

博士論文

ゴキブリにおける線虫感染に関する研究

Investigation of nematode infection in cockroaches

2021年2月

麻布大学大学院 獣医学研究科

動物応用科学専攻 博士後期課程

DA1761 小林 益子

MASUKO KOBAYASHI

指導教員：平 健介 准教授

指導教員：黄 鴻堅 教授

目次

要旨	3
ABSTRACT	7
はじめに	10
研究の背景	11
1. ゴキブリ	11
(1) ゴキブリの種類と特徴	11
(2) チャバネゴキブリとモリチャバネゴキブリ	16
(3) ゴキブリの形態	16
(4) ゴキブリの生活環	20
(5) ゴキブリの生態と食性および共食性	22
(6) ゴキブリの天敵	24
(7) ゴキブリと寄生線虫	25
(8) ゴキブリの防御物質	26
2. ゴキブリと人との関わりー有害性と有益性ー	29
(1) 衛生指標としてのゴキブリ	29
(2) 病原体伝搬者としてのゴキブリ	30
(3) アレルゲンとしてのゴキブリ	32
(4) 食用・薬用としてのゴキブリ	33
(5) 生き餌としてのゴキブリ	34
(6) 実験動物としてのゴキブリ	34
3. 実験動物と寄生虫感染	35
(1) 実験動物の定義	35
(2) 実験動物の駆虫例	36
(3) 動物用駆虫薬の種類	38
第1章 国内棲息3種ゴキブリに寄生する線虫の感染状況	
緒言	42
材料および方法	43
結果	46
考察	68
第2章 チャバネゴキブリ <i>Blattella germanica</i> に寄生する蟯虫 <i>Blatticola blattae</i> の暴露感染	

緒言	71
材料および方法	71
結果	73
考察	75
第3章 チャバネゴキブリ <i>Blattella germanica</i> の蟻虫 <i>Blatticola blattae</i> に対する寄生虫駆虫薬の効果	
緒言	77
材料および方法	79
結果	82
考察	86
第4章 ゴキブリ用殺虫剤の効果に及ぼすチャバネゴキブリ <i>Blattella germanica</i> の蟻虫感染の影響	
緒言	88
材料および方法	89
結果	90
考察	92
第5章 チャバネゴキブリ <i>Blattella germanica</i> の生存に及ぼす 蟻虫 <i>Blatticola blattae</i> 感染の影響	
緒言	94
材料および方法	95
結果	97
考察	101
総括ならびに結論	102
今後の展望	105
おわりに	106
謝辞	107
参考文献	108

要旨

人の生活環境に近いところで棲息する屋内生息性ゴキブリのうち、ワモンゴキブリ *Periplaneta americana*、クロゴキブリ *Periplaneta fuliginosa* およびチャバネゴキブリ *Blattella germanica* の3種類は、重要な衛生害虫であり、実験昆虫として重要な役割を果たしてきた。しかしながら、これらの飼育個体群のゴキブリについて、特に国内では内部寄生虫の存在は知られておらず、また、寄生虫の感染が宿主に及ぼす影響などについてもこれまで報告がない。ゴキブリは、昆虫科学、獣医衛生学および公衆衛生学においても重要な対象生物であり、内部寄生虫の存在を含めて、その生態を明らかにすることは意義がある。そこで、国内飼育個体群のゴキブリおよび野外で捕獲される国内棲息ゴキブリの線虫寄生状況について調査した。

国内の研究機関で飼育継代されてきたゴキブリの寄生虫種および感染率を調べると、3種のゴキブリの消化管の後腸前部に、4種の *Thelastomatoidae* 上科の蟯虫、*Leidynema appendiculata*、*Hammerschmidtella diesingi*、*Thelastoma bulhoesi* および *Blatticola blattae* が検出された。蟯虫種や寄生数は飼育個体群ゴキブリにより差異がみられたものの、概して、各種ゴキブリに蟯虫が常在していることが確認された。これらの蟯虫は、ゴキブリ以外の無脊椎動物や哺乳類への感染事例は報告されていない。また、30年以上にわたって継代飼育されてきた実験用ゴキブリに蟯虫の寄生が確認されたことから、蟯虫は宿主の生存に大きな影響を与えることなく宿主とともに持続的に継代されてきたものと考えられた。また、長期にわたり継代されてきた個体群の中に非感染の個体群があったことから、通常の飼育管理によって非感染状態を長期間維持することが可能であることがわかった。また、この調査では、*L. appendiculata* はワモンゴキブリとクロゴキブリの2種類から検出されたが *H. diesingi* と *T. bulhoesi* はワモン

ゴキブリの1種だけから検出された。さらに、*B. blattae* はチャバネゴキブリの1種だけから検出された。このことから、*H. diesingi*、*T. bulhoesi* および *B. blattae* の宿主特異性は高いと考えられた。なお、チャバネゴキブリにおける *B. blattae* 感染は、国内で初めての報告となった。

チャバネゴキブリの蟻虫 *B. blattae* については、感染実験によって感染経路の一つが、飼育環境の蟻虫卵による汚染であることが明らかになった。すなわち、感染ゴキブリの糞とともに飼育環境中に排出された蟻虫の虫卵が成熟して成熟卵となり、主に食物や飲用水に混ざって宿主ゴキブリに経口的に再摂取されて再感染し、あるいは未感染ゴキブリに摂取されて新規に感染し、宿主とともに持続的に継代されてきたものと考えられた。他方、蟻虫の国内分布および寄生率を調べたところ、日本各地の飲食系商業施設で捕獲されたチャバネゴキブリの67% (213/320匹) に *B. blattae* の単一種感染が観察された。このことから、*B. blattae* はチャバネゴキブリに寄生して、国内に普通に生息していることが明らかになった。また、近縁在来種で屋外棲息型であるモリチャバネゴキブリの線虫感染状況を調べると、国内3か所の野外で捕獲された個体に蟻虫の感染はみられなかったが、実験室飼育個体群の10% (3/30匹) に *B. blattae* の寄生が認められた。このことから、野外棲息性のモリチャバネゴキブリにおける蟻虫の自然感染例はおそらく現在はまだないものと推察するが、飼育個体群ゴキブリでの *B. blattae* 感染が認められたことから、いずれ自然界でも外来種の増加や気候変動に伴うモリチャバネゴキブリの生息域の拡大などに伴って *B. blattae* の感染も広がる可能性が考えられた。なお、飼育個体群のモリチャバネゴキブリにおける *B. blattae* 感染は、今回が最初の報告となった。

ゴキブリと蟻虫の宿主寄生虫の相互関係を解明するために、蟻虫非感染ゴキブリを作出することは有効な手段の一つである。そこで、蟻虫自然感染チャバネゴキブリを用いて駆虫試験を試みたところ、パモ酸ピランテルとパモ酸ピル

ビニウムは宿主を死亡させることなく、チャバネゴキブリにおける *B. blattae* の駆虫に有効であることが明らかになった。また、イベルメクチンやクエン酸ピペラジンが宿主に対して毒性を示したことから、ゴキブリの駆虫においては駆虫薬の選択が重要であることがわかった。ゴキブリ個体群の生存に影響のある薬剤の使用は、個体群の殺虫剤感受性レベルを変動させる可能性があり、特に殺虫剤の評価や開発のために飼育されているゴキブリ個体群への駆虫薬の選択には注意が必要である。

さらに、実験用昆虫としてのゴキブリの蟻虫感染が殺虫剤の実用性試験に与える影響を調べることを目的に、ヒドラメチルノン含有食毒剤の二次的殺虫効果とゴキブリの蟻虫感染の関連を調べた。その結果、蟻虫感染群の生存日数が非感染群より有意に低くなり、殺虫剤とともに排出された糞に対する食糞行動の結果、二次的殺虫効果が高く現れることが明らかになった。このことから蟻虫感染は食毒剤の二次的殺虫効果に影響を与え、殺虫剤の試験結果を変動させる可能性が示唆された。

ゴキブリの生存における蟻虫感染の影響を調べることを目的に、チャバネゴキブリの蟻虫自然感染個体群と非感染個体群を用いて、飢餓時の生存率の関係を調べた。その結果、糞給餌区において、感染個体群の生存日数が非感染個体群に比べて長くなった。感染群はより多くの糞を食して栄養源としたことで生存期間が長くなった可能性が考えられた。さらに蟻虫非感染個体群と、非感染個体群を人為的に感染させた個体群および蟻虫自然感染個体群の生存性を比較した結果、蟻虫感染群の生存率が有意に高くなった。すなわち、餌のない飢餓状態や餌の代わりに糞のみを給餌された場合、蟻虫感染はゴキブリ宿主の生存率を有意に増加させる可能性が示唆された。

結論として、本研究により次のことが明らかになった。

- 1) 国内棲息の3種屋内性ゴキブリから4種類の蟻虫 *Leidynema appendiculata*、*Hammerschmidtella diesingi*、*Thelastoma bulhoesi* および *Blatticola blattae* が検出された。
- 2) チャバネゴキブリにおける *B. blattae* の寄生を国内で初めて報告し、*B. blattae* がチャバネゴキブリと共に全国に分布していることがわかった。
- 3) *B. blattae* はゴキブリの糞を介した虫卵の環境暴露で感染することが実証された。また、通常の飼育管理により非感染状態が長期間維持できることがわかった。
- 4) 野外生息型モリチャバネゴキブリの飼育個体群に、野生個体では見られなかった *B. blattae* 感染が確認された。
- 5) パモ酸ピルビニウムとパモ酸ピランテルが、ゴキブリの蟻虫の駆虫に有効であることが示された。
- 6) ゴキブリの蟻虫感染は、食毒殺虫剤の効果に影響を及ぼす可能性があることが示された。
- 7) 蟻虫感染が飢餓時のゴキブリの生存に有利にはたらく可能性が示唆された。

ABSTRACT

Approximately 3,500 species of cockroaches in the world are forest-dwelling and feed on sap or decaying trees. Some of these forest-dwelling species have been used by humans as beneficial insects for medicinal purposes, food, and live fodder for rearing reptiles since ancient times. Of the indoor cockroaches that inhabit the human living environment, are the American cockroach, the smoky-brown cockroach, and the German cockroach. They are considered as sanitary pests, and their existence serve as an indicator for hygiene management in the human living environment. They can transmit pathogens as well as causing human allergy. Moreover, a large number of cockroaches live in the livestock barn and pens, and to be eaten by livestock. Cockroaches have been bred and used as experimental animals at various research institutes for developments of pesticides and understanding their biology. However, little is known about their endo-parasites. On the other hand, endo-parasites are known to interfere in results of experimental animal studies. To use cockroaches, as experimental animal, there is a need to elucidate their endo-parasites infection status which have been overlooked.

Three species of cockroaches, namely, American cockroach *Periplaneta americana*, smoky-brown cockroach *Periplaneta fuliginosa*, and German cockroach *Blattella germanica*, reared in laboratories in Japan were examined for nematode infection. Laboratory-reared *P. americana* (3 lines; NKC, NIID and NK) and *B. germanica* (3lines; WAT, NIID and NK) and *P. fuliginosa* (2 lines; NKC and NK) were examined. Four species of pinworms, namely, *Leidynema appendiculata*, *Hammerschmidtella diesingi*, *Thelastoma bulhoesi* and *Blatticola blattae* were found infecting the cockroaches in the present study. These pinworms are of the family Thelastomatidae (order Oxyurida). Mixed infection of 3 pinworm species was seen in NKC line of cockroach, 2 species in the NIID line, and single species infection with *T. bulhoesi* was seen in NK line of *P. americana*. Only a single species infection of *L. appendiculata* was seen in *P. fuliginosa*. A single species infection of *B. blattae* was seen in NIID and NK line of *B. germanica*. Mixed infection with different species of pinworms was seen only in *P. americana*, whereas only a single species of pinworm infection was seen in *P. fuliginosa* and *B. germanica*. Of the 320 German cockroaches collected at 79 restaurants in 26 prefectures in Japan, 67% (213/320) were found to be parasitized by a single species of pinworm,

namely, *Blatticola blattae*. The same species was also found in laboratory-bred NIID and NK lines. Their prevalence was 93.0% (40/43) and 84.8% (39/46), respectively. The other laboratory line (WAT) was found to be free of the pinworm infection. This was the first report of *B. blattae* infection in German cockroaches in Japan. Our study showed that *B. blattae* is distributed all over Japan together with its host *Blattella germanica*.

To elucidate the infection route of *B. blattae* infection in German cockroach, infected cockroach feces were placed into the breeding container of un-infected cockroaches. As a result, larvae, immature female worms and gravid female worms of *B. blattae* were detected in the experimentally exposed German cockroaches on days 10, 20 and 30 post-exposure, respectively. Thus, it was demonstrated that the fecal-oral infection route occurs for *B. blattae*. In another survey of the pinworm infection in wild cockroaches *Blattella nipponica* at four locations in Japan, we could not find any pinworm infection. However, 10% (3/30) of the laboratory-reared *Blattella nipponica* were found to be infected with *B. blattae*, thus, indicating that the cockroach species is susceptible to the pinworm infection.

To establish cockroaches as experimental animal, there is a need produce and maintain a worm-free colony. The efficacy of pyrantel pamoate, pyrvinium pamoate, ivermectin and piperazine citrate against pinworm infection in cockroach was evaluated. Laboratory-reared German cockroaches naturally infected with *Blatticola blattae* were treated with the anthelmintics and then necropsied at 3 to 35 days after treatment. Ivermectin at over 5 ppm in drinking water and piperazine citrate at over 2000 ppm killed all the cockroaches but pinworms were still detected in cockroaches given lower concentration of the drugs. Pyrantel pamoate (100-1000 ppm) and pyrvinium pamoate (2000 ppm) did not kill the cockroaches and no pinworms were detected at 3 and 17 days after treatment. Thus, pyrantel pamoate and pyrvinium pamoate were found to be effective for deworming *B. blattae* in the German cockroaches. Our results showed that prudent selection of anthelmintic is essential for eradication of pinworms in cockroaches.

In our study of oral insecticide poisoning effect on cockroaches, including a secondary insecticidal effect after returning their nest, it was observed that the effect differed depending on the presence or absence of pinworm infection. The mortality rate of cockroach was particularly high for the infected group, i.e., a significant increase in secondary insecticidal effects was noticed in the infected group.

The direct effect of pinworm infection on the survival rate of cockroach was examined by comparing between the experimentally infected group and the pinworm-free group. It was revealed that pinworm infection significantly increased the survival rate of cockroach hosts when no food was given or when only feces were available instead of food.

In conclusion, from the above studies, we have clarified the followings;

- 1) Four species of pinworms, *Leidynema appendiculata*, *Hammerschmidtella diesingi*, *Thelastoma bulhoesi* and *Blatticola blattae*, were detected in 3 species of indoor habitat cockroaches.
- 2) *Blatticola blattae* infection in the German cockroach was the first geographical report in Japan, and it was found to distribute nationwide together with the German cockroach.
- 3) *Blatticola blattae* can be transmitted through fecal contamination of environment of the German cockroach.
- 4) *Blattella nipponica* were observed to be susceptible to *Blatticola blattae* infection.
- 5) Pyrvinium pamoate and pyrantel pamoate were effective in deworming of the cockroach pinworms.
- 6) Pinworm infection of cockroaches were demonstrated to affect the potency of the secondary effect of bait insecticides.
- 7) Pinworm infection was shown to have a predominant effect on the survival of cockroaches during starvation.

はじめに

ゴキブリの種類は世界で約 3,500 種といわれ、その 99%は熱帯地域の野外環境に生息する野生種であり、国内では 57 種 7 亜種が確認されている。これらのうち、人の生活環境に生息する屋内生息性ゴキブリは数種類であり、なかでもワモンゴキブリ *Periplaneta americana*、クロゴキブリ *Periplaneta fuliginosa* およびチャバネゴキブリ *Blattella germanica* の 3 種類は特に重要な衛生害虫である。衛生害虫として重要なゴキブリは、公衆衛生に関連する研究所、大学の昆虫学群研究室や製薬メーカーなどで、長年飼育、継代され、実験用昆虫として重要な役割を果たしてきた。しかし、国内におけるこれらのゴキブリ飼育個体群の内部寄生虫の存在は不明であり、内部寄生虫の存在が各種試験結果へ影響する可能性が考慮されたことはこれまでにない。野生のゴキブリにおける内部寄生虫の寄生率あるいは感染が宿主に及ぼす影響などについても検討されることはなかった。実験用ゴキブリから得られた実験データの変動要因は、供試ゴキブリの個体差や実験条件の違いなどで説明されてきたが、変動要因のひとつとして寄生虫感染が関与している可能性も考えられる。

これらのゴキブリは不快害虫として人に嫌われる一方、各種の病原体の伝播者としても問題視されている。

ゴキブリは昆虫科学、獣医衛生学および公衆衛生学において重要な生物であり、内部寄生虫の存在を含めてその生態を明らかにすることは意義がある。そこで、本研究の目的は、国内に棲息するゴキブリの寄生虫感染について把握し、ゴキブリと寄生線虫の宿主寄生虫相互関係を明らかにすることとした。

研究の背景

1. ゴキブリ

(1) ゴキブリの種類と特徴

ゴキブリは3億年前の石炭紀にすでに出現し、今日まで形態を大きく変化させないまま生存し続けてきた昆虫の代表格で、生きる化石ともいわれる。ゴキブリの種類は全世界で約3,500種あり、その99%以上は熱帯地域の自然環境に生息する野生種であり、熱帯林において重要な花粉媒介者ともなっている。ゴキブリ目 Blattodea は、Corydioidea、Blaberoidea および Blattoidea の3つの上科に分けられる (Foottit and Adler 2018)。なお、シロアリは、個体群分類上はゴキブリ目に含まれるが、ゴキブリとは別目として扱われている。キゴキブリ属の *Cryptocercus* は、最もシロアリに近い性質を持ち、木材摂食、セルロース分解を助ける微生物との共生関係などが知られている (Foottit and Adler 2018)。主に建物内に生息する、いわゆる、屋内生息性ゴキブリで、人との関わりのある種類は全ゴキブリ種の約1%といわれ、100種にも満たない。現在、日本国内での棲息が記録されているゴキブリは57種7亜種で、その多くが九州以南、特に南西諸島に分布する (辻 2016)。国内産ゴキブリ 57種7亜種を第1表に示した。日本での棲息が確認されているゴキブリは Asahina (1991) により 52種7亜種が報告されたが、その後、チュウトウゴキブリ *Blatta (Shelfordella) lateralis* (Aoki et al. 1981) やフタホシモリゴキブリ *Sigmella schenklingi* (Komatsu et al. 2013) などが追加され、現在は57種7亜種となっている。チュウトウゴキブリ (トルキスタンゴキブリ) は爬虫類等の生き餌として利用されており、近年、国内報告が増えている。気候の温暖化に伴い亜熱帯性のゴキブリが国内に定着する可能性が

報告されている(辻 2016, Komatsu et al. 2013)。日本産ゴキブリのうち住環境周辺でよく見られるのは、チャバネゴキブリ、クロゴキブリ、ヤマトゴキブリ、ワモンゴキブリ、コワモンゴキブリおよびトビイロゴキブリであり、なかでもチャバネゴキブリ、クロゴキブリおよびワモンゴキブリの3種のゴキブリは重要な衛生害虫として位置づけられている。

第1表 日本産ゴキブリ一覧 57種7亜種 (Asahina 1991, 辻 2016 より改変)

Order:Blattodea

Superfamily	Family	Genus	学名					
			属名	種名	亜種名	和名		
Blattoidea	Blattidae ゴキブリ科	クロツヤゴキブリ属	<i>Melanozosteria</i>	<i>nitida</i>		クロツヤゴキブリ		
			<i>M.</i>	<i>soror</i>		ヒメクロツヤゴキブリ		
		ゴキブリ属	<i>Periplaneta</i>	<i>americana</i>		クワメゴキブリ		
			<i>P.</i>	<i>australasise</i>		コクメゴキブリ		
			<i>P.</i>	<i>brunnea</i>		トビイロゴキブリ		
			<i>P.</i>	<i>fuliginosa</i>		クダゴキブリ		
			<i>P.</i>	<i>japanna</i>		ウメゴキブリ		
			<i>P.</i>	<i>japonica</i>		ヤマトゴキブリ		
		イエゴキブリ属	<i>Neostylopyga</i>	<i>rhombifolia</i>		イロゴキブリ		
			<i>Hebardina</i>	<i>yayeyamana</i>		マルバネゴキブリ		
		トルキスタンゴキブリ属	<i>Shelfordella</i>	<i>lateralis</i> (Walker,1868)		トルキスタンゴキブリ		
		Anaplectidae (カモンバネゴキブリ科)	クロモンチゴキブリ属	<i>Anaplecta</i>	<i>japonica</i>		カモンバネゴキブリ	
Blaberoidei: Ectobiidae	チャバネゴキブリ科	チビゴキブリ属	<i>Anapoecteoaa</i>	<i>ruficolis</i>		チビゴキブリ		
		ヒメクロゴキブリ属	<i>Chorisonaura</i>	<i>nigra</i>		ヒメクロゴキブリ		
		チャオビゴキブリ属	<i>Supella</i>	<i>longipalpa</i>		チャオビゴキブリ		
		ヨウランゴキブリ属	<i>Imblattella</i>	<i>carchidae</i>		ヨウランゴキブリ		
		ウスヒラタゴキブリ属	<i>Onychostylus</i>	<i>pallidiolus</i>	<i>pallidiolus</i>		ウスヒラタゴキブリ	
				<i>pallidiolus</i>	<i>boninensis</i>		オカサワラウスヒラタゴキブリ	
				<i>villis</i>			ミナミヒラタゴキブリ	
				<i>notulatus</i>			アミヒラタゴキブリ	
		ツチゴキブリ属	<i>Margettea</i>	<i>kumamotonis</i>	<i>kumamotonis</i>		ツチゴキブリ	
				<i>kumamotonis</i>	<i>shiraki</i>		ヒメツチゴキブリ	
				<i>satsumana</i>			サツマツチゴキブリ	
				<i>ogatai</i>			ヒメサツマツチゴキブリ	
		コバネゴキブリ属	<i>Lobopterella</i>	<i>dimidatipes</i>		コバネゴキブリ		
		キョウトゴキブリ属	<i>Asiablatta</i>	<i>kyotenis</i>		キョウトゴキブリ		
		モリゴキブリ属	<i>Symploce</i>	<i>japonica</i>			モリゴキブリ	
				<i>okinoerabuensis</i>			イラモリゴキブリ	
				<i>miyakoensis</i>			ミヤコモリゴキブリ	
				<i>striate</i>			キスモリゴキブリ	
				<i>yaeyamana</i>			ヤエヤマキスモリゴキブリ	
				<i>gigas</i>			オモモリゴキブリ	
				<i>gigas</i>			オキナワオモモリゴキブリ	
				<i>furcqa</i>			カノモリゴキブリ	
		ホソモリゴキブリ属	<i>Episymploce</i>	<i>anamiensis</i>			アナムモリゴキブリ	
				<i>sundaica</i>			リュウキウモリゴキブリ	
		ヒメモリゴキブリ属	<i>Sigmella</i>	<i>schenklingi</i> (karny,1915)		フナモリゴキブリ		
		チャバネゴキブリ属	<i>Blattella</i>	<i>germanica</i>			チャバネゴキブリ	
				<i>nipponica</i>			モリチャバネゴキブリ	
				<i>asahinai</i>			オキナワチャバネゴキブリ	
				<i>lituricollis</i>			ヒメチャバネゴキブリ	
				<i>biligata</i>			モリゴキブリモトキ	
		Blaberidae オオゴキブリ科	オガサワラゴキブリ属	<i>Pynoscelus</i>	<i>surinamensis</i>			オガサワラゴキブリ
					<i>niger</i>			チャイロゴキブリ
<i>indicus</i> (Fabricius,1775)						リュウキウゴキブリ		
ハイイロゴキブリ属	<i>Nauphoeta</i>		<i>cinerea</i>			ハイイロゴキブリ		
サツマゴキブリ属	<i>Opisthoptatia</i>		<i>orientalis</i>			サツマゴキブリ		
マダラゴキブリ属	<i>Rhabdoblatta</i>		<i>guttigera</i>			マダラゴキブリ		
			<i>takarana</i>			トカラマダラゴキブリ		
			<i>yaeyamana</i>			ヤエヤママダラゴキブリ		
			<i>formosana</i>			コマダラゴキブリ		
マルゴキブリ属	<i>Trichoblatta</i>		<i>pygmaea</i>			ヒメマルゴキブリ		
			<i>nigra</i>			マルゴキブリ		
オオゴキブリ属	<i>Panesthia</i>		<i>angustipennis</i>	<i>spedica</i>		オオゴキブリ		
			<i>angustipennis</i>	<i>yaeyamaensis</i>		ヤエヤマオオゴキブリ		
クチキゴキブリ属	<i>Salgance</i>		<i>esaki</i>			イサキクチキゴキブリ		
			<i>taiwanensis</i>			タイワンクチキゴキブリ		
						リュウキウクチキゴキブリ		
Corydioidea	Corydiidae		ルリゴキブリ属	<i>Eucorydia</i>	<i>yasumatsui</i>		ルリゴキブリ	
			ツチカメゴキブリ属	<i>Holocompsa</i>	<i>debilis</i>		ツチカメゴキブリ	
	Nocticolidae ホラアナゴキブリ科	ホラアナゴキブリ属	<i>N.</i>	<i>uenoi</i>		ホラアナゴキブリ		
<i>N.</i>	<i>uenoi</i>	<i>kikaiensis</i>		キカイホラアナゴキブリ				
<i>N.</i>	<i>uenoi</i>	<i>miyakoensis</i>		ミヤコホラアナゴキブリ				

第2表に国内の屋内生息性ゴキブリおよび参考として野外生息性のモリチャバネゴキブリの特徴について示した。これらの中で、完全に屋内だけで生活するのはチャバネゴキブリであり、その他の種は越冬時も含めて野外に存在することも多い。

第2表 国内の屋内生息性ゴキブリの特徴 (Oomori 1982, 辻 2016 一部改変)

学名	和名	成虫体長(mm)		成虫の形態特徴	幼虫の形態特徴	本来の分布	現在の分布
		雄	雌				
<i>Blattella germanica</i>	チャバネゴキブリ	10~13	12~15	渋色～淡黄褐色前胸背板に2本黒い縦線	黒色、胸背板の正中線部分が淡黄色	熱帯・亜熱帯	沖縄～北海道 *家屋内常在
(参考) <i>Blattella nipponica</i>	モリチャバネゴキブリ	12.5	11.5	チャバネゴキブリに酷似。前胸背板の2本の縦班が太く内側に曲がって接近。飛翔可能	若齢幼虫で背面中央黄色部がチャバネゴキブリより不明瞭で5-7(終)令で消失	国内関東以西	関東以西 屋外 (6令幼虫で越冬)
<i>Periplaneta fuliginosa</i>	クロゴキブリ	25~30	23~25	黒褐色、斑紋がない、光沢が強い	1~2 齢は黒色、背面に2本白い横縞。3 齢以降は白い横縞が消え、赤褐色になり、斑紋がない	奄美～関東	沖縄～北海道 本州中部以南 屋外に普通屋内に侵入
<i>Periplaneta americana</i>	ワモンゴキブリ	36~44	29~37	赤茶色、前胸背板に黄褐色の環状紋がある	5 齢まで淡褐色、胸背板後縁両側に黒いスポット斑6 齢から赤褐色、前胸背板に淡黄色環状紋	熱帯	沖縄～北海道 熱帯・亜熱帯 で屋外に普通九州以北で加温区域 東北から関東
<i>Periplaneta japonica</i>	ヤマトゴキブリ	22~27	20~25	黒褐色、雄は長い翅、雌は短い翅 腹部の後半が露出	若齢は渋色、中齢以降は黒褐色、体に斑紋がない	近畿～東北	中部で屋外に普通屋内に侵入
<i>Periplaneta brunnea</i>	トビイロゴキブリ	23~27	27~30	赤茶色、前胸背板は暗色、渋色の縁取りがある	1 齢は触角基部と先端が白、残りは褐色。中齢以降は2~6 腹節両側にクリーム色スポット斑	熱帯	日本全国の加温区域 屋内型
<i>Periplaneta australasiae</i>	コワモンゴキブリ	25~30	25~27	赤茶色、前胸背板は暗色黄色環状紋が鮮明、翅の縁は黄色すじ紋がある	茶褐色、体節の各側面に黄色スポット斑	熱帯・亜熱帯	沖縄・奄美・小笠原の屋外、九州以北の加温区域



Fig. 1 飼育個体群のチャバネゴキブリ *Blattella germanica* (小林原図, 2020)



Fig. 2 モリチャバネゴキブリ *Blattella nipponica* (小林原図, 2020)



Fig. 3 飼育個体群のクロゴキブリ *Periplaneta fuliginosa* (小林原図, 2020)



Fig. 4 飼育個体群のワモンゴキブリ *Periplaneta americana* (小林原図, 2020)

(2) チャバネゴキブリとモリチャバネゴキブリ

チャバネゴキブリは、世界の都市部に棲息する完全屋内生息型のゴキブリである。Asahina(1991)は国内に棲息するチャバネゴキブリの由来については、1800年頃日本に侵入してきた外来種であるとしているが、原産地は不明である。一方モリチャバネゴキブリ *Blattella nipponica* は日本在来種で、屋外生息型である。成虫の外観はチャバネゴキブリと酷似しているが、前胸背の1対の黒条がやや太く、下方で左右より内屈することで区別される (Fig. 1,2 参照)。両種については個体群解析の結果、非常に近縁で形態もよく似るが、付属肢の長さや、アセチルコリンエステラーゼ活性に違いが認められ、それらは歩行速度や生息域の違いに反映しているものと推察されている (Kim et al. 2017)。モリチャバネゴキブリは Asahina(1963)によって在来種として、分布北限は東京付近と記載されたが、Tomioaka et al. (2015)によると、近年は茨城県北部や福島県でも普通に確認されており、50年間の間に生息域が190 km以上北上したことが報告されている。さらには千葉県の商品工場内で1年以上にわたって捕獲された事例 (Harunari et al. 2007)が報告されており、近年分布域の拡大が注目されている種でもある。

