

論文

## 大発生を予測するマイマイガのモニタリングトラップの考案

片桐 奈々・大橋 章博

Monitoring traps developed to estimate overabundance of gypsy moth

Nana Katagiri, Akihiro Ohashi

マイマイガの大発生を引き起こさないためには、増加の初期に防除を行うことが効果的である。そのため、個体数密度を把握するモニタリングは重要である。現在、日本でモニタリングに用いられているアメリカ製トラップの問題である入手の困難性を解決するため、手軽に入手できるペットボトルを加工したモニタリングトラップ 2 種 (A, B) を考案した。網室内でマイマイガを放虫し、各トラップの捕獲割合を調査した結果、A と B の間では差がなかったが、両方とも既存トラップよりも高かった。また、考案トラップの作製時間は B よりも A が短かった。網室での検証であるが既存トラップよりも捕獲効率が高く、製作の容易なトラップを考案できたと考えられた。

**キーワード** : マイマイガ, モニタリングトラップ, 大発生

### I はじめに

マイマイガ (*Lymantria dispar*) はドクガ科に属する大型のガで、幼虫は落葉広葉樹を中心に様々な樹種を摂食する (尾崎 1990, 峯岸ら 2015)。世界に広く生息しており、ヨーロッパ, 北アメリカなどに分布するヨーロッパ型と日本, 東アジア, 極東ロシアなどに分布するアジア型の 2 タイプに大きく分けられる (岩泉 2010)。これらは形態や生態の異なる点がいくつかあり、例えばヨーロッパ型に比べてアジア型は体サイズが大きい (ヨーロッパ型は雄の前翅長 : 14.5-22 mm, 雌の前翅長 : 20-30 mm, アジア型 (日本亜種) は雄 : 25-32 mm, 雌 : 34-41 mm) (峯岸ら 2015)。たびたび大発生することでよく知られており、北アメリカでは重大な森林害虫となっている (岩泉 2010, 峯岸ら 2015, 軸丸 2017)。日本においても古くから大発生が報告されており (尾崎 1990)、最近では 2013 年, 2014 年に、岐阜県 (大橋 2016)、福井県 (水谷 2014, 2017)、新潟県 (宮嶋 2015)、富山県 (松浦・中島 2016) などで大発生が報告された。特に岐阜県では、全域でマイマイガが大発生し、住宅地へ多数の成虫が飛来して建物や電柱に大量の卵塊を産み付けて不害虫として問題になったり、多数の幼虫がスギ、ヒノキの植栽樹を食害して枯死させるといった被害がみられた (大橋 2016)。このようにマイマイガが大発生した際には大きな問題となるため、防除を行うことが必要となる。ところが、マイマイガは数年~数十年ごとに大発生するが、はっきりとした周期は明らかになっていないため (例えば尾崎 1990, 水谷 2014, 松浦・中島 2016,

大橋 2016)、大発生したときに初めて被害が顕在化し、防除が後手に回ってしまうことがあり得る。あらかじめ個体数密度の推移をモニタリングして大発生初期の段階で防除対策を行えば、その後の個体数増加を抑制することができ、防除を効率的に行うことができる。

モニタリングの方法として、森林の樹幹に産み付けられた卵塊の密度調査が行われているが (東浦・山口 2012, USDA 2019)、それ以外にマイマイガの性フェロモンを利用する方法がある。マイマイガは繁殖の際に雌が性フェロモンを出して雄を誘引する性質がある。この性フェロモンを人工的に合成した合成フェロモンを設置したトラップで雄を誘引捕殺し、個体数密度の増加を推測することができる。この方法は、森林内の広い範囲で樹幹についた卵塊を計数しなければならない卵塊密度調査とは異なり、設置したフェロモントラップを回収して捕殺されたマイマイガの頭数を計数するだけなので、時間的にも人員的にも労力が少なくすむ。

