

フタモンアシナガバチの未成熟期の発育

I. 発育所要日数の季節変化ならびに卵発育の温度反応についての実験

宮野伸也

はじめに

これまで、社会性蜂類については、既にいろいろな観点から多くの研究が行われてきた (cf. WILSON, 1971)。とりわけ、その生活史の研究 (CUMBER, 1949; BRIAN and BRIAN, 1952; SAKAGAMI and HAYASHIDA, 1958; RABB, 1960; MICHENER and WILLE, 1961; WEST EBERHARD, 1969; MATSUURA, 1969; 松浦, 1973a; YAMANE, 1969, 1972; JEANNE, 1972; YAMANE and KAWAMICHI, 1975など) や、コロニー内の社会構造の研究 (PARDI, 1948; BRIAN, 1952; YOSHIKAWA, 1956, 1963a, b; DELEURANCE, 1957; 守本, 1960, 1961a, b; VON FRISCH, 1967; JEANNE, 1972; SAKAGAMI *et al.*, 1973; 松浦, 1973 b; MATSUURA, 1974など) は、彼らの社会生活の正しい理解にとって重要である。しかし、これらに加え、その生活の基礎的な面を明らかにし、そこに社会生活がどのように反映しているかを調べることも、単独性の種との比較から、社会性の進化を考える上で重要である。このような研究としては、採餌行動を扱ったもの (NAKASUJI *et al.*, 1976; HEINRICH, 1976, 1979a, b; SUZUKI, 1978; 山崎ほか, 1979; 星川, 1979 などcf. HEINRICH, 1979c) や、生命表を扱ったもの (FUKUDA and SAKAGAMI, 1968; SAKAGAMI and FUKUDA, 1968; TERADA *et al.*, 1975; FUKUDA and OHTANI, 1977; MIYANO, 1980) がある。

フタモンアシナガバチ *Polistes chinensis antennalis* PÉREZ は、典型的な温帯型の生活史をもつ種で、春に女王蜂が通常単独で巣作りをはじめ、働き蜂が羽化するまでの期間は、すべての仕事を女王蜂が単独で行う (守本, 1959a, b; YOSHIKAWA, 1962)。この期間は、単独営巣期 (単独性のステージsolitary stage : 吉川, 1959; pre-emergence stage : JEANNE, 1972) といわれるが、この時期の廃巣率はきわめて高く、コロニーの生存にとって最もきびしい時期であるとされている (YOSHIKAWA, 1954; MIYANO, 1980)。したがって、未成熟個体の発育期間 (発育速度) を知ることは、単に彼らの生活のひとつの基礎的な面を明らかにするだけでなく、単独営巣期の長さを基本的に決定する要因を知ることであり、本種の生活を考える上できわめて重要である。また、守本 (1953, 1954) は、本種の女王蜂は微環境的に高温になる場所に巣を作る傾向があり、更に、より高温な環境に作られた巣では、比較的低温な環境に作られた巣よりも卵期日数が短いことを報告している。しかし、詳しい卵期日数の変化は示されておらず、また、温度と卵の発育所要日数との関係は、実験的に明らかにされなくてはならない。本稿では、フタモンアシナガバチ *Polistes chinensis antennalis* PÉREZ の未成熟期の発育過程の分析の第1歩として、卵・幼虫・まゆ期間の季節変化、並びに卵期についての室内実験の結果を報告する。

本文に入るに先だち、校閲の労をとられた金沢大学の金串龍一教授、日ごろから御指導いただいている茨城大学の山根爽一氏に対して、お礼申し上げる。

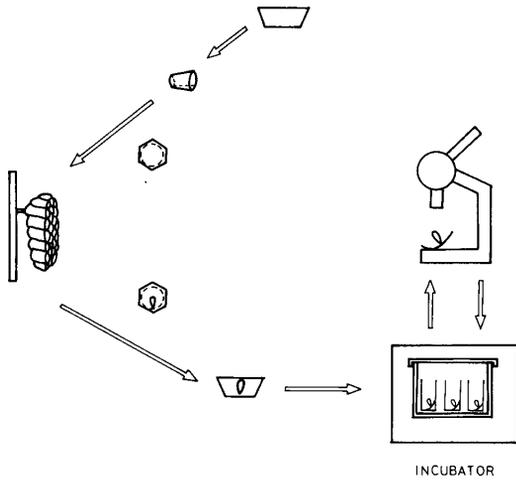


図1 採卵、孵卵及び孵化の検査の方法

Fig. 1 Methods of collection of eggs, incubation of them and examination of hatching.

