

3975 生

ヤマビルの刺激因子に対する応答に 関する室内および野外実験



西東京市立田無第四中学校 3年 A 組
鞠子けやき

1. はじめに

1. 研究を始めるきっかけ(ここは“ですます調”で書きました)

7年前の夏休み、私は家族と一緒に丹沢山地を北から南へ縦断したことがあります。溪流で川遊びした時、何匹かの尺取虫が石を伝ってこっちへ向かってくるのが見えました。すると、父が大声で叫んだのです。

「気をつけろ、そいつに咬まれると血を吸われちゃうぞ！」

私は裸で遊んでいたもので、慌てて飛びのきました。尺取虫のように見えた生き物は、動きが尺取虫、見た目はミミズのような容姿をしていたのでちょっと愛らしくも見えたのですが、血を吸うやつだと思うと逆に恐ろしくも見えました。初めて見る動物だったので、デジカメで写真に撮って後で調べてみることにしました(写真1)。「吸血、尺取虫、ミミズ」でネット検索してみたら、すぐに似ている画像が出てきました。和名はヤマビル、日本で唯一の陸生吸血ヒルでした。



写真1 神奈川県丹沢山地の溪流で最初にヒル(2010年8月)

その後、ヤマビルのことはすっかり忘れていました。しかし、昨年度の「科学の芽」を受賞した作品の中に、「蚊が何故人間の血を吸いたくなるのか・・・」というタイトルで研究したものがあり、それがヤマビルを思い出させてくれました。刺激的なタイトルだったの読んでみると、いろいろ試行錯誤しながら工夫を重ねた実験していて、とにかく面白かった。この研究に触発された私は、ヤマビルを使った研究をやってみたくなりました。でも私は高校入試を控えた受験生という理由で親からは反対されました。だったら、「短期勝負でできる研究ならいいか」と聞いたら、許しが出ました。こうして、ヤマビルの研究を行うことになりました。

2. 研究の目的と意義

吸血昆虫である蚊は二酸化炭素や温度に反応して哺乳動物に近づいて吸血することが分かっている。これと同様に、環形動物のヤマビルでも二酸化炭素、温度、臭い、振動などが刺激因子となって誘引されるとする実験報告がなされている(山中 2007; 小泉ら 2010; 小泉ら 2011; 上村ら 2012)。これらの刺激因子がヒルの誘因効果をもたらすとすればどれがもっとも強く作用するのか、これについては十分に研究がなされていない。この点について明らかにすることを目的として、「ヤマビルの刺激因子に対する走性について」と題して実験的な検証研究を行うこととした。

当初、実験は特定の刺激因子のみを変えてその効果を調べるために、室内でのみで行うつもりだった。しかし、ヤマビルは実験を進めるうちに刺激に対する感受性が鈍くな

る傾向が見られたので、野外での実験を追加することにした。したがって、本研究は室内実験と野外実験という、異なるアプローチからなる2つの研究に大別される。

近年、秋田県、鹿児島県屋久島、神奈川県丹沢山地、岐阜県、静岡県、千葉県房総半



写真2 千葉県房総半島清澄山系の小櫃川源流にてヒルの生息を確認(2015年8月)

島(写真2)などではヤマビルの個体数が増加し、吸血活動が活発化していると言われている(岩見・高橋 2009; 加藤ら 2011)。山中(2007)は、こうした地域では、ヤマビルによる「バイオハザード(生物災害)」的状況にあるとする見解を述べている。このため、ヤマビルに効果のある忌避剤または駆除剤の開発(上村ら 2011; 上村ら 2012; 山田ら 2014)や誘因トラップの開発(小泉ら 2011)を行う研究者も増えてきた。この研究はこうしたバイオハザードに対する適応策を策定

する際の基礎資料を提供するという意義があると考えている。

II. ヤマビルとはどんな生き物か

ヒル類は環形動物門に属するので、ミミズやゴカイと近縁です。日本には、約60種のヒル類が生息していて、この種数は世界のヒル類の約一割を占めます(山中 2007)。ヒルといえばすぐに血を吸う生き物というイメージですが、日本では人間の皮膚に傷をつけて吸血するヒル類は、陸生のヤマビル(*Haemadipsa zeylanica japonica*)と水生のチスイビルの2種類だけです。

