様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　７ 年　 ６ 月　 ９ 日現在

機関番号：３０１０９
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2022～2024
課題番号：２２Ｋ０６３９３

研究課題名（和文）ヒグマのマーキング行動を通じた嗅覚コミュニケーションの役割の解明

研究課題名（英文）Understanding the role of olfactory communication through brown bear marking behavior

研究代表者

佐藤　喜和（Sato, Yoshikazu）

酪農学園大学・農食環境学群・教授

研究者番号：６０３６６６２２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,300,000円

研究成果の概要（和文）：交尾期にヒグマのオス成獣が行うマーキング行動に注目し，足裏マーキングの観察，背擦りマーキングの複雑さの地域差，化学物質により交換される情報の内容，この物質が伝える情報の検討を行った。足裏マーキングとして通常と異なる歩行様式は何例か確認されたが有効な情報交換手段と判断できなかった。背擦りマーキングは生息密度に応じて複雑になる傾向が見られた。背部脂腺分泌物が同定され、個体差があることが示唆された。この物質の匂いで個体の違いや性成熟を識別できることが示唆された。これらの研究を通じて、ヒグマ社会におけるオス成獣が繁殖期に発信する匂いコミュニケーションの一端が明らかにされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
森林性単独性哺乳類の匂いコミュニケーションについて知見が不足している中で、ヒグマを対象にカメラ・トラップを用いた野外での行動観察、コミュニケーション物質の分析化学的解析、および飼育個体の行動観察実験など多様な手法から検討した。背擦りマーキングによるコミュニケーションの地域差とその理由、コミュニケーション物質の同定、飼育実験による匂い機能の検討はこれまでなかった知見であり学術的な意義が大きい。近年課題となっているヒグマの市街地等への出没は繁殖期に多く発生しており、ヒグマ社会の個体間関係に係るコミュニケーションの解明は、出没原因の理解に役立つと期待される。

研究成果の概要（英文）：We focused on the marking behavior of adult male brown bears during the mating season, observing pedal marking, regional differences in the complexity of back rub marking, the content of information exchanged by chemical substances, and the information conveyed by these substances. We observed several cases of unusual gait patterns as pedal marking, but could not determine that it was an effective means of exchanging information. Dorsal rub markings tended to become more complex with population density. Dorsal sebaceous gland secretions were identified, suggesting individual differences. It was suggested that individual differences and sexual maturity could be identified by the odor of this substance. Through these studies, some aspects of odor communication transmitted by adult male animals during the breeding season in brown bear society were revealed.

研究分野：野生動物生態学

キーワード：匂いコミュニケーション　ヒグマ　カメラトラップ　行動の複雑さ　地域差　背部脂腺分泌物

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　C－１９、F－１９－１（共通）

１．研究開始当初の背景

長距離視界の効かない森林内で，なわばりを持たずに低密度で単独生活し，乱婚の繁殖システムを持つヒグマ ***Ursus arctos*** のような哺乳類の種内社会では，交尾機会獲得のためのメスをめぐるオス間競争，メスに選ばれるためのオス自身の自己存在の主張，オス成獣による子殺し回避のための子連れメスによるオス成獣回避，劣位個体による優位個体の回避などのための情報交換には，視覚や聴覚を通じた個体間の直接的情報伝達は非効率であり，化学物質を用いたマーキング行動による情報発信と匂い嗅ぎ行動による情報受信を通じた嗅覚コミュニケーションが間接的情報伝達手段として用いられる[1)]。嗅覚コミュニケーションは，自身が不在でも情報を残せるという特徴を持ち，その媒体として，身体の各所にある分泌腺から分泌される物質が用いられることが知られている。ヒグマのオス成獣は交尾期に立木などに背を擦りつける「背擦り」，足の裏を擦りつける「足擦り」を通じた「マーキング（匂いつけ）」により腺分泌物を通じた情報発信を行い，その匂いを他個体が「嗅ぐ」ことで情報受信を行っていると考えられている[2,3,4,5)]。しかしこれらの研究はまだ端緒についたばかりで、ヒグマの嗅覚コミュニケーション世界の解明はまだ十分になされていない。