材料と方法

(a) 自然巣での観察

観察巣は、千葉県船橋の草地に自然営巣したものであるが、5月14日以降は約20m離れた場所に移動して観察を行った。観察期間は、1975年5月5日から9月3日で、ほぼ毎日1回、コロニーの内容をセルマップ (cf. 山根, 1970) に記録した。7月10日に女王蜂が消失したが、コロニーは働き蜂によりその後も維持された。したがってこれ以後の卵は、働き蜂によって産まれたものであり、膜翅目の性決定の法則(半倍数性)に従い雄蜂となった。本種では、女王蜂のいる巣でも働き蜂の産卵はきわめて普通であり (MIYANO, 1980),

そして女王蜂の産んだ卵と働き蜂の産んだ卵とを区別することは困難である。更に、未成熟期に個体の性を知ることも通常できない。したがって、セルマップによる未成熟期の日数に関するデータは、これら(女王蜂の産んだ卵に由来する雌蜂・女王蜂の産んだ卵に由来する雄蜂・働き蜂の産んだ卵に由来する雄蜂)が入り交ったものとならざるを得ない。そこで、ここでも7月10日以後に産まれた個体も、あえてそれ以前のものとは区別しなかった。

(b) 卵発育の温度反応についての実験

実験には、女王蜂に室内で産ませた卵を用いた。女王蜂は、野外に自然営巣したものを最初の幼虫の孵化前後に巣とともに採集し、飼育箱中でハチミツの希釈液を与え飼育した。採集地は、石川県金沢(約36°34'N)、茨城県潮来(約35°57'N)、千葉県船橋(約35°47'N)、福岡県崎崎(約33°38'N)である。女王蜂には、あらかじめビニールの小片を巻き込んだ育室中に産卵させ、このビニールの小片を育室より抜きとることにより、卵を傷めることなく、育室より取り出した (Egg trap)。これらの卵は、10ccのサンプル管に入れ、更に密閉容器に入れ、10℃、15℃、18℃、20℃、25℃、30℃、35℃の恒温器中に保存した。孵化の確認には、双眼実体顕微鏡を用いた(図1)。採卵及び孵化の確認は、毎日1回12時から14時に行った。したがって±1日の誤差を含む。実験には、総計790卵を用いた。なお、この温度実験は、1978年に金沢大学において行ったものである。

結果

(a) 発育所要日数の季節変化

セルマップの記録から読み取った発育期間の季節変化を図2に示す。これらの値は、すべて羽化まで育った個体についてのものである。ただし、観察を行えなかった日があり、これにより正確な日数が計算できないものは除外した。

卵期間は、ほぼ直線的に減少し、5月初めに産まれたもので最長23日、7月末に産まれたもので最短8日で、2倍以上の差であった(図2, A)。

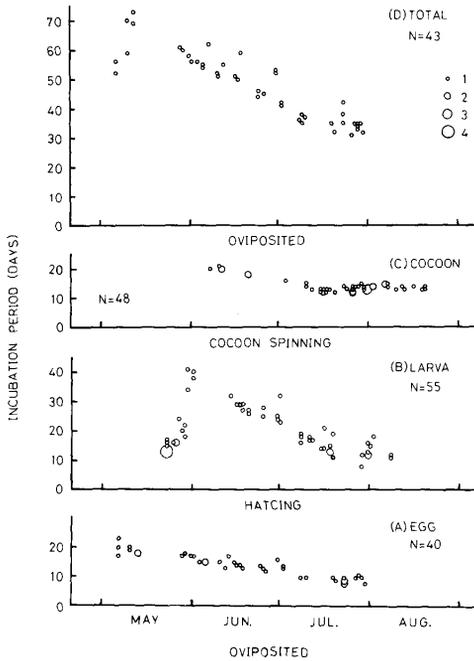


図2 千葉県船橋における発育所要日数の変化。卵期 (A)、幼虫期 (B)、まゆ期 (C)、全発育期 (D)。

Fig. 2 Seasonal variation of duration of egg (A), larval (B), cocoon (C) and total stage (D) at Funabashi, Chiba Pref.

