久保健雄、大橋一晶、竹内秀明
澤田美由紀、上川内あづさ、名取俊二

ミツバチの分子社会生物学

ミツバチの世界には非常に興味深い生命現象が数多く知られている。しかし、遺伝学が利用できるショウジョウバエとは異なり、ミツバチが分子生物学の対象として捉えられることはこれまでほとんどなかったといってよい。発生生化学が発達した今日、ミツバチは、社会性や個体間コミュニケーション、脳、進化といった生物学の重要な問題を分子レベルで解明するための格好の材料になるのではないだろうか。ここでは、ミツバチの社会性に関する2つの問題を抽出し、その解明の試みについて紹介したい。

Molecular Sociobiology of the Honeybee

*Takeo KUBO, Kazuaki OHASHI, Hideaki TAKEUCHI, Miyuki SAWATA, Azusa KAMIKOUCHI, Shunji NATORI, 東京大学薬学部

ミツバチの社会

——昆虫の社会と脊椎動物の社会の接点

動物の社会においては、異なる行動を示す個体が、その行動に見合う固有の生理状態をもつことがしばしばあり、社会構造の成立の重要な要因になっている。雄と雌の性差や、生殖周期にともなう配偶行動の変化、育児行動をする動物の親子関係、社会性昆虫の“階級（カースト）”などがその例である。こうした社会性の分子的な基盤を理解するためには、行動に見合う生理状態が発現する仕組みとともに、行動が異なる個体の脳のニューロンネットワークがどのように違うのか、について解析することが必要である。このとき、哺乳類に比べて脳の容積が格段に小さいにもかかわらず、多様で精密な個体間分業が見られる社会性昆虫は、優れたモデル動物になると思われる。

社会性昆虫の中でも、最もよく研究されているセイヨウミツバチ (*Apis mellifera* L.; その辺で見かける最も一般的な黄色いミツバチ) の社会を簡単に紹介すると、まずその“コロニー (1つの巣に棲む個体群)”には“カースト (同じ性で、生殖機能や労働に関する多型)”が存在し、同じ雌でも女王蜂と働き蜂は役割が異なる^(1~4)。女王蜂は通常、コロニーに1匹存在し、卵巢が発達し、腹部が長いので容易に他の働き蜂と区別できる。産卵器械のように、1日に自分の体重に匹敵するほどの卵を産むが、自活能力はなく、働き蜂に餌をもらう。働き蜂は、女王蜂と同じ雌であるが、卵巢の発育は抑制されており、頭部の分泌腺 (下咽頭腺) から分泌される蜂乳を幼虫や女王蜂に与えたり、花の蜜や花粉を集める仕事をするほか、巣の掃除や門番、外敵への攻撃を担当する。いったん敵を刺すと、針とともに内臓の一部が脱落して死亡するので、文字通り捨て身の攻撃である。また、花蜜のありかを教え合うために、有名な8字ダンスによるコミュニケーションを行なう。こうした働き蜂の行動は、後で述べるように羽化後の加齢に伴って変化し、“齢差分業”と呼ばれている。一方、雄蜂は春から夏にかけてコロニーの個体数の10%を占めるほどに産出されるが、その役割は専ら女王蜂との交尾で、自活能力はない。

このように、ミツバチの社会ではカーストを構成する個体はあたかも“器官”のように振る舞い、全体で完全な一個体としての機能をもつため、そのコロニーは“超個体”ともたとえられる。

ミツバチの社会がヒトの社会とは異質なものであることはよく指摘されている^(1,5)。ヒトの社会が独立に生殖能力をもつ個人により構成され、脳の活動 (学習など)

で生み出された“文化”であるのに対し、ミツバチのコロニーを構成するのは家族（血縁者）であり、女王蜂のみが産卵能力をもつこと、社会行動のほとんどが本能行動であると考えられるためである。したがって、ミツバチ社会の解析は、文化としてのヒト社会の理解には直接的にはつながらない。しかしながら、先にも述べたように、ヒトを含めた脊椎動物にも見られる基本的な社会構造（性差や親子関係）や、第二性徴にともなう身体と行動の変化などでは、各個体が生理状態に対応した行動を示すことが重要であり、この点で、ミツバチのような社会性昆虫と脊椎動物の社会の成立に同じ力学を見取ることができる。

本稿では、筆者らの研究室で行なっている、ミツバチの行動変化にともなう生理状態の変化の仕組みと、ミツバチの脳で領域特異的に発現する遺伝子に関する研究を紹介し、ミツバチを用いた“分子社会生物学”の試みについて述べてみたい。

