

鹿児島県指宿市に侵入したイモゾウムシの定着に関する空間疫学ならびにリスク要因分析

誌名	日本応用動物昆虫学会誌
ISSN	00214914
著者名	西岡,一也 坂巻,祥孝 中村,孝久 山口,卓宏
発行元	日本応用動物昆虫学会
巻/号	58巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 237-247
発行年月	2014年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



鹿児島県指宿市に侵入したイモゾウムシの定着に関する 空間疫学ならびにリスク要因分析

西岡 一也^{1,*†}・坂巻 祥孝²・中村 孝久¹・山口 卓宏¹

¹鹿児島県農業開発総合センター

²鹿児島大学農学部

Spatio-epidemiological and Risk Analysis of Factors Leading to the Establishment of an Invading Population of the West Indian Sweet Potato Weevil in Ibusuki City, Kagoshima Prefecture, Japan. Kazuya NISHIOKA,^{1,*††} Yositaka SAKAMAKI,² Takahisa NAKAMURA¹ and Takuhiro YAMAGUCHI¹ ¹Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development; 2200 Oono, Kinpou-cho, Minamisatsuma, Kagoshima 899–3401, Japan. ²Faculty of Agriculture, Kagoshima University; 1–21–24, Korimoto, Kagoshima, Kagoshima 890–0065, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 58: 237–247 (2014)

Abstract: The West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* Fairmaire, was distributed only on Nansei and Ogasawara (Bonin) Islands in Japan until 2008, when the weevil was found for the first time in Ibusuki City, which previously regarded as a weevil-free area. In this study, we used epidemiological approaches to determine how the weevil population in Ibusuki City was established. We conducted spatial distribution analysis and case-control studies based on survey data gathered from 270 farmers who cultivated sweet potato in 2008. Weevils were present at 46 sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivation sites and four blue morning glory (*Ipomoea indica*) growing sites. The weevil infestation rate was higher in sweet potato plants than in wild host plants. Weevil infestation was strongly associated with the use of tuber trench silo storage (odds ratio, 4.45). The association with silo storage suggested that the tuber storage silos provided an overwintering refuge for the weevil. The case-control study also revealed that cultivation without pesticides and for home use were associated with weevil infestation. Activities such as the transfer of tubers or leaving tubers in the field may expand the distribution of the weevil population over a wider area.

Key words: Case-control study; spatial distribution; tuber storage silo; questionnaire survey; pesticide application

緒 言

イモゾウムシ *Euscepes postfasciatus* Fairmaire は、アリモドキゾウムシ *Cylas formicarius* Fabricius とともにサツマイモ *Ipomoea batatas* L. に深刻な被害を及ぼすため、植物防疫法により侵入とまん延を警戒する重要害虫に指定されている。国内におけるイモゾウムシの発生地は北緯 28 度 40 分を北限とする南西諸島、大東諸島および小笠原諸島であり (宮路・田中, 1998; 杉本, 2000; 荒川ら, 2006)、これらの発生地から未発生地域へのサツマイモ等の寄主植物の移動は植物防疫法により規制されている。

国内における本種の未発生地域での発生は 1997 年の鹿児島県屋久町 (現在は屋久島町) が最初であり、寄主植物

の除去や殺虫剤の散布により 6 年の歳月をかけて根絶している (末吉, 2004)。国内で 2 例目となる発生は、2008 年 11 月に九州本土最南端の鹿児島県指宿市で確認された。本種の分布拡大を防ぐため、2009 年 8 月に国の省令に基づく緊急防除がスタートし、国、鹿児島県、指宿市による寄主植物の徹底した除去と防除により、3 年以上の歳月を経て、2013 年 3 月に根絶が確認された (門司植物防疫所, 2012)。本種にはアリモドキゾウムシのような合成性フェロモンがなく、フェロモントラップ等による効率的なモニタリング手法が確立されていない (守屋, 1995)。このため、侵入の早期発見は困難となり、定着後の防除と根絶の確認には多大な労力と時間を要してきた。このような侵入害虫に対しては、過去の事例から定着要因を明らかにし

* 責任著者

† 現在 鹿児島県熊毛支庁農政普及課

†† Present address: Kumage Branch Office of Kagoshima Prefecture, Agricultural, Promotion and Advisory Division, 7590 Nishinoomote, Nishinoomote, Kagoshima 891–3192, Japan.

2013 年 7 月 29 日受領 (Received 29 July 2013)

2014 年 4 月 15 日登載決定 (Accepted 15 April 2014)

DOI: 10.1303/jjaez.2014.237

て、その要因への対策を講ずることが侵入と定着を阻止するうえで重要となる。

そこで、本稿では、本種の定着要因を明らかにする目的で、空間疫学的手法の応用を試みた。この手法は、1854年にロンドンで流行したコレラの伝播を解明した John Snow の事例 (Newsom, 2006) を始めとして、現在も人間の感染症対策に応用され、リスク要因の推定に用いられている (佐々木, 2007)。本稿では、指宿市における本種の緊急防除時に得られたデータから、①本種の自力移動が可能な範囲内に好適な寄主植物が集中したこと、②本種の越冬場所が存在したこと、③分布の拡大には自力移動の他に、寄生した塊根の授受等の人間活動の関与があったこと、の3点を定着要因の仮説とした。そして、これらを検証するために、発生地点や寄主植物の分布の空間分析を行うとともに、聞き取り調査で得られた情報を基に、定着と要因の関連を過去にさかのぼって評価する症例対照調査 (鷺尾, 2009) の手法を用いて本種の定着とリスク要因の因果関係を推定した。なお、本稿において“発生”とは、本種が侵入した地域に既に定着 (増殖し世代を繰り返している) していることを示す。

本文に先立ち、本稿をとりまとめるうえで懇切なご指導、ご助言を頂いた株式会社ペコ IPM パイロットの浦野知氏、さらに調査に協力して頂いた指宿市民の皆様、調査を実施して頂いた指宿市農政課、門司植物防疫所、門司植物防疫所鹿児島支所、鹿児島県農政部の各位に厚く御礼申し上げます。

材料および方法

1. 調査対象地域

本稿の「調査対象地域」は、2008年11月に鹿児島県指宿市でイモゾウムシの発生が確認された各地点から半径500mの円を描き、外周を結んだ範囲内とした。調査対象地域の面積は約410haあり、海拔0mから60mの東向きの緩斜面に南北2.0km、東西2.5kmの範囲に約2,700世帯が居住する住宅地と小区画の農地が混在していた。気温は AMeDAS 観測点 (指宿) の1999~2008年のデータを利用した。調査対象地域での調査は全て門司植物防疫所、鹿児島県、指宿市の職員が行った。本稿で「サツマイモ地点」とは、サツマイモが植栽された畑、放置された場所および貯蔵・保管された場所を示す。「野生寄主植物地点」とはサツマイモ以外の寄主植物が群生した範囲を示す。

2. 調査期間および調査対象植物

調査期間は、サツマイモが2008年11月~2009年12月、野生寄主植物が2009年1月~12月とした。サツマイモ地点では、調査対象地域の圃場で植栽された株と収穫残渣、調査対象地域で生産され貯蔵・保管された塊根および廃棄する目的で放置された塊根を対象に調査を行っ