幼虫期間は、最初に育てられる数個体で短く (13日)、その後急激に延長し、5月末に孵化したもので最も長かった (41日)。その後は徐々に短縮し、7月末から8月初めに孵化したもので最も短かった (8日、図2、B)。最初の働き蜂の羽化は、6月23日であり、それまでにまゆ形成を終っていた14個体が、女王蜂が単独で育てたものである。

まゆ期間は、最初の個体で最も長く (最長21日)、その後は徐々に短縮し、7月中旬以降はほぼ一定 (約13日) であった (図2、C)。

卵から成虫羽化までの全発育期間では、幼虫期間の変化が最も強く現われ、偏ったひと山型を示した。最も長いのが5月12日に産卵された73日、最も短いのが7月26日に産まれた31日で

表1 各温度における卵期の発育所要日数、孵化率及び温度と発育速度との相関係数 (r)。

Table 1 Duration of egg stage and hatching rate under various temperatures and correlation coefficient (r) between temperature and the developmental velocity.

Locality	Latitude		18°C	20°C	25°C	30°C	35°C	r
Kanazawa	36°34'N	\bar{x}	37.60	19.60	10.24	7.06	—	.9987
		S. D.	1.14	2.63	0.56	0.56	—	
		N	5	10	17	17	—	
		Hr	11.9	34.1	73.9	77.3	0	
Itako	35°57'N	\bar{x}	38.00	18.65	10.50	7.07	6.80	.9975
		S. D.	1.41	1.90	1.71	0.58	0.45	
		N	4	26	18	21	5	
		Hr	8.7	53.8	81.8	91.3	9.8	
Funabashi	35°47'N	\bar{x}	39.00	20.25	10.56	7.16	—	.9991
		S. D.	1.15	1.50	0.70	0.62	—	
		N	4	4	18	19	—	
		Hr	8.3	20.5	69.2	59.4	0	
Hakozaki	33°38'N	\bar{x}	—	18.50	9.25	6.60	6.50	.9980
		S. D.	—	1.87	0.71	9.52	0.71	
		N	—	6	8	10	2	
		Hr	0	31.8	80.8	90.0	13.3	

\bar{x} : Average, S. D.: Standard deviation, N: Number of samples, Hr: Hatching rate, percentage

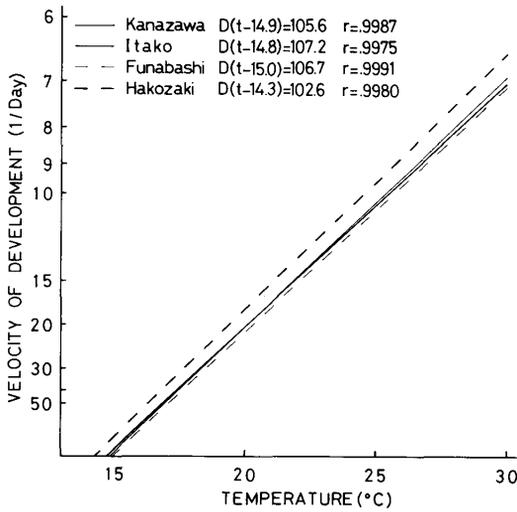


図3 卵の發育速度と温度との関係

Fig. 3 Relationship between temperature and the developmental velocity in egg stage.

温度と發育速度（1／卵期日数）との関係を図3に示す。ここでは、箱崎を除き、18℃、20℃、25℃、30℃の4点の値を用いた。箱崎については、20℃、25℃、30℃の3点の値を用いた。各地とも相関係数 r は、0.9975～0.9991と非常に高い(表1)。發育ゼロ点は約14.8℃、有効積算温度は約105.5日度である。回帰直線には、地域個体群による差はほとんどなく、箱崎の直線が他地域のものやや異なっているが、その傾きには統計的に有意な差は認められなかった(金沢、潮来、船橋、箱崎、 $t=0.427, 0.543, 0.627, d.f.=3, P>0.5$)。

