

とやまと自然

第22巻 冬の号 2000

生物時計の話 —ノシメマダラメイガの研究から—

／菊川 茂 2

富山からいなくなった動物たち —トキやカワウソ—

／南部 久男 6



日本最後のトキ、メスの「キン」

提供：佐渡トキ保護センター

富山市科学文化センター

生物時計の話ーノシメマダラメイガの研究からー

菊川 茂

●季節を知る ー昼間の長さー

地球上に生きている多くの生き物は、季節の移り変わりにともなう周期的な環境の変化のもとで生き、進化してきました。多くの生き物は夏に成長・繁殖し、冬に冬眠に入ります。昆虫類の多くは体の活動をほとんど停止させる「休眠」と呼ばれる状態で越冬します。昆虫たちは冬が到来する以前に摂食し、体内に脂肪等を十分に蓄え、えさのない冬が来る前に休眠の準備を終えてしまわなければなりません。

では昆虫たちはどのようにして冬の到来を知るのでしょうか。まず考えられるのは温度の変化でしょう。しかしこれは自然界ではあまり信用できません。というのも冷夏の年もあれば暖冬の年もあるように、年ごとにばらばらであまり精度の良いものではないからです。

これに対して昼間の長さは年ごとに変わることではなく、何月何日には何時間何分と決まっています。昆虫にとってその成長や休眠を行うタイミングを季節の進行に合わせるには昼間の長さを用いると正確で都合が良いのです。では昆虫はどのようにしてこれを読みとるのでしょうか？

●実験材料

私たちの研究室ではメイガ科昆虫の一種ノシメマダラメイガを、米ぬかをえさとして飼育しています(図1)。そして、電灯をつけたり消したりすることで人工的に昼と夜の長さを変え、どんな場合に休眠するかを調べています。

ノシメマダラメイガは光のあてかたに応じて休

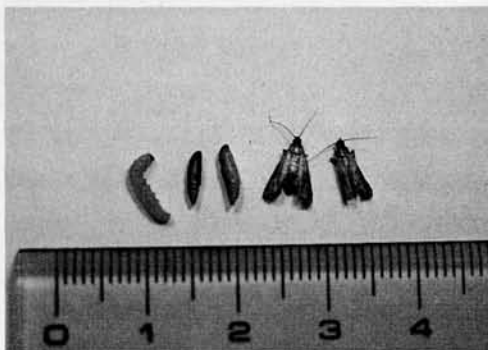


図1 実験材料のノシメマダラメイガ

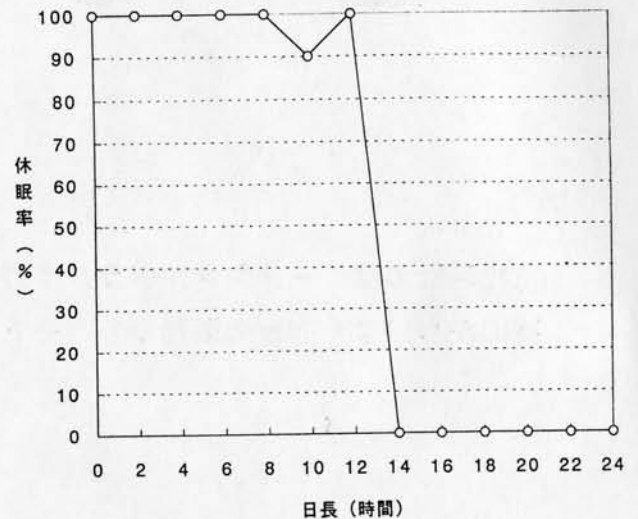


図2 昼間の長さをいろいろと変えたときの休眠率(光周反応曲線)。24時間のうち光を当てた時間の長さを横軸にとり、それぞれの場合の休眠率を縦軸にとったもの。

眠に入る場合と入らない場合に分かれます。25℃で一日(24時間)のうち16時間照明した場合では休眠をせず、幼虫は餌のなかで”さなぎ”となり、産卵されてから約60日ぐらいで成虫となります。

一方25℃で12時間照明した場合では休眠をし、約130日目まで成虫にはなりません。ですから60日目までに成虫となったものの数を数えることで休眠率(休眠する個体数の割合)を容易に求めることができます。