ヤマビルは冷温帯の秋田県から亜熱帯の沖縄県まで広く分布しています。各地での生息範囲は狭く、また生息密度も低く、かつては一般にはなじみの薄い動物であったのですが、千葉県房総半島や秋田県、静岡県、神奈川県、岐阜県、鹿児島県屋久島千葉県などでは、ヤマビルの分布域の拡大や個体数の増加が認められています。ヤマビルの唯一の栄養源が動物の血液であることから、ヤマビルの分布拡大は寄主動物であるシカやイノシシの増加と一致していることが分かっています(岸本 2010)。

ヤマビルはシカやイノシシが通る湿った場所に生息し、普段は木の葉の裏などに隠れています。そこへ人が近づくとヒトからの刺激因子を感じ取って、尺取虫の歩き方で近づいてきます。野外での農作業などで吸血被害が頻発し、地域住民の日常生活にも深刻



写真3 千葉県房総半島の小櫃川源流で確認したヒル(2015年8月)

な影響を及ぼしているため、殺虫剤などによる化学的防除が試みられています（小泉ら 2010; 2011）。

III. 刺激因子に対する応答に関する室内実験

III-1 何を明らかにするか

ヤマビルを誘引する刺激因子として、 CO_2 、温度、湿度に注目した。刺激因子がどの程度の誘引能力があるのか、ヒルの反応の仕方に着目して比較した。刺激因子に対するヒルの応答を次のように整理した。

上体振り行動：移動を伴わない上体のみの動き

移動行動：移動を伴う行動であり、刺激因子がやってくる方へ移動（“正の走性行動”）と遠ざかる方へ移動（“負の走性行動”）と呼ぶことにする

III-2 全体の実験方法

この目的のために、図1に示すような装置を作った。外から空気をポンプで引き込んだ。空気は毎分2リットル流れるように流量計で調節した。引き込んだ空気は CO_2 除去剤（ソーダライムを詰めた筒）や除湿剤（シリカゲルを詰めた筒）を通したり、ペットボトルで作った加湿器（写真4）を通したりして、チャンバーに運ばれる。このチャンバー内にヤマビルを入れて密閉系を作り、空気を流した。チャンバーから出た空気は CO_2 分析計（Li-Cor, LI-6252）に運ばれ、 CO_2 濃度が測定された。

チャンバーは透明で厚さ3mmの亚克力板を用いて、直方体の箱（たて5cm×よこ30cm×高さ5cm）に組み立てたものである。チャンバー上部の亚克力板（フタ）は本体と接着していない。実験の際はフタを取ってヤマビルを中に入れて再びフタをし、空気が漏れないようにパテを使ってシールした。これによりチャンバー内となり、流れた空気は CO_2 分析計へ運ばれる。

実験に供試したヤマビル個体は8月に丹沢山地で採集した5個体だった。#1~5の個体番号を付し、直径5cm、高さ5cmの円筒のプラ容器に入れた。乾燥しないように湿った半紙を入れた。

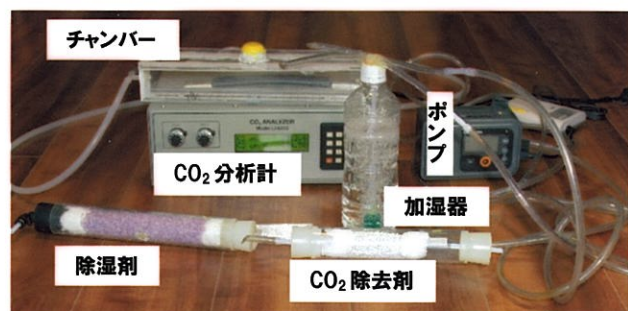
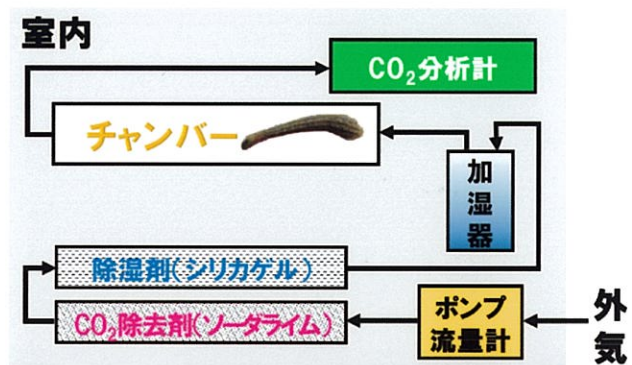


