

環 動 昆

報 文

- 桑原保正・野口佐登司・森 直樹・比嘉ヨシ子：沖縄産ヤヌデ 3 種の分泌物成分、ベンゾキノン類およびヒドロキノン類の同定（英文） 117
中山友栄・築瀬佳之・吉村 剛・藤井義久・今村祐嗣：湿度変化がヤマトシロアリの摂食活動に及ぼす影響（英文） 125

短 報

- 福本絹子・福本照夫・山口礼子・山口裕子・辻 英明：京都府南部におけるオオゴキブリの採取と飼育 133
辻 英明・木藤 慎：静岡市南岸のサツマゴキブリについて 139
吉田宗弘・安藤達彦：赤坂御用地のチョウ類群集 143

解 説

- 宮田秀明：私たちの暮らしと環境ホルモン —ダイオキシン類汚染を一例として— 149
向阪信一：黄色光による夜行性ガ類の忌避 157
平尾素一：走光性昆虫による異物混入とその対策 163
- 会 報 173
投稿規定 176

Vol. 13

3

日本環境動物昆虫学会

2002

Identification of Benzoquinones and Hydroquinones as the Secretory Compounds from Three Species of Okinawan Millipedes

Yasumasa Kuwahara¹⁾, Satoshi Noguchi^{1), *}, Naoki Mori¹⁾, and Yoshiko Higa²⁾

1) Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

2) 402 Tomimori, Kotinda-cho, Okinawa 901-0402, Japan

(Received : February 28, 2002 ; Accepted : April 26, 2002)

沖縄産ヤスデ3種の分泌物成分、ベンゾキノン類およびヒドロキノン類の同定

桑原保正¹⁾・野口佐登司¹⁾・森 直樹¹⁾・比嘉ヨシ子²⁾ (1)京都大学大学院農学研究所, (2)沖縄県東風平町富盛)

沖縄本島で採集したマルヤスデ目ミナミヤスデ科のミナミヤスデ *Trigoniulus lumbrecinus* Gerstaeker, マルヤスデ目カグヤヤスデ科のタカクワカグヤヤスデ *Spirobolellus takakuwai* Wong, ヒキツリヤスデ目ヒモヤスデ科リュウキュウヤハズヤスデ *Glyphiulus septentrionalis* Murakamiの防御分泌物の構成成分をガスクロマトグラフ (GC) 法, ガスクロ質量分析法及び核磁気共鳴吸収スペクトル分析法を用いて調べた。3種の分泌物は2-メトキシ-3-メチル-1,4-ベンゾキノンを共通の主成分とするが, その他副・微量成分のプロフィールは種それぞれに特異的と判断した。近年の侵入種ミナミヤスデには2-メトキシ-3-メチル-1,4-ベンゾキノン (GCピーク面積比72%) 以外に副成分トルキノン (25%) の存在が文献で知られているが, その他に微量成分として5成分を検出し, うち4成分を2,3-ジメトキシ-1,4-ベンゾキノン, 2,3-ジメトキシ-5-メチル-1,4-ベンゾキノン (3%) 及びトルヒドロキノン, 2-メトキシ-3-メチル-ヒドロキノンと同定した。タカクワカグヤヤスデからは2-メトキシ-3-メチル-1,4-ベンゾキノン (95%) と2,3-ジメトキシ-1,4-ベンゾキノン (5%) を主成分, その他4微量成分のうち3成分を2,3-ジメトキシヒドロキノン, 2,3-ジメトキシ-5-メチル-1,4-ベンゾキノン, 2-メトキシ-3-メチル-ヒドロキノンと同定した。リュウキュウヤハズヤスデからは主成分2-メトキシ-3-メチル-1,4-ベンゾキノン (100%) 以外に2微量成分を検出し, 2,3-ジメトキシ-1,4-ベンゾキノン及び2-メトキシ-3-メチル-ヒドロキノンと同定した。

* Present address: Konan Agricultural High School, 1839 Kusatsu, Shiga 525-0036, Japan

The defense secretions from three Okinawan millipedes, *Trigoniulus lumbircinus* Gerstaecker, 1873 (Spirobolida: Pachybolidae), *Spirobolellus takakuwai* Wang (Spirobolida: Spirobolellidae), and *Glyphiulus septentrionalis* Murakami 1975 (Spirostreptida: Cambalo-psidae) were a characteristic mixture of quinones and hydroquinones. In addition to two quinones already known, 2-methoxy-3-methyl-1,4-benzoquinone (**2**) and toluquinone (**1**), four more compounds were found from *T. lumbircinus* in decreasing order of abundance; 2,3-dimethoxy-5-methyl-1,4-benzoquinone (**6**), 2,3-dimethoxy-1,4-benzoquinone (**3**), toluhydroquinone (**4**), 1,4-dihydroxy-3-methylbenzene, and 2-methoxy-3-methylhydroquinone (**7**). From *S. takakuwai*, five compounds were identified: **2**, **3**, **2**,3-dimethoxyhydroquinone (**5**), **6**, and **7**. *G. septentrionalis* contained **2**, **3**, and **7**. Quinone **2** was the major component in all three species together with traces of **3** and **7**.

Key words: Millipedes, Benzoquinones, Hydroquinones, *Spirobolellus takakuwai*, *Glyphiulus septentrionalis*, *Trigoniulus lumbircinus*

Introduction

Defensive secretions have been studied in the six of the ten orders of millipedes and been largely classified into three groups by their chemical structures. In the first group, of Polydesmida, are cyanogenic species that produce mandelonitrile or its decomposition products as a mixture of benzaldehyde and hydrogen cyanide. In the second group, of Spirobolida, Julida, and Spirostreptida, are benzoquinone emitters. In the third group, of Glomerida and Polyzoniida, are emitters of other alkaloids and nitro compounds. There are no publications reporting defensive compounds of species in the remaining four orders, Polyxenida, Chordeumatida, Platynodesmida, and Siphonophorida (Eisner et al., 1978).

The secretions were studied extensively in the 1980s when mass spectrometry coupled with gas-liquid chromatography (GC-MS) was developed, except for Japan. Most Japanese millipedes (277 species belonging to 27 families in 10 orders) were not studied, and because more than 97% of the

species in Japan are endemic (Murakami, 1993), details of their defensive secretions remained unknown. The chemical compositions of secretions of the following four cyanogenic species collected in Japan have been studied: *Epanerchodus japonicus* Carl (Polydesmida: Polydesmidae), with benzaldehyde, phenol, and mandelonitrile (Mori et al., 1994), *Parafontaria laminata armigera* Verhoeff (Xystodesmida: Polydesmidae), with benzaldehyde, mandelonitrile, benzoyl cyanide, mandelonitrile benzoate, and benzoic acid (Mori et al., 1995), *Nedyopus patrioticus patrioticus* (Polydesmida: Paradoxosomatidae), with *p*-cresol, benzaldehyde, phenol, and mandelonitrile (Noguchi et al., 1997a), and the Okinawan millipede *Chamberlinius hualienensis* Wang (Polydesmida: Paradoxosomatidae) of seven compounds, benzoic acid, mandelonitrile, benzaldehyde, benzonitrile, methyl benzoate, α -methoxybenzyl alcohol, and mandelonitrile benzoate (Noguchi et al., 1997b). Except for benzoic acid in the last species, the other compounds have been listed in an earlier monograph (Eisner et al., 1978).

Another compound, 2-nitroethenylbenzene, has been recently identified as a component of secretions of the white millipede *Eucondylodesmus elegans* Miyoshi (Polydesmida: Doratodesmidae) (Kuwahara *et al.*, 2002). It is of interest to identify the defense compounds of Japanese millipedes as well, especially as new components may be found.

As part of our chemical analysis of Japanese millipedes, we collected three Okinawan species belonging to Spirobolida, and Spirostreptida, as benzoquinone emitters, and examined their defence secretions.

Materials and Methods

Millipedes examined

Trigonulus lumbircinus Gerstaecker 1873 [Spirobolida: Pachybolidae, (*minami-yasude* in Japanese), body length, ca. 3–6 cm, body diameter, ca. 5 mm, and body weight, 719 mg ($n=1$)] was collected at a sugar-cane field in Ishikawa City, Okinawa, in November 1996. The species was first found in the area near a US Air Force base and has been considered to be one of the naturalized animals on the island (Anonymous, 1996). The species, originally from Southeast Asia, crawls periodically into houses, where it is considered a nuisance (Higa *et al.*, 1993). When disturbed, the millipede being to curl up with its head in the center to become a disk of about 3 cm in diameter. It has a mixture of toluquinone (1, methyl-1,4-benzoquinone) and 2-methoxy-3-methyl-1,4-benzoquinone (2) as its defense secretion (Monro *et al.*, 1962), and was used here as the standard in the elucidation of the chemical components of the other species.

Spirobolellus takakuwai Wang [Spirobolida: Spirobolidae; *takakuwakaguya-yasude* in Japanese; body length, ca. 2 cm in length; body diameter, ca. 2 mm, weighing 72.6 ± 12.9 mg (mean \pm SD, $n=5$)] was collected at a sugar-cane field in Kochinda,

Okinawa, in November 1996. The species is creamy white, with a pair of brown secretory glands on the sides of each body segment, and emits luminesce when disturbed in the dark (Shinohara and Higa, 1997).

Glyphiulus septentrionalis Murakami 1975 [Spirostreptida: Cambalopsidae; *ryuukyuu-yahazu-yasude* in Japanese; body length, ca. 2.5 cm; body diameter, ca. 1.5 mm, weighing 10.2 ± 2.2 mg (mean \pm SD, $n=5$)] was collected together with *S. takakuwai* from the same soil and on the same date as mentioned above. The species is slender and characteristically seems to freeze for a moment, to look like a straight or bent rod, when disturbed. The species, which is a pale charcoal color, does not coil up like other species.

All three species were kept alive at 25 °C in a polyethylene bag with raw sliced potatoes as food.

Analytical procedures and conditions

Individuals of *S. takakuwai* and *G. septentrionalis* were placed in MeOH (0.5 or 0.2 ml, respectively) for 3 min, and the yellow liquid obtained was decanted. Portions of extracts thus prepared were examined by gas-liquid chromatography (GLC) or GC-MS at the condition indicated below. Extraction and analysis were repeated three times with three individuals of each species. A 2-ml MeOH extract from one individual of *T. lumbircinus* was used as the standard for analyses.

GLC was done on an HP-5890 series II Plus apparatus (Hewlett Packard) equipped with an flame ionization detector and an HP-5 capillary column (0.32 mm \times 30 m; film thickness of 0.33 μ m) at a programmed temperature increase condition from 60 °C to 290 °C at 10°C/min with an initial pause for 2 min. Each sample was analyzed in a split-less mode with He as the carrier gas, and the chromatogram was processed by an HP3396 series II Integrator. GC-MS was done by an HP-5989B

mass spectrometer, operated at 70 eV, with the same column and operating conditions as above.

An NMR spectrum was obtained by a Bruker AC 300 MHz apparatus to elucidate the structure of benzoquinone, with crude extract of millipedes soaked in CDCl_3 (800 μl) for 3 min. The yield of each component in MeOH extracts from the three species was determined by GLC with 2-tridecanone as the internal standard.

Results and Discussion

All compounds found in the three species are listed in Fig. 1. The aromatic proton region (δ 6.40 - 6.80) of the NMR spectra (Fig. 2), indicates the proportion of the component; *T. lumbricinus* indicated spectrum of a mixture composed of more than two compounds, whereas that of *G. septentrionalis* was one almost pure compound. Two ortho-coupled protons (10.05 Hz) as two sets of doublets at δ 6.60

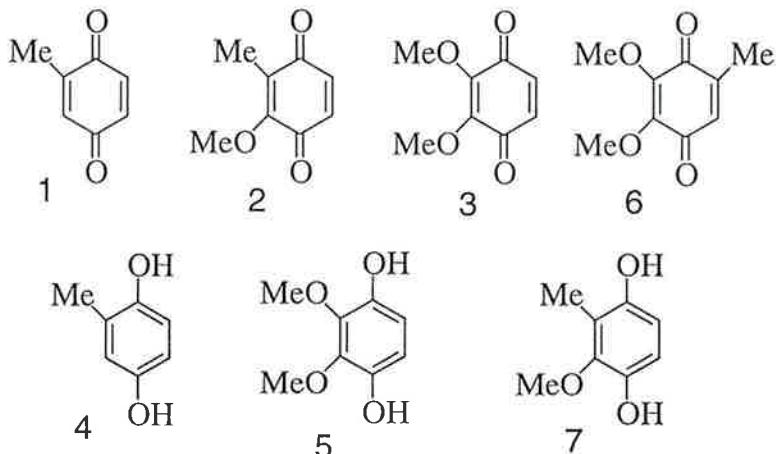


Fig. 1 Structures of quinones and hydroquinones identified in three species of Okinawan millipedes.

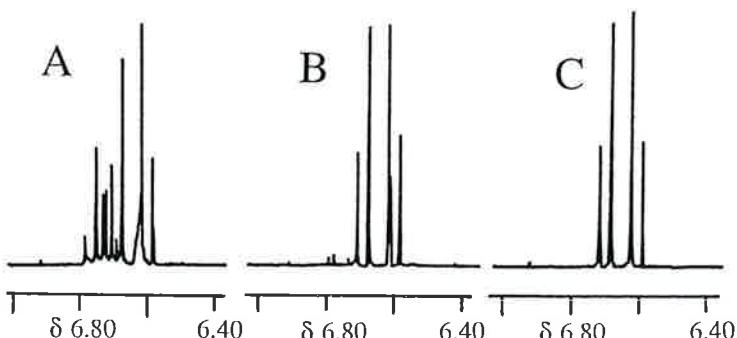


Fig. 2 NMR spectra (δ 6.4-6.8) of three species of Okinawan millipedes, measured in CDCl_3 with a 300 MHz spectrometer.

A : *Trigoniulus lumbricinus*, B : *Spirobolellus takakuwai*,
C : *Glyphiulus septentrionalis*

and 6.70, together with methyl and methoxy protons at δ 1.96 and δ 4.03 (not shown) suggested the shared major component to be 2-methoxy-3-methyl-1,4-benzoquinone (**2**). Results of GLC (Table 1) showed seven peaks (1-5, 7 and 8) for the extract of *T. lumbricinus*, among which two peaks (1, relative abundance, 25%; ca. 0.4 mg/millipede, and 2, 72%; ca. 1.1 mg/millipede) were of major compounds. The extract of *S. takakuwai* gave six peaks (2, 3, and 5-8), among which peaks (2 and 3) were of the major components, with relative abundance of 95% ($241.6 \pm 92.7 \mu\text{g}/\text{millipede}$, mean \pm SD, $n=5$) and 5%, respectively. The extract of *G. septentrionalis* gave three peaks (2, 3, and 8); peak 2 was major and the other two peaks were minor.

The major component (peak 2) in all three defense secretions gave an M^+ and base ion peak at m/z 182 (100%), with the following fragment ions: 137 (5%), 134 (3%), 122 (35%), 109 (15%), 94 (5%), 82 (12%), 66 (14%), and 53 (12%), and the structure was elucidated to be 2-methoxy-3-methyl-1,4-benzoquinone (**2**). The structure was consistent with the NMR spectrum mentioned above. This compound was reported earlier as being found in *T. lumbricinus*, together with toluquinone (**1**, peak 1) (Monro *et al.*, 1962). The presence of **1**

in *T. lumbricinus* was confirmed not only by GC-MS of the compound in peak 1, which gave an M^+ and base ion at m/z 122 (100%) together with the following diagnostic ions: m/z 94 (57%), 82 (38%), 68 (16%), 66 (26%), and 54 (25%), but also by the following NMR data; methyl protons at δ 2.06 together with aromatic protons' multiplet around δ 6.78-6.58.

Besides these quinones **1** and **2**, two more quinones (peaks 3 and 7) were detected in *T. lumbricinus* and *G. takakuwai*, and peak 3 was detected in *G. septentrionalis*. Results of GC-MS of peak 3 indicated an M^+ ion at m/z 168 (98%) and base ion at m/z 123 (100%), together with the following diagnostic ions: m/z 153 (44%), 139 (14%), 125 (20%), 95 (18%), 82 (27%), 69 (31%), and 54 (19%). On the basis of this mass spectrum and NMR spectrum of the extract from *S. takakuwai*, in which the compound was found at 5% relative intensity, the structure of the compound in peak 3 was unambiguously elucidated to be 2,3-dimethoxy-1,4-benzoquinone (**3**), the O-CH₃ protons of which appeared by NMR to overlap at δ 4.03 with those of **2**. Peak 7 (3% relative intensity in *T. lumbricinus*) indicated an M^+ and base ion at m/z 182 (100%), together with the following

Table 1 Relative abundance of quinones and hydroquinones in three species of Okinawan millipedes

GC peak	t_R min	Compound identified	Percentage in:		
			<i>T. lumbricinus</i>	<i>S. takakuwai</i>	<i>G. septentrionalis</i>
1	6.02	Toluquinone (1)	25	nd ²⁾	nd
2	8.60	2-Methoxy-3-methyl-1,4-benzoquinone (2)	72	95	100
3	10.54	2,3-Dimethoxy-1,4-benzoquinone (3)	tr ¹⁾	5	tr
4	10.82	Toluhydroquinone (4)	tr	nd	nd
5	11.00	Structure not identified	tr	tr	nd
6	11.24	2,3-Dimethoxyhydroquinone (5)	nd	tr	nd
7	11.86	2,3-Dimethoxy-5-methyl-1,4-benzoquinone (6)	3	tr	nd
8	11.89	2-Methoxy-3-methylhydroquinone (7)	tr	tr	tr

1) tr: Trace (intensity) less than 1%.

2) nd: Not detected.

ions: 167 (47%), 153 (15%), 139 (24%), 137 (89%), 136 (25%), 111 (17%), 83 (32%) and 69 (22%). The structure of the compound in peak 7 was suggested to be 2,3-dimethoxy-5-methyl-1,4-benzoquinone (**6**), methyl protons of which were confirmed at δ 2.06 overlapping with those of **1**.

Mass spectra of peaks 4, 6, and 8 were characteristically composed of an M^+ and $M^+ - m/z$ 2 ion set (M^+ and $M^+ - 2$ ion set, hereafter) as follows: peak 4 gave an M^+ (and base ion) at m/z 124 (100%) and m/z 122 (99%), together with ions at m/z 123 (51%), 94 (52%), 82 (38%), 68 (18%), 66 (29%) and 54 (28%). Peak 6 indicated an M^+ and base ion at m/z 170 (100%) and m/z 168 (74%), together with ions at m/z 155 (48%), 153 (36%), 137 (11%), 123 (62%), 112 (16%), 109 (22%), 95 (11%), 82 (14%), 69 (23%), and 54 (11%). Peak 8 showed an M^+ ion at m/z 154 (47%) and base ion at m/z 152 (100%), with ions at m/z 139 (32%), 122 (35%), 111 (21%), 109 (15%), 94 (8%), 82 (15%), 66 (15%), and 53 (12%). Such characteristics suggested that these were hydroquinones (Budzikiewicz *et al.*, 1967).

Trial measurement of hydroquinone (1,4-dihydroxybenzene) as the model compound showed the same phenomena. Hydroquinone at a dose around its detection limit indicated an M^+ (and base ion) at m/z 110 (100%) and $M^+ - 2$ ion at m/z 108 (72%). In this mass spectrum, an M^+ and all other fragment ions from benzoquinone also were present. However, intensities of the ions seemed to differ depending upon the sample size. At higher doses than its detection limit, the intensity of the $M^+ - 2$ ion decreased to 11% or less against its M^+ (100%), dose-dependently. Intensities of other fragments at a higher dose were as follows: 82 (19%), 81 (22%), 55 (16%), 54 (18%) and 53 (18%). Whereas the corresponding benzoquinone gave an M^+ and base ion at m/z 108 (100%), with

ions at m/z 82 (22%), 80 (23%), and 54 (37%). We, therefore, concluded that peak 4 was of tolhydroquinone (**4**), that peak 6 was of 2,3-dimethoxyhydroquinone (**5**), and that of peak 8 was of 2-methoxy-3-methylhydroquinone (**7**), respectively.