これまで、日本においてマイマイガの合成フェロモンを用いたモニタリングトラップは湿式、粘着式、乾式でそれぞれ身近で手に入る資材を使ったものが考案されている (久保園 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 滝沢ら 1986)。湿式と粘着式は捕獲されやすいが、前者は水を必要とし捕獲虫が腐敗しやすいこと、後者は粘着面の広さに限界があり粘着剤の定期的な交換が必要であることがデメリットとして挙げられる (滝沢ら 1986)。乾式は、一度設置してしまえば回収まで手入れの必要がなく取扱いが簡単であるが、捕獲効率の面で他よりも劣る (滝

沢ら 1986)。このためか、先行研究で考案された乾式トラップは実用化にいたっていない。野外で実際にモニタリングする場合のトラップが備える条件のひとつは、扱いに手間がかからないことである（滝沢ら 1986）。したがってモニタリングには、捕獲効率の高い乾式トラップが必要とされる。現在、日本においてフェロモンを用いたモニタリングでは、アメリカ合衆国農務省（United States Department of Agriculture : USDA）が推奨している牛乳パックを使った乾式トラップ（USDA 2019）をそのまま利用している（峯岸ら 2015）。このトラップはアジア型マイマイガも捕獲することができるが、日本で使用する場合にアメリカから輸入しなければならず、国内で入手しづらいという問題がある。

以上の問題を解決するために、身近な資材を使った捕獲効率の良い乾式モニタリングトラップを考案することを本研究の目的とした。

先行研究で考案された乾式トラップは、段ボールのような野外での耐久性に欠ける資材で作ったものが多い（久保園 1980, 滝沢ら 1986）。そこで今回は、耐久性の高いペットボトルを資材とし2種類のモニタリングトラップを考案した。これらの捕獲効率を調査するため、人工飼育したマイマイガ雄成虫を網室内で放虫した。また、モニタリングトラップのコストを算出し、低コスト化の検討を行った。

## II 材料と方法

### 1. 考案したトラップ2種類の構造

本研究では2種類のトラップ(A, B)を考案した。トラッ

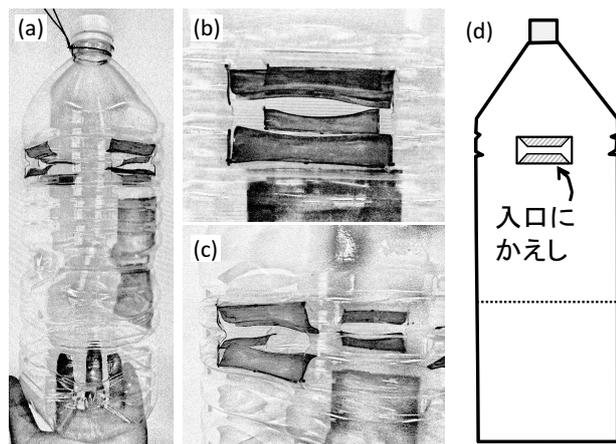


図-1 ペットボトルAの構造

- (a) ペットボトルトラップAの全体図, (b) 侵入口正面, (c) 侵入口, (d) 概略図を示す。  
 (a) ~ (c) の塗りつぶされた部分は「かえし」を示し、実験に使用する際には塗りつぶしていない。  
 (d) の斜線部分は「かえし」を示す。点線は捕殺したマイマイガを取り出すために分割した線を示す。ペットボトル1本を使用して作製する。

プの作製に用いる資材は、ペットボトルを選択した。この理由として、(1) 比較的加工がしやすいこと、(2) 野外に設置した場合の耐久性が高いこと、(3) 透明のため、内部を外から確認できること、(4) 家庭ゴミから入手しやすいことなどがある。トラップ作製に使用したペットボトルは、容量2 Lの角型タイプで、高さ32 cm, 横10 cm, 縦8.5 cmである。

考案したトラップ2種の構造は以下のとおりである。まず、Aは、ペットボトル1本から作製している（図-1）。マイマイガが侵入後脱出しにくくするために、かえしのついた侵入口をペットボトルの4つの側面それぞれにつけた。侵入口の大きさは、アジア型マイマイガの体サイズを考慮して横3.5 cm, 縦1 cmとした。捕獲効率を検証するため、本実験では捕殺されたマイマイガを取り出せるようペットボトルの中心部分で分割し、ガムテープで固定して実験に用いた。

