

フィールドサイエンス

Journal of Field Science

No. 17 2019



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31年 3月

フィールドサイエンス 第17号

目次

論文

- 1 東京都区部におけるハクビシン (*Paguma larvata*) による被害件数の推移と被害内容／岩間正和・金子弥生

資料

- 9 フィールドミュージアム多摩丘陵におけるホンダヌキの行動圏とため糞場との関係／稲垣亜希乃・三瀬友美子・山崎晃司・小池伸介
- 13 6大学合同調査によるFM津久井の土壌分析／宮入大宗・門脇真悠・志賀愛美・鈴木耀太・瀬成桂太・高木理沙・八島未和・犬伏和之・加藤雅彦・小林孝行・豊田剛己・杉原 創・田中治夫
- 23 改良型自作転倒升型流量計の精度検証と検定システムの構築／白木克繁・ドゥルナキヅ ケアワリー・國田佳穂・根木浩輔・孫 金勝
- 33 多摩川中流域河川敷における中型食肉目動物の生息状況とホンドキツネの繁殖状況／劉 広明・金子弥生
- 41 東京都の池におけるトンボ相とその特徴／春田魁登・吉田智弘

論文

東京都区部におけるハクビシン (*Paguma larvata*) による
被害件数の推移と被害内容岩間 正和^{*1,2†}・金子 弥生^{*1†}Human-wildlife conflicts caused by invasive masked palm civet (*Paguma larvata*)
in urban areas of TokyoMasakazu IWAMA^{*1,2} and Yayoi KANEKO^{*1†}

ハクビシンによる生活被害が問題となっている。ハクビシンは都市部でも住民に様々な被害を発生させているが、都市部でのハクビシンの生活被害に関する研究は少なく、対策に向けて実態解明が必要である。本研究では、東京都23区のハクビシンについて、増減の推移を明らかにすること、住民に与える被害の内容を明らかにすることを目的として調査を行った。東京都ペストコントロール協会より収集したデータをもとに、2009年から2014年の23区におけるハクビシンに関する相談件数の推移、区ごとの件数およびその変化を記録した。また、葛飾区を対象とした被害家屋への同行による被害調査と、23区を対象とした業者への聞き取りによる被害調査を行った。23区のハクビシンに関する相談件数は調査期間中約3倍に増加した。区ごとの内訳では、中央区を除くすべての区から相談がみられたが、特に北部から中央部の相談の増加が顕著だった。被害内容は騒音や糞尿害、果実の食害、敷地への侵入であり、ハクビシンが住民に多様な被害を発生させていた。ハクビシンにとって区部が快適な住みかとなっている現状が明らかになったため、果樹等の誘因物の除去、侵入口の封鎖といった対策が必要である。

キーワード：外来生物・食肉目・都市・家屋侵入・相談件数

1. はじめに

近年、都市における野生動物と人間との軋轢が問題になっており (Adams et al., 2006)、動物の管理と被害対策・軽減が重要な課題となっている。日本の東日本を中心とした都市地域において、人間との軋轢が生じている食肉目動物の1種としてハクビシン (*Paguma larvata*) が挙げられる。ハクビシンは食肉目ジャコウネコ科 Vivveridae に属し、南インドから東南アジア、中国、台湾にかけて自然分布しており (Torii, 2009)、日本のものは少なくとも台湾を由来の1つとした外来種である (Masuda et

al., 2010; Inoue et al., 2012)。日本では、1936年に香川県、1943年に静岡県、1944年に宮城県で捕獲されたのが始まりであり (那波, 1965; 金井, 1989; 森井・佃, 1996)、当初はこれらの地域での不連続な分布であったが (農林水産省, 2008)、現在では四国と中部、関東、東北地方のほとんどの地域にまで生息地を拡大させ、2008年の時点で43都道府県に分布している (農林水産省, 2008)。

ハクビシンが人間社会に与える主な被害には、家屋侵入による生活環境被害があり、屋根裏に入り込んでねぐらとし、騒音や糞尿による被害を各地で与えることが報告されている (鳥居, 2005)。ハクビ

2018. 12. 7受付; 2019. 2. 6受理

^{*1} 東京農工大学農学部 東京都府中市幸町3-5-8 Division of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{*2} 農水省林野庁関東森林管理局会津森林管理署南会津支署 福島県南会津郡南会津町山口字村上867 Minami-Aizu Branch District Forest Office, Kanto Forest Management Office, Forestry Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

[†] 連絡担当著者および連絡先: 金子弥生 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8
Tel: 0423-67-5737 E-mail: ykaneko@cc.tuat.ac.jp

シンにが原因となって生じた生活環境被害に関するこれまでの研究として、例えば、柏市における Xue (2013) の研究では、ハクビシンによる生活環境被害の内訳は、「糞尿による悪臭」、「果実や野菜の食害」、「ごみをあさる」、「騒音」、「ペットとのトラブル」、「不快感」、「病気の危険性」であったこと、受けた被害に対して、「自力で対処する」人が約4分の1、「業者や役所に頼る」人が約2割いる一方で、「何もしない」人が約35%いることが分かっている。また、駆除にかかる費用の高さや法律による制限の影響で被害を受けても駆除するにまで至らない住民がいるという問題が発生していることが述べられている。また、京都市の寺社での川道ほか (2015) の研究では、重要文化財の寺社にハクビシンが侵入している可能性が示唆されている。また、両研究において、住民がハクビシンとアライグマ *Procyon lotor* などの別の動物を混同する事例もみられていた。静岡県各市町村に対してアンケート調査を行った鳥居 (1996) の研究では、1996年当時で、県内の67.6%の50市町村でハクビシンによる被害が発生しており、41.9%で家屋侵入が行われていることが分かっている。また、県西部ではハクビシンの有害駆除個体のうち、53.1%が人家で、31.5%が寺で捕獲されている。

しかし、これらの研究では、川道ほか (2015) の京都市内の調査、Xue (2013) の柏市の調査、鳥居 (1996) の静岡県内の調査の3例のみの、極めて限られた情報しか得られていない。また、被害住民に調査を行った例は Xue (2013) のみであり、鳥居 (1996) は市町村へのアンケート調査、川道ほか (2015) は目撃情報と痕跡調査であるが、ハクビシンが住民に対して与える生活環境被害の実態を明らかにするためには、被害住民への聞き取りによる詳細な調査が求められる。

東京都へは、静岡県由来の個体群が拡大して侵入したと考えられ、1980年に西部の八王子市で初めて確認された (金井, 1989)。区部では、2000年には千代田区において2個体が捕獲されており (Endo et al., 2000)、その頃までには23区内にも分布域を拡大させていたと推測される。

ハクビシンについての相談件数は多摩地区よりも区部においてより多くなっているため (東京都, 2016a)、東京都の都市域にも定着していることがほぼ確実である。そのため、ほかの地域に比べ、都市部でのハクビシンへの対策の重要性は相対的に高い

と考えられる。しかし、都市地域におけるハクビシンの生態に関する研究や、ハクビシンの生活環境被害の実態に関する調査は進んでいないのが現状である。

そのため、本研究では、東京都23区におけるハクビシンについて、ハクビシンが住民に与える被害の内容を明らかにすることで、得られた結果を被害対策における基礎資料とするとともに、今後の被害対策の方針と改善点について考察した。

2. 材料と方法

2-1. 調査地

調査地として東京都23区全域、及び23区内から葛飾区を設定した (図1)。東京都23区は、東京都の東部に位置する23の特別区からなり (139° 33' 46" - 55' 07" N, 35° 31' 16" - 35° 49' 04" E)、2016年現在、東京都の人口の約69%である9,375,104人が集中している都市地域である。面積は626.7km²であり、人口密度は14,959人/km²である。2011年現在の主な土地利用は、住宅地が34.2%、商業用地が9.3%、工業用地が5.5%、道路等が21.9%、公園等が6.3%、農用地が1.0%である (道路等は道路・鉄道・軌道・モノレール・空港・港湾。公園等は野外活動を主とする

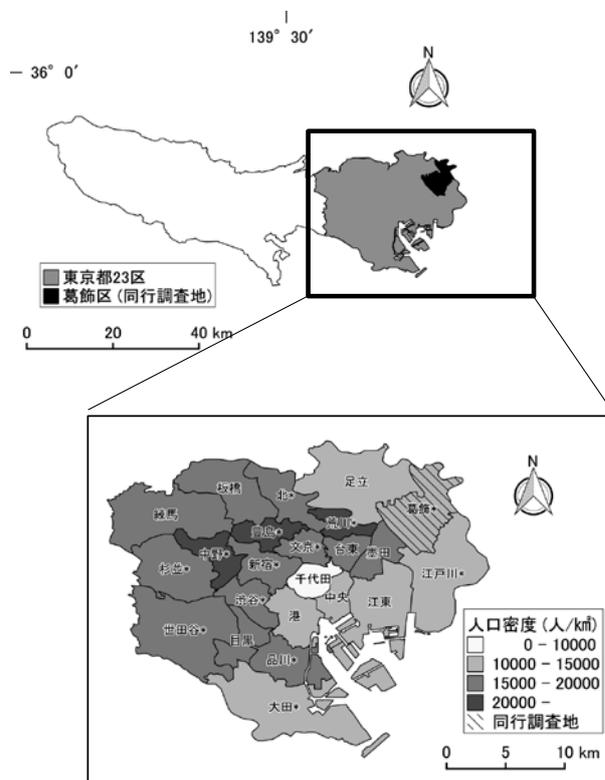


図1. 死体回収調査、および同行調査の調査地。*印は2016年現在、東京都アライグマ・ハクビシン防除実施計画に基づく防除を行っている区。

もの、例：公園緑地・運動場・ゴルフ場・墓地。東京都都市整備局, 2014)。年平均気温は15.4℃であり、年平均降水量は1,528.8mmである。

東京都環境局ではハクビシンやアライグマによる被害軽減と分布域の拡大防止を目的として、2013年から「東京都アライグマ・ハクビシン防除実施計画」を策定しており、23区では2016年現在13区が実際に防除計画に基づく防除を実施している（東京都, 2016b）。

葛飾区（139°48'47"-53°41'N, 35°42'40"-境界未定E, 図1）は23区北東部に位置し、面積は34.80km²、人口は2016年現在447,140人、人口密度は12,849人/km²である。葛飾区は東京都23区の中で、杉並区、北区と共に、最も早い2012年からハクビシンによる被害への対策に向けた取り組みを開始している。葛飾区では本研究の調査期間は事業の4年目にあたり、ハクビシンの駆除に向けた取り組みの流れが十分に形成されていたため、本研究の調査地として設定した。

2-2. 害虫相談集計表を用いたデータ集計調査

1つめの調査として、東京都ペストコントロール協会から入手した害虫相談集計表を用いたデータ集計により、ハクビシンに関する相談件数の推移の調査を行った。協力を依頼した東京都ペストコントロール協会は、東京都においてネズミ、害虫等の有害生物の防除・防疫及びそれに関する調査研究を行うことを目的とした事業者組合で、2016年4月現在114の事業者（会社101社、営業所、事業部、支社13社）が会員として加盟している。本研究では、取得した表のうち、害虫相談月別統計表と、害虫相談者居住地一覧表の2種類を用いた。両資料とも2014年までのデータを取得した。このうち害虫相談月別統計表については、ハクビシンが被害害虫種の独立項目として扱われているのが2007年以降であることから、2007年から2014年までのデータを使用した。また、害虫相談者居住地一覧表は2009年からのデータになっているため、この表からは2009年から2014年までのデータを使用した。まず、害虫相談月別統計表から、東京都全域のハクビシンに関する相談件数の推移を記録した。また、害虫相談者居住地一覧表から、東京都23区に該当するハクビシンに関する相談件数について抽出し、記録した。2つのデータから、東京都全域及び東京都23区におけるハクビシンに関する相談件数の推移を求めた。次に、害虫相談

者居住地一覧表から、ハクビシンに関する相談の23区ごとの相談件数を1年ごとに抽出し、その6年間の合計を記録した。また、区ごとに2009年と2014年のハクビシンに関する相談件数を比較し、その増減を記録した。

2-3. 同行による聞き取り調査（以下同行調査）

東京都葛飾区を対象として、害虫駆除業者のハクビシン駆除業務への同行による、被害住民への聞き取り調査を行った。同行調査では、東京都23区内に位置する害虫駆除業者の一つであるイカリ消毒株式会社の業務への同行を行った。同行業務の対象は、東京都葛飾区とし、葛飾区が東京都のアライグマ・ハクビシン対策内で2012年から行っている業務を対象とした。調査はそのうちの2015年11月27日から2016年3月31日に行った。この業務は、葛飾区がハクビシンやアライグマによる被害を住人から受けた場合、葛飾区の委託を受けた業者が住人宅に向き、それらによる被害が認められた場合に、2週間を限度として箱罌を無償で設置するという事業となっている。

手順としては、まず駆除業者が被害宅に訪問する際に同行し、その場所、被害家屋の種類、周辺環境を記録した。その後、業者による被害調査、罌の設置といった業務の妨げにならないよう十分注意しながら、被害住人に対して、被害内容、被害発生時期、被害発生の経緯について、できるだけ詳細に聞き取った。調査の際に、侵入口、足跡や糞といった痕跡が見つかった場合は、その位置と種類を記録した。

2-4. 業者への聞き取り調査

東京都ペストコントロール協会から紹介された23区内の害虫駆除業者10社に協力を要請し、期間中に23区内で駆除されたハクビシンについて、被害内容、被害発生時期、被害発生の経緯、周辺環境について聞き取り調査を行った。結果として、期間中に4社（イカリ消毒株式会社、株式会社シー・アイ・シー、アベックス産業株式会社、ヨシダ消毒株式会社）から聞き取りを行うことができた。得られた情報は、同行調査で得られた情報と統合した。

3. 結果

3-1. 東京都ペストコントロール協会への相談件数

東京都ペストコントロール協会へのハクビシンに

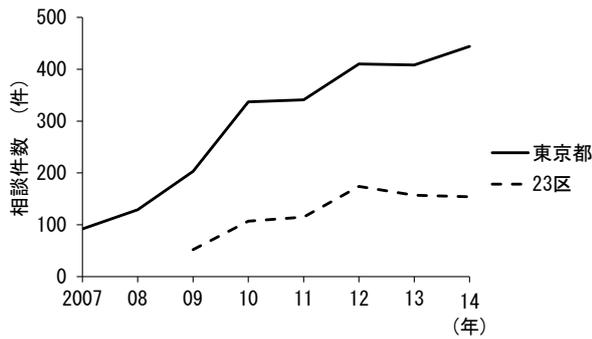


図2. 2007年から2014年の東京都ベストコントロール協会へのハクビシンに関する相談件数の推移。23区のデータは2009年から。

よる被害の相談件数は、2007年には97件であった。その後は増加を続け、2010年には337件を記録した(図2)。その後も、増加率は減少したものの増加は続き、2014年には444件の相談が寄せられた(図2)。23区内での相談は、2009年には52件であったが、2012年には3倍以上となる175件でピークを迎えた(図2)。その後は横ばいからやや減少で推移し、2014年には154件の相談が寄せられた(図2)。

23区内で2009年から2014年までの相談の内訳では、中央区を除く22区でハクビシンによる被害の相談が寄せられた(図3a)。5年間で相談件数が100件以上であった区は、中野区(135件)、豊島区(123件)、練馬区(100件)の3区であった(図3a)。一方、相談件数が5件以下であった区は、中央区(0件)、台東区(3件)、墨田区(4件)、北区(4件)、千代田区(5件)の5区であった(図3a)。

2009年から2014年にかけて、相談件数の増加が大きかった区は、中野区(21件)、豊島区(20件)、文

京区(14件)、板橋区(10件)、荒川区(10件)であった(図3b)。一方で、練馬区と世田谷区は2009年から2014年にかけて相談件数が微減した(図3b)。

3-2. 被害の種類

葛飾区を対象とした同行調査では、2015年11月27日から2016年3月31日までに18件の被害宅に同行した。その中でハクビシンによる被害と断定されたものは10件であった。東京都23区を対象とした業者への聞き取り調査では、2015年9月から2016年8月までの期間中、31件の被害データを得ることができた。よって、同行調査と業者への聞き取り調査で、合わせて41件のハクビシンによる被害の情報を得ることができた。しかし、得られた情報量にはばらつきがあり、捕獲日時と被害場所の用途のみの情報しか得られなかったデータもあった。

ハクビシンにより住民が受けた生活環境被害は、騒音被害、糞尿害、果実の食害、敷地への侵入被害(住着き以外)、その他の被害に分類された。一般的に「家屋侵入被害(住着き)」といわれるものは、騒音被害、糞尿害、その他の一部の被害が該当した。生活環境被害の中で最も多かったのは騒音被害で10件であった(表1)。これは被害全体の24.4%を占めていた。次に被害が多かったのは騒音被害と糞尿害の同時発生で、5件が該当し、被害の12.2%を占めていた(表3)。以下、糞尿害が4件(9.8%)、食害が3件(7.3%)、侵入被害(住着き以外)が2件(4.9%)、騒音被害と食害の同時発生と糞尿害と侵入被害(住着き以外)の同時発生がともに1件(2.4%)であった(表1)。また、その他の被害が6件

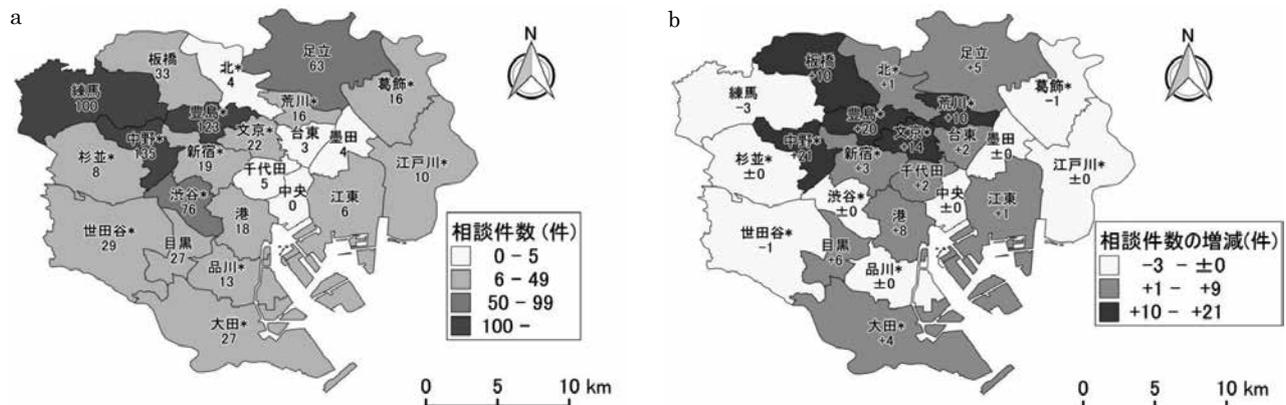


図3. a. 東京都23区における2009年から2014年に寄せられた東京都ベストコントロール協会へのハクビシンに関する相談件数。*印は2016年現在、東京都アライグマ・ハクビシン防除実施計画に基づく防除を行っている区。
b. 東京都23区における2009年と2014年に寄せられた東京都ベストコントロール協会へのハクビシンに関する相談件数の増減。*印は2016年現在、東京都アライグマ・ハクビシン防除実施計画に基づく防除を行っている区。

表1. ハクビシンによる被害の内訳（n=41）

被害の種類	件数(件)	割合(%)	被害例
騒音	10	24.4	天井裏で足音と鳴き声がする。
騒音+糞尿害	5	12.2	天井裏で足音がし、糞尿により天井板がたるむ。
糞尿害	4	9.8	天井板に糞尿によるシミを確認。
食害	3	7.3	庭のカキの木が結実期になると食害に遭う。
侵入(住着き以外)	2	4.9	神社境内裏をうろつき、参拝者を威嚇する。
騒音+食害	1	2.4	昼間に足音がしてうるさい。庭の柑橘類の下部を食害される。
糞尿害+侵入(住着き以外)	1	2.4	屋上にやってきて雨どいに糞をする。屋上を通り道として利用。
その他	6	14.6	猫の捕獲目的の罠により誤捕獲。
騒音+その他	1	2.4	天井裏で音がし、ノミによるかゆみ被害発生。
不明	8	19.5	
騒音合計	17	41.5	
糞尿害合計	10	24.4	
食害合計	4	9.8	
侵入(住着き以外)合計	3	7.3	

(14.6%)、騒音被害とその他の被害の同時発生が1件(2.4%)、不明が8件(19.5%)であった(表1)。騒音被害は複合被害も含めると合計で17件、被害全体の41.5%で発生していた(表1)。また、糞尿害を合計すると10件(24.4%)、食害の合計は4件(9.8%)、侵入被害(住着き以外)の合計は3件(7.3%)であった(表1)。

騒音被害は足音による被害が主であった。また、足音に加えて鳴き声による被害も1件で確認された。被害発生の時間帯は2件で聞き取れたが、それぞれ早朝と昼間であった。このうち、昼間の被害を訴えていた家屋では、夜間に騒音はしなかったということであった。また、ある家屋では、ハクビシンの騒音についてその被害の重さを、『まるで運動会のように』と表現していた。

糞尿害について、被害内容としては、「住民が糞を見つける」、「糞尿により天井にシミができる」、「糞尿の重さで天井がたるむ」、「天井から尿が落ちてくる」といった内容であった。賃貸アパートのある被害宅では、ハクビシンによる糞尿害を理由として住人が賃貸の契約解除をする事態になっていた。

食害について、食害された果実はビワ(*Eriobotrya japonica*)、カキ(*Diospyros kaki*)、柑橘類(*Aurantioideae* spp.)であった。そのうち、柑橘類について、『最も甘い下部のみを、複数の果実に渡って食害された』という被害内容であった。また、食害の被害にあった家屋のうち、住着き被害を同時に受け

た家屋は1件、受けなかった家屋は3件であった。

侵入被害(住着き以外)の内容として、主なものは、神社において周辺部をうろつき、参拝者を威嚇するといったものや、ねぐらと餌場であるカキの木がある場所の間に位置する通り道になっていた屋上の、雨どいに糞をされるといった被害が報告された。

その他の被害としては、天井裏から天井板と共にハクビシンが落下してきたといったケースが2件あったほか、ノミの発生によるかゆみ被害が1件、別の目的の調査でハクビシンの存在が明らかになり捕獲に至った事例が2件、ハクビシンの誤捕獲といったケースが2件、死体回収調査においてみられた。

3-3. 被害家屋の種類と周辺環境

侵入場所について、同行調査と業者への聞き取り調査で、合計41件の情報を得ることができた。調査家屋のうち、21件が一般住宅での被害であった。そのほかには、寺社が7件、商業施設が5件、マンション・アパートが3件、学校が3件、工場が1件、道場が1件であった。

周辺環境の情報は37件得られ、被害場所が住宅街に位置していたケースは29件、それ以外の場所に位置していたケースが8件であった。それ以外の場所の内訳としては、大学内が3件、寺社境内が2件、飲食店が1件、工場が1件、ビル街が1件であった。

被害家屋の敷地内やその周辺に果樹が植えられていた家屋は18件であった。植えられていた果樹は、カキ、イチョウ (*Ginkgo biloba*)、柑橘類、キウイフルーツ (*Actinidia deliciosa*)、ビワ、サクラ属 (*Cerasus spp.*)、ウメ (*Prunus mume*)、ブドウ (*Vitis spp.*) であった。

3-4. 侵入口

同行調査と回収調査において、家屋侵入被害(騒音、糞尿害、およびその他の被害で家屋侵入被害と認められる被害) 23件のうち合計14件で侵入口の情報が得られた。侵入口としては、大きな分類として、通気口の利用が4件、ダクト口の利用が3件、床下の隙間の利用が2件、屋根の隙間の利用が6件で確認された。

同行調査で確認された事例としては、通気口を利用した事例において、アパートの道路正面に設置されていた、高さ11.2cm、幅18.0cmの一部破損した通気口に、ハクビシンのものと思われる体毛が付着していたケースがあった。床下の隙間を利用した事例では、元々縁の下に高さ20.5cm、幅19.0cmの隙間が空いており、ハクビシンがそこから侵入していたとみられた。先行研究では、ハクビシンが通ることができる最小の侵入口の大きさは高さ6cm、幅12cm、または高さ11cm、幅7cmであるため(加瀬ら, 2011)、これらの隙間の大きさはハクビシンが十分通れるだけの大きさであった。また、死体回収調査の事例において、雨どい上部の簡易式の金網がハクビシンによって押し上げられている事例がみられた。

4. 考察

2009年から2014年の間に東京都ペストコントロール協会に寄せられたハクビシンによる被害の相談は、23区内では中央区を除いたすべての区で行われていた。しかし、相談件数には偏りがみられ、23区の北西部に相談の多い地域がみられた一方で、中央東部の相談件数は少なかった。Endo et al. (2000) は、2000年にはハクビシンは23区の中央部である千代田区にすでに侵入していたと述べている。このことから、ハクビシンの生息個体数に23区内で差があり、2014年までは23区の中央東部でのハクビシンの個体数は西部よりも少ないのではないかと考えられる。相談件数の増減をみると、23区の北部から中央部にかけての一部の地域で相談件数の高い増加がみ

られた一方で、そのほかの地域の中には増減なしか、減少した区も存在した。23区内でのハクビシンによる被害の相談件数の増加は2009年から2014年の間に約3倍へと増加したが、このことから、ハクビシンの相談件数の増加は区部全体というよりも、北部、中央部の特定の地域での件数の増加が影響していたことが示唆された。