(3) ゴキブリの形態

クロゴキブリの外部形態について体背面を第5図に、体腹面を第6図に示した。雌雄の識別は、雄が腹端に尾角のほかに生殖突起を有することで識別される (第6-1図)。全体に扁平であり、背面は翅で覆われていて、長い触角と、走行に適したしっかりとした脚部が特徴である。脚部はいずれも胸部に付属し、5節からなる。ゴキブリの内部形態について第7図に示した。他の昆虫同様、解放血管群である。背板には背隔膜がつき、この膜を通して前後に1本の太い大動脈が

走りそれに続く心臓がある。背側を除いた腹側は白い脂肪体で覆われる。中枢神経群は脳、食道下神経節、胸部神経節（3個）、腹部神経節（6個）とこれらをつなぐ神経索からなる。

消化管は咽頭から食道、素囊、前胃（素囊と前胃をあわせて前腸という場合もある）、中腸、後腸、結腸、直腸からなる。前胃の内面には6列の剛い歯列帯からなる狭窄があり、食物の物理的な破碎に寄与している。中腸の前端には胃盲囊がついており消化液の分泌や栄養物の吸収を行う。中腸と後腸の境には、黄色の糸くずのようなマルピギー管が多数みられ排泄器官として機能している。ワモンゴキブリではその数は100本前後あり、血中に浮遊しているような状態で蠕動し、血液中の老廃物を集めて尿酸とし、後腸に排出する。

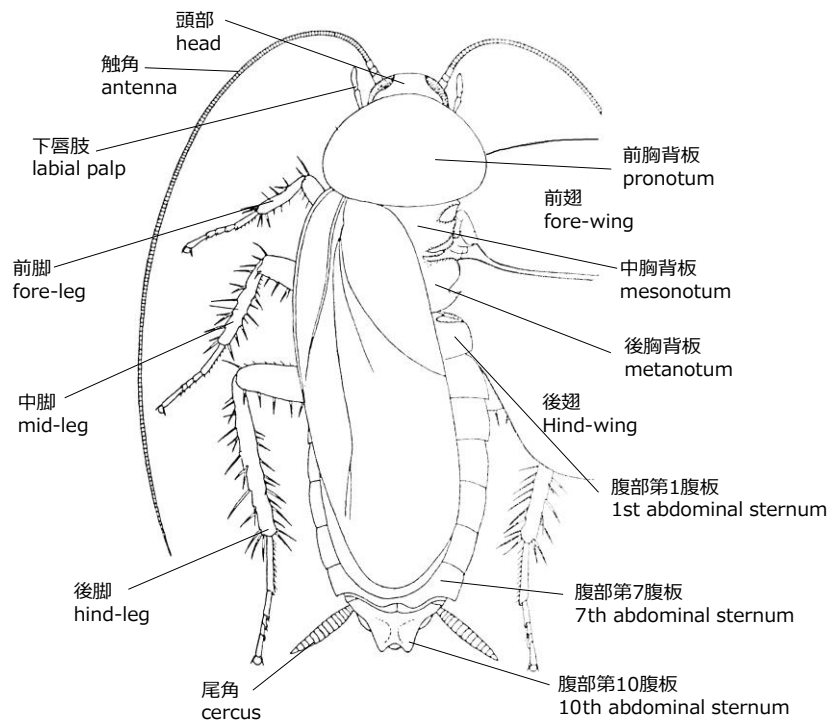


Fig. 5 クロゴキブリ雌成虫背面模式図

(日本動物学会編 動物解剖図 1990 を改変)

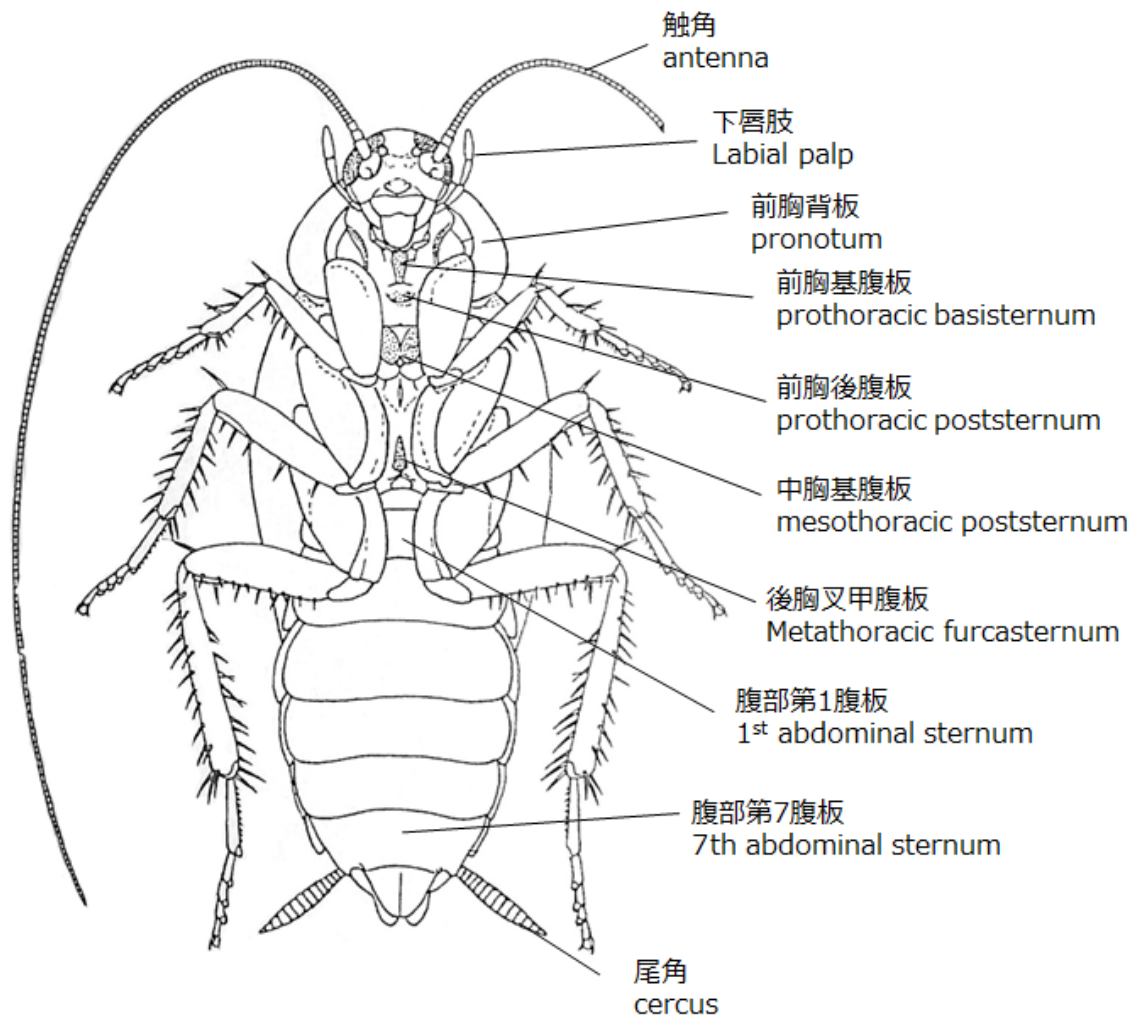


Fig. 6 クロゴキブリ雌成虫腹面模式図
 (日本動物学会編 動物解剖図 1990 を改変)

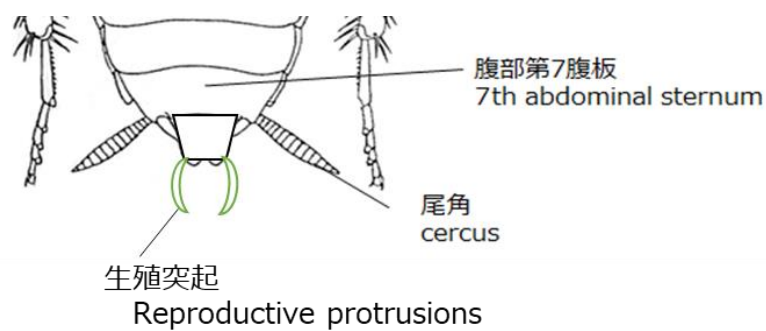


Fig. 6-1 クロゴキブリ雄成虫腹面末端模式図

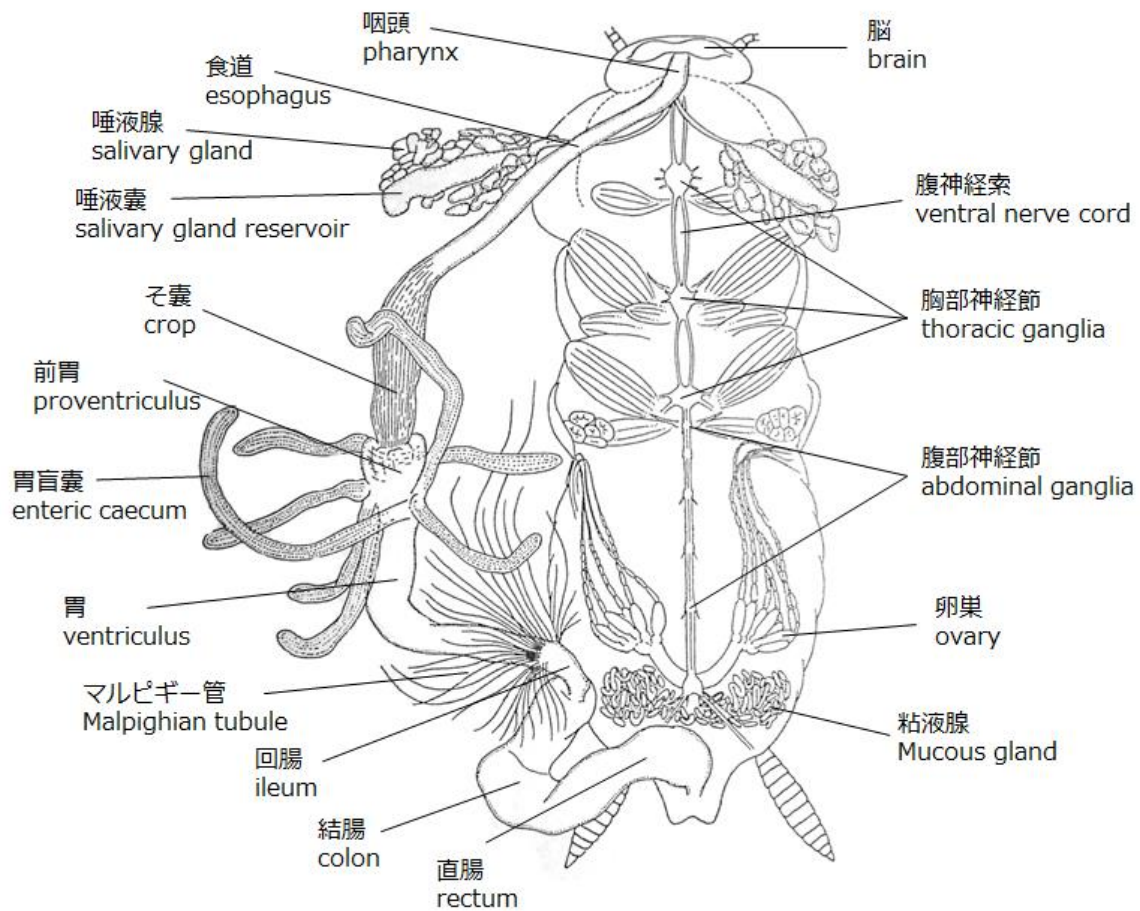


Fig. 7 ゴキブリの消化器群、神経群および生殖器群（雌）
（日本動物学会編 動物解剖図 1990 を改変）

(4) ゴキブリの生活環

ゴキブリは卵 → 幼虫 → 成虫という成長段階を踏む不完全変態の昆虫である。卵は数十個が一つの卵鞘に包まれて産みつけられる。チャバネゴキブリはメスが卵鞘を孵化時まで尾部にぶら下げて保護する。幼虫は翅がない以外は成虫とほぼ同じ形をしており、5 ~ 7 回の脱皮を経て成虫となる。ワモンゴキブリやク

ロゴキブリなどの大型種は、成虫に発育するまでに1年半から2年程の歳月を要するものが多く、世代交代の速度は遅い。体の脂肪体を栄養とすることで、ワモンゴキブリは水を摂取していない状態でも30～40日は生存できる。一方、チャバネゴキブリは耐寒性が弱く休眠しないため、年間を通して空調された商業ビル等で多く見られる。さらに、世代交代の速度も速く、このことが薬剤抵抗性を獲得しやすい要因の一つとなっている。好適条件下での4種ゴキブリの発育、生存期間の概要を第3表に示した。Willis et al. (1958) はチャバネゴキブリ、ワモンゴキブリなどの成虫について、大型種は小型種よりも飢えや渴きの条件に耐えることを報告した。この中で27℃以下では大型種のワモンゴキブリは、飲料水のみだと89日間生存したとされる。これに対して、小型種のチャバネゴキブリでは、雄は7日間、雌は約10日間生存したと報告されている。これらの結果は、日本のゴキブリでも追証されている (Tabaru et al. 2003)。

第3表 好適条件下での4種ゴキブリの発育、生存期間の概要(Oomori 1982を改変)

和名	チャバネゴキブリ	ワモンゴキブリ	クロゴキブリ	ヤマトゴキブリ
学名	<i>Blattella germanica</i>	<i>Periplaneta americana</i>	<i>Periplaneta fuliginosa</i>	<i>Periplaneta japonica</i>
羽化-交尾	5日以後	約14日	約7日	約10日
交尾-産卵	4-7日	数日-10日	約7日	10-11日
産卵期間	約7日	約7日	2-10日	3-4日
幼虫期間	27℃:40~46日 26℃:69~70日	27℃:3~5ヶ月 26℃:2~3ヶ月	3~4か月(越冬虫は1年以上)	3~5か月(2冬越冬する場合もある)
成虫生存期間	95-142日	102-588日	4-5か月	3-4か月
生涯卵鞘数	4-8	15-90	約17	14-16
卵鞘保持期間	15-25日	約1日	4日以内	数日
卵期間	15-25日	30-49日	約40日	約30日
卵数/卵鞘	30-40	10-20	約20	6-16
処女生殖	しない	する	する	する(幼虫は羽化しない)
脱皮回数	6回	8-13回	8-11回	8-11回
耐寒性	弱い	最も弱い	強い	最も強い

(5) ゴキブリの生態と食性および共食性

ゴキブリは本来熱帯雨林に生息する昆虫で、昼間は朽ち木や落ち葉の陰に潜み、夜になると活動し、菌類、樹液、朽ち木、動物の死骸や糞などを食べる雑食性の昆虫である(石井 1976, Asahina 1991)。やがて、特に雑食性の強い種の中から、寒さや食物に困らない、人間の住環境に進出する種類が現れた(石井 1976)。ゴキブリは、体内に共生する微生物により、窒素排泄物を体外に捨てずに尿酸として体内に蓄積し、共生微生物を介してアミノ酸に戻すことにより、タンパク質などのアミノ酸態窒素に再利用され、非常に乏しい食環境で生活できる

(Sabreea et al. 2009)。残飯や動植物の遺骸のほか、人間の垢や毛髪、和紙や油も食べる(石井 1976, 安富 1991)。

国内に棲息するゴキブリの中で特に世界中に広まっている外来種には、クロゴキブリ、チャバネゴキブリ、ワモンゴキブリ等の様にアフリカ原産だったと推測されているものが多い。これらは寒さには弱く、日本での生息地は北海道と高標高地を除く場所である(Asahina 1991, Oomori 1982)。しかし、1900年代後半頃には北海道にも進出して、一年中暖かいビル内などで繁殖・定着している(辻 2016, Asahina 1991)。その内、極めて人の生活環境に密接に関係しているものはクロゴキブリ、チャバネゴキブリ、ワモンゴキブリ、ヤマトゴキブリの4種である。このゴキブリは、人の生活環境に完全に適応しており、恐らくは人の生活環境から切り離されると自力で生存ができないと考えられる(安富 1991)。一方、森林性の種類は在来種のオオゴキブリ *Panesthia angustipennis spadica*、モリチャバネゴキブリ *Blattella nipponica*、サツマゴキブリ *Opisthopteria orientalis*、ルリゴキブリ *Eucorydia yasumatsui* 等がいるが、在来種のヤマトゴキブリ *Periplaneta japonica* の様に人家にも生活の場を広げる例もある。

ゴキブリは種類によっては共食行動を示す。共食行動は、一般的な屋内生息性ゴキブリや *Leucophaea maderae* (Scharrer 1953)、*Blaberus craniifer* (Saupe 1928) およびトビイロゴキブリ *Periplaneta brunnea* (Edmunds 1957) の実験室コロニーでごく普通にみられている。なかでもワモンゴキブリ *P. americana* の報告は多く、卵鞘の捕食や、雌の攻撃について記録されている (Lederer 1952, Griffiths and Tauber 1942, Klein 1933, Roth and Willis 1955, Sonan 1924)。高密度飼育の実験室の条件下では、食糧不足によるワモンゴキブリ *P. americana* の共食いは一般的である(Gould and Deay 1938)。また、実験室で飼育されているクロゴキブリ *P. fuliginosa* でも、全く餌が給餌されない場合に、糞や死

骸を食することはなく共食行動を起こすことが観察されている (Tabaru and Watabe 2003)。チャバネゴキブリ *Blattella germanica* は、共食いをしないとされている (Tabaru et al. 2003)。しかしながら、飼育密度と関連しない脱皮時の共食いが、高温で増加し低温で減少するという傾向や (Wille 1920)、同種の新たに脱皮した幼虫への攻撃や、孵化幼虫に対する捕食が報告されている (Gould and Deay 1938, Lhéritier 1951)。実験室で飼育されてきた *Nauphoeta cinerea* は、新生孵化幼虫を捕食する (Roth and Willis 1954, Willis et al. 1958)。ハワイでは、自然界で、*N. cinerea* がヒノキゴキブリ *Diploptera punctata* を捕食することが知られている (Illingworth 1942, Fullaway and Krause 1945)。Bunting (1956) は、*Neoblattella* のゴキブリは肉食性および共食い傾向で雑食性であるとしている。一方、*Pycnoscelus surinamensis* については長い飢餓期間にもかかわらず共食いは観察されなかったとされる (Saupe 1928, Roesr 1940)。

以上のように、ゴキブリの共食行動については、種によって、あるいは条件によって異なることが示唆されているが、条件の違いによっておこる捕食行動の要因の詳細については明らかにされていない。特に寄生虫感染との関連性については今のところ全く知られていない。

(6) ゴキブリの天敵

都会の飲食店では、ゴキブリが出ない店にはネズミがいると云われているほどネズミによるゴキブリの捕食は顕著である。ゴキブリに対して捕食や外部寄生を行う天敵としては脊椎動物では、カエル、ネズミ、マングース、ハリネズミのほかに、畜舎の鶏や豚舎の豚等があり、無脊椎動物では、アシダカグモ、コアシダカグモなどの大型のクモ、ヒラタクモ、イエタナグモ、アワセグモが知られている。また、オオヒメグモは主に幼虫を捕食し、セナガアナバチはゴキブリを捕

え、虫体に1個の卵を産み付け穴に埋めて去り、孵化幼虫がゴキブリを餌として育ち1か月後に成虫となり穴から脱出することで知られる。寄生蜂のゴキブリコバチ、ゴキブリタマゴヤセバチは世界に分布し、ワモンゴキブリ、クロゴキブリ、コワモンゴキブリ、トウヨウゴキブリなどの卵鞘に寄生する。ゴキブリの1卵鞘からはゴキブリコバチは数10匹、ゴキブリタマゴヤセバチは1匹が羽化する。寄生ダニのゴキブリダニ *Pimeliaphilis cunliffei* はゴキブリに外部寄生し、体液を吸収して殺虫する。1匹のゴキブリに180匹以上のダニが寄生し、トウヨウゴキブリ、ワモンゴキブリ飼育個体群が全滅した記録がある（石井 1976）。

(7) ゴキブリと寄生線虫

無脊椎動物の一門である線虫 (Phylum Nematoda) は、現状の記載種数が25,000 ~ 30,000 ある大きな生物群である。線虫の中には回虫や蟯虫などの人や動物の寄生虫、ネコブセンチュウ、シストセンチュウ、マツノザイセンチュウなどの農林害虫、生物防除剤として一部商品化されている *Steinernema*, *Heterorhabditis* などの昆虫寄生性線虫 (Yamanaka 2001, Kobayashi et al. 1987)、さらには研究材料として扱われる *Caenorhabditis elegans* などが含まれる。昆虫を何らかの形で利用するものを「昆虫嗜好性線虫 (entomophilic nematode)」と総称し、ここには、病原線虫 (entomopathogenic nematode)、捕食寄生線虫 (parasitoid nematode)、寄生線虫 (parasitic nematode)、便乗線虫 (phoretic nematode) が含まれる。

無脊椎動物を宿主とする蟯虫種 Oxyurida、Thelastomatoidea、Thelastomatidae には175種類の蟯虫が記載されている (Adamson and Waerebeke 1992)。記載種の中で宿主として最も多く記載されているのはワモンゴキブリ *P. americana* で、15種類の寄生線虫が記載されている。ゴキブリを宿主とする蟯虫

について第4表に示した。*L. appendiculata* はこの表では7種類のゴキブリが宿主として記載されており、宿主特異性が低いことが示唆される。世界ではゴキブリの消化管には Thelastomatoidea 科の蟯虫が寄生することは知られている。ワモンゴキブリには Thelastomatidae 上科に属する3種の蟯虫 *Hammerschmidtella diesingi*、*Thelastoma bulhoesi* および *Leidynema appendiculata* が寄生する (Adamson and Waerebeke 1992, Shah 2007)。*H. diesingi* はヨーロッパ各地、北アメリカ、インドの *Blatta orientalis*、*P. americana*、マレーシアの *P. americana* およびブラジル各地の *B. orientalis*、*P. americana*、*P. australasiae*、*Epilampra* sp.、*Petasodes mauffeti*、*H. scrobiculata* などのゴキブリから検出されている。*T. bulhoesi* はヨーロッパの *B. orientalis*、ブラジルの *Gymnostreptus* sp.、*Neptunobolus hogei*、北米の未確認ゴキブリ種から検出されている。さらに、*T. bulhoesi* は実験室で飼育されているワモンゴキブリに普通に感染しているとも記載されている。*L. appendiculata* はヨーロッパ、南北アメリカ、インド、マレーシアの *P. americana*、*P. australasiae*、*Blaberus atropos*、*Blatta orientalis* およびブラジルの *Hormetica scrobiculata* から検出されている。*B. blattae* は Thelastomatidae 上科に属する蟯虫で、チャバネゴキブリ科に固有の種であると報告されている (Chitwood 1932)。本種はヨーロッパ各地の *Blatella germanica*、*Ectobia laponica*、*E. livia*、*E. livens*、*Laboptera decipens* および *Labolampra suaptera* への感染が報告されており、比較的普通にチャバネゴキブリに寄生している (Chitwood 1932, Jarry 1964, Hristovski 1972, Galeb 1878)。また、*B. blattae* は寄生率も高く、ニューヨーク市で捕獲されたチャバネゴキブリの96%に寄生していたとされる (Tsai and Cahill 1970)。

(8) ゴキブリの防御物質

ワモンゴキブリの成虫をピンセットで刺激すると、腹面の環節間から特有の臭気の分泌物が放出される。この分泌物はパラクレゾールとパラエチルフェノー

ルで、これらはいずれも高い殺菌力があり、パラクレゾールは消毒薬としても使われている物質である。この物質はワモンゴキブリが捕らえられたときに分泌されることから防御物質の役割を果していると考えられている (Takahashi and Kitamura 1972)。ゴキブリが比較的容易に大量飼育できる要因の一つとして、飼育環境の清浄化にも貢献すると考えられるこの分泌物質の存在が考えられている。

第4表 ゴキブリを宿主とする蟻虫種一覧

Adamson, M. L. and Waerebeke D. (1992)を参考に編集

Host species	Pinworm species
<i>Periplaneta americana</i> ワモンゴキブリ	<i>Blatticola guptai</i> (Duggal & Aulakh, 1988) <i>Cephalobellus papilliger</i> (Cobb, 1920) <i>Hammershmidtella diesingi</i> (Hammerschmidt, 1838)(Chitwood, 1932) <i>H. aspiculus</i> (Biswas & Chakravarty, 1963) <i>H. bisiri</i> (Singh & Kaur, 1988) <i>H. poinari</i> (Gupta & Kaur, 1978) <i>Leidynema appendiculatum</i> (Leidy, 1850)(Chitwood, 1932) <i>L. periplaneti</i> (Farooqui, 1967) <i>Thelastoma aligarica</i> (Basir, 1940) <i>T. aurangabadense</i> (Farooqui, 1970) <i>T. basiri</i> (Farooqui, 1970) <i>T. bulhoesi</i> (Magalhaes, 1990) (Travassos, 1929) <i>T. malaysiense</i> (Khairal & Paran, 1977) <i>T. periplaneticola</i> (Leibersperger, 1960) <i>T. thapari</i> (Singh & Singh, 1955)
<i>Periplaneta australasiae</i> コクモンゴキブリ	<i>Leidynema appendiculata</i>
<i>Periplaneta fuliginosa</i> クロコキブリ	<i>L. appendiculata</i>
<i>Neptunobolus hoge</i>	<i>T. bulhoesi</i> (Magalhaes, 1990) (Travassos, 1929)
<i>Gymnostreptus sp</i>	<i>T. bulhoesi</i> (Magalhaes, 1990) (Travassos, 1929)
<i>Blaberus atropos</i>	<i>L. appendiculata</i>
<i>Blatta orientalis</i> トウヨウゴキブリ	<i>T. bulhoesi</i> (Magalhaes, 1990) (Travassos, 1929) <i>H. diesingi</i> <i>L. appendiculata</i>
<i>Supella supellectillum</i>	<i>Blatticola narayani</i> (Farooqui, 1967)
<i>Supellaima sp.</i>	<i>Blatticola supellaimae</i> (Rao & Rao, 1965)
<i>Blatella germanica</i> チャハネゴキブリ	<i>Blatticola blattae</i> (Graeffe, 1860) (Chitwood, 1932) <i>Blatticola blatti</i> (Farooqui, 1966) <i>Blattellicola blattellicola</i> <i>Cameronia ovumglutinosus</i>
<i>Opisthoptatia orientalis</i> サツマゴキブリ	<i>Blattophila basiri</i> <i>Blattophila opisthoptatia</i> (Ahmed & Jabin, 1966)
<i>Panaesthia javanica</i>	<i>Aoruroides philippinensis</i> <i>Blattophila javanica</i> (Chitwood & Chitwood, 1934) <i>Leidynemella paracranifera</i> (Chitwood & Chitwood, 1934) <i>Thelastoma palmettum</i> (Chitwood & Chitwood, 1934)
<i>Hormetica scrobiculata</i>	<i>Leidynema appendiculata</i>

2. ゴキブリと人との関わり－有害性と有益性－

ゴキブリと人との関わりを有害性という側面からみると、ゴキブリは衛生害虫であり、病原体の伝搬者であり、アレルゲンであり、食害者であることから有害動物である。有益性としては、古くから食用、薬用として重用され、実験動物として様々な研究に供試され、爬虫類等の生き餌としてのみならず愛好家のペットとして商業的に扱われている。こうした特性からゴキブリが、人との関わりの多い昆虫であることが理解でき、特に有害性をもたらす重要種は衛生害虫として重要なワモンゴキブリ、クロゴキブリ、チャバネゴキブリで、この3種は実験動物としても様々な研究に貢献してきた。

(1) 衛生指標としてのゴキブリ

厚生労働省衛生管理健康局が定める「建築物環境衛生管理基準」の中には建築物の所有者や維持管理の権限を有する者が従うべきこととして、「空気環境の調整」、「給排水の管理」、「清掃」のほかに「ねずみ等の防除」という項目がある。この「ねずみ等」とはねずみのほかに、ゴキブリ、ハエ、蚊、ノミ、シラミ等病原微生物を媒介する動物を示し、建築物の管理者はこれらを防除する義務があるとしている。防除対策の考え方はIPM（総合的有害生物管理）に沿っており、粘着トラップ等による生息密度調査から生息指数を算出し、その数値に従って適切な防除（予防することと駆除することを意味する）対策を立てることが定められている。防除対象であるゴキブリについては、生息密度を数値化したゴキブリ指数（ゴキブリ捕獲数/トラップ/日）が使われる。この指数の大きさが衛生管理状況の一つの指標となっており、PCO（Pest Control Operator）とよばれる害虫防除専門業者の防除施工後の報告書に必ず記載されている項目の一つである。飲食店の入ったビル管理において、特に防除の対象となるのはチャバネゴキブリであ

るが、本種は別項で示したように繁殖力が旺盛で世代交代が短いため薬剤抵抗性が付きやすく、さらには、生息場所が下水溝周辺や厨房の奥や設置物の裏側などの狭所で薬剤散布がしにくい場所が多く、根絶することが困難な難防除害虫である。防除業者は指数にあわせて、適切な薬剤（液剤、ベイト剤、MC 剤、燻煙剤等）の組み合わせを選択し、定期的に対策処置を行い、許容水準（ゴキブリ指数 0.5 以下、1 トラップ 2 匹未満）以内に維持管理することを目標としているケースが多い。ネズミと並んでゴキブリの防除は、都市環境になくってはならない対策の一つとなっている。