この実験では温度を一定に保つ装置を用い、光源として蛍光灯を使っています。また24時間作動するタイムスイッチでこれをつけたり消したりして、人工的な昼と夜の長さを調節しています。

●昼間の長さとして休眠する割合の関係

人工的な昼間の長さをいろいろと変え、その時の昆虫の休眠率をグラフにしたものが図2です。このグラフで右の方へいくと、つまり昼間の長さがある時間より長いと、休眠率が急に小さくなるのが分かります。休眠率は13時間45分をあてた場合高く(96%以上)14時間あてた場合では低く(2%以下)になりました。ですから50%の休眠率を示す昼間の長さ(これを「臨界日長」と呼び、

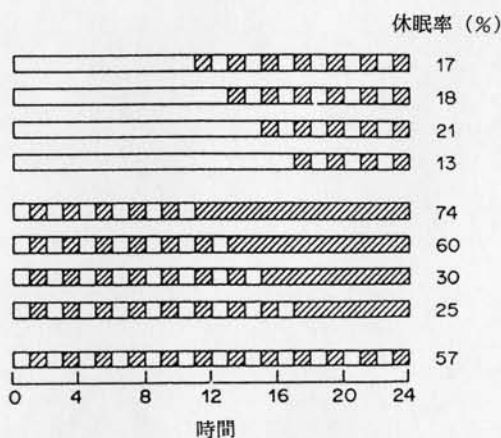


図3 光のあてかたと休眠率の関係。24時間の中で光をあてたりあてなかったりし、そのときの休眠率を調べ、右側に数値で示した。斜線の部分が光をあてなかった時間帯。

50%の休眠率を示す夜の長さは「臨界夜長」と呼びます。)はこの間にあるということになります。つまり、休眠する場合としない場合の違いはこの約15分間の長さの違いを敏感に読み取ることによって生ずるのです。これはこの虫の時間を測る時計の精度がいかに高いかを示しています。

●明るいときと暗いときの役割

昆虫が昼間の長さを測るという場合に、まず疑問に思うことは、実際には昼間、つまり明るいときの長さを直接測っているのか、それとも夜、つまり暗いときの長さを測っているのか、あるいは両者が測られているのか、ということです。

これは比較的単純な方法で調べることができません。昼間に相当する時間は光を当てっぱなしにし、夜間に相当する時間に光を当てたり当てなかったりすると、昼間に相当する長さをいろいろと変えても休眠率に変化は見られませんでした(図3上)。

逆に夜に相当する時間の間は光を当てず、昼間に相当する時間に光を当てたり当てなかったりすると、夜に相当する長さを変えると休眠率は変化するので(図3下)。暗いときが短いと非休眠、長いと休眠といった具合です。さらに、暗いときの長さが休眠の起るような場合(10時間以上)に、いろいろな長さの光をあてる時間を組合わせても、休眠しなくなるということはありませんでした。どうやら我々の実験材料ノシメマダラメイガは夜の長さを測っているようなのです。

●断夜効果

次に夜の作用を詳しく調べることにしました。一般に夜の間に光を当てると、いろいろな節足動物で休眠が起らなくなることが知られています。これを「断夜効果」といいます。これを光を当てる周期を、昼間が12時間で夜が12時間の場合から、昼間が2時間で夜が22時間の場合まで、一日24時間の区切り方をいろいろに変えて調べました(図4参照)。その結果が図5です。夜の途中で光をあてた時間の長さは2時間です。

途中の光を夜の中央に入れた場合、休眠率は低くなりました。ですから休眠率のグラフは12時間より長い夜ではU字型又はV字型の曲線になりました。これらの曲線では右下がりの部分は右上がりの部分よりも勾配がゆるやかでした。

もし夜の途中にあてた光が、それが消えることで夜の始まりを再び設定する、つまり次の夜の日暮れだと解釈されるとすれば、グラフの右下がりの中央(休眠率が50%の点。「臨界点」といいます)から夜明けまでの時間は約10時間となるはずですが、また光がついたことで時間を測る反応が終了する、つまり朝がきたと解釈されるのであれば、右上がりの部分の中央は日暮れから約10時間となるはずですが、結果は、日暮れから右上がりの部分の臨界点までの長さはほぼ予測どおりでしたが、右下がりの部分の臨界点から夜明けまでの長さは夜明けと一定の時間関係をもっていませんでした。このことはノシメマダラメイガの夜を測る仕組みでは、先行する昼間が影響を及ぼすことを示しています。