た。食用のために店舗で購入し、自宅に保管してあった塊根は対象外とした。野生寄主植物は、多年生のヒルガオ科植物であるノアサガオ *Ipomoea indica*、モミジバヒルガオ *Ipomoea cairica*、ヒルガオ *Calystegia japonica*、コヒルガオ *Calystegia hederacea* の4種が存在し、これらを調べた。なお、一年生のヒルガオ科植物であるアサガオ *Ipomoea nil* とホシアサガオ *Ipomoea triloba* は本稿の調査対象から除外した。その理由として、本種の幼虫は直径2.8mmの細い茎にも寄生することが確認されているが (宮崎ら, 2001)、種子から発芽するアサガオとホシアサガオは、茎の太さが概ね直径3mmに生長する前に、我々が防除対策として除去したためである。

3. イモゾウムシの発生確認方法

(1) サツマイモ地点での被害調査方法

イモゾウムシによるサツマイモの被害は、地際部より上部30cmまでの間に集中するため (安田, 1990, 1997)、サツマイモ圃場における調査は、まず地際部周辺の茎における成虫の脱出孔 (直径3mm程度の明瞭な輪郭の穴) の有無を目視で確認し、次に株元の分枝部位を切開して食害痕および本種の有無を調べた。被害率は、調査茎 (塊根) 数に対する脱出孔や食害痕のあった被害茎 (塊根) の割合として、サツマイモ地点ごとに求めた。数百株以上が植栽されていた広い圃場では圃場外周の株から100~200株を抽出して調査を行った。植栽面積の小さな家庭菜園では全株を調査した。収穫後にサツマイモの茎葉や塊根が廃棄されていた圃場では、茎 (長さ1mを1サンプル) や塊根の残渣を最大100サンプル程度抽出して調査した。

(2) 野生寄主植物地点での被害調査方法

直径が概ね3mm以上の木質化した茎を採取し、長さ1mを1サンプルとして、野生寄主植物1地点あたり最大100サンプル程度を抽出した。抽出した茎は、成虫の脱出孔の有無を目視で確認後、切開して食害痕や本種の有無を調べた。被害率は、調査茎数に対する脱出孔や食害痕のあった被害茎数の割合として、野生寄主植物地点ごとに求めた。地点あたりの群生範囲が広い場合は、その範囲を100m²程度のブロックに分割して、1ブロックあたり100サンプル程度の茎を抽出し、全てのブロックの合計から被害率を求めた (群生範囲が1,000m²の地点では100m²に分割した10ブロックから各100サンプルを採取したため、1,000サンプルを調査して被害率を求めたことになる)。

4. 寄主植物地点と発生地点の空間分析

(1) 寄主植物の地点座標

地図上では、サツマイモ圃場や野生寄主植物の群生した範囲は多角形で示される。本稿では、それぞれの寄主植物の位置を示すため、多角形の重心点を地点座標とした。地点座標を求めるため、以下の工程を全てのサツマイモ地点と野生寄主植物地点に適用した。①サツマイモ圃

場や野生寄主植物の群生した範囲は、縮尺が 1/1500 または 1/3000 の住宅地図 (ゼンリン住宅地図指宿市 NO.1, 株式会社ゼンリン) にひとつずつ多角形の形状で記録した。②住宅地図に記した多角形の頂点を、Web サイトのフリーソフト「平面直角座標系⇄緯度・経度変換 with Google map」(<http://www.n-survey.com/online/gmap.html>) 上の地図に入力し、各頂点の座標を世界測地系に基づく平面直角座標の X, Y 座標に変換した。③②で得られた各頂点の座標を Web サイトのフリーソフト「Excel による多角形の重心 (図心) 計算 Ver.1.0」(<http://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/Freeware/Freeware.html>) に入力し、各頂点の座標から世界測地系の X, Y 座標で表される重心点を求めた。

(2) サツマイモ塊根の貯蔵場所

2007 年に収穫または譲渡された塊根を冬期 (2007 年 12 月頃から 2008 年 3 月頃まで) に貯蔵した全ての市民から貯蔵場所を聞き取った。塊根の貯蔵場所は全て点データとして住宅地図に記録し、地点座標は 4.(1) の方法を用いて世界測地系の X, Y 座標に変換した。なお、本稿では、サツマイモを植栽した圃場と同じ地点内に塊根を貯蔵したことを「圃場内貯蔵」と表記して区別した。

(3) 寄主植物地点の空間分布分析

イモゾウムシは飛翔せず、移動は歩行だけである (Sherman and Tamashiro, 1954; 栄, 1968) ため、寄主植物地点が互いに近接して存在することは自力移動に好適であると考えられた。そこで、調査対象地域内における寄主植物地点の分布が本種の移動に適していたか否かを評価するため、空間分析を行った。空間分析には、点分布の集中度を評価する最近隣距離法 (貞広, 2001) を用いた。最近隣となる地点間の距離 (以下、最近隣距離) は、各地点から最も近い地点を選択し、それぞれの地点座標から三平方の定理を用いて算出し、小数点第 1 位を四捨五入して求めた。この際、本種の自力移動が歩行によることを考慮し、常に水の流れる河川や排水路が地点間に存在した場合はこれらをまたがない地点との最近隣距離とした。最近隣距離法では、まず地点間の最近隣距離 (d_i) の平均値 $W = (1/n) \sum_{i=1}^n d_i$ を求めた。次に、全地点が調査対象地域で一様にポアソン分布に従う場合の平均最近隣距離の期待値 $E[W] = 1/2\sqrt{n/S}$ (n : 地点数, S : 面積) を求めた。そして、点分布の集中度は、各地点間の最近隣距離の平均値 W を平均最近隣距離の期待値 $E[W]$ と比較して、集中 ($W < E[W]$)、ランダム ($W \approx E[W]$)、分散 ($W > E[W]$) に分類し、評価した。

(4) イモゾウムシ発生地点の空間分布分析

イモゾウムシ発生地点の空間解析とリスク要因の推定を行うため、調査対象地域における 2008 年のサツマイモ地点での発生地点地図を作成した。ベースとした地図は、指宿市の 1/2500 地図 (世界測地計版数値地図 2500 九州-2, 平成 15 年 1 月 1 日発行, 国土地理院) をフリーソフトの

SuperMap Viewer 2008 (日本スーパーマップ株式会社) に読み込んだものを使用した。地図には河川や排水路だけを表示し、発生地点と塊根の貯蔵場所の地点座標を重ね合わせて、発生地点の地図とした。また、各発生地点間の最近隣距離を求め、これを群平均法による階層型クラスター分析で発生地点のグルーピングを行った。分析には統計ソフトの JMP®8.0.2 (SAS Institute Inc.) を用いた。地点間の最近隣距離の計測は 4.(3) の方法と同様に行った。

5 イモゾウムシによる被害率と塊根の貯蔵場所の関係

本稿では、本種が越冬できた可能性が高いと考えられたサツマイモ塊根の貯蔵場所に注目し、本種の発生地点から塊根を貯蔵していた場所までの最近隣距離と被害率の二変量の関係を Kendall の順位相関で調べた。分析には統計ソフトの JMP®8.0.2 (SAS Institute Inc.) を用いた。地点間の最近隣距離の計測は 4.(3) の方法と同様に行った。