論議

図2、Aによれば、5月6日に産まれた卵の卵期日数は、17～23日であり、卵發育の温度反応の実験結果から推定すると、これは平均気温19.5～22.1℃に相当する(図3、Funabashi $D(t-14.8)=107.2$)。しかし、この時期の船橋での野外の平均気温は約17.5℃であり¹⁾、これは約42日間の卵期間を必要とする。この平均気温あるいは卵期日数の差は、(1)發育ゼロ点以下の気温の影響及び、(2)卵の發育が育室内の微気温に反応していることによるものと思われる。

図4、Aは、船橋における1975年5月11日の気温の日変化を示したものである¹⁾。最高気温21.6℃、最低気温11.7℃、平均気温16.0℃である。単純に平均気温と發育ゼロ点との差を考えれば、図4、Aの斜線部がこの日の有効温量となる。しかし、伊藤(1975)も指摘しているように、發育ゼロ点以下の温度では、卵は生長を停止させるのであるから、發育ゼロ点(14.8℃)以下の温度は、14.8℃に等しいとみなすことができる。すると有効平均気温は16.8℃となり、有効温量は図4、Bの斜線部となる。更に女王蜂は日当たりのよい、微環境的に高温になる場所に造巢する(守本、1953)ことにより、図4、Cのように育室内の温度を高め、有効温量を多くしているものと思われる。

ミツバチ *Apis mellifera* では、巢内温度のすぐれた調節能力が知られ(WILSON, 1971)、卵期日数はきわめて安定している(cf. JAY, 1963; FUKUDA and SAKAGAMI, 1968)。マルハナバチ *Bombus po-*

あった(図2、D)。

(b) 卵期間の温度による変化
各温度での卵期日数及び孵化率を表1に示す。10℃及び15℃では、幼虫はまったく孵化しなかったため、表1では省略した。18℃でも孵化率は、0～11.9%とかなり低かった。孵化率は、船橋を除き30℃で最も高かった。35℃では孵化率が低いだけでなく、孵化してもその發育所要日数は30℃の場合とほとんど変わらず、既に高温阻害を起こしているものと思われる。死亡の多くは、カビの発生によるものであったが、女王蜂による保護のある自然条件下では、死亡率はもっと低いものと思われる。

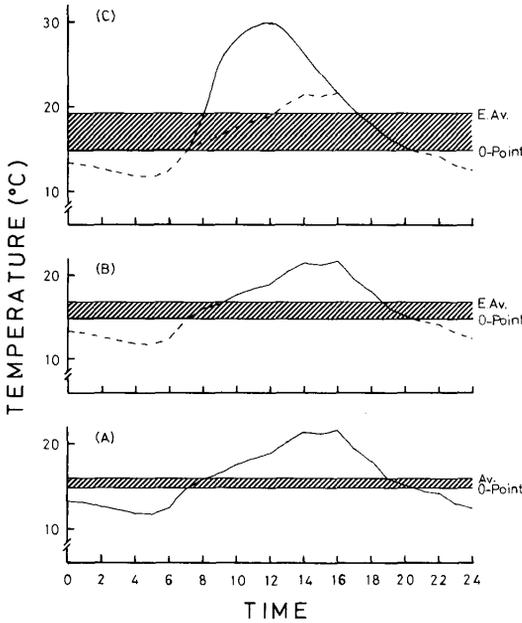


図4 千葉県船橋における1975年5月11日の気温の変化(実線及び点線), 平均気温(Av.), 有効平均気温(E. Av.), 及び有効積算温度(斜線部)。ただし(C)の実線は仮定曲線。0-pointは発育ゼロ点。詳しくは本文参照のこと。気温は船橋市役所大気保全課の測定による。

Fig. 4 Fluctuation of air temperature (solid and dotted lines), average temperature (Av.), effective average temperature (E. Av.), and effective accumulative temperature (shaded area) on 11 May 1975 at Funabashi, Chiba Pref. The solid line in (C) is a hypothetical curve. 0-point: Developmental zero. See text for further explanation. Air temperature was taken by the Section of Air Conservation of Funabashi Municipal Office.

