

# フィールドサイエンス

*Journal of Field Science*

No. 15 2017



東京農工大学農学部附属広域都市圏  
フィールドサイエンス教育研究センター

平成29年 3月

## フィールドサイエンス 第15号

### 目次

#### 論文

- 1 樹上性ヤマヨツボシオオアリの女王越冬生存における大型ワーカーと小型ワーカーの貢献／白戸亮吉・廣田忠雄
- 7 東京都心部の赤坂御用地におけるタヌキのタメフン場における個体間関係／小泉璃々子・酒向貴子・手塚牧人・小堀 睦・斎藤昌幸・金子弥生
- 15 動物園・水族館の展示を評価する—関東地方の動物園・水族館の調査—／武田庄平・榎本はるか・小林大佑・福田早紀子・荒川直輝・安東幸志朗・原 祐菜・藤坂航大・盧 曦子

#### 研究資料

- 29 DNA バーコーディングを用いた九州からの外来性ワラジムシ類 *Porcellio scaber* の発見／唐沢重考・岩崎朝生・中島 淳
- 35 群馬県赤谷川上流域における有蹄類による食痕の地上高の分布とその植物種間差／篠田悠心・赤坂宗光
- 41 ツキノワグマの冬眠行動研究における首輪内蔵型温度センサーの有効性の検討／長沼知子・横手里美・宮田桂子・小島善則・小坂井千夏・中島亜美・山崎晃司・小池伸介
- 49 カメラトラップを用いた赤坂御用地におけるホンダタヌキの個体数推定／岩崎佳生理・斎藤昌幸・酒向貴子・小泉璃々子・手塚牧人・金子弥生

## 論文

Both major and minor workers enhance overwintering success of queens in the Japanese arboreal ant *Camponotus yamaokai*Akiyoshi SHIROTO<sup>\*1</sup>, Tadao HIROTA<sup>\*2†</sup>樹上性ヤマヨツボシオオアリの女王越冬生存における  
大型ワーカーと小型ワーカーの貢献白戸 亮吉<sup>\*1</sup>・廣田 忠雄<sup>\*2</sup>

The higher proportion of polygynous ant species in northern areas indicates that cold climates influence the number of queens per colony. However, the ecological and physiological factors allowing polygynous species to inhabit cold climates remain ambiguous. The facultatively polygynous ant *Camponotus yamaokai* inhabits colder areas compared to its monogynous sibling species, *C. nawai*. A previous study demonstrated that cohabitation by workers facilitated the overwintering success of *C. yamaokai* queens, whereas overwintering founding queens were solitary in *C. nawai*. Major workers of *C. yamaokai* are reported to play the role of honeypots in summer, and minor workers engage in foraging activity. Trophallaxis between workers was also observed under overwintering conditions. Therefore, trophallaxis is a possible proximate factor facilitating the overwintering success of queens. Here we investigated whether nutritional state of workers and queens influenced the survival of *C. yamaokai* queens under overwintering conditions. Overwintering experiments revealed that queen survival was not affected by the nutritional state of workers. Furthermore, even when queens cohabited only with unfed minor workers, queen survival was higher than solitary queen survival. Therefore, factors other than trophallaxis could explain how queen survival during winter is facilitated by cohabitation by workers. The other possible proximate factors are the roles of workers as temperature and moisture buffers.

**Keywords:** Hymenoptera, polygyny, queen survival, overwintering, trophallaxis

北方で多女王制のアリ種が高い比率で見られることから、寒冷な気候はコロニー内女王数に影響を与えていることが示唆される。多女王制種の寒冷環境への生息を可能とする要因は未だ不明瞭である。条件的多女王制種ヤマヨツボシオオアリ (*Camponotus yamaokai*) は単女王制の姉妹種であるナワヨツボシオオアリ (*C. nawai*) よりも寒冷な地域に生息する。過去の研究から、ワーカーと共に越冬したヤマヨツボシオオアリ女王は単独のナワヨツボシオオアリ女王よりも越冬成功率が高いことが示されている。ヤマヨツボシオオアリのメジャーワーカーは夏季には密壺としての役割を果たしており、マイナーワーカーは採餌活動に従事していることが示唆されている。ワーカー間の栄養交換は越冬条件下でも観察されているため、栄養交換が女王の越冬成功率を高めている可能性がある。本研究では、ヤマヨツボシオオアリの越冬条件下でワーカー、女王の栄養状態が女王の越冬生存に与える影響を研究した。実験から、ワーカーの栄養状態は女王の生存に影響しないことが明らかとなった。一方、飢餓状態のマイナーワーカーと共に越冬した女王は、単独の場合よりも生存した。そのため、ワーカーの気温や湿度の緩衝材としての役割など、栄養交換以外の要因が女王の冬季生存に影響していると考えられる。

**キーワード:** ハチ目, 多女王制, 女王生存, 越冬, 栄養交換

2016. 11. 18受付 ; 2017. 2. 15受理

\*1 日本医療科学大学 Nihon Institute of Medical Science

\*2 山形大学理学部生物学科 Department of Biology, Faculty of Science, Yamagata University

## Introduction

In eusocial hymenopterans, queen number is an important factor influencing the social system and intracolony relatedness. Phylogenetic studies have indicated that monogyny (a single queen per colony) is an ancestral state (Hughes *et al.*, 2008a, b). However, polygyny (multiple queens per colony) has independently evolved in many phyletic lines of ants (Heinze & Foitzik, 2009). Therefore, increasing queen number should have advantages to offset disadvantages due to low relatedness. In *Leptothorax* (Heinze, 1993; Heinze & Hölldobler, 1994), *Neivamyrmex* (Kronauer & Boomsma, 2007), and *Campotonotus* (Satoh, 1990), polygynous species occur in more northern areas than monogynous species. Thus, high cold tolerance would be an advantage of polygyny. However, the ecological and physiological factors allowing polygynous species to inhabit cold climates remain ambiguous (Heinze & Foitzik, 2009).

In the present study, we investigated overwintering success of the polygynous arboreal ant *Campotonotus yamaokai*. The facultatively polygynous ant *C. yamaokai* inhabits colder areas compared to its related monogynous species, *C. nawai* (Satoh, 1989, 1990). *C. nawai* alate females leave their natal nests for the nuptial flight during summer, and overwinter solitarily without laying eggs until spring. In contrast, alate new queens of *C. yamaokai* do not perform nuptial flight but overwinter in their natal colony. *C. yamaokai* alate queens never overwinter alone without workers. Our previous study showed that the presence of workers significantly increased queen survival in both *C. yamaokai* and *C. nawai* (Shiroto *et al.*, 2011). These results suggest that whether queens overwinter with or without workers would have some degree of influence on the geographical distributions of both species. However, the factors increasing queen survival remain ambiguous.

We speculate that trophallaxis from workers to queens plays a role of the proximate factor by which workers facilitate queen survival during winter (Shiroto *et al.*, 2011). When colonies of *C.*

*yamaokai* starved, major workers actively fed nestmates (Sanada *et al.*, 1997). Major workers play the role of honeypots in the congeneric ant *C. nipponicus* (Hasegawa, 1993). In *C. yamaokai*, major workers performed trophallaxis even under overwintering conditions (Shiroto *et al.*, 2011). However, it is unclear whether the frequency of trophallaxis is sufficient to facilitate queen survival under overwintering conditions when worker activity is generally low. Here we investigated how the nutritional status of workers influences the overwintering survival of queens. If trophallaxis is important for enhancing queen survival, it is predicted that fed major workers would prolong queen survival more than starved major workers, whereas minor workers with a low honeypot ability would have a negligible influence.

Others, crowding by workers could decrease metabolic rates of queens by avoiding moisture loss during dry winters (Tanaka *et al.*, 1988) or acting as a temperature buffer (Kaspari & Vargo, 1995). If these factors are more important than trophallaxis, minor workers would also enhance overwintering queen survival rate. Thus, the aims of the present study are to reveal 1) how starved and fed major workers influence overwintering success of queens and 2) whether minor workers influence queen survival.

## Materials and Methods

### 1. Sample collection and maintenance

Colonies of *C. yamaokai* were collected during September 2009 and 2010 (40 and 25 colonies, respectively) at Iwaki (Japan, N37°03', E140°53'). Ant colonies occupying dead branches and stems of dead bamboo were transferred into plastic bags (Ziploc freezer bag, Asahi Kasei Home Products Corporation). In the laboratory, each colony was moved into a plastic box (8.4 × 8.4 × 4.6 cm, Nakaya Kagaku Sangyo). The colonies were maintained under light:dark conditions of 16 : 8 h and a temperature of 25°C ± 1°C. Red cellophane-coated plastic straws (diameter, 5 mm; length, 4 cm; Qlinp co., Ltd) were placed in the plastic boxes as nesting sites. FluonPTFE (Asahi glass co., ltd, Japan) was

painted on the sides of the boxes to prevent ants from escaping. For feeding, we placed an absorbent cotton containing yolk and honey in the plastic boxes for 24 h every seventh day. We also supplied a moist cotton containing no nutrients. This cotton was changed twice a week and was left in the plastic boxes until the feeding treatment. To approximate overwintering condition, before the feeding treatments, each plastic box containing ants sampled during 2009 was maintained without foods under light:dark conditions of 10 : 14 h and a temperature of  $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  for 4 weeks. Each plastic box containing ants sampled during 2010 was kept outdoors in Yamagata University away from direct sunshine for 6 weeks without food.

## 2. Feeding treatments

We transferred the samples collected in 2009 to new plastic boxes for isolating them from stock colonies ( $8.5 \times 6.6 \times 3.1$  cm, Nakaya Kagaku Sangyo). Red cellophane-coated plastic straws (diameter, 5 mm; length, 4 cm; Qlinp co., Ltd) were placed into the plastic boxes as nesting sites. FluonPTFE was painted on the sides of the boxes to prevent ants from escaping. We maintained queens and workers separately. We supplied an absorbent cotton containing yolk and honey daily to queens from 12 experimental colonies but not to queens from the remaining 28 experimental colonies. We supplied an absorbent cotton containing yolk and honey daily to workers from 13 experimental colonies but not to workers from the remaining 14 experimental colonies. Feeding treatments were conducted under light:dark conditions of 16:8 h and a temperature of  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  for a week. After feeding treatments, we established six different treatment groups: 1) fed queen, 2) unfed queen, 3) unfed queen and five fed major workers, 4) unfed queens and five unfed major workers, 5) unfed queen and ten fed minor workers, and 6) unfed queen and ten unfed minor workers ( $n=12$  per group). The five major workers had almost the same weight as the ten minor workers (mean of wet weight per capita  $\pm$  standard error: major worker,  $5.20 \pm 0.23$  mg; minor worker,  $2.61 \pm 0.11$  mg;  $n=26$  per group).

Each treatment group was moved to a plastic box ( $8.5 \times 6.6 \times 3.1$  cm, Nakaya Kagaku Sangyo). Red cellophane-coated plastic straws (diameter, 5 mm; length, 4 cm; Qlinp) were placed in the plastic boxes as nesting sites. FluonPTFE was painted on the sides of the boxes to prevent ants from escaping. We did not assign individuals derived from different colonies to the same boxes.

We transferred the samples collected in 2010 at Iwaki to new plastic boxes to isolate them from stock colonies ( $8.5 \times 6.6 \times 3.1$  cm, Nakaya Kagaku Sangyo). Of the total 23 experimental colonies, ten were supplied food; ten were not supplied food; and for the remaining three colonies, half of the workers were supplied food, whereas the remainder was not. Feeding treatments were conducted outdoors at the same place that sample maintenance away from direct sunshine for a week. After feeding treatments, we prepared three types of treatment groups: 1) unfed queen, 2) unfed queen and five fed major workers, and 3) unfed queen and five unfed major workers ( $n=13$  per group). Each treatment group comprised nestmates. We did not assign individuals derived from different colonies to the same treatment groups. Each treatment group was moved to a plastic box ( $8.5 \times 6.6 \times 3.1$  cm, Nakaya Kagaku Sangyo). Red cellophane-coated plastic straws (diameter, 5 mm; length, 4 cm; Qlinp) were placed in the plastic boxes as nesting sites. FluonPTFE was painted on the sides of the boxes to prevent ants from escaping.

In feeding treatments, many workers were frequently observed on foods. The gasters of fed workers appeared to obviously bulge to a larger degree than those of unfed workers.

## 3. Wintering experiment

After feeding treatments, all treatment groups were maintained under light:dark conditions of 10:14 h. The room temperature was set at  $5.0^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  during the light period, at  $0.4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  during the first 10 h, and at  $-3.3^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  during the remaining 4 h of the dark period, respectively. These temperatures relate to winter temperature of Shizu-gawa ( $\text{N}38^{\circ}40'$ ,  $\text{E}141^{\circ}26'$ ), which is the northern

limit of *C. yamaokai*. During the light periods, the number of surviving ants was recorded daily until all individuals were dead. Neither water nor food was provided to ants throughout the overwintering experiment.

#### 4. Statistical analysis

The survival of individuals was analyzed with the Cox hazards random-effects model. Calculations were performed using “coxme” (ver. 2.1-3) in the statistical software R (ver. 2.14.1) (R Development Team, 2011). For all analyses, the duration from the first day of the wintering experiment to the last day observed alive was used as a dependent variable. Colonies from which individuals were derived were set as a random factor. Group composition (solitary queen, a queen with five major workers, and a queen with ten minor workers), feeding conditions of the queen, and feeding conditions of workers were set as independent variables. In both queens and major workers, we did not detect any significant differences between the collection years 2009 and 2010 and feeding conditions ( $P > 0.05$  in all cases). Therefore, we pooled the data of 2009 and 2010.

#### Results

The Cox model indicated that queens cohabiting with workers survived longer compared to solitary queens regardless of the feeding conditions (Fig. 1, Table 1. cohabitation of major workers:  $P < 0.001$  and minor workers:  $P = 0.036$ , no significant differences between cohabitation of major workers and minor workers,  $P > 0.05$ , used “survival” package). Minor and major worker survived long period with extending queen survival (major workers:  $P = 0.013$  and minor workers:  $P = 0.019$ ).

Fed queens survived longer than unfed queens, and unfed queens with fed major workers survived longer than unfed queens with unfed major workers (Fig. 1). However, the cox model indicated that the feeding conditions of queens and workers had no significant influences on queen survival (queen’s feeding condition:  $P = 0.32$ , major workers’ feeding condition:  $P = 0.3$ , and minor workers’ feeding condi-

tion:  $P = 0.98$ ). Worker survivals were also independent of workers’ feeding conditions (Fig. 2. major worker:  $P = 0.33$  and minor worker:  $P = 0.73$ ).

#### Discussion

Sanada *et al.* (1997) reported that major workers of *C. yamaokai* frequently exhibited trophallaxis under starved conditions. Trophallaxis was also observed under overwintering conditions (Shiroto *et al.*, 2011). Therefore, we expected that fed workers, particularly major workers, would improve

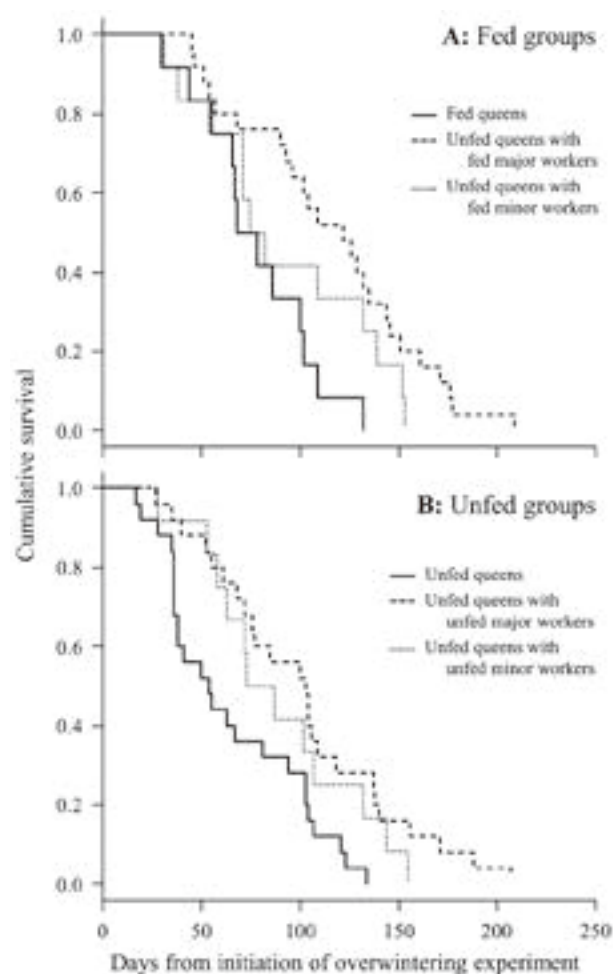


Fig. 1. Cumulative proportion of surviving queens.

(A) Groups including fed ant(s). The solid line represents a solitary fed queen ( $n = 12$ ). The broken line represents a single unfed queen with five fed major workers ( $n = 25$ ). The dotted line represents a single unfed queen with ten fed minor workers ( $n = 12$ ).

(B) Groups comprised unfed ant(s). The solid line represents a solitary unfed queen ( $n = 25$ ). The broken line represents a single unfed queen with five unfed major workers ( $n = 25$ ). The black dotted line represents a single unfed queen with ten unfed minor workers ( $n = 12$ ).

Table 1. Results of the Cox proportional hazards random-effects model of queen survival

Factors	Coefficients	z-values	d.f.	p-values
Cohabitation with major workers	-1.38	-3.76	1	<0.001
Cohabitation with minor workers	-0.84	-2.09	1	0.04
Feeding conditions of queens	-0.49	-1.00	1	0.32
Feeding conditions of workers	-0.45	-1.25	1	0.20

The reference point of this model is the mean survival of solitary unfed queens. Statistical significance did not change even when a random factor was removed from the model.



Fig. 2. Cumulative proportion of surviving workers. The broken black line and grey line represent the fed major workers with a single unfed queen ( $n=125$ ) and unfed major workers with a single unfed queen ( $n=125$ ), respectively. The dotted black line and grey line represent the fed minor workers with a single unfed queen ( $n=120$ ) and unfed minor workers with a single unfed queen ( $n=120$ ), respectively.

overwintering success of queens. However, feeding conditions of major and minor workers did not influence queen survival under overwintering conditions. In addition, even when cohabiting with hungry minor workers who are poor donors during trophallaxis (Sanada *et al.*, 1997), queens survived longer than their survival period under solitary conditions (Fig. 1, Table 1). These results indicated that trophallaxis of major workers to queens did not play an important role in enhancing the overwintering survival of queens.

Therefore, some other proximate factors are responsible for the link between the overwintering success of queens and cohabitation with workers.

Crowding by workers could decrease the metabolic rates of queens by preventing moisture loss during dry winters, as reported in the diapausing tropical beetle *Stenotarsus rotundus* (Tanaka *et al.*, 1988). Alternatively, Kaspari & Vargo (1995) suggested that workers surrounding a queen act as a temperature buffer. In social insects, many studies have also shown the positive influence of crowding on overwintering survival (Heinze, 1993; Heinze *et al.*, 1996; Johnson, 2004; Kronauer & Boomsma, 2007; Shiroto *et al.*, 2011; Tibbetts & Reeve, 2003). However, not many studies have reported the proximate factors, and further studies are necessary to understand how crowding increases cold tolerance in social insects.

Feeding treatments for queens did not influence queen survival under the overwintering condition (Table 1). This result might be attributable to the life history of *C. yamaokai*. Because newly emerged queens remain in their natal colonies, queens always cohabit with workers throughout their life history (Sato, 1989). Therefore, *C. yamaokai* queens are always fed by workers like most ants. There are no selection pressures acting to increase the foraging ability of queens. We rarely observed queens on foods during the feeding treatments. Consequently, nutritional conditions of queens would not be different between starved and fed conditions.

In this study, we used queens, not alates. At its heart, we should have investigated the effects of workers on overwintering survival of virginal alates. However, in experimental overwintering

condition, there was no significant difference between queen survival and alate survival (Shiroto, unpublished data). Therefore, regardless of queen's fertilization status, the present results are found to be useful for verify the effects of workers on overwintering survival of *C. yamaokai* queens.

In feeding treatments, many workers were frequently observed on foods. The gasters of fed workers appeared to obviously bulge to a larger degree than those of unfed workers. Therefore, feeding treatments would change nutritional conditions of workers unlike those of queens. However, the feeding conditions of workers did not influence their own survival under the overwintering condition (Fig. 2). Furthermore, minor and major worker survived long period with extending queen survival. So, it is possible that the effect of intercolonial variance of constituent members was huger than variance due to nutritional conditions on determining overwintering success. Cold resistance may vary widely among colonies in *C. yamaokai*.

### References

- Hasegawa, E. (1993) Caste specialization in food storage in the dimorphic ant *Colobopsis nipponicus* (Wheeler) *Insectes Sociaux* 40 (3) : 261-271.
- Heinze, J. (1993) Life history strategies of subarctic ants. *Arctic* 46(4): 354-358.
- Heinze, J. and B. Hölldobler (1994) Ants in the cold. *Memorabilia Zoologica* 48: 99-108.
- Heinze, J., M. Stahl and B. Hölldobler (1996) Eco-physiology of hibernation in boreal *Leptothorax* ants (Hymenoptera : Formicidae). *Ecoscience* 3 (4) : 429-435.
- Heinze, J. and S. Foitzik (2009) The Evolution of queen numbers in ants: from one to many and back. In : *Organization of Insect Societies, from Genome to Sociocomplexity* : 26-50.
- Hughes, W. O. H., B. P. Oldroyd, M. Beekman and F. L. W. Ratnieks (2008a) Ancestral monogamy shows kin selection is key to the evolution of eusociality. *Science* 320 : 1213-1216.
- Hughes, W. O. H., F. L. W. Ratnieks and B. P. Oldroyd (2008b) Multiple paternity or multiple queens : two routes to greater intracolony genetic diversity in the eusocial Hymenoptera. *Journal of evolutionary biology* 21(4) : 1090-1095.
- Johnson, R. A. (2004) Colony founding by pleometrosis in the semiclaustral seed-harvester ant *Pogonomyrmex californicus* (Hymenoptera : Formicidae). *Animal behaviour* 68 (5) : 1189-1200.
- Kaspari, M. and E.L. Vargo (1995) Colony size as a buffer against seasonality: Bergmann's rule in social insects. *American Naturalist* 145 (4) : 610-632.
- Kronauer, D. C. J. and J. J. Boomsma (2007) Multiple queens means fewer mates. *Current Biology* 17: 753-755.
- R Development Core Team. (2011) A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.r-project.org/>
- Sanada, S., T. Satoh and Y. Obara (1997) Trophallaxis and genetic relationships among workers in colonies of the polygynous ant *Camponotus yamaokai*. *Ethology Ecology & Evolution* 9 (2) : 149-158.
- Satoh, T. (1989) Comparisons between two apparently distinct forms of *Camponotus nawai* Ito. *Insectes Sociaux* 36 (4) : 277-292.
- Satoh, T. (1990) Ecological studies on the ants, *Camponotus nawai* complex with special reference to the polygyny. Doctoral thesis, University of Tsukuba.
- Shiroto, A., T. Satoh and T. Hirota (2011) The Importance of Workers for Queen Hibernation Survival in *Camponotus* Ants. *Zoological science* 28 (5) : 327-33.
- Tanaka, S., H. Wolda and D.L. Denlinger (1988) Group size affects metabolic rate of a tropical beetle. *Physiological Entomology* 13 (2) : 239-241.
- Tibbetts, E. A. and H. K. Reeve (2003) Benefits of foundress associations in the paper wasp *Polistes dominulus* : increased productivity and survival, but no assurance of fitness returns. *Behavioral Ecology* 14 (4) : 510-514.



## 論文

## 東京都心部の赤坂御用地におけるタヌキのタメフン場における個体間関係

小泉璃々子<sup>\*1</sup>・酒向 貴子<sup>\*2</sup>・手塚 牧人<sup>\*3</sup>・小堀 睦<sup>\*4</sup>・斎藤 昌幸<sup>\*5,6</sup>・金子 弥生<sup>\*5,7</sup>Individual interaction at latrine sites of raccoon dogs  
in the Akasaka Imperial Grounds, central TokyoRiriko KOIZUMI<sup>\*1</sup>, Takako SAKO<sup>\*2</sup>, Makito TEDUKA<sup>\*3</sup>, Mutsumi KOBORI<sup>\*4</sup>  
Masayuki U. SAITO<sup>\*5,6</sup>, Yayoi KANEKO<sup>\*5,7</sup>

To reveal individual interaction at latrines in a raccoon dog population in an urban green area (Akasaka Imperial Grounds, 51ha) in central Tokyo, 6 individuals (4 adult males and 2 adult females) were radio-tracked from August to November 2012. In parallel, the radio-tagged individuals were observed at 11 latrines by camera traps. The tracked raccoon dogs were not recorded outside of the green area since home ranges were seemed as stable. Latrine usage and faeces sniffing behavior increased in autumn, indicate that information exchange at latrine between individuals became active. In addition, 2 adult males and an adult female overlapped both in home ranges and core areas, as well as co-use a latrine in a core area, which imply the social unit may be not a pair.

