

富山県におけるアオドウガネとヤマトアオドウガネの生息状況および分布可能域の比較

福谷 愉海¹⁾, 岩田 朋文^{2) §}

¹⁾ 260-0842 千葉県千葉市中央区南町3-10-13クレスト南町303号室

²⁾ 富山市科学博物館 939-8084 富山市西中野町一丁目8-31

A Comparison of the Actual Distribution and Possible Distribution Range between *Anomala albopilosa* (Coleoptera, Scarabaeidae) and *A. japonica* in Toyama Prefecture

Yukai Fukutani¹⁾ and Tomofumi Iwata^{2) §}

¹⁾ 3-10-13-303, Minami-cho, Chuo-ku, Chiba 260-0842, Japan

²⁾ Toyama Science Museum, 1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama 939-8084, Japan

Recently, *Anomala albopilosa* expands its distribution northward in Honshu, displacing related endemic species such as *Anomala japonica*, however, the distribution of *A. albopilosa* in Toyama Prefecture is unknown well. Then, we investigated the records and distribution of *A. albopilosa* and *A. japonica* in Toyama Prefecture, *A. albopilosa* were found in the central area of the prefecture from the early 2000s at intervals of less than five years. Furthermore, as of 2021, *A. albopilosa* were confirmed in a wide range from the western area to the central area of Toyama prefecture and in Kurobe City. As a result of estimating the distribution area of *A. albopilosa* with MaxEnt, the distribution area of *A. albopilosa* almost completely overlapped with the one of *A. japonica*. Conversely, the occurrence peaks of adult of both species differed by about two months.

Key words : habitat environment, interspecific comparison, invasive species, range expansion, specimen
キーワード : 生息環境, 種間比較, 侵入種, 分布拡大, 標本

1. はじめに

ある地域において, もともとそこに生息していなかった生物が侵入してきた場合, その生物(侵入種)は, もともとそこに生息していた生物(在来種)に影響を与え, その地域の生態系を改変することがある. 具体的には, 捕食-被食を介した食物網の改変(Saygu *et al.*, 2020)や, 共通資源を利用する在来種の駆逐(Bompard *et al.*, 2013)などの影響を与える. さらに, 侵入種に近縁な在来種では, 生態的地位(ニッチ)が重複しやすかったり, 繁殖干渉(Gröning & Hochkirch, 2008)といった近縁種間に特有の相互作用が存在したりする(例えば, 河村ら, 2009)ため, こうした影響は特に大きい. しかし, 西田(2012)などが述べているように, こうした影響の「程度」(すなわち, 種間競争の激しさ)の予測は困難である. 一方, 筆者らは, 侵入種と近縁在来種の分布可能

域をそれぞれ把握できれば, 侵入種が近縁在来種に与える影響の「範囲」(すなわち, 種間で重複する分布域)の予測は可能かもしれないと考えている.

アオドウガネ *Anomala albopilosa* (Hope, 1839) (以下「アオドウ」と略す)は, 甲虫目Coleopteraコガネムシ科Scarabaeidaeに属する体長17.5~25.0 mmの昆虫である(和田・栗原, 2012). 本種は1970年代以降, もともと生息していなかった中部地方や関東地方への侵入(例えば, 大川・内山, 2006)や個体数増加(例えば, 中野, 2012; 高野, 2017)が報じられており, 同地方の近縁在来種であるヤマトアオドウガネ *Anomala japonica* Arrow, 1913 (以下「ヤマト」と略す)やドウガネブイ *Anomala cuprea* (Hope, 1839) (以下「ドウガネ」と略す)が減少しているとの指摘もある(和田・栗原, 2012; 川畑・和田, 2015). 現時点ではアオドウとこれら

§ 連絡著者

近縁在来種の増減メカニズムは判然としていないが、今後もアオドウの分布拡大が続く場合、ヤマトやドウガネへの影響は拡大する可能性がある。しかし、高橋（1984）が述べているように、形態が似ているヤマトをアオドウと誤認した文献が散見されるため、既存文献のみでアオドウの正確な分布拡大の様子を把握することは難しいのが現状である。

富山県は本州中央部の日本海に面した県であり、アオドウ分布拡大の日本海側における最前線と紹介している文献（小林，1993）もあるが、これまでに生息状況が総括されたことは無く、他県同様に前述のような課題もあるため、実態解明には詳細な調査が必要であった。

そこで筆者らは、富山県においてアオドウとヤマトに関する文献および標本情報をまとめるとともに、野外調査（本稿「2.2」を参照）を実施することで、同県における両種の詳細な生息状況を明らかにした。さらに、その情報に基づき、同県へのアオドウ侵入過程の推定、同県におけるアオドウとヤマトそれぞれの分布可能域の予測、ヤマトがアオドウの影響を受ける範囲（すなわち、種間で重複する分布域）の推定をおこなった。

2. 調査方法

2.1. 文献調査および標本調査

アオドウおよびヤマトの過去の生息状況を推測するため、文献調査と標本調査をおこなった。文献調査では、富山県の昆虫に関する記述がある文献から両種に関する情報を抜き出した。地名や採集日などの具体的な情報が記されていないものもすべて含めた。標本調査では、富山市科学博物館および個人が所蔵する富山県産の両種の標本を検視し、ラベルに表記されている情報を収集した。特に、文献記録の証拠標本は可能な限り検索し、再同定をおこなった。

2.2. 野外調査

2021年時点のアオドウおよびヤマトの生息状況を把握するため、野外調査を行った。野外調査は、両種成虫が示す正の走光性（余語，1959；永山ら，2018）を利用し、道路の街灯や施設照明に誘引された個体を目視確認して、在/不在データを得る方法とした。なお、調査時には街灯

や施設照明の周辺に生育するヤブガラシなどの寄主植物（中野，2015）も見回った。調査範囲は、両種の主な生息環境と思われる富山県全域の海岸，河川沿い，丘陵地など（酒井・藤岡，2007）とした。調査期間は、アオドウとヤマトの成虫発生時期を合わせた6月から10月（中野，2008；酒井・藤岡，2007）とし、日没後約1時間以降から翌朝の夜明けまでの時間帯に調査した。なお、野外調査結果として取り扱うデータは原則として筆者ら2名のどちらかが実施したものに限定したが、2021年に採集された標本（在データ）に限り、筆者ら以外から提供されたものも含めた。