(2) 病原体伝搬者としてのゴキブリ

屋内棲息性ゴキブリは、マラリアを媒介するハマダラ蚊やペスト菌を伝染するノミやネズミのように明確に Vector として位置づけられているわけではない。しかし、ゴキブリはヒトや家畜の居住環境に近いところに棲息し、不衛生な環境にも普通に往来することから病原体や寄生虫の機械的あるいは生物学的な伝播に関与する。パキスタンの Quetta 市では、様々な地域の住宅の厨房や洗面所、庭園などで捕獲されたゴキブリの 82 %からサルモネラ菌が、64 %から大腸菌が検出された (Anam et al. 2014)。ガーナの高等病院で捕獲された 61 匹のゴキブリの外部および内部微生物叢を調査した結果、ゴキブリのロタウイルス保有率は 19.7% で、4 種類の腸内寄生虫がゴキブリによって運搬され、鉤虫 (4.9%) が最多であった。また 8 種の院内細菌がゴキブリから分離され 13.8% (大腸菌) から 41.1% (肺炎桿菌) の範囲で多剤耐性菌も確認され複数の耐性院内病原菌の重要な媒介物である可能性があるとも報告されている (Tetteh-Quarcoo et al. 2013)。ナイジェリアの Ekpoma 市で行われた調査では、住宅のトイレ、台所、寝室から捕獲されたゴキブリから検出される細菌等を、水洗トイレ設置の有無で比較した。検出

されるサルモネラ菌や大腸菌などの細菌数や赤痢アメーバや大腸バランチジウムのシストや回虫卵の数は、水洗トイレを設置している住宅の方が 100 倍近く少ない傾向はあったが、水洗トイレ設置の有無にかかわらず、トイレのほかに台所や寝室から捕獲されたゴキブリから病原菌が一樣に検出されたことから、機械的伝播にかかわる可能性のあるゴキブリ防除の重要性について報告している (Tatfeng et al. 2005)。また、病院で捕獲されたチャバネゴキブリは、住宅地で捕獲されたゴキブリと比較して、医学的に重要な細菌または真菌のレベルが高かったとの報告もある (Fotedar et al. 1991)。さらに、猫のトキソプラズマ症 (Smith and Frenkel 1978) やサルモネラ菌 (Kopanic et al. 1994) などが、家畜の飼料工場や養育室に棲息するゴキブリによって伝播されるとの報告もある。実験的にも、サルモネラ菌を実験感染させたゴキブリの糞からはワモンゴキブリで 10 日間、チャバネゴキブリで 12 日間、トウヨウゴキブリからは 20 日間の間、生きたサルモネラ菌が検出されている (Olson and Rueger 1950)。南フロリダの屋外飼育施設では、隔離飼育されていたフクロネズミによって排出された *Sarcocystis falcatula* のスポロシストが、ゴキブリを介して野外飼育のオウム類に感染し、致命的な疾患を引き起こした事例が報告されている。この施設ではその後ゴキブリの生物的駆除（無翅鶏の放鳥）及びオウムの往来を制限することにより、事態を終息させた (Clubb and Frenkel 1992)。実験感染では、哺乳類の寄生虫である *Sarcocystis muris*、*Toxoplasma gondii*、*Isospora* sp. または *Toxocara canis* がチャバネゴキブリおよびワモンゴキブリを介してマウスに感染することが示されている (González-García et al. 2011, Smith and Frenkel 1978)。ゴキブリは家畜飼育場でも多数が生息しており、豚や鶏などの家畜に比較的普通に捕食される。ゴキブリの体表あるいは体内に病原体が存在すれば、これを捕食した家畜は病原体を体内に取り込むことになる。ワモンゴキブリに経口摂取させた *Eimelia*

tenella のオーシストは3~4日間感染性を保持し、その間にゴキブリが鶏に経口摂取されると、鶏の糞便からはさらに感染性のある *Eimelia tenella* のオーシストが検出されたことから、ゴキブリが *Eimelia tenella* の機械的な伝播にかかわり、鶏のコクシジウム症の発症に関与する可能性も示唆されている (Jarujareet et al. 2019)。以上のように、病原菌の伝播においてゴキブリは重要な役割を果していると考えられている。

(3) アレルゲンとしてのゴキブリ

ゴキブリアレルゲンとして、チャバネゴキブリ由来のBla-g1 およびワモンゴキブリ由来のPer-a1などがあり、Bla-g1はクロゴキブリとの交差反応性が認められており、虫体と糞の双方に活性がある。チャバネゴキブリアレルゲン Bla-g1 は分子量46kDaで、非特異的に脂質の運搬に関連するタンパクである (Do et al. 2016)。アレルゲンBla-g1 による健康影響の指標としては2U/g dust がゴキブリアレルギーへの感作 (sensitization)、8U/g dust が喘息への罹患レベル (morbidity) として提起されている (Rosenstreich et al. 1997)。Bla-g1 の測定単位は、任意の単位 : U (ユニット) で示され、Bla-g1 (INDOOR biotechnologies) の1U は、104ng に相当する (Mueller et al. 2013)。米国ではゴキブリアレルギーの発症率が17~41 %に上り、住環境のゴキブリ対策が、ゴキブリアレルゲンへの感作や発症に強く影響することが示唆されている (Gelber et al. 1993, Rosenstreich et al. 1997)。中国南部の熱帯地方では11~98%の家屋でゴキブリアレルゲンが検出され (Zheng et al. 2015)、台湾では喘息患者の58%がワモンゴキブリ由来のアレルゲンPer-a1 に感作されていたという報告がある (Lee et al. 2012)。日本では飲食店2店舗、住宅5戸、学校7校を含む屋内環境中のアレルゲンBla-g1を、測定したところ、厨房床や店舗入口部において、20U/g dust

を超える Bla-g1 が検出された飲食店があったことが報告された。このアレルギー濃度は、飼育容器内の糞量に匹敵した (Hashimoto et al. 2017)。家屋内での調査例として、Sakaguchi et al. (1994) は、喘息患者宅の屋内塵中のゴキブリアレルギーを調査し、ワモンゴキブリアレルギー Per-a1 が、8/10 家屋で検出され、チャバネゴキブリの虫体由来の Bla-g2 が 3 家屋で検出されたことを報告している。以上のことから、住宅や飲食店等におけるゴキブリ対策は、アレルギー対策の面からも重要であるとされている。

(4) 食用・薬用としてのゴキブリ

ゴキブリが人にとって有用でもあることを示す例として、ゴキブリを食用あるいは薬用としてきた歴史がある。日本、中華人民共和国、ベトナム、タイ、ナイジェリア、カメルーン、コンゴ、メキシコ、ブラジル、イギリスでは一部地域の先住民によって、広く食用として利用されてきた (安富 1991)。また、ゴキブリは広く薬用としても用いられてきた (三橋 2012)。乾燥させ粉末にしたものは、欧米で胸膜炎や心膜炎の治療薬として広く用いられていた。ロシアでは「タラカネ散」と称してコバネゴキブリの粉末が利尿剤として水腫の治療に用いられていた。ヨーロッパではゴキブリの粉末から有効成分アンチヒドロピンが単離され、この物質が、腎臓上皮細胞を刺激し、分泌機能を活発にする作用を持つといわれている。アメリカではルイジアナ州の黒人の間でゴキブリ茶が破傷風に有効だと信じられ、ゴキブリをニンニクと一緒に揚げたものは消化不良によいとされている (三橋 2012)。ペルーのイキトスではインフルエンザ対策として、その地方のゴキブリをペルーの酒に浸けこんで特効薬として飲んだという。ブラジルのパンカラレ族は、ワモンゴキブリの煮出し汁を腹痛薬として飲み、ジャマイカではゴキブリを焼いた灰を子どもの虫下しとして使っていた。マダガスカルで

は、ゴキブリが強直性痙攣やひきつけに用いられていた。また、インドネシアのジャワ島では、咳の子供に黒褐色のゴキブリを食べさせていた(三橋 2012)。

(5) 生き餌としてのゴキブリ

ゴキブリは爬虫類やアロワナなどの大型淡水魚、ハリネズミなどの小型哺乳類など、昆虫を捕食するペットの餌として利用されることが多い。そのため、生き餌用に養殖している業者や店舗も存在する。餌として用いられるのは主としてデュビアと呼ばれる南米原産のアルゼンチンモリゴキブリ *Blattica dubia* やレッドローチと呼ばれるチュウトウゴキブリ (=トルキスタンゴキブリ) *Blatta (Shelfordella) lateralis* (Walker 1868) であり、いずれも繁殖が容易で動きが緩慢である。チュウトウゴキブリは、近年、国内で野外生息が確認されている。

(6) 実験動物としてのゴキブリ

ゴキブリは、飼育が容易で、飢餓にも強く、少しの傷を受けても死亡しにくいため実験用昆虫として多く利用される。世界各地の大学の昆虫学群研究室、農薬会社の研究室ではゴキブリを飼育し、昆虫学の基礎的研究、新殺虫剤の開発や評価、作用機構の研究などに供試している。ゴキブリは昆虫生理学の教科書で多く引用されており、実験動物として重要な役割を果たしている(石井 1976, 安富 1991)。ワモンゴキブリを使った生理学の研究として、体内時計の研究(Harker 1964, Uwo 1968)や、光に対する学習行動の研究(Turner 1912)などがよく知られている。一方、衛生害虫としては、各地の衛生研究機関や殺虫剤メーカーの研究室で、新規殺虫成分の効力評価や作用機序に関する研究や薬剤抵抗性機構の解明、また、ゴキブリアレルギーの研究などに、ワモンゴキブリ、チャバネゴキブリやクロゴキブリが数多く供試されている。特に

殺虫剤の感受性や抵抗性比を検定するような場合は、対象となる供試虫の採集場所の情報が重要であるとともに、対照とする標準個体群は比較しやすいように特定の飼育個体群が使用される場合が多い。

3. 実験動物と寄生虫感染

(1) 実験動物の定義

実験動物とは「教育、試験研究、生物学的製剤の製造、その他の科学上の利用に供するために、合目的に繁殖した動物」と定義され、動物実験とは「動物に何らかの実験処置を加えて動物の反応を観察すること」である。

環境省が告示した「実験動物の飼養及び保管並びに苦痛の軽減に関する基準」（平成 25 年環境省告示第 84 号）では「実験動物とは実験等の利用に供するため、施設で飼養し又は保管している哺乳類、鳥類又は爬(は)虫類に属する動物（施設に導入するために輸送中のものを含む。）」と定義されている。

この告示の中には無脊椎動物は含まれていないが、告示に関する解説文書の中で、実験動物について以下のように分類されている

我が国で動物実験に使われている主な動物

哺乳類	:	マウス、ラット、ハムスター類、モルモット、その他のげっ歯類、ウサギ、イヌ、ネコ、ブタ、ヤギ、ヒツジ、ニホンザル、カニクイザル、アカゲザル、マーモセット類
鳥類	:	ウズラ、ニワトリ
爬虫類		
両生類	:	アフリカツメガエル、イモリ類
魚類	:	ゼブラフィッシュ、メダカ、コイ、キンギョ
無脊椎動物	:	ショウジョウバエ、カイコ、その他の昆虫類、ウニ類、カタユウレイボヤ、線虫類、ゾウリムシ

無脊椎動物であるゴキブリ類は、動物愛護法の対象ではないが、「教育、試験研究、生物学的製剤の製造、その他の科学上の利用に供するために、合目的に繁殖した動物」という意味では、実験動物と考えられる。

(2) 実験動物の駆虫例

哺乳類の蟯虫感染は通常無症候性であり、肉眼的病変を引き起こさない。しかし、実験動物の蟯虫感染が宿主に影響をあたえる事例はいくつか報告されている。例えば、ラット蟯虫 *S. muris* に感染しているラットは非感染ラットより成長速度が遅くなる傾向がある (Wagner 1988)。また、*S. muris* に感染させたラットは、非感染ラットと比較して体重や食物摂取量に変化はなかったが、高血糖発症が有意に遅延した (Taira et al. 2015)。そして、遺伝子レベルでは、*S. muris* 感染ラットの次世代シーケンシングによる *S. muris* トランスクリプトームプロファイリングを行った結果、発現した遺伝子の大部分が細胞プロセス、結合、および触媒活性に関与していることが示され、遺伝子レベルで宿主の免疫内の変化に関与している可能性が明らかになった (Okamoto et al. 2015)。さらに、2型糖尿病 (T2DM) の有用なラットモデルの個体群は、*S. muris* の感染によってラットの炎症誘発性サイトカイン発現を阻害することが示唆されている (Okamoto et al. 2018)。また、高血圧症ラットと正常ラットの腸管輸送の比較研究においては、*S. muris* 感染によっておきる腸の電解質輸送障害のために、感染の有無が実験結果に影響した例も報告されている (Lübcke et al. 1992)。アジュバント関節炎発症動物 (人為的に関節炎を誘発させるように死菌体を投与された実験動物モデル) であるラットのうち、鼠盲腸蟯虫 *S. obvelata* に感染しているラットは、非感染ラット (Piperazine 処理) に比べ関節炎の発症が明らかに抑制された (Pearson and Taylor 1975) 例などが報告されている。以上のよ

うに、目的によっては実験結果に大きな影響を与えることがあるため、蟯虫感染のコントロールは哺乳類実験動物の管理において厳重に行われている。動物の寄生虫に対する駆虫及び学童集団に対する駆虫薬を使用した対策例についての調査結果を第5表にまとめた。哺乳類実験動物に寄生する *S. muris* や *S. obvelata* などの蟯虫の駆虫対策として、イベルメクチンやパモ酸ピルビニウムの使用例が多く報告されている。駆虫薬は寄生虫卵には効果が低く、虫卵は飼育環境中で長期にわたって生存し (Klement et al. 1996, Kaushik et al. 1978)、幼虫に対しては成虫より効果が低い (Battles 1987, Sayles and Jacobson 1983)。そのため、駆虫薬の使用は成虫対策として一時的に有効だが、投与後も再感染がおこることが多い。従って、長期間非感染状態を維持するためには、投与方法や投与期間にも検討が必要であり、多くの場合、複数回投与や長期投与を組み合わせるプログラム化されている。

哺乳類実験動物の駆虫実例の報告は多くあるものの、無脊椎動物の寄生虫駆虫例はほとんどない。英国やヨーロッパ各地でペットとして保有されていたクモ類のタランチェラから相次いで、致死性の線虫口内感染症がみつかった。これに対して、ベンズイミダゾールとフルオロキノロン群の抗菌薬の投薬で治療を試みたがタランチェラの延命には効果がなく、現場では速やかな安楽死が推奨されている (Pizzi et al. 2003)。さらに、ワモンゴキブリから検出した *Thelastoma bulhoesi* の虫卵の発育を調査する過程で、チアベンダゾールが胚の発育を阻止したことが確認されているが、その後の駆虫効果を確認した報告はない (Mccallister and Schmidt 1983, 1984)。

今後、餌やペットとして商業的に扱われている無脊椎動物の飼育や実験動物としての管理の現場でも、哺乳類の実験動物同様の有効な蟯虫感染対策が求められることが考えられる。

第5表 哺乳類実験動物及び学童に対する駆虫対策実施例

Animal	Target	Drug	Method	出展
Rats	<i>S. muris</i>	Ivermectin	0.0005% 6日間餌混和有効、 2mg/kg/day 1回有効	Battles (1987)
Rats	pinworm	Ivermectin	7-9日おき 3回経口投与、換気 型ケージ使用	Kerrick et al. (1995)
Rats and Mice	<i>Sypacia spp.</i> <i>S. muris</i>	Ivermectin	2.9(for mice) 4.0(for rats)mg/kg/day 飲水投与	klement et al. (1996)
Rats	<i>S. muris</i>	Ivermectin	2mg/kg 7-8日間隔投与、喚起型 ケージ使用	Huerkamp (1993)
Rats	pinworm	Ivermectin	2.5mg/kg/day×5days× 4 times 飲 水投与	Lytvynets et al. (2010)
Mice	<i>S. obvelata</i> <i>A. tetraptera</i>	Ivermectin	ケージ噴霧	Sueta et al. (2002)
Rodents	<i>S. muris</i>	Ivermectin:	2種の経口投与、6週間プログ ラム、環境対策	Zenner (1998)
Mice and Rats	<i>S. obvelata</i>	Thiabendazol: Piperazine	Thia.0.1%:Pip.0.2% 飼料添加 →1年後も非感染維持	Owen and Turton (1979)
Mice	<i>S. obvelata</i> , <i>A. tetraptera</i>	Pyrvinium pamoate	飲水投与	Blair et al. (1968)
Rats	<i>S. muris</i>	Pyrvinium pamoate	飲水投与	Blair and Thompson (1969)
Rats	<i>S. muris</i>	Pyrvinium pamoate	0.007%飼料添加、環境対策 →2年以上非感染維持	Taylor et al. (1995)
Mice	<i>S. obvelata</i> <i>A. tetraptera</i>	Piperazine citrate	飲水投与	Hoag (1961)
Children	pinworm	Pyrantel pamoate	隔週投与で成果	Lee (1979)
Dog	<i>T. canis</i>	Pyrantel pamoate	駆虫に有効。50-500ppm :invitro で虫卵に無効	Kausik et al.(1978)
Children	pinworm	Pyrantel pamoate	3週おきの複数回投与	Turner and Johnson (1962)

(3) 動物用駆虫薬の種類

動物用駆虫薬と殺虫剤について作用機序別に第6表に示した。駆虫薬は神経群、運動器官、エネルギー代謝に作用するものなどに分類されている。特に、神経群に作用する駆虫薬は、殺虫剤の作用機序と共通なものが多く、実験用昆虫の駆虫薬として選択する場合は十分な検討を要する。商品名を併記した駆虫薬の一覧を第6表に示した。外部寄生虫薬として広く利用されているミルベマイシンは、農業用殺ダ

ニ剤としての登録もあり抵抗性が付きにくいダニ剤として重用されている。それ以外の駆虫薬は、無脊椎動物への影響は不明のものが多い。

第6表 駆虫薬の作用機序 (獣医薬理学-池田 正浩, 尾崎 博他 日本比較薬理学毒性学会編を改変)

	作用機序	駆虫薬	殺虫剤* (農業用、防疫用)
神経系に作用するもの	グルタミン酸受容体またはGABA受容体	イベルメクチン、 ミルベマイシン	マクロライド系 フェニルピラゾール系
	GABAアゴニスト	クエン酸ピペラジン	
	アセチルコリン エステラーゼ阻害	ジクロロボス、 カルクロホス	有機リン剤、 カーバメート剤
	ナトリウムチャンネル阻害		ピレスロイド剤
運動器官に作用するもの	神経筋接合部遮断	ピランテル、 レパミゾール、 パモ酸ピルビニウム	
エネルギー代謝に影響するもの	ミトコンドリアの酸化リン酸化の抑制	ヘキサクロロフェン ベンツイミダゾール系	ヒドラメチルノン、 アセキノシル、 ビフィナゼート
	解糖系の抑制	メラルソミン、 チアセタルサミド	
	グルコース取り込みの抑制	ジチアザニン、 ブナミジン	
その他	微小管形成の阻害	ベンツイミダゾール系	

殺虫剤* 農薬工業会版 IRACの作用機構分類表(2019.07.18) より抜粋

第7表 駆虫薬一覧 「第3班 図説獣医寄生虫学」(内田・黄 2011) を改変

薬剤区分	薬剤名	薬剤名(商品名)	寄生虫疾患名
サルファ剤	Sulfa drugs	スルファモノメトキシ	豚トキソプラズマ症、鶏・牛コクシジウム症、ロイコチトゾーン症
		スルファジメトキシ	〃
スルファモイルダブソン	Sulfamoyldapson e(SDDS)	フリートミン	豚・猫トキソプラズマ症
		トキソモイル	〃
		エキソバラ	〃
ピリメタミン	Pyrimethamine	ピリメタミン	鶏ロイコチトゾーン
ポリエーテル系コウコクシジウム剤	polyether	モネンシン	鶏コクシジウム症
		ラサロイド	鶏コクシジウム症
		サリノマイシン	鶏コクシジウム症
		ナラシン	鶏コクシジウム症
		センジュラマイシン	鶏コクシジウム症
		ハロフジノン	鶏コクシジウム症
合成抗コクシジウム剤		アンプロリウム合剤	鶏コクシジウム症
		ナイカルバジン	鶏コクシジウム症
		グリカルピラミド	鶏コクシジウム症
アミノキノリン製剤	8-aminquinoline	パマキン	ピロプラズマ症(牛タイレリア症)
ジミナゼン製剤	diminazene	ガナゼック	ピロプラズマ症(牛バベシア症)
メトロニダゾール製剤	metronidazole	フラジール	犬猫ジアルジア症、トリコモナス症
		トリコシード	犬猫ジアルジア症、トリコモナス症
チダゾール製剤	tinidazole	ファンシジン	犬猫ジアルジア症、トリコモナス症
プラジカンテル	praziquantel	ドロンシット	一般吸虫症、条虫症
ビチオノール製剤	bithionol	シルナック	牛の肝蛭・双口吸虫症・条虫症、馬の条虫症、犬の胚吸虫症
トリクラベンダゾール	triclabendazole	ファンネックス	牛の肝蛭症
ニトロキシニル	nitroxylin	トロダックス	牛の肝蛭症
ブロムフェノホス	bromphenophos	アセジスト	牛の肝蛭症
ミルベマイシン系製剤		ミルベマイシンA	犬糸状虫症の予防、犬回虫・犬鉤虫・犬鞭虫症
(ミルベマイシンオキシム)	milbemycin oxime	システック	犬糸状虫症の予防、犬回虫・犬鉤虫・犬鞭虫症、ノミ卵の孵化阻止・蛹の羽化阻止
ミルベマイシン系製剤(モキシデクチン)	moxidectin	モキシデック錠	犬糸状虫症の予防
		サイデクチンポアオン	牛のオステルターグ胃虫・肺虫・クーベリア、食皮ヒゼンダニ・ウシホソジラミ症

第7表 (続き)

薬剤区分	薬剤名	薬剤名 (商品名)	寄生虫疾患名
ミルベマイシン系製剤 (イベルメクチン)	Ivermectin	アイボメック	牛の消化管内線虫・肺虫、食皮ヒゼンダニ症、豚の各種線虫・ブタジラミ症
		カルドメック	犬糸状虫症 (犬・猫)、犬・猫回虫症・鉤虫症
		アドバンテージハート	犬糸状虫症、ノミの駆除
アバルメクチン系製剤 (ドラメクチン)	Dramectin	デクトマックス	豚の回虫・腸結節症・鞭虫・糞線虫・穿孔ヒゼンダニ、牛の消化管内線虫・肺虫、食皮ヒゼンダニ症
アバルメクチン系製剤 (セラメクチン)	Selamectin	レボリューション	犬・猫の犬糸状虫の予防、ノミ、ミミヒゼンダニ、回虫症
ベンズイミダゾール系製剤 (フェンベンダゾール)	Fenbendazole	メイポール	豚の回虫・腸結節症・鞭虫
		フルモキサール	馬の大円虫・小円虫・回虫、牛のオステルターグ胃虫、豚の回虫・糞線虫・肺虫・鞭虫
ベンズイミダゾール系製剤 (レバミゾール)	Levamisole	レバミゾール	牛の肺虫・消化管内線虫・沖縄糸状虫、豚の回虫・腸結節虫、鶏の回虫・毛細線虫
		二酸化炭素ピペラジン	馬の回虫・大円虫・小円虫・蟯虫・ウマバエ幼虫
ピペラジン系製剤	Piperazine	クエン酸ピペラジン	馬の回虫・大円虫・小円虫・蟯虫、豚回虫、鶏回虫・盲腸虫、大回虫、猫回虫
		硫酸ピペラジン	馬の回虫・大円虫・小円虫・蟯虫、豚回虫、鶏回虫・盲腸虫、大回虫、猫回虫
エモデプシド	Emodepside	プロフェンダー・モリナート	猫の回虫・鉤虫・瓜実条虫、犬、キツネの多包条虫
四水素ピリミジン系製剤 (パモ酸ピランテル)	Pyrantel pamoate	ソルビー	犬の回虫、鉤虫、馬の塩虫類
		ドロンタール	猫の回虫・鉤虫・瓜実条虫・猫条虫
四水素ピリミジン系製剤	Febantel	ドロンタール	犬の回虫・鉤虫・鞭虫・瓜実条虫
ヒ素化合物製剤	melarsomine	イミトサイド	犬糸状虫成虫
アンチモン系製剤	antimony	アンチコリン	めん羊・山羊の脳脊髓糸状虫症の予防
メチリジン系製剤	methyridine	トリサーブ	犬鞭虫
抗生物質系製剤(デストマイシンA)	Destomycin	デストネート	鶏の回虫・条虫類、豚回虫に対して飼料添加物として有効
抗生物質系製剤(ハイグロマイシンB)	Hygromycine	ハイグロ	鶏の回虫・盲腸虫・毛細線虫、豚の回虫・腸結節虫・鞭虫に対して飼料添加物として有効
抗生物質系製剤(クエン酸モランテル)	Morantel citrate	パンミンス	豚回虫に対して飼料添加物として有効

第1章 国内棲息3種ゴキブリに寄生する線虫の感染状況

緒言

国内で生息が確認されているゴキブリは57種7亜種が知られており (Asahina 1991, 辻 2016)、そのなかで、ワモンゴキブリ *Periplaneta americana*、クロゴキブリ *Periplaneta fuliginosa* およびチャバネゴキブリ *Blattella germanica* の3種は屋内生息性で、人間社会において特に重要な衛生害虫として知られている。これらのゴキブリは、衛生害虫としての重要性から諸研究機関で実験動物として30年以上にわたって飼育継代され、行動特性の解明や、殺虫剤の作用機序あるいは抵抗性機構の解明のために供試されてきた。しかしながら、これらゴキブリにおける寄生虫感染の有無や寄生虫感染が各種試験結果に及ぼす影響などについての考察や報告は、筆者の知る限り、これまでなかった。

ゴキブリは不快害虫や衛生害虫として人に嫌われる一方、各種の病原体の伝播者としても問題となる重要な昆虫である。サルモネラなどの人獣共通細菌の機械的伝播者であり (Kopanic et al. 1994, Fotedar et al. 1991)、胃虫や食道虫などの旋尾線虫類に属する寄生線虫の生物学的伝播者でもあることは知られている (Petri 1950)。また、*Sarcocystis* や *Toxoplasma* などのアピコンプレックス類に属する原虫や *Toxocara canis* などの回虫類の幼虫が、ワモンゴキブリやチャバネゴキブリを介してマウスに感染することが実験的に証明されている (Smith and Frenkel 1978, González-García et al. 2017)。

チャバネゴキブリは家畜飼育場でも多数が生息しており、豚や鶏などの家畜に比較的普通に捕食される。ゴキブリの体表あるいは体内に病原体が存在すれば、これを捕食した家畜は病原体を体内に取り込むことになる。病原体の種によって

は、家畜の病気や成育障害などの農家の経済的損失の要因となり、さらには、肉製品を介して病原体が人へ伝播される危険性もある。

国内のゴキブリにおける寄生虫感染に関しては、沖縄県や愛知県で捕獲または埼玉県の飼育個体群のワモンゴキブリから *H. diesingi* および *T. bulhoesi* が報告され (Sriwati et al. 2016, Ozawa et al. 2016)、愛知県内の野外ゴキブリまたは千葉県、静岡県、兵庫県の飼育個体群のクロゴキブリから *L. appendiculata* の単独感染が報告されている (Ozawa et al. 2014)。しかし、チャバネゴキブリの寄生虫に関する報告は未だ無い。これらの屋内生息性ゴキブリは、獣医衛生学および公衆衛生学において重要な生物であることから、寄生虫感染状況を含む、その生態を把握することは重要で意義があると考えられる。

本調査の目的は、国内に棲息するチャバネゴキブリ、ワモンゴキブリおよびクロゴキブリに寄生する線虫の種および寄生率を明らかにすることである。そこで、チャバネゴキブリ *Blattella germanica* の国内飼育個体群 (WAT、NIID および NK の 3 群) と野生個体*、ワモンゴキブリ *Periplaneta americana* の国内飼育個体群 (NKC、NIID および NK の 3 群) と野生個体およびクロゴキブリ *Periplaneta fuliginosa* の国内飼育個体群 (NKC および NK の 2 群) と野生個体について、寄生線虫の種類と寄生率を調べた。

*野生個体；捕獲場所の屋内外に拘わらず、実験室飼育されていない個体は野生個体とした。

材料および方法

飼育ゴキブリ個体群はいずれも 30 年以上飼育継代されてきた以下の研究機関からの提供を受けた。提供後は麻布大学寄生虫学研究室で 2 年以上飼育された。各群の略称はそれぞれの提供機関名に由来する。NIID：国立感染症研究所昆虫医

科学部、WAT, NKC：日本環境衛生センター環境生物部、NK：日本化薬株式会社ア
グロ研究所

1. チャバネゴキブリ

(1) 飼育群チャバネゴキブリ

国内の研究機関で飼育継代されてきた3個体群（NIID、WATおよびNK群）を
供試した。

(2) 野生チャバネゴキブリ

国内の26都道府県の79か所の飲食店等の食品関連施設の厨房などで、生息
密度調査用粘着トラップを使用して捕獲回収されたチャバネゴキブリの生存個
体を供試した。捕獲地点は害虫防除業者が管轄している全国の防除請負先から
任意に抽出された。なお、ゴキブリの捕獲は2019年8月から2020年3月まで
の間に行われた。