育児蜂と採餌蜂の生理状態はどのように違うか？

——齢差分業にともなう下咽頭腺の機能の変化

筆者らは、ミツバチが固有の行動と、それに見合う生理状態をもつ例として“齢差分業”に着目した。ミツバチの働き蜂は、巣作りや掃除、門番、育児、採餌など様々な仕事をするが、その内容は羽化後の加齢にともなう変化することが知られており、“齢差分業”と呼ばれている⁽¹⁻⁴⁾。たとえば、羽化後3～14日目の若い蜂は蜂乳を口から分泌し、巣房に頭を入れて、幼虫に与える育児行動を行なうが、10～26日目の年とった蜂は、巣箱から飛び出し、野山で花の蜜や花粉を採集して持ち帰り、他の個体に与える採餌行動に携わる。

この分業の過程で、様々な生理的な変化が働き蜂の体

に生じる。たとえば、頭部の主要な分泌腺で、口腔につながる下咽頭腺は、蜂乳（ロイヤルゼリーは女王蜂に与えられる蜂乳を指す）の分泌器官と考えられており、育児蜂ではよく発達しているが、採餌蜂では退縮し、代わりに花の蜜のスクロースをグルコースとフルクトースに分解する酵素活性が検出されるようになる^(2,6,7)（図1）。この点に関しては、笹川、佐々木らによる先駆的な報告がある^(2,7)。そこで、筆者らはお二人のグループとの共同研究として、この齢差分業にともなう下咽頭腺の機能の変化を分子レベルで解析することにした。

まず、育児行動を行なっている蜂（育児蜂）と、採餌行動を行なっている蜂（採餌蜂）を行動により分け、下咽頭腺のタンパク質をSDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動で解析した。その結果、両者のパターンは大きく異なることがわかった。すなわち、育児蜂の下咽頭腺では分子量50, 56, 64 kDaの3種のタンパク質が最も主要なタンパク質として検出され、全体の50%以上を占めるのに対し、採餌蜂では50 kDaと64 kDaタンパク質は消失し、56 kDaタンパク質も減少する代わりに、分子量70 kDaのタンパク質が全体の約40%を占める最も主要なタンパク質になっていた⁽⁸⁾。そこで、これらのタンパク質を精製し、構造と発現の解析を行なった。

育児蜂の下咽頭腺ホモジネートから、逆相HPLCと電気泳動により、上記3種類の主要なタンパク質を精製し、抗体を調製して、イムノブロット解析を行なった結果、50 kDaと64 kDaタンパク質は、育児蜂にのみ発現し、採餌蜂では発現しないこと、56 kDaタンパク質は育児蜂で強く、採餌蜂で弱く発現することがわかった。また、ロイヤルゼリータンパク質に対して、先の3種類の抗体を用いてイムノブロット解析を行なったところ、それぞれ分子量が近似する主要なタンパク質と免疫交差することから、育児蜂の下咽頭腺はロイヤルゼリータンパク質を主な産物として合成、分泌すると考えられた。

一方、採餌蜂の下咽頭腺で主に発現する70 kDaタンパク質はロイヤルゼリータンパク質とは対照的に、育児蜂では発現せず、採餌蜂で発現する。また、このタンパク質はスクロースを水解する α -グルコシダーゼそのものであることが精製した70 kDaタンパク質を用いて同定された⁽⁸⁾。したがって、下咽頭腺細胞は、育児蜂と採餌蜂ではまったく異なる機能をもつことがわかった。一般に、細胞の分化が細胞機能に必要な特異なタンパク質を発現する状態として規定されることを考えると、下咽頭腺細胞は分業にともない、異なる2つの分化状態をとることになる。

図1 ■働き蜂の齢差分業にともなう下咽頭腺の機能の変化

分業にともなって下咽頭腺はどのように変化するか？

——単一な細胞レベルでの機能転換

次の興味は、これらのタンパク質の構造およびその遺伝子の発現と働き蜂の分業との関連である。下咽頭腺タンパク質のcDNAを単離した結果、育児蜂が産生する56 kDa タンパク質のcDNAは、432個のアミノ酸からなるタンパク質をコードしており、HanesとSimuthが報告した、ロイヤルゼリーに対する抗体を用いて働き蜂の頭部全体のcDNAライブラリーから単離されたcDNAと同一であることがわかった⁽⁹⁾。また、50 kDa タンパク質と64 kDa タンパク質は、タンパク質部分の構造は同一で、56 kDa タンパク質とアミノ酸レベルで約62%の類似性を示した。これらのロイヤルゼリータンパク質は、構造的に関連したファミリーをなすと思われる(大橋ら、未発表データ)。一方、採餌蜂が発現する70 kDa タンパク質は、ショウジョウバエと蚊の α -グルコシダーゼをコードすると考えられる遺伝子産物とそれぞれ46%, 42%の相同性を示すことが、cDNAの解析から明らかになった⁽¹⁰⁾。