ハクビシンが東京都23区で起こしている生活環境被害について、騒音被害、糞尿害、果実の食害、敷地への侵入など、精神的な被害、経済的な被害、間接的な身体への被害といった様々な種類の被害が発生していた。被害の段階として、例えば家屋への侵入では、初めの段階ではハクビシンが家屋に侵入し、天井裏を動き回ることによって騒音による精神的な被害が発生する。それに気が付かない、あるいは放置しておく、糞尿の蓄積による悪臭や、糞尿の蓄積による天井のたるみにつながり、最悪の場合天井の崩落や発生した病虫による健康被害の発生にまで発展するというように、被害が大きくなっていく。そのため、こうした被害を減らし、経済的被害や身体的な被害に発展させないためには、ハクビシンによる被害に気付いた段階で、なるべく早く対策を行うことが必要である。しかし、騒音による精神的・心理的な被害の段階においても、騒音被害によって夜も眠れない状態になるなど、被害が決して軽いというわけではないため、被害対策においては、ハクビシンを寄せ付けない、予防的な対策も必要である。

ハクビシンによる被害については、家屋への住着きによる被害が非常に多かった。これは、ハクビシンにとって都市環境が生活していくのに都合の良い環境であるためであると考えられる。ハクビシンはねぐらとして、野生下では樹洞や洞窟、ほかの動物が使った巣穴を利用する(鳥居, 2005)。特に、高い位置にある巣穴は、温度を一定に保つ、雨風をしのぐといった役割のほかに、外敵の侵入を防ぐという役割がある。都市環境においては、そういった役割を持つことができる樹洞(樹木)はほとんど存在しないが、都市域においては人間の住む家屋が代替として、あるいは自然環境下での巣穴よりもより良い環境として、役割を果たしていると考えられる。一般的に、家屋の天井裏には断熱材が敷き詰められており、この構造により外気温による家屋の温度変化を軽減させている。また、天井裏は高い位置の閉鎖空間上にあるため、外敵の侵入を防ぐことができ

る。ハクビシンは登はん能力が高いため、ハクビシンが侵入できる入口の最小サイズである6×12cmの隙間（加瀬ほか、2011）があれば、柱を登って天井裏に侵入することができる。家屋は人が住んでいるところではあるが、人が天井裏を利用することはまずないため、家屋内において、人間が住居部分、ハクビシンが天井裏を利用するという、ある意味での住み分け状態が形成されており、そのため、ハクビシンにとっては都市部にたくさん存在する家屋が、快適な住みか、繁殖場所として機能しているのではないかと考えられる。

侵入口に関して、今回の調査では屋根の隙間、増設部分の隙間、通気口、ダクト口、床下からの侵入が確認された。このうち、換気を目的とした設備である床下の隙間、通気口、ダクト口にはネズミや虫への対策として、フィルターや格子がつけられていることもあるが、フィルターは根詰まりの原因となるため取り付けない家もあり、それがハクビシンの侵入を許しているという現状がある。また、今回の同行調査では通気口に取り付けてあった格子の一部が破損している事例がみられたほか、死体回収調査では雨どい上部の簡易式の金網がハクビシンによって押し上げられている事例がみられた。格子の破損についてはハクビシンによるものかは不明であるが、換気穴となる場所に格子やフィルターを設置していたとしても、それ自体の劣化やハクビシン自身によって、それが取り除かれるという事例があったため、このような換気穴がハクビシンの家屋侵入への侵入口となっていることに対して注意が必要である。また、このような換気口への対策にあたっては、強度が不十分であるとハクビシンによって破壊され、対策の効果がなくなってしまうことにも注意しなければならない。また、今回の調査では、リフォームや増築による接続部に生じた隙間をハクビシンが利用するというケースもみられた。こうした住宅のリフォームや増築においては、リフォーム・増築時に設計のゆがみ、換気、細部の隙間といった原因により、増築部分と元の場所の間に隙間ができることがある。施工業者にハクビシンの知識がない場合、こうした隙間は放置されてしまうため、その部分にハクビシンが侵入してしまうケースがある。今回の調査でも、増築部にできた隙間が侵入口として利用されていた事例が1件確認されたため、注意が必要である。

これらの侵入口に共通しているのは、換気口とし

て機能している建物の部分が侵入口となっているケースがあるということである。換気口は家屋の空気、熱、湿気を循環、排出する重要な役割を持ち、特に近年は高断熱性・高气密性の家が増加しているためにその重要性は増しているが、その機能ゆえに動物に対して侵入口として利用されやすいという弱点にもなってしまうている。加瀬ら（2011）は横長の方形としては幅12cm、高さ6cmの隙間、縦長の方形としては幅6cm、高さ11cmの隙間があればハクビシンの侵入が可能であるとしている。そのため、換気により生じる隙間に関しては、頑丈な格子や金網等により、隙間をしっかりと埋め、6cm以上の隙間を作らないことが重要である。

研究の今後の課題としては、月ごとに詳細なデータをとることによって、都市部のハクビシンの月レベルでの詳細な生態を把握すること、被害宅の環境解析を行うことで、どのような場所での被害が多いのかを解析することが求められる。

謝 辞

本論文の作成にあたり、東京都ベストコントロール協会会長の玉田昭男氏と専務理事の江島裕徳氏、イカリ消毒株式会社の谷川力氏には協会所有のデータ提供をしていただいたほか、研究設計に関する助言をいただきました。イカリ消毒株式会社の春成正和氏には葛飾区でのハクビシン駆除事業への同行に関して便宜を図っていただき、同行の際に適切なアドバイスや貴重な情報をいただきました。また、同氏、株式会社シー・アイ・シーの小松謙之氏、ヨシダ消毒株式会社の清水一郎氏、アベックス産業株式会社の佐々木健氏には、ハクビシンの検体の提供や、被害家屋の状況といった貴重な情報の提供をしていただきました。また、本研究室の先輩方、同期生には様々にご協力をいただきました。ご協力いただいた皆様に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- Adams, C. E., Lindsey, K. J., Ash, S. J. (2006) Urban Wildlife Management. CRC Press Taylor & Francis Group, 569 pp.
- Endo, H., Kuramochi, T., Kawashima, S., Yoshiyuki, M. (2000) On the masked palm civet and the raccoon dog Introduced to the Imperial Palace, Tokyo, Japan. *Memoirs of the National Museum of Nature and Science*, 35: 29-33.

- Inoue, T., Kaneko, Y., Yamazaki, K., Anezaki, T., Yachimori, S., Ochiai, K., Lin, L. K., Pay, K. J. C., Chen, Y. J., Chang, S. W., Masuda, R. (2012) Genetic population structure of the masked palm civet *Paguma larvata*, (Carnivora: Viverridae) in Japan, revealed from analysis of newly identified compound microsatellites. *Conservation Genetics*, 13: 1095-1107.
- 金井郁夫 (1989) 東京のハクビシン進出史. 東京の自然, 15: 1-10.
- 加瀬ちひろ・江口祐輔・古谷益朗・植竹勝治・田中智夫 (2011) ハクビシンにおける侵入可能な長方形入口の大きさの検討. 日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌 47: 121-127.
- 川道美枝子・三宅慶一・加藤卓也・山本憲一・八尋由佳・川道武男 (2015) 京都市内でのハクビシ (*Paguma larvata*) の社寺等への出没動向. 京都歴史災害研究, 16: 11-15.
- Masuda, R., Lin, L. K., Pei, K. J. C., Chen, Y. J., Chang, S. W., Kaneko, Y., Yamazaki, K., Anezaki, T., Yachimori, S., Oshida, T. (2010) Origins and founder effects on the Japanese masked palm civet *Paguma larvata* (Viverridae, Carnivora), revealed from a comparison with its molecular phylogeography in Taiwan. *Zoological Science*, 27: 499-505.
- 森井隆三・佃百恵 (1996) 香川県内のハクビシン. 香川生物, 23: 29-32.
- 那波昭義 (1965) 静岡県下のハクビシンについて. 哺乳類科学雑誌, 2: 99-105.
- 農林水産省 (2008) 野生鳥獣被害防止マニュアル—ハクビシン—. 平成20年3月版.
http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/h_manual/h20_03b/pdf/data0.pdf. 2016年12月26日参照.
- 東京都 (2016a) 都内におけるアライグマ・ハクビシンに係る状況.
https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/nature/animals_plants/attachement/plan20160524_b1.pdf. 2016年12月26日参照.
- 東京都 (2016b) 東京都アライグマ・ハクビシン防除実施計画.
https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/nature/animals_plants/attachement/plan20160524.pdf. 2016年12月26日参照.
- 東京都都市整備局 (2014) 東京の土地利用 平成23年東京都区部.
https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/nature/animals_plants/attachement/plan20160524.pdf. 2016年12月26日参照.
- 鳥居春己 (1996) 静岡県内市町村別のハクビシンの分布. 静岡県ハクビシン調査報告書, 静岡県, 1-7.
- 鳥居春己 (2005) ハクビシンの生態と被害防止策. 農林水産省研究ジャーナル, 28: 30-34.
- Torii, H. (2009) *Paguma larvata* (Smith, 1827). The wild mammals of Japan, Ohdachi, S.D., Ishibashi, Y., Iwasa, M. A., Saitoh, T. (Eds.), 267-268, Shoukadoh, Japan.
- Xue, T. (2013) Distribution and management considerations of raccoon dogs and masked palm civets in urban areas in Japan: A case study of Kashiwa city, Japan. Ph.D Thesis of the University of Tokyo.

資料

フィールドミュージアム多摩丘陵における
ホンダヌキの行動圏とため糞場との関係稲垣亜希乃^{*1}・三瀬友美子^{*2}・山崎 晃司^{*3*5}・小池 伸介^{*4}

The relationship between the home range of raccoon dogs and their fecal pile sites at Field Museum Tamakyuryo

Akino INAGAKI^{*1}, Yumiko MISE^{*2}, Koji YAMAZAKI^{*3*5}, Shinsuke KOIKE^{*4}

Raccoon dogs use latrines (fecal pile sites) for defecation. Although various hypotheses have been suggested, such as latrines constituting a place of communication between individuals or a sign post to their own home-range border, it remains unclear why raccoon dogs use latrines for defecation. We investigated latrines in the study area, captured several raccoon dogs and fitted Global Positioning System (GPS) collars to determine the raccoon home range at the Field Museum TamaKyuryo of TUAT. Additionally, we discuss the relationship between the home range of raccoon dogs and the position of latrines. We captured four raccoon dogs and fitted GPS collars, and we confirmed the location of 10 latrines within their home ranges. Nine latrines were located on the outermost line (100% minimum convex polygon) of dogs' home ranges. Therefore, we suggest that latrines may be used by raccoon dogs as a sign post to indicate the boundary of their home range.

Key words : fecal pile, *Nyctereutes procyonoides*, raccoon dog, Tama area, urban forests

ホンダヌキ（以下、タヌキ）は、家族単位で行動し、複数の家族が同じため糞場を使うことが知られる。一方、ため糞場の意義については推測の域にとどまり、特にタヌキの行動圏とため糞の位置についての関係は不明である。その理由として、これまでタヌキの行動追跡に用いられてきた電波発信機では、断片的な行動情報しか得られないことが挙げられる。そこで本研究では、都市近郊林であるFM多摩丘陵において、常時安定的に位置情報を取得できるGPS首輪を用いることで、複数のタヌキの行動圏を推定するとともに、行動圏とため糞場の位置関係を特定した。全4個体のタヌキにGPS首輪を付け追跡した結果、その行動圏（100%最外郭）は最大で12.8 haであり、先行研究と比べて小さなものとなった。また、調査地内で確認されたため糞場15箇所のうち9箇所は、追跡個体の行動圏の最外郭線上に位置し、ため糞場が行動圏の境界を示すサインポストである可能性が示唆された。さらに、追跡個体は約24時間周期で同じため糞場を訪れる頻度が高く、タヌキの定期的な巡回行動が示唆された。今後は、ため糞を利用するタヌキの個体識別などを通して、さらなるため糞場の機能評価が望まれる。

キーワード：行動圏、多摩地域、ため糞、都市近郊林、ホンダヌキ

2018. 4. 19受付；2018. 6. 1受理

*1 東京農工大学大学院農学府 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu-Shi, Tokyo 183-8509, Japan

*2 東京農工大学大学院農学部 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu-Shi, Tokyo 183-8509, Japan

*3 茨城県自然博物館 〒306-0622茨城県坂東市大崎700 Ibaraki Nature Museum, Ohsaki 700, Bando, Ibaraki 306-0622, Japan

*4 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, Saiwaicho, Fuchu-Shi, Tokyo 183-8509, Japan

*5 現所属 東京農業大学地域環境科学部 〒156-8502 世田谷区桜丘1丁目1-1 Present address: Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture, Sakuragaoka, Setagaya, Tokyo 156-8502, Japan

1. はじめに

ホンダタヌキ (*Nyctereutes procyonoides*, 以下、タヌキ) は特定の複数の場所に繰り返し糞をする習性をもっており、数頭が同一の場所に糞をすることで糞は山積みとなり「ため糞」と呼ばれる。タヌキは基本的に家族単位(雌雄ペア、子どもなど)で行動圏をもつが、各家族はその行動圏を大きく重複させることから(谷地森ら 1997)、複数の家族が同じため糞を利用することも知られる(Yamamoto and Hidaka 1984)。

ため糞の意義については個体間のコミュニケーションの場、行動圏を主張するためのサインポストなどの様々な仮説が示唆されてきたが(Ikeda 1984, Yamamoto and Hidaka 1984)、いまだにため糞場を持つ意義についてははっきりしない。特に、タヌキの行動圏とため糞場との位置関係については、古くから検証が試みられてきたが、これまでタヌキの行動追跡に用いられてきた電波発信機は、VHF帯の電波発信機を組み込んだ機材をタヌキに取り付け、電波発信機からのビーコン(信号)を定位することにより、対象個体の行動を追跡するものであった。しかしこの方法では、測位誤差が大きく、また調査者が方位測定を行った時点での動物の位置情報しか得られないため、断片的な行動情報しか得られないという欠点がある。一方、近年の動物調査に用いられるGPS機能を用いた追跡装置(以下、GPS首輪)では、天候にかかわらず24時間にわたり位置情報を取得でき、さらに測位誤差も小さいという利点を持つ(小池ら 2017)。

そこで、本研究では、孤立林で調査が容易である東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵(以下、FM多摩丘陵)において、複数頭のタヌキを捕獲し、GPS首輪を装着してタヌキの行動圏を明らかにすると同時に、その範囲内のタヌキのため糞場との位置関係を検証し、タヌキの行動からため糞場の利用状況を推定した。

2. 資料と方法

2.1. 調査地

本研究はFM多摩丘陵(東京都八王子市:12.6ha, N35°38'18", E139°22'42")とその周辺緑地(16.3ha)の計28.9 haを調査地とした。敷地には草地、コナラ(*Quercus serrata*)の優占する広葉樹林、スギ(*Cryptomeria japonica*)・ヒノキ(*Chamaecyparis*

obtusa)林・クリ(*Castanea crenata*)果樹園といった多様な環境が含まれている。カキノキ(*Dispyros kaki*)やイチヨウ(*Ginkgo biloba*)、サルナシ(*Actinidia arguta*)など、タヌキがよく果実を利用する樹種も多く生育している(Hirasawa et al. 2006, 長谷川ら 2010)。また、広い範囲で下層にはアズマネザサ(*Pleioblastus chino*)が繁茂している。一方、本調査の周辺は市街地や車通りの多い道路に面しており、緑地は分断されている。

調査地に生息する中型食肉目としては、タヌキの他、ニホンアナグマ(*Meles meles anakuma*)・ホンダギツネ(*Vulpes vulpes japonica*)・アライグマ(*Procyon lotor*)・ノネコ(*Felis catus*)の生息が確認されている。

2.2. 調査方法

タヌキを捕獲し、GPS首輪を装着させることでタヌキの行動データを取得した。捕獲は2013年7月から11月にかけてFM多摩丘陵にて箱罠を用いて行った。誘因餌にはドッグフードを使用した。装着する首輪が150gであることから、Sikesら(2011)に基づき、首輪の重さが体重の5%以内となるよう、3.0kg以上の成獣個体のみを実験の対象とした。そのため、タヌキを捕獲した際は体重を計測し、3.0kg未満の場合は速やかに放獣した。3.0kg以上の個体はZoletil®(Tiletamine hydrochlorideとzolazepam hydrochlorideの混合液8mg/Kg; Virbac, Carros, France)を用いて不動化した。体重・性別を記録した後に首輪を装着し、麻酔から醒めたことを確認してから放獣を行った。

GPS首輪はGPS機能付きの携帯電話端末(NTTドコモ CTG-001G)にベルトを接着したもので、先行研究では定置試験やアライグマに装着した結果からその実用性が調査されている(山崎・佐伯 2012)。また、タヌキを対象として同様の携帯電話端末を用いた研究では、誤差を考慮しなければ上空が開けた場所での測位の成功率は98%、そうでないところでは70%となっており、野生動物の行動追跡にGPS機能付き携帯電話端末が有効であることを示している(Takeuchi et al. 2012)。端末は30分間隔で時間と位置情報を自動で発信するよう設定し、30分間隔(30分・60分・90分…48時間)ごとの移動距離を求めた。また、端末からは時間と位置情報の他に、ロケーション(株)を通じてNTTドコモにより提供されている測位誤差情報を取得した。

これは50m 以内・100m 以内…500m 以上と誤差の推定値を表したものであり、解析は最も誤差の範囲が狭い“50m 以内”とされた位置情報のみを用いて行った。

得られた測位データは、測位された点から48時間続けて測位が行われなかった場合を測位終了とみなし、測位開始から最後に測位した点までを測位期間とした。測位期間中に行った測位のうち、誤差50 m 以内と分類された点のみを測位が成功した点とした。また、タヌキの移動距離や移動速度は昼間と夜間で異なることが報告されているため (Takeuchi et al. 2012), 得られたデータを昼間と夜間で区別し、それぞれの測位率と30分間での移動距離の平均を求めた。その際、各個体の測位期間中の平均の日の出時刻および日没時刻を国立天文台 (URL: <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/>; 2018年4月10日 最終確認) のデータから求め、日の出から日の入りまでを“昼間”とし、日の入りから日の出までを“夜間”とした。また、30分間の移動距離の平均を求める際には、昼間と夜間をまたいだデータは排除した。

ため糞場の特定は、タヌキの捕獲前に調査地内を徹底的に踏査し、15ヶ所のため糞場を確認した。これらのため糞場は、タヌキの追跡期間にわたり、タヌキが利用していることが確認されている。

さらに、GPS首輪を装着したタヌキが一度、これらのため糞場に近づいてから、再び同のため糞場に近づくまでの時間経過を求めた。まずGPSの誤差情報の最小区分が“50 m 以内”であることを考え、測位した点のうち、各ため糞場から半径50 m 以内に含まれる点を抜き出し、それらをため糞場を利用していると推定した。さらに、抽出された点のうち、同一のため糞場から半径50 m 以内に含まれている点間の時間経過を求めた。そして、これをタヌキが再び同のため糞場を訪れるまでの時間とした。

3. 結果

調査地ではタヌキの成獣4個体を捕獲し (Table 1), 捕獲した個体の行動圏は100%MCP で個体 No.3 が最小 (3.5ha), 個体 No.7が最大 (12.8ha) となった。事前に確認したため糞場のうち10箇所は、追跡個体の行動圏内に位置した (Fig. 1)。さらに、そのうち9箇所は、追跡個体の行動圏の最外郭線上に位置した。

また、追跡したタヌキが一度、あるため糞場に近づいてから再び同のため糞場に近づくまでの時間経過では、約24時間間隔で同のため糞場付近へ戻ってくる頻度が上がった (Fig. 2)。

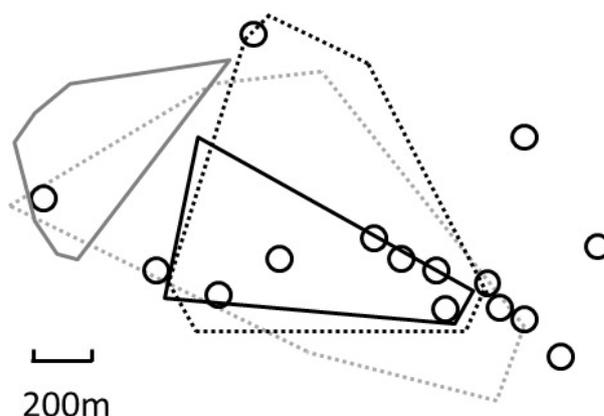


Fig. 1. GPS首輪で追跡したタヌキ4個体の行動圏（最外郭）とため糞場の位置（丸印）

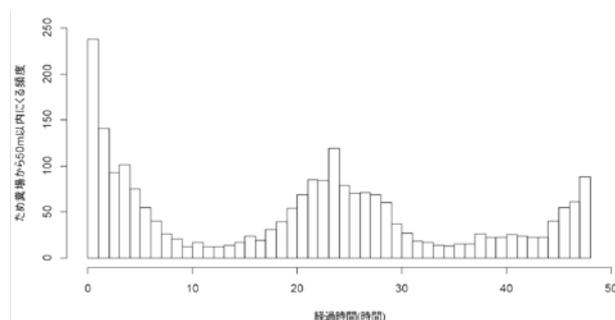


Fig. 2. GPS首輪を装着した個体が同一のため糞場を訪れるまでの時間経過。横軸は、ため糞場から半径50 m 以内の点から同一のため糞場に再び近づくまでの時間経過、縦軸はその頻度を示す

Table 1. FM多摩で捕獲、GPS首輪を装着したタヌキの情報

ID	性別	捕獲時期	体重 (Kg)	測位期間			行動圏
				開始	終了	追跡期間	100%MCP (ha)
No.2	メス	2013年7月	4.0	7月5日	7月13日	9日	5.1
No.3	メス	2013年7月	4.1	7月11日	7月23日	13日	3.5
No.5	オス	2013年10月	3.0	10月11日	10月17日	7日	10.2
No.7	メス	2013年11月	3.0	11月15日	11月21日	7日	12.8

4. 考 察

タヌキの行動圏は地域によって大きく異なることが知られるが、今回のタヌキの行動追跡は1週間から2週間と非常に限られた期間であり、また本調査地が都市近郊の孤立林であるため、行動圏(最外郭)は先行研究に比べて小さなものとなった。先行研究でタヌキの行動圏は、亜高山帯で平均610ha(100%最外郭法, 山本ら 1994), 里山で秋季の行動圏が平均129ha(95%固定カーネル法, Saeki et al. 2007)と報告されているように、地域によってはより広大な行動圏をもつ。一方、一般的には都心の孤立緑地では周囲が交通量の多い道路で囲まれていること、および植栽木による豊富な餌資源から行動圏が縮小していると考えられる。そのため、本調査地も車通りの多い道路や市街地に面しており、同様に行動圏の縮小が起きている可能性が考えられる。

また、行動圏とため糞場との位置関係では、多くのため糞場が行動追跡したタヌキの行動圏の最外郭線上に位置した。他のため糞場についても、同時期に生息地内に設置していた自動撮影カメラでは、GPS首輪を装着していないタヌキが同所的に確認できていることから、他の個体の最外郭線上に位置している可能性は高い。これまでの報告では各個体の行動圏の境界近くにため糞場が位置される可能性が指摘されており(関谷 1998)、今回のGPS首輪を用いた高頻度・高精度での行動追跡により、ため糞場が行動圏の境界を示すサインポストとして利用されている可能性は高くなったといえる。また、今回の結果から、各ため糞場を1日に1回の頻度で訪れている可能性が示唆された。これは、一個体がいくつものため糞場を、定期的に巡回していることを示す結果といえる。今後は、ため糞場での自動撮影カメラの設置により、利用個体の識別や糞からのDNA情報の抽出、解析などにより、ため糞場の機能をさらに評価していくことが望まれる。

謝 辞

東京農工大学の松田和秀教授、FM多摩丘陵の小澤博幸氏には、野外調査の場を提供していただくとともに、FM多摩丘陵でのタヌキの目撃情報などをご提供いただいた。本研究はとうきゅう環境財団の助成によって行われた。

引用文献

- 長谷川奈美・星野義延・渡辺直明・原宏(2010) FM多摩丘陵の1ha固定調査区における毎木調査および植生調査資料. フィールドサイエンス, 8: 85-105.
- 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.
- Ikedo, H. (1984) Raccoon dog scent marking by scats and its significance in social behavior. *Journal of Ethology*, 2: 77-84.
- Saeki, M., Johnson, P. J., Macdonald, D. W. (2007) Movements and habitat selection of raccoon dogs (*Nyctereutes procyonoides*) in a mosaic landscape. *Journal of Mammalogy*, 88: 1098-1111.
- 関谷圭史(1998) 信州のタヌキ. 郷土出版社, 松本.
- Sikes, R. S., Gannon W. L., the Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists (2011) Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *Journal of Mammalogy*, 92: 235-253.
- 小池伸介・山崎晃司・梶 光一(2017) 大型陸上哺乳類の調査法. 共立出版, 東京.
- Takeuchi, T., Matsuki, R., Nashimoto, M. (2012) GPS cell phone tracking in the Greater Tokyo Area: A field test on raccoon dogs. *Urban Ecosystems*, 15: 181-193.
- 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的技術による野生ホンダタヌキの家族関係の推定. *哺乳類科学*, 36: 153-164.
- Yamamoto, I., Hidaka, T. (1984) Utilization of "latrines" in the raccoon dog, *Nyctereutes procyonoides*. *Acta Zoologica Fennica*, 171: 241-242.
- 山本祐治・寺尾晃二・堀口忠恭・森田美由紀・谷地森秀二(1994) 長野県入笠山におけるホンダタヌキの行動圏と分散. *自然環境科学研究*, 7: 53-61.
- 山崎晃司・佐伯緑(2012) 携帯電話GPS端末を利用したアライグマの行動追跡の実用性について. *哺乳類科学*, 52: 47-54.