ことがわかっているが(伊藤, 1975), 本種のように幼虫は育室内に静止していて, 自由に餌を食べることができないものでは, 成虫によって与えられる餌の量が最も重要な要因であると考えられる。幼虫期間は, 最初の個体で短く, その後急激に延長しているが(図2, B), これは女王蜂がより早く働き蜂を羽化させるために, 最初の幼虫に対して, 育児労力を集中するためであると思われる。幼虫期間のこのような季節変化は, セグロアシナガバチ *Polistes jadwigae* でも報告されている(YOSHIIKAWA, 1962)。しかし, これは単に女王蜂が最初の幼虫に餌をより多く与えるということではない。本種では, 最初の数匹の働き蜂が最も小さく, その後順次大きくなっていくことが知られている(宮野, 未発表)。つまり, 最初の働き蜂となる個体は, 短い幼虫期間に少しの餌を食べ, 幼虫発育を終るのである。

まゆ期間は, 卵期間と同様, 基本的には温度により決定されていると思われる。幼虫期間及びまゆ期間については, あらためて報告するつもりである。

本種のコロニーの生存にとっては, 単独営巣期が最も危険な時期であり(YOSHIIKAWA, 1954; MIYANO, 1980), この時期を速やかに通過することは, コロニーの生存確率を高めるために重要である。

laris (RICHARD, 1973), *B. vosnesenskii* (HEINRICH, 1974), スズメバチ *Vespa crabro* (ISHAY and RUTTNER, 1971), *V. similima* (MAKINO and YAMANE, 1980), クロスズメバチ *Vespula arenaria*, *Vp. maculata* (GIBO et al., 1974), ホオナガスズメバチ *Dolichovespula media*, *D. saxonica nipponica* (牧野, 1979)では, 成虫による未成熟個体に対する積極的な保温活動が報告されている。アシナガバチ類(Genus *Polistes*)では, このような成虫の体熱(Endogenous heat)による未成熟個体に対する保温は報告されておらず(cf. STEINER, 1930), 本種においては造巢場所の選択により, 太陽熱(Exogenous heat)を巧みに利用し, 卵の発育を速めているものと思われる。

これに対して, 幼虫期間の変化は, 温度のような単純な環境要因だけでは説明できない。食葉性の鱗翅目の幼虫などでは, 幼虫期間も温度に強く依存する

幼虫期では、最初の幼虫の発育所要日数が明らかに短く（図2，B）、これは単独営巣期を短縮するためのものと思われるが、卵期及びまゆ期についても、微気候的に高温になる場所に造巣することにより、単独営巣期を短縮しているものと思われる。GIBO（1978）は、*Polistes fuscatus* において、単独営巣期の日数として、好適な環境に営巣したものについては45.6日、そうでないものについては52.8日を報告している。また、本種においても、日当りのよい場所に営巣した巣と、比較的悪い場所に営巣したものとは、4月下旬から5月上旬に産まれた卵の卵期日数は、平均で16.4日と21.8日であり、5日以上の差であった（ $t=8.28$, d.f. = 19, $P<0.001$, 宮野, 未発表）。本種の単独営巣期の日当たり廃巣率は約1.02%であり、共同営巣期（最初の働き蜂の羽化から最初の新女王蜂・雄蜂の羽化までの期間）のそれは約0.55%であるので（MIYANO, 1980のデータより計算）、卵の発育期間だけを考えても、コロニーの生存にとっての営巣場所の微気候の効果は少なからぬものであるといえる。

また、卵の発育が35℃で既に高温阻害を生じていることは、本種の水運びと扇風行動の重要性を示唆する。更に、このことは、造巣場所の選択にも重要な影響を持つはずである。つまり、微気候的に高温になる場所は、春の気温の低い時期には本種にとって有利であるが、気温の高い夏には逆に不利になると考えられる。しかし、本種がより高温になる場所に選択的に造巣する事実（守本, 1953）は、前者の利益が後者の不利益よりも大きいことを意味するものと思われる。つまり、単独営巣期をできるだけ速く通過し、巣の生存確率を高めることが重要であり、その後の高温による不利益は、そのときにはおそらく豊富になっているはずの働き蜂の労働によって補償できるものと推定される。

要約

フタモンアシナガバチ *Polistes chinensis antennalis* PÉREZ の未成熟期の正確な発育所要日数を知るために、野外で営巣した巣でセルマップによる個体の発育についての観察を行った。更に、卵期については、発育速度の温度特性を明らかにするための室内実験を行った。