Bでは作製のためにペットボトル2本を使用した（図-2）。Aと異なり、トラップ内部にかえしをつけた。また、Aよりも大きい横4 cm, 縦1 cmの侵入口を4つの側面全てにつけた。内部にかえしがあり、Aよりも侵入口を大きくすることで、マイマイガがより入りやすく出にくい構造となると予想した。Aとは異なり、捕殺されたマイマイガを取り出すことのできる構造となっている。

### 2. トラップの捕獲効率の検証試験

考案したトラップの捕獲効率を検証するため、既存トラップと比較試験を行った。既存トラップは、USDAが推奨しヨーロッパ型マイマイガのモニタリングに用いら

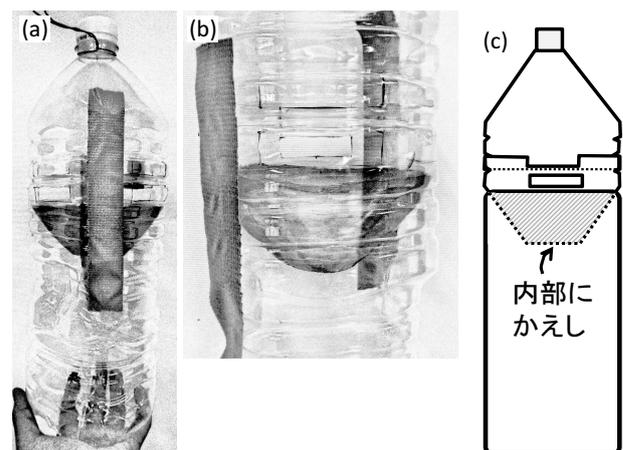


図-2 ペットボトルBの構造

- (a) ペットボトルトラップBの全体図, (b) 侵入口正面, (c) 概略図を示す。  
 (a), (b) の塗りつぶされた部分は「かえし」を示し、実験に使用する際には塗りつぶしていない。  
 ペットボトル2本を使用して作製する。全ての部品はガムテープで固定した。

れる緑色の耐水性のある厚紙からできた乾式トラップ (Scentry, Biologicals, Inc., 以降, ミルクカートントラップとする) とした。ミルクカートントラップの組立後のサイズは高さ 24 cm, 横 9.5 cm, 縦 9.5 cm である (図-3)。侵入口は 4 つの側面全てに 2 つずつ上下に並んでついている。侵入口のサイズは峯岸ら (2015) と同様に, 縦 0.9 cm, 横幅は標準が 2.6 cm であるのをア

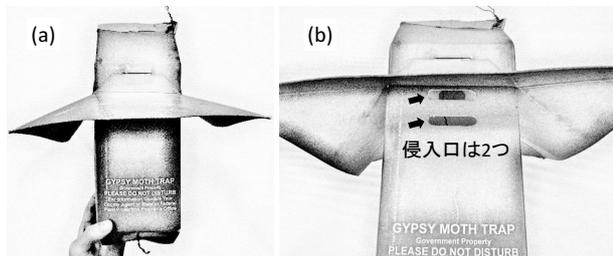


図-3 ミルクカートントラップの構造  
(a) ミルクカートントラップの全体図,  
(b) 侵入口を示す。

ジア型マイマイガの体サイズを考慮して 3.5 cm に拡張した。上側の侵入口すぐ上に幅 7 cm の屋根をつけるため, 設置する際は屋根が侵入口に覆いかぶさる状態となる。内部にかえしなどはない。捕殺されたマイマイガを取り出すため, 底部分を開閉できるようビニールタイで固定して設置した。

岐阜県美濃市の岐阜県森林研究所の敷地内において, 野外に縦 3.5 m, 横 9 m, 高さ 2 m の網室を設置した。網室には, 2 mm メッシュの寒冷紗を使用した。その中に, 2017 年 5 月から 7 月の間, 考案したトラップ 2 種 (A, B) とミルクカートントラップを順次, 一定期間設置した。網室内で, マイマイガ雄成虫を放虫して各トラップの捕獲効率を調査した。