もう少し実験結果を吟味してみましよう。昼間が12時間で夜が12時間の場合(図5 A)では右上

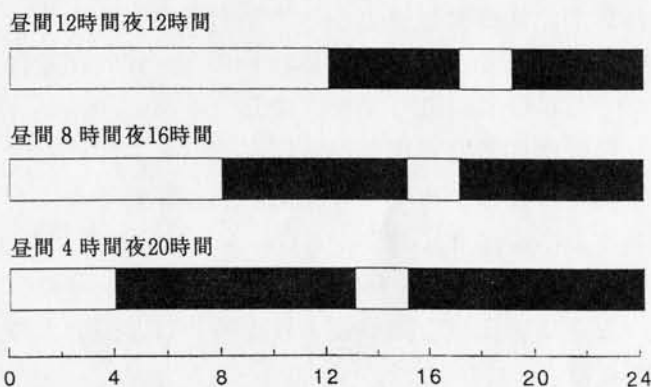


図4 断夜効果の調べ方。昼と夜の長さを決め、夜の途中で2時間の光をあてる。白い部分が光を当てた時間帯。

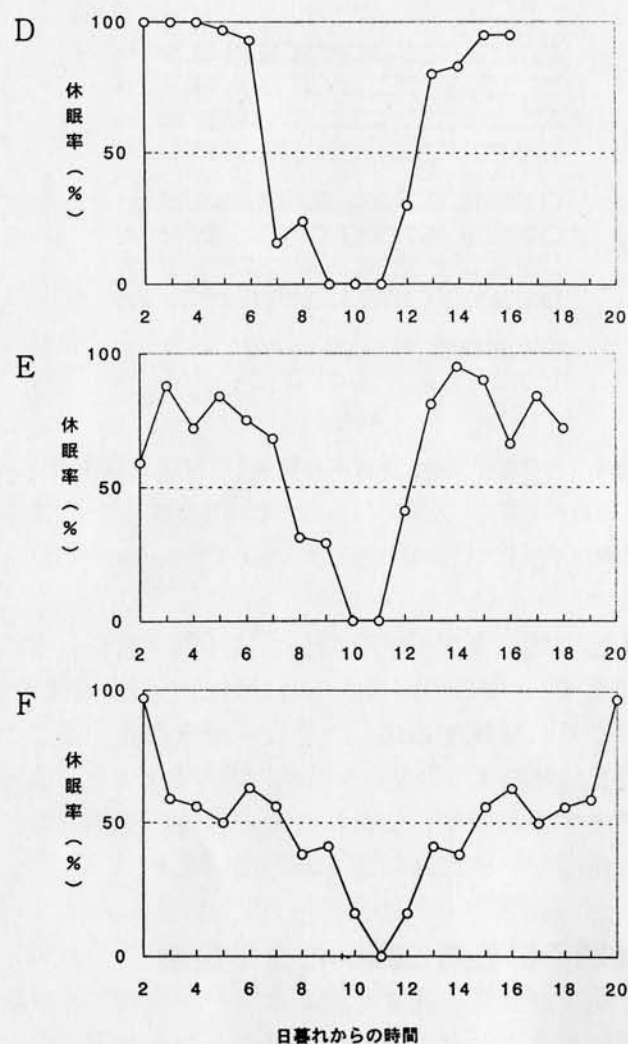
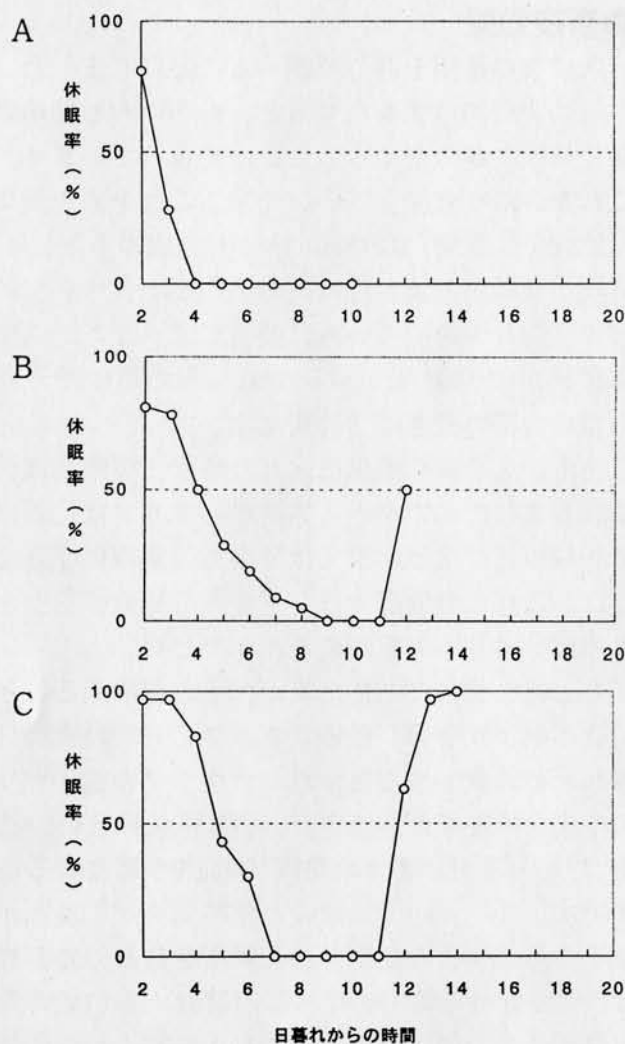