資料

6大学合同調査による FM 津久井の土壌分析

宮入 大宗^{*1,6}・門脇 真悠^{*1}・志賀 愛美^{*1}・鈴木 耀太^{*1}・瀬成 桂太^{*1}
 高木 理沙^{*1}・八島 未和^{*1}・犬伏 和之^{*1}・加藤 雅彦^{*2}・小林 孝行^{*3}
 豊田 剛己^{*4}・杉原 創^{*5}・田中 治夫^{*5}

Analysis of soil in FM Tsukui by joint survey of 6 universities

Tomonori MIYAIRI^{*1,6}, Mayu KADOWAKI^{*1}, Manami SHIGA^{*1}, Youta SUZUKI^{*1}, Keita SENARI^{*1}, Risa TAKAGI^{*1}, Miwa YASHIMA^{*1}, Kazuyuki INUBUSHI^{*1}, Masahiko KATOH^{*2}, Takayuki KOBAYASHI^{*3}, Koki TOYOTA^{*4}, Soh SUGIHARA^{*5}, Haruo TANAKA^{*5}

We analyzed the soil collected at FM Tsukui of Tokyo University of Agriculture and Technology. The sampling sites were on the slope of terrace. The objective of investigation was to examine the relationship between topographic slope and soil physicochemical properties, the relationship between stratigraphic classification of soil profiles and physicochemical properties and biological properties. A total of 9 samples were collected from three sites with different altitudes and from each surface layer and deeper layers. The measurement items are moisture content, pH (H₂O), EC, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, gas production or absorption (CO₂, N₂O, CH₄), microbial biomass nitrogen, total nitrogen and total carbon contents. Soil moisture and EC were higher in lower site, while CO₂ production was higher in surface layers and positively correlated with soil microbial nitrogen. These results indicated the possibility that soil physicochemical properties and biological properties were influenced each other by the topography and soil layers.

Key words : Andosol, soil nitrogen, CO₂ production/absorption, microbial biomass, soil organic matter

東京農工大学 FM 津久井において採取した土壌の分析を行った。採取地の地形は段丘面上の斜面となっており、地形、特に斜面と土壌理化学性との関係、土壌断面の層位分けと理化学性および生物性との関係を明らかにすることを目的として、標高の異なる3地点および、各表層から下層にかけての計9サンプルを対象とした。測定項目は、含水比、pH (H₂O)、電気伝導率、アンモニア態窒素・硝酸態窒素、ガス生成吸収量 (CO₂, N₂O, CH₄)、微生物バイオマス窒素、全炭素量・全窒素量である。含水率・電気伝導率は各地点を比較して斜面の下部に行くほど値は高かった。また CO₂放出の多い表層は微生物バイオマス窒素の値も高く、正の相関がみられた。以上より、地形や層位によって、土壌理化学性・生物性へ相互に影響を及ぼしている可能性が本研究により示された。

キーワード：黒ボク土、土壌窒素、CO₂生成吸収量、微生物バイオマス、土壌有機物

2018. 12. 27受付；2019. 2. 12受理

*1 千葉大学園芸学部土壌学研究室 Laboratory of Soil Science, Faculty of Horticulture, Chiba University

*2 明治大学農学部 School of Agriculture, Meiji University

*3 日本大学生物資源科学部 College of Bioresource Sciences, Nihon University

*4 東京農工大学生物システム応用科学府 Graduate School of Bio-Applications and System Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

*5 東京農工大学農学部生物生産学科 Department of Biological Production, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

*6 現在：長野県松本農業改良普及センター Presently: Matsumoto Agriculture Extension Center, Nagano Prefecture

1. はじめに

6大学合同土壌調査は1989年に東京農工大、明治大が2大学合同調査として開始されたのを前身として、その後、日大、千葉大、筑波大、首都大学東京を加え各大学の附属農場などを利用して継続し（犬伏ら 2002）、2017年にはその第28回として東京農工大、明治大、日大、千葉大の参加のもと、8月21～23日に、神奈川県相模原市に所在する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フィールドミュージアム津久井（FM津久井）で行われた。本研究の目的は、土壌調査法および分析法を習熟したうえで、地形、特に斜面と理化学性との関係、さらに各地点における層位と土壌理化学性・生物性との関連について調査した。

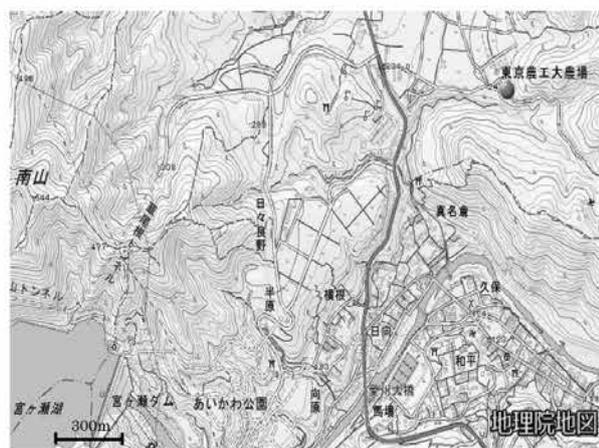
調査地の地形は比較的小規模な扇状地となっているが、以下の調査地点周辺は段丘面上の凹形谷型斜面の緩傾斜面から極緩傾斜面になっており、傾斜は 7° ～ 2.5° であった（Fig. 1a）。土地分類基本調査の5万分の1地形分類図および5万分の1表層地質図によると、武蔵野段丘面上に位置し、武蔵野ローム層の未固結堆積物（火山灰）とされている（神奈川県企画部 1989）。現地で活性アルミニウムテストを行い土壌はすべての地点、土層で即時鮮明（Fig. 2）であったため、黒ボク特徴を持つと判定され、土壌は黒ボク土であると推定された。黒ボク土は母材を火山灰に由来し、日本において台地を中心に広く分布し主要な土壌となっている。有機物が集積することで色は黒色となる。以下の3地点で土壌断面の層位分けおよび土壌採取を行った（Fig. 1b）。

斜面の上部から地点1、地点2、地点3を土壌調査地点に定めた。各地点の標高はそれぞれ263 m、252 m、246 mであり、傾斜は 7° 、 4° 、 2.5° であった。2008年時の土地管理および圃場管理は、斜面上部から、クルミの木が生えている放牧樹園地、斜面上部と下部に分割されているシバ草地、シバ放牧草地と同様に斜面上部と下部に分割されているトールフェスク放牧草地、トールフェスクとオーチャードグラスの混播放牧草地、採草地として管理されていた（中村 2009）。

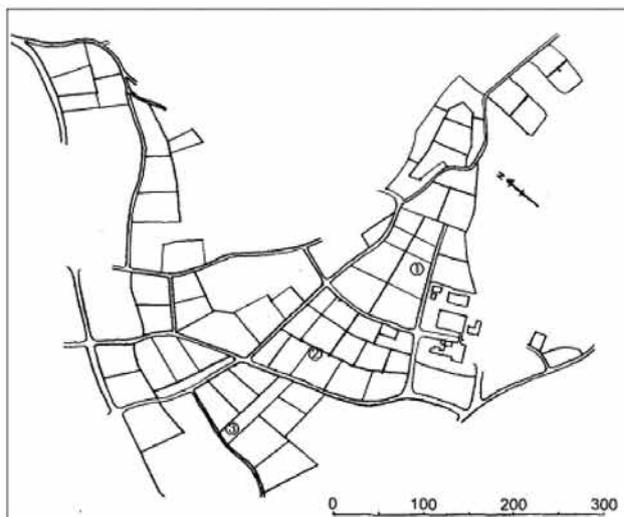
地点1は調査時点で雑草地となっており、土壌断面の南側に小さな沢があり調査前の降雨の影響か水が流れていたのが確認された。層位分けは、表層からA1層・A2層・A3層・Bw1層・Bw2層と分けられた。このうち分析に用いたのは、A1層・Bw1層・Bw2層である（Fig. 2a）。

地点2も調査時点で雑草地となっており、層位分けは、表層からAp層・A1層・A2層・A3層・Bw層・2A4層と分けられた。このうち分析に用いたのは、Ap層・Bw層・2A4層である。付近に水の流れは確認できなかった（Fig. 2-b）。

地点3は畑地である。層位分けは、Ap層・A1層・2A2層・3A3層・3A4層と分けられた。このうち分析に用いたのは、Ap層・3A3層・3A4層である。付近に水の流れは確認できなかった（Fig. 2-c）。



(a)



(b)

Fig. 1. Location of FM Tsukui (a) and three sampling sites (b)

土壌断面調査票																				
地点番号	1	土壌分類	暗棕褐色アロファン質黒ボク土	調査日	2017年8月22日	天候	晴	調査者	1班	東京農工大学土壌学研究室・日本ペダロジ学会										
調査地	東京農工大学FM津久井園地	所有者	東京農工大学	緯度	N 35.55370°	経度	E 139.26854°	土地利用・観測および対応の見取図												
地質	火山灰	堆積式	扇行成	気候	照葉樹林気候															
地形	山麓砂利面・底層砂面	標高	263m	傾斜	7°、WS0°S															
採集	シート採集、中層	採水性	良好	地帯の標高	なし	人海	10年前まで牧草地													
断面スケッチ	層位	層厚	土色	粒径	有機物・炭素	土性	構造	構造	コンシステンシ	可塑性	膨張性	収縮性	チューン	孔隙	根・生物活動	乾燥・地下水面	反応	備考		
	0	①	10YR 3/3	なし	腐む	CL	微細粒状	砂	中	5	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	10	①	10YR 3/4	なし	腐む	CL	微細粒状	砂	中	19	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	20	①	10YR 3/2	なし	腐む	CL	微細粒状	砂	中	16	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	30	①	10YR 4/4	なし	腐む	CL	なし	砂中微角塊	砂	中	22	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—
	40	②	10YR 3/3	なし	腐む	LIC	なし	砂中微角塊	砂	中	22	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—
	50	①	10YR 3/2	なし	腐む	LIC	なし	砂	中	22	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	60	①	10YR 3/2	なし	腐む	LIC	なし	砂	中	22	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
その他 ②、③層でモロミアが観察された。(報告)																				

(a)

土壌断面調査票																				
地点番号	2	土壌分類	暗棕褐色アロファン質黒ボク土	調査日	2017年8月22日	天候	晴	調査者	1班	東京農工大学土壌学研究室・日本ペダロジ学会										
調査地	東京農工大学FM津久井園地	所有者	東京農工大学	緯度	N 35.55394°	経度	E 139.26736°	土地利用・観測および対応の見取図												
地質	火山砕積物	堆積式	扇行成	気候	照葉樹林気候															
地形	山麓砂利面	標高	252m	傾斜	4.0° N90° E															
採集	シート採集・中層	採水性	良好	地帯の標高	なし	人海	牧草地													
断面スケッチ	層位	層厚	土色	粒径	有機物・炭素	土性	構造	構造	コンシステンシ	可塑性	膨張性	収縮性	チューン	孔隙	根・生物活動	乾燥・地下水面	反応	備考		
	0	①	10YR 4/3	なし	腐む	CL	1-2mm 小角塊あり	砂	中	16	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	10	①	10YR 2.5/3	なし	腐む	CL	1-2mm 小角塊あり	砂	中	16	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	20	①	10YR 2.5/3	なし	腐む	CL	1-2mm 小角塊あり	砂	中	12	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	30	①	10YR 3/3	なし	腐む	CL	1-2mm 小角塊あり	砂	中	18	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	40	①	10YR 2/3	なし	腐む	CL	1-2mm 小角塊あり	砂	中	18	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—	
	50	①	10YR 3/4	なし	腐む	LIC	なし	底層砂中	砂	中	17	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—
	60	①	10YR 2/2	なし	腐む	LIC	なし	底層砂中	砂	中	20	なし	なし	なし	腐む	小	中	—	—	—
その他 深さ140cmまで2A4層が続く。																				

(b)

土壌断面調査票																			
地点番号	3	土壌分類	厚層アロファン質黒ボク土	調査日	2017年8月22日	天候	晴	調査者	3班	東京農工大学土壌学研究室・日本ペダロジ学会									
調査地	東京農工大学FM津久井園地	所有者	不明	緯度	N 35.55490°	経度	E 139.26805°	土地利用・観測および対応の見取図											
地質	火山砕積物-火山灰	堆積式	扇行成	気候	照葉樹林気候														
地形	火山灰谷地-中層-平畑	標高	245m	傾斜	2.0° N50° E														
採集	シート採集(雑草)	採水性	静水良好	地帯の標高	なし	人海	雑地												
断面スケッチ	層位	層厚	土色	粒径	有機物・炭素	土性	構造	構造	コンシステンシ	可塑性	膨張性	収縮性	チューン	孔隙	根・生物活動	乾燥・地下水面	反応	備考	
	0	①	10YR 2/2	なし	腐む	LIC	なし	CR	砂	砂	12.5	FI	なし	なし	腐む	あり	中	—	—
	10	②	10YR 2/1	なし	腐む	LIC	なし	SB	砂	砂	18.5	FI	なし	なし	腐む	あり	中	—	—
	20	①	10YR 2/2	なし	腐む	CL	2mm以下 スロニアあり	SR	砂	なし	21.7	FI	なし	なし	腐む	あり	中	—	—
	30	①	10YR 2/2	なし	腐む	CL	2mm以下 スロニアあり	AB	砂	中	22.3	FI	なし	なし	腐む	あり	中	—	—
	40	①	10YR 2/2	なし	腐む	CL	2mm以下 スロニアあり	AB	砂	中	19.8	FE	なし	なし	腐む	あり	中	—	—
	50	①	10YR 2/2	なし	腐む	LIC	なし	底層砂中	砂	中	19.8	FE	なし	なし	腐む	あり	中	—	—
	60	①	10YR 3/4	なし	腐む	HC	なし	底層砂中	砂	中	19.8	FE	なし	なし	腐む	あり	中	—	—
その他																			

(c)

Fig. 2. Soil profile descriptions in three sites (as reported by participating students)

2. 材料および方法

2.1 供試土壌

各地点1段面、各層位から1試料ずつ採取した土壌は2 mmふるいを通し、供試土壌とした。各地点3層ずつ、全9サンプルの土壌を用いた。培養を行い培養前後に測定する分析項目（アンモニア態窒素量・硝酸態窒素量・ガス生成吸収量）については、上記に加え現地水分条件で好氣的に20°C 10日間の前培養処理を行った湿潤土壌を供試土壌とした。

2.2 分析項目

含水比、pH (H₂O)、電気伝導率 (EC)、全炭素量・全窒素量、微生物バイオマス窒素、ガス生成吸収量、アンモニア態窒素量、硝酸態窒素量を測定した。

2.3 実験方法

2.3.1 含水比 (土壤環境分析法編集委員会 1997)

乾熱法を用いて計算した。乾土は、湿潤土壌をアルミ秤量管にとり105°Cで24時間乾燥させたものを用いた。

2.3.2 pH (H₂O) (土壤環境分析法編集委員会 1997)

湿潤細土懸濁液 (湿潤細土：純水=1：2.5) を作成し、1時間振とうしたのち、ガラス電極 pH 計 (HORIBA D-52) を用いて測定した。

2.3.3 EC (土壤環境分析法編集委員会 1997)

湿潤土壌懸濁液 (湿潤細土：純水=1：5) を作成し、1時間振とうしたのち、EC メーター (TOA CM-14P) を用いて測定した。

2.3.4 全窒素量・全炭素量 (土壤環境分析法編集委員会 1997)

風乾土壌を乳鉢で粉碎後、0.2 mm のふるいにかけた土壌を CN コーダー (Yanaco CN CORDER MT-700) を用いて測定した。

2.3.5 微生物バイオマス窒素量 (日本土壤微生物学会 2013)

土壌をクロロホルム燻蒸したものと非燻蒸のものそれぞれにおいて抽出液を作成した。その抽出液をペルオキシ二硫酸カリウム分解法を用いて分解し、その抽出液の可溶性全窒素量をヒドラジン還元-ナフチルエチレンジアミン法で定量した。その後測定値を用いて微生物バイオマス窒素量を求めた。

2.3.6 ガス生成吸収量 (CO₂, N₂O, CH₄) (土壤環境分析法編集委員会 1997)

前培養処理を行った湿潤土壌10 g を100 mL バイアルびんにとり、原土水分条件で25°C・暗所・好気条件下で培養を行った。1, 2, 5, 7, 14, 21日目にバイアルびん内のガスを採取した (各採取日の前日に密栓し、ガス採取後にバイアルびん内の気相置換を実施した)。

採取したガスは、CO₂：TCD 付きガスクロマトグラフィー (SHIMADZU GC-12A)、N₂O：ECD 付きガスクロマトグラフィー (SHIMADZU GC-14B)、CH₄：FID 付きガスクロマトグラフィー (SHIMADZU GC-14B) を用い分析しその濃度を算出した。そして各採取日のガス生成および吸収量を培養日数を考慮して積算した値をグラフに示す。

2.3.7 アンモニア態窒素量 (土壤環境分析法編集委員会 1997)

培養 (25°C 21日間, 1, 2, 5, 7, 14, 21日目に1時間の気相置換を実施) の前後の土壌それぞれに対して実施した。供試土壌10 g 中の無機態窒素を1 mol L⁻¹塩化カリウム溶液を用いて抽出し、その土壌抽出液をニトロプロシッド法で定量した。

2.3.8 硝酸態窒素量 (土壤環境分析法編集委員会 1997)

アンモニア態窒素量の定量と同様に培養前後の土壌それぞれに対して実施した。供試土壌10 g 中の無機態窒素を1 mol L⁻¹塩化カリウム溶液を用いて抽出し、その土壌抽出液をヒドラジン還元-ナフチルエチレンジアミン法で定量した。

2.4 測定値の統計分析

回帰分析は SAS University Edition (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) の Proc reg を用いて行った。

3. 結果および考察

3.1 含水比 (Table 1)

全ての地点において含水比は下層が上層の値を上回った。さらに、地点ごとに比較すると下層において、斜面の上部に位置する地点1の値が最も小さく、斜面の下部に位置する地点3にて最も大きい値をとった。

3.2 pH (H₂O) (Table 1)

地点ごとに比較すると、地点1・地点2に比べ地点3で高い pH 値を示した。これは、地点3の土壌は調査時点で畑地であったため、土壌改良資材等施用の

Table 1. Soil mass water content, pH (H₂O), Electric conductivity (EC), total C (TC) and total N (TN)

	Site 1			Site 2			Site 3		
	A1	Bw1	Bw2	Ap	Bw	2A4	Ap	3A3	3A4
Mass water content (%)	63.41	101.27	116.91	64.49	130.69	131.46	55.55	147.52	156.16
pH (H ₂ O)	5.44	6.42	6.54	5.72	6.23	6.28	7.02	6.74	6.71
EC (dS m ⁻¹)	0.042	0.026	0.029	0.044	0.028	0.031	0.101	0.050	0.062
TC (mg kg ⁻¹)	56.87	42.27	37.00	58.80	46.97	74.10	64.87	61.93	71.37
TN (mg kg ⁻¹)	5.30	3.83	3.20	5.07	3.60	3.93	5.20	4.50	4.70

影響が考えられる。

3.3 EC (Table 1)

全ての地点において表層で高い値を示した。これは、好気条件下で硝化作用が起こっていたためと考えられ、同様な現象は Inubushi et al. (1999) や Zaman et al. (2004) により黒ボク土壌で報告されている。さらに、地点ごとに比較すると、地点3で最も高い値を示したが、pHと同様、耕作の影響が考えられる。

3.4 全炭素量・全窒素量 (Table 1)

全炭素量において、すべての地点で表層が高い値を示した。これは雑草などの有機物によるものと考えられる。さらに、地点2および地点3の下層(2-2A4, 3-3A3, 3-3A4)において高い値を示した。

3.5 アンモニア態窒素量 (Fig. 3)

培養前は地点1以外で下層より表層のほうが低い値を示した。また地点1でも同様な傾向を示した。これは表層のほうで硝化作用が盛んだったためと考えられる。培養後の測定値は培養前よりも概ね低い値を示した。次に述べる硝酸態窒素量の変化も含め、培養によって硝化作用が進んだためと考えられる。

3.6 硝酸態窒素量 (Fig. 4)

培養前の硝酸態窒素量は地点1・地点2において表層で高い値を示した。特に地点1では付近に沢があったため、その影響で硝酸態窒素が多く集積した可能性が推測される。これらに対して、地点3では低い値を示した。その理由については、今後、検討

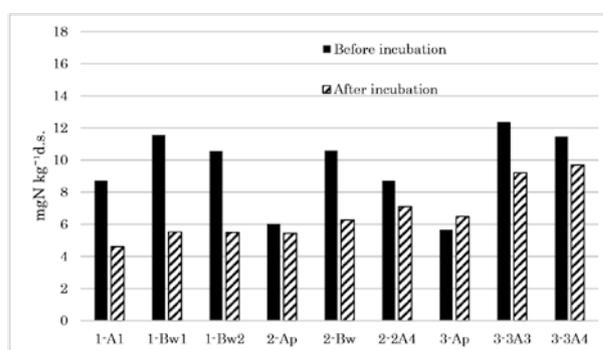


Fig. 3. Soil ammonium nitrogen content of three sites with selected three layers in FM Tsukui

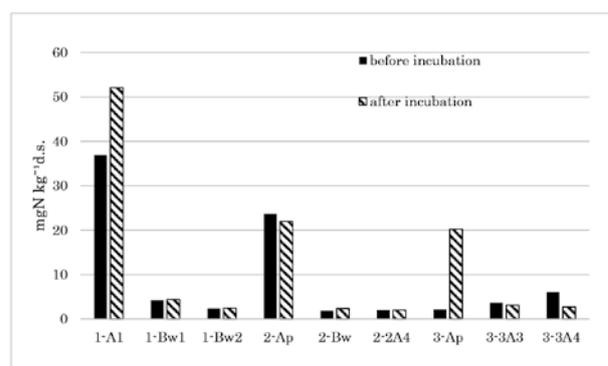


Fig. 4. Soil nitrate nitrogen content of three sites with selected three layers in FM Tsukui

が必要である。培養後に増加した層(1-A1, 3-Ap)では有機態窒素の無機化と硝化菌による硝化作用が進み、減少した層(3-3A4)では脱窒菌によりさらに硝酸態窒素が気体として放出された可能性が考えられる。

3.7 微生物バイオマス窒素量 (Fig. 5)

全ての地点において、表層で値が高くなった。地点ごとに比較すると、地点1が最も低く、地点3が最も高い値を示した。下層土では微生物バイオマス窒

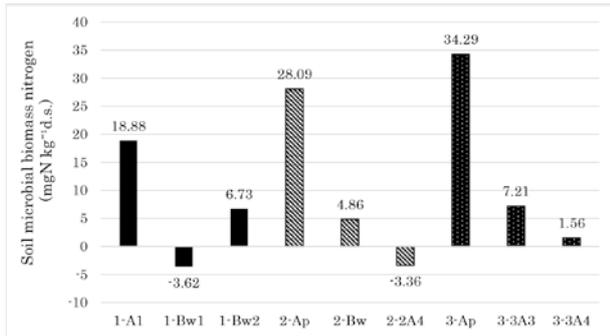


Fig. 5. Soil microbial biomass nitrogen of three sites with selected three layers in FM Tsukui (No significant difference was observed)

素量が少ないため、燻蒸と非燻蒸の差が小さく、見かけ上、負の値も見られたが分析誤差が今回は 6.17 mg kg^{-1} 程度あるので、その範囲内と考えられる。

3.8 ガス生成吸収量

3.8.1 CO_2 生成量 (Fig. 6)

全ての地点において、表層が最も高い値を示した。これは微生物量（好気性菌）が多いためと考えられる。一方、下層の値は低く、微生物量および好気性菌の活性が低いためと考えられる。

3.8.2 N_2O 生成吸収量 (Fig. 7)

全ての地点において、表層で生成量の多い傾向が見られた。これは、硝酸態窒素の結果と一致している。培養2日目で、地点1のBw1層以外のすべてで値が負になっているものは培養初期の大気濃度から微生物によって土壌に吸収された減少量が多かったか、または脱窒されて N_2 となった量が多かったためと考えられる。培養2日目以降、硝化または脱窒によって N_2O 生成が始まり、地点1, 2の表層では7日目に、また地点3でも21日目には N_2O 量が正に転じた。その他の土層でも培養全期を通じて N_2O が増加した。

3.8.3 CH_4 生成吸収量 (Fig. 8)

全ての地点において、培養5日目までは減少傾向が認められたが、地点1, 3の表層や次表層では7日目にかけて増加した。その後の推移には層ごとの関連は見られなかった。初期の減少、特に2-Apではメタン酸化菌がメタンを吸収利用し、また後期、特に1-A1や3-Apでは団粒内など土壌の一部が嫌氣的になり、メタン生成が起こったと考えられる。1-A1や3-Apでは硝化が盛んなため、メタン酸化が起こりにくいことも影響していると考えられた。同様の傾向はKong et al. (2013)も認めている。

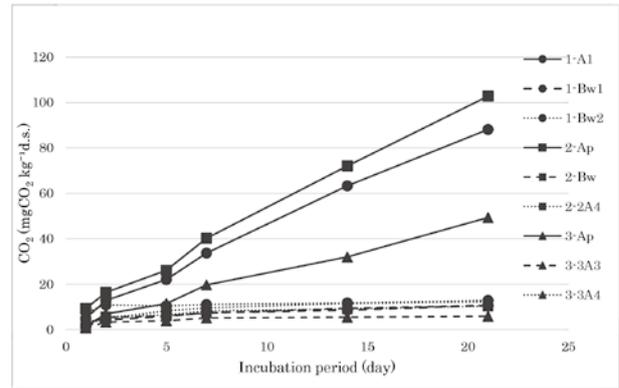


Fig. 6. CO_2 production of three sites with selected three layers in FM Tsukui

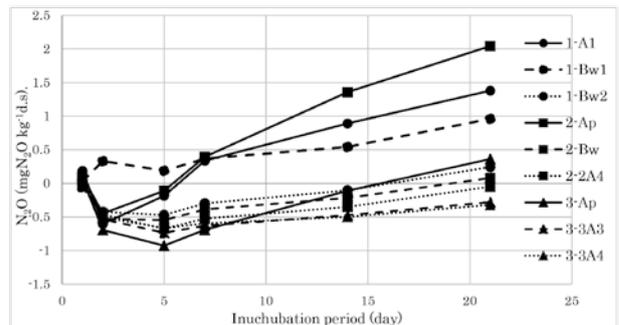


Fig. 7. N_2O production and absorption of three sites with selected three layers in FM Tsukui