2.3. 同定

同定は形態形質に基づいておこなった。和田・栗原（2012）に則り、尾節板が中央部を除き黄褐色の長毛で覆われる場合はアオドウ，中央部を除く前部と先端部が黄色の毛でまばらに覆われる場合はヤマトとした。

2.4. データ解析

アオドウおよびヤマトの分布可能域を予測するため、分布推定モデルを用いた解析をおこなった。解析に用いたデータセットは、文献調査，標本調査，野外調査で収集した両種の在データとした（アオドウ41地点，ヤマト23地点）。なお、証拠標本を検視できなかった文献記録については、同定の正確性を検証できなかったためデータセットから除外した。解析に用いた環境要因は、標高，年平均気温，年最深積雪，年平均全天日射量，自然度，土地利用の6変数とし、詳細は表1に示した。解析範囲は、富山県全域を1km四方のメッシュに区切り、各メッシュに含まれる各変数の平均値をそのメッシュの代表値として用いた。解析手法はSDM（Species Distribution Model）の一種であるMaxEnt ver. 3.4.3.（Dudik *et al.*, 2020）を用いた。MaxEntのオプション設定については、データの過剰適合（オーバーフィッティング）を防ぐため、Regularization multiplier（重み付け）を「2」に、関数をLinear features（一次）およびQuadratic features（二次）曲線に限定し（大野ら，2018），その他は標準設定（デフォルト）とした。

また、両種の成虫発生消長に差異が認められた場合、

表1 解析に用いた環境要因とその入手元。

環境変数	入手元データ名	入手元URL
標高	国土数値情報 標高・傾斜度3次メッシュデータ	https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-a.html?
年平均気温	国土交通省 国土数値情報 平年値メッシュデータ	https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html?
年最深積雪	国土交通省 国土数値情報 平年値メッシュデータ	https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html?
年平均全天日射量	国土交通省 国土数値情報 平年値メッシュデータ	https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html?
自然度	環境省 自然環境局 生物多様性センター 植生調査3次メッシュデータ	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html?
土地利用	国土数値情報 土地利用細分メッシュ（ラスタ版）データ	https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b_r.html?

分布可能域が重複しても両種成虫間の相互作用を回避し得ると考えられるため、月別にまとめた成虫確認日を、種ごとにSpearmanの順位相関係数で検定した。データセットは、文献調査、標本調査、野外調査で収集した両種の在データとした(アオドウ106個体、ヤマト53個体)。なお、証拠標本を検視できなかった文献記録については、同定の正確性を検証できなかったためデータセットから除外した。

3. 結果

3.1. 文献調査および標本調査

文献調査結果を表2に、標本調査結果を表3にそれぞれ示した。また、アオドウの標本記録から得た確認地点と確認年の情報を図1に示した。なお、標本調査結果は2020年までに採集された標本について述べ、2021年採集の標本については野外調査結果に含めた。

文献調査の結果、アオドウは9編(ウェブサイト情報(吉崎ネット甲虫館, 2022)1件を含む)、ヤマトは8編

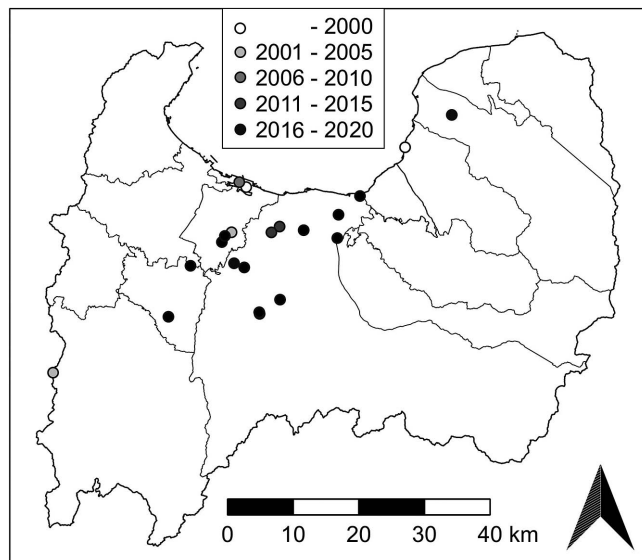


図1 富山県における2020年までのアオドウの採集記録。

表2 富山県におけるアオドウおよびヤマトの文献記録。

種名	頭数	地名	採集日	採集者	出典	備考
アヲドウガネ	未記載	富山県	未記載	未記載	中村(1938)	種名目録。証拠標本行方不明(著者の故中村氏とやり取りがあった根来尚氏および水野透氏から聴取)。
アヲドウガネ	未記載	A=平地帯	未記載	未記載	田中(1939b)	地名は黒部市の平野部を指す。正確な情報は田中(1939a)を参照のこと。
あおどうがね	未記載	氷見市	未記載	氷見南部中生徒	田中(1954)	田中(1971)の「ヤマトアオドウガネ」に相当する記録と思われる。
あおどうがね	未記載	下、境	未記載	泊中生徒	田中(1954)	田中(1971)の「ヤマトアオドウガネ」に相当する記録と思われる。
アオドウガネ	未記載	<富山県>	未記載	未記載	田中(1979)	中村(1938)の引用。「同定に疑問がある」とある。
アオドウガネ	未記載	未記載	未記載	未記載	◎小林(1993)	「日本海側では富山県までその分布を拡大してきている」とある。
アオドウガネ	1♂1♀	氷見市宮田	19930617	野村良範	越虫編集部(1994)	証拠標本行方不明(採集者の野村良範氏から聴取)。
“アヲドウガネ”	未記載	富、西田地方	未記載	未記載	◎田中(1938)	「夏出現どうがねぶいぶいニ倍タルモ少シ」とある。
“アヲドウガネ”	未記載	下、生地	未記載	田中忠次	◎田中(1938)	「夏出現どうがねぶいぶいニ倍タルモ少シ」とある。
“あおどうがね”	未記載	富山	0704	斉藤	◎田中(1954)	採集年未記載。斉藤は加治の旧姓。田中(1971)の「アオドウガネ」に相当する記録と思われる。
“あおどうがね”	未記載	黒、生地	19370814	田中	◎田中(1954)	田中(1971)の「ヤマトアオドウガネ」に相当する記録と思われる。
“あおどうがね”	未記載	富山市	未記載	加治外司三	◎田中(1971)	
“アオドウガネ”	未記載	富山市西田地方	未記載	未記載	◎田中(1979)	田中(1938)の引用。「同定に疑問がある」とある。
“アオドウガネ”	1	富山県福光町小矢部川畔	19660815	未記載	吉崎(2022)	記録個体の標本画像あり。
やまとあおどうがね	未記載	氷見市	未記載	田中忠次	田中(1971)	
やまとあおどうがね	未記載	下新川郡境	未記載	泊中生徒	田中(1971)	
やまとあおどうがね	未記載	黒部市生地	未記載	田中忠次	◎田中(1971)	
ヤマトアオドウガネ	未記載	氷見市氷見	未記載	未記載	田中(1979)	田中(1971)の引用。
ヤマトアオドウガネ	未記載	下新川郡境	未記載	未記載	田中(1979)	田中(1971)の引用。
ヤマトアオドウガネ	未記載	黒部市生地	未記載	未記載	◎田中(1979)	田中(1971)の引用。
ヤマトアオドウガネ	1	富山市太郎丸	19600720	未記載	◎常楽(1982)	
ヤマトアオドウガネ	1	魚津市吉島	19610804	未記載	◎常楽(1982)	
ヤマトアオドウガネ	1	氷見市白ヶ峰	19880716	林 梅夫	北村(1989)	
ヤマトアオドウガネ	2	富山市 呉羽丘陵 城山	19920703	常楽武男・根来 尚	◎中川ら(1994)	「城山」は富山市の呉羽丘陵の一部を指す。
ヤマトアオドウガネ	未記載	白が峰	未記載	未記載	大野ら(1999)	
ヤマトアオドウガネ	未記載	氷見市	未記載	未記載	大野ら(1999)	
ヤマトアオドウガネ	1	富山市ファミリーパーク 堆肥舎	19970704	渡辺朋美	中川ら(1998)	
ヤマトアオドウガネ	1	富山市ファミリーパーク 郷土動物館裏	20020706	小杉 潤	小杉ら(2006)	