6. サツマイモ栽培管理の聞き取り調査

調査対象地域で 2008 年にサツマイモを栽培した全ての市民 (270 名) を対象として、2008 年のサツマイモ地点 (277 圃場) における栽培履歴や塊根の取り扱いに関する聞き取り調査を行った。調査内容は、サツマイモの育苗から収穫後の残渣処理までの栽培概要、イモゾウムシについての生態や被害の知見、栽培の目的、土壌や茎葉への殺虫剤散布の有無、苗の入手方法、塊根の貯蔵の有無とその場所、収穫した塊根の譲渡の有無について過去 1 年間の情報を聞き取った。聞き取りは、発生確認の調査を行った際に戸別訪問により実施した。回答を拒否された項目は欠損値として扱った。

7. 発生要因の症例対照調査

イモゾウムシの発生に関与した要因を過去に遡って明らかにするため、2008 年の発生確認調査と聞き取り調査の結果に基づき、疫学調査の症例対照調査 (case-control study) を行った。症例対照調査では、発生が確認されたサツマイモ圃場 (44 地点) を症例群に、発生がなかったサツマイモ圃場 (233 地点) を対照群に分けた。発生に関与した要因としては、①栽培中の殺虫剤使用の有無、②栽培の目的、③塊根の圃場内貯蔵の有無の 3 つを取り上げ、それぞれの要因があてはまる圃場とあてはまらない圃場に分けた。

栽培中の殺虫剤使用の有無については、2008 年のサツマイモ栽培期間中に使用した殺虫剤の種類や処理時期を問わず、土壌や茎葉への処理を施したか否かの回答結果を用いた。栽培の目的については、サツマイモを作付けした目的が自家消費用か販売用のどちらであるかの回答結果を用いた。自家消費用は収穫したサツマイモを自宅で消費または親類や知人に譲渡する目的のものとし、販売用は業者に出荷または店頭での販売を目的とするものとした。塊根の圃場内貯蔵の有無については、本種の越冬場所として塊根の貯蔵場所が適していたと考えられたため、サツマイモを作

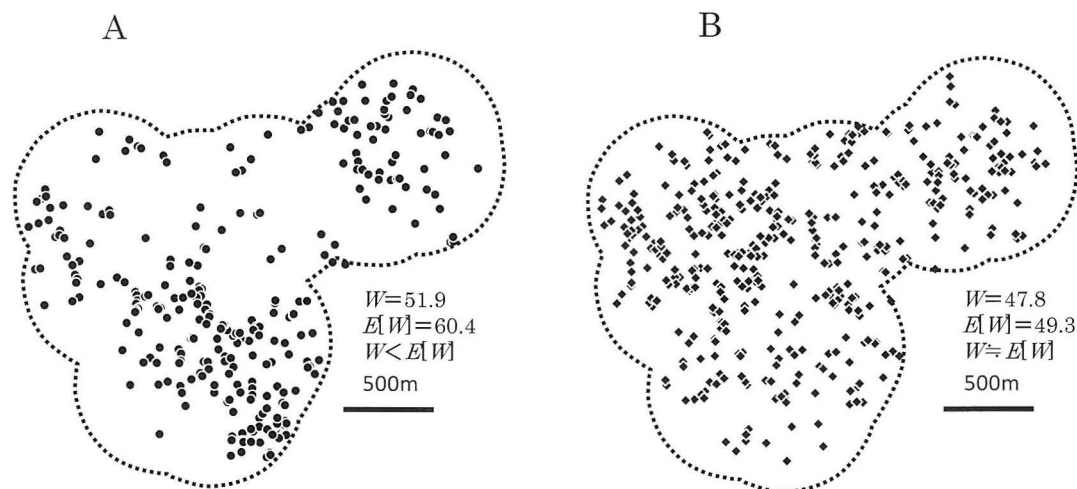


Fig. 1. Geographical distribution of host plant sites. W , average nearest-neighbor distance between each point; $E[W]$, estimate of average nearest-neighbor distance with the assumption that the points (n) are uniformly Poisson distributed within the research area. A closed circle represents a site of a sweet potato field. A closed diamond represents a site of wild host plants. The area enclosed with a broken line represents the research area.

付けした圃場内で冬期に塊根を貯蔵したか否かについての回答結果を用いた。

これら3つの要因を独立変数とし、多重ロジスティック回帰モデルを構築した。モデル選択の規準は、フリー統計ウェア「R」(R Development Core Team, 2005)を用いて、赤池の情報量規準 (Akaike Information Criterion, 以下 AIC) により総当たり法で行った。そして、AIC が最小となる要因の組み合わせを使ってロジスティック回帰分析を行い、モデルの妥当性と有意性を確認した。解析には統計ソフトの JMP®8.0.2 (SAS Institute Inc.) を用いた。

結 果

1. 調査地域の気温

指宿市における年間の平均気温は 18.3°C であった。年間を通じて月の平均気温、最高気温および最低気温が最も低かったのは 1 月 (平均 8.8°C, 最高 12.9°C, 最低 4.9°C) であり、次いで 2 月, 12 月, 3 月の順となった。日平均気温がイモゾウムシ雌成虫の発育零点 12.4°C (安田, 1998) を下回る日数が最も多かった月は 1 月 (27.4 日) で、次に 2 月 (22.6 日), 12 月 (21.7 日), 3 月 (14.8 日) の順となった。

2. 調査対象地域における寄主植物の空間分布

2008 年のサツマイモ地点は、調査対象地域で集中して分布する傾向 ($W < E[W]$, $W=51.9$, $E[W]=60.4$) が認められた。一方、野生寄主植物地点は、2008 年のサツマイモ地点と比較すると、ランダムに分布する傾向 ($W \approx E[W]$, $W=47.8$, $E[W]=49.3$) が認められた (Fig. 1)。これは、サツマイモ地点が住宅地や耕作可能な農地だけに分布していたのに対して、野生寄主植物地点は荒地や耕作放棄地にも分布していたことを反映していると考えられた。

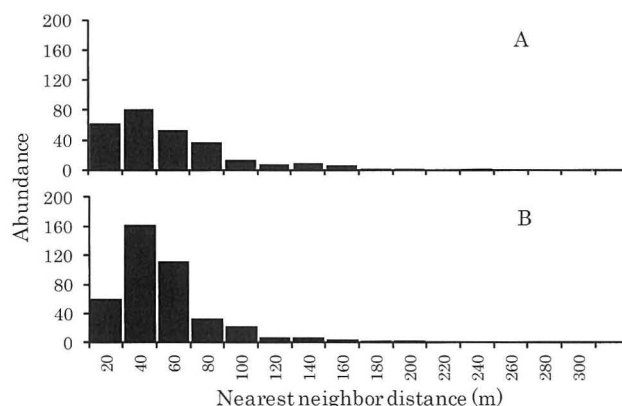


Fig. 2. Histograms of nearest-neighbor distances between sweet potato field sites and between wild host plant sites. A: Sites of sweet potato fields in 2008 ($n=277$, median=40.0, Quartile point: 25.0–64.5). B: Sites of wild host plants ($n=422$, median=39.0, Quartile point: 26.0–57.0).