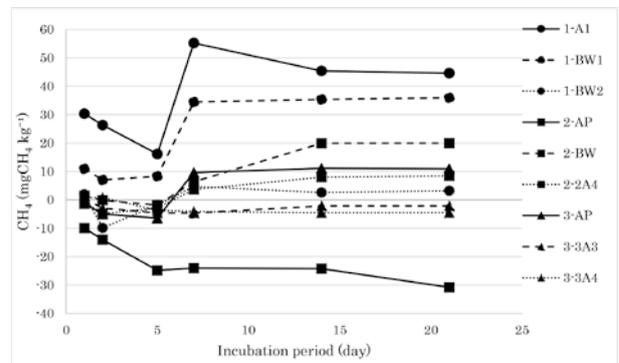


Fig. 8. CH_4 production and absorption of three sites with selected three layers in FM Tsukui

3.9 地形・斜面の影響

含水比 (Table 1) において各地点を比較し、斜面の下部に行くほど値は高くなったことから、斜面の影響により、下部に水が流れ、浸透し保持されたことが考えられる。しかし1回の調査だけでは不十分なので、今後、透水係数など物理性も測定し、検討する必要がある。

またEC (Table 1) において、地点3の表層 (3-Ap) が高い値をとった。このことは硝酸態窒素量の結果と対応しておらず、何らかの水溶性塩類が検出したものとみられる。加えて地点3ではpH (H_2O) においても比較的高い値を示したことから、アルカ

り資材などの土壌改良資材が投入された可能性も推測できるが、更に土地利用来歴を調べる必要がある。

3.10 土壌成分の相互関係

含水比とアンモニア態窒素量とは正の、また硝酸態窒素量とは負の相関がみられた (Table 2)。これは土壌水分が増加すると有機態窒素の無機化や硝化反応、脱窒反応が促進された結果と考えられる。一般に土壌水分 (Water filled pore space) が30-60%の範囲内では、その増加が窒素の無機化や硝化反応を促進する (Paul and Clark 1996) と言われているが、本研究ではさらに硝化によって生成した硝酸の溶脱も起こり、水分が多いと溶脱が加速された可能性が考えられる。

一方、CO₂生成は土壌水分やpHと負の相関がみられた (Table 2)。前述のように水分含量が増加すると有機態窒素の無機化量は増加したが、斜面下部や下層土で水分の上昇とともに土壌の液相割合が増え、その部位へのCO₂の溶存量も増加し、気相へのCO₂放出が抑制されたと考えられる。同様な現象はZaman et al. (2004) でも見いだされている。

次に、各測定項目と層位について考察する。まず、CO₂生成と微生物バイオマス窒素において、CO₂生成の多い表層 (1-A1, 2-Ap, 3-Ap) は微生物バイオマス窒素の値も高く、正の相関がみられた (Fig. 9)。

さらに、微生物バイオマス窒素と全炭素量において、3つの傾向が見られた (Fig. 10)。

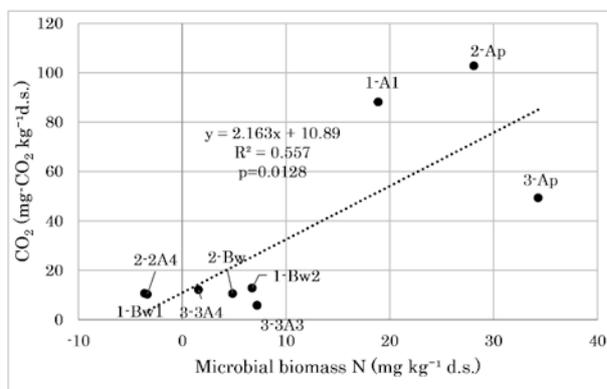


Fig. 9. Relation between soil microbial biomass nitrogen and CO₂ production

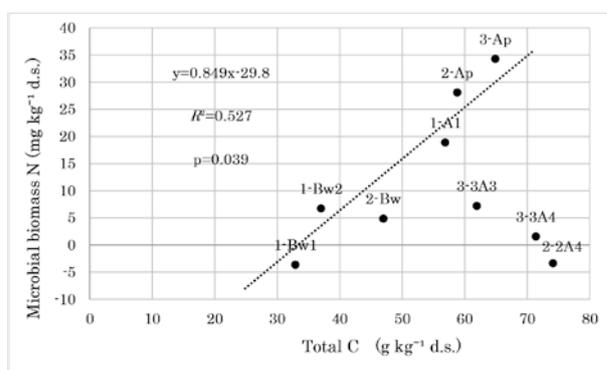


Fig. 10. Relation between total C and soil microbial biomass nitrogen. (Linear regression line was applied for plots of sites 1 and 2 with 3-Ap)

Table 2. Correlation between soil physicochemical and biological properties

	Water	pH (H ₂ O)	EC	NH ₄ ⁺ Pre	NH ₄ ⁺ Post	NO ₃ ⁻ Pre	NO ₃ ⁻ Post	MBN	TN	TC	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Water	1												
pH (H ₂ O)	.404*	1											
EC	-0.334	.486*	1										
NH ₄ ⁺ Pre	.725**	0.244	-0.442*	1									
NH ₄ ⁺ Post	.572**	.459*	0.229	0.282	1								
NO ₃ ⁻ Pre	<i>-.576**</i>	<i>-.832**</i>	-0.053	-0.332	-0.340	1							
NO ₃ ⁻ Post	<i>-.747**</i>	<i>-.641**</i>	0.221	-0.450*	<i>-.386*</i>	.870**	1						
MBN	<i>-.426*</i>	-0.036	.397*	-0.309	0.052	0.269	0.303	1					
TN	<i>-.472*</i>	-0.214	.572**	<i>-.419*</i>	0.119	.535**	.585**	0.346	1				
TC	0.119	0.103	.479*	-0.236	.473*	0.046	0.061	0.098	.640**	1			
CO ₂	<i>-.805**</i>	<i>-.706**</i>	0.172	<i>-.663**</i>	<i>-.424*</i>	.841**	.816**	0.284	.582**	0.072	1		
N ₂ O	<i>-.650**</i>	<i>-.693**</i>	-0.259	<i>-.415*</i>	<i>-.682**</i>	.624**	.526**	-0.051	0.161	-0.339	.739**	1	
CH ₄	0.240	0.194	-0.195	0.156	0.024	<i>-.390*</i>	-0.218	-0.205	<i>-.547**</i>	-0.217	<i>-.439*</i>	-0.322	1

*: significant at 5% level, **: significant at 1% level, positive relation as bold, and negative as italic.

Water: mass water content, -pre, -post: before and after incubation, respectively, MBN: Microbial biomass nitrogen, TN: Total nitrogen, TC: Total carbon.

1つ目は、微生物バイオマス窒素の値が高く、全炭素量も多い (1-A1, 2-Ap, 3-Ap)。2つ目は、微生物バイオマス窒素の値が低く、全炭素量も少ない (1-Bw1, 1-Bw2, 2-Bw)。3つ目は、微生物バイオマス窒素の値は低いが、全炭素量が多い (2-2A4, 3-3A3, 3-3A4)。

このうち埋没腐植層とした層位で3つ目の傾向がみられた。Zaman et al. (2004) は東大田無農場にて微生物バイオマス炭素量と全炭素量の比は表層から深さ50 cm まではほぼ一定であることを示している。また犬伏ら (2005) や Inubushi and Kong (2014) は千葉大沼田農場にて埋没腐植層中の微生物バイオマス炭素量は全炭素量と同様表層より少ないものの両者の比は深さ100 cm までは表層と変わらないことを示しており、これらの傾向と異なる今回の結果は、埋没腐植層の成因を含め今後の検討が必要である。

また、CO₂生成と硝酸態窒素において、CO₂生成の多い表層 (1-A1, 2-Ap, 3-Ap) は硝酸態窒素の値も高く、正の相関がみられた (Table 2)。これは硝化作用によって生成するCO₂だけでなく、その他の従属栄養性微生物の呼吸によるCO₂も含まれると考えられる。また硝酸態窒素とN₂O生成との間にも正の相関 (p<0.01) が認められた。

最後に、層位分けの妥当性について考察する。1-Bw1, 1-Bw2については各測定項目において結果に顕著な差は見られなかった。さらに、3-3A3, 3-3A4についても同様であった。このことから、土壤理化学性・生物性の面からみて今回の分析項目で層位に差が見られなかったものは、現地で観察された土壤断面の形態など、その他の項目において差異がみられることが考えられたが、再度、検証する必要がある。

以上のように、地形や層位によって、土壤理化学

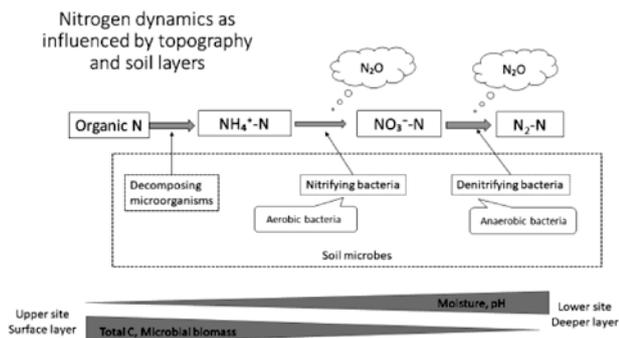


Fig. 11. Nitrogen dynamics as influenced by topography and soil layers

性・生物性において特徴的な違いや傾向がみられ、有機態窒素の分解 (アンモニア化成)、硝化、脱窒など窒素の動態 (Fig. 11) や炭素などの動態に影響している可能性が本研究により示された。

引用文献

- 土壤環境分析法編集委員会 (1997) 土壤環境分析法. 博友社, 東京
- 犬伏和之・竹迫 紘・岡崎正規・田中治夫・川東正幸・隅田裕明・鈴木創三・豊田剛己 (2002) 千葉大学熱川暖地農場の土壌の諸性質について, 第1報 土壌の基本的な性質. 千葉大学園芸学報告, 56: 11-18.
- 犬伏和之・坂本一憲・岡崎正規・豊田剛己・徐 星凱・荻山慎一・奥山 新・柴田良隆・洲脇康史・山岡純子・牛渡シルビオ良治・オスランジュマディ・小田順子・見富健志・米田理津子・北原克也・円谷恭子・野原慈久・濱脇康介・水野崇行・鈴木創三・田中治夫・隅田裕明・竹迫 紘 (2005) 千葉大学森林環境園芸 (利根高冷地) 農場の土壌の諸性質について (第1報) 土壌の微生物特性, ガス生成と微量元素分析. 千葉大学園芸学報告, 59: 1-7.
- Inubushi, K., Kong, Y. (2014) Soil microbial biomass and C storage of an Andosol. In Soil Carbon, Hartemink, A.E., McSweeney, K. (Eds.) 173-178. Springer, Switzerland.
- Inubushi, K., Barahona, M. A., Yamakawa, K. (1999) Effect of salts and moisture content on N₂O emission and nitrogen dynamics in Yellow soil and Andosol in model experiments. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 401-407.
- 神奈川県企画部 (1989) 土地分類基本調査 八王子. 5万分の1 地形分類図および5万分の1 表層地質図.
- Kong, Y., Nagano, H., Kátai, J., Vágó, I., Oláh, A.Z., Yashima, M., Inubushi, K. (2013) CO₂, N₂O and CH₄ production/consumption potentials of soils under different land-use types in central Japan and eastern Hungary. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59: 455-462.
- 中村嘉孝 (2009) FM津久井における傾斜草地土壤管理図作成のための土壌特性値の空間・季節変動解析. 東京農工大学大学院農学府生物生産科学専攻修士論文

- 日本土壤微生物学会（2013）土壤微生物実験法，第3版．養賢堂，東京．
- Paul, A., Clark, F.E. (1996) Soil Microbiology and Biochemistry, 2nd Edition, Academic Press, San Diego.
- Zaman, M., Matsushima, M., Chang, S. X., Inubushi, K., Nguyen, L., Goto, S., Kaneko, F., Yoneyama, T. (2004) Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts. *Biology and Fertility of Soils*, 40: 101-109.

資 料

**Specification of modified handmade tipping buckets flow meters
and their calibration system**

Katsushige SHIRAKI^{*1}, Keawaree DULNAKIJ^{*2,3}, Kaho KUNITA^{*2}
Kosuke NEGI^{*4}, Jinsheng SUN^{*5}

改良型自作転倒升型流量計の精度検証と検定システムの構築

白木 克繁^{*1}・ドゥルナキヅ ケアワリー^{*2,3}・國田 佳穂^{*2}
根木 浩輔^{*4}・孫 金勝^{*5}

After assembling modified handmade tipping bucket flow meters, we proposed an efficient and inexpensive calibration system for them. The system's water circulation system comprises a power unit, a DC pump, and a volumetric flow meter able to maintain a constant 10–80 ml/s water flow rate. This calibration system can save water and time because constant flux can be changed rapidly with the circulated water system. Newly modified handmade tipping bucket flow meters have more uniform characteristics than earlier handmade tipping bucket flow meters and show higher coefficients of determination for the relation between inflow flux to the tipping bucket and water quantity for one tipping. Modified handmade tipping buckets have performance of approximately 160 ml per tipping. The tipping quantity can be altered by changing items of buckets.

Keywords: field observation, inexpensive system, measurement of water flow

本報告では、改良型自作転倒升型流量計の開発と同時に、安価で効率的な検定システムを提示する。検定システムは電源ユニット、直流電圧ポンプ、容積式流量計から構成されており、水が循環するシステムとなっている。今回組み上げた検定システムでは、10から80 ml/秒の定流量を作ることができた。循環式の検定システムであり、定流量の変更が即座にできるため、水と作業時間の節約を可能とした。新たに改良した自作転倒升型流量計は従来型と比較して流量計としての性質が均質化しており、流入流量と転倒升が1転倒するに必要な水量の関係についての回帰分析においても、従来型よりも検定直線の決定係数が高くなった。改良型自作転倒升型流量計における、転倒升1転倒に必要な水量の値はおよそ160 mlであった。また、転倒升型流量計の1転倒水量は、転倒升となるものの素材の大きさを選択することで変更することが可能である。

キーワード：野外観測，安価な計測システム，流量計測

2019. 1. 15受付；2019. 2. 14受理

*1 東京農工大学大学院 Graduate School of Tokyo University of Agriculture and Technology

*2 東京農工大学農学部 Department of Agriculture Tokyo University of Agriculture and Technology

*3 カセサート大学農学部 Department of Forestry Kasetsart University

*4 林野庁 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Government of Japan

*5 東京農工大学連合農学研究科 United Graduate School of Agricultural Science Tokyo University of Agriculture and Technology

1. Introduction

Tipping bucket (TB) flow meters are used widely to measure water flow during field observations (e.g., Holwerda *et al.*, 2012; Iida *et al.*, 2017; Konishi *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2011; Shimizu *et al.*, 2018;). Reportedly, TB flow meters have benefits for use in the field because they are more robust against fluid impurities than flow meters of other types (Shiraki *et al.*, 2018). Actually, TB flow meters show good accuracy for low water flow rates and even for intermittent water flows if evaporation of stored water from a bucket is negligible. For those reasons, TB flow meters with 20-cm-diameter rainfall collectors are used widely to measure rainfall amounts.

The water amount for one tipping of a TB flow meter differs according to the inflow flux. Increase of inflow flux increases the water amount of one tipping because water is running without storage, whereas a bucket is tipping to another. Therefore, many calibration analyses have been conducted to ascertain the relation between inflow flux and the amount of one tipping; various calibration equations have been proposed (e.g., Calder and Kidd, 1978; Shimizu *et al.*, 2015; Shiraki and Yamato, 2004; Takahashi *et al.*, 2011). Shimizu *et al.* (2018) precisely examined larger TB, such as over 100 ml per tip, and concluded that the bucket shape might affect the calibration equation formula.

Shiraki *et al.* (2018) pointed out shortcomings of larger TB flow meters in terms of cost. Commercial TB flow meters are so expensive that the number of water flow observations might need to be decreased because of financial limitations. Shiraki *et al.* (2018) also reported the usefulness of larger handmade TB flow meters together with analysis of their accuracy.

This paper describes larger handmade TB flow meters that were improved according to earlier work and calibration results reported by Shiraki *et al.* (2018). These newly improved TB flow meters have approximately 160 ml per tip. Furthermore, we propose a newly assembled

calibration system for TB flow meters that facilitates easy and efficient laboratory work. Calibration methods for TB flow meters are divisible into two types. One is static calibration: water is injected slowly into buckets. Then one tipping water amount is checked. Another is dynamic calibration: checking of one tipping water amount at a constant inflow flux. For dynamic calibration, one must produce a steady and stable water flow supplying the TB flow meters. Generally, constant water flow is produced by making a constant water head difference from the overflow tank for unchangeable water height (e.g., Shimizu *et al.*, 2018; Shiraki and Yamato, 2004; Shiraki *et al.*, 2018). Although this method is simple, some time is necessary to produce stable water flow. Moreover, some system is necessary to make different water head to change water flow rate, and abundant water. We therefore assembled a constant water flow generator with a circulating water system to save time and water and for ease of operation.

In this report, we use non-SI units for ease of understanding such as mm (10⁻³ m), cm (10⁻² m) and ml (10⁻⁶ m³) which are used in product catalogues, product names, and conventional usage.

2. Method and material

2.1 Overview of the TB meter and calibration system

Figure 1 shows the overview of the TB flow meter calibration system including the TB meter unit. The electric pump sucks up water from the bottom box to the upper. The volumetric flow meter connecting to the pump pipe monitors the rate of water flow. The pumped water is supplied to the TB flow meter. The newly improved TB flow meter shown in Fig.2 comprises rotating buckets and basements.

2.2 Structure of modified handmade TB flow meters

Newly improved handmade TB flow meters have fundamentally the same assembly concept as

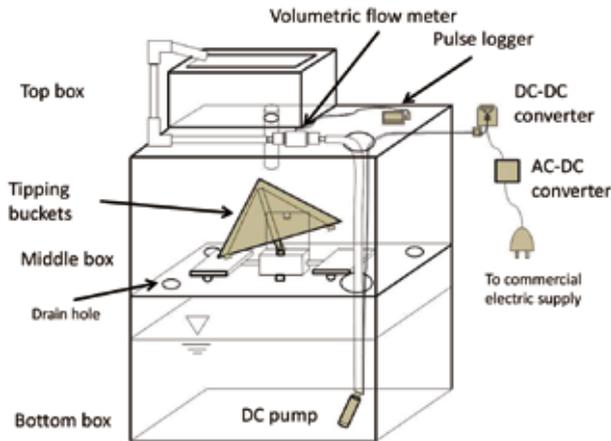


Fig. 1. Explanatory drawing of the calibration system.

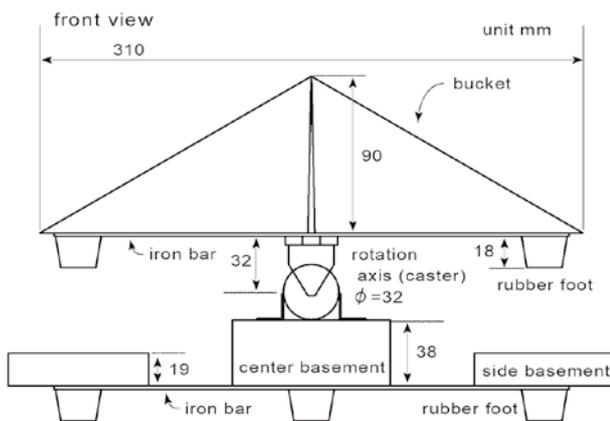


Fig. 2. Front view of tipping buckets and basements with scale.

those of an earlier version explained in a report of a study by Shiraki *et al.* (2018). We refer hereinafter to the earlier version of TB flow meters as Type A and the modified version as Type B. Each comprises a plastic box, plastic document case, iron bars, rubber feet shock absorbers, magnetic proximity switch, and other components. The major difference between Types A and B is that the plastic box which makes the outer shell is isolated from the TB flow meter system in Type B. In Type A, the magnetic proximity switch is connected and bound with the outer shell. Moreover, the bases for the TB were bound directly to the bottom of the outer shell. After reviewing the design of the TB, the weight of TB of Type B was reduced from Type A. Because the outline of the Type A structure was demonstrated in Shiraki *et al.* (2018), here we explain the structure and assembling procedure for Type B. Some modifications are necessary for readers including the size of materials for manufacturing TB flow meters because the assembling procedure and items cited in this report are only examples.

2.2.1 Structure and assembling of outer shell

The outer shell of the Type B TB flow meter system mainly comprises two plastic boxes. Item

Table 1. Items for a tipping bucket flow meter with prices (before tax). Prices were checked in December 2018 through internet tool shops, do-it-yourself stores, and so on.

part	Number	item	product name	spec and remarks	price (yen)	quantity
outer shell	1	plastic box	ST box 25	358mm × 238mm × 240mm	¥1,000	1
	2	plastic box	NC box 7	283mm × 158mm × 95mm	¥470	1
	3	iron bar	flat bar	300mm × 28mm × 2 mm (thickness)	¥210	1
	4	box connector	TS bulb socket	diameter type 20	¥70	1
	5	box connector	TS socket	diameter type 20	¥60	1
	6	rubber packing	drainage packing	32 mm	¥80	2
TB	7	plastic document case	Box 3 natural	92mm × 328mm × 223mm	¥100	1
	8	iron bar	flat bar	300mm × 28mm × 2 mm (thickness)	¥210	1
	9	iron bar	straight small iron tool	70mm	¥100	4
	10	caster	SKC-32NM	32mm wheel	¥90	2
	11	rubber feet	rubber cushion EG008	28mm × 18mm	¥120	2
	12	iron nail	nail	90mm	¥5	1
basement	13	proximity switch	IDEC DPRI-01	magnetic reaction	¥1,390	1
	14	basement wood	SPF 2 × 4	120mm (cut)	¥20	1
	15	basement wood	SPF 1 × 4	support board (80mm - 150mm)	¥20	3
	16	L-shaped rail	L-shape alminum angle	15mm × 15mm × 120mm (cut)	¥35	2
	17	C-shaped clamp	C-shaped fall protection	42mm	¥150	2
	18	iron bar	flat bar	300mm × 28mm × 2 mm (thickness)	¥210	1
	19	rubber feet	rubber cushion EG008	28mm × 18mm	¥120	6
total cost per unit (yen)					¥5875	

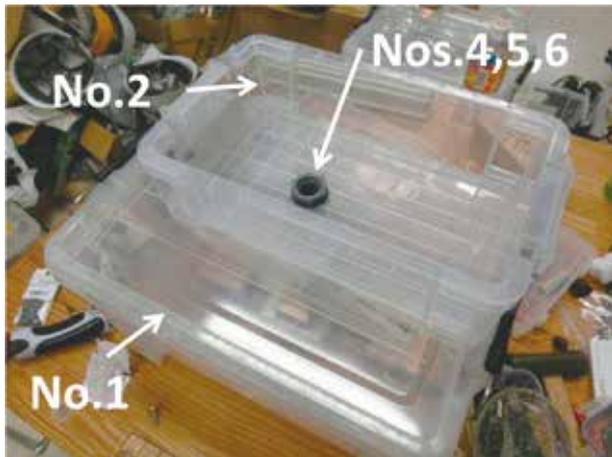


Fig. 3. Design of outer shell of the tipping bucket flow meter.

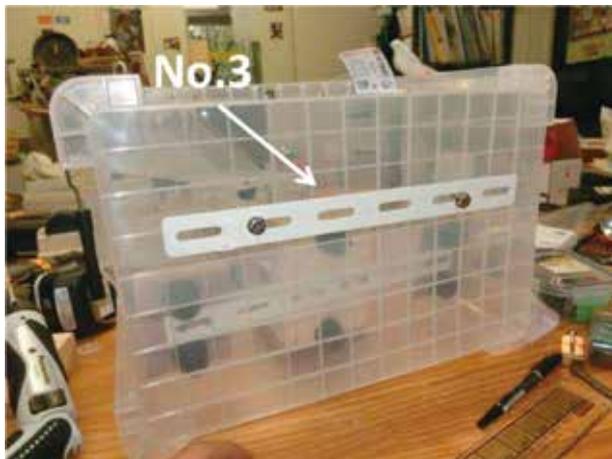


Fig. 4. Bottom of the outer shell.

lists for assembling the Type B TB flow meter are presented in Table 1. Numbers described in this section and in Fig. 3 to Fig. 12 for explaining assembly items correspond to numbers in Table 1.

Figure 3 presents outlines of two outer shell boxes. No. 1 is a main box to contain the TB main body. No. 2 is a box to receive inflow water. Nos. 1 and 2 are connected and bound with Nos. 4 and 5, which are used for connecting PVC water pipe with a socket and screw system. Rubber packings (No. 6) are used to prevent water leakage between Nos. 4 and 5.

Figure 4 shows the bottom of main box (No. 1). An iron bar (No. 3) is bound at the bottom with screws to connect a TB flow meter.

2.2.2 Structure and assembling of TB flow meter

Buckets for storing water and for tipping are made from a plastic document file (No. 7). Figure 5 shows the material cutting line. A router with a



Fig. 5. Plastic document file case with a cutting line for buckets.