2. ワモンゴキブリ

(1) 飼育群ワモンゴキブリ

ワモンゴキブリ *P. americana* は国内の研究機関で飼育継代されてきた3個
体群（NIID、NKCおよびNK群）を供試した。

(2) 野生ワモンゴキブリ（参考）

鹿児島県の2か所の豚舎分娩室から捕獲された5匹のワモンゴキブリを供
試した。

3. クロゴキブリ

(1) 飼育群クロゴキブリ

クロゴキブリ *P. fuliginosa* は国内の研究機関で飼育継代されてきた 2 個体群 (NKC および NK 群) を供試した。

(2) 野生クロゴキブリ

7 都県 9 か所の豚舎の分娩室や、離乳室から捕獲された 40 匹のクロゴキブリを供試した。

ゴキブリの飼育

供試ゴキブリは、プラスチック製ケージ (380×230×250 mm) で、25±5°C の恒温および 16L-8D の明暗条件下で飼育した。餌として市販のマウス用固形飼料 (MF, Oriental. Yeast Co. Ltd.、東京、日本) および飲水として水道水を *Ad libitum* で与えた。

剖検と虫体検出

ゴキブリは生きたまま触角と脚と羽を切除して動きを止め、生理食塩水中で解剖した。消化管を摘出し、後腸を外科用の精密ハサミまたは精密ピンセットで切開し、実体顕微鏡 (OLYMPUS SZ40, オリジナル株式会社、福岡) で観察して寄生虫の有無をしらべた。また、ピペッティングを行って腸の内容物等の夾雑物を取り除き、洗浄沈殿物内の線虫の有無を光学顕微鏡 (OLYMPUS BX50, オリジナル株式会社、福岡) で調べた。

寄生虫の形態計測

検出した線虫および虫卵を顕微鏡デジタルカメラ (DP25、オリジナル株式会社、福岡) に付属のバイオイメーjingソフトウェア (DP-2BSW、オリジナル株式会社、福岡) を用いて撮影した後、形態の観察および計測を行った。虫体

は、雌雄成虫の虫体の体長と体幅、食道長、排泄孔から前端までの距離、神経輪から前端までの距離を測定した。虫卵は、各ゴキブリ個体群（NIID、NKC およびNK 群）の糞から採取し、長径と短径を測定し、特徴を記録した。

寄生虫の分子同定

Nucleo Spin Tissue XS (Macherey-Nagel, GmbH および Co. KG, Germany) を使用して、ゴキブリから採取した蟻虫よりゲノム DNA を抽出した。抽出された DNA の D2/D3 領域は、フォワード : D2a (5' -ACA AGT ACC GTG AGG GAA AGTTG-3') およびリバース : D3b (5' -TCG GAA GGA ACC AGC TAC TA-3') のプライマーペアを使用して増幅された (Spiridonov and Guzeeva 2009)。PCR に使用した総反応容量は 50 μ l (Taq DNA ポリメラーゼ (TaKaRa Ex Taq、タカラバイオ社製)) 0.25 μ l (0.5 U)、10 \times PCR バッファー 5 μ l、2.5 mM、dNTP 4 μ l、テンプレート DNA 2 μ l、プライマー-D2a 0.25 μ l、プライマー-D3b 0.25 μ l、滅菌蒸留水 (38.4 μ l) になるように調整した。PCR 反応条件は 94 $^{\circ}$ C で 2 分間、アニーリング 55 $^{\circ}$ C 30 秒、伸長反応 1 分 30 秒を 1 サイクルとし、35 サイクル行った。増幅産物を 2% アガロースゲルで電気泳動し、エチジウムブロマイドで染色を行い、UV 照射下でバンドを確認した。増幅産物は、塩基配列を決定するために日本マクロゲン株式会社に委託し、配列を得た。得られた塩基配列は、解析 MEGA 7 を用いて解析された。配列を BLAST 検索 (NCBI、国立生物工学情報センター) し、GenBank に登録されている配列との相同性を調べた。

結果

1. チャバネゴキブリから検出された蟻虫

(1) 飼育群チャバネゴキブリから検出された蟯虫と感染率

第8表(Table 8)に示した通り、チャバネゴキブリ *B. germanica* 国内飼育個体群ではNIIDおよびNK群で *Blatticola blattae* の単一種感染がみられ、寄生率はそれぞれ93.0% (40/43匹) および84.8% (39/46匹) であった。NIID群とNK群のチャバネゴキブリ1匹あたりの平均寄生蟯虫数は、それぞれ1.8と1.5隻であり、ゴキブリ1匹あたりの寄生虫数は4隻以下であった。WAT群では蟯虫感染がみられなかった。

Table 8 Pinworms found in different lines of laboratory-reared German cockroaches in Japan

Pinworm	Object	German cockroach <i>Blattella germanica</i>			
		Line ¹⁾	NIID	WAT	NK
<i>Blatticola blattae</i>	No. of cockroach examined		43	20	46
	No. of cockroach positive		40	0	39
	Prevalence of worm (%)		93	0	85
	Average no. of worm		1.8	0	1.5
	Min-Max no. of worm		0-4	0	0-4

1) Different institutes in Japan in where the 2 to 3 species cockroaches have been reared for more than 30 years.

チャバネゴキブリ NIID群およびNK群から検出された *B. blattae* の形態計測の結果を第9表 (Table 9)に示し、雌成虫、雄成虫および虫卵を第8図 (Fig. 8)に示した。

Table 9. Morphometrical comparison of pinworm *Blatticola blattae* detected from cockroaches *Blattella germanica*

Subject		Present study	Average (SD)		Chitwood (1932)	Groschaft (1956)	Guzeeva (2012)
Female	No. examined	12			–	–	–
	Body length (um)	1890-2892	2549.8	506.90	2000-3000	2100-2800	–
	Body width (um)	200-276	247.4	44.80	110-165	200-360	–
	Esophagus length (um)	212-360	328.8	54.50	158-280	290-320	–
	Excretory pore-anterior end (um)	498-661	610.8	115.40	564-846	–	–
	Nerve ring-anterior end (um)	150-259	182.8	46.60	110-220	–	–
	Tail length (um)	20-80	45.2	16.30	–	–	–
	Vulve-anterior end (um)	1357-2376	1280.9	698.60	1650-2500	1660-2480	–
Egg	No. examined	21			–	–	–
	Length (um)	106-139	126.6	9.34	122-126	120-129	105-130
	Width (um)	44-53	47.5	3.27	38-42	42-48	45-56
Male	No. examined	8			–	–	–
	Body length (um)	676-931	814.8	91.80	780-1000	–	–
	Body width (um)	53-70	66.7	14.70	54-75	–	–
	esophagus length (um)	99-153	145.9	31.09	132-170	–	–
	Excretory pore-anterior end (um)	133-312	202.2	86.60	218-280	–	–
	Nerve ring-anterior end (um)	77-108	93.1	29.46	85-100	–	–
	Spicule length (um)	18.3-20.0	18.8	0.68	20	–	–
	Tail length (um)	10-19	14.6	3.89	–	–	–

(-):No data was presented.

雌成虫は、体表面がほぼ透明で尾端の形状は円錐形で、陰門は体の後部にみられた。体長は 1890–2892 (平均値±標準偏差：2549.8±506.9)μm、体幅は 200–276(平均値±標準偏差：247.4±44.80)μmであった。食道には筒状の部分と食道球がみられ、長さは 212–360 μm(平均値±標準偏差：328.8±54.50)μmであった。虫卵は、長さは 106–139(平均値±標準偏差：126.6±9.34)μm、幅は 44–53(平均値±標準偏差：47.5±3.27)μm (n=27) であった。雄成虫は、体長が 676–931(平均値±標準偏差：814.8±91.8)μm、体幅が 53–70(平均値±標準偏差：66.7±14.70)μm

であった。食道の長さは 99-153 (平均値±標準偏差 : 145.9±31.09) μm で、尾部には突起がみられた。今回検出された蟯虫の形態計測値および形状の特徴は、既報の記録 (Chitwood 1932, Groschaft 1956, Guzeeva and Spridonov 2012, Bozeman 1942) と各測定値の幅に大きな差が認められず、観察された形状の特徴もほぼ一致したことから、*Blatticola blattae* と同定した。

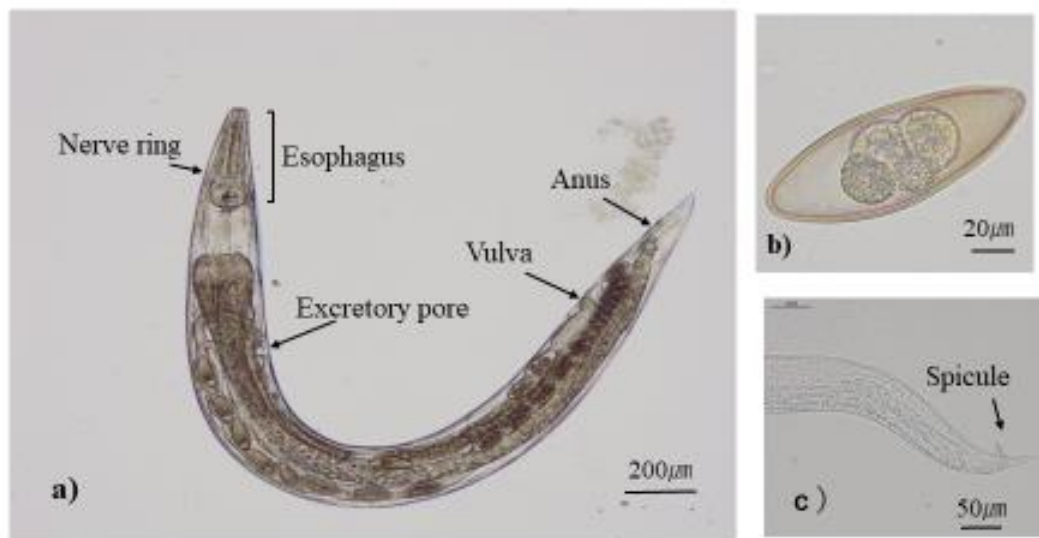


Fig. 8 *Blatticola blattae* infected in German cockroaches *Blattella germanica*. a) Adult female detected from the hind-gut of host, b) Egg collected from the feces of host, c) Posterior part of adult male

蟯虫の分子学的同定

NIID 群およびNK 群のチャバネゴキブリの蟯虫 DNA から増幅した D2/D3 領域の塩基配列 (808 bp) は BLAST 検索により、*Blatticola blattae* (Accession No. : GQ368472, Spiridonov and Guzeeva 2009) と 100% の相同性で一致した。

(2) 野生チャバネゴキブリから検出された蟻虫と感染率

日本の 26 都道府県の 79 か所の飲食関連施設から捕獲された 320 匹のチャバネゴキブリ *B. germanica* 生存個体を調査し、自然感染した蟻虫の分布を第 10 表 (Table 10) に示した。捕獲された施設の所在地の都道府県の地図と *B. blattae* 寄生率を第 9 図 (Fig. 9) に示した。広島県と大分県で捕獲したチャバネゴキブリからは蟻虫は検出されなかった。全体として、蟻虫感染率は 66.6% (213/320 匹) であり、感染ゴキブリ 1 匹あたりの平均寄生蟻虫数は 1.6 (SD=0.75) だった。また、検出された蟻虫の 89.4 % (319/357 隻) は雌成虫だった。

Table10. Prevalence of pinworm *Blatticola blattae* naturally infected in German cockroach *Blattella germanica* in Japan

Prefecture	Number of captured area	Total number of roach examined	Total number of infected roach	Prevalence of pinworm (%)	Mean number of pinworm / infected roach (SD)	Total number of pinworm detected	Total number of adult female pinworm
Hokkaido	2	4	3	75.0	1.7 (0.94)	5	4
Iwate	6	24	19	79.2	1.5 (0.75)	29	24
Miyagi	1	2	2	100.0	1.5 (0.50)	3	2
Akita	2	3	1	33.3	2.0 (0.00)	2	3
Fukushima	2	14	11	78.6	1.8 (0.83)	20	14
Tochigi	1	4	3	75.0	2.0 (1.41)	6	4
Gunma	1	5	3	60.0	1.3 (0.47)	4	5
Saitama	4	22	15	68.2	1.7 (0.79)	25	22
Chiba	3	11	9	81.8	1.9 (0.87)	17	11
Tokyo	14	68	51	75.0	1.7 (0.72)	88	68
Kanagawa	13	55	30	54.5	1.4 (0.55)	41	55
Shizuoka	4	15	11	73.3	1.6 (0.64)	18	15
Aichi	1	2	1	50.0	2.0 (0.00)	2	1
Mie	2	8	6	75.0	1.7 (0.47)	10	8
Kyoto	3	9	6	66.7	1.7 (0.47)	10	9
Osaka	2	11	9	81.8	1.9 (0.87)	17	11
Hyogo	2	7	3	42.9	1.7 (0.47)	5	7
Hiroshima	1	2	0	0.0	0.0 (0.00)	0	2
Tokushima	1	4	4	100.0	1.5 (0.50)	6	4
Kagawa	1	6	2	33.3	1.0 (0.00)	2	6
Fukuoka	3	13	2	15.4	2.5 (0.50)	5	13
Kumamoto	1	2	2	100.0	2.5 (0.50)	5	2
Oita	1	5	0	0.0	0.0 (0.00)	0	5
Miyazaki	1	3	2	66.7	1.5 (0.50)	3	3
Kagoshima	6	20	17	85.0	1.9 (0.87)	33	20
Okinawa	1	1	1	100.0	1.0 (0.00)	1	1
Total	79	320	213	66.6	1.6 (0.75)	357	319

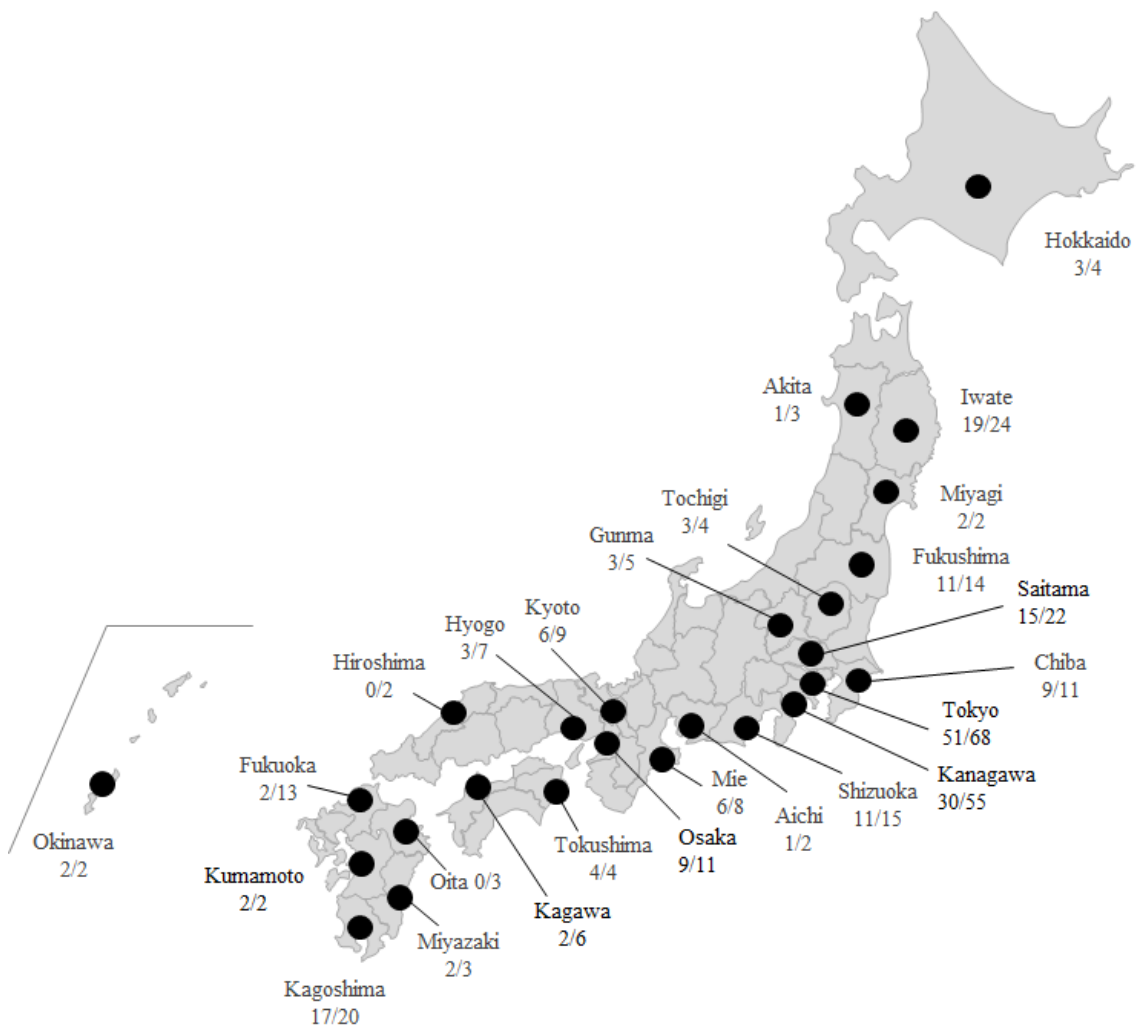


Fig. 9 Local distribution of pinworms *Blatticola blattae* in cockroach *Blattella germanica* captured in restaurants in several areas of Japan (No. of cockroach positive / No. of cockroach examined)

2. ワモンゴキブリから検出された蟯虫

(1) ワモンゴキブリ飼育個体群および野生個体から検出された蟯虫と感染率

国内の異なる研究機関で飼育されたワモンゴキブリおよび鹿児島県内の2ヶ所の豚舎で捕獲された野生のワモンゴキブリの後腸から検出された寄生蟯虫種及び寄生率を第11表(Table 11)に示した。ワモンゴキブリ *P. americana* については、NKC 個体群で *Leidynema appendiculata*, *Hammerschmidtella diesingi* および *Thelastoma bulhoesi* の3種の蟯虫の感染がみられ、NIID 個体群では *L. appendiculata* と *H. diesingi* の2種混合感染およびNK 個体群では *T. bulhoesi* の単一感染がみられ、各個体群における寄生蟯虫種の構成は異なった。一方、豚舎で捕獲された野生個体5匹からはいずれも *L. appendiculata* 1種類の寄生が確認され(5/5匹)、ゴキブリ1匹あたりの寄生蟯虫数は4 - 40隻であった。3種の蟯虫がみられたワモンゴキブリ NKC 群では、1匹のゴキブリの中で3種類蟯虫が同時に検出されることはなかった。3種類の蟯虫の中では *H. diesingi* が優占種であり、検査したゴキブリの80% (12/15匹) で感染が認められ、ゴキブリ1匹あたりの寄生蟯虫数は最大29隻であった。次いで、*T. bulhoesi* が20% (3/15) となり、*L. appendiculata* の寄生率は6.7% (1/15匹) で最も低かった。2種の混合感染が見られたNIID 群についても優占種は *H. diesingi* で、検査した16匹のワモンゴキブリのすべてから検出され、*L. appendiculata* の感染率は31% (5/16匹) であった。ゴキブリ1匹あたりの寄生蟯虫数はどちらの蟯虫種においても最大15隻であった。NK 個体群では *T. bulhoesi* の単独感染が確認され、ゴキブリ1匹あたりの寄生蟯虫数は1-157隻と大きく変動した。また、蟯虫以外の蠕虫類の感染はどのゴキブリにもみられなかった。

Table 11. Species of pinworms found in different lines of laboratory-reared and field-captured American cockroaches in Japan

Pinworm	Object	American cockroach <i>Periplaneta americana</i>			
		Laboratory ¹⁾			Field
		NIID	NKC	NK	
<i>Hammershmidtella diesingi</i>	No. of cockroach examined	16	15	26	5
	No. of cockroach positive	16	12	0	0
	Prevalence of worm (%)	100.0	80.0	0	0
	Average no. of worm	7.9	8.1	0	0
	Min-Max no. of worm	2-15	0-29	0	0
<i>Thelastoma bulhoesi</i>	No. of cockroach examined	16	15	26	5
	No. of cockroach positive	0	3	26	0
	Prevalence of worm (%)	0	20	100	0
	Average no. of worm	0	33.3	19.8	0
	Min-Max no. of worm	0	0-2	1-157	0
<i>Leidynema appendiculata</i>	No. of cockroach examined	16	15	26	5
	No. of cockroach positive	6	1	0	5
	Prevalence of worm (%)	37.5	6.7	0	100
	Average no. of worm	5.1	1	0	16.8
	Min-Max no. of worm	0-15	1	0	4-40

1) Laboratories in different institutes in Japan where the cockroaches have been reared for more than 30 years.

(2) ワモンゴキブリから検出された蟯虫：*Hammershmidtella diesingi*

ワモンゴキブリ NIID 群およびNKC 群から検出された *H. diesingi* の形態計測の結果を第 12 表 (Table 12) に示し、雌成虫、雄成虫および虫卵を第 10 図 (Fig. 10) に示した。雌成虫 (n=11) は、体長 2203-3390 (平均値±標準偏差 : 2997.0±460.50) μm 、体幅 115 - 278 (平均値±標準偏差 : 244.2±45.10) μm であり、尾長は 818-1132 (平均値±標準偏差 : 978.7±97.60) μm で、食道形状は明らかに 2 球がみられた。虫卵 (n=10) は、楕円形を呈し、長径は 79.2-89.4 (平均値±標準偏差 : 83.5±6.43) μm 、短径は 31.7-39.8 (平均値±標準偏差 : 35.6±2.70) μm であった。雄成虫 (n=5) は、体長 684-800 (平均値±標準偏差 : 755.9±50.50) μm 、体幅 61-80 (平均値±標準偏差 : 69.0±6.91) μm 、尾長 87-106 (平均値±標準偏差 : 97.6±7.92) μm であった。今回検出された蟯虫の形態計測値および形状の特徴は、既報の記録 (Blanco et al. 2012, Chitwood 1932, Shah 2007, Sriwati et al. 2016) と各測定値の幅に大きな差が認められず、観察された形状の特徴もほぼ一致したことから、*Hammerschmidtella diesingi* と同定した。

NIID 群およびNKC 群のワモンゴキブリの蟯虫 DNA から増幅した D2/D3 領域の塩基配列 (810 bp) は BLAST 検索により、*Hammerschmidtella diesingi* (Accession No. : JQ343843, Hammerschmidt 1838) と 99% の相同性で一致した。

Table 12. Morphometrical comparison of pinworm *Hammershmidtella diesingi* detected from cockroaches *Periplaneta americana*

Subject		Present study	Average	(SD)	Chitwood (1932)	Shah (2007)	Blanco et al. (2012)	Sriwati et.al(2016)
Female	No. examined	11			–	–	30	16
	Body length (um)	2203.3-3389.8	2997.0	460.50	–	2228-3316	1717.6-3435.3	2271.9-3459.5
	Body width (um)	115.4-277.6	244.2	45.10	–	166-284	166.2-312.5	163.9-361.7
	Esophagus length (um)	312.7-371.0	335.0	17.40	–	285-344	260.0-342.5	304-365
	Excretory pore-anterior end (um)	322.0-521.7	435.3	66.00	–	294-441	287.5-445.0	364.5-489.7
	Nerve ring-anterior end (um)	94.0-123.8	112.4	10.60	–	102-123	81.0-115.0	103.5-139.2
	Tail length (um)	817.8-1132.3	978.7	97.60	–	756-991	479.4-1132.4	679.6-1055.7
	Vulva-anterior end (um)	515.9-808.1	637.1	125.70	–	441-834	438.6-836.4	506.2-805.6
Egg	No. examined	10			–	–	–	–
	Length (um)	79.2-89.4	83.5	6.43	73-80	72.9-80.2	61.0-85.0	54.3-59.8
	Width (um)	31.7-39.8	35.6	2.70	29-34	29.2-34.0	25.0-35.0	23.6-25.8
Male	No. examined	5			–	–	–	13
	Body length (um)	684.4-800.3	755.9	50.50	820-870	487-853	481.1-1018.9	456-852
	Body width (um)	61.3-79.6	69.0	6.91	52-64	34-82	39.0-88.0	28-76
	Esophagus length (um)	110.2-151.1	130.5	18.49	126-190	116-145	102.0-152.0	122-166
	Excretory pore-anterior end (um)	155.3-195.9	173.3	15.62	200-330	136-179	122.5-219.0	133-196
	Nerve ring-anterior end (um)	78.3-101.7	91.8	10.39	80-95	85-102	66.0-103.0	74-104
	Spicule length (um)	21.7-31.7			20-25	26.7-36.5	25.0-35.0	26.5-33.9
	Tail length (um)	86.5-105.6	97.6	7.92	–	104-148	78.0-115.0	68-117



Fig. 10 *Hammerschmidtella diesingi*

a) Adult female, a)-1 Anterior part of adult female, b) Adult male, c) Egg

(3) ワモンゴキブリから検出された蟻虫：*Leidynema appendiculata*

ワモンゴキブリ NKC 群および NIID 群から検出された *L. appendiculata* の形態計測結果を第 13 表 (Table13) に示し、雌成虫、雄成虫および虫卵を第 11 図 (Fig. 11) に示した。

雌成虫 (n=14) は、体長 2105-3413 (平均値±標準偏差：2660.7±430.2) μm 、体幅 214-392 (平均値±標準偏差：262.4±60.30) μm 、尾長は 337-580 (平均値±標準偏差：464.6±77.20) μm であった。虫卵は、片側が平らな楕円形で、長径は 110.0-119.3 (平均値±標準偏差：102.4±15.34) μm 、短径は 35.9-42.3 (平均値±標準偏差：39.9±3.94) μm (n=16) であった。雄成虫 (n=6) は、体長 728-1077 (平均値±標準偏差：921.9±101.55) μm 、体幅 57-83 (平均値±標準偏差：74.0±7.87) μm 、尾長は 11.6-33.4 (27.0±7.67) μm であった。雌成虫の頭部付近には頸翼がみられ、体表全体が輪紋で覆われ、食道は棒状の部分と食道球がみられた。雌成虫の尾部側面には一対の突起がみられた。今回検出された蟻虫の形態計測値および形状の特徴は、既報の記録 (Chitwood 1932, Groschaft 1956, Shah 2007, Chaudhary et al. 2011) と各測定値の幅に大きな差が認められず、観察された形状の特徴もほぼ一致したことから、*Leidynema appendiculata* と同定した。なお、Chaudhary et al. (2011) の報告には、他の既報記録と異なる計測値 (雌の尾長や虫卵の長径) があり、この計測値の変動は生態学的ニッチによるものであり遺伝学的には同種であるとしている。

ワモンゴキブリ NIID 群、NKC 群およびクロゴキブリ NK 群、NKC 群の蟻虫から抽出された DNA は、D2/D3 領域の塩基配列 (784bp) は BLAST 検索により、*Leidynema appendiculata* (Accession No.; KY057028.1, Leidy 1850; Chitwood 1932) と 100% の相同性で一致した。

Table 13. Morphometrical comparison of pinworm *Leidyneema appendiculata* detected from cockroaches *Periplaneta* spp.

