

オオマルハナバチ，クロマルハナバチのコロニーの成長と飼育技術への応用例

浅田 真一

マルハナバチが日本の施設園芸に登場してから，10年以上が経過し，最近では日本在来種のクロマルハナバチも輸入されるようになってきた．国内でもマルハナバチに関する研究が重ねられ，実用上の問題点も徐々に解決されてきた．神奈川県農業総合研究所の研究グループも，独自の飼育方法に改良を重ね，オオマルハナバチ，クロマルハナバチの継代飼育が可能となり，現在では，製品出荷のための技術開発段階に入っている．さらに施設トマトへの応用研究については，マルハナバチ利用を含め，熱水による土壌消毒，天敵による病害虫の防除，有機質肥料の利用や栄養診断技術などによる環境保全型の作業体系が，従来の栽培方法に比べ省力的であり，収益性も高くなることが実証できた（岡本ら，2002）．

これらの研究を続けてきた中で，上記2種在来種の室内飼育下でのコロニーの成長パターンに関する生態的な特徴を少しずつ整理してきた．本稿では，その中でも，すでに Asada and Ono (2000) で報告したコロニーの成長パターン比較及び，これらの記録から見えてきた応用例の一部として浅田，小野（2002）の内容を解説させていただきたい．

1. コロニーの成長

マルハナバチは，春先に越冬から覚めた女王蜂が，営巣を始め，働き蜂を増やし，コロニーを形成する．繁殖時期になると，雄蜂，新女王蜂が生産され，春から成長してきたコロニーはその一生を終える．交尾を終えた新女王蜂は，越冬後の翌春に営巣を開始する（Sladen, 1912; Alford, 1975）．オオマルハナバチとクロマル

ハナバチについて，この生活史を室内飼育条件下で再現することが可能となった．飼育する女王蜂を野外で採集した場合，その女王蜂の採集前の状態まではわからないが，室内飼育で生まれた女王蜂ならば，確実に営巣初期からの記録が可能である．そこで，オオマルハナバチとクロマルハナバチの室内飼育世代の女王蜂を飼育し，コロニーの成長パターンを比較した．ミツバチの場合，1巣房に1卵が産みつけられ，カストによって巣房の形も異なる．また，巣房の位置も変わることはないで，ガラス張りの観察巣箱を用いれば，各巣房に住所をつけて，追跡観察をすることができる．ところが，マルハナバチの場合，1卵室に複数の卵があり，その卵室のなかで複数の幼虫が孵化し，幼虫室を形成する．また，幼虫室の位置も刻々と変わり，成長に伴ってその部屋が分離する場合もあることから，数日間観察を怠ると巣の形がおおきく変化し，各卵室の追跡調査が出来なくなる．そこで，最初に作られた卵室から番号をつけ，1日から2日ごとに卵室，巣房をスケッチで記録し，形や位置の変わる卵室及び幼虫室の変化を，作られた日から羽化するまで記録する必要がある（図1）．当初はカメラによる記録も試みたが，細部の情報まで記録する必要があるため，スケッチ以上のデータは得られなかった．飼育開始から巣のスケッチを続け，営巣終了後にそのスケッチから各卵室の作られた日と雌雄及び働き蜂，新女王蜂のカストなどのデータに変え，コロニーの成長を解析した．