**Keywords:** home range, latrine, monogamy, spatial organization, *Nyctereutes procyonoides*

都心部緑地に生息するタヌキのタメフン場における個体間関係を明らかにするために、2012年8月に赤坂御用地内で捕獲した個体6頭（成獣オス4頭、成獣メス2頭）に首輪型発信機を装着し、8月から11月にかけて個体追跡を行った。また、同期間に調査地内のタメフン場11カ所にカメラを設置し、タメフン場におけるタヌキの行動を記録した。追跡個体は、調査地から大きく出ることにはなかつたため、赤坂御用地の敷地内を日常的な生息場所として利用しているものと考えられた。タメフン場の利用は秋に増加し、糞を嗅ぐ行動も秋に増加した。このことから、秋にタメフン場における個体間の情報交換が活発になったと考えられる。更に、成獣オス2頭と成獣メス1頭がタメフン場を共同利用し、かつ、行動圏およびコアエリアを大きく重複させて生息していたことから、一般的な一夫一妻制の社会構造ではない可能性が示唆された。

**キーワード:** 一夫一妻、空間配置、行動圏、タメフン、*Nyctereutes procyonoides*

## 1. はじめに

タヌキ *Nyctereutes procyonoides* はイヌ科の中型食肉目動物であり、その社会構成単位は基本的にペアと考えられている（谷地森ほか、1997；Kauhala and Saeki, 2004）。日本のホンダタヌキ *N. p.*

*viverrinus* の主な生息地は、奥山及び都市郊外から里山・低地にかけての、緑地が連続している場所である（佐伯、2008）。タヌキはタメフンをすることが知られ、糞の匂いによって個体を区別することができると考えられている（Yamamoto, 1984）。また、タメフン場は特定のグループ内で共有される

2017. 1. 31受付；2017. 2. 17受理

\*1 東京農工大学農学部 Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*2 宮内庁 Imperial Household Agency

\*3 フィールドワークオフィス Field Work Office

\*4 東京野生生物研究所 Tokyo Wildlife Research Centre

\*5 東京農工大学大学院農学研究院 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*6 日本学術振興会 Japan Society for the Promotion of Science

\*7 Corresponding author

(Ikeda, 1984)。タヌキのタメフン場は、排泄の場としてだけでなく、情報交換の場として利用されており、家族および隣接個体の確認や相互許容の機能など、タヌキの社会構造に深くかかわっている (Ikeda, 1984)。さらに、タメフン場は、採餌場として利用されている可能性も指摘されている (手塚・遠藤, 2005)。九州の松浦島の餌マーク法を用いた研究 (Ikeda, 1984) によると、タメフン場の利用は季節的にまたは生活史にもとづき変化していた。しかし、タメフン場におけるタヌキの詳細な訪問時間や個体識別、排糞以外の行動に関する研究は行われていない。

東京都においては、1950年代初頭まではタヌキの捕獲例があったが、都市化の進行に伴い、都心部での生存は1960年代後半に途絶えた (小原, 1982)。しかし、都心部緑地である東京都港区の赤坂御用地では、1990年代前半からタヌキが目撃されるようになり、その後目撃例は増加傾向にある (手塚・遠藤, 2005)。このようにタヌキが近年、都市環境にも生息可能となった理由については、まだ調べられていない。本研究では、赤坂御用地に生息するタヌキを対象として、行動圏の空間配置と行動圏内のタメフン場における行動を明らかにし、赤坂御用地に生息するタヌキの社会構造について考察することを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1. 調査地

調査地は、東京都港区北部に位置する赤坂御用地である (図1)。調査地の面積は約51ha、標高約11~34 m、気候は夏雨型の太平洋型気候で、年間降水量1529 mm、年平均気温16.3℃である (気象庁ホームページ, 2012)。赤坂御用地内には、東宮御所の



図1. 赤坂御用地と周辺の緑地

ほか、各宮家のご住居、芝生と池を配した庭園があり、敷地の約1/3は広葉樹を主体とした雑木林と針葉樹の植栽、梅林などが占める (大和田・武田, 2005)。人の出入りは制限されており、特に夜間はほとんど人が見られない。

本調査地内では1990年代前半からタヌキが目撃されており、生後間もない幼獣が保護されるなど、定着し繁殖しているものと考えられる (手塚・遠藤, 2005)。本調査と並行して行われた2012年から2013年にかけての、カメラトラップを用いた標識再捕獲法によるタヌキの個体数と生息密度の推定結果は、それぞれ26.5頭と0.52頭/haであった (岩崎ほか, 2017)。調査地に生息する中型食肉目動物として、タヌキのほか、ネコ *Felis catus*、およびハクビシン *Paguma larvata* が確認されている (手塚・遠藤, 2005; 酒向ほか, 2012)。

### 2.2. 捕獲と追跡

タヌキの捕獲はソフトキャッチ17台 (VICTOR社, ソフトキャッチ) および箱罠5台 (サージミヤワキ株式会社, SMC アニマルトラップ NO. 1079 ストロング, 片開き踏板式, 長さ31.5×横26.0×高さ81.5cm) を用いて2012年8月2日から8月4日にかけてのべ2日間行った。捕獲個体は塩酸ケタミンと硫酸アトロピン、およびドミトールを用いて不動化し (岸本・金子, 2005)、外部計測と首輪型発信機 (Biotrack社, TW-5 TRANSMITTER, 146-147MHz, 150~180g) の装着を行った。捕獲個体は十分に覚醒したことを確認し、捕獲地点付近に放逐した。捕獲個体のうちメス2個体は、速やかに放逐するため、アンチセダンを用いて覚醒させた。首輪型発信機には個体識別のために蛍光テープや反射テープを付けた。

個体の追跡は2012年8月から11月にかけて八木アンテナ (八木アンテナ株式会社製, H-4EL) と携帯型受信機 (YAESU社, FT-290mk II) を用いて行い、2~3点から発信源の方向を求め、その交点を個体の推定位置とした。手塚・遠藤 (2005) より調査地のタヌキの出現時間が夜間や日の出、日の入り前後に多く、季節による日の出や日没時間の変化に対しての活動時間の変化が認められなかったことから、各個体の追跡は、17時から21時および17時から7時に行った。各個体の方探作業は最低15分間隔で行った。追跡は17時から21時の行動追跡を8月に2回、9月に2回、10月に3回、17時から7時の行

動追跡を9月と11月に各1回行った。

また、調査地内で電波が確認できなくなった個体について、10月に1回、ホイップアンテナおよび八木アンテナと携帯型受信機を用いて赤坂御用地の外周や周辺の緑地（明治神宮外苑、新宿御苑、皇居、青山霊園）で受信を試みた。

### 2.3. 行動圏の解析

個体RM1, RF2, RM3, RM4, RM6について、RANGE VI (Anatrack Ltd, UK) を用いて行動圏サイズを算出した。行動圏サイズは、最外郭法(MCP)で求めた。先行研究と比較するため、100%最外郭法を用いた。また、100%最外郭法は過大評価になりやすいため、95%最外郭法による行動圏サイズも求めた(尾崎・工藤, 2002)。コアエリアは50%固定カーネル法(FK)により算出した(金子ほか, 2008)。重複率は95%最外郭法による行動圏と50%固定カーネル法によるコアエリアについてGIS (ArcView GIS 10 for windows) を用いて計算した。個体RF5は測位地点数が少なかったため、行動圏解析を行わなかった。

重複率 ( $Iov$ ) は, Herr *et al.* (2008) の重複率式に100を乗じて求めた:

$$Iov = \frac{2HR_{ov}}{(HR_1 + HR_2)} \times 100$$

$HR_1$ ,  $HR_2$ : 各個体の行動圏面積

$HR_{ov}$ : 重複部分の面積

$$0 \leq Iov \leq 100$$

### 2.4. タメフン場の利用状況調査

3月および4月に赤坂御用地内をくまなく踏査し、タメフン場の位置を記録した(図2)。確認されたタメフン場17カ所のうち11カ所に、個体識別、行動などを記録するため、赤外線センサー付きカメラ(トロフィーカム XLT, Bushnell製)を設置した。撮影は30秒の動画撮影とした。カメラは8月に設置し、2週間ごとにデータの回収を行った。撮影期間は8月3日から11月6日であった。

カメラによる調査はラジオテレメトリーによる行動追跡と並行して行った。自動撮影によるタメフン場利用の解析には設置した11台のうち首輪装着個体3頭の重複した行動圏内にある2台のうち、調査期間中に排泄する行動が確認され、タメフン場として

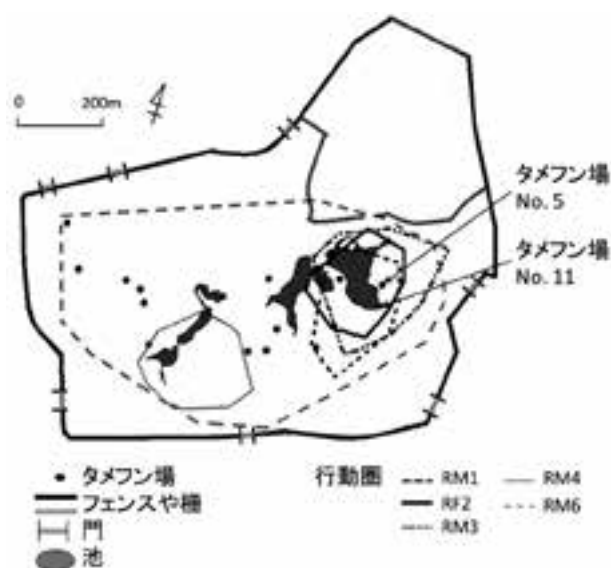


図2. 赤坂御用地のタヌキの行動圏(2012.8.~2012.11.) 行動圏の凡例記号はタヌキ各個体のID番号を示す。

用いていることが確認されたカメラ1台(No.11)を用いた(図2)。もう1台のカメラ(No.5)を設置した場所は、樹木の実生が密生していることから過去にタメフン場として利用されていたと考えられるが、調査期間中に排泄に用いられなかったため、タメフン場利用状況の解析には含めず、個体間関係を考察する補足資料とした。解析には捕獲作業による影響を低減させるため、捕獲期間および捕獲後2日間を除いた8月7日から11月6日までのデータを用い、8月7日から9月21日を晩夏、9月22日から11月7日を秋とした。また、10分以内に同一個体と思われる個体が複数回撮影された場合は、1回のタメフン場訪問として数えた。

カメラに映ったタヌキの行動は、排糞、糞を嗅ぐ、探餌の3項目を記録した。各行動の定義は、

排糞: 糞をする行動

糞を嗅ぐ: 鼻先をタメフン場に近づける行動

探餌: 前肢や鼻先で地面を掘る行動

とした。

## 3. 結果

### 3.1. 行動圏とその空間配置

2012年8月2日、3日の捕獲調査ではオス成獣4個体(RM1, RM3, RM4, RM6)、メス成獣2個体(RF2, RF5)、計6個体が捕獲された。メスは個体RF2, RF5ともに泌乳が確認された(表1)。しかし個体RF5は9月中旬以降、発信が確認できなくなったため、10月に赤坂御用地の外周や周辺の

表1. 赤坂御用地のタヌキの捕獲個体情報 (2012年8月捕獲)。MCPは最外郭法, FKは固定カーネル法。

個体ID	性別	成長段階	捕獲時の体重 (kg)	追跡期間 (2012年)	地点数 (n)	100%MCP (ha)	95%MCP (ha)	50%FK (ha)
RM1	♂	成獣	3.9	8月13日-11月7日	58	16.14	4.03	2.98
RF2	♀	成獣	3.5	8月13日-11月7日	56	6.58	5.49	1.53
RM3	♂	成獣	3.9	8月13日-11月7日	63	5.27	4.06	2.15
RM4	♂	成獣	3.7	8月13日-11月7日	53	37.23	33.86	15.19
RF5	♀	成獣	4.3	8月13日-9月3日	11	-	-	-
RM6	♂	成獣	4.2	8月13日-11月7日	60	3.76	3.48	1.00

表2. 赤坂御用地のタヌキの行動圏重複率 (2012. 8. ~2012. 11.)

個体ID	個体ID	重複率 (%)	
		95%MCP*	50%FK**
オス-オス間			
RM 1	RM 4	21.29	19.34
RM 1	RM 6	71.50	50.16
RM 3	RM 4	21.42	11.77
RM 4	RM 6	18.64	11.74
RM 3	RM 6	0	0
RM 1	RM 3	0	0
オス-メス間			
RM 1	RF 2	65.96	60.50
RM 4	RF 2	25.41	11.55
RM 6	RF 2	71.04	70.62
RM 3	RF 2	0	0

\*MCPは最外郭法, \*\*FKは固定カーネル法

緑地 (明治神宮外苑, 新宿御苑, 皇居, 青山霊園) を調査したが, 受信することができなかった。

行動圏サイズは100%最外郭法で平均13.80±12.49 (SD)ha, 95%最外郭法で平均10.18±11.86(SD)haであった。95%最外郭法の行動圏の最大は33.86ha (RM4), 最小は3.48ha (RM6)であった (表1)。コアエリア (50%固定カーネル法) は95%最外郭法の行動圏サイズの平均45.75% (4.57±5.35 SDha) だった。オス-オス間, オス-メス間で行動圏の重複があった。オス-オス間の平均重複率は22.14±23.91(SD)%, オス-メス間の平均重複率は40.60±29.36 (SD)%だった (表2)。個体RM1, RF2, RM6の行動圏及びコアエリアは重複率が高く, 平均重複率は行動圏が69.5±2.51(SD)%, コアエリアが60.43±8.35(SD)%だった。個体RM1, RF2, RM6とRM3の間に行動圏の重複は無かった。また, 個体RM4はいずれの個体とも行動圏及びコ

アエリアを重複させており, 平均重複率は行動圏が21.69±2.42 (SD)%, コアエリアが13.6±3.32 (SD)%であった。

個体RM1, RF2, RM3, RM6の95%最外郭法の行動圏は, すべて赤坂御用地の敷地内にあったが, RM4は95%最外郭法の行動圏が一部迎賓館 (測定地点51点のうち1点) にあり, 目視によっても迎賓館にいるところの確認された。敷地内の利用は行動圏の配置により, 敷地の全域に行動圏を持つ全域利用型 (RM4) と, 敷地内の限られた箇所に行動圏を持つ特定範囲利用型 (RM1, RF2, RM3, RM6) の2つのタイプがみられた。また, RM1, RF2, RM6は調査地東部の池付近の同様の場所に行動圏が配置していた。

### 3.2. タメフン場における個体間関係

カメラNo. 11で撮影された8月7日から11月6日の92日間の連続記録における合計タヌキ訪問頭数はのべ221頭, 日平均訪問頭数は2.4頭であった (表3)。カメラNo. 11を設置したタメフン場は, 個体RM1, RF2, RM4, RM6の行動圏及びコアエリアの内部に位置し (図2), 個体RM1, RF2, RM6が撮影された。201回の撮影のうち, 1頭で撮影された回数が182回 (90.5%), 同時に2頭撮影された回数は18回 (9.0%), 同時に3頭が撮影されたのが1回 (0.5%) だった。季節ごとの全撮影回数に対する2頭同時撮影回数の割合は, 晩夏が4.9%, 秋が10.0%であり, 秋に2頭が同時に撮影されることが多かった。また, 首輪装着個体RM1, RF2, RM6の他に, 最大2頭の利用が確認された。首輪装着3個体の平均および各個体のタメフン場訪問回数は, いずれも晩夏より秋の方が多く, 首輪装着個体以外も含むタメフン場を訪問した全タヌキのタメフン場

訪問回数は秋の訪問回数は晩夏の訪問回数の約3.8倍に及んだ。

個体ごとの訪問回数を比較すると、個体RM1が31回と最も多く、次いでRM6(25回)、RF2(23回)の順に回数が多かった。複数の首輪装着個体が同時に撮影されることはなかった。

また、撮影された首輪装着個体3頭の平均訪問回数で全個体訪問回数を除してこのタメフン場の利用個体数を推定したところ、8.4頭となった。このほか、個体数に関する情報としては、カメラNo.5に4頭(個体RM1, RF2を含む)が同時に撮影さ

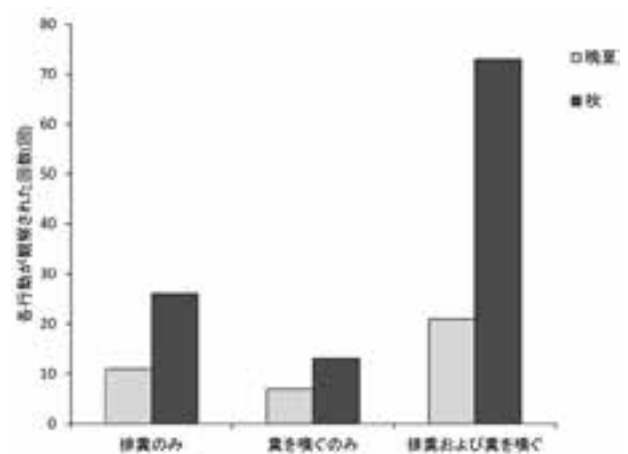


図4. 赤坂御用地におけるタヌキのタメフン場における行動の季節的变化 (2012. 8. 7. ~2012. 11. 6.)

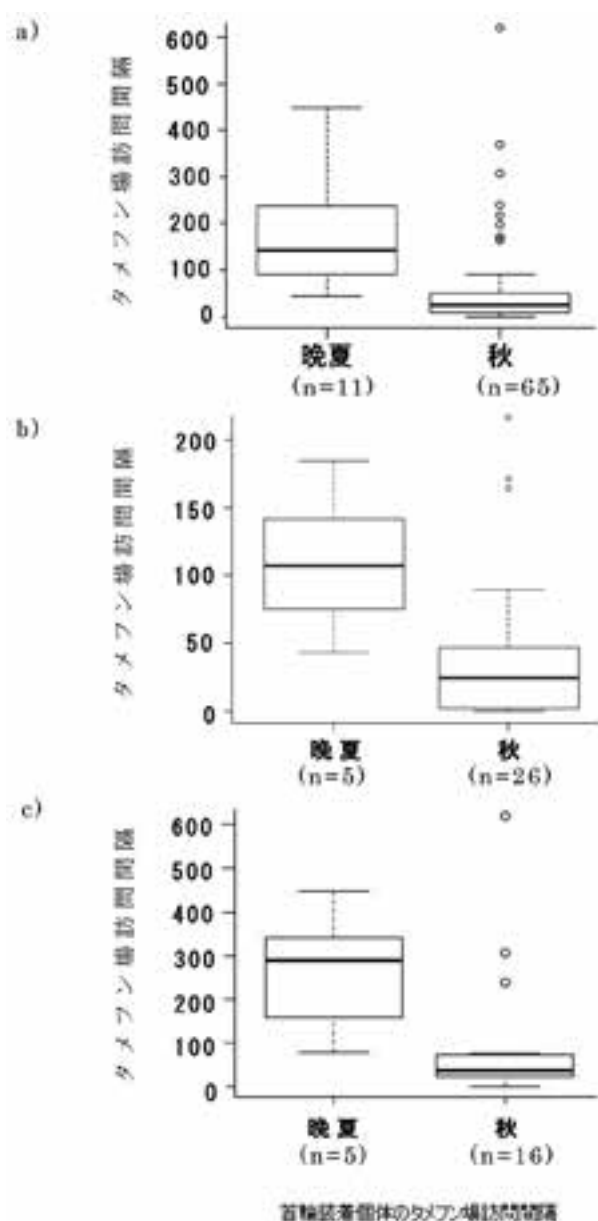


図3. 赤坂御用地のカメラNo.11のタヌキのタメフン場訪問間隔 (2012. 8. 7. ~2012. 11. 6.)

- a) 首輪装着3個体のタメフン場訪問間隔 (h)  
 b) 個体RM1のタメフン場訪問間隔 (h)  
 c) 個体RM6のタメフン場訪問間隔 (h)

れた。また、これらの個体間において、威嚇などの敵対行動は見られなかった。カメラNo.5で非首輪装着個体4頭が同時に撮影された。

更に、個体RM1, RF2, RM6のタメフン場訪問間隔は、3個体の季節ごとの平均が晩夏 $179.27 \pm 127.73$ (SD)h, 秋 $59.29 \pm 101.76$ (SD)hとなった。首輪装着3個体平均、個体RM1, RM6についてそれぞれU検定 (Mann-Whitney's U-test) を行ったところ、いずれも秋にタメフン場訪問間隔が有意に短かった (首輪装着個体3個体平均  $P=7.11e-5 < 0.05$ , RM1  $P=0.012 < 0.05$ , RM6  $P=0.015 < 0.05$ )。また、個体RF2はデータが少なく、検定を行うことができなかったが、晩夏より秋の方が短い同様の傾向を示した (図3 a, b, c)。

タメフン場におけるタヌキの行動のうち排糞のみ、糞を嗅ぐ行動のみ、排糞および糞を嗅ぐ行動がカメラNo.11のタメフン場でみられた回数は、季節ごとに変化した (図4)。いずれの個体も排糞のみ行われた回数は晩夏11回から秋26回に増加し、糞を嗅ぐのみ行われた回数は晩夏7回から秋13回に増加し、排糞および糞を嗅ぐ行動は晩夏21回から秋73回へ3.5倍になった。また、晩夏には見られなかった探餌行動が、秋には計10回確認された。

## 4. 考察

### 4.1. 行動圏と基本的社会単位

今回調査したタヌキの個体の行動圏は、大部分が赤坂御用地の敷地内にあったことから、これらの個体はほかの緑地を利用せず、赤坂御用地を主な生息地としていると考えられる。従って、赤坂御用地内

で休息や採餌などが行われていると考えられる。赤坂御用地内のタヌキは、敷地内全域を利用する全域利用型個体と、限られた箇所に行動圏をもつ特定範囲利用型個体がいた。これは、餌や水場、ねぐらなどの資源の利用方法の違いによる可能性がある。特定範囲利用型個体は資源密集地を集中的に利用していると考えられる。一方、全域利用型個体は、コアエリアが大きかったことから、敷地内全域を利用することで餌との遭遇率を上げ、多様な餌を得ていると考えられる。単独のオス個体とペア形成個体では、行動圏の配置や構造が異なると考えられている(関谷, 1998)。そのため、全域利用型個体は、ペア形成をしていない単独個体である可能性がある。また、特定の行動圏を形成せずに移動を続けている可能性もある。

また、行動圏重複率の高い3個体はいずれも成獣であり、タメフン場を共有していた。タヌキと同様に一夫一妻制の社会構造を持つアカギツネとシマハイイロギツネについて、高密度生息地において一腹に複数の父系が確認されており、タヌキにおいても同様な条件ではその可能性があるといわれている(佐伯, 2008)。従って、赤坂御用地内に生息するタヌキの社会構造が、一般的な一夫一妻の社会構造ではない可能性が示唆された。ただし、タヌキは分散様式が多様であることから(佐伯, 2008)、仔が分散期後も親と同様の行動圏内にとどまっている可能性もある。そのため、社会構造を明らかにするには、通年の行動や血縁関係など、さらなる調査と検証が必要である。

#### 4.2. タメフン場における個体間関係

タメフン場訪問間隔は、雌雄ともに秋の方が晩夏より短かった。これは、秋に頻繁にタメフン場を訪れるようになることを示している。秋は、タメフン場における糞の数が増加することから(野紫木, 1987)、季節変化に伴う食性や摂食量の変化によって排糞量が増加し、排糞回数が増加した可能性がある。また、秋にタメフン場訪問頻度だけでなく、糞を嗅ぐ行動が増えたことから、秋にタメフン場における個体間の情報交換が活発になったと考えられる。秋は仔の独立・分散が起こる時期でもあること(谷地森ほか, 1997)、ペア形成が始まる時期であること(福江, 1996; Saeki, 2009)から、秋のタメフン場訪問頻度の増加は、個体の分散やペア形成と関係があると考えられる。タヌキは糞によって個

体を区別できると考えられている(Yamamoto, 1984)。そのため、タメフン場で利用個体などの個体情報を積極的に得るために、タメフン場に頻繁に訪れるようになった可能性がある。また、秋は果実の利用が増加するなど、食性が変化する時期であることから(Hirasawa *et al.*, 2006)、餌資源の情報を得ていたことも考えられる。

秋にはタメフン場で採餌が行われるようになった。手塚・遠藤(2005)によると、赤坂御用地に生息するタヌキの糞における昆虫類の出現頻度は11月期、1月期、6月期のいずれにおいても非常に高いが、出現種や出現種数は季節により変化しており、特に11月期にタメフン場のような環境を好むハネカクシ類やコオロギ類といった昆虫類がフン内容物に目立って出現する。したがって、タメフン場における採餌は、秋に採餌の多いハネカクシ類などの昆虫を採食する行動であったと考えられる。

今回カメラ No. 11を設置したタメフン場は、行動圏の内部に位置して複数の個体が共同利用していたことから、既存の知見と同様に、タメフン場は行動圏の防衛のために利用されているのではないと考えられる。以上より、タメフン場は、排糞の場、個体間の情報交換の場、採餌場として利用されていると思われる。

赤坂御用地のタヌキは、主に敷地内で活動しており、行動圏を大きく重複させることで、限られた緑地内での生息を可能にしていた。更に、成獣のオス2頭とメス1頭がタメフン場で情報を共有しながら行動圏およびコアエリアを大きく重複させて生息していたことから、孤立緑地内でのタヌキの社会構造が一般的な一夫一妻制の社会構造ではない可能性が示唆された。今後、通年の行動や血縁関係についても調査を行い、検証していく必要がある。

#### 謝 辞

本研究をおこなうにあたり、秋篠宮文仁殿下には、赤坂御用地のタヌキ調査についての必要性およびプロジェクト開始についてご提案いただいた。現地調査を実施するにあたり、国立科学博物館動物研究部の川田伸一郎氏、宮内庁庭園課の皆様には、様々な便宜を図っていただき、殊に矢藤光三氏、田川淳氏には、現地調査への付き添いをはじめ、多大なご協力をいただいた。なお、本研究は国立科学博物館のプロジェクト研究の一環として同館の館長支援経費から一部支援を受けて実施した。また、本研

究の一部は JSPS 科研費16H02996の助成を受けた。  
 ここにお礼を申し上げる。

### 引用文献

- 福江佑子. 1996. エサ場におけるタヌキの社会グループの変遷と社会関係について. 金沢大学理学部附属植物園年報 19 : 13-18.
- Herr, J., Schley, L. & Roper, T. J. 2008. Socio-spatial organization of urban stone martens. *Journal of Zoology* 277 : 1-9.
- Hirasawa, M., Kanda, E. & Takatsuki, S. 2006. Seasonal food habits of the raccoon dog at a western suburb of Tokyo. *Mammal Study* 31 : 9-14.
- Ikeda, H. 1984. Raccoon dog scent marking by scats and its significance in social behaviour. *Journal of Ethology* 2 : 77-84.
- 岩崎佳生理・斎藤昌幸・酒向貴子・小泉璃々子・手塚牧人・金子弥生. 2017. カメラトラップを用いた赤坂御用地におけるホンダタヌキの個体数推定. *フィールドサイエンス* 15 : 49-55.
- 金子賢太郎・丸山将吾・永野治. 2008. 国営昭和記念公園周辺に生息するタヌキの生息地利用について. *ランドスケープ研究* 71 : 859-864.
- Kauhala, K. & Saeki, M. 2004. Raccoon dog. *In* *Canids : Foxes, Wolves, Jackals and Dogs. Status Survey and Conservation Action Plan* (Eds. Sillero-Zubiri, C., Hoffmann, M. & Macdonald, D. W.) (IUCN, Gland) : 136-142. (<http://data.iucn.org/bdtw-wpd/edocs/2004-041/CANID4.pdf>).
- 岸本真弓・金子弥生. 2005. 食肉目調査にかかわる保定技術. *哺乳類科学* 45 : 237-250.
- 気象庁ホームページ. 2012. <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2012年12月18日取得).
- 大和田守・武田正倫. 2005. 赤坂御用地と常盤松御用邸の動物相. *国立科学博物館専報* 39 : 1-5.
- 尾崎研一・工藤琢磨. 2002. 行動圏—その推定法, 及び観察点間の自己相関の影響. *日本生態学会誌* 52 : 233-242.
- 小原秀雄. 1982. 東京の哺乳類. *東京の生物史* (沼田真・小原秀雄編). 紀伊國屋書店. 65-73pp.
- 佐伯緑. 2008. 第12章 里山の動物の生態. *日本の哺乳類学②—中大型哺乳類・霊長類* (高槻成紀・山極寿一編). 東京大学出版会. 321-345pp.
- Saeki, M. 2009. *Nyctereutes procyonoides* (Gray, 1834). *The Wild Mammals of Japan* (Eds. Ohdachi, S. D. Ishibashi, Y. Iwasa M. A. & Saitoh, T.). Shoukadoh Book Sellers. 216-217pp.
- 酒向貴子・手塚牧人・小泉璃々子・金子弥生. 2012. 東京都の都心部と里山のタヌキの体サイズの比較. *哺乳類学会2012年度大会要旨集*. 130pp.
- 関谷圭史. 1998. V まとめ 1. タヌキの社会の構造. *信州のタヌキ*. 郷土出版社. 123-128pp.
- 手塚牧人・遠藤秀紀. 2005. 赤坂御用地に生息するタヌキのタメフン場利用と食性について. *国立科学博物館専報* 39 : 35-46.
- 谷地森秀二・山本祐治・高田豊行・吉川欣亮・今井清. 1997. 「休息場」利用状況および分子生物学技術による野生ホンダタヌキの家族関係推定. *哺乳類科学* 36 : 153-164.
- Yamamoto, I. 1984. Latrine utilization and feces recognition in the raccoon dog, *Nyctereutes procyonoides*. *Journal of Ethology* 2 : 47-54.
- 野紫木洋. 1987. 志賀高原におけるホンダタヌキの生態について. *信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績* 24 : 43-53.