2008 年のサツマイモ地点と野生寄主植物地点の最近隣距離の中央値は 40.0m と 39.0m であり、両者とも 20～40m の階級で頻度が高くなる一山型の分布を示した (Fig. 2)。両者の地点間の最近隣距離には統計的な有意差は認められず (Wilcoxon の順位和検定, $z=0.558$, $p=0.58$)、同じような間隔で分布していた。

3. イモゾウムシの発生日点

(1) 寄主植物別のイモゾウムシ発生日点率と発生概要
イモゾウムシの発生は、調査したサツマイモ 356 地点のうち 46 地点 (発生日点率 12.9%) と野生寄主植物 422 地点のうち 4 地点 (発生日点率 0.9%) で認められた (Table 1)。イモゾウムシの発生日点率は野生寄主植物よりもサツマイモで有意に高かった (Pearson 検定, $\chi^2=46.034$, $p<0.001$)。

Table 1. Number of host plant and infested sites in the weevil research area in 2008

Host plant		Number of sites			Weevil infestation rate
		Infested	Non-infested	Total	
Sweet potato	Home use	39	232	271	12.9%
	Commercial use	5	32	37	
	Discarded ^a	2	46	48	
Subtotal		46	310	356	0.9%
Wild host plant	<i>Ipomoea indica</i>	4	413	417	
	Others ^b	0	5	5	
Subtotal		4	418	422	6.4%
Total		50	728	778	

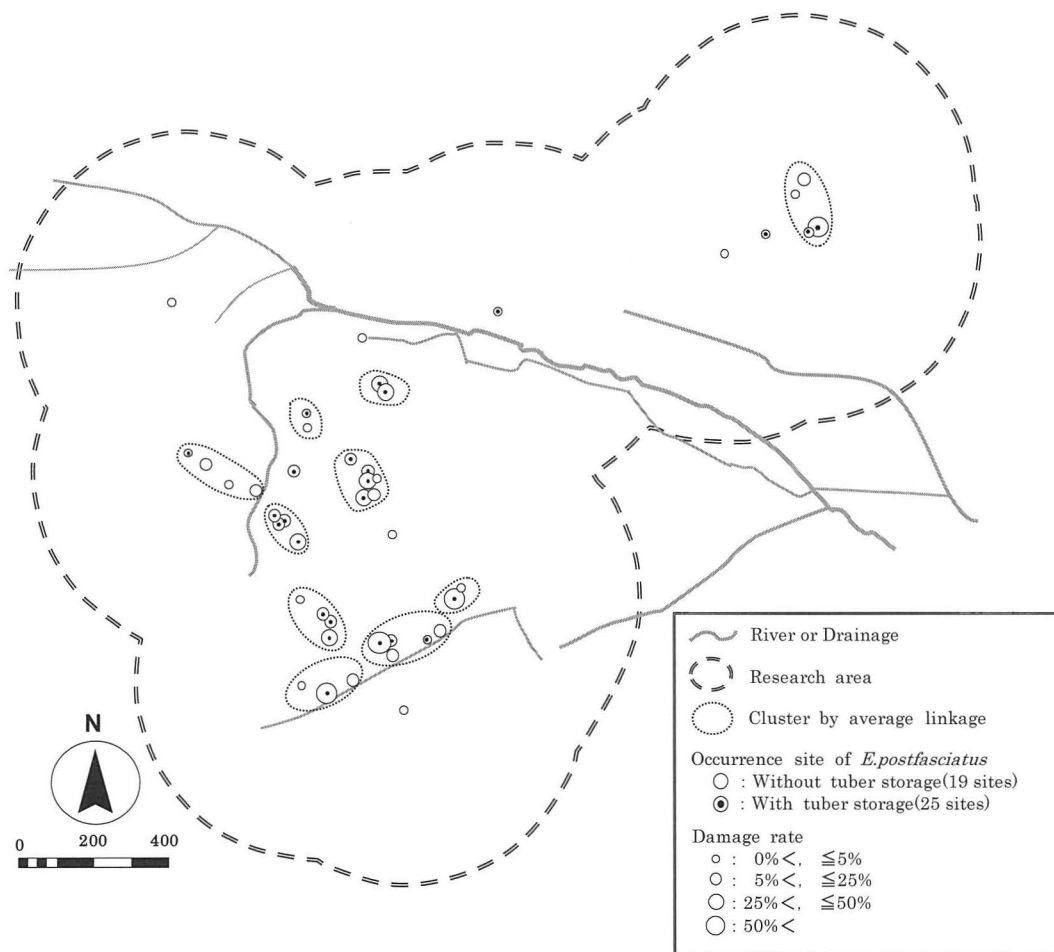
^a Tuberous roots were discarded.^b *Ipomoea cairica*, *Calystegia japonica*, *Calystegia hederacea*.

Fig. 3. Spatial distribution of infested sites and their hierarchical clustering by average linkage.

サツマイモでの発生地点は、2008年に植栽されていたサツマイモ圃場が大部分(44地点)を占めた。その大半(39地点)は自家消費が目的で栽培された家庭菜園のサツマイモであった。サツマイモ塊根が廃棄された場所では2地点

で発生が認められた。塊根は生ゴミとともに庭先や圃場の片隅に廃棄されており、本種の防除対策のためにサツマイモの栽培を禁止した2009年だけで塊根の廃棄は48地点で確認された。野生寄主植物の大部分(417地点)はノアサ

ガオであり、発生はノアサガオの4地点だけで認められた (Table 1). 冬期の2月に行った調査では、圃場内貯蔵の塊根とノアサガオの茎で生存虫を認めた (データ省略).

(2) 2008年のサツマイモ地点における発生地点の空間分布

2008年のサツマイモ地点における発生地点を階層型クラスター分析した結果、2~6地点を含む10個のグループと、グループから外れた8地点に分けられた (Fig. 3). 10個のグループ内に含まれた36地点の最近隣距離の中央値は36m (四分位点19.0-57.0, 最小9.0, 最大83.0) であった. 実際は、各グループ内で隣接した圃場が26地点 (72%) で認められた (データ省略, 地点間の距離は圃場の重心点間の距離を表すため、隣接する圃場間の距離は0mとはならない). 一方で、グループから外れた8地点は、いずれの発生地点からも100m以上離れており、周囲にグループを作れる地点がなかった (Fig. 3). 本種の自力移動の妨げになったと考えられた河川や排水路によって隔てられた場所には、2個のグループと5地点が認められた (Fig. 3).