マイマイガは, 2016 年夏に岐阜県恵那市で採集した卵塊からふ化した幼虫を人工飼料 (島津 1991) により飼育して得られた羽化して 3 日以内の雄成虫を用いた。羽化後の雄成虫は, 試験に用いるまで 15 °C 条件下で保存した。放虫は網室内のトラップから 6 m 離れた位置

で, 晴れか曇天の日のマイマイガの活動が活発な 10:30 ~ 13:00 の間に行った。また, 放虫する際にトラップごとに用いた成虫を区別するため, 前翅に油性マジックで印をつけた。

トラップは侵入口の高さが地表から 1.4 m となるように設置し, トラップ内部にはルアーとしてマイマイガの性フェロモン成分である (+) -disparlure < (7R, 8S) -cis-7, 8-epoxy-2-methyloctadecane > を 0.5 mg 含浸させたゴムセプタム (信越化学工業株式会社) を取り付けた。また, 約 3 cm 四方に切った樹脂蒸散殺虫剤 (バポナ®, アース製薬株式会社) をトラップの底に投入し, 捕獲したマイマイガ雄成虫を殺虫するようにした。ルアーと殺虫剤は約 1 ヶ月半で新しいものに取り換えた。

羽化した雄成虫から順次放虫していき (放虫 1 回あたり 1 ~ 13 頭), 最終的に放虫数がトラップあたり 10 頭前後になるまでトラップを設置した (表-1)。成虫の寿命が約 1 週間のため最後の放虫から 3 ~ 4 日経過してから捕獲頭数を計数し, 次のトラップに付け替えた。この際の各トラップは, 調査期間をとおして同一のものである。これをトラップ 1 種類あたり 3 反復行った。トラップを設置する順番は, 表-1 のとおり気温の違いを考慮して設置時期に過度の偏りがないよう一定にせず入れ替えた。前のトラップで放虫した雄成虫が捕獲された場合は, その成虫を放虫頭数, 捕獲頭数から除外した。

トラップ間の捕獲割合をモデル選択によって比較した。まず, 二項分布の一般化線形混合モデル (Generalized Linear Mixed Model, GLMM) を, 説明変数の分類を変えて 5 種類構築した。説明変数はトラップの種類で, その分類は, ① (ミルクカートン)・(A)・(B) の 3 つの場合, ② (ミルクカートン+A)・(B) の 2 つの場合, ③ (ミルクカートン+B)・(A) の 2 つの場合, ④ (ミルクカートン)・(A+B) の 2 つの場合, ⑤ (ミルクカートン+A+B) の 1 つの場合の 5 種類である。目的変数は捕獲頭数/未捕獲頭数, ランダム効果はトラップの設置順番を指定した。モデル選択規準 Akaike Information Criterion (AIC) が最小のベストモデルにおける説明変

表-1. 各トラップの設置期間と放虫頭数

設置した トラップ	トラップの設置期間と期間中の放虫頭数(2017年5月~7月)			合計 放虫数
ミルクカートン トラップ	5/20~26 9頭		7/10~14 10頭 7/21~28 11頭	30頭
ペットボトルA	5/27~6/1 9頭	6/8~7/6 8頭	7/14~18 13頭	30頭
ペットボトルB	6/2~8 13頭		7/6~9 9頭 7/18~21 15頭	37頭

数の分類から、トラップ間の捕獲割合の違いを検討した。例えば、②の説明変数の分類をもつモデルがベストモデルになった場合、ミルクカートントラップとAの捕獲割合に差はないが、Bの捕獲割合はこれらと差があると解釈することができる。

