めに発見された超ウラン元素である。同位元素 ^{245}Cf の形でカリフォルニア大学においてマイクログラム程度の量の ^{242}Cm とヘリウムイオンとの衝突によってつくられた。この元素はトンプソン、ストリート(K. Street)、ギョルゾ、シーボルクによってカリフォル

4 チョウエンシンブンリキ

ニア大学において1950年に発見された。質量数242～254の同位元素が知られている。トンプソンとカニンガムは1958年にカリホルニウム²⁴⁹⁻²⁵²Cfの同位元素の混合物として初めて目方が計れる程度に分離した。これは中性子照射によってつくられたものである。

カリホルニウムの化学的な性質の研究から、水溶液中ではⅢ族の酸化状態だけが安定であることがわかっている。Ⅱ族の酸化状態は困難ではあるが、アマルガムの還元によって実現できる。→カリホルニウム

アインスタイニウム アインスタイニウム(Es, 原子番号99, アインシュタインにちなんで名付けられた)は7番めに発見された超ウラン元素である。これは1952年の11月にロス・アラモス科学研究所で実験された熱核爆弾<Mike>からの死の灰の中に見いだされた。装置の中で、ウランに強い中性子束が作用し、非常に重いウランの同位元素がつくられ、これらは99番、100番元素や他のもっと原子番号の小さい超ウラン元素に崩壊する。1952年の後半にカリフォルニア大学放射線研究所、アルゴンズ国立研究所、ロス・アラモス科学研究所でなされた死の灰の化学的な研究によって、99番元素が同位元素²⁵³Esとして存在することがわかった。質量数245～257の同位元素が人工的につくられている。カニンガム、ウォールマン(J. C. Wallmann), フィリップス(L. Phillips), ガッチ(R. C. Gatti)は1961年にアインスタイニウムを目方を計れる程度に²⁵³Es(半減期20日)として分離した。これは中性子照射によって得られたものである。

アインスタイニウムの化学的な性質は水溶液中で3価のアクチニドイオンとしてふるまうことを示している。→アインスタイニウム

フェルミウム フェルミウム(Fm, 原子番号100, フェルミにちなんで名付けられた)は8番めに発見された超ウラン元素である。これは同位元素²⁵⁵Fmとして熱核爆弾<Mike>でできた重い元素から分離された。この元素は、1953年の初めにギョルゾとその共同研究者により、99番元素の発見に促された同様な研究において発見された。質量数244～257のフェルミウムの同位元素がつくられている。²⁵⁷Fmは知られているフェルミウムの中で寿命が最も長く、半減期が80日であるため、目方を計れる程度にフェルミウムを得ることは可能である。この化学的な性質の研究はトレーサーの規模でなされ、フェルミウムが水溶液中で代表的な3価のアクチニドとしてふるまうことがわかっている。→フェルミウム

メンデレビウム メンデレビウム(Md, 原子番号101, メンデレーエフDmitri Mendeleevにちなんで名付けられた)は9番めに発見された超ウラン元素である。これはギョルゾ、ハーベイ(B. G. Harvey), ショパン(G. R. Choppin), トンプソン, シーボルクによってカリフォルニア大学において1955年に確認された。この元素は、²⁵⁶Mdとして非常に微量(約10⁹原子)の²⁵³Esにヘリウムイオンを衝突させてつくられた。メンデレビウムの最初の確認は1回の実験で得られる原子がたった1つか2つであったことが特徴的である。同位元素²⁵⁸Md(半減期53日)は十分長い半減期をもっているので目方を計れる程度にメンデレビウムを分離することは可能である。化学的な性質はトレーサーの規模で研究され、この元素が水溶液中で代表的な3価のアクチニドイオンとしてふるまうことがわかっている。2価の酸化状態も見つかっている。→メンデレビウム

ノーベリウム ノーベリウム(No, 原子番号102, ノーベルにちなみ名付けられた)は1958年にカリフォルニア大学においてギョルゾ, シックランド(T. Sikkeland), ウォルトン(J. R. Walton), シーボルクによって同位元素²⁵⁴102の形で発見された。この10番めに発見された元素は²⁴⁶Cmに重イオン線形加速器で加速された¹²Cイオンを衝突させることによってつくられた。この同位元素は既知の娘の核²⁵⁰Fmの化学的な確認を通して確認された。この²⁵⁰Fmはアルファ崩壊する親の核から反跳によって分れたものである。トレーサーの規模での研究によって

水溶液中では安定な2価の酸化状態と比較的不安定な3価の酸化状態が確認されている。→ノーベリウム

ローレンシウム ローレンシウム(LrあるいはLw, 原子番号103, ローレンスにちなんで名付けられた)はアクチニド系列の最後の元素である。この元素はカリフォルニア大学においてギョルゾ, シックランド, ラーシュ(A. E. Larsh), ラティマー(R. M. Latimer)によって1961年の初めに人工的につくられた。この元素はCfにホウ素イオンを衝突させてつくられ、8.6MeVの α 崩壊し、半減期は8秒である。Lrの質量数は257と考えられている。トレーサーとしての化学的な研究によって3価の酸化状態が水溶液中で確認されている。→アクチニド元素; 核化学; 核分裂; 希土類元素; 原子核反応; 周期表; ローレンシウム [GLENN T. SEABORG]

超遠心分離機 ちょうえんしんぶんりき

[Ultracentrifuge] 遠心分離機の種類。低速あるいは高速回転で無対流の状態を得ることができるので、沈降速度や沈降平衡を定量的に測定したり、溶液中の溶質を分離するのに用いる。超遠心分離機の用途は次のとおりである。(1)溶質の分子量を測定したり、多分散系の分子量分布を求める。(2)溶質の摩擦係数を測定し、それから分子の大きさ、形などを知る。(3)密度こう配中の浮力密度をもとにして、巨大分子を分離したり、その性質を調べる。

超遠心分離機は、高重合体特にタンパク質、核酸、ウイルス、その他の生物起源の高分子の研究に広く用いられる。しかし、一方では低分子の溶液物性の研究にも用いられる。高分子を調べる際には、沈降速度や沈降平衡を正確に測定する分析用超遠心分離機と、溶質を沈降速度や浮力密度の差によって分離する調製用超遠心分離機とがある。→遠心分離(生物学)

溶液を遠心力の場におくと、溶質が力をうけて動き出す。溶液の密度が溶媒より大きいと、溶質は回転軸から遠ざかる方向へ動く。こうして濃度分布が不均一になると、それとは反対に、再び均一な濃度分布に戻そうとする拡散作用が生じる。沈降速度実験では、濃度分布は拡散の影響を強くうけるが、沈降が拡散を上まわって、溶質分子はセルの底の方へ沈降する。沈降平衡実験では、沈降と拡散とがちょうどつり合って、濃度分布が平衡に達する。この濃度分布は、熱力学的な方法によって測定できる。

機械の設計 初期の超遠心分離機は、石油タービンや空気タービンで運転された。しかし現在のものはすべて電気を動力として用いる。電動式分析用超遠心分離機の部品をFig. 1に示す。ロータ、セル、駆動装置、温度調節装置などが、遠心力の加速を大きくし、対流のない沈降が得られるように設計されている。分析用、調製用それぞれの目的に応じて、特別なロータがある。分析用ロータをFig. 2に、調製用ロータをFig. 3に示す。分析用セルは、放射状の流れを妨げないように扇形をしている。最も普及している分析用超遠心分離機は、約2,000～60,000 rpmで運転でき、最高回転速度ではほぼ260,000gの遠心力をつくり出す。→遠心力

超遠心分離機の運転中に濃度分布を測定するためには、3種類の光学系がある。シュリーレン系は屈折率のこう配、すなわち回転軸からの距離 r に対する濃度こう配 dc/dr を測定する。レイリー系では干渉縞($\frac{d}{r}$)をつくり、 r に対する濃度 c を測定する。光吸収系では溶質の発色団による可視または紫外線の吸収から r に対する c を測定する。調製用超遠心分離機でも、沈降がすんでから吸光度や標識した溶質の放射能などによって濃度分布がわかる。→シュリーレン写真法

