



---

---

*Encyclopedia of Science and Technology*  
*McGraw-Hill·Kodansha*

---

世界科学大事典

---

---

講談社

---

---

# 17

*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 株式会社大進堂

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 476p. 31×22cm  
©KODANSHA 1977 Printed in Japan  
落丁本、乱丁本はおとりかえいたします。  
3540-439673-2253 (0)

---

---

---

---

世界科学大事典

---

17

マケ-ヨクセ

---

---

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.

# マウ

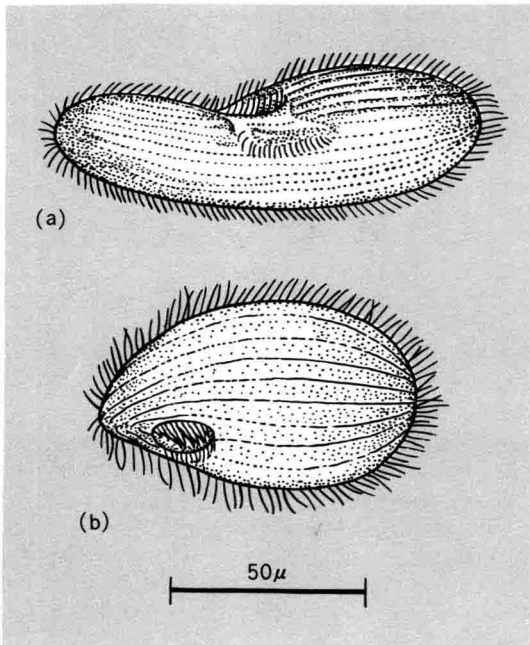
膜口目～マンナン

## 膜口目 まくこうもく

[Hymenostomatida] 原生動物門, 有毛亜門, 繊毛虫綱, 全毛亜綱の1目。この目のものはしばしば小形で、比較的一様な繊毛の配列をもつ。この類は顕著であるとはいえないが、口前膜を確かにもつ最初のものとして重要である。これは口の右側の1枚の波動膜と、左側の原始的には3枚の小膜板からなる口部膜板帯とから構成されている。この合計4つの膜からなる口前膜装置は最も基本的なもので、この目の装置からそれに続く高等なグループの装置が進化してきたものと考えられている。→有毛亜門

膜口目の種の多くは淡水産で、自由生活性である。この目に属するある1つのグループのものは、その口が新しく形成される場合の向きに異なった点がみられ、そのため、このグループに対して膜口目とは別の新しい1目を設定すべきであると考えられている。しかしここでは普通に用いられている従来の分類体系に従うことにする。

淡水魚に寄生するイクチオフチリウス *Ichthyophthirius* が誤ってこの目に入れられることがある。ゾウリムシ *Paramecium* (図 a) は繊毛虫綱の中で最もよく知られたものである。これはかなり大きく、広く分布している。採集、飼育が容易なためよく研究されており、実験動物として原生動物の遺伝学の進歩に大きな役割を果たしている。一時毛口目に入れられたこともある。テトラヒメ



膜口目 (a)パラメシウム *Paramecium*. (b)テトラヒメナ *Tetrahymena*.

ナ *Tetrahymena* (図 b) もゾウリムシと同様、多くの実験的研究に好適な繊毛虫類として用いられている。この属は化学的に調合された溶液の中で餌(え)になる他の生物の存在なしに成長する能力をもっていることで有名であり、緑色の植物性鞭毛虫(びんまつ)類を除いて、そのような能力をもつことの明らかにされた最初の動物である。このような発見は、がんの研究やその他ヒトに直接あるいは間接に関係のある重要な分野における実験的研究、とりわけ生化学の面での研究にとって1つの大きな前進であると考えられる。→原生動物; 全毛亜綱; 無菌性の培養法と飼育法; 毛口目; 裸口目 [JOHN O. CORLISS]

## 膜翅目 まくしもく

[Hymenoptera] 昆虫(こむし)綱の中で3番めに大きな目(?)。ハバチ類, アリ類, ヒメバチ類, スズメバチ類, ミツバチ類その他を含む。1951年に発行された北アメリカの目録には、メキシコ以北のアメリカ大陸から1万5,700の種, 亜種, 変種が既知種としてあげられている。内輪に見積ってもこの目には世界で10万種以上の昆虫が発表されており、しかも何千という種がまだ記載されずに残っている。

この目は人間にとって非常に重要である。ハバチ類, アシトコバチ上科(Chalcidoidea), タマバチ上科(Cynipoidea)などの一部は、幼虫期に葉やその他の植物組織を食べる。ヒメバチ, 大部分のアシトコバチ, ジガバチなどの仲間は幼虫期に他の昆虫やクモに寄生し、またそれらを捕食する。ミツバチ類は多くの果樹, 野菜, 飼料作物の受粉に欠くことができない。

膜翅目はすべての主な動物分布地区にいるが、熱帯と温帯に最も豊富で種が変異に富んでいる。寒帯の北部にいるものは少数のハバチ類, 一部の寄生バチおよびごく少数の有針類に限られ、その中でミツバチ類が最も際立った代表的なものである。→昆虫綱

膜翅目の成虫は後翅が前翅より小さく、そして翅脈の退化した2対の膜質のはねと、そしゃく型だがなめたり吸ったりするように変形していることもしばしばある口器をもつ。高等な型では腹部が基部の方でくびれ、その第1節は後胸部と融合している。雌は常に産卵管をもち、それが植物を切ったり、孔をあけたり、刺したりするように変形している。変態は完全変態である。ハバチ類の幼虫はチョウやガのイモムシと似ているが、腹脚に一連の鉤棘(こうせき)を欠く。高等な類の幼虫はあしがなくウジムシ状だが、よく発達した頭部をもつ。一部のアシトコバチ上科を除けば、さなぎは付属肢(ぞう)が体から遊離している。

細腰亜目の初めの4つの上科, すなわちヒメバチ上科(Ichneumonidae), アシトコバチ上科, タマバチ上科, シリボソクロバチ上科(Proctotrupidae)は寄生区と呼ばれ、残りの上科は有針区として知られている。有針区は刺す型で、寄生区は他の昆虫に寄生するものである。しかしこれら2群を明確に区分することは不可能で

2 マクシモク

表1 膜翅目の諸科

分類	種数	分類	種数
広腰亜目(Symphyla)	1,009	シリボソクロバチ上科(Proctotrupeoidea)	985
クシヒゲヒラタハバチ上科(Megalodontoidea)	120	ヤセバチ科(Evanidae)	11
ナギナタハバチ科(Xyelidae)	33	コンボウヤセバチ科(Gasteruptionidae)	50
ヒラタハバチ科(Pamphiliidae)	87	ペレキナ科(Pelecinidae)	1
ハバチ上科(Tenthredinoidea)	849	バンホルナ科(Vanhorniidae)	1
ベルゲ科(Pergidae)	13	イシハラバチ科(Roproniidae)	3
ミフシハバチ科(Argidae)	32	ヘロルス科(Heloridae)	1
コンボウハバチ科(Cimbicidae)	12	シリボソクロバチ科(Proctotrupidae)	54
マツハバチ科(Diprionidae)	35	ヒゲナガクロバチ科(Ceraphronidae)	101
ハバチ科(Tenthredinidae)	757	ディアプリア科(Diapriidae)	304
キバチ上科(Siricoidea)	28	クロタマゴバチ科(Scelionidae)	272
シンテックス科(Syntexidae)	1	ハラヒロヤドリバチ科(Platygastridae)	182
キバチ科(Siricidae)	15	カギハラバチ科(Trigonaliidae)	5
クヒナガキバチ科(Xiphysriidae)	6	アリガタバチ上科(Bethylloidea)	345
ヤドリキバチ科(Orussidae)	6	セイボウ科(Chrysididae)	124
クキバチ上科(Cephoidea)	12	アリガタバチ科(Bethylidae)	100
クキバチ科(Cephidae)	12	スクレロギバチ科(Sclerogibbidae)	1
細腰亜目(Apocrita)	13,346	カマバチ科(Dryinidae)	120
ヒメバチ上科(Ichneumonoidae)	3,814	ツチバチ上科(Scolioidea)	643
ツノホソバチ科(Stephmitidae)	7	コツチバチ科(Tiphidae)	185
コマユバチ科(Braconidae)	1,239	シエロモルフス科(Sierolomorphidae)	2
ヒメバチ科(Ichneumonidae)	2,568	アリバチ科(Mutillidae)	409
アシトコバチ上科(Chalcidoidea)	2,032	ロバロソマタ科(Rhopalosomatidae)	2
ホソバナヤドリコバチ科(Mymaridae)	110	ツチバチ科(Scoliidae)	26
タマゴヤドリコバチ科(Trichogrammatidae)	39	サビガ科(Sapygidae)	19
ヒメコバチ科(Eulophidae)	544	アリ上科(Formicoidea)	786
ホソナガコバチ科(Elasmidae)	17	アリ科(Formicidae)	786
チサヌス科(Thysanidae)	18	スズメバチ上科(Vespoidea)	368
ユートリコソマ科(Eutrichosomatidae)	2	スズメバチ科(Vespidae)	368
タナオスティグマ科(Tanaostigmatidae)	4	ベッコウバチ上科(Pompiloidea)	279
トビコバチ科(Encyrtidae)	320	ベッコウバチ科(Pompilidae)	279
ナガコバチ科(Eupelmidae)	89	ジガバチ上科(Sphecoidea)	1,215
アリヤドリコバチ科(Eucharitidae)	27	セナガアナバチ科(Ampulicidae)	3
マルハラコバチ科(Perilampidae)	31	ジガバチ科(Sphecidae)	1,212
イチジクコバチ科(Agaontidae)	2	ミツバチ上科(Apoidea)	3,304
オナガコバチ科(Torymidae)	181	ミツバチモドキ科(Colletidae)	149
オルミス科(Ormyridae)	17	ヒメハナバチ科(Andrenidae)	852
コガネコバチ科(Pteromalidae)	321	コハナバチ科(Halictidae)	472
カタヒロコバチ科(Eurytomidae)	203	ケアシハナバチ科(Melittidae)	31
アシトコバチ科(Chalcididae)	101	ハキリバチ科(Megachilidae)	730
シリアゲコバチ科(Leucospidae)	6	ミツバチ科(Apoidea)	1,076
タマバチ上科(Cynipoidea)	877		
ヒラタフシバチ科(Ibaliidae)	6		
リオプテルス科(Liopteridae)	2		
フィギタ科(Figitidae)	58		
タマバチ科(Cynipidae)	811		

あり、一部の有針区のものには寄生性であり、一部の寄生区のものには植食性である。寄生区の中の植食性種を除けば、これらの昆虫は宿主昆虫やクモの体内または表面に

卵を産むが、有針区のものには、餌(≒)の用意された巣の中に産卵する。シリボソクロバチ上科とアリガタバチ上科(Bethylloidea)には、両区を結ぶような型が明らかに存在する。寄生区の一部は、他のいかなる膜翅目より形態的に高度に特化しているが、有針区では行動の面において最大の特化を示している。表1は、主として北アメリカで認められているこの目の分類の概要を示したものである。メキシコ以北のアメリカで記載された種、亜種、および変種の数をおのおの科に加え、合せて和名も示した。