### 3. 考案したトラップの製作コストの算出について

考案したトラップ2種の製作コストの指標として、材料に費用がかからないためトラップの加工時間を用いた。トラップの加工は、岐阜県森林研究所の職員である女性3名が行った。その際トラップの完成品は見せず、トラップ製作方法を書いた説明書を事前に渡し、熟読してもらった。加工時間の測定は、トラップ1種類につき1名あたり8回行った。本試験で測定したトラップAの加工時間には、出入口やかえしの加工だけではなく、トラップに捕獲されたマイマイガを取り出すためのペットボトルの分割を行った時間も含まれている。初回の作製および計測作業に時間を置いた場合の初回は、作業にまだ慣れていないため解析から除外した。加工時間(秒)をモデル選択によりトラップ間で比較した。ガンマ分布のGLMMを、説明変数をトラップの種類とし分類が①(A)・(B)の2つの場合、②(A+B)の1つの場合の2種類、構築した。目的変数は加工時間、説明変数はトラップ種、ランダム効果は作製者とした。モデル選択規準AICが最も小さいモデルの説明変数の分類から、トラップ間の加工時間を比較した。以上の全ての解析には、統計解析ソフトウェアR. 3. 3. 0を用いた(R Development Core Team 2016)。

## III 結果

### 1. モニタリングトラップ3種の捕獲割合

捕獲割合はミルクカートントラップが0%で設置期間に関係なく全く捕獲できなかった一方、Aは15.4~55.6%、Bは0~30.8%で、設置期間をとおしてAの方がBよりも捕獲割合が高い傾向にあった(図-4)。また、AとBは設置期間が遅くなるにつれて捕獲割合が低くな

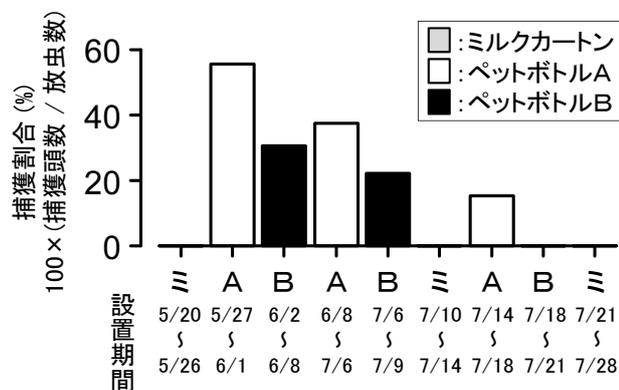


図-4 設置期間ごとの各トラップの捕獲割合 (%)

る傾向もみられた。各モニタリングトラップの捕獲割合を比較するためモデル選択を行った結果、AIC値が最も小さいモデルは説明変数の分類が(ミルクカートン)・(A+B)という組み合わせであった(表-2)。

表-2 トラップの捕獲割合を比較するため構築したモデルの説明変数の分類の組み合わせとAIC値

モデルの説明変数の組み合わせ	AIC値	deviance
(ミルクカートン)・(A+B)	18.07	12.07
(ミルクカートン)・(A)・(B)	18.41	10.41
(ミルクカートン+B)・(A)	22.24	16.24
(ミルクカートン+A+B)	24.50	20.50
(ミルクカートン+A)・(B)	26.49	20.49

### 2. 考案トラップの作製コスト

加工時間は職員による違いはあるが、Aが374.19~687.92秒、Bが594.12~1242.10秒とAよりもBで高い傾向となった(図-5)。また、考案トラップ2種の加工時間を比較するためのモデル選択によると、AIC値が最も小さいモデルの説明変数は(A)・(B)という組み合わせであった(表-3)。

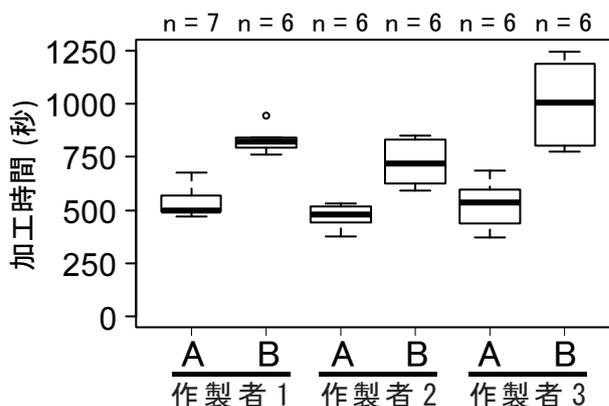


図-5 作製者ごとの考案トラップAとBの加工時間(秒)

