

環動昆

報 文

- 森本正則・糸田澄子・井上恵祐・駒井功一郎：タネツケバナ
に含まれる植食性昆虫・室内塵性ダニ類に対する
揮発性殺虫成分（英文）…………… 157
- 富田真平・本山修一郎・杉本 毅：トビムシ類の侵入・定着
における土壌有機物の影響 …………… 163
- 吉岡由明・武衛和雄：ネコノミ幼虫の殺虫剤感受性 …………… 175

解 説

- 今井長兵衛：衛生害虫分野における IPM …………… 183

- 印象記 …………… 199

- 会 報 …………… 201

- 投稿規定 …………… 204

総目次

Vol. 11

4

日本環境動物昆虫学会

2000

Volatile Insecticidal Constituents of *Cardamine flexuosa* With. against Phytophagous Insects and House Dust Mites

Masanori Morimoto, Sumiko Kumeda, Keisuke Inoue and Koichiro Komai

Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Kinki University, Nakamachi, Nara, 631-8505, Japan

(Received : January 11, 2000 ; Accepted : June 1, 2000)

タネツケバナに含まれる植食性昆虫・室内塵性ダニ類に対する揮発性殺虫成分
森本正則・桑田澄子・井上恵祐・駒井功一郎（近畿大学農学部農芸化学科）

タネツケバナ, *Cardamine flexuosa* With., に含まれる揮発性殺虫成分の植食性昆虫, チリダニ類に対する殺虫活性を接触法によって評価した。アブラナ科作物を食草として含む雑食性のハスモンヨトウ, アブラナ科作物を食害するコナガ, および単子葉作物を食害するコブノメイガを供試した結果, コナガ, ハスモンヨトウは殺虫成分に対して感受性が低かったが, コブノメイガでは感受性の高い傾向がみられ, 室内塵性ダニ類でも種による生物活性の違いが認められた。これらの植物成分は, GC分析によりアブラナ科植物に広く存在しているイソチオシアネート類縁体であることが明らかとなり, 自然界において一つの防御物質として作用することが示唆された。

We evaluated the insecticidal activity of the isothiocyanates from wavy bittercress, *Cardamine flexuosa* With. based on the contact toxicity against moth larvae and house dust mites. The three selected species of moth larvae were the common cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius), a polyphagous pest for potato and greens, the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus), an oligophagous pest for Brassicaceae crops, and the rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée), an oligophagous pest for monocotyledon crops. The diamondback moth larvae (the Brassicaceae specialist) and the common cutworm (the generalist) was the most tolerant. On the other hand, the rice leafroller (the monocotyledon specialist) was sensitive to the volatiles from the plant. There were different tolerances demonstrated between two species of house dust mites. Based on the GC analysis, these chemicals were isothiocyanates, which are widely spread in Brassicaceae. These facts suggested that these isothiocyanates in *C. flexuosa* acted as a plant defense system.

Key words : *Cardamine flexuosa*, Insecticidal constituent, Isothiocyanate, Phytophagous insect, House dust mite.

Introduction

Many plants have some type of defense system against damage from phytophagous insects. One such defense system is the secondary metabolites produced by the plant. In the field, wavy bittercress, *Cardamine flexuosa* With., a common weed in Japan, is not subject to damage from phytophagous insects including the diamondback moth, except for one species of butterfly larvae, *Pieris melete* (Ménétrières), and a kind of root fly larvae. This fact suggests that this Brassicaceae has a defense system against phytophagous insects. Based on this observation, we have investigated the constituents of *C. flexuosa* as a defense factor and evaluated the effects of these chemicals on the various insect species.

Over time, plants have developed defenses against phytophagous insects. Many plants produce secondary metabolites, which are major determinants of plant-insect interactions and host plant selection (Bordner *et al.*, 1983). These metabolites act in both positive and negative ways. If a plant produces insect hormone-like or insecticidal constituents, then insects are unable to feed on the plant or if they do, their growth pattern will be affected (Toong *et al.*, 1989). There is now increased awareness of the potential danger of synthetic pesticides, as well as of permanent increased resistance in pests. Plant metabolites as agrochemicals offer an alternative approach to the protection of crops. This paper deals with the identification of insect bioactive constituents as a defensive factor in plants.

Materials and Methods

Instruments

Mass spectra were obtained on a Shimadzu GC-MS 9100MK spectrometer at 70 eV. ^1H and ^{13}C NMR spectra were obtained with a Jeol model JNM-EX270 apparatus. Shimadzu GC-14B gas

chromatography (column: Ulbon HR-20M, 0.25 mm i.d. x 30 m) was done and analyzed with a Shimadzu Chromatopac CR-6A analyzer.

Extraction and identification

Plant material of *C. flexuosa* was collected in April, 1997. Immediately after harvest, the fresh material (5.5 kg) was extracted with hexane (9 L x 3) in darkness at 4 °C for 3 days. The hexane extract (16.88 g, 0.3%) concentrated under reduced pressure at a temperature below 40°C, was dissolved in ethanol and the solids, mainly consisting of paraffins, were removed by filtration. The filtrate was concentrated under reduced pressure at a temperature below 45 °C, and subsequently steam distilled in a conventional manner to give an essential oil (1.02 g, 0.02%). The essential oil gave two major peaks by GLC and GC-MS analysis. The ^1H -NMR experiment on the essential oil was done any without purification. Though, we did not detect any other peaks excluding two compounds detected with GLC and GC-MS, we regard the essential oil as consisting of only two compounds. We identified these compounds as benzyl isothiocyanate (major constituents) and 2-phenylethyl isothiocyanate (minor constituents) base on NMR and EIMS fragmentation of the essential oil.

Benzyl isothiocyanate. EIMS: m/z (relative intensity %): 149 (M^+ , 32), 91 (100), 65 (38), 63 (12), 52 (12); ^1H NMR (CDCl_3): δ 4.6 (2H, s Ar- CH_2 -NCS), 7.2-7.4 (5H, m Ar-H), ^{13}C NMR (CDCl_3) 134.1 (x2), 129.1, 128.9 (x2), 48.6; **2-Phenylethyl isothiocyanate.** EIMS: m/z (relative intensity %): 163 (M^+ , 28), 91 (100), 65 (13), 52 (9.1); ^1H NMR (CDCl_3): δ 2.83 (2H, t $J = 7.0$ Hz Ar- CH_2CH_2 -NCS), 3.62 (2H, t $J = 7.0$ Hz Ar- CH_2CH_2 -NCS), 7.2-7.4 (5H, m Ar-H).

Bioassay

Phytophagous insect larvae were obtained from a laboratory colony reared on artificial diet purchased

from Sumika Technous (Takarazuka, Hyogo). The phytophagous insects used for the contact toxicity test were the common cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius), the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus), and the rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). The house dust mites used for acaricidal activity were *Dermatophagoides farinae* (Hughes) and *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank).

Contact toxicity of the test compound was assessed by the dry film method as follows: certain amounts of test sample dissolved in acetone as carrier solvent were poured into a glass test tube (ϕ 15 mm, 10.5 cm long). Each tube was rotated by hand until the test solution was distributed on the inner wall and bottom between 1 cm area and the carrier solvent evaporated. Then the treated tube was placed in an open space for a few minutes to ensure complete removal of the carrier solvent. Next five young larvae of moths or approximately 50 mites with mixed stages were placed in the test tube and were kept at 25°C for 12 h. Control test tubes treated with acetone (Isman *et al.*, 1987). Minimum lethal dose value (MLD) was shown as the average of 5 test results.