Subject		Present study	Average	(SD)	Chitwood (1932)	Groschaft (1956)	Ozawa et al. (2014)	Shah (2007)
Female	No. examined	14			-	-	20	-
	Body length (um)	2104.9-3412.7	2660.7	430.20	1900-3170	1500-2200	1983.4-3225.0	2168-3213
	Body width (um)	213.9-392.3	262.4	60.30	140-250	160-270	190.0-325.0	206-284
	Esophagus length (um)	332.7-466.3	401.1	38.80	396-448		360.0-451.4	368-446
	Excretory pore-anterior end (um)	398.7-706.8	538.9	106.80	460-560		450.0-1216.5	510-628
	Nerve ring-anterior end (um)	126.0-258.6	168.1	36.90	120-250		122.9-240.0	137-156
	Tail length (um)	336.8-580.1	464.6	77.20	460-810		374.3-797.1	491-756
	Vulva-anterior end (um)	858.1-1545.9	1240	205.90	1120-1450		600-1471.4	1020-1427
Egg	No. examined	16			-	-	30	-
	Length (um)	110.0-119.3	102.4	15.34	100-105	104-128	102.9-125.7	92.34-104.49
	Width (um)	35.9-42.3	39.9	3.94	47-53	36-40	40.0-47.1	34.02-36.45
Male	No. examined	6			-	-	14	-
	Body length (um)	728.3-1076.6	921.9	101.55	840-880		351.4-1230.0	579-1119
	Body width (um)	57.1-82.9	74	7.87	50-60		31.4-76.5	58-97
	Esophagus length (um)	161.0-206.4	184.8	13.50	180-216		161.4-234.3	157-206
	Excretory pore-anterior end (um)	228.3-356.6	325.9	116.03	300-320		175.1-430.0	418
	Nerve ring-anterior end (um)	95.7-251.5	143.6	51.46	120-155		59.8-159.3	108-127
	Spicule length (um)	30-33.3			30		34.0-44.0	31.6-32.8
	Tail length (um)	11.6-33.4	27	7.67			4.2-12.9	9.0-12.0

(-) : No data was presented

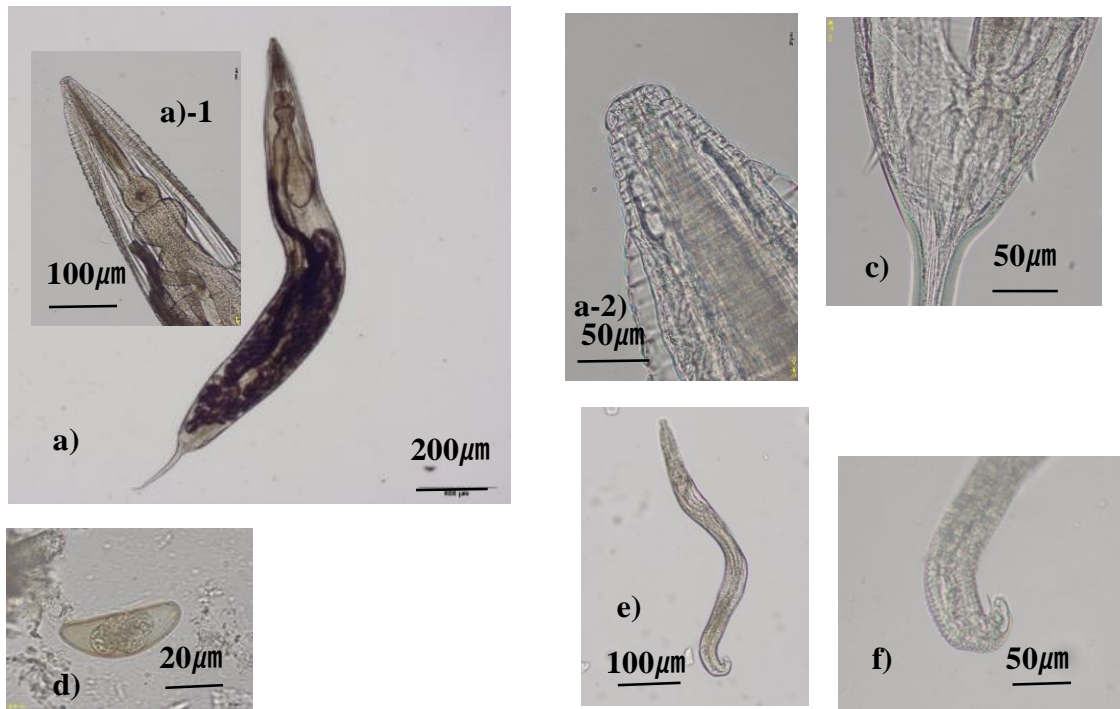


Fig. 11 *Leidyneema appediculata* a) Adult female, a)-1 Anterior part of adult female, c) Posterior part of adult female, d) Egg, e) Adult male, f) Posterior part of adult male

(4) ワモンゴキブリから検出された蟻虫：*Thelastoma bulhoesi*

NKC 群およびNK 群のワモンゴキブリから検出された *T. bulhoesi* の形態計測の結果を第 14 表 (Table 14) に示し、雌成虫、雄成虫および虫卵の写真を図 12 (Fig. 12) に示した。

雌成虫 (n=12) は、体長 2228-3079 (平均値±標準偏差：2912±109.7) μm 、体幅 164-221 (平均値±標準偏差：201.9±16.30) μm 、尾長 694-831 (平均値±標準偏差：800±29.1) μm であった。虫卵 (n=27) は、ほぼ丸型で、長径が 73-93 (平均値±標準偏差：86.8±7.91) μm 、短径が 52-76 (平均値±標準偏差：68.2±5.32) μm だった。雄成虫 (n=5) は、体長 736-938 (平均値±標準偏差：775.9±19.40 μm 、体幅 62-70 (平均値±標準偏差：65.7±1.80) μm 、尾長 60-66 (平均値±標準偏差：64.0±1.10) μm であった。雌成虫の食道には筒状の部分と食道球がみられ、体表面には頭部先端から尾端に向かって体軸に垂直に輪状の襞がみられた。今回検出された蟻虫の形態計測値および形状の特徴は、既報の記録 (Chitwood 1932, Groschafft 1956, Ozawa et al. 2016) と各測定値の幅に大きな差が認められず、観察された形状の特徴もほぼ一致したことから、*Thelastoma bulhoesi* と同定した。

NKC 群およびNK 群ワモンゴキブリ検出された蟻虫の D2/D3 領域の塩基配列 (772 bp) は BLAST 検索により、*Thelastoma bulhoesi* (Accession No. : KP172225.1, Magalhaes 1990) と 99% の相同性で一致した。

Table 14. Morphometrical comparison of pinworm *Thelastoma bulhoesi* detected from American cockroaches *Periplaneta americana*

Table 14. Morphometrical comparison of pinworm *Thelastoma bulhoesi* detected from cockroaches *Periplaneta americana*

Subject		Present study	Average	(SD)	Chitwood (1932)	Groschaft (1956)	Ozawa et al. (2016)
Female	No. examined	12			–	–	13
	Body length (um)	2227.6-3079.0	2911.6	109.70	2280-2640	3100	2085-3251
	Body width (um)	163.6-221.4	201.9	16.30	188-273	320	131-271
	Esophagus length (um)	433.3-472.6	460	6.10	463-594		388-512
	Excretory pore-anterior end (um)	428.6-570.0	505.7	41.20	329-380		318-524
	Nerve ring-anterior end (um)	160.9-265.1	297.9	27.20	230		176-236
	Tail length (um)	694.2-831.4	800.6	29.10			449-731
	Vulva-anterior end (um)	1083.2-1990.0	1441.1	131.30	1000-1210		1042-1742
Egg	No. examined	27					13
	Length (um)	73-93	86.8	7.91	70-80	80-88	83-89
	Width (um)	52-76	68.2	5.32	50-72	60-64	63-70
Male	No. examined	5			–		11
	Body length (um)	735.6-938	775.9	19.40	1100		733-938
	Body width (um)	62.2-69.6	65.7	1.80	35-40		54-69
	Esophagus length (um)	166.0-188.7	173.1	6.30	144		164-191
	Excretory pore-anterior end (um)	146.7-203.7	169.6	5.60			182-287
	Nerve ring-anterior end (um)	91.2-136.5	108.6	3.20			105-139
	Spicule length (um)	36.7			35		31.4-38.8
	Tail length (um)	59.8-66.0	64	1.10			37-70

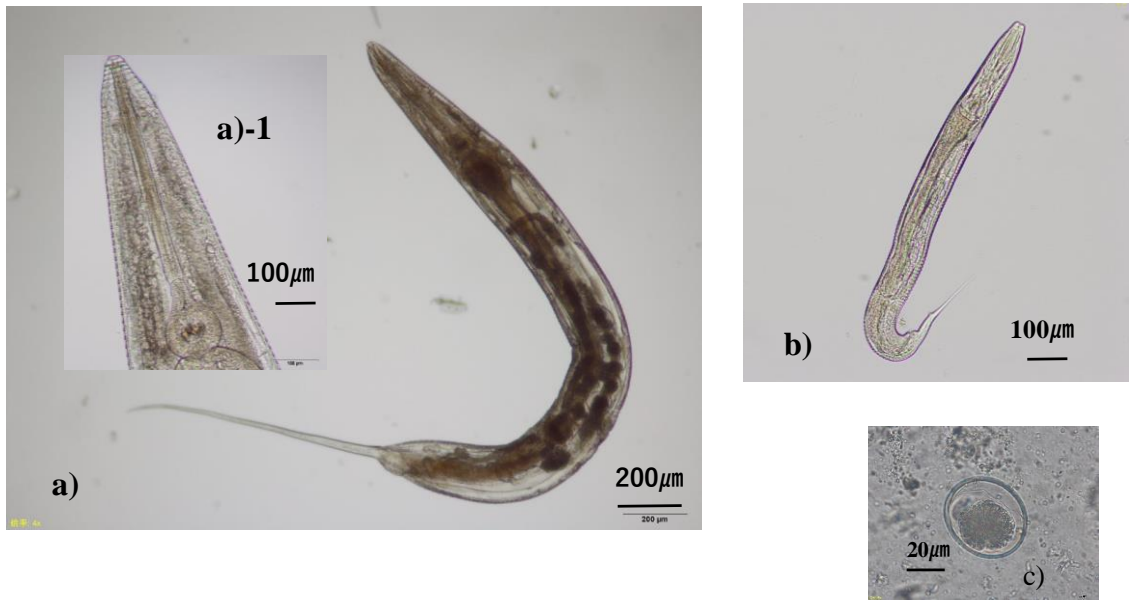


Fig. 12 *Thelastoma bulhoesi*, a) Adult female, a)-1 Anterior part of adult female, b) Adult male, c) Egg

3. クロゴキブリから検出された蟯虫

国内の2研究機関で飼育されてきたクロゴキブリおよび国内9か所の豚舎や食品工場で捕獲されたクロゴキブリ40匹の後腸から検出された寄生蠕虫種及び寄生率を第15表(Table 15)に示した。クロゴキブリ *P. fuliginosa* では供試した飼育個体群 NKC および NK のどちらの個体群からも、さらに野生クロゴキブリからも *L. appendiculata* の単一種感染がみられ、クロゴキブリ1匹あたりの寄生虫数は4隻以下であった。

Table15. Pinworms found in different strains of laboratory-reared and field- captured smoky-brown cockroaches *Periplaneta fuliginosa* in Japan

Pinworm	Object	Smoky-brown cockroach <i>Periplaneta fuliginosa</i>		
		Laboratory ¹⁾		Field
		NKC	NK	
<i>Leidyne ma appendiculata</i>	No. of cockroach examined	6	29	40
	No. of cockroach positive	6	23	22
	Prevalence of worm (%)	100	79	55
	Average no. of worm	2.1	1.7	3.7
	Min-Max no. of worm	1-3	0-3	0-4

1) Laboratories in different institutes in Japan in where the 2 to3 species cockroaches have been reared for more than 30 years

4. 国内3種ゴキブリの蟯虫感染

3種類の国内棲息ゴキブリから4種類の蟻虫が検出された。その他の蠕虫はいずれのゴキブリからも検出されなかった。4種蟻虫種の感染の状況を第16表(Table 16)に示し、Fig. 13に4種蟻虫の雌成虫、Fig. 14に4種蟻虫の虫卵を示した。4種の形態は、雌成虫では特に尾の長さや食道球の形状、頸翼の有無、尾端突起の有無、虫卵の形状と大きさがそれぞれ異なり、混在していても顕微鏡下での識別は可能であった。

チャバネゴキブリ飼育個体群のNIIDおよびNK個体群の後腸から蟻虫が検出され、寄生率はそれぞれ93および84%で、ゴキブリ1匹あたりの寄生蟻虫数の平均はそれぞれ1.8および1.5隻で、最大寄生蟻虫数は4隻以下だったが、WAT個体群には蟻虫感染が認められなかった。国内諸地域の飲食関係施設で捕獲したチャバネゴキブリにおける蟻虫の寄生率は66% (213/320匹) で、ゴキブリ1匹あたりの寄生蟻虫数の平均は1.6隻であった。本調査で検出された蟻虫は、形態学および分子学的な同定の結果、*Blatticola blattae* と確認された。

ワモンゴキブリ飼育群では3種の混合感染や、1種及び2種の多数感染が観察され1匹あたりの寄生蟻虫数も一定していなかった。NIID群とNKC群の2個体群において、それぞれ100% (16/16匹)、80% (12/15匹) に *H. diesingi* が確認され、最大寄生数はそれぞれ15隻、29隻であった。NK群は100% (26/26匹) が *T. bulhoesi* の単独感染で、1匹から最大157隻の *T. bulhoesi* が検出された。

クロゴキブリでは供試したNKCおよびNKのどちらの個体群からも *L. appendiculata* の単一種感染がみられ、寄生蟻虫数はそれぞれ100% (6/6)、79% (23/29) で、最大寄生蟻虫数は4隻以下であった。

Table 16. Different species of pinworms found in different species/lines of cockroaches reared in Japan

Pinworm	Object	Cockroach							
		smoky-brown							
		American cockroach <i>Periplaneta americana</i>			cockroach <i>Periplaneta fuliginosa</i>		German cockroach <i>Blattella germanica</i>		
Laboratory ¹⁾	NIID	NKC	NK	NKC	NK	NIID	WAT	NK	
<i>Hammer-schmidtella diesingi</i>	No. of cockroach examined	16	15	26	6	29	43	20	46
	No. of cockroach positive	16	12	0	0	0	0	0	0
	Prevalence of worm (%)	100.0	80.0	0	0	0	0	0	0
	Average no. of worm	7.9	8.1	0	0	0	0	0	0
	Min-Max no. of worm	2-15	0-29	0	0	0	0	0	0
<i>Thelastoma bulhoesi</i>	No. of cockroach examined	16	15	26	6	29	43	20	46
	No. of cockroach positive	0	3	26	0	0	0	0	0
	Prevalence of worm (%)	0	20.0	100.0	0	0	0	0	0
	Average no. of worm	0	33.3	19.8	0	0	0	0	0
	Min-Max no. of worm	0	0-2	1-157	0	0	0	0	0
<i>Leidynema appendiculata</i>	No. of cockroach examined	16	15	26	6	29	43	20	46
	No. of cockroach positive	6	1	0	6	23	0	0	0
	Prevalence of worm (%)	37.5	6.7	0	100.0	79.3	0	0	0
	Average no. of worm	5.2	1	0	2.1	1.7	0	0	0
	Min-Max no. of worm	0-15	1	0	1-3	0-3	0	0	0
<i>Blatticola blattae</i>	No. of cockroach examined	16	15	26	6	29	43	20	46
	No. of cockroach positive	0	0	0	0	0	40	0	39
	Prevalence of worm (%)	0	0	0	0	0	93.0	0	84.8
	Average no. of worm	0	0	0	0	0	1.8	0	1.5
	Min-Max no. of worm	0	0	0	0	0	0-4	0	0-4

1) Laboratories in different institutes in Japan in where the 2 to3 species cockroaches have been reared for more than 30 years.

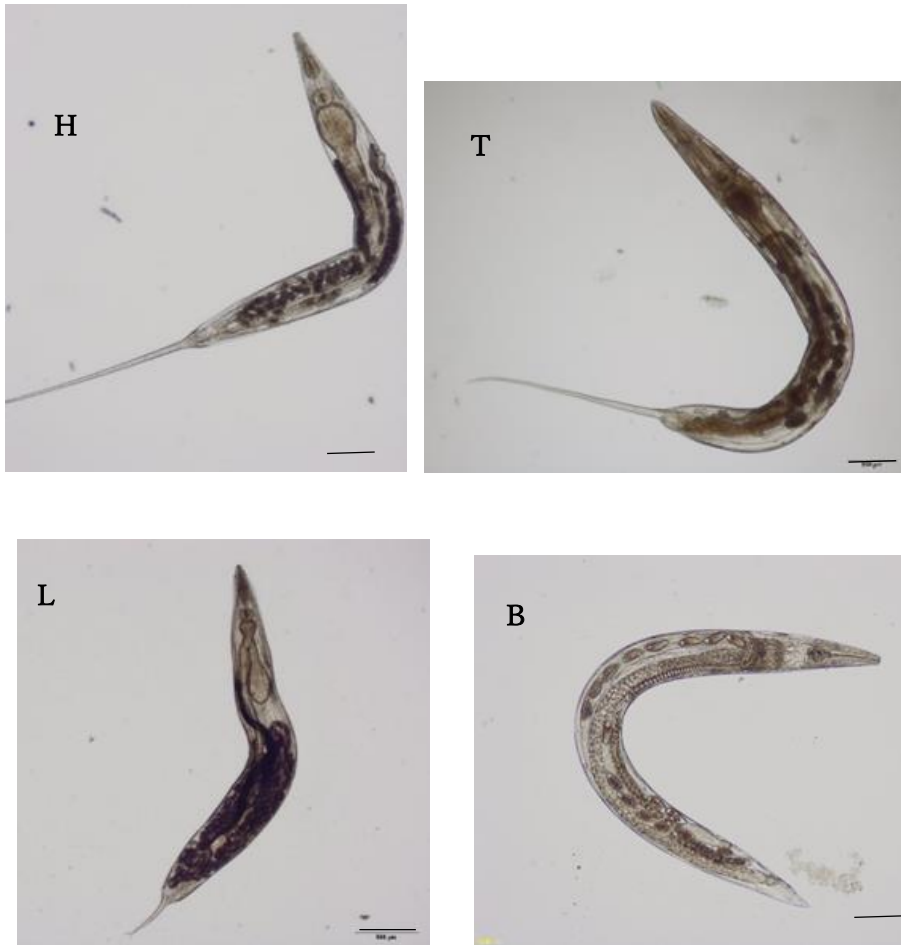


Fig.13 Female adult pinworms collected from laboratory-reared cockroaches in Japan H; *Hammershmidtella diesingi*, T; *Thelastoma bulhoesi*, L; *Leidyneria appendiculata*, B; *Blaticolla blattae* —Bar=200 μm

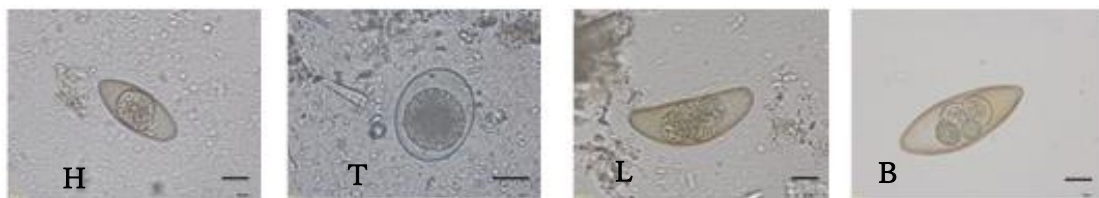


Fig.14 Eggs of pinworm found in the laboratory-reared cockroaches, H; *Hammershmidtella diesingi*, T; *Thelastoma bulhoesi*, L; *Leidyneria appendiculata*, B; *Blaticolla blattae*, —Bar=20 μm

考察

国内に棲息している3種のゴキブリ（ワモンゴキブリ、クロゴキブリおよびチャバネゴキブリ）から、4種の蟯虫 *Leidynema appendiculata*、*Hammerschmidtella diesingi*、*Thelastoma bulhoesi* および *Blatticola blattae* が検出された。蟯虫は一様にゴキブリの消化管後腸内で確認された。単一種の蟯虫寄生が確認されたのは、クロゴキブリ、チャバネゴキブリで、いずれも感染蟯虫数は4隻以下であった。この結果はそれぞれの種についての既報告と一致した (Ozawa et al. 2014, Bozeman 1942)。飼育個体群のチャバネゴキブリに感染個体群と非感染個体群が存在したことから、蟯虫感染の有無は宿主ゴキブリの生命維持に大きな影響を与えないものと考えられた。この成績は、*B. blattae* 感染が宿主のチャバネゴキブリの生存に直接的な影響を与えないとした報告を支持した (Bozeman 1942, Mueller-Graf et al. 2001)。国内の野生のチャバネゴキブリの *B. blattae* の寄生率については、特定地域における偏向は本調査ではみられなかった。*B. blattae* はチャバネゴキブリ *B. germanica* を通じて世界中に分布していると考えられており (Adamson and Waerebeke 1992, Jarry 1964)、日本国内においても、*B. blattae* は宿主であるチャバネゴキブリとともに各地に分布していることが明らかになった。

Leidynema appendiculata はクロゴキブリとワモンゴキブリの双方から検出されたが、クロゴキブリでは寄生蟯虫数が4隻以下だったのに対し、ワモンゴキブリでは1-15隻と変動した。検定の結果 (f検定により両群の分散は有意に等しくなかったため、不等分散の2群についてのt検定を実施した)、ワモンゴキブリとクロゴキブリの飼育個体群の *L. appendiculata* の平均感染虫数についての有意差は認められなかったが、クロゴキブリでは、Zervos (1988) が示唆したように、例えば最初に成熟した雄が駆虫物質を分泌するといった、寄生虫数を制御する何ら

かのメカニズムが働いているのではないかと考えられる。*L. appendiculata* は Adamson and Waerebeke (1992) によると7種類の宿主ゴキブリが報告されており、さらに感染実験により他種への感染の可能性も示唆されている (Ozawa and Hasegawa 2018) 広い感染能を有する蟻虫であるが、クロゴキブリからは本種のみが感染が確認された。3種のゴキブリのうち、ワモンゴキブリのみに複数種感染または多数感染が確認された。ワモンゴキブリは他の2種とは異なり、十分に食物や水を供給された飼育環境の中でも、高い比率で共食い、死骸食、糞食をすることが日常的に観察されている。これらの行動の違いが、寄生虫の種構成や寄生数にも反映されているのではないかと推察された。また、ワモンゴキブリから検出された各蟻虫の虫卵の大きさを長径×短径の平均値で比較すると *H. diesingi* : 83.5×35.6 μm、*L. appendiculata* : 102.4×39.9 μm、*T. bulhosei* : 86.8×68.2 μmとなっており、形状や大きさに特徴があった。蟻虫の棲息場所は、宿主ゴキブリの消化管後腸の基節部分であるが、この場所への棲息には、前胃にある6列の歯列と呼ばれる硬質な狭窄部分を蟻虫卵が通過する必要がある。この狭窄部分の効果について、殺虫剤の製剤の大きさと関連付けた報告がある。ゴキブリ防除用の殺虫剤に有効成分を特殊な被膜で包んだマイクロカプセル剤 (MC 剤) とよばれる製剤があり、この製剤はカプセル化によって有効成分が持つ哺乳類毒性や環境毒性が大幅に軽減される一方、ゴキブリに対する効果が数倍も増強されるという特性があった。この理由については、ゴキブリが口から摂取した製剤は消化管のこの狭窄部分を通過するときに破砕されてゴキブリへの効果が発現するためと筆者らは報告した (Sakurai (Kobayashi) et al. 1982)。製剤の粒径はほぼ 40 μmを中心に一定範囲でばらつきを持たせている。検証は必要であるが、3種の蟻虫卵の中では最も小さい *H. diesingi* 卵の大きさが、狭窄部分の通過しやすさによって、感染力において優位にたっている可能性も考えられた。

ワモンゴキブリの蟻虫の複数種感染については、インドのワモンゴキブリにおける3種感染の報告(Shah 2007, Ghosh 2017)があり、混合感染の要因については3種蟻虫の栄養源の消費率の差異(Connor and Adamson 1998)、宿主脱皮時における蟻虫の耐性の違い(Hominick and Davey 1972)、宿主腸内細菌の違いによる種内競争の結果(Adamson and Noble 1993)、蟻虫卵の孵化前に起きる脱皮と宿主の腸内細菌叢(Todd 1944)などに関連付けた報告はあるが、行動特性や虫卵の形状と関連付けた報告はない。

今回の調査により *Hammerschmidtella diesingi*、*Thelastoma bulhoesi* および *Blatticola blattae* は高い宿主特異性を持つことが示唆された。また、国内飼育個体群のゴキブリ(ワモンゴキブリ、クロゴキブリ、チャバネゴキブリ)の消化管の後腸では *Thelastomatoidae* 科の蟻虫が確認された。すべての蟻虫は後腸に寄生し、ワモンゴキブリでは、複数種感染が確認され、優勢種は個体群によって異なった。各飼育施設では飼育開始時よりゴキブリに寄生虫が感染しており、閉鎖された飼育環境で繰り返し産卵・再摂取されることで宿主ゴキブリとともに寄生虫も継代されてきたと考えられた。また、今回検出された線虫はいずれも無脊椎動物特有の線虫であり、脊椎動物への感染事例はないことから、ゴキブリへの線虫感染が人間社会に直接影響を与えることはないと考えられた。

第2章 チャバネゴキブリ *Blattella germanica* に寄生する蟻虫

Blatticola blattae の暴露感染

緒言

世界共通の家屋内害虫であるチャバネゴキブリは、1800年頃に人の移動にもなって国内に入った外来種とされているが、原産地は不明である。チャバネゴキブリには、蟻虫目、Thelastomatidae 上科に属する *Blatticola blattae* が寄生することが欧米では古くから報告されている (Chitwood 1932, Groschaft 1956, Hristovski 1972, Jarry 1964, Tsai and Cahill 1970)。*B. blattae* はチャバネゴキブリ特有の蟻虫であり、チャバネゴキブリ *B. germanica* を通じて世界中に分布を拡大したと考えられている (Adamson and Waerbeke 1992, Jarry 1964)。

国内の衛生害虫に関する研究分野において、チャバネゴキブリの寄生虫に関する報告はまだない。第2章で国内飼育個体群および日本国内での野生のチャバネゴキブリの *B. blattae* の分布について検討し、国内飼育個体群のチャバネゴキブリには *B. blattae* の感染個体群と非感染個体群が存在した。そこで *B. blattae* の感染経路を明らかにするために、実験的暴露感染による感染成立を試みた。

さらに、野外生息種の国内在来種モリチャバネゴキブリ *Blattella nipponica* における *B. blattae* の寄生状況について調査した。

材料および方法

チャバネゴキブリ *Blattella germanica*

国内の研究機関で継代飼育されてきた2個体群（NIIDおよびWAT個体群）のチャバネゴキブリを用いた。これらの飼育個体群は各研究機関で30年以上継代されてきたもので、麻布大学寄生虫学研究室に提供された後2年以上継代飼育された。ゴキブリは、 25 ± 5 °Cの一定の室温および16L-8Dの明暗条件でプラスチック製のケージ（380×230×250 mm）で飼育された。餌として市販のマウス用固形飼料（MF, Oriental. Yeast Co. Ltd.、東京、日本）および飲水として水道水を *Ad libitum* で与えた。

モリチャバネゴキブリ *Blattella nipponica*

モリチャバネゴキブリは日本固有種で、チャバネゴキブリと近縁で形態が酷似する。モリチャバネゴキブリは野外生息性であり、完全屋内生息性であるチャバネゴキブリとの生息域の接点はない。東京都の2地域および山口県山口市の合計3か所で捕獲した野外捕獲個体と、飼育個体群（CIC）を供試した。飼育個体群は2017年に神奈川県横須賀市で捕獲され、3年間継代飼育されてきた。

剖検と虫体検出

ゴキブリは生きてまま触角と脚と羽を切除して動きを止め、生理食塩水中で解剖した。ゴキブリの腸を取り出し、後腸の基部を外科用の精密ハサミまたは精密ピンセットで切開し、実体顕微鏡（OLYMPUS SZ-40、オリンパス株式会社、福岡）で観察した。また、ピペッティングを行って腸の内容物等の夾雑物を取り除き、洗浄沈殿物内の線虫の有無を光学顕微鏡（OLYMPUS BX50、オリンパス株式会社、福岡）で調べた。感染率は供試したゴキブリ数と蟯虫が検出されたゴキブリ数より算出した。

寄生虫の形態計測

NIID 群およびNK 群のゴキブリの消化管から生理食塩水中で線虫を採取し、顕微鏡デジタルカメラ（DP25、オリンパス株式会社、福岡）に付属のバイオイメージングソフトウェア（DP-2BSW、オリンパス株式会社、福岡）を用いて形態観察を行った。

非感染チャバネゴキブリ（WAT 群）への *B. blattae* 感染実験

蟻虫に感染しているチャバネゴキブリ（NIID 群）の糞便約 2 グラムを飼育ケージから収集し、非感染チャバネゴキブリ（WAT 群）飼育ケージ内に撒いて混在させた。飼育容器内への撒布から 0、10、20 および 30 日後に、それぞれ 4-16 匹のゴキブリを剖検し、宿主腸内の任意の段階の蟻虫による感染および蟻虫の成熟雌成虫の感染の有無を調査した。なお、試験は **Morand and Rivault (1992)** の感染ゴキブリと同居させる実験感染の報告を参考に剖検日を設定した。

結果

1. 非感染チャバネゴキブリ（WAT 群）への感染実験

B. blattae 感染チャバネゴキブリ NIID 群の飼育環境から糞便を採取し、非感染チャバネゴキブリ WAT 群飼育環境に撒布後の非感染ゴキブリにおける蟻虫寄生率を第 17 表 (Table 17) に示した。0、10、20 および 30 日後の非感染群ゴキブリにおける蟻虫寄生率は、それぞれ 0%、57% (8/14 匹)、81% (13/16 匹) および 71% (10/14 匹) であった。また、30 日後にチャバネゴキブリ (WAT 群) の後腸から検出された蟻虫の 90% は *B. blattae* の成熟雌成虫であった。

Table 17. Experimental infection of pinworm *Blatticola blattae* in pinworm-free *Blattella germanica* (WAT line) by an artificial contamination with feces of pinworm-infected *B. germanica* in the breeding cage

Cockroach line	Subject	Days after treatment ^{a)}				
		0	7	10	20	30
<i>B. germanica</i> WAT	Number of infected/examined	0/40	2/4	8/14	13/16	10/14
	Prevalence of pinworm (%)	0.0	50.0	57.1	81.3	71.4
	Number of gravid female pinworms /No. of infected roach	0.0	0/2	0/8	3/13	9/10

^{a)} Days after treatment of the initial fecal setting in the breeding cage

2. モリチャバネゴキブリの蟻虫感染率

モリチャバネゴキブリ *B. nipponica* についての剖検結果を第 18 表 (Table 18) に示した。CIC 群の飼育個体群が *B. blattae* に感染していることが確認され、寄生率は 10.0% (3/30) で、ゴキブリ 1 匹あたりの平均寄生蟻虫数は 1.0 隻であった。東京または山口の 2 つの都市で捕獲された野生のモリチャバネゴキブリからは蟻虫は検出されなかった。

Table 18. Prevalence of pinworms *Blatticola blattae* in the hind-gut of cockroaches *Blattella nipponica* in Japan

Cockroach	Breeding or wild	Lines or location captured	Number of examined	Number of positive	Prevalence of pinworm (%)	Mean number of pinworm
<i>B. nipponica</i>	Breeding	CIC	30	3	10.0	1.0
		Tokyo, Hino	5	0	0	0
	Wild	Tokyo, Kokubunji	21	0	0	0
		Yamaguchi ^{a)}	7	0	0	0

^{a)} A city in Yamaguchi Pref. located in southern part of Honshu Island in Japan.