Peak 5 indicated an M^+ at m/z 182 (5%) and base ion at m/z 45 (100%), together with the following fragment ions; 151 (9%), 137 (15%), 122 (36%), 109 (4%), 93 (3%), 82 (8%), 67 (5%), 63 (6%) and 53 (8%). The structure of the component in peak 5, however, remained obscure at present.

The three Okinawan species, belonging to the orders, Spirobolida, and Spirostreptida, were quinone emitters, as reported by Eisner *et al.* (1978). A total of four benzoquinones were identified, three of which were accompanied by traces of the corresponding hydroquinone. A total of six hydroquinones have been reported in the secretion from the spirostreptid *Telodeinopus aoutii* by Deml and Huth (2000), among which hydroquinones **5** found in *S. takakuwai* was the second example. Those hydroquinones probably were biosynthetic precursors, as suggested by Deml and Huth (2000).

Quinone **1** is widely distributed among those three orders, as is **2** (Eisner *et al.*, 1978), but **1** was not detectable in *S. takakuwai* or *G. septentrionalis*. Compound **2** was the only component present in all three species, where it was the major component found with its corresponding hydroquinone **7** as a trace. The proportions and absolute amounts of the seven components differed with the species, and these profiles seemed to be species-specific. *T. lumbircinus* had compounds **2**, **1**, and **3** in decreasing order. Likewise, *S. takakuwai* had compounds **2** and **3**, and *G. septentrionalis* had only compound **2**.

The chemical components of secretions of four Okinawan millipedes have been published (Kiku-

7%).
as of
2,3-
8 was
spec-
and
fol-
122
, 63
mpon-
pre-
the
were
al.
enti-
s of
six
tion
eml
s 5
ple.
etic
0).
ree
de-
lis.
all
ent
a
the
nd
T.
ng
ad
ur
—
nugn *et al.*, 1993); two of them, *C. haulienensis* Wang (Polidesmida: Strongylosomidae) and *Riukiuaria pugionifera* Verhoeff (Polidesmida: Xystodesmidae) are cyanogenic. From *C. haulienensis*, three compounds (mandelonitrile, benzoic acid, and mandelonitrile benzoate) have been isolated and identified among seven reported by Noguchi *et al.* (1997b) as mentioned in the introduction. Mandelonitrile, benzoic acid, and benzyl alcohol from *R. pugionifera* have been identified. The other two species *Anaulaciulus okinawaensis* Shinohara (Julida: Julidae) and *Prospirobolus joannise* Attens (Streptida: Rhinocricidae), are quinone emitters. Three compounds (**4**, **2**, and **6**, in the amount of 1100, 4, 195 and 31 mg, respectively) are isolated and identified from 1.5 kg of *A. okinawaensis*, and two compounds, **4** (30 mg) and **2** (9 mg) were obtained from 800 g of *P. joannise* (Kikunaga *et al.*, 1993). That tolulydroquinone (**4**) was the main component in two species is unexpected, because hydroquinones are usually distributed as traces (Deml and Huth, 2000).

In this study, quinones **1**, **2**, and **3** were accompanied by a minute amount of corresponding hydroquinones **4**, **7**, and **5** (quinone **6** was the only exception). Quinones **2** and **3** and hydroquinone **7** were found in all three species, including the case as traces. Quinone **2** was the major component of the defense secretions.

References

- Anonymous (1996) *Naturalized animals* (Okinawa Prefectural Museum, ed), Okinawa Prefectural Museum, Naha (in Japanese).
- Budzikiewicz, H., C. Djerassi, D. H. Williams (1967) *Mass spectrometry of organic compounds*. Holden-Day, San Francisco (translated version in Japanese by Nakagawa Y. and M. Ikeda, Maruzen, Tokyo, 1973).
- Deml, R. and A. Huth (2000) Benzoquinones and hydroquinones in defensive secretions of tropical millipedes. *Naturwissenschaften* 87 : 80-82.
- Eisner, T., D. Alsop, K. Hicks and J. Meinwald (1978) Defensive secretions of millipedes. In "Arthropod Venoms" (Bettini, S. ed), pp. 41-72, Springer-Verlag, Berlin.
- Higa, Y., T. Kishimoto and K. Shinohara (1993) The outbreak of the millipede *Trigoniulus lumbircinus* (Gerstaecker 1873) and control in Okinawa Islands. *Annual Report of Okinawa Prefectural Institute of Public Health* No. 27 : 33-40 (in Japanese).
- Kikunaga, T., H. Kinjyo and M. Kuniyoshi (1993) Studies on the constituents of smells from some Okinawan local millipedes. *Bull. Coll. Sci. Univ. Ryukyus* 56 : 91-112 (in Japanese).
- Kuwahara, Y., H. Ōmura and T. Tanabe (2002) 2-Nitroethenylbenzenes as natural products in defense secretion of millipede. *Naturwissenschaften*, in press.
- Monro, A., M. Chadha, J. Meinwald and T. Eisner (1962) Defense mechanisms of arthropods VI. *p*-Benzoquinones in the secretion of five species of millipedes. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 55 : 261-262.
- Mori, N., Y. Kuwahara and R. Nishida (1994) Identification of benzaldehyde, phenol and mandelonitrile from *Epanerchodus japonicus* Carl (Polydesmida: Polydesmidae) as possible defence substances. *Appl. Entomol. Zool.* 29 : 517-522.
- Mori, N., Y. Kuwahara, T. Yoshida and R. Nishida (1995) Major defensive cyanogen from *Parafontaria laminata armigera* Verhoeff (Polydesmida: Xystodesmidae). *Appl. Entomol. Zool.* 30 : 197-202.
- Murakami, Y. (1993) Dollopoda. In "List of Wild Animals in Japan (5)". *List of wild life in*

- Japan (Nonvertebrate Part), (Environmental Protection Agency of Japan, ed), pp. 95-106, Natural Environment Research Center, Tokyo (in Japanese).
- Noguchi, S., N. Mori, Y. Higa and Y. Kuwahara (1997a) Identification of *Nedyopus patrioticus* *patrioticus* (Attems, 1898) (Polydesmida: Paradoxosomatidae) secretions as possible defense substances. *Appl. Entomol. Zool.* 32 : 447-452.
- Noguchi, S., N. Mori, Y. Higa and Y. Kuwahara (1997b) Identification of mandelonitrile as a major secretory compound from *Chamberlinius hualienensis* Wang (Polydesmida: Paradoxosomatidae). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 8 : 208-214
- Shinohara, K. and Y. Higa (1997) A new record of the luminous millipede, *Spirobolellus takakuwai* Wang, 1961 from Okinawa, Japan. *Edaphologia*, No. 59 : 61-62 (in Japanese).

Effects of Humidity Changes on the Feeding Activity of a Pest Termite, *Reticulitermes speratus* (Kolbe)

Tomoe Nakayama¹⁾, Yoshiyuki Yanase²⁾, Tsuyoshi Yoshimura¹⁾,
Yoshihisa Fujii²⁾ and Yuji Imamura¹⁾

1) Wood Research Institute, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

2) Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

(Received : May 1, 2002 ; Accepted July 15, 2002)

温度変化がヤマトシロアリの摂食活動に及ぼす影響 中山友栄¹⁾・築瀬佳之²⁾・吉村 剛¹⁾・藤井義久²⁾・今村祐嗣¹⁾ (1)京都大学木質科学研究所, (2)京都大学大学院農学研究科)

日本全国に分布するヤマトシロアリ (*Reticulitermes speratus* (Kolbe)) の摂食活動に及ぼす環境湿度の影響を、アコースティック・エミッション (AE) モニタリングを用いて明らかにすることを試みた。湿度を固定および変動させた環境下で、ヤマトシロアリ職蟻の摂食活動をAE事象率（5分間当たりのAE事象数）によって観察した。固定湿度実験では、各湿度間で明らかな差は観察されなかつたが、70%, 80% RHにおいて検出されたAE事象数が他の湿度条件下と比べて高い値であった。また、50-90% RH間を段階的に変動する変動湿度実験では、職蟻の摂食活動によって発生するAE事象率は周囲の湿度が上昇するに伴って増加し、逆に低下すると急激に減少した。この変動湿度実験では、80%, 90% RH下において摂食活動が最も活発であった。これらの結果から、ヤマトシロアリ職蟻の摂食活動は、環境湿度を低下させることによって抑制されると考えられる。

The effect of the environmental relative humidity (RH) on the feeding activity of *Reticulitermes speratus* (Kolbe), which is one of the major pest species and is distributed throughout almost the whole country, was investigated by acoustic emission (AE) monitoring. Two trials of fixed and variable RH tests were conducted. In the fixed RH test, although no significant difference was observed, higher AE events were observed at 70% and 80% RH than at other RH levels. The AE event rates generated by the feeding activities of workers under stepwisely-changed RH gradient (50-90-50% RH) increased with environmental RH rising, and decreased rapidly when RH lowered.

The highest feeding activities were detected at 80% and 90%RHs in the variable test. From these results, it seems that the feeding activity of *R. speratus* workers is restrained by lowering environmental RHs.

Key words: *Reticulitermes speratus* (Kolbe), RH change, Feeding activity, AE monitoring

Introduction

Termite is the most serious pest affecting wood and wood-based materials in Japan. Environmental concerns have been promoting the development of novel termite control strategies, i.e. Integrated Termite Control (ITC) based on the ecological knowledge of the target species. Relative humidity (RH) is one of the most important environmental factors affecting termite activity (Wigglesworth, 1965). The effect of environmental RH on the feeding activity of *Coptotermes formosanus* Shiraki, a major pest species in southern Japan, has been studied by acoustic emission (AE) monitoring (Suda et al., 2000; Yusuf et al., 2000), which has been applied to investigate the feeding activity of termites not only in laboratory trials (Imamura and Fujii, 1995; Matsuoka et al., 1996) but also in field situations (Fujii et al., 1998; Yanase et al., 1999, 2001) as a non-destructive and useful tool. For *C. formosanus* it was reported that the highest feeding activity occurred around 75%RH (Suda et al., 2000; Yoshimura et al., 2000; Yusuf et al., 2000).

Another major pest species, *Reticulitermes speratus* (Kolbe), which is distributed throughout almost the whole country (Mori et al., 2002), is thought to need to ingest wet woods, while *C. formosanus* ingests relatively dry woods because the latter has a water reserving capacity (The Society of Materials Science, Japan, 1982). So it is likely that the RH-dependence of these two major

pest species strongly differs even though both insects are subterranean species classified in the same family, Rhinotermitidae.

In this study, AE monitoring was used to examine the effects of environmental RH on the feeding activity of *R. speratus*.

Materials and Methods

Termite and wood specimen

Workers of *Reticulitermes speratus* (Kolbe) collected from a field colony maintained at the Uji Campus of Kyoto University were used in this study. Test insects were starved for 1 day prior to the experiments to activate their feeding activities.

Wood blocks of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), measuring 35mm (R) × 35mm (T) × 50mm (L), with 5 holes (5mm in diameter and 20–30mm in depth) were air-dried and served for the experiments. Mean water content of the blocks was 12.8%.

AE sensor

A piezoelectric AE sensor with a resonant frequency of 150Hz (NF, AE-901s) was attached on the surface of the wood block. The signals from the sensor were filtered through a high-pass filter with a cut-off frequency of 100kHz, amplified 66 dB, and discriminated at a threshold voltage of 0.1 V with an AE apparatus (NF, AE-9501).

Experimental unit

An acrylic cylinder (80mm in diameter and 50mm in height) with the plaster bottom was used as a test container. A test wood block with an AE

sensor was put in the bottom center of a test container with 100 workers of *R. speratus*. The assembled test container was set on moist cotton pads (Fig. 1), so that the workers could take up water from the plaster bottom. The control unit without workers was set up to detect background (electric) noises.

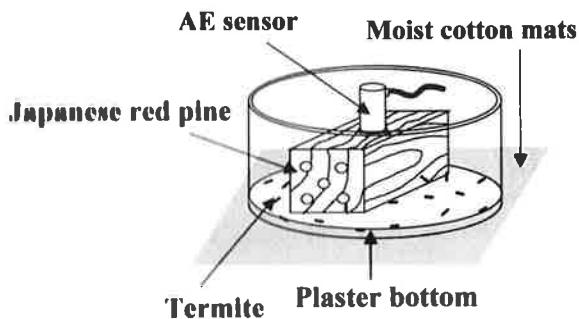


Fig. 1 An experimental unit.

Periodicity of the feeding activity under constant environmental conditions

To recognize the periodicity of the feeding activity of *R. speratus* workers under constant environmental conditions, a test unit was installed in a temperature- and RH-regulating chamber (CRYELLA, KCL-1000) with 70% RH and 25 °C,

and AE measurement was carried out for 2 days.

Relative Humidity (RH) conditions

Two trials were conducted in the present investigation. As the first trial, the fixed RH test, a test unit was installed in the chamber at 50, 60, 70, 80 and 90%RH respectively at 25 °C for 8 hours. Six replicates (3 times x 2 channels) were employed at the fixed RH test. For the second trial, the variable RH test, the RH was increased and then decreased in a stepwise manner from 50-60-70-80-90-80-70-60-50 %RH at 2-hour intervals at 25 °C, and the cycle was repeated 2 times (1 cycle required 1 day). Three replicates (total 6 cycles) were employed in the variable RH test.

Statistical analyses

A moving average was calculated for smoothing the fluctuation under constant environmental conditions. In this study, every continuous 12 data of cumulative AE events for 5 min were averaged to discuss the periodicity of feeding activities. In fixed and variable RH tests, relationships between RH and AE events were statistically analyzed using *F*-test and *t*-test, respectively.

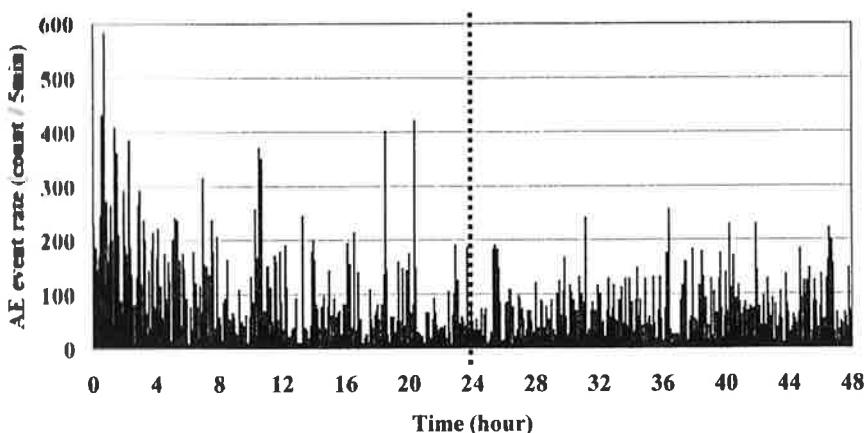


Fig. 2 AE event rates produced by workers of *Reticulitermes speratus* for 48 hours maintained at 25 °C and 70%RH.

Result and Discussion

Periodicity of the feeding activity

Figure 2 shows typical patterns of AE events per 5 min (AE event rate) for 2 days at 25 °C and 70%RH. AE event rates fluctuated for 2-4 hour intervals throughout 2 days with the highest and lowest AE event rates of 100-200 events /5min and less than 50 events /5 min, respectively.

Transforming the data into the moving averages clarified the trend during the 2 days, showing 2-4 hour periodic fluctuations (**Fig. 3**). These results suggest the 2-4 hour periodicity of the feeding activity of workers of *R. speratus* under constant environmental conditions. Therefore, AE events were monitored for 8 hours and 24 hours in the fixed RH test and the variable RH test, respectively, to separate the effects of environmental factors and the endemic factors.

Fixed RH test

Figure 4 shows the relationship between RH and cumulative AE events over 8 hours at various fixed RH levels. The cumulative AE events were averages for 6 replicates. Although there were no significant

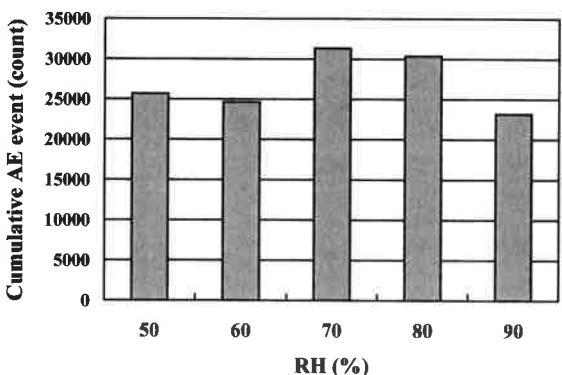


Fig. 4 Cumulative AE event for 8 hours by workers of *Reticulitermes speratus* at various RH levels.

differences (F -test, $p < 0.05$), more frequent AE events were obtained at 70 % (ca. 31,000 events / 8 hours) and 80%RH (ca. 30,000 events) than those at 50% (ca. 26,000 events), 60% (ca. 25,000 events) and 90%RH (ca. 23,000 events). It was reported that the feeding activity was highest at 75%RH (ca. 21,000 events / 8 hours) when 100 workers of a field colony of *C. formosanus* collected from Kagoshima Prefecture, were AE-monitored under a fixed RH condition (Yusuf et al., 2000).

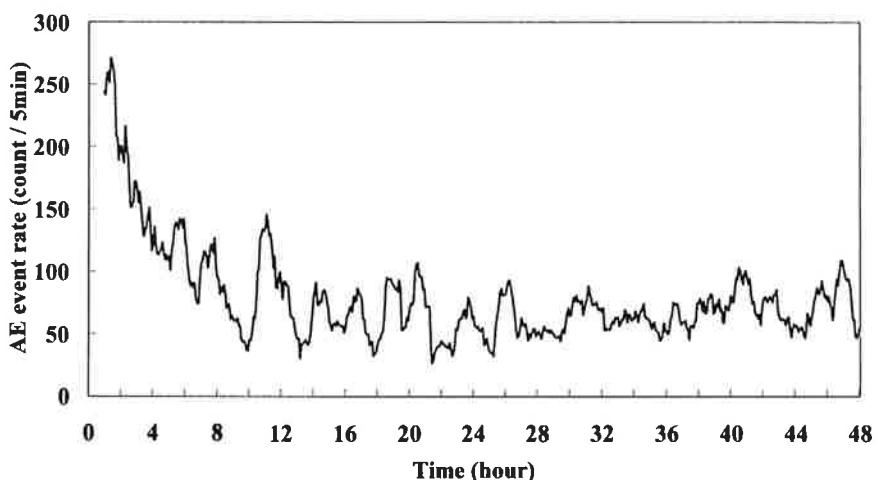


Fig. 3 Sixty-minute moving averages (12 data points) transformed from the data in Fig. 2.

The yearly average RH of Kyoto Prefecture and Kagoshima Prefecture, collecting sites of *R. speratus* and *C. formosanus*, were 68% and 74%RHs (National Astronomical Observatory, 1992), respectively. It seems natural that the feeding activity of termites is optimized at the yearly average environmental conditions such as RH.

However, it also should be noted that the feeding activity of the termite was not significantly lowered even in the lower RH conditions (Fig. 4). This suggests the environmental flexibility of *R. speratus*, which is distributed widely in Japan. The lack of a water-holding capacity in *R. speratus* (The Society of Materials Science, Japan, 1982) may have facilitated the flexibility.

Variable RH test

Figure 5 shows a typical change in AE event rates generated by the feeding activities of workers under stepwise-changes in the RH gradient (50-90-50%RH). The AE event rates increased with environmental RH rising, and decreased rapidly when RH lowered. In 2 other replicates (4 cycles), AE event rates fluctuated with RH gradient in the similar manner.