The toxicity of isothiocyanate against the water flea, *Daphnia magna* (Straus), was assessed by 20 young *D. magna* that survived for 48 h without food

in 100 ml of each test solution. The test solution contained $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 91.5 mmol, NaHCO_3 30.9 mmol, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 19.9 mmol, potassium chloride 5.3 mmol, and test chemical with a final DMSO concentration of 1% at 25°C. Mortality was observed 3 h after treatment. TLM values were calculated by probit analysis with a computer.

Results and Discussion

The bioactivity of isothiocyanates from *C. flexuosa* varies among species (Table 1). The toxicity of isothiocyanates against *D. magna* was 0.29 ppm (TLM value). This is almost the same as that of BPMC (2-*s*-butylphenyl-*N*-methylcarbamate) (0.32 ppm), (Shirasu, 1991). In house dust mites, *D. farinae* was more susceptible to isothiocyanates than *T. putrescentiae*. In the case of moth larvae, the rice leafroller, *C. medinalis*, which is oligophagous and a monocotyledon plant feeder, was more sensitive to isothiocyanates than the diamondback moth, *P. xylostella*, which is oligophagous and a generalist in Brassicaceae, and the common cutworm, *S. litura*, which is polyphagous. This result seems to be consistent with host plant selection in nature.

The essential oil from the hexane extract of *C. flexuosa* had very high toxicity against test insects and mites. This bioactivity is due to volatile con-

Table 1 Toxicity of essential oil against phytophagous moth larvae, house dust mites and water flea

Species	Stage	Toxicity
<i>Spodoptera litura</i>	young larvae	50 ¹⁾
<i>Plutella xylostella</i>	young larvae	50 ¹⁾
<i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	young larvae	30 ¹⁾
<i>Dermatophagoides farinae</i>	adults and nymphs	25 ¹⁾
<i>Tyrophagus putrescentiae</i>	adults and nymphs	6 ¹⁾
<i>Daphnia magna</i>	nymphs	0.29 ²⁾

1) Minimum lethal dose (MLD) (mg/tube).

2) TLM (ppm) at 3 h after treatment.

stituents, because some larvae located far from the treated oil as well as those in contact with it died in the bioassay. By GLC analysis, this essential oil was demonstrated to have a major and a few minor constituents (Fig. 1). These constituents were identified as isothiocyanate derivatives: benzyl isothiocyanate and 2-phenylethyl isothiocyanate by GC-MS (Slater and Manville, 1993) (Fig. 2). Isothiocyanates are widely distributed in Brassicaceae and well known to be bioactive. For instance, 2-phenylethyl isothiocyanate in the turnip, *Brassica campestris* (Linne) subsp. *Rapa* (Hook) has strong insecticidal activity against house flies and aphids (Lichtenstein *et al.*, 1962), and repellent activity of isothiocyanates in Wasabi, *Wasabia japonica* (Matsum) and horse radish, *Cochlelia armoracia* (Linne) against blue mussel, *Mytilus edulis* (Linne) has been

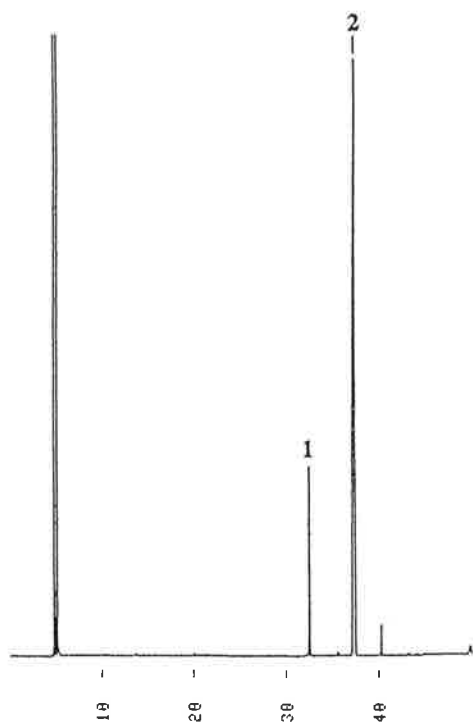


Fig. 1 GLC chart of essential oil from *Cardamine flexuosa*. 1: 2-Phenylethyl isothiocyanate, 2: Benzyl isothiocyanate.

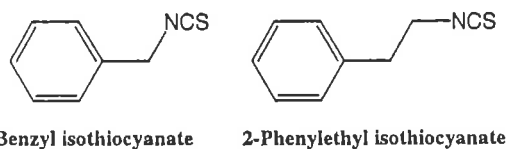


Fig. 2 Isothiocyanates in *Cardamine flexuosa*.

reported (Takasawa *et al.*, 1992). On the other hand, these derivatives are a primary cue for insects to find the host plant for the cabbage seed weevil, *Ceutorhynchus assimilis* (Payk) (Bartlett *et al.*, 1993). In spite of being a specialist of Brassicaceae, *Pieris* species were not affected by isothiocyanates, but a small amount of it was important to recognize the host plants (van Loon *et al.*, 1992). And 2-(2-butoxyethoxy) ethyl thiocyanate has already been placed on the market as Lathane 384. Similarly, we found insecticidal constituents in *C. flexuosa*, in which benzyl isothiocyanate and 2-phenylethyl isothiocyanate are insecticidal compounds. Moreover, isothiocyanates content of *C. flexuosa* (200 ppm/fresh weight) we found, is about 8 times that of the isothiocyanate content in turnips.

Still, *P. xylostella* and *S. litura* cannot feed on the plant, as we observed in the field and farm ground. This fact was found using isothiocyanates as a plant defense system against phytophagous insects including species that overcome other Brassicaceae defense systems using isothiocyanates. As a result, the reason why *C. flexuosa* was little damaged by phytophagous insects seemed to be related not only to a chemical defense system as isothiocyanate but also seasonal escape from phytophagous insects as a winter annual weed, in which the seed production was finished by the generation period of the phytophagous insects. Recently, it was found that overcoming the Brassicaceae defense system involved the sensitivity of isothiocyanate related to potential glutathione S-transferase activity

(Wadleigh and Yu, 1988) and rhodanese (Long and Brattsten, 1982) from the point of view of phytophagous insects.

Acknowledgments

We thank Takashi Kaneko and Yuki Uchida of Yuko Chemical Ind. Co., Ltd. for provision of the two mite species, *D. farinae* and *T. putrescentiae*.