セイヨウオオマルハナバチ (*Bombus terrestris*) では，Duchateau (1991) でコロニーの成長パターンが示されている．今回調べた

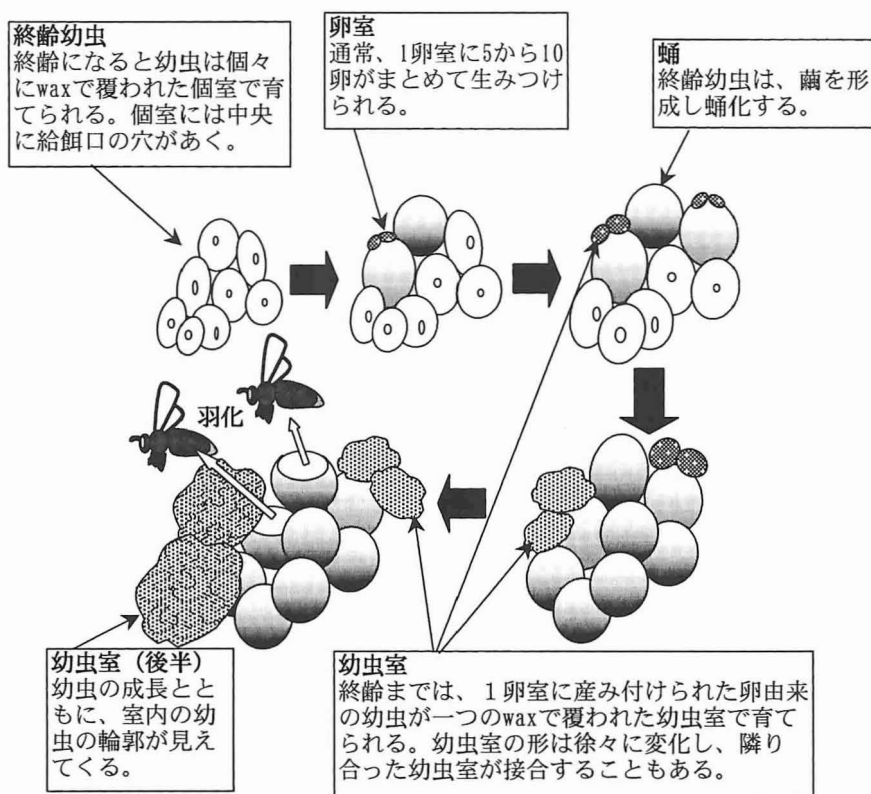


図1 オオマルハナバチ、クロマルハナバチの巣のスケッチ記録の模式図

矢印の方向に巣は成長している。巣を1から2日おきに上から観察しそれぞれの巣の形をスケッチする。卵室は、成形された順番に番号を付けて記録する。合わせて巣内の成虫数もカスト別にカウントするが、コロニーの成長に影響のないように、巣の上面からのカウントだけとした。

オオマルハナバチ、クロマルハナバチもほぼ同じ傾向であり、創設女王蜂の卵室形成には、4つの周期がある(表1、図2)。飼育開始から数日後に、最初の卵室が形成される。数個の卵室が作られてからしばらく産卵が停止する。初産卵とその後の停止期間を含めると、オオマルハナバチ：11.3日、クロマルハナバチ：11.0日でそれぞれ1日当たりの卵室形成数は、0.19、0.15であった。これが、産卵の1期となる。創設女王蜂はそれらの卵室の保温行動に入り、孵化後は給餌も行う。

1期の幼虫が繭を形成すると、多くの場合その繭の上に新たな卵室が形成され、これが2期となる。2期の産卵後再び産卵が1次的に停止する。その停止期間を含めた2期の日数は、オオマルハナバチ：13.9日、クロマルハナバチ：13.3日で、それぞれ1日当たりに0.52、0.42

の卵室を形成する。2期の後半もしくは終了後には、1期に作られた卵室由来の働き蜂の羽化が始まり、単独営巣期から真社会性の営巣期に入る。ここまでは、全て受精卵が産卵されている。

その後、再び産卵が始まり、これが3期となる。この時期の卵室から羽化する成虫の雌雄を見ると、いずれのコロニーも3期に受精卵から未受精卵に産卵が切り替わっていた。この時点が創設女王蜂の産卵の切り替え点(スイッチングポイント、以下SPと略す)となる。しかし、この切り替えは厳密なものではなく、しばしば受精卵も混ざっていることがある(図2)。3期の後半には、創設女王蜂と働き蜂、及び働き蜂同士での産卵の競合が起こり、3期は終わる。女王蜂が作った卵室を働き蜂が食い破り食卵する。また、働き蜂自身でも卵室を形成し産卵す

表 1 2 種マルハナバチの室内飼育女王蜂における各産卵期の日数と日当たりの卵室形成数¹⁾ (Asada and Ono, 2000 を改編)

	n	1 期		2 期		SP 前の 3 期		SP 後の 3 期		4 期 ²⁾	
		期間	卵室数/日 (日)	期間	卵室数/日	期間	卵室数/日	期間	卵室数/日	期間	卵室数/日
オオマルハナバチ	15	11.3a	0.19a	13.9a	0.52a	4.8a	1.0a	25.7a	1.6a	49.3a	1.0a
クロマルハナバチ	8	11.0a	0.15a	13.3a	0.42a	16.3b	1.1a	20.9a	1.8a	49.3a	1.2a

¹⁾ 同じカラムの各平均値に続くアルファベットの違いは、Mann-Whitney U 検定での有意差 ($p < 0.01$) を示す。

²⁾ オオマルハナバチ $n=6$, クロマルハナバチ $n=4$

る。このような、働き蜂は攻撃的になっており、創設女王蜂に噛付くまたは針で刺す行動も見られる。これは働き蜂同士でも観察される。この時期は、破壊された卵室が急増し、1 次的にコロニーから卵室がなくなる。

これらの競合行動もやがておさまリ、創設女王蜂による産卵が再び開始され、これが 4 期となる。すでに未受精卵への産卵に切り替わっているはずだが、4 期にはしばしば受精卵も産卵されており、この時期の卵室から新女王蜂が多く作られる。なお、3 期 4 期には働き蜂産卵も行われていると考えられるが、観察記録だけでは、羽化した雄蜂が創設女王蜂産卵あるいは働き蜂産卵のどちらに由来しているかについては、調べられなかった。

施設トマトでのポリネーターに使う場合、コロニー内の働き蜂数が重要な評価項目となる。前述のとおり、コロニーの働き蜂生産数を決める創設女王蜂の受精卵産卵期間には限りがある。この期間がポリネーションの場面で重要な