考察

Blatticola blattae に感染したチャバネゴキブリの糞便を非感染のチャバネゴキブリ飼育ケージ内に撒布して飼育環境を蟻虫卵で汚染させると、非感染のチャバネゴキブリから蟻虫が検出され、35 日後には検出された線虫の 90%以上が成熟雌成虫であったことから、非感染個体群への *B. blattae* の実験感染が成立したと考えられた。チャバネゴキブリは自分の糞を積極的に食すことはないとされており、(Tabaru et al. 2003)、蟻虫卵が飼育環境中の餌や飲水に混入して、経口的に取り込まれたと推察された。チャバネゴキブリに *B. blattae* が感染すると、この蟻虫は 1 日あたり 10~20 個/虫の虫卵を約 100 日間産卵し続けるため、*B. blattae* の卵は飼育ケージ内に急速に蓄積する (Morand and Rivault 1992)。 *B. blattae* の繁殖様式は半倍数体単為生殖である。受精卵からのみ発生する雌は 2 倍体であるが、雌成虫は単為生殖的に半数体の雄を産生する。Morand and Rivault (1992) によると、*B. blattae* の自然感染は宿主であるチャバネゴキブリの 3 令幼虫までの間に発生するため、宿主が若齢幼虫時は雄の *B. blattae* 比率が高く、宿主が老齢幼虫や成虫になると成熟した雌の *B. blattae* が検出される確率が高くなるとされる。感染ゴキブリと同居させる実験感染の場合は同居 7 日後には *B. blattae* の 1 令幼虫が非感染ゴキブリから検出され、3 週後には雌が確認され、5-6 週後には成熟雌成虫が確認されたと報告しており、今回もほぼ同様な経過が得られた。今回供試したチャバネゴキブリの NIID 個体群および NK 個体群は、衛生的で良好な環境で継代されており、チャバネゴキブリの導入開始時から蟻虫に感染しており、宿主であるゴキブリとともに 30 年以上もの間継代されてきたと推測された。

蟻虫の感染がみられなかった WAT 個体群チャバネゴキブリは、別名渡田系と呼ばれ、1968 年に神奈川県の渡田地区で捕獲され (Mizutani 1995)、以後、研究機関で継代飼育されてきた。各種殺虫剤に対する感受性が高いことから、主として

殺虫剤の効力評価のために、あるいは捕獲ゴキブリの薬剤抵抗性比を算出するための薬剤感受性の標準個体群として、多くの研究機関に分譲され供試されてきた。渡田系チャバネゴキブリは蟻虫非感染であることが今回明らかになり、蟻虫に感染している野生ゴキブリとは明らかに異なった特性を持っている可能性があると考えられた。衛生害虫として防除の対象となるのは、実際の商業ビル等で捕獲される蟻虫感染ゴキブリであることを、今後評価群の中で新たに認識していく必要があると考えられた。一方で、この渡田系チャバネゴキブリは、分譲先での飼育環境の詳細は不明であるが、一般に、研究施設での飼育環境は良好であり、完全な隔離飼育の結果、長期にわたって蟻虫非感染な状態を維持してきたと考えられた。このことは、今後も同様の飼育条件で、実験動物としての蟻虫非感染ゴキブリの維持が通常の飼育管理下で人為的に可能であること意味している。

日本在来種のモリチャバネゴキブリは野外生息型で、今回の調査では、野外で捕獲された個体には蟻虫感染がみられなかったが、飼育個体群（CIC）では *B. blattae* 感染が確認された。屋内に生息するチャバネゴキブリ *B. germanica* と屋外に生息するモリチャバネゴキブリの生活環境には接点がないため、国内に棲息する野生のモリチャバネゴキブリは現在 *B. blattae* に感染していないものと推測された。モリチャバネゴキブリは朝比奈(1963)によって国内分布は東京付近までと記載されていたが、2015年には、福島県までの分布拡大が確認され(Tomioka et al. 2015)、さらに、約1年以上にわたって千葉県の商品工場への侵入が確認された事例もある(Harunari et al. 2007)ことから、生息域の分布拡大が注目されている種である。野外棲息型のモリチャバネゴキブリの今後の生息域の拡大に伴って、チャバネゴキブリと生息域が近接した場合、モリチャバネゴキブリへの *B. blattae* の自然感染もおこりうると思われる。

第3章 チャバネゴキブリ *Blattella germanica* の蟻虫 *Blatticola blattae* に対する寄生虫駆虫薬の効果

緒言

国内飼育個体群のチャバネゴキブリ、ワモンゴキブリおよびクロゴキブリに *Thelastomatidae* 科の線虫が寄生していることが、筆者らにより明らかにされた (第1, 2章)。屋内在住型のこれら3種ゴキブリは重要な衛生害虫であることから、殺虫剤抵抗性機構の解明や、新規殺虫剤の開発、行動特性の解明などの目的で、諸研究機関で継代飼育されてきた。*Thelastomatidae* 科の線虫は節足動物の蟻虫で、主にゴキブリに寄生することが知られている (Adamson and Waerebeke 1992, Ozawa et al. 2014, Tsai and Cahill 1970)。しかしながら、国内研究機関で飼育されているゴキブリの寄生虫に関する報告はほとんどなく、ゴキブリの寄生虫感染が実験結果に及ぼす影響に関する知見も得られていない。ゴキブリと蟻虫の宿主寄生虫の相互関係を解明するために、蟻虫非感染ゴキブリを作出することは有効な手段の一つである。

Pawlik (1966) は、飲用水にパモ酸ピルビニウムを加えた100倍希釈液が、実験室で飼育されたワモンゴキブリ *Periplaneta americana* の蟻虫 *Leidynema appendiculata* の駆除に有効であると報告した。同報告では、パモ酸ピルビニウム処理後2から14日にはワモンゴキブリから蟻虫が検出されなくなっていたが、比較薬のクエン酸ピペラジンの100倍希釈液はワモンゴキブリの蟻虫を駆除するのに効果がなかったとしている (Pawlik 1966)。ゴキブリ以外の無脊椎動物の駆虫に関する情報はほとんどない。ペットとして飼育されているタランチュラの口腔に寄生する *Panagrolaimidae* 線虫をベンズイミダゾールとフルオロキノロンの組

み合わせで駆虫する試みが報告されているが、効果は不明とされている (Pizzi et al. 2003)。

哺乳類の実験動物については、蟯虫 *Syphacia obvelata*, *S. muris* および *Aspiculuris tetraptera* の駆虫に関する多くの報告がある。げっ歯類の蟯虫感染は通常無症候性であり、肉眼的病変を引き起こさない。しかし、感染は宿主の免疫機能 (Pearson and Taylor 1975)、成長率 (Wagner 1988)、および腸の電解質輸送 (Lübcke et al. 1992) に影響を与えることが知られている。イベルメクチン (Battles 1987, Kerrick et al. 1995, Huerkamp 1993, Lytvynets et al. 2010)、パモ酸ピルビニウム (Blair et al. 1968, Blair and Thompson 1969)、クエン酸ピペラジン (Hoag 1961) は、蟯虫に感染したマウスまたはラットを駆虫するために使用されてきた。パモ酸ピランテルは、学童に寄生した *Enterobius vermicularis* を駆虫するためにも使用されている (Lee 1979)。

本実験では、寄生虫非感染の実験用ゴキブリを作成することを目的として、哺乳類実験動物の使用例を参考にして、研究室で飼育されているゴキブリ寄生蟯虫に対して、4種の駆虫薬の有効性を検討した。すなわち、実験室飼育のチャバネゴキブリに寄生する *Blatticola blattae* に対するイベルメクチン Ivermectin、パモ酸ピルビニウム Pyrvinium pamoate、パモ酸ピランテル Pyrantel pamoate、クエン酸ピペラジン Piperazine citrate の駆虫効果について検討した。駆虫薬は実験動物への使用例を参考にして、使用実績が高くかつ作用性の異なる4種を用いた。イベルメクチンはゴキブリへの殺虫効果があることが予測されたので、低薬量にすることによって線虫と昆虫との選択毒性の可能性を確認するために用いた。クエン酸ピペラジンは、神経群の作用機序を有する薬剤であるが、実験動物での使用実績が多いことから供試した。またパモ酸ピルビニウムは Pawlik (1966) のワモンゴキブリの蟯虫に対する駆虫効果を参考にして選び、パモ酸ピランテルは実験動物へ

の使用実績が高いこととゴキブリへの有害性は不明であるが、作用機序がパモ酸ピルビニウムと一致することから選ばれた。

材料および方法

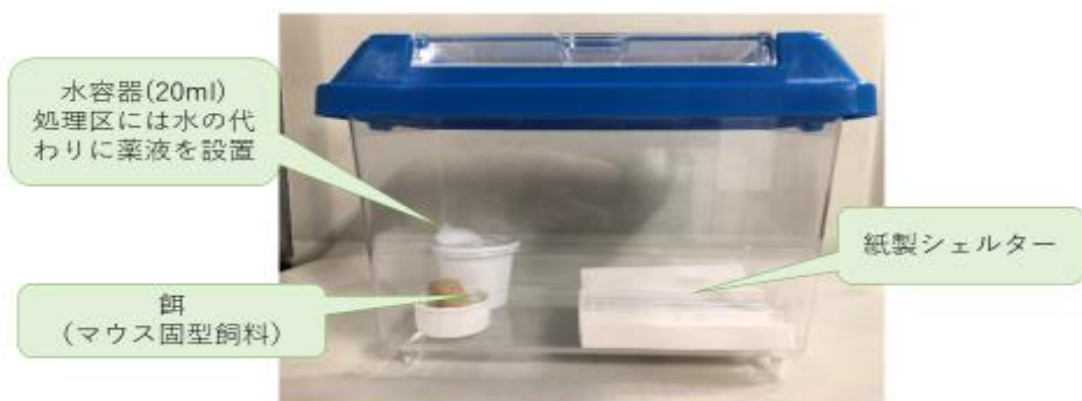
ゴキブリ

Blatticola blattae に自然感染している飼育個体群 NIID 群を供試した

NIID 群の蟻虫感染率は 87.5% (21/24) で、ゴキブリ 1 匹あたりの平均寄生蟻虫数は 1.75 ± 1.07 (SD) であった。また、雄は雌よりも薬物に対して感受性が高いことが知られているため、(Hirakoso and Mizutani 1961, Shirai et al. 1959)、実験には雄成虫を用いた。

飼育方法

ゴキブリは通気性のある多孔性のカバーが付いたプラスチック製のケージ (サイズ: 175 x 140 x 105 mm) で飼育した (第 15 図)。ケージ内壁上面には 50 mm の幅で周囲にワセリン (関東化学株式会社、東京) を塗布し、ゴキブリの脱出を防いだ。ケージ内には、飲水、およびゴキブリの潜み場所 (シェルター) として折りたたまれた紙 (約 70 x 70 mm) を設置し、マウス用の市販のペレット (MF オリエンタル酵母株式会社、東京) を給餌した。1 ケージ当たり最大 20 匹のチャバネゴキブリ雄成虫を放飼した。また、ケージは、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ および 16L / 8D の光周期で制御された室内に設置した。



第 15 図 *Blatticola blattae* 自然感染チャバネゴキブリの駆虫試験に用いたケージ。投薬処理区には、飲水用カップに水道水の代わりに希釈薬液をいれた。

駆虫薬

所定量の市販のイベルメクチン 5.0 mg/ml (イベルメクチン P0、藤田製薬)、クエン酸ピペラジン 20 g/100 ml (ピペラックスシロップ、現代製薬)、パモ酸ピランテル 100 mg/1 g (コンバントリンドライシロップ、佐藤製薬)、パモ酸ピルビニウム 376.25 mg/5 錠 (パモキサニ錠、佐藤製薬) をゴキブリに投与するために所定の濃度で水道水に溶解した。

実験デザイン

駆虫薬の効果の比較：1000、100、10 ppm の濃度のパモ酸ピランテル、2000 ppm のパモ酸ピルビニウム、5、0.5、0.05 ppm のイベルメクチン、2000、200、20 ppm のクエン酸ピペラジンを水道水で希釈して調製した。これらの駆虫薬希釈溶液は、飲料水の代わりに 8 日間ケージ内に設置し、その後、通常の飲料水に切り替えた。駆虫薬投与の初日を投与後 0 日 (DAT) とした。投与後 3、17、35 日後

にゴキブリの死亡虫数を記録し、処理区ごとに 2-6 匹の生存ゴキブリを剖検して
蟻虫の感染状況を調べた。

8 日間投与と 16 日間投与の比較：8 日間投与群では、飲水としてゴキブリにパ
モ酸ピルビニウム（1000、2000、4000 ppm）溶液を 8 日間投与後、通常の水道水
を飲用水として与えた。16 日間投与群では、16 日間投与後に通常の水道水を飲用
水として与えた。駆虫薬投与の初日を 0 DAT とした。投与後 3、10、20、30 日に
各区 6~18 匹のゴキブリを剖検し、蟻虫寄生率を比較した。

ゴキブリの剖検

ゴキブリは触角と脚と羽を切除し、生理食塩水中で解剖した。摘出したゴキブ
リの後腸の基部（第 16 図参照）を外科用の精密ハサミまたは精密ピンセットで切
開し、実体顕微鏡下（Olympus SZ-40, オリンパス株式会社、福岡）で観察して蟻
虫の有無を調べた。また、ピペッティングを行って腸の内容物等夾雑物を取り除
き、洗浄沈殿物内の蟻虫の有無を光学顕微鏡（Olympus BX-50, オリンパス株式会
社、福岡）で調べた。

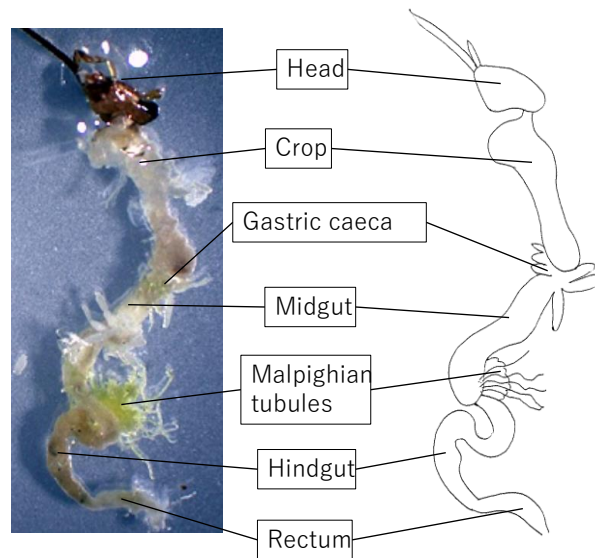


Fig. 16. Digestive organs of an adult male cockroach (*Blattella germanica*). Pinworms (*Blatticola blattae*) are seen in the anterior part of the hindgut.

統計解析

8日間および16日間の投与区におけるゴキブリの寄生虫感染を、カイ二乗検定を使用して比較した。 $P < 0.05$ を有意とした。分析にはソフトウェアパッケージStatcel 4 (OMS Publ. Tokyo, Japan)を用いた。

結果

チャバネゴキブリ *B. germanica* の生存率と回収された蟯虫 *B. blattae* への駆虫薬の効果を示した。パモ酸ピランテルまたはパモ酸ピルビニウムを投与されたゴキブリと未投与のコントロールのゴキブリは、実験終了時まで生存した。しかしながら、高濃度のイベルメクチン (5ppm) またはクエン酸ピ

ペラジン（2000 ppm）を与えられたゴキブリはすべて投与 35 日までに死亡した。1000 または 100 ppm のパモ酸ピランテルと 2000 ppm のパモ酸ピルビニウムを与えられたゴキブリでは、投与後 17 日まで蟯虫は観察されなかったが、35 日後になると数匹の蟯虫の幼虫感染が確認された。低用量のクエン酸ピペラジン（200 および 20ppm）を投与された区では、50%以上のゴキブリの消化管内に蟯虫が確認された。無投与区では 3 日後で 2 匹(2/12)、35 日後で 1 匹(1/13)のゴキブリが非感染であったことを除いては、蟯虫に感染していた。

Table 19. Effects of anthelmintics on viability of cockroach (*Blattella germanica*) and parasitic burden of pinworm (*Blatticola blattae*) in the cockroach

Anthelmintics ^a	Concentration (ppm)	Number of cockroach that died (Death rate %)			Number of cockroach infected with pinworm (Prevalence %)		
		3 DAT ^b	17 DAT	35 DAT	3 DAT	17 DAT	35 DAT
Pyrantel pamoate 10%	1000	0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	0/5 (0)	0/5 (0)	1/7 (14.3)
	100	0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	0/3 (0)	0/3 (0)	1/5 (20.0)
	10	0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	2/3 (66.7)	2/3 (66.7)	4/6 (66.7)
Pyrvinium pamoate 50mg/tab.	2000	0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	3/13 (23.1)
Ivermectin 0.5%	5	0/20 (0)	3/20 (15)	20/20 (100)	- ^c	-	-
	0.5	1/20 (5)	1/20 (5)	1/20 (5)	2/2 (100)	2/2 (100)	-
	0.05	0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	2/2 (100)	2/2 (100)	-
Piperazine citrate 22.5%	2000	2/20 (10)	19/20 (95.0)	20/20 (100)	-	-	-
	200	1/20 (5)	3/20 (15.0)	5/20 (25.0)	1/2 (50)	2/2 (100)	-
	20	2/20 (10)	3/20 (15.0)	3/20 (15.0)	2/2 (100)	1/2 (50.0)	-
Control (Water)		0/20 (0)	0/20 (0)	0/20 (0)	10/12 (83.3)	12/12 (100)	12/13 (92.3)

^a Anthelmintics were diluted with tap water and settled in the cage for 8 days by substitute for

^b Days after treatment of the initial administration of anthelmintics.

^c Not examined

パモ酸ピルビニウムを8日間または16日間投与した場合のチャバネゴキブリ *Blattella germanica* の蟻虫 *Blatticola blattae* に対する駆虫効果の検討結果を第21表 (Table 21) に示した。パモ酸ピルビニウムを8日間投与した群では駆虫効果は

不十分であったが、パモ酸ピルビニウム溶液を 16 日間投与したゴキブリでは、投与量が 4000 および 2000ppm の場合、投与後 30 日でも *B. blattae* の感染が認められなかった。 $(\chi^2 = 4.091, df = 1, P < 0.05)$ 。しかしながら、薬液の濃度を 1000 ppm に下げると、16 日間投与区で 30 日後になるとゴキブリから 1 隻の蟻虫が検出された。

Table 20. Efficacy of pyrvinium pamoate on pinworms (*Blatticola blattae*) in German cockroaches (*Blattella germanica*) for 8 or 16 days treatments

Treatment	Concentration pyrvinium pamoate (ppm)	Number of cockroach infected with pinworm			
		3 DAT ^a	10 DAT	20 DAT	30 DAT
8-day ^b	4000	5/14 (35.7)	1/12 (8.3)	- ^c	4/11* (36.4)
	2000	3/10 (30.0)	0/12 (0)	-	3/13* (23.1)
	1000	5/10 (50.0)	4/12 (33.3)	-	4/10 (40.0)
16-day ^d	4000	2/6 (33.3)	0/10 (0)	0/6 (0)	0/9 (0)
	2000	5/6 (83.3)	0/10 (0)	0/6 (0)	0/6 (0)
	1000	4/6 (66.7)	1/10 (10.0)	0/6 (0)	1/6 (16.7)
-	Control (Water)	15/18 (83.3)	17/18 (94.4)	6/6 (100.0)	12/13 (92.3)

^a Days after treatment of the initial administration of pyrvinium pamoate.

^b Pyrvinium pamoate (50mg/tab.) were diluted with tap water and settled in the cage for 8 days by substitute for drinking water.

^c Not examined

^d Pyrvinium pamoate (50mg/tab.) were diluted with tap water and replaced in the cage for 8 days continuously after the first 8 days treatment.

* 8-day vs 16-day; $\chi^2=4.091, df=1, P<0.05$

考察

パモ酸ピランテルおよびパモ酸ピルビニウムの市販製剤がチャバネゴキブリの蟻虫 *Blatticola blattae* を駆虫するのに有効であることが本実験で実証された。パモ酸ピランテルまたはパモ酸ピルビニウムは、人または動物の蟻虫の駆虫に使用されている (Kaushik et al. 1978, Lee 1979, Turner and Johnson 1962)。パモ酸ピランテルは、寄生虫の麻痺性けいれんと二次麻痺を引き起こして宿主の腸から排出されることにより脱分極性神経筋遮断薬として作用するニコチン受容体作動薬であり (Aubry et al. 1970)、パモ酸ピルビニウムも、脱分極性神経筋遮断薬としてヒト用に古くから使われている駆虫薬である。本研究では、どちらの薬物もゴキブリに対して影響がなかった。

イベルメクチンやクエン酸ピペラジンは、線虫類の神経群に作用する薬剤として知られるが、神経群の駆虫薬は作用機序が一般殺虫剤と同じである場合があり、昆虫やダニ等に影響を及ぼす場合がある。本実験でもこれらの薬剤はゴキブリに対して毒性を示し、致死させた。特に、殺虫活性の評価試験などに供試されるゴキブリ類に対しては、薬剤の暴露により薬剤感受性が変動する可能性があることから、駆虫剤を用いる場合は薬剤を慎重に選択する必要がある。

イベルメクチンとクエン酸ピペラジンは、哺乳類の蟻虫の駆虫に使用されている (Sayles and Jacobson 1983, Kerrick et al. 1995, Zenner 1998, Hoag 1961)。イベルメクチンは、線虫や昆虫を含む無脊椎動物の神経群のグルタミン酸作動性クロライドチャンネルに対して、GABA (γ -アミノ酪酸) アゴニストとして作用するマクロライド化合物である。この作用により、哺乳動物宿主からの線虫の麻痺と排出が生じる (Arena et al. 1992, Cully et al. 1994, Bloomquist 2003)。クエン酸ピペラジンは GABA アゴニストでもあり、宿主の腸から線虫を排出させる (Martin 1993)。イベルメクチンとクエン酸ピペラジンの効果的な駆虫

用量は、ほとんどの哺乳動物宿主に対して毒性がないが、低濃度でも、これらの薬物はゴキブリ宿主に致命的影響を与え、線虫に対する毒性との選択性がないことが示唆された。

哺乳類の蟯虫 (*Syphacia obvelata*, *S. muris*, *Aspiculuris tetraptera*) の虫卵は、一般に環境の変化に対して強い抵抗性を持ち、飼育環境内の機器や換気用吸気ダクトから検出されることがある (Hoag 1961, van der Gulden and van Erp 1972)。従って、蟯虫卵を根絶するためには、蟯虫卵によって汚染された環境を浄化することが必要になる。さらに、蟯虫に感染した哺乳類の駆虫には、より長期の治療が推奨される事がしばしば報告されている (Blair et al. 1968, Kerrick et al. 1995, Zenner 1998, Taylor et al. 1995)。Pawlik (1966) は、蟯虫に感染したワモンゴキブリを駆虫するために、駆虫薬の長期投与および環境浄化を組み合わせることを推奨している。さらに、蟯虫卵は、至適条件下では 120 日まで感染力を維持できるとされる (Mueller et al. 2001)。駆虫薬は寄生虫卵には効果がないので (Klement et al. 1996, Kaushik et al. 1978)、周囲に虫卵汚染があれば、ゴキブリは繁殖環境で感染性のある蟯虫卵を再度摂取して感染する。本実験における 1000 ppm のパモ酸ピルビニウム投与後 30 日における 16 日間の処理グループにおいて、蟯虫が再観察された理由は、繁殖環境中の生存卵の存在に起因すると考えられ、完全駆虫のためには再投与あるいは投与期間の再延長とともに、環境浄化も併せて実施すべきであることが示唆された。ゴキブリのコロニーにおける蟯虫の正確な根絶の手法を確立するには、さらなる研究が必要であり、環境の完全な洗浄とともに長期の薬剤投与が必要になることが考えられる。飼育ゴキブリ個体群における寄生虫の適切な駆虫手法を確立するには、哺乳類実験動物の事例を参考にしながらさらなる管理法の研究が必要である。

第4章 ゴキブリ用殺虫剤の効果に及ぼすチャバネゴキブリ

Blattella germanica の蟻虫感染の影響

緒言

殺虫剤の実験のように昆虫を使って基本的な実験データを取得する場合、供試昆虫の性別、ステージ、令期、大きさなどを揃えることによって実験データの再現性・信頼性が高められることはよく知られている。特に感受性や抵抗性比を検定するような場合は、供試虫の採集時の情報は重要であり、対照とする標準個体群は比較しやすいように特定の飼育個体群が使用される場合が多い。殺虫剤の効果を検定する場合、供試昆虫の特性が殺虫剤の効果判定に影響しないように、あらかじめ供試昆虫の特性を把握することは重要である。ゴキブリ用殺虫剤として一般家庭用にも広く販売されているヒドラメチルノン剤やフィプロニル剤は、餌と混合して毒餌剤として用いられている。これらの薬剤の特性は、有効成分がゴキブリ体内で代謝されることなく、喫食後の排出糞においても、殺虫剤としての活性が維持されており、直接毒餌剤を喫食しなかったゴキブリに対しても、そのゴキブリの糞食や共食行動を通じて殺虫効果が発現するとされている (Silverman et al. 1991, Shimamura et al. 1994, Ree et al. 1995)。従って、供試昆虫の糞食傾向が異なる場合は、殺虫効果そのものが変動してくる可能性がある。本実験の目的は、ヒドラメチルノン含有食毒剤の二次的殺虫効果とチャバネゴキブリの蟻虫感染の関連を調べることとした。そこで蟻虫非感染 WATn 群と人為的蟻虫感染 WATp 群を用いて、ヒドラメチルノン含有糞の給餌による二次的殺虫効果を測定した。

材料および方法

チャバネゴキブリ

非感染ゴキブリとして WATn 群、蟻虫感染ゴキブリとして WATp 群を供試した。

WATn 群は、20 匹を剖検して蟻虫感染が無いことを確認した。WATp 群は WATn 群の飼育環境に感染ゴキブリの糞を 6 ヶ月混在させて人為的に *B. blattae* 感染ゴキブリとした。WATp 群の蟻虫感染率は 100 % (10/10) だった。

ゴキブリ飼育容器

チャバネゴキブリは通気性のある多孔性のカバーが付いたプラスチック製のケージ (サイズ : 175 x 140 x 105 mm) で飼育した。ケージ内壁上面には 50 mm の幅で周囲にワセリン (関東化学株式会社製、ワセリン) を塗布し、ゴキブリの脱出を防いだ。ケージ内には、飲水、およびゴキブリの潜み場所 (シェルター) として折りたたまれた紙 (約 70 x 70 mm) を設置し、給餌区ではマウス用の市販のペレット (MF オリエンタル酵母株式会社、東京) を給餌した。1 ケージ当たり最大 20 匹のチャバネゴキブリ雄成虫を放飼した。また、ケージは、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ および 16L/8D の光周期で制御された室内に設置した。

ヒドラメチルノン含有食毒剤

市販の製剤 (コンバット、大日本除虫菊株式会社、大阪府) を製品の設置型プラスチック容器 (チャイルドロック型) を破壊して取り出し、1 試験区 (ゴキブリ放飼数 ; 15-20) 当たり、約 0.75g を使用した。ヒドラメチルノン

(Hydramethylnon) は American Cyanamid 社で開発されたアミノヒドラゾン群化合物で、比較的遅効性の殺虫剤である。本化合物はゴキブリおよびシロアリの食毒剤として製品化されている。有効成分ヒドラメチルノンは遅効性であることから、

喫食したゴキブリがすぐに死なずに巣に戻って死ぬ場合が多い。従って巣の中にいる他のゴキブリが糞や死骸を食すことで致死効果が連鎖する効果が期待できるとされている。

試験方法

蟻虫非感染 WATn 群と人為的蟻虫感染 WATp 群のゴキブリ (n=15-17, 2 反復) に、通常餌区には、マウス用の固形飼料約 1 g (MF Oriental.Yeast Co., Ltd., Tokyo, Japan)、糞区には餌として同個体群のゴキブリから回収したヒドラメチルノン (HM) 剤喫食糞 約 0.1 g を水とともに与えた。HM 剤喫食糞は市販のヒドラメチルノン含有食毒剤を容器から取り出し、1 群 (ゴキブリ放飼数 15-17) 当たり約 0.75g をゴキブリが致死するまで与え、その間の排泄物を、群ごとに回収し HM 喫食糞とした。なお、食毒剤給餌後 4 日後には給餌されたゴキブリ全数の死亡を確認した。HM 糞給餌試験開始 10 日後までのゴキブリ生存数を経時的に記録した。

統計解析

各試験区の調査より得られた経過日数に伴うゴキブリの生存数から、カプラン・マイヤー法を用いて生存率および 50% 生存期間を算出し、ログランク検定により有意差を調べた。解析は、Statcel4 (OMS 出版、東京) を用いて上側検定で行い、 P 値が 0.05 以下を有意とした。

結果

WAT 個体群における蟻虫感染とヒドラメチルノン含有糞を餌として与えたゴキブリの生存数の推移を第 21 表に示した。通常餌区では、蟻虫感染 WATp 群および非感染 WATn 群のどちらのゴキブリにおいても、試験終了時まで 100%生存した。ヒドラメチルノン含有糞給餌区の生存率は、蟻虫非感染 WATn 群では 9 日で 50%、20 日で 10%を示したのに対し、感染 WATp 群では 8 日で 50%、13 日で 10%となり (p=0.018)、蟻虫感染 WATp 群の方が、有意に生存日数が短くなった。

Table 21. Number of cockroaches that survived after feeding feces containing hydramethylnon

Food	Cockroach line	Days after treatment				
		1	8	10	14	17
Diet	WATp ^a	32	32	32	32	32
	WATn ^b	32	32	32	32	32
Only HM feaces ^c	WATp	34	10	5	3	0 ^d
	WATn ^b	30	16	14	10	9 ^e

a WATp; infected with *B. blattae*

b WATn; un-infected

c HM feaces ; Feces excreted by cockroaches that had eaten hydramethylnon agents (COMBAT^R).

d vs e: $P=0.018$ ($\chi^2=3.84$, $df=1$)

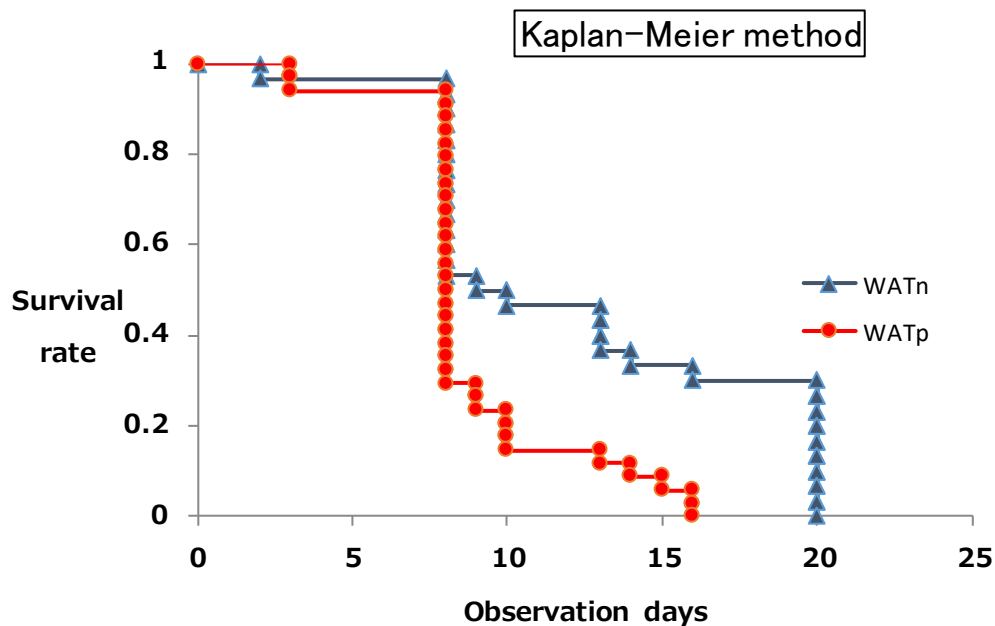


Fig. 17 Survival rate of German cockroach *Blattella germanica* given HMfeces* of cockroach. HMfeces* are feces excreted by cockroaches that had eaten hydramethylnon agents. WATp line was infected with pinworm *B. blattae* and WATn line was free from pinworm infection. WATp vs. WATn: $P=0.018$ (Log-rank test)

考察

ゴキブリ用殺虫剤の有効成分に用いられるヒドラメチルノンは、通常の接触型殺虫剤よりも遅効的かつ安定性が高く、殺虫成分に対するゴキブリの忌避性がないことから、食毒剤（ベイト剤）として商品化されている。ゴキブリは餌とともに本剤を摂食してもすぐには死なず、しばらく活動して巣内等で死亡するためこのゴキブリの糞や死骸が周囲のゴキブリに対して殺虫効果を示すことで、巣の中の個体群が全滅すると報告されている (Silverman et al. 1991, Shimamura et al.