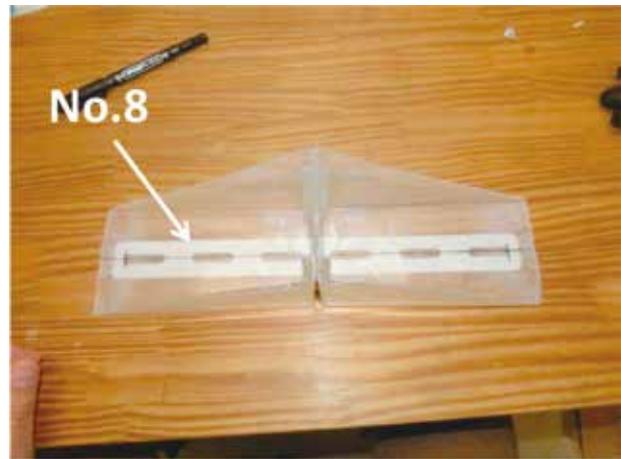


Fig. 6. Buckets and iron bar.

cutting saucer was used to cut No. 7. The cutting edges were then deburred. This item has some bumps at the bottom. It would be better to remove the bumps to maintain the horizontal line at the bottom of the buckets.

To guarantee the horizontal state and to reinforce the plastic buckets, a 300 mm iron bar (No. 8) is set with the buckets (see Fig. 6). Rubber feet (No. 11) are also set to each bucket. Then the bucket, iron bar, and rubber feet are connected. By connecting the plastic bucket with a screw, we used a rubber washer to prevent water leakage from the bucket (Fig. 7). In this case, because the corner of the bucket (or material No. 7) is not 90 deg, space exists among the buckets, although the top edges of the buckets are close together (see Fig. 6).

The rotating axis for the buckets is generated by uniting casters (No. 10). Four small iron bars

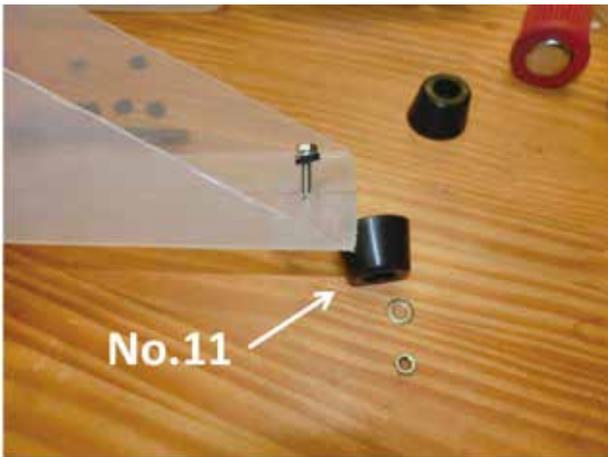


Fig. 7. Connecting rubber foot with a rubber washer.

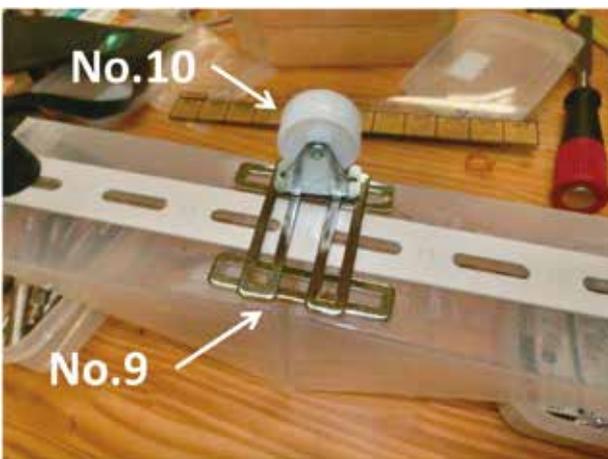


Fig. 8. Assembling caster for rotating axis with small iron bars.



Fig. 9. Outline of buckets and iron nail for proximate switch.

are used to connect the buckets and two casters (Fig. 8). The rubber washers are also used to prevent water leakage from buckets when screwed with the casters, iron bars, and buckets. An iron nail (No. 12) is connected with thermal glue at the lateral side of the buckets (Fig. 9) for

the reaction target of the magnetic proximity switch (No. 13).

2.2.3 Structure and assembling of basement

Figure 10 shows the wooden center base (No. 14) and steel rails (No. 16) to fix the TB casters. The caster placement is fixed with the C-shaped clamps (No. 17) by clamping the rails. The rails are deformed easily when clamped. Wooden spacers are set between rails to maintain a certain length for the casters.

At the bottom of the base, side wooden bases (No. 15) that receive the TB tipping are connected with iron bars (No. 18 and Fig. 11). Six rubber feet (No. 19) are set to keep the base stable.

A magnetic proximity switch (No. 13) is set on the wooden board (No. 15) and bound to the center basement (Fig. 12). This proximity switch detects the TB rotation when the TB is tipping and the rotation becomes horizontal. The clamp

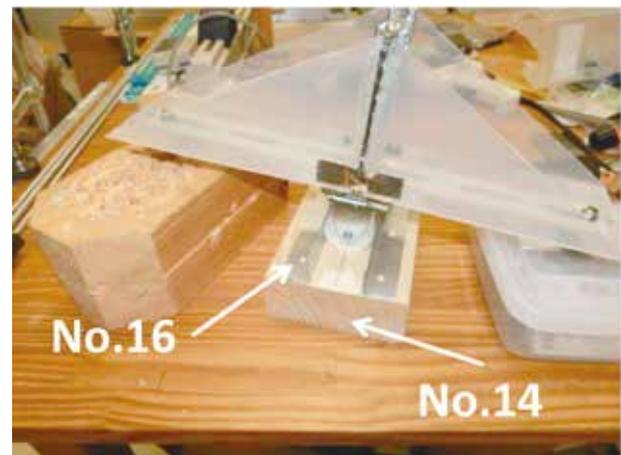


Fig. 10. Center basement and steel rails.

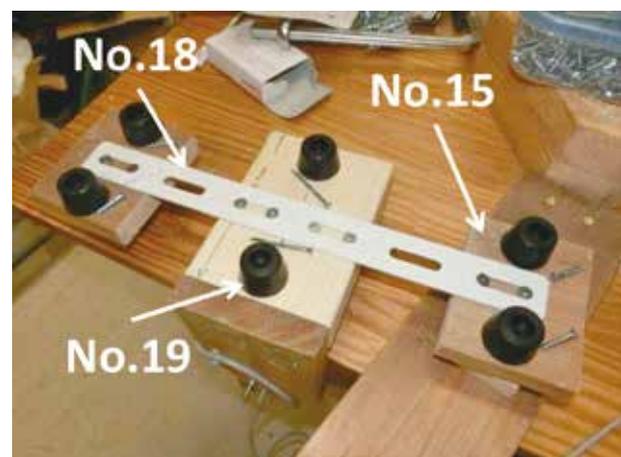


Fig. 11. Bottom of the basement.

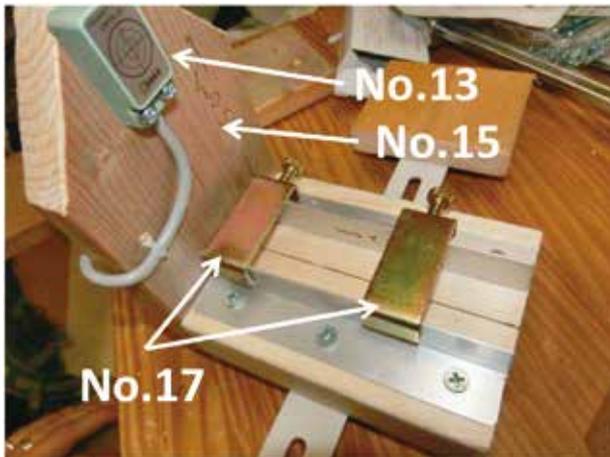


Fig. 12. Magnetic proximate switch and casters stopper.

placements (No. 17) are adjusted for errorless detection of rotation with a proximity switch. Figure 2 portrays the front view of the TB and the bases with appropriate scale. Table 1 shows that the total cost per unit including outer shell, TB parts and basements was less than 6,000 yen (about 50 US dollars) before tax, as of December 2018.

2.3 Calibration system

Figure 13 and Fig. 1 present the structure of the calibration system which produces constant water flux. The outer shell of the calibration system comprises two large plastic boxes (the same as No. 1 in Table 1) and one small plastic box (No. 2). The bottom box is set to be filled with water. Furthermore, a DC pump (12 V, 12 L/min; Damply) was set to circulate water from the bottom box to the top box. To supply DC



Fig. 13. Outline picture of calibration system.

electricity constantly and variably, we used an AC-DC converter (RWS100B-12, 12 V output; TDK-Lambda Corp.) and a DC-DC down adjustable converter (180077_JPN, 0-16.5 V output; Droking). The down-adjustable converter can change the DC output voltage. Therefore, the water flow rate supplied by the DC pump is changeable by changing the voltage.

The water flow rate supplied by the DC pump is monitored with a volumetric flow meter (OF10-ZAT-MR, 2.5 mL/pulse; Aichi Tokei Denki Corp.); the output pulse is recorded with pulse logger (LR5061; Hioki E.E. Corp.). The volumetric flow meter precisely measures the water quantity per pulse using an electric weight scale (translated 1 g as 1 ml), a stopwatch and a cup.

3. Results

3.1 Calibration system specification

Shiraki *et al.* (2018) examined a volumetric flow meter used for the calibration system, but it was re-examined for this experiment to improve the accuracy. Figure 14 shows the relation between water flow rate and water quantity per pulse measured using the meter. Earlier examinations demonstrated that the water quantity of one pulse is increased more rapidly at the lower range than the guaranteed low flow limit (5.3 ml/s). At a higher range than the rate of 10 ml/s, the quantity

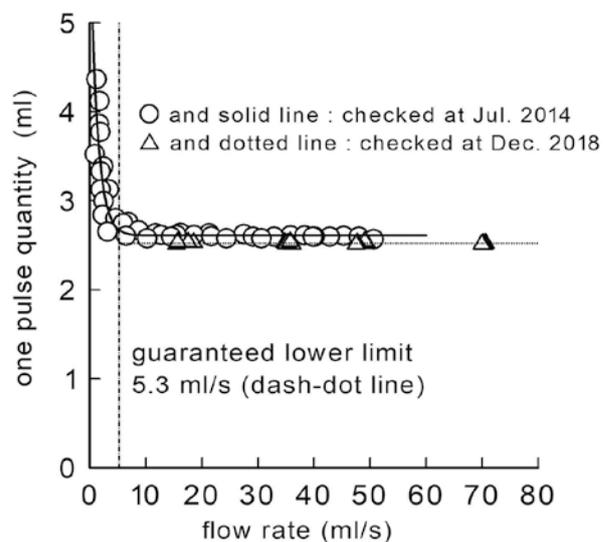


Fig. 14. Specifications of the volumetric flow meter for the calibration system.

for one pulse is constant. Although this constant value was 2.61 ml/pulse in an earlier examination, this value was changed to 2.52 ml/pulse for this examination. We used a value of 2.52 ml/pulse for this study and maintained a sufficiently higher

flow rate than 10 ml/s by controlling the adjustable DC converter.

Figure 15 presents sample data of volumetric flow meter records that were obtained and extracted while actual TB flow meter calibration was done with 1-s temporal resolution. Because the TB calibration was executed by measuring the time with a stopwatch while the buckets tipped 9–10 times continuously, the period of measurement was about 20 s to 150 s. We judged from Fig. 15 that this system can produce constant water flux during the calibration measurement. Judging from the counts displayed on the data-logger of volumetric flow meter, the water flow rate changed quickly when operating the DC converter and changing the voltage of the DC pump.

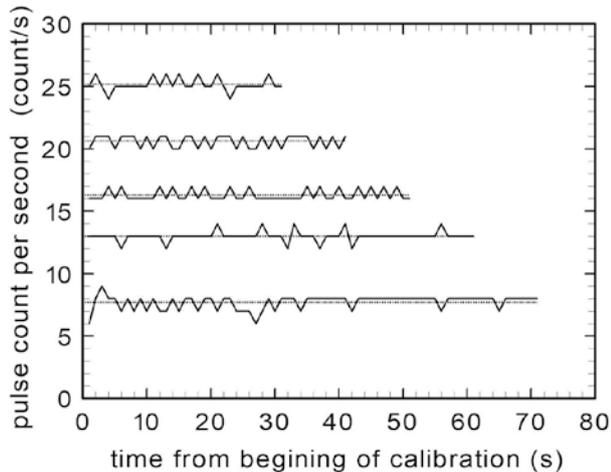


Fig. 15. Examples of temporal change of the flow rate of the calibration system. Solid lines represent the real counts data and dotted lines represent the average counts for each calibration test.

3.2 TB flow meters calibration

We assembled five Type B TB flow meters and

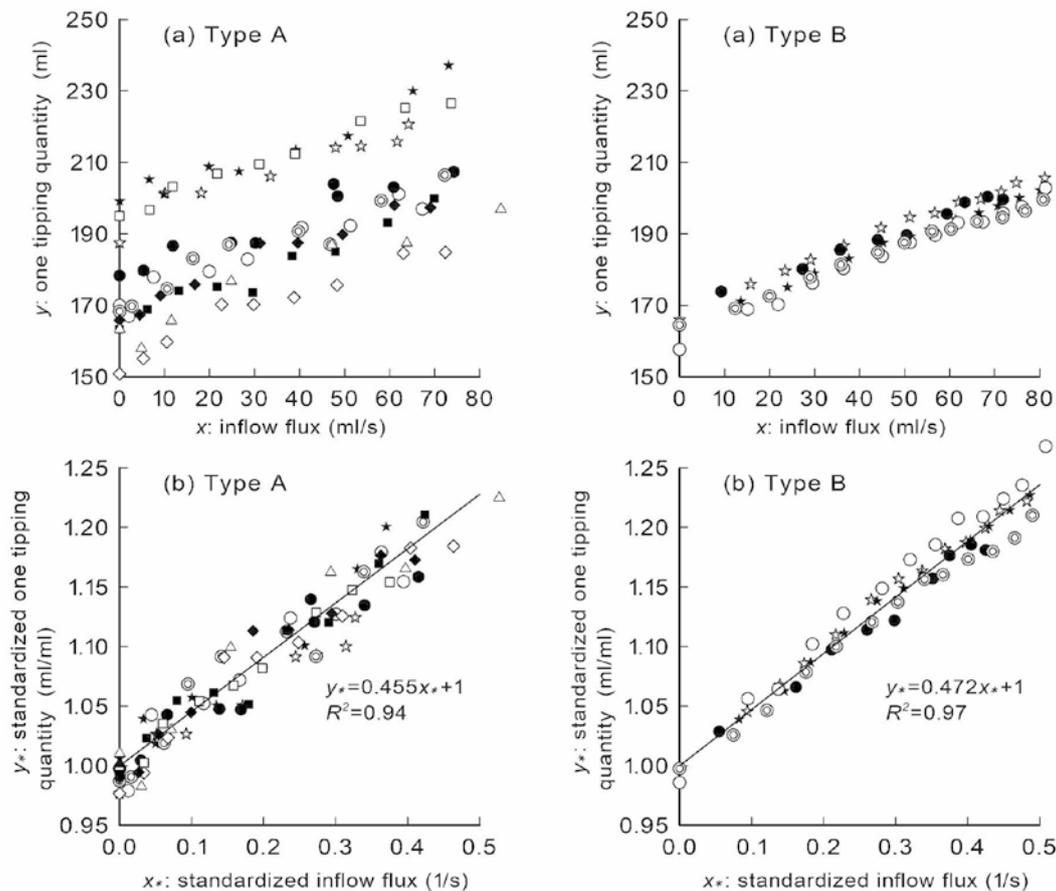


Fig. 16. Results of calibration of each tipping bucket flow meter both Type A and B: (a) individual results with real unit; (b) standardized results with the total regression line. The same symbols for (a) and (b) represent the same individual equipment.

Table 2. Results of linear regression analysis: a is the gradient of regression line; b is the intercept of the y axis; R^2 is the coefficient of determination

	ID	mark on Fig. 16	a	b	R^2
Type A	NG-A03	☆	0.432	191.9	0.94
	NG-A04	★	0.475	198.0	0.94
	NG-A05	○	0.450	170.4	0.94
	NG-A06	●	0.414	178.8	0.93
	NG-A07	◎	0.487	170.5	0.93
	NG-A08	◇	0.460	154.4	0.95
	NG-A09	◆	0.477	167.6	0.96
	NG-A10	□	0.446	195.9	0.98
	NG-A11	■	0.476	164.5	0.95
	2017-No.5	△	0.438	161.6	0.94
	*all of Type A			0.455	1
Type B	2018-No.1	☆	0.483	168.3	0.99
	2018-No.2	★	0.474	164.7	1.00
	2018-No.3	○	0.517	159.9	0.99
	2018-No.4	●	0.443	169.0	0.98
	2018-No.5	◎	0.432	164.9	0.99
	*all of Type B			0.472	1

*standardized by b value for each TB flow meter

used the calibration system to check the relation between inflow flux and the water quantity of one tipping. Figure 16 presents results of calibration together with 10 TB flow meters of Type A. Calibration for Type A TB flow meters was done without using this calibration system. Results were presented originally in a report by Shiraki *et al.* (2018). Regarding Type A, constant water flux was produced by making constant water head difference from the overflow tank. The inflow water fluxes were checked regularly when new water rates were produced. The original paper presents related details.

As shown in Fig. 16, we added static calibration results of both Types A and B. Static calibrations were done by pouring water slowly to check the water quantity of one tipping for inflow flux estimated as 0. As shown in Fig. 16(a), strong positive linear relations were apparent between the inflow flux and the water quantity of one tipping. Linear regression results are shown in Table 2, with a as the gradient of linear line, b as the y -intercept and R^2 as the coefficient of determination. Figure 16(b) portrays the standardized results of calibration. We calculated the standardized value by dividing the water

quantities with 0 flux tipping quantity derived from the regression analysis for each TB flow meter calibration. Consequently, 0 flux tipping quantities were defined as the value of b in Table 2. Therefore, y^* (standardized water quantity of one tipping in Fig. 16(b)) is calculated as y/b ; similarly, $x^*=x/b$ (details in Shiraki and Yamato, 2004 and Shiraki *et al.*, 2018). The lines in Fig. 16(b) represent regression lines for all TB flow meters for Type A and Type B calculated by setting the y axis intercept to 1.0.

4. Discussion

The proposed calibration system comprising a power unit, a DC water pump, and a volumetric flow meter described herein was sufficiently efficient to save time and water. The materials used for this study were inexpensive.

The effective lowest flow rate for this system was determined by the volumetric flow meter specifications. The assembled system can maintain constant water flow of approximately 10–80 ml/s. If a lower flow rate is needed, then the volumetric flow meter must be replaced to detect the lower flow range, with a pump that can supply a lower rate stably. For a higher flow rate, a more

powerful pump is needed.

Figure 16 and Table 2 show that the newly assembled TB flow meters (Type B) have smaller individual differences than Type A. Each TB flow meter shows a strong positive linear relation between the inflow flux and the water quantity of one tipping for Types A and B. The b values in Table 2 represent the water quantity of one tipping (ml) when the inflow flux is almost 0, from 160 to 170 in Type B, whereas those of Type A varied from 154 to 198. They indicate uniform characteristics for Type B, but further examinations must be made because the quantity of the examined individual equipment was small in Type B. Nevertheless, it can be described that the coefficients of determination (R^2) of Type B are higher than Type A. All equipment of Type B showed R^2 values greater than 0.98.

Regression lines for all standardized TB flow meters of Types A and B are presented in Fig. 16(b). Although each coefficient of determination is greater in Type B, the total coefficients of determination are similar for Type A ($R^2 = 0.95$) and Type B ($R^2 = 0.97$). Both Types show strong linearity. Furthermore, the gradient of the regression line is slightly higher in Type B.

This report presents examination of the inflow flux at most 0.5 (l/s) in a standardized unit description. This value indicates approximately one tipping every two seconds. Given this inflow flux, the relation between the flow rate and the water quantity of one tipping shows strong linearity. If these TB flow meters are used for inflow flux higher than 0.5 (l/s), then additional calibration tests are needed for the higher inflow range because there is no guarantee of linear relation at that range. Considering the uncertainties for the higher flow and high frequent tipping rate, it is probably adequate to make a higher limit of, at most, one tipping per two seconds.

Figure 17 shows the bottoms of both TB types. We reviewed the structure of TB of Type A; steel components have been reduced in Type B. The average weights of TB samples were consequently



Fig. 17. Differences of the structure between Type A (left) and B (right) (bottom view).

decreased from 464 g (Type A) to 380 g (Type B). Presumably, the TB weight reduction produces uniformity of TB flow meters and sensitive reactions to the bucket tipping. It is also necessary to check the robustness of handmade TB flow meters after installation in the field and exposure to ultraviolet radiation. The accumulation of information related to equipment deformation and deterioration of efficiency should be specifically examined as future subjects.

One can also alter the water quantity of one tipping by substituting larger or smaller buckets. Calibration checks should be done every time when assembling a new TB flow meter. Special care should be taken if the standardized inflow flux rate exceeds 0.5 (l/s) because the regression equation might be different from that of the lower flow rate.

5. Conclusion

We assembled a calibration system to check TB flow meter specifications. The system proposed herein, comprising a power unit, a DC pump, and a volumetric flow meter, can produce constant water flux of approximately 10–80 ml/s. Change of the constant flow rate can be done merely by changing the DC voltage with an adjustable converter. This proposed calibration system saves much time and water.

Modified handmade TB flow meters were examined using the calibration system. The newly

modified TB flow meters show high uniformity and higher linearity than earlier meters. Presumably, the TB weight reduction can further improve TB flow meter specifications. Although further examinations such as robustness test for field usage are needed, inexpensive handmade TB flow meters and calibration systems with good accuracy can probably be produced.

Acknowledgement

We thank all of the laboratory members to help to obtain the experimental data and field observations. This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 16H02996.

References

- Calder, I. R., Kidd, C. H. R. (1978) A note on the dynamic calibration of tipping-bucket gauges. *Journal of Hydrology*, 39: 383–386. DOI 10.1016/0022-1694(78)90013-6.
- Holwerda, F., Bruijnzeel, L. A., Scatena, F. N., Vugts, H. F., Meesters, A. G. C. A. (2012) Wet canopy evaporation from a Puerto Rican lower montane rain forest: the importance of realistically estimated aerodynamic conductance. *Journal of Hydrology*, 414–415: 1–15. DOI 10.1016/j.jhydrol.2011.07.033.
- Iida, S., Levia, D. F., Shimizu, A., Shimizu, T., Tamai, K., Nobuhiro, T., Kabeya, N., Noguchi, S., Sawano, S., Araki, M. (2017) Intrastorm scale rainfall interception dynamics in a mature coniferous forest stand. *Journal of Hydrology*, 548: 770–783. DOI 10.1016/j.jhydrol.2017.03.009.
- Konishi, S., Tani, M., Kosugi, Y., Takanashi, S., Md Sahat, M., Rahim Nik, A., Niyama, K., Okuda, T. (2006) Characteristics of spatial distribution of throughfall in a lowland tropical rainforest, Peninsular Malaysia. *Forest Ecology and Management* 224: 19–25, DOI 10.1016/j.foreco.2005.12.005.
- Liang, W.-L., Kosugi, K., Mizuyama, T. (2011) Soil water dynamics around a tree on a hillslope with or without rainwater supplied by stemflow. *Water Resources Research* 47: W02541. DOI 10.1029/2010WR009856.
- Shimizu, T. (2015) Examination for quantitative estimation of evapotranspiration from a complex terrain forest. Ph.D. thesis, The University of Tokyo, pp. 111. (in Japanese)
- Shimizu, T., Kobayashi, M., Iida, S., Levia, D. F. (2018) A generalized correction equation for large tipping-bucket flow meters for use in hydrological applications, *Journal of Hydrology*, 563: 1051–1056. DOI 10.1016/j.jhydrol.2018.06.036.
- Shiraki K, Sun J, Kagami S, Nagai K, Yokoyama Y, Koyama Y, Negi K, Matsumono E, Kawase S. (2018) Accuracy of low-cost flow meters for stemflow observation including handmade tipping buckets flow meter. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, 31(5): 380–392. DOI 10.3178/jjshwr.31.380. (in Japanese with English summary)
- Shiraki, K., Yamato, T. (2004) Compensation of tipping bucket flow meters. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, 17: 159–162. DOI 10.3178/jjshwr.17.159. (in Japanese with English summary)
- Takahashi, M., Giambelluca, T. W., Mudd, R. G., DeLay, J. K., Nullet, M. A., Asner, G. P. (2011) Rainfall partitioning and cloud water interception in native forest and invaded forest in Hawai'i Volcanoes National Park. *Hydrological Processes*, 25 (3): 448–464. DOI 10.1002/hyp.7797.