Averaging the AE event rates per 5 min for each RH condition in 2 cycles (Fig. 5), RH-dependence of the AE event rates could be assessed quantitatively (Fig. 6). Figure 6 shows the data in the 60-90-60%RH gradient, because the complete data set was not obtained at 50%RH condition. The highest AE event rates were obtained at 80% and 90%RHs in the rising stage (350-400 events/5 min). On the other hand, the lowest AE event rate was observed

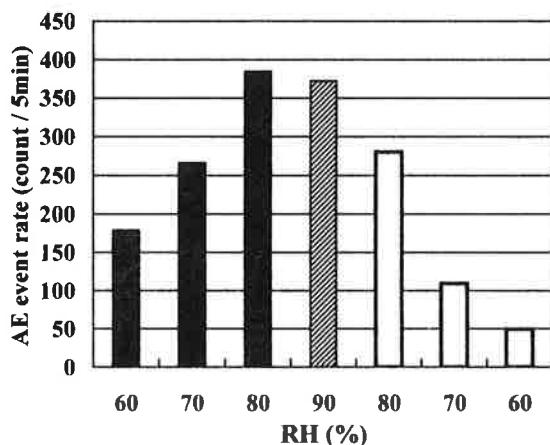


Fig. 6 AE event rate per 5 min at rising (■) and lowering (□) RH stages averaged from the data in Fig. 5. ▨ : not served for statistical analyses.

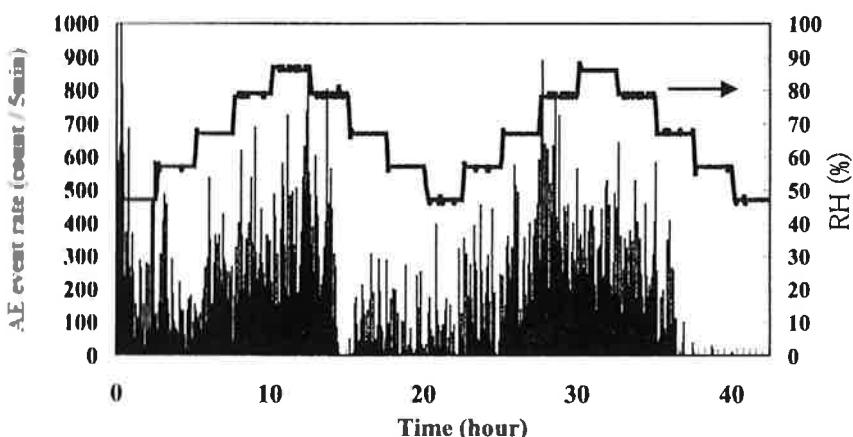


Fig. 5 A typical change in AE event rates produced by workers of *Reticulitermes speratus* under stepwise-changes in the RH gradient (50%-90%-50%RHs).

at 60%RH in the lowering stage (ca. 50 events / 5 min) (**Fig. 6**). A significant difference was observed by the *t*-test ($p < 0.01$) between AE event rates at the rising stages (black bar : 170-450 events / 5 min) and the lowering stages (white bar : 5-300 events / 5 min), with each 6 samples (3 RH stages \times 2 cycles). When comparing AE event rates at the same RH in both the rising and lowering stages, a significant difference was admitted only at 70%RH (*t*-test, $p < 0.05$). Based on these results, it is probable that the feeding activity of workers of *R. speratus* is restrained by lowering environmental RHs.

The optimum RH condition for the feeding activity of *C. formosanus*, which was categorized as the subterranean species like *R. speratus*, was in 70-75%RH at the fixed RH (Yoshimura et al., 2000; Yusuf et al., 2000). In this study, the highest feeding activities of workers of *R. speratus* were obtained at 70-80% and 80-90% RH in the fixed (**Fig. 4**) and variable RH tests (**Fig. 6**), respectively. As described above, *R. speratus* does not have a water-holding capacity (The Society of Materials Science, Japan, 1982). This fact might result in the development of a sensitivity against lowering environmental RH levels in the species. From the present results, it is suggested that the positive control of humidity in houses would contribute to the development of the Integrated Termite Control (ITC) in the future. As a next step, the water-dependence of workers of *C. formosanus* and *R. speratus* is now under investigation.

References

- Fujii, Y., Y. Yanase, Y. Imamura, S. Okumura and S. Oka (1998) Detection of termite attack in wooden buildings with AE monitoring: case study at a traditional Japanese warehouse. *Jpn. J. Environ. Zool.* 9 : 101-105 (in Japanese).
- Imamura, Y. and Y. Fujii (1995) Analysis of feeding activities of termites by AE monitoring of infested wood. *Wood Preservation*, 21 (2) : 11-19 (in Japanese).
- Matsuoka, H., Y. Fujii, S. Okumura, Y. Imamura and T. Yoshimura (1996) Relationship between the type of feeding behavior of termite and the acoustic emission (AE) generation. *Wood Res.*, No. 83 : 1-7.
- Mori, M., T. Yoshimura and Y. Takematsu (2002) Termite inhabitation in the northern Hokkaido. *Termite*, 127 : 12-19 (in Japanese).
- National Astronomical Observatory (ed) (1992) *Chronological Science Table*. p. 207, Maruzen, Tokyo (in Japanese).
- Suda, T., Y. Yanase, Y. Fujii, S. Okumura, Y. Imamura and T. Yoshimura (2000) Effects of Temperature changes on the feeding activity of termites. Abstracts of the 50th Annual Meeting of the Japan Wood Research Society, 481 (in Japanese).
- The Society of Materials Science, Japan (ed) (1982) *Mokuzai Kougaku Jiten* (Dictionary of Wood Engineering). Kogyo-shuppan, Tokyo (in Japanese).
- Yanase, Y., Y. Fujii, S. Okumura, Y. Imamura and M. Kozaki (1999) Detection of termite attack in wooden buildings using AE monitoring : a case study at a house of wooden panel construction. *Jpn. J. Environ. Zool.* 10 : 160-168 (in Japanese).
- Yanase, Y., Y. Fujii, S. Okumura, T. Yoshimura and Y. Imamura (2001) Detection of termite attack of *Incisitermes minor* (Hagen) using AE monitoring. *Jpn. J. Environ. Zool.* 12 : 53-67 (in Japanese).
- Yoshimura, T., M. Takahashi, K. Fushiki, T. Saito and Y. Katsuzawa (2000) Effects of humidity

changes on the feeding activity of termites.

Abstracts of the 50th Annual Meeting of the Japan Wood Research Society, 482 (in Japanese).

Yoshimura, S., Y. Yanase, Y. Sawada, Y. Fujii, T. Yoshimura and Y. Imamura (2000) Evaluation of termite feeding activities by acoustic emission

(AE) under various relative humidity (RH) conditions. Proceedings of the Third International Wood Science Symposium, November 1-2, Uji, p. 173-178.

Wigglesworth, V. B. (1965) *The principles of insect physiology* (6th edition). p.594, Methuen, London.

of feed-
oring of
): 11-

namura
hip be-
termite
eration.

(2002)
Hokka-

(1992)
aruzen,

ura, Y.
fects of
ivity of
Meeting
81 (in

(ed)
nary of
Tokyo

ra and
attack
ng : a
nstruc-
68 (in

ra and
ite at-
ng AE
53-67

Saito
nidity

京都府南部におけるオオゴキブリの採取と飼育

福本絹子¹⁾・福本照夫²⁾・山口礼子¹⁾
山口裕子¹⁾・辻 英明⁴⁾

1) 大阪成蹊女子短期大学

2) 京都府京田辺市田辺勇田 19-10

3) Imperial College Science, Technology and Medicine

4) 環境生物学研究会

Key words : Wood-eating cockroach, *Panesthia angustipennis spadica*, Nymphal period, Adult longevity, Reproduction

はじめに

オオゴキブリ, *Panesthia angustipennis spadica* (Shiraki), はゴキブリ目オオゴキブリ科に属し, 日本の青森県から鹿児島県屋久島にかけて分布する大型の野外性ゴキブリである(朝比奈, 1991). 森林の朽木中で木質を食して集団で生息し, その生息環境は自然の保全状態が良好であることを示している.

著者らは, 京都府下においてすでに標本の採取が知られている亀岡市の千歳区や京都市東山一帯その他を数年間探索したが, いずれも土地開発が進んだためか発見できず, ようやく1992年5月に京都府綾喜郡田辺町(現在の京田辺市)の山林中で本種の成虫および幼虫を発見し採集することができた.

本邦の野外性ゴキブリの周年経過としてモリチャバネゴキブリ, *Blattella nipponica* Asahinaのサンプリングと飼育による周年経過観察(Tsuji, 1985)のほか, 屋内にも見られるヤマトゴキブリ, *Periplaneta japonica* Karnyの越冬時期のサンプリング(田原・小林, 1971; Tsuji and Tabaru, 1974)や休眠と発育の確認(Tsuji and Mizuno, 1972, 1973; 小宮山・緒方, 1981; 岩崎, 2000), クロゴキブリ, *Periplaneta fuliginosa* (Serville)の休眠と発育の確認(辻, 1988, 2000; Tsuji and Mizuno, 1973; 高木, 1974; Takagi, 1978; 辻・種池, 1993等), 屋外でのトラップ記録(中野, 1996, 2000), キョウトゴキブリ, *Asiablatta kyotensis* (Asahina)の飼育周年経過観察(辻ら, 1993)などがある.しかし, 森林の朽木に住むオオゴキブリについては発育が極端に遅いこともあり, 少なくとも京都付近の個体の長期にわたる観察や飼育記録はない.

Collecting a *Panesthia* Cockroach Species, *Panesthia angustipennis spadica* (Shiraki) in Kyoto and Its Rearing Experiments. Kinuko Fukumoto¹⁾, Teruo Fukumoto²⁾, Reiko Yamaguchi¹⁾, Hiroko Yamaguchi³⁾ and Hideaki Tsuji⁴⁾ (1)Osaka Seikei Womens College, 10-62, Aikawa Ichome, Higashi-Yodogawa-ku, Osaka 533-0007, Japan, (2)19-10 Yuden, Tanabe, Kyo-Tanabe, Kyoto 610-0344, Japan, (3)Imperial College Science, Technology and Medicine, London SW7, 2AZ UK, (4)KSK Institute for Environmental Biology, F-409, 2-1 Nishino-Rikyu-cho, Yamashina-ku, Kyoto 607-8345, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 13 : 133-137 (2002)

Adults and nymphs of an outdoor wood-eating cockroach species, *Panesthia angustipennis spadica* (Shiraki), were collected from rotting wood in a southern area of Kyoto and were reared under unheated room conditions. A couple of adults survived for more than two and a half years, and the female produced a batch of less than thirty nymphs only once in summer every year. Newly born nymphs grew very slowly, and they could not become adults within three years, suggesting that the nymphal stage should extend for four years or more.

Jpn. J. Environ. Entomol. Zool. 13 (3) : 133 - 137 (2002)

環境昆虫 第13巻 第3号 : 133-137 (2002)

受領 : 2002年3月6日 ; 受理 : 2002年5月10日

数（26頭），翌々年23頭で，ゴキブリとしては増殖率が非常に低いと言える。

成虫の羽化時期については，1992年初夏に野外で採取された群（92AN）の中の最大型幼虫が2年後の1994年の夏に体長40mmに達し7月5日に羽化したが，1頭だけの観察なので野外の羽化がすべて7月に起こるとは断定できない。

2. 幼虫の発育経過

92Aの雌から誕生した新生幼虫3群（92N, 93

N, 94N）について，誕生から体長記録最終日まで（1995年7月）の体長の変化を，同じ時期の温度の変化とともに図1に示した（ただし，飼育打ち切りは1998年）。

新生幼虫は夏季に誕生し体長8～10mmであるが，同年秋には体長13～17mmに達して越冬し，越冬中体長は15mm以下になった（94N群は初期生長速度が遅く，飼育容器内の条件が悪化していたようである）。翌2年目春から成長を再開，その

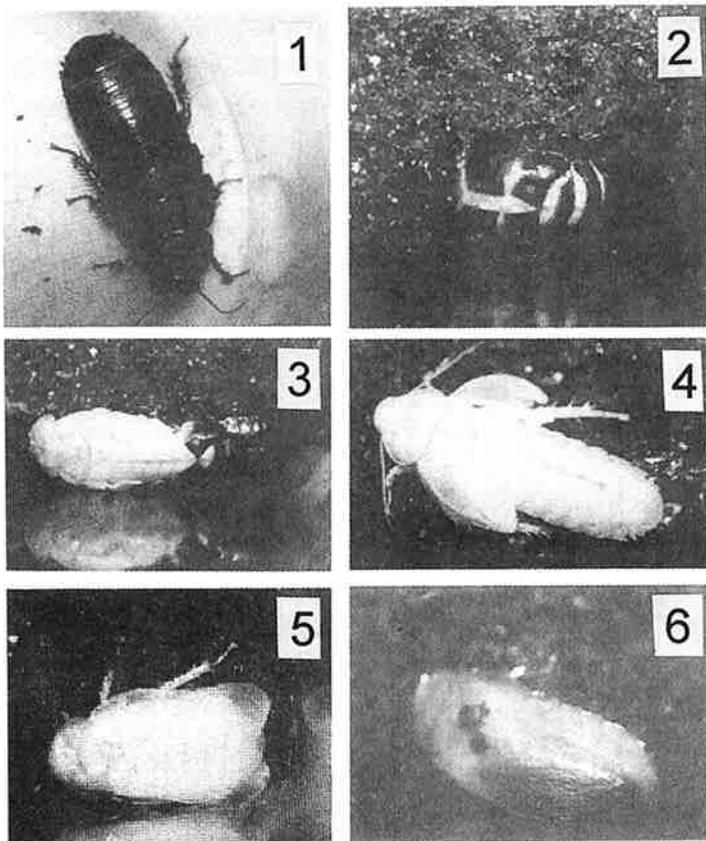


図2 オオゴキブリ終齢幼虫の羽化脱皮（1994年7月5～6日）。

- 1：10時20分，体長40mmの終齢幼虫の背面に割れ目を発見，容器変更。
- 2：11時56分，背面が縦に割れる。
- 3：12時09分，頭部と胸部が現れ，触角と脚も抜き出される。
- 4：12時37分，尾端まで出現。この後方向転換して移動。
- 5：13時45分～14時，翅が伸びりやや着色。14時30分に土中へ。
- 6：17時，頭部と尾端から着色がすすみ，全体黒っぽくなる。羽の付け根や腹部はまだオレンジ色（土中から掘り出して撮影）。
- 22時30分，全体（翅も）黒化，腹部わずかにオレンジ色。
- 翌日6時5分には腹部も黒化していた。

終日ま
期の温
飼育打

である
冬し、
は初期
してい
る、その

体には体長24~27mmに達して越冬、越冬中25mm以下に体長が縮み、さらに3年目春から成長を再開して体長30mmを越えてなお成長した。

しかしながら、新生幼虫は誕生後3年目の7月後期において体長30mmを越えても羽化せず（図1）。一方、野外で採取された大型幼虫（92AN群中の幼虫）は採取2年後の7月初期に体長40mmに達して羽化している（表1）。したがって、誕生後3年目の体長30mmの上記幼虫群が以後羽化に至るために、さらに1年あるいは2年以上の経過（合計4年ないし5年以上の幼虫期間）が必要ではないかと推察される。

本飼育試験で、飼育幼虫の92N、93Nの各群は、それぞれ誕生後6年および5年を経た1998年になっても羽化せず飼育が打ち切られた。しかし、打ち切り前2年間の飼育管理は必ずしも十分ではなかったので、5~6年で成虫になることが絶対にないとは断定することはできない。

なお、上記体長40mmの終齢幼虫の羽化脱皮経過（図2）は、クロゴキブリで知られている時間軸満（辻、1979）と大差なく、脱皮に関する特殊性はないようである。

引用文献

朝比奈正二郎（1991）日本産ゴキブリ類。中山書店、東京。

- 岩崎素子（2000）*Med. Entomol. Zool.* 51:195-204.
 小宮山素子・緒方一喜（1981）衛生動物 32: 111-115.
 中野敬一（1996）家屋害虫 18: 9-16.
 中野敬一（2000）家屋害虫 21: 121-130.
 田原雄一郎・小林 典（1971）衛生動物 21: 76-77.
 高木正洋（1974）衛生動物 25: 27-34.
 Takagi, M. (1978) *Mie Medical Journal* 18: 9-19.
 Tsuji, H. (1985) *Kontyu, Tokyû* 53: 42-48.
 辻 英明（1979）ゴキブリの定住、潜伏、摂食に関する研究。環境生物研究会、京都。
 辻 英明（1988）採集と飼育 50: 446-449.
 辻 英明（2000）家屋害虫 21: 87-99.
 辻 英明・伊藤秀子・山口 桑（1993）ペストロジー学会誌 8: 13-17.
 Tsuji, H. and T. Mizuno (1972) *Jpn. J. Sanit. Zool.* 23: 101-111.
 Tsuji, H. and T. Mizuno (1973) *Jpn. J. Sanit. Zool.* 23: 185-194.
 Tsuji, H. and Y. Tabaru (1974) *Jpn. J. Sanit. Zool.* 24: 215-218.
 辻 英明・種池与一郎（1993）ゴキブリ類の生活史と休眠。「衛生害虫の発育休止と移動」和田義人・辻英明編著、pp.51-60、環境生物研究会、京都。

静岡市南岸のサツマゴキブリについて

辻 英明¹⁾・木藤 慎²⁾¹⁾ 京都市山科区西野離宮町2-1, F-409²⁾ 横浜市金沢区釜利谷西1-24-4

Opisthoplaria orientalis (Burmeister) in Shizuoka, Central Japan. Hideakira Tsuji¹⁾ and Makoto Kito²⁾
 (1) F-409, 2-1 Nishino-Rikyu-cho, Yamashinaku, Kyoto 607-8345, Japan, (2) 1-24-4 Kamariya-nishi, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0046, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 13 : 139-141 (2002)

Adults and nymphs of an outdoor cockroach species, *Opisthoplaria orientalis* (Burmeister), were found living in Shizuoka-city, Central Japan. This species had been known to be indigenous species limited to south Kyushu, south Shikoku, and to the whole of the Ryukyu Islands in Japan. Body lengths of 12 nymphs caught on March 21, 2002 ranged from 12 mm to 27 mm. The nymphs and adults were observed actively eating fallen dead leaves and excreting. These facts suggest that they might not enter diapause in a specific stage even in winter. This is the first record of this species living outdoors in the Main Island, Japan.