References

- Bartlet, E., M. M. Blight, A. J. Hick and I. H. Williams (1993) The responses of the cabbage seed weevil (*Ceutorhynchus assimilis*) to the odour of oilseed rape (*Brassica napus*) and to some volatile isothiocyanates. *Entomol. exp. appl.* **68** : 295-302.
- Bordner, J., D. A. Danehower, J. D. Thacker, G. G. Kennedy, R. E. Stinner and K. G. Wilson (1983) Chemical basis for host plant selection. In "*Plant Resistance to Insect*", (Hedin, Paul A.) pp. 245-264, American Chemical Society, Washington, DC.
- Isman, M. B., P. Proksch and J.-Y. Yan (1987) Insecticidal chromenes from the Asteraceae: structure-activity relations. *Entomol. Exp. Appl.* **43** : 87-93.
- Lichtenstein, E. P., F. M. Strong and D. G. Morgan (1962) Naturally occurring insecticides: Identification of 2-phenylethylisothiocyanate as an insecticide occurring naturally in the edible part of turnip. *J. Agric. Food Chem.* **10** : 30-33.
- Long, K. Y. and L. B. Brattsten (1982) Is rhodanese important in the detoxification of dietary cyanide in southern armyworm (*Spodoptera eridania* Cramer) larvae? *Insect Biochem.* **12** : 367-375.
- Shirasu, Y. (1991) Principles for safety evaluation of agrochemical and veterinary drugs. **17** : pp. 104-105, Chijin-shokan, Tokyo.
- Slater, G. P. and J. F. Manville (1993) Analysis of thiocyanates and isothiocyanates by ammonia chemical ionization gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-fourier transform infrared spectroscopy. *J. Chromatogr.* **648** : 433-443.
- Takasawa, R., C. Ogura, N. Watanabe, H. Etho, K. Sakata and K. Ina (1992) An efficient laboratory matching and screening method for antifouling substances using the blue mussel, *Mytilus edulis*, and an antimicrobial assay. *Biosci. Biotech. Biochem.* **56** : 1208-1211.
- Toong, Y. C., D. A. Schooley and F. C. Baker (1989) Isolation of insect juvenile hormone III from a plant. *Nature* **333** : 170-171.
- van Loon, J. J. A., W. H. Frenz and F. A. van Eeuwijk (1992) Electroantennogram responses to plant volatiles in two species of *Pieris* butterflies. *Entomol. Exp. Appl.* **62** : 253-260.
- Wadleigh, R. W. and S. J. Yu (1988) Detoxification of isothiocyanate allelochemicals by glutathione transferase in three Lepidopterous species. *J. Chem. Ecol.* **14** : 1279-1288.

トビムシ類の侵入・定着における土壌有機物の影響

富田 真平・本山修一郎・杉本 毅

近畿大学農学部昆虫学研究室

(受領：2000年2月25日；受理：2000年8月3日)

Effects of Soil Organic Matter on Invasion and Establishment of Collembola. Shinpei Tomita, Syuuitirou Motoyama and Tuyosi Sugimoto (Entomological Laboratory, Faculty of Agriculture, Kinki University, Nara 631-8505, Japan) *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **11** : 163-174 (2000)

A Collembola community was studied in four experimental plots with different organic matter contents (0%, 3%, 5% and 100%). Most collembolan species were common among four different organic matter contents. In the treatment with richer soil organic matter, the numbers of collembolan species and individuals increased rapidly, but their community diversities were stable and low. The reason for this is that two pioneer species, *Proisotoma subminuta* (Denis) and *Isotoma viridis* Bourlet, were abundant in these communities. The dependency on the soil organic matter richness in the habitat was high in order of *P. subminuta* < *Homidia sauteri* (Börner) < *Lepidosira* sp. 1 < *Isotoma viridis* Bourlet < *Tullbergia (Mesaphorura) yosii* Rusek < *Onychiurus* sp. 1.

Key words : Establishment, Field experiment, Invasion, Pioneer species of Collembola, Organic matter contents.

人工的に同じ構成物で土壌有機物含有量(容量%)だけが異なる土壌を4処理区(0%区, 3%区, 5%区, 100%区)野外に設け, その差異が侵入したトビムシ類の定着の可否と定着後の群集形成にどのように影響するのかを調査した. 各処理区で採取された種類はほぼ共通していた. そして, 有機物含有量が多い処理区ほど, 種数および個体数は急速に増加したが, この群集での種多様性は安定して低かった. これは, 有機物含有量が多い処理区ほど *Proisotoma subminuta* (Denis) と *Isotoma viridis* Bourlet の優占率が高かったためであり, この2種は調査開始直後の全処理区で最優占種であった. 各処理区での侵入定着の挙動からトビムシ6種の生息場所の土壌有機物への依存性を検討すると, *P. subminuta* < *Homidia sauteri* (Börner) < *Lepidosira* sp. 1 < *Isotoma viridis* Bourlet < *Tullbergia (Mesaphorura) yosii* Rusek < *Onychiurus* sp. 1 の順で依存性が高かったと考えられた.

はじめに

一般に、動植物の侵入で始まる自然遷移は、侵入生物のニッチをめぐる生存競争と捕食被食関係を通して進む。そして、時間の推移とともに生物相は移り変わり、植物では極相の群集構造は気候によって決定され (Odum, 1971)、この植物相の遷移過程が作り出す環境を生息場所とする動物相は、植物相の遷移とともに変化すると考えられる (Whittaker, 1965, 1975)。

しかし、土壤中を生息域とするダニ類やトビムシ類などの土壤棲小型節足動物は、自然遷移過程の最も初期段階、すなわち植物が侵入していない裸地に侵入し (Tamm, 1986)、非常に短期間のうちに群集構造を変化させていくことが知られている (Hutson, 1980 a, b; Palacios-varas and Casitillo, 1992)。特に、本研究で対象としたトビムシ類は、ダニ類よりも早く侵入・定着し、バイオマス量の増加も著しい (Hutson, 1980 a, b)。富田ら (1998) は、地上植生の侵入が認められない海浜埋立地 (裸地) では、埋め立て 3 ヶ月後には *Proisotoma subminuta* (Denis) の定着が認められ、以後、数種のトビムシ類が侵入・定着して、短期間に大きなバイオマスの群集を形成したと報告している。このように、トビムシ類は裸地という動物相の空白へ容易に侵入・定着できるが、トビムシ群集の遷移過程をみた場合、生息場所の植物相の生育状態と遷移段階は重要な要素と考えられる。落葉落枝などの植物遺体は、生息場所である土壤有機物層を形成するだけでなく、直接的あるいは間接的な餌 (資源) としても重要であるため、地上植生群落の遷移はトビムシ群集に大きく影響するという (Hopkin, 1997)。富田ら (1998) も遷移が進み植生がよく繁茂して土壤有機物層が発達した場所ほど多様なトビムシ群集がみられたと報告している。また、近年の研究 (Ponge, 1983, 1993; Hasimoto and Tamura, 1994) では、トビムシ群集は地上植生よりも土壤有機物層の発達状態 (有機物層の厚さなど) が構造決定に強く影響

されることが明らかになってきた。

しかし、上記の諸研究では、調査区間で土壤有機物以外の環境要素が異なる場合が多く、また、自然に堆積した土壤層を調査区としているため、同じ時系列で比較できていなかった。

本研究では、トビムシ類の主な生息場所と考えられている土壤有機物層の有機物含有量の差異が侵入したトビムシ類の定着と定着後の群集形成にどのように影響するか解明することを目的とした。人工的に同じ構成物 (構成成分) で土壤有機物含有量だけが異なる土壤を 4 処理区作成し、各処理区におけるトビムシ類の生息状況を経時的に調査した。

実験方法

処理区

1996年6月22日に、近畿大学農学部実験圃場内 (奈良県奈良市中町, 北緯 $34^{\circ}40'12''$, 東経 $135^{\circ}44'21''$, 海拔約110m) に木製コドラート (1 m × 1 m × 深さ15cm) を 4 個設けた。各コドラート内部および周囲に植生の侵入はほとんど認められず、地表は裸地であった。各コドラートは左右 3 m 間隔で設置し、コドラート内は小区画 (50 cm × 50 cm × 深さ15cm) で 4 区画に区分した (Fig. 1)。

土壤資材は、母材 (無機土壤資材) として赤玉土 (粒度 1 mm 以上 5 mm 以下) を、有機土壤資材として腐葉土 (市販園芸用・腐朽した落葉落枝が主体) を使用し、以下に示す配合比率 (容量%) で異なる有機物含有量の処理土壤を作成した。

0%区: 赤玉土 100%, 腐葉土 0%

3%区: 赤玉土 97%, 腐葉土 3%

5%区: 赤玉土 95%, 腐葉土 5%

100%区: 赤玉土 0%, 腐葉土 100%

各処理土壤は各コドラート内に均一の深さ (10 cm) で投入した。なお、使用した各土壤資材は、あらかじめ抽出効率を確認した Tullgren 装置 (Tomita *et al.*, 1999) によって 72 時間抽出を行い、土壤動物が生息していないことを確認した後、十分に攪拌してから使用した。

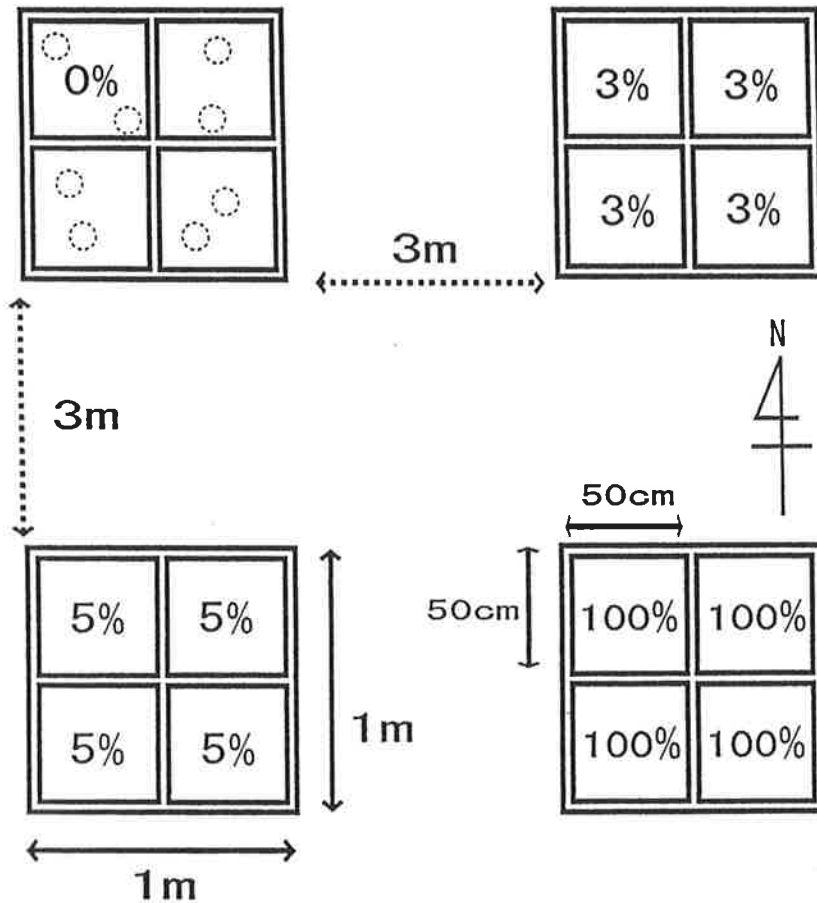


Fig. 1 Arrangement of treatments in the experiment area in Kinki Univ. (34° 40'12" N, 135° 44' 21"E). ○: example of sampling points.

サンプリングおよび同定

トビムシ類を抽出する土壤試料は、鉄製円筒形コア (100ml, 直径5.7cm×高さ4cm) を用いて、各処理区に配置された4小区画から各2サンプル (計8サンプル/処理区) を無作為に採取した。試料採取は、処理区を設置して約1カ月後の1996年7月22日から1997年2月23日の期間に約30日間間隔で、原則として降雨が2日間続けてなかった日の翌日の午前9時から正午までに行った。

採取した土壤試料は研究室に持ち帰り、40 w白熱球付きのツルグレン抽出装置を用いてトビムシ類を72時間抽出し、それらを99.5%エタノール入

りのガラス製サンプルビンに保存した。保存されたトビムシは乳酸を添加したホイヤー氏液で集合プレパレートに固定し、双光学顕微鏡下で同定した。抽出後の土壤試料は、処理区の土壤の損失と環境変化を極力避けるため、採取した元の位置へ戻した。また、調査期間中に実験コドラートに侵入・生育した植物はほとんどなかったが、侵入した場合は直ちに除去した。

群集特性解析

トビムシ群集の種多様度は Shannon and Weaver (1949) の提唱した種多様度指数 (H') によって推定した。

$$H' = - \sum Pi \cdot \log_2 Pi$$

(Pi : 総個体数に対する i 番目の種の個体数割合)
 群集構造の均衡性はPielou (1966a,b,c)の均衡性
 指数 J' で推定した.

$$J' = H' / \log_2 S$$

(S : 総種数)

結 果

1. 群集特性の変化

本調査で採取した256サンプルから得られたト
 ビムシ類は3科6属6種, 2800個体であった
 (Table 1). *Homidia sauteri* (Börner) と *P. submi-
 nuta* は全処理区間および全調査 期間で優占種で
 あった. この2種を含む2科5属5種は全処理区
 でみられたが, *Onychiurus* sp. 1は100%区だけで
 みられた. 科別ではツチトビムシ科Isotomidae
 (総個体数の90.3%) とアヤトビムシ科Entomo-
 bryidae (総個体数の9.6%) によって総個体数の
 99.9%を占めた.

群集特性である種数・個体数・種多様度指数

(H')・均衡度指数 (J') の4項目についてTable
 1に示した.

種数をみると, 0%区, 3%区, 5%区では調査
 開始から4ヵ月後までに最大4種となったが, そ
 れ以後は減少した (Fig. 2). 100%区でも4ヵ月
 後に最大6種となり, それ以後は減少した (Fig.
 2). 種数のFriedman検定を行った結果, 処理区間
 で有意な差が認められた. また, 検定の順位和
 (R) および Fig. 2から有機物含量が多い処理区ほ
 ど種数は多くなることがわかった. (R : 100%区
 > 5%区 > 3%区 > 0%区).

個体数は, 0%区, 3%区では5ヵ月後に, 5%
 区では4ヵ月後に, ピークを示し, それ以後は徐々
 に減少した (Fig. 2). 100%区では4ヵ月後まで
 指数関数的に増加し, それ以後は均衡した (Fig.
 2). 個体数のFriedman検定を行った結果, 処理区
 間で有意な差が認められた. また, 検定の順位和
 (R) および Fig. 2から有機物含量が多い処理区ほ
 ど個体数は多くなる傾向が認められた (R : 100
 %区 > 5%区 > 0%区 > 3%区). また, 総個体数

Table 1 Abundance and diversity indices ($M \pm S. D.$)¹⁾ of Collembola related to contents of organic matter

Species	Life type ²⁾	Organic matter content			
		0 %	3 %	5 %	100 %
<i>Homidia sauteri</i>	Ep	45	32	42	38
<i>Lepidosira</i> sp. 1	Ep	13	14	19	36
<i>Isotoma viridis</i>	He	1	7	6	1369
<i>Proisotoma subminuta</i>	He	24	19	24	1068
<i>Tullbergia yosii</i>	Eu	2	1	1	34
<i>Onychiurus</i> sp. 1	Eu	0	0	0	5
Total number		85	73	92	2550
Mean \pm S. D.		10.6 \pm 4.1	9.1 \pm 4.0	11.5 \pm 7.2	318.8 \pm 198.5
Species richness		5	5	5	6
(Min. - max.)		(1-4)	(2-4)	(2-4)	(3-6)
Mean \pm S. D.		2.6 \pm 0.9	2.9 \pm 0.6	3.3 \pm 0.7	4.6 \pm 0.9
H' (bit)		1.618	1.893	1.820	1.286
Mean \pm S. D.		1.122 \pm 0.313	1.204 \pm 0.331	1.453 \pm 0.264	1.206 \pm 0.135
J' (Pielou)		0.697	0.815	0.784	0.497
Mean \pm S. D.		0.766 \pm 0.164	0.819 \pm 0.170	0.880 \pm 0.090	0.558 \pm 0.061

1) Mean of 64 samples.

2) Ep: Epiedaphone, He: Hemiedaphone, Eu: Euedaphone (after Bockmuhl, 1956).

Table 2 Friedman test about collembolan properties in relation to organic matter content

	$\chi^2_{r(1)}$	df	Probability	Ranks (R)
Species richness	14.14	3	0.003	100% > 5% > 3% > 0%
Number of individuals (per 800ml)	14.15	3	0.002	100% > 5% > 0% > 3%
H' (bit)	9.39	3	0.025	5% > 100% = 3% > 0%
J' (Pielou)	10.59	3	0.014	5% > 3% > 0% > 100%

1) $\chi^2_{r(1)}$: statistic for the Friedman test.

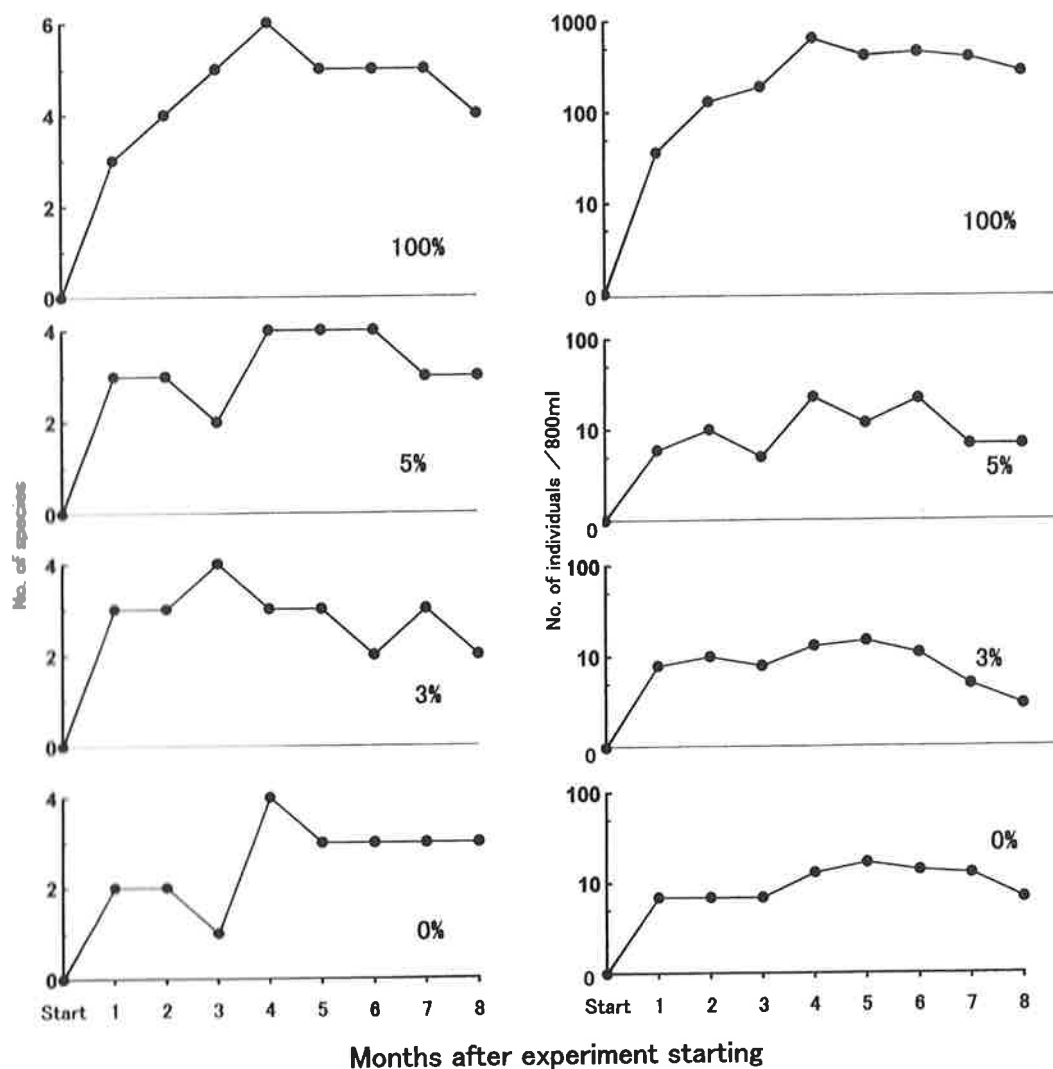


Fig. 2-1 Temporal changes of collembolan community attributes in relation to organic matter content. For the explanation of 0%, 3%, 5% and 100%, see Table 1.

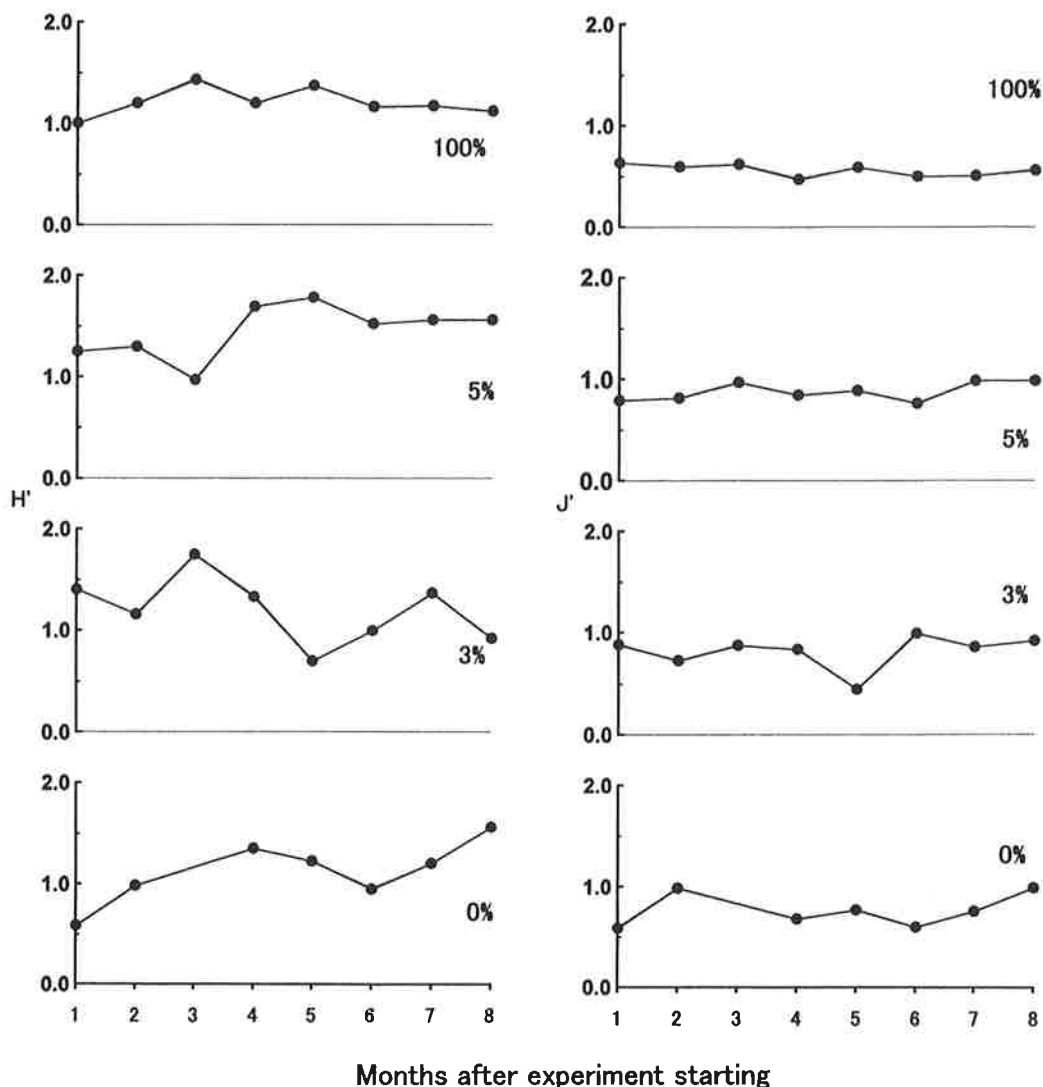


Fig. 2-2 Temporal changes of collembolan community attributes (H' and J') in relation to organic matter content. For the explanation of 0%, 3%, 5% and 100%, see Table 1.

でも0%区>3%区であった (Table 1).

種多様度指数 (H') の Friedman 検定を行った結果, 処理区間で有意な差が認められた. 検定の順位和 (R) および Fig. 2 から 0%区, 3%区, 5%区間では有機物含有量が多い処理区ほど多様性は高かった (R : 5%区>3%区>0%区). 100%区の H' は約1.2で3%区とほぼ同じであったが, その変動幅は最も小さかった (Table 1, Fig. 2).

均衡度指数 (J') の Friedman 検定を行った結果, 処理区間で有意な差が認められた. 検定の順位和 (R) および Fig. 2 から 0%区, 3%区, 5%区では有機物含有量が多い処理区ほど大きかった (R : 5%区>3%区>0%区). 100%区の J' は約0.5で最も低かったが, その変動幅は最も小さかった (Table 1, Fig. 2).

2. 構成種の個体数変動

実験開始後に各処理区で得られた個体数を構成種別に示した (Fig. 3). 全調査区で調査開始1ヵ月後にみられた構成種は準エダフォン種の *P. subminuta*, *Isotoma viridis* Bourlet と地上徘徊種の *H. sauteri* であった. *P. subminuta* の個体数は、100%区では4ヵ月後まで急速に増加し、以後は安定したが、0%, 3%区では5~6ヵ月後に一時的に定着が確認できなくなるほど大きく変動した. *I. viridis* は100% > 5% > 3% > 0% 区の順に定着期間が長く、総個体数も多かった. *H. sauteri* は、0%区では定着が1ヵ月遅かったが、それ以後の個体数は徐々に増加し、総個体数における調査区間の違いは認められなかった (Table 1). *Lepidosira* sp. 1 の侵入は全処理区で *H. sauteri* よりも1, 2ヵ月遅れて始まり、0%, 3%, 5%区では侵入後8ヵ月後まで定着が認められたが、100%区では8ヵ月後に消滅した. *Tullbergia* (*Mesaphorura*) *positi* Rusek と *Onychiurus* sp. 1 は共に真エダフォン種に属し、特にこの生活型は土壤有機物含有量に依存しているとされている. 本調査でも *Onychiurus* sp. 1 は100%区に一時的に見られただけであり、*T. positus* は0%, 3%, 5%区では4~5ヵ月後に各1個体が確認されただけだったが、100%区では、4ヵ月以降の定着が確認された.

考 察

1. 群集特性

トビムシ類の群集特性とその生息場所の環境要素との関係を調査した Takeda (1987a) は、リターの供給量が多く土壤有機物層が厚く堆積した場所ほどトビムシ類の個体数と種数が多く、群集の多様性が高くなることを見出した. さらに、約15年間、トビムシ類の群集構造が安定していたアカマツ林内 (Takeda, 1983, 1984) に、人工的に異なった量、構造、構成樹種に操作したリターバックを設置し、そこに形成されたトビムシ群集を調査して、どの環境要素が群集の多様性にとって重要であるかを検討している (Takeda, 1987a, b, 1995).

本研究では処理区間で種数に有意な差が認められ (Table 2), Takeda (1987a, b, 1995) と同様に土壤有機物含有量が多い処理区ほど多くの種類で構成される群集が成立することがわかった.

本研究では土壤有機物含有量が多い処理区ほど個体数が、時間経過とともに有意に増加した (Table 2, Fig. 2). ただし、種別にみた場合、同じ種類でも処理区間でその個体数変動は異なっていた (Fig. 3). Takeda (1983, 1984) でも、個体数は生息場所の資源量 (リター量) に比例して多かった.

群集の多様性 (H' , J') は、本研究では処理区間で有意差が認められ、0%, 3%, 5%区間では Takeda (1987a, b, 1995) と同じように土壤の有機物含有量が多くなるほど群集の多様性は高くなった (Table 2). しかし、有機物含有量の最も多い100%区では H' , J' ともに値は処理区間で最も安定して低かった (Table 1, Fig. 2). 100%区では *I. viridis* と *P. subminuta* の個体数だけが指数関数的に増加し、調査期間を通じて構成種内の優占率が圧倒的に高かったため (Fig. 3), 100%区の多様性が安定して低くなったと考えられる.

よって、新たにトビムシ群集が形成される場合、Takeda (1983, 1984) と同様に、本研究でも、土壤有機物含有量の多い場所ほど定着できる種類は多くなり、その生息場所で増殖できる種の個体数は短期間に増加することがわかった. トビムシ類の個体数が短期間で急速に増加する理由として、Sheals (1956) は多くのトビムシ類のライフサイクルが1年に1回以上 (多い種で4~5回) と非常に短いことを、Dunger (1968), Edwards (1965), Spain (1974) は捕食圧がトビムシ類の個体数の増減に大きく影響することを挙げている. 本研究では全処理区でトビムシ類の捕食者である捕食性ダニ類やハサミムシ等の侵入は認められなかったことから、各処理区の捕食圧は非常に低かったと考えられる. 本研究の100%区でトビムシ2種の個体数が指数関数的に増加したのは、侵入した生息場所に有機物が多量に存在したことに加えて、