資料

多摩川中流域河川敷における中型食肉目動物の生息状況と
ホンドキツネの繁殖状況劉 広明^{*1}・金子 弥生^{*1}Breeding ecology of red fox (*Vulpes vulpes japonica*) in
Tama River of Tokyo JapanGuangming LIU^{*1}, Yayoi KANEKO^{*1}

本研究では多摩川中流域の都市化の程度の異なる羽村地域と府中地域を比較対照地域として、①多摩川中流域における中型食肉目動物の生息状況、②注目種としてホンドキツネ (*Vulpes vulpes japonica*) の生態を調査し、ハビタット保全の基礎資料とすることを目的とした。2013年7月から2014年5月まで羽村地域と府中地域における痕跡調査を行った。中型食肉目動物の種数は、羽村地域が6種、府中地域が3種であり、都市化程度が高い府中地域では都市化程度が低い羽村地域より少なかった。年間の痕跡総数も同様に、都市化程度が高い府中地域は羽村地域よりも少なかった。これは都市化による生息地の減少と分断化の影響のためと考えられた。羽村地域ではキツネの巣穴を発見し、成獣2個体と幼獣2個体が巣穴を使用して子育てしていることを観察した。

キーワード：巣穴、痕跡、カメラトラップ、河川敷

1. はじめに

多摩川は山梨県塩山市の笠取山(標高1,953m)にその源を発し、東京都の西部から南部を流下し、東京都大田区羽田地先で東京湾に注ぐ。幹川流路延長138km、流域面積は1,240km²の一級河川である。下流域から上流域にかけて都市化が進行する傾向があり、流域内の人口は、約425万人(平成7年度国勢調査に基づく算定値)で、流域面積の約3分の1を占める中・下流の平野部に集中している。多摩川は首都圏に残された広大な水と緑の空間であり、年間約2,000万人が訪れ、釣り、散歩、スポーツなど多様で活発な活動が行われている(国土交通省関東地方整備局 2001)。これらの人間活動を目的とした河川敷の開放が進む中、自然地の減少への懸念から、多摩川河川環境管理計画(のちの多摩川水系河川整備計画)において、5つのゾーンと8つの機能空間を設定し、多摩川の自然環境の保全と秩序ある利用

を規定した。8つの機能空間中の「生態系保持空間」とは、広域的にみた貴重な生態系を保持しようとする空間である。本研究の調査地にも存在する生態系保持空間では、野生生物の生息地の分断化を防ぎ、生態系の水平的なつながりを回復させて、生物多様性を確保するエコロジカルネットワークの形成が必要と考えられる(都市緑化技術開発機構 2006)。都市河川は連続性があり、河川敷の草地、河畔林などは野生動物の重要な生息地、移動経路(小原 2006; 千々岩 2006)のため、エコロジカルネットワークのコリドーの機能を持つと考えられる。

東京では、都市化の進行とともに生息する食肉目動物の分布が後退した(千羽 1973)。1920年代には東京の区部にも生息していたホンドタヌキ(*Nyctereutes procyonoides viverinus* 以下、タヌキ)、ホンドキツネ(以下、キツネ)、ニホンイタチ(*Mustela itatsi* 以下、イタチ)の分布域は徐々に西部へ後退していき、1970年代には八王子市の山地

2018. 12. 11受付; 2019. 2. 13受理

^{*1} 東京農工大学農学部 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

† 連絡担当著者および連絡先: 金子弥生(東京農工大学農学部) 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8
Tel: 0423-67-5737 E-mail: ykaneko@cc.tuat.ac.jp

部より西の地域にしか見られなくなった(神田・高岡 2013)。しかし、1990年代からタヌキは東京郊外の緑地や住宅地(山本 1993; 金子ほか 2008; 神田・高岡 2013), 皇居, 赤坂御用地(Endo et al. 2000; 酒向ほか 2008)など都市緑地で頻繁に観察されるようになった。イタチは都市部においては多摩川河川敷に残存するのみで生息数が減少した(東 1988; 藤井ほか 1998)。東京都の都市部におけるキツネについての研究は近年行われていないが, 都市域においてもキツネやイタチなど食肉目動物の生息条件を明らかにして, 生息を回復し, ひいては多様性の確保がのぞまれる。

そこで, 本研究では多摩川中流域の都市化の程度の異なる羽村地域と府中地域を比較対照地域として, 多摩川中流域における中型食肉目動物の生息状況を明らかにすることを目的とした調査を行った。また, 調査の過程でキツネの繁殖を観察したため, これも併せて報告する。

2. 調査地および方法

2.1. 調査地

本研究の調査地として, 多摩川中流域における羽村地域と府中地域2つを設定した(Fig. 1)。両調査地域とも「生態系保持空間」を含んでいる。

羽村地域は福生市・羽村市・あきる野市にまたがり, 多摩川橋～羽村堰の間約3.5kmの多摩川の河川敷である。当地域の流路は左岸よりで, 右岸は広い河川敷を形成している。河川敷の大部分は高水敷で, 現在では洪水時も流路となることはほとんどなく, 比較的安定した場所で, 樹林となっている。植生はハリエンジュ群落(*Robinia pseudoacacia* comm.), クズ群落(*Pueraria lobata* comm.)など木本群落とツルヨシ群集(*Phragmitetum* association.), ヨモギーメドハギ群落(*Artemisia-Lespedeza juncea* comm.)といった草本群落が優占している。河川敷の左岸に公園3ヶ所, 堤防には利



Fig. 1. Two study areas, Hamura and Fuchu, in the middle stream of Tama River of Tokyo, Japan.

用者の多いサイクリングロードがあり, 右岸には公園1ヶ所と小さい運動場1ヶ所がある。周辺の環境は, 左岸側は福生市市街地に接しており, 右岸側は住宅地と砂利堆積場を挟んで河岸段丘の草花丘陵に接している。

府中地域は府中市, 稲城市, 多摩市にまたがり, 是政橋～京王線橋梁の間約3.5kmの多摩川の河川敷である。流路は折れ曲がって, 中洲が形成されている。この地域は洪水時に流路が河川敷に広がるが, 中洲の一部は高水敷で, 流路にならない。植生はオギ群落(*Miscantheum* comm.), ツルヨシ群集(*Phragmitetum* association.)など草本群落が優占しており, クズ群落(*Pueraria lobata* comm.), オニグルミ群落(*Juglans ailantifolia* comm.)など木本群落が点在している。河川敷の左岸に大きなグラウンド3ヶ所とバーベキュー広場1ヶ所, 羽村地域と同様に堤防にサイクリングロードがあり, 右岸には警察犬訓練場1ヶ所がある。周辺環境は, 府中市・稲城市・多摩市市街地に囲まれ, 右岸側の一部(大栗川との合流点から下流へ)は多摩丘陵の段丘崖に位置するゴルフ場に接している。

また, 羽村地域は都心(東京駅)から約40kmで, 周辺の福生市, 羽村市, あきる野市の人口密度はそれぞれ5,744人/km², 5,735人/km², 1,117人/km²(東京都総務局統計部 住民基本台帳平成26年1月)で, 3市の平均人口密度は2,112人/km²である。府中地域は都心から約25kmで, 周辺の府中市, 多摩市, 稲城市の人口密度はそれぞれ8,633人/km², 7,006人/km², 4,795人/km²(東京都総務局統計部 住民基本台帳平成26年1月)で, 3市の平均人口密度は7,122人/km²である。

2.2. 食肉目動物の生息調査

多摩川中流域における中型食肉目動物相を明らかにするために, 2013年7月から2014年5月まで踏査による生息調査を行った。調査期間を4つの季節にわけ, 夏(2013年7～8月), 秋(2013年9～11月), 冬(2013年12月～2014年2月), 春(2014年3～5月)と設定した。

2013年7月～2014年5月に川の両側の河川敷を踏査し, 痕跡調査を行った。調査地内をくまなく歩いて, 足跡, 糞, 巣穴, 食痕, けもの道などの痕跡を探した。けもの道があった場合, けもの道に沿って踏査し, 痕跡の発見に努力した。足跡, 糞を発見した場合はサイズ, 状態, におい, 地点とサンプルの

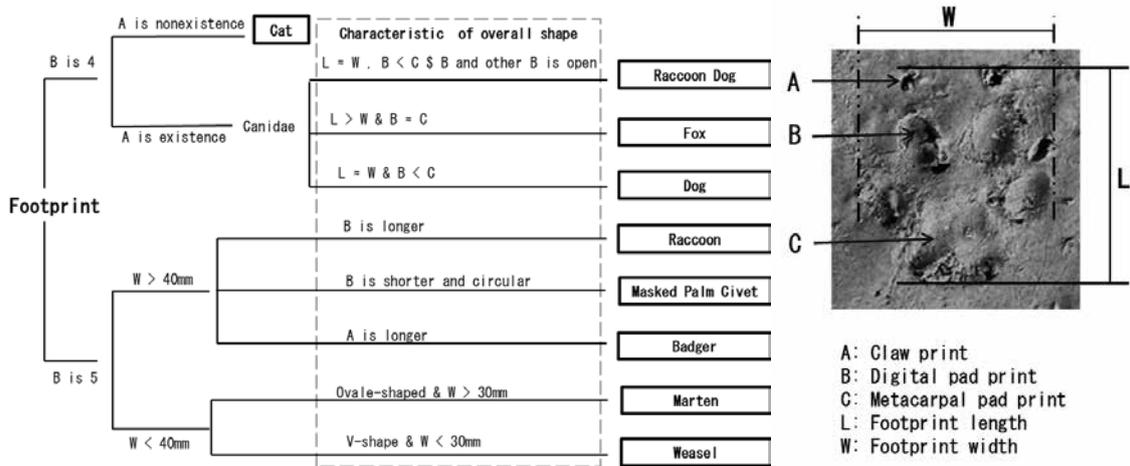


Fig. 2. Species determination flowchart for carnivore footprints.

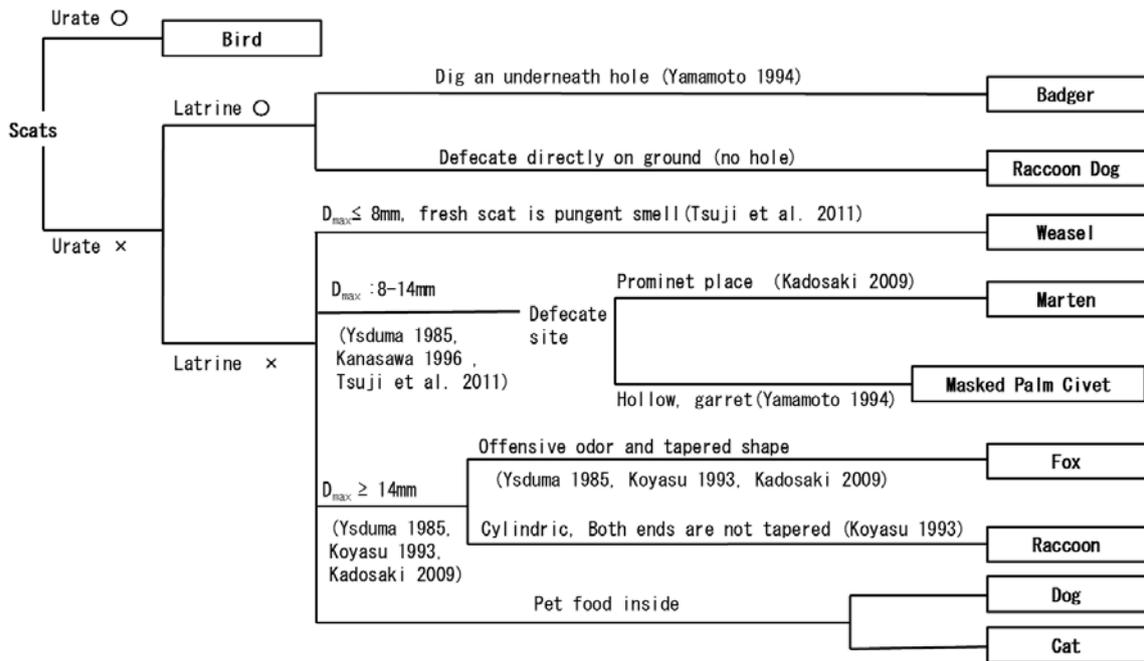


Fig. 3. Scats identification flowchart for carnivore species. Dmax is maximum diameter of the scat.

写真，を全てを記録し，足跡による種判定フロー (Fig. 2) と糞による種判定フロー (Fig. 3) によって種判定を行った。足跡による種判定フローは安間 (1985)，鳥居 (1989)，子安 (1993)，今泉 (2006)，門崎 (2009)，を参考に，糞による種判定フローは安間 (1985)，鳥居 (1989)，子安 (1993)，山本 (1994)，金澤 (1996)，門崎 (2009)，今泉 (2006)，辻ほか (2011) を参考にして作成した。また，見つかった糞はチャック付きビニール袋に入れて，当日研究室に持ち帰り， -20°C の冷凍庫に入れて保管した。また，調査努力は痕跡の発見率への影響を考慮して，金子ほか (2009) を参考にし，1 調査地域 1 季節あたりの最低調査距離は 30km 以上に設定し，

同じ場所の再調査は 1 週間以上の間隔をあけて実施した。一年を通じた羽村地域と府中地域における中型食肉目の生息種数を比較するため，4 つの季節ごとの種数について Mann-Whitney U 検定を行った。

2.3. キツネの繁殖状況

2013年 8 月に羽村地域の痕跡調査でキツネを目撃した。その後，河川敷におけるキツネの行動を明らかにするため，2013年 8 月 23 日から 11 月 28 日まで早朝時間帯 (5:00~7:00) に，夏 3 回，秋 4 回計 7 回の直接観察を行った。また，2014年 4 月の痕跡調査では，キツネの巣穴を確認した。キツネの繁殖状況を明らかにするため，2014年 5 月 26 日から 2014

年6月21日まで巣穴の前に赤外線カメラ（岡潮株式会社販売，中国製，KeepGuard KG690NV）3台を設置し撮影を行った。

3. 結果

3.1. 多摩川中流域における中型食肉目の生息状況

2013年7月から2014年5月の期間に生息調査で確認された痕跡の詳細について，羽村地域は合計206件，府中地域は101件（Table 1）と，羽村地域の方が2倍以上の値を示した。

各調査地域で確認された中型食肉目動物の種数は，全期間で羽村地域は6種，府中地域は3種であり，季節ごとの中型食肉目の種数は，府中地域では羽村地域より有意に少なかった（Mann-Whitney U検定：p=0.03<0.05，季節ごとの種数は羽村地域：5.25±0.96，府中地域：1.75±0.96，Fig. 4）。季節ごとの内訳を見ると，羽村地域では夏に4種（キツネ，タヌキ，イタチ，アライグマ），秋に6種（キツネ，タヌキ，イタチ，テン，アライグマ，ハクビシン），冬と春には5種（キツネ，タヌキ，イタチ，アライグマ，ハクビシン）が確認された。府中地域では夏に1種（タヌキ），秋に3種（タヌキ，イタチ，ア

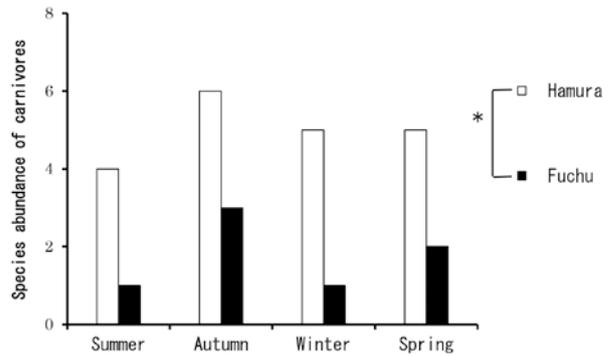


Fig. 4. Species abundance of carnivores in each study area of the middle stream of Tama River between 2013 and 2014.

* statistically significant differences.

ライグマ），冬に1種（タヌキ），春に2種（タヌキ，イタチ）が確認された。

羽村地域と府中地域ともに確認できた種はタヌキ，イタチとアライグマであり，タヌキは両地域とも年間を通して確認された。種別に見ると府中地域のタヌキの痕跡数（合計89件）は羽村地域（合計17件）より多かった。イタチの痕跡数は羽村地域で年間を通して確認できたが，府中地域では秋と春のみであった，痕跡数はタヌキと逆で，羽村地域（合計

Table 1. The field sign details for carnivores in Tama River of Tokyo, Japan between 2013 and 2014. (D: Direct observation, F: Foot print, S: Scat, Sk: Skull, L: Latrine.)

a. Hamura area

Season	Survey distance (km)	Fox			Raccoon Dog	Weasel			Marten	Masked Palm Civet		Badger	Total number
		D	F	S	F	D	F	S	S	F	F	Sk*	
Summer	32.0	2	5	29	2			34		2			
Autumn	32.2		10	17	3	1	6	34	2	5	1		
Winter	40.4		8	3	6		3			4	1		
Spring	32.8	2	4	2	6	1	10	1		2	1	1	
Sub total		4	27	51	17	2	19	69	2	11	3	1	
Total			82		17		90		2	11	3	1	206

*: The badger's skull was found in spring, but time of death was identified.

b. Fuchu area

Season	Survey distance (km)	Raccoon Dog			Weasel		Raccoon	Total number
		D	F	S	F	S	F	
Summer	32.5			6				
Autumn	32.9		16	14	5	4	1	
Winter	40.8	2	25	13				
Spring	32.9		11	2	2			
Sub total		2	52	35	7	4	1	
Total			89		11		1	101

90件)が府中地域より多かった。アライグマはイタチと同様に、羽村地域で4季節とも確認され、合計11件あったが、府中地域では秋(1件)のみであった。

羽村地域で年間通じて痕跡を確認できた種はキツネ、タヌキ、イタチ、アライグマであった。キツネ(合計82件)とイタチ(合計90件)の痕跡はタヌキ(合計17件)、アライグマ(合計11件)より多かった。痕跡数の季節変化を見ると、キツネの痕跡は夏36件(目撃2件、足跡5件、糞29件)、秋27件(足跡10件、糞17件)、冬11件(足跡8件、糞3件)、春8件(目撃2件、足跡4件、糞2件)で、夏から春にかけて減少した。他の痕跡は、キツネの巣穴1ヶ所を確認できた。タヌキの痕跡は足跡のみで、夏から春までやや増加した。アライグマの痕跡も足跡のみで、秋にやや増加し、春に減少した。府中地域では年間通じて痕跡を確認できた種はタヌキであった。また、

冬の調査努力量は他の季節より多かったにもかかわらず、冬の全体的な痕跡数は減少した。

また、羽村地域の春の生息調査ではアナグマの頭骨(Fig.5. 全長は105.9mm, 頭骨幅は63.0mm, 頭骨高は44.3mm, 上顎の歯式は3・1・3・1であった)が発見された。しかし、頭骨は白骨で上顎のみで、下顎及び体部分の骨は見つからなかったため、死亡時期は不明である。

3.2. 羽村地域におけるキツネの繁殖および河川敷の利用状況

夏の生息調査(2013年8月18日)において、羽村地域にキツネ2個体をはじめて目撃した(Table 2)。キツネは総計3回目撃され、1回目は2013年8月23日5:40にキツネ1個体が河川敷でおいを嗅ぎながら、蛇行して低速で走り、2~3分後河畔

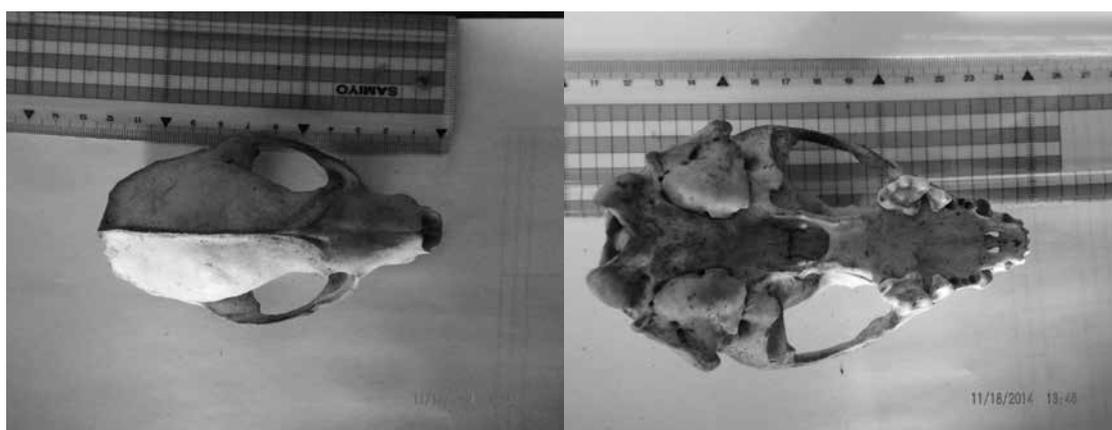


Fig. 5. The photographs of Badger's skull that was found in Hamura area of Tama River on 2014.4.5. Total skull length (L): 105.9mm. Skull width (W): 63.0mm. Skull height (H): 44.3mm. The maxillary dental formula: 3・1・3・1

Table 2. Direct observation of fox in Hamura area of Tama River between 2013.8 and 2013.11

Season	Date	Time	Numbers of individuals	Behavior
First observation	2013.8.18	6:00 and 6:20	2	A fox took rest in bush, Another one foraged
Summer	2013.8.23	5:40	1	The fox foraged and run after 2,3 minutes
	2013.8.24	-	-	-
	2013.8.30	5:34	1	Foraging, Marking, Stayed in riverbed about 10 minutes
Autumn	2013.10.12	5:37	2	Two individuals of fox frolicked about 10 minutes in the riverbed
	2013.10.19	-	-	-
	2013.11.03	-	-	-
	2013.11.28	-	-	-

-: Fox was not observed

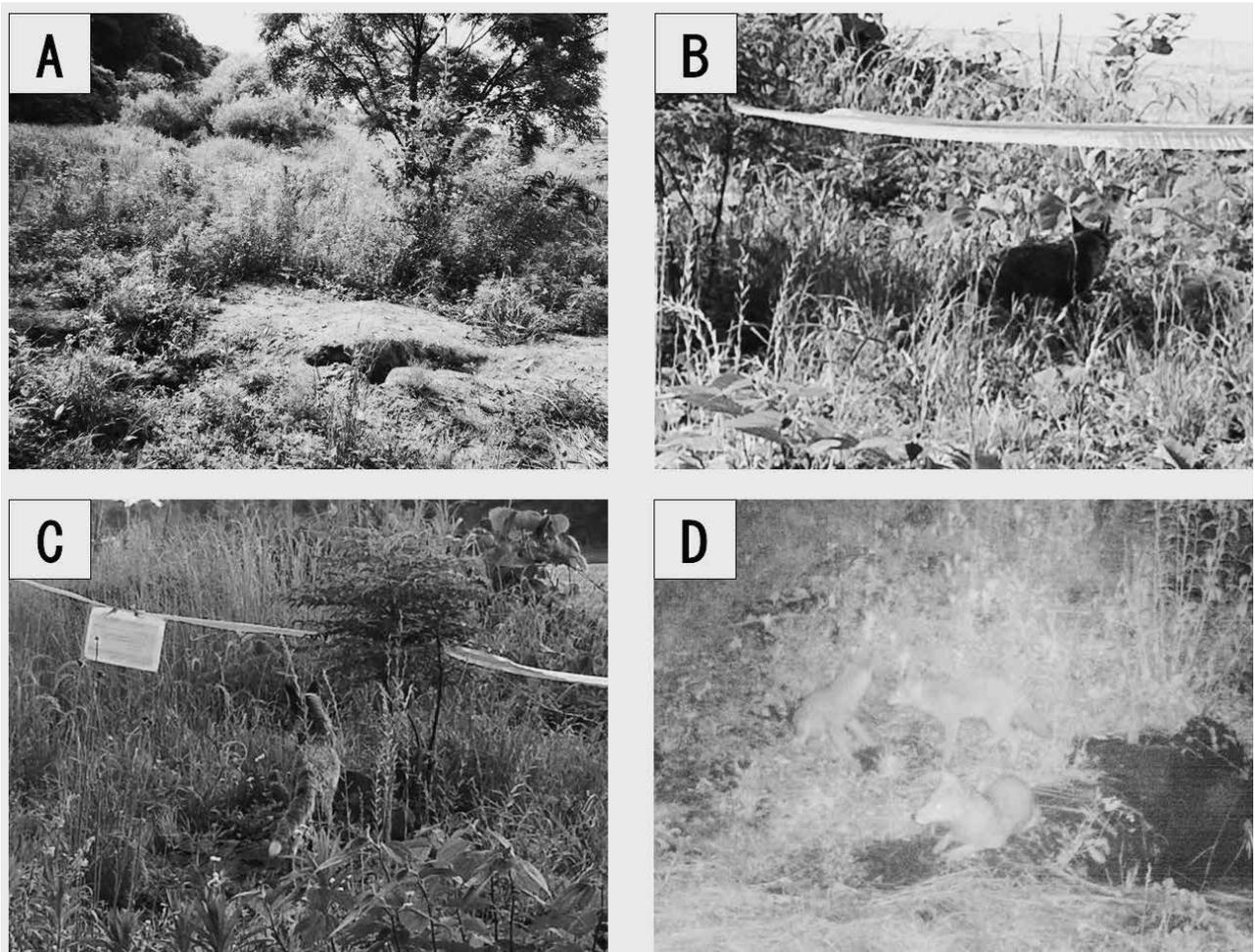


Fig. 6. The photographs is about fox burrows and fox in Hamura area of Tama River between 2014.5.26 and 6.21 using camera traps.
 A: the photographs of fox's burrows. B: an adult fox.
 C: another adult fox (male). D: two cubs and an adult fox.