注1: 原則として出典の通りに記したが、地名と採集者名の略記は文献中に説明があれば本来の表記に戻した。

注2: 採集年月日は8桁の数字に変換した(例: 1961年8月4日→19610804)。

注3: 証拠標本が富山市科学博物館に所蔵されている記録には「◎」を付与した。

注4: 本稿によりヤマトの誤同定と判明したアオドウ記録には、種名をダブルコーテーション「 ” 」で括った。

の文献記録を収集した(表2)。アオドウの文献記録は、中村(1938)などの古いものも存在するが、ほとんどの文献には同定根拠となる記述や写真がなく、文献から読み取れる情報のみでは同定の正確性を検証できなかった。例外的に、吉崎ネット甲虫館(2022)がアオドウとして公開している記録は、同じウェブページに証拠標本画像が公開されており、ヤマトの誤同定であることがわかった。また、文献記録の証拠標本の検視により、田中(1938, 1954, 1971, 1979)が現在の富山市西田地方から記録したもの(各文献の地名、採集者、引用表記から同一記録と判断)と、田中(1938, 1954)が現在の黒部市生地か

ら記録したもの(両文献の地名と採集者から同一記録と判断)はヤマトの誤同定であることが、小林(1993)の記録は確実にアオドウであることが、それぞれわかった。さらに、断定はできないが、田中(1954)のアオドウ記録が「ヤマトの誤同定である」と訂正しているように読み取れる文献(田中, 1971)があった(田中(1954)がアオドウとして記録している3地点と同じ地名セットを、田中(1971)はヤマトの記録として掲載していた)ほか、中村(1938)の記録に対し「同定に疑問がある」と指摘している文献(田中, 1979)もあった。次に、ヤマトの文献記録について述べる。ヤマトも、アオドウ同様すべ

表3 富山県におけるアオドウおよびヤマトの標本記録。

種名	頭数	地名	採集日	採集者	所蔵	備考
アオドウ	1	魚津市魚津漁港	19890727	小林裕和	富博	小林(1993)の証拠標本。新鮮な死骸を採取。TOYA-JI-37839。
	1	新湊市海竜町堀岡	20020804	惣名 実	惣	
	1	射水市小杉・県立大ビオ	20070828	Yutaka Ohno	富博	5537-0038(環境庁(1997)の座標)。TOYA-JI-37840。
	2	射水市小杉・県立大ビオ	20070912	Yutaka Ohno	富博	5537-0038(環境庁(1997)の座標)。TOYA-JI-37841・37842。
	1	射水市小杉・県立大ビオ	20080713	Yutaka Ohno	富博	5537-0038(環境庁(1997)の座標)。TOYA-JI-37843。
	2	南砺市医王山	20080716	Yutaka Ohno	富博	5436-6715(環境庁(1997)の座標)。TOYA-JI-37844・37845。
	1	射水市小杉・県立大ビオ	20080806	Yutaka Ohno	富博	5537-0038(環境庁(1997)の座標)。TOYA-JI-37846。
	1	射水市小杉・県立大ビオ	20080924	Yutaka Ohno	富博	5537-0038(環境庁(1997)の座標)。TOYA-JI-37847。
	1	射水市堀岡	20110910	惣名 実	惣	
	1	射水市堀岡	20110911	惣名 実	惣	
	1	富山市八尾町保内	20140712	澤田研太	澤	街灯にて採集。
	1	富山市北代	20140826	澤田研太	澤	街灯にて採集。
	1	富山市追分茶屋	20140827	澤田研太	澤	街灯にて採集。
	1	富山市追分茶屋	20140830	澤田研太	澤	街灯にて採集。
	1	富山市三熊	20180809	Tomofumi IWATA	富博	街灯にて採集。TOYA-JI-27905。
	1	黒部市宮野	20180822	Tomofumi IWATA	富博	街灯にて採集。TOYA-JI-29497。
	1	富山市水橋市田袋 常願寺大橋	20200730	Tomofumi IWATA	富博	街灯にて採集。TOYA-JI-37848。
	2	富山市婦中町成子 成子大橋	20200731	Tomofumi IWATA	富博	街灯にて採集。TOYA-JI-37849・37850。
	1	砺波市庄川町庄 雄神橋	20200802	Tomofumi IWATA	富博	街灯にて採集。TOYA-JI-37851。
	2	砺波市東保 向山健民公園	20200802	Tomofumi IWATA	富博	街灯にて採集。TOYA-JI-37852・39941。
ヤマト	1	富. 師範	19330704	表記無し	富博	田中(1938, 1954, 1971, 1979)の証拠標本。現在の富山市西田地方を指す。加治外司三コレクション。TOYA-JI-37853。
	1	黒部市生地	19370814	TANAKA	富博	田中(1938, 1954, 1971, 1979)の証拠標本。TOYA-JI-37854。
	1	TOYAMA, TAROMARU	19600720	T. JOHRAKU	富博	常楽(1982)の証拠標本。TOYA-JI-37855。
	1	UOZU, Kichijima	19610804	T. JOHRAKU	富博	常楽(1982)の証拠標本。TOYA-JI-37856。
	1	富山市城址公園	19790627	H. Nambu	富博	TOYA-JI-37857。
	1	TOYAMA, Johyama	19920703	Takeo Johraku	富博	中川ら(1994)の証拠標本。TOYA-JI-37858。
	1	富山市城山	19920703	根来 尚	富博	中川ら(1994)の証拠標本。TOYA-JI-37859。
	1	新湊市奈古ノ江	19950622	惣名 実	惣	
	1	富山市呉羽山	19950715	惣名 実	惣	
	12	富山市草島	19990620	惣名 実	惣	クズの葉で採集。
	1	射水郡小杉町黒河	20010627	惣名 実	惣	
	1	新湊市堀岡	20010703	惣名 実	惣	
	1	高岡市二上山	20020612	Yutaka Ohno	富博	5437-10-62(環境庁(1997)の座標)。TOYA-JI-37860。
	1	射水市足洗	20170718	惣名 実	惣	
	1	黒部市宮野	20180822	Tomofumi IWATA	富博	街灯にて採集。TOYA-JI-29496。
2	富山市四方	20200709	惣名 実	惣		
アオドウ	1	富山市?	19620803	村	富博	村和樹コレクション。参考記録として扱う。