Key words Outdoor cockroach, *Opisthoplaria orientalis*, Shizuoka, The Main Island Japan

はじめに

サツマゴキブリ、*Opisthoplaria orientalis* (Burmeister) は九州南部、四国南部、琉球諸島などに分布が知られる亜熱帯性ゴキブリで（朝比奈, 1991），大分県佐伯湾付近が北限地とされて

いる（菊屋, 1994）。本州では観葉植物と共に搬入されたらしい個体1頭が千葉県の浦安市のレストラン屋内で得られた報告があるが（富岡・柴山, 1998），屋外定着の記録はない。今回本州中部地方の静岡市の屋外で発見され，越冬状態を示唆する知見が得られたので報告する。

発見経過

2002年3月9日と12日に著者の一人木藤が静岡市用宗地区の海岸沿いの公園（図1上）で成虫と幼虫を発見し捕獲した。これらは植栽用の盛り土を囲む石材の隙間や土との間に潜んでいたものである。

同月21日に辻が確認したところ、盛り土の芝生上で植物（トベラ）群の日当たりのよい根本（図1中）にあった手のひら程度のコンクリートの破片の裏側に雌成虫1頭と幼虫12頭の一群が集合付着していた（図1下）。また別のトベラ植物群の根本に放置してあったコンクリートブロック片の空洞内部でも雄成虫1頭を得た。

さらにその後も付近で生きた成虫と幼虫が観察されている。

ゴキブリの状況と考察

3月21日の採取当時、成虫および幼虫ともに動きが鈍く、石に付着したまま逃げようともしなかった。これは早春の低温によるものと思われた。用宗地区の気候は温暖であるが、それでも日当たりのよいコンクリート片の裏側などに付着していることや石材の隙間にいることは、保温された状態での越冬に役立っていると考えられる。

幼虫の体長は大小さまざま、集合していた一群の体長（mm）は以下の通りである。雌成虫（38mm）、幼虫（12, 13, 16, 17, 18, 19、および20 mm各1頭ずつ、22mm 3頭、27mm 2頭）（図2上、中）。また別に数メートル離れた場所で得た

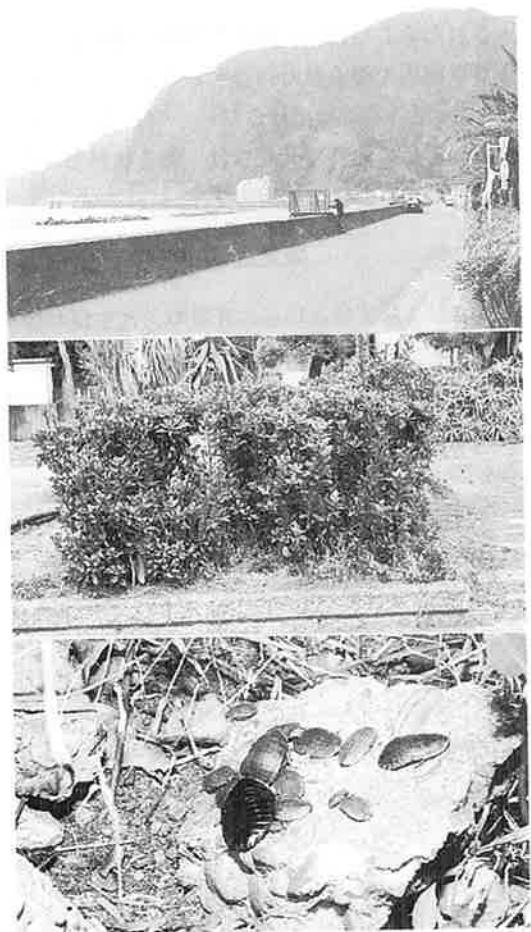


図1 上：サツマゴキブリ生息現場風景（盛り土とトベラの植栽は道路右端），南東側の海岸に沿って日当たりのよい道路，中：トベラの植栽の一例，中央の根本にコンクリート片が落ちている（日当たりがよい），下：コンクリート片を裏返し，付着したサツマゴキブリの一群を示す。

1雄成虫の体長は30mmであった。これらの個体は、採取当日から無加温の室内で体長に応じて多くの糞をし（図2下），前者の一群は周囲で採取して容器に入れたトベラの落ち葉数枚を2週間で食い尽くし、さらに多数の糞を残した。

これらの事実は、発見された個体が大小さまざまのステージで、しかも付近の落ち葉などの摂食活動を続けながら越冬した個体であることを示唆

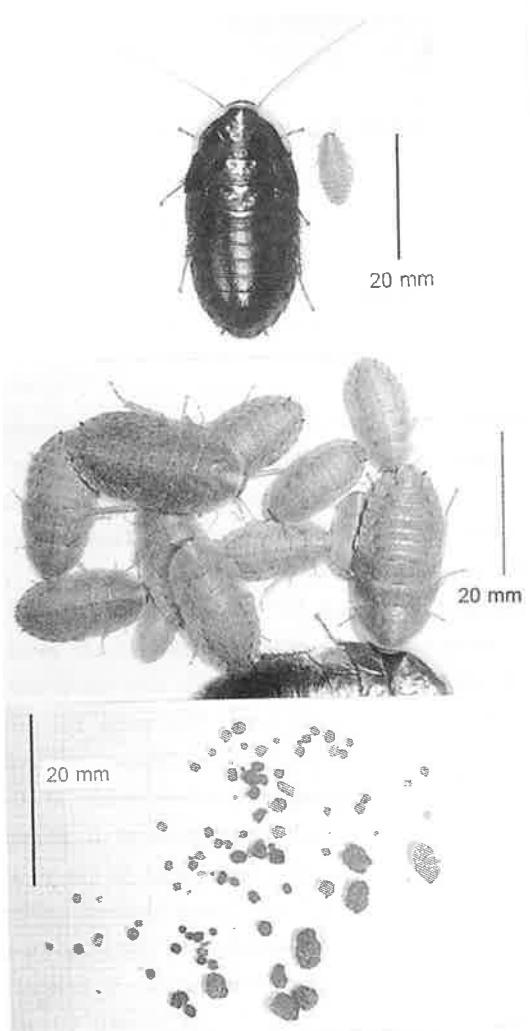


図2 上：写真1下の一群中の雌成虫（体長38mm）と最小幼虫（12mm），中：上記一群全体の幼虫12頭と雌成虫，下：上記一群が採取当日から翌日までにした糞（最大のものの長径が4mm）。

する。すなわち特定のステージで休眠状態に入るものではないと言える。

現地はフェニックスやハマユウなどの植物（植栽）の生育もみられる温暖な地域である。辻は夏季の九州南岸（宮崎市）でトベラ付近やハマユウの葉の根本近くで本種を多数観察した経験があるが、今回静岡の現場では早春のためか、ハマユウの根本では発見できなかった。夏季にはハマ

トウへの移動や活発な活動もあり得るものと思われる。

本種が現地にいつから定着していたのかは不明であるが、今後も本州南岸各地で発見される可能性がある。

引用文献

- 朝比奈正二郎（1991）日本産ゴキブリ類。中山書店、東京。
菊屋奈良義（1994）家屋害虫、16 (2) : 57-70.
富岡康浩・柴山 淳（1998）家屋害虫、20 (1) : 10-16.

20 mm

長38
全体
当日
が4

に入る

(植
は夏
ユウ
験が
ハマ
ハマ

赤坂御用地のチョウ類群集

吉田宗弘¹⁾・安藤達彦²⁾

1) 関西大学工学部

2) 東京農業大学短期大学部

Butterfly Community in Akasaka Imperial Grounds of Tokyo. Munehiro Yoshida¹⁾ and Tatsuhiko Ando²⁾

(¹) Faculty of Engineering, Kansai University, Suita, Osaka 564-8680, Japan, ²) Junior College of Tokyo University of Agriculture, Setagaya, Tokyo 156-8502, Japan. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*, 13 : 143-147 (2002)

The butterfly community at Akasaka Imperial Grounds of Tokyo was monitored by transect-counting six times from October 1997 to April 1999 and compared to that at the Imperial Palace Grounds. Six families, 24 species, and 708 individuals were observed. The most abundant species was *Pseudozizeeria maha*. The existence ratio of environmental stage (ER) showed that the Imperial Grounds were in the rural stage. The butterfly community at Akasaka Imperial Grounds was less diverse and less numerous than that in the Imperial Palace Grounds, probably because of the frequent weeding and the wantiness of the dwarf-bamboo bushes.

Key words: Butterfly community, Urban environment, Transect counting, Tokyo

はじめに

チョウ類群集を指標にした環境評価が提唱されたり、大阪近郊の都市緑地や住宅地においてはチョウ類のトランセクト調査が盛んに行われてい

る（石井ら, 1991；今井・夏原, 1996；吉田, 1997など）。一方、東京都心部に存在する都市公園や緑地では大阪近郊とは異なるチョウ類群集が成立していると予想されるが、トランセクト調査による報告例は見当たらない。東京都心には一般に開放された公園以外に皇居のように一般には開放されていない緑地がいくつか存在している。今回、一般に開放されていない緑地である赤坂御用地においてチョウ類のトランセクト調査を行う機会を得たので、その結果を述べる。

調査地と方法

1. 赤坂御用地の概要

赤坂御用地（東京都港区元赤坂）は図1に示すように皇居の西南西約1kmに位置し、紀州徳川家の藩邸にあった庭園を起源とする宮内庁管轄の緑地である。敷地面積は約51haで平地部といくつかの小丘陵によって構成されている。

小丘陵は、ケヤキ (*Zelkova serrata*), イロハモミジ (*Acer palmatum*), ムクノキ (*Aphananthe aspera*), エノキ (*Celtis sinensis*) などの落葉樹や、クスノキ (*Cinnamomum camphora*), ツバキ (*Camellia japonica*), スギ (*Cryptomeria japonica*), カシ類などの常緑樹の混交した樹林となっている。高木層の落葉樹と常緑樹の比率は約7:3である。これらは江戸時代に植栽されたものとその後に自生したものが混交しており、形成された樹林の構成はいわゆる武蔵野の雑木林とは異なっている。樹林の管理はほとんど行われておらず林床部に陽はあまりささない。このため林床部の約80%は土壌が露出し、残りの約20%において大人の腰丈程度の高さのアズマネザサ (*Pleioblastus chino*) やクマザサ (*Sasa veitchii*) の繁茂やアオキ (*Aucuba japonica*) の自生が認められるにすぎない。これらの樹林帯の中には谷戸型渓谷がいくつかある。また池が大小合わせて6つあり、その総

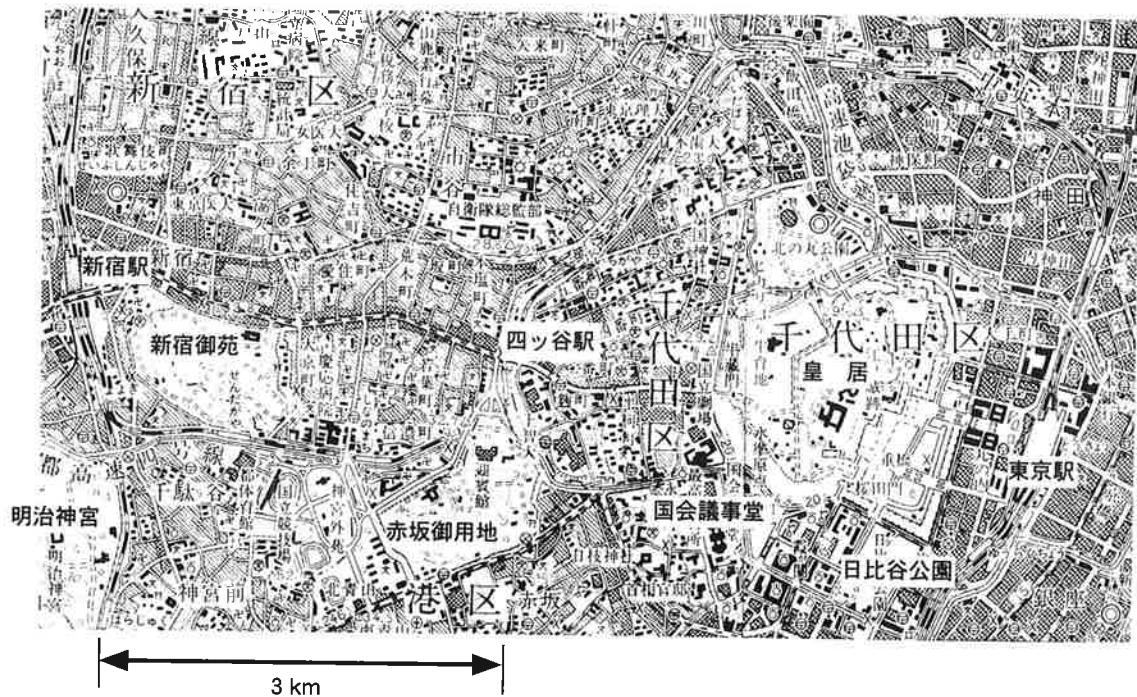


図1 赤坂御用地の位置（国土地理院5万分の1地図「東京東北部」および「東京西北部」より）。

面積は約0.9haである。池の2つは谷戸型渓谷の中に、3つは平地に、他の1つは小丘陵の上にある。一部の池の周囲には大人の身長程度の高さのアズマネザサの繁茂が認められる。

御用地内の平地は、一部が梅林、馬場、および柑橘類やバラ類などの花樹の育成地となっているが、大部分はツツジ類などが植栽された芝生庭園である。園遊会などの行事が開催されるため、これらの平地部は4~10月の期間に1~5回の手入れが行われる。このため草本類の自生は短期間に限定されるが、ごく一部にはクズ (*Pueraria lobata*) の繁茂が認められる。また御用地周囲の土手は比較的放置されておりムラサキハナナ (オオアラセイトウ, *Orychophragmus violaceus*) の自生が認められる。

2. 調査

赤坂御用地内に3.5kmのルートを設定し、チョウ類のトランセクト調査を行った。いずれの調査

も午前10時から開始し、80~100分かけて歩きながら目撃したチョウの種類と個体数を記録した。本調査ではセンサスの幅について厳密な設定は行わず、ルートの前方、左右、上方を広く見渡し、できる限り多くの個体を重複せずに記録するようにとした。調査は1997年9月から1999年4月にかけて9回実施した。しかし1997年9月、1998年4月、1998年11月の3回は降雨または低温のためチョウを目撃できず調査が成立しなかった。晴れ、または晴れ時々曇りの天候で気温が15°C以上であり、調査が成立したのは1997年10月、1998年5, 7, 8, 9月、および1999年4月の6回であった。

3. 結果の解析

得られた目撃個体数を集計し総個体数と種数、種別個体数を算出した。総個体数と種別個体数を1調査1kmあたりの値に換算したものを生息密度とした。

チョウ類群集の種多様度を示す指標として、

Shannon-Wenner関数 (H' : 平均多様度), Pielouの均衡性指数 (J' : 相対多様度), Simpsonの λ 指数 ($1 - \lambda$), 森下の β 指数 ($1/\lambda$) を算定した (夏原, 1998). またチョウの種による重みづけをした環境評価指数として, 田中 (1988) による階級存在比 (ER) と梶瀬 (1993) のEI指数を算出した.

結果と考察

表1は調査において目撃されたチョウの個体数を種別にまとめたものである. 6回の調査で6科

表1 青坂御用地において目撃されたチョウ

種名	目撃個体数						生息密度		
	1997 18.Oct.	1998 31.May.	1998 27.Jun.	1998 25.Jul.	1999 5.Sep.	1999 17.Apr.			
アゲハチョウ科									
アオアゲハ	Papilio xuthus	1	1	6	7	4	0	19	0.905
タビアゲハ	Papilio protenor	0	1	4	2	2	0	9	0.429
ゼンキアゲハ	Papilio helenus	0	0	0	1	0	0	1	0.048
ホアゲハ	Papilio machaon	0	0	0	1	0	0	1	0.048
アザミアゲハ	Graphium sarpedon	1	3	7	17	5	0	33	1.571
セセリチョウ科									
セセリチョウ	Pieris rapae	2	66	11	12	3	4	98	4.667
メシテントリオウ	Pterrys melete	0	10	1	2	5	0	18	0.762
セセリオウ	Collax erate	0	2	1	0	0	0	3	0.143
ホホジロ	Eurema hecabe	2	0	0	0	0	0	2	0.095
アゲハモチモドキ科									
アゲハモチモドキ	Vanessa indica	3	0	0	0	0	1	4	0.190
カナカモチモドキ	Kaniska canace	0	0	0	0	1	0	1	0.048
ホモモチモドキ	Polygonia c-aureum	10	3	0	2	0	1	16	0.762
ホモモチモドキ	Hestina japonica	0	2	0	0	0	0	2	0.095
アリタマチョウ科									
アリタマチョウ	Lethe stictis	1	10	0	0	4	0	15	0.714
アリタマチョウ	Ypthima argus	0	0	0	3	7	0	10	0.476
アリタマチョウ	Neope goschkevitschii	0	11	1	0	1	0	13	0.619
セセリモチモドキ科									
セセリモチモドキ	Curetis acuta	2	2	0	0	0	1	5	0.238
セセリモチモドキ	Rhopala arata	0	0	1	0	0	0	1	0.048
セセリモチモドキ	Lycaena phlaeas	0	0	0	0	0	2	2	0.095
セセリモチモドキ	Celastrina argiolus	0	11	0	0	0	2	13	0.619
セセリモチモドキ	Iphiclides argades	0	0	1	0	0	0	1	0.048
セセリモチモドキ	Pseudolazeeria maha	80	1	25	22	286	2	416	19.810
セセリモチモドキ科									
セセリモチモドキ	Butanthus flavus	0	3	0	0	0	0	3	0.143
セセリモチモドキ	Burnara guttata	0	1	0	0	21	0	22	1.048
合計		102	127	58	69	339	13	708	33.714

24種708個体のチョウが観察された. 観察個体数がもっとも多かった種はヤマトシジミ (*Pseudozizeeria maha*) であり, 全個体数の58.8%を占めた. 次いで多い種はモンシロチョウ (*Pieris rapae*, 13.8%) であり, アオスジアゲハ (*Graphium sarpedon*, 4.7%), イチモンジセセリ (*Parthena guttata*, 3.1%), ナミアゲハ (*Papilio xuthus*, 2.7%) がこれに続いた. また, これら上位5種の全個体数に対する占有率は83.1%であった.

表2にチョウ類群集の多様度指数と環境指標をまとめた. ヤマトシジミ1種が全体の過半数を占

表2 赤坂御用地のチョウ類群集の多様度指数と環境指数

種数	24
生息密度	33.71
多様度指数	
H' (平均多様度)	2.40
J' (均衡性指数)	0.523
1 - λ (Simpson指數)	0.630
1 / λ (森下のβ指數)	2.70
環境指数	
EI (巣瀬指數)	43
階級存在比	
ERps	1.85
ERas	2.70
ERrs	3.85
ERus	1.60

めるため、いずれの多様度指数も比較的小さな値となった。EI指數は43であり、巣瀬（1993）の分類からは公園緑地（貧自然）と農村・人里（中自然）の中間的な自然環境と判定された。一方、階級存在比では、Ersが最大値であるがEasとの差が小さいことから、三次段階（農村段階）の環境と判定された。

今回実施した赤坂御用地での調査は有効なもののが6回にすぎなかったが、春季、夏季、秋季にそれぞれ複数回の調査が遂行できており、チョウ類

群集の概略はつかめたものと判断できる。

東京都心部のチョウ類群集に関する報告としては、皇居における準定量的調査報告（久居ら、2000）、国立科学博物館附属自然教育園内の観察種報告（国立科学博物館附属自然教育園、1984）、および行政区別の種の分布報告（西多摩昆虫同好会、1991）などがあげられる。ここでは調査年度の重なっている皇居との比較を行う。皇居における調査は1996年4月から1999年11月にかけて月1回合計35回実施されており、8科37種のチョウが観察されている。表3に皇居と赤坂御用地で観察された種をまとめた。皇居で観察され、御用地で観察できなかったチョウは14種にのぼった。このような目撃種数の差には、調査回数、面積（皇居(115ha)、赤坂御用地(51ha)）、植生、緑地管理の方法が関連していると思われる。

皇居で観察され御用地で観察できなかった14種の中で、チャバネセセリ (*Pelopidas mathias*) はイチモンジセセリとの判別が困難であること、テングチョウ (*Libythea celtis*) は食樹（エノキ）と同じくするゴマダラチョウ (*Hestina japonica*) が観察されていることから、調査回数の少ない御用地での調査では見落とした可能性が高い。また移動性の種であるヒメアカタテハ (*Cynthia cardui*)、ミドリヒョウモン (*Argynnis paphia*)、

表3 赤坂御用地と皇居において目撃された種の比較

赤坂御用地と皇居の両方で目撃された種（23種）

ナミアゲハ、クロアゲハ、モンキアゲハ、オスジアゲハ、モンシロチョウ、スジグロシロチョウ、モンキチョウ、キチョウ、アカタテハ、ルリタテハ、キタテハ、ゴマダラチョウ、ヒカゲチョウ、ヒメウラナミジャノメ、サトキマダラヒカゲ、ウラギンシジミ、トラフシジミ、ベニシジミ、ルリシジミ、ツバメシジミ、ヤマトシジミ、キマダラセセリ、イチモンジセセリ

皇居のみで目撃された種

カラスアゲハ、ジャコウアゲハ、ツマキチョウ、ヒメアカタテハ、ミドリヒョウモン、ヒメジャノメ、クロコノマチョウ、テングチョウ、アサギマダラ、ミズイロオナガシジミ、ゴイシシジミ、ウラナミシジミ、チャバネセセリ、コチャバネセセリ

赤坂御用地でのみ目撃された種

キアゲハ

ササ類などのイネ科草本に依存する種に下線を付した。皇居のデータは久居ら（2000）による。

アリギマダラ (*Parantica sita*), ウラナミシジミ (*Lampropteryx boeticus*) は御用地でも目撃できる可能性があるが、赤坂御用地が皇居に比較して狭く、
多くに吸蜜源となる草本植物も少ないことから、
概率に都心部でも容易に観察できるウラナミシジミを除いてその確率は低いと判断する。ミズイロ
アントラジウム (*Antigonus attilia*) は御用地内に食
樹が存在しないので生息の可能性はない。また御
用地の平地部において定期的に草本植物が刈り取
られることから、ジャコウアゲハ (*Byasa alcinous*) とツマキチヨウ (*Anthocharis scolytus*)
の生息もむずかしい。

表ではササ類をはじめとするイネ科草本に依存する種に下線を付した。このような種は御用地で15種、皇居では10種観察されており、御用地と皇居の目撃種の差の相当部分を占めている。この差は御用地の林床部におけるササ類の生育状況が皇居に比較して貧弱であることを示すものと思われる。石井（2001）は、大阪府内の都市緑地や裏山における調査結果から、ササ食のチョウの多様性や生息密度が近畿地方の里山環境の指標になると指摘している。落葉樹林の林床部におけるササ類の繁茂は近畿地方などの西日本に特徴的なものといわれているが、今回の結果は石井の指摘が関東地方においてても当てはまる可能性を示している。

赤坂御用地での調査の機会を与えていただいた宮内庁および宮内庁庭園課に謝意を表する。なお本研究は日本学術振興会科学研究費（基盤研究（C）、No. 12680534）によるものである。

引用文献

- 久居宣夫・矢野 亮・久保田繁男（2000）国立科
博専報 36：169-183.
- 今井長兵衛・夏原由博（1996）環動昆 8：23-34.
- 石井 実・山田 恵・広渡俊哉・保田淑郎
(1991) 環動昆 4：183-195.
- 石井 実（2001）環動昆 12：187-193.
- 国立科学博物館附属自然教育園（1984）「国立科
学博物館附属自然教育園動植物目録」pp.
118.
- 夏原由博（1998）多様度指数を利用した解析。
「チョウの調べ方」日本環境動物昆虫学会編,
pp. 69-91.
- 西多摩昆虫同好会（1991）東京都蝶類分布一覧表.
「東京都の蝶」けやき出版, pp. 192-197.
- 巣瀬 司（1993）蝶類群集研究の一方法。「日本
産蝶類の衰亡と保護 第2集」日本鱗翅学会,
pp. 83-90.
- 田中 蕃（1988）蝶による環境評価の一方法。
「蝶類学の最近の進歩（日本鱗翅学会特別報
告(6)」日本鱗翅学会, pp. 527-566.
- 吉田宗弘（1997）環動昆 8：198-207.