林に入った。2回目は2013年8月30日5:34に、尾先が白い8月23日の個体と別のキツネ1個体が尿によるマーキングを行いながら餌を探し、河川敷に10分程滞在した。3回目は2013年10月12日5:34からキツネ2個体が古い布を奪いあいながら、10分程戯れあった。その後、2014年4月20日10:25にキツネの巣穴を発見し、幼獣1個体と成獣1個体を目撃した。その時、幼獣は一旦巣穴を出て、またすぐ戻った。成獣は巣穴から40m程はなれた河畔林の中にいた。

その後の2014年5月26日から6月21日にかけての巣穴前に赤外線自動撮影カメラをかけて行った調査により、幼獣が成獣と巣穴において土を掘ったり、遊んだりする行動が見られた (Fig. 6)。幼獣の体サイズは成獣の半分程度であった。成獣2個体が繁殖にかかわり、幼獣が少なくとも2個体生まれ、計4個体が生息していることが明らかとなった。

4. 考察

4.1. 多摩川中流域における中型食肉目の生息状況の地域差

今回の生息調査の結果から、中型食肉目の種数と痕跡数は都市化程度が高い府中地域は都市化程度が低い羽村地域より少なかったことが明らかになった。この結果は Ordeñana et al. (2010) の食肉目動物の種の豊富さ (特に在来種) は都市化程度と負の相関であったという結果と一致した。都市化は様々な面で食肉目動物に影響している。例えば、生息地の減少と分断化、遺伝子交流の阻害、ロードキル、人間活動からの影響などがあげられる (Ordeñana et al. 2010)。本研究調査を行った府中地域は、大部分が河川敷の外側は住宅密集地に囲まれ、右岸側の一部 (大栗川との合流点から下流へ) が多摩丘陵の段丘崖に位置するゴルフ場に隣接して

いる。しかし、段丘崖と水再生センターの建物壁は連続し、食肉目動物の移動の障害物になると考えられる。一方、羽村地域では、右岸の一部が草花丘陵と連続している。食肉目動物は草花丘陵に移動し、さらに奥山へ分散し、遺伝子の交流が可能である。一方、草花丘陵から多摩川河川敷をコリドーとして利用し、移動して、下流域の個体群の供給源になることが考えられる。

4.2. 多摩川中流域河川敷のキツネの生息地としての利用

食肉目動物はそれぞれの生態学的な特徴（体サイズ、食性、行動圏、生活習性、人間への警戒心など）を有するため、都市化による生息地分断化への敏感度が異なる（Crooks 2002）。羽村地域においてはキツネの痕跡が通年確認されたこと及び繁殖例が確認されたことから、本調査地はキツネの生活環境としての繁殖場所、隠れ場所、食物資源という3つの構成要素（中園 1989）を満たしたと考えられる。草原はキツネの好適な育仔環境（Nakazono and Ono 1987）であると知られている。本調査地の巣穴は河川敷の高水敷の開いた草地に位置した。巣穴の近くにある河畔林は草と灌木も茂った環境であり、キツネの隠れ場所を提供する。また、繁殖に関して、キツネの妊娠期間は52日前後（中園 1996）で幼獣は生後6週間ほどから巣穴の外へ出てくる（Sheldon 1949）ため、2014年4月20日に幼獣（1ヶ月程）が巣穴から出てきた姿を目撃したことからキツネは1月中上旬に交尾を行い、3月上旬に出産したであろうと予想された。キツネの産仔数は2～7頭（中園 1996）であると知られているが、本調査地では少なくとも幼獣2頭が確認された。今までに、ホンドキツネの都市域における繁殖情報が報告されていないため、3月が出産時期であることが示唆されたことや、少なくとも2頭の幼獣が確認されたことの新規性は高く、今後の本地域における繁殖の継続性について、さらに調査が行われることが望ましい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、東京農工大学植生管理学研究室の星野義延准教授には、参考資料を拝見させていただくとともに、数多くのご助言をいただいた。本大学植生管理学研究室の同期で増田知美氏は、キツネの目撃情報を教えてくださり、植生図について相談に乗っていただいた。本研究室の久野真

純氏、三橋伊蓆氏、佐藤拓真氏には在学中に野外調査の支援をいただいた。以上の皆様に心から深く感謝申し上げます。本研究の一部はJSPS 科研費（No. 17H03960）による助成を受けて行った。

5. 引用文献

- 千々岩哲（2006）川辺林と残存林がホンダヌキ（*Nyctereutes procyonoides viverrinus*）の行動圏利用に果たす役割。矢作川研究, 10 : 85-96.
- Crooks, K. R. (2002) Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation Biology*, 16 : 488-502.
- Endo, H., Kuramochi, T., Kawashima, S., Yoshiyuki, M. (2000) On the masked palm civet and the raccoon dog introduced to the Imperial Palace, Tokyo, Japan. *Memoirs of the National Museum of Nature and Science*, 35 : 29-33.
- 藤井猛・丸山直樹・神崎伸夫（1998）多摩川中流域河川敷におけるニホンイタチの食性の季節的变化。哺乳類科学, 38 : 1-8.
- 東英生（1988）多摩川河川敷におけるイタチの生息状況の把握並びに行動圏の調査（ラジオテレメトリー法）。(財)とうきゅう環境浄化財団助成研究報告書, 50pp.
- 今泉忠明（2006）アニマルトラック・バードトラックハンドブック：野山で見つけよう動物の足跡。自由国民社, 128 pp.
- 門崎允昭（2009）野生動物調査痕跡学図鑑。北海道出版企画センター, 494 pp.
- 金澤文吾（1996）表日光における食肉目5種の食性の比較分析。東京農工大学大学院修士論文, 39 pp.
- 神田聡美・高岡貞夫（2013）川崎市西部におけるホンダヌキとハクビシンの分布図の作成。専修自然科学紀要, 44 : 43-51.
- 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.
- 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.
- 国土交通省関東地方整備局（2001）多摩川水系河川整備計画（直轄管理区間編）。国土交通省関東

- 地方整備局, 50 pp.
- 子安和弘 (1993) フィールドガイド足跡図鑑. 日経サイエンス社, 東京, 178 pp.
- Nakazono, T., Ono, Y. (1987) Den distribution and den use by the red fox *Vulpes vulpes japonica* in Kyushu. *Ecological Research* 2(3) : 265-277.
- 中園敏之 (1996) ホンドギツネ. 日本動物大百科 1 哺乳類 I. pp. 122-123. 平凡社, 東京.
- 中園敏之 (1989) 九州におけるホンドキツネのハビタット利用パターン. *哺乳類科学*, 29 : 51-62.
- 小原嘉明 (2006) 多摩川の河川敷環境がコリドーとして山間部と市街地に孤立したアカネズミ個体群をつないでいる可能性に関する保全遺伝生態学的研究. (財) とうきゅう環境浄化財団助成研究報告書, 43 pp.
- Ordeñana, M. A., Crooks, K. R., Boydston, E. E., Fisher, R. N., Lyren, L. M., Siudyla, S., Van Vuren, D. H. (2010) Effects of urbanization on carnivore species distribution and richness. *Journal of Mammalogy*, 91 : 1322-1331.
- 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. 国立科学博物館研究報告 A 類 (動物学), 34 : 63-75.
- 千羽晋示 (1973) 動物の生息環境の変化と退行現象 (失われゆく東京の自然大都市の自然の解析 (特集)). 季刊自然科学と博物館, 40 : 69-73.
- Sheldon, W. G. (1949) Reproductive behavior of foxes in New York state. *Journal of Mammalogy*, 30: 236-246.
- 東京都総務局統計部 住民基本台帳による東京都の世帯と人口 平成26年1月. <http://www.toukei.metro.tokyo.jp/juukiy/jy-index.htm>. Accessed on 30. November 2014.
- 鳥居春己 (1989) 静岡県の哺乳類. 第一法規出版株式会社, 180 pp.
- 都市緑化技術開発機構 (2006) 都市のエコロジカルネットワーク II~計画づくりと自然環境情報の整備・活用ガイド~. きょうせい, 東京, 235 pp.
- 辻大和・上杉哲雄・白石俊明・見浦沙耶子・山本裕子・神田栄次 (2011) ホンドテンとニホンイタチの糞を種同定するためのサイズ基準. *動物園水族館雑誌*, 52 : 8-15.
- 山本祐治 (1993) 川崎市におけるホンドタヌキの行動圏と日周期活動. 川崎市青少年科学館紀要, 4 : 7-12.
- 山本祐治 (1994) 長野県入笠山におけるテン, キツネ, アナグマ, タヌキの食性の比較分析. *自然環境科学研究*, 7 : 45-52.
- 安間繁樹 (1985) アニマル・ウォッチング: 日本の野生動物. 晶文社, 東京, 297 pp.

資料

東京都の池におけるトンボ相とその特徴

春田 魁登^{*1}・吉田 智弘^{*2}

Dragonfly and damselfly fauna and their characteristics in ponds of Tokyo

Kaito HARUTA^{*1}, Tomohiro YOSHIDA^{*2}

We investigated Odonata fauna in ponds of Tokyo, 2017 and 2018. In total, we found 5813 Odonata individuals representing 36 species 130 ponds. we observed 3624 Odonata individuals representing 34 species in 2017, and 2189 Odonata individuals representing 30 species in 2018, respectively. Our results showed that total species richness of Odonata in urban area (16 and 18 spp.) was 10 species less than those in suburban area (31 and 29 spp.), although their species richness and abundance were not significantly different between urban and sub-urban ponds. In 2017, *Orthetrum albistylum speciosum*, *Pantala flavescens*, *Pseudothemis zonata*, *Orthetrum triangulare melania* and *Crocothemis servilia*, in 2018, *Orthetrum albistylum speciosum*, *Pantala flavescens*, *Pseudothemis zonata*, *Sympetrum frequens* and *Crocothemis servilia* were found in many ponds, respectively. On the other hand, *Ceriagrion melanurum* and *Sinictinogomphus clavatus* were found from a few ponds.

Key words : Odonata, Bioindicator, pond

2017年と2018年の2年間にわたり、東京都都市部と都市郊外の池に生息するトンボ相を調査した。2年間で9科36種5813個体のトンボ類を確認した。2017年は全102カ所で9科34種3624個体、2018年は全130カ所で9科30種2189個体のトンボ類を確認した。確認したトンボ類の種数と個体数を都市部と都市郊外で比較した結果、池あたりの種数、個体数ともに有意な違いはみられなかったが、都市部の全種数は都市郊外よりも10種以上少なかった（都市部16種 [2017年]、18種 [2018年]；都市郊外31種 [2017年]、29種 [2018年]）。トンボ類の中で、2017年は、シオカラトンボ、オオシオカラトンボ、コシアキトンボ、ウスバキトンボ、ショウジョウトンボ、2018年はシオカラトンボ、コシアキトンボ、ウスバキトンボ、ショウジョウトンボ、アキアカネが多く池で観察された。一方で、キイトンボやウチワヤンマは確認地点数が10カ所以下であった。

キーワード：トンボ類、指標生物、池

2018. 11. 11受付；2019. 2. 4受理

^{*1} 東京農工大学大学院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 Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu-Shi, Tokyo 183-8509, Japan

^{*2} 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 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 Field Science Center, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu-Shi, Tokyo 183-8509, Japan

1. はじめに

現在、気候の変動や外来生物の侵入などにより、生態系への影響が懸念されている。そのような現状を把握し、対策を立てるため、環境や生物のモニタリングが必要となる(植田ら 2011)。生物を用いた環境モニタリングは鳥類を指標生物とした研究が実施されており、農地への転換や森林の劣化が種数に影響を及ぼすことが明らかとなっている(Gregory et al. 2004, Yamamura et al. 2009)。しかし、環境モニタリングは陸域の生物を中心に行われており、水域の生物を対象とした調査は少ない(Petchey et al. 2007)。淡水生態系はもっとも危機に瀕した生態系の1つである(Dudgeon et al. 2006)。そのため、淡水生態系の現状を把握する必要がある。トンボ類(Dragonfly and Damselfly)は幅広い水域に生息でき、生息地の変化に対して敏感に反応する(Carle 1979)。そのため、水域の環境を評価する指標生物として多くの研究で利用されている(Willigalla and Fartmann 2012; Goertzen and Suhling 2013)。東京都には島嶼部も含めて95種のトンボ類が記録されている(尾園ら 2012)。しかし、高度経済成長期以降の大規模開発や生活様式の変化に伴い、多くの種で衰亡がみられる(東京都 2011)。従って、東京都のトンボ相を把握し、対策を立てることが求められている。しかし、東京都のトンボ類に関する記録は限られた地域(例:皇居:友国・斎藤 2000; 斎藤ら 2006)や流域(多摩川水系流域:山内 2005; 長田 2007)の報告が多く、都レベルとしてまとまったものは全くない状況である(東京都 2011)。そこで本研究は、東京都の都市部および都市郊外の池を対象として、そこに生息するトンボ相の調査を実施した。

2. 調査地ならびに調査方法

2.1. 調査地

本研究では東京都23区内を都市部、23区外の市を都市郊外と定義した。調査は2017年および2018年に実施した。2017年は都市部の14の池(千代田区5, 新宿区2, 渋谷区4, 杉並区3)および都市郊外の88の池(三鷹市2, 調布市2, 西東京市1, 小金井市9, 小平市13, 稲城市2, 府中市24, 東村山市3, 国分寺市7, 多摩市12, 日野市3, 八王子市9, 町田市1)の計102の池を対象にした(図1 a)。2018年は前年の調査地に加え、新たに都市部の23の池

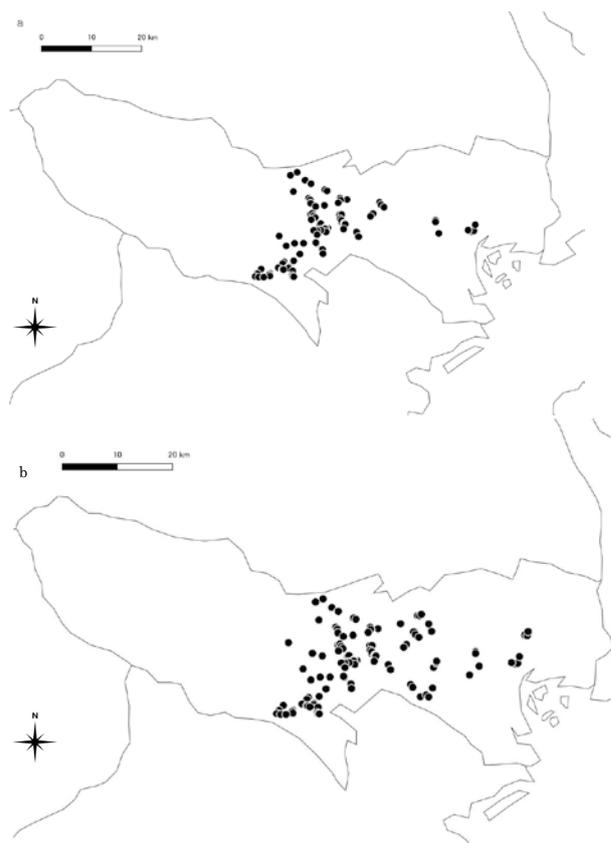


図1. 2017年 (a) および2018年 (b) の調査地

(台東区5, 目黒区1, 世田谷区6, 練馬区4, 杉並区7)および都市郊外の5の池(多摩市1, 狛江市1, 立川市1, 国立市1, 昭島市1)の計130の池を対象にした(図1 b)。調査した池の面積はGoogle mapsの面積測定機能を用いて算出した(表1)。池の面積は最大49409.34m²で、最小13.29m²であった。

2.2. 調査方法

トンボ類の成虫の調査は、2017年および2018年ともに6月から10月にかけて実施した。2017年は4回(1回目 6月:81地点, 2回目 7月:94地点, 3回目 8月:102地点, 4回目 8~10月:102地点), 2018年は3回(1回目:6~8月, 2回目:8~10月, 3回目:10, 全調査130地点)行った。調査は晴天または薄曇りで無風のもと行ったが、梅雨の時期などには、なるべく調査条件に近い日を調査日とした。調査の時間帯はトンボ類が活発に活動する午前10時~午後4時の間を選んで行った。池の周りを毎分20~30mの速さで歩き、調査者の前方, 左, 右, 高さ, それぞれ約10mの範囲で目撃したトンボの成虫の種名およびその個体数を記録した。調査は目視確認を原則とし、必要な場合は双眼鏡(8×21

表1. 2017年および2018年の調査地の概要

city number ^{*1}	city name ^{*2}	pond name	pond area (m ²)	site name	latitude ^{*3}	Longitude	2017 ^{*4}	2018
C 1	Chiyoda-ku	P 1	744.52	日比谷公園 1	139.756784	35.673524	○	○
C 1	Chiyoda-ku	P 2	1638.1	日比谷公園 2	139.754912	35.673398	○	○
C 1	Chiyoda-ku	P 3	2500.77	日比谷公園 3	139.758216	35.674653	○	○
C 1	Chiyoda-ku	P 4	2180.94	和田倉噴水公園	139.760866	35.683467	○	○
C 1	Chiyoda-ku	P 5	1486.55	憲政記念公園	139.748144	35.675547	○	○
C 2	Shinjuku-ku	P 6	66.02	新宿中央公園 1	139.689649	35.690093	○	○
C 2	Shinjuku-ku	P 7	209.31	新宿中央公園 2	139.689646	35.687723	○	○
C 3	Shibuya-ku	P 8	567.8	代々木公園 1	139.696138	35.669659	○	○
C 3	Shibuya-ku	P 9	168.42	代々木公園 2	139.695917	35.670036	○	○
C 3	Shibuya-ku	P10	46.66	代々木公園 3	139.695766	35.670272	○	○
C 3	Shibuya-ku	P11	6054.28	代々木公園 4	139.695497	35.670722	○	○
C 4	Suginami-ku	P12	21100.99	善福寺公園 1	139.589085	35.716404	○	○
C 4	Suginami-ku	P13	10367.15	善福寺公園 2	139.591853	35.712798	○	○
C 4	Suginami-ku	P14	79.57	井荻公園	139.597263	35.709267	○	○
C 4	Suginami-ku	P15	1730.11	杉並区立妙正寺公園	139.617877	35.717142	○	○
C 4	Suginami-ku	P16	272.75	井草森公園 1	139.613098	35.727242	○	○
C 4	Suginami-ku	P17	999.43	井草森公園 2	139.613283	35.726902	○	○
C 4	Suginami-ku	P18	83.5	塚山公園 1	139.626228	35.675414	○	○
C 4	Suginami-ku	P19	717.73	塚山公園 2	139.625623	35.675287	○	○
C 4	Suginami-ku	P20	43.98	柏の宮公園 1	139.62584	35.677002	○	○
C 4	Suginami-ku	P21	231.23	柏の宮公園 2	139.626221	35.677344	○	○
C 5	Mitaka-city	P22	54392.24	井の頭公園 1	139.577375	35.699822	○	○
C 5	Mitaka-city	P23	216.68	井の頭公園 2	139.572836	35.695831	○	○
C 7	Nishitokyo-city	P24	49.02	田無市民公園	139.530901	35.720501	○	○
C 8	Koganei-city	P25	1189.83	江戸東京たてもの館	139.514945	35.715619	○	○
C 8	Koganei-city	P26	145.64	東京農工大学小金井 キャンパス 1	139.518501	35.699148	○	○
C 8	Koganei-city	P27	61.18	東京農工大学小金井 キャンパス 2	139.517556	35.698165	○	○
C 8	Koganei-city	P28	830.4	栗山運動公園	139.521082	35.698337	○	○
C 8	Koganei-city	P29	94.31	野川公園 1	139.526	35.685741	○	○
C 8	Koganei-city	P30	221.4	野川公園 2	139.526108	35.685476	○	○
C 8	Koganei-city	P31	53.14	野川公園 3	139.526272	35.6851	○	○
C 8	Koganei-city	P32	56.07	野川公園 4	139.52663	35.684343	○	○
C 8	Koganei-city	P33	391.12	野川公園 5	139.527644	35.684218	○	○
C 8	Chofu-city	P34	262.27	神代植物公園 1	139.547798	35.672765	○	○
C 8	Chofu-city	P35	3195.61	神代植物公園 2	139.551473	35.665935	○	○
C 9	Kodaira-city	P36	71.67	九道の辻公園 1	139.465122	35.743192	○	○
C 9	Kodaira-city	P37	142.66	九道の辻公園 2	139.466294	35.74367	○	○
C 9	Kodaira-city	P38	166.43	あじさい公園	139.491132	35.734799	○	○
C 9	Kodaira-city	P39	69.46	天神じゃぶじゃぶ公園	139.494916	35.733132	○	○
C 9	Kodaira-city	P40	251	東京薬用植物園	139.434627	35.732073	○	○
C 9	Kodaira-city	P41	181.76	中央公園 1	139.462133	35.722101	○	○
C 9	Kodaira-city	P42	225.65	中央公園 2	139.462072	35.722425	○	○
C 9	Kodaira-city	P43	30.76	下水道ふれあい館	139.464595	35.720059	○	○
C 9	Kodaira-city	P44	116.21	花小金井ひょうたん池 公園	139.518298	35.722425	○	○

C 9	Kodaira-city	P45	1318.16	小金井公園 1	139.519324	35.719498	○	○
C 9	Kodaira-city	P46	1137.93	小金井公園 2	139.519064	35.719718	○	○
C 9	Kodaira-city	P47	657.74	つつじ公園	139.49021	35.711893	○	○
C 9	Kodaira-city	P48	329.4	けやき公園	139.474488	35.710372	○	○
C10	Inagi-city	P49	505.21	稲城第 1 公園	139.487685	35.640996	○	○
C10	Inagi-city	P50	44.79	大丸公園	139.486733	35.647375	○	○
C11	Fuchu-city	P51	328.6	武蔵野公園 1	139.520124	35.68801	○	○
C11	Fuchu-city	P52	114.2	武蔵野公園 2	139.518345	35.691986	○	○
C11	Fuchu-city	P53	98.27	武蔵野公園 3	139.520866	35.689891	○	○
C11	Fuchu-city	P54	54.97	東京農工大学府中キャンパス 1	139.480525	35.683671	○	○
C11	Fuchu-city	P55	44.32	東京農工大学府中キャンパス 2	139.481969	35.684232	○	○
C11	Fuchu-city	P56	31.58	東京農工大学府中キャンパス 3	139.48378	35.684876	○	○
C11	Fuchu-city	P57	780.8	府中公園	139.482216	35.676492	○	○
C11	Fuchu-city	P58	172.72	府中生涯学習センター	139.496256	35.678499	○	○
C11	Fuchu-city	P59	301.54	府中の森公園 1	139.491705	35.679278	○	○
C11	Fuchu-city	P60	1044.35	府中の森公園 2	139.492267	35.676592	○	○
C11	Fuchu-city	P61	258.4	府中の森公園 3	139.4919	35.675594	○	○
C11	Fuchu-city	P62	830.99	府中の森公園 4	139.492342	35.674995	○	○
C11	Fuchu-city	P63	665.98	府中の森公園 5	139.492825	35.675235	○	○
C11	Fuchu-city	P64	839.17	府中の森公園 6	139.4912	35.678439	○	○
C11	Fuchu-city	P65	771.41	府中の森公園 7	139.491482	35.677663	○	○
C11	Fuchu-city	P66	65.35	府中芸術の森劇場	139.493101	35.672977	○	○
C11	Fuchu-city	P67	72.79	ルミエール府中	139.483748	35.675512	○	○
C11	Fuchu-city	P68	288.56	寿中央公園ひょうたん池	139.476956	35.674729	○	○
C11	Fuchu-city	P69	259.1	すずかけ公園	139.471156	35.675086	○	○
C11	Fuchu-city	P70	4136.59	武蔵野の森公園	139.524655	35.677168	○	○
C11	Fuchu-city	P71	14.07	府中市役所	139.477083	35.668884	○	○
C11	Fuchu-city	P72	2786.79	郷土の森公園 1	139.475779	35.655808	○	○
C11	Fuchu-city	P73	629.55	郷土の森公園 2	139.47486	35.65721	○	○
C11	Fuchu-city	P74	213.44	西府緑地	139.452821	35.656291	○	○
C12	Higashimurayama-city	P75	6598.25	都立狭山公園	139.441339	35.760303	○	○
C12	Higashimurayama-city	P76	638.93	二ツ池公園	139.429203	35.756107	○	○
C12	Higashimurayama-city	P77	642.74	都立東村山中央公園	139.455729	35.748767	○	○
C13	Kokubunji-city	P78	505.24	窪東公園 1	139.465488	35.715161	○	○
C13	Kokubunji-city	P79	203.95	窪東公園 2	139.465554	35.715016	○	○
C13	Kokubunji-city	P80	16.49	西国分寺駅	139.465649	35.699008	○	○
C13	Kokubunji-city	P81	620.19	姿見の池	139.468987	35.70038	○	○
C13	Kokubunji-city	P82	3204.73	都立武蔵国分寺公園	139.471383	35.696915	○	○
C13	Kokubunji-city	P83	168.33	真姿の池湧水群	139.473825	35.694092	○	○
C13	Kokubunji-city	P84	227.61	黒鐘公園	139.466641	35.69108	○	○
C14	Tama-city	P85	247.3	原峰公園	139.446248	35.64051	○	○
C14	Tama-city	P86	421.98	乞田貝取ふれあい広場	139.435136	35.630549	○	○
C14	Tama-city	P87	2213.33	中沢池公園	139.407486	35.62033	○	○
C14	Tama-city	P88	6128.49	多摩中央公園 1	139.425164	35.620866	○	○
C14	Tama-city	P89	1136.69	多摩中央公園 2	139.426483	35.621163	○	○
C14	Tama-city	P90	156.71	多摩中央公園 3	139.425818	35.619584	○	○
C14	Tama-city	P91	161.54	鶴牧西公園 1	139.415121	35.61786	○	○