図5 断夜効果。夜の途中で光をあてた時間（2時間）の中央点（1時間目の時間）を横軸にとり、それぞれに対する睡眠率を示した（光を当て始めた時間は横軸の値から1を引いた値である）。A：昼間が12時間で夜が12時間の場合。

B：昼間が10時間で夜が14時間の場合。C：昼間が8時間で夜が16時間の場合。D：昼間が6時間で夜が18時間の場合。E：昼間が4時間で夜が20時間の場合。F：昼間が2時間で夜が22時間の場合。

がりの部分が存在していませんでした。これは単に日暮れから途中にあてた光までの時間が、一番長くても臨界夜長より短いものだったためと思われます。睡眠は日暮れから1時間目に光をあてた場合おこりましたが、日暮れから3～10時間目にあてた場合はおこりませんでした。

昼間が10時間で夜が14時間（図5 B）では途中の光が日暮れから1～8時間目へと移動するにつれ睡眠率は徐々に81%から0%へと減少しました。右上がりの部分で、50%睡眠率の日暮れからの夜の長さは、正常な臨界値より1時間ほど長いものでした。

昼間が8時間で夜が16時間の場合（図5 C）や昼間が4時間で夜が20時間の場合（図5 E）でも

同じように長くなっていました。昼間が8時間の場合ではこの長くなった量は約0.8時間でしたが、途中の光が消えてから夜明けまでの時間は臨界夜長と一致していました。ところが昼間が6時間で夜が18時間の場合（図5 D）や、昼間が4時間で夜が20時間の場合（図5 E）では、それぞれ0.4、1.6時間ほど夜明けまでの時間は増えていました。

昼間が2時間で夜が22時間の場合（図5 F）では途中の光が日暮れから1時間目の時、高い睡眠率（97%）を示しましたが、2～8時間目ではほぼ50%の睡眠率となりました。そしてそれ以後の場合では13時間目まで睡眠はあまり起こりません。この場合では昼間の時間と途中の光は共に2時間なので、日暮れから1～11時間目の中断は11～20

時間目のそれと同様となります。

日暮れ後1時間目に2時間光をあてることは、2時間あてて1時間あてず、さらに2時間あてて19時間あてないという一日の光のあて方になります。この時、もし途中の光の前にある1時間の夜が無視されるなら、これは昼が5時間で夜が19時間の場合と同じとなり高い休眠率を示すはずです。そして、これ以外の途中の光のあてかたでは、2回の夜が存在することになります。ノシメマダラメイガの幼虫が、この2つの夜のどちらかを無作為に読み取るならば、すなわち長い方の夜の長さより短い方の夜の長さのどちらを優先するかを決めるのが半々であるならば、休眠率は50%に近づかずです。10時間目に途中の光を入れることは、2時間明るく10時間暗く、さらに2時間明るく10時間暗い場合に相当し、夜が共に10時間で臨界夜長に近く休眠がおこらないと考えられます。