分子量測定法 超遠心分離機で分子量を測定するには、次の4つの方法がある。

1. 沈降平衡法: 沈降と拡散とが平衡に達しているとき、溶質の濃度分布と分子量との関係は式(1)で表すこ

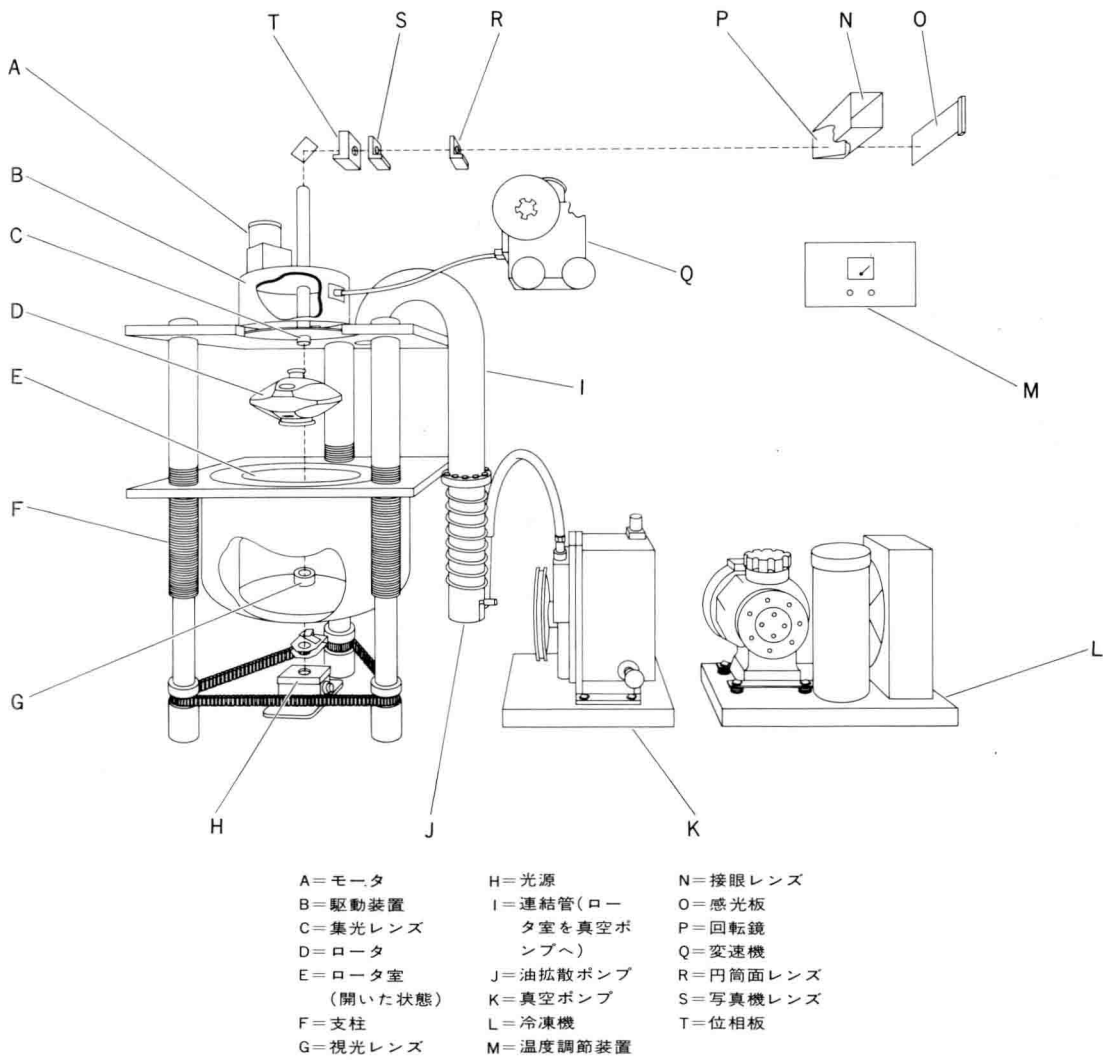


Fig. 1 電動式分析用超速分離機 (Beckman Instruments)

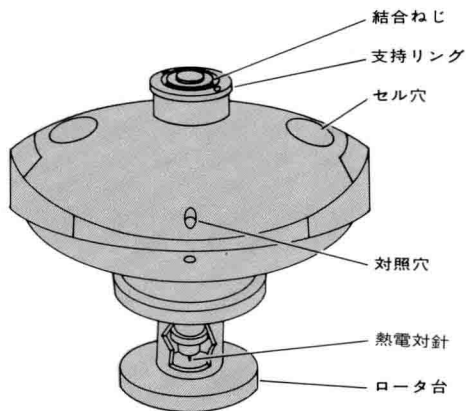


Fig. 2 分析用ロータ (Beckman Instruments)

とができる。

$$M = \frac{2RT \ln(C_2/C_1)}{(1-\bar{v}\rho)\omega^2(r_2^2-r_1^2)} \quad (1)$$

ここで C_1 と C_2 はセルの中の r_1 , r_2 における溶質濃度, $\bar{v}$ は溶質の偏比容, ρ は溶液の密度, ω は回転角速度, R は気体定数, T は絶対温度である。分子量が非常に大きくなると, 低回転速度でしか平衡に達しないので, 平衡が成立するまでに 1 日以上連続運転が必要である。

2. アーチボルド平衡近似法: 沈降平衡実験では, 平衡に達する途中でもセルの両端では溶質の正味の動きがないという条件が満たされている。したがって, 完全な

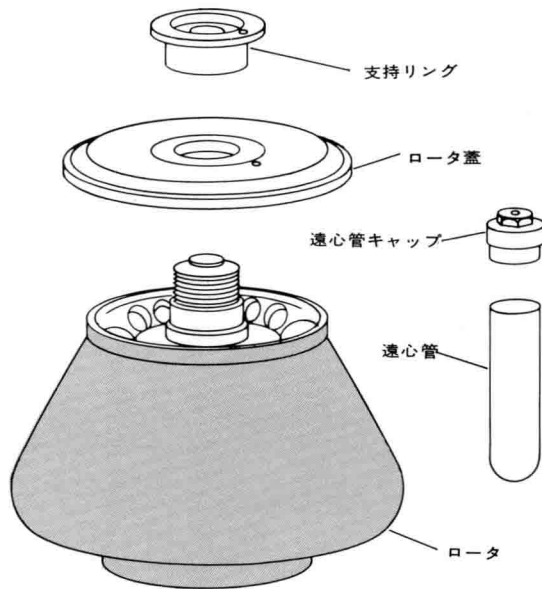


Fig. 3 傾斜型調製用ロータと遠心管 (Beckman Instruments)

平衡が成立するよりもはるかに短時間で, セルの一端における濃度分布から式 (2) を用いて分子量を求めることができる。

$$M = \frac{RTc}{(1-\bar{v}\rho)\omega^2(dc/dr)} \quad (2)$$

3. 密度こう配中での沈降平衡法：低分子量の2成分（例えばH₂OとCsCl）からなり、密度が異なる溶液が沈降平衡に達すると、密度は回転軸からの距離に応じて変化する。この密度こう配の場に高分子があると、その密度が周囲の密度と等しいところに集り、その分子量は式(3)によって求めることができる。

$$M = \frac{RT}{\bar{v}\omega^2(d\rho/dr)\sigma^2r} \quad (3)$$

ここで $d\rho/dr$ は密度こう配、 σ は高分子のバンドの広さの標準偏差、 r はバンドの中心の位置である。

4. 沈降速度法：この方法では、遠心加速度を十分に大きくし、溶質の沈降速度を測定する。沈降係数 S は式(4)で定義される。ここで dr/dt は溶質の沈降速度を表す。

$$S = \frac{dr/dt}{\omega^2 r} \quad (4)$$

溶質の拡散係数 D が既知であるならば、分子量 M は式(5)によって求められる。

$$M = \frac{RTS}{D(1-\bar{v}\rho)} \quad (5)$$

もし、分子量が既知で均一な重合物を試料にして S と M の関係を表す検定曲線ができていれば、沈降係数 S だけから M を求めることができる。この検定曲線は式(6)で表されるが、 K と a は分子量には無関係で、用いた試料と溶媒の系に固有なパラメーターである。

$$S = KM^a \quad (6)$$

沈降速度実験は、対流による乱れを防ぐために密度こう配中で行われることが多い。

もし試料の分子量が不そろいだと、前述の方法で求めた分子量はいろいろな平均値を表すことになる。最も一般的なのは、数平均分子量 M_n で、分布の1次モーメントである。重量平均分子量 M_w は分布の2次モーメントの1次モーメントに対する比である。 z -平均分子量 M_z は分布の3次モーメントの2次モーメントに対する比である。沈降平衡法では、1回の実験でこれらの平均値が求められるので、高分子量の分子量分布を調べるには有効な方法である。→分子量