ポイントになる。この期間は、創設女王蜂の初産卵日から、未受精卵の産卵に切り替わる SP までの日数であるが、当初はこれを巣のスケッチから割り出した。コロニーごとに初めての雄蜂が羽化した卵室の番号を調べ、その卵室が作られた日が初産卵日から何日経過してから作られたものかを調べるわけである。これによって、受精卵産卵期間を実測することができるが、全てのコロニーについて毎日巣のスケッチをつけなければならない作業であり、全てのコロニーで行うことは不可能である。そこで、SP を推定することとした。まず、室内飼育条件下での 2 種マルハナバチの雄蜂の成長日数を調査した。これも巣のスケッチから得られる情報であり、オオマルハナバチで 25 日 (22 から 26 日)、クロマルハナバチでは 26 日 (23 から 28 日) であった (表 2)。この日数を最初の雄蜂の羽化日から差し引けば、最初の雄蜂の卵が産卵された日、すなわち SP を推定することができる (図 3)。この推定値と実測値とは両種

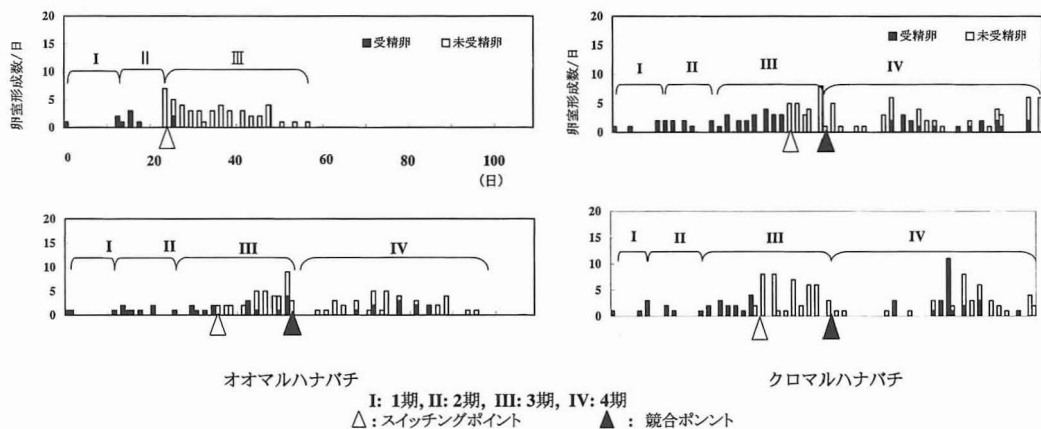


図 2 2 種マルハナバチの室内飼育女王蜂の産卵パターンの例 (Asada and Ono, 2000 を改編)

表2 2種マルハナバチの室内飼育下における雄蜂、新女王蜂の成長日数
(Asada and Ono, 2000 を改編)

		n	成長日数 (日)		最小値	最大値
			平均値	±標準偏差		
オオマルハナバチ	雄 蜂	84	25	±1.1	22	26
	新女王蜂	45	28	±1.1	26	29
クロマルハナバチ	雄 蜂	229	26	±1.4	23	28
	新女王蜂	56	27	±1.3	25	29

とも相関が認められたことから (オオマルハナバチ: $r=0.881$ $p<0.01$, クロマルハナバチ $r=0.933$ $p<0.01$ Spearman の順位相関), この方法によって2種を比較した。

1997年及び1998年の野外採集個体に営巣させたデータから推定した受精卵産卵期間は, オオマルハナバチが36.6日, クロマルハナバチが47.5日となり, クロマルハナバチの方が長いことがわかった (表3)。実際のコロニー当たりの働き蜂生産数もオオマルハナバチでは45.4頭, クロマルハナバチでは107.6頭であり, 受精卵産卵期間の結果と同じ傾向であった (表4)。受精卵を産卵する期間は1, 2, 3期であり, この各卵期を比較したところ, 1, 2期の日数及び1日当たりの卵室形成数には両種とも差がなかった。一方, 3期をスイッチングポイントの前後で分けて比較したところ, スwitchングポイント前の3期について, 卵室形成数には差がないものの, その日数がクロマルハナバチの方が約10日間有意に長いことがわかった (表1)。1卵室内の卵数は両種とも7から10卵であり (片山, 1993), 10日間の期間の違

いは70から100頭の働き蜂生産数に値すると考えられる。実際の飼育データではクロマルハナバチがオオマルハナバチよりも平均値で62頭多くなっており, 卵室の調査結果を反映していた。つまり, 両種の創設女王蜂は同じペースで卵室を形成し産卵をしているけれども, 3期に入ってから, 未受精卵に切り替わるまでの日数がクロマルハナバチの方が約10日間長く, その結果働き蜂数生産数も多くなるというわけである。