これらのタンパク質の遺伝子発現は、分業にともなうどのように変化するのだろうか。ノザンプロット解析の結果から、50 および 64 kDa タンパク質遺伝子は育児蜂に特異的に発現し、56 kDa タンパク質遺伝子も育児蜂に強く、採餌蜂に弱く発現することがわかった。一方、 α -グルコシダーゼ遺伝子は採餌蜂に特異的に発現していた(図2)⁽¹⁰⁾。したがって、下咽頭腺タンパク質の発現モードの転換は、遺伝子の転写段階で調節を受けていることになる。

下咽頭腺は、左右一対のダクトにそれぞれ十数個の腺

	遺伝子発現のまとめ	
ロイヤルゼリータンパク質	+++	—
50 kDaタンパク質	+++	++
56 kDaタンパク質	+++	—
64 kDaタンパク質	—	+++
α -グルコシダーゼ	—	+++

図2 ■ 単一な細胞レベルでの下咽頭腺細胞の機能転換

細胞が集合してできた分泌腺が多数、ブドウの房のようにした構造をもつ(図1参照)。下咽頭腺の機能転換については、ロイヤルゼリータンパク質を発現する細胞とは異なる細胞が α -グルコシダーゼを発現する可能性と、同一の腺細胞が両方の遺伝子を発現する可能性の2つが考えられる。*in situ* ハイブリダイゼーションの結果では、50 kDa タンパク質のmRNAと α -グルコシダーゼのmRNAはそれぞれ、育児蜂と採餌蜂の下咽頭腺の個々の分泌腺細胞にほぼ均一に発現していた(大橋ら、未発表データ)。分泌腺1個あたりに含まれる細胞の数は、核を染める色素であるDAPI(ジアミノフェニールインドール)で染色してみると、育児蜂と採餌蜂でほとんど変わらないことから、分業の過程で細胞分裂により新しい細胞が出現した可能性は低い。したがって、下咽頭腺細胞は分業にともない、個々の細胞が協調的に機能転換を起こすと考えられる(図2)。

下咽頭腺細胞の機能転換の生物学的意義

現時点では、下咽頭腺細胞の機能転換が分業によるのか、あるいは単に加齢によるのかは不明である。この点についてRöschは、コロニーから若い蜂を除くと、年とった蜂の下咽頭腺が再び発達して育児行動を行なうこと、逆に、年とった蜂を除くと若い蜂が採餌行動をすることを報告している⁽¹¹⁾。今後、こうした実験的に操作したコロニーの働き蜂について、下咽頭腺の遺伝子発現変化を調べる必要がある。また笹川らは、幼若ホルモン(JH)が下咽頭腺の発達と行動の両方を制御する可能性を指摘しており、下咽頭腺タンパク質遺伝子がJHの直接の標的である可能性もある^(7,12)。

下咽頭腺細胞の機能転換が“分化転換”と呼べるかどうかについては、他にも複数の細胞機能に関わる遺伝子を単離し、その発現制御を調べる必要があるが、いずれにしても、行動変化にともなう単一な細胞レベルで機能転換が起こる例は稀である。細胞の分化転換としては、レンズ(水晶体)の再生の際に色素上皮細胞からレンズ細胞が生じる例⁽¹³⁾や、クラゲの横紋筋細胞から、クラゲのほとんど一個体が再生した例⁽¹⁴⁾が有名であるが、これらは形態形成(再生)にともなうものである。ミツバチの下咽頭腺細胞の機能転換は、成虫の行動変化にともなう点で特徴的であり、今後、行動と生理状態の協調的な変化を解析する上で有用な系といえよう。