## 論 文

動物園・水族館の展示を評価する  
—関東地方の動物園・水族館の調査—

武田 庄平<sup>\*1†</sup>・榎本はるか<sup>\*2</sup>・小林 大佑<sup>\*3</sup>・福田早紀子<sup>\*3</sup>・荒川 直輝<sup>\*4</sup>  
安東幸志朗<sup>\*4</sup>・原 祐菜<sup>\*5</sup>・藤坂 航大<sup>\*5</sup>・盧 曦子<sup>\*5</sup>

Evaluating the Exhibitions of Zoos and Aquariums; Research  
on Zoos and Aquariums in Kanto region

Shohei TAKEDA<sup>\*1</sup>, Haruka ENOMOTO<sup>\*2</sup>, Daisuke KOBAYASHI<sup>\*3</sup>, Sakiko FUKUDA<sup>\*3</sup>  
Naoki ARAKAWA<sup>\*4</sup>, Koshiro ANDO<sup>\*4</sup>, Yuna HARA<sup>\*5</sup>, Kodai FUJISAKA<sup>\*5</sup>, and Xizi LU<sup>\*5</sup>

日本動物園水族館協会に加盟している東京都、神奈川県、埼玉県にある園館のうち、日本の動物園・水族館で見かけることの多いシマウマ、ゾウ、インコ、ペンギン、ペリカン、アザラシ・アシカ、イルカなどの同じ種類の生き物が飼育されている異なる園館を選定し、実地踏査し、動物の展示や施設の工夫を、来園者の立場で評価し、各園館の展示の工夫を比較評価検討した。その結果、観覧者は生き物が至近距離で観られて当然であると考えており、そうでない場合は評価が低い、また施設のきれいさを求める傾向も高く、個体数の少ない展示に対しては低い評価を下しがちである傾向が示された。これらの観覧者の態度に対してうまく対応することで、エデュテインメント施設としての動物園・水族館は、エコツーリズム的ないし環境教育的に効果的な展示を行うことが可能となり、またそのことを通じて動物園・水族館の存在意義を明示することにつながると言える。

キーワード：動物園・水族館、展示方法、エデュテインメント、エコツーリズム、環境教育

## はじめに

動物園や水族館は、世代を問わず人々が気軽に訪れて楽しめるレクリエーション施設である。とりわけ動物園の多くは自治体が運営している施設が多く、そのためか入園料も比較的安価で、ところによっては無料の施設も少なからずあり、市民にとっては低予算で楽しめるレクリエーション施設であると言える。とは言え、動物園や水族館は単なるレクリエーション施設ではない。

日本にある動物園・水族館の多くが加盟している日本動物園水族館協会 (JAZA) (2016) によれば、

加盟している動物園・水族館には目標としている4つの役割があり、それらは「種の保存」「教育・環境教育」「調査・研究」「レクリエーション」とされる。これらの役割は、目標とはされているが、特に拘束力もないようで、現実にはこれら役割を果たしているとは言い難い動物園・水族館も見受けられる。一方で、特に「レクリエーション」施設としての役割については、いろいろな動物園・水族館において、規模の大小の差こそあれ、それぞれに努力工夫されている様子がうかがわれる。その急先鋒が、全国的に人気のある観光スポットである旭山動物園であろうか。学術的評価はさておき、非常に熱心に

2016. 12. 9 受付 ; 2017. 2. 15 受理

\*1 東京農工大学 大学院農学研究院共生持続社会学部門・農学部地域生態システム学科

\*2 東京農工大学 農学部 生物生産学科

\*3 東京農工大学 農学部 応用生物科学科

\*4 東京農工大学 農学部 環境資源科学科

\*5 東京農工大学 農学部 共同獣医学科

† 連絡担当著者：武田庄平 東京農工大学大学院農学研究院共生持続社会学部門・農学部地域生態システム学科  
比較心理学研究室 〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8

メールアドレス：takeda@cc.tuat.ac.jp



来園者に見せるための、また楽しませるための展示方法に心血を注いでいる様は、評価するに余りあると言える。他の動物園でも、旭山動物園に触発されたかのように、それぞれに見せるための施設の工夫が行われている。

日本の動物園・水族館は、見せることをかなり意識して施設づくりを行い運営されていると言える。これはこれで、「レクリエーション」施設としての役割を強く意識し実行されているので、上述の役割を具現化する努力として評価できる。ここで問題なのは、何のために見せるのかということである。単に「レクリエーション」のためだけなのかと言えば、そうではなく「教育・環境教育」の役割も意識してのことであろうと推察できる。なぜなら、近年多くの動物園・水族館は、上述のJAZAの提唱する4つの役割を単になぞって自身の園館の役割を示すのではなく、それら4つの内から特に「教育・環境教育」と「レクリエーション」とに焦点を当てた役割を表現する造語であるエデュテインメント (Edutainment) 施設を標榜する園館が増えているからである。エデュテインメント (Edutainment) とは、楽しみながら学習する手法を表現する用語として用いられる、エデュケーション (Education, 教育) とエンターテインメント (Entertainment, 娯楽) を組み合わせた合成語とされる。

では、エデュテインメント施設で、一体何を楽しく学ぶのであろうか。それはまさしくそこで飼育展示されている生物であり、その生物の存在を通じて知る野生や自然であり、野生や自然に対する私たちの態度であろう。つまり動物園・水族館におけるエデュテインメントとはエコツーリズムであると言える。

エコツーリズムとは何かと言えば、環境省自然環境局 (2016) のホームページによると、「エコツーリズムとは、地域ぐるみで自然環境や歴史文化など、地域固有の魅力を観光客に伝えることにより、その価値や大切さが理解され、保全につながっていくことを目指していく仕組み」であるとされる。そして、「観光客に地域の資源を伝えることによって、地域の住民も自分たちの資源の価値を再認識し、地域の観光のオリジナリティが高まり、活性化させるだけでなく、地域のこのような一連の取り組みによって地域社会そのものが活性化されていくと考えられ」とされている。さらに、「取り組みを進めていくことで、「私が変わる」；自然の美しさ・奥深

さに気づき自然を愛する心が芽生え、地球環境問題や環境保全に関する行動につながっていく、「地域が変わる」；地域固有の魅力を見直すことで、地元自信と誇りを持ち生き生きとした地域になる、「そしてみんなが変わる」；私たちの自然や文化を守り未来への遺産として引き継いでいく活力ある持続的な地域となる、まさに今、私たちが、未来のためにできる取り組みのひとつ」とされている。

JAZAが目標として提唱している4つの役割を総合すれば、まさに上述のエコツーリズムそのものになると言えないだろうか。つまり動物園・水族館はエコツーリズムの場であり、そのための拠点となることを目指すことで動物園・水族館は4つの役割を具現化することができると言える。このような視点は、日本の動物園・水族館ではそれほど明確ではない。エコツーリズムに言及している園館も一部あるが、例外的であると言える。多くの園館ではそのことにはほとんど言及されていない。また研究者もあまり注目しておらず、多くの場合環境教育の場としての動物園・水族館への言及にとどまっている (例えば、増澤・丸尾, 2005, 堀川・上甫木, 2007, 菊田, 2008)。一方欧米では、動物園・水族館は、エコツーリズムの場として定着しており、そのあり方等についても諸般議論されており、地球環境問題や環境保全、あるいは自然環境保全や生物多様性保全などの問題を観光という行為を通して学習する場としての動物園・水族館の役割が明確に意識されている (例えば, Ryan & Saward, 2004, Catibog-Sinha, 2008, Frost, 2011, Rees, 2011, Fennell, 2013)。とは言え、エコツーリズムには環境教育的視点が内包されていると言えるので、あえてエコツーリズムを強調せずとも、環境教育的視点を示すことで十分にエコツーリズム的であると言える。要は、どのような概念や表現が、当該の文化に馴染むかということであろう。

本研究では、エコツーリズムないし環境教育を標榜したレクリエーションを具現化するエデュテインメント施設としての動物園・水族館のそれぞれで工夫を凝らしているはずの生き物の展示の仕方がどれほど観覧者を楽しませ、学ばせているのだろうかということについて、観覧者の立場から展示を評価し、観覧者にとって好ましい展示について探求した。

## 方 法

東京都、神奈川県、埼玉県にある園館のうち、日

本の動物園・水族館で見かけることの多いシマウマ、ゾウ、インコ、ペンギン、ペリカン、アザラシ・アシカ、イルカなどの同じ種類の生き物が飼育されている異なる園館を選定し、実地踏査し、動物の展示や施設の工夫を、観覧者の立場で評価し、各園館の展示の工夫を比較評価検討した。

## 結 果

### 1. 来園者の立場でみた各園館の展示に対する全体的な印象と評価

各担当者が、事前に各動物園・水族館のホームページに掲載されているコンセプトないしキャッチフレーズ等を調べて、その内容を理解した上で、1人ないし複数人で実際に訪問した園館ごとの展示に対する全体的な印象と評価をまとめたものが、表1である。

コンセプトに環境教育を掲げているあるいは内容的に読み取れる園館としては、上野動物園、井の頭

自然文化園、夢見ヶ崎動物公園、葛西臨海水族園が挙げられる。それら園館の展示に対する印象・評価は必ずしも一定ではなく、それぞれに異なるものであったし、環境教育に関連する内容は見受けられない。ただ、そこでしかみられない珍しい動物種の展示やそこでしかみられない大規模な展示に対する評価が示された園館一例えば、上野動物園や夢見ヶ崎動物公園、葛西臨海水族園—が含まれていた。

上記以外の園館のコンセプトの多くは、アミューズメントないしエンターテインメントを意識したものであった。その中でも、羽村市動物公園や埼玉県こども動物自然公園などは、あきらかに子供を意識した体験施設であることを明示しており、方向性が明確に示されていると言える。また、それら園に対する印象・評価も、子供を含む家族向けのイベントや施設のつくりに対する肯定的なものが多く示されている。

表1. 各動物園・水族館の概要と展示に対する全体的な印象・評価

園館名	概要	展示に対する感想
上野動物園	コンセプト：「環境動物園・エコゾー」 夏に来園者が快適に動物を観察できるようにアスファルトを剥したり、木陰を作るなどして、涼しく観覧できるように努めていたが、ミストシャワーや扇風機などは猛暑日にはあまり機能しないのではないかと感じた	西園 両生爬虫類館は比較的近くで生物を観察することができる／上野動物園でしかみることができない動物（オカピ、アイアイ等）がいる／珍しい動物が多い／屋外で飼育されている動物は柵からの距離が遠く観察しにくい／係員、飼育員が表にほとんどいないので、動物のことを詳しく聞くことができない／西園は、東園に比べて活気がなくメジャーな動物が少ない  東園 動物の種類が多い／休憩スペースが多い／展示場が比較的広くゆとりがある／展示場は広いが観覧場所が狭い／目を引くような工夫がされた展示が少ない／動物との距離が遠い
多摩動物公園	コンセプト：「アリからゾウまで出会えるところ」、多種多様な動物を見ることができるということを意味するようである アジア園・オーストラリア園・アフリカ園・昆虫園の4つに分かれており、約320種が飼育されている 約60haの広さを持つ、山を切り開いて作られている広大な動物園	動物園が広く、飼育動物種が135種類と多い／展示は生息地域別／混合飼育展示もあり、大きな展示場で飼育展示されているので、動物はより広い面積を使え、来園者にとっても同所性の動物が分かり易い／ライオンの寝室の建物が特色あり、とても印象深い／鳥と人の共生エリアは、鳥が放し飼いにされているところに入ることができ、鳥の姿を身近に見ることができる／展示場所が道から下の方にくぼんだ所にあり、動物の距離が離れている／道が蛇行していて歩く距離が長い

井の頭自然文化園	<p>ホームページ（2016）によると、1942年、「行楽の間に自然科学の知識普及の向上に寄与する」目的のために開設され、動物園の他、彫刻館、資料館などが併設され、その名称の通り自然と文化が調和した施設となっている</p> <p>日本産の動物を多く飼育しており、「リスの小径」ではニホンリスの放し飼いを行うなど、動物を身近に感じられる展示を行っている</p> <p>環境省が推進する特別天然記念物ツシマヤマネコの保護増殖事業にも協力し、2006年の飼育開始以後繁殖にむけた研究を行ない、翌2007年には一般公開を始めた</p> <p>2011年には、様々な野生の生き物が集まるしかけを施した「いきもの広場」を公開し、より一層生き物を身近に感じられるような取り組みを実施するなど、環境教育の充実にも力を入れているそうである</p>	<p>動物との距離が近いので、観察しやすい／低い視線からでも見やすい展示が多いので、子供に配慮した展示だと感じる／動物の展示スペースが狭い／子供連れの家族をターゲットにした動物園であるが、展示が子供の興味を惹いておらず、子供は遊具で遊んでいる</p>
夢見ヶ崎動物公園	<p>資料「夢見ヶ崎動物公園の沿革」には、夢見ヶ崎公園について、「レクリエーション、生涯学習、社会教育の場として利用され、また国内外の動物園、水族館、博物館等との交流、野生動物の種の保存、環境教育、自然保護に関する活動の場としても広く活用されています。」と書かれている</p>	<p>人が少なくじっくり動物を見られる／自然が豊か／全国で5園館のみで飼育されているマールコールが見られる／犬などを連れて散歩がてら回れる／入場無料／年中無休である上に開園時間外でも一部の動物を見ることが出来る／看板の汚れがひどい／動物と触れ合える場がない／全体的に人も看板も少なく活気がない／飲食店がない／展示が地味</p>
羽村市動物公園	<p>ホームページ（2016）には、「小さな動物園ならではのアットホームな雰囲気が魅力」と記されており、動物たちとの触れ合いやエサやりなどの子供向けイベントが中心となって行われているようだ</p>	<p>小規模の動物園で、飼育動物種は少なく、園内は1時間もすれば一周できてしまう／肉食獣（ライオン・トラ等）や特徴的な動物（パンダ・ゴリラ・ゾウなど）はレッサーパンダぐらいで、やや迫りに欠ける印象／アットホームな動物園というテーマは感じられ、子どもの遊び場・近隣住民の憩いの場としては良い動物園だと思う／子ども向けの展示・イベント（例えば、どきどきハンズオンというモルモット・ヒヨコなどの小動物と触れ合えるコーナー、ヤギやブタと触れ合えるコーナー、動物の各展示場に設置してあるどうぶつクイズ、童話ランドと称した童話をモチーフにした動物の展示など）が豊富／童話ランドは、ジャックと豆の木をモチーフにしたリスザルの展示、サルカニ合戦をモチーフとしたニホンザルの展示、ブレーメンの音楽隊をモチーフとしたロバの展示、ウサギとカメをモチーフにしたケヅメリクガメとウサギの展示などがある（東京コミュニケーションアート専門学校の生徒と協働で手作りしたものであるとのこと）／子ども向け展示が多く、家族連れが楽しめる／動物たちとの触れ合いが多い／施設の節々に手作り感を感じ、アットホームな動物園というテーマに一致している／施設が全体的に古く汚い／童話ランドはただモチーフの動物と置物が置いてあるだけで、工夫が感じられない／全体的に子ども向けなので大人には物足りない／動物（ハイエナ、霊長類、鳥類など）の展示は檻に入れただけで展示の工夫が感じられない</p>

埼玉県こども動物自然公園	ホームページ（2016）には、「いっぱい発見！たっぷり体験！のんびりリラックス!!」とあるのがコンセプトであると推測される	動物園全体に、植物が多い／山の上に建設されていて、多くの展示場は自然をそのまま展示場に行っているのが多い／とても開放感のある動物園だと感じられた／多くの展示場はある一定の広さの場所を囲んで、そこに動物たちが過ごしやすいうように植物を植えたり、穴を掘ったり、生息環境を模して作られている／人は通路内しか歩けないに対して、動物たちは敷地内で自由に動くことができている／シカとカモシカの谷では、本当の山奥のような所で動物を飼育していて、来園者は空中の通路を渡りながら、シカとカモシカを探ることができる／毎日開催しているイベントの情報を入口のところに置いてあるので、とても分かり易い／放し飼いのマウラがいたり、身近に動物を観察することができるのは子供にも大人にも魅力的である／子供向けの動物園だから、説明や指示が結構可愛くて分かり易い／多くの看板には飼育している動物に関するクイズがあり、子供だけではなく大人も好奇心もぐいぐいと引っ張りながら動物の知識を広められる点でとてもいい／山の上にあるので坂道が非常に多くて、緑が多くても暑い季節だと、特に子供には登るのが大変だと思う／彩ポッポという園内を回るバスは、路線が限られ無料でもないのに、来園者をもっと楽しませるためには、バスの路線を増やすか、無料にしたほうがいいと思う／各展示場は確かに広いし、動物たちにとっても過ごしやすそうですが、来園者にとっては直接観察しづらい側面もあるのではないかとと思う／動物にとっては過ごしやすいうところで、来園者にとっては動物と同じ空間にいる身近さが魅力的ではないかと思う
サンシャイン水族館	ホームページ（2016）では、“天空のオアシス”がコンセプトである 多種多様な生き物の生命の営みを見せること、アミューズメント機能としてのエンタテインメント性などは維持しつつ、全く新しい非日常空間として『癒し』『安らぎ』『くつろぎ』、そして『ココロ動かす、発見』を提供する、“大人にも満足していただける”水族館である	全体的に綺麗で匂いや汚れが目立たない／目で見ても楽しめる展示が多い／『癒し』『安らぎ』『くつろぎ』というコンセプトに合っている空間／大人でも楽しめる／水槽が広く見えた（手前を白く奥を青く照らすことで空間を広く見せる工夫がされている）／入場料が高い（大人2000円）／見て楽しむものが多く、触れ合いなどの体験はあまりない（一日一回有料で餌やり体験ができる企画はある）／室内の展示場では通路が狭いところがある／良くも悪くもレクリエーション要素が強い（種の保全などの要素はあまり感じられない）
しながわ水族館	ホームページ（2016）には「素敵な発見、新しい出会い！、Wonderful discovery, New meeting !」と書いてある	ショーを目玉にしていたが、イルカショー以外は迫力がない／ショーの観客席に柱が多く角度によっては柱で見えない場所が多々ある／地下の「トンネル水槽」で行われる水中ショーは、水槽の中にダイバーが入り、水槽の中から魚類の説明を行うというもので、子供たちにとっても人気があり、大人たちも興味津々で観覧していた／客層は小学生以下の子供を連れた家族が圧倒的に多い／幻想的な展示などはなく、子供たちを意識したつくりや説明書きが多く、子供が初めて行く水族館には最適である／公立の水族館で小さめのつくりになっているが、魚類は様々な地域の多くの種が展示されていて良い水族館である

すみだ水族館	<p>コンセプト：「いのちのゆりかご～水 そのはぐくみ～」で、都市にしながら「いきもののいのち」とそれをはぐくむ「水」を体感できることを意味する</p> <p>人工海水を使用しており、海から海水をくみ出すことはほとんど行われていない</p>	<p>落ち着いて滞在できる；水槽と水槽の間隔・通路が広く、一つ一つをじっくり見ることができる／水槽の周辺にイスやソファが設置されており、座って休憩しながらゆったりと生物を観察できる／全体的に照明が暗めに設定されており、全体的に落ち着いた印象を受ける／展示している生物に併せた構造物・植物・サンゴ等が充実し、より自然の海に近い風景が作られており、見ていて面白い／よくある味気ない水槽という印象は受けない／東京・日本に密着した展示を行っている；小笠原諸島や東京の川に生息する生物の展示、日本独特の文化である金魚の様々な種の展示、日本画家の葛飾北斎とコラボした展示が行われていた／スカイツリーという観光名所のすぐそばにあるため、外国人観光客も多く、日本のことをよく知ってもらうのには良い／日本人も日本や東京の海のことを改めて理解し、学ぶには良い／教育学習の機会が多く存在する；生物に関する書籍が置いてあり、読むスペースが存在する／各ブースに展示している生物やその生物を取り巻く環境についての図を用いた分かり易い説明がある／子供も大人も賢くなれる水族館であるという印象を受けた／アクアラボや小笠原で生まれたアオウミガメを一時的に養育するブースがあり、種の保存や調査・研究といった水族館の役割を果たしている／入館料が高い；入館料が大人で2050円と他館に比べて高い（葛西臨海公園は700円、美ら海水族館は1850円）／エンタテインメント性が一般的な水族館より少ない；オットセイのショーはない／飼育員による子供向けの解説もない／家族、子供向けというより、大人向けの水族館という印象を受けた／大水槽が小さい；東京大水槽という小笠原諸島の海を再現した水槽があるが、目測で幅約10m、高さ約2mと小さい／迫力やインパクトは感じられない／飼育されている生物の数も少ないし、大きめの魚もシロワニが一匹いるだけ／コンセプトに含まれている「はぐくみ」という言葉がブースごとの説明に頻繁に出てきており、コンセプトを反映しようとしているの分かるが、展示自体からはあまり感じ取られない</p>
葛西臨海水族園	<p>ホームページ（2016）によると、東京湾岸地区整備事業の一環として上野動物園開園100周年を記念して計画され、1989年にオープンし、世界ではじめて外洋性の魚の群泳を実現したクロマグロの大水槽があり、これまでに数回、水槽内での産卵に成功しているそうである</p> <p>100羽を超えるペンギンと水中を泳ぐ姿や世界各地から集められた多種多様な生き物、「東京の海」の魚たちが展示されており、屋外には池沼、溪流、川の様子を再現した「水辺の自然」が広がっており、様々な環境に生息する生き物たちと出会うことも可能である</p> <p>「魚の泳ぎ方」や「身を守る工夫」といったテーマに沿って、解説員が案内するガイドツアーがあり、園内各所でスタッフによるスポットガイドなどが提供されているそうである</p>	<p>世界の海の展示のエリア分けが細かくて分かり易い（太平洋の中でも、カナダ沿岸、セレベス海、南シナ海、ハワイ沿岸、チリ沿岸、オーストラリア南部、グレートバリアリーフ、オーストラリア北部、バハカリフォルニアと、かなり細かくエリア分けされている）／マグロの大水槽は迫力がある／魚とのふれあいが可能（アカエイ、ホシエイ、ネコザメ、イヌザメ）／情報資料室で水辺の生き物や海について学べる／開放感のある眺めの良いデッキがあり、屋内の薄暗い展示の合間にリラックスできる／入館料が高くない／小学生以下と都内在住の中学生は無料で入館でき、魚や海のことを学ぶ機会もあり良い／水槽のガラスの汚れやキズが気になることがある（大水槽等）／混雑していると思うように見られない／屋内は通路が狭いところもあり立ち往生することもある／葛西臨海公園駅の隣が舞浜駅で、TDRで入場規制がかかった時に入れな客が水族園に来ることがあるようで、日によっては大混雑で楽しめないことがあるかもしれない</p>

## 2. 各園館間で共通する動物種の飼育展示に対する印象と評価

### 1) シマウマ

表2は、シマウマの各園館での飼育展示の状況とそれに対する印象・評価をまとめたものである。

シマウマは、井の頭自然文化園を除く5動物園で飼育展示されており、比較的ポピュラーな動物であると言える。その中でも、ハートマンヤマシマウマは3園（上野動物園、夢見ヶ崎動物公園、埼玉県こども動物自然公園）で飼育されており、今回の調査対象動物園では最もポピュラーな種であった。その他は、多摩動物公園のグレビーシマウマと羽村市動物公園のグラントシマウマとなり、今回調査した動物園がシマウマ全種をカバーしていることとなる。

上野動物園を除いては複数個体で飼育展示されており、展示施設の面積も広大とは言えないまでも比較的広さを確保されていると言える。また、多摩動物公園や羽村市動物公園などでは同所性の草食動物などとの混合飼育展示が行われていたが、ある程度の広さと個体数のある見栄えのする展示でないと、かえって見る側からは迫力に欠けるものとなるよう

である。

### 2) ゾウ

表3は、ゾウの各園館での飼育展示の状況とそれに対する印象・評価をまとめたものである。

ゾウは、上野動物園、多摩動物公園、井の頭自然文化園の3動物園で飼育展示されていたが、このうち井の頭自然文化園のアジアゾウのハナコは、本研究の調査と前後して死亡しているため、実質上野動物園と多摩動物公園の2園での飼育展示となる。多摩動物公園ではアフリカゾウとアジアゾウの2種を飼育展示しているが、上野動物園ではアジアゾウのみである。