(3) イモゾウムシの被害に及ぼす塊根の圃場内貯蔵の影響

階層型クラスター分析により形成された10個のグループは、それぞれ塊根を圃場内貯蔵した地点を含んでいた (Fig. 3). この結果は、塊根の圃場内貯蔵が、その地点を

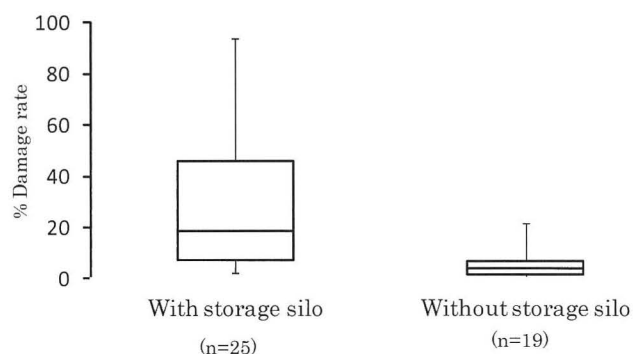


Fig. 4. Comparison of the damage rate between sweet potato field sites with and without a storage silo. The lower part of each box indicates 25%, the upper part indicates 75%, and the center line marks the 50% value. A statistically significant difference was observed between the two (Wilcoxon rank sum test, $p < 0.01$).

中心とする比較的狭い範囲の発生スポットを形成したことを示していると考えられた.

被害率が25%以上の地点は10地点で認められ、その全ての地点で塊根の圃場内貯蔵を行っていた (Fig. 3). このため、44地点の発生地点の被害率を、圃場内貯蔵を行った地点と行わなかった地点に分けて比較した. その結果、圃場内貯蔵を行った地点の被害率 (中央値18.5%) は、行わなかった地点の被害率 (中央値3.9%) に比べて有意に高かった (Fig. 4, Wilcoxonの順位和検定, $z = -4.076$, $p < 0.001$).

塊根の圃場内貯蔵を行ったことが同一敷地内での被害率を高めている可能性が示唆されたため (Fig. 4), 次に塊根の圃場内貯蔵が近隣の発生地点の被害率に及ぼす影響を調べた. その結果、発生地点の被害率と、その地点から最も近い圃場内貯蔵の場所までの距離との間に有意な負の相関が認められた (Fig. 5, Kendallの順位相関, $\tau = -0.404$, $p < 0.01$). この結果は、塊根の圃場内貯蔵が、同一敷地内ばかりでなく周辺の発生地点の被害率も高めていたことを示していると考えられた.

4. サツマイモの栽培概要 (聞き取り調査)

調査対象地域におけるサツマイモの栽培概要を Fig. 6 に示した. 聞き取り調査の結果、苗の定植は4月下旬から6月下旬に行い、収穫は9月下旬から12月上旬までの期間に行っていた. 収穫後の残渣処理は圃場内で十分乾燥させた後に、焼却または圃場内に鋤き込む方法が採られている. 収穫した塊根を貯蔵する場合は、圃場の片隅に掘った

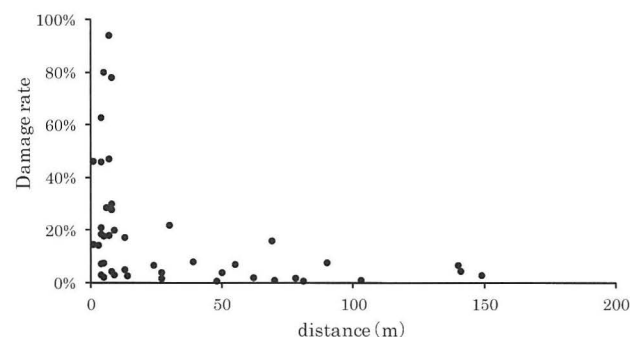


Fig. 5. Correlation between the distance from a neighbor tuber storage silo and the damage rate at each site in 2008 (Kendall rank correlation, $\tau = -0.404$, $p < 0.01$).

Month											
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
B M E	B M E	B M E	B M E	B M E	B M E	B M E	B M E	B M E	B M E	B M E	B M E
Storage of tuberous root									Storage of tuberous root		
			Raising seedlings								
			Planting seedlings								
									Harvest		

Fig. 6. Annual sweet potato cropping systems in Ibusuki City.

穴に収穫した塊根の一部を入れ、上に稲ワラ等を被せる簡易な「丸穴式貯蔵」や「溝式貯蔵」を11月中旬から3月中旬まで行っていた。自家育苗をする場合は、貯蔵していた塊根を3月中旬以降に苗床に伏せ込み、そこから採苗していた。採苗が終了した苗床の塊根は、圃場の片隅に掘った穴に廃棄する方法が主に行われていた。

Table 2に、イモゾウムシの発生に関与したと考えられた質問への回答結果を示した。本種の生態や被害を理解していた人は、270名のうち1名のみであり、本種に対する調査対象地域の住民の認識は非常に低かった。栽培目的は、自家消費が277地点のうち240地点(87%)と大部分を占めた。栽培中の殺虫剤散布は、277地点のうち242地点(87%)が実施しておらず、その大部分(233地点)が自家消費を目的とした家庭菜園であった。塊根を圃場内貯蔵

Table 2. Results of a questionnaire given to farmers in the weevil research area in 2008

Question	N ^a	Answer	
		Yes	No
Knowledge about weevils? ^b	270	1	269
Cultivation for home use?	277	240	37 ^c
Pesticide application?	277	35	242
Within-field tuber storage?	277	79 ^d	198
Raised seedlings yourself?	86	79 ^d	7 ^e
Transfer of tuberous roots to other people?	45	9	36 ^f

^a Number of answers.

^b Knowledge about the ecology and damage of West Indian sweet potato weevil.

^c Commercial use.

^d Same farmers.

^e Transfer from others=3, purchase=4.

^f Transport to a food market was treated as "No."

していた79地点では必ず自家育苗を行っており、そのほとんど(75地点)は自家消費が目的の家庭菜園であった。収穫した塊根の譲渡については45地点から回答が得られた。「譲渡あり」と回答した9地点の中には、譲り受けた塊根に本種の発生を認めたケースが1件あった。

5. 被害の発生要因(症例対照調査)

2008年のサツマイモ地点において、イモゾウムシの発生に関与したと考えられた3つの要因(栽培中の殺虫剤使用の有無、栽培の目的、塊根の圃場内貯蔵の有無)を独立変数として多重ロジスティック回帰モデルの選択を行った結果、交互作用を含まない3つの要因だけのモデルのAICが最小(203.8)となった。そこで、3つの要因だけを用いてロジスティック回帰分析を行ったところ、このモデルの逸脱度は小さく(d.f.=4, $\chi^2=0.674$, $p=0.955$)、その妥当性が認められた(d.f.=3, $\chi^2=29.13$, $p<0.001$)。

このモデルから、3つの要因をそれぞれ分析した結果、まず、栽培中の殺虫剤使用に関して、「殺虫剤を使用しなかった」と「殺虫剤を使用した」のオッズ比は18.76となり、殺虫剤を使用しなかった場合に発生地点の割合が有意に高かった(Table 3, 偏回帰係数1.47, $p=0.012$)。次に、栽培の目的に関して、「自家消費」と「販売用」のオッズ比は0.21(偏回帰係数-0.78, $p=0.029$)となり、自家消費が目的の栽培であった場合に発生地点の割合が有意に高かった(Table 3)。3番目に、塊根の圃場内貯蔵に関して「圃場内貯蔵あり」と「圃場内貯蔵なし」のオッズ比は4.45(偏回帰係数0.75, $p<0.001$)となり、圃場内貯蔵が存在した場合に発生地点の割合が有意に高かった(Table 3)。

考 察

指宿市でイモゾウムシが発生した頻度は、ノアサガオ等の野生寄主植物よりもサツマイモで高かった(Table 1)。

Table 3. Case-control study results for screening risk factors based on the questionnaire in the weevil research area in 2008

Risk factor	[Case] Infested sites (n=44)	[Control] Non-infested sites (n=233)	Partial regression coefficient ^a	Standard error ^a	p value ^a	Odds ratio ^a
Pesticide application						
Yes	1	34	1.47	0.586	0.012*	18.76
No	43	199				
Purpose of cultivation						
Home use	39	201	-0.78	0.357	0.029*	0.21
Commercial use	5	32				
Tuber trench silo within site						
Yes	25	54	0.75	0.177	<0.001**	4.45
No	19	179				

^a Calculated the final model of multiple logistic regression analysis by selection using AIC (Degree of deviance of the final model; $p=0.955$).