形態

膜翅目の成虫は頭、胸、腹部がはっきりと分れている。はね(もしあれば)とあしは胸部に付着している(Fig. 1)。

**頭部** 原則として頭の向きに従って口器は下向きであるが、あらゆる変形がみられ、一部の種では口器が前方に向いている。複眼は大形で頭部の側方のかかなりの位置を占めるが、多くのアリと一部の有針区では大きさが縮小している。典型的なものでは3個の単眼が頭の上にあるが、無翅型では退化しているか欠如していることがある。1対の触角が複眼の間にあり顔面から出ているが、口器に接近している場合も離れている場合もある。原始的なものでは触角は細長く多数の小節をもつが、すべての主要な群で、より高等なものに小節の数が減少する傾向がみられる。

口器は1対の大あごと、小あごと下唇(≒)の間の膜質部の結合によって形成された1つの下唇小あご複合体か

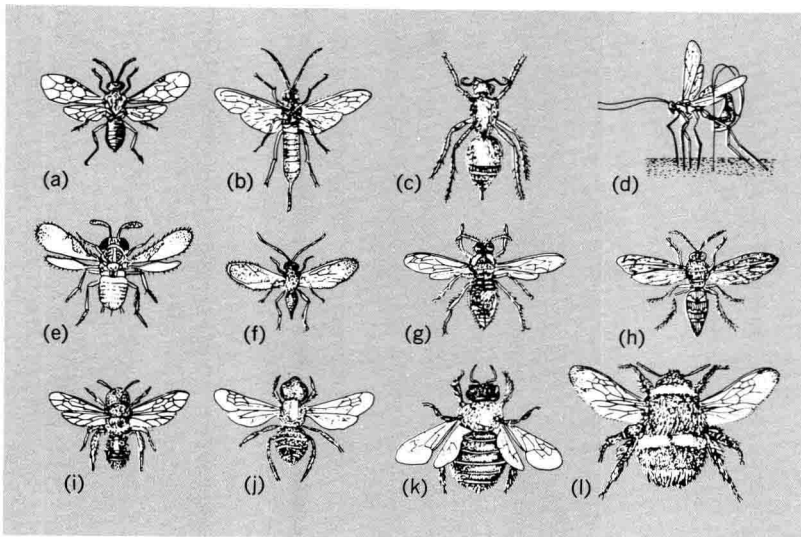


Fig. 1 膜翅目12科の模式図 (a)ハバチ科。(b)キバチ科。(c)アリバチ科。(d)ヒメバチ科。(e)アシトコバチ科。(f)タマバチ科。(g)スズメバチ科。(h)ジガバチ科。(i)ヒメハナバチ科。(j)ハキリバチ科。(k)ミツバチ科。(l)ミツバチ科(マルハナバチ亜科)。(General Zoology, McGraw-Hill, 1957)

ら構成される(Fig. 2)。大部分のハバチ類は単純なそしやく型の口器をもつが、より高等なものでは下唇小あご複合体は食物をなめたり吸ったりすることができるような形にいろいろ変形している。多くのミツバチやスズメバチ類では下唇小あご複合体は非常に細長く、花の深い底部にあるみつ腺からみつを吸収できるようになっている。大あごはハバチ類を除いて摂食機能はないが、寄生、捕食、巣の造営、およびまゆや宿主からの脱出などに使われる。

**胸部** 胸部はしっかり融合した3節からなる。おのおの環節には1対のあしが生えており、腹部に近い2環節にはそれぞれ1対のはねがついている。ハバチ類では胸部は腹部と広い範囲で結合しているが、細腰亜目では真の第1腹節、すなわち前伸腹節はしっかりと胸部と融合し、腹部の残りの部分とはくびれによって分けられている。

〔はね〕 大部分の種は2対のはねをもち、そのうち後翅の方が小さい。飛翔(羽)中では後翅前縁に沿って生えて

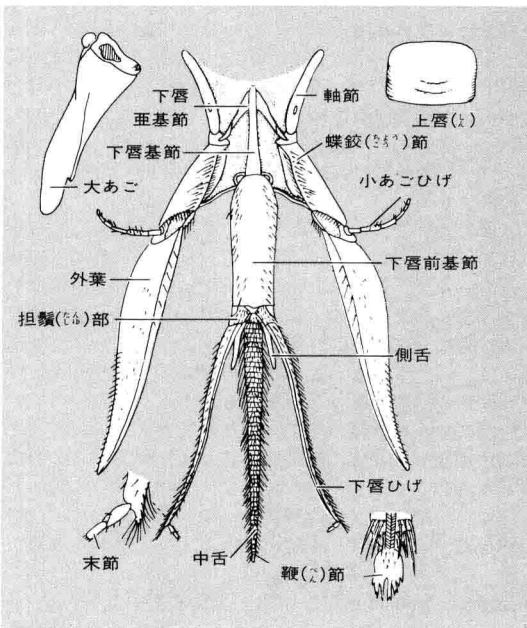


Fig. 2 ケバカハナバチ *Anthophora edwardsii* Cresson の口器 (College Entomology, Macmillan, 1942)

いる小さな鉤(舌)の列(翅鉤)が前翅後縁部に引っかけて前後翅(連絡)する。最も完全な翅脈相はハバチ類で認められるが、すべての高等なものではいろいろの程度に退化した脈相が現れる(Fig. 3)。ハバチ類やミツバチ類を除けば、はねが短くなって機能を失っている種や全然ない種が大部分の主要なグループにみられる。一般に雌の方が雄よりも退化の程度がはるかに進んでいる。

〔あし〕 あしはそれぞれ対応する胸節に関節でつながっており、基節、転節、腿(足)節、およびいくつかの小節からなる附(足)節から構成される。附節は通常5節からなるが、アシプトコバチ上科の多くやヤドリキバチ科(Orussidae)のヤドリキバチ *Orussus* の雄では4ないし3節に減少している。附節の末節は一般に1対のつめをもつ。大部分の寄生区では腿節が基部近くでくびれているので、転節が2節のようにみえる。

あしは種々の特別な用途に使えるようにしばしば変形している。ツチバチ上科(Scolioidea)のように地面を掘る多くの種には太い腿節と脛(足)節があって、じょうぶなとげが無数に生えている。また、別の穴掘りをするハチでは前脚の附節に剛毛がくし状に並び、それが穴から泥をかき出す助けをする。ヒメハナバチ *Andrena* のような一部のミツバチ類では後脚に花粉を集めるための枝分れた毛の巻いた束が生えているし、ミツバチやクマバチのようなハチでは後脚の脛節が広がり、さらに扁平となったところに長い曲った縁毛が生えて花粉をかご、すなわち花粉槽(舌)を形成している。大部分のカマバチ科(Dryinidae)の雌では獲物をつかむために前脚の附節がはさみのように変形している。

**腹部** 腹部は本来10節であるが、高等なものでは変形したり消失したりしてその数がそれ以下の場合が多い。ハバチ類では第10背板と第9腹板を認めることができるが、末端部は雄の交尾器あるいは雌の産卵管と関連して変形している。細腰亜目では第1腹節は胸部と融合し、雌では他の6節が、また雄では7節が通常のものである。一方アシプトコバチ上科では、7節の背板がある。コマユバチ科(Braconidae)やシリボソクロバチ科(Proctotrupidae)の一部にみられるように融合したり、セイボウ科(Chrysididae)のように後方の2,3節が引込んでしまっていたりして、さらに少ない節しかみられないことがしばしばある。

雌の産卵管、すなわち針は第8と第9腹節にある突起でできている(Fig. 4)。ハバチ類では、産卵管の一部が隆起し、その腹面は鋸歯(舌)となって終っている。細腰亜目におけるそのような隆起のこん跡は逆鉤(舌)になってい

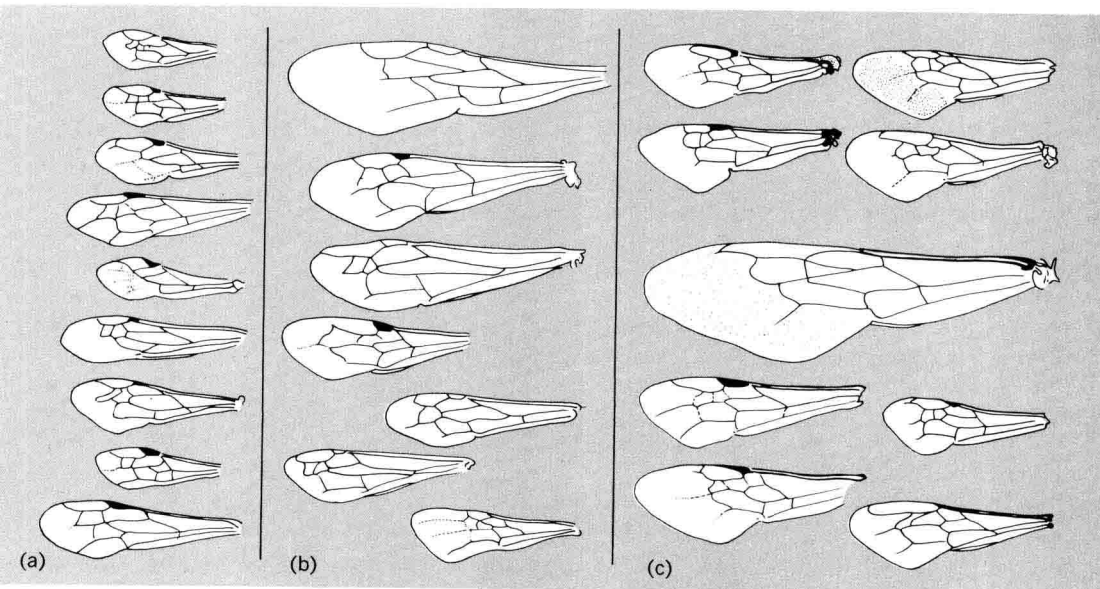


Fig. 3 膜翅目のはね 大部分の種は2対のはねをもち、後翅の方が小さい。(a)ジガバチ上科。(b)スズメバチ上科。(c)ミツバチ上科。(College Entomology, Macmillan, 1942)