解説

私たちの暮らしと環境ホルモン^{1), 2)}

—ダイオキシン類汚染を一例として—

宮田秀明³⁾

摂南大学薬学部

はじめに

環境ホルモン（正式名：外因性内分泌攪乱物質）とは、生体の恒常性、生殖、発生、あるいは行動に関与する種々の生体内ホルモンの合成、貯蔵、分泌、体内輸送、結合、排泄などを阻害する外来性物質¹⁾と定義²⁾されている物質群である。我々の身の回りには、環境省や経済協力開発機構（OECD）で約70種類、学術論文に掲載されているもので約140種類もの実に多種類の環境ホルモンが存在する。そして、これらのものは、1) 非農園物生成物、2) プラスチック、プラスチックの原料、可塑剤、3) 農薬（除草剤、殺菌剤、有機塩素系殺虫剤、カルバメート系殺虫剤、有機リン系殺虫剤）、4) 医薬品、医薬品の原料、5) 工業用製品³⁾及び6) 天然物質の六つのカテゴリーに分類できる。

環境ホルモンが与える人体や環境生物へのインパクトを個別では、質（生体影響力）、量（暴露量）および生体蓄積性（生体残留性）の三条件を考慮して判断する必要がある。この基準に従って判断すると、以下のように環境ホルモンを分類することができます。

① 上記の三条件を満たしている化合物：ダイ

オキシン類、PCB、クロルデン、トリブチルスズ化合物、DDT類。

② 生体影響力や生体蓄積性は強いが、現在の生体内蓄積量が低い化合物：アルドリン、ディルドリン、HCH、アトラジン、シマジン。

③ 最近話題になっているが、生体影響力や暴露量に関してデータの蓄積が必要な化合物：ビスフェノールA、スチレンダイマー、スチレントリマー、ノニルフェノール。

④ 上記三条件について今後の調査・研究が必要な化合物：上記以外の多数の環境ホルモン。

上記のように、現時点においては①の物質が最も生体インパクトが大きい環境ホルモンであり、特に、ダイオキシン類は現在の環境汚染レベルで人体に影響を及ぼす可能性が強く指摘されているため、世界的に発生抑制対策や汚染軽減対策が進められている。従って、本論文ではダイオキシン類について最新の情報と問題点を解説する。

ダイオキシン類の法的動向

1998年5月にWHO（世界保健機関）は、ダイオキシン類の安全な一日摂取量である耐容一日摂取量（TDI）の基準値を10 pg TEQ/kg/日から1~4 pg TEQ/kg/日（1 pgは1兆分の1 g）に変更

1) 本稿は、第1回年次大会特別講演（2001年11月16日、大阪府立大学）における講演内容に加筆したものである。

2) Our Lives and Environmental Hormones - As an example of pollution by dioxin analogues -.

3) Hideaki Miyata (Nagoya University, 45-1 Nagaotoge-machi, Hirakata, Osaka 573-0101)

するとともに、PCDDs, PCDFs に加えて新たに Co-PCBs を規制対象物質とした（表 1）。WHO が基準値を変更した理由は、最近の研究によってダイオキシン類が、従来考えられていたよりも微量で胎児毒性（精子数減少、免疫抑制、生殖器奇形、神経障害）や子宮内膜発症を起こすことが明らかになったからである。

表 2 に示すように、これらの障害を起こす最小毒性量における母体や成体の体内負荷量は、体重 1 kg 当たりに 28,000～73,000 pg の微量にすぎない。現在、我々一般者における平均体内負荷量は 5,000～6,000 pg である。しかし、一般者でも高濃度者の場合は 20,000～30,000 pg であり、上記の障害が起こる体内負荷量に達している。このようなことは多くの先進国に共通している。このため、WHO はダイオキシン類による人体汚染の低減化が必要であると強調している。

WHO の改正を受けて、わが国でも TDI の基準値が検討され、1999 年 6 月に 10 pgTEQ/kg/日から 4 pgTEQ/kg/日に改正された（中央環境審議会環境保健部会ほか、1999）。しかし、その 2 年後の 2001 年 5 月、世界的に最もダイオキシン類の権威機関である米国環境保護庁は、基準値をわが国よりも低い 1 pgTEQ/kg/日に設定した。また、EU 諸国も 2 pgTEQ/kg/日（実際は 14 pgTEQ/kg

表 1 各国におけるダイオキシン類の耐容一日摂取量 (TDI) または実質安全量 (VSD) (WHO/IPCS, 1999)

国名あるいは規制機関名	TDI または VSD (pgTEQ/kg/日)
日本	4 ¹⁾
カナダ	10
WHO 欧州地域事務局	1～4 ¹⁾ (目標値 : 1 未満)
オランダ	2 ²⁾ (Co-PCB を含む)
スウェーデン	2 ²⁾ (Co-PCB を含む)
ドイツ	2 ²⁾ (Co-PCB を含む)
イギリス	2 ²⁾ (Co-PCB を含む)
イタリア	2 ²⁾ (Co-PCB を含む)
米国環境保護庁	1 ¹⁾
米国カリフォルニア州	0.007 ³⁾
米国食品医薬品庁	0.06 ³⁾

1) Co-PCB を含む。

2) 実際の規制値である 14 pgTEQ/kg/週を一日当たりに換算した値。

3) ダイオキシン類を発癌物質として、閾値なしの立場で設定した値。

/週）の基準値に変更した（EUROPEAN COMMISSION, 2001）。さらに、WHO は、近々、TDI の基準値を 60 pgTEQ/kg/月（2 pgTEQ/kg/日相当）に変更する予定である。

以上のように、近年、ダイオキシン類の毒性は従来よりも強く評価される傾向にあり、TDI の基準値は世界的に 2 pgTEQ/kg/日あるいはそれ以

表 2 WHO による TDI 変更の基になったダイオキシンの毒性と体内負荷量 (WHO/IPCS, 1999)

研究者	生態影響	最少毒性量における母体の蓄積濃度 (pg/kg)	左記の蓄積濃度になる推定摂取量 (pg/kg/日)
グレイラ (1997)	ラット： 出生仔の精子減少	28,000	14
ゲールら (1997) ゲールとスマイルビック (1998)	ラット： 出生仔の免疫抑制	50,000	25
グレイラ (1997)	ラット： 出生仔の生殖器奇形	73,000	37
シャンツとボーマン (1989)	サル： 出生仔の神経障害	42,000	21
リアラ (1993)	サル： 子宮内膜症	42,000	21

下の方向に向かっている。もし、世界的に影響力の大きいWHOが基準値を変更したならば、わが国でもTDIを再検討し、基準値が変更される公算が大きい。現在、わが国におけるダイオキシン類の平均一日摂取量は2~3 pgTEQ/kg/日である。もし、TDIが国際的な水準の2 pgTEQ/kg/日に変更された場合、摂取量はTDIを超過することになり、ダイオキシン類による健康影響が懸念される事態になる。従って、TDIの変更とともに、摂取量や曝露量を削減するための施策が必要となる。わが国におけるダイオキシン類摂取量の約90%は車両由のものである。そのため、食事経由の汚染低減化に向けた食品や家畜飼料に対する基準値の新設が必要となる。また、発生量削減や環境改善に向けた排出基準および環境基準の変更も必須条件となる。

ダイオキシン類対策特別措置法は、公共用水域における底質の除去基準を設定することが明記されている。公共用水域の底質はダイオキシン類の大半がストック源ばかりでなく、大きな補給源ともなり、水質を通して魚介類汚染を引き起こす要因となる。そのため、一定以上の汚染を受けている底質については、環境から除去することが人体汚染の低減化の有力な手段となる。これまで底質汚染と魚介類汚染との関連性に関する科学的知見が不十分であるとの理由で、底質の基準は設定されなかつた。しかし、本年1月、環境省は、検討委員会を設置し、6月に150 pgTEQ/gを除去基準として暫定した。

ダイオキシン類の汚染の現状

2000年1月から施行されたダイオキシン類対策特別措置法に基づき、都道府県知事および政令市の長は、大気、水質（底質を含む）および土壤のダイオキシン類による汚染の状況を常時監視し、その結果を環境大臣に報告することとされている。環境省は都道府県知事等から平成12年度の常時監視結果として環境大臣に報告されたダイオキシン類の調査結果をとりまとめ、平成13年12月18日に

公表した（環境省、2001）。全国の膨大な地点における調査結果であり、わが国における環境汚染の実態が初めて明らかになったともいえる。以下にその概要を説明する。

表3に示すように、一般環境（705地点）、発生源周辺（189地点）および沿道（26地点）における大気中ダイオキシン類の年間平均濃度は、それぞれ 0.14 pgTEQ/m³、0.15 pgTEQ/m³、0.17 pgTEQ/m³ であり、いずれの地点においても近似した汚染状況である。全国920地点の中、環境基準の0.6 pgTEQ/m³を超過した地点は、全体の1.1%に相当する10ヶ所であり、その内訳は一般環境で4ヶ所、発生源周辺で6ヶ所となっている。

公共用水域水質における平均汚染濃度は、河川1,612地点で0.36 pgTEQ/L、湖沼104地点で0.22 pgTEQ/Lおよび海域400地点で0.13 pgTEQ/Lとなっており、海域<湖沼<河川の順に汚染程度が重度になる傾向にある。全調査地点2,116地点の中、3.9%に相当する83地点において公共用水域水質基準の1 pgTEQ/Lを超過していた。超過した83地点中80地点は河川であり、その詳細は表5に示す。超過地点の多い都道府県は、埼玉県、東京都、大阪府、三重県、新潟県である。今後、これらの超過地点における汚染源究明と対策が緊急課題となる。

1,479地点で調査された地下水質の平均汚染濃度は低く、環境基準1 pgTEQ/Lの約1/10に相当する0.097 pgTEQ/Lにすぎない。また、調査された全地点で環境基準をクリアしていた。

公共用水域底質1,836地点における調査では、平均汚染濃度は、河川（9.2 pgTEQ/g）、湖沼（11 pgTEQ/g）および海域（11 pgTEQ/g）ともに近似していた。しかし、河川や海域における最高濃度は1,400 pgTEQ/gおよび470 pgTEQ/gにもなっており、極めて高い。既述したように、底質汚染は魚介類汚染に直結するため、高濃度地点における原因究明と早期対策が必要となる。そのためにも、底質除去対策の早期実施が要望される。

全国3,187地点で土壤に調査が行われ、1地点

表3 平成12年度ダイオキシン類に係る環境調査結果（環境省、2001）

単位：大気pg-TEQ/m³ 水質pg-TEQ/l 底質pg-TEQ/g 土壌pg-TEQ/g

環境媒体	地域分類	測定地点数	環境基準超過地点数	調査結果		
				平均値	最小値	最大値
大気	一般環境	705	4	0.14	0.0073	0.76
	発生源周辺	189	6	0.15	0.0078	1.0
	沿道	26	0	0.17	0.018	0.53
	全体	920	10	0.15	0.0073	10.0
公共用水域水質	河川	1,612	80	0.36	0.014	48
	湖沼	104	2	0.22	0.028	2.3
	海域	400	1	0.13	0.012	2.2
	全体	2,116	83	0.31	0.012	48
地下水質		1,479	0	0.097	0.00081	0.89
公共用水域底質	河川	1,367	—	9.2	0.0011	1,400
	湖沼	102	—	11	0.20	47
	海域	367	—	11	0.018	470
	全体	1,836	—	9.6	0.0011	1,400
土壌	一般環境	1,942	0	4.6	0	280
	発生源周辺	1,089	1	11	0	1,200
	全体	3,031	1	6.9	0	1,200

(0.03%) で土壌環境基準の 1,000 pgTEQ/g を超過していた。土壌調査については、このほかに対象地状況把握調査(9地点)および調査指標確認調査(6地点)が実施され、2地点で環境基準の超過地点が確認されている。

母乳中ダイオキシン類の汚染源とその低減化法

表4に示すように、日本各地における出産一ヶ月以内における母乳の脂肪中平均ダイオキシン類濃度は、15~33 pgTEQ/g である。このデータに基づいて算出した母乳経由による乳児の摂取量は、67~149 pgTEQ/kg/日となり、耐容一日摂取量に対応した安全な吸収量の 2 pgTEQ/kg/日を34倍~70倍も超過する。さらに、一般者でも高濃度の場合には100~200倍の超過率になる。このような

実態から長期疫学調査を通して母乳の安全性を科学的に検討する必要のあることが強調されている。これまで母乳中ダイオキシン類の起源については、体内蓄積由来であるか食事由来であるかが不明の状態であった。しかし、静岡県立大学看護学部との共同研究により、母乳中のダイオキシン類の大半はその日に食べた食事中のものに由来することが明らかとなった (Miyata *et al.*, 2001)。

表5に示すように、産褥後5日~6ヶ月間における7人の乳児一人当たりにおける平均ダイオキシン類の一日摂取量は、257~384 pgTEQ であり、時期的に大きな変動は認められない。この結果を考慮すると、母体内に蓄積しているダイオキシン類が主として母乳中に排出される場合には、母乳中のダイオキシン類濃度は経時に一定の減少率を示す。しかし、母乳中濃度の平均一日減少率は、

表4 日本各地の母乳中ダイオキシン濃度と乳児の摂取量

濃度 (pg-TEQ/1)	地点数	濃度 (pg-TEQ/1)	地点数
≤ 0.10	474	1.3 < ≤ 1.4	10
0.10 < ≤ 0.20	413	1.4 < ≤ 1.5	6
0.20 < ≤ 0.30	211	1.5 < ≤ 1.6	8
0.30 < ≤ 0.40	138	1.6 < ≤ 1.7	5
0.40 < ≤ 0.50	88	1.7 < ≤ 1.8	5
0.50 < ≤ 0.60	66	1.8 < ≤ 1.9	2
0.60 < ≤ 0.70	52	1.9 < ≤ 2.0	2
0.70 < ≤ 0.80	29	2.0 < ≤ 3.0	13
0.80 < ≤ 0.90	23	3.0 < ≤ 4.0	2
0.90 < ≤ 1.0	38	4.0 < ≤ 5.0	1
1.0 < ≤ 1.1	12	5.0 < ≤ 10	0
1.1 < ≤ 1.2	6	10 <	2
1.2 < ≤ 1.3	6		

5日～1ヶ月で0.26 pgTEQ、1ヶ月～3ヶ月で0.11 pgTEQ/1となり、減少率は経時に大きく減少していた。5日～1ヶ月に比べて、3ヶ月～6ヶ月(約1/30)にすぎなかった。このような結果から、母乳中のダイオキシン類は、食事経由のも

のが主体であり、体内蓄積由来のものは副次的であることが明らかとなった。

従来、母乳は最適な人体汚染評価試料として国際的にも認知されており、国内外的にも母乳を用いた多くの調査が行われてきた。しかし、今回の新知見はこれを覆すものであると同時に、汚染の低い食品を摂取することにより母乳中濃度を低減できることが判明した。

ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理に関する特別措置法とダイオキシン汚染

2001年7月、「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理に関する特別措置法」が施行された。15年間で現在保管されているポリ塩化ビフェニル(PCB)を分解除去することを目的とする法律である。現在、ダイオキシン、ポリ塩化ジベンゾフラン(PCDFs)およびコブラナー-PCBs(Co-PCBs)の3種類の化合物群をダイオキシン類と称して規制されている。Co-PCBsはPCBの一部の成分であり、現在、ダイオキシン類として毒性対象となっているものは12種類がある。1987年、日本およびアメリカの市販PCB製品中について3種類のCo-PCBs濃度が測定された。表6に示すように、わが国で大量に使用された鐘淵化学工業製

表5 順序における母乳中ダイオキシン類濃度と乳児における摂取量の経時変化

順序	5日	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月
ダイオキシン類濃度 (pgTEQ/g 脂肪)	21.5	15.0	12.9	11.9
ダイオキシン類濃度減少率 (pgTEQ/日)		0.26 ¹⁾	0.035 ²⁾	0.011 ³⁾
母乳脂肪濃度 (%)	2.43	3.26	3.99	3.15
乳児の体重 (kg)	3.17	4.46	6.34	7.75
体重増加率 (g/日)		51.6 ¹⁾	31.3 ²⁾	15.7 ³⁾
母乳摂取量 (g/kg/日)	155		118	99.7
母乳脂肪摂取量 (g/kg/日)		5.70	4.69	3.14
ダイオキシン類摂取量 (pgTEQ/kg/日)	81.1	85.5	60.5	37.4
ダイオキシン類摂取量 (pgTEQ/日)	257	381	384	290

1) 5日～1ヶ月の変化率。

2) 1ヶ月～3ヶ月の変化率。

3) 3ヶ月～6ヶ月の変化率。

表6 PCB製品中のノンオルトコプラナーPCB含有量

製品名	コプラナーPCB含有量(μg/g)			
	3,3,4,4'-TCB	3,3,4,4',5-PeCB	3,3,4,4',5,5'-HxCB	合計
カネクロール				
300	4,300	18	ND	4,318
400	8,000	68	0	8,068
500	1,700	28	1	1,729
600	970	5	ND	975
アロクロール				
1242	5,100	19	ND	5,119
1248	6,200	52	ND	6,252
1254	620	38	1	659
1260	250	3	ND	253

のKanechlor 300～Kanechlor 600における濃度は975～8,068 μg/g (0.0975～0.8068%) である(Kannan *et al.*, 1987). この濃度を基に推測すると, 12種類全てのCo-PCBsの含量はPCBの5%程度になるものと考えられる. そして, この5%程度のCo-PCBsはダイオキシン毒性等量として, PCB 1g当たりに数百万pgTEQに相当する. 一方, 表7に示すように, PCB含有のトランスが火災で焼失した場合, 1gのPCBからダイオキシン毒性等量で約2億～4億pgTEQのPCDFsが生成することが報告されている(Des Rosiers and Lee, 1986).