近年では、ゾウを飼育展示するためには、かなりの広さを確保することや基底面は足によくなくコンクリート打ちっぱなしなどの硬質で弾力に欠けるものを避けるなどといったことは諸外国では常識となっているが、相変わらず多摩動物公園のアジアゾウはコンクリートの床面での生活を送っている。また、多摩動物公園のアフリカゾウの年齢構成を考えると、およそここ単独では繁殖できない高齢化の構成になっている。多摩動物公園のアフリカゾウの展

表2. 各園館でのシマウマの飼育展示の状況とそれに対する印象・評価

園館名(調査者)	飼育種名	飼育個体数	展示の広さ	構造物	展示に対する印象・評価	特記事項
上野動物園西園 (小林・安東)	ハートマンヤマシマウマ	1	非常に狭い (面積の詳細不明)	なし	数が少なく迫力がなく、シマウマとの距離が遠い	
多摩動物公園 (荒川・原・藤坂・盧)	グレビーシマウマ	3	約60m×100m		えさを食べていると、観覧者が上から見下ろすのでシマウマは下を向いてしまい、体しか見られない 二重で柵があり、その幅が結構広いため、一番近いところにおいても遠かった	シロオリックス・キリン・ペリカンと混合飼育展示
夢見ヶ崎動物公園 (原)	ハートマンヤマシマウマ	3	15m×30mを 半分に仕切	樹木	1個体しか外に出ておらず、観覧者が近づくとその個体が突進してきたことから退屈しているように見えた 観覧者としては近くに寄ってきたときはとても見やすかった	
羽村市動物公園 (福田)	グラントシマウマ	4	横50m×奥行 20m	木、池、餌箱、小屋など	展示場が広く動物の動き回る姿が見られる 展示場の右部分では動物たちが柵のそばにやってくるので、近くで観察できる シマウマ同士だけでなく別種の動物とともにいる姿を見ることができる アフリカのサバンナをイメージした混合飼育なのだろうが、キリンやオリックスの頭数が少なく迫力に欠ける 展示場左部分に動物が行ってしまうと池を挟むのでかなり見づらい	オス2、メス2 アミメキリン2頭、ダチョウ1羽、シロオリックス2頭、ホオカザリツル1羽、ホオジロカンムリヅル1羽と混合飼育展示
埼玉県こども動物自然公園 (盧)	ハートマンヤマシマウマ	2	約60m×45mの楕円型	植物が少ない		

表3. 各園館でのゾウの飼育展示の状況とそれに対する印象・評価

園館名(調査者)	飼育種名	飼育 個体数	展示の広さ	構造物	展示に対する印象・評価	特記事項
上野動物園東園 (榎本・福田)	アジアゾウ	4	手前の展示場：横30m×奥50m, 奥の展示場：横40m×奥20m	池(水浴びできる) 岩など	池で水浴びする姿が見られる 象の生態についての展示が数多くあり、象について詳しく学ぶことができる 象があまり近くに来てくれない	
多摩動物公園 (荒川・原・藤坂・盧)	アフリカゾウ	3	不明	岩・土山・プール・滝	ゾウにとっての遊びが充実しており、ゾウが暇をつぶせるようになっている 70歳の雌が土山で遊んでいたのがかわいらしく、見ている方も楽しめる 展示場と観覧者との間は空堀(モート)で仕切られ、高い柵がなく非常に観察しやすい ショーや飼育員による解説などがなく、エンターテインメント性に欠ける 展示場が広大であるため、ゾウが奥に行ってしまうと、観覧者との間に結構な距離ができ、見づらくなる	7歳のオス, 40歳のメス, 70歳のメス, 70歳のメスは日本最高齢のアフリカゾウ
多摩動物公園 (荒川・原・藤坂・盧)	アジアゾウ	2	不明	チェーンでつながれた丸太とプール	展示場と観覧者との間は空堀(モート)で仕切られ、高い柵が存在せず近い距離で見ることができる 飼育スペースに自然物が存在せず、コンクリートだけの無機質な印象を受ける	8歳のオスと11歳のメス
井の頭自然文化園(荒川)	アジアゾウ	1	運動場：約200m <sup>2</sup> ゾウ舎：約50m <sup>2</sup>		象が高齢であったため、細かくされた果物などを与える配慮が感じられた 狭い環境の為、逆に来園者には間近で観察できる環境であるともいえる 象にとってはかなり窮屈な環境のように感じられる	ハナコ・メス1個体(2016年5月26日死亡)

示施設は、日本の動物園の中では広い方なので、来園者にとっては迫力があるようである。

### 3) インコ

表4は、インコの各園館での飼育展示の状況とそれに対する印象・評価をまとめたものである。

インコは、多摩動物公園、夢見ヶ崎動物公園、羽村市動物公園、埼玉県こども動物自然公園の4園での飼育展示となっているが、上野動物園でも飼育展示されているので上野動物園の担当者の調査もれと言える。

インコは、屋外で展示されていた場合—多摩動物公園、羽村市動物公園の一部—は、切羽され、ケージ飼育展示されている場合—夢見ヶ崎動物公園、埼玉県こども動物自然公園、羽村市動物公園の一部—は、切羽されていなかった。インコは、どこの動物園に行っても複数種類飼育展示されている一般的な動物であり、その飼育展示にはさして工夫もなくなんとなく展示されているといった印象であった。

### 4) ペンギン

表5は、ペンギンの各園館での飼育展示の状況と

それに対する印象・評価をまとめたものである。

ペンギンは日本では非常に人気のある生き物の一つであるようで、動物園、水族館ともに飼育展示されている。また、我が国は世界で一番ペンギンがいる国である(福田, 1997)とも言われている。

9園館中、フンボルトペンギンを飼育展示している園館が5園館ともっとも多く、また葛西臨海水族園は日本一の個体数を誇っている。次に多かったのが、ケープペンギンとマゼランペンギンで、それぞれ2園館ずつであった。

ペンギンの展示の特徴的なものとして、いずれの施設においても、ペンギンが水中で泳ぐ姿を見せるために、ガラス張りの水槽となっていることである。

### 5) ペリカン

表6は、ペリカンの各園館での飼育展示の状況とそれに対する印象・評価をまとめたものである。

ペリカンは、4園館での飼育展示がみられた。このうち水族館は、サンシャイン水族館のみで、残りは全て動物園であった。モモイロペリカンが3園館で飼育展示され、コシベニペリカンとハイイロペリカンがそれぞれ1園ずつで飼育展示されていた。埼玉県こども動物自然公園を除いては、切羽することで

表4. 各園館でのインコの飼育展示の状況とそれに対する印象・評価

園館名(調査者)	飼育種名	飼育 個体数	展示の広さ	構造物	展示に対する印象・評価	特記事項
多摩動物公園 (荒川・原・藤 坂・盧)	ルリコンゴウインコ ベニコンゴウインコ	3 2	5 m程のスペースの中の止まり木に止まっていた		インコ類は、種類ごとに分けて飼育 1羽ごとに違う止まり木に止まらせている 人がいると大きな鳴き声を出す ストレスが原因なのか、頭の羽が抜けてしまっているものがある	切羽
夢見ヶ崎動物公園 (原)	タイハクオウム シロビタイムジウム コバタン アオボウシインコ キエリボウシインコ キビタイボウシインコ ルリコンゴウインコ ベニコンゴウインコ ヨウム オオホンセイインコ ワカホンセイインコ	1 1 1 1 3 1 1 1 2 8 1 計11種 21個体	展示飼育小屋は正六角形を六つに分けてあり、床は高さ1.5m、底辺が3m位の台形	木の枝 餌箱と水 入れ	手前の金網にインコがつかまっているときは触れる ほど近くで見ることができる	切羽なし
羽村市動物公園 (福田)	ベニコンゴウインコ ミドリコンゴウインコ アカコンゴウインコ ルリコンゴウインコ オオハナインコ ヒインコ	2 4 1 1 1 2 計6種 11個体	ベニコンゴウインコ；横3m奥行2m高さ2m ミドリコンゴウインコ・オオハナインコ・ヒインコ；横2m奥行2m高さ2m ルリコンゴウインコ・アカコンゴウインコ；横3m奥行3m高さ2m	1.5 m程の止まり木	ベニコンゴウインコの展示は檻ではなかったため迫力があつた(アルマジロと一緒に展示されていた) インコの種類が豊富 檻は高さがなく狭そうだったのでインコにとって窮屈ではないかと感じた	外で飼育されていた個体(ベニコンゴウインコ・ルリコンゴウインコ・アカコンゴウインコ)は止まり木につながれていなかったため切羽されていると思われる
埼玉県こども動物自然公園 (盧)	ビセイインコ フトフムネアカゴシキ キンショウジョウインコ ベニインコ	2 10 2 1 計4種 15個体	ビセイインコ；高さ1.9m×幅0.9m×奥行2.5m フトフムネアカゴシキ・キンショウジョウインコ・ベニインコ；高さ1.9m×幅1.8m×奥行2.5m	植物や枝が置いてある		

オープンスペースでの飼育展示となっていた。

#### 6) アザラシ・アシカ

表7は、アザラシ・アシカの各園館での飼育展示の状況とそれに対する印象・評価をまとめたものである。

アザラシ・アシカは、4園館での飼育展示がみられた。このうち動物園は、上野動物園のみで、残りは全て水族館であった。カリフォルニアアザラシが3園館で飼育展示され、オタリアが2園館、ゼニガタアザラシ、バイカルアザラシ、ゴマフアザラシ、ミナミアザラシがそれぞれ1園ずつで飼育展示され

ていた。アザラシ・アシカ類のショーはサンシャイン水族館としながわ水族館でそれぞれ行われており、いずれも人気のショーであるが、大人目から見るとやや面白みに欠けるようでもある。

#### 7) イルカ

表8は、イルカの各園館での飼育展示の状況とそれに対する印象・評価をまとめたものである。

今回の調査対象園館では、イルカは、しながわ水族館1館でのみの飼育展示であった。飼育されていたのはハンドウイルカで、お決まりのショーが行われていた。このイルカショーは大人気であった。



表5. 各園館でのペンギンの飼育展示の状況とそれに対する印象・評価

園館名(調査者)	飼育種名	飼育 個体数	展示の広さ	構造物	展示に対する印象・評価	特記事項
上野動物園西園 (小林・安東)	ケープペンギン	36	直径約10m× 2つ	岩場(中 が巣に なっている)	泳いでいるペンギンを近くで観られる一方、網が邪魔で観にくい	
井の頭自然文化 園(荒川)	フンボルトペ ンギン	4	約25㎡(4分 の3程度が プール)、高さ は約3m	小屋や橋 のような ものがある	他の展示に比べて、動物との距離が近いので、観察しやすい 餌にはアジなどの小魚を与えており、プールに、食べ残した小魚が残っていて、生臭い臭いがする	プールは回流していて、ペンギンは水の流れるに逆らうようにして泳ぐ
夢見ヶ崎動物公 園(原)	フンボルトペ ンギン	10	10m×30m	L字型の プール 奥の部分 は石が積 まれた山	エサやり中は、手前で泳いだりエサを食べたりする姿が間近で見ることができる 階段を上って上から見る場所があり、そこからは山などの全体がよく見える	
羽村市動物公園 (福田)	フンボルトペ ンギン	61	横20m 奥行15m	陸地、 プール	奥が陸地、手前がプールになっていたが、柵の近くに一部陸地が伸びていてペンギンがやってくる プールの横のガラス窓は泳いでいる様子を観察するためと思われるが、ペンギンはガラスに寄ってこない 餌やりタイムがあり、来園者が餌(小魚)を購入してペンギンに与えている プールの水は濁っており、かなり汚らしく見える 陸地の白い分も汚れが目立つ 一部の構造物(ガラス窓など)がほとんど活用されていない	
埼玉県こども動 物自然公園 (盧)	フンボルトペ ンギン	30	3900㎡		植物を植えており、ペンギンたちが自由に歩ける穴が開いているところに、ペンギンの巣箱がある	
サンシャイン水 族館(榎本)	ケープペンギン	50	横20m×奥行 き10m		アクアリングでは泳いでいる姿を下から見られる フィーディングタイムには食事の様子が見られる 個体数が多く、展示場ものびのびしていた 水や水槽が綺麗で、匂いもあまりしなかった 横長の展示場なのでペンギンとの距離が近くて良く見えた 展示場そのものは割と広く感じたが、水中のスペースが狭い	5分に1回、波が起きる仕組みで海を再現、水の高さが130cmほどで泳いでいる姿も良く見える
しながわ水族館 (安東)	マゼランペンギン	13	約5×3m	岩場、 プール 岩場の奥 は巣に なっている	かなり近くからペンギンを観察できる ペンギンの体の特徴などの説明が細かい 水面が子供の目線の高さなので大人はしゃがまなければならない	
すみだ水族館 (藤坂)	マゼランペンギン	約40	幅約20m×奥行 約10m×高さ 約2m、水量 350トンの広 大な展示ス ペース	休憩できる 岩山と泳 ぎに変化 をつける ためと思 われる 水中の段 差	水槽を取り囲むようにして設置されたスロープや階段を利用して、ペンギンを水上・水面・水中の3つの視点から観察することができる ペンギンの腹を下から見られるのは、特に興味深かった ペンギンの体の構造や泳ぎ方などをよく理解することのできる展示方法 頻繁に掃除が行われているようで、臭いもなく衛生的、不快感もない ペンギンにとっても過ごしやすい環境であると考えられる スロープや階段による高低差や柱などのため、プールを正面から見渡し、多くのペンギンを一度に見ることができない	
葛西臨海水族園 (小林)	フンボルトペンギン イワトビペンギン フェアリーペンギン オウサマペンギン	123 41 22 8 計4種 194個体	日本最大で約 750(50×15)㎡	金網でフ ンボルト ペンギン (おそらく イワトビ ペンギン とオウサ マペンギ ンも) とフェア リーペ ンギンの 飼育ス ペースが 分かれて いる	水中でのペンギンの様子が見られるように、一部地下にトンネルのようにになっている所があり、大きめのガラス張りになっている イワトビペンギンとオウサマペンギンは南極近くの涼しい気候に生息しており、日本の夏の暑さに耐えられないので、夏の間は施設内にある冷房完備の部屋で飼育されている 陸上で活動している姿と、水中で泳いでいる姿の両方が見られる バックヤード通信というものがあって、巣の中の様子も分かるようになっていく 夏場は2種類のペンギンしか見られないので、4種類飼育されている秋～春に比べて少し物足りない 岩場が遠く、陸上で生活している様子が近くで見られない	フンボルトペンギンの飼育数は日本一

表6. 各園館でのペリカンの飼育展示の状況とそれに対する印象・評価

園館名(調査者)	飼育種名	飼育 個体数	展示の広さ	構造物	展示に対する印象・評価	特記事項
上野動物園西園 (小林・安東)	モモイロペリカン	6	0.11km <sup>2</sup> (不忍池)	岩場	工事中で近くで観察できなかったため、よい点や悪い点は不明	切羽
多摩動物公園 (荒川・原・藤坂・盧)	モモイロペリカン コシベニペリカン	6 2	100m <sup>2</sup>		キリンやシマウマ、オリックスなどと同じスペースで飼育	切羽
埼玉県子ども動物自然公園 (盧)	ハイイロペリカン	1	約1000m <sup>2</sup>	大きな池、上に放射線状のひもがあり、外に飛び出さないようになっている	来園者が敷地内に入り、動物たちとの距離はただ一つのフェンスだけで、とても近い距離で観察できる	カモ類と一緒に飼育展示
サンシャイン水族館 (榎本)	モモイロペリカン	4	15m×15m	水場もあって水浴びする姿も見ることができ	フィーディングタイムには水中での食事の様子を見ることができ(一日三回) 展示場が広々していた 天井がないので広々と感じられる フィーディングタイムはとても迫力がある(のど袋が広がる様子が見れる) 食事の時以外の動きがほとんどないのであまり見入ることがない	切羽

表7. 各園館でのアザラシ・アシカの飼育展示の状況とそれに対する印象・評価

園館名(調査者)	飼育種名	飼育 個体数	展示の広さ	構造物	展示に対する印象・評価	特記事項
上野動物園東園 (榎本・福田)	カリフォルニアアシカ ゼニガタアザラシ	3 1	横 30m × 奥 10m	水のアーチ、プール、岩場	泳ぐ姿が水中から見られる 岩の上に乗っかり休んでいる姿が近くで見られる 水のアーチの方にあまり動物が来ない 横からだとならぬ邪魔で見づらい部分がある	切羽
サンシャイン水族館 (榎本)	バイカルアザラシ オタリア カリフォルニアアシカ	2 1 2	幅10m×奥行き5m 水槽(20m×15m)、砂浜と水場(20m×15m)、アクアリング(幅1m半径5m)		展示スペースが横長で常に近くで見られる 展示がつまらない(アザラシ自体がとても大きくて迫力があるので、それを生かした展示であってほしい) アクアリングでは下から泳ぐ姿が見られる(イルカ泳ぎをすることもあるらしい)、一日4回ほどアシカパフォーマンス(アシカショー)がある 大きなオタリアがアクアリングを泳いでいるのは迫力満点 泳いでいる姿、砂浜で寝そべっている姿両方が見られる アクアリングが生物を見る目的でなくても、頭上を水が通っている作りが涼しげでおしゃれ 数ある展示の中で、一番目を引き、他にない展示だった 砂浜の横にある水場は水位がないので、水に飛び込む様子などは見ることができない	切羽
しながわ水族館 (安東)	オタリア カリフォルニアアシカ ゴマフアザラシ	1 1 6	幅約10m×奥約5m 不明	手前が水場、奥に岩場 岩場	アシカショー：オーソドックスな演技構成でショーに迫力がない 観客席からプールを挟んでステージがあり、そこでショーのほとんどが行われていたが、遠い 水上、水中から見ることができ展示 アザラシショー：クオリティが低く、魅力に欠ける 水上からの観覧スペースが狭い	カモ類と一緒に飼育展示
すみだ水族館 (藤坂)	ミナミアメリカオットセイ	3	すぐそばのマゼランペンギンの5分の1程度	休憩できる岩場	プールの上にスロープ、プールそばにトンネルがあり、上下の視点から観察できる 動きが活発なので、素早くダイナミックに動く姿が見られる 展示スペースが小さいので、ゆったりと泳ぐことができず、窮屈そうな印象を受けるので、じっくりとは見ることができない 柱やイスなどの設計上の構造物のために見づらい	切羽

表8. 各園館でのイルカの飼育展示の状況とそれに対する印象・評価

園館名(調査者)	飼育種名	飼育 個体数	展示の広さ	構造物	展示に対する印象・評価	特記事項
しながわ水族館 (安東)	ハンドウイルカ	5			展示場は、ショーで使われるプール内 地下からもプール内を見ることができる イルカショー：立ち見ができるほど、一番人気の ショー、イルカの声を使ったパフォーマンスが特徴 的、迫力満点	

## 考 察

近年の動物園・水族館は、如何に観覧者を楽しませることができるかということに、非常に熱心であると言える。それはこれまでにない熱心さである。その様な前向きな努力は素直に評価するべきものである。一方で、なかなか旧来の施設を改修できないので、時代遅れでそのままでは動物福祉的にも問題がありそうな施設であっても、可能な限りの動物に対する倫理的配慮を行いながらの飼育展示を行っている施設もある。多くの動物園・水族館が地方自治体によって運営されている施設であるからか、それぞれの自治体の財政状況やあまり融通の利かない予算費目の中での運営を余儀なくされている現状を鑑みると、好ましいことではないにせよ、仕方のない状況でもある。その様な状況を踏まえての、各動物園・水族館での実地踏査の結果は、もちろん完璧ではないにせよ、いずれの園館もそれなりに評価できるものであると言える。

評価内容の特徴を挙げると、まず動物園や水族館では、生き物は近くで見られるものであるという前提があるようで、近距離で見られない状況はいずれも悪い点であるとされている。逆に至近距離で見られる場合はそれが良い点として評価される。実際に野生の動物を現場で観察する場合を考えれば、必ずしも至近距離で生き物の姿を観察できる訳ではなく、それが野生というものだとも言えるが、動物園・水族館の観覧者はそれを許容しない。この点は考えるべき点である。動物園や水族館であっても、必ずしもいつでも至近距離で観察できる訳ではなく、むしろ遠目にしか見られないことがあるのがリアリティのある動物観察であり自然体験であるということ、教えるべきではないか。もちろん必要に応じて、間近で観られることも当然あってよい。

動物園や水族館は、単に生きた生物標本を展示しているのではなく、彼らが生活する場に私たちが踏み入っていくような体験をする場であることで、環

境教育を内包するエデュテインメント施設として成立するのではなからうか。

また、特に水族館において言えることであるが、水槽等の汚れを観覧者は許容しない。全体に必要以上に汚い環境は生き物にとっても人にとっても好ましくはないが、いつもピカピカの水槽を求めるのは行き過ぎである。生き物が生活する上で生じる汚れ—それは人の立場からは汚れと思えるに過ぎないかもしれない—は、まさに生きている故の現象であるから、過度に衛生的であることはむしろ健全ではないかもしれないので、せいぜいそこにいる生物の健康を害さない範囲で、観覧者の視野を狭めない程度の汚れはあってしかるべきかもしれない。

さらに、個体数の少ない展示の評価は一般的には下がるようでもある。1個体だけでポツンと展示されているのは、確かに見た目にも寂しい。単独性の高い生き物である場合は当然個体毎の展示にならざるを得ないが、そうでない場合は福祉的に考えても複数個体の飼育展示を行うべきであろう。また、同種個体を複数飼育できない場合でも、肉食性の動物を除く同所性の異種個体との混合飼育という形をとれば、結果的により野生状態の再現にもつながり、教育的効果も得られるのではなからうか。

JAZAが掲げる4つの目的は、動物園・水族館の抱える現実的な課題であるというよりむしろ社会に対する宣伝文句となってしまっているという指摘(石田, 2000)がある。また動物園・水族館は娯楽・行楽施設として社会的には認識されている一方で、当事者の施設側の役割意識が的確でないために、施設側と市民との関係性が曖昧になっている(山本, 2000)という捉え方や、動物園・水族館に対する社会的認知は、単にレクリエーション施設に過ぎないという指摘(成島, 2006)などがある。

これらの指摘や捉え方は、確かに動物園や水族館が抱えている現実を照射しているけれど、エデュテインメントという概念のもと、環境教育的ないしエコツーリズム的演出が効果的に行われることで、上

述の指摘には応えることができるであろうし、動物園・水族館の存在する意義というものも明示することになるであろう。

## 文 献

- Catibog-Sinha, C. (2008) Zoo Tourism: Biodiversity conservation through tourism. *Journal of Ecotourism*, 7 (2 & 3) 155-173.
- Fennell, D. A. (2013) Contesting the zoo as a setting for ecotourism, and the design of a first principle. *Journal of Ecotourism*, 12 (1) : 1-14.
- Frost, W. (2011) "Zoos and Tourism: Conservation, Education, Entertainment?" Channel View Publications, Bristol, UK.
- 福田道雄 (1997) 「日本におけるペンギンの飼育史 試論」 *動物園研究*, 2 : 30-47.
- 羽村市動物公園 (2016) ホームページ (<http://www.t-net.ne.jp/~hamura-z/>)
- 堀川真代・上甫木昭春 (2007) 環境教育施設としての動物園における生息地体験型展示のあり方に関する研究. *ランドスケープ研究*, 70(5): 533-538.
- 井の頭自然文化園 (2016) ホームページ (<http://www.tokyo-zoo.net/zoo/ino/history.html>)
- 石田 戡 (2000) 現代日本動物園の課題. *畜産の研究*, 54(1) : 225-230.
- 環境省自然環境局 (2016) 「エコツーリズムのススメ」 (<https://www.env.go.jp/nature/ecotourism/try-ecotourism/about/index.html>)
- 葛西臨海水族園 (2016) ホームページ (<http://www.tokyo-zoo.net/zoo/kasai/>)
- 菊田 融 (2008) 動物園の社会教育施設としての可能性. *社会教育研究*, 26 : 43-57.
- 増澤康男・丸尾和代 (2005) 動物園における環境教育の可能性. *兵庫教育大学研究紀要*, 26 : 155-162.
- 成島悦雄 (2006) 今, なぜ動物園なのか. *畜産の研究*, 60(1) : 1-5.
- 日本動物園水族館協会 (2016) ホームページ (<http://www.jaza.jp/about.html>)
- Rees, P. A. (2011) "An introduction to Zoo Biology and Management", Wiley-Blackwell, UK (「動物園のつくり方」(2016) : 武田庄平・鈴木馨・上野吉一・竹村勇司 (訳), 農林統計出版, 東京).
- Ryan, C., J. Saward (2004) The Zoo as Ecotourism Attraction -Visitor Reactions, Perceptions and Management Implications : The Case of Hamilton Zoo, New Zealand. *Journal of Sustainable Tourism*, 12(3): 245-266.
- 埼玉県こども自然動物公園 (2016) ホームページ (<http://www.parks.or.jp/sczoo/>)
- サンシャイン水族館 (2016) ホームページ (<http://www.sunshinecity.co.jp/aquarium/facility.html>)
- しながわ水族館 (2016) ホームページ (<http://www.aquarium.gr.jp/>)
- 山本茂行 (2000) 地域社会のメディアとしての動物園. 「動物園というメディア」. 225-266, 青弓社, 東京.

研究資料DNA barcoding identified the exotic terrestrial isopod *Porcellio scaber* (Crustacea, Isopoda, Oniscidea) on the Kyushu mainland, western JapanShigenori KARASAWA\*<sup>1</sup>, Tomoki IWASAKI\*<sup>2</sup>, Jun NAKAJIMA\*<sup>3</sup>DNA バーコーディングを用いた九州からの  
外来性ワラジムシ類 *Porcellio scaber* の発見唐沢 重考\*<sup>1</sup>・岩崎 朝生\*<sup>2</sup>・中島 淳\*<sup>3</sup>

*Porcellio scaber* Latreille, 1804 was found on the Kyushu mainland for the first time. The specimens were identified based on DNA barcoding and the following five morphological characteristics: 1) posterior margin of pereonite 1 is almost straight, 2) epimerons 1-4 have obvious sinuous posterior margins, 3) exopodites of pleopods 1 and 2 bear monospiracular lungs, 4) the posterior tip of the telson tapers, and 5) the flagellum of the second antenna is composed of two segments. Moreover, the specimens collected from a park in Fukuoka City showed carapace color variation.