* $p<0.05$, ** $p<0.01$.

また、調査対象地域内における野生寄主植物の地点は、2008年のサツマイモ地点数と比較すると約1.5倍多く、ランダムに分布しており (Fig. 1)、その最近隣距離の中央値 (39.0m) はサツマイモ地点 (中央値 40.0m) と比較して有意差は認められなかった。しかし、野生寄主植物での発生確認は4地点のみであり、サツマイモでの発生地点と比較して少なかった。このことから、2008年に発生が確認された当時は、指宿市に侵入した本種が、主にサツマイモを寄主植物として増殖と分布の拡大を行っていた過程であったと考えられた。大野ら (2006) は、沖縄県久米島で本種の寄主植物における単位茎長あたりの個体数を寄主植物別に比較し、サツマイモでの寄生個体数がノアサガオよりも多かったことを確認している。指宿市においても、本種にとってサツマイモはノアサガオよりも増殖に適した寄主植物であったと推察された。

このため以下では、指宿市の調査対象地域のサツマイモ地点に着目し、緒言で記した本種が定着した要因に関する3つの仮説について項目別に考察した。

仮説1 イモゾウムシの自力移動が可能な範囲内に好適な寄主植物が集中したこと

2008年のサツマイモ地点で実施した症例対照調査では、本種の発生に対して、殺虫剤を使用しなかった栽培と自家消費目的の栽培の関与が示唆された (Table 3)。調査対象地域内における2008年のサツマイモ地点は集中分布する傾向が認められ (Fig. 1)、このうち殺虫剤を使用しなかった自家消費目的の家庭菜園はサツマイモ地点の大部分 (84%, 277地点中233地点) を占めた。先行研究ではサツマイモ上における本種に対する殺虫剤の高い防除効果が確かめられているが (安田, 1991)、本地域は殺虫剤を使用しなかった自家消費目的のサツマイモ地点が集中したため、潜在的に発生リスクの高い地域であったと考えられた。

本種の自力移動について、雌成虫は餌となる寄主植物が収穫されると寄主植物を求めて活発に移動分散し (安田, 1996a)、その距離は5日あたり33mと推定されている (Kinjo et al., 1995)。また、本種の飢餓耐性は羽化後何も与えずに飼育した雌成虫の平均生存日数が約17日である (安田, 1996b) ことが確かめられている。本研究における聞き取り調査から、収穫後のサツマイモ残渣は圃場内で十分に乾燥するまで放置されており、雌成虫が茎葉や塊根が乾燥するまでの期間中に離脱し、近隣の未収穫のサツマイモ圃場へ自力移動した可能性は高かったと推測された。また、Kuriwada et al. (2011) は、本種に近交弱勢がほとんどないことを明らかにしており、このことは、移動できた個体数が少数であったとしても、移動先のサツマイモ圃場で産卵あるいは増殖が可能であることを示している。指宿市では、2008年のサツマイモでの発生地点の空間分布か

ら、階層型クラスター分析によりグループ分けされた36地点の地点間距離の中央値は36mであり、このうち26地点 (72%) がそれぞれ隣接した圃場であった (Fig. 3)。このことから、本種の自力移動の多くは、殺虫剤を使用しなかった自家消費目的のサツマイモ地点が集中して分布する狭い範囲で行われていたと考えられた。

仮説2 イモゾウムシの越冬場所が存在したこと

イモゾウムシの起源は熱帯・亜熱帯域とされ (杉本, 2000)、そのような地域を起源とする昆虫は非休眠系統が多い (桐谷, 2012)。指宿市における1~2月の月平均気温は10℃以下であり、最低気温も5℃以下であった。本種の休眠と耐寒性を明らかにした先行研究はないが、栄 (1988) は本種の生態と習性に関する記述の中で、アリモドキゾウムシよりも寒さに強く、休眠しないと報告している。安田 (1998) の求めた本種成虫の発育零点 (12.4℃) を下回った日数は12月から2月にかけて多く、この時期に屋外での発育はほとんど進まなかったと推察された。2009年2月上旬にはノアサガオの茎内で生きた幼虫を1頭確認したが、防除を実施したため野生寄主植物上での越冬の可能性は確認できなかった。その一方で、塊根の貯蔵場所は、10℃以下の低温による塊根の腐敗 (邨田, 1980) や萌芽による消耗を防ぐため、貯蔵温度を13~15℃に保つように作られる (坂井, 1999)。2009年2月下旬には、塊根の貯蔵場所において生きた蛹と幼虫が多数確認された。症例対照調査では、本種の発生と塊根の圃場内貯蔵の関与が示唆された (Table 3)。本種が発生した地点では、塊根の圃場内貯蔵を行った地点の被害率が貯蔵を行わなかった地点よりも有意に高く (Fig. 4)、圃場内貯蔵が同一敷地内での被害率を高めていたことが推測された。また、発生地点のクラスターには必ず塊根の圃場内貯蔵場所を有し (Fig. 3)、貯蔵場所に近い発生地点ほど被害率が高くなる傾向も認めた (Fig. 5)。聞き取り調査では、塊根の圃場内貯蔵を行った全ての人々が自家育苗を行っていた (Table 2)。これらのことから、塊根の貯蔵場所が本種の好適な越冬場所となり、翌春の育苗期間を経て、早い時期から定植後のサツマイモ圃場に移動し、増殖したため、被害率を高めたと推察された。

仮説3 分布の拡大には、自力移動の他に寄生した塊根の授受等、人間活動の関与があったこと

2008年のイモゾウムシの発生地点地図を階層型クラスター分析によって分類した結果から、河川や排水路によって隔てられた場所に5個の独立した地点と2個のグループが確認できた (Fig. 3)。移動を歩行に頼る本種がこれらの地点に自力で到達するのは困難であり、人の手を介して移動した可能性が考えられた。