摩擦係数 超遠心分離法で溶質分子の大きさや形を知るには、並進運動の摩擦係数 f を求めればよい。これは、溶質分子にかかる力と沈降速度との比例定数である。沈降係数と摩擦係数の関係を式(7)に示す。

$$S = \frac{M(1-\bar{v}\rho)}{Nf} \quad (7)$$

ここで N はアボガドロ数である。

分子が半径 R の球体なら、 f はストークスの法則から式(8)で求められる。ここで η は溶媒の粘度である。

$$f = 6\pi\eta R \quad (8)$$

摩擦係数は回転楕円体や硬直な棒状分子、あるいは柔軟な鎖状高分子や中間的な鎖状分子についても計算できる。

浮力密度 浮力密度は、分子が溶媒和されているときの部分比容の逆数に等しく、沈降平衡法の密度こう配中での分子の挙動を左右する。この方法は特に核酸の研究に有効で、塩基組成の差、デオキシリボ核酸とリボ核酸との差、同位元素の置換率の差、2重らせん構造と1本鎖構造との差など、重要な性質の差によって核酸を分離することができる。→デオキシリボ核酸(DNA)

[VICTOR A. BLOOMFIELD]

腸炎ビブリオ ちょうえん—

[*Vibrio parahaemolyticus*] 腸炎ビブリオは藤野

恒三郎らによって、1950年10月大阪府下に発生した「シラス中毒事件」(食中毒患者272人、うち死亡者20人)の原因菌として発見された、日本における細菌性食中毒の最も重要な原因菌であり、病原細菌学に初めて登場した唯一の好塩菌である。ときに激しい急性胃腸炎を引き起し、細菌性食中毒の最盛期である7～9月の夏季において赤痢または赤痢の疑いとして伝染病院に隔離収容された患者の中には、赤痢菌が検出されずに腸炎ビブリオ性腸炎と診断される症例は少なくない。しかし、一般に概して経過は短く良好である。また、夏季に発生する散発下痢症の原因菌としても重要である。日本では毎年、厚生省大臣官房統計調査部において、保健所を通じて報告されたデータに基づいて食中毒統計年報が発表されるが、腸炎ビブリオ性食中毒はいつも最上位を占めている。このことは魚貝類とその加工品が日本における細菌性食中毒の原因食として大きな比率を占めていることと密接な関連がある。腸炎ビブリオは海水細菌の一種であり、海産魚貝類とその加工品はこの菌によって1次的にしろ、調理器具などを介しての2次的にしろ、広範に汚染されている。一方日本の食生活において動物性タンパク質供給源の大部分は、依然として海産魚貝類とその加工品に依存しており、かつ、すし、刺身など生食の習慣が根強い。これらがこの菌による食中毒多発の要因である。

腸炎ビブリオは日本で発見され、日本において研究が進められてきた比較的新しい病原菌であるが、近年、東南アジア、インドはもちろんのこと、ヨーロッパ、アメリカにおいても食中毒性の急性胃腸炎の原因菌として世界的な規模で大きくクローズアップされるようになり、1973年9月東京において発見者の藤野博士を会長として第1回国際腸炎ビブリオシンポジウムが開催された。

菌の生物学的性状 グラム陰性の桿(かん)菌で、芽胞は形成しない。37℃、2～4%の食塩(塩化ナトリウム)含有培地においてその発育は最も旺盛(きん)であり、コレラ菌に類似した1本の長い極単毛性鞭毛(きん 極毛)をもっていて活発なビブリオ運動をする。しかし、固形培地に20～25℃の低温で培養すると極毛のほか、細くてやや波長の短い周毛が形成される。周毛は非常にはずれやすく、菌液を手で軽く振盪(きん)するだけで菌体よりはずれるが、極毛はこのような操作でははずれず、シースでおおわれており、両者の抗原性は異なる。コレラ菌は固形培地でも液体培地でも極単毛である。

食塩を含まないペプトン水中では増殖せず、食塩を0.5%添加すればわずかに発育し、これに血液、肉エキスなど栄養豊かなタンパク源を加えると増殖は盛んになる。ペプトン水中に食塩を10～11%以上加えると増殖不能になる。アジアタコ、イカをすりつぶした乳剤中では増殖は極めて良好で、最高7.6分前後の間隔で分裂増殖する。このような分裂時間の短いものは病原細菌学の分野において他に類をみないものであり、この菌の食中毒原性の主要因である。

一般の流通過程にのっている生鮮魚貝類から、しばしば腸炎ビブリオは検出されるが、これらはいずれも後述するように神奈川県陰性菌であり、ごく一部の例外を除いて食中毒原性がないか極めて弱いものと考えられている。また、腸炎ビブリオに酷似したビブリオ・アルギノリテックス(*Vibrio alginolyticus*)は、たとえ衛生的によく管理されているすし屋のたね、魚貝類、また板からでも高頻度(きん)で分離されるが、その食中毒原性に関しては神奈川県陰性の腸炎ビブリオと同様にほとんどないものと考えている研究者が多い。腸炎ビブリオが白糖非分解性、フォーゲス・プロスカウエル(Voges-ProskauerまたはVP)反応陰性、ペプトン水中に10～11%以上食塩が加えられれば増殖できないという点で両者は区別できる。

菌の血清学的性状 腸炎ビブリオの抗原構造として、O抗原(菌体抗原で、リボ多糖体)、K抗原(莢膜(きん)由来のもので多糖体)およびH抗原(鞭毛由来でフラゲリンタンパクからなる)の3種類が知られている。このうち、

菌の血清型別に利用されているのはOおよびKであり、Oは12群に、Kは約60種に型別されている。いずれもスライド凝集法による血清型別診断用血清が市販されている。O群別はここ数年来新しい抗原型は発表されず安定しているが、Kは毎年幾種類かの新しい抗原型の菌株が食中毒患者から分離されている。その理由是不明である。H抗原はすべての腸炎ビブリオに共通であり、その抗血清はサルモネラでみられるような固有運動阻止活性はみられず、菌の血清型別には利用されていない。

菌の病原性 ヒトに急性胃腸炎を引き起すが、比較的大量の菌が経口的に入ってこなければ腸管感染は起らない。サルモネラにみられるような菌血症を起すことなく、赤痢菌のように腸管粘膜上皮細胞内へは侵入しないため、たとえば症状は赤痢を思わせるような粘血性下痢便を伴う激烈なものであっても概して経過は短く良好である。しかし、この菌を発見する契機になった〈シラス中毒事件〉にみられるようにモルガネラ *Morganella* のような菌の混合感染によって死の転機をとることもある。

すべての腸炎ビブリオに起病性があるというものではない。ヒトまたはウサギの赤血球を用いて調製した特殊な血液寒天培地(神奈川現象検査培地として市販されている)に好氣的に37°C、18~24時間培養すると、腸炎ビブリオは溶血性レンサ球菌のβ-溶血環に似た溶血環を示す溶血群と溶血環のみられない非溶血群に大別される。患者由来株の大部分は溶血性であるのに反し、自然界由来株の大部分は非溶血性である。この特殊な溶血現象を神奈川現象と呼び、菌の抗原型とは無関係である。この溶血現象は、100°C、10分の加熱に耐える耐熱性溶血毒の産生能に起因する。ボランティアによる摂取実験で、魚貝類、海水、海泥など自然界から分離された神奈川現象陰性株には腸炎の発症性は認められなかったという報告がある。しかし、極めて例外的ではあるが、この耐熱性溶血毒を産生しない神奈川現象陰性菌株が患者糞便(糞)から純培養状に分離され、その分離菌は動物実験において腸炎を発症させる能力をもっていることがある。これらの事実から、現在のところ腸炎ビブリオの腸炎の発症機構についてはまだ不明な点が多い。

食中毒毒性 腸炎ビブリオの生菌が食品1g中に約1,000万個含まれていれば、その食品を100g以上食べた大部分のヒトが発症するといわれている。夏季においては水揚げ直後の鮮魚でも、すでにかなり高率にこの菌が付着しているが、うろこを通過して魚肉内へ侵入しているわけではない。しかし、うろこをはがし、料理したものには特別の注意をはらわれないかぎり、必ずこの菌の汚染を受ける。腸炎ビブリオは真水の中では溶菌して死滅する。腸炎ビブリオは特に海産魚貝類の肉の中では他の菌に比べ増殖が極めて速く、夏季では気温によるが4~8時間めにはまだ食品が初期腐敗にも達していない間に1g当り100万~1,000万台以上という感染菌量に達する。10°C以下では菌はほとんど増殖しないが、20°C以上になると増殖度は急激に旺盛になる。腸炎ビブリオは比較的加熱に弱く、55°C10分、60°Cでは1分間の加熱で死滅する。この菌の食中毒は毒素型ではなく感染型であるため、その予防には食品を加熱して菌を殺すことが最も的確な方法であるが、菌の汚染をうけたまな板、包丁、ふきん、手指などを通じて加熱調理食品が2次汚染を受けることになる。このため、暖かい季節になればたとえ加熱調理されたものでもできるだけ早く食べるべきである。→細菌性食中毒; 細菌性赤痢 [三輪俊夫]