次に, 新女王蜂の生産時期の比較を行った。まず, 新女王蜂が生産された卵室がいつ作られたかを, 初雄蜂が生産された卵室を特定したときと同じ方法で調査した。今のところ新女王蜂は, 働き蜂と同じ受精卵から発生するとされている。産卵されてから孵化するまでの日数は3から4日程度であり, これ以降に新女王蜂または働き蜂へのカストの分化が決定していると考えられるが, オオマルハナバチ, クロマルハナバチについてのカスト分化を明らかにしたデータはない。そこで, 新女王蜂が羽化した卵室の作られた日を女王蜂生産ポイント (以下QPと略す) とした。まず, コロニーのスケッチからQPを実測した。次に新女王蜂の成長日数 (表2) を新女王蜂が羽化した日から差し引くことで, QPを推定した。この場合も実測値と推定値とに相関関係が認められたことから (オオマルハナバチ: $r=0.997$ $p<0.01$, クロマルハナバチ $r=0.994$ $p<0.01$ Spearman の順位相関), 新女王蜂の羽化日から各コロニーのポイントを押定した。その結果, 新女王蜂の生産期は図4の3つのタイプに分けられることがわかった。両種をこのタイプ別に分類したとこ

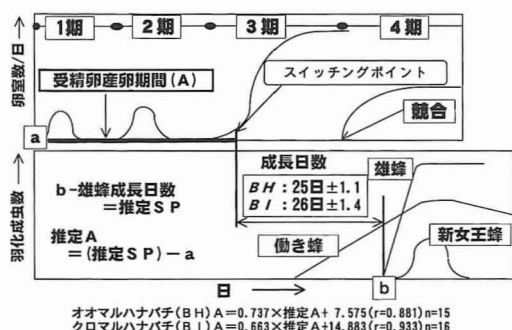


図3 マルハナバチの室内飼育における
スイッチングポイントの推定方法

表3 2種マルハナバチの野外採集女王蜂¹⁾に営巣させた各コロニーの受精卵産卵期間の比較 (Asada and Ono, 2000 を改編)

	<i>n</i>	受精卵産卵期間 ²⁾ (日)±標準偏差
オオマルハナバチ	37	36.6a ± 4.7
クロマルハナバチ	24	47.5b ± 5.3

¹⁾天敵類の寄生を確認した女王蜂は供試虫から除いた。

²⁾同じカラムの各平均値に続くアルファベットの違いは, Mann-Whitney *U* 検定での有意差 ($p < 0.01$) を示す。

表4 2種マルハナバチの野外採集女王蜂¹⁾に営巣させた各コロニーの働き蜂生産数の比較 (Asada and Ono, 2000 を改編)

	<i>n</i>	コロニー当たりの働き蜂生産数 (頭) ²⁾		
		平均値 ± 標準偏差	最小値	最大値
オオマルハナバチ	26	45.4 ± 29.4a	7	134
クロマルハナバチ	12	107.6 ± 51.3b	18	191

¹⁾天敵類に寄生された女王蜂を供試虫から除いた。

²⁾同じカラムの各平均値に続くアルファベットの違いは, Mann-Whitney *U* 検定での有意差 ($p < 0.01$) を示す。

ろ, オオマルハナバチでは, タイプ1, 2, 3にわかれたのに対して, クロマルハナバチではタイプ3の割合が高く, タイプ1は今のところ見られていない (図5)。

以上のような違いが両種に見られたが, このことは今後日本在来種をポリネーターとして商品化する場合に重要な意味を持つと考えられる。施設トマトのポリネーションの場合, トマトを受粉させる機能をもつのは働き蜂であり,

雄蜂にはない。女王蜂にもその機能はあると考えられるが, まだその事例を確認していないこと, 野外への拡散を防ぐために, 市販のマルハナバチの巣箱はいずれも巣門を小さくしていることから, ここでは話題からはずす。施設に導入したマルハナバチの働き蜂はそれぞれに寿命を迎え, コロニー内の働き蜂数は徐々に減少していくことから, その利用可能期間は限定される。そのため, コロニー内の働き蜂数は実用

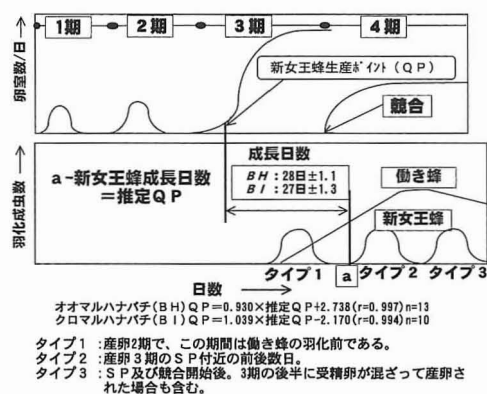


図4 マルハナバチの室内飼育における新女王蜂生産時期 (QP) の推定法
雄蜂の羽化成虫数は省略した。

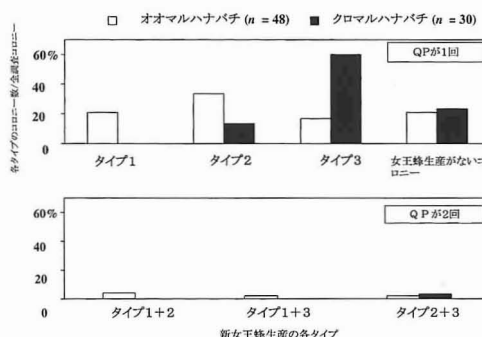


図5 野外採集女王蜂で営巣させた2種マルハナバチの各コロニーの新女王蜂生産のタイプ別割合 (Asada and Ono, 2000 を改編)