表-3 トラップの加工時間を比較するため構築したモデルの説明変数の分類の組み合わせとAIC値

モデルの説明変数の組み合わせ	AIC値	deviance
(A)・(B)	460.7	452.7
(A+B)	504.7	498.7

#### IV 考察

モニタリングトラップの捕獲割合を比較するためのモデル選択により選ばれたベストモデルの説明変数の分類の組み合わせから、AとBの捕獲割合に差はないが、ミルクカートントラップはこれらと差があると推測された。各トラップの捕獲割合の結果(図-4)とあわせると、AおよびBの捕獲割合がミルクカートントラップよりも高いことがわかった。したがって、本研究において網室という条件下ではあるが、ミルクカートントラップよりも捕獲効率の良いモニタリングトラップを考案することができたと考えられた。

本研究において、日本でもモニタリングに使用されているヨーロッパ型マイマイガ用のミルクカートントラップは、侵入口を通常よりも大きくしたがマイマイガを捕獲することができなかつた。ミルクカートントラップの回収時に、侵入口の周辺に雄成虫の鱗粉が全く付着しておらず、雄成虫はミルクカートントラップに入ろうとしていなかった。したがって、一度トラップに侵入したマイマイガが殺虫されず脱出してしまったわけではなく、マイマイガが侵入口を見つけられなかったと推測される。しかし、本試験と同様の仕様で設置した峯岸ら(2015)のミルクカートントラップは、マイマイガを捕獲できている。本試験のミルクカートントラップでマイマイガを捕獲できなかった要因は、今回わからなかつた。

次に、既存のミルクカートントラップよりも捕獲効率の良かった今回の考案トラップAおよびBについて、コストの面からどちらがモニタリングに適しているかを検討していきたい。

考案トラップの加工時間を比較するためのモデル選択により選ばれたベストモデルの説明変数の分類は、(A)・(B)という組み合わせであった。このことから、AとBの加工時間は差があると推測された。したがって図-5における加工時間の結果から、Aの加工時間よりもBの加工時間の方が長かつた。これはAよりもBの方が、作製工程が複雑であることが要因だろう。また、Aの平均加工時間は作製者間で大きな違いはないが、Bは作製者の間で最大約5分の差がみられた。これは、Aに比べBの作業工程が複雑なため、手先の器用さ等の作製者の特性が作業効率に反映された結果みられた作業時間の差と考えられる。以上のことから、作製の工程が比較的単純なAの方が、専門的な知識やトラップ作製の経験が少ない人にも作製しやすく、誰でも同様の作業効率で作製が可能と考える。さらに、Aはペットボトル1本から作製することができるが、Bはペットボトル2本を使用しなければならない。資材が家庭ゴミであるとはいえ、Bを作製する場合、家庭ゴミからペットボトルを集める労力がAの倍かかることになる。今回のコスト算出試験において、同じ型タイプのペットボトルを大量に集めるにはある程度の時間が必要で、必要なタイミングで大量にモニタリングトラップを用意したい場合は、使用する資材の量が少ないAの方が適していると思われる。

考案トラップのコストを把握するため、トラップの加

工費(加工時間×人件費)を算出した。人件費は、岐阜県における雇員の基本賃金1070円/時間(平成30年3月)とした。AとBの加工費の平均値±SDはそれぞれ、152.52±25.13円と253.13円±53.49円であった。一方、アメリカの通販サイトにおけるミルクカートントラップの価格は、1個あたり約2米ドルで、日本円では約218円(2019年11月の米ドル対円相場平均値)であった。さらにミルクカートントラップを日本へ輸入する場合、輸送費や仲介手数料などが上乗せされ、上記価格よりも高くなると考えられる。また、購入時のトラップは組み立てられておらず、設置前に加工する時間も必要となる。ただし、製品として販売されているミルクカートントラップの価格と、安定した捕獲効率が保証されていない考案トラップの製作コストを単純に比較することはできない。