以上の実験より、この昆虫が休眠のために時間を測る機構は、基本的に夜を測る時計であるがその夜を規定するのは明るい昼間であり、明るい時間の影響も考慮する必要があると言えるでしょう。

●砂時計と振動系

現在、生物時計の仕組みとして2つのモデルが考えられています。1つは砂時計型です。これは砂時計では砂が上の器から下の器へ全部移ったかどうかで時間を測ると同様に、何らかのスタートの信号から一定の時間がたったかたっていないかを測るといふものです。

もし、ノシメマダラメイガがこのタイプだとすると、夜の開始、すなわち日暮れから時間を測り始め約10時間後には時計は停止してしまうでしょう。この停止するか否かが休眠するか否かを決定しているのでしょうか。そしておそらく明るい間は時間を測らず、次の日暮れから再び10時間を測りはじめるといふでしょう。

第2のモデルは昆虫が自分の中に時計を持っているといふもので、この時計は腕時計や柱時計のように約24時間のリズムで進行しているといふものです。これはあくまで仮説ですが、この時計のとある時刻に光が当たると休眠しなくなると考えられています。

ノシメマダラメイガがいったいどのようにして

時間を測っているのかの詳細は、現時点でははっきりしていません。今後、光のあてかたをさらにいろいろと変えて実験を行っていく必要があるでしょう。

●ヒトの体内時計

多分、皆さんが最も興味を持っているのはヒトの体内時計でしょう。普段我々は体内に生物時計を持っていることに気が付くことはありません。しかし、例えば外国への旅行で東や西へと移動した場合、我々の身体のリズムは旅行先に適応するまで数週間を必要とします。例えば眠っているときと起きているときのリズムは昼と夜のもとで24時間、つまり1日周期のリズムを示します。

この"1日周期"というのがくせもので、もしヒトが自然の光の周期がない状態で生活をさせられたなら、平均約25時間の周期で睡眠・覚醒のリズムが続きます。実験をされた人にとってはそれが1日なのです。自然の状態では毎日昼と夜の周期である24時間にこのリズムが同調されているのです。

先の旅行者の例では、旅行先の時刻と出発の時刻に大きな差が生じます。体内時計はその差を素早く修正することはできません。調節に数週間を必要とするのです。この期間中はなかなか寝付けなかったり、昼間にとっても眠くなったりします。このようなリズムは、体温やホルモンでも見い出されます。体温は昼間高く、夜低くなりますし、ホルモンの分泌量も1日周期のリズムを示します。

最近、脳内の松果体のメラトニン分泌のリズムが光周期によって調節され、その情報が脳の視交叉上核という部分に影響し、体内の色々な生理的なリズム現象が開発されるという仮説が有力になってきています。1日周期のリズムの調節に役立つ薬も近い将来に入手できるようになるかもしれません。生物時計は単細胞生物から高等な多細胞生物まで広く存在が認められています。単細胞生物では細胞分裂や代謝レベルでのリズム調節、多細胞生物でも色々な生理現象が秩序正しく24時間リズムを固持しています。時計の本体がいったいどこにあって、どのように働くのかについてのさらなる研究が現在なされています。

(富山大学理学部生物学科 きくかわ しげる)

富山県からいなくなった動物たち—トキやカワウソ—

南部久男

昔は田んぼの小川にたくさんいたメダカが絶滅の危機にある動物として話題になりました。今回は、トキやカワウソなど富山県からいなくなった大きな動物たちにスポットをあて、絶滅の原因などを探ってみましょう。

富山県からいなくなった大きな動物

昔は生息し、現在は富山県からいなくなった大きな動物には、オオカミ、カワウソ、トキ、コウノトリがいます。シカやイノシシも現在は富山県にはほとんどいません。これらの動物は江戸時代までさかのぼると古文書に記録があり富山県（江戸時代は越中）にもすんでいたことがわかります。