1994, Ree et al. 1995)。Silverman et al. (1981) は放射性標識による追跡の結果、ヒドラメチルノン含有餌を食したチャバネゴキブリの糞の回収物からは、50%以上が親化合物のまま回収され、食糞によって、チャバネゴキブリによるヒドラメチルノンの取り込みが特に幼虫令で多いことを報告した。

今回の試験結果において、ヒドラメチルノン含有糞の糞食または接触によると考えられる二次的殺虫効果は、蟻虫感染 WAT p 群の方が非感染 WATn 群に比べて有意に高くなった。蟻虫感染群の糞食行動が非感染群より頻繁に起こると考えられ、その行動が糞中に存在するヒドラメチルノンの再摂取につながり、蟻虫感染群のゴキブリの致死日数が早くなったと推察される。すなわち蟻虫感染しているゴキブリに対するヒドラメチルノンの効果は、非感染のゴキブリよりもより高く現れる傾向があり、ヒドラメチルノン含有食毒剤の二次効果は蟻虫感染の有無によって変動することが明らかになった。Shimamura et al. (1994) は、ヒドラメチルノン毒餌剤の二次的殺虫効果を調べた結果、試験開始後 18 日目の雄成虫の補正累積致死率は、調査した 4 個体群のチャバネゴキブリによって異なり、野外採取された 3 個体群の致死率が 68-82% と高く、飼育個体群は 40% であったことを報告している。これらの致死率にみられた調査個体群の違いによる差異の要因として、蟻虫感染が関与していた可能性も十分考えられた。

殺虫剤を評価する場合、供試ゴキブリの蟻虫感染の有無が、試験結果を変動させる可能性が本実験で示されたことから、今後、実験昆虫としてのゴキブリの管理において、蟻虫感染対策も視野に入れることは重要と考えた。

第5章 チャバネゴキブリ *Blattella germanica* の生存に及ぼす蟻 虫 *Blatticola blattae* 感染の影響

緒言

ゴキブリに関して、寄生虫感染が宿主であるゴキブリに与える影響について調べた報告は少ない。ワモンゴキブリでは、鉤頭虫 *Moniliformis moniliformis* の感染について、感染によって逃避行動の遅延や、光に対する感受性が低下するとされる報告 (Carmichael and Moore 1991, Gotelli and Moore 1992, Moore and Gotelli 1992, Libersat and Moore 2000) がある。チャオビゴキブリ *Supella longipalpa* では、鉤頭虫 *Moniliformis moniliformis* の寄生により高温時 (29–31°C) に繁殖力が低下するという報告がある (Guinnee and Moore 2004) また、トウヨウゴキブリ *Blatta orientalis* に寄生する *H. diesingi* は宿主からの神経分泌物質の供給に依存して生活している可能性が、内分泌細胞の除去実験により示唆されている (Gordon 1968)。その他の蠕虫による感染がゴキブリの生存性などに及ぼす影響を調べた報告は、筆者の知る限り、未だ無い。他方、ゴキブリの後腸には高い寄生率で蟻虫が寄生することが知られている。日本における野外の非飼育群のチャバネゴキブリの 67% に蟻虫 *Blatticola blattae* が寄生していることが、筆者らの調査により明らかとなっている。

飢餓時の共食行動や糞食は、ワモンゴキブリ *Periplaneta americana* では、比較的普通に起こることが知られている (Gould and Deay 1938, Lederer 1952, Klein 1933)。また、チャバネゴキブリ *B. germanica* の糞食や死骸食については、飼育密度と関連無く、脱皮時の共食いが、高温で増加し低温で減少するという傾

向や(Wille 1920)、新たに脱皮した幼虫への攻撃や、孵化幼虫に対する捕食が報告されている(Gould and Deay 1938, Lhéritier 1951)。一方、チャバネゴキブリ *Blattella germanica* は、共食いや糞食をしないとする報告もある(Tabaru et al. 2003)。

本実験の目的は、チャバネゴキブリの生存におよぼす蟻虫 *Blatticola blattae* 感染の影響を調べることにした。そこで、まず蟻虫感染個体群と非感染個体群のチャバネゴキブリを用いて、異なる給餌条件における生存率の差異を調べた。また、人為的に作成した感染ゴキブリ群と同個体群の非感染ゴキブリ群を用いて、無給餌条件における蟻虫感染の有無が宿主ゴキブリの生存性に及ぼす影響を調べた。供試ゴキブリには、非感染のゴキブリ飼育環境に感染ゴキブリの糞を混在させて作成した人為的感染群 (Kobayashi et al. 2021) を使用した。

材料および方法

チャバネゴキブリ

非感染ゴキブリとして WATn 群, 蟻虫感染ゴキブリとして人為感染 WATp 群と自然感染 NKp 群を供試した。WATn 群は、20 匹を剖検して蟻虫感染が無いことを確認した。WATp 群は WATn 群の飼育環境に感染ゴキブリの糞を 6 ヶ月混在させて人為的に *B. blattae* 感染ゴキブリとした。WATp 群の蟻虫感染率は 100 % (10/10) だった。NKp 群における蟻虫感染率は 85 % (39/46) であった。

ゴキブリ飼育容器

通気性のある多孔性のカバーが付いたプラスチック製ケージ (サイズ : 175 x 140 x 105 mm) を用いて (図 17)、雄成虫のチャバネゴキブリ 10 ~ 15 匹/ケージを飼育した。ゴキブリの脱出を防ぐため、ワセリン (関東化学株式会社製、ワ

セリン) をケージ内壁上面の周囲に 50 mm の幅で塗布した。ケージ内には、飲料水、およびゴキブリの潜み場所として折りたたまれた紙 (約 70 x 70 mm) を設置し、恒温条件 (25±1°C、16L/8D) に静置した。

実験デザイン

1) 異なる個体群における蟻虫感染と餌種の違いにおける宿主ゴキブリ生存数の推移

非感染群 WATn、自然感染群 NKp のチャバネゴキブリをそれぞれ 4 群 (n=10~15/群) に区分し、水以外に与える餌の種類を試験区ごとに変えて与えた。通常餌区には、マウス用の固形飼料約 3 g (MF Oriental.Yeast Co., Ltd., Tokyo, Japan)、ゴキブリ糞区には、飼育ゴキブリと同一個体群の糞約 1 g、ゴキブリ死骸区には飼育ゴキブリと同一個体群の死骸 5 体および餌無し区には空の餌箱をケージ内に設置した。試験給餌開始 20 日後まで経時的に生存ゴキブリ数を記録した。

2) WAT 個体群における蟻虫感染と餌の有無における宿主ゴキブリ生存数の推移

蟻虫非感染 WATn 群と人為的蟻虫感染 WATp 群のゴキブリ (n=16-27, 2 反復) に、通常餌区には、マウス用の固形飼料約 3 g (MF Oriental.Yeast Co., Ltd., Tokyo, Japan)、餌無し区には空の餌箱をケージ内に設置した。試験開始 20 日後までのゴキブリ生存数を経時的に記録した。

統計解析

各試験区の実験結果より得られた経過日数に伴うゴキブリの生存数から、 Kaplan-Meier 法を用いて生存率および 50% 生存期間を算出し、ログランク検定

により有意差を調べた。解析は、Statcel4 (OMS 出版、東京)を用いて上側検定で行い、 P 値が 0.05 以下を有意とした。

結果

1) 異なる個体群における蟻虫感染と餌種の違いにおける宿主ゴキブリ生存数の推移

給餌とチャバネゴキブリの蟻虫感染の違いによる生存率（生存数/供試数 \times 100）の推移を第 22 表に示した。通常餌区では、蟻虫自然感染群 NKp および非感染群 WATn のどちらのゴキブリにおいても、試験終了時まで 90%以上が生存した。ゴキブリ糞給餌区の両群のゴキブリ生存率の推移を Kaplan・マイヤー法を用いて図 18 に示した。蟻虫感染群 NKp と非感染群 WATn の生存率には有意な差が認められ (Log-rank test : $\chi^2 (1, N = 60) = 3.81, P = 0.047$)、50%生存日数は、非感染群 WATn で 6 日、蟻虫感染群 NKp で 10 日であった。ゴキブリ死骸給餌区では群間に差が認められず (Log-rank test : $\chi^2 (1, N = 60) = 3.81, P = 0.15$)、50%生存日数は 10 日であった。また、餌無し区においてもゴキブリ群間に差が認められず (Log-rank test : $\chi^2 (1, N = 58) = 3.81, P = 1.67$)、50%生存日数は両群ともに 5 日であった。

Table 22. Comparison of the number of survived cockroach *Blattella germanica* between pinworm *Blatticola blattae* infected line (NKp) and un-infected line (WATn)

Diet ¹⁾	<i>B. blattae</i> infection	Cockroach line ²⁾	Days after treatment								
			1	3	4	5	6	7	10	11	12
Normal	Positive	NKp	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Negative	WATn	30	29	29	29	29	29	29	29	29
Feces*	Positive	NKp	30	30	28	26	25	21	15	9	7
	Negative	WATn	29	25	19	17	14	13	6	4	3
None	Positive	NKp	30	29	26	15	9	3	0	0	0
	Negative	WATn	30	28	22	10	4	0	0	0	0

1) For normal diet, about 3 g of solid feed for mice (MF Oriental. Yeast Co., Ltd., Tokyo, Japan) was given. For feces diet, about 1 g of feces from the same breeding line of cockroach was given. For none, no diet was given.

2) Prevalence of *Blatticola blattae* in NKp and WATn lines were 84.8% (39/46) and 0% (0/40), respectively.

*NKp VS. WATn : $P=0.047$ (log-rank test)

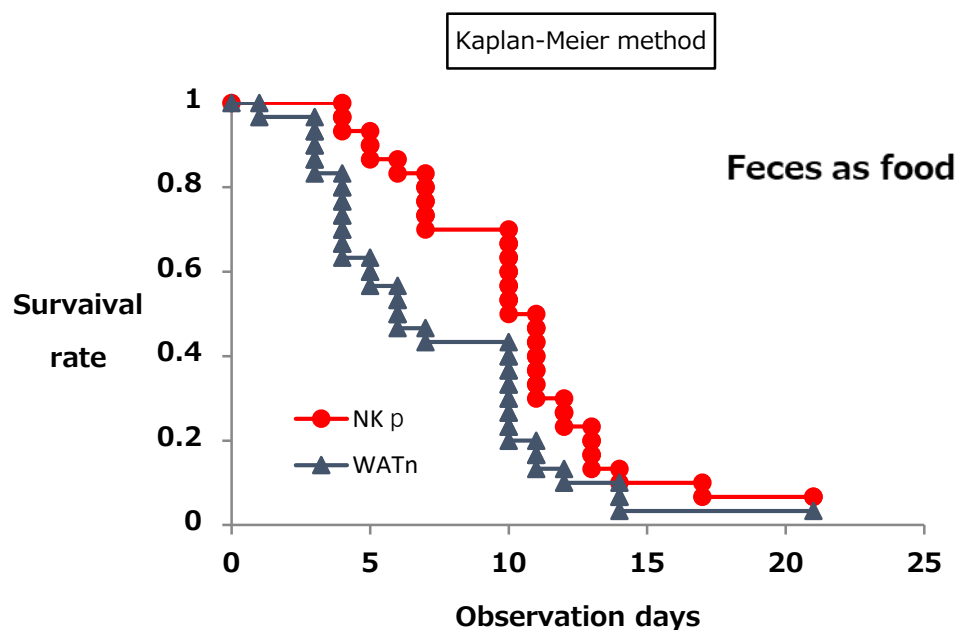


Fig. 18 Survival rate of German cockroach *Blattella germanica* given feces of cockroach. NKp line was infected with pinworm *B. blattae* and WATn line was free from pinworm infection. NKp vs. WATn: $P=0.047$ (Log-rank test)

2) WAT 個体群における蟻虫感染と無給餌におけるゴキブリ生存数の推移

WAT 個体群の感染の違いと無給餌における生存数の推移を第 23 表に示した。通常餌区では、蟻虫非感染 WATn 群および感染 WATp 群のどちらのゴキブリにおいても、試験終了時までほぼ 100%が生存した。WAT 個体群における蟻虫感染の違いにおける無給餌によるゴキブリ生存率の推移を、 Kaplan・マイヤー法を用いて第 19 図に示した。無給餌区における 50%生存日数は、蟻虫非感染 WATn 群では 8 日、感染 WATp 群では 13 日となった。蟻虫非感染 WATn 群と感染 WATp 群の生存率には有意な差が認められ (Logrank-test : $\chi^2 (1, N =104) =3.81$, $P =3.89 \times 10^{-8}$)、感染群の方が明らかに長期間生存した。

Table 23. Comparison of the number of survived cockroach *Blattella germanica* between pinworm *Blatticola blattae* infected line (WATp) and un-infected line (WATn)

Diet ¹⁾	<i>B. blattae</i> infection	Cockroach line ²⁾	Days after treatment						
			1	5	7	9	13	14	15
Normal	Positive	WATp	50	50	50	50	50	50	50
	Negative	WATn	50	50	50	50	50	50	50
None*	Positive	WATp	53	53	50	41	23	10	6
	Negative	WATn	51	47	32	10	0	0	0

1) For normal diet, solid food for mice were given. For none, no food was given.

2) Prevalence of *B. blattae* in WATp and WATn lines were 83% (20/24) and 0% (0/40), respectively. WATp were artificially infected with pinworm by contamination with the feces of pinworm-infected cockroaches in the breeding environment.

*WATp VS. WATn : $P = 3.89 \times 10^{-8}$ (Log-rank test)

無給餌 WAT 個体群における蟻虫感染の違いによるゴキブリ生存率の推移を、 Kaplan-Meier 法を用いて算出し第 19 図に示した。蟻虫感染 WAT p 群と非感染 WATn 群の生存率には有意な差が認められ(Log-rank test : $\chi^2 (1, N = 104) = 3.84, P = 3.89 \times 10^{-8}$)、感染群の方が有意に長生きした。

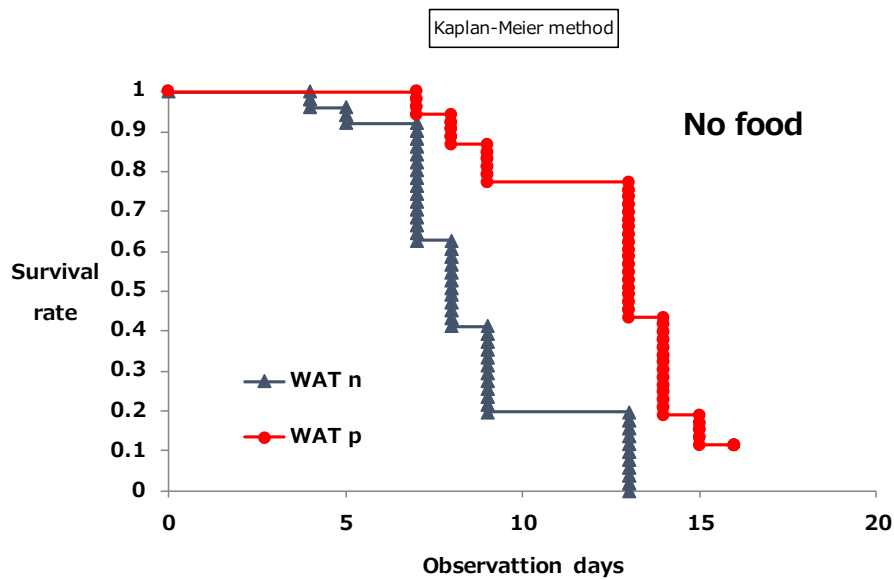


Fig. 19 Survival rate of German cockroach *Blattella germanica* given no food. WATp line was infected with pinworm *B. blattae* and WATn line was free from pinworm infection. WATp vs. WATn: $P = 3.89 \times 10^{-8}$ (Log-rank test).

考察

チャバネゴキブリに飢餓時を想定して、餌として糞のみを与えた場合、蟻虫感染チャバネゴキブリにおける生存率は、非感染ゴキブリの生存率よりも高くなり、蟻虫感染が糞食を通してゴキブリの生存に有利にはたらく可能性が示唆された。また、水のみを与えた餌無し区に比べて、ゴキブリ糞給餌区またはゴキブリ死骸給餌区のチャバネゴキブリでは、生存日数が長くなる傾向が認められたことから、チャバネゴキブリは餌のない状態では糞や死骸を食して栄養源にする可能性が推察された。非感染個体群の WATn 群に *B. blattae* を人為的に感染させて作成した感染群 WAT p と非感染群 WATn の糞食時の生存率を比較すると、感染群の生存率は非感染群に比較して高くなった。チャバネゴキブリは、本来は糞食や死骸食を好まないとされるが、本実験の成績から、餌のない飢餓状態では糞や死骸を食して栄養源とする可能性が考えられ、その傾向は、特に蟻虫感染群で有意に高くなるものと推察された。すなわち、ゴキブリにおける蟻虫感染が糞食行動を活発にして宿主の延命につなげている可能性が考えられた。今後は蟻虫感染と宿主の採餌行動などとを関連付けた詳細な検証が望まれる。

総括ならびに結論

第1章では国内に棲息している屋内生息性の3種類のゴキブリに寄生する蟻虫の寄生状況をまとめた。チャバネゴキブリ *Blattella germanica* については3飼育個体群 (WAT、NIID およびNK 群) と野生個体 320 匹 (26 都道府県 79 ケ所の飲食店や宿泊施設等で捕獲)、ワモンゴキブリ *Periplaneta americana* については3飼育個体群 (NKC、NIID およびNK 群) および5匹の野生個体 (畜舎で捕獲)、クロゴキブリ *Periplaneta fuliginosa* については2飼育個体群 (NKC およびNK 群) と40匹の野生個体 (畜舎で捕獲) を用いて、それぞれの寄生線虫種および寄生率を調べた。その結果、3種すべてのゴキブリの後腸前部に *Thelastomatoidae* 上科の蟻虫が確認された。形態及び分子同定の結果、それらは *Blatticola blattae*, *Thelastoma bulhoesi*, *Hammerschmidtella diesingi* および *Leidynema appendiculata* の4種の蟻虫であることが確認された。チャバネゴキブリでは *B. blattae* が単一種で感染しており、飼育個体群によって感染群と非感染群が存在した。また、野外で捕獲されたチャバネゴキブリの67% (213/320 匹) に *B. blattae* の単一種感染が確認された。以上の結果から、*B. blattae* はチャバネゴキブリに寄生して、日本各地に広範に生息していることが明らかになった。チャバネゴキブリにおける *B. blattae* 感染の報告は国内で初めてである。また、ワモンゴキブリ飼育個体群からは3種の蟻虫が検出され、2種の蟻虫の混合感染あるいは *T. bulhoesi* の単独感染がみられ、野生個体からは全て *L. appendiculata* の単一種感染が確認された。クロゴキブリでは飼育個体群からも、野生個体からも *L. appendiculata* の単一種感染がみられた。

第2章ではチャバネゴキブリの蟻虫 *Blatticola blattae* について、感染経路の解明を目的として感染ゴキブリの糞を非感染ゴキブリの飼育槽に暴露させることによる感染実験を行った。その結果、感染糞の混在10日後には非感染個体群ゴキブリから *B. blattae* の幼虫が検出され、感染糞混在20日後には蟻虫の未成熟雌が検

出され、さらに、感染糞混在 30 日後には成熟雌成虫が検出された。以上の結果から、蟻虫卵の汚染環境で非感染ゴキブリを飼育すると感染が成立することが実証された。また、通常の飼育管理により WAT 個体群のように非感染状態を長期間にわたって維持でき、感染の有無は宿主ゴキブリの生存維持に大きな影響を与えないこともわかった。さらに、チャバネゴキブリの近縁在来種で屋外生息型であるモリチャバネゴキブリ *Blattella nipponica* について、蟻虫の感染状況を調査した。国内 4 か所で捕獲された野生のモリチャバネゴキブリに蟻虫の感染はみられなかった。しかしながら、実験室飼育群のモリチャバネゴキブリの 10% (3/30 匹) には *B. blattae* の感染が認められた。

第 3 章では、蟻虫非感染個体群の確立を目的として、飼育個体群の蟻虫自然感染チャバネゴキブリを用いて動物用駆虫薬による駆虫効果を検討した。市販されているパモ酸ピランテル (Pyrantel pamoate)、パモ酸ピルビニウム (Pyrvinium pamoate)、イベルメクチン (Ivermectin) およびクエン酸ピペラジン (Piperazine citrate) を飲水に溶かして蟻虫感染ゴキブリに摂取させ、投与後 3~35 日に消化管内の寄生蟻虫数を調べ、駆虫薬の有効性を評価した。その結果、イベルメクチンでは 0.5ppm 投与区でゴキブリは生存したが、蟻虫の生存も確認され、5ppm 以上ではほぼ 100% のゴキブリが死亡した。クエン酸ピペラジンでは 200ppm 投与区で蟻虫の生存が確認され、同じ濃度で 50% のゴキブリが死亡した。パモ酸ピルビニウムとパモ酸ピランテルはゴキブリへの影響が低く、今回用いた濃度でゴキブリに死亡や衰弱はみられず、投薬開始後 10 および 17 日で蟻虫が検出されなくなった。しかしながら、投薬開始後 30 日にゴキブリの 1 個体から蟻虫の幼虫が検出されたことから、完全駆虫のためには、投薬の継続または追加が必要なことが示唆された。以上の結果から、パモ酸ピランテルとパモ酸ピルビニウムは、宿主を死亡させることなく、チャバネゴキブリに寄生する *B. blattae* の駆虫に有効であるこ

とがわかった。また、イベルメクチンやクエン酸ピペラジンなどが宿主ゴキブリに対して殺虫性を示したことから、ゴキブリの駆虫においては駆虫薬の選択が重要であることが示された。

第4章では実験昆虫としてのゴキブリの蟻虫感染が、殺虫剤の検定結果に影響を及ぼす可能性について検討した。今回の実験では、ヒドラメチルノン含有糞の糞食または接触によると考えられる二次的殺虫効果は蟻虫感染 WAT p 群の方が非感染 WATn 群に比べて有意に高くなった。殺虫剤を評価していくうえで、実験昆虫としてのゴキブリの蟻虫感染の有無が試験結果の変動要因の一つとなる可能性が示唆された。以上のことから、ゴキブリに対して食毒効果（帰巢後の二次的殺虫効果を含む）を有する殺虫剤の検定試験において、ゴキブリの蟻虫感染の有無が試験結果に影響し食毒剤の二次的殺虫効果変動する可能性が示された。

第5章では、ゴキブリの生存における蟻虫感染の影響を調べることを目的に、チャバネゴキブリの蟻虫自然感染個体群と非感染個体群を用いて、無給餌（通常の固型飼料を給餌しない条件）の場合の糞食と生存率の関係を調べた。その結果、糞給餌区において、自然感染群の生存日数は非感染群に比べて長くなった。感染群はより多くの糞を食して栄養源としたことで生存期間が長くなる可能性が考えられた。さらに、蟻虫非感染群を人為的に感染させた個体群の無給餌の場合における生存率を非感染群と比較した。その結果、蟻虫感染群の生存率が有意に高くなった。以上の結果から、蟻虫感染が飢餓時のゴキブリの生存に有利に働いている可能性が示唆された。

今後の展望

本研究では、チャバネゴキブリにおける蟻虫の実験感染法および駆虫法を確立した。これらの手技や方法は、今後、ゴキブリと寄生虫の宿主寄生虫相互関係の詳細を明らかにするために有用と考えられる。

本稿で示した、チャバネゴキブリにおける蟻虫の実験感染は、虫卵暴露によって行ったものであるが、今後、蟻虫卵の経口投与による実験感染を行い、ゴキブリの蟻虫の生態あるいは宿主寄生虫相互関係のより詳細を明らかにすることは重要と考えている。すなわち、虫卵投与による感染実験を行えば、感染量や感染時期が明確になることから、投与数と寄生数の関係や、プレパテントピリオドなどの蟻虫の生活環の詳細が明らかになり、また、投与数と宿主行動の変化などの関係もみえてくると考える。

さらに、殺虫剤の開発や効力評価に関するゴキブリを用いた実験において、供試ゴキブリにおける蟻虫感染の有無が実験結果に影響する可能性があることが本研究により示されたことから、蟻虫感染を視野に入れた飼育管理および新規の非感染ゴキブリ系統や飼育方法を今後確立することは重要と考えられる。

本研究における感染実験では、チャバネゴキブリを用いたが、今後、ワモンゴキブリやクロゴキブリなどを用いて実験を行うことは意義があり必要と考える。また、蟻虫以外の蠕虫類、すなわち、胃虫、食道虫、鉤頭虫あるいは縮小糸虫等のゴキブリを中間宿主とする寄生虫についても、本研究で得られた手技や方法を応用して実験を行い、宿主寄生虫相互関係を調べることは興味深い。

おわりに

本研究により，国内のゴキブリの線虫感染状況およびゴキブリと寄生線虫の宿主寄生虫相互関係に関する新しい知見が得られた。これらの成績は、公衆衛生学，家畜衛生学および昆虫科学に寄与されるものと考えられた。また、ゴキブリ-蟯虫感染モデルは、比較的扱いやすいことから、生物間の相互関係における寄生現象の解明において有用なモデルであると考えられ、寄生虫学あるいは生物学の発展に貢献できるものと考えられた。

本論文の一部は以下に公表した。

- 1 . Kobayashi M., N. Komatsu, H. K. Ooi and K. Taira. 2021.

Prevalence of *Blatticola blattae* (Thelastomatidae) in German cockroaches *Blattella germanica* in Japan. J. Vet. Med. Sci. 83(2) <https://doi.org/10.1292/jvms.20-0617>

The Journal of Veterinary Medical Science

- 2 . Kobayashi M, Ooi HK, Taira K. 2020. Effects of anthelmintics on the pinworm

Blatticola blattae in laboratory-reared German cockroaches *Blattella germanica*.