上の利用可能期間を推定するポイントになる。今回調べた2種間については、オオマルハナバチよりもクロマルハナバチで働き蜂生産数が多く、受精卵の産卵期間も長いことが明らかとなった。新女王蜂の生産時期を見るとオオマルハナバチは、クロマルハナバチに比べ、新女王蜂生産時期において幅広い形質をもつことが示された。特にタイプ1のような、創設女王蜂自らが新女王蜂を生産する事例もあった。一見特殊に見えるコロニーだが、このようなコロニーは *Bombus terrestris* にも見られており、オオマルハナバチと同様に働き蜂生産数も少ない傾向にある (Plowright and Plowright, 1990)。 *B. perplexus* では、働き蜂数の多いコロニーほど、新女王蜂の生産数も多い傾向が見られており (Pomeroy and Plowright, 1982)、オオマルハナバチで見られたタイプ1の形質は、一世代に要する期間は短いものの、増殖効率は低いことが予想される。これらのことから、ポリネーターとして増殖する場合、オオマルハナバチではクロマルハナバチよりも選抜する必要性が高いと考えられる。

次に、これらのデータを国内での2種の分布にあてはめてみた。オオマルハナバチは、クロマルハナバチに比べ、より高山帯にも分布する傾向がある (伊藤, 1993)。5月に女王蜂が越冬から覚め、営巣を開始したとすると、オオマルハナバチで見られたタイプ1は7月、クロマルハナバチで多く見られたタイプ3は9月以降に繁殖虫を生産する可能性があることを示唆している。オオマルハナバチのタイプ1は、餌資源のある時期が平野部よりも限定される高山帯で有利な形質であると考えられよう。タイプ3のような形質は、より多くの女王蜂を残すことができる一方、夏から秋にかけても大量の餌資源が必要となる。そのためには、温暖な平野部に生息域が限られてしまう可能性がある。オオマルハナバチとクロマルハナバチは平野部に近い場所では同所的に生息しているものの、標高の高い場所ではクロマルハナバチは見られなくなる。このことは、クロマルハナバチが営巣後半に繁殖虫を生産する傾向があることと関連し

ていると考えられないだろうか。では、なぜタイプ3をもつオオマルハナバチが、その分布域を平野部にまで拡大していないのかについては疑問が残る。もちろん、分布の違いは、コロニーの成長パターンだけで説明すべきではないが、オオマルハナバチの様々な形質の違いがどのように遺伝していくかを明らかにすることも、これらの疑問を解く鍵になるのではないだろうか。

2. 室内飼育技術の効率化/劣勢なコロニーの早期検出

両種の営巣行動を観察している中で、マルハナバチの女王蜂は、ある一定のパターンで産卵をしていることがわかった。室内飼育といった特殊な環境であることから、マルハナバチ本来の生態をどこまで反映できているかについては大きな疑問が残る。野外では働き蜂が自由に訪花活動をし、また保温のために大量のエネルギーを消費している。さらに、天候によっては餌資源量が大きく左右され、常に給餌されている室内飼育とは大きく条件が異なる。しかし、コロニーの完成した状態を決める多くの要因が創設女王蜂のもつ産卵プログラムにかなりの部分支配されている可能性は高いと思われる。セイヨウオオマルハナバチでも、SPはコロニー内での創設女王蜂と働き蜂の関係などよりも、単独生活期の環境条件の違いに大きく影響を受けるとされている (Duchateau, 1991)。しかし、室内飼育では、このプログラムに乗り切れないコロニーが、しばしば見られる。今回、その事例を二つ取り上げてみた。ひとつは、飼育を開始してから営巣を始めるまでの日数である。人工越冬後の女王蜂を見ると、少なくとも数日間、集団飼育が可能である。1週間ほど経過すると、他の女王蜂を攻撃する個体が見られる。越冬後、女王蜂はすぐに営巣するわけではなく、室内飼育でも1週間から10日ほど自由に飛びまわられる時間をおいてから、営巣させるための飼育容器に移して個体飼育を行う。ここから全暗条件の恒温室に移され、女王蜂の行動は大きく制限される。しかし、この方法は人工越

表5 室内飼育女王蜂の飼育において営巣開始の遅れが働き蜂及び新女王蜂生産数に及ぼす影響
(浅田・小野, 2002 を改編)

営巣開始の遅れ ¹⁾ (日)	n	コロニー当たり働き蜂生産数		コロニー当たり新女王蜂生産数	
		平均値 ²⁾	範 囲	平均値 ²⁾	範 囲
オオマルハナバチ					
1-10	41	49a	0～179	12a	0～109
11-20	24	37a	0～203	13a	0～157
>21	10	3b	0～ 10	1b	0～ 10
ク ロ マ ル ハ ナ バ チ					
1-10	22	103a	15～222	33a	0～183
11-20	31	58b	0～198	7b	0～ 65
>21	25	44b	0～190	6b	0～ 44

¹⁾飼育開始日から 初産卵日までの日数

²⁾同じカラム内の各平均値に続くアルファベットの違いは, Mann-Whitney U 検定での有意差($p < 0.01$)を示す.