**Keywords:** Color variation, Fukuoka, Invasive species, Porcellionidae

九州本土において初めてワラジムシ *Porcellio scaber* を確認した。本研究で採集した標本は、1) 第1胸節背板の後縁中央部がほぼ直線であること、2) 第1-4胸節背板の側部後縁がS字になること、3) 第1, 2腹肢外肢が1個の呼吸穴を持つこと、4) 腹尾節の先端が尖ること、5) 第2触角の鞭部が2節で構成されること、および、DNA バーコードによる類似度検索により *P. scaber* であると判断した。また、福岡市内で採集された標本には体色に変異が認められた。

キーワード：体色変異, 福岡, 外来種, ワラジムシ科

**Introduction**

Exotic species are species that were transferred from their native distribution to other areas by human activities (Ontario, 2013). The number of exotic species is rising with the global increase of human travel, and these species have the potential to cause extinction of native species (Gurevitch and Padilla, 2004). The most effective management of exotic species is to prevent invasion of species.

However, if they have invaded a new site, it is important to detect them early so they can be eradicated or controlled (Simberloff *et al.*, 2013).

Precise identification of species often requires professional skill and specimens with sufficient morphological characters to identify species. For example, adult male morphological characteristics are usually important for identifying terrestrial isopods (e. g., Kashani, 2015; Taiti and Wynne, 2015), it implies that female specimens are difficult

2016. 7. 7 受付 ; 2016. 11. 15 受理

\*<sup>1</sup> 〒680-8551 鳥取市湖山町南4丁目101番地 Faculty of Regional Sciences, Tottori University, 4-101 Koyamachi, Minami, Tottori, 680-8551 Japan

\*<sup>2</sup> 〒819-0005 福岡県福岡市西区内浜1-13-33-101 Uchihama 1-13-33-101, Nishi-ku Fukuoka-shi, Fukuoka, 819-0005 Japan

\*<sup>3</sup> 〒818-0135 福岡県太宰府市向佐野39 福岡県保健環境研究所 Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences, Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka, 818-0135 Japan

to precisely identify. DNA barcoding is a powerful tool that can resolve this issue. This approach is a way to identify species using a short genetic sequence and enables species identification of specimens without sufficient morphological characters (Hebert *et al.*, 2003). There is some possibility of not collecting specimens with full taxonomic characteristics at early stages of invasion because of a small number of individuals. Thus, the DNA barcoding is expected to be able to identify exotic species in early stage of invasion.

The aim of this study was to report the first collection of exotic terrestrial isopods, *Porcellio scaber* Latreille, 1804, from the Kyushu mainland, western Japan. All of the specimens were female, and it is difficult to identify *P. scaber* individuals based on female morphological characters, therefore we used DNA barcoding to identify species. Moreover, we describe morphological characters, including color variation, and determine DNA sequences of additional genetic regions for future DNA-barcode studies.

## Materials and Methods

### Examined specimens

Two females were collected from under leaf litter at the Minato-100-Nen-Park in Fukuoka City,

Fukuoka Prefecture (N33.6494, E130.4148) on 14 October 2015 by Tomoki Iwasaki. One female was collected from under leaf litter at the Akama Kitaguchi Mini Park in Munakata City, Fukuoka (N33.80879, E130.56780) on 1 December 2015 by Shigenori Karasawa. The specimens were preserved in 99.5% ethanol until morphological observation and molecular analysis.

### Morphological observation

Photographs were obtained based on multifocused montage images using a digital microscope VHX-2000 (KEYENCE Corporation, Japan). The specimens for scanning electron microscopy were dried at room temperature, coated with gold, and photographed using a JCM-5100 scanning electron microscope (JEOL, Japan).

### Molecular analysis

One *P. scaber* collected from the Minato-100-Nen-Park in Fukuoka City was used for molecular analysis. One *P. scaber* found in Tokyo (N35.728269, E139.715181) was also analyzed in order to determine the genetic difference between specimens in Tokyo (Kanto region) and Kyushu. A partial region of the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I (COI) gene was sequenced for

Table 1. Species, localities, and DDBJ accession numbers.

Species	Locality	COI	Accession no.		
			12S	18S	28S
<i>Porcellio scaber</i>	Fukuoka, Japan	LC126629	LC126631	LC126633	LC126635
<i>Porcellio scaber</i>	Tokyo, Japan	LC126628	LC126630	LC126632	LC126634
<i>Porcellio scaber</i>	British Columbia, Canada	KM611741	-	-	-
<i>Porcellio scaber</i>	British Columbia, Canada	KM611704	-	-	-
<i>Porcellio scaber</i>	British Columbia, Canada	KM611660	-	-	-
<i>Porcellio scaber</i>	British Columbia, Canada	KM611577	-	-	-
<i>Porcellio scaber</i>	British Columbia, Canada	KM611545	-	-	-
<i>Porcellio scaber</i>	Massachusetts, USA	HQ978726	-	-	-
<i>Porcellio scaber</i>	Poitiers, France	LK052885	-	-	-
<i>Porcellio scaber</i>	Gdansk, Poland	DQ305142	-	-	-
<i>Burmoniscus ocellatus</i>	Iriomotejima Is., Japan	AB626177	-	-	-
<i>Ligidium ryukyuense</i>	Amami-Oshima Is., Japan	AB626262	-	-	-
<i>Mongoloniscus koreanus</i>	Fukuoka, Japan	LC017826	-	-	-
<i>Mongoloniscus vannamei</i>	Fukuoka, Japan	LC017827	-	-	-
<i>Porcellio laevis</i>	Siracusa, Italy	FN824122	-	-	-
<i>Porcellio laevis</i>	Siracusa, Italy	FN824123	-	-	-
<i>Porcellionides pruinosus</i>	Siracusa, Italy	FN824140	-	-	-
<i>Porcellionides pruinosus</i>	Australia	KR424607	-	-	-

DNA barcoding analysis. In addition, we sequenced three genetic regions for future study: nuclear 18S and 28S ribosomal RNA (rRNA) genes and the mitochondrial 12S rRNA gene. DNA extraction protocol, PCR conditions, and primers used were described in Karasawa *et al.* (2014). The sequence data have been deposited in DDBJ/EMBL/GenBank (COI: LC126629, 12S: LC126631, 18S: LC126633, 28S: LC126635).

Identification of species based on DNA barcoding was carried out using the BOLD Identification System for COI ([http://www.barcodinglife.org/index.php/IDS\\_OpenIdEngine](http://www.barcodinglife.org/index.php/IDS_OpenIdEngine)) on 2 May 2016. Sequence data were input into the system, which in turn showed candidate species that genetically matched the input data. We used the All Barcode Records on BOLD search database.

To visualize the validity of DNA barcoding, we constructed a phylogenetic tree with two exotic species (*Porcellio laevis* Latreille, 1804 and *Porcellionides pruinosus* (Brandt, 1833)), three morphologically resembling species found in Japan (*Burmoniscus ocellatus* (Verhoeff, 1928), *Mongoloniscus koreanus* Verhoeff, 1930 and *M. vannamei* (Arcangeli, 1927)), and six *P. scaber* specimens in other countries based on the COI sequence data. The sequence data of these specimens were obtained from the GenBank database (Table 1). Multiple sequence alignment was carried out by MUSCLE in SeaView 4. 5. 4 (Gouy *et al.*, 2010), and all gaps were excluded from subsequent analysis. Maximum Likelihood (ML) analysis was performed using MEGA 7 (Kumar *et al.*, 2016). The best-fit models of sequence evolution determined by the Bayes information criterion (BIC) in the program MEGA 7 was HKY+G model. Bootstrap support was assessed using 100 replicates.

### Results and Discussion

Precise species identification of *P. scaber* requires male morphological characteristics (Vandel, 1962; Gruner, 1966), but unfortunately we cannot collect male specimens. Both male and female *P. scaber* are known to have the following morphological characteristics (Vandel, 1962; Gruner, 1966;

Hopkin, 1991; Schmidt, 2003): there were three lobes on the anterior margin of the cephalon (Fig. 1A), the posterior margin of pereonite 1 is almost straight (Fig. 1A), epimerons 1–4 have obvious sinuous posterior margins (Fig. 1A), exopodites of pleopods 1 and 2 bear monospiracular lungs (Fig. 1B and C), the posterior tip of the telson tapers (Fig. 1A), and the flagellum of the second antenna is composed of two segments (Fig. 1D). The specimens examined had all of these morphological characters. However, some of these characters were shared with congeneric species (e.g., Schmidt, 2003).

To ensure proper species identification, we used the DNA barcoding approach which can identify

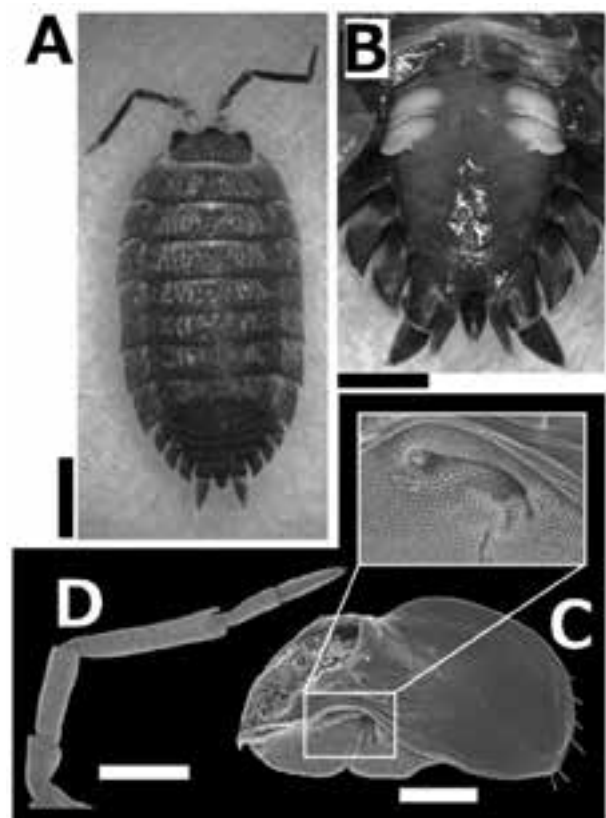


Fig. 1. Photographs and scanning electron micrographs of *Porcellio scaber* collected from Fukuoka, Kyushu. A: Dorsal surface, female collected from Minato-100-Nen-Park; scale bar, 2 mm. B: Ventral side of the abdomen, female collected from Akama Kitaguchi Mini Park; scale bar, 1 mm. C: Ventral side of exopodite 1, the upper white square indicates monospiracular photographed from a different angle, female collected from Minato-100-Nen-Park; scale bar, 0.3 mm. D: Second antenna, female collected from Minato-100-Nen-Park; scale bar, 1 mm.

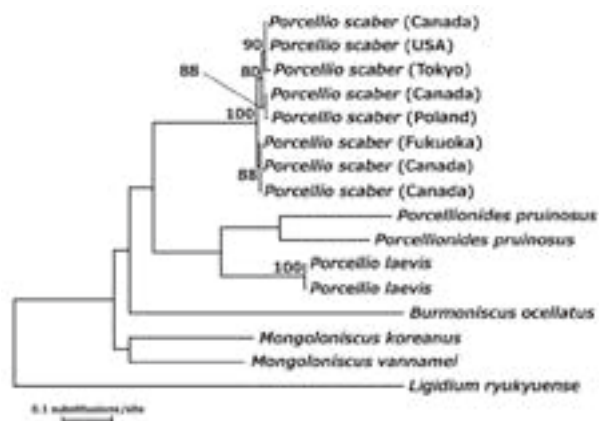


Fig. 2. ML phylogenetic tree based on combined COI sequence data. Bootstrap values exceeding 70% are shown at each relevant node.

female specimens because genetic data are used (Hebert *et al.*, 2003). The BOLD Identification System selected the top 99 candidate specimens with more than 98% similarity to specimens collected from Kyushu, and all except for eight unidentified specimens in the database were *P. scaber*. In addition, the phylogenetic tree revealed that *P. scaber* in Fukuoka Prefecture was included in a clade composed of eight specimens collected from four countries (Fig. 2). Therefore, we identified these specimens as *P. scaber*. *Porcellio scaber* is also known to show distinctive variation in carapace coloration (Bhella *et al.*, 2006), and both orange and gray types were collected from the park in Fukuoka City.

*Porcellio scaber* is distributed worldwide, but in most areas, outside of Europe, the species is considered exotic (Schmalzfuss, 2003); while it has been suggested that this species represents six subspecies (WoRMS Editorial Board, 2016), and the taxonomic treatment remains unclear. Solving the taxonomic confusion is important for precise identification, but it requires further analysis beyond the subject of this present study. In Japan, the species is also thought to have been introduced by human activity (Nunomura, 2007). Japan comprises four main islands: Hokkaido, Honshu, Shikoku, and Kyushu (Fig. 3). Nunomura (1998) reported that *P. scaber* was not found in the Kansai region of western Honshu during 1967–1977, and its distribution might be limited to Eastern

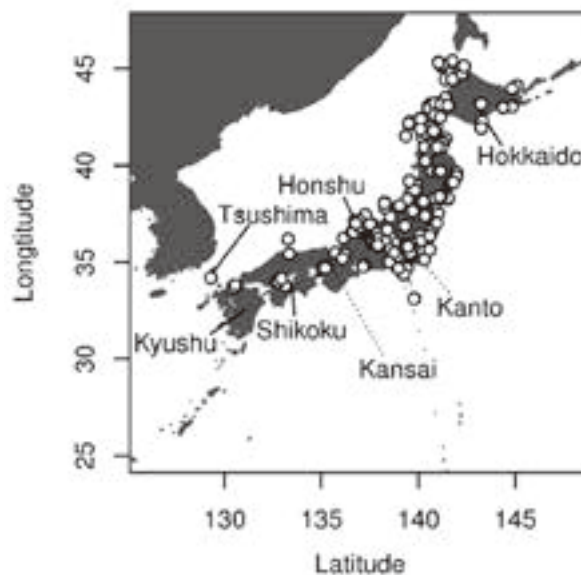


Fig. 3. Map of *Porcellio scaber* collection sites in Japan. Circles indicate sites that have been reported in the Japanese terrestrial isopod distribution database (<http://isopoda.sakura.ne.jp/map/map.php>), and squares indicate new collection sites.

Honshu and Hokkaido. Later, *P. scaber* were collected from Tottori, Osaka, Nara, and Hyogo in western Honshu, and Tokushima in Shikoku between 1992–1998 (Nunomura, 1998). In 2012, Hayashi (2012) found this species in Shimane, which is located in western Tottori, therefore the western limit of their distribution in Honshu has been considered to be Shimane. Nunomura (2011) also collected this species from Tsushima Island, which is north of the Kyushu mainland. However, *P. scaber* has not been collected on the Kyushu mainland until now. The results of the present study indicate that this species recently spread to the southwest part of Japan. The phylogenetic tree indicated that *P. scaber* in Fukuoka Prefecture genetically differed from *P. scaber* in Tokyo (Fig. 2), which implied that *P. scaber* in Fukuoka Prefecture might be introduced from another country and not Honshu.

Taxonomic status of terrestrial isopods is usually delimited using male morphological characters (e.g., Kashani, 2015; Taiti and Wynne, 2015), and some of the taxonomical characters may change as individual growth (Tanaka and Karasawa, 2016). Thus, identification based on immature and female specimens is difficult and has the potential to



cause misidentification, and the present study showed that DNA barcoding is useful for identifying these specimens.

### Acknowledgement

This research was partially supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, a Grant-in-Aid for Young Scientists (B) (no. 26830145).

### 引用文献

- Bhella, S., Fung, E., Harrison, J., Ing, B., Larsen, E. W. and Selby, R. D., 2006. Genetics of Pigmentation in *Porcellio scaber* Latreille, 1804 (Isopoda, Oniscidea). *Crustaceana*, 79: 897–912.
- Gouy, M., Guindon, S. and Gascuel, O., 2010. SeaView version 4: a multiplatform graphical user interface for sequence alignment and phylogenetic tree building. *Molecular Biology and Evolution*, 27: 221–224.
- Gruner, H., 1966. Krebstiere oder Crustacea. V. Isopoda, 2. Lieferung. pp. 151–380, *In: Die Tierwelt Deutschlands*. 53. Teil (ed. Dahl, F), VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Gurevitch, J. and Padilla, D. K., 2004. Are invasive species a major cause of extinctions? *Trends in Ecology and Evolution*, 19: 470–474.
- Hayashi, M., 2012. Distributional record of terrestrial isopod crustaceans in east Shimane Prefecture, Honshu, Japan. *Bulletin of the Hoshizaki Green Foundation*, 15: 195–200.
- Herbert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L. and deWaard, J. R., 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B*, 270: 313–321.
- Hopkin, S. P. 1991. A key to the woodlice of Britain and Ireland. *Field Study*, 7: 599–650.
- Kashani, G. M., 2015. First record and redescription of the terrestrial isopod *Hemilepistoides messorianus* Borutzky, 1945 (Isopoda, Oniscidea) from Iran. *Zookeys*, 515: 51–57.
- Karasawa, S., Kanazawa, Y. and Kubota, K., 2014. Redefinitions of *Spherillo obscurus* (Budde-Lund, 1885) and *S. dorsalis* (Iwamoto, 1943) (Crustacea: Oniscidea: Armadillidae), with DNA markers for identification. *Edaphologia*, 93: 11–27.
- Kumar, S., Stecher, G. and Tamura, K., 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution* (in press).
- Nunomura, N., 1998. Occurrence of *Porcellio scaber* in western Japan. *Edaphologia*, 61: 63–64 (In Japanese).
- Nunomura, N., 2007. Exotic soil animals. pp. 223–224, *In: Practical Guide to Soil Zoology: From sampling to data analysis* (eds. The Japanese Society of Soil Zoology). Tokai University Press, Tokyo (In Japanese).
- Nunomura, N., 2011. Crustaceans No. 2 (Isopoda). *Special publication of the Toyama Science Museum*, 24: 1–133 (in Japanese).
- Ontario, B., 2013. Exotic species. Available at (13 January 2016): <http://www.eoearth.org/view/article/152708>
- Schmalfuss, H., 2003. World Catalog of Terrestrial Isopods (Isopoda, Oniscidea). Available at (13 January 2016): [http://www.oniscidea-catalog.naturkundemuseum-bw.de/Cat\\_terr\\_isop.pdf](http://www.oniscidea-catalog.naturkundemuseum-bw.de/Cat_terr_isop.pdf).
- Schmidt, C., 2003. Contribution to the phylogenetic system of the Crinocheta (Crustacea, Isopoda). Part 2. (Oniscoidea to Armadillidiidae). *Zoosystematics and Evolution*, 79: 3–179.
- Simberloff, D., Martin, J.-L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, E., Pascal, M., Pyšek, P., Sousa, R., Tabacchi, E. and Vilà M., 2013. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*, 28: 58–66.
- Taiti, S. and Wynne, J. J., 2015. The terrestrial Isopoda (Crustacea, Oniscidea) of Rapa Nui (Easter Island), with descriptions of two new species. *Zookeys*, 515: 27–49.
- Tanaka, R. and Karasawa, S., 2016. Growth-related taxonomic character variation in *Mongoloniscus koreanus* Verhoeff, 1930 (Crustacea, Isopoda, Oniscidea), with implications for taxonomic confusion. *Edaphologia*, 98: 11–19.
- Vandel, A., 1962. Isopodes terrestres (2ème partie).

*Faune de France*, 66: 417-931.  
WoRMS Editorial Board, 2016. World Register of  
Marine Species. Available from <http://www.>

[marinespecies.org](http://www.marinespecies.org) at VLIZ. Accessed 2016-11-  
08.[doi:10.14284/170](https://doi.org/10.14284/170).

## 研究資料

群馬県赤谷川上流域における有蹄類による  
食痕の地上高の分布とその植物種間差篠田 悠心<sup>\*1</sup>・赤坂 宗光<sup>\*2</sup>

Height distribution of ungulate grazing scars on plant shoots and their interspecific difference in an upstream catchment of Akaya river, Gunma, Japan

Yushin SHINODA<sup>\*1</sup>, Munemitsu AKASAKA<sup>\*2</sup>

Height distribution of ungulate grazing scars on plant shoots were surveyed across plant species at an upstream catchment of Akaya river, Gunma, Japan, at June 2014. In total, we observed 1676 grazing scars on 54 species. The mean height of grazing scars was 65.5 cm with a standard deviation of 31.5 cm, and 95% of grazing scars were found at a height > 25 cm. The lowest heights of scars of each species were 40.3 cm on average with a standard deviation of 20.4 cm. Therefore, we suggested that, low shoots, which are prone to be prevented from regrowth and reproduction when grazed, were not affected by grazing for most of the plant species in the study area.

*Keywords*: ungulate, plant community, grazing

群馬県赤谷川上流域において、有蹄類の食痕が確認されたシュートの植物種と食痕の地上高を調査した。2014年6月に調査を実施した結果、全体で54種の計1676シュートにおいて食痕を確認した。食痕の地上高は $65.5 \pm 31.5$  cm (平均±標準偏差)であり、確認した食痕の95%以上が地上高25 cm以上に存在していた。種ごとの食痕の最低高は $40.3 \pm 20.4$  cm (平均±標準偏差)であった。これらから、有蹄類の個体数密度が低い本対象地では、多くの種にとって採食により再成長や再生産が妨げられやすい地上高の低いシュートには採食が及んでいないことが示唆された。

キーワード：有蹄類, 植物群集, 採食

## 序 論

大型有蹄類（以降 有蹄類）の個体数は、捕食者や狩猟者の減少 (Potvin *et al.*, 2003) や、冬季の個体数制限要因である積雪の減少 (Loison *et al.*, 1999) などの理由で増加している。有蹄類の個体数増加に起因する採食は、時に植物種の地域絶滅をもなう種多様性の減少のほか、森林更新の阻害など生態系規模の問題を引き起こす (Côté *et al.*, 2004;

Bråthen *et al.*, 2007)。

有蹄類の個体数密度が低い場合には、有蹄類が植物群集の種多様性や森林更新に与える負の影響は少ない (Hegland *et al.*, 2013; Nuttle *et al.*, 2014; Itô *et al.*, 2014)。これは、有蹄類が低密度に生息している場合、低頻度で植物の個体の一部分が採食されるため、多くの場合植物の死亡率や植物種の存続には影響を与えないためと考えられている (Rosenthal & Kotanen, 1994)。しかし、同一の植物種において、

2016. 5. 13受付 ; 2016. 5. 16受理

\*1 東京農工大学農学府自然環境保全学専攻 (183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8) Department of Environment conservation, Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8, Saiwai, Fuchu, Tokyo183-8509, Japan.

Tel : 042-367-5829 Mail : yushin0423@yahoo.co.jp

\*2 東京農工大学大学院農学研究院 (183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8) Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

植物高が低い個体は、低頻度で部分的な採食であっても、死亡率が高くなる (Prendeville *et al.*, 2015)。このことは、有蹄類が低密度で生息する場合であっても、採食が地上高の低い植物種にも及ぶ場合には、有蹄類の採食は植物群集へ負の影響を与える可能性がある。そのため、ある地域の有蹄類の個体数密度が現状の植物群集の構成種が失われない範囲にあるのかどうかを判断するうえで、有蹄類の食痕の高さ分布の情報は貴重である。さらに、食痕の分布が植物種によって異なる場合には、有蹄類の個体数密度が低い地域においても、高さの低い植物種に採食が集中する可能性を排除できない。しかし、有蹄類による食痕の高さ分布、およびその分布の種による違いはこれまで検討されていない。

本研究の目的は、有蹄類の個体数密度が低い場合における、有蹄類の採食痕が高さ分布、および採食が集中する高さを明らかにすることである。そのため、まだ有蹄類の個体数密度が低い、今後増加することが予想されている群馬県赤谷川上流域において有蹄類の食痕を調査し、各出現種についてその高さ分布を報告する。

## 材料と方法

### 調査地概要

研究対象地は群馬県みなかみ町北部に位置する赤谷川上流域一帯の国有林 (約 1 万 ha) とした。調査地の年間降水量は 1124.9 mm、月平均気温は  $-0.3 \sim 24.3$  度、年平均気温は 10.3 度である (アメダスデータ地点みなかみ町)。また、積雪は平年 11 月から 4 月まで見られる (アメダスデータ地点みなかみ町)。調査地内には、採食による植物群集への影響を与える大型草食哺乳類であるニホンジカ (*Cervus nippon*) とニホンカモシカ (*Capricornis crispus*) が生息している (Ochiai, 1999; Takatsuki *et al.*, 2010) が、本研究対象地ではこれらの個体数密度は低く、現時点では植生に顕著な影響を与えていない (関東森林管理局, 2010)。

### 植物調査

2014 年の 6 月に、研究対象地の 3 か所において植物調査を行った。この 3 か所はいずれも小出俣沢流域内の、二次林の林縁 (標高 650 m  $\sim$  800 m) に設定した。それぞれの場所で 40 分間、2 人で発見できたニホンジカとニホンカモシカの食痕の地上高と植物種名をシュートごとに全て記録した。同一シュー

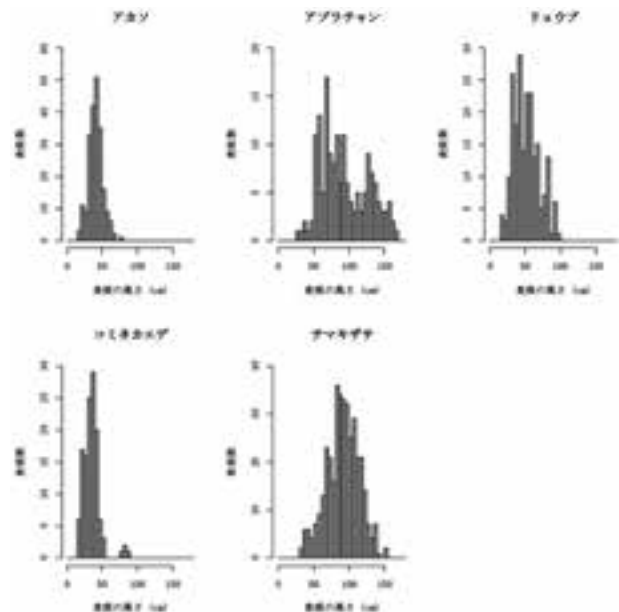


Fig. 1. Height distribution of grazing scars of five species which had grazing scars most frequently.