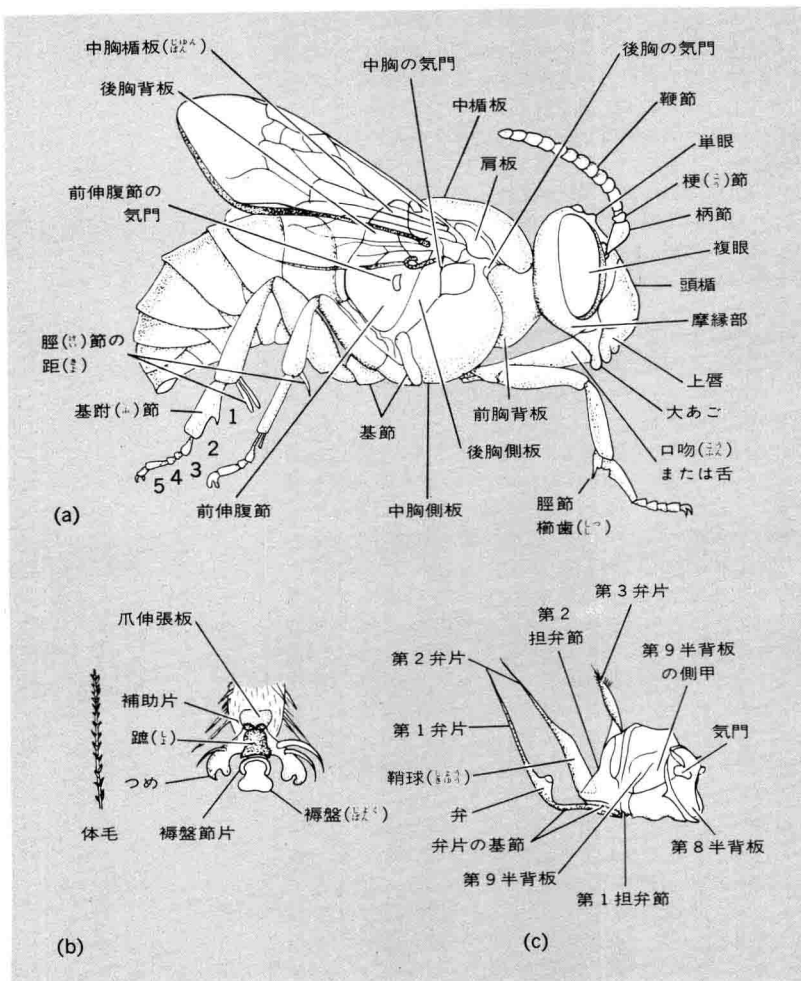


Fig. 4 コシトハナバチの1種 *Anthophora edwardsii* Cresson (a)成虫雄. (b)体毛およびあし先端部. (c)分類に重要な特徴を示す雌の付属器官. (College Entomology, Macmillan, 1942)

て、ミツバチのようにそれがよく発達していると、刺されたときに痛い。広腰群と寄生群の卵は産卵時に産卵管を通過するが、有針区では産卵管は純然たる刺するためのもので、卵は産卵管基部の開口から出される。一部のアリや熱帯のハリナシミツバチでは針は退化しているか欠如している。

**毒** 細腰亜目では1対の酸の腺が産卵管につながる毒袋に開口している。これらの腺からの分泌液は、一部の寄生類のハチの場合ではそれが注射されると宿主に一時的なまひを引き起し、一般に有針性のハチによってその獲物に注射されると永久的なまひをもたらす。ミツバチはその針を防御用にだけ用いる。有針区のハチの毒はタンパク質とある種の酵素、および他の成分を含む複雑な物質である。その成分は種によって少しずつ異なるため、毒による刺激を軽くすませるような薬剤をつくることをむずかしくしている。ヒトが刺されるとその酵素が組織と反応してヒスタミンが放出される。刺されたためアナフラキシー・ショック(異種タンパクに対する過敏状態)をうけるとか、リンパ系の膨張による機械的な窒息をきたして、人が死ぬことがときどきある。刺されたため、特に顔やのどがひどくはれてしまった場合は医学的治療をうけるべきである。

**生態**

事実上ほとんどすべての膜翅目では成虫は陸生で、地表面およびその付近、あるいは地面の下に生活している。少数の種は2次的に水生で、成虫は水生または半水生の宿主を探して水中を泳いだり歩いたりする。

大部分の成虫は植物のみつや種々の昆虫の分泌する甘露を食べている。少数のハバチ類は他の昆虫を捕食する。寄生区や有針区の一部の種は本来産卵のためにおそ

う宿主の体液を吸ったり宿主を食べたりする。新たに羽化した成虫が栄養になにを要求するかについてはあまり知られていないが、その多くは卵を成熟させるためになんらかの栄養物を必要とするものと思われる。

**繁殖** 交尾はいろいろな状況のもとで行われるが、常に短時間内に終る。雄が雌より1日から数日先に羽化するのが普通である。有針区の中には、地上営巣性の種の雄が雌の羽化するのを待つ間に、巣の付近で婚前飛翔にふけるといふものがある。一般に雄は雌の上に飛乗り、交尾は地上で行われる。木に営巣する種のあるものでは雄が雌の入っている孔の正面空中の1点に静止したように舞うが、この場合交尾は一般に飛翔中に行われる。花上で会合し交尾する種もある。アリと社会性のハチの間では、生殖能力をもつ雌と雄がいくつかのコロニーから同時に大量に現れ、空中で交尾をするための群飛を行うのがみられる。ミツバチも似たような結婚飛行をするが、参加するのは1匹の処女雌と多数の雄である。→社会性昆虫

大部分の種には雄と雌の両方がある。一般に雄は未受精卵から生れ染色体は常数の半分だが、雌は受精卵から生れ染色体数は正常である。しかし、偶発的および必須(♀)の単為生殖は他の昆虫の目よりも普通にみられる。偶発的単為生殖の現れる種では処女の雌から雄だけが生れるが、必須の単為生殖を行う種では雌が未受精卵から生れる。タマバチ上科の一部では世代交替が行われ、雌の一部は単為生殖で両性を産むが、受精卵に由来する雌は雌だけを産む。

大部分の膜翅目に見いだされる雄と生殖能力のある雌のほかに、社会性の種には働きバチと呼ばれる第3の型がみられる。これらは異常な状況下にあるとき以外は不妊性である。社会性のスズメバチ類とミツバチ類の働きバチは普通女王バチと外観上非常に似ており、主に雌より小さいことと、ときには色彩で区別される。ミツバチの女王はロウ腺と花粉槽をもたず、逆鉤のついていないためらかな針をつけているなどで働きバチと区別される。働きアリは他の社会性膜翅目より女王アリとの相違が大きい。すなわちはねがなく、胸部はさらに変形している。一部のアリでは働きアリに2型があって、一部の働きアリがコロニーを防御するため巨大な頭と大あごをもった兵アリに変形している。

**生活史** 膜翅目は発生中に完全変態をし、卵、幼虫、さなぎの時期を経過する(Fig. 5)。今まで知られている限りでは、膜翅目は常に卵を産む。卵は保護された状態で幼虫の食餌(≡)の上かその近くに産みつけられる。膜翅目の卵は一般に卵形またはソーセージ形で、タマバチ

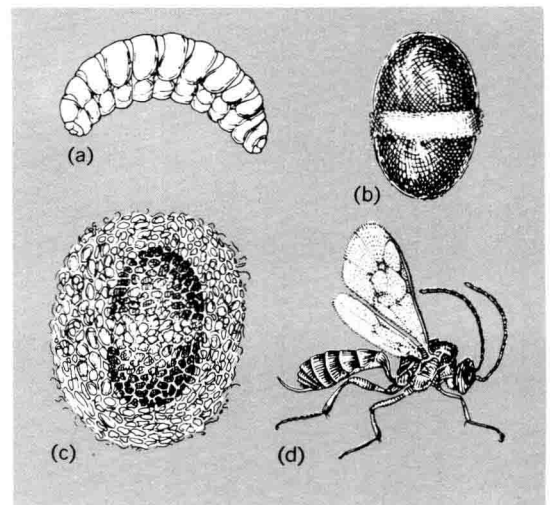


Fig. 5 アルファルファゾウムシに寄生する *Bathyplectes curculionis* (Thomson) の生活史 (a)幼虫. (b)さなぎ. (c)ゾウムシのまゆに入っているさなぎ. (d)成虫雌. (College Entomology, Macmillan, 1942)

上科や他の寄生区の一部のようなグループでは卵は卵柄をもつものが多い。卵の表面には一般に彫刻がなく、非常にこわれやすい。卵がふ化するまでの期間はさまざまで、出てきた幼虫は3または4歳の成長期をもっている。

ハバチ類の幼虫は鱗翅(鱗)目の幼虫と外観が非常によく似ており、頭はよく発達し強力なしゃく型の口器をもつ。関節のある3対の胸脚のほか、茎や木質部に食入するものを除きすべての種が関節のない8対の腹脚をもつが、鱗翅目の場合と違いそのあしには鉤づめがない。

細腰亜目の幼虫は老熟期にはあしのないウジムシ状で、よく発達した頭としゃく型の口器をもつ。しばしば肉質突起があって移動の助けとなる。細腰亜目の一部、ことに寄生区および有針区の中の社会寄生性のものの初齢幼虫は終齢幼虫と非常に異なり、過変態と呼ばれる状態を示す。

種によってはやがて幼虫はまゆをつくり、前蛹(前)期に入るが、その期間はまちまちである。一般にわずか2、3週間続くだけのさなぎ期ののちに成虫が蛹殻から羽化する。アシプトコバチ上科の一部を除き、膜翅目のさなぎは付属肢が体から遊離している。さなぎは一般に絹糸のまゆに包まれているが、絹糸のほかに別の材料が織込まれていることもある。まゆはよく発達していることもあるし、薄い絹糸の部屋だけのこともある。ほとんど全部のアシプトコバチ上科とタマバチ上科のものはまゆをつくらず、また他のすべての上科で種によってはまゆがない場合がみられる。成虫は一般に1日から数日間、外皮が完全に硬化するまでまゆの中にとどまるが、ハキリバチ科(Megachilidae)のツツハナバチ属 *Osmia* の中の一部の種のように、成虫が活動期に入るまで10か月間もまゆにとどまっている種も時々ある。

種によって、温帯で年1世代しか営まないものや、2世代を営むものがあり、また暖かい間に何世代もくり返すものも数多くある。膜翅目は通常前蛹で越冬するが、アリ、社会性のスズメバチ類およびミツバチ類の一部は一部の寄生区の子孫のように、時々成虫または幼虫で越冬する。しかし、知られている限りでは卵やさなぎで冬を越すものは1つもない。

**二形性** 性的二形はしばしば非常にはっきりしている。種によっては雄と雌があまりに違っているため、昔の学者がそれらを別の属あるいは科に入れたくらいである。今日でも多くのなぞがあり、多くの種で同一種の無翅の雌と有翅の雄が正しい組合せで分類されていない。普通雄は雌より小さいが、無翅の雌をもった大部分の種ではこれが逆となっている。→性的二形

性的二形のほかに、膜翅目の成虫には他の型の変異がある。寄生区あるいは有針区の中の社会寄生性の種は、宿主の大きさや宿主1匹当たりについている寄生虫の数によって、その大きさが非常に変化する。また、年に1世代以上を営む種では、違った世代間で形や大きさに変化する可能性がある。