超音速拡散筒

ちょうおんそくかくさんとう

[Supersonic diffuser] ガスを超音速で取入れ、収縮断面で減速して絞り口(スロート)で音速に下げ、受動的圧縮器(形状ダクト)。

作動原理 超音速拡散は、理想的には、流れの等エントロピーまたは一定総圧圧縮、すなわち減速から成立ち、絞り口で自由流マッハ数から音速になる。超音速減

速は流管の断面を減少させて行。→拡散筒

実際には、等エントロピー圧縮は、粘性効果、衝撃波と境界層の相互作用、入口始動制限、理論的衝撃波構造に基づく圧縮限界によって、いろいろな程度に変わる。これらの拘束と、その影響を避け、あるいは最小にする方法は、有効な超音速拡散器を設計する場合の主要な問題点である。→等エントロピー流

超音速流から亜音速流への遷移は、実際には常に直立衝撃波を通過して行われる。しかし、これと関連してエネルギー損失が起き、その大きさはマッハ数とともに増す。マッハ数1.5以上の速度では、このエネルギー損失は許容できないものになり、もっと巧妙な圧縮システムが必要になる。このようなシステムは、1個または数個の弱い斜め衝撃波を通じて行われる漸变的減速である。理論上、等エントロピー(一定総圧)減速は、弱い衝撃波を無限個重ねて行われる。

基本型 超音速圧縮は、3種の基本型に分類される(Fig. 1)。外部圧縮取入口は、超音速拡散がカウル(覆)縁(絞り口位置)または前方で行われ、一般に直立衝撃波の前方の1個または数個の斜め衝撃波を使う。この場合、理論的に、圧力回復は斜め衝撃波の数とともに増す(Fig. 2)。すべての外部圧縮取入口に対して、理論的衝撃波構造の解析に基づく圧縮限界が存在する。圧縮を増すと流れの旋回角が増し、カウルと角度が大きくなるように反射して、カウル抗力が増す。

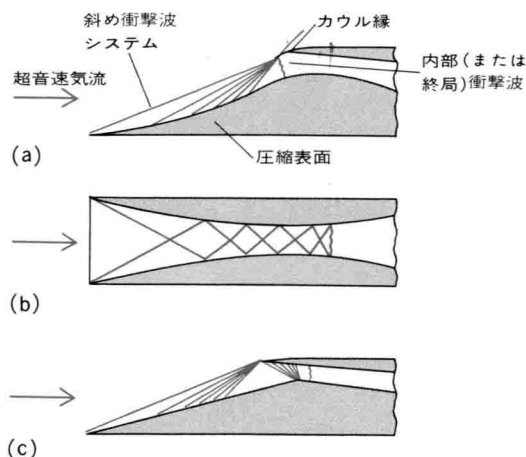


Fig. 1 基本超音速圧縮システム (a)外部圧縮. (b)内部圧縮, (c)外部および内部圧縮組合せ.

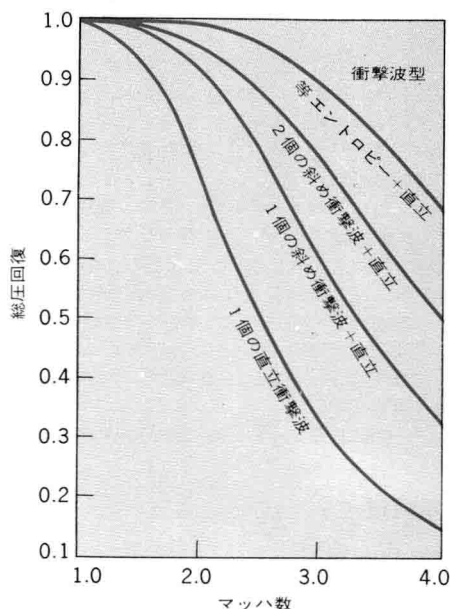


Fig. 2 外部圧縮取入口の理論的性能比較

内部圧縮取入口は、カウル縁の下流で内部的に超音速拡散を行う。流れの減速は、漸变的収束流路において、多数の弱い反射波によって生じる。表面角は当然小さく、境界層における小さい反対圧力傾度を保つため、長い拡散筒になる。この種の取入口に関する最もきびしい要求は始動問題である。始動するために、拡散器は衝撃波を飲みこんで絞り口を流れる超音速流を確立しなければならない。高性能を達成し、理論的最大始動値を超える運用収縮比を得るためには、収束通路に可変幾何学口あるいは可変通風口が必要となるが、複雑化は避けられない。この型の取入口では、理論的圧力回復に制限がなく、また、通常、カウルの抗力はゼロまたはわずかでである。→境界層流

第3の型は外部および内部圧縮の組合せで、有効に妥協させたものである。この型には外部圧縮が備えられているので、可変幾何学要求も全内部圧縮システムより著しくゆるく、内部収縮をするのでカウル抗力が小さく、さらに、潜在的総圧回復は全外部圧縮システムより大きい。

実際の考慮 粘性効果は超音速取入口の重要な要因である。壁の境界層は、拡散中の流れの急激な旋回から発生する反対圧力傾度と釣合せなければならない。このとき生じる強い衝撃波と境界層の相互作用によって流路の壁から流れが剥離(はく)し、混合損失が大きくなる。マッハ数2.0以上で内部性能を高くするには、絞り口付近に境界層を制御しあるいは除去する手段を備える必要がある。このような装置には、分流穴、流出すき間、ラム受口などがある。

ジェットエンジンに応用する場合、有効な超音速拡散器あるいは取入口は、総圧回復または運動エネルギー効率の内部性能を高くし、外部抗力を低くする必要がある。全抗力は、(1)外部カウルの投影前面積に作用する圧力抗力、(2)取入口こぼれ流れがカウルまわりに流れるときに生じるこぼれ、あるいは付加抗力(流入流線に沿う圧力積分として定義される)、(3)外部カウル面に作用する摩擦抗力から成る。

最大飛行航続距離あるいは加速を考えて、圧力回復と抗力の調和を評価し、最良設計取入口を定める。圧力回復と抗力の相対的重要性は飛行速度とともに変る。一般に圧力回復は低い超音速で卓越し、抗力はマッハ数約3.5以上で卓越する。

特定装備の超音速拡散器は、その動力装置の型が、全運用飛行速度と高度、圧力回復と抗力が最良の組合せになるような気流方式に合致する必要がある。設計からはずれた状態で、取入口は過大な気流を処理する。取入口は、高速巡航で寸法を定める(設計条件)ことが最も多いので、設計速度より低いときは寸法過大となる。過大空気処理法による害として、飛行機の推力余裕を完全に消す場合があるから充分に注意する必要がある。使用できる技法としては、取入口衝撃波をあふれさせる方法、補助出口からバイパスする方法、噴射排気ノズルを通じるバイパスなどがある。

超音速拡散器の物理的形状は、通常、取付けと機体形態による。例えば、ポッドに装着したエンジンナセルは軸対称取入口システムを使い、エンジンを胴体内に埋めた一体装着では2次元取入れシステムを使うのが最上である。一般に、2次元形態はエンジンと取入口の調和に対する可変幾何学要求に沿うことが多い。一方において、軸対称形態は、構造的に固有なフープ(輪形)張力をもつ利点がある。

[JAMES F. CONNORS/LEONARD J. OBERY]

超音速飛行 ちょうおんそくひこう

[Supersonic flight] 同じ条件の音の伝播(はく)速度より大きい速度をもつ固体および気体の相対的な運動。超音速飛行の一般特性は、圧縮性流体での擾乱(ざらん)、すなわち圧力インパルスの伝播法則から理解できる。

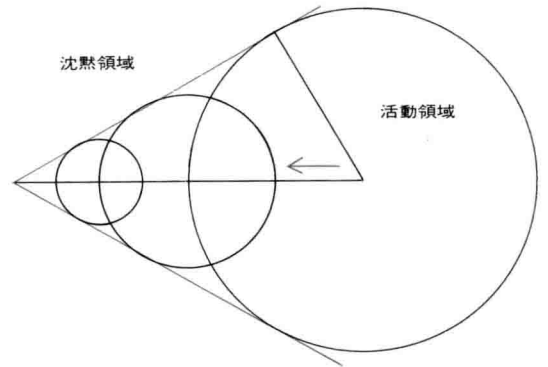


Fig. 1 超音速物体によるマッハ波の発生 活動領域と沈黙領域に分離される。

マッハ円錐の生成 流体が静止している場合には、圧力インパルスは音速であらゆる方向に伝播し、その影響はしだいに増大する球面に沿って波及する。しかるに、このインパルス源が一樣な流れの中にあれば、インパルスは流れに対して音速で伝播し、流れによって運ばれる。したがって、合成伝播速度は、流れの方向では流れに逆らう方向より大きくなる。流速が音速に等しければ、インパルスの影響は、インパルス源を通り流れに直角な平面より下流の空間だけに限られ、上流には信号を到達させることが不可能である。