図1 刺激因子に対する応答実験のシステム
（上:システムの概略図 下:実際のシステム）



写真4 プラ容器に入れたヤマビル

その他の細かな実験方法については、それぞれの実験のところに記すこととした。

Ⅲ-3 結果と考察

Ⅲ-3-1 CO₂濃度に対する応答（ドライアイスを用いた実験）

加湿した外気をチャンバーの右手から導入してしばらく観察したのち、チャンバー内の右端にドライアイス（縦、横、高さが5mm程度）を置いた。これにより、チャンバー内のCO₂濃度は3,700ppmを超えた。ドライアイス設置後に、#1~5のヤマビルがどのような応答を示したかを表1にまとめた。

明らかとなったことは次の3点であった。

- ① すべての個体で上体振り行動が見られた
- ② 上体振り行動はドライアイスを入れてから20~75秒後（平均で54秒）に起こった
- ③ 上体振り行動ののちに体を移動（移動行動）した個体は2個体のみだった
- ④ 上体振り行動から移動行動に移行するまでに60秒から95秒を要した

以上の結果より、二酸化炭素濃度の高まりがヤマビルの応答反応を誘発することが明らかとなった。さらに、移動行動も2個体で見られたが、CO₂放出源がチャンバー内に置いたドライアイスだったため、ヤマビルの移動行動に走性があったのかは不明である。

Ⅲ-3-2 CO₂濃度に対する応答（炭酸水を用いた実験）

Ⅲ-3-1の結果において、CO₂刺激に対する移動行動の方向（走性）があるののかを確認するために、図1の実験システムにおける加湿器に市販の炭酸水を20mL加えた実験を行った。この方法でCO₂を供給すれば、空気の流入してくる方向がCO₂放出源となる。この実験に供したヤマビルはで移動行動のあった#3と#4の2個体とした。

炭酸水の入った水をパブリングし続ければ、溶存CO₂はどんどん減少していくはずである。その減少スピードを把握しておくことが、CO₂刺激の影響を見る際に重要である。そこで、実験を行う前に、どれくらいの時間で加湿器からのCO₂供給が無くなるのかを確認しておいた（図2）。その結果、5分程度で外気のCO₂濃度にまで低下することが明らかとなった。したがって、こ

表1 ドライアイスチャンバー内に入れたときのヤマビルの応答行動

個体番号	ドライアイスチャンバーに入れてからの時間(秒)	応答反応
#1	0	静止
	20	上体振り行動
	162	上体振り行動静止
#2	0	静止
	60	上体振り
	120	上体振り行動静止
#3	0	静止
	36	上体振り行動
	60	移動行動
	150	移動行動静止
#4	0	静止
	79	上体振り行動
	95	移動行動
	100	移動行動静止
#5	0	静止
	75	上体振り行動
	121	上体振り行動静止
上体振りに要した平均時間	54	

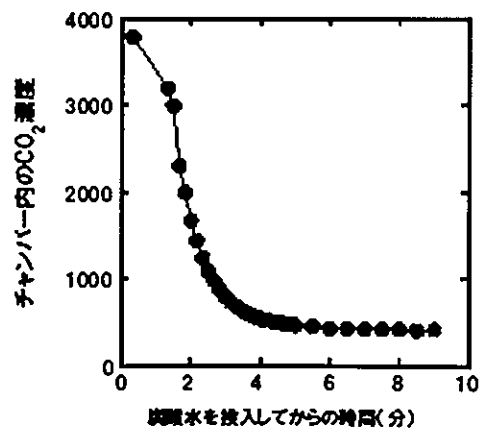


図2 炭酸水を使った際のチャンバー内CO₂濃度の変化

の実験による CO₂ 暴露の時間は 5 分程度になり、この前後での応答行動の変化が注目される。応答行動の観察は最大で 8 分とした。

結果を表 2 に示した。この実験から明らかになったことは次の 2 点であった。

- ① 炭酸水でも移動行動（上下方向の移動も含む）は見られた
- ② 移動行動の方向性の多くは CO₂ 放出源に向かう性の走性行動であった（4 回の移動行動のうち 1 回は負の走性行動）
- ③ 上体振り行動や移動行動はまだ CO₂ 濃度が高いときに終了して、その後は静止した（#3 個体で 147 秒、#4 個体で 248 秒）