**行動** 寄生区に属する膜翅目昆虫の示す行動は有針区のそれよりはるかに単純である。基本的な型は、雌についていえば宿主を狩り、それに対しあまり大きな障害とならないように宿主の体内もしくは体上に産卵する、ということである。宿主は成長していく寄生幼虫によって殺されるまで生き続ける。この型の典型的なものが多いのはヒメバチ科(Ichneumonidae)でみられる。より複雑な行動のパターンとしては、産卵前に宿主を刺して一時的にまひさせるとかあるいは死にいたらしめるといったものがある。この方法は多くのコマユバチ科とアシプトコバチ上科に典型的なものである。寄生区のうちの一部の種は重複寄生虫、つまり第2次寄生者で、宿主の寄生者に寄生する。種によっては第1次寄生者にも第2次寄生者にもなるし、一方第3次寄生、つまり第2次寄生者に寄生する場合もまたアシプトコバチ上科の少数の種で報告されている。

〔巣と営巣〕 高等な有針区はその子孫のための巣づくり

に驚くほどの配慮をする。巣は地下の穴あるいは樹木に掘った孔であったり、また粘土、かみこなした木の繊維、樹皮からの乳状液、樹脂、葉の繊維の砕いたもの、葉の断片あるいは虫がつくったロウなどによっても造営される。1つの巣に1室しかないもの、1ダースほどの部屋がかたまっていたり1列に並んでいるもの、社会性のアシナガバチ類やミツバチ類のように多数の部屋に分れているものなどがある。

有針区の中では造巣行動にいくつかの基本的な型がある。最も原始的なパターンというのはハチが獲物をさがし出し、刺してまひさせ、1個か数個の卵をその上に産み、獲物を発見した場所に置いていってしまう、というものである。これは大部分のアリガタバチ科(Bethylidae)や多くのツチバチ上科に典型的なものである。ベッコウバチ科(Pompilidae)の大部分にみられる典型的なパターンはかなり複雑であり、ハチは隠れた場所に巣をつくる前に獲物をとらえ、まひさせる。もう1つのパターンは部屋をつくり、そこに産卵してのち、最初の獲物を引込む。これはより進歩したかたちでの食料準備を行うスズメバチ科(Vespidae)や少数のジガバチ科(Sphecidae)に典型的に現れる。第4のパターンは第3のパターンの変形で、ハチは部屋を準備し、獲物あるいは花粉と甘露の混合物を部屋に貯蔵し、そのちに産卵する。この方法は大部分のジガバチ科とミツバチ上科(Apoidea)に典型的なものである。

孤独性のハチがそれぞれの部屋当りに蓄える獲物の量はいろいろである。ツチバチ上科、ベッコウバチ科および少数のジガバチ科は1室当りわずか1匹の獲物しか使わないが、スズメバチ科と大部分のジガバチ科は獲物の大きさによってちがうとしても、2匹から2ダース以上を蓄える。一部の孤独性のハチは獲物の選択範囲が非常に限られていて、ただ1種しか蓄えない。しかし大部分はそれほど選択的でなく、いろいろ違った種を獲物とする。しかしこの場合でも獲物は1つの科としか目、あるいは非常に限定された生息場所にいる種に限られている。したがって、ジガバチ科についていえば、コシボソアナバチ *Pemphredon* はアブラムシ(アブラムシ科)の何種かを獲物とするし、ギングチバチ属 *Ectemnius* の種はいろいろな双翅目をとらえるが、スズメバチ科のハムシドロバチ属 *Symmorphus* の1種 *S. canadensis* は甲虫目や鱗翅目に属する潜葉性幼虫を獲物とする。

〔社会性〕 社会寄生はハチやアリのいくつかの科でそれぞれ独立に発達してきたものである。セイボウ科を除くと、普通これら社会性のハチはその寄生する特定の宿主となるハチと分類学上近縁である。これら社会寄生性のハチは宿主となるハチが獲物を巣へ運んでいるときにその上に産卵するか、巣をよく見ていて、宿主の雌が巣にいない間にもぐり込み、食物準備のある時期に産卵する。

社会生活はアリ、スズメバチ、コハナバチ、マルハナバチ、ハリナシミツバチ、ミツバチなどのような有針膜翅目のいくつかのグループにそれぞれ独立に起ったものである。より原始的な社会性昆虫では、比較的新しく羽化した受精卵をもった女王だけが越冬するのを除けば、そのコロニーは年の終りに死絶えてしまう。これらのコロニーはスズメバチとその近似種、コハナバチ、クマバチなどの仲間で見られるが、当然のことながらより発達した社会形態ほどには一般に知られていない。アリ、熱帯の社会性スズメバチ類、ハリナシミツバチ、ミツバチなどがつくる高度の社会形態では、コロニーは永続性があり、しばしば数千の個体を含んでいる。これらのハチのコロニーは、1匹の女王バチと1群の働きバチがもとの巣を離れて群飛を行い、新しいコロニーを発足させる(これを分封という)。

〔コミュニケーション〕 ミツバチについてわかったことで最も際立った事実の1つは、ハチが同じコロニーの仲間に対して豊富なみつや多量の花粉をもった花の位置をつきとめたことや、それが大体どのくらい巣から離れて

6 マクシモク

表2 経済上重要な膜翅目(1)

科	種名	経済上の重要性
ヒラタハバチ科	<i>Neurotoma inconspicua</i>	幼虫はクモの巣状の網をかけ、スモモの葉を食べる
コンボウハバチ科	<i>Pamphilius persicus</i>	幼虫はモモの葉を巻き、食べる
マツハバチ科	ナシアシフトハバチ <i>Cimbex carinulata</i>	幼虫はナシ、サクラの葉を食べる
	<i>Diprion hercyniae</i>	幼虫はトウヒを落葉させる
	<i>Nesodiprion lecontei</i>	幼虫はマツを落葉させる
ハバチ科	<i>Caliroa cerasi</i>	幼虫はナシ、サクラ、スモモを落葉させ坊主に する
	<i>Fenusa ulmi</i>	幼虫はニレの葉に潜入する
	<i>Cladius isomerus</i>	幼虫はバラの葉を葉脈だけにする
	<i>Hoplocampa cookei</i>	幼虫はサクラの内部で食害
	<i>Pteronidea ribesii</i>	幼虫はスグリの葉を食べる
	カブラハバチ <i>Athalia japonensis</i>	幼虫はダイコン、カブ、キャベツなどの葉を食べる
ミフシハバチ科	アカスジチュウレンジバチ <i>Arge nigrinodosa</i>	幼虫はバラの葉を食べる
	チュウレンジバチ <i>A. pagana</i>	幼虫はバラの葉を食べる
キバチ科	<i>Tremex columba</i>	幼虫はカエデ、カシ、ニレその他の落葉樹の弱 ったり枯れたりした幹にトンネルを掘る
クキバチ科	<i>Hartigia trimaculata</i>	幼虫はバラ、キイチゴの茎に潜入する
	<i>Cephus cinctus</i>	幼虫はコムギ、ライムギ、チモシー、および雑 草の茎に潜入する
コマユバチ科	バラクキバチ <i>Neosyrista similis</i>	幼虫はバラの茎内に潜入する
	マダラアブラバチ <i>Aphidius japonicus</i>	幼虫はアブラムシの内部寄生虫
	<i>Meteorus</i> sp.	幼虫は鱗翅目と甲虫目の幼虫の内部寄生虫
	<i>Macrocentrus</i> sp.	幼虫は鱗翅目幼虫の内部寄生虫
	アオムシコマユバチ <i>Apanteles glomeratus</i>	幼虫はシロチョウ科の幼虫の内部寄生虫
	<i>Opius</i> sp.	幼虫は双翅目の寄生虫
	<i>Spathius</i> sp.	幼虫は甲虫目幼虫の外部寄生虫
ヒメバチ科	<i>Scandius</i> sp.	幼虫は葉潜、葉巻、虫こぶの中にある小形鱗翅 目幼虫の内部寄生虫
	キバラアメバチ <i>Cremastus biguttulus</i>	幼虫はイネの害虫であるニカメイガ幼虫の内 部寄生虫
	コンボウアメバチ <i>Acanthostoma insidiator</i>	幼虫はヤマユグ科各種の幼虫の内部寄生虫
	<i>Polysphincta</i> sp.	幼虫はクモの外部寄生虫
	<i>Ephialtes</i> sp.	幼虫は鱗翅目さなぎの内部寄生虫
	オオホシオナガバチ <i>Megarhyssa japonica</i>	材の中のキバチ幼虫などに産卵する
	<i>Gelis</i> sp.	幼虫は他のヒメバチのまゆ内およびクモの卵鞘 内の寄生虫
	<i>Acroricnus aequatus</i>	幼虫はドロカベバチの巣の中の寄生虫
	<i>Diplazon laetatorius</i>	卵はヒラタアブ科(双翅目)の卵か若齢幼虫の中 に産みつけられ、成虫は宿主のさなぎから羽 化する
ホソバネヤドリコバチ科	<i>Anagrus armatus</i>	幼虫は半翅目の卵に寄生する
タマゴヤドリコバチ科	ズイムシアカタマゴバチ <i>Trichogramma japonicum</i>	幼虫はニカメイガ、サンカメイガなどの卵に寄 生する
ヒメコバチ科	<i>Sympiesis</i> sp.	幼虫は潜葉性の甲虫目と鱗翅目の幼虫に寄生
	ゴキブリコバチ <i>Tetrastichus hagenowi</i>	ゴキブリの卵鞘に産卵する
チサヌス科	<i>Thysanus</i> sp.	幼虫は同翅目または同翅目に寄生している他の アシトコバチ上科に寄生する
トビコバチ科	<i>Copidosoma gelechiae</i>	虫こぶをつくる鱗翅目幼虫につく多胚性の寄生 虫
	ルビーアカヤドリコバチ <i>Anicetus beneficus</i>	柑橘類の害虫ルビーローカイガラムシの内部 寄生虫
	<i>Aphycus</i> sp.	幼虫はカイガラムシに寄生する
	クワナタマゴトビコバチ <i>Ooencyrtus kuwanae</i>	幼虫はマイマイガ、マツカレハなどの卵に寄生 する
アシトコバチ科	キアシトコバチ <i>Brachymeria obscurata</i>	鱗翅目のさなぎの内部寄生虫
ツヤコバチ科	ワタムシヤドリコバチ <i>Aphelinus mali</i>	リンゴワタムシの幼虫および成虫に内部寄生す る；アメリカ原産だが、防除用に世界各地へ 移入され、放し飼いにされている
	シルベストリコバチ <i>Prospaltella smithi</i>	ミカンノトゲコナジラミに寄生する；中国南部 から1925年に長崎へ移入され、日本各地の柑 橘栽培地に定着している
イチジクコバチ科	イチジクコバチ <i>Blastophagus psenes</i>	イチジクの花床内に侵入し、受精させる
オナガコバチ科	<i>Megastigmus</i> sp.	幼虫は種子の中に入ります
カタピロコバチ科	<i>Harmolita tritici</i>	幼虫はコムギの茎の中に潜入する
	<i>Harmolota grandis</i>	幼虫はコムギの茎の中に潜入する
	クロバタネコバチ <i>Bruchophagus gibbus</i>	幼虫はクローバ、アルファルファの種子の中で 成長する
タマバチ科	<i>Diplolepis rosae</i>	幼虫はバラの茎にできた虫こぶの中で発生する
	<i>Acraspis erinacei</i>	無性世代(雄なし)はカシの木のハリネズミ状の 虫こぶ、有性世代はカシの芽にできる柔らかい 虫こぶの中でそれぞれ発生する
	<i>Amphibolips confluenta</i>	幼虫はカシの葉でつくる大きな球形の虫こぶ中 で発生する
	クリタマバチ <i>Dryocosmus kuriphilus</i>	本州以西で、クワの新芽に虫こぶをつくり、生 長を止める
ヤセバチ科	ゴキブリヤセバチ <i>Evania appendigaster</i>	ゴキブリの卵鞘に寄生する
クロタマゴバチ科	カメムシタマゴバチ <i>Telenomus gifuensis</i>	幼虫はカメムシ上科の卵に内部寄生する
セイボウ科	<i>Chrysis</i> sp.	他のハチにつく社会性寄生虫
アリガタバチ科	<i>Cephalonomia tarsalis</i>	貯蔵穀物を加害する甲虫の幼虫に寄生する
	クロアリガタバチ <i>Scleroderma nipponicus</i>	古い木造家屋に孔を開ける甲虫の寄生虫；非常 に痛い針をもつ