C14	Tama-city	P92	206.23	鶴牧西公園 2	139.41668	35.617685	○	○
C14	Tama-city	P93	6557.75	豊ヶ丘南公園	139.433361	35.615933	○	○
C14	Tama-city	P94	228.74	一本杉公園 1	139.431899	35.608922	○	○
C14	Tama-city	P95	500.82	一本杉公園 2	139.433251	35.607229	○	○
C14	Tama-city	P96	738.57	一本杉公園 3	139.435288	35.607179	○	○
C14	Tama-city	P97	89.25	鶴牧東公園	139.420138	35.616541	○	○
C15	Hino-city	P98	163.13	川原附公園	139.409079	35.666958	○	○
C15	Hino-city	P99	79.31	落川公園	139.436768	35.656204	○	○
C15	Hino-city	P100	131.92	百草台自然公園	139.421696	35.652492	○	○
C16	Hachioji-city	P101	417.95	大塚西公園	139.417898	35.629027	○	○
C16	Hachioji-city	P102	1294.95	東中野公園	139.415413	35.626618	○	○
C16	Hachioji-city	P103	2227.79	柳沢の池公園	139.376866	35.618411	○	○
C16	Hachioji-city	P104	542.71	南大沢緑地	139.369935	35.611524	○	○
C16	Hachioji-city	P105	101.58	小山内裏公園 2	139.372511	35.60653	○	○
C16	Hachioji-city	P106	3812.04	長池公園 1	139.392734	35.612033	○	○
C16	Hachioji-city	P107	5484.95	長池公園 2	139.391739	35.610579	○	○
C16	Hachioji-city	P108	149.78	長池公園 4	139.392532	35.60821	○	○
C16	Hachioji-city	P109	703.34	大平公園	139.381215	35.606472	○	○
C17	Machida-city	P110	3655.18	小山内裏公園 1	139.366162	35.607461	○	○
C18	Taito-ku	P111	49409.34	蓮池	139.771252	35.711222		○
C18	Taito-ku	P112	30008.08	ポー ト池	139.769679	35.712088		○
C18	Taito-ku	P113	30.69	上野 1	139.773662	35.711468		○
C18	Taito-ku	P114	37.16	上野 2	139.774009	35.712343		○
C18	Taito-ku	P115	1245.02	上野 3	139.775015	35.716872		○
C19	Meguro-ku	P116	339.03	駒場公園	139.679825	35.658961		○
C20	Setagaya-ku	P117	153.45	きたみふれあい公園	139.587478	35.642652		○
C20	Setagaya-ku	P118	226.51	次郎堀公園	139.599811	35.630043		○
C20	Setagaya-ku	P119	449.5	大蔵第三公園	139.609393	35.632317		○
C20	Setagaya-ku	P120	60.9	世田谷運動公園	139.613304	35.629801		○
C20	Setagaya-ku	P121	328.2	すみれば植物園	139.61964	35.641711		○
C20	Setagaya-ku	P122	13.29	上北沢公園	139.621074	35.668968		○
C21	Nerima-ku	P123	22432.69	武蔵関公園	35.726712	139.567213		○
C21	Nerima-ku	P124	30301.92	石神井公園 1	139.595806	35.737959		○
C21	Nerima-ku	P125	1374.42	石神井公園 2	139.59827	35.737766		○
C21	Nerima-ku	P126	38215.12	石神井公園 3	139.602817	35.739753		○
C22	Komae-city	P127	123.85	みつおき児童公園	139.584078	35.646243		○
C23	Tachikawa-city	P128	1442.26	矢川緑地	139.424248	35.687780		○
C24	Kunitachi-city	P129	129.85	谷保第四公園	139.440201	35.68431		○
C25	Akishima-city	P130	170.52	昭島公園	139.385214	35.702106		○

※ 1 各市区を示す；※ 2 市区名を示す；※ 3 緯度経度は10進法で表す；※ 4 丸は調査した池を示す

DPC I, OLYMPUS) を用いて種を同定した。同定が困難な場合はその属名 (例: アカネ属, *Sympetrum*, spp) を記録した。トンボ類の学名及び同定は, 尾園ら (2012) に従った。

記録したトンボ類は環境省 (2015) と東京都 (2011) のレッドデータブックを用いて絶滅~情報不足の6種類 (EX: 絶滅, CR: 絶滅危惧 I A類, EN: 絶滅危惧 I B類, VU: 絶滅危惧 II類, NT: 準絶滅危惧種, DD: 情報不足) に分類した。

統計解析は R3.5.1 (R Core Team 2018) を使用し, 有意水準は $p < 0.05$ とした。都市部と都市郊外の池あたりのトンボ類の種数および個体数の違いをウィルコクソンの順位和検定を用いて比較した。

3. 結果と考察

調査の結果, 2017年は全102地点で34種, 3624個体, 2018年は全130地点で30種, 総個体数は2189個体, 2年間で36種5813個体のトンボ類を確認した。トンボ類の種数は都市部と都市郊外で10種以上の差があった (2017年 都市部16種, 都市郊外31種; 2018年 都市部18種, 都市郊外29種)。しかし, 都市部と都市郊外における池あたりのトンボ類の種数および個体数には有意な違いがなかった (Wilcoxon test, $p > 0.05$, 図2, 図3)。

東京都周辺には, 都市部, 郊外部問わずに都市公園が点在し, 池を有する公園も少なくない (山内2005)。また, 皇居のように植生が豊かで様々な池が存在し, トンボ類の供給源となっている場所もある。斎藤ら (2006) が2001年から2005年にかけて皇居で行ったトンボ類のモニタリング調査では33種のトンボが記録されている。本研究でも, 石神井公園, 善福寺公園などの都市公園や皇居に近い日比谷公園では種数個体数ともに多くのトンボ類が確認され, ベニイトトンボ (*Ceriagrion nipponicum*) やウチワヤンマ (*Sinictinogomphus clavatus*) のような希少種も生息していた (表2, 表3)。このような池が都市部のトンボ相を支えているのかもしれない。

確認地点数が多い上位5種は2017年がシオカラトンボ (*Orthetrum albistylum speciosum*), ウ斯巴キトンボ (*Pantala flavescens*), コシアキトンボ (*Pseudothemis zonata*), オオシオカラトンボ (*Orthetrum triangulare melania*), ショウジョウトンボ (*Crocothemis servilia*), 2018年はシオカラトンボ, ウ斯巴キトンボ, コシアキトンボ, アキアカネ (*Sympetrum frequens*), ショウジョウトンボ

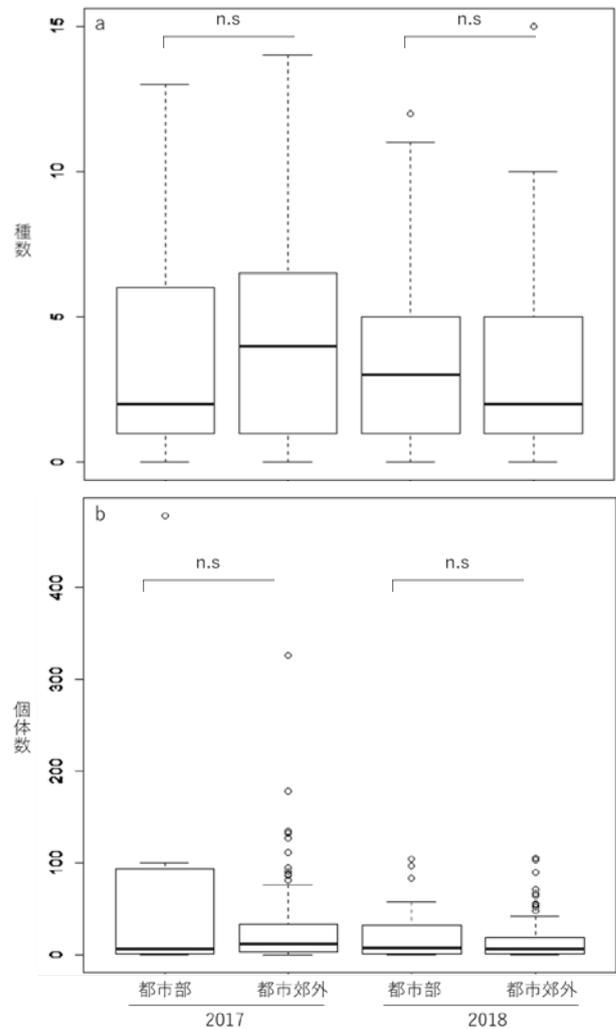


図2. 都市部と都市郊外における池あたりのトンボ類の種数 (a) および個体数 (b) n.sは $p > 0.05$ で, 有意差がないことを示す。箱の下端は第1四分位数, 中央線は中央値, 上端は第3四分位数, 上下のひげは極値, 丸は外れ値をそれぞれ表す。

で, 2年ともほぼ同じ種となった (表4, 表5)。これらの種は都市部・都市郊外ともに多くの池で確認された。一方で, キイトンボ (*Ceriagrion melanurum*) やチョウトンボ (*Rhyothemis fuliginosa*), ウチワヤンマ (*Sinictinogomphus clavatus*) は確認地点数が10カ所を下回った。これらの種は東京都の絶滅危惧種に登録されており, 今後の生息環境の変化によって, さらに, 生息地が減少することが予想される。

本研究の結果, 東京都平野部におけるトンボ相とその特徴が明らかとなった。本研究は東京都平野部の止水域を対象として調査した。そのため, 山地に生息する種や流水に生息する種はあまり確認できなかった。今後は山地や流水域も調査し, 東京都のトンボ相を明らかにする必要がある。また, 東京都

表2. 2017年の市区における調査した池の地点数とトンボ類の確認地点数

Species name	city name ^{*1} number of ponds ^{*2} Japanese name	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
		5	2	4	3	2	2	1	9	13	2	24	3	7	12	3	9	1
<i>Sympetma paedisca</i>	オツネトンボ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Lestes temporalis</i>	オオアオイトトンボ	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	1	0	2	0
<i>Atrocaopteryx atrata</i>	ハグロトンボ	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Coperia annulata</i>	モノサシトンボ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriagrion melanurum</i>	キイトトンボ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriagrion nipponicum</i>	ベニイトトンボ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cwrcion calamorum calamorum</i>	クロイトトンボ	2	0	0	1	1	1	0	0	2	0	3	1	0	1	0	2	0
<i>Cercion sexlineatum</i>	ムスジイトトンボ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ischnura senegalensis</i>	アオモンイトトンボ	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	6	0	0	0	2	0
<i>Planaeschna milnei</i>	ミルンヤンマ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Anaciaeschna martini</i>	マルタンヤンマ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Polycanthagyna melanictera</i>	ヤブヤンマ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Anax parthenope julius</i>	ギンヤンマ	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	8	1	1	5	0	1	1
<i>Anax nigrofasciatus nigrofasciatus</i>	クロスジギンヤンマ	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
<i>Sinictinogomphus clavatus</i>	ウチワヤンマ	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>Sieboldius albardae</i>	コオニヤンマ	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	2	0	0	1	0	1	0
<i>Melligomphus viridicostus</i>	オナガサナエ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Anotogaster sieboldii</i>	オニヤンマ	1	0	0	1	1	1	0	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1
<i>Epophthalmia elegans</i>	オオヤマトンボ	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	1	1
<i>Rhyothemis fuliginosa</i>	チョウトンボ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum darwinianum</i>	ナツアカネ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum risi</i>	リスアカネ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0
<i>Sympetrum infuscatum</i>	ノシメトンボ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum frequens</i>	アキアカネ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	1
<i>Sympetrum baccha</i>	コノシメトンボ	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	1	0	5	1	2	1
<i>Sympetrum eroticum</i>	マユタテアカネ	0	0	0	1	0	1	0	1	3	0	2	3	1	1	0	5	0
<i>Sympetrum pedemontanum</i>	ミヤマアカネ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0
<i>Sympetrum speciosum</i>	ネキトンボ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	4	0	1	1
<i>Pseudothemis zonata</i>	コシアキトンボ	3	0	1	2	1	0	0	2	5	0	11	2	3	8	0	8	1
<i>Deielia phaon</i>	コフキトンボ	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0
<i>Crocothemis servilia</i>	ショウジョウトンボ	2	0	0	1	1	2	0	2	2	1	9	2	0	8	0	5	1
<i>Pantala flavescens</i>	ウスバキトンボ	2	0	3	2	1	1	1	2	5	1	14	1	3	9	2	6	1
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	シオカラトンボ	3	0	3	3	1	2	0	5	4	1	17	2	4	9	2	9	1
<i>Orthetrum triangulare melania</i>	オオシオカラトンボ	2	0	0	2	2	2	0	3	5	1	7	3	3	5	2	7	0
<i>Coenagrionidae.sp</i>	イトトンボ科	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0
<i>Sympetrum.spp</i>	アカネ属	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	4	0	2	1
Other	その他	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0

※1 市区名は表1参照；※2 市区における調査した池の合計地点数を示す

表3. 2018年の市区町村における調査した池の地点数とトンボ類の確認地点数

	city name ^{※1}	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
	number of ponds ^{※2}	5	2	4	10	2	2	1	9	13	2	24	3	7	13	3	9	1	5	1	6	4	1	1	1	1
Species name	Japanese name																									
<i>Lestes sponsa</i>	アオイトトンボ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lestes temporalis</i>	オオアオイトトンボ	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Atrocalopteryx atrata</i>	ハグロトンボ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriatagrion melanurum</i>	キイトトンボ	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paracerion sieboldii</i>	オオイトトンボ	1	0	0	2	1	0	0	0	3	0	1	2	1	0	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Cwrcion calamorum calamorum</i>	クロイトトンボ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ischnura senegalensis</i>	アオモンイトトンボ	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Ischnura asiatica</i>	アジアイトトンボ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Polycanthagyna melanictera</i>	ヤブヤンマ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anax parthenope Julius</i>	ギンヤンマ	3	0	0	3	1	1	0	1	0	0	6	2	3	5	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0
<i>Anax nigrofasciatus nigrofasciatus</i>	クロスジギンヤンマ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sinictinogomphus clavatus</i>	ウチワヤンマ	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sieboldius albardae</i>	コオニヤンマ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melligomphus viridicostus</i>	オナガサナエ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anotogaster sieboldii</i>	オニヤンマ	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epophthalmia elegans</i>	オオヤマトンボ	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhyothemis fuliginosa</i>	チョウトンボ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum darwinianum</i>	ナツアカネ	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum risi</i>	リスアカネ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum infuscatum</i>	ノシメトンボ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum frequens</i>	アキアカネ	4	0	1	4	1	2	0	3	6	0	6	2	2	0	0	1	0	2	0	2	1	0	1	0	0
<i>Sympetrum bacha</i>	コノシメトンボ	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	7	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum eroticum</i>	マユタテアカネ	0	0	0	1	1	1	0	4	2	0	4	0	1	1	1	4	0	0	1	1	0	0	1	0	0
<i>Sympetrum speciosum</i>	ネキトンボ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudothemis zonata</i>	コシアキトンボ	3	0	2	6	1	1	0	2	3	0	6	2	2	7	0	7	1	2	0	1	2	0	0	0	1
<i>Deielia phaon</i>	コフキトンボ	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Crocothemis servilia</i>	ショウジョウトンボ	0	0	1	3	1	1	0	1	1	1	9	2	3	6	2	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Pantala flavescens</i>	ウスバキトンボ	3	0	4	2	1	2	1	2	1	1	8	1	4	7	1	2	1	2	1	2	4	0	1	0	0
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	シオカラトンボ	3	0	2	6	1	2	0	3	6	1	14	2	5	10	2	6	0	3	0	2	2	0	0	0	1
<i>Orthetrum triangulare melania</i>	オオシオカラトンボ	1	0	0	3	1	2	0	6	2	1	7	2	2	2	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Coenagrionidae.sp</i>	イトトンボ科	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aeshnidae.sp</i>	ヤンマ科	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sympetrum.sp</i>	アカネ属	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※1 市区名は表1参照；※2 市区における調査した池の合計地点数を示す

表4. 2017年のトンボ類の確認地点数および総個体数

Species name	Japanese name	number of ponds ^{*1}	total abundance ^{*2}	環境省 (2015) ^{*3}	東京都 (2011)
<i>Sympetma paedisca</i>	オツネトンボ	1	1		VU
<i>Lestes temporalis</i>	オオアオイトトンボ	8	15		
<i>Atrocalopteryx atrata</i>	ハグロトンボ	4	18		
<i>Copera annulata</i>	モノサシトンボ	1	3		DD
<i>Ceriagrion melanurum</i>	キイトトンボ	1	1		EN
<i>Ceriagrion nipponicum</i>	ベニイトトンボ	1	1	NT	VU
<i>Cwrcion calamorum calamorum</i>	クロイトトンボ	14	157		
<i>Cercion sexlineatum</i>	ムスジイトトンボ	1	1		
<i>Ischnura senegalensis</i>	アオモンイトトンボ	7	18		
<i>Planaeschna milnei</i>	ミルンヤンマ	2	3		
<i>Anaciaeshna martini</i>	マルタンヤンマ	1	1		
<i>Polycanthagyna melanictera</i>	ヤブヤンマ	1	2		
<i>Anax parthenope julius</i>	ギンヤンマ	23	63		
<i>Anax nigrofasciatus nigrofasciatus</i>	クロスジギンヤンマ	8	8		
<i>Sinictinogomphus clavatus</i>	ウチワヤンマ	6	41		NT
<i>Sieboldius albardae</i>	コオニヤンマ	7	8		
<i>Melligomphus viridicostus</i>	オナガサナエ	1	1		
<i>Anotogaster sieboldii</i>	オニヤンマ	14	23		
<i>Epophthalmia elegans</i>	オオヤマトンボ	10	19		
<i>Rhyothemis fuliginosa</i>	チョウトンボ	3	44		NT
<i>Sympetrum darwinianum</i>	ナツアカネ	1	1		
<i>Sympetrum risi</i>	リスアカネ	6	11		
<i>Sympetrum infuscatum</i>	ノシメトンボ	1	1		
<i>Sympetrum frequens</i>	アキアカネ	6	17		
<i>Sympetrum baccha</i>	コノシメトンボ	14	103		
<i>Sympetrum eroticum</i>	マユタテアカネ	18	44		
<i>Sympetrum pedemontanum</i>	ミヤマアカネ	4	10		
<i>Sympetrum speciosum</i>	ネキトンボ	9	15		
<i>Pseudothemis zonata</i>	コシアキトンボ	47	1052		
<i>Deiella phaon</i>	コフキトンボ	9	58		
<i>Crocothemis servilia</i>	ショウジョウトンボ	37	209		
<i>Pantala flavescens</i>	ウスバキトンボ	53	583		
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	シオカラトンボ	65	875		
<i>Orthetrum triangulare melania</i>	オオシオカラトンボ	45	164		
<i>Coenagrionidae.sp</i>	イトトンボ科	8	21		
<i>Sympetrum.spp</i>	アカネ属	15	26		
Other	その他	5	6		
total			3624	1	6

※1 数字は全102地点で4回の調査のうち1回でもトンボ類を確認した地点数の合計を示す；※2 4回の調査の合計個体数を示す；※3 EX:絶滅, CR:絶滅危惧ⅠA類, EN:絶滅危惧ⅠB類, VU:絶滅危惧Ⅱ類, NT:準絶滅危惧, DD:情報不足をそれぞれ示す

表5. 2018年のトンボ類の確認地点数および総個体数

Species name	Japanese name	number of ponds ^{*1}	total abundance ^{*2}	環境省 (2015) ^{*3}	東京都 (2011)
<i>Lestes sponsa</i>	アオイトトンボ	1	1		NT
<i>Lestes temporalis</i>	オオアオイトトンボ	9	33		
<i>Atrocalopteryx atrata</i>	ハグロトンボ	3	5		
<i>Ceriagrion melanurum</i>	キイトトンボ	2	8		NT
<i>Paracerion sieboldii</i>	オオイトトンボ	1	1		EN
<i>Cwrcion calamorum calamorum</i>	クロイトトンボ	18	69		
<i>Ischnura senegalensis</i>	アオモンイトトンボ	9	36		
<i>Ischura asiatica</i>	アジアイトトンボ	2	2		
<i>Polycanthagyna melanictera</i>	ヤブヤンマ	1	1		
<i>Anax parthenope julius</i>	ギンヤンマ	33	109		
<i>Anax nigrofasciatus nigrofasciatus</i>	クロスジギンヤンマ	4	7		
<i>Sinictinogomphus clavatus</i>	ウチワヤンマ	6	35		NT
<i>Sieboldius albardae</i>	コオニヤンマ	1	1		
<i>Melligomphus viridicostus</i>	オナガサナエ	1	1		
<i>Anotogaster sieboldii</i>	オニヤンマ	9	15		
<i>Epophthalmia elegans</i>	オオヤマトンボ	5	5		
<i>Rhythemis fuliginosa</i>	チョウトンボ	3	16		NT
<i>Sympetrum darwinianum</i>	ナツアカネ	3	4		
<i>Sympetrum risi</i>	リスアカネ	2	3		
<i>Sympetrum infuscatum</i>	ノシメトンボ	3	6		
<i>Sympetrum frequens</i>	アキアカネ	40	217		
<i>Sympetrum baccha</i>	コノシメトンボ	14	75		
<i>Sympetrum eroticum</i>	マユタテアカネ	23	64		
<i>Sympetrum speciosum</i>	ネキトンボ	5	8		
<i>Pseudothemis zonata</i>	コシアキトンボ	51	425		
<i>Deielia phaon</i>	コフキトンボ	9	57		
<i>Crocothemis servilia</i>	ショウジョウトンボ	36	89		
<i>Pantala flavescens</i>	ウスバキトンボ	50	151		
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	シオカラトンボ	73	665		
<i>Orthetrum triangulare melania</i>	オオシオカラトンボ	35	77		
<i>Coenagrionidae.sp</i>	イトトンボ科	1	1		
<i>Aeshnidae..sp</i>	ヤンマ科	1	1		
<i>Sympetrum.spp</i>	アカネ属	1	1		
			2189	0	5

※1 数字は全130地点で3回の調査のうち1回でもトンボ類を確認した地点数の合計を示す; ※2 3回の調査の合計個体数を示す; ※3 EX:絶滅, CR:絶滅危惧 I A類, EN:絶滅危惧 I B類, VU:絶滅危惧 II 類, NT:準絶滅危惧, DD:情報不足をそれぞれ示す

のような環境の変化が著しい場所では指標生物の長期的なモニタリングが必要である (Paoletti 1999)。東京都の水域環境の変化を把握するためには、トンボ類の長期的なモニタリングが必要となってくると考えられる。

引用文献

- Carle, F. L. (1979) Environmental monitoring potential of the Odonata, with a list of rare and endangered Anisoptera of Virginia, United States. *Odonatologica*, 8 : 319-323.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Sullivan, C. A. et al. (2006) Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81 : 163-182.
- Gregory, R. D., Noble, D. G., Custance, J. (2004) The state of play of farmland birds: population trends and conservation status of lowland farmland birds in the United Kingdom. *Ibis*, 146 : 1-13.
- Goertzen, D., Suhling, F. (2013) Promoting dragonfly diversity in cities: major determinants and implications for urban pond design. *Journal of Insect Conservation*, 17 : 399-409.
- 環境省 (2015) 環境省レッドリスト【昆虫類】
URL : <http://www.env.go.jp/press/files/jp/28061.pdf> (2018年1月9日確認)
- 長田光世 (2007) 多摩川流域におけるトンボ類の生息場所と構造に関する研究, とうきゅう環境浄化財団 (一般) 研究助成 31. 18 pp.
- 尾園暁, 川島逸郎, 二橋亮 (2012) 日本のトンボ (ネイチャーガイド) 文一総合出版, 532 pp.
- Paoletti, M. G. (1999) Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74 : 1-18.
- Petchey, O. L., Evans, K. L., Fishburn, I. S., Gaston, K. J. (2007) Low functional diversity and no redundancy in British avian assemblages. *Journal of Animal Ecology*, 76 : 977-985.
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing and graphics
友国雅章, 斎藤洋一 (2000) 〈国立科博専報〉 皇居のトンボ. 国立科学博物館専報, 36 : 7-18.
- 斎藤洋一, 大和田守, 加藤俊一, 井上繁一 (2006) 皇居のトンボ類モニタリング調査 (2001-2005). 国立科学博物館専報, 43 : 383-406.
- 東京都環境局 (2011) 東京都の保護上重要な野生生物種. 本土部) ~東京都レッドリスト, 107 pp.
- 植田睦之, 福井晶子, 山浦悠一, 山本裕 (2011) 全国的な生態観測調査「モニタリングサイト1000」で見えてきた日本の森林性鳥類の分布状況. *日本鳥学会誌* 60 : 19-34.
- Yamaura, Y., Amano, T., Koizumi, T., Mitsuda, Y., Taki, H., Okabe, K. (2009) Does land-use change affect biodiversity dynamics at a macroecological scale? A case study of birds over the past 20 years in Japan. *Animal Conservation*, 12 : 110-119.
- 山内唯志 (2005) 多摩川流域の都市公園におけるトンボ相に関する調査. とうきゅう環境浄化財団 (一般) 研究助成 27. 45 pp.
- Willigalla, C., Fartmann, T. (2012) Patterns in the diversity of dragonflies (Odonata) in cities across Central Europe. *European Journal of Entomology*, 109 : 235-245.

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, あらかじめ専門家による英文校閲を受け, 校閲を確認できる文書を電子媒体で投稿時に添付する。
- (2) 著者は, 原稿の採用決定後, 最終原稿のPDFファイルとWordファイル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, Word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, Word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。学名はイタリックとする。
- (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。
- 3) 図(写真)の挿入箇所は, 原稿の該当位置の右欄外に図(写真)番号を朱書きして指定する。

(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。
- 3) 表の挿入箇所は, 原稿の該当位置の右欄外に表番号を朱書きして指定する。

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 FS センター長, 教授
編集委員	松田 和秀	FS センター教授
	渡辺 直明	FS センター助教
	吉田 智弘	FS センター講師 (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
	藤井 義晴	生物生産学科教授
	殿塚 隆史	応用生物科学科教授
	小瀬 良太	環境資源科学科講師
	山下 恵	地域生態システム学科講師
田中 知己	共同獣医学科准教授	
事務局	一宮 幹夫	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 Professor of Field Science Center
Naoaki WATANABE Assistant Professor of Field Science Center
Tomohiro YOSHIDA Senior 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
Yoshiharu FUJII Professor, Dept. of Biological Production
Takashi TONOUZUKA Professor, Dept. of Applied Biological Science
Ryota KOSE Senior Assistant Professor, Dept. of Environmental and Natural Resource Sciences
Megumi YAMASHITA Senior Assistant Professor, Dept. of Ecoregion Science
Tomomi TANAKA Professor, Cooperative Dep. of Veterinary Medicine

Management Office

Mikio ICHIMIYA Chief of Field Science Center Office

平成31年 3月24日 印刷

平成31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.17

Mar, 2019

Originals

- 1 Human-wildlife conflicts caused by invasive masked palm civet (*Paguma larvata*) in urban areas of Tokyo

Research materials

- 9 The relationship between the home range of raccoon dogs and their fecal pile sites at Field Museum Tamakyuryo
- 13 Analysis of soil in FM Tsukui by joint survey of 6 universities
- 23 Specification of modified handmade tipping buckets flow meters and their calibration system
- 33 Breeding ecology of red fox (*Vulpes vulpes japonica*) in Tama River of Tokyo Japan
- 41 Dragonfly and damselfly fauna and their characteristics in ponds of Tokyo

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