冬から営巣行動に入る間の, 女王蜂の各個体の生理的な変化の違いを無視しており, 生理的に営巣行動に入る準備ができていない女王蜂も含まれていることが予想される. そこで, 飼育を始めてから 10 日以内, 11 日から 20 日の間, 及び 21 日以上経過してから営巣を始めたコロニーの 3 つにわけ, それぞれのコロニーごとの働き蜂, 新女王蜂生産数を比較した. その結果, オオマルハナバチでは, 21 日以上, クロマルハナバチでは 11 日以上経過したコロニーで, 働き蜂及び新女王蜂生産数が, それ以前から営巣していたコロニーに比べ有意に少ないことがわかった(表 5). 集団管理されている女王蜂個体毎の生理的な不均一性が, 飼育結果に影響していると考えられる. すなわち, 営巣準備が十分な個体を強制的に営巣させた場合, そのコロニーは女王蜂が本来持っている形質を十分にだせていないと予想される. ただし, 大量に飼育している場合, 外見から, 個々の女王蜂の状態を判断することは困難であり, むしろ, 集団管理している女王蜂を一斉に飼育し, ある一定期間後に営巣しない個体は, その時点で生産ラインからははずす方が合理的であろう.

表6 2 種マルハナバチの室内飼育下における第 1 働き蜂の成長日数(Asada and Ono, 2000 を改編)

	n	成長日数(日)			
		平均値	±標準偏差	最小値	最大値
オオマルハナバチ	70	23	±2.5	16	28
クロマルハナバチ	86	24	±2.3	16	28

もうひとつ注目した点は, 創設女王蜂が初めての卵室を形成した日から最初の働き蜂が羽化するまでの日数である. 室内飼育条件での第 1 働き蜂の成長日数の最大値は両種とも 28 日であった(表 6). つまり, 28 日以上を経過したコロニーでは, 1 期の卵の育児に失敗した事例と考えられる. そこで, 初産卵日から最初の働き蜂が羽化するまでの日数が 28 日間以上と 29 日以下に分けて, 働き蜂, 新女王蜂生産数を比較したところ, 両種とも 28 日以下のグループでそれぞれのカストの生産数が多いことがわかった(表 7). この指標は, 女王蜂のもつ産卵プログラムと関係していると考えられる. Müller and Schmid-Hempel (1992) では, *B. lucorum* の第 2 蜂児以降の除去を行い, 初期の除去が雄蜂生産に, 後期の除去が新女王蜂生産に負の影響を及ぼすとしている. しかし, 今回の場合は, 第 1 蜂児の除去とみなされる点で異なる結果となった. 1 期の受精卵から生まれる働き蜂が羽化する時期は, 創設女王蜂の産卵 2 から 3 期であり, この時期は卵室形成数も 1 期に比べて多い(表 1). 産卵数が増える時期に羽化する第 1 蜂児を失うことは, その後のコロニーの成長に大きな影響を及ぼすと考えられる. 創設女王蜂が, 1 期の蜂児の成長を見ながら 2 期以降の産卵を調節しているのか, それとも幼虫の成長とは関係なく自分のプログラムにしたがって産卵をしているのかについては, さらに今までのデータを解析する必要があるが, 少な

表7 室内飼育女王蜂の飼育における第1働き蜂の育児の成功と働き蜂及び新女王蜂生産数との関係
(浅田・小野, 2002を改編)

第1働き蜂の 育児の結果 ¹⁾	n	コロニー当たり働き蜂生産数		コロニー当たり新女王蜂生産数	
		平均値 ²⁾	範 囲	平均値 ²⁾	範 囲
オオマルハナバチ					
成 功	43	57a	0～203	16a	0～157
失 敗	18	18b	0～ 74	6a	0～ 67
クロマルハナバチ					
成 功	57	78a	0～222	18a	0～183
失 敗	14	27b	0～143	3b	0～ 17