以上のようにPCBは大きなダイオキシン類の汚染源である. 現在, 全国の官庁, 小学校～大学, 約2万ヶ所の事業所にPCB含有のトランスやコンデ

ンサーが保管されているが, これらを適正かつ早期に処理することがダイオキシン類汚染対策の上で極めて重要である.

廃棄物焼却施設における臭素系ダイオキシン類の発生実態

近年, 上記のダイオキシン類と同様な生体作用と毒性をもつ臭素系ダイオキシン類が注目されている. ドイツではこの臭素系ダイオキシン類をダイオキシン類と同等に扱うようになっており, 1994年, 全製品に対する販売基準が設定された(Basler, 1994). ダイオキシン類対策特別措置法の付則において, 臭素系ダイオキシン類について実態を調査し, 問題が有れば措置を講ずるとなっている.

表7 火災によるPCBからのポリ塩化ジベンゾフランの生成

溶剤の種類	PCBの濃度(μg/ml)	PCBの分解率(%)	1gのPCBから生成したPCDFsの量	
			実測量(pg)	推定毒性等量 ¹⁾ (pgTEQ)
鉛物油	5,000	82～88	7,500,000,000	375,000,000
鉛物油	500	87～92	4,140,000,000	207,000,000
鉛物油	50	88～90	3,560,000,000	178,000,000

1) 実測量の1/20として算出.

近年、プラスチック、電気製品、壁材等に臭素系難燃剤が大量に使用されている。これらの難燃剤を含む廃棄物が焼却されると臭素系ダイオキシン類が生成する。臭素系ダイオキシン類とは臭素化ダイオキシン (PBDDs)、臭素化ジベンゾフラン (PDDFs)、臭素化塩素化ダイオキシンおよび臭素化塩素化ジベンゾフランという四種類の化合物群の総称である。臭素系ダイオキシン類は、塩素と臭素の組み合わせの違いにより約5,000もの多くの化合物が存在する。ダイオキシン類対策特別措置法の付則に従って、旧厚生省による廃棄物焼却施設における臭素系ダイオキシン類の発生状況が調査された。表3に示すように、臭素系ダイオキシン類は、塩素化ダイオキシン類 (PCDDs + PCDFs) 発生量の10~20%程度であることが明らかにされた(厚生省生活衛生局水道部環境課、2000)。しかし、市販標準物質の種類が限られているため、測定対象物も極めて限定され範囲はなっている。すなわち、四臭素化~六臭素化ダイオキシン (46種類) とジベンゾフラン (72種類)、およびモノ臭素化ポリ塩素化ダイオキシン (197種類) とりべンゾフラン (395種類) の

合計710種類を対象として測定された。それは全臭素系ダイオキシン類の約1/7にすぎない。従って、市販標準品が整備され、全臭素系ダイオキシン類を対象として調査されたならば、その発生量は塩素系ダイオキシン類と近似した濃度になるものと推測される。

旧厚生省による調査結果の概要は次のようになる。表8に示すように、57ヶ所の一般廃棄物焼却施設における排ガス中ダイオキシン類の平均実測濃度は、851 ng/m³である。臭素系ダイオキシン類の平均濃度は98.7 ng/m³であり、ダイオキシン類の11.6%に相当する濃度である。臭素系ダイオキシン類の大半は、モノ臭素ポリ塩素化ダイオキシン類が占めており、全ての置換ハロゲン原子が臭素原子である臭素化ダイオキシン類は、マイナーな成分となっている。類似したことは飛灰や焼却灰についても認められる。

一方、18ヶ所の産業廃棄物焼却施設における排ガス中のダイオキシン類の平均濃度は511 ng/m³であるが、臭素系ダイオキシン類はその19.9%に相当する101.8 ng/m³であった。表3から明らかなように、一般廃棄物焼却施設に比べて産業廃棄

表8 廃棄物焼却施設の各種試料中ダイオキシン類と臭素系ダイオキシン類濃度

調査試料	ダイオキシン類	一般廃棄物焼却施設 (57箇所)			比率(%) ¹⁾	
		臭素系ダイオキシン類				
		モノ臭素ポリ塩素化 ダイオキシン	臭素化 ダイオキシン類	合 計		
排ガス (ng/m ³)	851	91.2	7.52	98.7	11.6	
飛灰 (ng/g)	1328	234	0.11	234.1	17.6	
焼却灰 (ng/g)	33	2.4	0.11	3.11	9.4	

調査試料	ダイオキシン類	産業廃棄物焼却施設 (18箇所)			比率(%) ¹⁾	
		臭素系ダイオキシン類				
		モノ臭素ポリ塩素化	臭素化	合 計		
排ガス (ng/m ³)	511	86.5	15.3	101.8	19.9	
飛灰 (ng/g)	500	72.4	0.88	73.2	14.6	
焼却灰 (ng/g)	35	4.7	0.19	4.89	14.0	

1) (臭素系ダイオキシン類濃度) / (ダイオキシン類濃度) × 100.

物焼却施設は臭素系ダイオキシン類の発生割合が相対的に多い。これは、臭素系難燃剤が一般廃棄物よりも産業廃棄物により多く含有されることに起因するものと考えられる。

臭素系ダイオキシン類に関する毒性実験や研究は、ダイオキシン類に比べてかなり遅れている。しかし、これまでの成果によると、臭素系ダイオキシン類はダイオキシン類と同様に、Ahレセプターを介して生体影響をもたらし、また、ハロゲンの置換位置と置換数が同じならば、臭素系ダイオキシン類はダイオキシン類と同等な毒性強度を示すことが判明している（大野、2000）。従って、今後、早急に標準品の充実を図るとともに、発生状況や環境汚染実態の早期究明が必要と思われる。

引用文献

- Basler, A. (1994) Regulatory Measures in the Federal Republic of Germany to Reduced the Exposure of Man and the Environment to Dioxins. *Organohalogen Compounds*, 20 : 567-570.
- 中央環境審議会環境保健部会、生活環境審議会、食品衛生調査会（1999）ダイオキシンの耐容一日摂取量（TDI）について。
- Des Rosiers, P. E. and A. Lee (1986) Correlation of chlorobenzene isomers and PCB homologue contents of PCB fluid with PCDD and PCDF contents of soot. *Chemosphere*, 15 :

1313-1323.

EUROPEAN COMMISSION (2001) *Opinion of the scientific committee on food on the risk assessment of dioxins and dioxin-like PCBs in food.*

環境省（2001）平成12年度ダイオキシン類に係わる環境調査結果。

Kannan, N., S. Tanabe, T. Wakimoto and R. Tatsukawa (1987) Coplanar polychlorinated biphenyls in Arochlor and Kanechlor mixtures. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 70 : 451-454.

厚生省生活衛生局水道環境部（2000）平成11年度ダイオキシン等緊急対策調査事業 その1 臭素化ダイオキシン類等の実態調査。

Miyata, H., T. Nakao, O. Aozasa, S. Ohta, F. Ochiai, Y. Shimizu and Y. Fujimine (2001) Investigation on main source of dioxin analogues in human breast milk. *Organohalogen Compounds*, 52 : 234-238.

大野泰生（2000）厚生科学研究費補助金分担研究報告書（ダイオキシン類の体内負荷量に関する評価に関する研究）、平成11年度厚生科学研究費生活安全総合研究事業。

WHO / IPCS (1999) *Executive Summary Report of "Assessment of the health risks of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI).*

解説

黄色光による夜行性ガ類の忌避^{1), 2)}

向阪信一³⁾

松下電工株式会社

はじめに

農薬の生産性向上のためにハウス栽培が盛んになりました。害虫防除のために農薬が積極的に使用され、大きな効果を上げてきました。一方、農薬の開発に伴い農薬抵抗性のある害虫の出現が問題となっていました。そのため、天敵やフェロモンを利用して害虫の繁殖を抑制しようという農薬以外の新しい防除の試みがなされている。これらの新しい試みの中でもとして、光を用いた害虫の防除法がある。

ヤガの行動抑制や忌避効果の高い黄色光を出すのが黄色蛍光ランプであり、これを使用した照明器具のことを防蛾灯といい、黄色光を使用した防除法は、ナシやモモなどの果実を加害する吸汁性害虫防除では、既に実用化されている（野村ら, 1965; 内田ら, 1970）。更に、新しい用途として、青りんごのハスモントウ、カーネーションのオオバコガ、スイートコーンのアワノメイガなどのヤガ類の防除に黄色蛍光ランプが利用されはじめています。黄色光による害虫防除は、「ヤガ防除のための農薬散布の努力」を軽減と共に、農作物への農薬使用量を削減し、農薬抵抗性をもつ害虫の発生も防止する「環境に優しい害虫防除法」の一つである。農薬ではなくヤガの成虫に直接散布す

るタイミングが難しいが、黄色蛍光灯であれば終夜点灯するだけでよく、人の手を煩わさなくてすむメリットがある。

黄色蛍光ランプによる害虫防除

1. ヤガの明適応、暗適応

ヤガの複眼は昼間は「明適応」、夜間は「暗適応」しており、ヤガの果樹園への侵入、果実の吸汁や産卵は暗適応時にのみおこる。夜間照明を行うとヤガの複眼が明適応して活動が抑制される。この効果は黄色光で最も大きいことが知られている^{1), 2)}。吸汁性ヤガでは黄色蛍光ランプを点灯し、成虫を明適応させ吸汁活動を抑えることができる。一方、花きや野菜のヤガ類では成虫そのものが被害を与えるのではなく、葉や蕾に産卵された卵が孵化しその幼虫が葉や蕾を食べて被害を与える。そのため、黄色蛍光ランプを点灯し成虫を明適応させ、産卵を抑えるために使用する点が吸汁性ヤガの場合と基本的に異なっている。ハスモントウの明適応時及び暗適応時の複眼を図1、図2に示す。ナシ園において吸汁性ヤガの被害を十分に防止するために必要な平均空間照度（補足参照）は1lxとされている（内田, 1983）。

(補足) 平均空間照度とは光源の方向に関係な

- 1) 東廣洋、第1回年次大会レポート「光と昆虫」(2001年11月16日、大阪府立大学)における講演内容に加筆したものである。
- 2) Control of Nocturnal Pests by Yellow Fluorescent Lamps.
- 3) Shunichi Kosaka (Matsushita Electric Works, Ltd. 1048, Kadoma, Osaka 571-8686, Japan. E-mail : kosaka@cec.mew.co.jp)

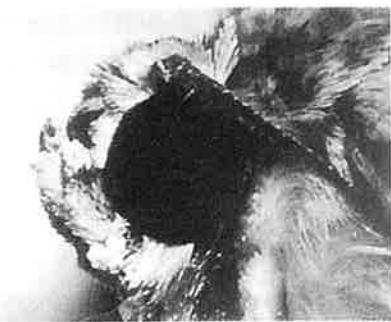


図1 ハスモンヨトウの複眼（明適応時）（八瀬原図）。

く、照度計の受光部を垂直にした時の東西南北の4方向と上向きの計5方向の面の測定値の平均をいう（内田、1983）。

2. 黄色蛍光ランプの分光分布

人間の目に光として感じるのは、波長380nm（紫）から780nm（赤）の波長域にあり、人間が感じる明るさと光の波長との関係を示したもののが標準分光視感効率（標準比視感度）である。図3にBickfordの昆虫の視覚の分光特性（Bickford, 1964），標準分光視感効率及び黄色蛍光ランプの分光分布を示す。それぞれの分光分布は最大値を

図2 ハスモンヨトウの複眼（暗適応時）（八瀬原図）。

100としている。

3. 簡易設置型黄色蛍光灯（防雨・防湿型）

透明シリンダー付黄色蛍光灯（図4）が温室やビニールハウス等で防蛾灯として使用される。設置方法は自動灌水装置その他の付帯設備で制約を受け、通常は水平に点灯される。設置間隔は施設の大きさ、設置高さによって異なる。最低照度1ルクスを確保できるように設置することがポイントとなる。温室の形状、取り付け高さにもよるが10a当たりおよそ10台～14台必要である。黄色蛍光灯の電気的な特性や使用基準は一般の照明器具

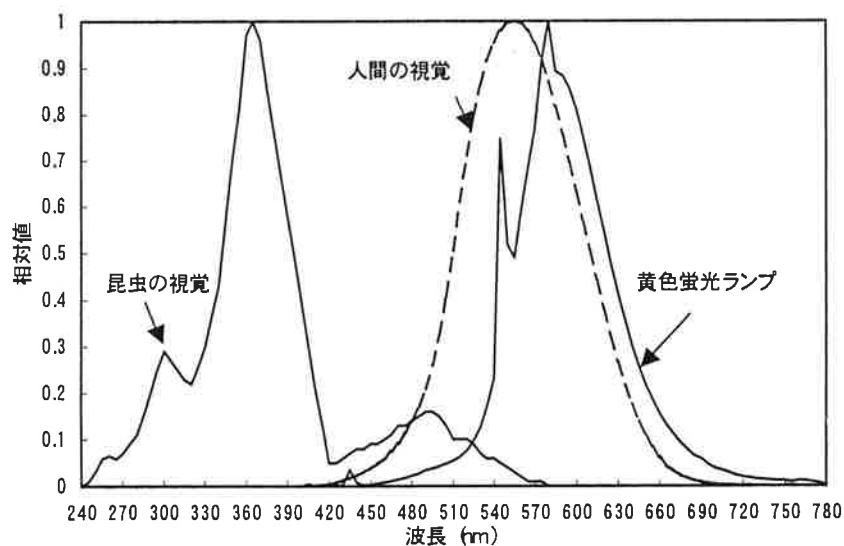


図3 昆虫の視覚、人間の視覚、黄色蛍光ランプの分光分布。（Bickford, 1964より）

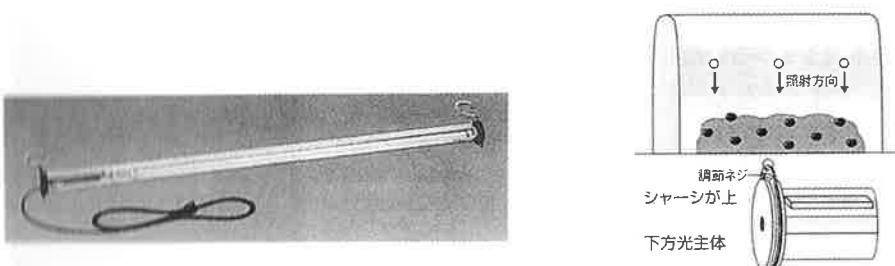


図4 透明シリンダー付黄色蛍光灯。

(八瀬)

)

温室や
れる。設
制約を
は施設
底照度1
がポイント
よるが
黄色蛍
明器具

と前記である。唯一異なるのは光源として黄色蛍光ランプを使用していることである。

4. 黄色蛍光ランプの点灯時期

黄色蛍光ランプの点灯開始はヤガによる被害が発生してからでは遅く、被害発生時期より前から点灯することが望ましい。地域によっても異なるが、6月～11月まで点灯が必要である。点灯時間は直後に青日の出までの終夜点灯が望ましく、タイマーによる点灯制御が必要である。なお、日の出、日の入り時間が徐々に変わるために、タイマーのON/OFF時刻も適宜設定しなおすことが必要である。

黄色蛍光灯の諸特性

1. 光出力

防蚊灯として使用される黄色蛍光ランプは放電灯の一種であり、電源電圧が変動すれば光出力も変化する。電圧と光出力などの諸特性をまとめたものが図5である。ランプの光出力は累積の点灯時間に応じて低下する。図6は光出力の低下と点灯時間の関係を示したものである。設置初期の照度は、光出力の低下を考慮してあらかじめ高い照度にしておかなければならぬ。少なくとも初期照度から3割程度低下がっても所定の照度は確保できるようにする必要がある。寿命末期まで使用する場合は、ランプの光出力は50%まで低下する。なお、光出力の低下はランプの劣化以外に器具の汚れでも影響する。この汚れは清掃することにより、直復元に戻す事が可能である。

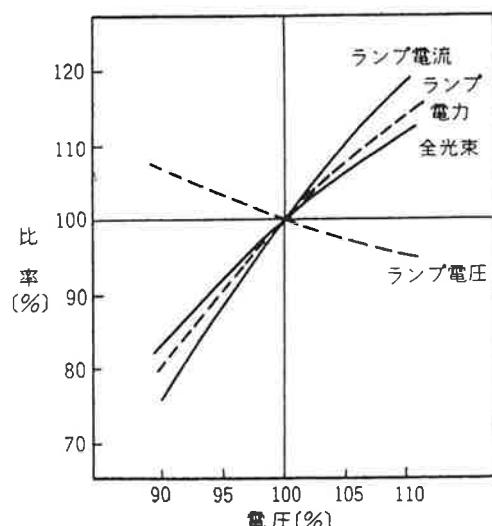


図5 電圧変動と各種電気特性の関係。

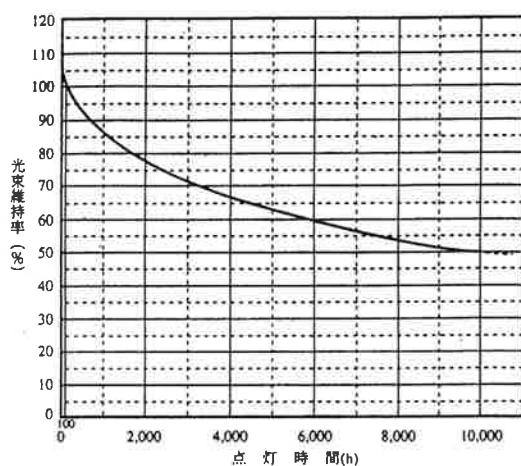


図6 累積点灯時間と光出力の関係。

2. 光環境の測定

黄色光による明るさが栽培植物に与える影響を評価するには、照度計でなく、光量子計を用いて光合成有効光量子束密度（PPFD）を測定する。このセンサーの分光感度は照度計の分光感度特性言い換えれば標準分光視感効率とは大きく異なっている。なお、光源が決まれば照度計の測定値（lx）から光合成有効光量子束密度（PPFD）を換算することが可能であり実用上は照度計で代用してもよい。黄色蛍光ランプの換算値および他の光源の換算値を表1に示す。

表1 光合成有効光量子束密度換算係数

光 源	1000ルクス 当りの PPFD ¹⁾
防蛾灯（純黄色蛍光ランプ）	10
（以下は参考値（村上・洞口, 1995））	
白熱ランプ	19
3波長域発光型蛍光ランプ（EX-N）	14
白色蛍光ランプ（W）	13
メタルハライドランプ（SC）	14
高圧ナトリウムランプ	14
水銀ランプ	12

1) PPFD : Photosynthetic Photon Flux Density. 単位は $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

黄色蛍光灯によるカーネーションのヤガの防除実験の例（兵庫県立淡路農業技術センターでの試験）（向阪ら, 1996；八瀬ら, 1996）

1. カーネーションのヤガによる被害内容

カーネーションはバラ、キクを含めた3大花卉のひとつである。カーネーションの花蕾に被害を与えるのはオオタバコガで、夜間、カーネーションの花蕾に飛来し産卵する。この卵が孵化し、幼虫が花蕾の中へ入り、内部を食い荒らす。その結果、カーネーションの「花」としての商品価値が無くなってしまう。また、ハスモンヨトウやシロイチモジョトウは葉に産卵し、孵化した幼虫が葉を食害する。図7はオオタバコガの卵、図8はオ

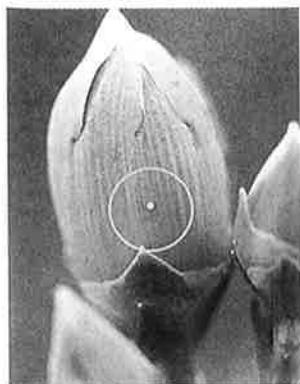


図7 オオタバコガの卵（八瀬原図）。



図8 オオタバコガの幼虫（八瀬原図）。

オタバコガの幼虫である。

2. 試験場所

試験区は兵庫県津名郡津名町にあるガラス温室を使用した。カーネーションの品種にはホワイトルセナを選び、1994年5月中旬に定植した。一方、照明を点灯しない対照区として、試験区から約200m離れたガラス温室で、類似の品種であるルセナを選び、6月中旬定植した。カーネーションの栽培方法は農家の慣行に従った。試験期間中の気温は高いため、天窓や側窓は終日開放されており、ヤガ類は自由に温室の内外を行き来できる状態になっている。

3. 調査方法

調査場所6カ所（図9）を決め、各調査場所ごとに10株ずつ計60株を、対照区では任意の60株の調査を定期的に行った。

解 説

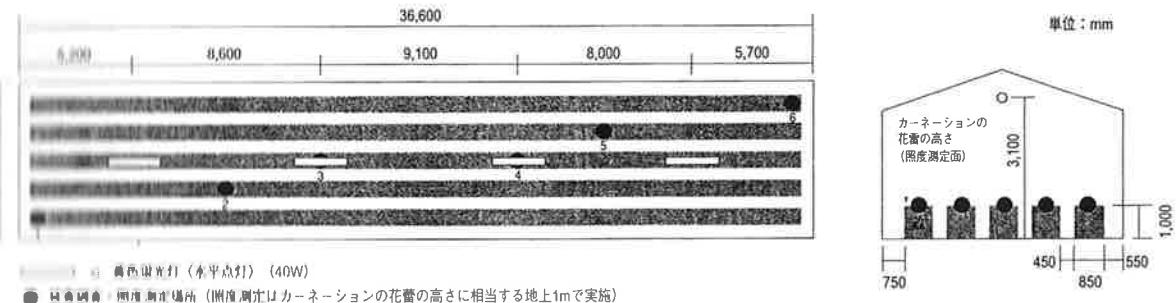


図9 カーネーションハウス概略図と調査地点.