注1: 地名と採集者名はラベルの通りに記載した(県名は全て富山県なので省略)。

注2: 採集年月日は8桁の数字に変換した(例: 1961年8月4日→19610804)。

注3: 所蔵場所は、惣=惣名実個人、澤=澤田研太個人、富博=富山市科学博物館を示す。

注4: 備考欄のTOYA-JIは富山市科学博物館標本登録番号。

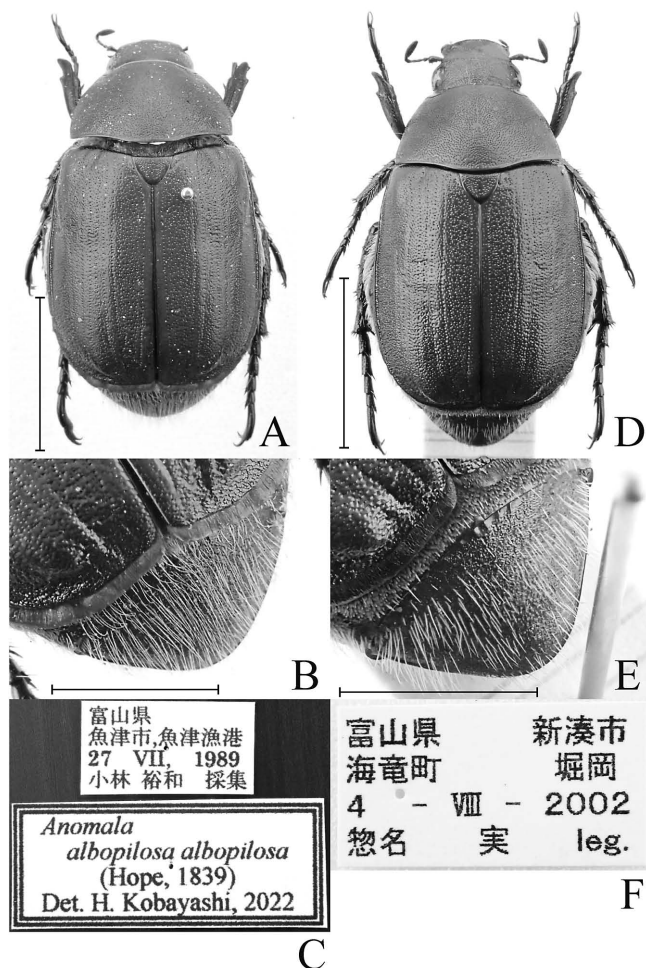


図2 富山県における古いアオドウ標本. A-C, 1989年魚津市産アオドウ; D-F, 2002年射水市産アオドウ. A, 全形; B, Aの尾節板; C, Aのラベル; D, 全形; E, Dの尾節板; F, Dのラベル. スケールバーはA, Dが10.0 mm, B, Eが5.0 mm.



図3 1962年富山市産の可能性のあるアオドウ標本. A, 標本箱内の保管状況; B, 尾節板; C, ラベル. スケールバーは5.0 mm.

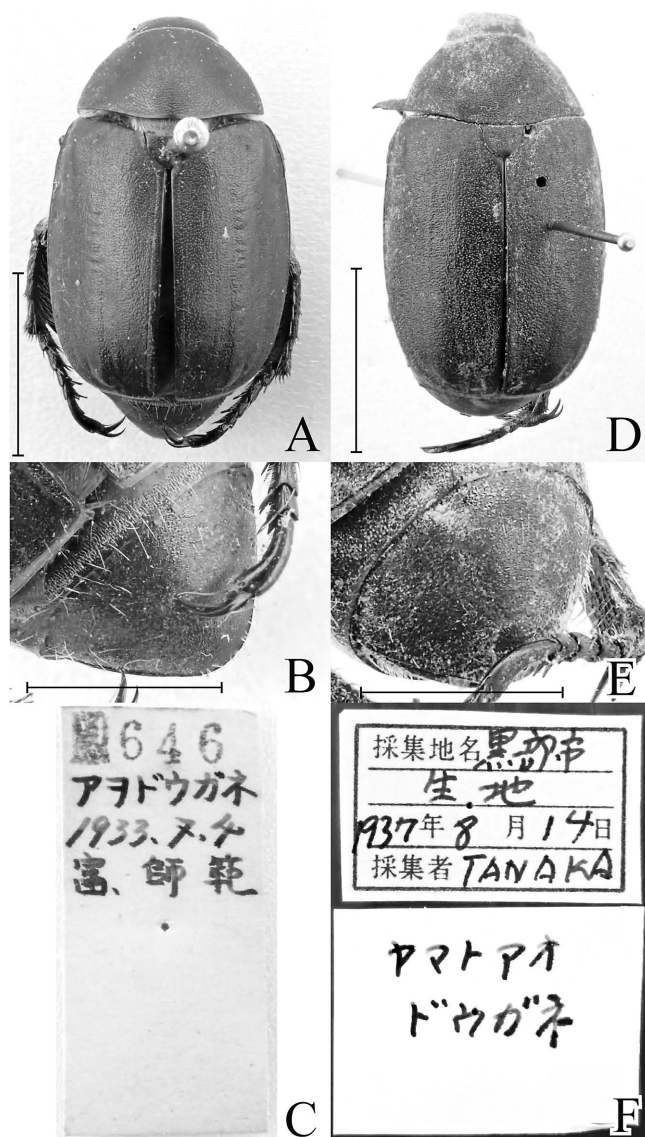


図4 アオドウと誤同定されることがある富山県産ヤマト標本. A-C, 1933年富山市産ヤマト; D-F, 1937年黒部市産ヤマト. A, 全形; B, Aの尾節板; C, Aのラベル; D, 全形; E, Dの尾節板; F, Dのラベル. スケールバーはA, Dが10.0 mm, B, Eが5.0 mm.