以上より明らかなことは、CO₂ 濃度の刺激に対しては正の走性行動があるものとみられたことであり、多くの研究者の結果と一致した（小泉ら 2010；小泉ら 2011）。この他にも、人間の呼気による誘因効果についても実験してみたが、ドライアイスと炭酸水と同様にポジティブな結果となった。

Ⅲ-3-3 温度に対する応答

チャンバーシステムでは温度刺激を与えにくい。そこで、プラ容器に入れたヤマビル #1~5 個体を温度調節したお湯の入ったトレイに沈めることにした。温度の変化は 25~40℃としたが、変化の与え方は中程度の温度を一度上げてから、低温から高温への変化パターンを 3 回繰り返した。これは生物の生理反応に見られるヒステリシス（それまでに経験したことに依存する現象）という現象を考慮してのことである。温度刺激に対する応答の評価はヤマビルの上体振り行動の誘発時間で行った。各温度での観察時間は 5 分とした。

この実験で明らかになったことを以下にまとめる。

- ① 37℃付近の温度において最も早い上体振り行動が見られ、30℃以下や 40℃では遅いか、行動が観察できなかった
- ② 3 回目の昇温においては応答時間が長くなるか反応しなくなる傾向が見られた（ヒステリシス現象）
- ③ 温度に対する応答行動は個体によってかなり異なった（#1 個体の感受性が鈍い）

以上より、温度についても応答行動がみられることが明らかとなった。したがって、野外では CO₂ 濃度とともに、温度の両方が刺激となって哺乳動物に対する吸血行動

表 2 炭酸水を使ったときのヤマビルの応答行動

#3の個体		#4の個体	
炭酸水添加後の時間(秒)	応答反応	炭酸水添加後の時間(秒)	応答反応
0	静止	0	静止
18	上体振り行動	28	上体振り行動
20	正の走性行動(8cm)	30	正の走性行動(2cm)
50	移動行動停止	48	上方移動行動
110	上体振り行動	100	下方移動行動
147	上体振り行動停止	120	負の走性行動(4cm)
480	実験中止	128	上方移動行動
		135	上体振り行動
		150	下方移動行動
		155	正の走性行動(2cm)
		225	上方移動行動
		230	上体振り行動
		248	静止
		480	実験中止

表 3 温度刺激によるヤマビルの上体振り行動の誘発時間

お湯温度	1	2	3	4	5	平均時間
33	—	31	23	24	24	26
37	20	15	10	15	17	15
30	180	9	24	—	—	71
25	—	19	24	—	—	22
31	88	32	90	—	25	59
35	—	25	115	30	25	49
37	—	10	20	20	25	19
40	193	8	8	47	—	64
29	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	24	24
35	—	112	40	—	55	69
37	—	134	60	75	22	73

注) “—”は上体振り行動が観察されなかったことを示す

が生じるものと考えられた。どちらの要因がより強く効果を持つのかは、以上の実験からは不明である。

温度に対する応答能力には個体差が大きいようであった。こうした個体間差異は生態学的にも興味深い。ヤマビル集団としてみたときに吸血する動物の分散化などに役立つ特性かもしれない。そうであれば、集団としては効率の良い吸血行動を生み出すかもしれない。

温度に対する感受性はだんだん鈍くなる傾向があり、室内実験の結果の解析には注意を要すると考えられた。

Ⅲ-3-4 除湿とCO₂除去の影響

ヤマビルは湿ったところに生息しているのはよく知られている。そこで、シリカゲルを通した乾燥（除湿）空気をチャンバーへ送り込んだり、逆に加湿器を通して湿潤（加湿）空気を送り込んだりして、ヤマビルの行動の変化を調べた。さらに、高CO₂濃度に対しては正の走性行動を取ることは本研究でも明らかとなったが、CO₂除去した空気が与えられたときにヤマビルがとる行動はどうなるのか、興味深かったので、CO₂除去の影響についても調べた。供試した個体は応答行動が顕著に見られた#3個体とした。

結果を表4に示す。通常外気を通期している間はずっと静止していたが、除湿を開始したところすぐに上体振り行動を行った。その後、右に左に（正負の走性行動）を示したのち、苦しそうなのたうち回る行動をした。その後、加湿を始めたところ30秒後にはのたうち回るのをやめて、負の走性行動を示した。さらに、CO₂を除去した加湿空気を通気してもまったく動かず、静止したままであった。

表4 除湿・加湿・CO₂除去の刺激によるヤマビルの応答行動の観察結果(#3個体を供試した)