表2 経済上重要な膜翅目(2)

科	種名	経済上の重要性
コッチバチ科	<i>Goniozus</i> sp.	鱗翅目のハマキムシに寄生する
アリバチ科	マメコガネツチバチ <i>Tiphia popillivora</i>	マメコガネの幼虫に寄生する
アリ科	<i>Dasyneura occidentalis</i>	クマバチのさなぎに寄生する
	<i>Eciton</i> sp.	他の昆虫を捕食する
	<i>Pheidole</i> sp.	地下に巣をつくり、種子を食べる
	ヒメアリ <i>Monomorium nipponense</i>	建造物中に巣をつくる害虫
	<i>Solenopsis saevissima</i> var. <i>richteri</i>	地下に巣をつくる；非常に攻撃的
	シワアリ <i>Tetramorium caespitum</i>	植物に有害なアリマキを保護し運搬する
	<i>Atta</i> sp.	地下に巣をつくり、かみ砕いた葉の床にキノコを栽培して食べる
	<i>Tapinoma sessile</i>	木造家屋を食害する
	<i>Camponotus</i> sp.	多くの種が森林の中に巣をつくる
	<i>Lasius interjectus</i>	建物の土台付近や地下室の床の下に巣をつくる
	<i>Myrmecocystus</i> sp.	アメリカ南西部の地下に巣をつくる；一部の働きアリは大量のみつを貯蔵し、腹部は非常に膨張する
	<i>Formica exsectoides</i>	地下で掘り起した泥の大きな塚(?)の下に巣をつくる
	<i>Polyergus</i> sp.	他のアリの働きアリを奴隷として、巣をつくったり幼虫の世話をさせる
アシナガバチ科	セグロアシナガバチ <i>Polistes japonicus</i>	人家の軒やへいなどに巣をつくる；社会性
スズメバチ科	<i>Vespa mandarina</i>	食物が不足するとミツバチの巣箱を襲う；社会性
	<i>Vespula</i> ( <i>Vespula</i> ) sp.	地下に巣をつくる；社会性
	<i>Vespula</i> ( <i>Dolichovespula</i> ) <i>maculata</i>	木や低木に大きな紙様の巣をつくる；社会性
	<i>Polistes</i> sp.	しばしばひさしやベランダの屋根の下に単一の傘(?)形の部屋をつくる；社会性
	トックリバチ <i>Eumenes micado</i>	孤独性のハチで、幼虫を育てるため粘土で小さなジョッキ型の巣をつくる；イモムシを捕える
ベッコウバチ科	<i>Pepsis</i> sp.	舞踏グモ(タランチュラ)を捕食する
ジガバチ科	<i>Trypoxylon politum</i>	粘土で〈パイプオルガン〉状の巣をつくり、たくさん小さなクモを蓄える
	<i>Chlorion ichneumonum</i>	地下に巣をつくり、キリギリス類を捕食する
	<i>Sceliphron caementarium</i>	粘土で部屋をつくり、たくさん小さなクモを蓄える
	<i>Sphecius speciosus</i>	地下に巣をつくり、セミの成虫を捕食する
	<i>Stictia carolina</i>	地下に巣をつくり、いろいろなハエを捕食する
ミツバチモドキ科	アシプトミツバチモドキ <i>Colletes patellatus</i>	孤独性のハチで、地下に巣をつくり、しばしばたくさん群がる。いろいろな花から花粉とみつを集める
ヒメハナバチ科	<i>Andrena</i> sp.	ミツバチモドキ科と同じ
コハナバチ科	<i>Halictus</i> sp.	ミツバチモドキ科と同じだが、一部の種は亜社会性または社会性
ハキリバチ科	バラハキリバチ <i>Megachile nipponica</i>	孤独性のハチで、営巣の材料としてバラその他の葉を半円形に切取って持ち去る
ミツバチ科	<i>Anthophora</i> sp.	孤独性のハチで、地上に巣をつくる
	<i>Xylocopa virginica</i>	孤独性のハチで、固い木にトンネルを掘り、その中で幼虫を育てる
	<i>Bombus</i> sp.	地上もしくは地下、またしばしば古いネズミの巣に巣をつくる；社会性
	<i>Trigona</i> sp.	熱帯地方のミツバチ；北アメリカには産しない
	ミツバチ <i>Apis mellifera</i>	ハチミツ用のハチ；逃げたミツバチは木の穴や家のひさしに巣をつくる

おり、そしてどの方向に位置しているかを知らせるのに、身振つまりサイン言語を使うということである。もしその場所が巣から90 m以上離れていれば、その働きバチは普通暗い巣の垂直面で尻振りダンスをする。このダンスは数字の8の字形で走り、2つの輪の部分が直線になるように行われる。ハチはその直線部に来ると腹部を左右に振る。直線部を走る数が食餌源からの距離を示し、それが120 mの距離にあれば15秒以内に9から10回走るが15秒以内に3回以内走れば750 mの距離にある、というように変化する。食餌源の方向はダンスの直線部の角度によって示される。もしまっすぐ上へ向えば食餌源は太陽の方向にあり、もしまっすぐ下向きならそれは太陽と反対の方向であり、一方垂線からどちらかへ傾いていればその角度で食餌源は太陽から離れている。もし食餌源が巣から90 m以内ならば、働きバチは急速な円舞を行う。この場合、他のハチは方向または距離についてなにも知らされず、ただ近くに豊富な食物のあることだけが示される。→コミュニケーション(動物の)

〔繁殖〕 ハバチ類は幼虫の食餌要求にしたがってその卵を葉、果実、茎あるいは木質組織に産む。寄生区の多くのものと有針区の少数のものは宿主ごとに1個以上の

卵を産みつける。寄生区の一部のものは多胚的で、1個の卵から2つから1,000、あるいはそれ以上の胚が発生する。一般に、多胚発生の結果できる子孫は全部一方の性であるが、例外がないわけでもない。多胚生殖は少数のコマユバチ科、ヒゲナガコマユバチ属 *Macrocentrus* の一部の種、トビコバチ科(*Encyrtidae*)の数属の中の一部、ハラビロヤドリバチ科(*Platygastridae*)のハラビロヤドリバチ属 *Platygastr* のあるもの、カマバチ科の中の1種 *Aphelopus theliaei* にみられる。

この目(?)の中での卵の大きさや産卵数の変異の幅は極めて大きい。大部分の広腰亜目とアシプトコバチ上科ではむしろ数が少なく、10から50個産む。大部分のヒメバチ上科はさらに多く、数百から1,000以上である。進歩した形での食物準備をする一部の亜社会性のハチはわずか6卵くらいしか産まない。大部分の有針類では産卵数は10から75であるが、一部のアリガタバチは明らかに150以上産むことができる。ミツバチは大部分の有針区の中でのたぶん最も多産なものであると思われる。女王は毎日1,500個くらいも産卵することができ、少なくとも3年間にわたって年々20万個もの卵を産む。

寄生区のもの卵は、大なり小なり行き当りばったり、宿主の上またはその中に産みつけられるが、有針区

ではおのおの種は獲物の体の上、また巢内の一定の場所に産卵する。

ハバチ類の幼虫は植食性で、葉の表面か中、茎または木質組織の中にすむ。寄生区の幼虫は宿主の内部で成長するかどうかで内部寄生虫もしくは外部寄生虫のどちらかとなる。大部分のヒメバチ科のように1匹の宿主に1匹の幼虫がつけば孤独性、また多くのコマユバチ科やアシトコバチ上科のように1匹の宿主に2匹以上の幼虫がつけば群集性、というように分類されることもある。大部分のスズメバチ類やジガバチ類の幼虫は肉食性で、母親によってまひされ蓄えられた昆虫とかクモを食べる。ミツバチやハナバチの幼虫は母親によって蓄えられた花粉と花みつの混合物を食べるが、社会寄生性のもは初齢幼虫の間は宿主の卵あるいは若い幼虫を捕食し、のちに花粉とみつのだんごを食べる。大部分の有針区幼虫の胃は幼虫時代の大部分の間閉じているので、老廃物は幼虫生活の終りに胃と腸の結合部が開くまで排出されない。ジガバチ科の中のコシボソハナバチ亜科(Pemphredoninae)とハキリバチ科のような少数の幼虫はこの結合部が幼虫生活の初期に開き、最後の3つの齢の間に触尿(糞)の小塊を排出する。

寄生区や有針区の中の社会寄生性のハチの多くでは、初齢幼虫は細腰亜目の成熟幼虫とよく似た典型的なウジムシ形であるが、のちの齢とは外観や行動が非常に異なり、いわゆる過変態がみられる。過変態を示す細腰亜目の種の中には少なくとも10の異なる基本的な幼虫型がある。まれには2齢幼虫が初齢と3齢のどちらとも外観を異にすることがある。

幼虫の齢数については、信頼できる資料が少ししかない。かなり不十分な報告によるものではあるが、有針区のいろいろなグループで、3または4齢を数えるという。

絹糸でできたまゆは膜翅目全体を通じて一般に広くみられるが、大部分のアシトコバチ上科、タマバチ上科、一部のアリ上科(Formicoidea)ではまゆはみられず、残りの有針区全体では種によってところどころこれを欠く。まゆは少数のハバチ類やスズメバチ類の場合のように絹の2層からなることもあるが、一般には1層である。またまゆが単なる絹のふただけのこともある。まゆにはしばしば他の物質が混ぜ込まれている。幼虫は胃からの分泌物を絹にしみ込ませるので、まゆの壁はもろくて光沢のあるものとなる。砂、泥、あるいは獲物の断片などがまゆの絹に混ざっていることがある。まゆをつくる膜翅目のほとんど大部分は、口器を通して下唇(顎)腺から絹糸を出す。アシトコバチ上科では絹はマルピーギ管でつくられ、それを肛門(肛)から出してまゆをつくる。