江戸時代の越中にはトキやカワウソがいた

加賀藩の産物帳にはトキ、コウノトリ、オオカミ、カワウソ、シカ、イノシシが記録され、江戸時代の中頃には全て越中にすんでいたことがわかります（図1）。

現在日本産のトキは佐渡に1羽がいるだけですが、江戸時代には日本に広く分布し、放鳥した地域もあります。越中では加賀藩がトキを増やすために、1639年に、近江（現在の滋賀県）から100羽を取り寄せ現在の小矢部市、福野町、福光町、城端町の9カ所に放鳥しました（図2）。その結果、周辺の林で繁殖し、その後150年間ほどいついたことが古文書に残っています。トキの羽は買い取られ矢等に用いられました。富山市の呉羽丘陵周辺ではサギ、カモ、トキ、ガンが水田の苗を踏み倒すので、鉄砲で追い払ってほしいという願いが藩に出ており、江戸時代の農民にはトキは害鳥として知られていたことがわかります。また、殿様の鷹狩の獲物として現在の富山市や高岡市で捕えられています。このように、江戸時代の中頃にはトキは越中の平地に広くすんでいたのです。

オオカミは砺波郡などで子供や女性が被害にあった記録が古文書に残り、オオカミが出没すると藩から駆除隊が出されました。平地の林にすんでい

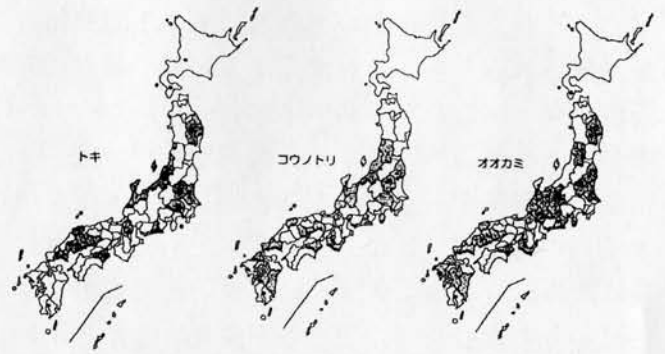


図1 江戸時代の諸藩の産物帳にトキ、コウノトリ、オオカミの記録のある藩（日本野生生物研究センター、1987）

たようです。現在も戸出狼という地名が高岡市に残っています。

江戸時代の越中には藩有林があちこちにあり、勝手に銃を用いて鳥や獣を捕えることは禁じられていましたので鳥や獣が保護されていました。平地には河川の氾濫した跡の湿地や雑木林があり、野鳥や獣がエサをとり生活する場所がいたところありました。トキやカワウソなどの動物がいなくなってしまったのは、明治から大正時代のことなのですが記録が少なく詳しいことはよく分かっていません。

銃の使用によって減ったトキやコウノトリ

明治時代にはいると全国的に銃の使用が野放しの状態となり、コウノトリ、ツル、ガン類、ハクチョウなどの大型の鳥類が乱獲され、これらの鳥は激減しました。1908年によくやくトキとコウノトリが保護鳥に指定され狩猟が禁止されたときはすでに手遅れの状態でした。

日本のトキの歴史

トキは一時は絶滅したのではないかと思われていましたが、昭和の初めに石川県能登半島と佐渡で発見されました。能登半島に5～10羽、佐渡島には、100羽ほど生息していたと言われています。しかし、1941年に太平洋戦争が始まるとトキの生息地でも開拓や森林伐採が行なわれたため営巣場所が減ってしまいました。