ての文献で同定根拠となる記述や写真が無く、文献から読み取れる情報のみでは同定の正確性を検証できなかった。ただし、常楽（1982）と中川ほか（1998）の記録は証拠標本を検視でき、確実にヤマトであることがわかった。

標本調査の結果、アオドウ24頭、ヤマト28頭の標本を検視した（表3）。アオドウの標本は1989年に魚津市で採集されたものが最も古く、この標本は小林（1993）の証拠標本である（小林裕和氏、私信；図2A-C）。その後は13年間記録がなく、2例目は2002年に新湊市（現：射水市）で採集されたもの（図2D-F）であり、それ以降は最長でも5年間隔で採集されていた。記録地点は県中央

部の射水市、砺波市、富山市に集中しており、この3市以外では南砺市、魚津市、黒部市から1地点ずつ確認されているに過ぎなかった。なお、1962年に富山市で採集された可能性がある標本も検視したが、虫体に刺さっている針と異なる針にラベルが刺してあり、他産地の個体が偶然富山市産の個体であるかのように見えた可能性があったため、念のため公式記録には含めなかった(図3)。ヤマトについては、前述のとおり常楽(1982)と中川ほか(1998)の証拠標本を検視したほか、田中(1938, 1954, 1971, 1979)が現在の富山市西田地方(図4A-C)と黒部市生地(図4D-E)からアオドウとして記録したものはヤマトの誤同定であった。富山市西田地方の記録の証拠標本には「アヲドウガネ」という同定ラベルも付与されていた(図4C)。なお、ヤマトとして同定された標本の中にアオドウが混じていた事例は無かった。

3.2. 野外調査

野外調査結果を図5と表S1(DOI: 10.6084/m9.figshare.19931066)に示した。アオドウは30地点82頭、ヤマトは9地点25頭の在データが得られた。また、アオドウ51地点、ヤマト67地点の不在データも得た。

2021年の野外調査では、アオドウは富山県内の標高0-350 mの範囲、および、海岸線から内陸に18 kmまでの範囲で確認された。確認された地域は、県西部の氷見市から県中央部の富山市にかけて(滑川市と上市町の各1地点を含む)、および県東部の黒部市である。一方、滑川海浜公園から黒部市田家新までの直線距離約11 kmの範囲(主に魚津市)の5地点と、黒部市の東側に位置する入善町と朝日町の16地点すべてで確認できなかった。

ヤマトは富山県内の標高0-20 mの範囲、および、海岸線から内陸に6 kmまでの範囲で確認された。確認された地域は、県西部の氷見市から県中央部の富山市にかけてであり、滑川市より東側の調査地点では確認できなかった。また、5地点でアオドウと共に確認された。

3.3. データ解析

MaxEntを用いたアオドウおよびヤマトの分布推定結果に、両種の在データ(本解析で用いたもの)と不在データ(野外調査で得たもの)の位置情報をそれぞれ上乘せしたものを図6に示した。推定モデルの予測精度を評価するため、推定結果よりAUCを求めたところ、アオドウで0.892、ヤマトで0.941と十分な値が得られた(Swets, 1988; Pearce &