Parasitol. Res. 119(9):3093-3097 DOI: 10.1007/s00436-020-06778-1 PMID:

32591863 <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06778-1>

謝辞

本論文の作成にあたり、終始適切な助言と真摯な御指導を賜りました指導教員の平 健介准教授と黄 鴻堅教授、そして動物応用科学科の塚田英晴准教授に深く感謝いたします。

貴重な実験動物であるゴキブリ飼育個体群の提供に快くご賛同ご協力を賜りました国立感染症研究所昆虫医科学部、(一財)日本環境衛生センター環境生物部、日本化薬株式会社アグロ研究所の皆様には心より厚く御礼申し上げます。

共同研究者の株式会社シー・アイ・シー研究開発部長小松謙之博士には、貴重な飼育個体群の提供のほか、全国の検体収集に関して多大なるご協力をいただき深く感謝いたします。さらに株式会社シー・アイ・シーの全国の営業所の皆様におかれましては、ご多忙の中ゴキブリの生体捕獲回収にご協力をいただきまして心より厚く御礼申し上げます。そして実験内容について多くの貴重なご助言を頂きました、田原雄一郎博士をはじめとする衛生動物学会の皆様には心より御礼申し上げます。麻布大学獣医学部寄生虫学研究室の皆様には、年配の大学院生を暖かく受け入れていただき本当にありがとうございました。特にゴキブリの採集や飼育管理にご協力をいただきました浅野広務氏と畠山広大氏、PCR 実験にご協力いただきました Wipaporn Jarujareet 博士には心より厚く御礼申し上げます。また、社会人卒業後の筆者にこのような場をご提案そしてご紹介の労をいただきましたヤマザキ動物看護大学の内田明彦教授に心より感謝いたします。

最後になりますが、今回の論文執筆にあたって、夫の小林伸一博士には論文全般の校閲、推敲に全面的に協力していただきました。また、父親の櫻井明博士には適切な助言とともに、生涯研究者としての真摯な生き方と気概を教示していただきました。この場を借りて心より感謝の意を表します。

参考文献

- Aoki, S., T. Aoki, K. Nagata and T. Matsumura. 1981. Domestic habitat of *Blatta lateralis* in Japan. *Medical Entomology and Zoology*. 32: 160-160.
- Adamson, M. L., and D. Waerebeke. 1992. Revision of the Thelastomatoidea, Oxyurida of invertebrate hosts. I. Thelastomatidae. *Syst. Parasitol.* 21: 21-63.
- Adamson, M. L., and S. J. Noble. 1993. Interspecific and intraspecific competition among pinworms in the hindgut of *Periplaneta americana*. *J. Parasitol.* 79: 50-56.
- Almas, S., A. Gibson, and S. Presley. 2018. Molecular detection of *Oxyspirura* larvae in arthropod intermediate hosts. *Parasitol. Res.* 117: 819-823.
- Anam, M., R. Sonam, A. A. Hina, S. Naheed, and T. Nabeela. 2014. Detection of cockroaches as mechanical carrier of *Escherichia coli* and *Salmonella* species. *Afr. J. Microbiol. Res.* 8: 3625-3629.
- Arena, J. P., K. K. Liu, P. S. Paress, J. M. Schaeffer, and D. F. Cully. 1992. Expression of a glutamate- activated chloride current in *Xenopus* oocytes injected with *Caenorhabditis elegans* RNA: evidence for modulation by avermectin. *Mol. Brain. Res.* 15: 339-348.
- Asahina, S. 1963. Taxonomic notes on Japanese Blattaria I. A new *Blattella* closely allied to *Blattella germanica*. *Med. Entomol. Zool.* 14: 69-75
- Asahina, S. 1991. Blattaria of Japan. Nakayama-Shoten, Tokyo. pp. 148-154.
- Aubry, M. L., P. Cowell, M. J. Davey, and S. Shevde. 1970. Aspects of the pharmacology of a new anthelmintic: pyrantel. *Br. J. Pharmacol.* 38: 332-344.
- Battles, A. H. 1987. Efficacy of ivermectin against natural infection of *Syphacia muris* in rats. *Lab. Anim. Sci.* 6: 791-792.

- Blair, L. S., P. E. Thompson, and J. M. Vandenbelt. 1968. Effects of pyrvinium pamoate in the ration or drinking water of mice against pinworms *Syphacia obvelata* and *Aspiculuris tetraptera*. *Lab. Anim. Care* 18: 314-327.
- Blair, L. S., and P. E. Thompson. 1969. Effects of pyrvinium pamoate in the ration or drinking water of rats against the pinworm *Syphacia muris*. *Lab. Anim. Care* 5: 639-643.
- Blanco, M., P. Lax, J. Dueñas, C. Gardenal, and M. Doucet. 2012. Morphological and molecular characterisation of the entomoparasitic nematode *Hammerschmidtella diesingi* (Nematoda, Oxyurida, Thelastomatidae). *Acta Parasitologica*. 57: 302-310.
- Bloomquist, J. R. 2003. Chloride channels as tools for developing selective insecticides. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 54: 145-156.
- Bozeman, W. B. 1942. An experimental investigation into the life history of *Blatticola blattae*, a nematode found in *Blattella germanica*. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 45: 304-310.
- Bunting, W. 1956. Preliminary notes on some Orthoptera imported with bananas from Dominica. *Ent. Month. Mag.* 92: 284-286.
- Carmichael, L. M., and J. Moore. 1991. A comparison of behavioral alterations in the brown cockroach, *Periplaneta brunnea*, and the American cockroach, *Periplaneta americana*, infected with the Acanthocephalan, *Moniliformis moniliformis*. *J. Parasitol.* 77: 931-936.
- Chaudhary, A., S. Pal, H. S. Malti, and H. S. Singh. 2011. Genomic DNA sequence of *Leidyneema appendiculata* from Meerut, U.P. India. *Asian J. Anim. Sci.* 5: 243-255.

- Chitwood, B. G. 1932. A synopsis of the nematodes parasitic in insects of the family Blattidae. *Z. Parasitenkunde* 5: 14-50.
- Clubb, S. L., and J. K. Frenkel. 1992. *Sarcocystis falcatula* of Opossums: Transmission by cockroaches with fatal pulmonary disease in psittacine birds. *J. Parasitol.* 78: 116-124.
- Connor, S., and M. Adamson. 1998. Niche overlap among three species of pinworm parasitic in the hindgut of the American cockroach, *Periplaneta americana*. *J. Parasitol.* 84: 245-247.
- Cully, D. F., D. K. Vassilatis, K. K. Liu, P. S. Paress, Lex H T Van Der, Ploeg, J. M. Schaeffer, and J. P. Arena. 1994. Cloning of an avermectin- sensitive glutamate- gated chloride channel from *Caenorhabditis elegans*. *Nature* 371: 707-711.
- Do, D. C., Y. Zhao, and P. Gao. 2016. Cockroach allergen exposure and risk of asthma. *Allergy* 71: 463-474.
- Edmunds, L. R. 1957. Observations on the biology and life history of the brown cockroach *Periplaneta brunnea* Burmeister. *Proc. Ent. Soc. Washington*, 59: 283-286.
- Footitt, R. G., and P. H. Adler. 2018. Biodiversity of Blattodea – the cockroaches and termites. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. pp359-387
- Fotedar, R., U. B. Shrinivas and A. Verma. 1991. Cockroaches (*Blattella germanica*) as carriers of microorganisms of medical importance in hospitals. *Epidemiol. Infect.* 107: 181-187.
- Fullaway, D. T. and N. L. H. Krause. 1945. Common insects of Hawaii, 228 pp. Honolulu.
- Galeb, O. 1878. Recherches sur les entozoaires des insectes. *Arch. de Zool Exper. et Gen.* 7: 283-389.

- Gelber, L. E., L. H. Seltzer, J. K. Bouzoukis, S. M. Pollart, M. D. Chapman, and T. Platts-Mills. 1993. Sensitization and exposure to indoor allergens as risk factors for asthma among patients presenting to hospital. *Am. Rev. Respir. Dis.* 147: 573-578.
- Ghosh, J. 2017. A study on the occurrence of pinworms in the hindgut of *Periplaneta americana*. *J. Parasitol. Dis.* 41: 1153-1157.
- González-García, T., M. A. Muñoz-Guzmán, H. Sánchez-Arroyo, M. Prado-Ochoa, J. A. Cuéllar-Ordaz, and F. Alba-Hurtado. 2017. Experimental transmission of *Toxocara canis* from *Blattella germanica* and *Periplaneta americana* cockroaches to a paratenic host. *Vet. Parasitol.* 246: 5-10.
- Gordon, R. 1968. Observations on the effect of the neuro-endocrine system of *Blatta orientalis* L. on the midgut protease activity of the adult female and the level of infestation with the nematode *Hammerschmidtella diesingi* (Hammerschmidt, 1838). *Gen. Comp. Endocrinol.* 11: 284-291.
- Gotelli, N. J., and J. Moore. 1992. Altered host behaviour in a cockroach-acanthocephalan association. *Anim. Behav.* 43: 949-959.
- Gould, G. E., and Deay, H. O. 1938. The biology of the American cockroach. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 31: 489-498.
- Griffiths, J. T., and Tauber, O. E. 1942. Fecundity, longevity and parthenogenesis of the American roach, *Periplaneta americana* L. *Physiol. Zool.* 15: 196-209.
- Groschaft, J. 1956. Studies on the Oxyoroidea from cockroaches (Blattodea) in the laboratory. *Ceskoslovenska Parasitologie* 3: 67-74 (In Czech)
- Guinee, M. A., and J. Moore. 2004. The effect of parasitism on host fecundity is dependent on temperature in a cockroach-acanthocephalan system. *J. Parasitol.* 90: 673-677.

- Guzeeva, E., and S. Spiridonov. 2012. The egg-shell ultrastructure of *Blatticola blattae* (Graeffe, 1860) (Oxyuridomorpha: Thelastomatidae). *Helminthologia* 49: 253-258.
- Harker, J. E. 1964. Diurnal rhythms and homeostatic mechanisms. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 18: 283-300.
- Harunari, T., M. Kutukake, T. Tanikawa and Y. Tomioka 2007. An indoor invasion and seasonal changes of *Blattella nipponica* Asahina (Blattaria: Blattellidae) in a food factory. *House and household insect pests* 29: 55-59.
- Hashimoto, H., T. Sasaki, and M. Motoki. 2017. Survey of cockroach allergen infestation in the indoor environment in Japan. *Bull. Jap. Env. Sanit. Cent.* 45: 1-5
- Hayashi, S., R. Wakai, and K. Motoyoshi. 1976. The efficacy of a newly developed tablet of pyrvinium pamoate against pinworms. *Japanese Journal of Parasitology* 25: 100-108.
- Hirakoso, S., and K. Mizutani. 1961. Susceptibility of certain stage of the German and American cockroaches to lindane, chlordane and dieldrin. *Med. Entomol. Zool.* 12: 76-81.
- Hoag, W. G. 1961. Oxyuriasis in laboratory mouse colonies. *Am. J. Vet. Res.* 22: 150-153.
- Hominick, W. M., and K. G. Davey. 1972. The influence of host stage and sex upon the size and composition of the population of two species of thelastomatids parasitic in the hindgut of *Periplaneta americana*. *Can. J. Zool.* 50: 947-954.
- Hristovski, N. D. 1972. Prilog kon poznavanjeto na rasprostranetosta na nematodite od podredot Oxyurata Skrjabin, 1923 koi parazitiraat vo nekoi artropodi od teritorijata na Jugoslavija, Gricija i SSR. *Acta Parasitol. Jugosl.* 2: 109-115.

- Huerkamp, M. J. 1993. Ivermectin eradication of pinworms from rats kept in ventilated cages. *Lab. Anim. Sci.* 43: 86-90.
- Illingworth, J. F. 1942. An outbreak of cockroaches, *Nauphoeta cinerea* (Olivier), in Honolulu. *Proc. Hawaiian Ent. Soc.* 11: 169-170.
- Jarry, D. T. 1964. Oxyuroidea of some arthropods in the south of France. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.* 39: 381-508.
- Jarujareet, W., M. Kobayashi, K. Taira, and H.K. Ooi. 2019. The role of the American cockroach (*Periplaneta americana*) as transport host of *Eimeria tenella* to chickens. *Parasitol. Res.* 118: 2311-2315.
- Kaushik, R. K., D. P. Banerjee, and R. P. Singh. 1978. Efficacy of pyrantel pamoate against *Toxocara canis* infection in dogs and in vitro effect on eggs. *Haryana agric. Univ. J. Res.* 8: 50-54.
- Kerrick, G. P., D. E. Hoskins, and D. H. Ringler. 1995. Eradication of pinworms from rats by using ivermectin in the drinking water. *Contemp. Topics Lab. Anim. Sci.* 34: 78-79.
- Kim, J., M. Kwon, R. Maharjan, and G. Kim. 2017. Comparisons of morphology and esterase levels between *Blattella germanica* and *Blattella nipponica* (Blattodea: Blattellidae). *Entomological Research* 47: 152-159.
- Klein, H. Z. 1933. Zur Biologie der amerikanischen Schabe (*Periplaneta americana* L.) *Zeitschr. Wiss. Zool.* 144: 102-122.
- Klement, P., J. M. Augustine, K. H. Delaney, G. Klement, and J. I. Weitz. 1996. An oral ivermectin regimen that eradicates pinworms (*Syphacia* spp.) in laboratory rats and mice. *Lab. Anim.* 3: 286-290.

- Kobayashi, M., H.K. Ooi, K. Taira. 2020. Effects of anthelmintics on the pinworm *Blatticola blattae* in laboratory-reared German cockroaches *Blattella germanica*. *Parasitology Research* 119(9): 3093-3097
- Kobayashi, M., S. Kirihara, K. Ozaki. 1987. Pathogenic activity of entomogenous nematodes against the yellow-spotted longicorn beetle larvae of *Psacotheta hilaris*. *Proceedings of the Kanto-Tosan Plant Protection Society* 34: 181-183.
- Kobayashi M., N. Komatsu, H. K. Ooi and K. Taira. 2020. Prevalence of *Blatticola blattae* (Thelastomatidae) in German cockroaches *Blattella germanica* in Japan. *J. Vet. Med. Sci.* 83(2): in press
- Komatsu, N., T. Kishimoto, A. Uchida, and H.K. Ooi. 2013. Cockroach fauna in the Ogasawara chain islands of Japan and analysis of their habitats. *Tropical biomedicine* 30: 141-151.
- Komatsu, N., Y. Kawakami, A. Banzai, A. Uchida, and H.K. Ooi. 2013. Cockroaches collected and newly recorded species *Sigmella schenklingi* in Kagoshima prefecture in winter season. *J. Pestology* 29: 1-5.
- Kopanic, R. J. J., B. W. Sheldon, and C. G. Wright. 1994. Cockroaches as vectors of *Salmonella*: laboratory and field trials. *J. Food Protection* 57: 125-132.
- Lee, H. H. 1979. Bi-weekly treatments of Enterobius infections with pyrantel pamoate (author's transl). *Zhonghua Minguo wei sheng wu xue za zhi* = Republic of China *J. Microbiol.* 12: 21-26.
- Lee, M., P. Song, G. Hwang, S. Lin, and Y. Chen. 2012. Sensitization to per a 2 of the American cockroach correlates with more clinical severity among airway allergic patients in Taiwan. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 108: 243-248
- Lhéritier, G. 1951. Blattes et grillons. *Entomologiste, Paris.* 7: 29-30.

- Libersat, F., and J. Moore. 2000. The parasite *Moniliformis moniliformis* alters the escape response of its cockroach host *Periplaneta americana*. *J. Insect Behavior* 13: 103-110.
- Lübecke, R., F. Hutcheson, and G. Barbezat. 1992. Impaired intestinal electrolyte transport in rats infested with the common parasite *Syphacia muris*. *Digest Dis. Sci.* 37: 60-64.
- Lytvynets, A., I. Langrová, J. Lachout, J. Vadlejch, A. Fučíková, and I. Jankovská. 2010. Drinking water ivermectin treatment for eradication of pinworm infections from laboratory rat colonies. *Helminthologia* 47: 233-237.
- Martin, R. J. 1993. Neuromuscular transmission in nematode parasites and antinematodal drug action. *Pharmacol. Therap.* 58: 13-50.
- Mccallister, G. L., and G. D. Schmidt. 1983. Development of *Thelastoma bulhoesi* (Oxyurata: Thelastomatida) and the effect of thiabendazole on the unembryonated egg. *J. Nematol.* 15: 296-301.
- Mccallister, G. L., and G. D. Schmidt. 1984. Effect of temperature on the development of *Thelastoma bulhoesi* (Oxyurata, Thelastomatida) and other nematodes. *J. Nematol.* 16: 355-360.
- Mizutani, K. 1995. Repellency of deet by box shelter method to German cockroach *Blattella germanica*. *Bull. Jap. Env. Sanit. Cent.* 22: 66-69
- Moore, J., and N. J. Gotelli. 1992. *Moniliformis moniliformis* increases cryptic behaviors in the cockroach *Supella longipalpa*. *J. Parasitol.* 78: 49-53.
- Morand, S., and C. Rivault. 1992. Infestation dynamics of *Blatticola blattae* Graeffe (Nematoda: Thelastomatidae), a parasite of *Blattella germanica* L. (Dictyoptera: Blattellidae). *Int. J. Parasitol.* 22: 983-989.

- Müller-Graf, C.D.M., E. Jobet, A. Cloarec, C. Rivault, M. Baalen, and S. Morand. 2001. Population dynamics of host-parasite interactions in a cockroach-oxyuroid system. *Oikos* 3: 431-440.
- Mueller, G. A., L. C. Pedersen, F. B. Lih, J. Glesner, A. F. Moon, M. D. Chapman, K. B. Tomer, R. E. London, and A. Pomés. 2013. The novel structure of the cockroach allergen Bla-g-1 has implications for allergenicity and exposure assessment. *J. Allergy Clin. Immunol.* 132: 1420-1426.
- Okamoto, M., K. Taira, R. Ito, and F. Asai. 2015. Research Note. Transcriptomic study of the rat pinworm *Syphacia muris*. *Helminthologia* 52: 370-374.
- Okamoto, M., R. Ito, K. Taira, and T. Ikeda. 2018. High IL-1 α Production was induced in the WBN/Kob- Type 2 Diabetes mellitus rat model and inhibited by infection. *Helminthologia* 55: 12-20.
- Olson, L. J., and J. E. Rose. 1966. Effect of *Toxocara canis* infection on the ability of white rats to solve maze problems. *Exp. Parasitol.* 19: 77-84.
- Olson, T. A., and M. E. Rueger. 1950. Experimental transmission of *Salmonella oranienburg* through cockroaches. *Public health reports (Washington, D.C.: 1896)* 65: 531-540.
- Oomori, N. 1982. Classification biology and control of domestic cockroach in Japan. *Bull. Teikyo Junior College* 5: 1-32.
- Owen, D., and J. A. Turton. 1979. Eradication of the pinworm *Syphacia obvelata* from an animal unit by anthelmintic therapy. *Lab. Anim.* 13: 115-118.
- Ozawa, S., and K. Hasegawa. 2018. Broad infectivity of *Leidynema appendiculatum* (Nematoda: Oxyurida: Thelastomatidae) parasite of the smokybrown cockroach *Periplaneta fuliginosa* (Blattodea: Blattidae). *Ecology and Evolution* 8: 3908-3918.

- Ozawa, S., J. Morffe, C. S. L. Vicente, K. Ikeda, R. Shinya, and K. Hasegawa. 2016. Morphological, molecular and developmental characterization of the thelastomatid nematode *Thelastoma bulhoesi* (de Magalhães, 1900) (Oxyuridomorpha: Thelastomatidae) parasite of *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) (Blattodea: Blattidae) in Japan. *Acta Parasitologica* 61: 241-254.
- Ozawa, S., C. Vicente, K. Sato, T. Yoshiga, N. Kanzaki, and K. Hasegawa. 2014. First report of the nematode *Leidynema appendiculata* from *Periplaneta fuliginosa*. *Acta Parasitologica* 59: 219-228.
- Pawlik, J. 1966. Control of the Nematode *Leidynema appendiculata* (Leidy) (Nemata: Rhabditida: Thelastomatidae) in laboratory cultures of the American cockroach. *J. Econ. Entomol.* 59: 468-469.
- Pearson, D. J., and G. Taylor. 1975. The influence of the nematode *Syphacia oblevata* on adjuvant arthritis in the rat. *Immunology* 29: 391-396
- Petri, L. H. 1950. Life Cycle of *Physaloptera rara* Hall and Wigdor, 1918 (Nematoda: Spiruroidea) with the Cockroach, *Blattella germanica*, serving as the intermediate host. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 53: 331-337.
- Pizzi, R., L. Carta, and S. George. 2003. Oral nematode infection of tarantulas. *Veterinary Record.* 152(22): 695.
- Ree, H. I., S. H. Jeon and I- Y. Lee. 1995. Laboratory test on secondary killing effect of hydramethylnon by coprophagous uptake of *Blattella germanica*. *Med. Entomol. Zool.* 46: 397-403.
- Roeser, G. 1940. Zur Kenntnis der Lebensweise der Gewächshauschabe *Pycnoscelus surinamensis* L. *Die Gartenbauwissenschaft.* 15: 184-225.

- Rosenstreich, D. L., P. Eggleston, M. Kattan, D. Baker, R. G. Slavin, P. Gergen, H. Mitchell, K. Mcniff-Mortimer, H. Lynn, D. Ownby, and F. Malveaux. 1997. The role of cockroach allergy and exposure to cockroach allergen in causing morbidity among inner-city children with asthma. *N. Engl. J. Med.* 336:1356-1363.
- Roth, L. M., and E. R. Willis. 1960. The biotic associations of cockroaches. Project Gutenberg. 474pp
- Roth, L. M., and E. R. Willis. 1954. The reproduction of cockroaches. *Smithsonian Misc. Coll.* 122, No. 12. 1-49
- Roth, L. M., and E. R. Willis. 1955. Water relations of cockroach oöthecae. *J. Econ. Entmol.* 48: 33-36.
- Sabreea, Z. L., S. Kambhampati, and N. A. Moran. 2009. Nitrogen recycling and nutritional provisioning by *Blattabacterium*, the cockroach endosymbiont. (Report). *PNAS* 106(46): 19521-19526.
- Saitou, N., and M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.* 4: 406-425
- Sakaguchi, M., S. Inouye, H. Miyazawa, T. Okabe, H. Yasueda, A. Muto, I. Tanaka, T. Akasaka, C. H. Wu, and M. D. Chapman. 1994. Sensitization to cockroach allergens of asthma patients in Japan. *Alerugi* 43: 1309-1315.
- Sakurai (Kobayashi), M., M. Kurotaki, S. Asaka, T. Umino, and T. Ikeshoji. 1982. Characteristic effects of the microencapsulated diazinon against the German cockroach, *Blattella germanica* L. *Med. Entomol. Zool.* 33: 301-307.
- Saupe, R. 1928. Zur Kenntnis der Lebensweise der Riesenschabe *Blabera fusca* Brunner und der Gewächshausschabe *Pycnoscelus surinamensis* L. *Zeitschr. Angew. Ent.* 14: 461-500.

- Sayles, P. C., and R. H. Jacobson. 1983. Effects of various anthelmintics on larval stages of *Nematospiroides dubius* (Nematoda). *J. Parasitol.* 69: 1079-1083.
- Scharrer, B. 1953. Insect tumors induced by nerve severance: Incidence and mortality. *Cancer Res.* 13: 73-76
- Shah, M. 2007. Some studies on insect parasitic nematodes (Oxyurida, Thelastomatoidea, Thelastomatidae) from Manipur, north-east India. *Acta Parasitologica* 52: 346-362.
- Shimamura, H., S. Hori, H. Nagano, S. Matsunaga, and F. Urushizaki. 1994. Secondary kill effect of hydramethylnon bait against several species of cockroach. *Med. Entomol. Zool.* 45: 97-100.
- Shirai, M., S. Hirakoso, and T. Suzuki. 1959. On the effects of several insecticides against German cockroaches after exposing them to the residues of different dosage in different period of exposure. *Med. Entomol. Zool.* 10: 210-216.
- Silverman, J., G. I. Vitale and T. J. Shapas. 1991. Hydramethylnon uptake by *Blattella germanica* (Orthoptera: Blattellidae) by corprophagy. *J. Econ. Entomol.* 84: 176-180.
- Smith, D. D., and J. K. Frenkel. 1978. Cockroaches as vectors of *Sarcocystis muris* and of other coccidia in the laboratory. *J. Parasitol.* 64(2): 315-319.
- Sonan, H. 1924. Observations upon *Periplaneta americana*, Linnaeus, and *Periplaneta australasiae*, Fabricius. (In Japanese.) *Trans. Nat. Hist. Soc. Formosa.* 14: 4-21.
- Spiridonov, S. E. and E. A. Guzeeva. 2009. Phylogeny of nematodes of the superfamily Thelastomatoidea (Oxyurida) inferred from LSU rDNA sequence. *Russian Journal of Nematology* 17: 127-134.
- Sriwati, R., S. Ozawa, J. Morffe, and K. Hasegawa. 2016. First record of *Hammerschmidtella diesingi* (Hammerschmidt, 1838) (Oxyuridomorpha: Thelastomatidae) parasite of *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) (Blattodea:

- Blattidae) in Japan, morphological and molecular characterization. (Report). Acta Parasitologica 61: 720-728.
- Sueta, T., I. Miyoshi, and T. Okamura. 2002. Experimental eradication of pinworms (*Syphacia obvelata* and *Aspiculuris tetraptera*) from mice colonies using ivermectin. Experimental Anim. 51: 367-373.
- Tabaru, Y., K. Mochizuki, and Y. Watabe. 2003. Coprophagy and necrophagy of the German cockroach, *Blattella germanica*, in the laboratory condition. Med. Entomol. Zool. 54: 13-16.
- Tabaru, Y., and Y. Watabe. 2003. Coprophagy, necrophagy and cannibalism of the smoky-brown cockroach, *Periplaneta fuliginosa*, in the laboratory condition. Med. Entomol. Zool. 54: 353-359.
- Tabaru, Y. and T. Koseki. 2004. The number of feces of the intoxicated German cockroaches, *Blattella germanica*, and delayed effects of hydramethylnon gel bait in the laboratory condition. Med. Entomol. Zool. 55: 233-237.
- Taira, K., R. Yazawa, A. Watanabe, Y. Ishikawa, M. Okamoto, A. Takahashi, and F. Asai. 2015. *Syphacia muris* infection delays the onset of hyperglycemia in WBN/Kob-Leprfa rats, a new type 2 diabetes mellitus model. Helminthologia 52: 58-62.
- Takahashi, S., and C. Kitamura. 1972. Occurrence of Phenols in the Ventral Glands of the American Cockroach, *Periplaneta americana* (L.) (Orthoptera: Blattidae). Appl. Entomol. Zool. 7: 199-206.
- Tatfeng, Y.M. M.U. Usuanlele, A. Orukpe, A.K. Digban, M. Okodua, F. Oviasogie & A.A. Turay. 2005. Mechanical transmission of pathogenic organisms: the role of cockroaches. J. Vector Borne Dis. 42: 129-134.

- Taylor, J., R. Lübcke, and G. Barbezat. 1995. Management of *Syphacia muris* infestation in rat colonies. *Digest Dis. Sci.* 40: 1890-1891.
- Tetteh-Quarcoo, P., E. S. DoNKor, S. K. Attah, K. O. Duedu, E. h Afutu, I. Boamah, M. Olu-Taiwo, I. Anim-Baidoo, and P. Ayeh-Kumi. 2013. Microbial carriage of cockroaches at a tertiary care hospital in Ghana. *Environmental Health Insights*: 59-66.
- Todd, A. C. 1944. On the Development and hatching of the eggs of *Hammerschmidtella diesingi* and *Leidynema appendiculatum*, nematodes of roaches. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 63: 54-67.
- Tomioka Y., H. Satake, and T. Tanikawa. 2016. The distribution of *Blattella nipponica* Asahina in the eastern part of Kanto and Tohoku districts, Japan: Special references to the northern limit distribution. *Med. Entomol. Zool.* 67: 177-181.
- Tsai, Y., and K. M. Cahill. 1970. Parasites of the German cockroach (*Blattella germanica* L.) in New York City. *J. Parasitol.* 56: 375-377.
- Turner, C. H. 1912. An experimental investigation of an apparent reversal of the responses to light of the roach (*Periplaneta orientalis* L.) *Biological Bulletin.* 23(6): 371-386
- Turner, J. A., and P. E. Johnson. 1962. Pyrvinium pamoate in the treatment of pinworm infection (enterobiasis) in the home. *J. Pediatr.* 60: 243-251.
- Uwo, J. 1968. Central nervous system control of circadian rhythmicity in insect. *Bulletin of the Institute of Insect Control.* 33: 95-117.
- Van Der Gulden, W.J., and van Erp A.J. 1972. The effect of paracetic acid as a disinfectant on worm eggs. *Lab. Anim. Sci.* 22: 225-226.

- Wagner, M. 1988. The effect of infection with the pinworm (*Syphacia muris*) on rat growth. *Lab. Anim. Sci.* 38: 476-478.
- Watabe, Y., K. Mochizuki, and Y. Tabaru. 2003. 3. Coprophagy, necrophagy and cannibalism of the smoky brown cockroach, *Periplaneta fuliginosa*. *Med. Entomol. Zool.* 54: 206.
- Wille, J. 1920. Biologie und Bekämpfung der deutschen schabe (*Phyllodromia germanica* L.). *Monogr. Angew. Ent., Nr. 5, Zeitschr. Angew. Ent., Beiheft 1, Band 7*, 140 pp.
- Willis, E. R., Riser G. R. and Roth, L. M. 1958. Observations on reproduction and development in cockroaches. *Ann. Ent. Soc. Amer.* 51: 53-69.
- Yamanaka S. 2001. Basic information and applied technology of Steinernematid nematodes. *Annual Report of the Kanto-Tosan Plant Protection Society*, 48:1-5.
- Zenner, L. 1998. Effective eradication of pinworms (*Syphacia muris*, *Syphacia obvelata* and *Aspiculuris tetraptera*) from a rodent breeding colony by oral anthelmintic therapy. *Lab. Anim.* 32: 337-342.
- Zervos, S. 1988. Population regulation in parasitic nematodes (Thelastomatidae) of cockroaches. *New Zealand J. Zool.* 15: 333-338.
- Zheng, Y. W., X. X. Lai, D. Y. Zhao, C. Q. Zhang, J. J. Chen, L. Zhang, Q. Y. Wei, S. Chen, E. M. Liu, D. Norback, B. Gjesing, N. S. Zhong, and D. M. Spangfort. 2015. Indoor allergen levels and household distributions in nine cities across China. *Biomedical and Environmental Sciences* 28: 709-717.
- 石井 象二郎. 1976. ゴキブリの話 : よみもの昆虫記. 北隆館、東京.
- 辻 英明. 2016. 衛生害虫ゴキブリの研究. 北隆館、東京.
- 三橋 淳. 2012. 昆虫食古今東西. オーム社、東京.

安富 和男. 1991. ゴキブリのはなし. 技報堂出版、東京.

日本動物学会編. 1990 動物解剖図. 丸善株式会社、東京.

日本実験動物協会編. 2005 実験動物の技術と応用 実践編. アドスリー、東京.