働き蜂の齢差分業においては、下咽頭腺の他にも、ロウ腺や毒腺の機能の分業特異的な発達指摘されている^(1,2)。また、コロニーから女王蜂を除去した際に、新女

図 3 ■ ミツバチの脳の模式図

図1で下咽頭腺を除くと、このような脳の構造が見えてくる。

王蜂の準備ができていないと、ある働き蜂の卵巣が発達し、未受精卵を産卵し始める“偽女王蜂”が出現することが知られている⁽¹⁾。ミツバチでは、受精卵から雌、未受精卵から雄が生まれるので、このコロニーは早晩滅亡するのであるが、偽女王蜂の出現の際にも、いくつかの器官の機能が変化すると考えられる。変態が終了した成虫で、行動変化にともない生理状態を変化させる方法として、細胞の機能転換はミツバチではよく見られることかも知れない。

昆虫の脳で発現する遺伝子

——高次中枢としてのキノコ体

話が飛んで恐縮であるが、今度はミツバチの脳で発現する遺伝子の話をさせていただきたい。たとえば雄と雌のように、本能行動が異なる個体では、脳のニューロンネットワークが異なると考えるのは自然であろう。こうした個体の脳では、ニューロンネットワークの形成や維持に働く遺伝子の発現に差がある可能性がある。筆者らは、このような観点から、ミツバチの脳の機能の分子レベルでの解析を行なうことにした。

図3はミツバチの脳の模式図である。複眼から入力された視覚情報は視葉 (Optic lobe)、触角から入力された情報は嗅葉 (Antennal lobe) を介して運動ニューロンにつながる経路を形成する。この経路をキノコ体 (Mushroom body) と呼ばれる高次中枢が上位から統合、制御すると考えられている (図4)⁽¹⁵⁾。キノコ体はミツバチでは傘のような部分を2つずつもつ左右一対の構造体で、社会性昆虫で特徴的に発達している。2つの傘の内側には、Kenyon細胞と呼ばれる介在神経の細胞体が集合しており、柄の部分はその軸索が集合してできている。

図 4 ■ ミツバチの脳におけるキノコ体の神経回路

大型の Kenyon 細胞と小型 Kenyon 細胞はそれぞれ異なる感覚神経からの入力を受ける。M5 遺伝子が発現する大型 Kenyon 細胞の細胞体を黒で示してある。

Kenyon 細胞の総数は、働き蜂で合計約 34 万個と算定されているが、その数は女王蜂や雄蜂では働き蜂に比べて3割程度少ない。また最近では、育児蜂と採餌蜂ではキノコ体の構造が異なることも報告されている⁽¹⁶⁾。したがって、ミツバチの示す高次行動の差異は、キノコ体のニューロンネットワークの差異によると考えられ、筆者らは Kenyon 細胞特異的に発現する遺伝子を同定し、行動変化との関連を調べることにした。

キノコ体の大型 Kenyon 細胞に特異的に発現する遺伝子の同定

ミツバチの頭部は比較的大きく、顕微鏡下での手術が可能である。そこで、約1,000匹の働き蜂からキノコ体と視葉を摘出し、全RNAを抽出し、Differential Display法により、視葉 (一般的な神経組織としての対照) に比べてキノコ体特異的に発現する遺伝子を同定することを試みた。Differential Display法は、比較したい組織のRNAについてそれぞれ、オリゴdTを用いて逆転写を行なった後、オリゴdTと任意の配列をもつ10merのプライマーを用いて $[\alpha\text{-}^{32}\text{P}]\text{-dCTP}$ 存在下、PCR (polymerase chain reaction) を行ない、PCR産物をシーケンスゲル上で比較する方法である。この方法で、組織特異的に発現する遺伝子断片 (PCR産物) をオートラジオグラム上でバンドとして検出できる⁽¹⁷⁾。

その結果、視葉に比較してキノコ体に特異的に発現する遺伝子の候補として5本のバンド (PCR産物) を検出した。そのうちの1つをクローニングし、塩基配列を決定したところ、新規なタンパク質の一部をコードすると

図 5 ■大型 Kenyon 細胞特異的な M5 遺伝子の発現

M5 遺伝子が発現するキノコ体の領域と、大型 Kenyon 細胞の細胞体（拡大図）を、模式図で黒で示した。

考えられた。また RT-PCR の結果、この遺伝子 (M5) はキノコ体に強く発現していることが確認された。次に、アンチセンス RNA を用いて *in situ* ハイブリダイゼーションを行なった結果、M5 遺伝子は視葉や嗅葉では発現せず、キノコ体に特異的に発現すること、キノコ体の中でも傘の内側に接した領域でのみ発現し、傘の中央部では発現しないことが判明した (図 5) (竹内ら、未発表データ)。ミツバチの Kenyon 細胞は、細胞体の大きさから 2 種類に分類され、傘の内側に接して大型 Kenyon 細胞、傘の中央部には小型 Kenyon 細胞が存在する。今回の結果、M5 遺伝子は、大型 Kenyon 細胞で特異的に発現することが明らかになった。したがって、M5 遺伝子産物は、この細胞に特異的な機能を担うと考えられる。