卵期間は、季節とともにほぼ直線的に減少した。室内実験の結果では、18℃、20℃、25℃、30℃、35℃で孵化が見られたが、35℃では既に高温阻害を起こしているものと思われた。18℃～30℃の範囲では、温度と発育速度（1／卵期日数）との間には、直線関係が存在し、発育ゼロ点は約14.8℃、有効積算温度は約105.5日度であった。実験に用いた4つの地域個体群間には、温度特性について統計的に有意な差は認められなかった。

幼虫期間は、偏ったひと山型の変化を示し、特に最初の数個体の発育所要日数が短いことが注目された。これは、女王蜂が少しでも早く最初の働き蜂を羽化させようとするものであると思われる。まゆ期間は、はじめ減少し、その後はほぼ一定であった。

このような結果から、本種の造巣場所選択が未成熟期の発育に対してもつ意義や、未成熟期の発育所要日数が単独営巣期におけるコロニーの生存確率におよぼす影響などについて述べた。

〔註〕

- 1) 船橋市役所大気保全課の測定による。

引用文献

- BRIAN, A. D. (1952) Division of labour and foraging in *Bombus agrorum* FABR. *J. Anim. Ecol.* **21** : 223—240.
- BRIAN, M. V. and A. D. BRIAN (1952) The wasp, *Vespula sylvestris* SCOPOLI: Feeding, foraging and colony development. *Trans. Royal Ent. Soc. London* **103** : 1—26.
- CUMBER, R. A. (1949) The biology of Humble-bees, with special reference to the production of the worker caste. *Trans. Royal. Ent. Soc. London* **100** : 1—45.
- DELEURANCE, E. P. (1957) Contribution à L'étude biologique des *Polistes*. I. L'activité de construction. *Annls. Sci. Nat. Zool.* **19(11)** : 91—222.
- *FRISCH, K. VON (1967) *The dance language and orientation of bees* (tr. CHADWICK). Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge xiv + 566pp.
- FUKUDA, H. and T. OHTANI (1977) Survival and life span of drone honeybees. *Res. Popul. Ecol.* **19** : 51—68.
- FUKUDA, H. and Sh. F. SAKAGAMI (1968) Worker brood survival in honeybees. *Res. Popul. Ecol.* **10** : 31—39.
- GIBO, D. L. (1978) The selective advantage of foundress association in *Polistes fuscatus* (Hymenoptera: Vespidae): a field study of the effects of predation on productivity. *Can. Ent.*, **110(5)** : 519—540.
- GIBO, D. L., R. M. YARASCAVITCH and H. E. DEW (1974) Thermoregulation in colonies of *Vespula arenaria* and *Vespula maculata* (Hymenoptera: Vespidae) under normal conditions and under cold stress. *Can. Ent.* **106** : 503—507.
- HEINRICH, B. (1974) Thermoregulation in bumblebees. I. Brood incubation by *Bombus vosnesenskii* queens. *J. comp. Physiol.* **88** : 129—140.
- (1976) The foraging specializations of individual bumblebees. *Ecol. Monog.* **46** : 105—128.
- (1979a) "Majoring" and "Minoring" by foraging bumblebees, *Bombus vagans*: An experimental analysis. *Ecology* **60** : 245—255.
- (1979b) Resource heterogeneity and patterns of movement in foraging bumblebees. *Oecologia* (Bel) **40** : 235—245.
- (1979c) Economics of insect sociality. *Behavioral Ecology*. ed Jr. KREBS and N. B. DAVIES, Blackwell, Oxford xi + 494pp.
- 星川哲夫 (1979) フタモンアシナガバチの巣の発展と採餌量. 九州病虫害研究会報 **25**: 162—164.
- ISHAY, J. and F. RUTTNER (1971) Thermoregulation im Hornissennest. *Z. vergl. Physiol.* **72** : 423—434.
- 伊藤嘉昭 (1975) 動物生態学 (上) 226pp. 古今書院, 東京
- JAY, S. C. (1963) The development of honeybees in their cells. *J. Apic. Res.* **2** : 117—134.
- JEANNE, R. L. (1972) Social biology of the neotropical wasp, *Mischocyttarus drewseni*. *Bull. Mus. Comp. Zool.* **144(3)** : 63—150.
- 牧野俊一 (1979) ホオナガスズメバチ 2種の巣独営巣期に関する知見. 日本昆虫学会 (39), 応動昆 (23) 合同大会講演要旨: 122.
- MAKINO, S. and Sk. YAMANE (1980) Heat production by the foundress of *Vespa simillima*, with description of its embryo nest (Hymenoptera: Vespidae). *Ins. Matsum. N. S.* **19** : 89—101.
- MATSUURA, M. (1969) Behaviour of post-hibernating female hornets, *Vespa*, in the pre-nesting stage, with special reference to intra- and interspecific dominance relationships. *Jap. J. Ecol.* **19** : 196—203.
- 松浦 誠 (1973a) モンスズメバチの初期巣におけるコロニーの発展経過, 生物研究 (福井) **17** (1—2) : 1—12.