**経済上重要な種** 多くの膜翅目は経済上重要で、有益なものや有害なものとの両方が含まれる。表2に列挙した種は特に述べていない限り主として日本産である。和名のあるものはこれを示し、おのおの種についてその重要性を簡単に説明してある。→応用昆虫学

### 系 統

化石膜翅目の最も古いものはジュラ紀中期から知られている。これらの地層からは広腰亜目と寄生区だけしか知られていない。有針区が欠けていることは、たぶんこの仲間が寄生区から進化したとする考えを立証するものと思われるが、しかしそれはみかけだけで、ただ化石の記録が貧弱なためかもしれない。残念ながらこれら化石ハバチ類の翅脈は非常に特化しており、この目の派生進化に関して手がかりを与えてくれない。一般的な考え方としては、膜翅目は脈翅目とその他の近縁な目を派生させた祖先型から起ったものであろうとされている。第三紀にまでさかのぼるバルトコハクはたくさんのアリやミツバチ類および他の膜翅目を保存している。そこにみられるミツバチ類はすべていまは滅亡した属の種であるが、一部のアリは現存する種と同じだと考えられている。 [KARL V. KROMBEIN 井上 寛]

## マクスウェル

[Maxwell (unit)] 磁束のcgs電磁単位系における単位。まず、磁束密度(磁気誘導)は次の式で定義される。

$$B = F / I l \sin \theta$$

ここに  $F$  は、磁束  $B$  と  $\theta$  の角をなし、電流  $I$  が流れている長さ  $l$  の電流導体に働く力である。 $B$  のcgs単位は、dyn/A cm となり、ガウスと呼ばれる。→ガウス；磁気誘導；磁束

電磁単位系では、磁束密度を表す磁束は、磁束  $B$  に垂直な  $1 \text{ cm}^2$  当りの平面を通りぬける線の数が、 $B$  の値に等しくなるように選ぶ、と定義する。この定義に従えば、マクスウェルは誘導磁束線の1本に対応することになる。したがって、1ガウスは1マクスウェル/cm<sup>2</sup>である。→単位と標準(電気) [KENNETH V. MANNING]

## マクスウェルの方程式 — ほうていしき

[Maxwell's equations] マクスウェル (James Clerk Maxwell) によって1864年に提案された電磁波の理論の基礎をなす4つの微分方程式をいう。これらはベクトル記法を用いて式(1)~(4)と書かれる。

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{i} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (4)$$

ここに、 $\mathbf{D}$  は電束密度、 $\mathbf{B}$  は磁束密度、 $\mathbf{E}$  は電場の強さ、 $\mathbf{H}$  は磁場の強さ、 $\rho$  は電荷密度、 $\mathbf{i}$  は電流密度である。

式(1)は電束線が端点をもつとすれば、電荷のところでもつということを述べている。式(2)は磁束線は端点をもたないことを示している。式(3)はファラデーの電磁誘導の法則の表現の1つである。この法則は「回路を貫く磁束の減少率は誘導起電力すなわちその閉回路についての  $\mathbf{E}$  の線積分に等しい」と表され、式(5)が成立つ。

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \int_S \nabla \times \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS \quad (5)$$

ただし、 $S$  は閉回路  $C$  を周辺とする任意の曲面、 $\mathbf{n}$  は面  $S$  に垂直な単位ベクトルであり、また第3の面積分は第2の線積分からストークスの定理により導かれる。式(5)は任意の面  $S$  について成立つから面積分の被積分量は等しく、式(3)を得る。第4式は定常電流についてのアンペールの実験に部分的に基づいたものである。この実験によれば、磁場の強さ  $\mathbf{H}$  (すなわち  $\mathbf{B}/\mu$ 、 $\mu$  は透磁率)の閉曲線  $C$  についての線積分は、この閉曲線に鎖交して流れる電流に等しい。この電流は電流密度の法線成分を閉曲線  $C$  を周辺とする面  $S$  上で面積分したものに等しいから式(6)が成立つ。

$$\int_S \mathbf{i} \cdot \mathbf{n} dS = \oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = \int_S \nabla \times \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} dS \quad (6)$$

ストークスの定理を用いて第2の線積分を第3の面積分に変換した。面  $S$  は任意であるから面積分の被積分量は等しく、 $\partial \mathbf{D} / \partial t$  の項を除いて式(4)を得る。電荷が蓄積してもよい所では、変動する電流が連続の方程式を満足するためには  $\partial \mathbf{D} / \partial t$  の項が必要であることをマクスウェルは示した。すなわち、電荷が保存されるならば、連続の方程式はある領域内の電荷の増加率はこの領域内に流入する電流に等しいことを要求するから、式(7)が成立つ。

$$\nabla \cdot \mathbf{i} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

式(4)のdiv(発散)をとり、式(1)によりDを消去すれば、 $\text{div} \cdot \text{rot} = 0$ であるから式(7)を得る(rot:回転)。量 $\partial D/\partial t$ は変位電流と呼ばれる。→ストークスの定理;変位電流;連続の方程式

直角座標 式(1)~(4)の成分を直角座標で書けば、式(8)~(11)を得る。

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \rho \quad (8)$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial E_{z,x,y}}{\partial u_{y,z,x}} - \frac{\partial E_{y,z,x}}{\partial u_{z,x,y}} = -\frac{\partial B_{x,y,z}}{\partial t} \quad (10)$$

$$\frac{\partial H_{z,x,y}}{\partial u_{y,z,x}} - \frac{\partial H_{y,z,x}}{\partial u_{z,x,y}} = i_{x,y,z} + \frac{\partial D_{x,y,z}}{\partial t} \quad (11)$$

式(10), (11)では、考えている成分に応じて、1, 2または3番めの添字を各項を通じて用い、また $u_x, u_y, u_z$ はそれぞれ $x, y, z$ に等しい。

単位の比 マクスウェルの時代には、H, Bを測るには電磁単位E, Dの測定には静電単位が用いられ、両系における電荷の単位の比はcであった。このために式(3), (4)の右辺には係数1/cが掛る。真空中ではiはゼロであるから、式(3)のrotをとり、式(4)を用いてrot Bを消去すれば、式(12)を得る。

$$\nabla \times \nabla \times E = -\nabla^2 E = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (12)$$

式(1)が式(2)に等しいのは真空中では $\nabla \cdot E$ がゼロだからである。これは速度cの波に対する微分方程式である。よって、<光速は電荷の電磁単位と静電単位との比に等しい>というマクスウェルの予言を実験的に検証することが光の電磁波説を証明することになる。→単位と標準(電気);電磁放射;波動方程式;光

伝導性媒質 媒質の伝導率を $\gamma$ とすれば、オームの法則により式(4)の電流密度iは $\gamma E$ で置換えられる。この置換えをし、さらにHとDを $B/\mu$ と $\epsilon E$ で置換えれば、式(3)を用いて式(4)のrotからrot Eを消去して、減衰波に対する微分方程式(13)を得る。

$$\nabla^2 B = \mu \gamma \frac{\partial B}{\partial t} + \mu \epsilon \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \quad (13)$$

BをEで置換えてもこの式は成立つ。γがεに比べて非常に大きいときには右辺の第2項は落ちて、式(13)は渦電流に対する微分方程式となり、表皮効果や誘導加熱の計算に用いられる。

屈折率 γがゼロのときには、式(13)の解は速度が $(\mu\epsilon)^{1/2}$ の非減衰波を表す。光学において、媒質の屈折率は真空中の光速と媒質中の光速との比で定義される。したがって、マクスウェルの理論により、屈折率nは媒質の透磁率と誘電率を用いて式(14)で表される。

$$n = \frac{c}{v} = \left( \frac{\mu\epsilon}{\mu_0\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (14)$$

ただし、 $\mu_0$ と $\epsilon_0$ は真空の透磁率と誘電率、vは媒質中の光速である。強磁性体を除く物質に対しては、μは近似的に $\mu_0$ に等しいからこれらは打消し合う。誘電率εは周波数の関数であるからその静的な値を用いるのには注意を要する。ただし、無線周波数領域では静的な値でよいことが多い。→波の屈折

積分型 ある点では、微分型の式(1)~(4)よりも、その積分型の方が物理的概念が明らかである。式(5), (6)を用いれば、マクスウェル方程式は式(15)~(18)と書ける。

$$\int D \cdot ndS = \int \rho dv \quad (15)$$

$$\int B \cdot ndS = 0 \quad (16)$$

$$\oint E \cdot ds = -\frac{\partial}{\partial t} \int B \cdot ndS \quad (17)$$

$$\oint H \cdot ds = \int \left( i + \frac{\partial D}{\partial t} \cdot n \right) ds \quad (18)$$

ローレンツ不変性 マクスウェル方程式の形は、互に一樣な並進速度で動いている座標系の観測者すべてに対して同じである。観測される場の値やρ, i, ε, μの値は全く異なってもよい。ときには、ローレンツ変換を用いてこれらの場の1つを完全に消去し、それによって計算が非常に簡単となる。→ベクトル計算;ローレンツ変換

[WILLIAM R. SMYTHE]

### マグネシウム

[Magnesium] 元素の1つで、元素記号Mg, 原子番号12, 原子量24.312。周期表IIa属の金属元素である。マグネシウムは銀灰色で極めて軽い(比重は1.74)。軽くしかも構造材料として多くの用途に適した強度をもつため、最も軽量の構造材用金属としてよく知られている。

Ia																VIIb 0					
1	H															1	2				
3	Li Be															5	6	7	8	9	10
11	Na Mg															13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86				
87	88	89	104																		

ランタニド系列

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

アクチニド系列

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

マグネシウムは、アルミニウムに比べてもわずかに3分の2の密度をもつにすぎないので、重量節約が重要となる数多くの用途をもっている。しかしこの金属はまた、各種の非構造材としての応用面にも、数多くの用途を約束する好ましい化学的および金相学的性質をもっている。

産出 マグネシウムは自然界に多量に存在し、苦灰石、リョウ(菱)苦土石、カンラン石、ジャ(蛇)紋岩などの多くの造岩鉱物に含まれており、相当量産出する。このほかマグネシウムは、海水中、地下のブラインおよび岩塩鉱床中にも見いだされている。マグネシウムは地殻の2.5%を占めると推定されており、この量は8番めに多い元素で、6番めに多い金属元素ということになる。これは構造材用金属としては、アルミニウムと鉄について3番めに多い。

マグネシウムを含む鉱物は天然に60種以上もあるが、マグネシウムとその塩類の製造上、経済的に重要なものはまったくの少数にすぎない。すなわち、水滑石、苦灰石、リョウ苦土石、天然のブライン、海水、苦汁(苦)などである。カンラン石やジャ紋岩も潜在的には大きな資源であるが、マグネシウム化合物の生産に広くは使用されていない。マグネシウム鉱石で埋蔵量の大きなものは、アメリカ各地をはじめ、オーストラリア、ブラジル、カナダ、チェコスロバキア、ギリシア、インド、中国東北部、ソ連、ベネズエラ、ユーゴスラビアに見いだされている。→苦灰石;水滑石;菱苦土石