ミツバチのキノコ体で領域特異的に発現する遺伝子が単離されたのは、これが初めての例である。今後、M5 遺伝子の発現が行動変化にともなって変化するかどうか調べる必要がある。また、下咽頭腺の機能転換との関連から、分業に伴いキノコ体で発現が変化する遺伝子の同定が重要な課題である。

昆虫の社会行動の分子的基盤にどのようにアプローチするか？

ここで、研究対象としてショウジョウバエとミツバチを比較してみたい。ショウジョウバエのキノコ体はミツバチほど発達しておらず、傘の構造は左右 1 つずつで、神経細胞体の形態的な区別はされない。また性差以外の

個体間分業も見られない。しかしながら、ショウジョウバエは遺伝学が利用できる点で、行動生物学の材料として圧倒的な強みをもつ。実際、ショウジョウバエのキノコ体の形態異常の変異株は記憶障害を示すことが知られており、記憶の座としてのキノコ体の機能が注目されている⁽¹⁸⁾。また、キノコ体の領域特異的に発現する遺伝子のエンハンサートラップライン*が樹立され、キノコ体の機能の分子レベルでの解析の糸口になると期待されている⁽¹⁵⁾。

ミツバチで単離されたキノコ体の大型 Kenyon 細胞特異的に発現する遺伝子のホモログがショウジョウバエで見つければ、ショウジョウバエを用いた遺伝学的な機能解析が可能になる。昆虫の社会性の解析のためには、遺伝学が発達しているショウジョウバエと、行動生物学や脳の神経生理学が発達しているミツバチの双方からのアプローチが有効であろう。しかしながら、社会性や 8 字ダンスなどの高次行動、齢差分業や偽女王蜂の出現のような成虫での行動変化を研究したい場合には、ショウジョウバエでの解析には限界がある。将来的にはミツバチでの遺伝子操作法の開発の必要性も出てくると思われる。

ミツバチ社会の進化の仮説としては、“単独性”から、

* 弱いプロモーターの下流にレポーター遺伝子 (大腸菌の β -ガラクトシダーゼ遺伝子) をつなぎ、P エlement (トランスポゾン) に連結させてショウジョウバエに挿入変異を起こさせる。変異株でのレポーター遺伝子の発現を調べることにより、挿入部位近傍にある遺伝子のエンハンサーを検索する方法がエンハンサートラップ法である。そうした変異株のことをエンハンサートラップラインという。

育児行動を示す“亜社会性”が出現し、同世代の個体が共同して営巣して育児を行なう“疑似社会性”，さらにカーストが出現する“半社会性”を経て，ミツバチのように世代が重複し，カーストをもち，複数の個体が共同して育児を行なう“真社会性”が出現したとするルートが提案されている⁽⁶⁾。したがって，この過程で，新しい行動様式とそれに見合う生理状態が獲得されるとともに，本来1つの個体が保持していた行動様式と生理状態が，順次，それぞれの個体に分配されたと考えられることができる。ミツバチで同定された遺伝子が，近縁の昆虫やショウジョウバエで，どのように保存されているかも興味深い問題であろう。

*

近年の昆虫の分子生物学の進歩により，昆虫と脊椎動物の体制の成立に多くの共通点が見いだされている。ショウジョウバエの発生異常をひき起こす変異株の原因遺伝子として発見された形態形成遺伝子（ホメオティック遺伝子など）は，脊椎動物にも相同遺伝子が見つかり，動物の発生の分子レベルでの理解に大きく貢献した⁽¹⁹⁾。最近では，マウスの眼の形成に働く遺伝子が，ショウジョウバエの複眼の形成にもマスター遺伝子として機能し，その遺伝子を発現した部位に異所性に複眼が形成された例が記憶に新しい⁽²⁰⁾。このような経緯を踏まえて，本稿では，昆虫の社会性の分子レベルでの解析が，ヒトを含めた脊椎動物の基本的な社会構造の理解に役立つのではないかと，という視点から議論を行なった。