実験開始からの時間(分秒)	処理	応答行動
00:00	外気	静止
04:31	外気	静止
15:00	外気+除湿開始	静止
15:05	外気+除湿	上体振り行動
15:05	外気+除湿	正の走性行動(18.5cm)
16:59	外気+除湿	負の走性行動(6.5cm)
18:00	外気+除湿	のたうち回りながら負の走性行動(1.5cm)
20:00	外気+加湿開始	下部面でののたうち回る
20:32	外気+加湿	のたうち回るのをやめて負の走性行動(15.5cm)
21:24	外気+加湿	壁で動き回る
22:37	外気+加湿	正の走性行動(6.5cm)
25:00	外気+加湿	静止
26:37	外気+加湿	体の前部を動かすが、その場からは移動せず
40:00	外気+加湿+CO ₂ 除去開始	静止
55:00	外気+加湿+CO ₂ 除去	静止、実験終了

以上より、ヤマビルは乾燥した

空気が極端に苦手であることが分かった。ミミズのような環形動物と同様に、湿った場所を好む生き物であることを裏付けている。また、CO₂フリーの空気では全く静止したままであり、彼らのCO₂を感じる感覚器官は低濃度のCO₂に対しては感受性がないことも明らかとなった。すべての論文を精査したわけではないが、山中(2007)やネット検索の結果を見る限り、除湿とCO₂フリーの影響を調べたのは本研究が初めてではないかと思われる。

IV. 刺激因子に対する応答に関する野外実験

IV-1 何を明らかにするか

本研究の室内実験では、CO₂濃度、温度、湿度に対するヤマビルの応答行動について幾つかの知見が得られ、これまでの研究報告を確認するとともに、新たな成果も得ることができた。しかし、室内実験で得られた知見が野外では当てはまらないことも多くある。いわゆる、生理的最適域と生態的最適域は必ずしも一致しないからである。そこで、ヤマビルが生息する野外において、CO₂と温度の誘引効果について調べてみることにした。

IV-2 実験方法

2017年9月3日の夕方(15:00~19:00)に丹沢山地に行き、次のような野外実験を行った。夕刻に調査をしたのは事前調査で朝と夕方にヤマビルの活動が活発になることを突き止めていたからである。

調査地は神奈川県丹沢山地(相模原市緑区烏屋)にある宮ヶ瀬湖の北西部を流れる水沢川沿いのスギ林である(写真5)。スギ林の道路に面した林縁に3メートルおきに10個の調査地点を設けた。この10地点において高CO₂濃度とヒト体温と同じ高温による誘因の効果調べた。

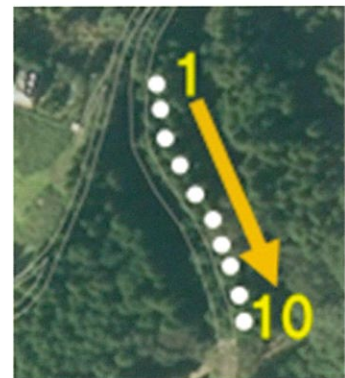


写真5 野外調査地点の航空写真(yahoo 地図)



写真6 野外調査において調査している様子

約5mの長さの釣り竿の先にドライアイスおよび使い捨てカイロの入ったビニール袋(穴あき)を吊るし、そっとそれを地面に置いて、3分間放置後にビニール袋方向に歩いているヤマビルの個体数、さらには回収したビニール袋に付着したヤマビルの個体数を記録した(写真6~8)。以上の調査を時間を変えて2回

繰り返した。



写真7 釣り竿の先につるしたビニール袋



写真8 使い捨てカイロの入ったビニール袋に付着したヤマビル

ドライアイスに誘引されたヤマビル个体数を調査した 10 地点の合計した結果、15:30 からの調査では 4 个体、17:30 からの調査では 6 个体となった (表 5)。また、使い捨てカイロに誘引された个体数は 15:30 からの調査では 10 个体、17:30 からの調査では 7 个体となった (表 6)。

表 5 野外にてドライアイスに誘引されたヤマビル个体数

調査地点	1回目(15:30)	2回目(17:30)
1	0	1
2	0	0
3	1	2
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	1	3
8	1	0
9	1	0
10	0	0
合計	4	6
平均	0.4	1.2