¹⁾各コロニーを下記の方法で分類した。

成功: 初産卵日から第1働き蜂の羽化日までの日数が16から28日のコロニー

失敗: 初産卵日から第1働き蜂の羽化日までの日数が29日以上のコロニー

²⁾同じカラム内の各平均値に続くアルファベットの違いは、Mann-Whitney U検定での有意差($p < 0.01$)を示す。

くとも1期の蜂児の育児失敗はそれ以降のコロニーの成長に大きな負の影響を及ぼし、創設女王蜂がもつ形質を示さないコロニーが形成されると考えられる。この点についても、大量飼育下で、劣勢な成長をしているコロニーを除く指標として使える可能性があるのではないだろうか。また、今回示した2つの指標は、女王蜂自身が持つ形質を表現できていない劣勢なコロニーを除く手段であり、コロニーを選抜する際及び系統を評価する場合には、これらの要因を加味する必要がある。

3. おわりに

セイヨウオオマルハナバチの利用状況は、大きく変わらないものの、その利用数は増加傾向にあり、現状では約56000群が流通していると推定されている(Mitsuhata et al., 2002)。生態学的な観点から、このような昆虫の利用形態を批判することは、理解できるが、農業という産業を考えると、問題となる蜂の利用を単純にやめてしまうだけでは、新たな問題を生むことも容易に想像できる。日本在来種への切り替えについても、軌道に乗りつつあるものの、既に一部で実用化されているクロマルハナバチですら、その生態的な知見は乏しく、国内での分布も完全には把握しきれていないのが現状であろう。基本的にあらゆる産業活動も、環境への配慮がなされることが前提となっている現代では、農業生産も例外ではない。最近では、農業上利用される化学物質のうちでも農業について

は、天敵類に置きかえる方法がとられている。農業は、生産者自身が圃場に処理する。これを天敵に置きかえることは、生産者が行ってきた作業を変わりに導入した生物が受け持ってくれることになり、省力効果が期待できる。しかし、これら訪飼した天敵が圃場外に定着すれば、その生態系に新たな生物を加えることになってしまふ。より安定な化学物質が周辺環境に放出されれば、しばしば目に見える形で環境を急変させ、人的な被害を生ずる場合もある。しかし、生物を人為的に移入させ、生態系に変化を生じさせた場合に、その変化に気づくことはかなり難しく、特に寄生蜂やダニなどの微小な生物では、専門家に評価してもらうしかない。

露地栽培では土着天敵を利用するための栽培技術開発も重要なテーマとして研究が進められているが、施設園芸では周辺環境と圃場を分離し、有用な生物を導入する方向で考える必要がある。マルハナバチ普及会が奨励している、施設にネットを設置してマルハナバチを拡散させないようにする方法は、ポリネーターを有効に利用するための良いアイデアだと思う。今後とも、このような技術の導入が図られるべきであるが、そのためには、現状のメーカーと生産者がリスクを負いながら進めている体制だけでは十分とは言えないであろう。施設園芸では、従来の保温効果を目指したフィルム開発から、通年の施設温度管理を可能にするための施設形態や、遮光資材の開発、普及が始まっている。また、ポリネーターや天敵類を活用するための

施設園芸技術についても検討が始まった。農業生産のフォローを目指している公的機関も、各産地の事情に応じた環境保全型農業の確立を目指している。その中で、農業生態系と自然生態系を隔離するような観点（特に施設園芸）を積極的に探求する必要がある。

現状のマルハナバチ利用のケースで見ると、問題点はその生物の人的移動だけでなく、マルハナバチに寄生する生物の人為的移動もある（Goka et al., 2002）。日本在来種をポリネーターとして、実用化する方向もやり方によっては、セイヨウオオマルハナバチの利用と同じ問題を含んでいると考えられる。

日本で利用されているセイヨウオオマルハナバチを日本在来種に切り替えるためには、セイヨウオオマルハナバチと同等の価格で、利用する農業生産者に提供しなければならない。しかし飼育システムが未完成の日本在来種のマルハナバチをセイヨウオオマルハナバチと比較すれば、後者の方が、コスト安になるのは当然である。生産コストを下げるためには、飼育方法の改良だけでなく、利用可能な系統の選抜、育種もかかせない。国内の農業は、増加しつつある輸入農産物と対等に競争するために、生産資材費を削減する方向にあり、マルハナバチも他の資材同様、より安価なものが望まれている。マルハナバチの生産コストを下げるためには、飼育方法の改良に加え、商品化率を向上させるために、より優位な系統を選抜する必要性が生じる。日本在来種を利用するには、セイヨウオオマルハナバチと同等に飼育できる形質を選抜する必要がある。マルハナバチの生産サイド及び利用サイドの双方にある。たとえばオオマルハナバチで見られるタイプ1のような形質は実用上のぞかれる可能性が高いが、これは様々な形質の個体群が存在する中に特定の個体群だけを広めていく結果になる点では大きな問題点を残す。これらの系統が国内に拡散した場合のリスクについても考える必要がある。これは、地理的に隔離された個体群の移動ではなく、連続的に分布している場合についても考える必要性を示唆していると思われる。たとえばオオマルハ