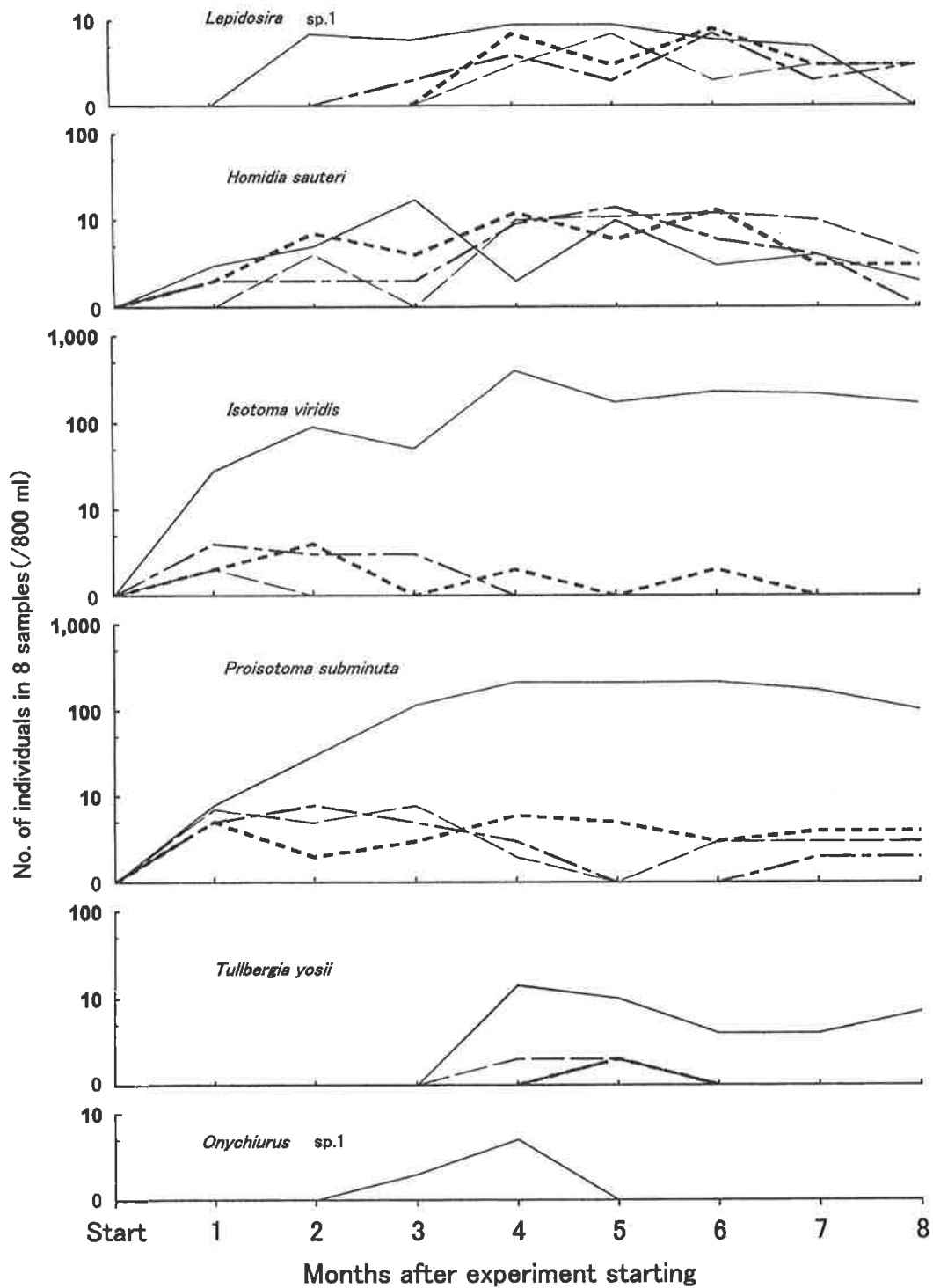


Fig. 3 Temporal changes in abundances of collembolan species in relation to organic matter content.

— 0%, - - - 3%, ····· 5%, ——— 100%.

この捕食圧の要素が大きく関与していたと推測される。特定の種が圧倒的に優占し、群集の規模は大きいが多様性は低くなる傾向は有機物含有量が多い調査区ほど顕著になることがわかった。

2. 構成種

Takeda (1995) は、リター量(資源量)は同じで、異なる樹種のリターを用いて様々な混合比で構造と種類を変えた処理区を設けた場合、各処理区に形成される群集の種数、総個体数、多様性は処理区間で有意な差は認められなかったが、時間経過によるリターの分解段階に対応して生息する種類の入替わりがみられたと報告した。本研究では各処理区に侵入したトビムシ類の種類は、有機質材を混入していない0%区を含む全処理区ではほぼ共通していた (Table 2)。これは、同じ有機質材を用いたことでリターの分解段階に差がなかったためと考えられる。

本研究で設置した全処理区にみられた主なトビムシ類は、地表付近～土壌浅層を生息場所とするアトビムシ科の *H. sauteri* (Ep), *L. sp. 1* (Ep) とツチトビムシ科の *P. subminuta* (He), *I. viridis* (He) で構成され、この4種は生息場所の有機物含有量に関係なく全処理区で共通していた (Table 1)。なかでも *H. sauteri* (Ep) と *P. subminuta* (He) は、富田ら (1998) が大阪湾埋立地で行った調査では埋め立て3ヵ月後の裸地で最も早く定着できたバイオニア種であった。本研究ではこの2種の侵入はさらに早く、調査区の設置から1ヵ月後には全処理区で確認できた。Hutson (1980a, b) によると、*I. viridis* はイギリス北部のボク山埋立地でも埋め立て直後の普通種であるが、個体密度は低く、時間経過とともに徐々に増加すること、植樹や草地化が進んで有機物層が厚く形成された処理区ほど急速に個体数が増加することがわかっている。本研究でも、*I. viridis* は有機物含有量が多い処理区ほど定着期間は長く個体数も多かったことから、この種はバイオニア種ではあるが、先の2種よりも土壌の有機物含有量に依存的であると考えられる。さらに有機物含有量に依存的と考え

られる *O. sp. 1* (Eu) は、富田ら (1998) によると有機質材を多量に投入した場所に、短期間で侵入定着することが確認されている。以上の種名が同定された *H. sauteri*, *P. subminuta*, *I. viridis*, *T. yosii* の4種は汎世界種であった (Yosii, 1977)。

長期間の定着が認められた種数は有機物含有量が多い処理区ほど有意に多かったことから、侵入した種が定着できるかどうかは土壌有機物含有量が大きく影響していると考えられる。

以上から、本研究で作成した土壌のようにトビムシ類の分布の空白地ができると、すぐに複数のトビムシ類が侵入を始めるが、トビムシ類の種類や処理区の違いによって採取された期間に差異がみられたことから、侵入した種の定着の可否は侵入場所の様々な環境特性がその種の生存可能な許容範囲にあるかどうかによって左右されたと考えられる。侵入した土壌の環境特性の条件下で生存増殖できた種によって群集は構成されるが、本研究では特に、侵入した土壌の土壌有機物が質的に同じであれば構成種は共通したこと、個体数の増加は土壌有機物含有量に影響されることがわかった。各処理区間での土壌有機物含有量の差異が、そこに生息する群集の構成種の構成比と時系列におけるその定着期間に影響していたと考えられる。また、本研究で確認された種について生息場所の土壌有機物への依存性を検討すると *P. subminuta* < *H. sauteri* < *L. sp. 1* < *I. viridis* < *T. yosii* < *O. sp. 1* の順で依存性が高かったと考えられる。よって、本研究では土壌有機物含有量の少ない処理区の構成種は時間系列にしたがって、この順位で定着できたと考えられる。

本研究では土壌有機物含有量の多少によってトビムシ類の定着を論じてきたが、0%区でも個体数は少ないが4種の定着が認められた。これは、野外に処理土壌が設置された後、風雨等によって微量の有機物が0%区の処理土壌表面に落下し、それをトビムシ類が餌資源として利用し生息できたと推測されるが、これを立証できる資料は得られていない。また、一般に知られているように処