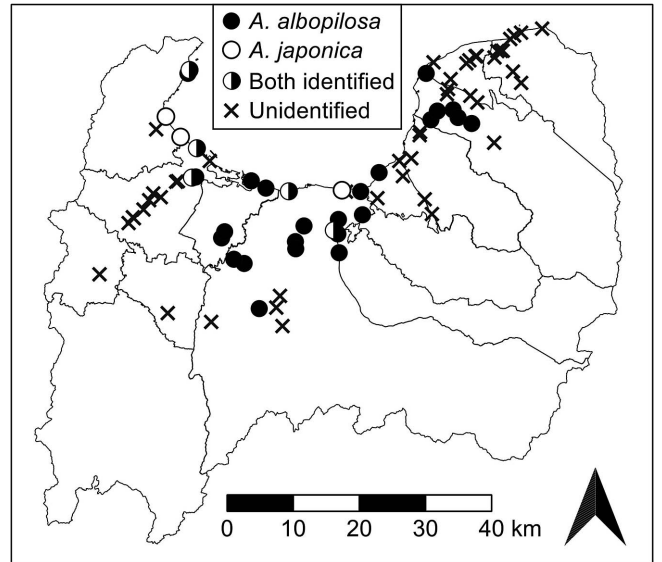


図5 富山県における2021年のアオドウおよびヤマトの在/不在記録。

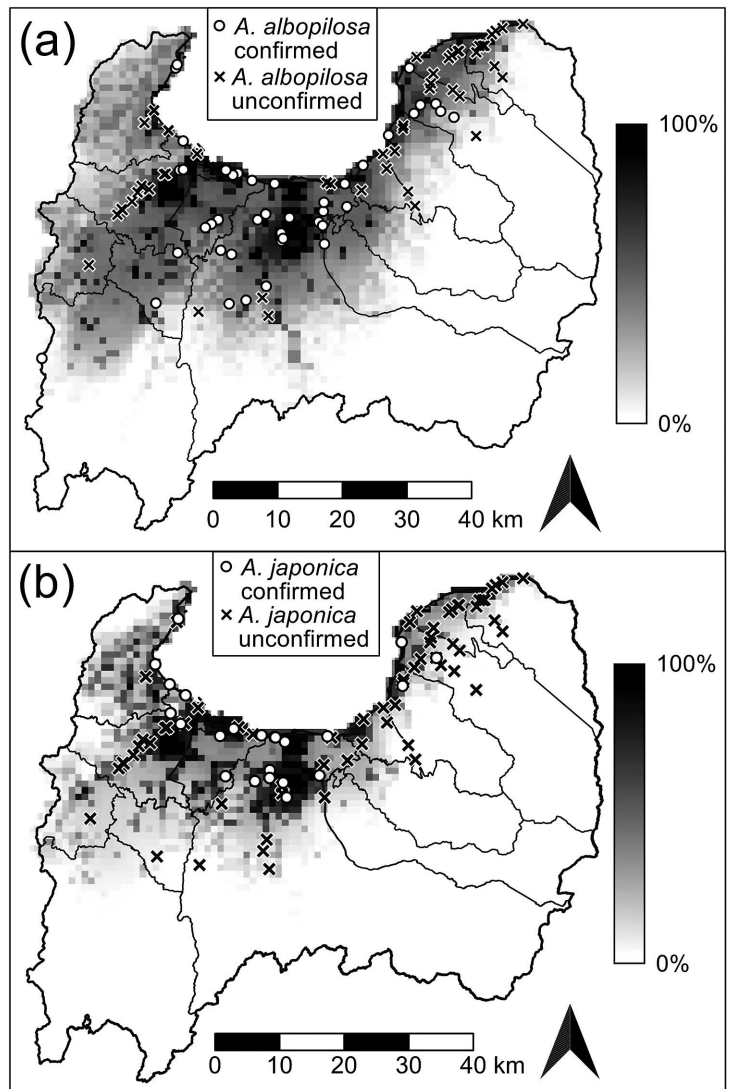


図6 MaxEntによる各種の分布予測。a, アオドウ; b, ヤマト。メッシュの色は各種の分布確率を示す。

Ferrier, 2000).

MaxEntによる分布推定の結果、アオドウは標高約200 m以下の地域(図6a)で、また、ヤマトは標高約50 m以下のほとんどの地域(図6b)で分布確率が50%を上回った。すなわち、アオドウよりヤマトの方が推定分布可能域は狭く、富山湾沿岸部方面に偏っていた。なお、本解析では両種において標高350 m以上の標高帯で分布確率が低くなっているが、この標高帯以上の地域は両種の主な生息環境(酒井・藤岡, 2007)から逸脱しており、野外調査を十分におこなっていないので、正確な分布確率を示していない可能性があることを付記しておく。

次に、各環境変数が分布推定に与えた影響の大きさ(重要度)について、ジャックナイフ法により求めた結果を表4および図S1(DOI: 10.6084/m9.figshare.19931066)に示した。アオドウの分布推定において、年平均気温および年最深積雪量の重要度が10を上回り、標高、土地利用、自然度、年平均全日射量は10を下回った(表4)。年平均気温は高いほど分布確率が高まり、特に13.5℃以上でその確率が50%を上回った(図S1)。年最深積雪量は少ないほど分布確率が高く、特に70 cm以下でその確率が50%を上回った。ヤマトの分布推定においては年平均気温および標高の重要度が40以上となったが、年最深積雪、自然度、土地利用、年平均全日射量はいずれも10を下回った(表4)。年平均気温は高いほど分布確率が高まり、特に13℃以上でその確率が50%を上回った(図S1)。標高は低いほど分布確率が高まり、特に40 m以下でその確率が50%を上回った。

また、両種の月別にまとめた成虫確認日を図7に示した。アオドウは6月から10月まで、ヤマトは6月から8月まで成虫が確認された。成虫確認月は6月から8月ま

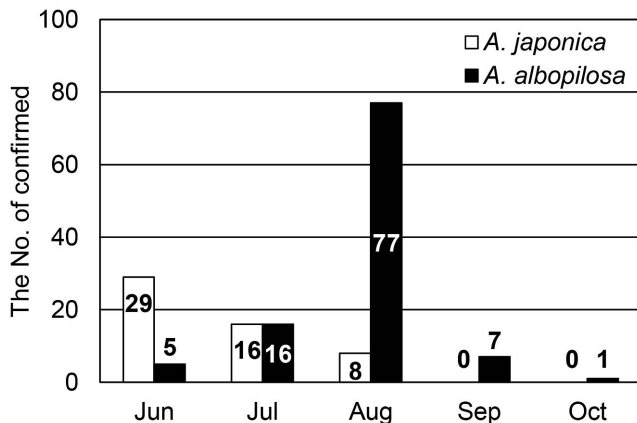


図7 富山県における全てのアオドウおよびヤマトの月別確認個体数。

表4 モデルに組み込んだ各変数の寄与率および重要度。

環境要因	寄与率		重要度	
	<i>A. albopilosa</i>	<i>A. japonica</i>	<i>A. albopilosa</i>	<i>A. japonica</i>
土地利用	52.4	49.8	5.4	6.3
年平均気温	23.3	19.4	69.4	47.2
自然度	12.6	3.8	8.8	3.2
年最深積雪	7.3	6.6	12.9	0.0
標高	4.1	20.4	0.0	43.2
年平均全日射量	0.3	0.0	3.5	0.0

寄与率は各変数がモデル作成に使用された割合を、重要度はモデルに依存しない変数の重要性を示す。

で重複したが、そのピークはアオドウが8月、ヤマトが6月と異なり、両種の成虫発消長は有意に同じとはいえなかった(Spearmanの順位相関係数, $p=0.74$)。

4. 考察

本章では、富山県へのアオドウ侵入過程の推定、同県におけるアオドウとヤマトそれぞれの分布可能域の予測、ヤマトがアオドウの影響を受ける範囲(すなわち、種間で重複する分布域)の推定について、項目別にまとめた。ただし、富山県のアオドウ文献記録には誤同定が疑われるものも多いことがわかったため、本稿では証拠標本を伴わない文献記録を除外して考察した。

4.1. 富山県へのアオドウ侵入過程の推定

本調査により、富山県におけるアオドウの古い記録(例えば2000年以前の記録)は1989年採集の1例のみであるのに対し、ヤマトは1930年代のものをはじめ比較的多く存在することがわかった(表3)。アオドウもヤマトも灯火によく飛来し(余語, 1959; 永山ら, 2018)、また富山県内における推定分布可能域は重複したため(図4)、現存標本数の差は同県での生息個体数の違いを反映させていると考えられる。すなわち、アオドウはヤマトと異なり近年になって富山県に侵入したと推測される。その侵入年代と侵入地については、2002年に射水市で確認されて以降、最長でも5年間隔で射水市、砺波市、富山市を中心とした地域で相次いで確認されていることから(図1, 表3)、2000年代前半に県中央部(標本記録を尊重すれば射水市)に侵入し、現在までに県西部から県中央部にかけて分布拡大したと考えられる。なお、黒部市では2018年以降6地点で確認されているが(表3, 図6A)、富山市と黒部市の間に位置する滑川市および魚津市では、MaxEntによる分布推定で分布確率が高いと予測されたにもかかわらず、現在までにアオドウはほとんど確認されていない(図6A)。したがって、両市を經由して黒部市まで分布拡大したと考えるのは不自然であり、県西部から県中央部で分布拡大している個体群とは別の個体群が侵