表 6 野外にて使い捨てカイロに誘引されたヤマビル个体数

調査地点	1回目(15:30)	2回目(17:30)
1	0	1
2	1	0
3	0	1
4	0	0
5	2	0
6	0	0
7	0	3
8	0	0
9	5	2
10	2	0
合計	10	7
平均	1	1.4

ドライアイスおよび使い捨てカイロを使った野外実験の結果は室内実験の結果を裏付けるものであった。つまり、 CO_2 濃度と温度がヤマビルを誘引する重要な刺激因子であることが明らかになった。

V. おまけの実験と今後の課題

この他に、野外実験では著者自身が体を張って、スギ林内に入った調査により、明らかとなったことは、呼吸をしながら林内に入ると 30 秒以内に必ずヤマビルは接近してきた。さらに、ソーダライムを通して呼気の CO_2 を除去してみても、ヤマビルは近づいてきた。ということは、体温だけでもヤマビルは近づいてくることだ。その証拠に、近づいてきたヤマビルをまたいで反対側に行くと、ヤマビルも方向転換して近づいてくるからだ。今後は、各刺激因子間での誘引の強さについて比較する研究をしてみたいと考えている。

VI. 参考文献

- 青木雄司・藤井幹・秋山幸（2013）ヤマカガシを吸血するヤマビル. BINOS 20 : 41.
- 上村わこ・加藤愛咲・菊地里菜（2012）ヤマビル前吸盤の温度感受性を利用した忌避剤の開発. 化学と生物 50(11) : 849-850. doi : 10.1271/kagakutoseibutsu.50.849.
- 上村わこ・加藤愛咲・切明畑沙織・伊藤絵梨・田中大介（2011）ニホンヤマビルに対する忌避効果:ヤマビル忌避剤の開発. 日本森林学会大会発表データベース 122(0), 512. ://doi.org/10.11519/jfsc.122.0.512.0.
- 大嶋正人・瀬戸崇宏・関和仁（2011）ヤマビルの化学分析. 東京工芸大学工学部紀要 34(1) : 52-57.
- 加藤愛咲・上村わこ・切明畑沙織・伊藤絵梨・田中大介（2011）. 日本森林学会大会発表データベース 122(0), 513. doi: 10.11519/jfsc.122.0.513.0.
- 神奈川県ヤマビル対策共同研究推進会議（2001）ヤマビル対策共同研究報告書. 神奈川県, 107p.
- 小泉紀彰・鎌田直人・山中征夫（2010）ヤマビル(*Haemadipsa zeylanica japonica*) のトラップ開発と行動生態学的研究. 日本森林学会大会発表データベース 121 (0) : 166. doi: 10.11519/jfsc.121.0.166.0.
- 小泉紀彰・鎌田直人・山中征夫（2011）熱源トラップを用いたヤマビル (*Haemadipsa zeylanica japonica*) の分布推定. 日本森林学会大会発表データベース 122 (0) : 151. doi: 10.11519/jfsc.122.0.151.0.
- 小泉 紀彰, 山中 征夫, 鎌田 直人 (2014) CO₂・熱源・振動・寄主の臭いに対するニホンヤマビルの反応. 森林防疫 63(5) : 203-207.
- 丹沢自然保護協会（2005）Ⅶ マダニ・ヤマビル調査, 平成 16 年度自然公園等施設整備委託「生きもの再生調査報告書」, 神奈川県, pp. 34-38.
- 岸本康誉（2010）第6章 ヤマビルの出没増減とシカ・イノシシ出没の関係, 「兵庫ワイルドライフモノグラフ 2号 農業集落アンケートからみるニホンジカ・イノシシの被害と対策の現状」, 兵庫県森林動物研究センター, pp. 39-43.
- 森嶋佳織, 逢沢峰昭, 中山ちさ, 大久保達弘（2016）関東地方におけるニホンヤマビルの集団遺伝構造. 日本森林学会大会発表データベース 127(0), 341. doi : 10.11519/jfsc.127.0_341.
- 山田利博, 當山啓介, 久本洋子, 広嶋卓也, 須藤智博, 前田清人, 江上浩（2014）野外調査区での薬剤散布実験によるヤマビル駆除効果の検討. 日本森林学会大会発表データベース 125(0): 177. doi : 10.11519/jfsc.125.0_177.
- 山中征夫（2007）森の危険な生物たち7 ヤマビルー日本で唯一の陸生吸血ビルー. 森林科学 51 (10) : 43-46.