4. 照明設備

カーネーションの栽培部分で水平面照度が 1lx 以上になるように 40W 黄色蛍光灯（松下電工製 VL41004）を水平に配置し、午後 5 時から翌朝 6 時まで終夜点灯した。器具は 8 月 31 日に点灯を開始し、11 月まで継続した。

5. 試験結果

調査場所に於ける実測の水平面照度、最大照度の測定結果（いずれも、ほぼ初期照度）を表 2 に示す。調査地点に於いて、オオタバコガにより被害を受けた花蕾の比率をまとめたものを図 10 に示す。試験開始時期の被害には大差がないが、試験区では 11 日後で被害率が減少し、10 月以降は被害率が底りとなった。一方、対照区では被害が増加傾向になり、最大 4%弱となった。この被害率の比較から、黄色蛍光ランプを点灯することで、オオタバコガの被害を低く抑えることが可能である事が示された。オオタバコガの産卵状態を調べたものを図 11 に示す。11 月の調査時点で、オオタバコガの産卵数は対照区の 1/4 程度に抑えられた。

表2 照度測定結果

調査場所	水平面照度 ¹⁾	最大照度 ¹⁾
1	7.9	12.1
2	4.9	7.3
3	38.1	43.2
4	44.6	44.6
5	3.1	4.7
6	1.0	2.9

1) 単位 lx.

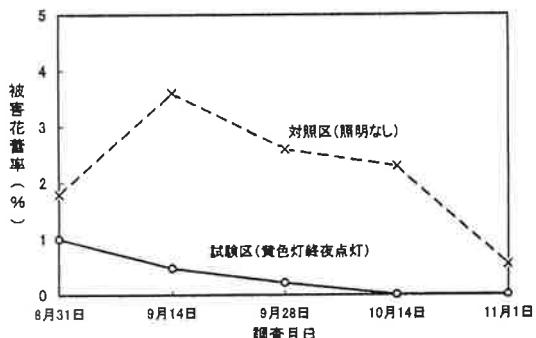


図10 オオタバコガによる花蕾被害率.

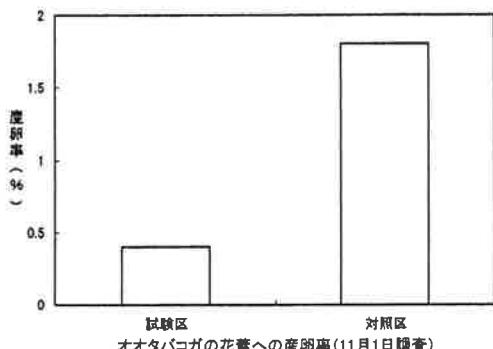


図11 オオタバコガの産卵状況.

られた。この産卵数の少なさからも、黄色光の産卵抑制効果の有効性が示されたと考えられる。

調査場所の水平面の照度は $1.3 \text{ lx} \sim 44.6 \text{ lx}$ ($0.01 \sim 0.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) となり照度に幅があったが、カーネーションの成育に対する大きな影響は特に認められなかった。また、切り花のボリューム

ムが小さくなる傾向が見られたが、商品的には特に大きな問題にはならない程度であった。なお、ハウスの周辺への光のもれも少なかった。カーネーションの成育に対する黄色蛍光ランプの影響を明らかにする試験（山中ら、1997）によれば、8lx ($0.08 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 以上になれば到花日数の短縮と着花節位の低下が顕著に見られたが、これはカーネーションが長日性植物であり開花促進効果によるものと考えられる。図12は兵庫県淡路島の



図12 兵庫県淡路島のカーネーション栽培ハウス群。

カーネーションハウス群に設置された黄色蛍光灯の夜間の状況である。

防蛾灯の今後の普及について

防蛾灯を設置する場合、作物に被害を与える害虫に対して黄色光の効果があるかを作物ごとに検証する必要がある。今までの例から、ハスモンヨトウ・シロイチモジヨウトウ・タバコガ・オオタバコガについてはほぼ効果が認められてきている。しかし、栽培作物が密植されていて光が届かなかつた場合や、圃場周辺に大豆畠などがあり、そこで孵化した幼虫が圃場に侵入してくることもあり、必ずしも万能であるとはいえない。この場合、IPM

(総合的害虫管理) の考え方で、種々の防除法を併用することが望ましい。前記以外の夜行性昆虫については未確認のことも多く、今後の検討課題である。また、栽培植物そのものへの悪影響（開花遅延など）は日長反応する植物（例えば、キクやケイトウなど）で予想されるため、その影響を与えない上限照度などの研究も必要である。

引用文献

- Bickford, E. D. (1964) I. E. S. Nat-conf. Paper.
向阪信一・板倉二郎・八瀬順也・九村俊幸
(1996) 黄色蛍光灯によるカーネーションの
オオタバコガの防除. 平成8年度照明学会全
国大会要旨集, 314.
村上克介・洞口公俊 (1995) フォトンによる光照
射環境の測定と評価, 日本照明委員会誌 12
(4) : 18.
野村健一・大矢慎吾・渡部一郎・河村広巳
(1965) 電燈照明による吸蛾類の防除第1報.
照明の効果解析とそれに及ぼす各種光条件の
影響について. 応昆 9 (3) : 179-186.
内田正人 (1983) 果樹園に於ける防蛾施設の設計
法. 農業および園芸 58 (11) : 1387-1390.
内田正人・福田博年・宇田川英夫 (1978) ナシを
加害する果実吸蛾類の生態と防除に関する研
究. 鳥取果試研報 8 : 1-29.
山中正仁・八瀬順也・宇田 明・藤井 紘
(1997) 防蛾用黄色蛍光灯がカーネーション
とキクの生育および開花に及ぼす影響. 近畿
中国農業研究 93 : 71-75.
八瀬順也・九村俊幸・向阪信一 (1996) 黄色蛍光
灯によるカーネーションのタバコガ・ヨトウ
ムシ類に対する被害軽減効果. 日本応用動物
昆虫学会中国支部会報 38 : 1-7.

防除法を
行性昆虫
検討課題
影響（開
ば、キク
の影響を
る。

解説

走光性昆虫による異物混入とその対策^{1), 2)}

平尾素一³⁾

環境生物コンサルティング・ラボ

Paper.

村俊幸

ジョンの

明学会全

る光照

会誌 12

村広巳

第1報.

条件の

の設計

390.

ナシを

する研

井 紘

ション

. 近畿

色蛍光

ヨトウ

用動物

はじめに

工場の照明に誘引され、侵入した走光性昆虫類が各種製品に異物として混入し、問題をひきおこす事例がある。

例えば国民生活センターに持込まれた1990年から2000年までの3820件の異物混入の内訳をみると、全体の24.0%が虫で、ゴキブリの3.1%，ハエの1.1%を加えても29.4%となり、全体の1/3が昆虫類となっている(図1)。

東京都衛生局でも食品衛生関係の苦情の集計を発表しているが、毎年2000～3000件の食品苦情が寄せられているが、約20%は異物混入である。1996年から1999年の3年間の1年間の異物混入件数1756件の内訳をみると、虫+ホズミが41.5%を占めている(図2)。

これらは既出題のうち、走光性昆虫はどれくらいの率にいるかは示されてはいないが、筆者の経験では1/7～1/4位はなるものと思われる。特に製糖・包装・印刷の様な業種ではほとんどが工場の照明に飛来する走光性昆虫である。

工場内で捕獲される虫

工場内で製品に混入する昆虫類を防ぐには、

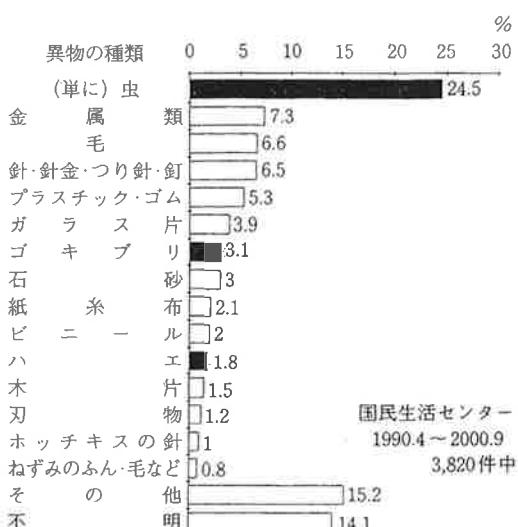


図1 どんな異物混入が多い?

①製造工程上の混入箇所の遮断・密閉

②内部昆虫類の絶対数を減少させる

ことが必要となる。ここでは②について述べるが、そのためにはどの様な昆虫がどこで捕獲されるかを区域ごとに知る必要がある。そのためには一般には何種類かの捕獲トラップを使い捕獲数により分布状態や相対的な比較が行なわれ対策立案上の基礎資料として利用されている。

1) 幸福は、第13回年次大会レポート「光と昆虫」(2001年11月16日、大阪府立大学)における講演内容に加筆したものである。

2) Contamination of Foreign Material by Photo Taxic Insects and Its Protection.

3) Motokazu Hirao (Hirao Biological Institute, 1765-147 Kita, Shizuoka 420-0961, Japan)

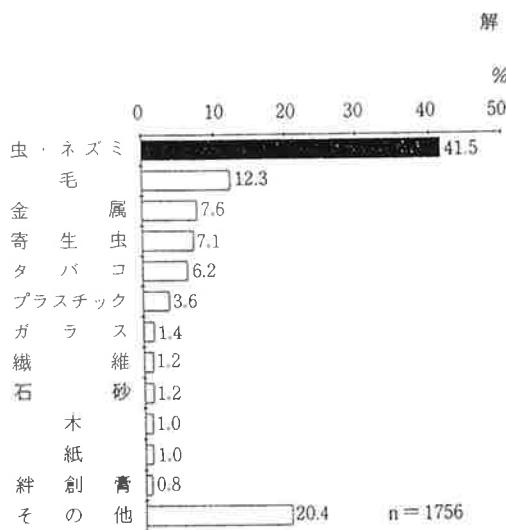


図2 東京都に寄せられた異物の種類
(1996~1998).

筆者(平尾, 1995)は1988年から1992年にかけ、九州から関東の20工場(業種は医療材料3、医薬品4、製紙・紙器・包材6、食品・飲料7)で、床面に粘着シート式トラップ(計2387枚)、吊り下げ式リボントラップ(計1015本)、ライトトラップ(計100台)を7日間、設置・回収し、捕獲された昆虫類を調べた。

捕獲されたものを科レベル(一部、目レベル)で分類し、各トラップごとに捕獲が多い順に1~10位まで並べ、表1に示した。1~10位まで粘着

解説

トラップでは総捕獲数の87.0%、リボントラップでは91.9%、ライトトラップでは94.6%と約9割までを占めた。3種のトラップの1~10位までの科のうち、6科までが共通した科であった。上位3位まで、全体の60~80%を占めるが、粘着トラップ、リボントラップはともに同じ科で同じ順位であった。飛翔性昆虫については粘着トラップ、リボントラップ共に同じ傾向の捕獲種がみられるが、歩行性昆虫は粘着トラップにのみ捕獲された。ライトトラップとリボントラップは8科までが両トラップに共通して捕獲される科であった。建物内部で捕獲された昆虫類のうちユスリカ科は水域から発生し、クロバエキノコバエ科、ノミバエ科、ハネカクシ科、ウンカ科、タマバエ科、ヤガ科、ヒメバチ科、アリ科は主として屋外の緑地に発生するもので、ともに走光性のため夜間侵入したものと思われる。チョウバエ科は内・外の排水系から発生し、ゴキブリ目、シバンムシ科などは内部での発生種である。この様にトラップに捕獲される昆虫類を、侵入ルート、内部生息により分類することにより対策を立案する方法を筆者は1980年に提案し(平尾, 1980), 実際に多くの工場で実施してきた。その方法は図3のように、捕獲された昆虫類を侵入ルート・生息場所で分類し、各々のルートは遮断し、生息しているものは除去すると

表1 各トラップへの捕獲順位(20工場の総捕虫数の合計)

粘着トラップ			リボントラップ			ライトトラップ		
科(目)	捕獲数(匹)	%	科(目)	捕獲数(匹)	%	科(目)	捕獲数(匹)	%
チョウバエ科	4,157	33.7	チョウバエ科	2,285	39.8	ユスリカ科	6,603	32.3
クロバエキノコバエ科	1,909	15.5	ユスリカ科	1,126	19.6	チャタテムシ目 ¹⁾	4,133	30.2
ユスリカ科	1,679	13.6	クロバエキノコバエ科	1,082	18.9	ハネカクシ科	3,731	18.2
真正クモ目	634	5.1	ニセケバエ科	188	3.3	クロバエキノコバエ科	1,257	6.1
チャタテムシ目	631	5.1	ノミバエ科	178	3.1	ノミバエ科	896	4.4
ゴキブリ目	537	4.3	チャタテムシ目	130	2.3	アリ科	825	3.1
タマバエ科	412	3.3	タマバエ科	102	1.8	ウンカ科	641	2.6
トビムシ目	301	2.2	ショウジョウバエ科	81	1.4	シバンムシ科	517	2.5
ノミバエ科	273	1.1	カ科	49	0.9	ショウジョウバエ科	399	1.9
アリ科	200	1.1	真正クモ目	47	0.8	チョウバエ科	359	1.7

1) 有翅タイプ。

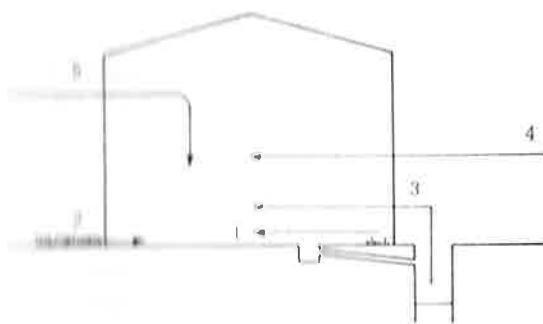


図3 工場への虫の侵入ルート。

いう方法である。

昆虫類が建物として製品に混入するのを防ぐには、いろいろなルートからくるものをすべて対象にしなくてはならないが、建物内で捕獲される虫で最も多いのは走光性の昆虫類である。筆者の調査例では内部捕獲数の60~80%は走光性が占め、結果対策上、極めて重要なものである。以下に走光性昆蟲の防止対策を示した。

走光性昆蟲の建物への侵入

建物侵入する昆蟲類には、イエバエのように昼間活動するものと、蚊のように夜間活動するものがあるが、建物へ侵入するのは圧倒的に夜間活動の走光性昆蟲が多い。対策をたてる上で、なぜ順序に、照明の何に誘引されるかを知ることは重要であるが、「なぜある種の昆蟲類は光に誘引されなのかな?」という基本的なことが十分に解明されていない。

アメリカの元USDA(農務省)のP.S. Callahan (Callahan, 1965a, 1965 b; キャラハン, 1980)博士は、昆蟲のコミュニケーションに電磁波(electromagnetic)が関与しているとし、夜行性の多くの感覚器の構造を詳細に研究し、赤外線の受信装置に相当するものをもっていると推論した。地球上には、太陽から各種の電磁波が送られてくる。夜間は可視光線や紫外線は少なくなり、赤外線が多くなる。この赤外線は大気中の H_2O と CO_2 に吸収されるため、実際に地球に届くのは $1\mu m$

の近赤外線、 $3\sim 5\mu m$ の中赤外線、 $7\sim 14\mu m$ の遠赤外線であるがCallahanはこの3種の赤外線を探知できる構造をもった器官がヤガの触角・複眼の中に存在するとした。Callahanは昆虫学者であり、同時にエレクトロニクスにも詳しい研究者で「昆虫分子生物電子工学」と名付けた分野を開発した。彼自身が仮説であるとはしているが、これを建物に飛来する昆虫にあてはめると以下の様に推定される(平尾, 2000)。

昼間太陽光線を受けて暖まったコンクリートの建物やパーキングエリアは、夕方太陽が沈み、徐々に気温が下がるに従って、熱すなわち遠赤外線を放射する。昆虫は変温動物で、外気温が下がると体温も下がるので、暖を求め、建物から放射されている遠赤外線を逆探知して接近する。建物から数十mまで来た虫は、屋外の照明や工場から出る照明光を見つけ、進行方向を定位して照明にやってくる。その際は複眼を利用するが、明るい所にくると複眼の網膜色素は明順応をおこし活動を停止する。しかし一部のものは窓、ドア、割れ目から光や熱が漏れていると、わずかな隙間でも逆探知して侵入する。以上の様に考えられるが、アメリカでもこの様な考え方に基づき対策が講じられている。

走光性昆蟲の侵入防止

建物内の走光性昆蟲の絶対数を減少させる対策として、(1)近づけない—接近抑制、(2)入れない—侵入防止策、(3)入ったら早く殺す—早期駆除、この三段構えで対策を考えることを、筆者は1980年に提案した。実際に多くの工場で採用され、成功をおさめてきた。

1. 接近抑制

夜間建物から放射される遠赤外線に昆蟲類が誘引されることは上で述べた。建物は昼間吸収した太陽熱や生産に伴って発生した蓄熱を夜間放散するが、これを探知して走光性昆蟲が接近する。この放熱を抑え、昆蟲の飛来を防ぐことは実際上是不可能に近い。しかし、虫の反応性の低い光源を

使うことにより、建物への最接近を抑えることは可能である。その手段には、

- ・照明は極力少なくする (The more light, more bugs)
- ・内部照明を遮断し、外から見えないようにする
- ・誘引性の少ない黄色系照明を外周、出入口に使用する