トから複数の食痕が見つかった場合にはすべての食痕の高さを計測した。

## 結果

54種540個体の計1676シュートにおいて食痕が確認された。食痕の地上高は平均で65 cmであり、調査した95%以上の食痕が地上高25 cm以上に存在していた。最も高い食痕の高さは170 cmであり、最も低い食痕の高さは13 cmだった。また、食痕が多く確認された上位5種については、高さの分布の形状は異なった (Fig. 1)。種ごとの食痕の最低高は  $40.3 \pm 20.4$  cm (平均  $\pm$  標準偏差) であった (Table 1)。

## 考察

有蹄類の個体数密度が高い場合、嗜好性が高い植物種は、高頻度で強い採食圧を受け、地域から消失することもある (Husheer *et al.*, 2003; Bråthen *et al.*, 2007)。特に、有蹄類の採食は、地上高の低い植物ほど与える影響が強い (Prendeville *et al.*, 2015)。これは、地上高の低い植物は、採食を受けた後に再び成長する可能性が低いためである。本研究において、有蹄類の採食は、25 cm以上の高さに集中し、13 cm以下の植物には採食が及んでいなかった。この傾向は植物種に関わらず見られたことから、有蹄類の個体数密度が低い本研究対象地では、採食の影響を強く受ける低いシュートには採食が及んでいないことが明らかになった。しかし、食痕が多く見られた上位5種について、食痕の高さの分布は種に

Table 1. The height of grazing scars of each plant species.

Japanese name	Nomenclature	The number of grazing scars	Mean (cm)	SD	Max height (cm)	Min height (cm)
アオダモ	<i>Fraxinus lanuginosa</i> Koidz. <i>f.serrata</i> (Nakai) Murata	14	92	22	116	51
アオハダ	<i>Ilex macropoda</i> Miq.	27	72	17	102	42
アカシデ	<i>Carpinus laxiflora</i> (Siebold et Zucc.) Blume	11	61	22	98	39
アカソ	<i>Boehmeria silvestrii</i> (Pamp.) W. T. Wang	218	42	10	76	18
アザミsp	<i>Chrysanthemum</i> sp.	13	60	4	66	49
アズキナシ	<i>Aria alnifolia</i> (Siebold et Zucc.) Decne.	1	83	0	83	83
アブラチャン	<i>Lindera praecox</i> (Siebold et Zucc.) Blume var. <i>praecox</i>	163	93	33	170	30
アワブキ	<i>Meliosma myriantha</i> Siebold et Zucc.	4	67	8	76	58
イタドリ	<i>Fallopia japonica</i> (Houtt.) Ronse Decr. var. <i>japonica</i>	18	57	20	83	30
イスザクラ	<i>Padus buergeriana</i> (Miq.) T.T.Yü et T.C.Ku	5	109	12	126	93
イスシデ	<i>Carpinus tschonoskii</i> Maxim.	9	67	8	77	52
イロハモミジ	<i>Acer palmatum</i> Thunb.	15	32	9	45	18
イワガラミ	<i>Schizophragma hydrangeoides</i> Siebold et Zucc. var. <i>hydrangeoides</i>	3	22	1	23	21
ウワミズザクラ	<i>Padus grayana</i> (Maxim.) C. K. Schneid.	11	95	17	115	64
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i> Siebold et Zucc. var. <i>japonica</i>	1	116	0	116	116
オオモミジ	<i>Acer amoenum</i> Carrière var. <i>amoenum</i>	6	77	22	107	58
オニイタヤ	<i>Acer pictum</i> Thunb. subsp. <i>pictum</i> f. <i>ambiguum</i> (Pax) H. Ohashi	9	101	50	154	36
オニドコロ	<i>Dioscorea tokoro</i> Makino	2	43	1	43	42
ガマズミ	<i>Viburnum dilatatum</i> Thunb.	54	30	10	82	13
クサギ	<i>Clerodendrum trichotomum</i> Thunb. var. <i>trichotomum</i>	5	55	4	61	50
コシアブラ	<i>Chengiopanax sciadophylloides</i> (Franch. et Sav.) C. B. Shang et J. Y. Huang	15	45	10	66	30
コハウチワカエデ	<i>Acer sieboldianum</i> Miq.	9	62	21	90	26
コミネカエデ	<i>Acer micranthum</i> Siebold et Zucc.	126	36	12	89	18
サルナシ	<i>Actinidia arguta</i> (Siebold et Zucc.) Planch. ex Miq. var. <i>arguta</i>	14	48	9	59	32
サンショウ	<i>Zanthoxylum piperitum</i> (L.) DC.	23	49	17	100	31
タラノキ	<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.	3	46	21	65	17
チマキザサ	<i>Sasa palmata</i> (Lat.-Marl. ex Burb.) E. G. Camus var. <i>palmata</i>	373	92	23	152	33
ツノハシバミ	<i>Corylus sieboldiana</i> Blume var. <i>sieboldiana</i>	1	51	0	51	51
ツルウメモドキ	<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb. var. <i>orbiculatus</i>	1	15	0	15	15
テンニンソウ	<i>Comanthosphace japonica</i> (Miq.) S. Moore	1	20	0	20	20
ナス科sp	Solanaceae sp.	9	26	6	35	15
ナワシロイチゴ	<i>Rubus parvifolius</i> L.	4	44	6	52	35
ニワトコ	<i>Sambucus racemosa</i> L. subsp. <i>sieboldiana</i> (Miq.) H. Hara var. <i>sieboldiana</i> Miq.	4	50	3	52	44
ヌルデ	<i>Rhus japonica</i> L. var. <i>chinensis</i> (Mill.) T. Yamaz.	3	47	0	48	47
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i> Siebold	12	60	16	92	37
ハウチワカエデ	<i>Acer japonicum</i> Thunb.	20	61	40	114	17
ハルニレ	<i>Ulmus davidiana</i> Planch. var. <i>japonica</i> (Rehder) Nakai	58	83	46	170	25
ヒトツバカエデ	<i>Acer distylum</i> Siebold et Zucc.	12	47	21	100	27
フサザクラ	<i>Euptelea polyandra</i> Siebold et Zucc.	2	73	4	76	69
フジ	<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC.	2	61	2	63	59
ブナ	<i>Fagus crenata</i> Blume	45	89	21	132	60
ボタンヅル	<i>Clematis apiifolia</i> DC. var. <i>apiifolia</i>	6	50	9	62	37
ミズキ	<i>Cornus controversa</i> Hemsl. ex Prain var. <i>controversa</i>	10	55	5	60	48
ミズヒキ	<i>Persicaria filiformis</i> (Thunb.) Nakai ex W. T. Lee	13	39	4	46	28
ミヤマハハソ	<i>Meliosma tenuis</i> Maxim.	1	38	0	38	38
ムラサキシキブ	<i>Callicarpa japonica</i> Thunb. var. <i>japonica</i>	4	53	20	87	40
モミ	<i>Abies firma</i> Siebold et Zucc.	4	80	40	120	36
モミジイチゴ	<i>Rubus palmatus</i> Thunb. var. <i>coptophyllus</i> (A. Gray) Kuntze ex Koidz.	2	72	0	72	72
ヤエムグラ	<i>Galium spurium</i> L. var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek	3	41	1	42	40
ヤマウルシ	<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (Miq.) Kuntze	49	61	13	98	39
ヤマグワ	<i>Morus australis</i> Poir.	37	63	17	87	31
ヤマブドウ	<i>Vitis coignetiae</i> Pulliat ex Planch.	3	39	10	54	30
リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i> Siebold et Zucc.	211	52	18	99	16
ワラビ	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn subsp. <i>japonicum</i> (Nakai) Á. et D.Löve	7	58	8	67	48

よって異なった (Fig.1)。種によって集中して採食される高さが違うことが、有蹄類の採食を受けた後の反応を変化させることも考えられる。

本研究は、ある注目する地域の有蹄類の個体数密度が、植物群集の構成種を存続させることのできる範囲に収まっているかの判断に寄与する情報を与えることを最終目的としている。研究対象地の有蹄類の個体数密度が植物群集の構成種の存続を可能にする範囲にあるのかを判断には、採食を受けた植物の高い植物が、補償成長や開花、結実しているかについての更なる調査が必要である。しかし、有蹄類の個体数が低い条件下の代表的な出現種の食痕の高さ分布の記録は、全国規模で予想される有蹄類の密度増加に伴う食痕の高さ分布の変遷を追うための基礎情報を蓄積するという意味で価値がある。さらに、今回の調査では、食痕が多く見られた上位5種について、食痕の高さの分布は種によって異なった (Fig.1)。植物は、種ごとに有蹄類の採食を受けた後の存続しやすさが異なっており、その応答の違いを引き起こすメカニズムの解明や、種ごとの応答の記録が求められている (Shinoda & Akasaka, 2017)。種によって集中して採食される高さが違うことが、有蹄類の採食を受けた後の応答を変化させる要因の一つとなることも考えられる。これらのことから、今後、植物群集の構成種が失われない程度の有蹄類の個体数密度を把握するためには、採食を受けた植物個体の開花結実の有無や、長期の存続の有無といった種の存続の可否に関わる項目について継続的な調査が求められる。

## 謝 辞

本研究において、利根沼田森林管理局には、入山に際して様々な便宜をはかっていただいた。また、調査の際には市谷優太氏および外山史也氏からご協力をいただいた。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

Bråthen, K. A., R. a. Ims, N. G. Yoccoz, P. Fauchald, T. Tveraa, and V. H. Hausner. 2007. Induced shift in ecosystem productivity? Extensive scale effects of abundant large herbivores. *Ecosystems* 10 : 773-789.

Côté, S. D., T. P. Rooney, J.-P. Tremblay, C. Dussault, and D. M. Waller. 2004. Ecological

Impacts of Deer Overabundance. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35 : 113-147.

- Hegland, S. J., M. S. Lilleeng, and S. R. Moe. 2013. Old-growth forest floor richness increases with red deer herbivory intensity. *Forest Ecology and Management* 310 : 267-274. Elsevier B. V.
- Husheer, S. W., D. a. Coomes, and A. W. Robertson. 2003. Long-term influences of introduced deer on the composition and structure of New Zealand *Nothofagus* forests. *Forest Ecology and Management* 181 : 99-117.
- Itô, H., T. Hino, and H. Takahashi. 2014. Optimum density of sika deer for tree seedling survival. *The Journal of Wildlife Management* 78 : 739-746.
- Loison, A., R. Langvatn, and E. J. Solberg. 1999. Body mass and winter mortality in red deer calves: disentangling sex and climate effects. *Ecography* 22 : 20-30.
- Nuttle, T., T. E. Ristau, and A. a. Royo. 2014. Long-term biological legacies of herbivore density in a landscape-scale experiment: forest understoreys reflect past deer density treatments for at least 20 years. *Journal of Ecology* 102 : 221-228.
- Ochiai, K. 1999. Diet of the Japanese serow (*Capricornis crispus*) on the Shimokita Peninsula, northern Japan, in reference to variations with a 16-year interval.
- Potvin, F., P. Beaupré, and G. Laprise. 2003. The eradication of balsam fir stands by white-tailed deer on Anticosti Island, Québec: a 150-year process. *Ecoscience*.
- Prendeville, H. R., J. C. Steven, and L. F. Galloway. 2015. Spatiotemporal variation in deer browse and tolerance in a woodland herb. *Ecology* 96 : 471-478.
- Rosenthal, J. P., and P. M. Kotanen. 1994. Terrestrial plant tolerance to herbivory. *Trends in Ecology and Evolution* 9 : 145-148.
- Shinoda Y., and Akasaka M. 2017. Incorporating habitats of plants and ungulates derives reliable targets to protect regional plant

diversity from grazing. *Ecosphere*, In press.

Takatsuki, S., S. Fuse, and T. Ito. 2010. A comparison of diet and digestion between sika deer and Japanese serow in northern Japan.

*Mammal study* 35 : 257-263.

関東森林管理局. 2010. 平成21年度三国山地／赤谷川・生物多様性復元計画推進事業報告書. 27-50.

## 研究資料

ツキノワグマの冬眠行動研究における  
首輪内蔵型温度センサーの有効性の検討

長沼 知子<sup>\*1</sup>・横手 里美<sup>\*1</sup>・宮田 桂子<sup>\*2</sup>・小島 善則<sup>\*2,4</sup>  
小坂井千夏<sup>\*1,5</sup>・中島 亜美<sup>\*1,4</sup>・山崎 晃司<sup>\*3,6</sup>・小池 伸介<sup>\*1</sup>

Examination of effectiveness of a built-in temperature sensor with a GPS collar  
for hibernation behavior study of Asiatic black bear

Tomoko NAGANUMA<sup>\*1</sup>, Satomi YOKOTE<sup>\*1</sup>, Keiko MIYATA<sup>\*2</sup>, Yoshinori KOJIMA<sup>\*2</sup>  
Chinatsu KOZAKAI<sup>\*1,4</sup>, Ami NAKAJIMA<sup>\*1,5</sup>, Koji YAMAZAKI<sup>\*3,6</sup>, Shinsuke KOIKE<sup>\*1</sup>

Because Asiatic black bears (*Ursus thibetanus*) in Japan mostly select the den site at steep slope, the denning ecology is poorly documented. In order to remedy this, we examined a new method using a built-in temperature sensor with a color for monitoring the denning ecology of the bears. We deployed the collar on a captive bear in a zoo, and tested its possibilities as a study tool. In the experiment, we compared the temperature value of the collar, the body temperature, the outside air temperature, and states of the bear activity. As a result, the temperature sensor value in collar was basically influenced by the outside air temperature. However, when the bear became in inactive, the temperature sensor value was affected by the body temperature. Moreover, because the temperature sensor did not record completely the outside air temperature during the acting period, the temperature sensor value seemed to be influenced by the body temperature every time. The outside air temperature will be able to be estimated more accurately if we modify the deploying structure of the collar and the positioning of the temperature sensor. This study shows that the temperature sensor built-in collar may become a useful tool for recording the outside air temperature and detailed behaviors of the terrestrial animals such as bears in the future.

*Keywords*: bio-logging, culture experiment, hibernation, temperature sensor, *Ursus thibetanus*

ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) に温度センサーが内蔵された首輪を装着して人工的な環境下で冬眠させ、ツキノワグマの冬眠中の行動解析における温度センサー値の有効性とセンサー値に影響を与える要因について検討した。解析には冬眠前と冬眠中の2期間のデータを用い、首輪内蔵の温度センサーの計測値(以下、首輪温度)と、対象個体の体温、外気温、活動状態との比較を行った。

2016. 4. 30受付 ; 2016. 5. 16受理

- \*1 東京農工大学 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 Tokyo University of Agriculture and Technology (3-5-8 Saiwai, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan)
- \*2 東京都恩賜上野動物園 〒110-8711 東京都台東区上野公園9-83 Ueno Zoological Gardens (9-83, Uenokoen, Taito-ku, Tokyo 110-8711, Japan)
- \*3 茨城県自然博物館 〒306-0622 茨城県坂東市大崎700 Ibaraki Nature Museum (700 Osaki, Bado, Ibaraki 306-0622, Japan)
- \*4 現所属: 東京都多摩動物公園 〒191-0042 東京都日野市程久保7-1-1 Present Address: National Agriculture and Food Research Organization Central Region Agricultural Research Center 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan)
- \*5 現所属: 農研機構 中央農業研究センター 〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1 Present Address: Tokyo Zoological Society (1-7-1 Hodokubo, Hino, Tokyo 191-0042, Japan)
- \*6 現所属: 東京農業大学 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1丁目1-1 Present Address: Tokyo University of Agriculture (1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan)



その結果、首輪温度は、基本的には体温よりも外気温の影響を受けていた。ただし、非活動時には、個体が体を丸めた姿勢をとり首輪が温められることで、体温の影響を強く受けた。また、活動時には首輪が外気に触れることから、外気温の影響を強く受けていた。しかし、首輪温度は、活動時であっても常に体温の影響を受けていることから、完全には外気温を測定できていなかった。今後、首輪の構造や温度センサーの位置を改良することで体温の影響を排除できれば、首輪温度から外気温を正確に再現測定できる可能性が示唆された。

キーワード：温度センサー、飼育実験、ツキノワグマ、冬眠、バイオリギング

## 1. はじめに

ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の冬眠は、他の冬眠を行なう動物とは異なった代謝システムを備えていることから (坪田, 2000), 本種の生態の大きな特徴のひとつである。また、ツキノワグマのメスは冬眠中に出産・育児を行うことから、その生活史において最も重要な期間のひとつである。これまでのクマ類の冬眠に関する研究事例には、主に冬眠場所の特性、選択性や冬眠期間の特定といった生態学的なアプローチと繁殖や生理メカニズムの解明といった生理学的なアプローチがある。日本のツキノワグマでは、飼育個体を用いた生理学的なメカニズムの解明を目的とした研究事例は多いものの (例えば、坪田, 2000), 野外での生態学的なアプローチによる研究事例はほとんどない (Huygens *et al.*, 2001; Koike and Hazumi, 2008; Yamamoto *et al.*, 2016)。その理由として、冬季の厳しい気象状態に加え、ツキノワグマは樹洞や急峻な岩場などを冬眠場所として選択することが多く、野外調査が困難であることがあげられる。

近年、野生動物の野外での生態調査では、様々なロガー式のセンサー類を利用し、大量の情報を取得する研究手法の発展により、新たな生態学的知見が多数得られている (例えば、日本バイオリギング研究会, 2009)。大型陸上哺乳類では、GPS 首輪に内蔵されるアクティビティーセンサー (動物の首の動きを感知して記録する) の値によって、動物の状態を「活動状態」と「非活動状態」に区分できることが報告されている (ヘラジカ (*Alces alces*): Moen *et al.*, 1996, アカシカ (*Cervus elaphus*): Adrados *et al.*, 2003, ヒグマ (*Ursus arctos*): Gervasi *et al.*, 2006, ツキノワグマ: Kozakai *et al.*, 2008)。さらに、ツキノワグマでは、アクティビティーセンサーの値から冬眠の開始時期や終了時期を推定できる可能性が指摘されている (Kozakai *et al.*, 2011)。しか

しながら、冬眠中に冬眠場所を移動するような具体的な行動 (Bridges *et al.*, 2004) の特定については、アクティビティーセンサーのみでは出来ないといった課題も指摘されている (山崎, 2011)。

そのほかのセンサー類では、例えば温度センサーを用いた小型動物の冬眠行動や休眠行動の解析が行われている。フトオコビトキツネザル (*Cheirogaleus medius*) では、休眠中に体温が低下することが知られるが、体表面に装着した温度センサーによって記録される値と対象個体の体温がほぼ一致することから、休眠期間の推定が可能である (Dausmann 2005)。また、オポッサム (*Didelphis virginiana*) では、冬眠中に採餌行動を行うが、場所による外気温の違いから採食行動の特定が可能であるため、体外に装着した温度センサーはラジオテレメトリーによって得られた位置情報を補足する道具として、その有効性が指摘されている (Kanda *et al.*, 2005)。一方、ツキノワグマでは、飼育個体に対して非接触型の計測器で呼吸数や心拍数、体温を計測したり、体内に埋め込み型の温度センサーを使用することで、その変化から冬眠期間を特定する試みが行われているものの (井手ら, 2009; Ito *et al.*, 2010; 宮田ら, 2014), これらの装置による野外での計測実現は実施が難しいといえる。一方、これまで体外に装着した温度センサーを用いた冬眠に関する研究は行われていない。ツキノワグマでも他の動物の先行研究のように、体外に装着した温度センサーによって、たとえば冬眠場所の気象状態の測定や、アクティビティーセンサーだけでは解明できないような冬眠中の行動の詳細を明らかにできる可能性は高い。

こういったセンサー類を野生動物の野外の生態研究に用いるための精度検証には、野外で得られた値だけでは不十分なことが多い。そのため、飼育個体を用いた検証試験の実施が必要となる。前述したクマ類におけるアクティビティーセンサーの事例では、飼育個体を用いた試験の結果から、その有効性

が明らかにされている（Gervasi *et al.*, 2006；Kozakai *et al.*, 2008）。また、ネコ類における小型加速度データロガーを用いた行動研究においても、研究段階の初期には、飼育個体を用いた検証実験が行われている（Watanabe *et al.*, 2005）。

そこで、本研究はツキノワグマの冬眠中の行動解析について、体外に装着した温度センサーの有効性を検証することを目的とし、人工的に冬眠を行う飼育個体に首輪内蔵型の温度センサーを装着することで、そのセンサーの有効性とセンサー値に影響を与える要因について検討した。具体的には、首輪内蔵の温度センサー値（以下、首輪温度）と、対象個体の体温、外気温（室温）との比較を行い、首輪温度がいずれの温度を反映しているかを検証した。また、装着個体の活動状態も首輪温度に影響を与える可能性が考えられることから、温度センサーと共に首輪に内蔵されたアクティビティセンサーの値から装着個体の活動状態を区分決定して、この活動状態別に首輪温度の比較も行った。最後に、本結果を踏まえ、ツキノワグマの野外での冬眠行動解析における首輪に内蔵された温度センサーの課題について検討を行った。

## 2. 材料と方法

### 冬眠実験の概要

実験では東京都恩賜上野動物園で飼育されているメス亜成獣1頭（3歳）を用いた。上野動物園では2006年よりツキノワグマの人工冬眠を実施している（人工冬眠の詳細は井手ら，2009を参照）。対象個体には、2007年11月8日に麻酔処置を行ない、温度センサーおよびアクティビティセンサーを内蔵した首輪（Lotek社製，GPS3300S型）（図1）を装着し、さらに右肩部の皮下に温度ロガー（Tidbit v2 Temp 30mm×40mm×17mm）を埋め込んだ（宮田ら，2014）。首輪内蔵の温度センサーの構造は、強化プラスチック製の筐体内の基盤上にセンサー部が露出設置された形状のものである。この首輪を冬眠誘導前の活動期に取り付け、しばらくの期間、展示施設で通常の展示を行なった後に、12月16日より人工冬眠に向けて、屋内施設（図2）へ移動させた。実験に用いた屋内施設は、冬眠に用いる冬眠ブース（奥行き1,600×幅1,250×高さ1,680mm）と準備室（奥行き2,330×幅2,400×高さ2,820mm）と隣接する展示室（奥行き2,750×幅4,700×高さ2,820mm）からなる（詳細は井手ら，2009を参照）。準備室と



図1. 対象個体が首輪を装着している状態。

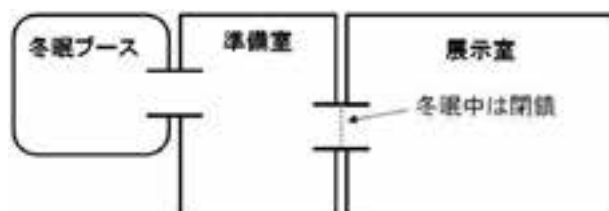


図2. 冬眠施設（概略図）。冬眠ブースおよび準備室には温度計と行動記録用のビデオカメラが設置されている。また、冬眠準備室には冷却装置が設置されている。

展示室とは落とし扉で仕切ることができる。室温を低温状態にするための冷却装置は準備室に設置されている。

対象個体の冬眠への準備は、井手ら（2009）にならって行った。飼料は11月16日から20日をピークに徐々に量を減らし、12月22日を最後に12月23日から絶食させた。さらに、12月14日から26日までの13日間をかけて、準備室の設定温度を $-5^{\circ}\text{C}$ まで徐々に下げ、自然下での冬季の気象条件に近づけた。また、12月27日より、準備室と展示室の間を閉め締め切り、対象個体は準備室と冬眠ブースでのみ行動できるようにした。その後、対象個体は12月26日には睡眠時間が増加したことから、井手ら（2009）での定義にしたがい冬眠開始とした。その後、3月3日まで冬眠を続けた（詳細は、宮田ら，2014）。その後、首輪は2008年4月13日に再び麻酔処置を行い回収した。

### 解析に用いたデータ

本実験で取得した情報は、表1の通りである。まず、対象個体に装着した首輪に内蔵された温度センサーによって首輪温度を、アクティビティセン

表1. 解析に用いたデータと各計測方法

	計測機器	測定間隔(分)
クマのデータ		
首輪温度	首輪に内蔵された温度センサー	5
活動状態	首輪に内蔵されたアクティビティセンサー	5
体温	背中に埋め込んだ温度ロガー	60
環境のデータ		
室温(冬眠ブース)	部屋に設置した温度計	5
室温(準備室)	部屋に設置した温度計	60
室温(展示室)	部屋に設置した温度計	60

サーによって活動状態を記録した。アクティビティセンサーは、5分ごとにそれまでの5分間に首輪が垂直方向と水平方向のそれぞれに揺れた回数を記録する。本研究では、Kozakai *et al.*, (2008) にならない垂直方向と水平方向に揺れた回数の合計値が13回以上の場合を活動、13回未満の場合を非活動とした。首輪温度の値は、5分ごとの瞬間的な温度を記録したものである。また、対象個体の体温は、体内に埋め込んだ温度ロガーによって60分間隔で記録した温度を体温とした(以下、体温とする)(宮田ら, 2014)。さらに、各部屋の室温は、各部屋に設置された温度計によって60分間隔(冬眠ブースは5分間隔)で記録した。これらのほかに、各部屋に設置されたカメラで撮影したビデオ映像も、行動解析の際の参考資料として用いた。

本研究では、12月27日から冬眠期間としたが、さらに映像による確認から、活動場所や状態が異なる、冬眠前(12月19日~12月23日)と冬眠中(12月28日~3月3日)の2期間に分けて解析を行った。

### 3. 結果

#### 温度センサーの値と各温度との関係

各部屋の室温は、冬眠前の期間では、展示室は平均(±SD)  $10.3 \pm 0.5^\circ\text{C}$  ( $9.4 \sim 11.3^\circ\text{C}$ )、準備室は平均  $4.7 \pm 2.3^\circ\text{C}$  ( $-1.2 \sim 8.4^\circ\text{C}$ ) であった。また、冬眠中の期間は、準備室は平均  $-3.5 \pm 0.7^\circ\text{C}$  ( $-5.3 \sim -0.4^\circ\text{C}$ )、冬眠ブースは平均  $3.1 \pm 0.8^\circ\text{C}$  ( $1.2 \sim 6.6^\circ\text{C}$ ) であった。また、対象個体の体温は、冬眠前の期間は平均  $30.5 \pm 1.7^\circ\text{C}$  ( $25.5 \sim 35.0^\circ\text{C}$ )、冬眠中の期間は