歴史 デービー(Sir Humphry Davy)が1808年にマグネシウムを発見したものと一般に信じられている。彼はmagnesia albaと呼ばれる化合物(主としてMgOからなる)が新しい金属の酸化物であることを確認した。デービーは、カリウム蒸気を熱した酸化マグネシウムに通じ、生成したマグネシウムを水銀で抽出した。彼はまた水銀を陰極として硫酸マグネシウムを電気分解した。い

表1 世界のマグネシウム生産高(ショートトン)

国名	1962	1963	1964	1965	1966	1967
カナダ	8,816	8,904	9,353	10,108	6,723	8,685
中国*	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
フランス	2,392	1,981	1,100	3,131	3,770	4,597
西ドイツ	550	550	550	550	220	220*
イタリア	6,288	6,092	6,645	6,959	7,165	7,300
日本	2,301	2,689	3,237	4,172	5,832	7,000
ノルウェー	16,400	22,700	24,300	29,134	31,195	32,000
ソ連*	35,000	35,000	35,000	36,000	40,000	45,000
イギリス	5,559	5,219	5,500	5,925	4,145	—
アメリカ	68,955	75,845	79,488	81,361	79,794	97,406
世界総計	147,261	159,980	166,173	178,340	179,844	203,208

\*推定値。  
(Based on information from Metal Statistics, 1969, The American Metal Market)

ずれの場合も彼はマグネシウムをアマルガムの形で得たが、金属マグネシウムを実際にどの程度まで得たかについては明らかでない。マグネシウムを初めて単離したのはフランスの科学者ビュッシー(A. A-B. Bussy)で、無水塩化マグネシウムを金属カリウムとともに溶融して、事実上純粋なマグネシウムを得た(1828)。ファラデー(Michael Faraday)は、1883年にボルタ電池を使って塩化マグネシウムの融液を電気分解することにより、初めて電気化学的にマグネシウムを得た。1952年にブンゼン(R. Bunsen)は中空の炭素製陰極のついた電解槽(釜)を設計したが、この槽は金属マグネシウム融液が生成して空気と接触したとき、その燃焼を防ぎながらマグネシウムを集積するのに役立つ。

**金属の製造** マグネシウム製造には、2つの主要な方法が世界中で使われている。すなわち、電解法と熱還元法である。海水からは電解法で製造される。熱還元法は、フェロシリコン法とも呼ばれ、原料として苦灰石が用いられる。

世界各国のマグネシウムの年産額を表1に示す。これらのデータはアメリカ鉱山局の公刊に基づいたものである。

**〔電解法〕** この方法の基礎になるのは、塩化マグネシウムが電解によって塩素と金属マグネシウムを生成する反応である。鉱石類や天然ブラインも原料として使われてきたが、主要な原料は0.13%のマグネシウムを含む海水である。このかなりの含有量と、効率的で経済的な抽出法が進歩したことから、世界のマグネシウムの供給は無限と考えられる。例えば、もしマグネシウムが100万年の間、年間1億tの消費ペースで海水から抽出されたとしても、海水中のマグネシウム濃度は0.12%に低下するだけである。海水からのマグネシウム抽出法をFig. 1に

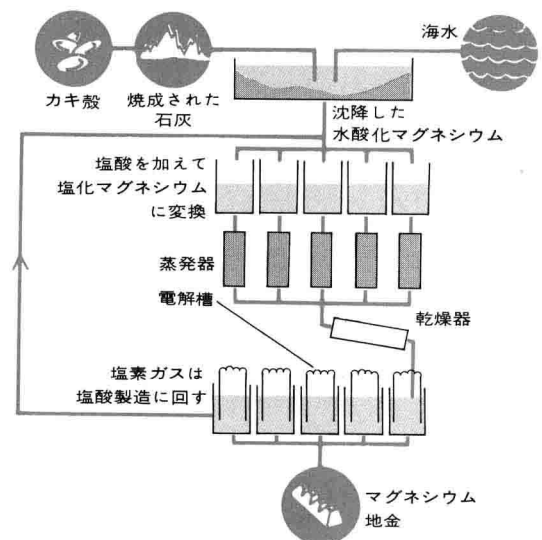


Fig. 1 海水からのマグネシウム電解抽出工程図

示す。海水は大きな静置槽にくみ入れ、石灰石(または海底からかき取ったカキ殻)を焼成して得た石灰と混合する。マグネシウムは石灰によって不溶性水酸化マグネシウムに変え、こし分ける。この水酸化物は合成塩酸で処理されて、塩化マグネシウム溶液となる。水分は蒸発によって除去され、無水の塩化マグネシウムが電解槽に供給されて、金属マグネシウムと塩素に分けられる。塩素は塩酸の製造に回し、マグネシウムは鑄込んで地金にする。→電気や金

**〔熱還元法〕** フェロシリコン法は実験的に最初ドイツで始められたが、工業的には第2次大戦中カナダのピジョン(L. M. Pidgeon)によって開発された。Fig. 2の工程図は各段階を絵で示してある。ケイ素と鉄の合金であるフェロシリコンを苦灰石と混合して、小さな塊に加压成型する。これを鋼鉄製レトルトに入れ、真空下約1,200°Cに加熱蒸留する。苦灰石の焼成によって生成した酸化マグネシウムはケイ素によって還元され、金属マグネシウムの蒸気となるが、炉から突出したレトルトの冷端で凝縮する。この工程ではマグネシウムをレトルトから結晶として取出し、次に溶融して地金にする。

**性質** 金属としてのマグネシウムの性質は、物理的および化学的の2つに分けるのが最善である。前者を表2に示す。これらの性質の多くは、マグネシウムにその用途のいくつかを決定づけるほどの独特の品質を与えている。

マグネシウムは、金属の起電力系列の上位にあることからわかるとおり、化学的反応性に富んでいる。実際に沸騰水から水素を置換するし、多くの金属が、その塩類や酸化物をマグネシウムで熱的に還元することによってつくられる。この金属はたいいていの非金属と結合し、

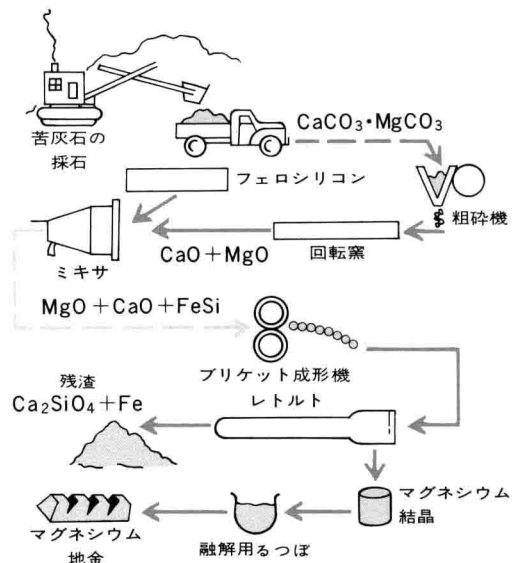


Fig. 2 フェロシリコン法による苦灰石からのマグネシウム抽出工程図

表2 1次マグネシウム(純度99.9%)の物理的性質

性質	数値
原子番号	12
原子量	24.312
原子容(cm <sup>3</sup> /g-atom)	14.0
結晶構造	六方密充てん
格子定数	
a <sub>0</sub>	3.203Å
c <sub>0</sub>	5.199Å
軸比(c/a)	1.624
自由電子の原子内配置	(2)(8) 2
同位元素の質量数	24, 25, 26
<sup>24</sup> Mg, <sup>25</sup> Mg, <sup>26</sup> Mgの存在比	77, 11.5, 11.5
密度(g/cm <sup>3</sup> ), 20°C	1.738
比熱(cal/g/°C), 20°C	0.245
熱伝導度(cal/cm <sup>2</sup> /°C/sec), 20~100°C	0.367
熱拡散率(cm <sup>2</sup> /sec)	0.87
熱膨張係数(/°C), 20~100°C	0.0000261
融点(°C)	650
沸点(°C)	1110±10
融解熱(cal/g)	88±2
蒸発熱(cal/g-mol)	1260±30
燃焼熱(cal/g-mol)	145,000
電気比抵抗(μΩ cm), 20°C	4.46
電気伝導度, 20°C	
容積%, 焼鈍銅標準	38.6
質量%, 焼鈍銅標準	198.0

純クロム酸とフッ化水素酸を除く、事実上すべての酸と結合する。マグネシウムはたいていのアルカリと多くの有機薬品、すなわち炭化水素、アルデヒド、アルコール、フェノール、アミン、エステルおよびほとんどの油脂と、ごくわずかに反応するか、またはほとんど反応しない。触媒としてマグネシウムは、有機反応における縮合、還元、付加、脱ハロゲン反応を促進するのに役立つ、いわゆるグリニャール反応による複雑な、または特殊な有機化合物の合成にも用いられてきた。合金形成金属の主要なものに、アルミニウム、マンガ、ジルコニウム、亜鉛、希土類、トリウムがある。これらの組合せによって、砂型、固定型、ダイカスト、押し出し、鍛造に適した、また室温や高温において優れた機械的強度をもつ薄板や厚板などに適したマグネシウム合金がつくられる。機械的性質については〈項目〉マグネシウム合金を参照。→グリニャール反応

**加工性** 優れた機械加工性は、マグネシウムの目立つ特長の1つである。この金属は、普通に使われる他の多くの材料において可能な以上に、高速で、より多量に、より深い切込みで機械加工することができる。

マグネシウムは、実用化されているどんな金属加工法によっても鋳込みができ、工作をすることができる。この金属は砂型、固定型を使って、また十分大量の処理が必要なときに利用されるダイカストによっても鋳込みをすることができる。あまり一般的方法でないセッコウ型、遠心式、シェルモールド法、被覆法などによっても鋳込むことができる。

マグネシウムは薄板や厚板に巻取られ、柱状、棒状、管状、その他、ほとんどあらゆる種類の構造および特殊形態に押し出成形される。深絞り、浅絞り、延伸、曲げ、回転および衝撃押し出しなどが、マグネシウムの加工に使用される代表的な成形操作法である。

マグネシウムの鍛造は、他の金属におけるのと同様と同じ方法で行われる。プレスもハンマーも使われるが、前者の方が一般的であるのは、マグネシウムの物理構造が鍛造プレスの押し出し操作によく適合しているためである。

マグネシウム製部品は、ガス封入アーク溶接、電気抵抗スポット、継目溶接法、接着剤法、びょう打ちなどの一般的方法のうちのいずれかによって接合することができる。ロウ付けとガス溶接は他の方法ほど多くは使われないが、これらもやはりマグネシウムの接合に適している。→金属成形