インパルス源を通過する流れの速度が超音速であれば、インパルスの影響は、インパルス源に頂点を置き、頂角が流れのマッハ数が増すにつれて 90° (マッハ数1に相当)より小さくなる円錐内に限定される(Fig. 1)。このとき、半頂角の正弦はマッハ数の逆数に等しい。この角をマッハ角、円錐をマッハ円錐という。インパルス源が静止流体中を運動する場合にも同じことがいえる。→マッハ数

上述の円錐は活動領域を沈黙領域から分離する。ここに、物体の超音速運動と亜音速運動の基本的な差が存在する。亜音速運動では、擾乱の影響は、距離とともに小さくなりながら、物体をとり巻く空間のあらゆる点にも到達する。超音速運動では、物体による擾乱はマッハ円錐内に限定される。

例えば、ある投射体が観測者の頭上を超音速で通過するとき、その音は通過後でないと聞えない。

一般法則 以上の考察は、次の3つの一般法則に具体化できる。すなわち、禁止信号則、活動領域と沈黙領域則、集中作用則である。わずかな圧力変化は音速で伝播するので、超音速で運動する物体によって空気など流体中に生じる圧力変化の影響は、物体前方には到達できない。これが禁止信号則である。活動領域と沈黙領域が生じるのは、超音速流中の静止点源による活動が、その点から下流に伸びるマッハ円錐上または内部だけで活動を発生するためである。逆に、流れの中の任意の点における圧力と速度は、この点から上流へ伸びる同じ頂角のマッハ円錐上または内部にある点の、作用する擾乱だけに影響される。したがって、集中作用則は次のようになる。すなわち、超音速で運動する物体に対する影響の主要部は、活動領域の外限を形成するマッハ円錐の近くに集中する。

衝撃波 いま、静止した空気中を運動する翼を考えよう。翼の前方へ信号は伝播できないから、翼の存在は翼が通過するまで静止空気には影響がない。したがって、静止空気が翼のまわりを流れるとき、空気特性には急変が生じるであろうと考えられる。この急変は、翼の前縁に付着する衝撃波となる。ただし、前縁が鋭く、飛行マッハ数が充分大きいときに限る。空気が衝撃波中を通過するとき、空気の圧力、温度、密度は著しく増す。

前縁より後方の翼面上では、空気は膨張するので圧力は減る。したがって、翼の前部に作用する圧力は周囲圧

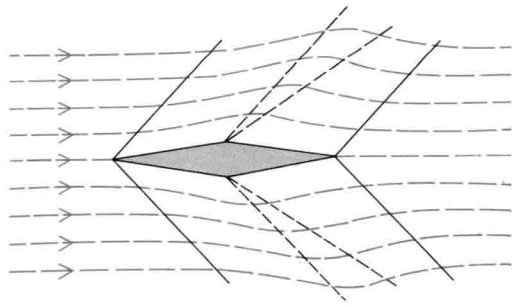


Fig. 2 超音速翼まわりの流線、衝撃波、圧縮膨張作用

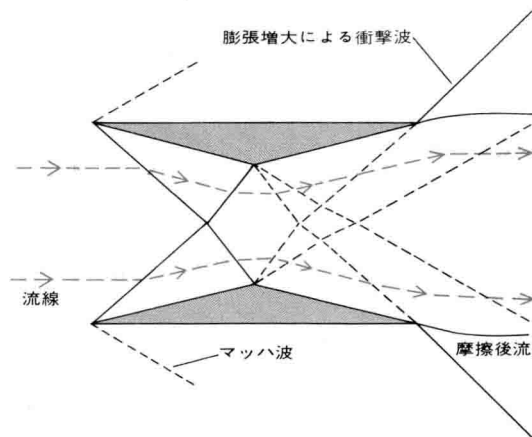


Fig. 3 ブーゼマン複葉まわりの流れ

より高く、翼の後部に作用する圧力は周囲圧より低い。この前後部の圧力差が抗力を発生させるが、これは表面摩擦や流れの剥離(はく)と無関係である。翼は、圧縮膨張波の系列を発生させ、この系列は翼とともに移動する(Fig. 2)。

造波抵抗 このような波動を発生させ、運搬するために費やす仕事は、抵抗に打勝つために費やす仕事でもある。この現象は、表面波より大きい速度で運動する高速艇の場合と同じである。このとき、艇はその発生する波動を運搬し、その仕事は艇体抵抗の大部分となる。この相似により、超音速抗力を造波抵抗というが、これは超音速飛行だけに特有なもので、物体抗力の大部分を形成する(超音速流でも亜音速流と同じく誘導抗力は存在する)。造波抵抗を詳しく調べると、超音速翼の前後縁はできるだけ鋭くし、翼厚比はできるだけ小さくして造波抵抗を減らさなければならないという結論になる。

→空力造波抵抗

揚力と誘導抗力 亜音速で運動する航空機の主翼の揚力理論は、循環の概念に基礎を置くものである。超音速飛行でも同じ概念を使うが、流れのパターンは表面および揚力の作用点に頂点を置くマッハ円錐内に限られなければならない。超音速流でも亜音速流と同じく誘導抗力は存在するが、超音速では揚力が発生するため、誘導抗力のほかに、マッハ円錐に沿って無限遠点に放散するエネルギーに相当する造波抵抗の一部が必要である。この抗力は発生揚力の2乗に比例するが、これは、亜音速の誘導抗力の法則と同様である。

平面形 造波抵抗は翼の翼厚比の2乗と発生揚力の2乗に比例するので、翼厚比と揚力係数を小さくした方が有利である。しかし、このことは構造重量と強度によって制限されるから、他の方法で造波抵抗を小さくしなければならない。

ブーゼマン(A. Busemann)は、上翼で発生する波動を下翼で補償相殺するような複葉を提案した(Fig. 3)。この案だと、揚力面の外には波動がなく、したがって運動系からのエネルギー放出がないから、造波抵抗もない。この考えは、波動干渉を使って造波抵抗を減少させよう

とするものである。

このほか、後退翼(Fig. 4)を使う案もある。そもそも翼の特性は前縁に直角な速度成分に依存するものであるから、後退角を大きくすれば、前縁に直角な速度を亜音速にすることが可能である。この場合、造波抵抗は生じない。超音速飛行で不可避の翼型抗力は誘導抗力に比べて比較的大きいので、小さいアスペクト比の主翼でも使用が可能である。デルタ(三角)翼が使えるのは、大後退角と小翼厚比の利点を併用できるためである。さらに、デルタ翼では、亜音速飛行から超音速飛行への過渡時における空力中心の移動は、一般に平面形翼よりも小さい。

航続距離に対する影響 航空機の航続距離は、いろいろな要因の中でも機体の揚抗比に依存することが多い。超音速機の場合の空気力学的効率は、設計者が燃料などに振向ける容積に大いに関係がある。したがって、胴体が大きくて主翼の小さい超音速機の揚抗比は不利である。

簡単な解析によって、このような超音速機の揚抗比は、局所大気圧と前面積当りの胴体重量の比率に依存することがわかる。したがって、超音速機の航続距離は、高高度を飛行し、負荷密度を増すか、機体の全寸法を増せば大いに向上する。この結論は、亜音速飛行と超音速飛行とは大いに異なる。亜音速飛行では、高度は航続距離にほとんど関係なく、速度と寸法は2次的な影響しかもたない。→亜音速飛行；極超音速飛行；遷音速飛行

[JOHN E. SCOTT, JR.]

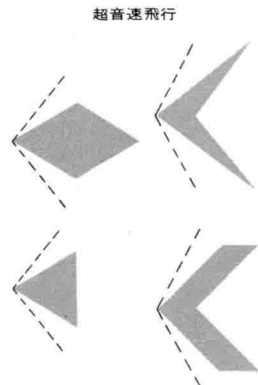


Fig. 4 いろいろな超音速後退翼

超音波学 ちょうおんばがく

[Ultrasonics] 可聴域よりも上の振動数(周波数)、すなわち約20,000 Hz以上の音波の科学。この分野の初期の研究者たちはsupersonicsという言葉を使った。しかし、この用語は音の速度よりも速度の速い空気流の研究にも使われる。現在使われている約束ではultrasonicsという言葉を上定義した意味で使うことになっている。超音波(ultrasonic waves)を表すのに聞えない音(silent sound)という言葉も使われるようになった。20,000 Hzの上と下で、音波の伝搬と応用について著しい違いはないので、区別はむしろ人為的である。この項目では装置と、工業的応用と、学問的応用とを主眼としてある。→音

超音波の発生器と検出器

空気中で超音波を発生した最初の器具は、ガルトン笛(Galton whistle)とハルトマン噴気発音器(Hartmann generator)であった。これらの装置では高圧空気の噴流を細いすきま、または小さい穴から鋭い金属の刃に対して吹きつけ音波を発生する。ハルトマン噴気発音器では噴流の速度を音波の速度よりも大きくして、事実上定常的な衝撃波を作る。

圧電気と磁気ひずみ 空気、液体、固体に対する普通の発生器は、圧電および磁気ひずみ発音器である。Xカットの水晶結晶板は気体、液体、固体中に縦波を発生するのに使われる。水晶のYカット板とACカット板は固体中にずれ波(shear wave)または横波を発生するのに使われる。これらの形の結晶は、例えば音波干渉計のような機器に使われるが、この機器では測定しようとする気体または液体を通して超音波の音束を送り、励振結晶と距離をねじマイクロメータで変えられるようにした反射板との間に定常波(定在波)を作って動作させる。このような方式によって気体や液体の速度と減衰の正確な数値を求めることができる。→干渉計(音波)

パルス法 これは液体と固体の性質を測るのに使われ、超音波の短い波束を媒質に送出して反射させる。受信パルスの送信パルスに対する時間差または位相差を測る方法で、正確な速度測定を行うことができる。吸収もまたパルスが距離とともに減少する速さから測定できるが、その場合には音束の広がりによる損失、および変換器を試料に張付けている接着剤の損失について十分に注

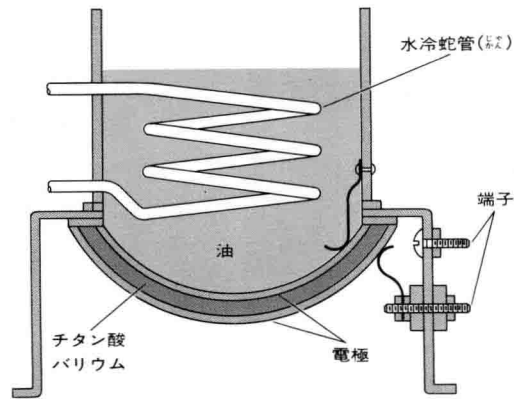


Fig. 1 チタン酸バリウム超音波発生器の断面図 チタン酸バリウムで音波を発生させる。処理する物質はガラス容器に入れ油の中に上から浸す。(Acoustical Engineering, Van Nostrand, 1957)

意を払う必要がある。

大出力の装置 大出力に対しては強誘電性磁器、例えばチタン酸バリウム(Fig. 1), PZT(ジルコン・チタン酸鉛), NaKNbO_3 , または磁気ひずみ物質、例えばニッケルやフェライトが普通使われる。普通、これらのものは超音波切断、疲れ試験、超音波溶接に使われる。

液体中のずれ波 いくつかのずれ波変換器、主に水晶のねじれ波またはずれ波発生器が液体のずれ粘性とずれ弾性の測定に使われてきた。この方法でわかったことは、かなり粘性の大きい液体は粘性とともに弾性をもつということである。また、極超音波(マイクロ波超音波)の振動数(500 MHz以上)では、すべての液体がずれ弾性をもつことが見いだされた。潤滑油の粘弾性は高速度で動作する平衡車の荷重を負担する能力に寄与していることが示されている。

工業的応用

超音波の工業的応用は小振幅の音波を使うものと、大振幅の音波を使うものとに大別できる。

小振幅での応用(計測的応用) 小振幅の応用はソーナーや、気体、液体、固体の音波伝搬速度を測ることによる弾性定数の測定、遅延線、機械的フィルター、検査装置、厚み計など多くの超音波応用装置で使われる。→ソーナー

これらすべての応用は物質の境界や不完全な部分(欠陥)が波の伝搬の性質に及ぼす変化を使っている。媒質中の減衰と散乱が、使用する振動数と使用または検査できる試料片の大きさを決めるうえの重要な因子である。
〔遅延線〕 これは情報のある時間だけ貯えるのに有用である。遅延線は移動目標指示レーダ方式、パルス解読装置、電子計算機などに使われる。→遅延線

分散型遅延線は極めて重要になってきている。このような装置では、針金や薄い板帯を伝わる音波の群速度が、遅延線の直径または厚さに波長が近づくと著しく減少する事実を利用している。この群速度の降下は振動数の関数であるが、これは振幅変調された短いパルスを、周波数変調された長いパルスに変換する性質があるので、出力増幅器を過負荷せずにすむ利点がある。これを使うと長路程のレーダを出力限界を増さずに作れるようになる。振動数遅延特性の逆になった遅延線を受信側に使えば、受信端で振幅変調されたパルスが再現でき、よい分離が得られる。

〔機械フィルター〕 これは1つの伝送線に同時に送られた電話の通信を分離するのに使われる。初期の型式では、フィルター作用をさせるために、ねじれ振動または湾曲振動を使った。最近のもっと有用な方法は1枚石フィルター(monolithic filter)と呼ばれるものである。これは真空蒸着した電極をたくさん並べ、電極間にある結晶板の質量に対する電極全体の質量の比を $R=0.02\sim0.04$ の範囲にしたものである。電極が存在する部分の共振周

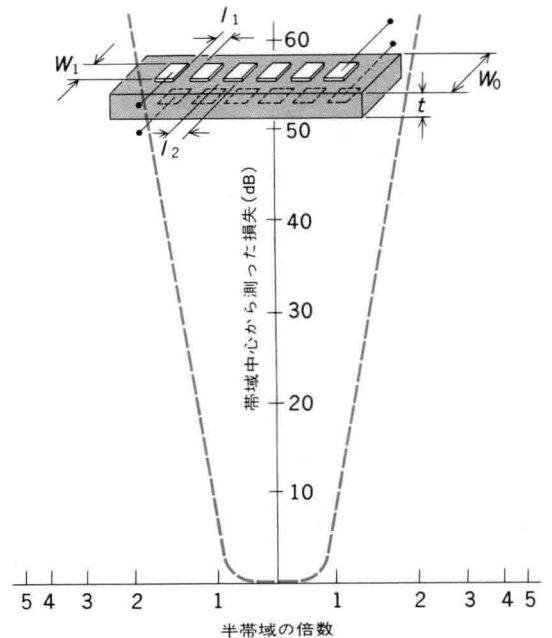


Fig. 2 モノリシック水晶結晶機械フィルターとその特性 (R. A. Sykes and W. D. Beaver)

波数は、電極がない部分のそれよりも低く、電極が存在する部分のエネルギーは、電極内に閉じ込められていることが示されていて、次の電極に伝えられるエネルギーの分量はほんのわずかである。この分量は、電極(長さ l_1)間の距離 l_2 を調節することによって調節できる。 l_1 と l_2 の比が帯域幅を決める。電極部分6個を使うと、この装置は6帯域のフィルターとして動作し、Fig. 2に示したフィルターと類似した特性をもつ。このようにして得られた減衰特性は十分よく、この装置を長距離の搬送方式または海底電線のチャネル・フィルターとして使うことができる。このフィルターは1個の水晶結晶で作ることができ、したがって、たいへん経済的になる。

〔超音波検査計〕 これは音波を金属の鋳物または他の固体試料に伝搬させ、反射または試料片を通過する音波に対する妨害によって欠陥の存在を検出する。これには500 kHz~15 MHzの範囲の振動数が使われる。このような装置は金属、ガラスおよび磁器の内部の欠陥を捜す最良の方法の1つであり、自動車タイヤの検査にも使われてきた。→金属の欠陥検査(超音波探傷)

〔超音波厚み計〕 これは試験物体の1つの側に到達できない場合、例えばボイラなどの厚みを測るのに使われる。パルス方式と共振原理に基づく連続波周波数スイープ方式が用いられる。

大振幅の応用(エネルギー応用) 大振幅の音波は気体、液体、固体を含む多くの応用で用いられる。一般に使われる応用例を次に述べる。

〔キャビテーションによる効果〕 強い音波によって液体中に空孔(気泡)を作ることができる。このような気泡がつぶれるとき、極めて高い圧力が発生する。このキャビテーションと呼ばれる過程は、多くの機械的・化学的・生物学的作用の原因である。→空洞(空)現象

キャビテーションの効果は金属やイオウを溶液中に分散させたり、超微粒子の写真乳剤を作ったり、溶融金属の組織の改良(粒子径を小さくすること)や一様な合金の製造に使うことができる。化学ではキャビテーションを使って長鎖高分子を砕いて短くすることができ、他の方法に比べて、より均一な鎖の長さのものが得られる。またキャビテーションによる力は牛乳の滅菌に使うことができる。