平均  $30.0 \pm 1.1^\circ\text{C}$  ( $26.5 \sim 34.0^\circ\text{C}$ ) であった。首輪温度は、冬眠前の期間は平均  $26.5 \pm 8.5^\circ\text{C}$  ( $11.0 \sim 36.0^\circ\text{C}$ )、冬眠中の期間は平均  $30.9 \pm 4.4^\circ\text{C}$  ( $25.0 \sim 36.5^\circ\text{C}$ ) であった。

首輪温度と、首輪温度を記録した時点での体温、対象個体が滞在した場所の室温との間には、冬眠前では体温 ( $r = -0.667$ ,  $P < 0.01$ ) との間でのみで負の相関が見られた。一方、冬眠中にはいずれの温度とも有意な関係がみられなかった。

#### 温度センサーの値と活動状態との関係

首輪温度を、対象個体の活動状態別に区分し比較すると、冬眠前の期間では、対象個体が活動時には平均(±SD)  $16.1 \pm 5.7^\circ\text{C}$  ( $11.0 \sim 35.0^\circ\text{C}$ ,  $N=450$ )、非活動時には平均  $31.3 \pm 4.4^\circ\text{C}$  ( $14.0 \sim 36.0^\circ\text{C}$ ,  $N=989$ ) となり、有意な違いが認められた(Mann-Whitney U test,  $P < 0.01$ ) (図3 a)。また、冬眠中の期間でも、対象個体が活動時には平均  $25.7 \pm 5.5^\circ\text{C}$  ( $15.0 \sim 35.5^\circ\text{C}$ ,  $N=1232$ )、非活動時には平均  $31.4 \pm 4.1^\circ\text{C}$  ( $15.0 \sim 36.5^\circ\text{C}$ ,  $N=19215$ ) となり、有意な違いが認められ

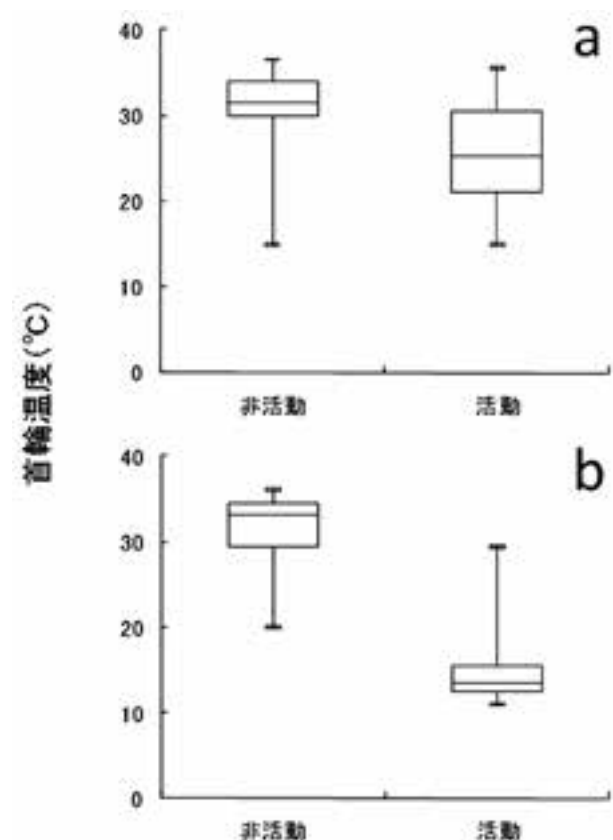


図3. 冬眠前の期間(a)と冬眠中の期間(b)での首輪温度の値と活動状態(活動状態・非活動状態)との関係。図の上端は最大値、下端は最小値、箱の下端は第一四分位数、箱の中の線は中央値、箱の上端は第三四分位数を示す。

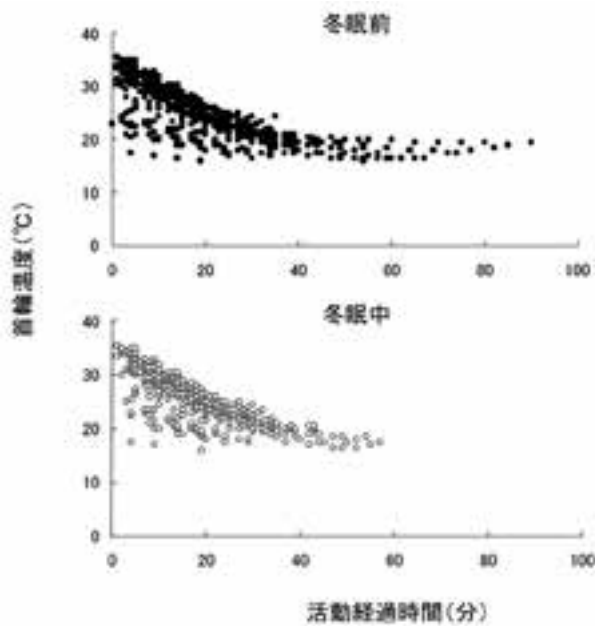


図4. 冬眠前の期間と冬眠中の期間での首輪温度の値の活動経過時間長による変化。なお、首輪温度は5分間隔でしか記録していないため、解析に用いた首輪温度は、活動開始時の首輪温度として活動開始直前に記録された首輪温度の値を、活動終了時の首輪温度として活動終了の直前に記録された首輪温度の値を用いた。

た (Mann-Whitney U test,  $P < 0.01$ ) (図3 b)。

また、一回あたりの活動時間長（活動開始：対象個体が動き出した時点、活動終了：体を丸くした時点）と、その時間における首輪温度の変化値とを比較した。なお、首輪温度は5分間隔でしか記録していないため、解析に用いた首輪温度は、活動開始時の首輪温度として活動開始直前に記録された首輪温度の値を、活動終了時の首輪温度として活動終了の直前に記録された首輪温度の値を用いた。その結果、冬眠前、冬眠中ともに、活動時間が長くなるとともに首輪温度は下降し、活動を開始してから約40分後に値は安定した（図4）。

さらに、活動時の行動については、アクティビティセンサーの値の大小からでは、行動内容の詳細（例えば、歩行、採食）を区別することは難しいことが指摘されている（Kozakai et al., 2008）。今回の実験においても、冬眠中の行動（例えば、立ち上がる、寝返りを打つ、冬眠ブース外への移動、など）についてビデオ撮影の映像とアクティビティセンサーの値とを照らし合わせると、アクティビティセンサー値の大小で行動の種類を判別することはできなかった（横手 未発表）。そこで、冬眠中の最も大きな動きであった「冬眠ブース外への移動」と「冬眠ブース内での活動」(n=4) について、

両活動の活動開始時からの経過時間に伴う首輪温度の減少速度の違いを共分散分析によって比較した。なお、用いた首輪温度は前述のとおりである。その結果、両活動の間には有意な違いは認められなかった ( $P = 0.51$ )。

#### 4. 考 察

今回の結果から、首輪温度は温度センサーの筐体内での設置位置や、対象個体への装着部位された位置の特性（首の前の部分）から予測されたとおり、基本的には外気温の影響を受けていることが明らかになった。この傾向は対象個体の活動時により顕著で、活動時に首輪温度は低い値を示し、さらに活動時間が長くなるほど首輪温度が低下した。一方、非活動時には、ビデオ映像の解析から対象個体は体を丸めて首輪の温度センサーが内蔵されている部分を内側に抱え込む姿勢を頻繁にしていたために、外気との接触が遮られ、体温で首輪が温められることで、首輪温度が体温に近い値を示した。

冬眠前の期間において首輪温度と対象個体の体温との間で負の相関がみられた。その理由として、冬眠中のツキノワグマは冬眠前よりも体温を4、5°C低下させることが知られている（坪田, 2000; 宮田ら, 2014）。本実験の冬眠前の期間（12月19日～12月23日）は、対象個体が完全に冬眠状態に入る前であり、完全には体温が下がり切っていない状態であったと考えられる。そのため、対象個体がこの期間に活動することで体温が一時的に上昇し、首輪温度は前述したとおり活動時には非活動時よりも外気温に影響され低下することから、首輪温度と対象個体の体温との間で負の相関が認められたと考えられる。一方、冬眠中の期間では、首輪温度と体温との間で有意な関係は認められなかった。その理由としては、冬眠中は対象個体の体温の変化幅が小さく、冬眠前の期間に比べて冬眠中は1回あたりの活動継続時間が短いことから、首輪に内蔵された温度センサーが温度変化を認識するには活動時間が短すぎたり、5分間の累積であるアクティビティセンサー値から推定した活動状態との間にずれが生じた可能性が考えられる。

今回の解析では、冬眠期間中に冬眠場所を移動する行動（Bridges et al., 2004）に近いと考えられる冬眠中の冬眠ブース外に出る行動に着目し、冬眠中の他の活動と首輪温度の減少速度の違いに着目したが、首輪温度からだけでは行動内容を区別すること

はできなかった。この理由としては、冬眠中に冬眠ブース外に出る行動は見られたものの、冬眠ブースの外に出ている時間が短かったことや、冬眠ブース外での動作が冬眠ブース内にいるときよりも小さかったことなどが考えられる。ただし、実験中对象個体が冬眠ブースの外に出るような事例数は少なかったことから、今後も詳細な検討が必要となるだろう。

今回の実験を通じて、体外に装着した首輪に内蔵された温度センサーが記録する値に関する課題を確認することが出来た。例えば、首輪温度は対象個体がどれだけ長く行動をしても、決して室温と同じ値を示すことはなく、体温と室温との間の一定の温度で安定したことから、常に首輪温度は外気温と体温双方の影響を受けているといえる。そのため、首輪に内蔵された温度センサーの値から外気温を推定するためには、首輪内部の体側（一方の側）への熱反射板や断熱材を設置することで温度センサーに体温の影響が及ばないようにする必要がある。今回の実験で明らかのように、晩秋から冬季にかけては外気温とツキノワグマの体温との差が大きいことから、こういった課題を解決すれば体外に装着した首輪に内蔵された温度センサーによって外気温を推定できる可能性は十分にある。また、そのことで野生下での冬眠場所の温度や冬眠中の行動を記録するための有効な道具として期待が出来る。

今回の実験では、ツキノワグマの冬眠研究における首輪に内蔵された温度センサーの有効性について検証し、その可能性と共に課題を明らかにすることが出来た。このような評価が行えるのも飼育個体を用いた実験の最大の長所と言える。今後、動物園等での研究機能の強化がなされることにより、野外では得ることが難しい野生動物の生態研究や保護管理のための有用な情報が提供されることが期待出来る。

## 5. 謝 辞

本実験に際して、実験の便宜を図っていただいた東京都恩賜上野動物園、園長（当時）の小宮輝之氏、前飼育展示課長（当時）の伊東員義氏、前東園飼育展示係長（当時）の寺田光宏氏に謝意を表す。また、飼育展示課長（当時）の福田豊氏、東園飼育展示係長（当時）の堀秀正氏からは本原稿への有益な助言をいただいた。データの解析に際しては曾我昌史氏、藤津亜希子氏、菅野希氏、藤原紗菜氏に協力をいただいた。なお、本実験の一部は、環境省公害

防止等試験研究費（中核研究機関：森林総合研究所）および科研費（22780141）によった。

## 引用文献

- Adrados, C., Verheyden-Tixier, H., Cargnelutti, B., Pepin, D. and Janeau, G. (2003) GPS approach to study fine-scale site use by wild red deer during active and inactive behaviors. *Wildlife Society Bulletin* 31 : 544-552.
- Bridges, A., Fox, J., Olfenbittel, C. and Vaughan, M. (2004) American Black Bear Denning Behavior: Observations and Applications Using Remote Photography. *Wildlife Society Bulletin* 32 : 188-193.
- Dausmann, K. H. (2005) Measuring body temperature in the field-evaluation of external vs. implanted transmitters in a small mammal. *Journal of Thermal Biology* 30 : 195-202.
- Gervasi, V., Brunberg, S., and Swenson, J. E. (2006) An individual-based method to measure activity levels: a test on brown bears. *Wildlife Society Bulletin* 34 : 1314-1319.
- Huygens, O., Goto, M., Izumiyama, S., Hayashi, H. and Yoshida, T. (2001) Denning ecology of two populations of Asiatic black bears in Nagano prefecture, Japan. *Mammalia* 65 : 417-428.
- 井手桂子, 小島善則, 齋藤麻里子, 藤岡 紘, 水本侑, 寺田光宏, 川原寛史, 鈴木 哲 (2009) ニホンツキノワグマの冬眠展示施設及び冬眠の誘導と冬眠期間中の諸変化について. *動物園水族館雑誌* 50 : 21-32.
- Itoh, K., Ide, K., Kojima, Y. and Terada, M. (2010) Hibernation exhibit for Japanese black bear *Ursus thibetanus japonicus* at Ueno Zoological Gardens. *International Zoo Yearbook* 44 : 55-64.
- Kanda, L. L., Fuller, T. K. and Friedland, K. D. (2005) Temperature sensor evaluation of opossum winter activity. *Wildlife Society Bulletin* 33 : 1425-1431.
- Koike, S. and Hazumi, T. (2008) Notes on Asiatic black bears denning habits in the Misaka Mountains, central Japan. *Ursus* 19 : 80-84.
- Kozakai, C., Koike, S., Yamazaki, K. and Furubayashi, K. (2008) Examination of captive Japanese

- black bear activity using motion sensors. *Mammal Study* 33 : 115-119.
- Kozakai, C., Yamazaki, K., Nemoto, Y., Nakajima, A., Koike, S., Abe, S., Masaki, T. and Kaji, K. (2011) Effect of mast production on home range use of Japanese black bears. *Journal of Wildlife Management* 75 : 867-875.
- Moen, R. A. (1996) Interpreting behavior from activity counters in GPS collars on moose. *Alces* 32 : 101-108.
- 日本バイオロギング研究会 (2009) バイオロギング—最新科学で解明する動物生態学 (WAKUWAKU ときめきサイエンスシリーズ). 224pp, 京都通信社, 京都.
- 宮田桂子, 小島善則, 齋藤麻理子, 山本達也, 水本侑, 寺田光宏, 橋崎文隆, 原 樹子, 堀 秀正, 鈴木 哲 (2014) ニホンツキノワグマの冬眠期間中の睡眠時間と体温の変化. *動物園水族館雑誌* 55 : 70-79.
- 坪田敏男 (2000) 第7章 クマ—生理的な側面から— 冬眠する哺乳類 (川道武男・近藤宣昭・森田哲夫, 編), 213-232. 東京大学出版会, 東京.
- Watanabe, S., Izawa, M., Kato, A., Ropert-Coudert, Y. and Naito, Y. (2005) A new technique for monitoring the detailed behavior of terrestrial animals: a case study with domestic cat. *Applied Animal Behavior Science* 94 : 117-131.
- Yamamoto, T., Tamatani, H., Tanaka, J., Oshima, G., Mura, S. and Koyama, M. (2016) Abiotic and biotic factors affecting the denning behaviors in Asiatic black bears *Ursus thibetanus*. *Journal of Mammalogy* 97 : 128-134.
- 山崎晃司 (2011) 第4章 行動—これまでの研究と新しい研究機材の導入により見えてきたこと— 日本 のクマ ヒグマとツキノワグマの生物学 (坪田敏男・山崎晃司編), 119-153. 東京大学出版会, 東京.

研究資料

## カメラトラップを用いた赤坂御用地におけるホンダタヌキの個体数推定

岩崎佳生理<sup>\*1</sup>・斎藤 昌幸<sup>\*2,3,6</sup>・酒向 貴子<sup>\*4</sup>・小泉璃々子<sup>\*1</sup>・手塚 牧人<sup>\*5</sup>・金子 弥生<sup>\*2</sup>

## Population estimation of raccoon dogs in the Akasaka Imperial Grounds using camera trap

Kaori IWASAKI<sup>\*1</sup>, Masayuki U. SAITO<sup>\*2,3,6</sup>, Takako SAKO<sup>\*4</sup>  
Ririko KOIZUMI<sup>\*1</sup>, Makito TEDUKA<sup>\*5</sup>, Yayoi KANEKO<sup>\*2</sup>

Population density is one of the most important indicators accounting for habitat status of wild mammals. However, the population density of the raccoon dog is little known in Japan. Because the raccoon dog is a native medium-sized mammal species in central Tokyo, a highly urbanized area, to clarify the habitat status of them is essential for wildlife management in urban landscapes. In this study, we estimated the population density of the raccoon dog in Akasaka Imperial Grounds, based on mark-recapture concept using camera trap. In 2012 and 2013, we captured nine raccoon dogs by box traps, and fitted them with a collar and tag. We established ten latrine sites and one normal site, and used an infrared sensor camera at each site. Camera traps were conducted from August 5, 2012 to November 6, 2012 and from September 17, 2013 to November 6, 2013. Using the video data by camera traps, we estimated the population density based on Schnabel method. In 1451 camera nights, we recorded 3295 raccoon dogs. From number of records of all and marked individuals, we estimated that the population density of the raccoon dog in the study area were 26.5 individuals and 0.52 individuals/ha. This indicates that the raccoon dog in Akasaka Imperial Grounds is high density population.

*Keywords*: carnivore, mark-recapture, *Nyctereutes procyonoides*, population density, urban green area,

野生動物の個体数は生息状況をあらわす重要な指標の1つであるが、タヌキにおいては個体数に関する研究がほとんどおこなわれてこなかった。タヌキは東京都心部に生息する唯一の在来中型哺乳類であり、生息状況を明らかにすることは重要である。本研究では、赤坂御用地に生息するタヌキに標識を装着し、カメラトラップを用いた個体数推定をおこなった。2012年から2013年にかけて計9頭のタヌキを捕獲し、標識を付与した首輪を装着した。タヌキを撮影するために11地点（うち10地点がタメフン場）にそれぞれ1台のセンサーカメラを設置し、2012年8月5日から11月6日および2013年9月17日から11月6日に撮影をおこなった。調査期間に撮影された総撮影個体数と標識個体数から、Schnabel法を用いた個体数・生息密度推定をおこなった。調査の結果、1451カメラナイトで累計3295回タヌキが撮影された。このデータに基づき個体数と生息密度の推定をおこなったところ、それぞれ26.5頭と0.52頭/haであった。赤坂御用地では高密度にタヌキが生息していると考えられた。

キーワード：食肉目、生息密度、都市緑地、標識再捕獲、*Nyctereutes procyonoides*

2016. 6. 16受付；2016. 12. 9 受理

\*1 東京農工大学農学部 Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*2 東京農工大学大学院農学研究院 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*3 日本学術振興会 Japan Society for the Promotion of Science

\*4 宮内庁 Imperial Household Agency

\*5 フィールドワークオフィス Field Work Office

\*6 Corresponding author

## 1. はじめに

野生動物の個体数や生息密度は生息状況をあらわす重要な指標の1つである。個体数推定については直接観察法、区画法、糞マーク法、糞粒法など様々な手法が利用されてきた(松良, 1978)。赤外線センサーカメラを用いた個体観察手法は、非侵襲的な手法の1つであり、夜行性の種が多く、観察が困難な日本の中型食肉目を対象として利用されてきた(金子ほか, 2009)。センサーカメラを用いた中型食肉目の個体数推定もおこなわれているが、研究の多くは体表の模様(すなわち生体標識)から個体識別が可能であるネコ科動物での利用であり(Kucera *et al.*, 2011)、個体識別が困難な種に対してはあまり研究がおこなわれてこなかった。

ホンダヌキ(*Nyctereutes procyonoides viverrinus*, 以下タヌキ)は、日本の本州から九州の広範に分布する中型食肉目である(Saeki, 2009)。生息環境についても都市から自然度の高い地域まで広く生息することが知られているが(園田・倉本2008; Saito and Koike, 2013)、日本国内におけるタヌキの個体数に関する研究は、Ikeda *et al.*, (1979)による長崎県高島の餌マーキング法および酒向ほか(2008)による皇居のタメフン場に基づく推定のみであり、生息環境と生息密度の関係は明らかになっていない。東京都におけるタヌキは1970年代には西部まで分布が後退したとされる(千羽, 1973)。その後、1990年代以降に再び東京都心部へ進出したとみられており、現在は都心部に唯一生息する在来中型哺乳類となっている。しかしながら、都心部におけるタヌキに関する学術的研究は不足しており、都心部の分断された緑地におけるタヌキの生息状況を明らかにすることは、都市に生息する食肉目の生息状況の解明にとって重要であると考えられる。

タヌキの個体識別法では、体表の模様等を用いた生体標識は困難である。しかし、生体標識が困難な種であっても、首輪や耳標といった標識を付与した個体をセンサーカメラによって撮影し再び補足することにより、標識再捕獲法の考え方に基づく個体数推定をおこなうことが可能であることが指摘されている(O'Brien, 2011)。そこで本研究では、都市緑地である赤坂御用地に生息するタヌキに首輪による標識を装着し、カメラトラップを用いた個体数推定をおこなう。そして、生体標識を用いることのできない中型食肉目の個体数推定法の発展に資すること

を目的とする。

## 2. 方法

### 2.1. 調査地

調査地は東京都港区に位置する赤坂御用地である。調査地の標高は約11~34mであり、気候は年間降水量1614mm、年平均気温17.1℃(気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2014年1月5日確認)の夏雨型太平洋型気候である。敷地面積は約51haである。

赤坂御用地内には、東宮御所、各宮家の御住居のほか、芝生と池を配した広大な庭園があるが、敷地の3分の1は在来の常緑広葉樹林、多様な樹種が混植された混交樹林、植栽起源の針葉樹林、梅林などが占めており、都心部の中では良好な環境が残されている(大和田・武田, 2005)。

調査地内では、1990年代前半からタヌキが目撃されており、生後間もない幼獣が保護されるなど、定着・繁殖しているものと考えられる(手塚・遠藤, 2005)。また、調査地に生息する中型食肉目として、タヌキのほかにネコ(*Felis catus*)およびハクビシン(*Paguma larvata*)が確認されている(手塚・遠藤, 2005)。

調査地は周辺を高さ約2mのフェンス等で囲まれている。道路に接する敷地境界の多くはフェンスに加え石垣が築かれ、周辺道路と2m程度の高低差がある。調査地北東側には迎賓館が隣接しており、調査地とは高さ約2m以上の柵で区切られている。調査地周辺は強度に開発の進行したオフィスおよび住宅密集地であり、北東約1.4kmの距離に皇居、北西約0.9kmの距離に新宿御苑があるほかは近隣に大規模な緑地は無い。また、赤坂御用地および迎賓館の周辺は比較的交通量の多い2から8車線の道路に囲まれている。調査地内への人の立入りは制限されており、門以外からの出入りはほぼ不可能である。また、各門と調査地内各所に警備員が常駐している。

### 2.2. 捕獲および標識の付与

タヌキの捕獲は2012年8月2日から8月4日にかけて2日間44トラップナイト(以下TN)、2013年3月18日から3月19日にかけての1日間10TN、2013年10月8日から9日にかけての1日間13TNでおこなった。個体の捕獲には、ソフトキャッチ(ソフトキャッチ, VICTOR社)および片開き踏板式



Table 1. Summary of raccoon dogs captured in the Akasaka Imperial Grounds.

ID	Sex	Age class	Date of capture	Remarks
a	Male	Adult	August 2, 2012	
b	Female	Adult	August 2, 2012	
c	Male	Adult	August 2, 2012	
d	Male	Adult	August 2, 2012	
e	Female	Adult	August 2, 2012	Died in February 8, 2013
f	Male	Adult	August 4, 2012	
g	Female	Yearling	March 18, 2013	
h	Female	Adult	October 8, 2013	
i	Male	Yearling	October 8, 2013	Ear tag

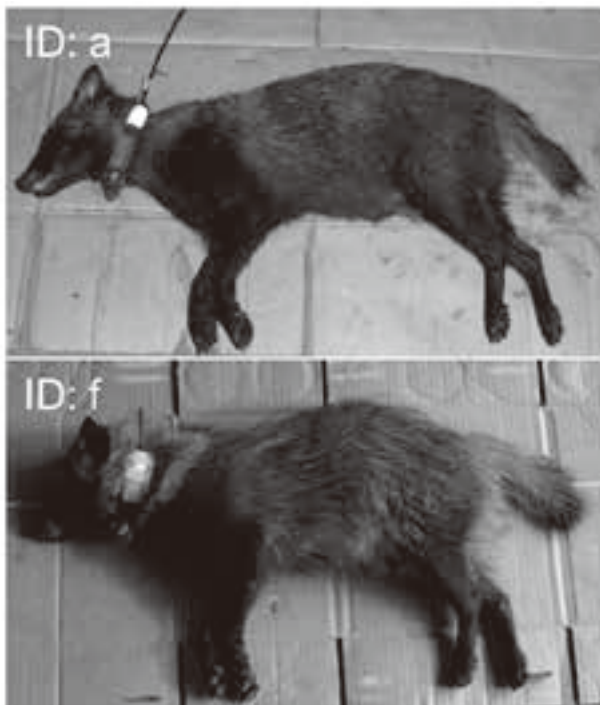


Fig. 1. Examples of individuals with a collar and tag.