入し、独自に分布拡大しているものと考えられる。黒部市への侵入年代は、標本記録により少なくとも2018年以前であることは判明したものの(表3)、それ以上の推測はできなかった。なお、ここまでの考察では1989年の魚津市における記録を考慮しなかったが、この理由は2つある。1つ目は、この記録以降、2002年に射水市で2例目が確認されるまで、富山県全域で13年間追加記録がなかったため、2つ目は、1989年以外に魚津市ではアオドウが確認されていないためである。この2点から、1989年魚津市の記録は偶産個体によるものと考えられ、現在の富山県内に生息している個体群の起源には当たらないと判断した。同様の理由により、1962年に富山市で採集された可能性がある標本や、本稿で除外した文献記録の中に正しい情報が混じっていたとしても、本考察で推測した侵入年代・侵入地に大幅な狂いは生じないと考えられる。

富山県へのアオドウ侵入方法は、自然現象と人為的移入の両者が考えられ、特定は難しい。自然現象については、ヒメギンヤンマ *Anax ephippiger* (二橋ほか, 2020) やアカギカメムシ *Cantao ocellatus* (岩田・井出, 2021) など、富山県でも南方系の昆虫が台風や気流に乗って飛来したと考えられる事例が複数見つかっているうえ、メスアカムラサキ *Hypolimnas missippus* (水野ほか, 1999; 荒木・小林, 2006) のように同一種が複数回発見されたこともある。したがって、アオドウも南方からの飛来個体が断続的に富山県に侵入する中で、2000年代前半以降、何らかのきっかけで定着できるようになったのかもしれない。また、アオドウの幼虫は苗木の土と一緒に運ばれたり(長畑, 2010)、成虫が船で運ばれたり(梅田ら, 2020) する事例も報告されている。富山県のアオドウ確認地点の多くは比較的人口が多かったり、富山新港などの港湾や物流の要所があったりする地点であるため、こうした人為的な要因で侵入した可能性も十分に考えられる。あるいは、自然現象と人為的移入を組み合わせた複合的な事象によるものかもしれない。

4.2. 富山県におけるアオドウとヤマトの分布可能域の予測

MaxEnt による分布推定の結果、アオドウは標高約200 m以下の地域で、また、ヤマトは標高約50 m以下のほとんどの地域で分布確率が50%を上回り、アオドウよりヤマトの方が推定分布可能域は狭かった(図6)。また、アオドウの分布可能域には、本調査でアオドウがほとんど確認されなかった滑川市、魚津市、入善町、朝日町も含まれていた(図6A)。そのため、アオドウは今後これらの地域にも徐々に分布拡大する可能性が示唆された。ただし入善町と朝日町では、アオドウに加えてヤマトも

確認されなかったことから、両種が分布できない何らかの要因が存在する可能性もある。今回の解析では考慮しなかった環境変数の解析や、さらなる野外調査が必要である。

MaxEnt による分布推定で、各環境変数の重要度は、アオドウでは年平均気温と年最深積雪量に、ヤマトでは年平均気温と標高にそれぞれ強く影響されることが示唆された(表4)。アオドウはもともと本州西部以西に分布していた種とされるため(高橋, 1984)、ヤマトよりも気温や積雪による制約が強いことが考えられた。また、ヤマトは一般的に海岸に多く生息することから、標高に影響されるという解析結果が出たと思われる。

4.3. 富山県においてヤマトがアオドウから影響を受ける範囲

MaxEnt による分布推定の結果、アオドウの分布可能域はヤマトのそれとほぼ完全に重複し、さらにアオドウの方がヤマトより広い範囲を示した(図6)。そのため、アオドウの増加によりヤマトがその影響を被る場合、今後富山県内においてアオドウの分布拡大がさらに進むと、アオドウの影響からヤマトが免れられる地域はほとんどなくなることが示唆された。

一方で、成虫の発生時期のピークはヤマトが6月、アオドウが8月と異なっており、有意に一致しなかった(図7)。したがって、両種は成虫発生時期を分離することで共存できる可能性がある。一般的に、同所的に生息し排他的な関係にある2種の生物の発生時期が一部重複し、かつ発生ピークが異なる場合、両種の発生時期はより厳密に分離する(高倉・西田, 2018)。そのため、今後富山県においてアオドウとヤマトの成虫発生時期が厳密に分離されていた場合、両種間の相互作用を直接観察するわけではないが、両種の負の関係を証明できるかもしれない。さらに、成虫発生時期がどの程度のペースでどの程度厳密に分離されていくかを調査することで、2種間の相互作用のメカニズムや影響の大きさを推測できるかもしれない。

5. 謝辞

本稿を記すにあたり、標本を提供いただいた不破日向、不破光大、小林裕和、澤田研太、惣名 実の各氏、文献記録の証拠標本検索でお世話になった水野 透、根来尚、野村良範の各氏、標本整理にご協力いただいた当館登録ボランティアの皆様にお礼申し上げます。