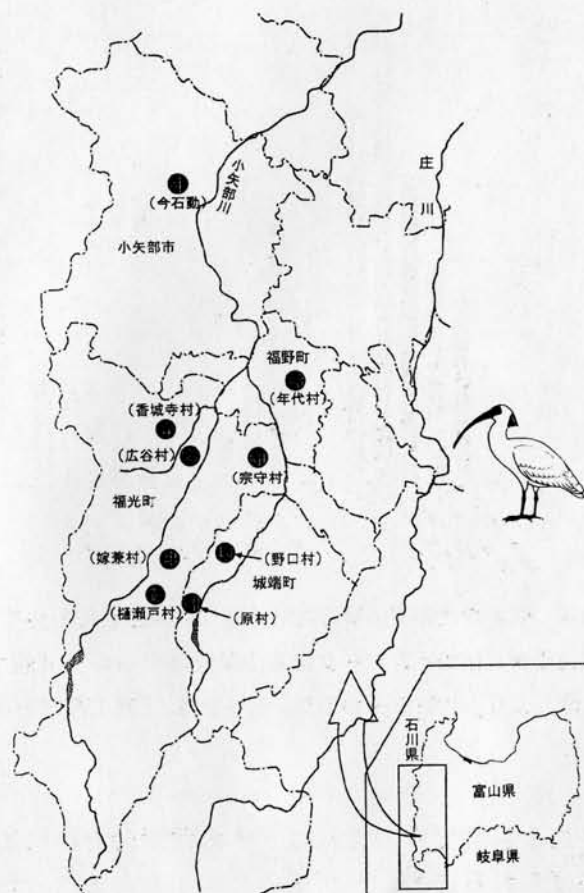


図2 江戸時代(寛永16年)のトキの放鳥場所。加茂家文書の写し(小矢部市石動図書館蔵)より作図。地図は現在のもので、括弧は古文書に出てくる地名。原村以外は現在も地名が残る。

終戦後、能登半島では5羽、佐渡では20羽ほどに減ってしまい、1971年、佐渡へ移された能登最後の1羽も死んでしまいました。佐渡に生息していた野生最後のトキ5羽も飼育して増やすため1980~1981年に全て捕獲され、人工増殖が試みられましたが成功せず、現在生きている日本産のトキは1967年以来飼育されているメスの「キン」1羽だけとなりました。トキが野生で増えなかったのは開発で巣を作る林が少なくなったことや、農薬の散布やほ場整備で用水や水田からドジョウなどエサがいなくなったことが原因とされます。

中国でもトキは絶滅したと思われていましたが、1981年に再発見されて以来人工増殖も成功し、野生でも増え、現在は100羽以上になりました。1999年1月には、日中両国民の友好のシンボルとして贈呈されたオスの「ヨウヨウ」とメスの「ヤンヤン」から「ユウユウ」が誕生し、すくすくと成長しています。

野生復帰が近いコウノトリ

明治時代には日本からほとんどいなくなってしまうコウノトリは、大正から昭和初期には兵庫県の但馬地方に40~50羽ぐらいい残っていませんでした。

太平洋戦争が始まると、生息地の松の大木が切られ巣を作る木がなくなりました。終戦後も減りつづけ、1971年には野生最後の1羽も死んでしまいました。飼育されていたコウノトリの人工繁殖はうまくいきませんでした。人工繁殖がうまくいかなかった原因は、年をとったため繁殖能力が衰えたこと、農業に含まれる有機水銀のためドジョウやタニシが汚染され、これをえさにしたため農薬が蓄積し体を蝕んだことなどが考えられます。

国外ではロシアのアムール川流域や中国黒龍江省などに生息し、現在ロシアには約3,000羽が生息しています。人工飼育から25年目の1985年にロシア(当時はソ連)産のカップルからようやくヒナが産まれました。その後、東京都多摩動物園、天王寺動物園でも外国産のコウノトリの繁殖が成功し、現在100羽以上が全国で飼育されています。なお1971年(昭和46年)から飼育され現在生きている日本産唯一のコウノトリ(福井県の若狭産)と中国産のコウノトリからヒナが誕生しており、日本産のコウノトリの子孫は生き続けています。

兵庫県豊岡市では次第に増え始めたコウノトリに野生復帰の話が持ち上がり、1999年11月には兵庫県立コウノトリの郷公園がオープンし、野生復帰に向けてさまざまな試みが始まろうとしています。

毛皮をとるために減ったカワウソ

カワウソはカッパのモデルともいわれるように日本の水辺の代表的な動物でしたが、良質な毛皮をとるため明治時代から日本各地で乱獲され激減しました。

カワウソは1928年(昭和3年)に保護のため狩猟獣から除外されるまでの5年間「1923年度(大正12年度)~1927年度(昭和2年度)」で、全国で300頭あまりとれ、この頃は少ないながらも全国の水辺にすんでいました。しかし、富山県では捕獲されていませんので、この頃にはほとんどいなくなってしまうと思われています。明治時代には