症例対照調査では、本種の発生と自家消費が目的の栽培の関与が示唆された (Table 3)。2008年のサツマイモ地点

における発生地点の大部分は、自家消費が目的の家庭菜園が占めており(44地点中39地点)、本種の発生初期に行った聞き取り調査では、ほとんどの市民に本種の知見がなかったことが明らかになった(Table 2)。本種に寄生された塊根は、脱出孔がない限り外観だけで被害塊根であると判断するのは困難である(栄, 1968)。ましてや、被害塊根がどのようなものか知らなければ、その存在に気付いたとしても通報や相談をする行為には至らず、自家消費が目的で栽培されたものならば各人で廃棄等の処理を日常的に行っていたと考えられた。2009年に塊根が廃棄された地点数(48地点)と、このうち2地点で本種の発生が確認された事例はこの考えを裏付けている。また、聞き取り調査では、収穫後の塊根を他者に譲渡したケースを数件認め、この中で、発生地点の栽培者から譲り受けた塊根に本種の発生が確認された事例も1件あった。ただ、この質問に対する回答数は45件(全体の16%)と少なく、塊根を譲渡したと回答することによって自分が発生源として疑われることを警戒した結果と考えられた。鷲谷(2007)は、外来種が何らかの要因で未発生地域に侵入した後に、個体数を増やし定着に成功する要因のひとつとして、侵入過程で導入が繰り返される散布体圧(propagule pressure)の大きさを指摘している。本種の被害塊根だと気づかず、塊根を庭先や圃場内に廃棄する行為や他者と塊根の授受を行う行為は、本種の導入を繰り返していたことと同じであり、本種の分布の拡大に関与したと考えられた。

以上の定着に関する3つの仮説をまとめると、本種はサツマイモを主な寄主植物として、①越冬場所からの分散、②栽培期間中に増殖、③収穫作業で減少、④周辺圃場への分散、⑤越冬場所への人為的な移動、あるいは圃場に残留し越冬可能地への歩行移動という生活史を毎年繰り返したことで定着に成功したと考えられた。

未発生地域におけるイモゾウムシ防除対策の展望

効率的なモニタリング手法が確立されていないイモゾウムシに対して、指宿市で採られた防除対策は、①サツマイモの移動を禁止する、②現存するサツマイモは全て回収し処分する、③サツマイモの新たな栽培の禁止と塊根の廃棄方法を定める、④野生寄主植物を全て除去する、の手法を住民へ説明しながら段階的に実践したことであった。この結果、本種の発生は初確認から1年程度で認められなくなり、その後の根絶を確認する調査を経て3年4か月後に根絶が達成された(門司植物防疫所, 2012)。上記の防除対策は、本稿で推定した本種の定着要因の対策に合致し、疫学の介入研究(要因に対する予防プログラムを確かめる研究)に位置づけられる。このことは、空間疫学的手法を用いたリスク要因の推定は、人間の感染症予防だけでなく、本種のように不測の発生をする侵入害虫を封じ込める対策にも有効であることを示唆している。ただ、本稿では、本

種の定着を阻害する天敵や競合する生物等の存在、本種の耐寒性等を検証することができなかった。本種の未発生地域での定着を想定した基礎的な研究は不足しており、これらの解明は今後の課題であろう。本種のように、植物防疫法で規制されている侵入害虫の防除対策(侵入防止を含む)は、過去の事例からリスク要因を導き出し、危機管理の意識のもとで、住民とともにリスクコミュニケーションに結び付けることから始めなければならない。

摘 要

鹿児島県指宿市で2008年11月に、植物防疫法により侵入とまん延を警戒する重要害虫に指定されているイモゾウムシが発生した(2012年3月根絶)。本稿では、発生地点と寄主植物地点の空間分析と、市民からの聞き取りに基づいた疫学調査(症例対照調査)を組み合わせ、本種の定着に関する3つの仮説の検証とそのリスク要因の推定を試みた。

本種の発生は、サツマイモ(46地点)と野生寄主植物のノアサガオ(4地点)で認められた。本種の発生頻度は、野生寄主植物よりサツマイモで有意に高かった。また、本種発生地点のサツマイモ栽培の多数が殺虫剤を使用しない、自家消費が目的の栽培であった。さらに、寄主植物と発生地点の空間分析を行った結果、サツマイモ地点は36m間隔(中央値)で集中分布していた。本種の定着のためには、農薬を使用しない自家消費目的のサツマイモは好適な寄主植物であり、本地域ではこのようなサツマイモが自力移動の可能な範囲内に集中していたと考えられた(仮説①)。

発生地点において、冬期に塊根をサツマイモ圃場内で貯蔵を行った地点の被害率は貯蔵を行わなかった地点よりも有意に高く、貯蔵場所から発生地点までの距離と被害率には負の相関関係を認めた。塊根の貯蔵場所は本種の越冬場所としての働きを担っていたと推察された(仮説②)。

本種に対する調査対象地域の住民の認識は非常に低く、被害塊根を知らずに塊根の廃棄や授受を行っており、本種の移動と分布の拡大には人間活動の関与が示唆された(仮説③)。

定着の要因を過去に遡って検証(症例対照調査)した結果、「殺虫剤を使用しない栽培」、「自家消費が目的の栽培」および「塊根の圃場内貯蔵」の関与が示唆された。

引 用 文 献

- 荒川賢良・佐々木幹了・池田常稔・永山才朗(2006) 奄美大島におけるイモゾウムシの発生消長。植防研報 42: 39-41。
[Arakawa, K., M. Sasaki, T. Ikeda and T. Nagayama (2006) Seasonal abundance of *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) in Amami-oshima island. Res. Bull. Plant Prot. Jpn. 42: 39-41.]
- Kinjo, K., Y. Itô and Y. Higa (1995) Estimation of population density,