社会性昆虫の生態の多様さとその精巧さには眼を見張るものがある。ミツバチの社会性のほんの一端を扱っただけにもかかわらず，“ミツバチの分子社会生物学”というタイトルを選んだのは，分子生物学の新しい対象としてのミツバチ（社会性昆虫）の意義を強調したかったためである。そこには，“社会性”のみならず，“脳”や“個体間コミュニケーション”，“進化”といった分野でも，

肥沃な未開の領域が眠っているように思われる。

謝辞：ミツバチの研究を始めるにあたり，元北海道大学低温科学研究所坂上昭一先生からは貴重なご助言をいただくとともに，玉川大学農学部佐々木正己先生をご紹介いただきました。深く感謝いたします。佐々木先生からは，下咽頭腺の研究対象としての面白さ，研究材料としてのミツバチの取り扱いを教えてくださいました。下咽頭腺の研究の前半は，佐々木先生のグループと笹川浩美先生（現 蚕糸・昆虫農業技術研究所）との共同研究によるものです。心から感謝いたします。また東京大学医科学研究所の伊藤隆司先生には Differential Display のプロトコルを教えてくださいましたこと，深く感謝いたします。最後に，執筆をご推薦いただきました東京大学薬学部長野哲雄先生に心から感謝いたします。

文献

- 1) 坂上昭一：“ミツバチの世界”，岩波新書，1983.
- 2) 酒井哲夫（編）：“ミツバチのはなし”，技報堂出版，1992.
- 3) 大谷 剛：“昆虫社会の進化”，井上民二，山根爽一（編），1993，p. 93.
- 4) 佐々木正己：“社会性昆虫の進化生態学”，松本忠夫，東 正剛（編），1993，p. 206.
- 5) 坂上昭一：“ハチの家族と社会”，中公新書，1992.
- 6) J. Simpson, I.B.M. Riedel & M. Wilding : *J. Apic. Res.*, **7**, 29 (1968).
- 7) H. Sasagawa, M. Sasaki & I. Okada : *Appl. Ent. Zool.*, **24**, 66 (1989).
- 8) T. Kubo, M. Sasaki, J. Nakamura, H. Sasagawa, K. Ohashi, H. Takeuchi & S. Natori : *J. Biochem.*, **119**, 291 (1996).
- 9) J. Hanes & J. Simuth : *J. Apic. Res.*, **31**, 22 (1992).
- 10) K. Ohashi, M. Sawata, H. Takeuchi, S. Natori & T. Kubo : *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **221**, 380 (1996).
- 11) G.A. Rösch : *Z. vergl. Physiol.*, **12**, 1 (1930).
- 12) H. Sasagawa & Y. Kuwahara : *Agric. Biol. Chem.*, **52**, 1295 (1988).
- 13) Y. Itoh & G. Eguchi : *Dev. Biol.*, **115**, 353 (1986).
- 14) V. Schmit & H. Adler : *Cell*, **34**, 801 (1986).
- 15) M.Y. Yang, J.D. Armstrong, I. Vilinsky, N.J. Strausfeld & K. Kaiser : *Neuron*, **15**, 45 (1995).
- 16) G.S. Withers, S.E. Fahrbach & G.E. Robinson : *Nature*, **364**, 238 (1993).
- 17) P. Liang & A.P. Pardee : *Science*, **257**, 967 (1992).
- 18) R.L. Davis : *Neuron*, **11**, 1 (1993).
- 19) W.J. Gehring : *Science*, **236**, 1245 (1987).
- 20) G. Halder, P. Callaerts & W.J. Gehring : *Science*, **267**, 1788 (1995).

お知らせ

東京大学分子細胞生物学研究所ポスドク募集

東京大学分子細胞生物学研究所生理活性物質分野では，新規研究分野開拓のためポスドクを募集します。研究内容は，日本学術振興会未来開拓研究学術研究推進事業研究プロジェクトの一つである「活性天然物の生産とその分子機構解析および生合成工学への応用」に関する研究です。博士号取得（見込）またはそれに相当する研究業績がある者に限ります。

修得技術として，タンパクの精製，遺伝子クローニング一般を必要とします（放線菌を扱えることが望ましい）。なお，詳細については下記にお問い合わせ下さい。

〒113 東京都文京区弥生 1-1-1

東京大学分子細胞生物学研究所生理活性物質 瀬戸治男
e-mail : C00402@sinet.ad.jp, Tel. 03-5684-2617