引用文献

荒木克昌・小林周一, 2006. 庄川で確認された昆虫類の

- 記録. 富山市科学文化センター研究報告, 29: 121-122.
- Bompard, A., Jaworski, C. C., Bearez, P. & Desneux, N., 2013. Sharing a predator: can an invasive alien pest affect the predation on a local pest? *Population Ecology*, 55(3): 433-440.
- Dudik, M., S. Phillips & Schapire, R., 2020. Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions. Available from: <http://www.cs.Princeton.edu/~schapire/maxent/> [accessed February 19, 2021].
- 越虫編集部, 1994. 1993年の活動日誌. 越虫, (25): 3-5.
- 二橋弘之・二橋征史・二橋亮, 2020. 富山県からヒメギンヤンマを初記録. *TOMBO*, 62: 131-132.
- Gröning, J. & Hochkirch, A., 2008. Reproductive interference between animal species. *The Quarterly review of biology*, 83(3): 257-282.
- 岩田朋文・井出哲也, 2021. 富山県におけるアカギカメムシの初記録. 月刊むし, 599: 45-46.
- 常楽武男, 1982. 富山県の昆虫補填I (半翅目, 鞘翅目). *AMICA*, 27: 99-128.
- 環境庁, 1997. 都道府県別メッシュマップ16 富山県, 63 pp. 環境庁.
- 川畑喜照・和田薫, 2015. 八丈島におけるヤマトアオドウガネ (イズアオドウガネ) とアオドウガネの現状. 鯉角通信, 30: 25-27.
- 河村功一・片山雅人・三宅琢也・大前吉広・原田泰志・加納義彦・井口恵一朗, 2009. 近縁外来種との交雑による在来種絶滅のメカニズム (<特集1>生物学的侵入の分子生態学). 日本生態学会誌, 59(2): 131-143.
- 北村征三郎, 1989. 1988年採集会 採集昆虫目録-鱗翅目を除く目 目録. *AMICA*通信, (9): 9-11.
- 小林裕和, 1993. 日本のコガネムシの話. 昆虫と自然, 28(9): 7-11.
- 小杉潤・道山勉・古川隆一・岸原剛・加藤朋美・白石俊明・金子篤・吉野剛広, 2006. ファミリーパーク地内の昆虫類. ファミリーパーク地内自然環境総合調査報告, pp. 45-88. 富山市ファミリーパーク公社.
- 水野透・大野豊・澤田昭芳・根来尚, 1999. 富山市科学文化センター収蔵資料目録第12号 富山県の蝶(II), 240pp. 富山市科学文化センター.
- 長畑直和, 2010. 埼玉 夏の夜の様変わり. 寄せ蛾記, 139: 15-20.
- 永山敦士・新垣則雄・澤岨哲也・屋良一寿, 2018. アオドウガネ成虫を誘引するLED光源の最適波長の探索および誘引距離の推定 (特集 光と色を利用した害虫防除技術の新展開). 植物防疫, 72: 117-121.
- 中川秀幸・常楽武男・小杉潤・根来尚, 1994. 呉羽丘陵の昆虫類. 富山市呉羽丘陵自然環境調査報告, pp. 69-163. 富山市科学文化センター.
- 中川秀幸・大野豊・根来尚・小杉潤・高橋幸四郎・寺田昭・道山勉・高原譲・堀口政治・吉野剛広・渡辺朋美・寺内和典・新井昌江・坂井恵・大杉文乃・岩城麻衣子, 1998. ファミリーパーク地内の昆虫類. ファミリーパーク地内自然環境総合調査報告, pp. 53-110. 富山市ファミリーパーク公社.
- 中村誠喜, 1938. 富山県産昆虫 (鞘翅目) 目録. 富山博物学会誌, 2: 79-88.
- 中野敬一, 2008. 東京都港区におけるアオドウガネ成虫の発生状況. 環動昆, 19(3/4): 145-153.
- 中野敬一, 2012. 東京都港区におけるアオドウガネ成虫の発生状況 第3報. 環動昆, 23(1): 37-41.
- 中野敬一, 2015. 東京都港区におけるアオドウガネ成虫の発生状況 第4報-近年の発生数と各種食餌植物の適合性について. 環動昆, 26(2): 55-61.
- 西田隆義, 2012. 総括 (<特集2>いま種間競争を問いなおす: 繁殖干渉による挑戦). 日本生態学会誌, 62(2): 287-293.
- 大川秀雄・内山裕司, 2006. 昆虫類目録 (トンボ目・チョウ目を除く). 館林市 (編) 館林市史資料目録「たてばやし」の動植物目録および調査基礎資料集, pp. 155-219. 館林市.
- 大野ゆかり・横山潤・中静透・河田雅圭, 2018. 市民が撮影した写真による生物観測情報の収集, 問題点と解決方法. 種生物学会電子版和文誌, 2: 1-16.
- 大野豊・沢武俊一・冬木勲・松枝章, 1999. 第4章 昆虫. 氷見市史9, pp. 209-250. 氷見市史編さん委員会.
- Pearce, J. & Ferrier, S., 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling*, 133: 225-245.
- 酒井 香・藤岡昌介, 2007. 日本産コガネムシ上科図説 第2巻 (食葉群1), 174pp. 昆虫文献六本脚.
- Saygu, I., Heymans, J. J., Fox, C. J., Özbilgin, H., Eryaşar, A. R. & Gökçe, G., 2020. The importance of alien species to the food web and bottom trawl fisheries of the Northeastern Mediterranean, a modelling approach. *Journal of Marine Systems*, 202: 103-253.
- Swets, J. A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic system. *Science*, 240: 1285-1293.
- 高橋寿郎, 1984. 兵庫県におけるアオドウガネの分布. きべりはむし, 12: 19-24.

- 高倉耕一・西田隆義, 2018. 繁殖干渉 理論と実態. 名古屋大学出版会.
- 高野勉, 2017. 茨城県南部におけるアオドウガネの分布と発生状況について. るりぼし, 46: 81.
- 田中忠次, 1938. こがねむし科の昆虫. 富山博物学会誌, 2: 73-78.
- 田中忠次, 1939a. 黒部川流域産昆虫目録 (1) [双翅目及び膜翅目]. 昆虫界, 7: 226-276.
- 田中忠次, 1939b. 黒部川流域産昆虫目録 (2) [鞘翅目]. 昆虫界, 7: 335-346.
- 田中忠次, 1954. こがねむし科目録. 7p. 自費出版.
- 田中忠次, 1971. 富山県産昆虫目録, 242p. 自費出版.
- 田中忠次, 1979. 鞘翅目. 富山県昆虫研究会 (編) 富山県の昆虫, pp. 341-458. 富山県.
- 梅田晴行・小寺優作・斎藤達也・田辺慎一, 2020. 「森の学校」キョロロ所蔵トカラ列島悪石島・中之島産コガネムシ上科 (コウチュウ目) 標本目録. 「森の学校」キョロロ研究報告, 2: 1-7.
- 和田薫・栗原隆, 2012. スジコガネ亜科. 日本産コガネムシ上科標準図鑑. 岡島秀治・荒谷邦雄 (監修), pp. 326-360. 学研出版.
- 余語昌資, 1959. コガネムシ類の生態的分布. 林業試験場研究報告, 114: 33-52.
- 吉崎ネット甲虫館, 2022. アオドウガネ. <http://mushidb.com/detail.03705.html> [accessed February 28, 2022].