２．研究の目的

本研究は、以下の 4 つの問いを目的に研究を行った。

1. 国外の研究及び申請者らによる予備的観察から，ヒグマが足の裏を擦りつける「足擦り」を通じた「ペダルマーキング」を行っている可能性が指摘されている。それはヒグマの背擦り木へと通じる獣道の前後に足跡型のくぼみがあることが北米でもヨーロッパでも日本でも古くから知られていることによる。近年，ヒグマに足裏腺が存在し，雌雄で異なる分泌物を持つこと，繁殖期にオス成獣が足擦りを頻繁に行うことも報告され[5)]，足裏分泌物もヒグマの嗅覚コミュニケーションの役割を担うと考えられはじめている。申請者らの予備観察から，この足跡にそって通常とは異なる足を擦りつけるような歩き方をするヒグマが観察されているが、ペダルマーキングに伴うこの歩き方に関する観察は十分行われていない。背擦りと足擦りは同じ場所で行われることから，背擦り木のある場所は，ヒグマのコミュニケーションのハブ機能を持つのではないかと考えられている[7)]。そこで本研究では、背擦り木への接近前後のヒグマの歩き方に着目し、その観察頻度や歩き方の特徴を明らかにする。

2. 国外の研究及び申請者らによる予備的観察から，ヒグマの生息密度が高いカナダ太平洋沿岸地域の観察では複雑で長いマーキング行動が観察されているが[6)]，生息密度が中程度の北海道内陸部では単純で短いなど，マーキング行動の複雑さには地域間で差がある可能性がある。マーキングにより自身の存在を他個体に伝えるには，匂いに含まれる情報の中身だけでなく，匂い物質の量や付き方の複雑さにより自身を特徴付ける必要があると予想される。そこで生息密度が高いほど個体性の伝えにくさが増すためマーキング行動が複雑で長くなると仮説を立て，密度の異なる地域で比較することにより複雑さの意味を明らかにする。

3. ヒグマには背部脂腺から分泌される化学物質があり，性差があることは確かめられているが[4,5)]，それがどのような化学物質か，伝達される情報には個体の性別，性成熟，社会的地位，個体性が含まれているのか，受信者にその情報が伝わっているのかについてはまだ十分明らかにされていない。そこで，駆除個体や飼育個体から採取した背部脂腺分泌物を化学分析し，含有物質を，性齢クラス別，個体別に明らかにする。

4. ヒグマの背部脂腺から分泌される化学物質が伝える情報が、実際にヒグマにとってどのような反応をもたらすのかについて、まだ十分に明らかにされていない。そこで背部脂腺分泌物の匂いには性齢クラスや個体に関する情報が含まれると仮説を立て，分泌物を飼育個体に呈示する実験を通じ検証する。

３．研究の方法

1. 北海道白糠丘陵南部に位置する森林（浦幌地域、430km^2）内で発見されたヒグマが「背擦り」を行った木（以下、背擦り木）24 本にカメラトラップ（以下、CT）を設置し、背擦り木を訪問するヒグマの行動をヒグマの活動期間全体（4～11 月）を通じて動画で記録した。撮影された動画をもとに、訪問したヒグマについて、体サイズ、外部生殖器、連れ子の有無から性齢クラスを判別した。また訪問個体の行動について、背中、頭、首、脇腹等の擦りつけ行動、木の幹や地面等への匂い嗅ぎ行動、通過などのその他の 3 つに分けた。また背擦り木への訪問前後の歩き方を観察し、「ペダルマーキング」に該当する歩き方を探した。歩行時の地面状態についても、土が露出した地面、足先が隠れるほどの下層植生、膝丈ほどの下層植生の 3 つに分類した。

2. 北海道内でヒグマの生息密度が異なる 4 地域（浦幌、占冠、富良野、興部）で発見された背擦り木に CT を設置し、背擦り木を訪問するヒグマの行動をヒグマの繁殖期（4～7 月）に動画で記録した。撮影された動画をもとに、訪問したヒグマについて、体サイズ、外部生殖器、連れ子の有無から性齢クラスを判別した。また訪問個体の行動について、背中、頭、首、脇腹等の擦りつけ行動、木の幹や地面等への匂い嗅ぎ行動、通過などのその他の 3 つに分けた。また撮影努力量当たりの撮影頻度（RAI）を

【1　研究目的、研究方法など（つづき）】

算出し、各地域の生息密度の指標とした。

3. 繁殖期にサホロベアマウンテン（新得町）及びのぼりべつクマ牧場（登別市）にて飼育されているヒグマのオスおよびメス成獣を不動化し、各種部位（背部脂腺，肛門腺，足裏，肩，脇腹，臀部）を脱脂綿で拭い、脱脂綿上に付着した成分を有機溶媒で抽出した後、ガスクロマトグラフ質量分析計（GC/MS）で測定することで、分泌物の種類を同定した。また嗅覚コミュニケ−ションは揮発性成分を介して行われると推定されるため、こうした分泌物からの揮発性成分を特定するため、同じ操作で採取した分泌物を密閉容器に入れ、MonoTrap DCC18 に揮発性成分を捕集させ、ジクロロメタンで抽出したものを GC/MS にて測定した。

4. 4 月にサホロベアマウンテン（新得町）にて飼育されているヒグマのオス成獣の背部から背部脂腺分泌物を採取し冷凍保管したものを、札幌市円山動物園（札幌市）、旭川市旭山動物園（旭川市）、のぼりべつクマ牧場（登別市）、東武動物公園（埼玉郡宮代町）、日立市かみね動物園（日立市）にて飼育されているヒグマを対象として馴化脱馴化試験と同時選択試験を行った。馴化脱馴化試験では、個体 A の匂いを 4 日間連続して提示した後、5 日目に個体 A と個体 B の匂いを同時に提示し、それぞれの匂いへのヒグマの反応を観察する方法をとった。同時選択試験では、通常個体と去勢個体の背部脂腺から採取した物質を同時に提示し、それぞれの匂いへの反応を観察する方法を取った。

４．研究成果

1. 延べ 10,447 撮影日で、316 回のヒグマの訪問を記録した。繁殖期（4〜7 月）の訪問が多く（63%）、背擦り行動と幹嗅ぎ行動が多く観察された。食欲亢進期（8〜11 月）には、その他の行動割合が増加した。両前肢の足したまで観察できた 112 回のうち、歩行の様子が通常の歩行とは異なるものが 16 回観察された。堅い足取りで前肢が置かれていた場所に重ねるように後肢を置きさらに足をねじる、もしくは引きずるように歩く「擦り歩き」が 7 回、腰幅よりも広く足を開いて歩く「太股歩き」が 9 回観察された。いすれも繁殖期に多く観察された。擦り歩きは幹嗅ぎ行動や背擦り行動を伴うことが多かった。また「太股歩き」は膝丈ほどの下層植生がある場所でのみ観察された。これらの歩き方を行った場所の匂いを嗅ぐ個体は確認されなかった。以上の結果から、これら特異的な歩き方は繁殖期の匂いコミュニケーションに関係している可能性があるものの、観察事例が少なく、ペダルマーキングの存在を示唆する結果は得られなかった。今後は、広範囲を撮影できるカメラの設置方法を検討しながら観察事例を増やしていく必要があるだろう。

2. 地域別のヒグマ撮影結果から、RAI は浦幌地域で最も低く（4.23）、占冠（6.77）、富良野（10.30）、興部（12.23）の順に高くなった。また撮影されたヒグマに占めるオス成獣の比率は浦幌と占冠で 0.50、富良野で 0.54 に対し興部は 0.74 と高い値を示した。オス成獣の擦りつけ行動は持続時間が浦幌で最も短く（7 秒、中央値、以下同じ）、占冠（10.5 秒）、富良野（9 秒）で、興部（11 秒）が最も長かった。また擦りつけ行動のバリエーションとして、すべての地域で背擦りがすべての擦りつけ時に観察され、また持続時間も長かったが、浦幌では背擦り行動しか確認されなかったのに対し、他地域では背中以外の擦りつけが観察された。RAI が高く、またオス成獣比が高いほど、擦りつけ時間が長く、行動が複雑化する傾向が見られた。匂い嗅ぎ行動については、オス成獣が背擦りの前に行うことが多く、その他の性齢クラスの個体は背擦りを行わずに匂い嗅ぎだけを行った。その持続時間は浦幌で最も長く（12 秒）、占冠（9 秒）、富良野（6.5 秒）、興部（7 秒）であった。ヒグマの撮影頻度が高く、特にオス比が高いほど擦りつけ時間が長く行動が複雑化しているように見えることから、背擦り行動の複雑さは、異性へのアピールというより、同性間の競争の激しさを示しているのではないかと考えられた。

3. 測定の結果、メス個体の各部位から採取した試料のトータルイオンクロマトグラム（m/z = 50〜300）では、ピークはほとんど確認できなかったが，オス個体の背部から採取した試料からは、少なくとも 40 個以上のピークを確認することができた。各ピークについて、GC/MS のライブラリにより化合物の同定を行ったところ、低分子のカルボン酸類と飽和直鎖炭化水素とのエステル化合物のほか，高級飽和脂肪族アルコールの 1-Hexadecanol 等やその不飽和型異性体（Hexadecen-1-ol,trans-9），油性物質の Squalene 等を確認することができた。また、マススペクトルの類似度が 90%以上であった 7 つの化合物を用いて、ピーク高さの相対比較を行ったところ、個体間において組成が異なることが分かった。このことは、背部からの分泌物によって個体識別の可能性が示された。

背部採取試料の揮発性成分を測定し、操作ブランクにおいて見られたピークを取り除いた結果、20 本以上のピークが見られ、芳香環を持つアルデヒドやアルコール類，長鎖の高級アルデヒド類，酢酸と脂肪族アルコール類のエステル化合物が同定できた。これらはいずれも特有の匂いを有することが知られており，ヒグマの背部脂腺分泌物の匂いは，これらが混合されたものとされた。背部分泌物と同様に、これらの組成は個体によって異なることも確認できた。野外において、ヒグマが背こすりを行った木の表面を削り、これを密閉容器に入れて持ち帰ったものについて、上記と同様の方法にて揮発性成分を測定した結果、明らかに背こすりをしていた箇所からは、背こすりを行っていない箇所よりも多くのピークが見られたが、ライブラリ検索の結果から、多くは植物由来の化合物であった。そのため、ヒグマの背こすり行動としては、自らの分泌物に由来する成分を木に付着させる一方で、樹木の匂いを自身の体に付着させている可能性も考えられた。

4. 馴化脱馴化試験の結果、繁殖期に供試したオス 5 個体とメス 8 個体で、5 日目の個体 A の匂いへの反応時間（オス 7.8 秒±5.2SE、メス 12.2 秒±6.4SE）よりも、個体 B の匂いへの反応時間（オス

【1　研究目的、研究方法など（つづき）】

36.8 秒±20.1SE、メス 58.1 秒±24.7SE）の方が長く脱馴化が確認された。また同時選択試験の結果、繁殖期に供試したオス 6 個体とメス 8 個体で、正常個体の匂いに反応した時間（オス 96.1 秒±50.1SE、メス 68.5 秒±18.6SE）の方が、去勢個体の匂いに反応した時間（オス 7.6 秒±7.0SE、メス 15.7 秒±6.5SE）よりも長かった。馴化脱馴化試験の結果から、繁殖期にオス成獣のヒグマの背部脂腺から分泌される物質には個体特有の匂いがあり、それをオス、メスともに嗅ぎ分けられること、匂い物質への反応はオスよりもメスの方がより強いことが示唆された。また同時選択試験の結果から、背部脂腺分泌物の匂いから、オスもメスも生成熟しているかどうかの違いが識別できることも示唆された。

引用文献

1) Gosling, L.M. & Roberts, S.C. (2001): Scent-marking by male mammals: cheat-proof signals to competitors and mates. *Advances in the Study of Behavior* **30**: 169–217.

2) Clapham, M.et al. (2012): Hypothetico-deductive approach to assessing the social function of chemical signalling in a Non-Territorial Solitary Carnivore. *PloS One* **7**: e35404.

3) Sato, Y. et al. (2014): Selection of rub trees by brown bears (*Ursus arctos*) in Hokkaido, Japan. *Acta Theriologica* **59**:129–37.

4) Tomiyasu, J. et al. (2017): Testosterone-related and seasonal changes in sebaceous glands in the back skin of adult male brown bears (*Ursus arctos*). *Canadian Journal of Zoology* **96**: 205-211.

5) Sergiel, A. et al. (2017): Histological, chemical and behavioural evidence of pedal communication in brown bears. *Scientific Reports* 7: 1052.

6) Clapham, M.et al. (2014): Scent-marking investment and motor patterns are affected by the age and sex of wild brown bears. *Animal Behaviour* **94**: 107–16.

7) Revilla, E. et al. (2021): Brown bear communication hubs: patterns and correlates of tree rubbing and pedal marking at a long-term marking site. *PeerJ* 9 (January): e10447.

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計0件

〔学会発表〕　計2件（うち招待講演　0件／うち国際学会　0件）

1．発表者名 村上晴花・豊島尚章・佐藤喜和
2．発表標題 ヒグマの特異的な歩き方と足裏マーキングの可能性の検討
3．学会等名 日本哺乳類学会2023年度大会
4．発表年 2023年

1．発表者名 鈴木亜室・向ひな胡・山田穂・大越光・豊島尚章・佐藤喜和
2．発表標題 ヒグマの背擦りの複雑さは何によって決まるのか？
3．学会等名 日本哺乳類学会2024年度大会
4．発表年 2024年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	中谷　暢丈 (Nakatani Nobutake) (90423350)	酪農学園大学・農食環境学群・教授 (30109)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関