- (1973b) スズメバチ属ハチ類のコロニー内の分業Ⅲ. 外役活動. 同上 17 (3-4) : 81-99.
- MATSUURA, M. (1974) Intracolony polyethism in *Vespa*. I. Behaviour and its change of the foundress of *Vespa crabro flavofasciata* in early nesting stage in relation to worker emergence. *Kontyû, Tokyo* 42(3) : 333-350.
- MICHENER, C. D. and A. WILLE (1961) The bionomics of a primitively social bee, *Lasioglossum inconspicuum*. *Univ. Kansas Sci. Bull.* 42 : 1123-1202.
- MİYANO, S. (1980) Life tables of colonies and workers in a paper wasp, *Polistes chinensis antennalis*, in central Japan (Hymenoptera : Vespidae). *Res. Popul. Ecol.* 22 : 69-88.
- 守本陸也 (1953) フタモンアシナガバチの造巣場所について. 九大農芸誌 14(2) : 235-245.
- (1954) フタモンアシナガバチの巣の發展Ⅱ. 同上 14(4) : 511-522.
- (1959a) フタモンアシナガバチの営巣活動Ⅰ. 同上 17(2) : 99-113.
- (1959b) フタモンアシナガバチの営巣活動Ⅱ. 同上 17(2) : 115-128.
- (1960) フタモンアシナガバチに於ける社会的協同について. 昆虫 28(3) : 198-206.
- (1961a) アシナガバチ類の社会に於ける優劣順位Ⅰ. 九大農芸誌, 18(4) : 339-351.
- (1961b) アシナガバチ類の社会に於ける優劣順位Ⅱ. 同上 19(1) : 1-17.
- NAKASUJI, F., H. YAMANAKA and K. KIRITANI (1976) Predation of larvae of the tobacco cutworm *Spodoptera litura* (Lepidoptera, Noctuidae) by *Polistes* wasps. *Kontyû, Tokyo*, 44 : 205-213.
- PARDI, L. (1948) Dominance order in *Polistes* wasps. *Physiological Zoology* 21(1) : 1-13.
- RABB, R. L. (1960) Biological studies of *Polistes* in North Carolina (Hymenoptera : Vespidae). *Ann. ent. Soc. Amer.* 53 : 111-121.
- RICHARDS, K. W. (1973) Biology of *Bombus polaris* and *B. hyperboreus* SCHÖNHERR at Lake Hazen, northwest territories (Hymenoptera: Bombini). *Questiones entomologicae* 9 : 115-157.
- SAKAGAMI, Sh. F., C. CAMILO and R. ZUCCHI (1973) Oviposition behavior of a Brazilian stingless bee, *Plebeia (Friesella) schrottkyi*, with some remarks on the behavioral evolution in stingless bees. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI, Zool.* 19(1) : 163-189.
- SAKAGAMI, Sh. F. and H. FUKUDA (1968) Life tables for worker honeybees. *Res. Popul. Ecol.* 10 : 127-139.
- *SAKAGAMI, Sh. F. and K. HAYASHIDA (1958) Biology of the primitive social bee, *Halictus duplex* DALLA TORRE. I. Preliminary report on the general life history. *Annotationes Zoologicae Japonenses* 31(3) : 151-155.
- STEINER, A. (1930) Die Temperaturregulierung im Nest der Feldwespe (*Polistes gallica* var. *biglumis* L.). *Z. vergl. Physiol.* 11 : 461-502.
- SUZUKI, T. (1978) Area, efficiency and time of foraging in *Polistes chinensis antennalis* PÉREZ (Hymenoptera, Vespidae). *Jap. J. Ecol.* 28 : 179-189.
- TERADA, Y., C. A. GAROFALO and Sh. F. SAKAGAMI (1975) Age-survival curves for workers of two eusocial bees (*Apis mellifera* and *Plebeia droryana*) in subtropical climate, with notes on worker polyethism in *P. droryana*. *J. Apic. Res.* 14(3/4) : 161-170.
- WEST EBERHARD, M. J. (1969) The social biology of polistine wasps. *Misc. Pub. Mus. Zool. Univ. Michigan* 140 : 1-101.
- WILSON, E. O. (1971) *The insect societies*. xii + 548pp. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- YAMANE, S. (1969) Preliminary observation on the life history of two polistine wasps, *Polistes snelleni* and