本研究で行った網室内での実験から、これまでマイマイガのモニタリングに使用されてきたミルクカートントラップよりも、考案トラップAおよびBの方がより精度の高いマイマイガのモニタリングをできることが示唆された。さらにコストの面から、考案トラップBよりも低価格で製作の容易なAの方が、モニタリングに適していると考えられた。

一方で、今回考案したペットボトルのトラップには、さらに検討しなければならない事項がある。今後、考案トラップを用いたモニタリングを実用化していくためには、野外でも考案トラップで実際に捕獲することができるかを検証していく必要がある。また、今回トラップに用いたペットボトルは、侵入口やかえしの構造の違いのみで捕獲効率を検討するため、全て同じ形のものを使用した。今回使用したものは別の形の角型ペットボトルを使っても捕獲の効果は同等か、今後検討していく余地がある。

#### 引用文献

- 東浦康友・山口博史(2012)大発生したマイマイガ北海道個体群の21年間の動態と密度依存性. 第59回日本生態学会大会講演要旨集(オンライン), <https://www.esj.ne.jp/meeting/abst/index.html>, 2019.12.17アクセス
- 岩泉 連(2010)マイマイガの生態と防除に関する最近の知見について. 植物防疫 64: 724~729
- 久保園正昭(1980)薬剤によるマイマイガの誘引試験(第I報). 日林九支研論集 33: 169~170
- 久保園正昭(1981)薬剤によるマイマイガの誘引試験(第II報). 日林九支研論集 34: 237~238
- 久保園正昭(1982)薬剤によるマイマイガの誘引試験(第III報). 日林九支研論集 35: 177~178
- 久保園正昭(1983)薬剤によるマイマイガの誘引試験(第IV報). 日林九支研論集 36: 219~220
- 久保園正昭(1984)薬剤によるマイマイガの誘引試験(第V報). 日林九支研論集 37: 215~216

- 松浦嵩遠・中島春樹 (2016) マイマイガの卵塊密度および林分の現存量と食葉被害との関係. 中森研 64: 43 ~ 46
- 峯岸啓之・弘中 豊・尾崎研一・小野寺賢介・大橋章博・中牟田潔 (2015) 日本産マイマイガ (チョウ目: ドクガ科) の性フェロモントラップ: ルアーの担持量, トラップ形状と誘殺数の関係. 応動昆 59: 191 ~ 194
- 宮嶋大介 (2015) マイマイガの大量発生について. 林業にいがた 751: 6
- 水谷瑞希 (2014) 2013 年の福井県におけるマイマイガの大発生とミズナラ堅果生産への影響について. 中森研 62: 63 ~ 66
- 水谷瑞希 (2017) 福井県におけるマイマイガの大発生とその終息. 中森研 65: 83 ~ 84
- 大橋章博 (2016) 岐阜県におけるマイマイガの大発生とスギ・ヒノキ造林地の被害. 森林防疫 65: 15 ~ 21
- 尾崎研一 (1990) 北海道におけるマイマイガの大発生. 森林防疫 39: 198 ~ 201
- R Development Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing (オンライン), <http://www.R-project.org>, 2017.9.1 アクセス
- 島津光明 (1991) マイマイガ. (昆虫の飼育法. 湯嶋健・釜野静也・玉木佳男編, 日本植物防疫協会). 172 ~ 174
- 滝沢幸雄・山家敏雄・片桐一正 (1986) 合成性フェロモントラップへのマイマイガの飛来状況 —飛来時期とトラップの捕獲効率—. 森林防疫 35: 212 ~ 217
- United States Department of Agriculture (2019) Gypsy Moth Program Manual. United States Department of Agriculture Animal and Plant Health Inspection Service (オンライン), <http://www.aphis.usda.gov>, 2019.12.2 アクセス
- 軸丸祥大 (2017) 何故, 広島県南部の森林ではマイマイガの卵塊が見つからないのか?: 常緑広葉樹の葉に対する産卵選好性. 森林防疫 66: 99 ~ 106