ナバチに見られるコロニーサイズの変異は、はたして遺伝形質と言えるのだろうか。Asada and Ono (2002) では、オオマルハナバチのコロニー成長パターンの変異が地域個体群間で見られることを示唆している。特定の遺伝形質をもったグループが野外に拡散した場合、それらの形質が増加することと、環境に適さない形質が淘汰されていくことと、マルハナバチではどのような影響が起こりうるのであろうか。データの無い現状では、今までに報告されている他のケースを参考にするしかないだろう。今回も結論が得られるまま、本稿を締めくくることがをお許しいただきたいが、いずれにしても、厳しい状況にある農業生産者が、マルハナバチといった資材を使うこと自体が非難されている現状に問題であり、生産者にも安心して使ってもらう生産技術の開発が望まれていることは間違いないだろう。

末筆ながら、これらの研究を指導していただいた玉川大学昆虫学研究室の佐々木正己教授、小野正人助教授ならびに神奈川県農業総合研究所の諸氏に感謝の意を表す。

(〒250-0024 小田原市根府川 574-1

神奈川県農業総合研究所 根府川試験場)

主な引用文献

- Alford, D. V. 1975. Davies-Poynter, London. pp.352
- Asada, S. and M. Ono. 2000. Appl. Entomol. Zool. 35:597-603.
- 浅田真一, 小野正人. 2002. 応動昆 2:73-80.
- Asada, S. and M. Ono. 2002. Proc. 14th IUSSI. p.152.
- Duchateau, M. J. 1991. Proc. 6th Int'l Symp. on Pollination, Acta Hort. 288: 139-143.
- Goka, K., Y. Asanuma, K. Okabe, M. Yoneda and S. Niwa. 2002. Proc. 14th IUSSI. p.148.
- 伊藤誠夫 1993. 博品社. 東京. pp.75-92.
- 片山栄介 1993. 博品社. 東京. pp.35-74.
- Mitsuhashi, M., M. Yoneda, H. Yokoi, S. Akiyama, M. Omura and K. Goka. 2002. Proc. 14th IUSSI. p.147.
- Müller, C. B. and P. Schmid-Hempel. 1992. Funct. Ecol. 6: 48-56.
- 岡本昌広, 北島昌子, 深山陽子, 深沢智恵妙, 吉田誠, 渡邊清二, 奥村一, 浅田真一, 小林正伸, 清水正

- 美, 阿久津四良, 植草秀敏, 北 宜裕, 佐々木皓二.
2002. 神奈川農総研研究報告 142:17-35.
- Plowright, R. C. and C. M. Plowright. 1990. Can. J. Zool. 68: 493-497.
- Pomeroy, N. and R. C. Plowright. 1982. Can. J. Zool. 60: 954-957.
- Sladen, F. W. L. 1912. The Humble-bee. Macmillan. London. 283pp.

追記: 本稿は Appl. Entomol. Zool. と日本応用動物昆虫学会誌上に公表された論文内容を許可を得て転載したものである。

SHINICHI ASADA. Comparative study in colony development of two Japanese bumblebees, *Bombus hypocrita* and *B. ignitus* and its applied for commercial rearing. *Honeybee Science* (2002) 23 (3): 105-114. Kanagawa Prefectural Agricultural Research Institute, Nebukawa Experimental Station. 571-1, Nebukawa, Odawara, Kanagawa, 250-0024 Japan.

Bombus hypocrita and *B. ignitus* are promising candidates for use in commercial pollination of greenhouse crops and have the same four oviposition phases as *B. terrestris*. Queens of both species switch from laying diploid eggs to haploid eggs (Switching Point: SP) in Phase 3. The worker productivity of *B. ignitus* is higher than that of *B. hypocrita*. The duration of fertilized-egg oviposition of *B. ignitus* is about 10 days longer than that of *B. hypocrita*, resulting in the difference in the duration of Phase 3 before SP between *B. hypocrita* and *B. ignitus*. However, there is no difference between the

number of egg cells built per day of both species. The foundress *B. hypocrita* queen produced progeny queens from fertilized eggs in Phase 2. However, progeny-queen production occurred only after Phase 3 in *B. ignitus*. These results suggest that *B. hypocrita* has flexible production of the reproductive caste, possibly as an adaptation to its distribution in the subarctic zone; *B. ignitus* is only distributed in the temperate zone and may not require such flexibility. This difference in reproductive strategy between the two species suggests that *B. ignitus* might be a better choice for early commercialization than *B. hypocrita*.

Worker and new-queen productivity of laboratory reared colonies of *B. hypocrita* and *B. ignitus* was both influenced by delays in oviposition and first worker emergence. In *B. hypocrita*, colonies with a period of 20 or less days before the first oviposition produced significantly more female castes than ones with 21 or more days. In *B. ignitus*, colonies with 10 or less days produced significantly more female castes than ones with 11 or more days. In both species, colonies with a longer period of more than 29 days before the first worker's emergence produced fewer female castes than normal colonies in which the first worker emerged in 28 or less days. These two parameters would provide an effective and practical method of identifying normal bumblebee colonies at the early stages in commercial mass-production.

Finally, problems of utilized bumblebees and other biological regents were discussed for the development and management of agriculture.