〔その他の大振幅効果〕 超音波は金属の部品、例えば時計部品の洗浄に広く使われる。音波による大きな力が実際に金属の表面から粒子や汚れをちぎり去る。超音波に

よる繊維の洗浄も研究されている。

気体に対する超音波の主な応用の1つは粒子の凝集である。これは軽い粒子は音波の速い運動に伴うことができるが、重い粒子はこれができないという事実に基づいている。そこで軽い粒子は重い粒子にぶつかってこれに付着し、気体中の軽い粒子の数を減らすことになる。これとともに重い粒子は粒子を集める板に沈殿し、または電場(電界)を加えて沈殿させることができる。この技術は工業で煙、塵埃(じん), 硫酸の霧、炭素粉、その他の物質を集めるのに使われている。

超音波のもう1つの工業的応用は鉛-アルミニウム合金とか鉛-スズ-亜鉛合金のような、普通のヤ金技術では生産できない合金の製造に使うことである。超音波でゆさぶると鉛とスズと亜鉛を混合することができる。

超音波は医学的治療にも使われてきたが、その効果については一致した結果が得られていない。超音波パルス法でがんその他の生成物を標定することが報告されているが、この分野の研究は1960年度の終りごろまでには一般に採用されるにはいたっていない(日本ではある程度使われている)。→音波の生物学的効果

学問的応用

音波は工業的応用のほかにも、気体、液体および固体の媒質中に起り得る特別なかたちの運動を決めるために使われてきた。音波の速度と吸収は、どちらも音の振動数の関数である。これらの性質の振動数温度および圧力による変化を調べると、起っている運動に関する知識が得られる。

流体中の音波の減衰 単原子分子気体と、水銀のような単原子液体では、音波の減衰は粘性と熱伝導による吸収として説明できる。このような流体に対して減衰は式(1)を満足する。

$$A = \frac{2\pi^2 f^2}{\rho v^3} \left[\frac{4}{3} \eta + \frac{(\nu-1)K}{C_p} \right] \quad (1)$$

ここに f は振動数、 ρ は密度、 v は音速度、 η は粘性係数、 ν は比熱の比、 K は熱伝導度、 C_p は等圧比熱、 A はneper/cmで表した減衰定数である。

多原子分子液体では2つの型式の緩和による余分の吸収が生じる。熱緩和は気体や非会合性液体、すなわち非極性分子からなる液体で現れ、音波の縦波と気体または液体分子の回転および内部自由度の運動とのエネルギーの交換によって生じる。

構造緩和は会合性液体、高分子液体および固体に対して生じる。これらの緩和は熱エネルギーと音波のエネルギーの両方の効果のもとで、分子の一部が1つの位置から他の位置へ移動するときが生じる。会合性液体や高分子液体に生じるようなある決った構造が必要である。

固体における効果 固体では多種多様の効果が減衰と速度分散を生じる。たぶんその最も簡単なものは熱的效果である。

〔熱的效果〕 固体の物体が音波で圧縮されると、圧縮された部分は熱せられ、膨張した部分は冷やされる。そして、熱エネルギーは熱い部分から冷たい部分に伝達される。このエネルギーは音波からくるので、波の損失すなわち減衰が生じ、これは振動数の2乗に比例する。湾曲振動をする棒では熱の伝わる距離はたいへん短く、生じる効果が大きい。式(2a)で決る f_0 という振動数以下では、この原因によって式(2b)で与えられる内部摩擦 $1/Q$ を生じる。

$$f_0 = \frac{\pi K}{2C_p \rho W^2} \quad (2a)$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{Y_0^\sigma - Y_0^\theta}{Y_0^\theta} \left(\frac{f f_0}{f^2 + f_0^2} \right) \quad (2b)$$

ここに K は熱伝導率、 C_p は1gについての等圧比熱、 f は音波の振動数、 ρ は密度、 W は棒の幅をcmで表したもの、 Y_0^σ および Y_0^θ はそれぞれヤング率の断熱的および

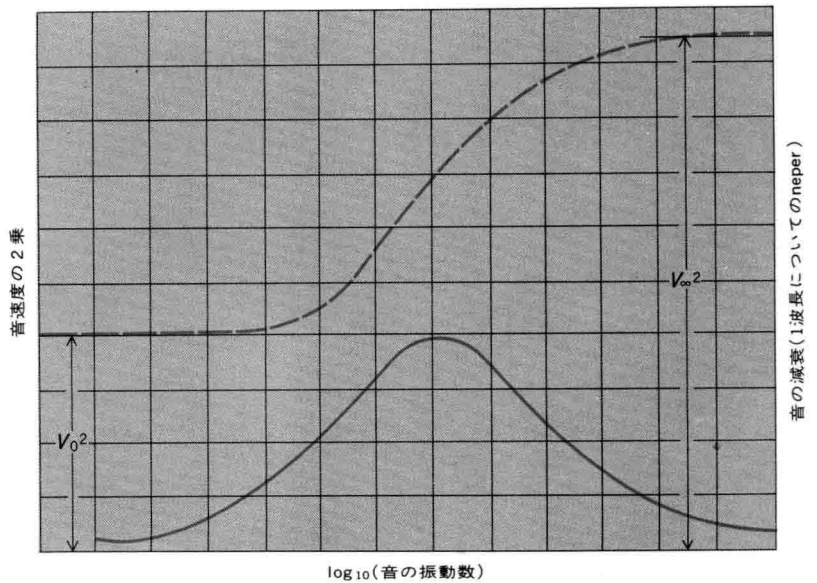


Fig. 3 単一緩和を示す媒質の速度分散(破線)と、これに相当する1波長についての吸収の山(実線) 速度は振動数の関数として増加する。1neperは8.686dBに等しい。

等温的な値である。速度は振動数の関数としてFig. 3に示すように増加し、これに相应して実線で示したような内部摩擦を生じる。

縦波に対する熱の伝達行路は振動の周波数が増すと減少する。それは式(3)で与えられ、ここに v は伝搬速度である。

$$l = v/2f \quad (3)$$

$W=l$ として式(2a)に代入すると、縦波に対する緩和振動数は式(4)で与えられる。

$$f_0 = \frac{C_p \rho v^2}{2\pi K} \quad (4)$$

この振動数より上では物質は等温的であり、 f_0 以下では断熱的である。この振動数は大部分の物質に対して通常 10^{10} Hz以上である。この熱弾性効果に対する縦波の減衰は式(5)で与えられる。

$$A_{(\text{neper/cm})} = \frac{\omega^2}{2\rho V_l^3} \left[\frac{\gamma^2 K T}{V_l^2} \right] \quad \gamma = \frac{3B\alpha}{C} \quad (5)$$

ここに γ はグリュンアイゼン定数、 B は体積弾性率、 α は熱膨張率、 C は単位体積についての比熱、 ω は測定周波数の 2π 倍、 ρ は媒質の密度、 V_l は縦波速度、 T はケルビンの絶対温度である。この原因による減衰は金属に対してはたいへん大きい、絶縁物では熱的減衰全体の約4%を占めるにすぎない。

熱的減衰の主なものはアキザー効果で生じる。この損失は熱伝導と非直線的な3次の弾性定数で決る。この効果について詳しくは〈項目〉極超音波学を参照。

〔他の緩和〕 多くの緩和現象は不純物原子、粒子境界、分域境界の運動や、その他の固体中で生ずる運動と関連している。鉄の中の窒素や炭素のような介在型原子(interstitial atom)は、かなりの大きさの音響損失を生じる。これらの不純物原子は結晶格子中で鉄原子の中間の位置を特に占めている。音波が格子を1つの方向に伸し、これに直角な方向に縮めると、介在型原子は熱エネルギーにたすけられていちばん広い場所に行こうとする。音波による収縮が起ると、逆向きの運動が起る。妨害になる原子を押しつけるのに熱的活性化エネルギー H を必要とするので、原子移動のひん度は式(6)に従う。

$$f = f_0 e^{-H/RT} \quad (6)$$

ここに f_0 は熱運動による窒素原子の振動の周波数($\approx 10^{13}$ Hz)、 R は1 molの原子(6.025×10^{23} 原子)の温度を 1°C だ