箱罠 (SMC アニマルトラップ NO.1079 ストロンゲ, サージミヤワキ株式会社, 長さ31.5 cm × 横26.0 cm × 高さ81.5 cm) を用いた。捕獲の結果, 計9頭のタヌキの捕獲に成功した (Table 1)。内訳は, 2012年に6頭, 2013年に3頭であった。

捕獲個体は塩酸ケタミンと硫酸アトロピン, およびドミツールを用いて不動化し (岸本・金子, 2005), 外部計測と首輪型発信機 (TW-5 TRANSMITTER, Biotrack 社) の装着をおこなった。首輪型発信機には蛍光テープと反射テープを貼り付けることで, 個体に対する標識の付与をおこなった (Fig. 1)。ただし, 2013年10月に捕獲されたメス1頭の体重は首

輪型発信機の装着に不十分であったため, 当該個体には首輪を装着せず, 反射テープを貼り付けた耳標を装着した。各捕獲個体は十分に覚醒したことを確認し, 捕獲地点付近に放逐した。捕獲個体のうち2012年8月に捕獲されたメス2個体, および2013年10月に捕獲されたメス1頭は, 速やかに放逐するため, アンチセダンを用いて覚醒させた。

### 2.3. センサーカメラによるタヌキの撮影

タヌキの撮影は11台の赤外線センサーカメラ (TROPHYCAM XLT, Bushnell 社) を用いておこなった。撮影期間は, 2012年8月5日から11月6日, および2013年9月17日から11月5日とした。ただし, 2012年8月27日から9月11日に2台が, 2012年8月30日から10月9日は1台が動作不良のため稼働しなかったため, これらのデータは解析に含めなかった。タヌキは夜行性であることから, 本研究では1日を正午12:00から翌午前11:59の間とした。2012年の撮影では, 2012年3月および4月に実施した調査地内の踏査により発見された17カ所のタメフン場のうち11カ所にそれぞれ1台のカメラを設置した (Fig. 2)。2013年の撮影では, 2013年8月に実施した調査地内の踏査により新たに発見された1カ所のタメフン場を加えた計18カ所のタメフン場のうち, 2013年春以降の利用が認められたタメフン場の中からカメラの設置が可能であった10カ所にそれぞれ1台, および調査地を囲むフェンスの外に1台を設置した (Fig. 2)。撮影は30秒間の動画撮影とし, 撮影間隔は1秒に設定した。各カメラは1~2週間に1度見回りをおこない, 電池交換およびデータ回収をおこなった。

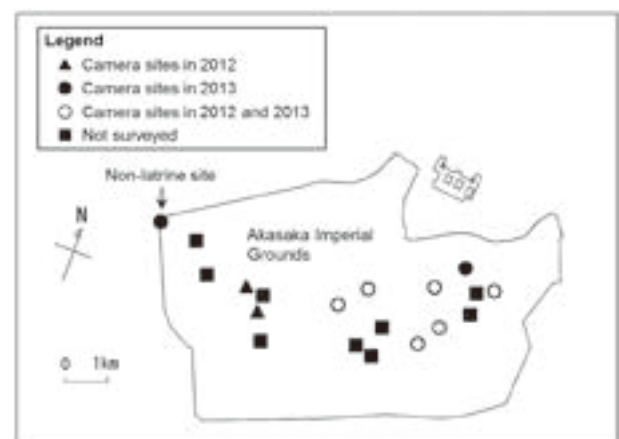


Fig. 2. Location of latrines by raccoon dogs and camera-trapping sites in the Akasaka Imperial Grounds

## 2.4. 個体数推定

本研究では、調査期間に撮影された総撮影個体数と標識個体数から標識再捕獲を用いた個体数推定をおこなった。撮影は1日単位で集計することから、推定には Schnabel 法 (Schnabel, 1938) を採用した。

$$N = \frac{\sum_{i=1}^r M_i C_i}{\sum_{i=1}^r R_i} \quad (1)$$

ただし、 $N$ : 推定個体数、 $M_i$ :  $i$ 日目の撮影における標識を付与した個体数、 $C_i$ :  $i$ 日目の撮影において再撮影された総個体数、 $R_i$ :  $i$ 日目の撮影における標識個体数である。

撮影されたタヌキは、標識の有無が確認できるもの、および標識の有無の確認が不可能なものに分けた。そのうち、標識の有無が確認できるものについては、個体ごとの標識の有無とそれぞれの頭数を記録した。ただし、同一個体の複数回カウントを防ぐため、連続した1分間に撮影された個体は、標識の有無により別の個体であることが明らかな場合を除き、1個体として扱った。2012年8月2日に捕獲された個体  $e$  については、2013年2月8日に死亡が発見されたため、2013年の解析には使用しなかった。また、Ikeda *et al.* (1979) によりタヌキの1日あたりの排糞回数が1.9回であると報告されていることから、全撮影個体数と標識撮影個体数は1.9で割った値を用いた。ただし、2013年にフェンス外(つまり、タメフン場ではない場所)で撮影されたタヌキの撮影数については、そのままの値を使用した。これらの補正作業によって、1日に撮影された標識個体数が、実際の標識個体数よりも大きくなった場合は、実際の標識個体数の最大値を利用した。

個体数推定における Schnabel 法の適用には、標識による撮影率や死亡率への影響はない、標識は脱落しない、個体の加入や移出入はない、という仮定が必要である。赤坂御用地では首輪装着後も緑地内を移動していることがテレメトリー調査によって確認されていることから、個体への影響は小さいと考えた。また、調査期間はタヌキの出産後であることから調査地内での加入はないと考えられる。調査地は周囲をフェンスで囲まれており、その外側はオフィスや住宅密集地であることから、移出入も小さいと考えた。以上より、本研究では上記の仮定を満たすとして解析をおこなった。

個体数推定は2012年、2013年、全期間の3時期に

おいて推定値と95%信頼区間を求めた。これらの推定値を赤坂御用地の面積51 haで割ることによって、生息密度(頭/ha)を算出した。

## 3. 結果および考察

### 3.1. カメラトラップおよび標識個体の視認性

本調査におけるカメラナイト(以下CN)は、2012年が996 CN、2013年が455CNであった。調査期間中にタヌキは累計3295回撮影され、内訳は2012年に2534回、2013年に761回であった。1回の撮影におけるタヌキの同時撮影個体数は最小1頭、最大6頭であった。これらの撮影結果に対して、同一個体撮影とタメフン場訪問頻度の補正をおこなったところ、2012年の累計撮影個体数は645.8頭、2013年は316.0頭になった。調査期間中の標識個体の1日ごとの観察率(1日あたりの補正済み撮影標識個体数/稼動カメラ数)は、平均0.15(最小0.00、最大0.55)、変動係数0.86であった。

本研究では、センサーカメラを動画モードで使用した。標識個体が撮影された動画において、首輪に付与した標識は、調査期間中の各時間、各時期での視認が可能であった。ただし、撮影された角度によっては、標識の確認が困難な場合があった。標識の経年変化については、2012年に捕獲した個体の標識が2013年の調査では明らかに視認性が低下しており、調査期間後半では1頭で脱落し始めていた。また、耳標を付与した個体は調査期間中撮影されず、耳標の視認性については確認できなかった。

首輪への標識は、動画モードに設定したセンサーカメラによって視認可能であったことから、タヌキに対する標識として有効であるといえる。動画の方が静止画より視認性が高いかどうかは検証が必要であるが、個体が撮影される時間がより長くなる動画の方で視認性が高まることは想像に難くない。そのため、標識の検出には動画モードに設定したセンサーカメラを用いることが望ましいと考えられる。また、今回利用した標識はテレメトリー調査と同時にこなうことが可能であるため、汎用性が高いだろう。ただし、標識撮影個体の観察率にはばらつきがみられることが示された。また、標識の使用は経年劣化の観点から2年までにしたほうがよいと考えられる。標識の視認性は、カメラの撮影角度によって偏りが生じる可能性があるため、首輪を視認できるように体の側面が捉えられるような角度にカメラを設置する、1地点に複数台のカメラを設置するな

どの工夫が必要である。

### 3.2. 個体数推定

カメラトラップの結果を用いて Schnabel 法に基づくタヌキの個体数と生息密度を推定したところ、それぞれ26.5頭と0.52頭/haであった（Table 2）。調査年ごとに分けて推定すると、2012年が35.3頭と0.69頭/ha、2013年が18.3頭と0.36頭/haになった（Table 2）。

本研究における推定生息密度を他の研究事例と比較するために、国内におけるタヌキの先行研究および体サイズが同程度であるアライグマ (*Procyon lotor*) の研究結果を調べた（Table 3）。一部の食肉目は都市においてしばしば高密度に生息することが指摘されており（Šálek *et al.*, 2015）、アライグマにおいても同様に都市で生息密度が高いことが指摘されている（Hohmann *et al.*, 2002；Riley *et al.*, 2002）。本研究で推定されたタヌキの生息密度は、

アライグマの都市における推定値と森林・農地景観における推定値の中間的な値を示しており、赤坂御用地では比較的高密度にタヌキが生息していると考えられる。赤坂御用地における生息密度の高さは、生息不適地の中の島状の残存緑地にタヌキが集中した結果である可能性があり、周辺の緑地、環境の異なる生息地での調査などによる更なる検討が必要である。

本研究による個体数推定結果は2012年（35.3頭）と2013年（18.3頭）で推定値が異なっていた。赤坂御用地では2012年から2013年にかけて13個体の死亡が確認されており、この死亡個体数は個体数推定値の変化とおおむね対応していることから、本研究の個体数推定は一定の精度の高さを有していることが示唆される。調査地内では、2012年以降に疥癬様の症状を発症した個体が確認されており、2013年の死亡個体にも疥癬の疑いのある個体が記録されている。調査期間中に疥癬の疑いのある個体は撮影されなかったが、さかんに体表を掻く仕草が数回記録されており、推定個体数の減少要因のひとつとして疥癬の影響があるかもしれない。

本研究は、Schnabel 法適用のための仮定を満たしているとして解析をおこなった。しかしながら、センサーカメラによる撮影において必ずしも標識の有無を確認できないことや、各日の標識個体の観察率に大きな変動が生じていることがあきらかになった。また、調査期間中のタヌキの死亡や分散行動に

Table 2. Population estimation of raccoon dogs in the Akasaka Imperial Grounds

Year	No. of individuals		Population density (/ha)	
	Estimate	95% CI	Estimate	95% CI
2012	35.3	29.7-43.6	0.69	0.58-0.85
2013	18.3	15.5-22.5	0.36	0.30-0.44
All	26.5	23.4-30.5	0.52	0.39-0.60

CI: Confidence interval

Table 3. Estimated population density of raccoon dogs and raccoon in this study and previous studies.

Species	Estimated population density (/ha)	Study site	Environment	Reference
Raccoon dog	0.52(0.30-0.85)	Akasaka Imperial Grounds (Tokyo)	Urban green area	This study
	0.02-0.13	Imperial Palace (Tokyo)	Urban green area	Sako <i>et al.</i> (2008)*
	0.46-0.86	Takashima (Nagasaki)	Small islet	Ikeda <i>et al.</i> (1979)
Raccoon	0.00-0.11	Cities in Chiba	-	Asada and Shinohara (2009)*
	0.01-0.04	Maoi, Nopporo, Iwamisawa and Kurisawa Hills (Hokkaido)	Forest and cropland	Maesaki <i>et al.</i> (2002)*
	1.25(0.67-3.33)	Rock Creek Park, Washington, D.C., USA	Urban national park	Riley <i>et al.</i> (2002)
	1.00	An urban island of Bad Karlshafen, Germany	Urban green area	Hohmann <i>et al.</i> (2002)
	0.06(0.02-0.10)	Eastern Ontario, Canada	Forest and cropland	Rosatte <i>et al.</i> (2007)

\*In Japanese

よる調査地内外の移動も生じているかもしれない。そのため、厳密に仮定を満たしていると考えるのは難しいだろう。加えて、本研究では、主にタメフン場にセンサーカメラを設置しており、調査地内全てのタメフン場を撮影していたわけではないことから、各タメフン場への訪問頻度に偏りが生じていた場合、推定個体数が変動する可能性がある。タメフン場への訪問の目的は排糞だけでなく、家族および隣接個体の確認など糞の匂いによる情報交換の場としての利用 (Ikeda, 1984) や採餌場として利用している可能性 (手塚・遠藤, 2005) が指摘されている。本研究ではこのようなタヌキによるタメフン場の利用目的の違いを考慮した集計をおこなっていないことから、推定個体数が過大評価された可能性がある。

今後は、センサーカメラによる標識確認手法の改善、周辺緑地間での個体の移動について検討する必要がある。また、タメフン場における行動を解析し、1日のタヌキのタメフン場への訪問回数を明らかにすることで、より高精度な推定が可能になると考えられる。近年では、ランダムエンカウンターモデル (Rowcliffe *et al.*, 2008) のような個体識別を必要としないカメラトラップによる個体数推定手法も開発されている。同一調査地において複数の手法を用いて個体数推定をおこない、推定結果の比較をおこなうことも必要だろう。タヌキをはじめとしたイヌ科中型食肉目の個体数推定調査は不足しており、調査方法の開発・改善が進展していくことが望まれる。

#### 4. 謝 辞

本研究をおこなうにあたり、秋篠宮文仁殿下には、赤坂御用地のタヌキ調査についての必要性およびプロジェクト開始についてご提案いただいた。現地調査を実施するにあたり、宮内庁庭園課の皆様には、様々な便宜を図っていただき、殊に矢藤光三氏、田川淳氏には、現地調査への付き添いをはじめ、多大なご協力をいただいた。研究を遂行するにあたり、国立科学博物館の川田伸一郎氏にご協力をいただいた。なお、この研究は国立科学博物館のプロジェクト研究の一環としておこなわれ、同館の館長支援経費から一部支援を受けて実施した。また、本研究の一部はJSPS 科研費16H02996, 15J08830の助成を受けた。

#### 引用文献

浅田正彦・篠原栄里子 (2009) 千葉県におけるア

ライグマの個体数試算 (2009年). 千葉県生物多様性センター研究報告1 : 30-40.

千羽晋示 (1973) 動物の生息環境の変化と退行現象. 季刊自然科学と博物館40 : 69-73.

Gerht, S. D. (2004) Ecology and Management of Striped Skunks, Raccoons and Coyotes in Urban Landscapes. In *People and Predators: From Conflict to Coexistence*, J. A. Estes, N. Fascione, A. Delach, M. E. Smith (eds.) : 81-104. Island Press, Washington.

Hohmann, U, Voigt, S., Andres, U. (2002) Raccoons take the offensive. A current assessment. *NEOBIOTA* 1 : 191-192.

Ikeda, H. (1984) Raccoon dog scent marking by scats and its significance in social behavior. *Journal of Ethology* 2 : 77-84.

Ikeda, H., Eguchi, K., Ono, Y. (1979) Home range utilization of a raccoon dog, *Nyctereutes procyonoides viverrinus* Temminck, in a small islet in western Kyushu. *Japanese Journal of Ecology* 29 : 25-48.

金子弥生・塚田英晴・奥村忠誠・藤井 猛・佐々木浩・村上隆広 (2009) 食肉目のフィールドサイン, 自動撮影技術と解析—分布調査を例にして. *哺乳類科学*49 : 65-88.

岸本真弓・金子弥生 (2005) 食肉目調査にかかわる保定技術. *哺乳類科学*45 : 237-250.

Kucera, E. T., Barret, H. R. (2011) A History of Camera Trapping. In *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses*, A. F. O'Connell, J. D. Nichols, K. U. Karanth (eds.) : 9-26. Springer, New York.

前崎武士・青柳正英・林 文 (2002) 馬追・野幌丘陵における野生化アライグマの生息数 (密度) の推定とその生息環境 (II). *森林野生動物研究会誌*28 : 26-39.

松良俊明 (1978) 動物の個体数調査法. *京都教育大学理科学教育研究年報*8 : 1-17.

O'Brien, T. G. (2011) Abundance, Density and Relative Abundance: A Conceptual Framework. In *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses*, A. F. O'Connell, J. D. Nichols, K. U. Karanth (eds.) : 71-96. Springer, New York.

大和田守・武田正倫 (2005) 赤坂御用地と常盤松御用邸の動物相. *国立科学博物館専報* (39) :

- 1-5.
- Riley, S. P. D., Hadidian, J., Manski, D. A. (2002) Population density, survival, and rabies in raccoons in an urban national park. *Canadian Journal of Zoology* 76 : 1153-1164.
- Rosatte, R., Sobey, K., Donovan, D., Allan, M., Bruce, L., Buchanan, T, Davies, C. (2007) Raccoon density and movements after population reduction to control rabies. *The Journal of Wildlife Management* 71 : 2373-2378.
- Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T., Carbone, C. (2008) Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology* 45 : 1228-1236.
- Saeki, M. (2009) *Nyctereutes procyonoides* (Gray, 1834). In *The Wild Mammals of Japan*, S. D. Ohdachi, Y. Ishibashi, M. A. Iwasa, T. Saitoh (eds.) : 216-217. SHOUKADOH, Kyoto.
- Saito, M., Koike, F. (2013) Distribution of wild mammal assemblages along an urban-rural-forest landscape gradient in warm-temperate East Asia. *PLoS ONE* 8 : e65464.
- 酒向貴子・川田伸一郎・手塚牧人・上杉哲郎・明仁 (2008) 皇居におけるタヌキの食性とその季節変動. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science: Series A (Zoology)* 34 : 63-75.
- Šálek, M., Drahníková, L., Tkadlec, E. (2015) Changes in home range sizes and population densities of carnivore species along the natural to urban habitat gradient. *Mammal Review* 45 : 1-14.
- Schnabel, Z. E. (1938) The estimation of total fish population of a lake. *The American Mathematical Monthly* 45 : 348-352.
- 園田陽一・倉本 宣 (2008) 多摩丘陵および関東山地における非飛翔性哺乳類の種組成に対する森林の孤立化の影響. *応用生態工学* 11 : 41-49.
- 手塚牧人・遠藤秀紀 (2005) 赤坂御用地に生息するタヌキのタメフン場利用と食性について. *国立科学博物館専報* (39) : 35-46.

## 投稿規程

「フィールドサイエンス」(英文名: Journal of Field Science) は, 東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センターの年報誌で, 原則として年1回発行される。

本誌には, 広くフィールドサイエンスに関する研究成果などを掲載する。

### 1. 目的

フィールドサイエンスに関する研究成果などを公表し, その発展に寄与する。

### 2. 投稿者

東京農工大学に所属する者およびフィールドサイエンスに関心をもつ者。

### 3. 原稿の種類と内容

- (1) 論文: 研究報告で他誌に未発表のもの。
- (2) 資料: 測定・観察記録などで, 他誌に同一形態・形式で発表したものを除く。
- (3) 総説・解説: フィールドサイエンスに関するレビュー, 実験・調査方法の解説など。
- (4) その他: 編集委員長の依頼にもとづく記事など。

### 4. 原稿の使用言語と長さ

- (1) 原稿に使用する言語は日本語または英語とする。
- (2) 原稿は, 別に定める執筆要領に従って作成し, 刷り上がり20ページ以内とする。

### 5. 投稿手続き

原稿は, 編集ができない状態にした電子媒体に次の項目を記した送り状を添えて, 編集幹事に提出する。

- (1) 著者・所属機関・所在地・連絡担当著者と連絡先
- (2) 表題
- (3) 原稿枚数(図, 表および写真を含む)
- (4) 原稿の種類
- (5) 別刷希望部数

### 6. 原稿の採否

- (1) 原稿の採否は編集委員長が決定する。

(2) 編集委員長は, 原稿の採否に関して, 編集委員ほか, しかるべき査読者から意見を求めることがある。

(3) 編集委員長は, 必要に応じて著者に原稿の修正を求めることがある。

### 7. その他

- (1) 英語原稿は, あらかじめ英文校閲を行うこととする。
- (2) 著者は, 原稿の採用決定後, 最終原稿の編集ができない状態にした電子媒体と編集可能な電子媒体を編集幹事に提出する。
- (3) 別刷は, 50部を無料とし, 希望部数の50部を超える部分は著者の実費負担とする。

## 執筆要領

### 1. 論文

(1) 日本語原稿: 1) ~ 3) を1ページ, 4) を2ページ, 5) を3ページ以降とし, 6) は5) と区分する。なお, 7) は後述のとおり1枚ずつ別葉とする。

- 1) 表題
- 2) 著者(ふりがな)・所属機関・所在地・連絡担当著者と連絡先
- 3) ランニングタイトル(日本語)
- 4) 要旨・キーワード(日本語)
- 5) 本文(はじめに, 材料と方法, 結果, 考察などに原則として区分する)
- 6) 引用文献
- 7) 図, 表および写真

(2) 英語原稿: 1) ~ 3) を1ページ, 4) を2ページ, 5) を3ページ以降とし, 6) は5) と区分する。なお, 7) は後述のとおり1枚ずつ別葉とする。

- 1) 表題
- 2) 著者・所属機関・所在地・連絡担当著者と連絡先
- 3) ランニングタイトル(英語)
- 4) 要旨・キーワード(英語)
- 5) 本文(Introduction, Materials and Methods, Results, Discussionなどに原則として区分する)
- 6) 引用文献
- 7) 図, 表および写真

## 2. 資料、総説・解説およびその他

本文の区分などについては、必ずしも論文の形式に準じなくてもよい。

## 3. 用語等

- (1) 日本語原稿は、横書きとし、編集可能な電子媒体で1ページあたりおおむね40字×25行で作成する。
- (2) 英語原稿は、編集可能な電子媒体で1ページあたりおおむねアルファベット60字×25行で作成する。
- (3) 動物・植物等の日本名、外来語および原語によらない外国の地名・人名はカタカナとする。学名は国際表記にしたがうこととする。
- (4) 用語は、原則として文部省（文部科学省）編「学術用語集」に使われているものを用いる。
- (5) 単位は国際単位系（SI）を用いることが望ましい。

## 4. 要旨・キーワード

- (1) 日本語要旨はおおむね500字以内に、英語要旨はおおむね300語以内にまとめる。
- (2) キーワードは日本語、英語とも5個以内とする。

## 5. 引用文献

- (1) 引用文献は著者名のアルファベット順に記載し、本文の該当箇所に（著者、年号）または著者（年号）のように明示する。
- (2) 雑誌の場合は、著者（年号）：表題、雑誌名、巻または号（通巻ページでないものは巻号）：引用ページとする。
- (3) 単行本の場合は、著者（年号）：引用箇所表題、書名、編者名（編）、引用ページ、発行所、所在地とする。

## 引用文献の書き方（例）

文献は本文中に引用されたものすべてを記載する。雑誌名は原則として、省略しないで表記する。

### (a) 雑誌

田中阿歌磨・星野隆一（1933）択捉島湖沼踏査概況及其の湖沼形態，水の理化学的所見．陸水学雑誌，3：1－19.

Birge, E. A. and Juday, C. (1934) Particulate and dissolved organic matter in inland lakes. Ecological Monograph, 4: 440-474.

### (b) 単行本

小林繁男（1993）熱帯林土壌のせき悪化．熱帯林土壌，真下育久（編），280－333，勝美堂，東京.

Syrett, P. J. (1962) Nitrogen assimilation. Physiology and Biochemistry of Algae, Lewin, R. A. (ed.), 171-188, Academic Press, New York.

## 6. 図、表および写真

### (1) 図（写真は図として取り扱う）

- 1) 図（写真）の題名および注は図（写真）の下に書く。
- 2) 図（写真）は1枚ごとに別葉とし、図（写真）番号の表示は、図1. またはFig. 1. のようにする。本文中で図（写真）番号を示すときも同様とする。

### (2) 表

- 1) 表の題名は表の上に、注は表の下にそれぞれ記載する。
- 2) 表は1枚ごとに別葉とし、表番号の表示は、表1. またはTable 1. のようにする。本文中で表番号を示すときも同様とする。

## 附 則

この規程は、平成25年4月1日から施行する。

## フィールドサイエンス編集委員会

編集委員長	横山 正	東京農工大学農学部附属 FS センター長, 教授
編集委員	松田 和秀	FS センター准教授
	渡辺 直明	FS センター助教
	吉田 智弘	FS センター助教 (編集幹事, yoshitom@cc.tuat.ac.jp)
	鈴木 馨	FS センター准教授
	伴 琢也	FS センター准教授
	本林 隆	FS センター准教授
	佐藤 幹	生物生産学科教授
	仲井まどか	応用生物科学科准教授
	伊豆田 猛	環境資源科学科教授
	石川 芳治	地域生態システム学科教授
	田中 知己	共同獣医学科准教授
事務局	五十嵐 明	府中地区事務部 FS センター事務室長

## Editorial Committee of Journal of Field Science

### Editor-in-Chief

Tadashi YOKOYAMA Director of Field Science Center, Professor of Tokyo University of Agriculture and Technology

### Editorial Board

Kazuhide MATSUDA	Associate Professor of Field Science Center
Naoaki WATANABE	Assistant Professor of Field Science Center
Tomohiro YOSHIDA	Assistant Professor of Field Science Center (Managing Editor, yoshitom@cc.tuat.ac.jp)
Kaoru SUZUKI	Associate Professor of Field Science Center
Takuya BAN	Associate Professor of Field Science Center
Takashi MOTOBAYASHI	Associate Professor of Field Science Center
Kan SATO	Professor, Dept. of Biological Production
Madoka NAKAI	Associate Professor, Dept. of Applied Biological Science
Takeshi IZUTA	Professor, Dept. of Environmental and Natural Resource Sciences
Yoshiharu ISHIKAWA	Professor, Dept. of Ecoregion Science
Tomomi TANAKA	Associate Professor, Cooperative Dept. of Veterinary Medicine

### Management Office

Akira IGARASHI Chief of Field Science Center Office

---

平成29年 3月24日 印刷

平成29年 3月31日 発行

発行所 東京農工大学農学部附属 FS センター  
〒183-8509 府中市幸町 3-5-8 ☎042-367-5798  
印刷所 電算印刷株式会社  
〒390-0821 松本市筑摩 1-11-30 ☎0263-25-4329

---





# Journal of Field Science

---

No.15

Mar, 2017

---

## 目 次

### 論 文

- 1 樹上性ヤマヨツボシオオアリの女王越冬生存における大型ワーカーと小型ワーカーの貢献／白戸亮吉・廣田忠雄
- 7 東京都心部の赤坂御用地におけるタヌキのタメファン場における個体間関係／小泉璃々子・酒向貴子・手塚牧人・小堀 睦・斎藤昌幸・金子弥生
- 15 動物園・水族館の展示を評価する—関東地方の動物園・水族館の調査—／武田庄平・榎本はるか・小林大佑・福田早紀子・荒川直輝・安東幸志朗・原 祐菜・藤坂航大・盧 曦子

### 研究資料

- 29 DNA バーコーディングを用いた九州からの外来性ワラジムシ類 *Porcellio scaber* の発見／唐沢重考・岩崎朝生・中島 淳
- 35 群馬県赤谷川上流域における有蹄類による食痕の地上高の分布とその植物種間差／篠田悠心・赤坂宗光
- 41 ツキノワグマの冬眠行動研究における首輪内蔵型温度センサーの有効性の検討／長沼知子・横手里美・宮田桂子・小島善則・小坂井千夏・中島亜美・山崎晃司・小池伸介
- 49 カメラトラップを用いた赤坂御用地におけるホンダタヌキの個体数推定／岩崎佳生理・斎藤昌幸・酒向貴子・小泉璃々子・手塚牧人・金子弥生

---

FIELD SCIENCE CENTER, TOKYO UNIVERSITY OF  
AGRICULTURE AND TECHNOLOGY  
Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan