

International Journalから

スモール・スロー・サイエンス：雪の中で冬眠するコウモリの発見

ひら かわ ひろ ふみ
平 川 浩 文

(森林総合研究所北海道支所)

はじめに

寒冷地に住む哺乳類にとって冬は試練の時だ。気温が氷点下になり、餌に乏しいこの季節をどう生き抜くか。多くは秋、餌の豊富な間にたくさん食べて体内に脂肪を貯め込む。さらに、地面の穴などに餌を備蓄して冬の間の食料とするものもある。それでも間に合わないものは寝て過ごす、つまり冬眠することになる。

翼を持つコウモリは冬、鳥と同じように、暖かい地方へ渡りをするものもいる。しかし、多くは夏の生息地に留まって冬を過ごすと考えられている。ただ、洞窟やトンネルを利用しない種については、この季節をどこで過ごしているのか実はよくわかっていない。そうした種は樹洞の中や瓦礫地の岩の割れ目などで冬眠していると漠然と想定されてきた。

ところが、北海道で最も普通に見られるコウモリ、コテングコウモリは雪中で冬眠していることが我々の研究で明らかになった。哺乳類の雪中冬眠はホッキョクグマについて2例目。2018年8月13日、Scientific Reports誌で論文を発表した(Hirakawa & Nagasaka 2018)。

反響は大きかった。中でもアメリカの総合科学誌ScienceのEditor's Choiceによる論文紹介は科学者として大きな栄誉だった。National Geographicは我々が提供した動画・写真を編集してクールな音楽付きのビデオクリップを製作し、多くの人に知られることになった。新聞の全国版でも紹介があった。その他、アメリカ・フランス・ドイツの教育関係誌でも紹介記事が掲載された。現在、イギリスのテレビ局でもこの素材を使った番組制作が予定されている。

本稿ではこの研究について経緯も含めて紹介したい。

研究の始まり

論文著者の一人平川が研究を始めたのは2005年。この時点で7例、雪の上のコテングコウモリの発見記録が確認できた。1例は1964年に遡るが、残りの報告は1990年代以降だった。すべて多雪地で、経緯が特殊な1例を除けば残雪期。発見時、個体は様々な形状の雪穴の中にいたが、すべて体を丸めて休眠状態にあった(図1)。



図1 残雪の上で休眠中のコテングコウモリ

記録を見てまず確信したのはこれが普通の現象ということ。報告が少ないのは現象が人目に触れにくいことに加え、たとえ発見されても多くの記録に残らないことが原因と思われた。

すでに冬眠説は出ていた。しかし、平川は懐疑的だった。多雪地ではかなり暖くなるまで雪が残る。つまり、多雪地の残雪期はとても暖かい。気温から見ると、発見に先立ってコウモリが活動していてもおかしくなかった。雪の上を一時的なねぐらとして使っている可能性が疑われた。少なくとも冬眠説には確たる根拠がなかった。いずれにせよとても興味深い現象なので、調べてみることにした。残雪期、雪上にコウモリ探しを始めた。

平行して事実確認の作業も進めた。これまでの記録の報告者に連絡をとり、報告が伝聞による場合はさらに発見者あるいは発見現場にいた

人に連絡をとって、発見の詳細を聞き取りした。いつどこで何をしていて発見したか、そのときのコウモリの状態、雪の状態はどうだったか、などである。加えてウェブ上でも検索を行い、報告があれば同様の聞き取りを行った。

冬眠説への転換

2006年冬、あるコウモリ愛好者団体に向けた講演の中でこの現象について触れた。翌2007年、その代表、動物写真家の中島宏章さんから見つけたとの連絡を受けた。8例目の記録で、偶然でなく探しての発見は初めて。写真とともに詳細な観察記録が残されていた。

それまでさまざまな形状の穴が報告されていたが、このコウモリは5～6 cmの深さのシリンダー状の雪穴の中にいた。分析の結果、平川は冬眠説に転換した。体温で雪が融けたり、積もった雪をコウモリが掘ったりすることでその状態になることはありえなかったからだ。

最初の発表

2010年、チェコ・プラハで行われた国際コウモリ学会の大会でこの現象について発表、新たに収集した6例を加えた計13の事例分析を基に、冬眠の可能性が高いことを報告した。

発表は大会最終日午後のセッションで、研究発表は3つだけ残されていた。聴衆は少ないだろうとの予想に反し、開始前の廊下は人で溢れ、雪中コウモリの話が囁かれていた。発表時、会場は立ち見が出るほど一杯になり、雪上のコウモリの写真を見せるたびに会場がどよめいた。

帰国後、日本哺乳類学会の大会でも発表を行った。その後論文にまとめてイギリスの哺乳類総説誌Mammal Reviewに投稿したが、冬眠の証拠不十分として不受理となった。

共同研究者の出現

哺乳学会発表後、この研究は国内でもかなり知られるところとなり、「自然保護」誌など一般誌にも求められて研究の紹介記事を書いた。

その結果、比較的身近なところから新鮮な発見の報告が入るようになり、2012年までに収集した発見事例は合わせて18例になった。新たに加わった5例の中には後に論文の共著者となる

長坂の報告も含まれていた。長坂は、「自然保護」誌の記事を読んで連絡してきたのだった。

ついに発見

こうして詳しい情報が集まるに連れ、コウモリ発見の状況が次第に明らかになり、探索の条件が絞られてきた。

2013年4月20日、平川は初めて雪の上で眠るコウモリを札幌市羊ヶ丘にある森林総合研究所北海道支所の羊ヶ丘実験林内で発見した。探し始めてから8年が経過していた。続く連休中には長坂が岩見沢市利根別自然休養林で3例を発見した。その後も探索を続けた結果、この春の発見は10例（平川4例、長坂6例）となった。

探索の目的

自らの発見にこだわったのは、コウモリがその後どうなるかを確かめなかったからだ。日中は動かないとすれば、動き出すのは夜になる。日中休眠中は体温が低い状態で、日没を過ぎると、コウモリは体温を上げてその場を離れる、そう予測した。実際、そのとおりだった。



図2 観察に使ったサーモグラフィカメラ

サーモグラフィによる観察

観察にはサーモグラフィカメラが役立った(図2)。この研究で使った唯一の高額機械(30万円強)。日中、雪の上で休眠しているコウモリの表面温度は摂氏数度、雪面近くの気温にほぼ等しかった。日没後、暗くなるにつれコウモリの姿は肉眼で見えづらくなる。しかし、次第に体温を上げてゆくコウモリの姿はサーモグラフィで明確に捉えられた(図3)。時々ごそつと動いて丸まった体が少しずつ開いていき、最後に何回か顔を上げた後、突然飛び去っていつ

た。飛び去りは日没後40分から1時間半くらいの間で、これが冬眠明けと考えられた。

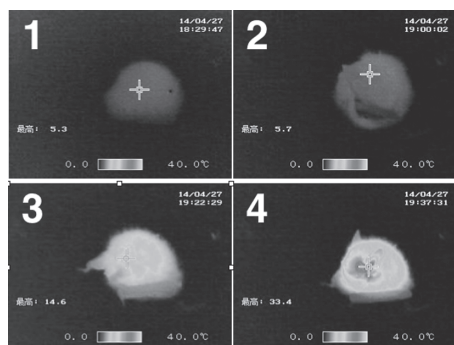


図3 日没後、次第に体温を上げるコウモリ

雪中冬眠の証明

2018年発表の論文には全国から収集した22の発見事例に加えて、直接の観察37例（平川11例・長坂26例）のデータを用いた。

収集事例には積雪初期と真冬の発見が5例含まれていた。うち4例は雪の中から掘り出され、個体は休眠中だった。しかし、この時期に生きて雪の中にいたからと言って雪中冬眠の証明とはならない。掘り出されなかったら各個体が春の雪解けまで生存できたか不明だからだ。

その一方、雪解け期に残雪上で発見される例もいつからそこにいたかが不明だ。冬眠の結果だとすれば、雪の中にいた個体が雪解けで雪の表面に露出したことになる。しかし、春になって活動していた個体が残雪の上に舞い降りて休眠していた可能性も否定できない。

冬眠の証明は収集した発見事例、我々自身の観察事例、気象データ、それに雪氷学・熱力学・生物学的な知見を合わせて、二つの可能性を多くの角度から検証する形で行った。

詳しい証明は論文に譲るが、論文の査読で証明に対する疑問は出ず、査読者の関心はその先に移っていた。雪中冬眠にどんなメリットがあるのか、なぜこんなに小さい動物（コテングコウモリの体重は4～8 g）に数ヶ月に及ぶ雪中冬眠が可能か、だった。また、探索はどうやったのか、発見にどのくらいの努力を要したか、の質問もあった。以下、それに答えていきたい。

雪中冬眠のメリット

すべて推測になるが、雪中冬眠のメリットは三つあると考えている：1) 体内水分の保持、2) 捕食者からの安全、3) 温度環境の安定性。第3点に関して、雪中温度は樹洞の中などより遥かに安定していても0度以下。雪中冬眠がメリットとなるためには、コウモリがこの氷点下の環境をうまく利用できることが前提となる。

雪中冬眠の方法—氷点下非凍結休眠

コウモリは一般に休眠中に体温維持を停止する。その結果、周りの温度が下がると体温も下がり、寒いところでは他の哺乳類なら死んでしまうような低体温になる。こうしてエネルギーの節約をするわけだが、いざとなると自ら体温を上げて活動を再開できる能力がある。

しかし、多くのコウモリは体温が0度近くまで下がると、代謝により体温を一定以上に保とうとする。氷点下では生きていけないからだ。

ところがアメリカの一部のコウモリでsuper-cooling（「氷点下非凍結休眠」と訳）と呼ばれる状態が観察されている。このコウモリは、実験下で気温を氷点下にすると体温も氷点下になり、呼吸も脈拍もほぼ停止し死んだような状態になるが、気温を上げると凍傷もなく再び普通に活動を始めることができる。ただし、実験期間は半日以下で、この状態に長く置くとコウモリは死んでしまうと想定されてきた。

コテングコウモリは雪中にいる間のほとんどをこの氷点下非凍結休眠状態でいると我々はみている。この大きさの動物が雪中で数ヶ月も体温を0度以上に保つことはエネルギー的にまず不可能だからだ。氷点下非凍結休眠は究極の省エネ技術とみなせる。一方、コテングコウモリはこの休眠状態から時折自ら体温を上げて覚醒しているとも考えられる。この体温上昇でシリンダー状の雪洞形成が説明できるからだ。冬眠中の覚醒は多くの動物で普通に見られる。

研究の意義

我々の研究の核心はコウモリの雪中冬眠という現象を明らかにしたこと。コウモリが実際にどう雪中で過ごしているかは推測に過ぎず、結

局は謎のままだが、こうした未知の領域の存在を示したことがこの研究の大きな意義と言えるかもしれない。

ちなみに、ホッキョクグマも雪中で冬を過ごす、生理状態は全く異なる。体温は30度以下にならず、メスは雪穴の中で出産、哺乳まで行うからだ。分厚い体毛と冬眠前に貯め込んだ皮下脂肪がこれを可能にしている。

探索の方法と努力量

コウモリは積雪の底近くにいるので、雪解けの最後、雪が消える直前に露出する。探索は20 cmに満たない深さの残雪に重点を絞った。

最高気温が10度を超えるような暖かい日には努めて探索を行った。暖かいと雪解けが進んでその分露出するコウモリの数も増えるからだ。1日の中では午後、特に夕方にかけて時間をかけた。日中雪の表面に露出した個体はその夜にはすべていなくなる。露出は毎朝新たに始まり日没にかけて累積するので、発見確率は日没に近いほど高まることになるからだ。

論文時点で、平川は探索210時間で11頭、長坂は95時間で26頭発見。1頭発見に平川は19時間、長坂は3時間40分を費やしたことになる。

なぜ発見が難しいのか。

よくある質問は「こんな無防備な姿で雪の上においてキツネなどに見つかると思われちゃうのではないのか」というもの。心配は無用、まず見つからない。

この時期、冬の間に落ちて雪に埋もれていた枝や葉、球果などが雪解けで露出し、雪の表面には一挙に汚くなる。積雪の底近くにいるコウモリはその最後のタイミングで現れる。しかもコテングコウモリは枯れ葉色。丸まってじっとしていると目立ちようがない。

捕食者を惹きつけるような匂いもないらしい。ある日、長坂は飼い犬のユキを探索に連れて行った。長坂は数m先にコウモリを見つけて立ち止まったが、ユキはそのままコウモリの横を過ぎて先へ行き、用を済ませて飼い主の元へ走って戻ってきた。その際、気づかぬまま危うくコウモリを踏みそうになった(図4)。

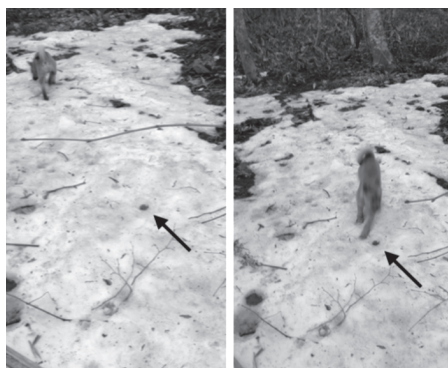


図4 コウモリを危うく踏みかけたオス犬、ユキ

スモール・スロー・サイエンス

現今、巨大科学が花盛り。巨大加速器を使った素粒子関係では著者数が5000人を超える論文も。研究費も当然巨額。科学の進展に伴うもので、そうした科学のあり方は否定されるものではない。しかし、それは科学のありかたそのものではない。科学とは方法論に過ぎないからだ。

我々の研究は特別な研究資金もなく、二人の人間の好奇心を糧に行われたスモール・サイエンス。着手から論文発表まで13年という歳月を費やしたスロー・サイエンスでもある。

速さが勝負の現代において時間という資源を費やしたことはとても贅沢だが、この時代にこんな形態の科学で面白い発見ができること、身近にあって肉眼で観察できる自然にもまだ大きな未知があること、を示せたことも我々の研究の意義の一つと考えている。

本研究にあたっては多くの方のお世話になった。お名前を一人ひとり挙げることはできないが、改めて感謝したい。

引用文献

- 1) Hirofumi Hirakawa and Yu Nagasaka. 2018. Evidence for Ussurian tube-nosed bats (*Murina ussuriensis*) hibernating in snow. Scientific Reports, 8, 12047.

関連サイト

「平川浩文のページ」で検索。Science, National Geographicなど関連サイトを紹介。