- P. biglumis* in Sapporo, northern Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI. Zool.* **17**(1) : 78-105.
- 山根爽一 (1970) 北海道産社会性スズメバチ類の分類と生活史, 及び観察について, 生物教材(7) : 20-42.
- YAMANE, S. (1972) Life cycle and nest architecture of *Polistes* wasps in the Okushiri Island, northern Japan (Hymenoptera, Vespidae). *J. Fac. Sci. Hokkaido Ser. VI. Zool.* **18**(3) : 440-459.
- YAMANE, S. and T. KAWAMICHI (1975) Bionomic comparison of *Polistes biglumis* (Hymenoptera, Vespidae) at two different localities in Hokkaido, northern Japan, with reference to its probable adaptation to cold climate. *Kontyû, Tokyo*, **43**(2) : 214-232.
- 山崎正敏, 広瀬義躬, 高木正見 (1979) セグロアシナガバチの餌の捕獲場所へのくり返し飛来, 応動昆 **22**(2) : 51-55.
- YOSHIKAWA, K. (1954) Ecological studies of *Polistes* wasps 1. On the nest evacuation. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D.* **5** : 9-17.
- (1956) Compound nest experiments in *Polistes fadvigae* DALLA TORRE. *Ibid.* **7** : 229-243.
- 吉川公雄 (1959) アシナガバチの超個体制, 動物の社会と個体 (科学文献抄) : 78-92.
- YOSHIKAWA, K. (1962) Introductory studies on the life economy of polistine wasps. I. Scope of problems and consideration on the solitary stage. *Bull. Osaka Mus. Nat. Hist.* **15** : 3-27.
- (1963a) Introductory studies on the life economy of polistine wasps. II. Superindividual stage. 2. Division of labor among workers. *Jap. J. Ecol.* **13**(2) : 53-57.
- (1963b) Introductory studies on the life economy of polistine wasps. II. Superindividual stage. 3. Dominance order and territory. *J. Biol. Osaka City Univ.* **14** : 55-61.
- *を付したものは直接参照できなかった。

Brood development in *Polistes chinensis antennalis* PÉREZ

I. Seasonal variation of duration of immature stages and an experiment on thermal response of egg development

Shinya MIYANO

Development of immatures of a paper wasp, *Polistes chinensis antennalis* PÉREZ, was observed by means of cell map method to know precise duration of each immature stage in the field. Moreover an indoor experiment was made to determine the thermal property of developmental velocity in egg stage.

Duration of egg stage almost linearly decreased as the season progressed. Hatching was observed under the temperatures of 18°C, 20°C, 25°C, 30°C and 35°C in the experiment, but the heat inhibition seemed to take place already under 35°C. There was linear relationship between temperature and the developmental velocity (1/duration of egg stage) in the temperature range from 18°C to 30°C. The developmental zero was about 14.8°C and the effective accumulative temperature was 105.5 day°C. There was no statistical significant difference in the thermal property among four local populations used in the experiment. Duration of larval stage had a one-sided unimodal curve. It was especially noteworthy that larval duration of the first few individuals was very short, which seems to be arisen from the queen's effort to produce the first workers as early as possible. Duration of cocoon stage decreased at first, then it almost remained stationary.

From the above results the significance of nest site selection for brood development and the influence of duration of immature stages upon colony survival probability during solitary stage were discussed.