**用途** マグネシウム工業の近代的発展によって、こ

表3 主要なマグネシウム化合物の用途

化合物	用途
炭酸マグネシウム	耐火物、他のマグネシウム塩の製造、水処理、肥料
塩化マグネシウム	金属マグネシウム製造用原料、オキシ塩化物セメント、冷凍用フライン、有機化学の触媒、他のマグネシウム化合物の製造、凝集剤、防火耐火処理、マグネシウムの溶融および溶接のフラックス
水酸化マグネシウム	化学薬品中間体、アルカリ用、薬剤
酸化マグネシウム	絶縁材、耐火物、オキシ塩化物およびオキシ硫酸塩セメント、肥料、人造繊維処理、水処理、製紙、家屋洗剤、アルカリ用、医薬品、ゴム充てん材、触媒
硫酸マグネシウム	革なめし、紙のサイジング、オキシ塩化物およびオキシ硫酸塩セメント、人絹つや消し剤、繊維染色用、薬剤、肥料、家畜飼料添加剤、窯業製品、爆薬、マッチ製造

の軽量金属の有用な分野が大いに広がってきた。興味ある有用な性能をもった新しい合金があり、また新しく改良された製造技術もある。マグネシウム合金は、構造材および非構造材として使用される。構造材としての用途の大部分は、まず第1に、機体、エンジン部品などの航空機工業へのものである。最近では価格と供給事情がよくなって、この合金の用途は、材料処理装置、手さげかばん、写真および光学機器、芝刈機、携帯工具、その他に広がった。

非構造材としての用途には、アルミニウム、亜鉛など、ある種の非鉄合金における合金生成元素としての応用が含まれる。マグネシウムはまた、ニッケルおよび銅の合金製造における酸素除去剤として使用される。純マグネシウムの場合とアルミニウムを30%以上含む合金の場合とがあるが、いずれも超微粉碎された形で火花の製造に利用される。他の金属の陰極電気防食にマグネシウムが使われていることはよく知られるようになったが、主として家庭用ボイラや配管に関係するものが多い。この金属は長寿命の乾電池にも使われる。ねずみ銑の工場では、取りなべへの添加剤としてマグネシウム合金が鋳込み直前に加えられる。これによって、黒鉛粒はくびれて、鋳鉄の性質が格段と改善される。マグネシウムは強力な還元剤で、チタン、ジルコニウム、ベリリウム、ウラン、ハフニウムの製造に使われる。マグネシウムは急速でしかも調節のきく食刻性があり、そのうえ軽いので、写真製版の分野に広く利用されている。

**主要化合物** マグネシウム化合物は工業と農業に広く使用される。重要な化合物は、炭酸塩、塩化物、水酸化物、酸化物、硫酸塩で、これらは数トンのオーダーで生産され使用されている。その他のマグネシウム化合物、すなわち臭化物、硝酸塩、リン酸塩、酢酸塩、一ケイ酸塩、三ケイ酸塩も工業的にかなりの用途がある。

マグネシウム化合物は、工業において極めて重要である。その用途はマグネシウム金属、耐火物、断熱材、肥料、繊維処理、革なめし、製紙、窯業製品、爆薬、医薬品に及んでいる。表3には主要なマグネシウム化合物と、比較的重要ないくつかの応用例を示した。

有機と無機を問わず、各種の工業的目的に使用されるマグネシウム化合物はこのほかにもいくつかある。すなわち、化学用試薬、医療用薬品、触媒、軟質研磨材などである。 [WILLIAM H. GROSS]

**マグネシウム合金** —ごうきん

[Magnesium alloys] マグネシウムを主体とする合金。マグネシウム合金に用いられる重要成分は、アルミニウム、亜鉛、マンガ、ジルコニウム、希土類、トリウムである。マグネシウム合金の比重は1.74~1.83の範



囲にあり、アルミニウム合金に比べて2/3である。このように比重が小さいので、航空機構造材、輸送機関、工業用工具や装置類に用いられる。

金属マグネシウムの歴史、製法、性質、用途などについては〈項目〉マグネシウムを参照。

マグネシウム合金を初めて構造用材に使用したのは、1910年のドイツで、エレクトロン(Elektron)という商標のものであった。第1次世界大戦に際して多くの金属供給が窮乏したことから、この合金は急速に使用されるようになった。1920年以前はこの合金の成分元素は亜鉛だけだったが、1920~1930年代にかけてドイツおよびアメリカで研究が進み、主合金成分としてアルミニウムが使われ、亜鉛は第3元素として添加されたりされなかったりするようになった。また、耐食性を増すためにマンガンが0.1%程度加えられた。一方、他のマグネシウム合金として、マグネシウム-マンガン合金が開発された。マグネシウムの使用は特に第2次大戦時に急増した。

**市販合金** 第2次大戦中広く使用されたのはMg-Al-Zn合金であり、次いでMg-Mn合金であった。これは現在でも変わらない。表1に主要マグネシウム合金の組成を示す。Mg-Al-Zn合金は、砂型、金型ならびにダイカストの鋳物、押出し材、圧延材、および鍛造材などの形で製造される。そのほかセッコウ型鑄造、遠心鑄造、シェルモールド、インベストメント鑄造法などによっても製造される。合金の性質は熱処理によって変化する。砂型および金型鋳物は、主に溶体化処理あるいはそれに人工時効処理を施して使用される。延性が必要なときは溶体化処理、強さが必要なときは人工時効処理をする。ダイカストは鑄造のまま使用される。板材は焼なましのまま、および必ず硬化と部分的に焼なましして製造される。

1940年代にはMg-Al-Zn系とは別に、Mg-Zn-Zr合金が開発された。ZK51A合金は、砂型および金型鋳物で強度も延性ともに優れている。ZK60A合金も押出しや鍛造状態で同様である。いずれも人工時効処理して使用する。展伸用素材は直接急冷連続鑄造によって製造する。ZK60A合金を鑄造でなく、粉末(粒子径約350μ)押出し法によって製造したものは、圧縮降伏強さが非常に優れている。

板材にはZE10A合金が用いられる。この合金はAZ31B合金と異なり、溶接後に応力除去をする必要がない。強度、溶接性および溶接効率が優れているため、大型構

造材としての使用も可能である。

以上述べた合金はいずれも昇温、特に150°C以上になると、急激に強度が低下する欠点を有する。この対策として考えられたのが希土類元素の添加であり、EZ33A合金が代表的なものである。すなわち、希土類元素の混合物(ミッシュメタル)を添加した本合金は、砂型および金型鋳物として人工時効処理すると、150~230°Cの使用に耐えるようになる。

ミッシュメタルの代りに個々の希土類元素を添加しても、強度が非常に改善される。最も効果的なのは、約85%のネオジムと約15%のプラセオジムの混合物であり、これを添加したのがQE22AとEK31Aの2種の鋳物である。いずれも溶体化処理後、人工時効処理して使用する。これらの成分および性質を表1と2に示す。これらのクリープ強度はEZ33Aと大差ない。耐熱性に優れ、150~315°Cの使用に耐える。さらにQE22Aは、他のマグネシウム合金に比べ室温およびやや高温での降伏強さが最も高く、したがって用途も広い。EK31Aも鍛造材として有用である。

マグネシウム合金の使用温度範囲は、トリウム添加によってさらに拡大された。Mg-Th合金は370~480°C以上まで使用に耐える。トリウムを含む合金は表1に示すとおりである。高温特性の中で特に重要なのはクリープ抵抗である。トリウムと希土類を含むマグネシウム合金はクリープ抵抗が大である。また構造材として重要な性質は弾性率であるが、これも広い温度範囲にわたって優れている。比重が小さいことと相まって、マグネシウム合金は靱性(靱 ことわき)の重量に対する比が大きいく、構造材として有利である。

マグネシウムは他の構造材に比べ、機械振動を吸収する能力、すなわち減衰容量が大であるが、これの有用性についてはあまり知られていない。一般に合金元素の添加によってこの性質は低下するが、新合金K1Aは減衰容量、強度、鑄造性ともに優れた合金である。K1Aは砂型、金型、ダイカスト鑄造によって製造され、鋳物のまま使用に供される。

**合金調整** 鋳物用であれ展伸用であれ、合金の調整はまず溶解して鉄るつばに鑄込む。溶解炉は誘導加熱炉、セラミックスで内張りした反射炉またはマッフル炉である。溶剤はアルカリとアルカリ土類ハロゲン化物との混合物である。元素のまま加える合金成分は、Al, Zn, Th, ミッシュメタルである。Mn, Zrは塩化物、フッ化物の溶融塩として添加し、これらはMgによって還元される。Th, Zrを約20~35%含むMg母合金として添加してもよい。ダイカストの場合は酸化を抑えるため0.0003~0.001%Beを添加する。

Mg-Al-Zn合金は、過熱するか、炭素を含む物質を添加すると組織が微細化する。Zrを含む合金は本来、微細化している。溶融マグネシウム合金を鑄型に移す場合には、鋼管を通してポンプで流す。

**成形性** マグネシウム合金は普通の加工法で成形できる。すなわち、スタンピング、絞り、コイニング、スピニング、押出し、鍛造などである。鍛造にはプレスとハンマのうち、前者の方が適している。

マグネシウム合金は切削性がよい。他金属の場合よりも切削速度、送り、切込み深さのいずれもが大きくできる。

マグネシウム合金の接合も容易である。不活性ガス、シールドアーク、通電溶接、圧着、リベッティングなどが普通に使われる。ときにはロウ付けやガス溶接も採用されている。

マグネシウム合金の表面仕上にはいろいろの方法がある。表面を化学的または電気化学的に処理して、保護膜または塗装可能な面に仕上げるができる。さらに塗装、電気メッキ、陽極処理、プラスチッククラッドが可能である。

**用途** 近年の合金開発、保護表面仕上、成形技術、1次生産能力の発展によって、軽量マグネシウム合金の

表1 マグネシウム合金の化学組成(%)\*

合金	Al	Mn(最少)	希土類	Th	Zn	Zr
AZ10A	1.3	0.2			0.4	
AZ31B	3.0	0.2			1.0	
AZ61A	6.5	0.15			1.0	
AZ63A	6.0	0.15			3.0	
AZ81A	7.5	0.13			0.7	
AZ80A	8.5	0.15			0.5	
AZ91B	9.0	0.13			0.7	
AZ91C	8.7	0.13			0.7	
AZ92A	9.0	0.10			2.0	
EK31A			3.0†			0.6
EZ33A			3.0*		2.7	0.6
HK31A				3.0		0.7
HM21A		0.45		2.0		
HM31A		1.2		3.0		
HZ32A				3.0	2.1	0.7
K1A						0.7
M1A		1.2				
QE22A‡			2.0†			0.7
ZE10A			0.17*		1.2	
ZH62A				1.8	5.7	0.7
ZK51A					4.6	0.7
ZK60A					5.7	0.55

\*残部はマグネシウム。

†希土類金属はネオジムとプラセオジムの混合物量で示す。

\*希土類金属はミッシュメタルで示す。

‡2.5%Agを含む。