などである。図4に昆虫の光に対する反応曲線を

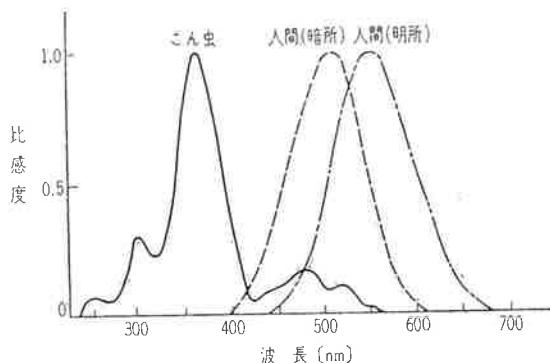


図4 波長と昆虫の感応度 (Bickford, 1964による)。

示した。夜行性昆虫が最もよく反応する（よく見える）のは365nm (3650Å) をピークとする曲線であるが、この曲線が最も下がる（反応しない）のは560nm以下である。逆にこの辺りは人間に最もよく見える光である。これは黄色系の光源に相当するが、560nmにピークのあるなるべく幅の狭い波形の光源を使えば最も昆虫類の反応性の低い照明になる。図5は各種光源の分光分布の図である (Mathius et al., 1970)。これによると純黄色蛍光灯、スーパーナトリウム灯、高圧ナトリウム灯がこれに相当するといえそうである。

表2は、白熱電球に集まる虫の数を100とした時の各種ランプに集まる虫の相対的な比較をしたものであるが、黄色系光源への飛来が少ないとことがわかる (飯塚, 1976)。但し室内照明にこの純黄色系の照明を使用すると色差判別できなくなるため好ましくないが、外周の水銀灯をナトリウム灯に交換えるとか、出荷場の光源をナトリウム灯に交

表2 各種光源の誘虫性 (飯塚, 1976)

光 源	電球を100とした時の誘虫性 (%)
低圧ナトリウム灯	4
純黄色蛍光灯	8
高圧ナトリウム灯	35
虫よけ蛍光灯	49
白熱電球	100
白色蛍光灯	113
メタルハライドランプ	135
白色自然蛍光灯	158
高圧水銀灯	260
捕虫用蛍光灯	13000

替することにより、走光性昆虫の誘引を抑えることができる。

黄色系の照明は走光性の昆虫の飛来を1/4～1/2に抑えるが、必ずしも100%抑えるわけではない。特にアリの有翅虫には抑制効果はないようである。黄色系照明を忌避光の様に理解する人もいるが、照明が必要な所を黄色系に切り換えて飛来を抑制するという利用をすべきであろう。

2. 侵入防止

虫の侵入量は建物の立地条件、開口度合、構造、人の出入り、レイアウトなどによって左右される。侵入個所として以下の様な所があげられる。

出入口ドア、ドア周り、シャッター、鉄扉周り、ドアのガラリ、窓サッシの隙間、窓枠と壁の隙間、開けた窓やドア、停止時の換気扇、屋根の換気扇、壁の下を走る排水溝、配管パイプと壁、壁と天井の接合部、外装の隙間、ルーフファンモニター、排気口、給気口などがあげられる。

一見した所、隙間がないようでも、1mmの隙間があれば侵入する虫類がいる。

市販の防虫網戸は16～20メッシュである。これはハエとカの侵入を防ぐ上では効果的であるが、工場で問題となる微小昆虫では、侵入する種もある。ショウジョウバエ科、キノコバエ科、クロバネキノコバエ科、ユスリカ科の一部、ノミバエ科、アブラムシ科、アリの有翅虫の一部などはくぐり

解説

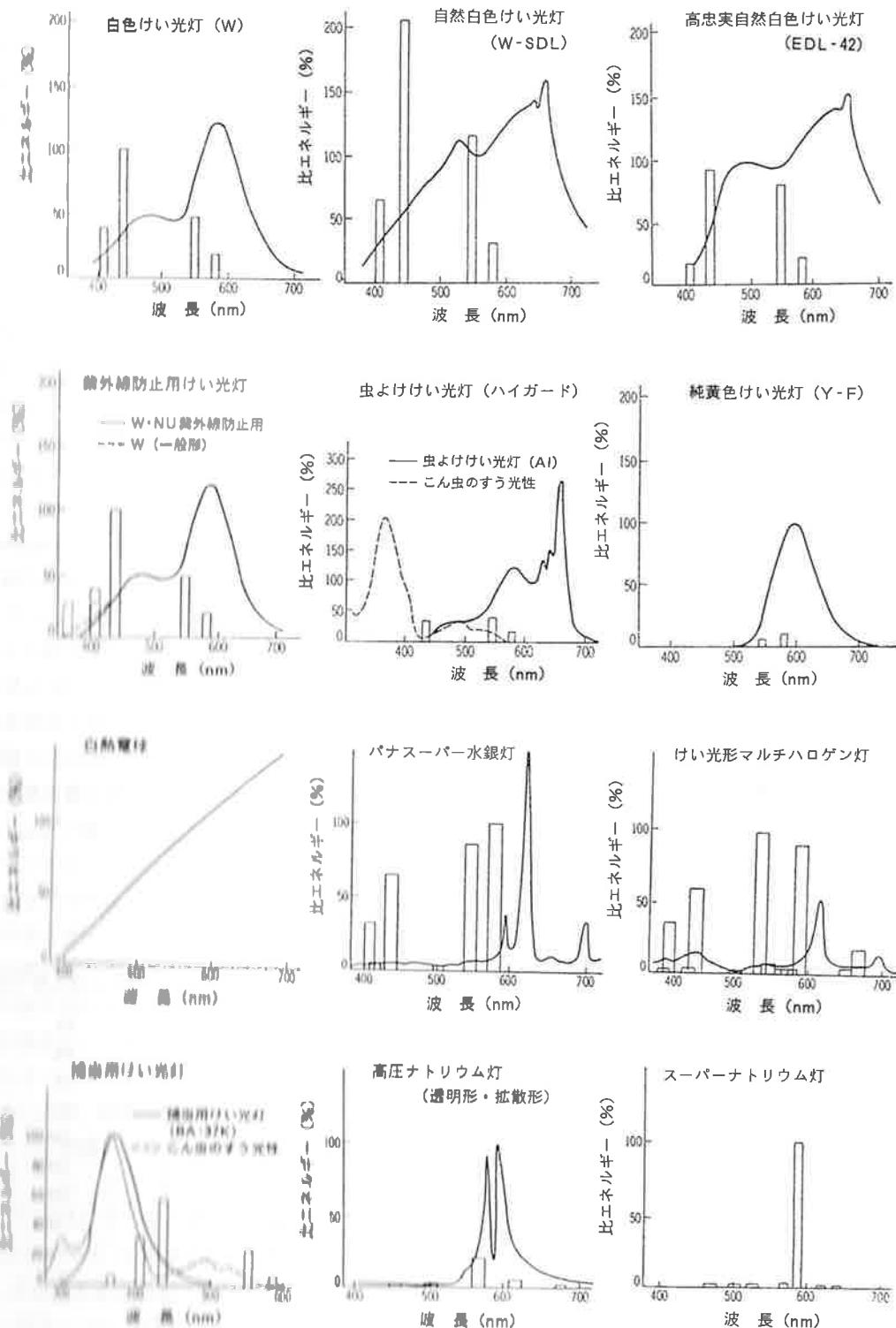


図5 光源の分光分布の例

抜けることがある。

網で完全に侵入を防止するなら、目開き0.3mmの40~60メッシュのものが必要となる。網戸本来の目的である冷気取り入れという意味では目的は果たせなくなるであろう。基本的には窓の「はめ殺し」、スポット冷房、空調システムの建物にすることが必要となる。

建物への侵入を防止するためには

1. 外壁隙間の封鎖

外壁の穴・隙間、屋根と壁の接合部、窓枠と壁などの隙間をなくす。一般にはコーキング、シーラントの充填、発泡ウレタンの吹き付け、ゴムパッキンの充填などの工事が行われる。

2. 出入口の改良

人、資材、製品の出入口が最も虫が入りやすい。最も手軽な方法は、人の出入口を限定し、使用頻度の少ないドアはできるだけ非常口とすることである。当然ドアの開閉は少なくなり、虫の侵入率は減少する。出入口は人用と資材用に分けることができるが、人用は二重ドアか前室が望ましい。緑地に面したドアでは、いかに隙間がなくても、1枚のドアで侵入を完全に防ぐことは難しい。前室が必要である。一般に3回ドアを通過すれば虫の侵入は極端に少なくなる。エアシャワーなどはこの3

回に相当する。

資材、製品の搬入・搬出口には自動扉、ビニールシャッターが取り付けられるが、二重構造が望ましい。倉庫入口にはビニールカーテンがよく取り付けられている。完全な防虫設備とはいえないが、侵入をできるだけ抑えるという意味では十分効果がある。

倉庫には製造場につながるドアがあるが、ここは重点的な対策が必要である。

エアーカーテンを設置する場合は、風力が少ないと各種昆虫類の侵入が見られる。実際に作動しているエアーカーテンの内側に粘着トラップを設置すると、明らかに外周発生のハエ目の昆虫類がよく捕まる。十分な機能を果たしていないことが多い。アメリカCDCによるエアーカーテンのハエ侵入防止テストを表3に示した (Mathis *et al.*, 1970)。このデータによると吹き出し口のスリット2.5cmで外へ向かって15°の角度でエアーを吹き出し、地上90cmのところで風力を測定し、秒速8~9mの風力を送るとイエバエの侵入を80~90%防いだとしている。かなりの風力となる。多くのエアーカーテンでは、この風速に達していない。

出入口の照明はナトリウム灯や黄色カラードランプを使用する。

表3 エアーカーテンの風速とイエバエの侵入率

吹出口の隙間	平均風速(フィート/分)	風速のバラツキ(フィート/分)	ハエの侵入率(%)
7.5(インチ)	289	150~550	91
7.5	302	150~525	94
7.5	657	250~1550	95
1	536	450~600	63
1	893	775~950	34
1	1514	1300~1700	28
1(15°) ²⁾	1536	1100~1750	20
1(15°)	1793	1400~2050	8
3(15°)	2243	1800~2500	16
5(15°)	1750	1550~2350	20

1) 風速は床上90cmの所で測定。

2) 外に向って15°で吹出し (Mathis, 1970)。

① 傷虫の早期駆除

建物へ侵入した虫は、混入の可能性があるだけではなく、早く除去しなくてはならない。侵入した虫でも、コロナバエやショウジョウバエのように2ヶ月以上生きられないものから、ウンカ、ヨコハタのようなくらい生きるもの、甲虫類やチャリモシ類のように数ヶ月生きるものまでいろいろある。中にはそのまま定着し、生息を繰り返す種類もある。いずれにしろできるだけ早く駆除するための手立ては必要となる。

走光性昆虫の駆除対策としてライトトラップ（電撃式、吸引式、粘着捕虫式）が広く使用されている。灯火に誘引される走光性昆虫を連続して捕獲・殺虫するため、早期駆除という意味が最も大変有効である。

電撃式は生産され、使用されていると思われるが、その生物学的評価はあまり研究されていない。粘着式はアメリカでは多く研究がされているが、走光性昆虫についてはその取り付け方法などは研究されていない。明らかなことは、取り付け位置を誤ると、

- ① 灯前が古誘引し、逆に虫が増加する
- ② 捕虫物に混入する。生産ラインから少なくとも10倍以上離すこと。

①について、廊間の多い窓、ドアの内側など換気扇や換気扇に取り付けると、外の走光性昆虫類を内側に誘引することになる。出入口ではドアの上部に取り付けることが望ましい。出入口の灯前を取り付けることについては、誘引するのを優先が誘引する考え方と絶対数が増えて逆に増加する考え方がある。筆者は前者の考え方をしているが、実際に試験を行い、リスクとペナルティを考慮して取り付けを決定すべきである。

②について、多くの研究発表がある。USD AのPatterson (1999) は電撃式殺虫器の電撃格子の直下、壁面の大まき距離、飛び散るイエバエの破片の面積について調査している。微風 (1.8m/s) 下で約15バースの破片の飛散は、管球が水

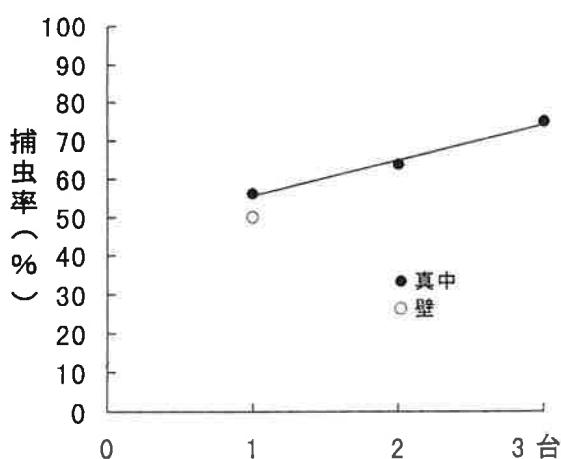
平タイプでは1.8mの高さに吊ってその直下より0.9m飛散。管球が垂直では1.8mに吊って、直下より1.5mまで飛散した。高くするとさらに飛散するとした。

篠田 (1992) は室内に電撃式殺虫器を吊り走光性昆虫を誘引し、その虫体の飛散度合を調査し、誘引された小型昆虫の多くが周辺に落下したこと、その範囲は半径1m以内であったと報じている。以上は目に見える虫体破片であるが、目に見えない程度の微小破片についてはAnanth *et al.* (1992) が調べている。2m立方の箱にHEPAフィルターを通して空気を送り、浮遊粒子を一定以下にコントロールした。この中にパーティクルカウンターをセットし、4種の電撃殺虫器と1種の粘着式殺虫器を取り付けイエバエ200頭を放した。5分後、15分後の浮遊粒子の増加をパーティクルカウンターで測定したところ電撃式は10~50倍に増加したが、粘着式は増加しなかったと報じている。ハエの微小細片が飛び散ったのである。ハエには病原微生物が付着していることもあり、食品工場では有害微生物による汚染の可能性もあるため、電撃式よりも粘着板による捕獲が望まれる。又、電撃式の場合、生産ラインから最低3m以上離すことをアメリカでは指導している。

ライトトラップについてもう1つの疑問は侵入した走光性昆虫を何%くらい捕獲できるかという問題がある。

平尾 (1999) は53m²の空室に照明を点灯し、走光性昆虫を多数誘引し、20W 1灯の粘着テープ式捕虫器で捕獲し、その捕虫率を調べている。平均捕獲率は真中へ1台吊った場合55.1%，2台で63.3%，3台で74.2%，壁に1台設置した場合は50.6%であった(図6)。

捕獲されなかった昆虫の96.1~98%は床に落下して死亡した。床を1m×1mごとに区画し、各区画ごとの死亡数を数え、その分布を調べた。捕虫器の真下の区画から、1m離れるごとの平均落下虫数を図7に示した。捕虫器の直下に多く落下し、離れるに従い減少した。

図6 ライトトラップの台数と捕虫率（室内 53m^2 ）。

すべて粘着テープによる捕獲であったが、ライトトラップの付近には有意に多くの虫体が落下した。このことより類推すると、建物内へ侵入した走光性昆虫はすべてがライトトラップに捕獲されるのではなく、落下死亡する虫体も多く、製品に偶発的に混入する可能性はある。ライトトラップ付近には多いことより、生産ラインから離して設置する必要があるといえよう。

大量に飛来虫の侵入があった場合、ピレスロイ

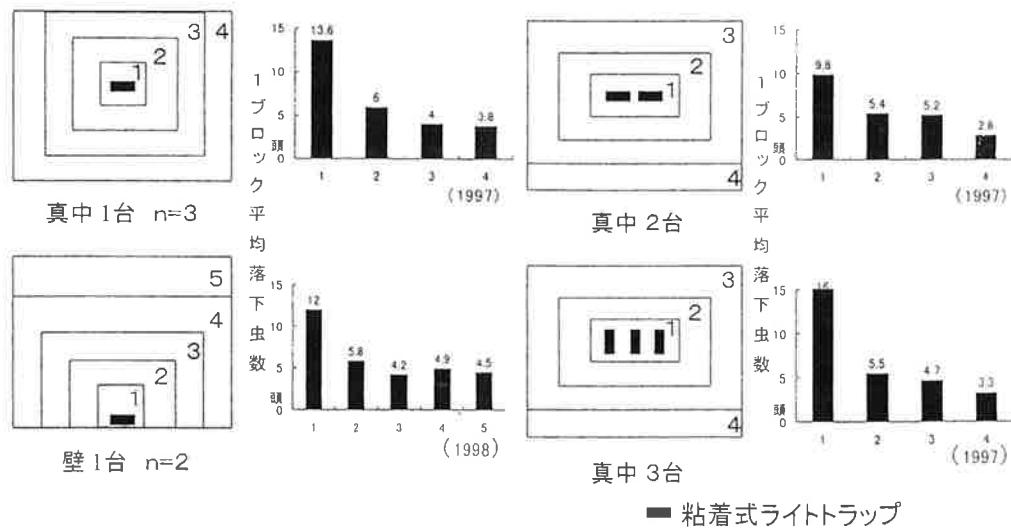
ドの空間処理が速効的に効果がある。但し、遮断がよくないと繰り返して侵入がみられる。

おわりに

産業界の各種工場における害虫対策は技術的に新たな局面を求められている。殺虫剤を使った防除技術はゴキブリをはじめいくつかの害虫について確立されてはいる。貯蔵食品害虫では農業分野の穀物保護研究の一環として行われた頃の生態・生活史が防除の基礎として応用されている。走光性昆虫についてはその理論体系はまだ十分確立されているとはい難いが、現場で試行錯誤を繰り返しながら実施されている。食の安全が強く求められる今日、薬剤を減らした新たな防除法の研究開発は強く要望されている。筆者は1980年代より、この分野を「産業害虫」と称し、いろいろな機会にこの表現を使ってきた。多くの研究者の方との分野への参入が望まれる。

引用文献

Ananth, G. P., D. C. Bronson and J. K. Brown (1992) Generation of airborne fly body particles by four electrocution fly traps and

図7 粘着式ライトトラップの位置と落下死虫体数の分布 ($53\text{m}^2 \times h = 3\text{m}$)。

- electronic fly trap. *Int. J. Environ. Health Research* 2 : 106-113.
- Nichford, H. D. (1964) I. B. S. Nat-conf. Paper.
- Callahan, P. M. (1965a) A photoelectric-photographic analysis of flight behavior in the corn earworm, *Heliothis zea*, and other moth. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 58 (5) : 159-169.
- Callahan, P. M. (1965b) Intermediate and far infrared scanning of nocturnal insects Part I and Part II. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 58 : 717-726.
- キヤウハレ P. M. (1980) 自然界の調律. 海鳴社, 東京.
- 平尾素一 (1980) 食品工場における防虫対策の実験. 第3回食品の製造と品質管理シンポジウム抄録. 日本科学技術連盟, pp. 27-32.
- 平尾素一 (1993) 食品製造環境における害虫発生及び防除状況の調査法に関する研究. 京都大学農学博士論文, pp. 9-14.
- 平尾素一 (1999) 室内照明に誘引された昆虫のライトトラップによる捕獲率と落下虫体の分布. ペストロジー学会誌 14 (2) : 9-12.
- 平尾素一 (2000) 工場・事業所における異物混入防止対策. 「最新の異物混入防止技術」, pp. 282-284, フジテクノシステム, 東京.
- 飯塚哲英 (1976) 照明による害虫防除を考える. 電気と工事 7 : 54-60.
- Mathis, W. E., A. Smith, and H. F. Schoof. (1970) Use of air barriers to prevent entrance of house flies. *J. Econ. Entomol.* 63 (1) 29-31.
- Pickens, L. G. (1989) Factors affecting the distance of scatter of house flies from electro cutting traps. *J. Econ. Entomol.* 82 (1) : 149-151.
- 篠田一孝 (1992) 電撃式殺虫機の功罪とその有効利用. 第4回日本環境動物昆虫学会大会要旨集, 48.