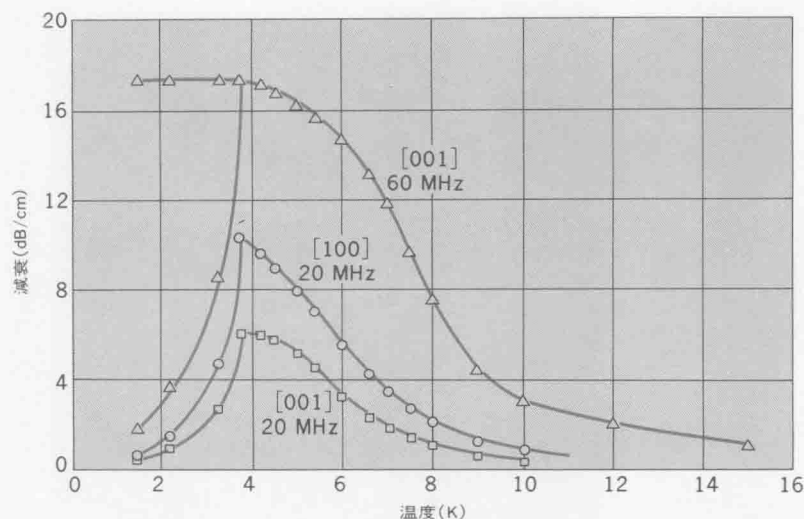
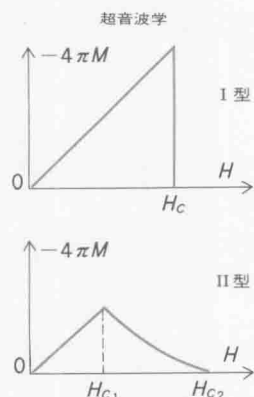


Fig. 4 スズ単結晶の(001)軸方向および(100)軸方向の縦波音波の減衰

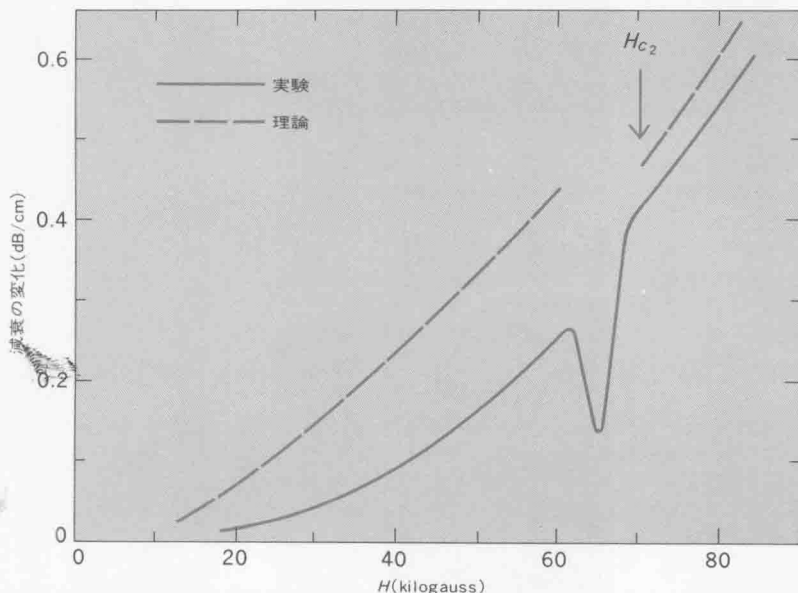
Fig. 5 I型およびII型超電導体の長い円柱の磁化曲線 外部磁場 H は円柱軸の方向を向いている。

け上昇させるのに要するエネルギー(すなわち気体定数), T はケルビンで表した温度(K)である。窒素に対して H はおよそ $16,400 \text{ cal/mol}$ であり, R は 2 cal であるから, この過程に対する緩和振動数は室温で約 1 Hz である。

置換型原子の関したこれと別の緩和が, 高い温度で観測されているが, この場合, 置換型原子は活性化エネルギーが高いからである。多結晶試料の粒子回転に関した緩和は, 高温度かつ低周波数で観測されている。

磁性材料では磁壁の移動に関した磁気過程ではかに速い緩和が生じる。消磁された試料は多数の磁区(分域 domain)からできていて, 1つの磁区の中では磁化の向きがそろっている。磁気の方法が初めの方向と 90° または 180° 違う磁区はブロッホ磁壁(Bloch wall)という区域で区別されていて, 磁壁内部では磁気の方法が1つの磁区の方法から他の磁区の方法まで少しずつ方向が変っている。磁束と同一方向の圧縮応力を加えると正の磁気ひずみをもった物質では磁区が縮められ, これに対し 90° の方向の磁区は伸ばれる。そこで磁壁は応力が圧縮から伸びに変化するにつれて移動する。ブロッホ磁壁について詳しくは〈項目〉強磁性を参照。

磁壁は磁性材料中の転位やその他の欠陥で固定されていて, 磁壁が少しでも動くためには, ある強さの磁場

Fig. 6 焼なましたNb-25%Zr中の H に平行な 9.1 MHz のずれ波の温度 4.2 K における減衰の磁場による変化 破線の曲線は計算値である。(Y. Shapira)

(磁界)または応力が必要である。循環過程では, 磁壁は外部応力(磁氣的または弾力的)に遅れる。この効果は物質中にヒステリシス曲線で表される変化を生じ, ミクロヒステリシス効果と呼ばれる音響的損失を生ずる。磁気の方法が変るのに伴って, 渦電流が発生する。これは磁壁が移動できる速度を制限し, 交番応力に対してはミクロ渦電流効果と呼ばれる音響的損失を生じる。磁区の大きさが与えられると, 同じ外部磁場に対して, 速度が低周波の場合の半分になる振動数が存在する。この振動数での損失が極大であり, したがって, この振動数が緩和振動数である。この振動数は式(7)で与えられることが示される。

$$f_0 = \frac{R}{96\chi_0 l^2} \quad (7)$$

ここに R は物質の電気抵抗, χ_0 は消磁した物質の初磁化率, l は磁区の大きさである。例えばニッケルに対しこの振動数は 10^5 Hz 程度となる。

物質中に起り得る物性に関した運動の性質に依じて, 多くの他の緩和が生じ得る。そのような運動を調べるうえで, 超音波の測定を広い範囲の振動数と温度で行うことは, 有力な手段になる。

低温のデータ 超音波は絶対零度付近の温度で生じる過程について大いに寄与している。液体での最も重要な結果は, 液体ヘリウムについて得られた。一方固体に対しては, 低温の金属で超電導の機構についてかなりの量の知見を与えるような結果が得られている。

【液体ヘリウム】 ヘリウムをその沸点(4.2 K)で液化し, さらに冷却すると, いわゆるラムダ点(2.2 K)でヘリウムIからヘリウムIIへの転移がある。ラムダ点では音速度が不定となり, また吸収が大きくなる。ヘリウムIIの粘性は極めて小さくてゼロに近く, 熱伝導度が大い。粘性の小さいことは普通の音波の音響的吸収を小さくし, 熱伝導が大いことは熱波, すなわち第2音波の伝搬を可能にする。第2音波は熱的方法で発生かつ検出することができ, 2.2 K では速度がゼロで, 1.7 K で極大値 20 m/sec に達したのち, さらに低温では再び減少することが見だされている。普通の音波の速度は絶対零度付近で 230 m/sec で, 2.2 K 付近の値 180 m/sec まで減少する。

→ヘリウム(液体)

【低温での減衰】 極めて低い温度では, 常電導状態の純金属の減衰は極めて大きくなる。Fig. 4は純粋なスズに対し, 結晶の2つの方向また2つの振動数での測定を示す。 10 K 以上では超音波の減衰は比較的小さく, 振動数の2乗に比例して増す。 4 K ではスズはなお常電導状態にあるが, この温度では減衰は大きく振動数に比例して増す。常電導状態の余分の吸収は, 音波が金属内の自由電子に, 運動量とエネルギーを授与するために起ることが示されている。音の波長が電子の平均自由行路よりも長ければ, この運動量とエネルギーの輸送で実効的な粘性が生じ, 減衰は振動数の2乗に比例して増す。平均自由行路が音波長よりも長くなると(低温ではそうなるが), 電子に与えたエネルギーが音波に戻らなくなり, 減衰が高くなる。減衰は結晶格子の振動する回数, したがって音の振動数に比例する。

スズが超電導性になる温度(3.71 K)より下では, この原因による減衰は急に減少してゼロになる。減衰曲線の形は, 超電導に対するバーディン-クーパー-シュリーファー(Bardeen-Cooper-Schrieffer)のエネルギー間隔理論を確かめるのに使われた。しかし, 低周波 $10 \sim 100 \text{ MHz}$ では, 転位による損失が現れ得る。これは常電導状態と超電導状態とは異なり, この相違は, エネルギー間隔の関係のかたちを決めるためには計算に入れなければならない。 100 MHz 以上の振動数に対する転位による減衰は, 電子・ホノン損失に比べて小さく, 直接測定によってエネルギー間隔曲線の形を求めることができる。

音響の測定は, II型半導体または高磁場半導体(HFS)に対しても有用である。これは超電導磁石に用いられ,