富山県内で多い年で毛皮が120枚も生産されています(図3)。西砺波郡で多く生産されていることから、現在の小矢部川沿いに多くすんでいたと思われます。カワウソは体が大きく魚やカニをたくさん食べます。明治時代は、小矢部川にもサケやマスがたくさん上ってきてエサも豊富だったことでしょう。

本州のニホンカワウソは、1954年の和歌山県を最後に絶滅してしまいました。現在も生息の可能性があるのは高知県南西部だけです。

最後の生息地であった高知県と愛媛県では、1945~1983年に120頭余りが捕獲されています。その中には海岸で網にかかり溺れ死んだカワウソが多くいます。事故に加え、農薬や家庭排水等による水質の悪化、魚などエサの減少、海岸や河川の工事により隠れ場や繁殖場所が無くなっていったことも少なくなった原因でしょう。

北海道では駆除され絶滅したオオカミ

北海道のエゾオオカミが絶滅した原因は、家畜を襲う害獣として駆除されたこと、エサにしていたシカが北海道の開拓や大雪により激減したこと、海外から侵入したイヌ・オオカミの伝染病によることなどが考えられています。1896年(明治29年)に函館の毛皮商が毛皮を輸出したのが最後の記録です。

本州などのニホンオオカミの絶滅の原因はよくわかっていません。最後の記録は、1905年(明治38年)奈良県東吉野谷村で捕獲された若いオスです。富山県でもいつ頃いなくなったのかは明治時代の記録がなくよくわかっていません。明治のはじめ頃までは生息していたと思われます。

明治時代には富山県にいた

イノシシとニホンジカ

イノシシやニホンジカは、現在は西日本に広く分布し、北陸地方のような多雪地帯には生息しません。富山県では時々岐阜県からやってきたものや、飼育していたものが逃げ出して見られること

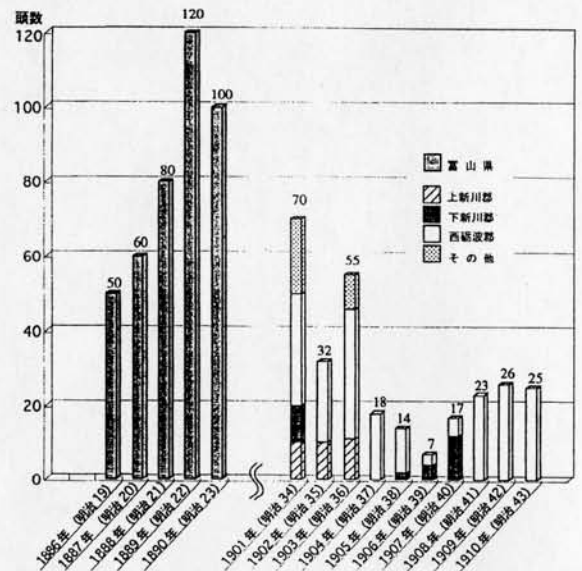


図3 明治時代の富山県におけるカワウソの毛皮の生産量。1886年から1890年のデータは富山県全体のもので「越中の生産」より。1901年~1910年のデータは、「富山県統計書」より。

がある程度です。これは、冬の積雪のため移動が妨げられること、雪が深いとエサをとることができないからと考えられます。富山県では明治時代にはシカやイノシシの毛皮が生産され、すんでいたことがわかります。しかし、大正末から昭和にかけてはほとんど捕獲されなくなりましたので、この頃にはもういなくなったのでしょうか。

高岡市の山間部では、明治時代の中頃に大雪の時に谷に集まってきたシカが全て捕えられ、その地域のシカがいなくなったことが知られています。大雪で雪の少ない場所に集まり人に捕らえられるといったことが度々おこり、富山からシカやイノシシがいなくなったのかもしれない。

大型の動物は、毛皮などを取るために乱獲され、絶滅にいたったものが多いことがわかります。トキやコウノトリ、カワウソのようにわずかに残ったものが、戦争やその後の高度成長期の環境の変化などでしだいに減っていきました。どちらにしても、人との関わりの中で少なくなり絶滅の危機に陥りました。しかし、現在は、人の努力でコウノトリのように復活しつつある生き物もいます。減った生き物が野生復帰できる自然を残しておくことが大切ではないでしょうか。

(脊椎動物担当 なんぶ ひさお)