- survival and dispersal rates of the west indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* Fairmaire (Coleoptera: Curculionidae), with mark and recapture methods. *Appl. Entomol. Zool.* 30: 313–318.
- 桐谷圭治 (2012) 日本産昆虫, ダニの発育零点と有効積算温度定数: 第2版. 農環研報 31: 1–74. [Kiritani, K. (2012) The low development threshold temperature and the thermal constant in insects and mites in Japan (2nd edition). *Bull. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci.* 31: 1–74.]
- Kuriwada, T., N. Kumano, K. Shiromoto and D. Haraguchi (2011) The effect of inbreeding on mating behavior of West Indian sweet potato weevil *Euscepes postfasciatus*. *Ethology* 117: 822–828.
- 宮路克彦・田中丈雄 (1998) 奄美群島におけるアリモドキゾウムシおよびイモゾウムシの発生拡大. 九病虫研会報 44: 88–92. [Miyaji, K. and T. Tanaka (1998) Geographic distribution of the sweet potato weevil, *Cylas formicarius* (Fabricius) (Coleoptera: Brentidae) and the small sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae) in the Amami Islands. *Proc. Assoc. Plant Prot. Kyushu* 44: 88–92.]
- 宮崎 勲・岩田雅顕・正木征樹・金田昌士 (2001) アリモドキゾウムシ及びイモゾウムシの寄主植物調査. 植防研報 37: 75–79. [Miyazaki, I., M. Iwata, S. Masaki and M. Kaneda (2001) Studies on host plants of the sweet potato weevil, *Cylas formicarius* (Fabricius) (Coleoptera: Brentidae) and the West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae). *Res. Bull. Plant Prot. Jpn.* 37: 75–79.]
- 門司植物防疫所 (2012) 鹿児島県指宿市におけるイモゾウムシおよびアリモドキゾウムシの緊急防除と根絶. 植物防疫 66: 350–351. [Moji Plant Protection Station (2012) Emergency action and eradication on West Indian Sweetpotato Weevil and Sweet Potato Weevil in Ibusuki city, Kagoshima prefecture. *Plant Prot.* 66: 350–351.]
- 守屋成一 (1995) イモゾウムシ, アリモドキゾウムシの根絶は可能か—根絶防除計画の現状—. 沖縄農業 30: 65–71. [Moriya, S. (1995) Is it possible to eradicate the West Indian sweetpotato and the sweetpotato weevils? Present status of the eradication program in Japan. *Bull. Okinawa Agric. Exp. Stn.* 30: 65–71.]
- 邨田卓夫 (1980) 青果物の流通と低温障害. コールドチェーン研究 6(2): 42–51. [Murata, T. (1980) Cold chain and chilling injury of fruit and vegetables. *J. Inst. Cold Chain* 6(2): 42–51.]
- Newsom, S. W. (2006) Pioneers in infection control: John Snow, Henry Whitehead, the Broad Street pump, and the beginnings of geographical epidemiology. *J. Hosp. Infect.* 64: 210–216.
- 大野 豪・原口 大・浦崎喜美子・小濱継雄 (2006) サツマイモの有害虫イモゾウムシ—久米島における発生生態と防除の現状—. 昆虫と自然 41(14): 25–30. [Ohno, S., D. Haraguchi, K. Urasaki and T. Kohama (2006) The West Indian sweetpotato weevil, *Euscepes postfasciatus*: its occurrence and current problems of its control in Kume Island, Okinawa. *Kontyu-to-Sizen* 41(14): 25–30.]
- R Development Core Team (2005) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- 貞広幸雄 (2001) GISによる空間分析. 地理情報学入門 (野上道男・岡部篤行・貞広幸雄・隈元 崇・西川 治 編). 東大出版会, 東京, pp. 73–75. [Sadahiro, Y. (2001) The spatial analysis by GIS. In *An Introduction to Geographical Information Science* (M. Nogami, A. Okabe, Y. Sadahiro, T. Kumamoto and O. Nishikawa, eds.). University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 73–75.]
- 栄 政文 (1968) 奄美群島に発生する特殊病害虫: イモゾウムシ. 鹿児島県農業試験場大島支場 65 周年記念誌 (鹿児島県農業試験場大島支場 編). 鹿児島県農業試験場大島支場, 名瀬, pp. 50–57. [Sakae, M. (1968) Pest in the Amami Islands: West Indian sweet potato weevil. In *Mem. 65th Anniv. Kagoshima Pref. Agric. Exp. Stn. Oshima Branch* (Oshima Branch of Kagoshima Pref. Agric. Exp. Stn., ed.). Oshima Branch of Kagoshima Pref. Agric. Exp. Stn., Naze, pp. 50–57.]
- 栄 政文 (1988) 奄美諸島の病害虫—私と病害虫のかかわりあり—. 互助印刷, 鹿児島. 248 pp. [Sakae, M. (1988) *Pest in Amami Islands*. Gojoinsatu Co., Ltd., Kagoshima. 248 pp.]
- 坂井健吉 (1999) さつまいも. 法政大学出版局, 東京. 316 pp. [Sakai, K. (1999) *Sweet Potato*. University of Hosei Press, Tokyo. 316 pp.]
- 佐々木諭 (2007) ザンビア国ルサカ市貧困居住区におけるコレラ流行に関する空間疫学ならびにリスク要因分析. 新潟医学会雑誌 121: 369–384. [Sasaki, S. (2007) Spatial epidemiology and risk factor analysis of a Cholera outbreak in unplanned settlements in Lusaka, Zambia. *Niigata Medical J.* 121: 369–384.]
- Sherman, T. and M. Tamashiro (1954) The sweet potato weevils in Hawaii. Their biology and control. *Hawaii Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.* 23: 1–36.
- 末吉澄隆 (2004) 屋久島におけるイモゾウムシ駆除確認調査終了. 九州植物防疫 592: 3–4. [Sueyoshi, S. (2004) Completion of the survey confirming extermination of *Euscepes postfasciatus* in Yakushima. *Kyushu Plant Prot.* 592: 3–4.]
- 杉本 毅 (2000) 2種のゾウムシ類の起源, 分散, 我が国への侵入. 植物防疫 54: 444–447. [Sugimoto, T. (2000) Origin, global dispersion and invasion into Japan of two species of sweet potato weevil. *Plant Prot.* 54: 444–447.]
- 鷺尾昌一 (2009) 症例対照研究. はじめて学ぶやさしい疫学—疫学への招待 (日本疫学会 監修). 南江堂, 東京, pp. 48–56. [Washio, S. (2009) Case-control study. In *An Introductory Textbook of Epidemiology* (Japan Epidemiological Association, ed.). Nankodo Co., Ltd., Tokyo, pp. 48–56.]
- 鷺谷いづみ (2007) 外来種の定着と侵略性の生態的要因. 日本水産学会誌 73: 1117–1120. [Washitani, I. (2007) Ecological factors affecting the invisibility of an alien species. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Sci.* 73: 1117–1120.]
- 安田慶次 (1990) イモゾウムシの発生生態. 植物防疫 44: 118–120. [Yasuda, K. (1990) Chemical control of the sweet potato weevils, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) *Cylas formicarius* (Fabricius). *Plant Prot.* 44: 118–120.]
- 安田慶次 (1991) イモゾウムシとアリモドキゾウムシに対する薬剤防除効果. 九病虫研会報 37: 107–110. [Yasuda, K. (1991) Chemical control of the sweetpotato weevils,

- Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) and *Cylas formicarius* (Fabricius). *Proc. Assoc. Plant Prot. Kyushu* 37: 107-110.]
- 安田慶次 (1996a) イモゾウムシ成虫捕獲用のピットホールトラップの作製とその誘引特性. 応動昆 40: 97-102. [Yasuda, K. (1996a) Attractiveness of pitfall trap to West-Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 40: 97-102.]
- 安田慶次 (1996b) 飢餓条件下におけるイモゾウムシ成虫の寿命, 脂質含量, 乾燥重および交尾・卵巣発育. 応動昆 40: 273-278. [Yasuda, K. (1996b) Effects of starvation on longevity, lipid content, dry body weight and mating of adult West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 40: 273-278.]
- 安田慶次 (1997) サツマイモ畑におけるイモゾウムシ個体数の変化と被害. 応動昆 41: 83-88. [Yasuda, K. (1997) Occurrence of West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae) and damage to sweet-potato (*Ipomoea batatas* (L.) lam.) fields. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 41: 83-88.]
- 安田慶次 (1998) イモゾウムシ・アリモドキゾウムシの総合的管理に関する研究. 沖縄農試研報 21: 1-80. [Yasuda, K. (1998) Studies on integrated pest management of West Indian sweet potato weevil *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) and sweet potato weevil *Cylas formicarius* (Fabricius). *Bull. Okinawa Agric. Exp. Stn.* 21: 1-80.]
-