理土壤に地衣類やコケ類などが侵入繁殖して、トビムシ類の餌資源となっていた可能性も否定できない。今後はトビムシ類の侵入だけでなく、その餌資源の移出入にも注意して調査する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたりトビムシ目の同定などに有益な御助言と御指導をいただいた故吉井良三博士に対し厚く御礼を申し上げる。また、本論文をまとめるにあたり懇切丁寧な助言と御指導をいただいた近畿大学農学部昆虫学研究室の桜谷保之教授に厚く御礼を申し上げる。本調査に対し深い理解と援助をいただいた近畿大学農学部各位と同大学昆虫学教室の学生諸氏に心から御礼を申し上げます。

引用文献

- Bockemühl, J. (1956) Die Aptertzgoten des Spitzberges bei Tübingen, eine faunistisch-ökologische Untersuchung. *Zool. Jb. (Syst.)* **84** : 114-194.
- Dunger, W. (1968) Produktionsbiologische Untersuchungen an der Collembolen-Fauna gostorter Boden. *Pedobiologia* **8** : 16-22.
- Edwards, C. A. (1965) Effect of pesticide residues on soil invertebrates and plants. In "Ecology and the Industrial Society" (Goodman, G. T., R. W. Edwards and J. M. Lambert, eds), pp. 239-261, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Hasimoto, H. and H. Tamura (1994) Change in collembolan community during litter breakdown. *Acta Zool. Fenn.* **195** : 67-68.
- Hopkin, S. P. (1997) *Biology of the springtails. (Insecta : Collembola)*, Oxford Univ. Press, Oxford.
- Hutson, B. R. (1980a) Colonization of industrial reclamation sites by Acari, Collembola and other invertebrates. *J. Appl. Ecol.* **17** : 255-275.
- Hutson, B. R. (1980b) The influence of soil development on the invertebrate fauna colonizing industrial reclamation sites. *J. Appl. Ecol.* **17** : 277-286.
- Odum, E. P. (1971) *Foundamentals of Ecology (3rd ed.)*. Saunders, Philadelphia and London.
- Palacios-varas, J. G. and M. L. Casitillo, (1992) Sucesion ecologica de microartropodos dentro de troncos en descomposicion. *Boll. Soc. Mex. Entomol.* **11** : 23-30.
- Pielou, E. C. (1966a) Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *J. Theoret. Biol.* **10** : 370.
- Pielou, E. C. (1966b) The use of information theory in the study of the diversity of biological population. *Proc. Fifth Berkeley Symp. Math. Statist. Probab.* : 163-177.
- Pielou, E. C. (1966c) Shannon's Formula as a measure of specific diversity : Its use and misuse. *Am. Nat.* **100** : 463-465.
- Ponge, J. F. (1983) Les collemboles, indicateurs du type d'humus en milieu forestier. Resultats obtenus au Sud de Paris. *Acta Oecologia, Oecologia Generalis* **4** : 359-374.
- Ponge, J. F. (1993) Biocenses of Collembola in atlantic temperate grass-woodland ecosystems. *Pedobiologia* **37** : 223-244.
- Shannon, C. E. and W. Weaver (1949) *The mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana, Illinois.
- Sheals, J. G. (1956) Soil population studies. I. The effects of cultivation and treatment with insecticides. *Bull. Entomol. Res.* **47** : 803-822.
- Spain, A. V. (1974) The effect of carbaryl and DDT on the litter fauna of Corsican pine (*Pinus nigra* var. *maritime*) forest : a multivariate comparison. *J. Appl. Ecol.* **11** : 467-482.
- Takeda, H. (1983) A long term study of life cycles and population dynamic of *Tullbergia yosii* and

- Onychiurus decemsetosus*. *Pedobiologia* **25** : 175-185.
- Takeda, H. (1984) A long term study of life cycle and population dynamics of *Folsomia octoculata* Handschin (Insect : Collembola) in pine forest soil. *Res. Popul. Ecol.* **26** : 188-219.
- Takeda, H. (1987a) Dynamics and maintenance of collembolan community structure in forest soil system. *Res. Popul. Ecol.* **29** : 291-346.
- Takeda, H. (1987b) Decomposition of leaf litter in relation to litter quality and site conditions. *Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ.* **130** : 17-38.
- Takeda, H. (1995) Templates for the organization of Collembolan communities. *Structure and function of soil communities*. Kyoto Univ. Press, Kyoto.
- Tamm, J. C. (1986) Fünfjährige Collembolensukzession auf einem verbrannten Kiefernwaldboden in Niedersachsen (BRD). *Pedobiologia* **29** : 113-127.
- 富田真平・桜谷保之・杉本 毅 (1998) 大阪湾埋立地におけるトビムシ群集の構造と変化. *環動昆* **9** : 129-139.
- Tomita, S., Y. Sakuratani and T. Sugimoto (1999) Extraction of Collembola by Tullgren Apparatus from soil samples of different vegetation types. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **10** : 46-50.
- Whittaker, R. H. (1965) Dominance and diversity in land plant communities. *Science* **147** : 250-260.
- Whittaker, R. H. (1975) *Communities and Ecosystems (2nd ed.)*. MacMillan, New York.
- Yosii, R. (1977) Critical checklist of the Japanese species Collembola. *Contr. Biol. Lab. Kyoto Univ.* **25** : 141-170.

Appendix Collembola collected in each experimental treatment

0 % treatment	Months after experiment starting									Total
	Species	Start	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Homidia sauteri</i>	0	0	3	0	9	10	11	9	3	45
<i>Lepidosira</i> sp.	0	0	0	0	2	6	1	2	2	13
<i>Isotoma viridis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Proisotoma subminuta</i>	0	6	4	7	1	0	2	2	2	24
<i>Tullbergia yosii</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Total	0	7	7	7	13	17	14	13	7	85
No. of species	0	2	2	1	4	3	3	3	3	—

3 % treatment	Months after experiment starting									Total
	Species	Start	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Homidia sauteri</i>	0	1	1	1	8	13	5	3	0	32
<i>Lepidosira</i> sp.	0	0	0	1	3	1	6	1	2	14
<i>Isotoma viridis</i>	0	3	2	2	0	0	0	0	0	7
<i>Proisotoma subminuta</i>	0	4	7	4	2	0	0	1	1	19
<i>Tullbergia yosii</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Total	0	8	10	8	13	15	11	5	3	73
No. of species	0	3	3	4	3	3	2	3	2	—

5 % treatment	Months after experiment starting									Total
	Species	Start	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Homidia sauteri</i>	0	1	6	3	11	5	12	2	2	42
<i>Lepidosira</i> sp.	0	0	0	0	6	2	7	2	2	19
<i>Isotoma viridis</i>	0	1	3	0	1	0	1	0	0	6
<i>Proisotoma subminuta</i>	0	4	1	2	5	4	2	3	3	24
<i>Tullbergia yosii</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Total	0	6	10	5	23	12	22	7	7	92
No. of species	0	3	3	2	4	4	4	3	3	—

100 % treatment	Months after experiment starting									Total
	Species	Start	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Homidia sauteri</i>	0	2	4	16	1	9	2	3	1	38
<i>Lepidosira</i> sp.	0	0	6	5	8	8	5	4	0	36
<i>Isotoma viridis</i>	0	27	92	51	405	175	231	219	169	1369
<i>Proisotoma subminuta</i>	0	7	29	115	215	212	216	172	102	1068
<i>Tullbergia yosii</i>	0	0	0	0	13	9	3	3	6	34
<i>Onychiurus</i> sp. 1	0	0	0	1	4	0	0	0	0	5
Total	0	36	131	188	646	413	457	401	278	2550
No. of species	0	3	4	5	6	5	5	5	4	—